

港湾における護岸等の耐震性調査・ 耐震改良のためのガイドライン

平成 30 年 6 月

国土交通省 港湾局

はじめに

石油コンビナートや工場が立地する臨海部における埋立地等の地盤は、護岸や岸壁などに支えられている。高度経済成長期に整備された多くの民有護岸等は、整備後40年以上経過して老朽化が進む一方、南海トラフ地震や首都直下地震等の地震が切迫しており、損壊のリスクが高まっている。

護岸等が損壊した場合、背後地盤を支える機能や波浪等から背後地を守る機能を失うだけでなく、背後地盤等の流動に伴う背後の生産・貯蔵施設への影響や工場全体の生産活動が停止するおそれがある。また、航路に近接した護岸等が倒壊した場合、船舶航行に支障を及ぼすなど港湾活動に大きな影響を及ぼすおそれもある。

このため、損壊時の影響を考慮して護岸等の耐震性を適切に認識・評価した上で、耐震性が不足するものについては耐震改良を進める必要があるが、その技術的な難しさや費用負担等から耐震性調査や耐震改良は進んでいない。

本ガイドラインは、民間事業者が所有する護岸等の耐震改良に際しての技術的な支援のため、耐震性調査や耐震改良の手法について解説する。耐震性調査については、優先的に耐震改良を行う箇所を把握することを目的として、チャート式耐震診断システム等を利用し簡易かつ安価に護岸等の耐震性を把握する手法を提示する。耐震改良については、費用等の負担を軽減するための耐震改良の考え方や耐震改良工法を提示する。また、民有護岸等を耐震改良する際の支援制度について紹介する。

本ガイドラインは、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）レジリエントな防災・減災機能の強化（課題名：大規模実証実験等に基づく液状化対策技術の研究開発）及びインフラ維持管理・更新・マネジメント技術（課題名：港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発）と、平成29年度港湾施設の護岸等における簡易・簡便な耐震調査手法及び耐震改修工法に関する検討業務における検討の成果を活用し、国土交通省港湾局が策定したものである。取りまとめに際しては、港湾施設の護岸等における簡易・簡便な耐震調査手法及び耐震改修工法に関する検討委員会による、技術的な検討結果を踏まえて策定した。

港湾施設の護岸等における簡易・簡便な耐震調査手法及び
耐震改修工法に関する検討委員会 名簿

区 分	氏 名	所 属 先
委員長	末政 直晃	東京都市大学 工学部都市工学科 教授
委 員	菅野 高弘	(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 上級専任研究員 (SIP 研究責任者)
委 員	小濱 英司	(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 耐震構造研究グループ長 (SIP 研究担当者)
委 員	西 晴樹	総務省 消防庁 消防研究センター 火災災害調査部長 (SIP 研究責任者)
委 員	加藤 雅啓	国土交通省 港湾局 海岸・防災課長
委 員	西尾 保之	国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室長

目次

第1章 総則	1
1.1. ガイドラインの趣旨	1
1.2. 民有護岸等の現状と耐震性確保に係る課題	3
1.3. ガイドラインの対象範囲	12
第2章 耐震性調査手法	13
2.1. 簡易・簡便な耐震性調査の調査手順	14
第3章 護岸等の耐震改良工法	21
3.1. 耐震改良の必要性	21
3.2. 事前の耐震改良のメリット	21
3.3. 耐震改良を行う事業者の考え	24
3.4. 一般的な護岸等の耐震改良工法の考え方	24
3.5. 耐震改良に係る負担軽減の着眼点	25
3.6. 負担軽減を可能とする耐震改良工法の事例	27
第4章 民有護岸等の耐震改良のための支援制度	37
解説	解-1
A. チャート式耐震診断システムの貸与申請等の窓口	解-2
B. 港湾の施設の技術上の基準とその変遷	解-3
C. 護岸等の重要度の設定の考え方	解-8
D. 基本情報による耐震診断の判断基準	解-10
E. チャート式耐震診断	解-12
F. 共有地盤情報の入手と留意点	解-33
G. PDC・表面波探査法による地盤情報の入手	解-34
H. 耐震性の判断基準と耐震対策の必要性の判断	解-40
I. 耐震性に係る点検診断	解-58
J. 総合判定の一例	解-65
K. 栈橋の耐震診断	解-66
L. 技術基準・同解説に基づいた耐震照査	解-68
M. 護岸等の耐震改良に係る許認可等について	解-73

第1章 総則

1.1. ガイドラインの趣旨

1960年代からの高度成長期に石油コンビナートや各種工場群が臨海部の港湾に建設され、日本の経済発展に大きく貢献してきた。これら臨海部のコンビナート地域は、一般に河口部や沿岸部に造成された埋立地等に立地している。これらの埋立地等の地盤は、周囲の護岸や岸壁等により土留めされ、潮汐や波浪、津波による浸食等から防護されることにより、種々の構造物や施設が立地することが可能となっている。

南海トラフを震源域とする巨大地震は、これまで100年～150年程度ごとに繰り返し発生しており、近い将来の発生が懸念されている。東北地方太平洋沖地震の震源域を含む日本海溝や関東大震災の震源域を含む首都圏に近い相模トラフでも、過去に繰り返し巨大地震が発生していることが知られている。さらに、こういった巨大地震の前後に陸域の活断層を震源とする地震活動が活発になるとも言われており、地震に対する備えの重要性が高まっている。一方、臨海部の埋立地は、一般に地盤が軟らかいため地震動が大きく、埋立て材として使用されている砂や砂質土は、地震による液状化が発生する可能性が高い。また、臨海部において護岸等の多くが整備された1960年代から1970年代ころは、設計や施工における地震力や地盤の液状化に関する知見が十分でなく、護岸等の維持管理体制も整備されていなかった。このような背景から、十分な地震への耐力を有しない老朽化した施設が、急増すると考えられる。

1995年に発生した兵庫県南部地震の被災事例からは、地震と液状化によって護岸等が倒壊するばかりでなく、液状化による側方流動が数十mから数百mの陸側区域に及び、埋立地盤の水平変位や沈下の影響が発生する可能性があることが示唆された。護岸の背後には構内道路や配管類等のみならず、重要な生産施設や貯蔵施設もあり、岸壁や栈橋等の係留施設は荷さばき施設とともに原材料や生産品類の入出荷に関係しているため、護岸等が損壊すると事業継続にとって大きな打撃が生じることも想定される。さらには、航路に面した護岸等が地震により倒壊した場合には、背後地盤の液状化による流動、潮汐による潮位の干満や津波等により護岸背後の土砂等が前面海域に流出する恐れがある。流出した土砂により航路が埋没すれば、船舶の航行に支障を及ぼし、緊急物資輸送やサプライチェーンに影響を及ぼす事態も想定される。

既設護岸等の民間業者が保有する施設の耐震性を確認するための一般的な方法は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下「技術基準・同解説」という。）の性能照査手法によるものである。ただし、技術基準・同解説の方法により耐震性を確認するには多くの費用や時間が必要になるなど、事業者の負担は小さくない。特に、施設延長が長く、多様な構造形式の護岸等の全長に、この方法を適用して耐震性の診断を行うことは、相当な困難を伴うことも想定される。

また、既存施設の改良に当たっては、現行の港湾の施設の技術上の基準（以下「技術基準」という。）に適合する必要があるため、施設が少なくともレベル1地震動に対する耐震性を確保しなければならない。また、護岸等の位置づけにより、レベル2地震動に対す

る耐震性の確保が必要な場合もある。

一般的には、**図 1-1** に示すように、護岸等は陸側から航路側への恒常的な土圧を支えているが、地震により（液状化発生を含む）護岸等の背後地盤からの土圧が増大し、護岸等の支える力を上回った際に護岸等が損壊する。このため一般的な耐震改良工法は、支える力を増大させるか、土圧や液状化による作用を低減させる必要がある。特に液状化対策は背後地利用への支障や対策費用の増大など大きな経済的負担が生じる傾向がある。

そこで、本ガイドラインでは、チャート式耐震診断システム等を利用した簡易かつ安価に護岸等の全延長の耐震性を把握する手法を提示することにより、耐震性を考慮する上での目安を示す。また、費用等の耐震改良に係る負担を軽減するための耐震改良の考え方や耐震改良工法を示す。

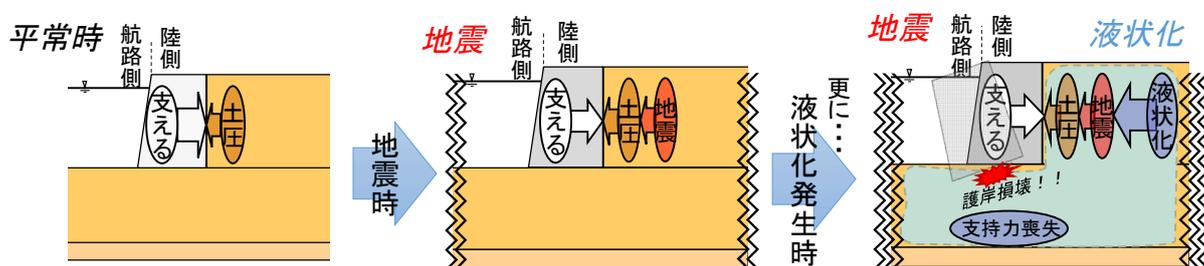


図 1-1 地震による護岸等の損壊のメカニズム

1.2. 民有護岸等の現状と耐震性確保に係る課題

本ガイドラインでは、臨海部にある工場等の地盤を支える構造物である護岸、岸壁及び物揚場を総称して「護岸等」とする。護岸等は、技術基準上ではその機能により、護岸が外郭施設、岸壁及び物揚場が係留施設と分類されているが、いずれの施設も背後地盤を土圧、地震動、波浪等の作用に対して安定的に土留めし、越波や高潮から背後地を防護するとともに、埋立土の流出を防ぐ¹⁾重要な機能を担っている抗土圧構造物であることに着目し、本ガイドラインでは「護岸等」として扱う。

護岸等は、**図 1-2** や**図 1-3** に示すように、護岸等の背後に構内道路、パイプライン、荷役機械に加えて、生産施設や貯蔵施設等が立地している他、護岸の直前面に原料や製品の入出荷用棧橋が立地している場合もある。このため、護岸等が損壊するとこれらの施設にも影響を及ぼすことが想定される。



図 1-2 護岸の例

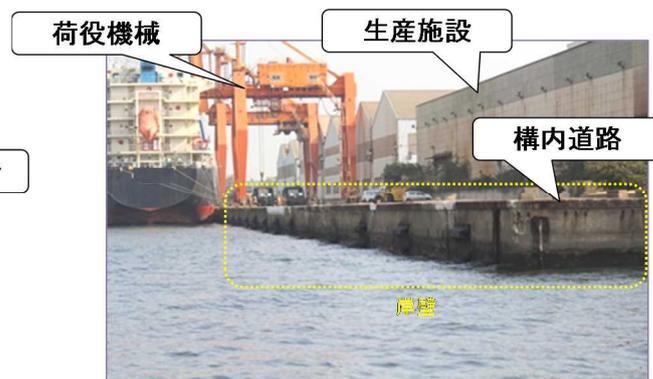


図 1-3 岸壁の例

護岸等に求められる耐震性の検討には、「耐震性に影響を与える要因」と「耐震性不足が与える影響」を把握する必要がある。

まず、護岸等の耐震性に影響を与える要因には、「地震力等の作用」と「護岸等が保有する耐力」がある。両者を比較して耐力が作用を上回っていれば護岸等の耐震性が確保されており、下回っていれば護岸等の耐震性が不足していることになる。耐震性を確保した上で整備された護岸等が耐震性不足となりうる理由は、劣化による耐力の減少、そして、新たな地震学の知見を踏まえた想定地震力増加である。このため、既存の施設が耐震性を有するか否かの判断には、「劣化」及び「現行の地震力と設計時耐力の比較」を考慮する必要がある。

次に、耐震性不足が与える影響としては、直接的な護岸等の機能に係る影響や、それに伴う事業活動への影響、航路への影響が挙げられる。例えば、護岸等の機能に係る影響として、背後地盤を支えられないことや地震により護岸沈下が生じ、天端高不足によって越

1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 p.900

波量が増大すること等の機能の低下が想定される。

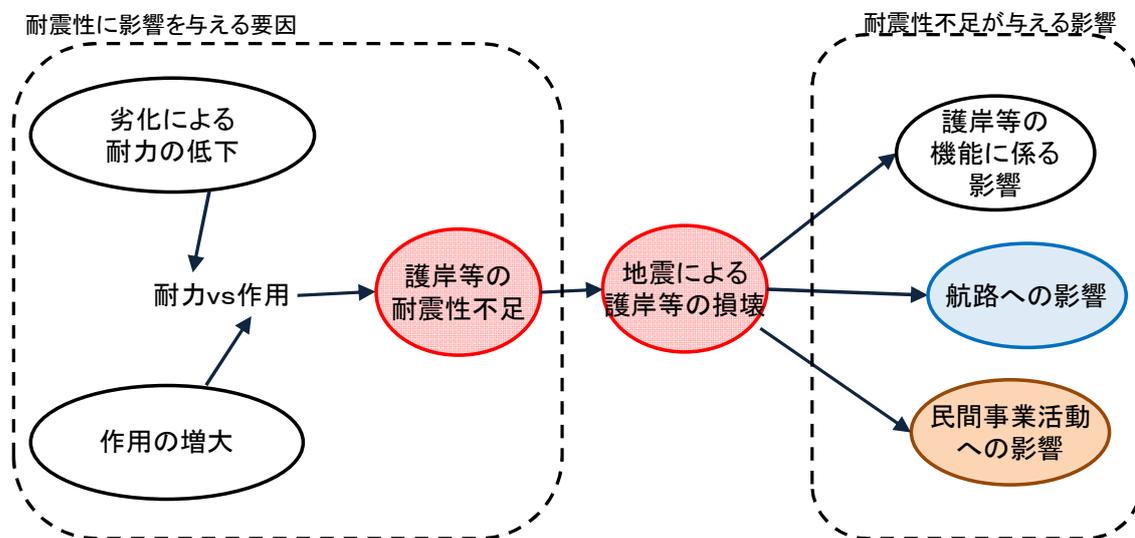


図 1-4 護岸の耐震性の検討に必要な事項

1.2.1. 民有護岸等の構造形式と築造年

護岸等の主な構造形式としては以下のようなものがある。

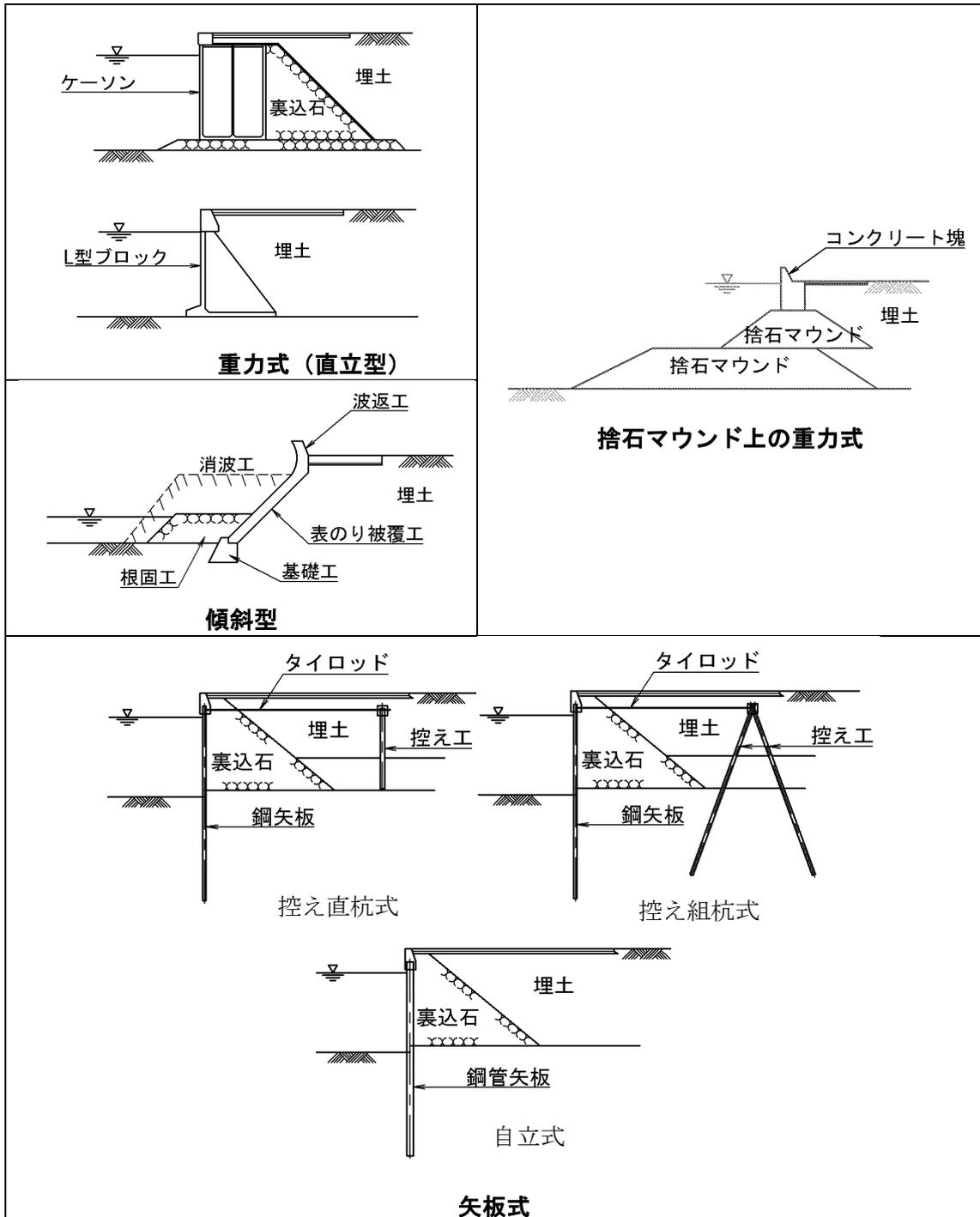


図 1-5 護岸等の構造形式概略図

民間事業者が所有する護岸等（護岸、岸壁、物揚場）の施設延長は、全国の重要港湾以上の港湾において750km程度あり、表1-1に示すように、施設別では護岸が74%、岸壁と物揚場で26%となっている。また、構造形式では護岸において重力式（直立型）が延長の74%を占め、これに傾斜型を加えると約90%となり、重力式護岸（直立型・傾斜型）が最も多い構造形式である。一方、岸壁（水深-4.5m以上）では矢板式が最も多い構造形式であり、延長の58%を占める。民有護岸等の施設全体に対しては、重力式（傾斜型を含む）は約70%、矢板式は約17%となっている。

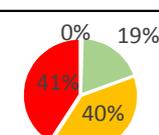
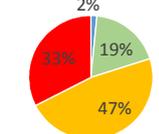
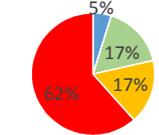
表 1-1 民有護岸等の施設状況²⁾

施設種類	構造形式	延長(km)	割合
護岸 (74%)	重力式(直立型)	406	
	傾斜型	85	
	矢板式	21	
	その他	14	
	不明、未記入	25	
	小計	551	
岸壁 (22%)	重力式	27	
	矢板式	94	
	その他	17	
	不明、未記入	24	
	小計	162	
物揚場 (4%)	重力式	7	
	矢板式	12	
	その他	2	
	不明、未記入	9	
	小計	30	

2) 国土交通省港湾局調べ（延長を確認できた施設に限る。）

表 1-2 に示すように、民有護岸等の大多数が整備後 40 年以上経過しており、2018 年時点で見ると整備後 50 年以上経過している施設（1968 年以前に整備された施設）が約 3 割となっている。更に、今後 10 年間で整備後 50 年以上経過する施設は 5 割超まで増えることが予想される。港湾施設の一般的な設計上の耐用年数が 50 年と設定されている実態に照らすと、耐用年数を超過した施設が現在も一定量存在しているが、今後 10 年間で急増することが予想される。

表 1-2 構造形式毎の整備後からの経過年数³⁾

施設種類	経過年数	延長(km)				計	割合
		重力式	傾斜式	矢板式	その他		
護岸	10年以内	1	1	0	0	2	
	10～40年	51	10	3	2	66	
	40～50年	98	26	11	2	138	
	50年以上	111	23	5	2	142	
岸壁	10年以内	1		1	0	2	
	10～40年	7		15	2	24	
	40～50年	6		48	8	62	
	50年以上	10		23	9	43	
物揚場	10年以内	0		1	0	1	
	10～40年	0		2	0	2	
	40～50年	0		2	0	2	
	50年以上	3		5	0	8	

(表 1-1 の「不明、未記入」及び「整備期間未記入」は除く。) ■ 10年以内 ■ 10～40年 ■ 40～50年 ■ 50年以上

1.2.2. 港湾の施設の技術上の基準の変遷

多くの護岸等の整備が始まった 1960 年代以降における技術基準の主な改訂年度は、1967 年（昭和 42 年）、1979 年（昭和 54 年）、1989 年（平成元年）、1999 年（平成 11 年）、2007 年（平成 19 年）である。港湾の施設の技術上の基準の変遷については、**解説 B** に詳細を示す。1973 年（昭和 48 年）より前に制定・改訂された技術基準は、主に国有施設の整備に用いられた。地震観測記録等の蓄積と分析等により地震力や地震時の構造物や地盤の挙動に関する知見が蓄えられ、技術基準に順次反映されてきた。

液状化に関しては、1964 年の新潟地震までは構造物への影響について明確に認識されていなかったため、1979 年（昭和 54 年）に改訂された基準から液状化を考慮した設計が反映された。同基準から、地盤の液状化が生じると土圧の増大や支持力の低下、構造物の沈下等により重大な被害につながる現象が起こるため、設計供用期間中に発生する可能性の高い地震に対しては、基本的には液状化を許容せず、液状化が生じるおそれのある地盤に

3) 国土交通省港湾局調べ

は液状化対策を行うという設計思想へと大きく変わった。

また、兵庫県南部地震（1995）により、最大加速度 500～800gal（ cm/s^2 ）レベルの地震動が発生し、港湾施設が壊滅的被害を受けた。この地震は、それまで耐震設計において想定していた供用期間中に1～2回起こり得る地震動の強さを大きく上回るものであり、発生確率は低いものの海洋型地震や直下型地震で起こり得るものであった。このため、施設の重要度に応じて、こうした地震動も含めそれぞれの地震動に対して確保すべき性能（耐震性能）を設定することの必要性が認識された。この結果、供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）と、再現期間数百年のプレート内地震動や陸地近傍のプレート境界型地震動のように供用期間中に発生する確率が低いが大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）の二段階の地震動レベルに対して、施設の重要度に応じた耐震性能を定め、それに基づいた耐震設計を行う設計思想へと大きく変化することとなった。

また、2007年（平成19年）に改訂された基準では、設計手法や構造物の形状・材質といった手段を直接規定する仕様規定から、求められる性能のみを規定する性能規定へと移行した。また、レベル1地震動の考え方も、それまでの地域別震度×地盤種別係数×重要度係数＝設計震度を求めるという考え方から、工学的基盤面での地震動を地表面地震動へと変換した後、構造形式や大きさ、許容変形量を考慮して照査用震度を算出するという考え方に大きく変わった。このため耐震設計においては、震源特性・伝播経路特性・サイト特性等を考慮した、構造物ごとのより精確な地震動を用いることとなった。

以上より、既存の護岸等の多くは、以下の点を十分に考慮する必要がある。

- ・技術基準の改訂のたびに耐震技術が高度化しているため、従前の技術基準で整備された護岸等は、現行の技術基準に照らして十分な耐震性を確保できていない⁴⁾可能性がある。
- ・地盤の液状化は護岸等の安定性を大きく損なうが、1979年の基準以前に整備された護岸等は設計時に液状化が考慮されておらず、護岸等の支持地盤や背後地盤で液状化が発生する場合、耐震性が確保できていない可能性がある。
- ・2007年以降の技術基準への適合性の確認には、構造物ごとのより精確な地震動を求める方法に大きく変わったため技術的な困難さがある。

4) 既存の護岸等は、港湾法第56条の2の2の規定に基づき、法令上整備時の技術基準に適合している義務があるものの、港湾の施設の技術上の基準を定める省令（平成19年国土交通省令第15号）附則により、改良工事に着手する場合を除き、経過措置により現在の技術基準の規定は適用しないこととされている。但し、現在の技術基準に適合していないということは、現在生じうるレベル1地震動により損壊する蓋然性が高いということには留意する必要がある。

1.2.3. 護岸等の損壊によって想定される事態

護岸等の整備が急速に進んだ 1960 年代以降、現在までの約 60 年間に、全国各地で大規模な地震が発生し、多くの護岸等が被災した。ここでは主な被災事例を示す。

まず、護岸等の損壊により、直接的な要求性能に影響が生じた例である。この事例では、1995 年の兵庫県南部地震時に、地震力と背後地盤の液状化のため、重力式の護岸が 3.5m 程度海側に変位し、天端が 2m 程度沈下した。また、一部区間では完全に倒壊し背後の埋土が流出するとともに、背後地を波浪や越波から防護する機能も消失している。

この事例のような重力式の場合、ブロック毎に水平変位が異なる事によって護岸法線が凹凸状になるため、ブロック目地部の相対変位が大きくなると目地部から背面土砂の吸出しや流出が起こる被害が発生する。

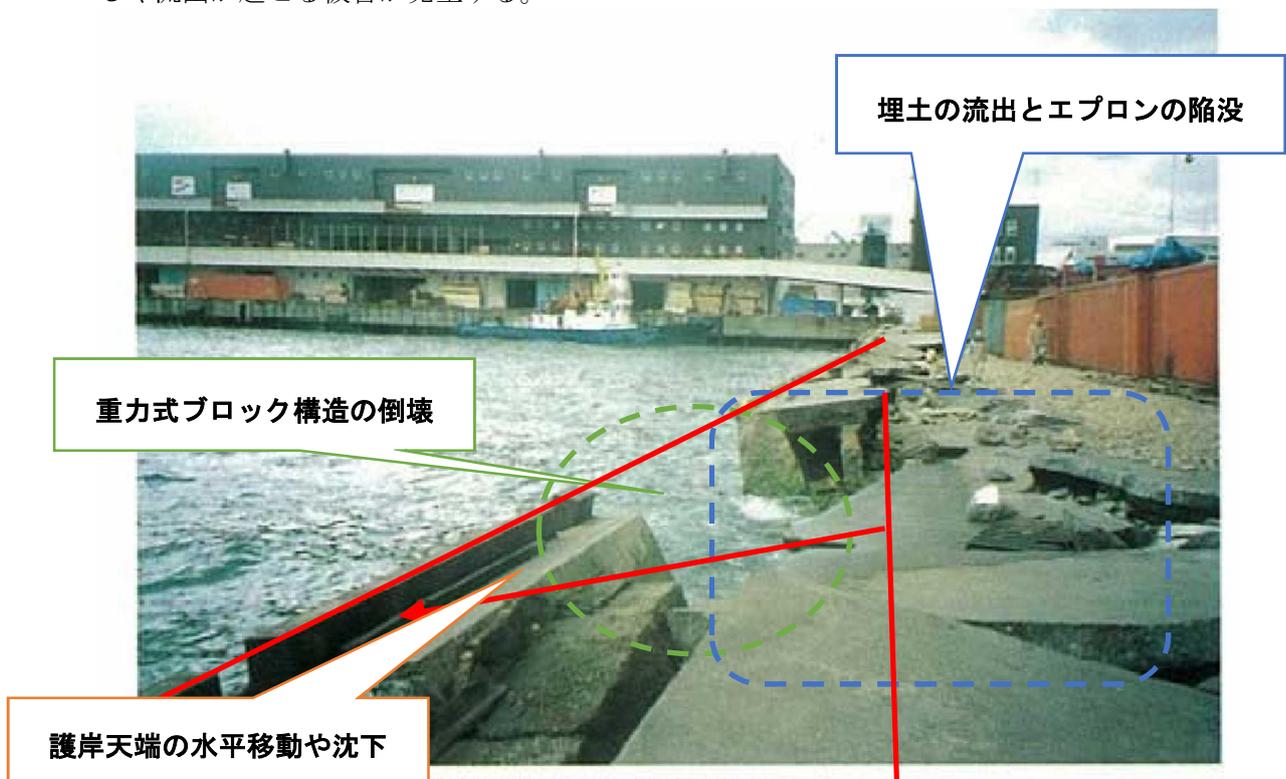


図 1-6 被災事例（護岸の要求性能に係る影響の例）⁵⁾

5) 稲富隆昌, 善功企, 外山進一, 上部達生, 井合進, 菅野高弘, 寺内潔, 横田弘, 藤本健幸, 田中祐人, 山崎浩之, 小泉哲也, 長尾毅, 野津厚, 宮田正史, 一井康二, 森田年一, 南兼一郎, 及川研, 松永康男, 石井正樹, 杉本盛行, 高崎伸彦, 小林延行, 岡下勝彦: 1995 年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告, 港湾技研資料 No. 857, 1997. 3

次に、護岸等の損壊により、航路へ影響が生じた例である。2005年福岡県西方沖地震では、重力式の埋立護岸が倒壊・決壊したことにより、護岸背後の埋立地の土砂が護岸から最大1km離れた航路・泊地まで流出し、航路・泊地内においては約38万m²の範囲に堆積し、航路及び航路～護岸間に堆積した土量は約60万m³と算定された。この際、護岸から概ね600mの範囲については土砂が2m以上の厚さで堆積し、約1年間にわたって船舶航行にも大きく影響を与えることとなった。

また、2011年東日本大震災でも、鹿島港において護岸等が損壊したこと等により背後の土砂が流出し、その後長期にわたって船舶航行が制限された。このように、護岸等の損壊により土砂が流出し、船舶航行に長期間に亘って影響が生じる可能性がある。

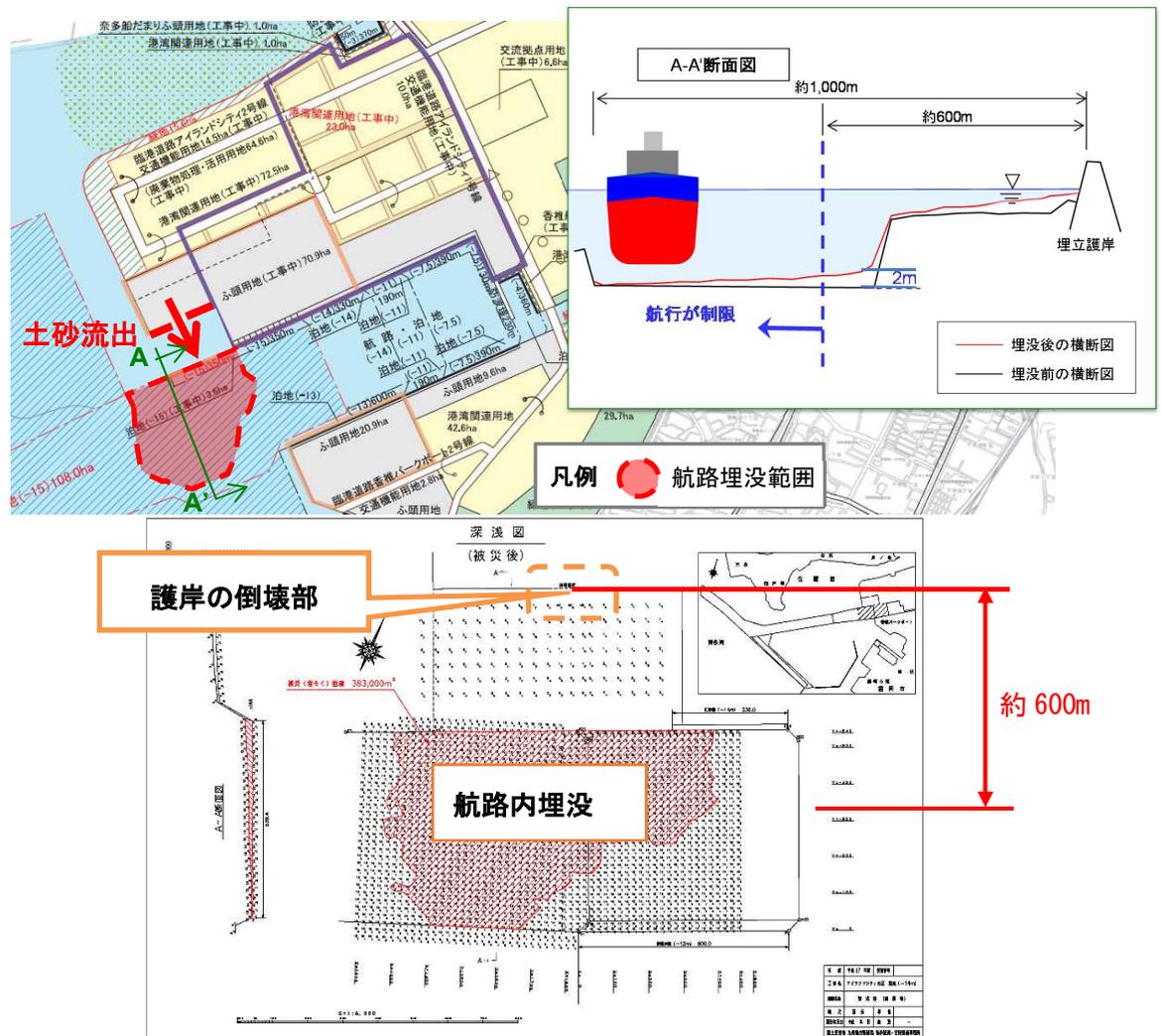


図 1-7 航路への影響の例

1.3. ガイドラインの対象範囲

本ガイドラインは、護岸、岸壁及び物揚場を総称した「護岸等」を対象とする。

その理由は、護岸等の倒壊は、護岸等の背後地盤を支持できなくなることにより、背後地盤が変状し、これが背後に立地する各種施設に影響を及ぼす可能性があること、また、施設前面（海側）に関しても、護岸等の倒壊は護岸等の背後地盤の流出を引き起こし、航路への土砂堆積等により船舶航行に影響がある可能性があるためである。なお、水域にある栈橋も、倒壊により航路や事業活動に大きな影響を及ぼす可能性があるが、これについては解説Kを参照されたい。

作用として想定する地震動は、設計供用期間中に発生する可能性の高い地震動であるレベル1地震動、その地点における最大規模の強さを有する地震動（太平洋側は南海トラフを震源域とする地震動等も含む）であるレベル2地震動とする。なお、太平洋に面する地域など津波が支配的な作用となる可能性のある地域は、津波に対する検討も別途必要であるが、本ガイドラインでは、護岸等の耐震性が確保され構造的に安定であれば、後続する津波や潮汐によってさらなる被害は生じないものとして考える。

図 1-9 に耐震改良までの流れとガイドラインの対象範囲を示す。なお、本ガイドラインで用いる耐震性調査手法は、技術基準・同解説に基づいた方法と比較して厳密性には劣るが、簡易・簡便な方法により短期間かつ安価に実施できるため、延長が長く様々な構造形式が連続する護岸の弱部を把握するための手法としての利用を想定する。

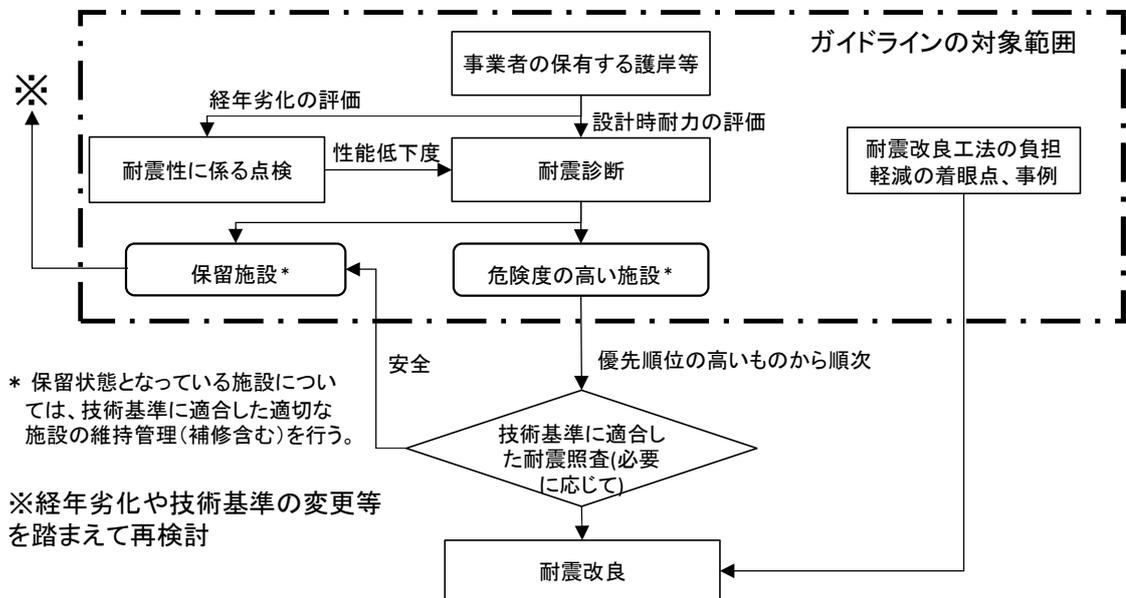


図 1-9 耐震改良までの流れとガイドラインの対象範囲

第2章 耐震性調査手法

本章では、しばしば延長が長く、多様な構造形式が存在する既設護岸等の所有・管理する全延長に対して、耐震改良に優先的に取り組む箇所を把握することを目的として、与えられた地震動に対する護岸等の変位、その際の背後陸域や前面水域への影響範囲の算出方法や判断基準等を提示することに主眼を置く。

本手法では、護岸等の基本的な情報（構造形式や水深等）と地盤情報（N 値等）から、地震による変位量（推定値）を簡単に Excel 上で出力できる「チャート式耐震診断システム」⁷⁾（無料ソフト）⁷⁾ を活用することを中心としている。この結果と背後陸域の施設や護岸等の重要度、構造物の劣化状況等を踏まえて危険度の高い護岸等、耐震改良の優先度が低い護岸等を抽出する。

耐震診断結果のイメージ図を図 2-1 に示す。

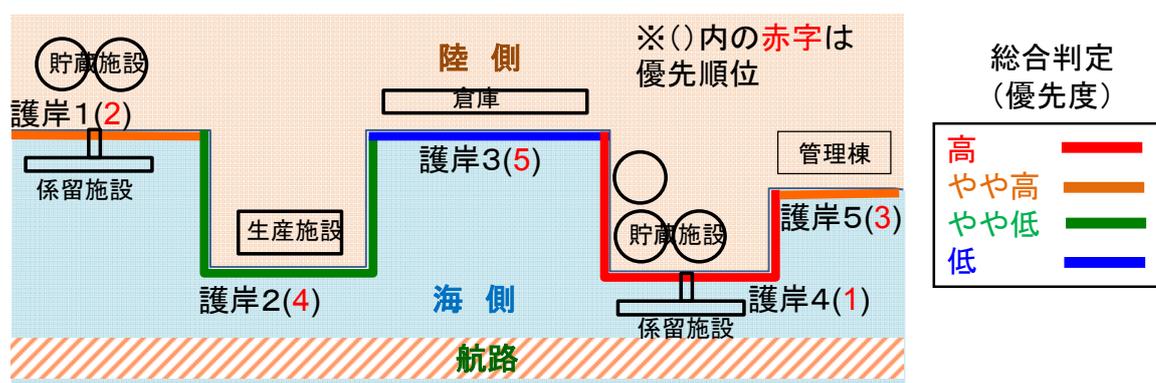


図 2-1 耐震診断結果の図化のイメージ

7) チャート式耐震診断システムは、各地方整備局等に設けられた「港湾における液状化相談窓口」（解説A参照）に貸与申請を行うことで、無料にて利用可能。

以下では、図 2-2 中の①～⑥について手順を示す。

①護岸等の区分け、基本情報整理

施設台帳や設計図書、工事完成図書といった護岸等の基本的な情報を収集整理して、構造形式や重要度を考慮した区間分けを行う。（表形式への入力例：表 2-1）

表 2-1 基本情報の入力のイメージ

基本情報									
番号	護岸名	重要度 高：S級→低： C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明
	...								

(着目すべきセルには着色してもよい。)

a) 番号

整理しやすくするために通し番号をつける。港湾施設台帳の番号を使ってもよい。

b) 護岸名

各事業者で護岸等に名称がつけられている場合、記入する。港湾施設台帳の名称を使ってもよい。

c) 重要度

護岸等に重要度の区分をつけることができる場合は記入する。以下に目安を示す。具体的設定基準やその考え方については、解説Cに示す。特に重要度が明確でない場合は同じ(例えば全てA級)としてもよい。

S級：損壊すると人命や公衆保安に重大な影響を及ぼすおそれのある護岸等

A級：損壊すると事業活動に重大な影響を及ぼすおそれのある護岸等

B級：損壊すると事業活動に影響を及ぼすおそれのある護岸等

C級：損壊しても事業活動に直ちに影響を及ぼさない護岸等

なお、S級等の施設については、人命等への影響もあるため、レベル2地震動に対する耐震性調査も合わせて行うことが望ましい。

d) 構造形式

施設台帳、設計図書、工事完成図書、現地での目視調査等により、重力式(ケーソン、コンクリート塊、傾斜型等)か矢板式(自立矢板式、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板等)に分類する。

e) 築造年

通し番号ごとに、護岸等が完成した年度を記入する。不明の場合は「不明」とする。

f) 延長

通し番号ごとに、施設の延長を記入する。

g) 壁高

施設台帳、設計図書、工事完成図書等により、壁高＝背後地盤の標高－護岸等の前面水深として、壁高を記入する（例えば、背後地盤の標高が+3.0m、前面水深が-2.5m であれば、壁高=3.0- (-2.5) =5.5m）。

h) 背後の重要施設との距離

平面図、yahoo 地図、google マップ、現地での計測結果等により、背後の重要施設との距離を記載する。背後に重要な施設が存在しない場合は、非常に大きい値（例えば 10,000）を記入する。

i) 航路との距離

平面図、yahoo 地図、google マップ等により、航路との概算距離を記入する。前面に航路が存在しない場合は、非常に大きい値（例えば 10,000）を記入する。

j) 設計震度

施設台帳、設計図書、工事完成図書等より、護岸等の設計震度を記入する。設計震度が不明の場合は、「不明」とする。

h) その他

過去に改良工事が実施された施設等もあると想定される。こういった過去の改良履歴等について別途記載しておくといよい。

②基本情報（築造年・構造形式、地震履歴等）による耐震診断

基本情報に基づいて耐震診断を行う（表形式への入力例：表 2-2）。

①で整理した築造年や構造形式等のみから、概ね危険と判断すべき場合や比較的安全と判断して良い場合がある。具体的な判断基準は、解説Dに示すが、例えば、平成 19 年度以降の基準で設計された護岸等は、現行の技術基準に基づいて構築されていることから、以降の耐震診断を省略することができる。そのような施設については危険／安全の判断をした上で「⑤耐震性に係る点検」結果とともに「⑥優先順位の設定」に進む。

ここで判断できない場合や具体的な被害想定を検討したい場合は、「③簡易な地盤情報入手方法を用いたチャート式耐震診断」に進む。

表 2-2 基本情報による耐震診断結果のイメージ

基本情報				チャート式の入出力										被害想定		定陥点検診断結果		耐震性		優先順位の判断		
番号	護岸名	重要度 高:S級->低:C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh	背後地盤 の平均等 価N値	想定地 震動	水平変位 d _h (m)	鉛直変位 d _v (m)	法線変形 率 d _v /H (%)	被災程度 I:良->V: 悪	背後地盤の想 定流動範囲 L _s (m)	前面への想 定流出長 L _r (m)	実施日	性能低下度 D:良->A:悪	地震時の被災 程度と性能低 下度の組み合わせ	総合判定 高:優先度高-> 低:優先度低	優先順位
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15									2016/8/12	C		やや高	
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1									2016/8/12	B		やや高	
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15									2016/8/12	D		低	
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1									2016/8/12	B		高	
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明									2016/8/12	B		やや高	
...																						

(耐震改良の総合判定（優先度：高～低）を仮で検討しておいてもよい。その場合は、以降の耐震診断の精度向上に応じて更新していくこととする。)

③共有地盤情報を用いたチャート式耐震診断

護岸等の近隣の公開・共有されている地盤情報データベース（以下「DB」とする。）から地盤情報を入手し、チャート式耐震診断システムを用いて耐震診断を実施する（表形式への入力例：表 2-3）。チャート式耐震診断の具体的な計算方法は、解説Eで示す。なお、前面に栈橋を有する護岸等を対象とする場合は、栈橋がないものとして護岸等のみをモデル化すればよい。

表 2-3 共有地盤情報を用いた耐震診断結果のイメージ

基本情報										チャート式の入出力					被害想定		定額点検診断結果		耐震性		優先順位の判断	
番号	護岸名	重要度 高・S級→低・ C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh	背後地盤 の平均等 価N値	想定地 震動	水平変位 d _h (m)	鉛直変位 d _v (m)	法線変形 率 d _v /H (%)	被災程度 I:良→V: 悪	背後地盤の想 定流動範囲 L _b (m)	前面への想 定流出長 L _f (m)	実施日	性能低下度 D:良→A:悪	地震時の被災 程度と性能低 下度の組み合わせ	総合判定 高・優先度高→ 低・優先度低	優先順位
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15	5	Lv1	0.8	0.1	14.5	IV	110	0	2016/8/12	C	IV-C	やや高	
									5	Lv2	2	0.1	38.4	—	200	0	2016/8/12	C	V-C	(高)		
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1	5	Lv1	0.3	0	7.5	III	40	0	2016/8/12	B	III-B	やや低	
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15	5	Lv1	1.2	0	34.3	IV	50	0	2016/8/12	D	IV-D	低	
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1	5	Lv1	1.2	0.1	30.0	V	200	50	2016/8/12	B	V-B	高	
									5	Lv2	2	0.1	50.0	—	250	50	2016/8/12	B	V-B	(高)		
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明	5	Lv1	1.1	0	22.0	IV	220	60	2016/8/12	B	IV-B	やや高	
...																						

このとき地盤情報として入力する N 値は、対象とする護岸等の近傍で得られることが望ましいが、対象とする護岸等の近傍では地盤調査が行われていない場合が想定される。その場合でも、公開された地盤情報 DB から、対象施設に近いボーリング或いは地盤構造が似ていると想定されるボーリングを抽出して耐震診断を行うことが望ましい。代表的な地盤情報 DB 及び共有地盤情報を流用する際の留意点については、解説Fで示す。

なお、ここでは護岸そのものの地盤情報ではなく、護岸近くで公開された地盤情報を流用する場合にはその地盤情報を「共有地盤情報」とした。すでに護岸等そのものの地盤調査が行われている施設については、このチャート式耐震診断の結果を「④現地の地盤調査結果を用いたチャート式耐震診断」として扱うことができる。

一覧表（表 2-3）において、チャート式耐震診断に入力する背後地盤の N 値とチャート式耐震診断結果として得られる護岸の水平変位・鉛直変位を入力し、護岸等の被害想定として、法線変形率、変形率による被災程度、背後地盤の想定流動範囲及び前面への想定流出長を算定する。具体的な被害想定算定の考え方や算定式及び判断基準は、解説H（3）に示す。これらは、一覧表の中で自動計算できるようにしておくことで作業がスムーズである。

ここで、被害想定から概ね危険と判断すべき場合があるため、そうした施設については危険⁸⁾の判断をした上で「⑤耐震性に係る点検」結果とともに「⑥優先順位の設定」に進む。但し、ここにおいて、ある程度危険と判断された施設であっても、共有地盤情報を

8) 共有地盤情報は、護岸等背後の地盤情報と同様であると判断できる場合を除き、「安全」と判断できる結果が出ても、「安全」と判断することは危険である。

利用したことにより、地盤条件の設定が現地状況を反映していない可能性がある。例えば、実は現地地盤は良好であり、きちんと地盤調査すれば必要な耐震性を有している可能性などが考えられる。そこで、重要度が高い施設を中心に、共有地盤情報のボーリング位置が施設から大きく離れていたり、明らかに地盤情報の活用が困難であると考えられる場合には、現地の地盤調査の必要性を判断し、「④現地の地盤調査結果を用いたチャート式耐震診断」へ進む。耐震改良に比べて地盤調査の費用は非常に安価なことから、ここで不明確な地盤情報に基づいて耐震改良の検討を行うよりも、十分な地盤調査を行うことは合理的であると考えられる。なお、耐震改良の設計を行うためには、最終的に詳細な地盤調査が必要となる。

④現地の地盤調査結果を用いたチャート式耐震診断

施設近傍で地盤調査を行う。ここで、通常の地盤調査よりも短期間・安価・簡便に地盤情報を得る方法として、間隙水圧が計測可能な動的コーン貫入試験等の簡易な地盤調査を行う方法がある。当該調査結果（地盤の N 値）を用いて、チャート式耐震診断を行い、より詳細な耐震診断結果を得る（表形式への入力例：表 2-4）。簡易な地盤調査の具体的な実施方法は、解説 G に示す。

一覧表において、チャート式耐震診断に inputs する背後地盤の N 値とチャート式耐震診断結果として得られる護岸の水平変位・鉛直変位を④の結果により更新し、護岸等の被害想定として、法線変形率、変形率による被災程度、背後地盤の想定流動範囲及び前面への想定流出長を算定することで、一覧表の精度を高める。

ここで、被害想定から概ね危険と判断するべき場合と比較的安全と判断できる場合があるため、そうした施設については危険/安全の判断をした上で「⑤施設の維持管理に係る点検診断」結果とともに「⑥優先順位の設定」に進む。具体的な被害想定算定の考え方や算定式並びに判断基準は③と同様、解説 H (3) に示す。

表 2-4 詳細な地盤情報を用いた耐震診断結果のイメージ

基本情報										チャート式の入出力					被害想定		定期点検診断結果		耐震性		優先順位の判断	
番号	護岸名	重要度 高: S級→低: C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh	背後地盤 の平均等 価N値	想定地 震動	水平変位 d_h (m)	鉛直変位 d_v (m)	法線変形 率 d_v/H (%)	被災程度 I:良→V: 悪	背後地盤の想 定流動範囲 L_b (m)	前面への想 定流出長 L_f (m)	実施日	性能低下 D:良→A:悪	地震時の被災 程度と性能低 下度の組み合わせ	総合判定 高:優先度高→ 低:優先度低	優先順位
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15	5	Lv1	0.8	0.1	14.5	IV	110	0	2016/8/12	C	IV-C	やや高	
										5	Lv2	2	0.1	38.4	V	110	0	2016/8/12	C	V-C	(高)	
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1	5	Lv1	0.3	0	7.5	III	40	0	2016/8/12	B	III-B	やや低	
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15	15	Lv1	0.1	0	2.9	II	20	0	2016/8/12	D	II-D	低	
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1	5	Lv1	1.2	0.1	30.0	V	200	50	2016/8/12	B	V-B	高	
										5	Lv2	2	0.1	50.0	V	200	50	2016/8/12	B	V-B	(高)	
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明	10	Lv1	0.8	0	12.0	IV	180	0	2016/8/12	B	IV-B	やや高	
...																						

(注：表 2-3 と比べると、3 と 5 の施設について詳細な地盤調査を行った結果、変位量が小さくなっている。)

⑤耐震性に係る点検

①～④の耐震診断は、②のうち解説Dに示す地震履歴による判断を除き、「現行の地震作用と設計時耐力の比較」に該当するものであり、これには構造物の「劣化」が考慮されていない。このため、点検診断ガイドラインに基づく構造物の地震に対する安全性に係る点検を実施する。当該点検の具体的実施内容と判断基準については、**解説 I** に示す。

例えば、②③④で実施する耐震診断では「比較的安全」という結果であっても、著しく劣化が進行している施設については、優先的に補修又は改良を実施すべきである。また、②③④で実施する耐震診断で算出された被害想定は性能低下度を考慮していないため、著しく劣化が進行している施設では、算出された被害想定よりも大きい被害が生じるうる可能性があることを考慮すべきである。

点検診断結果を一覧表に入力して、「⑥優先順位の設定」に進む。

⑥優先順位の設定

耐震性は、②～④の診断結果と⑤の点検診断結果の組合せであり、これと施設の重要度等を勘案して、総合判定（表の右から 2 列目）を行い、耐震改良等を実施すべき優先度や優先順位を決める（表形式への入力例：表 2-5）。耐震診断結果の図示イメージを図 2-3 に示す。

表 2-5 優先順位付けのイメージ

基本情報				チャート式の入出力										被害想定		定期点検診断結果		耐震性	優先順位の設定			
番号	護岸名	重要度 高・S級→低・C級	構造形式	築造年 (年)	延長 (m)	壁高 H (m)	背後重要 施設との 距離 (m)	航路との 距離 (m)	設計 震度 kh	背後地盤 の平均等 価N値	想定地 震動	水平変位 d_h (m)	鉛直変位 d_v (m)	法線変形 率 d_v/H (%)	被災程度 I:良→V:悪	前後地盤の 想定流動範囲 L_p (m)	前面への 想定流出長 L_f (m)	実施日	性能低下度 D:良→A:悪	地震時の被災 程度と性能低 下度の組み合 わせ	総合判定 高・優先度高→ 低・優先度低	優先順位
1	護岸1	S級	重力式	1979	100	5.5	100	1000	0.15	5	Lv1	0.8	0.1	14.5	IV	110	0	2016/8/12	C	IV-C	やや高	2
											Lv2	2	0.1	36.4	V	110	0	2016/8/12	C	V-C	(高)	
2	護岸2	A級	矢板式	1967	200	4	50	100	0.1	5	Lv1	0.3	0	7.5	III	40	0	2016/8/12	B	III-B	やや低	4
3	護岸3	B級	矢板式	1980	150	3.5	50	1000	0.15	15	Lv1	0.1	0	2.9	II	20	0	2016/8/12	D	I-D	低	5
4	護岸4	S級	重力式	1964	200	4	30	100	0.1	5	Lv1	1.2	0.1	30.0	V	200	50	2016/8/12	B	V-B	高	1
											Lv2	2	0.1	50.0	V	250	50	2016/8/12	B	V-B	(高)	
5	護岸5	A級	矢板式	不明	100	5	50	300	不明	10	Lv1	0.6	0	12.0	IV	180	0	2016/8/12	B	IV-B	やや高	3
...																						

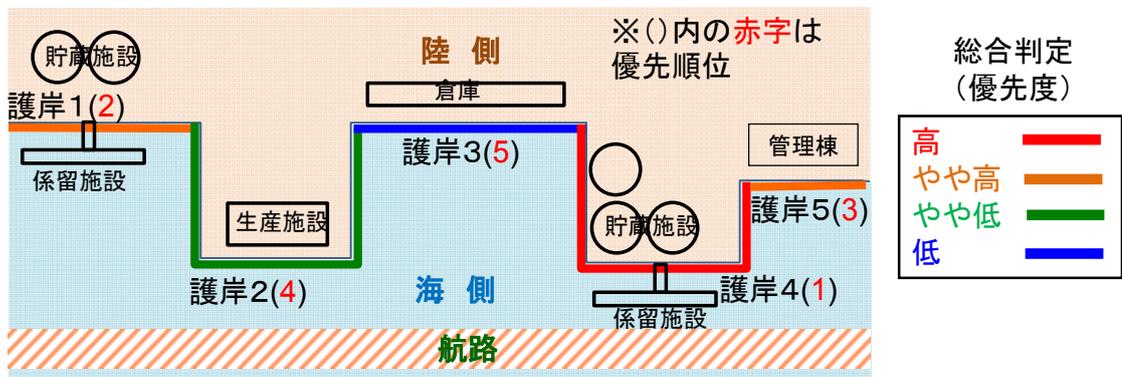


図 2-3 耐震診断結果の図示のイメージ

総合判定は、例えば優先度を「高」、「やや高」、「やや低」、「低」に分類する。総合判定の決め方は事業者によって何を重視するかで異なり得る。総合判定の方法として、重要度、被災程度及び性能低下度のそれぞれに点数付けして行う方法があるので、一例を**解説 J**に示す。これに前面水域への想定流出範囲、背後地盤の想定流動範囲等も考慮することが望ましい。

基本的には、総合判定によって決定された優先度から、次のステップとしてより詳細な耐震診断や耐震改良に進む順番を決める。ただし、すでに耐震改良の予定がある施設がある場合には、それを考慮した順位付けを行う。

「危険度の高い施設」に分類された施設のうち、優先順位の高い順に、次のステップに進める。他の施設は順番待ちとなるが、その期間中、点検診断や補修等をはじめとした適切な維持管理を行うことが必要である。順番待ちの施設の中には、経年劣化により優先順位が上がる施設が存在する可能性もある。

また、②～④の耐震診断で「比較的安全」と判断され、保留施設となったものについても、点検診断や補修等をはじめとした適切な維持管理を行うことが必要である。現時点で「比較的安全」となっている施設であっても、経年劣化や技術基準の変更等を踏まえて、再度耐震性調査のフローに従って耐震性を判断していくことにより、「危険度の高い施設」と分類され、優先度が高くなる可能性もあるため、随時見直しを行うことが必要である。

次のステップとしては、④までの耐震診断は、あくまでも簡易な手法であることから、耐震改良の設計を行う前に、現行の技術基準・同解説に基づく耐震性照査を行ってもよい。ここでは、地震応答解析などの専門的な知識が必要であるため、本ガイドラインの対象外とするが、概要を**解説 L**に示す。なお、この耐震性照査により「耐震性がある」、と確認された場合には、安全と判断して保留施設として取り扱ってもよい。

優先順位の高い施設が、耐震改良等により耐震性が確保されたら、優先順位を更新する。

第3章 護岸等の耐震改良工法

3.1. 耐震改良の必要性

地震時に護岸等周辺で発生する被災状況で見られるように、護岸等の損壊による背後地盤の変状や護岸等の天端沈下による浸水などにより、船舶の接岸支障、護岸等背後の荷役施設、配管、防油堤、背後道路や背後施設の損傷が発生し民間事業者の事業活動へ大きな影響を及ぼすことが考えられる。さらに、護岸等の損壊に加えて背後地盤が液状化した場合の地盤の側方流動や潮汐、波浪、高潮及び津波による背後土砂の流出により、近くの航路を埋塞させ、船舶が航行できなくなる危険性もある。

そのため、今後発生が想定される地震災害に対して、臨海部に立地する重要な産業施設の強靱化を進めるためには、護岸等の耐震改良を事前に行うことが重要となる。

3.2. 事前の耐震改良のメリット

(1) 事後対策と事前対策の負担の比較

災害時の事業継続（BCP）の観点を鑑みると、耐震改良を行わず地震時に被災を受けて護岸等の撤去・復旧を行うよりも、事前に耐震改良を行うことにより地震時に被災を受けずに事業を継続する方が、より望ましい。

また、期間や費用の面からも、事前に対策を行う場合の方がメリットがあると言える。例えば、延長 100m の鋼矢板式護岸（図 3-1 参照）において、未対策のまま地震により被災しその後撤去・復旧を行った場合と、事前に耐震改良を行った場合に必要となる護岸等にかかる工事費用及び期間を試算⁹⁾すると、前者は、650 万円/m、600 日に対して、後者は、130 万円/m、190 日となる。加えて、事前の耐震改良の場合は、事業活動との調整が可能であり、背後施設等への影響が抑制されることを踏まえると、事前に耐震改良を行った場合のメリットは大きいと考えられる。

このように、事業の継続性及び護岸等の整備に必要な工事費・工事期間を考慮すると、事前に耐震改良を行う方が、結果的に事業者の負担は軽減される可能性がある。

9) 具体的な試算結果は、参考資料-6 に示す。

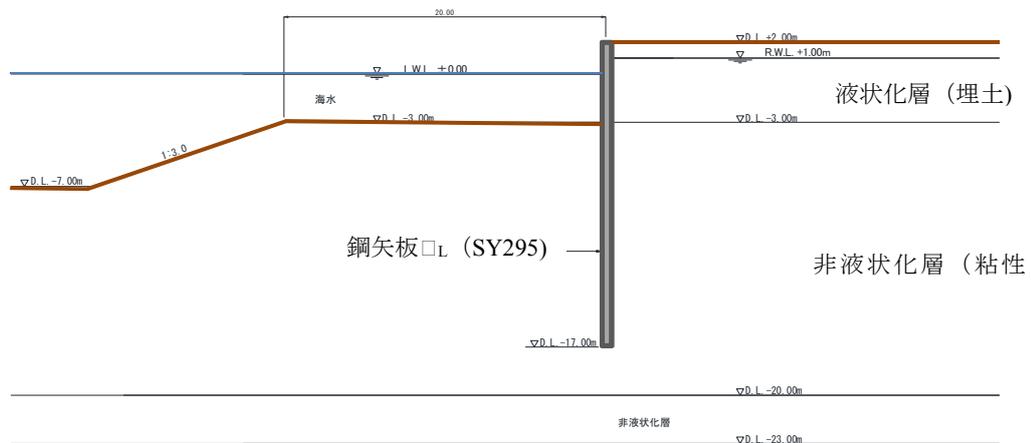


図 3-1 鋼矢板式護岸のモデル

(2) 事業再開に要する期間の短縮のメリット

東日本大震災では、実際に事前の耐震改良を行っていたことによる効果が認められた事例が多くあった。

例えば、平成 20 年に栈橋の補強、平成 21 年に岸壁の耐震改良を実施していた民有護岸では、震災時には事前に対策済みの護岸背面のエプロンが平坦で無傷であったため、震災後半月程度で工場が再開できた。一方、耐震改良していない隣接する護岸では、エプロンに段差や亀裂が生じた。

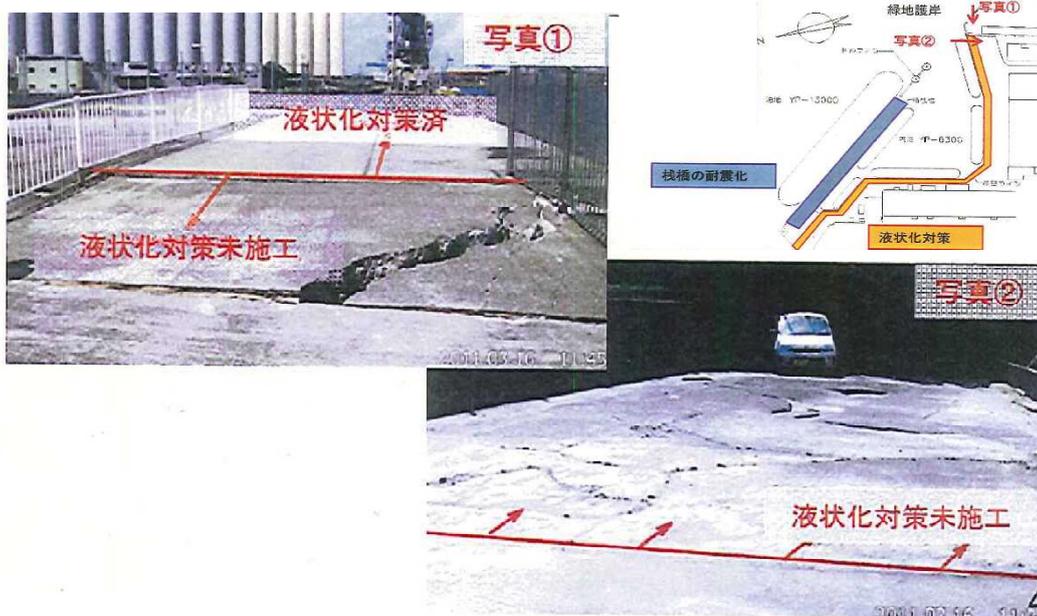


図 3-2 民有護岸の耐震化による効果

また、仙台塩釜港仙台港区高松埠頭岸壁では、平成 19 年に耐震改良（L=240m）を実施していたため、震災後も早急に RORO 船が接岸し、荷役作業を行うことができた。一方、隣接する未対策の岸壁は海側に大きく突出しており、岸壁としての使用性に問題が生じた。



図 3-3 仙台塩釜港仙台港区高松埠頭岸壁

港湾以外の事例としても、仙台空港では、平成 20 年度から滑走路および誘導路の地盤改良が順次実施され、事前対策を行っていた重要な箇所では被害が生じず、例えば、B 滑走路 3,000m は発災後 5 日で供用再開でき、震災時に非常に重要な役割を果たした。しかし、対策未施工部では被害（陥没）が見られ、大きく沈下したことにより、復旧に時間を要した。このように、対策の有無により、被害とその後の事業再開に大きな違いが生じた。

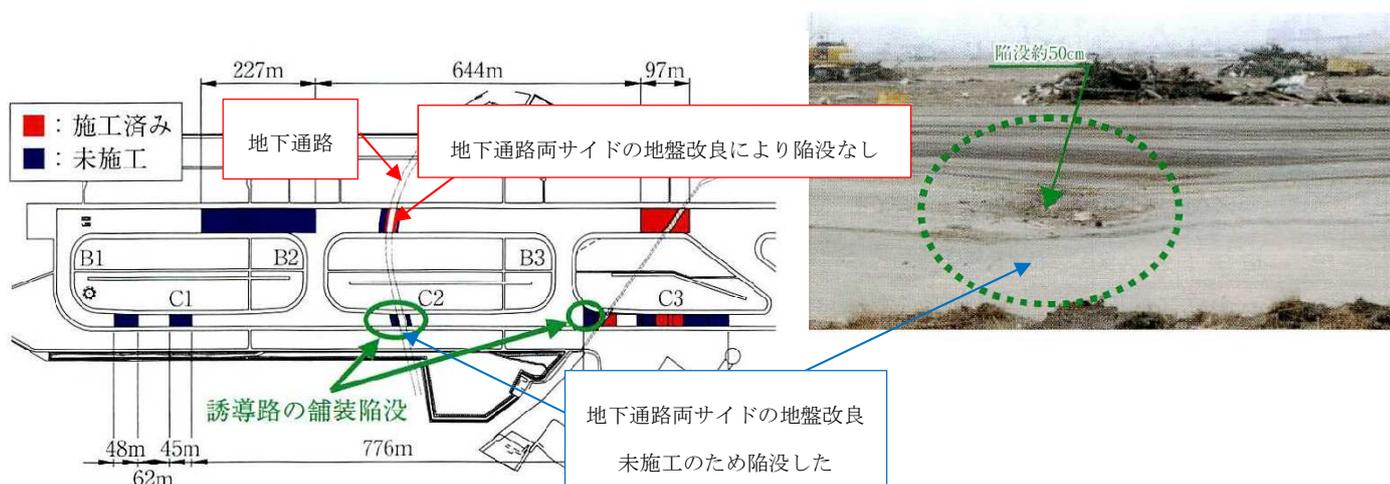


図 3-4 仙台空港における耐震化整備事業の状況と被災箇所の関係¹⁰⁾

このように、大震災に備えた事前の耐震化の検討を行い、地盤の液状化対策や構造物の補強などの耐震改良を行うことによって、発災後の事業再開の期間短縮や復旧工費の縮減効果などが期待できる。

10) 基礎工 Vol. 43, No. 07, 2015.

3.3. 耐震改良を行う事業者の考え

3.2 の事例以外にも、実際に護岸等の改良を実施した、あるいは実施しようとしている事業者がある。これらの事業者の問題意識として、以下のようなものがある。

- ・ 背後に生産上重要な施設が存在する護岸等の改良
- ・ 損傷すると生産全体が停まるような入出荷岸壁・栈橋の改良
- ・ 背後に損壊すると危険な施設をかかえ、公衆保安・人命にかかわる護岸等の改良
- ・ 災害時における事業所への緊急物資輸送等や災害復旧を担う岸壁の改良
- ・ 老朽化に伴う更新（改良）
- ・ 護岸から岸壁への用途変更や岸壁を増深する等の機能向上に伴う改良

また、これらの事業者は護岸等の改良を行うに当たって、まず、災害時に必要な機能や避けるべき事象を決めた上で、耐震性を調査し、年間又は数年間の予算枠の中で、継続的かつ優先順位をつけて計画的に実施している。

3.4. 一般的な護岸等の耐震改良工法の考え方

護岸等の耐震改良には、護岸等の補強、地盤補強、構造物基礎補強等がある（図 3-5）。

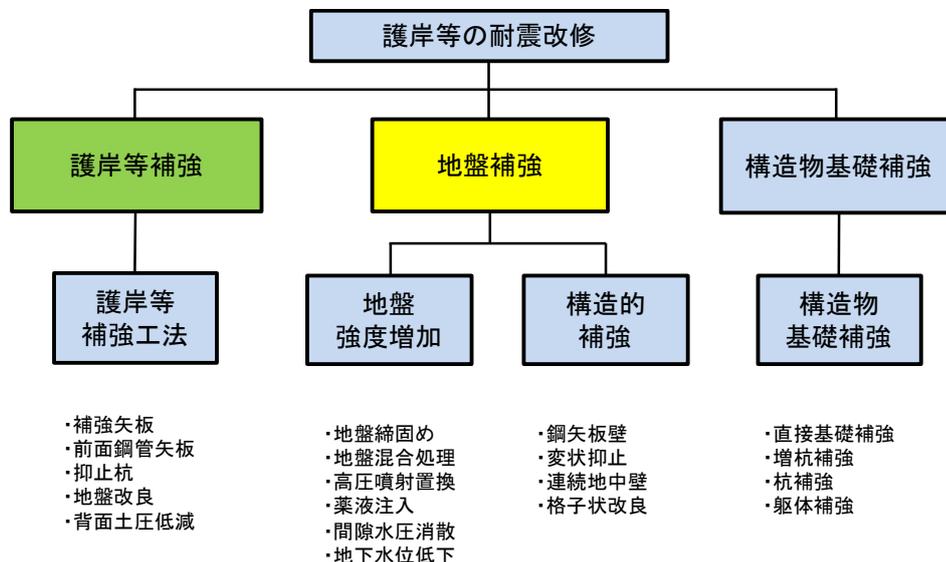


図 3-5 護岸・岸壁等の耐震改良工法の分類

護岸等の耐震改良においては、支える力を増大させるか、土圧や液状化の作用を低減させる必要がある。このため、陸側において主に液状化を発生させない対策を行う、護岸背面の地盤を改良して土圧を低減する、構造物を補強する等の方法がある。

3.5. 耐震改良に係る負担軽減の着眼点

護岸等の「耐震改良」を実施する上での事業者の課題として、以下のようなことがある。

- ①護岸等の延長が長く、多額の費用を要する。
- ②耐震改良工事が事業活動に影響を及ぼす。
- ③許認可等の申請手続きが複雑である。

上記の課題①～③に対する負担軽減の着眼点として、以下のようなアプローチが考えられる。

- ①護岸等の延長が長く、多額の費用を要することに対して
 - (a) 耐震改良の優先順位付けや必要範囲の整理
 - (b) 耐震改良に関する継続的かつ段階的な取り組み
 - (c) 対象施設に対する適切な性能照査方法の設定
 - (d) 費用及び期間の縮減可能な対策工法の選択
 - ②耐震改良工事が事業活動に影響を及ぼすことに対して
 - (e) 施工スペース（資機材の配置）や施工期間の軽減
 - ③許認可等の申請手続きが複雑であることに対して
 - (f) 耐震改良工法等や耐震改良工事一般について、手続きの複雑さが耐震改良実施の支障とならない様に、当該手続きを整理し、手続きの円滑化を図る。
- 各項目(a)～(f)について、以下に説明する。

(a) 耐震改良の優先順位付けや必要範囲の整理

護岸の延長が長く、構造形式等が多様な場合には、2. に示すように施設の重要度等の基本情報や耐震性調査の結果を一覧表にとりまとめた上で、耐震改良の順位付けを行うことが有効である。

(b) 耐震改良に関する継続的かつ段階的な取り組み

通常、耐震改良工事には多額の費用を要するため、一度に全延長の耐震改良を実施するのは困難である。そこで、2. で整理した優先順位付けの一覧表を用いて、アセットマネジメントの考え方で長期的な視点で継続的に耐震改良を実行するのがよい。

また、継続的な実施の中でも、まず公衆保安・人命に関わるもの、次に生産に大きな影響のあるもの等、それぞれ段階を設けて実施するのが良い。

(c) 対象施設の適切な性能照査方法の設定

護岸等の地震時等において保持しておくべき要求性能や性能規定は、省令及び告示によって規定されているものの、護岸等の天端の高さがどの程度必要か、地震時にどの程度の変位まで許容するかなど具体的かつ一義的に決まる数値は規定されていない。このため、

性能照査に当たっては、事業者において、護岸等の重要度や損壊による背後地や航路などへの影響を踏まえて、適切な数値を設定することが必要である。特に、護岸の使用性については、船舶の係留を前提としている岸壁に用いる考え方をそのまま利用すると過度な設計となり、費用が過大となる可能性もある。

なお、性能照査に当たっては、公共施設の設計で一般的に用いられている性能照査方法を参考にすることができる。

(d) 費用及び期間を縮減可能な対策工法の選択

性能規定における具体的な数値が定まると、技術基準に従って耐震改良の設計計算を行うことになる。設計計算を行う前に、耐震改良の方針を定める必要があるが、要求性能、費用、期間、施工条件等を総合的に勘案して最適な耐震改良方法を選ぶ必要がある。

例えば、護岸等に求める性能を精査することにより、当該性能を満たすための幅広い工法が適用可能となる場合もある。また、一般的に事業者の敷地内である護岸等の背後を対象範囲とした液状化対策のための地盤改良等の対策が必要になることが多いが、護岸前面の水域においての施工等が可能であれば、護岸背後への地盤改良に加えて、護岸前面から護岸等の変位を抑制する工法を実施することで、安価になる場合がある（3.6(1)参照）。

このように、既存の方法によらない柔軟な発想が費用等を大きく低減させる可能性があり、要求性能及び性能規定を精査した上で、現場条件に適した最適な工法を選択することが重要である。こうした工法の事例を3.6に示す。

(e) 事業活動への影響の軽減

護岸等の耐震改良工事はしばしば事業活動に影響を及ぼす。例えば、施工範囲の近傍に生産施設がある場合は、生産活動へ影響が出る可能性がある。また、岸壁そのものの改良や航路近傍での施工の場合は、船舶の係留スケジュールと調整する必要があるが、生産や船舶の係留等は24時間継続的に行われていることも多い。このため、こうした事業活動への影響を軽減させるためには、下記のような工法が適している。該当する工法は別冊の参考資料-8で紹介する。

- ① 施工時の占用範囲が小さい工法
- ② 施工スピードが速く施工期間が短い工法
- ③ 供用しながら施工可能な工法

(f) 許認可等の申請手続きの円滑化

耐震改良工法等や耐震改良工事一般について、手続きが複雑であることが耐震改良実施の支障とならない様に、以下の手続き等の例を解説Mに示し、手続きの円滑化を図る。

- ・ 港湾法に基づく護岸等改良工事に係る港湾管理者の許可
- ・ 公有水面埋立法に基づく護岸法線前出しの際の許可

- ・ 港則法に基づく海上工事に係る港長の許可
- ・ 水路業務法に基づく護岸等改良工事に係る海上保安庁への通報
- ・ 港湾法に基づく港湾区域の占用に係る港湾管理者の許可

3.6. 負担軽減を可能とする耐震改良工法の事例

(1) 護岸等の前面への対策

1) 護岸等の前面への対策工法の概要

一般的に、護岸等の耐震改良においては、事業者の敷地内である護岸等背後において液状化対策のための地盤改良等が必要になることが多い。そこで、前面对策工法では、陸側において液状化対策等を行うとともに、陸側のみで対策するのではなく航路側にて地震時土圧を支える力を強化するための対策工を実施することで、陸側の液状化対策の範囲を縮小するものである。

図 3-6 に対策工の考え方を示す。また、図 3-7 に海側の対策工と陸側の対策工の組み合わせのイメージを示す。

この工法には以下のような特徴がある。

(メリット)

○安価：

- ・ 液状化対策が高額であるのに対し、航路側での支持力強化において、安価な工法を選択することができれば、全体として工費を抑制することができる。

(航路側での安価な支持力強化の方法：捨石設置等)

○事業活動への影響が少ない：

- ・ 液状化対策を行う範囲が小さいので、事業活動への影響を縮減できる。

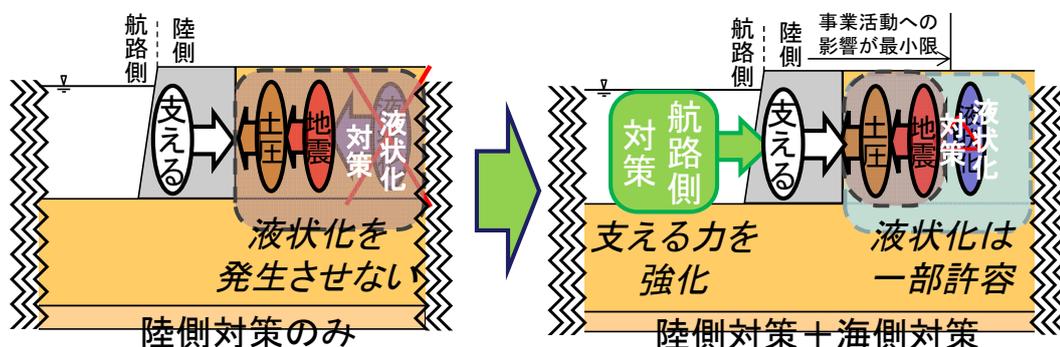


図 3-6 対策工法の考え方

(適用上の留意事項)

- 捨石設置により護岸等前面の水深が浅くなる。
- 航路側における施工が近傍の船舶航行等に影響を及ぼす可能性がある。
- 捨石マウンドは、高波浪時の被災等に対するメンテナンスが必要となる可能性がある。
- 護岸前面への捨石マウンドや構造物の設置による対策は、その後の護岸から岸壁への用途変更が困難となる可能性がある。
- 埋立法線を変更する場合、埋立免許が必要になる（ただし、捨石設置やH. W. L以下の高さの構造物の設置は埋立法線の変更にはならない。）。

(利用適地)

- 護岸前面の対策工法の影響がない程度に航路・泊地等までの距離が十分にある護岸等
- 捨石等の設置が前面水域の利用に支障とならない護岸等
- 栈橋直背後の護岸等
- 将来的に岸壁への転用が予定されていない護岸等

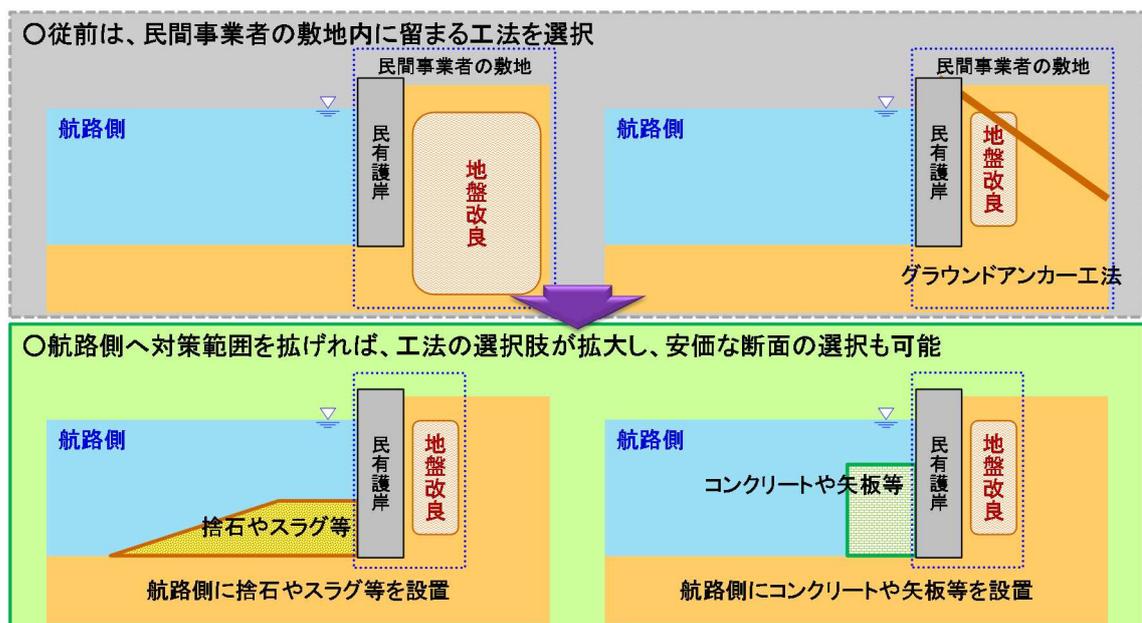


図 3-7 海側の対策工と陸側の対策工の組み合わせのイメージ

(手続き上の留意事項)

- 前面への捨石や構造物の設置は水域占用となる。また、占用料が発生する可能性もある。
- 航路側での捨石や構造物の設置及び施工に当たっては、船舶航行の安全確保のため、海上保安庁の許可が必要となり、別途管理方法等に係る指示が行われる可能性がある。

2) 護岸等前面へのカウンターウェイトの設置

前面对策工法のひとつとして、護岸前面に捨石等によりカウンターウェイトを置く工法（前面カウンター工法）がある。ここでは、本工法の検討事例を示す。

①石油製品受入れ栈橋を有する事業所における検討事例

要求性能を精査し、前面カウンター工法を用いることで、工費や事業活動への影響を縮減を目指した検討事例として、ある事業所において石油製品の受入れ栈橋及び当該栈橋背後の護岸等において、前面カウンター工法を活用した耐震改良の検討を行った事例を示す。

当該事業所では、レベル2地震動を想定した事業継続のため、当該栈橋及び関連する護岸等の一連施設がレベル2地震動が起きても使用できること又は軽微な修復により仕様できるようにすることが求められた。

具体的に求められた性能は、以下の通りである。

- ・ 栈橋自体の耐震性
- ・ 渡橋および道路の通行
- ・ パイプライン余長の範囲内の相対変位
- ・ 護岸変位の抑制
- ・ 航路・栈橋の必要水深の確保

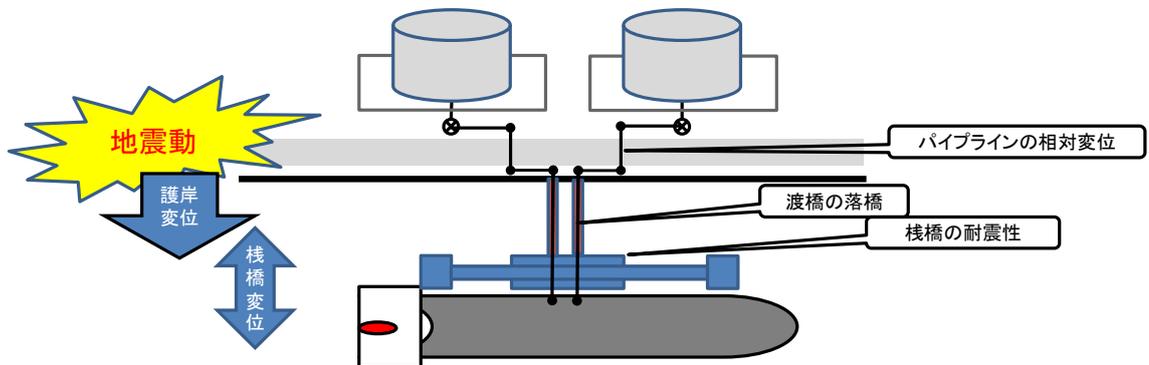


図 3-8 地震時の被害のイメージ

上記性能を満たすため、以下の対策が想定された。

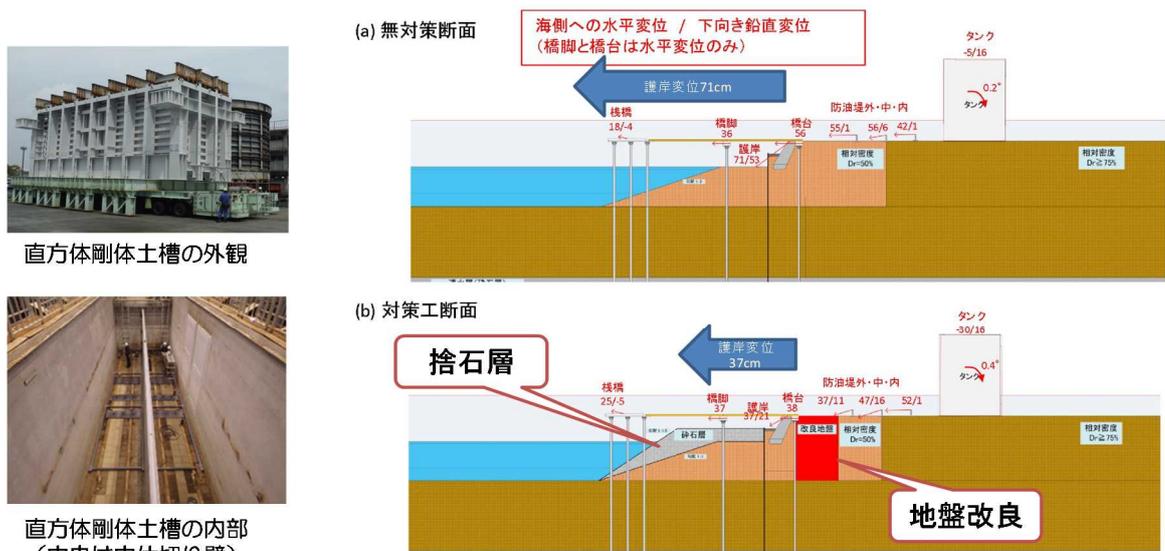
- a) 海・陸の土圧のアンバランスの緩和
→ 航路側捨石によるアンバランス解消（副次的に、上載荷重の増加による液状化程度を緩和する効果もあり。）
- b) 構造物自体の補強
→ 栈橋杭の補強、渡橋の落橋防止、道路改良等
- c) 液状化による側方流動力の緩和、地盤沈下の抑制
→ 護岸背後の地盤改良

一般的には、地盤改良は単価が高く、地盤改良範囲が増えるとコストが大きくなる。このため、本事例では、総工事費縮減、施工期間の短縮（供用制限の最小化）が可能となるよう、護岸前面に捨石を設置することで護岸背後の地盤改良範囲を縮小する断面の設定を行い、1/8 スケールでの模型振動実験及びコスト比較を実施した¹¹⁾。

この結果、護岸の変位は水平変位で 71cm→37cm、鉛直変位で 53cm→21cm まで低減されており、本断面の効果が確認された。模型実験の結果は図 3-9 の通りである。

また、本断面と地盤改良範囲を変化させた他の対策断面との工費比較を行った（表 3-1）ところ、本断面の工費は、渡橋基礎やパイプラインの補強まで行った場合の約 1/3 程度、渡橋基礎やパイプラインに加えて栈橋基礎まで補強を行った場合の約 1/8 程度に抑えられることがわかった。本断面と比較断面は同じ効果を発現するものではないが、本断面を含むいずれの断面も必要な性能を満たす断面であり、その中で本断面が経済的であることが示された。

本事例のように、要求性能を精査することで、工法の選択枝が広がり、その中で負担の少ない工法を選択するという検討の姿勢が重要であり、これは一様に決まるものではなく、各事業者、各護岸等ごとに異なってくるものである。

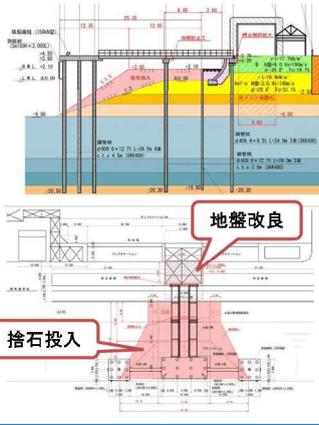
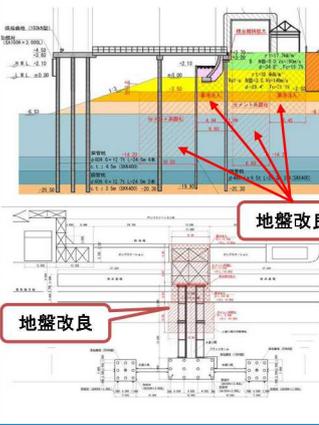
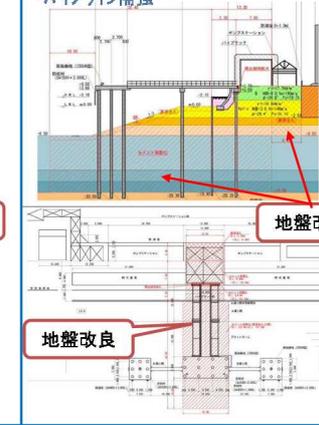


※土槽は、長さ16m×幅4m×深さ4.5m（いずれも内寸）である。

図 3-9 模型実験における構造物の変位の状況

11) 寺田竜土, 小濱英司, 菅野高弘, 西晴樹, 河又洋介, 中澤博志, 鶴ヶ崎和博, 宮本順司: 周辺施設への影響を考慮した護岸構造物の大規模振動実験, 土木学会第 72 回年次学術講演会 (平成 29 年 9 月), III-233, pp. 465-466, 2017.

表 3-1 耐震対策の工費比較

	①捨石 (地盤改良極小) 護岸変位の抑制	②地盤改良 護岸変位の抑制、渡橋基礎・パイプライン補強	③地盤改良(範囲大) 護岸変位の抑制、棧橋杭補強、渡橋基礎・パイプライン補強
断面・平面			
工費	約 0.9 億円	約 3.0 億円	約 7.6 億円
比率	1.0	3.3	8.4

← 小さい 耐震改良の施工規模 大きい →

① 一般的な矢板護岸における適用検討事例

捨石による前面カウンター工法の適用性を確認するため、一般的な矢板式護岸（前面水深-3m（約 30m 沖合の水深-7m）、壁高 5m の自立式矢板護岸）を想定して効果と工費を検討した。

背後地盤改良（薬液注入工法）と前面カウンター工法を併用する断面（想定断面は図 3-10。なお、標高 D.L.-3.0m 以深は非液状化層とした。）について、レベル 1 地震動¹²⁾ に対する効果及び工費を検討したところ、照査基準（法線変形率 5%未満）を満たし、その際、工費は背後の地盤改良のみを実施する場合と比べて概ね 1/2 に抑制できる結果（試検討結果は表 3-2 の通り）となった。なお、レベル 1 地震動に対しては、矢板の降伏と残留変形量について照査する必要があるが、本検討では簡単のため残留変形量のみを照査することとし、被災程度Ⅱ以下に相当する法線変形率¹³⁾ (d_H/H) 5%未満を残留変位の許容値の目標として効果を確認した。

12) 解析に用いた地震波形は、国土技術政策総合研究所が公開している千葉港のレベル 1 地震動波形である。

13) p. 解-43 に記載

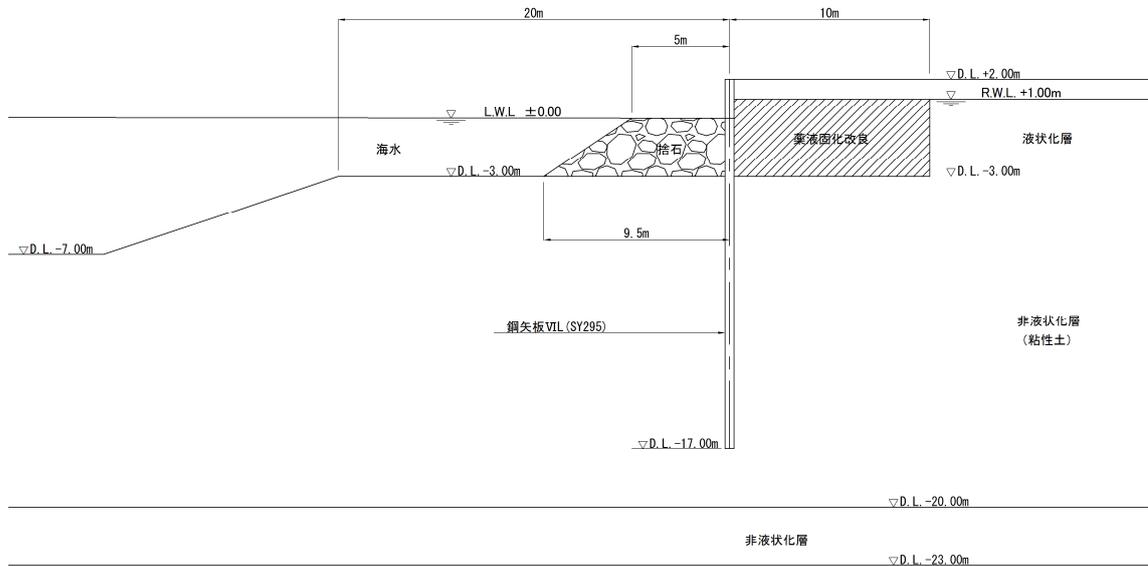


図 3-10 想定断面 (L1 地震動)

表 3-2 試験検討結果

	①無対策	②地盤改良のみ(L=20m)	③捨石(5m)+地盤改良(L=10m)
最大残留変形+ 最大過剰間隙水圧比			
残留水平変位	1.44m > 0.25m* NG	0.43m > 0.25m* NG	0.29m > 0.25m* NG
変形率(d_r/H)	1.44/5.0=28.8%	0.43/5.0=8.6%	0.29/5.0=5.80%
最大曲率比	1.31 > 1.0 NG	0.25 < 1.0 OK	0.14 < 1.0 OK
工費	—	約2,400千円/m	約1,300千円/m

※残留水平変位の限界値は被災程度Ⅱの上限として壁高 H (5.0m) の5%で設定

※最大曲率比の限界値は降伏時の曲率との比として1で設定

また、同様の断面(想定断面は図 3-11。なお、標高 D.L.-3.0m 以深は液状化層とした。)について、レベル2地震動¹⁴⁾に対する効果及び工費を検討したところ、照査基準(法線変形率 75%未満)を満たし、その際、背後の地盤改良のみを実施する対策断面に比べて地盤改良範囲を縮小することで、工費を概ね 1/2 に抑制できる結果(試験検討結果は表 3-3 の通り)となった。なお、レベル2地震動に対しては、矢板の降伏と残留変形量について照査

14) 解析に用いた地震波形は、1995年兵庫県南部地震において神戸ポートアイランドの G.L.-83m の地震計で観測された地震動を 2E 成分に補正した加速度波形である。

することとし、本検討では簡単のため被災程度IV以下に相当する法線変形率¹⁵⁾ (d_H/H) 75%未満を残留変位の許容値とし、道路橋示方書においてレベル 2 地震動を考慮する設計状況における限界状態 2 に相当する最大曲率比 4 未満を曲率の許容値として効果を確認したが、許容値の設定には護岸機能、重要度等を踏まえた検討が必要であることに留意する必要がある。

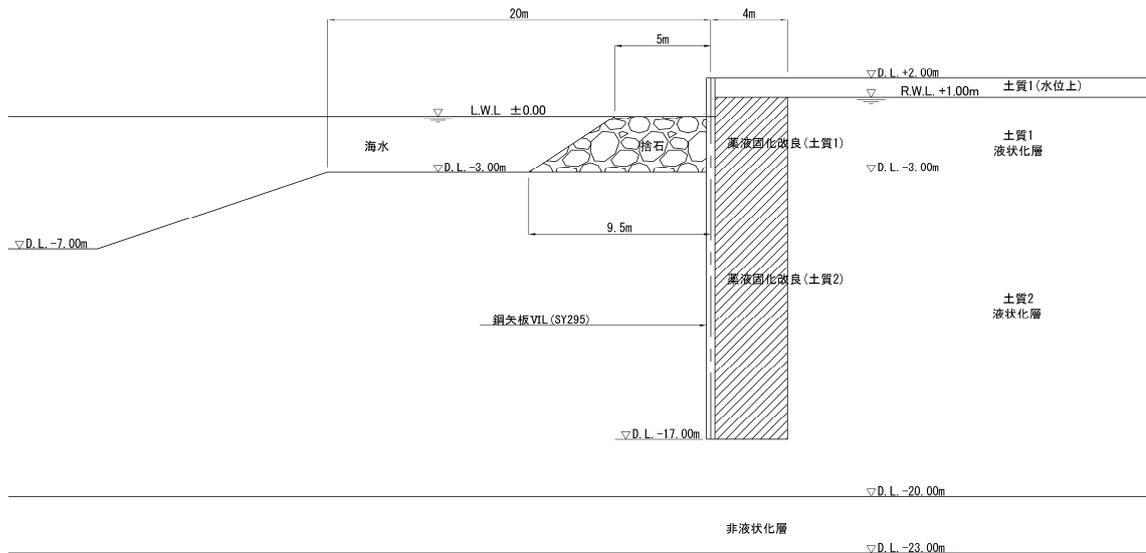


図 3-11 想定断面 (L2 地震動)

表 3-3 試験検討結果

	①無対策	②地盤改良のみ(L=8m)	③捨石+地盤改良(L=4m)
残留変形+最大過剰間隙水圧比			
残留水平変位	4.45m > 3.75m※ NG	3.24m < 3.75m OK	3.68m < 3.75m OK
変形率(d_H/H)	4.45/5.0=89.0%	3.24/5.0=64.8%	3.68/5.0=73.6%
最大曲率比	9.05 > 4.0 NG	0.74 < 4.0 OK	1.79 < 4.0 OK
工費	—	約5,040千円/m	約2,290千円/m

※残留水平変位の限界値は「高圧ガス設備等耐震設計指針 (2012) レベル 2 耐震性能評価解説編」より壁高 H (5.0m) の 75% で設定

※最大曲率比の限界値は「道路橋示方書・同解説 (平成 29 年 11 月)」より 4 で設定

15) p. 解-43 に記載

3) 護岸等前面への地盤改良

護岸等前面への対策工法のひとつとして、護岸等前面を地盤改良する工法がある。ここでは、本工法の適用を検討した事例として、前面に栈橋を有する護岸の耐震改良の検討事例を示す。(表 3-4)

本事例では、レベル2地震動を想定した事業継続のため、当該栈橋及び護岸はレベル2地震動後、構造的な安定性が保たれ、一定期間の後に荷役を行うことができることが求められた。

この時、栈橋の基礎杭については、技術基準における耐震強化施設(標準)を参考に“曲げ変形が限界値に達する箇所が2か所未満である杭が存在すること”、また、栈橋背後の護岸については、地震後の“残留変位が許容値を満たすこと”が必要である。

栈橋を耐震改良する場合、一般的には土留め護岸背面の地盤改良を行って背後の土圧を抑制するとともに、栈橋直下において地盤改良を実施するのが効果的である。しかしながら、栈橋直下の地盤改良等の施工は、上部工から海面までの空間が狭く、斜面部が捨石で被覆されているためきわめて困難である。このため、栈橋直下の地盤改良に代えて、栈橋前面の海底地盤において地盤改良を実施し、護岸背後から栈橋下部にかけての地盤の円弧すべりを抑制することで、栈橋の変形を抑制する方法が考えられる。

本事例では、「水深13m程度の栈橋・護岸」と「水深23m程度の栈橋・護岸」の2断面において、栈橋前面の地盤改良と護岸背後の地盤改良を併用する対策工法の効果を検討した。

検討結果として、栈橋前面の地盤改良と護岸背後の地盤改良を併用する対策工法では、護岸および栈橋の耐震性能が満足されることが確認された。また、本工法は、従来の栈橋直下と護岸背後の地盤改良を行う場合と比べて、費用が抑えられており、特に、水深が23mと深い場合の検討断面においては、費用が半分程度に抑えられた。栈橋前面と護岸背後の地盤改良を併用することにより、耐震改良の費用が縮減できる可能性が示唆されている。

なお、栈橋前面の地盤改良を行う場合においても、護岸等背後の地盤改良が必要であり、工事期間中は敷地を占有することになるため、企業活動に影響を及ぼすおそれがある。

表 3-4 棧橋・護岸への地盤改良の検討事例（レベル2地震動）

ケース (対策)	ケース1 (無対策)		ケース2 (棧橋前面の対策)		ケース3 (護岸背後の対策)		ケース4 (棧橋前面の対策+護岸背後の対策)		
検討断面 【-13m棧橋+矢板護岸】 (水深が浅い場合)									
対策	なし		・海上部：CDM V1=150m³(15m×10m)/m		・陸上部：薬液固化改良 V1=343m³(70m×4.9m)/m		・海上部：CDM V1=150m³(15m×10m)/m ・陸上部：薬液固化改良、高圧噴射攪拌 V2=333m³(68m×4.9m)/m V3=32.1m³(2.1m×15.3m)/m		
棧橋	残留水平変位(m)	5.33		4.79		1.45		1.02	
	杭の応力状態	曲げ変形が限界値に達する箇所がすべての杭で2箇所以上発生		OUT		曲げ変形が限界値に達する箇所がすべての杭で2箇所以上発生		OUT	
矢板式護岸	残留水平変位(m)	5.27 > 1.0		OUT		4.74 > 1.0		OUT	
	変形率(%) (H=16.25m)	32.43 < 75		OK		29.17 < 75		OK	
	鋼矢板最大曲率比	30.18 > 4		OUT		37.76 > 4		OUT	
タイロッド	応力状態	発生引張力は破断強度以下		OK		発生引張力は破断強度以下		OK	
費用比較	-		0.3		0.7		1.0		
耐震性	×		×		×		○		
検討断面 【-23m棧橋+重力式護岸】 (水深が深い場合)									
対策	なし		・海上部：固化改良 V1=600m³(30m×20m)/m		・陸上部：薬液固化改良 V1=1110m³(74m×15m)/m		・海上部：改良固化 V1=300m³(15m×20m)/m ・陸上部：薬液固化改良 V2=500m³(20m×25m)/m		
棧橋	残留水平変位(m)	0.44		0.57		0.32		0.48	
	杭の応力状態	曲げ変形が限界値に達する箇所がすべての杭で2箇所以上発生		OUT		曲げ変形が限界値に達する箇所が2か所未満である杭が存在する		OK	
重力式護岸	残留水平変位(m)	0.73 ≤ 1.0		OK		1.40 > 1.0		OUT	
	変形率(%) (H=16.7m)	4.37 < 30		OK		8.38 < 30		OK	
費用比較	-		0.5		1.9		1.0		
耐震性	×		×		×		○		

(2) 楯型鋼矢板工法による耐震改良

護岸等の要求性能を精査することにより、従来にないアプローチで護岸等の改良を行うことができる事例として「楯型鋼矢板工法」を参考として示す。

1) 楯型鋼矢板工法

「楯型鋼矢板工法」は、コスト縮減・期間短縮のため、従来工法のような大規模な液状化対策を行わず、液状化による変形を許容した津波・高潮被害軽減工法である。

防潮壁を形成する短尺矢板と非液状化層まで根入れした長尺矢板からなり、地震時において長尺と短尺の間から液状化に伴う土圧を逃がしつつ横方向にはあまり抵抗せず、長尺矢板の支持により防潮壁の必要高を確保するものである。地震後においても壁高を確保することで、高潮・高波・津波から背後地を防護することを目的としている。

ただし、地震時の護岸水平変位や背後地盤の沈下抑制効果は小さいため、側方流動の大きさを正確に予測した上で、護岸背後に近接して重要施設が配置されていない区間に適用を限定するなど十分な留意が必要である。

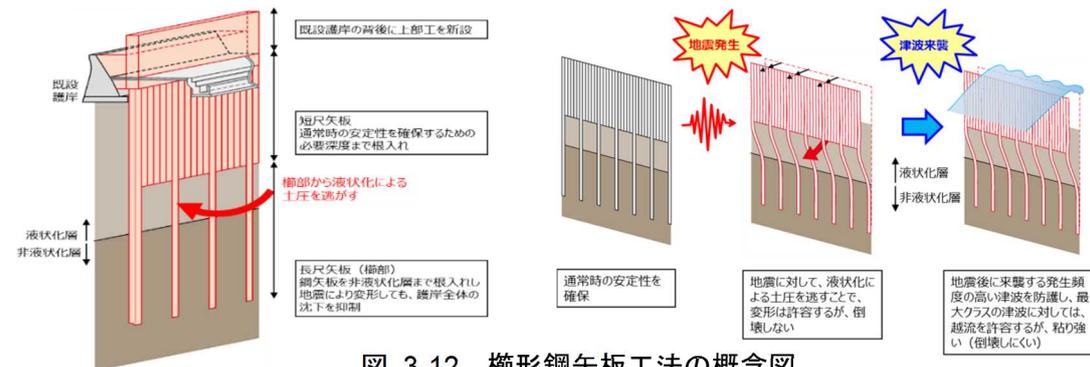


図 3-12 楯型鋼矢板工法の概念図

2) 従来工法との比較

楯型鋼矢板工法では、液状化対象層の地盤改良を行う必要がないため、以下に示す既設護岸改良における比較断面では、大きなコスト縮減・工期短縮の効果が期待される。

	部分的な地盤改良	楯型鋼矢板工法
断面図		
目的	波浪・高潮、L1地震、設計津波に対する護岸高と連続性を確保による越波・浸水防護	
対策工	地盤改良（SCP）と上部工で波圧に抵抗	長尺鋼矢板の支持力で所要壁高確保
経済性	1.80	1.00

第4章 民有護岸等の耐震改良のための支援制度（平成30年6月時点）

(1) 支援制度の対象・概要

本章では、民有護岸等の耐震改良にあたり費用負担を軽減するための、法人税の特例措置、無利子貸付制度、固定資産税の特例措置を紹介する。図4-1に示すとおり、支援制度の種類により対象施設や要件が異なることに注意が必要である。なお、これらは平成30年6月時点の情報であるため、特例措置の適用期間終了後は、最新の情報を確認する必要がある。

表4-1 民有護岸等の耐震改良のための支援制度の概要

	法人税の特例措置	無利子貸付制度	固定資産税の特例措置
対象港湾	○全国の港湾	・南海トラフ防災対策推進地域 ・首都直下地震緊急対策区域 ・日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域にある重要港湾以上の港湾	
対象施設	○港湾隣接地域における護岸、岸壁及び棧橋	○特別特定技術基準対象施設 (港湾計画に位置づけられた大規模地震対策施設に至る航路・泊地沿いの護岸、岸壁及び物揚場)	○左記の無利子貸付制度により耐震改修された施設
要件	○施設の耐震性に係る点検結果を平成32年3月までに港湾管理者へ報告 ○報告後3年以内に耐震改修工事が完了 ○港湾法第52条の2の21に基づく勧告を受けていないこと	○国からの事業認定が必要	○平成33年3月までに耐震改修工事が完了
内容	○改良資産の取得価額の18%の特別償却 ○緊急確保航路に接続する港湾においては、改良資産の取得価額の22%の特別償却	○耐震改修の資金の一部(最大6割)を港湾管理者(国からの貸付金を含む)から無利子で借入れ可能	○改良資産に係る固定資産税が改良後5年間5/6に軽減 ○緊急確保航路に接続する港湾においては、改良資産に係る固定資産税が5年間1/2に軽減

(法人税の特例措置対象施設のイメージ:  が背面にある護岸・岸壁・棧橋)

(無利子貸付(固定資産税の特例措置)対象施設のイメージ:  が前面にある護岸・岸壁・物揚場)

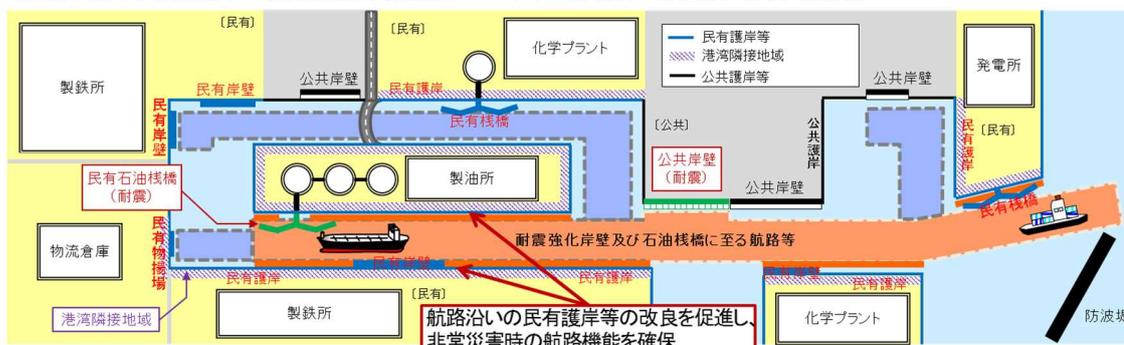


図4-1 支援制度の対象

(2) 法人税の特例措置

①法人税の特例の要件

- 港湾法第37条に基づく港湾隣接地域に存在（当該地域内又は当該地域直前面に位置）する護岸、岸壁及び栈橋が対象となる。港湾隣接地域の指定状況については、港湾管理者に確認する必要がある。
- 平成32年3月31日までに、施設の耐震性に係る報告を港湾管理者へ行う必要がある。報告内容は、①維持管理に係る点検の実施状況、②建設当時の技術基準への適合状況、③現行の技術基準の耐震性の確保状況である。なお、本特例は耐震改修に係るものであるため、①維持管理に係る点検が実施され、②建設当時の技術基準に適合し、③現行の技術基準の耐震性（レベル1地震動又はレベル2地震動）が確保されていない施設が対象となる。
- 工事は、施設の耐震性に係る報告後3年以内に完了し、現行の技術基準に係る耐震性が確保される必要がある。このため、改良後の施設が、港湾法第56条の2の2第3項の方法により設計されること等が必要となる。
- 港湾法第56条の2の21に基づき、技術基準に適合しておらず非常災害時に船舶の交通に支障を及ぼすおそれのある民有護岸等について港湾管理者は施設所有者に対して必要な措置をとることを勧告することができる。この勧告を受けた場合、本特例の適用対象外となる。

②法人税の特例措置の内容

- 改良工事費のうち、改良による資産計上分が対象となる。
- 通常、当該資産を耐用年数に亘って償却させていくところ、特別に当該資産の取得年度に、普通償却分に加えて取得価額の18%を償却することができる。なお、緊急確保航路に接続する港湾においては、22%を償却することができる。
- 償却額は損金に計上できるため、改良資産の取得年度における利益が圧縮され、法人税の支払いが軽減される効果等がある。

③法人税の特例に係る手続き

- 施設が適用要件を満たすことを証明する「点検結果等受理書」及び「耐震改修証明書」を受け取るためには、民間事業者側から港湾管理者に対して報告や申請を行う必要がある。
- 法人税の特例措置の適用を受けるためには、確定申告の申請書類とともに「減価償却資産の償却限度額の計算に関する明細書」、「特別償却の償却限度額の計算に関する付表」、「適用額明細書」を添付する必要がある。その際、前述の点検結果等受理書及び耐震改修証明書を提出する必要はないが、事後に税務署より確認等される可能性があることから、保存しておく必要がある。

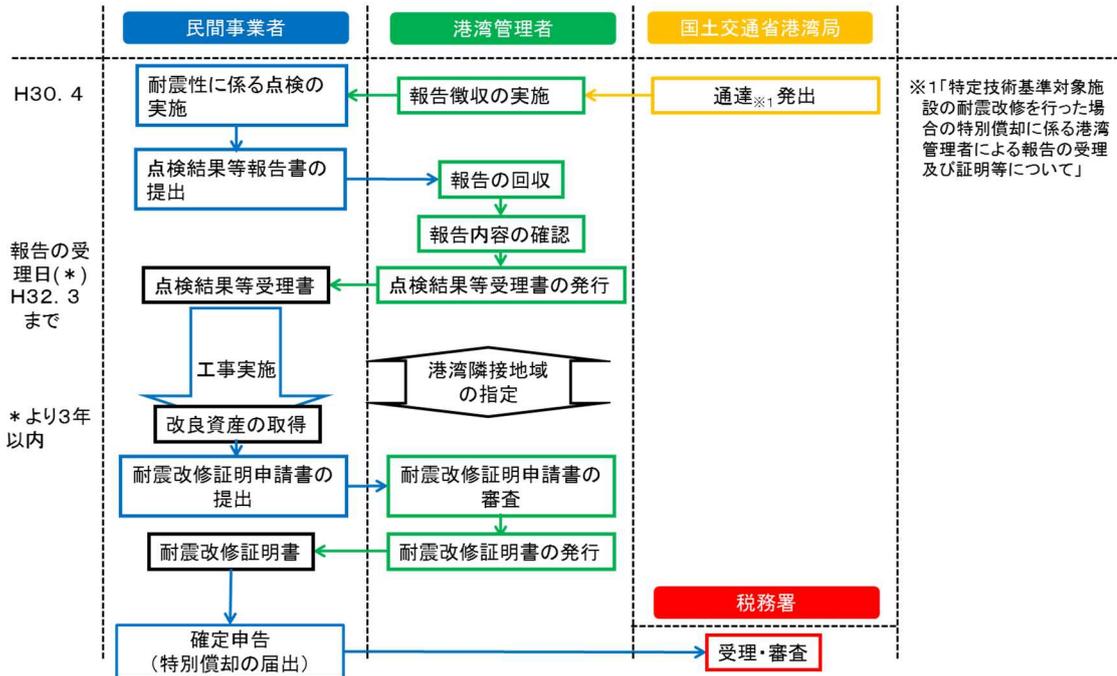


図 4-2 法人税の特例措置の手続きの流れ

(3) 無利子貸付制度及び固定資産税の特例

①無利子貸付制度の要件

- 南海トラフ防災対策推進地域、首都直下地震緊急対策区域及び日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域における、重要港湾以上の港湾に存在する特別特定技術基準対象施設が、対象となる。
- 特別特定技術基準対象施設は、大規模地震対策施設（耐震強化岸壁及び石油栈橋等）に至る航路に土砂等を流入させることにより船舶航行に影響を及ぼすおそれのある施設であり、施設の存在する地区及び施設種類が改良を進めるべきものとして、港湾計画に位置づけられているものを指す。当該施設の港湾計画における位置づけについては、港湾管理者に確認する必要がある。なお、大規模地震対策施設の機能を確保するために必要な航路・泊地から約 600m 以内に存在する施設は、本制度の対象として差し支えない。また、個別に影響範囲を算出できるものについては、上記によらず対象として差し支えない。
- 耐震改修工事の開始前に、無利子貸付を受けるための認定を国から受ける必要がある。認定の要件としては、施設が港湾計画において特別特定技術基準対象施設として位置づけられていること、改良工事が現行の技術基準で求める耐震性を有するよう設計されたものであること、改良後に適切な維持・管理がなされることが確認できること等が必要である。現行の技術基準に係る耐震性の確保については、改良後の施設が、港湾法第 5

6条の2の2第3項の方法（部分係数法）により設計されるか、登録確認機関による適合性確認を受けていること等が必要となる。

②無利子貸付の内容

- 施設の耐震改良工事費（調査、設計含む）が対象となる。
- 耐震改良工事費のうち、最大6割までを港湾管理者より無利子資金を借りることができる。なお、当該資金のうち半分を、国は港湾管理者に対して無利子で貸付けることとなる。（国の港湾管理者に対する無利子貸付金の償還条件は、償還期間20年間、うち据置き期間5年間とされている。）

③固定資産税の特例の要件

- 平成33年3月31日までに、前述の特別特定技術基準対象施設の無利子貸付を利用して、耐震改修工事を完了している必要がある。無利子貸付に係る認定を有していることは、国から発行される認定書により証明される。

④固定資産税の特例措置

- 改良工事費のうち、改良による資産計上分が対象となる。
- 改良資産の取得後5年間に亘って、当該資産に係る固定資産税が5/6に軽減される。なお、緊急確保航路に接続する港湾の施設においては、固定資産税が1/2に軽減される。

⑤無利子貸付及び固定資産税の特例に係る手続き

- 固定資産税の特例措置の適用を受けるに当たり、施設の所在する市町村に対して、特例対象の償却資産であることを届け出る必要があるため、具体的に提出が必要な書類について当該市町村に確認する必要がある。

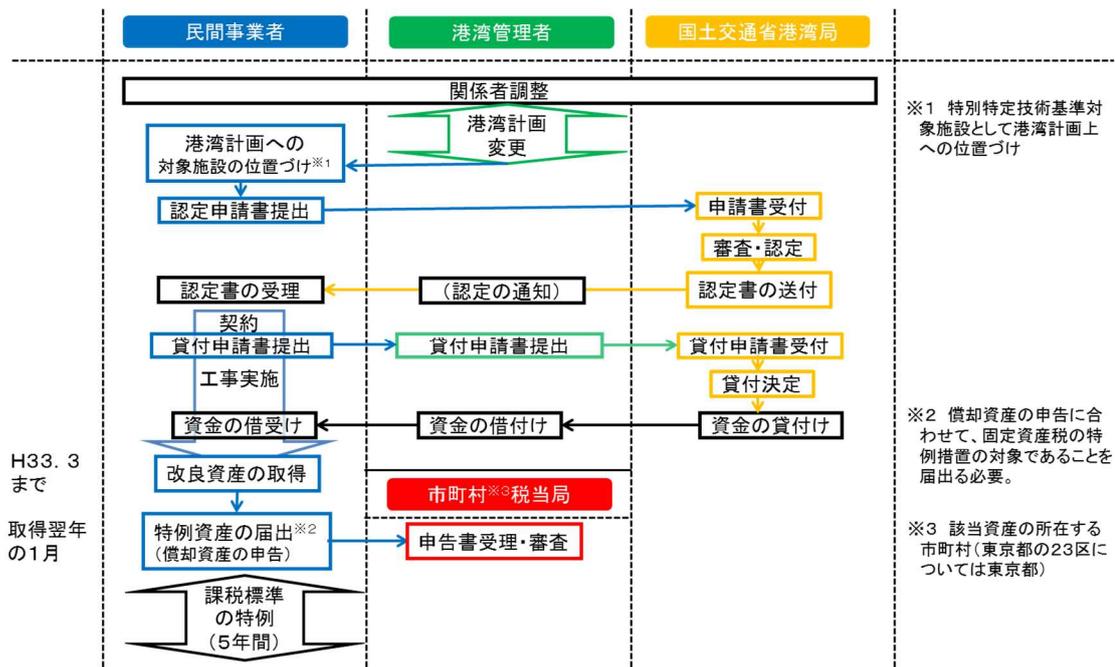


図 4-3 無利子貸付制度及び固定資産税の特例措置の手続きの流れ

(4) 支援制度及びガイドラインに関する相談窓口

本章で紹介した支援制度や本ガイドライン全般に関する相談窓口を、下記の通り設定している。

◆地方整備局等担当部課

北海道開発局	港湾空港部	港湾計画課	011-709-2137
東北地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	022-716-0006
関東地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	045-211-7415
北陸地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	025-370-6604
中部地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	052-209-6321
近畿地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	078-391-8361
中国地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	082-511-3905
四国地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	087-811-8330
九州地方整備局	港湾空港部	港湾計画課	092-418-3358
沖縄総合事務局	開発建設部	港湾計画課	098-866-1906

◆本省担当部課

国土交通省 港湾局 海岸・防災課 危機管理室 03-5253-8070

〔 港湾における護岸等の耐震性調査・耐震改良のためのガイドライン
平成 30 年 6 月 〕

解 説

A. チャート式耐震診断システムの貸与申請等の窓口

チャート式耐震診断システムの貸与申請及び本ガイドラインに基づく同システムを利用した耐震診断等に係る技術的な相談については、下記の各地域に設けられた「港湾における液状化相談窓口」を活用することができる。

港湾における液状化相談窓口

国土交通省港湾局では、各地方整備局等に港湾施設の液状化相談窓口を開設し、港湾施設を保有する民間企業や港湾管理者等に対して港湾施設の液状化対策に関する相談サービスを提供しています。

- ◆対象者：
 - ・港湾施設を保有する民間企業
 - ・港湾管理者等
- ◆相談内容：
 - ・港湾における液状化予測・判定法に関すること
 - ・チャート式耐震診断システムの貸出及び使用に関すること
 - ・液状化対策に関すること 等

◆各地域の相談窓口

地域	所属	連絡先
北海道	北海道開発局 港湾空港部 港湾建設課	電話：011-709-2311
		FAX：011-709-2147
東北	東北地方整備局 仙台港湾空港技術調査事務所	電話：022-791-2116
		FAX：022-292-5366
関東	関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所	電話：045-461-3897
		FAX：045-461-3899
北陸	北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所	電話：025-222-6115
		FAX：025-227-3225
中部	中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所	電話：052-612-9984
		FAX：052-612-9477
近畿	近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所	電話：078-331-0140
		FAX：078-391-5680
中国 (山口県下関市除く)	中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所	電話：082-545-7017
		FAX：082-545-7019
四国	四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所	電話：087-811-5661
		FAX：087-811-5670
九州 (山口県下関市含む)	九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所	電話：083-224-4130
		FAX：083-224-4141
沖縄	沖縄総合事務局 開発建設部 港湾計画課	電話：098-866-1906
		FAX：098-861-9916

- ◆受付時間：9:30～12:00 と13:00～17:00（土・日・祝祭日を除く）

B. 港湾の施設の技術上の基準とその変遷

日本では、図解 B-1 に示すように、概ね 5 年に 1 度の頻度で大地震が発生し、地震被害の経験を受けてきた。そのうち、マグニチュード 7.5 以上の大地震はプレート境界で発生しており、太平洋沿岸での大地震はよく知られている。海洋プレート境界型の大震災に加えて、規模は小さいが、内陸で発生した地震もある。兵庫県南部地震（1995）がこれに相当し、その著しい破壊力はよく知られており、設計基準等の改訂に大きな影響を与えた。

新潟地震（1964）以降の地震を、港湾・空港分野での主な耐震研究の成果とともに、表解 B-1 に整理した。

表解 B-1 港湾における耐震設計の流れ（1999 年まで）

わが国での大地震の発生状況		耐震設計の流れ（1999 年まで）	
		地震	技術成果／設計実務への反映
	1964	新潟地震	1964 港湾地域強震観測の開始
	1968	十勝沖地震	1970 液状化判定法(強震記録・液状化事例:土田)
	1973	根室半島沖地震	1975 震度法の確立(強震記録・被害事例:野田・上部)
	1978	宮城南沖地震	1979 技術基準策定
	1983	日本海中部地震	1984 液状化対策技術マニュアル(強震記録・事例・実験) 大規模地震対策施設整備構想(耐震強化岸壁)
	1989		1989 液状化対策の基準化(技術基準改訂)
	1993	釧路沖地震 北海道南西沖地震	1993 液状化対策の効果検証(強震記録・事例) 大地震における空港高盛土の耐震性実証(強震記録・事例) 埋立地の液状化対策ハンドブック(強震記録・事例)
	1994	北海道東方沖地震 三陸はるか沖地震	1994 液状化対策(過圧密工法)の効果実証(強震記録・事例)
	1995	兵庫県南部地震	1995 数値解析・水中振動台による被災変形予測の実証(強震記録・事例・実験・解析)
	1997		1997 レベル1/レベル2地震動の設定(強震記録) 液状化対策における耐震性能照査型設計法の導入(埋立地の液状化対策ハンドブック改訂) 地盤・構造物(液状化含む)系複合数値解析技術の実用化(FILIP公開)
	1998		1998 全国空港強震観測の本格的開始
	1999		1999 耐震性能照査型設計法の導入(技術基準改訂)

図解 B-1 日本での大地震の発生状況

港湾の近代的な土木構造物が施工され始めた明治以降において、工学的耐震設計の必要性が認知されたのは 1891 年濃尾地震であったと言われている。地震による構造物の被災は、地震動により地盤や構造部材に劣化が生じることや構造物へ作用する慣性力などによって発生する複雑な現象である。しかし、複雑な動的挙動を、構造物に作用する水平方向の慣性力に着目し、地震の影響を自重（質量×重力加速度）に震度（地震時の最大応答加速度と重力加速度の比）を乗じて設計に考慮するという「震度法」の概念が 1915 年に佐野によって提案され現在まで用いられてきている。

港湾施設の設計では、1950 年に発行された港湾工事設計示方要覧においては、水平設計震度として 0.05～0.3 を与えることとしており、1959 年の港湾工事設計要覧において、日

本全国を地震活動度に応じ三区分に分類し、各々0.25～0.15, 0.20～0.05, 0.10～0.00 の設計震度の範囲を提示している。その後、1967年の港湾構造物設計基準以降は、設計震度を地域別震度、地盤種別係数、重要度係数の積として設定する方法となり、これは1999年に発行された設計基準まで続いた。

多くの護岸等の整備が始まった1960年代以降における技術基準の主な改訂年度は、1967年（昭和42年）、1979年（昭和54年）、1989年（平成元年）、1999年（平成11年）、2007年（平成19年）、2018年（平成30年）である。1973年（昭和48年）より前に制定・改訂された技術基準は、主に国有施設の整備に用いられた。地震観測記録等の蓄積と分析等により作用としての地震力や地震時の構造物や地盤の挙動に関する知見が蓄えられ、技術基準に順次反映されてきた。各設計基準での設計震度の値（地域別震度×地盤種別係数×重要度係数）を表解B-2に示す。表から明らかなように、設計震度算出のもととなる地域別震度は、基準改訂のたびに引き上げられる傾向にある。

地震時の港湾構造物の被害を大きくする主要因である地盤の液状化に関しては、1964年の新潟地震までは構造物への影響について明確に認識されておらず、新潟地震において地盤の液状化により著しい被害が発生したことから、液状化現象に対する工学的な研究の必要性が広く認識されることとなった。1967年（昭和42年）の基準において地盤の液状化について言及され、1979年（昭和54年）に改訂された基準から液状化が設計に反映されるようになった。地盤の液状化が生じると土圧の増大や沈下等重大な被害につながる現象が起こるため、供用期間内に起こりうる程度の強さの地震に対しては、基本的には液状化を許容しない（液状化が生じる恐れのある地盤には液状化対策を行う）という設計思想である。日本海中部地震（1983）では、液状化により多数の矢板式岸壁が被害を受けたが、液状化が発生しなかった同形式の矢板式岸壁の被害は軽微であったことから、液状化対策の実施に関する研究開発が緊急課題となり、1984年に液状化対策技術マニュアルが策定され、実務設計に反映されることとなるとともに、同年から耐震強化岸壁が整備されることとなった。こうして実施してきた液状化対策は、釧路沖地震（1993）において釧路港では400gal（ cm/s^2 ）を越える地表面での地震動が記録されたにも関わらず、液状化対策を実施した岸壁は、無被害または軽微な被害に留まり、その効果が実証された。技術基準における液状化対策にかかる考え方の変遷は表解B-3の通りである。

更に、兵庫県南部地震（1995）では、最大加速度500～800gal（ cm/s^2 ）レベルの地震動が発生し、港湾構造物も壊滅的被害を受けることとなった。この地震は、それまで耐震設計において想定していた供用期間内に起こり得る程度の地震動の強さを大きく上回るものであったが、発生確率は低いものの海洋型地震や直下型地震において起こり得るものではあった。このため、施設の重要度に応じて、こうした地震動に対する耐震性も確保すること、また、施設の重要度に応じてそれぞれの地震動に対して確保すべき性能（耐震性能）を設定することの必要性が認識された。この結果、供用期間中に発生する確率が高い地震動（レベル1地震動）と再現期間数百年のプレート内地震動や陸地近傍のプレート境界型

地震動のように供用期間中に発生する確率が低いが大きな強度を持つ地震動（レベル2地震動）の二段階の地震動レベルに対して、施設の重要度に応じた耐震性能を定め、それに基づいた耐震設計を行うことと大きく変化することとなった。このレベル2地震動に関する設計概念は、兵庫県南部地震（1995）後の1989年（平成11年）に改訂された基準から取り入れられた。技術基準におけるレベル2地震動にかかる考え方の変遷は表の通りである。

こうして順次新たな知見が反映されてきた耐震設計に関する技術基準上の考え方は、2007年（平成19年）に改訂された基準において大きく変わった。同基準において、設計手法や構造物の形状・材質といった手段を直接規定する仕様規定から、求められる性能のみを規定する性能規定へと移行したとともに、レベル1地震動の考え方も、それまでの地域別震度×地盤種別係数×重要度係数＝設計震度を求めるという考え方から、工学的基盤面での地震動を地表面地震動へと変換した後、構造形式や大きさ、許容変形量を考慮して照査用震度を算出するという考え方に大きく変わり、震源特性・伝播経路特性・サイト特性等を考慮した構造物ごとのより精確な地震動を耐震設計において用いることとなった。

現行基準における設計状態・主たる作用・性能照査の方法を表解B-5に示す。また、現行基準の照査方法と平成19年以前の基準の照査方法の違いを表解B-6に示す。

表 解 B-5 現行基準における設計状態、主たる作用、性能照査の方法

設計状態	主たる作用	性能照査の方法
永続状態 変動状態	自重、土圧、風、波浪、水圧、船舶の接岸及び牽引による作用、載荷重	信頼性設計法(部分係数法等)
		模型実験、又は現地試験に基づく方法
	レベル1地震動	信頼性設計法(部分係数法等)
		数値解析法(地盤-構造物の動的相互作用を考慮した非線形地震応答解析手法)
偶発状態	船舶の衝突、津波、レベル2地震動、偶発津波、火災	数値解析法(変形量や損傷の程度を具体的に評価できる方法)
		模型実験、又は現地試験に基づく方法

* 朱書きは耐震設計に係る部分を示す

表 解 B-6 レベル1地震動に関する変動状態に対する照査方法の違い

	H19以前の技術基準 (括弧内の数値はH11基準)	H30技術基準
地震の活動度	地域別震度 (0.08~0.15)	港湾ごとに工学的基盤のレベル1地震動を設定(確率論的地震ハザード解析及び工学的基盤以深の増幅特性を考慮)
表層地盤の影響	地盤種別係数 (0.8~1.2)	照査用震度算定時に、表層地盤の地震応答解析や地盤の固有周期で考慮
構造物の重要性	重要度係数 (0.8~1.5)	照査用震度算定時に、壁高で考慮。
設計に用いる震度	設計震度=地域別震度×地盤種別係数×重要度係数	構造形式ごとに、地表面における応答加速度波形、壁高、地盤の固有周期に応じた照査用震度を算出
作用力と耐力の比較 滑動に関する安定性の検討の例	$F_s \leq fW/P$ (F_s : 安全率、 W : 全鉛直力、 P : 全水平力、 f : 摩擦係数)	$m \cdot S_d / R_d \leq 1.0$ $R_d = \gamma_R R_k$ $S_d = \gamma_S S_k$ $R_k = f_k (W_k + P_{V_k} - P_{B_k})$ $S_k = P_{H_k} + P_{W_k} + P_{d_wk} + P_{F_k}$ f : 壁体底面と基礎との摩擦係数 W : 壁体を構成する材料の重量 P_V : 壁体に作用する鉛直土圧合力 P_B : 壁体に作用する浮力 P_H : 壁体に作用する水平土圧合力 P_w : 壁体に作用する残留水圧合力 P_{d_w} : 壁体に作用する動水圧合力 P_F : 壁体に作用する慣性力 R : 抵抗項 S : 荷重項 γ_R : 抵抗項に乗じる部分係数 γ_S : 荷重項に乗じる部分係数 m : 調整係数

C. 護岸等の重要度の設定の考え方

護岸等の重要度の考え方と設定基準を以下に示す。

S級：損壊すると人命や公衆保安に重大な影響を及ぼすおそれのある護岸等

－損壊した際に、当該事業所外に影響を及ぼしうるものや災害時の当該事業所内の人命に大きく影響を与える護岸等

(設定の考え方)

- ・公共航路等の重要な航路が近接する護岸等

例) 港湾計画において大規模地震対策施設として定められている岸壁・栈橋(耐震強化岸壁)、製油所・油槽所の石油栈橋、ライフライン関係重要事業所(電力、LNG等)の係留施設等に至る航路から概ね100m以内に存在する護岸等

注) 上記各係留施設に「至る航路」とは、各係留施設を利用するために船舶が航行等するために必要な航路及び泊地のことである。

- ・背後に危険物を取り扱う施設(製造施設、貯蔵施設、パイプライン)が存在し、護岸等の損壊に伴う背後施設の損壊により、公衆保安上重大な危機を生じる可能性がある護岸等

例) 港湾計画上の「危険物取扱施設」である護岸等。また、「危険物取扱用地」前面の護岸等及び「工業用地」前面の一部の護岸等。そのほか、護岸等から概ね100m以内に危険物を取り扱う施設が存在する護岸等

危険物の例) 火薬類、高圧ガス、引火性液体類、毒物等

- ・事業所の緊急物資輸送に利用される岸壁等
- ・当該護岸等の直近傍に大きな生産施設や倒壊危険性のある施設がある護岸等

※ S級の施設については、公共への影響の観点からも設定することから、港湾の事業継続計画(港湾BCP)やその他の防災計画(石油コンビナート防災アセスメント等)を踏まえ、港湾管理者等にも相談して設定することが望ましい。

A級：損壊すると事業活動に重大な影響を及ぼすおそれのある護岸等

－損壊した際に、当該事業所の生産活動が停止するような重大な影響を与える護岸等

(設定の考え方)

- ・入出荷用岸壁や栈橋の護岸であって、当該係留施設が利用できなくなると事業所の生産活動が停止する護岸等
- ・重要な生産・貯蔵施設が近接する護岸等

B級：損壊すると事業活動に影響を及ぼすおそれのある護岸等

－損壊した際に、当該事業所の生産活動に影響を与える護岸等

(設定の考え方)

- ・背後に場周道路や生産・貯蔵施設を有する等の護岸等

C級：損壊しても事業活動に直ちに影響を及ぼさない護岸等

－損壊した際に、当該事業所の生産活動に直ちに影響を与えるわけではないものの、護岸等の機能が失われていることにより、浸食等が進むことにより、いずれは生産活動や周辺環境に影響を及ぼす可能性のある護岸等

D. 基本情報による耐震診断の判断基準

護岸等の基本情報により安全と判断して良い場合と危険と判断すべき場合は以下のような場合がある。

安全と判断して良い場合

以下のいずれかの項目に該当する場合は、安全と判断してよいものとみなす。

(築造年)

- ・平成 19 年基準以降の基準により設計され、整備された施設（工学的基盤面の地震動に変更があった場合を除く。）

(設計震度等)

- ・施設の設計震度が現行の技術基準に基づく照査用震度¹⁾ 以上の場合（レベル 1 地震動の場合）
- ・過去に受けた地震動に対して耐震性能を発揮した施設であって、工学的基盤面における当該地震動が照査用地震動と同等であると判断できる場合（その時点からの劣化を考慮しなければ、照査用地震動に対する耐震性を有すると言える。）

例： 千葉港千葉中央地区、千葉港葛南地区及び東京港の施設（想定地震動：レベル 1 地震動、既往地震動：平成 23 年東北地方太平洋沖地震）²⁾
大阪港の施設（想定地震動：レベル 1 地震動、既往地震動：平成 7 年兵庫県南部地震）²⁾
宮城県～茨城県の施設（想定地震動：レベル 2 地震動、既往地震動：平成 23 年東北地方太平洋沖地震）

注：上記に記載のない項目については、護岸等の基本情報（構造形式等）のみから「安全」と判断することはできないため、より詳細な調査を実施の上、判断する必要がある。

1) 照査用震度については、港湾内のゾーン別に構造形式・水深等を考慮して共通の照査用震度を作成し、一定の整理のもとで利用することが考えられる。

2) 上記を含め、既往の大地震による地震動と照査用地震動とを比較した資料は、以下の HP を参照されたい。

https://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bst/taisin/research_jpn/research_jpn_2018/jr_52.html

危険と判断すべき場合

以下のいずれかの項目に該当する場合は、危険と判断すべきものとみなす。

(築造年)

- ・昭和 54 年基準以前に整備された施設であって、施設背後や直下の地盤が想定地震動において液状化するおそれがある場合
- ・構造物の一般的な設計供用期間である 50 年を上回る場合（鋼構造物の場合は 40 年）

(構造形式)

- ・ブロック式護岸
- ・腐食代を考慮した矢板式護岸で築 40 年以上の場合

(設計震度等)

- ・設計震度が現行の技術基準に基づく照査用震度¹⁾を下回る場合（レベル 1 地震動の場合）

(その他)

- ・設計図書がなく、構造形式が不明な場合

E. チャート式耐震診断

施設の地震による変形量を予測する手法は、詳細手法から簡易手法まで多くの手法が確立されている。一般的に詳細手法は有限要素法を用いて直接的に詳細に変形量等を把握する手法であり、簡易手法は施設の形状等を入力することにより簡易に変形量等を把握する手法である。

簡易手法の一つとして、「チャート式耐震診断システム」がある。

(1) 概要

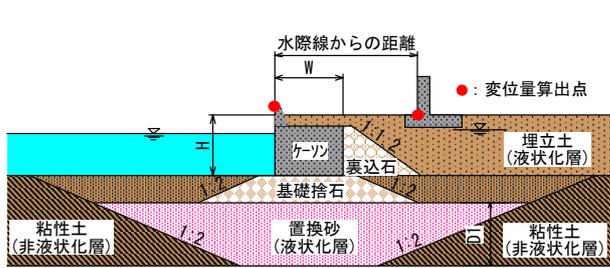
チャート式耐震診断システムとは、施設形状、地盤条件、設定した地震動条件を用いて、地震発生時の施設の変形量を簡易に予測する耐震診断システムである。

従来の地震時の変形量の予測を行う耐震診断は、地震時の液状化等を考慮できる FLIP 等の二次元地震応答解析を用いて行う必要があった。しかし、二次元地震応答解析を実施するには、高度な技術力と多大な時間と費用を要するため、簡易に施設の変形量を予測することが可能なチャート式耐震診断システムが開発された。

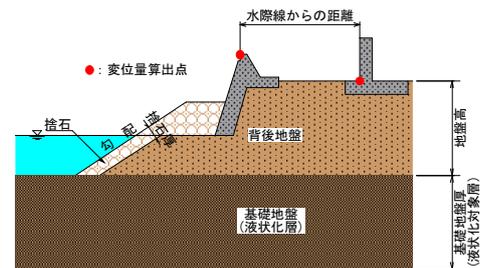
チャート式耐震診断システムは、数千ケース以上にも及ぶ FLIP の解析結果を用いて、施設の変形量と地震動の特性値、施設形状及び地盤条件の関係を整理することにより、施設背後の地盤条件、施設形状、地震動条件の代表値又は特性値を入力のみで、施設の変形量を一定の精度で予測することが可能なシステムである。

現在開発されているチャート式耐震診断システムで護岸等に対応する構造形式は、**図解 E-1** に示す直立式（重力式）、傾斜型護岸タイプ、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板、及び自立式矢板、栈橋式の計 6 構造形式であり、変位量算出点は、水際線（護岸法線）に加えて水際線背後の任意の位置（ユーザが指定出来る）となっている。

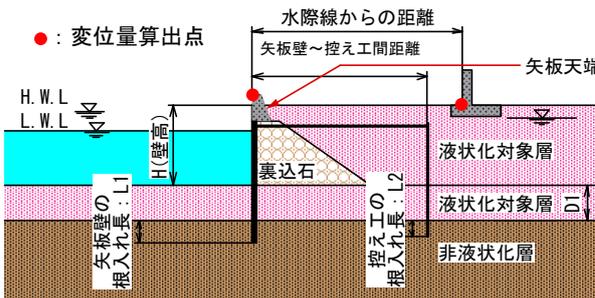
劣化した施設はチャート式耐震診断システムのみでは評価することができないため、構造物の劣化に係る点検診断結果と合わせて耐震性を評価する必要がある。



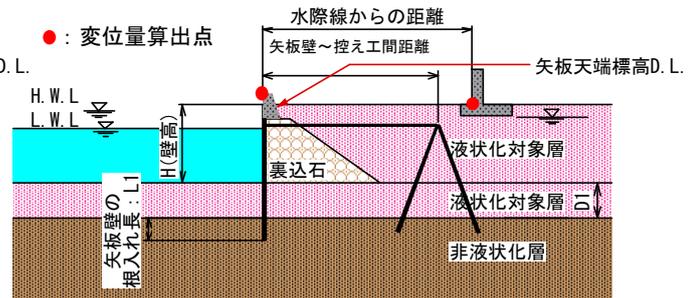
(1) 直立型 (重力式)



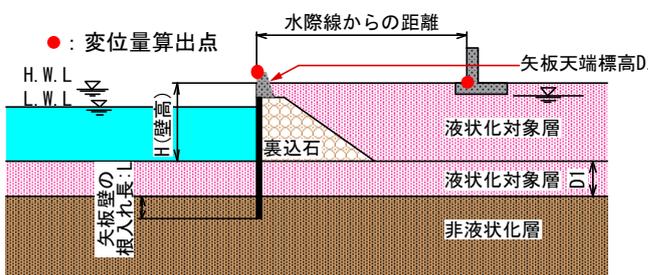
(2) 傾斜型護岸タイプ



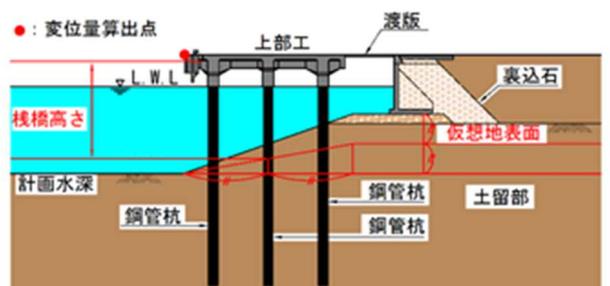
(3) 控え直杭式矢板



(4) 控え組杭式矢板



(5) 自立式矢板



(6) 栈橋式

図解 E-1 チャート式耐震診断システムで診断できる構造形式

(2) 検討手順

チャート式耐震診断システムによる変形量照査を実施する際には、**図 解 E-2** に示すように対象とする施設の構造形式に応じて、構造物の形状寸法、地盤の硬さを評価する等価 N 値の平均値、地震動の大きさを評価する値（速度の PSI 値）を適切に設定する。アウトプットとして、護岸等の水平変形量 d_H 、鉛直変形量 d_V が得られる。また、必要に応じて背後地盤の水平及び鉛直の変位量も得ることができる。

なお、チャート式耐震診断システムには、ボーリング柱状図から等価 N 値の平均を算定できるサブシステム、地震動データから地震動の大きさを表す指標（速度の PSI 値）を算定できるサブシステムが用意されている。

具体的な手順を次頁以降に示し、チャート式耐震診断システムを用いた診断事例及び検討結果の一例は、**参考資料-2** に示す。

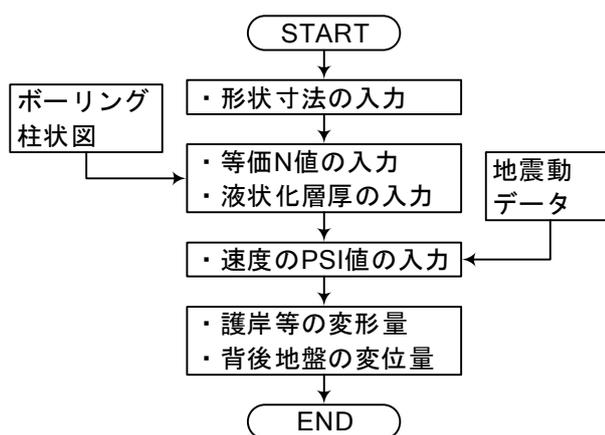


図 解 E-2 チャート式の検討手順

1) 地震動情報の入手

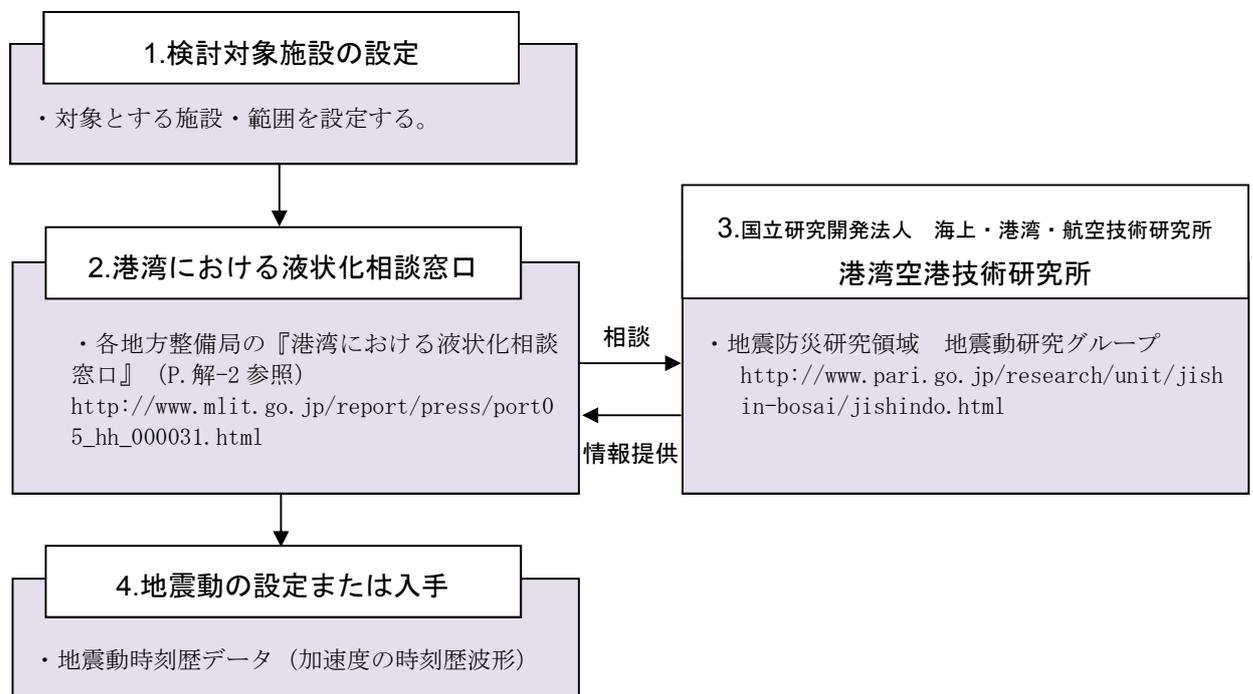
① レベル1地震動

レベル1地震動は、各港湾ごとに国土技術政策総合研究所から時刻歴のデジタルデータが下記 HP に公開されている。レベル1地震動の使用にあたっては、その算定において考慮されているサイト増幅特性（下記 HP 参照）と対象施設の敷地におけるサイト増幅特性が大きく異ならないか確認する必要がある。その方法については『港湾の施設の技術上の基準・同解説』に記述がある。

<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>

② レベル2地震動

レベル2地震動は対象施設の敷地におけるサイト増幅特性を適切に反映したものを用いる必要がある（『港湾の施設の技術上の基準・同解説』参照）。レベル2地震動の設定にあたっては「港湾における液状化相談窓口」³⁾を経由して港湾空港技術研究所に相談することができる。各地方整備局または港湾空港技術研究所が既に適切なレベル2地震動を保有している場合は、申請することにより入手することができる。その場合も「港湾における液状化相談窓口」が窓口となる。図解E-3に地震動の設定もしくは入手に至るまでの流れを示す。



図解 E-3 地震動の入手過程の例

3) 解説 A 参照

2) 地盤情報の入手

チャート式診断システムに必要な地盤情報は、システムのモデルにおいて液状化すると想定する各層における平均等価 N 値と液状化層厚であることから、共有地盤情報（解説F）や簡易な地盤調査手法（解説G）を用いて、必要な定数を得る。液状化すると想定する層は、本来液状化判定を行うべきであるが、液状化判定を行わない場合は、地下水位以下で平均 N 値が30程度以下の砂質土層を液状化対象層とする。

3) 必要設定条件

①施設形状に係る設定

チャート式耐震診断システムで護岸等に対応する構造形式は、直立式（重力式）、傾斜型護岸タイプ、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板、自立式矢板、棧橋式の計6である。チャート式耐震診断システムに対応していない施設を本システムにより評価する場合は、工学的判断により、地震により生じる構造物の変形モードがほぼ同じであると判断される構造形式に置き換えて検討を実施する必要がある。

チャート式耐震診断システムの検討を行う上で必要となる設定条件は、表解E-1に示すとおりである。なお、詳細な条件の設定方法は、以下に示す文献が参考となる。この文献は、チャート式耐震診断システムを入手すると添付されている。

- ・沿岸構造物のチャート式耐震診断システム Ver.1.05 利用者マニュアル:近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所,平成29年3月
- ・港湾における液状化相談窓口（国土交通省）
http://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000031.html

表 解 E-1 チャート式耐震診断システムに必要な設定条件

項目		備考	
地震動条件	工学的基盤面における速度の PSI 値	「(3)適用範囲等」を参照のこと。	
地盤条件	平均等価 N 値		
構造物の形状寸法等	(1) 直立型 (重力式)		H (壁高)
			W/H (堤体幅/壁高)
			D1/H (液状化層厚/壁高)
	(2) 傾斜型護岸タイプ		地盤高
			捨石厚
			捨石勾配
			基礎地盤厚
	(3) 矢板式 (控え直杭)		H (壁高)
			L1/H (矢板壁の非液状化層への根入長/壁高)
			L2/H (控え杭の非液状化層への根入長/壁高)
			D1/H (海底面からの液状化層厚/壁高)
	(4) 矢板式 (控え組杭)		H (壁高)
			L1/H (矢板壁の非液状化層への根入長/壁高)
			L2/H (押し込み杭の非液状化層への根入長/壁高)
			L3/H (引抜き杭の非液状化層への根入長/壁高)
			D1/H (海底面からの液状化層厚/壁高)
	(5) 矢板式 (自立式)		H (壁高)
			L/H (矢板壁の非液状化層への根入長/壁高)
		D1/H (海底面からの液状化層厚/壁高)	
	(6) 直杭式 棧橋	D 土留め部の水平変位	
H 棧橋高さ			
置換砂、裏込石の有無			

②地盤条件に係る設定

耐震診断に必要な地盤条件を設定するには、図 解 E-1 に示す各構造形式中に示された土層区分（層厚）と液状化対象層の平均等価 N 値が必要となる。これらの情報は、ボーリング調査及び PDC から入手できる。

等価 N 値は、有効上載圧 65kN/m^2 下での値に補正した N 値であり、式 (1) で算定できる。

$$N_{65} = \frac{N - 0.019(\sigma_v' - 65)}{0.0041(\sigma_v' - 65) + 1} \quad (1)$$

- ここに、
 N_{65} : 等価 N 値
 N : 標準貫入試験値
 σ_v' : 有効上載圧 (kN/m^2)

③地震動に係る設定

チャート式耐震診断では、速度の PSI 値を地震動として耐震診断を行う。速度の PSI 値を算定するまでの過程は、入手できるデータにより多様な手段がある。

耐震診断の精度が高い地震動条件は次の順序になる。

- i サイト増幅特性を考慮した地震動の時系列デジタルデータ
- ii サイト増幅特性を考慮した地震動の最大加速度
- iii 対象地震のマグニチュード・断層面距離

ここで、最も精度の高いサイト増幅特性を考慮した地震動の時系列デジタルデータをチャート式耐震診断に用いる場合の手順について述べる。{ ii ~ iii については、沿岸構造物のチャート式耐震診断システム Ver. 1.05 利用者マニュアル (p. 90~) を参照できる }

地震動データは、0.01 秒毎の南北成分 (NS 成分 : A_{NS}) と東西成分 (EW 成分 : A_{EW}) に分けられたデータとなっているため、検討対象施設の護岸法線に対して直角となる地震波形 (A_{Mod}) に補正した地震動を算出して用いる { 式 (2) 参照 }。算出した地震動は、チャート式診断システムに付属している「速度の PSI 算定シート」により、速度の PSI 値を求めることができる。

$$A_{Mod} = -A_{NS} \cos \theta + A_{EW} \sin \theta \quad (2)$$

ここに、 A_{Mod} : 補正後地震波形

A_{NS} : NS 成分地震波形

A_{EW} : EW 成分地震波形

θ : NS 方向からの回転角度

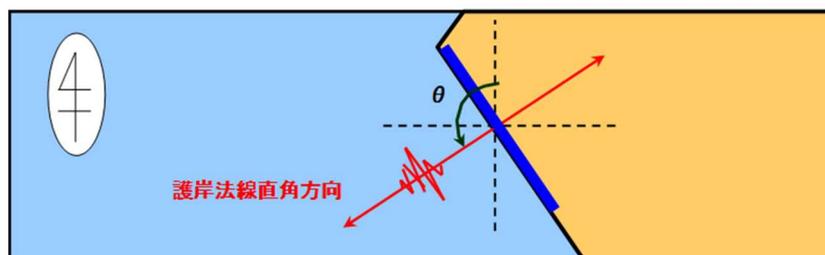
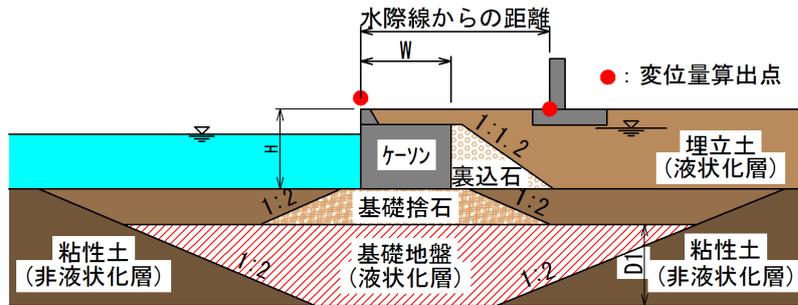


図 解 E-4 護岸法線直角方向成分

(3) 適用範囲等

1) 施設形状の範囲

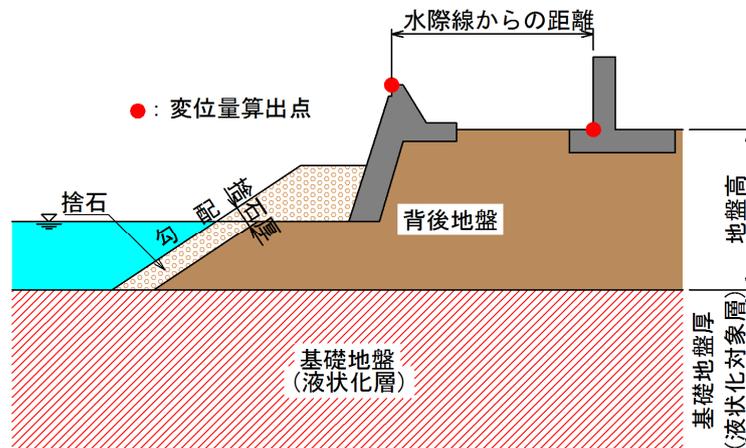
① 直立型（重力式）形式



直立型 (重力式)	H	3.0m~20.0m ^{*1)}
	W/H	0.35~1.05
	D1/H	0.00~1.95

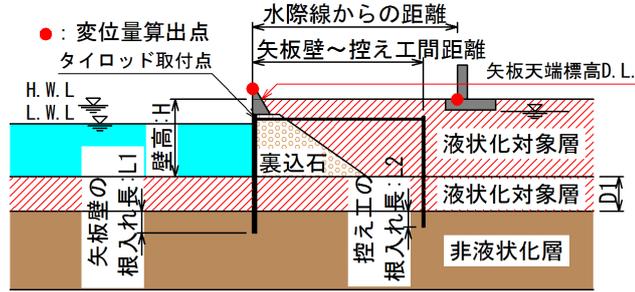
*1) H（壁高）20m 程度の大型施設については、概略的な変形量の把握は可能であるが、別途詳細検討（FLIP 解析等）を実施するのが望ましい。

② 傾斜型護岸形式



傾斜型 護岸タイプ	地盤高	2.0m~10.0m
	捨石厚	0.0m~3.0m
	捨石勾配	1:1.0~1:3.0
	基礎地盤厚	0.0m~25.0m

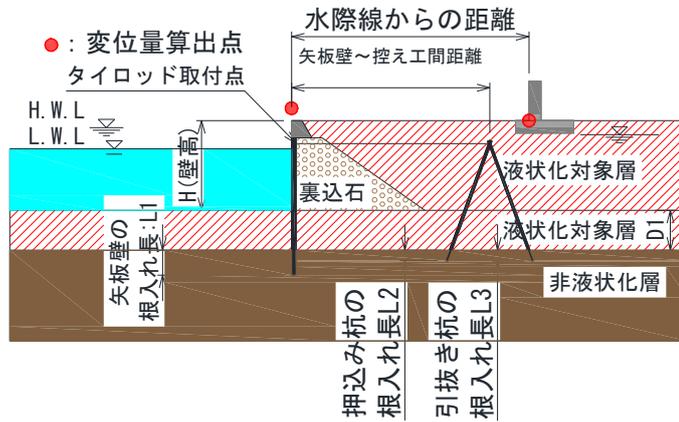
③ 控え直杭式矢板形式



控え直杭式 矢板形式	H	3.0m～15.0m
	$L1/H^{*2)}$	-0.5～0.5
	$L2/H^{*2)}$	-0.9～0.5
	$D1/H$	0.3～2.0

*2) L, L1, L2, L3 は、非液化化層への根入れがある場合が正

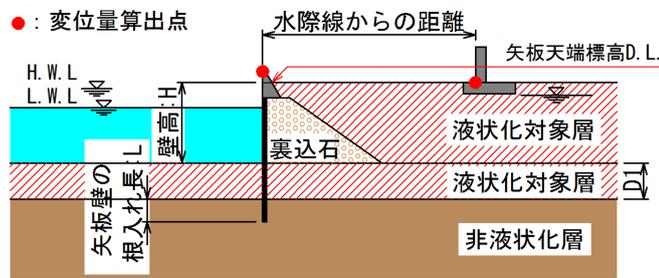
④ 控え組杭式矢板形式



矢板式 (控え組 杭)	H	3.0m～15.0m
	$L1/H^{*2)}$	-0.5～0.5
	$L2/H^{*2)}$	-0.15～0.15
	$L3/H^{*2)}$	-0.15～0.5
	$D1/H$	0.3～2.0

*2) L, L1, L2, L3 は、非液化化層への根入れがある場合が正

⑤ 自立式矢板形式

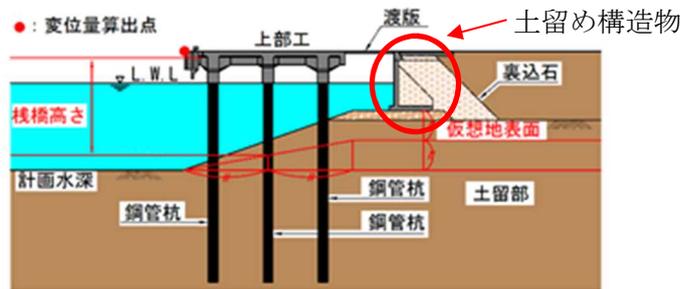


矢板式 (自立式)	H	3.0m～7.5m
	$L/H^{*2)}$	-0.4～2.0
	$D1/H$	0.0～3.0

*2) L, L1, L2, L3 は、非液化化層への根入れがある場合が正

⑥ 栈橋式

栈橋式は、土留め構造物の変位をもとに、栈橋の耐震性を評価するものとなっている。このため、栈橋式の適用範囲は、土留め構造物の構造形式（直立型（重力式）、控え直杭式矢板等）の条件による。



2) 地盤条件の範囲

地盤条件における平均等価 N 値の適用範囲は、5～25 である。直立型（重力式）及び傾斜型護岸タイプは、背後地盤と基礎地盤の 2 種類の平均等価 N 値を入力できるが、控え直杭式矢板、控え組杭式矢板、及び自立式矢板は、1 種類の平均等価 N 値しか入力できない。また、計算に用いる等価 N 値は、細粒分含有率による補正は行わない値とする。

3) 鋼材の曲率比（矢板式）

鋼部材の曲率比については、地盤のコントラストに影響をうけるところが大きい。チャート式耐震診断システムは、一様な地盤で検討しており、必ずしも安全側の結果が得られるとは限らない。従って、鋼部材の曲率比に関しては参考値扱いとする。

4) 栈橋式

沿岸構造物のチャート式耐震診断システムでは、栈橋式の鋼管杭の応力照査を実施することができる。出力結果は、最大曲率比（“発生曲率/全塑性モーメント発生時の曲率”の最大値）と応力状態（表 解 E-2 参照）である。

栈橋の応力照査には、変形率を必要とする。栈橋部の変形率とは、栈橋部の水平変位を仮想地表面の平均値～上部工までの高さ（以降、栈橋高）で除したものである。栈橋部の水平変位は土留部の水平変位とほぼ等しいことが解析的に確認されている。そのため、栈橋部の水平変位を算定する際は、土留部の水平変位をチャート式耐震診断システム等を用いて推定する。なお、土留部の前面水深は仮想地表面位置として壁高等の値を設定する必要がある。

表 解 E-2 チャート式耐震診断システムで出力される栈橋の応力状態

応力状態 1	すべての杭が降伏以下（最大曲率比 1.0 以下）
応力状態 2	すべての杭が全塑性以下（最大曲率比 1.0 以下）
応力状態 3	ダブルヒンジが発生しない（最大曲率比 2.0 以下）
応力状態 4	ダブルヒンジが発生しない杭が存在する（最大曲率比 10.0 以下）
応力状態 5	全ての杭でダブルヒンジが発生する（最大曲率比 10.0 以上）

(4) 形状パラメータの入力における留意事項

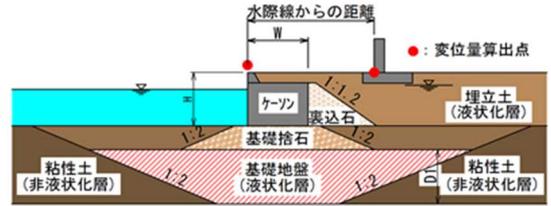
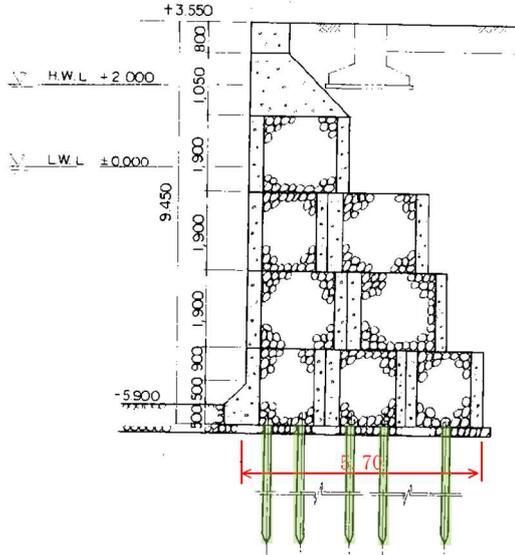
チャート式耐震診断システムで護岸等に対応する構造形式は、図 解 E-1 に示す直立式（重力式）、傾斜型護岸タイプ、控え直杭式矢板、控え組み杭式矢板、自立式矢板、及び栈橋式の計 6 構造形式であり、検討対象施設をどの構造形式で耐震診断するかによって、結果（変形量）が異なる。構造形式の選定は、下記の方針を基本とする。また、古い施設は改良が施され、図 解 E-1 に示すような単純な形状ではない施設がある。参考として次頁以降に、古い施設をチャート式耐震診断システムで検討する際の形状パラメータの設定事例を示す。

- ・構造形式の選定に迷う場合は、両方の診断を行い、安全側（変形量が大きくなる）の結果を採用する（直立型と傾斜型護岸タイプの例参照）。
- ・構造上機能を発揮していないと考えられる部材は、ないものとして扱う（自立式矢板の例参照）。
- ・施設前面がマウンド等の法面となっている場合の壁高は、背後地盤の標高と法尻の標高差とする。

1) 直立型（重力式）の例

①ブロック積みの護岸

松丸太杭は無視し、幅=5.7m、壁高=9.45mの直立型（重力式）として診断する。



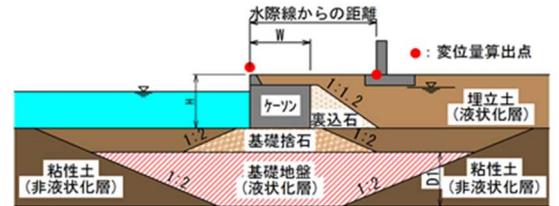
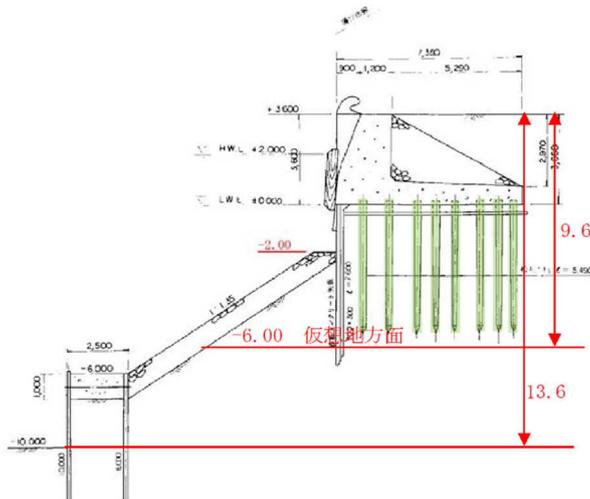
直立型 (重力式)	H	9.45m
	W	5.7m

：松丸太杭

図解 E-5 (1) 直立型（重力式）の例その 1

②マウンド上の重力式

栈橋式の仮想地表面を適用し、幅=7.35m、壁高=9.6mの直立型（重力式）として診断した場合と傾斜式護岸として診断した場合の比較を行う。



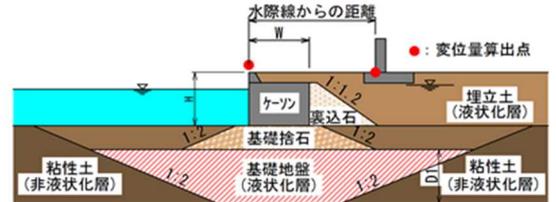
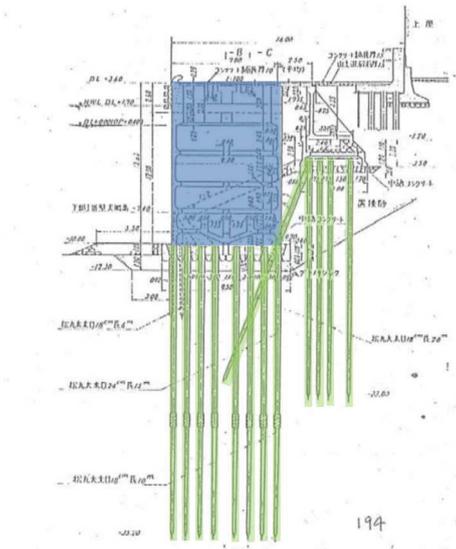
直立型 (重力式)	H	9.6m
	W	7.35m

：松丸太杭

図解 E-5 (2) 直立型（重力式）の例その 2

③松丸太杭が多量にある断面

松丸太杭は、無視し着色部の堤体諸元で診断する。



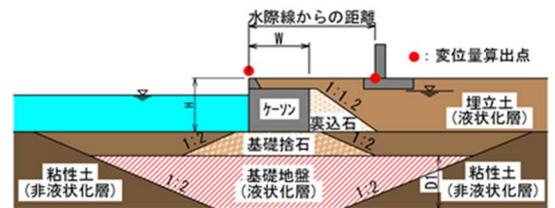
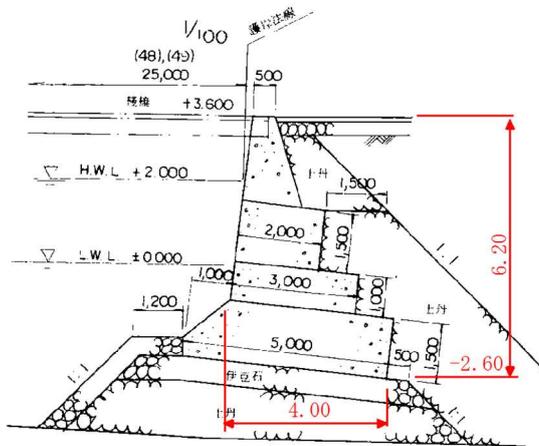
直立型 (重力式)	H	7.8m
	W	14.6m

松丸太杭

図解 E-5 (3) 直立型 (重力式) の例その 3

④傾斜したブロック式

傾斜を考慮した堤体幅を設定し診断する。



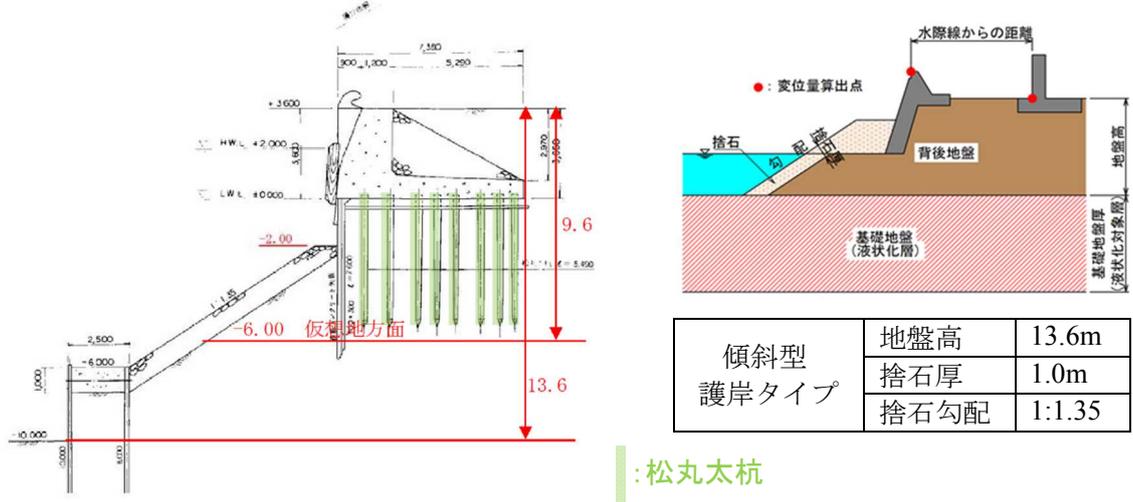
直立型 (重力式)	H	6.2m
	W	4.0m

図解 E-5 (4) 直立型 (重力式) の例その 4

2) 傾斜型護岸タイプの例

①マウンド上の重力式

地盤高 13.6m、捨石厚 1.0m、捨石勾配 1:1.35 の傾斜型護岸として診断した場合と栈橋式の仮想地表面を考慮した直立型（重力式）として診断した場合の比較を行う。

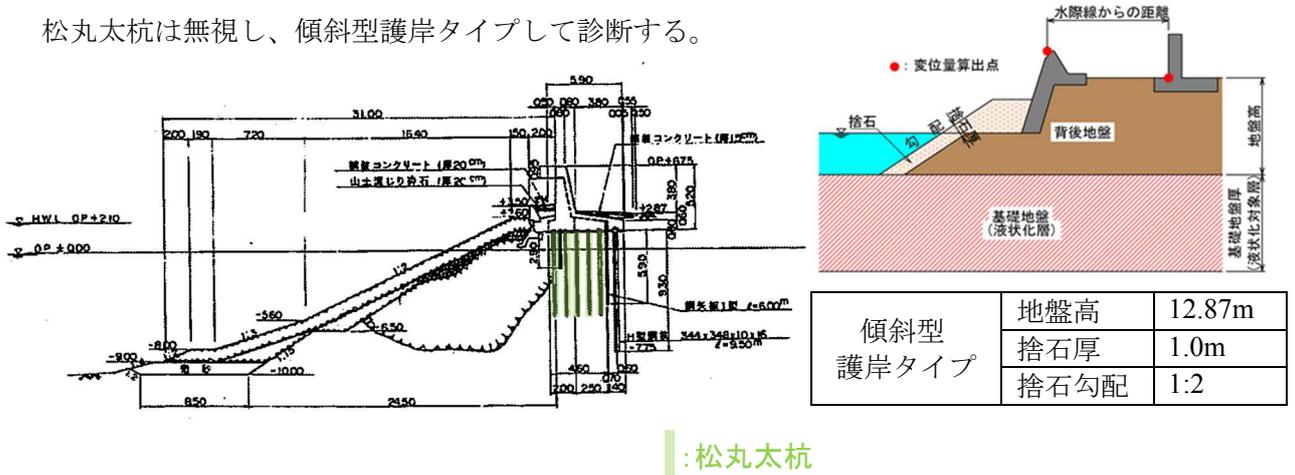


：松丸太杭

図 解 E-6 (1) 傾斜型護岸タイプの例その 1

②煩雑な断面

松丸太杭は無視し、傾斜型護岸タイプして診断する。



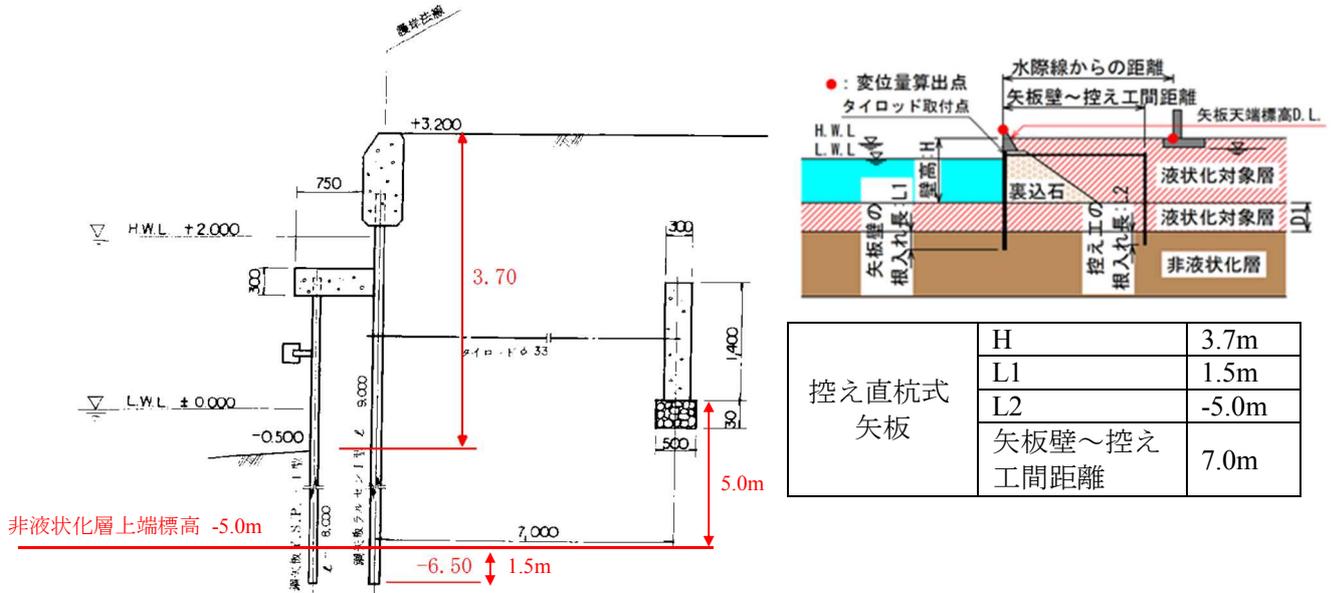
：松丸太杭

図 解 E-6 (2) 傾斜型護岸タイプの例その 2

3) 控え直杭式矢板の例

①矢板が2重に設置されている護岸

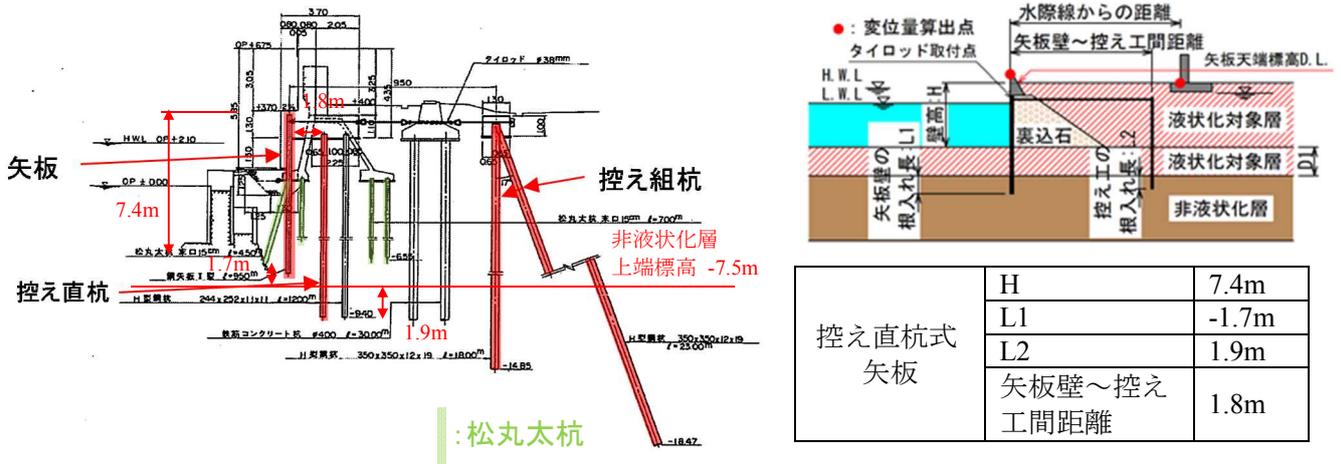
矢板は1重として、壁高=3.7mの控え直杭式矢板として診断する。また、控え版は、控え工の根入れ長が短いものとして診断する(L2=-6m等)。



図解 E-7 (1) 控え直杭式矢板の例その 1

②控え工として直杭と組杭が混在している矢板

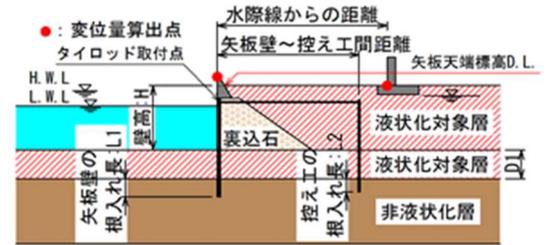
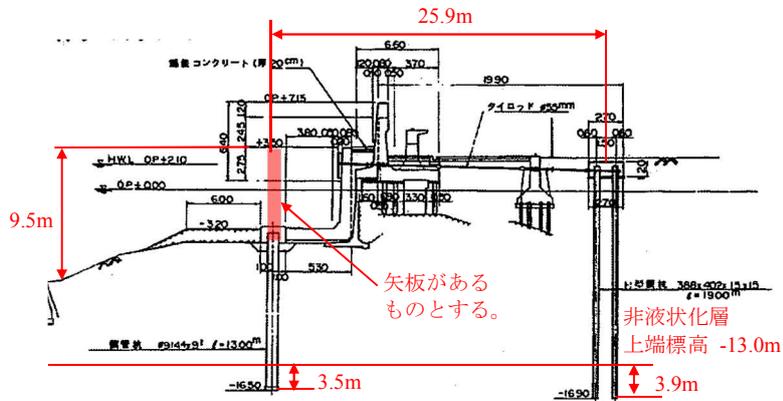
控え直杭として診断した場合と控え組杭として診断した場合の比較を行う。



図解 E-7 (2) 控え直杭式矢板の例その 2

③煩雑な断面その1

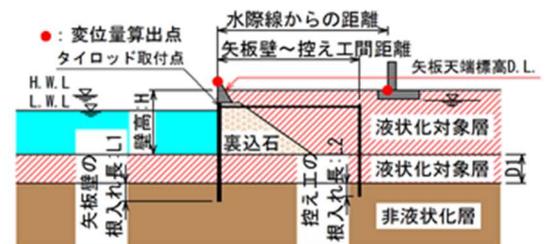
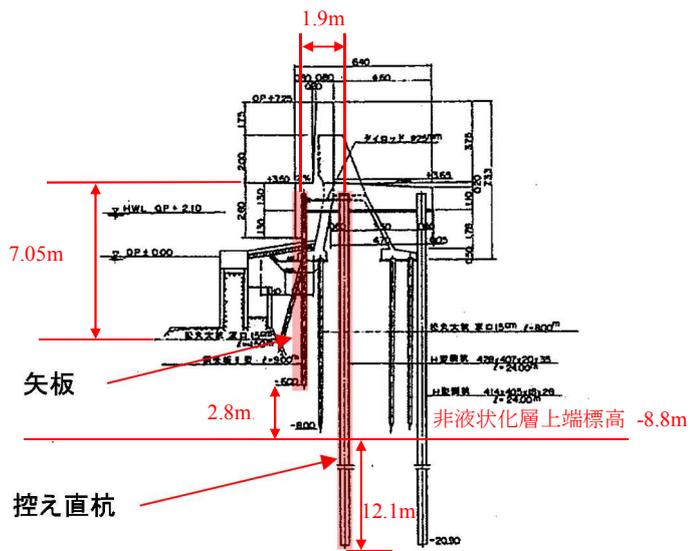
矢板式の上に、L型ブロックがあるが、矢板が背後地盤高までであるとして控え直杭式矢板で診断する。



控え直杭式 矢板	H	9.5m
	L1	3.5m
	L2	3.9m
	矢板壁～控え 工間距離	25.9m

図 解 E-7 (3) 控え直杭式矢板の例その3

④煩雑な断面その2



控え直杭式 矢板	H	7.05m
	L1	-2.8m
	L2	12.1m
	矢板壁～控え 工間距離	1.9m

図 解 E-7 (4) 控え直杭式矢板の例その4

4) 控え組杭式矢板の例

① 棚式

組杭があるため、地震時の挙動は、控え組杭式に近いと考えられるため、控え組杭式矢板として診断する。

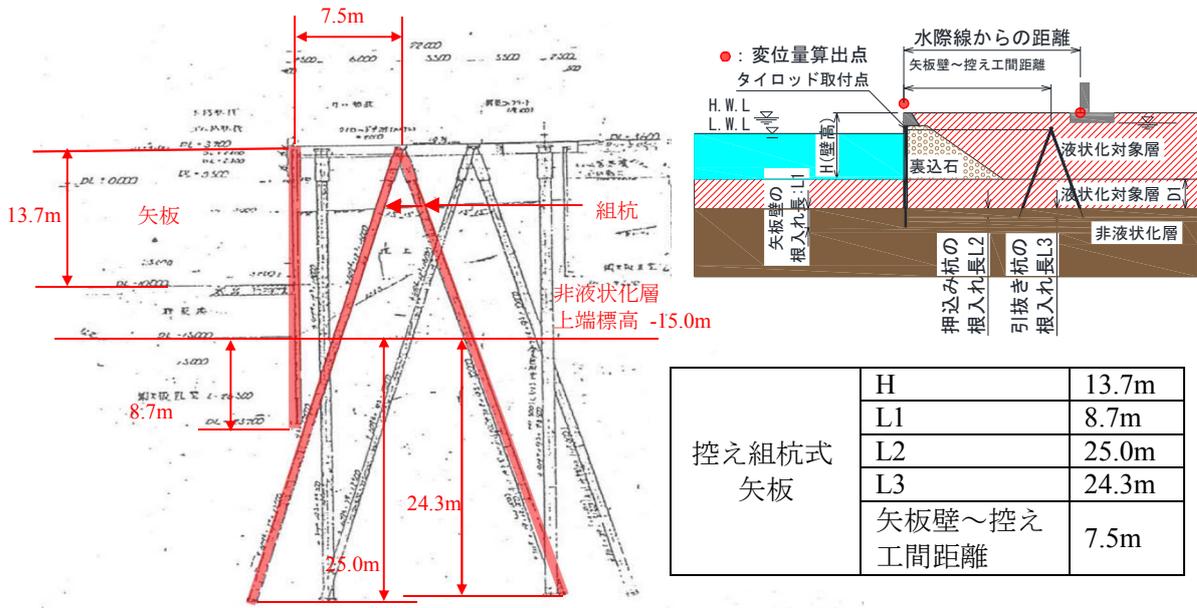


図 解 E-8 (1) 控え組杭式矢板の例その 1

② 控え工として直杭と組杭が混在している矢板

控え組杭として診断した場合と控え直杭として診断した場合の比較を行う。

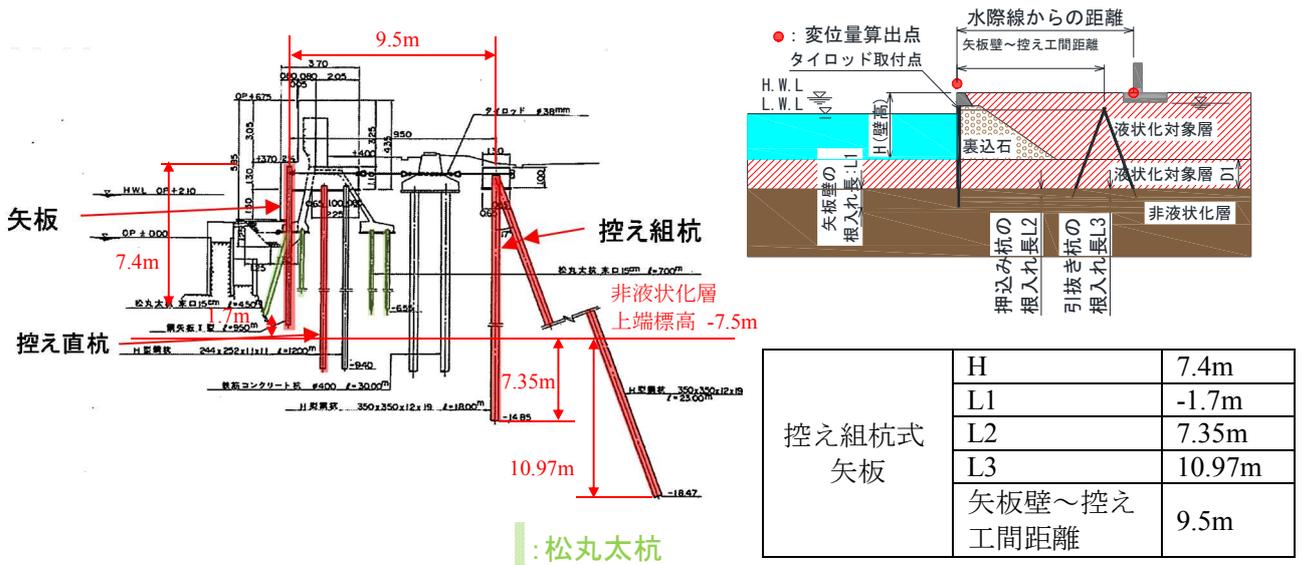


図 解 E-8 (2) 控え組杭式矢板の例その 2

5) 自立式矢板の例

①控え工の効力が殆どないと判断できる例

控え工の効力が殆ど無いと判断し、壁高 3.8m の自立式矢板で診断する。

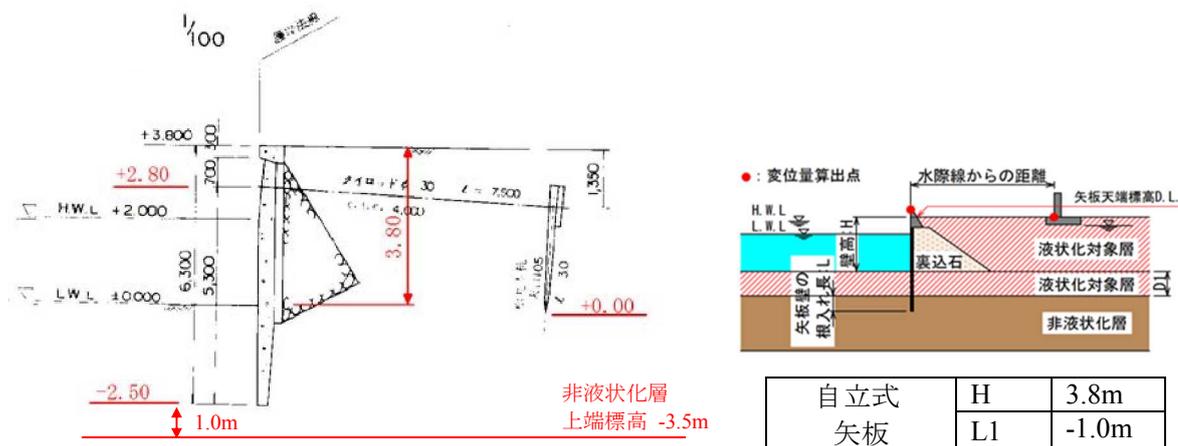


図 解 E-9 (1) 自立式矢板の例その 1

②煩雑な断面その 1

背後の構造物は無視して、自立式矢板で診断する。

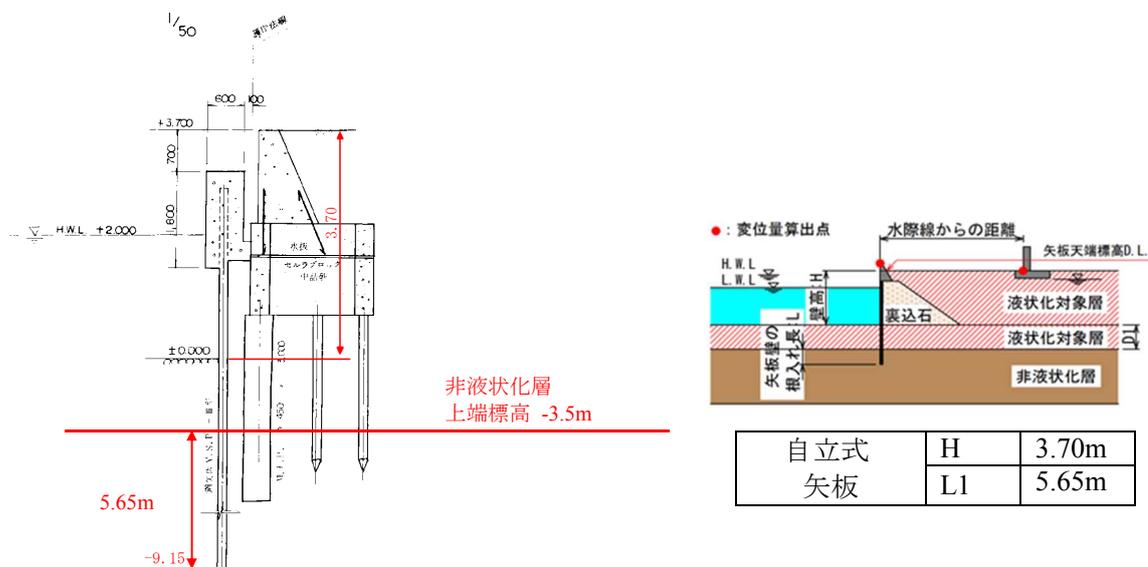


図 解 E-9 (2) 自立式矢板の例その 2

(5) FLIP 解析と比較した精度

チャート式耐震診断システムと FLIP 解析の比較を図 解 E-10 に示す。殆どのケースでチャート式耐震診断システムが FLIP 解析結果よりも大きな変形量となっている。チャート式耐震診断システムは、多くの施設から、地震発生時の沿岸構造物の変形量を算定し、地震に対する危険性が高い施設を抽出（スクリーニング）することを目的に FLIP 解析結果よりも安全側（変形量が大きくなる）の評価ができるように作成されているためである。なお、図 解 E-10 の赤破線（FLIP の変位量＝チャート式の変位量×0.5 となる線）以下に多くのプロットが存在することから、チャート式耐震診断システムの変形量（残留水平変位、残留鉛直変位）の 0.5 倍を概ね FLIP 解析による変形量と評価することが可能であるとの見方もある。ただし、赤破線より上に出ているプロットもいくつかあることから、チャート式耐震診断システムの変形量の 0.5 倍が必ずしも安全側ではないことに留意する必要がある。

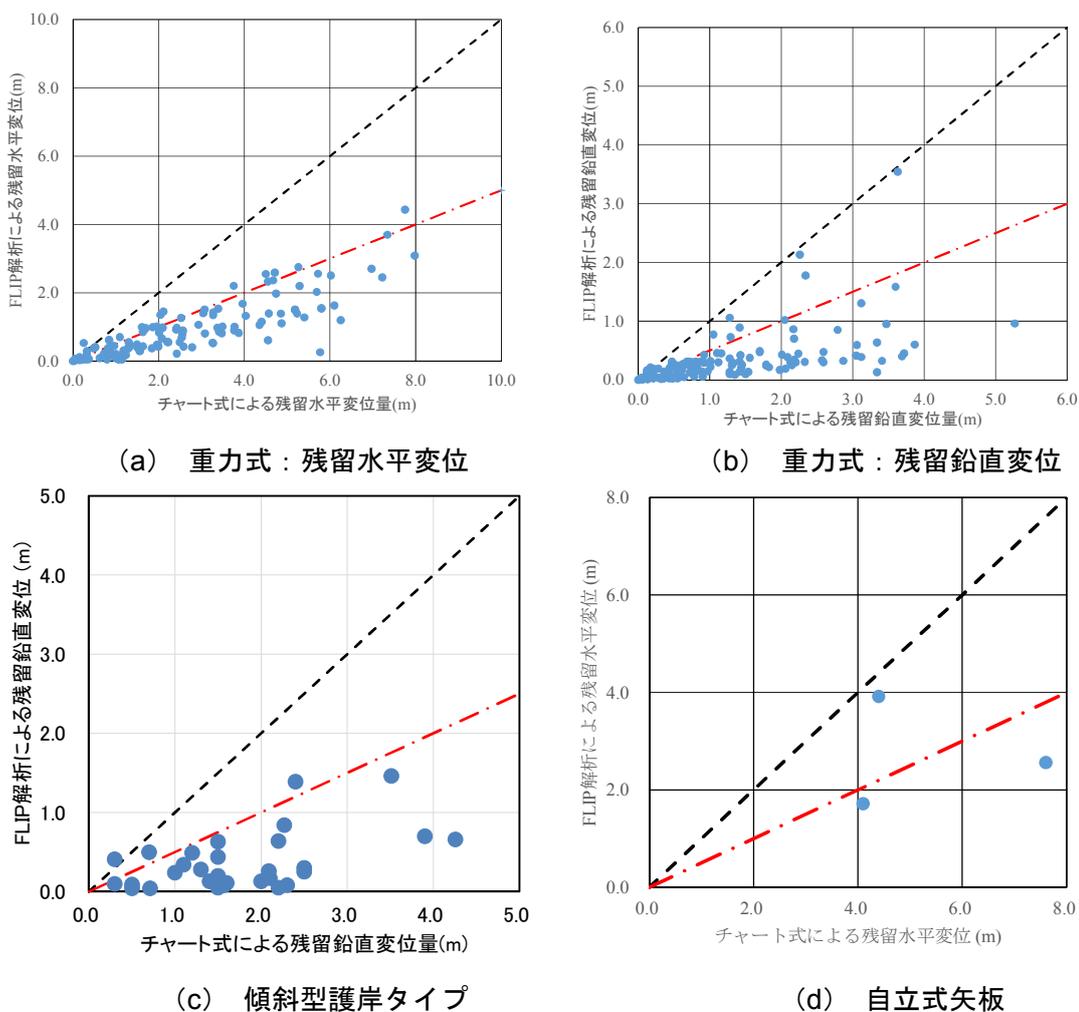


図 解 E-10 チャート式耐震診断システムと FLIP 解析の比較

(6) 留意事項

チャート式耐震診断システムは、膨大な FLIP【地震応答解析】の変形量予測を基に作成されたシステムである。本システムを構築するに当たっては、施設の変形量を過小に評価することを避けるため、FLIP の変形量を内包するように、概ね安全側の評価を行うようにシステムが構築されている。そのため、図解 E-10 に示したように、チャート式診断システムにより推定された変位量は、FLIP の解析結果に比べて変形量を大きく評価する傾向にある。したがって、変形量の絶対値を評価するのではなく、どの施設が危険なのかを評価（相対的な評価）することに限定して用いることとする。変形量の絶対値を評価する場合は、詳細手法（FLIP）による検討を行うことが望ましい。

また、チャート式耐震診断で得られる背後地盤の変位量は、陸域施設がない状態での変位量であることに留意が必要である。

さらに、チャート式耐震診断システムでは構造のディテール（詳細）を考慮できないので、耐震改良の必要性を判断する際には、構造のディテール（詳細）を確認する必要がある。

(7) FLIP 解析と比較した負担軽減効果（費用, 調査期間）

1) 費用

チャート式耐震診断システムは、FLIP 解析に比べて約 20 分の 1 の費用で耐震診断が実施できる（150 千円/1 断面）。なお、業者に発注せず、職員自ら実施することも可能である。

2) 期間期間

チャート式耐震診断システムは、FLIP 解析に比べて約 20 分の 1 の期間で耐震診断が実施できる（約 0.5 日/1 断面）。

F. 共有地盤情報の入手と留意点

対象とする護岸近傍にボーリング調査結果が見当たらない場合には、共有されている地盤情報 DB を活用することができる。いくつかの機関から、過去のボーリング調査位置や柱状図をデータベース化してとりまとめ公開されている。たとえば、国土交通省の地盤情報は Kunijiban で公開しており、自治体では、千葉県、神奈川県、横浜市等がインターネット等で公開している。公開されている地盤情報データベースの一例を以下に示す。

表 解 F-1 公開されている地盤情報データベースの一例

名称	公開機関	対象エリア	提供方法	公開範囲
Kunijiban	国土交通省、土木研究所、 港湾空港技術研究所	全国	インターネット	無償一般公開
東京の地盤	東京都土木技術支援・人材育成センター	東京都	インターネット	無償一般公開
地盤環境インフォメーションバンク	千葉県	千葉県	インターネット	無償一般公開
かながわ地質情報MAP	(財)神奈川県都市整備技術センター	神奈川県	インターネット	無償一般公開
岡山県地盤情報	岡山地質情報活用協議会	岡山県	インターネット	無償一般公開
地盤地図情報 「地盤View(じばんびゅー)」	横浜市	横浜市	インターネット	無償一般公開
川崎市地質図集	川崎市	川崎市	インターネット	無償一般公開
神戸JIBANKUN	神戸の地盤・減災研究会	神戸市	インターネット	有償公開(会員)
こうち地盤情報公開サイト	高知地盤情報利用連絡会	高知県	インターネット	無償一般公開
とうほく地盤情報システム 「みちのくGIDAS」	とうほく地盤情報システム運営協議会	東北地区	インターネット	無償一般公開
ほくりく地盤情報システム	北陸地盤情報活用協議会	北陸地区	インターネット	有償公開(会員)
関西圏地盤情報データベース	関西圏地盤情報ネットワーク	近畿地区	インターネット	有償公開(会員)
四国地盤情報データベース	四国地盤情報活用協議会	四国地区	インターネット	有償公開(会員)
九州地盤情報共有データベース	(社)地盤工学会九州支部	九州地区	CD-ROM	有償一般販売

これらのデータベースは主に公共事業の際に行ったボーリング調査結果をデータベース化しているものであるため、データベースから入手可能な地盤情報は施設背後のものではないことに留意が必要である。公開されているデータベースの地盤情報を用いる際には、以下の点に留意し、適切なものを選択して用いる必要がある。

(留意点)

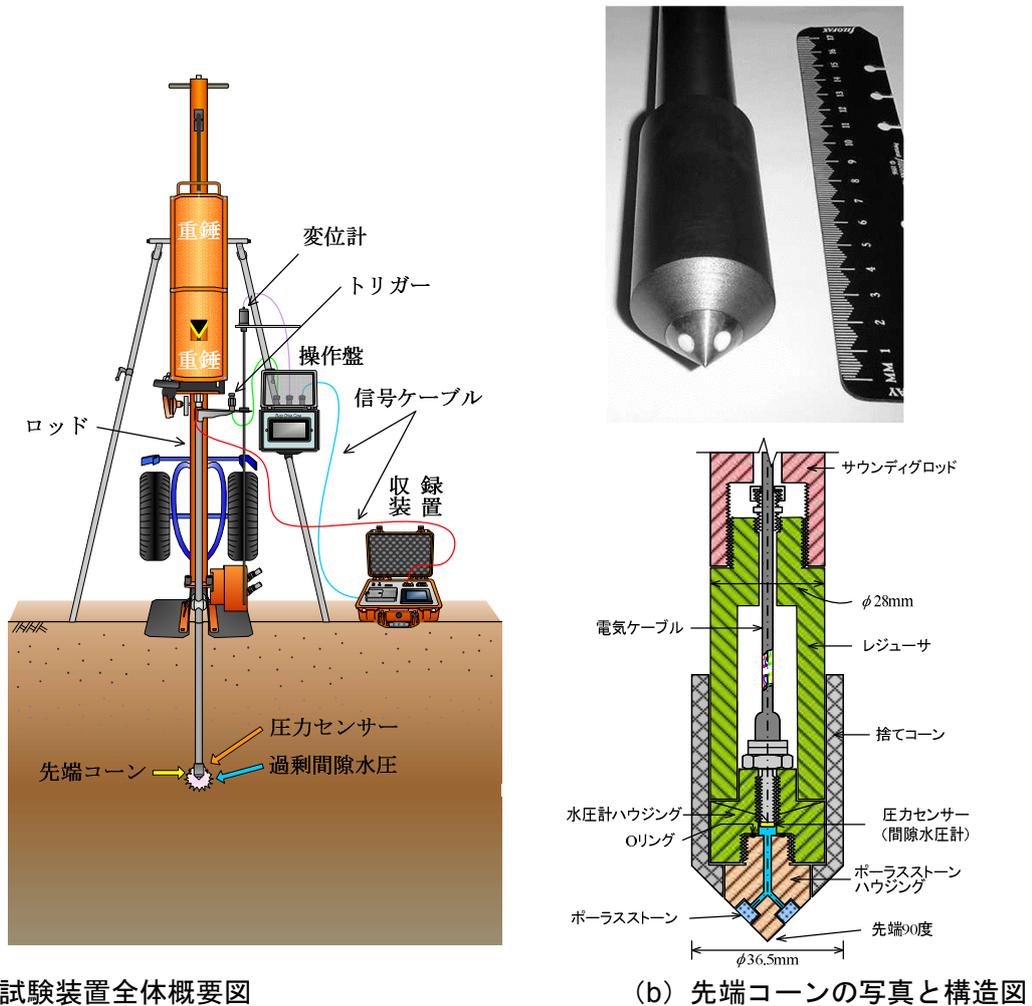
- ・特に埋立地では、原地盤が傾斜していたり、埋立方法等により埋立地盤が均一に分布しているとは限らない。このため、施設最近傍等の適切な地盤情報（柱状図、 N 値）を入手することが重要であり、また、場合によっては、施設最近傍の地盤データが比較的固い地盤のものである場合は、データは安全側なのか危険側なのかわからないことに注意する。軟らかい地盤データで感度分析を試みる等の検証も必要である。
- ・データによっては、柱状図と N 値双方が揃っていない場合もあるため、 N 値に関しては、別の近傍のデータを参考に設定するといったことも必要となる。
- ・調査深度が十分であることを確認する。少なくとも液状化が想定される土層の下端まで調査されている必要がある。

G. PDC・表面波探査法による地盤情報の入手

(1) PDC の概要

PDC (Piezo Drive Cone) は、先端コーン位置に耐衝撃性の高い4ゲージタイプの圧力計を、地上部では非接触式の変位計を設置し、1打撃毎の貫入量とともに地盤中に発生する過剰間隙水圧の測定を行う新しい動的コーン貫入試験装置である。

PDC 試験装置の概要図を図解 G-1 に示す。PDC 試験装置は、従来通り1打撃毎の貫入量から貫入抵抗 N_d 値 (N 値に相当) を評価するとともに、測定された過剰間隙水圧の応答 {累積間隙水圧比 ($uR/\sigma v'$)} から細粒分含有率 F_c を推定することにより、各種建築・土木構造物の設計指針・基準等に準拠した液状化の判定を行うことが出来るサウンディング試験である。詳細な説明は、別冊の参考資料-1 に示す。



図解 G-1 PDC 試験装置の概要図⁴⁾

4) PDC 調査方法 (PDC コンソーシアム)

(2) 表面波探査法の概要

広域で地盤の層構成を推定できる表面波探査法を用いて、ボーリング地点及び PDC 実施地点の絞り込みを行うと、効率的に土質調査を実施できる。以下に概要を示す。

「表面波探査法」とは、物理探査の一種であり、地盤に人がわずかに感じ取れる程度の小さな地震を起振機（或いは人力）で人工的に発生させ、地面の中を伝わる表面波（レイリー波）の速さを複数の検出器で計測を行い、コンピューターにその計測値を収集して解析を行い、S 波速度構造を推定するものである。検出器、計測状況の一例を写真 解 G-1、写真 解 G-2 に、S 波速度構造の推定結果を図 解 G-2 に示す。S 波速度構造の推定には、図 解 G-2 に示すようにボーリングデータがあると推定精度が向上する。

アウトプット項目：S 波速度構造（地盤内の S 波速度分布から不均一性を評価できる。また、地中の異物の検出も可能）



写真 解 G-1 検出器の一例

写真 解 G-2 計測状況の一例

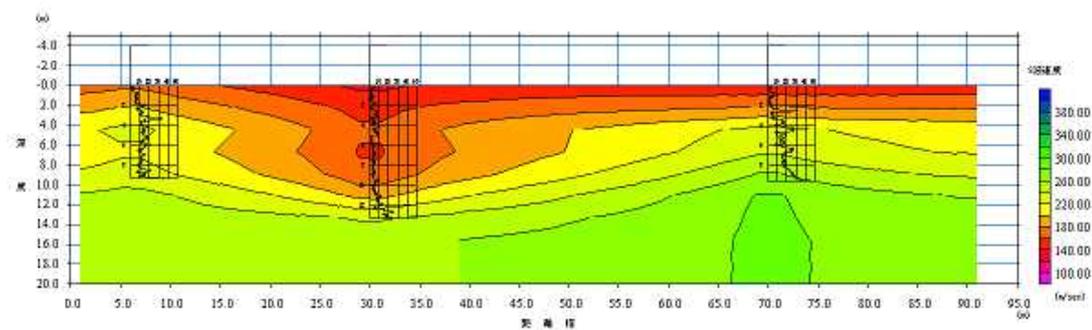
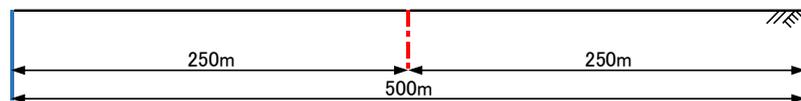
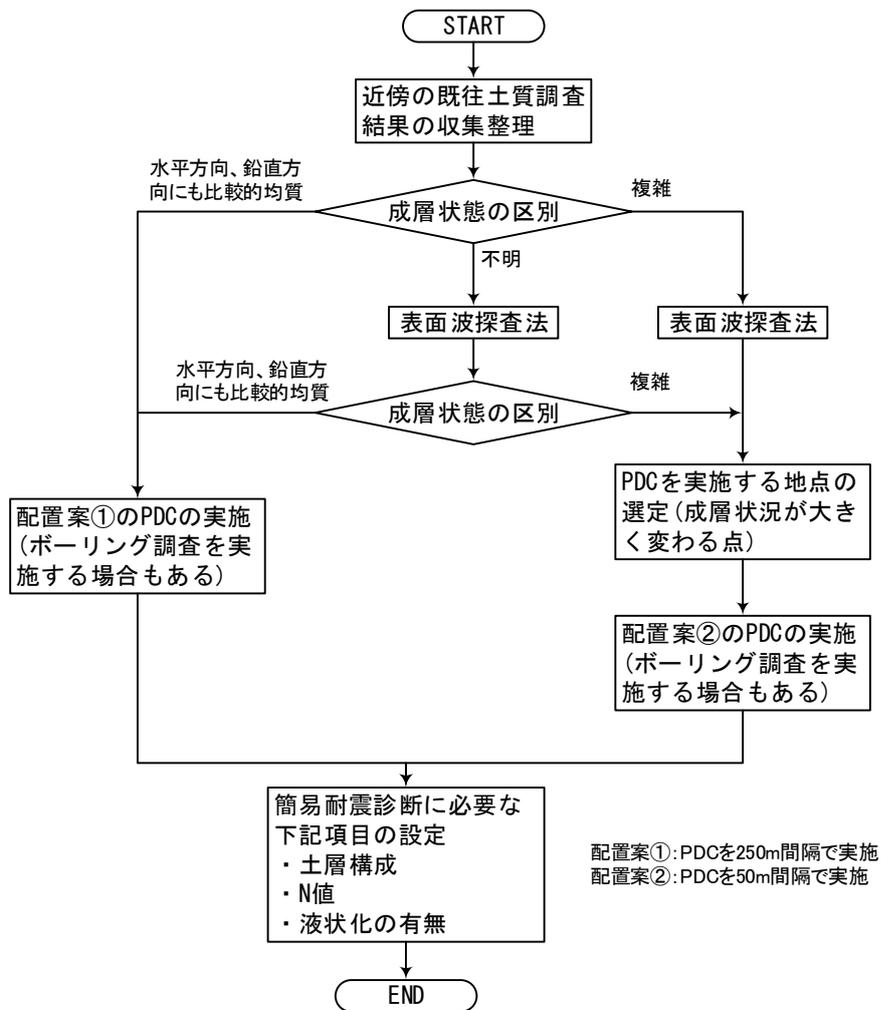


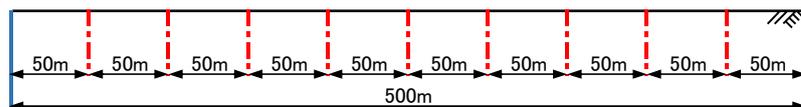
図 解 G-2 S 波速度構造の推定結果の一例

(3) 検討手順

簡易な土質調査法としては、現地で液状化の判定が可能な間隙水圧が測定できる動的コーン貫入試験{ピエゾドライブコーン (PDC)}及び表面波探査の利用が効果的である。両方法を利用した調査手順を図解 G-3 に示し、以降に各方法の概要等を記載する。



配置案① (成層状態が水平方向にも鉛直方向にも比較的均質な場合)



配置案② (成層状態が複雑な場合)

図解 G-3 簡便な土質調査手順

(4) PDC の適用範囲

適用可能な地盤

- ・地下水が浅く分布する地盤で、調査深度は 10m～20m程度まで（地盤状況により異なる）
- ・液状化の判定が実施できるのは、細粒分含有率 F_c が 50%未満の土層

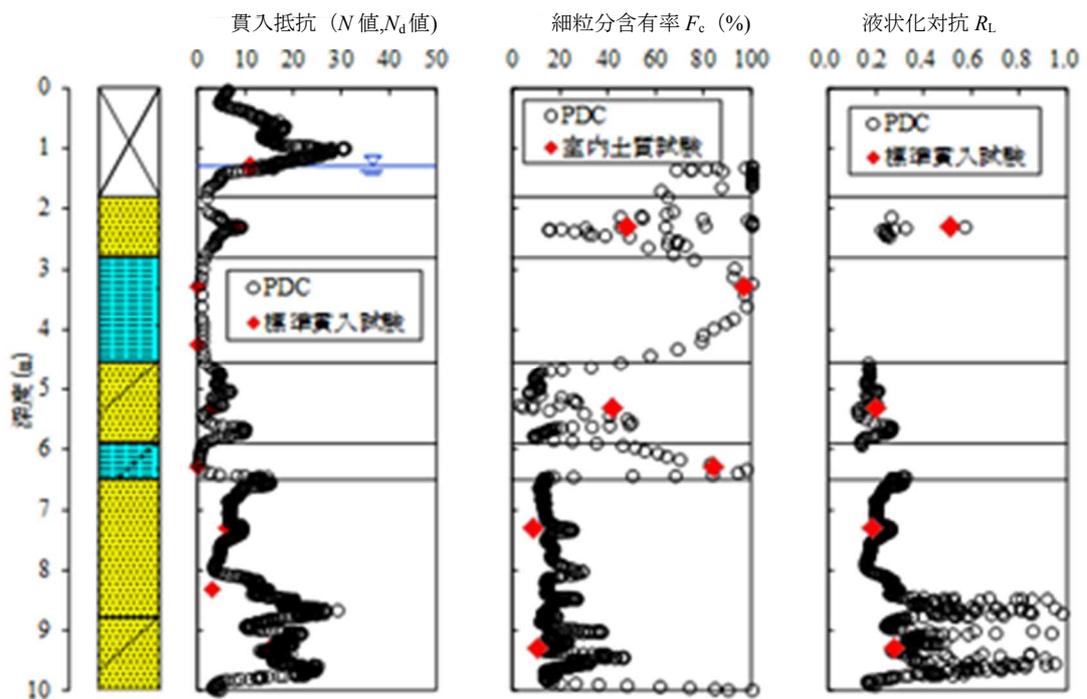
適用が困難な地盤

- ・地下水位が深く、また動的貫入が困難となる玉石などが存在する地盤

上記より、沖積低地に広がる軟弱な互層地盤などの不均質な地盤調査に有効である。

(5) PDC と従来手法を比較した精度

PDC と従来手法（ボーリング調査、標準貫入試験、粒度試験）の比較を図解 G-4 に示す。PDC で得られる貫入抵抗と細粒分含有率は、従来手法の結果をほぼ同じである。



図解 G-4 PDC による調査事例⁵⁾

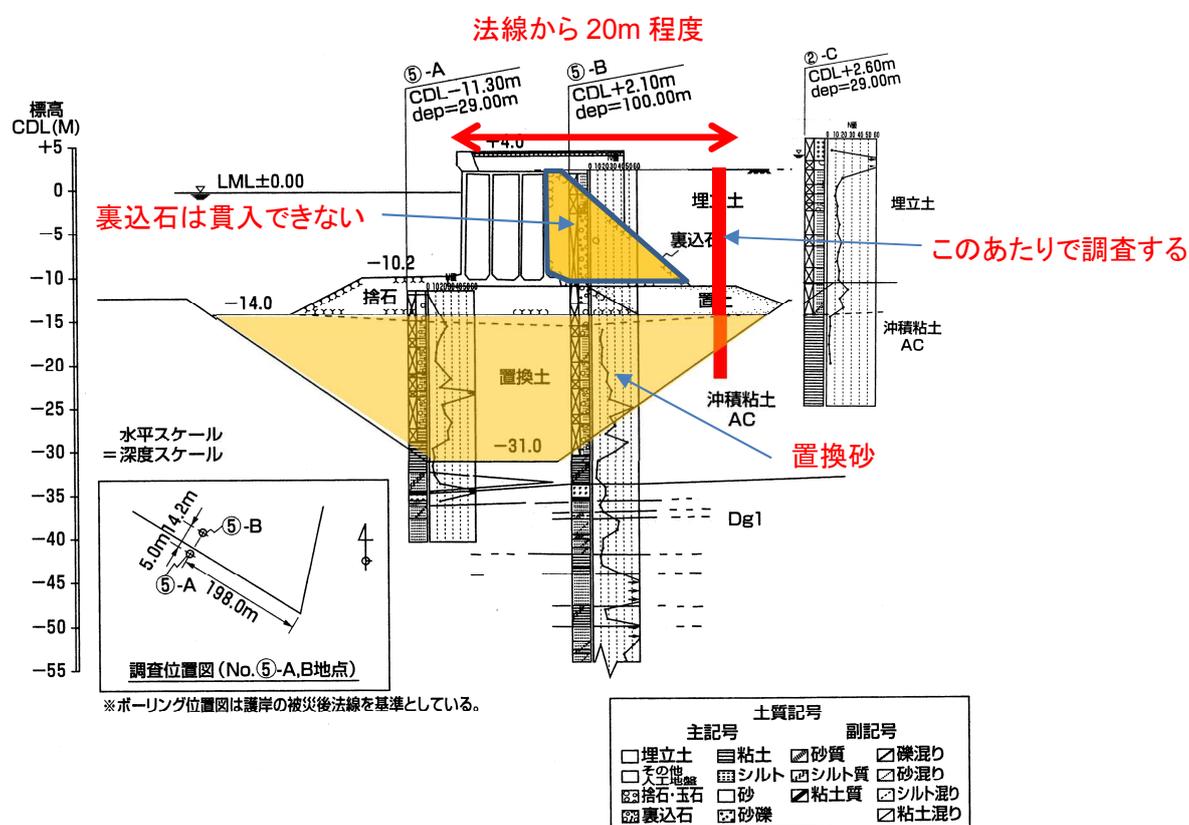
5) PDC の調査・原理: <http://www.pdc-cons.jp/pdc/summary.html>

(6) PDC の留意事項

調査位置

耐震診断に必要な土層構成、 N 値は基本的には、背後地盤のものである。護岸背後には、**図解 G-5** に示すように、裏込石が設置されている場合が多い。そのため、断面図を確認し、裏込石に当たらない位置で調査を実施することが望ましい。護岸（岸壁）法線から概ね 20m 程度控えた位置であると裏込石には当たらない場合が多い。

また、重力式で**図解 G-5** に示すように、軟弱な粘土層を砂で置換した断面については、置換砂の N 値が必要となるため、背後地盤での調査に加えて、置換砂の地点での調査が必要となる。どうしても実施できない場合は、置換砂での既往の調査結果(例えば⁶⁾)を参照することができる。



図解 G-5 重力式で置換砂がある断面 (文献⁶⁾ に加筆)

6) 稲富隆昌, 善功企, 外山進一, 上部達生, 井合進, 菅野高弘, 寺内潔, 横田弘, 藤本健幸, 田中祐人, 山崎浩之, 小泉哲也, 長尾毅, 野津厚, 宮田正史, 一井康二, 森田年一, 南兼一郎, 及川研, 松永康男, 石井正樹, 杉本盛行, 高崎伸彦, 小林延行, 岡下勝彦: 1995 年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告, 港湾技研資料 No. 857, 1997. 3

(7) PDC と従来手法を比較した負担軽減効果（費用、調査期間、スペース、技術力）

PDC と従来手法を比較した場合の負担軽減効果を以下に示す。ここでの従来手法は、「ボーリングと 1m 間隔で行う標準貫入試験で N 値と地下水位を調べ、採取した試料を用いて室内土質調査で土質区分と細粒分含有率 F_c を把握し、液状化判定を行う」事を指す。

1) 費用⁷⁾

PDC は、従来手法に比べて約 7 分の 1 の費用で調査が実施できる（深度 20m/1 ヶ所の調査で比較）。

2) 期間⁷⁾

PDC は、従来手法に比べて約 5 分の 1 の期間で調査が実施できる（深度 20m/1 ヶ所の調査で比較）。

3) スペース等

- ・動的貫入装置を使用するため反力が不要である。
- ・車輪付きで人力で移動ができる。
- ・ボーリングのような泥水が発生しないので、環境に優しい。
- ・ボーリング調査に比べて、占有面積が約 30%である（一般的なボーリング調査の占有面積が約 20m²、PDC の占有面積は約 6m² 以下）。



写真 解 G-3 PDC の実施状況等⁸⁾

4) 技術力

従来手法は、通常深度 1m に 1 点しか測定しない標準貫入試験と比較し、PDC は 1 打撃毎の自動計測を行う事により、数 cm 程度間隔で貫入抵抗が算出でき、地盤の不均質性を連続的に評価できる。

7) 詳細は、別冊の参考資料-1 参照。

8) PDC パンフレット, PDC コンソーシアム HP. <http://www.pdc-cons.jp/>

H. 耐震性の判断基準と耐震対策の必要性の判断

本ガイドラインにおける概ねの耐震性の判断基準を整理するため、(1)において法令で求められる要求性能及び性能規定の概略を示した上で、(2)において地震時に護等岸周辺で発生する被災状況及び求められる耐震性を整理し、(3)において残留変位量から耐震性を判断する基準とその考え方について整理する。

(1) 護岸等の要求性能及び性能規定

法令上の護岸等の要求性能及び性能規定においては、護岸は背後地を防護するため、自重、水圧、波力、土圧並びに地震、漂流物等による振動及び衝撃に対して安全な構造のものであり、また、波浪等に対して十分な高さを有すること、これに加えて、岸壁においては、船舶の接岸を目的とするため、船舶の安全かつ円滑な係留、人の安全かつ円滑な乗降及び貨物の安全かつ円滑な荷役が行えることが求められている。

以下に、法令に定められる要求性能及び性能規定を記載する。

表 解 H-1 通常の施設に対する現行基準の要求性能

区分	要求性能
護岸	波浪及び高潮から当該護岸の背後地を防護できるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること
	自重、土圧、変動波浪、レベルー地震動等の作用による損傷等が、当該護岸の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと(使用性)
	津波又は偶発波浪から当該護岸の背後地を防護する必要がある護岸の要求性能にあつては、津波又は偶発波浪から当該護岸の背後地を防護できるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること
	津波、偶発波浪、レベル二地震動等の作用による損傷等が、当該護岸の機能が損なわれた場合であっても、当該護岸の構造の安定に重大な影響を及ぼさないこと(安全性)。ただし、当該護岸が置かれる自然状況、社会状況等により、更に性能を向上させる必要がある護岸の要求性能にあつては、当該作用による損傷等が、軽微な修復による当該護岸の機能の回復に影響を及ぼさないこと(修復性)
岸壁	船舶の安全かつ円滑な係留、人の安全かつ円滑な乗降及び貨物の安全かつ円滑な荷役が行えるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること
	自重、土圧、レベルー地震動、船舶の接岸及び牽引、載荷重等の作用による損傷等が、当該岸壁の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと(使用性)
	耐震強化施設である岸壁の要求性能にあつては、レベル二地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復によるレベル二地震動の作用後に当該岸壁に必要とされる機能の回復に影響を及ぼさないこととする(修復性)。ただし、当該岸壁が置かれている自然状況、社会状況等により、更に耐震性を向上させる必要がある岸壁の要求性能にあつては、レベル二地震動の作用後に当該岸壁に必要とされる機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこととする(使用性)

表 解 H-2 重力式の性能規定（偶発状態を除く）

要求性能	設計状態			照査対象	照査項目	限界値を定める標準的な指標 (参考)
	状態	主たる作用	従たる作用 (参考)			
使用性	永続	自重	水圧, 載荷重	本体工	地盤の円弧すべり	円弧すべりに関する作用耐力比
		土圧	自重, 水圧, 載荷重		壁体の滑動・転倒, 基礎地盤の支持力	滑動, 転倒, 支持力に関する作用耐力比
	変動	L1 地震動	自重, 土圧, 水圧, 載荷重		法線の変形	岸壁法線の残留変形量
		水圧	自重		壁体の滑動・転倒, 基礎地盤の支持力 (法線の変形に関する照査の代用とすることができる。)	滑動, 転倒, 支持力に関する作用耐力比
		変動波浪	自重, 土圧, 水圧		地盤の浸透破壊	—
		L1 地震動	自重, 土圧, 水圧		本体工	パラペットの滑動, 転倒 (パラペットを有する構造の場合に限る。)
	L1 地震動	自重, 土圧, 水圧	滑動に関する作用耐力比 転倒に関する作用耐力比			

表 解 H-3 矢板式の性能規定（偶発状態を除く）

要求性能	設計状態			照査対象	照査項目	限界値を定める標準的な指標 (参考)
	状態	主たる作用	従たる作用 (参考)			
使用性	永続	土圧	水圧, 載荷重	矢板, 控え工	必要根入れ長	構造の安定に必要な根入れ長
				矢板 控え工 タイ材 腹起こし	矢板の降伏 控え工の降伏*1) タイ材の降伏 腹起こしの降伏	設計降伏応力度
				控え組杭*2)	控え組杭に作用する軸方向力	控え組杭の支持力に関する設計耐力比 (押込み, 引抜き)
				控え版*3)	控え版の安定性	設計断面耐力 控え版前面の受働土圧
				自立式矢板*4)	法線の変形	岸壁天端の残留変形量
				載荷重	上部工	上部工の断面応力
		自重	水圧, 載荷重	地盤のすべり	地盤の円弧すべり	円弧すべりに関する作用体力比
		変動	L1 地震動	土圧, 水圧, 載荷重	矢板	必要根入れ長
	L1 地震動 [船舶の牽引]		控え工		必要根入れ長	構造の安定に必要な根入れ長
			控え工 タイ材 腹起こし		控え工の降伏*1) タイ材の降伏 腹起こしの降伏	設計降伏応力度
			控え組杭*2)		控え組杭に作用する軸方向力	控え組杭の支持力に関する設計耐力比 (押込み, 引抜き)
			控え版*3)		控え版の安定性	設計断面耐力 控え版前面の受働土圧
			自立式矢板*4)		法線の変形	岸壁天端の残留変形量
	L1 地震動 [船舶の牽引] [船舶の接岸]		土圧, 載荷重	上部工	上部工の断面破壊	設計断面耐力
	水圧		自重	本体工	地盤の浸透破壊	—
	変動波浪	自重, 土圧, 水圧	パラペットの滑動, 転倒 (パラペットを有する構造の場合に限る。)		滑動に関する作用耐力比 転倒に関する作用耐力比	
L1 地震動	自重, 土圧, 水圧	滑動に関する作用耐力比 転倒に関する作用耐力比				

※[]は、設計状態について、主たる作用を置き換えていることを示す。

*1) : 控え工の構造形式が、控え直杭、控え組杭及び控え矢板の場合に限る。

*2) : 控え工の構造形式が、控え組杭の場合に限る。

*3) : 控え工の構造形式が、控え版の場合に限る。

*4) : 構造形式が、自立式の場合に限る。

(2) 地震時に護岸周辺で発生する被災状況と護岸等に求められる機能

護岸等の耐震性不足により、地震時に損壊した際に与える影響は図 解 H-1 のようになっており、大きく分けて、護岸等の直接の要求性能に係る影響とそれが引き起こす前面の航路への影響、背後の民間事業活動への影響がある。

これらの影響を生じさせない、あるいは軽減することが地震時に維持すべき護岸等の機能であると考えられる。

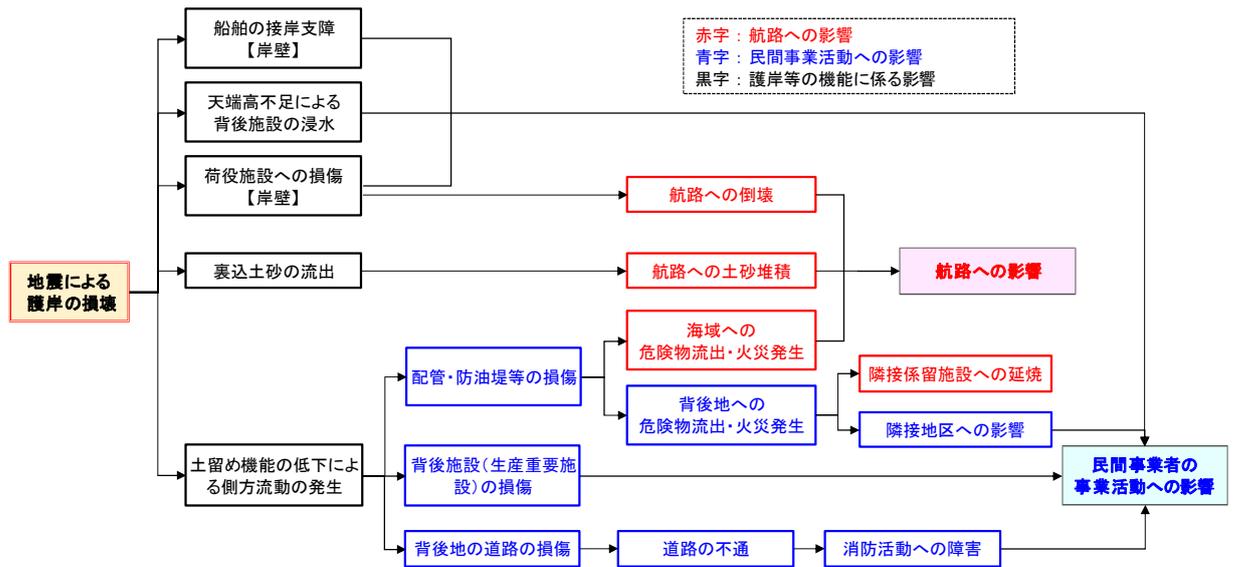


図 解 H-1 護岸の耐震性不足が周辺に与える影響

このため、護岸等が被災した場合のこれらの影響を考慮して護岸等の耐震性の判断を行うための判断基準の検討を行う。

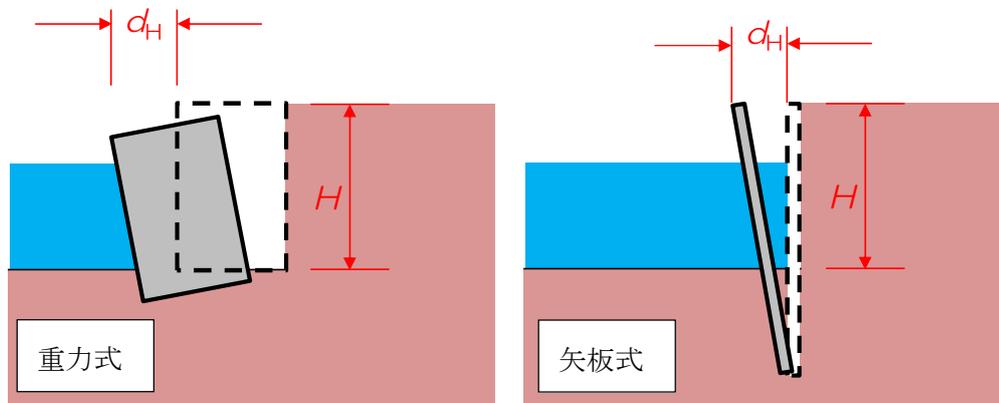
(3) 耐震性の判断基準

ここで挙げる耐震性の判断基準は、「法線変形率による被災程度」、「背後地盤の想定流動範囲と陸域施設等への影響」、「前面への土砂の想定流出長と航路への影響」、「航路への土砂以外の影響」である。

1) 法線変形率による被災程度

①算定方法

図解 H-2 に示す法線変形率（天端の残留水平変位／壁高）により被災程度を区分し、被災程度と変形率の関係を表解 H-4 で評価する。



図解 H-2 法線変形率 ($d_H/H \times 100$ (%)) のイメージ図

表解 H-4 被災程度と変形量等の関係

被災程度	被災の状況	法線変形率 (d_H/H)	
		重力式	矢板式
0	無被災	—	—
I	本体に異常はないが、付属構造物に破壊や変状が認められるもの	1.5%未満	1.5%未満
II	本体にかなり変状の起こったもの	1.5%～5%	1.5%～5%
III	形はとどめているが、構造物本体に破壊が起こったものと認められるもの	5%～10%	5%～10%
IV	大きな変形が発生し、岸壁としては機能しない。	10%～30%	10%～75%
V	全壊して形をとどめていないもの	30%以上	75%以上

d_H : 壁体天端の残留水平変位、 H : 壁体の高さ（海底面から地表面までの高さ）

②判断基準

護岸等の耐震性に関して、被災程度から安全と判断して良い場合と危険と判断すべき場合の目安を、レベル1地震動及びレベル2地震動それぞれに対して示す。

レベル1地震動に対して、

安全と判断して良い場合

- ・被災程度Ⅰの施設

危険と判断すべき場合

- ・被災程度Ⅳあるいは被災程度Ⅴの施設（重要度がS級の施設は被災程度Ⅱ以上）

レベル2地震動に対して、

安全と判断して良い場合

- ・被災程度Ⅰあるいは被災程度Ⅱの施設

危険と判断すべき場合

- ・被災程度Ⅳあるいは被災程度Ⅴの施設

上記以外の被災程度については、他の項目と合わせて総合的に評価すること。

③算定方法等の解説

岸壁に対する被災程度の状況は、上部⁹⁾によって提案されている。本ガイドラインでは、護岸等を対象とするため、護岸の要求性能も勘案して被災程度を表解H-4に示す5段階で評価する。

チャート式耐震診断システムで診断できるのは、地震時の法線変形率による被災程度であるが、これにより直接的に護岸等の安定性を照査し、技術基準に適合しているかまで明らかにすることはできない。

しかし、これまで港湾空港技術研究所等で古くから調査され、現在の耐震設計手法の基礎となってきた地震による港湾施設の被災状況の調査は、施設の機能が確保されているかどうかという観点から、基本的にどのように変形したか（法線のはらみだしと法線の沈下）を調査し、これをⅠからⅣの被災程度として整理してきた。（例：1923年関東大震災の被害調査結果（表解H-5）、東日本大震災で被災した岸壁の被害調査例（図解H-3））

また、現在の耐震設計手法は、基本的には変位の大きい施設は地震に対する耐力不足とし、地震時の変位量を小さくするためには（≒所用の耐力を得るためには）施設がどのようにあるべきかについて検討し、整備されてきたものであることを鑑みれば、変位量（被災程度）が大きいと評価された施設ほど、構造物の安定性も小さく、技術基準に適合しない可能性が高い施設であると考えられることができる。

9) 上部達生：地震被害事例に基づく重力式および矢板式係船岸の被災変形量と被災額の推定、港湾技研資料 No. 473, 1983.

このため、本ガイドラインでは、法線変形率及び被災程度から概ねの耐震性を判断できるものとしている。

表 解 H-5 1923 年の関東大震災の被災調査結果¹⁰⁾

地震名	発震年月日	震央	港名	岸壁種別	被災状況		
					法線の はらみ出し (cm)	法線の 沈下 (cm)	
関東地震 (マグニチュード：8.16)	1923. 9. 1	関東南部 北緯 35.4° 東経 139.2° 深さ 0~10km	東京港 横浜港	芝浦岸壁 (-2.3mブロック)	(転倒)		
				新港埠頭第1号岸壁 (-6.1mブロック)	195	65	
				" (-7.3mブロック)	-3.37mの位置のブロックの滑動量152		
				" 第2号岸壁 (-8.8mブロック)	(-6.23mの位置で 97cmのすべり)		
				" 第4号岸壁 (-9.7mブロック)	(-0.94 " で 28cmのすべり)		
				" 第5号岸壁 (-8.6mブロック)	(上から四段目のブロックから転倒)		
			横浜須賀港	" 第6号岸壁 (-8.5mブロック)	(転倒)		
				" 第2物揚場 (-1.8mブロック)	(下から3段目のブロックのすべり 152cm)		
				" " (-1.8mブロック)	(転倒)		無被災
				" 20tクレーン基礎 (-2.1mブロック)			無被災
				A貯炭場 (ブロック)	(施工中、滑動)		
				C敷地石垣 (-3.6mブロック)	356	134	
鎌倉七里ヶ浜	" 岸壁 (-6.1mブロック)	(転倒)					
	B突堤 (-6.1mブロック)	(壁体底部で23cm滑動)					
	道路護岸 (ブロック)	(-4.8mで43cm滑動)					
					(鎌倉寄半分全壊 護趾 " 亀裂のみ)		

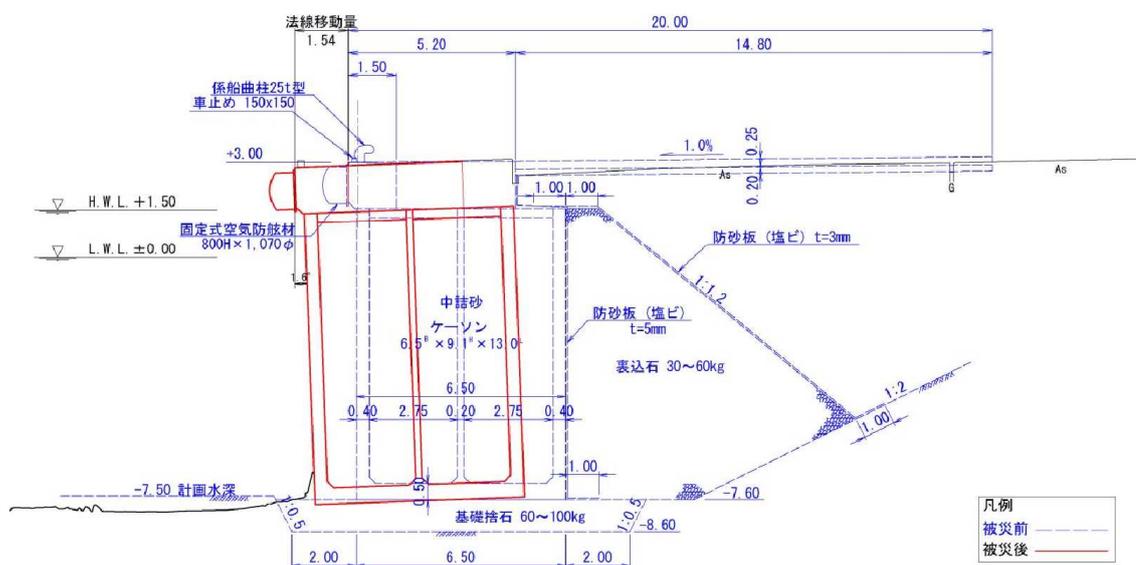


図 解 H-3 2011 年東日本大震災の被災調査結果¹¹⁾

10) 野田節男、上部達夫：重力式岸壁の地震被災例集，港湾技研資料，No. 227，1975。

11) 宮島正悟他：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による港湾施設等被害報告，港湾空港技術研究所資料，No. 1291，2015。

2) 背後地盤の想定流動範囲と陸域施設等への影響

①算定方法

護岸等が地震によって水平変位した場合の背後地盤の想定流動範囲 L_B は、「高圧ガス設備等耐震設計指針（2012）レベル 2 耐震性能評価 解説編」¹²⁾（以下、「高圧ガス指針」と略称）に記載されている次式によって算定する。

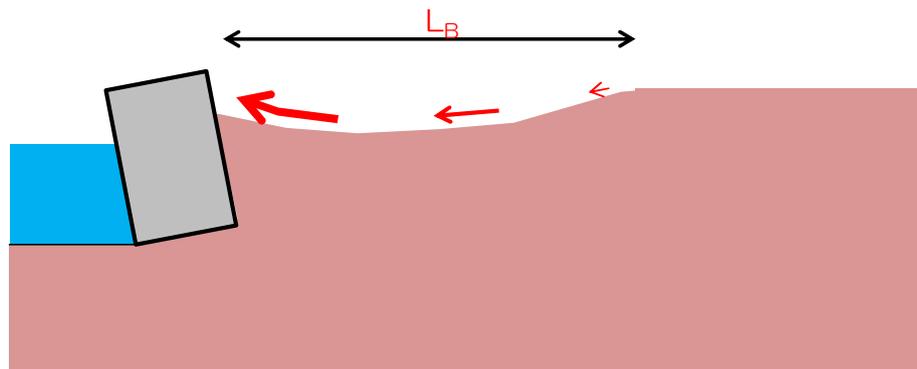


図 解 H-4 流動範囲のイメージ図

$$L_B = 250 \cdot \frac{d_H}{(N_1)_{av}} \quad (3)$$

ここに、

d_H : 護岸の水平移動量 (m)

$(N_1)_{av}$: 流動範囲内の液状化層における基準化 N 値の平均値。なお、基準化 N 値とは有効上載圧 98kPa 相当に換算した N 値であり、式 (4) より得られる値である。

$$N_1 = \frac{1.7N}{\frac{\sigma_v'}{98} + 0.7} \quad (4)$$

ここに、

σ_v' : 有効上載圧 (kN/m²) N : 標準貫入試験値

12) 高圧ガス保安協会，高圧ガス設備等耐震設計指針（2012）レベル 2 耐震性能評価 解説編，2012.

②判断基準

護岸等の耐震性に関して、背後地盤の想定流動範囲から安全と判断して良い場合と危険と判断すべき場合の目安を示す。

安全と判断して良い場合

- ・重要な施設が護岸法線から背後地盤の想定流動範囲 L_B 以上離れている場合

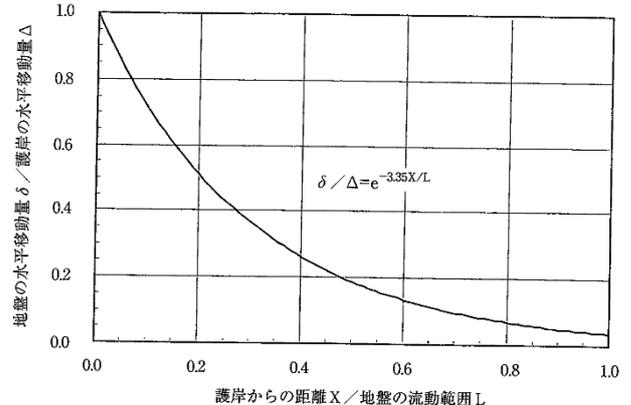
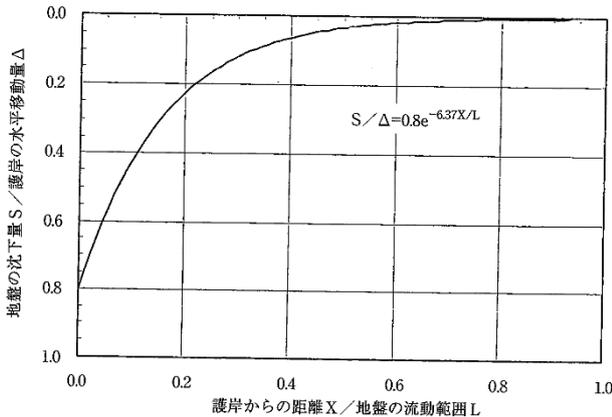
危険と判断すべき場合

- ・重要な施設が護岸法線から背後地盤の想定流動範囲 L_B 以内に存在していて、重要な施設の機能に対して影響を与える場合（個別の確認が必要）

※ 護岸背後における任意の位置の変位量は、チャート式耐震診断システムから算出することができる。

③算定方法等の解説

高圧ガス指針に記載されている地盤の流動に伴う地盤の沈下量を図解 H-5 に、護岸背後地盤の水平変位量分布を図解 H-6 に記載する。護岸が地震時に海側に変位することで背後地盤も沈下・水平移動が発生し、護岸背後に配置された民間企業の事業活動に必要な施設に影響が及ぶ可能性があることに留意する必要がある。



図解 H-5 地盤の流動に伴う地盤の沈下量¹²⁾

図解 H-6 護岸背後地盤の水平移動量分布¹²⁾

注：流動範囲 L は、護岸の水平移動量と地盤の N 値から式 (3) (P 解-46) より算定する。

地盤の N 値や護岸の護岸の水平移動量を変化させた試算結果を図解 H-7 及び図解 H-8 に示す。地盤の N 値が低く護岸が大きく海側に変位する場合には、背後 200m 程度まで影響が及ぶ結果となっている。また、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編では、臨海部の護岸等背後に存在する橋脚基礎に影響を与える流動化が生じる地盤の範囲として、護岸等から当該位置まで大きな地盤変位が連続的に生じることを前提として「水際線から 100m 以内の範囲にある地盤」としている。このため、背後 100m 以内に重要な施設が存在する護岸等については、耐震性調査を実施した上で、当該施設に対する影響が出ないか検討することが望ましい。

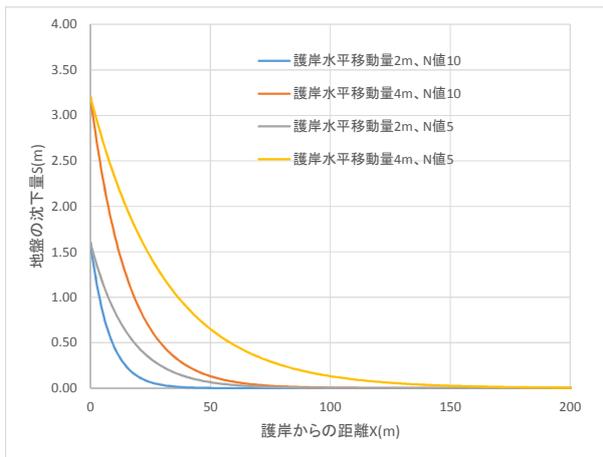


図 解 H-7 地盤の沈下量の試算結果

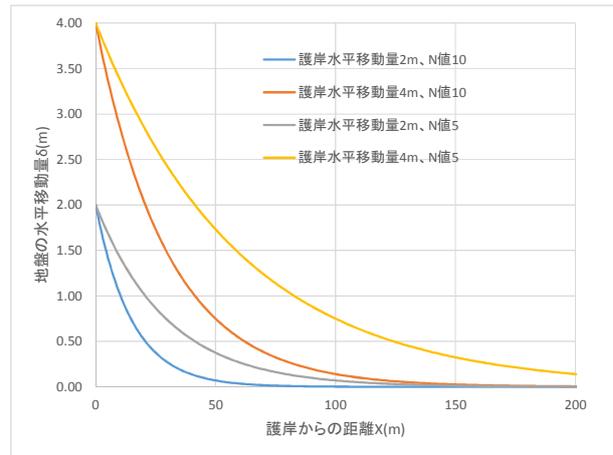


図 解 H-8 地盤の水平移動量の試算結果

チャート式耐震診断システムで得られる護岸等や背後地の変形量は、陸域施設がない状態での変位量であるが、護岸等の変位が背後施設に影響を与え、被災（防油堤の目地部の止水ゴムの破損、外周道路の不陸等）¹³⁾が発生する可能性があることに留意が必要である。

護岸等の側方流動により、背後地盤にも変位が生じる場合、その地盤上にある施設が直接基礎であり、当該施設に特段の耐震対策がなされていない場合※は、地盤上の施設に対しても当該変位が作用し、変位や傾きが生じることになる。

どの程度の変位や傾きが生じたら、施設の機能に影響があるかは、施設やその内部の設備に要求される基準によっても異なるため、一律に定めることは困難であることから、施設の重要度や損壊した場合の公衆保安や生産への影響を鑑み、より詳細な検討を行うことが必要な場合がある。

なお、想定される陸域施設としては、以下のようなものがある。

- ・ 荷役機械（アンローダー、ガントリークレーン、等）
- ・ 生産施設（工場、工場内設備、倉庫、倉庫内設備、等）
- ・ 貯蔵施設（タンク、野積場、等）
- ・ 防油堤
- ・ パイプライン
- ・ 場周道路

※) 施設の直下で耐震対策を行っていても、護岸等の側方流動を考慮していない場合もあるので、注意が必要である。

13) 被災事例は、別冊の参考資料-7



図 解 H-9 液状化により傾斜した防油堤¹⁴⁾



図 解 H-10 側方流動による地下埋設管の損傷¹⁵⁾

14) 千葉県石油コンビナート防災アセスメント検討部会 耐震対策分科会検討結果報告書 H23.10

15) 臨海部コンビナート施設の地震リスクマネジメントガイドライン (2016.3)

護岸等の直背後には、しばしば場周道路が通っており、当該場周道路は消防活動にも必要となる。このため、複数の場周道路が確保されていないような施設の場合、当該場周道路が護岸等の変位に伴う不陸の発生により、消防活動に支障をきたす場合があり、生産施設等が損壊・炎上等した場合の被害の抑制や生産再開が困難になる場合がある。



図 解 H-11 液状化による道路の損傷¹⁶⁾

背後地盤の側方流動や沈下により、直接基礎の構造物だけではなく杭基礎構造物にも被害が生じることが知られている。図 解 H-12 に兵庫県南部地震時の臨海部にあった杭基礎建物の被災例を示す。前面の護岸が 1.5m 程度海側に変位している。

また、杭基礎が健全であったとしても、周辺の地盤が沈下することによって構造物と地盤との間に段差が生じる。これにより、配管等に被害が生じる可能性がある。

16) 東日本大震災による各港湾の被災状況写真集（（独）港湾空港技術研究所）

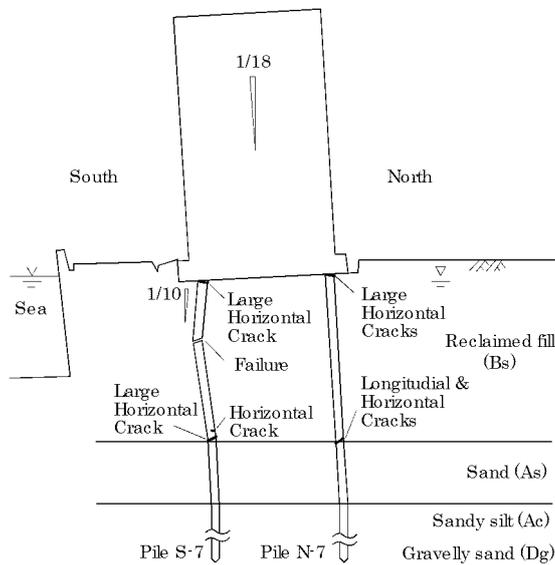
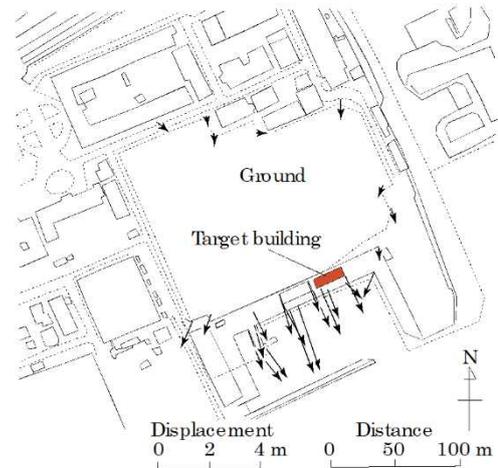


図 解 H-12 杭基礎の建物の被害例¹⁷⁾

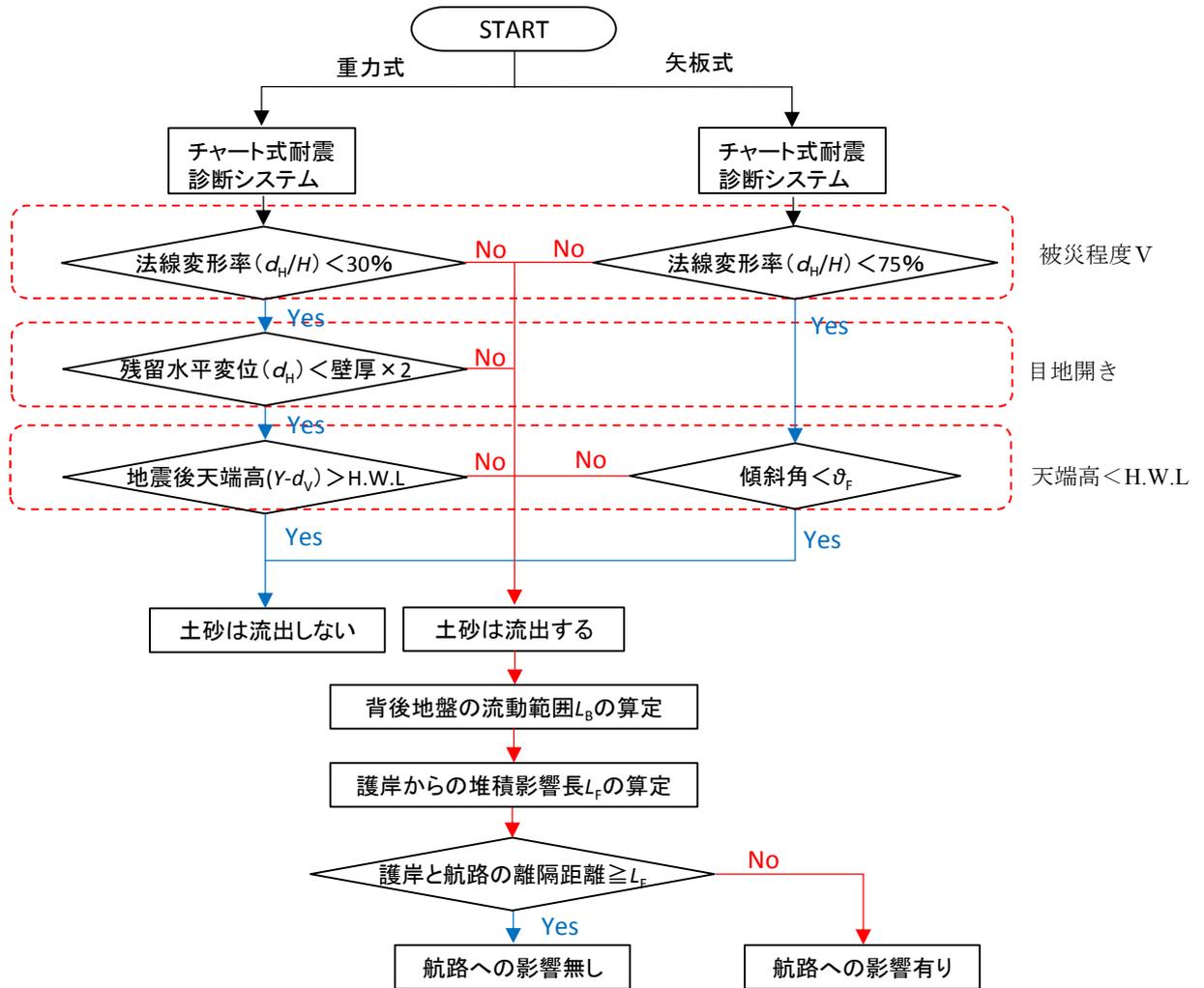
また、陸域施設ではないものの護岸の変位により事業活動へ大きな影響を及ぼすものとして、直前面の栈橋への影響がある。実際に、石油会社をはじめとして、多くの事業者で栈橋を守るための耐震改良を実施しているところである。これは、入出荷栈橋は工場等の最上流もしくは最下流に位置するため、当該栈橋が被災すると工場等のBCPに大きな影響を与えるためである。

17) 渦岡良介, 仙頭紀明, 八嶋厚, 張鋒: 護岸近傍に位置する杭基礎建物の3次元有効応力解析, 日本地震工学会論文集, 第2巻, 第2号, 2002.

3) 前面への土砂の想定流出長と航路への影響

①算定方法

海域へ土砂が流出した場合の状況は、図解 H-14 のようなものを想定しており、護岸等が変位した場合の航路等への影響の有無を診断するフローを図解 H-13 に示す。以下、海域への流出範囲（護岸からの堆積影響長）の算定式、土砂流出の可能性の判断基準を示す。



d_H : 壁体天端の残留水平変位、 d_V : 壁体天端の残留鉛直変位、
 H : 壁体の高さ(海底面から地表面までの高さ)、
 Y : 天端標高、 ϑ_F : 地震後の天端がH.W.Lよりも低くなる角度

図解 H-13 診断フロー

図 解 H-14 より堆積影響長 L_F は堆積土砂量 V_F 及び流出土砂量 V_B を用いて以下の通りとなる。

$$L_F = \sqrt{\frac{2V_F}{\tan(10^\circ)}} = \sqrt{\frac{2V_B}{\tan(10^\circ)}} \quad (5)$$

式 (5) 中の流出土砂量 V_B は流出高 H_w 及び流動範囲 L_B を用いて以下の式により算定される。

$$V_B = \frac{H_w \cdot L_B}{2} \quad (6)$$

H_w : 流出高 (m) = 壁高/2 (被災程度 V、目地開き (重力式のみ) の場合)

または

=護岸法線位置で地震後天端高と背後地盤の高低差

(天端高 < H.W.L の場合)

L_B : 流動範囲 (m) 「高圧ガス指針」¹²⁾ に記載されている式 (3) (P 解-46) より算定する。

②判断基準

護岸等の耐震性に関して、前面への土砂の想定流出長から安全と判断して良い場合と危険と判断すべき場合の目安を示す。

安全と判断して良い場合

- ・重要な航路等が護岸からの堆積影響長さ L_F 以上離れている場合

危険と判断すべき場合

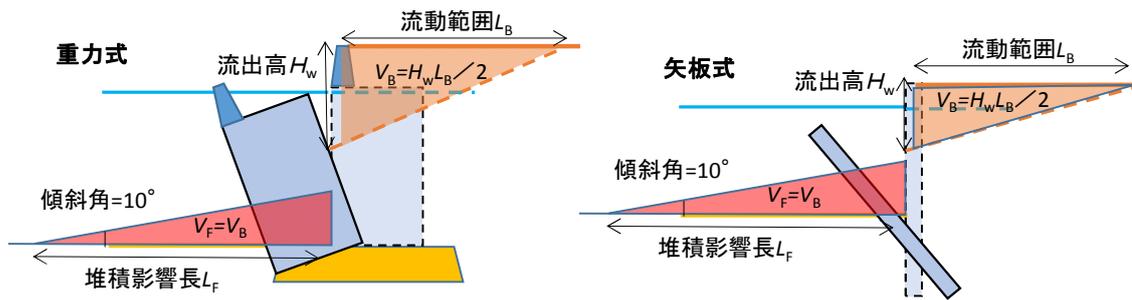
- ・重要な航路等が護岸からの堆積影響長さ L_F 以内に存在する場合

③算定方法等の解説

海域への流出は、概ね図 解 H-14 に示す状況を想定する。

陸上部の流動範囲の土砂 (V_B) と海域部の堆積部の土砂 (V_F) の体積は同じとし、水中に土砂が安定的に堆積する際の傾斜角を福岡県西方沖地震の事例より 10 度と設定する。この時、護岸からの堆積影響長を L_F とすると、 L_F は式 (7) より算定できる。

V_B は流出高 (H_w) と流動範囲 (L_B) を用いて式 (8) で算定できるものとする、 L_F は L_B より式 (9) で算定できる。



図解 H-14 海域への流出状況

$$L_F = \sqrt{\frac{2V_F}{\tan(10^\circ)}} \quad (7)$$

$$V_F = V_B = \frac{H_w \cdot L_B}{2} \quad (8)$$

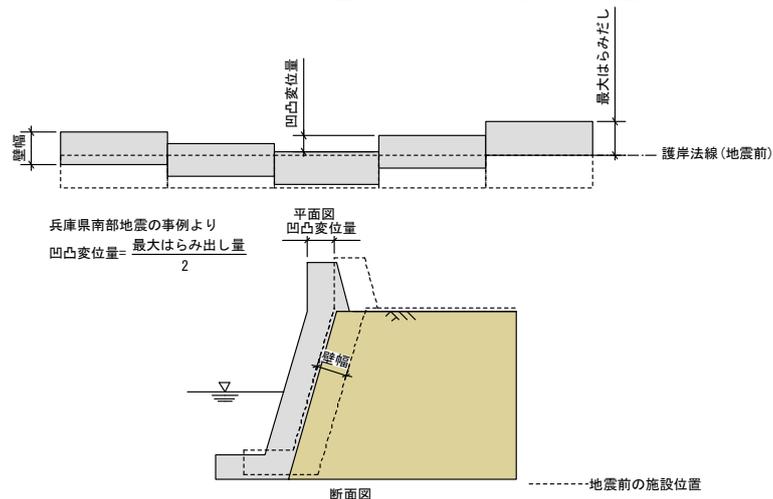
$$L_F = \sqrt{\frac{H_w \cdot L_B}{\tan(10^\circ)}} \quad (9)$$

重力式における考え方

重力式では、護岸等の崩壊（表 解 H-4 に示す被災程度 V）と、護岸等の天端が H.W.L まで沈下した際に背後土砂が流出するものとする。また、重力式特有の現象として、図 解 H-15 に示すように目地部での凹凸変位量が壁厚を上回り、隣接する躯体との間で目地開きが発生すると背後土砂が流出するものとする。

裏込土砂が流出する：最大はらみ出し量（残留水平変位） \geq 壁厚の 2 倍

裏込土砂が流出しない：最大はらみ出し量（残留水平変位） $<$ 壁厚の 2 倍



図解 H-15 護岸における凹凸変位量

表解 H-6 に示すように、護岸等の崩壊時と隣接する護岸等との間で目地開きが発生した場合の流出高 (H_w) は、壁体の高さの 1/2 とし、護岸等の天端が H.W.L よりも沈下した時の流出高 (H_w) は、護岸法線位置での L.W.L.と背後地盤の高低差とする。

表解 H-6 重力式における土砂流出の考え方

条件	1		2		3		総合判定	
	護岸倒壊の判定		地震後凹凸変位量dによる判定		地震後護岸天端高による判定		流出	流出高(H_w)の算定方法
重力式	法線変形率 <30%	倒壊 なし	$d_t < \text{壁厚} \times 2$	ブロック目地部 から流出なし	護岸天端高 \geq HWL	流出なし	×	—
			$d_t \geq \text{壁厚} \times 2$	ブロック目地部 から流出あり	護岸天端高 $<$ HWL	流出あり	○	地盤高-地震後天端高
	法線変形率 \geq 30%	倒壊 あり	$d_t < \text{壁厚} \times 2$	ブロック目地部 から流出なし	護岸天端高 \geq HWL	流出なし	○	壁高/2
			$d_t \geq \text{壁厚} \times 2$	ブロック目地部 から流出あり	護岸天端高 $<$ HWL	流出あり	○	壁高/2

①法線変形率 \geq 30%(被災程度V):全壊と判定して背後土砂の流失を想定する場合
 ② $d_t \geq \text{壁厚} \times 2$:ブロック目地部に開きが発生し、壁高の半分まで背後土砂が流出すると想定する場合
 ③地震後天端高 $<$ HWL:地震後の護岸天端を越えて潮汐により背後土砂が洗掘されると想定する場合

矢板式における考え方

矢板式護岸(岸壁)で、比較的大きく変形した事例を含めて、地震時による被災で継ぎから裏込土砂が流出した事例はない。そこで、背後土砂の流出は、表解 H-7 に示すように、矢板の崩壊(表に示す被災程度V)と矢板天端が H.W.L まで沈下した際に発生するものとする。なお、図解 H-16 に示すように、矢板の変形は海底面を折れ点として傾斜するものと見なして、限界の傾斜角を算定する。

例えば、壁高 $H=10\text{m}$ 、H.W.L.と地表面の標高差が 2.0m の場合、傾斜角 36° で $H\cos(36^\circ) = 8\text{m} = 10\text{m} - 2\text{m}$ となり、矢板天端標高が H.W.L.と一致するので、この場合の限界の傾斜角 (θ_F) は 36° となる。

護岸等の崩壊時の流出高 (H_w) は、壁体の高さの 1/2 とし、護岸等の天端が H.W.L よりも沈下した時の流出高 (H_w) は、護岸法線位置での L.W.L.と背後地盤の高低差とする。

表 解 H-7 矢板式における土砂流出の考え方

条件	1		2		3		総合判定	
	護岸倒壊の判定		地震後凹凸変位量dによる判定		地震後護岸天端高による判定		流出	流出高の算定方法
矢板式	法線変形率 <75%	倒壊 なし			護岸天端高 \geq HWL	流出なし	×	—
	法線変形率 \geq 75%	倒壊 あり			護岸天端高 $<$ HWL	流出あり	○	地盤高-地震後天端高
					護岸天端高 \geq HWL	流出なし	○	壁高/2
				護岸天端高 $<$ HWL	流出あり	○	壁高/2	

①法線変形率 \geq 75% (被災程度V) : 鋼矢板の連続性が部分的に失われ壁高の半分まで背面土砂が流出すると想定する場合
 ③地震後天端高 $<$ HWLの場合は、鋼矢板の連続性が維持されており、地震後の護岸天端を越えて潮汐により背後土砂が洗掘されると想定する場合

①

③

地震後の護岸天端高さは、チャート式
計算結果の傾斜角から算定できる

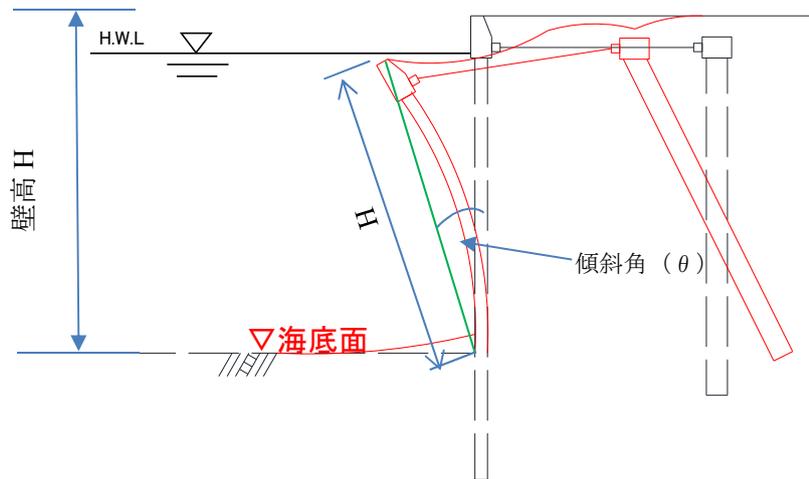


図 解 H-16 矢板式の傾斜角

堆積影響長の試算結果

地盤の N 値や流出高を変化させて堆積影響長 L_F を試算した結果を図 解 H-17 に示す。矢板式は、L.W.L から上部の土砂が流出するとして、流出高を 4.0m と設定した。地盤の N 値が低く流出高が高いほど L_F は大きくなり、背後地盤に一定の固さがある場合でも数 10m から 100m 程度まで土砂が流出・堆積する可能性があるという計算結果となっている。

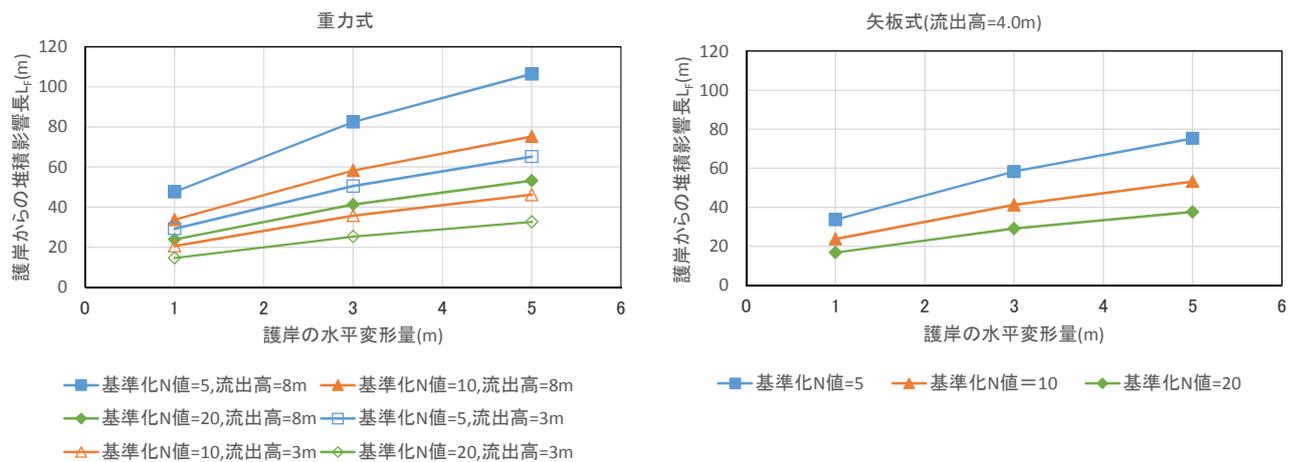


図 解 H-17 護岸等の前面への堆積影響長の試算結果

4) 航路への土砂以外の影響（危険物流出等）

護岸等背後の陸域施設の損壊による危険物流出や流出火災が考えられ、実際に、パイプラインの損壊による公衆保安を懸念して、耐震改良をしている事例もある。また、自治体の石油コンビナート等防災計画においても護岸等の側方流動による油類やガス等の流出するおそれや、更に海上火災のおそれに言及しているところもある。

一方で、流出範囲や発生する可能性は一様には判断できず、個別の詳細検討が必要となる。個別の検討の参考となる情報については参考資料-5 に示す。

Ⅰ. 耐震性に係る点検診断

構造物の点検診断は、技術基準に適合するよう適切に実施される必要があり、「港湾の施設の点検診断ガイドライン（平成 26 年 7 月）」¹⁸⁾（以下「点検診断ガイドライン」という。）に則って実施することを基本とする。このため、具体的実施方法・点検項目・判断基準は点検診断ガイドラインを参考とされたい。

ここでは、点検診断ガイドラインを基本としつつ、耐震性に係る点検診断として、耐震性に影響する点検項目と耐震性に影響があると判断されるべき評価の基準を整理する。

(1) 耐震性に係る点検項目

点検診断ガイドラインにおいては、点検診断の項目は施設の変状を効率的かつ効果的に把握するため、施設の種類、構造形式等に応じて、必要な項目を選定する必要があるとしている。

点検診断ガイドラインにおいて、施設の変状の発生及び進行を効率的かつ早期に発見するために実施する定期点検診断の項目を、以下の通り分類している。

Ⅰ類：【施設の性能（特に構造上の安全性）に直接的に影響を及ぼす部材に対する点検診断の項目】

施設全体の移動や沈下、上部工、本体工、基礎工あるいは消波工等の変状に対するもので、構造上直接的に施設の性能（特に、構造上の安全性）に影響を及ぼすものに対する点検診断の項目。

Ⅱ類：【施設の性能に影響を及ぼす部材に対する点検診断の項目】

鋼部材の防食工等のように、その性能が低下により、直接的に直ちに施設の性能が低下するわけではないが、長期間その状態を放置すると施設の性能に影響を及ぼすものに対する点検診断の項目。

Ⅲ類：【附帯設備等に対する点検診断の項目】

防舷材、係船柱、船舶役務用施設等のように施設の利用に影響を及ぼすおそれのあるもの、あるいは、車止め、安全柵、はしご等のように損傷等を放置した場合に人命に関わる重大な事故や災害につながるおそれのあるものに対する点検診断の項目。

点検診断ガイドラインにおいて、「耐震性に係る点検」として具体的に定められた定期点検診断項目はないものの、点検診断ガイドラインに定められる点検診断項目のうち、Ⅰ類項目は施設の構造上の安全性に直接的に影響を及ぼすおそれのある診断項目であることから、施設の現在の耐震性に大きく影響を及ぼすおそれのある点検項目と言える。

18) 港湾の施設の点検診断ガイドライン, 国土交通省港湾局, 平成 26 年 7 月

このため、施設の現在の耐震性を判断する「耐震性に係る点検診断」には、点検診断ガイドラインに定めるⅠ類項目の実施が最低限必要なものとする。表解Ⅰ-1に点検診断の項目の標準的な分類を示す。点検診断項目と部位・部材の対応を図解Ⅰ-1及び図解Ⅰ-2に示す。

表解Ⅰ-1 点検診断の項目の標準的な分類

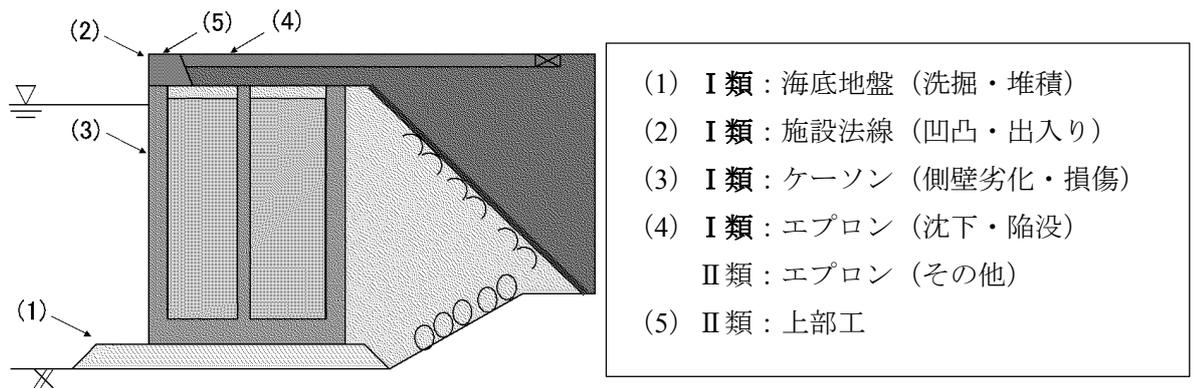
項目の種別 対象施設	Ⅰ類	Ⅱ類	Ⅲ類
外郭施設 (護岸)	○施設全体の移動、沈下 ○水叩き ◎【本体工】コンクリートの劣化、損傷 ◎【鋼矢板等】鋼材の腐食、亀裂、損傷 ●【基礎工】移動、沈下、損傷 ◎【護岸の背後】陥没、吸出し ●【海底地盤】洗掘、土砂の堆積	○【本体工】コンクリートの劣化、損傷（無筋の場合） ◎【鋼矢板等】被覆防食工 ◎【鋼矢板等】電気防食工 ●【被覆工】移動、散乱、沈下 ●【根固工】移動、散乱、沈下 ○【消波工】移動、散乱、沈下、亀裂、損傷	左記以外
係留施設 (重力式)	○【岸壁法線】凹凸、出入り ◎【エプロン】吸出し、空洞化、沈下、陥没 ◎【本体工】コンクリートの劣化、損傷、ケーソンの空洞化 ●【海底地盤】洗掘、土砂の堆積	○【エプロン】コンクリート・アスファルト舗装などの劣化、損傷 ○【上部工】コンクリートの劣化	左記以外
係留施設 (矢板式)	○【岸壁法線】凹凸、出入り ◎【エプロン】吸出し、空洞化、沈下、陥没 ◎【鋼矢板等】鋼材の腐食、亀裂、損傷 ●【海底地盤】洗掘、土砂の堆積	○【エプロン】コンクリート・アスファルト舗装などの劣化、損傷 ○【上部工】コンクリートの劣化、損傷 ◎【鋼矢板等】被覆防食工 ◎【鋼矢板等】電気防食工	左記以外

凡例：○一般定期点検診断における点検項目のうち、詳細定期点検診断において、目視検査による一般定期点検診断結果の定量性向上のために詳細調査を行い、その結果を踏まえて、必要に応じて一般定期点検診断結果を見直す点検項目。

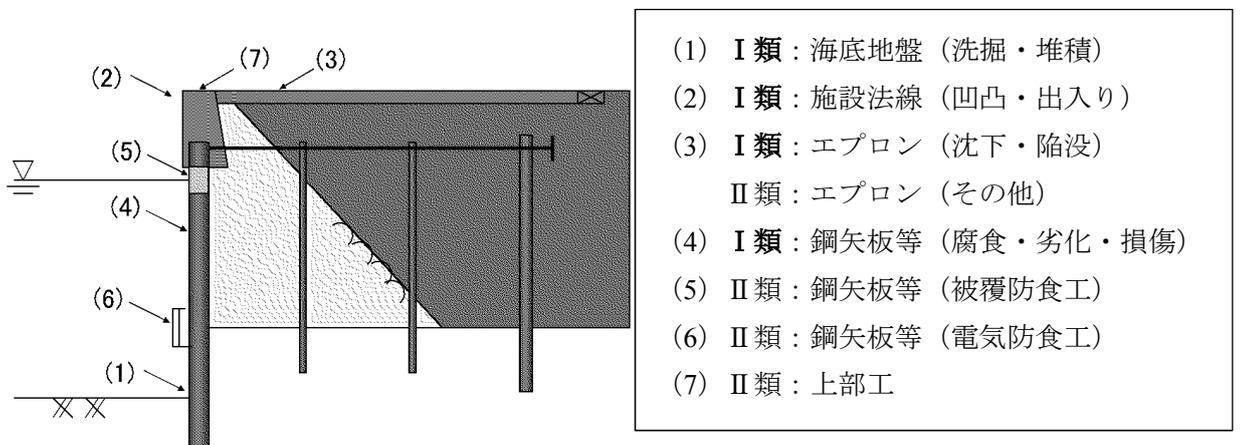
●詳細定期点検診断における点検項目で、潜水調査または詳細調査の結果より判定を行う点検項目。

◎一般定期点検診断および詳細定期点検診断の双方で点検を行う項目であり、評価の際には、厳しい判定となった方の結果を採用し、1個の点検診断結果として取り扱う。

【出典】点検診断ガイドラインに加筆・修正



図解 I-1 点検診断項目と部位・部材の対応（ケーソン式係船岸）¹⁹⁾



図解 I-2 点検診断項目と部位・部材の対応（鋼矢板式係船岸）¹⁹⁾

なお、大規模な変状の発見の他、施設の利用上の支障となるものを発見するために実施する日常点検（特に、天端の沈下・法線のずれ、施設背後地の沈下・陥没の予兆等）や、定期点検診断項目のうち、II類項目も施設の今後の耐震性に係る点検項目として重要であることから、計画的に実施する必要がある。

(2) 耐震性の判断基準

点検診断ガイドラインにおいては、点検診断を実施する部材の単位を定めた上で、要求性能を踏まえた部材の劣化度の判定、及び部材の劣化度を総括して点検診断項目ごとの性能低下度の判定を行って評価する。具体の判断基準等は点検診断ガイドラインを参考にされたい。

19) 加藤他（2016）：係留施設の変状連鎖と点検診断に関する一考察，港湾空港技術研究所資料 No. 1328, 2016.

点検診断ガイドラインにおいて、部材の劣化度の判定基準を以下のように定めている。

表 解 I-2 点検診断における部材の劣化度の判定基準

部材の劣化度	部材の劣化度の判定基準
a	部材の性能が著しく低下している状態
b	部材の性能が低下している状態
c	変状はあるが、部材の性能の低下がほとんど認められない状態
d	変状が認められない状態

注) 目視による点検診断において、b あるいは c で劣化度の判定を迷う場合は、劣化度を b と判定するとよい。

点検診断ガイドラインにおいて、施設の性能低下度の評価基準及び評価方法を以下のように定めている。

表 解 I-3 点検診断における性能低下度の評価基準

性能低下度	性能低下度の評価基準
A	施設の性能が相当低下している状態
B	施設の性能が低下している状態
C	変状はあるが、施設の性能の低下がほとんど認められない状態
D	変状は認められず、施設の性能が十分に保持されている状態

表 解 I-4 性能低下度の評価方法

点検診断の項目の分類	点検診断の項目ごとの性能低下度				性能低下度
	A	B	C	D	
I 類	「a が 1 個から数個」の点検診断の項目があり、施設の性能が相当低下している状態	「a または b が 1 個から数個」の点検診断の項目があり、施設の性能が低下している状態	A,B,D 以外	すべて d	点検診断の項目ごとに評価された性能低下度のうち、最も厳しく判定されたもの
II 類	「a が多数または a+b がほとんど」の点検診断の項目があり、施設の性能が相当低下している状態	「a が数個または a+b が多数」の点検診断の項目があり、施設の性能が低下している状態	A,B,D 以外	すべて d	
III 類	—	—	D 以外	すべて d	

注) 「多数」とは概ね 5 割、「ほとんど」とは概ね 8 割と考えてよい。

点検診断ガイドラインにおいて、「地震に対する安全性の判断基準」として具体的に定められた基準はないものの、施設の構造上の安全性に直接的に影響を及ぼすおそれのある診断項目であるⅠ類項目による点検診断の結果、「施設の性能が相当低下している状態」と判断されるA判定が出ている場合は、施設の現在の耐震性が大きく損なわれている可能性があると言える。

このため、施設の現在の耐震性を判断する「地震に対する安全性の判断基準」には、点検診断ガイドラインに定めるⅠ類項目の実施の結果、施設の性能低下度が「A」と判定される場合は、設計された当時の耐震性を有していない可能性があるものとする。

また、Ⅰ類項目の点検において、部材の劣化度が「a」と判断されるような変状が見つけられた施設については、今後、施設の耐震性の更なる低下につながるような事象を迅速に捕捉できるよう、変状に注視するとともに、施設の耐震性が確保できないと判断される場合には適切な対策を講じる必要がある。

なお、性能低下度の評価は、点検診断の項目ごとの劣化度（a、b、c、d）の判定結果の多寡のみで機械的に評価するのではなく、施設の性能に及ぼす影響等を総合的に検討した上で評価すべきであることに留意する。

(3) 耐震性に係る点検診断の実施上の留意点

(全体について)

耐震性に係る点検診断においては、最低限、性能低下度「A」を判断する必要があるもので、Ⅰ類項目についての「a」「b」の劣化度を優先的に把握する必要がある。

このため、まず、陸上・海上目視及び簡易な計測のみでなるべく性能低下度「A」かそれ以外かを判断し、再度、専門知識及び技術を有する者による詳細な評価を行うことも考えられる。

(個別の診断項目について)

海底地盤の洗掘：海底地盤の洗掘は、被覆石または基礎採石の散乱・沈下、ケーソンの傾斜・沈下や鋼矢板に必要な根入れ長が確保されなくなることに伴い、施設の構造上の安定性に影響を及ぼすおそれがあることに留意する。

なお、施設前面の海底地盤については、施設上から測深尺やレッド等により水深を計測することにより変状を把握することが可能である。施設上からのレッド測深では法線直下しか計測できないことに留意する。特に、マウンド等が築造されている施設については設計水深の設定に当たって考慮することが必要である。

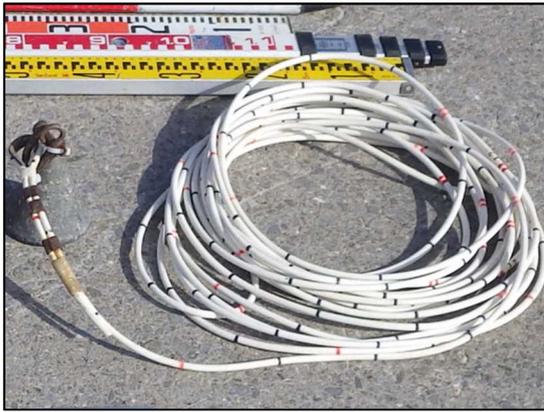


写真 解 I-1 レッド測深の器材と測深状況

水深の変化が確認された場合は測深ピッチを細かくすることが望ましい。

施設法線の凹凸（前後・段差）：施設法線の凹凸と同時に、上部工とエプロンの段差等の変状が確認された場合は、躯体間の目地開きや矢板の開口部が発生し、そこから土砂が流出している可能性が高いことに留意する。

矢板式は、構造上矢板が連結しているため、施工時に発生したゆがみを除き、法線直角方向の相対変位が起きる（はらみ出し）ことは、施設が健全な場合はない。施工時に発生したゆがみと施工後のはらみ出しを区別する方法として、上部工コンクリートに目地部損傷や幅 3mm 程度以上のひび割れがあれば、「はらみ出し」があると判断して、「a」または「b」と判定するべきである。上部工コンクリートの損傷が無い場合でも、上部工が法線直角方向に傾斜していたり、歪みの大きい箇所背面でエプロンとの隙間が生じている場合は「はらみ出し」の可能性が高いため、「a」または「b」と判定するべきである。これらの異常やその他の変状がみられない場合は、施工当初のゆがみと考えて「はらみ出し」はないと判断して差し支えない。

施設背後の沈下・陥没：施設背後の沈下・陥没の原因としては、裏込・裏埋材の吸出しや圧密等が考えられ、この場合、施設背後の舗装等下に空洞が発生している可能性がある。裏込・裏埋材の吸出しは、施設の安全性を脅かす重大な変状であるため、その発生の兆候を可能な限り早く見つける必要がある。舗装されている場合は、舗装上に生じたひび割れや陥没の状況、点検ハンマによる打音等によって空洞の発生状況のある程度推定できることもある。

劣化度「a」の場合の、施設「背後の土砂が流出している」状況とは、例えば、エプロンの目地の隙間から空洞が確認でき、その隙間から差し金や細い棒が 30cm 以上挿入できるような状況である。また、施設「背後のエプロンが陥没している」状況とは、例えば、構造体の直背後において 30cm 程度のくぼみがあるような状況である。

劣化度「b」の場合の、施設「ケーソン目地（上部工含む）に顕著な開き、ずれがある」状況とは、例えば、エプロンの目地が10～20cm程度開いており、路盤や裏込め土が見える一方で、目地板が機能しており、土砂の流出は確認できないような状況である。

矢板式で控え工がある場合、控え工の上にひび割れが発生することがあることに留意する。このため、控え工がエプロン背後や背後施設内等に位置している場合であっても、控え工付近に生じた変状を把握することが望ましい。

施設本体の変状：重力式の場合、コンクリートの劣化・損傷の形態としては、船舶等の物体の衝突による損傷、波動が繰り返し作用することによるコンクリートの摩耗、煙害によって鉄筋が腐食することで生じるコンクリートのひび割れ、薄利、剥落、凍害によるコンクリートの剥落、アルカリシリカ反応によるひび割れ等がある。変状の原因によって、変状が発生する部位も異なり、例えば、塩害や凍害はL. W. Lより上方で発生する一方で、物体の衝突による損傷やアルカリシリカ反応は海中部でも発生する。劣化・損傷について海上からの目視を行う際には、極力潮位が低く、波高の小さい時を選ぶことが望ましい。コンクリートの浮き、剥離に関しては、外観から把握しにくいこともあるので、目視に加えて点検ハンマによる打音調査を併用することが望ましい。

また、矢板式の場合、鋼矢板の腐食の他、土圧によるはらみ出しや漂流物等の衝突が原因として鋼矢板の腐食・亀裂・損傷が起こる。これらの変状は、鋼矢板の耐力を低下させ、土留め壁としての機能の損失につながることに加え、鋼矢板の開孔により裏込・裏埋材の流出が生じた場合、エプロンの沈下・陥没を引き起こされうる。一般に、鋼矢板の腐食は、H.W.L付近以上と平均干潮面付近～L.W.L付近であるため、可能な限り干潮時で、波浪の穏やかな時に点検診断を行うことが望ましい。

なお、陸上から施設本体の直視は困難であるため、海上からの目視ができない場合は、斜め横からの目視やポールに付いたカメラ等を活用して確認すると良い。



写真 解 I-2 ポールカメラによる確認状況

また、消波工が設置されているケーソンの側壁については、海上からの目視は困難であるため、施設天端等から目視により変状を確認する必要がある。その際、ビデオカメラを使用する等の工夫をすると良い。

J. 総合判定の一例

耐震改良を行う施設の優先順位を検討するにあたって、施設の重要度、耐震診断結果、施設の性能低下度等を勘案する必要がある。優先順位を決める考え方は、各事業者によって異なると考えられるが、施設数が多い場合やなんらかの数値に基づいてある程度客観的に優先順位を決定したい場合などに、一つの例として「重要度」、「被災程度」及び「性能低下度」のそれぞれに配点して総合判定する方法を示す。

まず、重要度や被災程度、性能低下度に応じて配点を行う。重要な施設ほど、被災程度が大きいほど、また、性能低下が進んでいるほど高い点数とする配点例を表解 J-1 に示す。

表解 J-1 配点例

①重要度	点数	②変形率による被災程度	点数	③性能低下度	点数
S級	10	V	20	A	10
A級	8	IV	15	B	8
B級	5	III	3	C	3
C級	1	II	2	D	1
		I	1		

その上で、例えば、

$$\text{評価点} = \text{重要度の点数} \times (\text{被災程度の点数} + \text{性能低下度の点数})$$

として、評価点が高い施設ほど優先順位が高いと評価する。

表解 J-2 に、4 重要度×5 被災程度×4 性能低下度=全 80 通りのケースについて、表解 J-1 の配点に基づき評価点を算出し、上位 20 施設及び下位 20 施設を示す。重要な施設や被災程度が大きい施設、性能低下が進んだ施設が上位に来ていることが分かる。

表解 J-2 評価点の算出例（左：上位 20 施設、右：下位 20 施設）

①重要度	②変形率による被災程度	③性能低下度	①×(②+③)	①重要度	②変形率による被災程度	③性能低下度	①×(②+③)						
S級	10	V	20	A	10	300	S級	10	I	1	D	1	20
S級	10	V	20	B	8	280	B級	5	III	3	D	1	20
S級	10	IV	15	A	10	250	B級	5	I	1	C	3	20
A級	8	V	20	A	10	240	C級	1	IV	15	C	3	18
S級	10	IV	15	B	8	230	C級	1	IV	15	D	1	16
S級	10	V	20	C	3	230	A級	8	I	1	D	1	16
A級	8	V	20	B	8	224	B級	5	II	2	D	1	15
S級	10	V	20	D	1	210	C級	1	III	3	A	10	13
A級	8	IV	15	A	10	200	C級	1	II	2	A	10	12
A級	8	IV	15	B	8	184	C級	1	III	3	B	8	11
A級	8	V	20	C	3	184	C級	1	I	1	A	10	11
S級	10	IV	15	C	3	180	C級	1	II	2	B	8	10
A級	8	V	20	D	1	168	B級	5	I	1	D	1	10
S級	10	IV	15	D	1	160	C級	1	I	1	B	8	9
B級	5	V	20	A	10	150	C級	1	III	3	C	3	6
A級	8	IV	15	C	3	144	C級	1	II	2	C	3	5
B級	5	V	20	B	8	140	C級	1	III	3	D	1	4
S級	10	III	3	A	10	130	C級	1	I	1	C	3	4
A級	8	IV	15	D	1	128	C級	1	II	2	D	1	3
B級	5	IV	15	A	10	125	C級	1	I	1	D	1	2

配点の設定にあたっては、表解 J-1 に示すのはあくまでも例であり、重要度、被災程度及び性能低下度をどの程度重視するか（例えば、重要度 S の IV-A と重要度 A の V-A、どちらが上位となるかを考えてみると良い。）という各事業者の考え方に応じて、適切に配点することが重要である。

K. 栈橋の耐震診断

本ガイドラインは事業所等が立地している背後地盤を支える護岸等を対象としているが、水域内に存在する栈橋についても、倒壊すると事業活動に多大な影響が生じることや、航路の閉塞が生じることが想定されるため、耐震診断を行う必要がある。そこで、栈橋の耐震診断についてここで述べる。なお、ここでいう栈橋には、栈橋背後の土留め構造物は含まないものとし、栈橋背後の土留め構造物は「護岸等」として本編の第2章の通り評価するものとする。

耐震性診断手法は、本編の第2章に示す方法に準じて、以下の通り実施する。

①護岸等の区分け、基本情報の整理

重要度については、**解説 C** の考え方を準用する。「公共航路等の重要な航路が近接する」施設は、対象となる航路から概ね 50m 以内に存在する栈橋とする。

②基本情報（築造年、構造形式、地震履歴等）による耐震診断

基本情報による耐震診断については、**解説 D** の考え方を参考とする。

③共有地盤情報を用いたチャート式耐震診断

④現地の地盤情報を用いたチャート式耐震診断

チャート式耐震診断システムの具体の計算方法は、**解説 E**（特に（3）⑥参照）で示す。なお、同システムにおいては、栈橋背後の土留め構造物の変位をもとに栈橋の耐震性を評価するものとなっていることから、別途栈橋背後の土留め構造物についても同システムで評価することが必要である。

同システムで出力される結果は**表 解 K-1** に示す栈橋杭の応力状態である。地震に対する栈橋の安定性は、栈橋杭の損傷程度と関連しており、不静定次数に置き換えて評価することが可能である。不静定次数 m とは、次式で表される数字である。

$$m=n+s+r-2k$$

ここで、 n ：反力数、 s ：部材数、 r ：剛接数、 k ：節点数

栈橋杭が 1 本降伏するごとに剛接数 r が 1 つ減ることに対応するので、栈橋杭の損傷本数に応じて不静定次数が下がることになる。一般的には、 $m < 0$ になると「不安定」といわれ、構造物として成立しない状態である。ただし、ここで具体的に不静定次数を計算する必要はなく、**表 解 K-1** に示す応力状態が 5 に近いほど栈橋杭の損傷度合いが進むことに対応しており、不静定次数が小さくなっていることを表していることから、この応力状態を、**表 解 K-2** の通り護岸等の被災程度 I～V に読み替え、**解説 H**（3）1）②を準用して評価する。ただし、護岸等の被災程度 I～V と栈橋の応力状態 1～5 は被災の大きさが対応しないので、耐震改良の優先順位の設定は護岸等と栈橋とで別々に行う必要がある。

⑤耐震性に係る点検

栈橋についての耐震性に係る点検及び点検診断は、**解説 I** の考え方を準用する。栈橋に係る点検診断の項目の標準的な分類を**表 解 K-3** に示す。

表 解 K-1 チャート式耐震診断システムで出力される栈橋の応力状態

応力状態 1	すべての杭が降伏以下（最大曲率比 1.0 以下）
応力状態 2	すべての杭が全塑性以下（最大曲率比 1.0 以下）
応力状態 3	ダブルヒンジが発生しない（最大曲率比 2.0 以下）
応力状態 4	ダブルヒンジが発生しない杭が存在する（最大曲率比 10.0 以下）
応力状態 5	全ての杭でダブルヒンジが発生する（最大曲率比 10.0 以上）

表 解 K-2 被災程度と栈橋の応力状態の関係

被災程度	被災の状況	栈橋の応力状態
0	無被災	—
I	本体に異常はないが、付属構造物に破壊や変状が認められるもの	応力状態 1
II	本体に変状の起こったもの	応力状態 2
III	形はとどめているが、構造物本体の一部に破壊が起こったと認められるもの	応力状態 3
IV	大きな変形が発生し、構造物本体の大部分に破壊が起こったものと認められるもの	応力状態 4
V	全壊して形をとどめていないもの	応力状態 5

表 解 K-3 点検診断の項目の標準的な分類

項目の種別 対象施設	I 類	II 類	III 類
係留施設 (栈橋)	<ul style="list-style-type: none"> ○【岸壁法線】凹凸, 出入り ◎【エプロン】吸出し, 空洞化, 沈下, 陥没 ○【上部工（下面）】コンクリートの劣化, 損傷 (PC) ◎【鋼管杭等】鋼材の腐食, 亀裂, 損傷 ◎【土留部】 	<ul style="list-style-type: none"> ○【エプロン】コンクリート・アスファルト舗装などの劣化, 損傷 ○【上部工（上・側面）】コンクリートの劣化, 損傷 ○【上部工（下面）】コンクリートの劣化, 損傷 (RC) ◎【鋼管杭等】被覆防食工 ◎【鋼管杭等】電気防食工 ○【渡版】移動, 損傷 	左記以外

凡例: ○一般定期点検診断における点検項目のうち, 詳細定期点検診断において, 目視検査による一般定期点検診断結果の定量性向上のために詳細調査を行い, その結果を踏まえて, 必要に応じて一般定期点検診断結果を見直す点検項目。

●詳細定期点検診断における点検項目で, 潜水調査または詳細調査の結果より判定を行う点検項目。

◎一般定期点検診断および詳細定期点検診断の双方で点検を行う項目であり, 評価の際には, 厳しい判定となった方の結果を採用し, 1 個の点検診断結果として取り扱う。

【出典】点検診断ガイドラインに加筆・修正

L. 技術基準・同解説に基づいた耐震照査

本ガイドラインの適用対象外であるが、技術基準・同解説に基づいた耐震照査を行うためには、以下図 解 L-1 のような流れで技術基準に適合した耐震照査を行うこととなり、これには地震応答解析を行う必要がある。

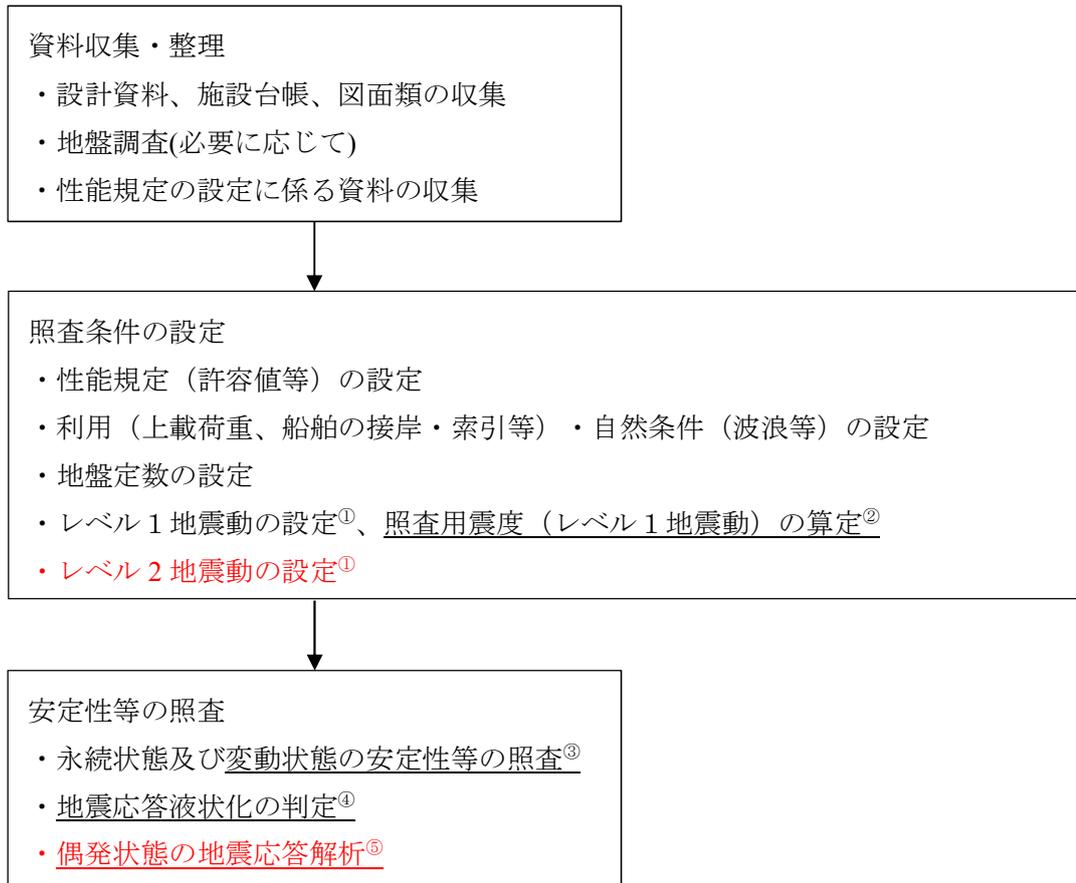


図 解 L-1 技術基準に適合した耐震照査の流れ

現行の技術基準では、まず、照査の対象となる地震動を設定する。平成11年までの基準では、地域別震度（震度：地震時加速度の重力加速度に対する比）としていたところだが、地震動には震源特性、伝播経路特性、施設周辺の地盤特性が影響することから、これらの影響を踏まえるため、工学的基盤面という十分に硬い深層の地盤面における地震動を設計することとなった（図 解 L-2）。この地震動は国土技術政策総合研究所 HP 等から入手できる。これは、あくまでも施設が存在する表層までの地盤の変化による増幅や、施設の存在を考慮しないとした場合の地震動となる。

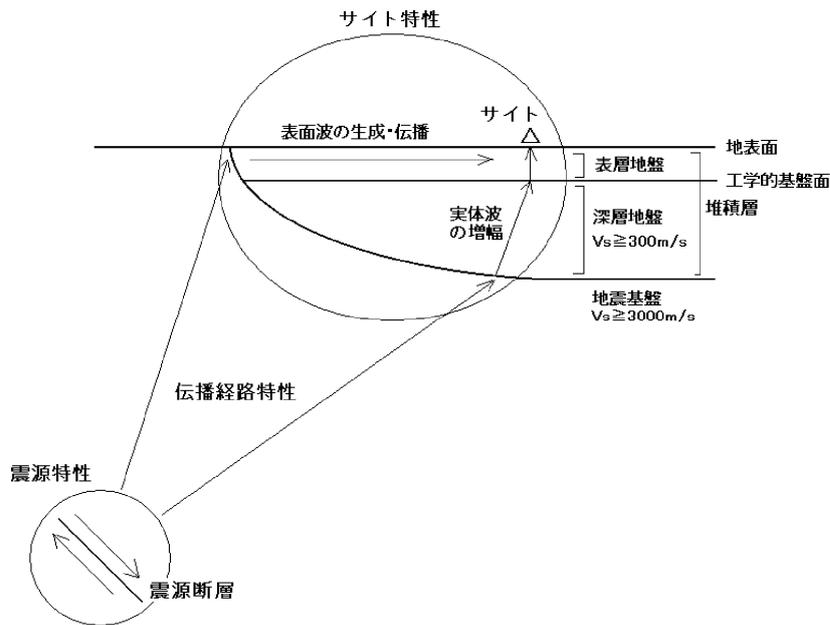


図 解 L-2 地震動の震源特性・伝播経路特性・サイト特性

この地震動に対する施設の耐震性能を照査するに当たっては、等価的静的簡易解析や動的詳細解析といった解析手法がある（図 解 L-3）。地震動によって、施設と施設に接する地盤は共に揺らされ、互いの挙動に伴って相互に力を伝達し、これがそれぞれの挙動に影響を与えることから、詳しく地震動に対する施設や地盤の挙動（変位・変形）を知るためには、施設と地盤とを一体として地盤－施設系全体に対して地震動を動的な力として与えた場合の挙動について解析を行う必要がある。これが動的詳細解析である。動的詳細解析においては、地震動を動的な力とした場合の施設－地盤一体系の挙動をとらえるため、施設及び周辺地盤の変位・変形をとらえることができる。

一方で、計算の簡単のため、地震動に伴う施設周辺地盤からの影響を、施設に対する外部からの力としてとらえ、施設に特定の変形（滑動、転倒等）が生じるか否かを静的な力の釣り合いの問題ととらえて判定するのが等価的静的簡易解析である。等価的静的簡易解析では、力の釣り合いの問題を解くため、計算機による逐次計算を要しない。

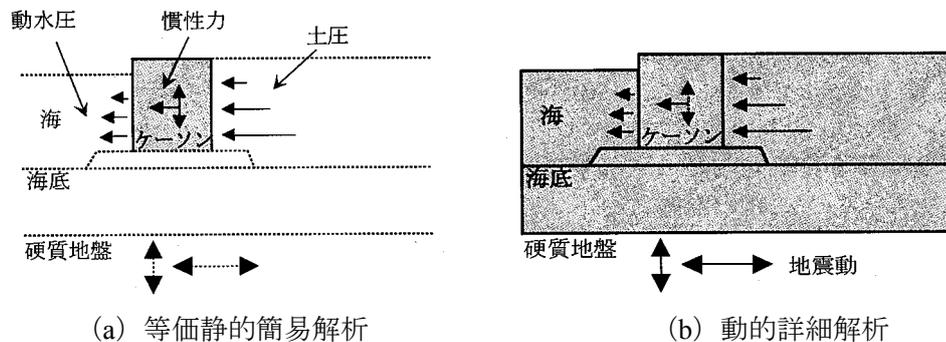
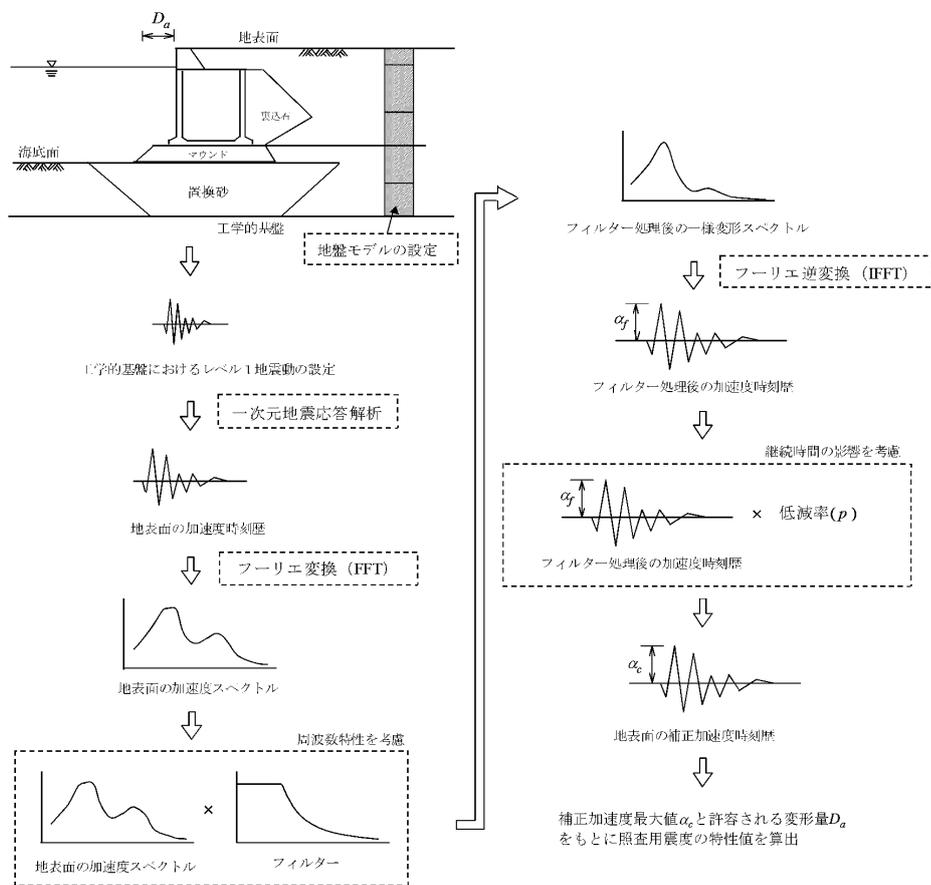


図 解 L-3 等価静的簡易解析と動的詳細解析における地震作用

レベル1地震動に対しては、基本的には施設や地盤の変位、変形を許容していないことから、力の釣り合い問題を解けばよく、一部の構造形式を除き震度法による照査でも良いものとされている。震度法による照査を行うにあたっては、工学的基盤面における地震動（加速度時刻歴）を施設に直接作用させる震度（地震時加速度の重力加速度に対する比）に変換する必要がある。ここにおいて、まず、工学的基盤面の地震動を表層の地震動に変換し、更に、様々な振幅や継続時間を有する振動に対する施設の反応を考慮して、施設の耐震性照査用の地震動に補正する。この地震動のうち最大となる加速度を、施設の重要性等に基づき許容される変形量等を考慮して震度に変換したものが照査用の震度となる（図解L-4）。



図解L-4 照査用震度の算定方法の概要（重力式の例）

ここにおいて、工学的基盤面の地震動を表層まで伝播する際の各種地盤の影響を考慮するには、地震応答解析が必要となる。この際、深層から表層までの鉛直方向の地層内・地層間力の伝達のみを概ね考えれば良いことから、1次元の地震応答解析を行うこととなり、通常1次元FLIPを用いる。その他の補正・変換には、技術基準・同解説に示される計算式を用いることとなる。

また、震度法の適用にあたっては、一般に施設の背後や基礎となる地盤が液状しないことを前提としていることから、震度法を適用する前に液状化しないことを確認する必要がある。液状化の判定には、対象となる地盤各層の粒度とN値から判定する方法、実際の地盤から採取した試料の室内試験（繰返し三軸試験）により判定する方法及び地震応答計算による判定する方法があり、粒度とN値から液状化を判定する方法で判定できない場合に室内試験及び地震応答解析を行うこととなる。この際の地盤の地震応答解析も1次元地震応答解析であり、通常SHAKEを用いる。なお、粒度とN値から判定する方法は、技術基準・同解説に示されている。また、既存の施設であって、地盤の液状化が起こると判定された場合は、施設—地盤—体系での地震応答解析を行い、変位・変形が許容値以下に収まることを確認する。

レベル2地震動や液状化を伴うレベル1地震動に対しては、一般に変形が生じることを前提に、地震後に求められる施設の能力に応じて変位・変形の許容値を設定し、施設の変位・変形がその許容値以下に収まることが求められる。この際、施設及び周辺地盤の地震後の変位・変形を求める必要があることから、地震応答解析を行うこととなる。この際、施設及び周辺地盤の水平・鉛直方向の力の伝達、変位・変形を把握する必要があることから、施設—地盤—体系での2次元の地震応答解析を行うこととなり、通常2次元FLIPを用いる（図解L-5）。

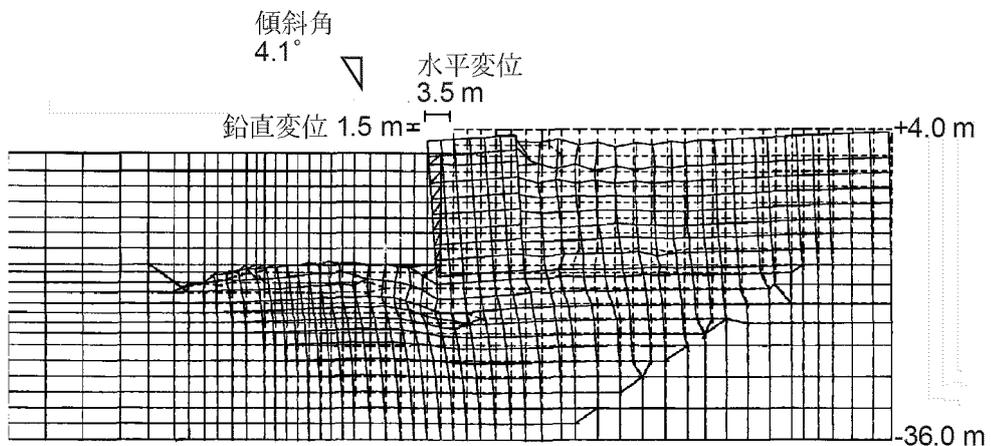


図 解 L-5 地震応答解析により計算された重力式岸壁の残留変形の例

なお、上記に記載の地震応答解析の概要は下表の通りである。

表 解 L-1 地震応答解析手法

名称	解析手法	概要	アウトプット 及び 用途
一次元 FLIP	有限要素法 動的変形解析	地盤の液状化に伴って発生する流動現象を動的に評価できる一次元の有限要素法を用いた手法。地震動による地盤の液状化等を詳細に評価することができ、対象とする地盤の変形量を把握できる。	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の最大・残留変形量 ・地盤の液状化の程度 ・地盤の応答加速度等  <p>工学的基盤面における地震動を表層における地震動に変換</p>
SHAKE	一次元等価線形解析	1次元の等価線形解析により地震時の地盤の剛性低下及び減衰の増加を考慮した上で、地盤内を伝達する加速度やせん断力等を評価する手法。本手法により地盤の沈下量を把握することはできない。	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の応答加速度、最大せん断応力等  <p>液状化の予測・判定</p>
二次元 FLIP Finite Element Analysis of Liquefaction Program)	有限要素法 動的変形解析	<p>地盤の液状化に伴って発生する流動現象を動的に評価できる二次元の有限要素法を用いた手法。地震動により施設や地盤に作用する慣性力や地盤の液状化等を詳細に評価し、対象とする施設の変形量を把握することが可能。</p> <p>港湾構造物など、地震時の偏土圧の影響が大きい港湾・海岸施設での実績が多い。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の最大・残留変形量 ・地盤の液状化の程度 ・構造物の最大・残留変形量 ・地盤・構造物の応答加速度等 ・鋼材等の発生応力等 <p>(動的相互作用による影響が考慮されている)</p>  <p>地震時の施設・地盤の変位・変形を直接把握</p>

M. 護岸等の耐震改良に係る許認可等について

護岸等の耐震改良に必要な許認可等について下記に記載する。

(1) 対象施設

港湾区域内や港湾隣接地域（港湾区域に隣接する地域であって港湾管理者が指定する地域）にある施設

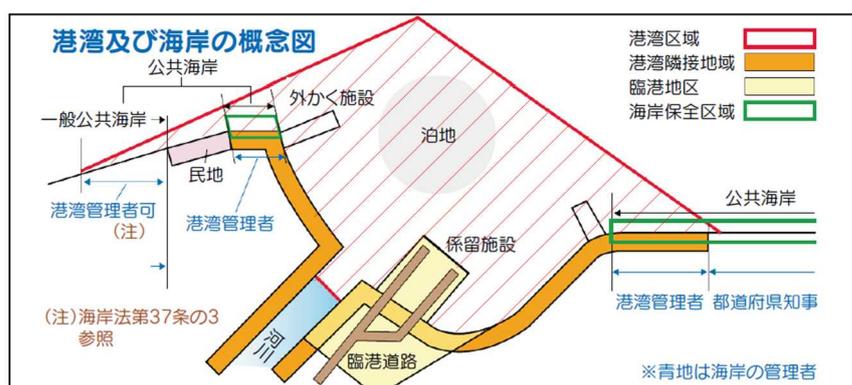


図 解 M-1 港湾及び海岸の概念図

(2) 対象行為

護岸等の耐震改良

(3) 必要な手続き

護岸等の改良に当たっては、港湾区域等の良好な状態の保全や周辺船舶交通の安全性の確保等のため、港湾管理者等へ届出や港湾管理者等からの許可を受ける必要がある。これらの手続きのうち、主なものは下記の通りであり、詳細を次頁以降に記載する。

- ・ 工事・占用に係る港湾管理者の許可（届出）（港湾法第 37 条第 1 項）
- ・ 工事に係る港長の許可（届出）（港則法第 31 条）
- ・ 海上保安庁への水路関係事項の通報（水路業務法第 19 条第 1 項）

1) 工事・占用に係る港湾管理者の許可（届出）

①根拠法令

港湾法第 37 条第 1 項，同施行令第 13 条，第 14 条（海岸法第 10 条）

②対象となる工事等

以下 A～D の工事等を行う場合は、事前に港湾管理者の許可が必要である。

A 港湾区域の水域（上空 100m までの区域及び水底下 60m までの区域を含む以下同じ）
又は公共空地の占用

B 港湾区域内の水域又は公共空地における土砂の採取

C 水域施設、外かく施設、けい留施設、運河、用水きよ又は排水きよの建設・改良
(Aの占用を伴うものは除く)

D A～Cに掲げるものを除き、港湾の開発、利用又は保全に著しく支障を与えるおそれのある次の行為

イ. 港湾管理者の長が指定する護岸、堤防、岸壁、さん橋又は物揚場の水際線から20m以内の地域においてする構築物の建設又は改築

ロ. 港湾管理者の長が指定する廃物の投棄

③他の法令との関係

公有水面埋立法第2条第1項の規定による免許を受けた場合は、本件許可は不要である。

港湾区域の定めのない港湾で都道府県知事が水域を定めて公告した場合は、その水域において②A～Dのような工事等をしようとする者は、当該都道府県知事の許可を受けなければならない。(港湾法第56条第1項)

④提出資料

②の港湾管理者の許可を受けようとする者は、以下A～Dの書類を港湾管理者に提出する必要がある。

A 次に掲げる事項を示し又は記載した書類

イ 建設又は改良を行おうとする技術基準対象施設の諸元及び要求性能(技術基準対象施設に必要とされる性能をいう。以下同じ。)

ロ 建設又は改良を行おうとする技術基準対象施設への作用及びその設定の根拠

ハ イ及びロの照査方法

B 建設又は改良を行おうとする技術基準対象施設の施工方法、施工管理方法及び安全管理方法を記載した書類

C 建設又は改良を行おうとする技術基準対象施設を適切に維持するための維持管理方法を記載した書類

D 前三号に掲げるもののほか、港湾管理者が必要と認める書類

※ 技術基準対象施設の建設・改良でない場合は、Dの書類の提出のみで良い。

提出書類の一例を図解M-2に示す。

2) 工事に係る港長の許可（届出）（港則法第 31 条）

①根拠法令

港則法第 31 条

②対象となる工事等

港則法で規定する特定港（喫水の深い船舶が出入できる、または外国船舶が常時出入りする主要な港。政令で定められる。）の内又は境界附近で工事・作業をする場合は、事前に港長の許可を受ける必要がある。港長は、許可をするに当り、船舶交通の安全に必要な措置を行うよう命じることがある。

③提出書類

提出書類の一例を図 解 M-3 に示す。

第9号様式	
(工事・作業又は行事) 許可申請書	
平成 年 月 日	
京 浜 港 長 殿	
申請者住所 氏 名 印	
1. 目的及び種類	
2. 期間及び平時間	
3. 区域又は場所	
4. 方 法	
5. そ の 他	
連絡先 氏 名： 電 話：	

図 解 M-3 工事に係る港長への許可申請書の一例（京浜港の場合）

3) 海上保安庁への水路関係事項の通報（水路業務法第 19 条第 1 項）

①根拠法令

水路業務法第 19 条第 1 項

②対象となる工事等

船舶航行に必要な水路図の変更や安全な船舶交通に必要な海上工事・作業の情報提供等のため、港湾の修築、その他海岸線に重大な変化を生ずる工事をする場合は、事前にその旨を海上保安庁に通報する必要がある。

③提出書類

提出書類の一例を図 解 M-4 に示す。

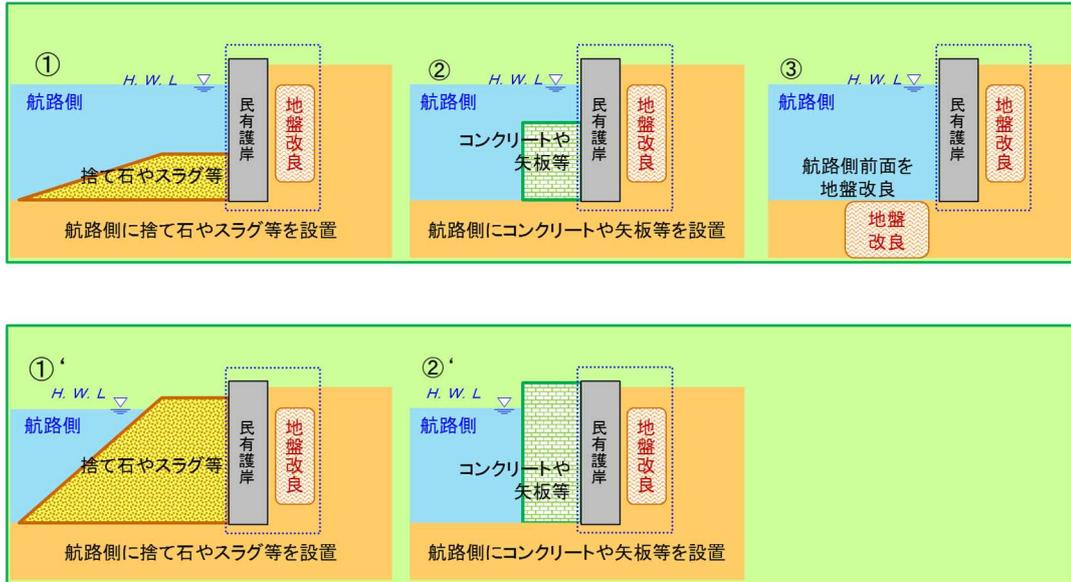
2016.01 様式	
水路業務法第 19 条第 1 項に基づく通報	
通報年月日 平成 年 月 日 通 報 者 住 所 : 氏名又は名称 : 連絡先 :	
海上保安庁長官 殿 (第五管区海上保安本部長 経由)	
1. 工事の名称	
2. 工事の概要	
3. 工事の期間	
4. 場所及び区域	
5. 計画機関	
6. その他	
通報提出先 住所：〒650-8551 神戸市中央区波止場町1-1 第五管区海上保安本部海洋情報部整理課情報係 TEL 078-331-6651 FAX 078-332-6307 Eメール kan5-joho@jodc.go.jp	受付日 担 当
上記通報に係る工事は、平成 年 月 日に完了したので通知する。	
通報者	受付印

図 解 M-4 海上保安庁への水路通報届出の一例（海上保安庁第三管区の場合）

(4) 護岸前面への対策工法に係る留意事項

護岸等の改良に当たって護岸等前面への対策を行う場合には、図解 M-5 に示すように以下の場合が考えられる。

- ① 護岸等に接続する形で捨石等の設置
- ② 護岸等に接続する形でコンクリートや矢板等の設置
- ③ 護岸等前面の地盤改良



図解 M-5 護岸等前面への対策工法のイメージ図

これらについては、以下のような取扱いとなるので留意する必要がある。

(埋立免許に係る取扱い)

- ・ ①の場合、工作物の高さに関わらず、埋立免許に係る埋立法線の変更に該当しない。
- ・ 一方、②の場合、工作物の高さがH. W. L以上の場合（②'）、埋立免許に係る埋立法線の変更に該当し、公有水面埋立法に係る新規の埋立免許が必要となる。既存の埋立免許の変更という取扱いにはならない。

(水域占用に係る取扱い)

- ・ ①（①'含む）及び②（高さH. W. L以下：②'除く）は、いずれも原則、水域占用（占用工作物の設置）となるので、港湾法第37条第1項に基づく占用許可が必要となる。占用料の取扱いについては、各港湾管理者によるため、相談する必要がある。
- ・ また、③については、原則水域占用に該当しないものと考えられる。

(船舶航行の安全確保に係る取扱い)

- ・ ①や②による工作物の水域への設置に当たっては、港則法に基づき、海上保安庁から設置許可（不許可）や管理方法に係る指示が別途行われる可能性がある。
- ・ また、①や②による工作物の水域への設置に当たっては、水路業務法の基づき、水路図や海図の変更が必要な場合がある。