

(別紙 2)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

課題番号 第10号

研究課題名

新しい形態を有する超々高層建築物の 耐風設計手法に関する研究

研究期間 平成20年度～平成21年度

研究代表者名 田村 幸雄

共同研究者 中井 政義

大竹 和夫

小鹿 紀英

山脇 克彦

人見 泰義

目次

1. 課題番号	1
2. 研究課題名	1
2. 研究期間	1
3. 代表者及び研究代表者、分担研究者	1
5. 補助金交付総額	1
6. 研究・技術開発の目的	1
7. 研究・技術開発の内容と成果	
7.1 研究開発の内容	2
7.2 新しい建物形態や構造的特徴に関する技術マップ（平成 20 年度実施）	3
7.3 風洞実験に基づく空力特性の統一かつ包括的評価（平成 20 年度実施）	31
7.4 空力特性に関する詳細検討（平成 21 年度実施）	80
7.5 新しい形態を有する超々高層建築物の 合理的耐風設計手法の検討・提案（構造設計編）（平成 21 年度実施）	148
7.6 新しい形態を有する超々高層建築物の 合理的耐風設計手法の検討・提案（居住性能編）（平成 21 年度実施）	268
7.7 新しい形態を有する超々高層建築物の 合理的耐風設計手法の検討・提案（デザイン編）（平成 21 年度実施）	280
8. 研究成果の刊行に関する一覧表	308
9. 研究成果による知的財産権の出願・取得状況	308
10. 成果の実用化の見通し	308
11. その他	308

(別紙2)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

1. 課題番号 第10号

2. 研究課題名 新しい形態を有する超々高層建築物の耐風設計手法に関する研究

3. 研究期間 平成20年度～平成21年度

4. 代表者及び研究代表者、分担研究者

代表者	(代表者氏名)	(所属機関・職名)
研究代表者	田村 幸雄	東京工芸大学 工学部 建築学科 教授
分担研究者	中井 政義	(株)竹中工務店 先進構造エンジニアリング本部 本部長
分担研究者	大竹 和夫	(株)竹中工務店 技術研究所 主任研究員
分担研究者	小鹿 紀英	鹿島建設(株) 小堀研究室 室長
分担研究者	山脇 克彦	(株)日建設計 構造設計部門 構造設計室 主管
分担研究者	人見 泰義	(株)日本設計 構造設計群 グループ長

5. 補助金交付総額 18,590,000円

6. 研究・技術開発の目的

本研究・開発では、世界各地で計画・建設されつつある新しい形態を有する建築物を世界に先駆けて合理的に超々高層建築物へ展開するため、新しい建物形態の整理と分析、種々の縮小模型を用いた風洞実験による建物形態に応じた空力特性と風荷重の統一かつ包括的な定量評価を行い、建物の解析検討等による構造合理性と居住性を兼ね備えた耐風設計手法を研究開発する。

具体的には、

- ・ 新しい建物形態の整理と分析
- ・ 種々の縮小模型（形態分析結果に基づいて決定）の風洞実験による建物形態と空力特性などの統一かつ包括的評価
- ・ 建物形態と構造特性（構造合理性と居住性）の解析検討

により、新しい形態を有する超々高層建築物の耐風設計手法の研究を行う。

この研究により、世界各国から注目される魅力ある都市のシンボルとなる超々高層建築物の実現、国内都市の国際競争力強化や建設業界の活性化に大きく貢献することを目的とする。

7. 研究・技術開発の内容と成果

7.1 研究開発の内容

7.1.1 研究開発の目的

世界各地で計画・建設されつつある新しい形態を有する建築物を世界に先駆けて合理的に超々高層建築物へ展開するため、新しい建物形態の整理と分析、種々の縮小模型を用いた風洞実験による建物形態に応じた空力特性と風荷重の統一的かつ包括的な定量評価を行い、建物の解析検討等による構造合理性と居住性を兼ね備えた耐風設計手法を研究開発する。

7.1.2 平成 20 年度の研究開発の内容

目標

新しい建物形状や構造的特徴をまとめた技術マップを作成し、200～500m 程度の超々高層建築物の形状と風荷重の関係を定性的・定量的に評価する。

内容

国内外の超々高層建築の諸元（高さ、アスペクト比等）について情報を収集、分析して技術マップを作成する。この技術マップを参考に、超々高層建築物の形状パラメータを設定し、風洞実験に基づいて、空力特性を統一的かつ包括的に評価する。

7.1.3 平成 21 年度の研究開発の内容

目標

特徴的な超々高層建物形態毎の耐風設計に資するデータ収集および空力特性向上方法の研究及び、合理的な構造設計手法を研究する。平成 21 年度の具体的な目標は次の 2 つである。

- ① 空力特性に関する詳細検討報告書
- ② 新しい形態を有する超々高層建築物の合理的耐風設計手法の検討・提案
(構造設計編、居住性能編、建築デザイン編)

内容

- ① H20 年度の検討で良好な空力特性が確認された形態等に対する空力特性改善要因分析および建築デザイン例に対する風洞実験の実施。
- ② 特徴的な超々高層建物形態の耐風設計手法の検討・提案
(構造設計編) 建物形態にマッチした合理的な構造計画方法（方針）の検討、および構造断面や変形等の低減効果が高い構造計画方法の検討。
(居住性能編) 居住性能と建物形態の定性的な関係の検討。
(建築デザイン編) パースやイラスト等の資料を成果とした新たな超々高層建築の在り方や新たな可能性等の検討、および特徴的な超々高層建物形態の設計例の提案。

7.2 新しい建物形態や構造的特徴に関する技術マップ（平成 20 年度実施）

7.2.1 国内外の超高層建築の諸元に関する調査結果

国内外の超高層建築の中で、高さが 1～100 位までの建築諸元を調査した。この結果を以下に示す。また図 7.2.1 に高さ 100 位までの建築における高さと棟数の分布を示す。なお、本データは 2010 年 1 月時点における竣工済データである。

これらのデータより、上位 100 位のうち高さ 500m を越える超高層建築は全体の 2% で、82% は 350m 以下である。この事実より、超高層建築としてインパクトがあると同時に、新しい形態実現の可能性を考慮して、高さ 350～400m 程度の建築を、本研究のターゲットとする。また、アスペクト比については首都圏の建設用地の状況を踏まえると、基準階の平面形状は 50m×50m 程度に抑えることが現実的と考えられる。従って、高さ 400m でアスペクト比 8 の建築プロポーションで以後の空力特性および構造検討を進めた。

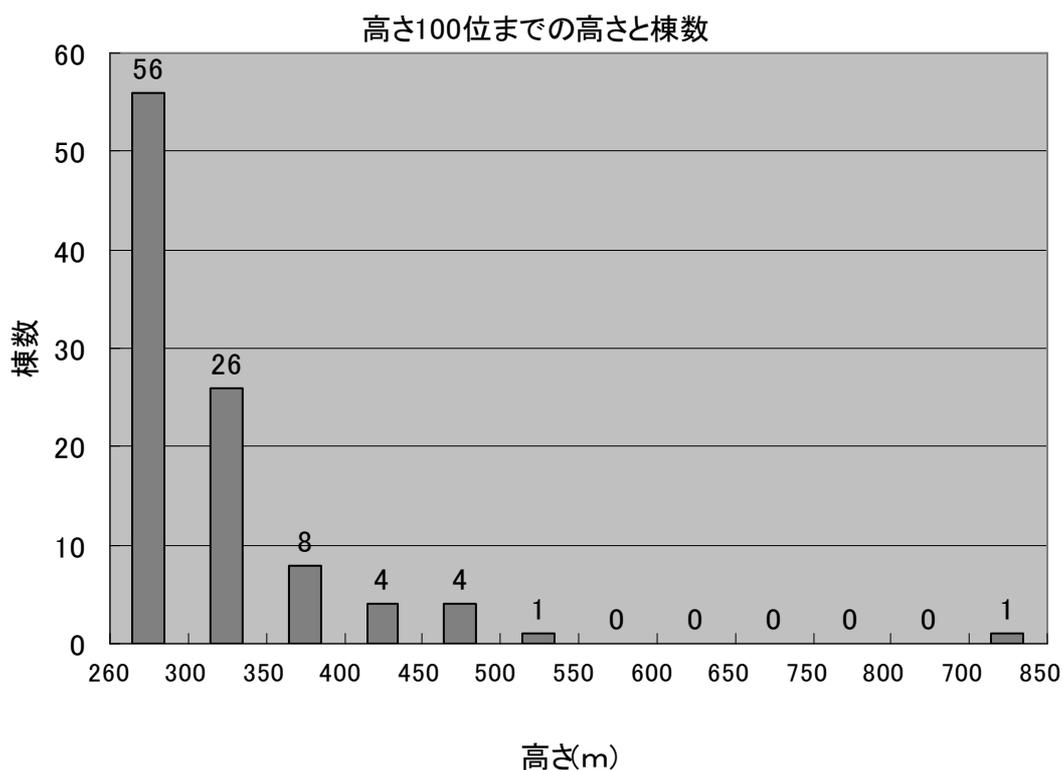
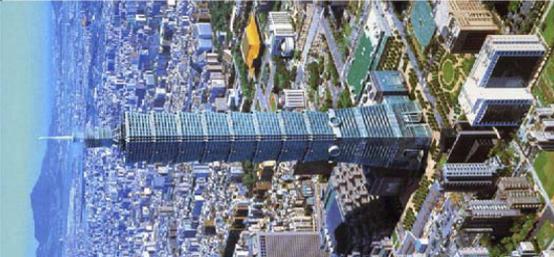
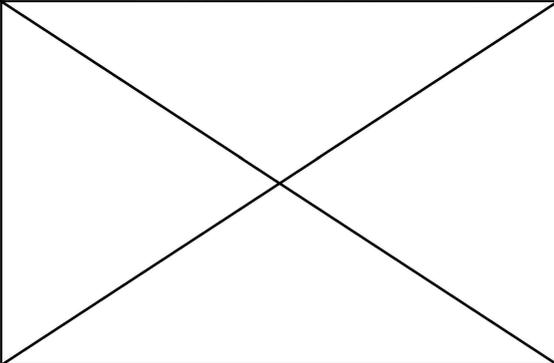
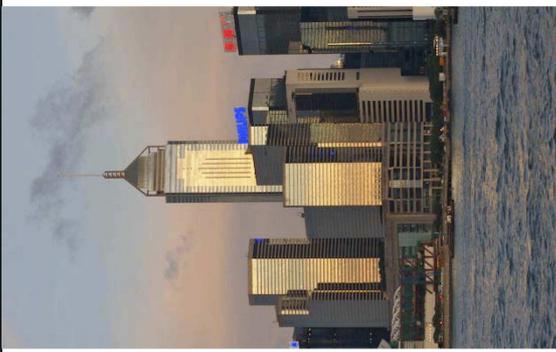


図 7.2.1 高さ 100 位までの建築における高さと棟数の分布

名称	Burj Khalifa	Taipei 101	Shanghai World Financial Center	Petronas Tower 1
高さランキング	1	2	3	4
写真				
高さ(m)	828.00	508.00	492.00	451.90
階数	162	101	101	88
延べ床面積(m ²)	464511	357719	381600	197500
構造種別	concrete-steel	composite	composite	composite
用途	オフィス / 住宅 / ホテル	オフィス	ホテル / オフィス	オフィス
所在地	Dubai, United Arab Emirates	Taipei, Taiwan	Shanghai, China	Kuala Lumpur, Malaysia
工期	2004～2010	1999～2004	1997～2008	1992～1998
EV(機)	57	61	31	39
備考				同規模の建物が二棟あるため、5位を欠番とする

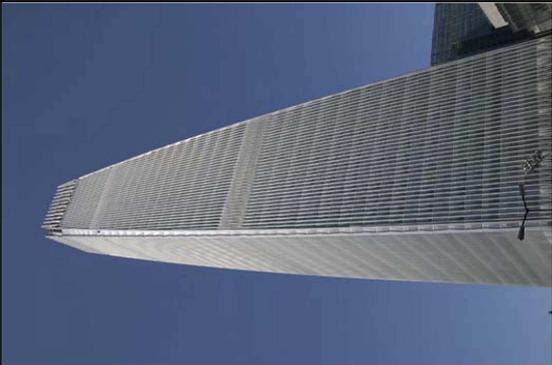
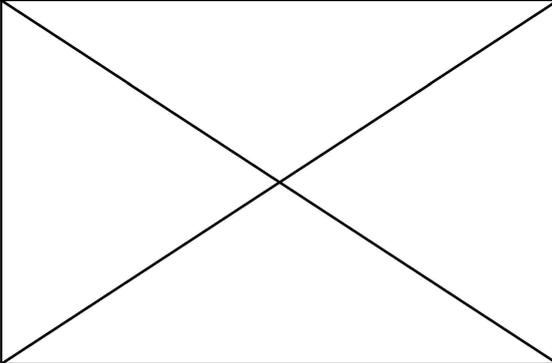
名称	Nanjing Greenland Financial Center	Willis Tower	Trump International Hotel & Tower	Jin Mao Building
高さランキング	6	7	8	9
				
写真				
高さ(m)	450.00	442.14	423.22	420.53
階数	66	108	98	88
延べ床面積(m ²)	—	416000	—	289500
構造種別	composite	steel	concrete	composite
用途	ホテル / オフィス	オフィス	住宅 / ホテル	ホテル / オフィス
所在地	Nanjing, China	Chicago, United States	Chicago, United States	Shanghai, China
工期	2005～2010	1970～1974	2005～2009	1994～1999
EV(機)	—	104	27	130
備考				

名称	Two International Finance Centre	CITIC Plaza	Shun Hing Square	Empire State Building
高さランキング	10	11	12	13
				
写真				
高さ(m)	412.00	390.20	384.00	381.00
階数	88	80	69	102
延べ床面積(m ²)	185805	205239	280000	208879
構造種別	composite	concrete	composite	steel
用途	オフィス	オフィス	オフィス	オフィス
所在地	Hong Kong, China	Guangzhou, China	Shenzhen, China	New York City, United States
工期	2000～2003	1993～1996	1993～1996	1930～1931
EV(機)	62	36	36	73
備考				

名称	Central Plaza	Bank of China Tower	Bank of America Tower	Almas Tower
高さランキング	14	15	16	17
				
写真				
高さ(m)	373.90	367.40	365.15	360.00
階数	78	70	54	68
延べ床面積(m ²)	172798	135000	195095	160000
構造種別	concrete	composite	steel	concrete
用途	オフィス	オフィス	オフィス	オフィス
所在地	Hong Kong, China	Hong Kong, China	New York City, United States	Dubai, United Arab Emirates
工期	1989~1992	1985~1989	2004~2009	2005~2008
EV(機)	39	45	52	68
備考				

名称	Emirates Tower One	Tuntex Sky Tower	Aon Center	The Center
高さランキング	18	19	20	21
				
写真				
高さ(m)	354.60	347.50	346.26	346.00
階数	54	85	83	73
延べ床面積(m ²)	—	306337	334448	130032
構造種別	composite	composite	steel	steel
用途	オフィス	ホテル / オフィス	オフィス	オフィス
所在地	Dubai, United Arab Emirates	Kaohsiung, Taiwan	Chicago, United States	Hong Kong, China
工期	~2000	1994~1997	1970~1973	1995~1998
EV(機)	17	54	—	41
備考				

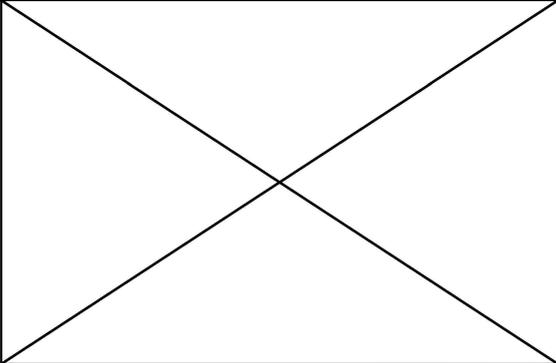
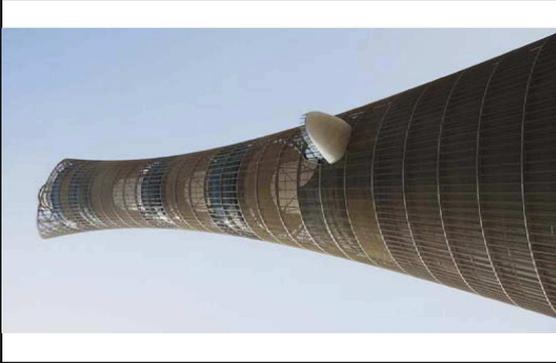
名称	John Hancock Center	Rose Rayhaan by Rotana	Shimao International Plaza	Minsheng Bank Building
高さランキング	22	23	23	25
写真				
高さ(m)	343.69	333.00	333.00	331.00
階数	100	72	60	68
延べ床面積(m ²)	260126	—	91600	110000
構造種別	steel	composite	concrete	steel
用途	住宅 / オフィス	ホテル	ホテル	オフィス
所在地	Chicago, United States	Dubai, United Arab Emirates	Shanghai, China	Wuhan, China
工期	1965～1969	2004～2007	2001～2006	2001～2008
EV(機)	50	11	—	—
備考				

名称	China World Trade Center III	Q1	Burj al Arab Hotel	Chrysler Building
高さランキング	26	27	28	29
				
写真				
高さ(m)	330.00	322.50	321.00	319.00
階数	74	78	60	77
延べ床面積(m ²)	—	107510	—	111201
構造種別	steel	concrete	composite	steel
用途	ホテル / オフィス	住宅	ホテル	オフィス
所在地	Beijing, China	Gold Coast, Australia	Dubai, United Arab Emirates	New York City, United States
工期	2002～2009	2002～2005	1994～1999	1928～1930
EV(機)	—	11	18	32
備考				

名称	Nina Tower	New York Times Tower	Bank of America Plaza	U.S. Bank Tower
高さランキング	30	31	32	33
				
写真				
高さ(m)	318.90	318.77	317.00	310.00
階数	80	52	55	73
延べ床面積(m ²)	—	143601	117242	—
構造種別	concrete	steel	composite	steel
用途	ホテル / オフィス	オフィス	オフィス	オフィス
所在地	Hong Kong, China	New York City, United States	Atlanta, United States	Los Angeles, United States
工期	2000～2006	2004～2007	1991～1993	1987～1990
EV(機)	—	32	24	24
備考				

名称	Menara Telekom	Emirates Tower Two	AT&T Corporate Center	The Address Downtown Dubai
高さランキング	33	35	36	37
				
写真				
高さ(m)	310.00	309.00	306.94	306.00
階数	55	56	60	63
延べ床面積(m ²)	148643	—	157934	—
構造種別	concrete	concrete	composite	concrete
用途	オフィス	ホテル	オフィス	ホテル
所在地	Kuala Lumpur, Malaysia	Dubai, United Arab Emirates	Chicago, United States	Dubai, United Arab Emirates
工期	~1999	~2000	1987~1989	2005~2008
EV(機)	—	12	—	—
備考				

名称	JPMorgan Chase Tower	Baiyoke Tower II	Two Prudential Plaza	Wells Fargo Plaza
高さランキング	38	39	40	41
				
写真				
高さ(m)	305.41	304.00	303.28	302.37
階数	75	85	64	71
延べ床面積(m ²)	156437	—	130063	170362
構造種別	composite	concrete	concrete	steel
用途	オフィス	ホテル	オフィス	オフィス
所在地	Houston, United States	Bangkok, Thailand	Chicago, United States	Houston, United States
工期	1978～1982	1990～1997	1988～1990	1979～1983
EV(機)	—	—	—	—
備考				

名称	Kingdom Centre 42	Arraya Tower 43	Aspire Tower 43	One Island East Centre 45
高さランキング				
写真				
高さ(m)	302.33	300.00	300.00	298.35
階数	41	60	36	69
延べ床面積(m ²)	185000	—	—	144426
構造種別	steel-concrete	concrete	composite	concrete
用途	住宅 / ホテル / オフィス	オフィス	ホテル / オフィス	オフィス
所在地	Riyadh, Saudi Arabia	Kuwait City, Kuwait	Doha, Qatar	Hong Kong, China
工期	1999~2002	2005~2009	2005~2006	~2008
EV(機)	45	—	17	36
備考				

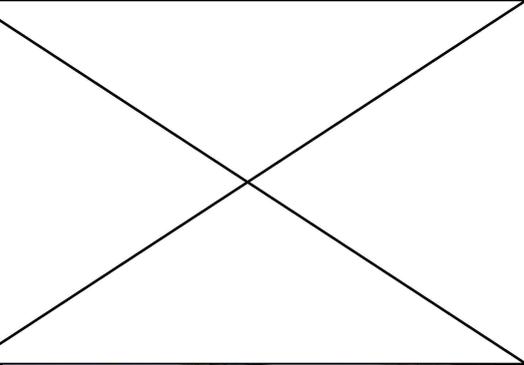
名称	First Bank Tower	Eureka Tower	Comcast Center	Landmark Tower
高さランキング	46	47	48	49
				
写真				
高さ(m)	298.10	297.00	296.73	296.33
階数	72	91	57	73
延べ床面積(m ²)	250849	—	130064	392791
構造種別	steel	concrete	composite	steel
用途	オフィス	住宅	オフィス	ホテル / オフィス
所在地	Toronto, Canada	Melbourne, Australia	Philadelphia, United States	Yokohama, Japan
工期	1973~1975	2001~2006	2005~2008	~1993
EV(機)	29	13	35	—
備考				

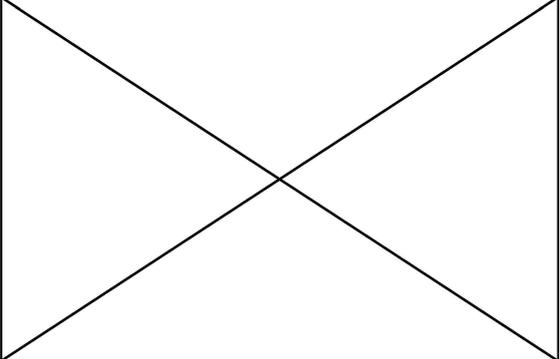
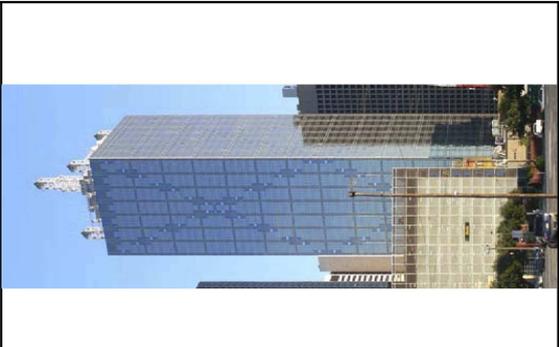
名称	Emirates Crown	311 South Wacker Drive	SEG Plaza	American International Building
高さランキング	50	51	52	53
				
高さ(m)	296.00	292.92	291.60	290.17
階数	63	65	71	67
延べ床面積(m ²)	—	130942	170000	80360
構造種別	concrete	concrete	concrete	steel
用途	住宅	オフィス	ホテル / オフィス	オフィス
所在地	Dubai, United Arab Emirates	Chicago, United States	Shenzhen, China	New York City, United States
工期	2005～2008	1988～1990	～2000	1930～1932
EV(機)	—	35	—	24
備考				

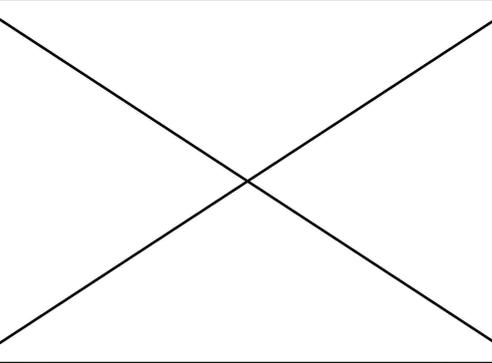
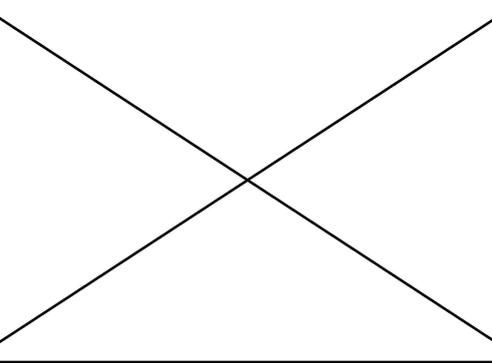
名称	Key Tower	Plaza 66	One Liberty Place	Millennium Tower
高さランキング	54	55	56	57
				
写真				
高さ(m)	288.65	288.16	288.04	285.05
階数	57	66	61	59
延べ床面積(m ²)	116127	131100	111483	99800
構造種別	composite	steel-concrete	steel	concrete
用途	オフィス	オフィス	オフィス	住宅
所在地	Cleveland, United States	Shanghai, China	Philadelphia, United States	Dubai, United Arab Emirates
工期	1988～1991	1994～2001	～1987	2004～2006
EV(機)	—	19	—	—
備考				

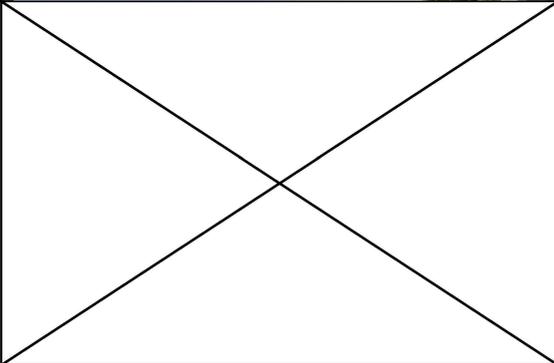
名称	Tomorrow Square	Columbia Center	Chongqing World Trade Center	Cheung Kong Centre
高さランキング	58	59	60	61
				
写真				
高さ(m)	284.60	284.38	283.10	282.83
階数	55	76	60	63
延べ床面積(m ²)	130063	142891	—	125418
構造種別	concrete	composite	concrete	steel
用途	住宅 / ホテル / オフィス	オフィス	オフィス	オフィス
所在地	Shanghai, China	Seattle, United States	Chongqing, China	Hong Kong, China
工期	1997~2003	1982~1984	~2005	~1999
EV(機)	15	46	—	30
備考				

名称	The Trump Building	Bank of America Plaza	United Overseas Bank Plaza One	Republic Plaza
高さランキング	62	63	64	64
				
写真				
高さ(m)	282.55	280.72	280.00	280.00
階数	71	72	66	66
延べ床面積(m ²)	103278	171312	92902	91782
構造種別	steel	composite	steel	composite
用途	オフィス	オフィス	オフィス	オフィス
所在地	New York City, United States	Dallas, United States	Singapore, Singapore	Singapore, Singapore
工期	1929～1930	1983～1985	～1992	～1995
EV(機)	—	—	—	—
備考				

名称	Overseas Union Bank Centre	Citigroup Center	Hong Kong New World Tower	Diwang International Commerce Center
高さランキング	64	67	68	69
				
写真				
高さ(m)	280.00	278.90	278.25	276.00
階数	63	59	61	54
延べ床面積(m ²)	102190	146683	136833	—
構造種別	steel	steel	composite	concrete
用途	オフィス	オフィス	ホテル / オフィス / 小売	ホテル / オフィス
所在地	Singapore, Singapore	New York City, United States	Shanghai, China	Nanning, China
工期	～1986	1974～1977	～2002	2003～2006
EV(機)	—	—	—	—
備考				

名称	Scotia Tower	Williams Tower	Wuhan World Trade Tower	Renaissance Tower
高さランキング	70	71	72	73
				
写真				
高さ(m)	275.00	274.63	273.00	270.06
階数	68	64	60	56
延べ床面積(m ²)	148658	148644	120000	160814
構造種別	composite	steel	—	steel
用途	オフィス	オフィス	オフィス	オフィス
所在地	Toronto, Canada	Houston, United States	Wuhan, China	Dallas, United States
工期	1985~1989	1981~1983	~1998	~1975
EV(機)	44	—	13	—
備考				

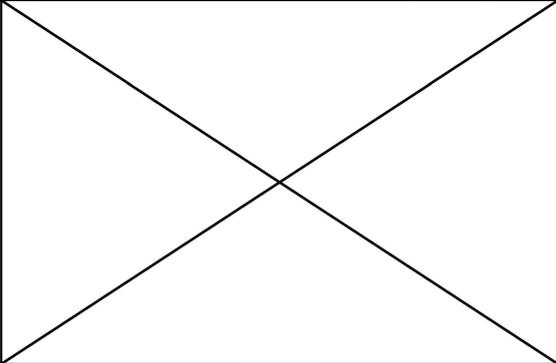
名称	The Cullinan I	The Cullinan II	China International Center Tower B	Dapeng International Plaza	
高さランキング	74	74	76	77	
写真					
	高さ(m)	269.92	269.92	269.40	
	階数	68	68	62	56
	延べ床面積(m ²)	—	—	87464	131792
	構造種別	concrete	concrete	concrete	composite
	用途	住宅	住宅 / ホテル	オフィス	オフィス
	所在地	Hong Kong, China	Hong Kong, China	Guangzhou, China	Guangzhou, China
	工期 EV(機)	~2008 —	~2008 —	2003~2007 —	~2006 —
備考					

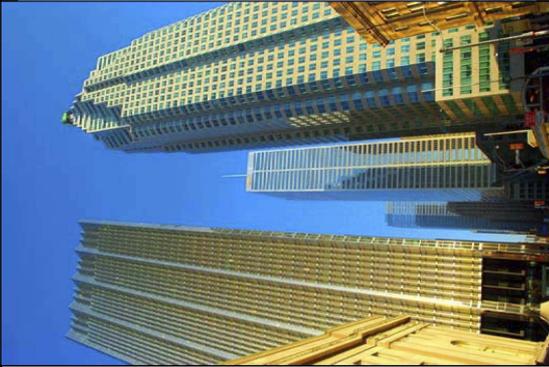
名称	One Lujiazui	21st Century Tower	Naberezhnaya Tower C	Al Faisaliah Center	
高さランキング	78	79	80	81	
写真					
	高さ(m)	269.05	269.00	268.87	
	階数	47	55	61	
	延べ床面積(m ²)	111793	86000	136651	
	構造種別	concrete	concrete	composite	steel-concrete
	用途	オフィス	住宅	住宅 / オフィス	オフィス
	所在地	Shanghai, China	Dubai, United Arab Emirates	Moscow, Russia	Riyadh, Saudi Arabia
工期	~2008	2001~2003	2005~2007	1997~2000	
EV(機)	—	7	28	—	
備考					

名称	Bank of America Corporate Center	900 North Michigan Avenue	Al Kazim Tower 1	Al Kazim Tower 2
高さランキング	82	83	83	83
				
写真				
高さ(m)	265.48	265.00	265.00	265.00
階数	60	66	53	53
延べ床面積(m ²)	130063	—	—	—
構造種別	concrete	steel-concrete	concrete	concrete
用途	オフィス	住宅 / オフィス / ホテル / 小売	住宅	住宅
所在地	Charlotte, United States	Chicago, United States	Dubai, United Arab Emirates	Dubai, United Arab Emirates
工期	1989~1992	~1989	2005~2008	~2008
EV(機)	36	—	—	—
備考				

名称	BOCOM Financial Towers	120 Collins Street	Triumph Palace	SunTrust Plaza
高さランキング	83	87	88	89
写真				
高さ(m)	265.00	264.90	264.10	264.00
階数	50	52	61	60
延べ床面積(m ²)	—	—	—	130015
構造種別	concrete	concrete	concrete	concrete
用途	オフィス	オフィス	住宅	オフィス
所在地	Shanghai, China	Melbourne, Australia	Moscow, Russia	Atlanta, United States
工期	～1999	～1991	2001～2005	～1993
EV(機)	—	—	—	—
備考				

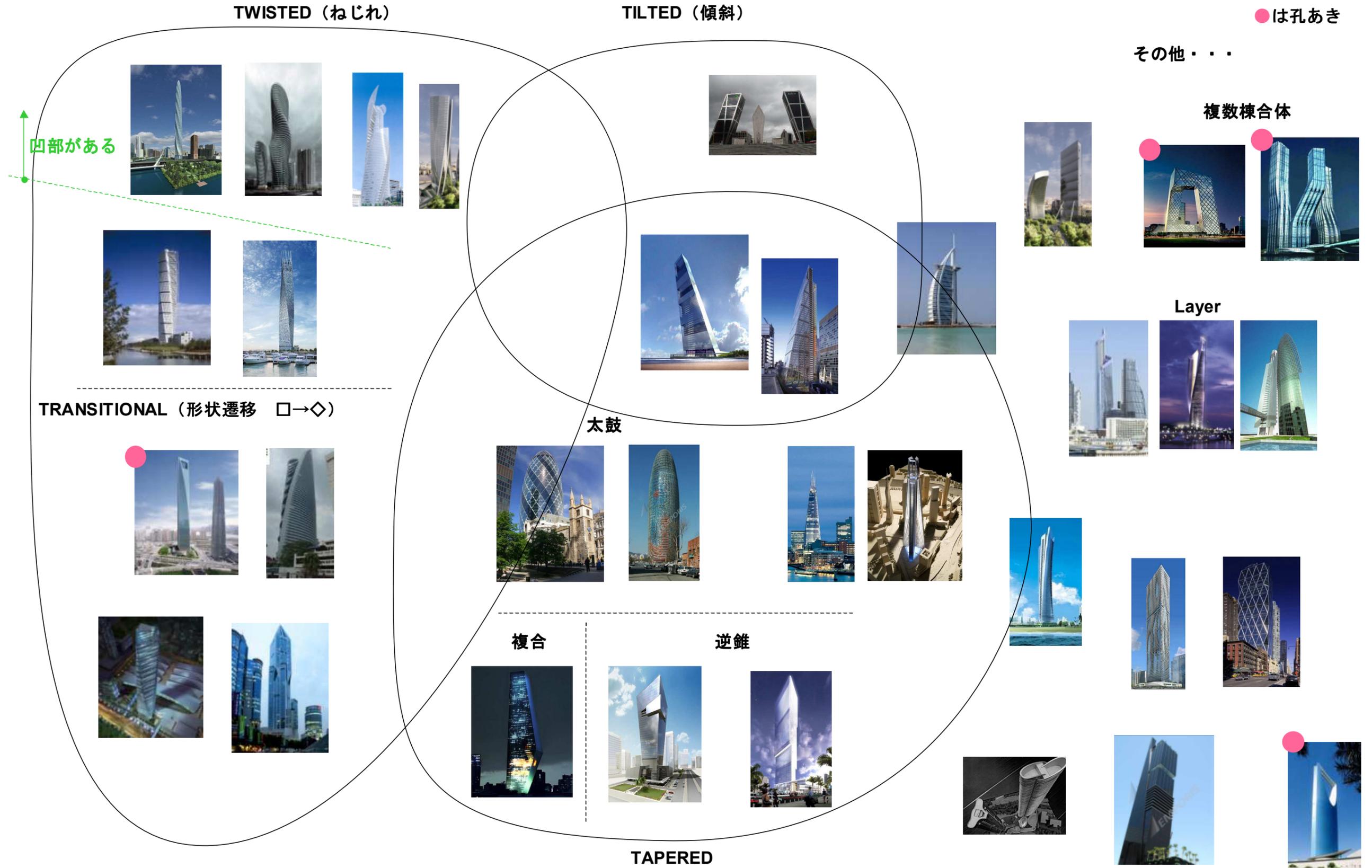
名称	Tower Palace Three, Tower G	Trump World Tower	Water Tower Place	Grand Gateway Plaza I
高さランキング	90	91	92	93
写真				
	高さ(m)	263.68	262.44	261.82
	階数	73	72	54
	延べ床面積(m ²)	—	83403	—
	構造種別	composite	concrete	concrete
	用途	住宅	住宅	住宅 / ホテル / 小売
	所在地	Seoul, South Korea	New York City, United States	Chicago, United States
工期	2001～2004	1999～2001	1972～1976	1994～2005
EV(機)	—	—	—	—
備考				

名称	Grand Gateway Plaza II	Aqua	Aon Center	Grand Lisboa		
高さランキング	93	95	96	97		
写真						
	高さ(m)		261.82	261.64	261.52	261.00
	階数		54	87	62	47
	延べ床面積(m ²)		—	184936	116128	—
	構造種別		concrete	concrete	steel	concrete-steel
	用途		オフィス	住宅 / ホテル	オフィス	他 / ホテル
	所在地		Shanghai, China	Chicago, United States	Los Angeles, United States	Macau, China
工期	1996～2005	2007～2009	～1974	2005～2008		
EV(機)	—	24	30	—		
備考						

名称	BCE Place-Canada Trust Tower	Dual Towers 1	Dual Towers 2	
高さランキング	98	99	99	
写真				
	高さ(m)	260.91	260.00	260.00
	階数	53	53	53
	延べ床面積(m ²)	139350	—	—
	構造種別	composite	concrete	concrete
	用途	オフィス	オフィス	オフィス
	所在地	Toronto, Canada	Manama, Bahrain	Manama, Bahrain
	工期	～1990	2003～2007	2003～2007
EV(機)	8	—	—	
備考				

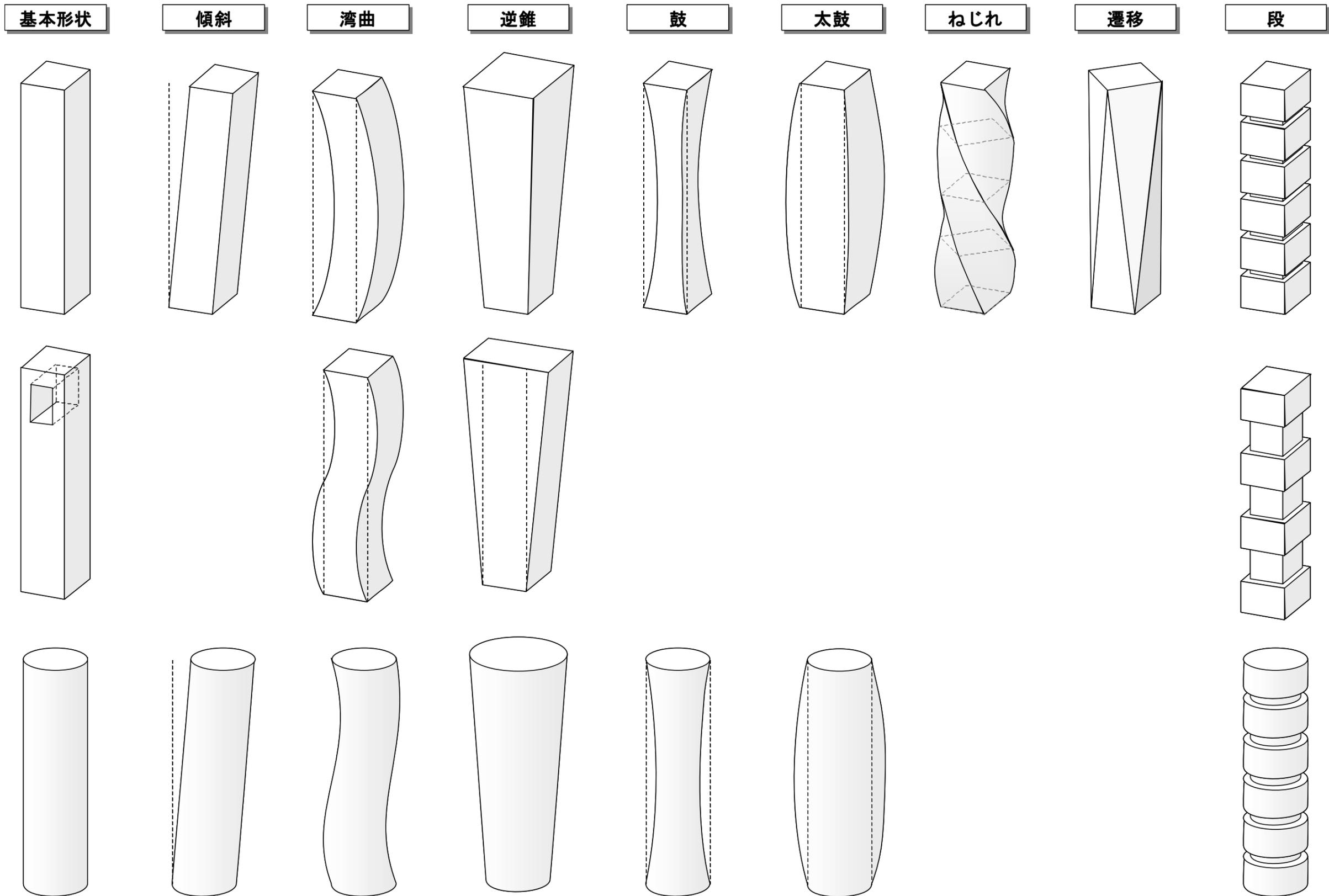
7.2.2 国内外の超高層建築物の形状に関する調査結果

2009年3月時点で竣工済み、および計画中の特殊な建築形状の例を示す。



7.2.2 新しい建物形態の分類

7.2.2 の調査結果に基づく建築形態の分類を以下に示す。なお、この分類に基づき以後の空力特性および構造検討を進めた。



7.3 風洞実験に基づく空力特性の統一かつ包括的評価（平成 20 年度実施）

構造設計上風荷重が支配的となる超々高層建築物においては、その耐風性能を向上させるために、建築物の隅角部形状や高さ方向に平面形状を変化させるなどで剥離渦を制御する空力的な制振対策が施される。このような手法によって風力に対して有効な建物形状についてはいくつかの研究例がある。一方でそれら有効な建物形状間で、その形状と風力との関係について建築条件を統一しての評価事例は少ない。そこで本節では、特徴的な種々建物形状の風力に対する各特性の検証を目的とし、風洞実験によって建築条件を統一した様々な建物形状に作用する風力特性について比較、検証を行った結果について述べる。

7.3.1 実験概要

各種建物形状に作用する風力の特性を把握するため、回流型境界層風洞(測定部高さ 1.8、幅 2.0)を用いての風力測定を実施した。風力測定は、図 7.3.1 の座標系において、図 7.3.2 に示した都市部を代表する 2 種類の乱流境界層流中(建物頂部の平均風速 $U_H=7.0\text{m/s}$)に置かれた剛体模型(縮尺 1/1000)に作用する変動空気力を 6 分力検出器によって測定した。実験風向は頂部の一辺に正対する風向を風向角 $\alpha=0^\circ$ とし、 5° 刻みで建物形状の対称性を考慮して変化させた。なお、風力は $q_H B H^2$ で無次元化して風力係数にしている。ここで、 q_H ：建物頂部の平均速度圧、 B ：基本形状 Square の建物幅、 H ：建物高さである。

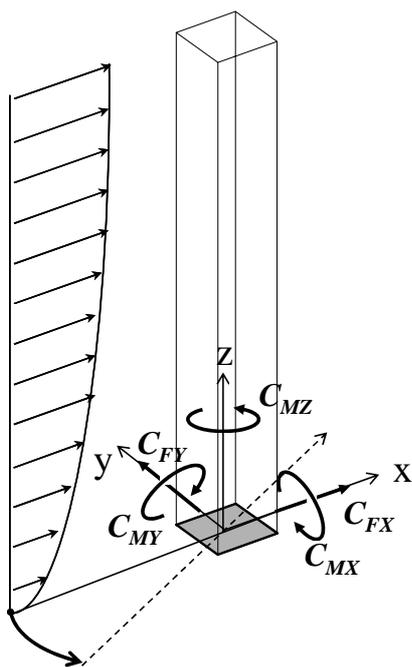


図 7.3.1 座標系

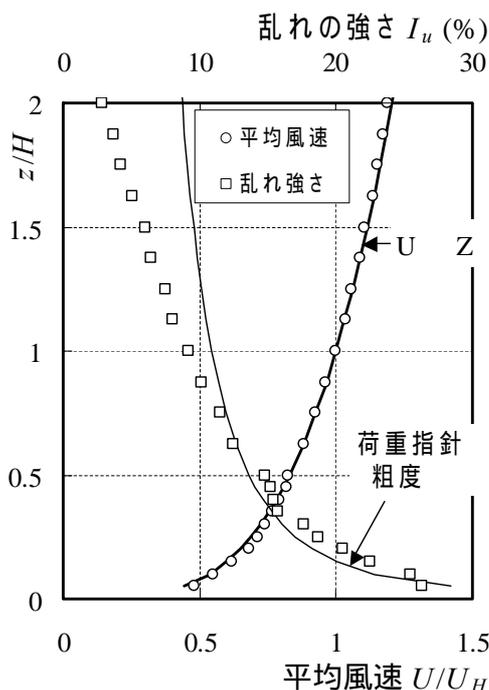


図 7.3.2 風洞気流の鉛直分布.

7.3.2 実験模型

表 7.3.1 に風力測定に用いた建物形状の一覧を示す。表中では Basic (基本形状), Corner modification (隅角部を改良した形状), Tilted (傾斜形状), Tapered (錐形状), Helical (ねじれ形状), Void (開口を設けた形状), Combination (前述の各形状を組合せた形状)に分類しており,各形状の特徴は以下に述べるとおりである。

基本形状の Square は,高さ $H=400\text{m}$ (100 階),幅 $B=50\text{m}$ (床面積 2500m^2)の建物を想定したアスペクト比 8 の正方形角柱とした。その他の基本形状は, Square と同一高さ,同体積の円柱と辺長比 1:2 の長方形角柱および楕円柱とした。

隅角部形状を変化させた Chamfered と Corner cut では,隅角部にそれぞれ辺長の 10%の面取りと切り欠きを設けた。

Tilted は建物頂部から底部まで $2B$ ずらして形状を傾斜させた。Snaking は $0.25H$ と $0.75H$ の高さで建物頂部と中央部,底部から断面を $0.5B$ ずらして弧を描くように傾斜させた。

高さ方向の平面形状を変化させる代表的な形状である Tapered では,2 方向にテーパーを設けた 2-Tapered,4 方向にテーパーを設けた 4-Tapered について頂面と底面の面積比が 1:6 となるように形状を決定した。また,4-Tapered の上下を逆にした Inverse 4-Tapered や頂面および底面と中央部の面積比を 1:3 とした Drum も検証対象とした。その他,テーパーと同じく高さ方向の平面形状を変化させる代表的な形状である Setback の頂面と底面の面積比も 1:6 となるように決定した。

本実験では高さ方向の平面形状を変化させる建物形状として,建物頂部から底部までを同一の断面形状を維持したまま捩った螺旋状の角柱についても比較した。捩った形状は正方形角柱,辺長比 1:2 の長方形角柱および楕円柱であり,それぞれ建物頂部から底部までの回転角を $\theta=180^\circ$ とし,Case 名を 180° Helical Square, 180° Helical Rectangle, 180° Helical Ellipse とした。さらに Helical Square については建物頂部から底部までの正方形断面の回転角 θ を $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$ と変化させて回転角 θ の感度についても調査した。

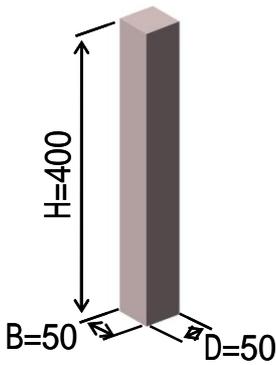
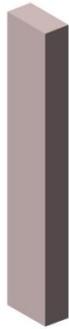
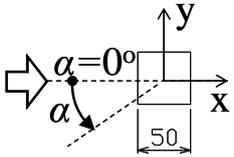
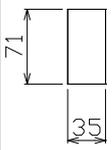
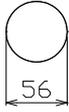
開口を有する建物形状として, Cross void は壁面中央部に開口を設け, Oblique void は壁面端部に開口を設けた。これらについては高さ方向の開口長さ l を $2/24H, 5/24, 11/24$ と変化させて,開口長さの影響に付いても調査した。また,3 つの円柱を連結した 3-Circle も Void の一種としてこれらと比較した。

表 7.3.1 の Combination では,上記で述べた形状を組み合わせて,組み合わせの効果について検証した。なお, Cross-section change & 180° Helical は頂部から底部に至る断面が円から辺長比 2 の楕円,円,そしてまた楕円から円へと変化しつつ $\theta=180^\circ$ で捩られた建物形状である。

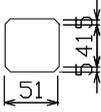
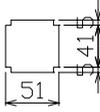
上記で示したこれらの建物形状は建築的予条件を共通とするため,全 Case で建物高さ H は同一とし, Void を除く Case で体積は同一とした。

表 7.3.1 建物模型一覽

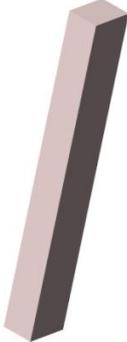
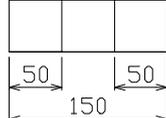
(a) Basic

Square	Rectangle	Circle	Ellipse
 <p>H=400 B=50 D=50</p>			
 <p>$\alpha = 0^\circ$ 50</p>	 <p>71 35</p>	 <p>56</p>	 <p>80 40</p>

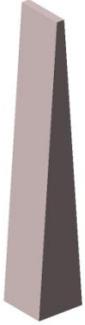
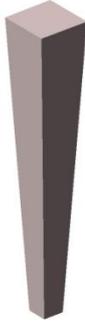
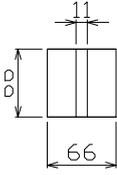
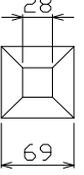
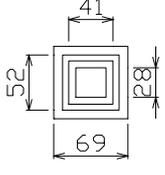
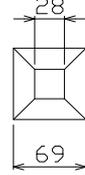
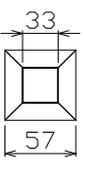
(b) Corner modification

Chamfered	Corner cut
	
 <p>51</p>	 <p>51</p>

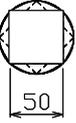
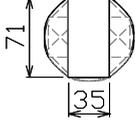
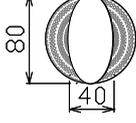
(c) Tilted

Tilted	Snaking
	
 <p>50 50 150</p>	 <p>25 50 25</p>

(d) Tapered

2-Tapered	4-Tapered	Setback	Inverse 4-Tapered	Drum
				
				

(e) Helical

90°Helical Square	180°Helical Square	270°Helical Square	360°Helical Square	180°Helical Rectangle	180°Helical Ellipse
					
					

(f) Void

Cross void L/H=2/24	Cross void L/H=5/24	Cross void L/H=11/24	Oblique void L/H=2/24	Oblique void L/H=5/24	Oblique void L/H=11/24	3-Circle

(g) Combination

Corner cut & 360°Helical	Corner cut & 4-Tapered &360°Helical	Setback & Corner cut	Setback & 135°Helical	Cross-section change &180°Helical

7.3.3 平均風力係数と変動風力係数

表 7.3.1 で示した 31 体の建物形状に関する風力測定結果をもとに、各建物形状の風向角に対する平均風力係数と変動風力係数の関係を図 7.3.3～図 7.3.32 に示す。図中では計測結果をプロットで示し、その他の風向角に関しては建物形状の対象性を考慮して補間した結果をラインのみで示す。また、表 7.3.2～7.3.16 には平均風力係数および変動風力係数の絶対値の最大値とその風向角とを併せて示す。

(1) Basic (基本形状)

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.3, 表 7.3.2)

Square の平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} の絶対値は、それぞれ風向角 $\alpha=90^\circ$ と 0° で最大となり、これらはいずれも風方向成分の風力が作用している風向角である。

Rectangle では、 x 軸周りと y 軸周りで平面形状が異なるため、 C_{MX} と C_{MY} には差があり、 C_{MX} の最大値は Square の 60% 程度、 C_{MY} の最大値は Square の 1.4 倍である。

Circle の平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} の絶対値は 0.38 を示し、Square の最大値の 60% 程度である。また、本実験で測定したレイノルズ数範囲 $1.8 \times 10^4 \sim 3.2 \times 10^4$ ではほぼ同程度の値を示す。

Ellipse も Rectangle 同様、 x 軸周りと y 軸周りで平面形状が異なるため、 C_{MX} と C_{MY} には差があり、 C_{MY} の最大値は Square の 1.2 倍である。また、レイノルズ数範囲 $1.8 \times 10^4 \sim 3.2 \times 10^4$ において、 $\alpha=60^\circ \sim 85^\circ$ の C_{MX} , C_{MY} はレイノルズ数の増加に伴って大きく影響を受ける(図 7.3.5)。

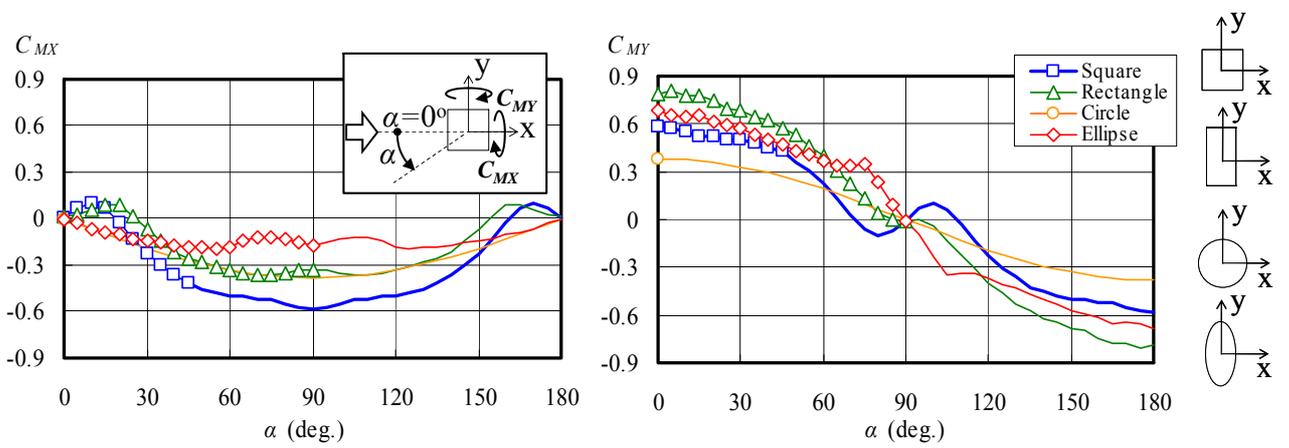
(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.4, 表 7.3.2)

Square の変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' は、風向角 $\alpha=0^\circ$ と 90° においてそれぞれ最大値を示し、平均風力係数の場合とは異なり、いずれも風直交方向成分の風力が作用している風向角である。

Rectangle では、 C_{MX}' , C_{MY}' とともに風向角 $\alpha=90^\circ$ において最大値を示し、 C_{MY}' は Square の 1.3 倍程度である。全風向角では、 C_{MX}' は Square より小さく、 C_{MY}' は Square より大きい。

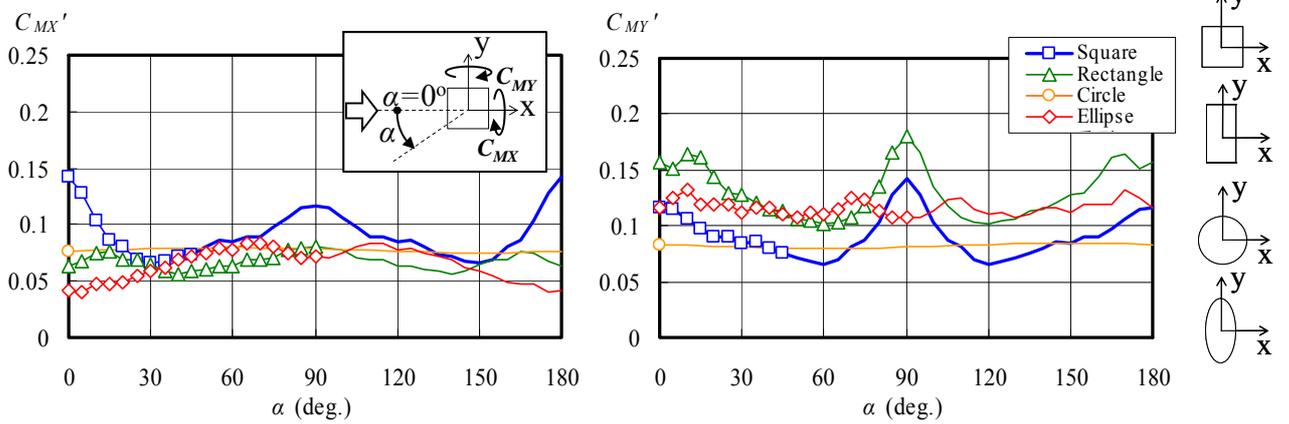
Circle の C_{MX}' , C_{MY}' は、全風向でほぼ 0.083 を示し、Square の最大値の 60% 程度である。

Ellipse の C_{MX}' は全風向角で Square より小さく、 C_{MY}' は $\alpha=0^\circ \sim 80^\circ$ において Square より大きい。また、全風向角でレイノルズ数の影響を受け、その最大値はレイノルズ数 $Re=3.2 \times 10^4$ において $Re=1.8 \times 10^4$ の 2 倍近くである(図 7.3.6(b), 表 7.3.3)。



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数 (b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.3 Basic の平均風力係数

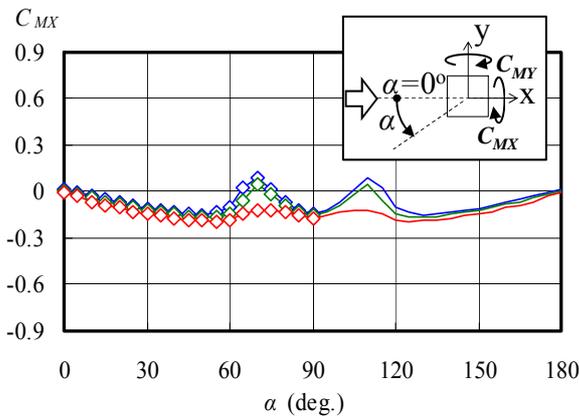


(a) X 軸周りの転倒モーメント係数 (b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

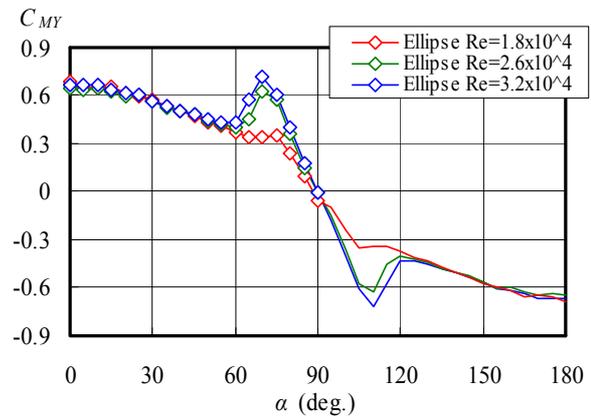
図 7.3.4 Basic の変動風力係数

表 7.3.2 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
Rectangle	-0.36	0.81	0.081	0.181
	(75°)	(5°)	(90°)	(90°)
Circle ($Re=1.8 \times 10^4$)	-0.38	0.38	0.083	0.083
	(90°)	(0°)	(90°)	(0°)
Ellipse ($Re=1.8 \times 10^4$)	-0.20	0.68	0.084	0.133
	(55°)	(0°)	(70°)	(10°)

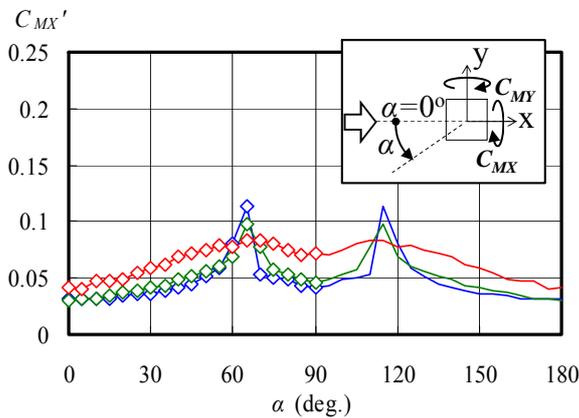


(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

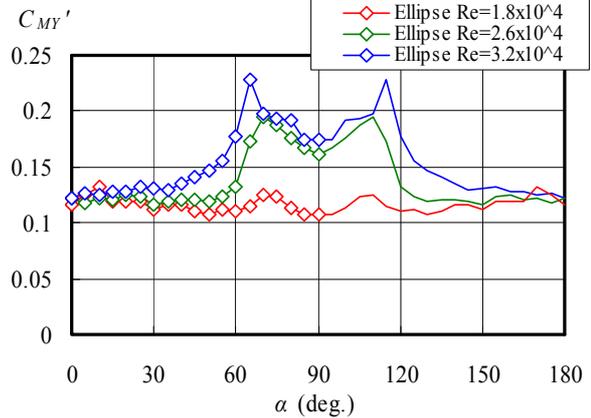


(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.5 Ellipse の平均風力係数に対する Re 数の影響



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数



(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.6 Ellipse の変動風力係数に対する Re 数の影響

表 7.3.3 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
$Re=1.8 \times 10^4$	-0.20 (55°)	0.68 (0°)	0.084 (70°)	0.133 (10°)
$Re=2.6 \times 10^4$	-0.16 (45°)	0.65 (0°)	0.097 (65°)	0.195 (70°)
$Re=3.2 \times 10^4$	-0.15 (50°)	0.72 (70°)	0.113 (65°)	0.228 (65°)

(2) Corner modification (隅角部形状を改良した建物形状)

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.7, 表 7.3.4)

Chamfered, Corner cut とともに, 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} の絶対値は全風向で Square よりも小さい。Square からの低減効果は, Chamfered, Corner cut とともに風方向の風力が最も支配的となる風向から $\pm 30^\circ$ の風向でより大きい。それらの最大値は Square と比べると Chamfered で 74%, Corner cut で 70% である。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.8, 表 7.3.4)

Chamfered, Corner cut とともに, 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' の絶対値は全風向で Square よりも小さい。それらの最大値は, Square と比べると Chamfered で 70%, Corner cut で 65% である。

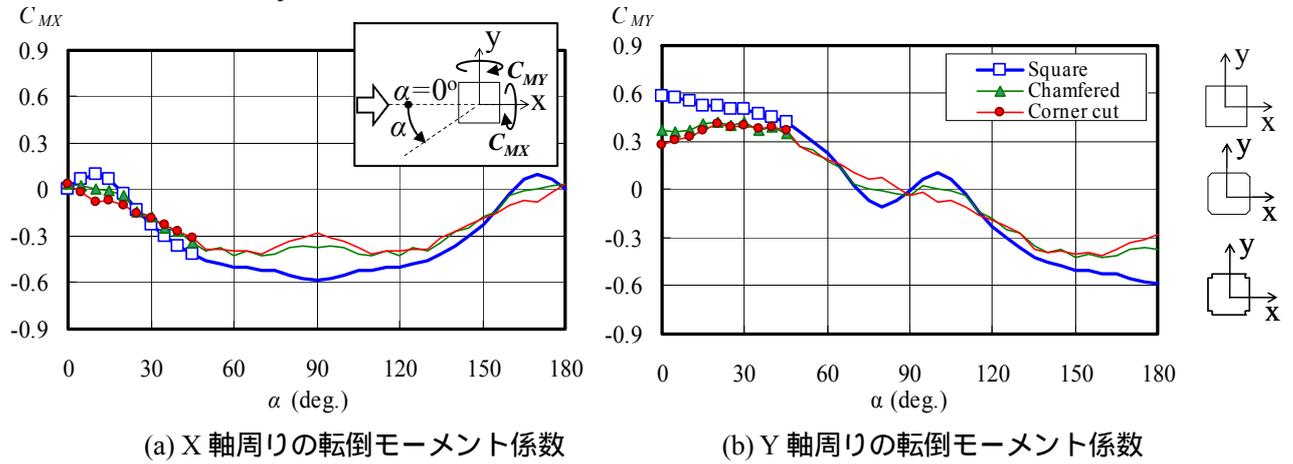


図 7.3.7 Corner modification の平均風力係数

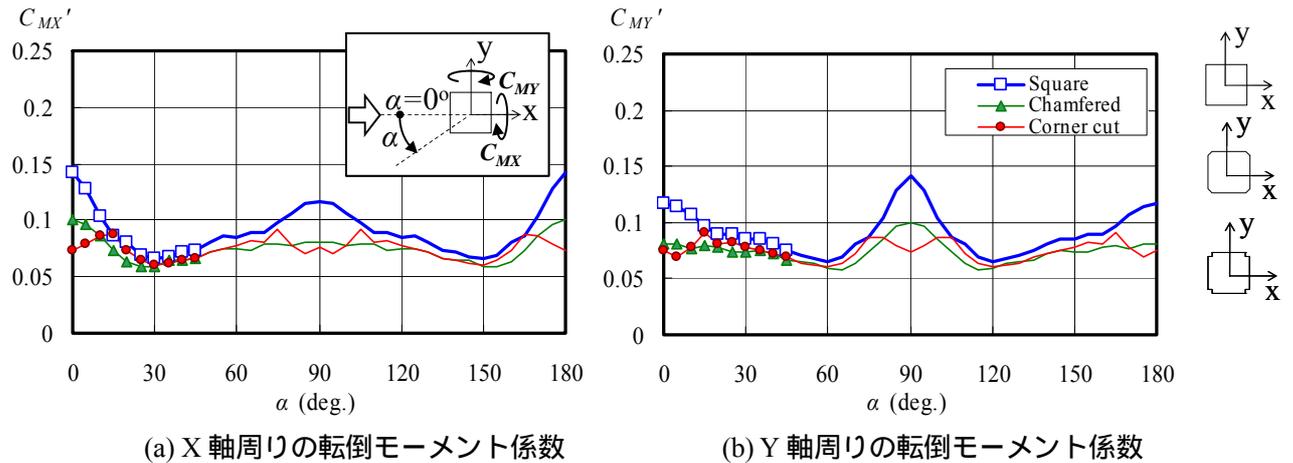


図 7.3.8 Corner modification の変動風力係数

表 7.3.4 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
Chamfered	-0.43	0.43	0.100	0.100
	(70°)	(20°)	(0°)	(90°)
Corner cut	-0.41	0.41	0.092	0.092
	(70°)	(20°)	(75°)	(15°)

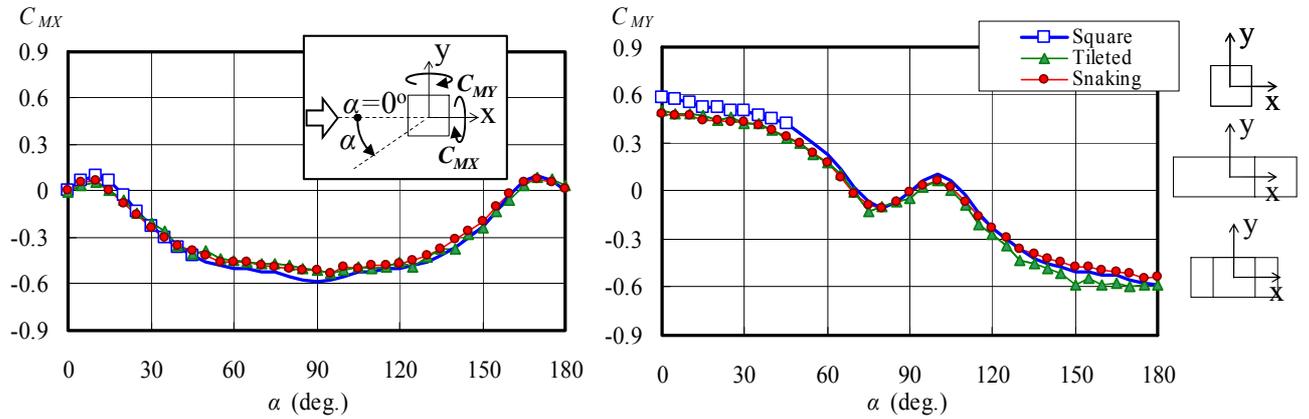
(3) Tilted (傾斜をつけた建物形状)

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.9, 表 7.3.5)

Tilted, Snaking とともに Square と大きな違いはない。模型上方が風上側に傾いた状態の C_{MY} は Square よりもやや大きい。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.10, 表 7.3.5)

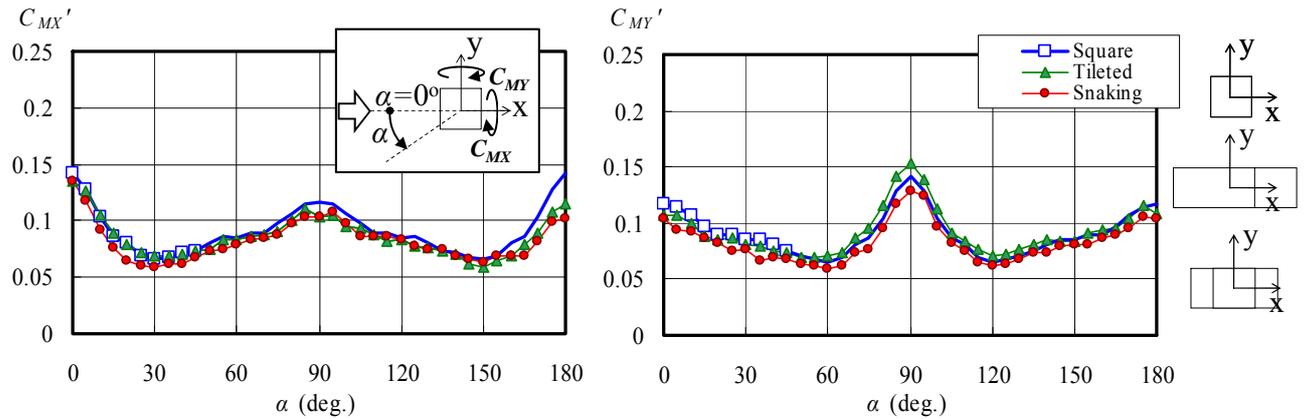
Tilted, の C_{MX}' は Square よりも若干小さく, C_{MY}' は Square と同程度か風直交方向の風力成分の影響が大きい $\alpha=90^\circ$ 付近でやや大きい。Snaking の C_{MX}' , C_{MY}' は Square よりも若干小さい。



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.9 Tilted の平均風力係数



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.10 Tilted の変動風力係数

表 7.3.5 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
Tilted	-0.53	-0.60	0.135	0.154
	(95°)	(170°)	(0°)	(90°)
Snaking	-0.53	-0.54	0.135	0.128
	(95°)	(175°)	(0°)	(90°)

(4) Tapered (錐状の建物形状)

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.11, 表 7.3.6)

Inverse 4-Tapered と Drum は、全風向で Square と同程度であるが、4-Tapered, Setback は Square に比べて小さく、その最大値も 4-Tapered では Square の 75%、Setback では 65%であった。2-Tapered では C_{MY} の全風向角で Square よりも大きく、最大値は 1.3 倍である。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.12, 表 7.3.6)

Drum は全風向で Square と同程度であるが、Inverse 4-Tapered では風直角方向成分の風力の影響が大きい風向で変動が大きい。4-Tapered, Setback の最大値は Square の 60%程度と小さく、風向に対する変化も小さい。2-Tapered の C_{MY} は風方向成分の風力の影響が大きくなる風向で Square より大きい。

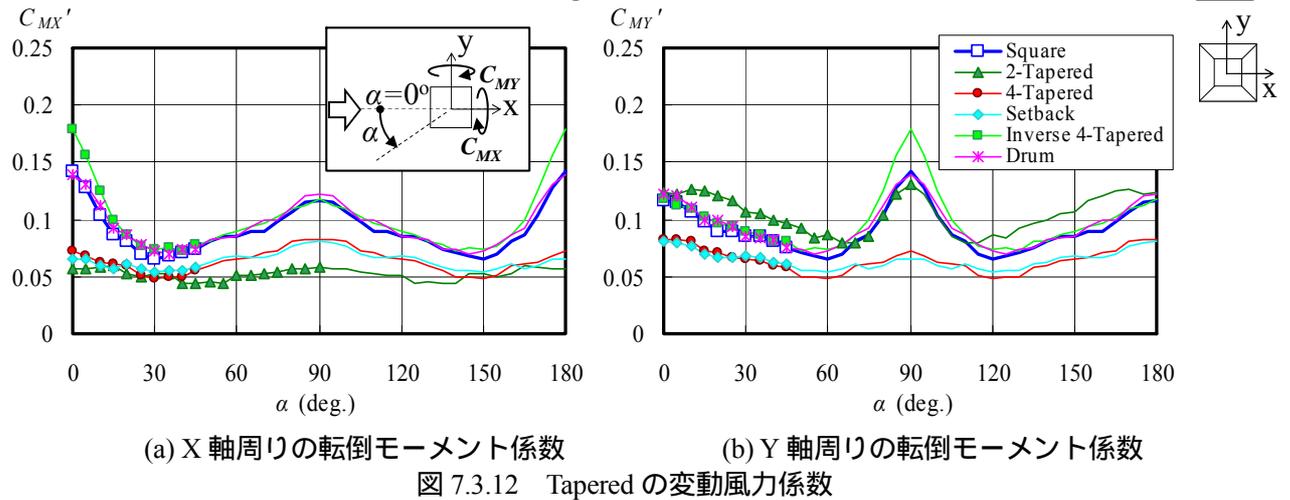
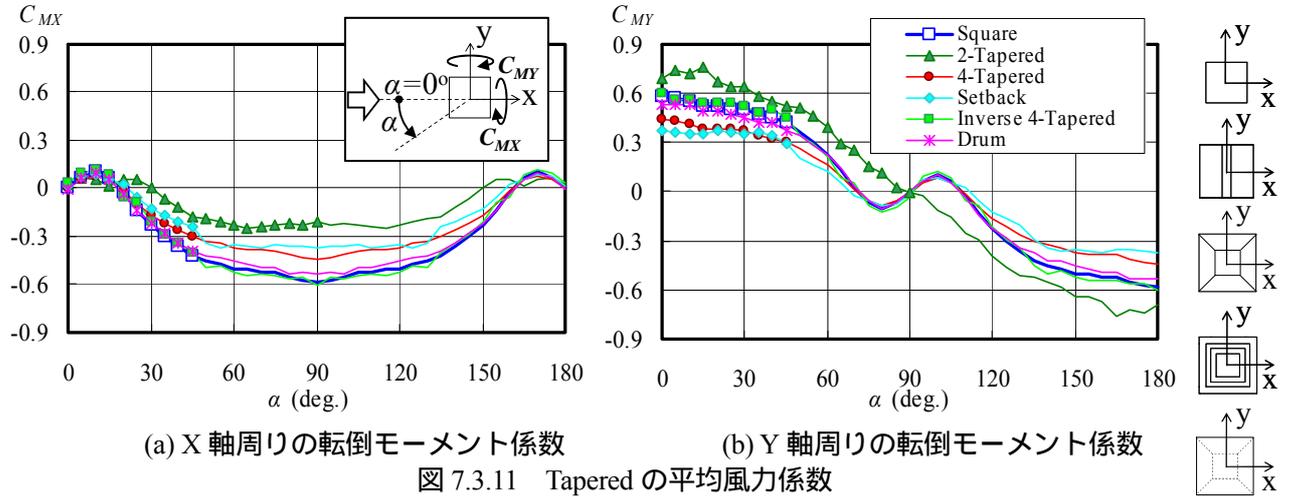


表 7.3.6 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'	Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142	Setback	-0.37	0.37	0.081	0.081
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)		(70°)	(20°)	(90°)	(0°)
2-Tapered	-0.25	0.76	0.060	0.131	Inverse 4-Tapered	-0.60	0.60	0.179	0.179
	(65°)	(15°)	(15°)	(90°)		(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
4-Tapered	-0.44	0.44	0.083	0.083	Drum	-0.54	0.54	0.139	0.139
	(90°)	(0°)	(85°)	(5°)		(90°)	(0°)	(0°)	(90°)

(4-1) Helical (螺旋状にねじれた建物形状) - 平面形状の違い -

基本形状の Square, Rectangle, Ellipse とそれらを頂部から底部まで回転角 $\theta=180^\circ$ でねじった形状 180° Helical Square, 180° Helical Rectangle, 180° Helical Ellipse の各風力係数を比較し, 螺旋形状の効果について述べる。

(a) 平均風力係数 C_{MX}, C_{MY} (図 7.3.13, 表 7.3.7)

いずれの平面形状も螺旋状にねじることで平均風力係数の絶対値の最大値は 1~3 割程度低減される。また x, y 軸周りで平面形状が異なる Rectangle と Ellipse でも C_{MX}, C_{MY} の最大値は同程度になる。

(b) 変動風力係数 C_{MX}', C_{MY}' (図 7.3.14, 表 7.3.7)

いずれの平面形状でも, 風向角 α に対する変化(最大値と最小値の差)が小さくなる。また, 螺旋状にねじることで変動風力係数の最大値は 3 割以上低減される。

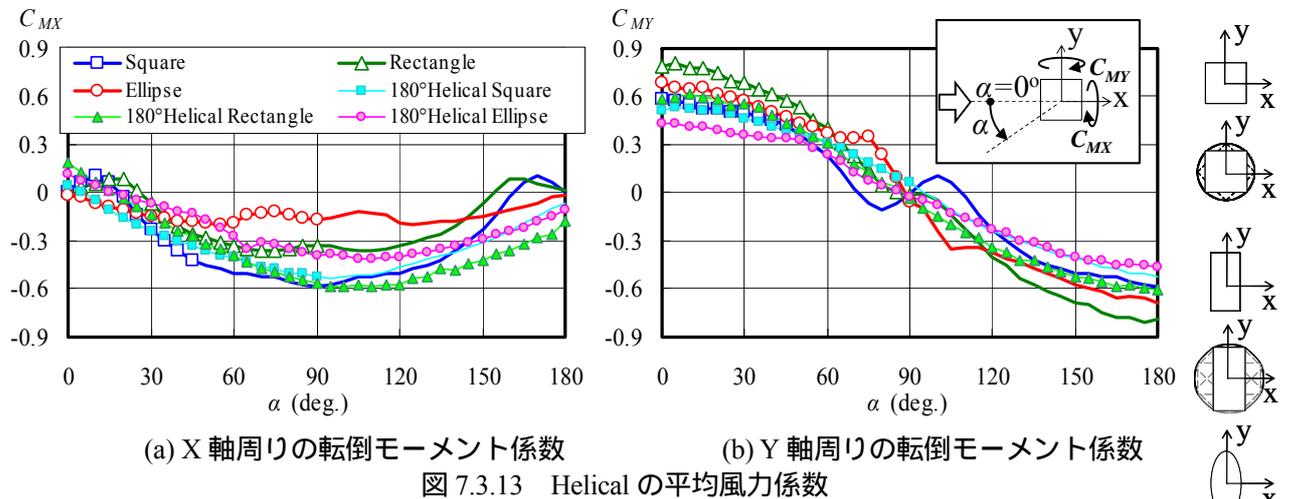


図 7.3.13 Helical の平均風力係数

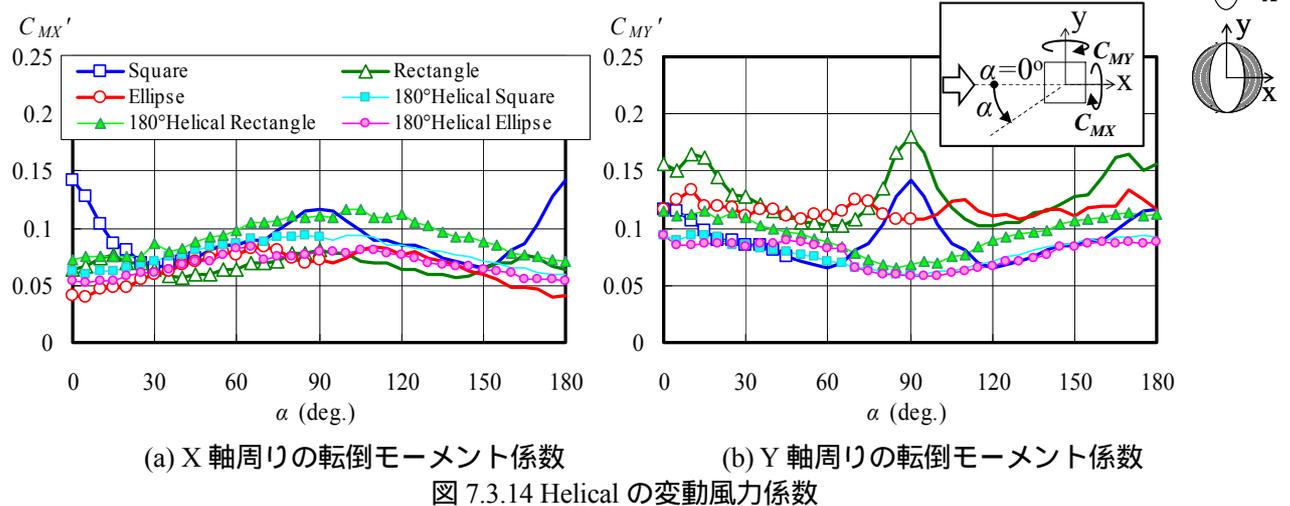


図 7.3.14 Helical の変動風力係数

表 7.3.7 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'	Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'	Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142	Rectangle	-0.36	0.81	0.081	0.181	Ellipse	-0.20	0.68	0.084	0.133
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)		(75°)	(5°)	(90°)	(90°)		(55°)	(0°)	(70°)	(10°)
180° Helical	-0.53	0.53	0.094	0.094	180° Helical	-0.59	0.61	0.117	0.115	180° Helical	-0.41	-0.46	0.084	0.093
	(95°)	(5°)	(90°)	(0°)		(100°)	(10°)	(105°)	(0°)		(110°)	(180°)	(65°)	(0°)

(4-2) Helical (螺旋状にねじれた建物形状) - 螺旋状にねじった角度 θ の影響 -

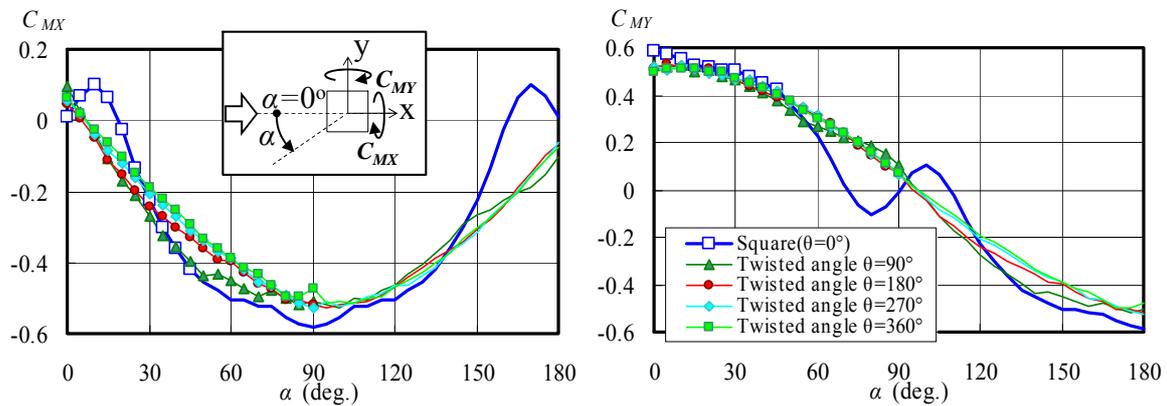
Helical Square の頂部から底部までの回転角 θ を $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$ と変化させて螺旋形状の程度をパラメータとして風力係数を比較する。

(a) 平均風力係数 C_{MX}, C_{MY} (図 7.3.15, 表 7.3.8)

θ が大きくなるにつれ, 平均風力係数 C_{MX}, C_{MY} は徐々に小さくなる傾向があるが, その最大値では大きな差はない。

(b) 変動風力係数 C_{MX}', C_{MY}' (図 7.3.16, 表 7.3.8)

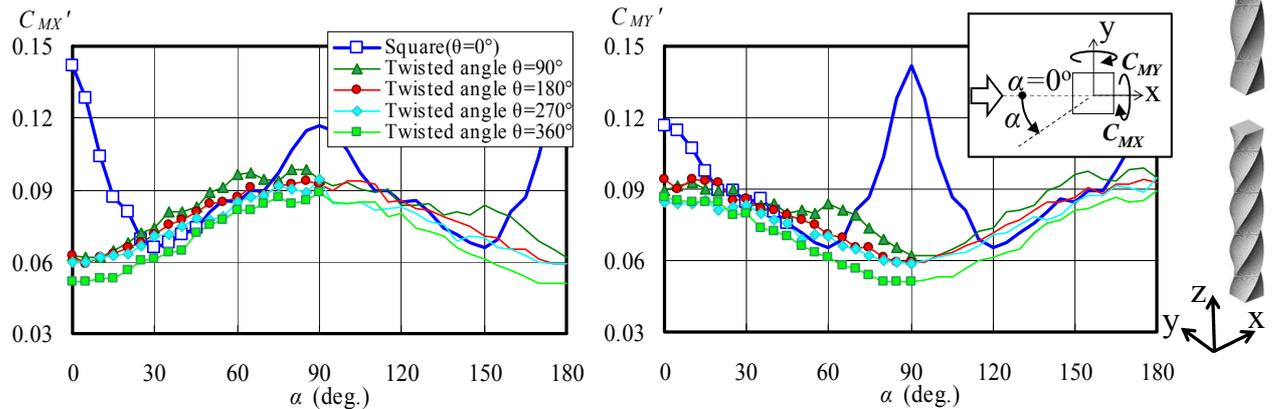
θ が大きくなるにつれ, 変動風力係数 C_{MX}', C_{MY}' も徐々に小さくなる傾向がある。 $\theta=360^\circ$ の最大値は, $\theta=90^\circ$ よりも 1 割程度低減されている。



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.15 平均風力係数に対する螺旋状にねじった角度 θ の影響



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.16 変動風力係数に対する螺旋状にねじった角度 θ の影響

表 7.3.8 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'	Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square ($\theta=0^\circ$)	-0.58	0.58	0.142	0.142	Twisted angle $\theta=270^\circ$	-0.53	0.52	0.094	0.094
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)		(90°)	(10°)	(90°)	(180°)
Twisted angle $\theta=90^\circ$	-0.53	0.53	0.099	0.099	Twisted angle $\theta=360^\circ$	-0.51	0.51	0.089	0.089
	(100°)	(0°)	(85°)	(175°)		(95°)	(15°)	(90°)	(180°)
Twisted angle $\theta=180^\circ$	-0.53	0.53	0.094	0.094					
	(95°)	(5°)	(90°)	(0°)					

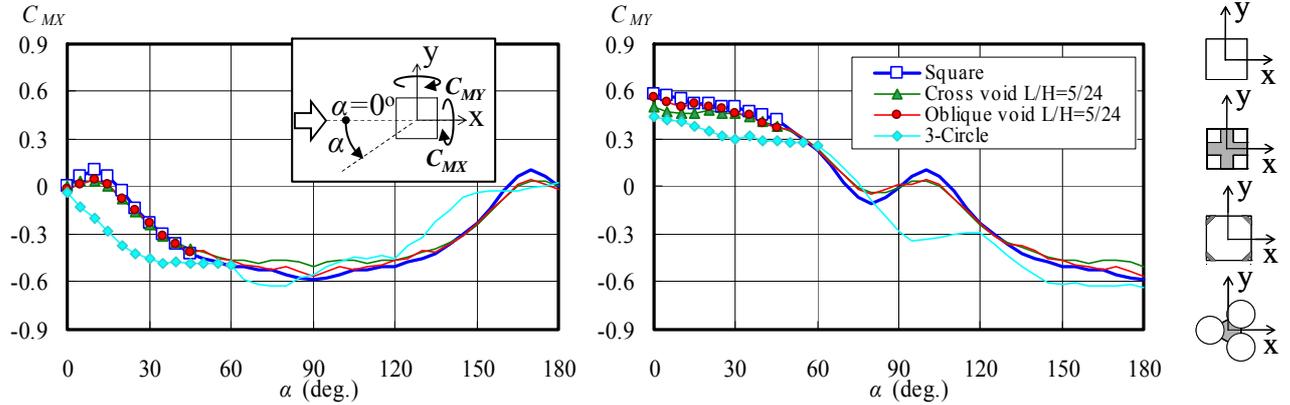
(5-1) Void (開口のある建物形状) - Void の形状による効果 -

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.17, 表 7.3.9)

Oblique void よりも Cross void のほうが, Square の C_{MX} , C_{MY} からの低減効果はやや大きい。3-Circle の傾向は他の形状と異なり, その最大値は Square よりも 1 割程度大きい。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.18, 表 7.3.9)

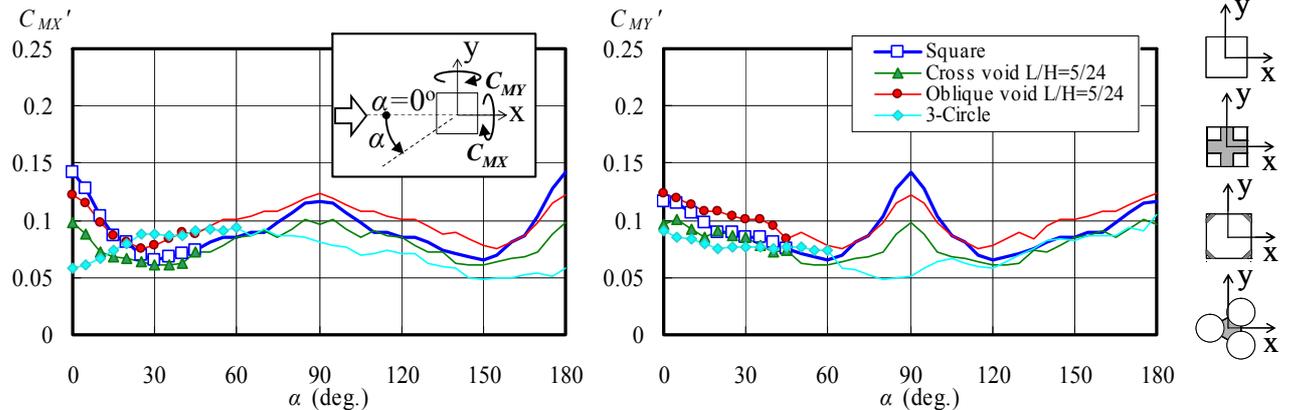
Cross void では, 全風向で Square よりも小さく, 最大値も 70%程度である。Oblique void では, 風直交方向成分の風力の影響を受ける風向で Square よりも低減されているものの, それ以外の風向角では Square よりも大きい。3-Circle の最大値は Square の 75%程度である。



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.17 Void の平均風力係数



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.18 Void の変動風力係数

表 7.3.9 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
Cross void L/H=5/24	-0.50	0.50	0.101	0.101
	(90°)	(0°)	(85°)	(5°)
Oblique void L/H=5/24	-0.56	0.56	0.123	0.123
	(90°)	(0°)	(90°)	(0°)
3-Circle	-0.63	0.63	0.093	0.105
	(75°)	(165°)	(60°)	(180°)

(5-2) Void (開口のある建物形状) - Cross void の開口長さ L/H の影響 -

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.19, 表 7.3.10)

L/H が大きくなるに伴い, 風向 $\alpha=0^\circ$ 付近と 90° 付近の C_{MX} と C_{MY} が低減される。 $L/H=11/24$ における $C_{MX}(C_{MY})$ の最大値は Square の 80% になっている。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.20, 表 7.3.10)

L/H が大きくなるに伴い, 風向 $\alpha=0^\circ$ 付近と 90° 付近の C_{MX}' と C_{MY}' が低減される。特に風直交方向成分の風力の影響が大きい風向角での低減効果大きい。 $L/H=11/24$ における $C_{MX}'(C_{MY}')$ の最大値は Square の 60% になっている。

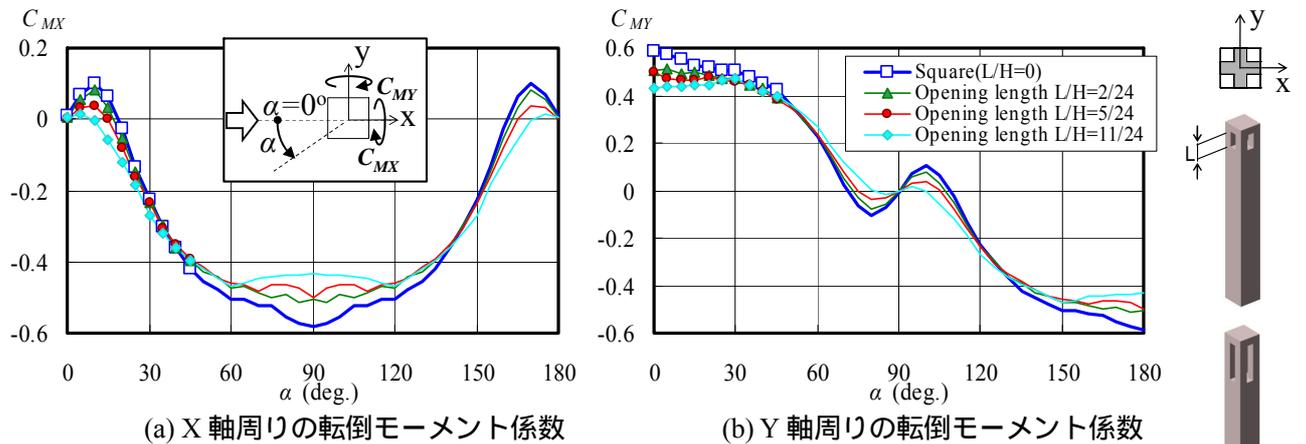


図 7.3.19 平均風力係数に対する開口長さ L/H の影響(Cross void)

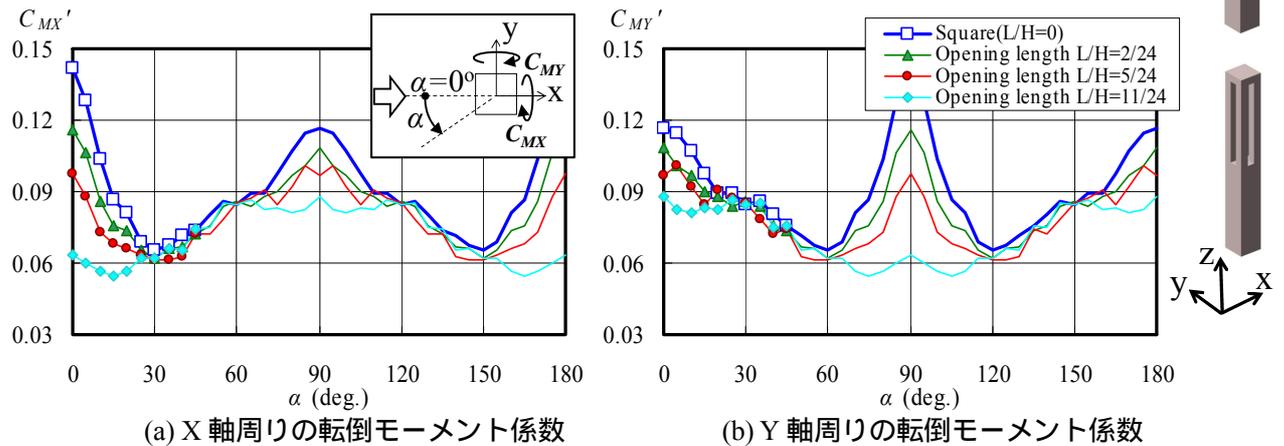


図 7.3.20 変動風力係数に対する開口長さ L/H の影響(Cross void)

表 7.3.10 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
$L/H=2/24$	-0.51	0.51	0.116	0.116
	(85°)	(5°)	(0°)	(90°)
$L/H=5/24$	-0.50	0.50	0.101	0.101
	(90°)	(0°)	(85°)	(5°)
$L/H=11/24$	-0.47	0.47	0.088	0.088
	(60°)	(30°)	(90°)	(0°)

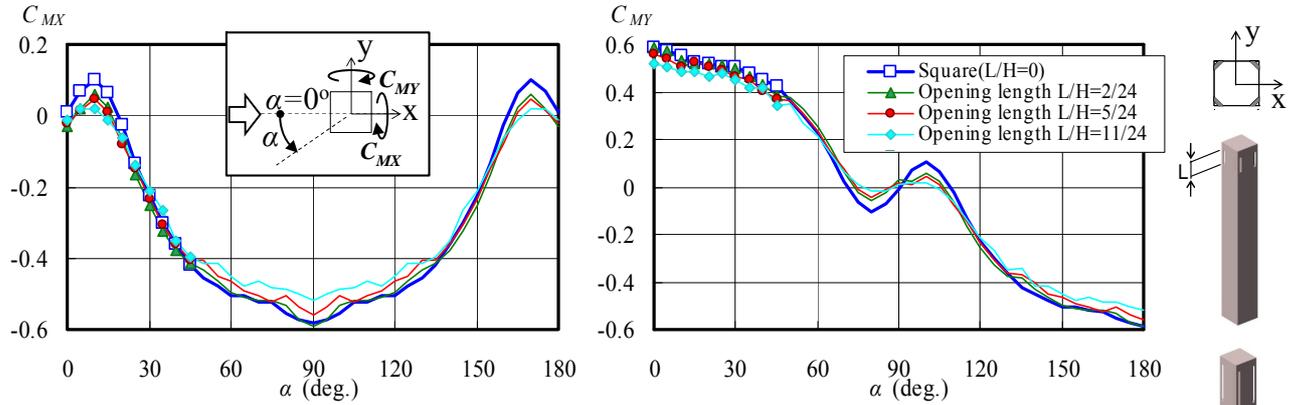
(5-3) Void (開口のある建物形状) - Oblique voidの開口長さ L/H の影響 -

(a) 平均風力係数 C_{MX}, C_{MY} (図 7.3.21, 表 7.3.11)

Cross voidと同様に L/H が大きくなるに伴い、風向 $\alpha=0^\circ$ 付近と 90° 付近の C_{MX} と C_{MY} が低減される。
 $L/H=11/24$ における $C_{MX}(C_{MY})$ の最大値は Square の 90%になっている。

(b) 変動風力係数 C_{MX}', C_{MY}' (図 7.3.22, 表 7.3.11)

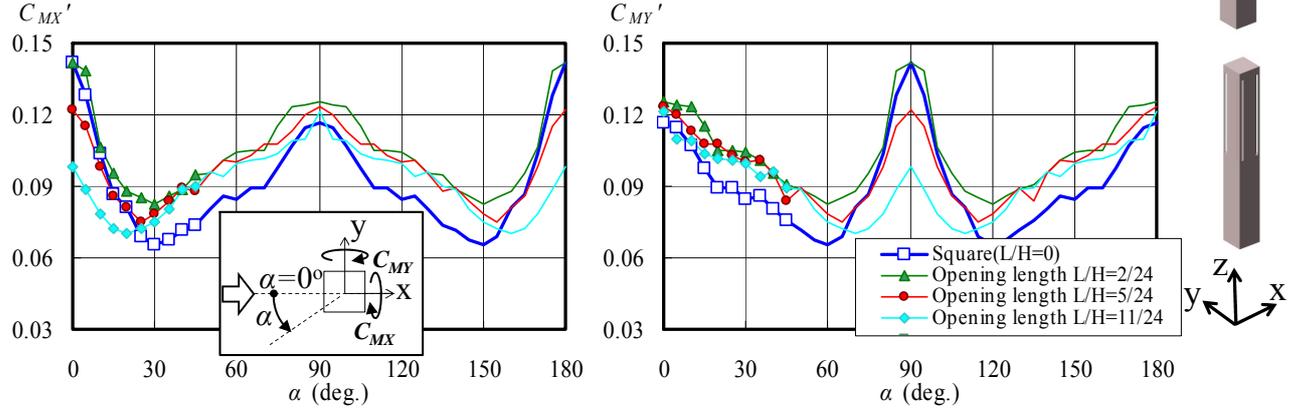
Cross voidと同様に L/H が大きくなるに伴い、風向 $\alpha=0^\circ$ 付近と 90° 付近の C_{MX}' と C_{MY}' が低減される。
 しかし、風方向成分の風力の影響が大きい風向角での低減効果は小さく、これらの風向角では Square よりも変動が大きくなっている。



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.21 平均風力係数に対する開口長さ L/H の影響(Oblique void)



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.22 変動風力係数に対する開口長さ L/H の影響(Oblique void)

表 7.3.11 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
$L/H=2/24$	-0.59	0.59	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
$L/H=5/24$	-0.56	0.56	0.123	0.123
	(90°)	(0°)	(90°)	(0°)
$L/H=11/24$	-0.52	0.52	0.121	0.121
	(90°)	(0°)	(90°)	(0°)

(6) Combination (前述の各形状を組合せた形状)

前述した 19 体の建物形状で良好な空力特性を示した形状(Corner cut, 4-Tapered, Setback Helical)を組み合わせた場合の平均風力係数と変動風力係数を比較し、それらの特徴を以下で述べる。

(6-1) Corner Cut & 360° Helical

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.23, 表 7.3.12)

全風向角で平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} は 360° Helical Square よりも若干小さいため、360° Helical に Corner cut を組み合わせた効果が若干あると考えられるが、Corner cut と同様の特徴は認められない。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.24, 表 7.3.12)

全風向で 360° Helical Square の変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' よりも大きく、Corner cut と比べても風直交方向成分の風力の影響が大きい風向角をのぞく風向角で C_{MX}' , C_{MY}' は大きくなっているため、Corner cut と 360° Helical Square の組合せが悪影響を及ぼしている。

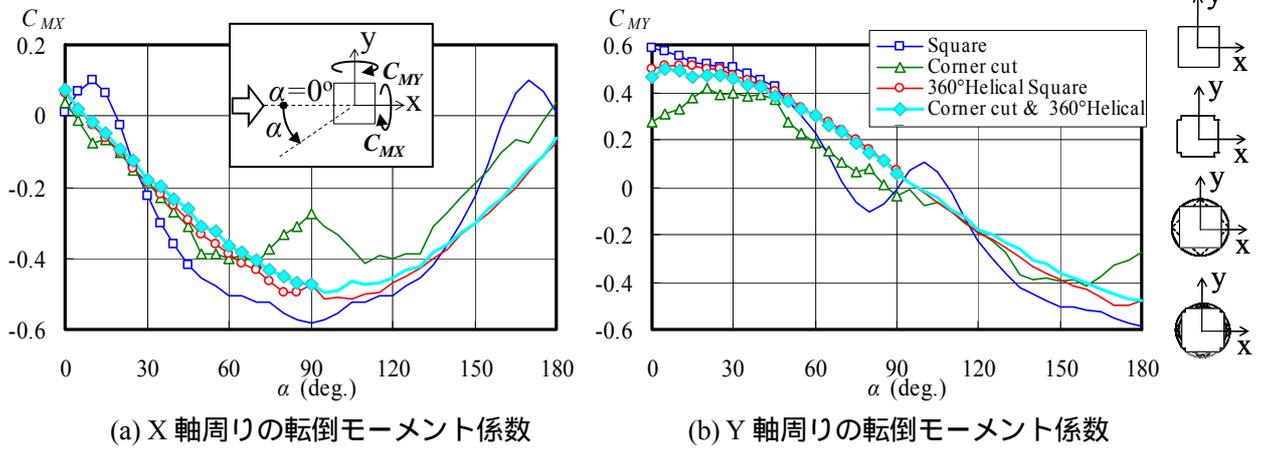


図 7.3.23 平均風力係数(Corner Cut と 360° Helical の組合せ)

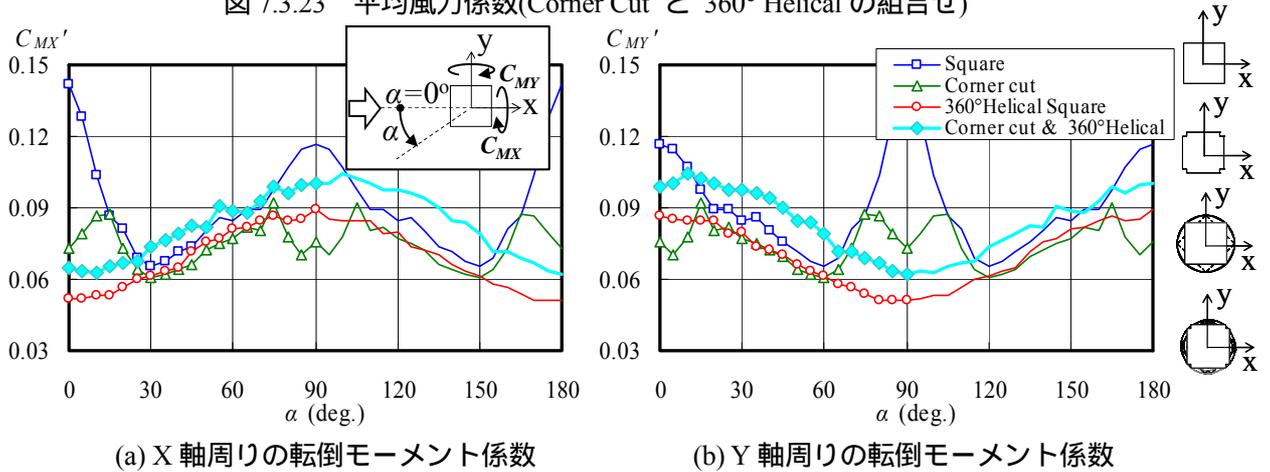


図 7.3.24 変動風力係数(Corner Cut と 360° Helical の組合せ)

表 7.3.12 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'	Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142	360° Helical	-0.51	0.51	0.089	0.089
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)	Square	(105°)	(15°)	(90°)	(180°)
Corner cut	-0.41	0.41	0.092	0.092	Corner cut	-0.50	0.50	0.104	0.104
	(70°)	(20°)	(75°)	(15°)	& 360° Helical	(95°)	(5°)	(100°)	(10°)

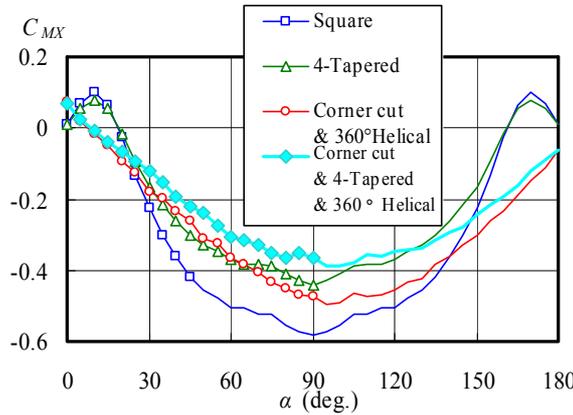
(6-2) Corner Cut & 4-Tapered & 360° Helical.

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.25, 表 7.3.13)

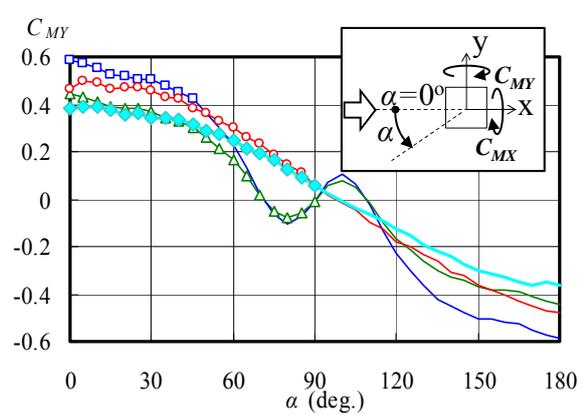
全風向角で平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} が Corner Cut & 360° Helical よりも小さく, その最大値も Corner Cut & 360° Helical の 80% 程度であるため, 4-Tapered を組み合わせた効果がある。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.26, 表 7.3.13)

Corner Cut & 360° Helical の組合せでは, 全風向角で変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' は 360° Helical Square よりも大きくなっていったが, 4-Tapered を組み合わせることで 360° Helical Square よりも小さくなっている。その最大値も Corner Cut & 360° Helical の 75%, Square ではほぼ半減している。

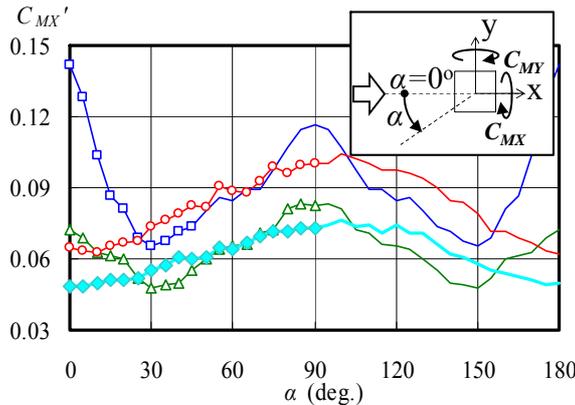


(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

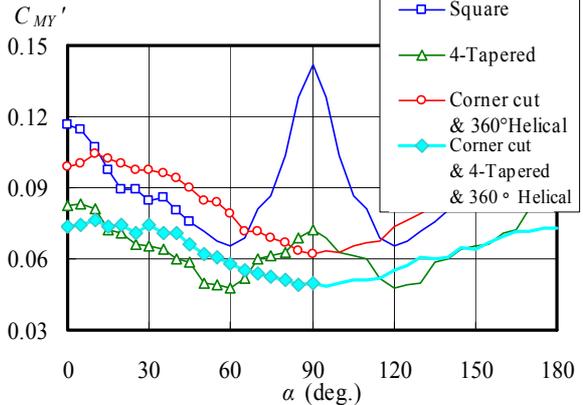


(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.25 平均風力係数(Corner Cut と 360° Helical , 4-Tapered の組合せ)



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数



(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.26 変動風力係数(Corner Cut と 360° Helical , 4-Tapered の組合せ)

表 7.3.13 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
4-Tapered	-0.44	0.44	0.083	0.083
	(90°)	(0°)	(85°)	(5°)
Corner cut & 360° Helical	-0.50	0.50	0.104	0.104
	(95°)	(5°)	(100°)	(10°)
Corner cut & 4-Tapered & 360° Helical	-0.39	0.39	0.077	0.077
	(95°)	(5°)	(100°)	(10°)

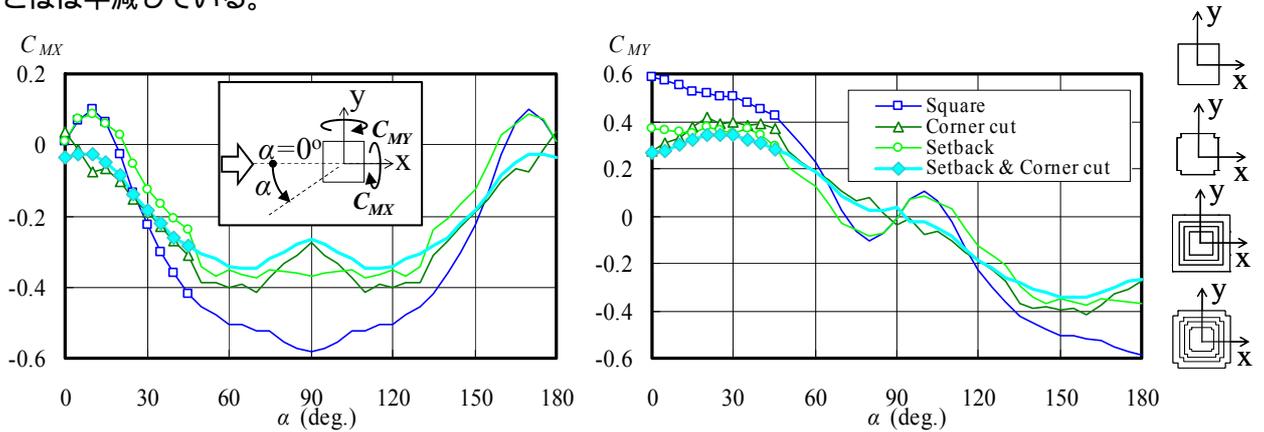
(6-3) Setback & Corner Cut

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.27, 表 7.3.14)

全風向角で Corner cut の平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} に近い値を示す。その最大値は Square の 60%程度で, Corner Cut や Setback よりもさらに小さくなっている。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.28, 表 7.3.14)

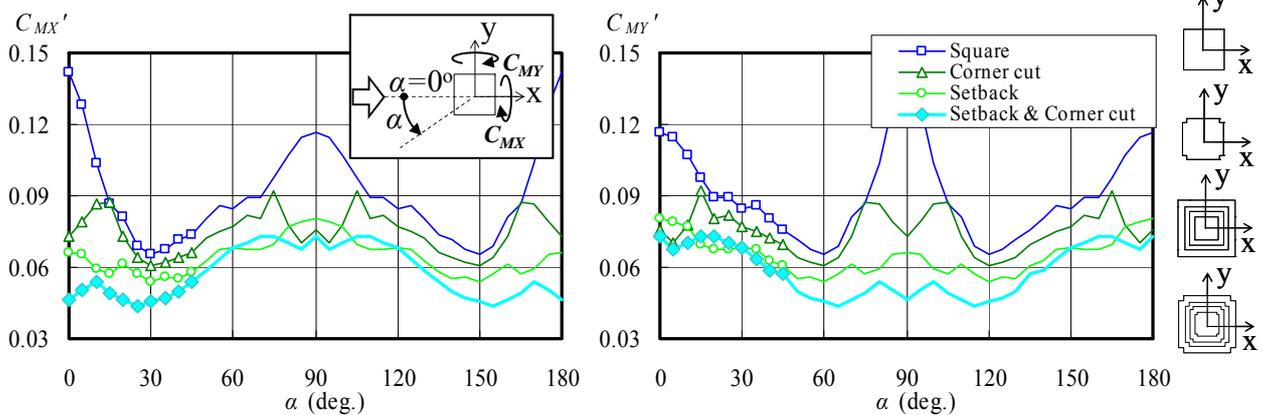
風向角に対する変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' の特徴は Corner cut に似ているが, Setback の効果によって全風向で Corner cut の C_{MX}' , C_{MY}' よりも小さい。その最大値は Corner cut の 80%程度で, Square と比べるとほぼ半減している。



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.27 平均風力係数(Setback と Corner Cut の組合せ)



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.28 平均風力係数(Setback と Corner Cut の組合せ)

表 7.3.14 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
Corner cut	-0.41	0.41	0.092	0.092
Setback	-0.37	0.37	0.081	0.081
Setback & Corner cut	-0.35	0.35	0.073	0.073

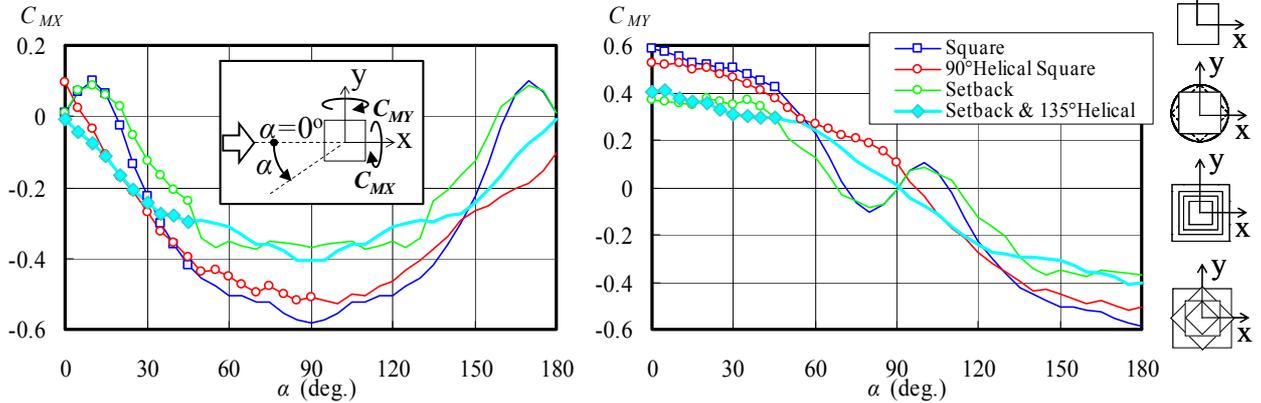
(6-4) Setback & 135° Helical

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.29, 表 7.3.15)

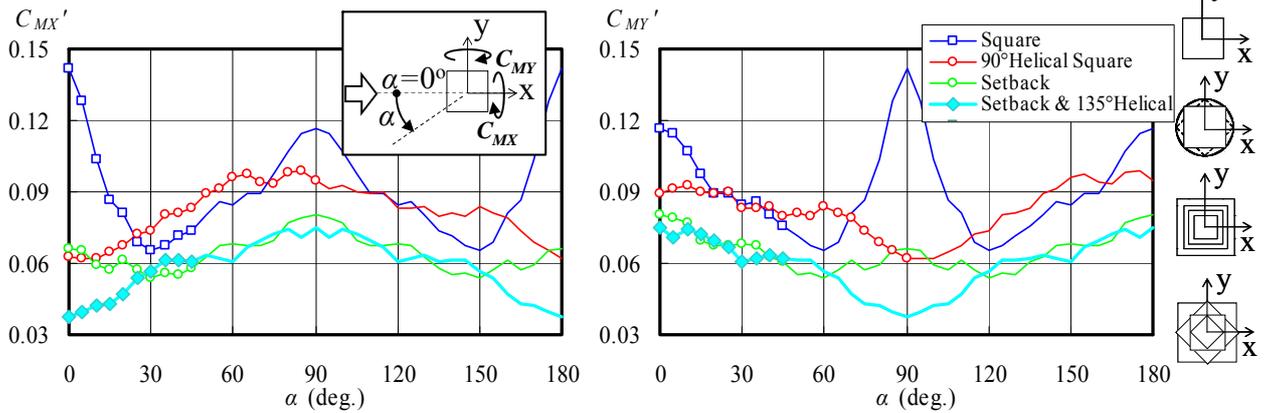
風方向成分の風力の影響が大きい風向角では, Setback と同程度の値を示すが, 風直角方向成分の風力の影響が大きい風向角では, 90° Helical と同じく風向角に対して極値を有さない特徴を示す。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.30, 表 7.3.15)

平均風力係数の場合と同様に, 風方向成分の風力の影響が大きい風向角では, Setback と同程度の値を示すが, 風直角方向成分の風力の影響が大きい風向角の変動風力係数は 60%以下に低減される。その最大値は Setback の 90%程度で, Square と比べるとほぼ半減している。



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数 (b) Y 軸周りの転倒モーメント係数
図 7.3.29 平均風力係数(Setback と Helical の組合せ)



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数 (b) Y 軸周りの転倒モーメント係数
図 7.3.30 変動風力係数(Setback と Helical の組合せ)

表 7.3.15 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
90° Helical Square	0.55	0.51	0.11	-0.02
	(50°)	(15°)	(85°)	(50°)
Setback	-0.37	0.37	0.081	0.081
	(70°)	(20°)	(90°)	(0°)
Setback & 135° Helical	-0.41	0.41	0.075	0.075
	(85°)	(5°)	(90°)	(0°)

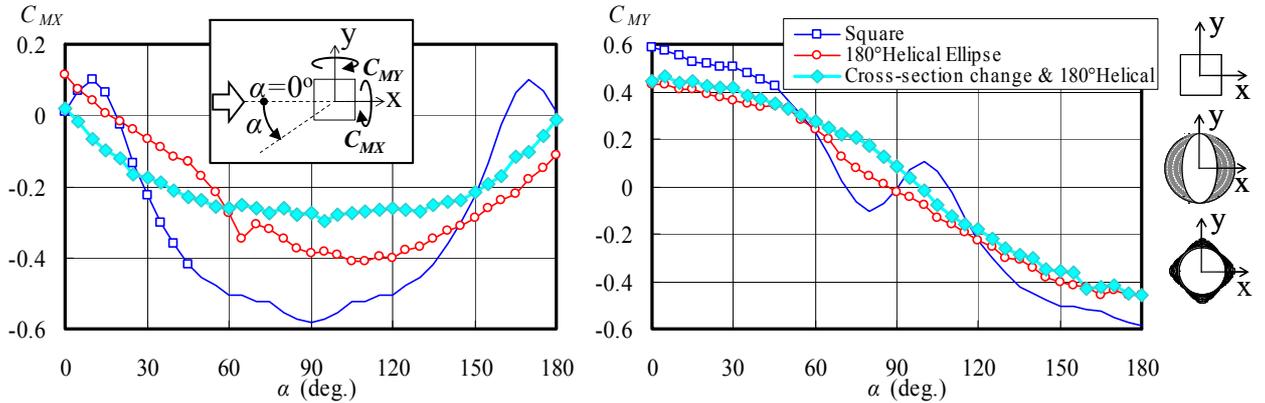
(6-5) Cross-Section Change & 180° Helical

(a) 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} (図 7.3.31, 表 7.3.16)

180° Helical Ellipse と比較すると, 平均風力係数 C_{MX} , C_{MY} の最大値や最大値を示す風向角が異なるため, 断面を変化させた影響を確認できる。

(b) 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' (図 7.3.32, 表 7.3.16)

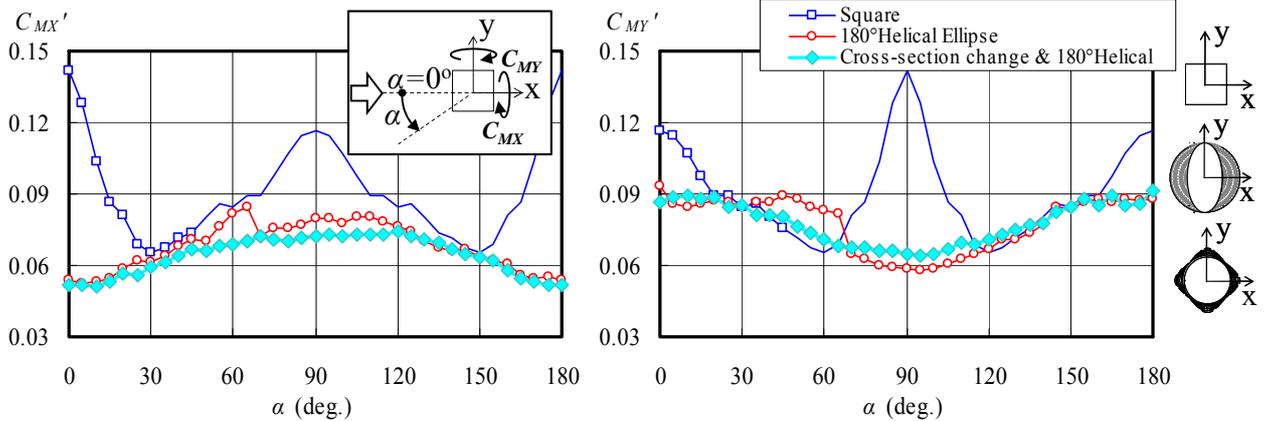
180° Helical Ellipse と比較すると, 変動風力係数 C_{MX}' , C_{MY}' の最大値が若干小さいため, 断面を変化させることによって変動風力係数を低減させる効果もわずかながら確認できる。



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.31 平均風力係数(断面変化と Helical の組合せ)



(a) X 軸周りの転倒モーメント係数

(b) Y 軸周りの転倒モーメント係数

図 7.3.32 変動風力係数(断面変化と Helical の組合せ)

表 7.3.16 平均風力係数(絶対値)と変動風力係数の最大値

Case	C_{MX}	C_{MY}	C_{MX}'	C_{MY}'
Square	-0.58	0.58	0.142	0.142
	(90°)	(0°)	(0°)	(90°)
180° Helical Ellipse	-0.41	-0.46	0.084	0.093
	(110°)	(180°)	(65°)	(0°)
Cross-section change & 180° Helical	-0.30	0.47	0.074	0.091
	(95°)	(5°)	(120°)	(180°)

7.3.4 転倒モーメント係数のパワースペクトル密度

図 7.3.33～図 7.3.63 に X 軸周りと Y 軸周りの転倒モーメントに関するパワースペクトル密度(以下,パワースペクトル)を示す。またグラフ中には想定建物の 1 次固有振動数を $f_1=0.125\text{Hz}$, 設計風速 U_H は東京を例としてそれぞれ 70.6m/s , 29.9m/s と仮定して算出した再現期間 500 年と 1 年の無次元振動数 $f_1 B/U_H$ のライン(再現期間 500 年: $f_1 B/U_H=0.09$, 再現期間 1 年: $f_1 B/U_H=0.21$)も併せて示す。

(1) Basic (基本形状)

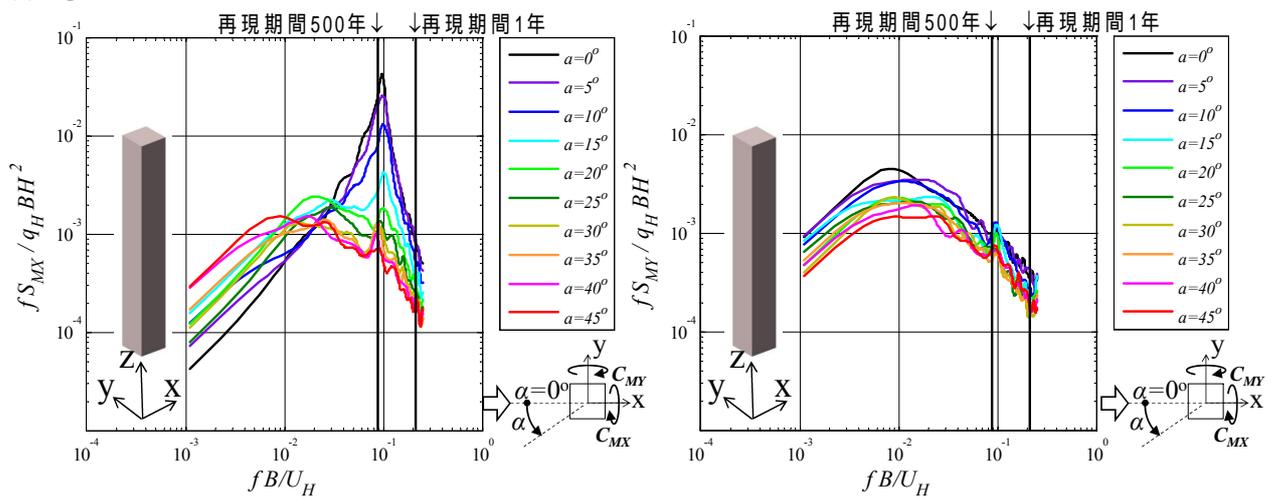
Square では, 風向角 $\alpha=0^\circ$ の X 軸周り転倒モーメントにおいて $f_1 B/U_H=0.1$ 付近で大きくて鋭いピークがあり(図 7.3.33(a)), 建物の安全性の観点で風による応答などを考慮する上で不利となる。

Rectangle では, 風向角 $\alpha=0^\circ$ の X 軸周り転倒モーメントにおいて $f_1 B/U_H=0.07$ 付近で大きくて鋭いピークがあるが(図 7.3.34(a)), 再現期間 500 年の無次元振動数 $f_1 B/U_H=0.09$ よりも小さい無次元振動数でのピーク値であるため, 建物の安全性を検討する上では考慮の必要はない。一方, Y 軸周り転倒モーメント(図 7.3.35(b))においては $\alpha=90^\circ$ で鋭いピークではないが幅広い周波数領域でスペクトルが大きな値を示すため, こちらの方が建物の安全性, 居住性の観点で問題となる。

Circle では, X 軸周り転倒モーメント(図 7.3.35(a))において $f_1 B/U_H=0.12$ 付近で大きくて鋭いピークがあるため, Circle のような建物では Square よりも低い風速で不利な挙動を示すと考えられる。

Ellipse では, 他の基本形状に比べるとスペクトルの値は大きくないが, Ellipse は図 7.3.6 のようにレイノルズ数の影響を受ける形状であるため他の形状との比較には注意が必要である。なお, 図 7.3.36 はレイノルズ数 $Re=1.8 \times 10^4$ の結果を示す。

(a) Square

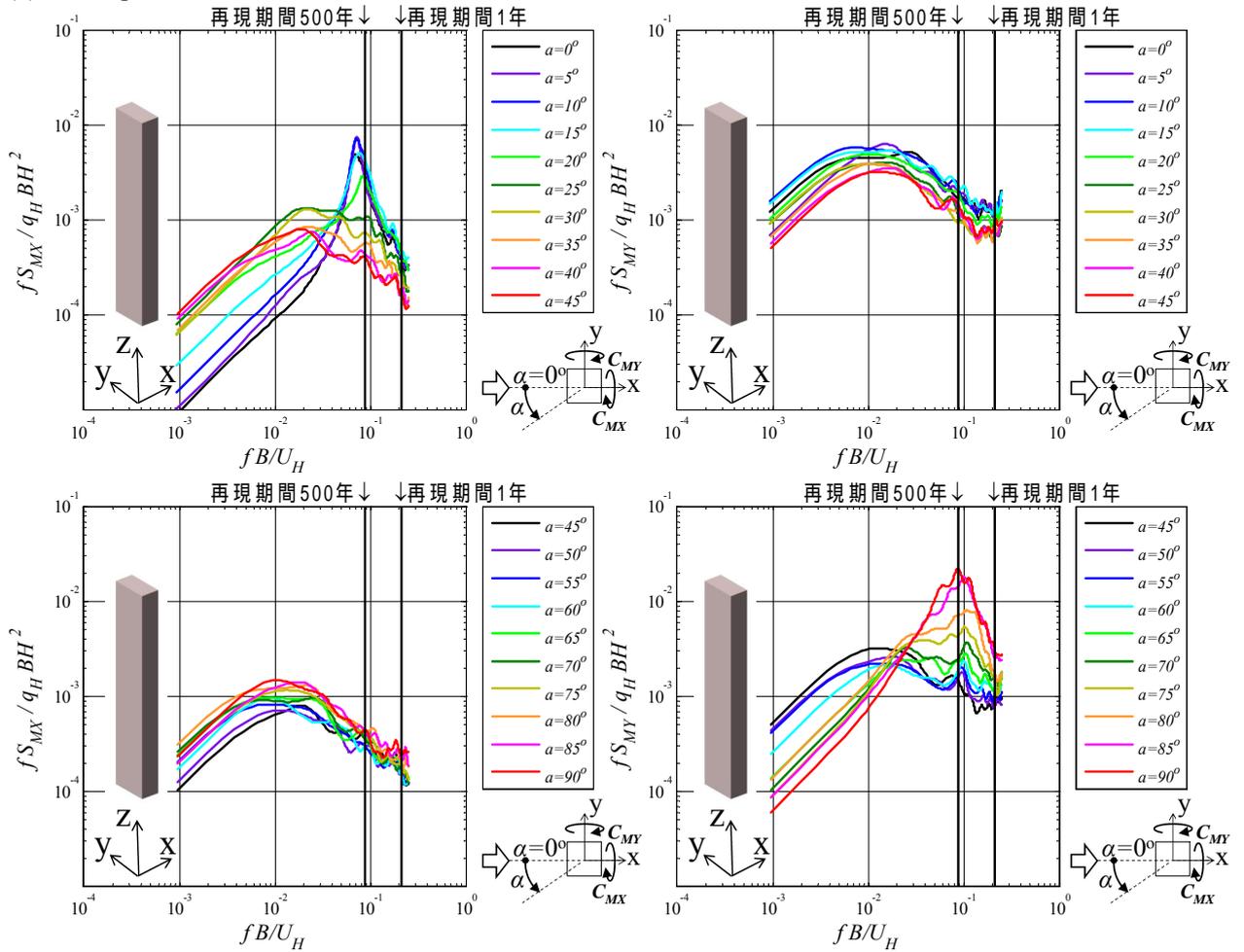


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.33 Square の変動風力のパワースペクトル密度

(b) Rectangle

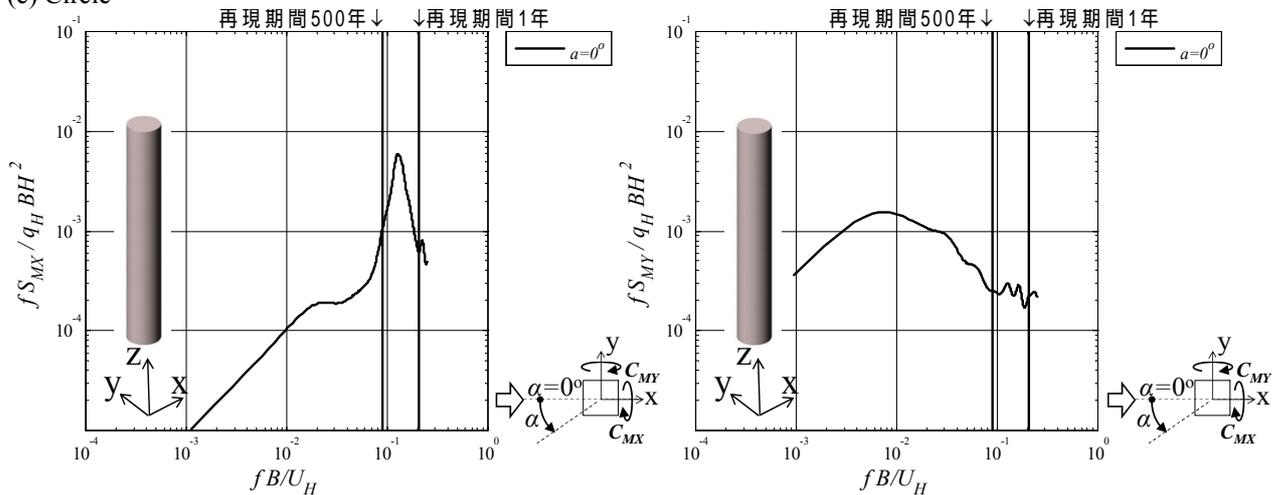


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.34 Rectangle の変動風力のパワースペクトル密度

(c) Circle

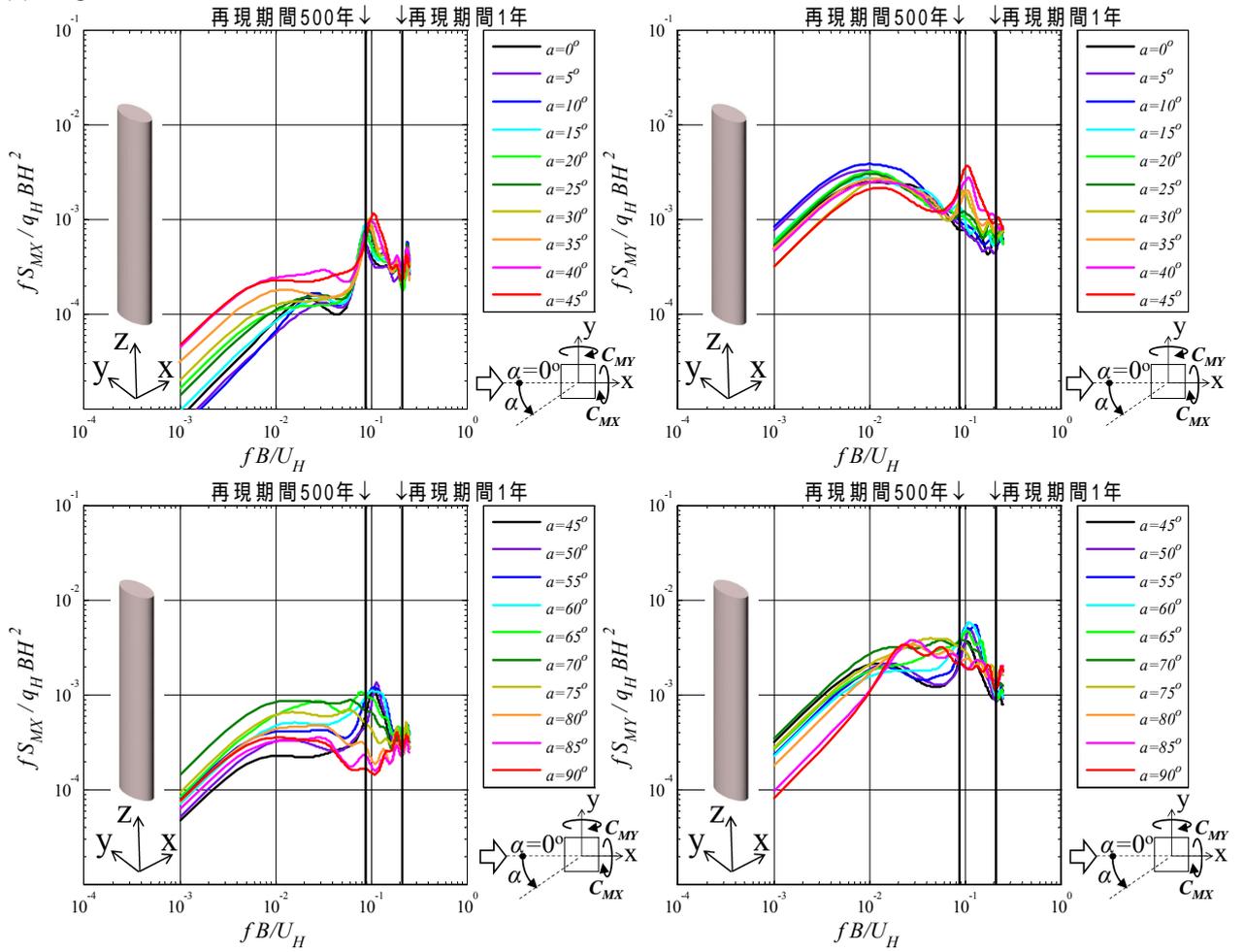


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.35 Circle の変動風力のパワースペクトル密度

(d) Ellipse



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.36 Ellipse の変動風力のパワースペクトル密度

(2) Corner modification (隅角部形状を改良した建物形状)

Chamfered, Corner cut とともに, X 軸周り転倒モーメントにおいて Square のような大きく鋭いピークはなくなった(図 7.3.37(a), 図 7.3.38(a))。ピーク値が最大となる風向角は Chamfered では $\alpha=0^\circ$, Corner cut では $\alpha=10^\circ$ であった。

(a) Chamfered

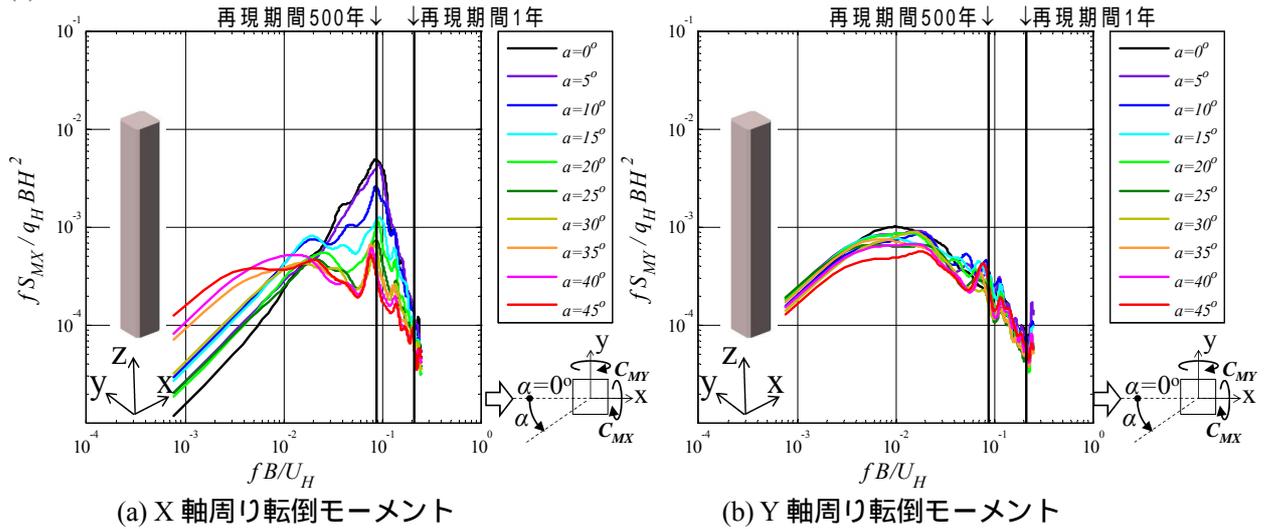


図 7.3.37 Chamfered の変動風力のパワースペクトル密度

(b) Corner cut

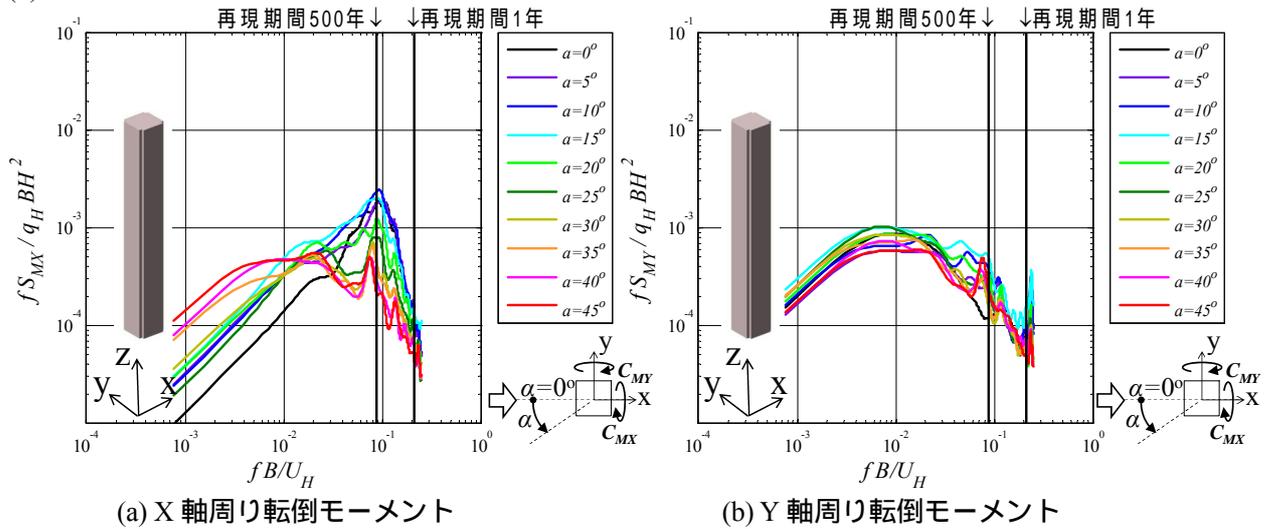
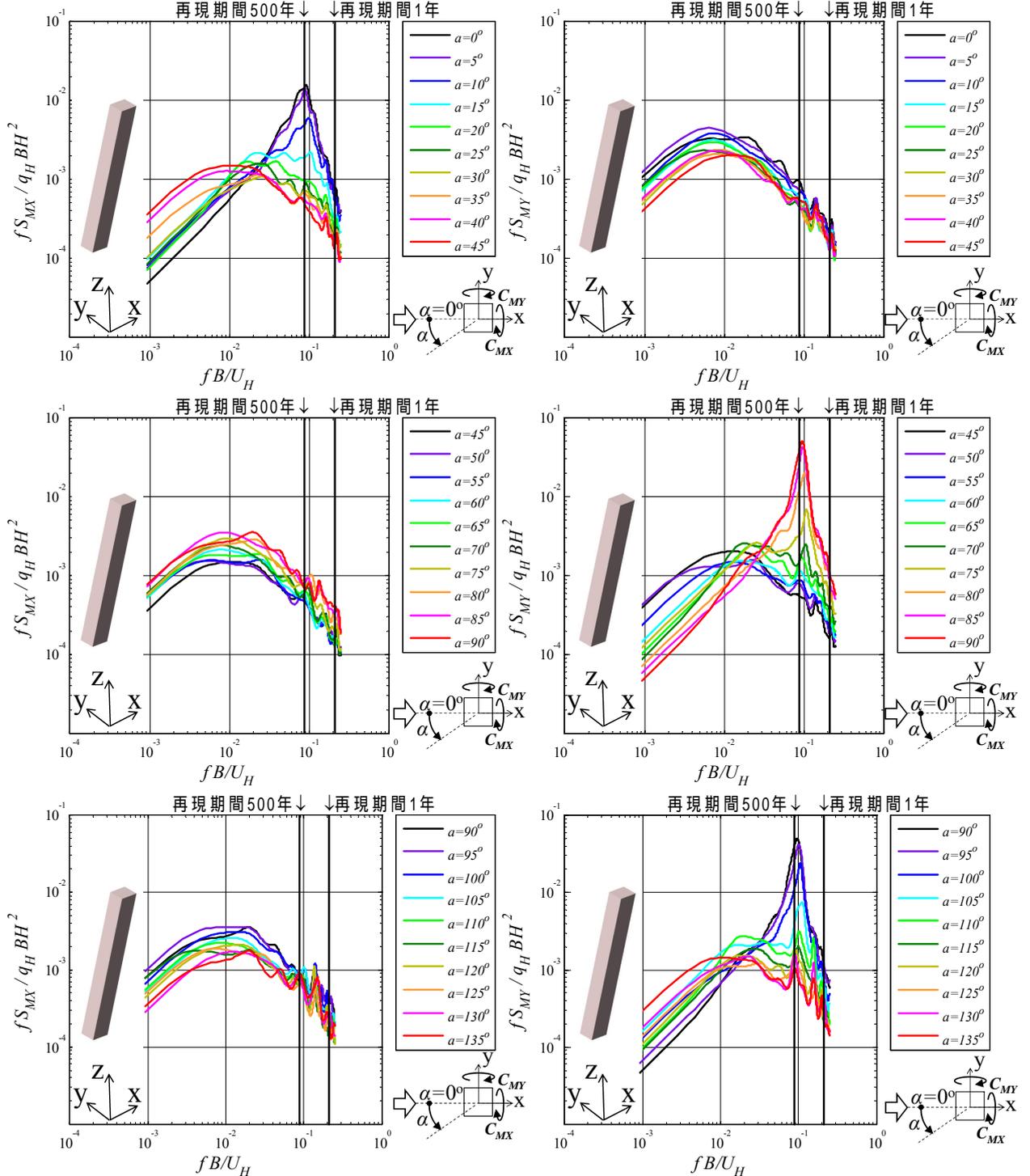


図 7.3.38 Corner cut の変動風力のパワースペクトル密度

(3) Tilted (傾斜をつけた建物形状)

Tilted, Snaking とともに、Y 軸周り転倒モーメントにおいて風向角 $\alpha=90^\circ$ で大きなパワースペクトルを示す(図 7.3.39(b), 図 7.3.40(b))。風向角 $\alpha=0^\circ$ と $\alpha=180^\circ$ では、どちらの形状も $\alpha=180^\circ$ のピーク値が大きく、風向に対して上部が傾いた姿勢が不利な傾向がある(図 7.3.39(a), 図 7.3.40(a))。

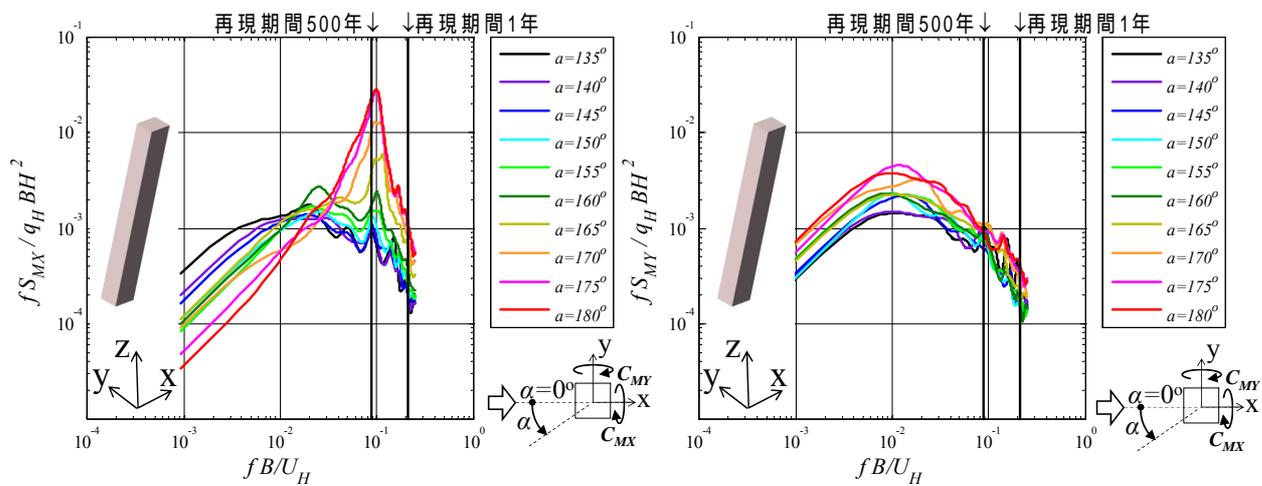
(a) Tilted



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.39(1) Tilted の変動風力のパワースペクトル密度

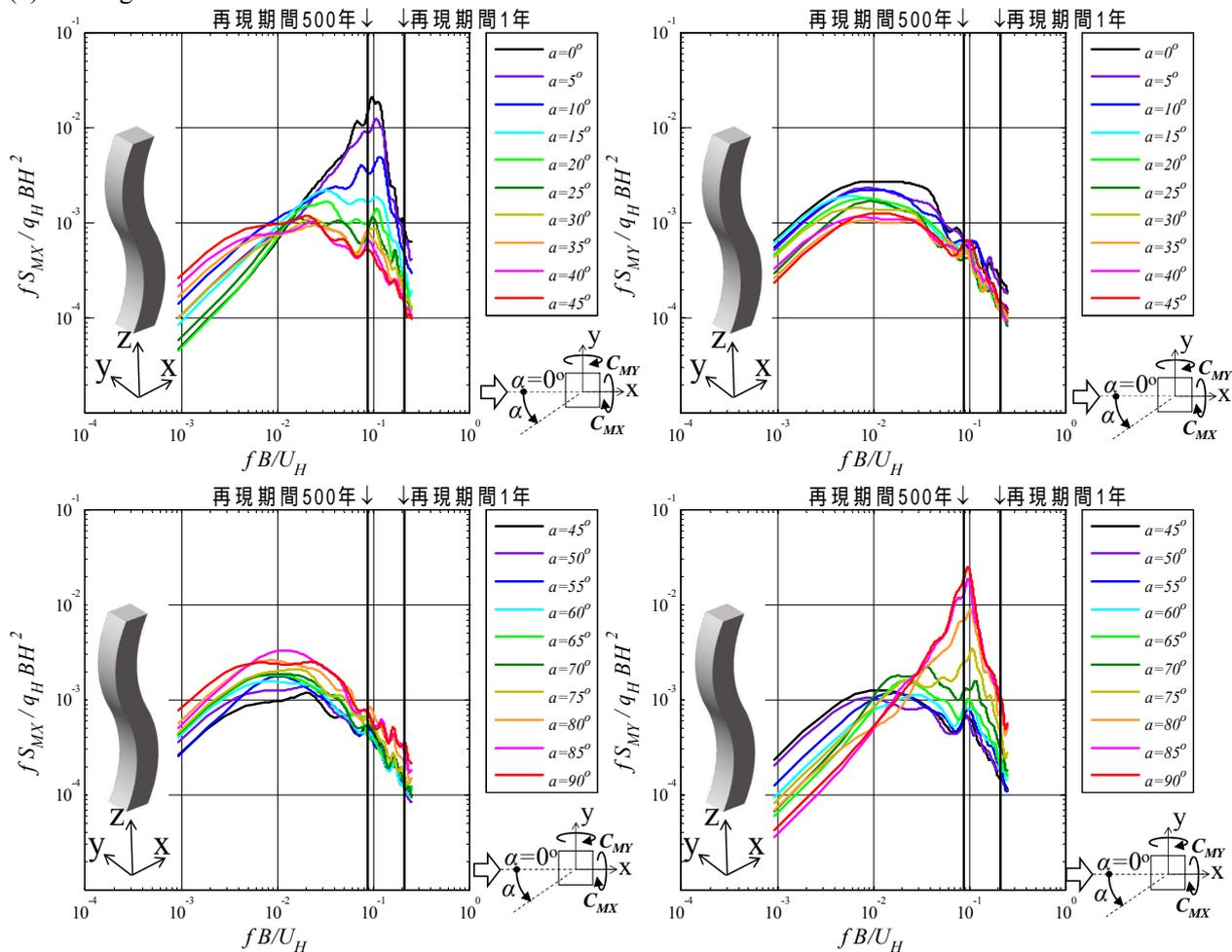


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.39(2) Tilted の変動風力のパワースペクトル密度

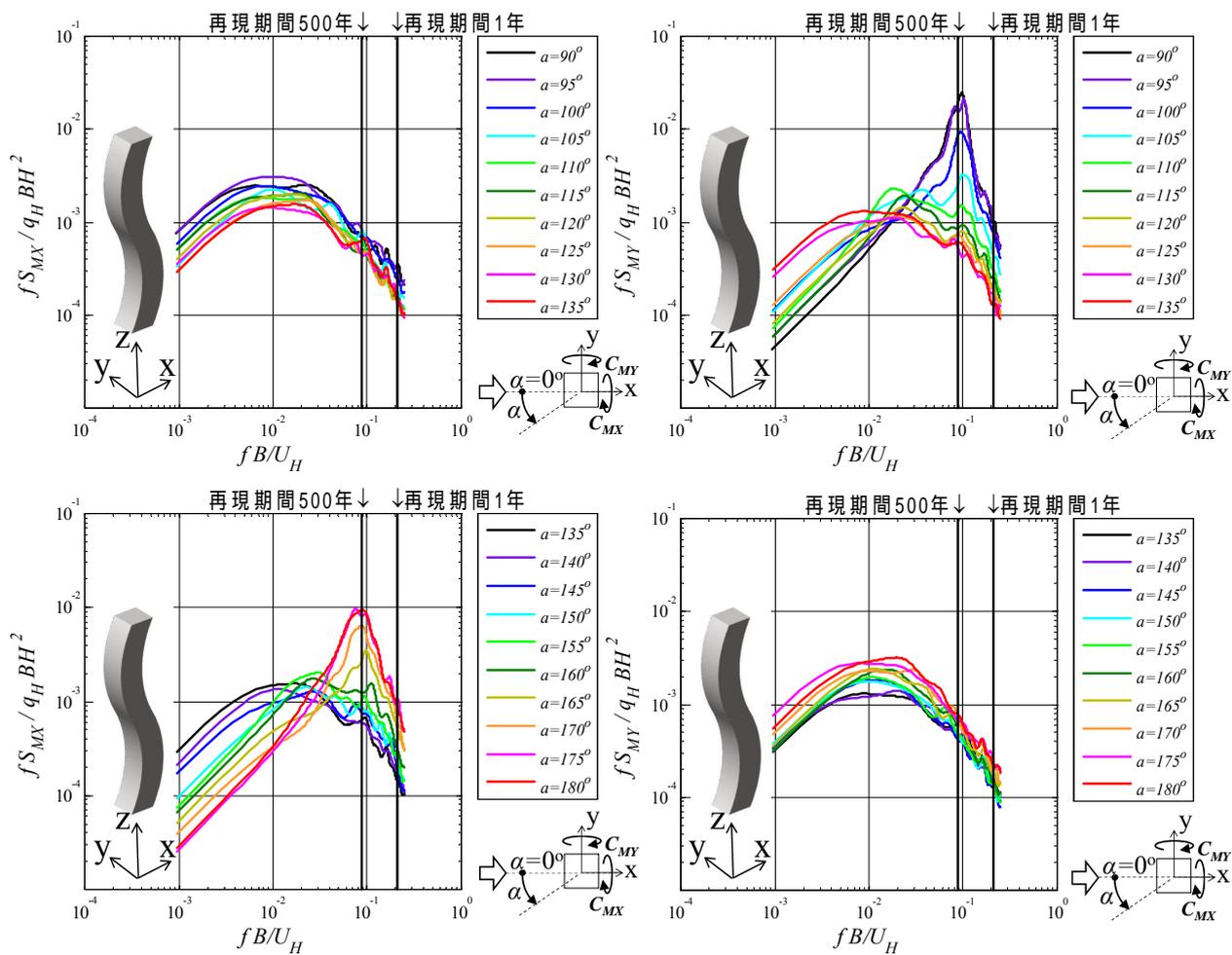
(b) Snaking



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.40(1) Snaking の変動風力のパワースペクトル密度



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.40(2) Snaking の変動風力のパワースペクトル密度

(4) Tapered (錐状の建物形状)

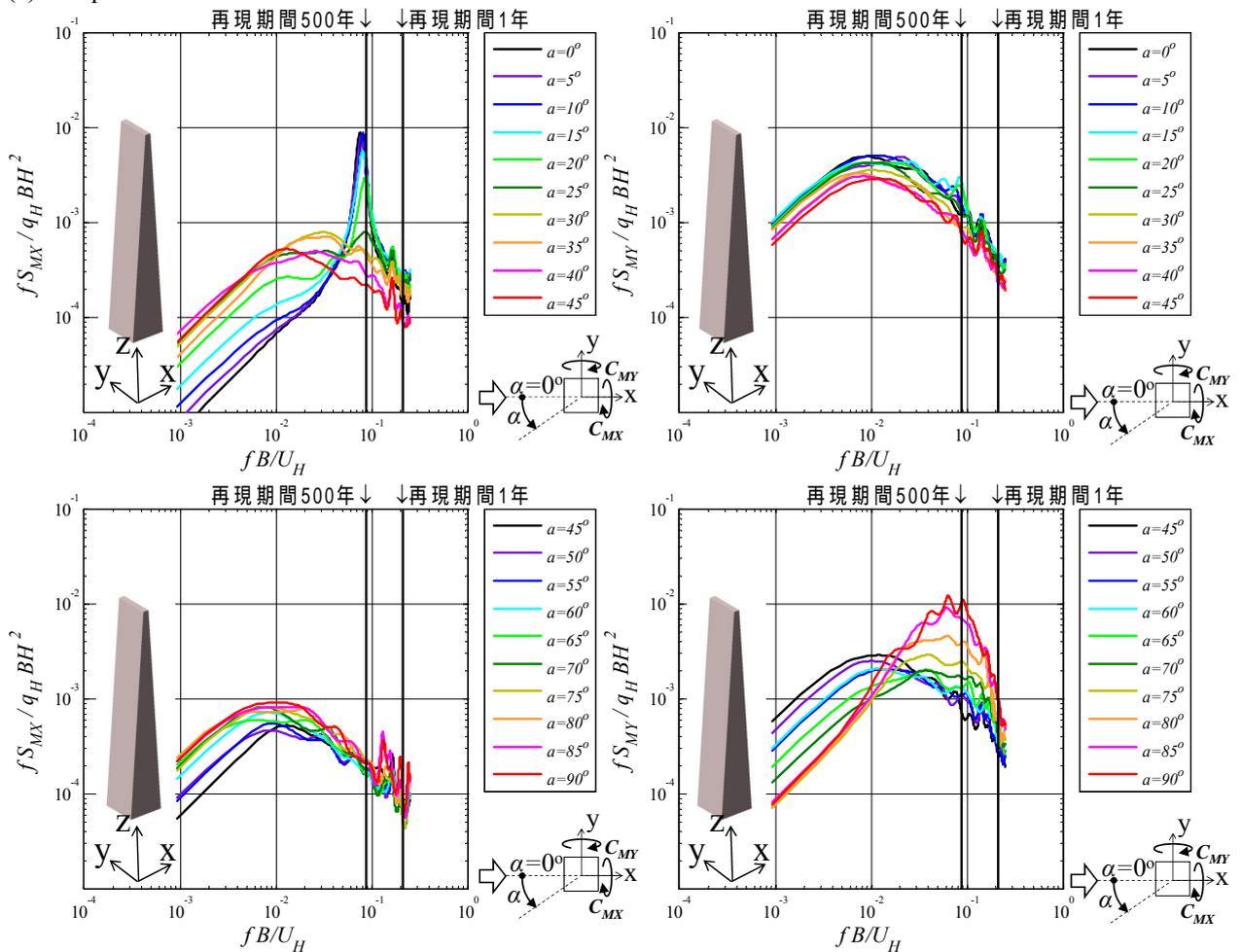
2-Tapered では, Rectangle(図 7.3.34)と同様に, X 軸周り転倒モーメントは $\alpha=0^\circ$ 付近で鋭いピークを示し, Y 軸周り転倒モーメントでは, $\alpha=90^\circ$ 付近のパワースペクトルが幅広い無次元周波数領域で大きい値を示す(図 7.3.41)。

4-Tapered と Setback のパワースペクトルは, Square のように鋭くなく,ピークの大きさも大きくない(図 7.3.42(a), 図 7.3.43(a))。

Inverse 4-Tapered では, Square よりも大きなピーク値を風向角 $\alpha=0^\circ$ で示す(図 7.3.44(a))。

Drum では, 4-Tapered よりも大きく, Inverse 4-Tapered よりも小さいピーク値を示す(図 7.3.45(a))。

(a) 2-Tapered

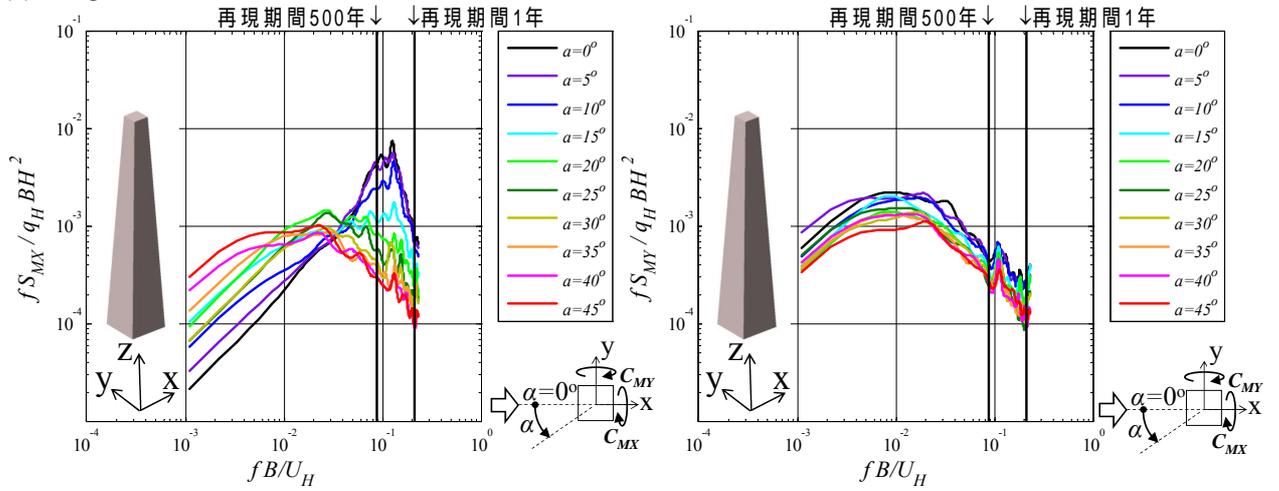


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.41 2-Tapered の変動風力のパワースペクトル密度

(b) 4-Tapered

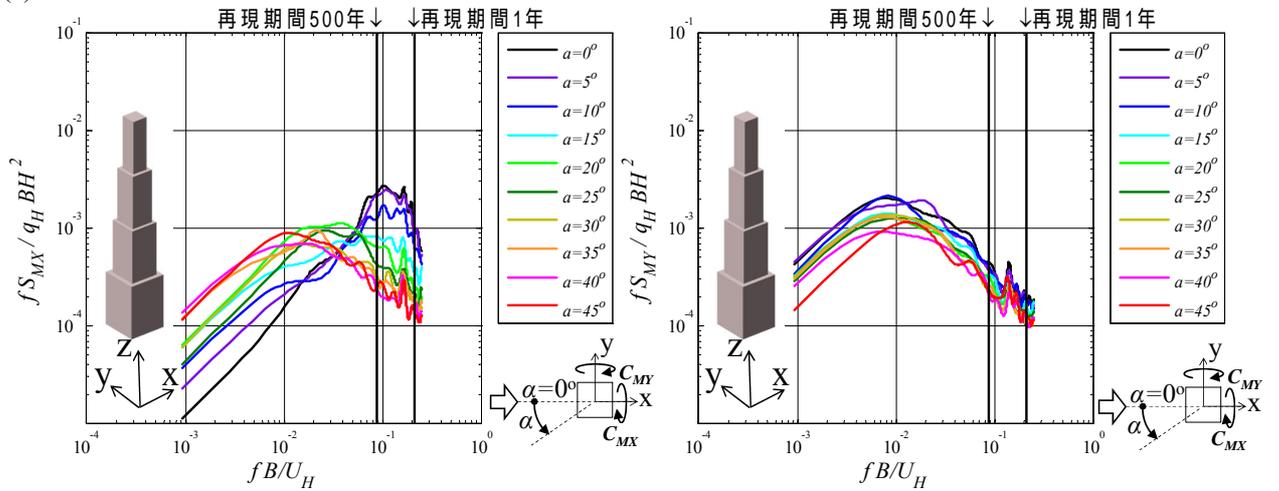


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.42 4-Tapered の変動風力のパワースペクトル密度

(c) Setback

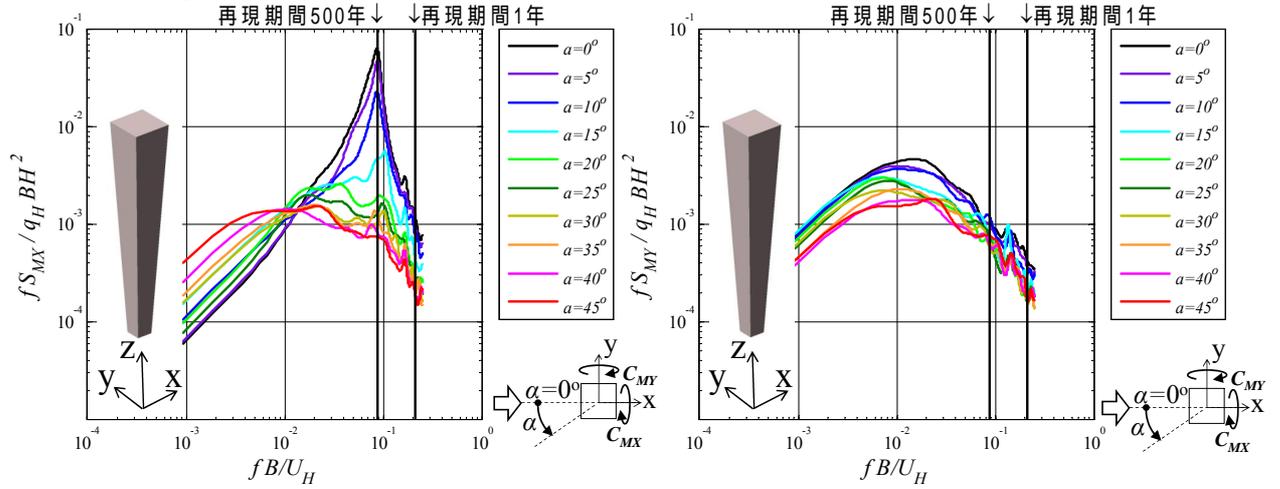


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.43 Setback の変動風力のパワースペクトル密度

(d) Inverse 4-Tapered

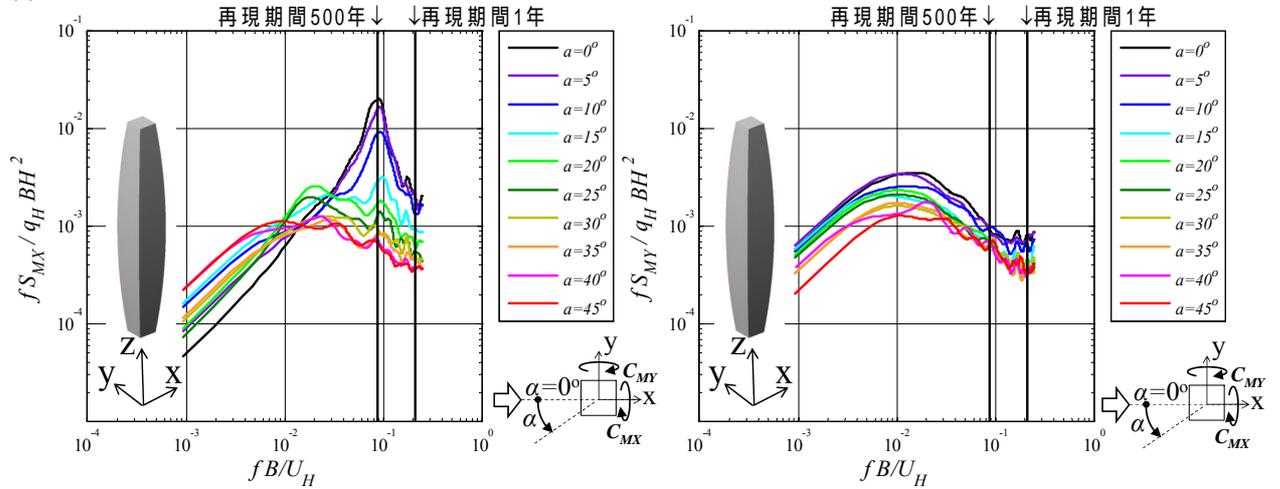


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.44 Inverse 4-Tapered の変動風力のパワースペクトル密度

(e) Drum



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

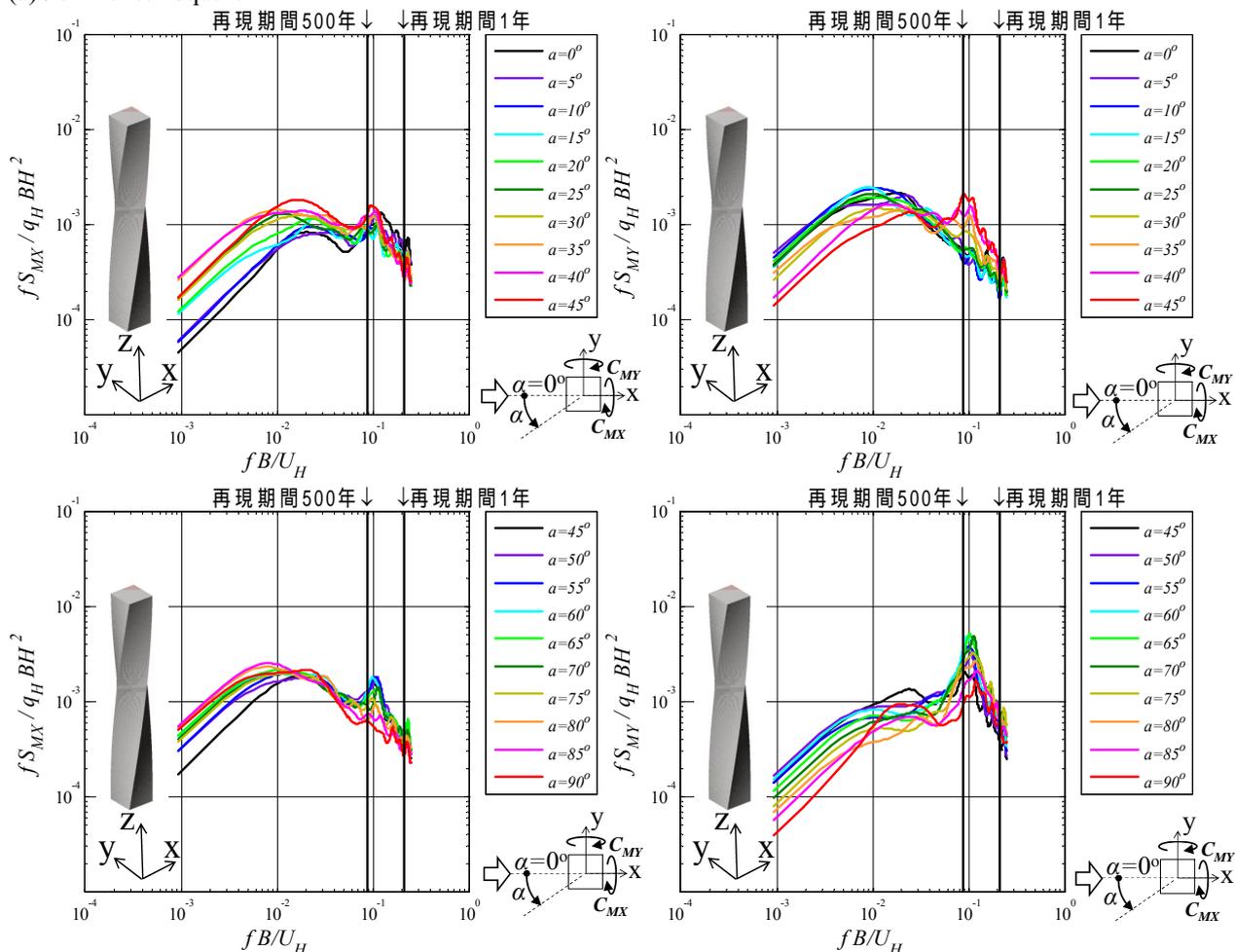
図 7.3.45 Drum の変動風力のパワースペクトル密度

(5) Helical (螺旋状にねじられた建物形状)

Helical Square では、頂部から底部までの回転角 $\theta=90^\circ$ において、風向角 $\alpha=65^\circ$ 付近で大きくないがやや明確なピークが認められる。回転角 $\theta=180^\circ$ 以上ではさらにピーク値が小さい(図 7.3.46 ~ 図 7.3.49)。

Helical Rectangle, Helical Ellipse においても、ピーク値は小さい(図 7.3.50, 図 7.3.51)。

(a) 90° Helical Square

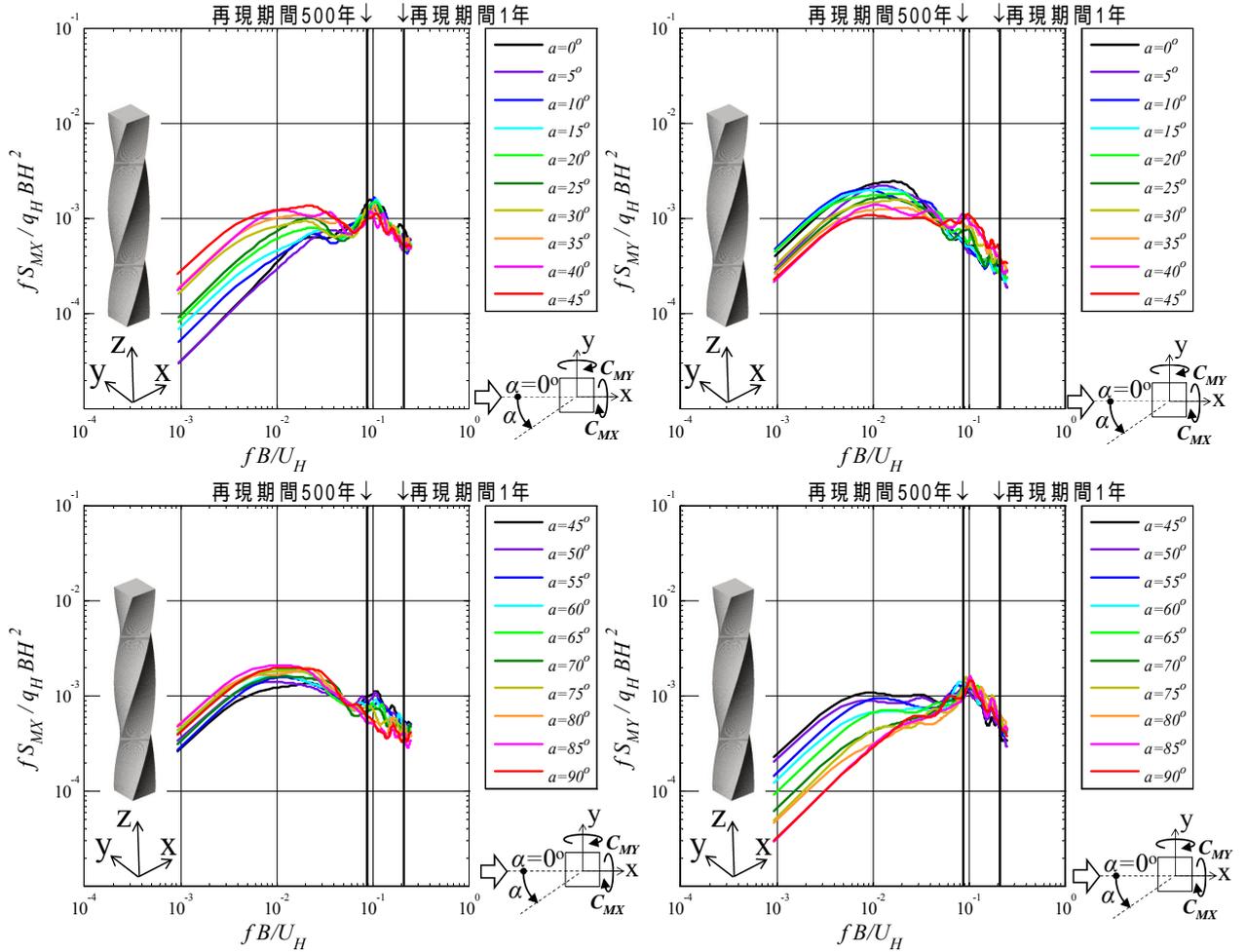


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.46 90° Helical Square の変動風力のパワースペクトル密度

(b) 180° Helical Square

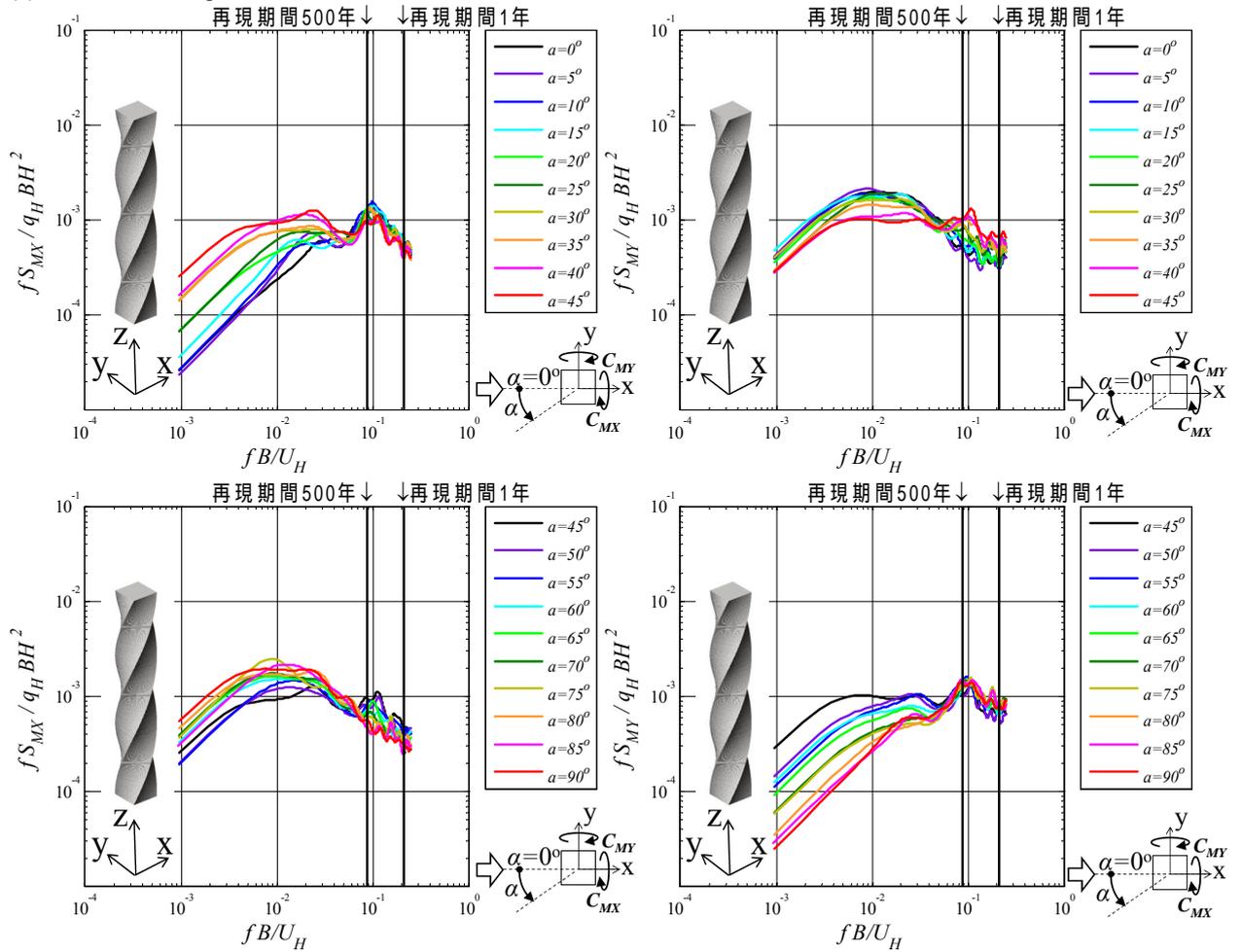


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.47 180° Helical Square の変動風力のパワースペクトル密度

(c) 270° Helical Square



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.48 270° Helical Square の変動風力のパワースペクトル密度

(d) 360° Helical Square

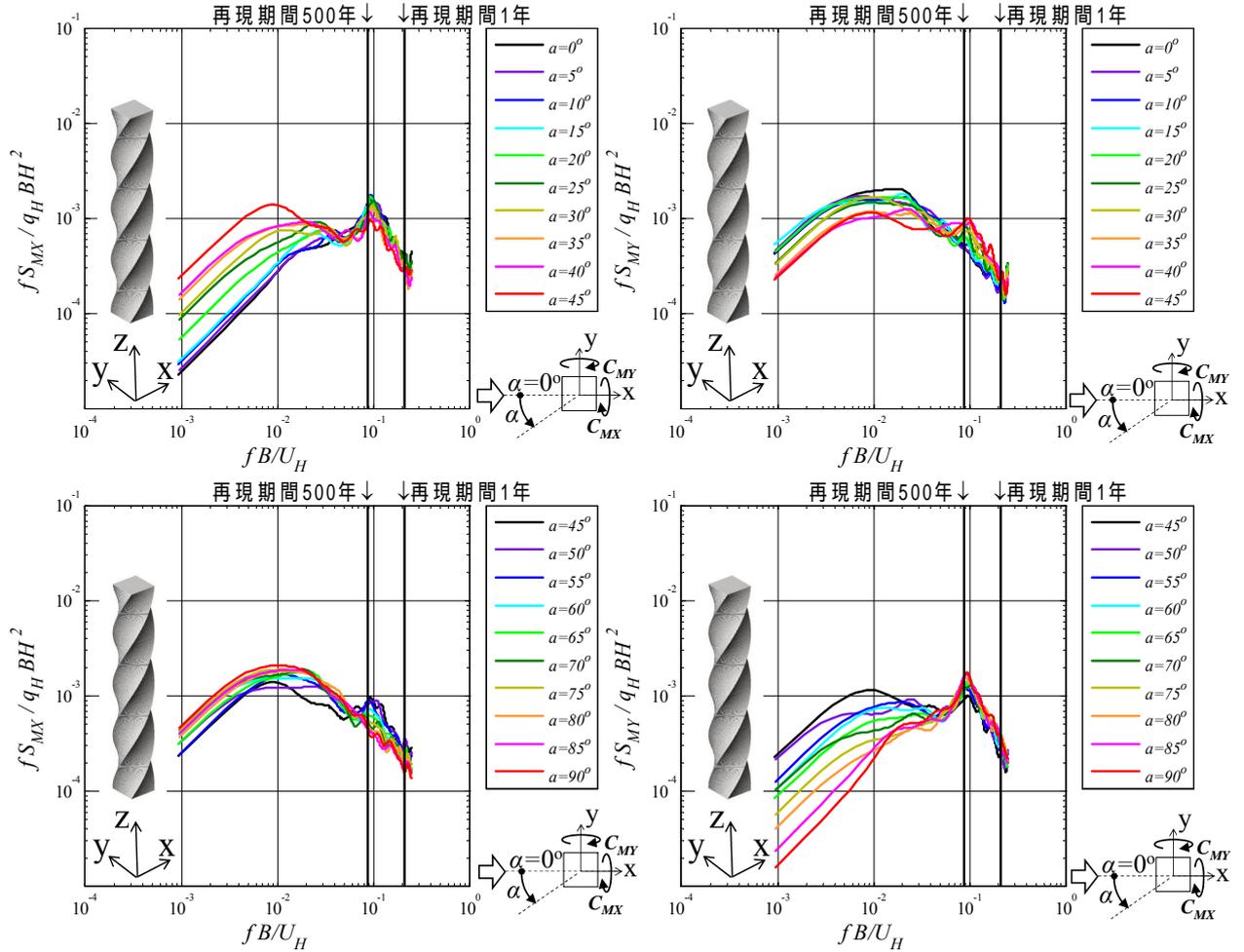
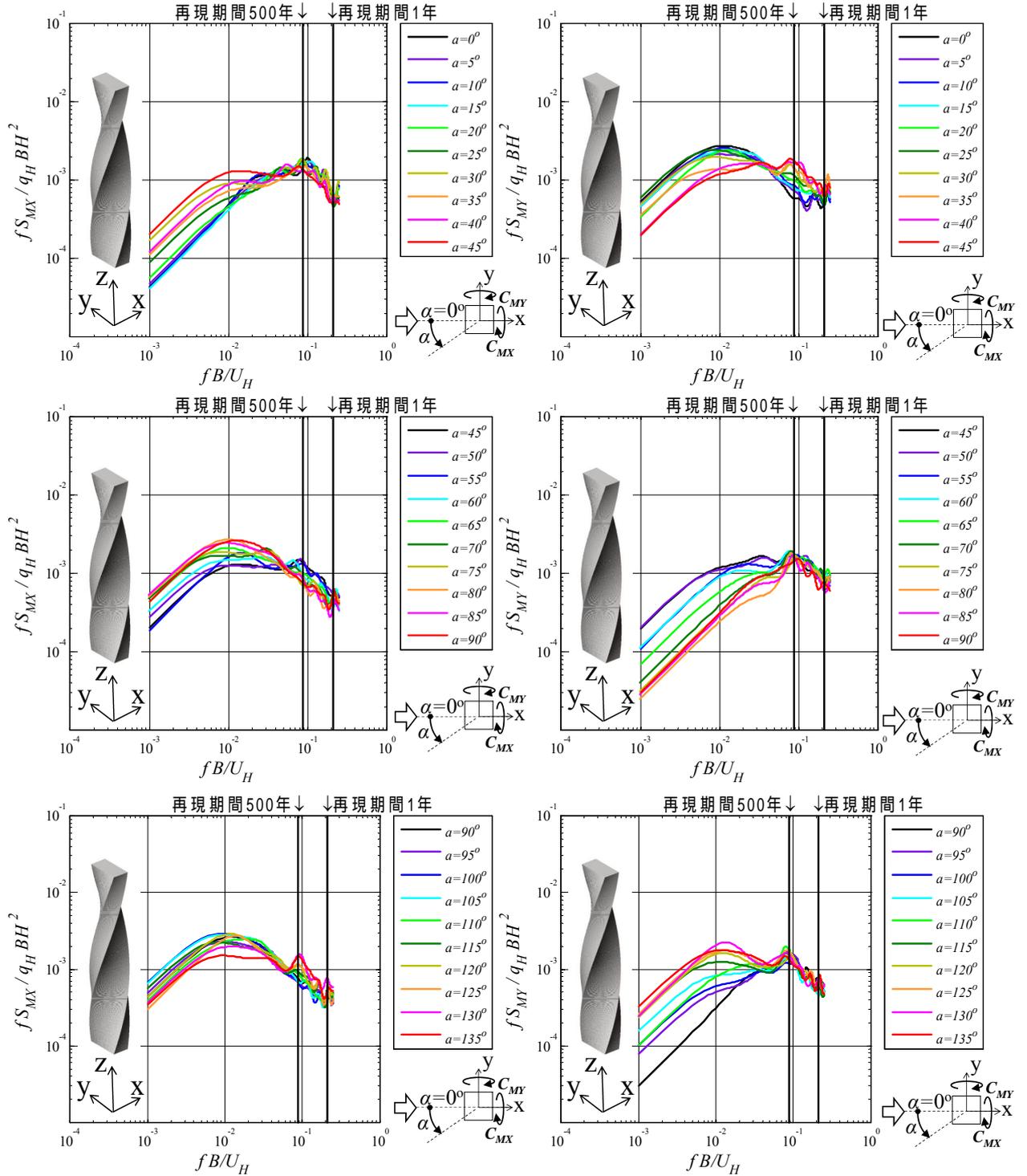


図 7.3.49 360° Helical Square の変動風力のパワースペクトル密度

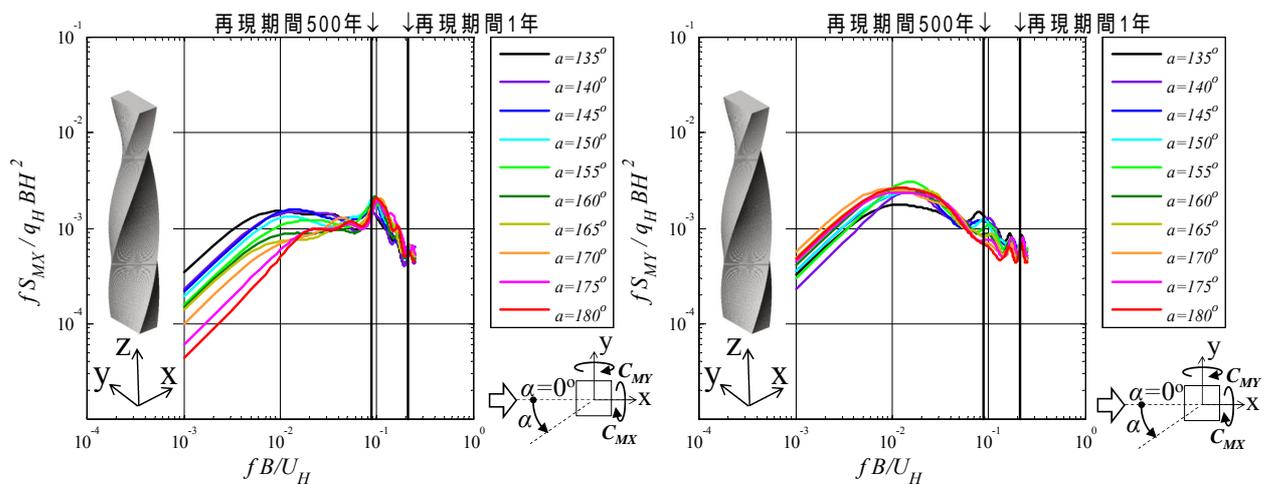
(e) 180° Helical Rectangle



(a) X 軸周りに転倒モーメント

(b) Y 軸周りに転倒モーメント

図 7.3.50(1) 180° Helical Rectangle の変動風力のパワースペクトル密度

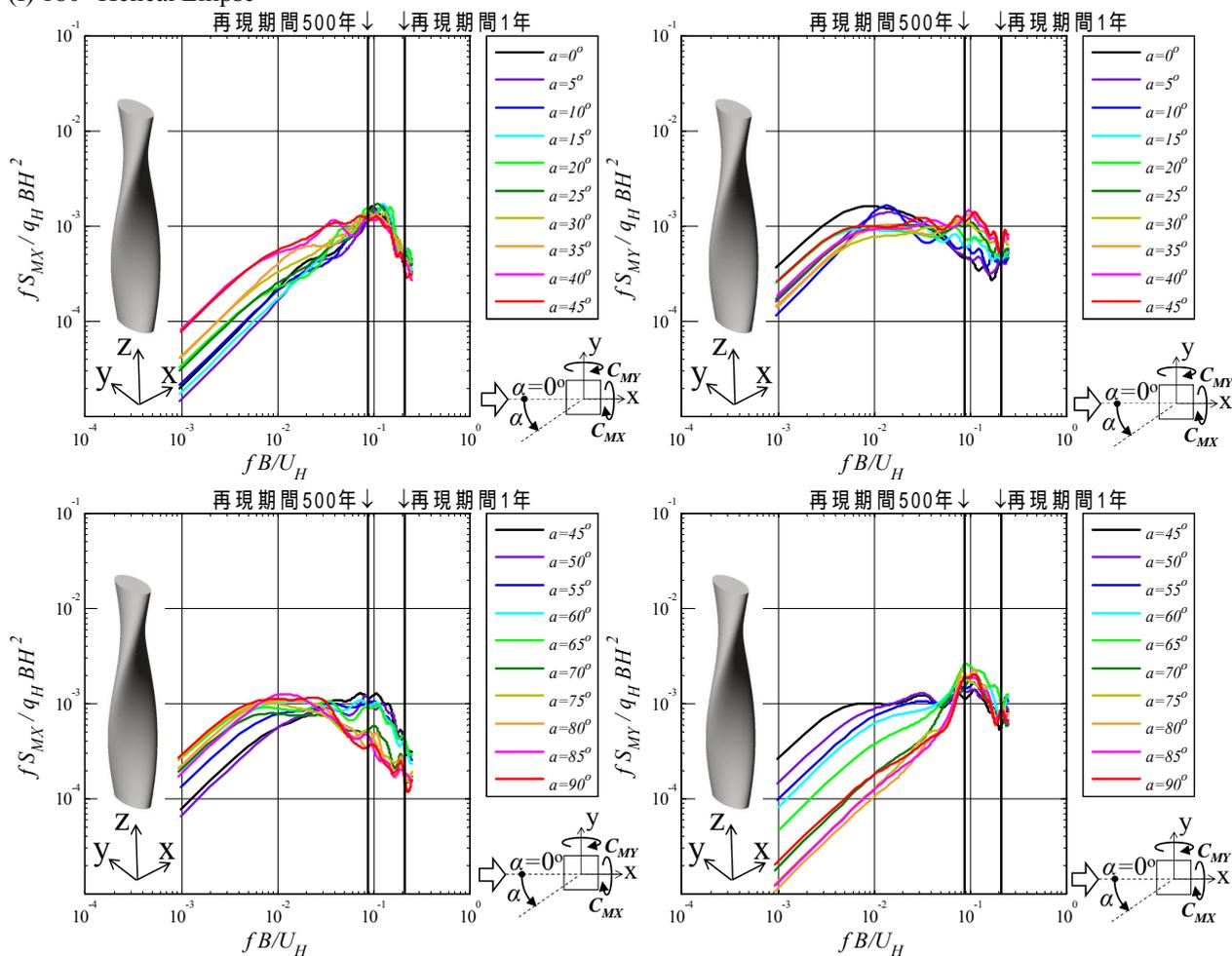


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.50(2) 180° Helical Rectangle の変動風力のパワースペクトル密度

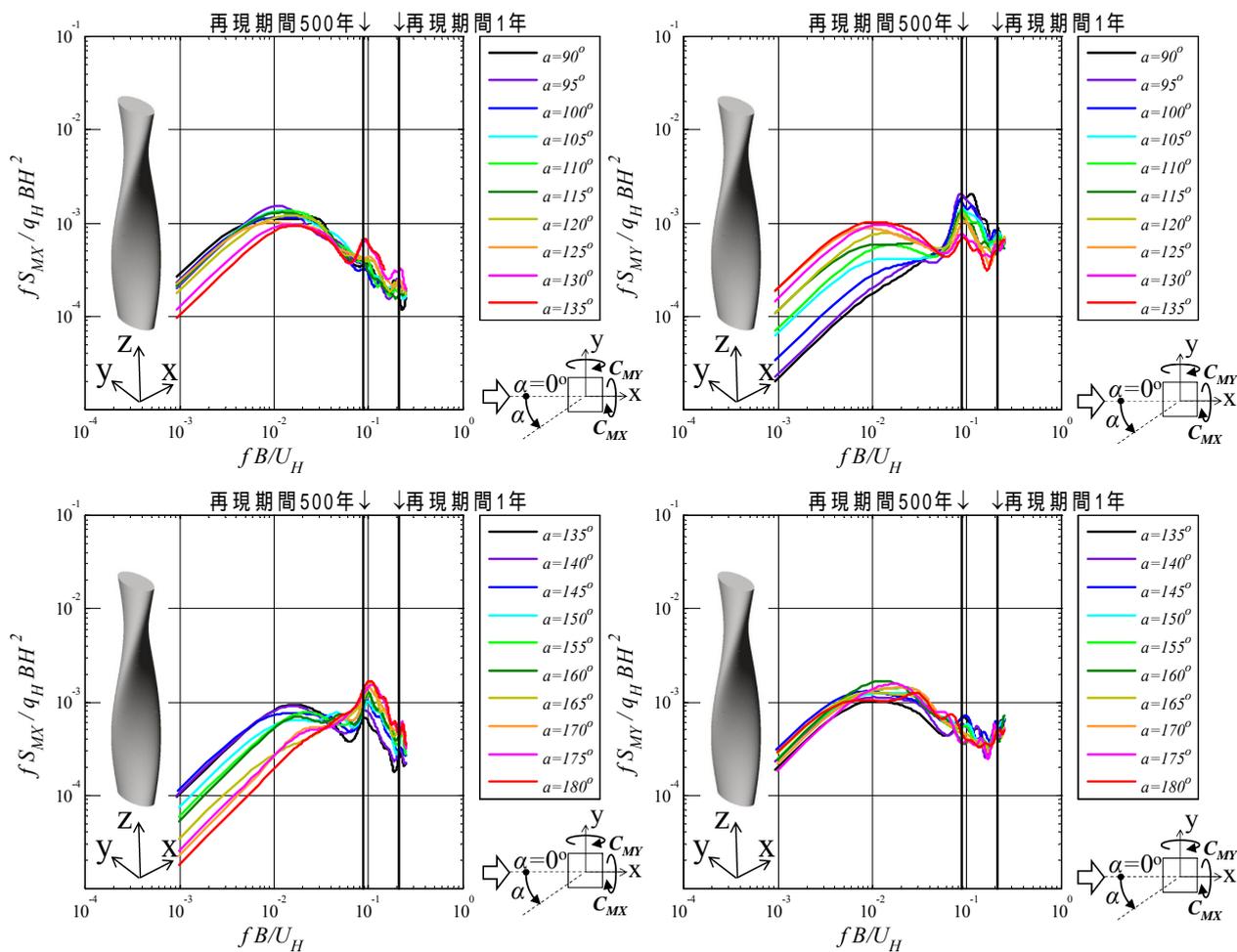
(f) 180° Helical Ellipse



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.51(1) 180° Helical Ellipse の変動風力のパワースペクトル密度



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

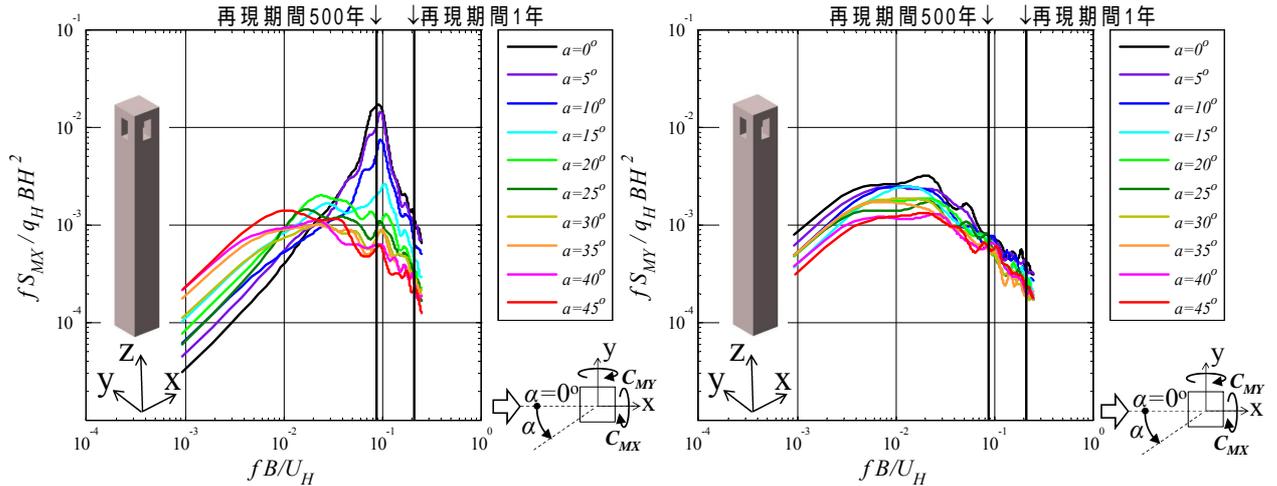
図 7.3.51(2) 180° Helical Ellipse の変動風力のパワースペクトル密度

(6) Void (開口のある建物形状)

Cross void, Oblique void とともに開口長さ L/H が大きくなるに伴ってパワースペクトルの最大値は小さくなる。特に Cross void では, $L/H=11/24$ において鋭く明確なピークは認められない(図 7.3.52 ~ 図 7.3.57)。

3-Circle では, 開口長さが大きいにもかかわらず, 鋭く明確なピークが風向角 $\alpha=45^\circ \sim 60^\circ$ で大きく, $\alpha=60^\circ$ の Y 軸周りの転倒モーメントで最大値を示す。(図 7.3.58(b))。

(a) Cross void $L/H=2/24$

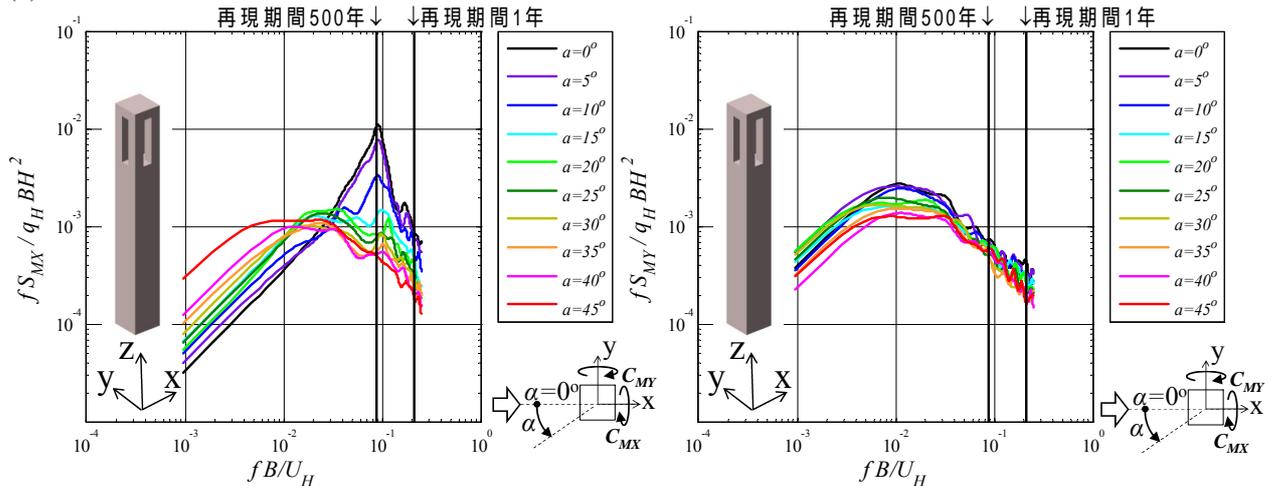


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.52 Cross void $L/H=2/24$ の変動風力のパワースペクトル密度

(b) Cross void $L/H=5/24$

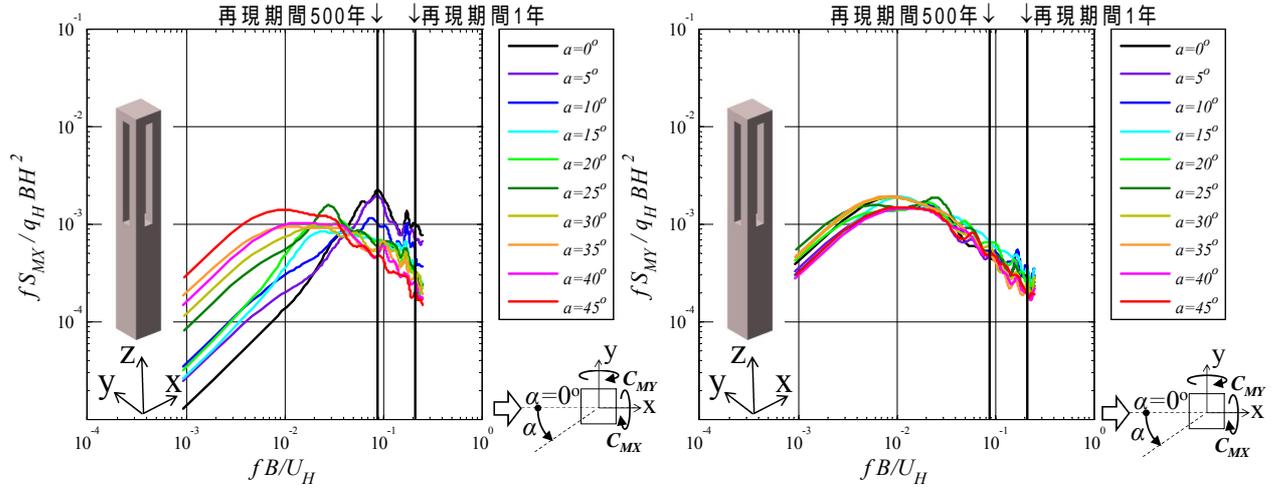


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.53 Cross void $L/H=5/24$ の変動風力のパワースペクトル密度

(c) Cross void $L/H=11/24$

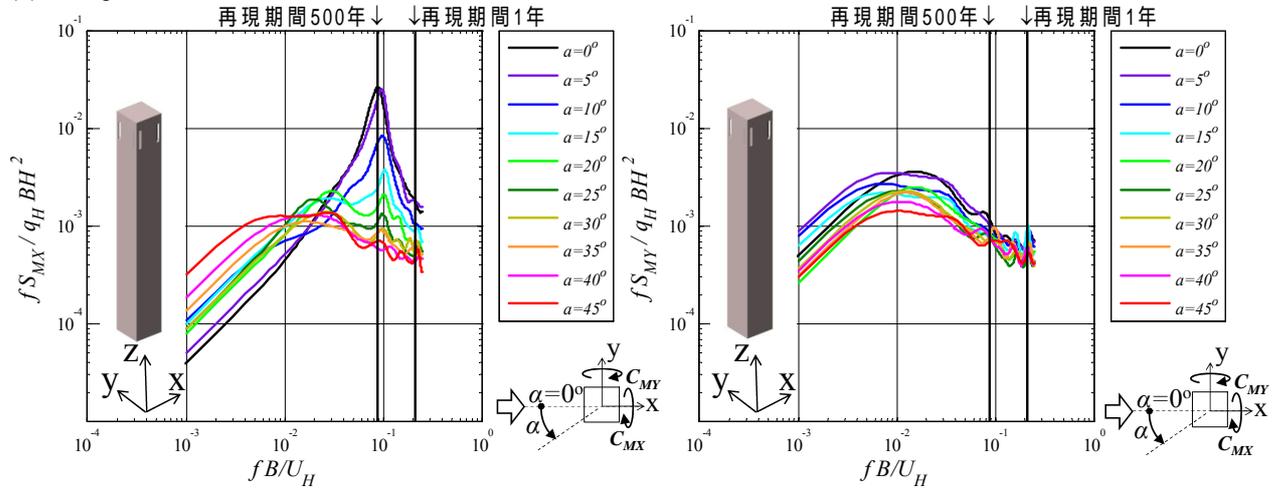


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.54 Cross void $L/H=11/24$ の変動風力のパワースペクトル密度

(d) Oblique void $L/H=2/24$

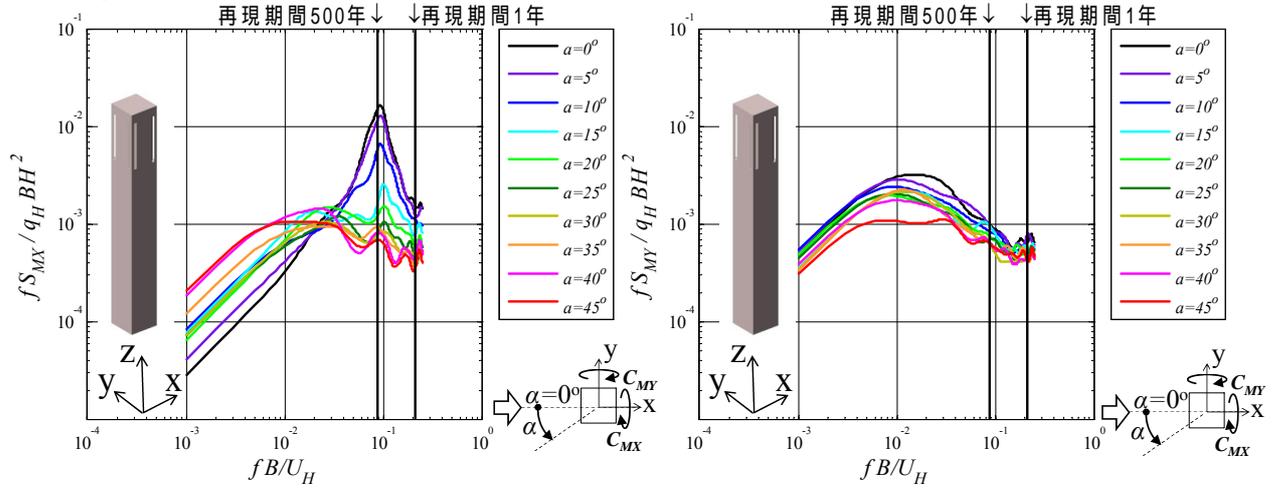


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.55 Oblique void $L/H=2/24$ の変動風力のパワースペクトル密度

(e) Oblique void $L/H=5/24$

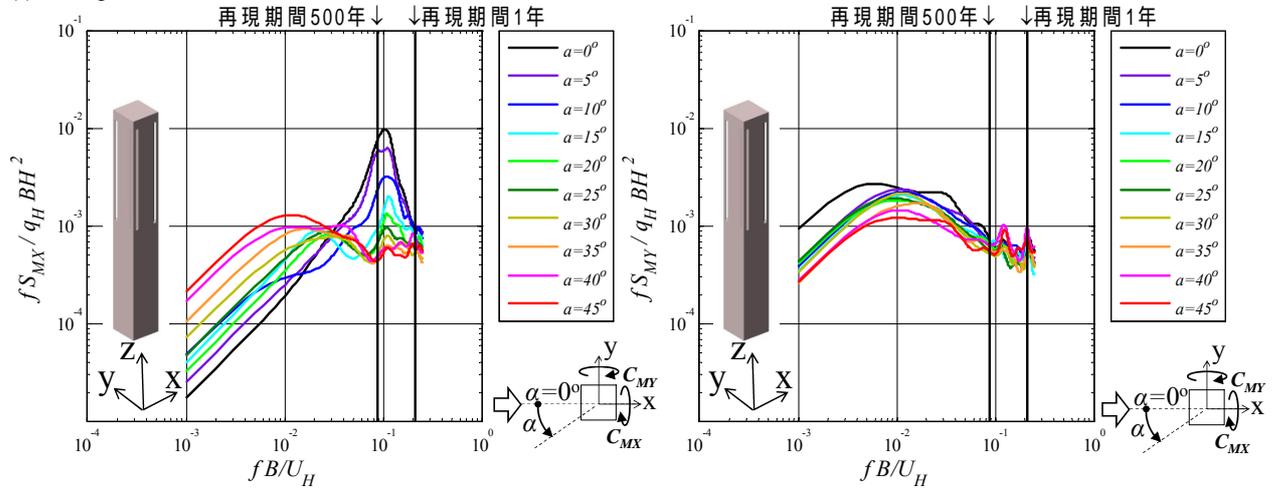


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.56 Oblique void $L/H=5/24$ の変動風力のパワースペクトル密度

(f) Oblique void $L/H=11/24$

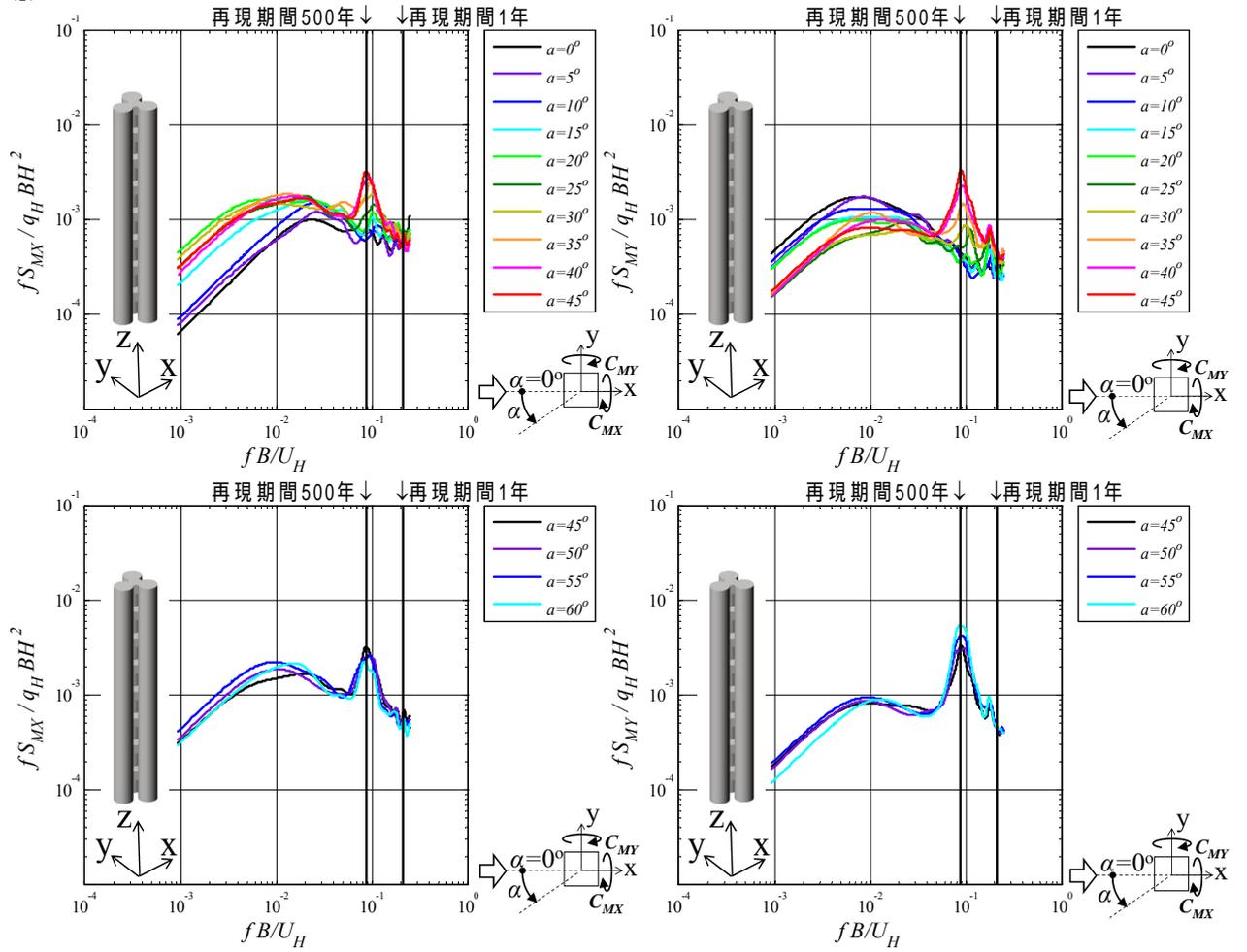


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.57 Oblique void $L/H=5/24$ の変動風力のパワースペクトル密度

(g) 3-Circle



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.58 3-Circle の変動風力のパワースペクトル密度

(7) Combination (各形状を組合せた建物形状)

Corner cut & 360° Helical では、360° Helical Square(図 7.3.49)に比べ、ピークの最大値が大きくなっており、Corner cut と Helical の組合せによって、特性が悪化している(図 7.3.59)。

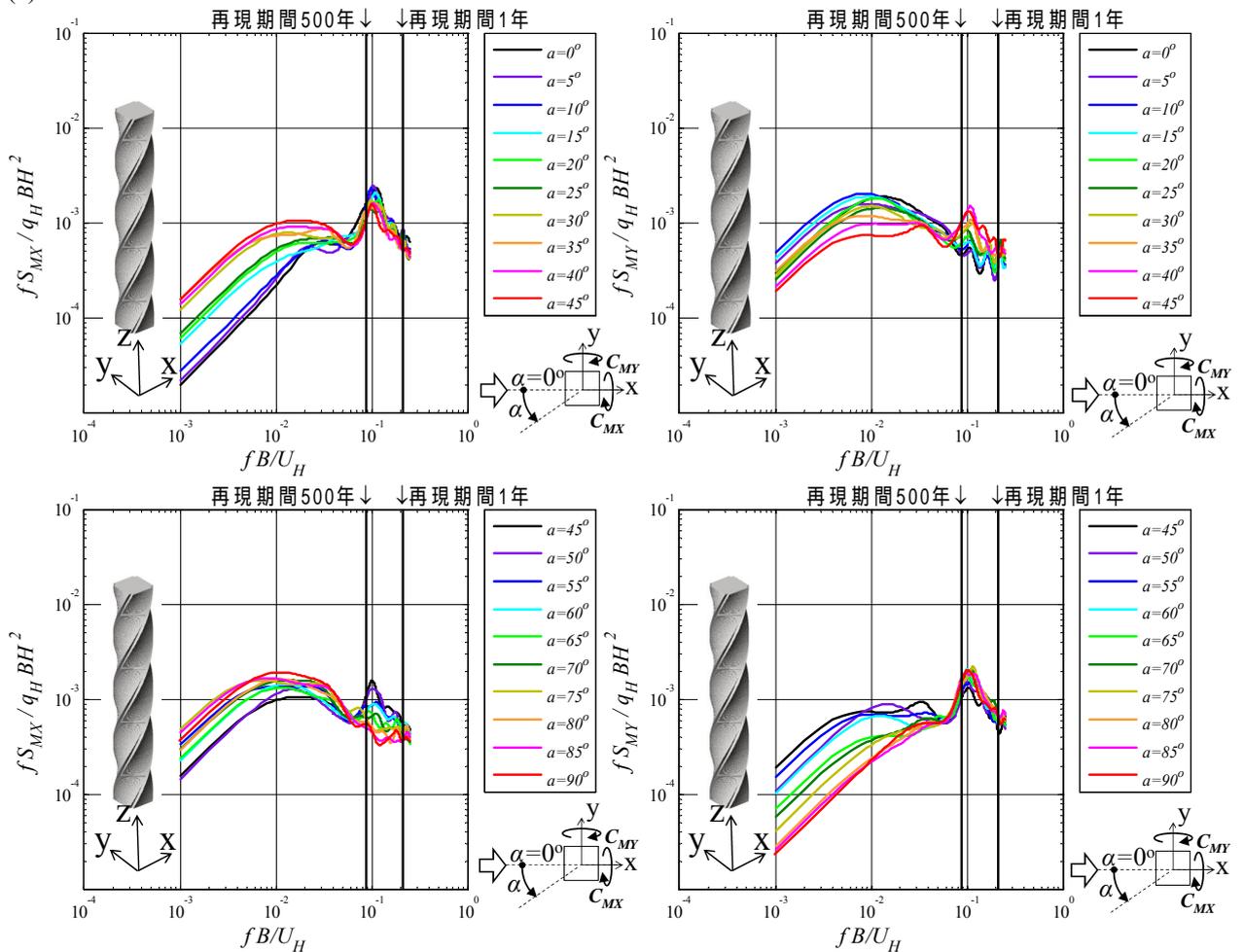
Corner cut & 4-Tapered & 360° Helical では、ピークは全く生じておらず、組合せによる効果がある(図 7.3.60)。また、前述のように Corner cut と Helical の組合せが特性を悪化させていることを考慮すると、4-Tapered と Helical だけの組合せでも、風に対する安全性は十分に向上すると考えられる。

Setback & Corner cut では、Setback 単独の場合や Corner cut 単独の場合よりもパワースペクトルの最大値は小さくなっており、風に対する安全性は単独の場合よりも向上すると考えられる(図 7.3.61)。

Setback & 135° Helical では、ピークは全く生じておらず、組合せによる効果がある(図 7.3.62)。

Cross-Section Change & 180° Helical では、180° Helical Ellipse(図 7.3.51)に比べ、ピークが明確であり、ピークの最大値も大きくなる傾向にあるため特性が悪化している(図 7.3.63)。

(a) Corner cut & 360° Helical

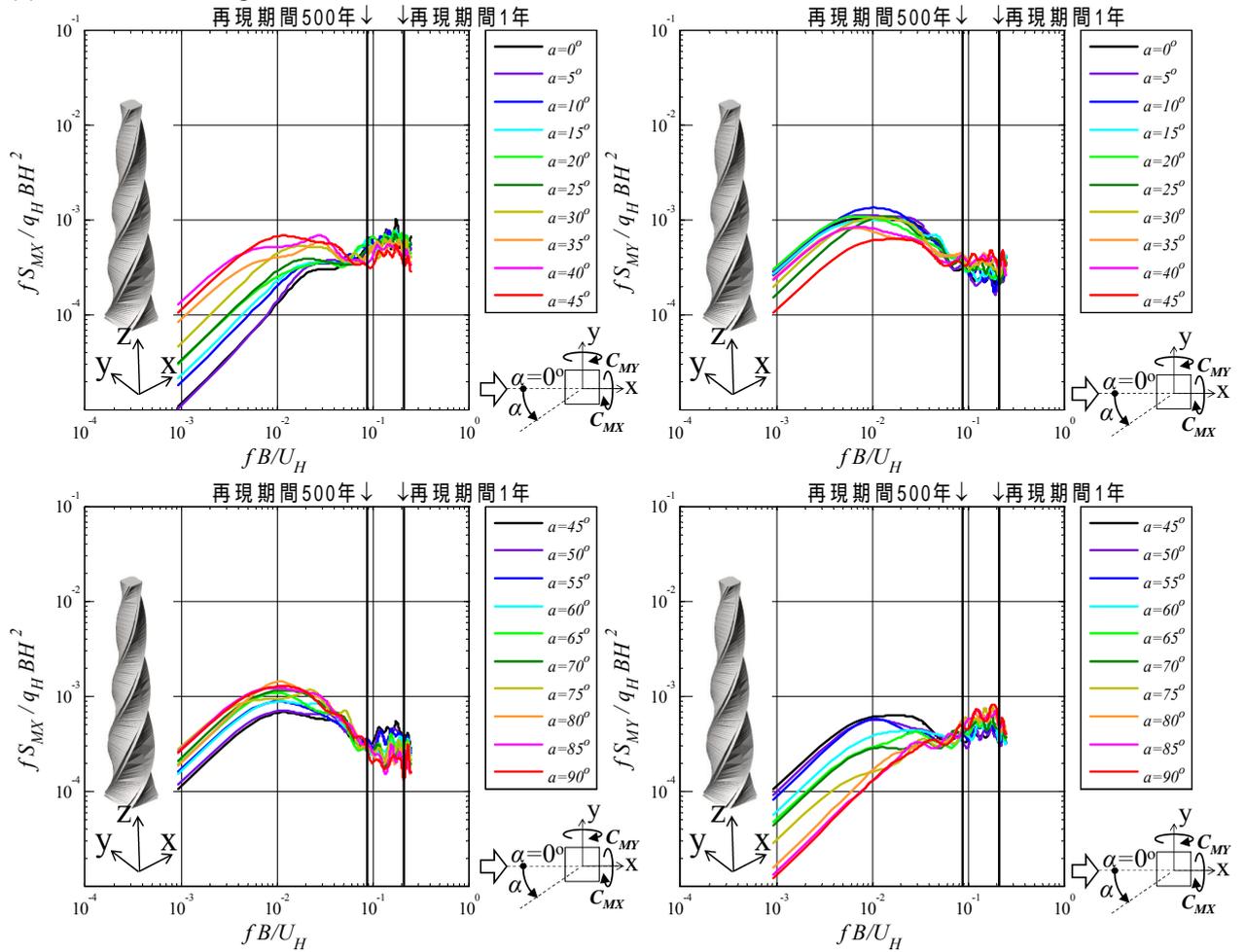


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.59 Corner cut & 360° Helical の変動風力のパワースペクトル密度

(b) Corner cut & 4-Tapered & 360° Helical

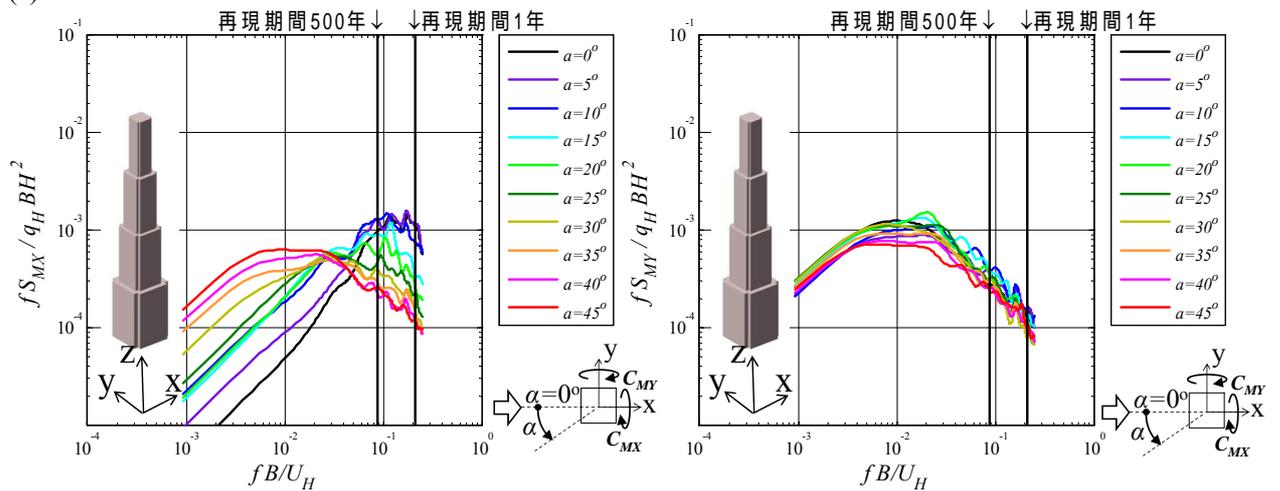


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.60 Corner cut & 4-Tapered & 360° Helical の変動風力のパワースペクトル密度

(c) Setback & Corner cut

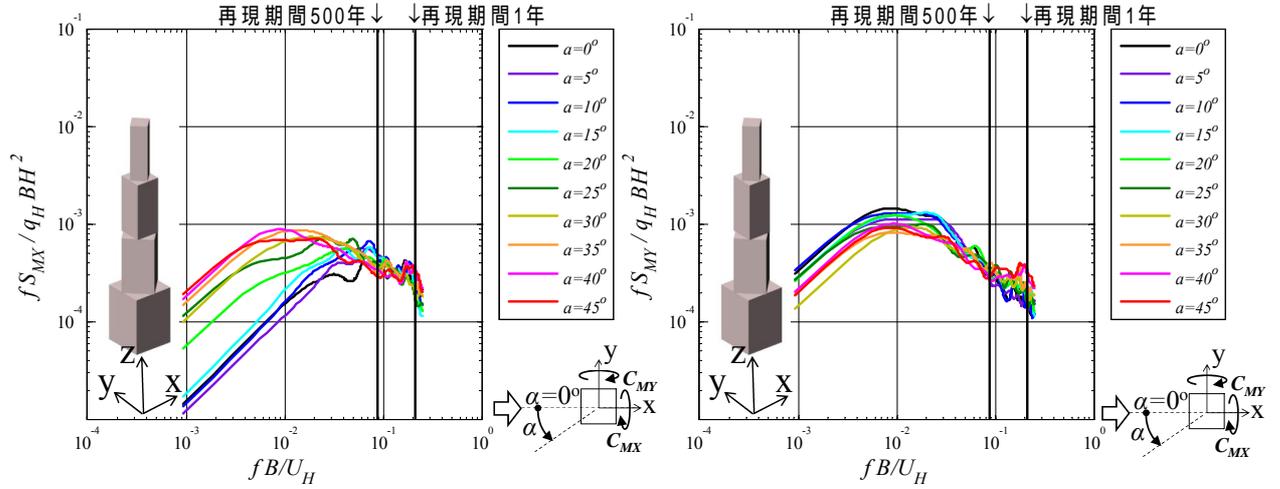


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.61 Setback & Corner cut の変動風力のパワースペクトル密度

(d) Setback & 135° Helical

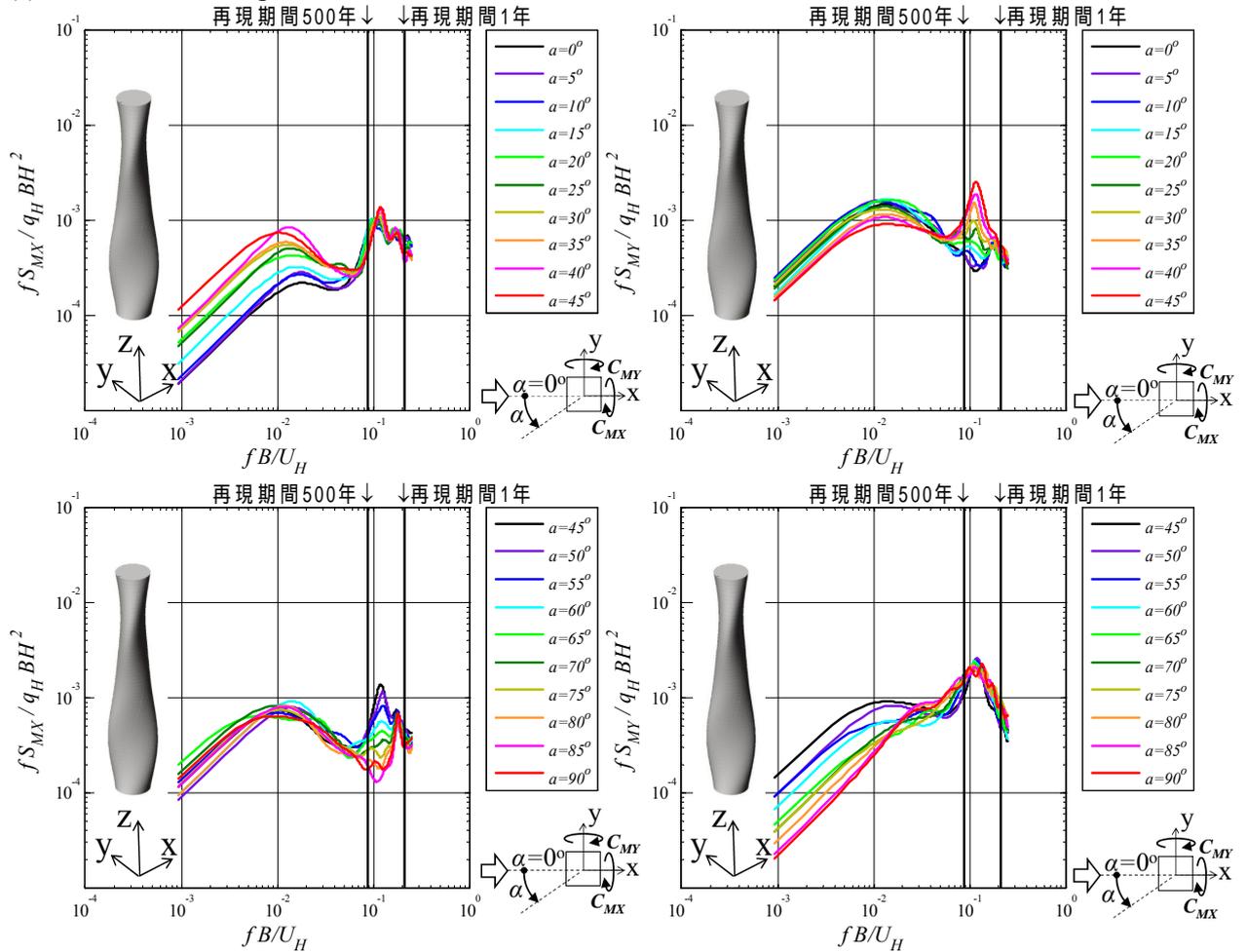


(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.62 Setback & 135° Helical の変動風力のパワースペクトル密度

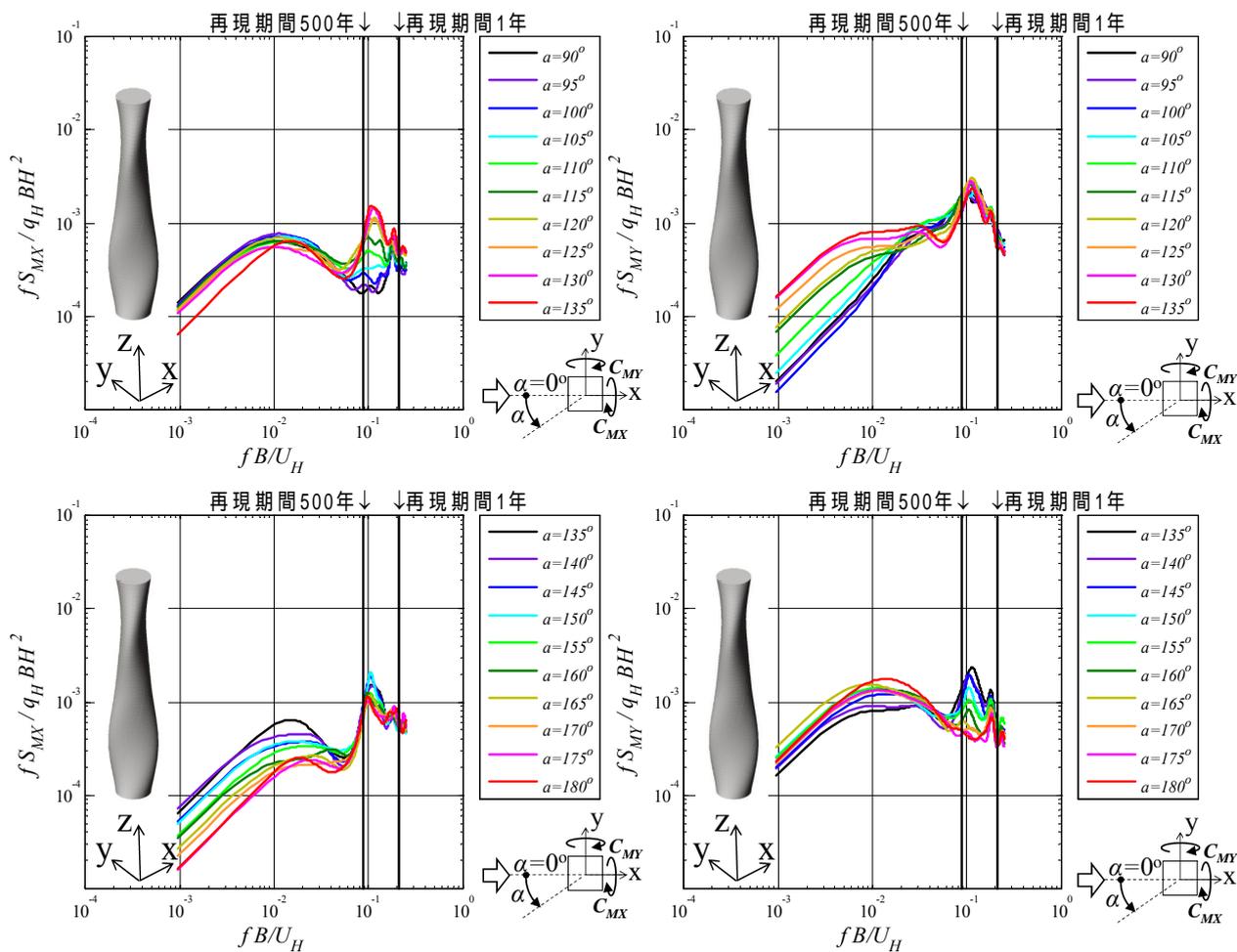
(e) Cross-Section Change & 180° Helical



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.63(1) Cross-section change & 180° Helical の変動風力のパワースペクトル密度



(a) X 軸周り転倒モーメント

(b) Y 軸周り転倒モーメント

図 7.3.63(2) Cross-section change & 180° Helical の変動風力のパワースペクトル密度

7.3.5 まとめ

表 7.3.2～表 7.3.16 に示した各建物形状の平均風力係数の絶対値の最大値を図 6.3.64 に示す。また、図 6.3.64 ではその最大値が小さい上位の建物形状については順位も併せて記載している。Setback と Corner cut を組み合わせた形状が最も小さく、それぞれ単独でもそれらの形状は平均風力係数の低減に有効である。また、Circle の特性も良い。

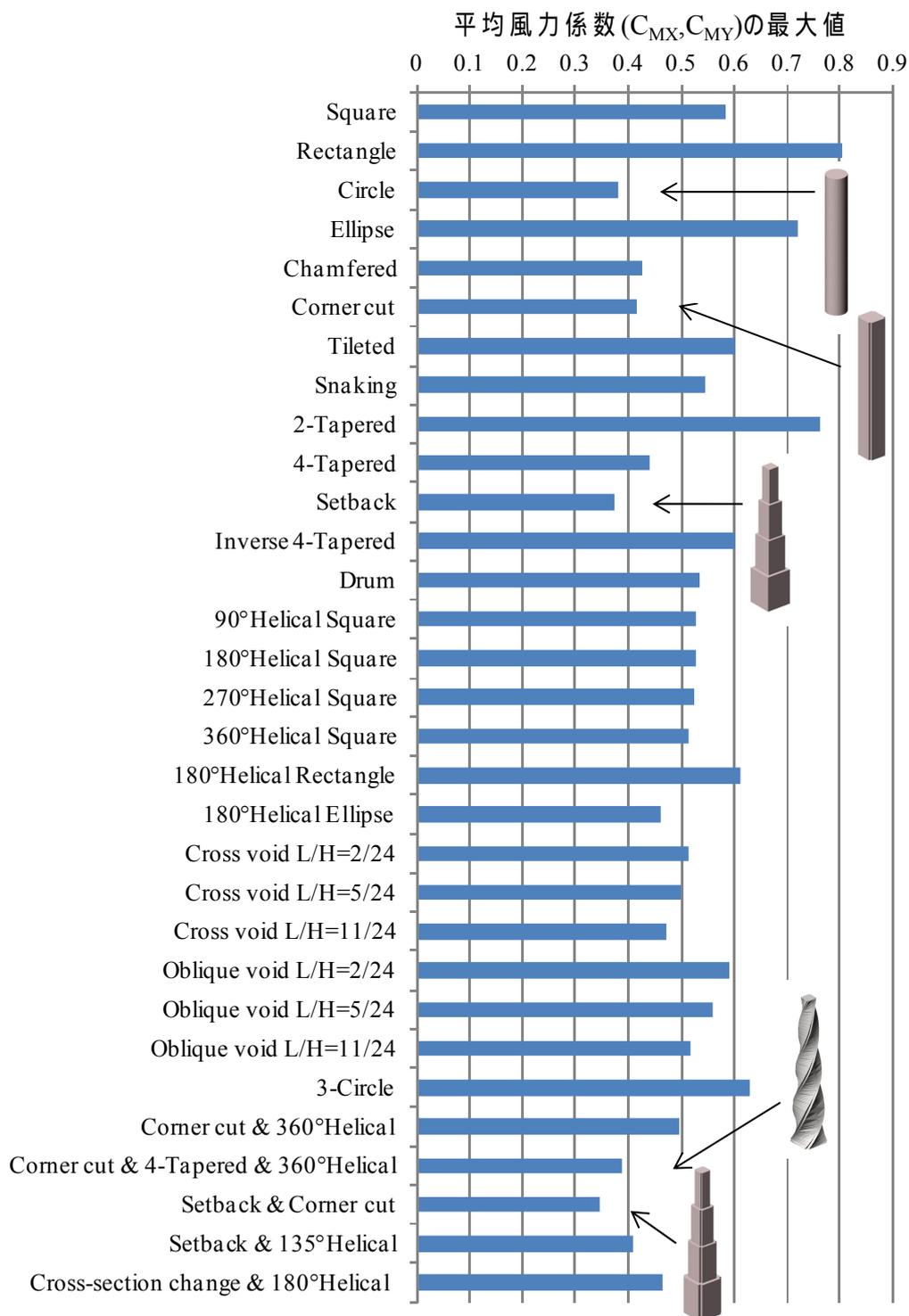


図 7.3.64 各種建物形状の平均風力係数の最大値比較

表 7.3.2～表 7.3.16 に示した各建物形状の変動風力係数の最大値を図 6.3.65 に示す。また、図 6.3.65 ではその最大値が小さい上位の建物形状については順位も併せて記載している。変動風力係数については、Setback や Tapered を組み合わせた形状の順位が高く、それぞれ単独でもそれらの形状は変動風力係数の低減に有効である。また、Circle の特性はやはり良い。

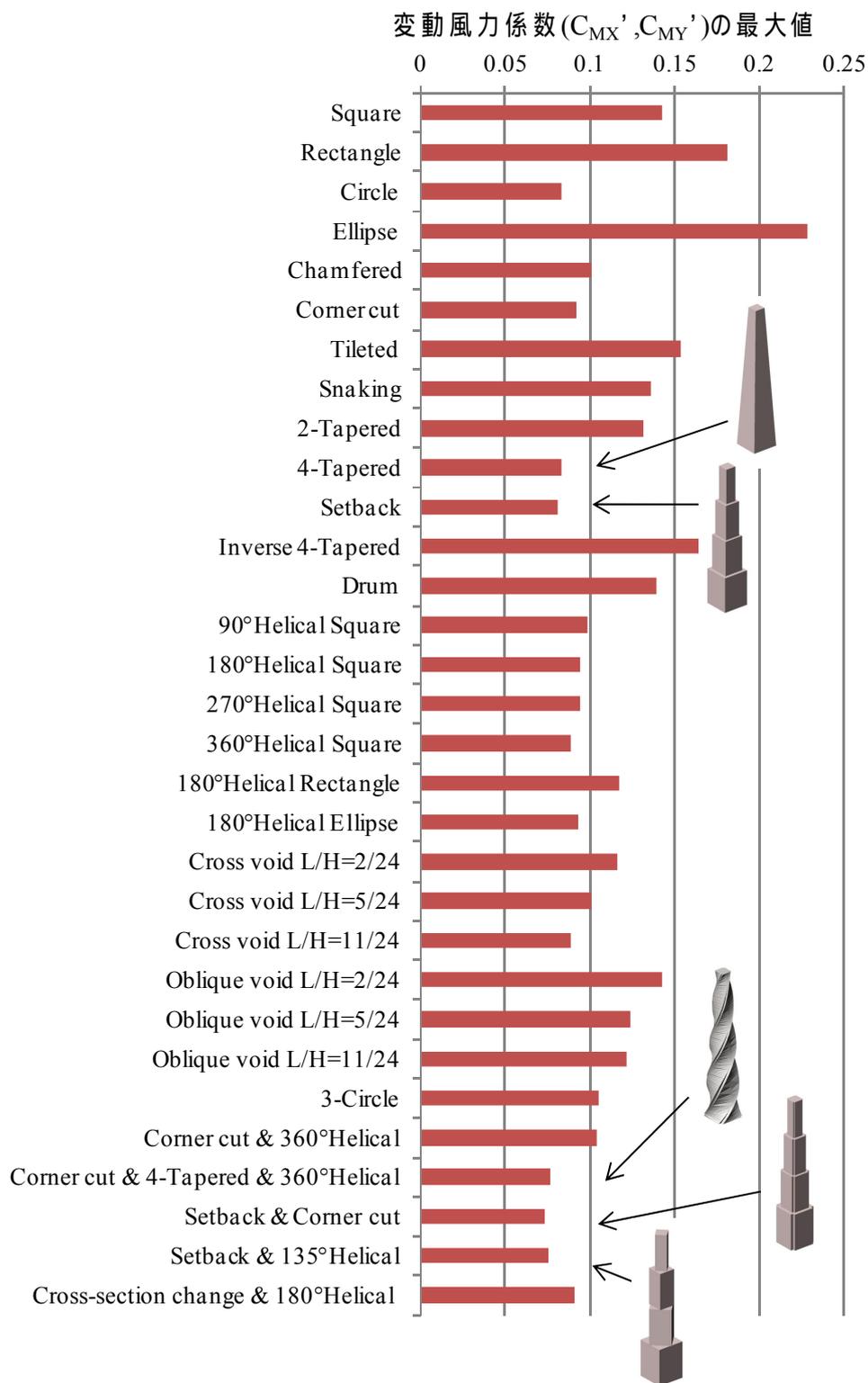


図 7.3.65 各種建物形状の変動風力係数の最大値比較

図 7.3.33 ~ 図 7.3.63 に示した各建物形状のパワースペクトル密度において、再現期間 500 年の風速範囲内におけるパワースペクトル密度(平方根)の最大値を図 6.3.66 に示す。また、図 6.3.66 ではその最大値が小さい上位の建物形状については順位も併せて記載している。Setback や Tapered を組み合わせた形状の順位が変動風力係数の場合と同様に高く、それぞれ単独でもそれらの形状は変動風力係数の低減に有効である。Setback や Tapered 以外では、上位 2 形状は Helical の要素が組合せられており、Helical 単独であっても上位に入っていることから Helical による効果は非常に大きいと考えられる。

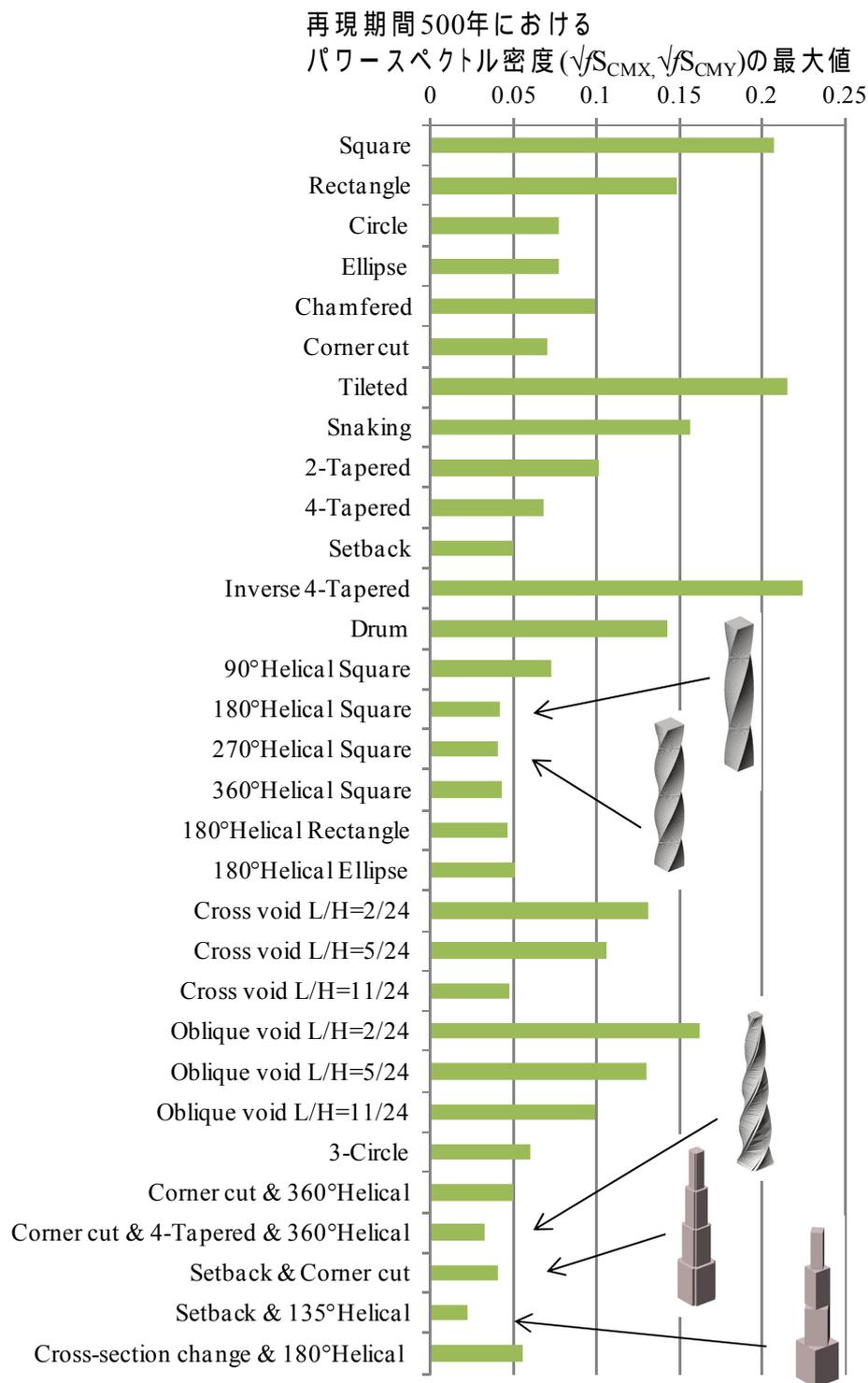


図 7.3.66 各種建物形状の再現期間 500 年の風速におけるパワースペクトル密度の最大値比較

7.4 空力特性に関する詳細検討（平成 21 年度実施）

前節 7.3 で実施した風力測定の結果から，風に対する特性が特徴的な建物形態を抽出し，その建物模型表面に作用する風圧を測定することで詳細な検討を行った。建物形態の抽出の際に考慮した点は以下である。

基本形状である Square と Circle は抽出する。

図 7.3.64～図 7.3.66 の結果で上位の建物形態である。

複数の要素を組み合わせた建物形態は除外する。

さらに 7.7 で提案された建築モデル A 案と B 案の建物形態についても前述の 9 体と同様の評価を行い，比較した。本節では，その風圧測定実験の概要と結果について述べる。

7.4.1 実験概要

建物形状は風力測定の結果から風圧実験のために抽出した建物形態は，基本形状である Square と Circle，平均風力係数や変動風力係数の低減に効果のある Chamfered, Corner cut, 4-Tapered, Setback, パワースペクトル密度の最大値の低減に効果のある 90°Helical Square, 180°Helical Square, Cross void の 9 ケースを抽出した(図 7.4.1 参照)。また，図 7.4.2 には建築モデル A 案と B 案の建物形態を示す。

基本形状である Square の風圧測定点は，各辺に 5 点（低層 2 レベルは 3 点）を配し，各レベル 20 点，高さ方向に 10 レベルの合計 184 点とした。その他の形状の測定点も基本的には Square に倣い，図 7.4.1 のように配した。座標系および風洞気流は風力測定と同じである。ただし，建物頂部での風洞風速は 11.8m/s である。実験風向は頂部の一辺に正対する風向を風向角 $\alpha=0^\circ$ とし， 35° まで 5° ピッチの 72 風向である。各測定点の風圧力は長さ 80cm のビニールチューブを介して圧力変換器に導き，全点同時に測定した。収録条件はサンプリング間隔 1kHz，ローパスフィルター 500Hz，データ数 32768 であり，収録後にチューブの圧力伝達特性に基づいて補正した。

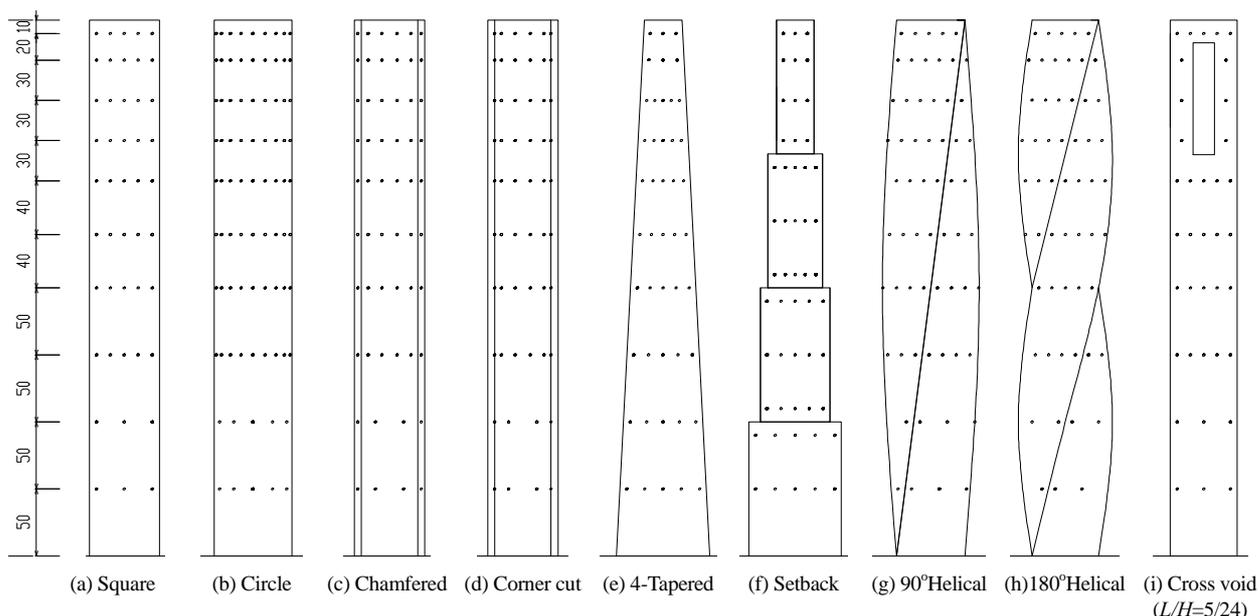


図 7.4.1 風圧実験模型

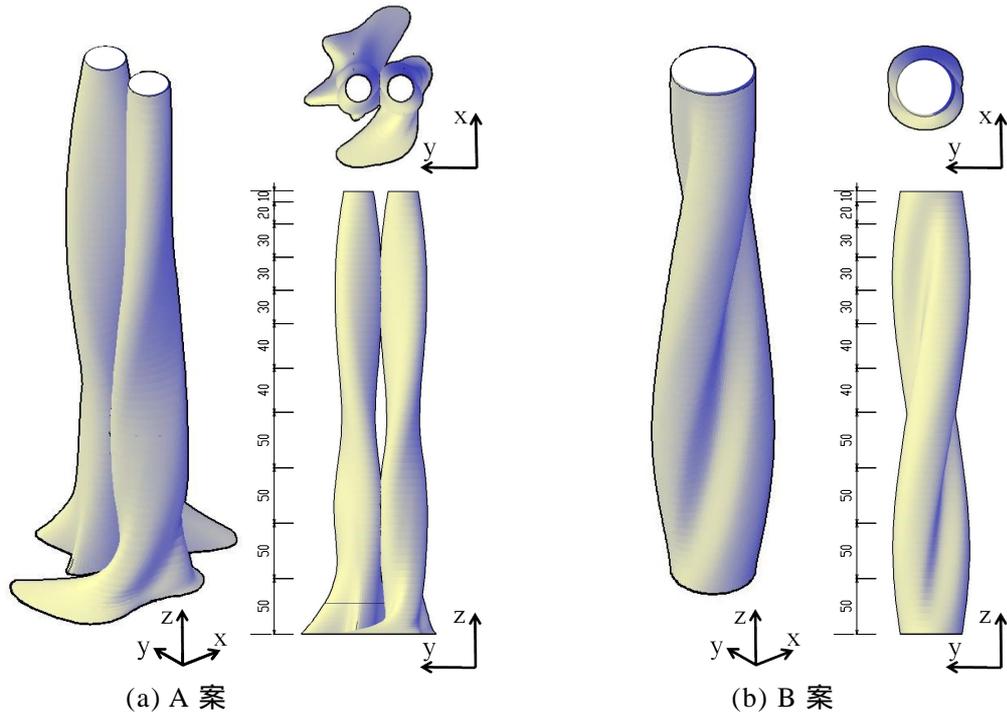


図 7.4.2 建築モデル A 案と B 案の圧力実験模型

7.4.2 層風力係数と全体風力係数の算出

層風力係数の時刻歴データは(7.4.1)～(7.4.4)式に示すように風圧係数の時刻歴データに分担幅を乗じて算定した。

$$C_{p,i}(t) = \frac{P_i(t)}{1/2 \rho U_H^2} \text{-----(7.4.1)}$$

$$C_{fX}(t) = \frac{\sum_i C_{p,i}(t) \cdot b_i \cdot \cos \theta_i}{B} \text{-----(7.4.2)}$$

$$C_{fY}(t) = \frac{\sum_i C_{p,i}(t) \cdot b_i \cdot \sin \theta_i}{B} \text{-----(7.4.3)}$$

$$C_{mZ}(t) = \frac{\sum_i C_{p,i}(t) \cdot b_i \cdot l_i}{B^2} \text{-----(7.4.4)}$$

ここで、

- $C_{p,i}(t)$: 測定点 i の外圧係数の時刻歴データ
- $P_i(t)$: 測定点 i で測定された外圧の時刻歴データ (Pa)
- ρ : 空気密度 (1.22kg/m^3)
- U_H : 建物高さ H での平均風速(m/s)
- $C_{fX}(t), C_{fY}(t), C_{mZ}(t)$: 層風力係数の時刻歴データ

- b_i : 測定点 i の分担幅(m)
- θ_i : 測定点 i に作用する風圧力と X 方向のなす角度
- B : 基本形状 Square の建物幅
- l_i : 測定点 i に作用する風圧力から剛心までの距離(= $B/2$), (m)

建物全体に作用する全体風力係数は、(7.4.2)～(7.4.4)式に示した層風力係数に分担高さを乗じ、(7.4.5)～(7.4.7)式より算定した。

$$C_{FX}(t) = \sum_j C_{fX,j}(t) \cdot h_j / \sum_j h_j \text{-----} (7.4.5)$$

$$C_{FY}(t) = \sum_j C_{fY,j}(t) \cdot h_j / \sum_j h_j \text{-----} (7.4.6)$$

$$C_{MZ}(t) = \sum_j C_{mZ,j}(t) \cdot h_j / \sum_j h_j \text{-----} (7.4.7)$$

ここに、

- $C_{FX}(t), C_{FY}(t), C_{MZ}(t)$: 全体風力係数の時刻歴データ
- $C_{fX,j}(t), C_{fY,j}(t), C_{mZ,j}(t)$: j 階の層風力係数の時刻歴データ
- h_j : j 階の分担高さ (m)

応答解析に用いる 1 次一般化風力係数の時刻歴データは、(7.4.2)～(7.4.4)式に示した層風力係数の時刻歴データと各方向の 1 次振動モードを用い、(7.4.8)～(7.4.10)式より算定した。

$$C_{1Fx}(t) = \sum_j C_{fX,j}(t) \cdot h_j \cdot 1u_{x,j} / \sum_j h_j \text{-----} (7.4.8)$$

$$C_{1Fy}(t) = \sum_j C_{fY,j}(t) \cdot h_j \cdot 1u_{y,j} / \sum_j h_j \text{-----} (7.4.8)$$

$$C_{1Mz}(t) = \sum_j C_{mZ,j}(t) \cdot h_j \cdot 1u_{\theta,j} / \sum_j h_j \text{-----} (7.4.9)$$

ここに、

- $C_{1Fx}(t), C_{1Fy}(t), C_{1Mz}(t)$: 1 次一般化風力係数の時刻歴データ
- $1u_{x,j}, 1u_{y,j}, 1u_{\theta,j}$: j 階での各方向の 1 次振動モード (ただし、本節では建物頂部で 1.0 の線形モードとした。)

7.4.3 層風力係数および全体風力係数と風向角の関係

各建物形状の層風力係数および全体風力係数と風向角の関係を図 7.4.3～図 7.4.46 に示す。なお、各図に示した層風力の高さは $z/H=0.98, 0.78, 0.50$ (Setback のみ $0.98, 0.73, 0.48$)である。

Chamfered, Corner cut では, Square と同様に高さ方向に平面形状は変化していないが Square よりも X,Y 方向の平均層風力係数, 変動層風力係数に差が表れている。ねじれに関しては平均, 変動ともに各層間で大きな差はない。Chamfered, Corner cut のように隅角部形状を改良することによってねじれの全体平均風力係数と変動風力係数にも低減効果がある。

4-Tapered と Setback では, 高さ方向に平面形状の面積が変化するため, X,Y 方向およびねじれの各層風力係数で, 層間での差が顕著に表れ, 下層ほど平均層風力係数も変動層風力係数も大きくなる。ねじれの全体平均風力係数は Square よりも若干小さいが, 全体変動層風力係数では Square と大差ない。

90°Helical と 180°Helical では, 高さ方向で平面形状がねじれているため, X,Y 方向およびねじれの平均層風力係数, 変動層風力係数は, 各層で最大値を示す風向角が異なる。そのため, 全体風力係数においては各層風力係数間の特性が打ち消され, 風向角による差が他のケースよりも小さい。この傾向は特にねじれにおいて顕著である。

Cross void では, 開口のある $z/H=0.78$ の層風力係数の特性が他の層風力係数と異なるが, 全体の風力係数では Square と大きな違いはない。

A 案では, 各層の風力係数間で Helical 以上の差があるが, 全体風力係数ではそれが効果的に表れていない。扁平な形状であるため X 方向とねじれにおいて Square の平均風力係数を上回っている。

B 案では, 各層の風力係数間で Helical 以上の差があり, 全体風力係数でも Circle に近い特性を示し, A 案よりも良い傾向を示した。

(1) Square

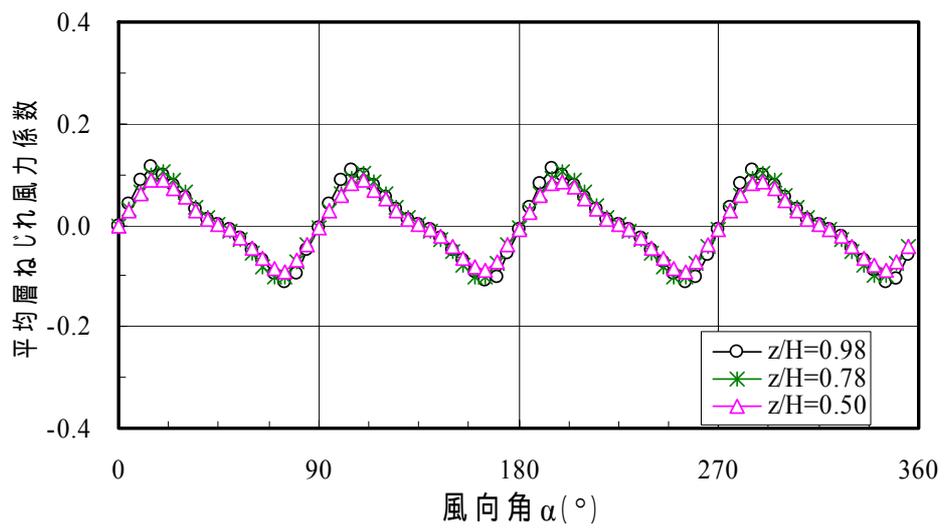
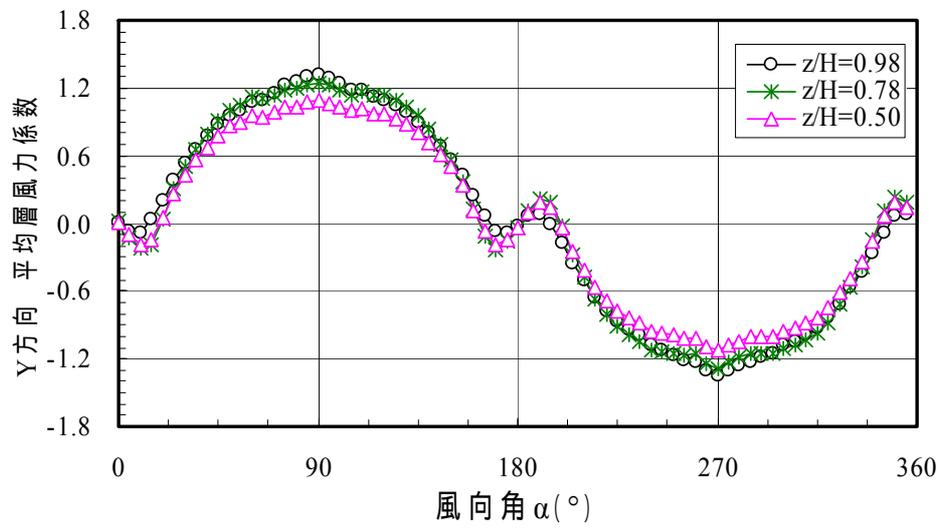
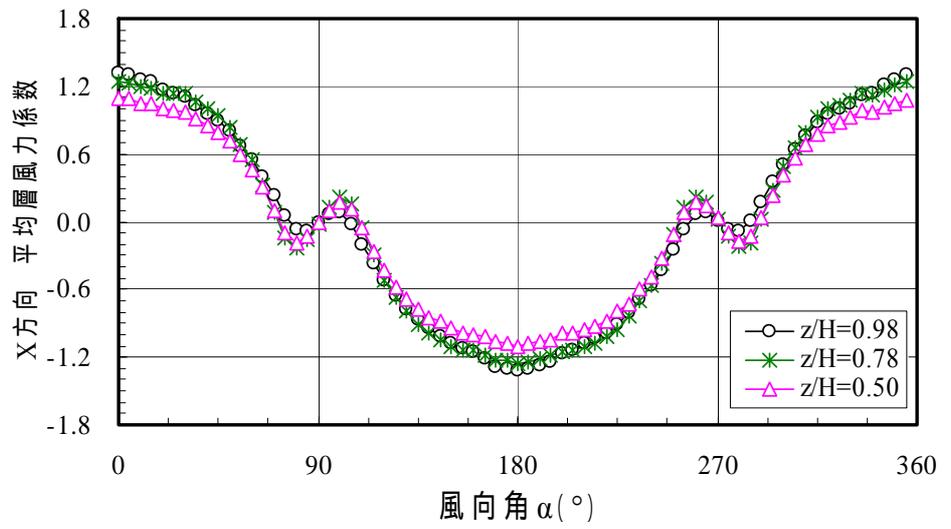


図 7.4.3 Square の平均層風力係数

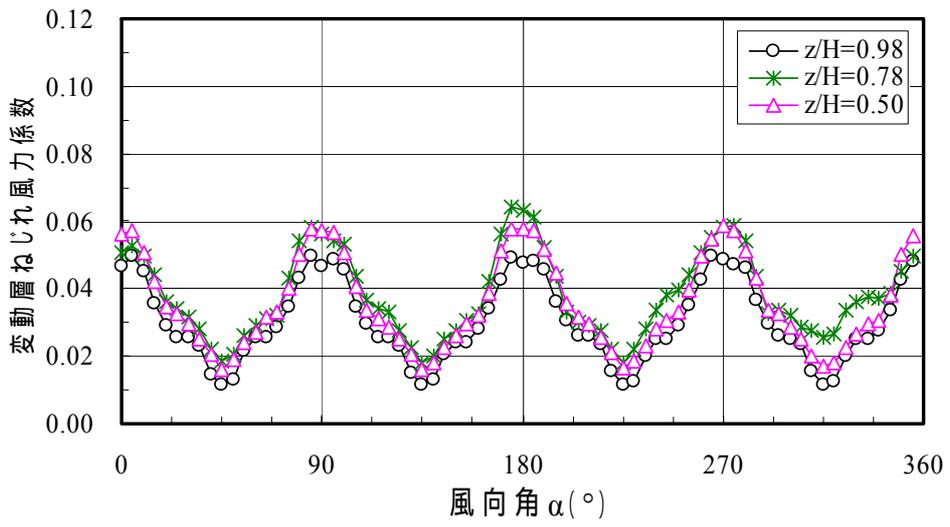
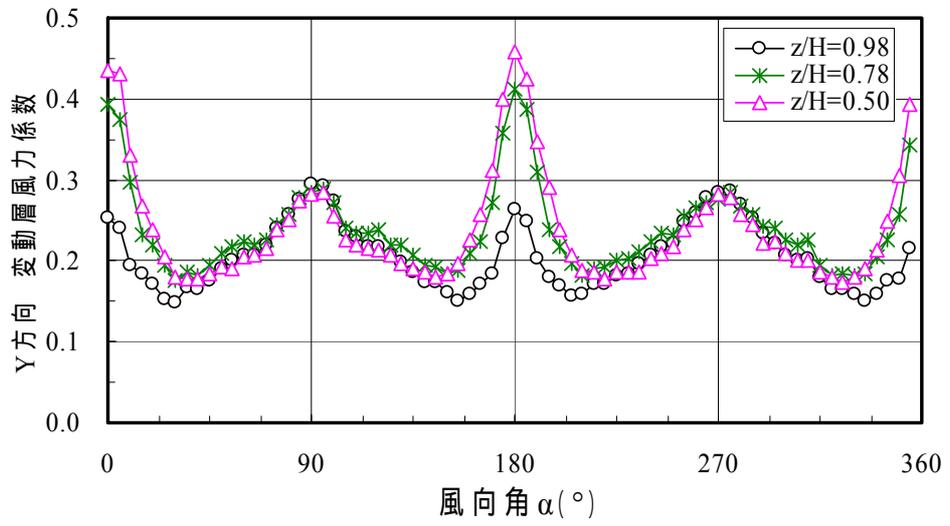
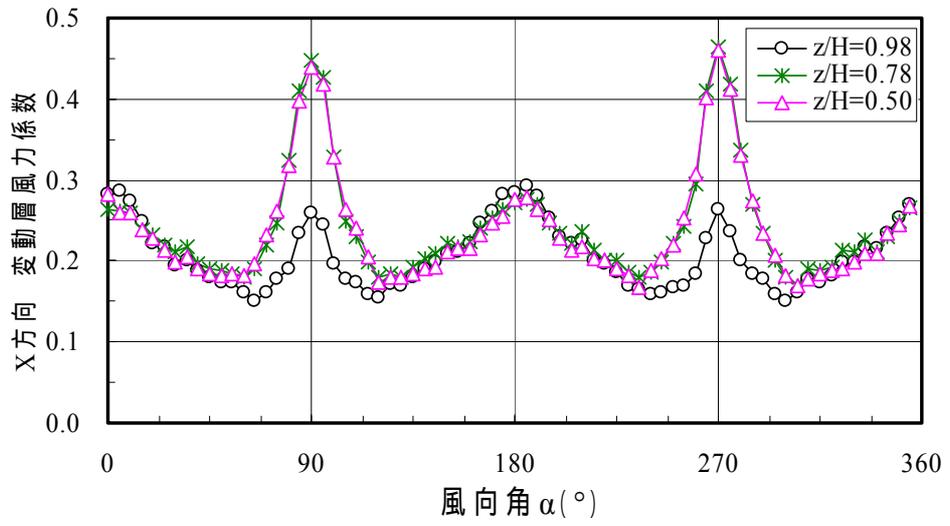


図 7.4.4 Square の変動層風力係数

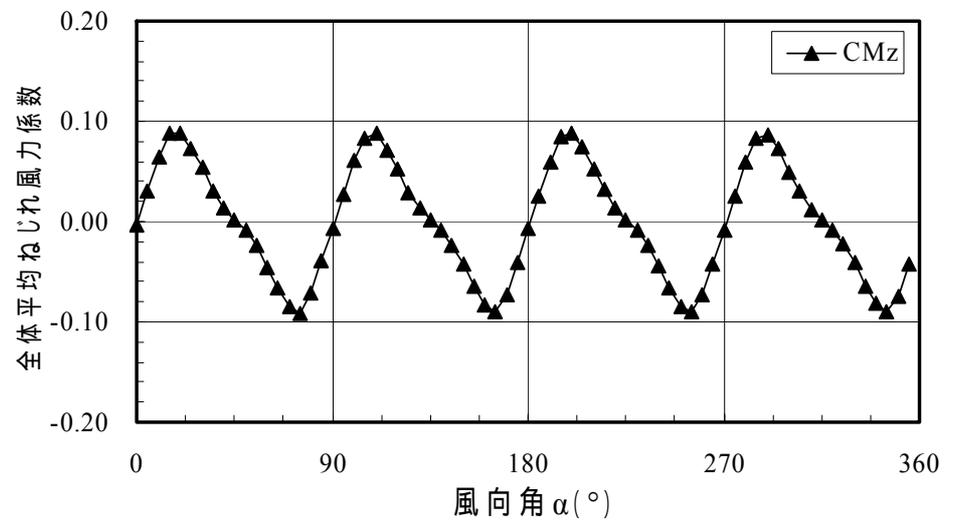
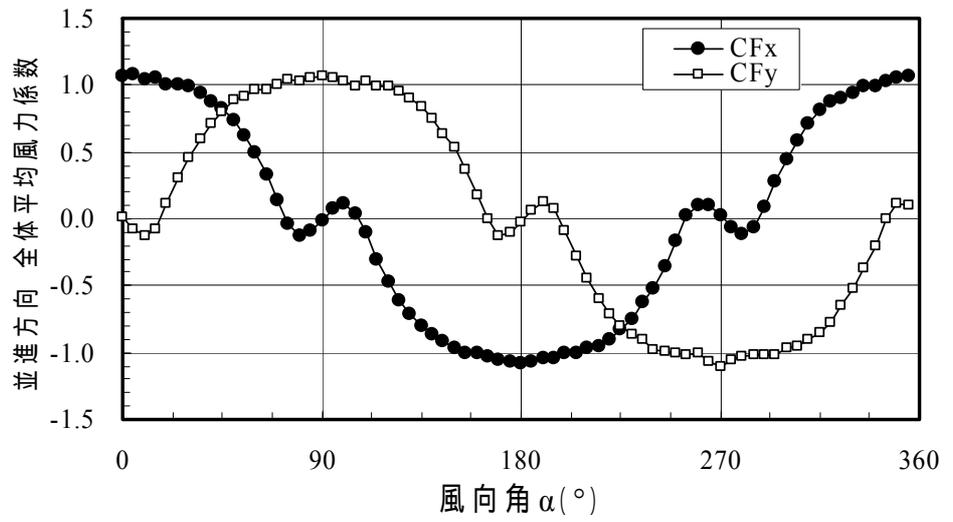
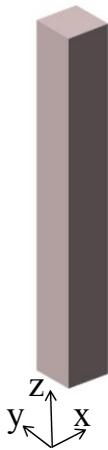


図 7.4.5 Square の全体風力の平均風力係数

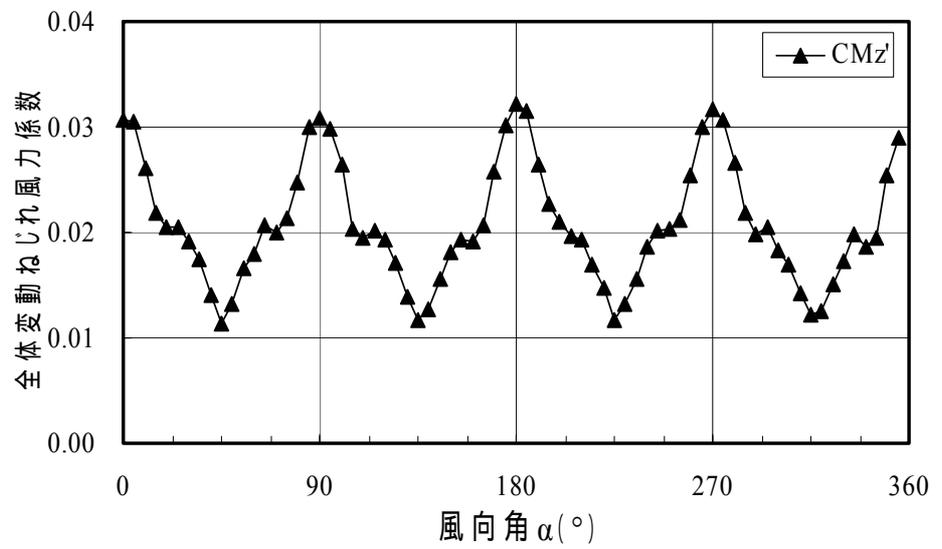
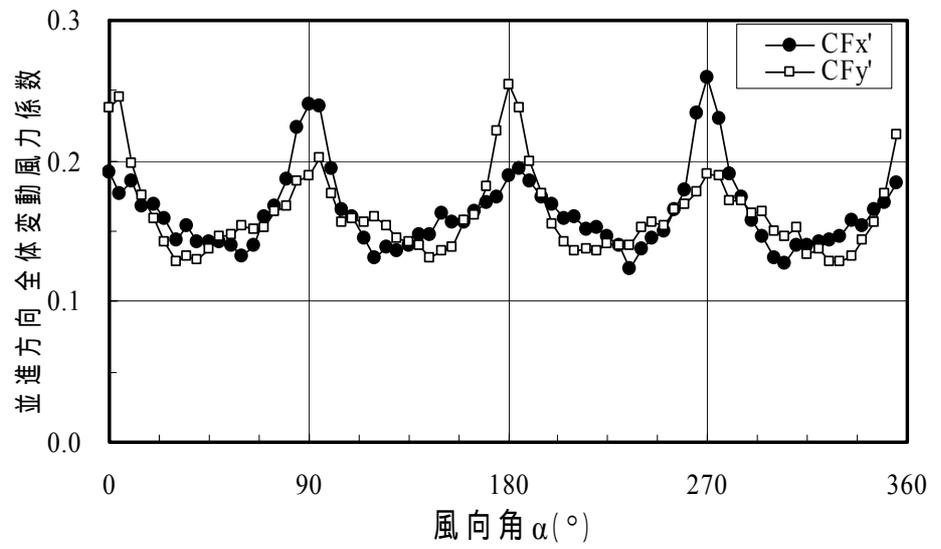


図 7.4.6 Square の全体風力の変動層風力係数

(2) Circle

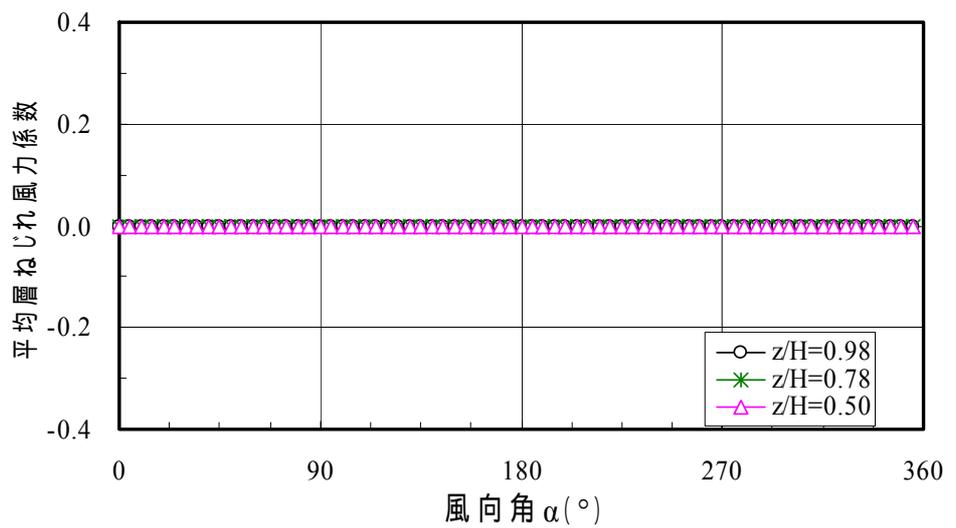
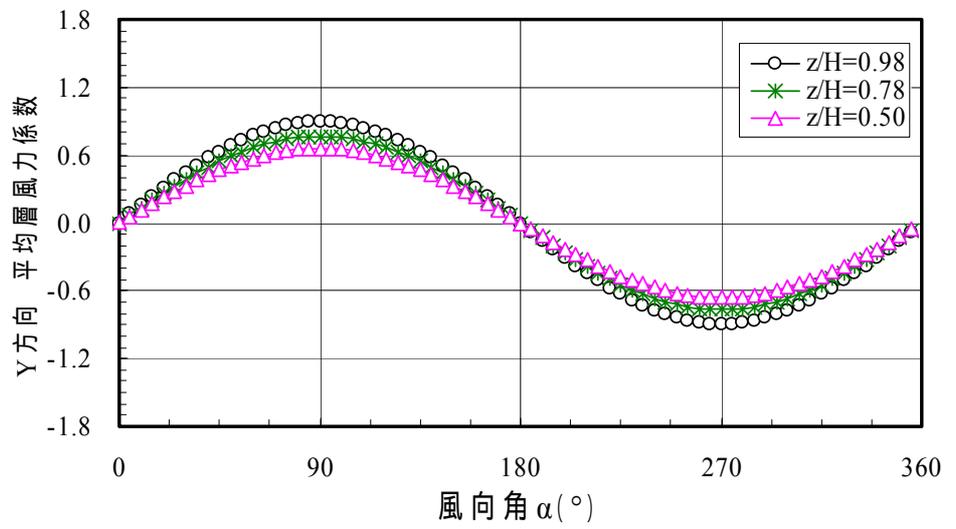
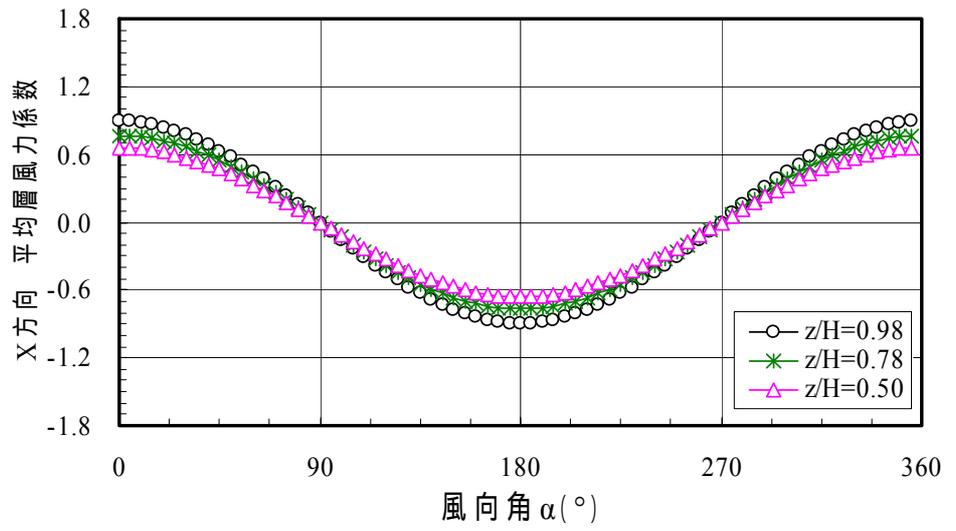


図 7.4.7 Circle の平均層風力係数

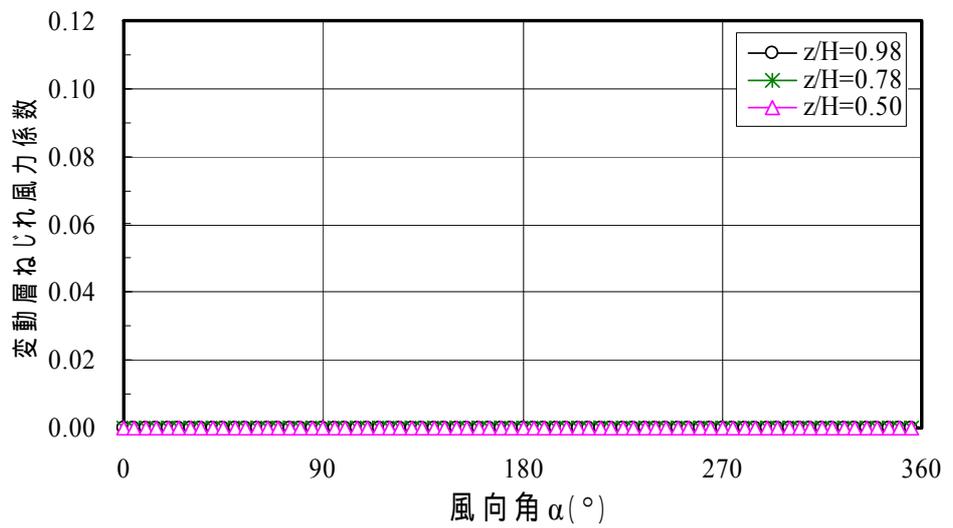
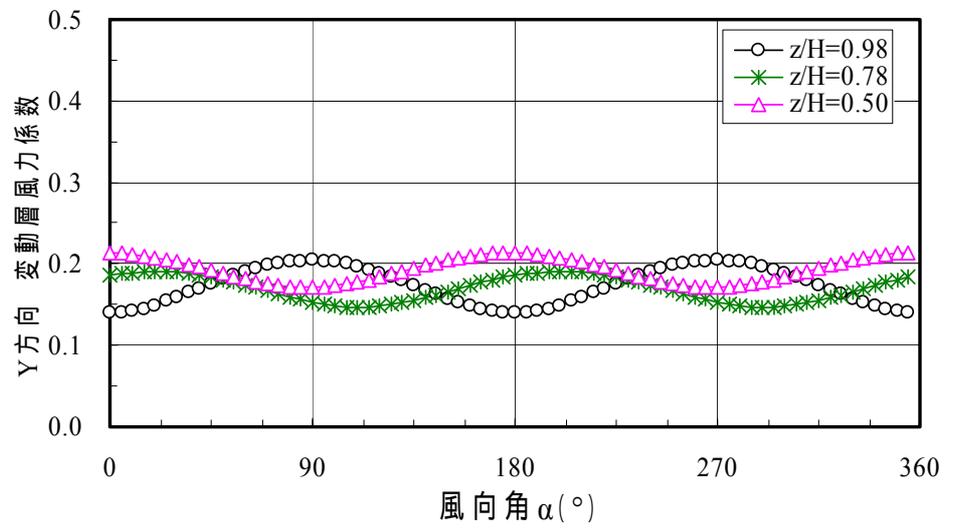
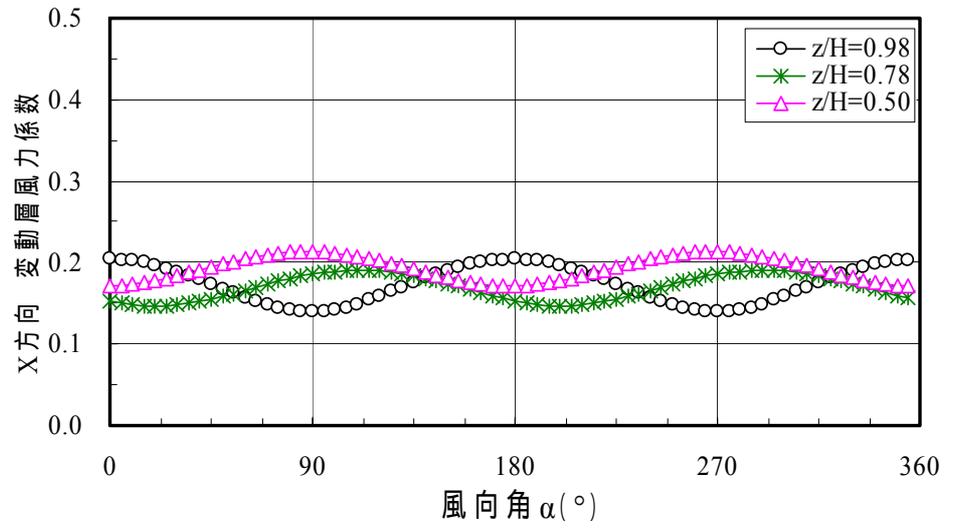


図 7.4.8 Circle の変動層風力係数

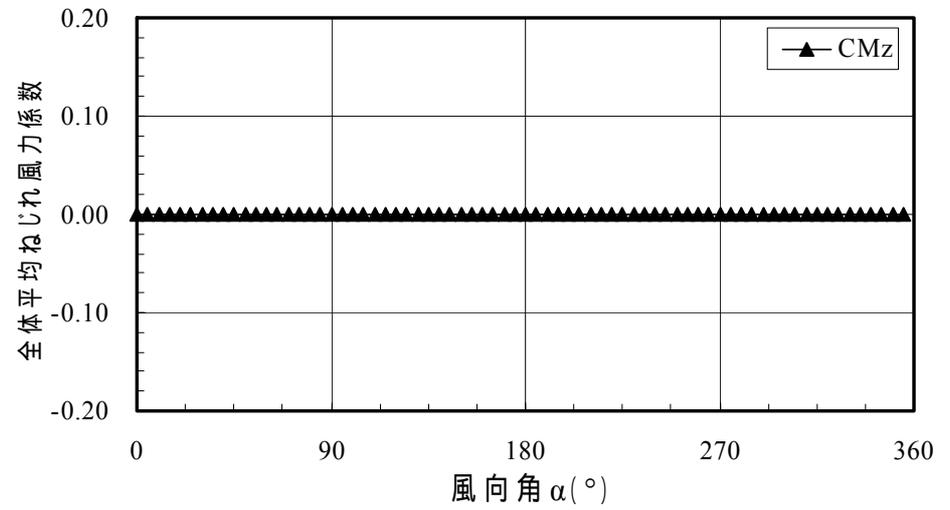
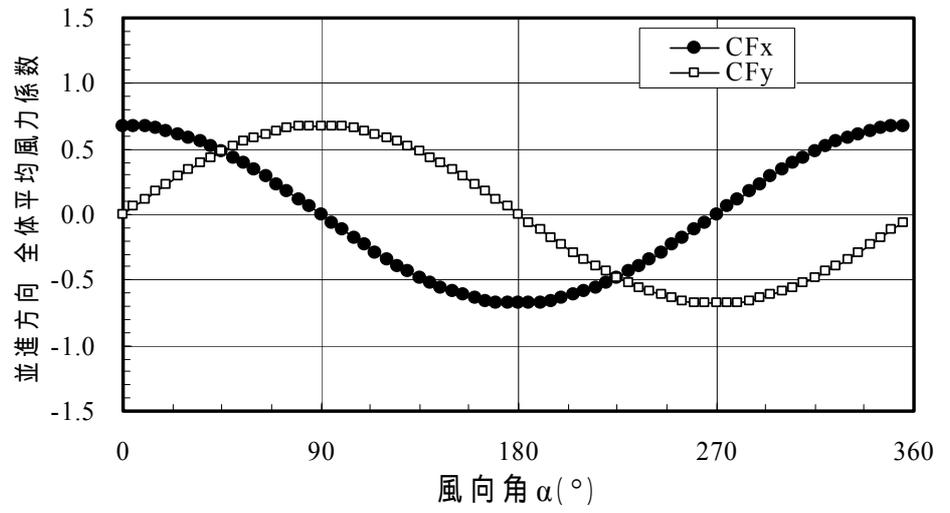


図 7.4.9 Circle の全体風力の平均風力係数

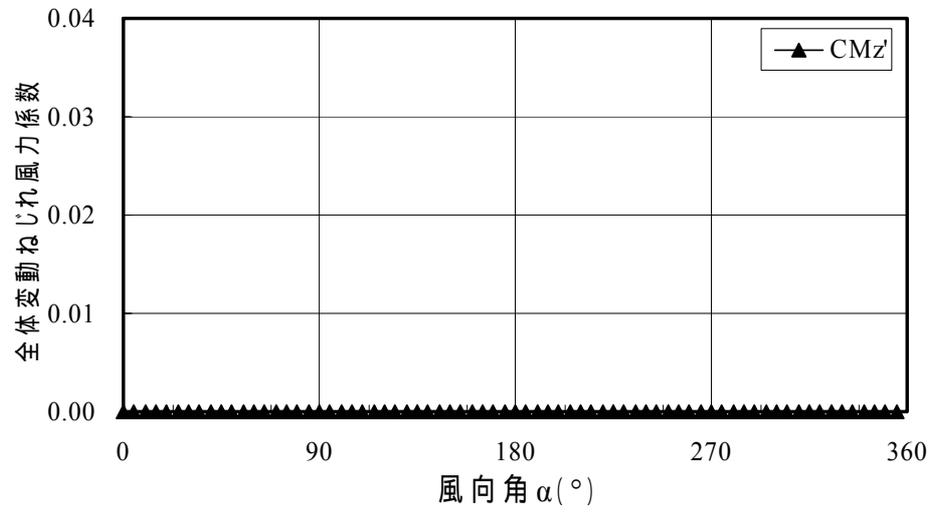
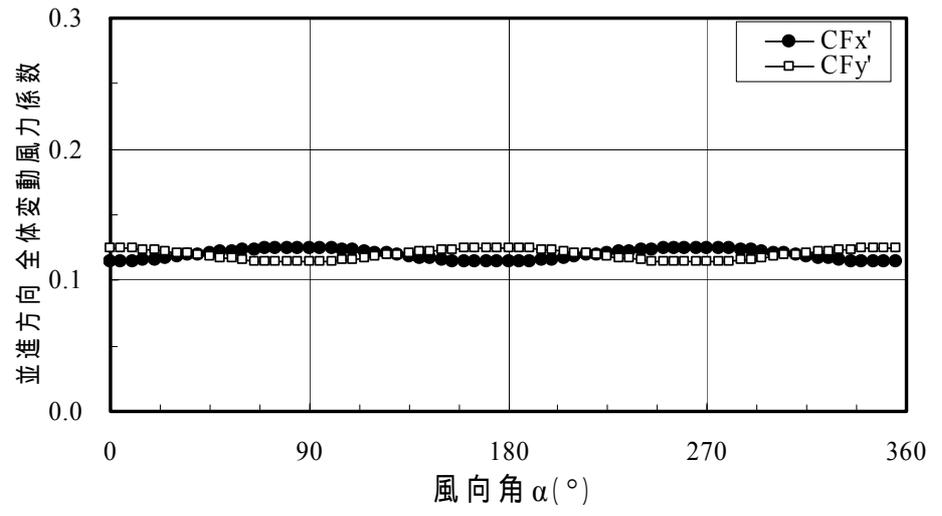


図 7.4.10 Circle の全体風力の変動層風力係数

(3) Chamfered

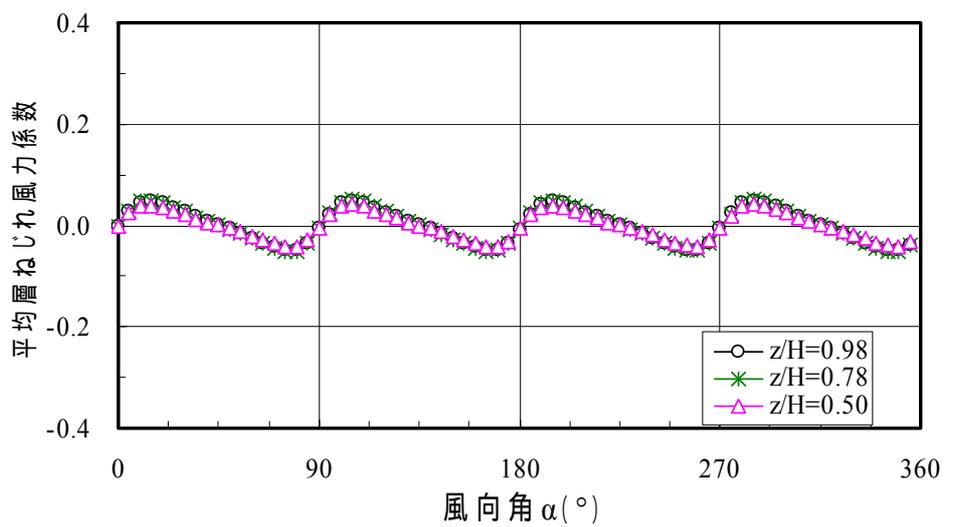
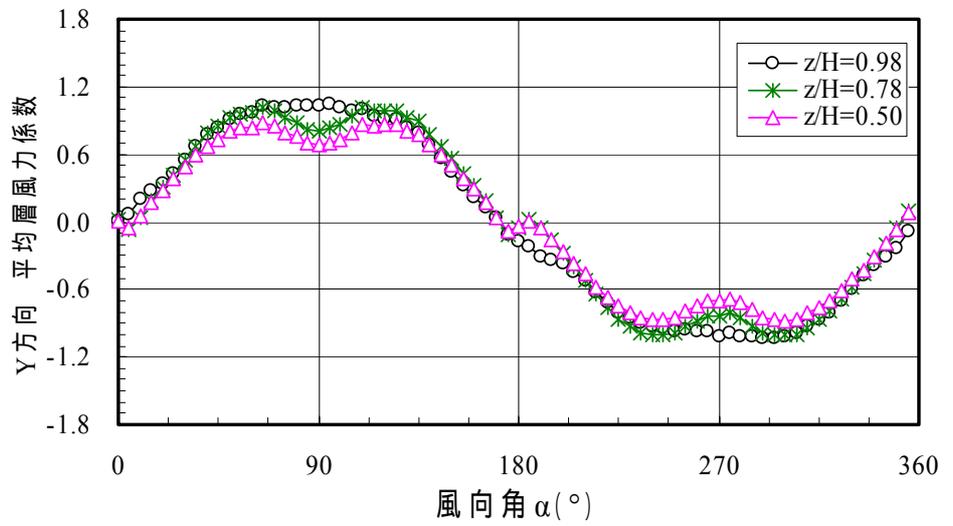
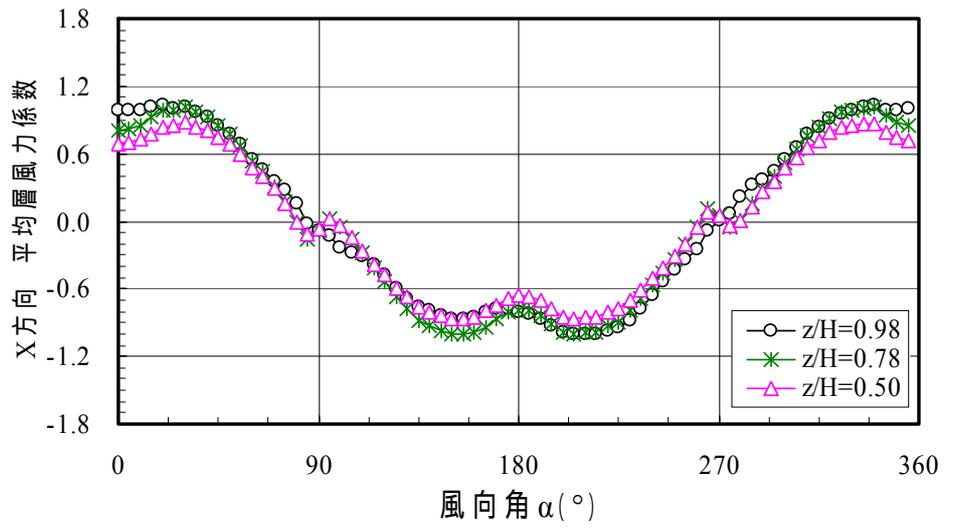
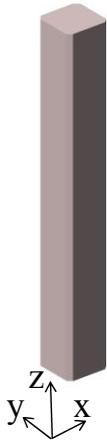


図 7.4.11 Chamfered の平均層風力係数

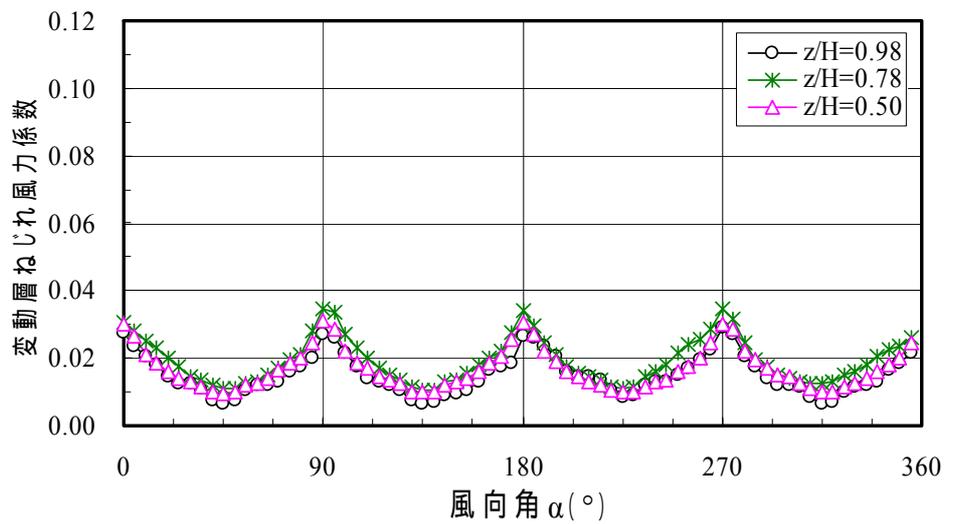
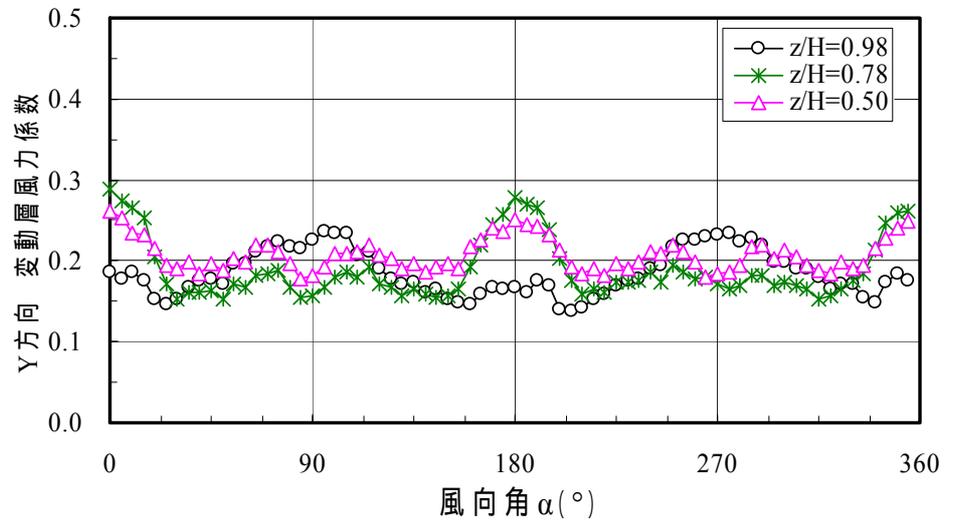
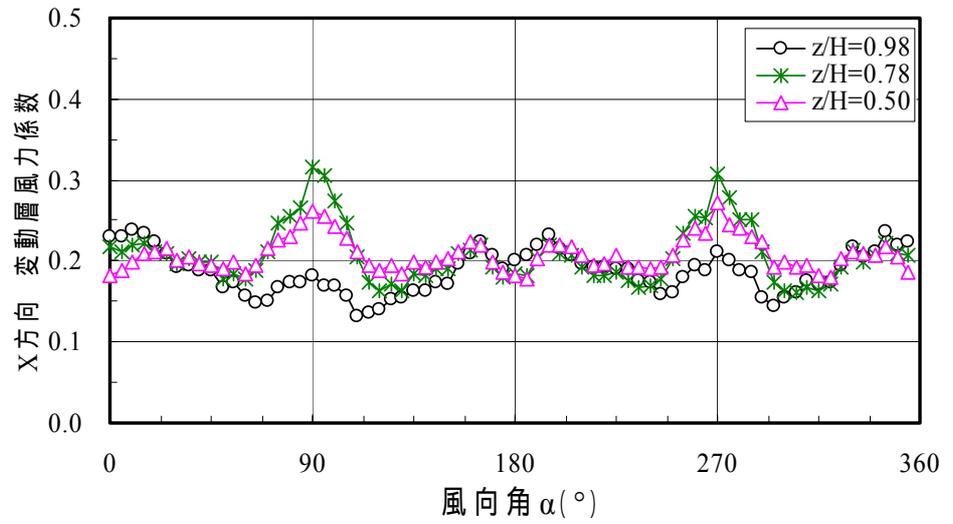
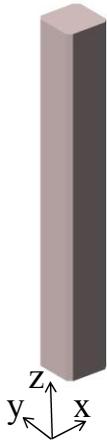


図 7.4.12 Chmfered の変動層風力係数

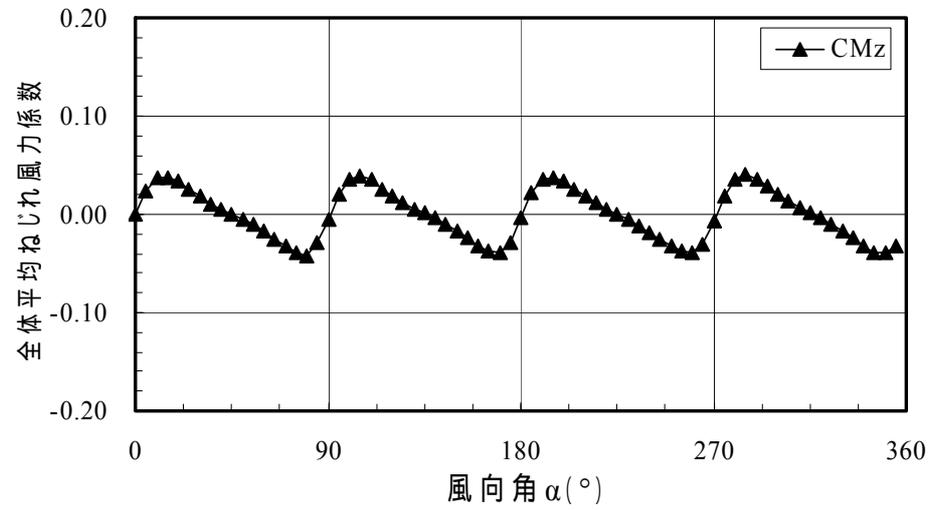
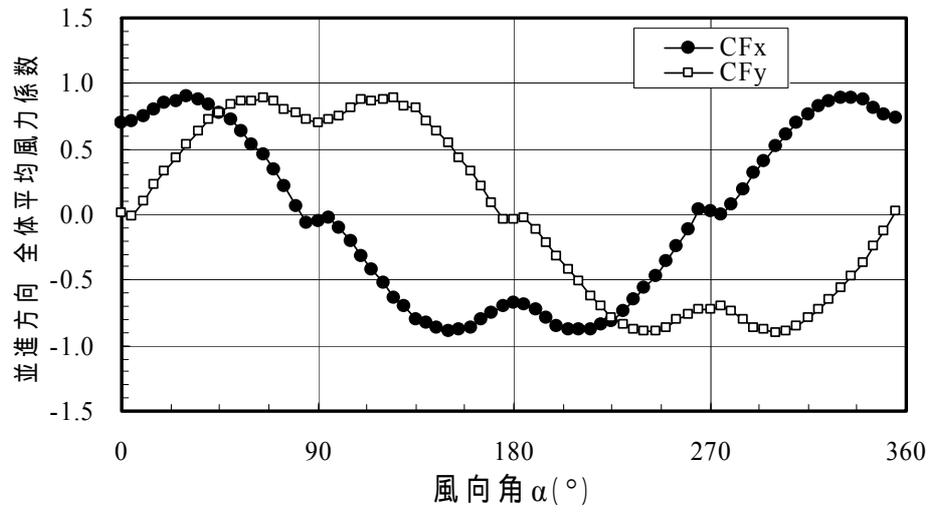
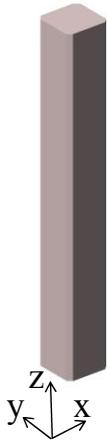


図 7.4.13 Chmfered の全体風力の平均風力係数

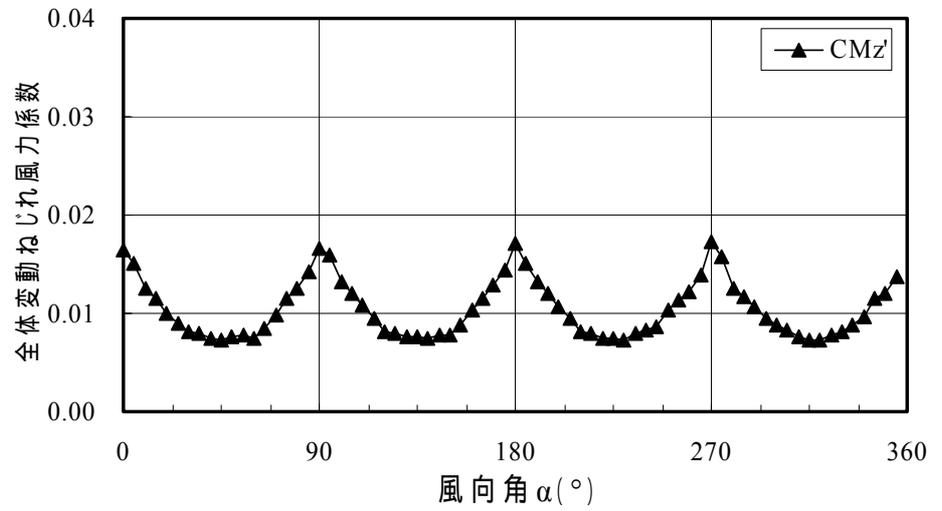
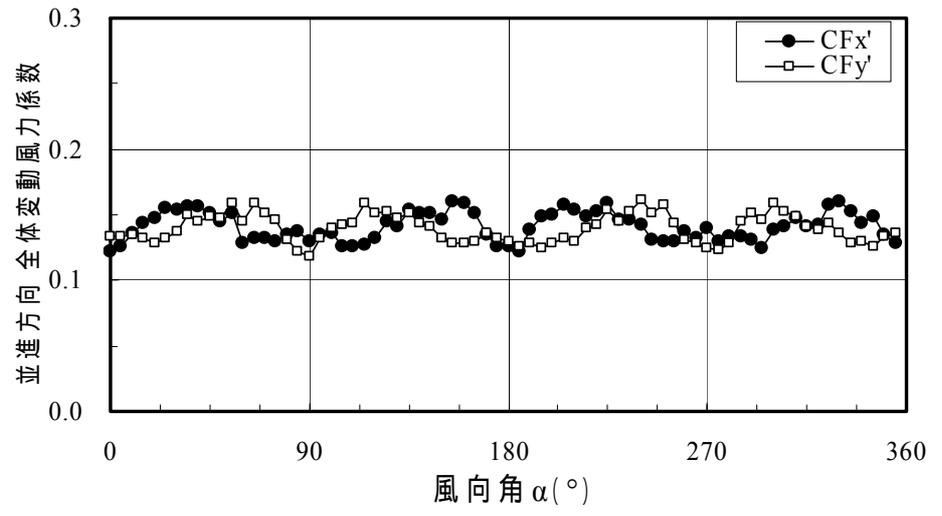
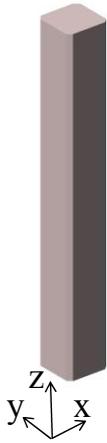


図 7.4.14 Chamfered の全体風力の変動層風力係数

(4) Corner cut

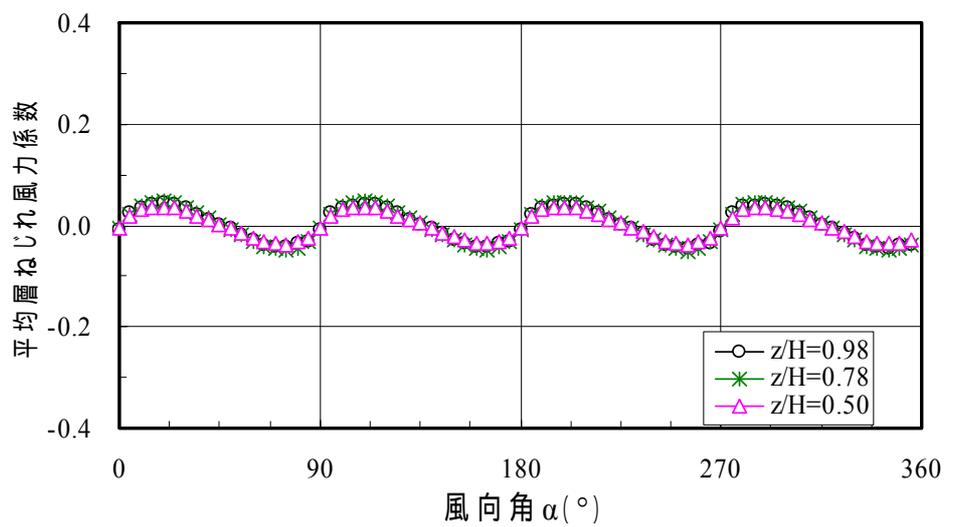
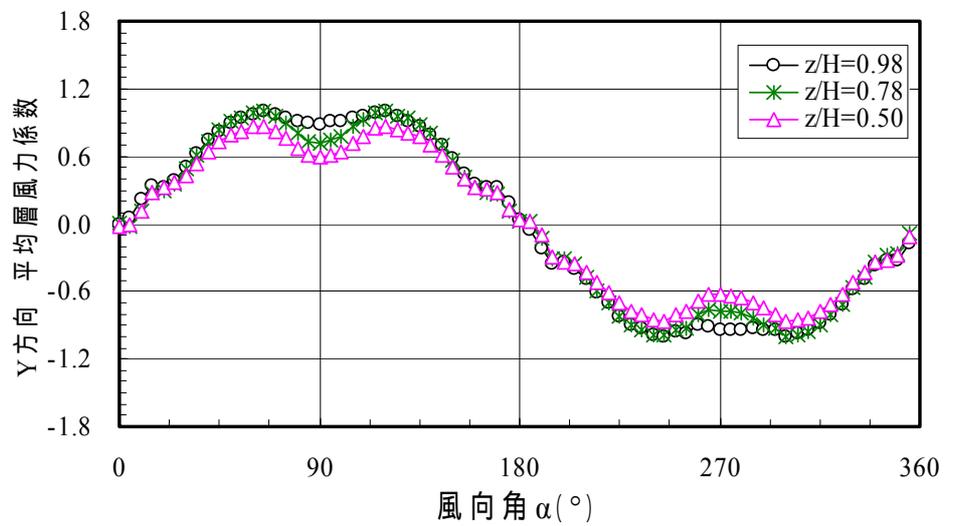
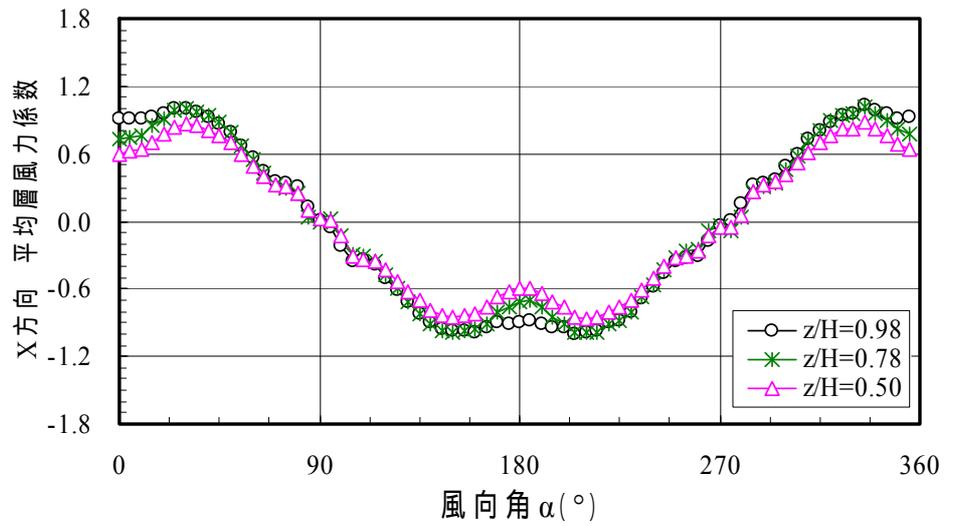
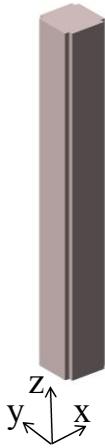


图 7.4.15 Corner cut の平均層風力係数

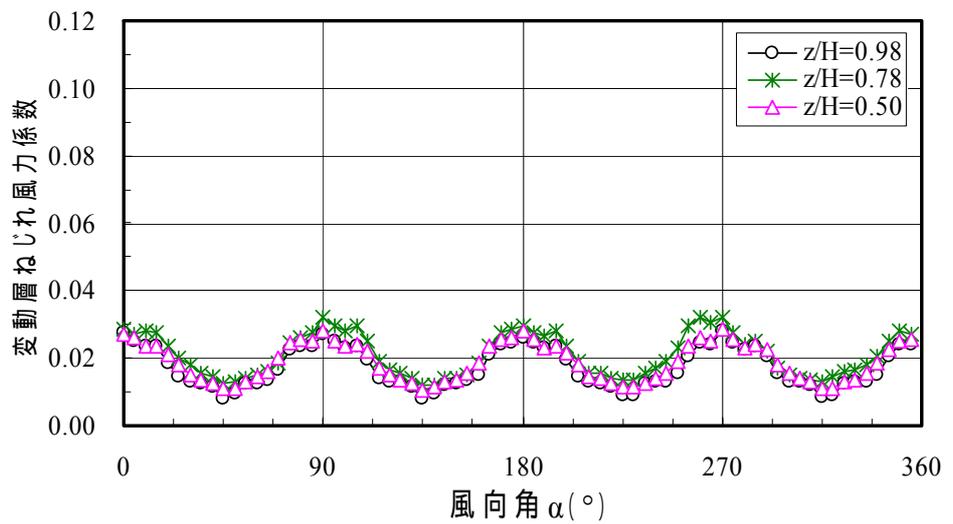
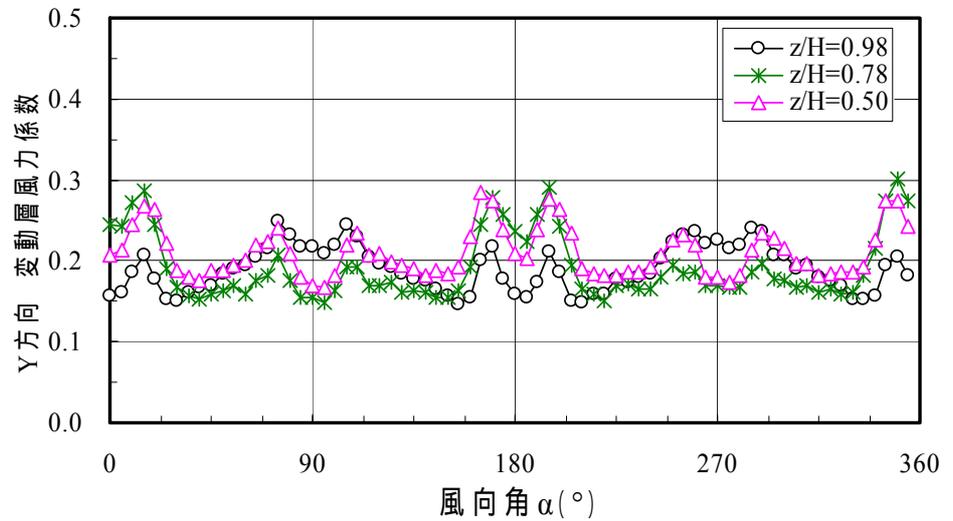
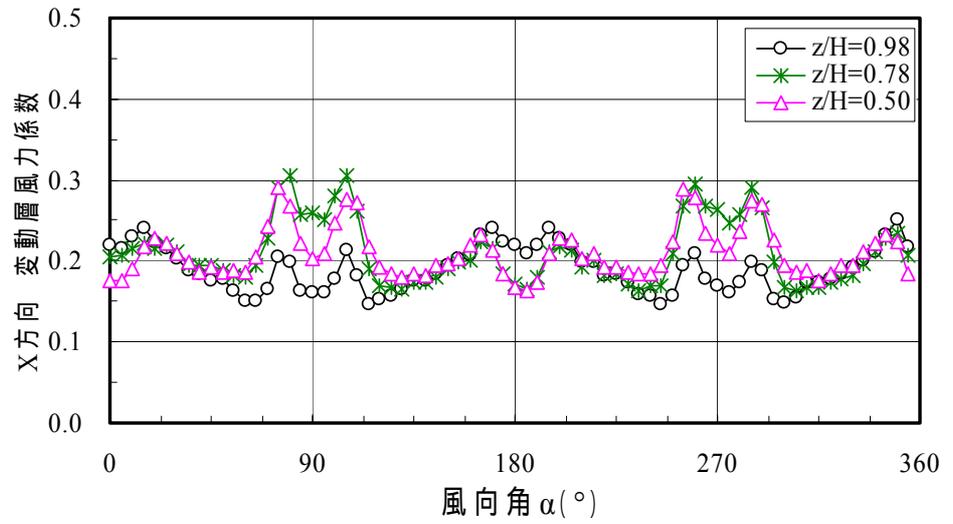
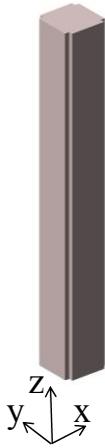


図 7.4.16 Corner cut の変動層風力係数

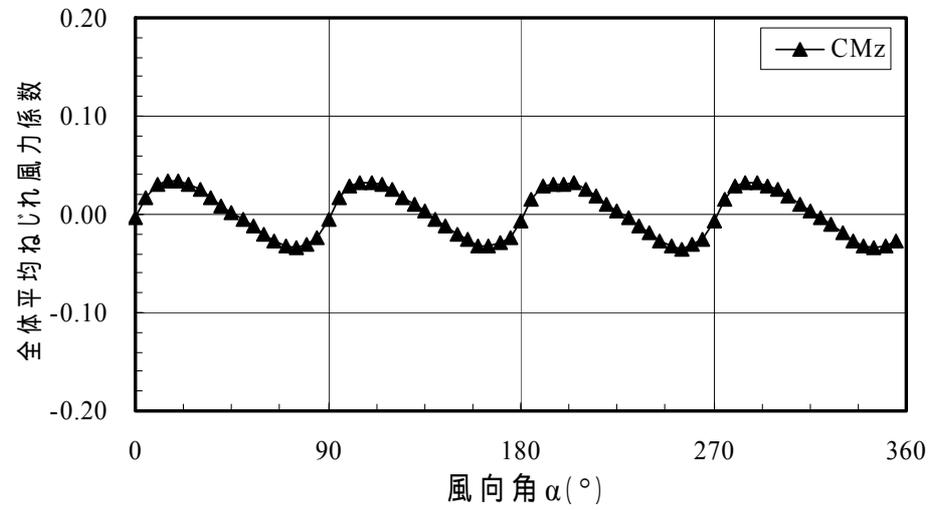
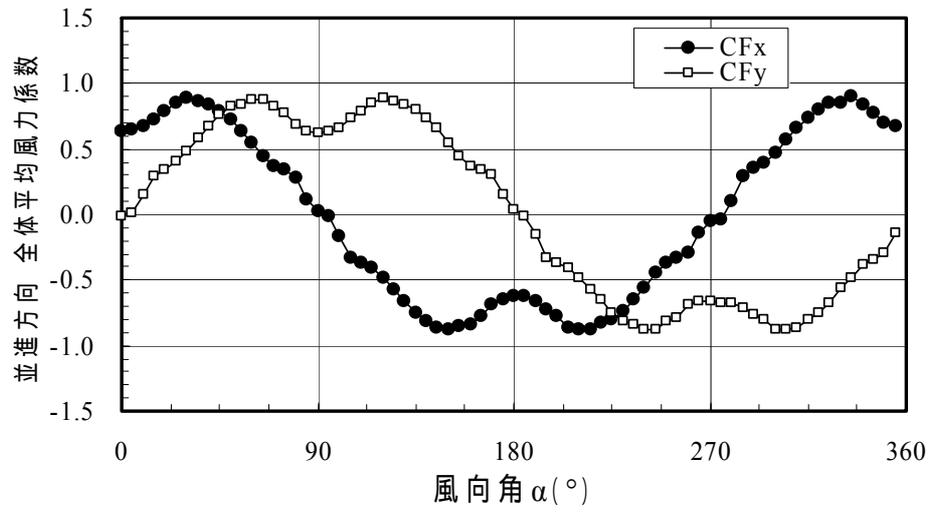
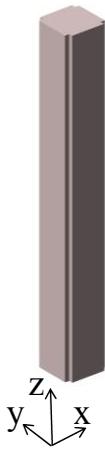


図 7.4.17 Corner cut の全体風力の平均風力係数

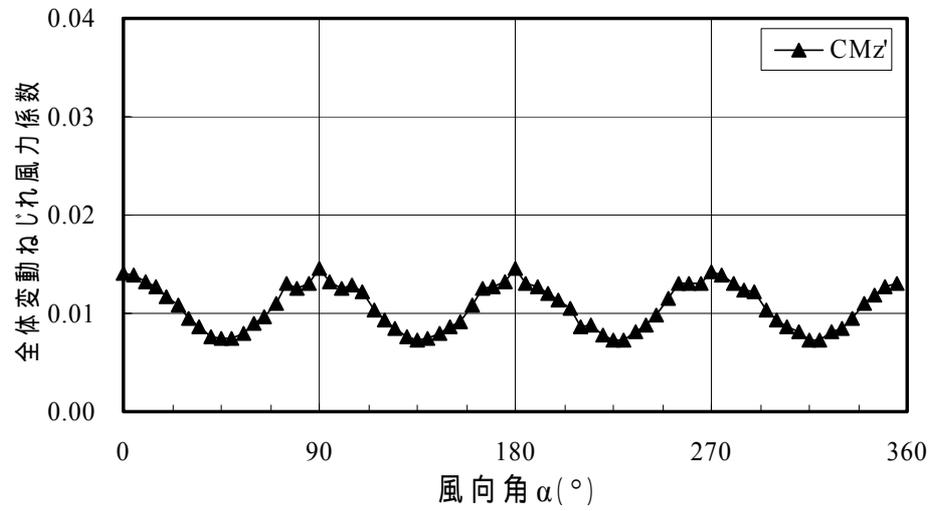
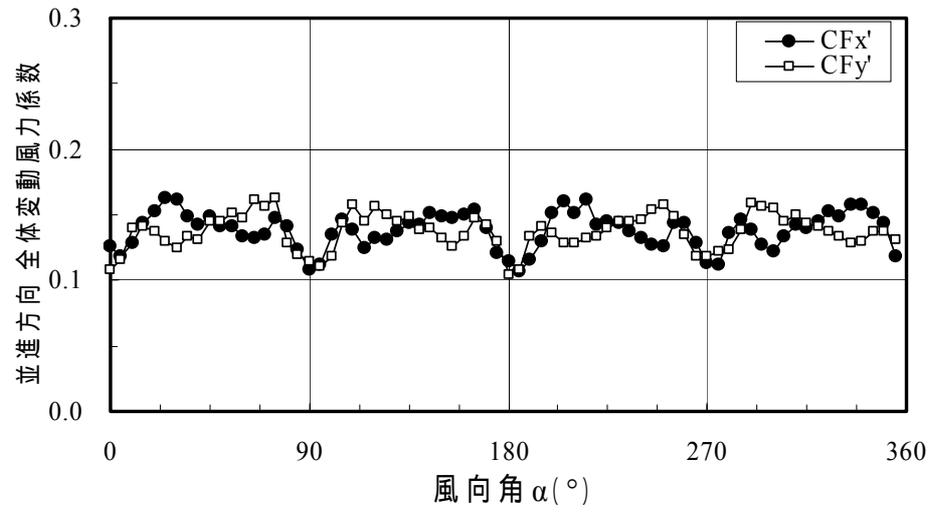
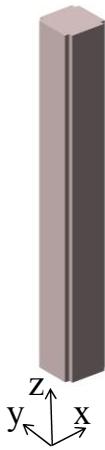


図 7.4.18 Corner cut の全体風力の変動層風力係数

(5) 4-Tapered

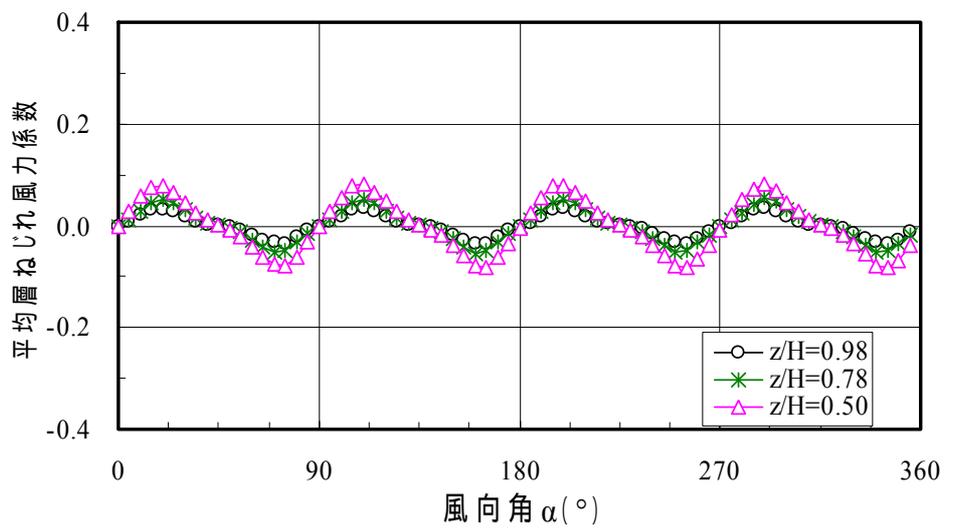
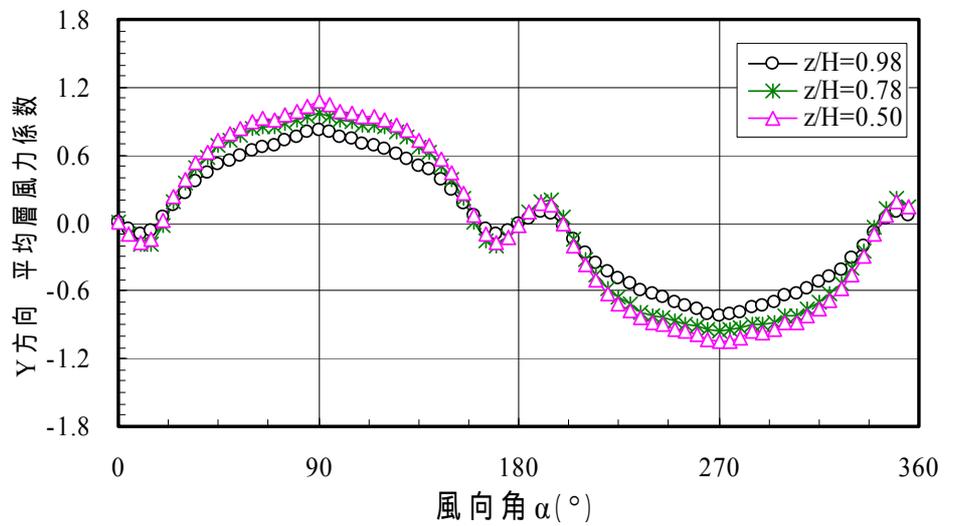
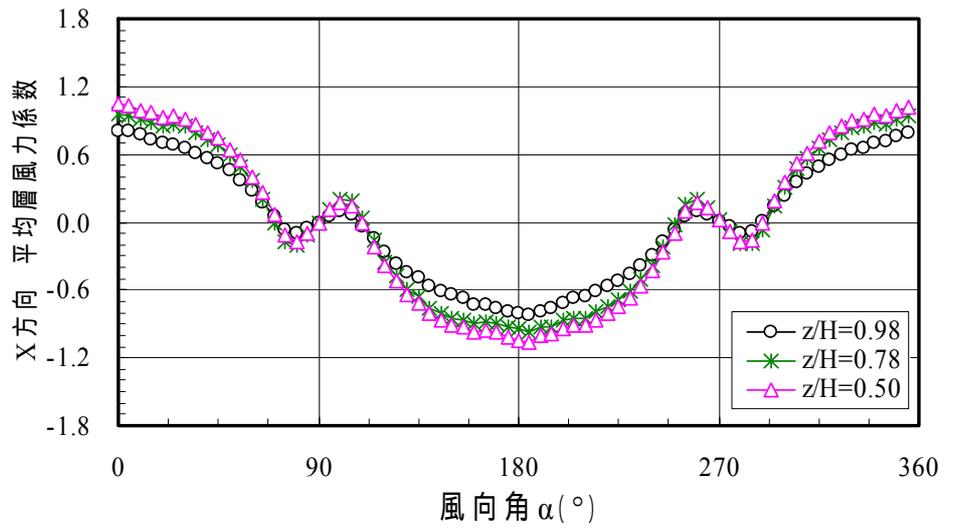
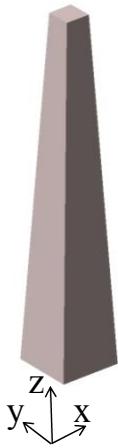


図 7.4.19 4-Tapered の平均層風力係数

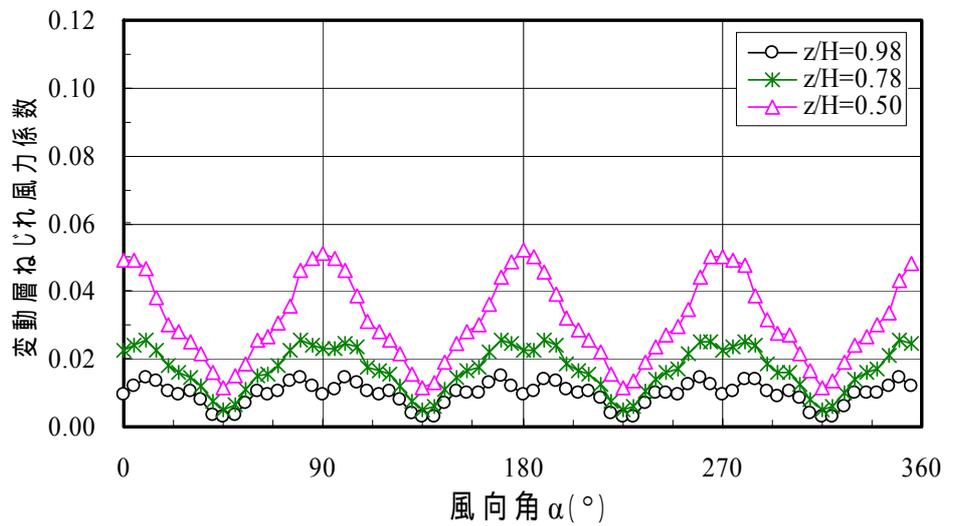
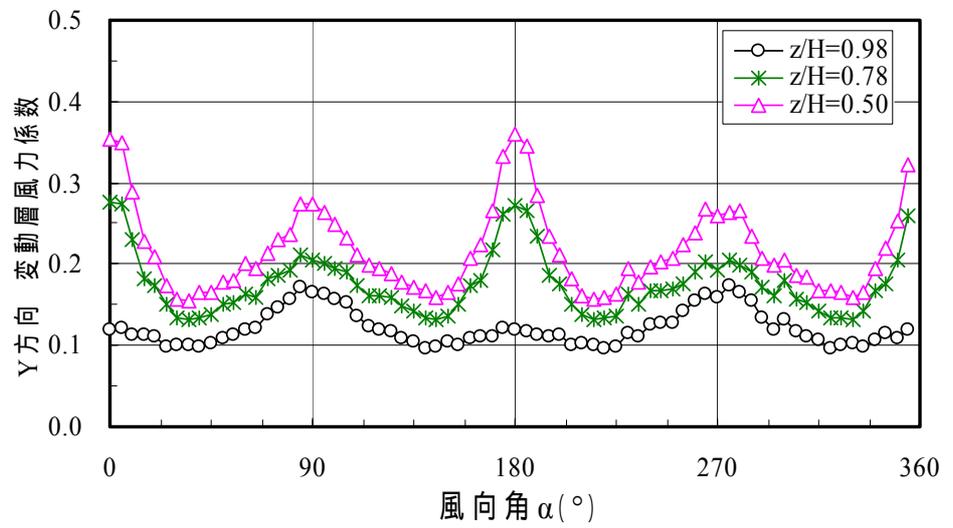
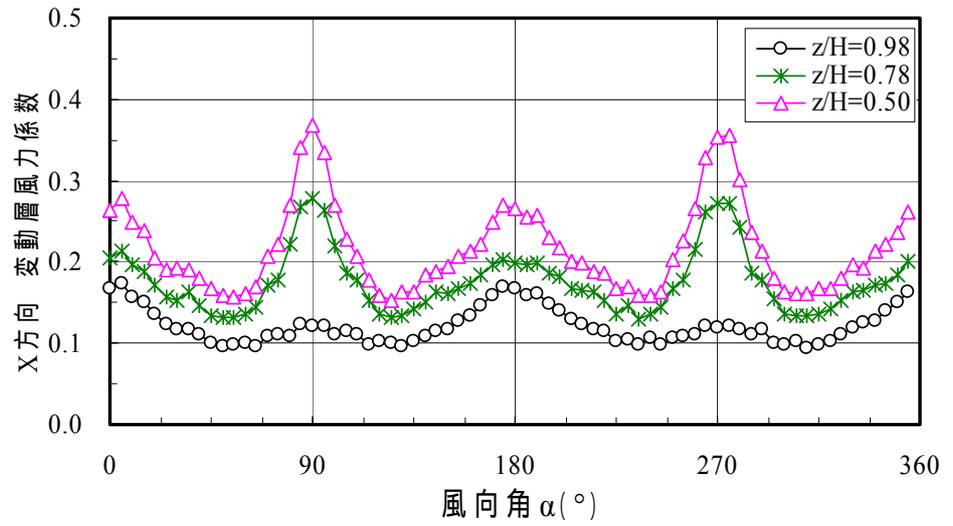
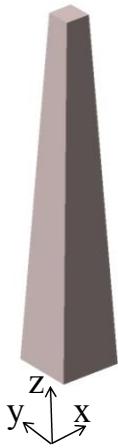


図 7.4.20 4-Tapered の変動層風力係数

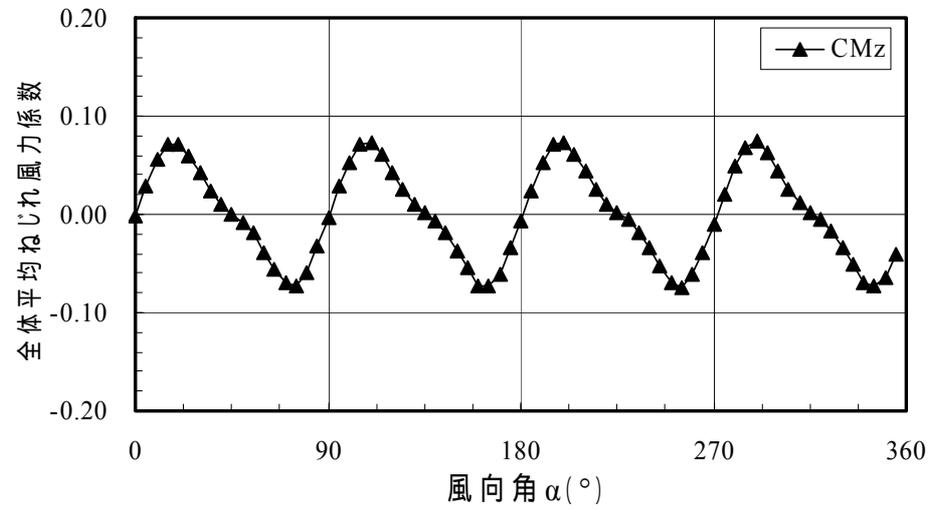
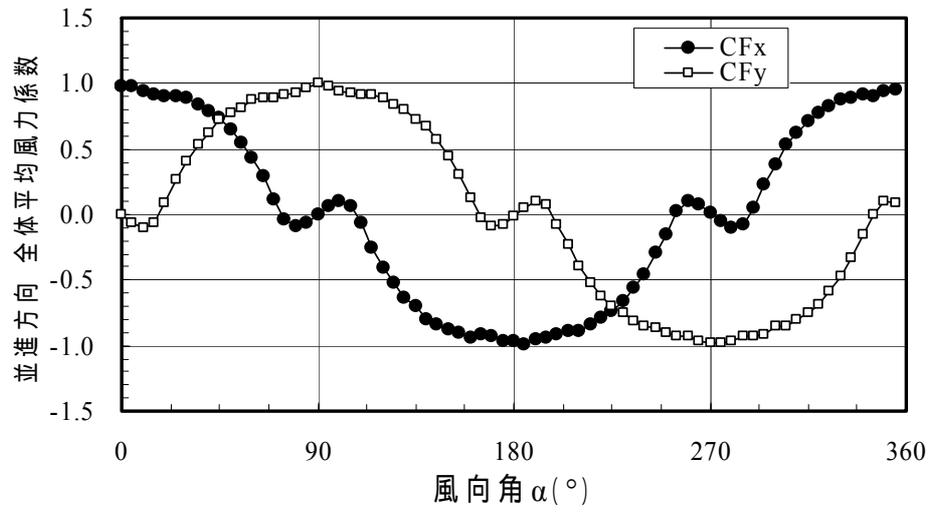
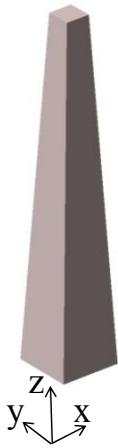


図 7.4.21 4-Tapered の全体風力の平均風力係数

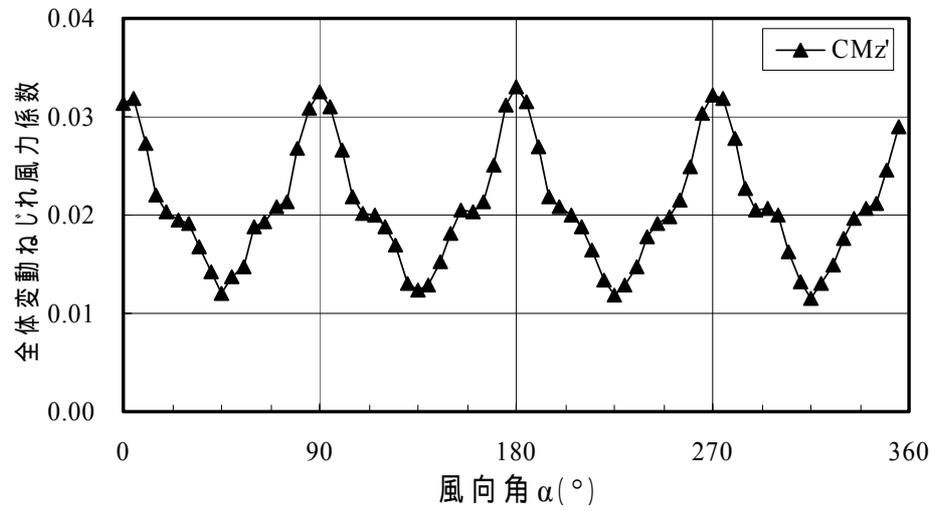
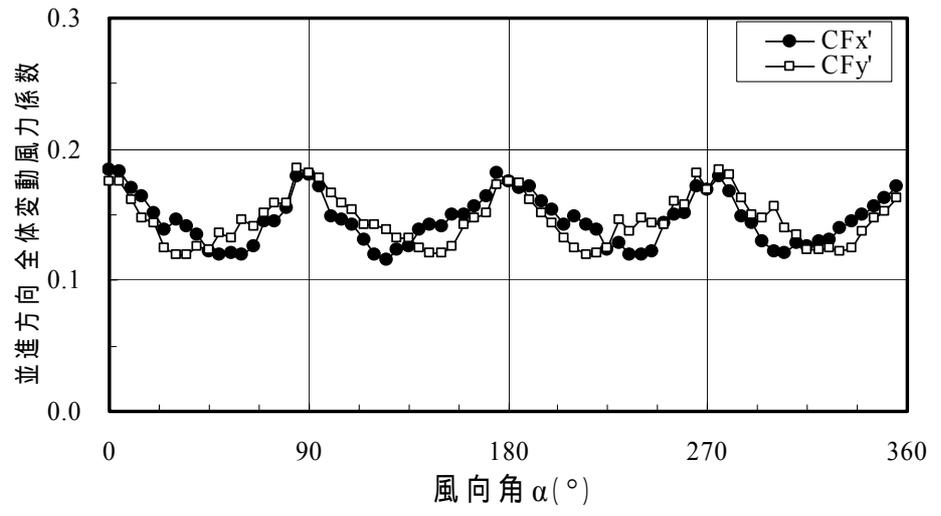
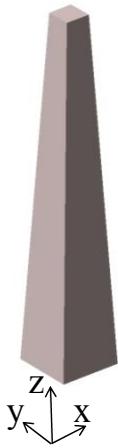


図 7.4.22 4-Tapered の全体風力の変動層風力係数

(6) Setback

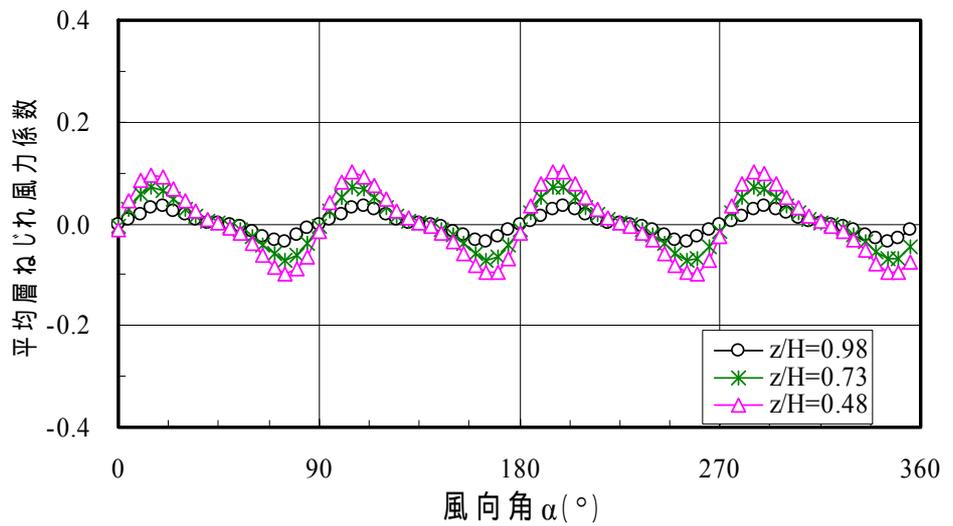
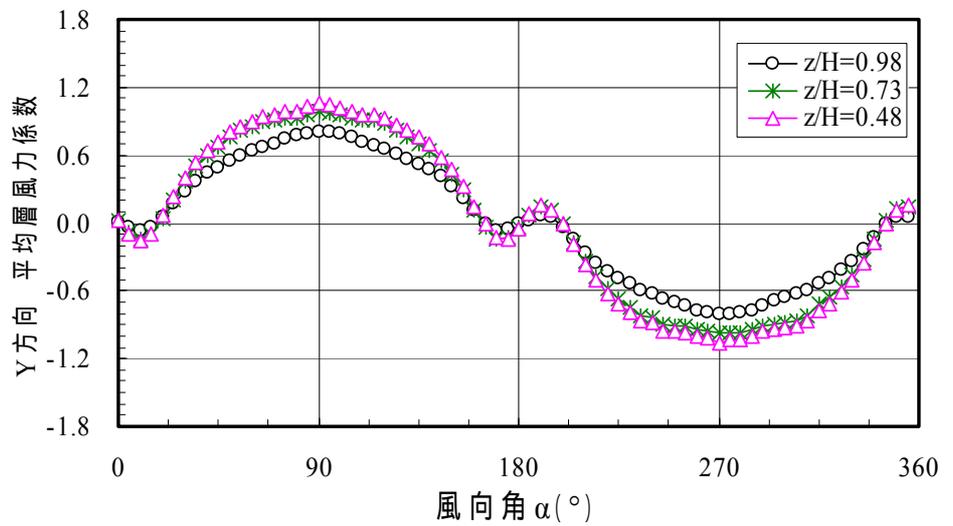
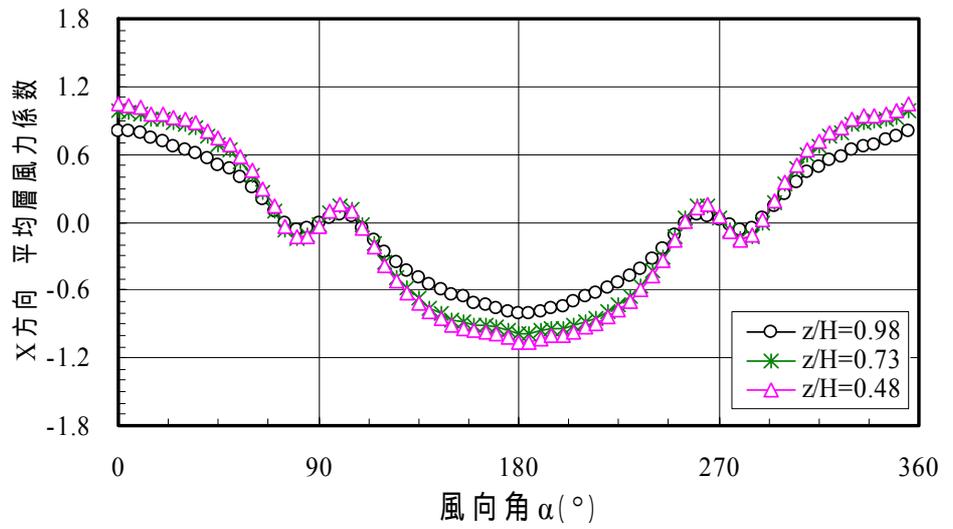
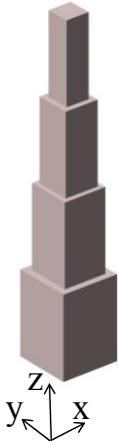


図 7.4.23 Setback の平均層風力係数

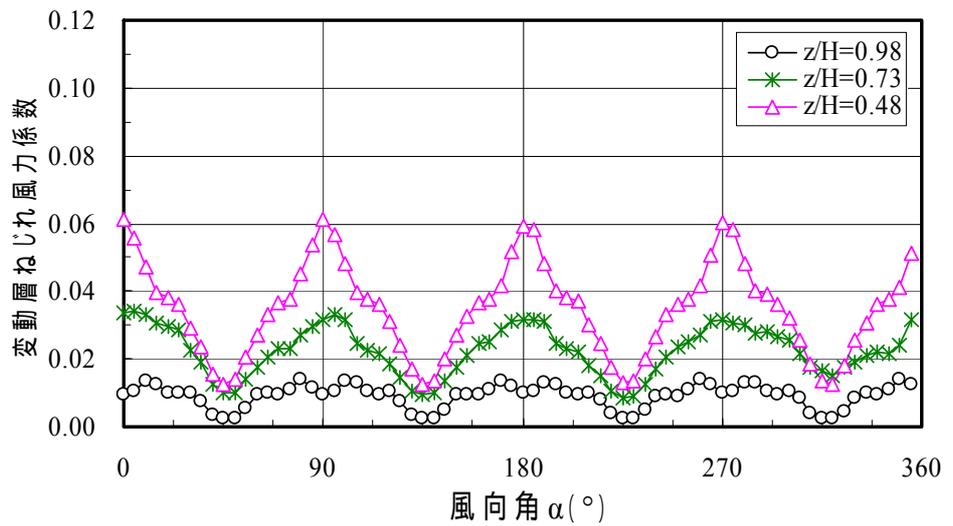
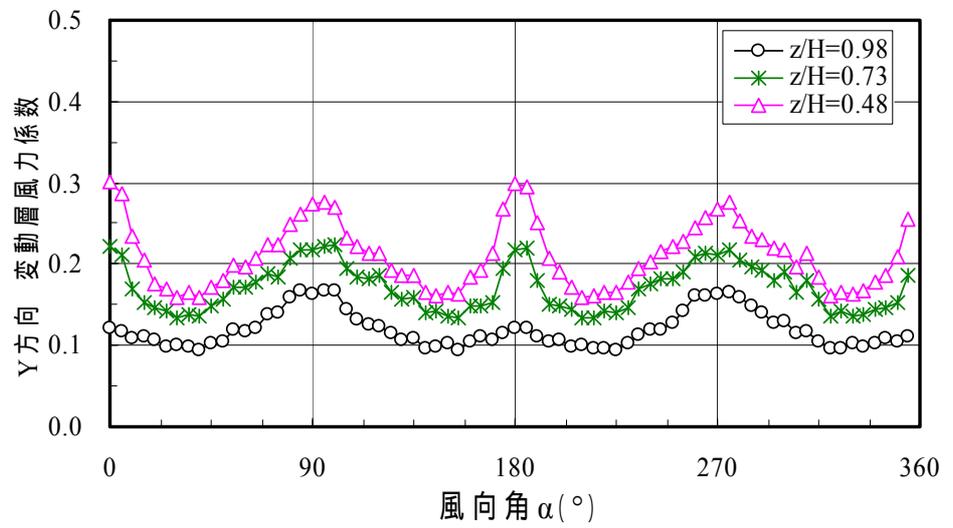
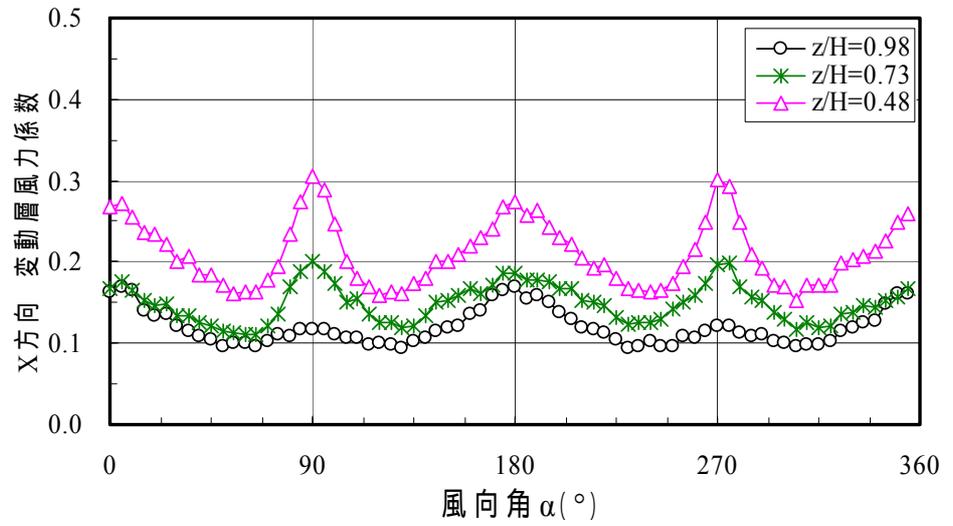
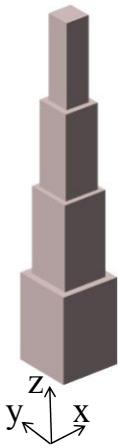


図 7.4.24 Setback の変動層風力係数

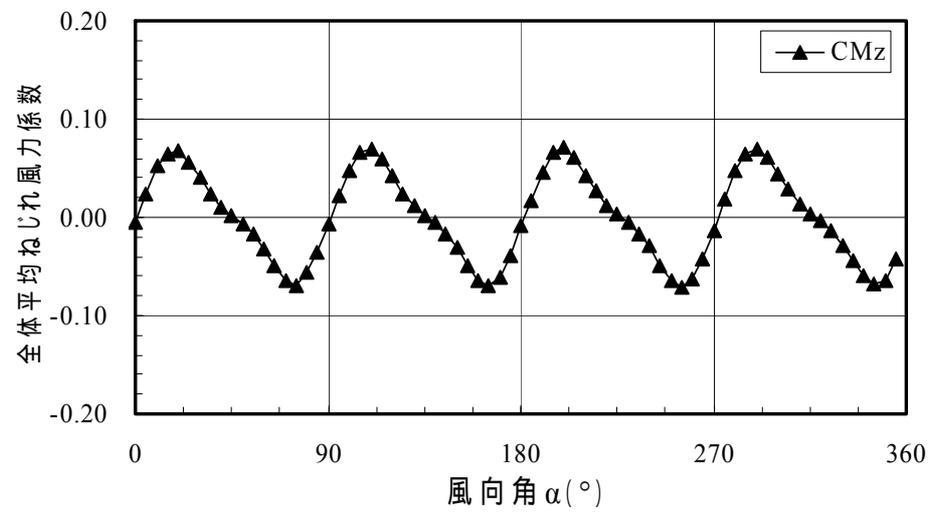
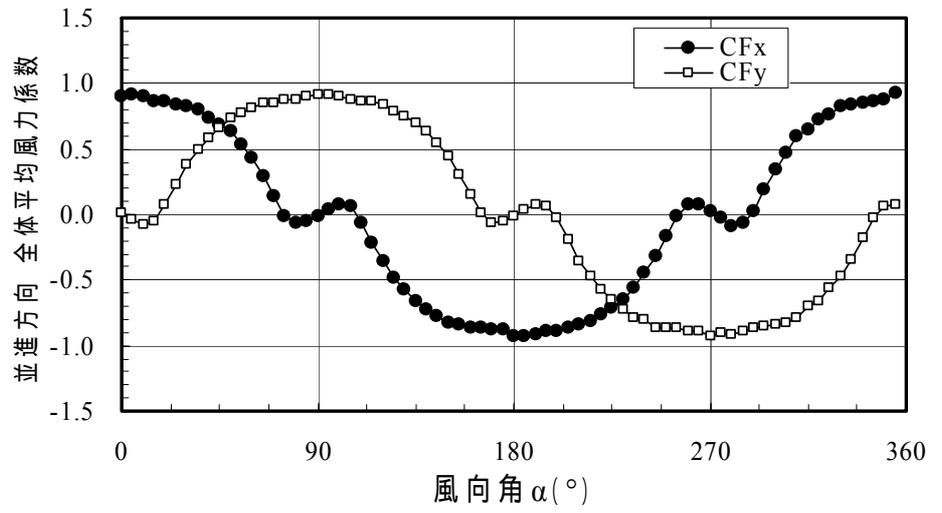
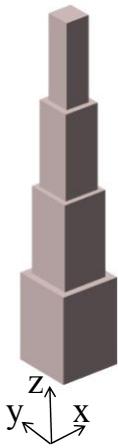


図 7.4.25 Setback の全体風力の平均風力係数

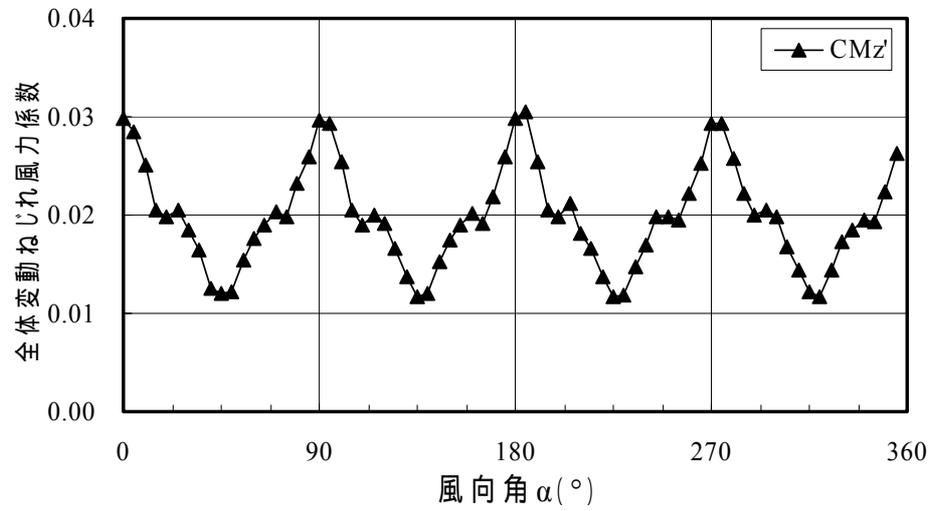
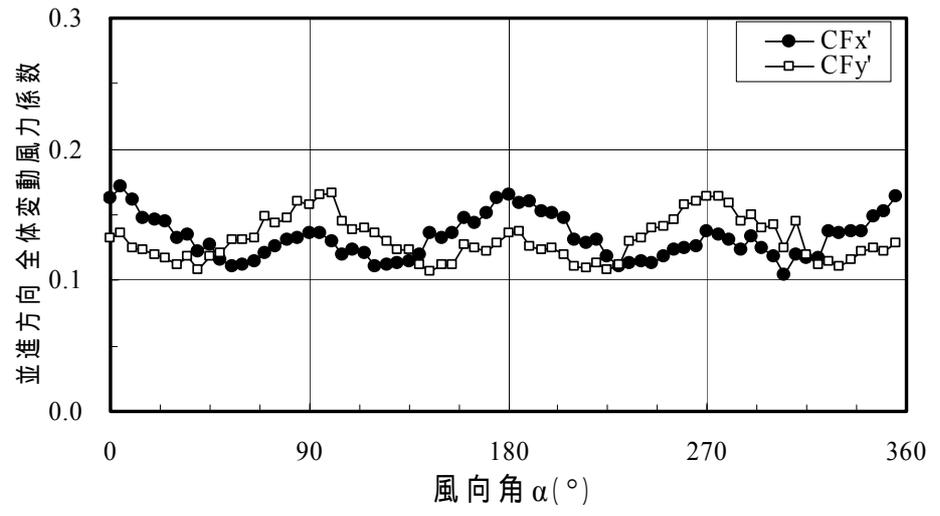
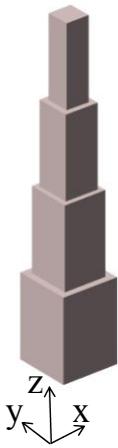


図 7.4.26 Setback の全体風力の変動層風力係数

(7) 90° Helical

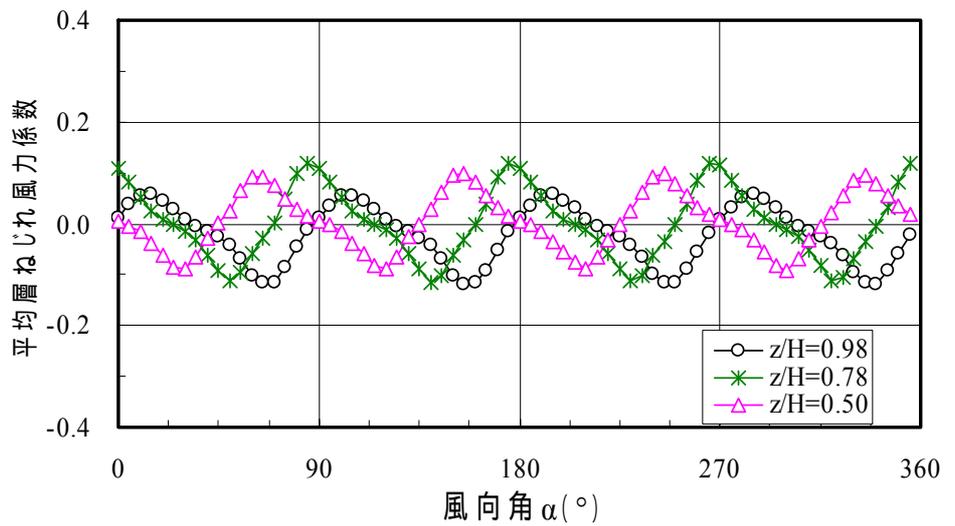
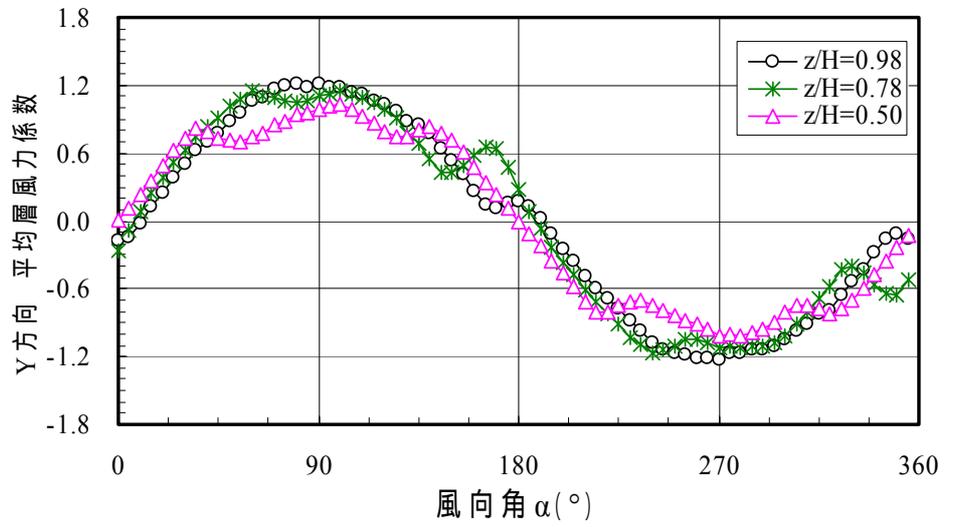
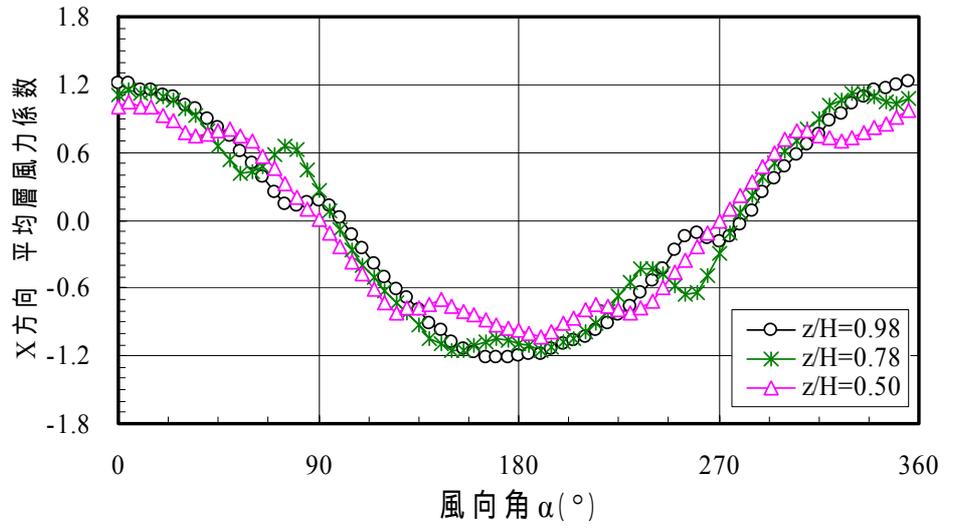


図 7.4.27 90° Helical の平均層風力係数

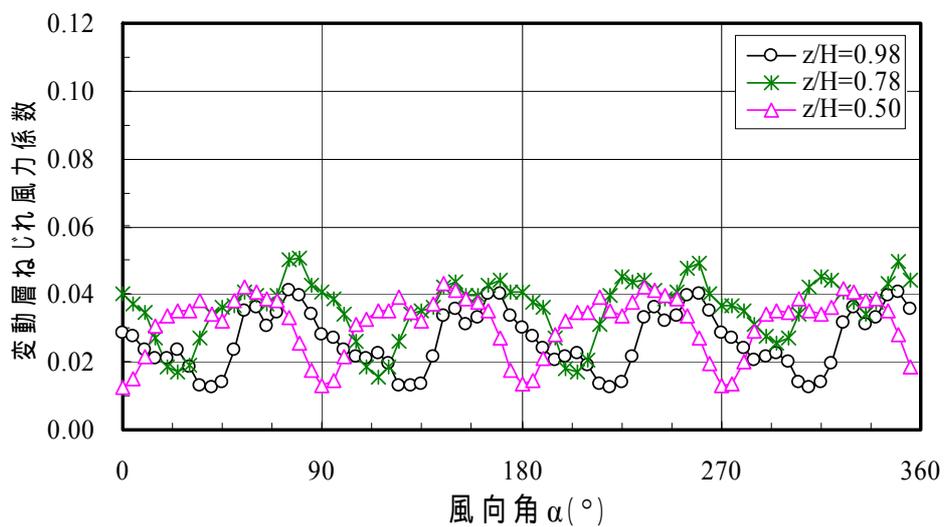
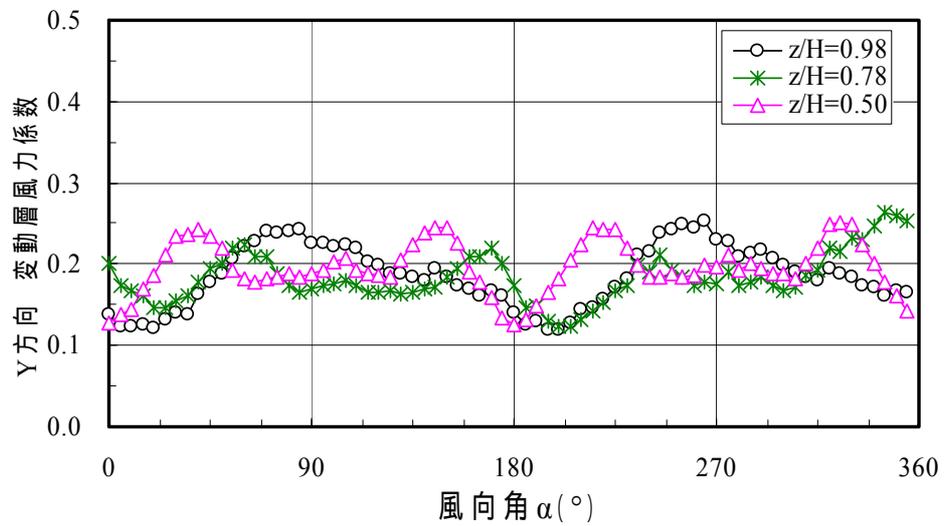
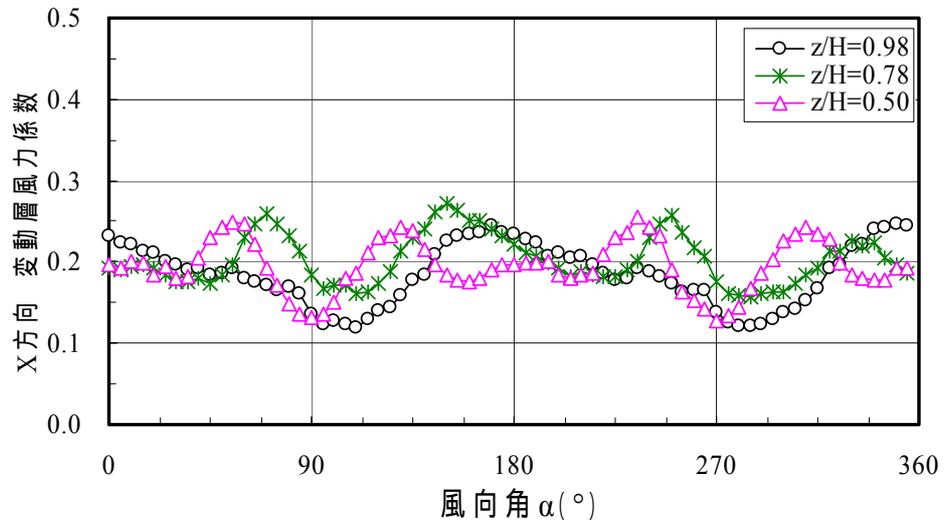


図 7.4.28 90° Helical の変動層風力係数

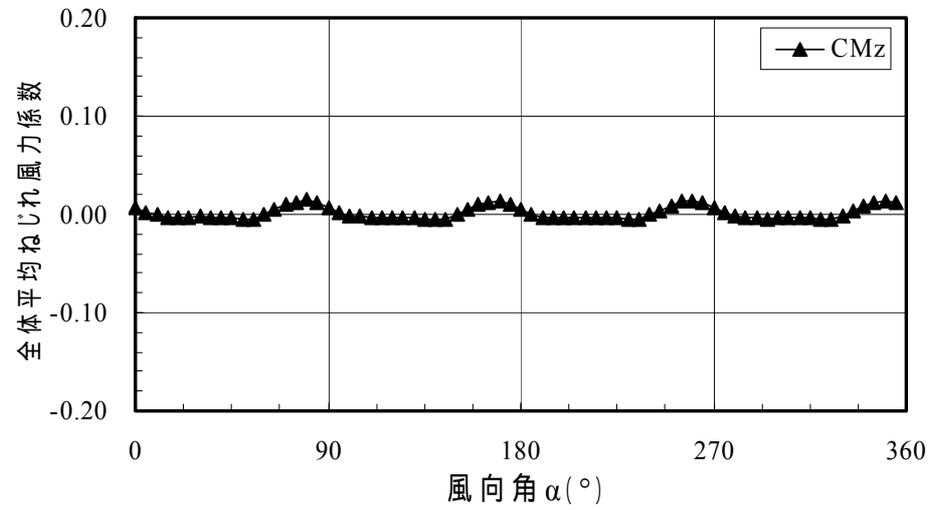
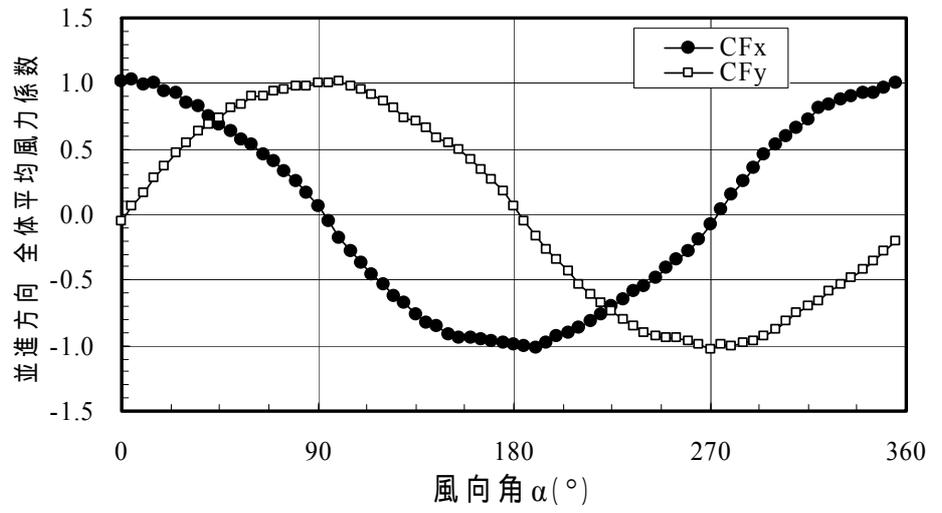


図 7.4.29 90° Helical の全体風力の平均風力係数

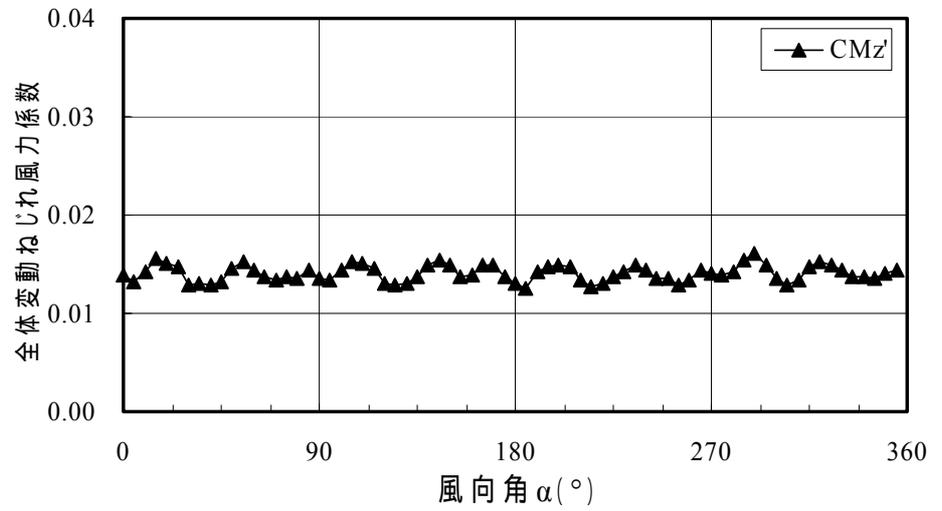
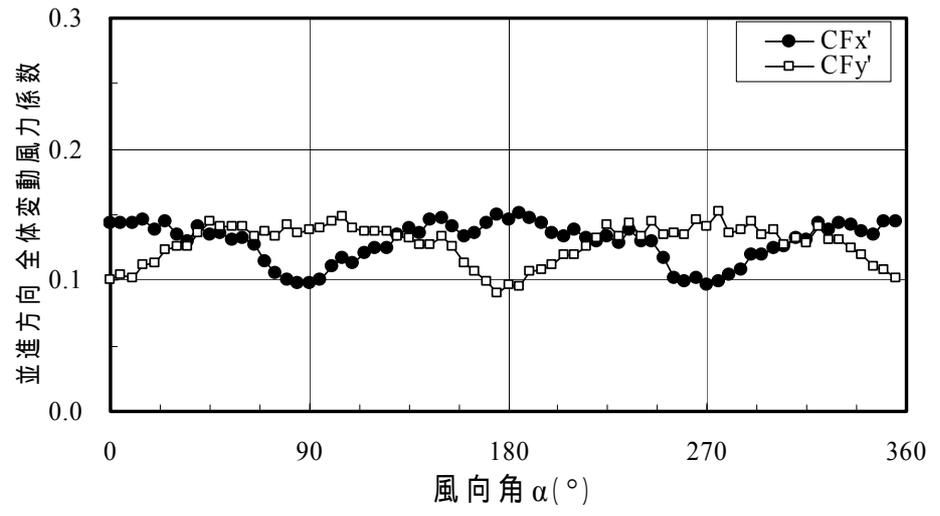


図 7.4.30 90° Helical の全体風力の変動層風力係数

(8) 180° Helical

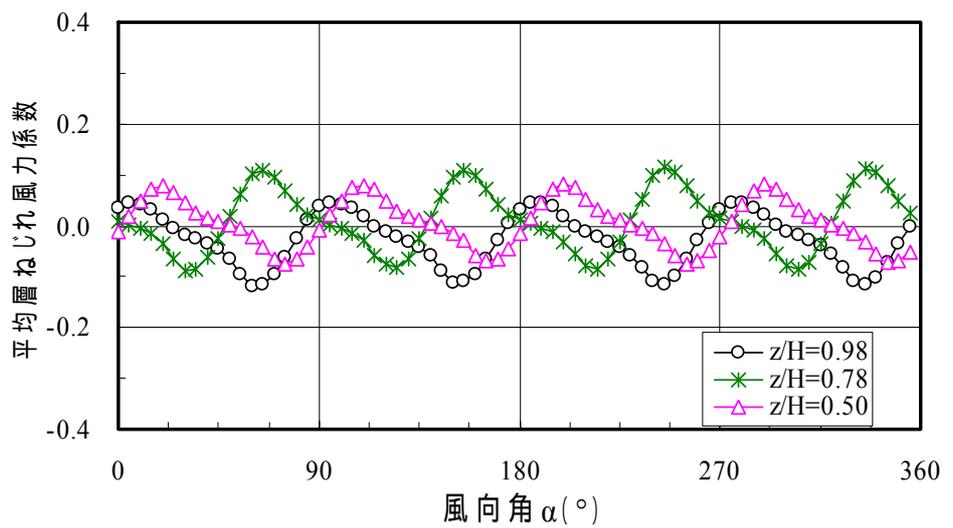
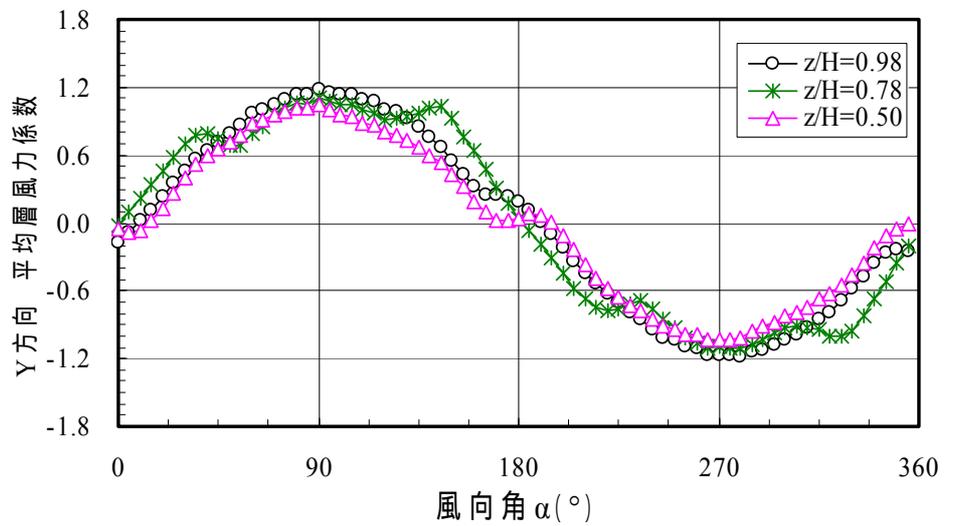
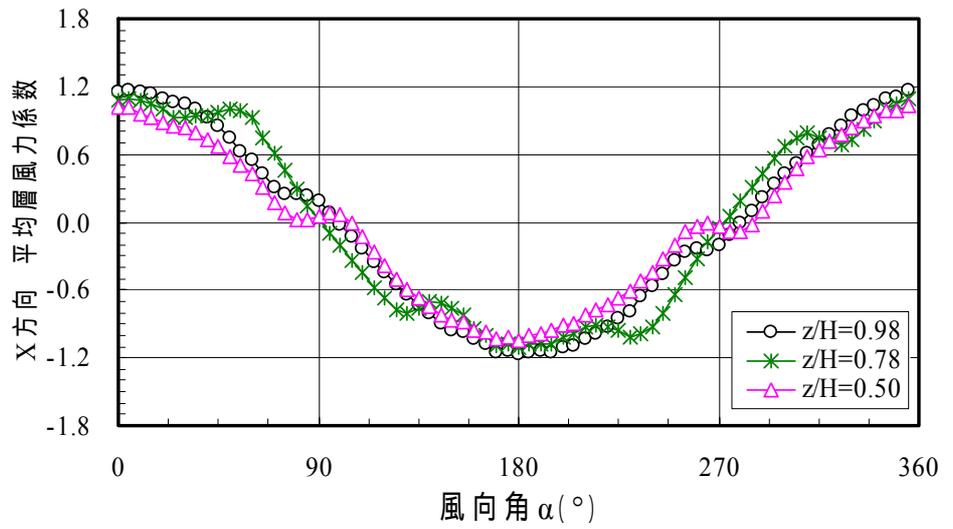


図 7.4.31 180° Helical の平均層風力係数

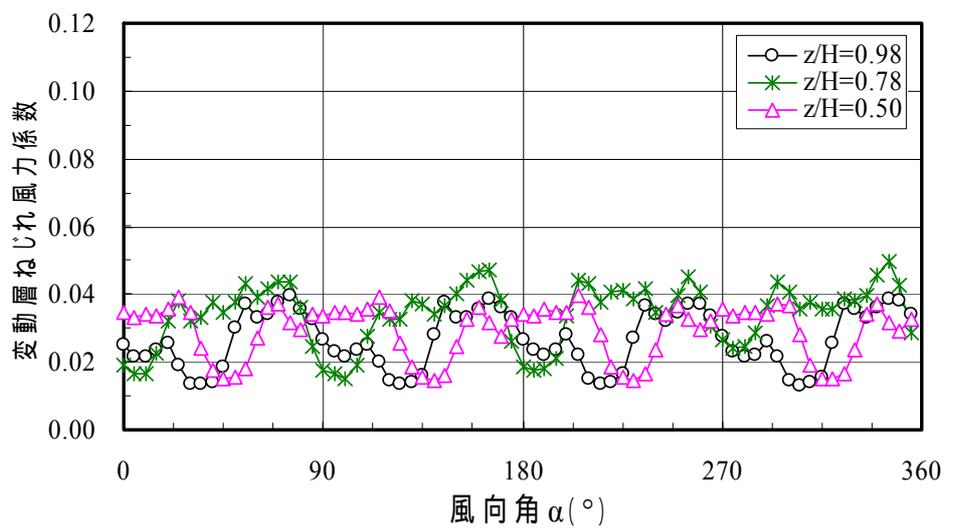
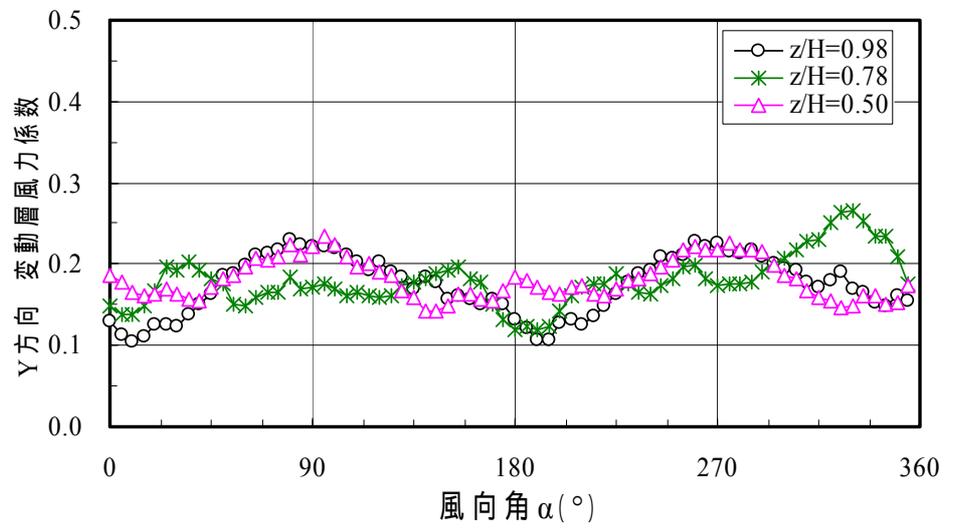
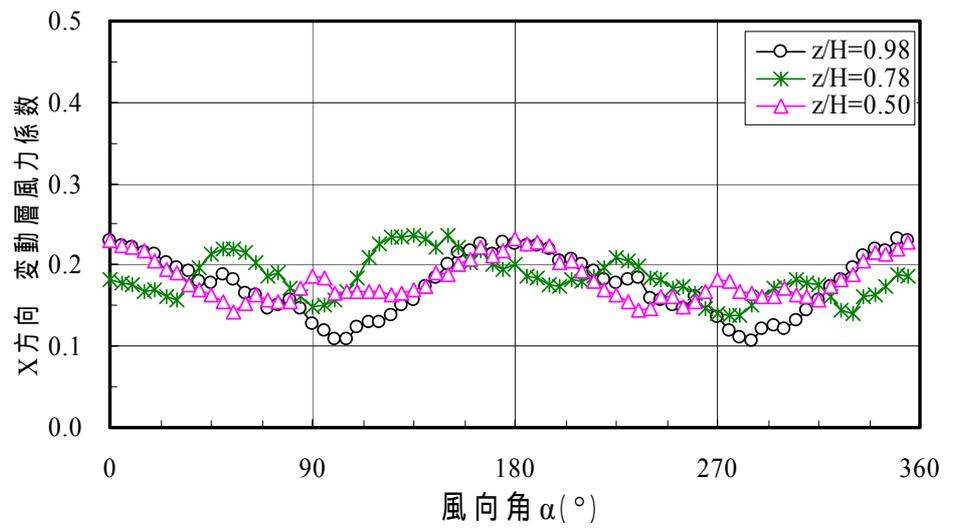


図 7.4.32 180° Helical の変動層風力係数

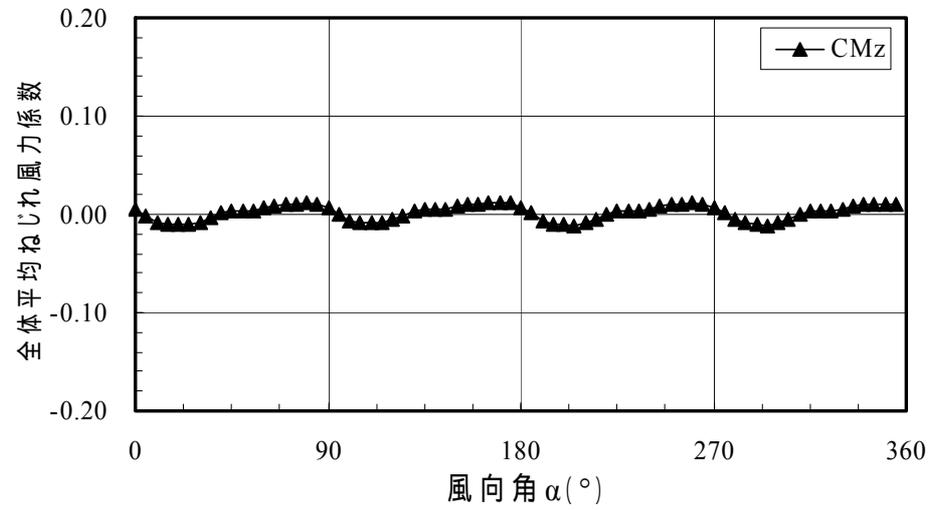
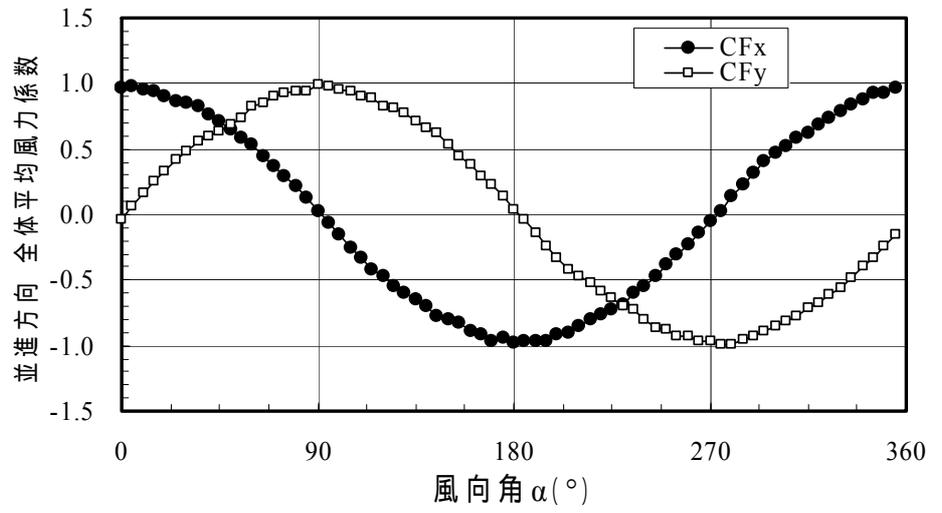


図 7.4.33 180° Helical の全体風力の平均風力係数

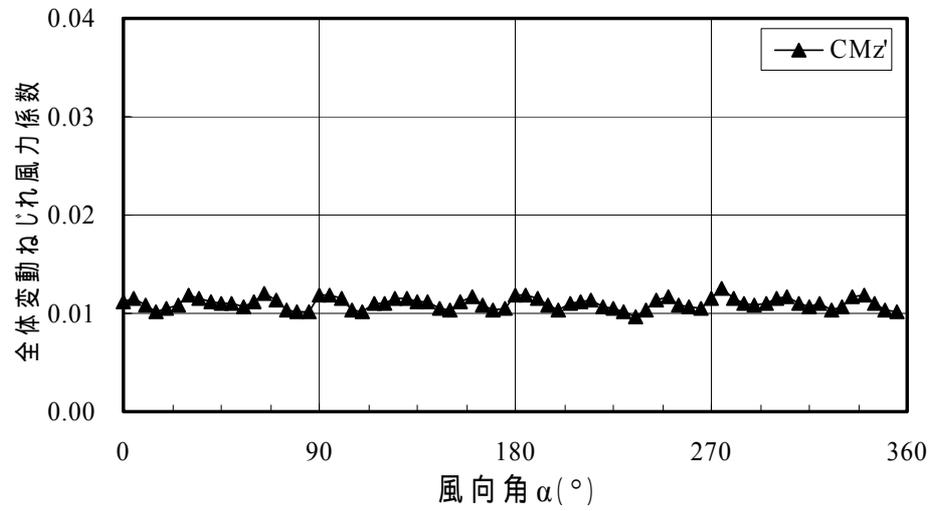
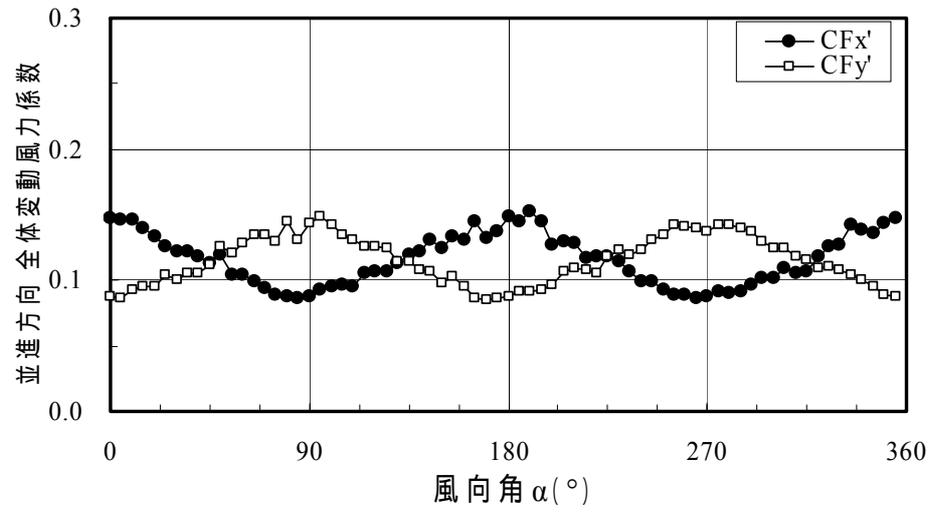


図 7.4.34 180° Helical の全体風力の変動層風力係数

(9) Cross void

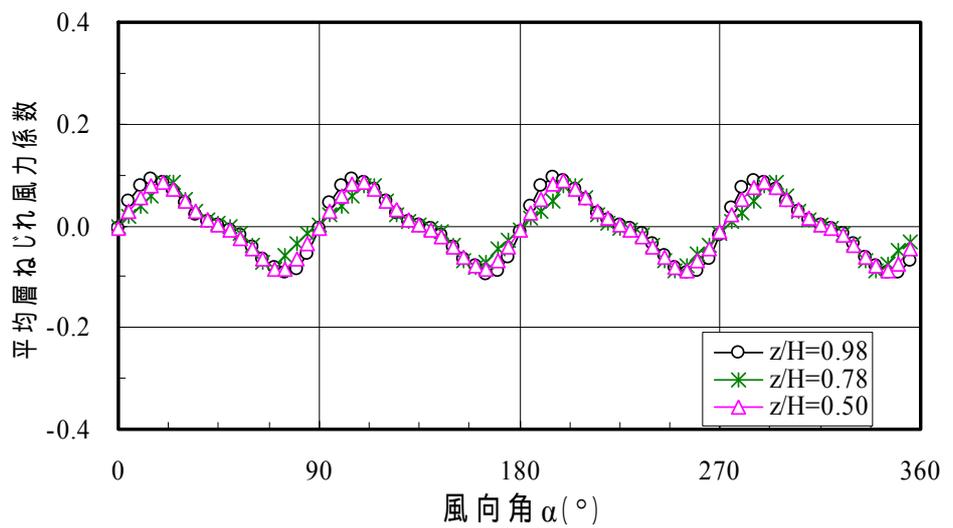
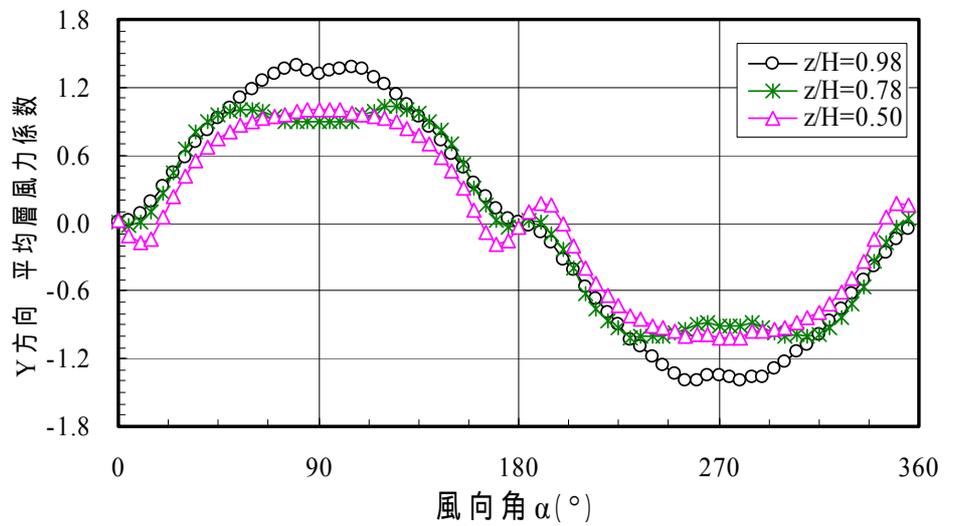
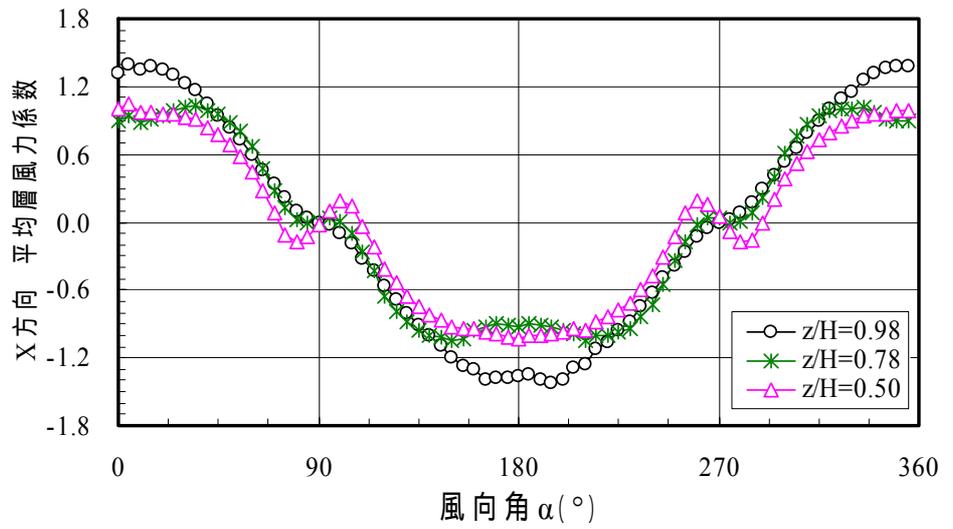
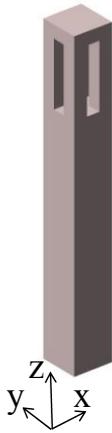


図 7.4.35 Cross void の平均層風力係数

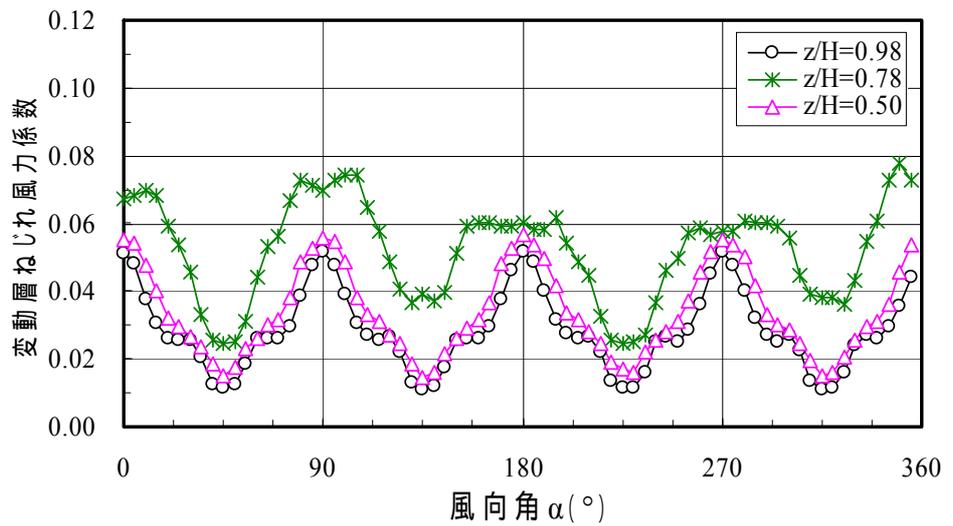
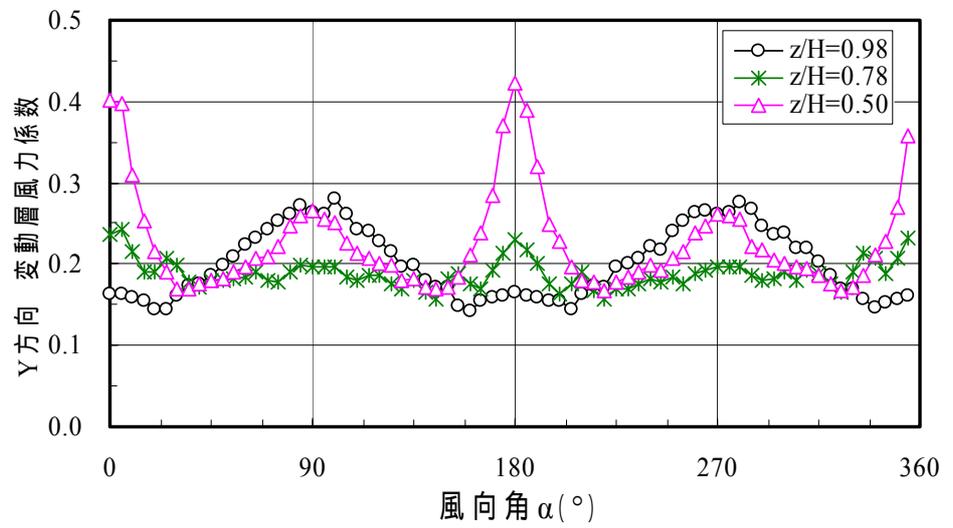
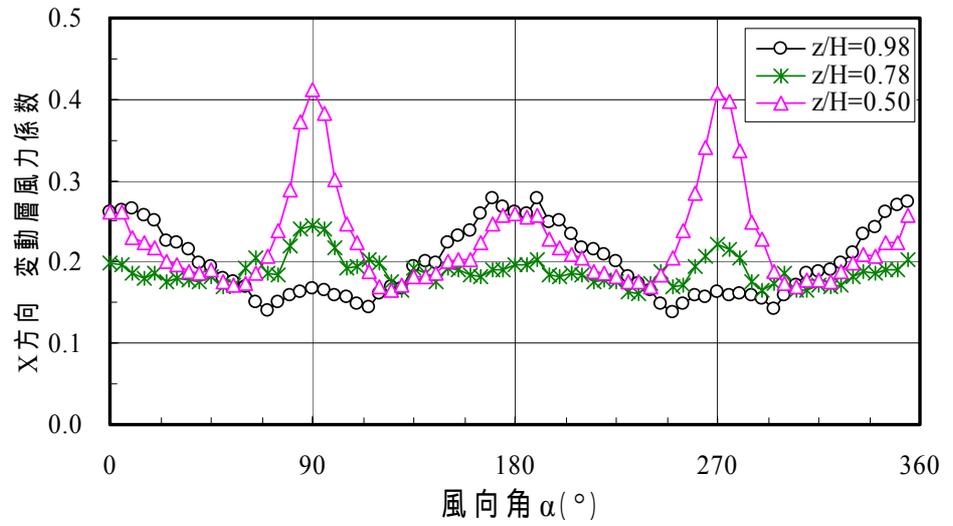
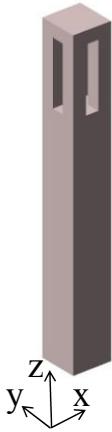


図 7.4.36 Cross void の変動層風力係数

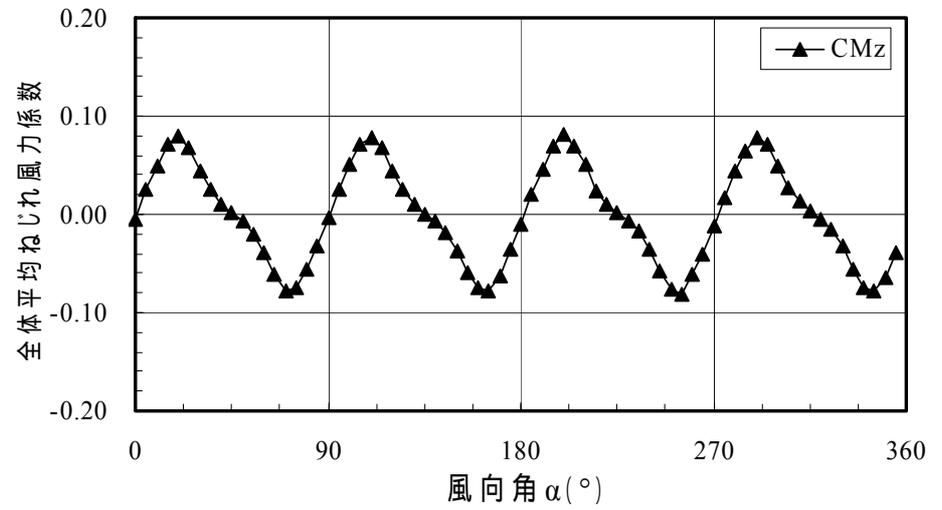
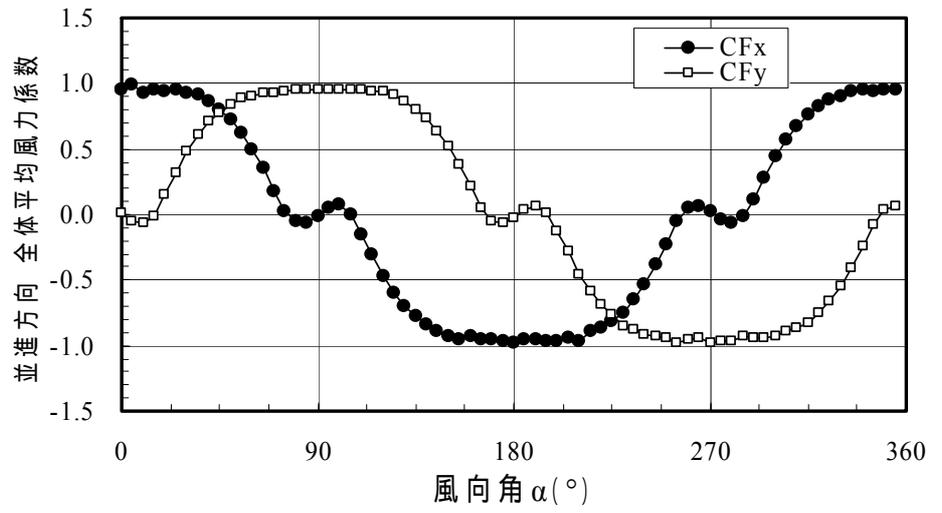
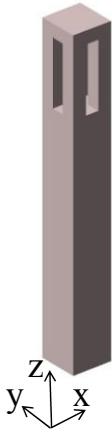


図 7.4.37 Cross void の全体風力の平均風力係数

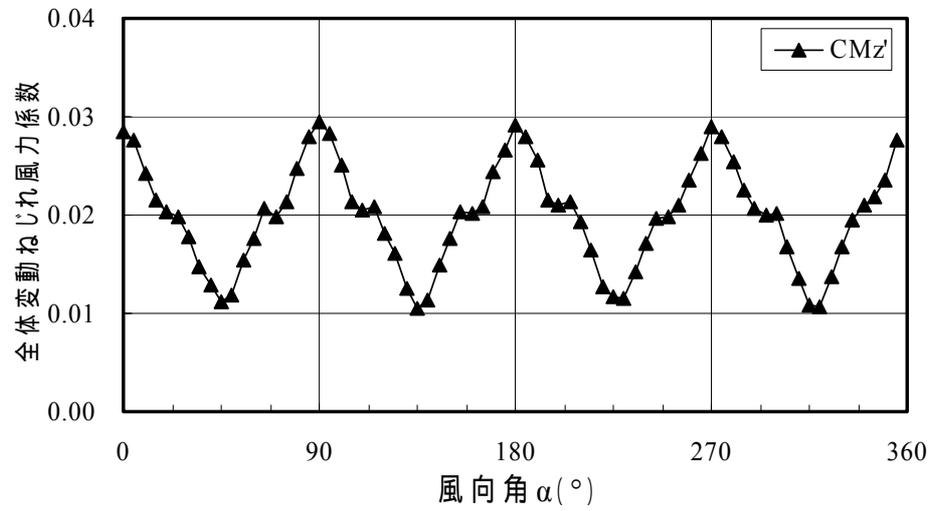
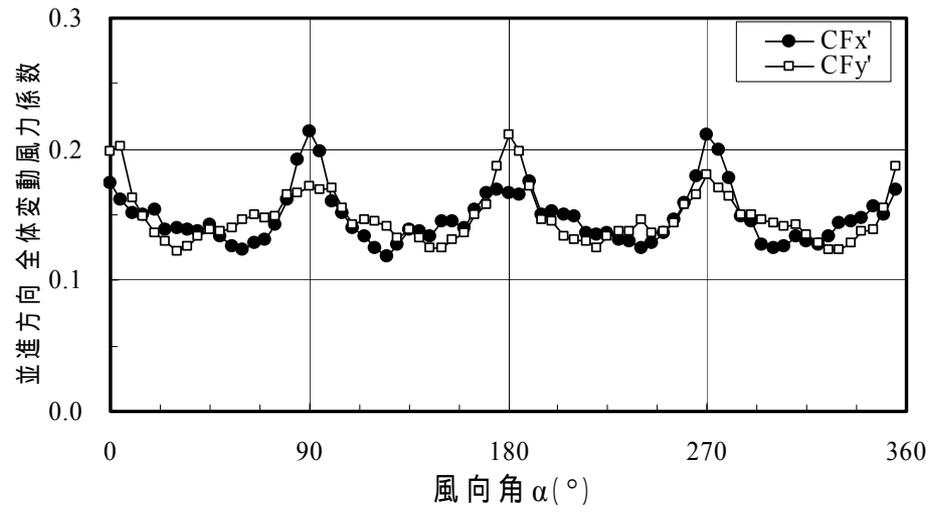
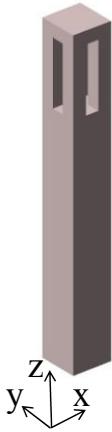


図 7.4.38 Cross void の全体風力の変動層風力係数

(10) A 案

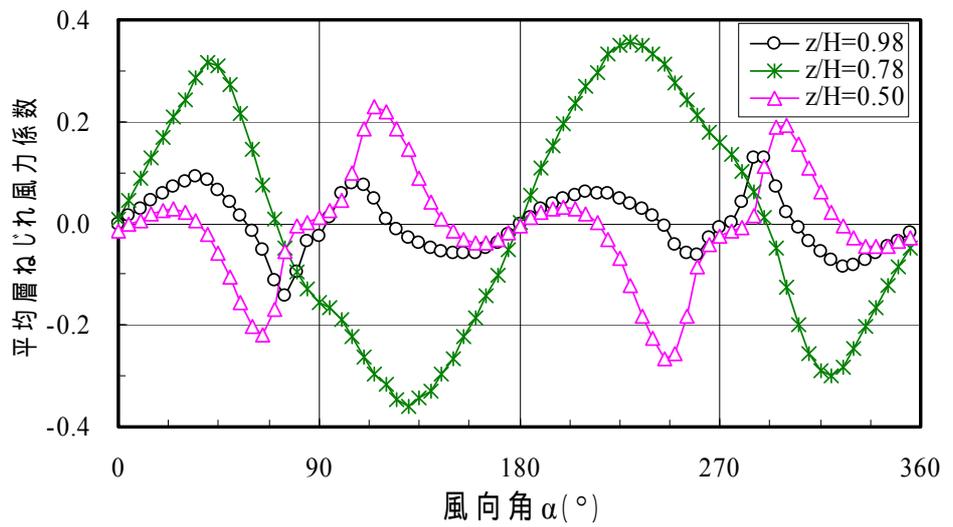
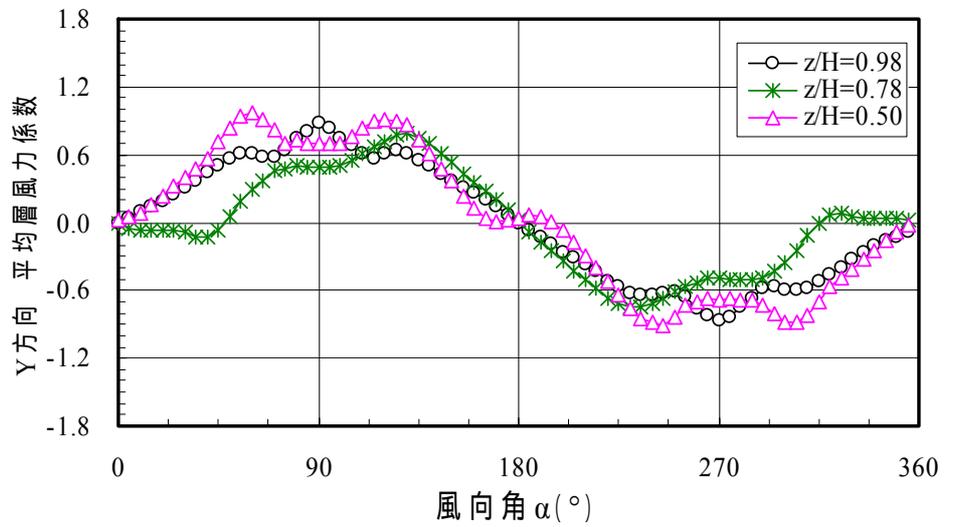
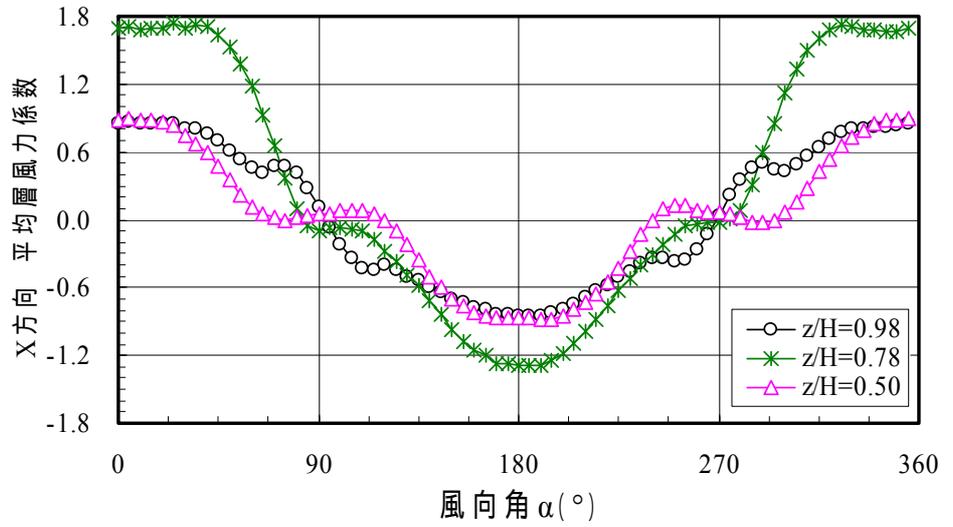
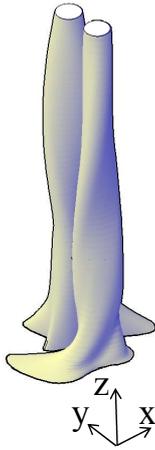


図 7.4.39 A 案の平均層風力係数

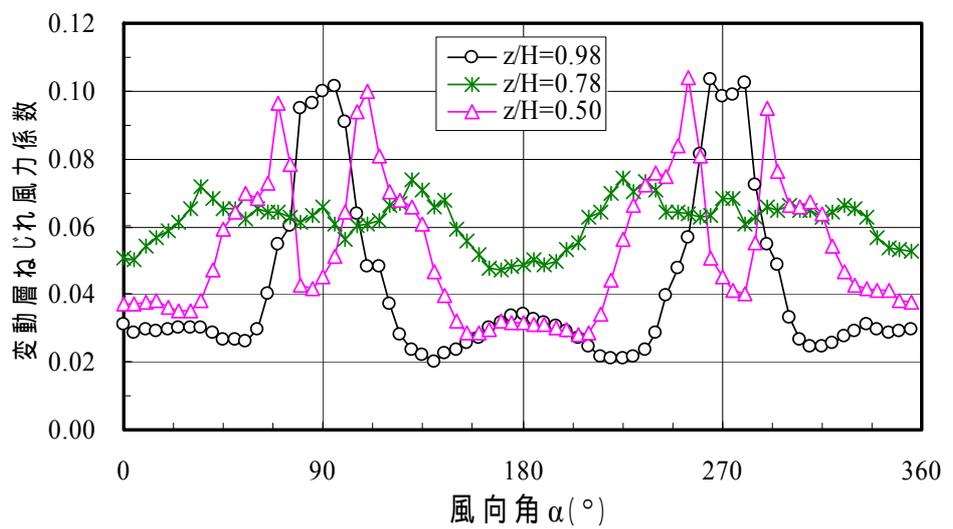
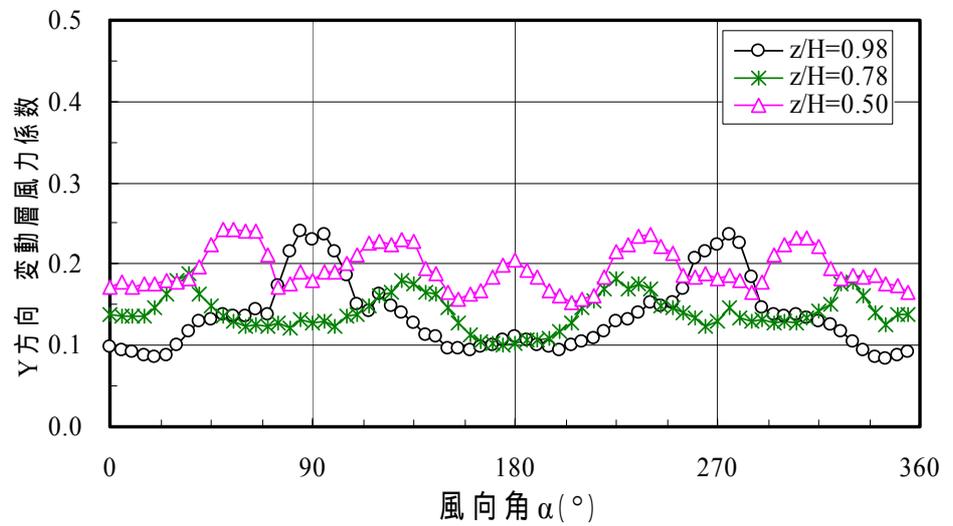
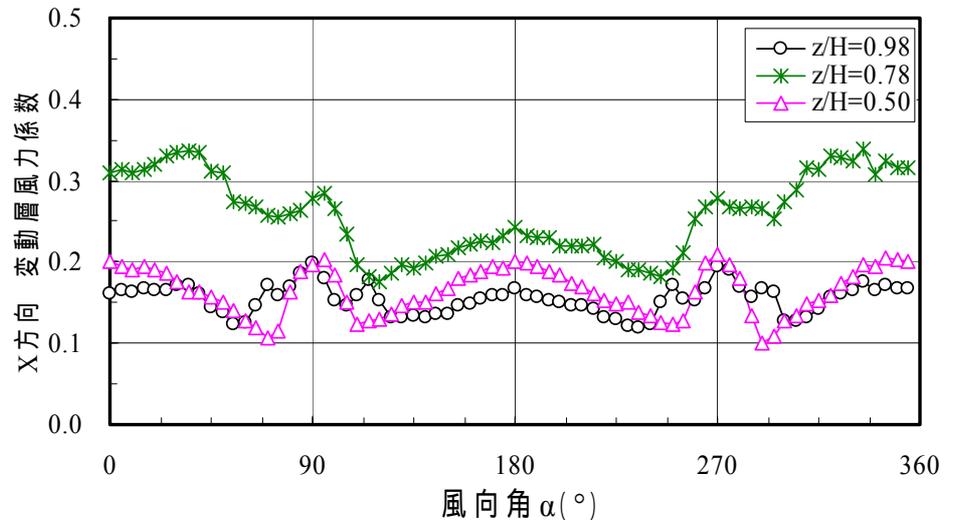
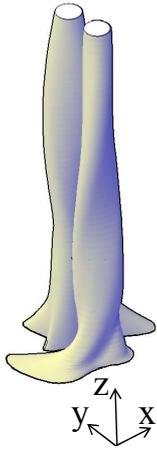


図 7.4.40 A 案の変動層風力係数

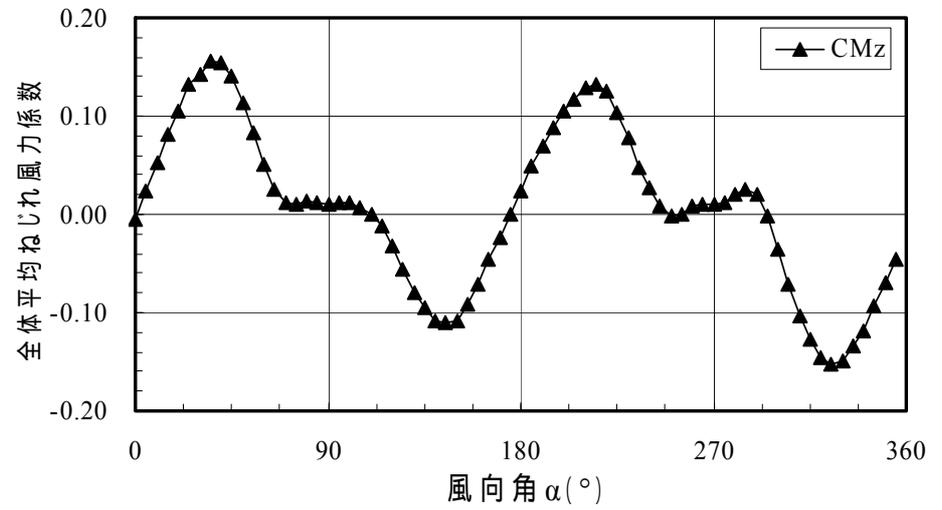
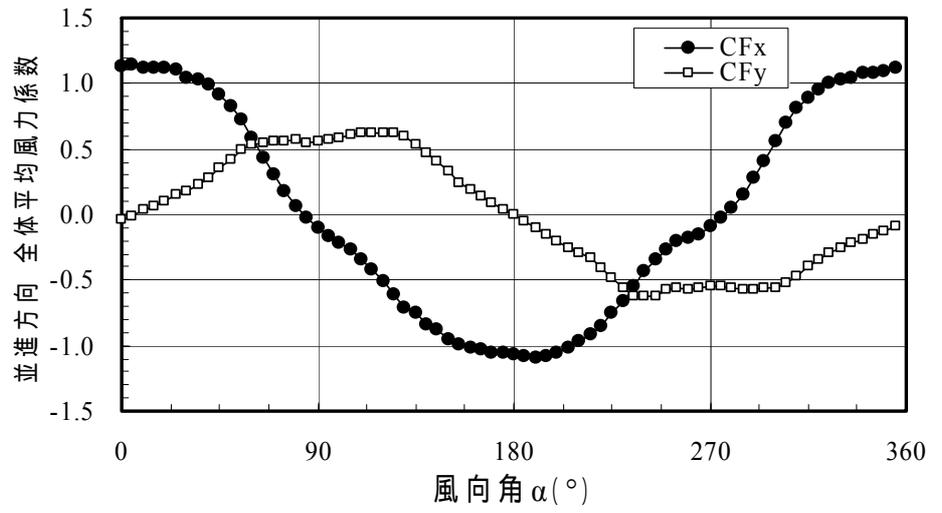
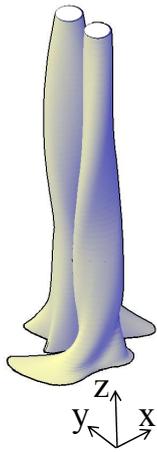


図 7.4.41 A 案の全体風力の平均風力係数

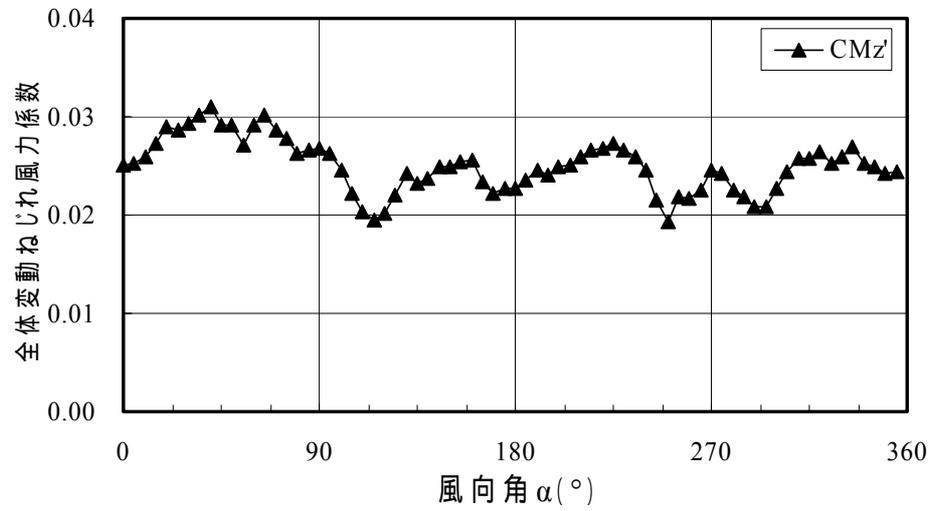
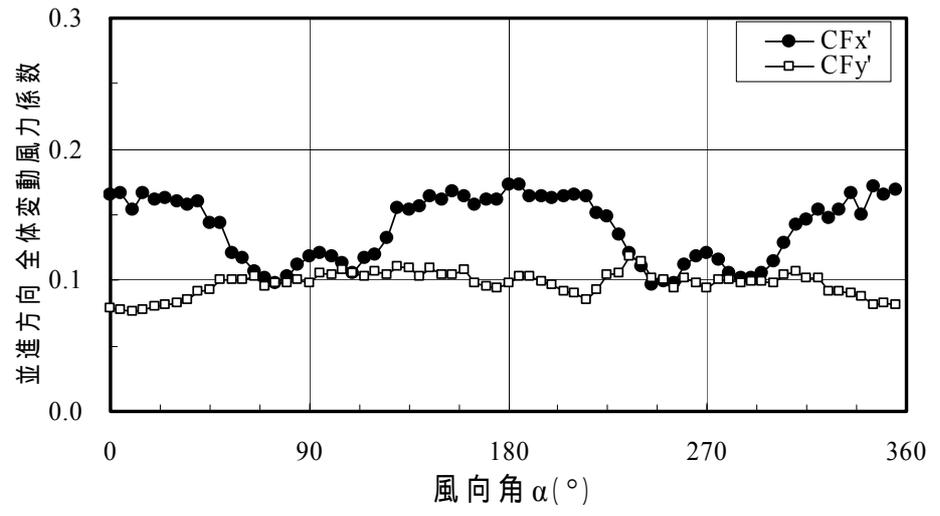
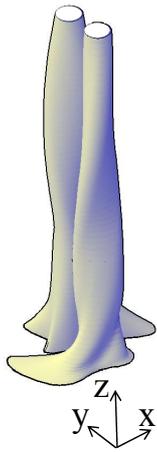


図 7.4.42 A 案の全体風力の変動層風力係数

(11) B案

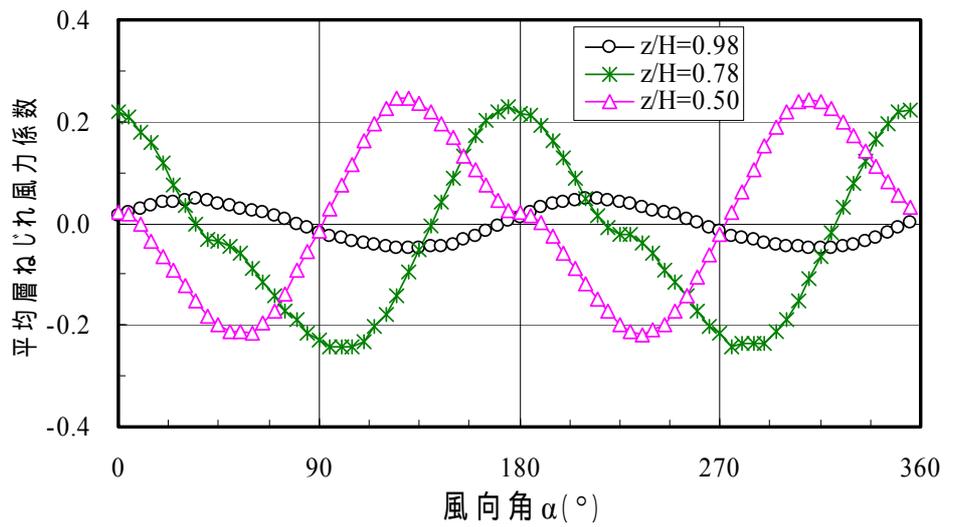
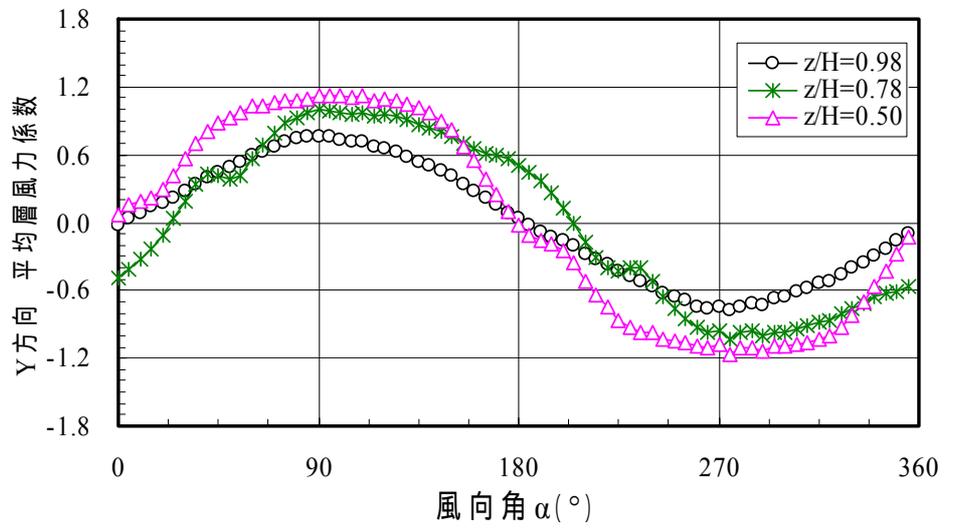
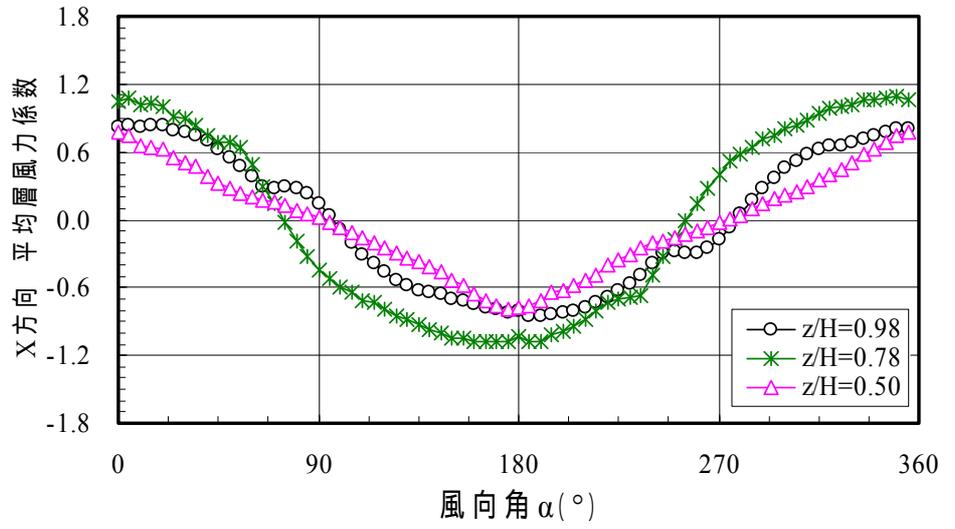
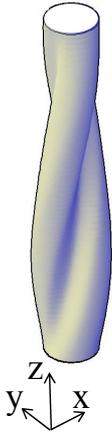


図 7.4.43 B案の平均層風力係数

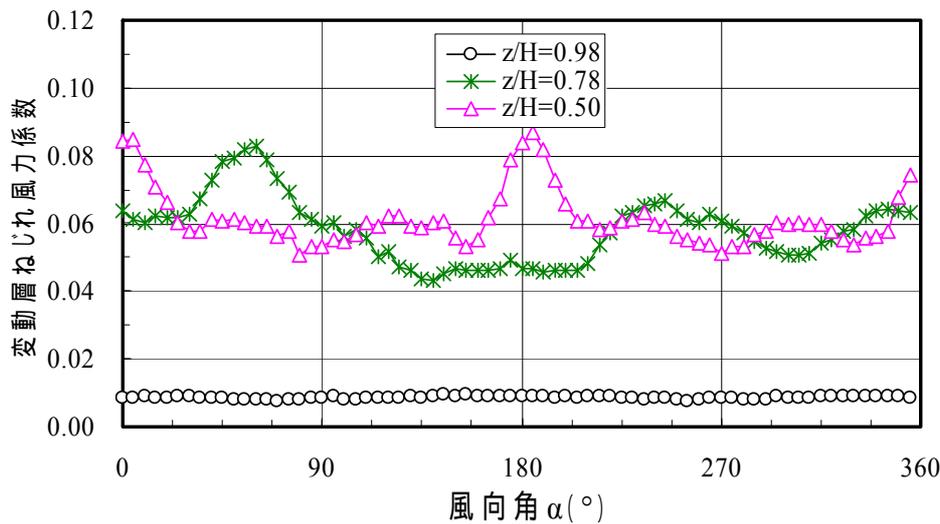
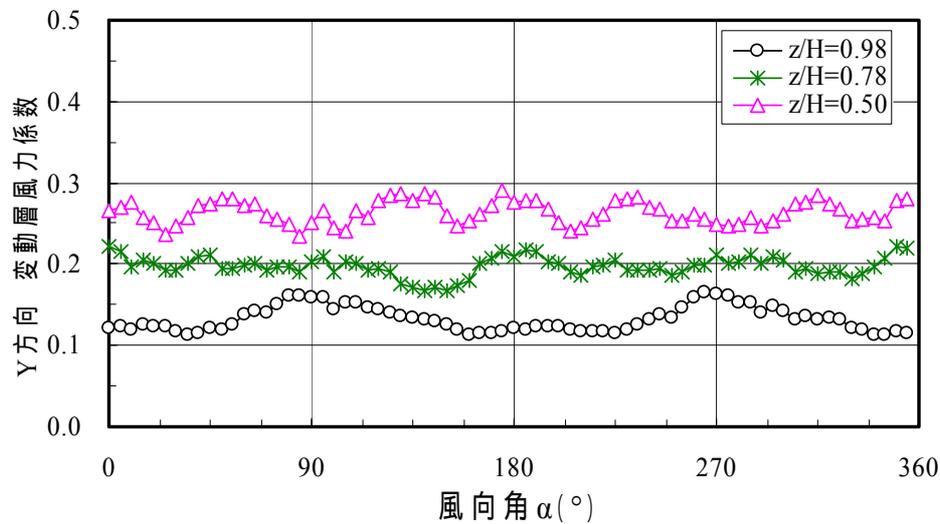
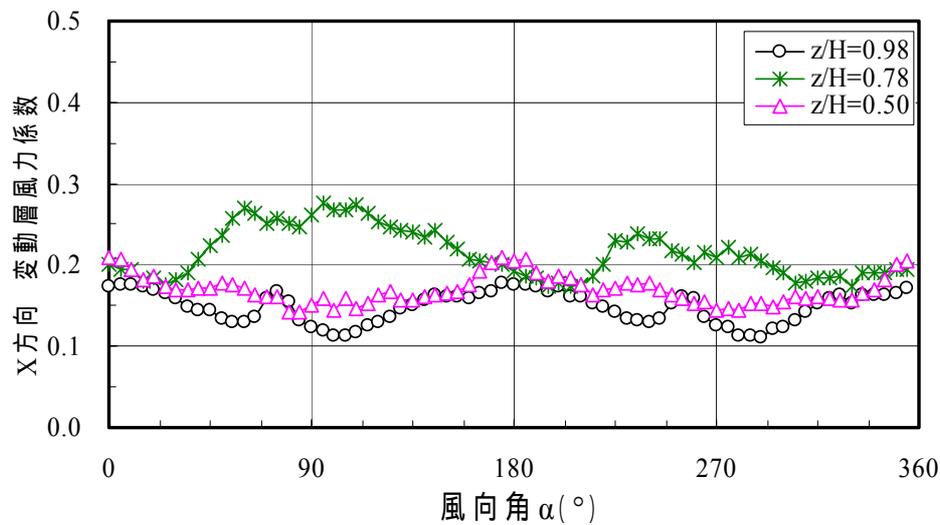
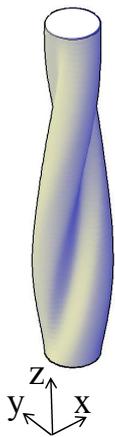


図 7.4.44 B 案の変動層風力係数

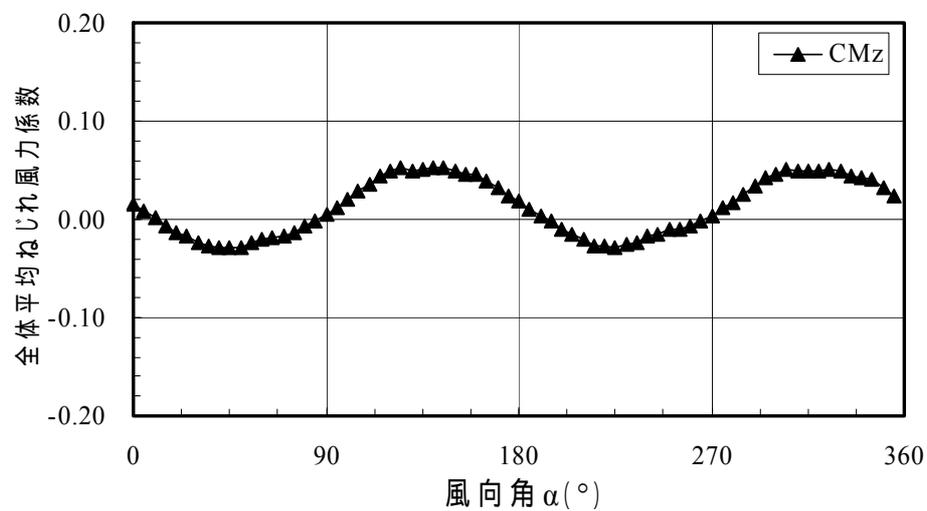
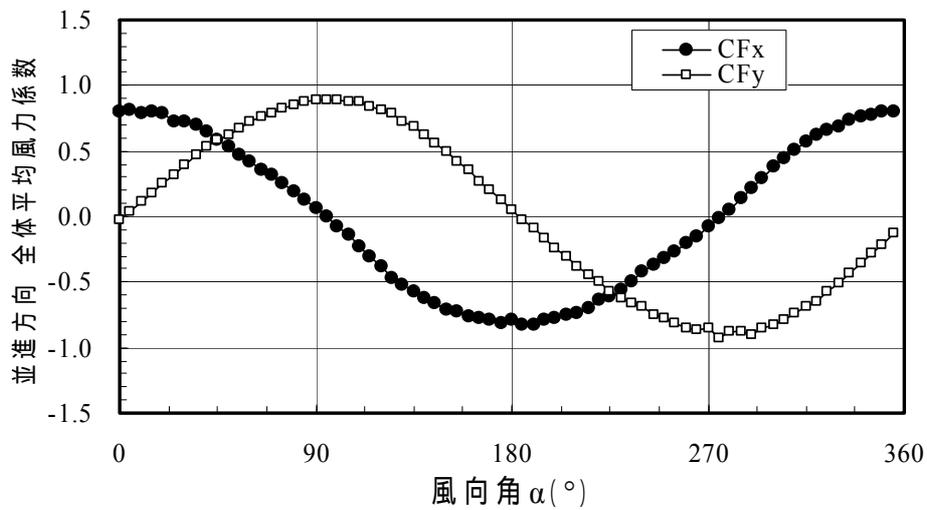
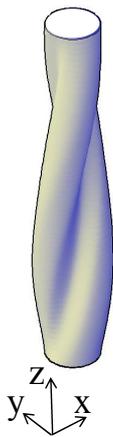


図 7.4.45 B 案の全体風力の平均風力係数

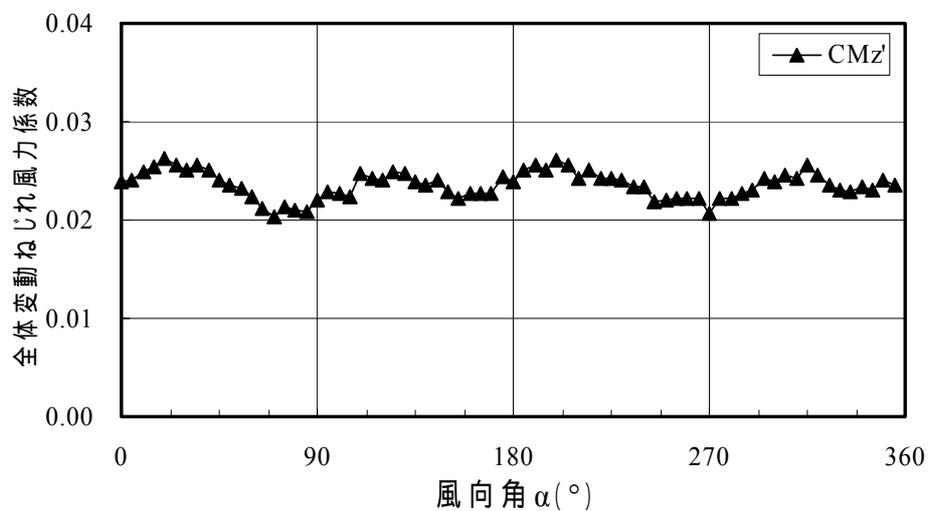
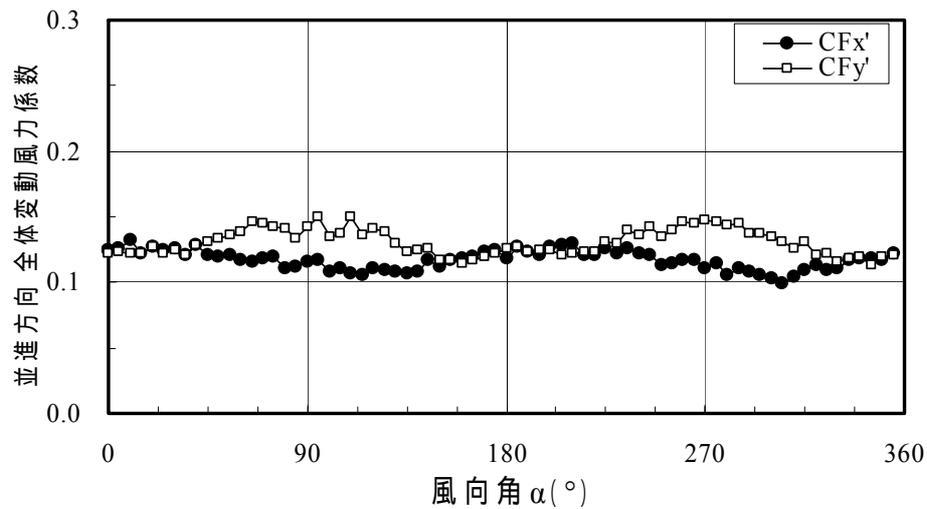
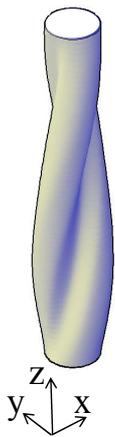


図 7.4.46 B 案の全体風力の変動層風力係数

7.4.4 層風力係数の鉛直分布

各建物形状を代表する風向角として、7.4.3の風力係数と風向角の関係から並進方向の平均風力係数(X方向)と変動風力係数(Y方向)が最大値を示すことが多い風向角 $\alpha=0^\circ$ に着目し、以下で各建物形状の特性について詳細に述べる。平均層風力係数の鉛直分布を図7.4.47～図7.4.49に示し、変動層風力係数の鉛直分布を図7.4.50～図7.4.52に示す。

(1) 風方向(X方向)の平均層風力係数

4-Tapered と Setback を除いて、高さ z/H が大きい上方ほど平均層風力係数も大きい。4-Tapered と Setback では、上方ほど見付面積が小さいため、 z/H の増加に伴って平均層風力係数は小さくなる。しかし、Setback では同一の水平断面においては、他の形状と同様に z/H の増加に伴って平均層風力係数が大きい。Chamfered と Corner cut では Square の平均層風力係数よりも 1/2 程度に小さくなっている。また、 90° Helical と 180° Helical でも Square の平均層風力係数よりも小さくなっている。Cross void では開口部で Square よりも平均層風力係数が小さいが他の箇所は Square と大差ない。A 案は見付面積が大きいので、上方で Square よりも大きな平均層風力係数を示すが、開口のある $z/H=0.375 \sim 0.6$ の範囲では平均層風力係数は小さい。B 案は Circle よりも大きな平均層風力係数を示す。

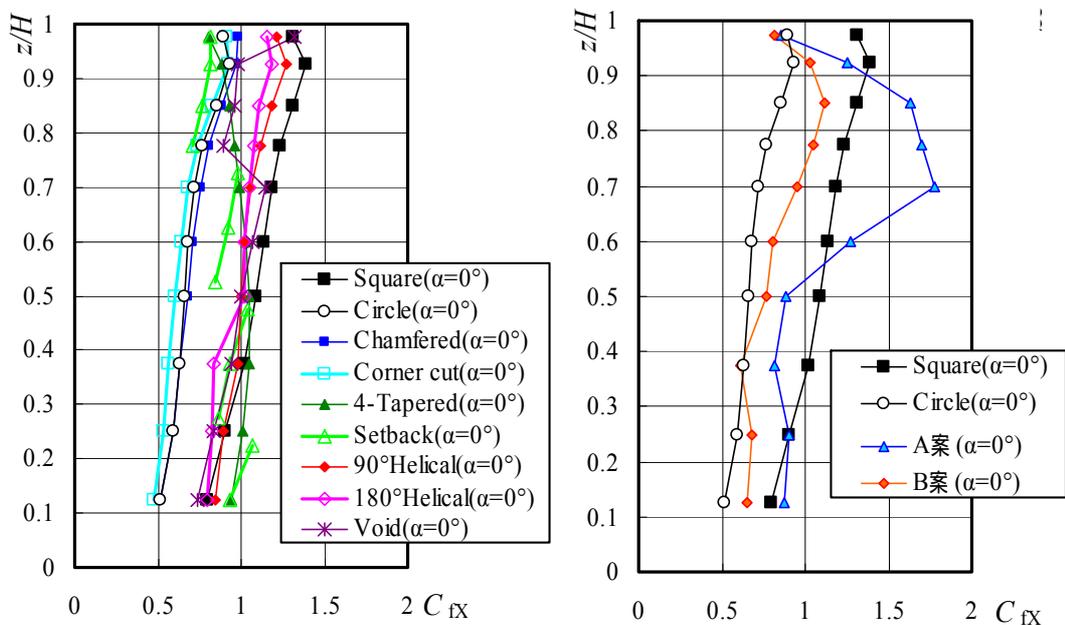


図 7.4.47 風方向(X方向)の平均層風力係数の鉛直分布

(2) 風直交方向(Y 方向), ねじれ方向の平均層風力係数

Helical と A 案, B 以外では, 左右対称な断面であるため, 風直交方向とねじれの平均層風力係数はほぼ 0 である。A 案でも非対称性が大きくなる下層部以外はほぼ 0 である。それに対して, 90°Helical と 180°Helical では, 高さ z/H によって正負の値を示し, 平面の回転に対応した分布形となっている。B 案も 180°Helical と同様の回転角を有するが, 断面が正方形の 180°Helical とは異なり, 下層部分(z/H 0.5)においても正值を示す。

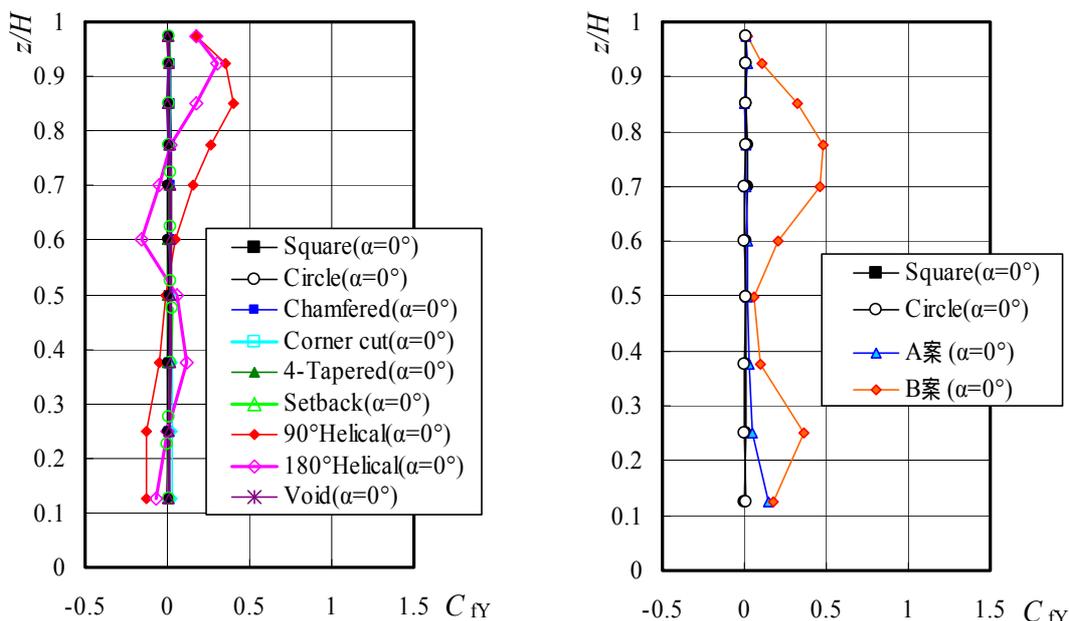


図 7.4.48 風直交方向(Y 方向)の平均層風力係数の鉛直分布

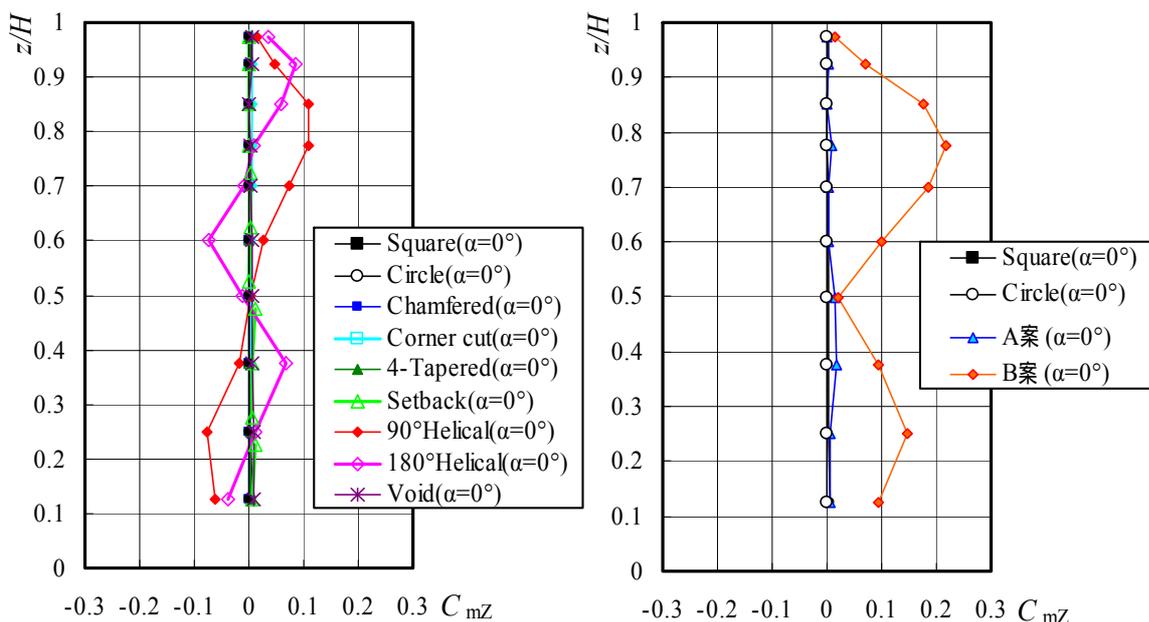


図 7.4.49 ねじれ方向の平均層風力係数の鉛直分布

(3) 風方向(X 方向)の変動層風力係数

Chamfered, Corner cut では高さ z/H が大きい上方で変動層風力係数も大きい。Square の変動層風力係数より 2/3 程度小さい。4-Tapered と Setback では, 見付面積が小さい上方ほど変動層風力係数も小さい。90°Helical と 180°Helical の変動層風圧係数は Chamfered や Corner cut よりもやや大きい程度である。Cross void, A 案ともに開口のない箇所では大きな変動層風力係数を示す。B 案は Circle よりも大きな変動層風力係数を示す。

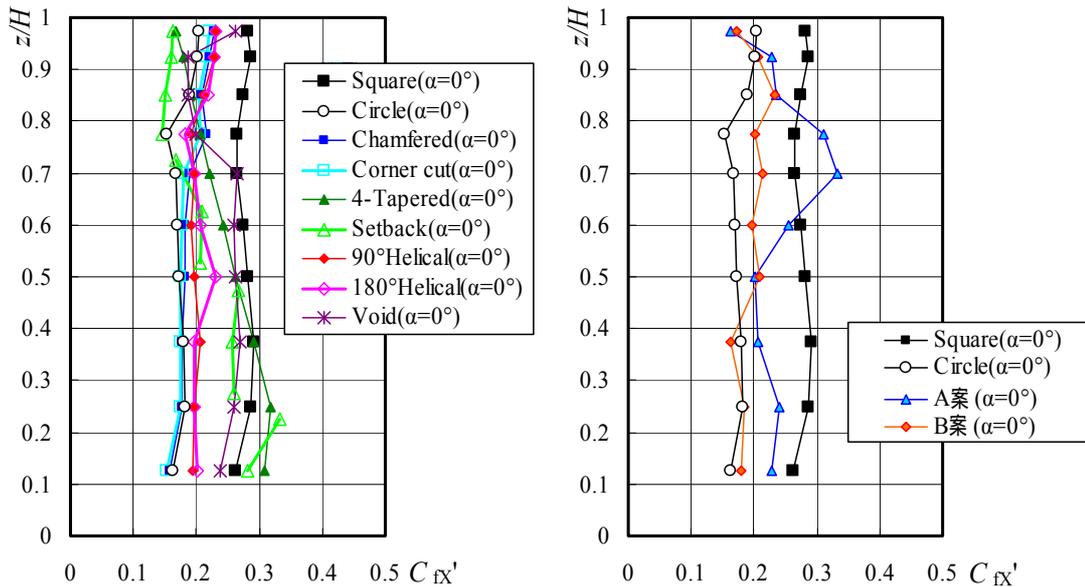


図 7.4.50 風方向(X 方向)の変動層風力係数の鉛直分布

(4) 風直交方向(Y 方向)の変動層風力係数

いずれの形状も Square の変動層風力係数よりも小さい。90°Helical と 180°Helical, B 案は平面の回転に対応した分布形となっており, 180°Helical と B 案は類似している。

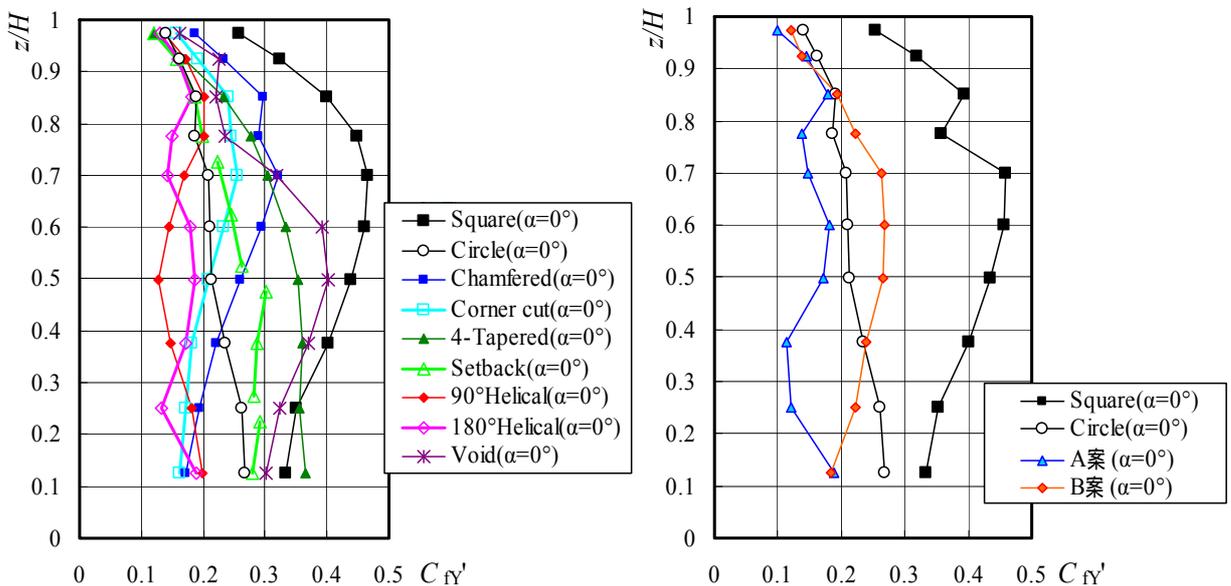


図 7.4.51 風直交方向(Y 方向)の変動層風力係数の鉛直分布

(5)ねじれ方向の変動層風力係数

Chamfered, Corner cut では高さ z/H によらず変動層風力係数はほぼ一定の値を示し, Square の変動層風力係数よりも小さい。4-Tapered と Setback では, 高さ z/H による変動層風力係数の変化が大きく, 高さ方向に水平断面が変わっている影響がある。4-Tapered と Setback では, $z/H=0.5$ 以下で Square の変動層風力係数よりも大きい。90°Helical, 180°Helical では, 平面の回転に対応した分布形となっている。Cross void の開口部高さの変動層風力係数は大きくなっているが, A 案の開口部高さの変動層風力係数は小さい。B 案では, 180°Helical とは異なり, 平面の回転に対応した分布形となっておらず変動層風力係数も大きい。

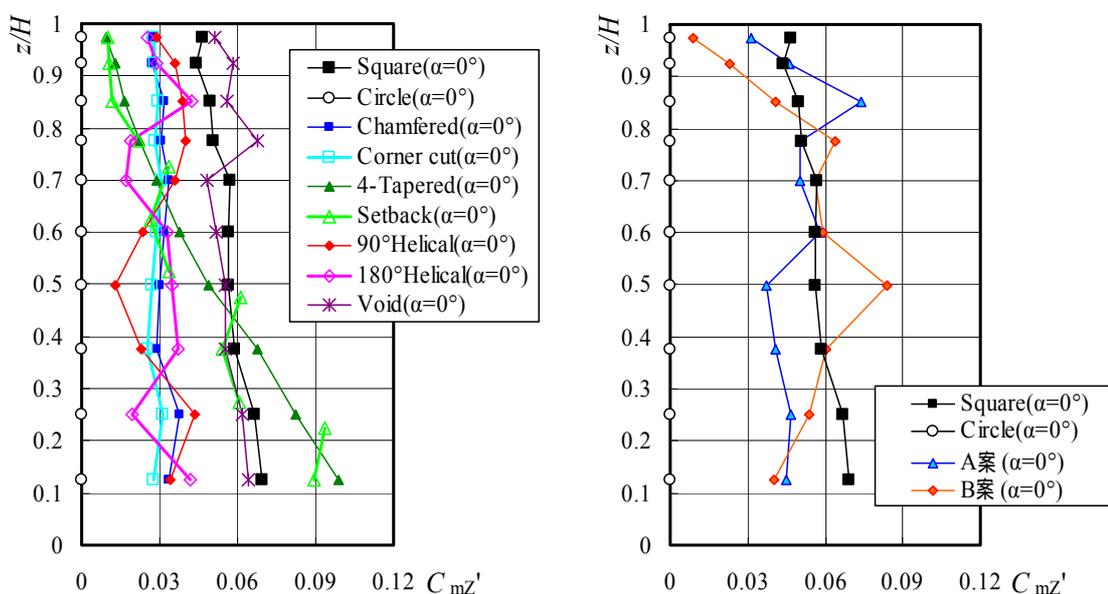


図 7.4.52 ねじれ方向の変動層風力係数の鉛直分布

7.4.5 層風力係数のパワースペクトル密度

風向角 $\alpha=0^\circ$ について、風方向、風直交方向、ねじれの $z/H=0.5$ 以上の層風力のパワースペクトル密度(以下、パワースペクトル)の例を図 7.4.53 ~ 図 7.4.55 に示す。

(1) 風方向(X 方向)

Square では、各 z/H によって層風力のパワースペクトルに差はほとんどない。

Circle の $fB/U_H < 0.3$ の範囲では、各 z/H によって層風力のパワースペクトルに差はほとんどないが、 $fB/U_H > 0.3$ では z/H によって層風力のパワースペクトルの最大値と最大値となる fB/U_H に差がある。

Chamfered ,Corner cut では、 $z/H = 0.78$ と $z/H = 0.73$ で層風力のパワースペクトルの最大値が異なる。

4-Tapered ,Setback では、他の形状とは異なり z/H が小さい方がパワースペクトルの最大値は大きい。

90° Helical と 180° Helical では、各 z/H によって層風力のパワースペクトルに差があり、 fB/U_H が大きな範囲において層風力のパワースペクトルに差がある点で他の形状とは異なる。

Cross void では、開口のある高さ $z/H=0.78 \sim 0.93$ とその上部の $z/H=0.98$ において層風力のパワースペクトルの性状が異なるが、その他の層風力は Square と大差ない。

A 案、B 案ともに各 z/H によって層風力のパワースペクトルで大きな差がある。

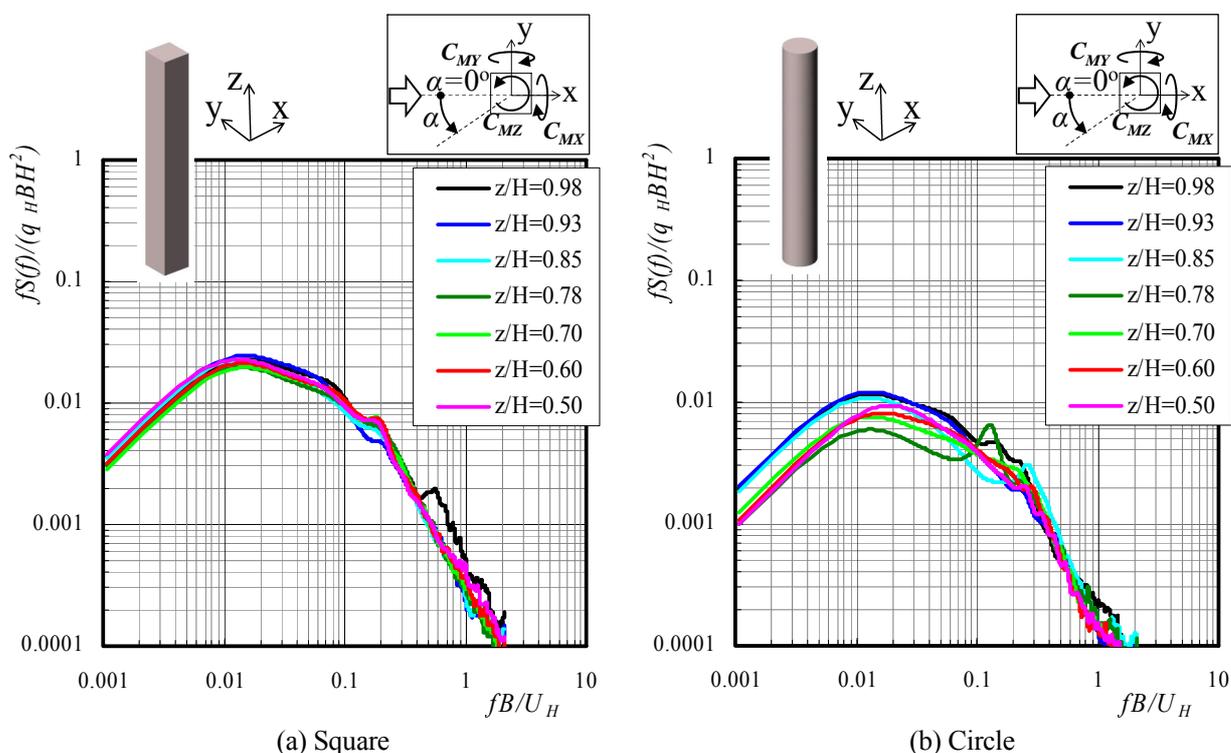
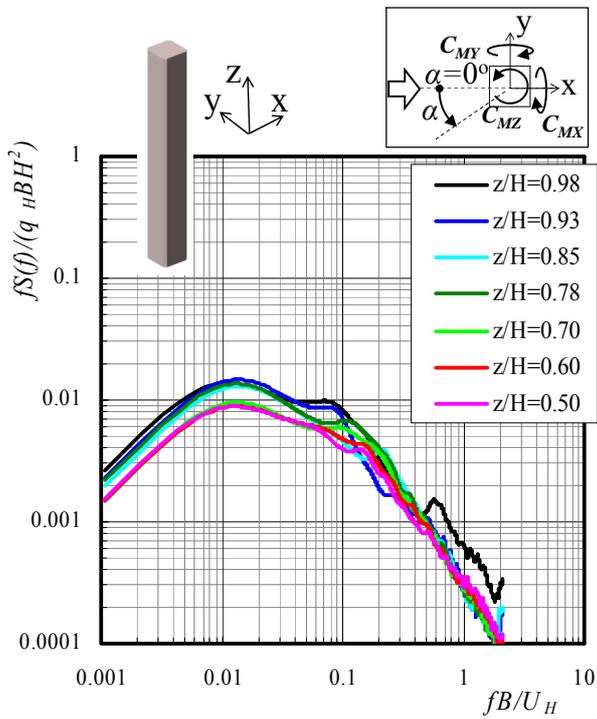
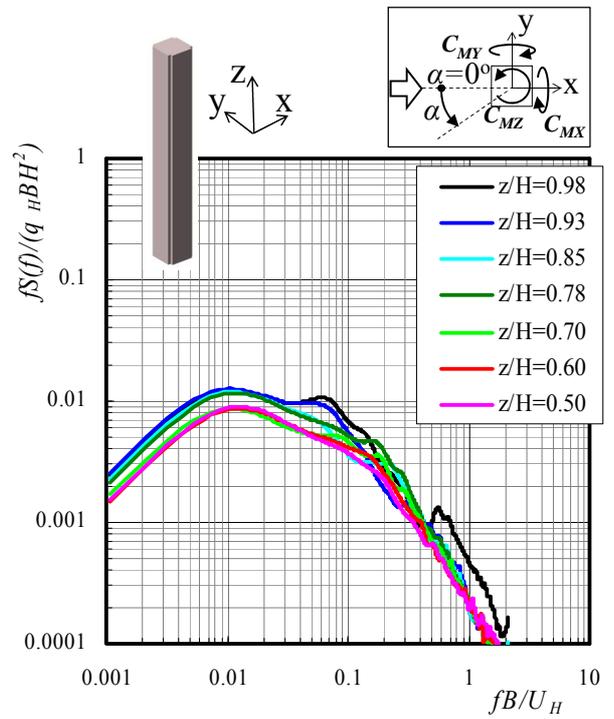


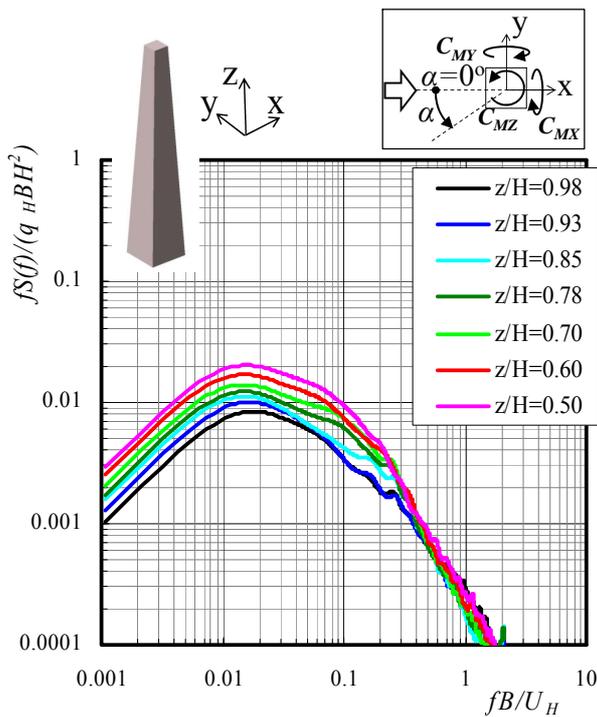
図 7.4.53(1) 風方向層風力係数のパワースペクトル密度



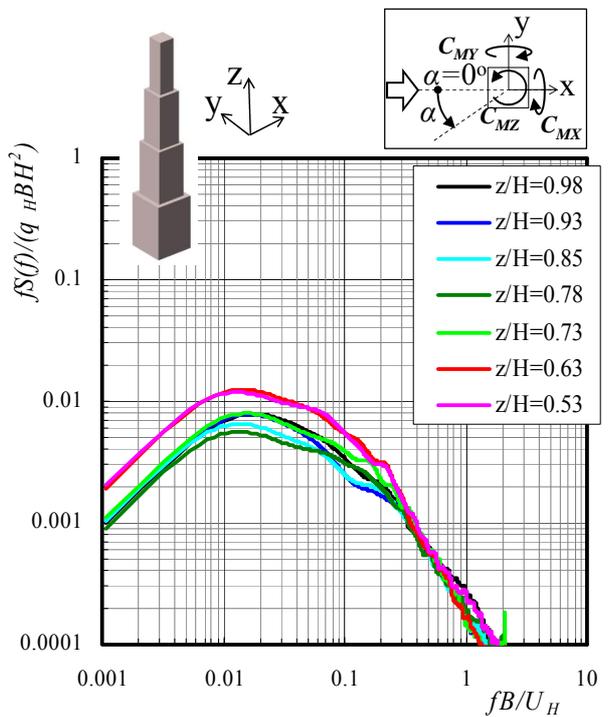
(c) Chamfered



(d) Corner cut



(e) 4-Tapered



(f) Setback

図 7.4.53(2) 風方向層風力係数のパワースペクトル密度

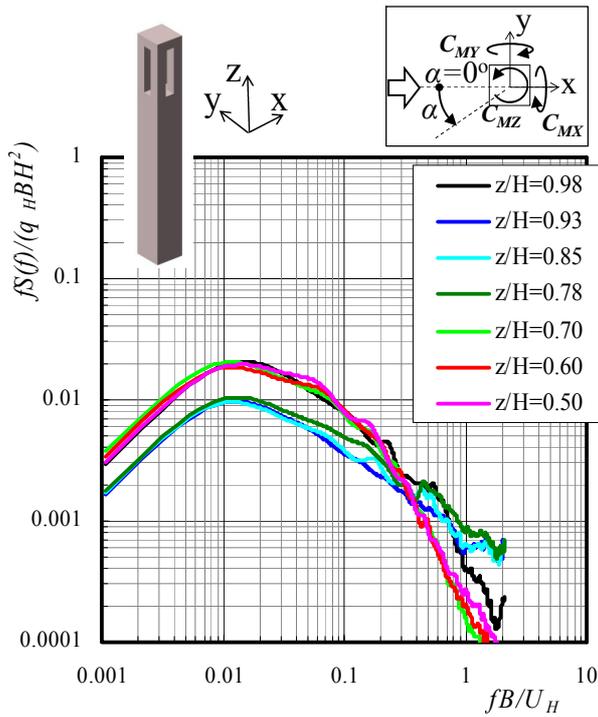
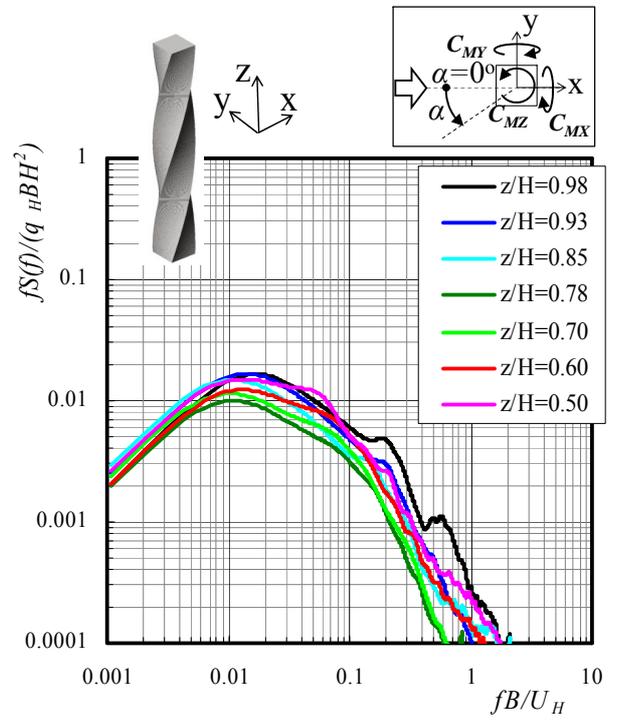
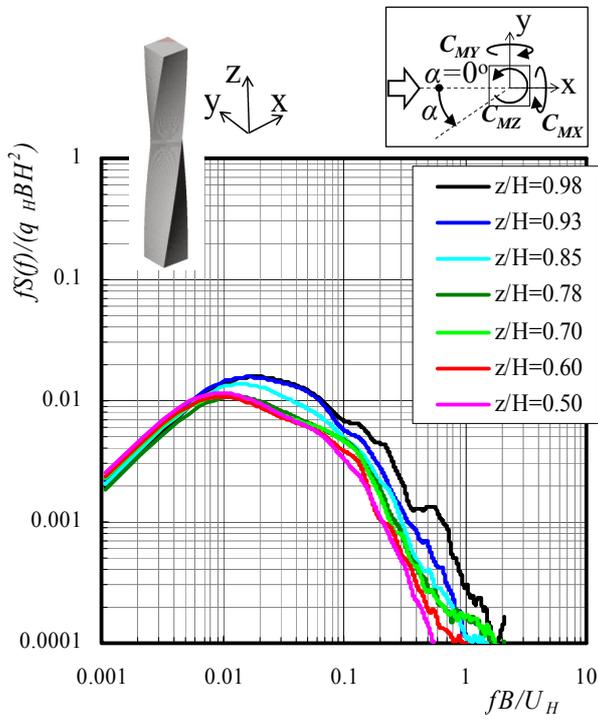
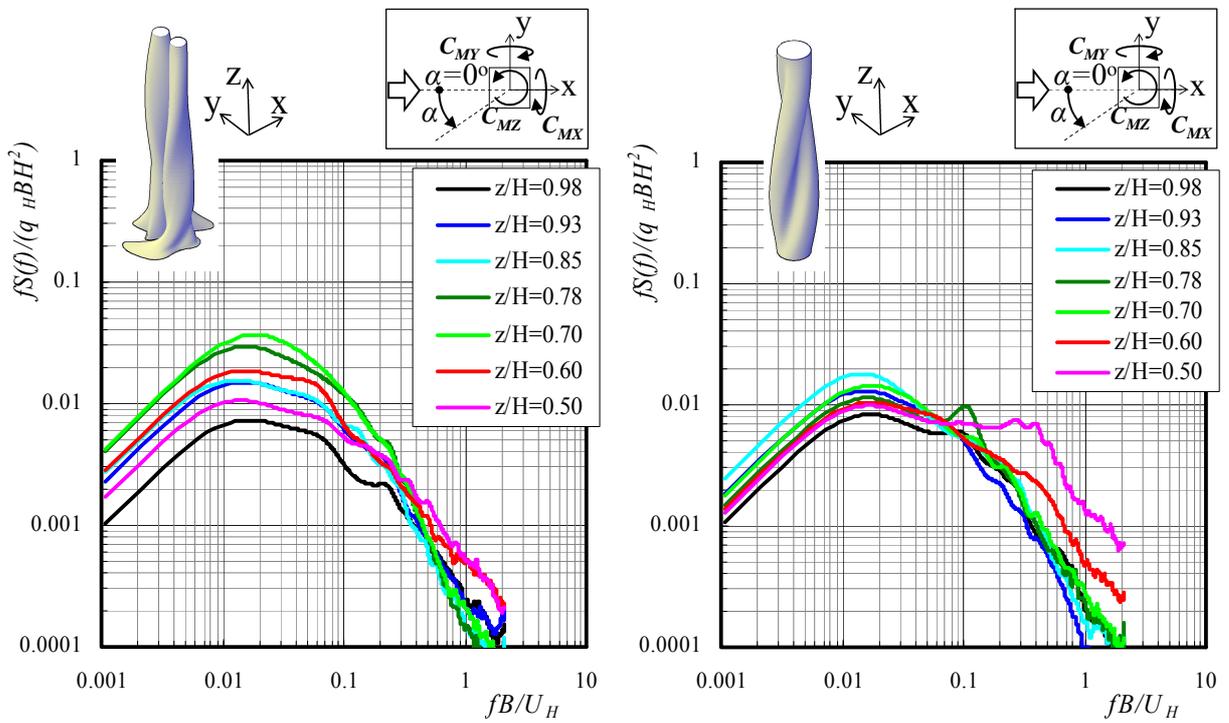


図 7.4.53(3) 風方向層風力係数のパワースペクトル密度



(j) A 案 (k) B 案
 図 7.4.53(4) 風方向層風力係数のパワースペクトル密度

(2) 風直交方向(Y 方向)

Square では、無次元振動数 $fB/U_H=0.1$ 近傍で鋭いピークを有し、 $z/H=0.5 \sim 0.7$ のピーク値が最大値を示す。

Circle では、無次元振動数 $fB/U_H=0.12$ 近傍で鋭いピークを有すが、Square のピーク値に比べると 1/3 程度である。ピーク値が最大値は $z/H=0.5 \sim 0.7$ である。

Chamfered, Corner cut では、Square のように鋭いピークはなくなっている。最大値を示す高さはどちらも $z/H=0.7$ である。

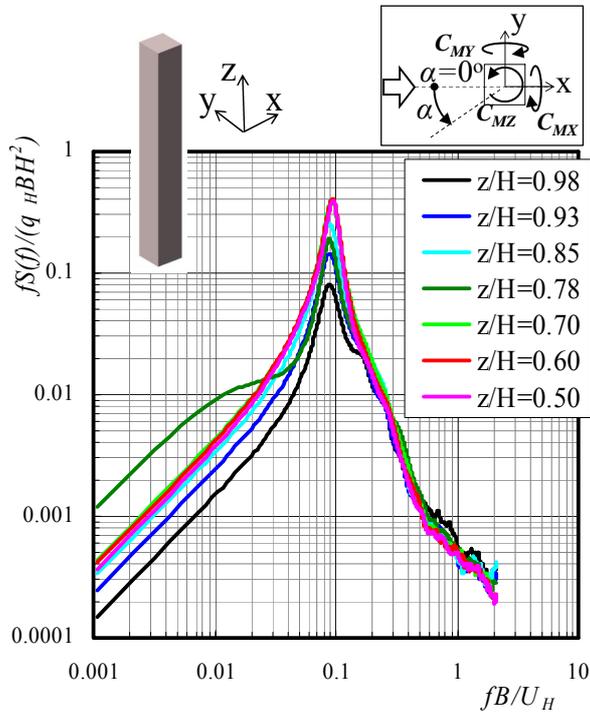
4-Tapered と Setback でもピークはあるが、Square ほど鋭くなく、最大値も小さい。そのピークを示す無次元振動数は、 z/H が小さくなるに伴って低周波数側へ移動し、ピーク値も大きくなり、最大値を示す高さはどちらも $z/H=0.5$ である。

90° Helical, 180° Helical とともに鋭いピークはなく、そのピーク値は他の形状に比べてもかなり小さい。特に 180° Helical では、 $z/H=0.78 \sim 0.93$ において全くピークが認められない。 90° Helical では $z/H=0.93$, 180° Helical では $z/H=0.50$ でそれぞれ最大値を示す。

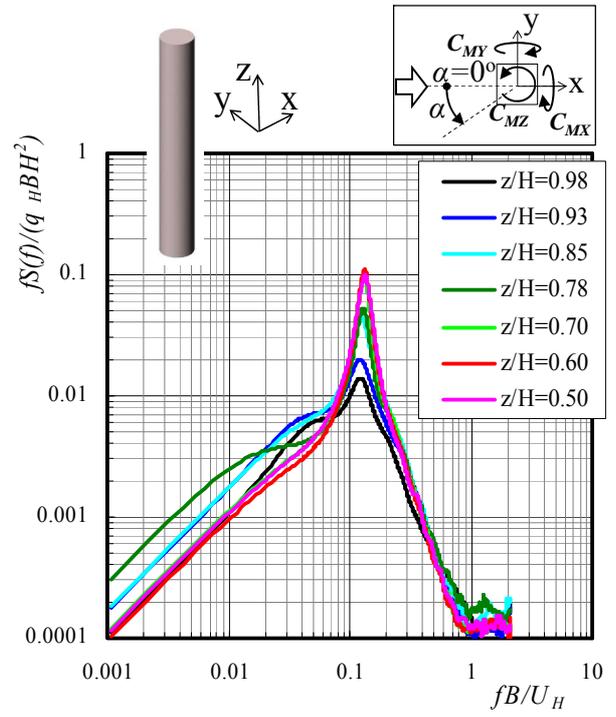
Cross void では、開口のある高さ $z/H=0.78 \sim 0.93$ とその上部の $z/H=0.98$ において層風力のパワースペクトルの性状が異なるが、その他の層風力は Square と大差ない。

A 案では、開口部高さの層風力のパワースペクトルにおいて、Cross void と同じく高振動数域でパワースペクトルが大きくなる特徴を有している。

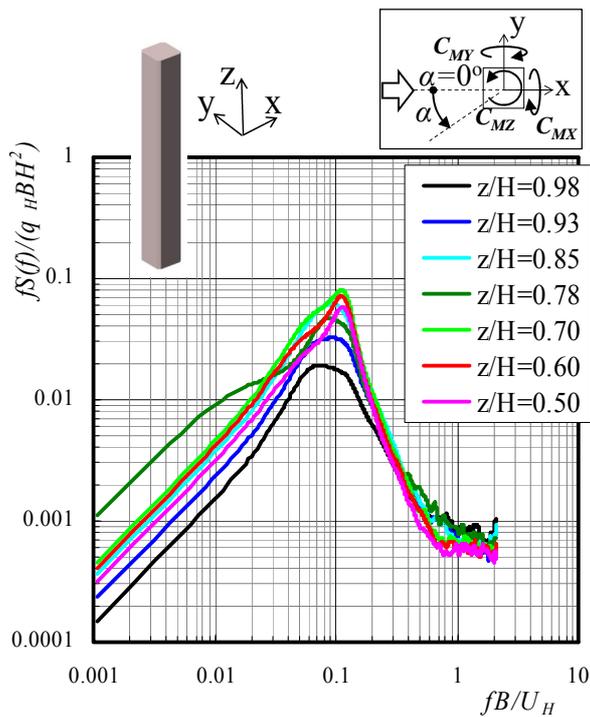
B 案では、 180° Helical とは異なり、パワースペクトルのピークは明確である。



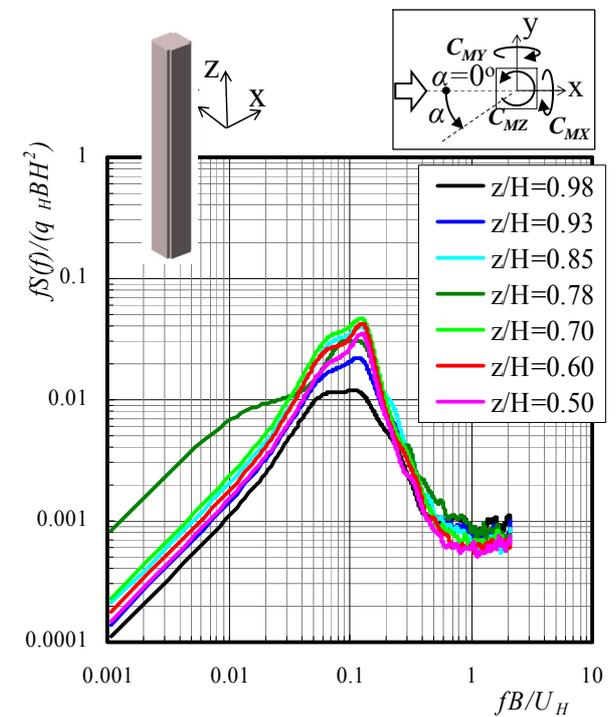
(a) Square



(b) Circle

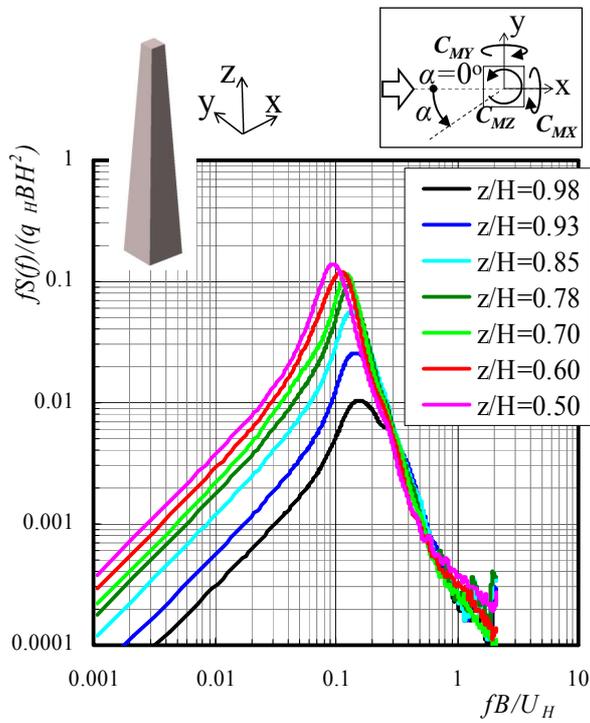


(c) Chamfered

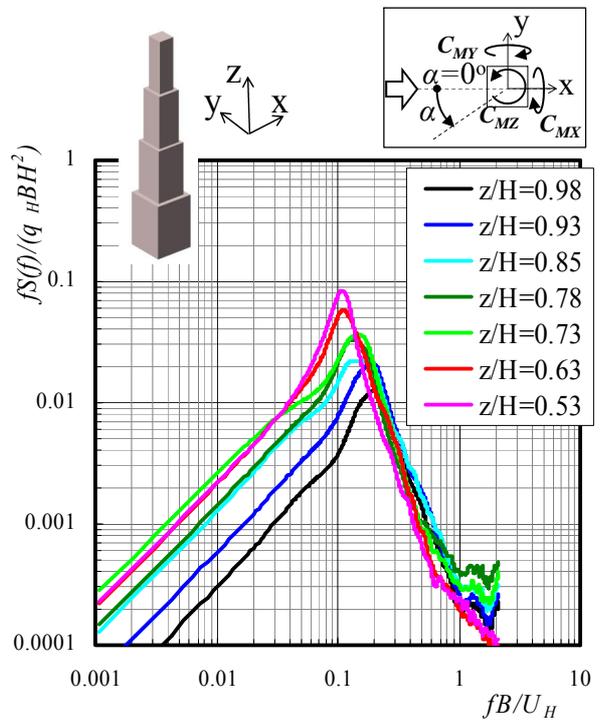


(d) Corner cut

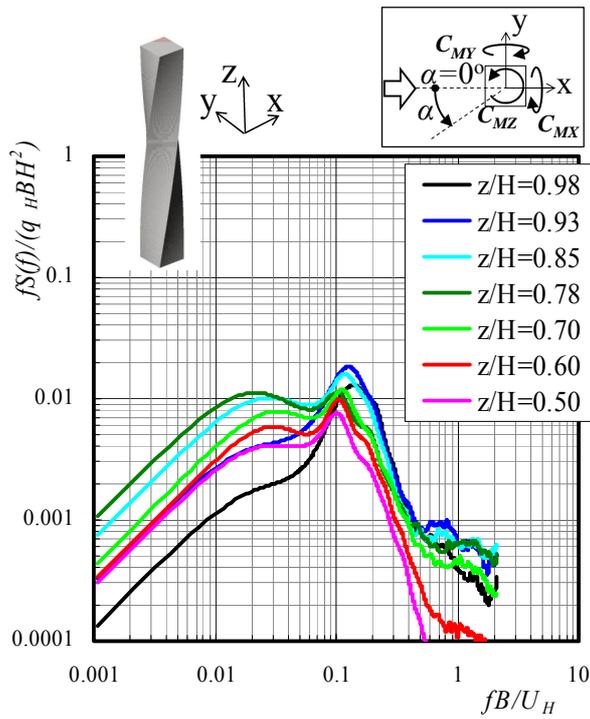
図 7.4.54(1) 風直交方向層風力係数のパワースペクトル密度



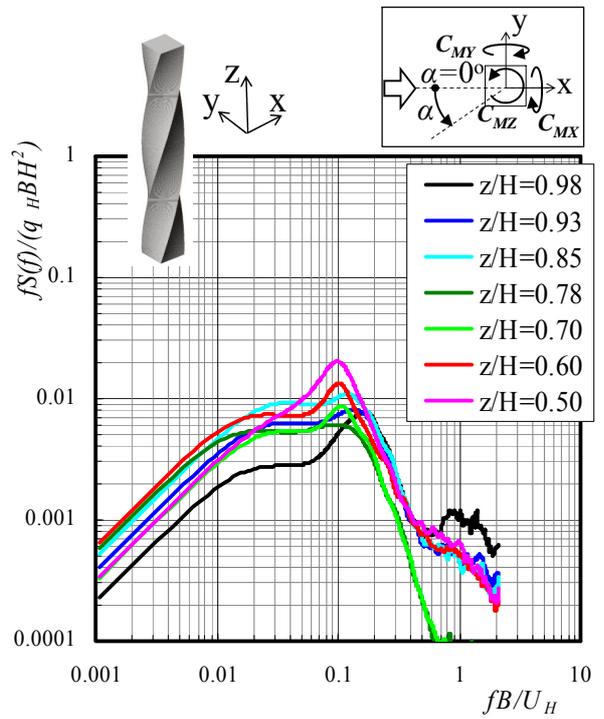
(e) 4-Tapered



(f) Setback



(g) 90°Helical



(h) 180°Helical

図 7.4.54(2) 風直交方向層風力係数のパワースペクトル密度

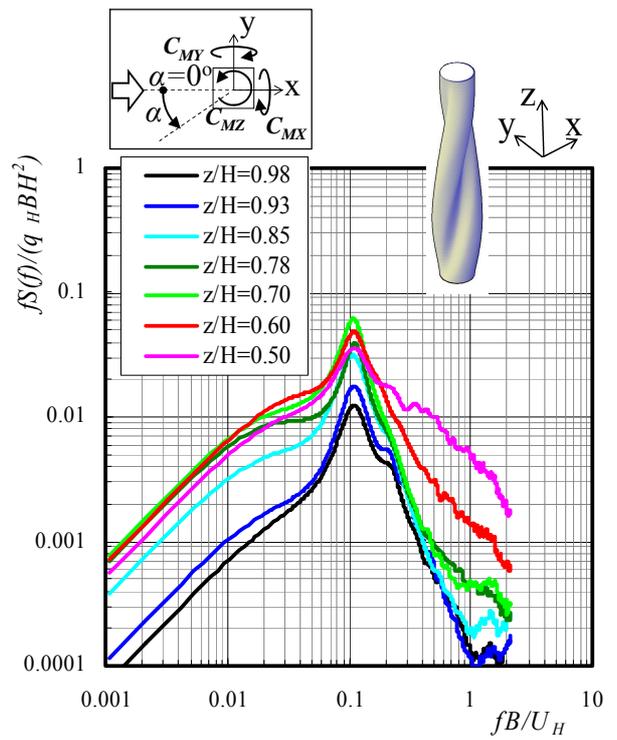
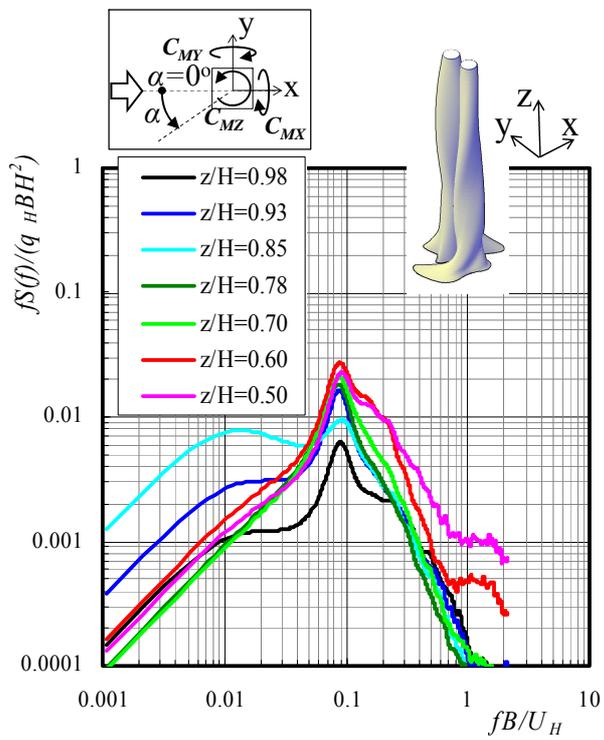
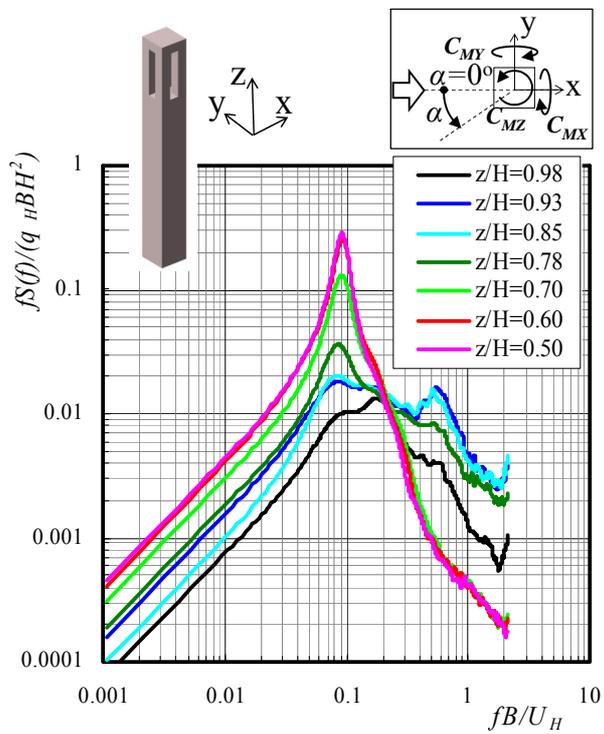


図 7.4.54(3) 風直交方向層風力係数のパワースペクトル密度

(3) ねじれ方向

Square では、並進方向に比べると各層風力のパワースペクトルには差がある。 $z/H=0.5 \sim 0.7$ で最大値を示す。

Chamfered , Corner cut では、高振動数域で Square よりもパワースペクトルが小さく、最大値を示す高さはどちらも $z/H=0.7$ である。

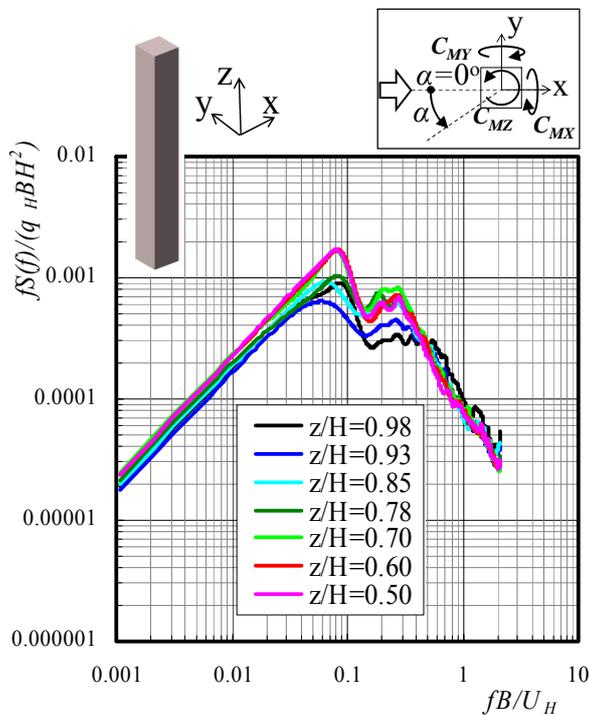
4-Tapered では、 z/H が小さくなるに伴って最大値を示す無次元振動数が低周波数側へ移動し、パワースペクトルの最大値も徐々に大きくなる。Setback では、各層風力のパワースペクトルに 4-Tapered ほどの規則性はなく、各層風力間のスペクトルの差は大きい。

90° Helical , 180° Helical とともにねじれた形状ではあるが、他の形状に比べてもパワースペクトルは大きくない。 90° Helical よりも 180° Helical の各層風力間のパワースペクトルの差は大きい。

Cross void では、開口のある高さ $z/H=0.78 \sim 0.93$ とその上部の $z/H=0.98$ において層風力のパワースペクトルの性状が異なるが、その他の層風力は Square と大差ない。

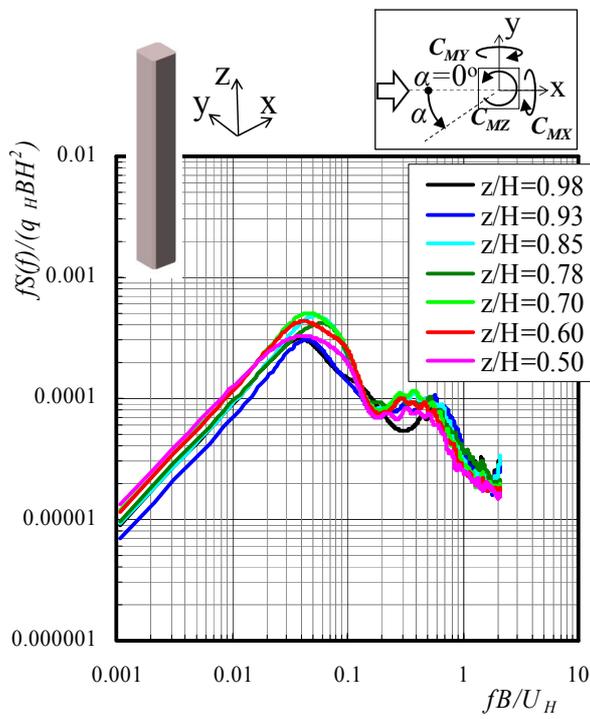
A 案のねじれ方向のパワースペクトル $z/H=0.85$ で最大値を示す。

B 案では、各層風力間のパワースペクトルの差は大きく、 $z/H=0.5$ では、かなり広い振動数範囲で大きなパワースペクトルを示す。

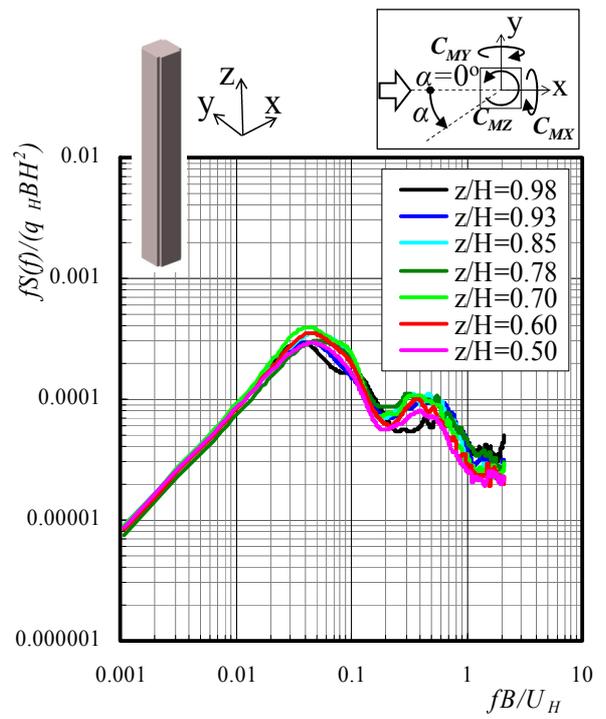


(a) Square

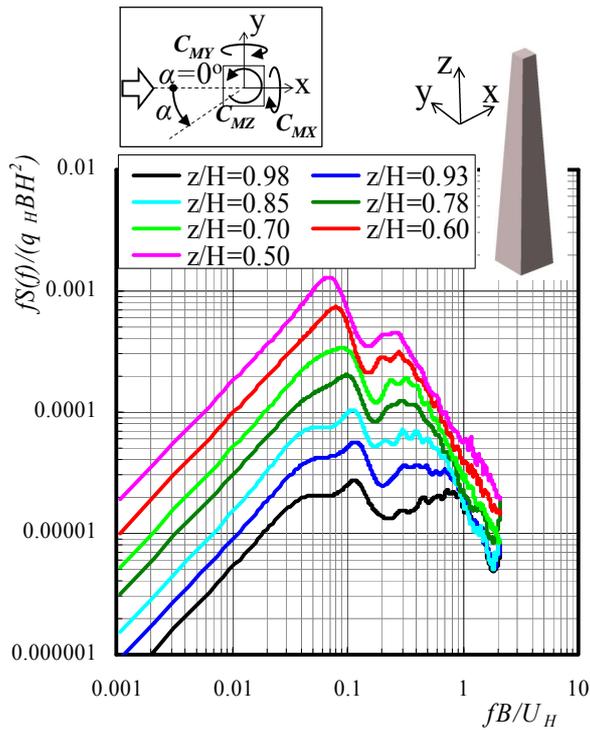
図 7.4.55(1) ねじれ方向層風力係数のパワースペクトル密度



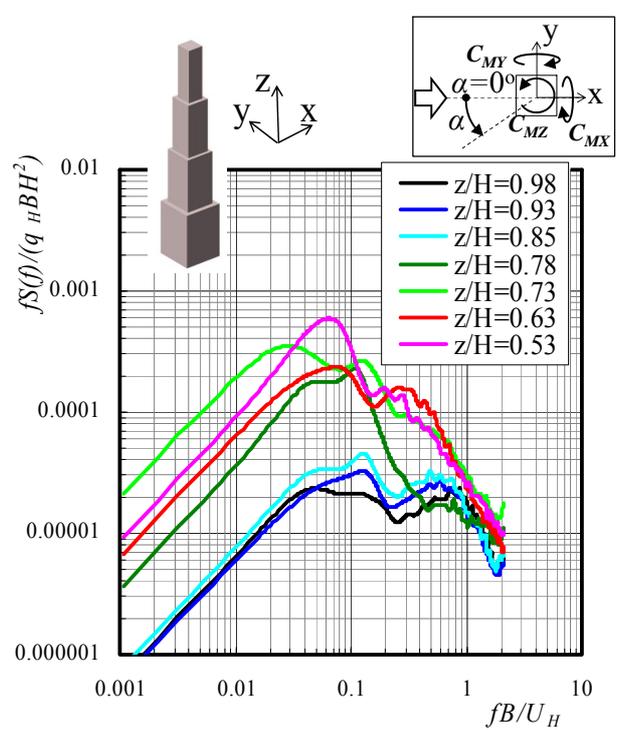
(c) Chamfered



(d) Corner cut

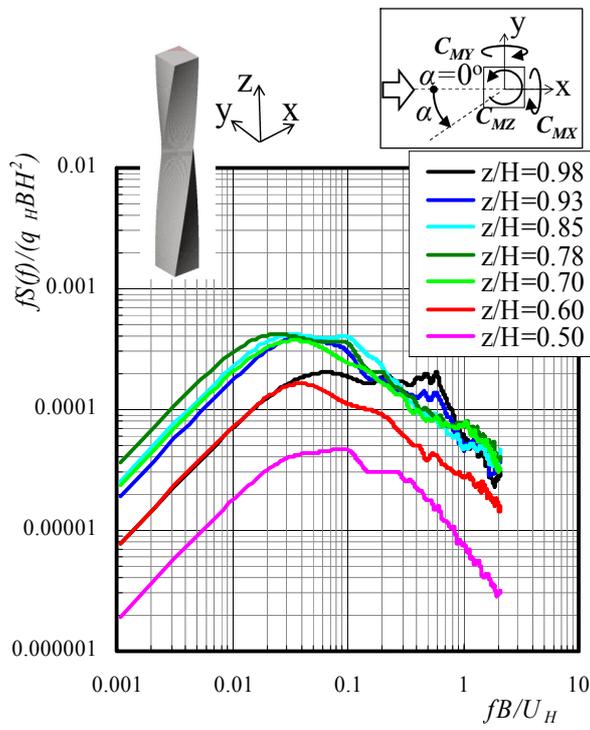


(e) 4-Tapered

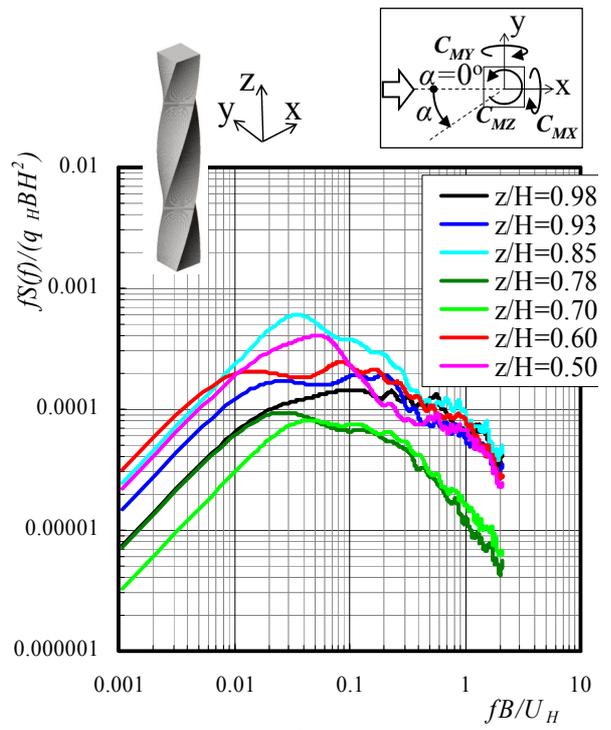


(f) Setback

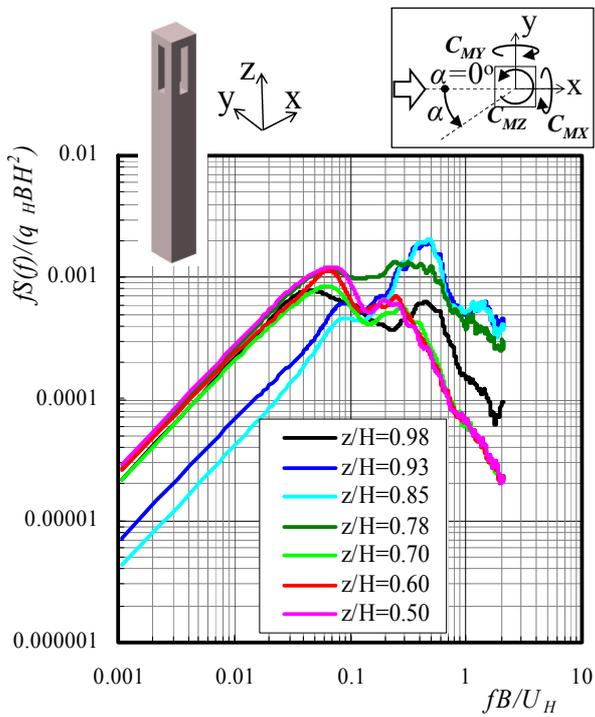
図 7.4.55(2) 風直交方向層風力係数のパワースペクトル密度



(g) 90°Helical

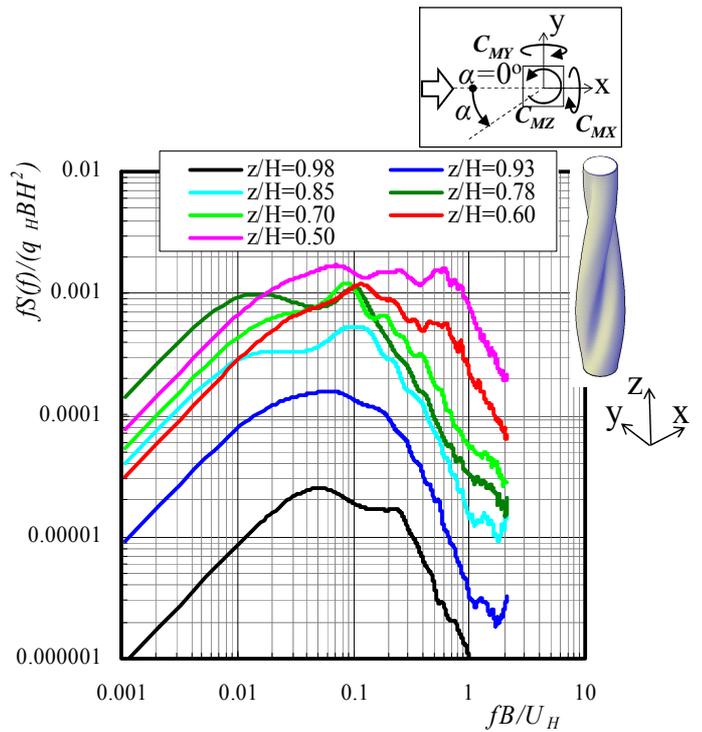
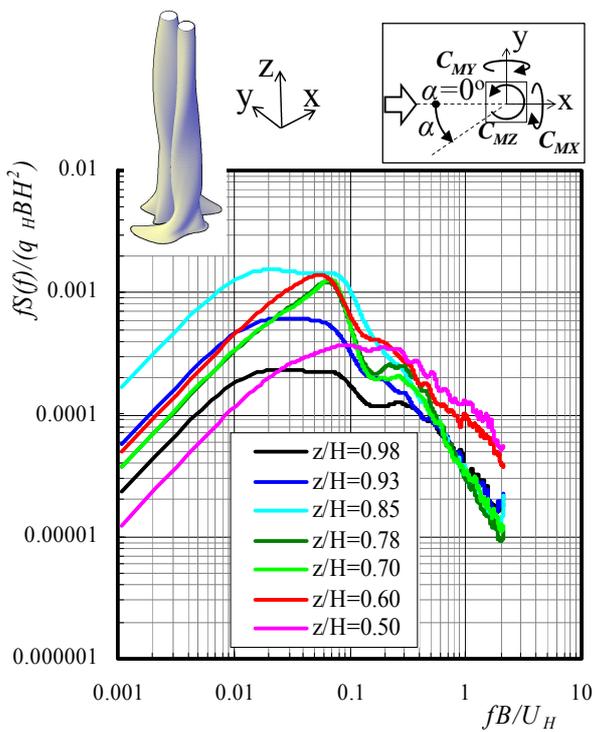


(h) 180°Helical

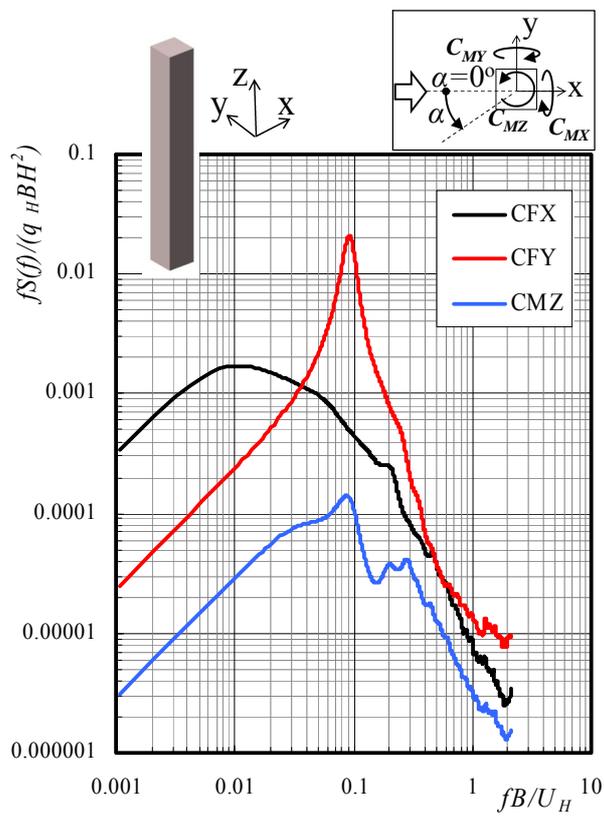


(i) Cross void

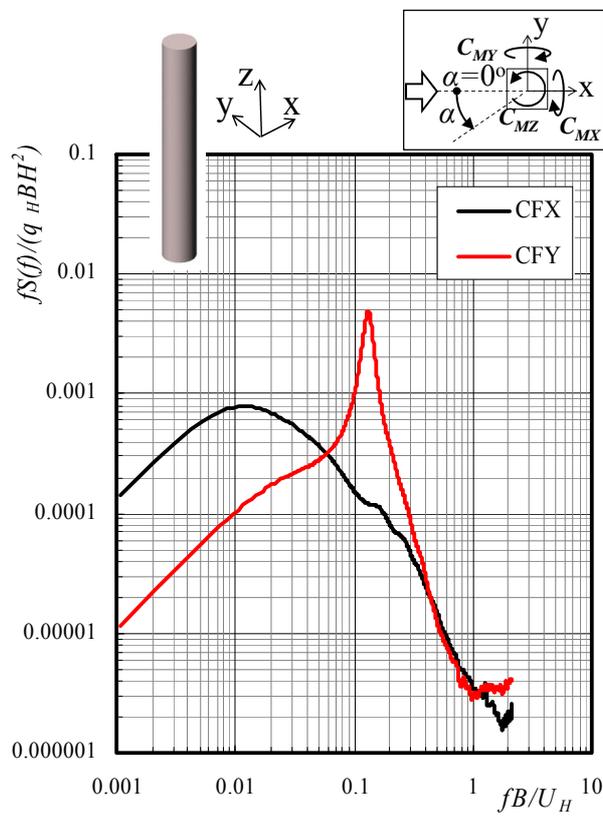
図 7.4.55(3) ねじれ方向層風力係数のパワースペクトル密度



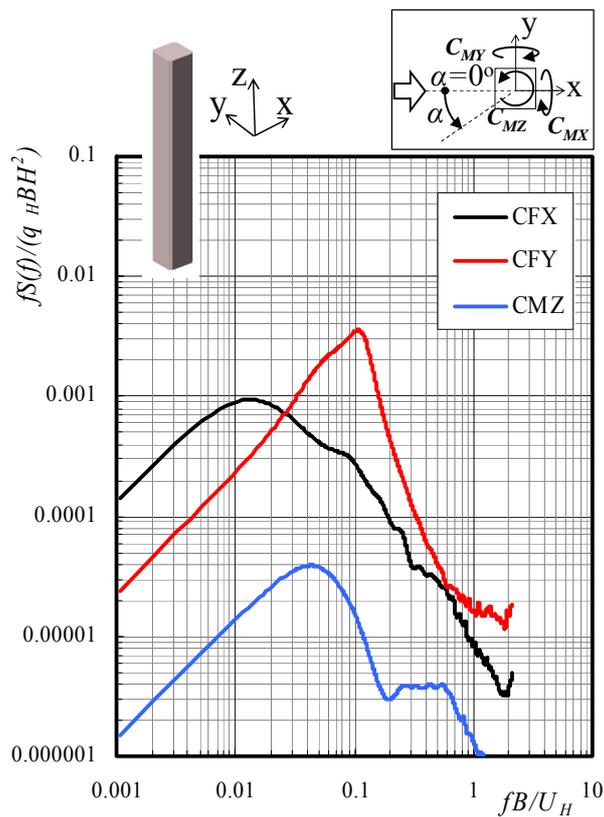
(j) A 案 (k) B 案
 図 7.4.55(4) ねじれ方向層風力係数のパワースペクトル密度



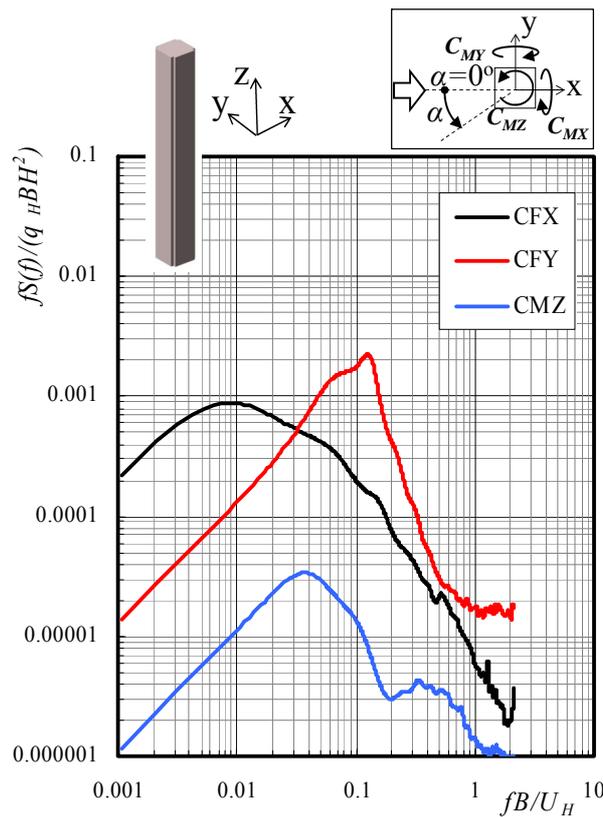
(a) Square



(b) Circle

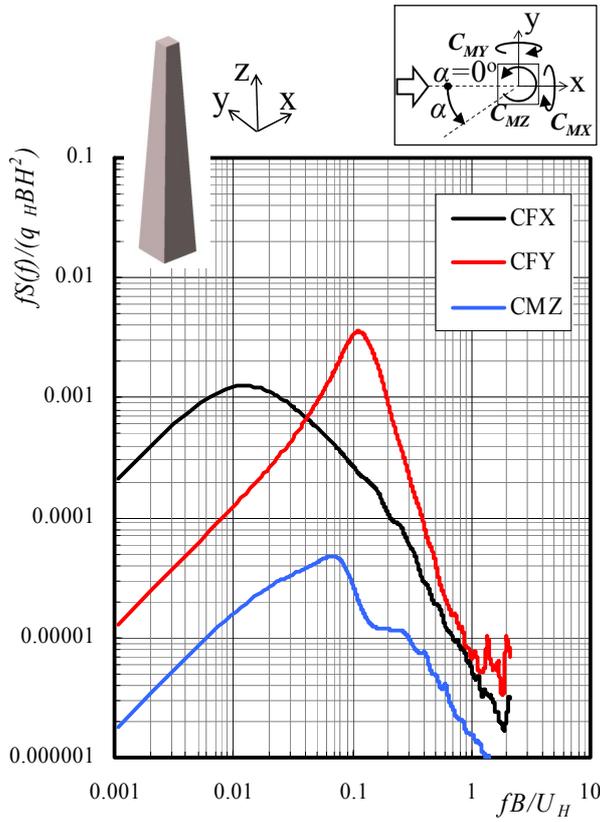


(c) Chamfered

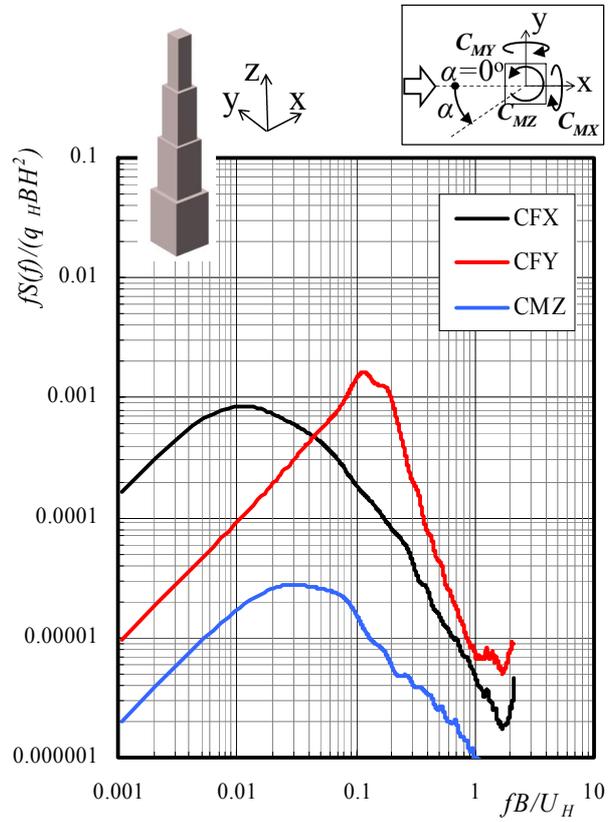


(d) Corner cut

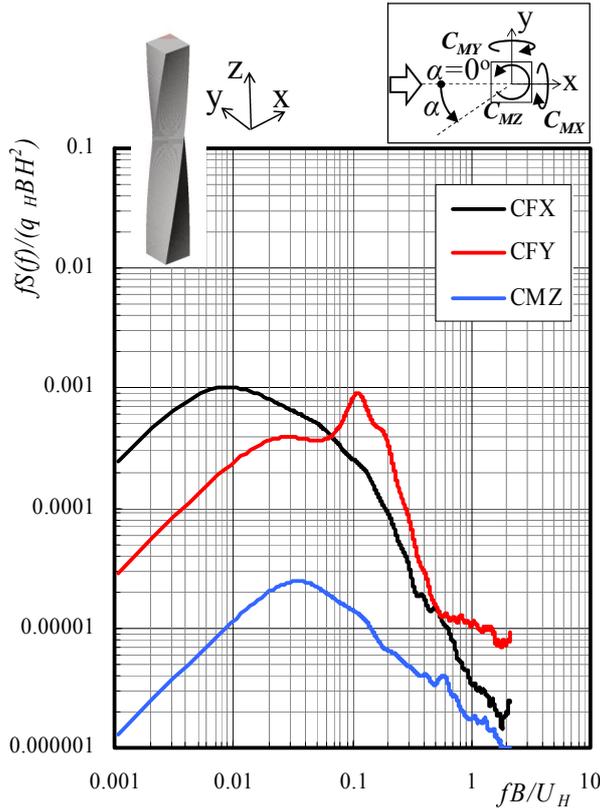
図 7.4.56(1) 一般化風力係数のパワースペクトル密度



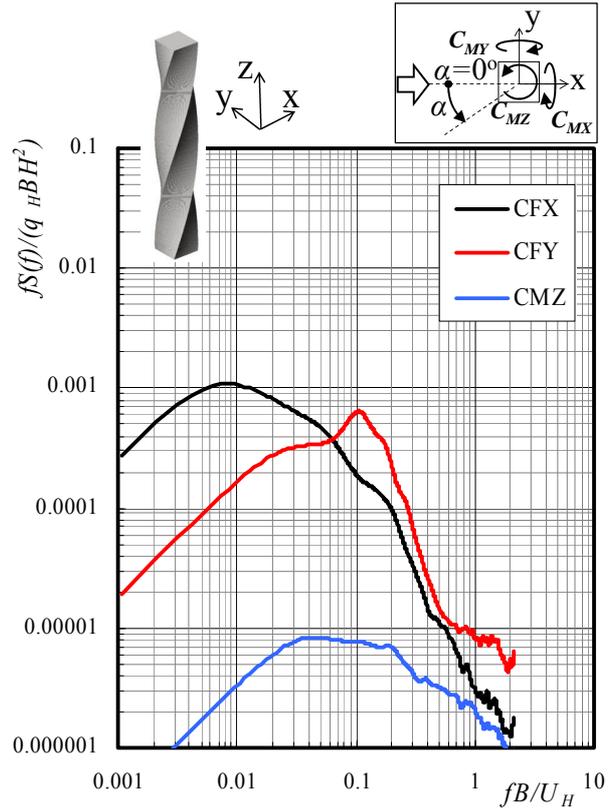
(e) 4-Tapered



(f) Setback



(g) 90°Helical



(h) 180°Helical

図 7.4.56(2) 一般化風力係数のパワースペクトル密度

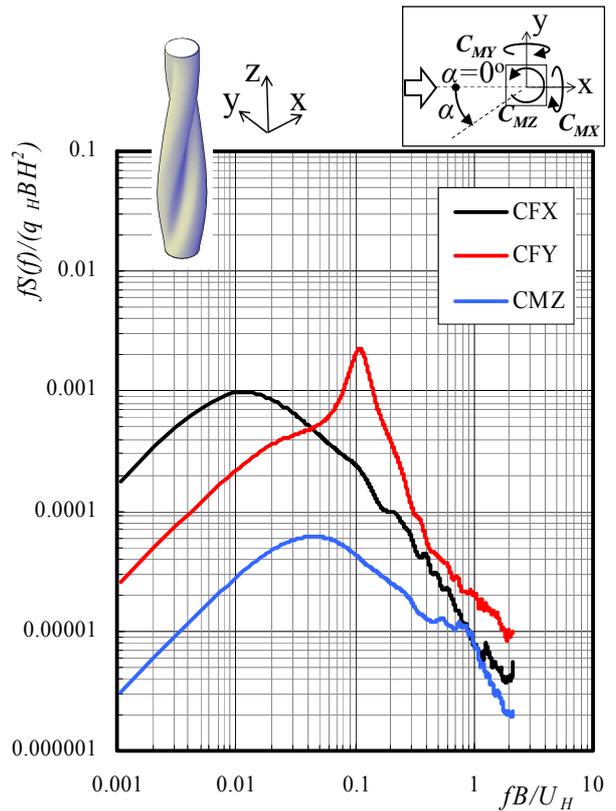
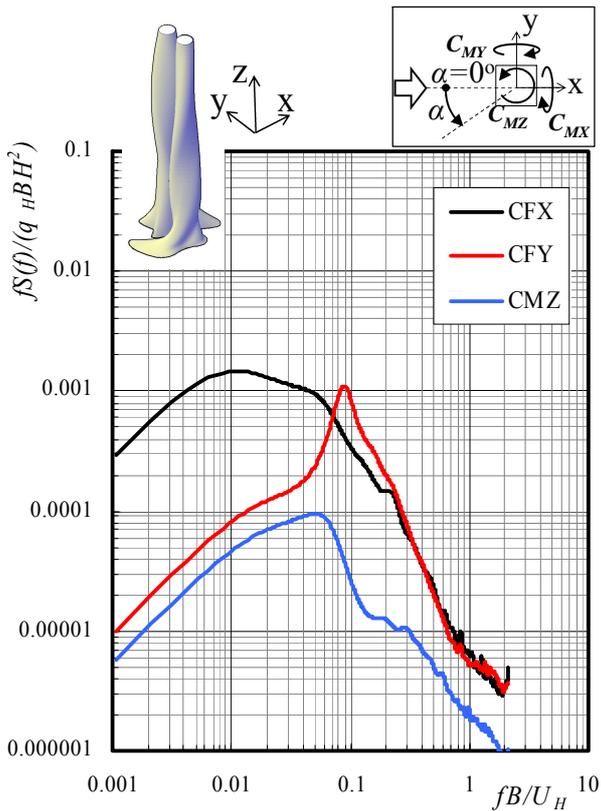
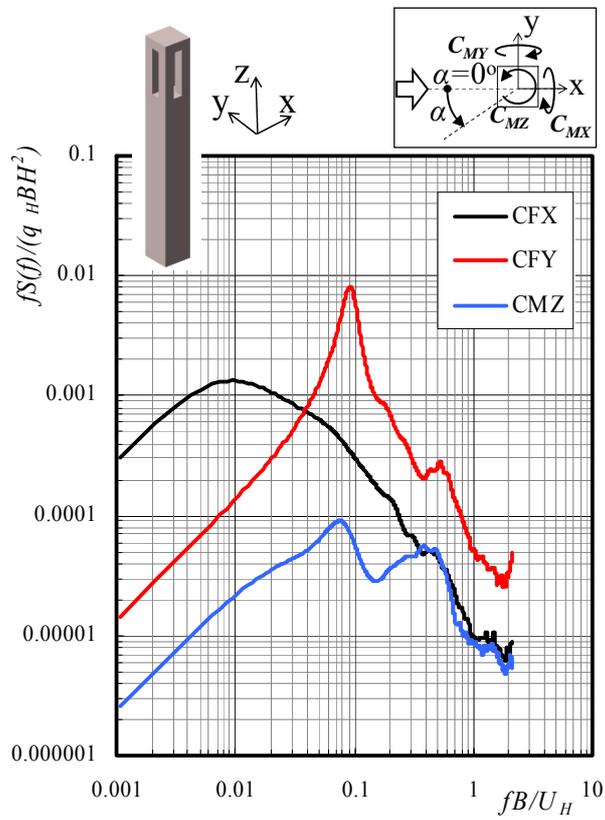


図 7.4.56(3) 一般化風力係数のパワースペクトル密度

7.4.6 風圧係数の分布

層風力の検討結果から，さらに特徴的な4つの建物形態(Square, Corner cut, Setback, 180°Helical)の平均風圧係数と変動風圧係数の分布図を図7.4.57と図7.4.58にそれぞれ示す。

(1)平均風圧係数

風上面の平均風圧係数の分布性状はいずれの形状でも類似している。

Corner cut では，風上側隅角部で負圧が発生し，両側面の風上側においても負圧の絶対値は Square よりも大きい。また，Corner cut の風下側の負圧の絶対値は Square よりも小さい。Setback では，側面，背面における分布は Square に類似している。上方の面積が小さくなっているため，上方で作用する絶対値の大きな平均圧力係数の分布範囲は Square よりも狭い。

180°Helical では，他の形状全域の両側面においてほぼ同じ負圧となっているのに対して，様々な状態が混在している。また，風下側の負圧の絶対値は，Helical の方が全体的にやや小さい。

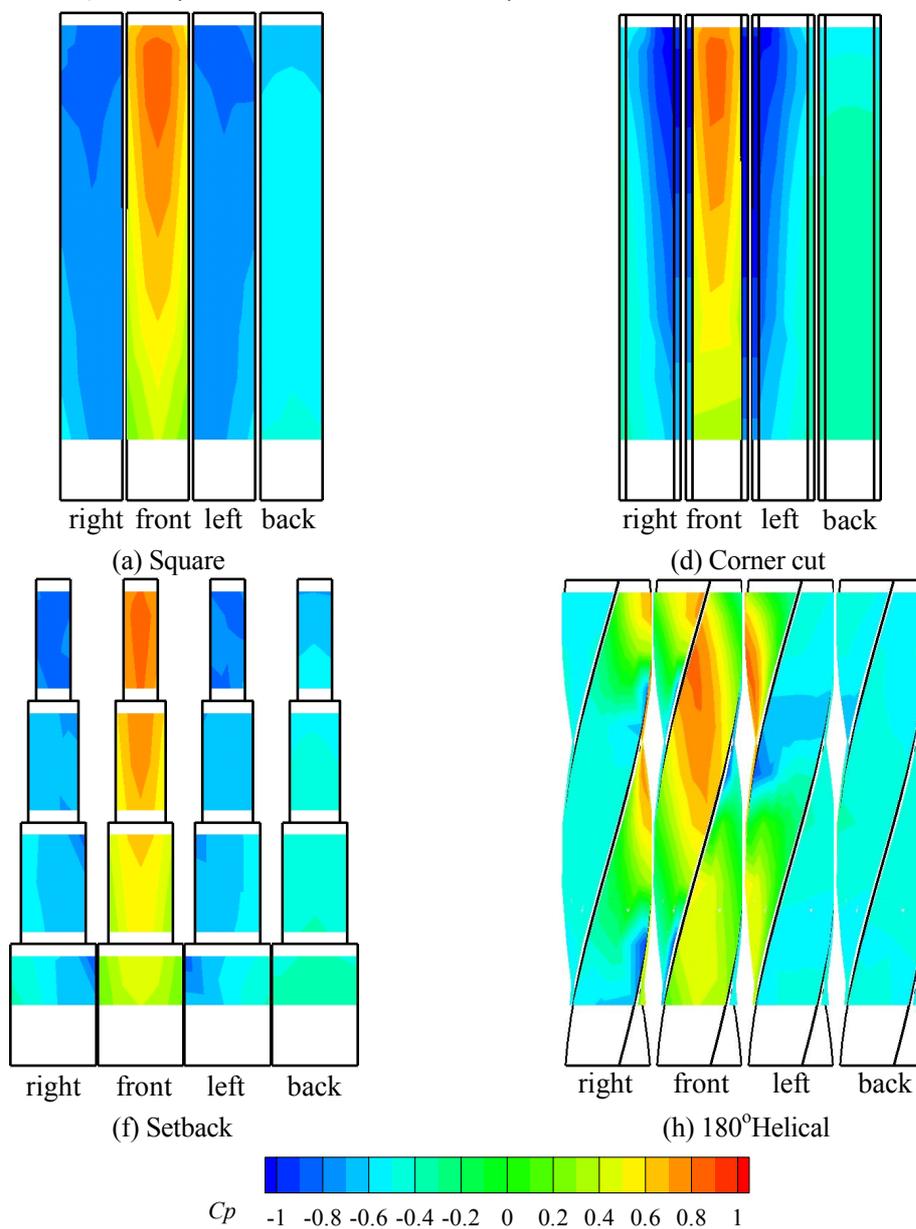


図7.4.57 平均風圧係数分布

(2)変動風圧係数

Corner cut では、風上側隅角部における変動風圧係数は大きいですが、両側面の変動風圧係数が Square よりも小さく、また、風下側の変動風圧係数も Square よりも小さい。

Setback では、両側面の変動風圧係数が局所的に Square よりも大きくなっている。しかし、それ以外の広い範囲では変動風圧係数は小さく、全体的には Square よりも小さい。

180°Helical でも、風上側と両側面で Setback と同様に変動風圧係数が局所的に Square よりも大きくなっている。しかし、それ以外の広い範囲では変動風圧係数は小さく、全体的には Square よりも小さい。

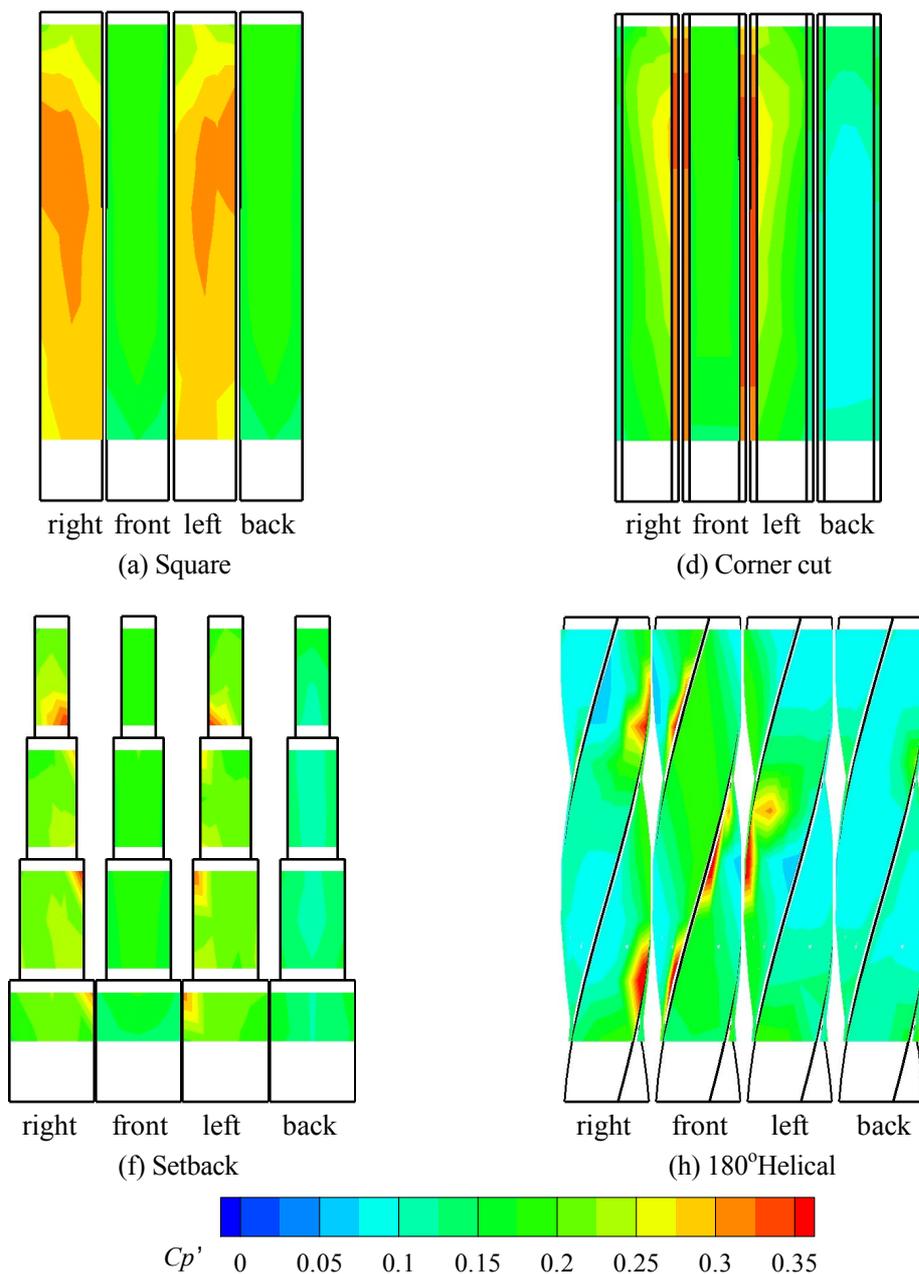


図 7.4.58 変動風圧係数分布

7.5 新しい形態を有する超々高層建築物の合理的耐風設計手法の検討・提案（構造設計編） （平成 21 年度実施）

7.5.1 検討の概要

新しい形態を有する超々高層建築物の合理的耐風設計手法の検討・提案を目的として、地震応答解析や風応答解析に供するための各種建物モデルを作成し、解析を行った。実施した項目を以下に列挙する。

- ① 80 階建てフレームモデルを作成した。
- ② フレームモデルの静的解析結果を基に、コア部は曲げせん断棒、外殻フレーム部はシェル要素にてモデル化した、基本シェルモデル（Square モデルに対応）を作成した。
- ③ 基本シェルモデルの曲げせん断棒特性及びシェル特性は変えず、想定する建物にあうように形状を変化させた、計 7 種（Square、Circle、Tapered、Setback、Helical90、Helical180、Void モデル。Chamfered 及び CornerCut モデルは Square モデルの特性と同一と想定）の建物モデルを作成した。
- ④ 各種の建物モデルを用いて固有振動解析を行い、それぞれの振動特性を把握した。
- ⑤ スペクトルモーダルにより告示のスペクトルに対する地震応答解析を行い、応答特性を把握した。
- ⑥ 各種の建物モデルを用いた静的解析により発生するシェル要素の応力についてまとめた。

7.5.2 フレームモデルの設定

各種の建物モデルの基本形となるフレームモデルを作成する。フレームモデルは柱・梁・柱梁接合部パネルの各構成要素をそれぞれ詳細にモデル化した、立体精算解析モデルとする。作成にあたり仮定した条件を以下にまとめる。

(1) 基本モデルの概要

高さ：400m

平面：50m×50m

階数：80階

架構形式：20階ごとにトラス階を有するセンターコア

(2) 仮定断面

主柱 □-800×800×30～1300×1300×80

耐震間柱 H-800×600×22×30～80

梁（全て） H-900×400×16×40

トラス A=300cm²

(3) 仮定重量

0.85t/m²～0.95t/m²

(4) 剛性の仮定

梁の曲げ剛性増大率 両側スラブ付φ1.4、片側スラブ付φ1.2

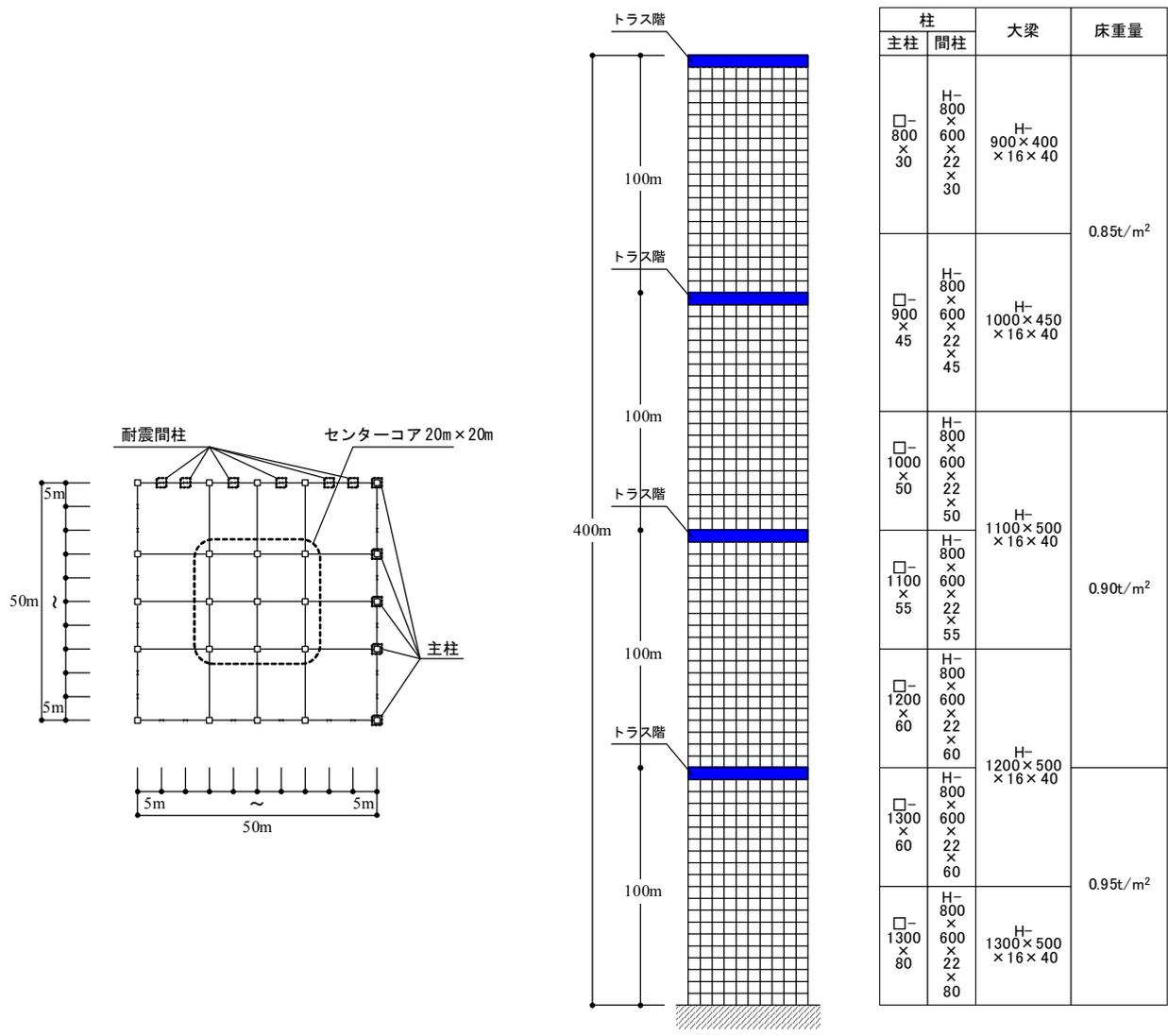


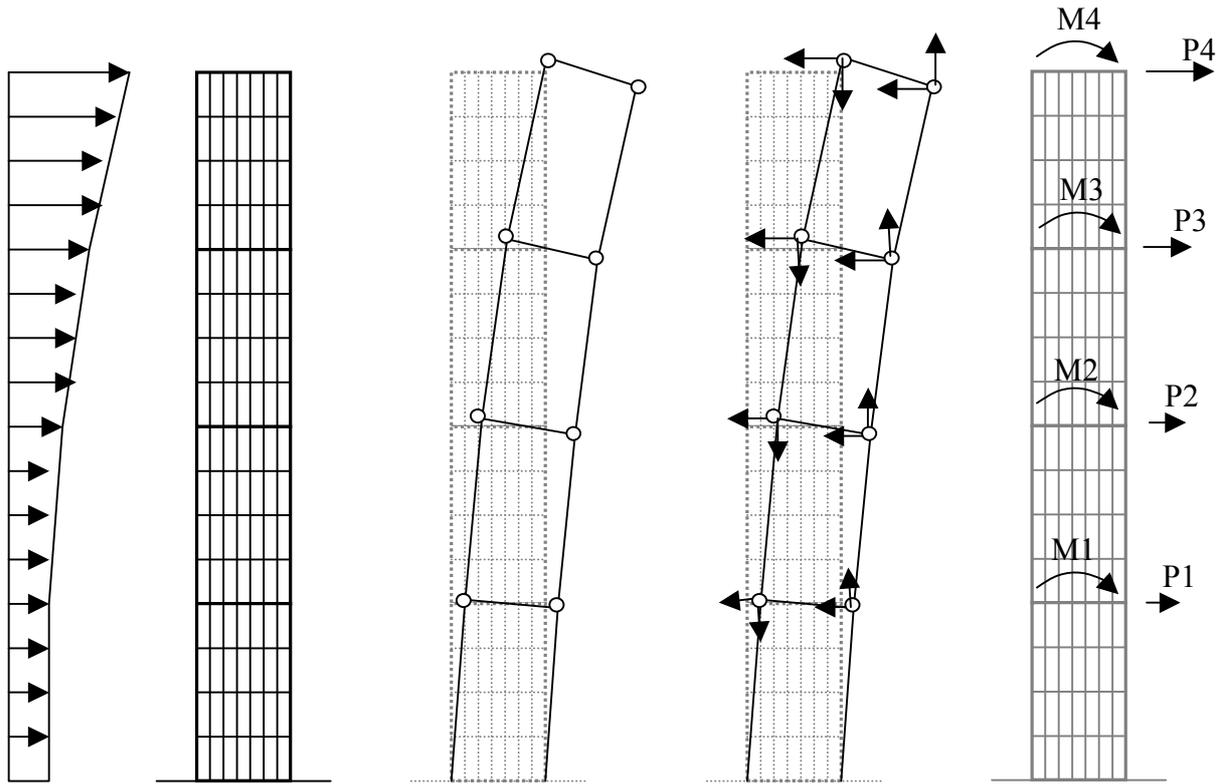
図 7.5.2.1 フレームモデル

7.5.3 基本シェルモデルの作成

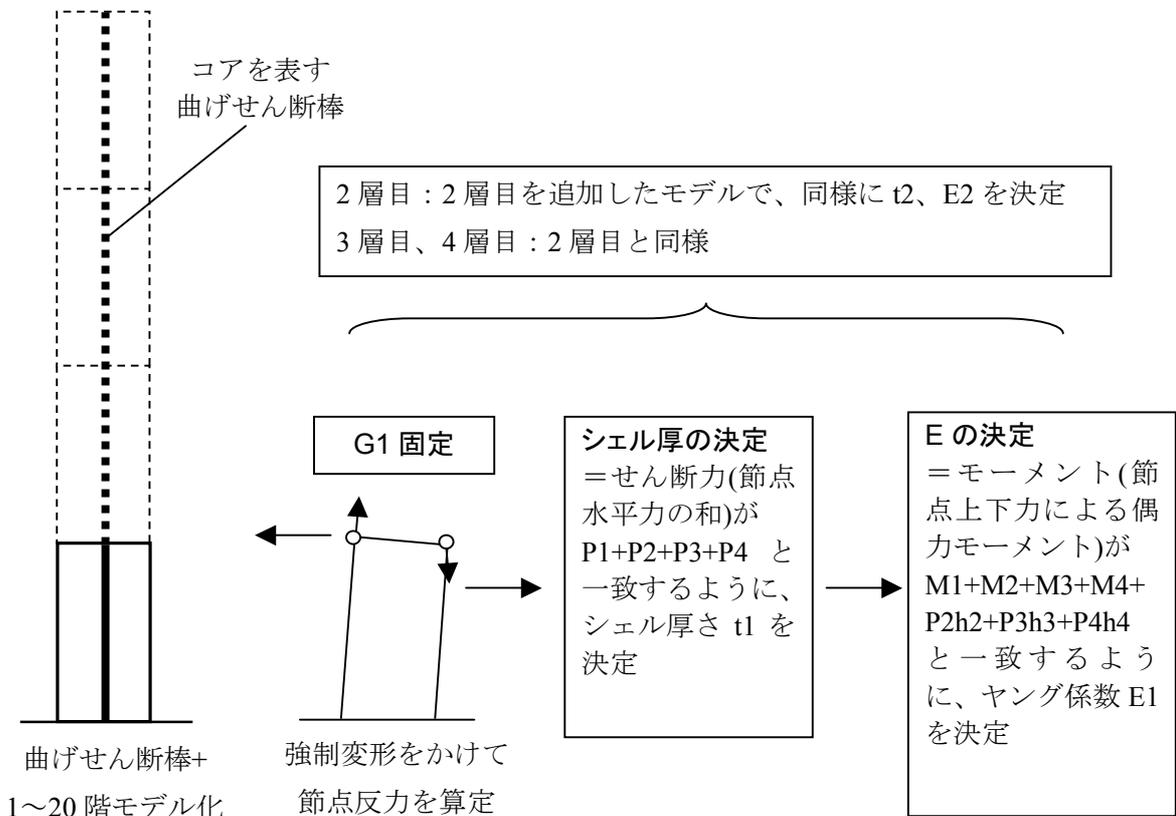
7.5.3.1 フレームモデルから基本シェルモデルへの置換法

手順

- ① Ai 分布によるフレームモデル静的解析
- ② コア部分の曲げせん断棒への置換
- ③ シェルの節点（80, 60, 40, 20 階の角）の水平変形及び上下変形記録
- ④ シェルの節点（80, 60, 40, 20 階の角）の水平変形及び上下変形によるフレームモデル強制変形加力
- ⑤ シェルの節点での反力（水平方向、上下方向）記録
- ⑥ シェル+曲げせん断棒モデルの作成
- ⑦ 1～20 階部分の材料特性、厚さの設定
 - ⑦1 21～80 階部分のシェルなしモデルを作成
 - ⑦2 1～20 階部分モデルのせん断弾性係数固定、厚さ変更し、水平方向反力（せん断力）を調整し、厚さを決定
 - ⑦3 1～20 階部分モデルのせん断弾性係数、厚さを固定し、弾性係数を変更し、上下方向反力を調整し、弾性係数を決定
- ⑧ 20～40 階部分の材料特性、厚さの設定
 - ⑧1 41～80 階部分のシェルなしモデルを作成
 - ⑧2 21～40 階部分モデルのせん断弾性係数固定、厚さ変更し、水平方向反力（せん断力）を調整し、厚さを決定
 - ⑧3 21～40 階部分モデルのせん断弾性係数、厚さを固定し、弾性係数を変更し、上下方向反力を調整し、弾性係数を決定
- ⑨ 以下同様に上層階部分の特性を決定
- ⑩ 得られたシェル特性を用いてメッシュの細かいモデルの特性設定
- ⑪ 重量を 2 階分集約して各階剛床へ設定
- ⑫ 固有振動解析によりねじれ剛性を調整（曲げせん断棒のせん断剛性に比例）

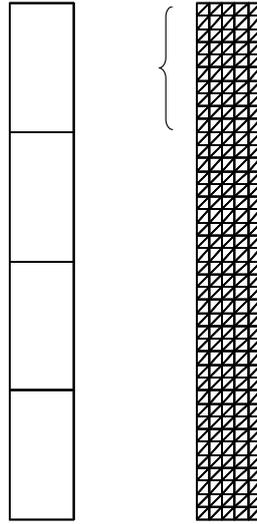


Ai 分布 Ai 分布を外力とした静的解析 シェル要素節点位置に対応する変位 強制変形時の節点反力
 (a) フレームモデルでの解析 (手順①~⑤)



(b) 基本シェルモデルの作成 (手順⑥~⑨)

図 7.5.3.1 フレームモデルから基本シェルモデルへの変換



(c) シェルの細分割 (手順⑩)

図 7.5.3.2 フレームモデルから基本シェルモデルへの変換

7.5.3.2 基本シェルモデルへの置換結果

作成したフレームモデルを用い、前節で説明した手順に従い、基本シェルモデルへの置換を行った。その結果得られた基本シェルモデルの特性を表 7.5.3.1 に示す。

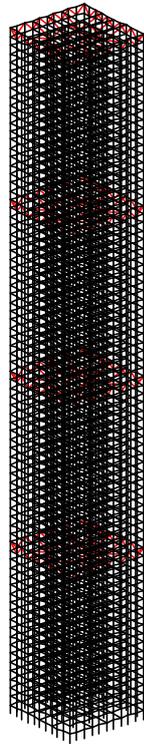
また、フレームモデルと基本シェルモデルの合致度を確認するために、それぞれのモデルについて固有振動解析を行った結果を表 7.5.3.2 及び図 7.5.3.4 に示す。

表 7.5.3.1 置換した基本シェルモデルの特性

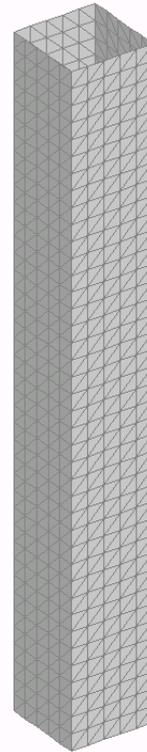
	重量 (kN)	回転慣性 ($\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	シェル特性			曲げせん断棒特性				
			ヤング係数 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)	シェル厚 (mm)	せん断剛性GA ($\times 10^6 \text{kN}$)	曲げ剛性EI ($\times 10^{11} \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	ねじり剛性GI ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		
80F	41680	1.737	311000	79000	1.00	4.16	1.01	-4.90		
79F						2.47	1.01	-4.90		
78F						2.56	1.01	-3.02		
77F						2.18	1.01	-3.02		
76F						2.42	1.01	-2.86		
75F						2.22	1.01	-2.86		
74F						2.32	1.01	-2.74		
73F						2.18	1.01	-2.74		
72F						2.33	1.01	-2.74		
71F						2.20	1.01	-2.74		
70F						2.29	1.01	-2.70		
69F						2.19	1.01	-2.70		
68F						2.30	0.94	-2.71		
67F						2.27	0.89	-2.71		
66F						2.51	0.87	-2.97		
65F						3.59	1.40	-2.97		
64F	3.61	1.36	-4.26							
63F	3.56	1.33	-4.26							
62F	3.80	1.31	-4.48							
61F	44130	1.839	311000	304710	1.00	4.06	1.29	-4.48		
60F			3.98		1.31	-4.69				
59F			3.96		1.25	-4.69				
58F			3.76		1.24	-4.43				
57F			3.58		1.22	-4.43				
56F			3.62		1.20	-4.27				
55F			3.56		1.19	-4.27				
54F			3.60		1.17	-4.24				
53F			3.55		1.16	-4.24				
52F			41680		1.737	304710	1.69	3.70	1.15	-4.36
51F			3.89		1.14			-4.36		
50F			4.99		1.40			-5.88		
49F			4.87		1.40			-5.88		
48F			5.00		1.39			-5.90		
47F			4.92		1.39			-5.90		
46F			5.02		1.39			-5.92		
45F	4.96	1.38	-5.92							
44F	4.96	1.38	-5.86							
43F	4.93	1.38	-5.86							
42F	5.18	1.37	-6.11							
41F	5.51	1.37	-6.11							
40F	5.64	1.67	-6.66							
39F	5.94	1.64	-6.66							
38F	5.62	1.63	-6.63							
37F	5.44	1.62	-6.63							
36F	5.46	1.61	-6.44							
35F	5.38	1.60	-6.44							
34F	5.50	1.59	-6.49							
33F	5.51	1.58	-6.49							
32F	5.47	1.58	-6.45							
31F	5.63	1.57	-6.45							
30F	6.92	1.86	-8.16							
29F	6.86	1.85	-8.16							
28F	6.71	1.85	-7.91							
27F	6.69	1.84	-7.91							
26F	6.90	1.83	-8.15							
25F	6.85	1.83	-8.15							
24F	6.81	1.82	-8.04							
23F	6.83	1.81	-8.04							
22F	7.03	1.80	-8.29							
21F	7.37	1.80	-8.29							
20F	7.11	1.96	-8.39							
19F	7.67	1.93	-8.39							
18F	7.33	1.92	-8.65							
17F	7.15	1.91	-8.65							
16F	44130	1.839	300860	2.93	7.13	1.90	-8.41			
15F	7.08	1.89			-8.41					
14F	7.09	1.87			-8.37					
13F	7.09	1.86			-8.37					
12F	46580	1.941			7.19	1.85	-8.49			
11F	7.38	1.84			-8.49					
10F	8.31	2.39			-9.80					
9F	8.28	2.37			-9.80					
8F	8.35	2.35			-9.85					
7F	8.34	2.33			-9.85					
6F	8.38	2.31			-9.89					
5F	8.44	2.30			-9.89					
4F	8.65	2.28			-10.20					
3F	9.20	2.26			-10.20					
2F	46580	1.941			300860	79000	2.93	11.09	2.25	-13.10
1F	22.39	2.25			-13.10					

表 7.5.3.2 固有振動解析結果

	フレームモデル			基本シェルモデル		
	周期 (秒)	刺激係数		周期 (秒)	刺激係数	
		X 方向	Y 方向		X 方向	Y 方向
並進 1 次	10.87	1.51	0.00	10.47	1.51	-0.07
並進 2 次	3.49	-0.74	0.00	3.20	-0.75	0.04
並進 3 次	1.92	-0.39	0.00	1.73	0.20	-0.19
並進 4 次	1.35	-0.25	0.00	1.19	-0.21	0.10
ねじれ 1 次	5.85	0.00	0.00	5.62	0.00	0.00
ねじれ 2 次	2.18	0.00	0.00	2.17	0.00	0.00
ねじれ 3 次	1.35	0.00	0.00	1.31	0.00	0.00



フレームモデル



基本シェルモデル

図 7.5.3.3 解析モデル図

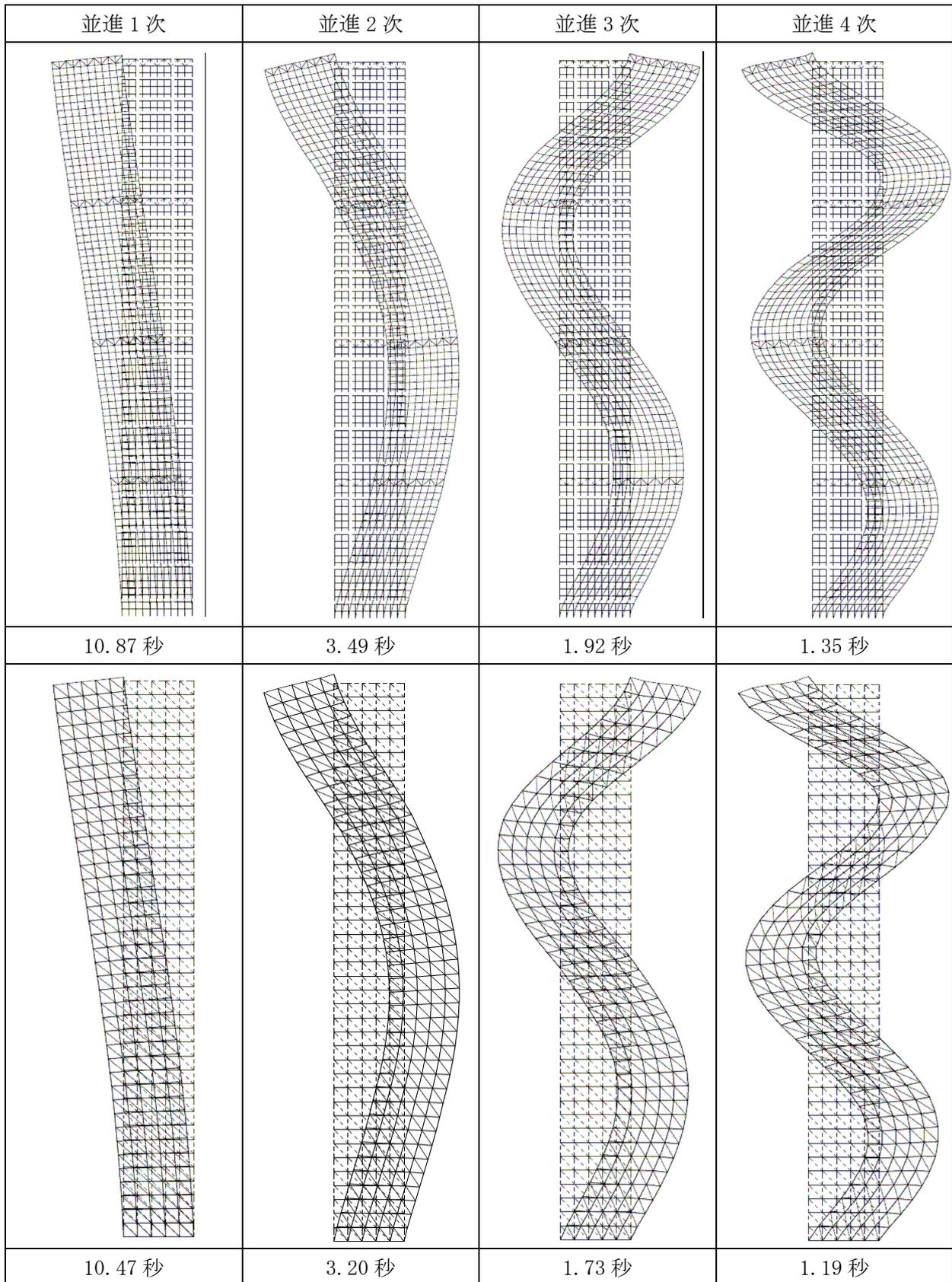


図 7.5.3.4(1) 並進振動モード形 (上段：フレームモデル、下段：基本シェルモデル)

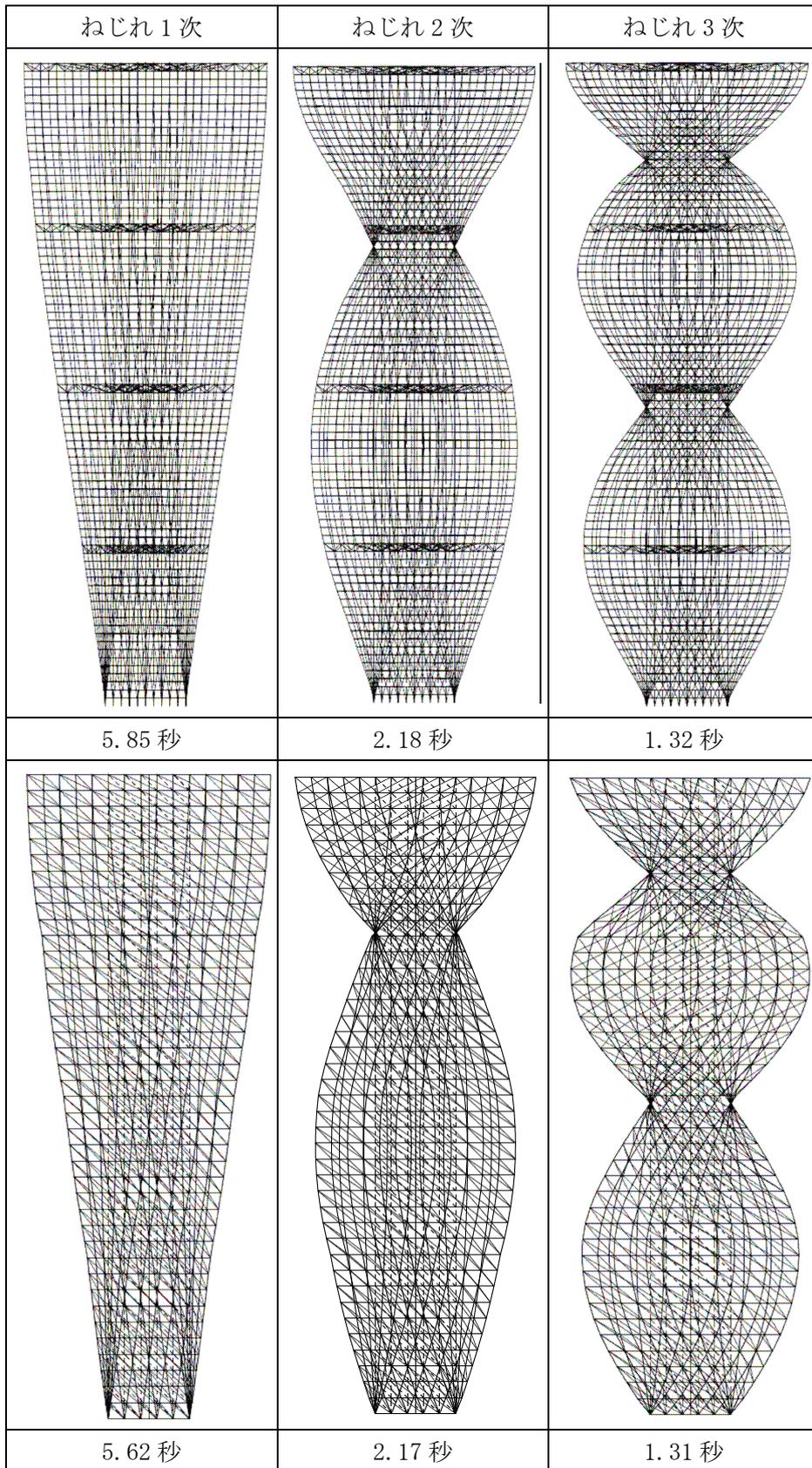


図 7.5.3.4(2) ねじれ振動モード形 (上段 : フレームモデル、下段 : 基本シェルモデル)

7.5.3.3 各種建物モデルと固有振動解析結果

7種の検討用モデルについて、その諸元と固有振動解析結果を以下に示す。なお、Chamfered、CornerCut（隅欠き）モデルは、Squareモデルと同じ特性と考える。

(1) Squareモデル

平面形状	: 一辺 50m の正方形
各階床重量、回転慣性	: $0.85\text{t/m}^2 \sim 0.95\text{t/m}^2$ を仮定
外周のシェル特性	: 表 7.5.3.1（基本シェルモデル）
コア部分の曲げせん断棒	: 表 7.5.3.1（基本シェルモデル）
コア部分のねじれ剛性(低減)	: 表 7.5.3.1（基本シェルモデル）

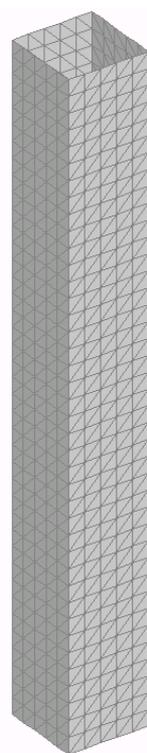
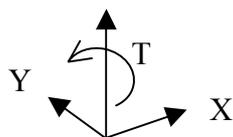


図 7.5.3.5 Squareモデル（基本シェルモデル）

(2) Circle モデル

平面形状	: 直径 56.4m の円
各階床重量、回転慣性	: $0.85\text{t/m}^2 \sim 0.95\text{t/m}^2$ を仮定
外周のシェル特性	: Square モデルと同一
コア部分の曲げせん断棒	: Square モデルと同一
コア部分のねじれ剛性(低減)	: Square モデルと同一

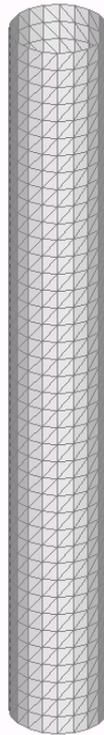
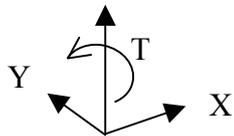


図 7.5.3.6 Circle モデル

表 7.5.3.5 Circle モデルの特性

	重量 (kN)	回転慣性 ($\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	シェル特性			曲げせん断棒特性		
			ヤング係数 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)	シェル厚 (mm)	せん断剛性GA ($\times 10^6 \text{kN}$)	曲げ剛性EI ($\times 10^{11} \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	ねじり剛性GI ($\times 10^8 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
80F	41680	1.656	311000	79000	1.00	4.16	1.01	-4.90
79F						2.47	1.01	-4.90
78F	↑	↑	↑	↑	↑	2.56	1.01	-3.02
77F						2.18	1.01	-3.02
76F	↑	↑	↑	↑	↑	2.42	1.01	-2.86
75F						2.22	1.01	-2.86
74F	↑	↑	↑	↑	↑	2.32	1.01	-2.74
73F						2.18	1.01	-2.74
72F	↑	↑	↑	↑	↑	2.33	1.01	-2.74
71F						2.20	1.01	-2.74
70F	↑	↑	↑	↑	↑	2.29	1.01	-2.70
69F						2.19	1.01	-2.70
68F	↑	↑	↑	↑	↑	2.30	0.94	-2.71
67F						2.27	0.89	-2.71
66F	↑	↑	↑	↑	↑	2.51	0.87	-2.97
65F						3.59	1.40	-2.97
64F	↑	↑	↑	↑	↑	3.61	1.36	-4.26
63F						3.56	1.33	-4.26
62F	↑	↑	311000	↑	1.00	3.80	1.31	-4.48
61F						4.06	1.29	-4.48
60F	↑	↑	304710	↑	1.69	3.98	1.31	-4.69
59F						3.96	1.25	-4.69
58F	↓	↓	↑	↑	↑	3.76	1.24	-4.43
57F						3.58	1.22	-4.43
56F	↑	↑	↑	↑	↑	3.62	1.20	-4.27
55F						3.56	1.19	-4.27
54F	↓	↓	↑	↑	↑	3.60	1.17	-4.24
53F						3.55	1.16	-4.24
52F	41680	1.656	↑	↑	↑	3.70	1.15	-4.36
51F						3.89	1.14	-4.36
50F	44130	1.754	↑	↑	↑	4.99	1.40	-5.88
49F						4.87	1.40	-5.88
48F	↑	↑	↑	↑	↑	5.00	1.39	-5.90
47F						4.92	1.39	-5.90
46F	↑	↑	↑	↑	↑	5.02	1.39	-5.92
45F						4.96	1.38	-5.92
44F	↑	↑	↑	↑	↑	4.96	1.38	-5.86
43F						4.93	1.38	-5.86
42F	↑	↑	304710	↑	1.69	5.18	1.37	-6.11
41F						5.51	1.37	-6.11
40F	↑	↑	302620	↑	2.25	5.64	1.67	-6.66
39F						5.94	1.64	-6.66
38F	↑	↑	↑	↑	↑	5.62	1.63	-6.63
37F						5.44	1.62	-6.63
36F	↑	↑	↑	↑	↑	5.46	1.61	-6.44
35F						5.38	1.60	-6.44
34F	↑	↑	↑	↑	↑	5.50	1.59	-6.49
33F						5.51	1.58	-6.49
32F	↑	↑	↑	↑	↑	5.47	1.58	-6.45
31F						5.63	1.57	-6.45
30F	↑	↑	↑	↑	↑	6.92	1.86	-8.16
29F						6.86	1.85	-8.16
28F	↑	↑	↑	↑	↑	6.71	1.85	-7.91
27F						6.69	1.84	-7.91
26F	↑	↑	↑	↑	↑	6.90	1.83	-8.15
25F						6.85	1.83	-8.15
24F	↑	↑	↑	↑	↑	6.81	1.82	-8.04
23F						6.83	1.81	-8.04
22F	↑	↑	302620	↑	2.25	7.03	1.80	-8.29
21F						7.37	1.80	-8.29
20F	↑	↑	300860	↑	2.93	7.11	1.96	-8.39
19F						7.67	1.93	-8.39
18F	↓	↓	↑	↑	↑	7.33	1.92	-8.65
17F						7.15	1.91	-8.65
16F	44130	1.754	↑	↑	↑	7.13	1.90	-8.41
15F						7.08	1.89	-8.41
14F	46580	1.851	↑	↑	↑	7.09	1.87	-8.37
13F						7.09	1.86	-8.37
12F	↑	↑	↑	↑	↑	7.19	1.85	-8.49
11F						7.38	1.84	-8.49
10F	↑	↑	↑	↑	↑	8.31	2.39	-9.80
9F						8.28	2.37	-9.80
8F	↑	↑	↑	↑	↑	8.35	2.35	-9.85
7F						8.34	2.33	-9.85
6F	↑	↑	↑	↑	↑	8.38	2.31	-9.89
5F						8.44	2.30	-9.89
4F	↓	↓	↑	↑	↑	8.65	2.28	-10.20
3F						9.20	2.26	-10.20
2F	46580	1.851	300860	79000	2.93	11.09	2.25	-13.10
1F						22.39	2.25	-13.10

(3) Tapered モデル

平面形状	: 一辺 28m~69m の正方形 (下階に向けて漸増)
各階床重量、回転慣性	: $0.85\text{t/m}^2 \sim 0.95\text{t/m}^2$ を仮定
外周のシェル特性	: Square モデルと同一
コア部分の曲げせん断棒	: Square モデルと同一
コア部分のねじれ剛性(低減)	: Square モデルに対し距離の 2 乗に比例して設定

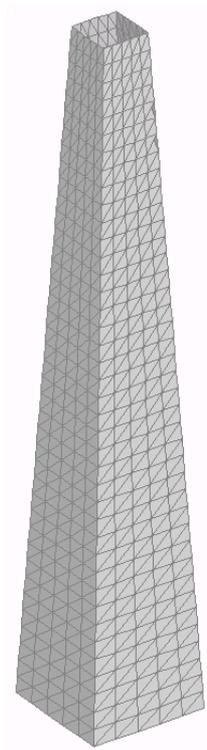
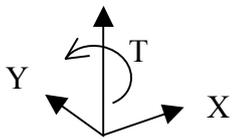


図 7.5.3.7 Tapered モデル

表 7.5.3.6 Tapered モデルの特性

	重量 (kN)	回転慣性 ($\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	シェル特性			曲げせん断棒特性		
			ヤング係数 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)	シェル厚 (mm)	せん断剛性GA ($\times 10^6 \text{kN}$)	曲げ剛性EI ($\times 10^{11} \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	ねじり剛性GI ($\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
80F	14040	0.197	311000	79000	1.00	4.16	1.01	-1.54
79F						2.47	1.01	-1.59
78F	15050	0.227	↑	↑	↑	2.56	1.01	-1.02
77F						2.18	1.01	-1.06
76F						2.42	1.01	-1.03
75F	16100	0.259	↑	↑	↑	2.22	1.01	-1.07
74F						2.32	1.01	-1.06
73F						2.18	1.01	-1.10
72F	17180	0.295	↑	↑	↑	2.33	1.01	-1.13
71F						2.20	1.01	-1.17
70F						2.29	1.01	-1.19
69F	19440	0.378	↑	↑	↑	2.19	1.01	-1.23
68F						2.30	0.94	-1.27
67F						2.27	0.89	-1.31
66F	21850	0.477	↑	↑	↑	2.51	0.87	-1.48
65F						3.59	1.40	-1.52
64F						3.61	1.36	-2.25
63F	23100	0.534	↓	↓	↓	3.56	1.33	-2.31
62F						3.80	1.31	-2.50
61F						4.06	1.29	-2.57
60F	24390	0.595	311000	↑	1.00	3.98	1.31	-2.76
59F						3.96	1.25	-2.84
58F						3.76	1.24	-2.75
57F	27080	0.733	↑	↑	↑	3.58	1.22	-2.83
56F						3.62	1.20	-2.80
55F						3.56	1.19	-2.87
54F	28470	0.810	↑	↑	↑	3.60	1.17	-2.92
53F						3.55	1.16	-2.99
52F						3.70	1.15	-3.15
51F	31370	0.984	↑	↑	↑	3.89	1.14	-3.23
50F						4.99	1.40	-4.46
49F						4.87	1.40	-4.57
48F	34800	1.143	↑	↑	↑	5.00	1.39	-4.70
47F						4.92	1.39	-4.81
46F						5.02	1.39	-4.93
45F	36420	1.253	↑	↑	↑	4.96	1.38	-5.05
44F						4.96	1.38	-5.11
43F						4.93	1.38	-5.22
42F	38090	1.370	↓	↓	↓	5.18	1.37	-5.57
41F						5.51	1.37	-5.69
40F						5.64	1.67	-6.33
39F	41520	1.628	304710	↑	1.69	5.94	1.64	-6.47
38F						5.62	1.63	-6.58
37F						5.44	1.62	-6.71
36F	43300	1.770	302620	↑	2.25	5.46	1.61	-6.66
35F						5.38	1.60	-6.79
34F						5.50	1.59	-6.99
33F	45110	1.921	↑	↑	↑	5.51	1.58	-7.13
32F						5.47	1.58	-7.22
31F						5.63	1.57	-7.37
30F	48840	2.252	↑	↑	↑	6.92	1.86	-9.50
29F						6.86	1.85	-9.68
28F						6.71	1.85	-9.57
27F	50760	2.433	↑	↑	↑	6.69	1.84	-9.75
26F						6.90	1.83	-10.23
25F						6.85	1.83	-10.42
24F	52720	3.041	↓	↓	↓	6.81	1.82	-10.47
23F						6.83	1.81	-10.66
22F						7.03	1.80	-11.19
21F	5750	3.267	302620	↑	2.25	7.37	1.80	-11.40
20F						7.11	1.96	-11.74
19F						7.67	1.93	-11.94
18F	60930	3.505	300860	↑	2.93	7.33	1.92	-12.53
17F						7.15	1.91	-12.75
16F						7.13	1.90	-12.61
15F	63070	4.020	↑	↑	↑	7.08	1.89	-12.82
14F						7.09	1.87	-12.98
13F						7.09	1.86	-13.19
12F	67470	4.298	↑	↑	↑	7.19	1.85	-13.60
11F						7.38	1.84	-13.83
10F						8.31	2.39	-16.22
9F	73600	4.846	↑	↑	↑	8.28	2.37	-16.49
8F						8.35	2.35	-16.84
7F						8.34	2.33	-17.10
6F	76020	5.169	↑	↑	↑	8.38	2.31	-17.44
5F						8.44	2.30	-17.72
4F						8.65	2.28	-18.56
3F	78480	5.509	↑	↑	↑	9.20	2.26	-18.85
2F						11.09	2.25	-24.57
1F						22.39	2.25	-24.95

(4) Setback モデル

平面形状	: 一辺 28m~69m の正方形 (下階に向けて漸増)
各階床重量、回転慣性	: $0.85\text{t/m}^2 \sim 0.95\text{t/m}^2$ を仮定
外周のシェル特性	: Square モデルと同一
コア部分の曲げせん断棒	: Square モデルと同一
コア部分のねじれ剛性(低減)	: Square モデルに対し距離の 2 乗に比例して設定

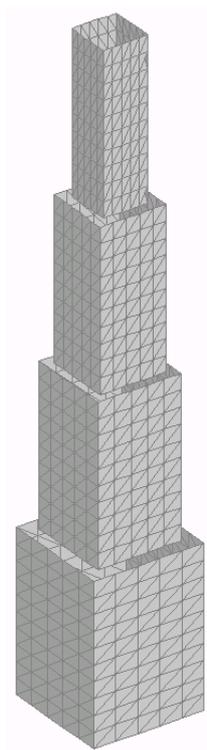
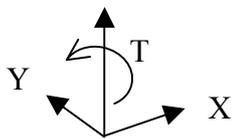


図 7.5.3.8 Setback モデル

表 7.5.3.7 Setback モデルの特性

	重量 (kN)	回転慣性 ($\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	シェル特性			曲げせん断棒特性		
			ヤング係数 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)	シェル厚 (mm)	せん断剛性GA ($\times 10^6 \text{kN}$)	曲げ剛性EI ($\times 10^{11} \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	ねじり剛性GI ($\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
80F	13070	0.171	311000	79000	1.00	4.16	1.01	-1.54
79F						2.47	1.01	-1.54
78F						2.56	1.01	-0.95
77F						2.18	1.01	-0.95
76F						2.42	1.01	-0.90
75F						2.22	1.01	-0.90
74F						2.32	1.01	-0.86
73F						2.18	1.01	-0.86
72F						2.33	1.01	-0.86
71F						2.20	1.01	-0.86
70F	2.29	1.01	-0.85					
69F	2.19	1.01	-0.85					
68F	2.30	0.94	-0.85					
67F	2.27	0.89	-0.85					
66F	2.51	0.87	-0.93					
65F	3.59	1.40	-0.93					
64F	3.61	1.36	-1.34					
63F	3.56	1.33	-1.34					
62F	13070	0.171	311000		1.00	3.80	1.31	-1.40
61F						4.06	1.29	-1.40
60F						3.98	1.31	-3.15
59F						3.96	1.25	-3.15
58F	28020	0.785	304710		1.69	3.76	1.24	-2.98
57F						3.58	1.22	-2.98
56F						3.62	1.20	-2.87
55F						3.56	1.19	-2.87
54F						3.60	1.17	-2.85
53F						3.55	1.16	-2.85
52F						3.70	1.15	-2.93
51F						3.89	1.14	-2.93
50F						4.99	1.40	-3.95
49F						4.87	1.40	-3.95
48F	5.00	1.39	-3.97					
47F	4.92	1.39	-3.97					
46F	5.02	1.39	-3.98					
45F	4.96	1.38	-3.98					
44F	4.96	1.38	-3.94					
43F	4.93	1.38	-3.94					
42F	29670	0.831	304710		1.69	5.18	1.37	-4.11
41F						5.51	1.37	-4.11
40F						5.64	1.67	-7.20
39F						5.94	1.64	-7.20
38F	47730	2.151	302620		2.25	5.62	1.63	-7.17
37F						5.44	1.62	-7.17
36F						5.46	1.61	-6.97
35F						5.38	1.60	-6.97
34F						5.50	1.59	-7.02
33F						5.51	1.58	-7.02
32F						5.47	1.58	-6.98
31F						5.63	1.57	-6.98
30F						6.92	1.86	-8.83
29F						6.86	1.85	-8.83
28F	6.71	1.85	-8.56					
27F	6.69	1.84	-8.56					
26F	6.90	1.83	-8.82					
25F	6.85	1.83	-8.82					
24F	6.81	1.82	-8.70					
23F	6.83	1.81	-8.70					
22F	47730	2.151	302620		2.25	7.03	1.80	-8.97
21F						7.37	1.80	-8.97
20F						7.11	1.96	-15.98
19F						7.67	1.93	-15.98
18F	84040	6.669	300860		2.93	7.33	1.92	-16.47
17F						7.15	1.91	-16.47
16F						7.13	1.90	-16.02
15F						7.08	1.89	-16.02
14F	88710	7.039				7.09	1.87	-15.94
13F						7.09	1.86	-15.94
12F						7.19	1.85	-16.17
11F						7.38	1.84	-16.17
10F						8.31	2.39	-18.66
9F						8.28	2.37	-18.66
8F	8.35	2.35	-18.76					
7F	8.34	2.33	-18.76					
6F	8.38	2.31	-18.83					
5F	8.44	2.30	-18.83					
4F	8.65	2.28	-19.42					
3F	9.20	2.26	-19.42					
2F	88710	7.039	300860	79000	2.93	11.09	2.25	-24.95
1F						22.39	2.25	-24.95

(5) Helical90 モデル

平面形状	: 一辺 50m の正方形 (下階に向けて 90 度回転)
各階床重量、回転慣性	: $0.85\text{t/m}^2 \sim 0.95\text{t/m}^2$ を仮定
外周のシェル特性	: Square モデルと同一
コア部分の曲げせん断棒	: Square モデルと同一
コア部分のねじれ剛性(低減)	: Square モデルと同一

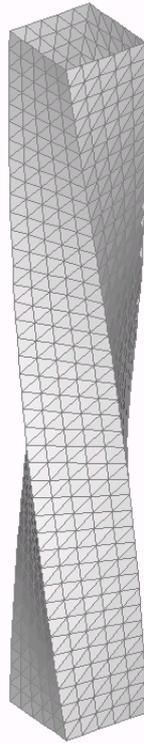
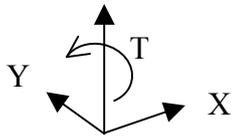


図 7.5.3.9 Helical90 モデル

表 7.5.3.8 Helical90 モデルの特性

	重量 (kN)	回転慣性 ($\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	シェル特性			曲げせん断棒特性		
			ヤング係数 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)	シェル厚 (mm)	せん断剛性GA ($\times 10^6 \text{kN}$)	曲げ剛性EI ($\times 10^{11} \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	ねじり剛性GI ($\times 10^8 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
80F	41680	1.737	311000	79000	1.00	4.16	1.01	-4.90
79F						2.47	1.01	-4.90
78F	↑	↑	↑	↑	↑	2.56	1.01	-3.02
77F						2.18	1.01	-3.02
76F	↑	↑	↑	↑	↑	2.42	1.01	-2.86
75F						2.22	1.01	-2.86
74F	↑	↑	↑	↑	↑	2.32	1.01	-2.74
73F						2.18	1.01	-2.74
72F	↑	↑	↑	↑	↑	2.33	1.01	-2.74
71F						2.20	1.01	-2.74
70F	↑	↑	↑	↑	↑	2.29	1.01	-2.70
69F						2.19	1.01	-2.70
68F	↑	↑	↑	↑	↑	2.30	0.94	-2.71
67F						2.27	0.89	-2.71
66F	↑	↑	↑	↑	↑	2.51	0.87	-2.97
65F						3.59	1.40	-2.97
64F	↑	↑	↑	↑	↑	3.61	1.36	-4.26
63F						3.56	1.33	-4.26
62F	↑	↑	311000	↑	1.00	3.80	1.31	-4.48
61F						4.06	1.29	-4.48
60F	↑	↑	304710	↑	1.69	3.98	1.31	-4.69
59F						3.96	1.25	-4.69
58F	↓	↓	↑	↑	↑	3.76	1.24	-4.43
57F						3.58	1.22	-4.43
56F	↑	↑	↑	↑	↑	3.62	1.20	-4.27
55F						3.56	1.19	-4.27
54F	↓	↓	↑	↑	↑	3.60	1.17	-4.24
53F						3.55	1.16	-4.24
52F	41680	1.737	↑	↑	↑	3.70	1.15	-4.36
51F						3.89	1.14	-4.36
50F	44130	1.839	↑	↑	↑	4.99	1.40	-5.88
49F						4.87	1.40	-5.88
48F	↑	↑	↑	↑	↑	5.00	1.39	-5.90
47F						4.92	1.39	-5.90
46F	↑	↑	↑	↑	↑	5.02	1.39	-5.92
45F						4.96	1.38	-5.92
44F	↑	↑	↑	↑	↑	4.96	1.38	-5.86
43F						4.93	1.38	-5.86
42F	↑	↑	304710	↑	1.69	5.18	1.37	-6.11
41F						5.51	1.37	-6.11
40F	↑	↑	302620	↑	2.25	5.64	1.67	-6.66
39F						5.94	1.64	-6.66
38F	↑	↑	↑	↑	↑	5.62	1.63	-6.63
37F						5.44	1.62	-6.63
36F	↑	↑	↑	↑	↑	5.46	1.61	-6.44
35F						5.38	1.60	-6.44
34F	↑	↑	↑	↑	↑	5.50	1.59	-6.49
33F						5.51	1.58	-6.49
32F	↑	↑	↑	↑	↑	5.47	1.58	-6.45
31F						5.63	1.57	-6.45
30F	↑	↑	↑	↑	↑	6.92	1.86	-8.16
29F						6.86	1.85	-8.16
28F	↑	↑	↑	↑	↑	6.71	1.85	-7.91
27F						6.69	1.84	-7.91
26F	↑	↑	↑	↑	↑	6.90	1.83	-8.15
25F						6.85	1.83	-8.15
24F	↑	↑	↑	↑	↑	6.81	1.82	-8.04
23F						6.83	1.81	-8.04
22F	↑	↑	302620	↑	2.25	7.03	1.80	-8.29
21F						7.37	1.80	-8.29
20F	↑	↑	300860	↑	2.93	7.11	1.96	-8.39
19F						7.67	1.93	-8.39
18F	↓	↓	↑	↑	↑	7.33	1.92	-8.65
17F						7.15	1.91	-8.65
16F	44130	1.839	↑	↑	↑	7.13	1.90	-8.41
15F						7.08	1.89	-8.41
14F	46580	1.941	↑	↑	↑	7.09	1.87	-8.37
13F						7.09	1.86	-8.37
12F	↑	↑	↑	↑	↑	7.19	1.85	-8.49
11F						7.38	1.84	-8.49
10F	↑	↑	↑	↑	↑	8.31	2.39	-9.80
9F						8.28	2.37	-9.80
8F	↑	↑	↑	↑	↑	8.35	2.35	-9.85
7F						8.34	2.33	-9.85
6F	↑	↑	↑	↑	↑	8.38	2.31	-9.89
5F						8.44	2.30	-9.89
4F	↓	↓	↑	↑	↑	8.65	2.28	-10.20
3F						9.20	2.26	-10.20
2F	46580	1.941	300860	79000	2.93	11.09	2.25	-13.10
1F						22.39	2.25	-13.10

(6) Helical180 モデル

平面形状	: 一辺 50m の正方形 (下階に向けて 180 度回転)
各階床重量、回転慣性	: $0.85\text{t/m}^2 \sim 0.95\text{t/m}^2$ を仮定
外周のシェル特性	: Square モデルと同一
コア部分の曲げせん断棒	: Square モデルと同一
コア部分のねじれ剛性(低減)	: Square モデルと同一

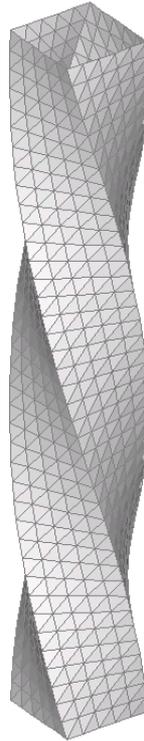
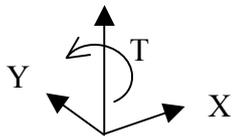


図 7.5.3.10 Helical180 モデル

表 7.5.3.9 Helical180 モデルの特性

	重量 (kN)	回転慣性 ($\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	シェル特性			曲げせん断棒特性		
			ヤング係数 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)	シェル厚 (mm)	せん断剛性GA ($\times 10^6 \text{kN}$)	曲げ剛性EI ($\times 10^{11} \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	ねじり剛性GI ($\times 10^8 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
80F	41680	1.737	311000	79000	1.00	4.16	1.01	-4.90
79F						2.47	1.01	-4.90
78F	↑	↑	↑	↑	↑	2.56	1.01	-3.02
77F						2.18	1.01	-3.02
76F	↑	↑	↑	↑	↑	2.42	1.01	-2.86
75F						2.22	1.01	-2.86
74F	↑	↑	↑	↑	↑	2.32	1.01	-2.74
73F						2.18	1.01	-2.74
72F	↑	↑	↑	↑	↑	2.33	1.01	-2.74
71F						2.20	1.01	-2.74
70F	↑	↑	↑	↑	↑	2.29	1.01	-2.70
69F						2.19	1.01	-2.70
68F	↑	↑	↑	↑	↑	2.30	0.94	-2.71
67F						2.27	0.89	-2.71
66F	↑	↑	↑	↑	↑	2.51	0.87	-2.97
65F						3.59	1.40	-2.97
64F	↑	↑	↑	↑	↑	3.61	1.36	-4.26
63F						3.56	1.33	-4.26
62F	↑	↑	311000	↑	1.00	3.80	1.31	-4.48
61F						4.06	1.29	-4.48
60F	↑	↑	304710	↑	1.69	3.98	1.31	-4.69
59F						3.96	1.25	-4.69
58F	↑	↑	↑	↑	↑	3.76	1.24	-4.43
57F						3.58	1.22	-4.43
56F	↑	↑	↑	↑	↑	3.62	1.20	-4.27
55F						3.56	1.19	-4.27
54F	↓	↓	↑	↑	↑	3.60	1.17	-4.24
53F						3.55	1.16	-4.24
52F	41680	1.737	↑	↑	↑	3.70	1.15	-4.36
51F						3.89	1.14	-4.36
50F	44130	1.839	↑	↑	↑	4.99	1.40	-5.88
49F						4.87	1.40	-5.88
48F	↑	↑	↑	↑	↑	5.00	1.39	-5.90
47F						4.92	1.39	-5.90
46F	↑	↑	↑	↑	↑	5.02	1.39	-5.92
45F						4.96	1.38	-5.92
44F	↑	↑	↑	↑	↑	4.96	1.38	-5.86
43F						4.93	1.38	-5.86
42F	↑	↑	304710	↑	1.69	5.18	1.37	-6.11
41F						5.51	1.37	-6.11
40F	↑	↑	302620	↑	2.25	5.64	1.67	-6.66
39F						5.94	1.64	-6.66
38F	↑	↑	↑	↑	↑	5.62	1.63	-6.63
37F						5.44	1.62	-6.63
36F	↑	↑	↑	↑	↑	5.46	1.61	-6.44
35F						5.38	1.60	-6.44
34F	↑	↑	↑	↑	↑	5.50	1.59	-6.49
33F						5.51	1.58	-6.49
32F	↑	↑	↑	↑	↑	5.47	1.58	-6.45
31F						5.63	1.57	-6.45
30F	↑	↑	↑	↑	↑	6.92	1.86	-8.16
29F						6.86	1.85	-8.16
28F	↑	↑	↑	↑	↑	6.71	1.85	-7.91
27F						6.69	1.84	-7.91
26F	↑	↑	↑	↑	↑	6.90	1.83	-8.15
25F						6.85	1.83	-8.15
24F	↑	↑	↑	↑	↑	6.81	1.82	-8.04
23F						6.83	1.81	-8.04
22F	↑	↑	302620	↑	2.25	7.03	1.80	-8.29
21F						7.37	1.80	-8.29
20F	↑	↑	300860	↑	2.93	7.11	1.96	-8.39
19F						7.67	1.93	-8.39
18F	↓	↓	↑	↑	↑	7.33	1.92	-8.65
17F						7.15	1.91	-8.65
16F	44130	1.839	↑	↑	↑	7.13	1.90	-8.41
15F						7.08	1.89	-8.41
14F	46580	1.941	↑	↑	↑	7.09	1.87	-8.37
13F						7.09	1.86	-8.37
12F	↑	↑	↑	↑	↑	7.19	1.85	-8.49
11F						7.38	1.84	-8.49
10F	↑	↑	↑	↑	↑	8.31	2.39	-9.80
9F						8.28	2.37	-9.80
8F	↑	↑	↑	↑	↑	8.35	2.35	-9.85
7F						8.34	2.33	-9.85
6F	↑	↑	↑	↑	↑	8.38	2.31	-9.89
5F						8.44	2.30	-9.89
4F	↓	↓	↑	↑	↑	8.65	2.28	-10.20
3F						9.20	2.26	-10.20
2F	46580	1.941	300860	79000	2.93	11.09	2.25	-13.10
1F						22.39	2.25	-13.10

(7) Void モデル

平面形状	: 一辺 50m の正方形、61~76 階にスリット状 Void (スリット幅 8.3m×2、当該階の床面積は 50m 角の 4/9)
各階床重量、回転慣性	: 0.85t/m ² ~0.95t/m ² を仮定
外周のシェル特性	: Square モデルと同一
コア部分の曲げせん断棒	: Square モデルと同一
コア部分のねじれ剛性(低減)	: Square モデルと同一、 ただし Void 部(61 階以上)は低減無し

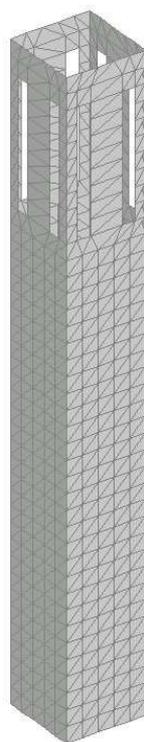
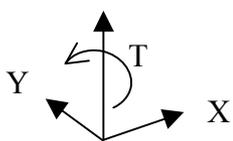
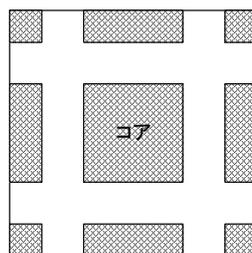


図 7.5.3.11 Void モデル

注：風洞実験モデルは中央に Void があるが、本検討で作成するモデルは、中央部分にはモデル上コアを上階まで通すことを考慮して、その Void を 2 つに分割している。2 つの Void の幅の合計は見付幅の 1/3 としている。



(仮定した Void 部分の平面イメージ、網掛け部床)

表 7.5.3.10 Voidモデルの特性

	重量 (kN)	回転慣性 ($\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	シェル特性			曲げせん断棒特性		
			ヤング係数 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)	シェル厚 (mm)	せん断剛性GA ($\times 10^6 \text{kN}$)	曲げ剛性EI ($\times 10^{11} \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	ねじり剛性GI ($\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
80F	41680	1.737	311000	79000	1.00	4.16	1.01	0.00
79F						2.47	1.01	0.00
78F	41680	1.737	↑	↑	↑	2.56	1.01	0.00
77F						2.18	1.01	0.00
76F	18520	0.772	↑	↑	↑	2.42	1.01	0.00
75F						2.22	1.01	0.00
74F	↑	↑	↑	↑	↑	2.32	1.01	0.00
73F						2.18	1.01	0.00
72F	↑	↑	↑	↑	↑	2.33	1.01	0.00
71F						2.20	1.01	0.00
70F	↑	↑	↑	↑	↑	2.29	1.01	0.00
69F						2.19	1.01	0.00
68F	↑	↑	↑	↑	↑	2.30	0.94	0.00
67F						2.27	0.89	0.00
66F	↑	↑	↑	↑	↑	2.51	0.87	0.00
65F						3.59	1.40	0.00
64F	↓	↓	↓	↓	↓	3.61	1.36	0.00
63F						3.56	1.33	0.00
62F	18520	0.772	311000	↑	1.00	3.80	1.31	0.00
61F						4.06	1.29	0.00
60F	41680	1.737	304710	↑	1.69	3.98	1.31	-4.69
59F						3.96	1.25	-4.69
58F	↑	↑	↑	↑	↑	3.76	1.24	-4.43
57F						3.58	1.22	-4.43
56F	↑	↑	↑	↑	↑	3.62	1.20	-4.27
55F						3.56	1.19	-4.27
54F	↓	↓	↑	↑	↑	3.60	1.17	-4.24
53F						3.55	1.16	-4.24
52F	41680	1.737	↑	↑	↑	3.70	1.15	-4.36
51F						3.89	1.14	-4.36
50F	44130	1.839	↑	↑	↑	4.99	1.40	-5.88
49F						4.87	1.40	-5.88
48F	↑	↑	↑	↑	↑	5.00	1.39	-5.90
47F						4.92	1.39	-5.90
46F	↑	↑	↑	↑	↑	5.02	1.39	-5.92
45F						4.96	1.38	-5.92
44F	↑	↑	↑	↑	↑	4.96	1.38	-5.86
43F						4.93	1.38	-5.86
42F	↑	↑	304710	↑	1.69	5.18	1.37	-6.11
41F						5.51	1.37	-6.11
40F	↑	↑	302620	↑	2.25	5.64	1.67	-6.66
39F						5.94	1.64	-6.66
38F	↑	↑	↑	↑	↑	5.62	1.63	-6.63
37F						5.44	1.62	-6.63
36F	↑	↑	↑	↑	↑	5.46	1.61	-6.44
35F						5.38	1.60	-6.44
34F	↑	↑	↑	↑	↑	5.50	1.59	-6.49
33F						5.51	1.58	-6.49
32F	↑	↑	↑	↑	↑	5.47	1.58	-6.45
31F						5.63	1.57	-6.45
30F	↑	↑	↑	↑	↑	6.92	1.86	-8.16
29F						6.86	1.85	-8.16
28F	↑	↑	↑	↑	↑	6.71	1.85	-7.91
27F						6.69	1.84	-7.91
26F	↑	↑	↑	↑	↑	6.90	1.83	-8.15
25F						6.85	1.83	-8.15
24F	↑	↑	↑	↑	↑	6.81	1.82	-8.04
23F						6.83	1.81	-8.04
22F	↑	↑	302620	↑	2.25	7.03	1.80	-8.29
21F						7.37	1.80	-8.29
20F	↑	↑	300860	↑	2.93	7.11	1.96	-8.39
19F						7.67	1.93	-8.39
18F	↓	↓	↑	↑	↑	7.33	1.92	-8.65
17F						7.15	1.91	-8.65
16F	44130	1.839	↑	↑	↑	7.13	1.90	-8.41
15F						7.08	1.89	-8.41
14F	46580	1.941	↑	↑	↑	7.09	1.87	-8.37
13F						7.09	1.86	-8.37
12F	↑	↑	↑	↑	↑	7.19	1.85	-8.49
11F						7.38	1.84	-8.49
10F	↑	↑	↑	↑	↑	8.31	2.39	-9.80
9F						8.28	2.37	-9.80
8F	↑	↑	↑	↑	↑	8.35	2.35	-9.85
7F						8.34	2.33	-9.85
6F	↑	↑	↑	↑	↑	8.38	2.31	-9.89
5F						8.44	2.30	-9.89
4F	↓	↓	↓	↓	↓	8.65	2.28	-10.20
3F						9.20	2.26	-10.20
2F	46580	1.941	300860	79000	2.93	11.09	2.25	-13.10
1F						22.39	2.25	-13.10

7.5.4 入力地震動

検討に用いる入力地震動は、平 12 建告第 1461 号に示された、極めて稀に発生する地震動の加速度応答スペクトルに適合する地震動とする。

また、速度、変位のスペクトルは、加速度応答スペクトル S_A を基に、 S_A/ω 、 S_A/ω^2 により算定する。

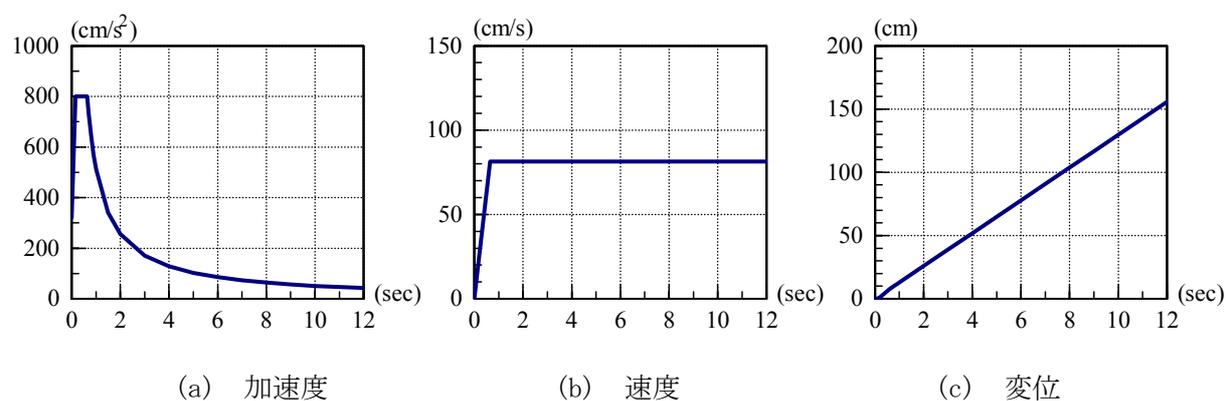


図 7.5.4.1 告示スペクトル (h=0.05)

7.5.5 固有振動解析結果

作成した各モデルについて、固有振動解析を行った。その結果を以下にまとめて示す。各図中のグラフは、各次各方向の固有振動モード形を示し、グラフ下の欄は各方向の刺激係数、さらに下欄は固有周期を示す。

図の凡例を以下に示す。

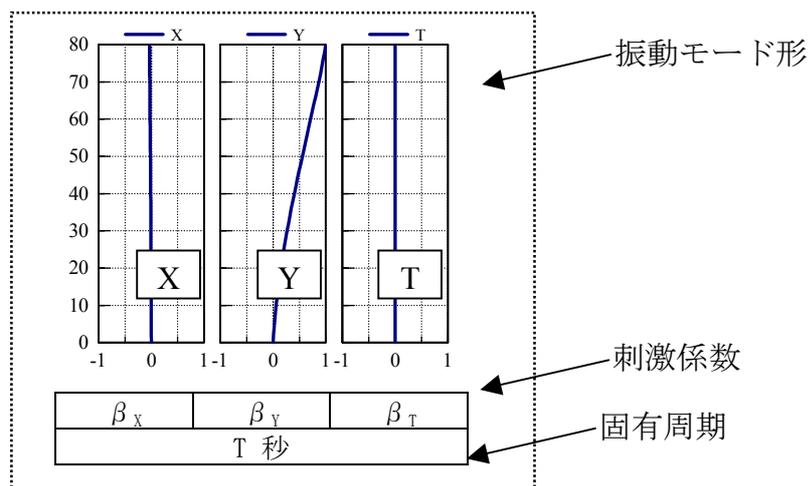


図 7.5.5.1 Square モデル固有振動解析結果

図 7.5.5.2 Circle モデル固有振動解析結果

図 7.5.5.3 Tapered モデル固有振動解析結果

図 7.5.5.4 Setback モデル固有振動解析結果

図 7.5.5.5 Helical90 モデル固有振動解析結果

図 7.5.5.6 Helical180 モデル固有振動解析結果

図 7.5.5.7 Void モデル固有振動解析結果

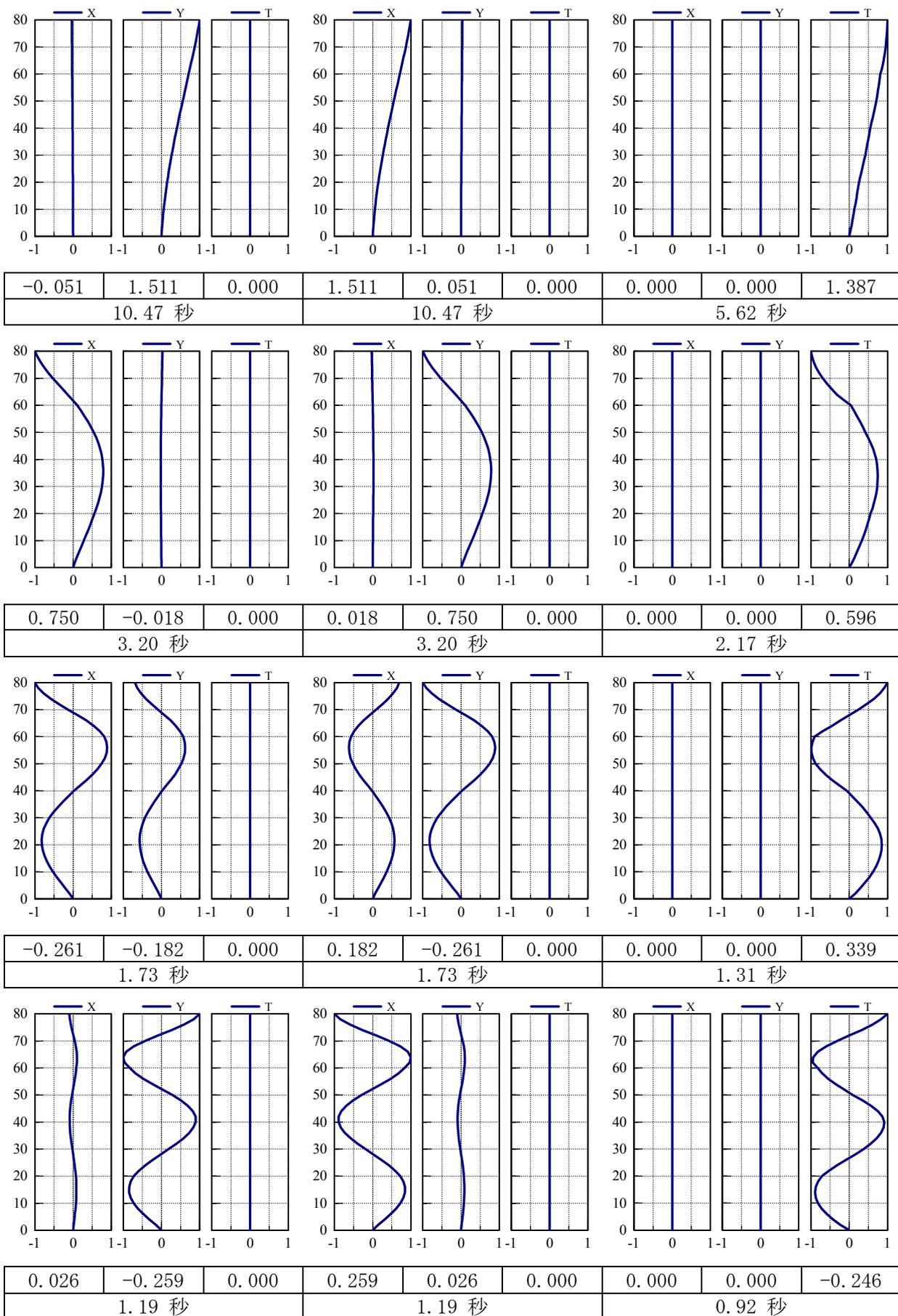


図 7.5.5.1 Square モデル固有振動解析結果（固有周期、刺激係数、振動モード形）

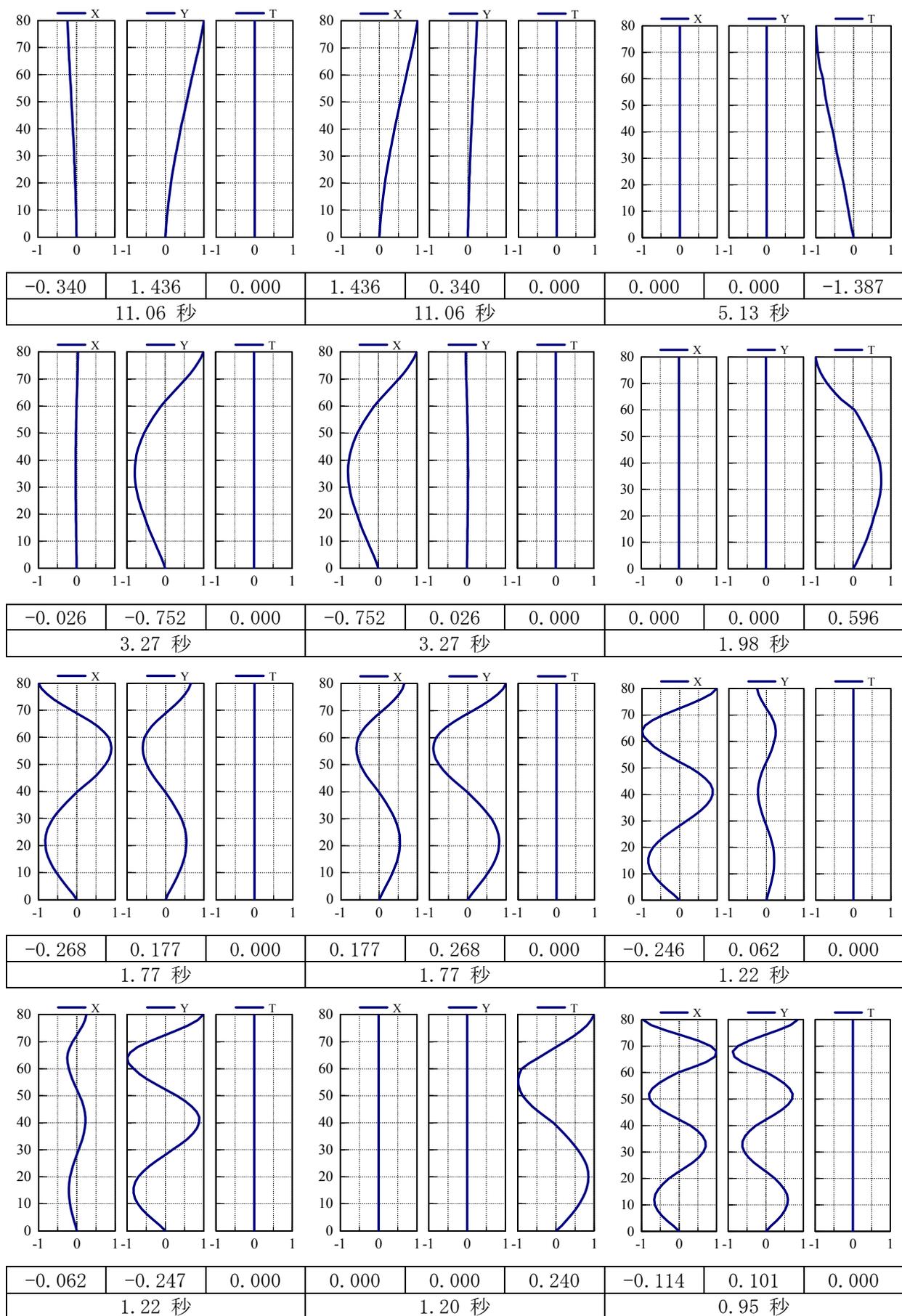


図 7.5.5.2 Circle モデル固有振動解析結果（固有周期、刺激係数、振動モード形）

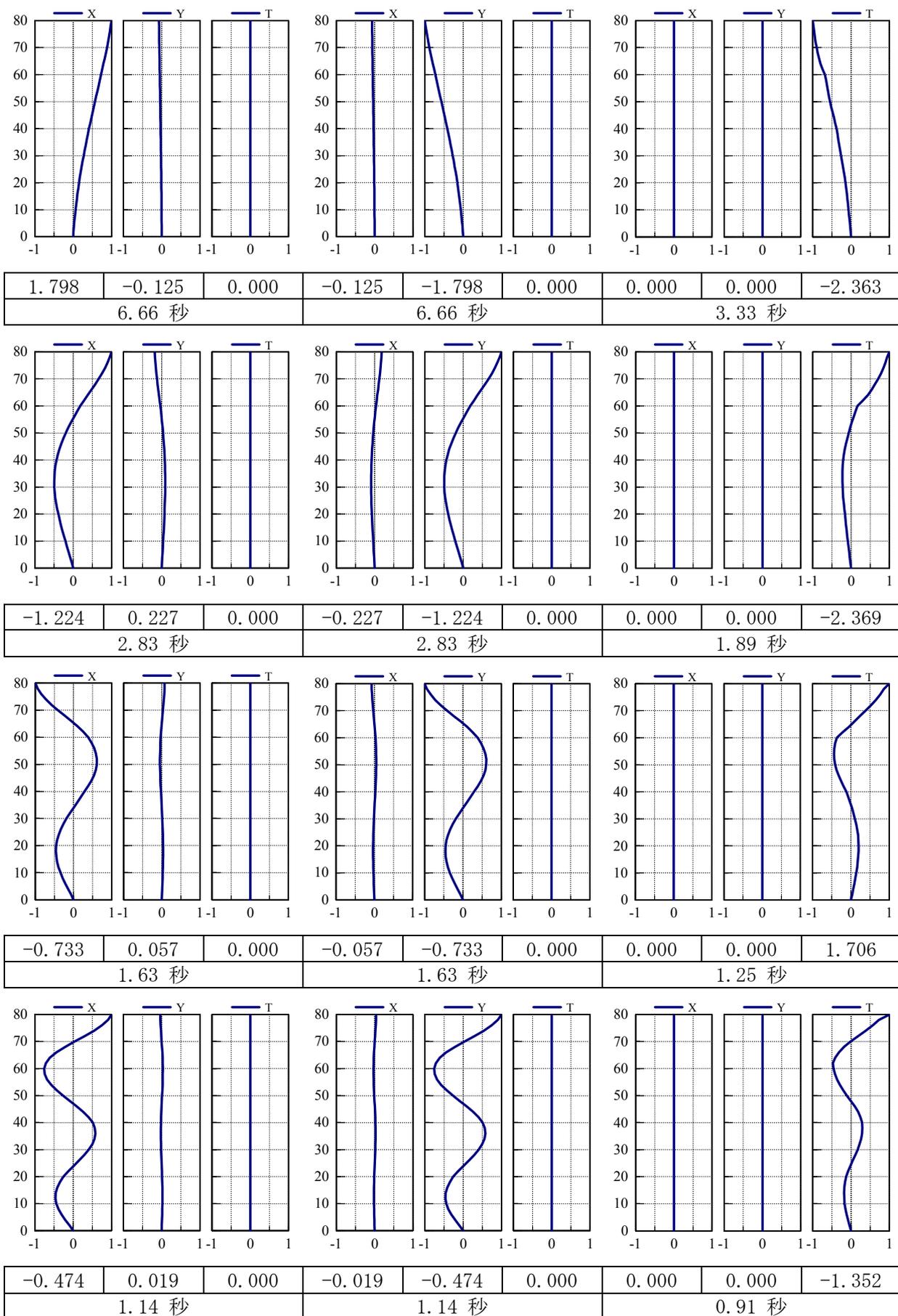


図 7.5.5.3 Tapered モデル固有振動解析結果 (固有周期、刺激係数、振動モード形)

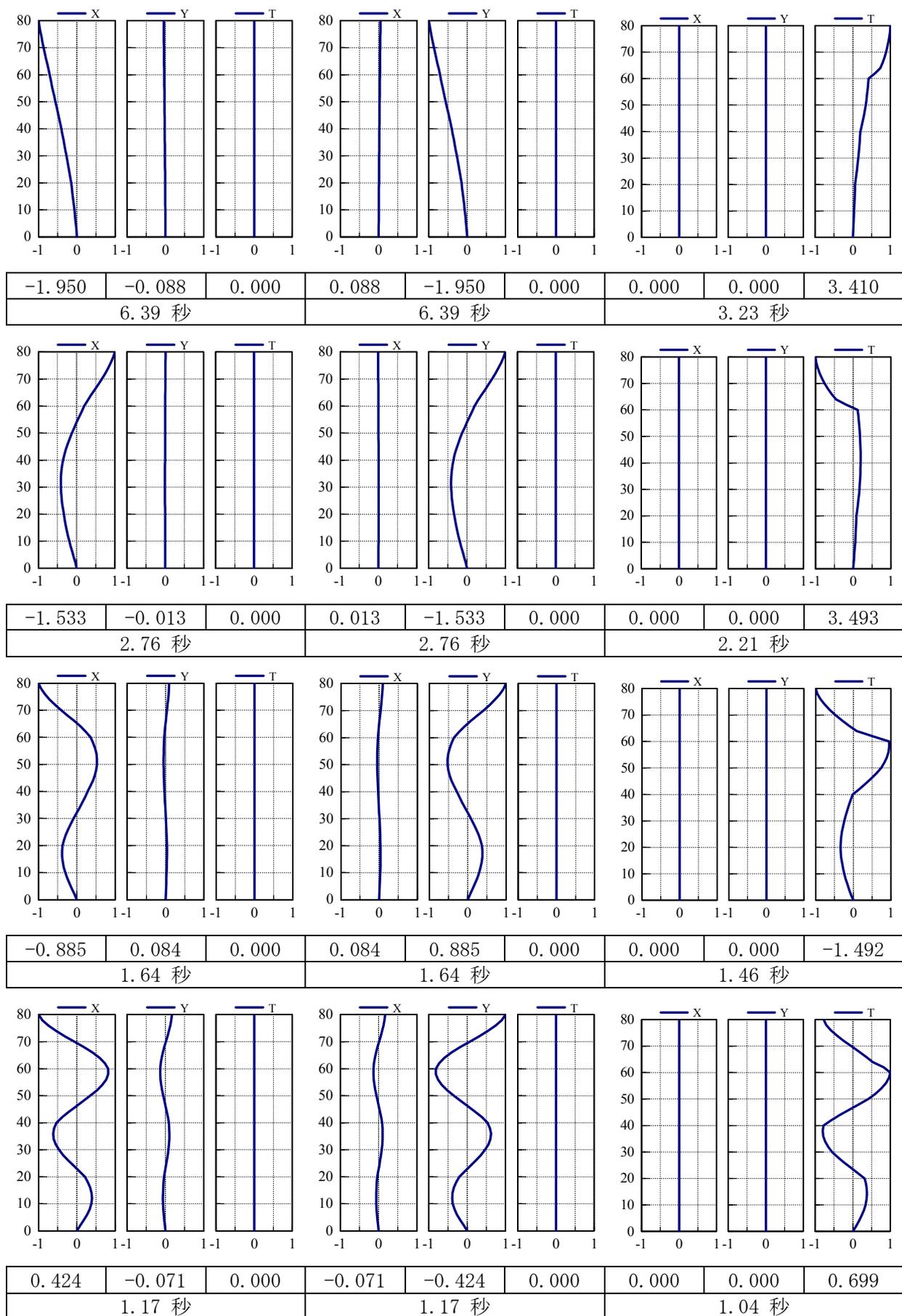


図 7.5.5.4 Setback モデル固有振動解析結果（固有周期、刺激係数、振動モード形）

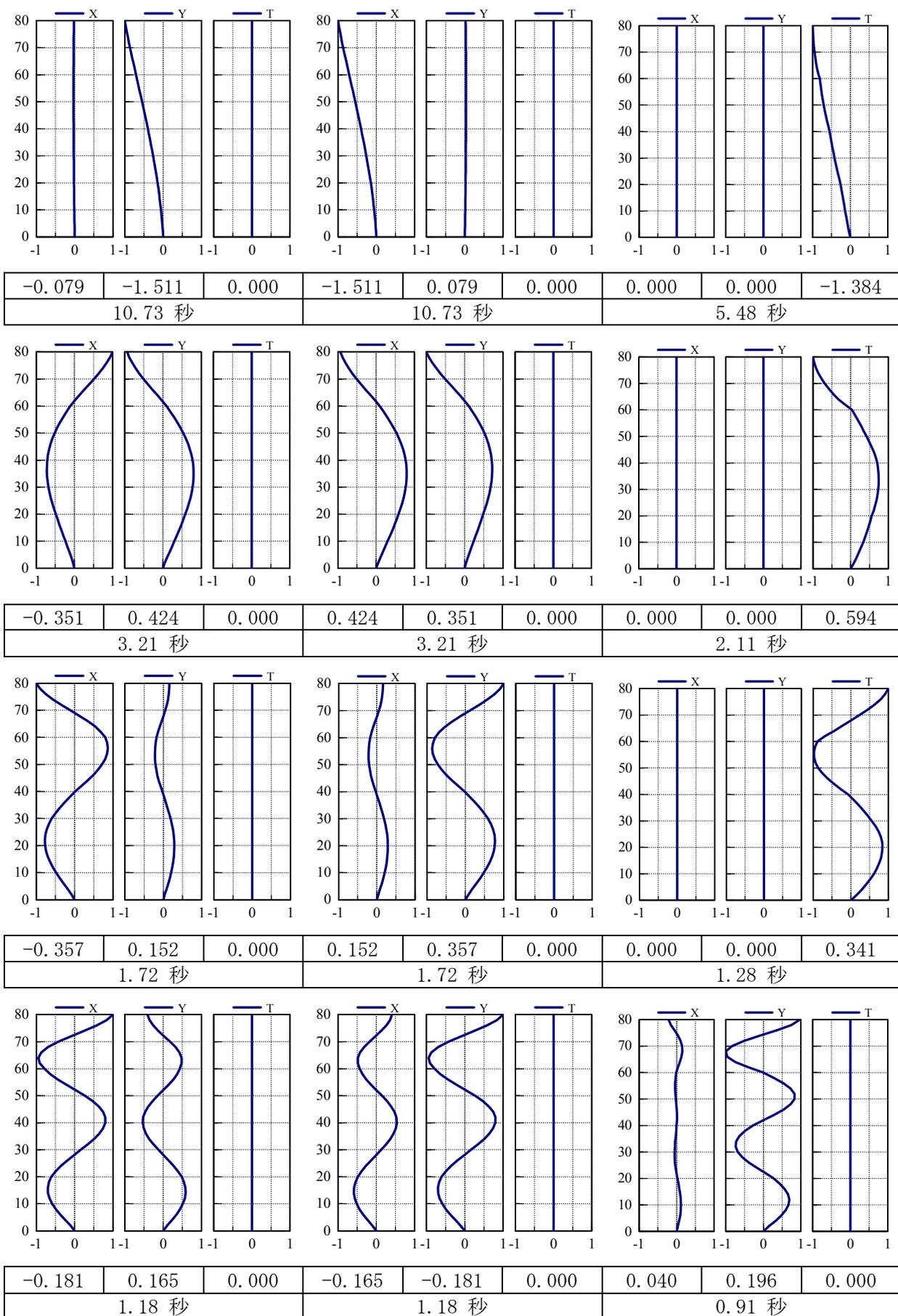


図 7.5.5.5 Helical90 モデル固有振動解析結果 (固有周期、刺激係数、振動モード形)

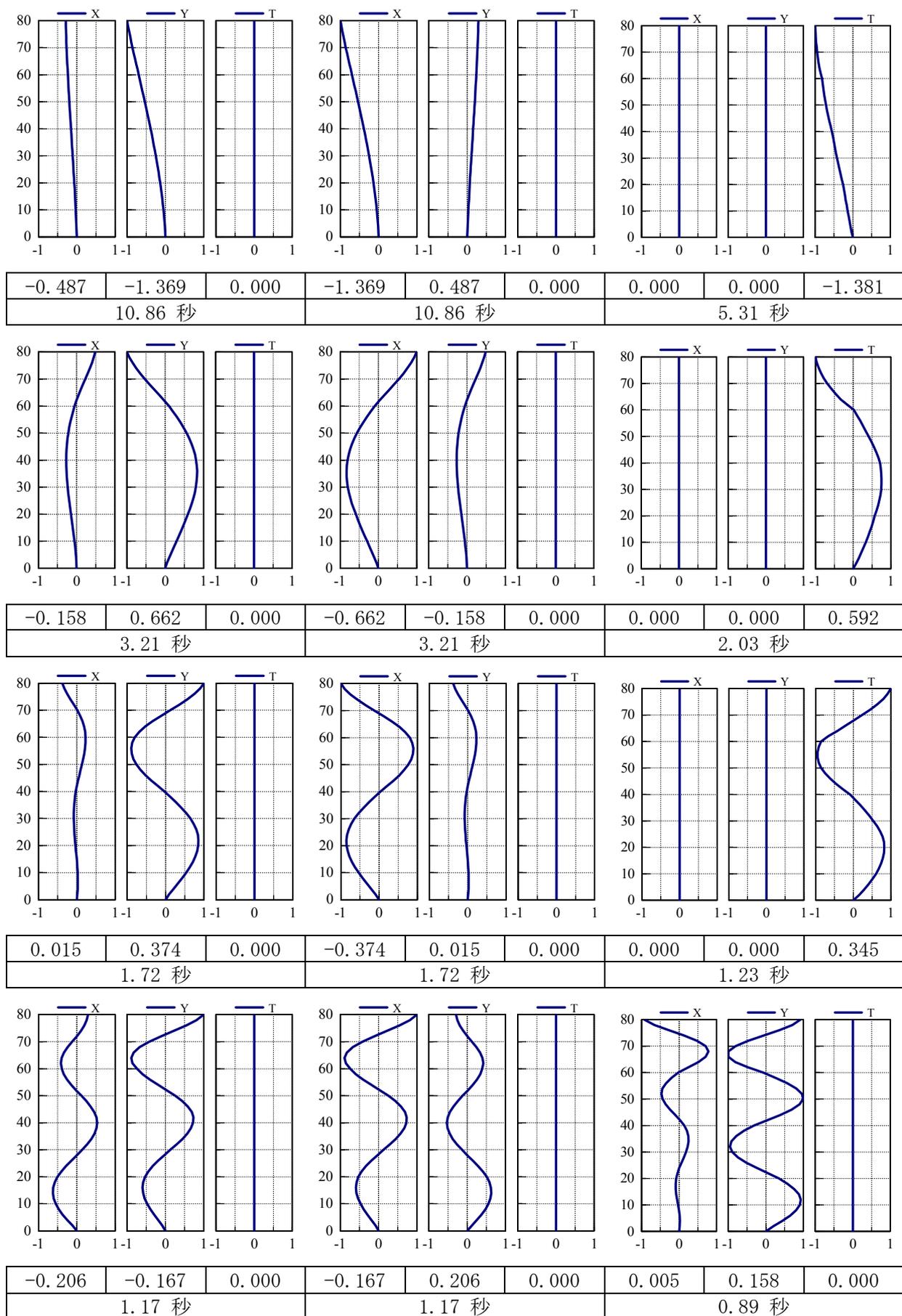


図 7.5.5.6 Helical180 モデル固有振動解析結果 (固有周期、刺激係数、振動モード形)

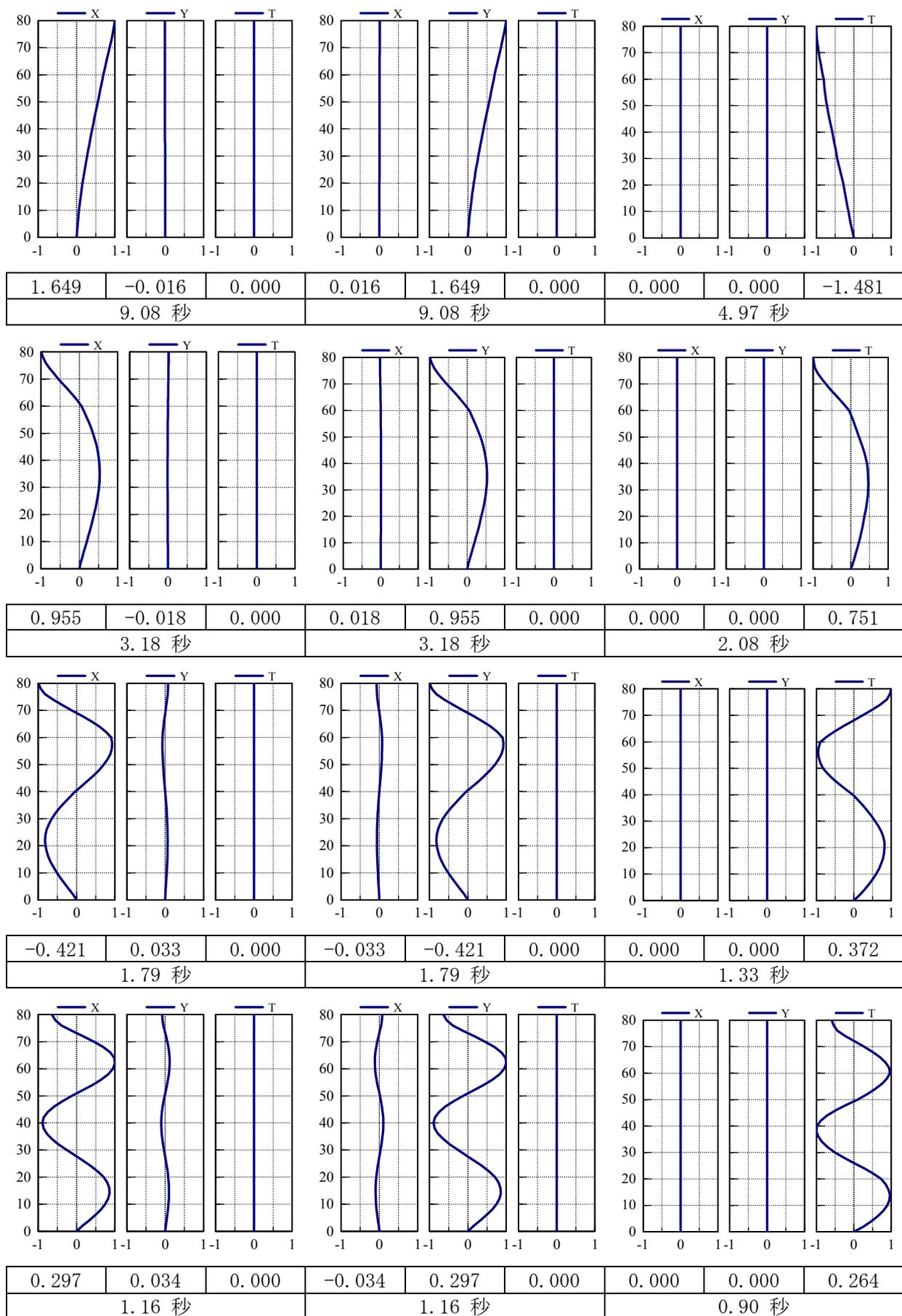


図 7.5.5.7 Void モデル固有振動解析結果 (固有周期、刺激係数、振動モード形)

7.5.6 地震応答解析

7.5.6.1 解析条件

地震応答解析は、建物の各部は弾性と仮定して、スペクトルモーダルにより実施する。この時設定する仮定条件を以下に列挙する。

- ・減衰 各次 2%の一定、告示に示された（5%で規定された）スペクトルに対し、 $F_h=1.5/(1+10h)$ により減衰を考慮する
- ・解析法 12次（並進4次）まで考慮したSRSS法を用いる
- ・せん断力計算 各質点にかかる加速度から外力を算出し、上層階から足し合わせて当該層のせん断力を算定する

7.5.6.2 解析結果

各建物モデルについて、以下に示す地震時応答最大値をまとめる。

- (a) 加速度
- (b) 水平変形
- (c) 層間変形角
- (d) 層せん断力
- (e) 層せん断力係数
- (f) 転倒モーメント

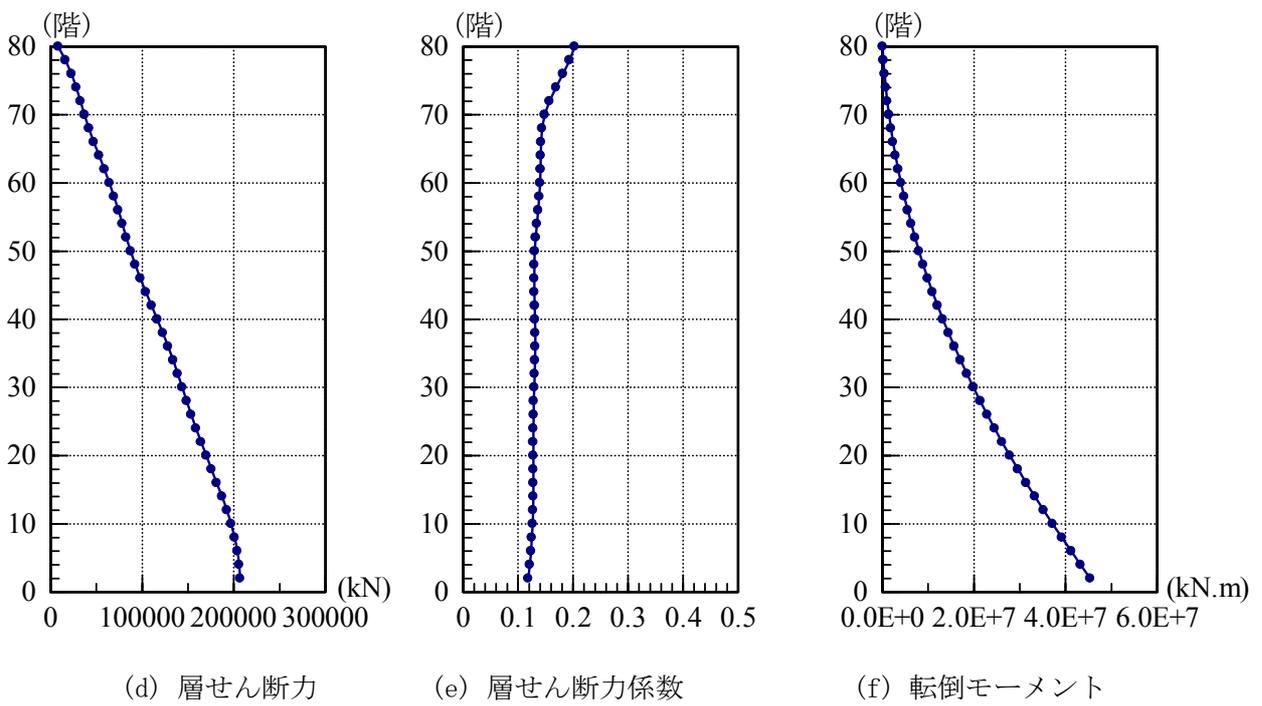
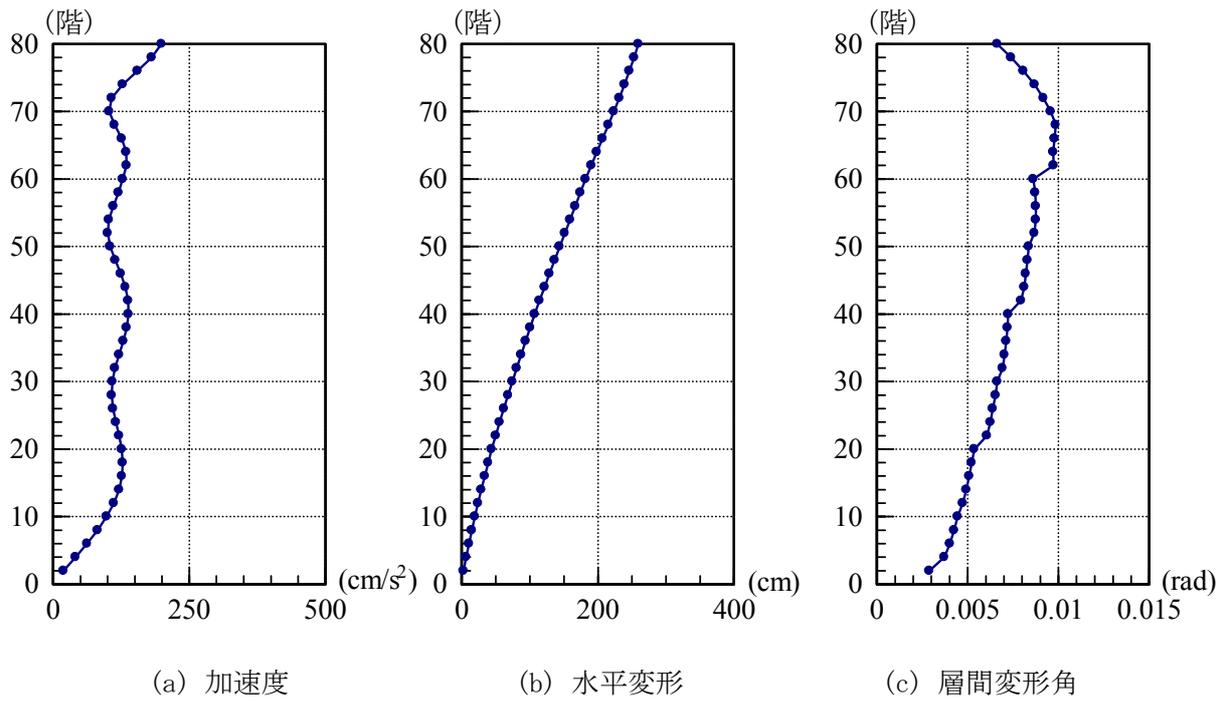


図 7.5.6.1 地震時応答 (Square)

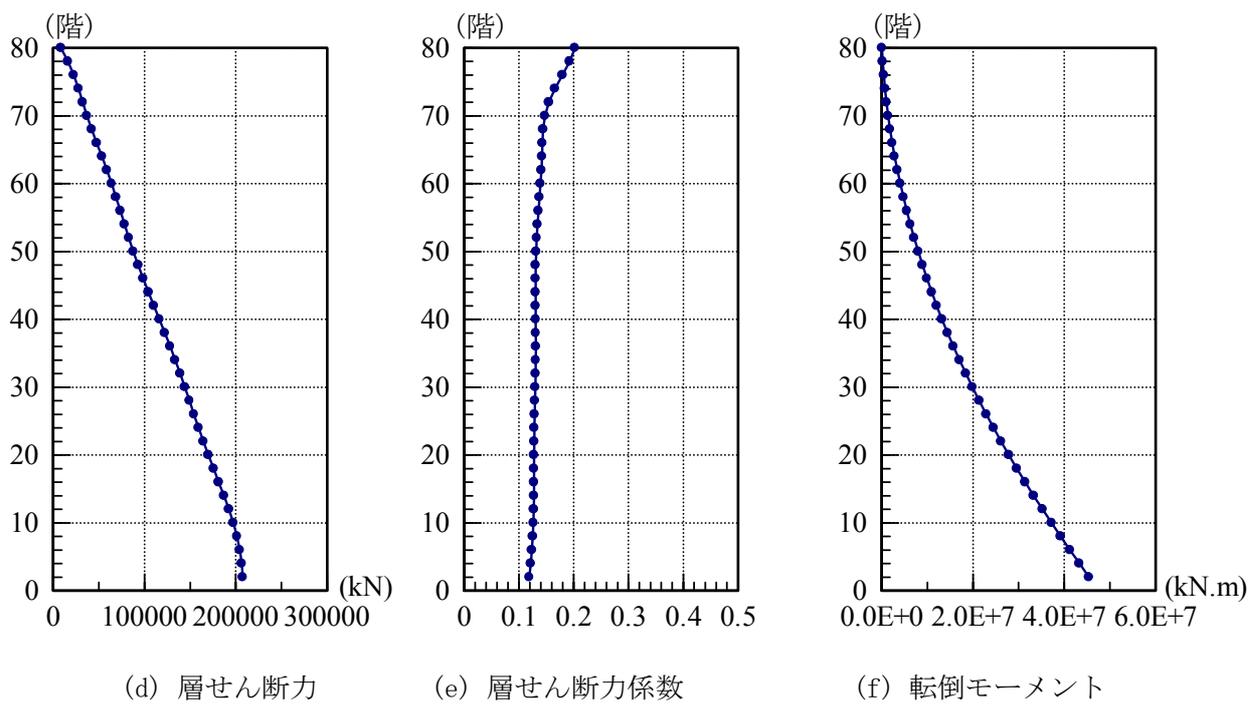
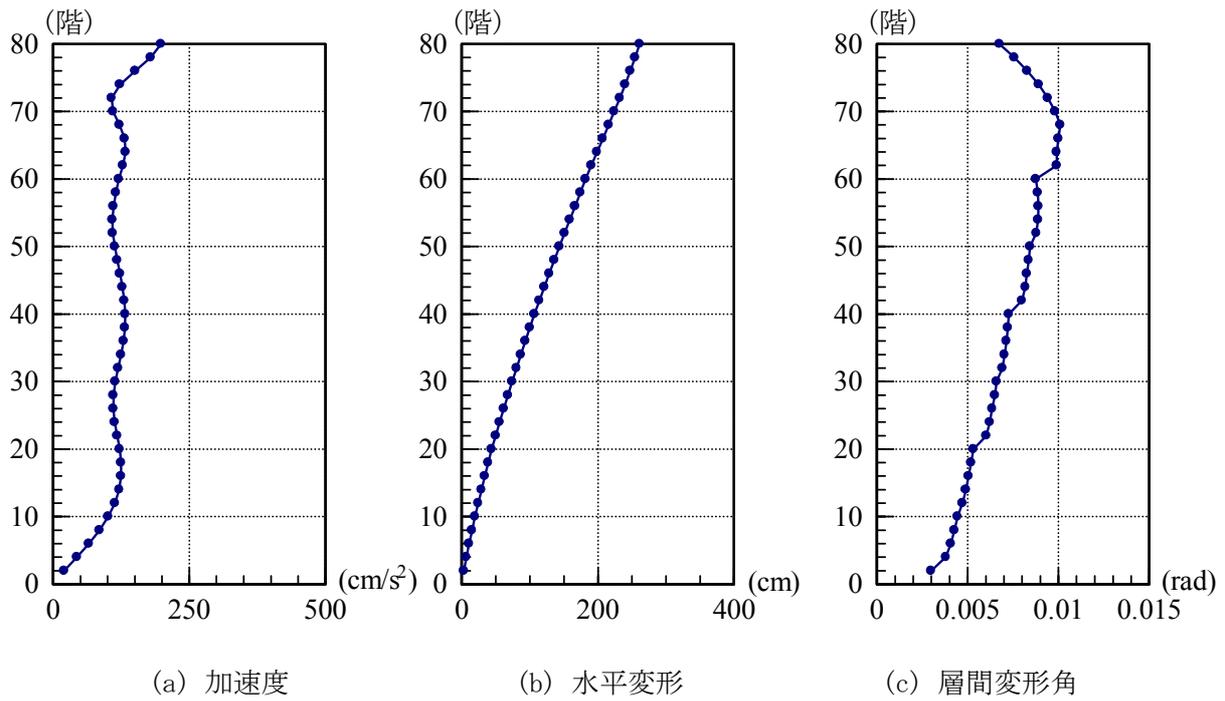


図 7.5.6.2 地震時応答 (Circle)

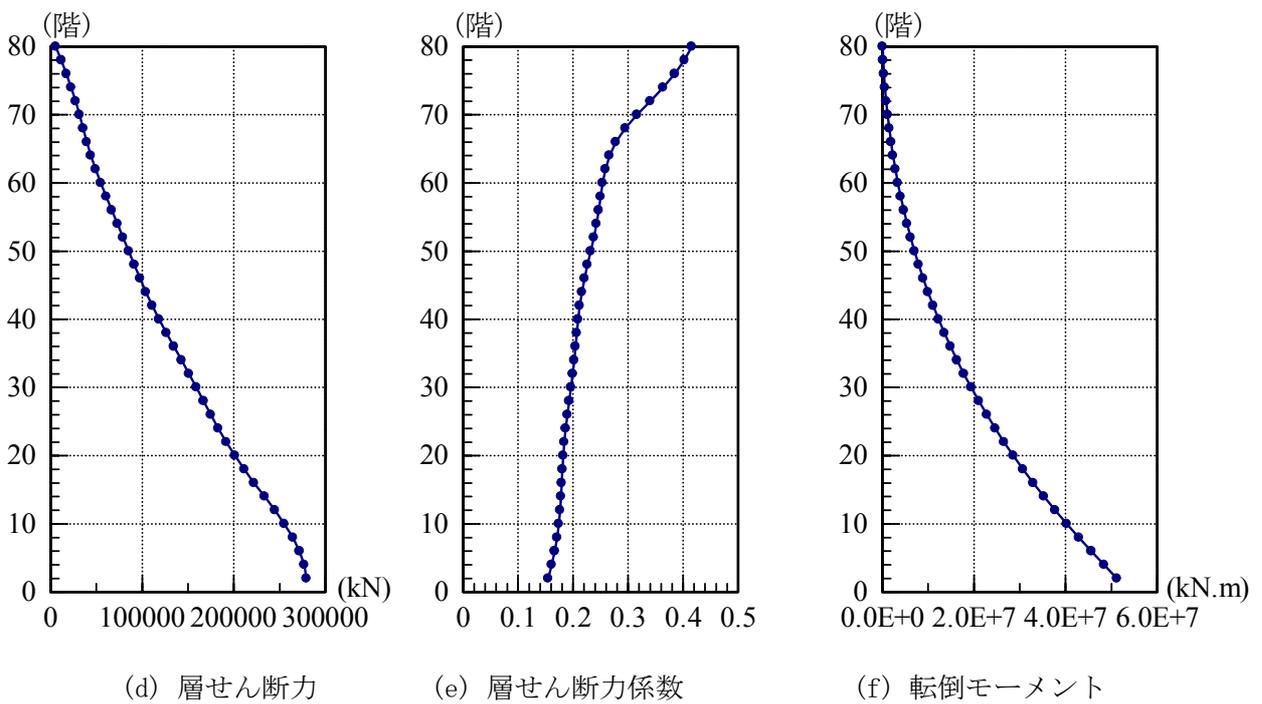
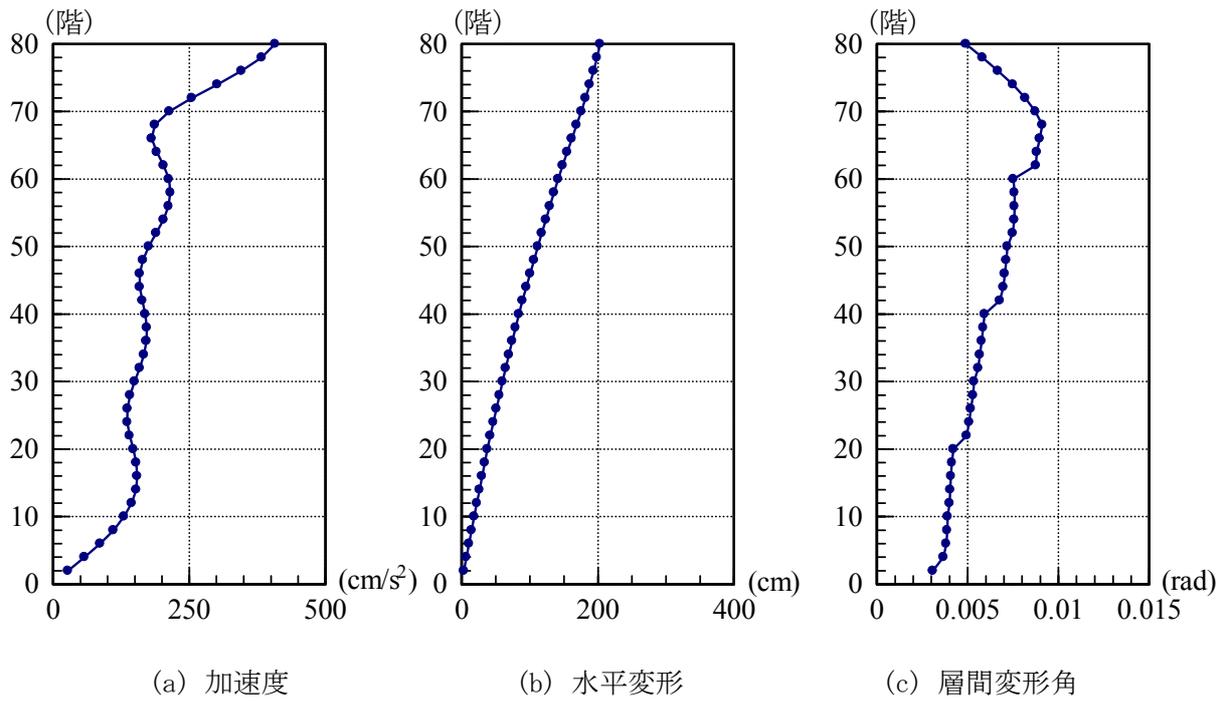


図 7.5.6.3 地震時応答 (Tapered)

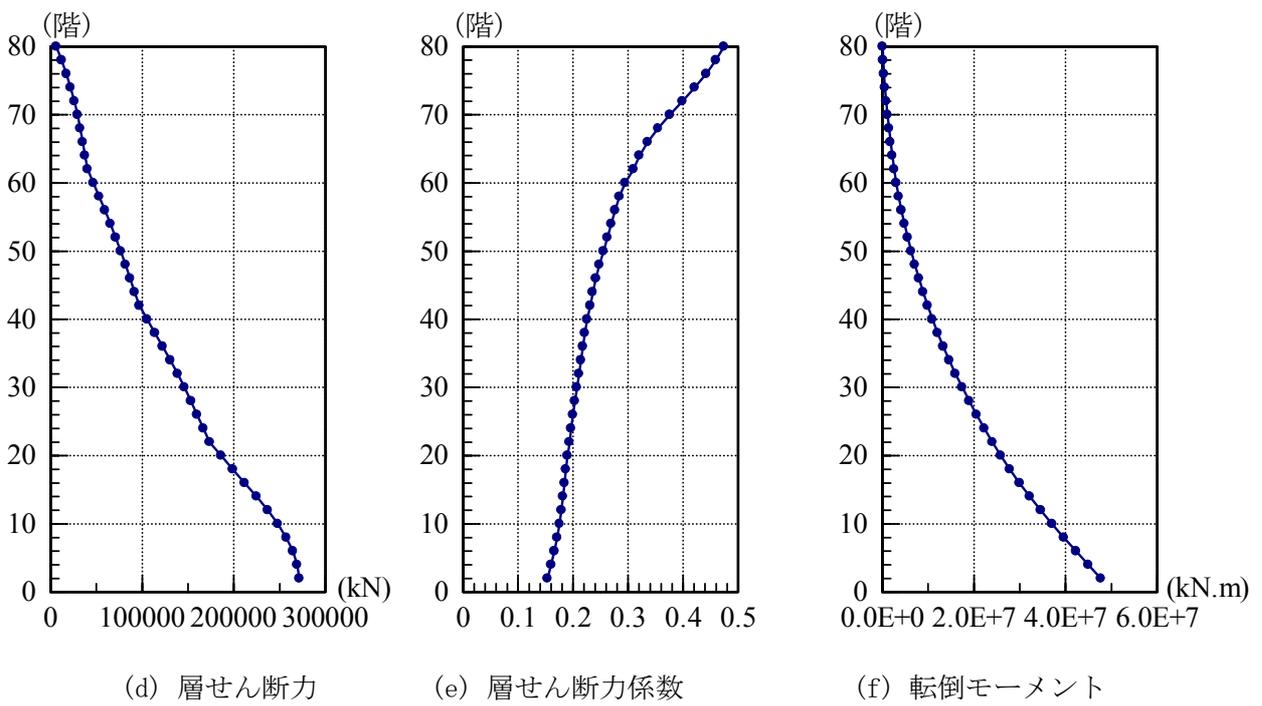
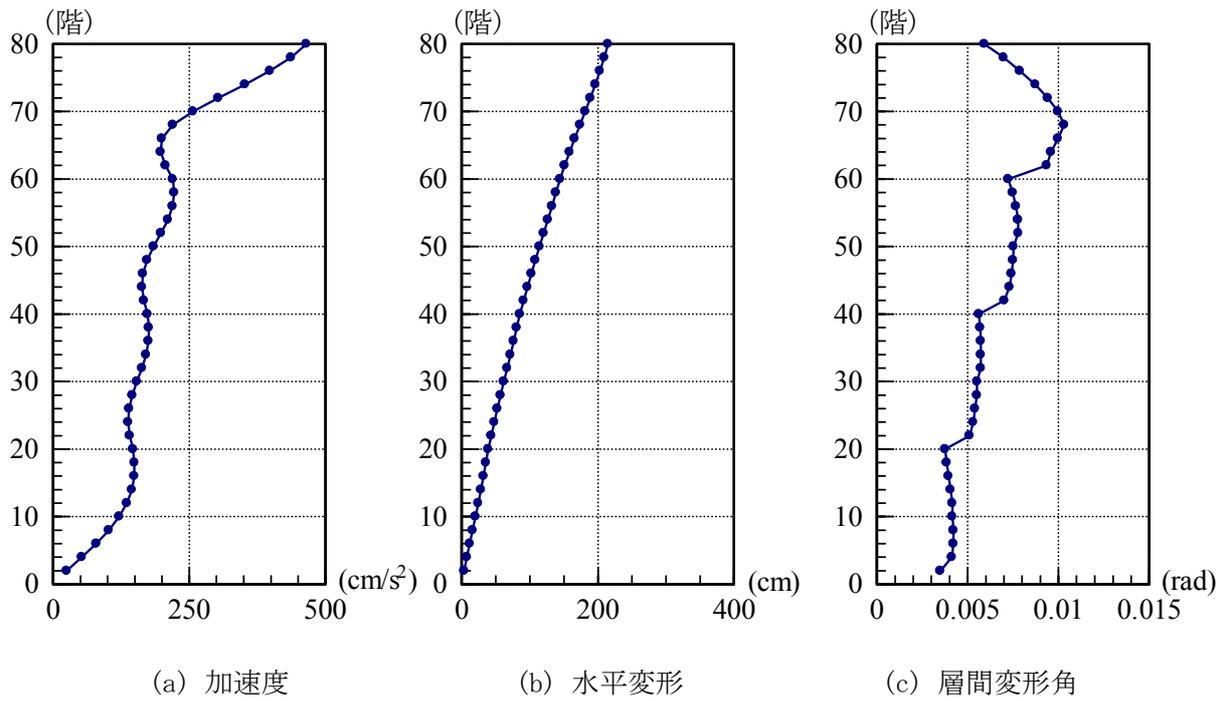


図 7.5.6.4 地震時応答 (Setback)

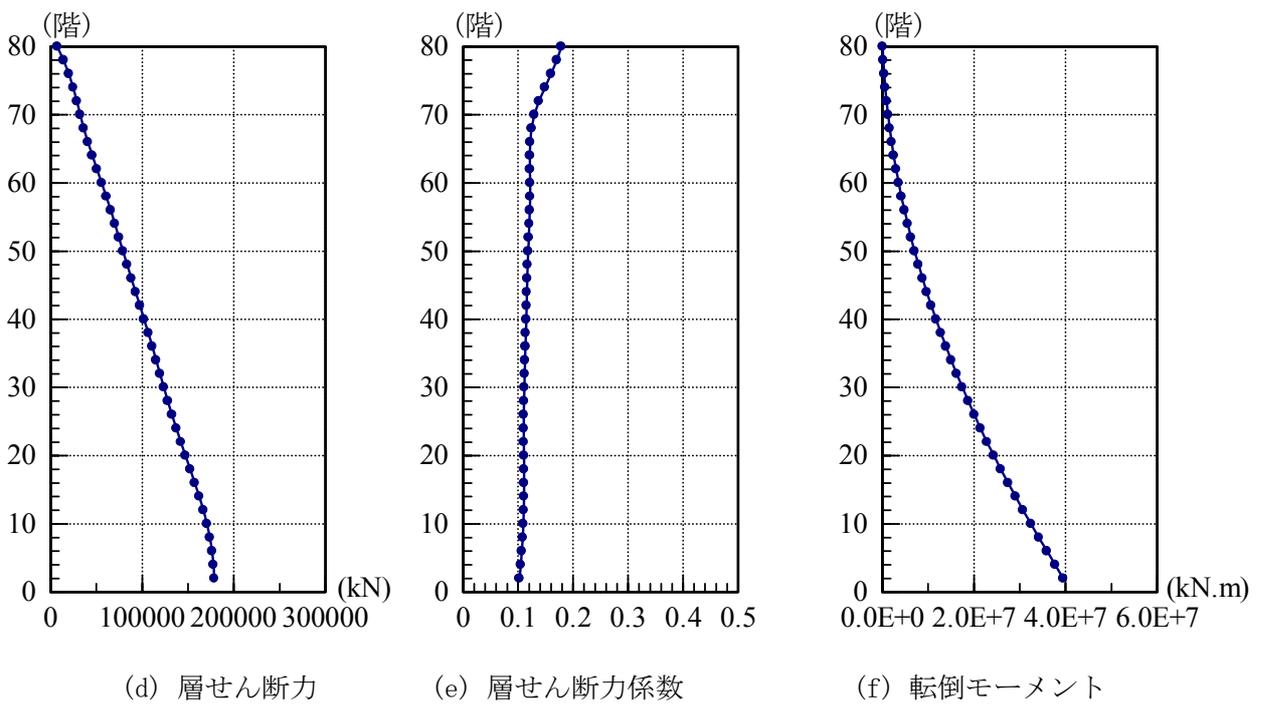
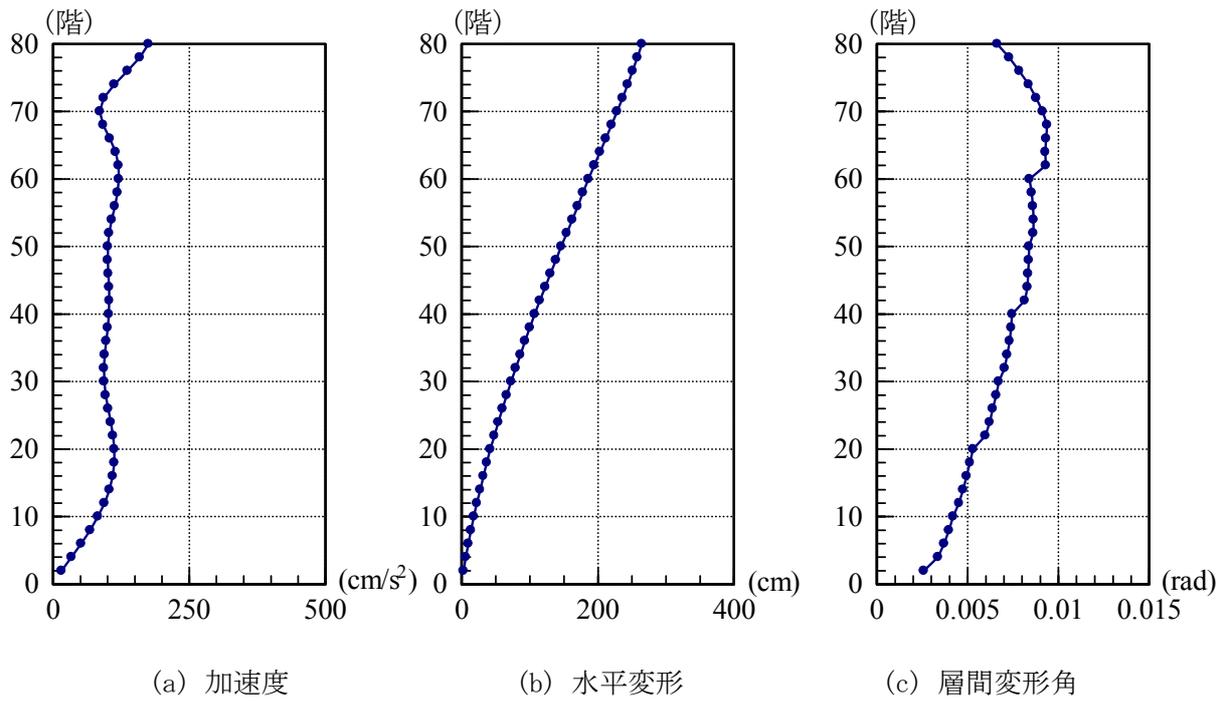
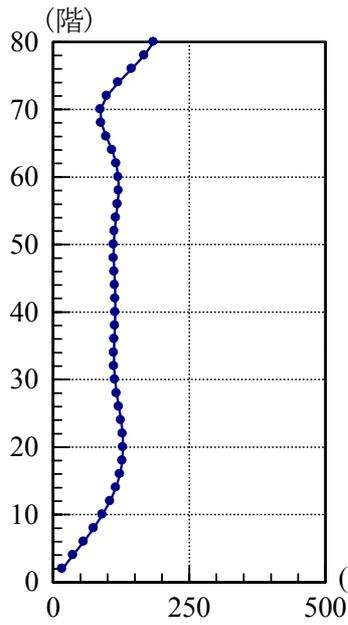
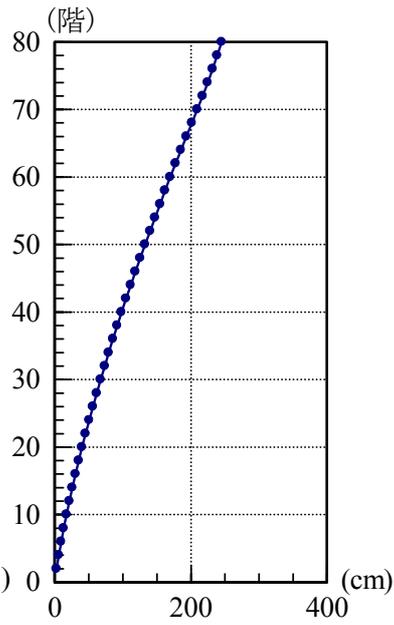


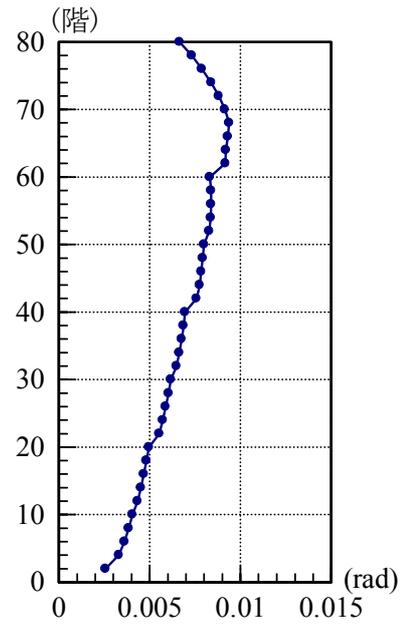
図 7.5.6.5 地震時応答 (Helical190)



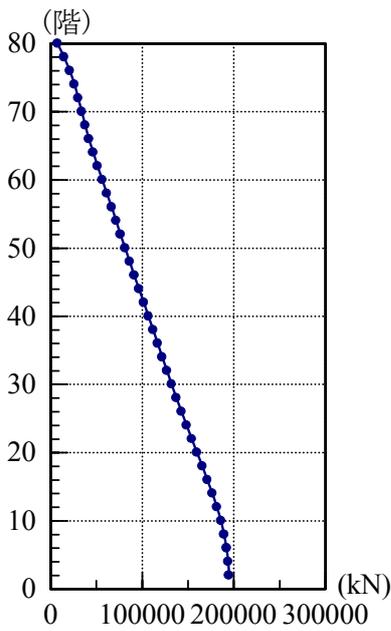
(a) 加速度



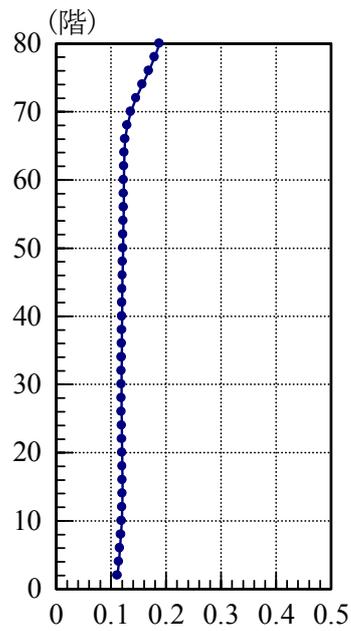
(b) 水平変形



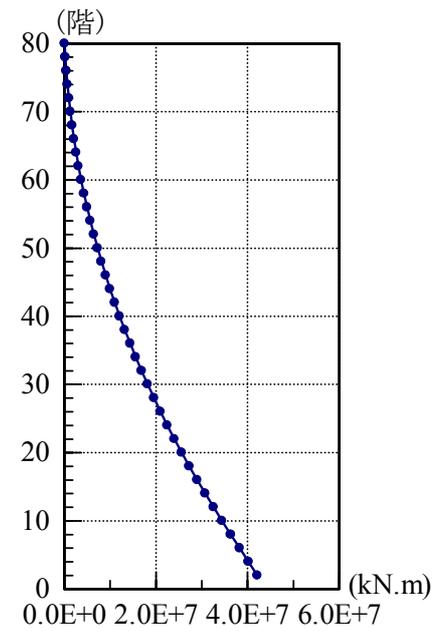
(c) 層間変形角



(d) 層せん断力



(e) 層せん断力係数



(f) 転倒モーメント

図 7.5.6.6 地震時応答 (Helical180)

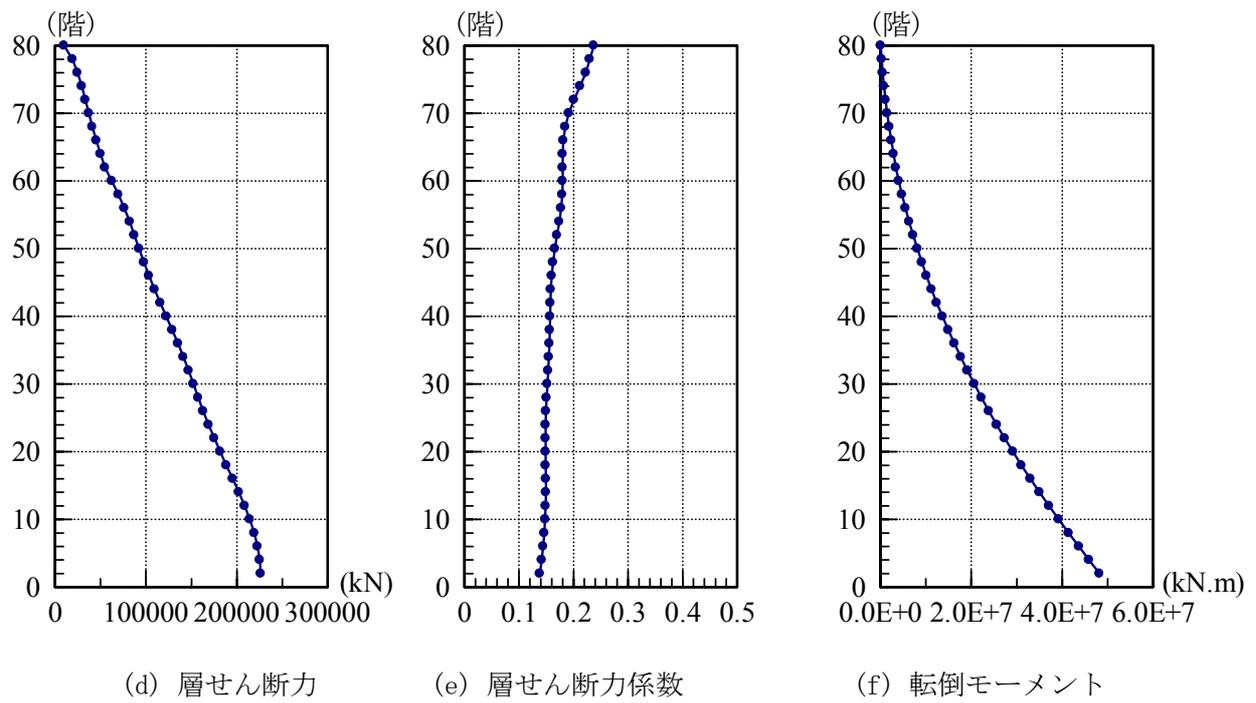
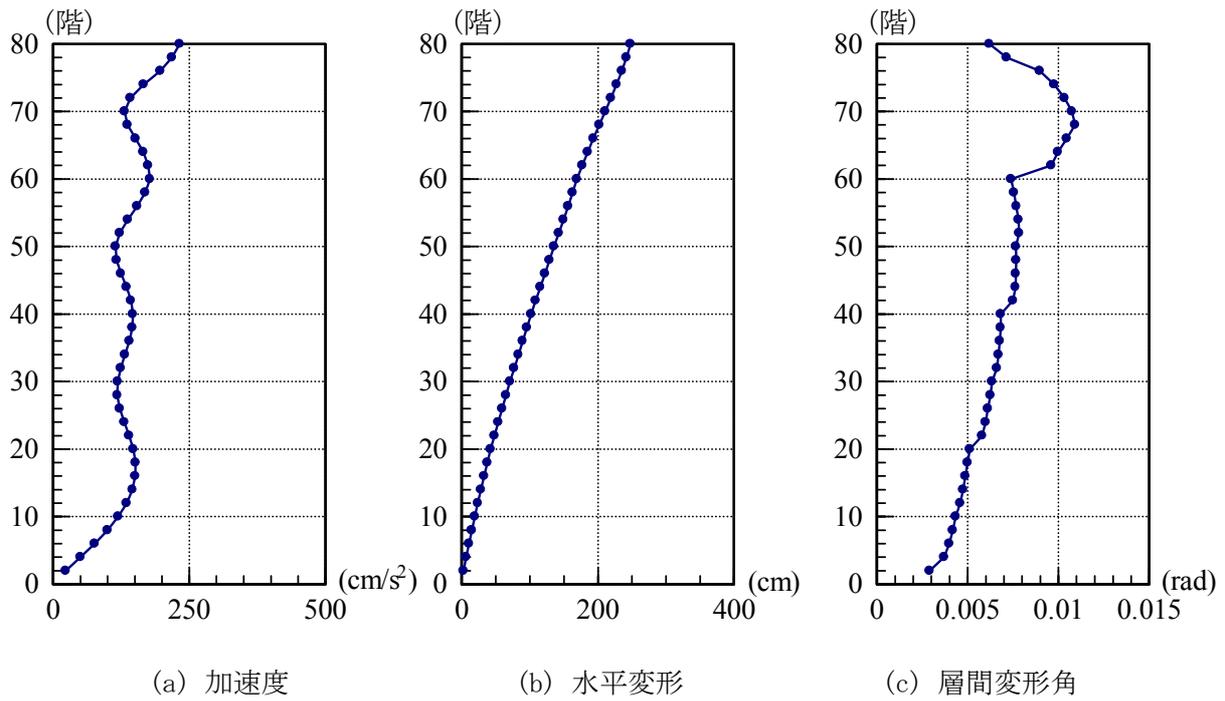
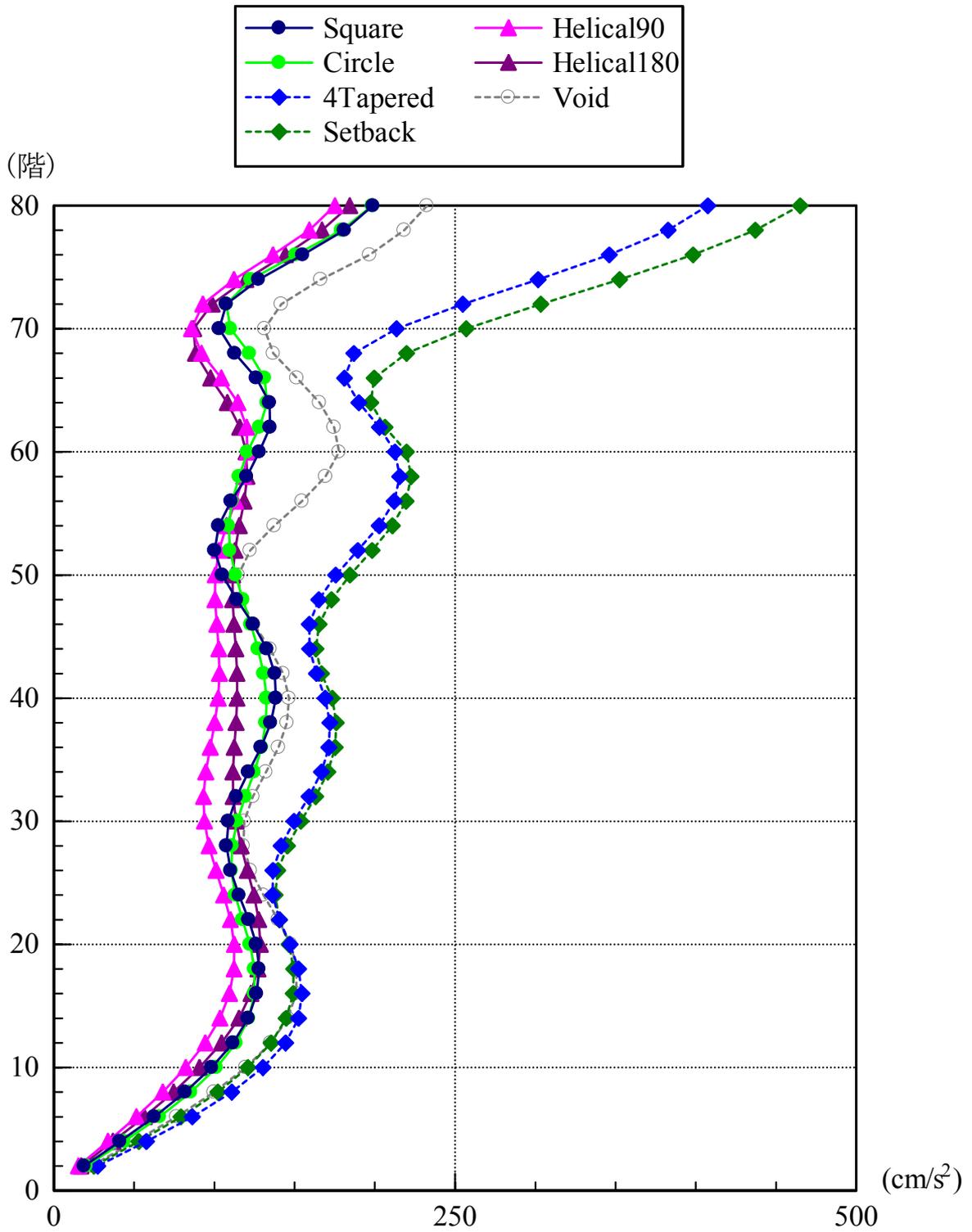


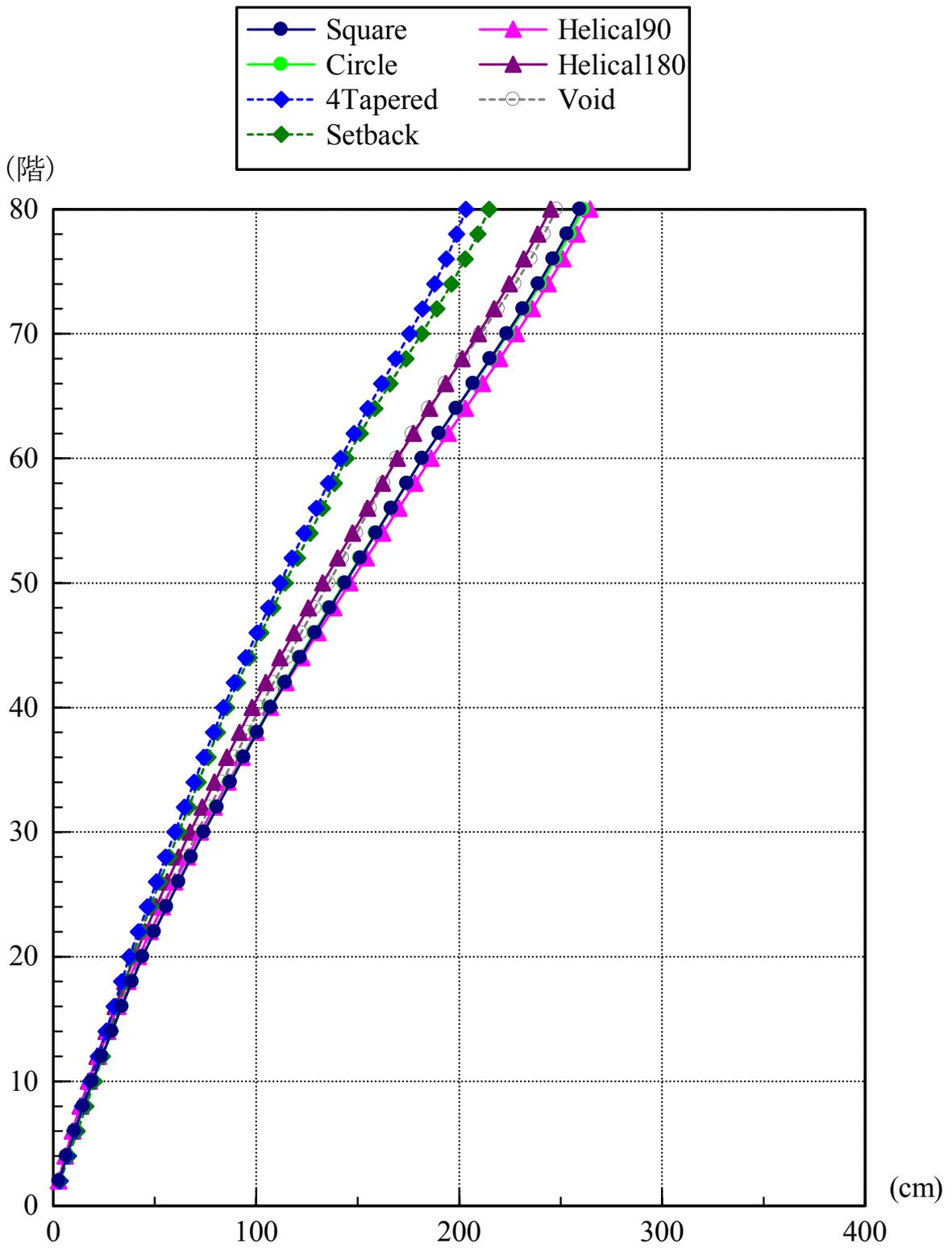
図 7.5.6.7 地震時応答 (Void)

次に、各建物モデルの応答を比較して図 7.5.6.8 に示す。



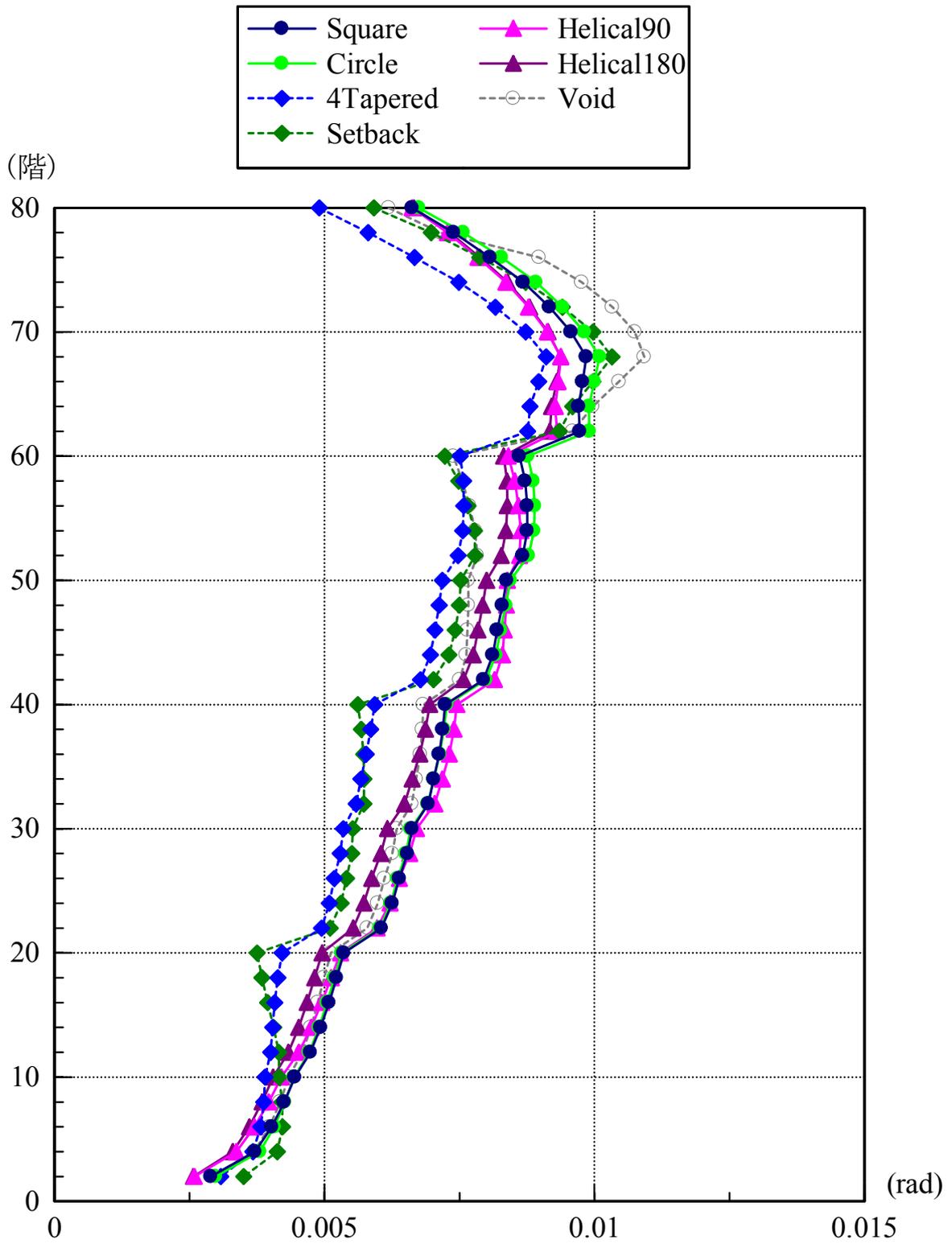
(a) 加速度

図 7.5.6.8 地震時応答



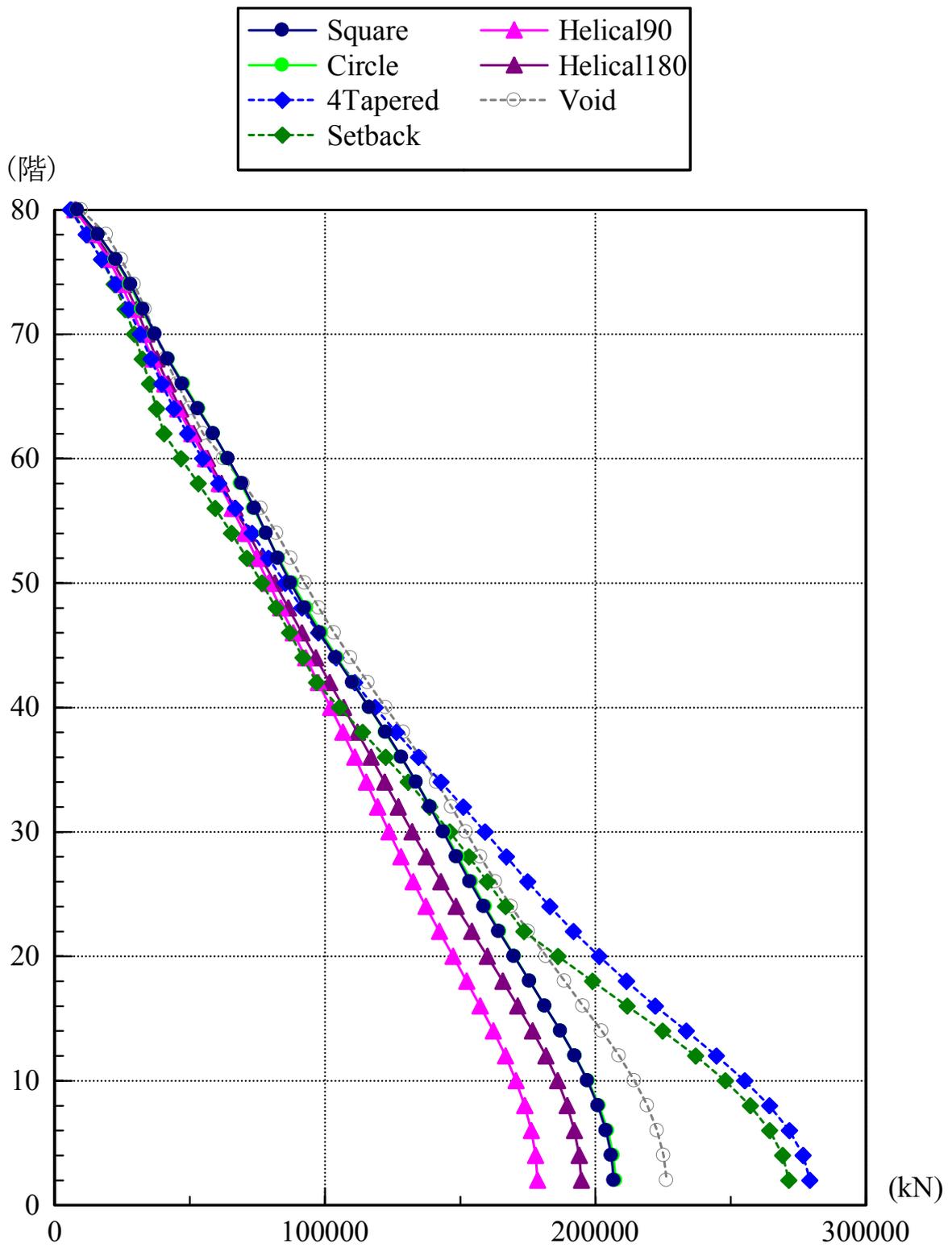
(b) 水平变形

图 7.5.6.8 地震時応答



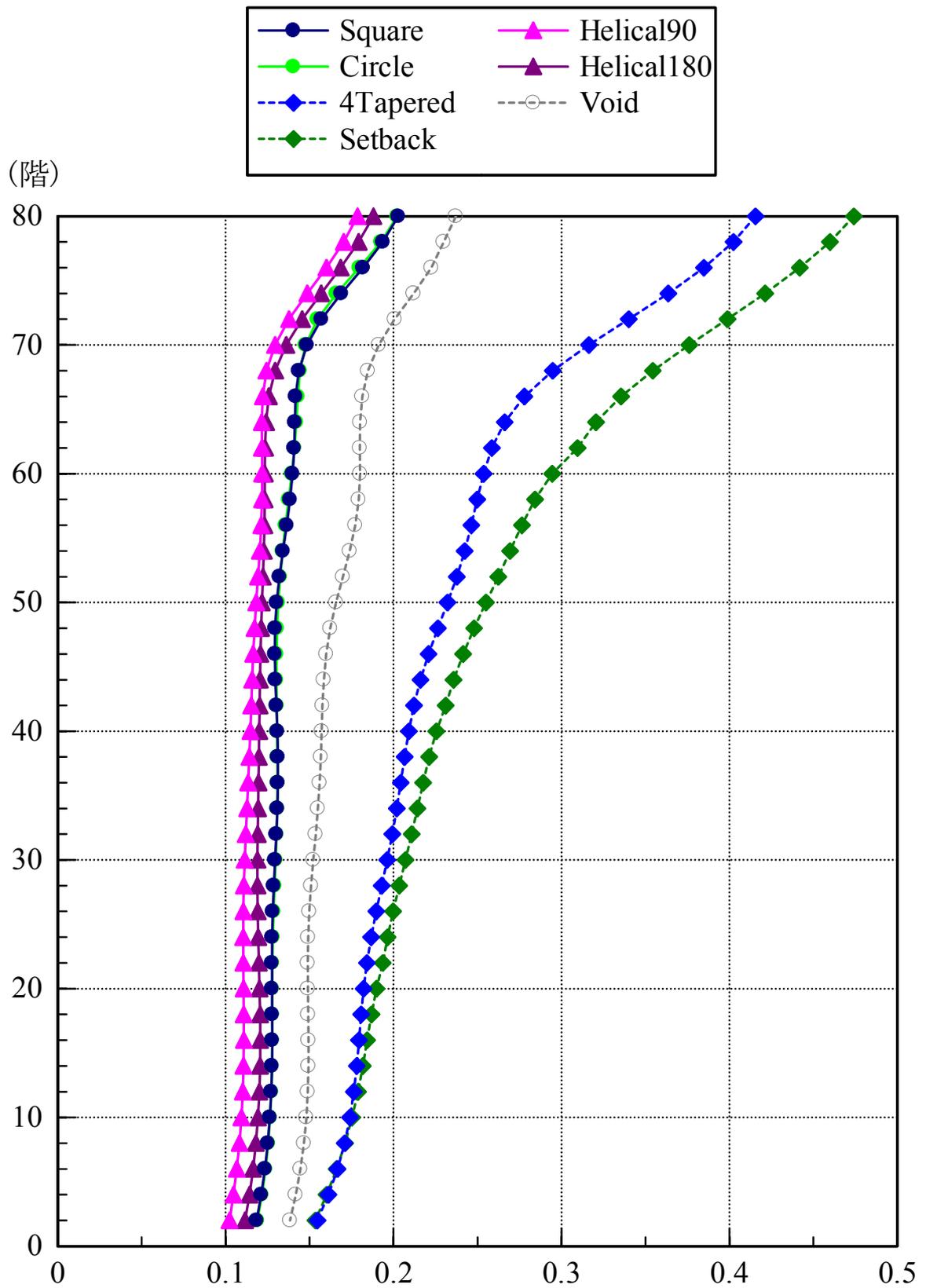
(c) 層間変形角

图 7.5.6.8 地震時応答



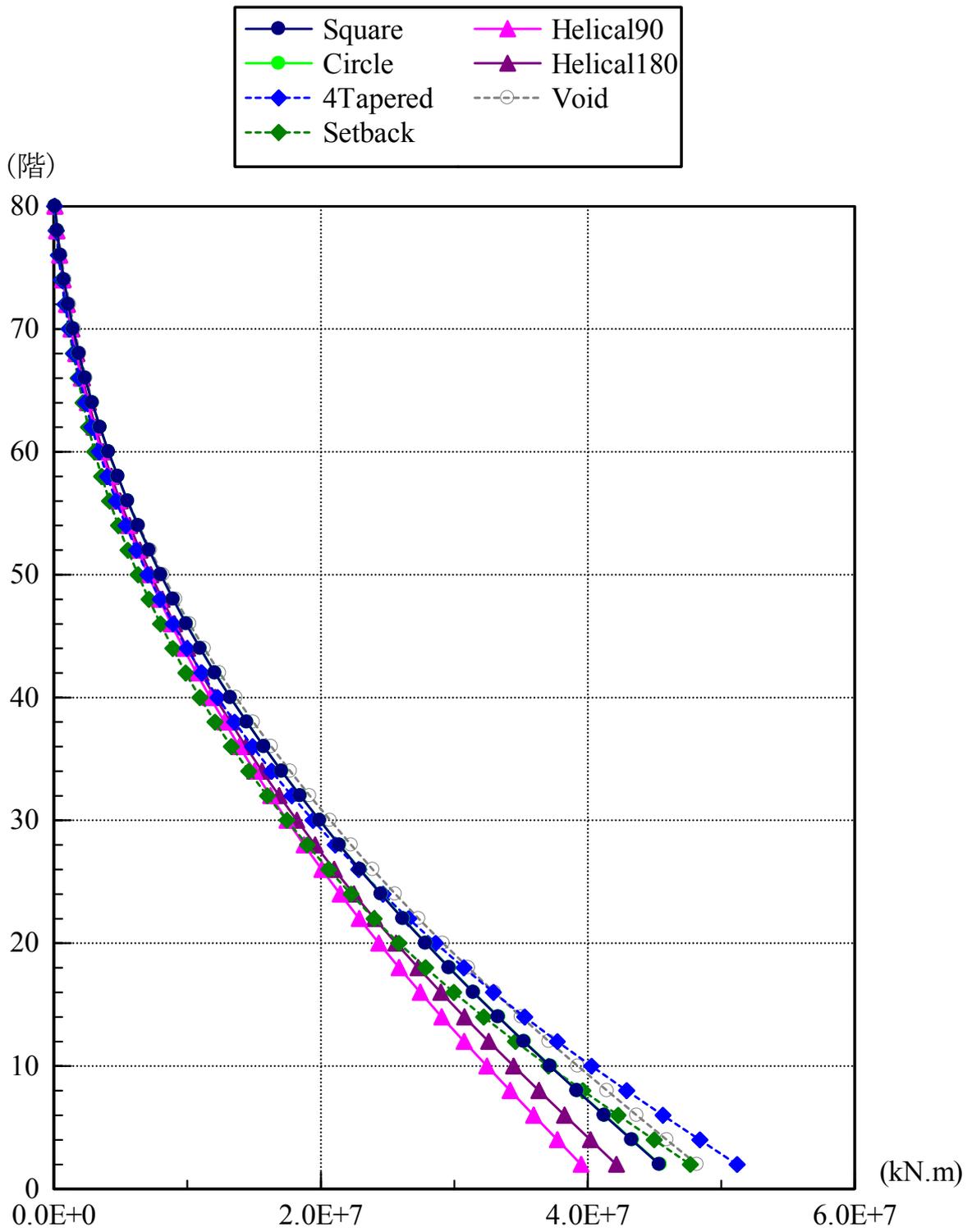
(d) 層せん断力

图 7.5.6.8 地震時応答



(e) 層せん断力係数

図 7.5.6.8 地震時応答



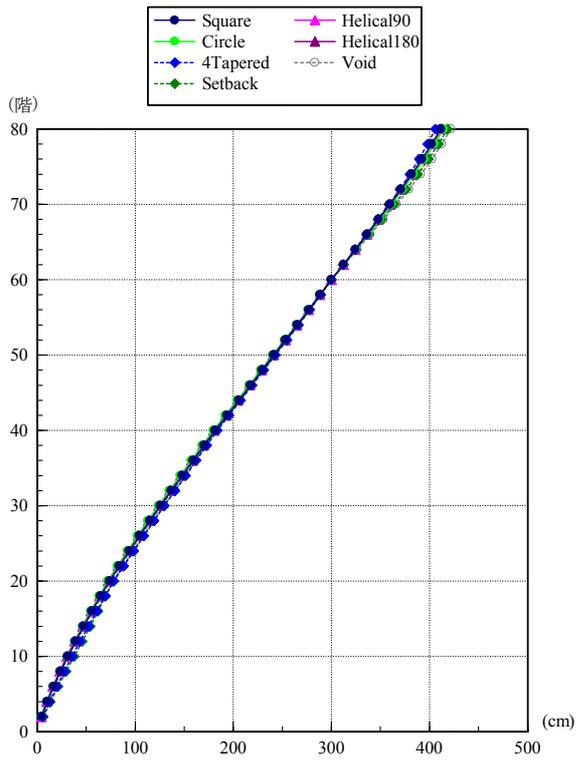
(f) 転倒モーメント

図 7.5.6.8 地震時応答

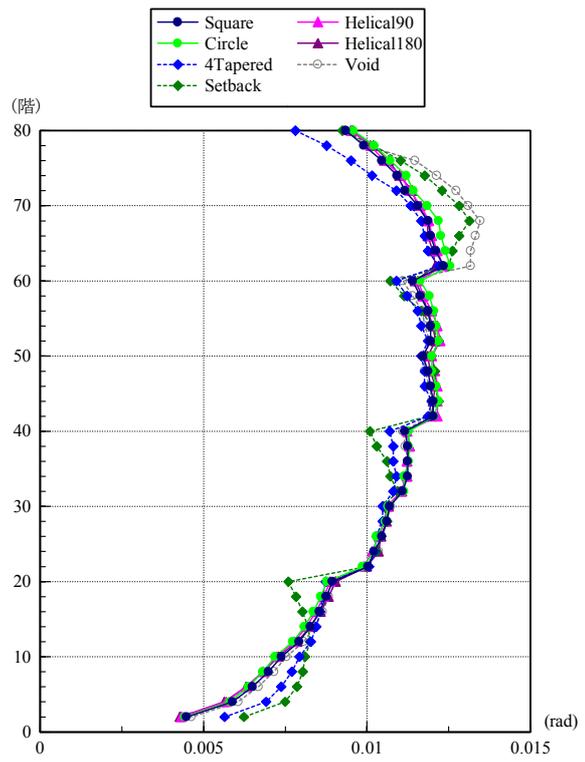
7.5.6.3 各種建物モデルの応力比較

建物を構成する構造要素の投入量の目安として、地震外力をかけたときのシェル要素の応力を各モデルについて比較する。ここでは地震応答解析により得られたせん断力分布をそのまま用いることで変形状態を適切に評価し、その変形状態での代表点変形が等しくなるように倍率を調整した上で、各要素の応力を比較する。代表点位置はモデルによらず 60 階とし、代表点変形を 300cm と設定した。この時、層間変形角は構造安全性判定の目安となる 1/100 を多少超えているが、出力結果の応力については、その相対関係に着目し、絶対値については議論しない。

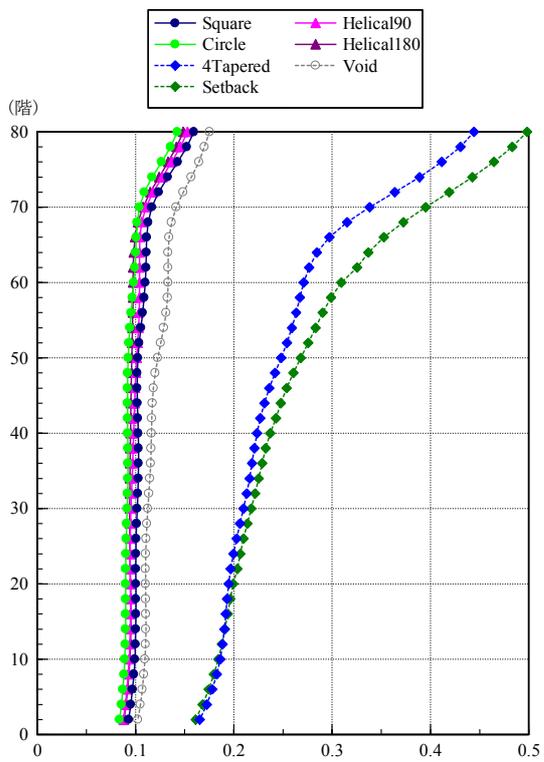
静的解析時のせん断力係数、水平変形及び層間変形角を図 7.5.6.9 に示す。



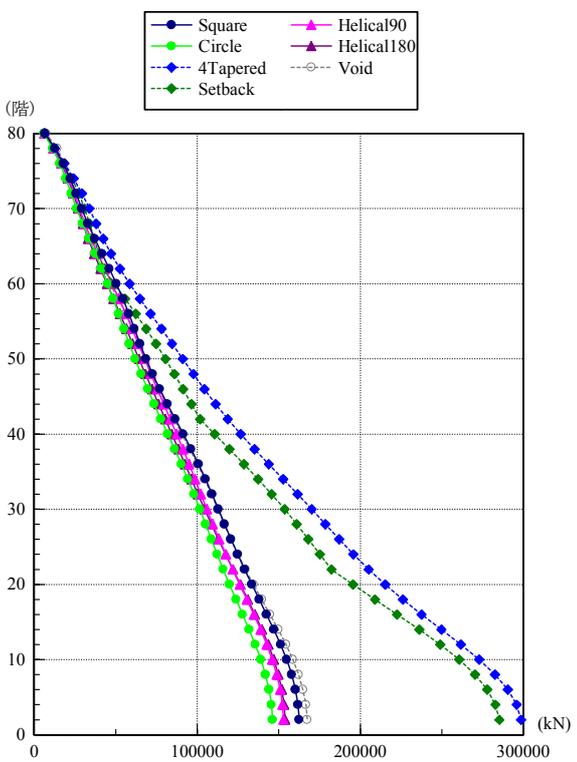
(a) 水平変形



(b) 層間変形角

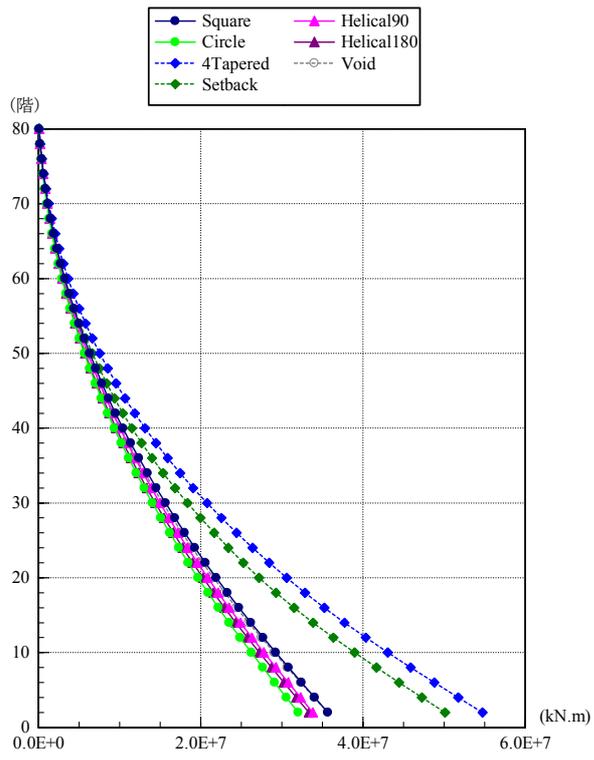


(c) せん断力係数分布



(d) 層せん断力

図 7.5.6.9(1) 静的解析結果 (層応答)

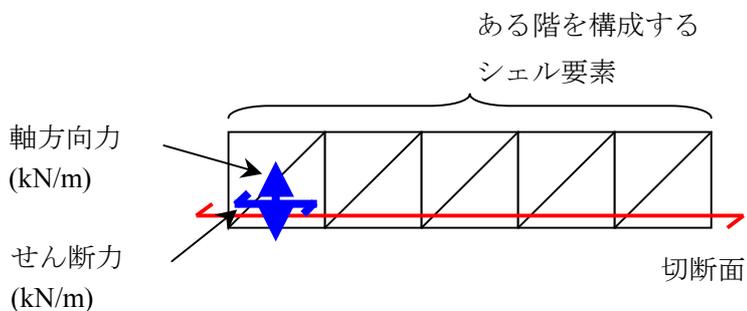


(e) 転倒モーメント

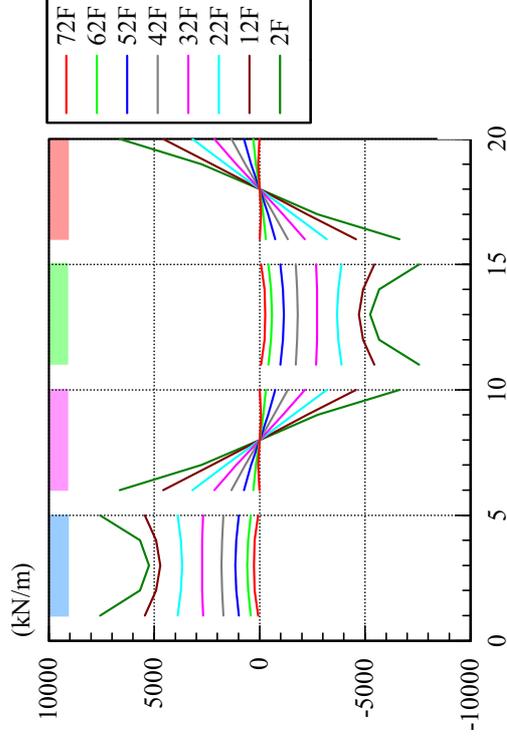
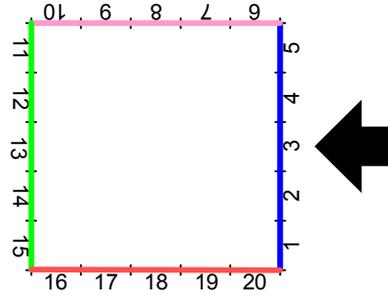
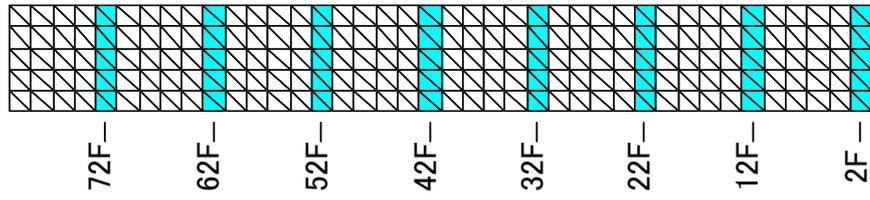
図 7. 5. 6. 9(1) 静的解析結果 (層応答)

静的解析結果のシェル応力を以下に示す。ここでは、下記のような（水平面で切断したときの）シェルの単位幅あたりの軸方向力及びせん断力を示す。代表例として、高さ方向に8分割した境の階の応力をそれぞれのモデルについて示す。

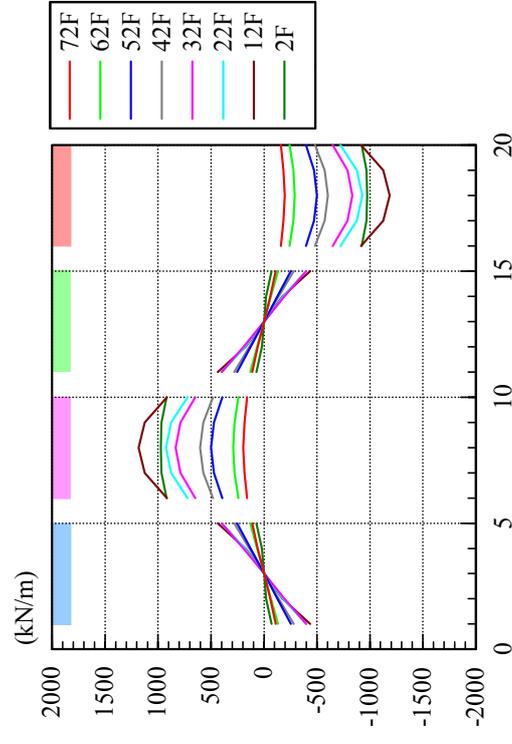
さらに、各階の最大応力を示す。あわせて軸方向力、せん断力について、各階の絶対値を合算したものを軸方向力及びせん断力の総量と称して算定し、その値を重ね描く。



- 図 7.5.6.10 代表点変形同一時シェル応力 ①Square モデル
- 図 7.5.6.11 代表点変形同一時シェル応力 ②Circle モデル
- 図 7.5.6.12 代表点変形同一時シェル応力 ③Tapered モデル
- 図 7.5.6.13 代表点変形同一時シェル応力 ④Setback モデル
- 図 7.5.6.14 代表点変形同一時シェル応力 ⑤Helical90 モデル
- 図 7.5.6.15 代表点変形同一時シェル応力 ⑥Helical180 モデル
- 図 7.5.6.16 代表点変形同一時シェル応力 ⑦Void モデル
- 図 7.5.6.17 代表点変形同一時シェル応力比較



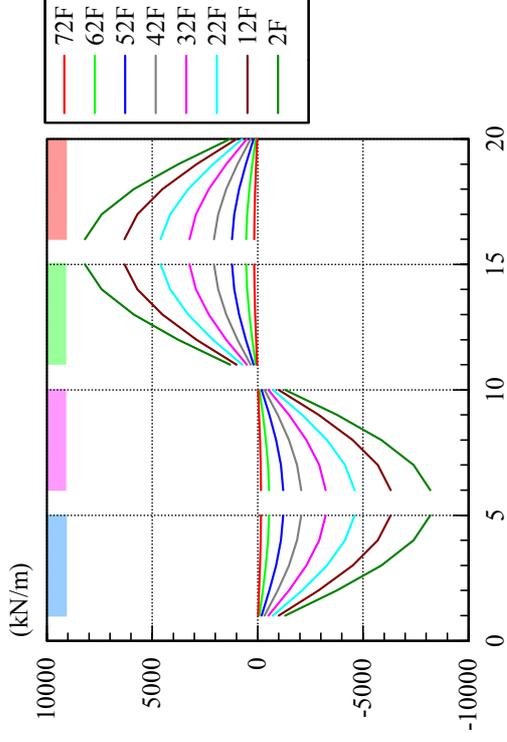
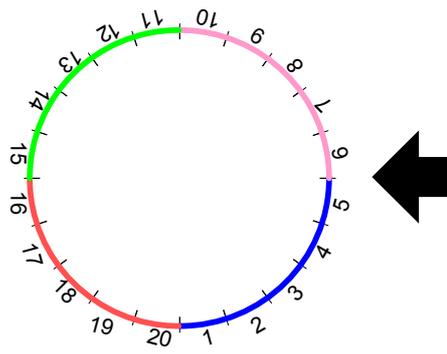
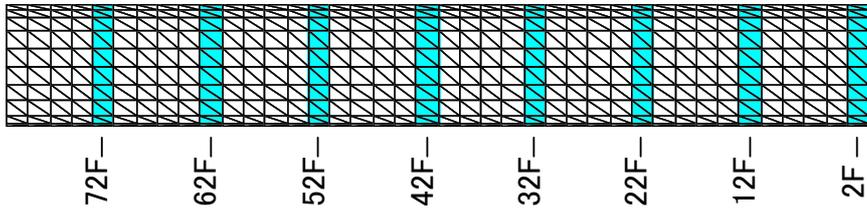
(a) 軸方向力 (1m 幅あたり)



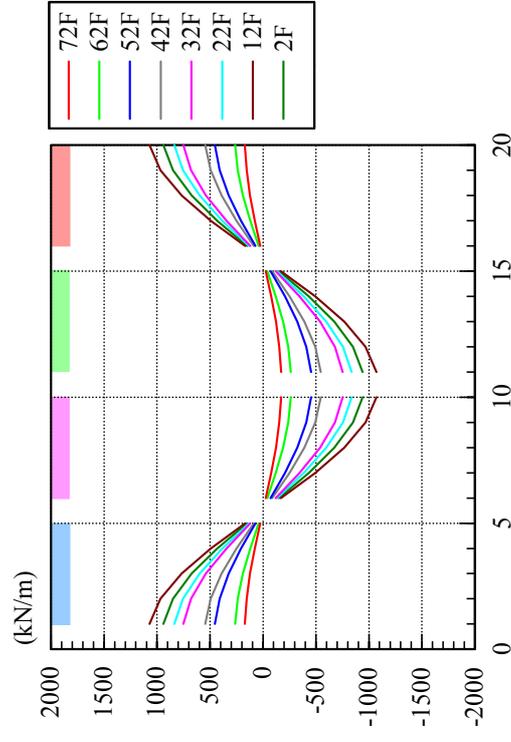
(b) せん断力 (1m 幅あたり)

図 7.5.6.10 代表点変形同一時シエルの応力

①Square モデル



(a) 軸方向力 (1m 幅あたり)



(b) せん断力 (1m 幅あたり)

図 7.5.6.11 代表点変形同一時シエルの応力
②Circle モデル

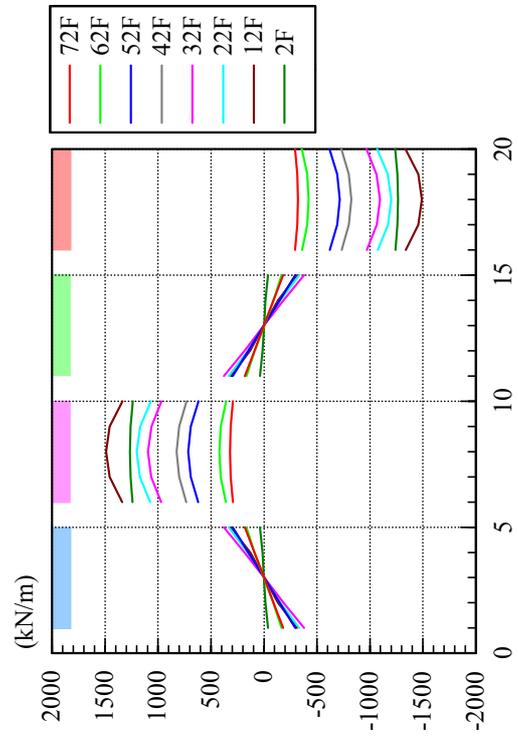
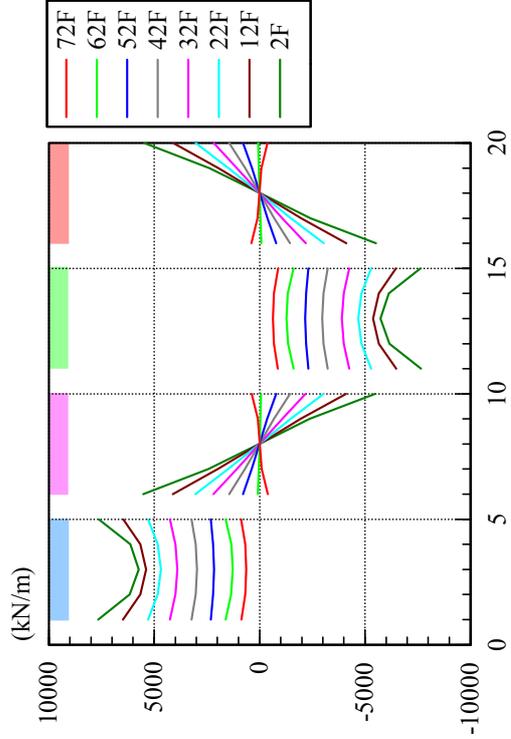
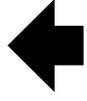
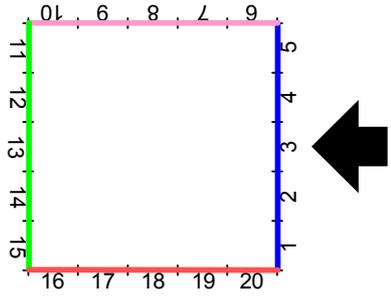
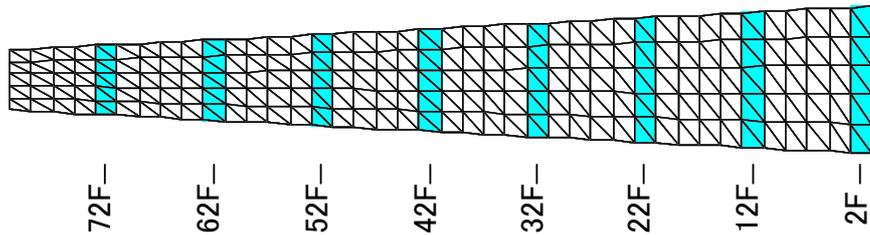


図 7.5.6.12 代表点変形同一時シェル応力
③Tapered モデル

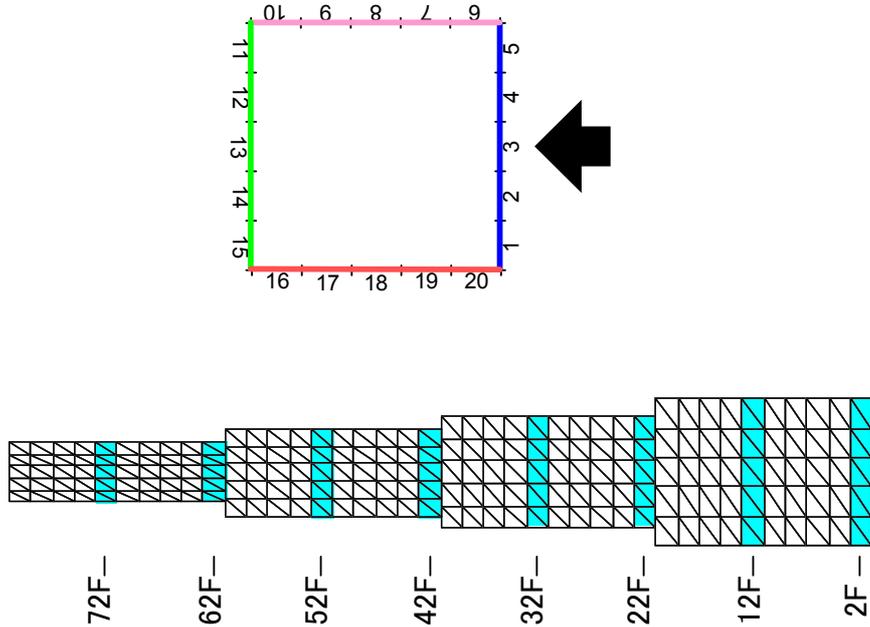
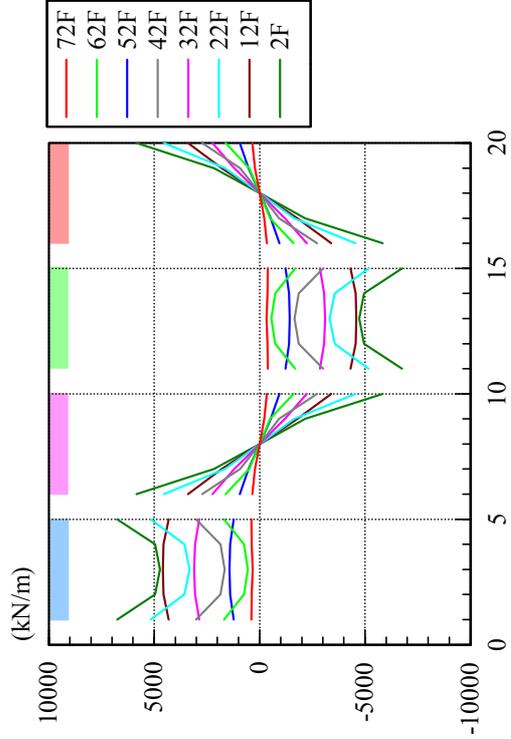
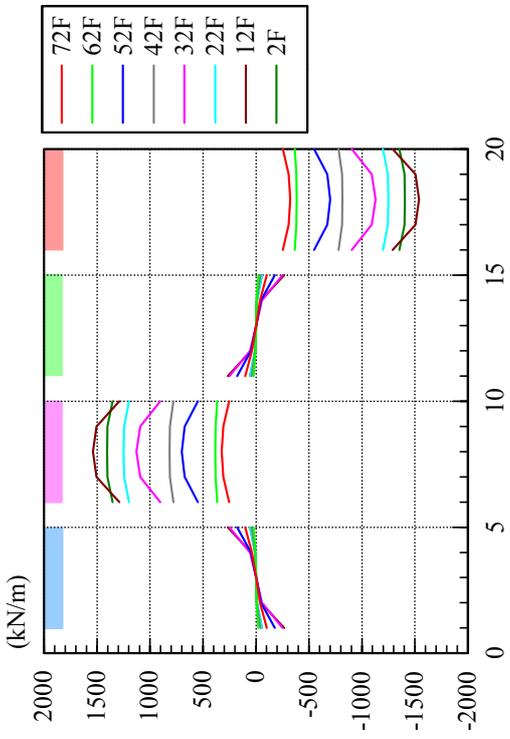


図 7.5.6.13 代表点変形同一時シエルの応力
④Setback モデル



(a) 軸方向力 (1m 幅あたり)



(b) せん断力 (1m 幅あたり)

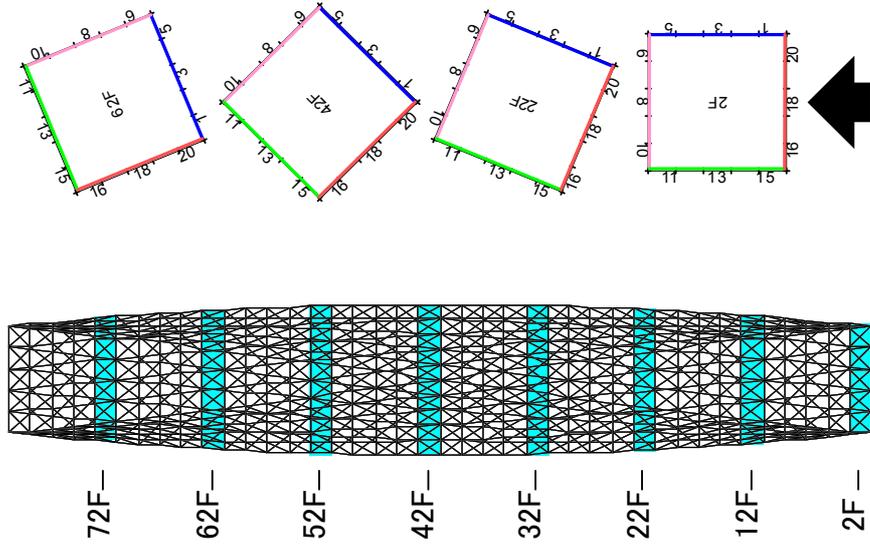
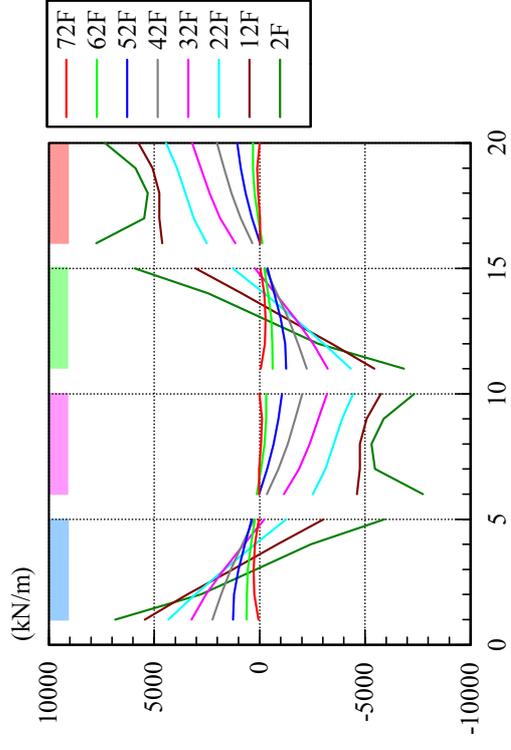
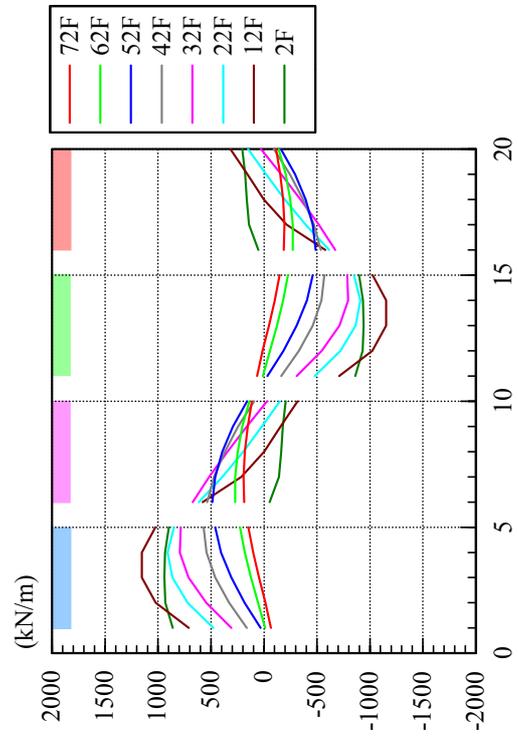


図 7.5.6.14 代表点変形同一時シェル芯力
 ⑤Helical190 モデル



(a) 軸方向力 (1m 幅あたり)



(b) せん断力 (1m 幅あたり)

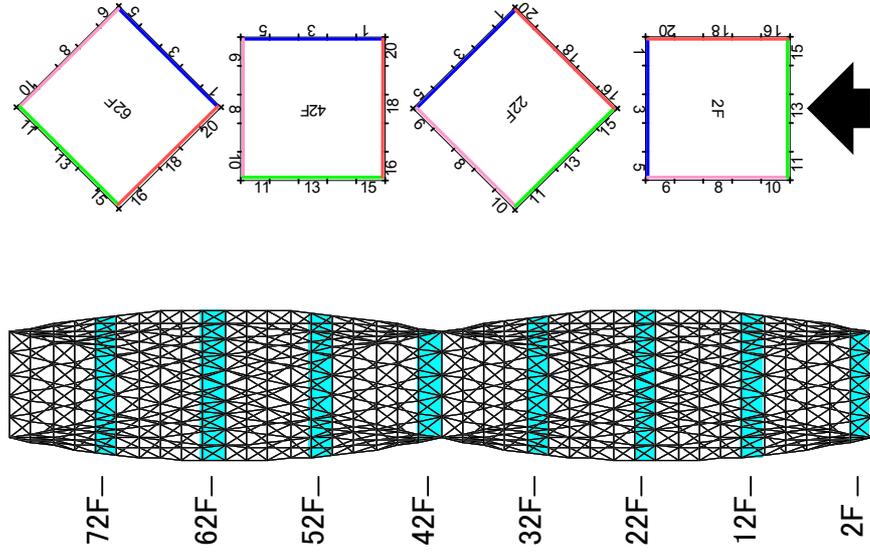
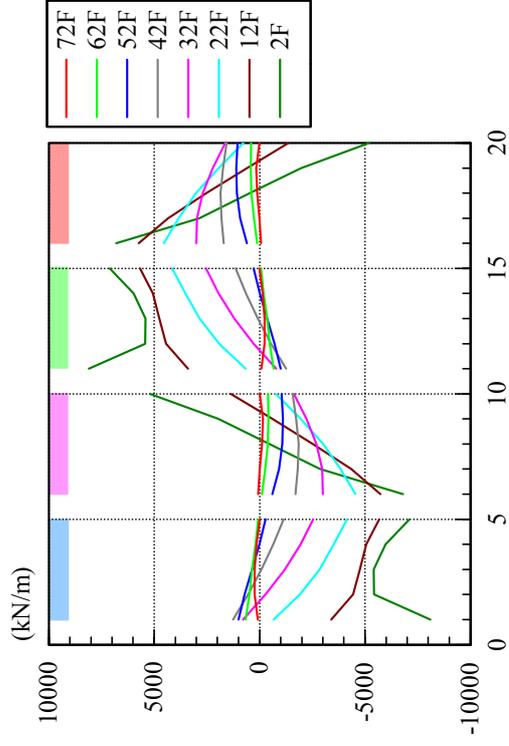
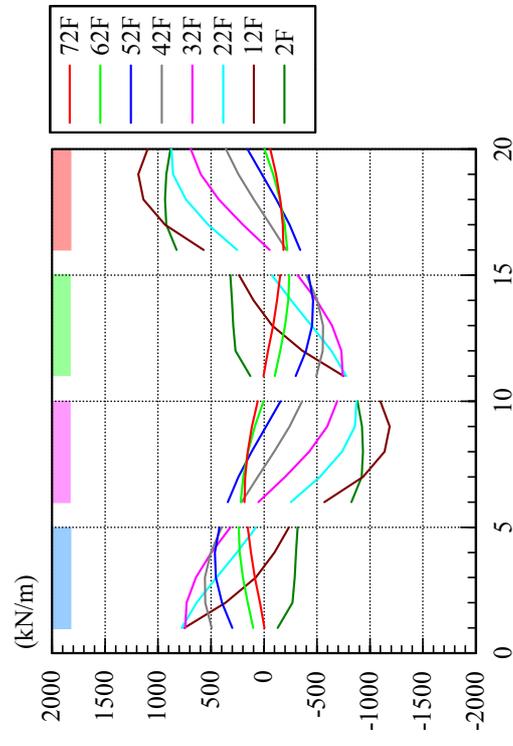


図 7.5.6.15 代表点変形同一時シェル応力

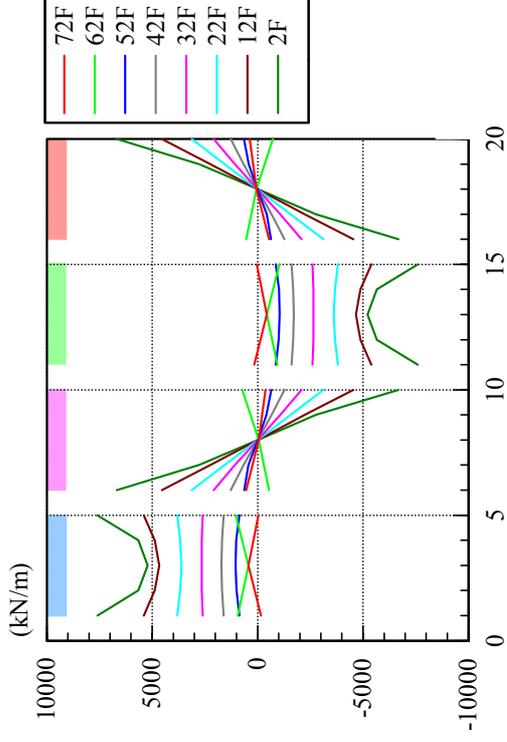
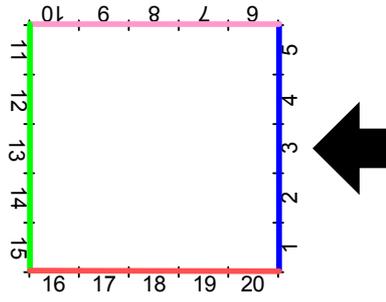
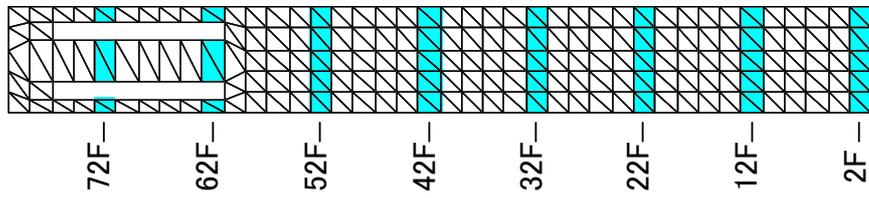
©Helical180 モデル



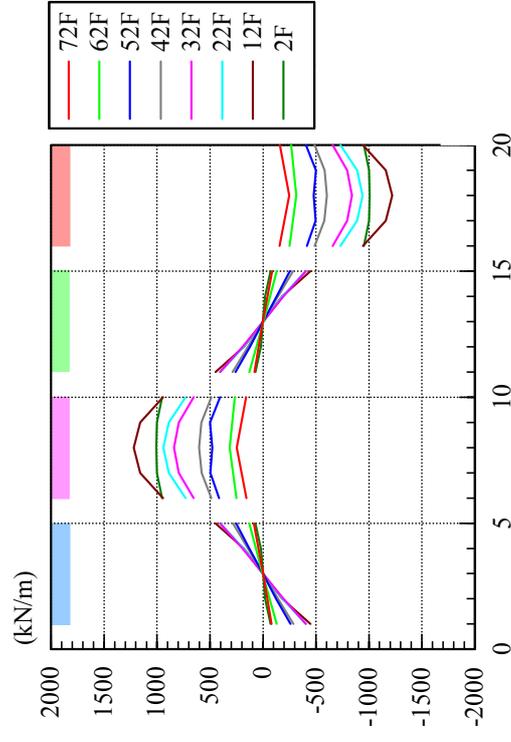
(a) 軸方向力 (1m 幅あたり)



(b) せん断力 (1m 幅あたり)



(a) 軸方向力 (1m 幅あたり)



(b) せん断力 (1m 幅あたり)

図 7.5.6.16 代表点変形同一時シエルの応力
⑦Void モデル

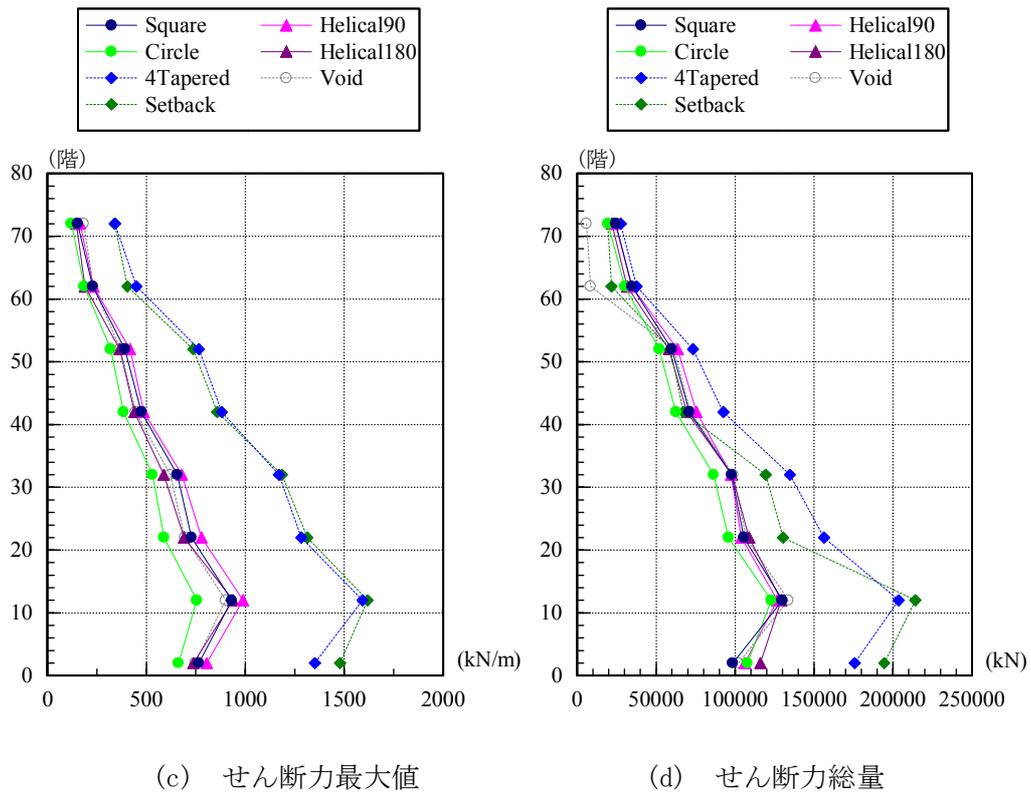
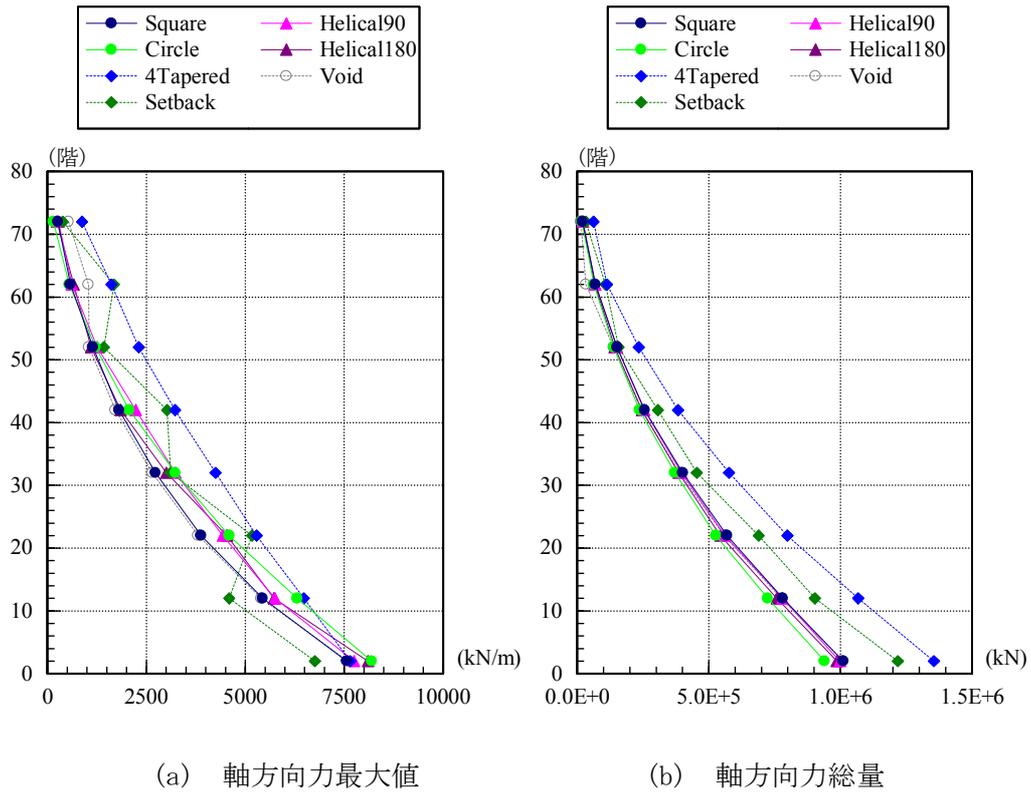


図 7. 5. 6. 17 代表点変形同一時シェル応力比較

7.5.7 風外力

7.4 節に示した層風力データより、並進 4 次までの一般化風外力を(7.5.7.1)式により作成した。

$$F_j(t) = \sum_i f_i(t) \cdot u_{i,j} \text{-----}(7.5.7.1)$$

ここに、

$F_j(t)$: j 次的一般化風力

$f_i(t)$: 極稀 (レベル 2) 風速時の i 階での層風力

$u_{i,j}$: i 階での j 次の刺激係数 (7.5.5 参照)

なお、7.4 節に示した風圧実験においては、10 または 12 レベルしか風圧を測定していないため、各階の層風力は、表 7.5.7.1 に示すように、平面形状の変化を考慮しながら最寄りの測定レベルの層風力を割り当てた。

(7.5.7.1) 式で算出される一般化外力を (7.5.7.2) 式で算出される一般化質量で除した、加速度に相当する入力のパワースペクトルを、実験モデル毎に、図 7.5.7.1～図 7.5.7.9 に示す。

$$M_j = \sum_i m_i \cdot u_{i,j}^2 \text{-----}(7.5.7.2)$$

ここに、

M_j : j 次的一般化質量

m_i : i 階の質量

各図には、風向 $0^\circ \sim 90^\circ$ 、 10° ピッチ 10 風向のパワースペクトルが示されている (図 7.5.7.4 の Circle は風向 0° の風方向および風直交方向)。図の横軸は無次元振動数 nB/U_H であり、 B は代表長 50m、 U_H は基準高さ 400m での平均風速である。図中には、1 次 (青)、2 次 (緑)、3 次 (赤)、4 次 (シアン) のパワースペクトルが示されており、横軸の 0.01～1 の間にある 4 本の太線の位置が、極稀風速 ($U_H=71\text{m/s}$) 時の 1～4 次の固有振動数に相当している。

全てのモデルにおいて、X 方向が風直交方向となる風向 90° の場合に、無次元振動数 0.1～0.2 の位置にパワースペクトルのピークが確認できる。パワースペクトルのピークが大きく鋭いのは、Square と Void であり、小さくなだらかなのは、Circle と Helical である。

1～4 次のパワースペクトルの形状を比較すると、1 次と 2 次は比較的類似しているが、3 次および 4 次では低振動数成分での差異が大きく、無次元振動数 0.2 以上の高振動数領域では 1～4 次の差異は小さい。ただし、Void モデルでは、1、2 次のパワースペクトルが高振動数領域において、3、4 次よりも明らかに大きい。

表 7.5.7.1 層風力の割り当て

階	層風力の測定レベル	
	Setback モデル以外	Setback モデル
80F(1.0H)	0.975H	0.975H
78F		
76F		
74F	0.925H	0.925H
72F		
70F(0.875H)		
68F	0.85H	0.85H
66F		
64F		
62F	0.775H	0.775H
60F(0.75H)		
58F		
56F	0.7H	0.725H
54F		
52F		
50F(0.625H)	0.6H	0.625H
48F		
46F		
44F		
42F	0.5H	0.525H
40F(0.5H)		
38F		
36F		
34F	0.375H	0.375H
32F		
30F(0.375H)		
28F		
26F		
24F	0.25H	0.275H
22F		
20F(0.25H)		
18F		
16F		
14F	0.125H	0.225H
12F		
10F(0.125H)		
8F		
6F		
4F	0.125H	0.125H
2F		

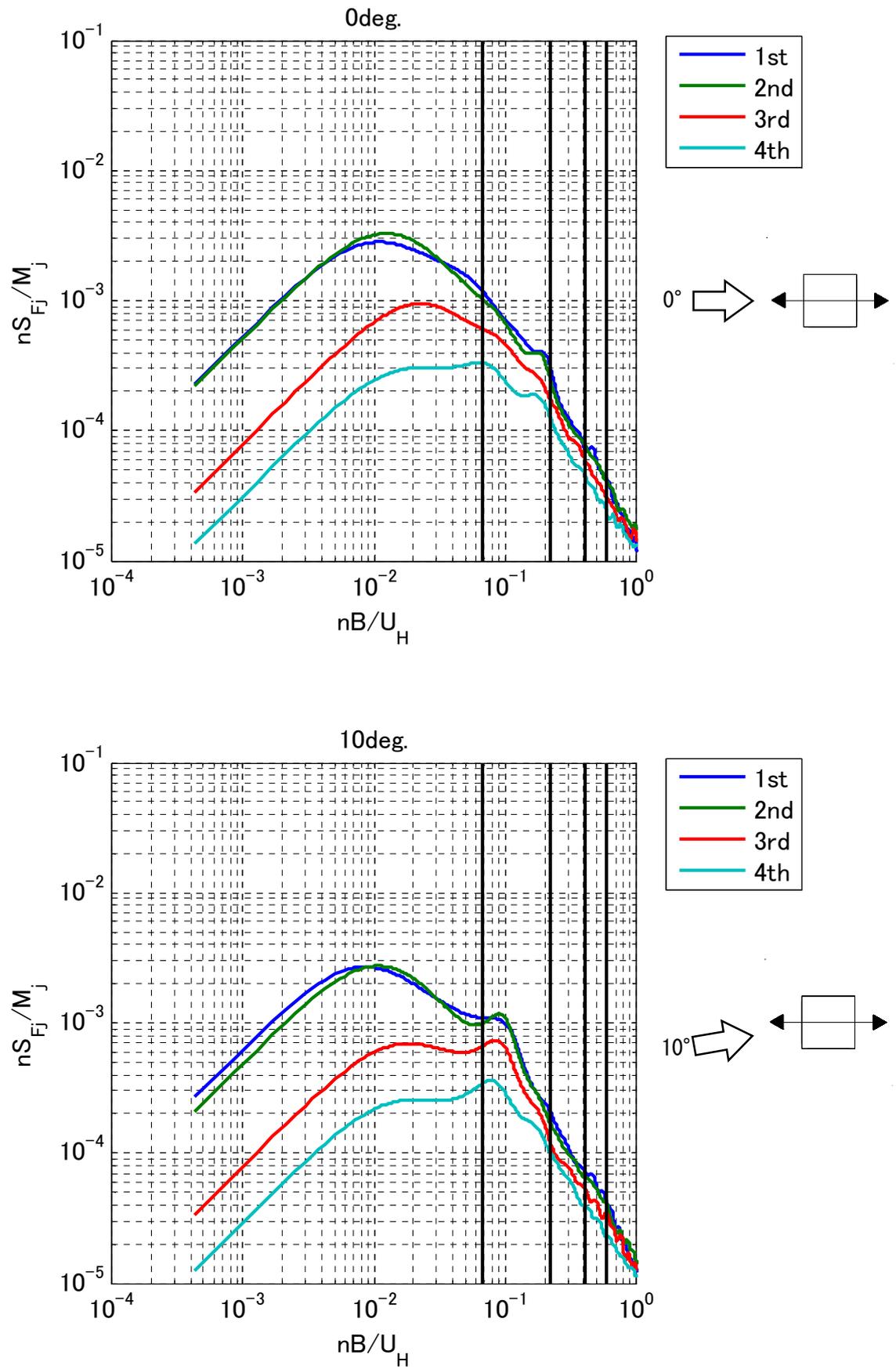


図 7.5.7.1(1) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Square, 風向 0° , 10°)

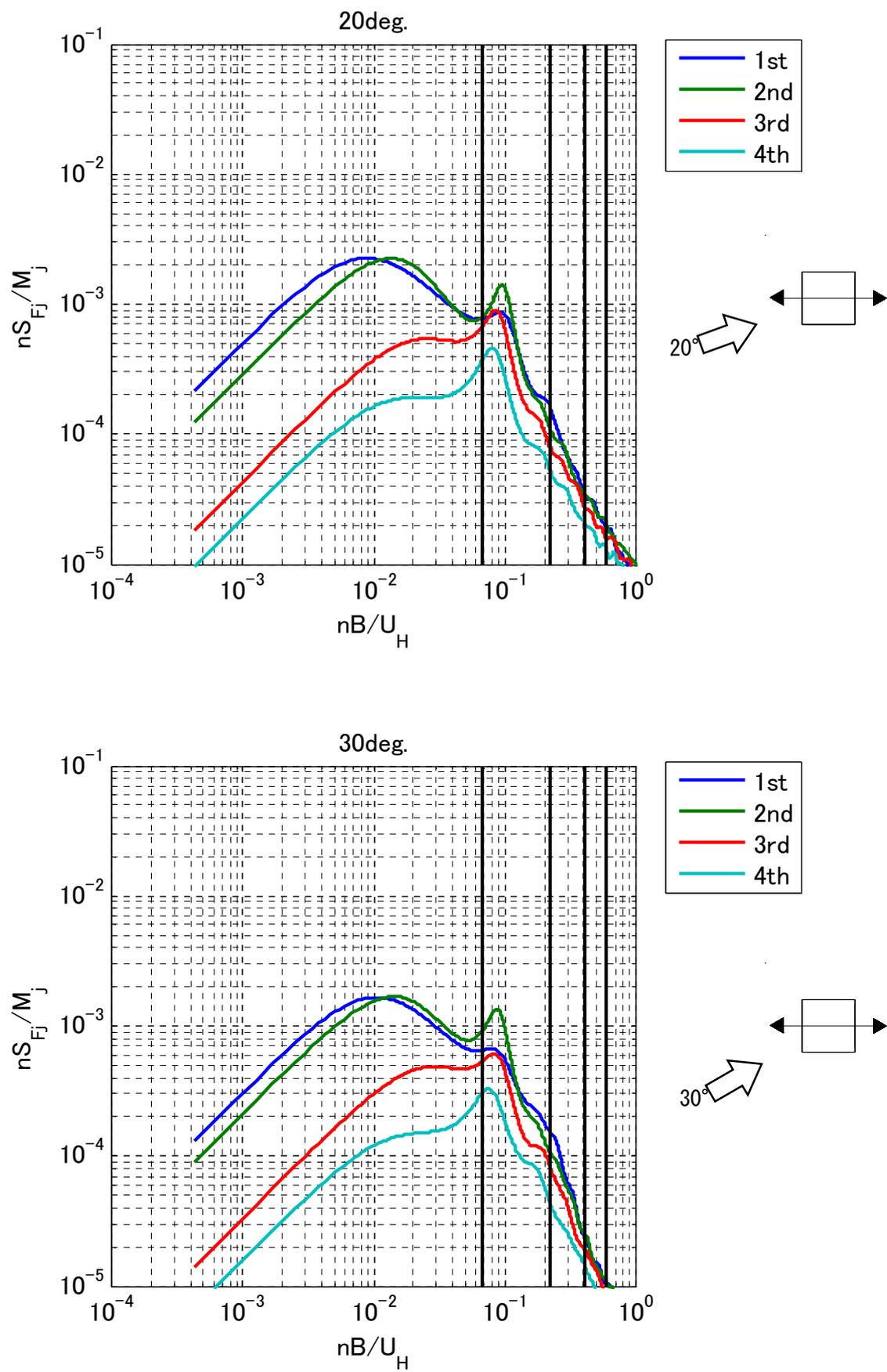


図 7.5.7.1(2) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Square, 風向 20°, 30°)

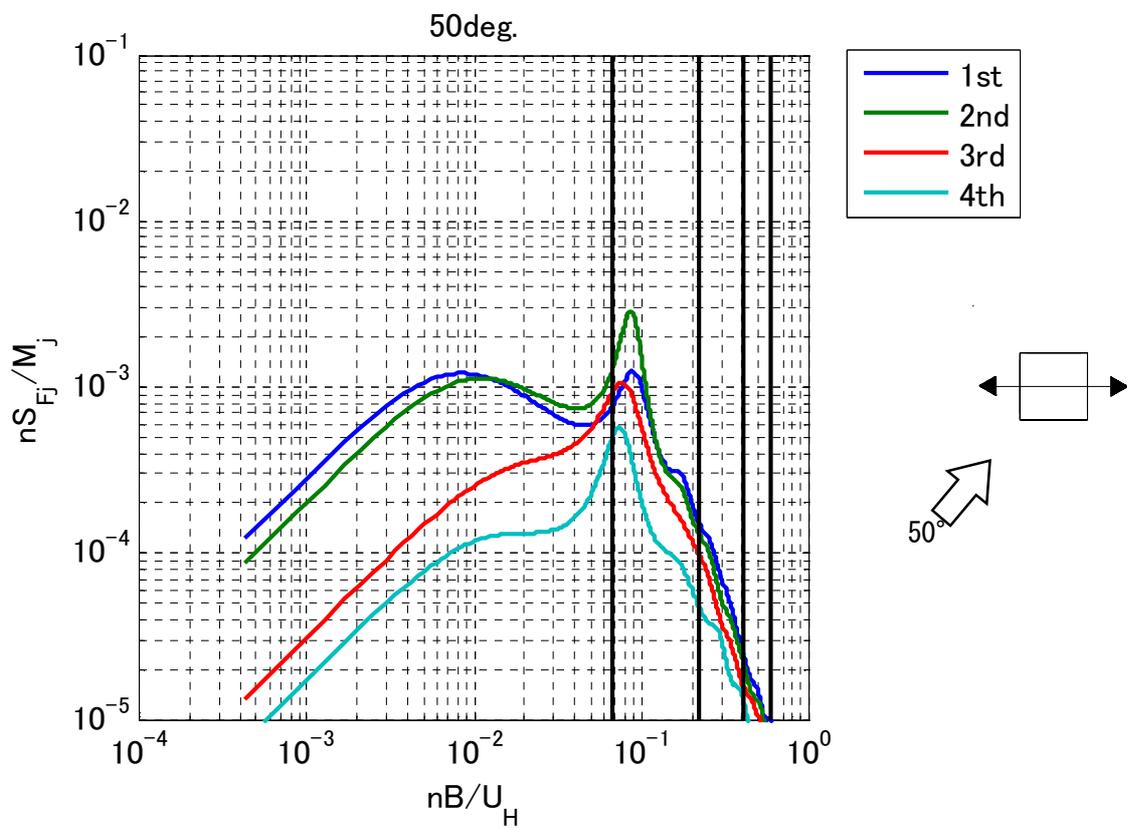
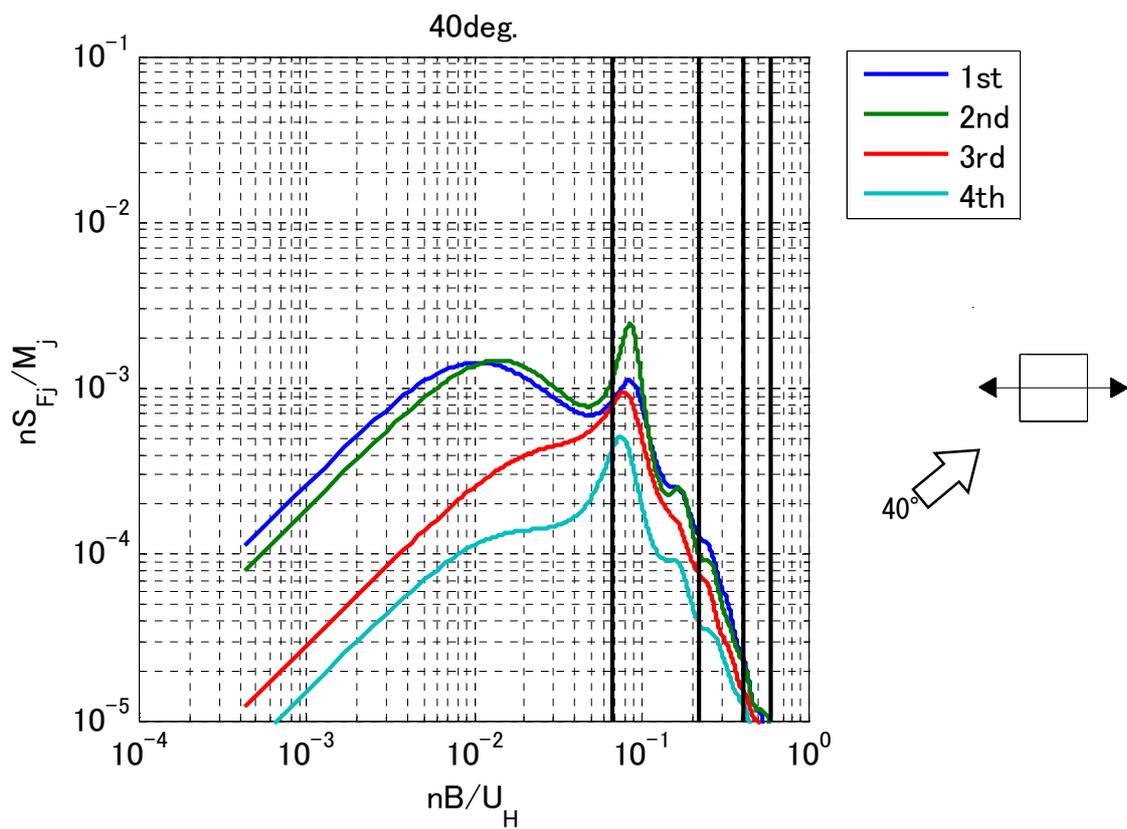


図 7.5.7.1(3) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Square, 風向 40°, 50°)

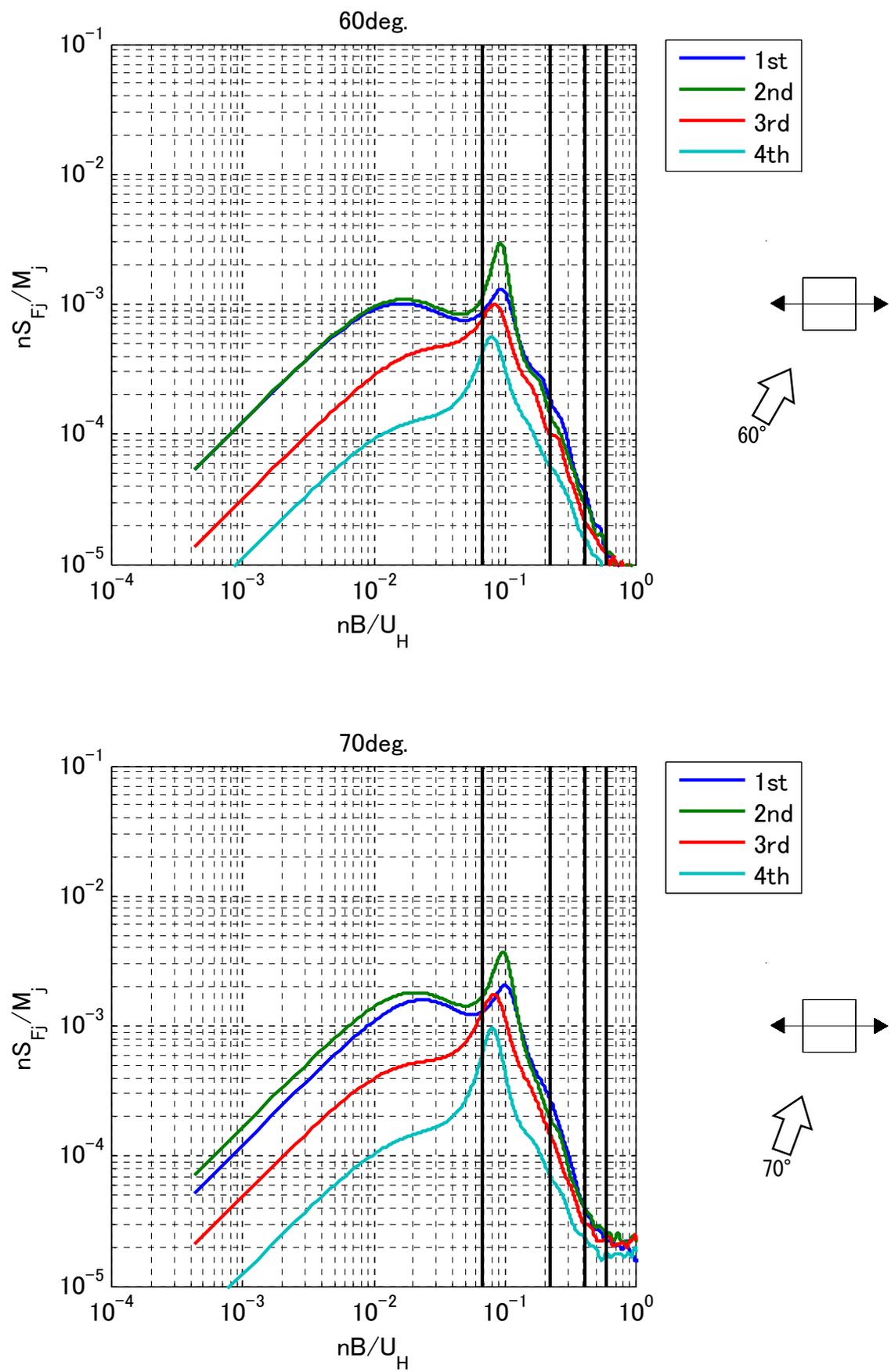


図 7.5.7.1(4) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Square, 風向 60° , 70°)

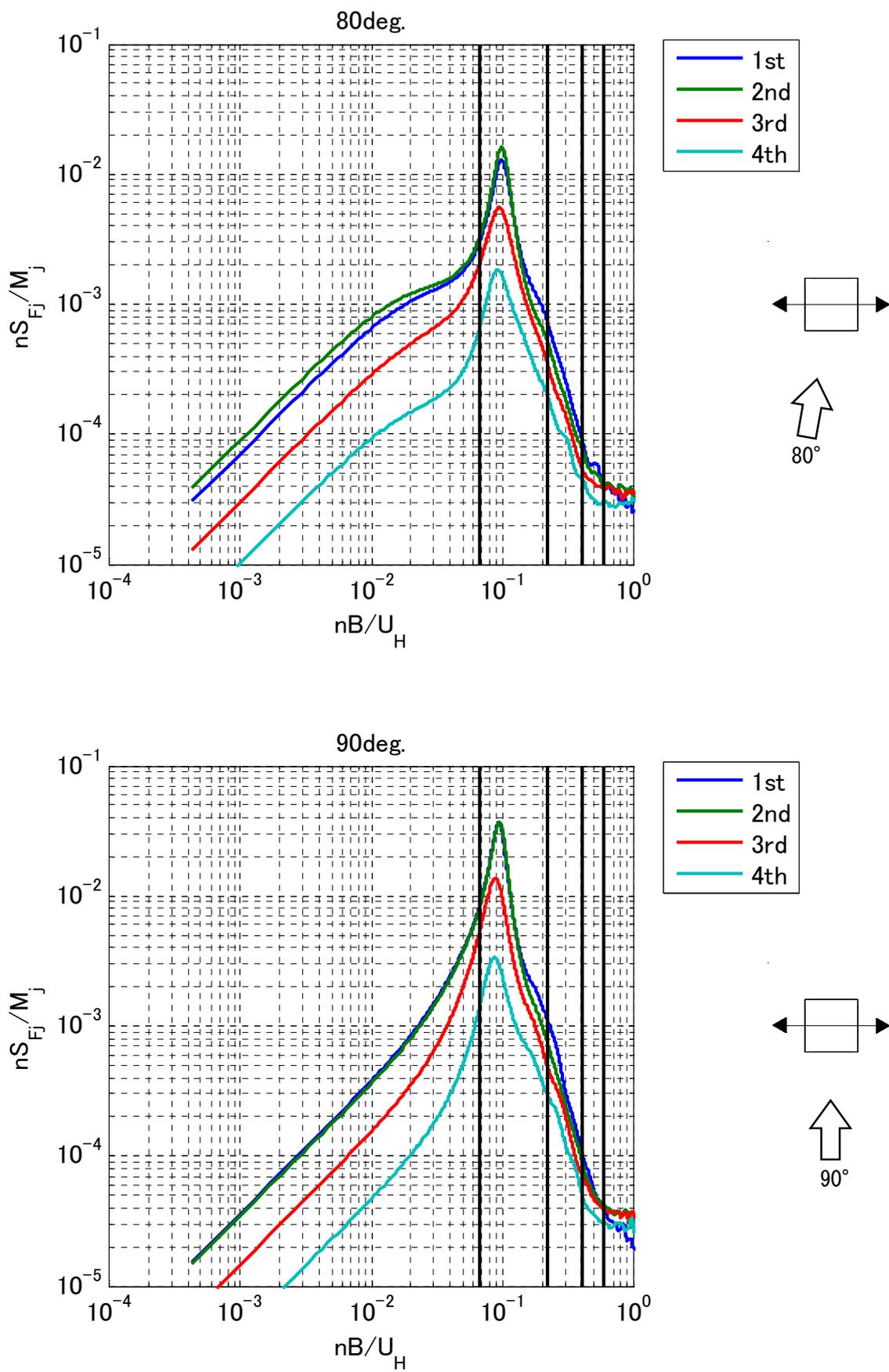


図 7.5.7.1(5) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Square, 風向 80°, 90°)

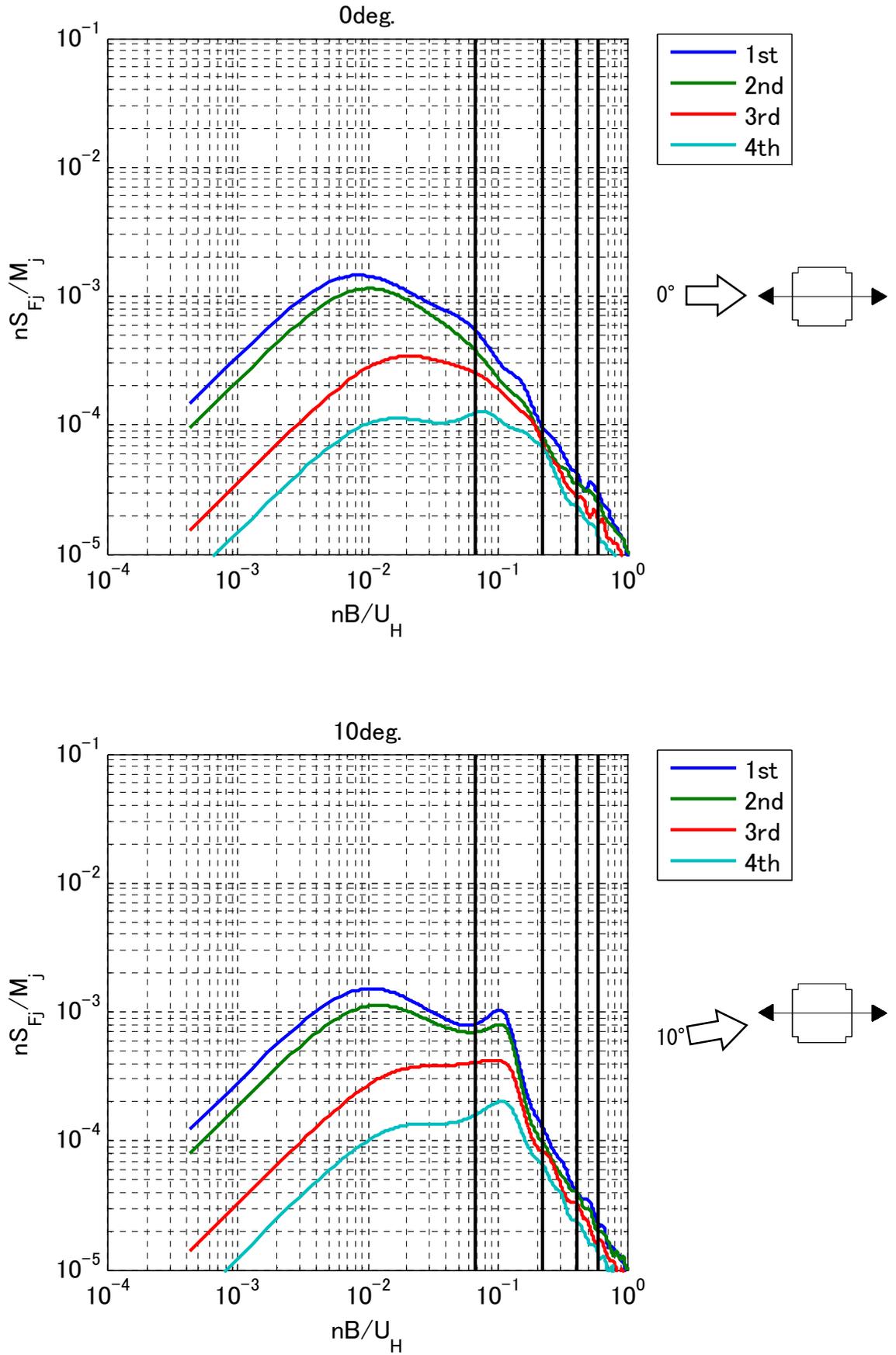


図 7.5.7.2(1) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (CornerCut, 風向 0° , 10°)

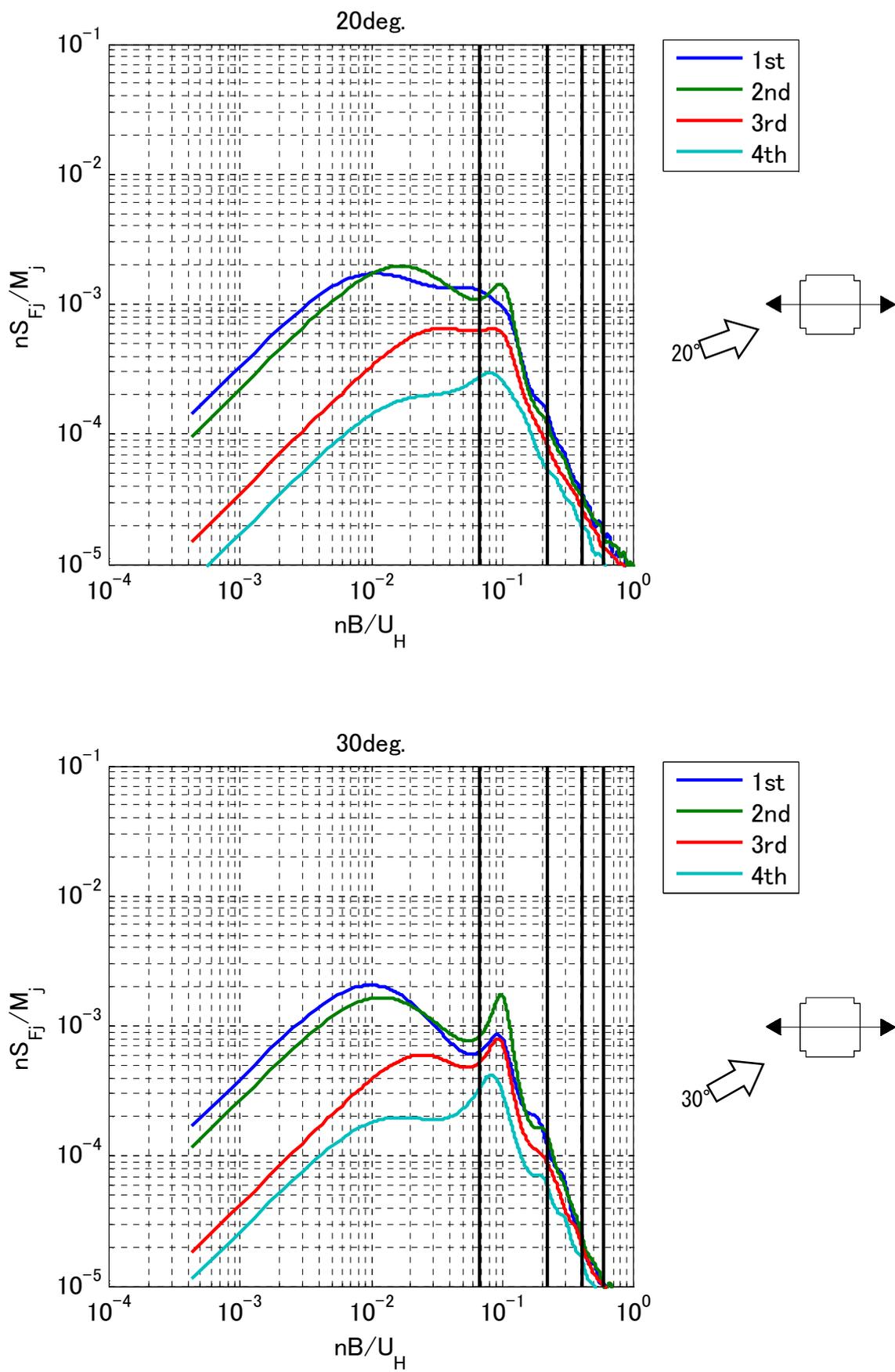


図 7.5.7.2(2) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (CornerCut, 風向 20°, 30°)

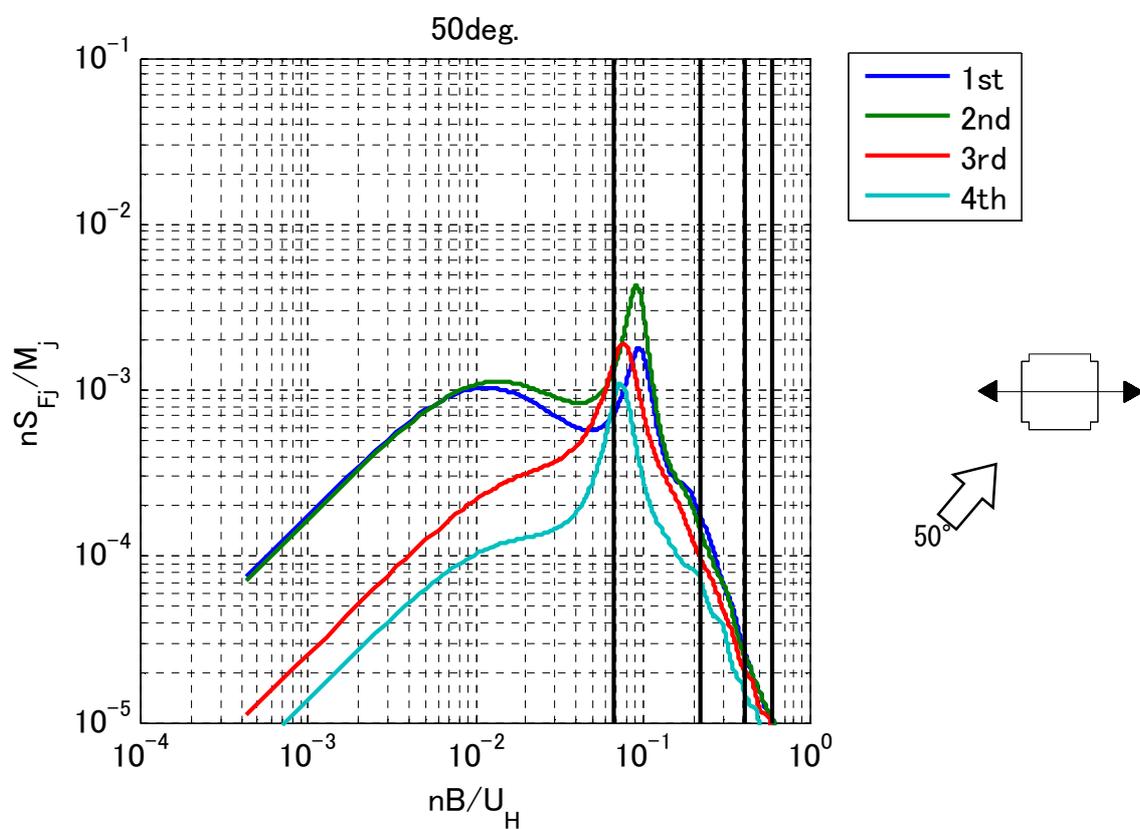
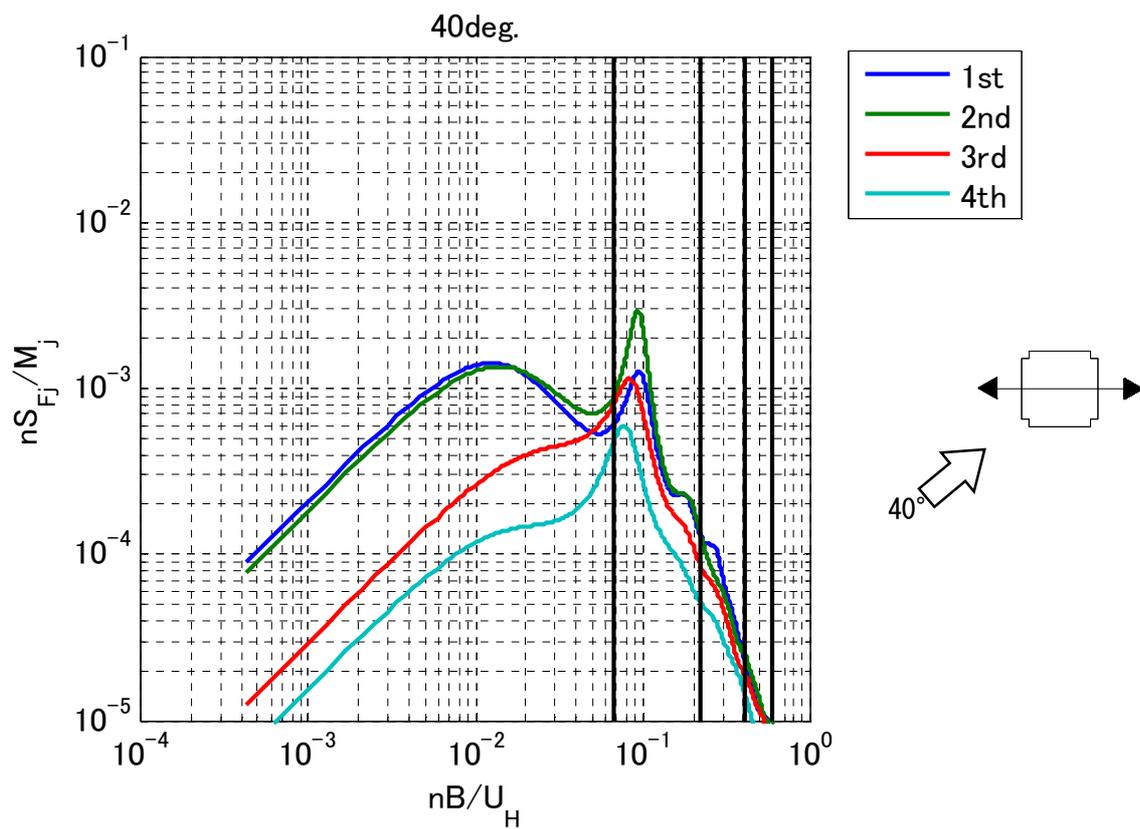


図 7.5.7.2(3) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (CornerCut, 風向 40°, 50°)

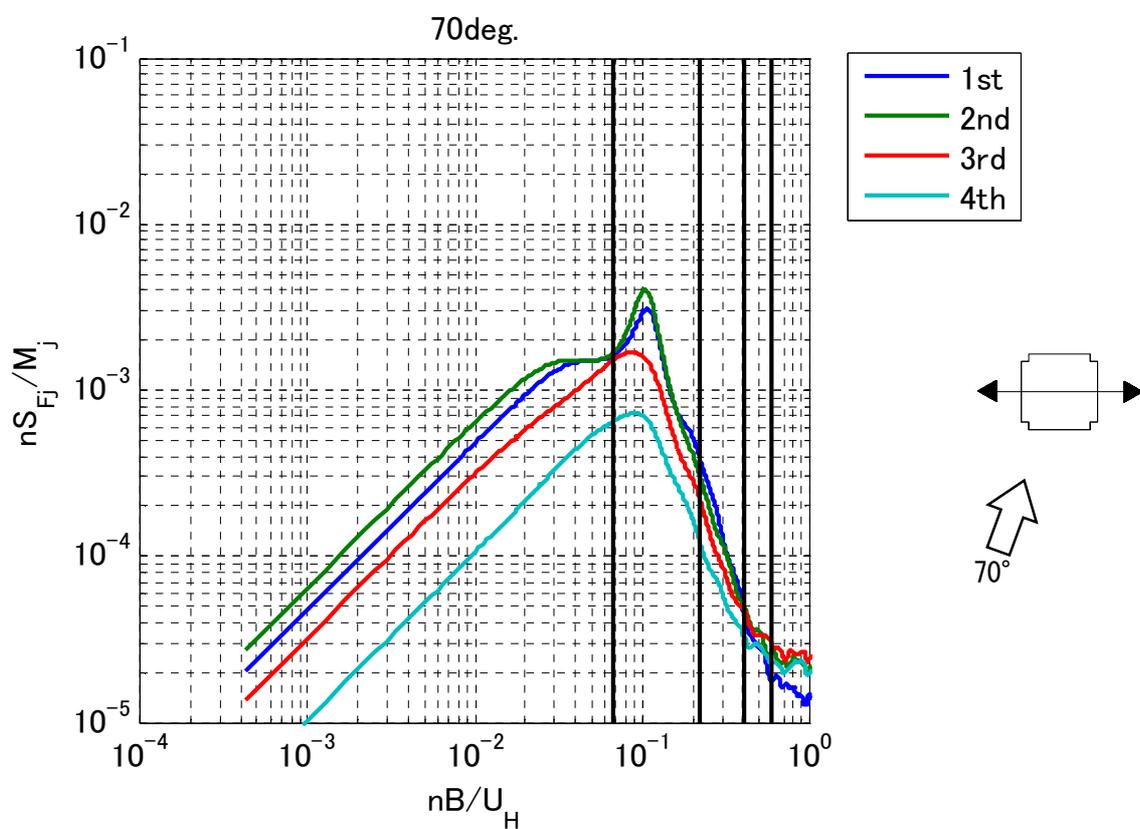
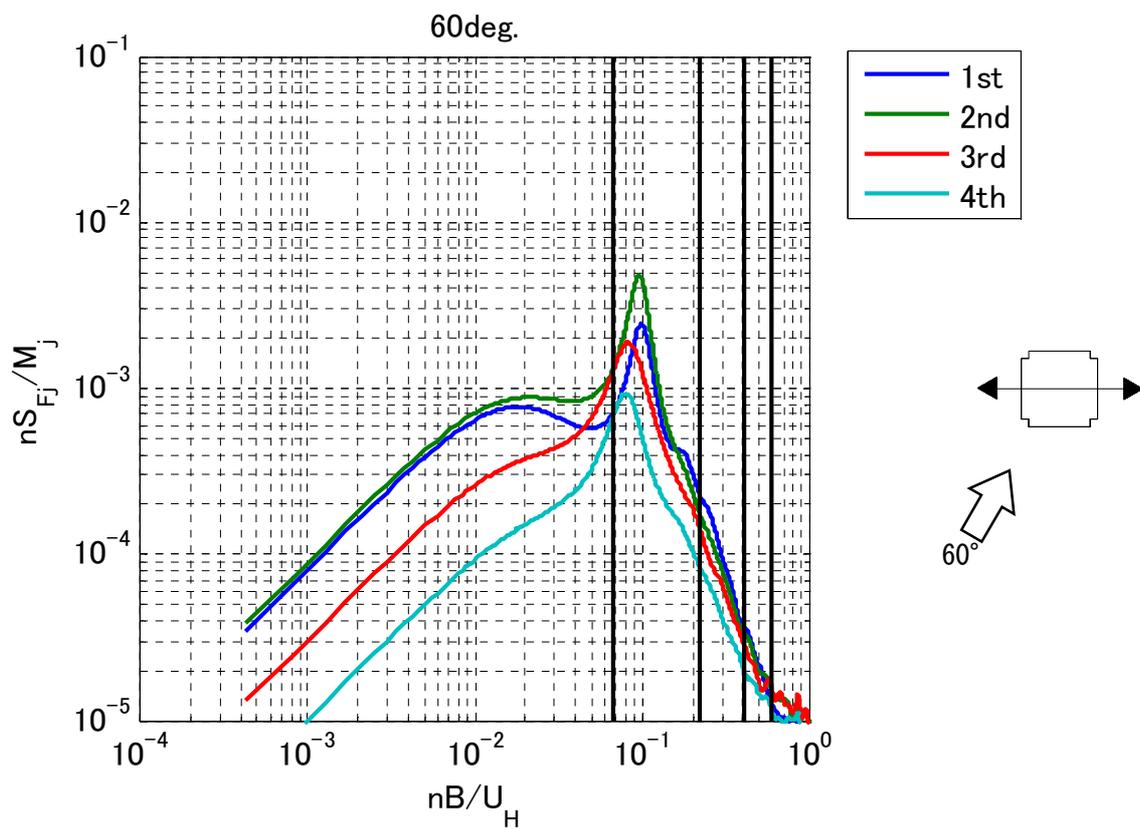


図 7.5.7.2(4) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (CornerCut, 風向 60°, 70°)

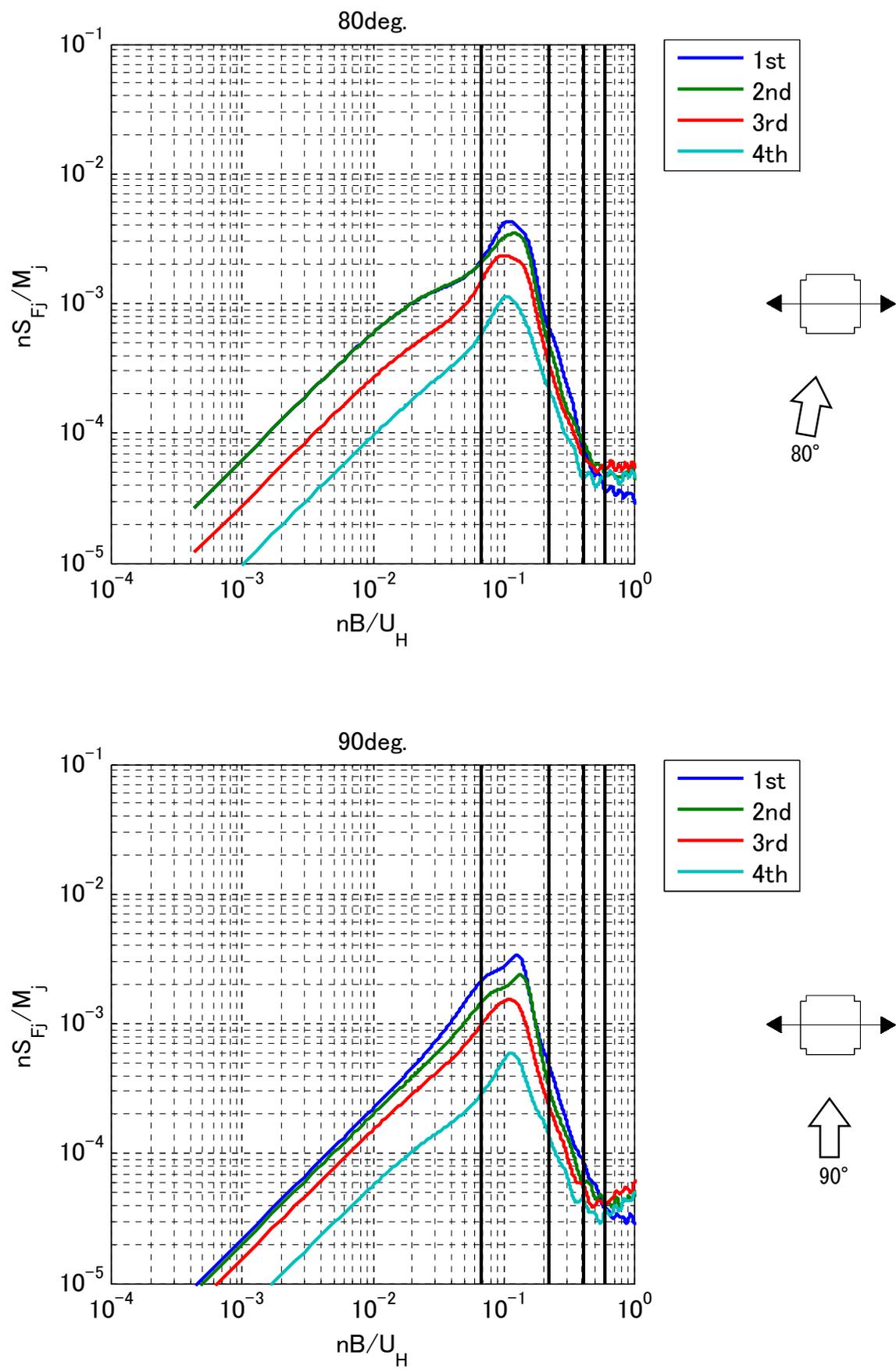


図 7.5.7.2(5) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (CornerCut, 風向 80°, 90°)

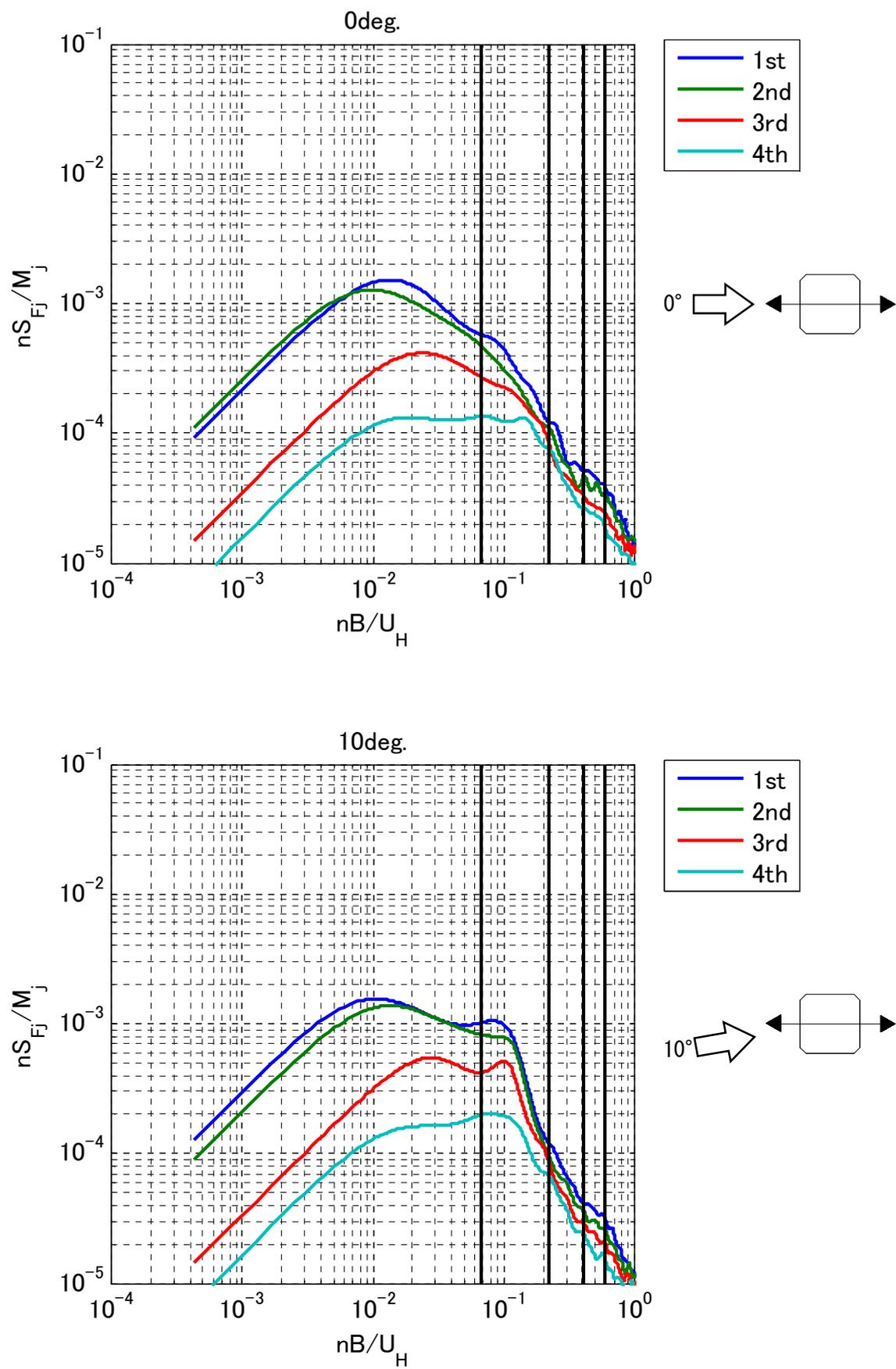


図 7.5.7.3(1) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Chamfered, 風向 0° , 10°)

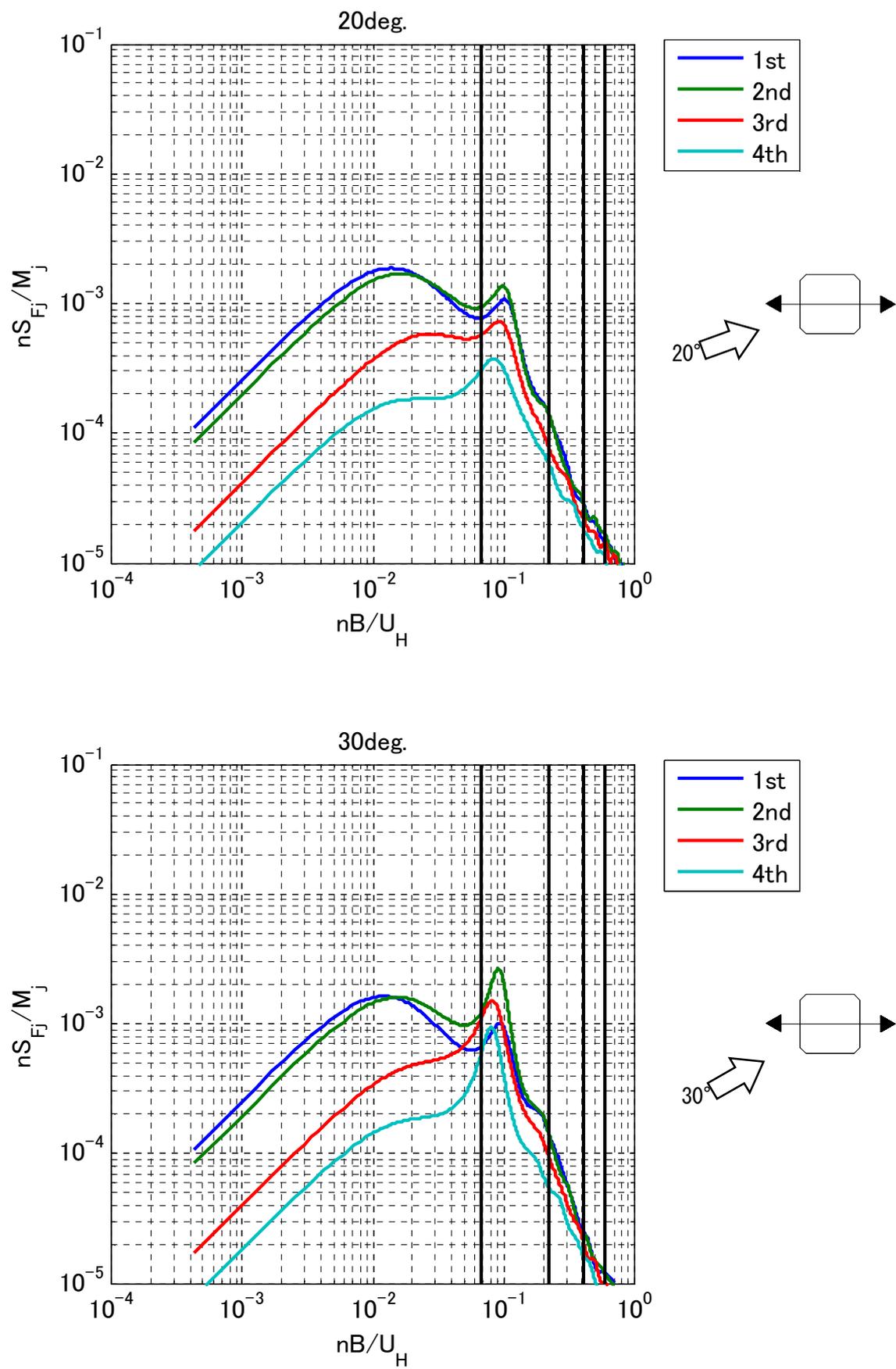


図 7.5.7.3(2) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Chamfered, 風向 20° , 30°)

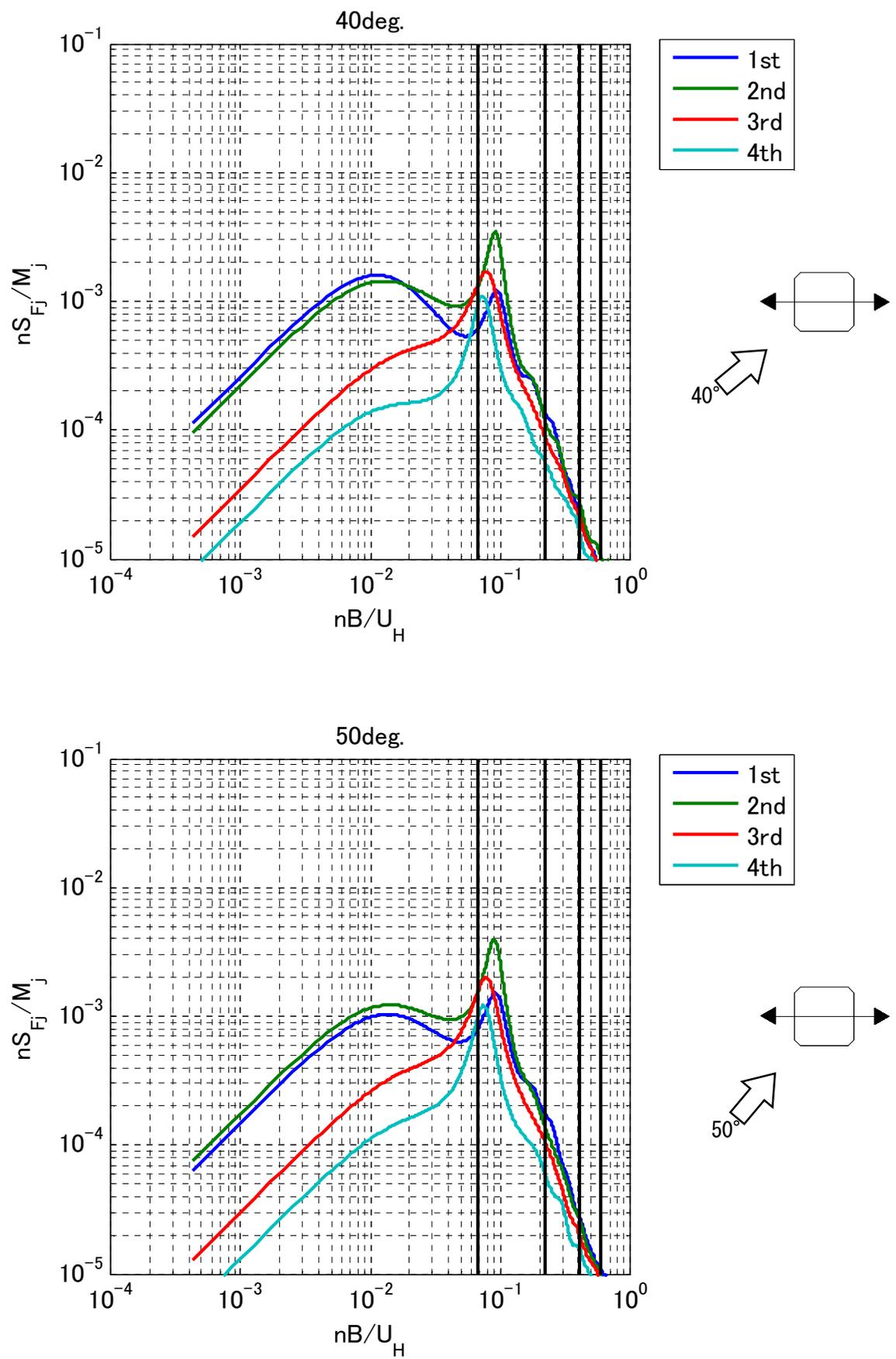


図 7.5.7.3(3) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Chamfered, 風向 40° , 50°)

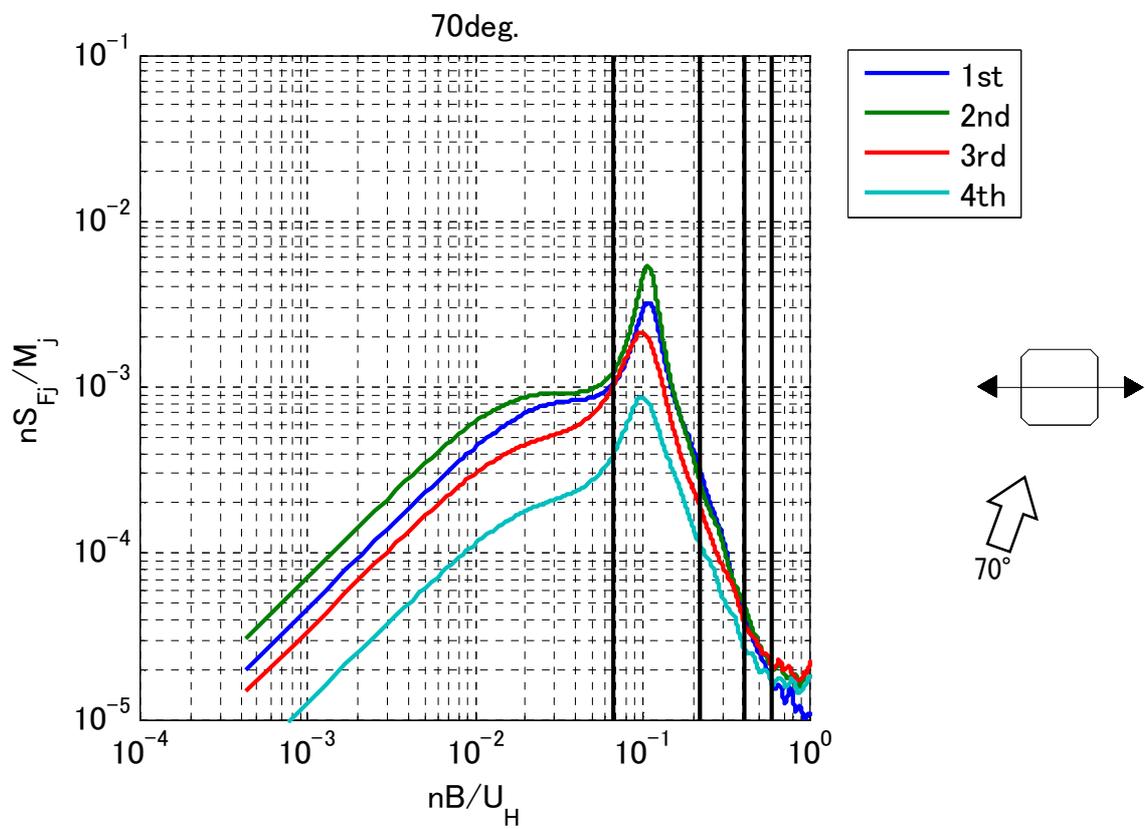
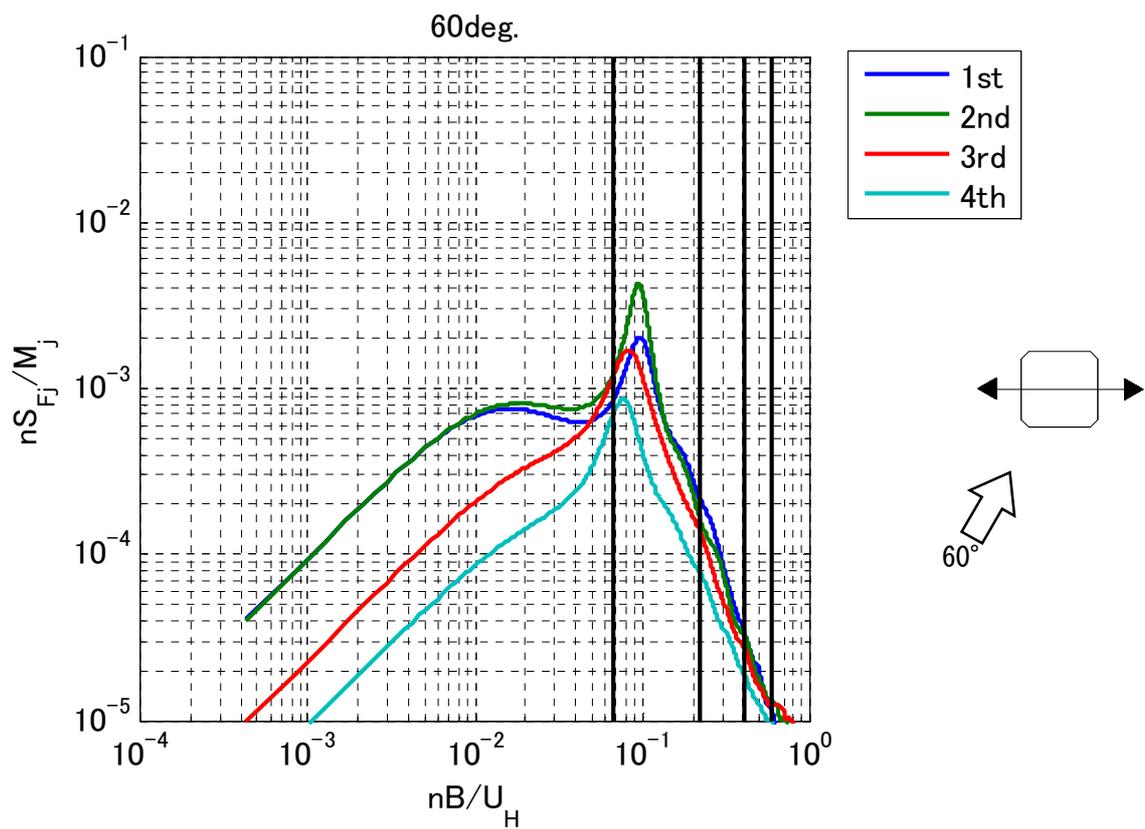


図 7.5.7.3(4) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Chamfered, 風向 60°, 70°)

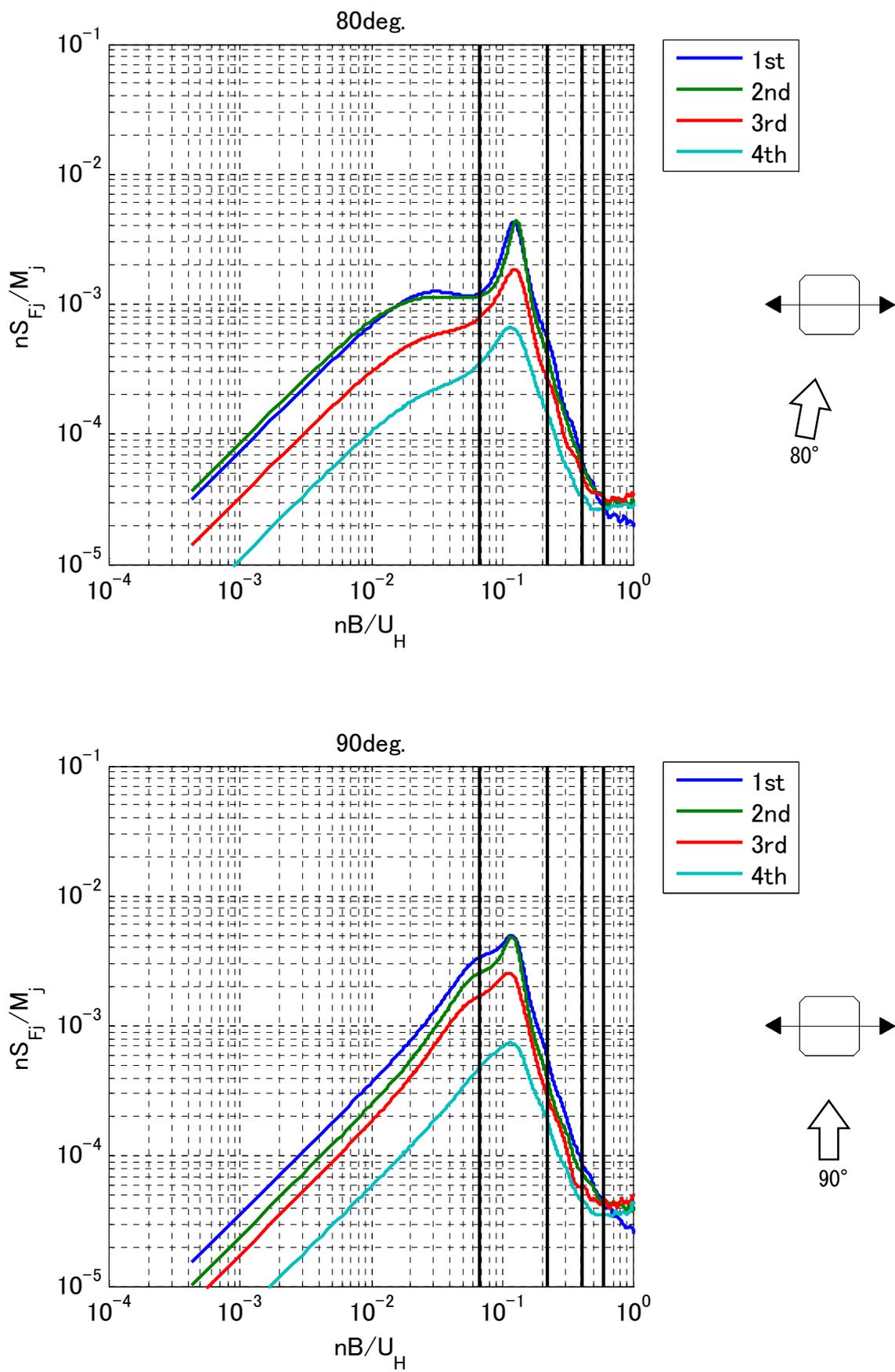


図 7.5.7.3(5) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Chamfered, 風向 80°, 90°)

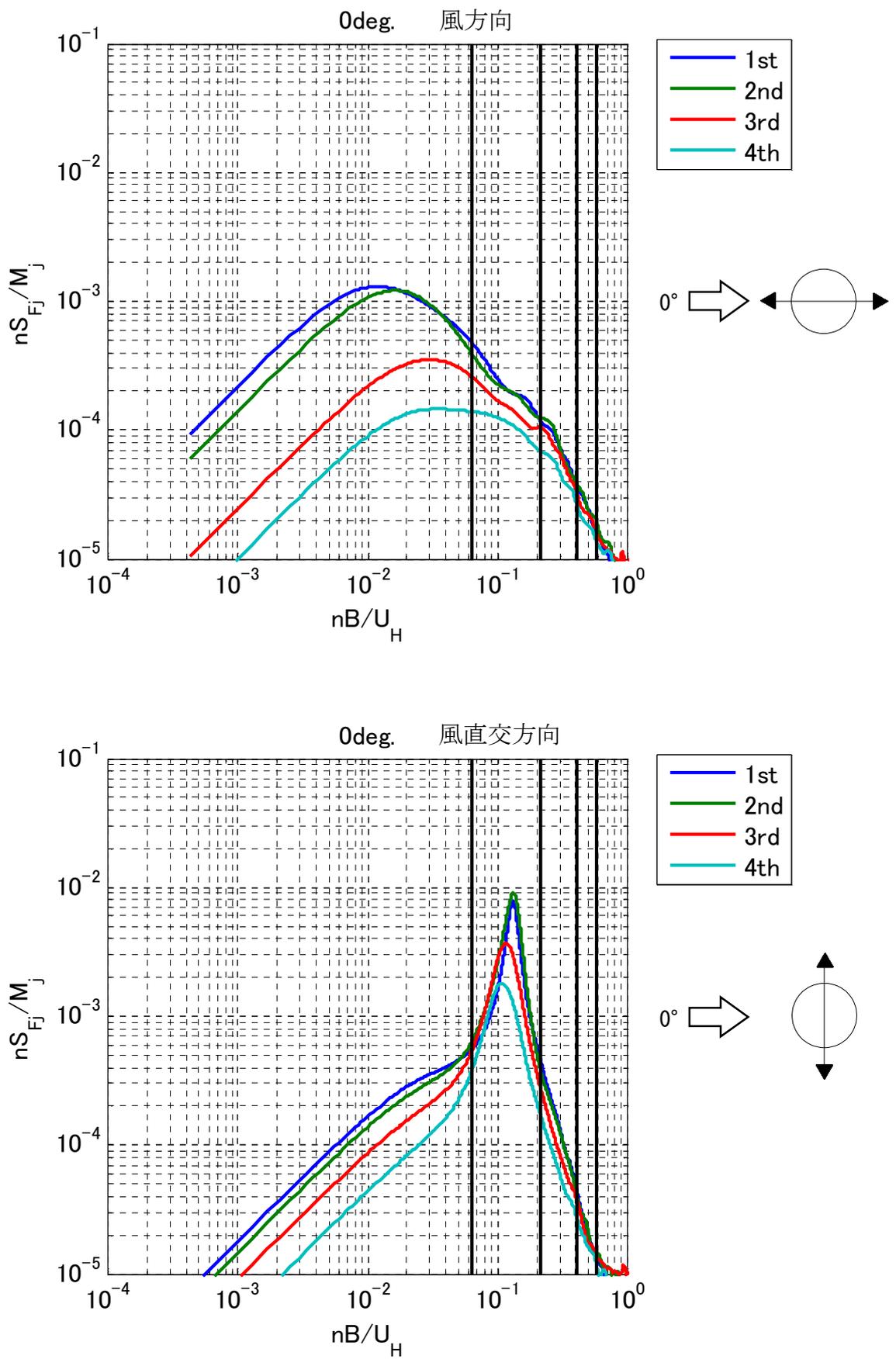


図 7.5.7.4 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Circle, 風向 0°)

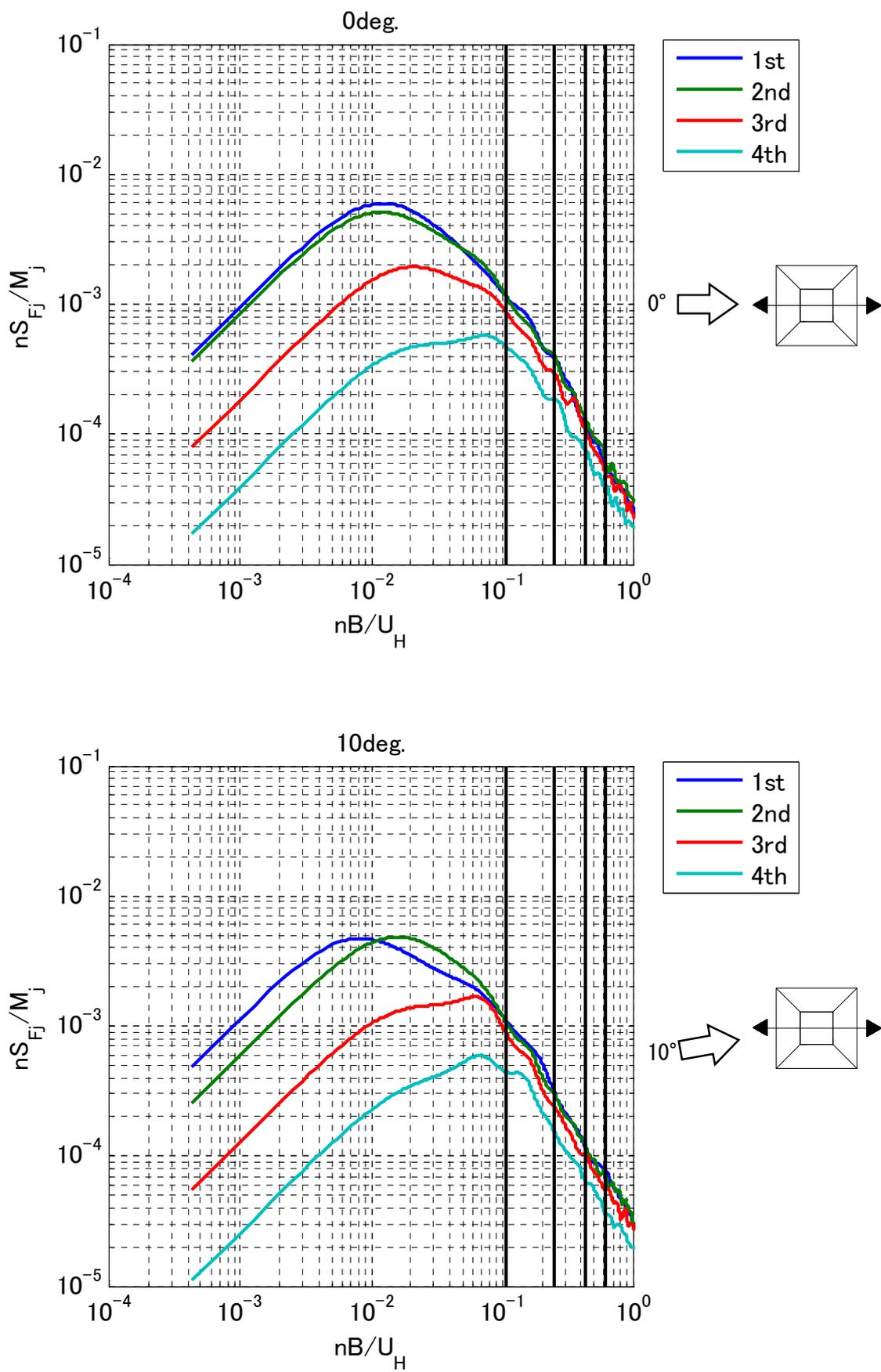


図 7.5.7.5(1) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Tapered, 風向 0° , 10°)

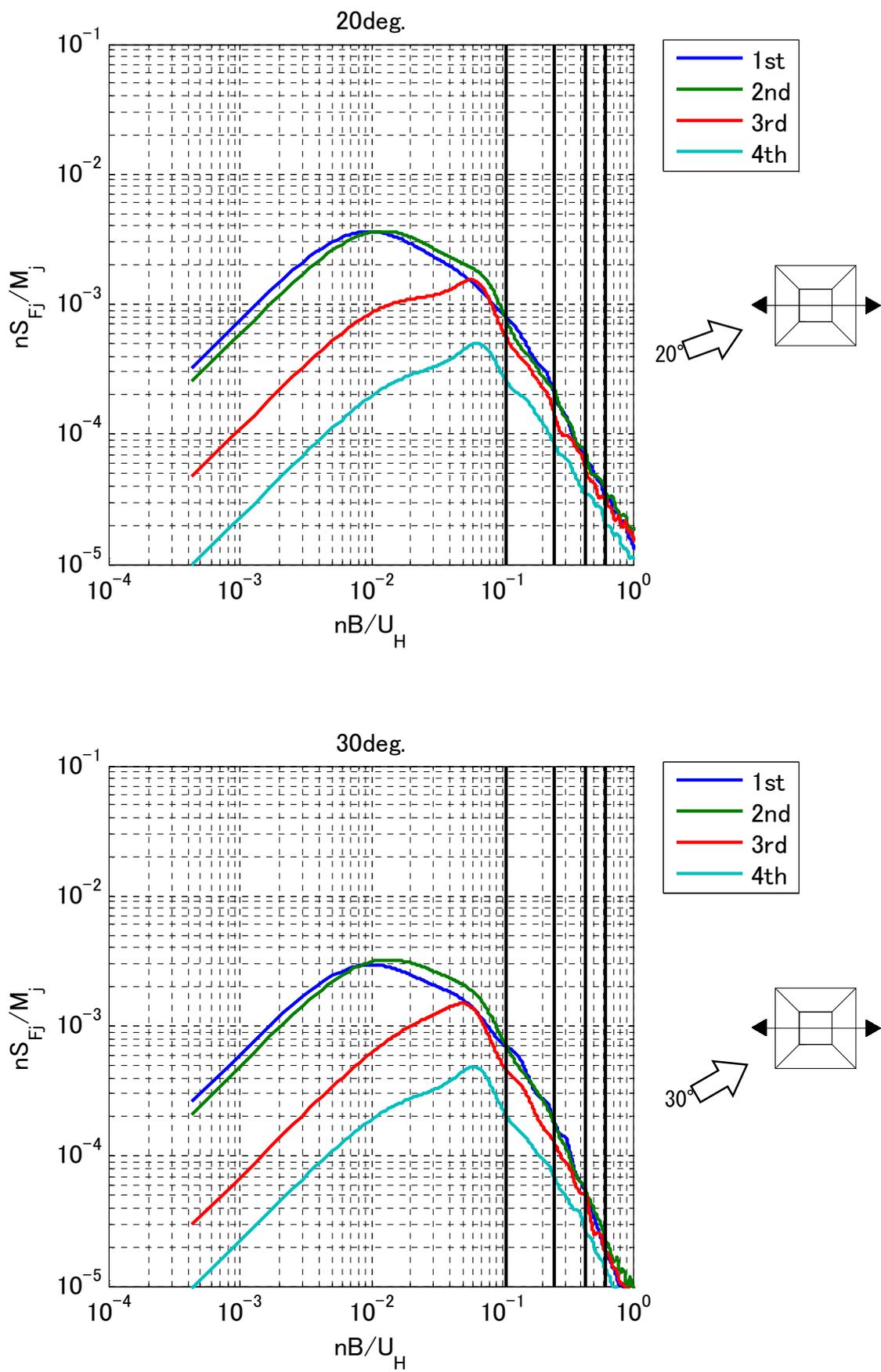


図 7.5.7.5(2) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Tapered, 風向 20°, 30°)

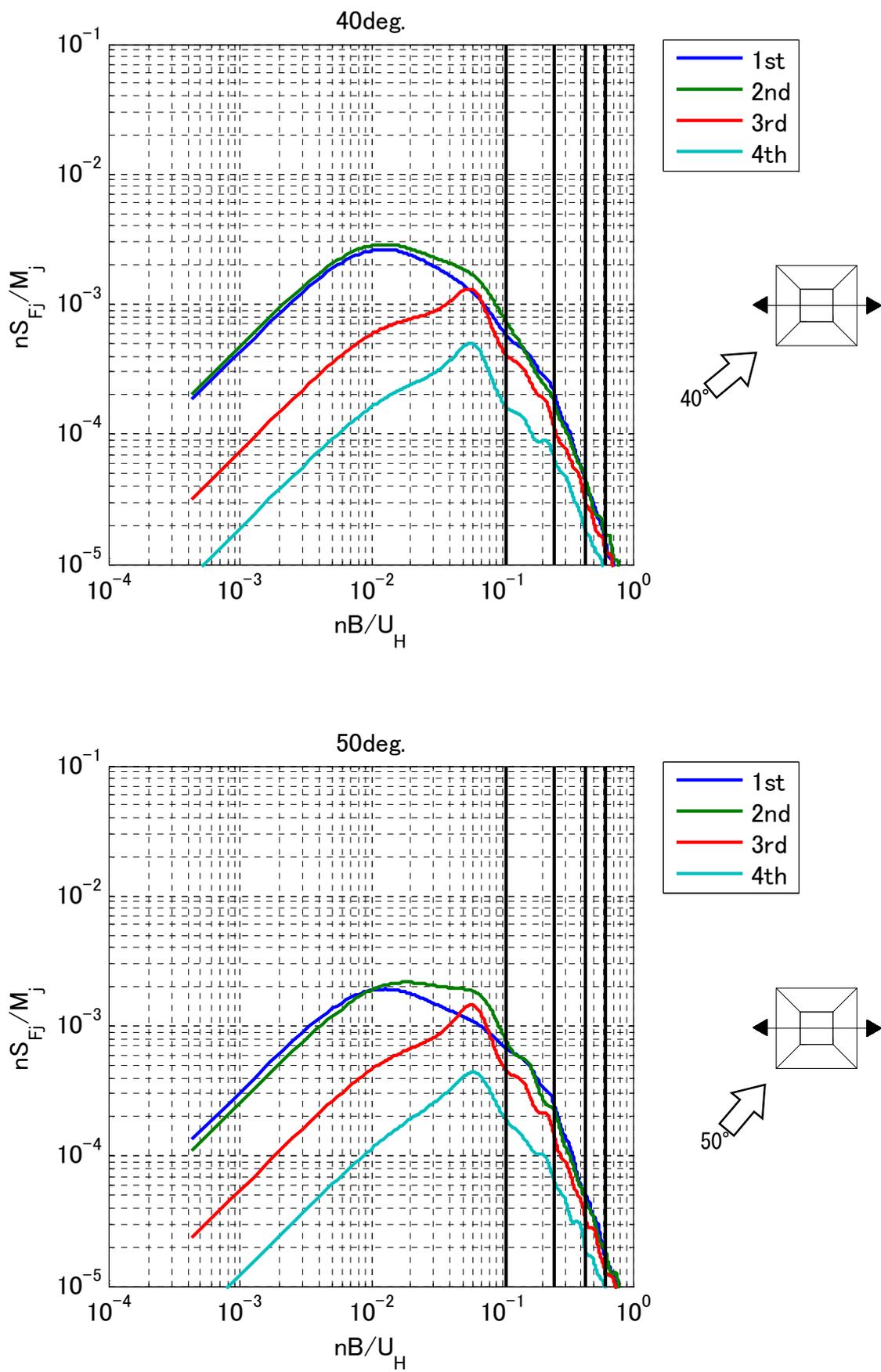


図 7.5.7.5(3) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Tapered, 風向 40°, 50°)

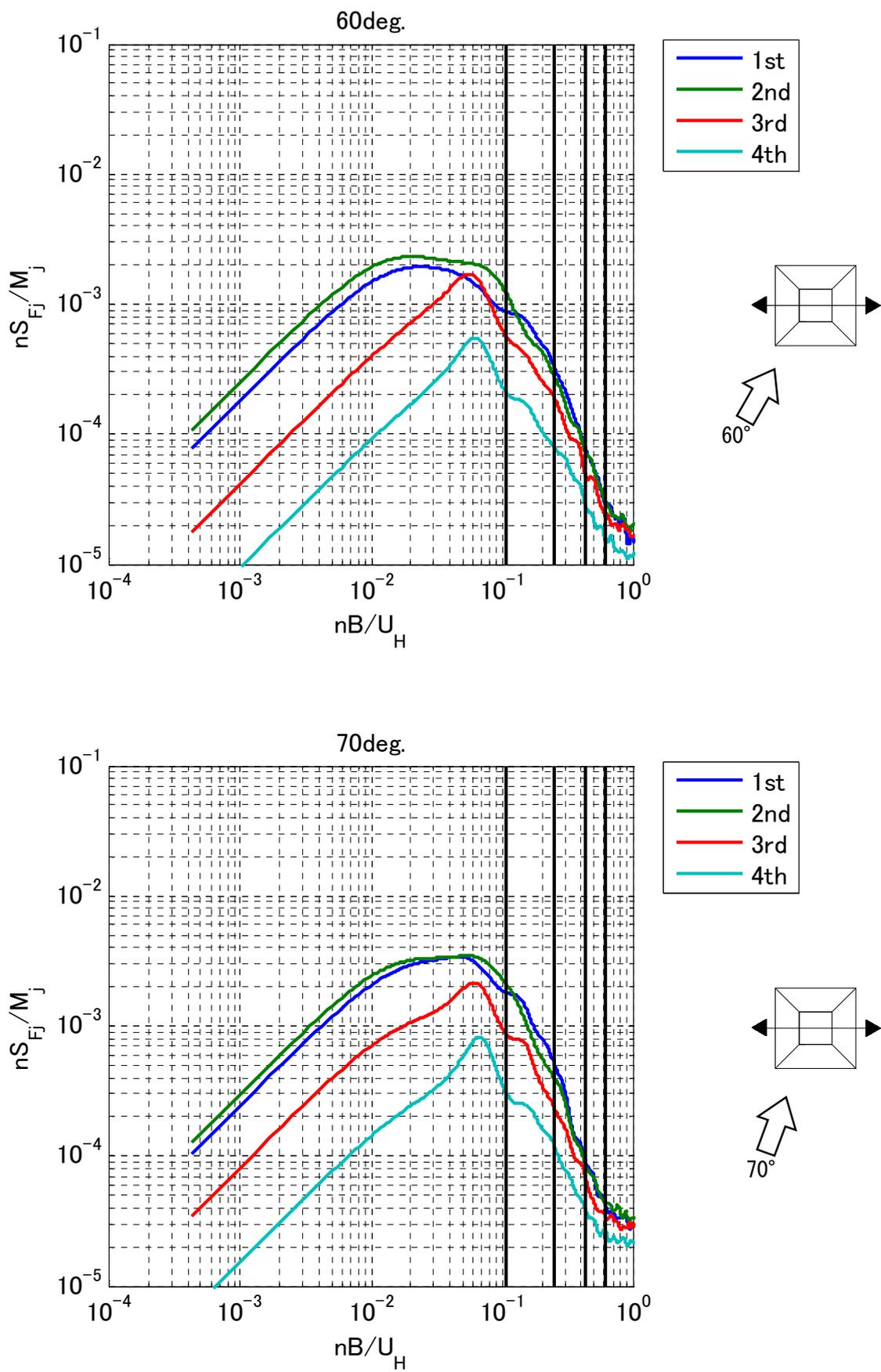


図 7.5.7.5(4) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Tapered, 風向 60° , 70°)

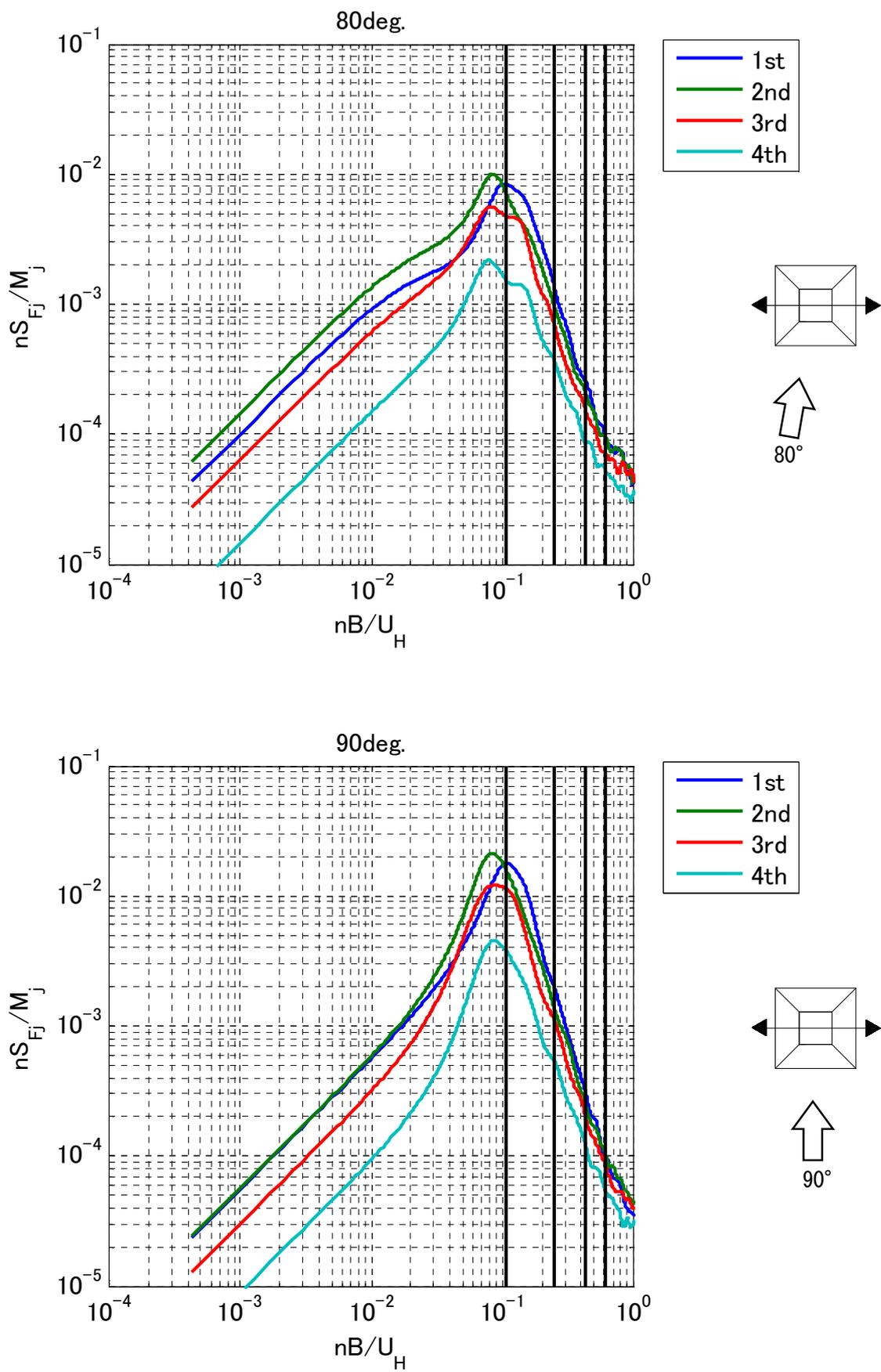


図 7.5.7.5(5) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Tapered, 風向 80°, 90°)

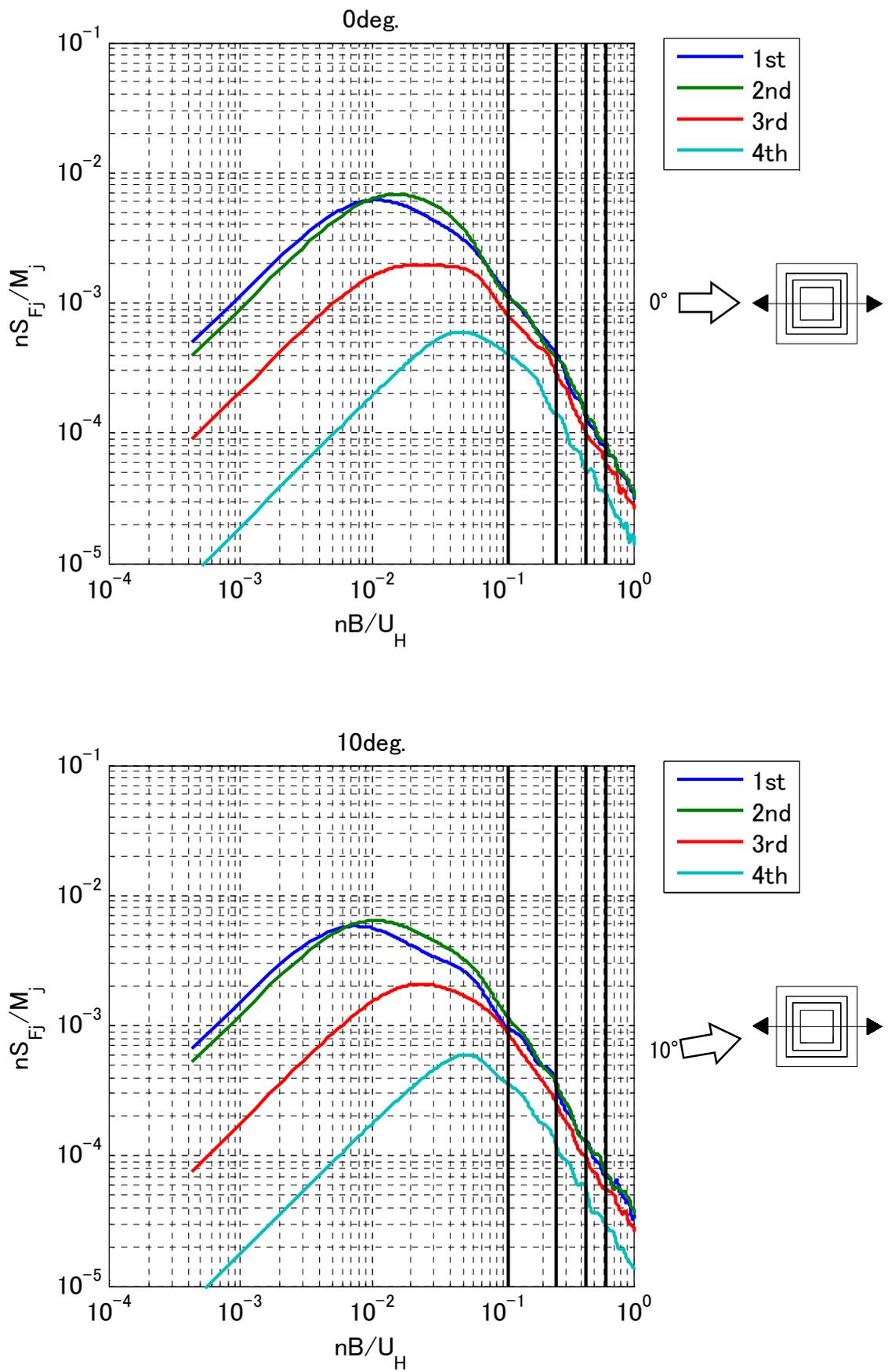


図 7.5.7.6(1) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Setback, 風向 0°, 10°)

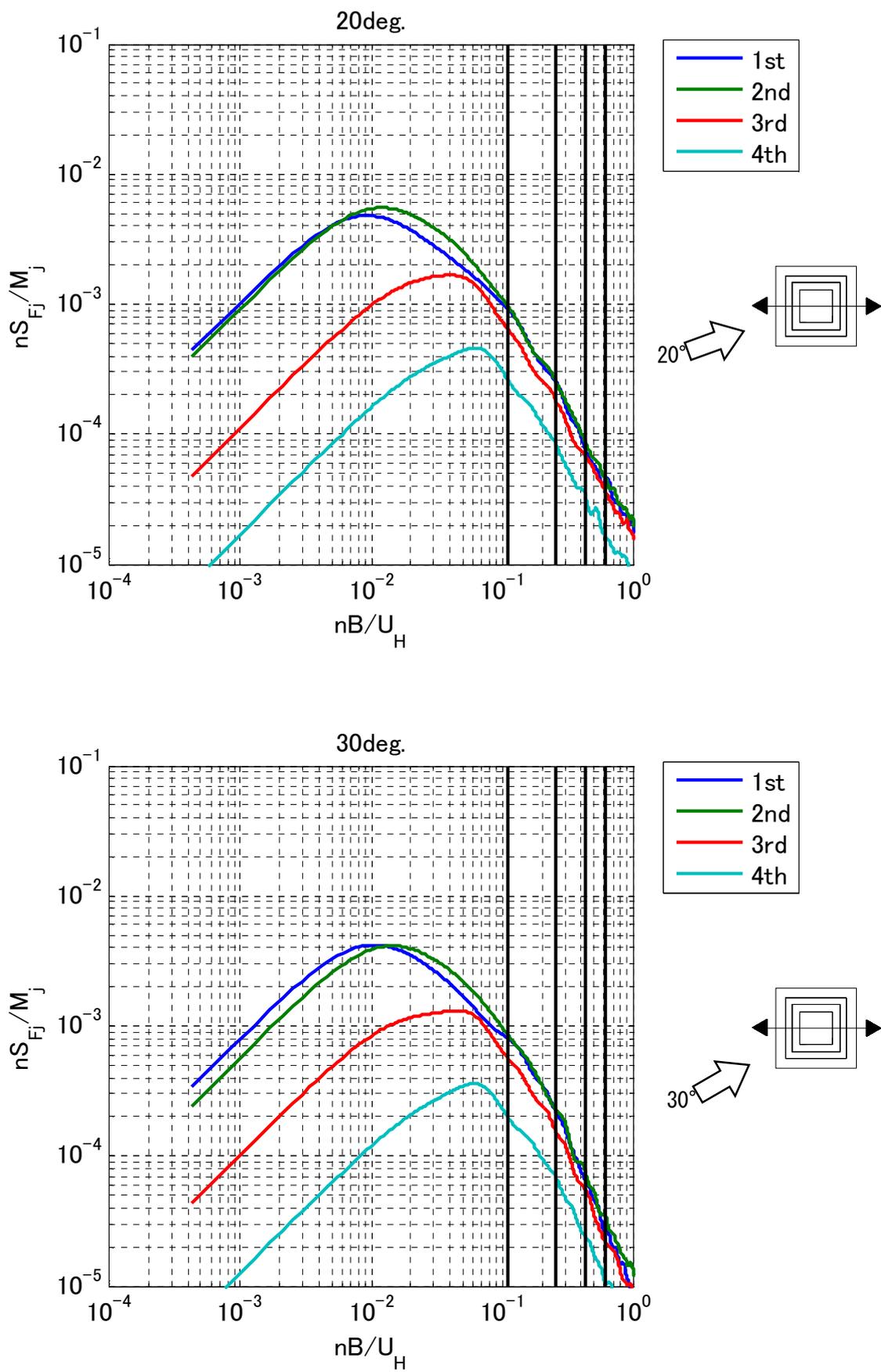


図 7.5.7.6(2) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Setback, 風向 20° , 30°)

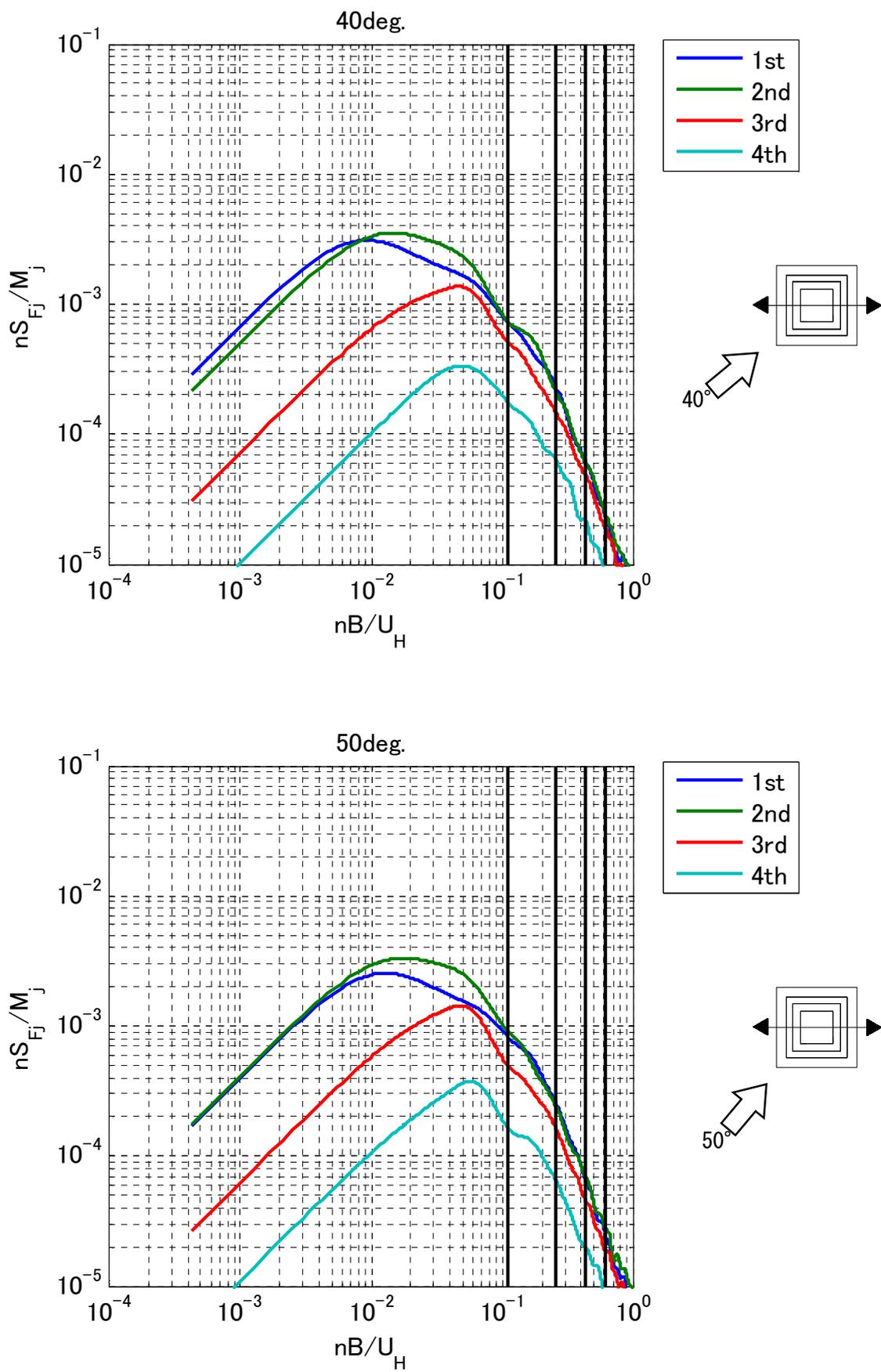


図 7.5.7.6(3) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Setback, 風向 40°, 50°)

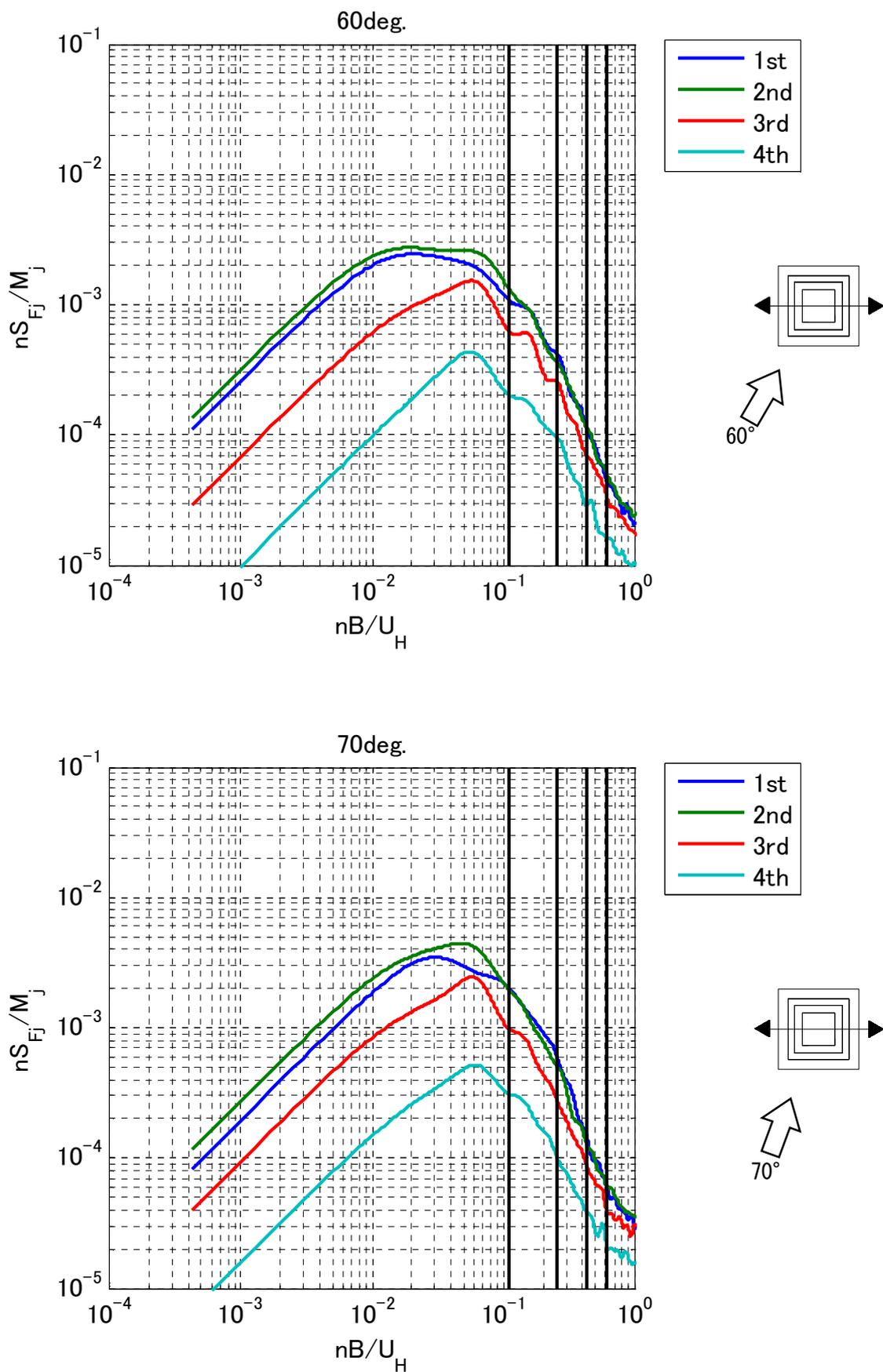


図 7.5.7.6(4) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Setback, 風向 60° , 70°)

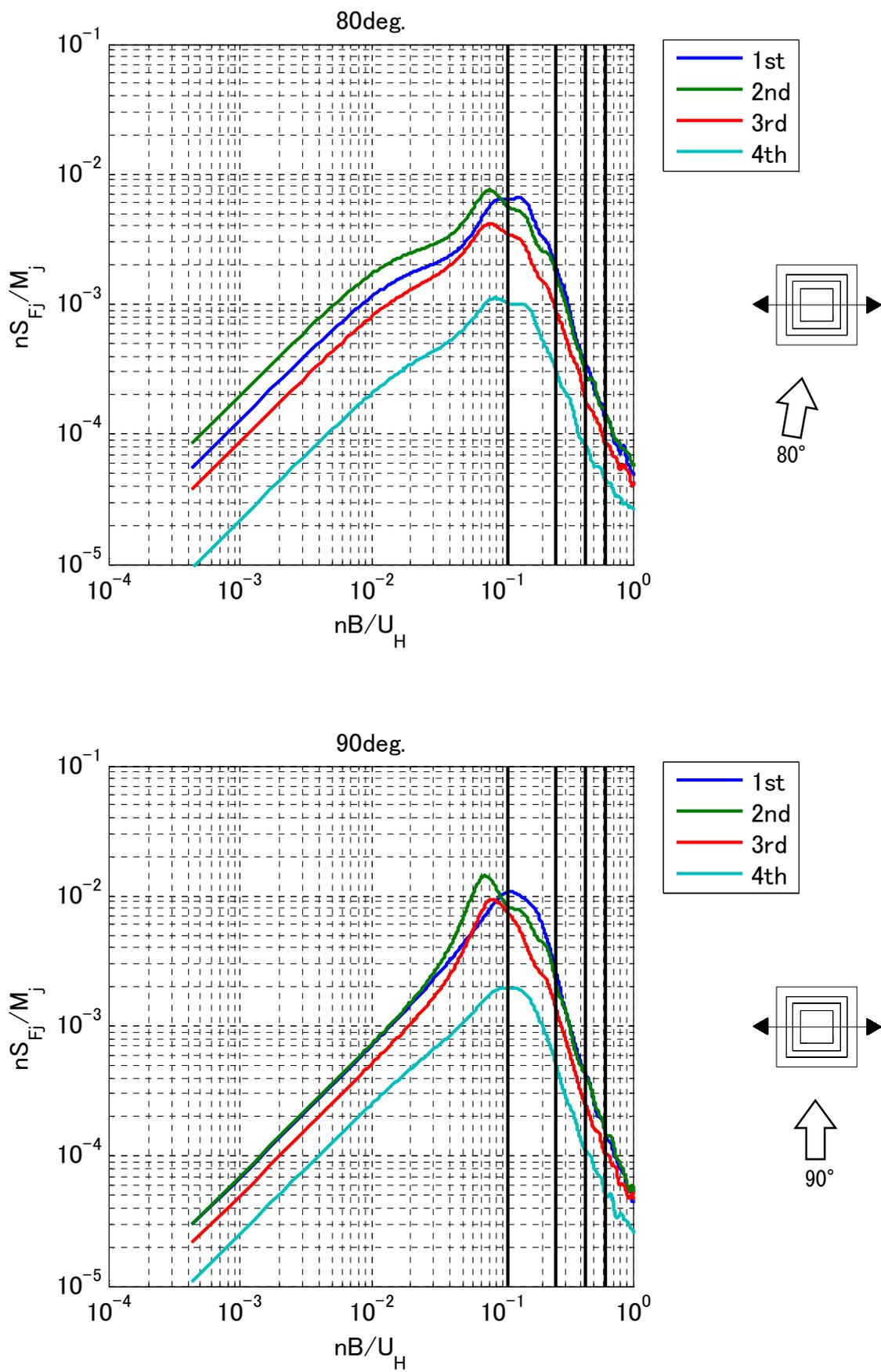


図 7.5.7.6(5) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Setback, 風向 80°, 90°)

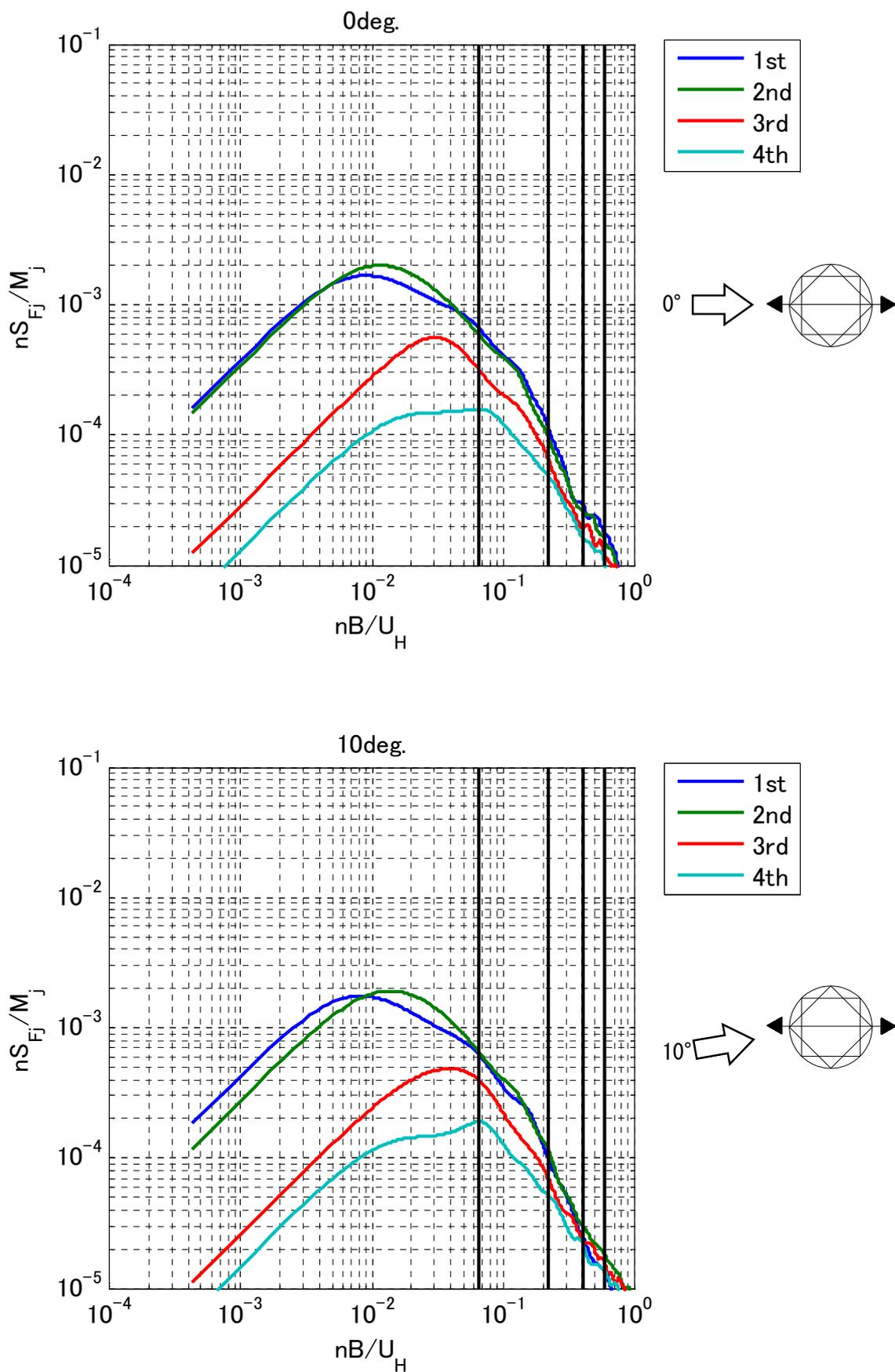


図 7.5.7.7(1) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical90, 風向 0°, 10°)

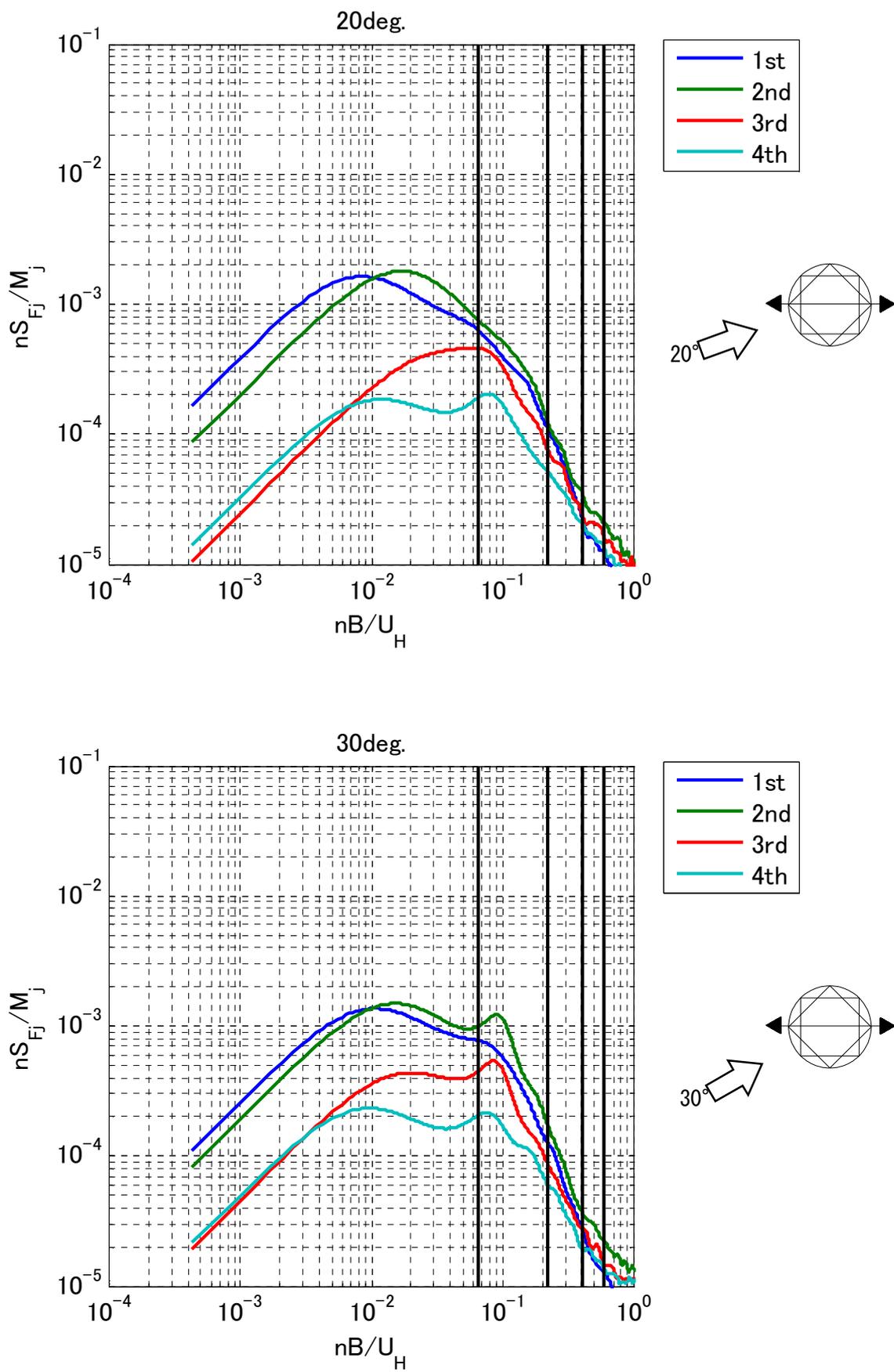


図 7.5.7.7(2) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical90, 風向 20°, 30°)

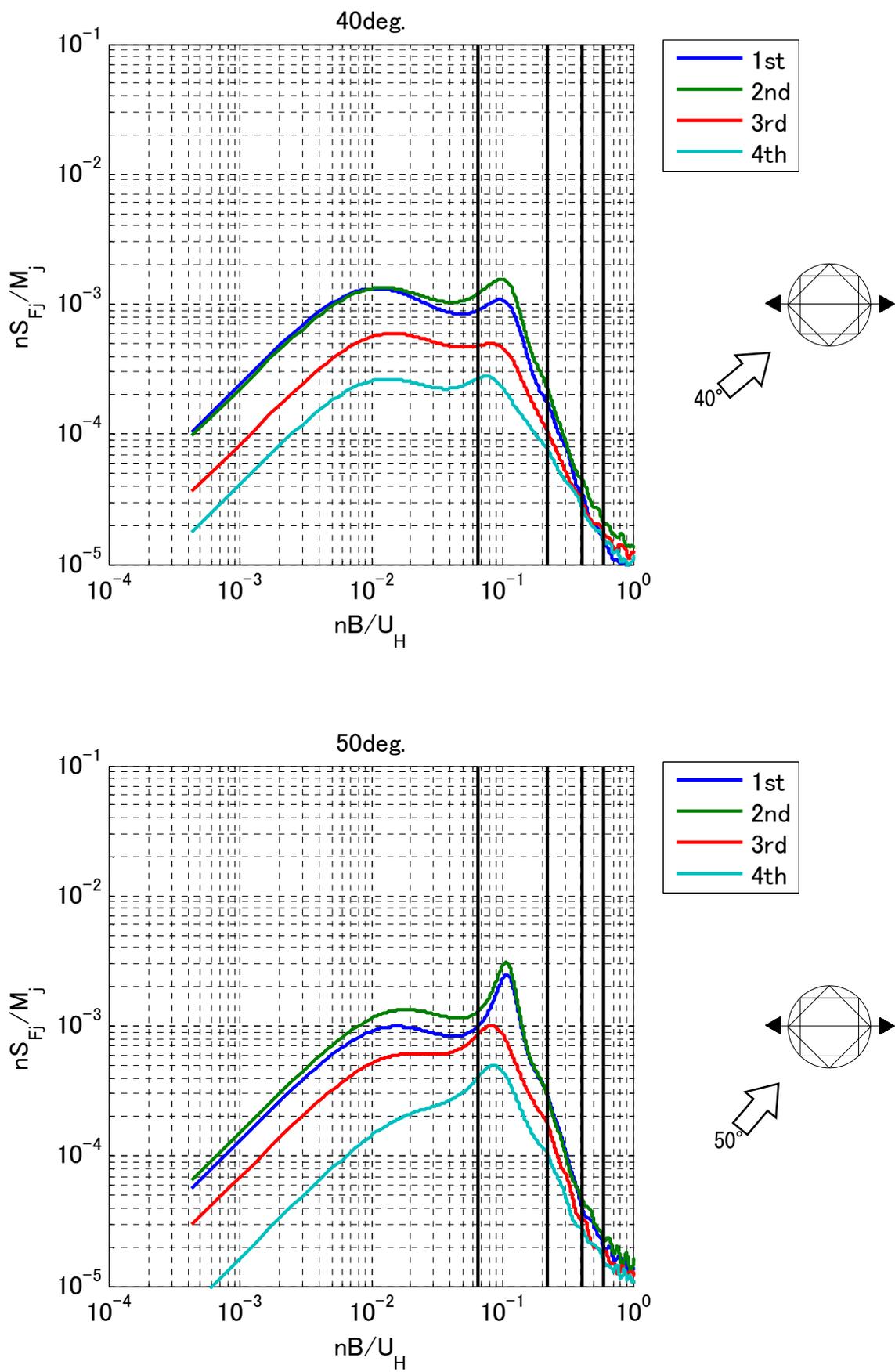


図 7.5.7.7(3) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical90, 風向 40°, 50°)

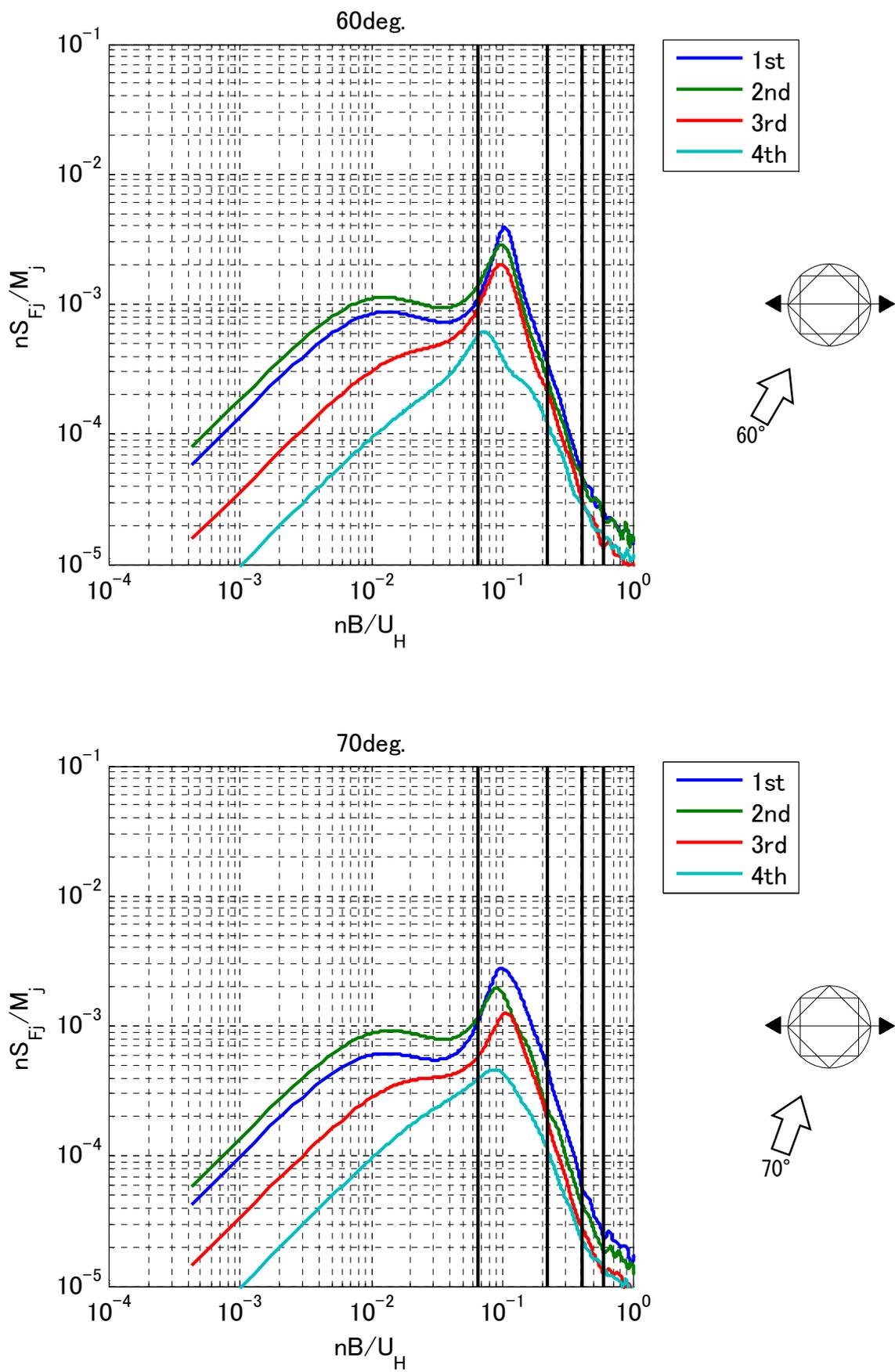


図 7.5.7.7(4) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical90, 風向 60°, 70°)

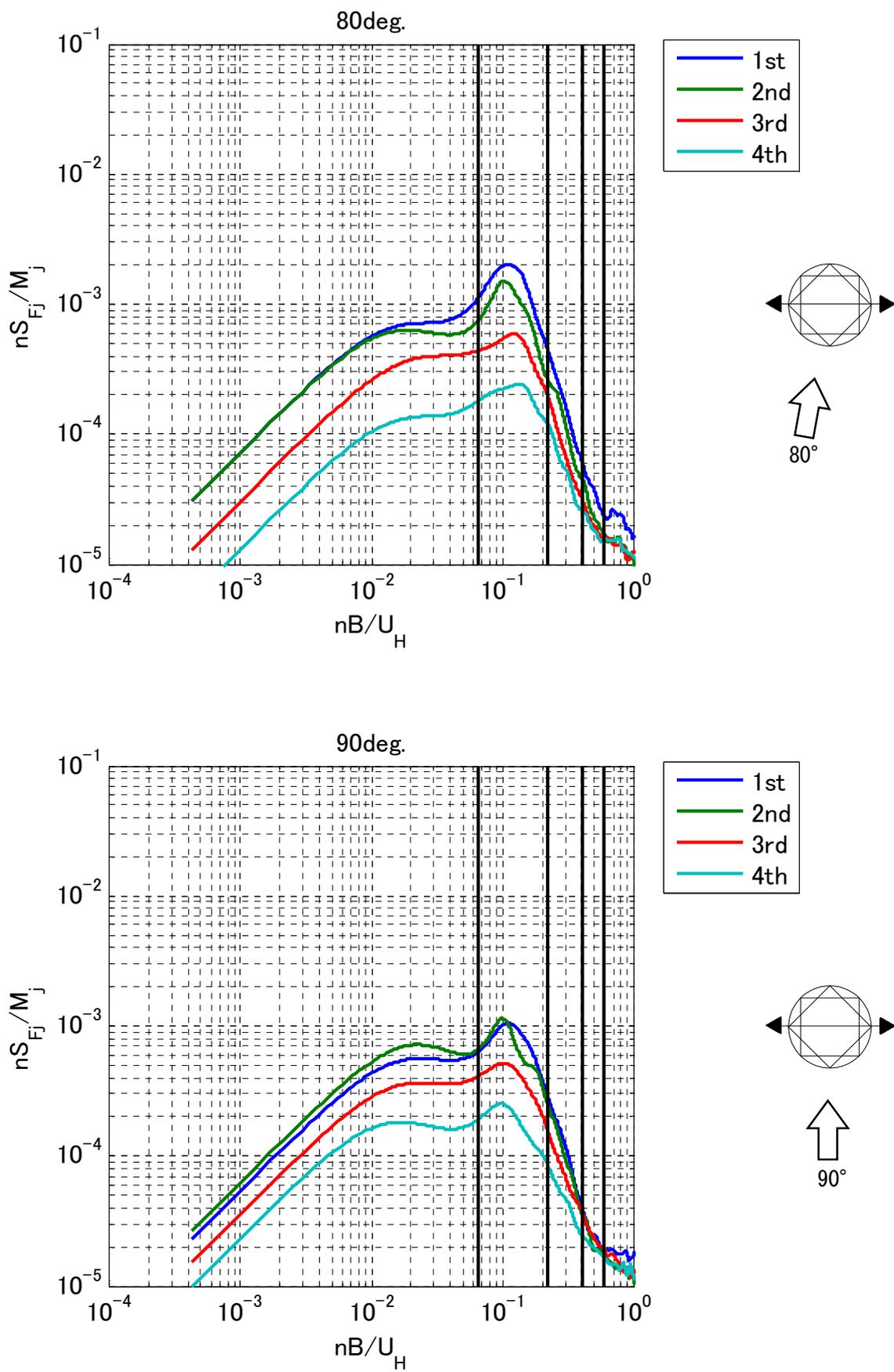


図 7.5.7.7(5) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical90, 風向 80°, 90°)

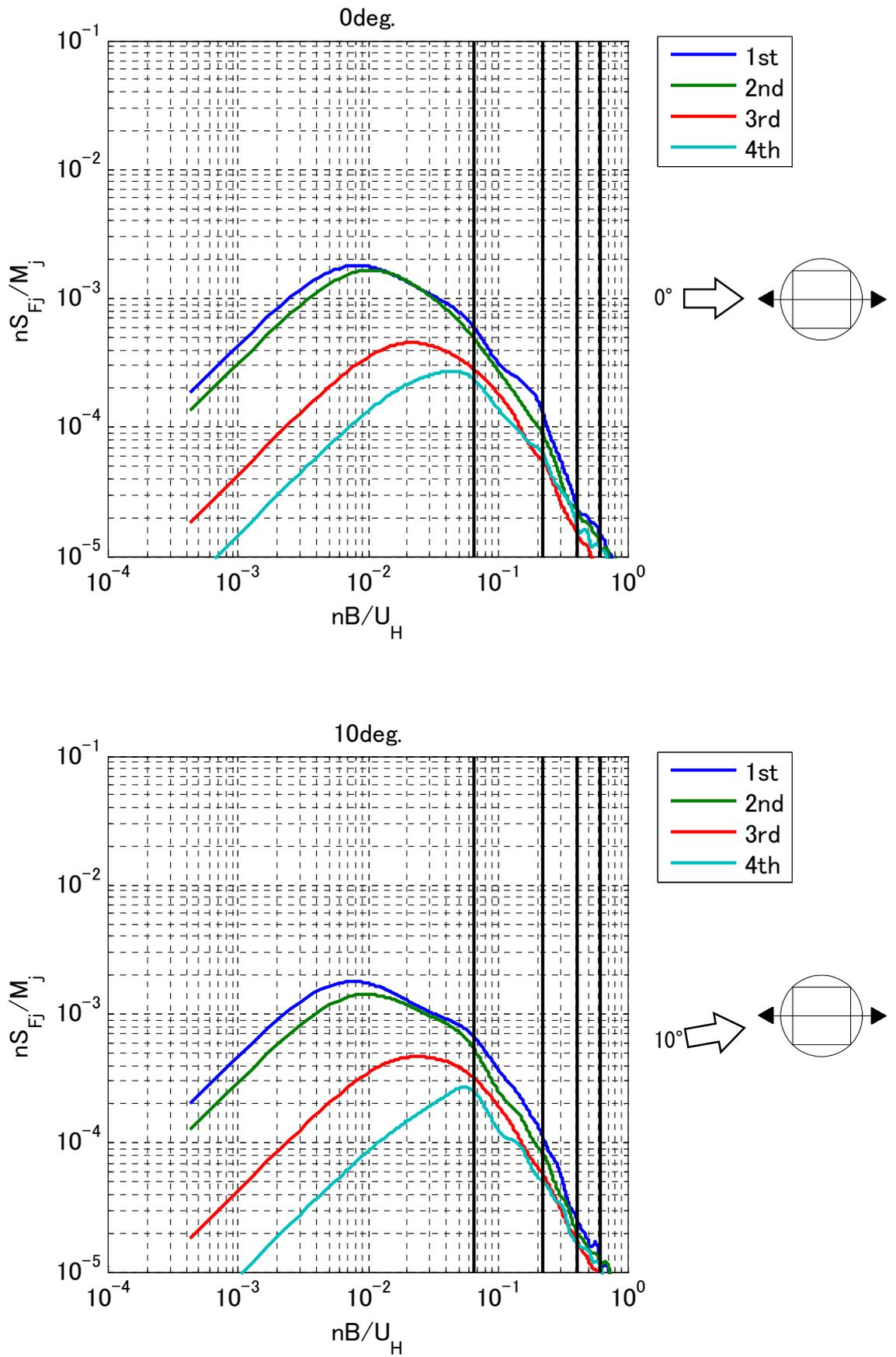


図 7.5.7.8(1) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical180, 風向 0° , 10°)

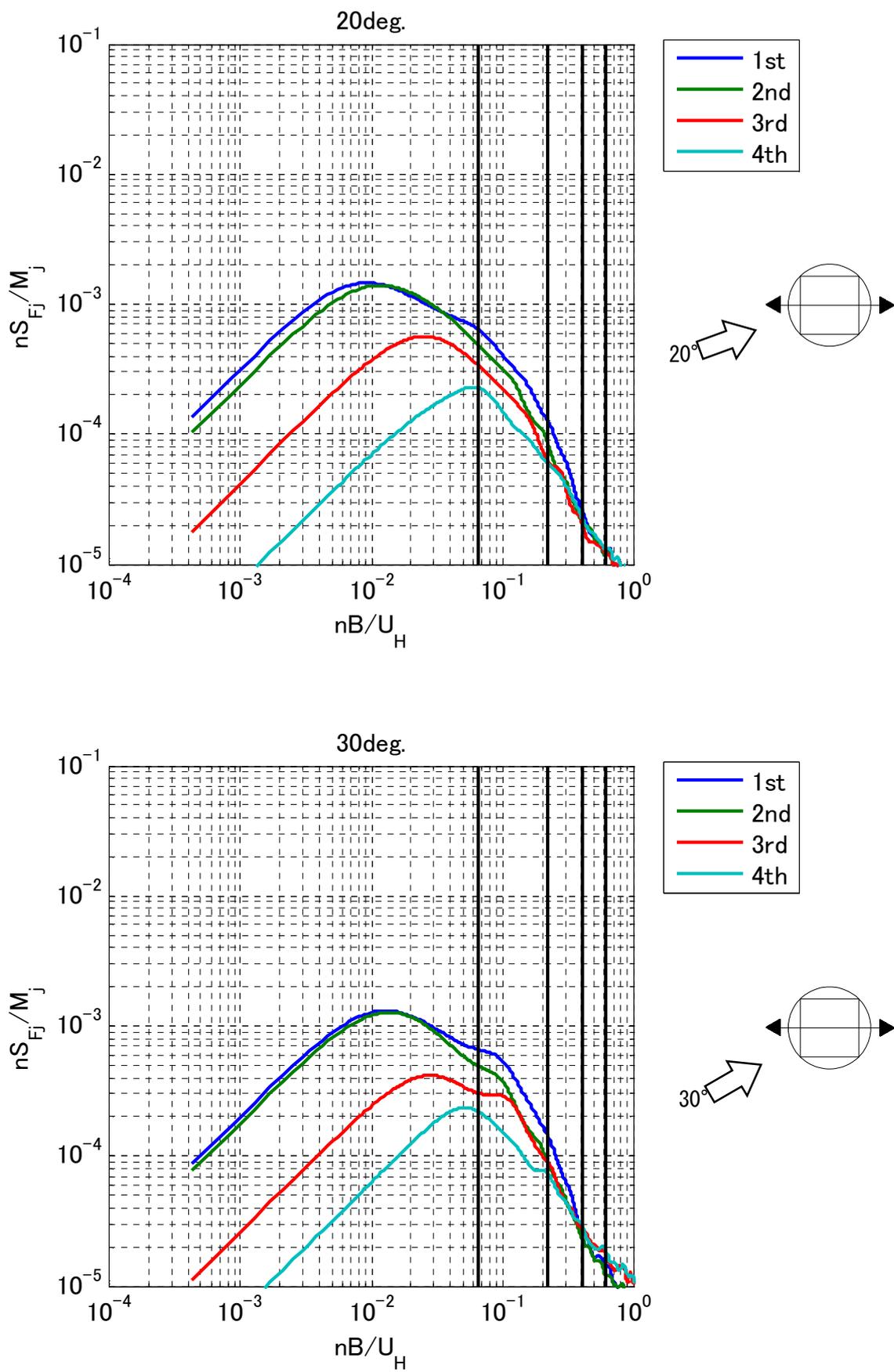


図 7.5.7.8(2) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical180, 風向 20°, 30°)

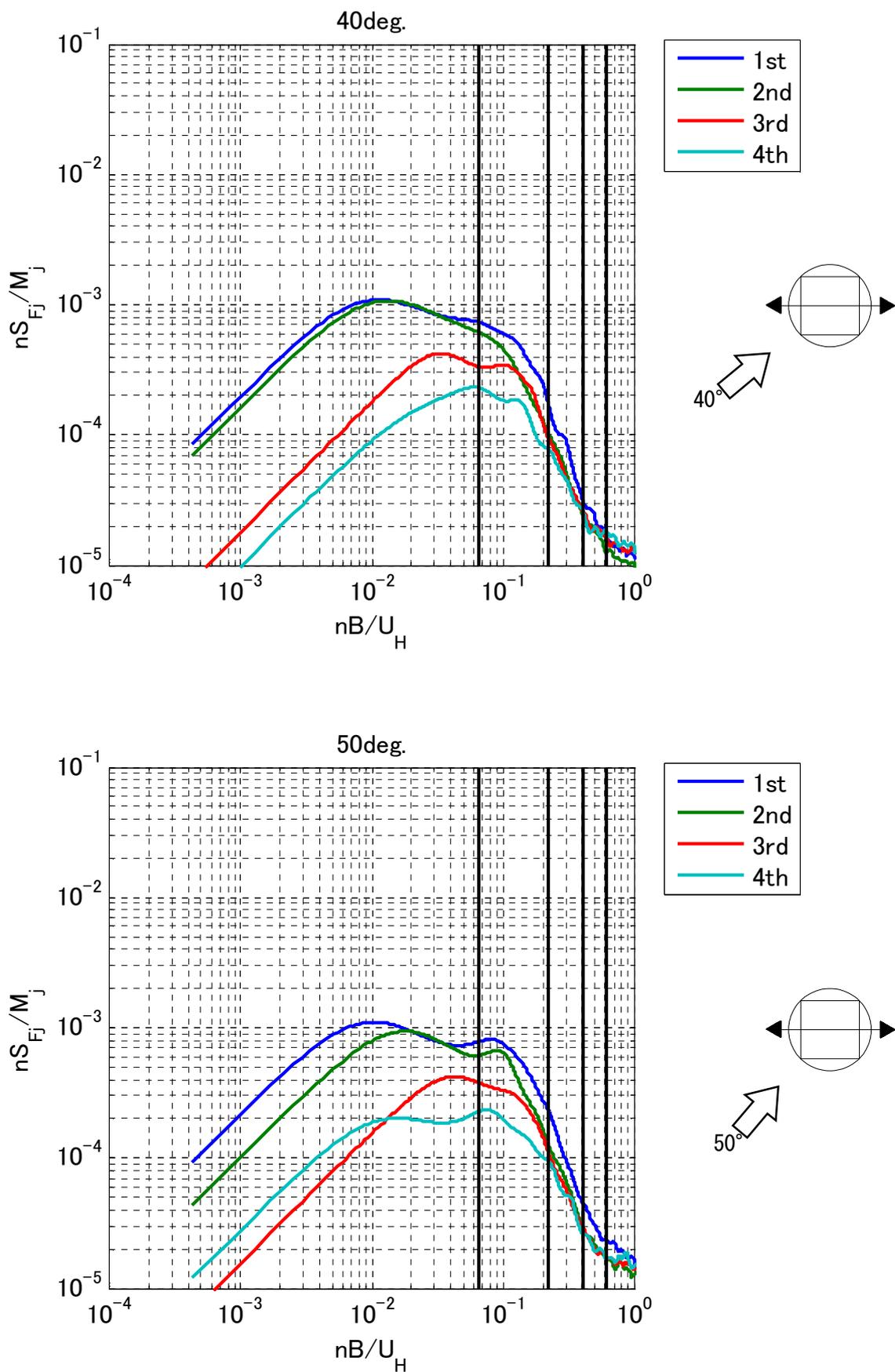


図 7.5.7.8(3) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical180, 風向 40°, 50°)

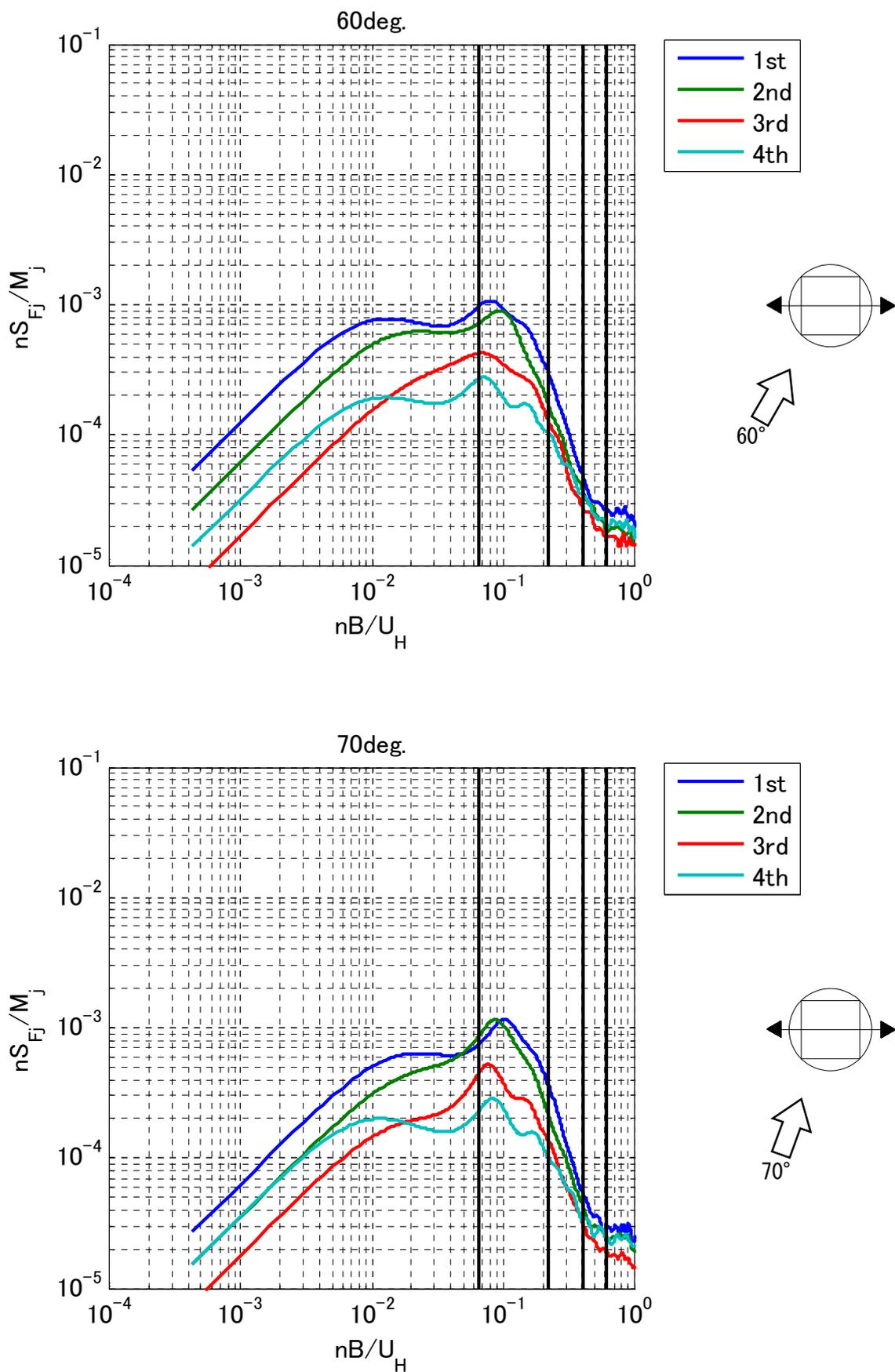


図 7.5.7.8(4) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical180, 風向 60°, 70°)

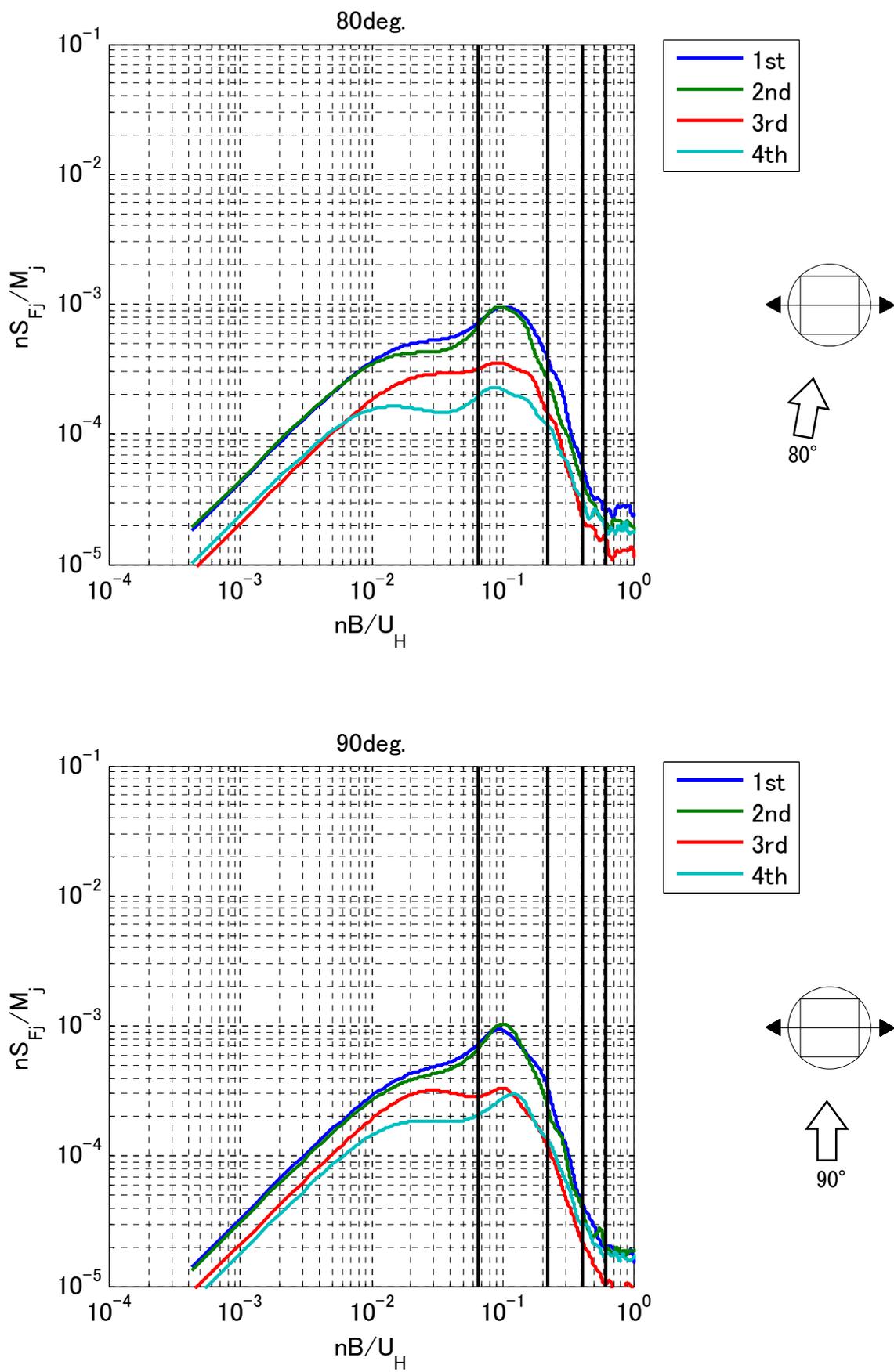


図 7.5.7.8(5) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Helical180, 風向 80°, 90°)

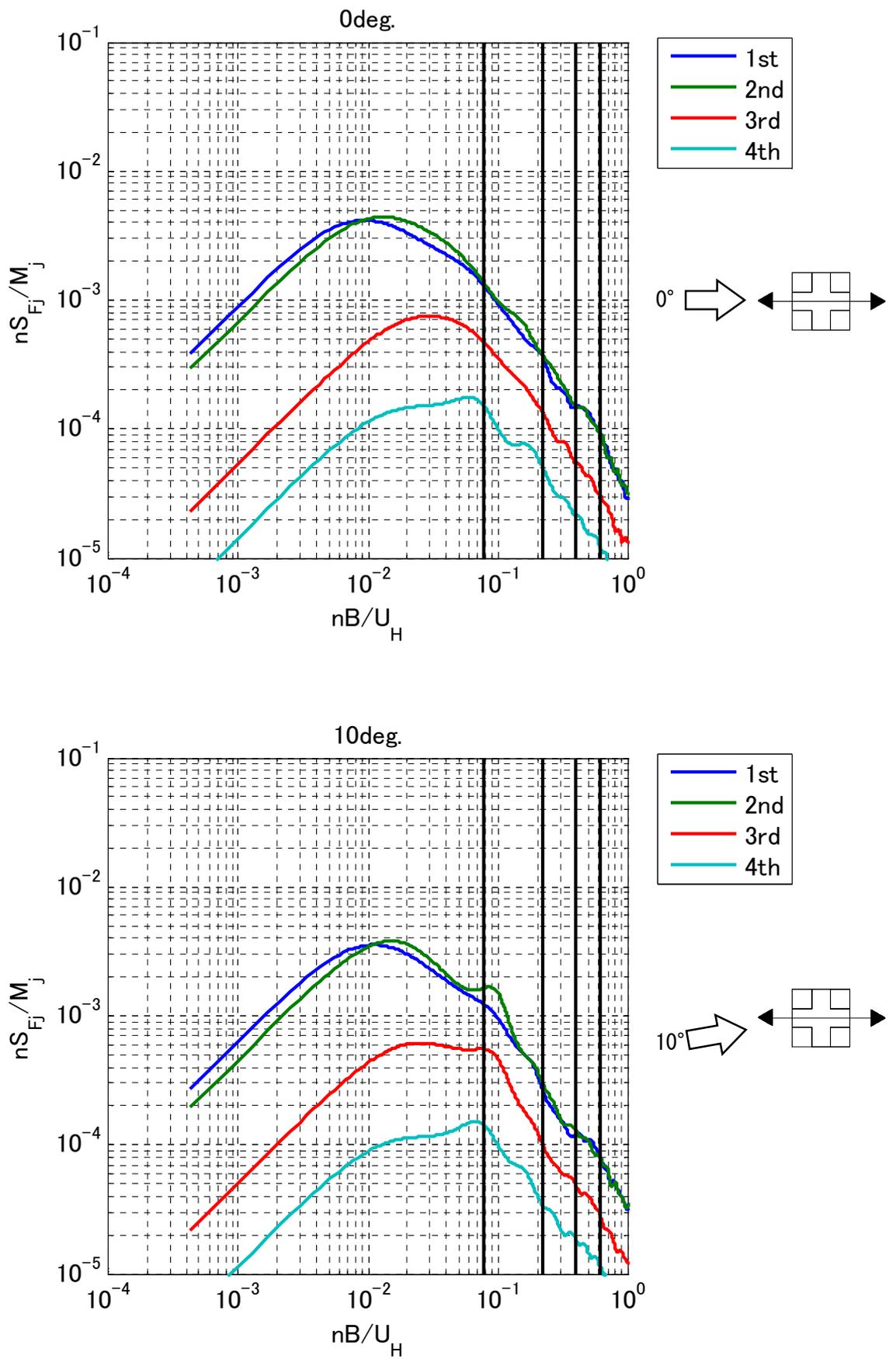


図 7.5.7.9(1) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Void, 風向 0° , 10°)

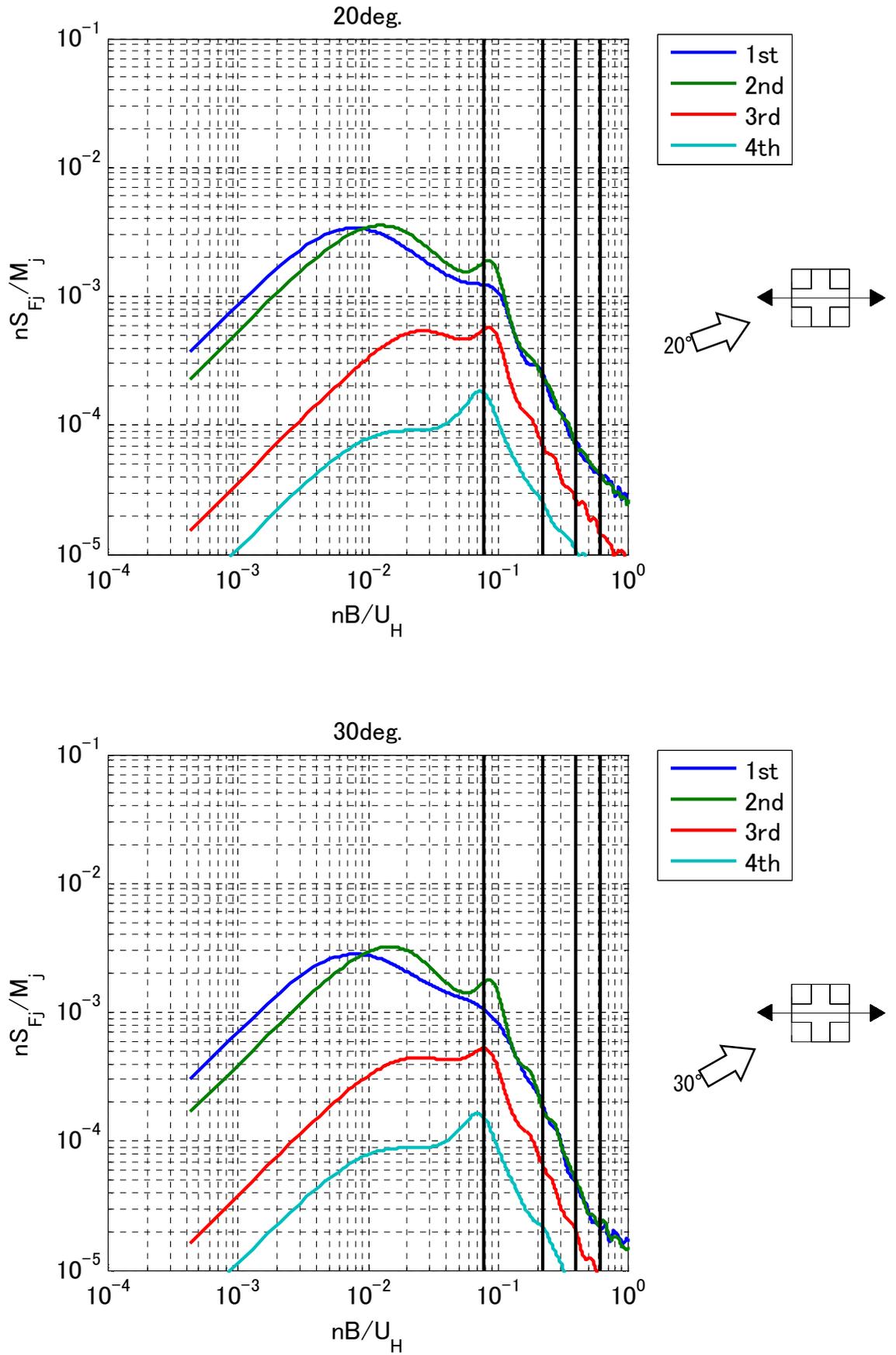


図 7.5.7.9(2) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Void, 風向 20°, 30°)

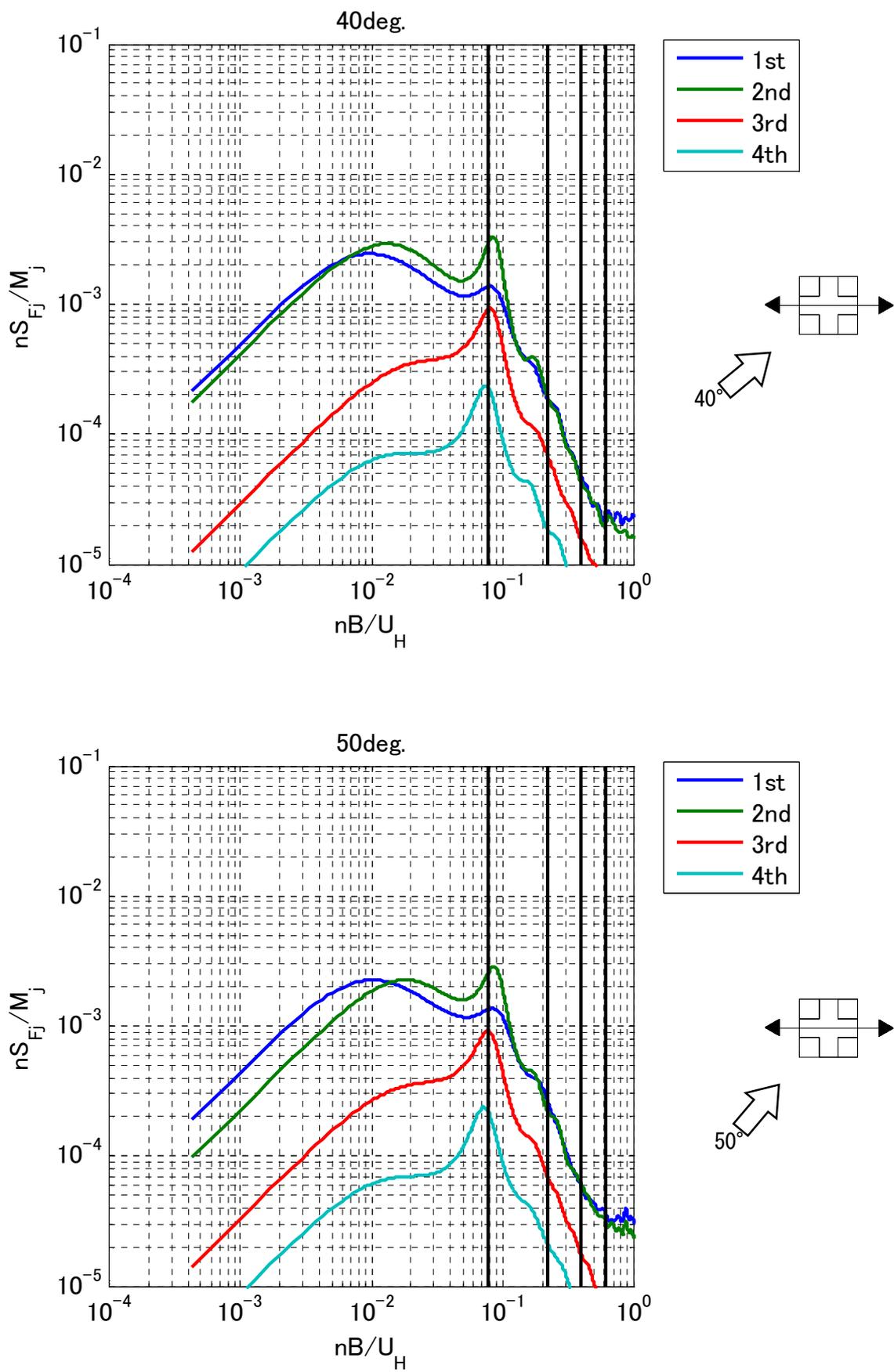


図 7.5.7.9(3) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Void, 風向 40°, 50°)

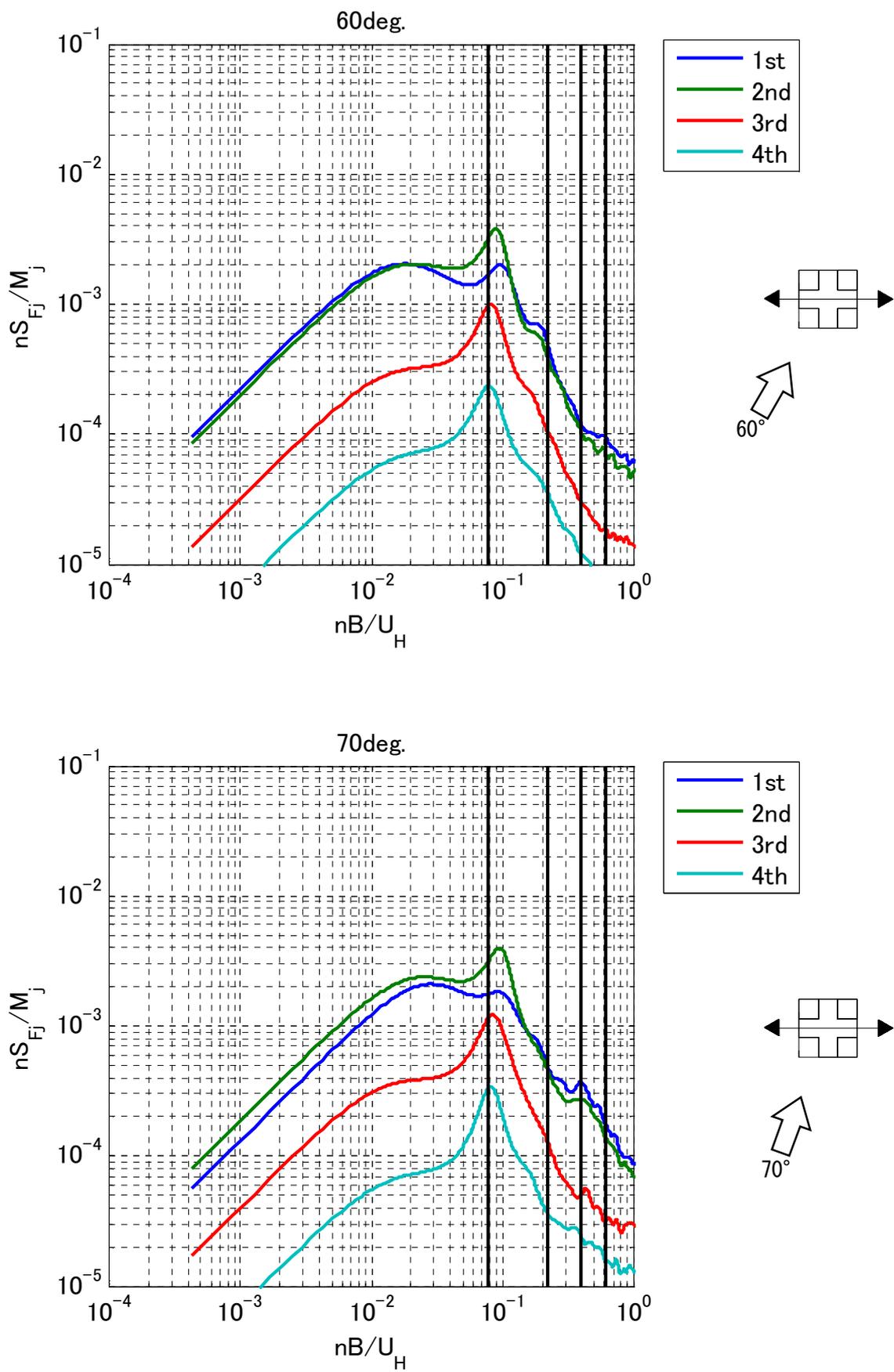


図 7.5.7.9(4) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Void, 風向 60°, 70°)

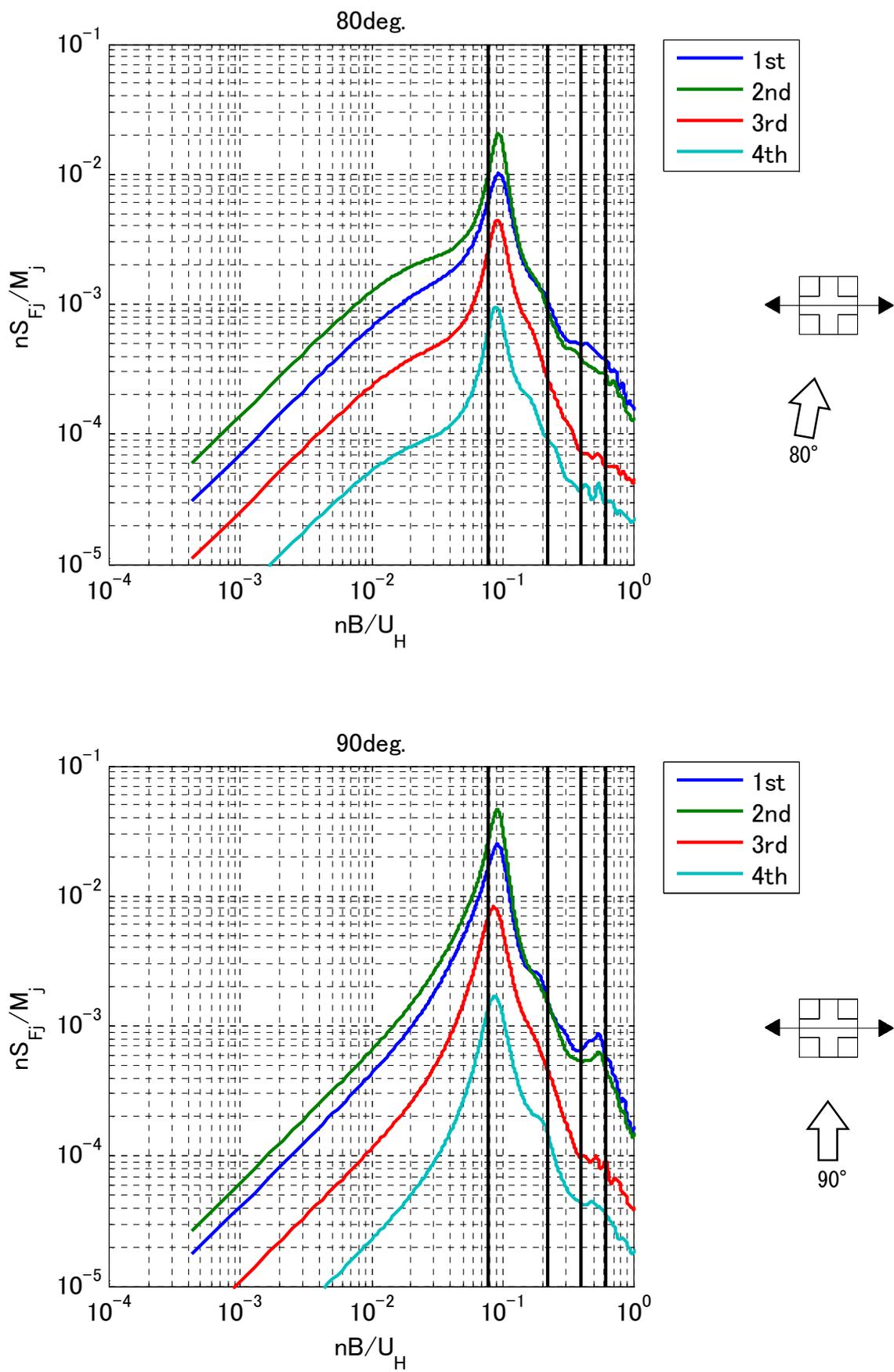


図 7.5.7.9(5) 並進 1~4 次的一般化風力のパワースペクトル (Void, 風向 80°, 90°)

7.5.8 風応答解析結果（極稀風速時）

前節に示した一般化風外力を用い、応答解析を実施した。1～4 次の減衰定数は地震応答解析と同じ2%とした。解析法は、各次の応答をスペクトルモーダル法により算出し、SRSS法により並進4次まで考慮した。各次のピークファクタは(7.5.8.1)式により評価した。

$$g_j = \sqrt{2 \ln(600n_j) + 1.2} \text{ ----- (7.5.8.1)}$$

ここに、

g_j : j 次のピークファクタ

n_j : j 次の固有振動数

各階のせん断力は、平均成分は上層階の平均風外力を足し合わせ、変動成分は各質点に作用する加速度から外力を算出し、上層階から足し合わせた。ただし、ここでの加速度は長周期成分も考慮するため、1次成分の場合のみ、変動変位に ω^2 を乗じて算出した。また、平均変位は、平均風外力を積分して算出される平均転倒モーメント、応答解析より得られる変動転倒モーメント、変動変位を基に、(7.5.8.2)式により算出した。

$$\bar{y} = \sqrt{\sum_j (g_j \sigma_{y,j})^2} \times \frac{\bar{M}}{\sqrt{\sum_j (g_j \sigma_{M,j})^2}} \text{ ----- (7.5.8.1)}$$

ここに、

\bar{y} : 平均変位

$\sigma_{y,j}$: j 次の変動変位の標準偏差

\bar{M} : 平均転倒モーメント

$\sigma_{M,j}$: j 次の変動転倒モーメントの標準偏差

以上より算出される加速度、水平変位、層せん断力、層間変形角、層せん断力係数および転倒モーメントを、実験モデル毎に図7.5.8.1～図7.5.8.9に示す。各図の値は、全風向中、極稀風速($U_H=71\text{m/s}$)以下での最大値である。図中には、7.5.6節に示された地震応答解析結果も併せて示している。実験モデルにより、高さ方向の質量分布、固有振動数が異なり、風応答と地震応答を一概に比較することは難しいが、全体的な傾向として、加速度、せん断力は地震応答が大きく、変形、転倒モーメントは風応答が大きいことがわかる。これは、風応答は1次モードが支配的であり、高次モードの影響が小さいことに起因しているためと考えられる。

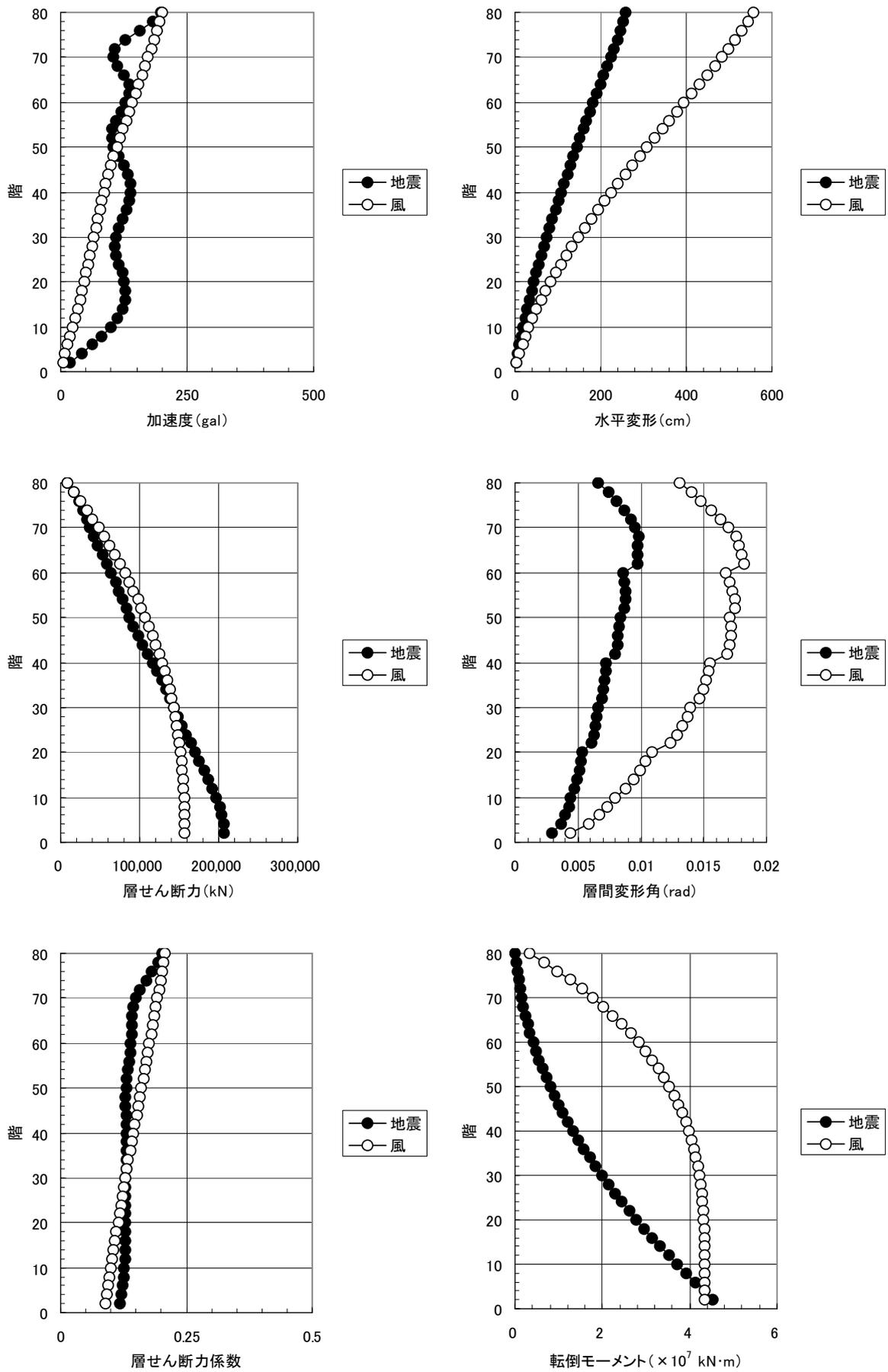


図 7.5.8.1 風応答と地震応答の比較 (Square)

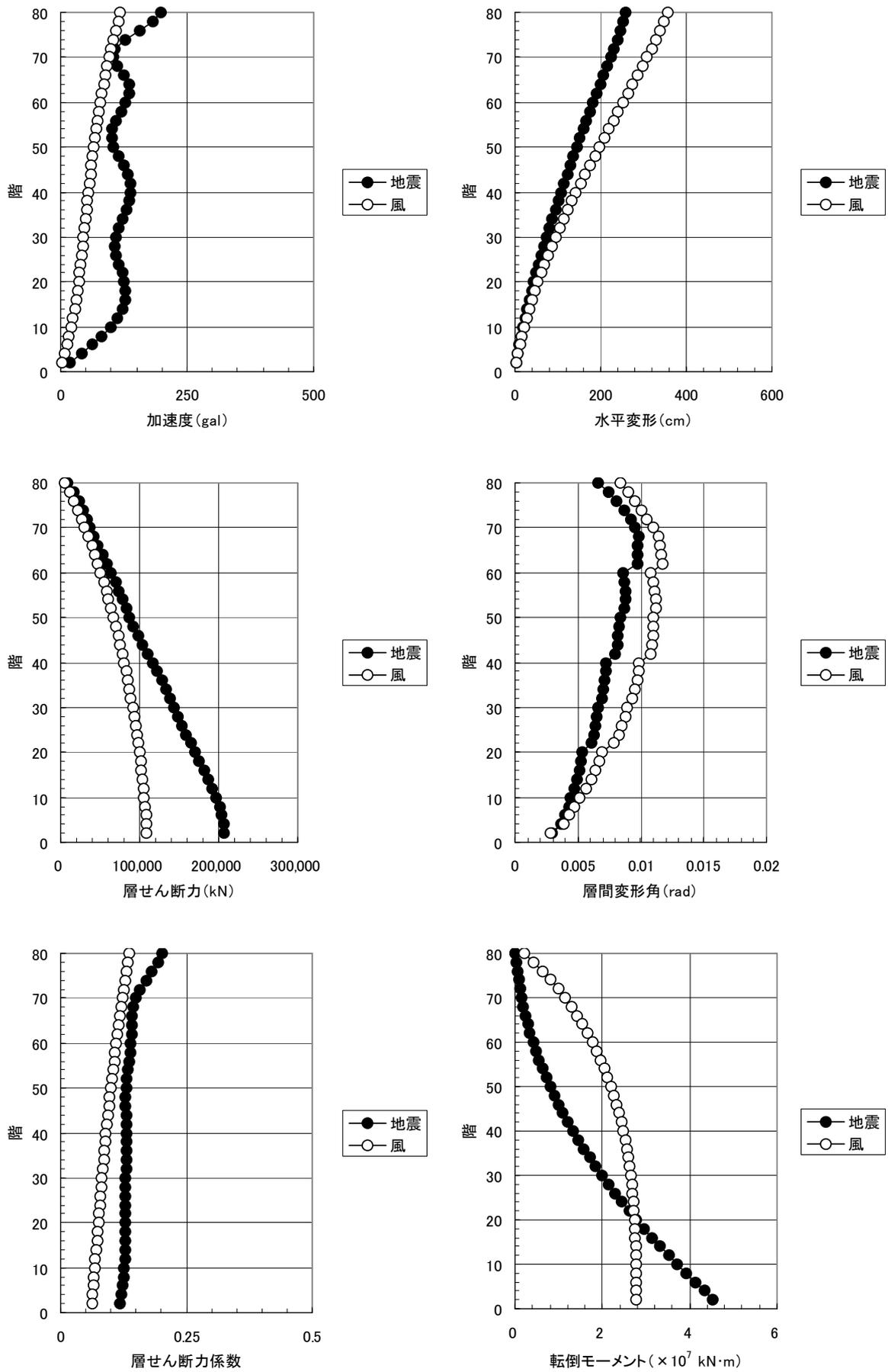


図 7.5.8.2 風応答と地震応答の比較 (CornerCut)

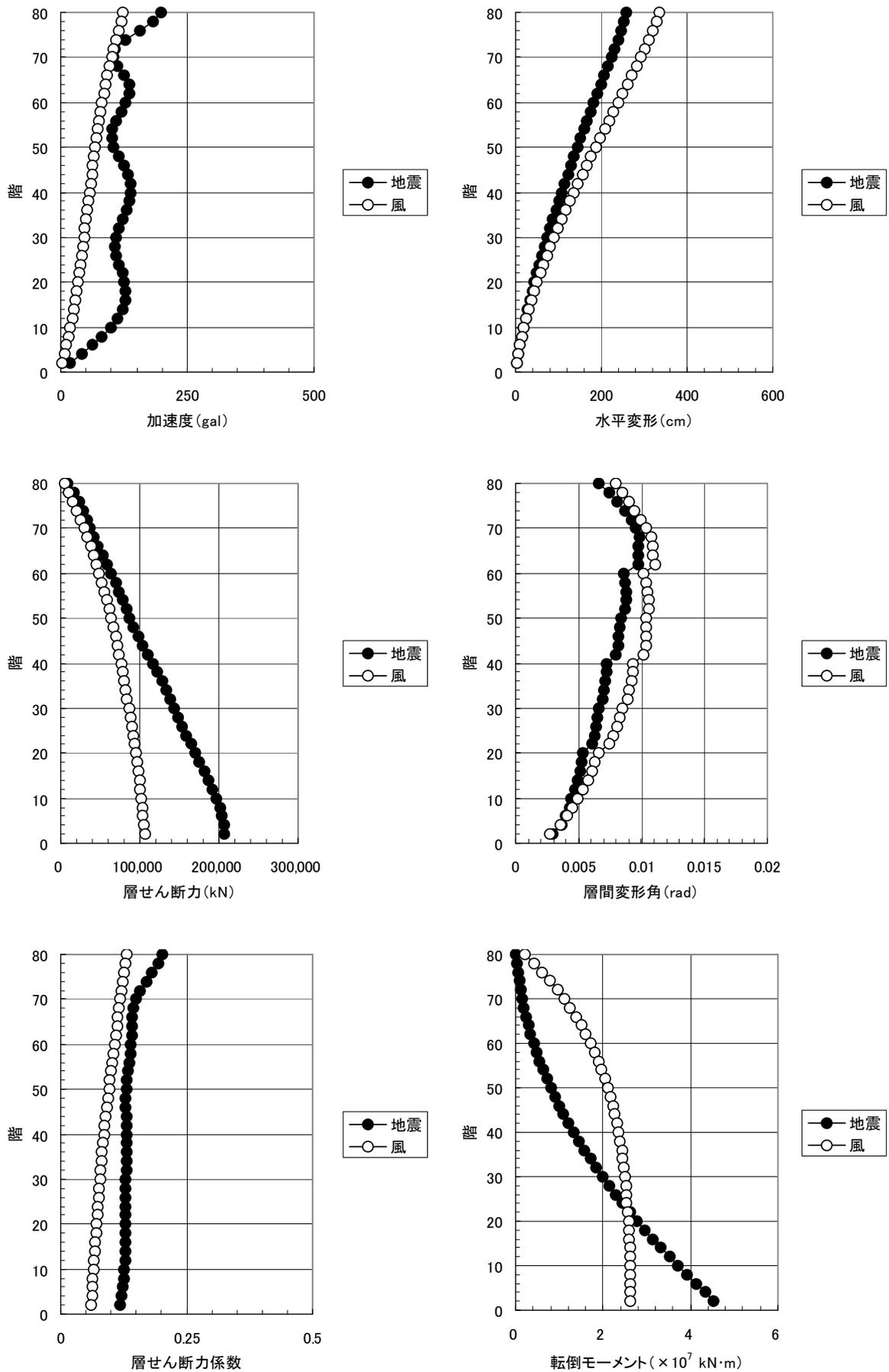


図 7.5.8.3 風応答と地震応答の比較 (Chamfered)

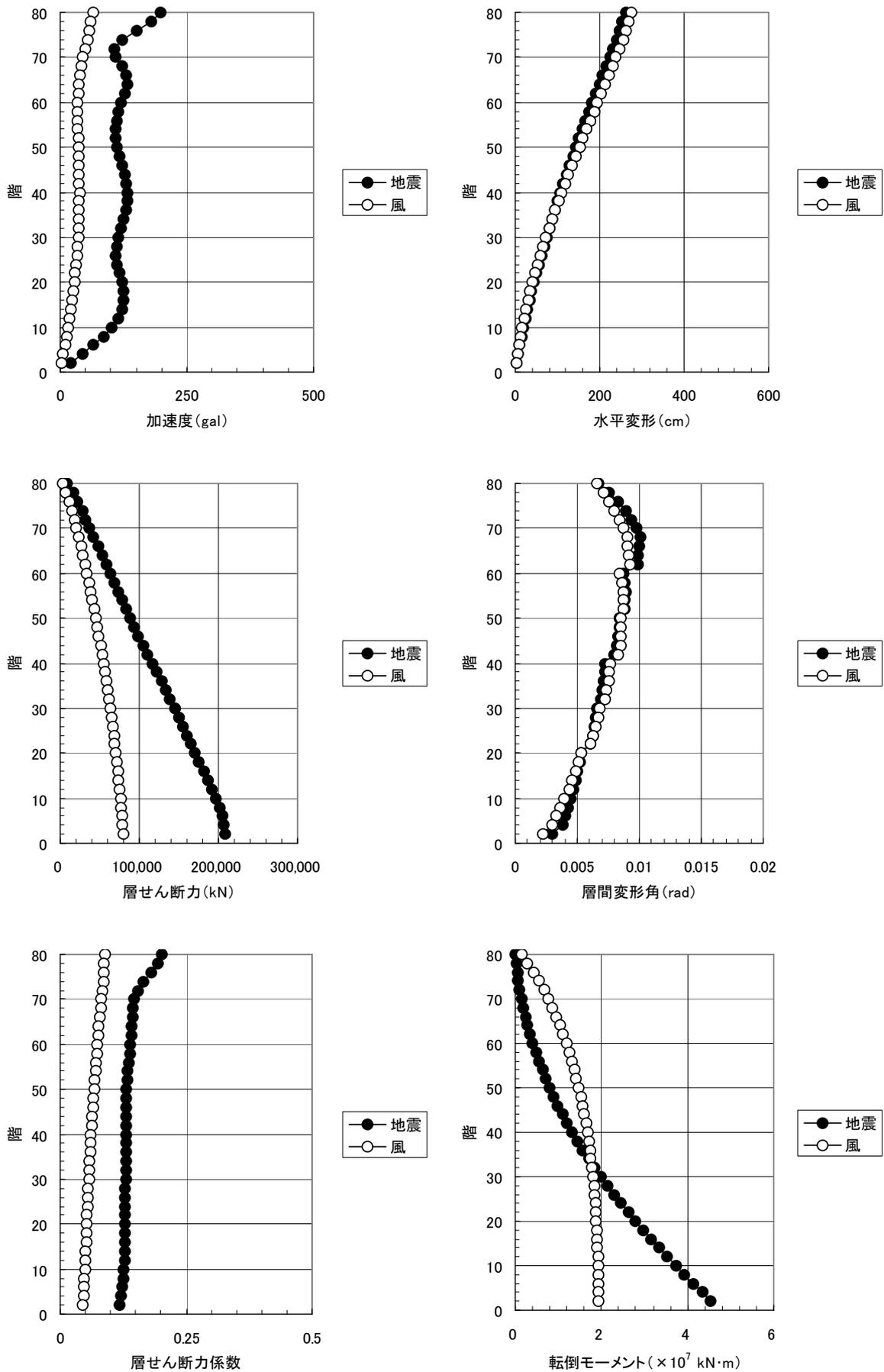


図 7.5.8.4 風応答と地震応答の比較 (Circle)

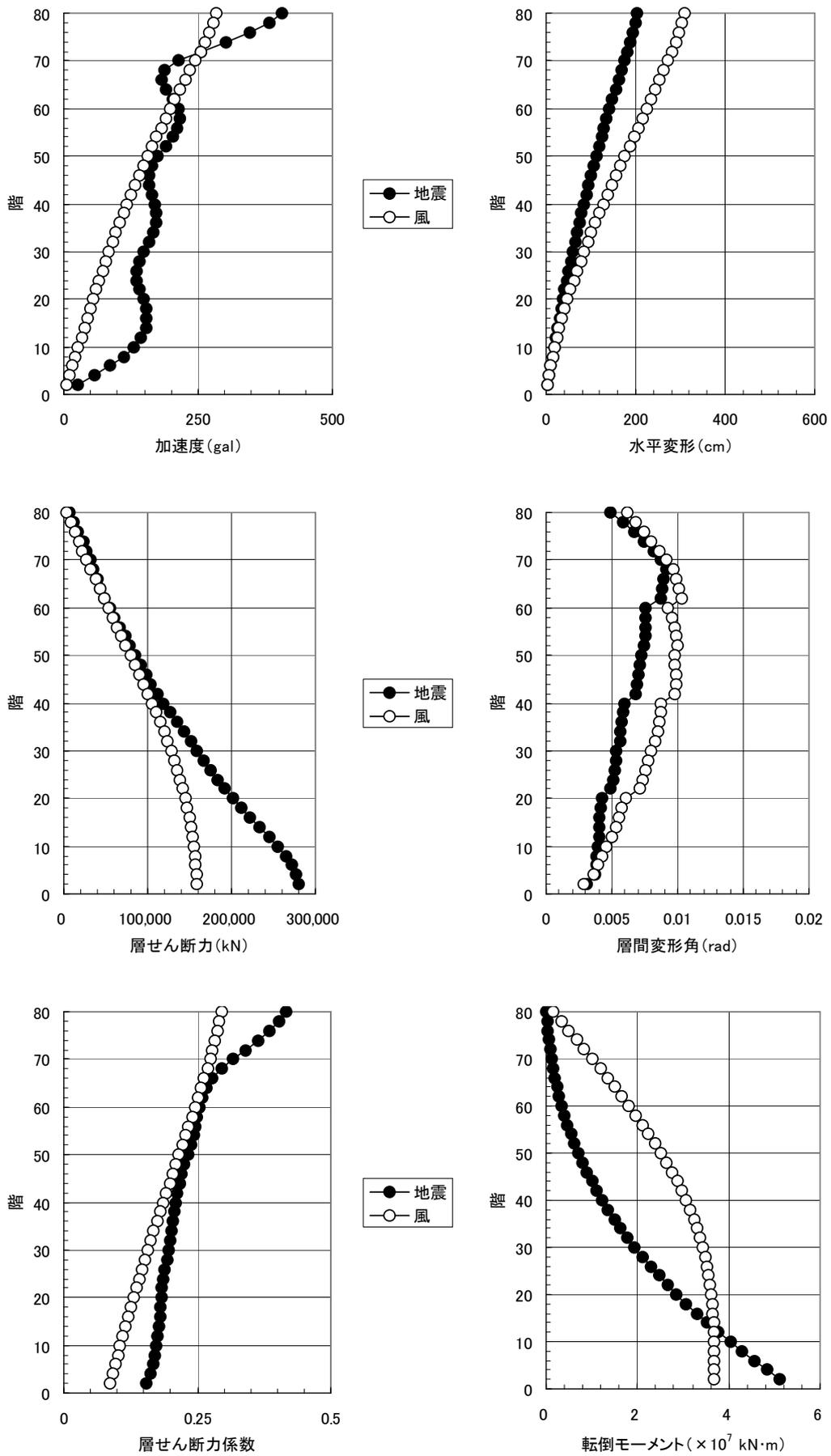


図 7.5.8.5 風応答と地震応答の比較 (Tapered)

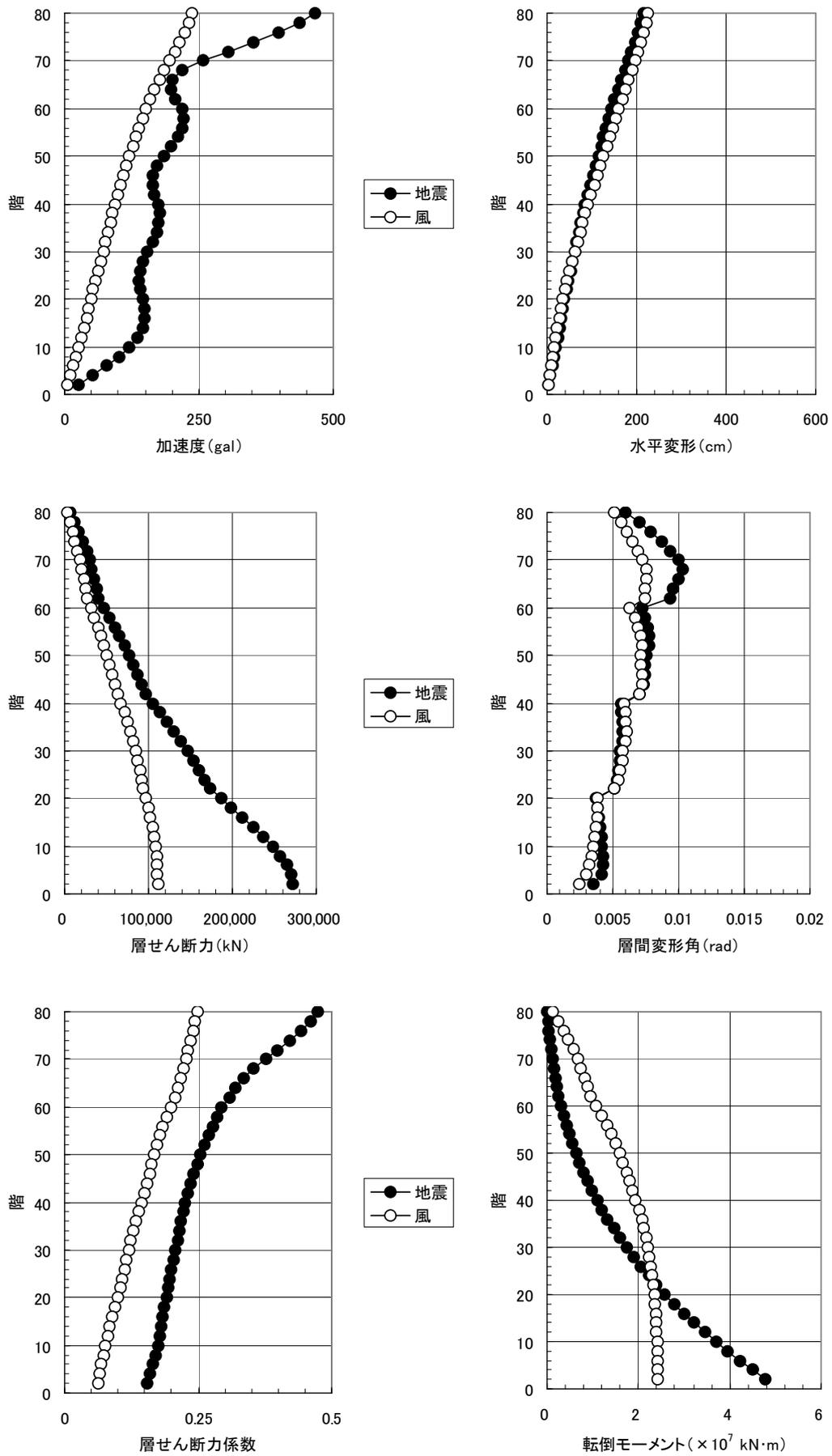


図 7.5.8.6 風応答と地震応答の比較 (Setback)

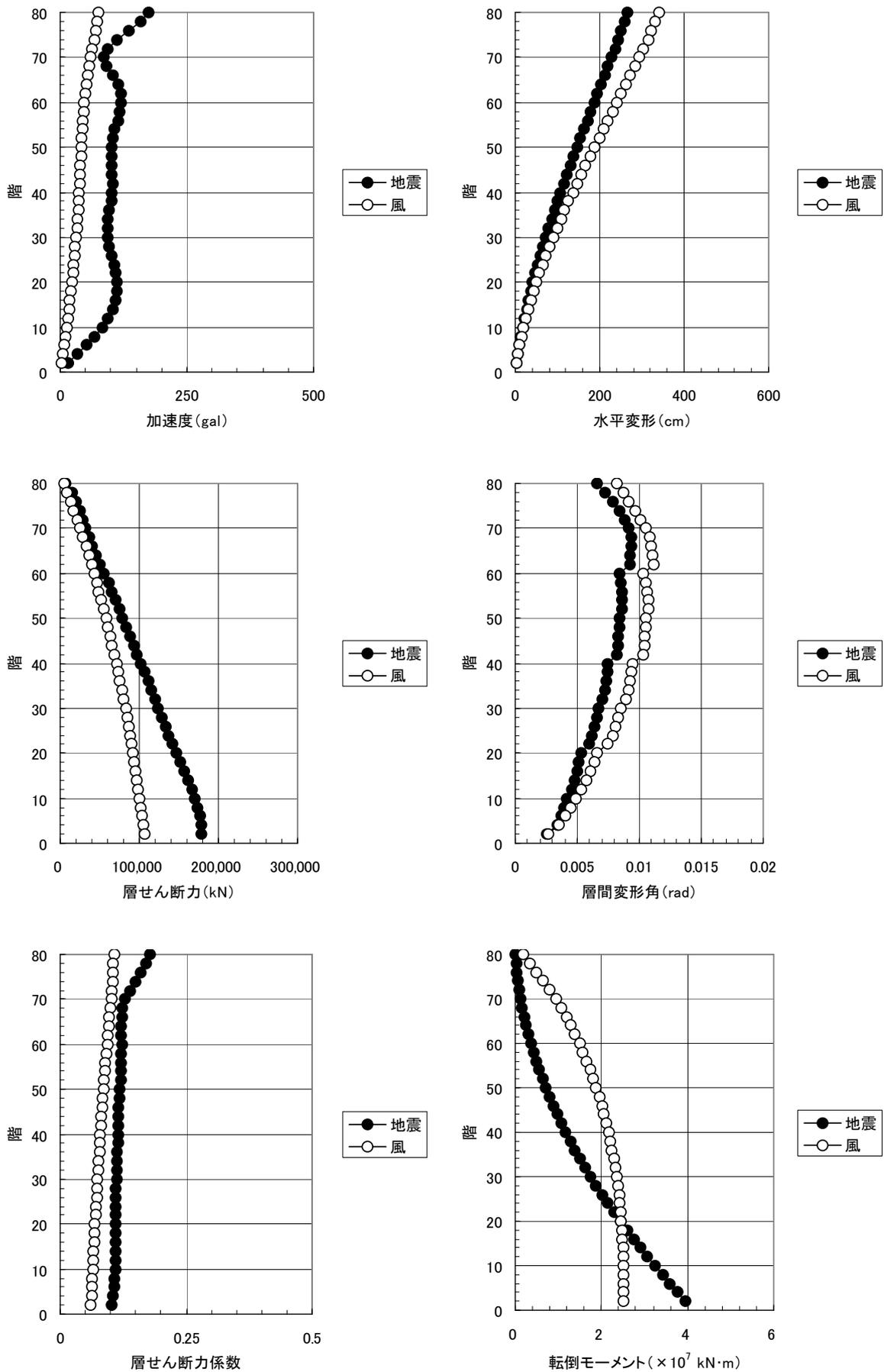


図 7.5.8.7 風応答と地震応答の比較 (Helical90)

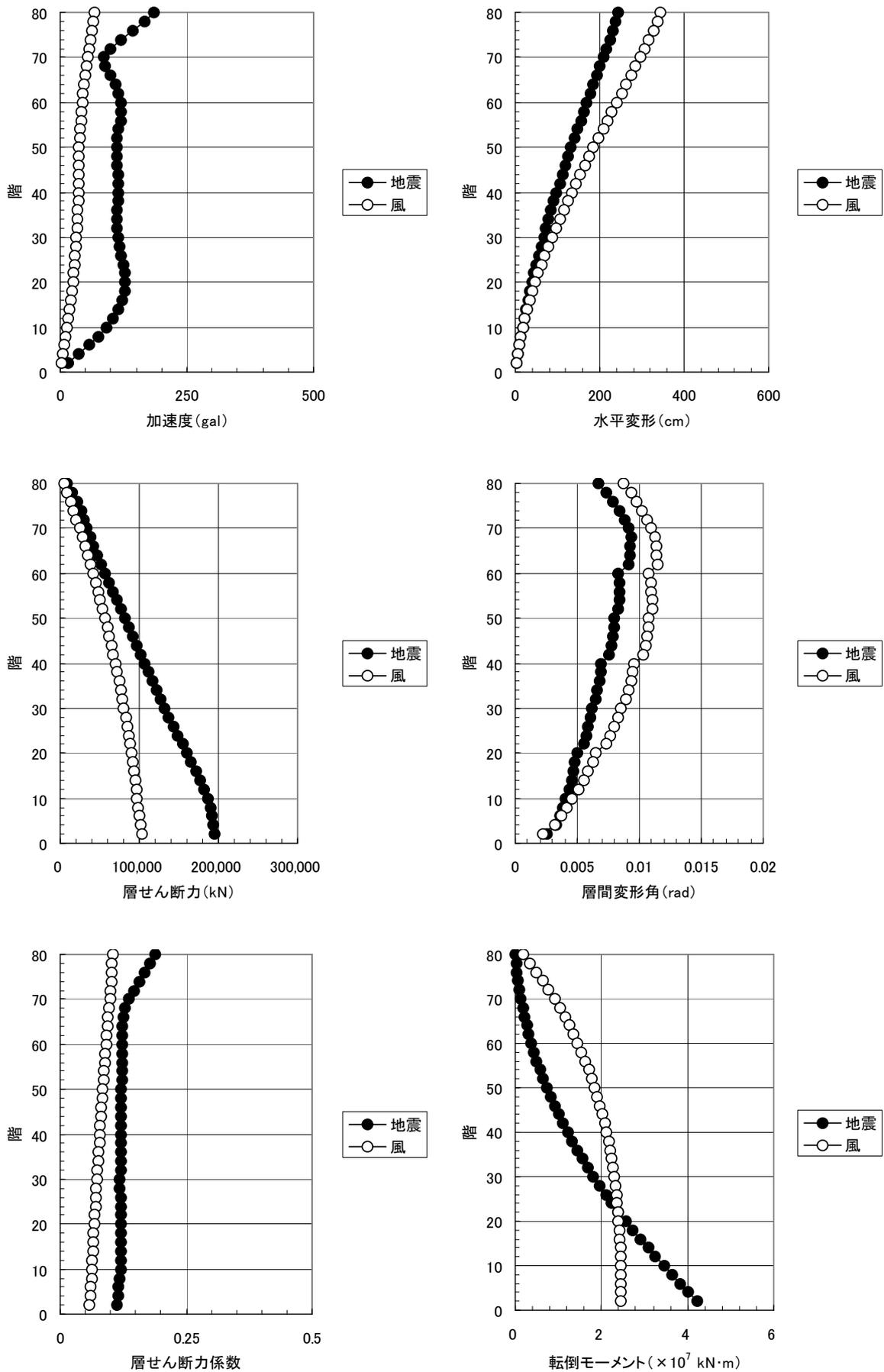


図 7.5.8.8 風応答と地震応答の比較 (Helical180)

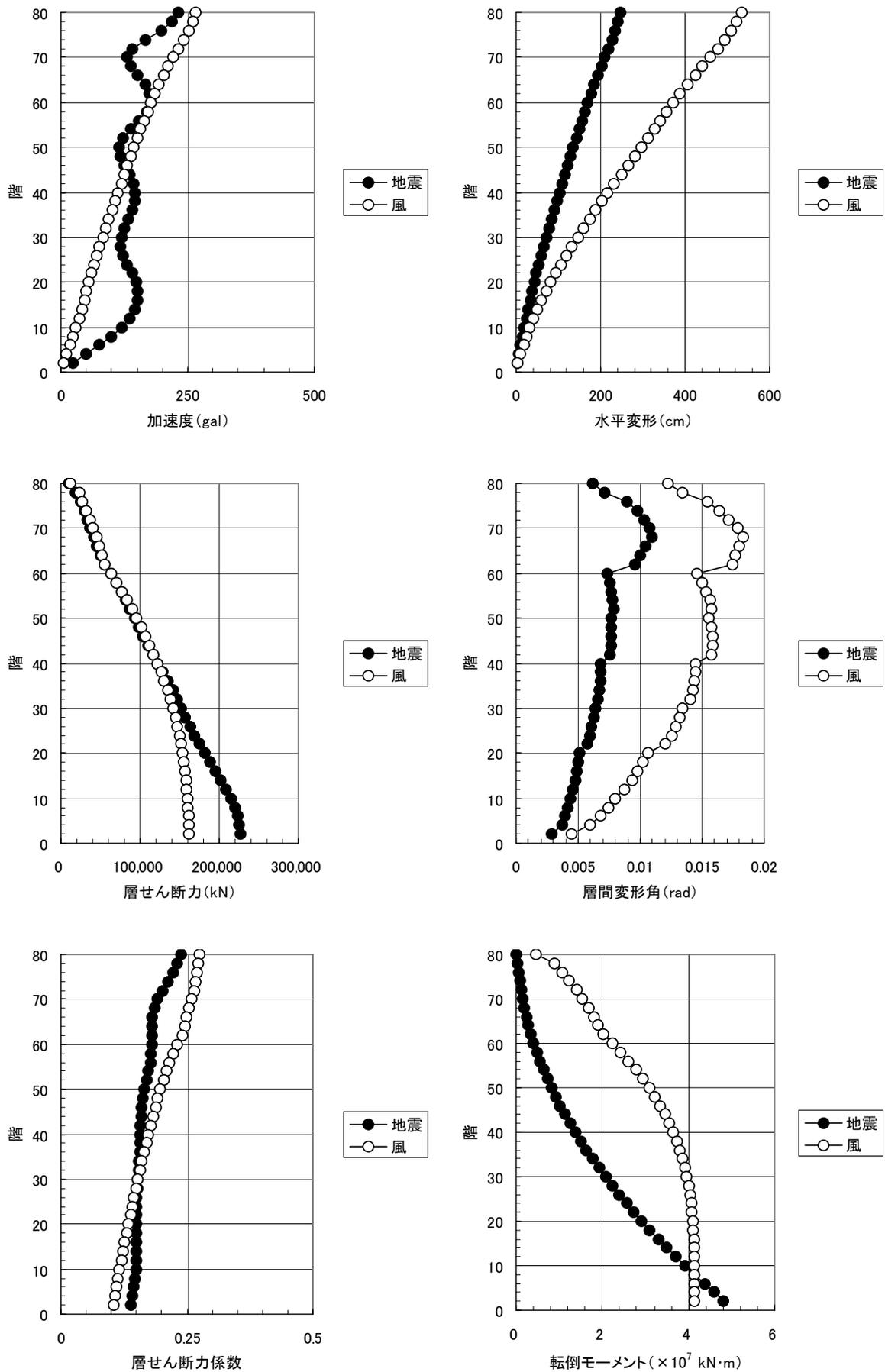


図 7.5.8.9 風応答と地震応答の比較 (Void)

7.5.9 結果の評価と考察

○固有振動解析について

各種建物モデルについて固有振動解析を行った。その結果を以下にまとめる。

・10.5秒の一次固有周期を有する基本シェルモデルを基に作成した各種建物モデルの一次固有周期は以下の通り。

Circle : 11.1 秒、Tapered : 6.7 秒、Setback : 6.4 秒、Helical90 : 10.7 秒、Helical180 : 10.9 秒、Void : 9.1 秒

・刺激係数に関しては Square、Circle、Helical90、Helical180 の各モデルには大きな違いはないが、Tapered 及び Setback モデルは各次の刺激係数が大きいことが特徴である。Void モデルはその中間的な値となっている。

○地震応答解析について

スペクトルモーダルにより、各種建物モデルについて告示に示されたスペクトルに対する地震応答解析を行った。その結果を以下にまとめる。

・最大加速度分布等、地震時の挙動は Square、Circle、Helical90、Helical180 の各モデルについてはほぼ同じである。Void モデルも多少異なるものの、ほぼ同様の応答を示す。

・Tapered モデル、Setback モデルについては、固有周期と刺激係数の違いにより、上層部でむち振り様の加速度、変形等の増大が見られ、せん断力分布も他のモデルとは異なる。

・最大層間変形角は、分布は多少異なるものの、全ての建物モデルについて概ね 1/100 である。

○地震時の構造要素の応力について

代表点位置の水平変形を揃えて、地震時の構造要素の負担する軸方向力及びせん断力を比較した。軸方向力は外殻フレームの柱軸断面積、せん断力は外殻フレームの梁及び柱の曲げ断面性能に対応する指標と考えられる。その結果を以下にまとめる。

・軸方向力の総量については、Square、Helical90、Helical180、Void モデルはほぼ等しい。Circle モデルは多少小さく、Tapered 及び Setback モデルは概ね全層にわたり 2 割以上大きい。

・せん断力の総量については、Square、Helical90、Helical180、Void モデルはほぼ等しく、Circle モデルは多少小さい。Tapered 及び Setback モデルは特に下層で大きく、他と比較すると 5 割程度大きい。

ここに、Tapered モデルと Setback モデルは、実際には高さ方向の剛性のバランス等を変更した設計になると想定されるため、今回検討に用いた建物モデルを用いた場合の結果の評価には注意が必要である。

○風外力、風応答解析について

図 7.5.9.1 は、最大加速度、最大水平変位、最大層せん断力、最大層間変形角、最大せん断力係数および最大転倒モーメントに着目して、全 9 モデルを応答を比較したものである。図の縦軸は、Square モデルの応答に対する比率である。図より、全ての項目で Square モデルよりも風応答が小さいのは、Cornercut, Chamfered, Circle, Helical90, Helical180 モデルであり、Tapered, Setback, Void モデルでは、最大加速度、最大層せん断力係数が Square モデルよりも大きいことがわかる。なお、前節で示した全 9 モデルの加速度、水平変位、層せん断力、層間変形角、層せん断力係数および転倒モーメントの高さ方向分布を比較した結果を図 7.5.9.2～図 7.5.9.7 に示す。

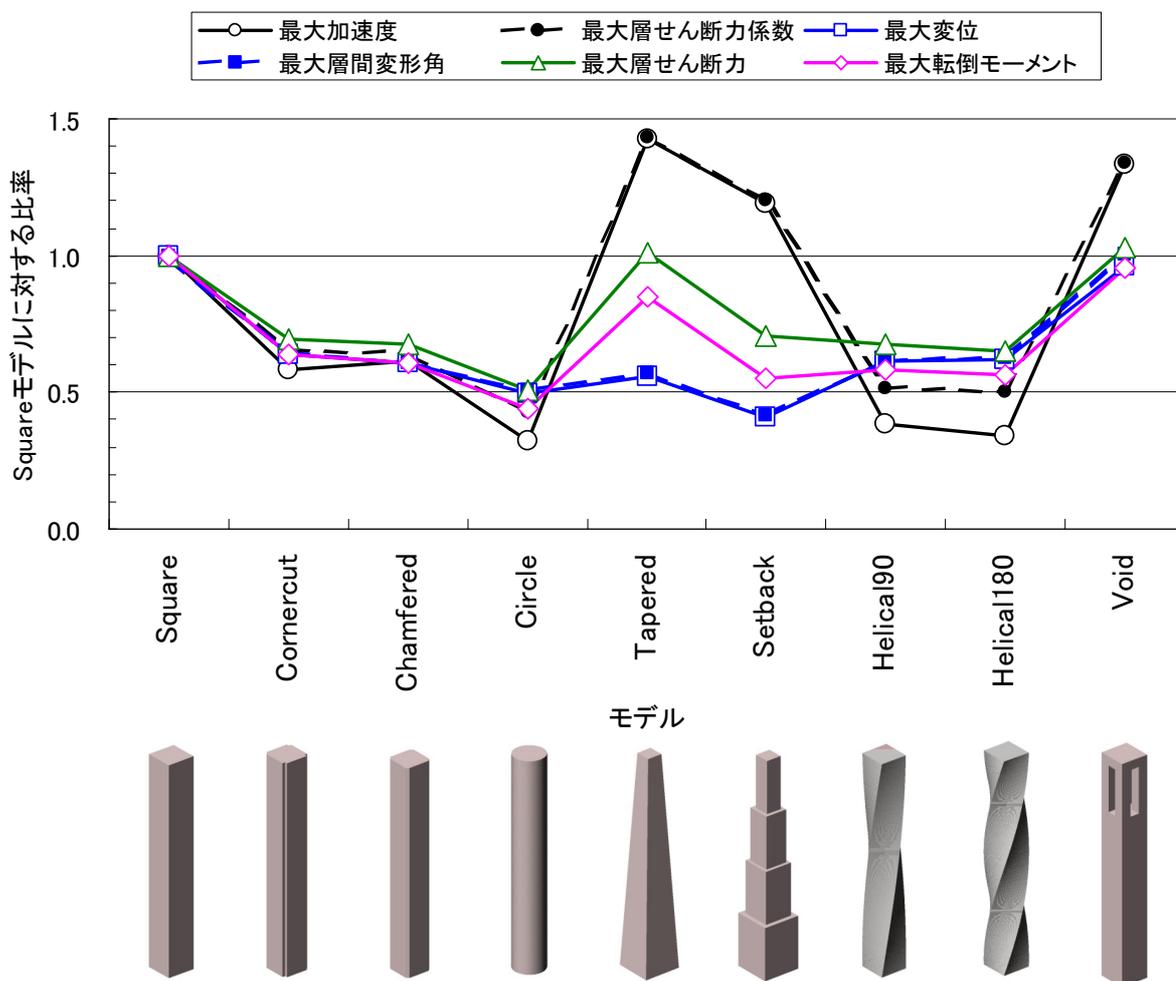


図 7.5.9.1 風応答比較

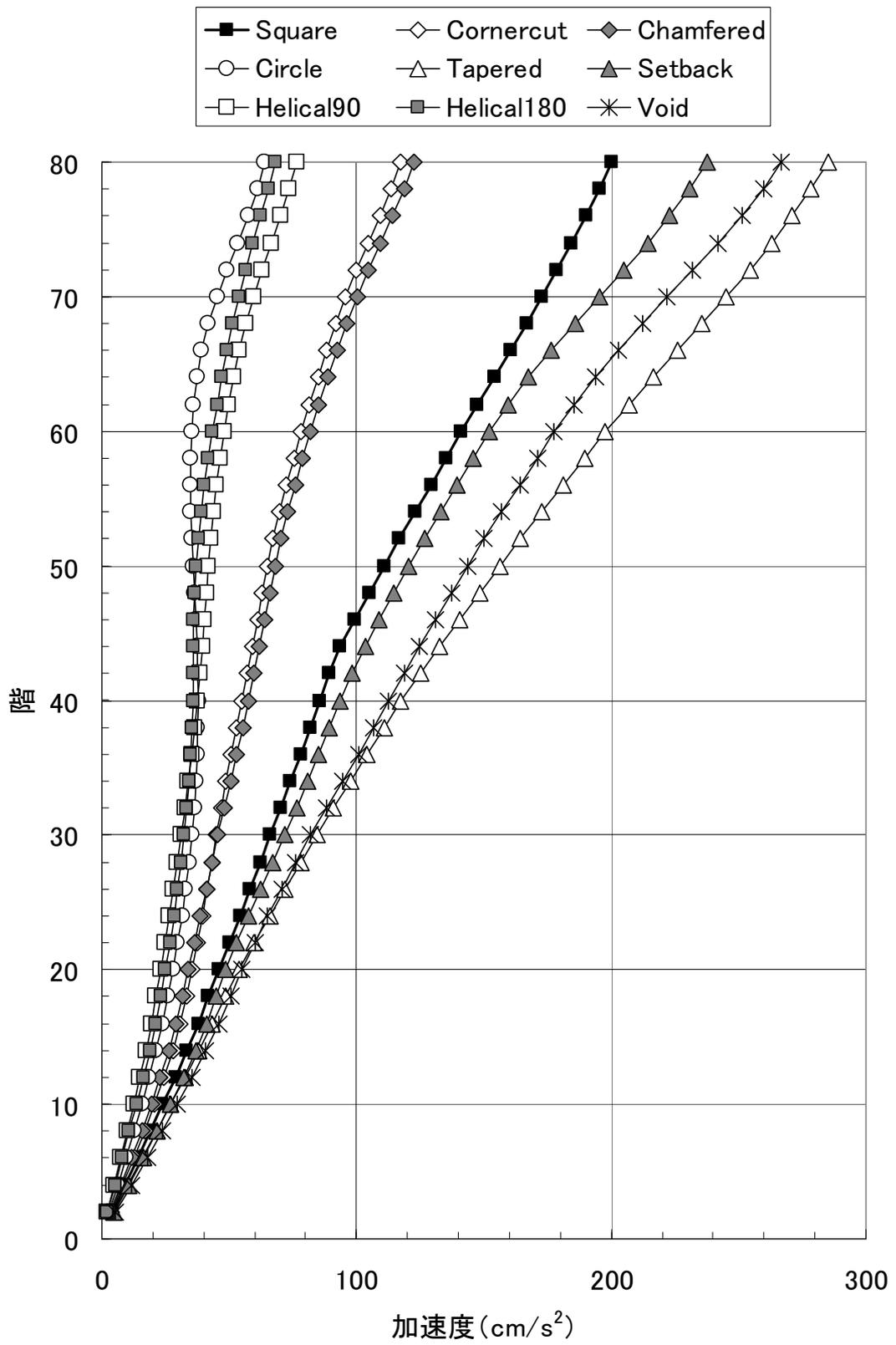


図 7.5.9.2 全 9 モデルの風応答比較 (加速度)

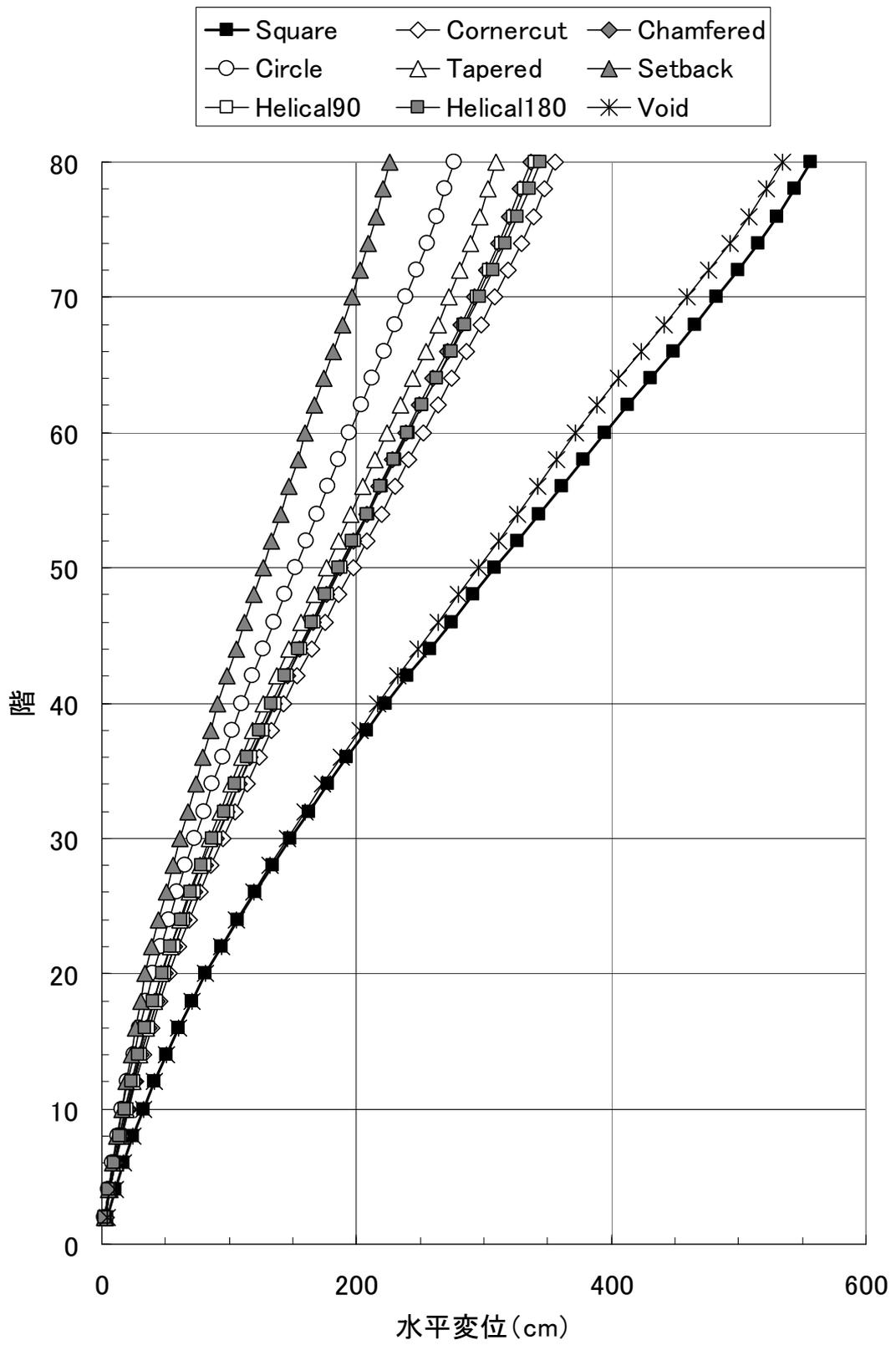


図 7.5.9.3 全 9 モデルの風応答比較 (水平変形)

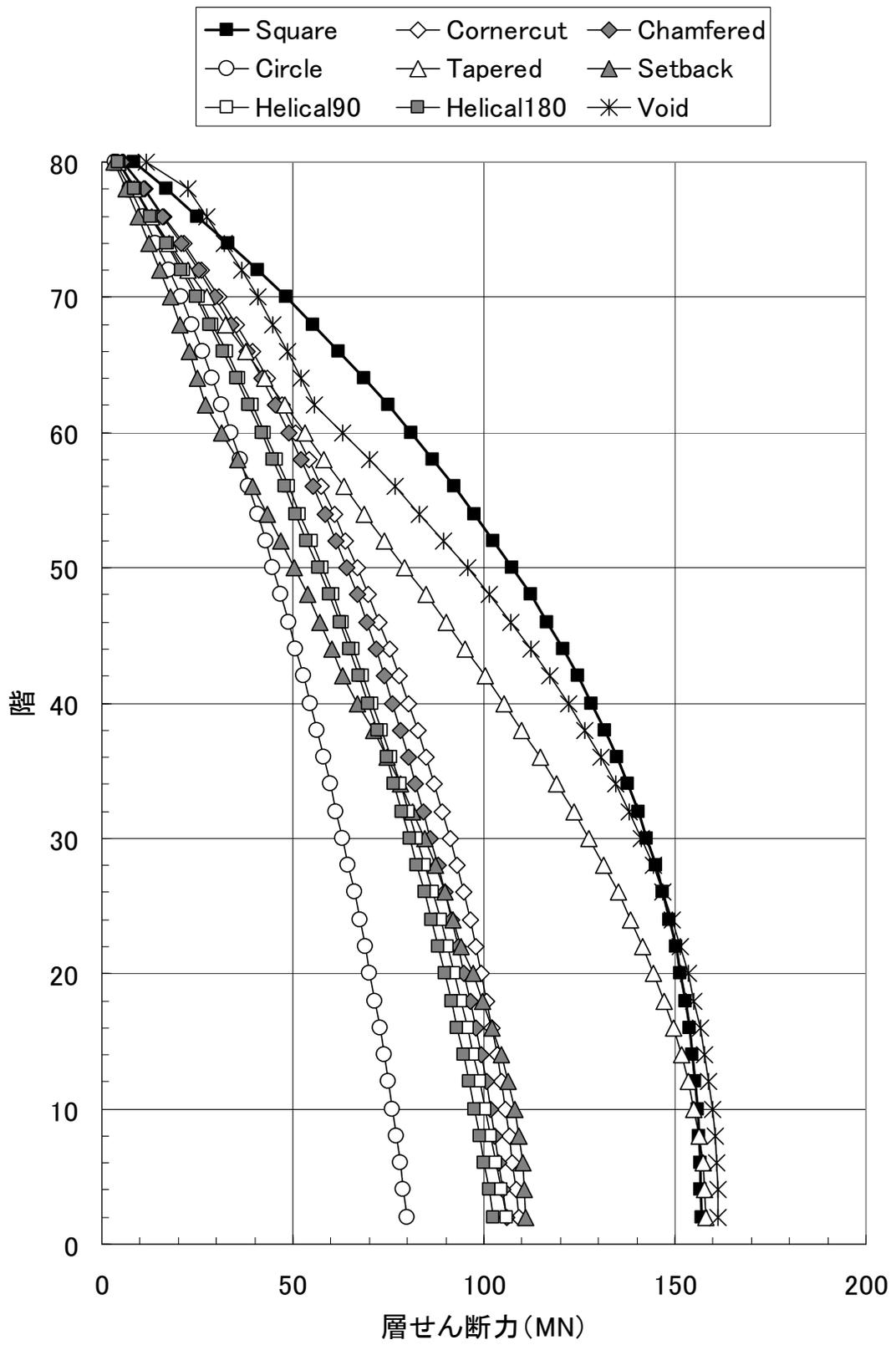


図 7.5.9.4 全 9 モデルの風応答比較 (層せん断力)

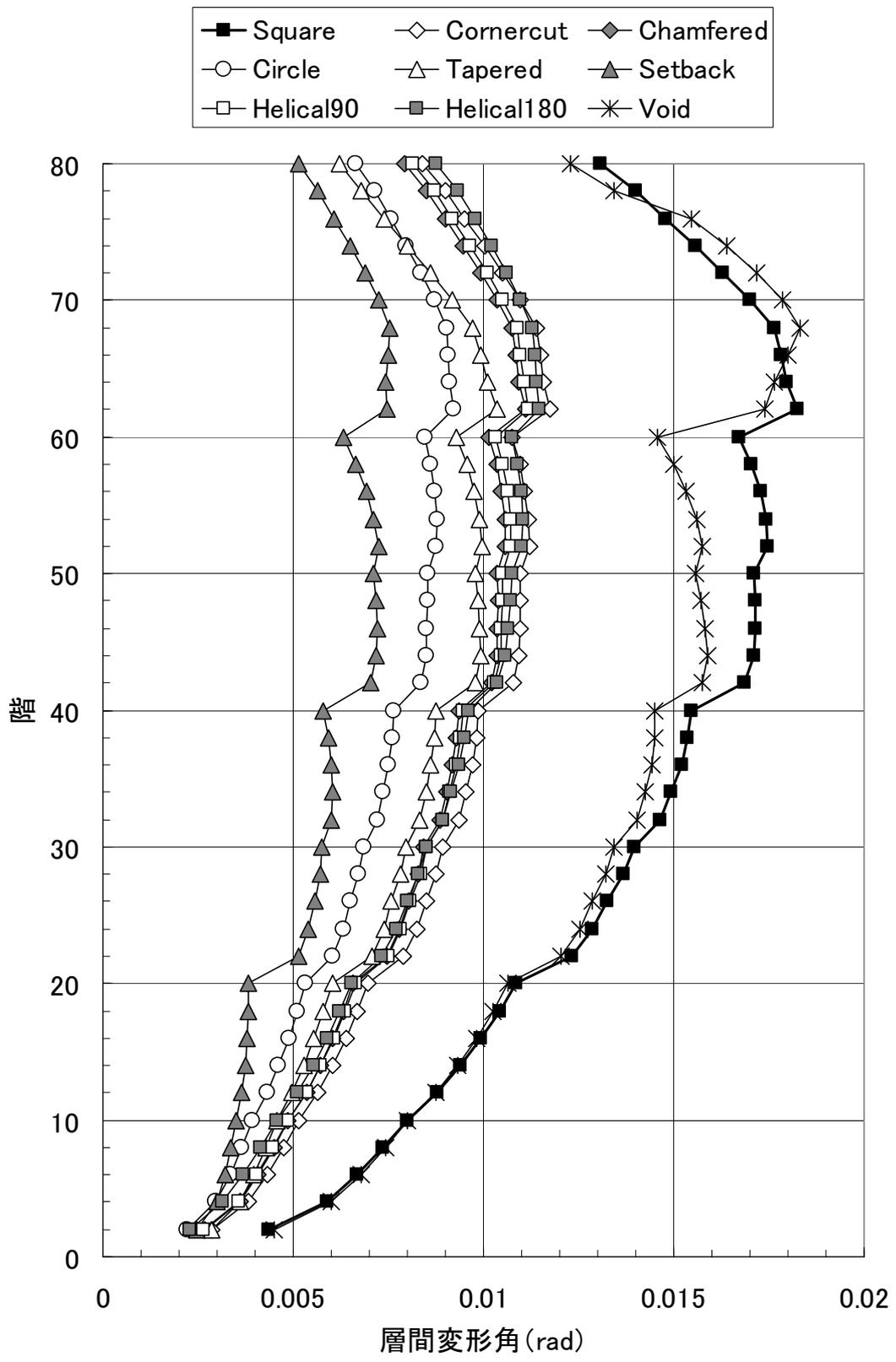


図 7.5.9.5 全 9 モデルの風応答比較 (層間変形角)

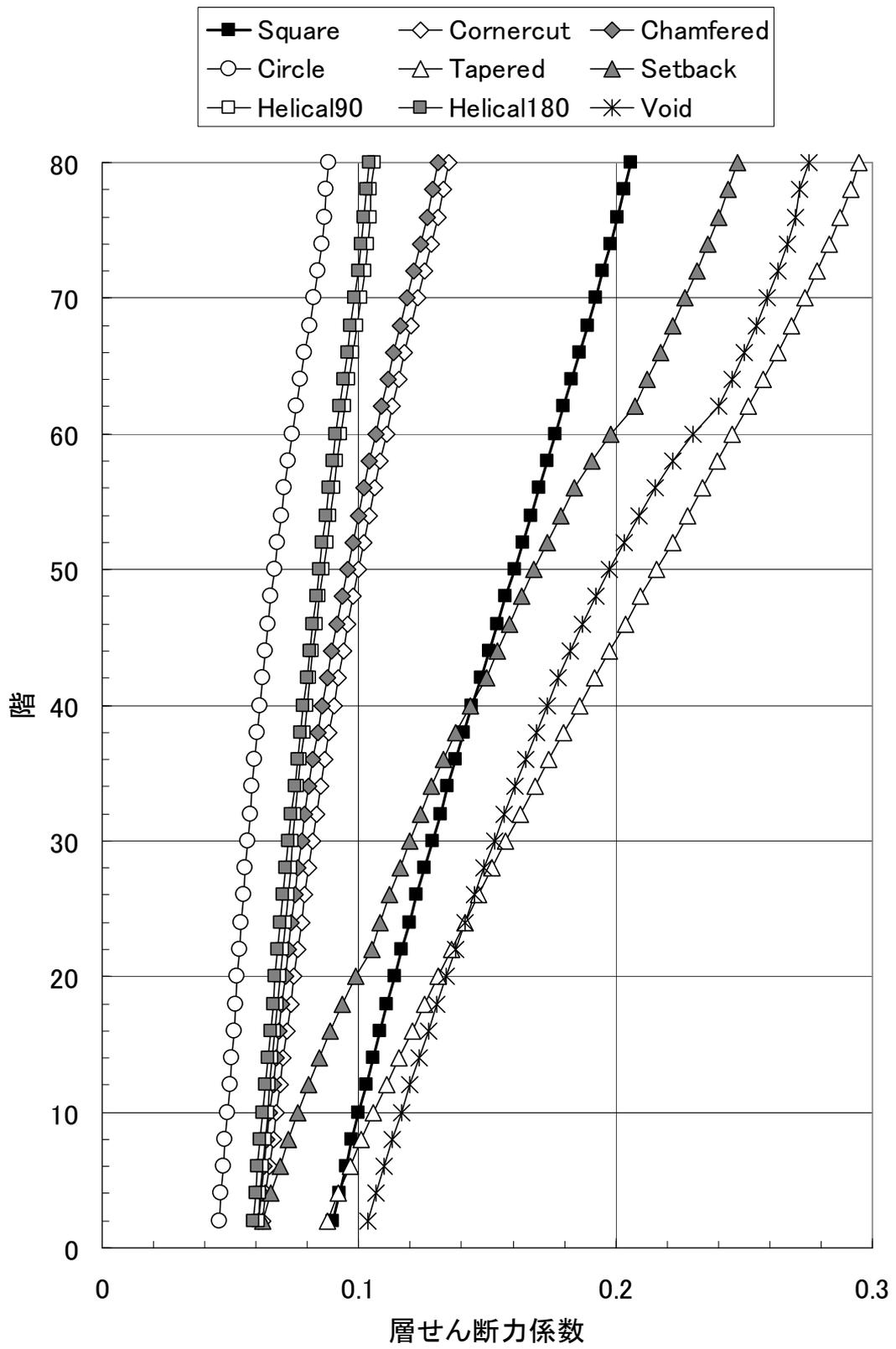


図 7.5.9.6 全9モデルの風応答比較 (層せん断力係数)

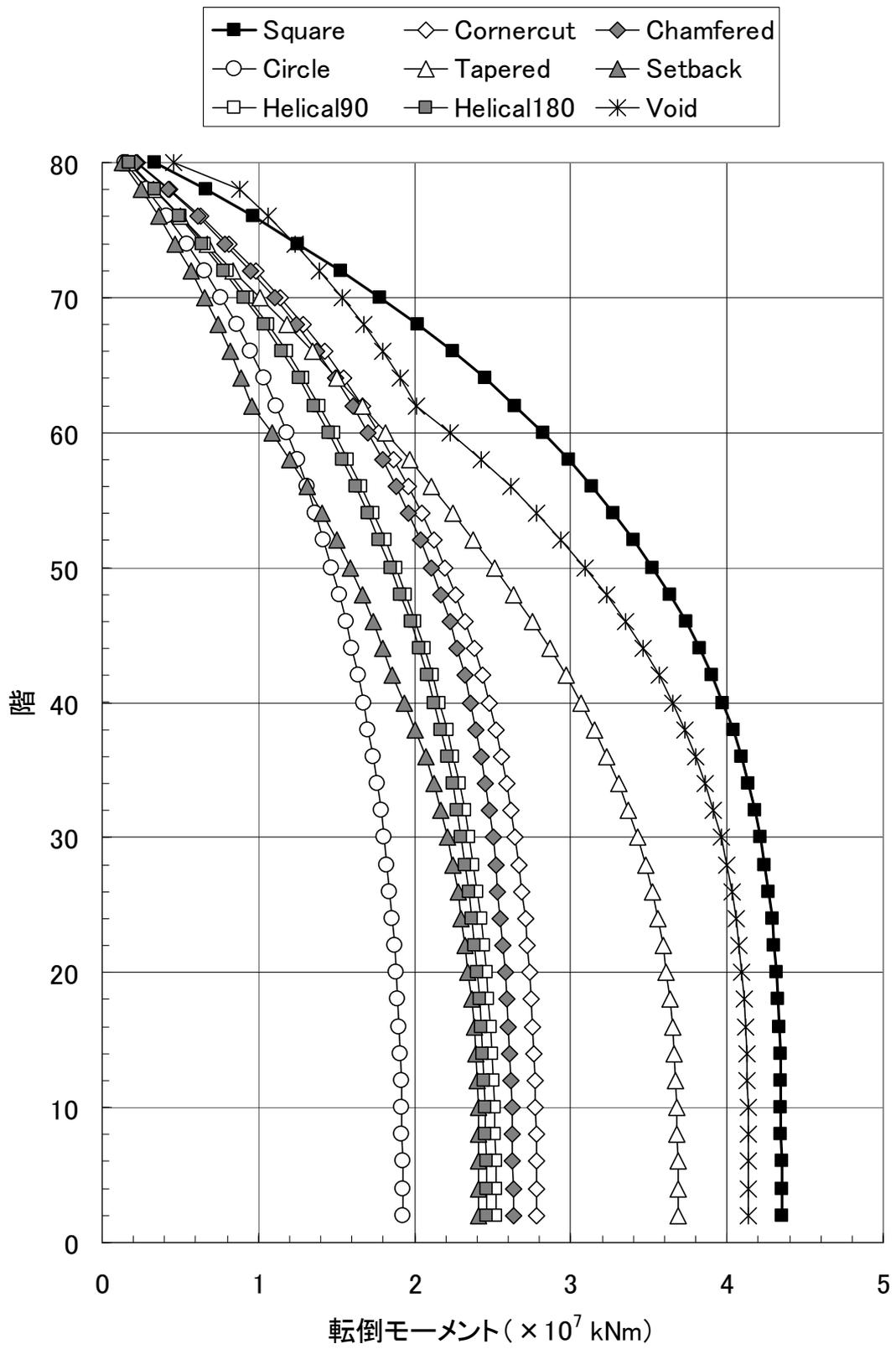


図 7.5.9.7 全9モデルの風応答比較 (転倒モーメント)

7.6 新しい形態を有する超々高層建築物の合理的耐風設計手法の検討・提案（居住性能編）

7.6.1 検討の概要

居住性能を検討するための解析モデルは 7.5 と同じであるが、2 次部材等の影響を考慮し、固有振動数を 1.2 倍、減衰定数を各次 0.7%とした。風外力の算出方法も 7.5.7 と同じであるが、風速レベルを再現期間 1 年の風速時を想定している。応答解析法も 7.5.8 と同じであるが、振動に対する人の感覚は、加速度とその振動数に依存するため、1~4 次の加速度を重ね合わせるのではなく、1~4 次の各々の加速度を評価した。

7.6.2 風応答解析および居住性能評価（再現期間 1 年の風速時）

再現期間 1 年の風速時の一般化風外力を用い、応答解析を実施した。解析法は、1~4 次の応答加速度の標準偏差をスペクトルモーダル法により算出し、(7.5.8.1)式より算出される 1~4 次のピークファクタを乗じ、最大加速度を評価した。ただし、(7.5.8.1)式中の n_j は、 j 次の固有振動数の 1.2 倍の値としている。

上記より算出される 1~4 次の最大加速度の高さ方向分布と、風による水平振動に関する性能評価曲線に最大加速度をプロットした結果を、実験モデル毎に図 7.6.1~図 7.6.9 に示す。性能評価は、1~4 次の最大加速度がほとんどのモデルで最大となる 80 階に加え、50 階、20 階での最大加速度もプロットしている。実験モデルにより、高さ方向の質量分布、固有振動数、振動モードが異なり、一概に比較することは難しいが、全体的な傾向として、居住性能に及ぼす影響は、1 次モード振動が大きく、2~4 次は同程度であることがわかる。

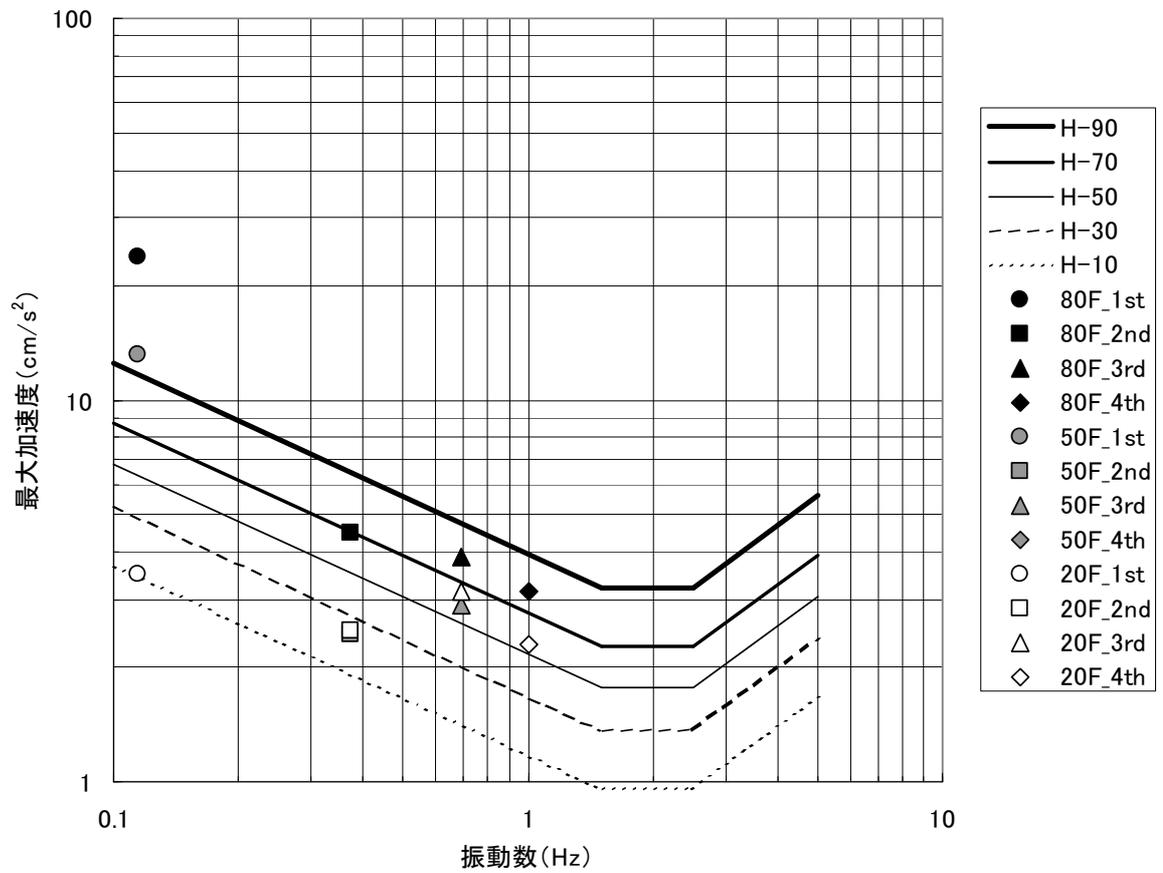
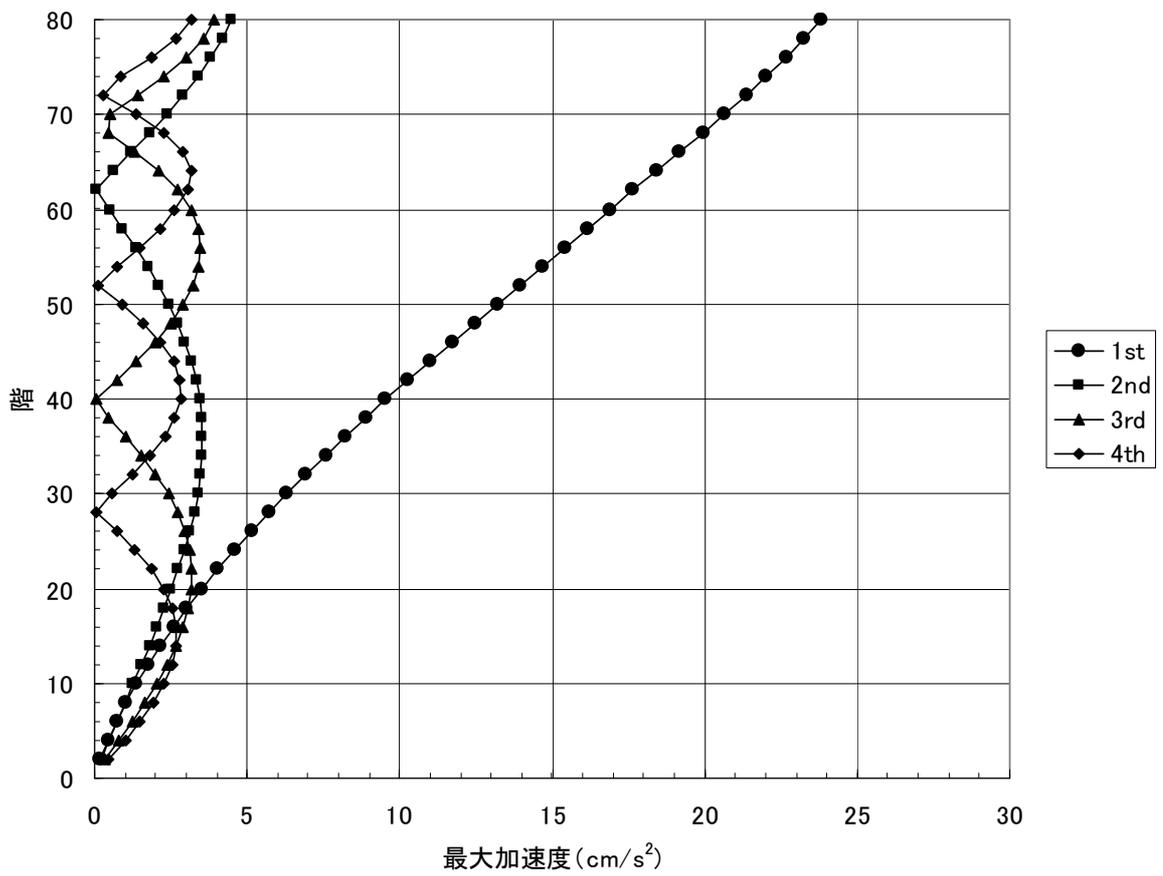


図 7.6.1 最大加速度・居住性評価 (Square)

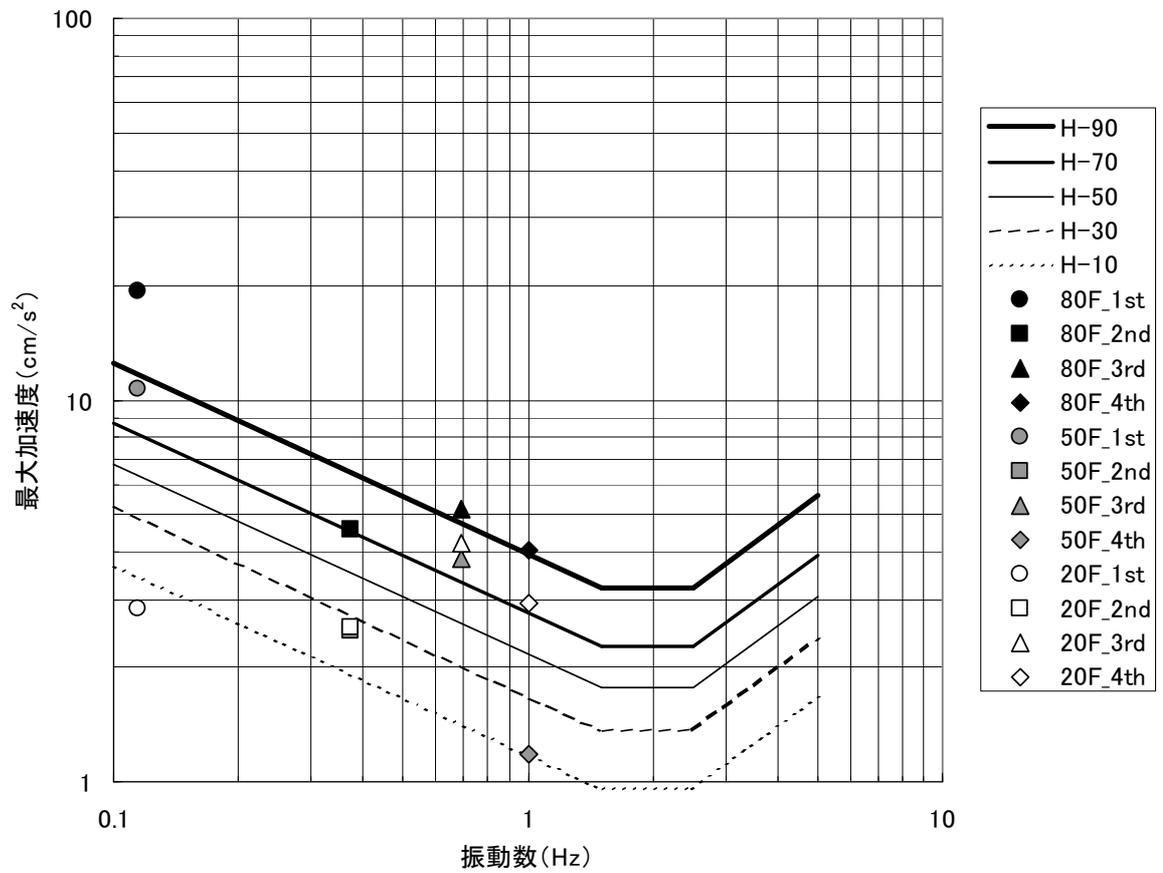
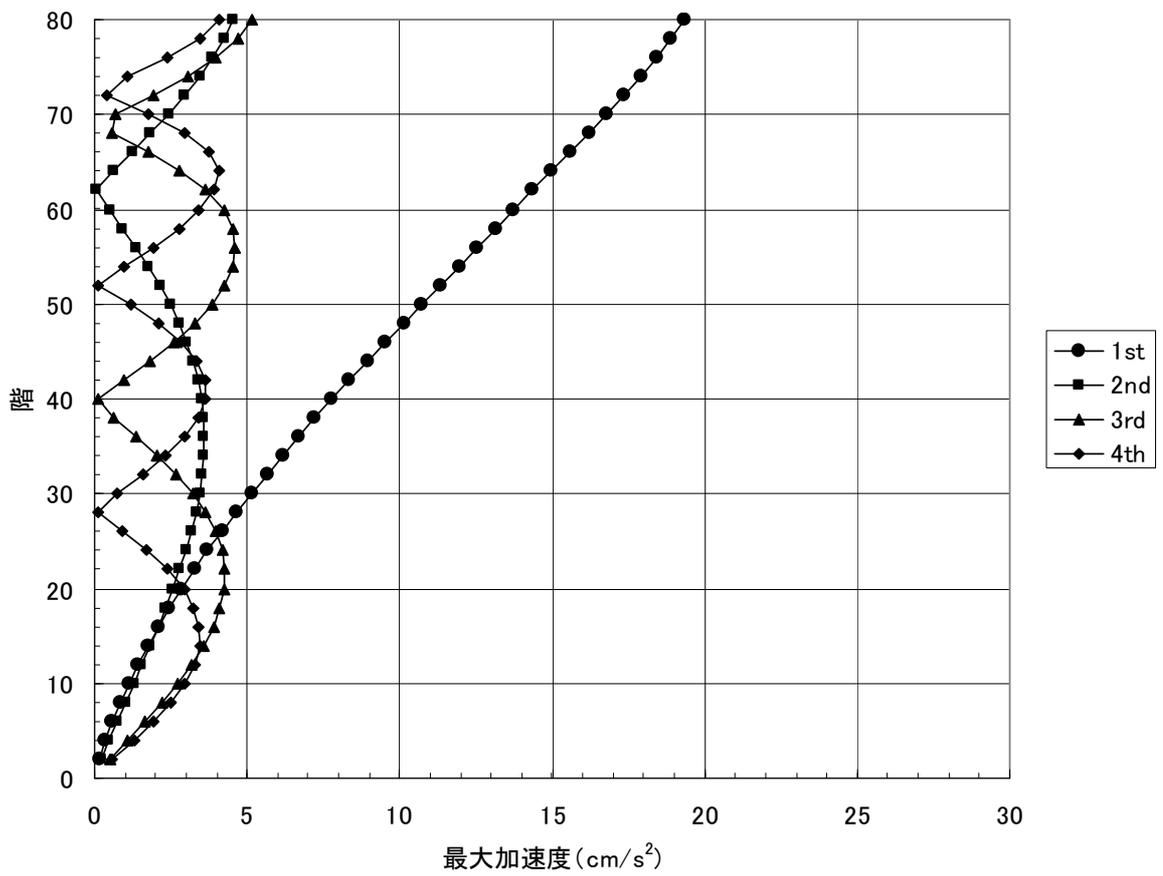


図 7.6.2 最大加速度・居住性評価 (CornerCut)

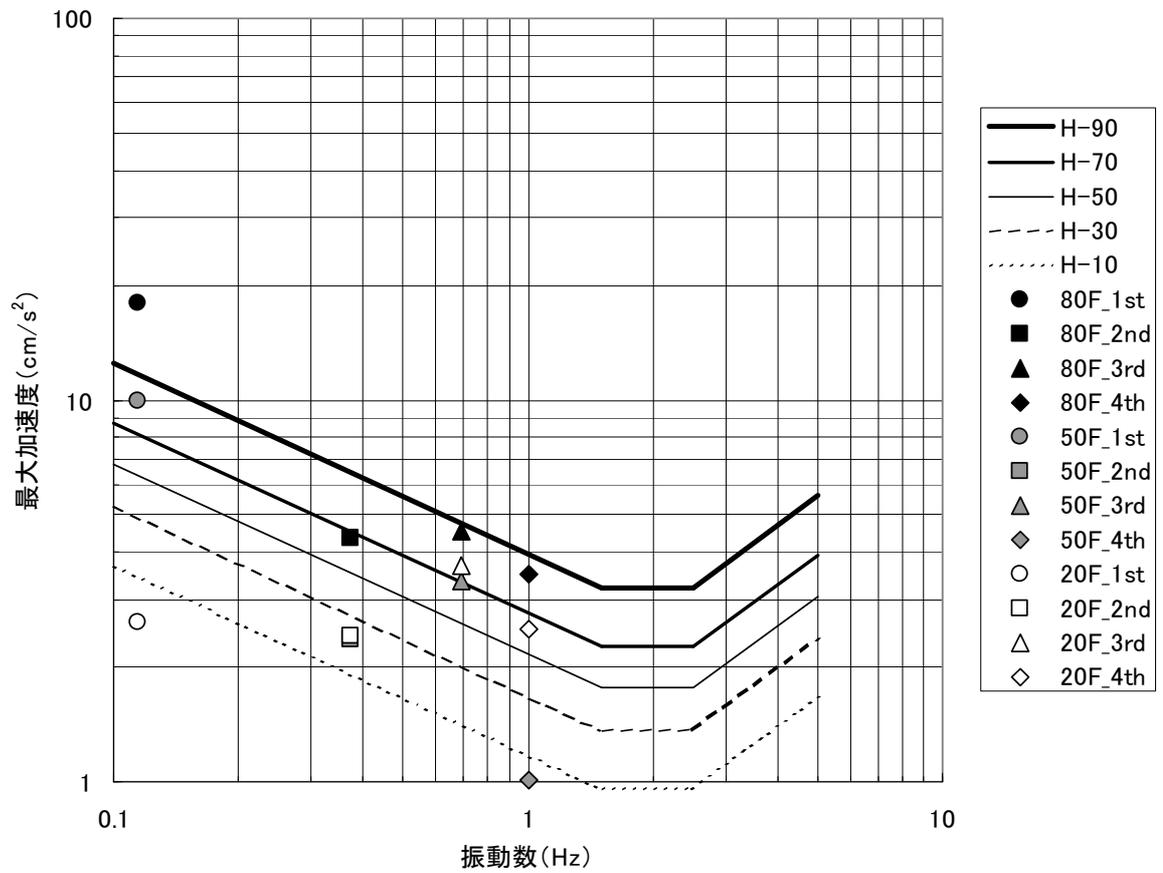
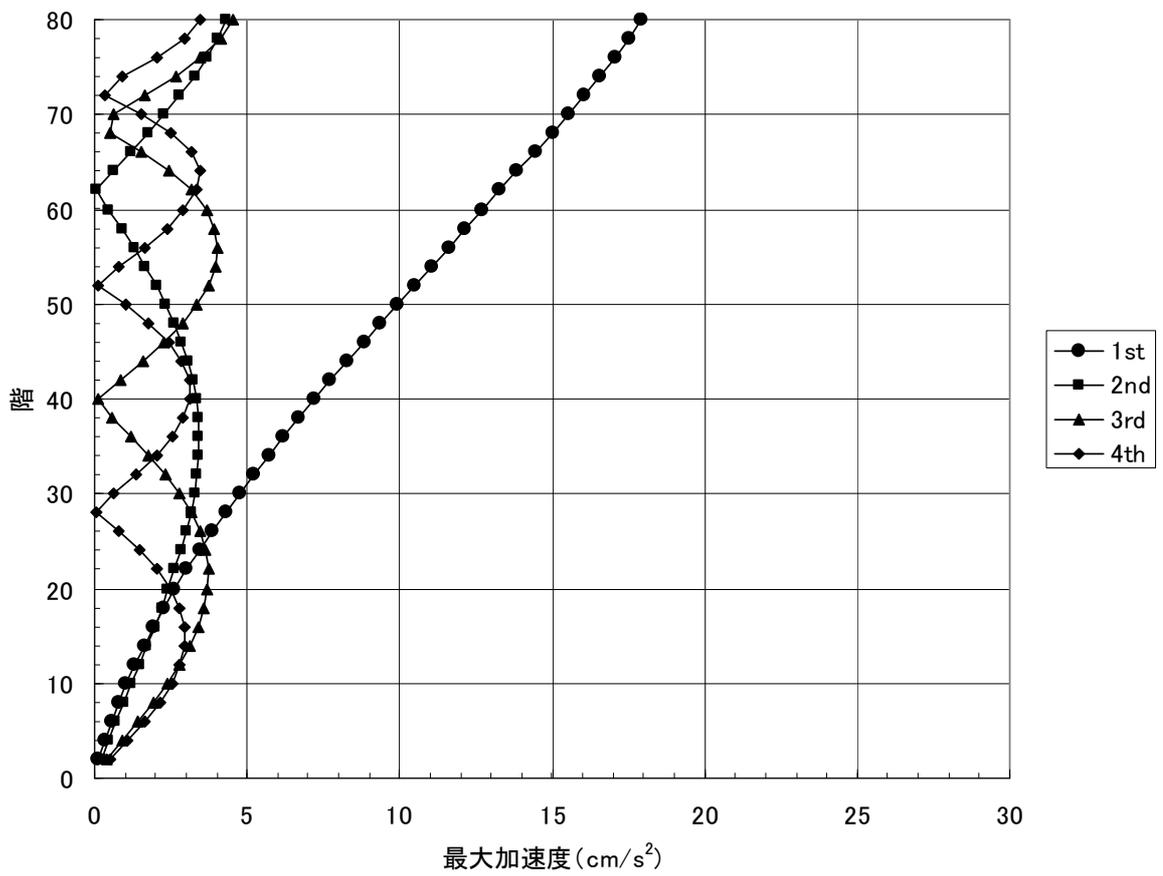


図 7.6.3 最大加速度・居住性評価 (Chamfered)

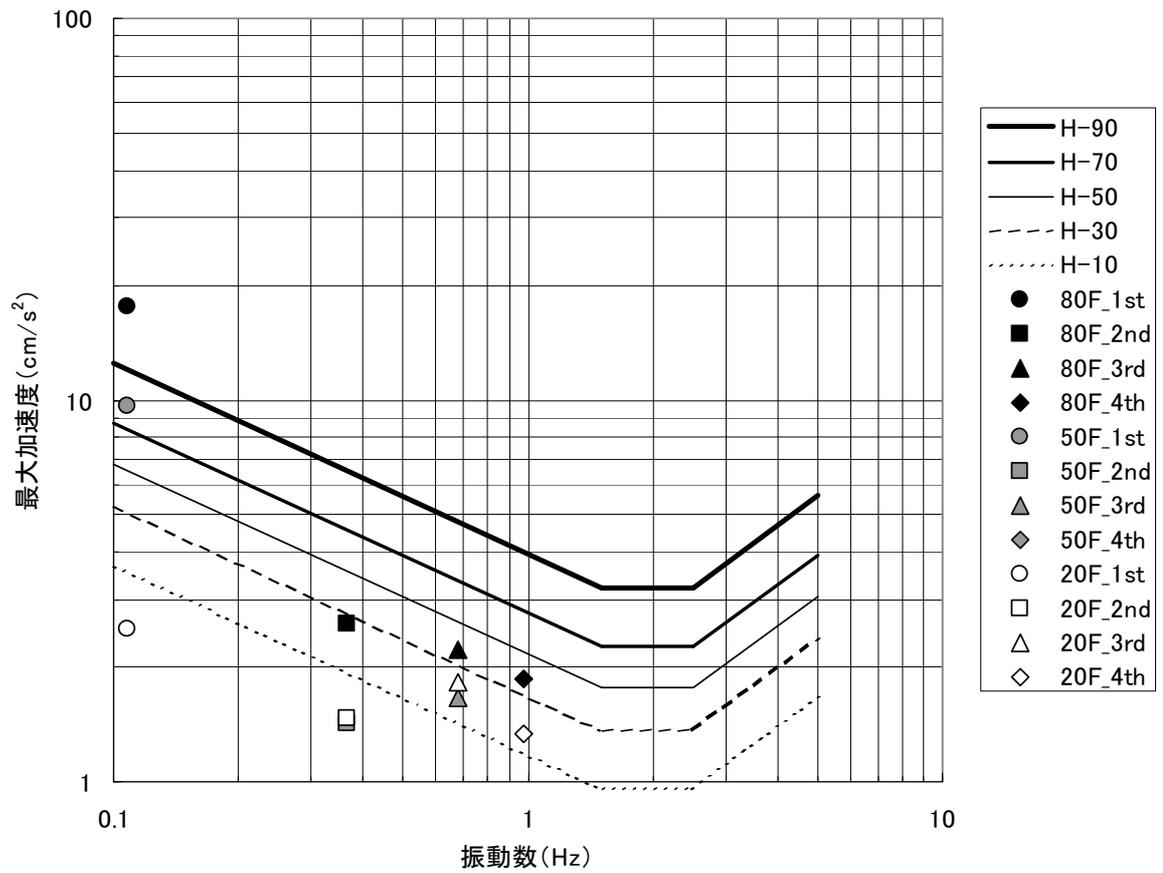
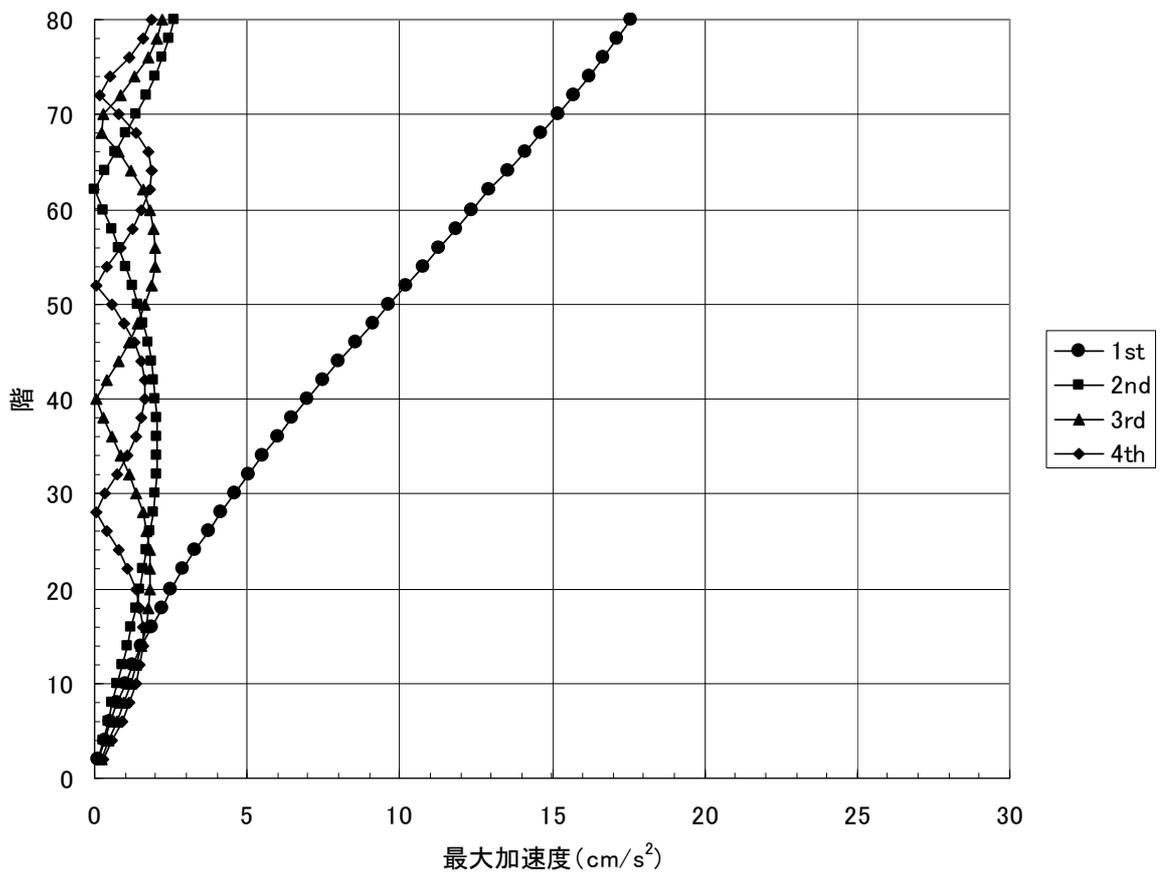


図 7.6.4 最大加速度・居住性評価 (Circle)

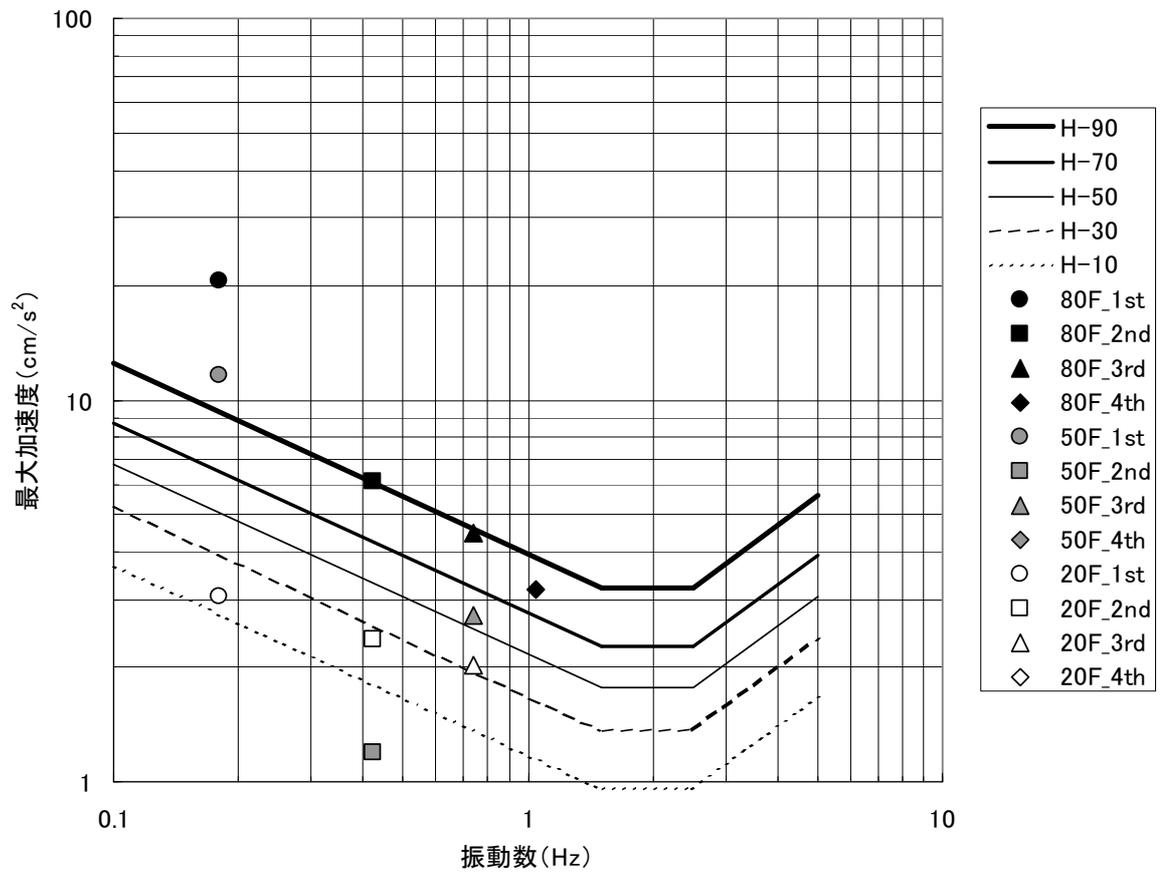
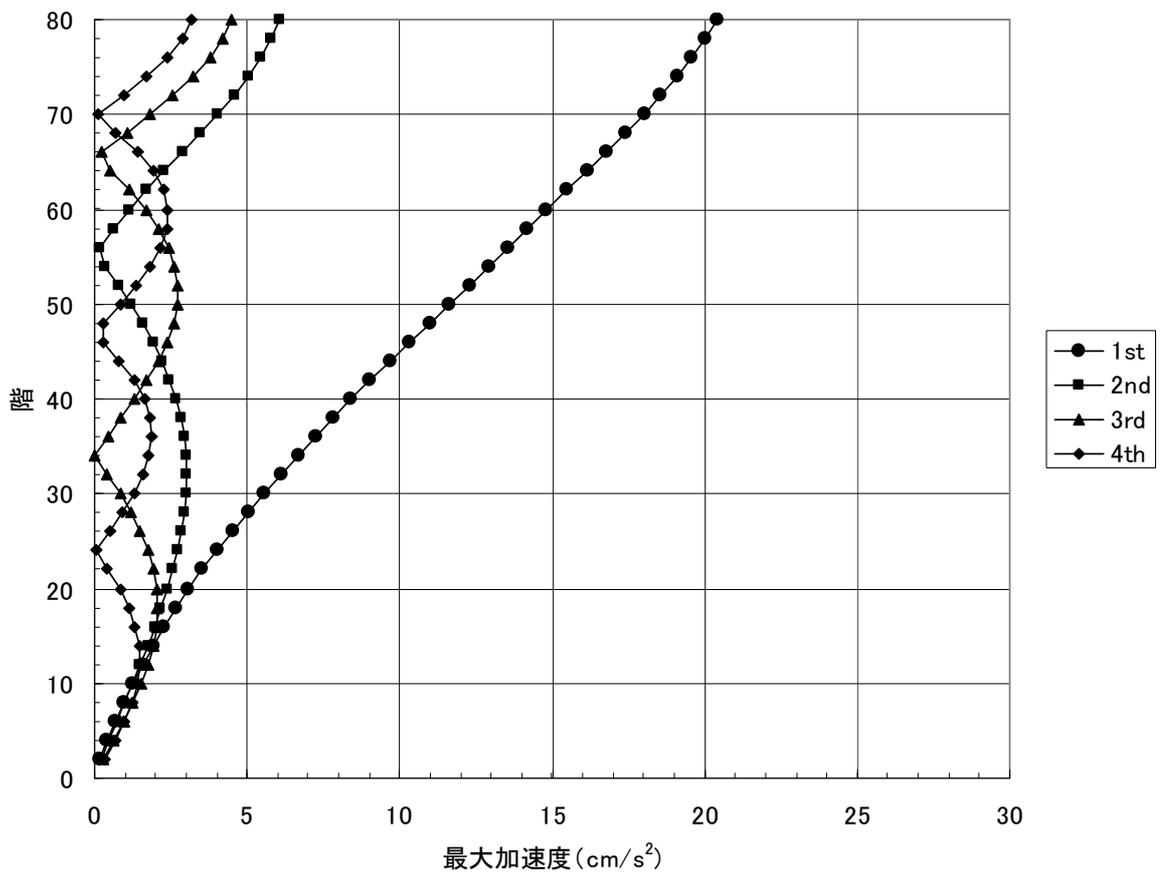


図 7.6.5 最大加速度・居住性評価 (Tapered)

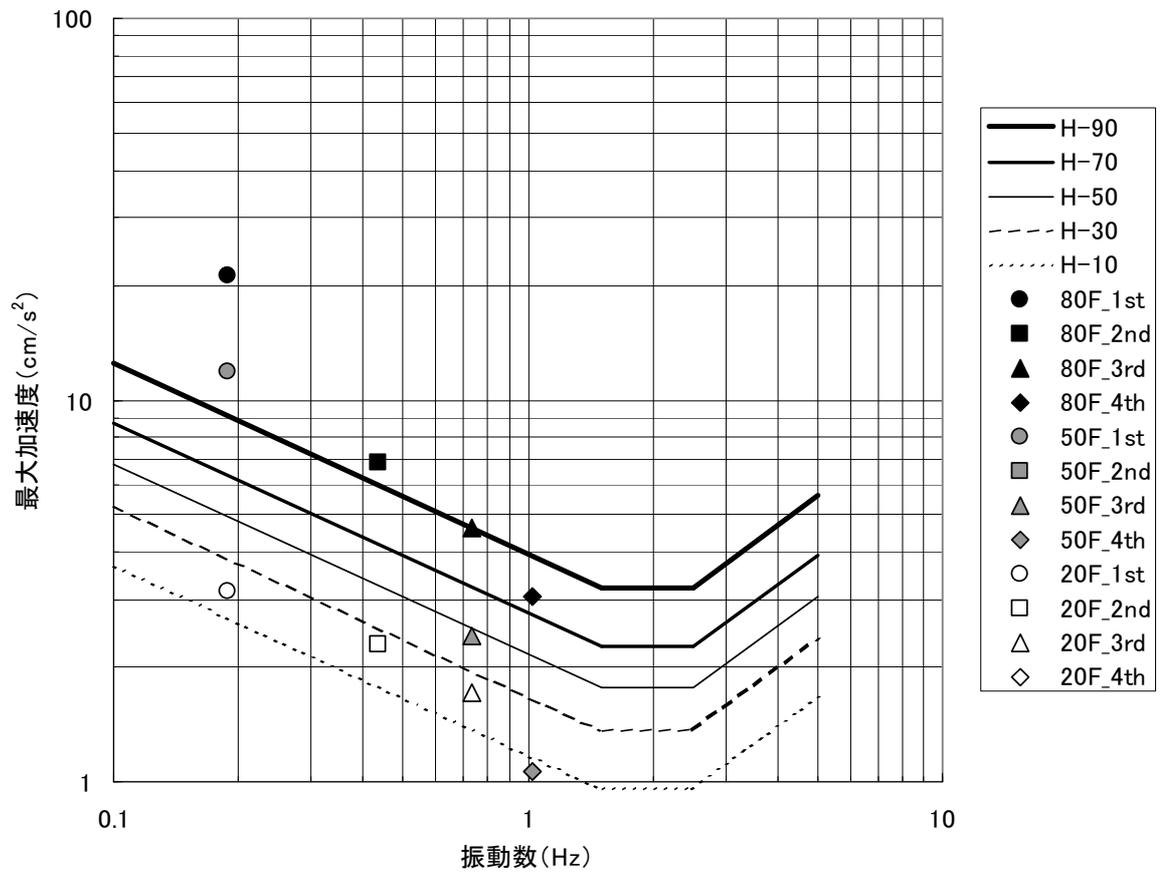
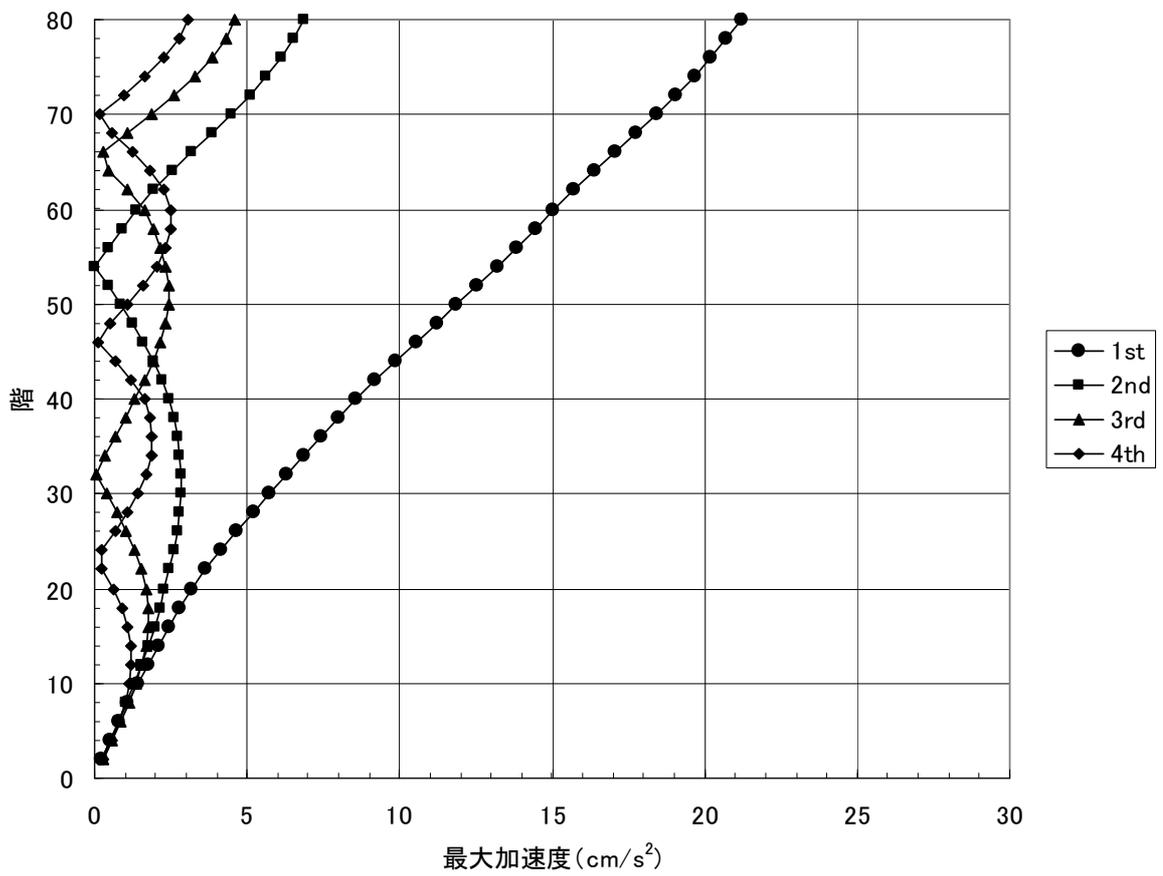


図 7.6.6 最大加速度・居住性評価 (Setback)

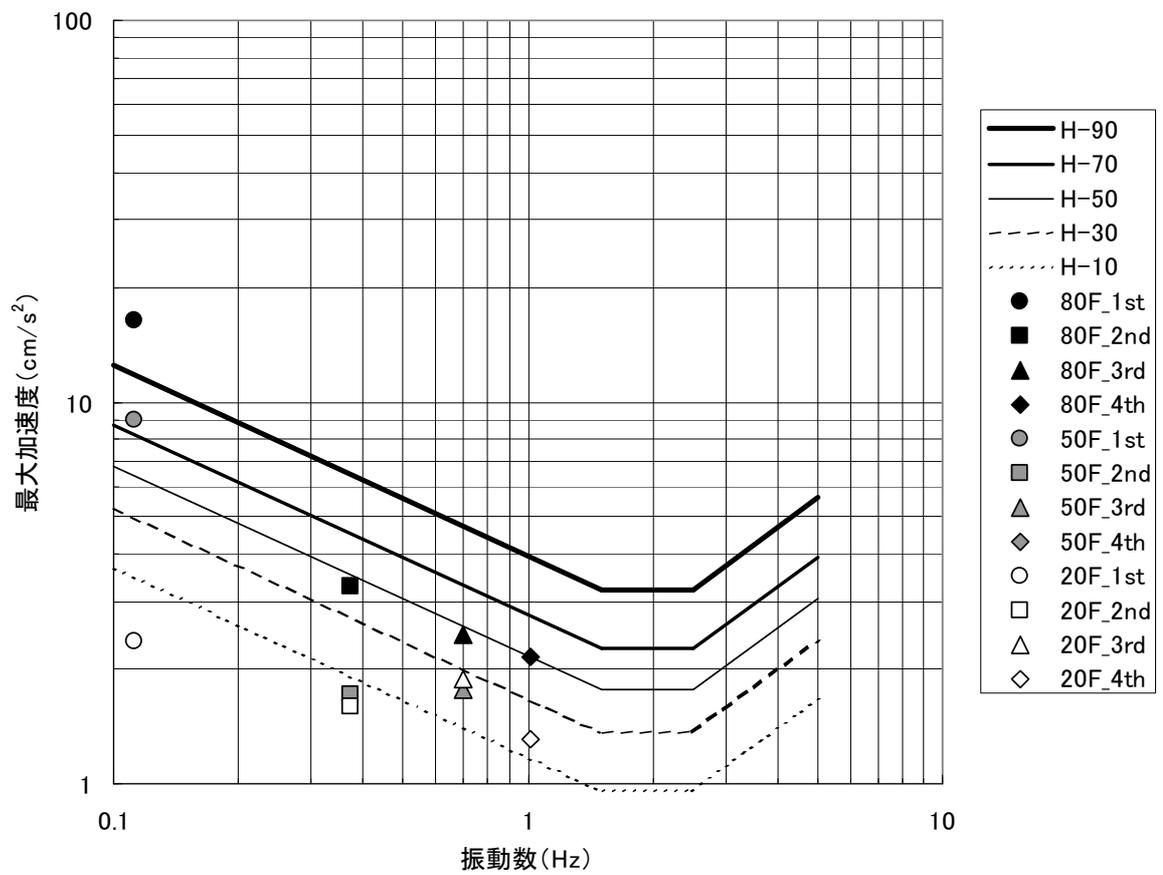
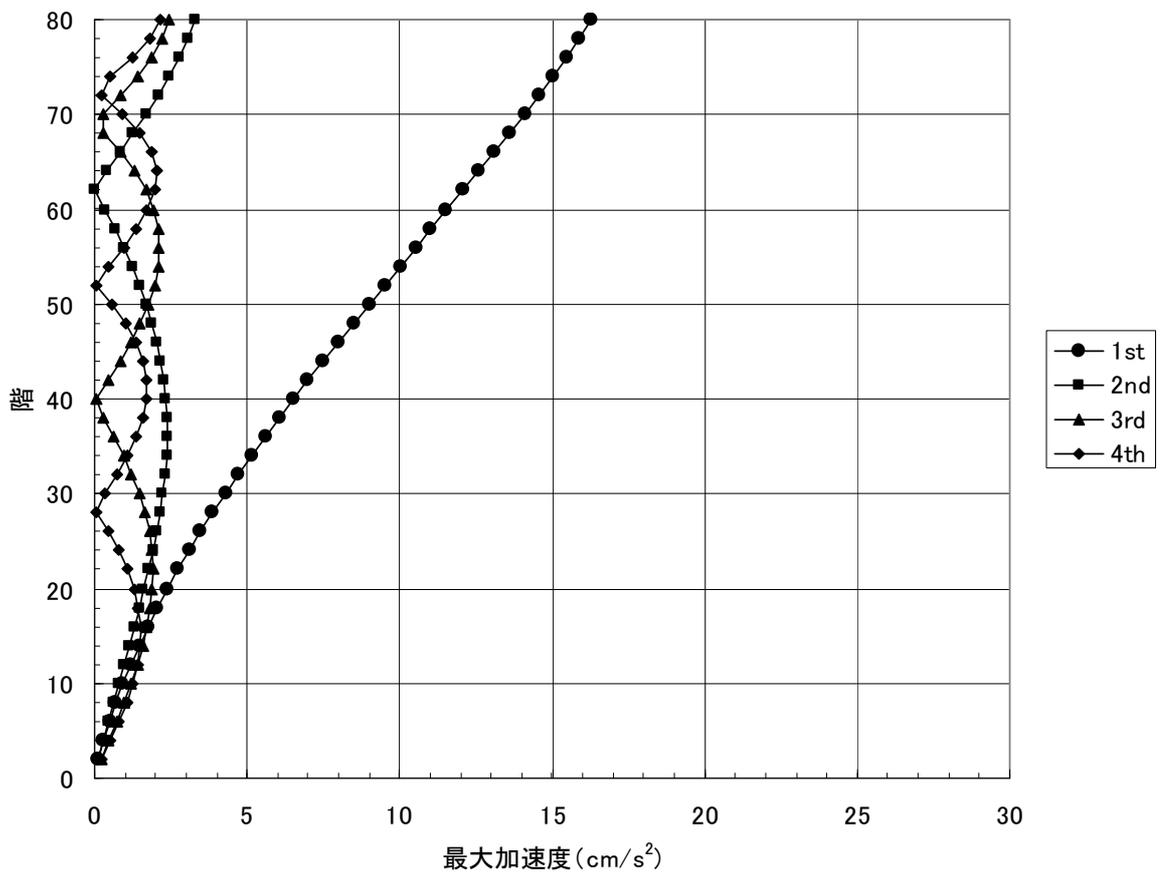


図 7.6.7 最大加速度・居住性評価 (Helical90)

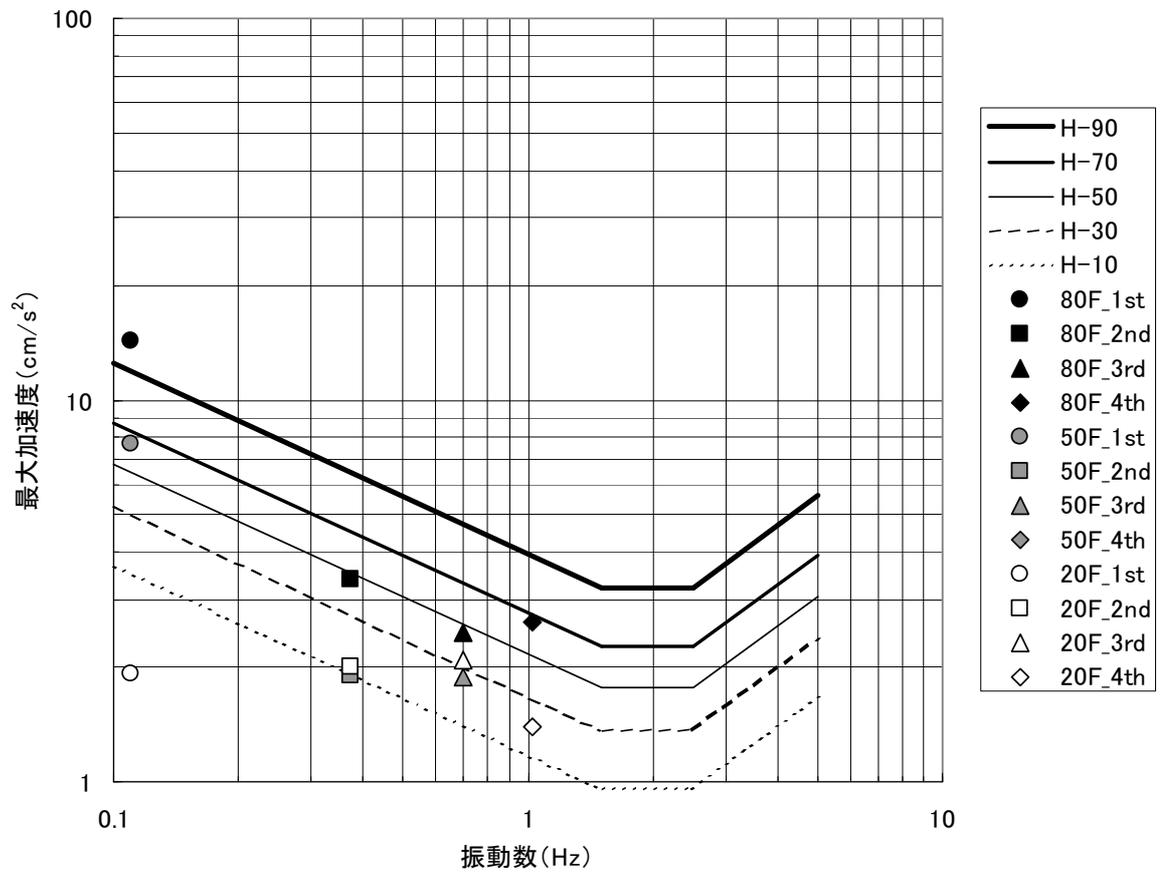
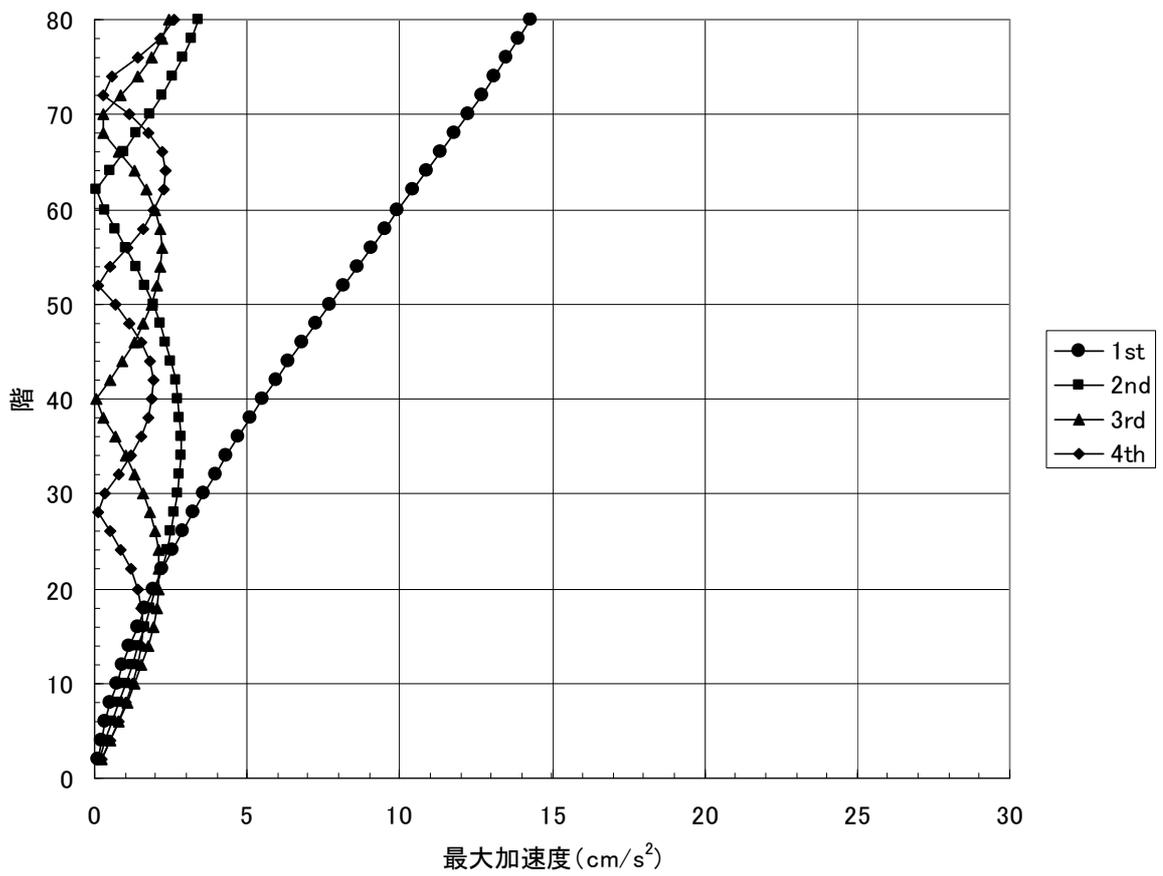


図 7.6.8 最大加速度・居住性評価 (Helical180)

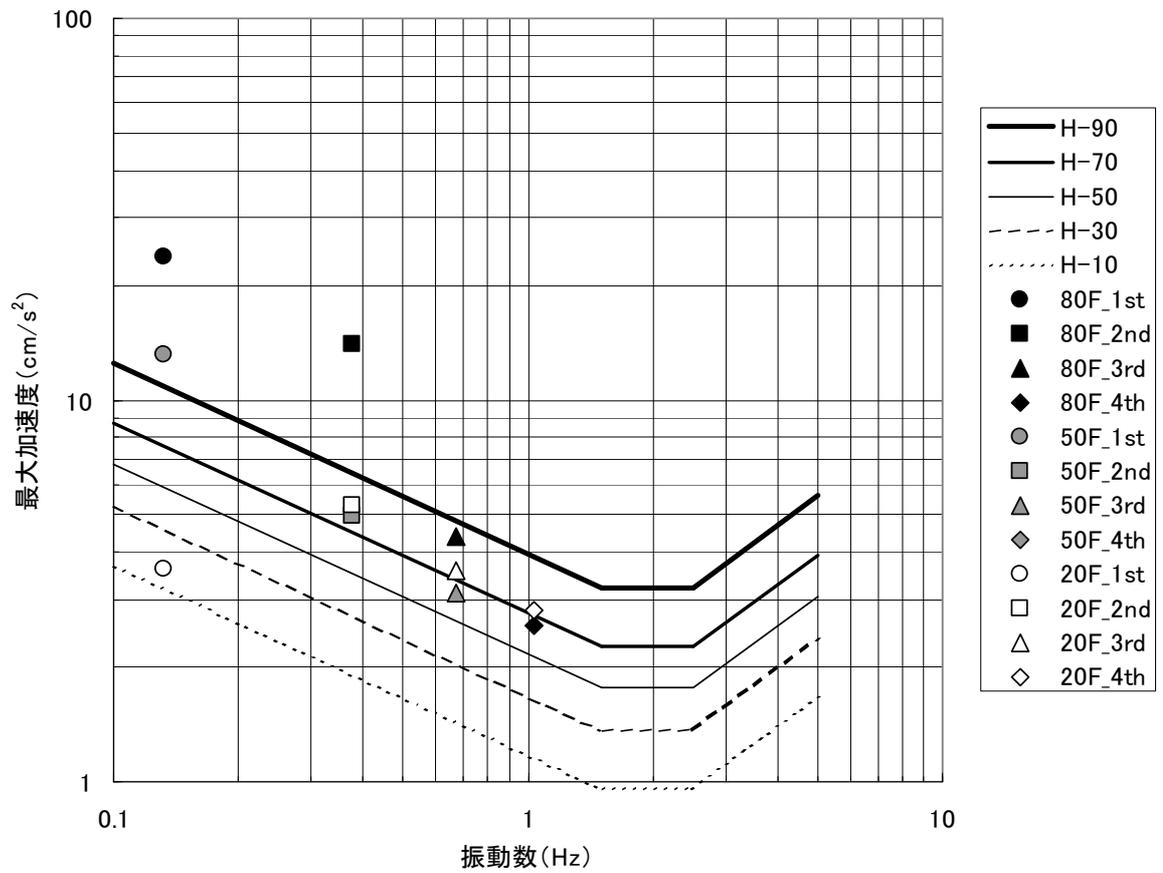
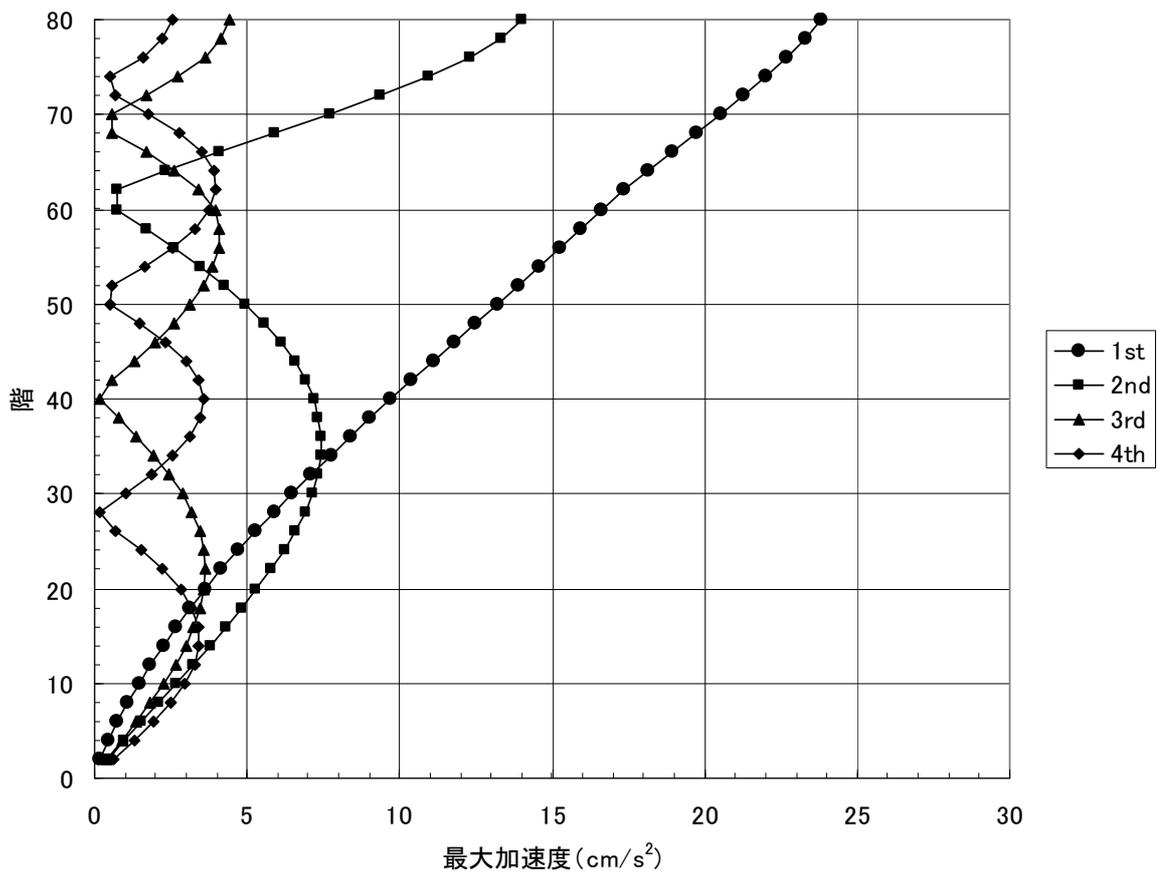


図 7.6.9 最大加速度・居住性評価 (Void)

7.6.3 結果の評価と考察

前節で示した全9モデルの1~4次の最大加速度を比較した結果を図7.6.10に示す。図より、Voidモデルの2次の最大加速度が明らかに大きいことがわかる。次に、全9モデルの居住性能を比較した結果を図7.6.11に示す。居住性能(振動に対する人の感覚)は、加速度とその振動数に依存するため、図7.6.10の居住性能曲線からの離れ具合で評価した。図の縦軸は、Squareモデルでの離れ具合に対する比率を示している。図より、居住性能に優れているのは、Circle, Helical90, Helical180モデルの3モデルである。Cornercut, Chamferedモデルは1次に対しては優れているが、3, 4次に対しては、Squareモデルよりも劣っている。Tapered, Setback, Voidモデルは、Squareモデルよりも劣っており、Voidモデルの2次の場合が顕著である。ただし、建設地における風向・風速出現頻度を考慮した建物配置が可能であれば、モデル間の差異は小さくなると考えられる。

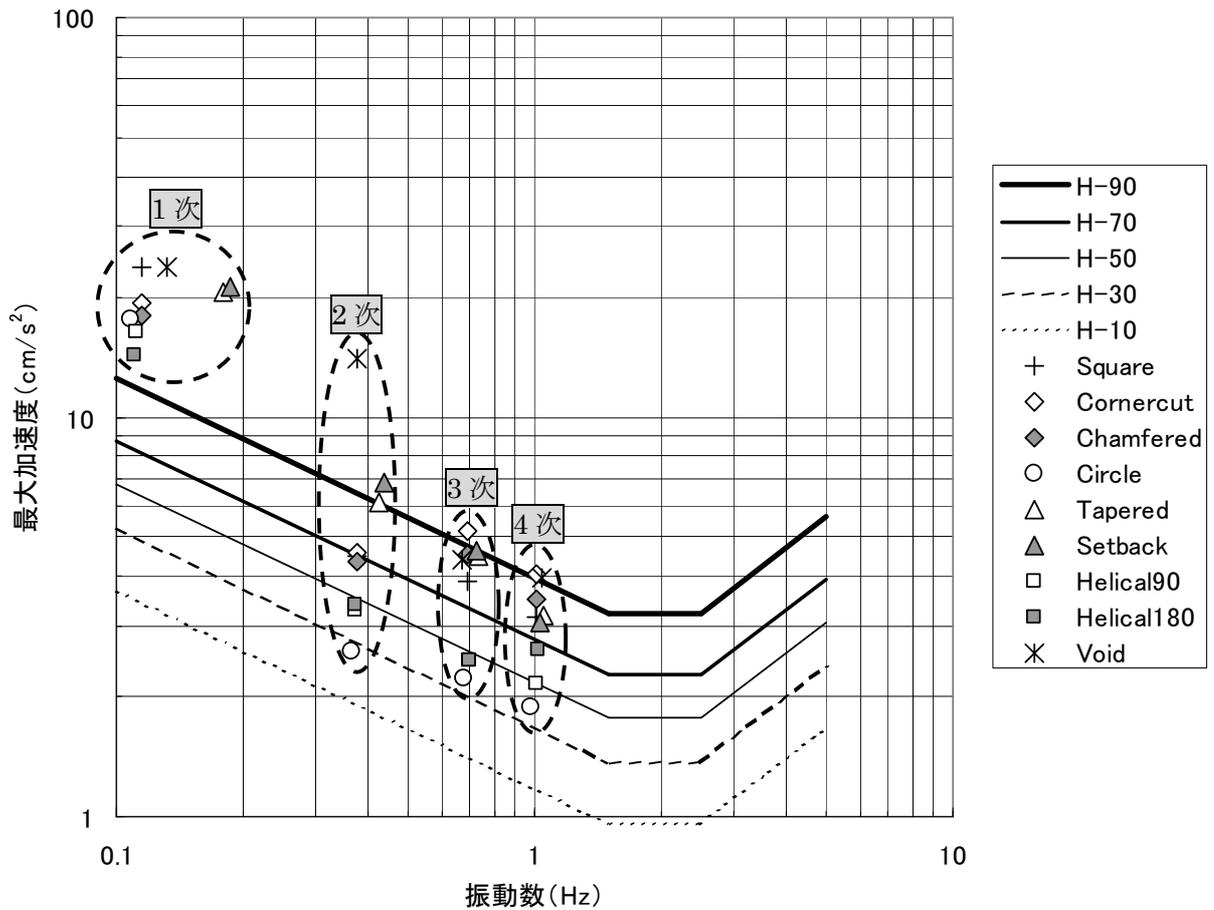


図 7.6.10 1~4 次の最大加速度比較 (全9モデル)

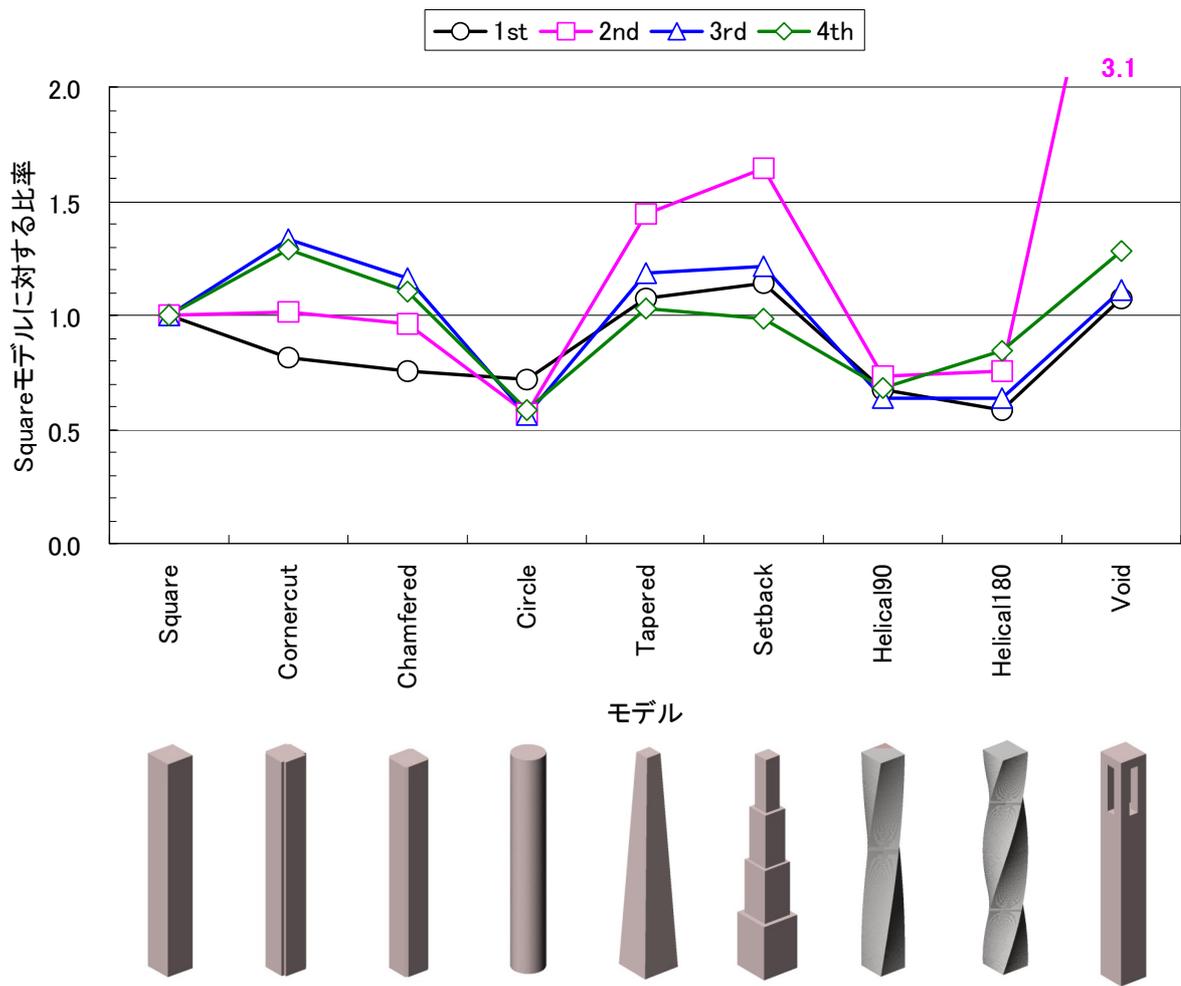


図 7.6.11 居住性比較 (全9モデル)

7.7 東京スカイスクレーパー計画

新しい形態を有する超々高層建築物の合理的耐風設計手法の検討・提案（デザイン編）

（平成 21 年度実施）

7.7.1 検討の概要

デジタル・グローバリゼーションを迎えた 21 世紀の東京に建つ、高さ 400M のタワーの在り方を、新しい建築形態と構造方式の採用により、地震国日本における新しい地震力と風荷重に対して十分な強度と居住性を持ち、日本の高層建築のあり方のアイコンとなる超々高層ビルの合理的耐風設計手法の検討・提案を行う。

7.7.2 敷地の検討

既存の東京の都市構造を元にした経済性を踏まえ、現在の日本の抱える社会性に応答し、かつ、東京の新しい高層ビルとしてのアイコン性を纏うビルに相応しい敷地選定の必要性の検討を行う。



図 7.7.1 東京都の超高層建築物・構築物分布

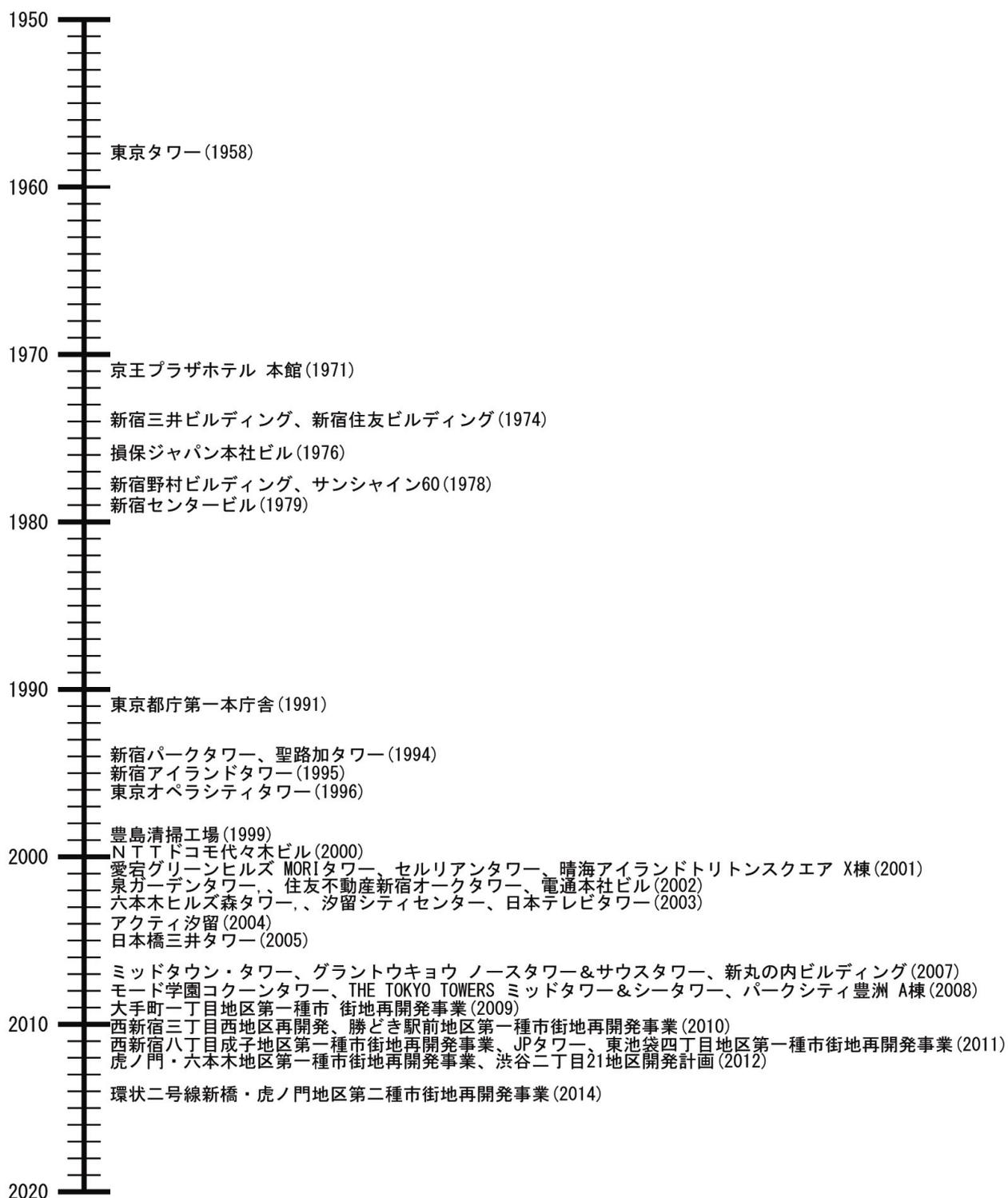


図 7.7.2 年別に見る東京都の超高層建築物・構築物分布

表 7.7.1 東京都の超高層建築物・構築物の個別分布

	番号	名称	主な用途	高さ	建築年	機能	階数	敷地面積 ^{m²}	建築面積 ^{m²}	延床面積 ^{m²}
既存	1	東京タワー	(他)	333	1958	放送アンテナ 展望台	7階			
	2	ミッドタウン・タワー	(商) 勞	248	2007	3F東京ミッドタウン郵便局 4F カンファレンス 5F デザインハブ 6F メディカルセンター 7-44F オフィス 45-53F ホテル 54F 施設維持・管理スペース	地上54階、地下5階			
	3	東京都庁第一本庁舎	(勞)	243	1991	展望室 43・44・46~48階 機械室	地上48階、地下3階	14350	11042	195567
	4	NTTドコモ代々木ビル	(勞)	240	2000	自社業務用のオフィスビル 1-14*オフィス 15-25 基地局設備	地上27階、地下3階	6237	2832	51122
	5	サンシャイン60	(商) 勞	240	1978	オフィス、展望フロア、商業施設	地上60階			190,595 (施設全体 585,895)
	6	六本木ヒルズ森タワー	(文) (商) 勞	238	2003	B1-B4F: 駐車場 1F: 事務 2・3F: エントランスフロア 2-5F: レストラン・ショッピングフロア 6F: ライフサービスフロア 7-8F: オフィスフロア 49-53F: 屋上: 森アーツセンター	地上54階・地下6階			380105
	7	新宿パークタワー	(商) 勞	235	1994	B5F~B2F 駐車場 B1F レストラン&ショップ 1F アトリウム・出入口 3F~7F リビングデザインセンター OZONE 9F~37F オフィス階 39F~52F ホテル	地上52階・地下5階	25325	9,511	264,140
	8	東京オペラシティタワー	(文) 勞	234	1996	B4 - B1 : 駐車場 B1 - 2 : レストラン・ショッピングフロア 1 : 郵便局 2 : オフィスロビー 3 : アートギャラリー コンサートホール 4 : アートギャラリー 7 - 52 : オフィス 53 - 54 : レストラン	地上54階、地下4階	44,092	33,338	311,140
	9	新宿三井ビルディング	(勞)	225	1974		地上55階・地下3階	14,449	9,591	179,578
	10	新宿センタービル	(勞)	223	1979		地上54階、地下4階	14,920	3,666	
	11	聖路加タワー	(勞)	221	1994	1-2階 - 商業施設 3-46階 - オフィス 47階 - 展望室 スカイレストラン	地上47階			100,712
	12	泉ガーデンタワー	(勞)	216	2002	42-45F 住友会館	地上45階、地下2階	13,402	8,995	157,364
	13	汐留シティセンター	(勞)	216	2003		地上43階、地下4階、塔屋1階	14350	14350	187,750
	14	電通本社ビル	(勞)	213	2002		地上48階			
	15	南鳥島ロランC送信所	(他)	213	2000					
	16	新宿住友ビルディング	(勞)	210	1974	無料展望室 (51階)	地上52階	14,446	8,269	
	17	豊島清掃工場	(他)	210	1999	清掃工場	地上11階			
	18	グラントウキョウノースタワー	(勞)	205	2007		地上43階、塔屋2階、地下4階	14,439	12,795	212,157
	19	グラントウキョウサウスタワー	(勞)	205	2007		地上42階、塔屋1階、地下4階	5,229	3,717	140,168
	20	モード学園コクーンタワー	(文)	204	2008		地下3階 地上50階 塔屋2階	5,172	3,541	80,865
	21	新宿野村ビルディング	(勞)	203	1978	展望ルーム	地上50階・地下5階			
	22	新丸の内ビルディング	(商) 勞	198	2007	地下1階-4階 ショッピングゾーン 5階-7階 レストランゾーン 9階-37階 オフィスゾーン	地上38階・地下4階	10,021	7,613	195,489
	23	晴海アイランドトリトンスクエア X棟	(商) 勞	195	2001		地上44階			
	24	日本橋三井タワー	(商) 勞	195	2005		地上39階、塔屋1階、地下4階	14,375	5,360	133,855
	25	山王パークタワー	(勞)	195	2000	3階~44階 オフィス	地上44階、塔屋2階、地下4階	14,981	6,075	219,216
	26	損保ジャパン本社ビル	(勞)	193	1976		地上43階・塔屋2階・地下6階			124,438
	27	日本テレビタワー	(勞)	193	2003		地上32階			
	28	THE TOKYO TOWERS シータワー	(住)	192	2008	居住	地下2階、地上58階、塔屋1階	12,690	9,453	183,585
	29	THE TOKYO TOWERS ミッドタワー	(住)	192	2008	居住	地上58階	17,027	11,209	199,759
	30	アクティ汐留	(住)	190	2004	UR賃貸住宅 2階 医療施設・託児施設 1階 スーパーマーケット	地上56階、塔屋2階、地下2階	11,280		
	31	新宿アイランドタワー	(勞)	189	1995		地上44階			
	32	愛宕グリーンヒルズ MORIタワー	(住) 勞	188	2001		地上42階			
	33	セルリアンタワー	(商) 勞	184	2001	地下2階には施業室 中・高層部は東急ホテル 低層部はオフィスおよびレストラン	地上41階、地下6階	9,409	5,100	106,000
	34	住友不動産新宿オークタワー	(勞)	184	2002		地上38階、地下2階	14,832		
	35	センチュリーパークタワー	(住)	180	1999	超高層マンション	地上54階、地下3階	9,438	2,878	118,642
	36	大手町一丁目地区第一種市街地再開発事業	(勞)	180	2009		地上37階			
	37	NECスーパータワー	(勞)	180	1990		地上43階、地下4階	6,370	21,280	145,100
	38	パークシティ豊洲 A棟	(住)	180	2008		地上52階地下1階	14,001	7612	121,938
	39	京王プラザホテル 本館	(商)	180	1971		地上47階・地下3階	14,500	12,579	
	40									
建設中	1	東京スカイツリー	(他)	610	2011	電波塔、展示場、ミュージアム、オフィス、多目的ホール、各種学校、ホテルほか	地上32階			
	2	勝どき駅前地区第一種市街地再開発事業	(住)	192	2010		地上55階			
	3	東池袋四丁目地区第一種市街地再開発事業	(住)	189	2011		地上52階			
承認済	1	JPタワー (仮称)	(勞)	200	2011		地上38階			
	2	虎ノ門・六本木地区第一種市街地再開発事業	(住) 勞	199	2012		地上46階			
	3	西新宿八丁目成子地区第一種市街地再開発事業	(住) 勞	196	2011		地上40階			
	4	渋谷二丁目21地区開発計画 (東急文化会館跡地再開発)	(商) (文) 勞	183	2012		地上34階			
計画中	1	西新宿三丁目西地区再開発 東オフィス棟	(勞)	338	2010		地上77階			
	2	環状二号線新橋・虎ノ門地区第二種市街地再開発事業	(商) (住) 勞	247	2014		地上53階			
	3	西新宿三丁目西地区再開発 北住宅棟	(住)	245	2010		地上66階			
	4	西新宿三丁目西地区再開発 南住宅棟	(住)	245	2010		地上66階			
	5	西新宿三丁目西地区再開発 西住宅棟	(住)	190	2010		地上50階			

(勞) オフィス (商) 商業施設 (住) 住居 (文) 文化施設 (他) その他

図 7.7.4 ネットワークによって見る東京（全て）より東京最大のネットワーク・ノードとしての東京駅・大手町周辺の分析による敷地選定を行う。

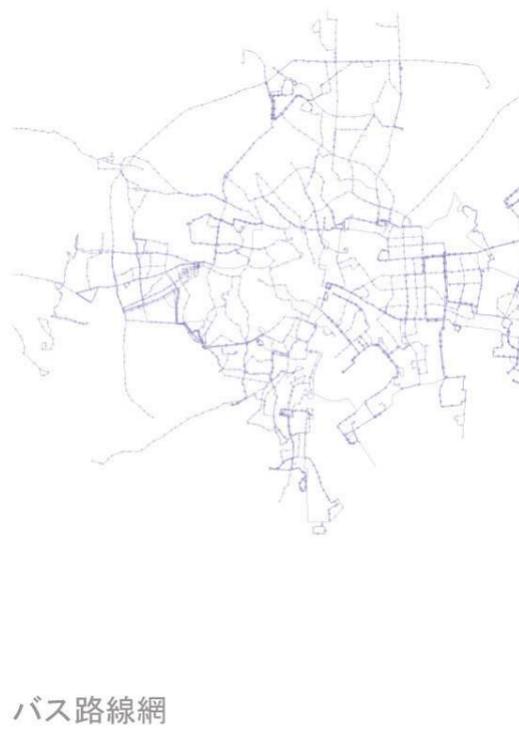
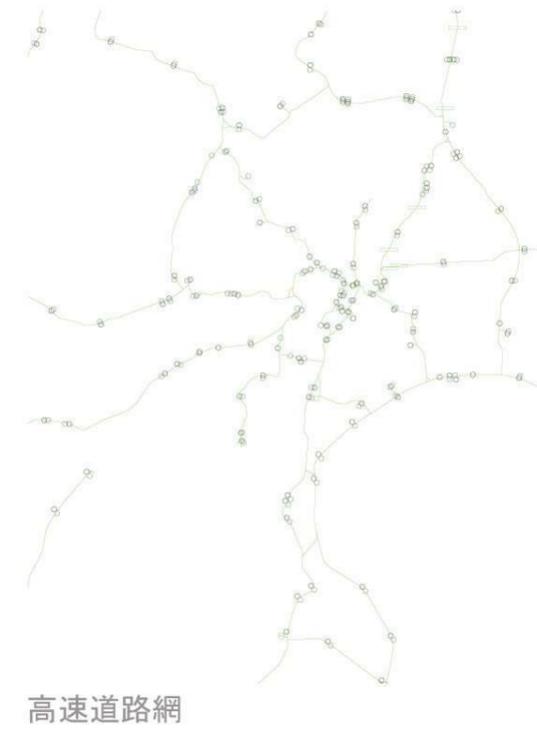
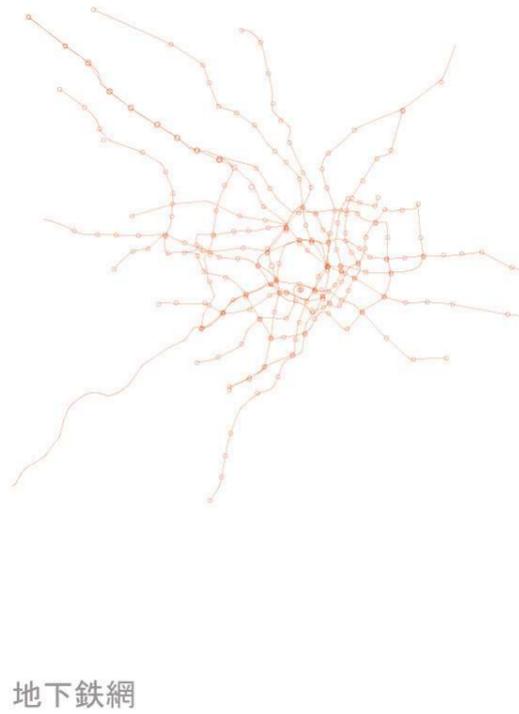
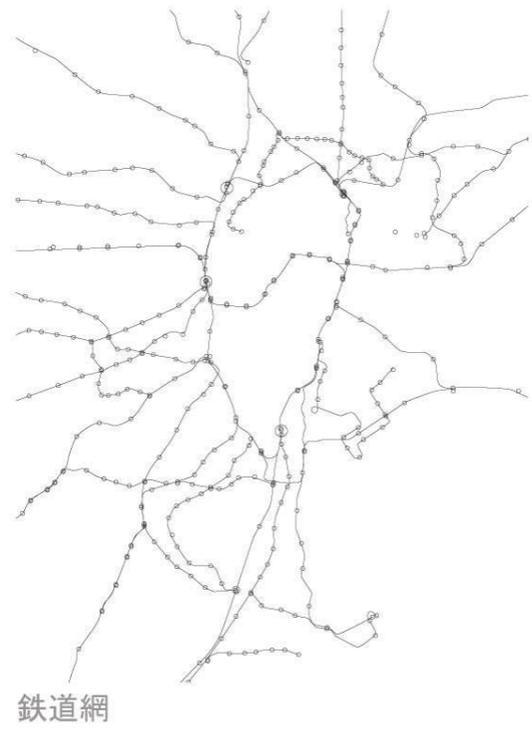


図7.7.4 ネットワークによって表現する東京（個別）

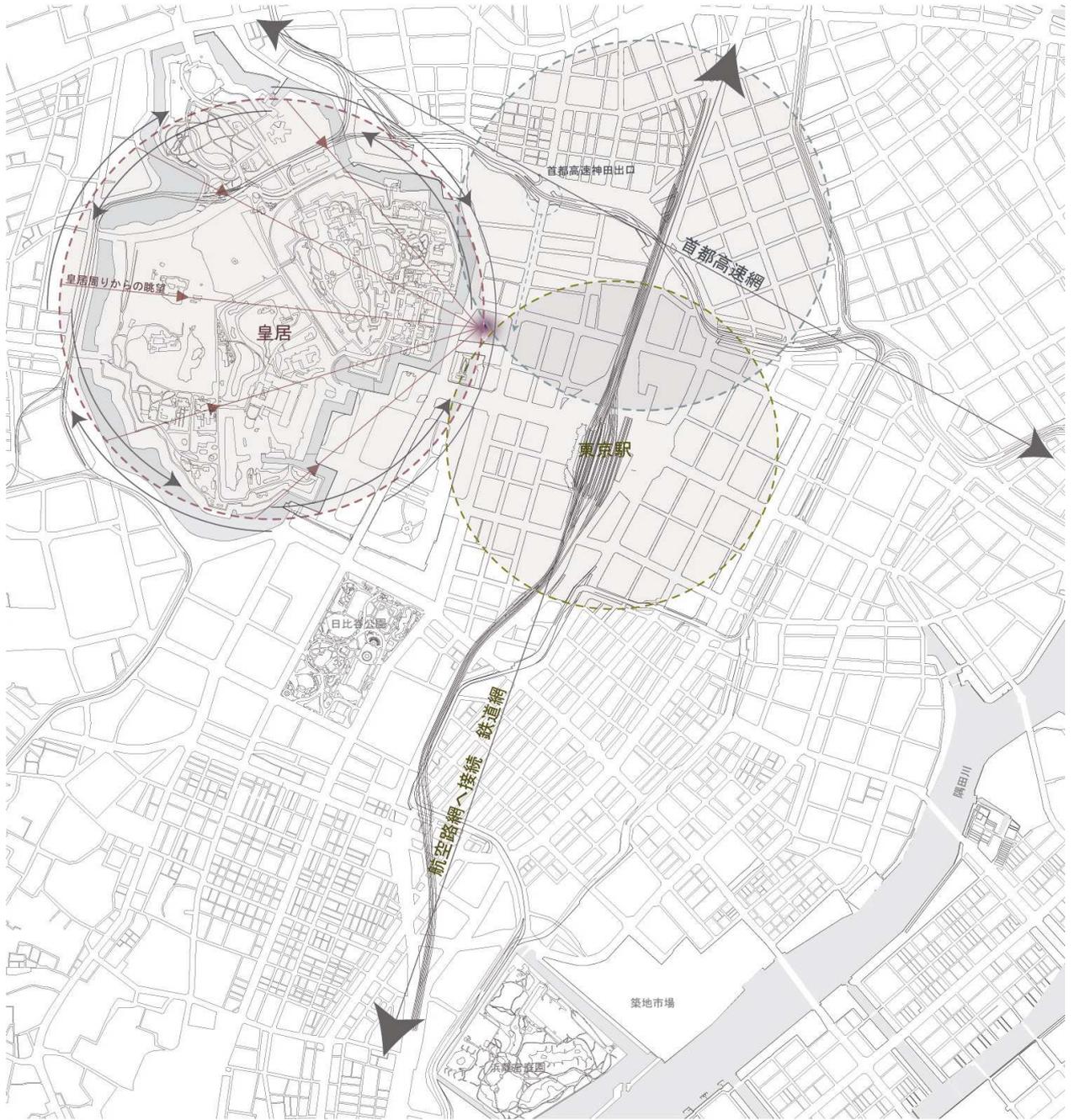
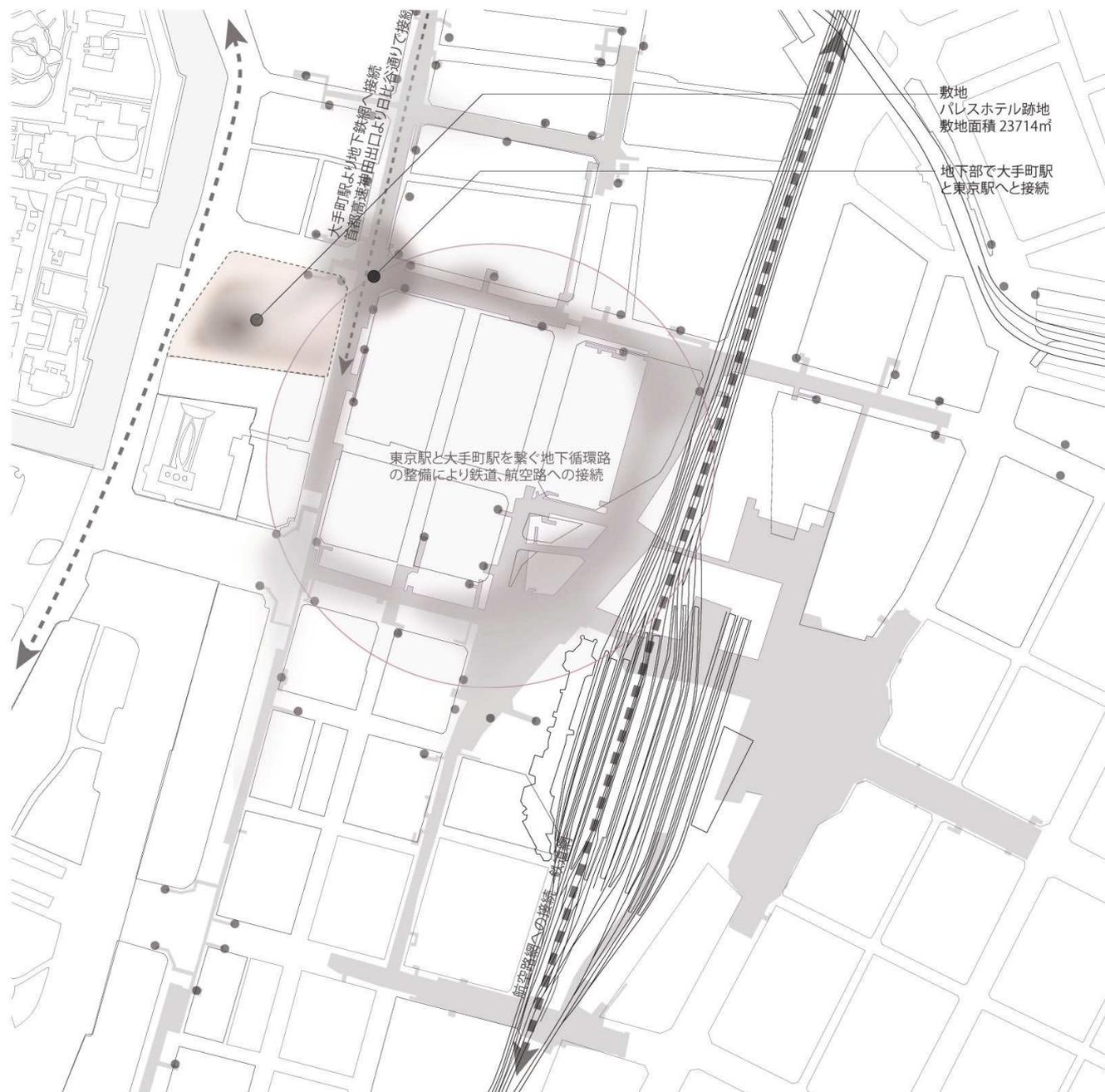


図7.7.5 敷地広域図

東京の中心である皇居を取り囲む内堀通り、首都高速度道路、東京駅、3つの異なる巨大な循環するノードの接点を敷地と設定する。経済、文化、生活等の発信する場として、物理的な循環が産み出すポテンシャルは高いと考える。

図7.7.6 敷地小域図



東京駅（丸の内）付近には、地上に繋がる商業施設、オフィスビルなどが持つ人の流れの他、地下にも大きな空間を有し、敷地に地下空間からも引き込み、循環する動線を提案する。

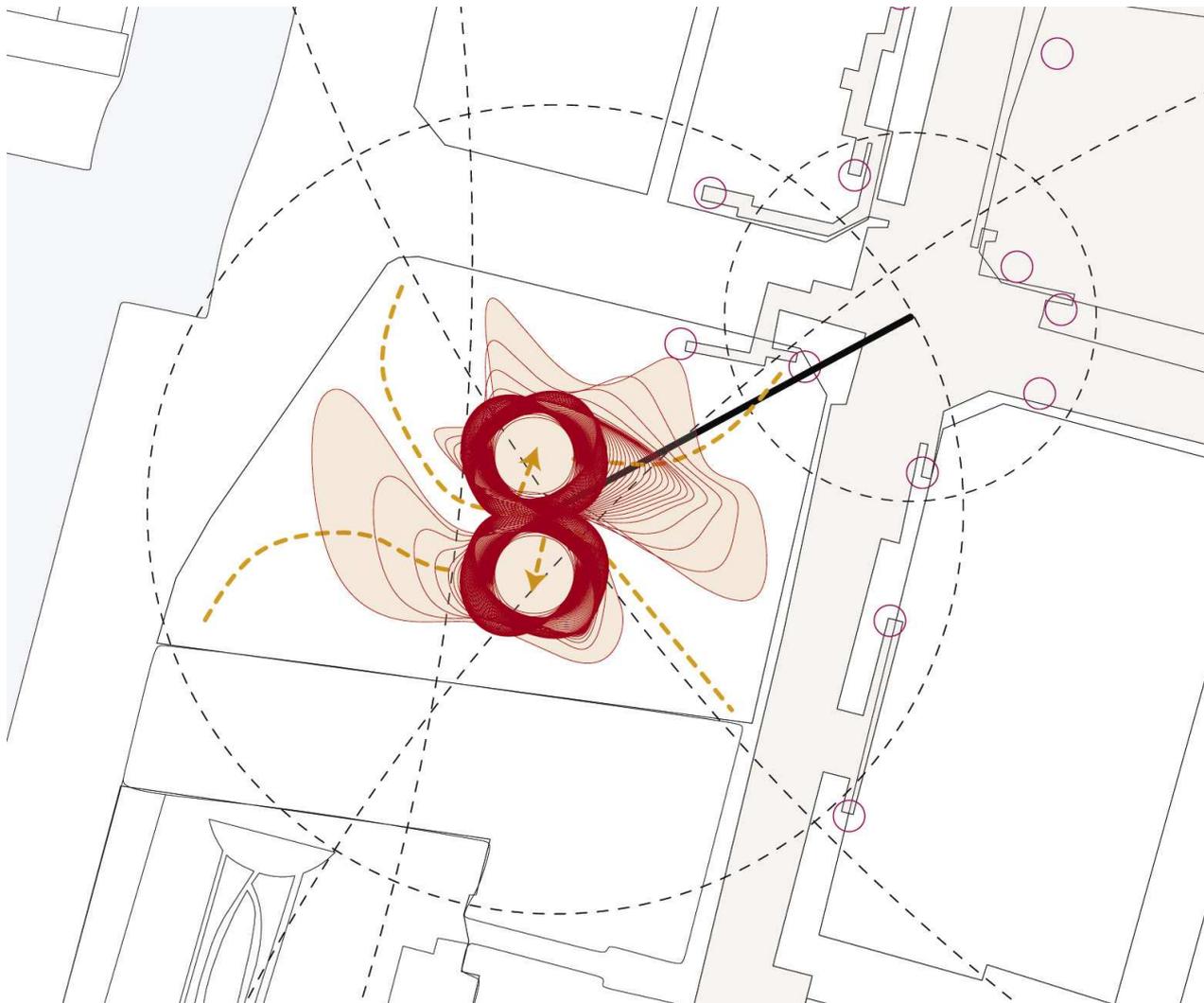


图 7.7.7 敷地配置図

7.7.3 プログラムの検討

現在の東京という都市が抱える問題点にどう高層ビルが 応えるかという社会性、そして既存の都市構造を強化するための機能性、そして今後建築が抱える環境への配慮という環境性の検討を踏まえてのプログラム・クライテリアの検討を行う。

既存の超高層ビルの機能分析により、現代に求められる超高層ビルには、都市活動を促す労働空間、住労接近を可能にする都心の住居空間、都市活動を活性化させる商業空間、そして新しい文化を発信する場となる文化空間の四位一体の機能が求められると考える。そして東京を覆う水平的な階層的ネットワークの統合ポイントとして垂直に延長すべく、ポディウムレベルにおいて既存のネットワークへの接合が不可欠と考えられる。

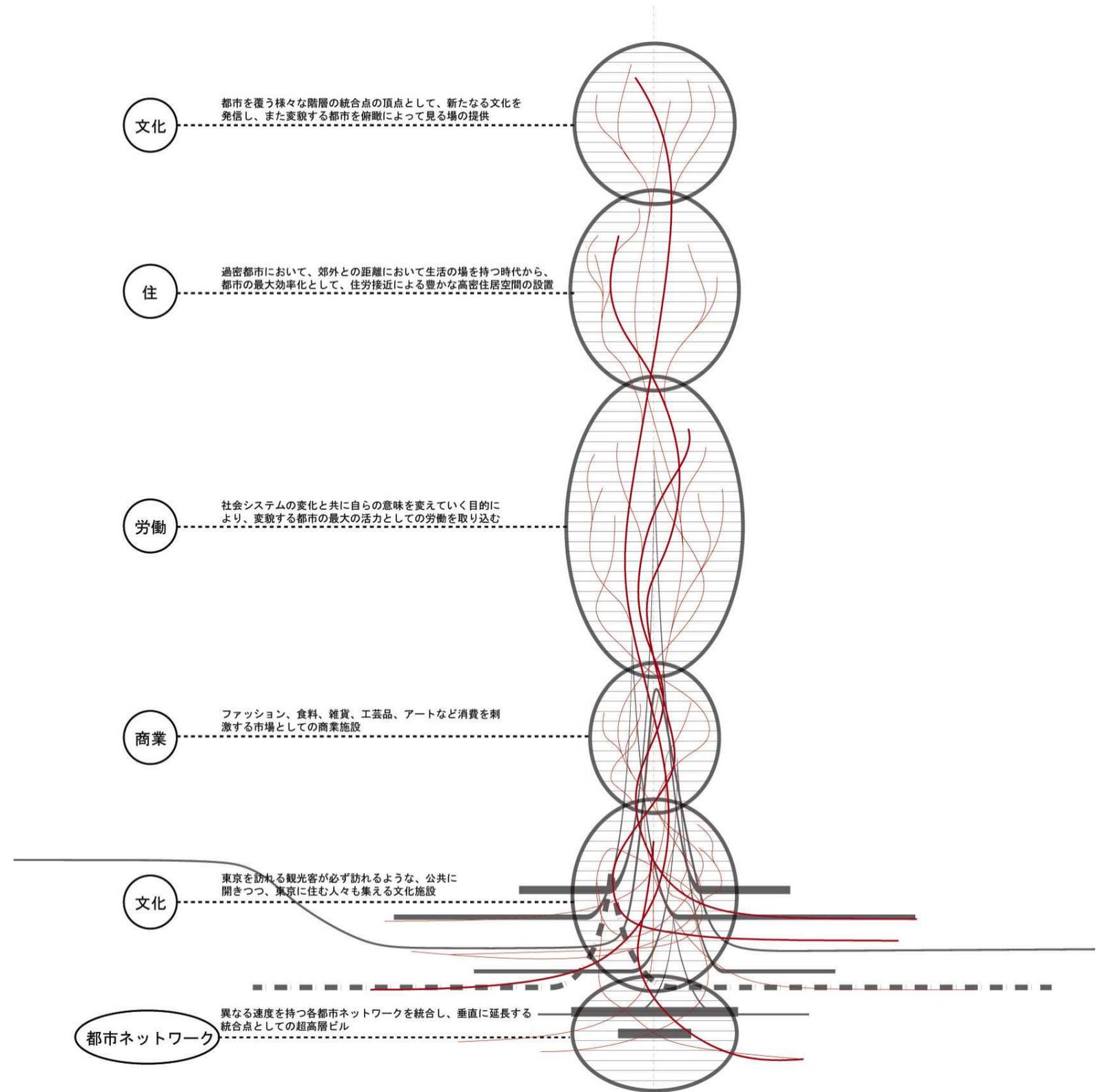


図 7.7.8 東京スカイスクレーパー機能分布

現在の社会的背景を考慮したときに、東京に欠けていると思われる都市的機能分析を行う為に、東京に存在する文化・文教施設の分布を分析する。



図 7.7.9 東京の既存文化・文教施設の分布

敷地周辺は、ネットワークの最大の接合点になっているにもかかわらず、劇場・音楽ホール以外の都市文化施設は多く見られない。多様な年代に求められ、かつ国外からの観光客の利用も考えられる国際的美術館と東京の知のアーカイブとしての国立図書館の二つが、東京のアイコンとしての超高層ビルに必要と考える。

7.7.4 形状の検討

地震国であり、限られた敷地の首都東京の土地利用をより効率化、高密度化する為の超々高層ビルの在り方としての新しい構造計画の在り方、経済性だけでなく地域社会の文化性に根付いた新しいテクノロジーの表象のアイコンとしての意匠、将来的な社会的劣化、機能的劣化（相対的劣化）に対応できる、フレキシビリティを備えた内部空間の機能性の設計検討を行う。

耐風実験、耐圧実験より風応答と居住性において有効だと数値で検証されたセットバック・ヘリカル・ヴォイドを元にアスペクト比8の400Mのスカイスクレーパーの形状スタディを進める。

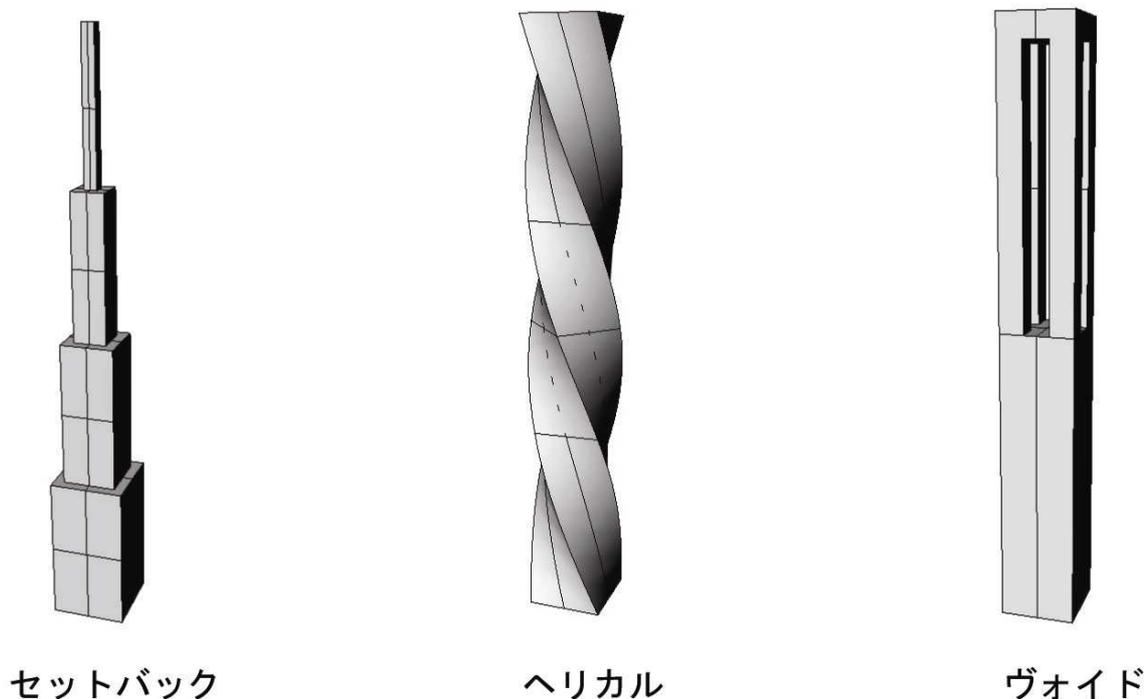


図 7.7.10 セットバック・ヘリカル・ヴォイドの基本形状

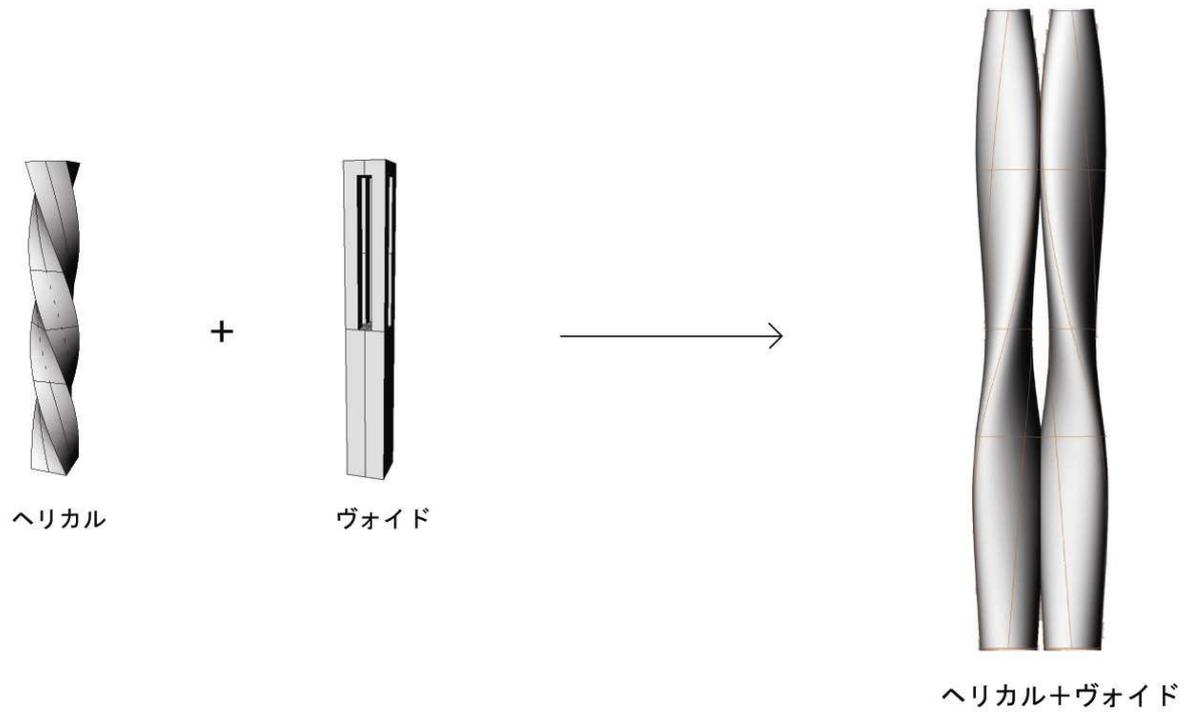


図 7.7.11 「セットバック」「ヘリカル」「ヴォイド」の組合せスタディ 1

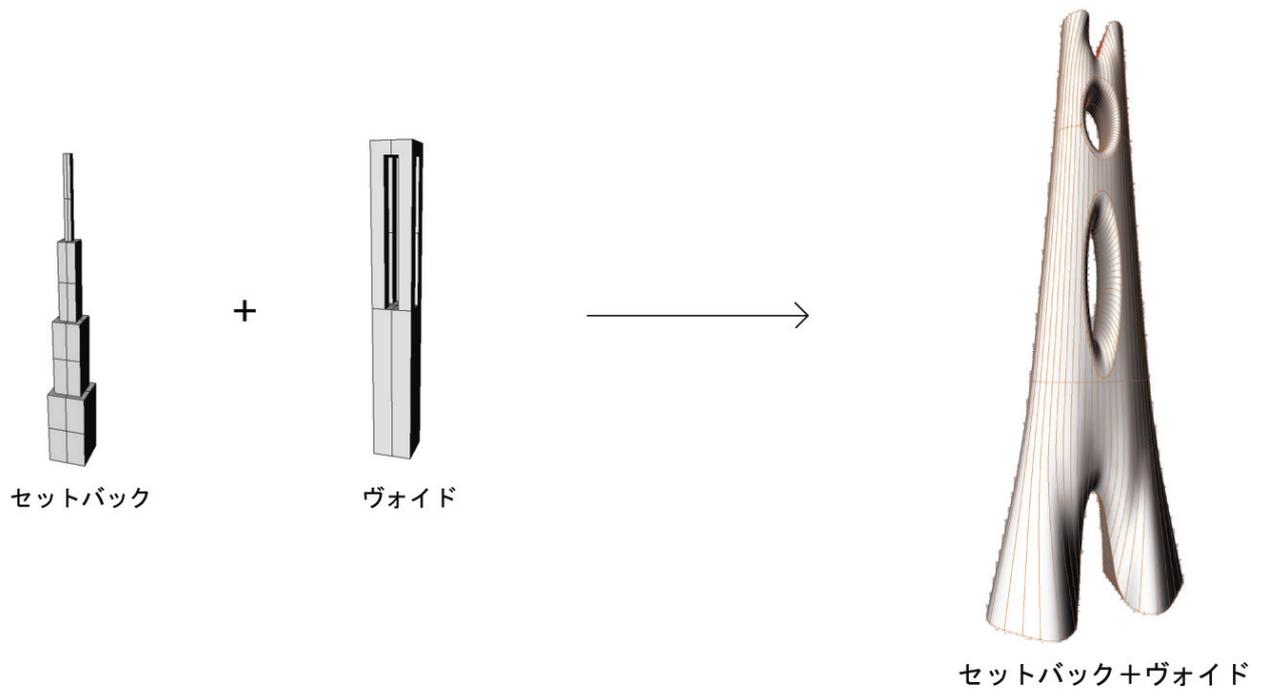


図 7.7.12 「セットバック」「ヘリカル」「ヴォイド」の組合せスタディ 2

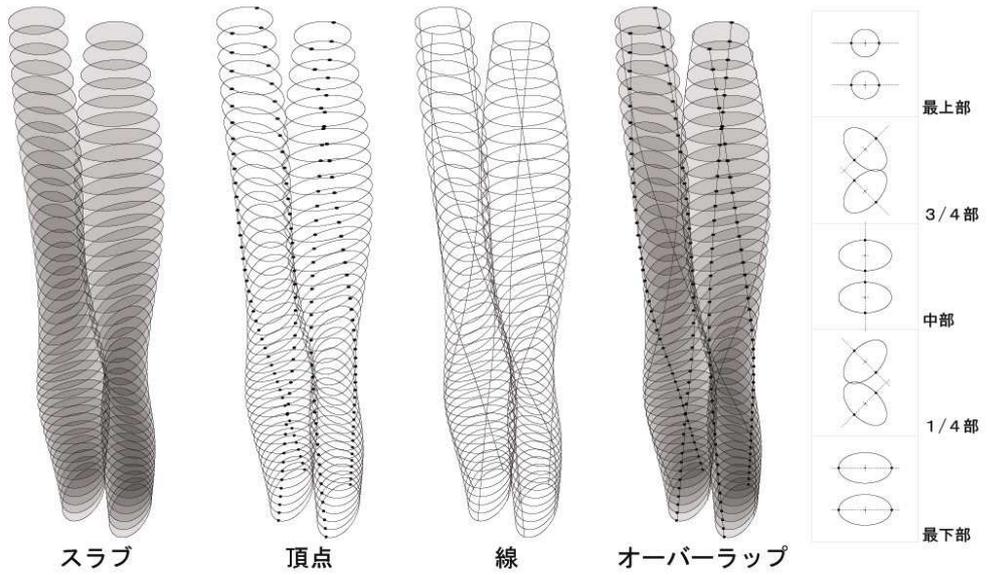
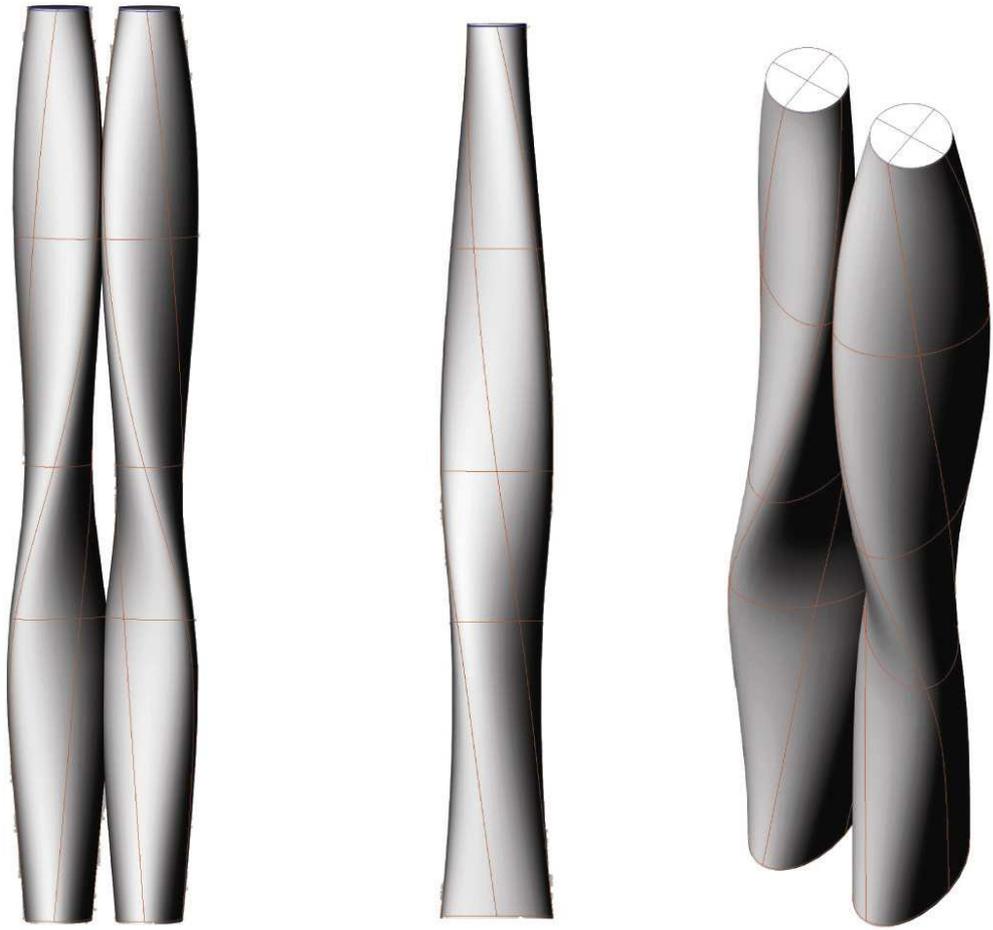


図 7.7.13 楕円 > 楕円 > 円 のツイスト形状の検討



セットバック+ヴォイド



ヘリカル+ヴォイド



ヘリカル+平面形の変形



ヘリカル+平面形の変形



ヘリカル+ヴォイド+平面形の変形

図 7.7.14 形態分析模型

構造架構計画

ダブルスパイラルチューブ架構

コア柱は直柱、外周柱は斜柱とし、約 10 階毎（高さ 50m 毎）に隣接柱と交差するように 2 重螺旋配置とする。外周柱を交差させることで外殻チューブ架構を構成し、ねじれ剛性およびベアリングウォールとしての剛性および耐力を確保する。

立体張弦架構+エコチューブ

張弦梁を求心状に配置して鉄骨量削減・重量低減を図る。

立体張弦中心のコンプレッション・テンションリングの中心に、構造・建築・環境計画上に利点をもつ「エコチューブ」を設ける。

エコチューブは建物の水平振動時に逆位相の変形となるように質量制振効果を持たせる。ダンパーによりエネルギー減衰効果をさらに高める。

エコチューブは上下階を連結する浮遊感のある階段とし、光ダクトを兼ね空中中庭として機能する、自然を取り込んだ執務環境を提供する。

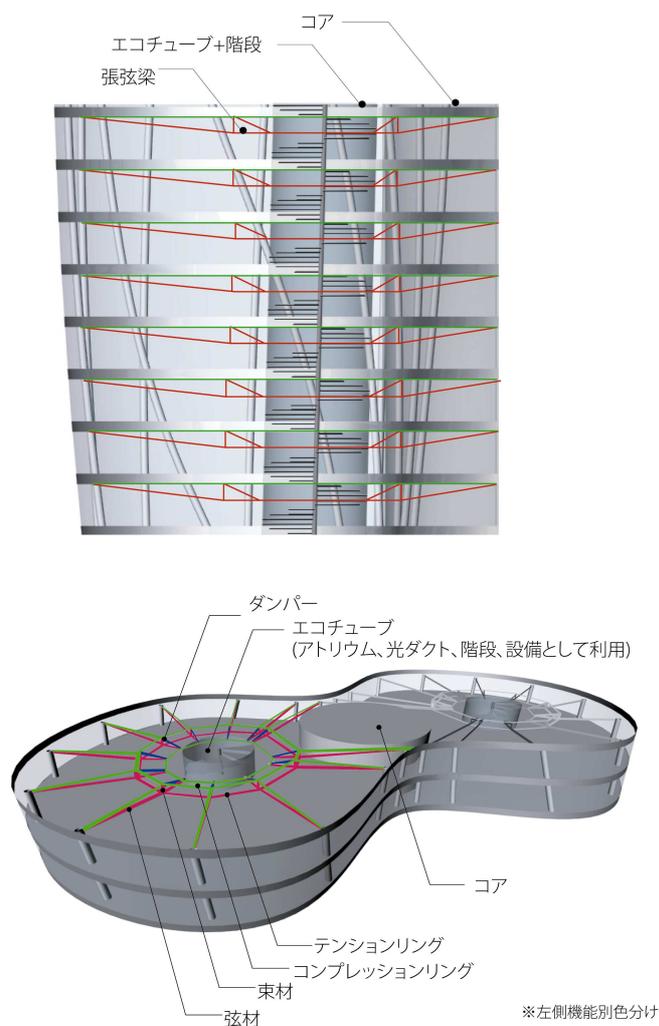


図 7.7.15 立体張弦梁架構+エコチューブ 概念図

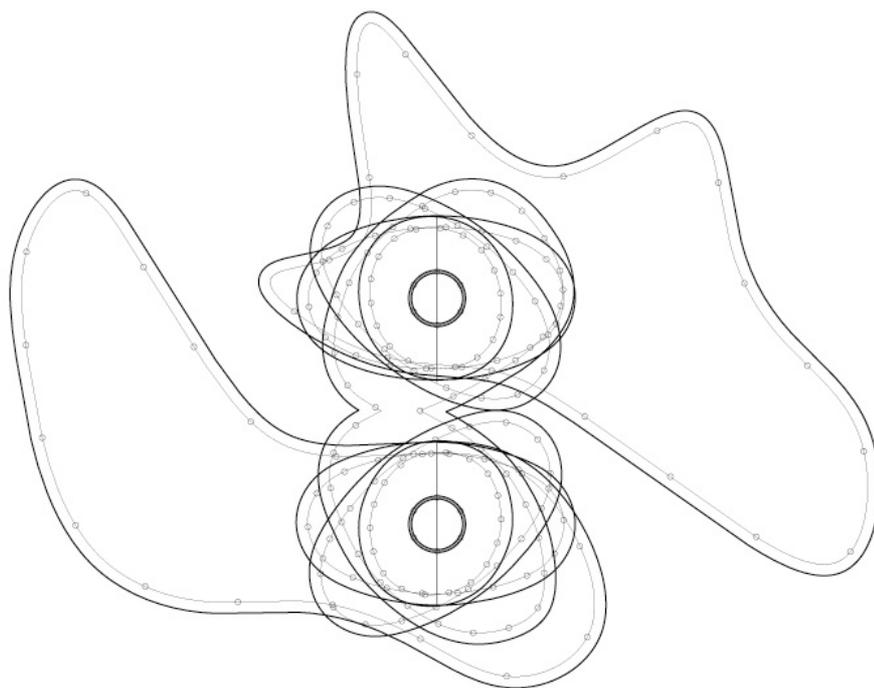


図 7.7.16 形態分析模型 A 案 平面ダイアグラム

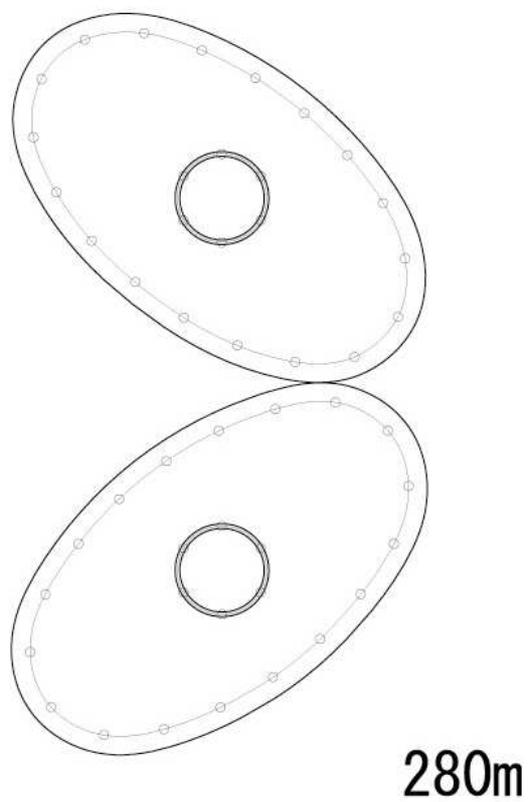


図 7.7.17 形態分析模型 A 案 基本階平面ダイアグラム

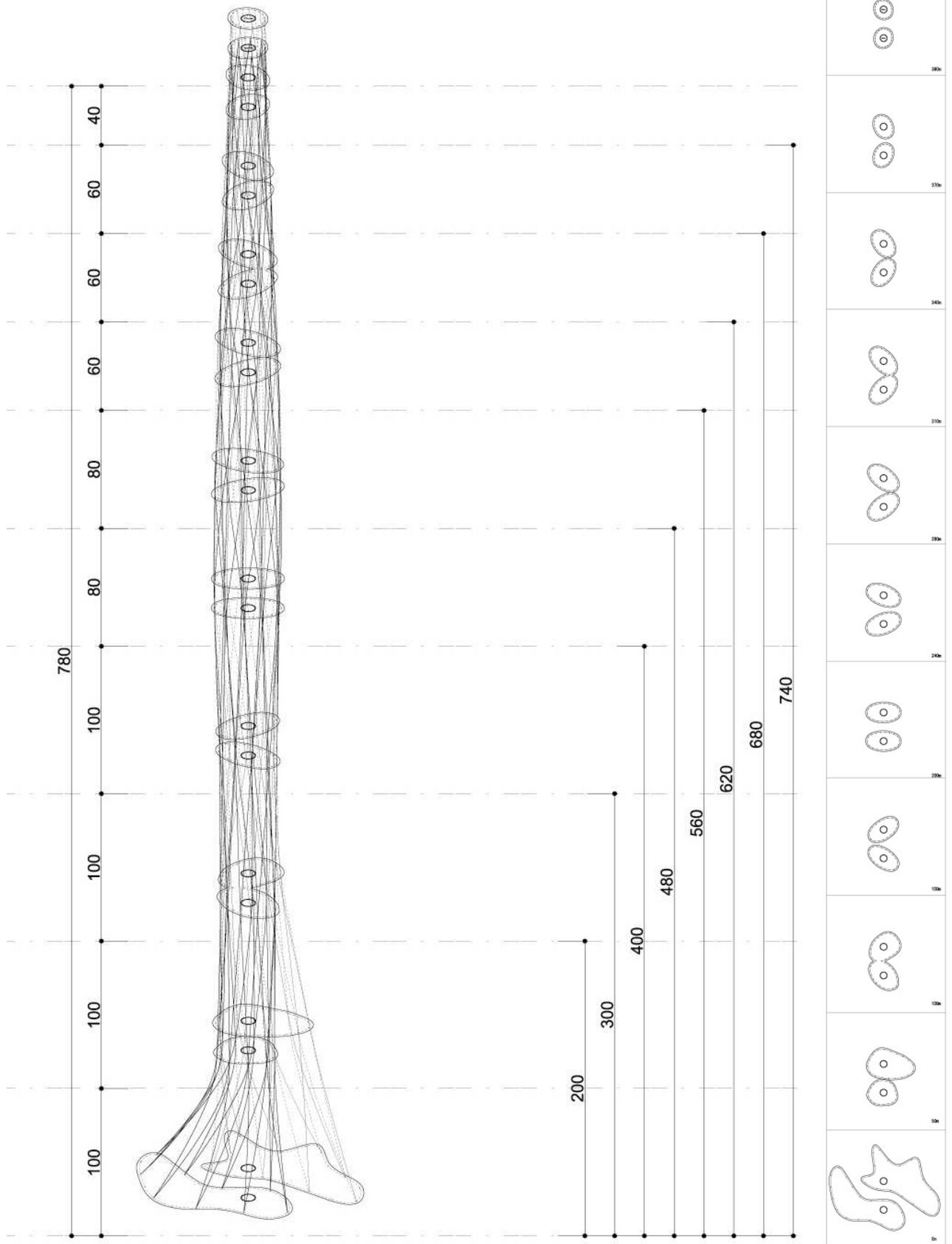


図 7.7.18 形態分析模型 A 案 平面形状ダイアグラム

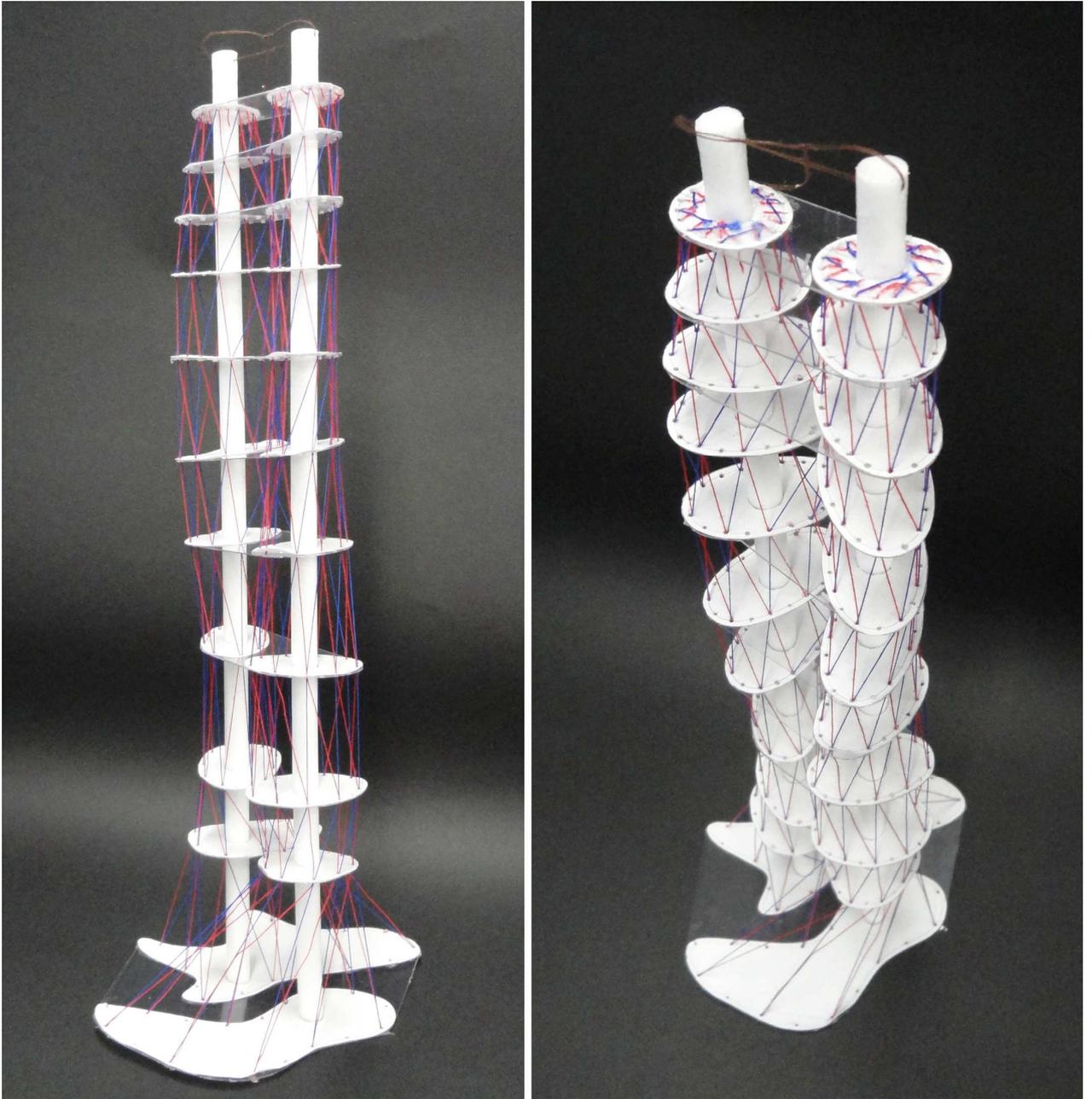


図 7.7.19 形態分析模型 A 案 構造分析模型 (その 1)

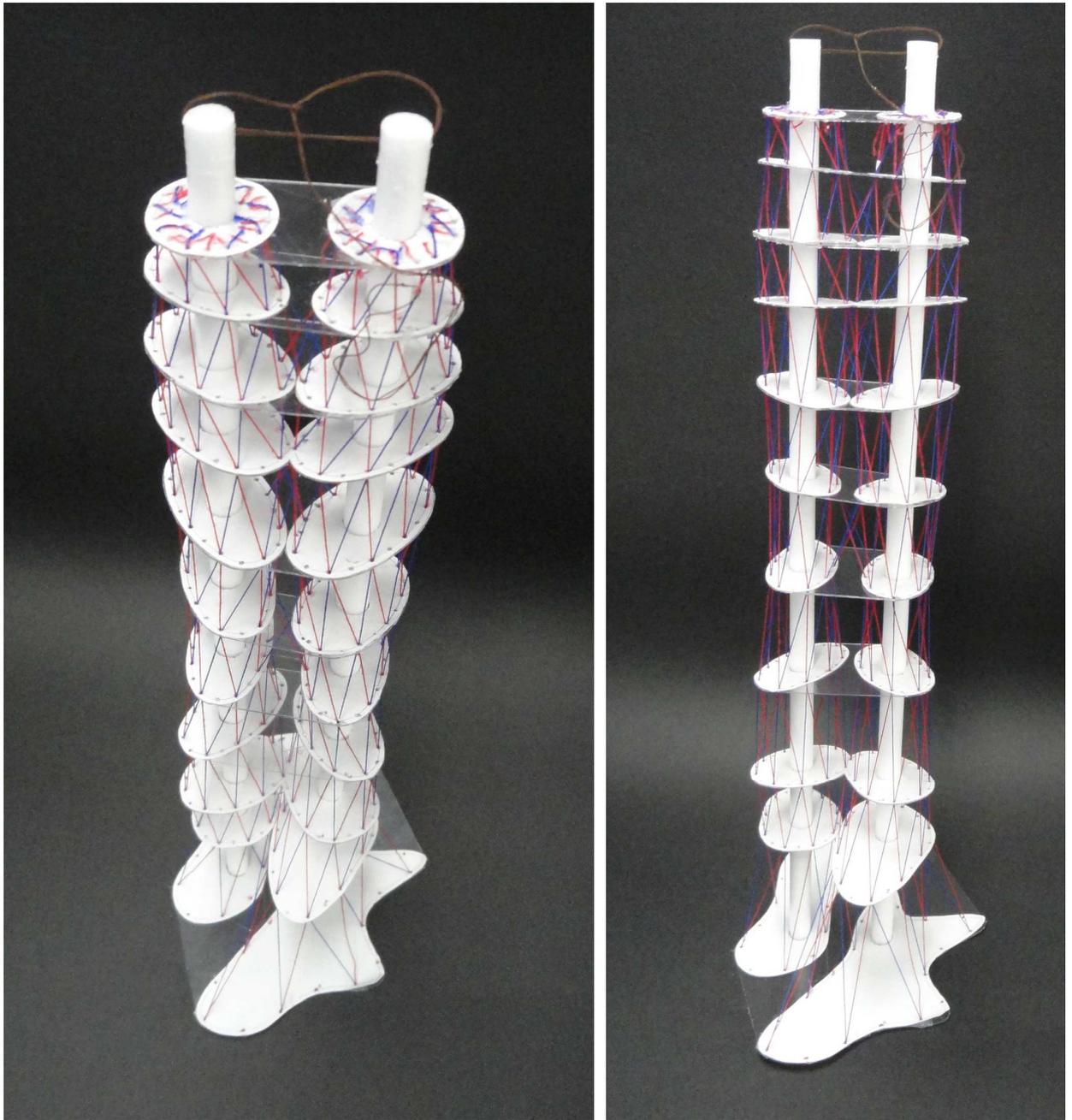
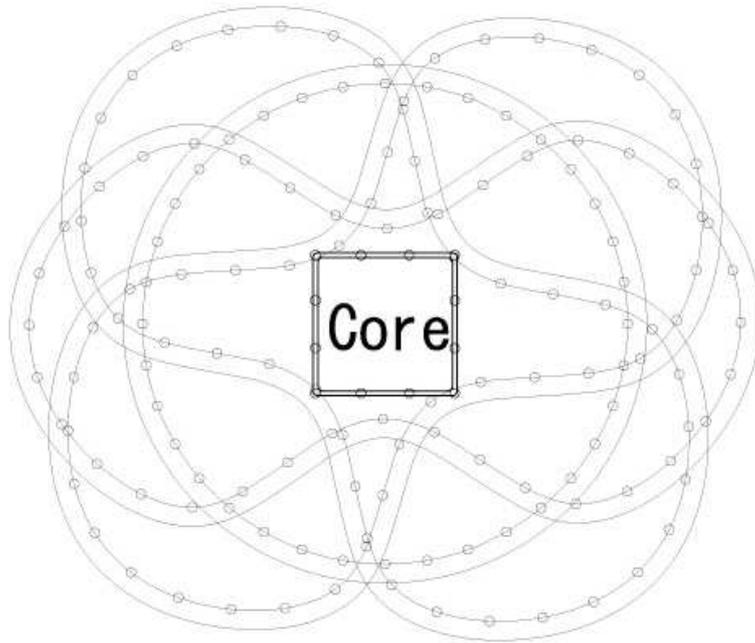
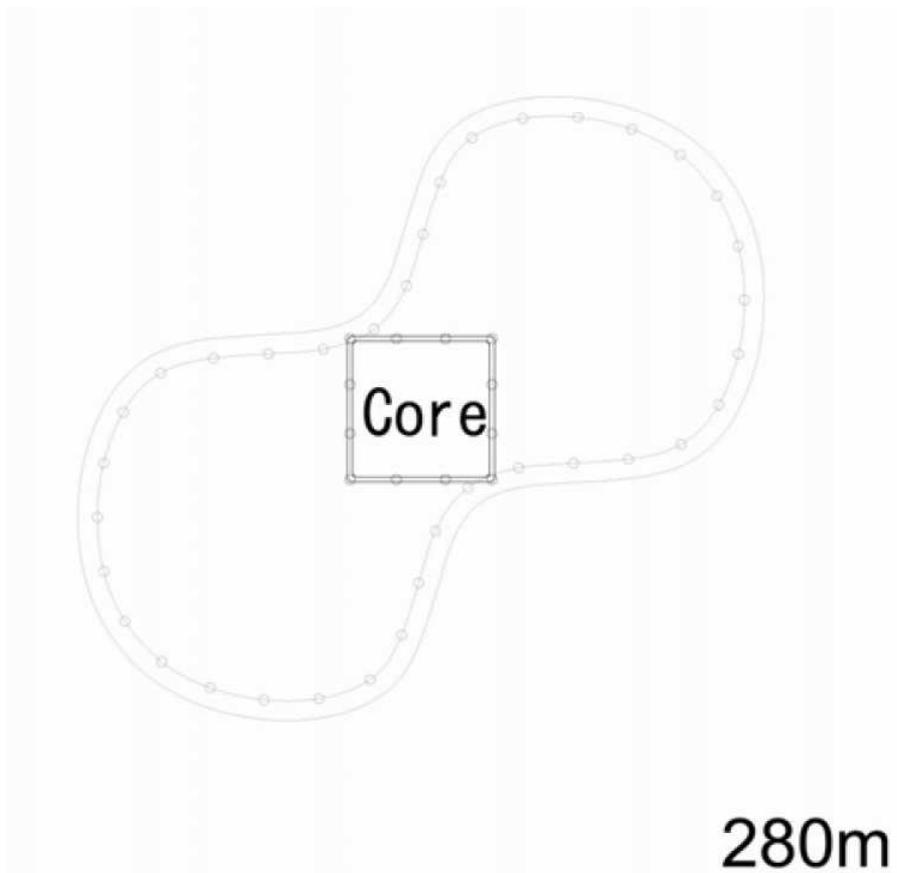


図 7.7.20 形態分析模型 A 案 構造分析模型 (その 2)



0m

図 7.7.21 形態分析模型 B 案 平面ダイアグラム



280m

図 7.7.21 形態分析模型 B 案 基本階平面ダイアグラム

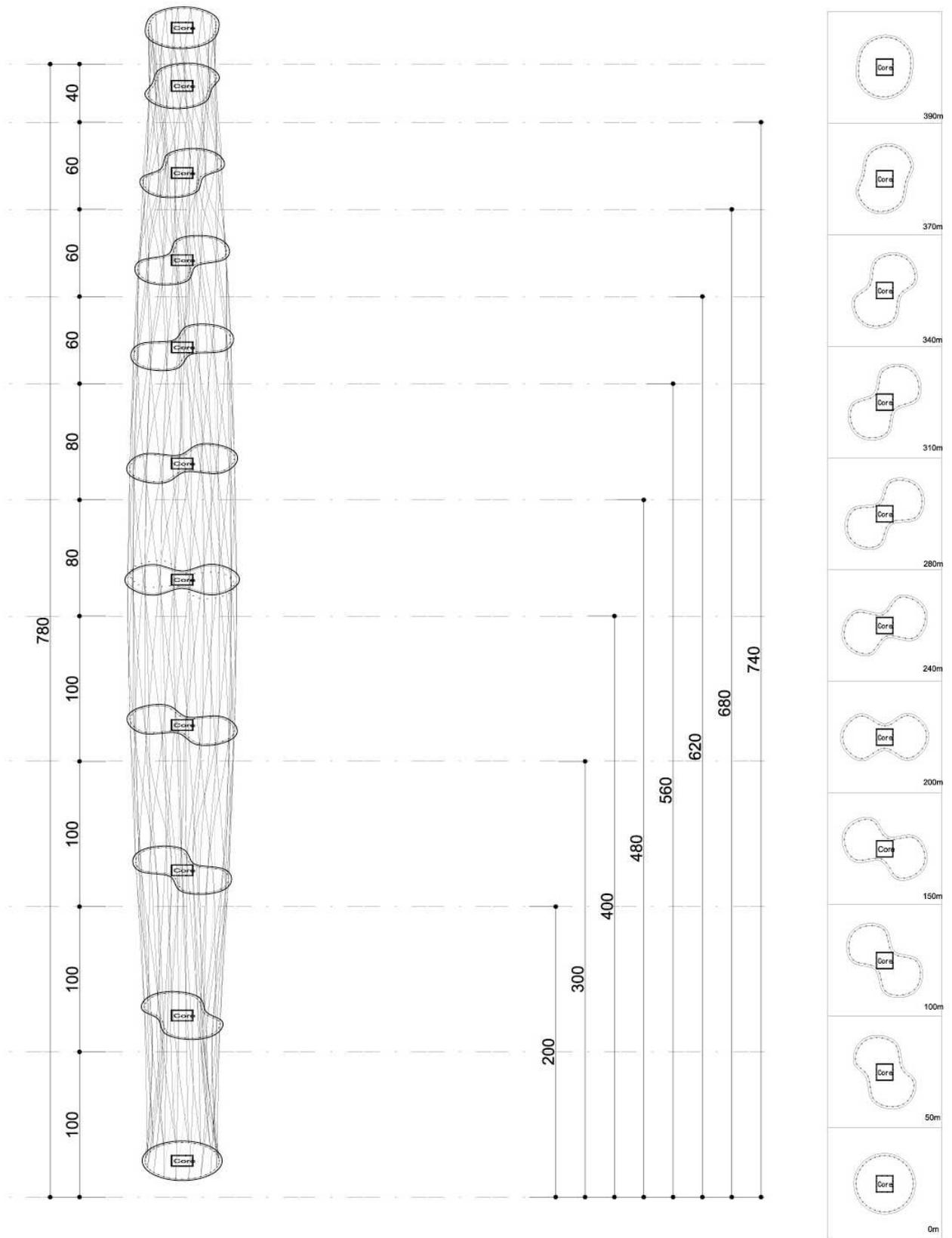


図 7.7.22 形態分析模型 A 案 平面形状ダイアグラム

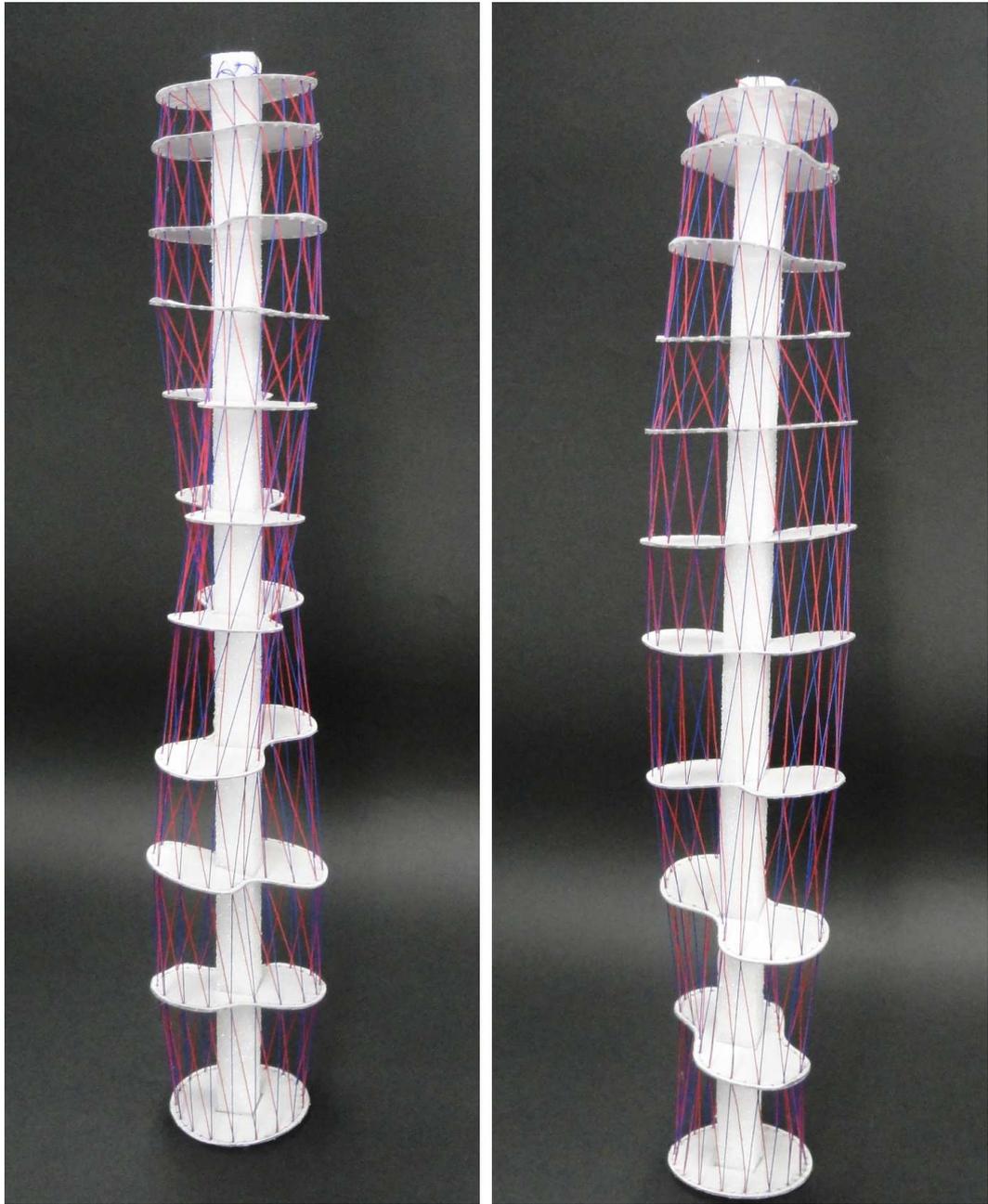


図 7.7.23 形態分析模型 B 案 構造分析模型 (その 1)

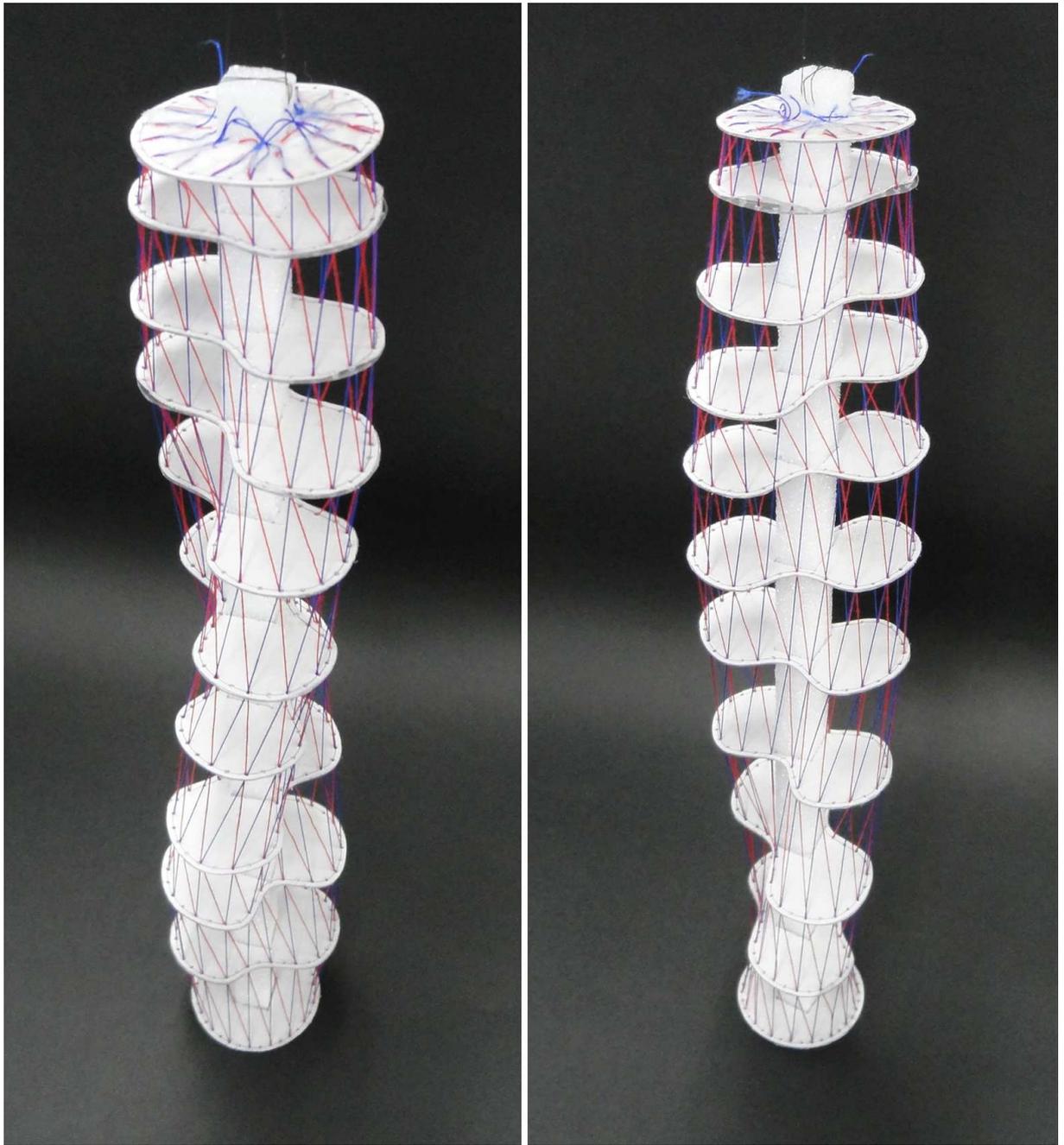


図 7.7.24 形態分析模型 B 案 構造分析模型 (その 2)



図 7. 7. 25 形態分析模型 A 案 パース 1



図 7. 7. 26 形態分析模型 A 案 パース 2



図 7. 7. 27 形態分析模型 B 案 パース 1



図 7. 7. 28 形態分析模型 B 案 パース 2

8. 研究成果の刊行に関する一覧表

刊行書籍又は雑誌名（雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名）	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
日本建築学会学術講演梗概集 （東北）、新しい形態を有する 超々高層建築物の風外力に関する 研究（その1）種々建物形態 の風力特性比較	2009年8月	日本建築学会	田中英之 田村幸雄 ほか4名
日本建築学会学術講演梗概集 （東北）、新しい形態を有する 超々高層建築物の風外力に関する 研究（その2）螺旋形状建築 物の風力特性	2009年8月	日本建築学会	大竹和夫 田村幸雄 ほか4名

9. 研究成果による知的財産権の出願・取得状況

知的財産権の内容	知的財産権の 種類、番号	出願年月日	取得年月日	権利者名
なし				

10. 成果の実用化の見通し

平成22年4月より、これまでの研究成果を論文・雑誌などにより積極的に国内外に発表し、本研究成果の積極的PRを実施する予定である。2010年3月現在において、投稿済みの論文は2010 Structures Congress、投稿準備中の論文は平成22年日本建築学会・大会である。そのほか、13th International Conference on Wind Engineering・Amsterdam（2011開催）、CTBUH 9th World Congress、その他国際会議やジャーナルへの発表も随時進めていく予定である。

一方、本研究では国際風工学会（IAWE）の会長であり耐風設計およびその居住性能評価等で多くの研究実績を有する代表研究者と、構造設計や制振などの最先端建築構造技術力を有する実務経験者（設計事務所や総合建設業者）が協力し、学術および実務の両面から研究開発を行ってきた。当然ながら、超高層ビルの開発事業者のニーズについても強く意識した研究内容である。研究終了後は、研究開発メンバーが中心となり、超（々）高層再開発ビルの分野で本研究開発の成果を展開していくとともに、国内外の建設事業者やビル開発事業者も本研究開発の成果を展開していくものと確信している。

11. その他

8. 研究成果の刊行に関する一覧表に記載の論文複写を次頁以降に示す。