

平成24年度 建築基準整備促進事業

小規模建築物に適用する
簡易な液状化判定手法の検討

検討結果報告

平成25年4月15日

事業者：株式会社 東京ソイルリサーチ
共同研究者：独立行政法人 建築研究所



本業務の背景

東北地方太平洋沖地震では、液状化により戸建住宅等の小規模な建築物に沈下や傾斜の被害が発生し、戸建住宅を対象とした低コストな液状化判定手法の確立が課題として提起された。

平成23年度に弊社が実施した課題番号43「住宅の液状化に関する情報の表示に係る基準の整備に資する検討」では、各種液状化判定法の比較検討を行い、「建築基礎構造設計指針(日本建築学会)」の判定法(FL法)が、今回のような大規模地震でも適用可能であることを確認した。

FL法は、ボーリング調査で得られるN値、土の細粒分含有率、地下水位などの情報が必要である。FL法が戸建住宅で使われるためには、戸建住宅の地盤調査として用いられている、低コストなスウェーデン式サウンディング試験(SWS)からこれらの情報を取得する必要があるが、検討が十分でないことが指摘されている。

本業務の目的

簡易な液状化判定法として、スウェーデン式サウンディング試験（SWS試験）、土の試料採取（細粒分含有率）、地下水位測定などの実施によるFL法が、小規模建築物の実務で使われることを目的として、その精度向上の可能性と、手法の適用範囲を明らかにすることを目的とした。

本業務の検討内容

- (1) SWS試験結果によるN値の推定方法
- (2) SWS試験孔を利用した土の試料採取方法の適用性
- (3) 採取試料の細粒分含有率の適用性
- (4) SWS試験孔を利用した地下水位測定方法の適用性



簡易な液状化判定法の提案

本業務の実施内容

< 一斉試験の実施 >

現在、使用されている各種のサンプラー(6種)や地下水位測定(6種)を、同一箇所で行い、ボーリング調査結果との対比により、その適用性を比較検討する

採取可能深度、採取量、適用土質、作業時間、採取コスト

地下水位の測定精度、測定コスト

- ・ N_{sw} (W_{sw}) ~ N 値の相関性の確認
- ・ 採取試料による細粒分含有率の妥当性の検討
- ・ SWS試験-FL法による液状化判定の試算

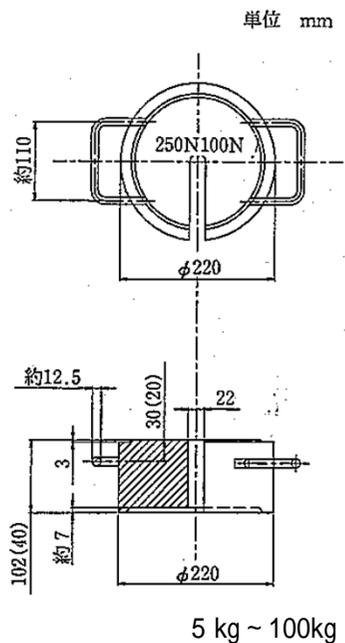
< 6箇所調査 (東京湾岸の埋立地6箇所での現地調査) >

ボーリング調査とSWS試験・試料採取・地下水位測定をセットで実施し、液状化判定法を検討する

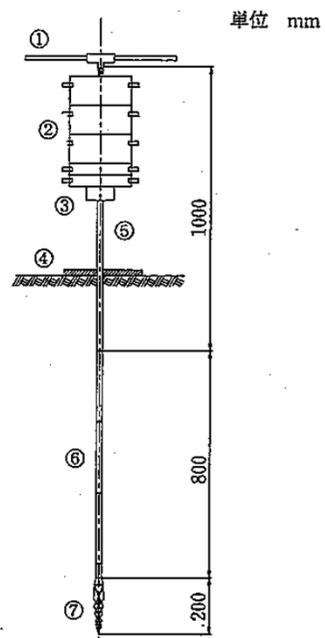
N_{sw} (W_{sw}) ~ N 値の相関性の検討

採取試料からの細粒分含有率の設定方法の検討

SWS試験-FL法による液状化判定方法の適用性の検討

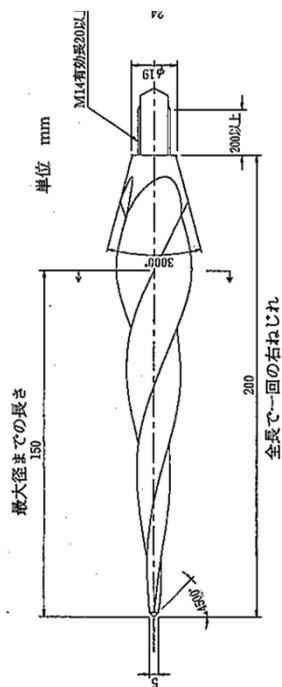


参考図1 おもりの例



- ① ハンドル
- ② おもり
- ③ 載荷用クランプ
- ④ 底板
- ⑤ 継足しロッド
- ⑥ スクリューポイント
- ⑦ スクリューポイント

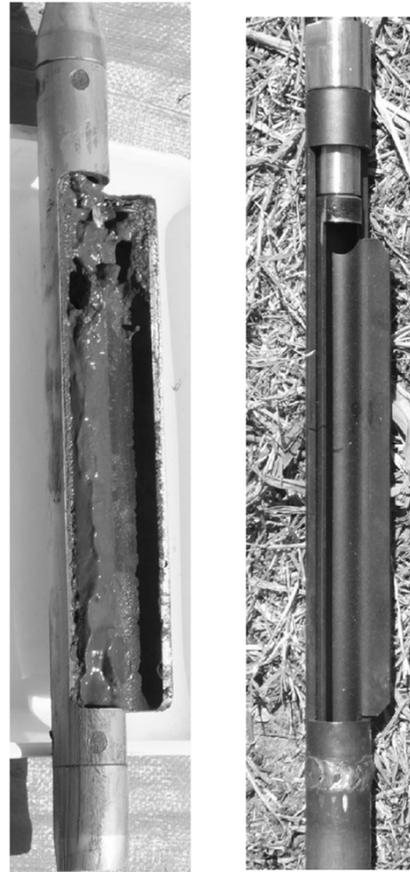
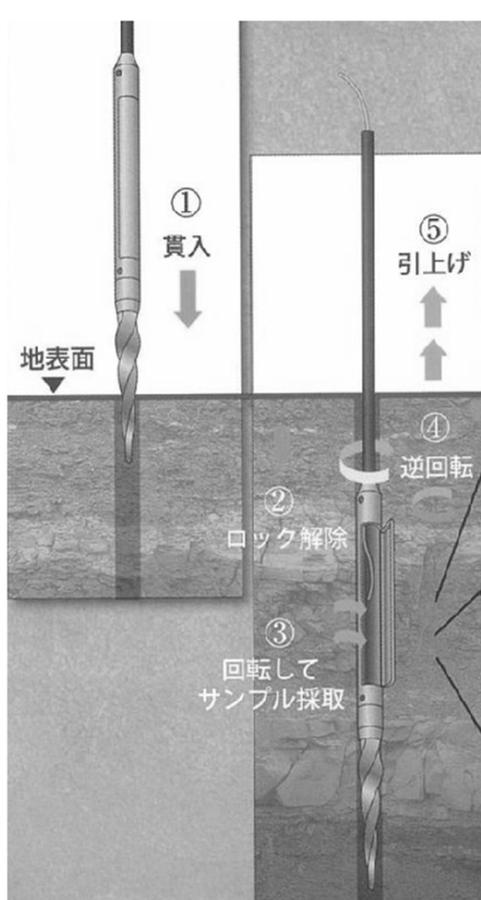
参考図2 手動による試験装置の例



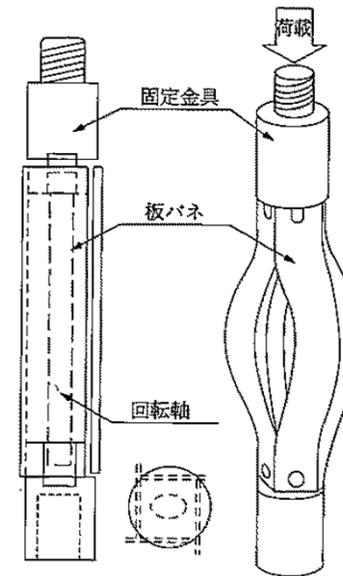
スウェーデン式 サウンディング試験 (JIS A 1211)

SWS試験孔を利用した土の試料採取器の例

孔壁かき取り式(扉開閉型)



孔壁かき取り式(板バネ型)

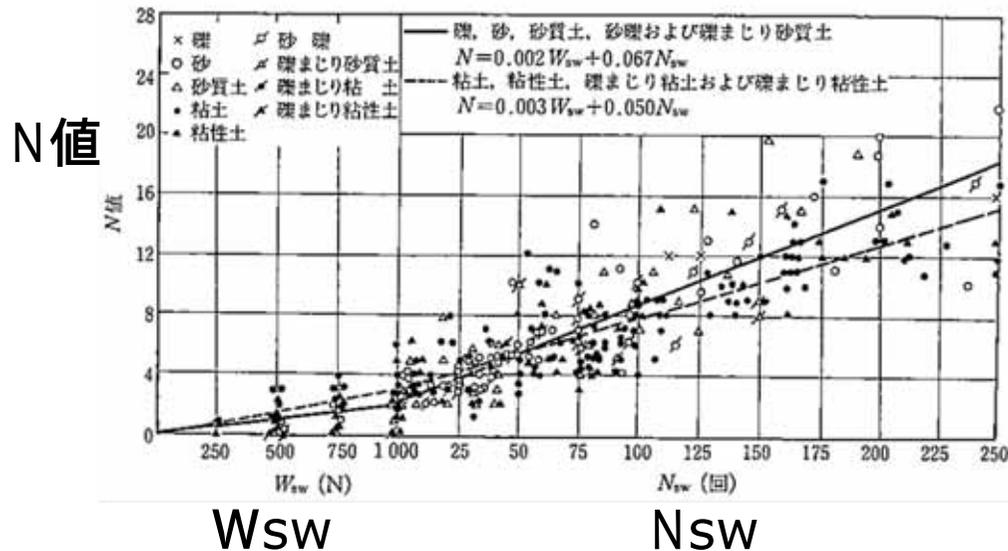


いずれも、粘性土の採取が中心であり、液状化が問題となる地下水位以深の砂質土での実施例は少ない。

(1) SWS試験結果によるN値の推定方法

従来より、SWS試験結果の N_{sw} (W_{sw}) とN値の相関式(稲田式)から、N値を推定しているが、ばらつきが大きいことが知られている。

・今回は、細粒分含有率と調査深度(摩擦抵抗の増大)を指標として、相関を再検討し推定精度の向上を試みた。



稲田式(砂・砂質土)

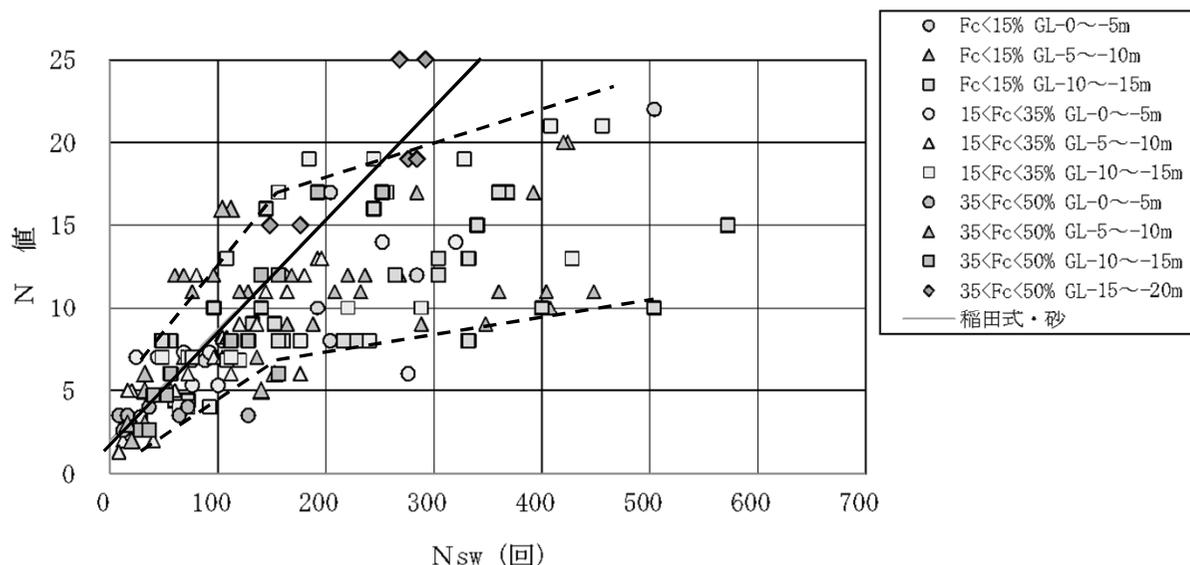
$$\text{推定N値} = 2 \times W_{sw} + 0.067 \times N_{sw}$$

W_{sw} : 荷重(kN) ,

N_{sw} : 貫入1m当たりの半回転数

SWS試験結果 (W_{sw} 、 N_{sw}) とN値の相関(稲田式)

SWS試験結果の N_{sw} (W_{sw}) とN値の相関 結果



細粒分含有率 F_c による相関式への影響はみられない

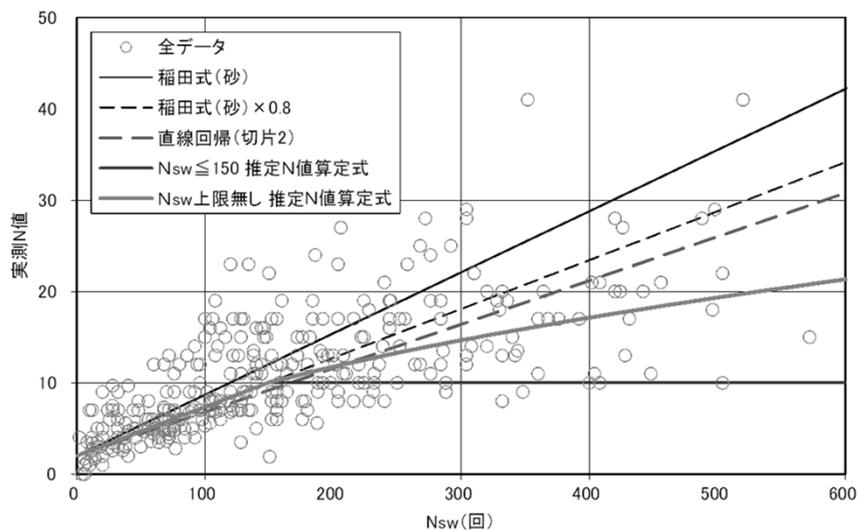
深度10m(5m)以深では、N値は相関式から外れる傾向

$N_{sw}150$ 以上に対応



深部におけるロッド摩擦や空転による影響

b) 砂質土における N_{sw} とN値の関係 (細粒分含有率・深度による区分表示)

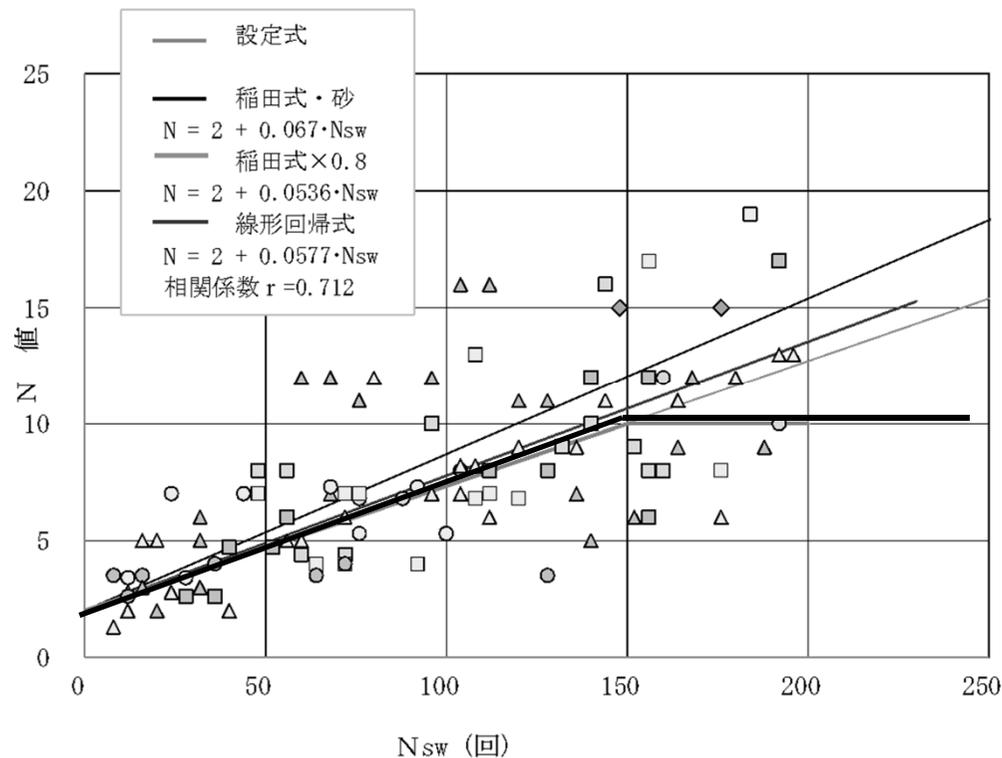


← 稲田式(砂)

← 稲田式(砂) × 0.8

← 直線回帰式

直線回帰式は、既往研究成果で示される、稲田式(砂) × 0.8 に近い傾向



Nsw 200 の範囲

- ← 稲田式(砂)
- ← 直線回帰式
- ← 稲田式(砂) × 0.8

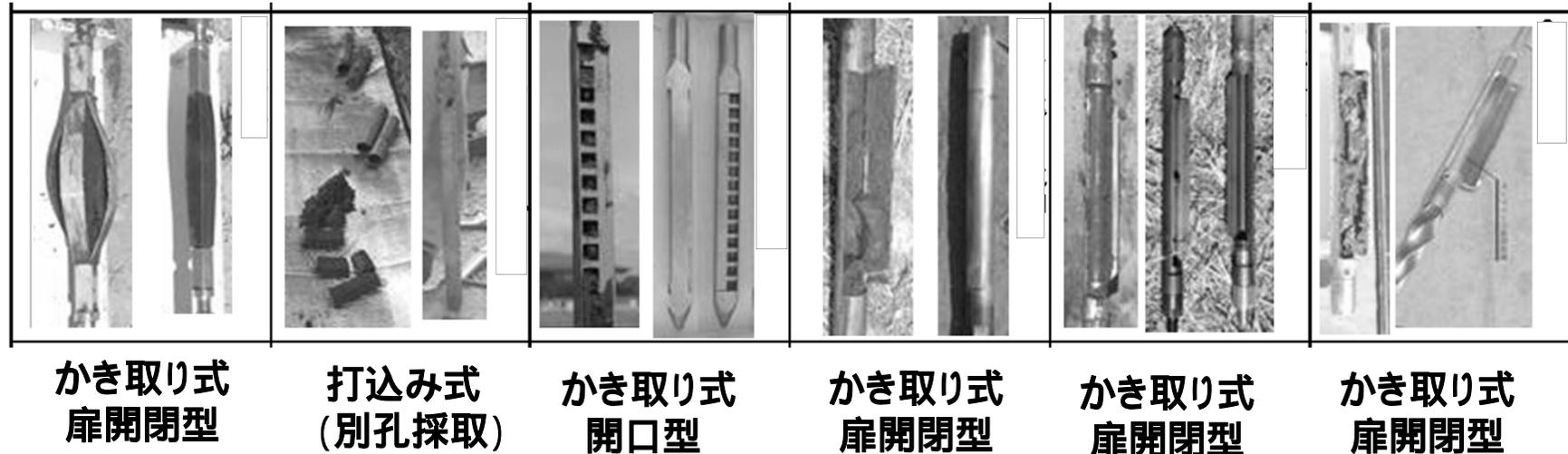
SWS試験によるN値の推定は、稲田式(砂) × 0.8 による相関式を用いて算定する。荷重自沈層では、稲田式(砂)を適用する。

$$\begin{aligned} \text{推定N値} &= 2 \times W_{sw} + 0.067 \times N_{sw} \times 0.8 && W_{sw} \text{ (kN)} \\ &= 2 \times W_{sw} + 0.0536 \times N_{sw} \end{aligned}$$

なお、Nswの上限値は150 (推定N値 10)とする

国土交通省告示1113号, 小規模建築物指針(日本建築学会)と整合

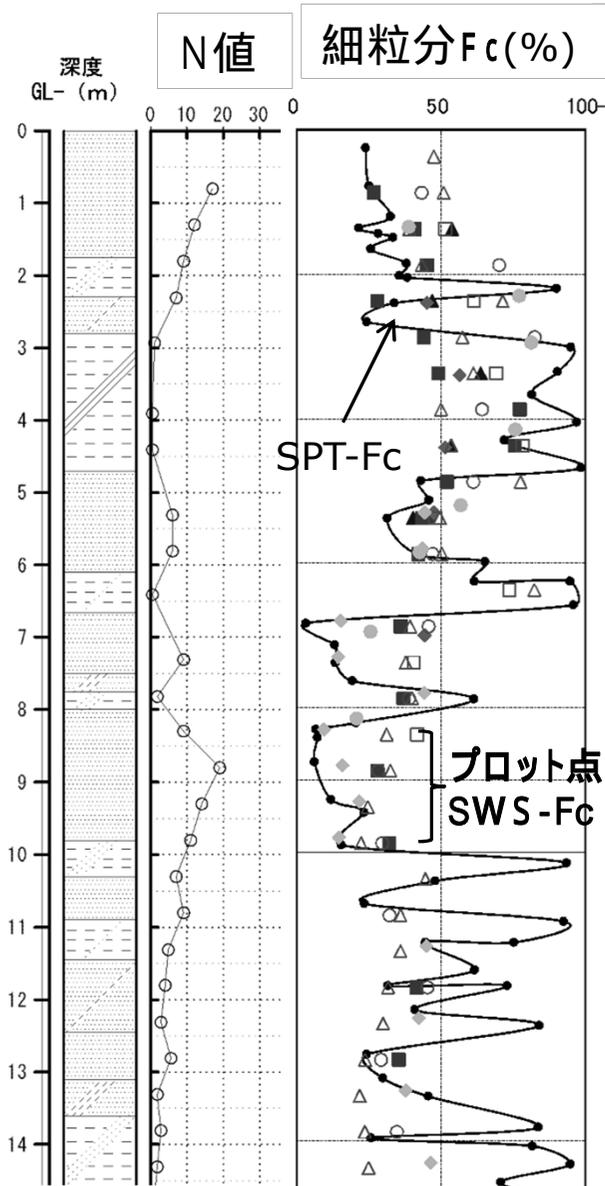
(2) SWS試験孔を利用した試料採取方法の適用性



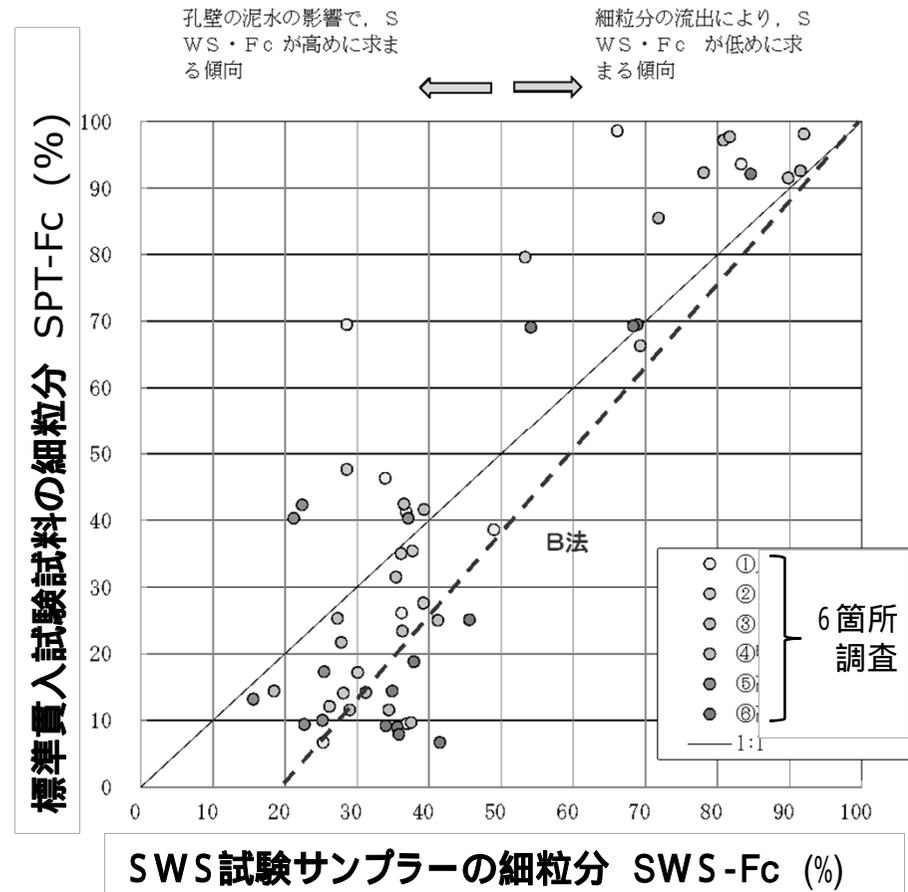
- ・各サンプラーで相違はあるが、深度GL-7 ~ -10m程度までは採取可能。
- ・土の採取量は、20 ~ 160 g (平均: 70 ~ 110 g) とばらつきが多く、少ない。
- ・実施可能な粒度試験として、粒度ふるい分析のみを実施。
- ・ボーリング標準貫入試験試料(SPT)の細粒分含有率 F_c に対して、SWS試験採取試料の F_c は、全般的に砂質土では高めに、粘性土では低めの値を示す傾向にあった。

(3) 採取試料の細粒分含有率の適用性

細粒分含有率の比較



SWS試験サンプラーの細粒分含有率の補正



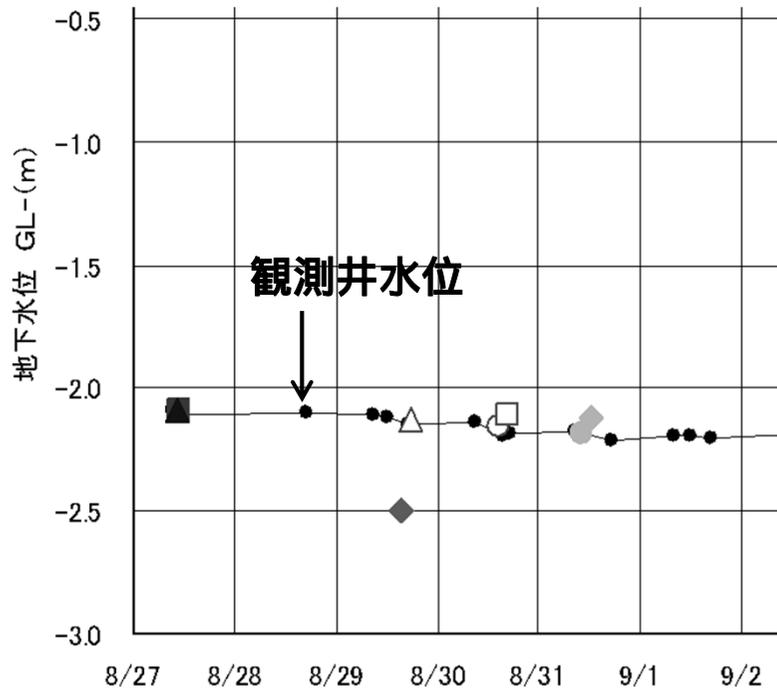
液状化判定に用いる細粒分含有率(計算Fc)

$$\begin{aligned} \text{計算Fc} &= 0 \% && (\text{SWS-Fc} \leq 20 \%) \\ \text{計算Fc} &= 1.25 \times \text{SWS-Fc} - 25 && (\text{SWS-Fc} > 20 \%) \end{aligned}$$

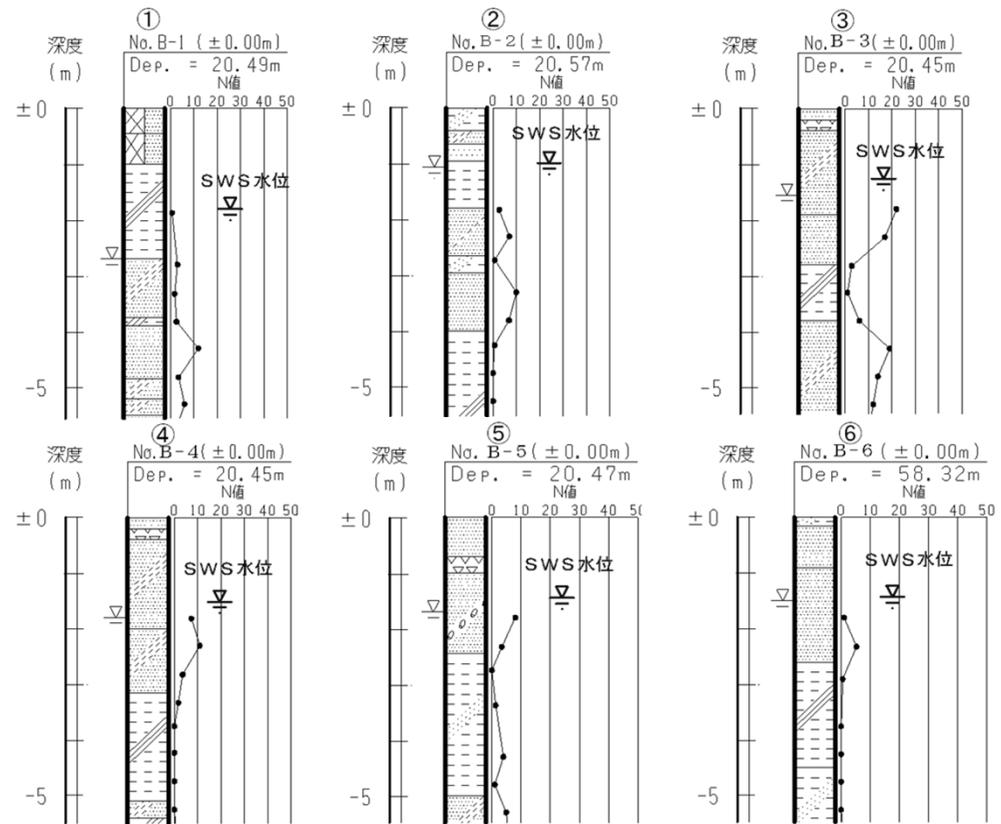
(4) SWS試験孔を利用した地下水位測定方法の適用性



- SWS試験孔に中空有孔鋼管を挿入し, 管内の水位を通電式水位計等で計測。
- 30分間程度の水位の経時変化から安定水位を求める。 地下水位。



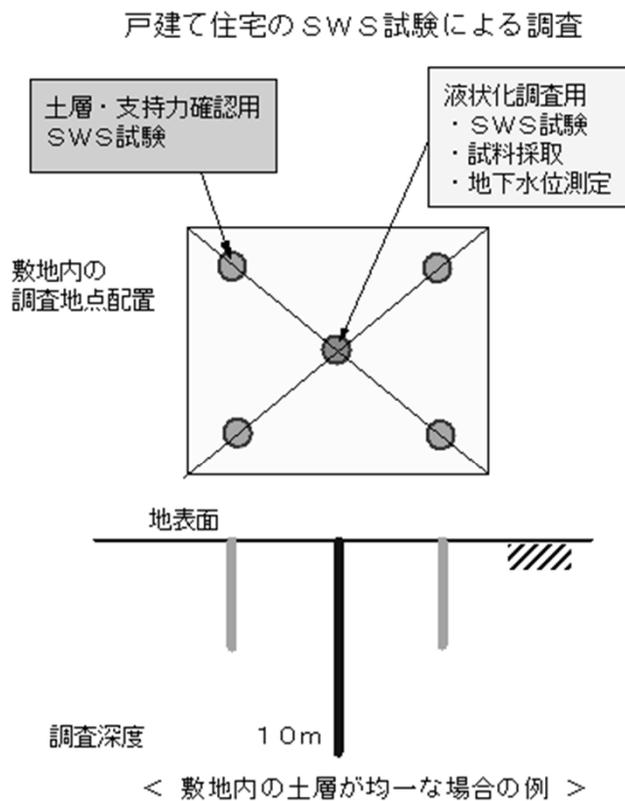
地下水観測井の水位との比較



ボーリング調査無水掘り水位との比較

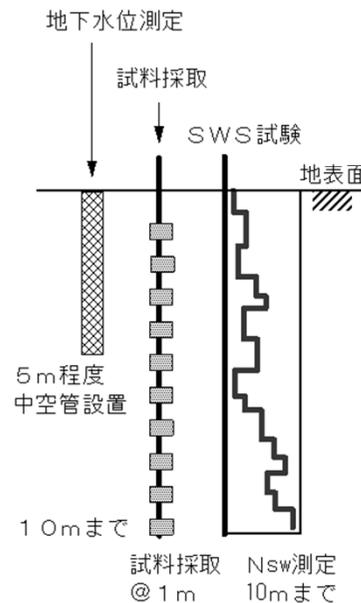
(5) 簡易な液状化判定手法の提案

- ・ 液状化判定は，SWS試験による推定N値，計算 F_c ，測定地下水位を用いて，建築基礎構造設計指針に準拠したFL計算， D_{cy} 計算により行う。（現段階での知見に基づく提案）



①調査深度：深度GL-10m

- ・ SWS試験(JIS)の適用深度
- ・ SWSサンプラーの採取可能深度
- ・ 液状化被災事例の適合性



調査箇所数：戸建住宅
一敷地当たり原則1箇所
(土層が均一な場合)

試料採取：深度GL-10m
まで，1m毎

細粒分含有率 SWS- F_c
採取試料の粒度試験(ふる
い分析試験)による

地下水位：安定水位

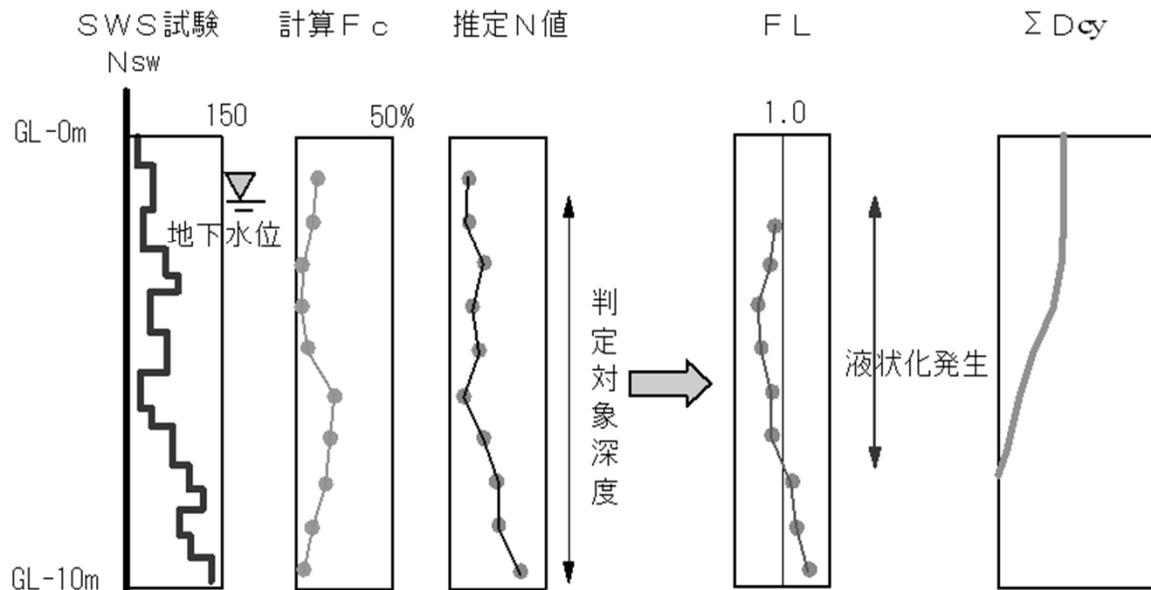
液状化判定用の細粒分「計算F_c」：SWS-F_cに補正計算を適用して算定

推定N値：稲田式(砂)×0.8による相関式から、1m毎に算定
(N_{sw}上限を150とする、推定N値 10)

地震外力：max = 200 gal，M = 7.5を想定
(L1地震動を想定，建築基礎指針・小規模指針[中地震 max=150 ~ 200gal]との整合性を踏まえ安全側の判定を考慮)



液状化判定 (FL・D_{cy} 計算)



<液状化判定結果>
(建築基礎構造設計指針 準拠)

- ・ FL ≤ 1 : 液状化発生
FL > 1 : 非液状化
- ・ 液状化の程度区分
D_{cy} = 0 cm : 無し
D_{cy} = 5 cm 以下 : 軽微
D_{cy} = 5~10cm : 小
D_{cy} = 10~20cm : 中
D_{cy} = 20~40cm : 大
D_{cy} = 40cm 以上 : 甚大

各深さの液状化に対する安全率 $FL = \text{地盤の液状化強度} / \text{地震外力}$
 ($FL > 1$:非液状化, $FL \leq 1$:液状化発生の可能性有り)

地盤の液状化強度の算定

推定N値, 計算Fc, 土被り圧(地下水位) 補正N値 N_a (図-Aより) 液状化抵抗比 R

地震外力の算定

地表面水平加速度 max, マグニチュード, 繰返しせん断応力比 L

$FL = R / L$ …… 深度1m毎に算定

D_{cy} 補正N値 N_a , 繰返しせん断応力比 L (図-Bより) 繰返しせん断ひずみ cy
 $cy \times \text{層厚}(1\text{m}) = \text{液状化層}1\text{m}\text{毎の沈下量}$
 深度1m毎に算定した沈下量を加算して, 地表面の沈下量を算定

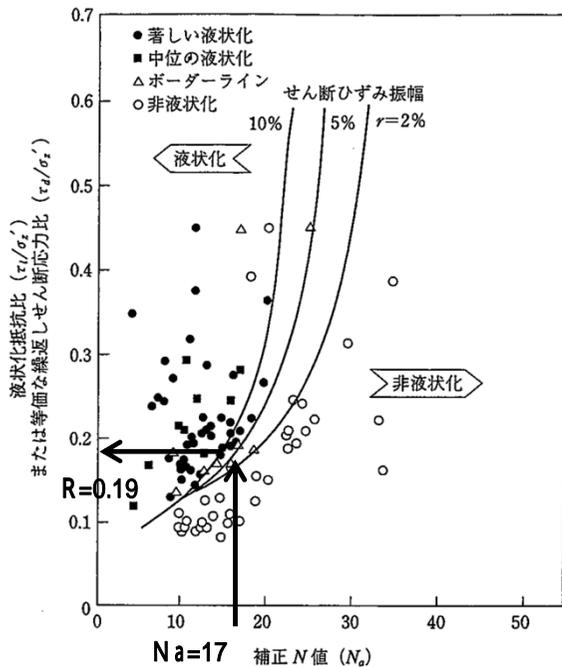


図 - A

NaからRの算定

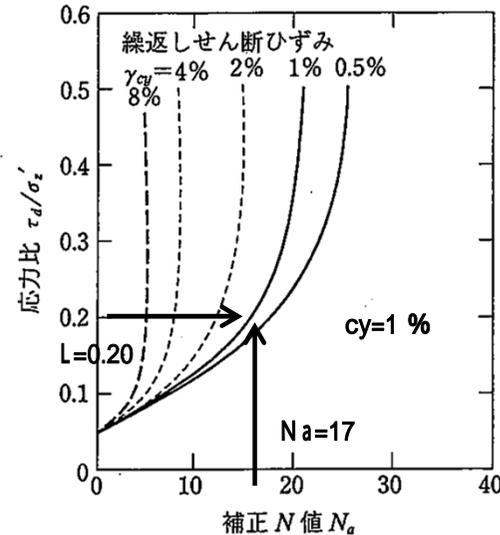
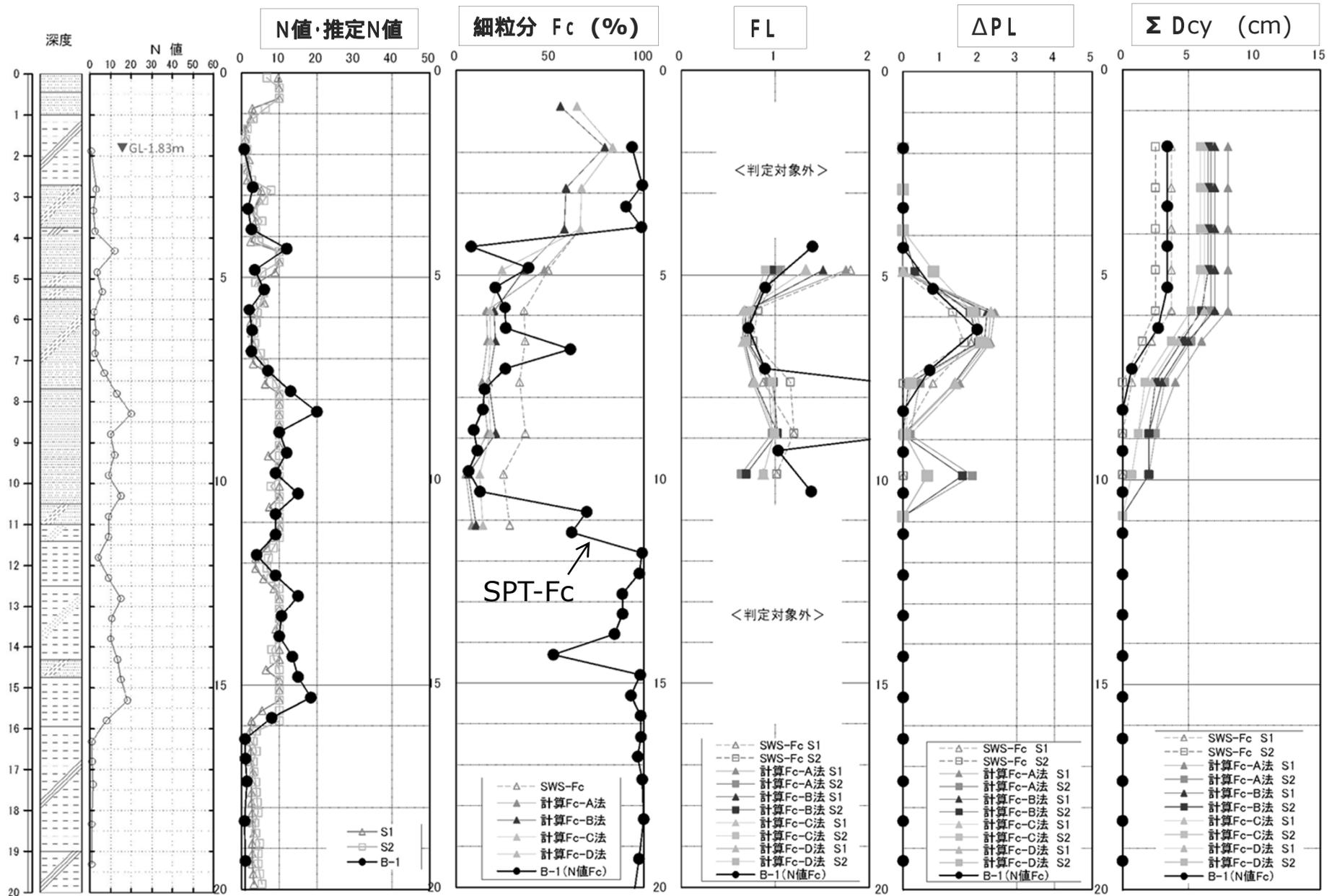


図 - B

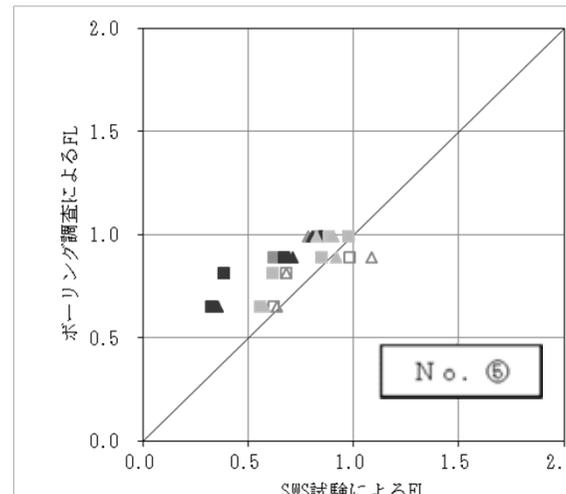
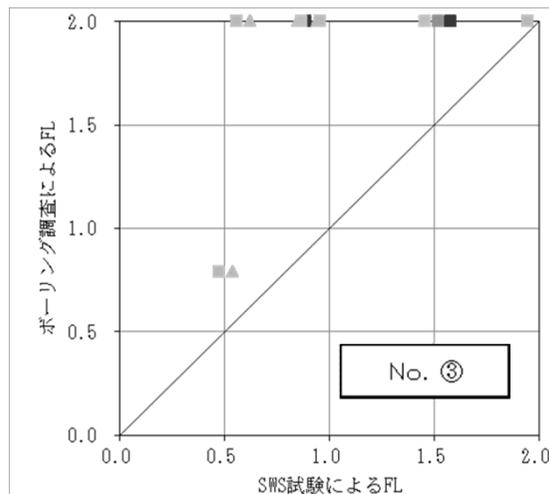
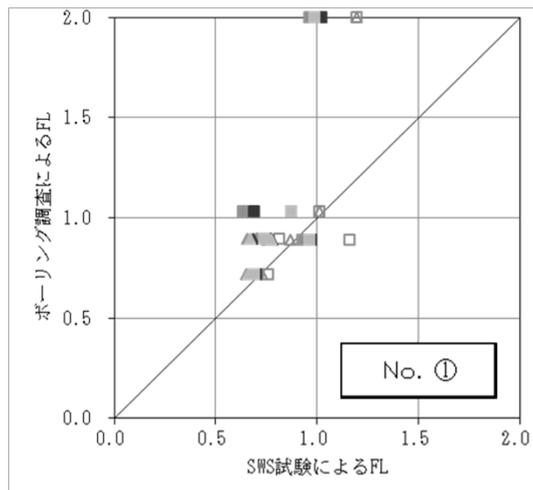
cyの読取り

(6) 液状化判定の例 No. 地点

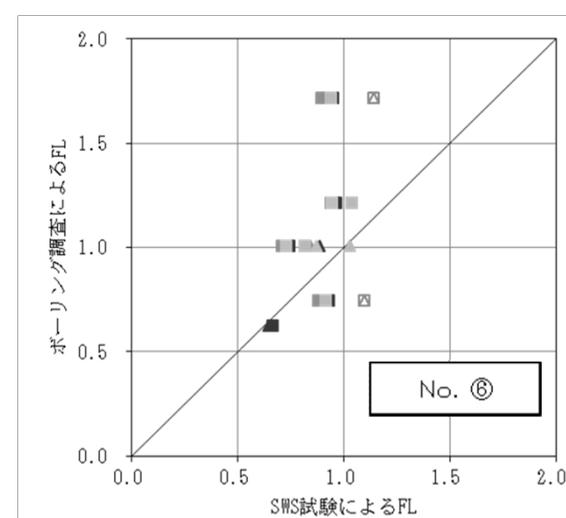
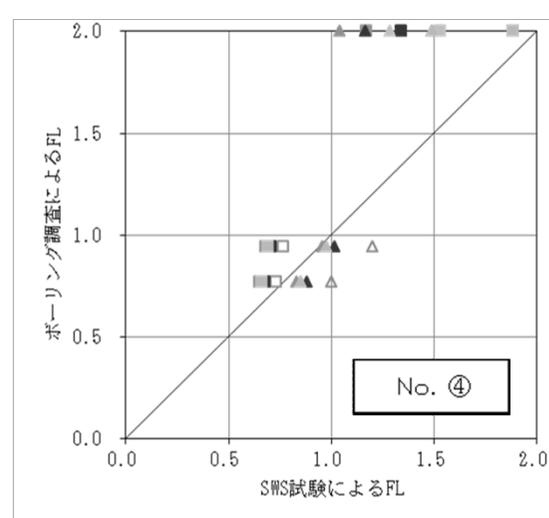
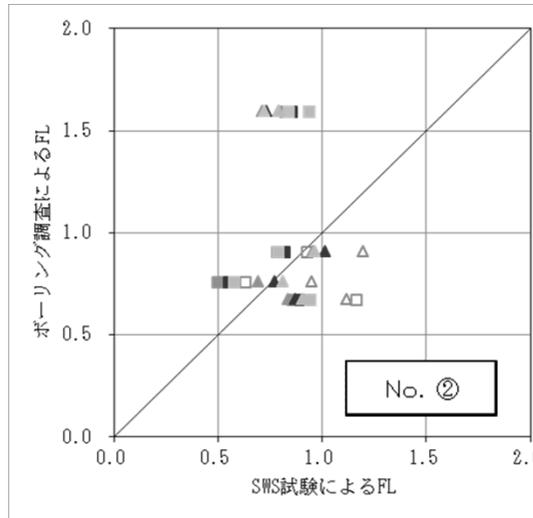


ボーリング調査によるFL値とSWS試験による簡易判定FL値との対比例(6地点の調査結果)

ボーリング調査によるFL



ボーリング調査によるFL



SWS試験によるFL

- △ SWS-Fc S1
 - ▲ 計算Fc-A法 S1
 - ▲ 計算Fc-B法 S1
 - ▲ 計算Fc-C法 S1
 - ▲ 計算Fc-D法 S1
 - SWS-Fc S2
 - 計算Fc-A法 S2
 - 計算Fc-B法 S2
 - 計算Fc-C法 S2
 - 計算Fc-D法 S2
- 1:1

SWS試験による簡易判定は、ボーリング調査による判定に対して、安全側の概ね妥当な結果を示した。

(7) 簡易な液状化判定手法の適用における今後の課題

推定N値算定式の適合性や，国交省告示1113号および小規模指針との整合性も踏まえ， N_{sw} の上限値として150 の採用を提案。但し， N_{sw} 上限値から過度に安全側のFL値が算定される可能性もある。このため，今後のより詳細な調査の実施や，他の研究成果，動向を踏まえたデータ蓄積等により，推定N値算定式の適用範囲の明確化を図る必要がある。

SWS試験採取試料の細粒分含有率の誤差の傾向，ならびにその補正計算の方法は，今回調査による東京湾岸地域の埋土砂質土層のデータに基づく。このため，今回設定した補正計算方法の一般性ならびに妥当性を確認・検証する上でも，埋立地以外の沖積砂層等を対象とした調査結果を加えた追加検討を図る必要がある。

細粒分含有率の測定として，低コストで現地で簡便に測れる計測方法の検討・提案も今後の検討課題と考える。

