

港湾・空港施設を対象とした 統一様式による地盤性能報告書の 作成方法に関する研究

広島大学大学院工学研究院
土田 孝

研究の目的と背景

土木構造物は仕様規定型設計から性能規定型設計へ

- ・ 極限時の安定のみでなく、供用後一定期間および地震時を対象とした変形(性能)照査を行い合理的な断面を追求。
- ・ しかし、コンクリート構造物や鋼構造物の設計に比べ、地盤に関する性能設計の手法はまだ十分に確立していない。

港湾・空港施設と地盤改良

- ・ 多くは軟弱な地盤の上に構築され、地盤改良が実施されている。
- ・ いうまでもなく改良された地盤の性能は、上に構築される構造物の性能に決定的な影響を与える。
- ・ 港湾・空港構造物の設計を考える場合、「地盤改良の性能設計」をどう考えるかは、非常に重要な問題である。

地盤の性能、地盤改良の性能とは？

従 来:破壊安全率・支持力・沈下予測

性能設計:上記に加えて

当該地盤・周辺地盤の長期的変形

地震時の変形挙動

地盤の変形が構造物・施設に及ぼす影響

地盤の変形を考慮した施設・構造物の維持管理計画

地盤の性能設計へのニーズ

近年の港湾空港事業では、既存の施設に隣接した臨港道路・場内道路の整備など、近接施工が強いられる現場が増加している。

周辺に既設構造物の杭基礎、建屋、ライフライン埋設物などが近接していることが多い。

工事による地盤変形量を定量的に予測して既設構造物へ与える影響を評価し、必要に応じて対策工を実施する必要がある。

地盤性能報告書とそのねらい

軟弱地盤上に構築される港湾・空港構造物においても詳細な「地盤の性能」とそれらを反映した施設の維持管理計画が求められている。

このためには、地盤の性能・品質に関する必要十分な情報を報告書にまとめ、建設後長期間にわたって地盤の維持・管理に利用できる環境を整えることが不可欠である。

しかし、現状をみると、建設後時間が経過するとともに散逸するなど管理が十分に行われていないのが実状である。

港湾・空港施設における地盤改良・基礎工事を対象に性能規定型設計に対応した地盤性能報告書の作成を提案。

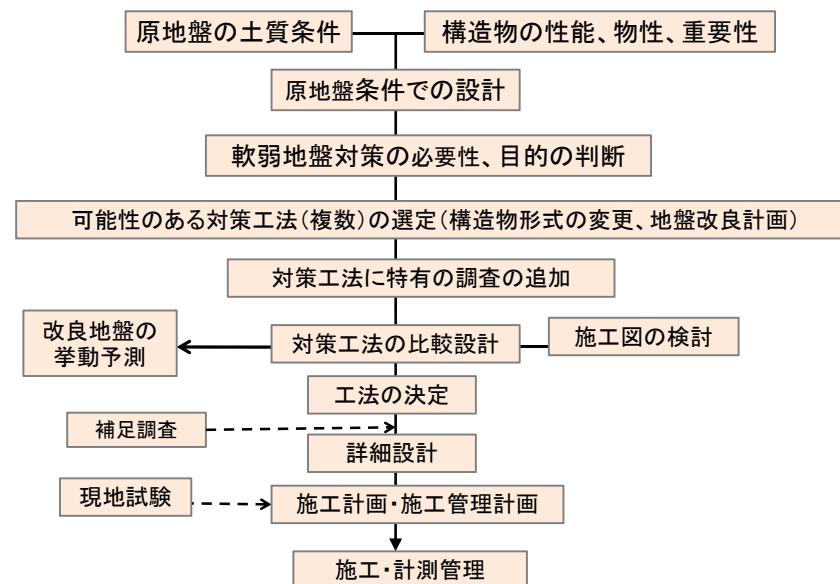
報告書が含むべき情報、設計・解析事項を分析し、作成要領を検討する。

目 次

1. 研究の背景と目的
2. 性能設計の観点から見た地盤改良設計の現状と課題
3. 港湾空港事業における地盤改良性能評価のための新たな構成モデルとそのバーチカドレーン工法による改良地盤への適用
4. サンドコンパクション(SCP)改良地盤における変形性能評価
5. 真空圧密工法で改良された地盤における変形性能評価
6. 港湾・空港施設の地盤品質報告書作成マニュアル(案)
 - 6.1 性能評価のために必要な情報の検討
 - 6.2 バーチカドレーン工法で改良地盤の品質報告書に必要な内容
 - 6.3 SCP工法で改良された地盤の品質報告書に必要な内容
 - 6.4 真空圧密工法で改良された地盤の品質報告書に必要な内容
 - 6.5 地盤の品質報告書作成の方法について

2. 性能設計の観点から見た地盤改良設計の現状と課題

地盤対策の設計の流れ



沈下量の慣用設計法

バーチカルドレーン工法は、1948年にBarronによって理論的解析法が提案され、設計法はほぼ確立され、今も基本的な考え方は変わらない。すなわち、圧密速度以外は通常の載荷重工法の設計法と変わらず、慣用設計法ではmv法、Cc法、e-log p法などにより最終沈下量Sfが求められる。

mv法:
$$S_f = \sum_{i=1}^n m_{vi} \cdot \Delta H_i \cdot \Delta p \tag{2.1}$$

Cc法:
$$S_f = \sum_{i=1}^n \frac{C_{ci}}{1 + e_{0i}} \cdot \Delta H_i \cdot \log \frac{p_{0i} + \Delta p}{p_{0i}} \tag{2.2}$$

e-log p法:
$$S_f = \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_i}{1 + e_{0i}} \cdot \Delta H_i \tag{2.3}$$

ここに、i: 粘土層をn層に分割したときの層番号、 Δp : 荷重増分、 ΔH_i : i層の層厚、 C_{ci} : i層の圧縮指数、 p_{0i} : i層中央の初期鉛直応力、 e_{0i} : p_{0i} に対する間隙比、 e_i : $p_{0i} + \Delta p$ に対する間隙比、 m_{vi} : $p_{0i} + \Delta p/2$ に対する体積圧縮指数

圧密速度に関する慣用設計法(バーチカルドレーン)

慣用法用いられる圧密速度に関する仮定

- 1)ドレーンの透水性は無限大である、
- 2)サンドマットの透水性は無限大である、
- 3)ドレーンへの応力集中は起こらない、
- 4)ドレーン周辺部にスミアドゾーンは生じないとの仮定

慣用設計法では次のバロンの解の近似式が多用される。

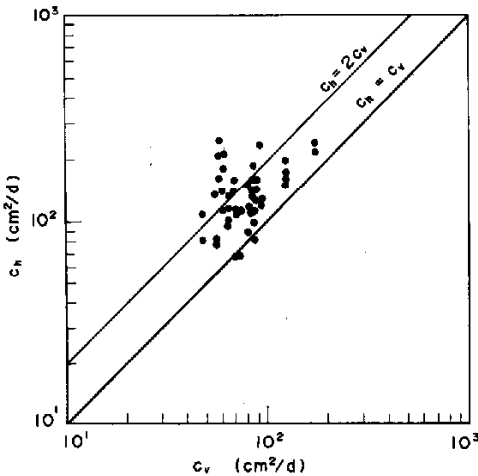
$$U(T_h) = \frac{S(T_h)}{S_f} = 1 - \exp\left\{-\frac{8T_h}{F(n)}\right\} \quad T_h = \frac{C_h}{d_e^2} t \quad F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2}$$

ここに、 C_h : 水平方向圧密係、 d_w : ドレーン径、
 d_e : 等価有効円の直径、 d : ドレーン打設間隔
正三角形配置: $d_e = 1.05d$
正方形配置: $d_e = 1.13d$

水平方向圧密係数 C_h : 一般に垂直方向圧密係数 C_v の1~3倍
慣用法では $C_h = C_v$

考えられる理由: ドレーン打設時の粘土地盤の攪乱により C_h が低下する。
検証は必ずしも十分でないのが現状である。

水平方向圧密係数と鉛直方向圧密係数の関係
(大阪湾沖積粘土)



慣用設計法の課題(バーチカルドレーン工法)

- ・慣用設計法は一次元的な圧密のみを対象としているため、二次元的および三次元的荷重が作用した場合の荷重分散効果や非排水せん断変形の影響を考慮できない。
- ・ゆえに側方変形量を予測することができない点、未改良部の連れ込み沈下量を計算できない点など、その用途は限定される。
- ・地盤条件や施工工程が複雑な場合に、初期条件や境界条件の設定が忠実に考慮できないなどの適用限界がある
- ・地盤の長期的な変形を予測するためには二次圧密を考慮する必要があるが、現行のバーチカルドレーンの慣用設計法では二次圧密の取り扱いが十分確立されていない。

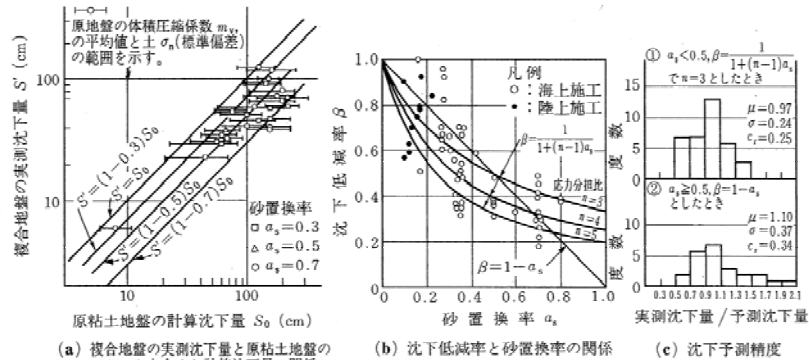
沈下量の慣用設計法(SCP工法)

バーチカドレーン工法に対する設計法の準用。ただし、砂杭への応力集中を考慮して沈下量の低減を行う。最終沈下量 S_f は一般的に次式で表される。

$$S_f = \beta \cdot S_{f0}$$

ここに、 S_{f0} は原地盤(無改良地盤)の圧密沈下量で、 β は沈下低減係数

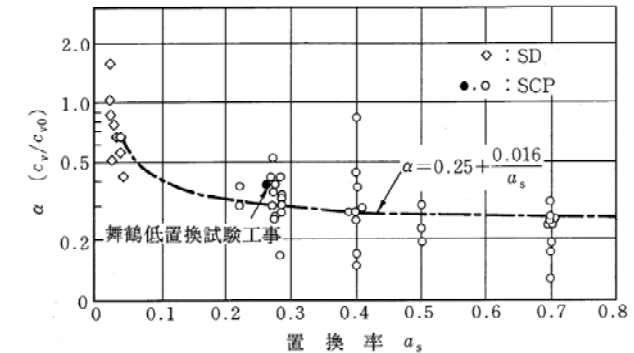
低置換率($a_s < 50\%$): $\beta = \frac{1}{1 + (n-1)a_s}$ 高置換率($a_s \geq 50\%$): $\beta = 1 - a_s$



圧密速度(SCP工法)

Barronの理論解を準用。しかし、砂杭打設による水平方向圧密係数 c_h の現象を考慮する。

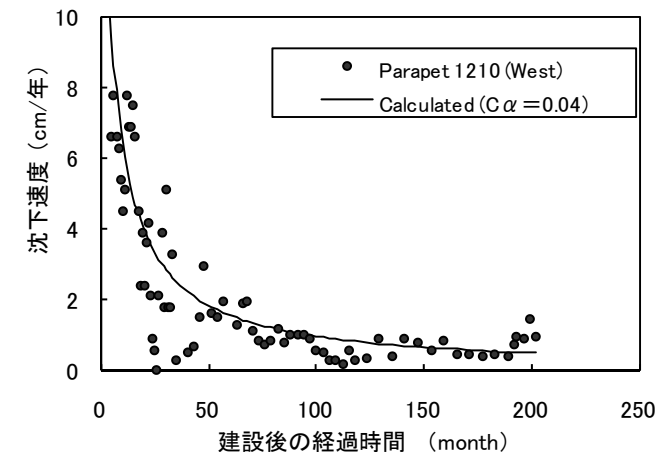
$$C_h = \alpha C_v \quad \alpha = 0.25 + \frac{0.016}{a_s}$$



慣用設計法の課題(SCP工法)

- SCP工法に対する地盤変形予測の慣用設計法は、バーチカドレーン工法と同様の課題がある。
- 応力分担比、沈下低減率、圧密係数の修正係数など、経験的なパラメータや補正係数を導入しているため、現場の条件によっては実測沈下量が予測値と大きく異なる。
- 側方変形量や改良部と未改良部の遷移領域の変形量を精度良く算定することも必要となってくる。
- 杭材として自然砂と力学特性が異なる材料を用いる場合、経験値がそのまま利用できず、予測計算自体が行えない問題が生じる。
- 二次圧密沈下の取り扱いが確立していない。地盤改良を行った場合、改良後の地盤の性能として二次圧密沈下について何らかの評価を行うことは重要。

SCP改良地盤($a=27\%$)における沈下速度と経過時間
(広島県東部浄化センター埋立護岸)



圧密沈下量(深層混合処理工法)

改良率が低い場合や未改良部分を残した浮き型改良を採用した場合、着底型であってもその下部に粘性土層が存在する場合に、圧密沈下の検討が必要となる。

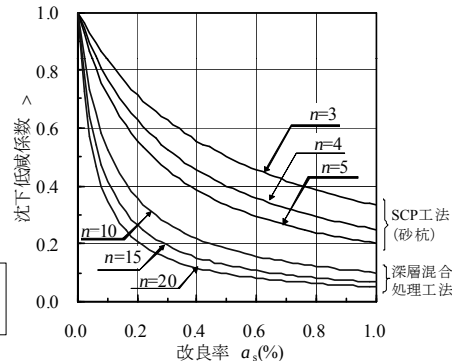
複合地盤として圧密沈下量を計算する(下図)
応力分担比 $n=10\sim20$ の範囲で仮定

深層混合処理工法の技術マニュアルによる補正式

$$S_f = (\beta \cdot S_{f0}) \cdot \alpha$$

ここに、 α は補正係数である。過去の事例より $\alpha=0.15\sim0.40$ 。

水平変位量の評価方法として、有限要素法を別途用いることを推奨



現行設計法における改良地盤の沈下計算手法(慣用設計法)の限界

- ・地盤の鉛直変位の予測を中心とし、地盤全体の变形には適用できない。
- ・地盤全体の变形に関しては「地盤変形解析(数値解析)」による。
- ・過去の施工事例にもとづいた「補正係数」
- ・計算に用いられる仮定の妥当性が不明確。 $c_h=c_v$ など
- ・変形予測の精度が不明



現在の地盤変形解析は性能設計にどの程度対応できるか？

性能設計に求められる 地盤変形解析の要件と課題

- 1) 地盤変形解析結果の予測精度は、慣用圧密計算法と比べて信頼性が低い。予測結果が解析技術者や解析プログラムによって大きくばらつく。
- 2) 特に水平変位(せん断変形)の予測精度は、鉛直変位(圧密沈下)に比べて低く、過大評価される場合が多いとされる。
- 3) 改良地盤のモデル化手法について体系的な解析手法が確立されていない。このため、対策工法や断面形状を比較検討する際の解析手法がバラバラになり、土構造物の性能を統一された手法で評価することができない。
- 4) 性能設計の考え方では、施設や構造物に要求される機能や性能を満たせば、いかなる断面や材料を採用することが可能であり、設計断面の合理化を期待することができる。しかし、現在の地盤変形解析は、解析上の重要な仮定が過去の経験に基づいているため、新しい材料を用いた場合に対応できるかどうか不明である。

軟弱地盤上の試験盛土に対する一斉解析

地盤工学会関西支部 土構造物の品質評価に関する研究委員会(H13～H15年度)

- ・長期的な沈下量のばらつきは大きく、最大28cm(約8%)の差が生じている。実測値と比較すると、いずれの解析結果も沈下量は過大評価となっている。
- ・間隙水圧については、水圧の消散速度に大きな差があり、圧密度を議論する上で無視し得ない差が生じているとしている。
- ・側方変位については、プログラムの違いによって最大9%の差が生じており、ばらつきは沈下量と大差ない。しかし、10cm未満の実測値に対して、解析結果は1.2mを越える側方変位を計算している。

地盤変形解析に必要な情報と予測精度を左右する影響因子

(A) 解析の前提となる情報

1. 原地盤の物性値, 成層状態に関わる情報とそのばらつき
2. 地盤調査や室内土質試験から求められる土質定数の量とその精度
3. 原位置における初期応力および境界条件(変位, 排水)に関する情報とその精度
4. 地盤改良, 埋立, 護岸の構築など施工履歴に関する情報
5. 施工中の沈下, 変形などの計測の信頼性

(B) 解析時のモデル化に関する情報

6. 慣用解析法か数値解析法のいずれを用いたか.
7. 慣用解析法を用いた場合
 - 1) 解析に用いた手法
 - 2) 解析に用いたパラメータの決定方法
 - 3) 解析結果

地盤変形解析に必要な情報と予測精度を左右する影響因子

8. 数値解析法を用いた場合

- 1) 原地盤の力学特性の構成モデルの選択とモデルの精度(力学挙動の再現性)
- 2) 解析に用いるパラメータの決定方法(簡易決定法, あるいは, 土質試験からどのように決定しているか, など)
- 3) 改良後の地盤特性の変化の考慮の有無(改良による攪乱の効果など)
- 4) 盛土や埋立土のモデル化の方法あるいは与えた剛性など
- 5) 使用した解析プログラム(ソフト)の特徴とその解析結果への影響
 - ・数値計算法の違い(応力積分法, 収束計算法, 負荷判定法, 特異点処理法)
 - ・変位と水頭の離散化手法
 - ・解析次元(二次元か三次元か, 荷重分散効果の考慮の有無)
 - ・微小変形理論(幾何学的線形性)と有限変形理論(幾何学的非線形性)
- 6) 解析技術者の習熟度
- 7) 解析結果(建設後の地盤の経時的な変形の予測値)

地盤改良性能評価のための
新たな構成モデルと
その改良地盤への適用

1. バーチカルドレーンで改良した 埋立地盤

異方圧密粘土の構成モデル

- ◆ わが国の実務における軟弱地盤の変形解析では, 関口・太田モデル(弾塑性, 弾・粘塑性)の適用事例が圧倒的に多い.
- ◆ しかし, 沈下量に比べて, 水平変位の予測精度が低い(過大評価)ことが従来より指摘されてきた.



提案する構成モデルのコンセプト

- ◆ 関口・太田モデルによる水平変位の過大評価を改善する構成モデル
- ◆ 土質パラメータは関口・太田モデルと同じ(実用性)

異方圧密粘土の構成モデル

■ 関口・太田の弾塑性モデル

$$f(\sigma', \varepsilon_v^p) = MD \ln \left(\frac{p'}{p'_0} \right) + D\eta^* - \varepsilon_v^p$$

※Cam-clay型降伏曲面
※特異点有り(数値計算上不安定)

$$\eta^* = \sqrt{\frac{3}{2}(\eta_{ij} - \eta_{ij0})(\eta_{ij} - \eta_{ij0})}$$

※降伏曲面の回転は初期応力比と一致

■ 提案モデル(修正関口・太田モデル)

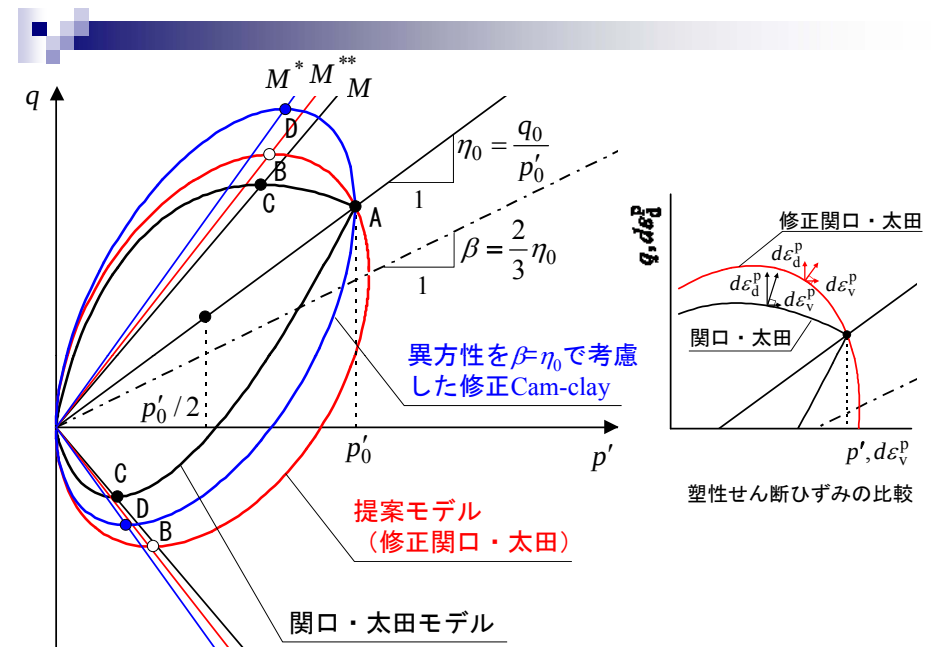
$$f(\sigma', \varepsilon_v^p) = MD \ln \left(\frac{p'}{p'_0} \right) + MD \ln \left(\frac{M^2 + \eta^{**2}}{M^2} \right) - \varepsilon_v^p$$

※修正Cam-clay型降伏曲面
※特異点なし(数値計算上安定)

$$\eta^{**} = \sqrt{\frac{3}{2} \left(\eta_{ij} - \frac{2}{3} \eta_{ij0} \right) \left(\eta_{ij} - \frac{2}{3} \eta_{ij0} \right)}$$

※降伏曲面の回転は初期応力比の2/3
→自然堆積粘土の K_0 値、強度異方性を表現
→ただし、伸張側の一部は弾性応答となる

25



26

修正Cam-clay型降伏曲面と破壊時応力比

✦ 修正Cam-clay型の降伏曲面では、破壊時応力比は非排水せん断試験から求まる M とは一致せず、過大なせん断強度を与えてしまう。言い換えると、試験結果の M を入力値と与えると、破壊時応力比は次式の値となる。

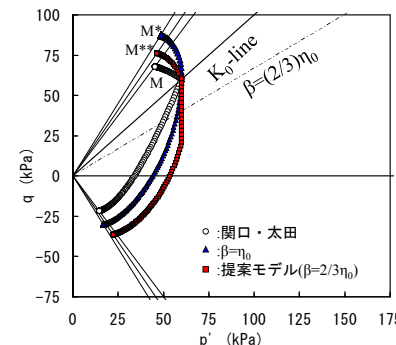
$$M^{*2} = M^2 + \eta_0^2 \quad \beta = \eta_0 \text{ の場合}$$

$$M^{**2} = M^2 + \left(\frac{2}{3} \eta_0 \right)^2 \quad \beta = 2/3 \eta_0 \text{ の場合 (提案モデル)}$$

✦ 降伏曲面の回転を初期応力比からある程度寝かすことによって(2/3), 圧縮側の M の過大評価は軽減され、伸張側はより大きな強度となり、適切な強度異方性を表現できる。

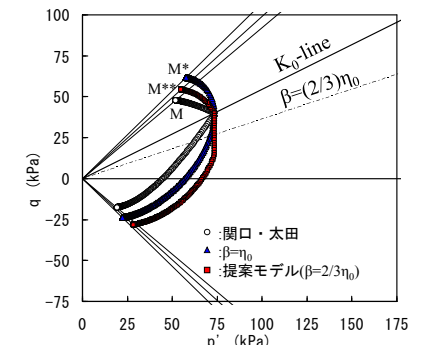
27

提案モデルの非排水せん断特性



$K_0=1-\sin\phi$ より, $\phi=36.9$ 度
 $M=1.500$ (関口・太田)
 $M^*=1.803$ ($\beta=\eta_0$)
 $M^{**}=1.641$ (提案モデル, $\beta=2/3\eta_0$)

(a) $K_0=0.4$



$K_0=1-\sin\phi$ より, $\phi=23.6$ 度
 $M=0.920$ (関口・太田)
 $M^*=1.072$ ($\beta=\eta_0$)
 $M^{**}=0.992$ (提案モデル, $\beta=2/3\eta_0$)

(b) $K_0=0.6$

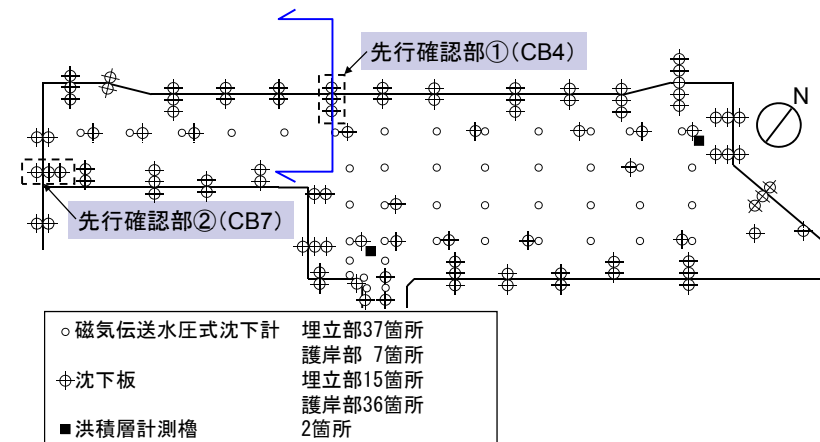
28

施工事例に対する検証

Site	構造形式	地盤改良工法
関西国際空港 2期島	緩傾斜石積式護岸	サンドドレーン
徳山下松港[徳山地区] 土砂処分場	緩傾斜石積式護岸	低置換率SCP ($a_s=30\%$)
呉港[阿賀地区]	ケーソン式岸壁	複合置換率SCP (上部70%+下部50%)
成田市A地区 (内陸部・高有機質土)	試験盛土 ($H=4.7\text{m}$)	プラスチックボードドレーン
徳山下松港[徳山地区] T-9浚渫埋立地	臨港道路建設の ための地盤改良	真空圧密(+盛土)

29

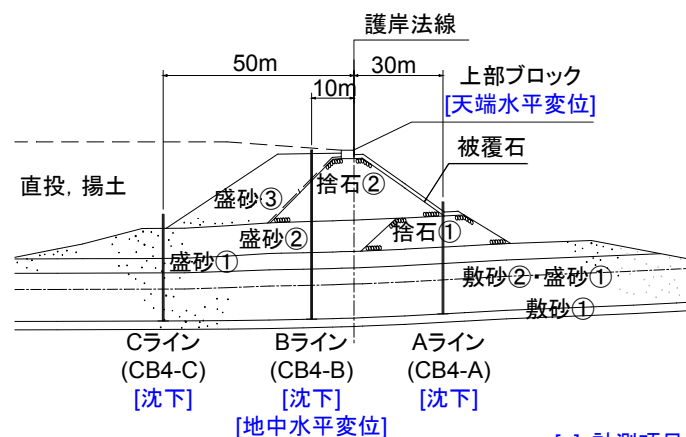
検証事例1: 関空2期島護岸



計測計器配置図

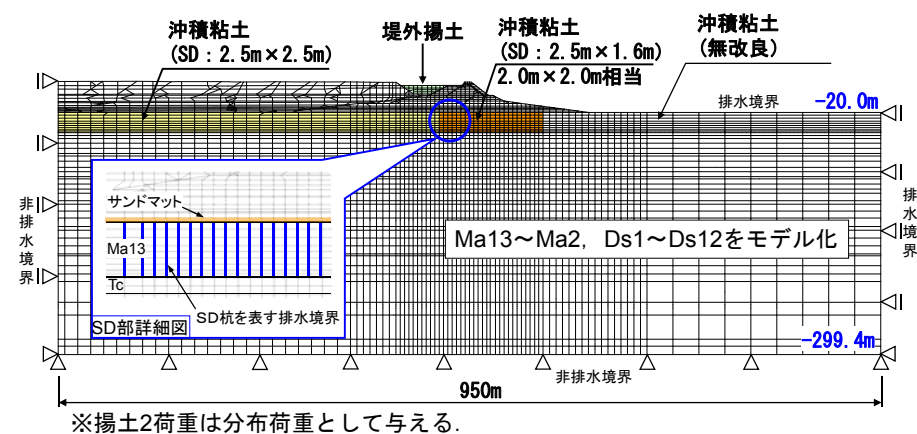
30

検証事例1: 関空2期島護岸



護岸部標準断面図

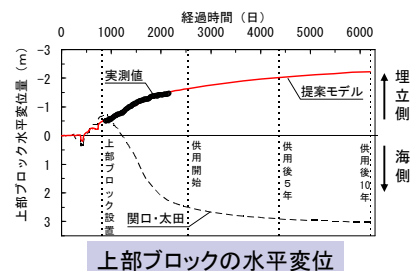
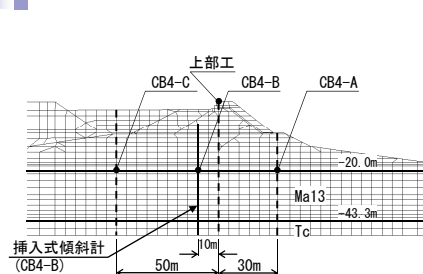
検証事例1: 関空2期島護岸



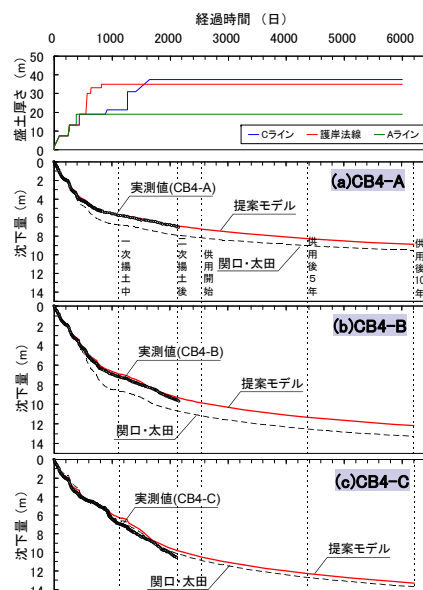
※揚土2荷重は分布荷重として与える。

有限要素メッシュ

32

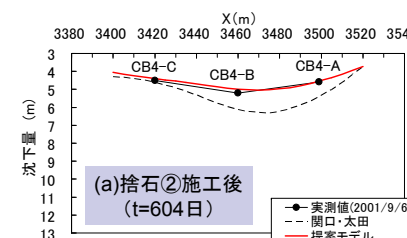
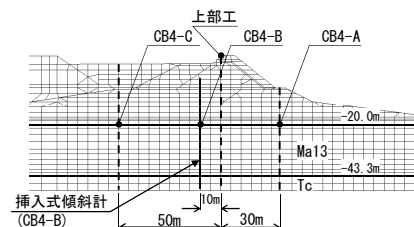


上部ブロックの水平変位

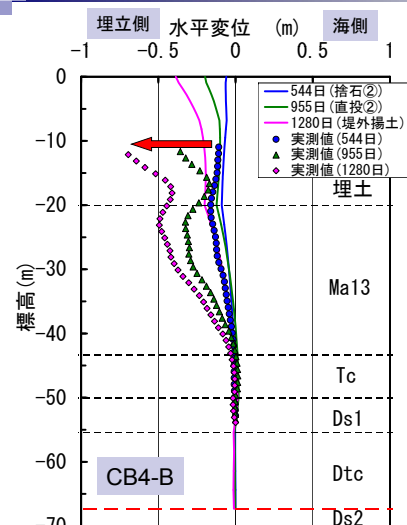
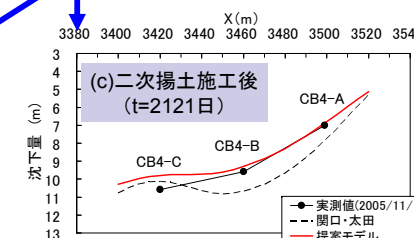
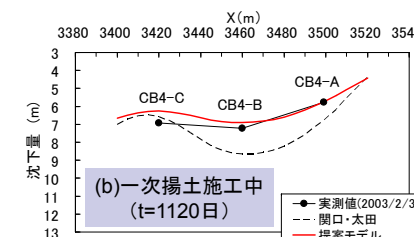


沈下板位置の総沈下量

33

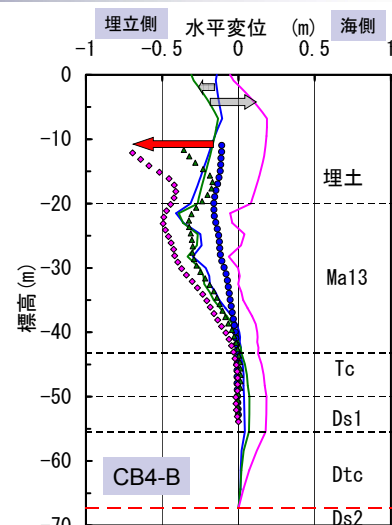


総沈下量の水平分布形状



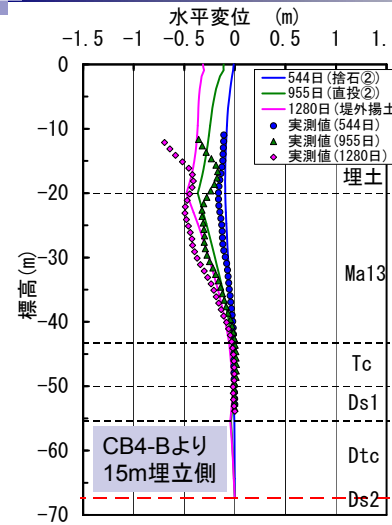
提案モデル
(変形モードは一致)

学位論文公聴会

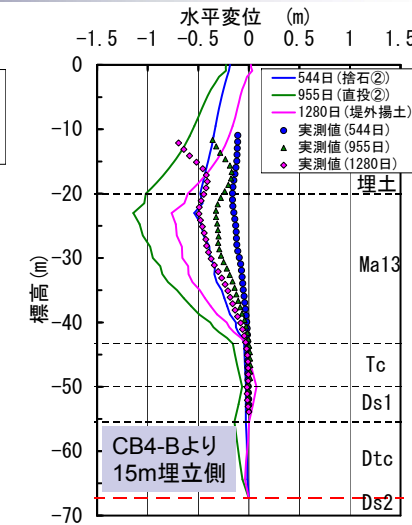


関口・太田モデル
(変形モードが逆)

35



提案モデル
(変形モードは一致)



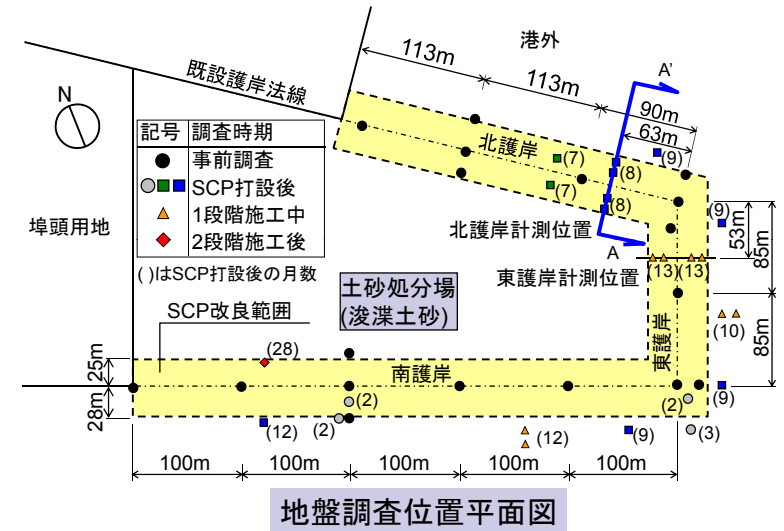
関口・太田モデル
(変形モードが逆)

36

地盤改良性能評価のための
新たな構成モデルと
その改良地盤への適用

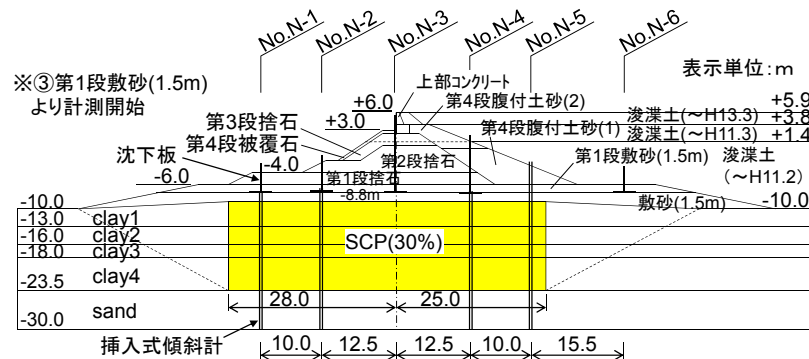
2. サンドコンパクション(SCP)改良地盤における変形性能評価

検証事例2: 徳山下松港土砂処分場



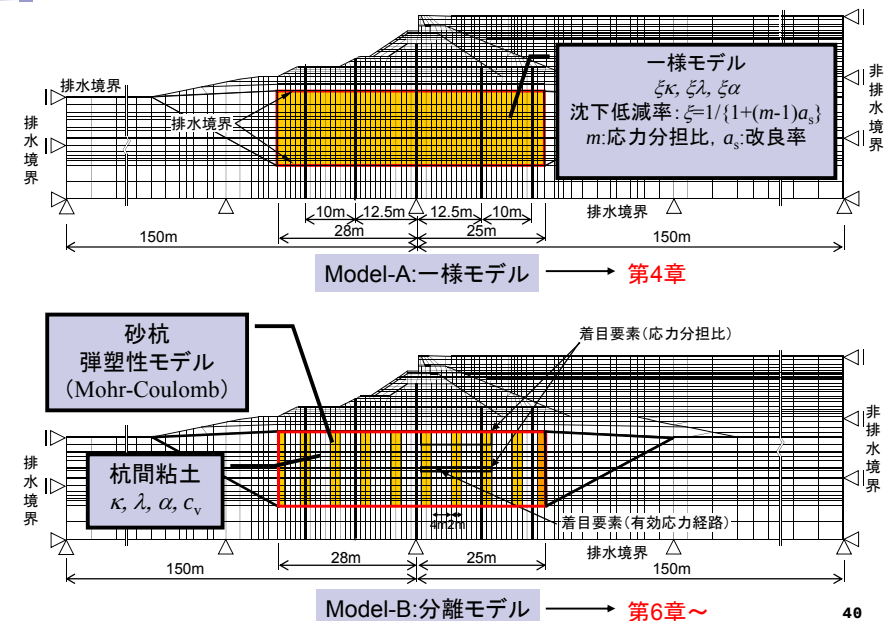
38

検証事例2: 徳山下松港土砂処分場



護岸部標準断面図

39



40

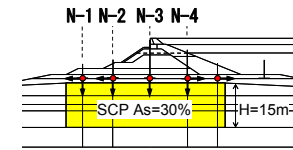
検証事例2: 徳山下松港土砂処分場

解析ケース

Case	構成モデル	応力分担比 m (沈下低減率 ξ)	限界状態応力比 M	
			原地盤	S.C.P.
A1	提案モデル	$m=4$ ($\xi=0.526$)	$M=1.5$	$M=1.5$
B1	関口・太田	$m=4$ ($\xi=0.526$)	$M=1.5$	$M=1.5$
B2	関口・太田	$m=5$ ($\xi=0.455$)	$M=1.5$	$M=2.0$

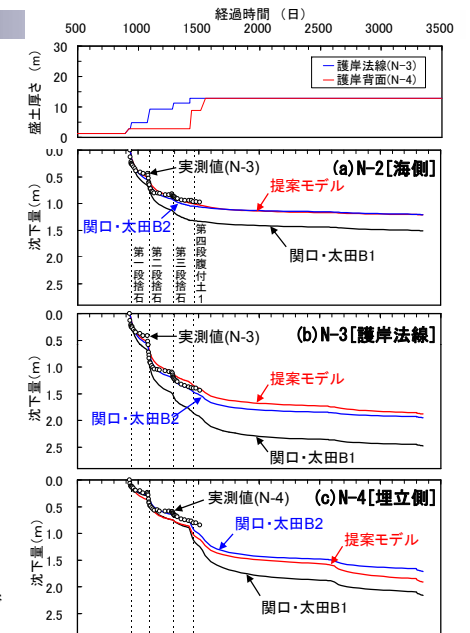
41

解析結果 (沈下)



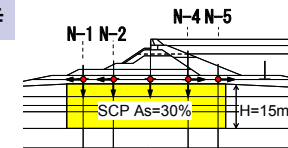
■解析ケース(一様モデル)
 提案モデル : $m=4, M=1.5$
 関口・太田1 : $m=4, M=1.5$
 関口・太田2 : $m=5, M=2.0$
 m : 応力分担比
 M : 限界状態応力比

- 1) 提案モデルは, $m=4, M=1.5$ の組み合わせで実測沈下を良好に再現した。
- 2) 提案モデルと同じ定数を用いた関口・太田モデルは, 実測沈下を過大評価した。
- 3) 関口・太田モデルにおいて, $m=5, M=2.0$ の組み合わせであれば, 実測沈下を良好に再現できた。

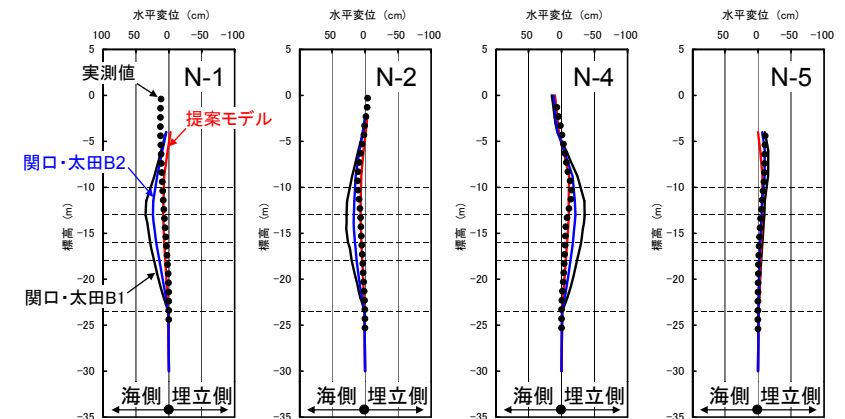


43

第二段捨石時

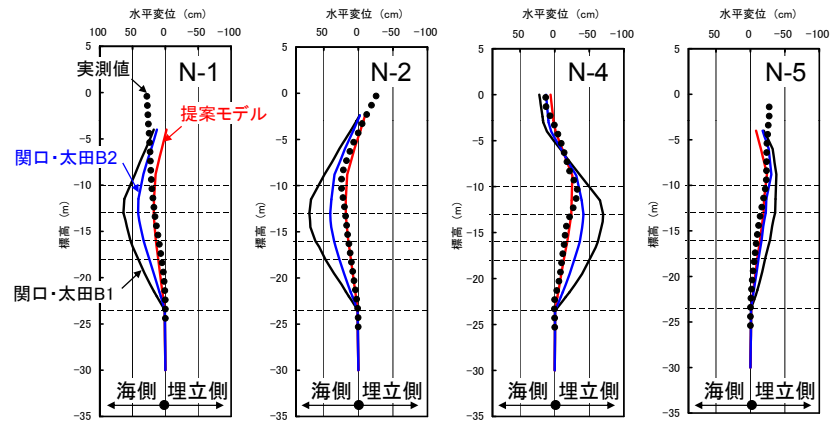


■解析ケース(一様モデル)
 提案モデル : $m=4, M=1.5$
 関口・太田1 : $m=4, M=1.5$
 関口・太田2 : $m=5, M=2.0$
 m : 応力分担比
 M : 限界状態応力比



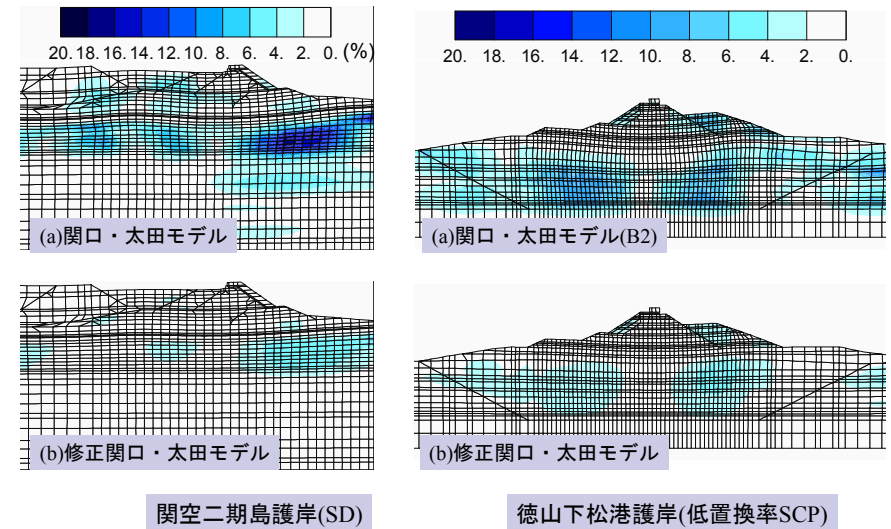
第四段腹付時

- 1) 提案モデルは, $m=4$, $M=1.5$ の組み合わせで実測水平変位を良好に再現した.
- 2) 提案モデルと同じ定数を用いた関口・太田モデルは, 実測水平変位を3倍以上過大評価した.
- 3) 関口・太田モデルにおいて, $m=5$, $M=2.0$ の組み合わせでも, 実測水平変位を2倍程度過大評価した.



45

せん断ひずみ分布

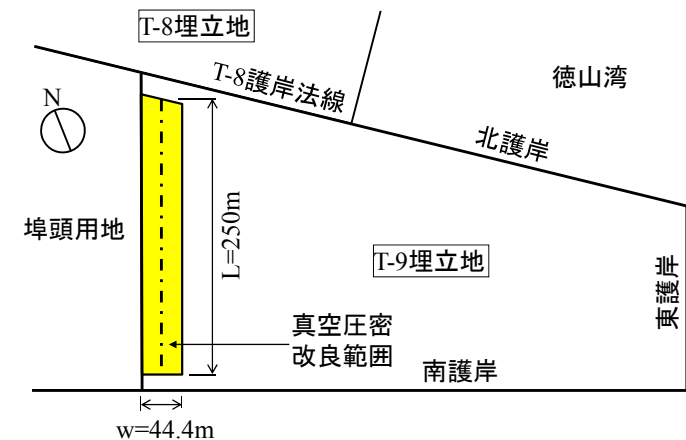


46

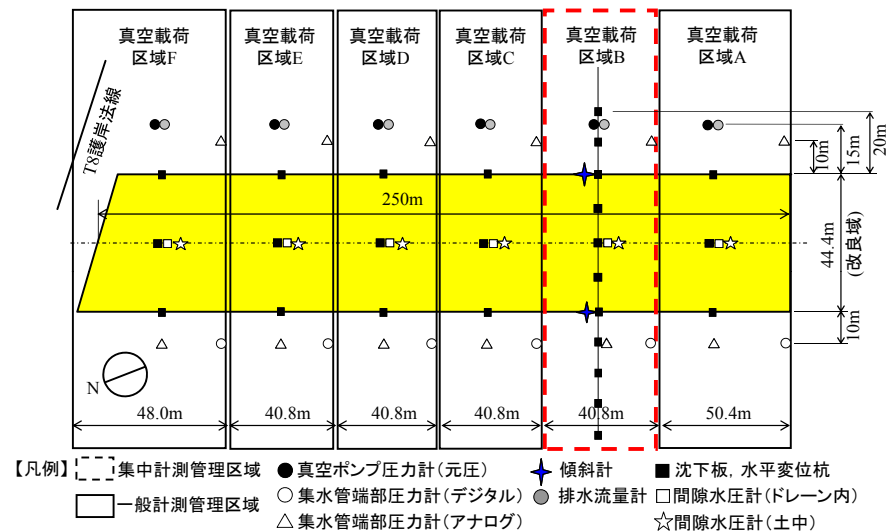
地盤改良性能評価のための
新たな構成モデルと
その改良地盤への適用

3. 真空圧密工法で改良された地盤における 変形性能評価

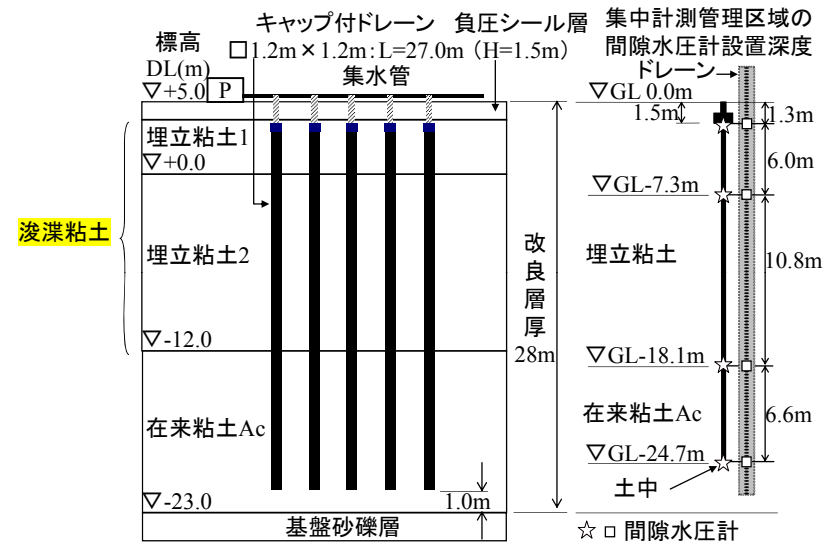
検証事例5: 浚渫埋立地の真空圧密工法



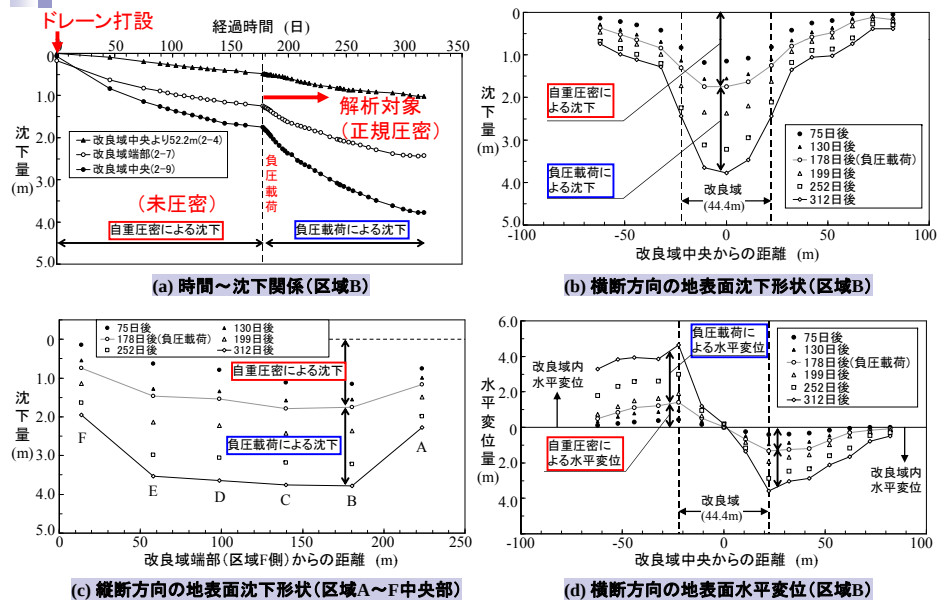
48



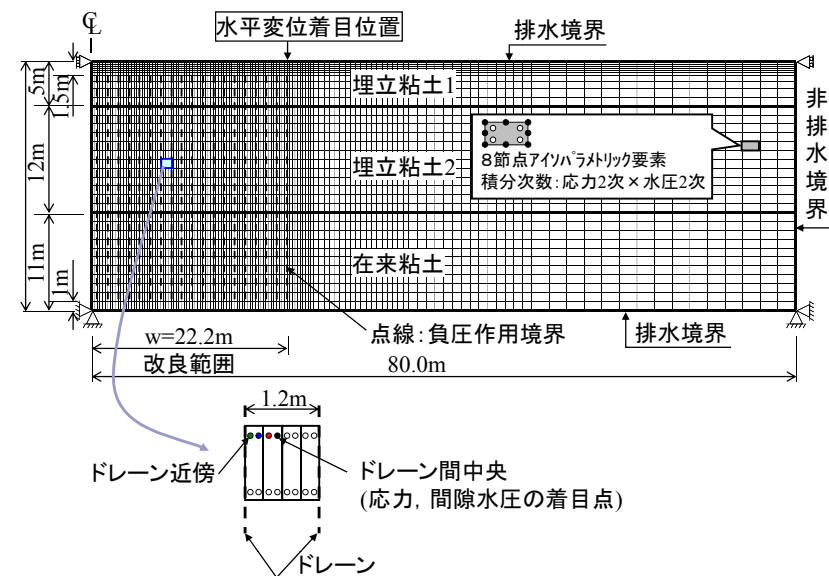
49

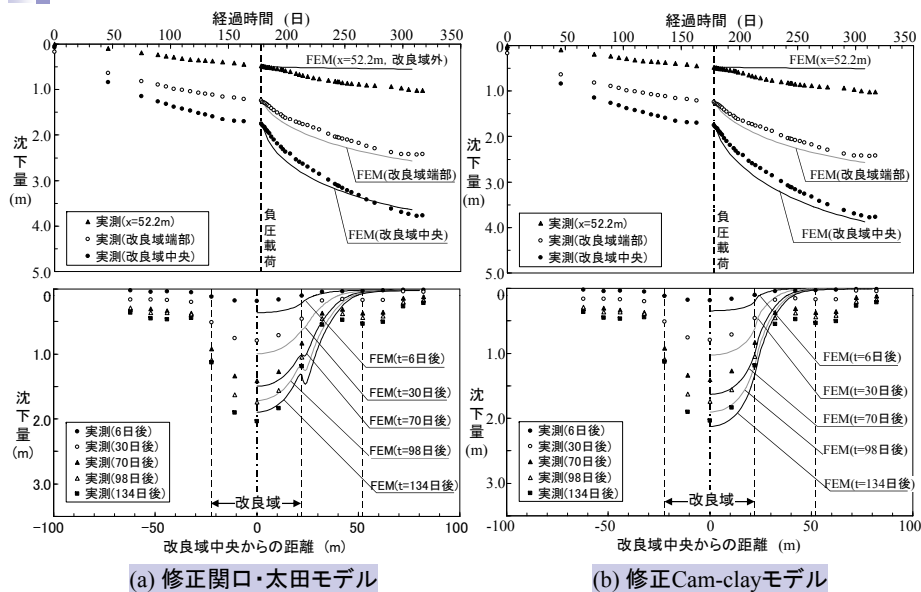


50



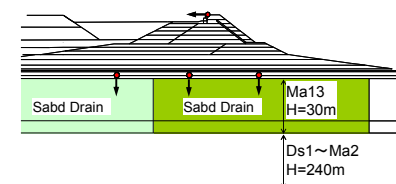
51



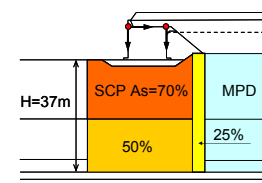


53

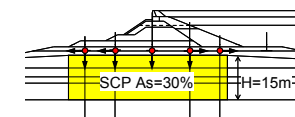
検証解析のまとめ



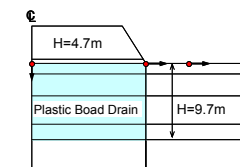
(a) 関空二期島(SD)



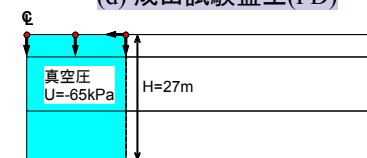
(c) 呉港(複合置換率SCP)



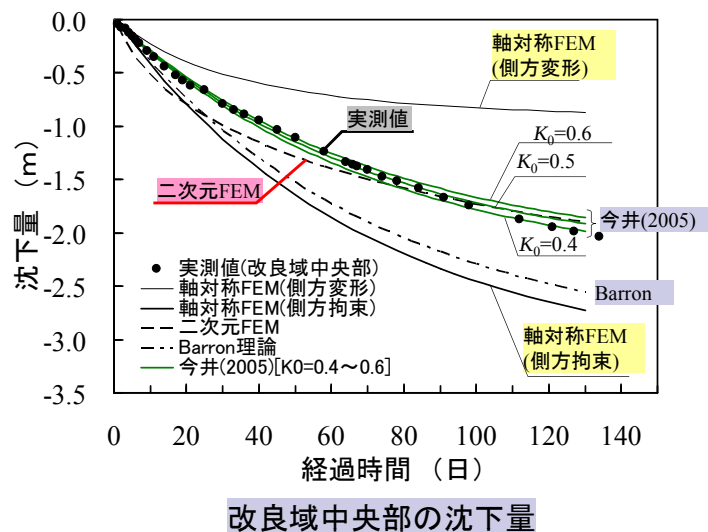
(b) 徳山下松港(低置換率SCP)



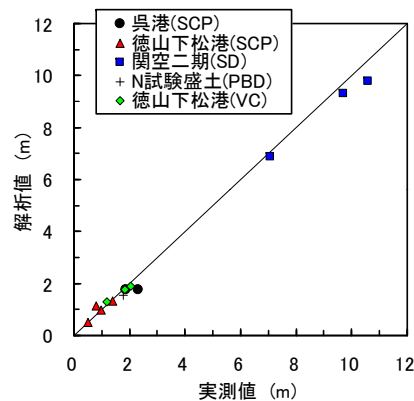
(d) 成田試験盛土(PD)



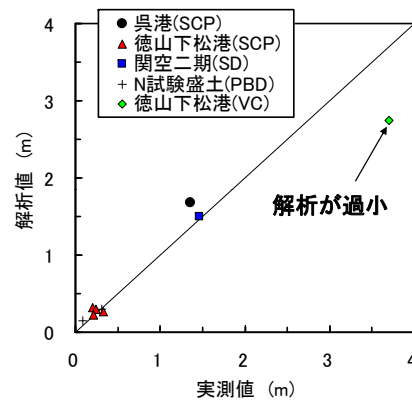
(e) 徳山下松港(真空圧密)



検証解析のまとめ



(a) 鉛直変位 (沈下量)



(b) 水平変位

改良した地盤に対する新たなモデルによる 解析結果のまとめ

- ◆ サンドドレーン改良地盤, 低置換率SCP改良地盤, 複合置換率SCP改良地盤, プラスチックボードドレーン改良地盤, 真空圧密による改良地盤における沈下量を高い精度で予測できる。
- ◆ 従来過大評価されることが多かった水平変位についても, 変形モードや水平変位量の絶対量を実務上十分な精度で予測可能であることを確認した。
- ◆ 限られた検証解析による結論であるため, 他の事例についても, 再現解析を実施する必要がある。

港湾・空港施設の地盤品質報告書 作成マニュアル(案)

バーチカルドレーン工法で改良された地盤の品質 報告書に必要な内容 (1) 地盤調査結果の情報

1. 現場の位置情報
2. 構造物と地盤改良の平面図, 代表断面の位置図
3. 代表断面の断面図
4. 土質柱状図と土質特性
 - 粘性土: 深度と自然含水比, 液性限界, 塑性限界, 単位体積重量
 深度と非排水せん断強さ s_u (あるいは一軸圧縮強度 q_u の1/2)
 深度と圧密降伏圧力 p_c , 圧縮指数 C_c , 正規圧密領域の圧密係数 c_v
 代表試料による有効応力に関する内部摩擦角 ϕ' , 静止土圧係数 K_0
 - 砂質土: 深度とN値および細粒分含有率, N値から ϕ_d の求め方

バーチカドレーン工法で改良された地盤の品質 報告書に必要な内容(2) 設計時の情報

- 5. 設計時の情報
 - 5.1 改良の目的・考え方
 - 5.2 設計に用いた代表断面(数値解析の場合はメッシュ図)
 - 5.3 設計に用いた地盤のパラメータ(数値解析の場合は構成モデル).
パラメータ設定の根拠. 水平方向圧密係数の設定方法. 強度増加率の設定とその根拠.
 - 5.4 ドレーンの配置とドレーンの長さ, ドレーン材の種類, 砂の場合は
粒度, 透水係数
 - 5.5 サンドマットの粒度, 透水係数
 - 5.6 載荷履歴(設計時)
 - 5.7 安定解析の方法.
 - 5.8 各施工段階での安定解析結果.
 - 5.9 沈下解析の方法. 水平変位の計算方法. 二次圧密の計算方法
 - 5.10 各段階での時間～沈下関係. 各段階での時間～水平変位関係

バーチカドレーン工法で改良された地盤の品質報告 書に必要な内容(3) 地盤の数値解析に関する情報

- 5.11 (数値解析を用いた場合)
 - 1) 原地盤の力学特性の構成モデルの選択
モデルの精度(力学挙動の再現性)に関する情報
 - 2) 解析に用いるパラメータの決定方法
 - 3) 改良後の地盤特性の変化の考慮の有無(改良による攪乱の効果など)
 - 4) 盛土や埋立土のモデル化の方法あるいは与えた剛性など
 - 5) 使用した解析プログラム(ソフト). プログラムの特徴
応力積分法, 収束計算法, 負荷判定法, 特異点処理法
変位と水頭の離散化手法
小変形理論(幾何学的線形性)か有限変形理論(幾何学的非線形性)
 - 6) 解析次元.
二次元の場合, 三次元を二次元にモデル化するために用いた仮定.

バーチカドレーン工法で改良された地盤の品質報告 書に必要な内容(4) 施工時の情報と性能評価結果

- 6. 施工時の情報
 - 6.1 施工に用いたドレーン, サンドマットの情報.
 - 6.2 ドレーンの打設方法.
 - 6.3 施工時の地盤の載荷履歴.
 - 6.4 沈下, 水平変位の計測データ. 設計時の沈下予測との比較.
 - 6.5 強度増加, 間隙水圧消散の確認データ. 設計時の予測値との比較.
- 7. 改良地盤の性能評価結果
造成した地盤の施工後50年間の変形予測および強度予測. 周辺地盤
への影響の予測.(設計時に予測. 施工時に問題がなければ設計時
の予測値. 施工中および施工後に見直した場合は見直した予測値)
地震時の地盤変形の予測結果と評価

サンドコンパクションパイル工法で改良された地盤の品 質報告書に必要な内容 (1) 地盤調査結果の情報

- 1. 現場の位置情報
- 2. 構造物と地盤改良の平面図, 代表断面の位置図
- 3. 代表断面の断面図
- 4. 土質柱状図と土質特性
粘性土: 深度と自然含水比, 液性限界, 塑性限界, 単位体積重量
深度と非排水せん断強さ s_u (あるいは一軸圧縮強度 q_u の1/2)
深度と圧密降伏圧力 p_c , 圧縮指数 C_c , 正規圧密領域の圧密係数 c_v
代表試料による有効応力に関する内部摩擦角 ϕ' , 静止土圧係数 K_0
砂質土: 深度とN値および細粒分含有率, N値から ϕ_d の求め方

サンドコンパクションパイル工法で改良された地盤の品質報告書に必要な内容(2) 設計時の情報

5. 設計時の情報

- 5.1 改良の目的・考え方
- 5.2 設計に用いた改良平面図(数値解析の場合はメッシュ図)、配杭図、改良率
- 5.3 設計に用いた地盤のパラメータ、パラメータ設定の根拠、水平方向圧密係数の設定方法、強度増加率の設定とその根拠
- 5.4 砂杭の強度定数とその考え方、応力分担比の設定とその根拠
- 5.5 施工および地盤の載荷履歴(設計時)
- 5.6 改良地盤の安定解析の方法、複合地盤の強度算定方法
- 5.7 各施工段階での安定解析結果(改良後の安全率)、安定解析の安全率の計算方法
- 5.8 改良後の沈下量の計算方法、沈下低減係数の考え方(chの設定法)、水平変位、二次圧密の計算方法
- 5.9 各段階での時間～沈下関係、各段階での時間～水平変位関係
- 5.10 盛り上がり形状の推定結果(設計)

サンドコンパクションパイル工法で改良された地盤の品質報告書に必要な内容(3) 地盤の数値解析に関する情報

5.11 (数値解析を用いた場合)

- 1) 原地盤の力学特性の構成モデルの選択
モデルの精度(力学挙動の再現性)に関する情報
- 2) 解析に用いるパラメータの決定方法
- 3) 改良後の地盤特性の変化の考慮の有無(改良による攪乱の効果など)
- 4) 水平方向圧密係数の設定方法、強度増加率の設定とその根拠
- 5) 複合地盤のモデル化の方法(砂杭と杭間粘性土を一体として扱う一様モデルか、砂杭と杭間粘性土を別々の力学モデルで分離して扱う砂杭モデルか)
- 6) 砂杭の強度定数とその考え方、応力分担比の設定とその根拠
- 7) 使用した解析モデル化プログラム(ソフト)、プログラムの特徴
応力積分法、収束計算法、負荷判定法、特異点処理法
微小変形理論(幾何学的線形性)か有限変形理論(幾何学的非線形性)
- 6) 解析次元: 二次元の場合、三次元を二次元にモデル化するために用いた仮定

サンドコンパクションパイル工法で改良された地盤の品質報告書に必要な内容(4) 施工時の情報と性能評価結果

- 6.1 施工進捗図(改良順序、打設方向)
- 6.2 施工方法(打設方式、1ステップの造成長さ)
- 6.3 サンドマットの有無、使用した砂の産地と粒度特性、砂の細粒分含有率、最大、最小密度
- 6.4 砂投入量(食い込み率)
- 6.5 杭心におけるN値、N値の測定頻度、その他の品質確認の有無(コーン貫入試験など)
- 6.6 動態観測データ(周辺地盤の変位計測などあれば)
- 6.7 盛り上がり量の計測結果
- 6.8 盛り上がり土に対する対処(撤去、撤去しない場合の処理方法)
- 6.9 上載構造物施工後の沈下量および側方変位量(あれば)
7. 改良地盤の性能評価

造成した地盤の施工後50年間の変形予測および強度予測、周辺地盤への影響予測。(設計時に予測、施工時に問題がなければ設計時の予測値、施工中および施工後に見直した場合は見直した予測値)

地震時の地盤変形の予測結果と評価

地盤の品質報告書作成の方法

- ① 構造物が満足すべき性能を発注者が規定し、設計コンサルタントに発注する。
- ② 設計コンサルタントは性能をもとにもっとも合理的な設計を行い、設計書とともに、地盤の品質報告書に設計時の情報を記載し、発注者に提出する。
- ③ 発注者は施工者に本報告書を渡し、設計の趣旨にそった施工を実施するよう促すとともに、施工時の情報の追加を求める。施工者は施工時の情報を本報告書に追加して発注者に提出する。
- ③ 発注者は施工時の情報が含まれた報告書を設計者に渡し、地盤の性能に関して再検討を依頼する。設計者は設計時の予測と施工時の情報を比較検討し、改良後の地盤の性能評価を行い、「改良した地盤の性能報告書」を完成させる。

地盤の品質報告書の意義

以上の手順で作成された改良地盤の品質報告書は、その上に構築される港湾・空港施設において今後発生する地盤の変形とそれによる維持補修の計画を立案する上で有用な情報となる。

また、建設後年月を経て施設を改変する際にも地盤の条件が明確になり大きく役立つと予想される。また、耐震強化策の検討や、地震等で被災した際の復旧においても直ちに活用でき、港湾・空港施設のアセットマネジメントにおいて基本となる情報になると考える。