

平成23年度

建築基準整備促進事業報告会

調査事項

基礎及び敷地に関する基準の整備に資する検討

東京都市大学

都市工学科教授 末政直晃

共同研究者：（独）建築研究所

共同研究・委託

（財）ベターリビング

旭化成建材

ジオデザイン

東京ソイルリサーチ

(イ) 水平力の作用する基礎ぐいの構造安全性に関する検討(継続)

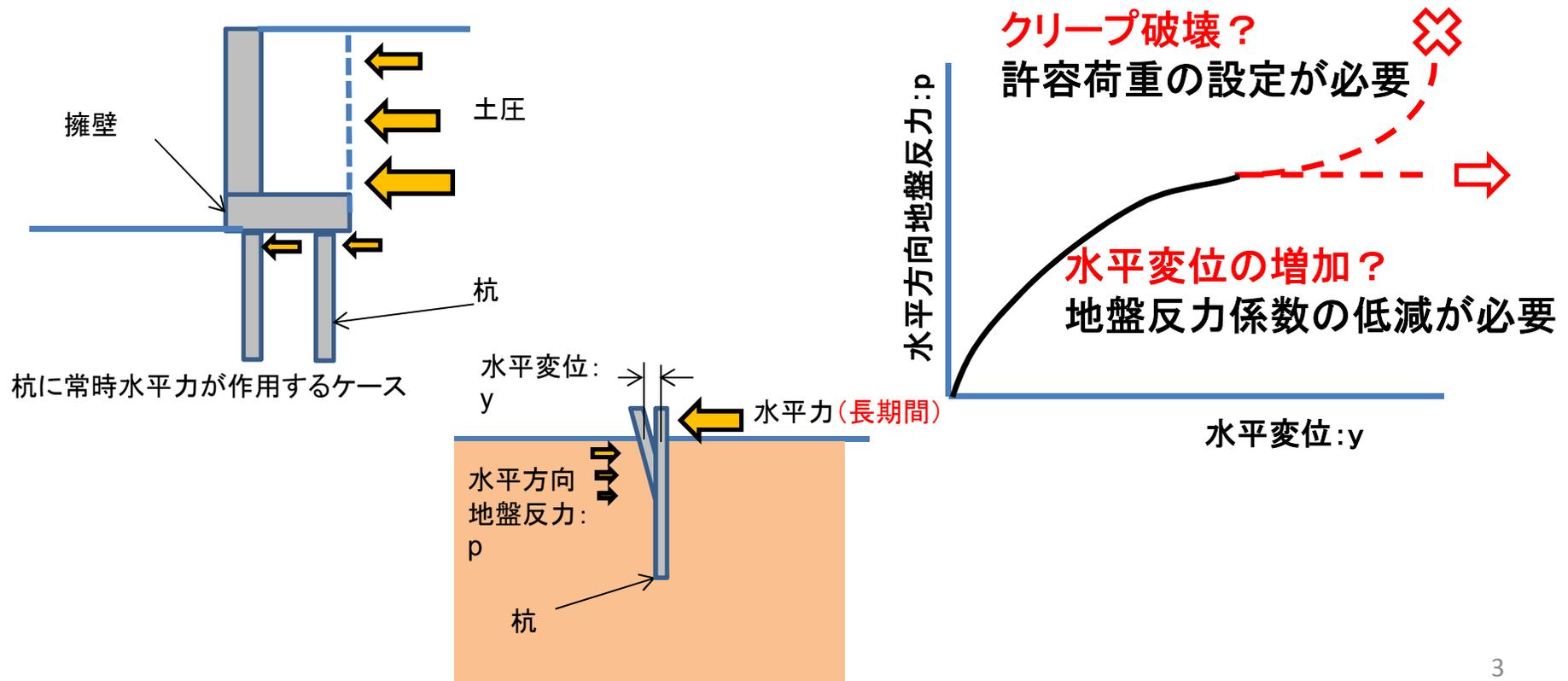
擁壁基礎等に用いられる杭は、常時水平荷重を受ける。このような杭の変形特性については既往の資料がほとんどないため、設計上の課題となっている。そこでその諸特性を把握するために杭の長期水平載荷試験を実施した。杭には、直杭と回転圧入杭の2種類を、対象地層には沖積粘土層と洪積粘土層を選定した。これらの結果から、杭の種類や地盤の違いが杭の長期水平挙動に与える影響について実験的に調べた。

(ロ) 地盤改良、地盤補強についての検討(継続)

近年、急速に普及している地盤補強工法について、詳細なアンケートやヒアリングを実施し、それらの結果の分析を通して適用の現状や施工法・設計法等の問題点を検討した。
また、杭状地盤補強工法に関して、得られた資料に基づいて信頼性解析を実施し、同工法の安全性に関する検討を実施した。

(イ) 水平力の作用する基礎ぐいの構造安全性に関する検討(継続)

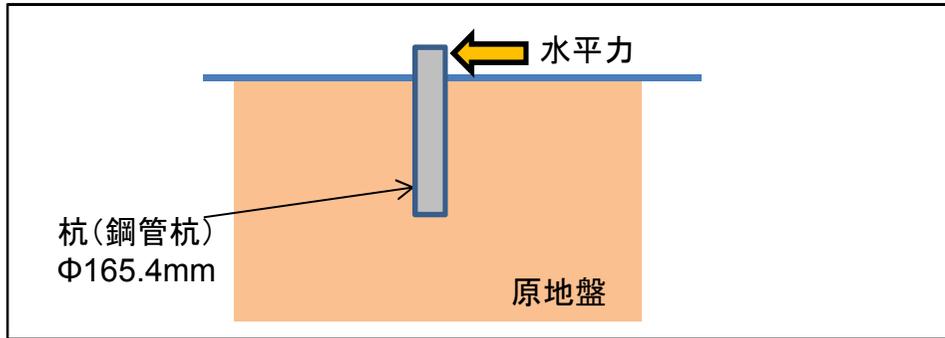
擁壁基礎等に用いられる杭は、常時水平荷重を受ける。このような杭の変形特性については既往の資料がほとんどないため、設計上の課題となっている。そこでその諸特性を把握するために杭の長期水平載荷試験を実施した。杭には、直杭と回転圧入杭の2種類を、対象地層には沖積粘土層と洪積粘土層を選定した。これらの結果から、杭の種類や地盤の違いが杭の長期水平挙動に与える影響について実験的に調べた。



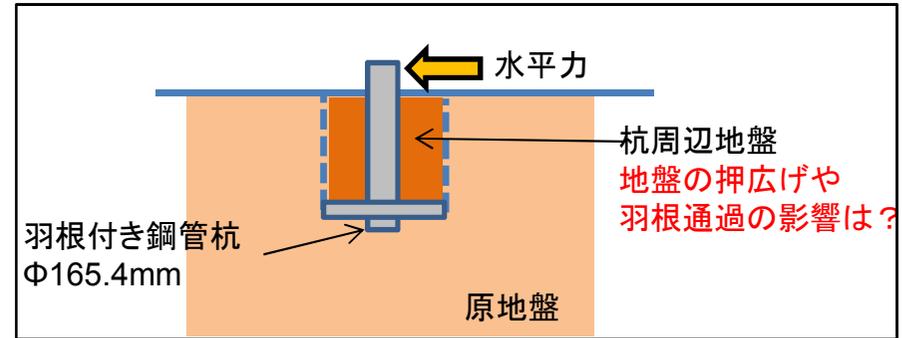
試験概要

■杭種

①プレボーリング工法—ストレート杭

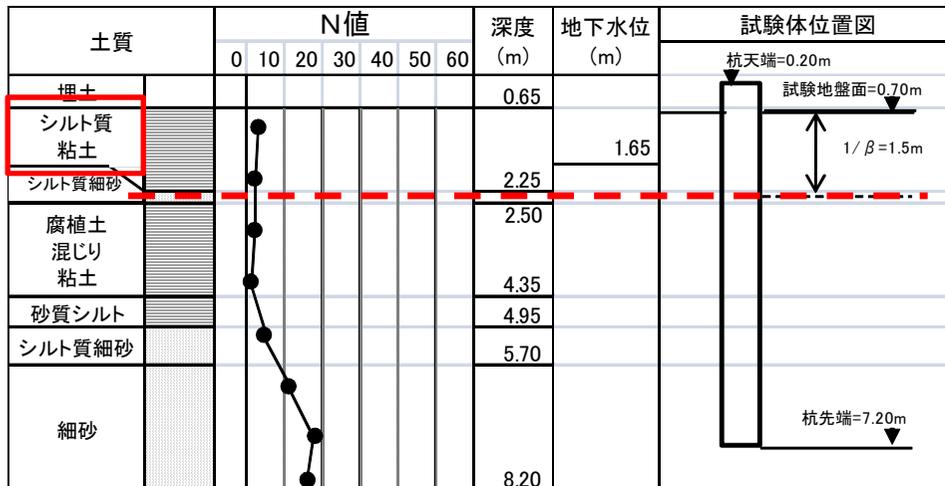


②回転貫入工法—羽根付き杭

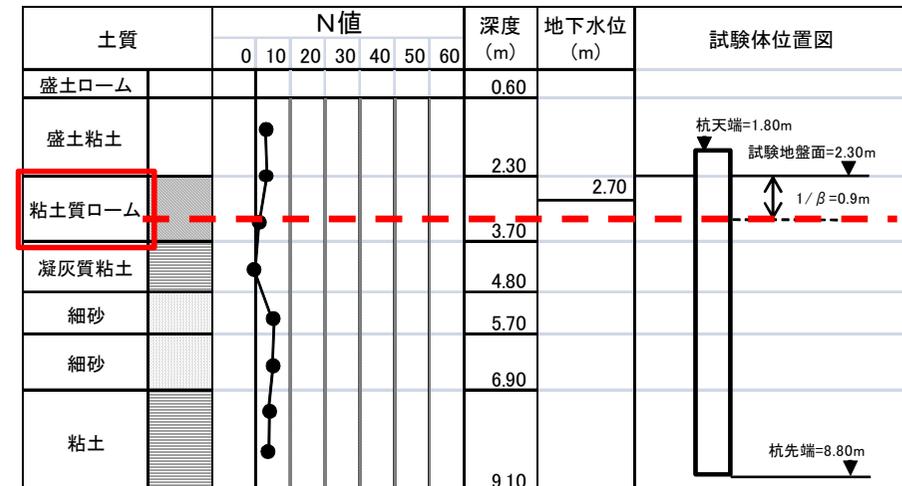


■試験場所

①沖積粘性土(茨城県稲敷郡美浦村)



②洪積粘性土(茨城県つくば市)

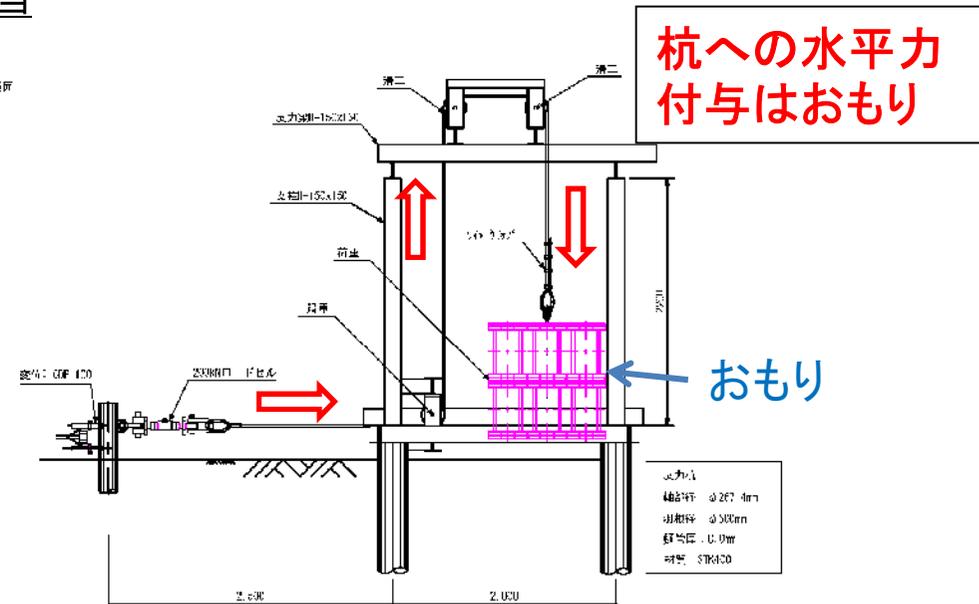
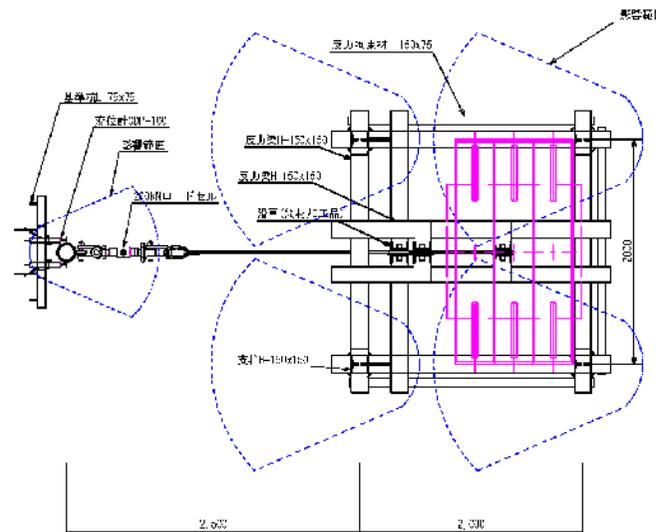
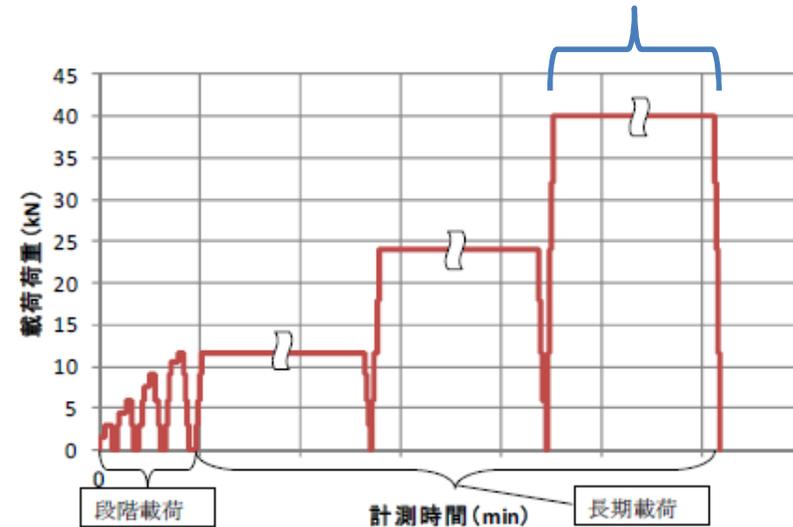


試験装置 及び 載荷荷重段階

- 長期載荷荷重設定条件(6段階載荷)
 - (0) 予備載荷
 - (1) 杭体の長期許容曲げモーメント到達時の水平荷重
 - (2) 地盤の長期許容変位 (15mm) 到達時の水平荷重
 - (3) 杭の極限水平抵抗力 (Q_{u_Broms}) の1/3
 - (4) // 2/3
 - (5) // 3/3
- 荷重保持時間・1段階につき**3日間以上**

※既往資料による水平変位の収束時間に相当

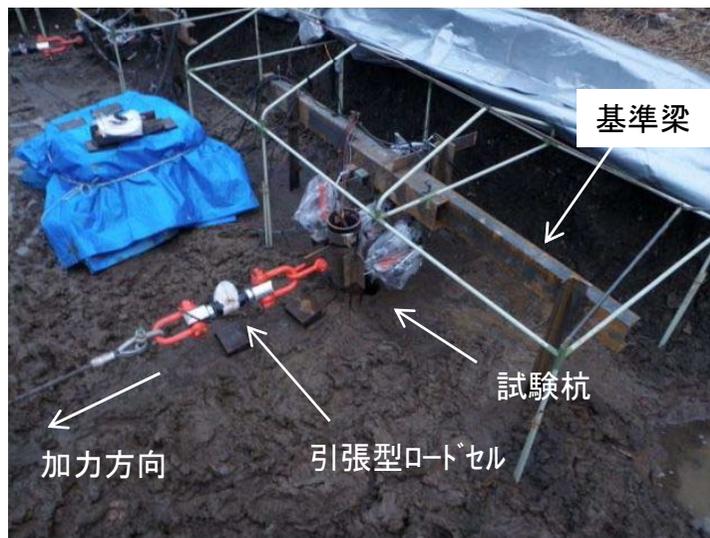
最低3日間



載荷試験装置

現場風景

● 美浦载荷試験状況

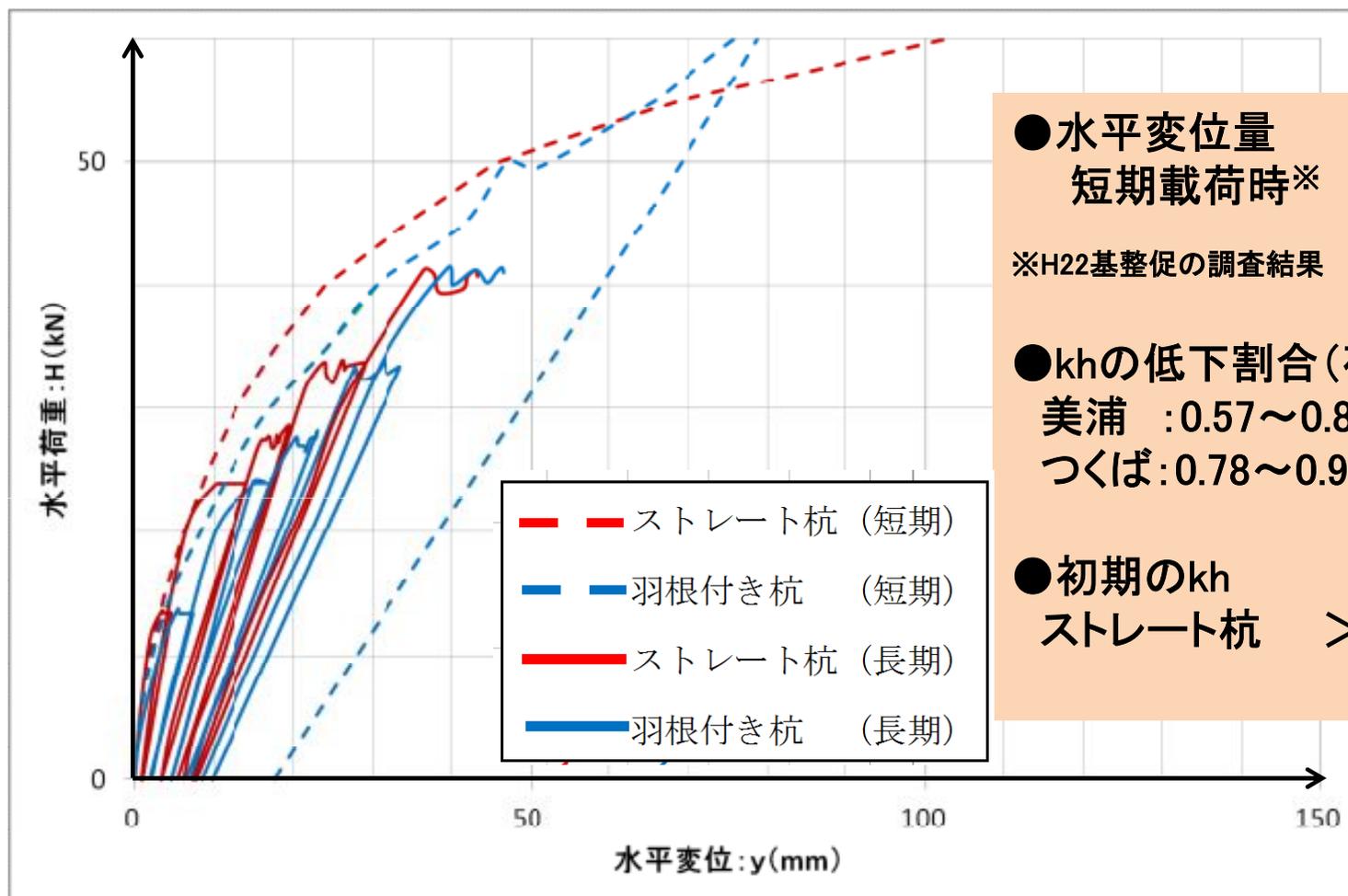


● つくば载荷試験状況



試験結果①

水平荷重－杭頭の水平変位関係(つくば)



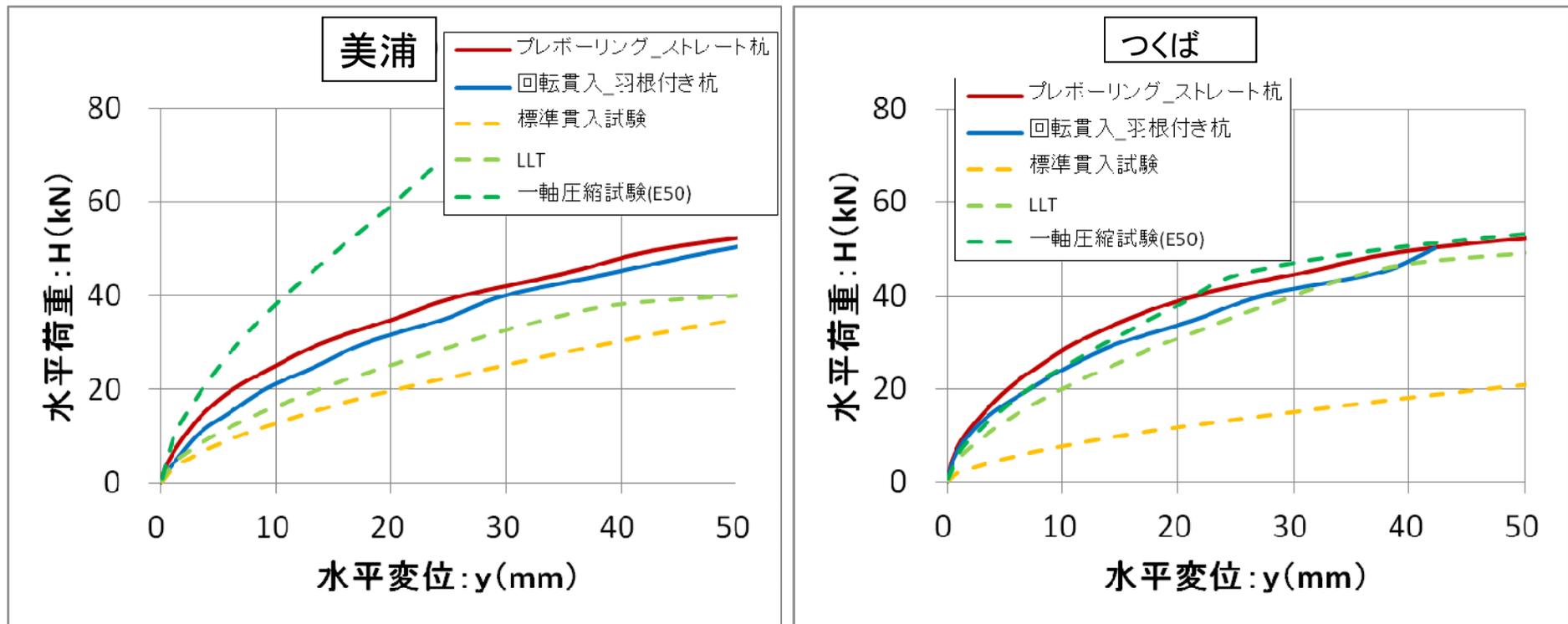
● 水平変位量
短期載荷時※ < 長期載荷時

※H22基整促の調査結果

● khの低下割合(荷重保持時間3日)
美浦 : 0.57~0.80
つくば : 0.78~0.90

● 初期のkh
ストレート杭 > 羽根付き杭

試験結果② 水平荷重－杭頭の水平変位関係（設計値との比較）

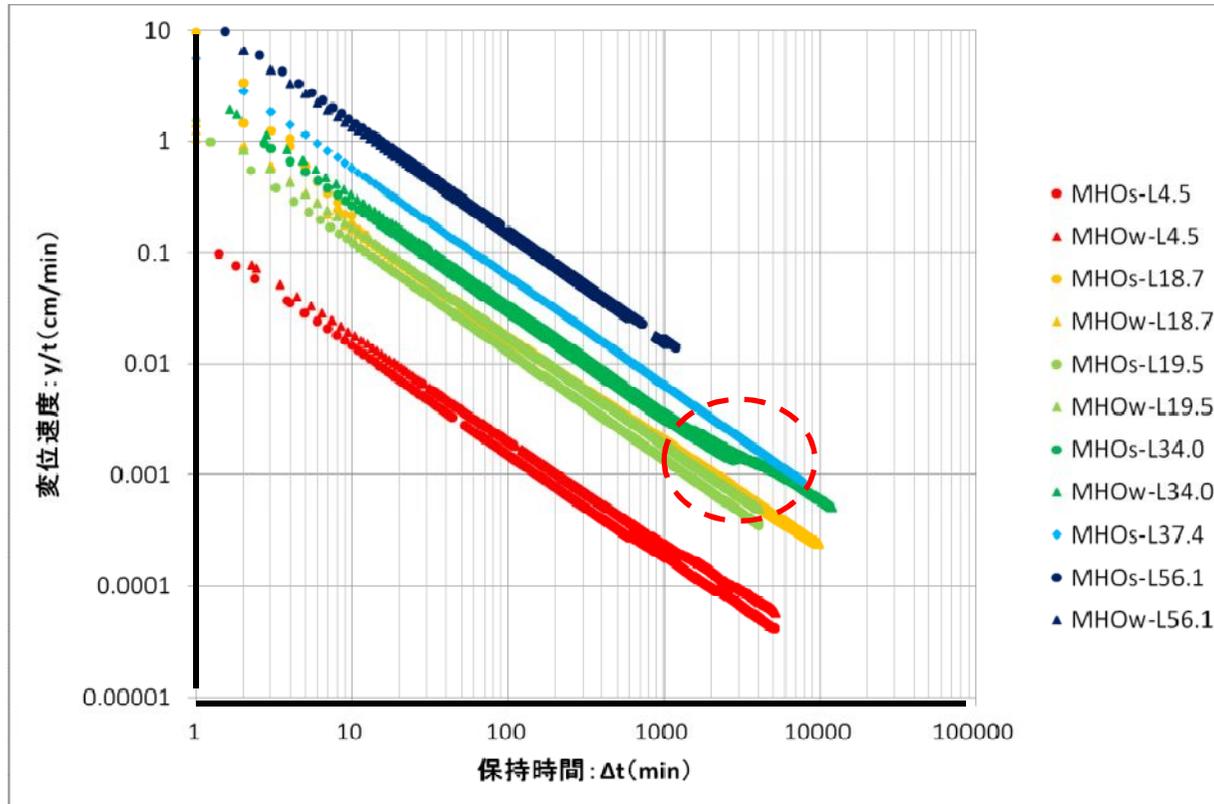


● 水平抵抗力特性 (H-y関係)

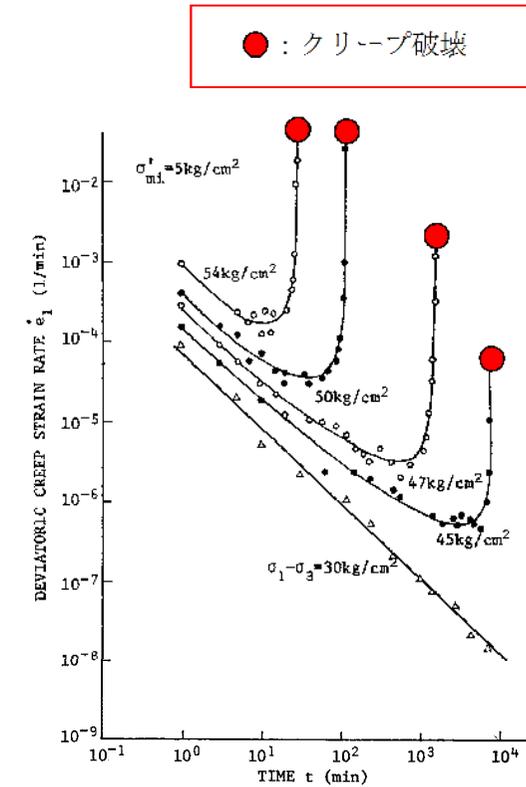
実測値 (短期載荷時)

≡ 設計値 (LLTによる)

試験結果③ 変位速度の時間変化



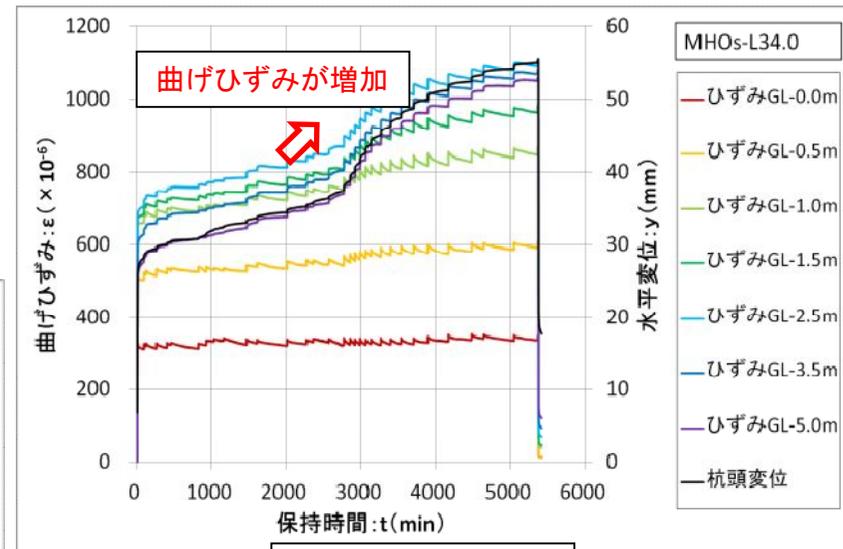
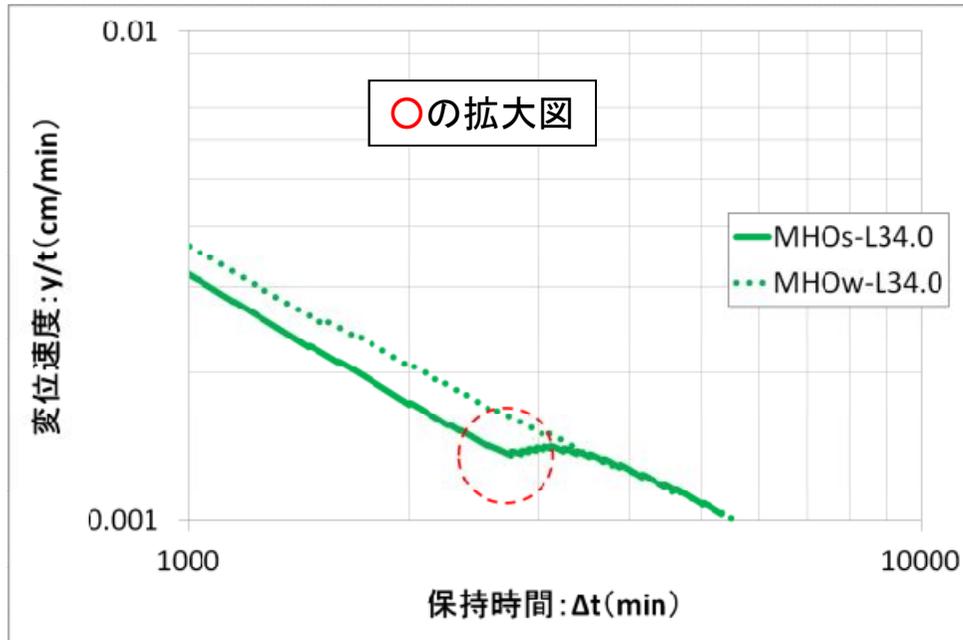
変位速度－保持時間関係(美浦)



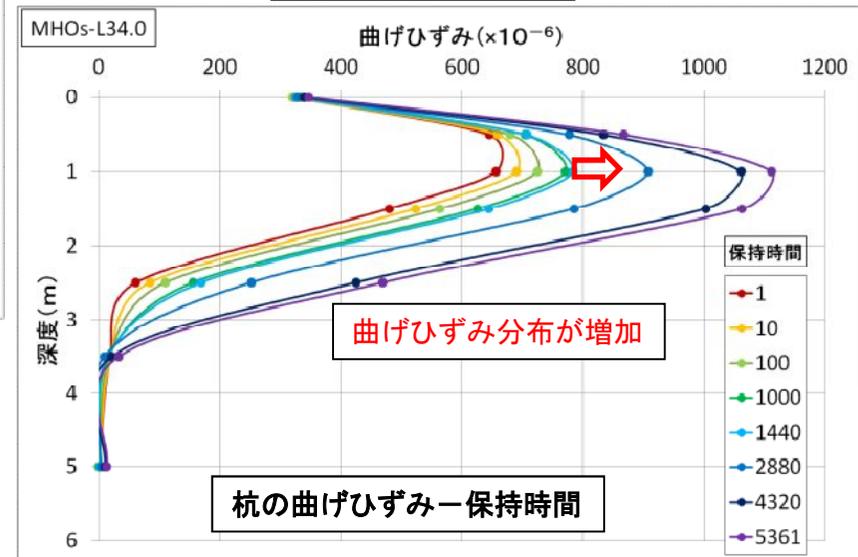
クリープ破壊の例(既往の研究_三軸試験)

● 明らかなクリープ破壊(変位の急増)は、確認されなかった。

試験結果④ クリープ破壊?



杭の曲げひずみ分布



杭の曲げひずみ-保持時間

- 一部にクリープ破壊らしき挙動が確認された。
 ただし、杭の水平変位増加に伴い、杭体の負担力が増加するため、地盤のクリープ破壊に至らなかったものと考えられる。

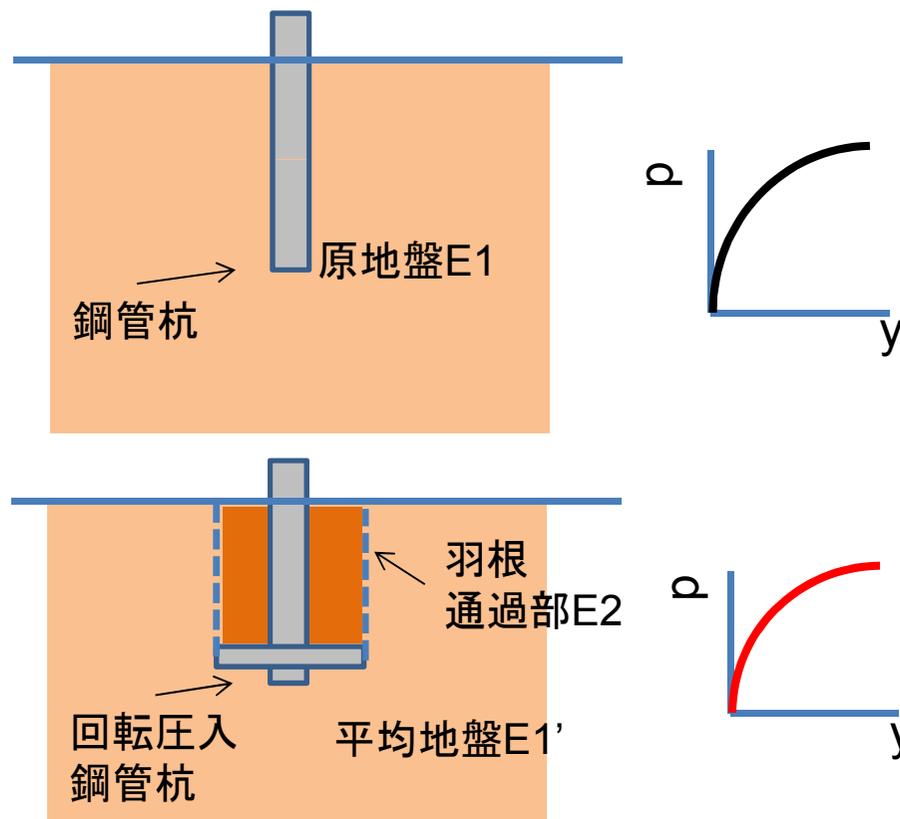
課題イ 試験結果まとめ

- (1)長期間荷重を受ける杭の水平変位量は, 短期の荷重を受ける杭よりも, 大きくなる.
- (2)長期荷重による kh の低下割合(荷重保持3日間の場合)は, 概ね0.6~0.9程度であった.
- (3)明らかなクリープ破壊は確認されなかった. これは, 水平変位増加に伴う杭の負担力増加の影響と考えられる.

解析の目的

回転圧入杭の水平載荷試験結果を再現したFEM弾性解析により、回転圧入杭の羽根の攪乱による地盤剛性の変化について検討することを目的とする。

FEMにより、解析結果が載荷試験結果と同等となる杭周辺地盤の弾性係数 E (p - y 関係)を推定する。



①ストレート杭の p - y 載荷試験を再現したFEMより
a) 原地盤の E_1 を推定

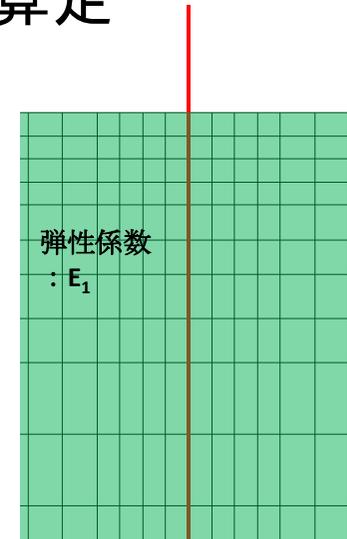


②回転圧入杭の p - y 載荷試験を再現したFEMより
b) 平均的な地盤の弾性係数 E_1' を推定
c) 羽根通過部の地盤の E_2 を推定

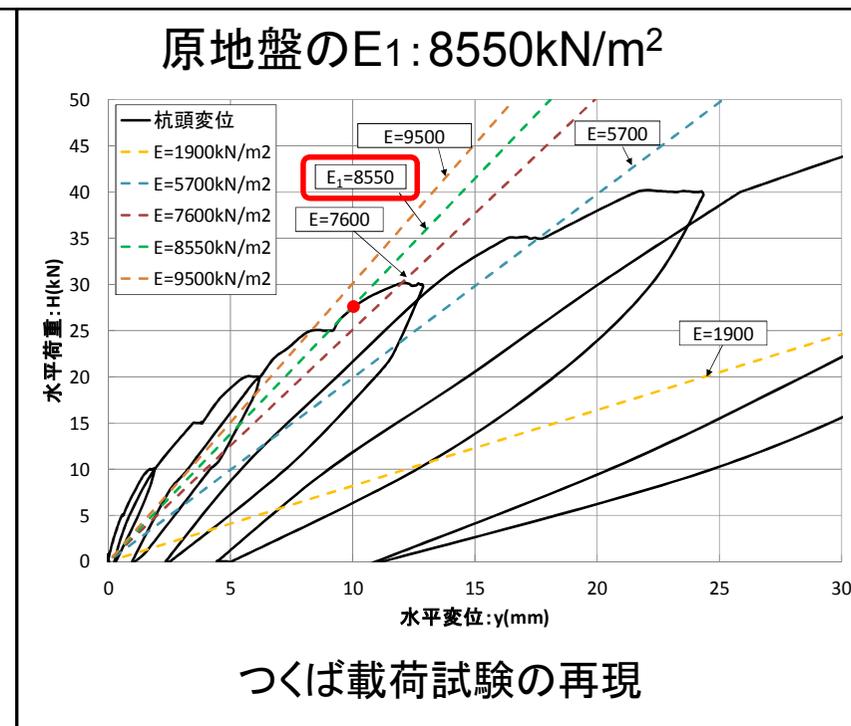
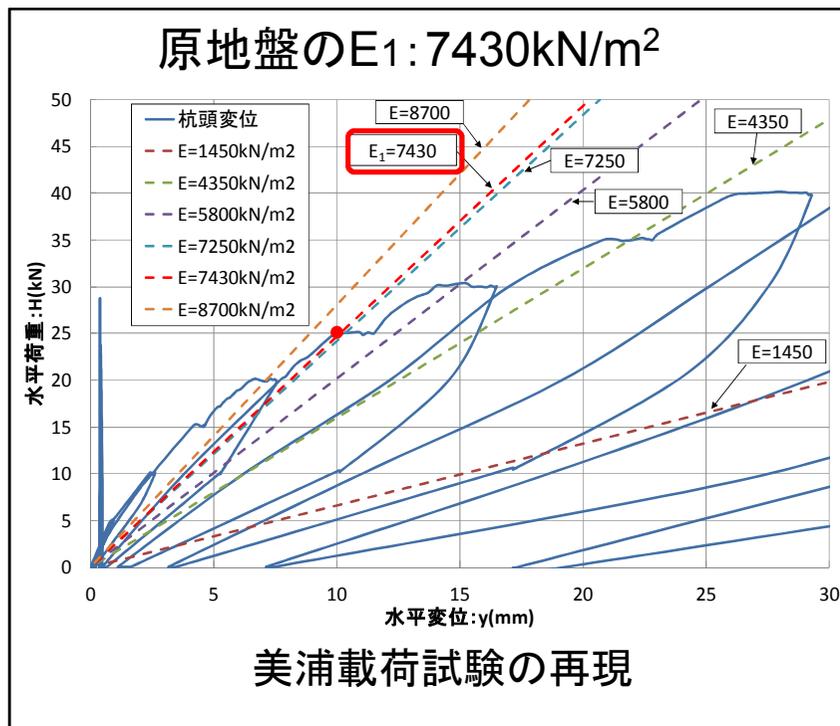
解析結果① ストレート杭の原地盤E₁の算定

表 入力定数

地盤	線形弾性体	弾性係数	E (kN/m ²)	パラメータ
		ポアソン比	ν	
杭	線形梁	曲げ剛性	EI (kN・m ²)	2207.6
ジョイント要素	線形ジョイント	接線剛性	E _s (kN/m ³)	1.0×10 ⁻⁴
		法線剛性	E _n (kN/m ³)	1.0×10 ⁷

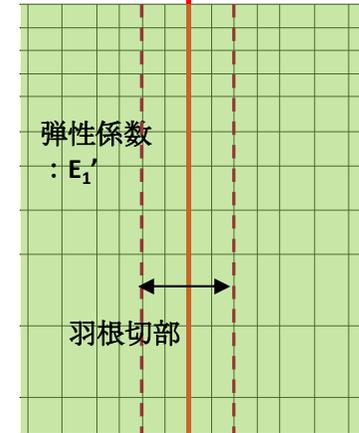


■ ストレート杭の載荷試験結果の再現による 原地盤の弾性係数E₁の推定

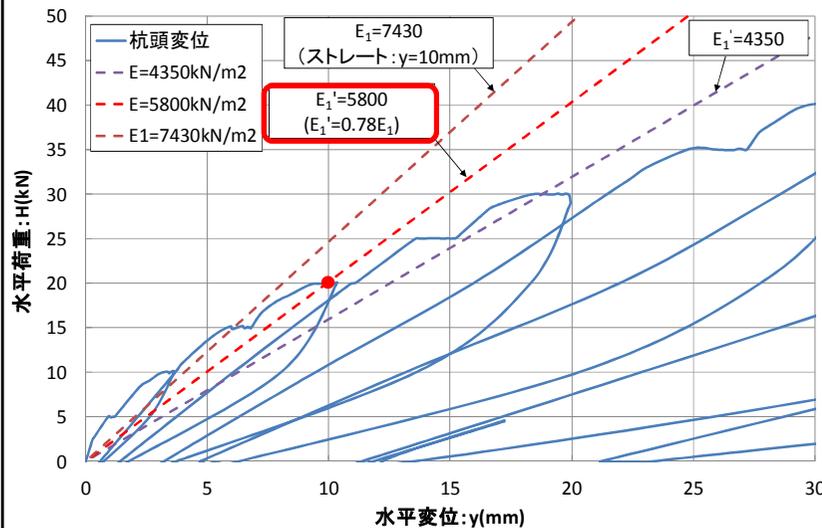


解析結果② 回転圧入杭の平均的な弾性係数 E_1' の算定

■ 回転圧入杭の載荷試験結果の再現による
地盤の平均的な弾性係数 E_1' の推定
→0.8倍程度と評価される!!

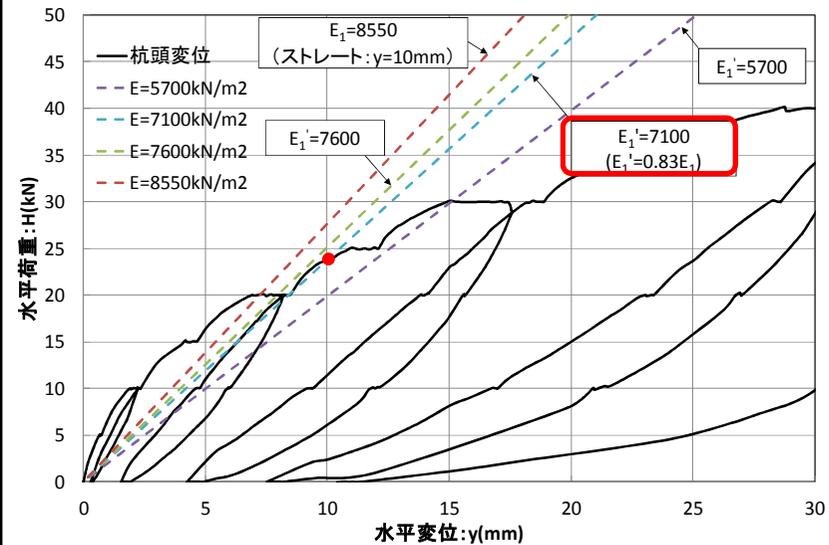


平均的な E_1' : 5800kN/m²
 $E_1' = 0.78E_1$



美浦載荷試験の再現

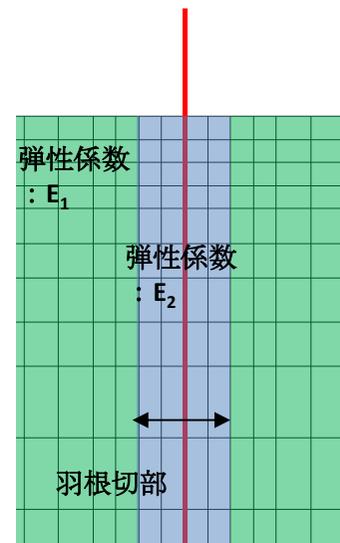
平均的な E_1' : 7100kN/m²
 $E_1' = 0.83E_1$



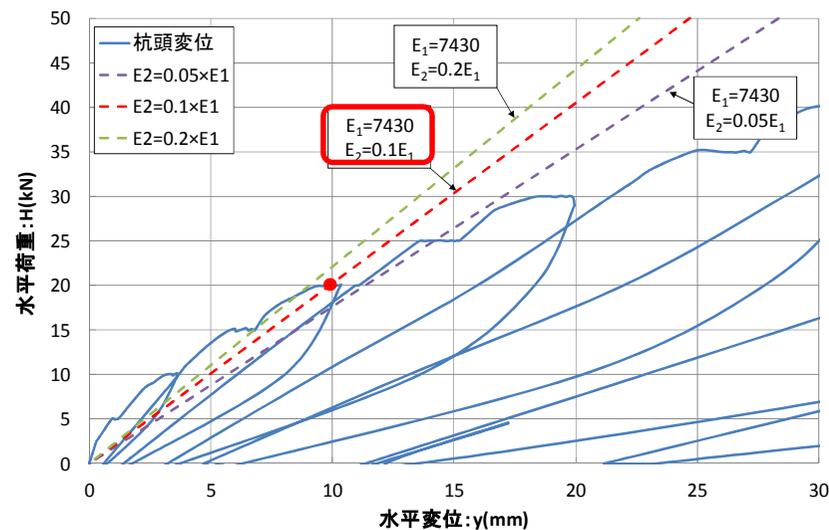
つくば載荷試験の再現

解析結果③ 攪乱部の弾性係数 E_2 の評価

■ 回転圧入杭の載荷試験結果の再現による
羽根通過部の地盤の弾性係数 E_2 の推定



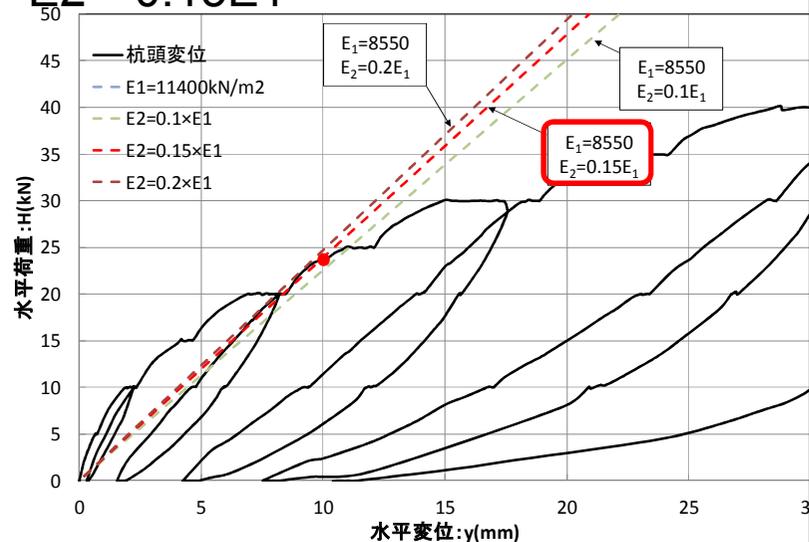
羽根通過部の E_2 : 743kN/m²
 $E_2 = 0.1E_1$



美浦載荷試験の再現

羽根通過部の E_2 :
1283kN/m²

$E_2 = 0.15E_1$



つくば載荷試験の再現

解析結果まとめ

- ①先端羽根付き杭での解析から算出された地盤の平均的な弾性係数は、ストレート杭での地盤の弾性係数と比較して約80%である。
- ②先端羽根付き杭での解析から算出された羽根切通過部の地盤の弾性係数は、ストレート杭での地盤の弾性係数の約10～15%である。

(ロ) 地盤改良、地盤補強についての検討(継続)

平成22年度に実施した地盤補強工法の実態調査・分類結果に基づき、杭状地盤補強工法の鉛直力・水平力に対する支持性能の確認方法、及び、補強材に用いる材料に起因する安全性上、耐久性上の問題点について示し、その使用実績などに対する実態調査を行い、地盤調査法、上部建築物の制限(高さ、延床面積)と実績、設計法等について分類・整理した。

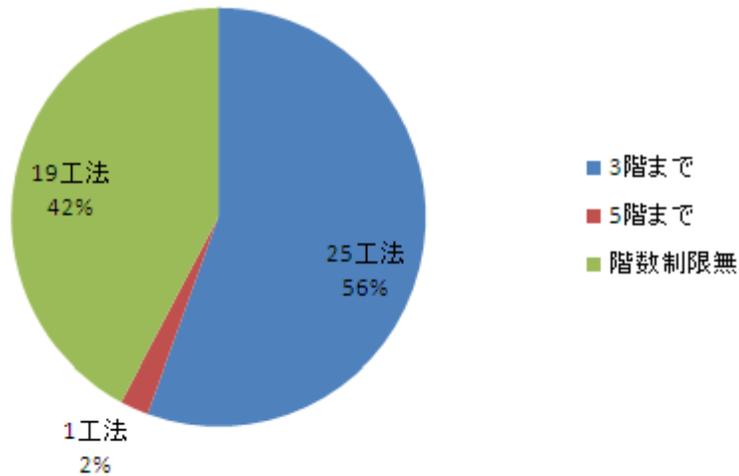
主な調査内容

- 建築物への適用(延床面積制限、階数制限等)
- 地盤調査(試験方法、現地地盤調査数)
- 設計(支持力、基礎の地盤反力、杭の水平力)
- 耐久性(腐食代、防腐・防蟻)など

(1)建築物への適用

階数制限と延床面積制限

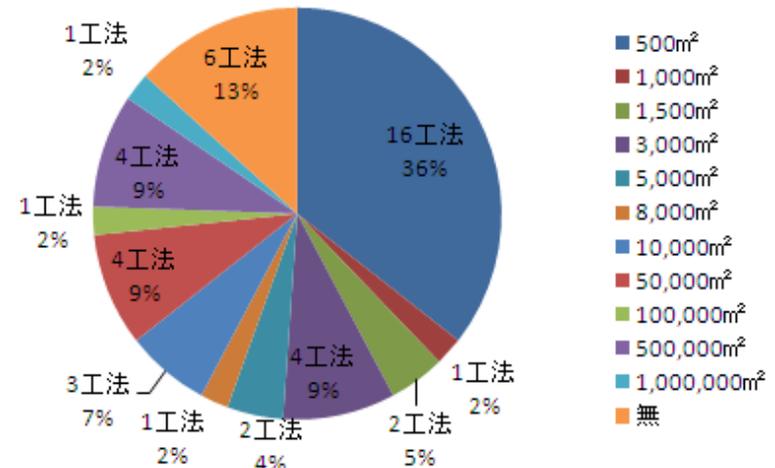
杭状地盤補強工法数(階数制限)



設定階数制限を3階までとしている杭状地盤補強工法が多い

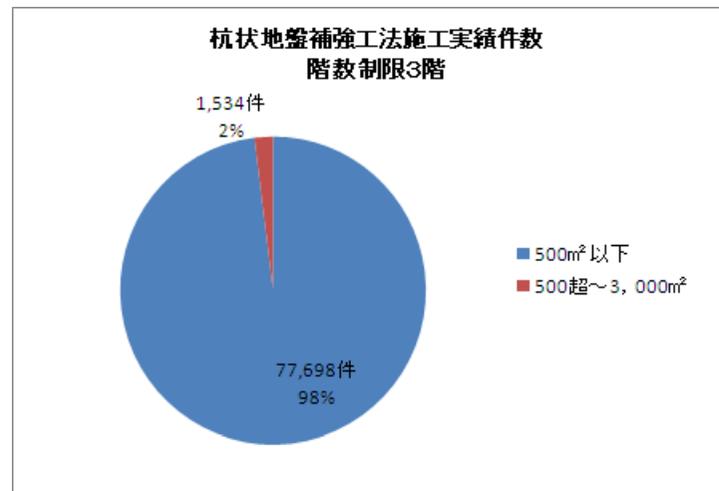
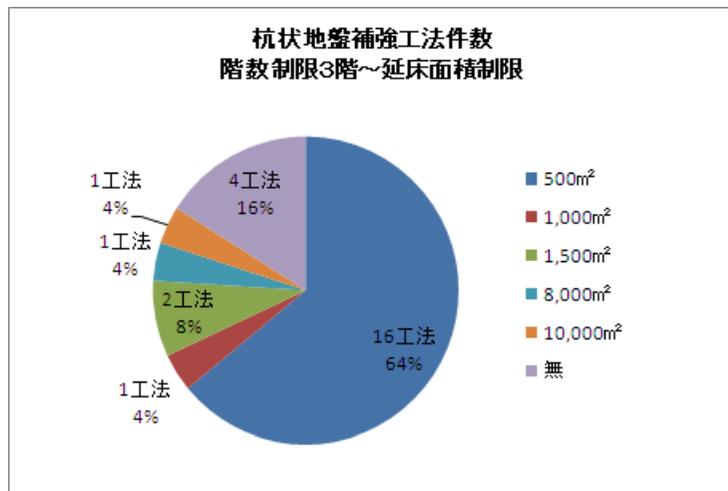
設定延床面積制限が500m²以下から1,000,000m²以下と幅広い

杭状地盤補強工法数(延床面積制限)

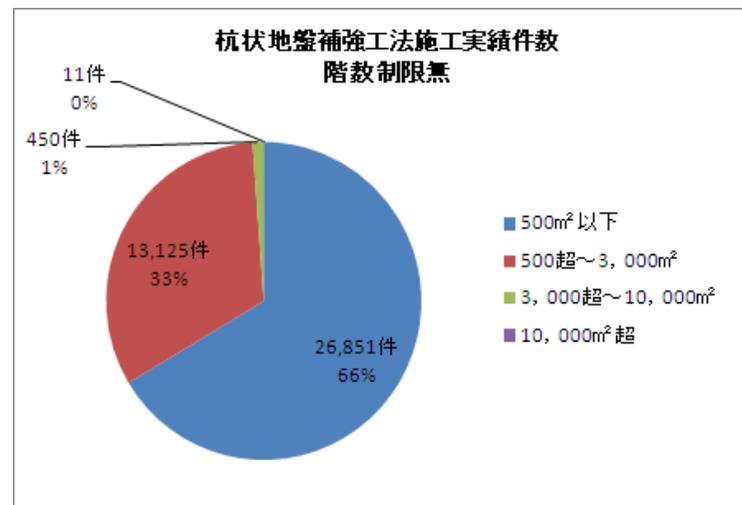
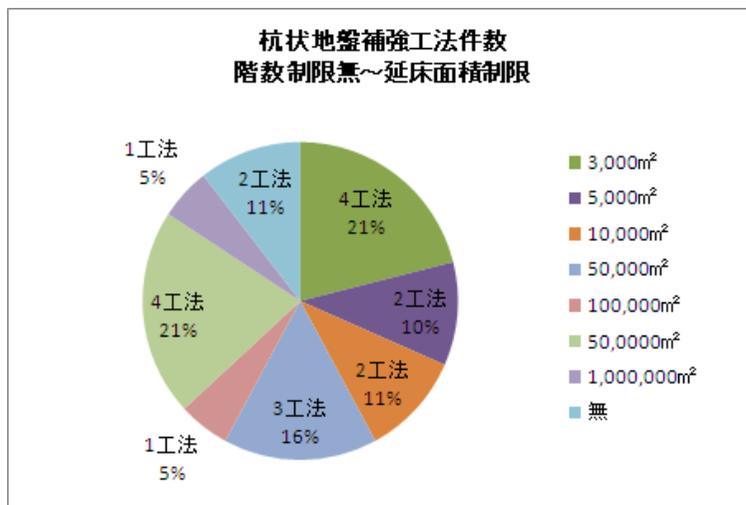


(1) 建築物への適用 階数制限と延床面積制限の施工実績

階数を3階に制限した工法は、延床面積500㎡以下の実績が98%占める



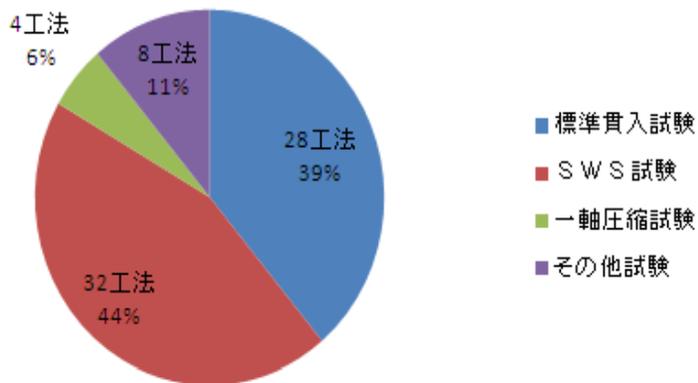
階数の制限が無い工法は、延床面積3,000㎡以下の実績が99%占める



(2)地盤調査

調査項目

杭状地盤補強45工法
地盤調査項目(複数回答)



主にSWS, 次いでSPT...

その他試験には以下の試験方法の回答があった.

ラムサウンディング試験(RS)

ミニラムサウンディング試験(MRS)

コーン貫入試験(CPT)

三成分コーン貫入試験(三成分CPT)

孔内水平載荷試験(LLT)

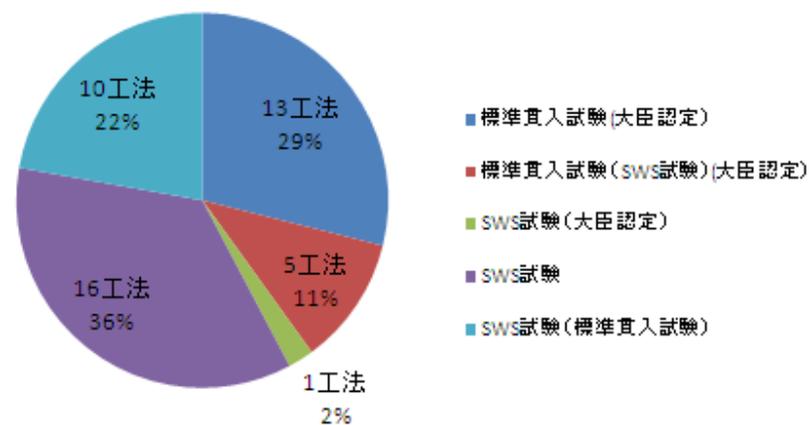
スクリュードライバー・サウンディング試験(SDS)

当然のことながら...

大臣認定の杭状地盤補強工法は、
標準貫入試験を標準としている。

→SWSを用いる関連工法が存在！

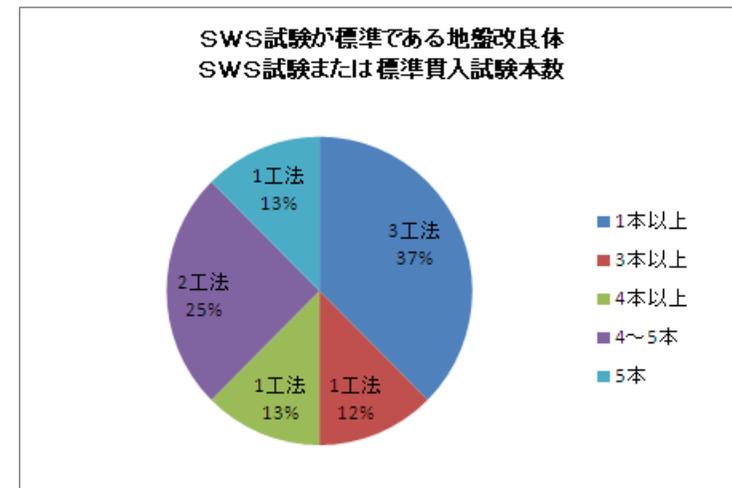
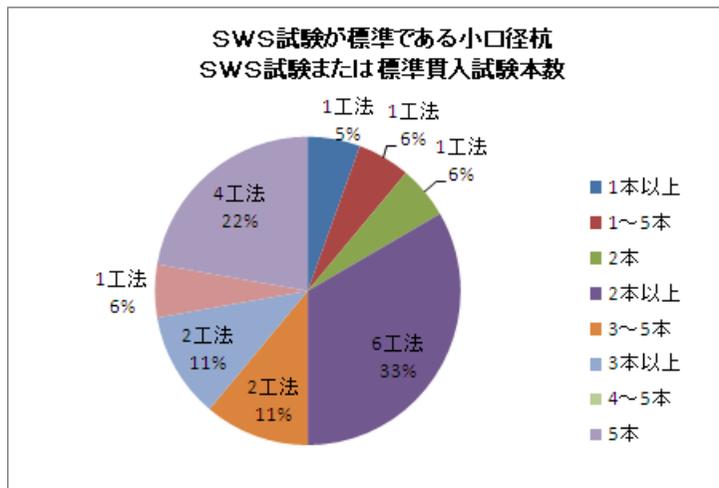
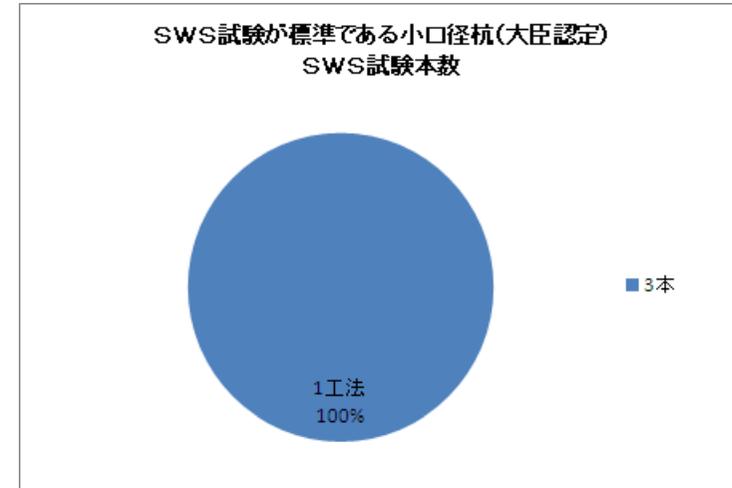
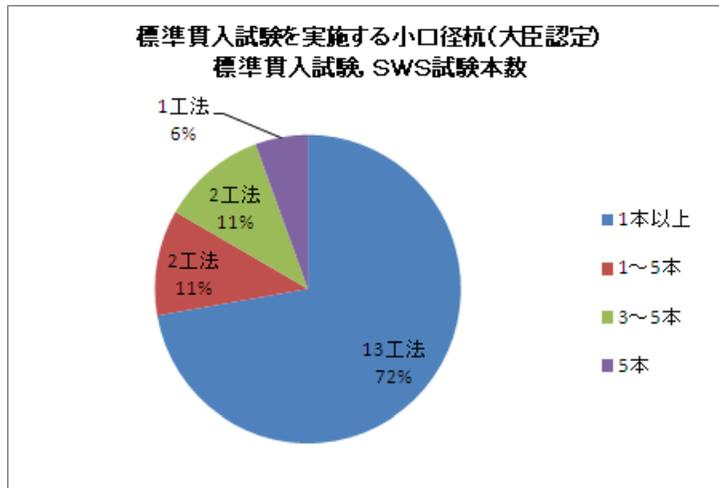
杭状地盤補強工法の現地地盤調査
標準貫入試験 SWS試験と大臣認定



(2)地盤調査

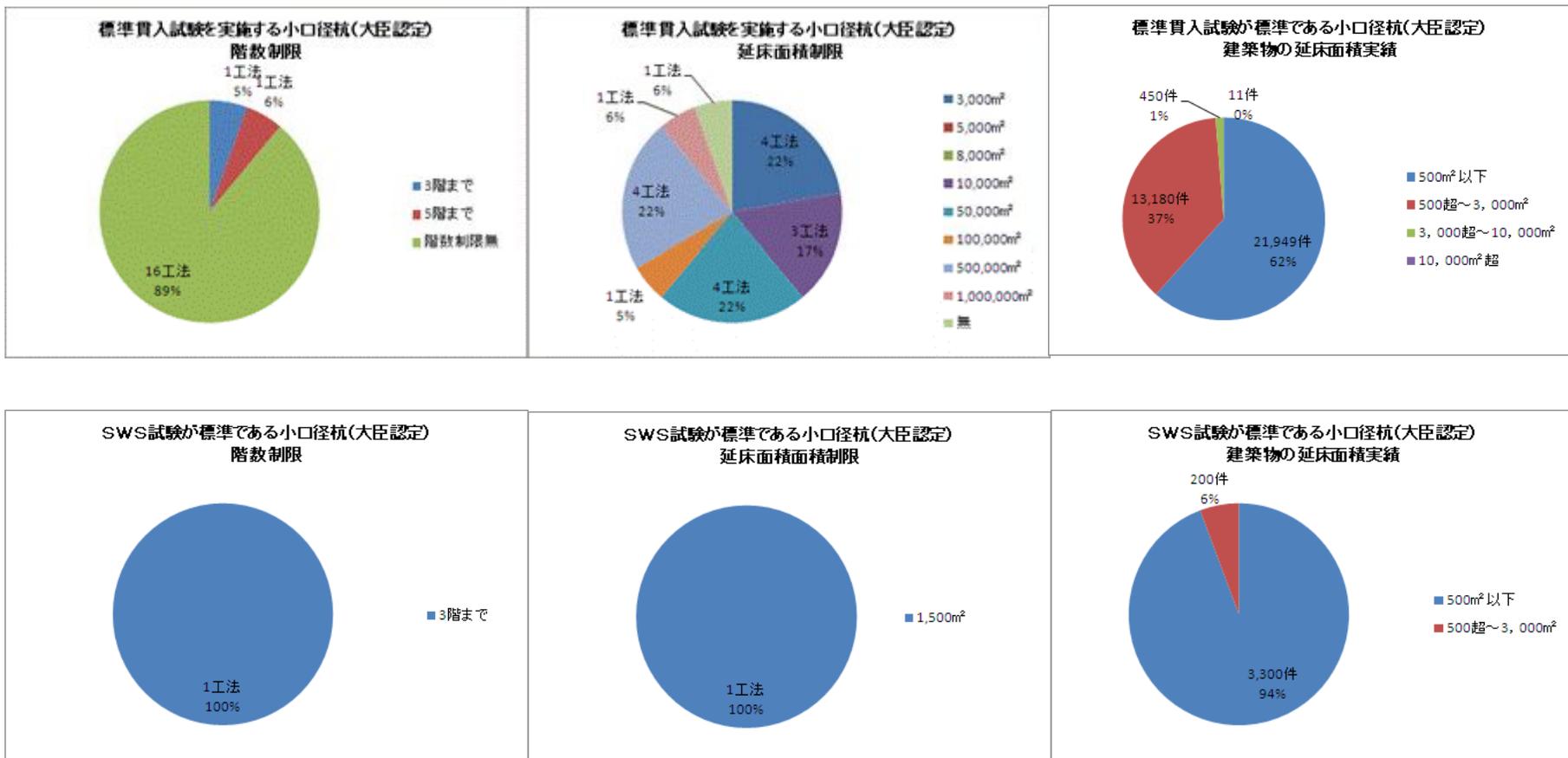
調査本数

杭状地盤補強工法によって現地の地盤調査数に違いがある



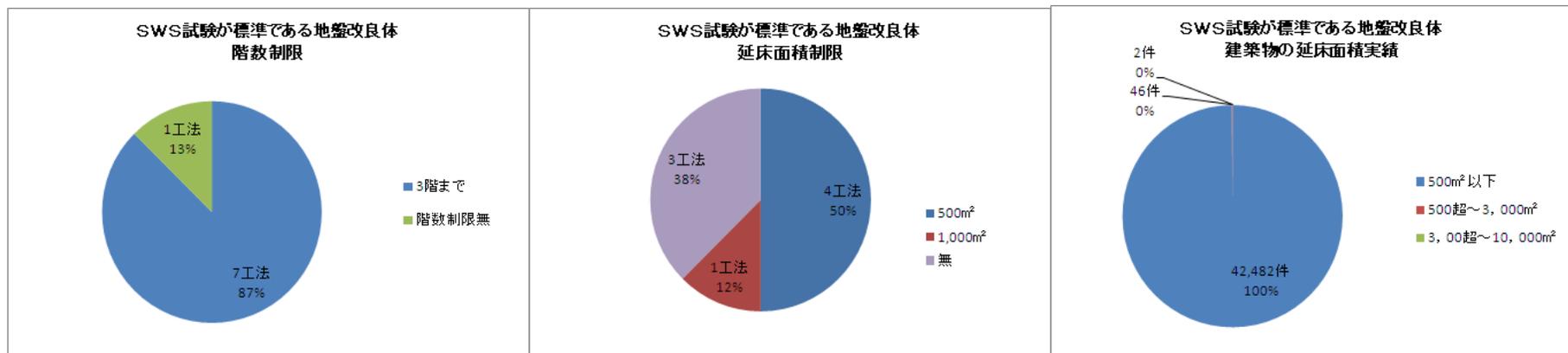
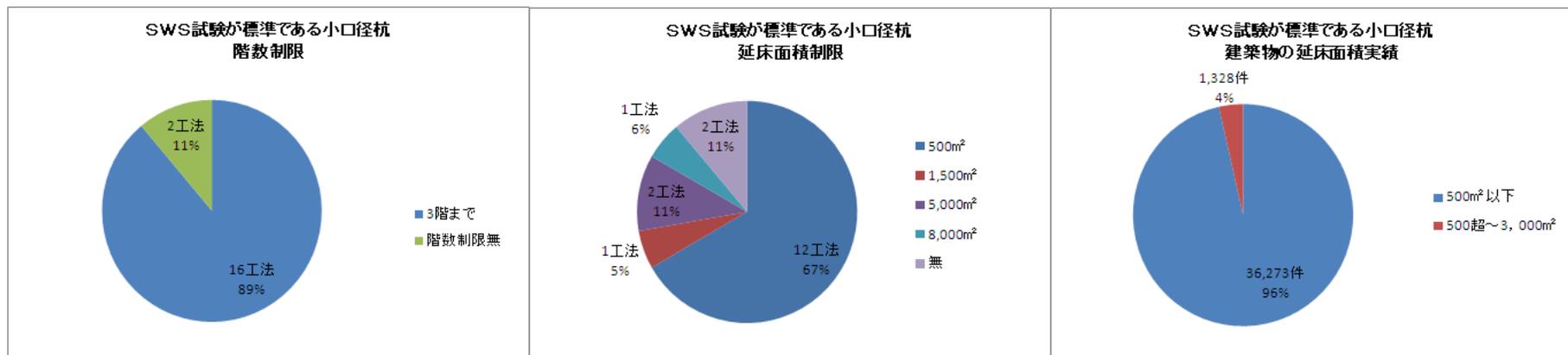
(2)地盤調査 地盤調査と建築物制限の関係の実績

- 大臣認定工法は、延床面積制限がすべて500㎡を超えていた。
- 延床面積の実績は、そのほとんどが3,000㎡以下であった。



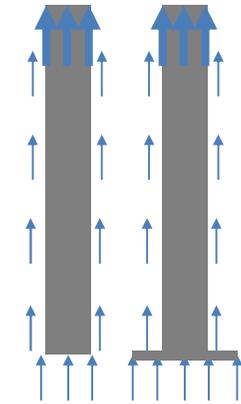
(2)地盤調査 地盤調査と建築物制限の関係の実績

- SWS試験を標準調査法としている杭状地盤補強工法の延床面積制限500m²を超えているものがあった。
- 延床面積の実績は、ほとんどが500m²以下で、3,000m²を超えなかった。

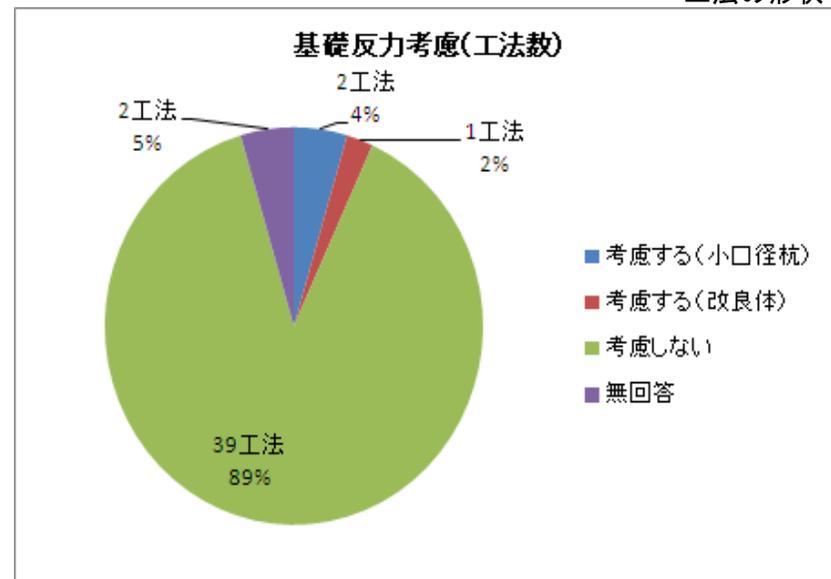
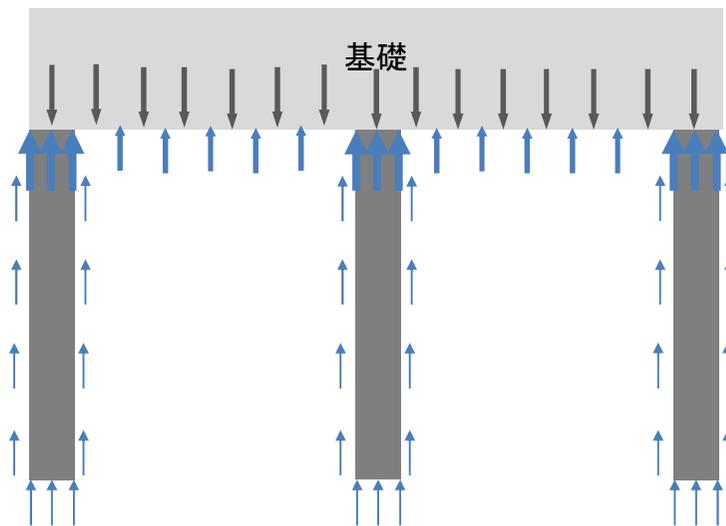


(3) 設計方法 鉛直支持力

- 杭状の地盤補強工法は、杭の支持力機構を用いた設計法となっており、先端支持力と杭軸周面摩擦力のどちらか一方、または両方を考慮.
- 杭の支持力の他に建築物基礎地盤の地盤反力(パイルドラフト)も考慮している地盤補強工法も数件ある.



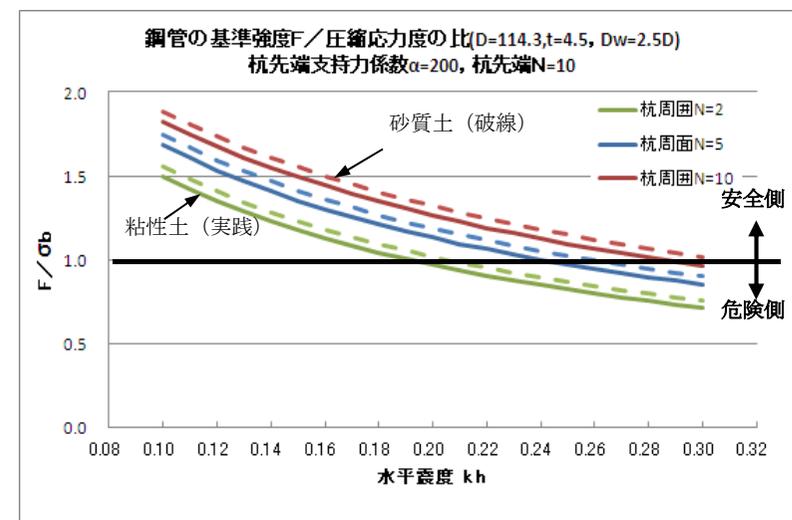
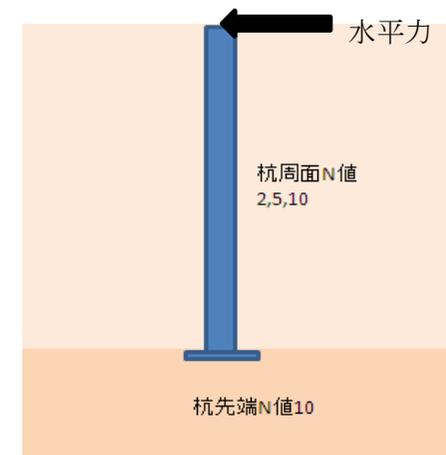
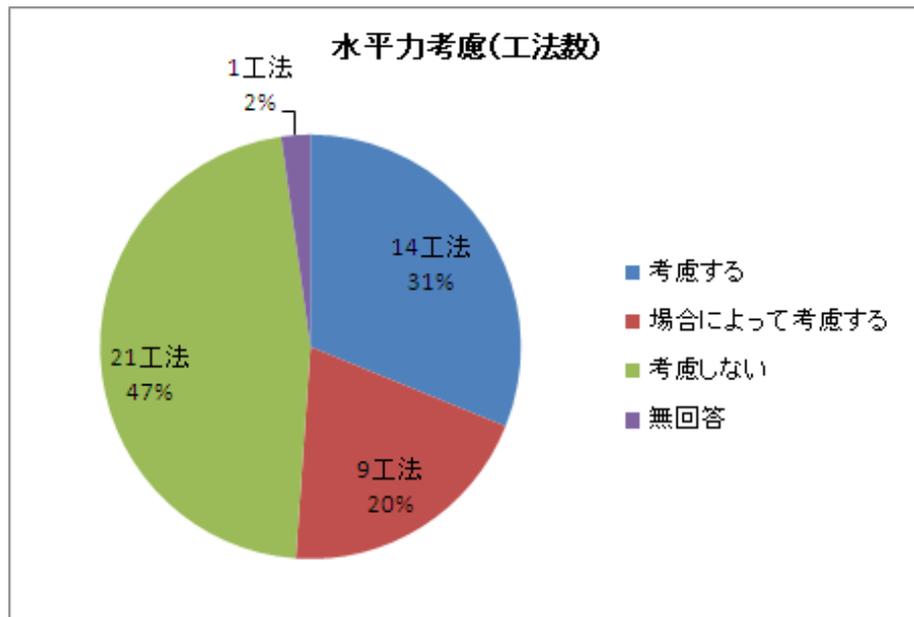
主な杭状地盤補強工法の形状



(3) 設計方法 水平力

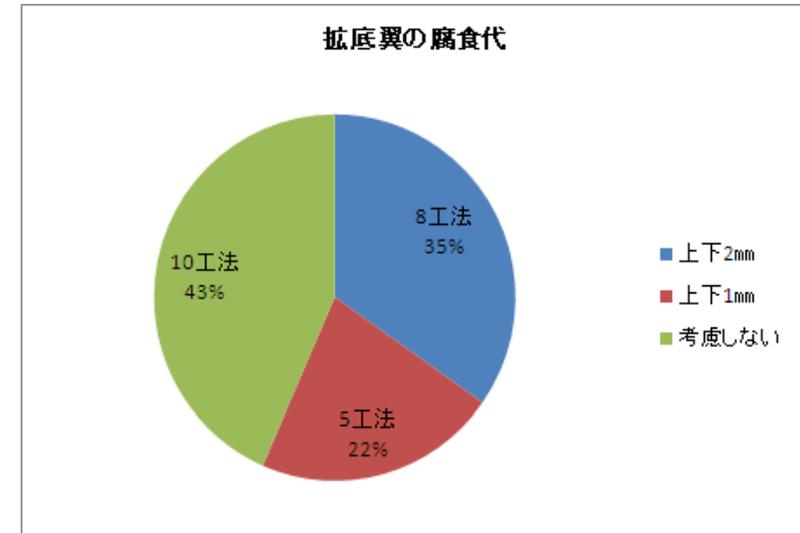
- ・小規模な建築物を対象としている小口径杭は、地盤補強として扱い、その設計は鉛直支持力のみ検討していることが多い。
- ・地盤/荷重条件や支持力係数によっては杭体の損傷が先行する場合もある

水平力	地盤補強工法数
考慮する	14
場合によって考慮する	9
考慮しない	21



(4) 耐久性 腐食代, 防腐・防蟻

- すべての鋼管の小口径杭は腐食代を杭軸外周面1mm考慮していた.
- 腐食代を考慮せずメッキを施している小口径杭が1工法あった.
- 拡底翼(羽根付)の腐食代は, 0~2mm考慮している.



カタログ, 資料より

- ・プラスチック杭の物性は, JIS K 6932(再生プラスチック製標識くい)に適合するもの
- ・木杭の材質は, べいまつ, からまつ, すぎ(JASに適合する目視等級二級以上)で, 「木材保存剤」(JIS k 1570)に準じ, 「木材加圧式防腐処理法」(JIS A 9002)として, 防腐, 防蟻処理を施している

課題(口) まとめ 杭状地盤補強工法

【建築物への適用】

- 階数制限を3階, 延床面積制限を500m²とする地盤補強工法が多い.
- 大臣認定取得の地盤補強工法の延床面積制限は, 3,000m²以下~1,000,000m²であるが, 実績のほとんどは3,000m²以下ある.
- その他の地盤補強工法には, 延床面積制限が500m²超があったが, 実績のほとんどは500m²以下である.
- SWS試験適用(標準貫入試験併用含)の地盤補強工法の実績は, ほとんどが500m²以下, 地盤改良体の実績に3,000m²を超えるものが数件ある.

【地盤調査】

- ほとんどの地盤補強工法の鉛直支持力式は基礎ぐいと同一であり, SWS試験結果からN値を推定するものであった.
- 地盤調査本数は, 1~5本と, 調査方法と工法によって違いがあった.

【設計】

- 地盤補強工法の中で、地震時の水平力を「考慮する」ものがあった。
- 地盤補強工法の中で、建築物基礎の地盤反力を検討するものがあった。
- 先端支持層のN値が大きい場合には、一本当たりの支持力が大きくなり、杭頭に地震時の水平力を考慮すると、杭周面N値が小さい場合、鋼管の基準超える場合がある。

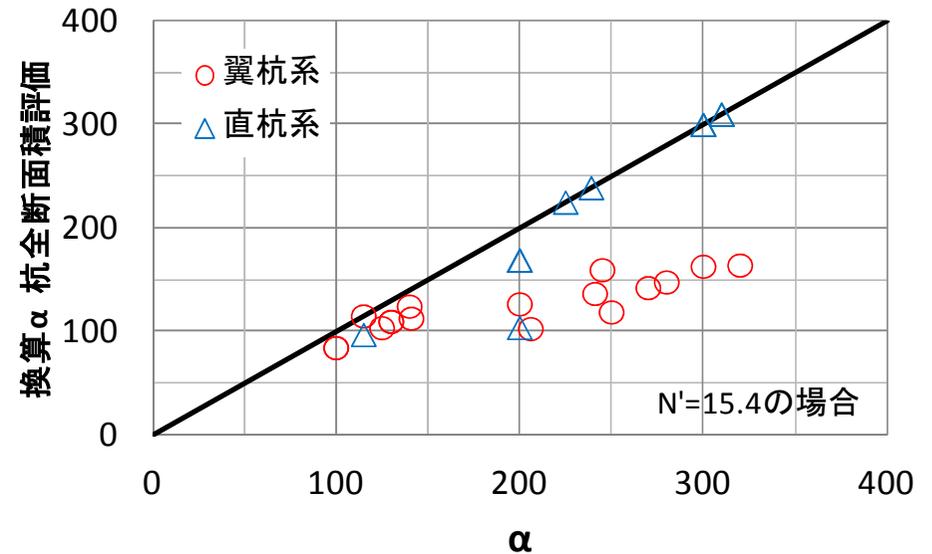
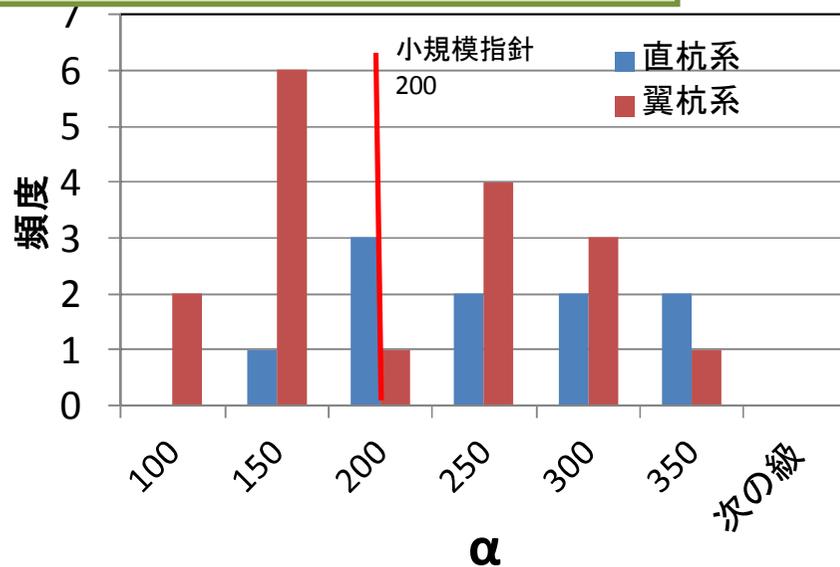
【耐久性】

- 拡底翼の強度については実験やFEM解析により検証されているものが多い。
- 鋼管の腐食代は外周面で1mm考慮しているが、拡底翼は0～2mmであったが、メッキによるものもあった。
- 木杭は常水面以上で施工されているが、樹脂を含浸させ防腐・防蟻処理している例があった。

信頼性解析の目的

SWS試験結果に基づいて支持力算定を行う27件の杭状地盤補強工法に関して、設定された支持力係数の現状分析や調査法の感度を考慮した場合の低減係数の解析を実施した。

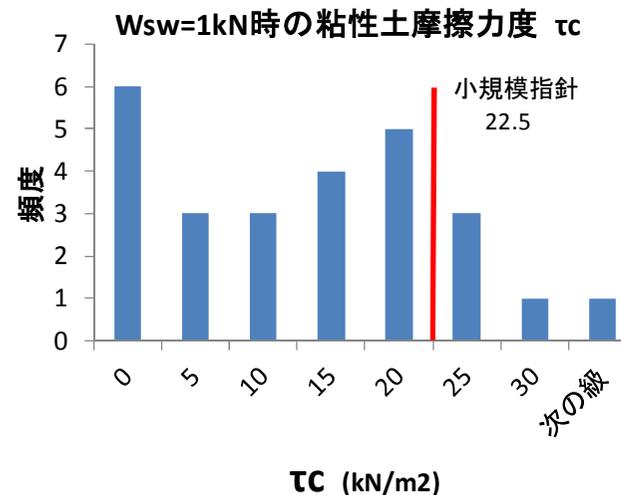
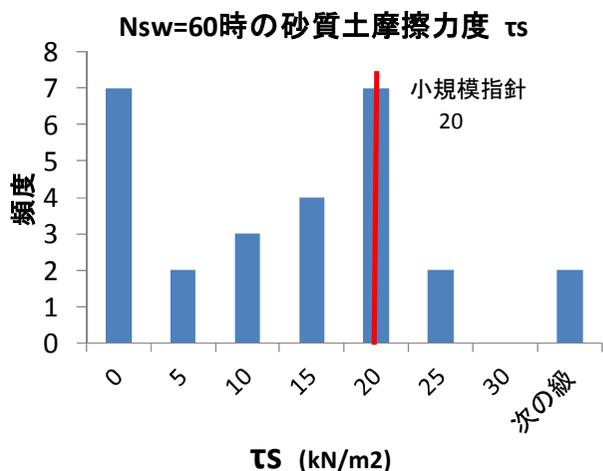
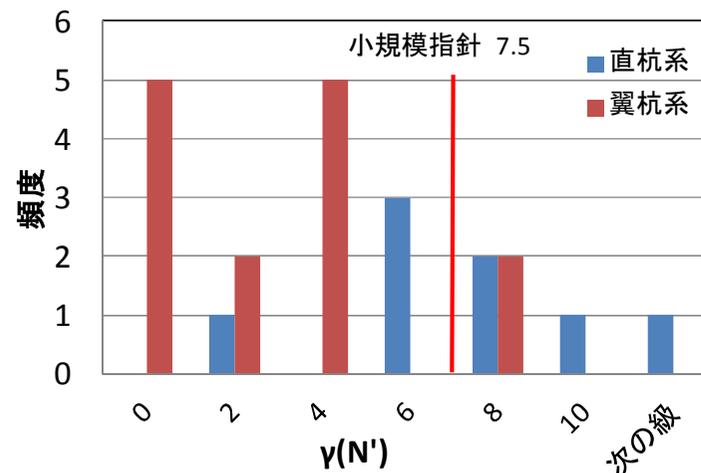
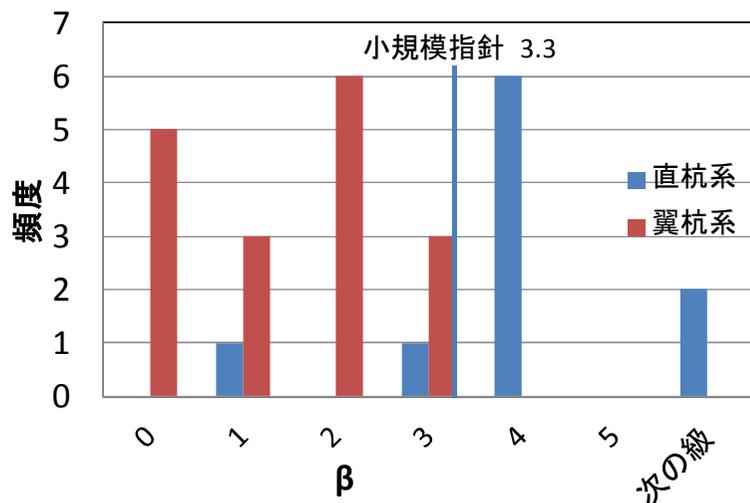
(1) 支持力係数の検討



・支持力係数 α は小規模指針推奨値を超えるものもあった。ただし、翼部面積・N値換算式などの設定方法により支持力値は影響されるので単純な評価はできない。

・翼部面積で除した換算 α は翼系杭では小規模指針推奨値を下回っていた。
直杭で、大臣認定の係数をSWS利用工法にそのまま適用するものが多くあった。

(1)支持力係数の検討



・支持力係数 β は特に直杭で小規模指針推奨値を超えるものも多くあった。
 ・周面摩擦力度では控え目の結果であった。

・支持力係数 γ は q_u からではなく、換算N値から求める工法が多く、小規模指針推奨値を超えるものもあった。

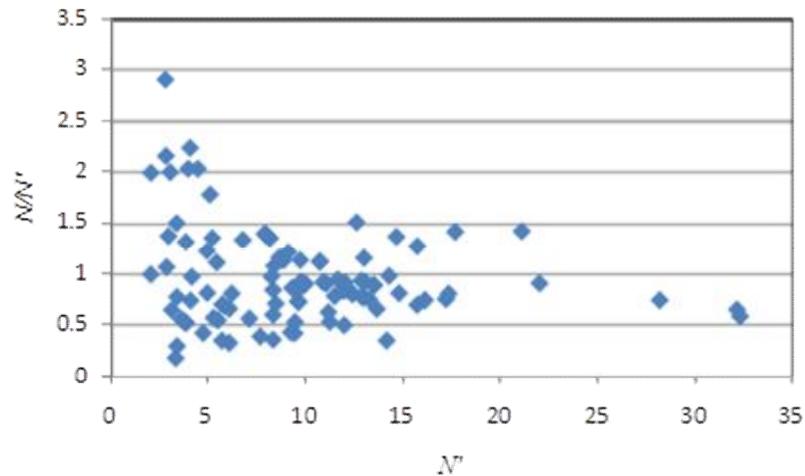
(2)信頼性解析

			A工法	B工法	C工法	D工法
砂地盤	α	平均	184	461		
		標準偏差	51.5	161		
		変動係数	0.28	0.348		
	α'	平均	85.6	370		
		標準偏差	29.8	136		
		変動係数	0.34	0.368		
	β	平均	12.9			19.95
		標準偏差	2.745			0.183
		変動係数	0.213			0.009
	β'	平均	6.87		3.2	20.43
		標準偏差	2.21		1.9	8.33
		変動係数	0.32		0.59	0.41
粘性土地盤	$\gamma(N)$	平均	16.8			21.7
		標準偏差	10.2			12.2
		変動係数	0.61			0.56
	$\gamma'(N)$	平均	15.6		11.38	13.2
		標準偏差	5.52		7	8.7
		変動係数	0.354		0.615	0.66

- ・杭の支持力試験結果に加えて、N値・換算N値(SWS)がある4工法の資料から、N値から求めた係数(α , β , γ)と換算N値から求めた係数(α' , β' , γ')の平均値や変動係数を算定し、比較した。
 - ・砂地盤では、 α' は α に比べて平均値で小さく、変動係数で大きくなった。 β に関しても同様の結果とあった。
 - ・粘土地盤では、 γ' は平均値で γ とほぼ等しく、変動係数で小さくなった。
- 砂地盤では換算N値からの支持力係数は低減する必要がある可能性が指摘される。

(2)信頼性解析

α	平均値	標準偏差	棄却率10%時 の α	比率	設定N/N'		2Cov
	μ	σ			μ	σ	
N値による推定法	200	20	174.4	1	—	—	—
2段階推定法	193	94.5	72.04	0.4130734	0.964	0.472	—
共分散考慮 case1	200	57.5	126.4	0.7247706	0.964	0.472	-0.04
共分散考慮 case2	161	46.7	101.224	0.5804128	0.82	0.402	-0.04



・N値と換算N値の比較から得られたN/N'の平均値と標準偏差に、前述の4工法における α とN/N'の共分散を用いて、棄却率10%時の支持力係数を算定した。

・上記の仮定に依れば、設計にN値に代わって換算N値を用いる場合には、その支持力係数に0.6~0.7程度の係数を乗じる必要がある。

課題(口) まとめ 信頼性解析

- N値とqu値を利用する大臣認定工法の支持力係数を, SWS試験による換算N値に適用する杭状地盤補強工法が多数ある.
- 杭の支持力試験結果とN値・換算N値の比較から, 砂地盤に対する支持力係数 α と β については, 換算N値のそれは平均値で小さく, バラつきで大きくなった.
- α と N/N' の共分散を考慮し, 同等の安全性担保を仮定すると, 換算N値の支持力係数はN値の支持力係数に対して0.6~0.7倍を乗じる必要がある.

まとめ

(イ)水平力の作用する基礎ぐいの構造安全性に関する検討(継続)

常時水平力を受ける杭についての知見を得るため、杭の長期水平載荷試験を実施した。また、回転圧入杭についても実験ならびにFEM解析を実施し、直杭との関係性を検討した。



- ・長期載荷結果から、杭種や沖積層・洪積層によらず、水平変位は速度低下を伴いながら増加する。
- ・水平荷重を順次杭深部で負担することにより、クリープ破壊が認められなかった。
- ・昨年度の実験結果を模擬したFEM解析結果から、回転圧入杭における翼による攪乱によって、地盤の弾性係数は、平均で8割、攪乱部で2割程度に低下する。

(ロ)地盤改良、地盤補強についての検討(継続)

地盤補強工法に関する情報を収集・整理し、施工法・設計法・耐久性等の観点から問題点を把握し、信頼性解析等を実施して、安全上必要となる検討事項等を検討した。



- ・階数や延床面積を小規模建築物の範囲を超えて設定した工法も多数存在するが、実績では3階以下で500m²以下の面積がほとんどであった。
- ・大臣認定杭工法の支持力係数をそのまま換算N値を用いる杭状地盤補強工法に適用するものが存在する。
- ・信頼性解析から、換算N値を用いる場合には、支持力係数を割り引く必要があることが確かめられた。