

スクリーウエイト貫入試験における各種要因
の影響と N 値, s_u 値との相関性に関する研究

2022 年 3 月

大阪市立大学大学院
工学研究科

(ふかい あきら)

深井 公

目次

第1章 序論

1.1 研究の背景	1
1.2 既往研究	3
1.2.1 SWS 試験結果に与える要因の研究	3
(1) 試験機の違い	
(2) スクリューポイントの形状	
(3) スクリューポイントの摩耗	
(4) 周面摩擦の影響	
1.2.2 SWS 試験と N 値, q_u 値との相関性の研究	9
(1) 標準貫入試験の N 値	
(2) 一軸圧縮試験の q_u 値	
1.2.3 住宅地盤に対する応用研究	11
(1) 不同沈下形態と住宅基礎の対応	
(2) SWS 試験による液状化判定の試み	
1.3 研究の目的	16
1.4 本論文の構成	17
参考文献	18

第2章 調査方法および調査地点

2.1 ボーリング・標準貫入試験 (SPT)	20
2.2 スクリューウエイト貫入 (SWS) 試験	22
2.2.1 試験概要	22
2.2.2 試験方法	22
2.2.3 全自動式試験機	23
2.2.4 JIS 規格と ISO 規格	25
2.3 室内力学試験の方法	27
2.3.1 一軸圧縮試験	27
2.3.2 一面定体積せん断試験	28
2.4 調査地点と地盤性状	29
参考文献	43

第3章 SWS 試験結果に与える各種要因の影響

3.1 全自動式試験機による影響	45
3.1.1 調査地点と試験状況	45
3.1.2 試験結果	46
3.1.3 試験結果の考察	50
3.2 JIS 規格と ISO 規格による影響	51
3.2.1 調査地点と試験状況	51

3.2.2	試験結果	52
3.2.3	試験結果の考察	55
3.3	スクリーポイント(SP)の摩耗と形状による影響	58
3.3.1	調査地点と試験状況	58
3.3.2	試験結果	60
3.3.3	試験結果の考察	63
3.4	回転速度による影響	68
3.4.1	調査地点と試験状況	68
3.4.2	試験結果	68
3.4.3	試験結果の考察	70
3.5	まとめ	71
	参考文献	73
第4章 SWS 試験結果と N 値, s_u 値との相関性		
4.1	全自動式試験機と調査地点	74
4.2	SWS 試験結果の整理方法	74
4.3	SWS 試験結果と N 値との関係	75
4.3.1	試験結果	74
4.3.2	$W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値との関係	81
4.3.3	新相関式	83
4.3.4	新相関式の適用例	86
4.4	粘性土における SWS 試験結果と s_u 値との関係	88
4.4.1	試験結果	88
4.4.2	$W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値との関係	92
4.4.3	新相関式	95
4.4.4	新相関式の適用例	97
4.5	まとめ	98
	参考文献	99
第5章 結論		
	関係発表論文	103
	謝辞	104
	付録	付 1~28

本論文で用いた主な記号一覧

W_{sw}	:	静的貫入最小荷重, 50N, 150N, 250N, 500N, 750N 及び 1 000N
N_a	:	測定半回転数 (回)
N_{sw}	:	換算半回転数, N_a を貫入量 1m あたりに換算した回転 180 度ごとの回転数 (回)
N 値	:	標準貫入試験によって求められる試験値
q_u	:	一軸圧縮強さ (kN/m^2)
s_{ub}	:	一面定体積せん断強さ (kN/m^2)
s_u	:	非排水せん断強さ (kN/m^2)
換算 N 値	:	SWS 試験結果から換算する N 値
換算 s_u 値	:	SWS 試験結果から換算する s_u 値
I_L	:	液性指数
L_i	:	強熱減量 (%)
w_n	:	自然含水比 (%)
w_L	:	液性限界 (%)
w_p	:	塑性限界 (%)
F_c	:	細粒分含有率 (%)
r	:	相関係数

第1章 序論

1.1 研究の背景

スクリーウエイト貫入試験 (Screw Weight Sounding Test, 以下 SWS 試験と称す) は、地盤の硬軟、締まり具合および土層構成を評価するための静的貫入抵抗 (静的貫入最小荷重 W_{sw} , 換算半回転数 N_{sw}) を求める地盤調査方法である。試験方法は、先端にスクリーポイントを取り付けたロッドに、荷重 W_{sw} を 0.05, 0.15, 0.25, 0.5, 0.75, 1kN と段階的に加えて、その貫入量を測定する。最大荷重 ($W_{sw}=1\text{kN}$) による貫入 (自沈) が止まれば、ロッドを回転させて貫入し、貫入量 0.25m ごとに計測した半回転数 N_a から 1m 当たりの半回転数 N_{sw} を換算するものである (詳細は 2.2 参照)。

元々は、スウェーデン国有鉄道の土質委員会が 1917 年頃に不良地盤の実態調査を行うために開発した試験方法で、日本には「スウェーデン式サウンディング試験」という名称で 1954 年頃建設省 (現国土交通省) の堤防調査に初めて導入され、その後、道路公団において路線調査などに採用された¹⁾。住宅地盤の地盤調査としては、戸建住宅の不同沈下が増えてきたことをきっかけに 1975 年頃から一部のハウスメーカーで採用が始まり、2001 年に国土交通省告示第 1113 号に SWS 試験による地盤の許容応力度算定式が示されたことにより、住宅地盤に対する標準的な地盤調査方法として広く普及することとなった。

SWS 試験の試験方法は、1963 年に JIS 原案²⁾が作成され、1976 年に JISA 1221 として初めて制定された。その後、数度の改正を経て、2020 年に試験名称がスウェーデン式サウンディング試験からスクリーウエイト貫入試験に変更された³⁾。これは、対応国際規格 ISO の試験名 (Weight Sounding Test) には国名が付いていないこと、試験装置および試験方法が ISO と大きく異なること、さらに試験名は試験方法を表すことが相応しいこと、などの理由によるものであった。国内で最も多く行われている地盤調査方法であるが、慣れ親しまれている略称の SWS 試験が変わっていないこともあり、混乱なく名称移行している。

2008 年 5 月に地盤工学会に設立された地盤調査規格・基準委員会のワーキンググループでは、JIS 規格の改正において対応国際規格である ISO との整合性が議論されている⁴⁾。1976 年の JIS に示されたスクリーポイント⁵⁾の形状は、スウェーデン式とされるものと同一であったが、その後、JIS 規格と ISO 規格はそれぞれ独自の発展をしたことにより、現状では明らかな違いが生じている。さらに、ロッドの直径、回転速度および自沈判定における貫入速度が異なり、また、試験結果の整理方法についても違いがみられる。試験結果の利用と国際化の対応を考えるうえで、JIS 規格と ISO 規格との試験結果にどのような違いがあるのか確認しておくことに大きな意味があると考えられる。

試験機としては、1976 年の JIS から存在する「手動式」(写真-1.1)に加えて、回転のみが機械的に行える「半自動式」(写真-1.2) および回転・載荷・試験記録全てが機械的に自動で行える「全自動式」(写真-1.3) があり、2020 年の JIS 改正³⁾において、3 種類の試験機ごとに試験方法が規定された。手動式試験機は、自沈荷重の検知を精度よく行うことが難しく、ロッド継ぎ足し時におけるおもりの上げ下ろし、ハンドルを介して回転トルクを与え続ける等の負荷がかかる作業を、ロッドの鉛直性を維持しながら実施するためには相当の熟練と体力を要する。さらに、荷重貫入および回転等の作業過程に大きな試験誤差が含まれると考えられており、特に乱暴な試験を行った場合には、注意深く試験した結果と全く異なった試験結果を示す場合さえあるとされていた⁶⁾。その後、1985 年頃に回転のみが機械的に行える半自動式試験機が開発され、作業負荷が大きく低減されることとなった。ただし、半自動式試験機においても、地盤が軟らかくなってロッドを回転させる貫入から荷重のみによる貫入 (自沈) に移り変わる



写真-1.1 手動式試験機
(1976年～)



写真-1.2 半自動式試験機
(1985年～)



写真-1.3 全自動式試験機
(1996年～)

際の荷重制御は、手動式試験機と同様に熟練を要するものであった。さらに、1996年に日東精工社から、1997年にワイビーエム社から回転・載荷・試験記録の全てが機械的に自動で行える量販型の全自動式試験機が販売され、全自動式試験機が普及するきっかけとなり、現在では全自動式試験機が主流となっている。全自動式試験機の誕生により、試験誤差は大きく解消されたと考えられるが、各社の全自動式試験機に荷重制御方法などの仕様の違いがあり、試験結果に与える影響は明確ではない。

また、スクリーポイントの形状が、試験結果に与える影響は大きいと考えられるが、その形状が明確に規定されたのは、2002年のJIS改正⁷⁾である。スクリーポイントは繰返し使用に伴い、摩耗して形状が変化するが、2002年以降、全自動式試験機を用いてスクリーポイントの形状変化が試験結果に与える影響を研究した報告は少ない。

SWS試験の結果は、稲田による換算式⁶⁾によって標準貫入試験（Standard Penetration Test, 以下SPT）による N 値、粘性土の一軸圧縮強さ q_u 値として一般に利用されている。しかし、稲田式は、1960年頃に名神高速道路予定路線に沿う地域に限定された軟弱地盤（尼崎市、豊中市、乙訓郡および大垣市）で実施された手動式試験機のSWS試験結果とエネルギー効率の低いコーンブリー法によるSPTの試験結果をもとに提案されたものであり、その適用精度は疑問視されている。そのため、現在主流となった全自動式試験機のSWS試験結果と N 値や q_u 値との相関性を改めて求める必要があると考えられる。

一方、住宅地盤に関わる問題として、不同沈下がある。不同沈下は盛土部の締固め不足、軟弱な粘性土地盤の圧密沈下および地震時の液状化現象などで発生するが、不同沈下が起こらない安全な基礎を設計することは住宅メーカーとして必須である。そのために、現在、小口径鋼管杭、小口径既製コンクリート杭、木杭、柱状改良工法、表層改良工法などの地盤補強工法は充実してきている。これらの工法は、SWS試験結果と鉛直支持力の対応関係を把握し、設計・施工されている。しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では、液状化現象によって約2万7千棟の戸建住宅が被災した⁸⁾。震災以前、戸建住宅の基礎設計では液状化現象が意識されておらず、その対策が講じられていなかったことが実情であり、居住者からは液状化現象が認知されていたにもかかわらず、事前説明がなされていなかったと指摘するトラブルも発生した。このような経緯もあって東日本大震災以降は、これから建築しようとするお客様に対して、液状化現象に関する情報を提供するインフォームドコンセントが求められており、現在SWS試験による液状化判定方法の開発が住宅地盤の課題となっている。

SWS試験の本来の目的である地盤の硬軟、締まり具合および土質構成を判定は、全自動式試験機によって短時間で精度よく実施できるようになってきているが、SWS試験が住宅地盤の評価技術として、さらに有効な地盤調査方法とするためには、全自動式試験機やスクリーポイント形状の違いがSWS試験結果に与える影響やSPTによる N 値および室内力学試験との対応関係を再確認することが必要である。

1.2 既往研究

1.2.1 SWS 試験結果に与える要因の研究

(1) 試験機の違い

伊集院ら⁹⁾は、神奈川県平塚市の東海大学湘南校舎敷地内のローム地盤を対象に、手動式と電動式(半自動式に相当)(図-1.1)の試験機による結果の比較を報告している。使用された電動式(半自動式)試験機は、本体フレーム、載荷装置および回転装置から構成されている。載荷装置はおもりと本体フレーム自重(500N)を合わせたもので、回転装置は電動モーター(100V)によりロッドを回転させスクリーポイントを貫入させる。電動モーターの回転速度は、手動式とほぼ同じ30rpmに設定されている。試験方法は、まず、回転装置の中央部にロッドを挿入し、油圧チャックにてロッドを固定する。次に、載荷装置におもりを載せて1000Nで自沈しないことを確認し、回転モーターの駆動力をロッドに伝達させることでロッドを回転貫入させている。この電動式試験機は、載荷装置だけで500Nあり、500N未満の自沈は評価できない構造となっている。一方、手動式試験機は、回転速度を20~25rpmで行っている。

図-1.2は対象地のボーリング柱状図である。地表面から約1m以浅は盛土と黒ぼくであり、それ以深は約6mまで均一なローム層で構成されている。試験は、深さ6m、ボーリング孔から半径2mの範囲内で10ポイント実施されている。図-1.3に N_{sw} (手動式)と N_{sw} (電動式)の関係が示されている。 $N_{sw} \leq 150$ では、両者の相関性はよいが、 $N_{sw} > 150$ では、電動式の方が手動式より幾分過大に現れる傾向があるとされている。これは、手動式の場合は地盤が硬くなればなるほど、調査員が回転貫入時に、意図せず下向きの力(押し込み力)を作用させてしまうことに起因していると指摘している。図-1.4は、両試験機の深度方向に及ぼす影響を調べるため、 N_{sw} (手動式)/ N_{sw} (電動式)の各深さに対する10回の測定結果の平均値を α としてプロットされたものである。 α は深さ1.5m以浅の表層部において手動式の方が電動式より1.5~2.0倍程度大きく現れる傾向となっている。これは、手動式では地表面近くにおいてスクリーポイントが十分に固定されていないため、ロッドのブレが大きくなり N_{sw} が大きくなると推察されている。

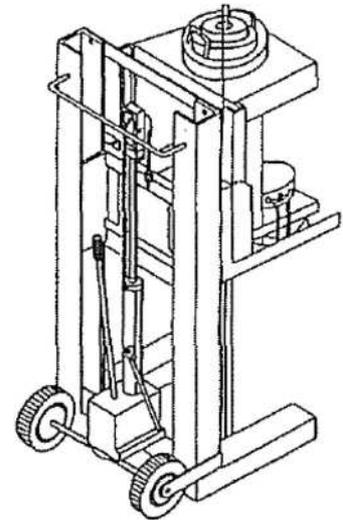


図-1.1 電動式試験機⁹⁾

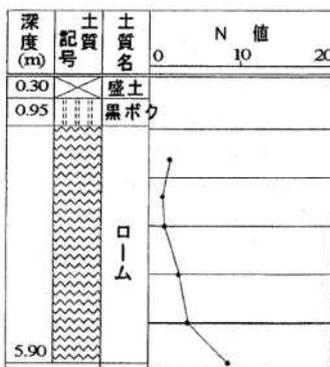


図-1.2 柱状図⁹⁾

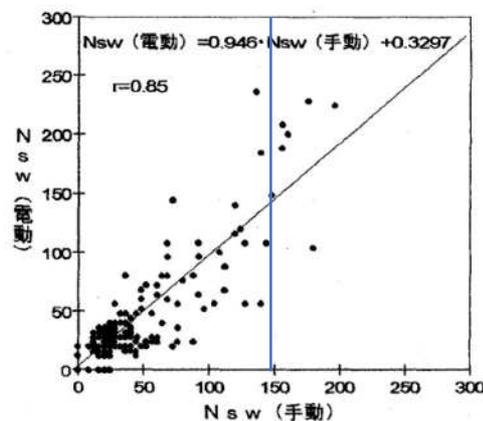


図-1.3 N_{sw} (電動式) - N_{sw} (手動式)
9)に加筆修正

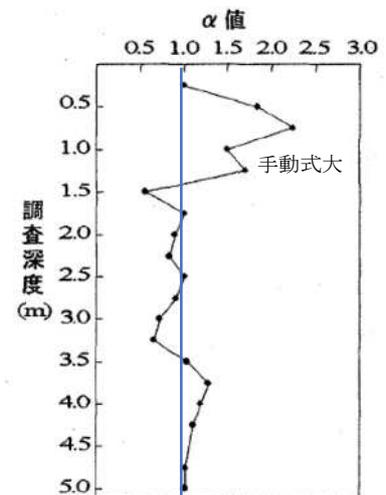


図-1.4 α 値の深さ方向の変化
9)に加筆修正

公平ら¹⁰⁾は、千葉市若葉区中野町において、4種類の試験機と3種類のスクリーポイント（SP）を組み合わせ、SWS試験を実施し、それぞれの N_{sw} の比較結果を報告している。4種類の試験機は、手動式試験機、半自動式試験機（2種類）および全自動式試験機である。写真-1.4に示す3種類のSPのうち、No.1とNo.2の形状は多少異なるが、通常タイプのものであり、No.3はユーロコード（現在のISO規格）で使用されていたものである。

図-1.5にボーリング柱状図、表-1.1に土質試験結果、表-1.2に試験機の性能および仕様を示している。地層構成は、GL-2.1mまで N 値3の盛土（粘性土）、GL-2.1m～4.6mまでが N 値2～4の表土（粘性土）、GL-4.6m～5.6mが凝灰質粘土と砂質粘土の互層、GL-5.6m～8.2mが N 値10程度の細砂層である。SWS試験は、12の試験パターン（試験機4種類×SP3種類）を各2回、計24箇所実施し、調査深度はGL-8mである。図-1.6に調査ポイントの配置図を示している。

図-1.7(1)～(6)は、3種類のSPを用いた試験機ごとの N_{sw} の比較結果を示している。手動式試験機と2種類の半自動式試験機はほぼ同じ結果を示すが、全自動式試験機で行った場合は、幾分値が小さく現れるとしている。図-1.8(1)～(3)は、3種類のSPによる N_{sw} の比較結果を示している。No.3のユーロコードのタイプが最も小さい値となり、ついでNo.1, No.2の順になるとしている。ユーロコードのSPは、通常国内で使用されているものに比べて切削に適した（貫入しやすい）形状となっていると推察している。試験機による違いは、全自動式試験機の結果が小さく現れたものの、それほど大きな違いはなく、むしろSPの形状による影響の方が強く現れたと結論づけられている。



写真-1.4 スクリューポイントの形状¹⁰⁾

表-1.1 土質試験結果¹⁰⁾に加筆修正

試料番号（深さ:m）		1.5～2.10	3.5～4.0
一般	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.378	1.328
	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.689	0.652
	土粒子の密度 (g/cm ³)	2.62	2.587
	自然含水比 w_n (%)	99.8	103.6
	間隙比 e	2.803	2.968
	飽和度 S_r (%)	93.3	90.3
粒度	礫分 2～75mm (%)	1.6	0
	砂分 75 μ m～2mm (%)	12.1	11.5
	シルト分 5～75 μ m (%)	53.6	54.1
	粘土分 5 μ m未満 (%)	32.7	34.4
液性限界 w_L (%)		127.8	129.1
塑性限界 w_p (%)		68.6	71.5
塑性指数 I_p (%)		59.2	57.5

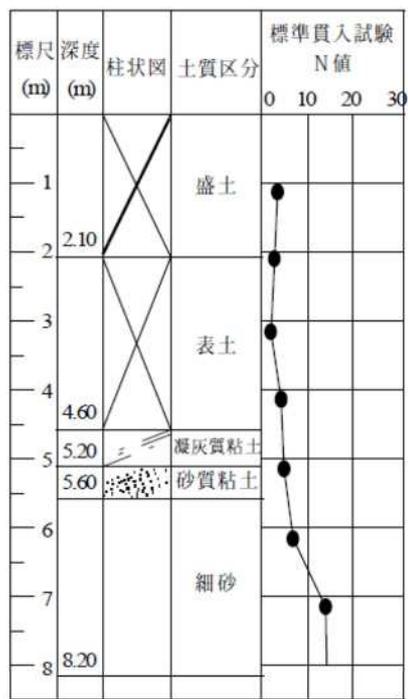


図-1.5 ボーリング柱状図¹⁰⁾

表-1.2 試験機の性能および仕様¹⁰⁾に加筆修正

	荷重 載荷	フット の 継足	回転	回転 数の 記録	備考		
					回転数 (rpm)	回転トルク (N·m)	重量※ (kg)
手動	人力	人力	人力	人力	25以下	—	100
半自動式試験機(1)	人力	人力	機械	人力	18	79	195
半自動式試験機(2)	機械	人力	機械	人力	70	490	500
全自動式試験機	機械	人力	機械	機械	19	100	440

※載荷おもりを含む

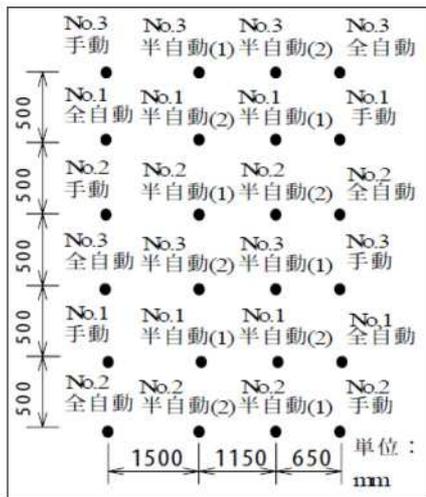
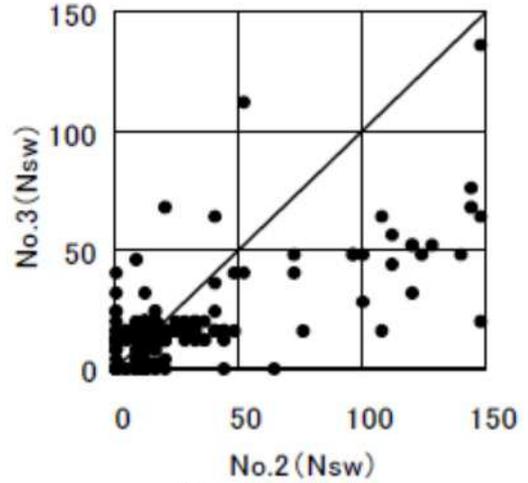
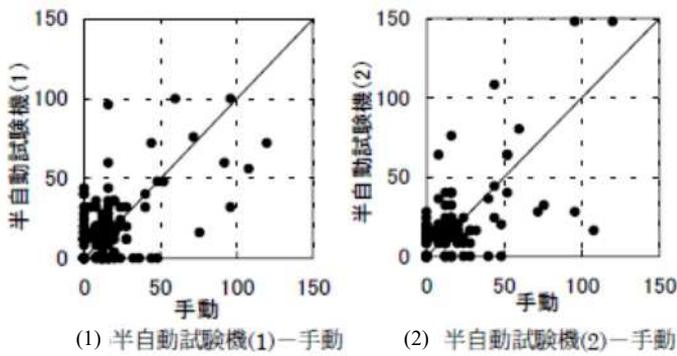


図-1.6 調査ポイントの配置図¹⁰⁾

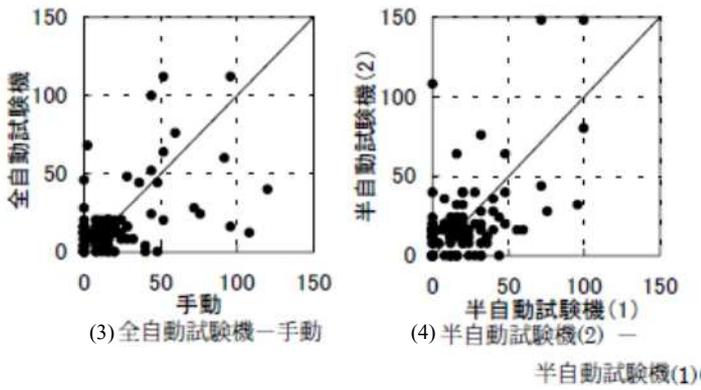


(1) No.3—No.2



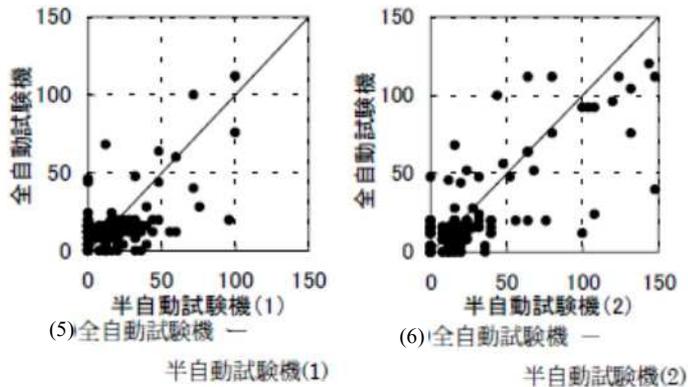
(1) 半自動試験機(1)—手動

(2) 半自動試験機(2)—手動



(3) 全自動試験機—手動

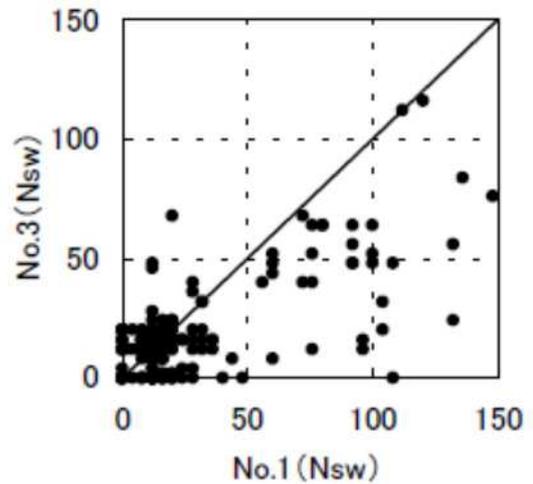
(4) 半自動試験機(2) — 半自動試験機(1)



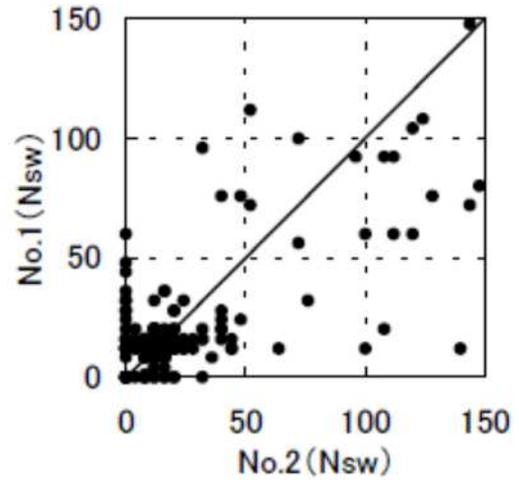
(5) 全自動試験機 — 半自動試験機(1)

(6) 全自動試験機 — 半自動試験機(2)

図-1.7 試験機毎の N_{sw} の比較¹⁰⁾に加筆修正



(2) No.3—No.1



(3) No.1—No.2

図-1.8 スクリューポイント違いによる N_{sw} の比較¹⁰⁾に加筆修正

(2) スクリューポイントの形状

郭ら¹¹⁾は、スクリーポイント (SP) の形状が及ぼす影響を報告している。SP の形状は、全長 200mm において先端へ向かって 1 回の右ねじれというひねり回数が JIS に規定されている³⁾が、本報告では、ひねり回数 1 回のもを標準タイプ (JIS 規格)、ひねり回数が 1.5 回のもをひねり大、ひねり回数が 0.5 回のもをひねり小とし、いずれの SP も最大径 ϕ 33mm、全長 200mm として実験している。砂地盤は室内実験で、粘土地盤 (関東ローム) は原位置試験 (東海大学敷地内) で検証している。

図-1.9~1.12 に、試験結果を示す。図-1.9 と図-1.10 に示す砂の場合、ひねり回数が多くなると N_{sw} が小さくなる (回転数が少なくなる) 傾向から、SP の切削能力が高くなる (貫入しやすい) ようであるが、 N_{sw} が 50 以下においては、ひねり回数による切削能力の違いは明確に認められないとしている。また、図-1.11 と図-1.12 に示す粘土 (ローム) の場合、ひねり小でもひねり大でも標準のタイプに比べて N_{sw} が大きく現れる傾向となり、ひねり回数による切削能力の違いは、明確には認めがたいとしている。

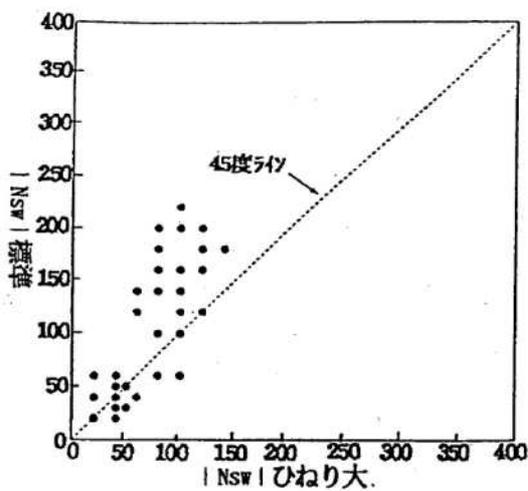


図-1.9 ひねり大と標準タイプの N_{sw} の比較 (砂)¹¹⁾

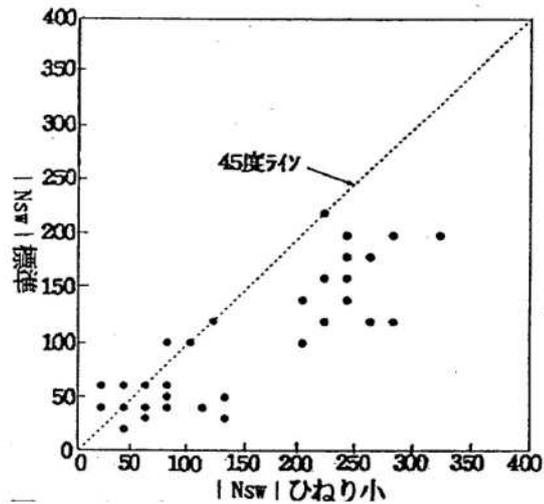


図-1.10 ひねり小と標準タイプの N_{sw} の比較 (砂)¹¹⁾

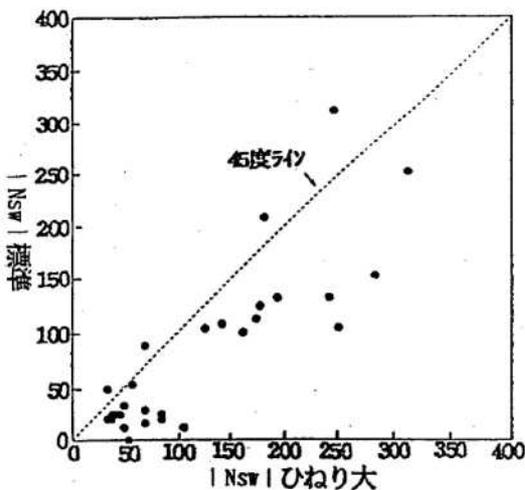


図-1.11 ひねり大と標準タイプの N_{sw} の比較 (ローム)¹¹⁾

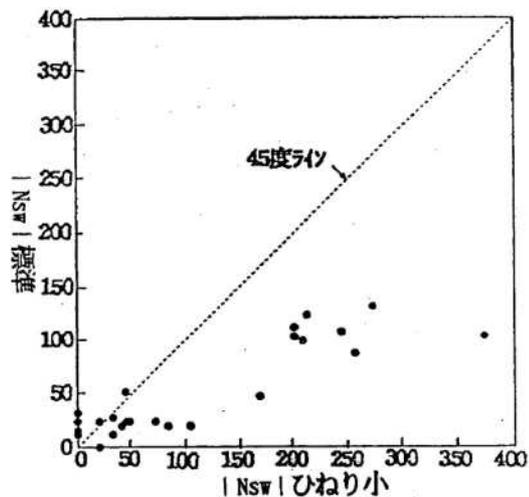


図-1.12 ひねり小と標準タイプの N_{sw} の比較 (ローム)¹¹⁾

(3) スクリューポイントの摩耗

藤井ら¹²⁾は、スクリューポイント (SP) の摩耗の影響を定量的に把握した研究結果を報告している。富山県内4地点、神奈川県、千葉県各1地点の計6地点において、電動式 (半自動式に相当) 試験機を使用し、JIS に定められた最大径 $\phi 33\text{mm}$ のものと摩耗した $\phi 32\text{mm}$ 、 $\phi 31\text{mm}$ および $\phi 30\text{mm}$ を比較している。

図-1.13 に6地点の土質柱状図、図-1.14~1.16 にSPの最大径を変えて実施したSWS試験において得られた N_{sw} の比較結果を示す。 N_{sw} が150以上の地盤では、SPの最大径が小さいものほど N_{sw} は大きく現れ、 N_{sw} が150以下では最大径が小さいものほど N_{sw} が小さくなる傾向があるとしている。この結果より、摩耗によってSPの最大径が小さくなると、試験結果に影響を及ぼすと報告している。

ただし、(1)~(3)のSPの形状の影響は、2002年のJIS改正 (SP形状を詳細に規定) 以前ののものであり、2002年以降でその影響は調べられていない。

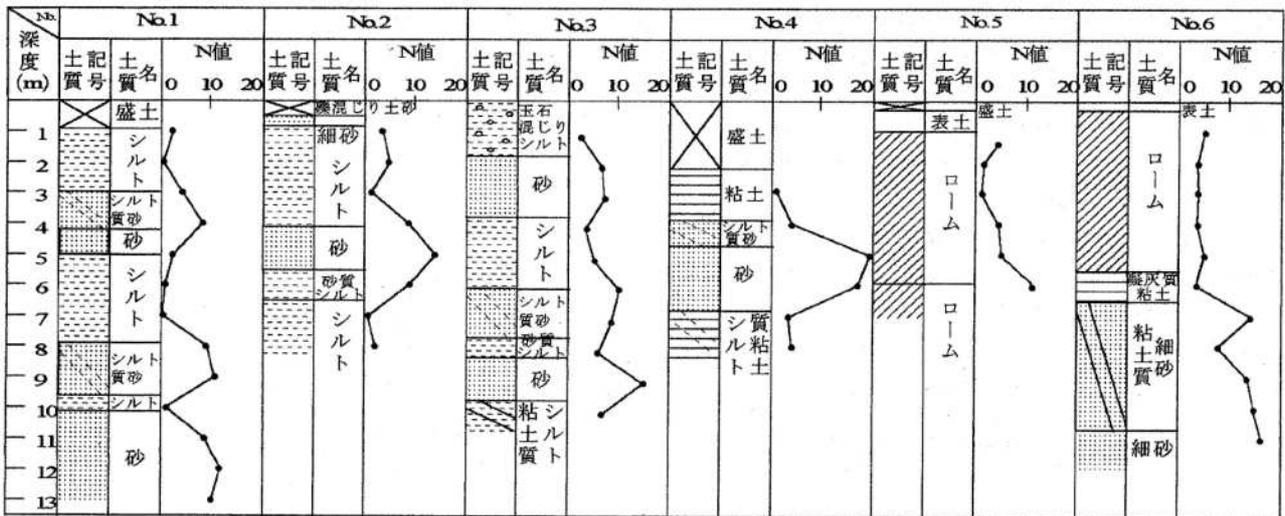


図-1.13 土質柱状図¹²⁾

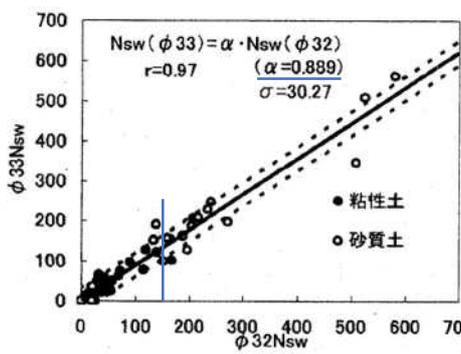


図-1.14 $\phi 33$ と $\phi 32$ の N_{sw} 比較
12)に加筆修正

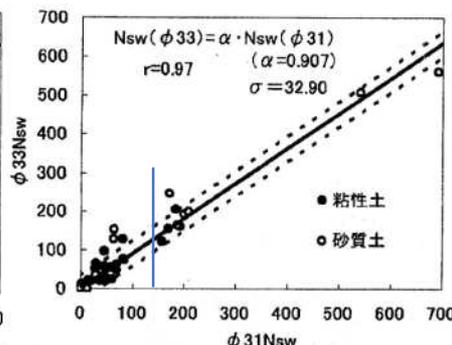


図-1.15 $\phi 33$ と $\phi 31$ の N_{sw} 比較
12)に加筆修正

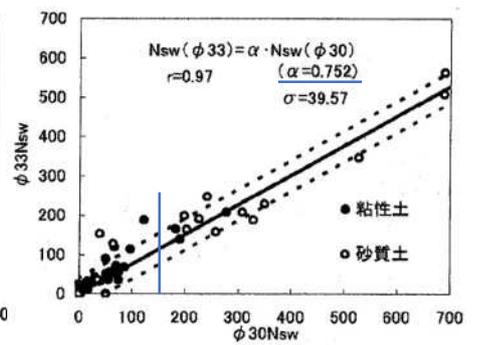


図-1.16 $\phi 33$ と $\phi 30$ の N_{sw} 比較
12)に加筆修正

(4) 周面摩擦の影響

SWS 試験は単管式のロッドを用いるため、ロッドと地盤の周面摩擦の影響により、貫入抵抗 (W_{sw} , N_{sw}) が大きくなる傾向が指摘されている¹³⁾。下平ら^{14),15)}は、**図-1.17**に示すように SWS 試験のロッドの外側に外管（ガス管 20A, 外径 27.2mm, 内径 21.6mm）を挿入することで、ロッドと地盤との摩擦抵抗を積極的に低減する二重管スウェーデン式サウンディング（DT-SWS）試験機を開発し、試験結果に与える周面摩擦の影響を検証している。

図-1.18に滋賀県守山市の今浜（粘性土地盤）、水保（砂質土地盤）における SWS 試験と DT-SWS 試験の比較結果を示す。**図-1.18**の(1)粘性土地盤では、深度 7m 以深において DT-SWS 試験は自沈層 ($N_{sw}=0$) であるのに対し、SWS 試験は回転層 ($N_{sw}>0$) であることから周面摩擦の影響が伺える。**図-1.18**の(2)砂質土地盤では、SWS 試験と DT-SWS 試験の差は小さく、周面摩擦の影響は小さいと報告している。DT-SWS 試験は、試験深度に応じて外管を継ぎ足して貫入する必要があるため、試験時間は SWS 試験に比べて 2~3 倍を要す結果となった。

なお、周面摩擦の影響については、本研究では対象としなかった。SWS 試験の周面摩擦の低減方法または周面摩擦の補正方法は今後の課題としたい。

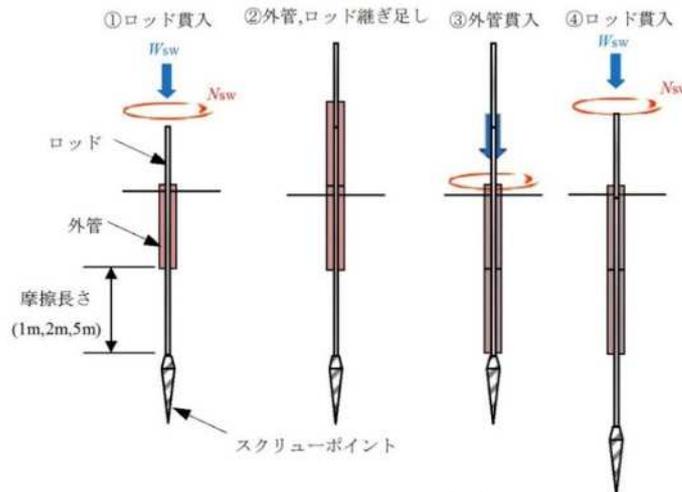


図-1.17 DT-SWS の実施手順¹⁴⁾

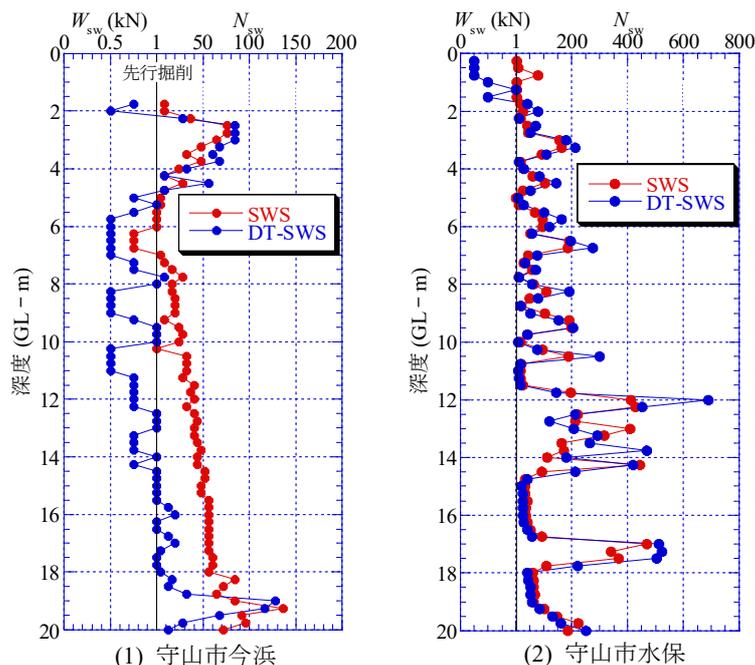


図-1.18 SWS と DT-SWS の比較（滋賀県守山市）¹⁵⁾

1.2.2 SWS 試験と N 値, q_u 値との相関性の研究

(1) 標準貫入試験の N 値

元々、SWS 試験は予備的な段階での地盤調査として用いられていたが、精密調査の手段として有効に活用できるならば経済的にも時間的にも得られる利益は大きいとして、稲田⁶⁾は名神高速道路予定路線に沿う軟弱地盤（尼崎市，豊中市，乙訓郡および大垣市）で標準貫入試験（SPT）によって求まる N 値と SWS 試験から求まる $W_{sw} \cdot N_{sw}$ との関係求めた。図-1.19 は、SWS 試験による $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と SPT から求めた N 値を土質別にプロットして示したものである。この図から、1960 年に式(1.1)，式(1.2)を提案している。

$$N=2W_{sw}+0.067N_{sw} \quad [\text{礫} \cdot \text{砂} \cdot \text{砂質土}] \quad (1.1)$$

$$N=3W_{sw}+0.050N_{sw} \quad [\text{粘土} \cdot \text{粘性土}] \quad (1.2)$$

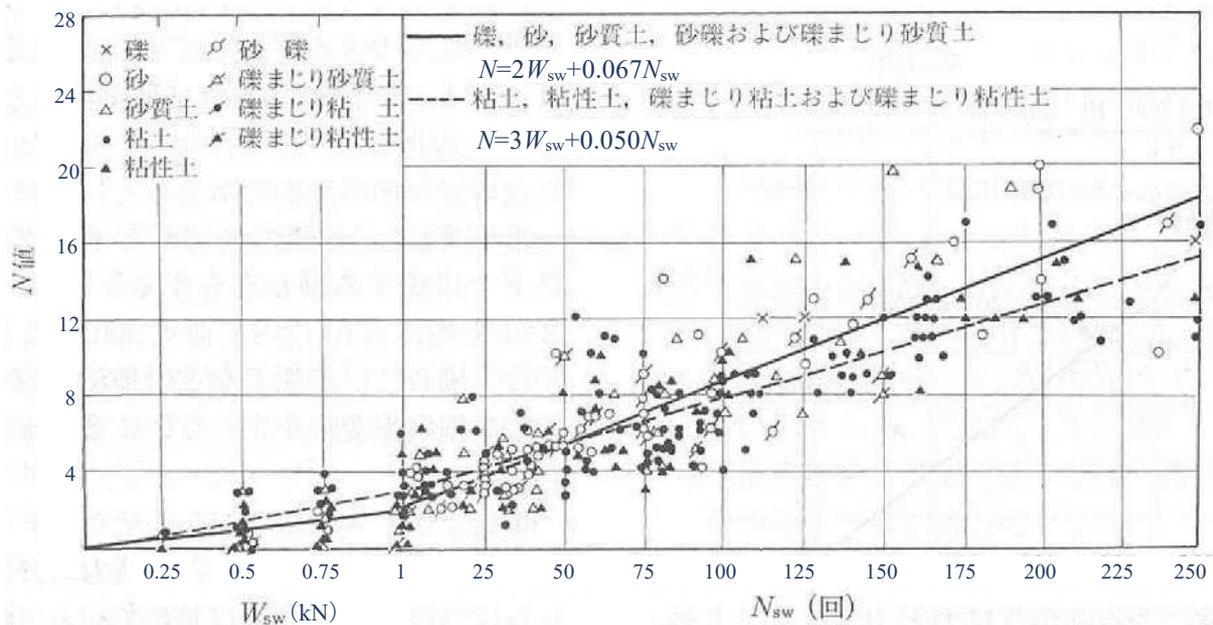


図-1.19 $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値との関係 文献6)に加筆修正

藤井ら¹⁶⁾は、同一敷地内で SWS 試験と SPT が同時に実施された 106 地点のデータを収集・分析している。データの中の最大調査深さは 19m であり、SWS 試験と SPT との位置関係は、ほとんど 10m 以内であり、最大 30m と記述されている。また、データの大部分は、電動式（半自動式）試験機で測定されたものと記載されている。まとめとして以下を報告している。

- ① SWS 試験の自沈層は、主として粘性土および有機質土が対象となる。 N 値が低いほど自沈件数が増大する。
- ② 稲田式（砂質土）は、全体的に適用性が認められるが、10m 以深は過大に評価する傾向がある。
- ③ 粘性土地盤に対して、稲田式（粘性土）は、 N 値を過大に評価する傾向が認められる。
- ④ ローム地盤に対して、稲田式（粘性土）は、十分な適用性が認められる。

なお、稲田式が提案された 1960 年は、SWS 試験の JIS 原案が示された 1963 年以前であり、試験結果のまとめ方は 25 半回転ごと（25 半回転ごとの貫入量が少ない場合は 50, 100, … 半回転ごとでもよい）に貫入量を測って記録されていた。また、SWS 試験は手動式であり、注意深く丁寧に試験を実施しなければ、得られる結果が大きく変わってくることを示唆している。さらに当時の SPT による N 値は、エネルギー効率の低いコーンパーラー法によるものであったため、稲田式の適用精度は疑問視されている。

(2) 一軸圧縮試験の q_u 値

稲田は N 値と同じ地盤を対象に、図-1.20 のとおり粘性土における一軸圧縮強さ q_u 値と SWS 試験結果の関係を示している⁶⁾。軟弱地盤では一般に表土の下に $W_{sw}=0.5\sim 1\text{kN}$ 、 $N_{sw}=0\sim 50$ 程度のシルト質の粘性土があり、その下に緩い砂または砂礫を挟んで、 $N_{sw}=0\sim 100$ 程度の粘土または粘性土の存在する場合が多いとし、 $W_{sw}<0.5\text{kN}$ 、 $N_{sw}>50$ を示す資料に乏しいとしている。このため、 $N_{sw}>100$ を示す粘土または粘性土については、 $W_{sw}\sim q_u$ 値、 $N_{sw}\sim q_u$ 値の相関性を十分に見出すことはできなかったものの、 $N_{sw}<100$ の範囲にある粘土または粘性土にあつては式(1.3)の相関性があるものと判断して差支えないとしている。

$$q_u = 45 W_{sw} + 0.75 N_{sw} \quad [\text{粘土} \cdot \text{粘性土}] \quad (1.3)$$

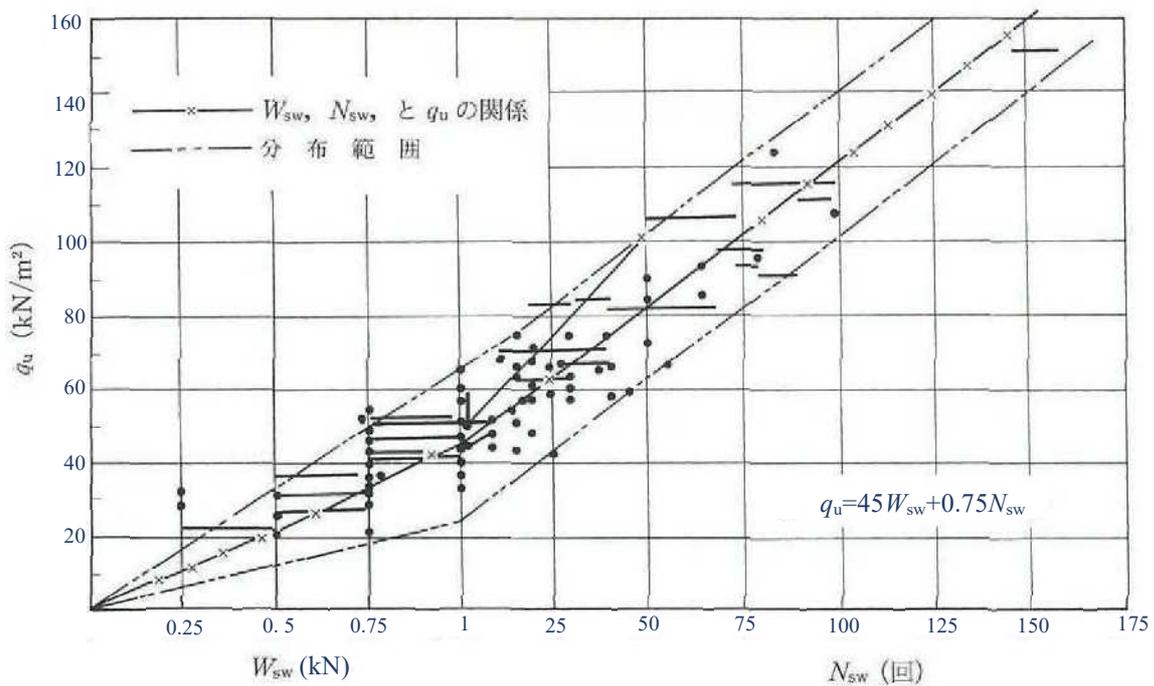


図-1.20 $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と q_u 値との関係⁶⁾に加筆修正

1.2.3 住宅地盤に対する応用研究

(1) 不同沈下形態と住宅基礎の対応

1.1 で述べたように住宅地盤に関わる問題として、不同沈下がある。図-1.21 に不同沈下の主な原因例を示す¹⁷⁾。不同沈下は建物荷重の偏りや、基礎の配置不良、断面不足、基礎選定の誤りなど建築物側の原因もあるが、多くは住宅地盤の問題であり、地盤条件を十分に把握せず設計や施工が行われた場合に多い。不同沈下が起こらない安全な基礎を設計するためには、住宅地盤の性状を適切に見極める必要があり、SWS 試験の役割は非常に大きい。

筆者は、住宅地盤で多点数実施される SWS 試験の結果をもとに図-1.22 のように地盤推定断面図として自動生成することにより宅地地盤を見える化する研究を行っている¹⁸⁾。



図-1.21 不同沈下の原因例¹⁷⁾に加筆修正

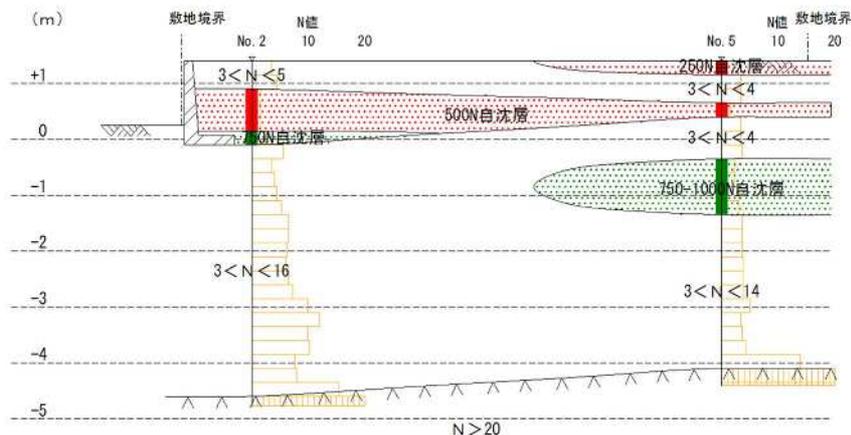


図-1.22 地盤推定断面図例

さらに、S社はSWS試験結果を、地盤補強工事の実績とともにデータベース化できる地図システム(図-1.23, 図-1.24)を構築し、地形・地盤性状・地盤補強仕様の関係性を研究している¹⁹⁾。

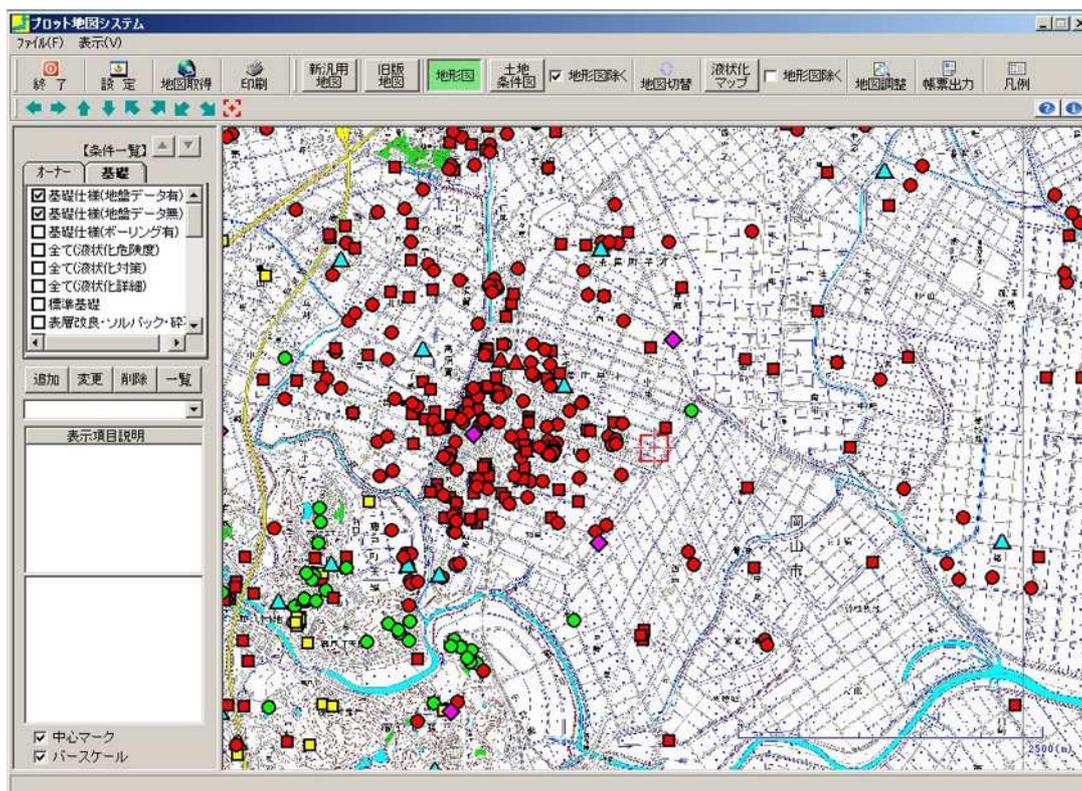


図-1.23 地盤データベースの例 (S社)

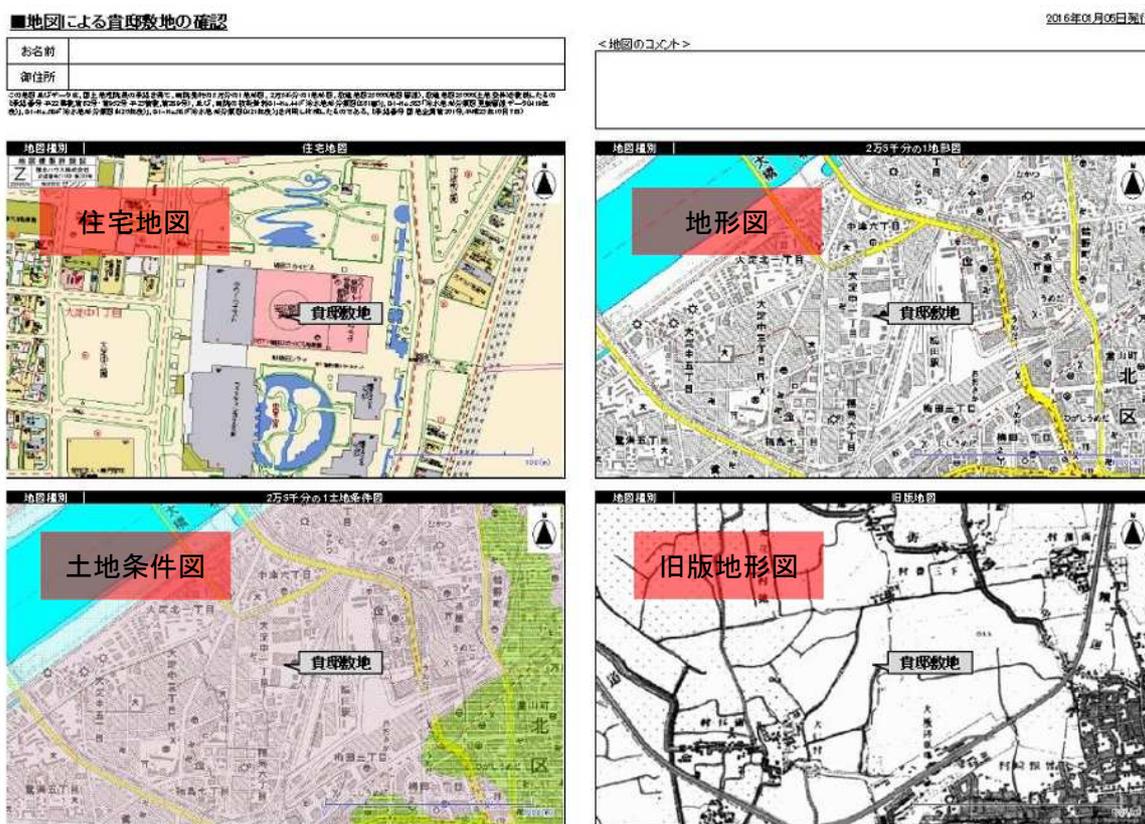


図-1.24 地図データベース出力例 (S社)

住宅地盤に対する主要な地盤補強工法を図-1.25 に示す²⁰⁾。ほとんどの地盤補強工法は、SWS 試験結果をもとに支持力を算定し、設計されている。軟弱層が厚く堆積している場合は、図-1.25(2), (3)に示す杭状地盤補強工法が設計されることが多い。ただし、軟弱層が非常に厚い場合、高有機質土が堆積しているなどの場合は、杭長が過大になることやセメント系固化材が固化しづらいことから、住宅レベルでは万全な沈下対策を採用できないことがあり、ハウスメーカー（S社）では、写真-1.5、写真-1.6に示す基礎と建物の間に鋼製土台を配置し、許容範囲を超えた不陸を容易に矯正できる工法を開発している。高有機質土は低温多湿の条件下で、湿地性植物の遺体が分解不十分なまま自然堆積していることが多い（一般に泥炭と呼ばれる）。

大島ら²⁴⁾は、写真-1.5, 1.6 に示す住宅の不陸矯正工法が開発された国内でも有数の軟弱地盤地帯である長野県諏訪湖南東部に広がる平野部 5 地点において、全自動式試験機による SWS 試験を含む各種サウンディング試験の一斉試験を実施し、高有機質土の地盤沈下の可能性の評価、および各種サウンディング試験の相関性を見出す研究を精力的に実施している。諏訪湖南東部は、写真-1.7 のように植物質が未分解な高有機質土（泥炭）が厚く堆積しており、高度成長期における大規模な盛土造成や農業用水、浅層温泉井戸、ガス井戸での過剰揚水によって局所的に異常沈下が継続しており、また地震時に特に揺れやすい地盤であることなどがわかっている。

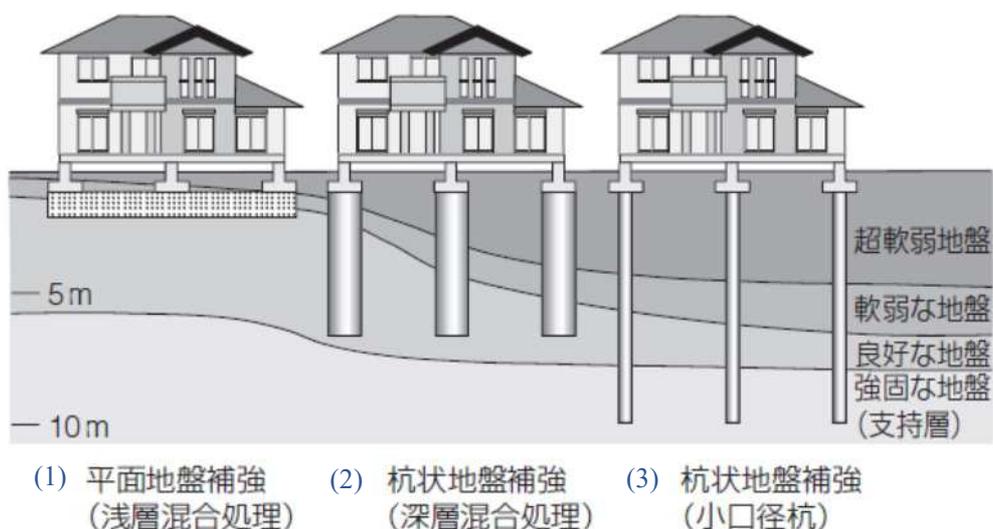


図-1.25 主要な地盤補強工法²⁰⁾



写真-1.5 住宅基礎と鋼製土台（諏訪市）



写真-1.6 鋼製土台活用によるジャッキアップ



写真-1.7 諏訪湖南東部の高有機質土（泥炭）²⁴⁾

また、寒冷地においては冬期の住宅基礎の品質確保に課題があった。住宅基礎は土木構造物と比較し、そのコンクリートボリュームは小さいために初期の水和熱量が小さく、初期凍害のリスクが高くなる。筆者らは、寒中コンクリートに対応した養生工法^{21),22)}や分離防止打設工法²³⁾を研究開発している。

(2) SWS 試験による液状化判定の試み

大島ら²⁵⁾は、地盤調査一斉試験の5地点の試験結果をもとに、各種地盤調査法を用いた液状化判定の比較を行っている。建築基礎構造設計指針²⁶⁾では、SPT から求まる N 値とボーリングによる土の細粒分含有率 F_c の結果をもって液状化安全率 F_L を求める。SWS 試験では、稲田式により換算 N 値を、簡易サンプリングにより F_c 値を求めている。簡易サンプリングの手法は、SWS 試験の試験孔を利用して、ロッド先端に写真-1.8 に示す3種類のサンプラー（(1)ドリルサンプラー、(2)開閉回転式サンプラー、(3)開閉貫入式サンプラー）を取り付けて実施している²⁷⁾。図-1.26 に土の採取方法を示す。



(1) ドリルサンプラー

(2) 開閉回転式サンプラー

(3) 開閉貫入式サンプラー

写真-1.8 SWS 試験用サンプラーの例²⁷⁾

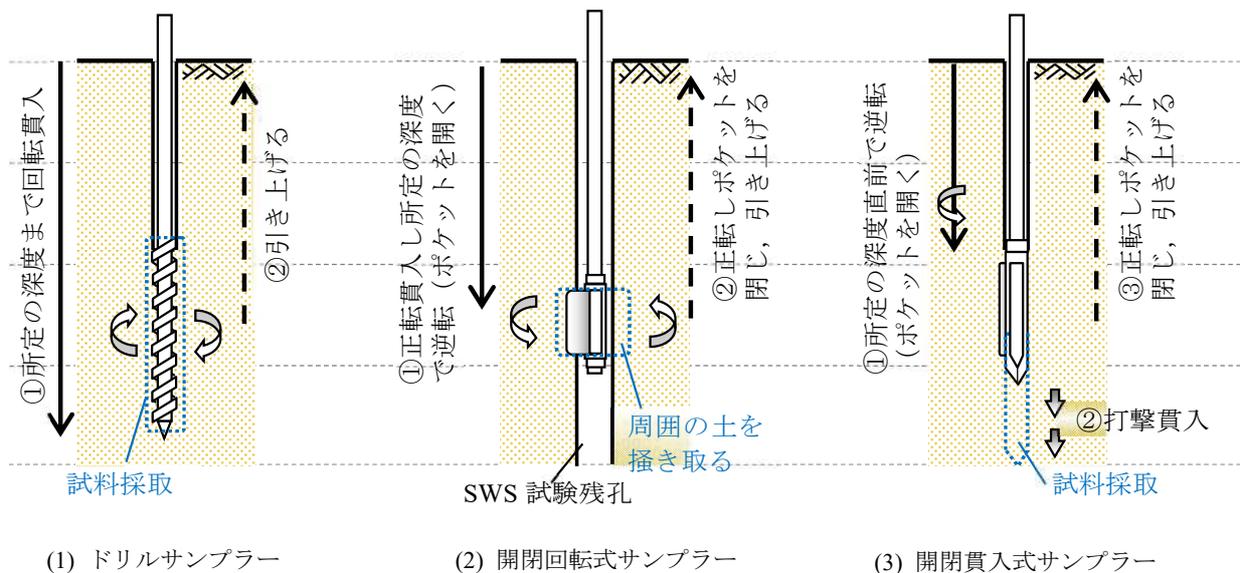


図-1.26 SWS 試験用サンプラーによる土の採取方法²⁷⁾

ドリルサンプラーは、ロームなどを対象とする場合、簡便であり比較的精度が高いと考えられるが、地下水位以深の軟らかい粘性土地盤では細粒分が地下水により流出してしまうと考えられ、 F_c 値が小さくなる傾向が見られた²⁷⁾。

一方、開閉回転式サンプラー・開閉貫入式サンプラーは、地下水位以深でも土の試料採取が可能であることを確認している。ただし、開閉機構の隙間から細粒分が流入していることなども考えられ、 F_c 値は SPT 試料より 1~2 割程度高い傾向を示すこともあり、さらに改善検証を進めている²⁷⁾。

大島ら²⁵⁾は、表-1.3 のように SPT の液状化指数 P_L 値と比較し、SWS 試験による値と比較的よく整合しているが、低コストのまま高精度に液状化判定するためには、稲田式による換算 N 値と SPT による N 値の相関を再検討する必要性を示唆している。

表-1.3 5 地点の建築基礎構造設計指針に基づく P_L 値 (対象深度 10m)²⁵⁾

地点	α_{max} (gal)	SRS (自重低減機)	MRS	SWS			SPT	地下水位 WL (m)
	簡易 SP			N 社 (Y)	S 社 (N)	H 社 (H, N)		
大阪市 鶴町	200	0.0	0.1	1.7	-	-	1.0	-1.62
	350	2.2	5.8	7.6	-	-	7.5	
	簡易 SP	SRS 従来型	手動 Vibro	(手動 Vibro)	-	-	SPT SP	孔内水位
浦安市港	200	9.8	7.8	6.0	1.5	2.5	7.9	-0.92
	350	27.0	28.1	19.1	19.5	17.8	24.6	
	簡易 SP	SRS 新型	手動 Vibro	SWS 開閉式	(手動 Vibro)	(手動 Vibro)	SPT SP	孔内水位
唐津市原	200	1.7	-	1.1	-	-	2.4	-2.10
	350	17.6	-	8.3	-	-	16.6	
	簡易 SP	SRS 新型	-	SWS 開閉式	-	-	SPT SP	孔内水位
香取市 地点 1	200	4.5	6.6	-	7.2	5.2	-	-1.00
	350	16.9	19.6	-	14.6	19.2	-	
	簡易 SP	SRS 新型	手動 Vibro	-	SWS 貫入式	自動 Vibro	-	SWS H 社
香取市 地点 2	200	0.2	1.8	3.2	1.5	1.0	4.7	-1.30
	350	7.9	8.4	13.1	5.4	5.6	16.2	
	簡易 SP	SRS 新型	手動 Vibro	SWS 開閉式	SWS 貫入式	自動 Vibro	SPT SP	孔内水位

SRS : 大型動的コーン貫入試験, MRS : 中型動的コーン貫入試験

1.3 研究の目的

土木構造物や中規模以上の建築物の地盤調査は、標準貫入試験（SPT）を併用するボーリング調査が基本であるが、住宅地盤ではコストの制約もあり、安価に多点数調査できるスクリーウエイト貫入（SWS）試験が標準となっている。住宅建築件数が多いことから、SWS 試験は現在国内で最も多く行われている地盤調査方法である。2020 年の JIS 改正において、全自動式試験機による方法が定義され、回転速度の範囲やスクリーポイントの形状が明確化されたものの、試験結果に与える各種要因の影響は明確ではない。また、SWS 試験はスウェーデン発祥であるが、試験方法は ISO 規格と JIS 規格でそれぞれ独自の発展をとげてきた。海外で JIS 規格を活用するためには、ISO 規格と JIS 規格との試験結果の違いを検証することは重要である。

さらに、SWS 試験で得られる荷重 W_{sw} (kN) と半回転数 N_{sw} は、1.2.2 で示した稲田による式(1.1), (1.2), (1.3)によって N 値、一軸圧縮強さ q_u 値に換算することが実務では一般に行われている。しかし、稲田式は約 60 年前に名神高速道路予定路線の軟弱沖積地盤での地域限定の測定値に基づいて提案されたものであること、また、当時の SWS 試験は手動式試験機であり、SPT はコーンプリー法であることから、その適用精度は疑問視されてきた。住宅地盤の評価をより正確に行うためには、SWS 試験結果 ($W_{sw} \cdot N_{sw}$) と N 値および非排水せん断強さ s_u ($=q_u/2$) との相関性を高めることが必要である。

本論文では、SWS 試験結果に与える要因の影響として、現在調査の主流となっている 3 種類の全自動式試験機を対象に、その試験結果を比較検討する。次に JIS 規格と ISO 規格の違いを確認し、その試験結果を比較検討する。また、全自動式試験機との組み合わせではほとんど研究されてこなかったスクリーポイントの摩耗と形状の影響および回転速度の影響を検討する。さらに、2010 年より全国各地の 33 地点で実施した SWS 試験結果 ($W_{sw} \cdot N_{sw}$) と N 値および粘性土の非排水せん断強さ s_u 値との比較を行い、相関性を再検討し、新たな相関式を提案する。

以上から、住宅地盤における SWS 試験の評価精度を高めることが本研究の目的である。

1.4 本論文の構成

以下に本論文の各章の概要を述べる。

第1章では、住宅地盤の地盤調査におけるスクリーウエイト貫入 (SWS) 試験の変遷を紹介し、SWS 試験結果に与える要因、 N 値、 q_u 値との相関、住宅地盤への応用に関する既往の研究を紹介した。そして、本研究の目的を示し、論文の構成を述べた。

第2章では、本研究で実施したサウンディング試験方法および室内力学試験方法を述べる。さらに、本研究で対象とした調査地点とその地盤性状をまとめる。

第3章では、SWS 試験結果に与える各種要因の影響を調べた結果を示す。まず、3種類の全自動式試験機による試験結果を示し、調査結果の違いを考察する。次に、JIS 規格と ISO 規格での比較試験結果を示し、両規格による調査結果の違いを考察する。次に、摩耗度の異なるスクリーポイント、摩耗の影響を受けていない数種類の直径のスクリーポイントおよびエッジのない円錐スクリーポイントでの試験結果を比較し、摩耗の影響を考察する。さらに SWS 試験の回転速度を変えた仕様での試験結果を示し、回転速度の影響を考察する。以上から、実務に適した試験条件を示す。

第4章では、全国 33 地点で実施した SWS 試験結果 ($W_{sw} \cdot N_{sw}$) と SPT による N 値および室内土質試験から求めた粘性土の非排水せん断強さ s_u 値との比較を行い、相関性を再検討し、新たな相関式を提案する。また、新相関式の N 値、 s_u 値への適用例を示し、従来の稲田式に対する新相関式の適用を考察する。

第5章では、各章で得られた結果を要約し、本論文の結論をまとめる。

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説 一二分冊の1ー， p.325， 2013.
- 2) 土質工学会調査部：JIS 原案「スウェーデン式サウンディング試験方法」，土と基礎， Vol.11， No.7， pp.23-29， 1964.
- 3) 日本産業規格「スクリーウエイト貫入試験方法」 Method for screw weight sounding test (JIS A 1221:2020)， 2020.
- 4) 地盤工学会：SWS 試験規格 (JIS A 1221) 改正にあたって，地盤工学誌， Vol.57， No.1， No.612， p.31， 2009.
- 5) 室町忠彦：簡易地耐力調査の一方法について，土と基礎， Vol.2， No.7， p.36， 1954.
- 6) 稲田倍穂：スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について，土と基礎， Vol.8， No.1， pp.13-18， 1960.
- 7) 日本工業規格「スウェーデン式サウンディング試験方法」 Method for Swedish weight sounding test， (JIS A 1221:2002)， 2002.
- 8) 宅地地盤調査国土交通省，宅地防災：宅地の液状化について， http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_fr1_000010.html (2021年12月11日閲覧)。
- 9) 伊集院博・藤井衛・田村昌仁・郭賢治・佐藤克彦：スウェーデン式サウンディング試験における電動式の検討，第30回土質工学研究発表会， pp.307-308， 1995.
- 10) 公平絵美・藤井衛・若命善雄・田村昌仁：スウェーデン式サウンディング試験におけるスクリーポイントの形状および試験方法の違いが N_{sw} におよぼす影響，第37回地盤工学研究発表会， pp.97-98， 2002.
- 11) 郭賢治・藤井衛・田村昌仁：スウェーデン式サウンディング試験結果におけるスクリーポイントの貫入機構に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集， pp.893-894， 1995.
- 12) 藤井衛・田村昌仁・伊集院博：小規模建築物の地盤を対象としたスウェーデン式サウンディング試験方法の評価と問題点，日本建築学会構造系論文集，第557号， pp.121-128， 2002.
- 13) 下平祐司・廣瀬竜也・大島昭彦：二重管スウェーデン式サウンディングの開発と貫入抵抗値の考察，GBRC， Vol42， pp.31-37， 2017.
- 14) 廣瀬竜也・大島昭彦・下平祐司・平田茂良・深井公・平田拓也・白波瀬雅史・北田正行：二重管スウェーデン式サウンディングの開発と測定例，第47回地盤工学研究発表会， pp.189-190， 2012.
- 15) 下平祐司・廣瀬竜也・大島昭彦・規矩大義・柳浦良行・平田茂良・深井公：滋賀県守山市における地盤調査一斉試験 (その10：DT-SWS)，第48回地盤工学研究発表会， pp.189-190， 2013.
- 16) 藤井衛・二木幹夫・伊集院博・風間了・田村昌仁・阿部秋男：スウェーデン式サウンディングによる N_{sw} と標準貫入試験による N 値との相関性，日本建築学会技術報告集，第3号， pp.64-68， 1996.
- 17) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計指針， p.256， 2008.
- 18) 日本国特許庁：建築物の地盤調査システム，特許公報第3919079号， 2007.
- 19) 日本国特許庁：建築物情報管理システム，特許公報第3979488号， 2007.
- 20) 日本材料学会 地盤改良部門委員会編(株) オーム社：実務者のための戸建住宅の地盤改良・補強工法～考え方から適用まで～， p.13， 2010.
- 21) Akira FUKAI ・Masashi SUGIYAMA : Application and Research of the Housing Base Concrete to the Curing Using New Heating Sheets， 2006 8th CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology(ACI SP235-17),pp.257-268， 2006.

- 22) 深井公・勝田直樹・杉山雅：住宅基礎コンクリートの冬期養生方法の開発，日本建築学会 技術報告集第 22 号，pp.13-16，2005.
- 23) 深井公・山西耐・小作重夫・菅原和彦・辻田耕一・宮木聡：分離防止装置を使用して打設した戸建住宅基礎コンクリートの性状，日本建築学会 技術報告集第 24 号，pp.11-14，2006.
- 24) 大島昭彦・平田茂良・高橋秀一・深井 公・渡辺佳勝・下平祐司・小川正宏：長野県諏訪市湖南の地盤調査一斉試験による地盤性状と沈下予測，日本材料学会，材料，Vol. 67，No. 1，pp. 34-41，2018.
- 25) 大島昭彦・平田拓也・山田卓・平田茂良・深井公・下平祐司・金哲鎬：宅地の各種地盤調査法を用いた液状化判定の比較，日本材料学会第 11 回地盤改良シンポジウム，pp.195-202，2014.
- 26) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.61-65，2001.
- 27) 岡田勝彦・深井公・大島昭彦・下平祐司・坂本新：スウェーデン式サウンディング試験用の簡易サンプラーの適用性，第 49 回地盤工学研究発表会，No.45，pp.89-90，2014.

第2章 調査方法および調査地点

2.1 ボーリング・標準貫入試験(SPT)

ボーリング (Boring) は、掘削機を用いて地盤内に孔を掘る方法・作業をいう。建設工事では、サウンディング試験 (地盤強度)、サンプリング (試料採取)、調査機器設置などで地盤を削孔する目的で使われている。

標準貫入試験 (Standard Penetration Test, SPT) は、ボーリングロッドの先端に取り付けたSPTサンプラーを動的貫入することによって地盤の硬軟、締まり具合の判定、および土層構成を把握するための試料を採取する方法としてJISA 1219に規定されている¹⁾。SPTは、質量63.5kgのハンマーを高さ76cmから自由落下させ、ボーリングロッド頭部に取り付けたアンビル (ノッキングブロック) を打撃し、ボーリングロッド先端に取り付けた中空円筒のSPTサンプラー (外径51mm, 内径35mm) を30cm貫入させるのに要する打撃回数をN値として計測する。一般には深さ1.0m毎に実施するが、本研究のように、深さ0.5m毎に連続的に行う場合もある。SPTのN値はボーリング作業と並行して行い、ロッドよりも径の大きなボーリング孔を削孔するため、他のサウンディング試験とは異なり、地盤とロッドとの間に周面摩擦力が働かない。そのため、N値は任意の深度の正確な地盤強度を測定することができ、SPTサンプラーにより試料採取も同時に行うことができるので、地盤構造の複雑な日本で多用されている。ボーリングマシンの例を図-2.1、SPTの概要図を図-2.2に示す。また、ボーリング・SPTの状況を写真-2.1に示す。

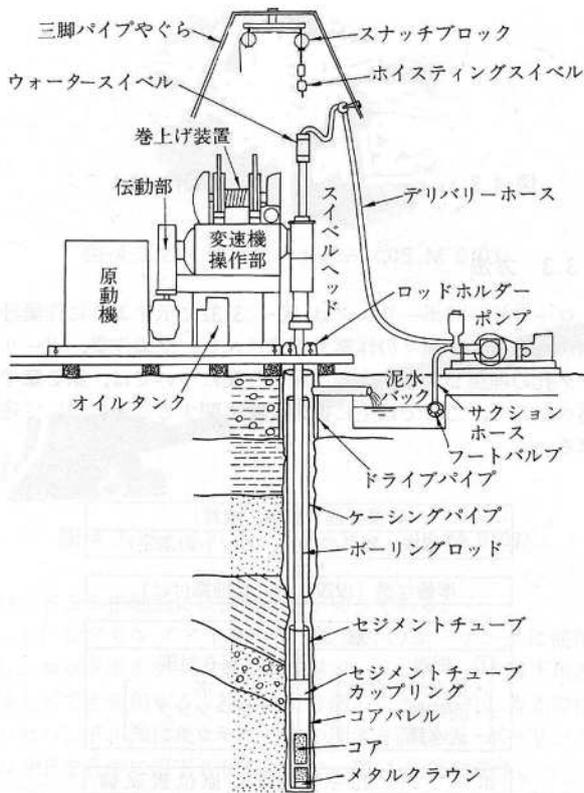


図-2.1 ボーリングマシンの例²⁾

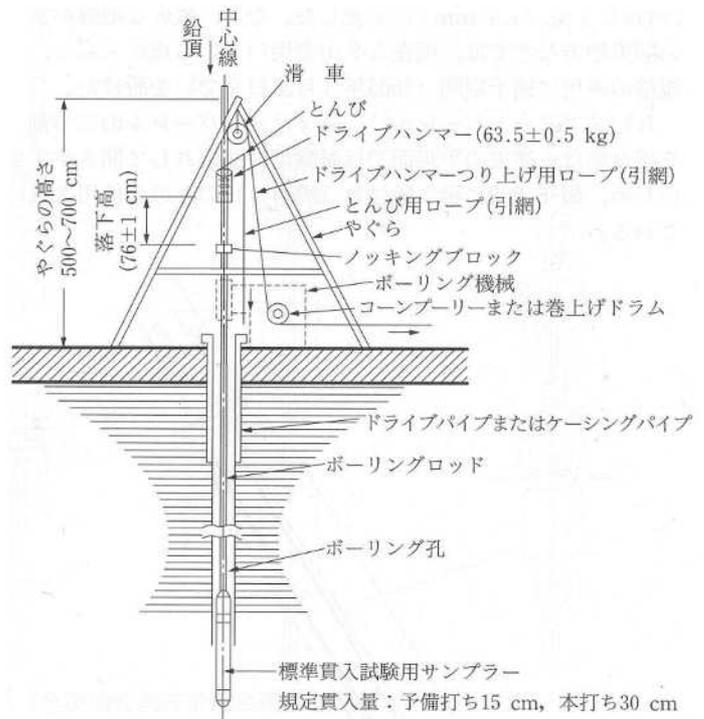


図-2.2 標準貫入試験 (SPT)³⁾



(1) ボーリング・SPT 実施の風景



(2) ボーリング孔



(3) ボーリング・SPT で用いる中空ロッド



(4) SPT サンプラーによる試料採取状況

写真-2.1 ボーリング・SPT の状況

2.2 スクリューウエイト貫入（SWS）試験

2.2.1 試験概要

SWS 試験は自然地盤及び人工地盤を対象として、スクリューウエイト貫入試験機を用いて、地盤の硬軟、締まり具合および土層構成を評価するための静的貫入抵抗を求める試験方法として JIS A 1221 に規定されている⁴⁾。荷重による貫入と回転による貫入を併用したサウディング試験であり、簡易なサウディング試験の中では比較的貫入能力に優れている。図-2.3 に JIS A 1221:2020 に示されている手動式と全自動式による試験機の例を示す。本研究では全自動式試験機による試験結果を用いる。

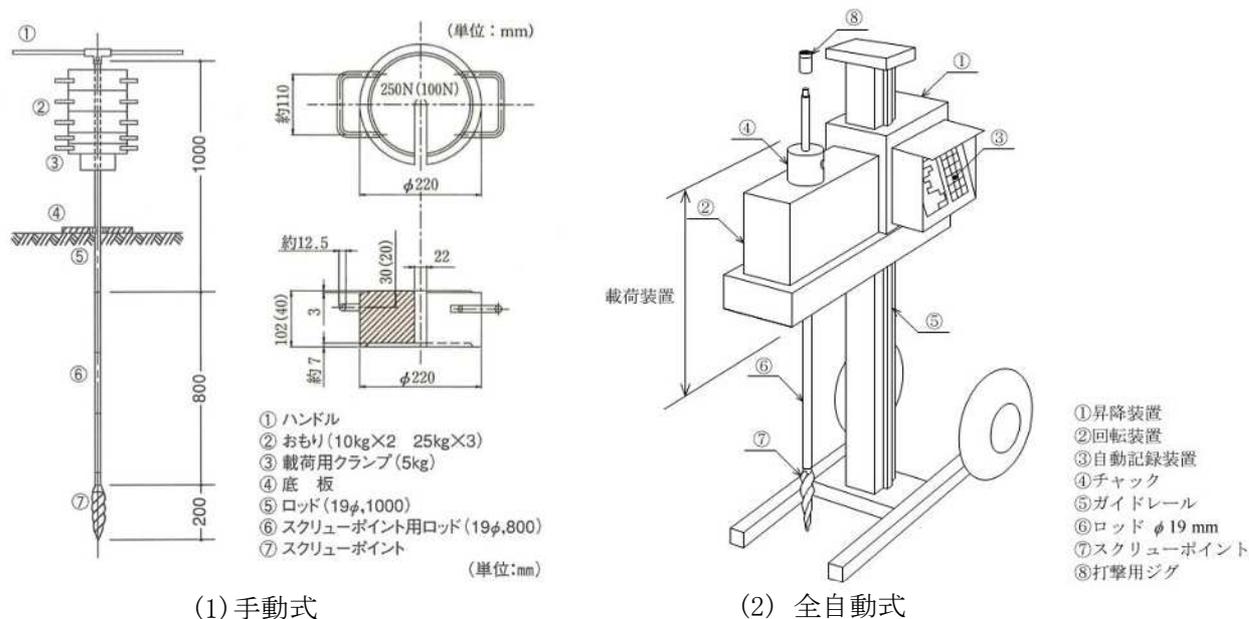


図-2.3 SWS 試験機の例⁴⁾

2.2.2 試験方法（全自動式，JIS A 1221：2020 を加筆修正）

- ① 試験前に、スクリューポイント（以下 SP と呼ぶ）、载荷装置および回転装置が損傷していないこと、並びにロッド及びねじ部の変形及び損傷がないことを目視によって点検する。
- ② 試験機を調査地点上に水平に設置する。試験機にあらかじめ SP を取り付けたロッドを固定し、SP 先端が地表面に接触するように鉛直に立てる。
- ③ 载荷する荷重は、50N、150N、250N、500N、750N および 1000N とし、段階的に载荷することを標準とするが、0N～1000N までの任意の荷重を段階的に载荷してもよい。
- ④ 各载荷段階でロッドが自沈する場合は、自沈が停止するまでの貫入長を測定し、このときの荷重を静的貫入最小荷重 W_{sw} (kN) として自動記録する。また、このときの貫入状況を記録する。なお、貫入速度が 5mm/s 以下を自沈停止とみなしてもよい。
- ⑤ 各载荷段階でロッドの自沈が停止した後、次の段階の荷重をかけ、④の操作を繰り返す。
- ⑥ 荷重 1000N の段階で、ロッドの自沈が停止した場合は、鉛直方向に力を加えないように回転装置によってロッドを右回りに回転させ、次の 0.25m まで貫入させるのに必要な測定半回転数 N_0 および貫入長を測定し、自動記録する。また、このときの貫入音を記録する。その場合の回転速度は、1 分間当たり 15 回転～40 回転とするが、1 分間当たり 30 回転が望ましい。以後の測定は、0.25m ごとに行う。ここで、地盤中の礫、転石、異物などによって回転貫入が進まない場合には、回転を一旦停止し、打撃用ジグをロッド頭部に取り付けた状態で、ハンマーなどで打撃して、回転貫入が進まないことが一時的ではないかどうかを確認する。

- ⑦ 載荷装置の下端が地表面付近に達したら、載荷装置とロッドとの固定を解除する。鉛直性を確認しながらロッドを継ぎ足し、③～⑥の操作を行う。
- ⑧ 回転貫入の途中で、急激な貫入が生じた場合は、回転を与えずに貫入するかどうか確認する。その後、1000N の荷重だけで貫入する場合は④に従って、貫入しない場合は⑥に従って、以後の操作を行う。なお、貫入速度が 80mm/s 以上を急激な貫入とみなしてもよい。
- ⑨ SP が硬い層に達し、貫入量 5cm あたりの半回転数が 50 回以上となる場合、ロッドの回転時の反発力が著しく大きくなる場合、または大きな石などに当たりその上で空転する場合には貫入を終了してもよい。
- ⑩ 試験終了後、引抜き装置によってロッドを引き抜く。ロッドの直線性及び状態、並びに SP の摩耗および損傷を目視によって点検し、記録する。

換算半回転数 N_{sw} は、測定半回転数 N_a の記録をとった貫入長の増分から貫入量 L を求め、式(2.1)を用いて貫入量 1m 当たりに換算した値として算出する。

$$N_{sw} = \frac{N_a}{L} \tag{2.1}$$

ここで、 N_{sw} : 換算半回転数

N_a : 貫入量 L に要した測定半回転数

L : 貫入量 (m)

2.2.3 全自動式試験機

現在、日本で使われている SWS 試験の全自動式試験機は約 6 種類ある。この全自動式試験機による試験結果を比較するために、代表的な 3 機種 of 全自動式試験機を使用した。使用した全自動式試験機は写真-2.2 に日東精工社製 (SWS-N)、写真-2.3 にワイビーエム社製 (SWS-Y) および写真-2.4 にトラバース社製 (SWS-T) を示す。NPO 住宅地盤品質協会の加盟会社へのアンケート結果によれば、3 機種で日本市場の約 90% のシェアを占めている⁵⁾。各試験機の仕様を表-2.1 にまとめる。



写真-2.2 日東精工社製 全自動式試験機 (SWS-N)



写真-2.3 ワイビーエム社製 全自動式試験機 (SWS-Y)



写真-2.4 トラバース社製 全自動式試験機 (SWS-T)

表-2.1 本研究に用いた全自動式試験機の仕様

試験機名	(1) SWS-N (ジオカルテ)	(2) SWS-Y (SST-100)	(3) SWS-T (T-W1000)
メーカー	日東精工	ワイビーエム	トラバース
試験機寸法	W630×D930 ×H1290mm	W670×D1055 ×H1440mm	W528×D725 ×H1240mm
ロッド	φ19×750mm	φ19×1000mm	φ19×1000mm
荷重制御	荷重フィード バック制御	実荷重	実荷重
荷重段階 (N)	50,150,250,500, 750,1000 6段階	250,500, 750,1000 4段階	0~1000 1N単位で可変
荷重センサ	ロードセル	重り位置センサ	ロードセル
回転駆動力	サーボモーター	インダクションモーター	サーボモーター
回転速度	25rpm	19rpm	30 rpm
最大トルク	210N・m	100N・m	115.2N・m
トルク計測	サーボ電圧	—	—
貫入量計測	エンコーダ	エンコーダ	リニアエンコーダ
自沈判定	貫入速度 (80mm/s 超)	貫入速度 (126mm/s 超)	貫入速度 (80mm/s 超)
回転開始	荷重 1000Nで 自沈しない (5mm/s 以下)	荷重 1000Nで 自沈しない (3.3mm/s 以下)	荷重 1000Nで 自沈しない (5mm/s 以下)
計測項目	荷重, 半回転数, 貫入量, 回転トルク	荷重, 半回転数, 貫入量, 貫入速度	荷重, 半回転数, 貫入量
試験情報 項目	年月日, 時間, 試験番号, 打撃数, コメント	年月日, 時間, 試験番号, 打撃数, コメント	年月日, 時間, 試験番号, 打撃数
ロッド 引抜き力	本体: 1.47kN 手動引抜装置 19.6kN	本体: 1.65kN	本体 1.81kN 手動引抜装置 13.7kN

2.2.4 JIS規格とISO規格

SWS試験にはJIS規格の他に、対応国際規格としてのISO規格がある⁹⁾。2017年にISO 22476-10 (Weight sounding test) として制定された。JIS規格は国際化への対応を目的として、ISO規格との整合が求められているが、2020年のJIS改正においては、ISO規格を基にしたものの、我が国で使用されている試験装置および試験方法によって長年蓄積された地盤データに基づいて建築、土木などの設計体系が成り立っていることが考慮され、SPの形状、ロッドの直径、 N_{sw} の定義などはJIS規格独自のものとなっており、ISO規格とは違いがある。表-2.2にJIS規格とISO規格の違いを示し、図-2.4、写真-2.3にJIS規格とISO規格のSPの形状を示す。

SPの全長はともに200mmであり、JISは200mmで1回転の右ねじり、ISOは先端から50mmは四角錐でねじられておらず、130mm間で1回転の右ねじれとなっている。SPの最大径はJISでφ33mm、ISO

表-2.2 JIS規格とISO規格の違い(6)に加筆修正

区分	対象	JIS A1221:2020	ISO22476-10:2017
スクリーポイント	全長	200mm	200mm
	最大径	33mm	35mm
	摩耗限界	最小径 30mm	最小径 32mm
	ねじり方	200mm で右 1 回転	130mm で右 1 回転
	先端部形状	高さ 2.5mm で四角錐	高さ 50mm で四角錐
ロッド	直径	19mm	22mm
	長さ	SP 連結 : 0.8m	SP 連結 : 0.8m
		継足し : 1.0m, 0.75m	継足し : 1.0m, 2.0m
質量	2.0±0.5kg/m	2.5±0.5kg/m	
貫入速度	自沈停止	5mm/s 以下	20mm/s 以下
	急激な貫入	80mm/s 以上	50mm/s 以上
回転速度	標準値	15~40rpm, 30rpm が望ましい	15~40rpm
結果の評価	N_{sw} の定義	貫入量 0.25m の半回転数 N_a を 1m に換算	貫入量 0.20m の半回転数

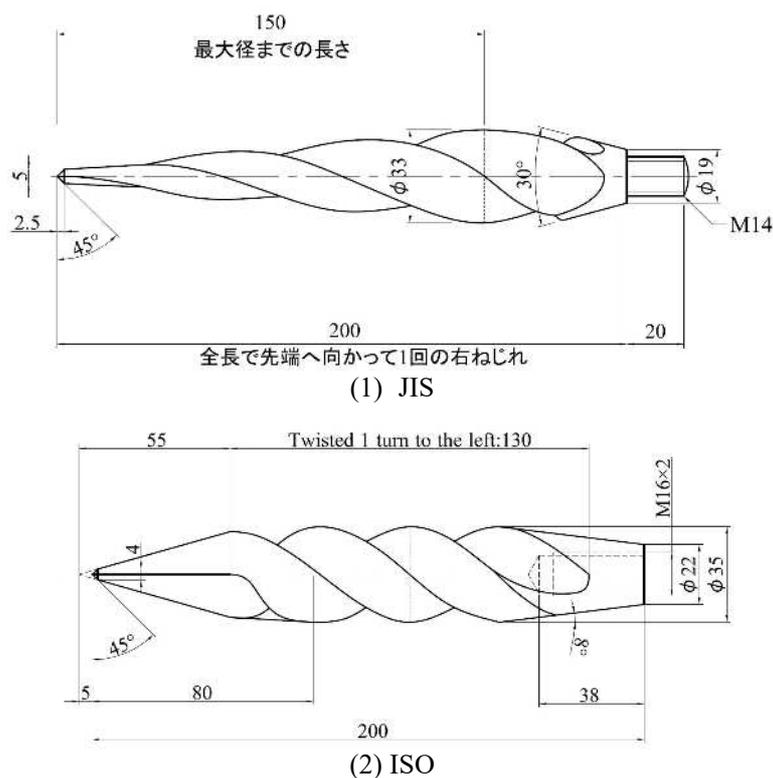


図-2.4 スクリューポイントの形状

で $\phi 35\text{mm}$ となっており、ISOの方が太く、JISのほうがスリムな形状となっている。SPの質量から鉄の密度 7.85g/cm^3 としてボルトを除く体積を算定すると、JISは約 70cm^3 、ISOは約 107cm^3 となり、ISOが1.5倍程度大きい。ロッドもJISとISOで違いがあり、ロッド直径はJISの $\phi 19\text{mm}$ (断面2次モーメント: $6,397\text{mm}^4$)に対して、ISOは $\phi 22\text{mm}$ (同 $11,499\text{mm}^4$)となっている。ISOの方が、剛性が高く、曲がりにくいと思われる。JISでは、0.25mごとの半回転数 N_a を1mに換算した半回転数 N_{sw} で評価するが、ISOでは0.2mごとの半回転数で評価している。ただし、試験方法に本質的な違いはない。

2.3 室内力学試験の方法

2.3.1 一軸圧縮試験

本試験は、JIS A 1216 で規定されている方法で実施した。この試験は、直径 3.5cm、高さ 8cm に成形した円柱供試体を一軸圧縮試験機（写真-2.5）にセットし、毎分 1%の圧縮ひずみが生じる割合で側方変位を許す形で連続的に圧縮を行う。圧縮中は、変位計で圧縮量 ΔH と荷重計 P を測定する（写真-2.6）。その結果から圧縮応力 σ と圧縮ひずみ ε を算定して応力-ひずみ曲線を書き、最大圧縮応力から一軸圧縮強さ q_u を得る。飽和粘性土の一軸圧縮試験は圧密をさせず、比較的速い速度で圧縮するため、非圧密非排水（UU）試験と見なすことができる。UU 条件でのせん断強さは、側方応力の大きさにかかわらず一定になる。これより、図-2.5 に示すようにモールの応力円の半径から、式(2.1)の関係が成り立つため⁷⁾、一軸圧縮強さ q_u から非排水せん断強さ s_u を求めることができる。

$$s_u = c_u = q_u / 2 \quad (2.1)$$



写真-2.5 一軸圧縮試験機



写真-2.6 変位計（左）、荷重計（右）

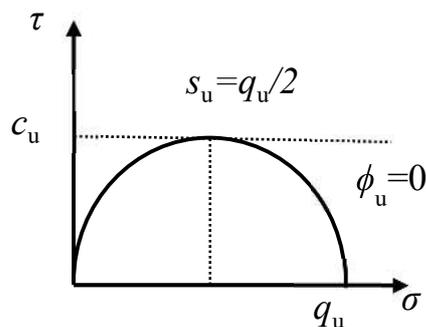


図-2.5 粘性土の一軸圧縮強さとモールの応力円⁷⁾

2.3.2 一面定体積せん断試験

本試験は、JGS 0560 で規定されている方法で実施した（写真-2.7～2.11）。上下に分かれたせん断箱に土供試体（直径 6cm，高さ 2cm）を納め，供試体が原位置で受けていた有効応力（有効土被り圧 p_0 ）と同じ大きさの垂直応力 σ で圧密した状態（再圧縮法）でせん断応力 τ を与え，供試体の体積を一定に保って，可動箱を水平に移動させてせん断し，一面定体積せん断強さ s_{ub} を計測する試験である。一面定体積せん断試験は乱さない飽和粘土の塊状試料を対象とし，非排水せん断と等価となるため，この試験からも非排水せん断強さ s_u を求めることができる。



写真-2.7 一面せん断試験機



写真-2.8 せん断箱（下）



写真-2.9 せん断箱（上）



写真-2.10 せん断箱上下設置



写真-2.11 せん断箱組立

2.4 調査地点と地盤性状

SWS 試験は、2010 年より 11 年間にわたり全国 33 地点で継続してきた地盤調査一斉試験の中で実施している^{8)~37)}。図-2.6 に全国の調査地点位置図を示す。調査地点の多い大阪近郊の調査地点位置図を図-2.7 に示す。なお、調査地点の詳細な位置図と調査配置図は巻末の付録-1~28 にまとめた。

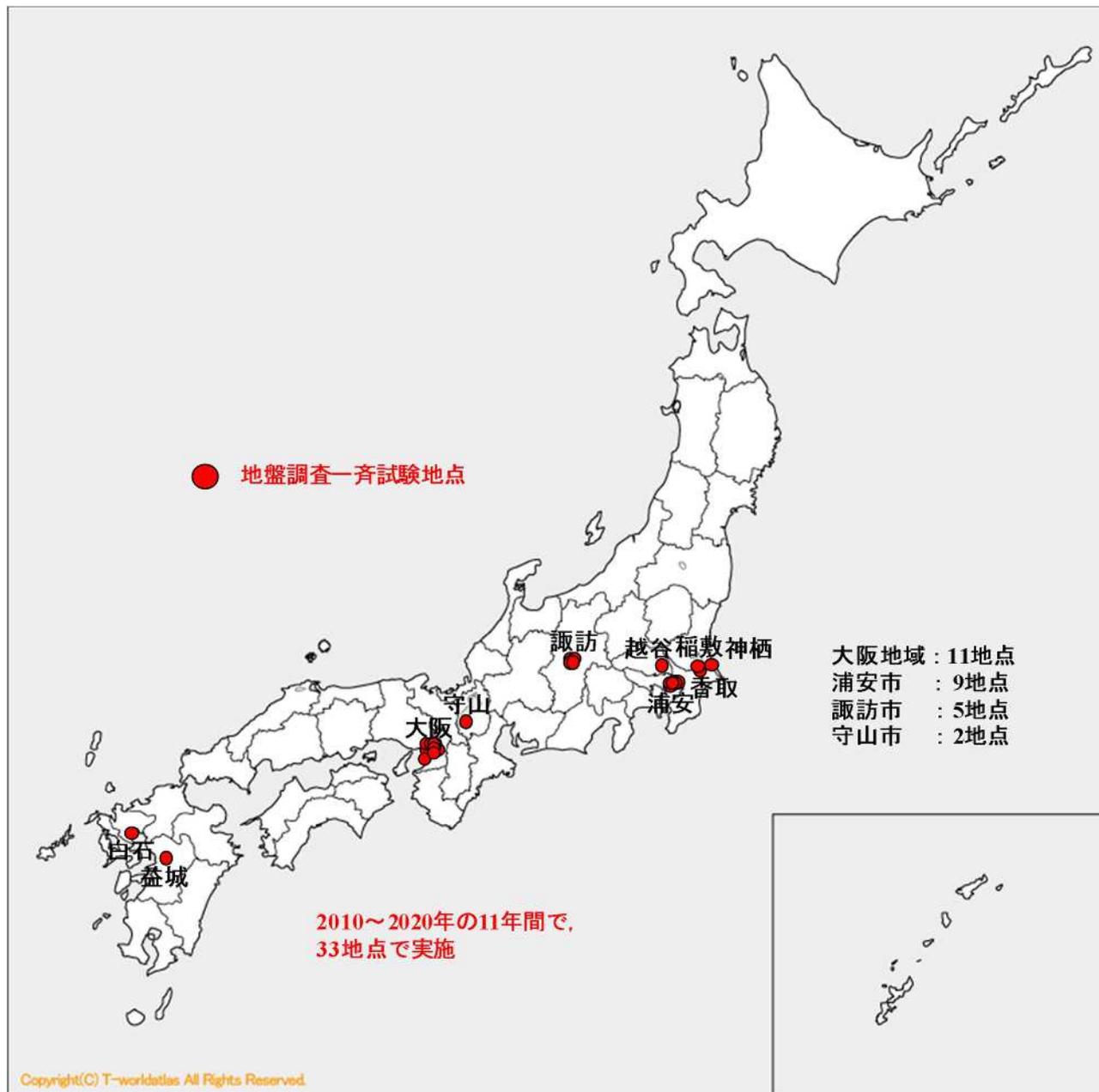


図-2.6 全国の調査地点位置図

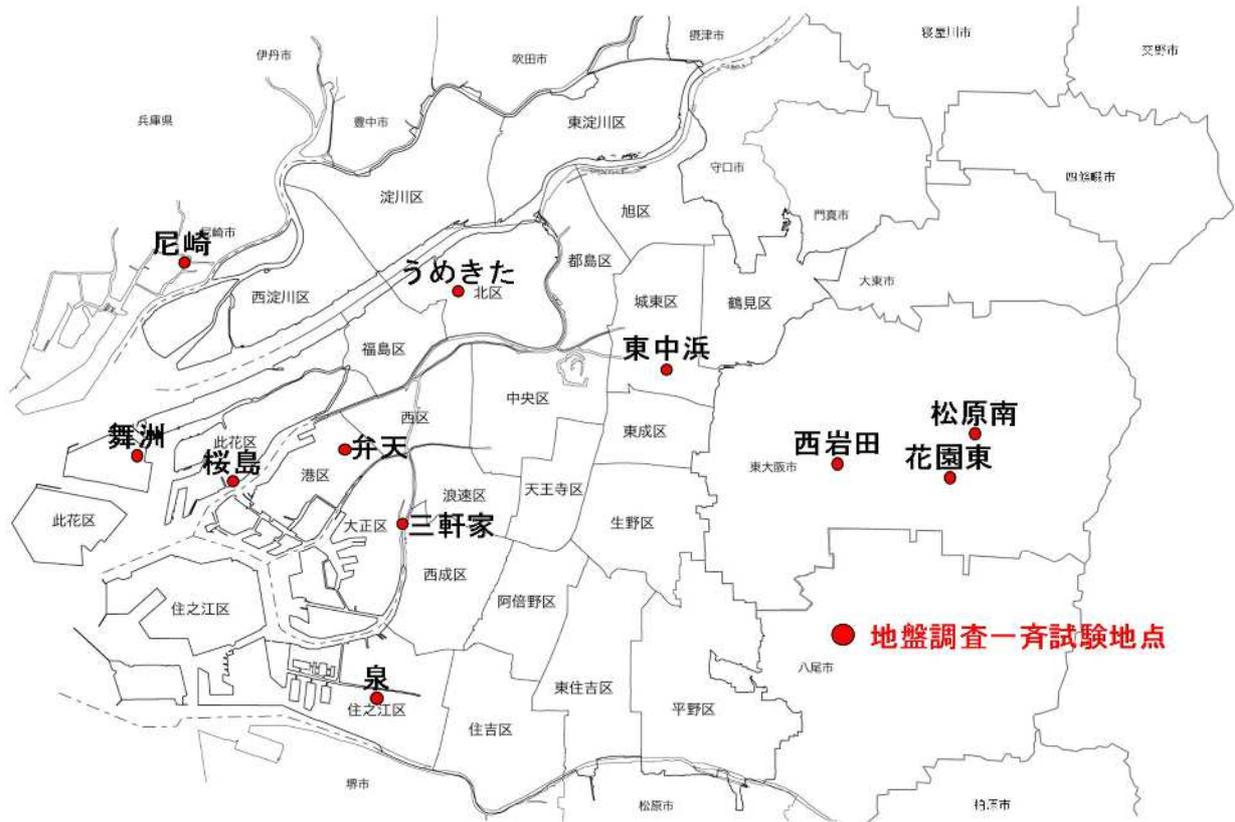


図-2.7 大阪地域の調査地点位置図

表-2.3 に全 33 調査地点名，地形条件および試験状況を示す。SWS 試験については，日東精工社製の SWS-N で実施した試験を標準仕様 (JIS) と表記し，数値は最大調査深度を示す。「全自動式試験機比較」はワイビーエム社製を Y，トラバース社製を T と表記している。「ISO との比較」，「スクリーポイントの摩耗と形状の比較」および「回転速度の影響」については，試験実施地点に○を記載している。SPT については調査深度，室内力学試験については試験数を示している。

図-2.8~2.40 に各地点の地盤性状として深度 20m までの柱状図， N 値，粘性土のコンシステンシー（自然含水比 w_n ，液性限界 w_L ，塑性限界 w_p ）および粒度（細粒分含有率 F_c ，粘土分含有率）の深度分布を示す。各図は土質を区別するために，砂質土は灰色，粘性土は水色，高有機質土は黄色の背景色で表している。

表-2.3 調査地点と試験状況

地点名	実施年	地形条件	サウンディング					室内力学試験数		
			SWS 試験 (m)					SPT (m)	一軸圧縮試験	一面定体積せん断試験
			標準仕様 SWS-N (JIS)	全自動 試験機 比較	ISO 比較	SP 摩耗 形状	回転 速度			
東大阪市松原南	2010	氾濫平野	22.5					23.5	10	—
浦安市高洲 8-1	2011	埋立地	20	Y				20.5	—	—
浦安市高洲 8-3	2011	埋立地	20					20.5	5	—
東大阪市花園東	2011	氾濫平野	18					23.5	14	—
大阪市城東区東中浜	2012	氾濫平野	17.5	Y				19.8	17	16
茨城県神栖市堀割	2012	盛土地	15	Y				17.9	—	—
浦安市運動公園 1	2012	埋立地	20	Y				17.5	—	—
浦安市鉄鋼通り	2012	埋立地	23	Y				59	3	—
守山市今浜町	2012	湖岸平野	20	Y				24.5	16	16
守山市水保町	2012	湖岸平野	20	Y				27.4	—	—
浦安市港	2013	埋立地	20	Y				20	3	4
香取市佐原口	2013	旧河道	20					20.4	—	—
大阪市住之江区泉	2014	干拓地	11.8	Y				25	—	2
浦安市千鳥	2014	埋立地	25					25	2	5
諏訪市湖南 1	2015	氾濫平野	25.2	Y, T				33.5	—	19
浦安市高洲 6	2015	埋立地	26	T				54.7	1	4
浦安市運動公園 2	2015	埋立地	25	T				35	4	7
大阪市北区うめきた	2016	氾濫平野	24.8	T	○			112.1	12	12
諏訪市上川	2016	氾濫平野	25	T				46	9	8
諏訪市四賀	2016	後背低地	20.2	T				25.5	8	10
熊本県益城町	2016	盛土地	19.2					32.5	8	7
尼崎市築地	2017	氾濫平野	22.5	T				26.5	9	7
浦安市高洲 8_2017	2017	埋立地	25	T				45.4	5	5
諏訪市豊田	2017	氾濫平野	23.2	T				55.4	7	8
諏訪市湖南 2	2017	旧河道	30	T				25.5	14	17
大阪市港区弁天町	2018	埋立地	25	T	○	○		58.3	8	8
埼玉県越谷市新川町	2018	後背低地	25.2	T	○	○	○	35.5	14	18
茨城県稲敷市浮島	2018	砂州	25	T	○	○	○	34.5	—	—
大阪市此花区舞洲	2018	埋立地	25		○			155	—	—
東大阪市西岩田	2019	氾濫平野	21.8			○		44.5	12	12
佐賀県白石町	2019	干拓地	20			○		27.5	14	15
大阪市此花区桜島	2019	埋立地	25			○		56.5	—	—
大阪市大正区三軒家	2020	盛土地	20			○	○	53.5	11	11

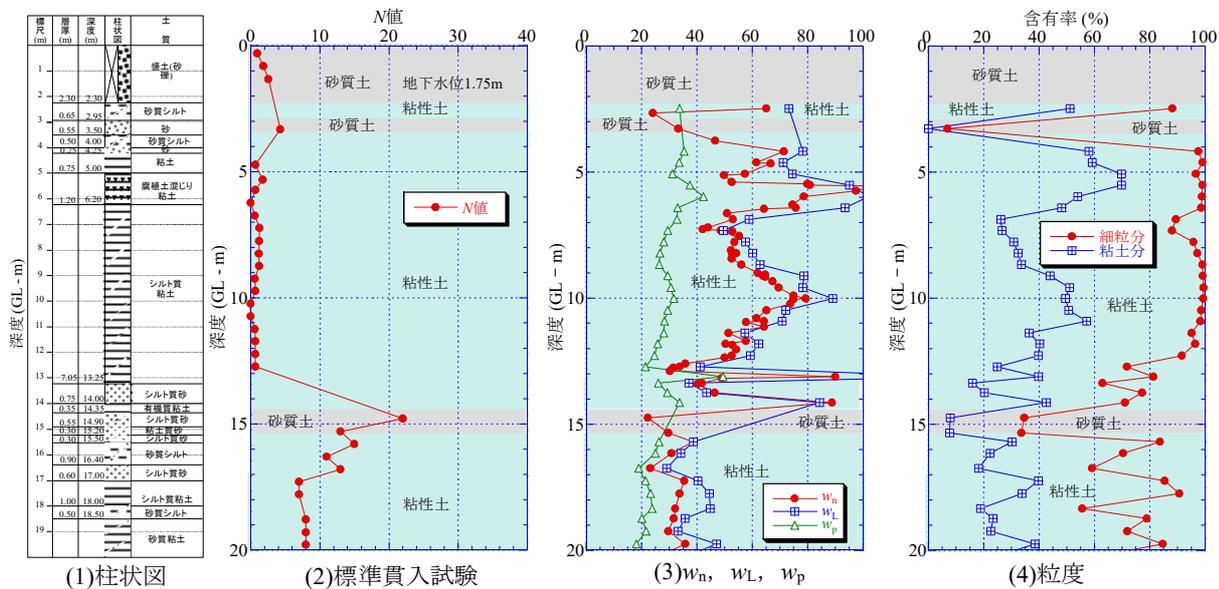


図-2.8 東大阪市松原南のボーリング調査と土質試験結果

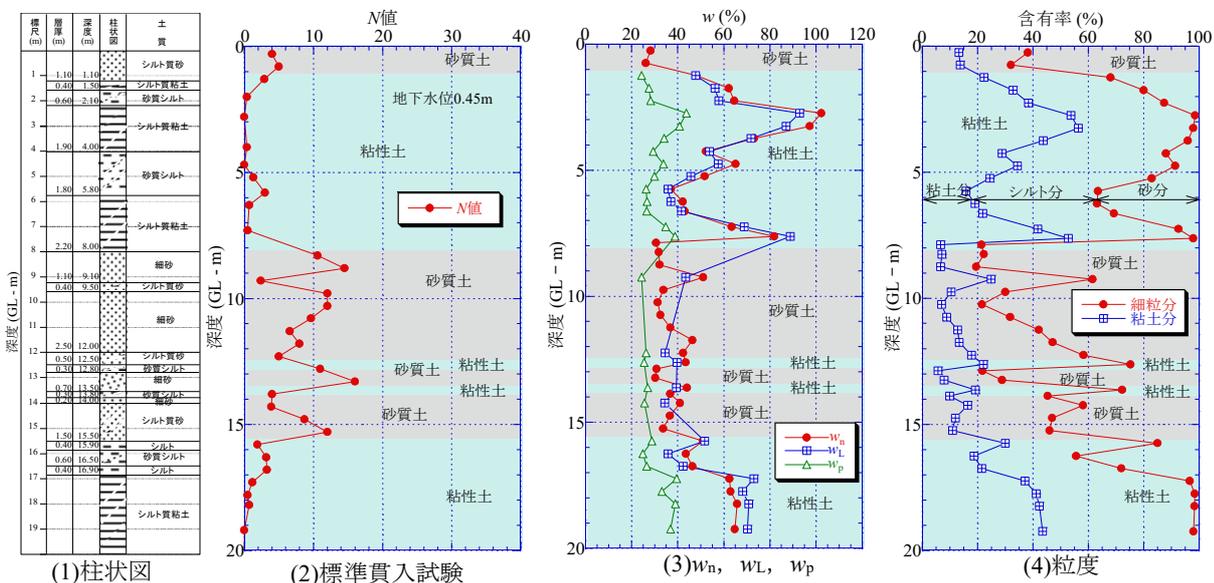


図-2.9 千葉県浦安市高須 8-1 のボーリング調査と土質試験結果

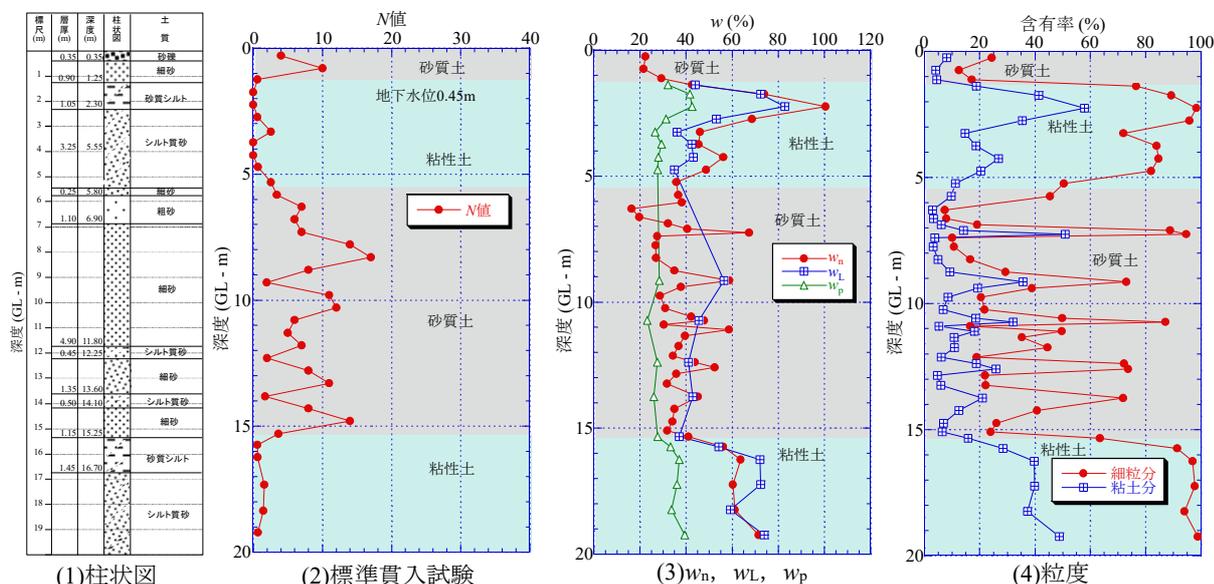


図-2.10 千葉県浦安市高須 8-3 のボーリング調査と土質試験結果

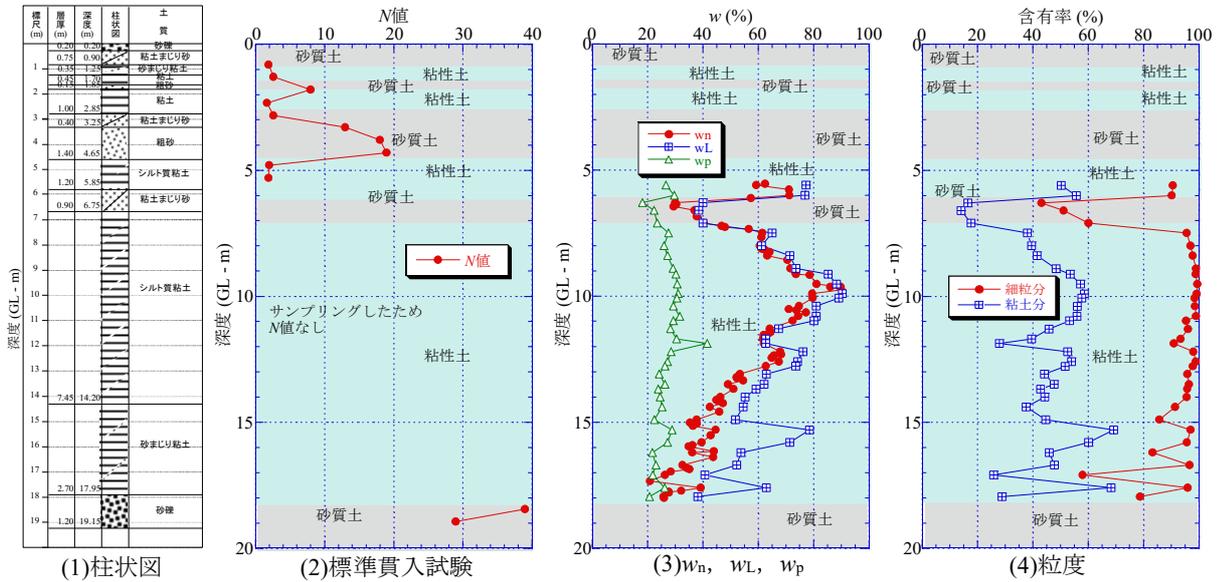


図-2.11 東大阪市花園東のボーリング調査と土質試験結果

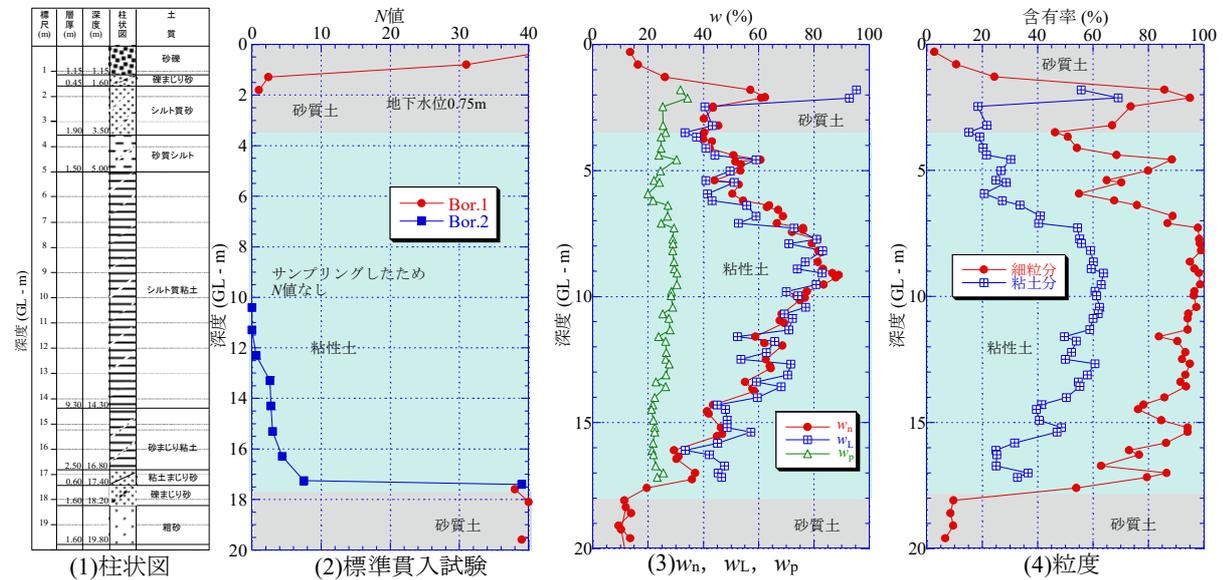


図-2.12 大阪市城東区東中浜のボーリング調査と土質試験結果

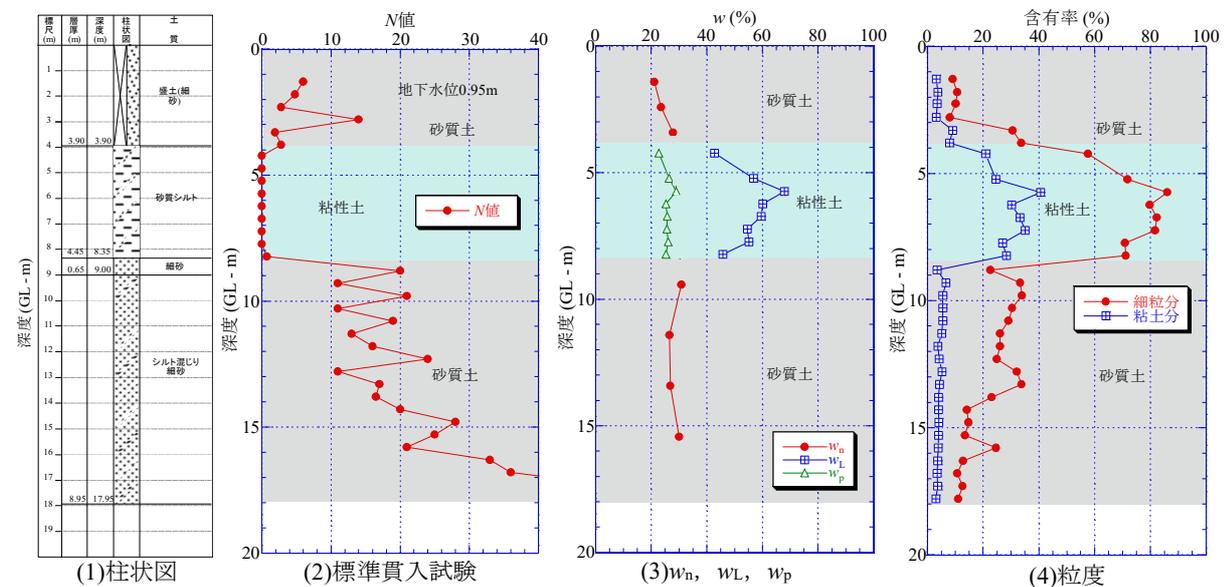


図-2.13 茨城県神栖市掘割のボーリング調査と土質試験結果

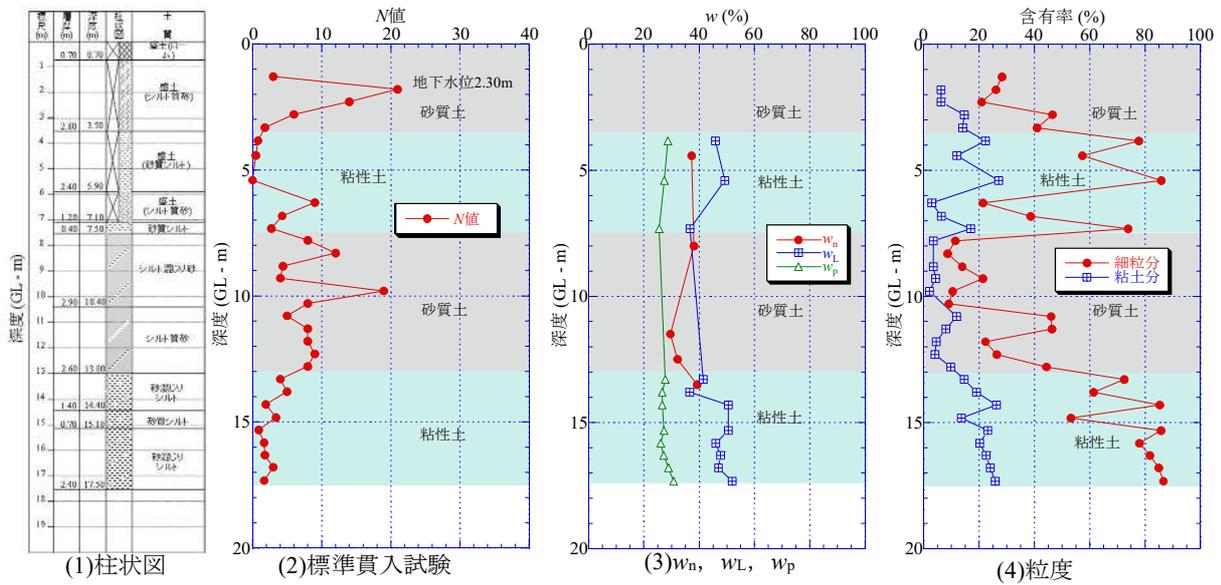


図-2.14 千葉県浦安市運動公園1のボーリング調査と土質試験結果

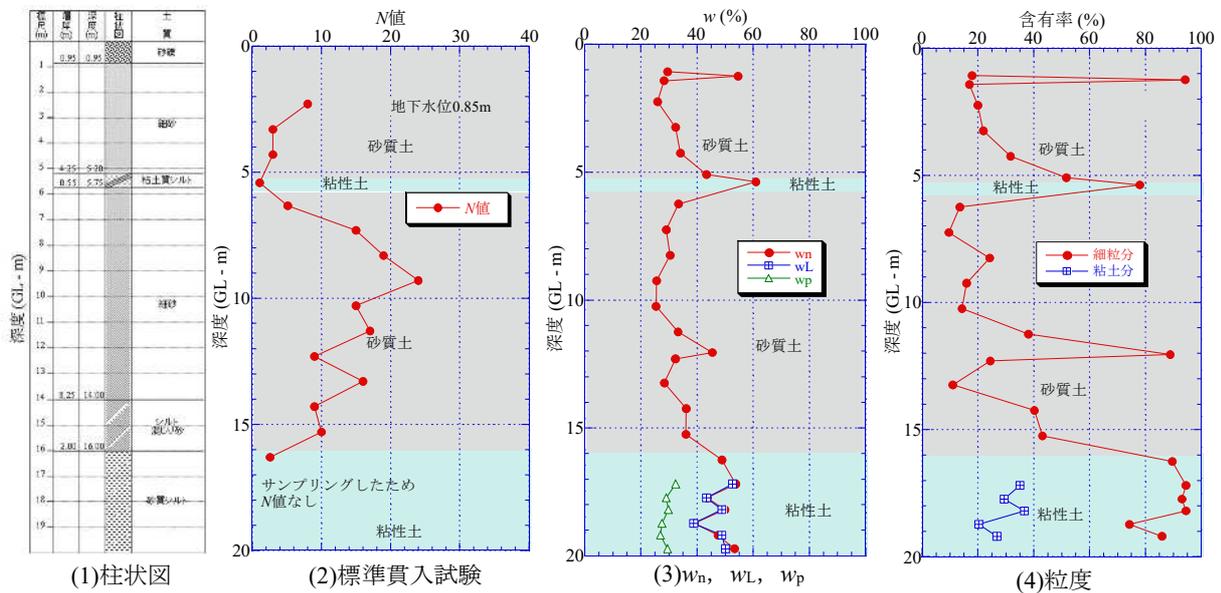


図-2.15 千葉県浦安市鉄鋼通りのボーリング調査と土質試験結果

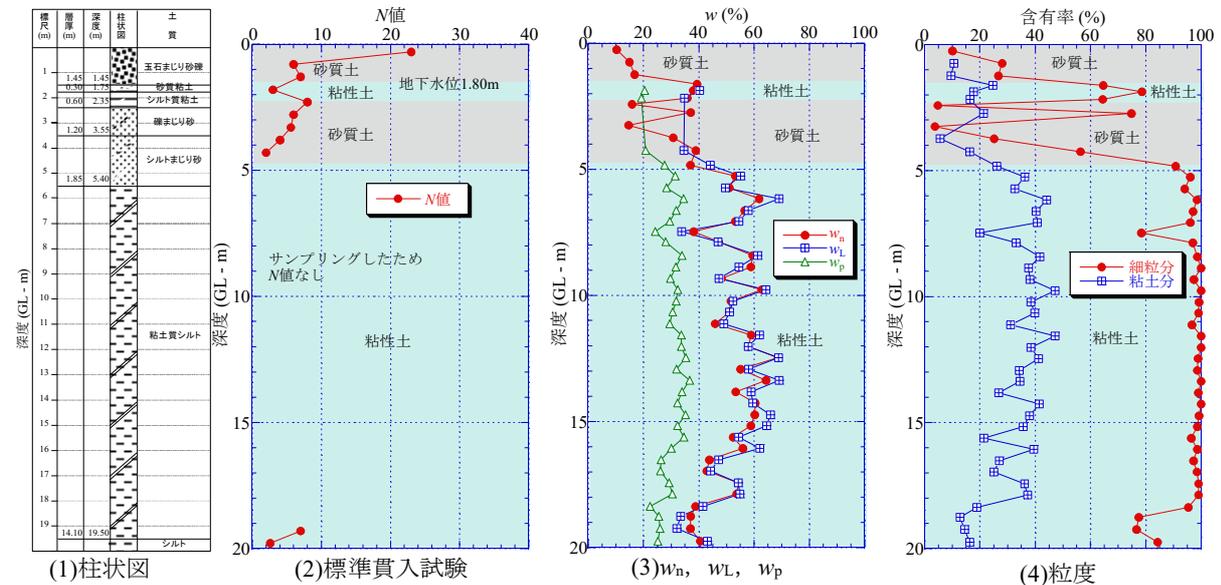


図-2.16 滋賀県守山市今浜町のボーリング調査と土質試験結果

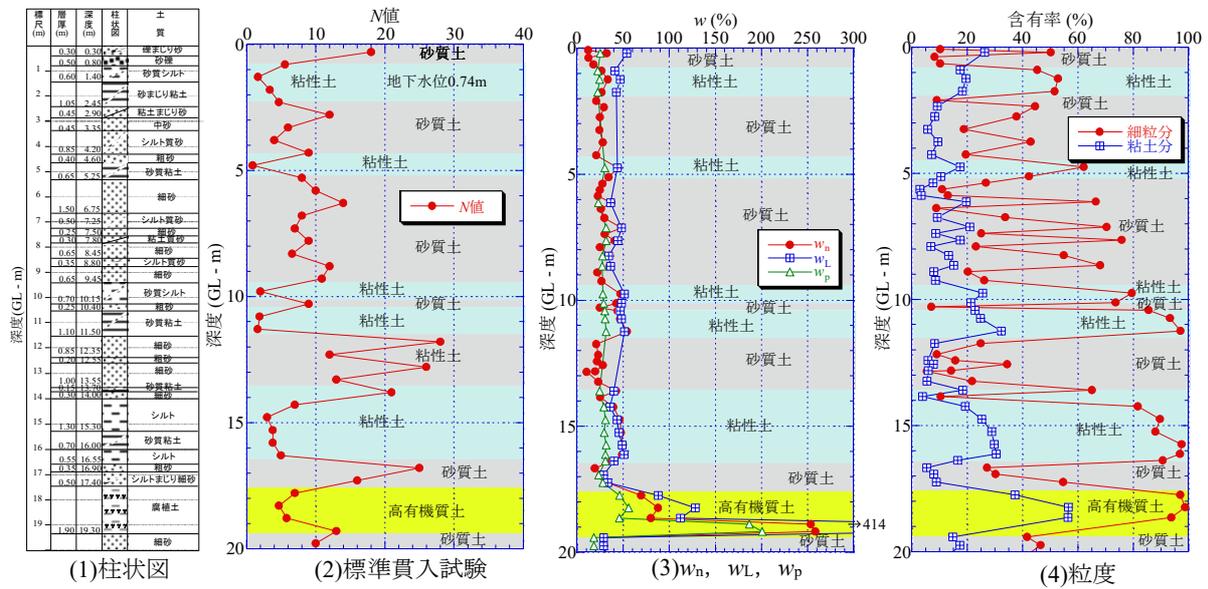


図-2.17 滋賀県守山市水保町のボーリング調査と土質試験結果

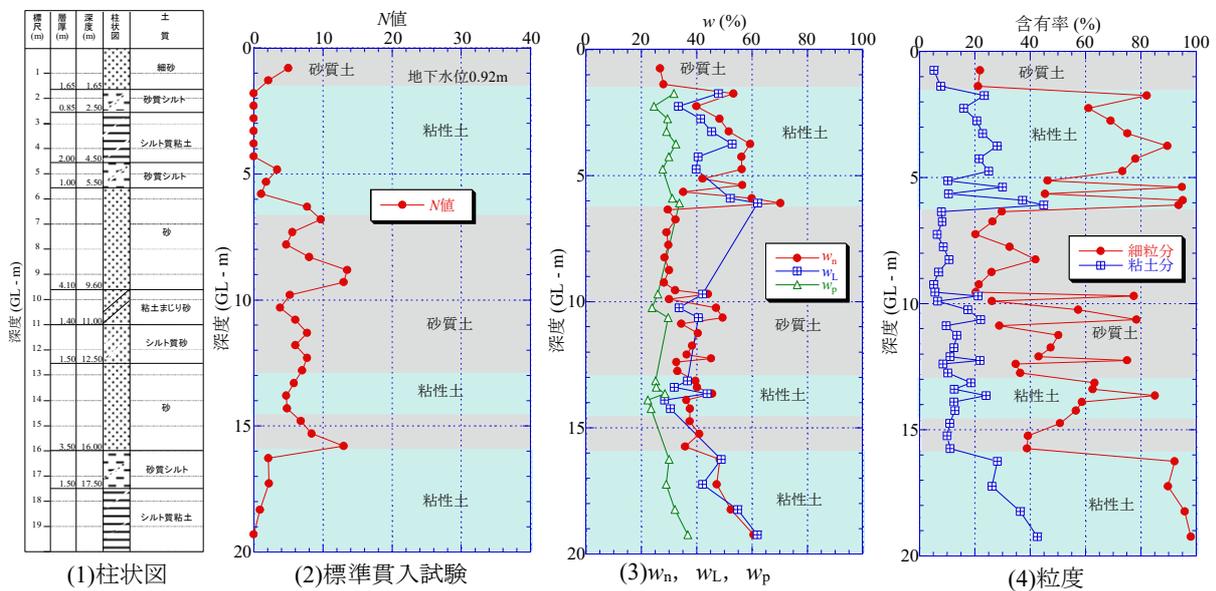


図-2.18 千葉県浦安市港のボーリング調査と土質試験結果

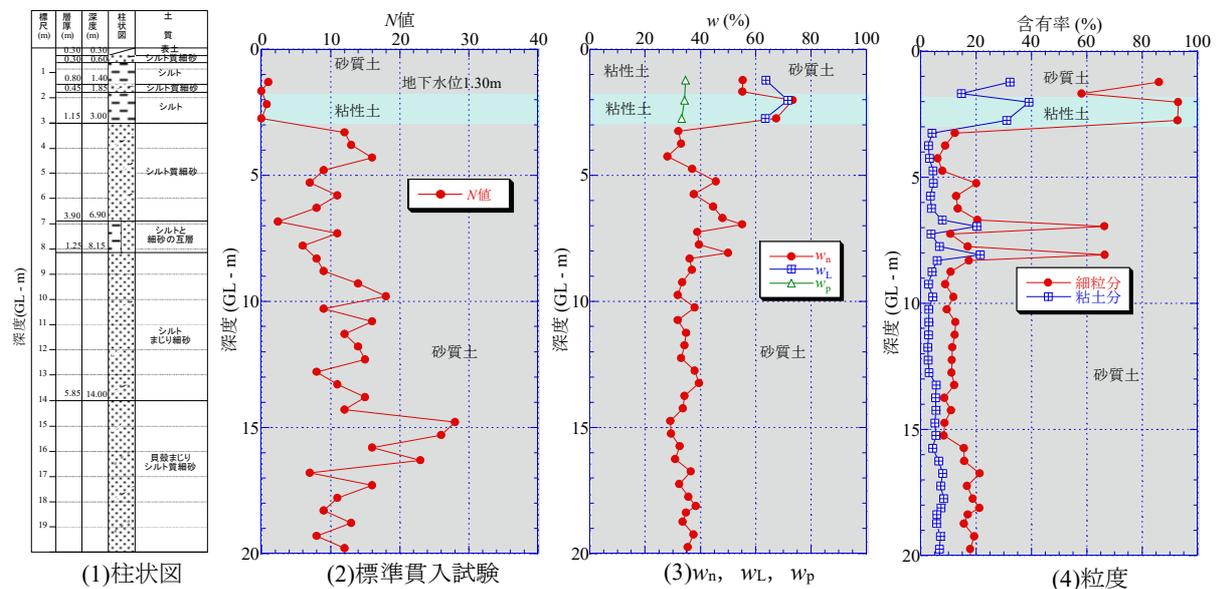


図-2.19 千葉県香取市佐原口のボーリング調査と土質試験結果

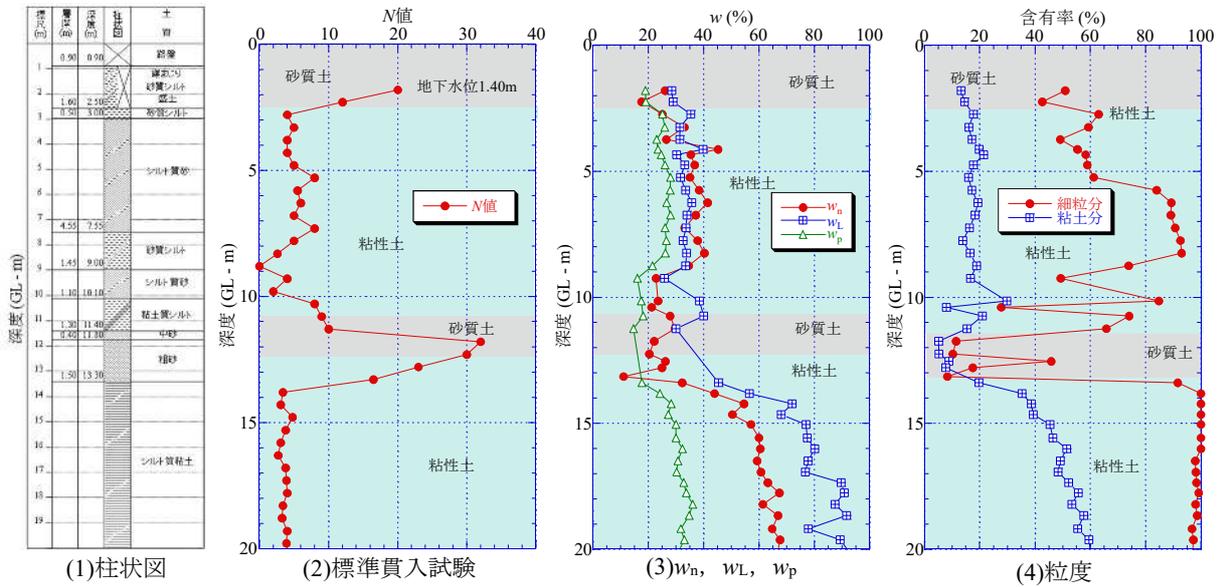


図-2.20 大阪市住之江区泉のボーリング調査と土質試験結果

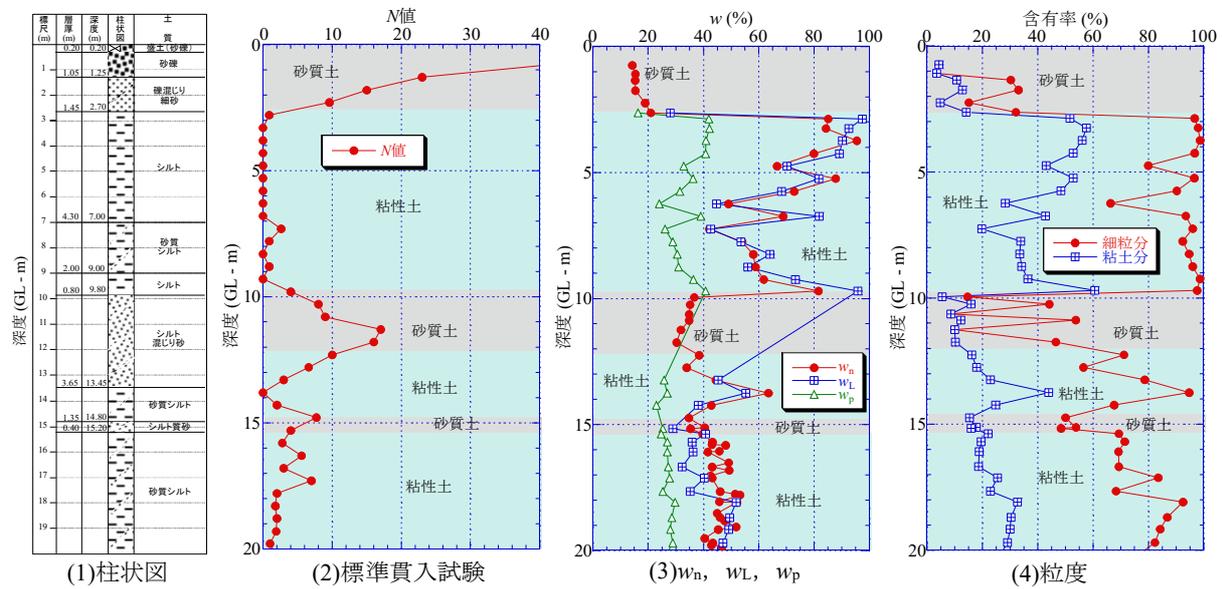


図-2.21 千葉県浦安市千鳥のボーリング調査と土質試験結果

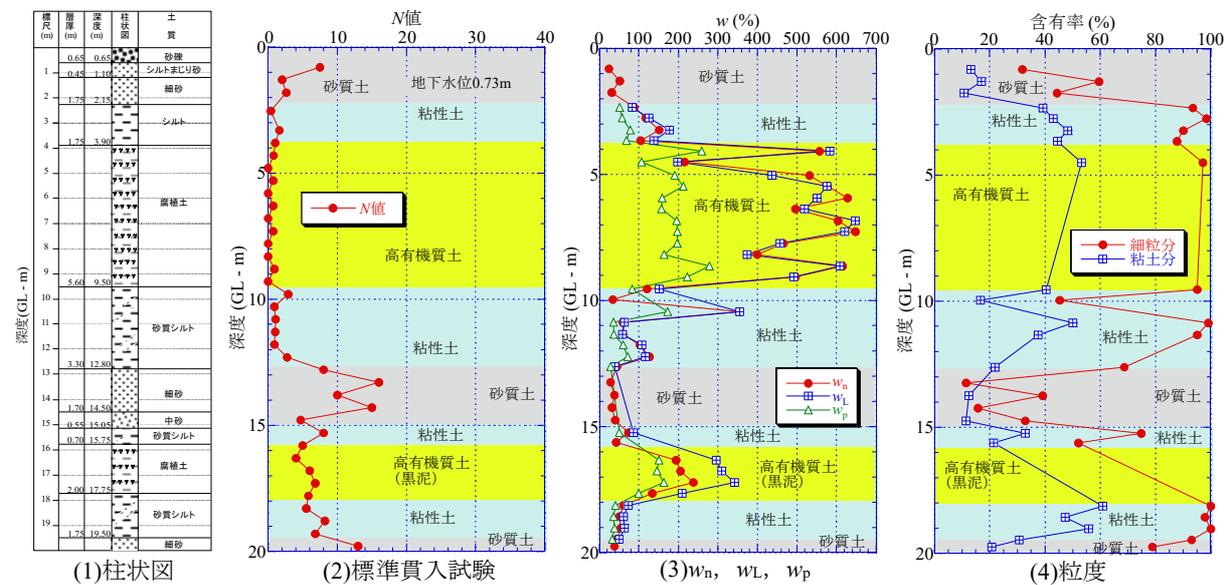


図-2.22 長野県諏訪市湖南1のボーリング調査と土質試験結果

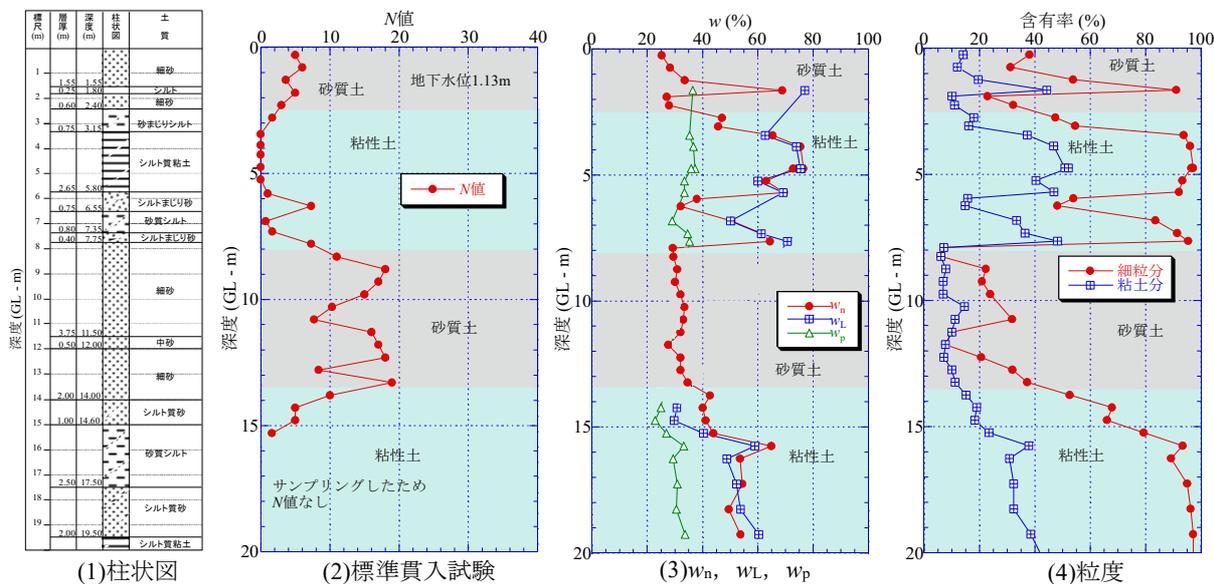


図-2.23 千葉県浦安市高須6のボーリング調査と土質試験結果

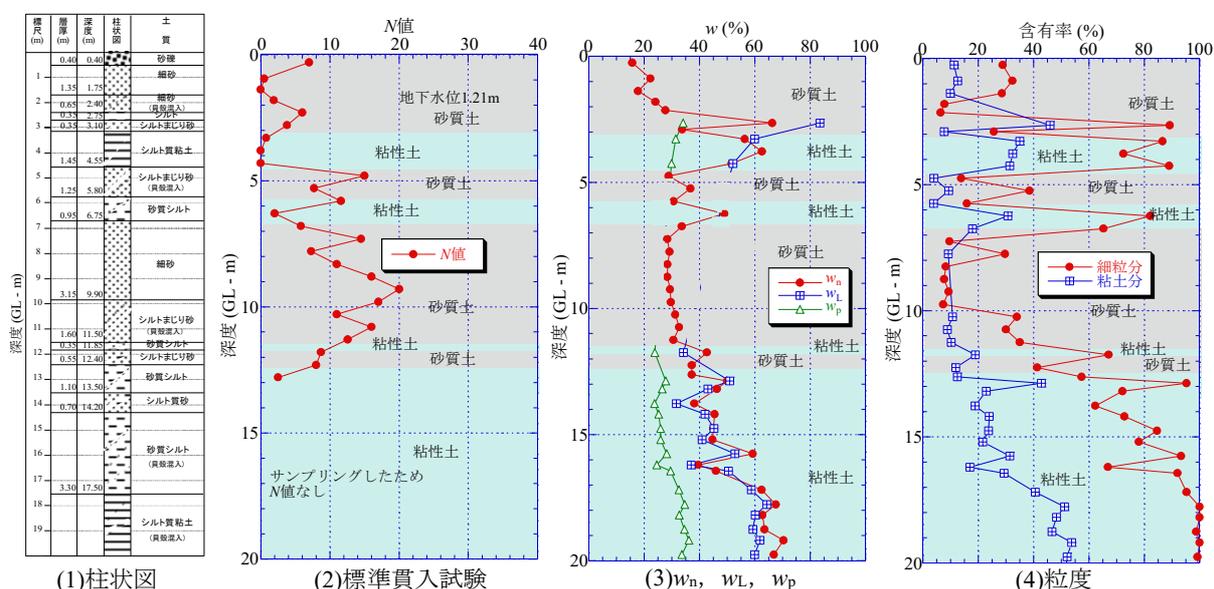


図-2.24 千葉県浦安市運動公園2のボーリング調査と土質試験結果

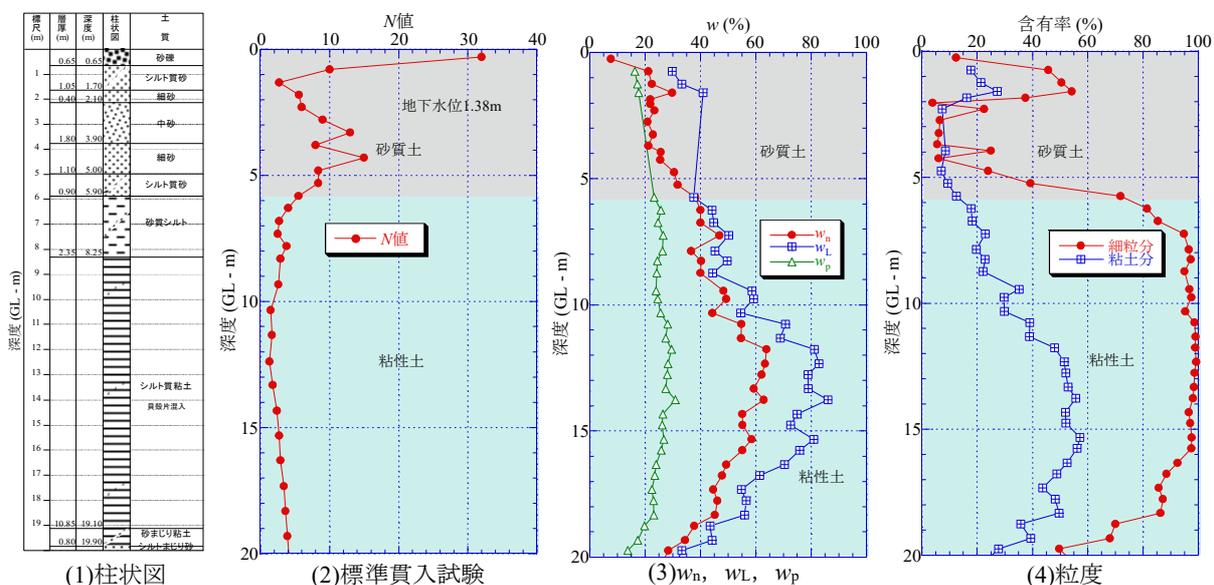


図-2.25 大阪府北区うめきたのボーリング調査と土質試験結果

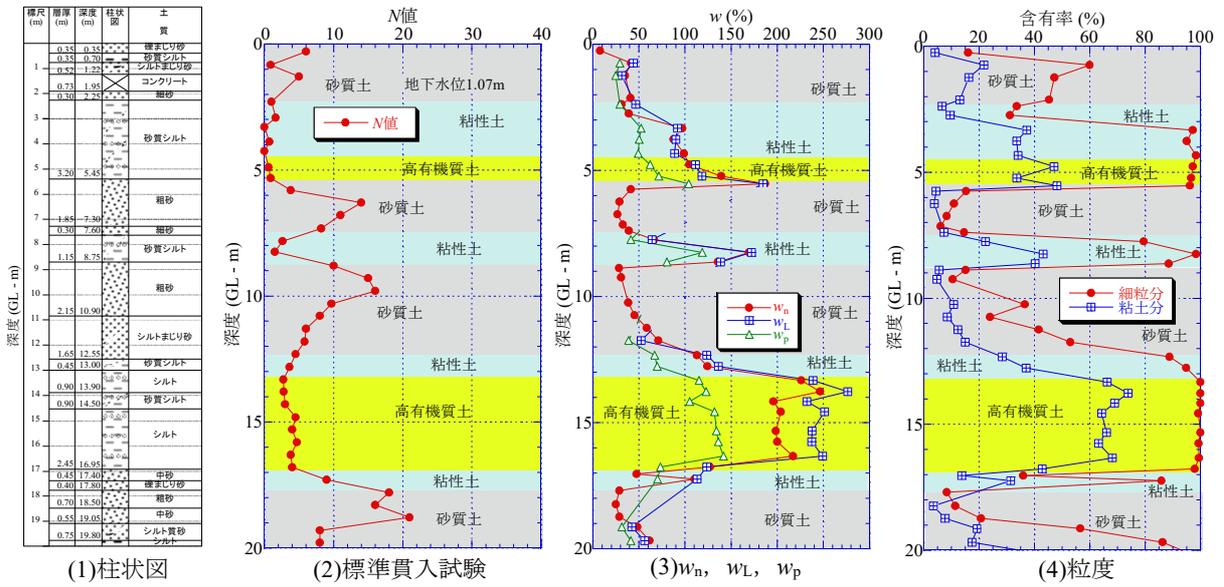


図-2.26 長野県諏訪市上川のボーリング調査と土質試験結果

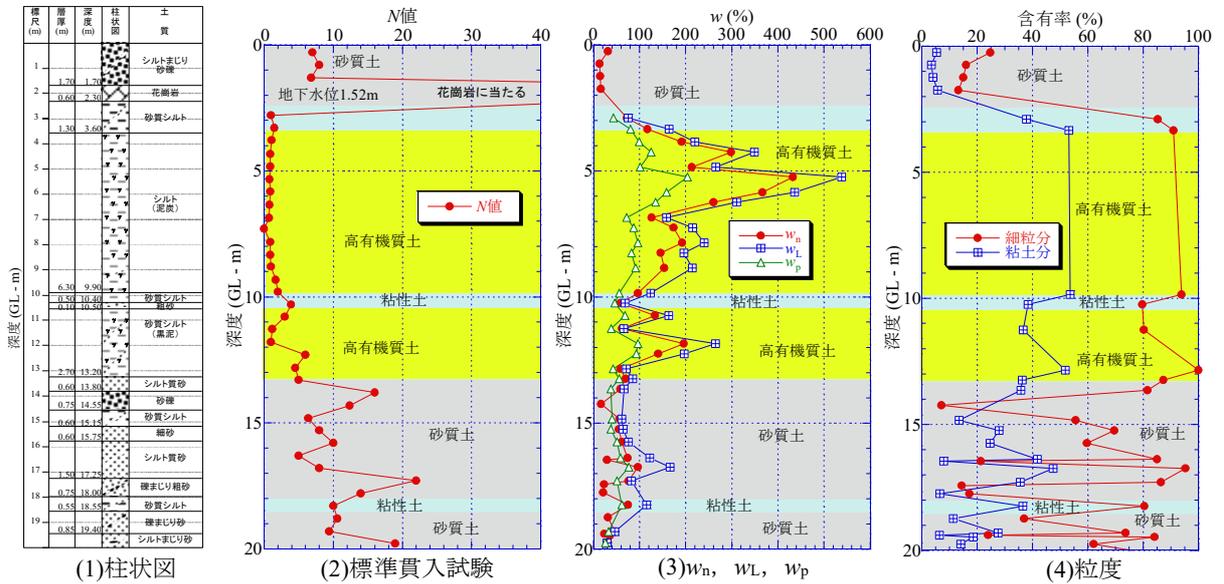


図-2.27 長野県諏訪市四賀のボーリング調査と土質試験結果

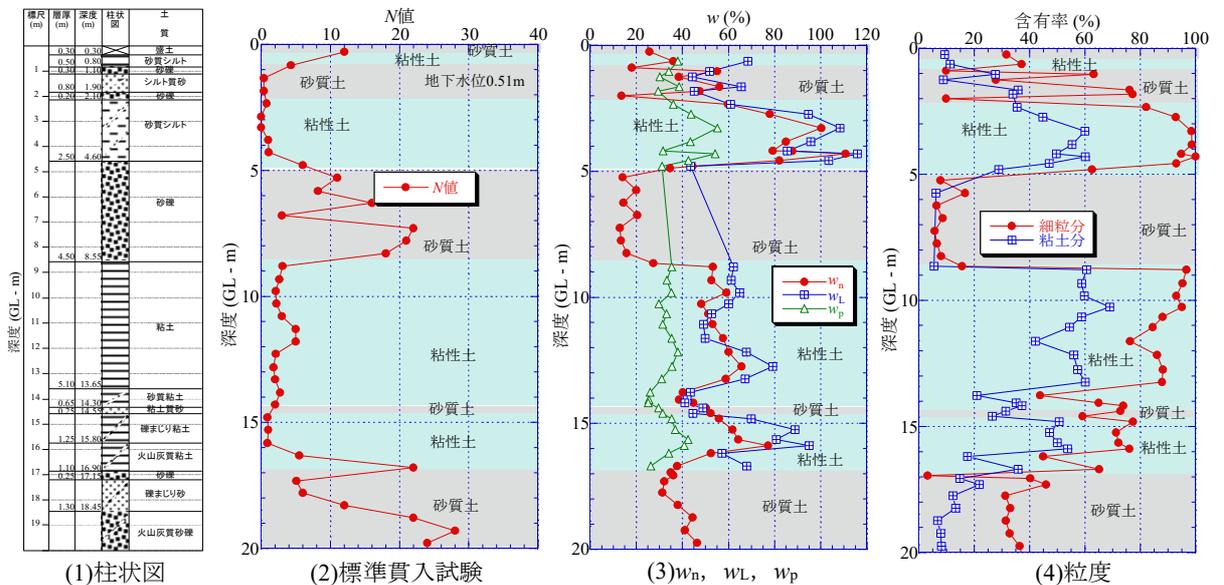


図-2.28 熊本県益城町のボーリング調査と土質試験結果

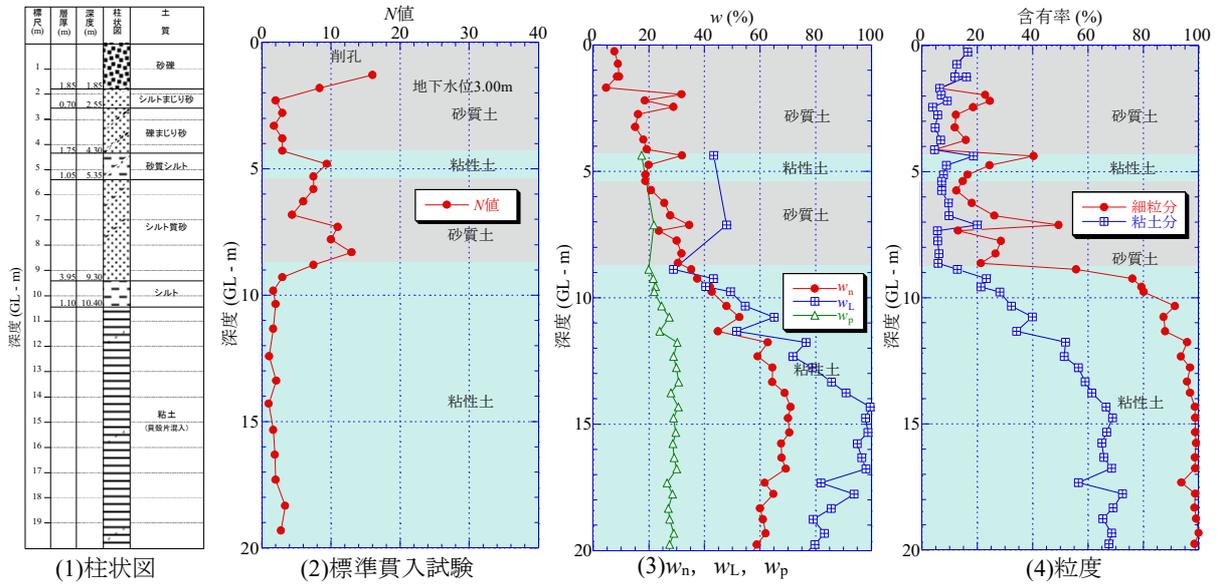


図-2.29 兵庫県尼崎市築地のボーリング調査と土質試験結果

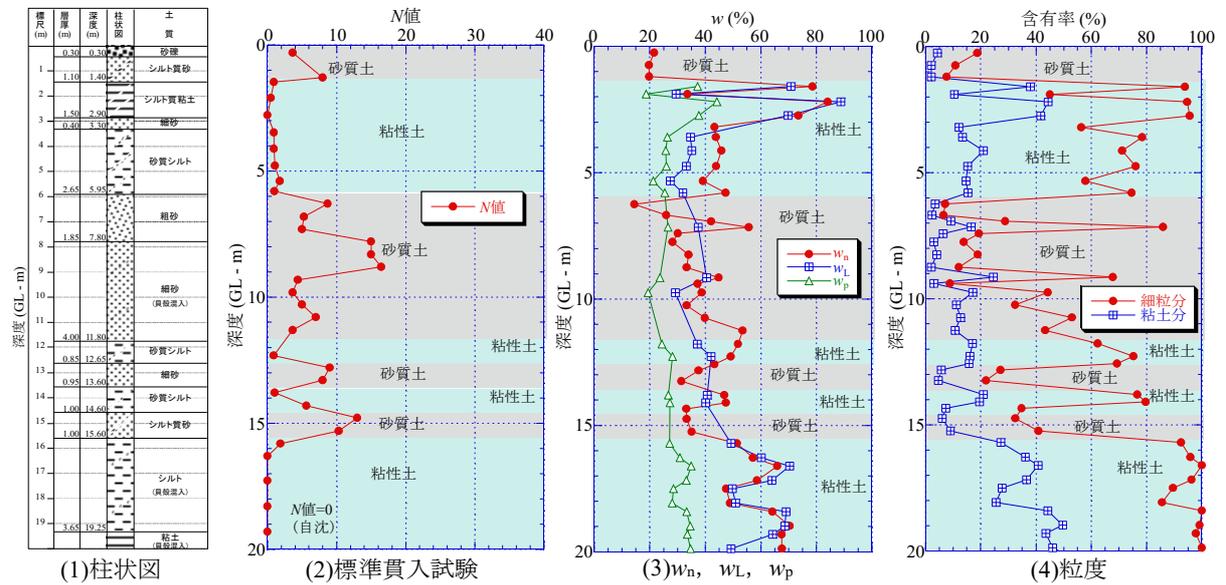


図-2.30 千葉県浦安市高須 8-2017 のボーリング調査と土質試験結果

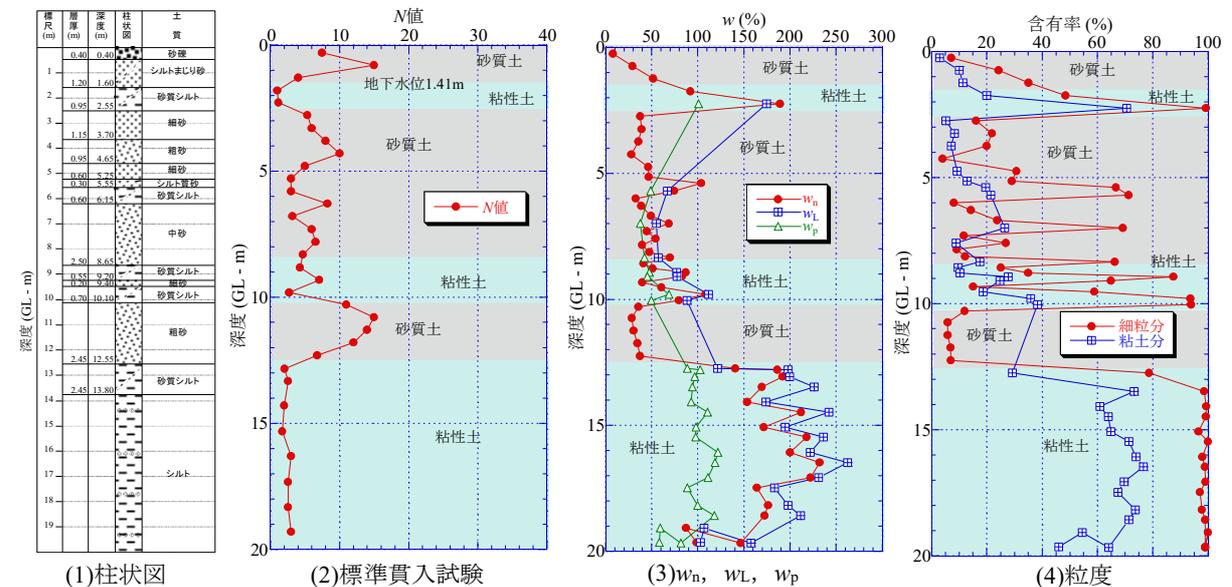


図-2.31 長野県諏訪市豊田のボーリング調査と土質試験結果

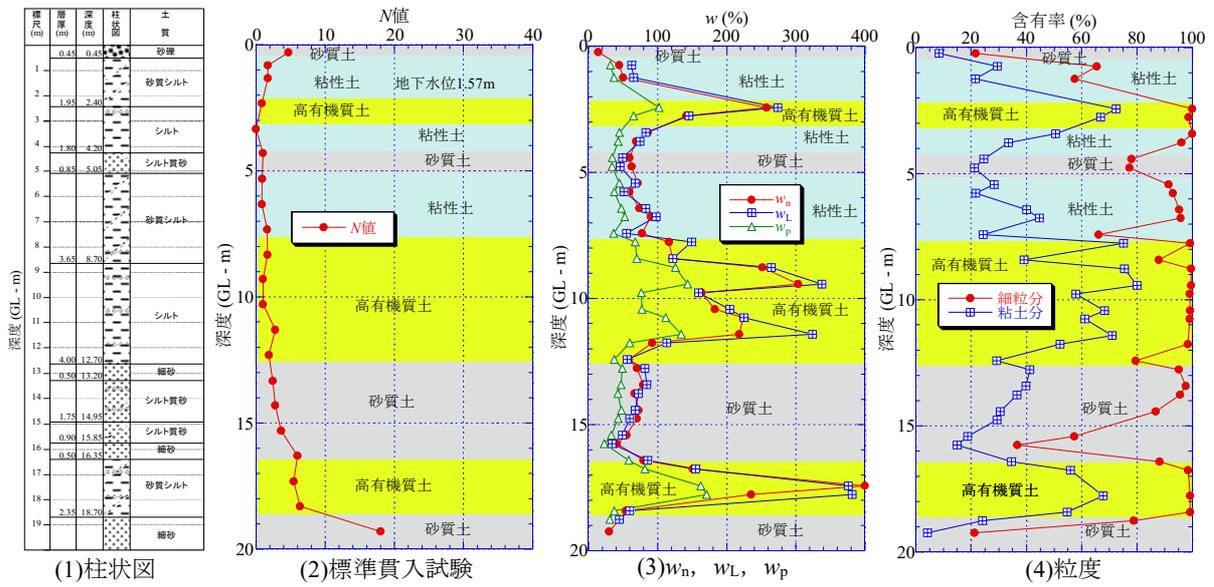


図-2.32 長野県諏訪市湖南2のボーリング調査と土質試験結果

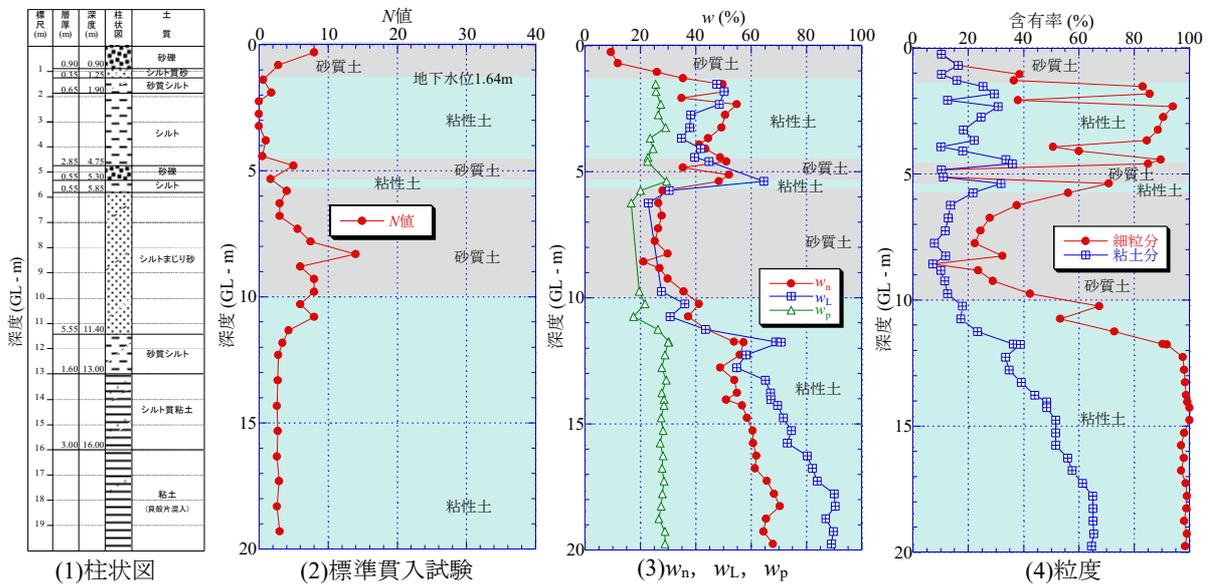


図-2.33 大阪市港区弁天町のボーリング調査と土質試験結果

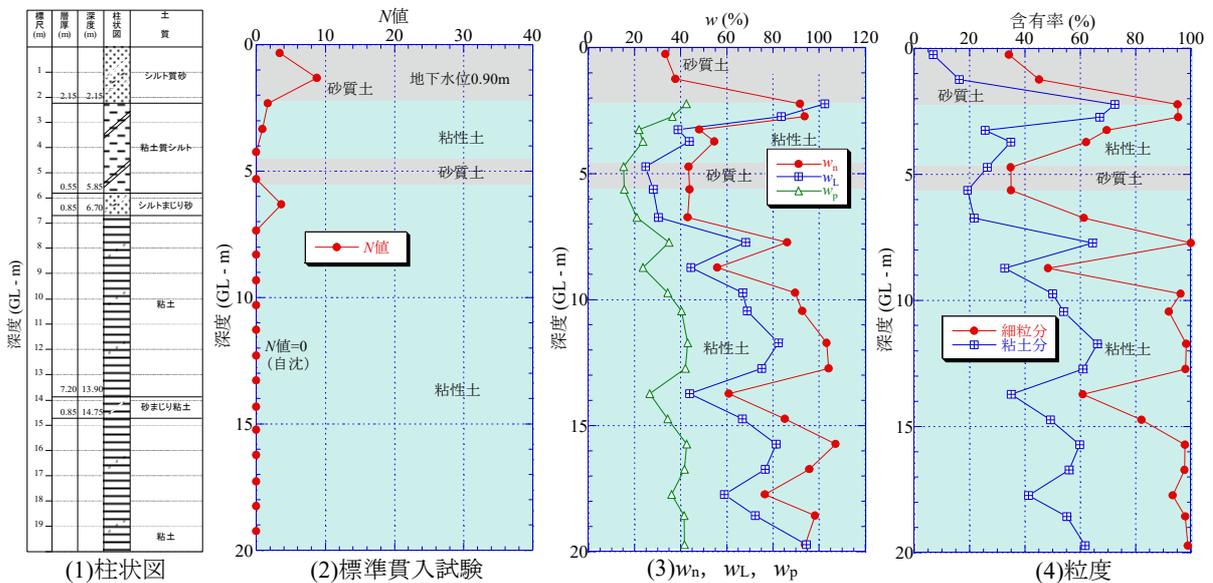


図-2.34 埼玉県越谷市新川町のボーリング調査と土質試験結果

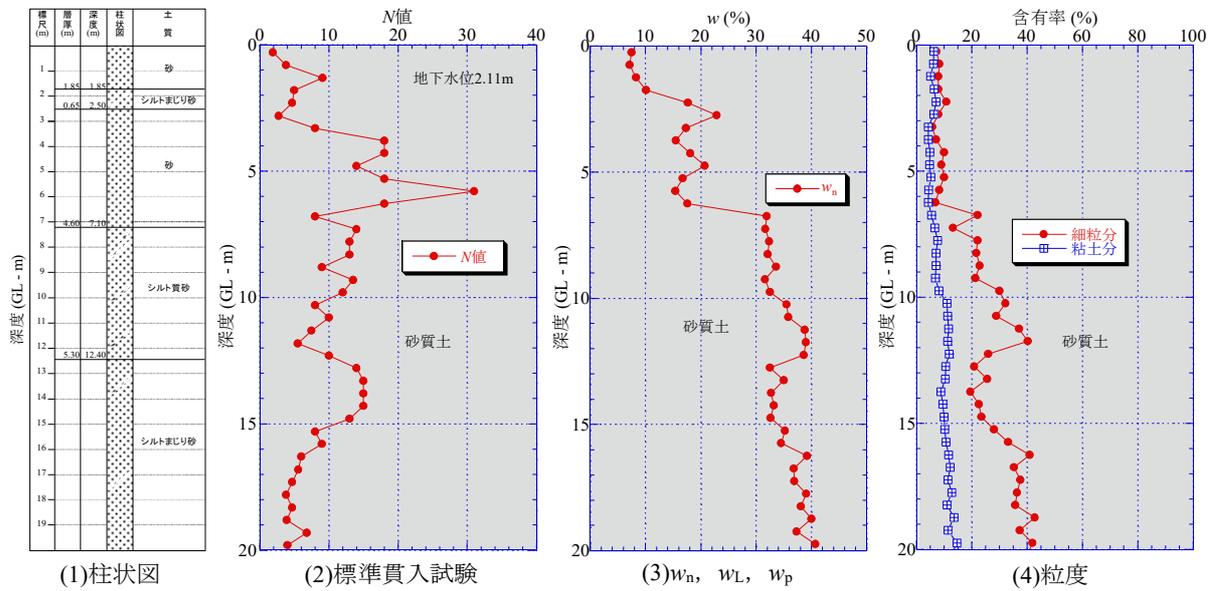


図-2.35 茨城県稲敷市浮島のボーリング調査と土質試験結果

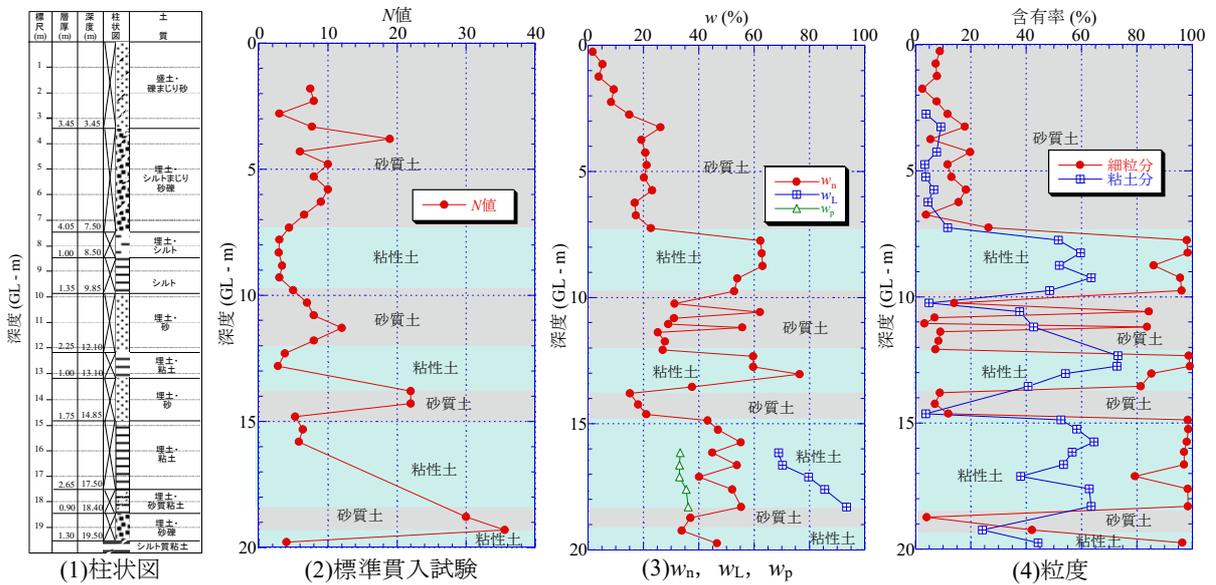


図-2.36 大阪市此花区舞洲のボーリング調査と土質試験結果

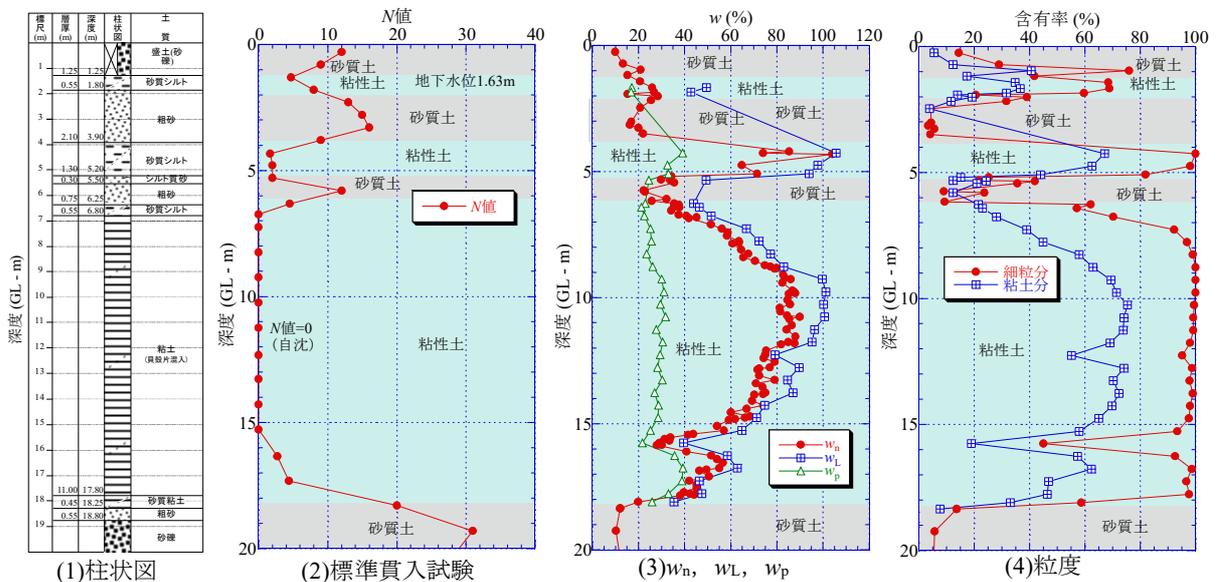


図-2.37 東大阪市西岩田のボーリング調査と土質試験結果

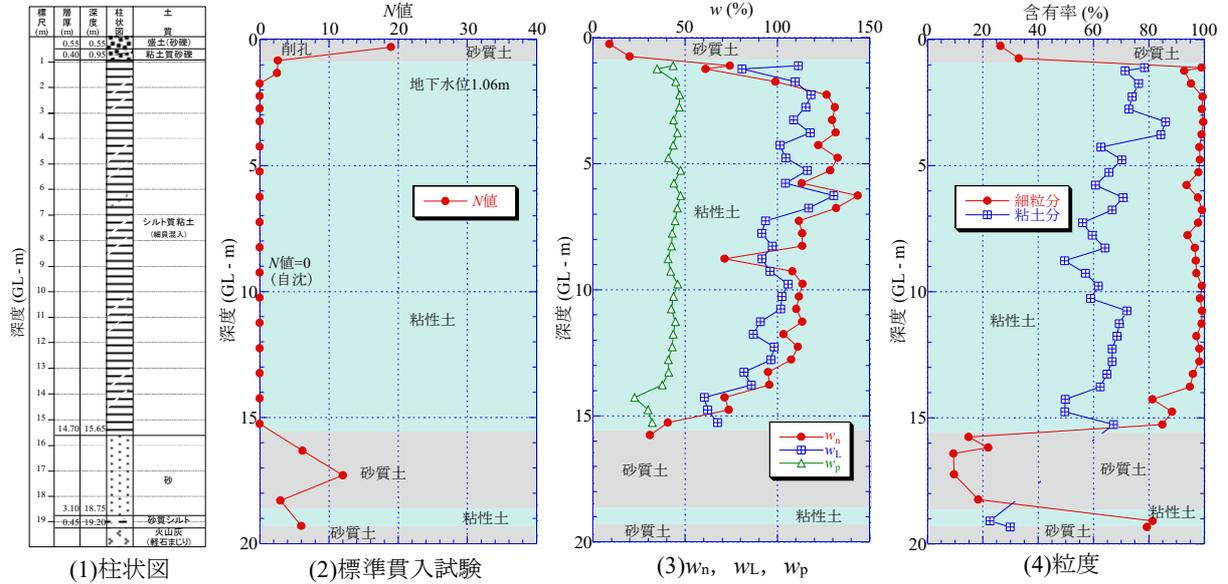


図-2.38 佐賀県白石町のボーリング調査と土質試験結果

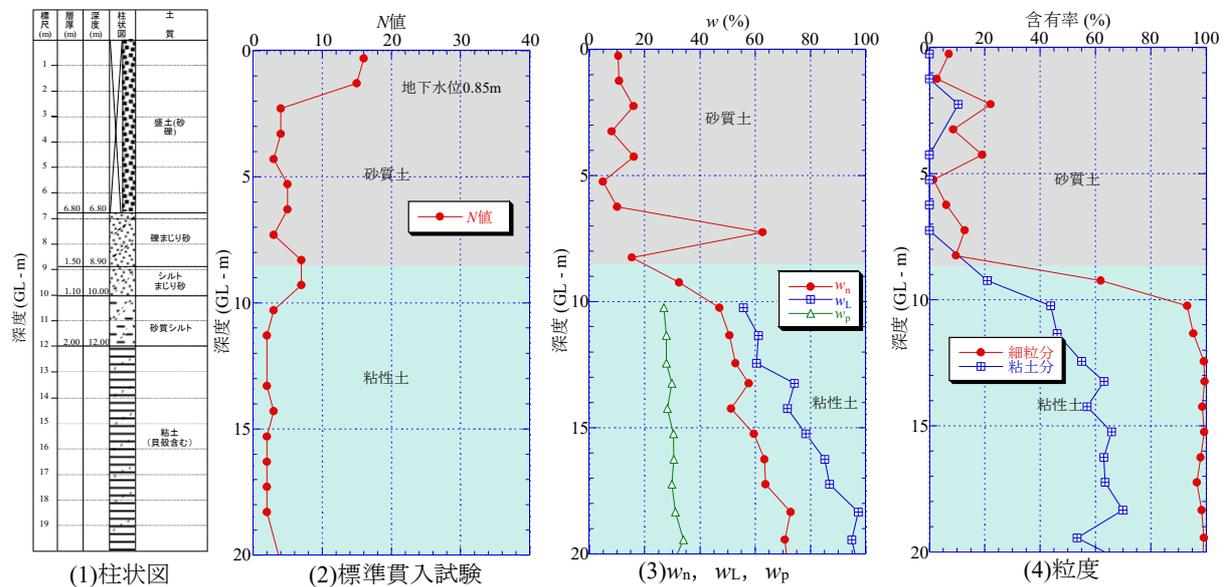


図-2.39 大阪市此花区桜島のボーリング調査と土質試験結果

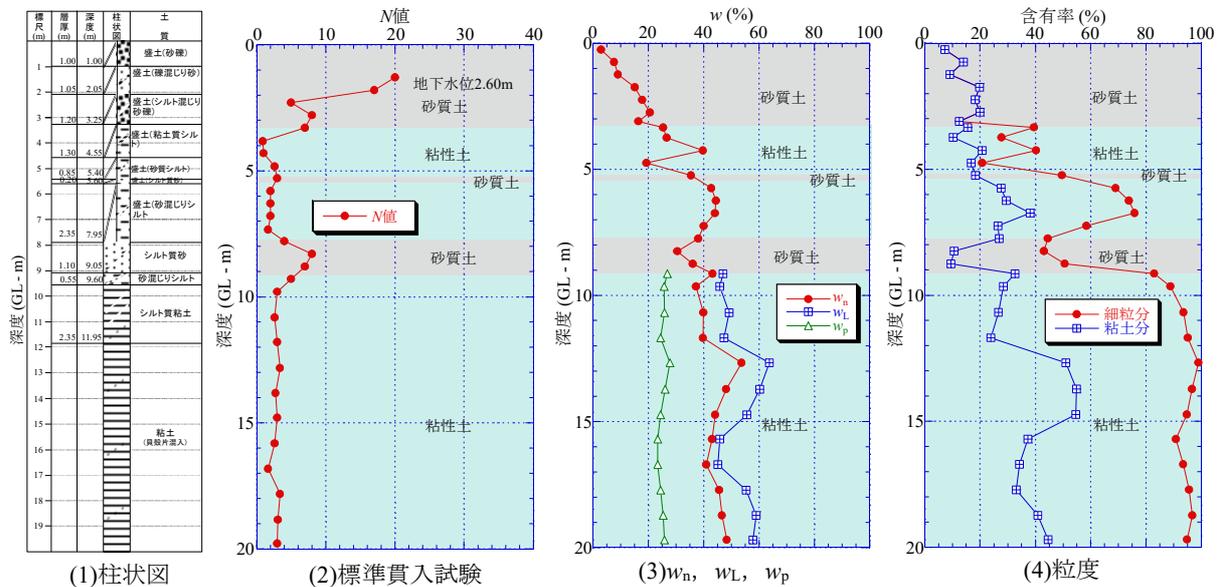


図-2.40 大阪市大正区三軒家のボーリング調査と土質試験結果

参考文献

- 1) 日本工業規格「標準貫入試験方法」Method for standard penetration test (JIS A 1219:2013), 2013.
- 2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説 一二分冊の1ー, p.193, 2013.
- 3) 地盤工学会：地盤調査 基本と手引き, p.106, 2005.
- 4) 日本産業規格「スクリーウエイト貫入試験方法」Method for screw weight sounding test (JIS A 1221:2020), 2020.
- 5) 渡辺佳勝：小規模建築物における最近の地盤調査・土質試験などによる地盤評価, 基礎工, Vol.47, No7, pp79-82, 2019.
- 6) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説, 一二分冊の1ー, pp.325~335, 2013.
- 7) 土質試験 基本と手引き (第二回改訂版), 公益社団法人地盤工学会, p.155, 2010.
- 8) 大島昭彦・鈴木達也・和田昌大・田中洋行・松岡達也・平田茂良：東大阪での各種サウンディング試験の比較 (その1：調査概要), 第46回地盤工学研究発表会, pp.71-72, 2011.
- 9) 大島昭彦・田中洋行・三村衛・吉村貢・浅尾一巳・和田昌大：浦安市における各種動的サウンディング試験の比較 (その1：調査概要), 第47回地盤工学研究発表会, pp.131-132, 2012.
- 10) 平田拓也・大島昭彦・平田茂良・深井公：大型・中型動的コーン貫入試験 [SRS・MRS] の比較例 (第2報), 土木学会第68回年次学術講演会, III-229, pp.457~458, 2013.
- 11) 大島昭彦・山田卓・鈴木達也・峯翔太郎・久保田耕司・深井晴夫・山本浩司・濱田晃之：滋賀県守山市における地盤調査一斉試験 (その1：調査概要とSPT), 第48回地盤工学研究発表会, pp.171-172, 2013.
- 12) 規矩大義・利藤房男・信本実：千葉県佐原市香取河川敷におけるサウンディング現地実験, 第49回地盤工学研究発表会, pp.225-226, 2014.
- 13) 新井瞬・大島昭彦・久保田耕司・深井晴夫・笹尾憲一・栗津和也：千葉県浦安市沖積粘土層の土質特性と液性限界の経時変化の測定例 (第2報), 土木学会第69回年次学術講演会, pp.87-88, 2014.
- 14) 大島昭彦・山田卓・鈴木達也・久保田耕司・平田茂良・深井公・下平祐司・山口伸治：大阪市住之江区における地盤調査 (その1：サウンディング試験結果), 第50回地盤工学研究発表会, pp.169-170, 2015.
- 15) 張林松・大島昭彦・峯翔太郎・久保田耕司・平田茂良・深井公・山口伸治：浦安市千鳥における地盤調査 (その1：サウンディング試験結果), 第50回地盤工学研究発表会, pp.173-174, 2015.
- 16) 京矢侑樹・大島昭彦・峯翔太郎・新井瞬・張林松・小坂慎一・久保田耕司：浦安市千鳥における地盤調査 (その2：室内土質試験との比較), 第50回地盤工学研究発表会, pp.175-176, 2015.
- 17) 張林松・大島昭彦・小坂慎一・京矢侑樹・久保田耕司・山口伸治：長野県諏訪市における地盤調査一斉試験 (その1：調査概要とボーリング結果), 第51回地盤工学研究発表会, pp.157-158, 2016.
- 18) 大島昭彦・張林松・平田茂良・深井公・渡辺佳勝・平林弘・下平祐司・小川正宏：長野県諏訪市湖南の地盤調査一斉試験による地盤性状, 日本材料学会, 第12回地盤改良シンポジウム論文集, pp.147-154, 2016.
- 19) 久保田耕司・大島昭彦・張林松・京矢侑樹・小坂慎一：浦安市高洲・舞浜における地盤調査 (その1：調査概要とボーリング結果), 土木学会第71回年次学術講演会, pp.291-292, 2016.
- 20) 京矢侑樹・大島昭彦・野山優一・安田賢吾・久保田耕司：うめきた2期地区での地盤調査結果 (その1：調査概要とボーリング結果), 第52回地盤工学研究発表会, pp.113-114, 2017.
- 21) 京矢侑樹・大島昭彦・小坂慎一・山田卓・深井晴夫：諏訪市上川・四賀での地盤調査結果 (その1：

- 調査概要とボーリング結果), 土木学会第 72 回年次学術講演会, pp.629-630, 2017.
- 22) 高橋秀一・平田茂良・大島昭彦・京矢侑樹・久保田耕司: 熊本県益城町での地盤調査結果 (その 1 : 調査概要とボーリング結果), 第 52 回地盤工学研究発表会, pp.153-154, 2017.
 - 23) 高橋秀一・平田茂良・大島昭彦・平井俊之: 2016 年熊本地震における益城町の宅地被害の原因究明のための地盤調査結果, Kansai Geo-Symposium 2017, 地盤工学会関西支部・地下水地盤環境に関する研究協議会, pp.168-173, 2017.
 - 24) 久保田耕司・大島昭彦・山田卓・新大樹・中村優孝・諏訪靖二: 尼崎市築地での地盤調査結果 (その 1 : 調査概要とボーリング結果), 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.229-230, 2018.
 - 25) 野山優一・大島昭彦・山田卓・新大樹・中村優孝・久保田耕司: 浦安市高洲 8 での地盤調査結果 (その 1 : 調査概要とボーリング結果), 第 53 回地盤工学研究発表会, pp.175-176, 2018.
 - 26) 久保田耕司・大島昭彦・新大樹・安田賢吾・末吉拳一: 諏訪市豊田・湖南での地盤調査結果 (その 1 : 調査概要とボーリング結果), 土木学会第 73 回年次学術講演会, pp.307-308, 2018.
 - 27) 久保田耕司・中井健博・大島昭彦・安田賢吾・近藤政弘・坂本寛章: 大阪市港区弁天町地区での地盤調査結果 (その 1 : 調査概要とボーリング結果), 第 54 回地盤工学研究発表会, pp.115-116, 2019.
 - 28) 大島昭彦・近藤政弘・坂本寛章・阪東聖人・中井健博・深井晴夫・久保田耕司: 大阪市港区弁天町地区での地盤調査結果, Kansai Geo-Symposium 2019, 地盤工学会関西支部・地下水地盤環境に関する研究協議会, pp.50-55, 2019.
 - 29) 中井健博・大島昭彦・安田賢吾・菊池康明・大浦和香子: 埼玉県越谷市新川町での地盤調査結果(その 1 : 調査概要とボーリング結果), 第 54 回地盤工学研究発表会, pp.109-110, 2019.
 - 30) 田中さち・大島昭彦・安田賢吾・亀井秀一・中井健博・島田徹也: 茨城県稲敷市浮島での地盤調査結果(調査概要とボーリング結果), 第 54 回地盤工学研究発表会, pp.223-224, 2019.
 - 31) 大島昭彦・安田賢吾・前田直也・杉原晋作・佐藤達哉・山口徹・河合祐蔵・中村茂行・中曾康壽・中尾正喜: 大阪市舞洲における地盤調査結果 (その 1 : 調査概要とボーリング結果), 土木学会第 74 回年次学術講演会, III-533, 2019.
 - 32) 段志嘉・大島昭彦・田中さち・糟谷祐多・中井健博・高原範博・久保昌紀: 東大阪市西岩田地区での地盤調査結果(その 1 : 調査概要とボーリング結果), 第 55 回地盤工学研究発表会, No.21-6-1-01, 2020.
 - 33) 武野航大・大島昭彦・糟谷祐多・高橋秀一・深井公・久保昌紀: 東大阪市西岩田での地盤調査結果と粘土層の土質特性, 日本材料学会, 第 14 回地盤改良シンポジウム, pp.563-570, 2020.
 - 34) 武野航大・大島昭彦・田中さち・天満脩平・中井健博: 佐賀県白石町での地盤調査結果(その 1 : 調査概要とボーリング結果), 第 55 回地盤工学研究発表会, No.21-6-5-03, 2020.
 - 35) 大島昭彦・田中さち・武野航大・段志嘉・高橋秀一・深井公: 佐賀県白石町での地盤調査結果と有明粘土層の土質特性, 日本材料学会, 第 14 回地盤改良シンポジウム, pp.571-576, 2020.
 - 36) 武野航大・大島昭彦・田中さち・天満脩平・糟谷祐多・段志嘉・安岡政光・面屋菜波: 大阪市此花区桜島での地盤調査結果(ボーリング・サウンディング結果), 土木学会第 75 回年次学術講演会, III-464, 2020.
 - 37) 坂口達也・大島昭彦・武野航大・糟谷祐多・中井健博・安岡政光: 大阪市大正区三軒家での地盤調査一斉試験(その 1 : 調査概要とボーリング結果), 第 56 回地盤工学研究発表会, No.12-2-1-03, 2021.

第3章 SWS 試験結果に与える要因の影響

3.1 全自動式試験機による影響¹⁾

3.1.1 調査地点と試験状況

写真-2.2~2.4, 表-2.1 に示した3種類の全自動式試験機 (SWS-N, SYS-Y, SYS-T) による試験結果の違いを調べた。表-3.1 に23の調査地点と試験状況を示す。SWS-N と SWS-Y の比較を11地点, SWS-N と SWS-T の比較を13地点で実施した。数値は調査深度を示し, 同じメーカーの試験機を用いて複数機関で実施したものは, それぞれ調査深度を記載している。同じ機関で複数回試験を実施している場合は, 代表となる調査深度を示した。各調査地点の土質性状は, 2.4 を参照されたい。

表-3.1 調査地点と試験状況

23 地点名	調査深度 (m)			図番
	SWS-N	SWS-Y	SWS-T	
千葉県浦安市高洲 8-1	20, 20	20		図-3.1
東大阪市花園東	18	18		図-3.2
大阪市城東区東中浜	17.5	17		
茨城県神栖市堀割	15	14.4		
千葉県浦安市運動公園 1	20	25		
千葉県浦安市鉄鋼通り	23	25		
滋賀県守山市今浜町	20	22		図-3.3
滋賀県守山市水保町	20	20		図-3.4
千葉県浦安市港	20	20		図-3.5
大阪市住之江区泉	11.8	12.2		
長野県諏訪市湖南 1	24.5, 25.2	23.2	23.3	図-3.6
千葉県浦安市高洲 6	26, 25		25.7	図-3.7
千葉県浦安市運動公園 2	25		25.7	
大阪市北区うめきた	24.8, 23.7		24.2	図-3.8
長野県諏訪市上川	25, 18.1, 22.2		18.7	
長野県諏訪市四賀	20.2		18.8	図-3.9
兵庫県尼崎市築地	22.5, 22.2		22.4	図-3.10
千葉県浦安市高洲 8(2017)	25		25.1	
長野県諏訪市豊田	23.1, 23.2, 21.5		25	
長野県諏訪市湖南 2	30, 21, 21.5		22.5	
大阪市港区弁天町	25, 25		20	図-3.11
埼玉県越谷市新川町	25.2, 25		21.5	
茨城県稲敷市浮島	20, 25, 21.5		20	図-3.12

3.1.2 試験結果

図-3.1～3.12に各全自動試験機による試験結果の代表例(表-3.1参照)を示す。図-3.1～3.5はSWS-NとSWS-Yを比較した5地点、図-3.6はSWS-N、SWS-YおよびSWS-Tを比較した1地点(諏訪市湖南1)、図-3.7～3.12はSWS-NとSWS-Tを比較した6地点の調査深度20mまでの土質柱状図とSWS試験による W_{sw} 、 N_{sw} の深度分布を示す。深度分布図は土質の違いを表すため、砂質土部を灰色、粘性土部は水色および高有機質土部は黄色の背景色で示している。試験の実施機関は、図中の凡例内に括弧書きで示した(S:積水ハウス、D:大和ハウス工業、H:報国エンジニアリング、N:日本建築総合試験所)。SWS-Tは試験の実施機関もトラバースである。

SWS-NとSWS-Yを比較した図-3.1～3.5の試験結果は、GL-20mの全深度にわたって概ね一致している。特に粘性土においては、ほぼ一致する傾向が見られ、自沈層($N_{sw}=0$)から $N_{sw}<100$ の範囲にあることが多く、貫入抵抗は緩やかに変化していくことがわかる。SWS-Nの荷重制御は荷重フィードバック制御であり、SWS-Yは実荷重を重り位置センサにより制御しているという違いはあるが、同様の荷重伝達がなされていると考えられる。一方、砂質土においては、自沈層はほとんどなく、測定範囲は $0<N_{sw}<400$ 超と幅広くなる。深度方向への変化も粘性土と比較して大きい。砂質土における両試験機の結果は、ほぼ同様の傾向を示しているが、図-3.2に示す東大阪市花園東のGL-3.25～-4.65mの粗砂ではSWS-Yの N_{sw} が大きく、図-3.4に示す守山市水保町のGL-5.25～-9.45mのおよび図-3.5に示す浦安市港のGL-5.5～-9.6mの砂ではSWS-Yの N_{sw} が小さくなっている。

SWS-N、SWS-YおよびSWS-Tを比較した図-3.6に示す諏訪市湖南1の試験結果は、GL-15m以深でややSWS-Tの結果が大きくなっているものの、3機種の結果は、概ね一致している。

SWS-NとSWS-Tを比較した図-3.7～3.12の試験結果においても、GL-20mの全深度にわたって概ね一致している。粘性土においては、SWS-NとSWS-Yとの関係と同様に、ほぼ一致する傾向がみられる。砂質土においては、両試験機の結果は、ほぼ同様の傾向を示しているが、図-3.11に示す大阪市弁天町のGL-5.85～-11.4mのシルトまじり砂では、SWS-Tの N_{sw} が大きく、図-3.12に示す稲敷市浮島のGL-7～-10mのシルト質砂では、SWS-Tの N_{sw} が大きく、GL-10～-20mのシルト質砂およびシルトまじり砂では、SWS-Tの N_{sw} が小さくなっている。ただし、これらは試験機の違いだけでなく、調査地点の位置がずれている(付録参照)ことによる地盤の不均質性の影響も受けていると考えられる。

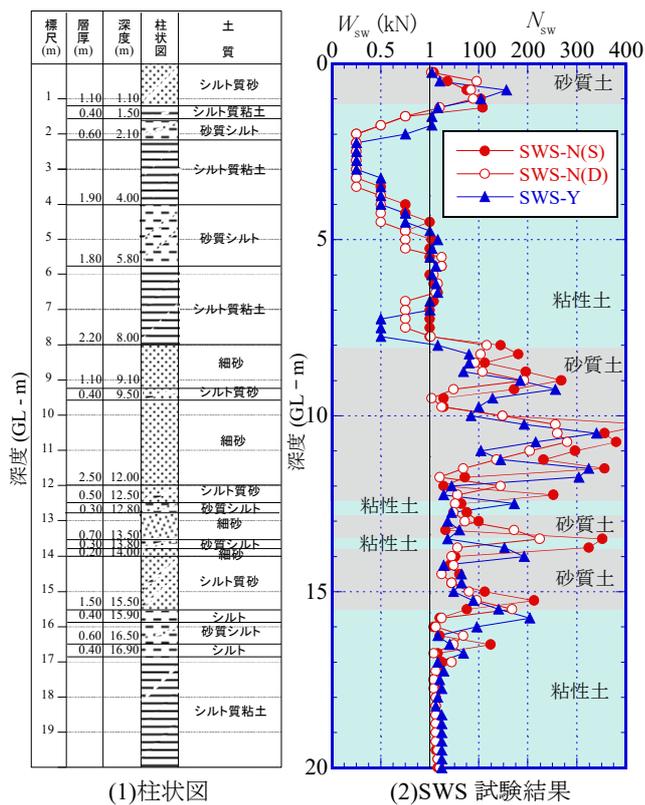


図-3.1 浦安市高洲 8-1 の結果

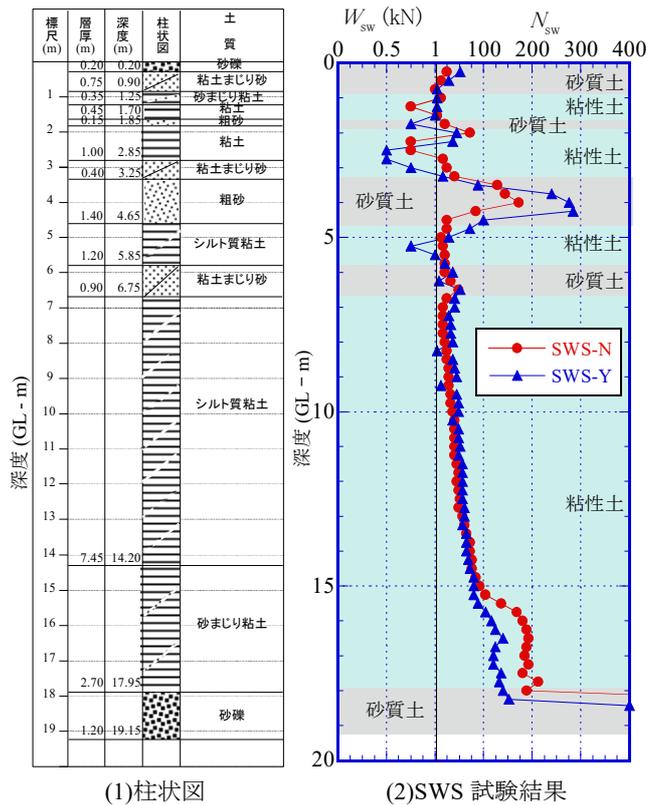


図-3.2 東大阪市花園東の結果

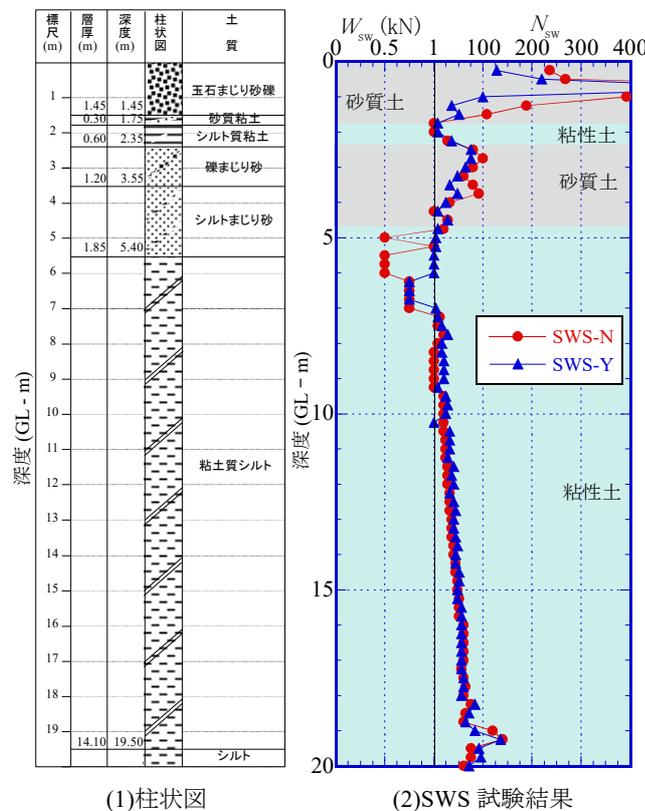


図-3.3 守山市今浜町の結果

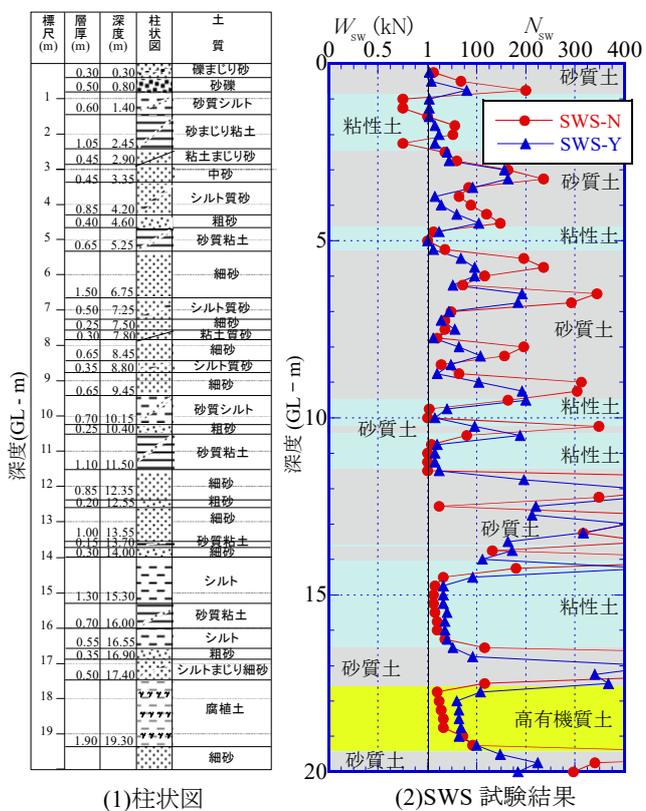


図-3.4 守山市水保町の結果

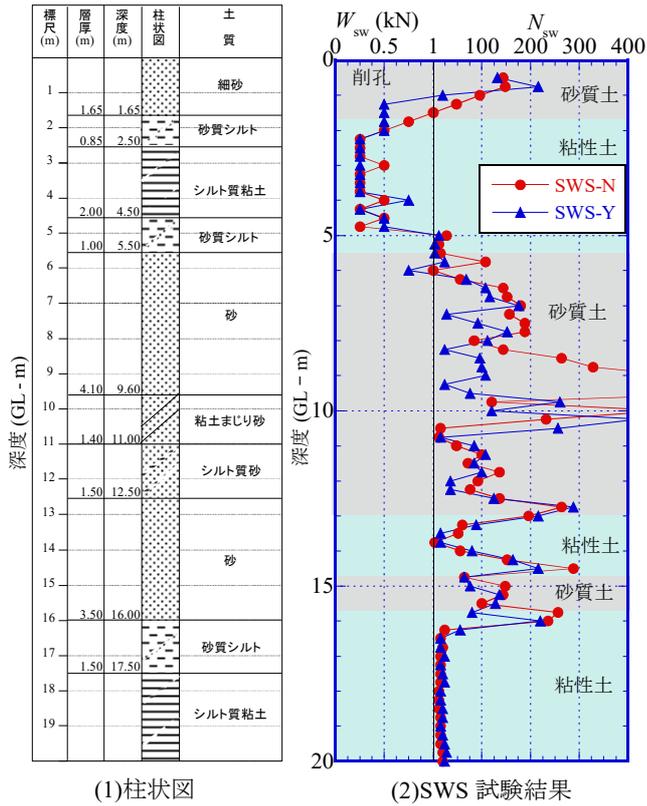


図-3.5 浦安市港の結果

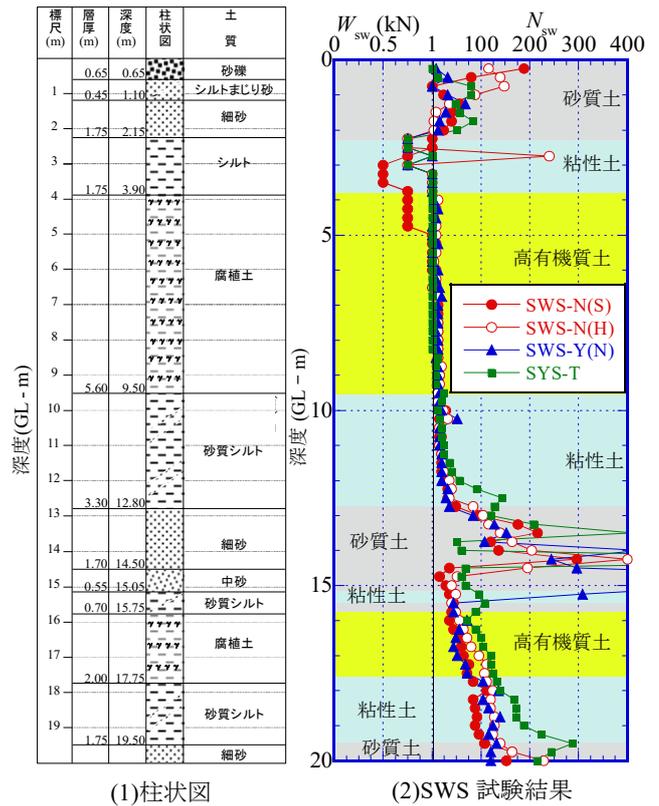


図-3.6 諏訪市湖南 1 の結果

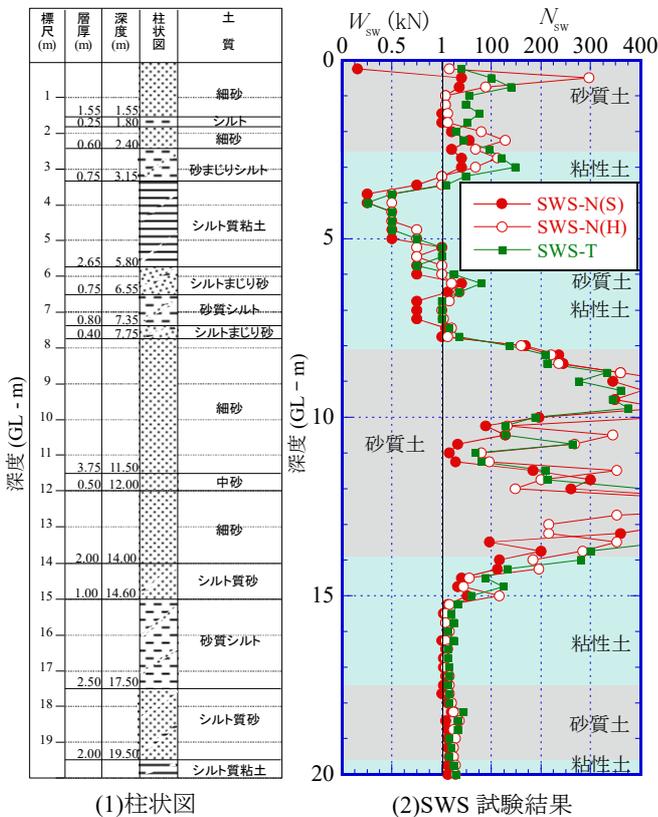


図-3.7 浦安市高洲 6 の結果

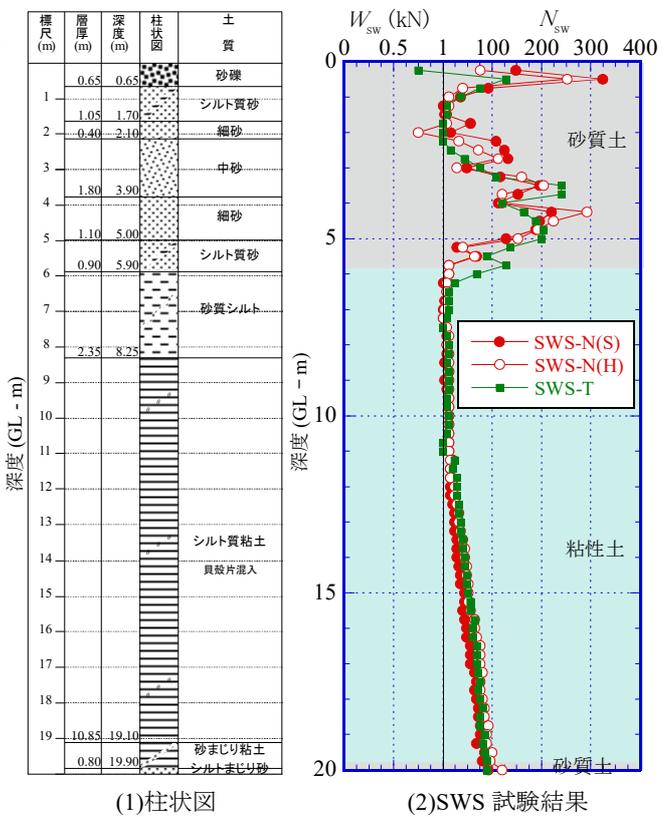


図-3.8 大阪市うめきたの結果

3.1.3 試験結果の考察

図-3.13 は SWS-N と SWS-Y を比較した 11 地点、図-3.14 は SWS-N と SWS-T を比較した 13 地点について、深度ごとの測定結果（GL-20m まで）を標準貫入試験（SPT）でサンプリングした試料の粒度試験結果（特に細粒分含有率 F_c 値）から粘性土、砂質土に分け、それぞれの関係を $0 < W_{sw} \leq 1$ および $0 < N_{sw} \leq 400$ の範囲で示し、最小二乗法により切片を 0 とする一次回帰式を砂質土、粘性土および全土質について求め、それぞれに相関係数 r も求めた。ここでは、稲田によって検討された W_{sw} 、 N_{sw} と N 値との関係図（図-1.19）と同様に $W_{sw}=1\text{kN}$ と $N_{sw}=100$ が同幅となる目盛で、仕様の比較を行った。

図-3.13 に示す SWS-N と SWS-Y の関係では、粘性土の一次回帰式は傾き 1.0 の 45° 線となった。一方、砂質土では SWS-Y の貫入抵抗が 19% 小さく、全土質では SWS-Y の貫入抵抗が 12% 小さくなった。砂質土の相関係数 r は 0.535、粘性土の相関係数 r は 0.565 となり、粘性土の方がばらつきは少ない。SWS-N と SWS-Y の回転速度はそれぞれ 25rpm と 19rpm と違いがある。田村ら²⁾の既往の研究では、回転速度の影響のメカニズムは十分明らかにできていないとしつつ、硬い地盤において回転速度は N_{sw} に影響を及ぼすが、 N_{sw} が 150 以下の地盤では回転速度の影響はそれほど問題ないとされている（回転速度の影響は 3.4 で後述する）。図-3.13 より、砂質土地盤では、回転速度が N_{sw} に影響を与えるとも考えられるが、さらにデータを蓄積し、検討する必要がある。また、回転駆動力として SWS-N はサーボモータ、SWS-Y はインダクションモータが使われている。速度、トルクでは、サーボモータが最大出力値で上回っている。全自動式試験機による SWS 試験では、空転時や試験機に負荷がかかりすぎた場合、回転を自動的に止め、手で打撃貫入することがある。回転駆動力が高いサーボモータを用いている SWS-N の方が、空転もさせながら貫入させていく状況が多くなり、積算回転数は増えている可能性があると考えられる。

図-3.14 の SWS-N と SWS-T の関係では、一次回帰式は粘性土、砂質土ともにほぼ 45° に近い直線となったが、SWS-T の方が粘性土で 10%、砂質土で 4% および全土質では 8% 程度、貫入抵抗が大きくなっている。SWS-N と SWS-T の回転速度はそれぞれ 25rpm と 30rpm と違いがある。砂質土での 4% の差はほとんどないといえるが、砂質土の相関係数 r は 0.472、粘性土の相関係数 r は 0.711 となり、図-3.13 と同様に粘性土の方がばらつきは少ない。

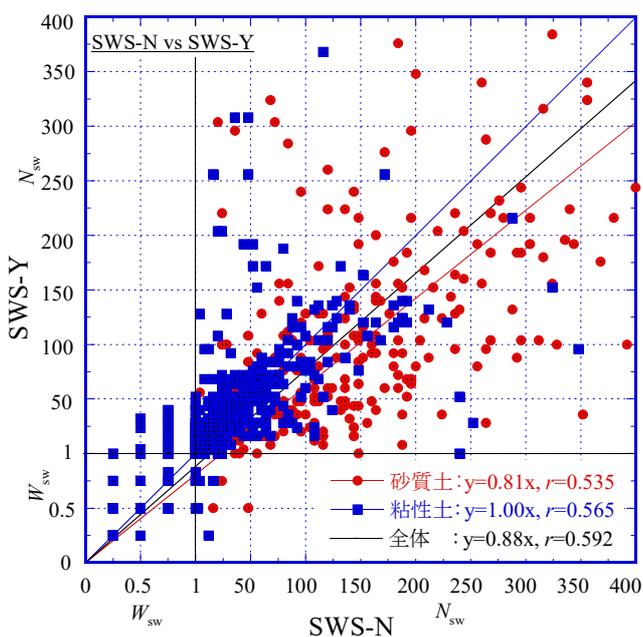


図-3.13 SWS-N と SWS-Y の関係 (11 地点)

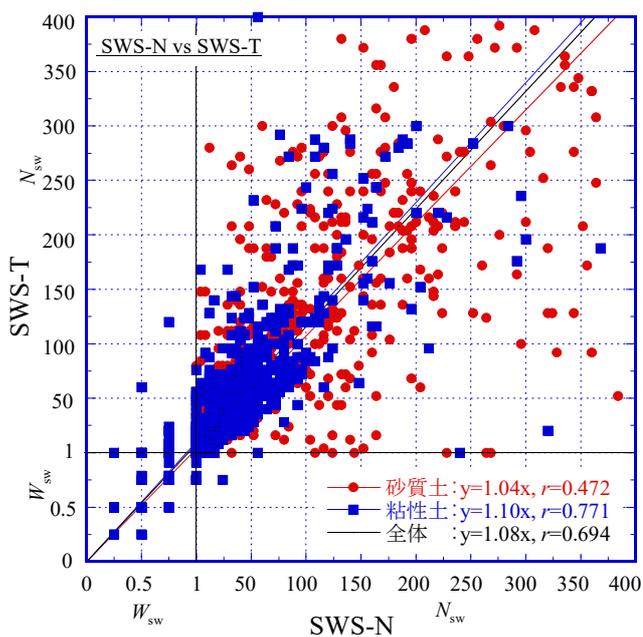


図-3.14 SWS-N と SWS-T の関係 (13 地点)

3.2 JIS 規格と ISO 規格による影響³⁾

3.2.1 調査地点と試験状況

SWS 試験には、ISO 規格と JIS 規格でそれぞれ独自の発展をとげてきたために、試験機や試験方法が異なる (2.2.4 参照)。それぞれの試験を同一地点で実施し、試験結果の違いを検証した。試験結果がばらつく要因をできる限り除くために、この比較試験には、自沈時における荷重载荷の自動制御が可能で、かつロッドの回転速度を一定に保持することができる全自動式試験機 SWS-N (自沈判定の設定値：貫入速度 80~5mm/s, 回転速度：25rpm) を用いた。試験は、地形条件や地盤条件が異なる表-3.2 に示す 5 地点で実施した。SWS-N はアンカー定着が不要となる質量約 200kg のクローラー上で試験している (写真-2.2 参照)。これにより、回転貫入時にロッドに高トルクが発生した場合でも、試験機が安定した状態で試験を行うことができる。

試験は写真-3.1 に示すように、JIS 仕様と ISO 仕様に加えて、JIS のスクリーポイント (SP) に ISO のロッドをつけたもの (JIS.SP+φ22) および ISO の SP に JIS のロッドをつけたもの (ISO.SP+φ19) も行い、SP の形状とロッド最大径の影響を調べた。表-3.2 に 5 地点で実施した調査深度を示す。同じ仕様で複数回実施したものは、それぞれの深度を記している。

各試験は 1m 間隔で柵目をもうけ、隣接する数 m 間で実施した (付録参照)。5 地点ともボーリング、標準貫入試験 (SPT)、サンプリングを実施し、N 値、土質を確認している。

表-3.2 調査地点と試験状況

調査地点名	地形条件	調査深度 (m)			
		JIS	ISO	ISO.SP+φ19	JIS.SP+φ22
大阪市港区弁天町	埋立地	25, 25	25, 25	25, 25	25
大阪市北区うめきた	氾濫平野	24.7, 24.7	25, 24.7	25, 24.5	23.6, 23.7
埼玉県越谷市新川町	後背低地	25.2, 25.2	26, 25.2	25.2, 26	25.2, 25.2
茨城県稲敷市浮島	砂州	20	20	20	20
大阪市此花区舞洲	埋立地	25	18.6	19.2	—



写真-3.1 試験仕様 (JIS と ISO との比較)

SWS 試験による W_{sw} , N_{sw} の結果から、稲田による式 (1.1), (1.2) によって換算 N 値を求め、 N 値と比較した。本来、式 (1.1), (1.2) の稲田式は JIS 仕様の試験に対して求められたものであるが、ここでは ISO 仕様を含む他の仕様にも同様に適用した。なお、稲田式は、既に実務で広く使われているため、ここで採用した。

3.2.2 試験結果

図-3.15～3.19 にそれぞれ 5 地点の調査深度 25m までの土質柱状図、SWS 試験による W_{sw} , N_{sw} の深度分布および稲田式により求めた換算 N 値と SPT による N 値の深度分布を示す。同じ仕様で複数回実施した場合（表-3.2 参照）の結果はほぼ一致したため、代表となる結果を示している。SP の形状とロッド最大径の影響を調べるために実施した JIS, ISO, ISO.SP+ $\phi 19$ および JIS.SP+ $\phi 22$ の 4 仕様とも試験結果を比較するために、 N_{sw} も JIS に定められている 0.25m ごとの半回転数 N_a を 1m に換算して求めた。なお、図(1)土質柱状図、図(2) W_{sw} , N_{sw} および図(3) N 値、換算 N 値に示した土質区分はボーリング柱状図をもとに作成したものである。ただし、換算 N 値を求めるための土質判別は、サンプリングによる粒度試験結果を優先した。

図-3.15 の大阪市弁天町の結果は、4 仕様の試験結果は概ね一致しているが、GL-11.4m 以深の粘性土層において ISO.SP+ $\phi 19$ が小さくなる傾向を示した。ISO 仕様のロッドは本来 $\phi 22$ mm であるが、 $\phi 19$ mm ロッドとの組み合わせにより、ロッドの周面摩擦が低減されたと考えられる。稲田式によって求めた換算 N 値は、 N 値と比較すると 4 仕様ともに粘性土層において大きくなる傾向が認められた。

図-3.16 の大阪市うめきたの結果は、GL-1.7～-3m の砂質土層で ISO がやや大きな結果となっているが、それ以外の深度では 4 仕様ともほぼ同じ結果となった。ただし、GL-6～-14m の粘性土層では、図-3.15 の大阪市弁天町と同様に、ISO.SP+ $\phi 19$ が小さくなる傾向が認められる。やはり換算 N 値は、 N 値と比較すると粘性土層において大きくなる傾向が認められた。

図-3.17 の鋭敏性の高い粘性土主体の越谷市新川町の結果は、GL-6.7～-21.5m まで JIS.SP+ $\phi 22$ 以外の 3 仕様が自沈層となっており、JIS.SP+ $\phi 22$ のみが回転層 ($N_{sw} > 0$) となっている。JIS 仕様のロッドは本来 $\phi 19$ mm であるが、 $\phi 22$ mm ロッドとの組み合わせにより、ロッドの周面摩擦が増加したと考えられる。また、SPT でモンケン自沈、ロッド自沈を示した N 値 0 の地盤においても稲田式より求めた換算 N 値は、1～4 程度と大きくなった。

図-3.18 の砂質土主体の稲敷市浮島の結果は、GL-6.5～-14m の砂質土層では、ISO および ISO.SP+ $\phi 19$ が JIS の 2 仕様と比較して、大きな N_{sw} を示している。それ以外の深度では、4 仕様の試験結果は概ね一致している。ISO.SP は貫入抵抗が大きくなる $N_{sw} > 150$ の砂質土層においては、JIS.SP より大きな貫入抵抗を示す傾向がみられた。この砂質土層では、換算 N 値は N 値と比較的整合している。

図-3.19 の埋立土主体の大阪市舞洲の結果は、GL-18.4～-19.5m の砂礫埋立土層を JIS は貫入し、ISO および ISO.SP+ $\phi 19$ は貫入不可となったが、実施した 3 仕様の結果は概ね一致している。図-3.18 と同様に ISO.SP の方が硬質な砂質土層においては大きな貫入抵抗を示すことがうかがえる。また、弁天町やうめきたと同様に換算 N 値は、 N 値と比較すると粘性土層において大きくなる傾向が認められた。

以上の 5 地点すべてにおいて SWS 試験の結果は、地層構成および地盤の硬軟を反映した結果となっている。SWS 試験の自沈層はほぼ粘性土層で発生し、砂質土層では深度方向への N_{sw} の変化が大きく、粘性土層では変化が小さい。

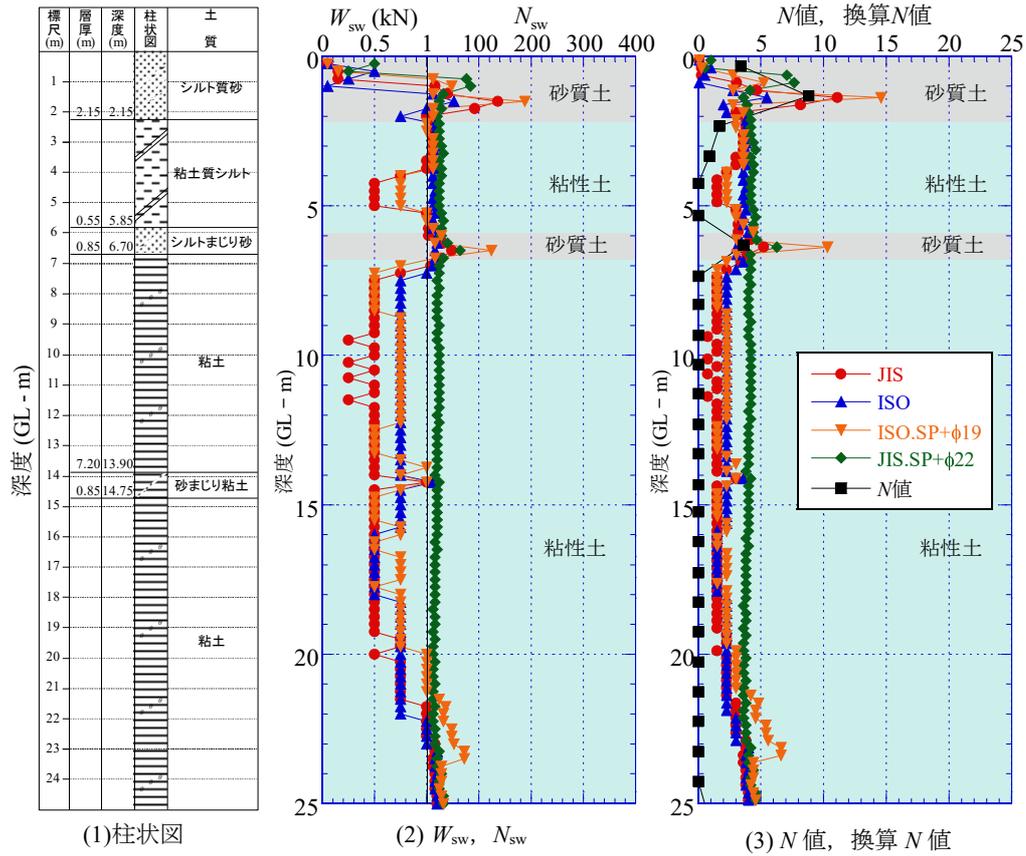


図-3.17 越谷市新川町の結果

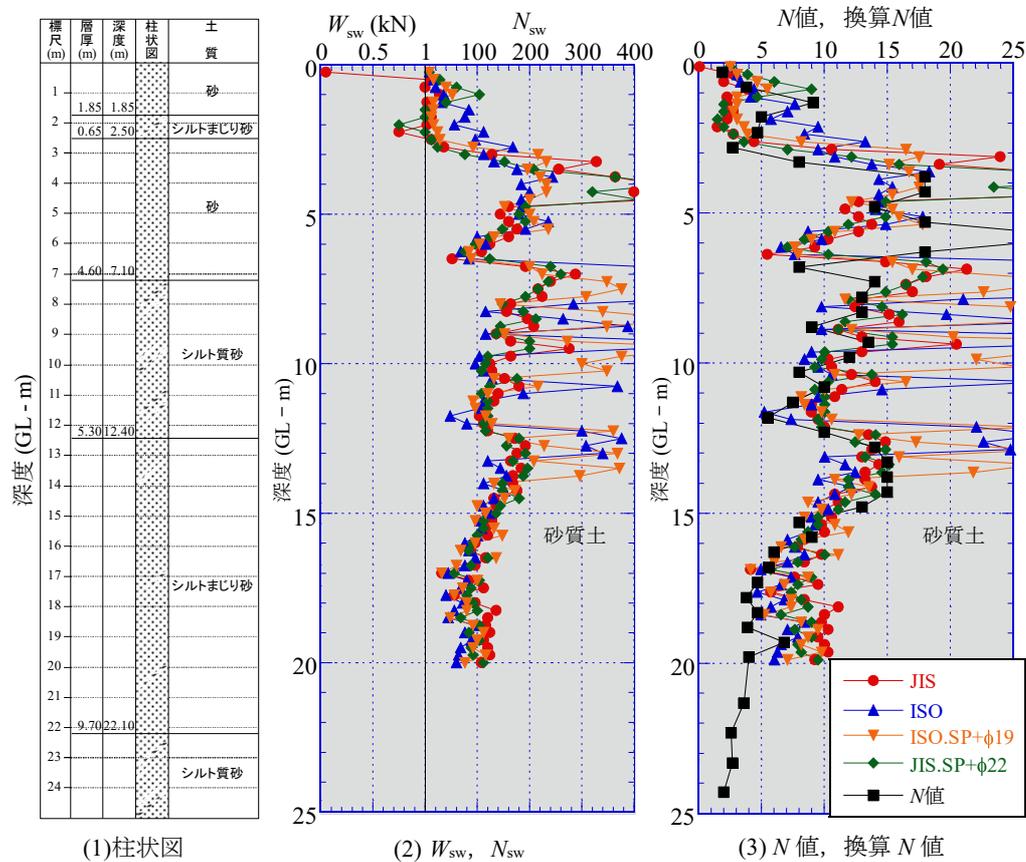


図-3.18 稲敷市浮島の結果

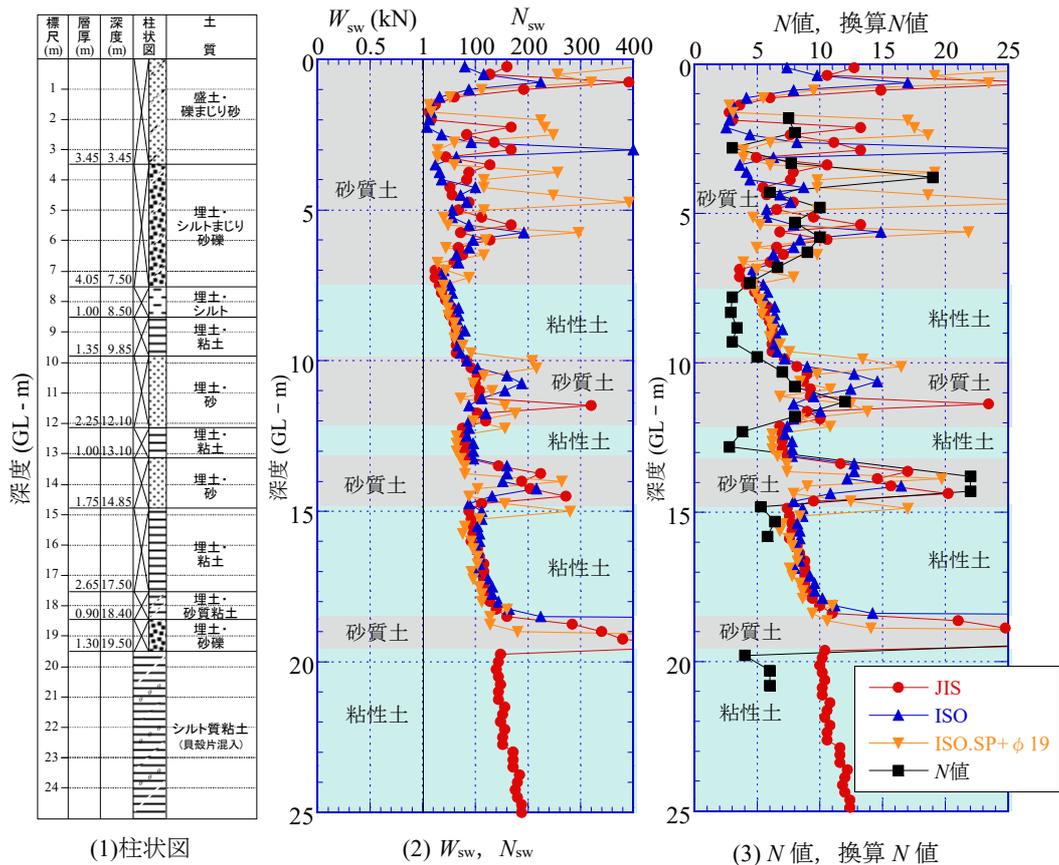


図-3.19 大阪市此花区舞洲の結果

3.2.3 試験結果の考察

図-3.20～3.23は、全5地点の深度ごとの測定結果をSPT試料による粒度試験結果（特に細粒分含有率 F_c 値）から粘性土、砂質土に分け、JISとISO、JISとISO.SP+ $\phi 19$ 、JISとJIS.SP+ $\phi 22$ およびISOとISO.SP+ $\phi 19$ の関係として $N_{sw} \leq 400$ の範囲で示し、最小二乗法により切片を0とする一次回帰式を砂質土、粘性土および全土質について求め、それぞれ相関係数 r も求めた。表-3.3に各試験間の傾きと相関係数をまとめる。

図-3.20のJISとISOとの比較では、両仕様の一次回帰式はほぼ45°の直線となっているが、ISOが砂質土では4%程度小さく、粘性土では2%程度大きく、全土質では3%程度小さくなった。砂質土ではばらつき、相関係数は0.595となり、粘性土のばらつきは少なく、相関係数も0.955と高い。

図-3.21のJISとISOのSPにJISのロッドをつけたISO.SP+ $\phi 19$ との比較では、やはり両仕様の一次回帰式はほぼ45°の直線となっているが、ISO.SP+ $\phi 19$ が砂質土では2%程度大きく、粘性土では2%程度小さく、全土質では1%程度大きくなった。図-3.20と同様に砂質土ではばらつき、相関係数は0.601となり、粘性土のばらつきは少なく、相関係数は0.899と高い。

図-3.22のJISとJISのSPにISOのロッドをつけたJIS.SP+ $\phi 22$ との比較では、やはり両仕様の一次回帰式はほぼ45°の直線となっているが、JIS.SP+ $\phi 22$ が、砂質土では3%程度小さく、粘性土で7%程度大きく、全体では1%程度大きくなった。図-3.20、図-3.21と比較すると砂質土でのばらつきは少なく、相関係数も0.835と高くなっている。一方、粘性土でのばらつきは少なく見えるが、相関係数は0.601と低くなった。砂質土ではロッド径の影響はみられないが、粘性土では、ロッド径が $\phi 19$ から $\phi 22$ に太くなることにより、ロッドの周面摩擦が増加したと考えられる。特にJISでは自沈層であったところが、

JIS.SP+φ22 では回転層となっているプロットがみられ (図-3.17 の越谷市新川町の結果による), 相関係数の低下の要因になっている。回転層範囲 ($N_{sw} > 0$) だけをみると粘性土は, ほぼ 45°の直線上にプロットされている。

図-3.23 の ISO と ISO の SP に JIS のロッドをつけた ISO.SP+φ19 との比較では, やはり両仕様の一次回帰式はほぼ 45°の直線となっているが, ISO.SP+φ19 が, 砂質土では 3%程度大きく, 粘性土では 4%程度小さく, 全体では 1%程度小さくなった。砂質土ではばらつき, 相関係数も 0.394 と最も低いが, 粘性土のばらつきは少なく, 相関係数も 0.899 と高い。表-3.4 より JIS と JIS の SP に ISO のロッドをつけた JIS.SP+φ22 との比較以外は, すべて砂質土より粘性土の方が, 相関係数が高くなっている。また, 傾きはどの試験比較もほとんど 45°の直線になる。

結果的に JIS 規格と ISO 規格の試験結果は, ほとんど違いはなく, 特に粘性土では相関性も高い。

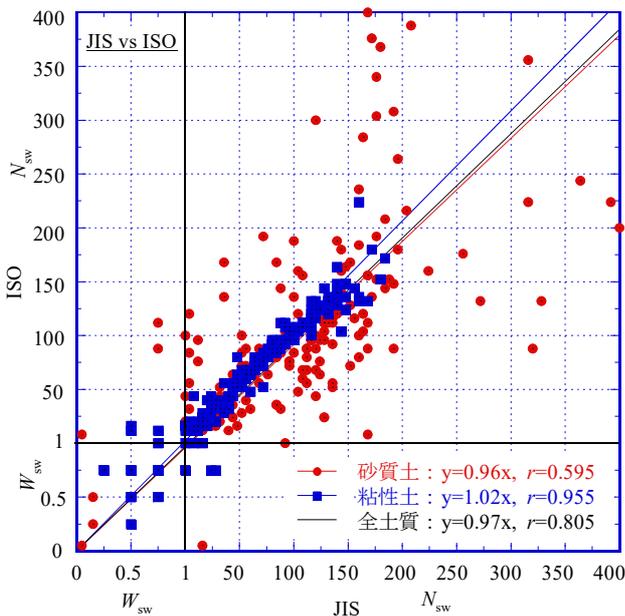


図-3.20 JIS と ISO との関係

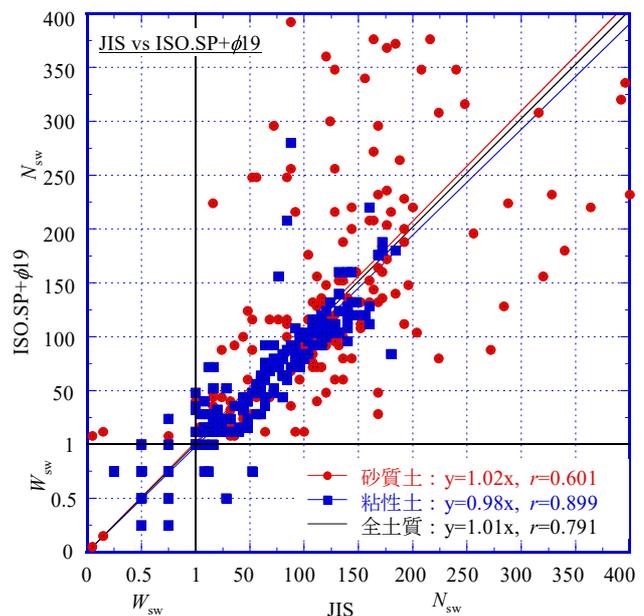


図-3.21 JIS と ISO.SP+φ19 との関係

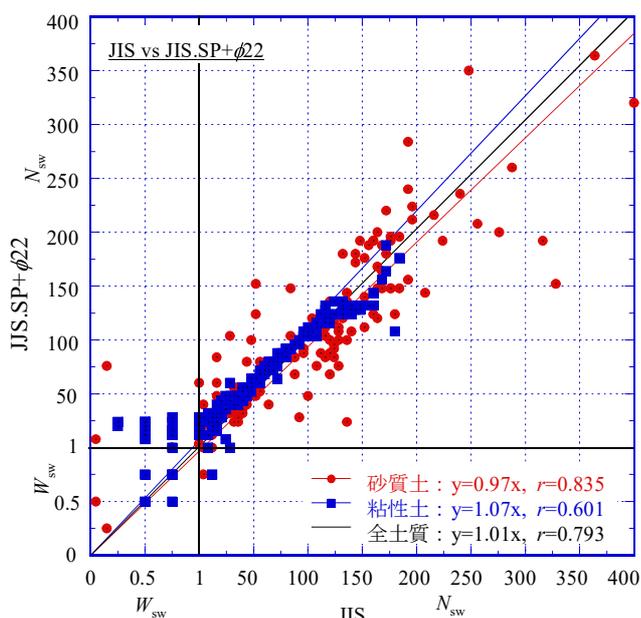


図-3.22 JIS と JIS.SP+φ22 との関係

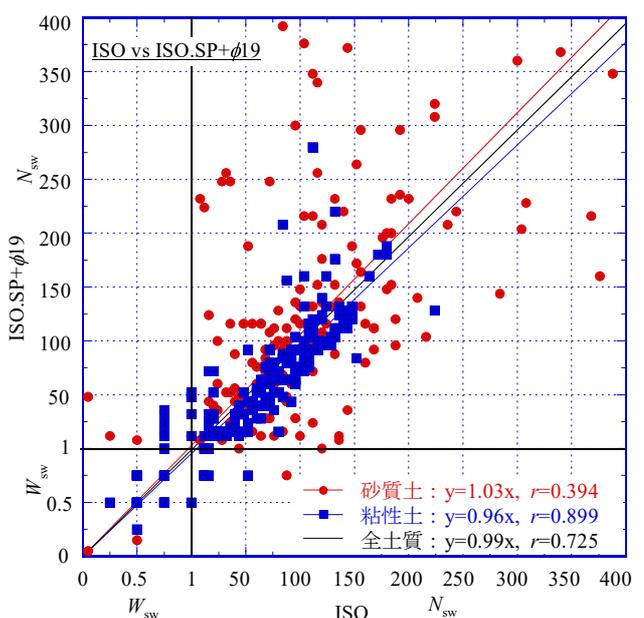


図-3.23 ISO と ISO.SP+φ19 との関係

表-3.3 各試験間の傾きと相関係数 r

試験仕様	砂質土		粘性土		全体	
	傾き	r	傾き	r	傾き	r
JIS vs ISO	0.96	0.595	1.02	0.955	0.97	0.805
JIS vs ISO.SP+ ϕ 19	1.02	0.601	0.98	0.899	1.01	0.791
JIS vs JIS.SP+ ϕ 22	0.97	0.835	1.07	0.601	1.01	0.793
ISO vs ISO.SP+ ϕ 19	1.03	0.394	0.96	0.899	0.99	0.725

3.3 スクリューポイント (SP) の摩耗と形状による影響¹⁾⁴⁾⁵⁾

3.3.1 調査地点と試験状況

図-2.4(1)に示したスクリューポイント (SP) は繰返し使用に伴い、摩耗によってエッジが擦り減る (角がどれ、丸くなる) と同時に最大径が減少する。JIS A 1221 では SP の最大径は 33mm、摩耗によって最大径が 30mm 以下となった SP は用いてはならないと規定されている。そこで、JIS に規定された最大径 33mm の SP のほかに、最大径が異なる SP を 4 種類、最大径 33mm から摩耗させてエッジが丸くなった SP を 3 種類、エッジが全くない円錐型の SP を 2 種類用意し、調査結果に与える影響について全自動式試験機 (SWS-N, 写真-2.2) を用いて、6 地点で調査した。

試験に用いた SP は、写真-3.2 に示す新品 (未使用) で最大径が $\phi 34$, $\phi 33$ (JIS), $\phi 31$, $\phi 29$ および $\phi 27$ mm のもの、写真-3.3 に示す摩耗させてエッジが丸くなった最大径が $\phi 31$, $\phi 29$ および $\phi 27$ mm のもの、写真-3.4 に示すエッジが全くない円錐型の最大径が $\phi 33$, $\phi 27$ mm のものである。なお、SP の最大径は、JIS



写真-3.2 新品スクリューポイント



写真-3.3 摩耗スクリューポイント

に規定されているとおり，SPの先端から150mmの位置に対してデジタルノギスを用いて計測した。写真-3.5に計測状況の一例を示す。表-3.4に各調査地点で実施した試験項目と調査深度を示す。



写真-3.4 円錐型スクリーポイント



写真-3.5 SP最大径の計測状況の一例

表-3.4 調査地点と調査深度

調査地点名	新品 SP					摩耗 SP			円錐型 SP	
	φ34	φ33	φ31	φ29	φ27	φ31	φ29	φ27	φ33	φ27
大阪市弁天町	—	25	—	—	—	25	25	—	—	—
越谷市新川町※1	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
稲敷市浮島※2	—	20	20	20	—	20	20	—	—	—
東大阪市西岩田※3	23.2	18.3	25	22.5	18.4	18.4	18.6	18.7	18.3	18.4
佐賀県白石町	20	20	20	20	20	20	20	20	—	—
大阪市桜島	—	25	—	—	—	25	25	25	—	—
大阪市三軒家	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

数値：調査深度(m)， —：未実施

※1，※2は，2018，2019，2020年にわたり複数回実施。

※3は，2019，2020年にわたり複数回実施。

3.3.2 試験結果

図-3.24～3.30 にそれぞれ大阪市弁天町，越谷市新川町，稲敷市浮島，東大阪市西岩田，佐賀県白石町，大阪市桜島および大阪市三軒家の調査深度 25m または 20m の柱状図と各仕様での W_{sw} ， N_{sw} の深度分布を示す。各地点ともに粘性土ではばらつきが少なく，砂質土ではばらつきがやや大きい。

図-3.24 の大阪市弁天町の結果は，3 仕様（新品 $\phi 33$ ，摩耗 $\phi 29$ ， $\phi 31$ ）の試験結果は概ね一致している。GL-6～-11m の砂質土層では，ばらつきはあるが，傾向は一致している。GL-18m 以深で新品 $\phi 33$ がやや大きくなる傾向を示している。

図-3.25 の鋭敏性の高い粘性土主体の越谷市新川町の結果は，10 仕様（新品 $\phi 34$ ， $\phi 33$ ， $\phi 31$ ， $\phi 29$ ， $\phi 27$ ，摩耗 $\phi 31$ ， $\phi 29$ ， $\phi 27$ ，円錐 $\phi 33$ ， $\phi 27$ ）の試験結果は概ね一致している。ただし，SPT においてモンケン自沈，ロッド自沈を示した N 値 0 となる GL-7～-24m の鋭敏な粘性土層において，SWS 試験では自沈とまらない結果が SP 最大径の小さい仕様（新品 $\phi 27$ ，摩耗 $\phi 27$ ，円錐 $\phi 27$ ）が目立った。この傾向は，SP 最大径が $\phi 27$ まで小さくなるとロッド径 $\phi 19$ に近づくことにより，SP 近傍のロッドと周面地盤との接地範囲が大きくなり，その結果，ロッドの周面摩擦が増加し，自沈しづらくなったことが要因と考えられる。一方，SP 最大径 $\phi 34$ においても自沈とまらない層は見られた。これは，最大径 $\phi 33$ に比べて SP の表面積が若干大きくなり，SP の周面摩擦が増加したことが影響している可能性も考えられるが，土質特性や試験位置の影響なども考えられ，本結果のみで要因を明確にすることはできない。

図-3.26 の砂質土主体の稲敷市浮島の結果は，4 仕様（新品 $\phi 33$ ， $\phi 31$ ， $\phi 29$ ，摩耗 $\phi 31$ ， $\phi 29$ ）の試験結果は概ね一致している。ただし，GL-10～-20m では，摩耗 $\phi 29$ の仕様が他の 3 仕様より小さな N_{sw} を示している。砂質土では，SP の摩耗によるエッジのすり減りと最大径の減少が貫入抵抗の減少につながっている可能性がある。

図-3.27 の東大阪市西岩田の結果は，10 仕様（新品 $\phi 34$ ， $\phi 33$ ， $\phi 31$ ， $\phi 29$ ， $\phi 27$ ，摩耗 $\phi 31$ ， $\phi 29$ ， $\phi 27$ ，円錐 $\phi 33$ ， $\phi 27$ ）の試験結果は概ね一致している。ただし，GL-4m までの細砂層では，エッジのない 2 仕様（円錐 $\phi 33$ ， $\phi 27$ ）が $N_{sw} > 400$ となり，貫入しづらくなる状況がうかがえる。一方，粘性土においては，エッジのない 2 仕様（円錐 $\phi 33$ ， $\phi 27$ ）はやや貫入抵抗が大きくなるものの，他仕様と同様に貫入している。

図-3.28 の鋭敏性の高い粘性土主体の佐賀県白石町の結果は，8 仕様（新品 $\phi 34$ ， $\phi 33$ ， $\phi 31$ ， $\phi 29$ ， $\phi 27$ ，摩耗 $\phi 31$ ， $\phi 29$ ， $\phi 27$ ）の試験結果は概ね一致している。ただし，GL-16～-18.5m の砂質土層でややばらついている。

図-3.29 の大阪市桜島の結果は，4 仕様（新品 $\phi 33$ ， $\phi 31$ ， $\phi 29$ ，摩耗 $\phi 31$ ， $\phi 29$ ）の試験結果は概ね一致している。ただし，GL-10m までの盛土，砂質土ではばらつきがみられる。

図-3.30 の大阪市三軒家の結果は，10 仕様（新品 $\phi 34$ ， $\phi 33$ ， $\phi 31$ ， $\phi 29$ ， $\phi 27$ ，摩耗 $\phi 31$ ， $\phi 29$ ， $\phi 27$ ，円錐 $\phi 33$ ， $\phi 27$ ）の試験結果は概ね一致している。GL-8m 付近までの粘性土層（盛土）はすべての仕様で自沈層があらわれている。ただし，GL-8～-9m の砂層では，エッジのない円錐 $\phi 33$ のみが，大きな N_{sw} を示している。

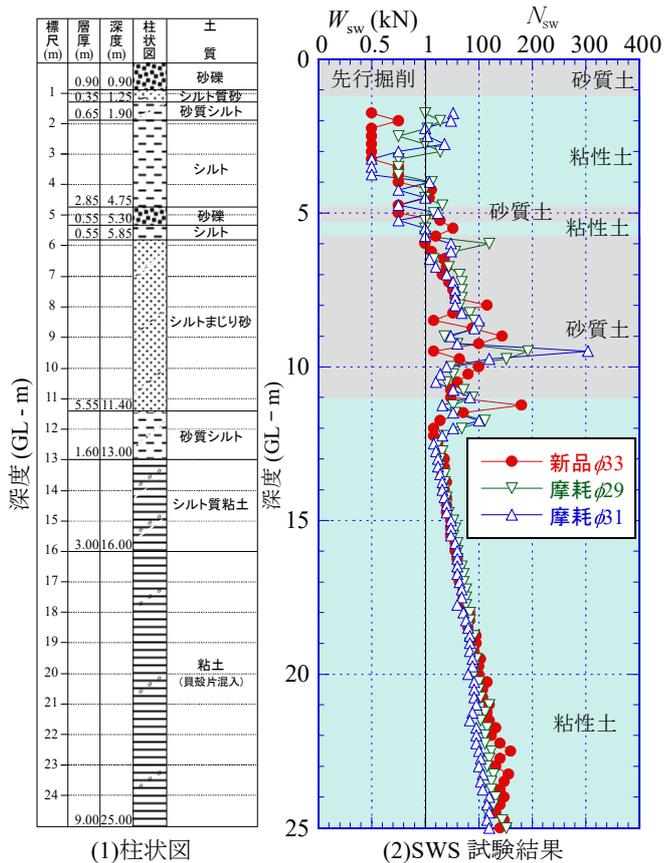


図-3.24 大阪市弁天町の結果

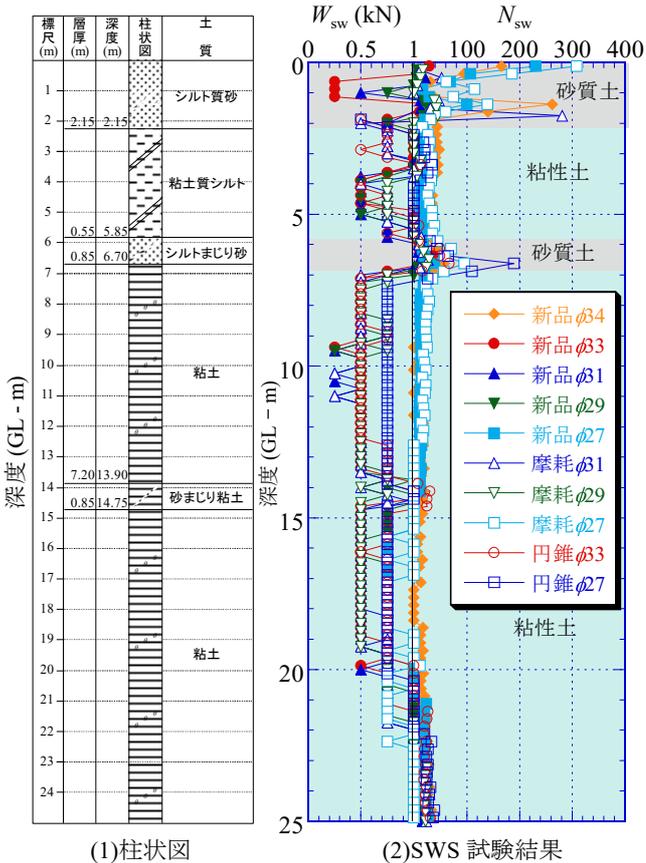


図-3.25 埼玉県越谷市の結果

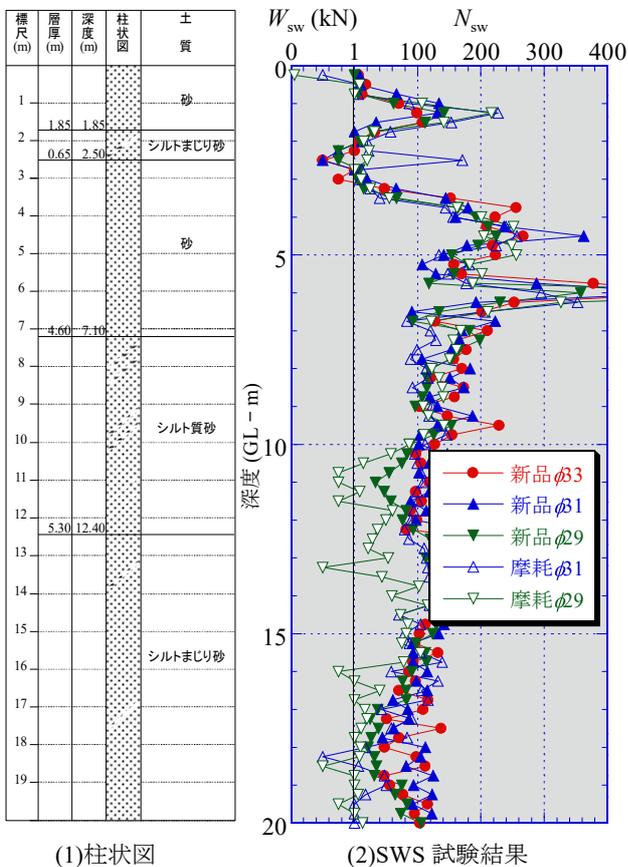


図-3.26 茨城県稲敷市の結果

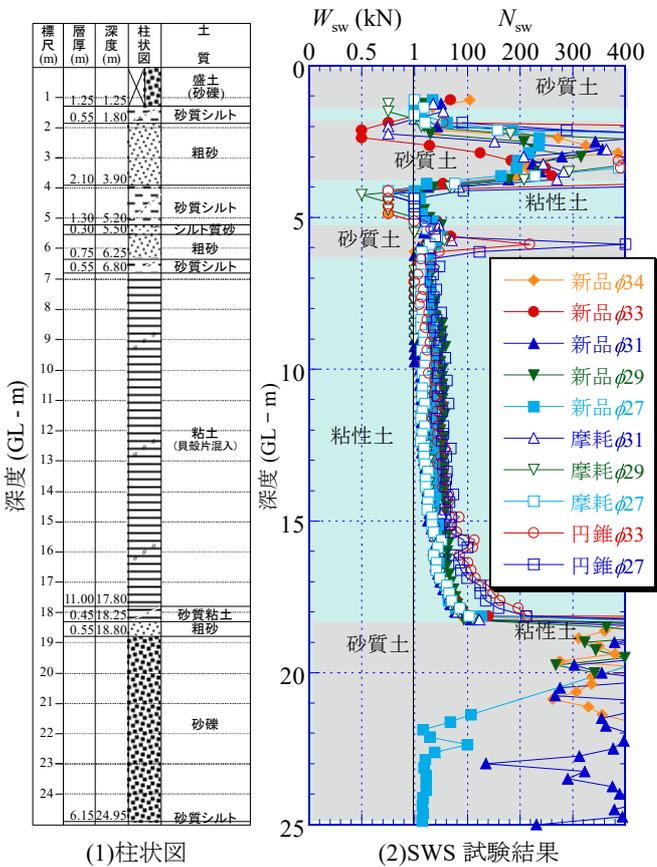


図-3.27 東大阪市西岩田の結果

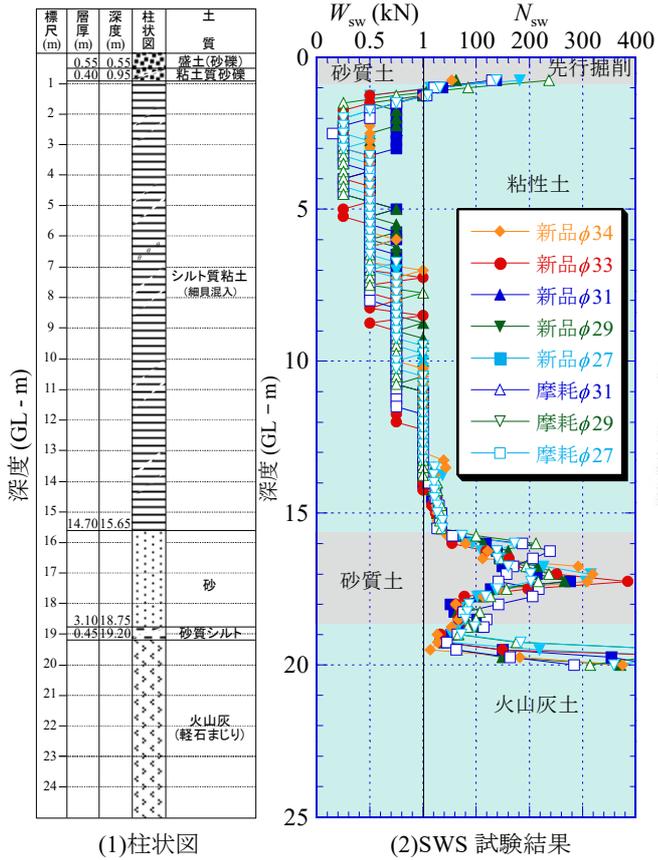


図-3.28 佐賀県白石町の結果

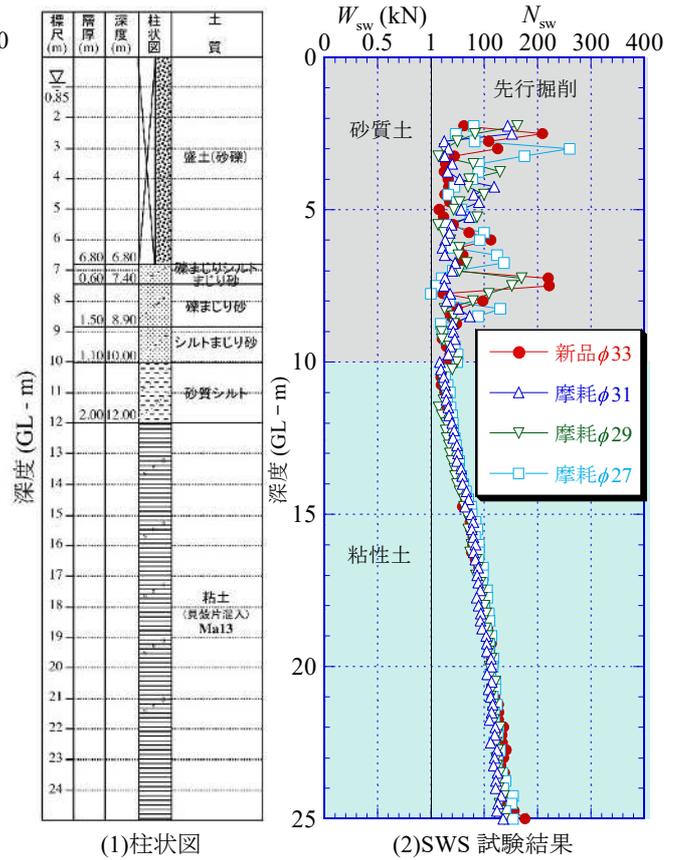


図-3.29 大阪市桜島の結果

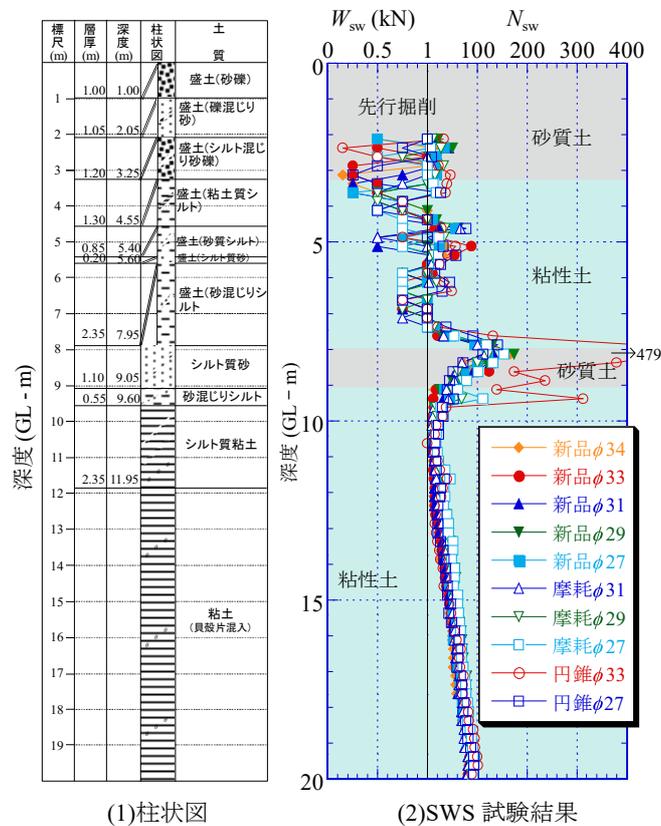


図-3.30 大阪市三軒家の結果

3.3.3 試験結果の考察

図-3.31～3.42は、全7地点の深度ごとの測定結果をSPT試料による粒度試験結果（特に細粒分含有率 F_c 値）から粘性土、砂質土に分け、新品 $\phi 33$ と摩耗 $\phi 31$ 、 $\phi 29$ 、 $\phi 27$ の関係、新品 $\phi 33$ と新品 $\phi 34$ 、 $\phi 31$ 、 $\phi 29$ 、 $\phi 27$ の関係、同径（ $\phi 31$ 、 $\phi 29$ 、 $\phi 27$ ）での新品と摩耗の関係および新品 $\phi 33$ と円錐型 $\phi 33$ 、 $\phi 27$ の関係として、 $N_{sw} \leq 300$ （円錐型SPでは $N_{sw} \leq 600$ の範囲）の範囲で示し、最小二乗法により切片を0とする一次回帰式を砂質土、粘性土および全土質について求め、それぞれ相関係数 r も求めた。表-3.5に各試験間の影響因子と傾きおよび相関係数 r をまとめる。

図-3.31～3.33は、JIS仕様の新品 $\phi 33$ と摩耗（エッジのすり減りと最大径の減少）した $\phi 31$ 、 $\phi 29$ 、 $\phi 27$ の関係を示している。全体に粘性土のばらつきは少なく、砂質土はばらつきが多い。図-3.31の新品 $\phi 33$ と摩耗 $\phi 31$ との比較では、砂質土において摩耗 $\phi 31$ が9%程度小さくなった。相関係数は砂質土で0.629、粘性土では0.903と粘性土の方がばらつきは少ない。図-3.32の新品 $\phi 33$ と摩耗 $\phi 29$ との比較では、砂質土において摩耗 $\phi 29$ が14%程度小さくなった。相関係数は砂質土で0.513、粘性土で0.932と粘性土の方がばらつきは少ない。図-3.33の新品 $\phi 33$ と摩耗 $\phi 27$ との比較では、砂質土において摩耗 $\phi 27$ が13%程度大きくなった。相関係数は砂質土で0.558、粘性土で0.916と粘性土の方がばらつきは少ない。以上より、粘性土ではSPの摩耗による影響はほとんどみられないが、3.3.2の図-3.25で示したように $\phi 27$ まで小さくなるとロッドの周面摩擦が増加することにより、自沈する層において N_{sw} はやや過大となる傾向が認められている。一方、砂質土では摩耗の進行に伴って貫入しやすくなり N_{sw} は小さくなるが、 $\phi 29$ まで摩耗すると N_{sw} は10%を超えて過小評価されてしまう結果となった。しかし、 $\phi 27$ まで摩耗すると N_{sw} は $\phi 33$ に比べて過大となり、 $\phi 29$ までとは異なる傾向を示した。これは、 $\phi 27$ まで小さくなり過ぎるとエッジのすり減りと最大径の減少によってSPの形状が円錐に近くなり、その結果、切削能力が大きく低下したことによるものと考えられる。

図-3.34～3.37は、JIS仕様の新品 $\phi 33$ と最大径のみを変えた $\phi 34$ 、 $\phi 31$ 、 $\phi 29$ 、 $\phi 27$ の関係を示している。全体に粘性土のばらつきは少なく、砂質土はばらつきが多い。ただし、図-3.31～3.33で示した摩耗の影響による砂質土のばらつきに比べると少ないように見える。図-3.34の新品 $\phi 33$ と新品 $\phi 34$ との比較では、相関係数は砂質土で0.426、粘性土で0.688と粘性土の方がばらつきは少ない。粘性土の相関係数が他の比較試験に比べて低くなったが、これは試験数が少ないことに加え、3.3.2の図-3.25で示したように新品 $\phi 33$ では自沈であるのに対し、新品 $\phi 34$ では回転層（ $N_{sw} > 0$ ）と過大な傾向を示した結果が影響している。図-3.35の新品 $\phi 33$ と新品 $\phi 31$ との比較では、新品 $\phi 31$ の方が粘性土で2%、砂質土で3%とわずかであるが、 N_{sw} が小さく、やや貫入しやすくなっている。相関係数は砂質土で0.876、粘性土で0.958と粘性土の方がばらつきは少なく、全体の相関係数は0.946と高い。図-3.36の新品 $\phi 33$ と新品 $\phi 29$ との比較では、新品 $\phi 29$ の方が粘性土では N_{sw} が大きく、10%貫入しにくくなり、砂質土では N_{sw} が小さく、8%貫入しやすくなっている。相関係数は砂質土で0.764、粘性土で0.907と粘性土の方がばらつきは少ない。図-3.37の新品 $\phi 33$ と新品 $\phi 27$ との比較では、新品 $\phi 27$ の方が粘性土では N_{sw} が大きく、6%貫入しにくくなり、砂質土ではほぼ変わらない。相関係数は砂質土で0.036、粘性土で0.838と粘性土の方がばらつきは少ない。砂質土の相関係数が他の試験に比べて極めて低くなったが、これは試験を実施した4地点が粘性土主体の地層構成のために試験数が少なかったことに加え、エッジはあるものの細径による切削能力の低さ、土質特性および試験位置の影響なども考えられる。以上より、摩耗がなくエッジのある新品SPでは、最大径による明確な影響はみられない。また、砂質土では摩耗した同径のSPに比べると、新品 $\phi 33$ との相関は高くなる傾向が確認された。貫入抵抗に対するエッジの効果については、次で詳述する。

図-3.38~3.40は、同径($\phi 31$, $\phi 29$, $\phi 27$)の新品と摩耗の関係を示している。エッジが効いているものと、丸くなったものの比較となる。全体に粘性土のばらつきは少なく、砂質土はばらつきが多い。図-3.38の新品 $\phi 31$ と摩耗 $\phi 31$ との比較では、摩耗 $\phi 31$ の方が粘性土では N_{sw} が大きく、5%貫入しにくくなり、砂質土では N_{sw} が小さく、7%貫入しやすくなっている。相関係数は砂質土で0.729、粘性土で0.884と粘性土の方がばらつきは少ない。図-3.39の新品 $\phi 29$ と摩耗 $\phi 29$ との比較では、摩耗 $\phi 29$ の方が粘性土では N_{sw} が大きく、8%貫入しにくくなり、砂質土でも N_{sw} が小さく、6%貫入しにくくなっている。相関係数は砂質土で0.762、粘性土で0.887と粘性土の方がばらつきは少ない。図-3.40の新品 $\phi 27$ と摩耗 $\phi 27$ との比較では、摩耗 $\phi 27$ の方が粘性土では N_{sw} が小さく、3%貫入しやすくなり、砂質土では N_{sw} が大きく、10%貫入しにくくなっている。相関係数は砂質土で0.686、粘性土で0.888と粘性土の方がばらつきは少ない。以上より、粘性土では明確な差は認められないが、砂質土では摩耗の進行が $\phi 29$ まではエッジが効いている新品よりも貫入しやすくなる傾向がある。しかし、図-3.37に示したとおり新品 $\phi 33$ との相関性が認められる新品 $\phi 27$ に対して、摩耗 $\phi 27$ は貫入抵抗が10%も大きくなるため、エッジの効果が明確にあるといえる。先述のとおり、摩耗によりエッジがすり減り、最大径が $\phi 27$ まで減少するとSPの形状が円錐に近くなり、その結果、切削能力が大きく低下して貫入抵抗が大きくなったと考えられる。円錐形状による貫入抵抗への影響は、次で詳述する。

図-3.41, 3.42は、新品 $\phi 33$ と円錐型 $\phi 33$, $\phi 27$ の関係を示している。試験数が3地点のみと少なく、ばらつきを示す相関係数は参考値となる。図-3.41の新品 $\phi 33$ と円錐型 $\phi 33$ との比較では、明らかに円錐型 $\phi 33$ の方が貫入抵抗は大きい。円錐型 $\phi 33$ の方が粘性土で10%、砂質土で35%貫入しにくくなっている。相関係数は砂質土で0.721、粘性土で0.743と粘性土の方がばらつきは少ない。図-3.42の新品 $\phi 33$ と円錐型 $\phi 27$ との比較では、やはり円錐型 $\phi 27$ の方が貫入抵抗は大きい。円錐型 $\phi 27$ の方が粘性土で14%貫入、砂質土で20%貫入しにくくなっている。相関係数は砂質土で0.839、粘性土で0.845とばらつきはそれほど変わらない。以上より、エッジのない円錐形状のSPは切削能力が低く、粘性土と砂質土のいずれの場合でも貫入抵抗が大きくなることが明確になった。また、砂質土では新品 $\phi 33$ の貫入抵抗に対して、摩耗 $\phi 27$ は13%、円錐型 $\phi 27$ は20%過大になる傾向から、摩耗 $\phi 27$ はSPが円錐形状に近づいているといえる。

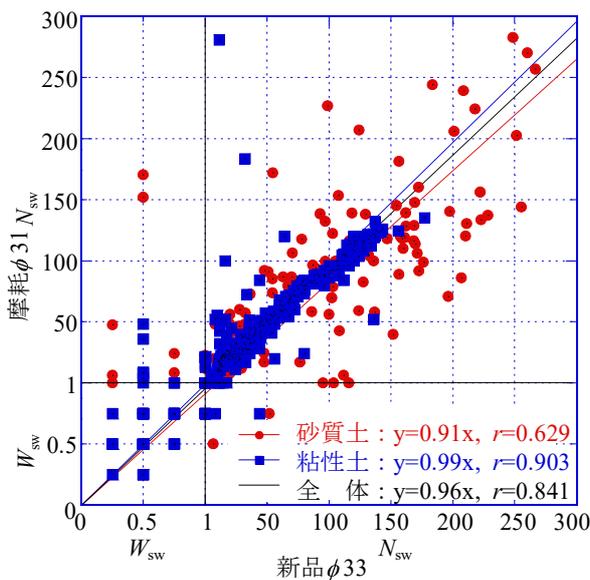


図-3.31 新品 $\phi 33$ vs 摩耗 $\phi 31$

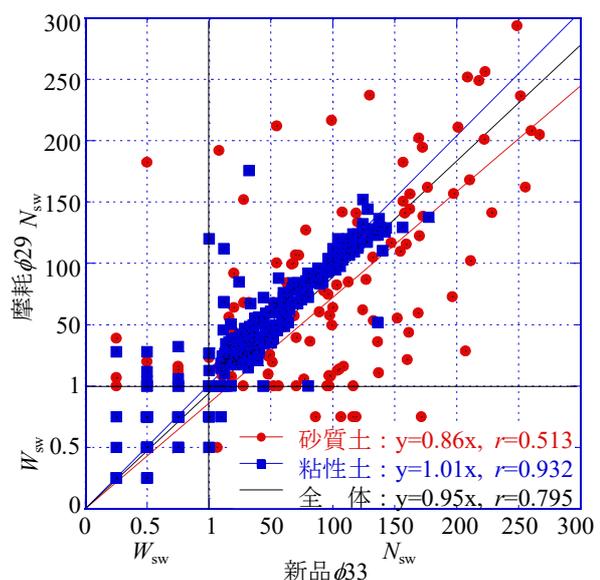


図-3.32 新品 $\phi 33$ vs 摩耗 $\phi 29$

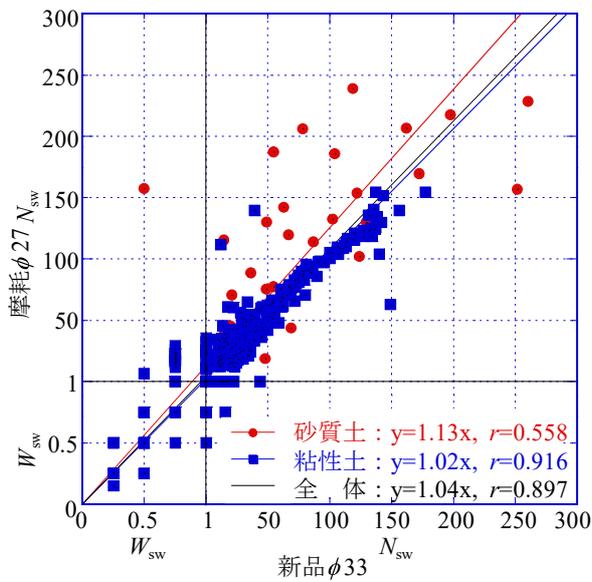


図-3.33 新品φ33 vs 摩耗φ27

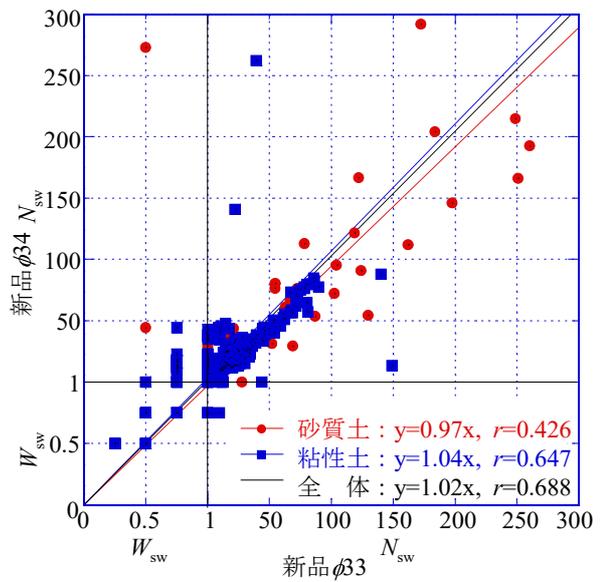


図-3.34 新品φ33 vs 新品φ34

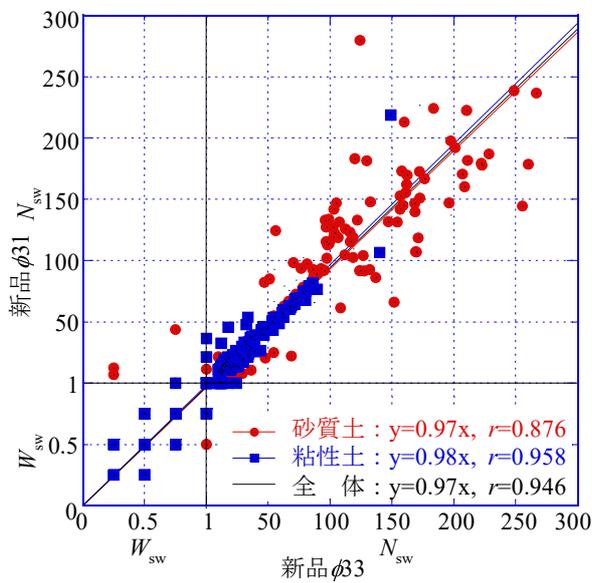


図-3.35 新品φ33 vs 新品φ31

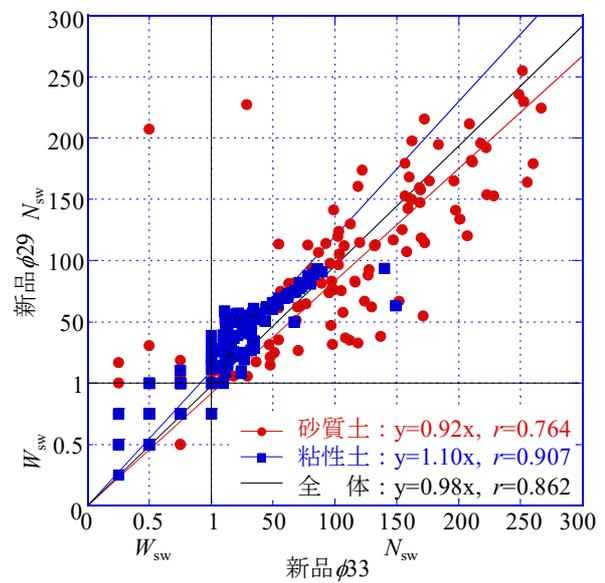


図-3.36 新品φ33 vs 新品φ29

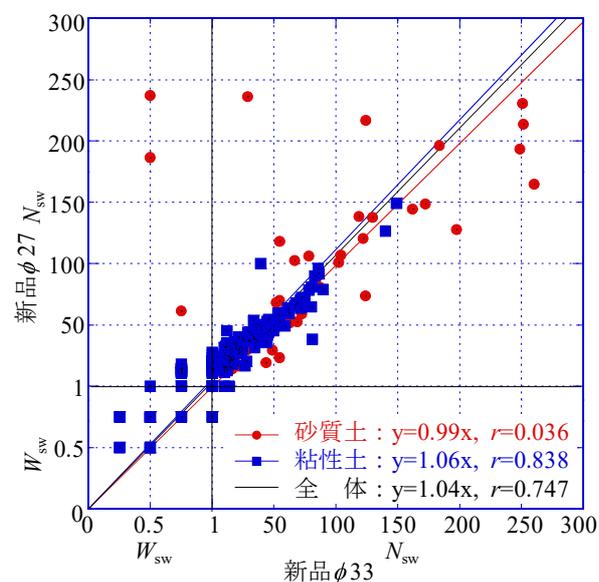


図-3.37 新品φ33 vs 新品φ27

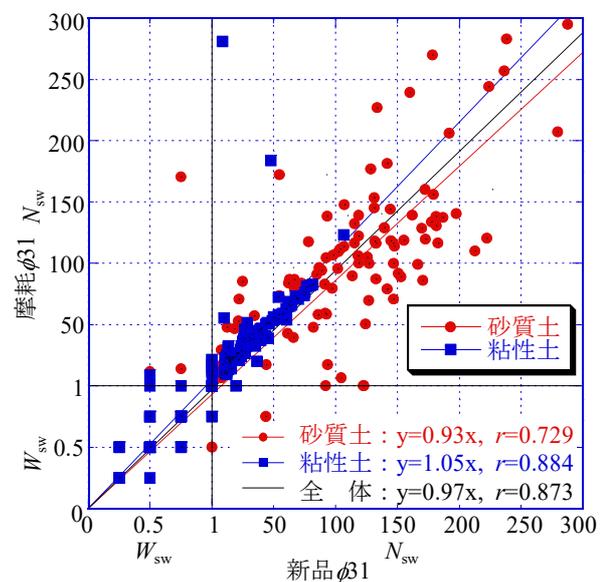


図-3.38 新品φ31 vs 摩耗φ31

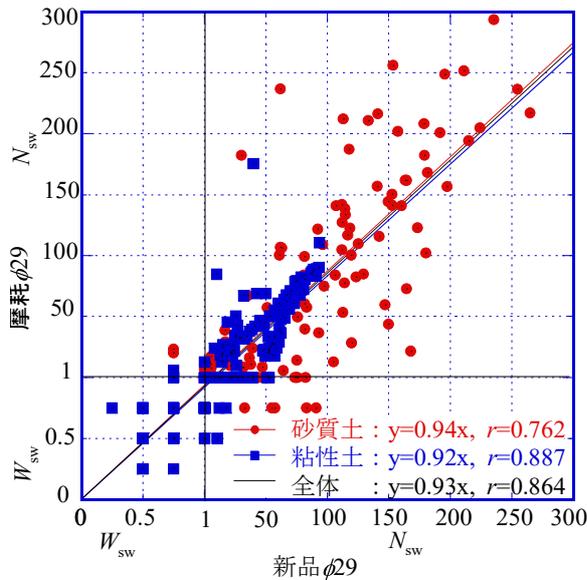


図-3.39 新品φ29 vs 摩擦φ29

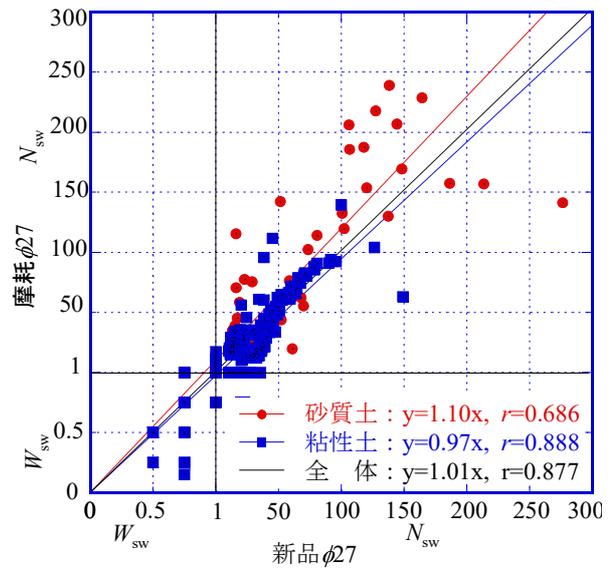


図-3.40 新品φ27 vs 摩擦φ27

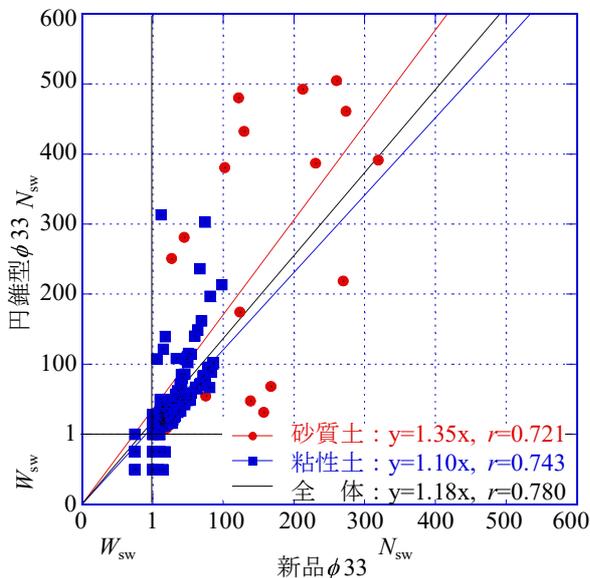


図-3.41 新品φ33 vs 円錐φ33

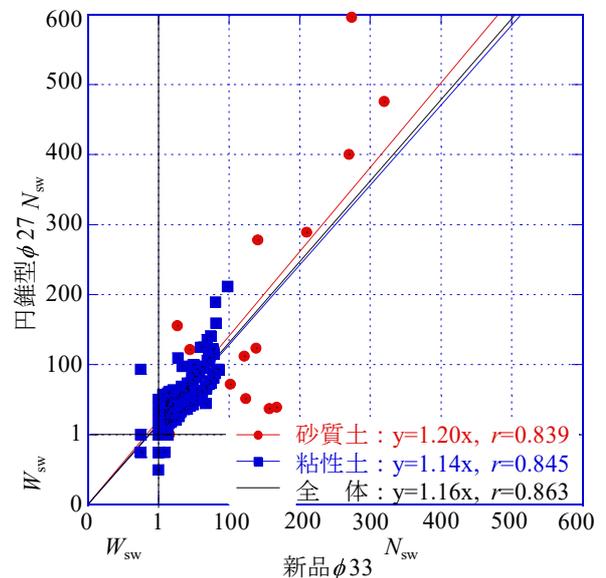


図-3.42 新品φ33 vs 円錐φ27

表-3.5 より摩耗による影響は、粘性土ではφ27 までほぼ傾きは変わらず影響は小さく、一方砂質土ではφ29 まで傾きが小さく（貫入しやすく）なる傾向がみられ、φ27 まで摩耗すると傾きが大きく（貫入しにくく）なる傾向がみられた。ばらつきを評価する相関係数は、砂質土より粘性土で大きくなる。最大径による影響では全体的に傾きに大きな差はなく、明確な影響はみられない。ばらつきを評価する相関係数は、砂質土より粘性土で大きくなる。新品と摩耗の比較では、粘性土ではエッジの明確な影響はみられないが、砂質土ではφ29 程度の摩耗のエッジであれば、傾きが小さく（貫入しやすく）なる傾向がみられ、それ以上に摩耗が進行すると傾きが大きく（貫入しにくく）なる傾向がみられた。ばらつきを評価する相関係数は、砂質土より粘性土で大きくなる。ねじ効果の有無については、ねじがなくなれば、傾きが大きく（貫入しにくく）なる傾向がみられた。ばらつきを評価する相関係数は、砂質土より粘性土で大きくなる。

表-3.5 各試験間の影響因子と傾き，相関係数 r

影響因子	比較項目	土質	傾き	相関係数 r
摩耗	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 31$ (摩耗)	砂質土	0.91	0.629
		粘性土	0.99	0.903
		全体	0.96	0.841
	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 29$ (摩耗)	砂質土	0.86	0.513
		粘性土	1.01	0.932
		全体	0.95	0.795
	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 27$ (摩耗)	砂質土	1.13	0.558
		粘性土	1.02	0.916
		全体	1.04	0.897
最大径	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 34$ (新品)	砂質土	0.97	0.426
		粘性土	1.04	0.647
		全体	1.02	0.688
	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 31$ (新品)	砂質土	0.97	0.876
		粘性土	0.98	0.958
		全体	0.97	0.946
	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 29$ (新品)	砂質土	0.92	0.764
		粘性土	1.10	0.907
		全体	0.98	0.862
	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 27$ (新品)	砂質土	0.99	0.036
		粘性土	1.06	0.838
		全体	1.04	0.747
新品と 摩耗の 比較	$\phi 31$ (新品) vs $\phi 31$ (摩耗)	砂質土	0.93	0.729
		粘性土	1.05	0.884
		全体	0.97	0.873
	$\phi 29$ (新品) vs $\phi 29$ (摩耗)	砂質土	0.94	0.762
		粘性土	0.92	0.887
		全体	0.93	0.864
	$\phi 27$ (新品) vs $\phi 27$ (摩耗)	砂質土	1.10	0.686
		粘性土	1.01	0.888
		全体	1.04	0.877
形状 ねじ効果 有無	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 33$ (円錐型)	砂質土	1.35	0.721
		粘性土	1.10	0.743
		全体	1.18	0.780
	$\phi 33$ (新品) vs $\phi 27$ (円錐型)	砂質土	1.20	0.839
		粘性土	1.24	0.845
		全体	1.16	0.863

3.4 回転速度による影響

3.4.1 調査地点と試験状況

試験には、自沈時の自動制御が可能で、かつ回転速度を一定に保持することができる全自動式試験機 SWS-N（自沈判定の設定値：貫入速度 80～5mm/s）を採用し、地形条件、地盤条件の異なる表-3.6 に示す 3 地点で実施した。表内の数値は調査深度を示す。回転速度の影響を調べるために通常の設定値 25rpm に加え、10rpm、50rpm でも実施した。スクリーポイント（SP）はすべて新品φ33 とした。SWS-N はアンカー定着が不要となる質量約 200kg のクローラー上で試験している（写真-2.2 参照）。大阪市三軒家では、地盤のばらつきを確認するために通常の設定値 25rpm の同条件で 6 点実施した。

表-3.6 調査地点と調査深度(m)

調査地点名	回転速度		
	10rpm	25rpm	50rpm
越谷市新川町	25.2	25.2	25.2
稲敷市浮島	20	20	20
大阪市三軒家*	20	20*	20

※ 25rpm を 6 点実施。

3.4.2 試験結果

図-3.44～3.46 にそれぞれ越谷市新川町、稲敷市浮島、および大阪市三軒家の調査深度 25m または 20m の柱状図と各仕様での W_{sw} 、 N_{sw} の深度分布を示す。図-3.47 は、大阪市三軒家の 20m の柱状図と 25rpm の同じ仕様で実施した 6 地点の W_{sw} 、 N_{sw} の深度分布を示す。No.1 の結果は図-3.46 の 25rpm の結果は同じものである。各地点ともに粘性土ではばらつきが少なく、砂質土ではばらつきがやや大きい。

図-3.44 の越谷市新川町の結果は、鋭敏粘性土のため、いずれの仕様もほとんどの深度で自沈層となっている。自沈層でのばらつきはあるが、自沈層ではロッドの回転を制御しない（トルクはかけない）ので、回転速度の影響はみられない。

図-3.45 の稲敷市浮島の結果は、GL-2～4m で 10rpm が大きく、GL-7m 以深で 50rpm がやや大きくなっているが、概ね試験結果は一致している。

図-3.46 の大阪市三軒家の結果は、GL-12m 以深でわずかに 50rpm がやや大きくなっているが、概ね試験結果は一致している。

図-3.47 の大阪市三軒家における同じ仕様（25rpm）で 6 点実施した結果は、自沈層でばらつきはみられるものの、当然ながら概ね試験結果は一致している。

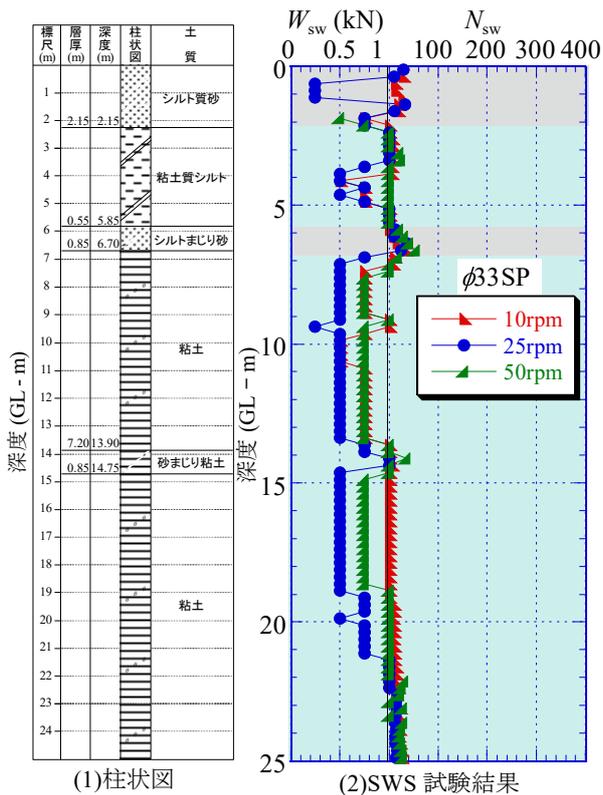


図-3.44 越谷市新川町の結果

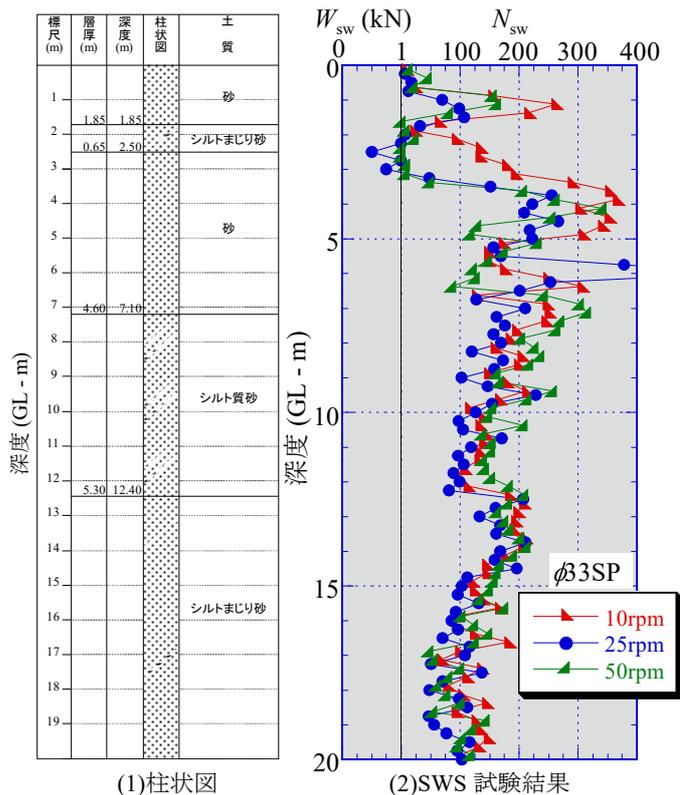


図-3.45 稲敷市浮島の結果

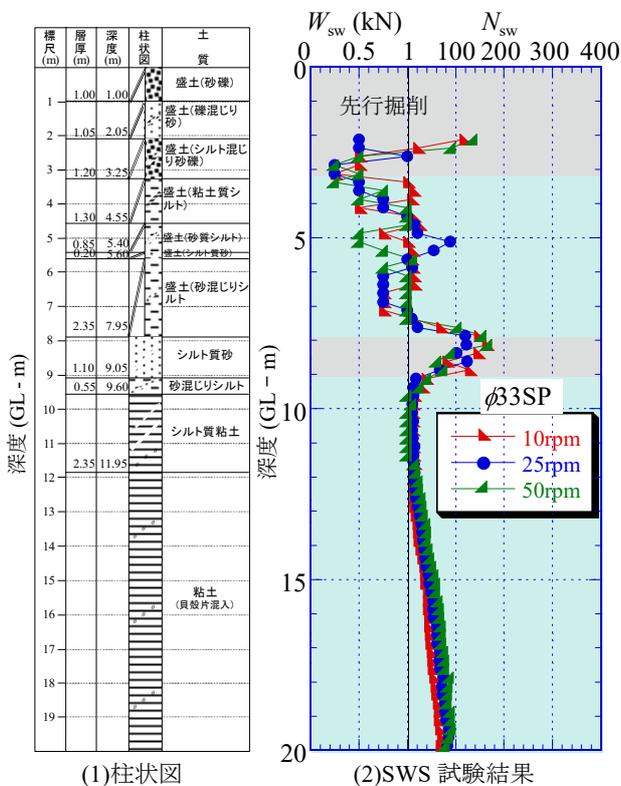


図-3.46 大阪市三軒家の結果

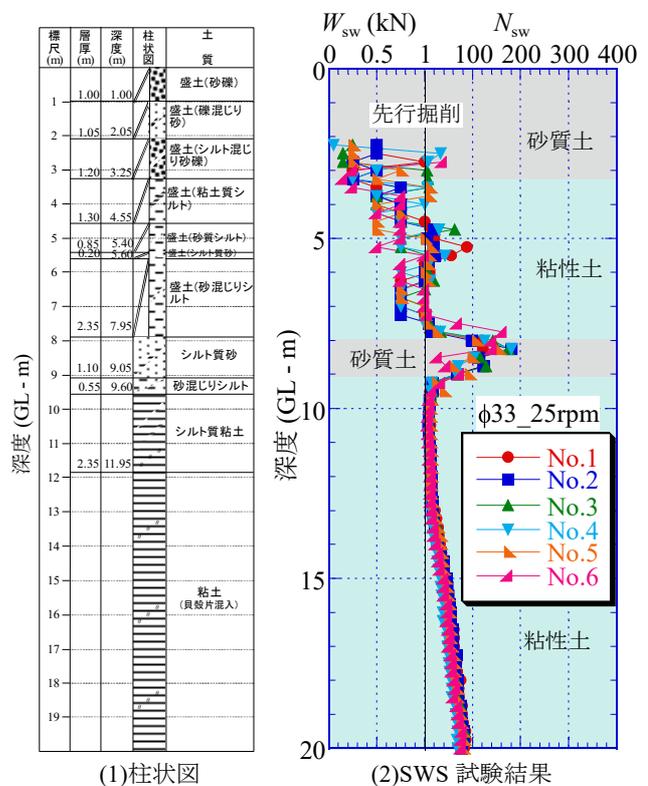


図-3.47 大阪市三軒家の結果
(新品φ33, 25rpm, 同条件で6点)

3.4.3 試験結果の考察

図-3.48, 3.49 は全3地点, 図-3.50 は1地点で同条件(25rpm)での6点の測定結果をSPT試料による粒度試験結果(特に細粒分含有率 F_c 値)から粘性土, 砂質土に分け, 25rpmと10rpm, 25rpmと50rpmおよび25rpm(No.1)と25rpm(No.2~6)の関係として $N_{sw} \leq 300$ の範囲で示し, 最小二乗法により切片を0とする一次回帰式を砂質土, 粘性土および全土質について求めた。各地点ともに粘性土ではばらつきが少なく, 砂質土ではばらつきがやや大きい。

図-3.48の25rpmと10rpmとの比較では, 両仕様の一次回帰式は, ほぼ45°の直線上になっているが, 貫入抵抗は砂質土で10rpmの方が5%大きく, 粘性土4%小さく, 全体で3%大きい。図-3.49の25rpmと50rpmの比較では, 貫入抵抗は50rpmの方が砂質土, 粘性土ともに4%大きい。しかしながら, 図-3.50に示す25rpmの同条件で実施した6ケースでも, 3~4%程度の大小があるので, 図-3.48, 図-3.49の大小関係も, 調査結果のばらつきの範囲内といえ, 今回の行った範囲内では回転速度の影響はあまりないといえる。ただし, まだ3地点のみの結果であり, 今後のデータの蓄積が必要と考えられる。

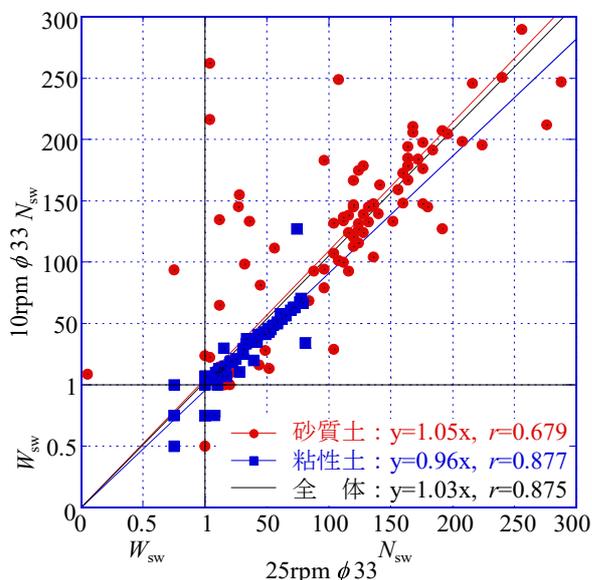


図-3.48 25rpm vs 10rpm

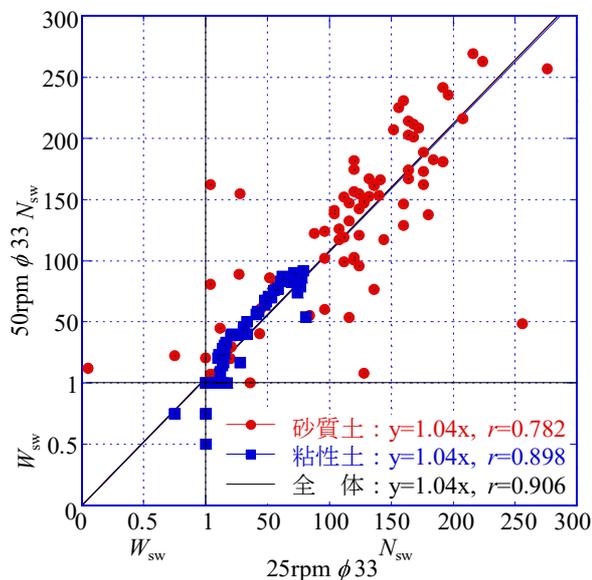


図-3.49 25rpm vs 50rpm

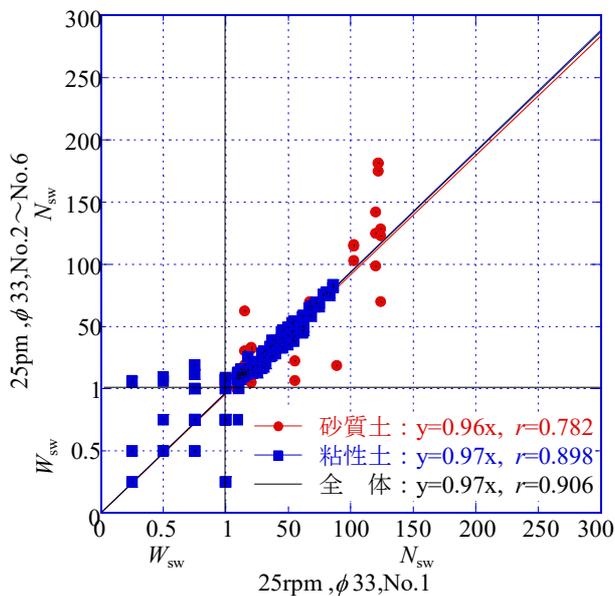


図-3.50 25rpm vs 25rpm

3.5 まとめ

本章では、SWS 試験結果に与える要因の影響を明らかにするために、(1)全自動試験機、(2)JIS 規格と ISO 規格、(3)スクリーポイント (SP) の摩耗と形状、(4)回転速度の 4 つに着目して各種パラメータを設定し、地層構成が異なる日本国内の複数の調査地点で実施した調査結果を示した。

得られた結論は、以下のようにまとめられる。

(1) 全自動試験機による影響

- 1) 3 機種 of 全自動式試験機は、すべて土層構成に応じた貫入抵抗を示し、SWS 試験の適用深度とされている 10m を超える深度に対して測定することができた。また、深度 20m 程度までの調査結果についても機種による大きな差異は見られなかった。
- 2) 安全な基礎設計のために精度よく把握が必要とされる自沈層を含む軟弱な粘性土は、いずれの試験機においても同様に検出することができた。
- 3) 砂質土では、機種による回転速度や回転駆動力のモータの差が試験結果に影響を与えている可能性が示唆された。

(2) JIS 規格と ISO 規格による影響

- 1) JIS.SP+ ϕ 19 (JIS 仕様) と ISO.SP+ ϕ 22 (ISO 仕様) の試験結果は、粘性土および砂質土もほぼ同じ結果となり、特に粘性土でのばらつきは小さい。
- 2) JIS 仕様 (JIS.SP+ ϕ 19) に対して、SP を ISO に入れ替えた ISO.SP+ ϕ 19 の試験結果は、粘性土および砂質土ともほぼ同じ結果となったが、大阪市弁天町のように ISO.SP+ ϕ 19 が小さくなる傾向を示す場合もある。
- 3) JIS 仕様 (JIS.SP+ ϕ 19) に対して、ロッドを ISO に入れ替えた JIS.SP+ ϕ 22 の試験結果は、砂質土でのばらつきが最も小さい結果となった。粘性土では、越谷市新川町のように自沈層でロッドの周面摩擦の影響は認めれるが、回転層ではロッド径 ϕ 19 と ϕ 22 の違いはほとんどない。
- 4) ISO.SP は貫入抵抗が大きくなる $N_{sw} > 150$ の砂質土層においては、JIS.SP より大きな貫入抵抗を示す傾向がみられた。
- 5) 稲田式より求めた SWS 試験の換算 N 値と SPT の N 値の深度方向の傾向は一致しているが、特に粘性土層では換算 N 値が大きくなる傾向が認められた。今回の試験結果からほぼ同様の傾向が認められており、より多くのデータ蓄積、分析することで精度のよい相関式が構築できる可能性がある。

(3) SP の摩耗と形状の影響

- 1) 摩耗の影響は、粘性土ではほとんどないが、砂質土では ϕ 31 から ϕ 29 へと摩耗が進むと、貫入抵抗が小さくなる。一方、 ϕ 27 まで摩耗すると貫入抵抗が逆に大きくなった。これは SP の摩耗が進行すると、SP のねじ効果が喪失して貫入力小さくなるためと考えられる。
- 2) 最大径のみの影響は、 ϕ 29 において貫入抵抗が砂質土ではやや小さくなり、粘性土でやや大きくなるものの、影響はほとんどみられない。
- 3) 同径の新品 SP と摩耗 SP による試験結果は、粘性土ではあまり変わらず、砂質土では摩耗の進行が ϕ 29 まではエッジの効いている新品よりも貫入しやすくなる傾向がある。摩耗が ϕ 27 まで進行すると、円錐形状に近づくため、貫入抵抗が大きくなる。
- 4) 円錐型 SP は、新品 SP に比べて貫入抵抗が大きく、その程度は粘性土よりも砂質土の方が大きい。これは SP のねじ効果がないと貫入力小さくなるためと考えられる。
- 5) SP の摩耗の影響は、JIS の規定通り、最大径が 30mm より大きければほとんどないといえる。た

だし、最大径が 29mm 以下となって SP が円錐形状に近づくと、ねじ効果の喪失によって貫入抵抗が大きくなり、その影響は粘性土よりも砂質土の方が大きい。

(4) 回転速度の影響

- 1) 1 機種 of 全自動式試験機では、25rpm に対して 10rpm, 50rpm と回転速度を変化させても試験結果に大きな差はなかった。
- 2) JIS で規定された回転速度 15~40rpm の範囲では、試験結果に大きな影響はないと考えられるが、3 地点のみの結果であり、今後のデータの蓄積が必要と考えられる。

以上から、SWS 試験の実務に適した試験条件として以下のようにまとめられる。

・試験機

全自動式試験機は、手動式試験機では難しかった 10m 超の調査を可能にしており、10m を超える調査が想定される場合、全自動式試験機を使用することが望ましい。今回、研究に用いた 3 種類の全自動式試験機の試験結果に大きな差はなく、実用上問題なく使用できる。

・JIS 規格と ISO 規格

SP, ロッドを入れ替えた仕様で、わずかにその影響はみられたものの、JIS と ISO とではほぼ同様の試験結果を示した。日本国内には JIS 規格しか存在しないが、ISO 規格の採用も可能と考えられる。

・スクリーポイント

スクリー形状がなければ砂質土では貫入が難しくなることから、現在の形状は理にかなった形状となっている。また、摩耗の影響は、最大径 29mm 以下となると貫入抵抗が大きくなる傾向がみられることから、JIS で規定されている最大径 30mm まで使用可能の条件は妥当と考えられる。

・回転速度

JIS に規定された 15~40rpm は、試験結果に大きな影響を与えないと考えられるので、この範囲であれば、問題ないと考えられる。試験時間の短縮には、最大限に回転速度を高めることが考えられるが、機械への負荷も大きくなるので、JIS で推奨している 30rpm は妥当と考えられる。

参考文献

- 1) 深井公・大島昭彦・萩原侑大・松谷裕治：スウェーデン式サウンディング試験の全自動式試験機の比較とスクリーポイントの最大径，摩耗の影響，日本材料学会，第14回地盤改良シンポジウム論文集，pp.653-660，2020.
- 2) 田村昌仁・藤井衛・新納秀樹・奥田悟・安川郁夫・杉浦弘忠・安枝政昭：全自動式試験機によるスウェーデン式サウンディングの影響要因の評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.617-618，2002.
- 3) 深井公・大島昭彦・安田賢吾・松谷裕治：スウェーデン式サウンディング試験のJIS規格とISO規格の比較，地盤工学ジャーナル，Vol.15，No.3，pp.635-642，2020.
- 4) 深井公・松谷裕治・大島昭彦・萩原侑大・坂本 新：スウェーデン式サウンディング試験のスクリーポイント（SP）の最大径，摩耗の影響，第55回地盤工学研究発表会，No.21-6-1-06，2020.
- 5) 段志磊・深井公・松谷裕治・大島昭彦・中野将吾・萩原侑大：スクリーウエイト貫入試験におけるSPの摩耗と回転速度の影響，第56回地盤工学研究発表会，No.12-2-2-01，2021.

第4章 SWS 試験結果と N 値, s_u 値との相関性

4.1 全自動式試験機と調査地点

試験には、3.2～3.4と同様に全自動式試験機 SWS-N (写真-2.2 参照) を使用した。調査地点は、表-2.2 に示すように SWS 試験, SPT については全 33 地点で実施し (試験状況の例を写真-4.1 に示す), 室内力学試験は一軸圧縮試験を 23 地点, 定体積一面せん断試験を 21 地点で実施した (表-2.3 参照)。各地点の土質性状は 2.4.2 を, 調査位置図, 調査配置図は付録-1～28 を参照されたい。

4.2 SWS 試験結果の整理方法

SWS 試験結果と SPT による N 値, 一軸および一面による非排水せん断強さ s_u 値との相関関係を求めるにあたり, 試験結果を以下のように整理した。

- ① SWS 試験結果は貫入量 0.25m 毎に $W_{sw} \cdot N_{sw}$ として求まる。深度は貫入前の深度と貫入後の深度の平均値とした。
- ② SPT 試料の物理試験結果より, SWS 試験の土質を砂質土または粘性土に決定した。ただし, SPT 試料の物理試験結果から土質が砂質土と粘性土にまたがる場合は土質を定めることが困難なため, その深度は省いて検討した。
- ③ N 値, s_u 値についても深度を確認し, SWS 試験により求まる 0.25m ごとの $W_{sw} \cdot N_{sw}$ を線形補間し, 対応させた。
- ④ 対象深度は 20m までとし, 10m 以浅と 10m 以深を分けて検討した。
- ⑤ 換算 N 値 > 50 に相当する N_{sw} が 700 超える試験結果は明らかに SWS 試験の適用範囲を超えているため省いて検討した。さらに, 礫やガラの影響を受け, N 値より SWS の N_{sw} が異常に大きい場合も省いて検討した。また, 表層の盛土地盤ではレンガやコンクリートガラなどの人工物によって N_{sw} と比較して N 値が過大となる場合も省いて検討した。



写真-4.1 試験状況例 (SPT と SWS 試験)

4.3 SWS 試験結果と N 値との関係

4.3.1 試験結果

図-4.1～4.10 に代表例として 10 地点（浦安市高洲 8-1，守山市水保町，浦安市港，諏訪市湖南 1，大阪市北区うめきた，諏訪市四賀，尼崎市築地，大阪市港区弁天町，越谷市新川町，稲敷市浮島）の深度 20m までの土質柱状図，SPT による N 値および SWS 試験による $W_{sw} \cdot N_{sw}$ の深度分布を示す。SWS 試験の凡例に示す記号（S，D，H）は試験実施機関を示している。10 地点ともに，砂質土では， N_{sw} の深度方向への変化が大きく，粘性土では N_{sw} の深度方向への変化が少ない。

図-4.1 の浦安市高洲 8-1 の結果は，GL-8m 程度まで N 値は低く，粘性土を主体とした埋立層と推定される。その下深度約 16m までが旧海底面の沖積砂層と推定される。 N 値は 3～17 と変化が大きいが， N 値が小さいところは粘性土を挟んでいるためである。GL-16m 以深は，鋭敏粘土である。SWS では，GL-8m 程度までは 0.25kN～1kN の自沈層となっている。また，その下 GL-16m 程度までの沖積砂層では，SPT と同様に粘性土を挟んでいるところは N_{sw} が小さくなり，土層の変化をとらえている。

図-4.2 の守山市水保町の結果は，砂質土主体であるが，粘性土と互層になっており，野洲川水系三角州での細かい堆積環境の変化がうかがえる。全体に緩く堆積しており， N 値と $W_{sw} \cdot N_{sw}$ は同様の傾向を示している。

図-4.3 の浦安市港の結果は，GL-6m 程度まで N 値は低く，粘性土を主体とした埋立層と推定される。その下 GL-16m までは沖積砂層，GL-16m 以深は鋭敏粘土となっている。 N 値と $W_{sw} \cdot N_{sw}$ の変化パターンは比較的良好に対応しているように見える。

図-4.4 の諏訪市湖南 1 の結果は，GL-3.9m～-9.5m に腐植物が多量に混入する高有機質土（泥炭）が厚く堆積した軟弱層となっている。 N 値と $W_{sw} \cdot N_{sw}$ の変化パターンはよく対応しているものの高有機質土層において N 値が 0 に対して，SWS 試験の結果は 1kN 自沈層から回転層となっている。腐植物の繊維質により，SP の貫入抵抗がやや大きくなる傾向が見られる。

図-4.5 の大阪市北区うめきたの結果は，深度約 6m までの沖積砂層（As）では N 値 10 前後，それ以深の沖積粘土（Ma13）で 2～4 程度である。SWS 試験の試験機関によるばらつきは少なく， N 値と $W_{sw} \cdot N_{sw}$ は深度方向に漸増する同様の傾向を示している。

図-4.6 の諏訪市四賀の結果は，GL-2.3m～-9.9m まで腐植物が混入する高有機質土（泥炭）が厚く堆積した軟弱層となっている。図-4.4 の諏訪市湖南 1 と同様に N 値と $W_{sw} \cdot N_{sw}$ の変化パターンはよく似ており，高有機質土層において N 値が 0～1 に対して，SWS 試験の結果は回転層となっている。やはり腐植物の繊維質により，SP の貫入抵抗がやや大きくなる傾向が見られる。

図-4.7 の尼崎市築地の結果は，GL-1.85m まで砂礫による盛土層，GL-9.3m までは礫まじり砂からシルト質砂で構成される N 値 13 以下の沖積砂層（As），それ以深は N 値 1～3 の沖積粘土層（Ma13）となっている。 N 値と $W_{sw} \cdot N_{sw}$ は同様の傾向を示しているが，GL-10m 以深では， N_{sw} が深度方向に漸増する傾向が見られる。

図-4.8 の大阪市港区弁天町の結果は，GL-5.85m まで盛土・埋土層，GL-11.4m まではシルトまじり砂で構成される N 値 14 以下の沖積砂層，それ以深は N 値 2～3 の沖積粘土層（Ma13）となっている。図-4.7 と同様に， N 値と $W_{sw} \cdot N_{sw}$ は同様の傾向を示しているが，GL-11.4m 以深では， N_{sw} が深度方向に漸増する傾向が見られる。

図-4.9 の越谷市新川町の結果は，GL-2.15m まで N 値 3～9 の盛土・埋土層で，それ以深は非常に鋭敏性が高い沖積粘土層となり，GL-6m 付近に砂を混入している。 N 値は砂部分を除いて全て 0（自沈）で，かなり軟弱であることがわかる。特に深度 7m 以深ではロッド自沈が生じ，GL-15m～-18m ではロッド

のみで 45cm~50cm 自沈した。SWS 試験において盛土・埋土層以深はほぼ自沈層 ($N_{sw}=0$) となっており、 N 値とも整合している。SWS 試験の方が、より細かい地盤強度の変化を捉えている。特に GL-8m~ -19m は砂まじり粘土を除くと 0.5kN 自沈以下でかなり軟弱であることがわかる。単に軟弱ということだけではなく、SP が貫入する際に粘土が練り返される効果により、鋭敏性の高い粘土では特に貫入抵抗が小さくなると考えられる。

図-4.10 の稲敷市浮島の結果は、全体に砂質土地盤であり、GL-3.5m 以浅の N 値は低い。調査地点の敷地が元々雑木林であったため、GL-2m~ -3m は埋戻し土であったようである。GL-3.5~ -6.5m は礫まじりの砂で N 値は 14~31 と高い。GL-6.5m~ -15m の N 値は 6~15 で増減しているが、GL-15m 以深は細粒含有率が増加するため、 N 値は減少している。 N 値と $W_{sw} \cdot N_{sw}$ の変化パターンは比較的良好に対応しているように見える。

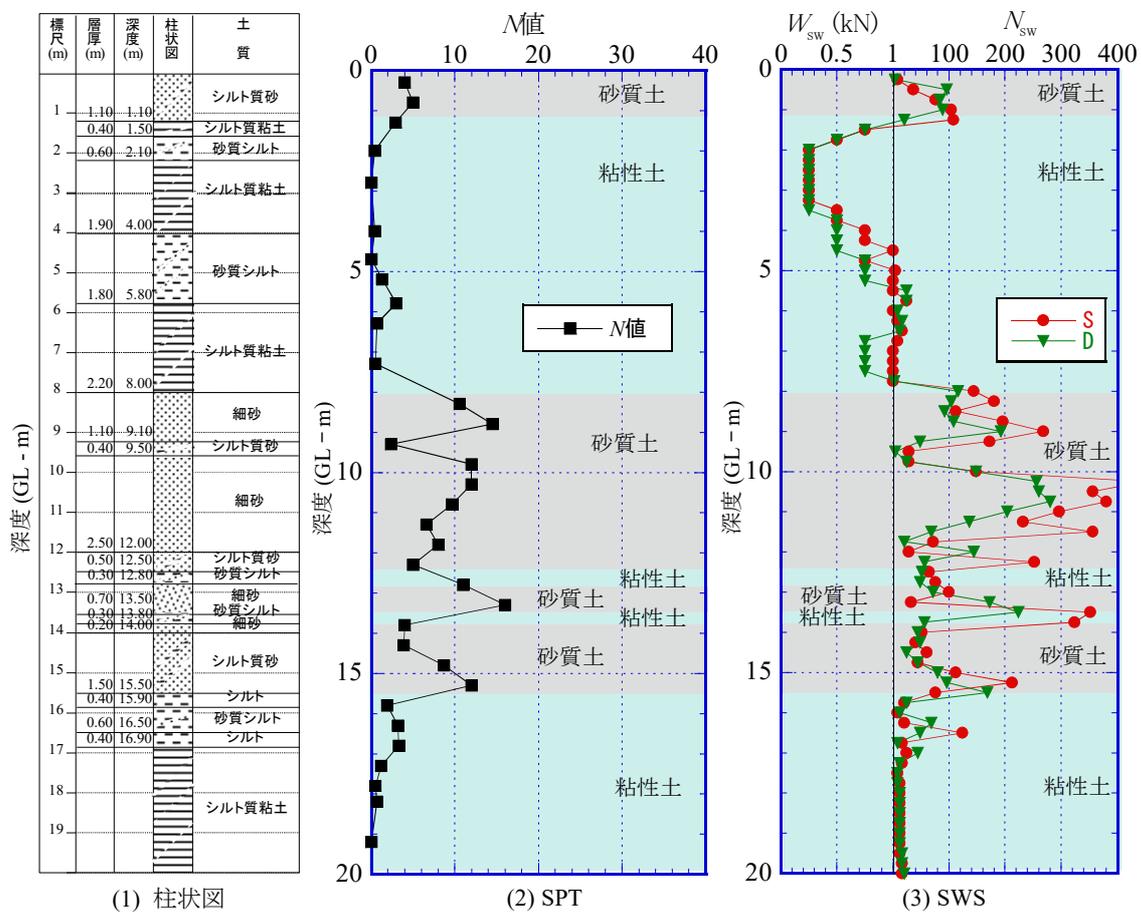


図-4.1 浦安市高洲8-1の結果

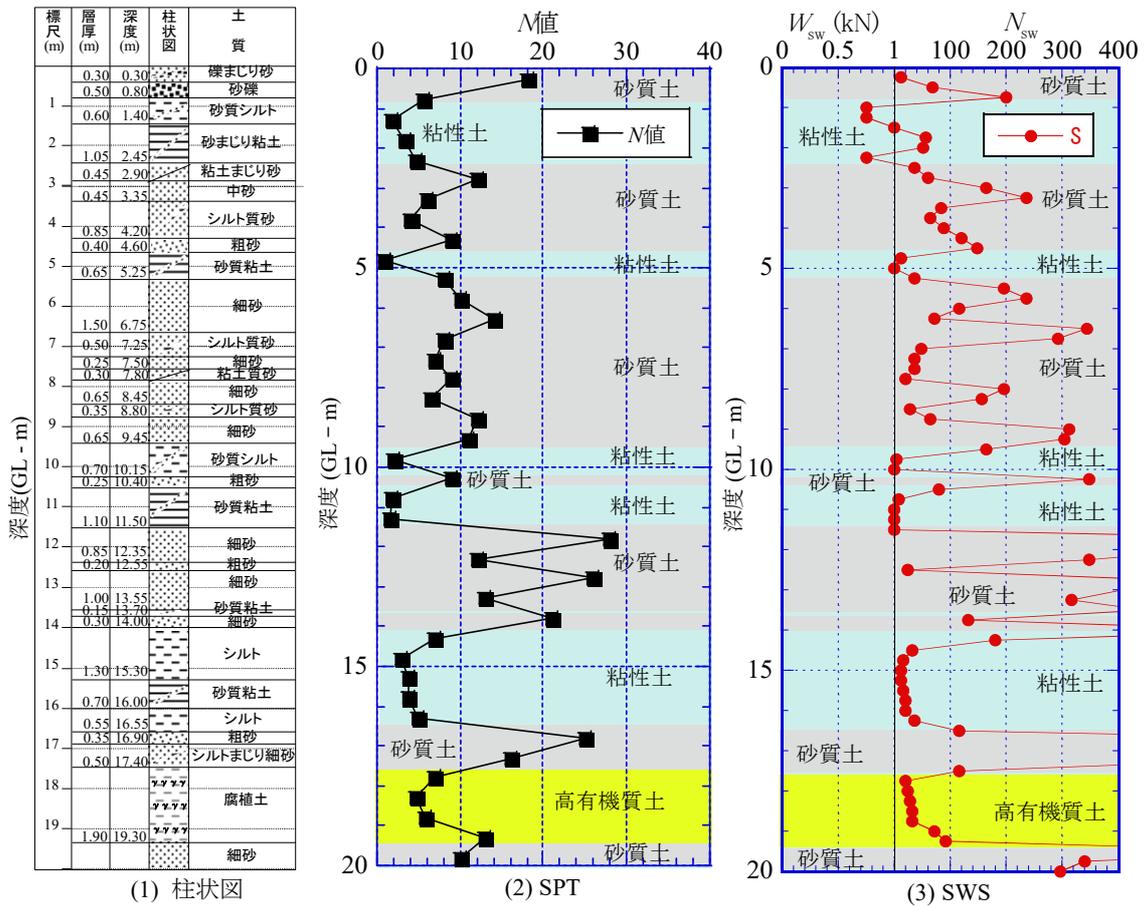


図-4.2 守山市水保町の結果

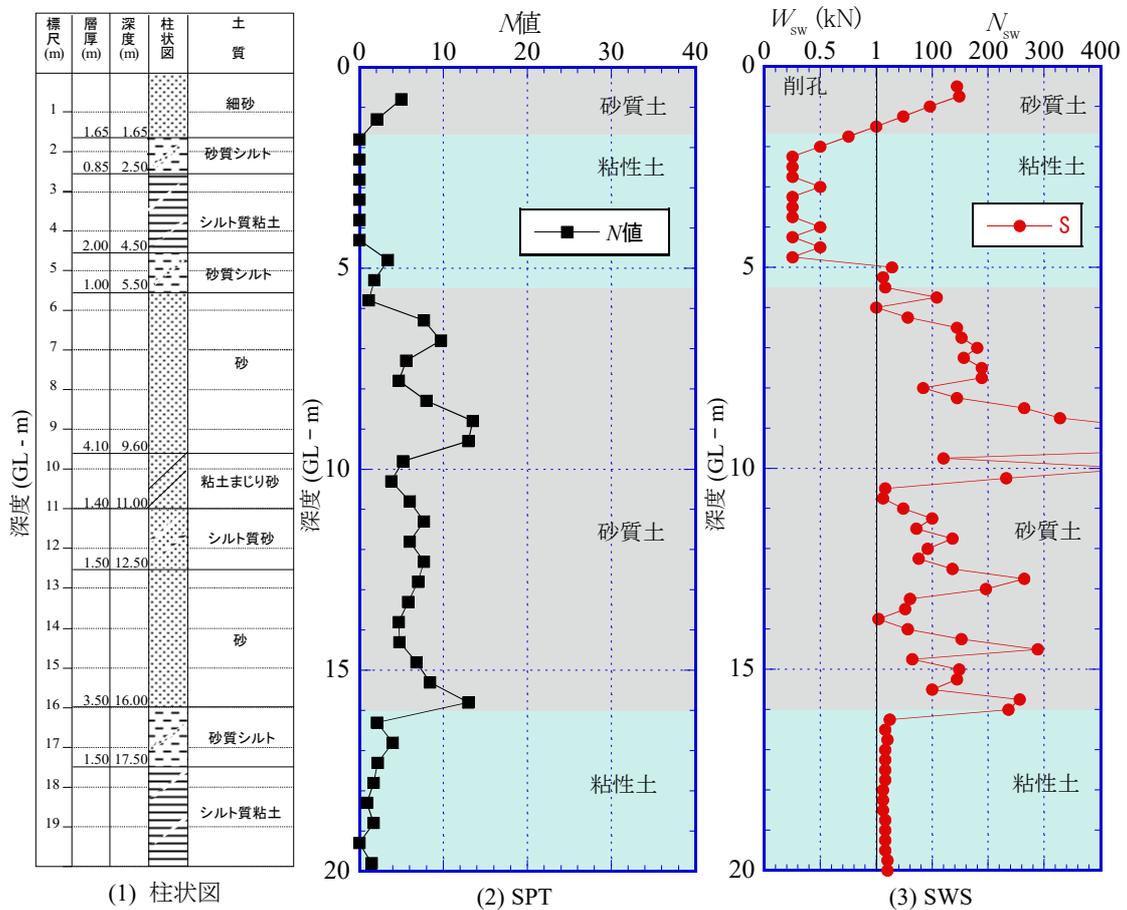


図-4.3 浦安市港の結果

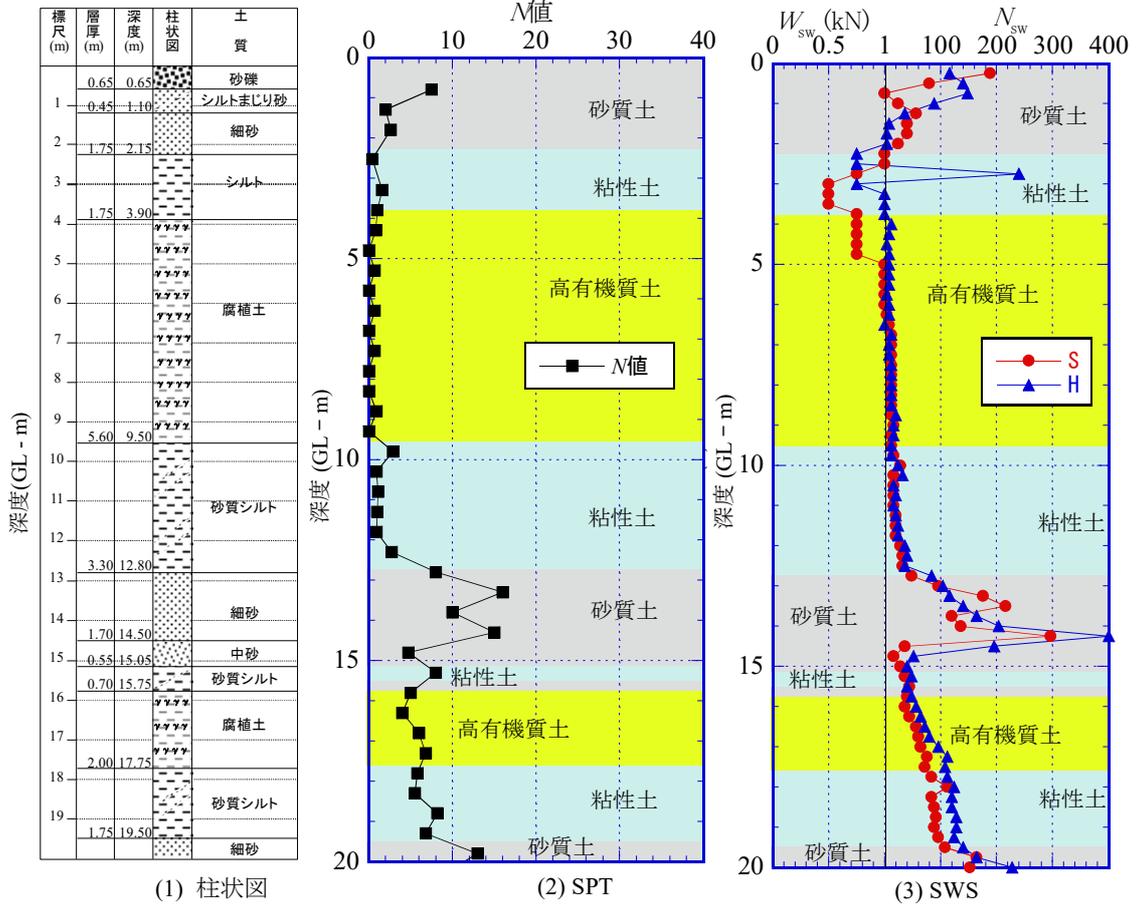


図-4.4 諏訪市湖南 1 の結果

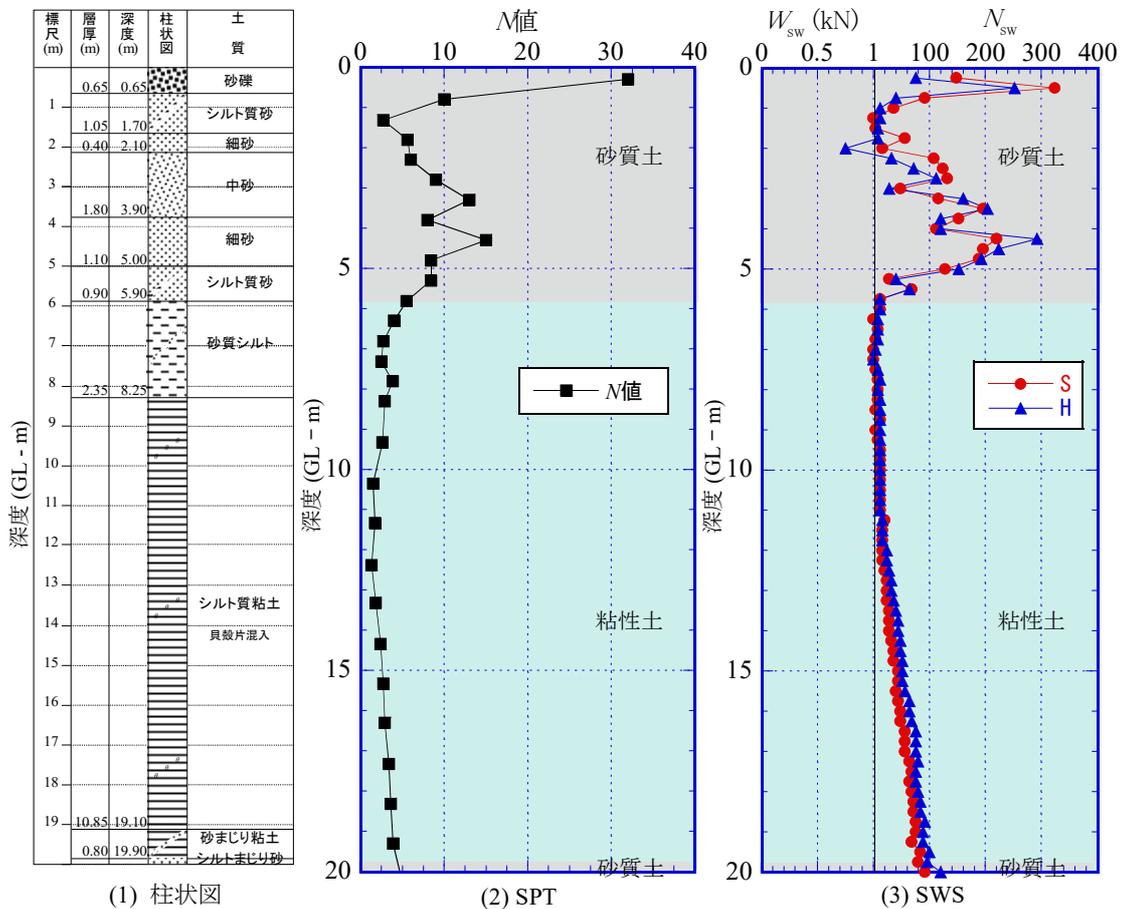


図-4.5 大阪市北区うめきたの結果

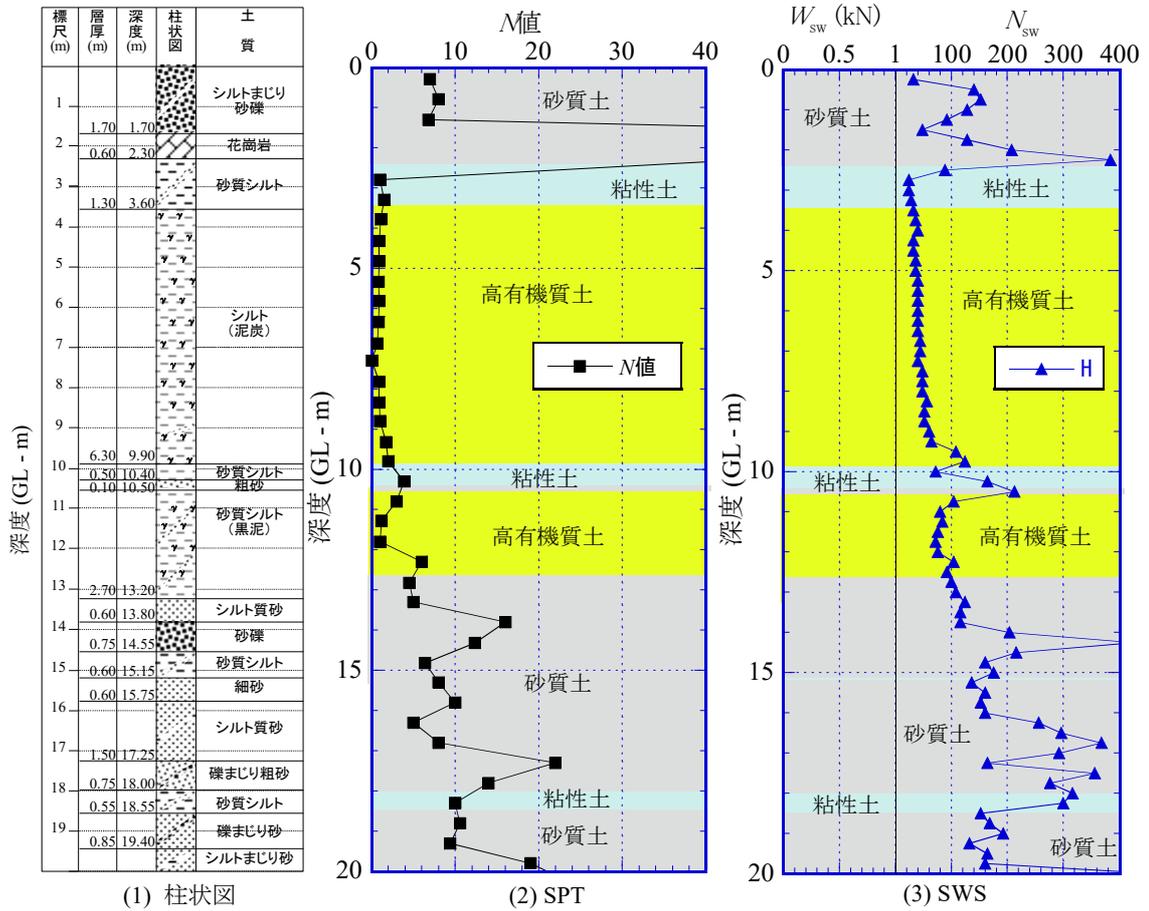


図-4.6 諏訪市四賀の結果

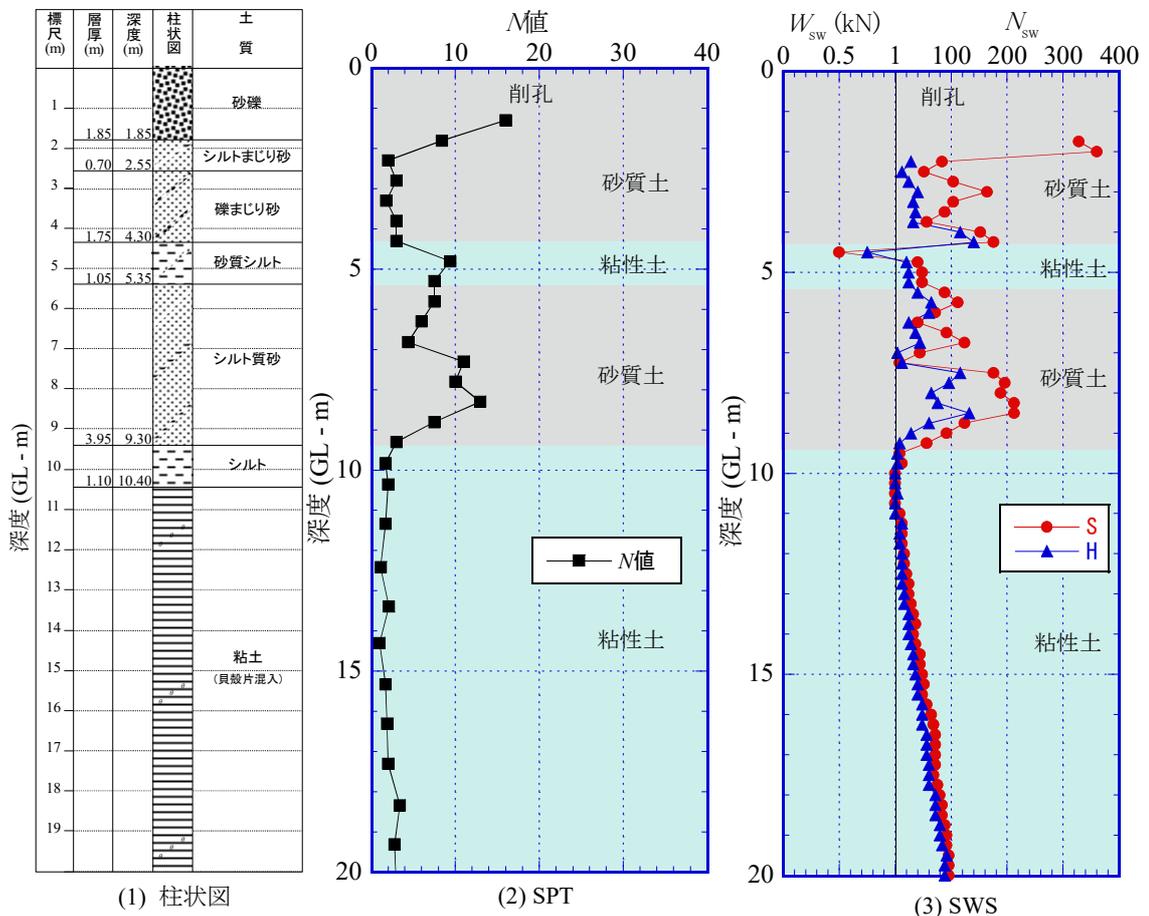


図-4.7 尼崎市築地の結果

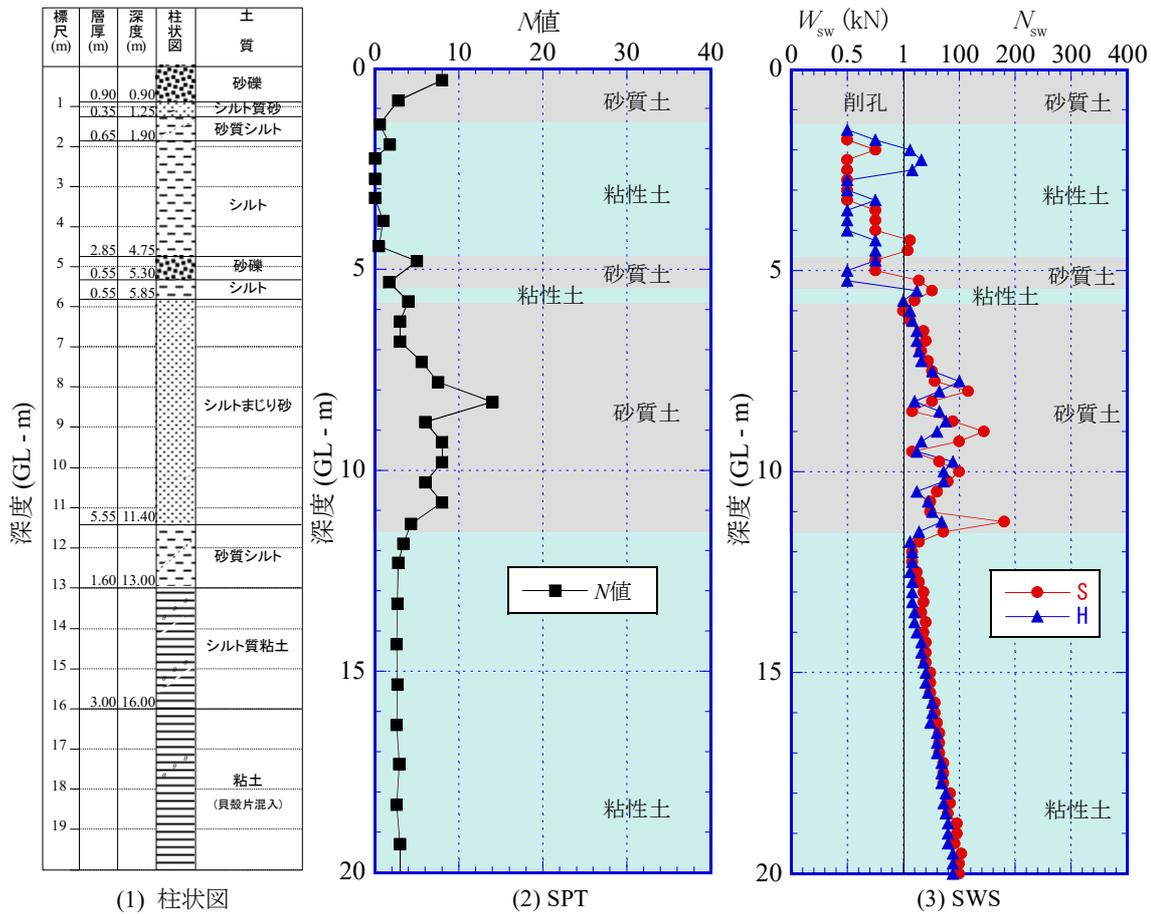


図-4.8 大阪市港区弁天町の結果

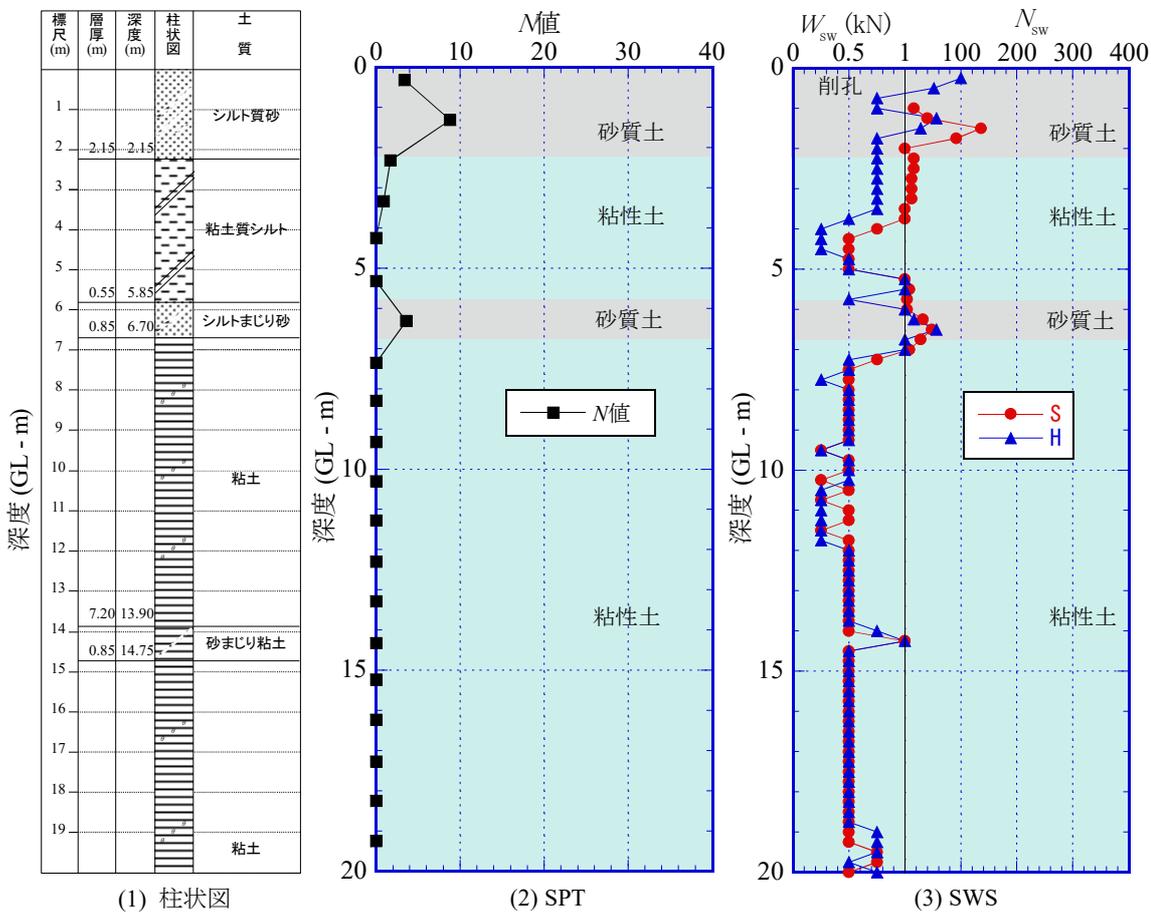


図-4.9 越谷市新川町の結果

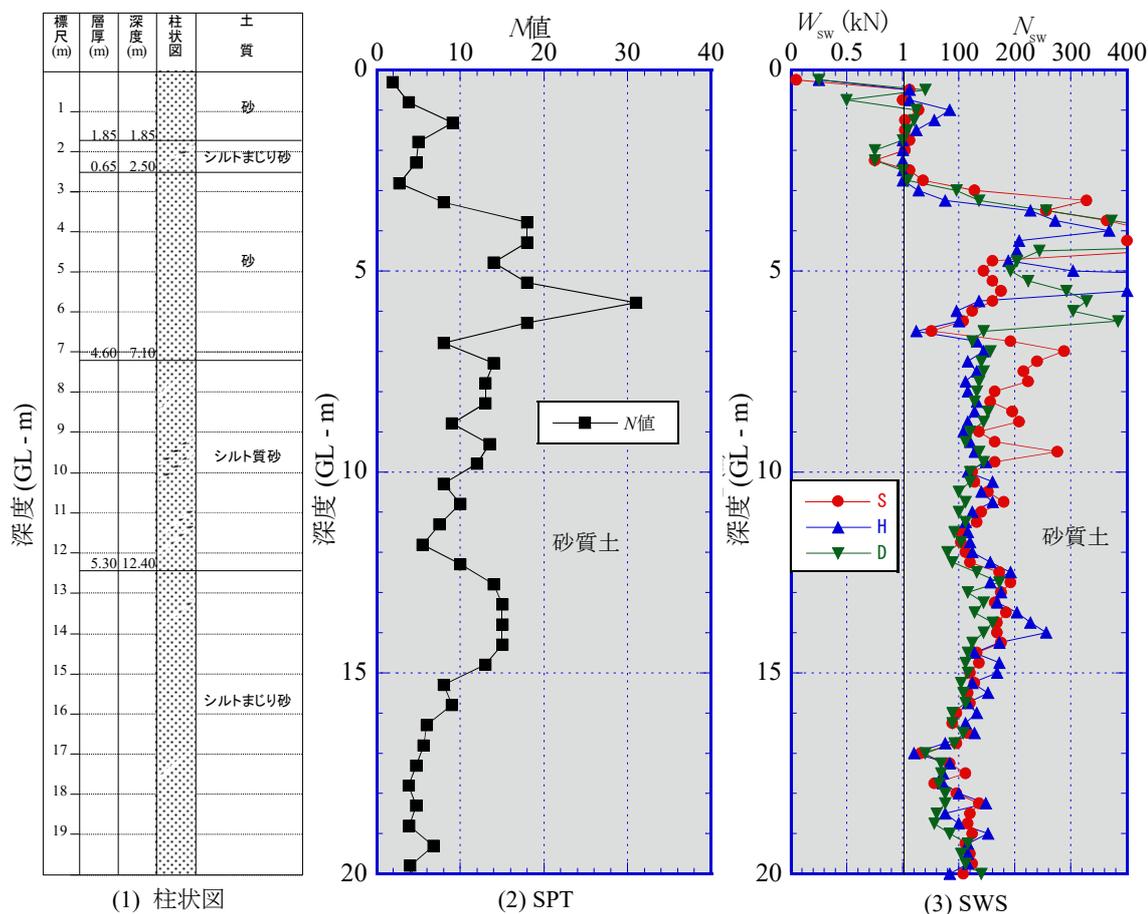
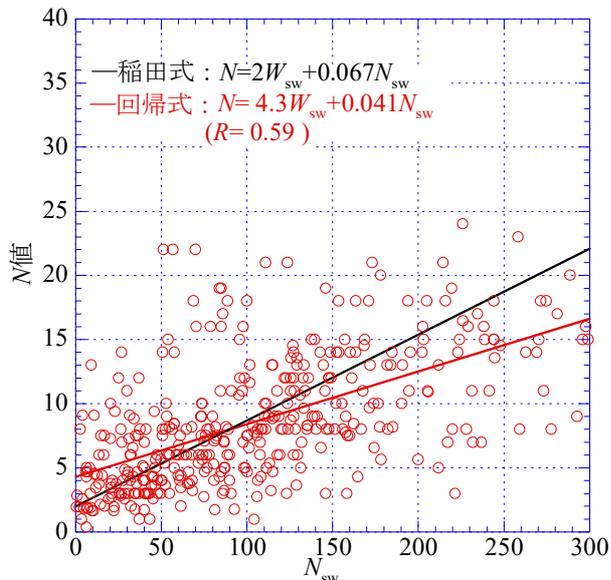


図-4.10 稲敷市浮島の結果

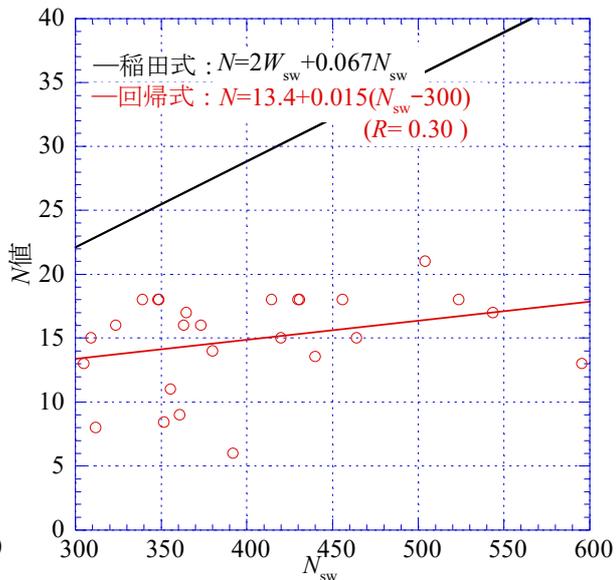
4.3.2 $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値との関係^{1)~11)}

図-4.11 に全 33 地点の砂質土における N_{sw} と N 値の関係を示す。 $N_{sw} \leq 300$ と $300 < N_{sw} \leq 600$ 別に、整理深度を 0~10m, 10~20m, 0~20m に分けて示す (0~10m を ○ で, 10~20m を ● で示す)。砂質土では自沈 ($W_{sw} \leq 1$) はほぼ生じないので、 W_{sw} の整理はしていない。各図には稲田式を黒線で、一回帰式を赤線で示す。全体にばらついているが、正の相関はある。一般に SWS 試験の適用深度は 10m 程度までといわれているが、0~10m と 10~20m での回帰式の切片、傾きに大きな差は見られない。一方、 $N_{sw} \leq 300$ に対して $300 < N_{sw} \leq 600$ では N 値に対する N_{sw} の増加は低い (傾きが小さい)。これは、 N_{sw} が 300 程度を超えると、地盤が硬いため、SP が地盤に食い込む貫入が起きにくくなる (SP が空転する) ためと考えられる。砂質土で N 値と N_{sw} の関係がばらつくのは、SPT が動的な試験、SWS は静的な試験であり、SPT では非排水せん断、SWS 試験は非排水せん断によるものとなり、両者の地盤抵抗の排水条件が異なるためと考えられる。

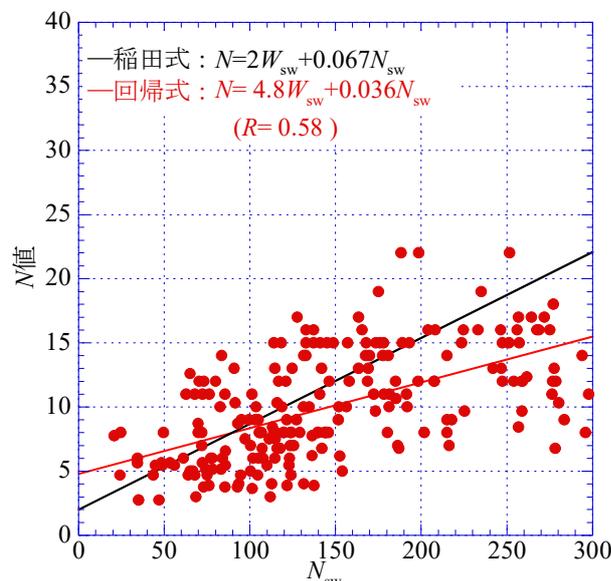
図-4.12 に全 32 地点の粘性土 (稲敷市浮島は粘性土がないのでデータなし) における N_{sw} と N 値の関係を $W_{sw} \leq 1$ (自沈層) と $N_{sw} \leq 300$ (回転層) 別に、整理深度を 0~10m, 10~20m, 0~20m に分けて示した。各図には稲田式を黒線で、一回帰式を赤線で示す。 $W_{sw} \leq 1$ と $N_{sw} \leq 300$ の範囲でややばらついているが、先の砂質土よりはばらつきは小さい。やはり、粘性土でも 0~10m と 10~20m での回帰式の切片、傾きに大きな差は見られない。一方、 $W_{sw} \leq 1$ と $N_{sw} \leq 300$ 領域の回帰式の切片から、自沈する N 値は 1 程度といえる。



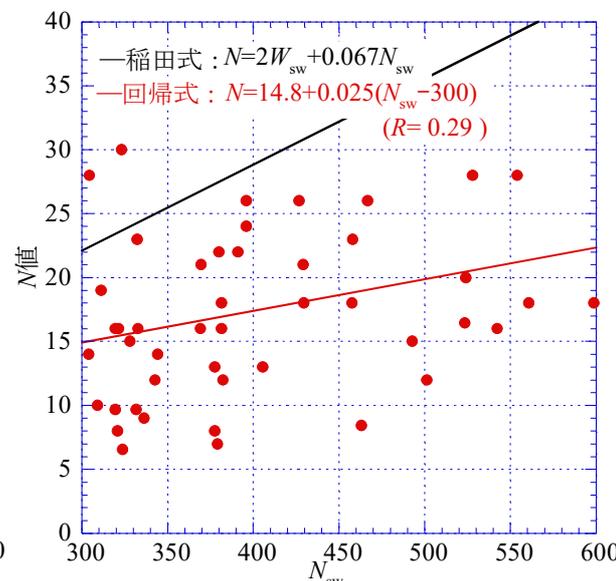
(1)砂質土 0~10m, $N_{sw} \leq 300$



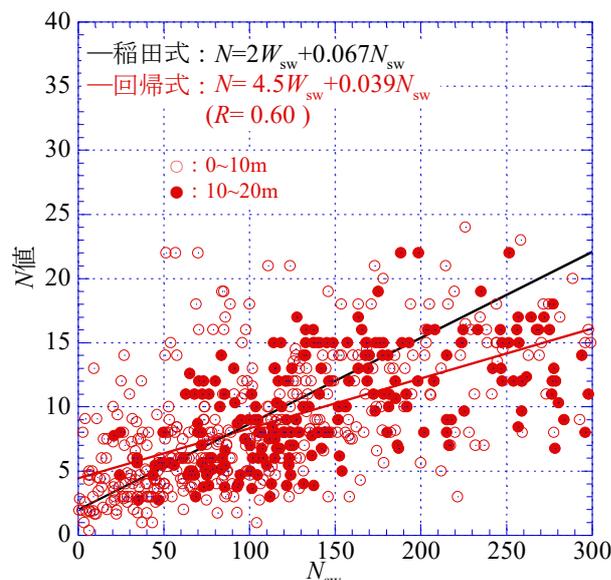
(2)砂質土 0~10m, $300 < N_{sw} \leq 600$



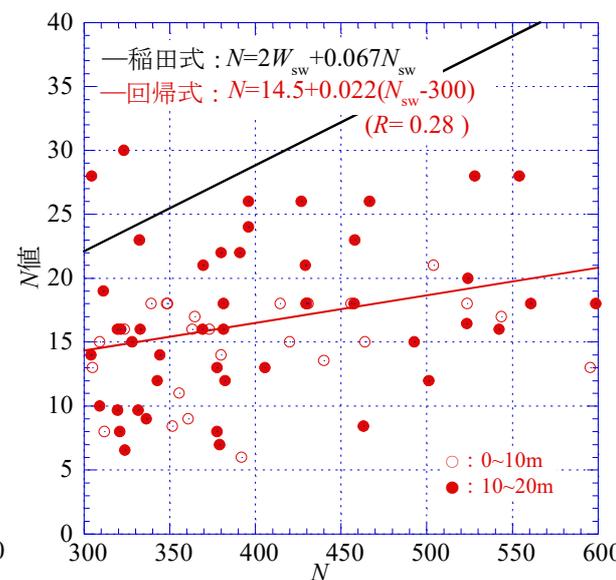
(3)砂質土 10~20m, $N_{sw} \leq 300$



(4)砂質土 10~20m, $300 < N_{sw} \leq 600$

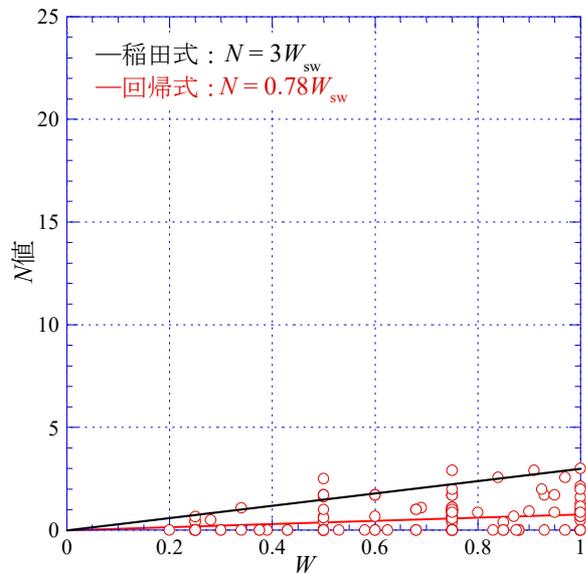


(5)砂質土 0~20m, $N_{sw} \leq 300$

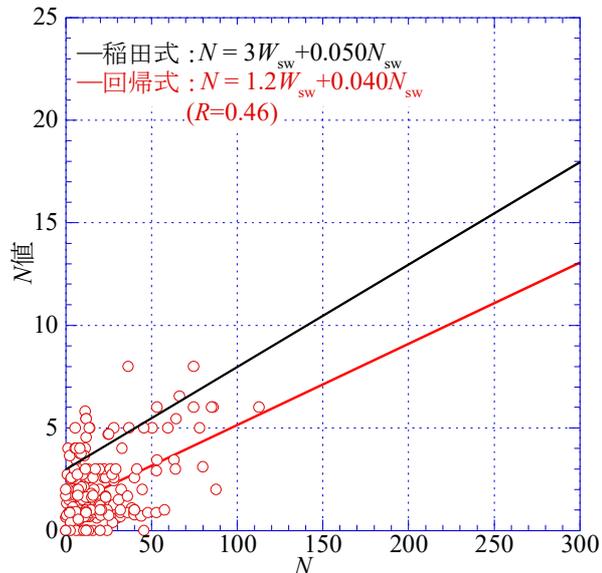


(6)砂質土 0~20m, $300 < N_{sw} \leq 600$

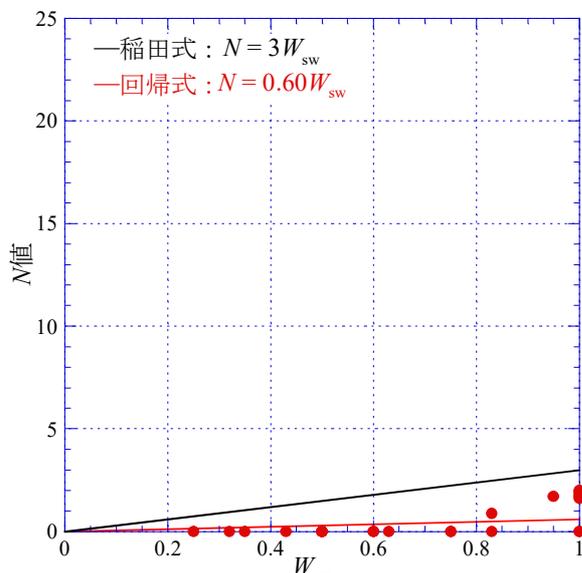
図-4.11 全33地点の砂質土における N_{sw} と N 値の関係



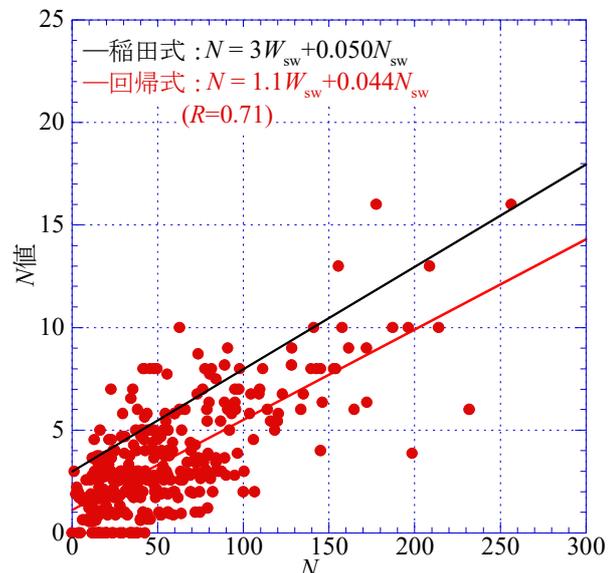
(1)粘性土 0~10m, $W_{sw} \leq 1$



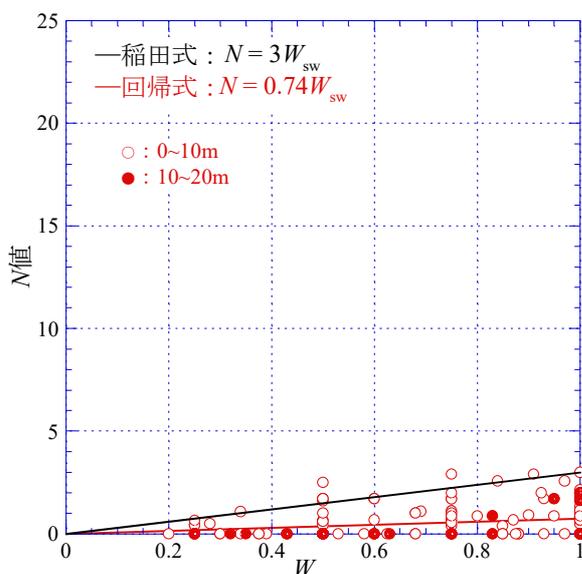
(2)粘性土 0~10m, $N_{sw} \leq 300$



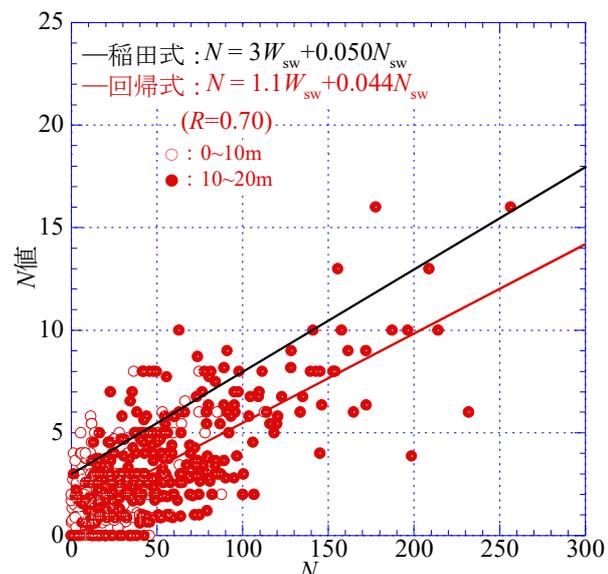
(3)粘性土 10~20m, $W_{sw} \leq 1$



(4)粘性土 10~20m, $N_{sw} \leq 300$



(5)粘性土 0~20m, $W_{sw} \leq 1$



(6)粘性土 0~20m, $N_{sw} \leq 300$

図-4.12 全32地点の粘性土における N_{sw} と N 値の関係

4.3.3 新相関式

4.3.2の結果から、稲田式に代わる新相関式が提案できる。先に述べたように0～10m, 10～20mで傾向の違いはなかったので、SWS試験の適用深度は20mまでとした。

砂質土では $N_{sw} \leq 300$ と $300 < N_{sw} \leq 600$ に分け、図-4.11(5), (6)の回帰式から式(4.1), (4.2)が提案できる。ただし、図-4.11(5)の W_{sw} の傾き(N_{sw} の切片)は整数4に切り下げ、 $N_{sw}=300$ における N 値は整数16となるように N_{sw} の傾きを0.040に切り上げた。次に、図-4.11(6)はばらつきが大きいので、 $N_{sw}=300$ における N 値が16となるように、 $300 < N_{sw} \leq 600$ の回帰式を平行移動し、図-4.11(5)と整合させた。

$$\text{砂質土: } \begin{cases} N = 4 W_{sw} + 0.040 N_{sw} & [N_{sw} \leq 300] & (4.1) \\ N = 16 W_{sw} + 0.022 (N_{sw} - 300) & [300 < N_{sw} \leq 600] & (4.2) \end{cases}$$

粘性土では、図-4.12(5), (6)の回帰式から式(4.3)が提案できる。ただし、図-4.12(5)の W_{sw} の傾きは整数1に切り上げ、図-4.12(6)は図-4.12(5)と整合をとるために N_{sw} の切片(W_{sw} の傾き)も整数1とした。粘性土では $N_{sw} \leq 300$ を対象とする。

$$\text{粘性土: } N = 1 W_{sw} + 0.044 N_{sw} \quad [N_{sw} \leq 300] \quad (4.3)$$

図-4.13に全33調査地点の凡例を示す。図-4.14, 4.15に砂質土の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値の関係をそれぞれ $N_{sw} \leq 300$, $N_{sw} \leq 600$ の範囲で示す。稲田式を黒線で、新相関式を赤線で示す。図-4.14の $N_{sw} \leq 300$ では、稲田式に比べて新相関式は $N_{sw} \leq 75$ で大きめに、 $N_{sw} \geq 75$ で小さめに N 値を換算することになる。図-4.15の $N_{sw} \leq 600$ では、新相関式は $N_{sw}=300$ (N 値=16)から折れ線となる。なお、 $N_{sw} > 300$ の領域への稲田式の適用は明らかに過大となる(元々適用範囲外ではあるが)。液状化判定などでは $N_{sw} > 300$ (25cm貫入の $N_a=75$)の測定も行われるので、その場合には式(4.2)の適用が妥当と考えられる。

◇ 東大阪市松原南	◇ 大阪市うめきた
▽ 浦安市高洲8-1	◇ 諏訪市上川
△ 浦安市高洲8-3	○ 諏訪市四賀
▲ 東大阪市花園東	□ 熊本県益城町
■ 大阪市東中浜	◇ 尼崎市築地
□ 神栖市堀割	△ 浦安市高洲8_2017
◇ 浦安市運動公園1	▽ 諏訪市豊田
◇ 浦安市鉄鋼通り	△ 諏訪市湖南2
◇ 守山市今浜町	▲ 大阪市弁天町
○ 守山市水保町	□ 越谷市新川町
◇ 浦安市港	■ 稲敷市浮島
▽ 香取市佐原口	□ 大阪市舞洲
△ 大阪市住之江泉	◇ 東大阪市西岩田
▲ 浦安市千鳥	△ 佐賀県白石町
■ 諏訪市湖南1	○ 大阪市桜島
■ 浦安市高洲6	○ 大阪市三軒家
◇ 浦安市運動公園2	

図-4.13 全33地点の凡例

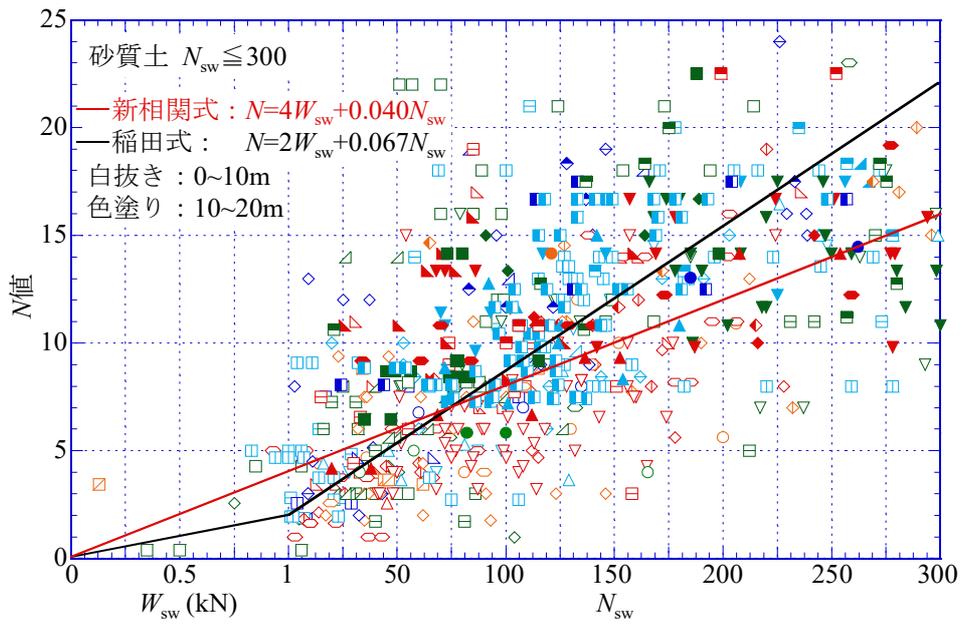


図-4.14 砂質土の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値の関係 ($N_{sw} \leq 300$)

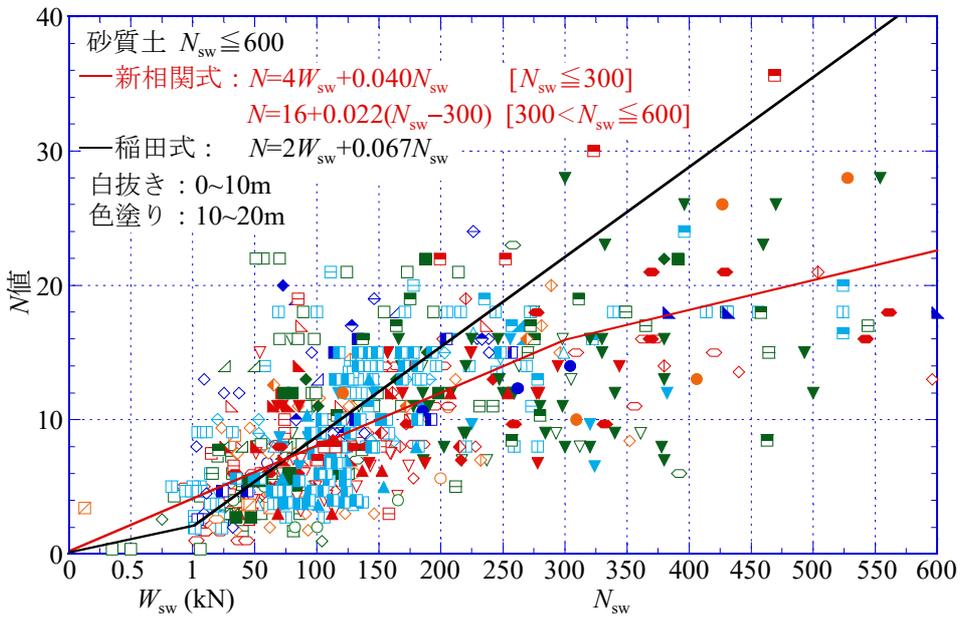


図-4.15 砂質土の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値の関係 ($N_{sw} \leq 600$)

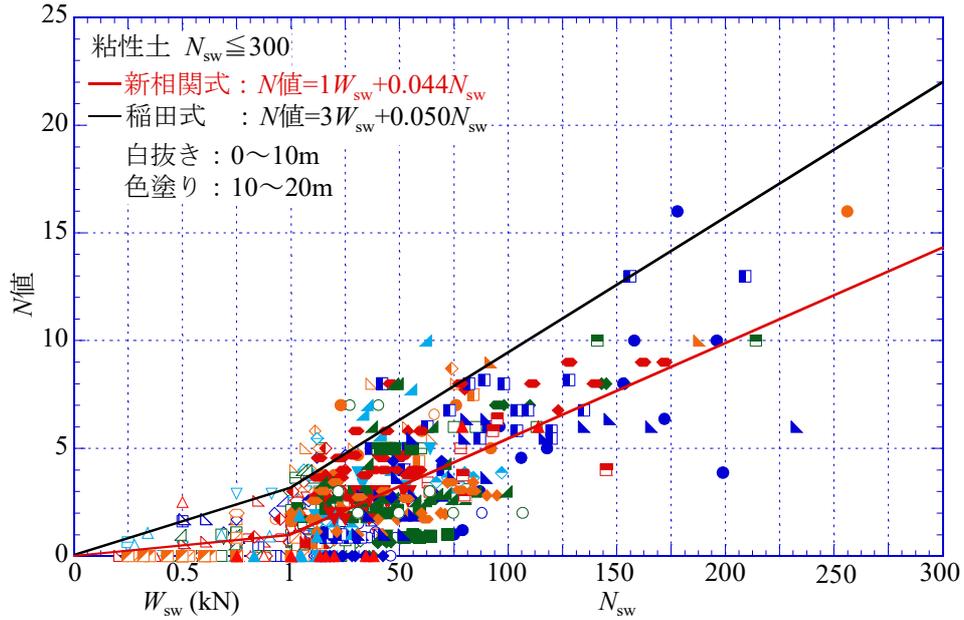


図-4.16 粘性土の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値の関係 ($N_{sw} \leq 300$)

図-4.16 に全 32 地点の粘性土の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値の関係を示す。稲田式を黒線で、新相関式を赤線で示す。稲田式に比べて新相関式は、全体に小さめに N 値を換算することになる。先に述べたように自沈する N 値は 1 以下となる。稲田式は、測定データに対して上限値（過大）となっている。

4.3.4 新相関式の適用例

図-4.17 に図-4.1~4.10 に示した代表 10 地点の SWS 試験における新相関式による換算 N 値と N 値の深度分布を示す。SWS 試験結果が複数ある調査地点については、実施機関による差はほとんどないことから、S 社のデータを採用している。また、図には稲田式による換算 N 値も示す。

粘性土においては、稲田式より新相関式の方が N 値に整合している。砂質土においては、新相関式、稲田式とも N 値と必ずしも整合していないが、新相関式は、 N 値 > 16 (式(2)による $N_{sw} > 300$ の領域)での適合性が高くなっている。

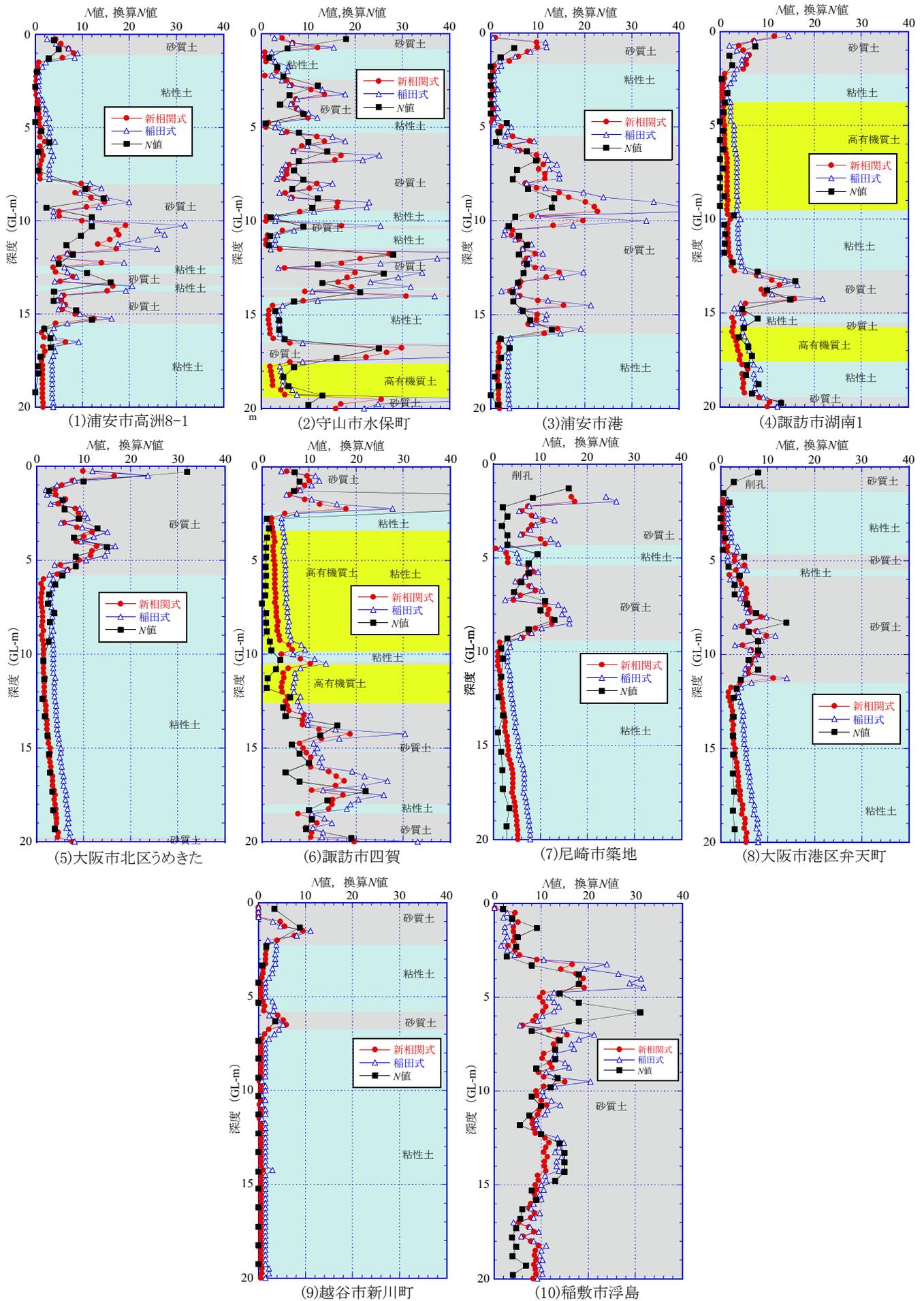


図-4.17 代表10地点の新相関式による換算N値とN値の深度分布

4.4 粘性土における SWS 試験結果と s_u 値との関係

4.4.1 試験結果

図-4.18～4.23 に、代表例として 6 地点（大阪市城東区東中浜，守山市今浜町，大阪市北区うめきた，越谷市新川町，佐賀県白石町，大阪市大正区三軒家）の深度 20m までの土質柱状図，粘性土の非排水せん断強さ ($q_u/2$, s_{ub}) の深度分布および SWS 試験による $W_{sw} \cdot N_{sw}$ を示す。なお， s_{ub} は圧密定体積一面せん断強さ（各供試体深度の有効土被り圧 p_0 で圧密，2.3.2 参照）である。

図-4.18 の大阪市城東区東中浜の結果は， $q_u/2$, s_{ub} とともに深度方向に漸増する傾向が見られる。特に s_{ub} については，SWS 試験で自沈層から回転層に変化する GL-12m 付近から強度増加の割合が大きくなっている。 $q_u/2$, s_{ub} と N_{sw} に相関が見られる。この地点の粘性土（沖積粘土）は鋭敏性の高いものであり， $W_{sw} < 1\text{kN}$ の自沈層はそれによる影響と考えられる。

図-4.19 の守山市今浜町の結果では，GL-5.4m 以深の粘性土で $q_u/2$, s_{ub} と SWS 試験の N_{sw} の深度方向に漸増する傾向は，整合している。

図-4.20 の大阪市北区うめきたの結果では，GL-8m～9m 付近の $q_u/2$, s_{ub} はやや大きく，それ以深は深度方向に漸増する傾向となっている。SWS 試験の N_{sw} の深度方向に漸増する傾向と整合している。なお，GL-5.9m～8m の砂質シルトはかなり低塑性であったので，室内力学試験は実施していない。

図-4.21 の越谷市新川町の結果では， $q_u/2$, s_{ub} とともに深度方向に漸増する傾向は認められるものの，その増加割合は小さい。SWS 試験では，GL-20m までの全深度にわたってほぼ自沈層 ($N_{sw}=0$) となっており，その傾向は整合している。この地点の粘性土は特に鋭敏性の高いものである。

図-4.22 の佐賀県白石町の結果では，越谷市新川町と同様に $q_u/2$, s_{ub} とともに深度方向に漸増する傾向は認められるが，その増加割合は小さい。SWS 試験では，GL-14m～15m までほぼ自沈層 ($N_{sw}=0$) となっており，その傾向は整合している。この地点も特に鋭敏性の高い粘土による影響と考えられる。

図-4.23 の大阪市大正区三軒家の結果では，GL-9.05m～9.6m の砂混じりシルト層，GL-9.60m～11.95m のシルト質粘土層では，粗粒分が含まれやや大きい s_{ub} となっているが，GL-13m 以深の粘性土では $q_u/2$, s_{ub} と SWS 試験の N_{sw} の深度方向に漸増する傾向は，整合している。

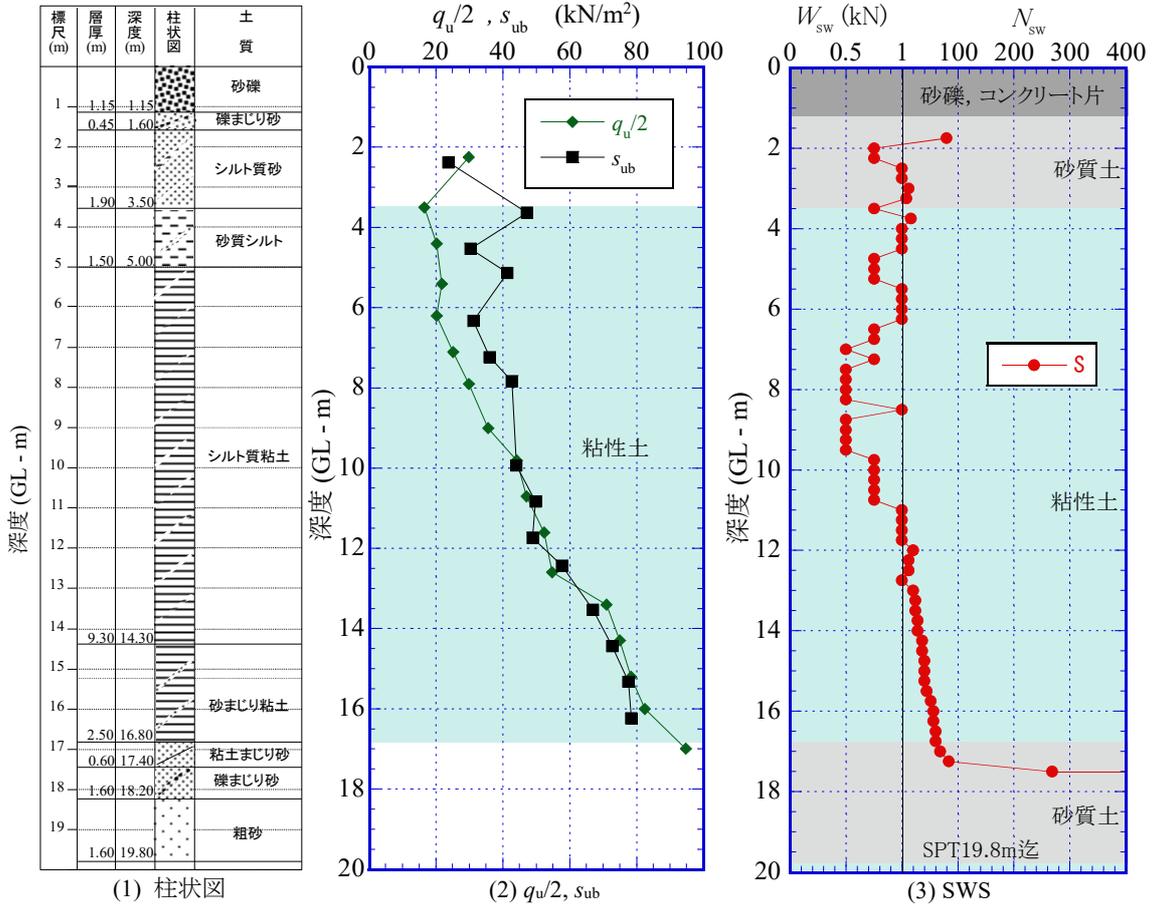


図-4.18 大阪市城東区東中浜の結果

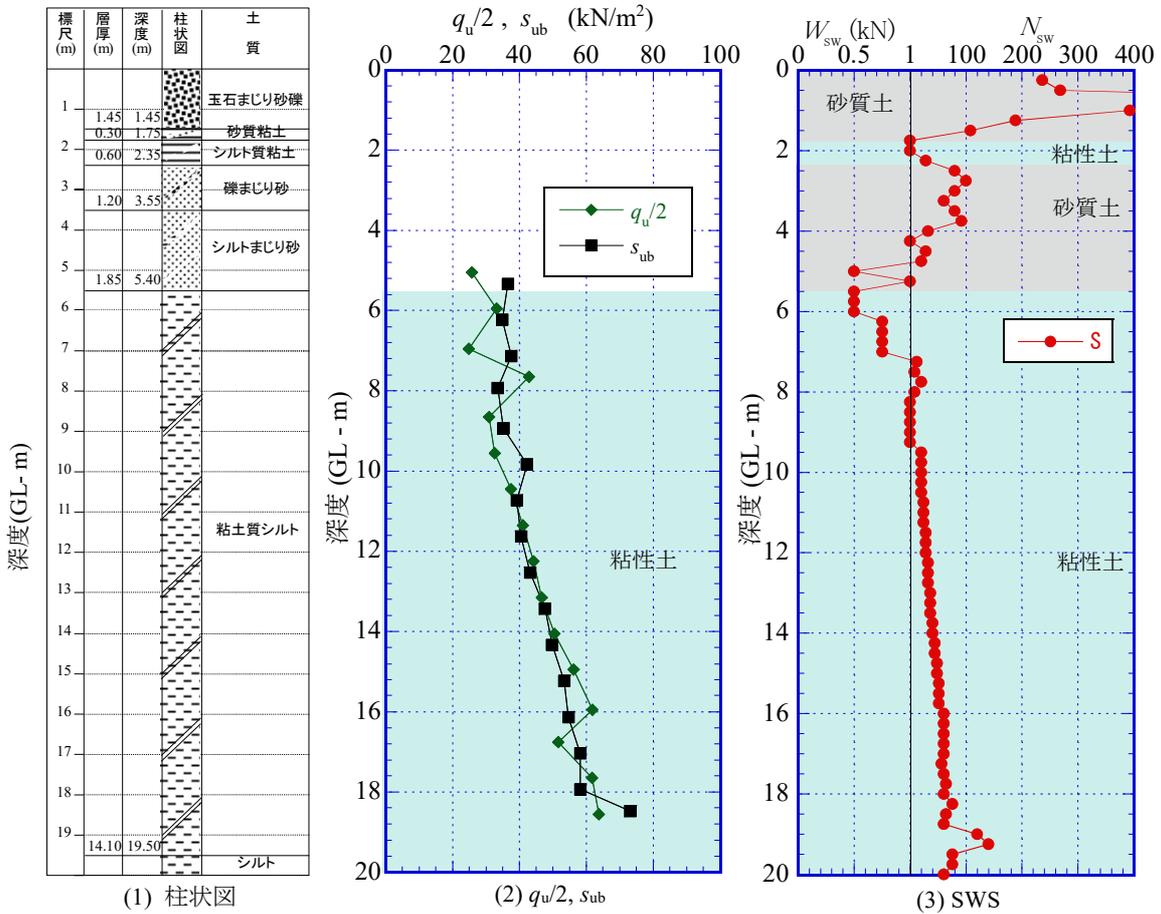


図-4.19 守山市今浜町の結果

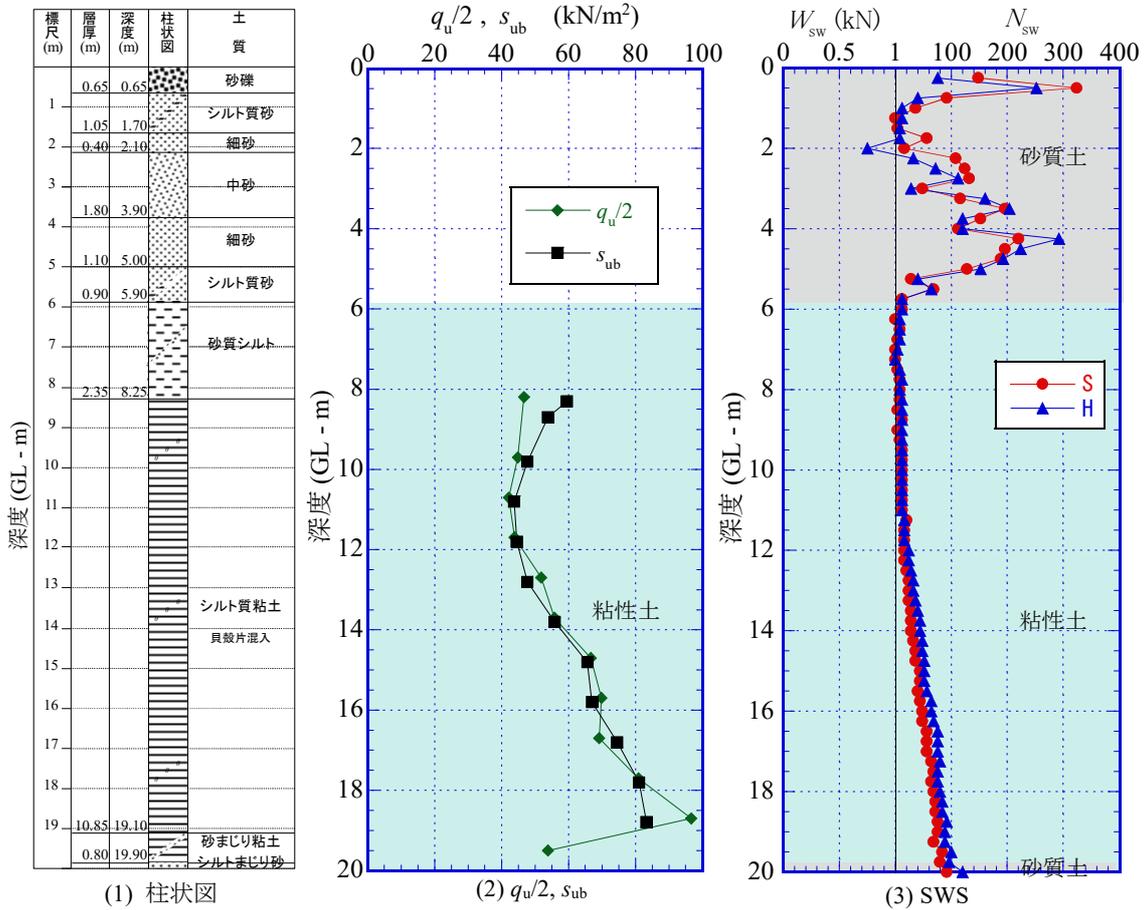


図-4.20 大阪市北区うめきたの結果

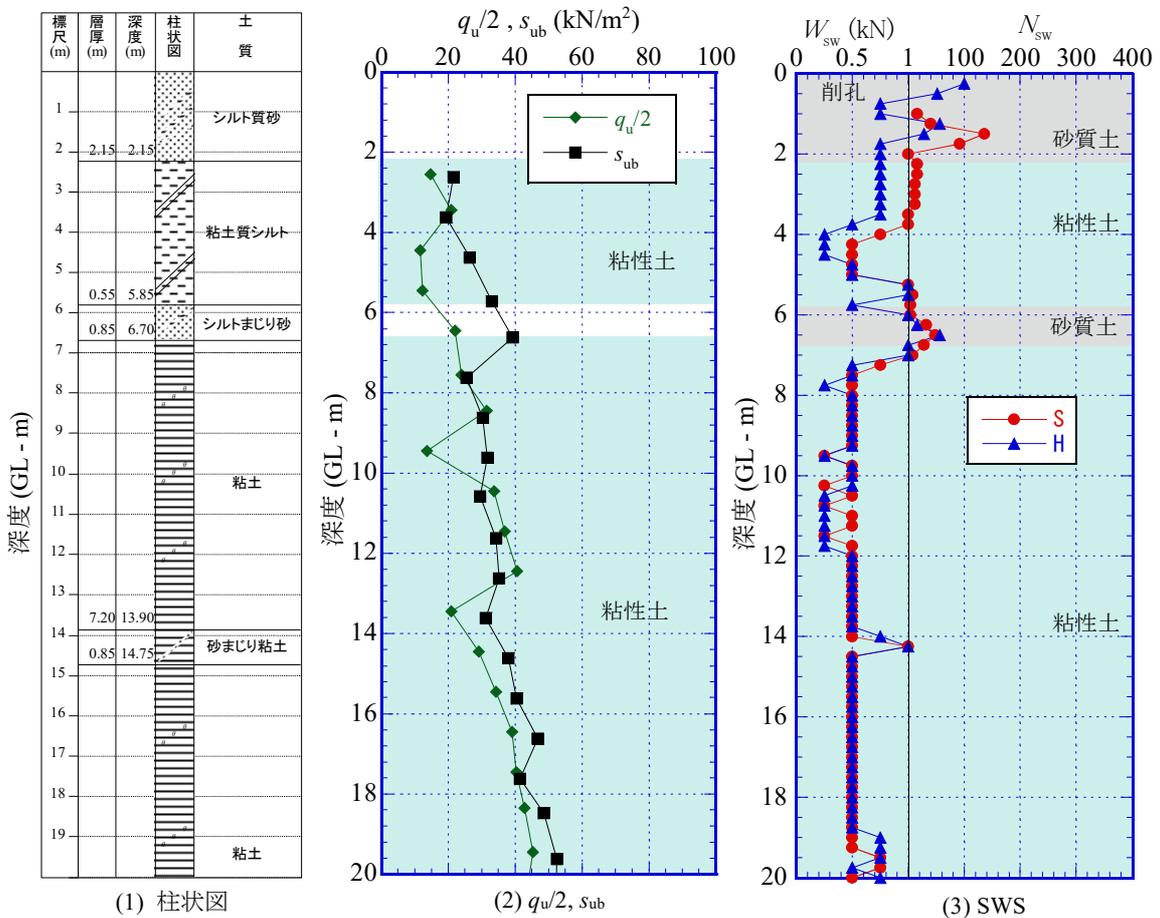
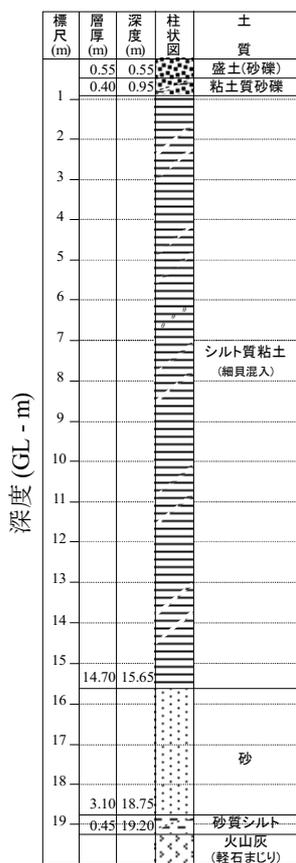
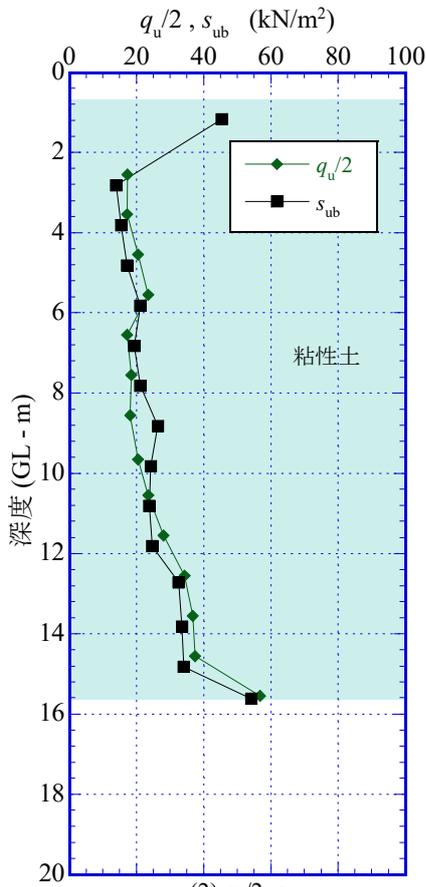


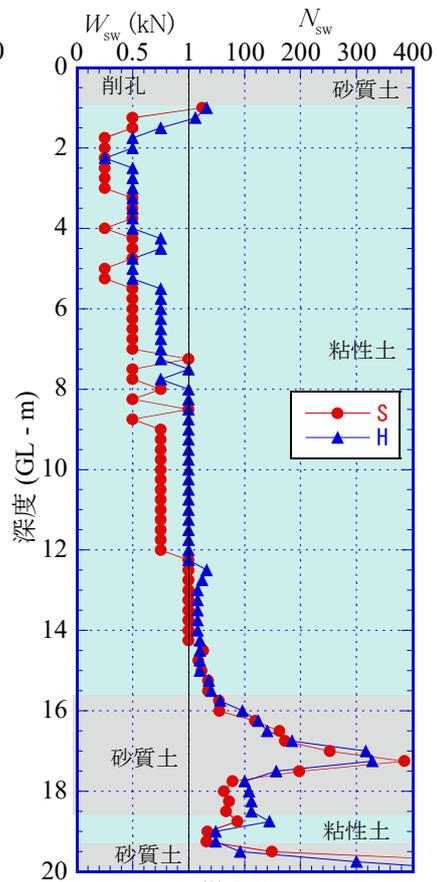
図-4.21 越谷市新川町の結果



(1) 柱状図

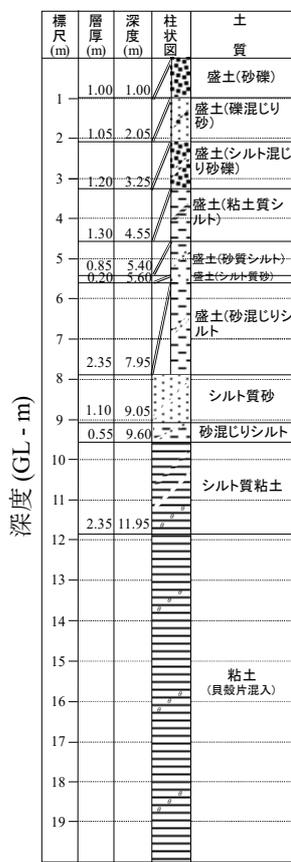


(2) $q_u/2, s_{ub}$

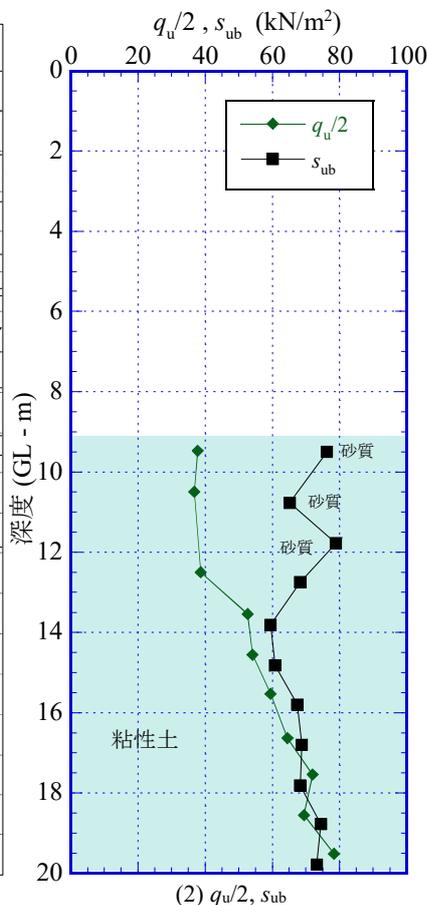


(3) SWS

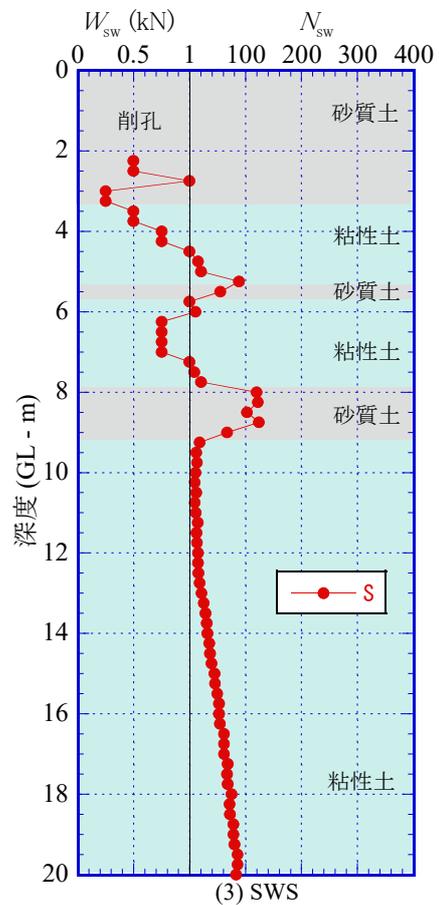
図-4.22 佐賀県白石町の結果



(1) 柱状図



(2) $q_u/2, s_{ub}$



(3) SWS

図-4.23 大阪市大正区三軒家の結果

4.4.2 $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値との関係^{1)~11)}

図-4.24 に室内力学試験を実施した全 25 地点の凡例を示す。凡例の地点名には、後述する粘性土の種類を表す記号を付記している。図-4.25 に全 23 地点の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と一軸圧縮試験による $q_u/2$ との関係（住之江泉，湖南 1 は q_u のデータなし），図-4.26 に全 21 地点の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と定体積一面せん断試験による s_{ub} との関係（松原南，高洲 8-3，花園東，鉄鋼通りは s_{ub} のデータなし）を示す。図は 0~10m を白抜き，10~20m を色塗りで，稲田式を黒線で示している。0~10m については強度の低い側に分布し，10~20m は高い側に分布する傾向はやや見られる。両図ともにデータにばらつきが大きい。なお，稲田式は下限値となっている。

$q_u/2$ と s_{ub} のばらつきが大きいのは，全地点の粘性土には，鋭敏粘土，有機質粘土，火山灰質粘性土などが含まれるためと考えられる。そこで以下では，全 25 地点の粘性土を図-4.24 に示すように液性指数 I_L により鋭敏粘土（10 地点），強熱減量 L_i により有機質粘土（諏訪市の 5 地点，湖南 1，四賀，湖南 2 は

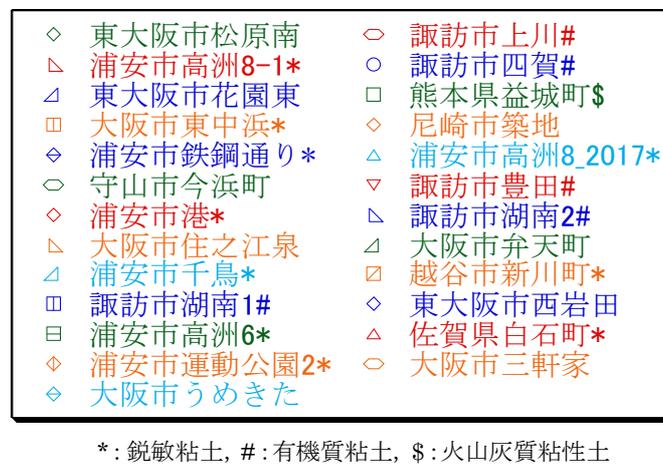


図-4.24 室内力学試験を実施した全 25 地点の凡例

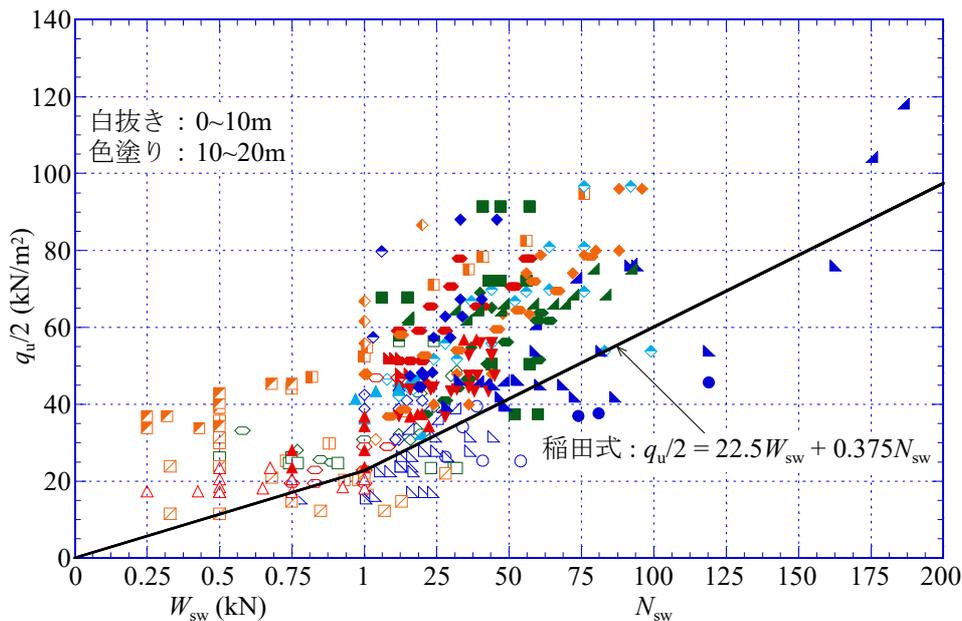


図-4.25 全23地点における $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と $q_u/2$ との関係

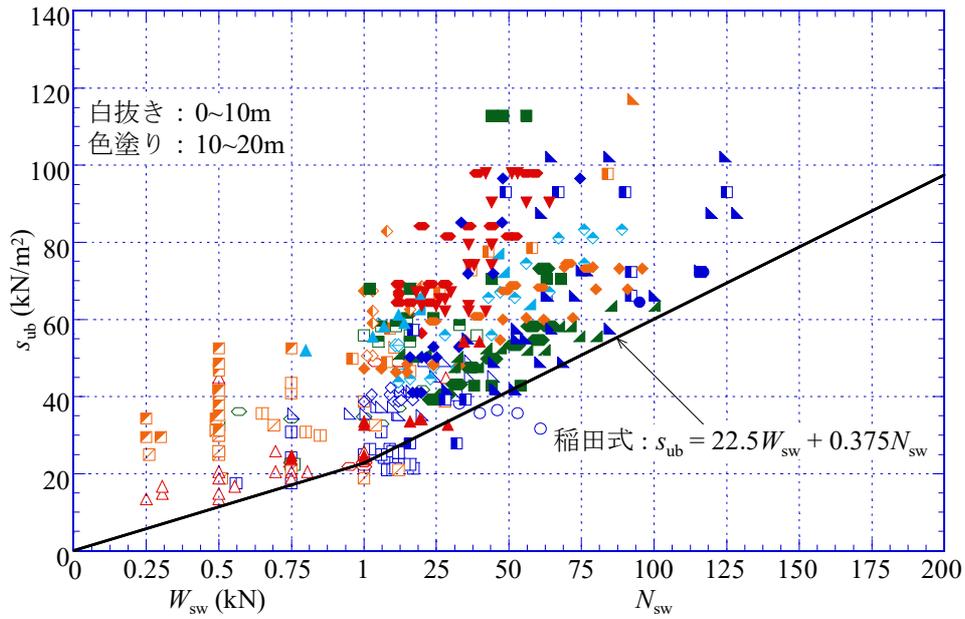


図-4.26 全21地点における $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_{ub} の関係

高有機質土)及び地形的要因により火山灰質粘性土(益城町1地点のみ、相関性の検討から省く)に区分し、残りを一般粘性土(9地点)として相関性を検討する。ここで、 $q_u/2$ 、 s_{ub} は強度異方性、せん断速度の違いなどから厳密には同一の値とはならないが、簡易なSWS試験と室内力学試験の関係を評価する上では、あまり厳密に考える必要はないと考え、以下では $q_u/2$ 、 s_{ub} は同格として扱い、いずれも非排水せん断強さ s_u 値として表記することとした。

図-4.27~4.30にそれぞれ全25地点、一般粘性土、鋭敏粘土、有機質粘土における $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値の関係を自沈層 ($W_{sw} \leq 1\text{kN}$) と回転層 ($N_{sw} \leq 200$) に分けて示す。図-4.27~4.29では $q_u/2$ を赤、 s_{ub} を青で、図-4.30では有機質粘土を橙、高有機質土を緑で示す。

図-4.27の全25地点では、ばらつきがかなり大きくなっている。これに対して図-4.28の一般粘性土ではばらつきは小さい。

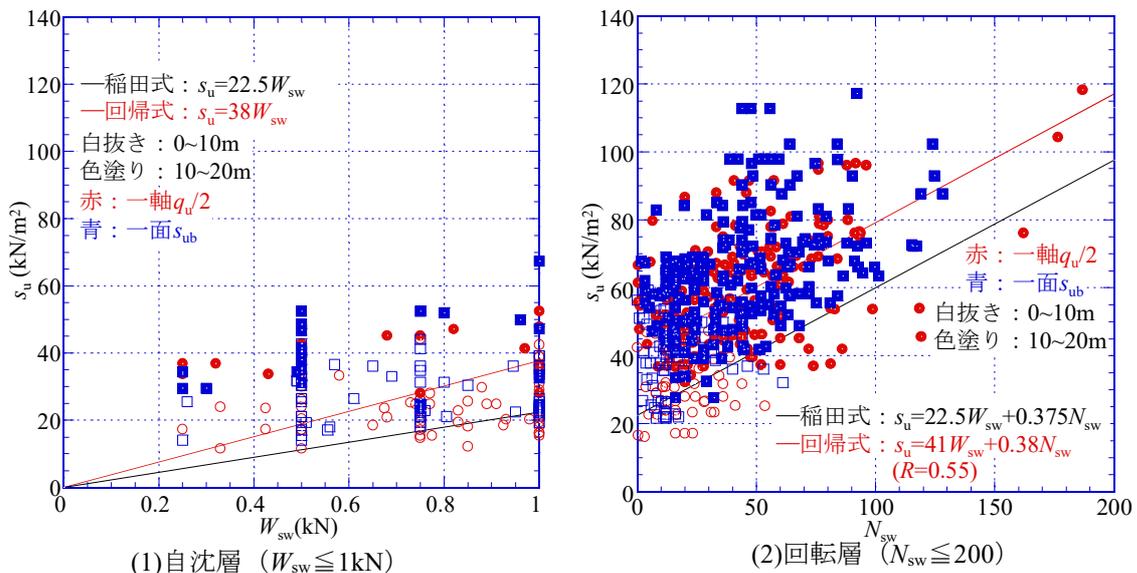


図-4.27 全25地点の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値の関係

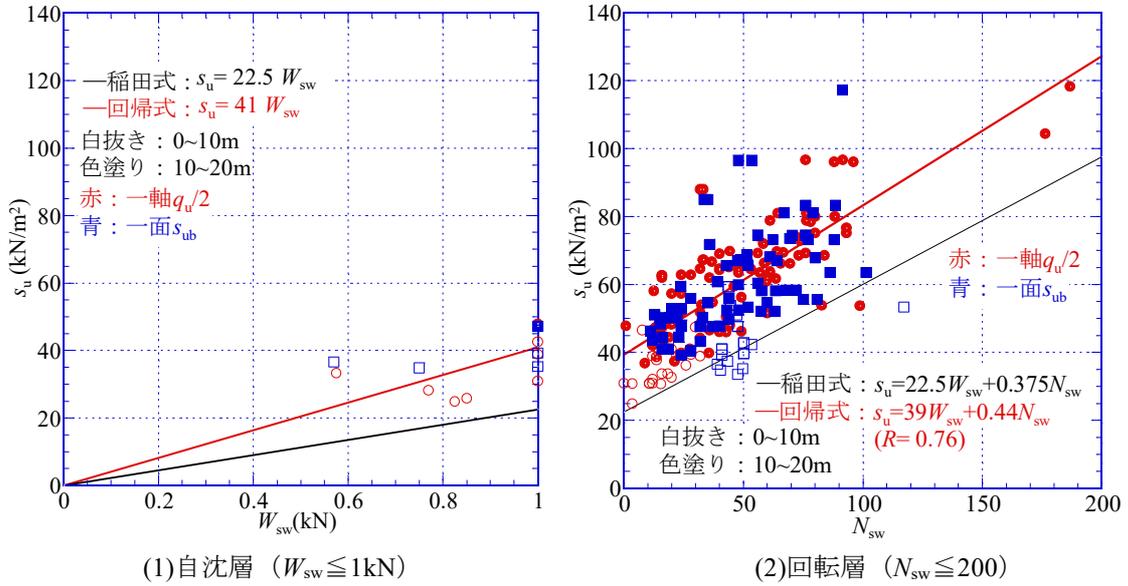


図-4.28 一般粘性土 (9地点) の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値の関係

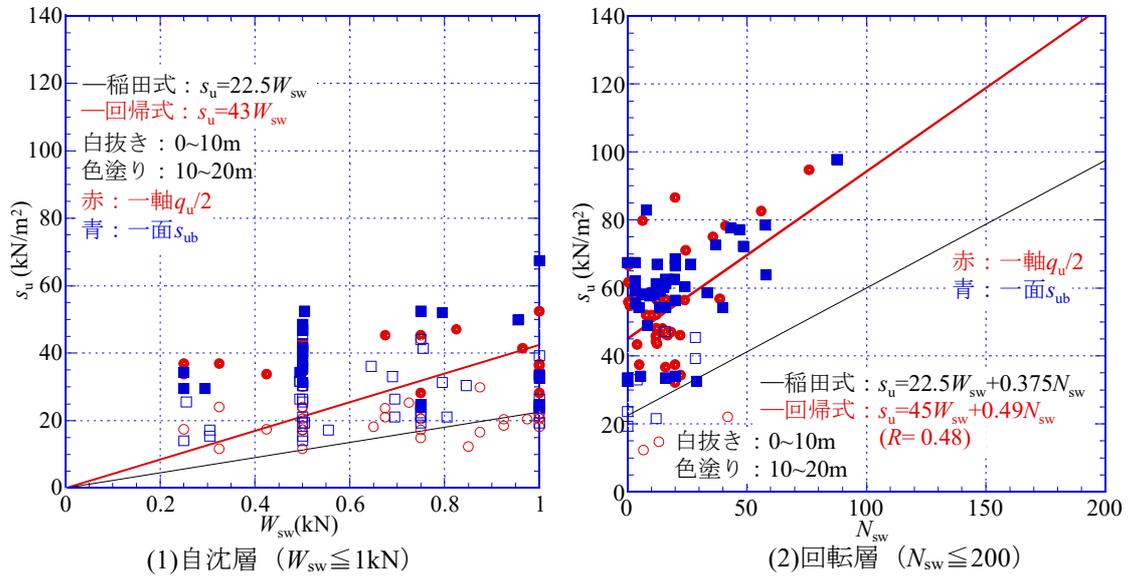


図-4.29 鋭敏粘土 (10地点) の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値の関係

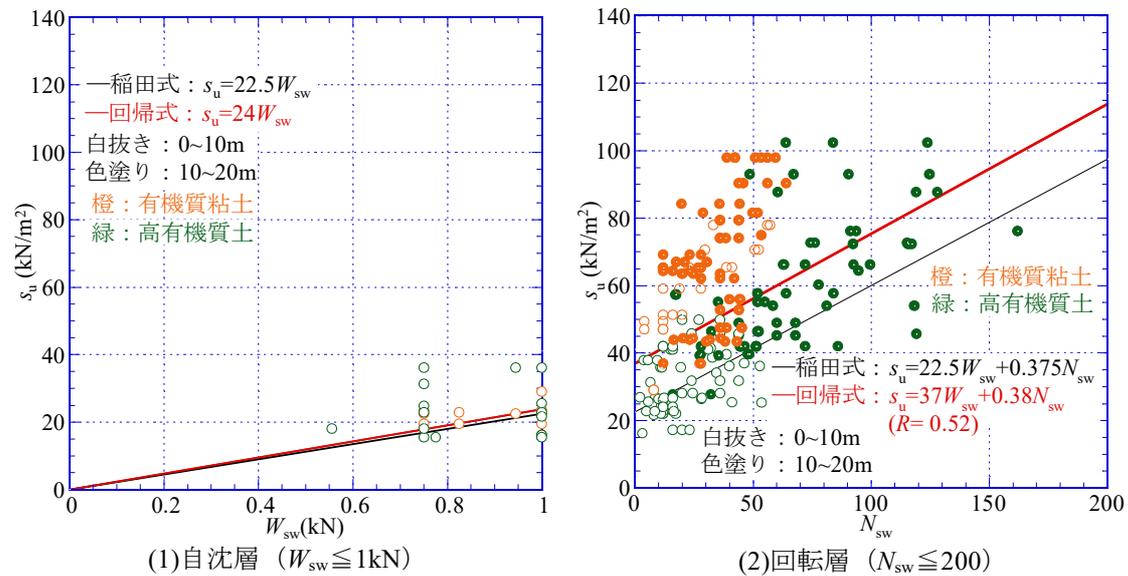


図-4.30 有機質粘土 (5地点) の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値の関係

図-4.29の鋭敏粘土では自沈傾向が強く、 s_u 値に対して貫入抵抗が小さい。これは鋭敏粘土では先端のスクリーポイント（SP）が貫入する際に粘土が練り返され、貫入抵抗が過小となるためと考えられる。ただし、自沈層でのデータのばらつきが大きい。

図-4.30の有機質粘土では有機質粘土と高有機質土で傾向が異なり、高有機質土では s_u 値に対して貫入抵抗が大きい。これは貫入時に腐植物が絡まって貫入抵抗が過大となるためと考えられる（図-4.4、4.6参照）。一方、有機質粘土は液性指数 L が高かったため、図-4.29の鋭敏粘土に近い関係となっている。以上から全25地点でのばらつきの原因は鋭敏粘土と有機質粘土にあるといえる。

ただし、SWS試験のみでは粘性土の種類までは判断できないので、必要に応じて簡易なサンプリングを行って粘性土の種類を求める土質試験（物理・化学試験）を行うべきと考えるが、それを行わない場合は、対象地のこれまで蓄積された情報で判断する必要がある。

4.4.3 新相関式

4.4.2の結果から、稲田式に代わる新相関式が提案できる。図-4.31～4.33にそれぞれ全25地点、一般粘性土、鋭敏粘土の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値との関係を示す。いずれの図でもやはり稲田式は下限値を示している。図-4.31の全25地点は図-4.25の $q_u/2$ と図-4.26の s_{ub} を合体したものであるため、よりばらつきが大きくなっている。参考のため回帰式を示したが、図-4.27に示した自沈層（ $W_{sw}=1\text{kN}$ ）と回転層（ $N_{sw}=0$ ）での $s_{u,1\text{kN}}$ 値（自沈が生じる s_u 値）が少し異なるので、プロット数が多い回転層での値（ 41kN/m^2 ）とした。

図-4.32の一般粘性土ではばらつきは小さく、回帰式は同様に $s_{u,1\text{kN}}$ 値は回転層での値（ 39kN/m^2 ）とした（図-4.28参照）。図-4.33の鋭敏粘土の回帰式も同様に $s_{u,1\text{kN}}$ 値は回転層での値（ 45kN/m^2 ）とした（図-4.29参照）。なお、有機質粘土（図-4.30）ではばらつきが大きく、かつ諏訪市5地点のみの結果なので、相関式の提案は省いた。

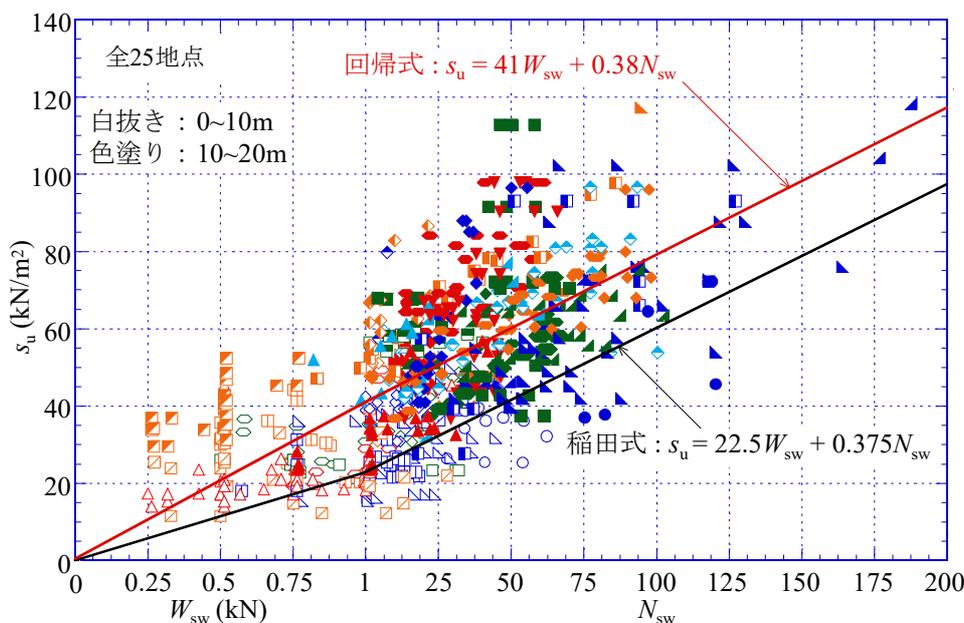


図-4.31 全25地点の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値との関係

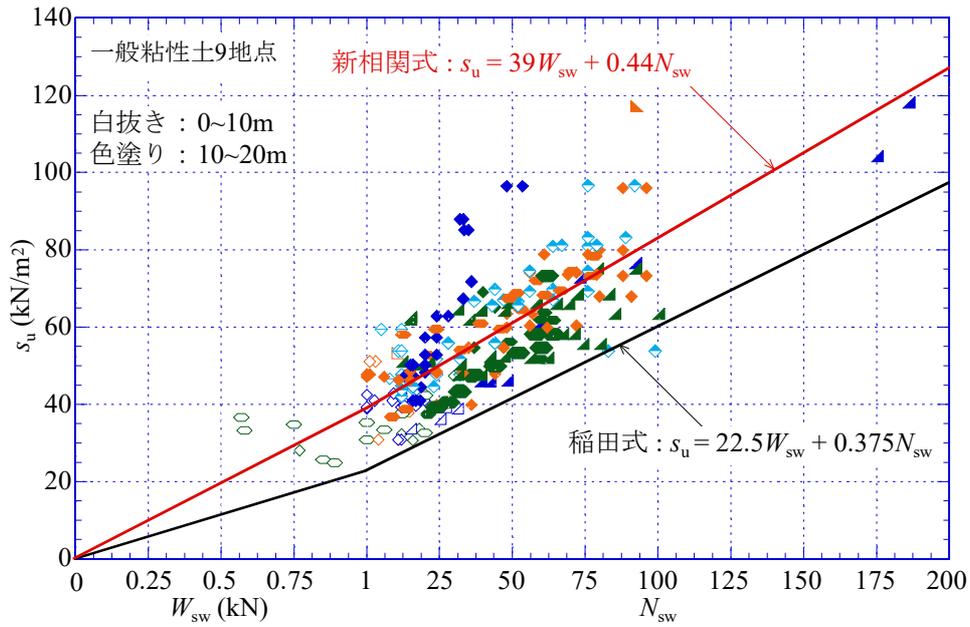


図-4.32 一般粘性土の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値との関係

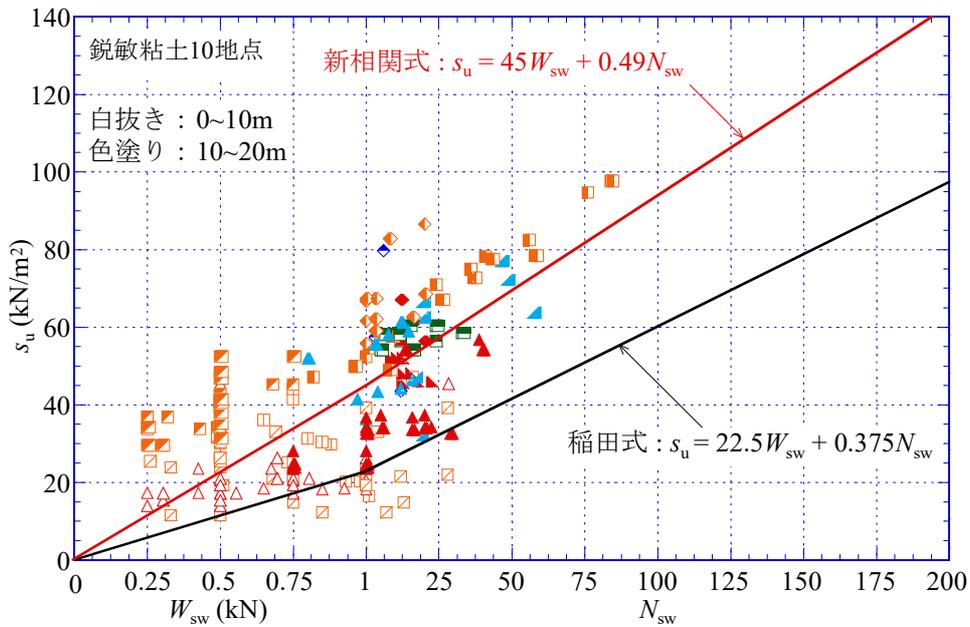


図-4.33 鋭敏粘土の $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と s_u 値との関係

以上の結果から、一般粘性土に関して図-4.28(1), (2)の回帰式から式(4.4)を、鋭敏粘土に関して図-4.29(1), (2)の回帰式から式(4.5)を提案できる。

$$\text{一般粘性土} : s_u = 39W_{sw} + 0.44N_{sw} \quad (4.4)$$

$$\text{鋭敏粘土} : s_u = 45W_{sw} + 0.49N_{sw} \quad (4.5)$$

4.4.4 新相関式の適用例

図-4.34(1)~(6)に図-4.18~4.23に示した代表6地点のSWS試験における新相関式による換算 s_u 値と実測した $q_u/2$, s_{ub} の深度分布を示す。SWS試験結果が複数ある調査地点については、実施機関による差はほとんどないことから、S社のデータを採用している。図には稲田式による換算 s_u 値も示す。どの地点においても稲田式は過小である。東中浜、うめきた、三軒家では新相関式による換算 s_u 値は $q_u/2$, s_{ub} とよく整合しているが、越谷市、佐賀県白石町では必ずしも整合していない。これは図-4.29(1)に示すように、鋭敏粘土の自沈層では s_u 値がばらついているので、回帰方法に問題があると考えられる。鋭敏粘土の自沈層での相関は今後の課題である。

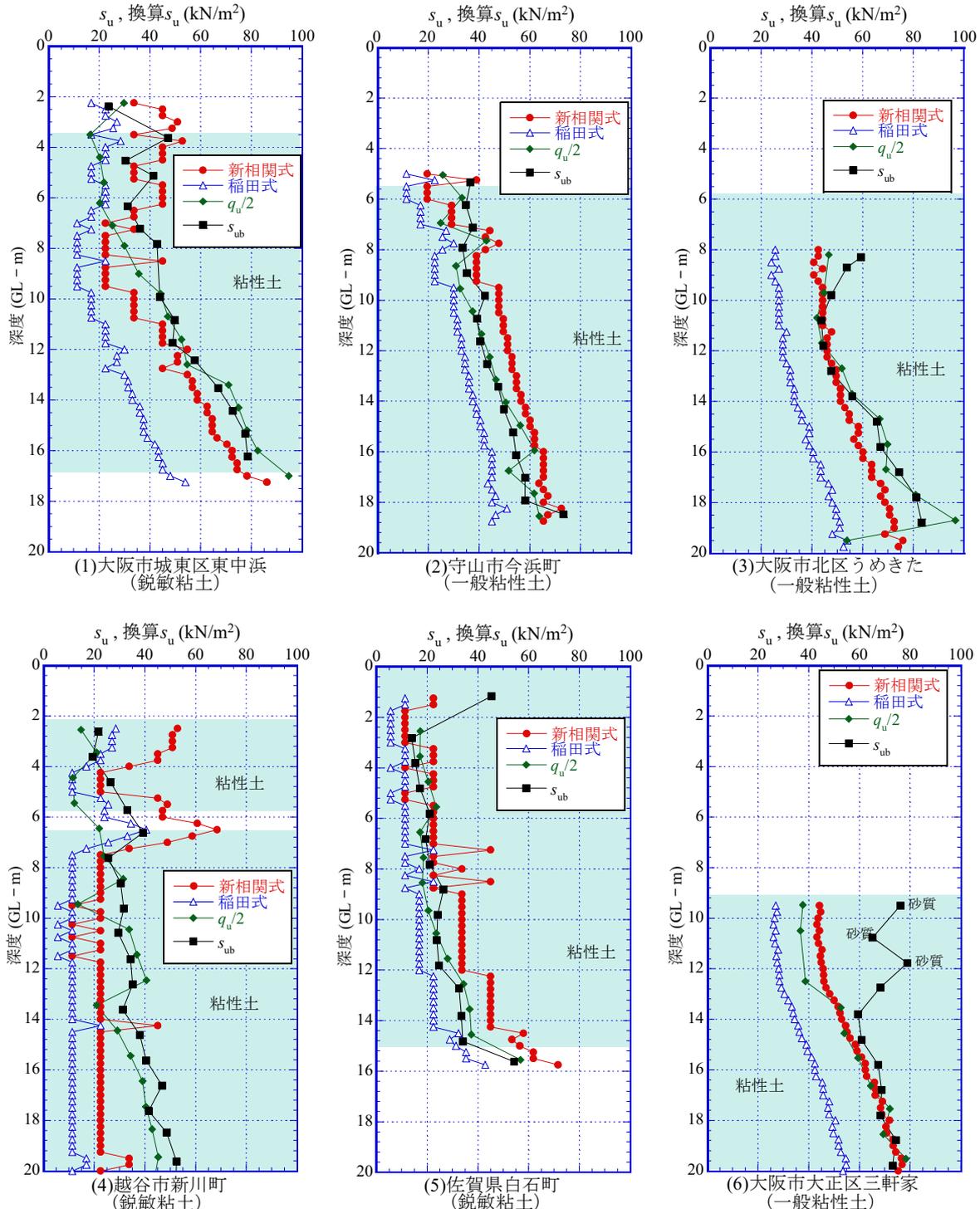


図-4.34 代表6地点の新相関式による換算 s_u 値と s_u 値の深度分布

4.5 まとめ

2010年より11年間にわたり全国33地点で全自動式試験装置によるスクリーウエイト貫入（SWS）試験結果と標準貫入試験（SPT）結果および室内力学試験（一軸圧縮試験，一面定体積せん断試験）結果を比較してきた。得られた結論を以下にまとめる。

- 1) SWS 試験結果と SPT の比較から 0～10m および 10～20m の結果に差異は見られなかった。SWS 試験の適用深度はこれまで 10m 程度とされてきたが，全自動式試験装置であれば，20m の調査も可能と考えられる。
- 2) SWS 試験では，砂質土層では N_{sw} の深度方向への変化が大きく，粘性土層では， N_{sw} の深度方向への変化が少ない。また，相対的に粘性土の方が， N_{sw} が小さい。
- 3) $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値との関係から以下の新相関式が提案できた。

$$\text{砂質土} : \begin{cases} N = 4 W_{sw} + 0.040 N_{sw} & [N_{sw} \leq 300] \\ N = 16 W_{sw} + 0.022 (N_{sw} - 300) & [300 < N_{sw} \leq 600] \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\text{粘性土} : N = 1 W_{sw} + 0.044 N_{sw} \quad [N_{sw} \leq 300] \quad (4.2)$$

砂質土の新相関式は $N_{sw}=300$ (N 値=16) から折れ線となる。なお， $N_{sw} > 300$ の領域への稲田式の適用は明らかに過大となる。一方，粘性土では，稲田式に比べて新相関式は全体に小さめに N 値を換算することになる。また，自沈する N 値は 1 以下となる。稲田式は，測定データに対して上限値（過大）となっている。新相関式による換算 N 値は特に粘性土において実測した N 値によく整合した。

- 4) 粘性土における $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と非排水せん断強さ s_u 値 ($q_u/2$ と s_{ub} による) との関係から以下の相関式が提案できた。

$$\text{一般粘性土} : s_u = 39 W_{sw} + 0.44 N_{sw} \quad (4.4)$$

$$\text{鋭敏粘土} : s_u = 45 W_{sw} + 0.49 N_{sw} \quad (4.5)$$

粘性土全体のばらつきの原因は鋭敏粘土と有機質粘土にあったため，一般粘性土と鋭敏粘土に分けて相関式を導いた。また，稲田式は測定データに対して下限値（過小）となっている。新相関式による換算 s_u 値は一般粘性土，鋭敏粘土の $q_u/2$ ， s_{ub} によく整合した。ただし，鋭敏粘土の自沈層の相関については，今後の課題である。

参考文献

- 1) 平田茂良・山本明弘・市村仁志・大島昭彦・下平祐司・深井公・金哲鎬：浦安市における各種静的サウンディング試験の比較（その4：SWS），第47回地盤工学研究発表会，pp.155-156，2012.
- 2) 鈴木達也・大島昭彦・平田茂良・深井公・下平祐司・金哲鎬：スウェーデン式サウンディング試験結果と N 値， q_u 値との相関性の再検討，第48回地盤工学研究発表会，pp.317-318，2013.
- 3) 市村仁志・平田茂良・山本明弘・深井公・金哲鎬・西田功・大島昭彦：滋賀県守山市における地盤調査一斉試験(その9：SWS)，第48回地盤工学研究発表会，pp.187-188，2013.
- 4) 峯翔太郎・大島昭彦・平田拓也・山田卓・深井公・下平祐司・金哲鎬：スウェーデン式サウンディング試験結果と N 値・ q_u 値との相関性の再検討，第49回地盤工学研究発表会，pp.185-186，2014.
- 5) 松谷裕治・深井公・小川正宏・野澤直樹・渡辺佳勝・下平祐司・大島昭彦：うめきた2期地区での地盤調査結果（その3：スウェーデン式サウンディング試験），第52回地盤工学研究発表会，pp.117-118，2017.
- 6) 安田賢吾・京矢侑樹・大島昭彦・小川正宏・野澤直樹・深井公・松谷裕治・藤森徳雄・花岡聖明：諏訪市上川・四賀における地盤調査（その3：スウェーデン式サウンディング試験），土木学会第72回年次学術講演会，pp.633-634，2017.
- 7) 松谷裕治・深井公・小川正宏・野澤直樹・渡辺佳勝・大島昭彦・安田賢吾：スウェーデン式サウンディング試験結果と N 値， s_u 値との関係，第53回地盤工学研究発表会，pp.193-194，2018.
- 8) 安田賢吾・大島昭彦・深井公・松谷裕治・野澤直樹・渡辺佳勝：スウェーデン式サウンディング試験結果と N 値， s_u 値との相関性の検討，第54回地盤工学研究発表会，pp.105-106，2019.
- 9) 大島昭彦・安田賢吾・深井公・松谷裕治：スウェーデン式サウンディング試験結果と N 値との新相関式の提案，第54回地盤工学研究発表会，pp.1565-1566，2019.
- 10) 萩原侑大・大島昭彦・深井公・松谷裕治・渡辺佳勝・野澤直樹・小川正宏・執行晃・檜田智之：スウェーデン式サウンディング試験結果と N 値， s_u 値との相関性の検討（第2報），第55回地盤工学研究発表会，No.21-6-1-05，2020.
- 11) 深井公・大島昭彦・安田賢吾・中野将吾・萩原侑大・松谷裕治：スクリーウエイト貫入（SWS）試験結果と N 値， s_u 値との新相関式の提案，地盤工学ジャーナル Vol.16 No.4，pp.319-331，2021.

第5章 結論

スクリーウエイト貫入試験（SWS 試験）は、試験の簡便性から住宅地盤の標準調査となっている。特に、全自動式試験機が開発されたことにより、試験結果がばらつく要因は減少した。しかし、実務で利用される稲田式による換算 N 値や換算 s_u 値は、1960 年の SWS 試験は手動式試験機、SPT はコーンブーリー法と現在とは違う方法で提案されていた。全自動式試験機が使われるようになってから、その研究を継続して実施している事例はない。本研究では、11 年間にわたり実施してきた一斉地盤調査 33 地点のデータをもとに、SWS 試験結果 ($W_{sw} \cdot N_{sw}$) と N 値、 s_u 値との相関性を再検討し、新相関式を提案した。同時に、SWS 試験結果に与える要因も検討した。以下に得られた結論をまとめる。

第1章では、住宅地盤の標準調査として活用されているスクリーウエイト貫入試験の変遷と既往の研究を紹介した。その中で国際対応規格である ISO との整合性を確認する重要性、稲田式の適用は精度に課題があることを示し、本研究の目的と方法を述べた。

第2章では、本研究で使用したサウンディング調査方法（SPT と SWS 試験）、室内力学試験の方法を述べた。さらに本研究を行った全 33 調査地点とその地盤性状を示した。各地点の詳細な調査位置は付録にまとめた。

第3章では、SWS 試験結果に与える要因の影響を明らかにするために、(1)全自動試験機、(2)JIS 規格と ISO 規格、(3)スクリーポイント（SP）の摩耗と形状、(4)回転速度の 4 つに着目して各種パラメータを設定し、地層構成が異なる日本国内の複数の調査地点で実施した調査結果を示した。

得られた結論は、以下のようにまとめられる。

(1) 全自動試験機による影響

- 1) 3 機種 of 全自動式試験機は、すべて土層構成に応じた貫入抵抗を示し、SWS 試験の適用深度とされている 10m を超える深度に対して測定することができた。また、深度 20m 程度までの調査結果についても機種による大きな差異は見られなかった。
- 2) 安全な基礎設計のために精度よく把握が必要とされる自沈層を含む軟弱な粘性土は、いずれの試験機においても同様に検出することができた。
- 3) 砂質土では、機種による回転速度や回転駆動力のモータの差が試験結果に影響を与えている可能性が示唆された。

(2) JIS 規格と ISO 規格による影響

- 1) JIS.SP+ $\phi 19$ （JIS 仕様）と ISO.SP+ $\phi 22$ （ISO 仕様）の試験結果は、粘性土および砂質土もほぼ同じ結果となり、特に粘性土でのばらつきは小さい。
- 2) JIS 仕様（JIS.SP+ $\phi 19$ ）に対して、SP を ISO に入れ替えた ISO.SP+ $\phi 19$ の試験結果は、粘性土および砂質土ともほぼ同じ結果となったが、大阪市弁天町のように ISO.SP+ $\phi 19$ が小さくなる傾向を示す場合もある。
- 3) JIS 仕様（JIS.SP+ $\phi 19$ ）に対して、ロッドを ISO に入れ替えた JIS.SP+ $\phi 22$ の試験結果は、砂質土でのばらつきが最も小さい結果となった。粘性土では、越谷市新川町のように自沈層でロッドの周面摩擦の影響は認めれるが、回転層ではロッド径 $\phi 19$ と $\phi 22$ の違いはほとんどない。
- 4) ISO.SP は貫入抵抗が大きくなる $N_{sw} > 150$ の砂質土層においては、JIS.SP より大きな貫入抵抗を示

す傾向がみられた。

- 5) 稲田式より求めた SWS 試験の換算 N 値と SPT の N 値の深度方向の傾向は一致しているが、特に粘性土層では換算 N 値が大きくなる傾向が認められた。今回の試験結果からほぼ同様の傾向が認められており、より多くのデータ蓄積、分析することで精度のよい相関式が構築できる可能性がある。

(3) SP の摩耗と形状の影響

- 1) 摩耗の影響は、粘性土ではほとんどないが、砂質土では $\phi 31$ から $\phi 29$ へと摩耗が進むと、貫入抵抗が小さくなる。一方、 $\phi 27$ まで摩耗すると貫入抵抗が逆に大きくなった。これは SP の摩耗が進行すると、SP のねじ効果が喪失して貫入力小さくなるためと考えられる。
- 2) 最大径のみの影響は、 $\phi 29$ において貫入抵抗が砂質土ではやや小さくなり、粘性土でやや大きくなるものの、影響はほとんどみられない。
- 3) 同径の新品 SP と摩耗 SP による試験結果は、粘性土ではあまり変わらず、砂質土では摩耗の進行が $\phi 29$ まではエッジの効いている新品よりも貫入しやすくなる傾向がある。摩耗が $\phi 27$ まで進行すると、円錐形状に近づくため、貫入抵抗が大きくなる。
- 4) 円錐型 SP は、新品 SP に比べて貫入抵抗が大きく、その程度は粘性土よりも砂質土の方が大きい。これは SP のねじ効果がないと貫入力小さくなるためと考えられる。
- 5) SP の摩耗の影響は、JIS の規定通り、最大径が 30mm より大きければほとんどないといえる。ただし、最大径が 29mm 以下となって SP が円錐形状に近づくと、ねじ効果の喪失によって貫入抵抗が大きくなり、その影響は粘性土よりも砂質土の方が大きい。

(4) 回転速度の影響

- 1) 1 機種種の全自動式試験機では、25rpm に対して 10rpm, 50rpm と回転速度を変化させても試験結果に大きな差はなかった。
- 2) JIS で規定された回転速度 15~40rpm の範囲では、試験結果に大きな影響はないと考えられるが、3 地点のみの結果であり、今後のデータの蓄積が必要と考えられる。

以上から、SWS 試験の実務に適した試験条件として以下のようにまとめられる。

・試験機

全自動式試験機は、手動式試験機では難しかった 10m 超の調査を可能にしており、10m を超える調査が想定される場合、全自動式試験機を使用することが望ましい。今回、研究に用いた 3 種類の全自動式試験機の試験結果に大きな差はなく、実用上問題なく使用できる。

・JIS 規格と ISO 規格

SP、ロッドを入れ替えた仕様で、わずかにその影響はみられたものの、JIS と ISO とではほぼ同様の試験結果を示した。日本国内には JIS 規格しか存在しないが、ISO 規格の採用も可能と考えられる。

・スクリューポイント

スクリュー形状がなければ砂質土では貫入が難しくなることから、現在の形状は理にかなった形状となっている。また、摩耗の影響は、最大径 29mm 以下となると貫入抵抗が大きくなる傾向がみられることから、JIS で規定されている最大径 30mm まで使用可能の条件は妥当と考えられる。

・回転速度

JIS に規定された 15~40rpm は、試験結果に大きな影響を与えないと考えられるので、この範囲であれば、問題ないと考えられる。試験時間の短縮には、最大限に回転速度を高めることが考えられる

が、機械への負荷も大きくなるので、JIS で推奨している 30rpm は妥当と考えられる。

第 4 章では、2010 年より 11 年間にわたり全国 33 地点で全自動式試験装置によるスクリーウエイト貫入 (SWS) 試験結果と標準貫入試験 (SPT) 結果および室内力学試験 (一軸圧縮試験, 一面定体積せん断試験) 結果を比較してきた。得られた結論を以下にまとめる。

- 1) SWS 試験結果と SPT の比較から 0~10m および 10~20m の結果に差異は見られなかった。SWS 試験の適用深度はこれまで 10m 程度とされてきたが、全自動式試験装置であれば、20m の調査も可能と考えられる。
- 2) SWS 試験では、砂質土層では N_{sw} の深度方向への変化が大きく、粘性土層では、 N_{sw} の深度方向への変化が少ない。また、相対的に粘性土の方が、 N_{sw} が小さい。
- 3) $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と N 値との関係から以下の新相関式が提案できた。

$$\text{砂質土} : \begin{cases} N = 4 W_{sw} + 0.040 N_{sw} & [N_{sw} \leq 300] \\ N = 16 W_{sw} + 0.022 (N_{sw} - 300) & [300 < N_{sw} \leq 600] \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\text{粘性土} : N = 1 W_{sw} + 0.044 N_{sw} \quad [N_{sw} \leq 300] \quad (4.2)$$

砂質土の新相関式は $N_{sw}=300$ (N 値=16) から折れ線となる。なお、 $N_{sw} > 300$ の領域への稲田式の適用は明らかに過大となる。一方、粘性土では、稲田式に比べて新相関式は全体に小さめに N 値を換算することになる。また、自沈する N 値は 1 以下となる。稲田式は、測定データに対して上限値 (過大) となっている。新相関式による換算 N 値は特に粘性土において実測した N 値によく整合した。

- 4) 粘性土における $W_{sw} \cdot N_{sw}$ と非排水せん断強さ s_u 値 ($q_u/2$ と s_{ub} による) との関係から以下の相関式が提案できた。

$$\text{一般粘性土} : s_u = 39 W_{sw} + 0.44 N_{sw} \quad (4.4)$$

$$\text{鋭敏粘土} : s_u = 45 W_{sw} + 0.49 N_{sw} \quad (4.5)$$

粘性土全体のばらつきの原因は鋭敏粘土と有機質粘土にあったため、一般粘性土と鋭敏粘土に分けて相関式を導いた。また、稲田式は測定データに対して下限値 (過小) となっている。新相関式による換算 s_u 値は一般粘性土、鋭敏粘土の $q_u/2$, s_{ub} によく整合した。ただし、鋭敏粘土の自沈層の相関については、今後の課題である。

以上、全自動式の SWS 試験機は短時間で精度よく試験が実施できるため、非常に有効な地盤調査といえる。住宅地盤では、依然として不同沈下の問題があり、SWS 試験と簡易サンプリング手法を組み合わせることによって定量的な沈下量予測手法につなげていけると考えている。

関係発表論文

第 1 章

- 1) Akira FUKAI ・Masashi SUGIYAMA : Application and Research of the Housing Base Concrete to the Curing Using New Heating Sheets, 2006 8th CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology(ACI SP235-17), pp257-268. 2006 年 6 月.
- 2) 深井公・山西耐・小作重夫・菅原和彦・辻田耕一・宮木聡：分離防止装置を使用して打設した戸建住宅基礎コンクリートの性状，日本建築学会 技術報告集第 24 号，pp.11-14. 2006 年 12 月.

第 2 章

- 1) 大島昭彦・平田茂良・高橋秀一・深井公・渡辺佳勝・下平祐司・小川正宏：長野県諏訪市湖南の地盤調査一斉試験による地盤性状と沈下予測，日本材料学会，材料，Vol. 67, No. 1, pp. 34-41, 2018 年 1 月.
- 2) 大島昭彦・安田賢吾・山田卓・諏訪靖二・高橋秀一・深井公：尼崎市築地地区の地盤調査結果と地下水水位低下工法による液状化対策効果の検証，日本材料学会，材料，Vol.69, No.1, pp.97-104, 2020 年 1 月.

第 3 章

- 1) 深井公・大島昭彦・萩原侑大・松谷裕治：スウェーデン式サウンディング試験の全自動式試験機の比較とスクリーポイントの最大径，摩耗の影響，日本材料学会，第 14 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.653-660, 2020.
- 2) 深井公・大島昭彦・安田賢吾・松谷裕治：スウェーデン式サウンディング試験の JIS 規格と ISO 規格の比較，地盤工学ジャーナル，Vol.15, No.3, pp.635-642, 2020.
- 3) 深井公・松谷裕治・大島昭彦・萩原侑大・坂本 新：スウェーデン式サウンディング試験のスクリーポイント（SP）の最大径，摩耗の影響，第 55 回地盤工学研究発表会，No.21-6-1-06, 2020.

第 4 章

- 1) 深井公・大島昭彦・安田賢吾・中野将吾・萩原侑大・松谷裕治：スクリーウエイト貫入（SWS）試験結果と N 値， s_u 値との新相関式の提案，地盤工学ジャーナル Vol.16 No.4, pp.319-331, 2021.

謝辞

本論文をまとめるにあたり、大阪市立大学大学院工学研究科 大島昭彦教授には、筆者が地盤調査一斉試験に参加させていただいた 11 年前から終始変わらぬ温かく丁寧なご指導とご鞭撻を賜り心から感謝申し上げます。

論文審査を通じて貴重なご教授を賜りました大阪市立大学大学院工学研究科 重松孝昌教授および谷口与史也教授に厚く御礼申し上げます。

積水ハウス株式会社施工本部 住友義則本部長、富田彰部長には筆者が在職中にも関わらず、大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻後期博士課程に進学するにあたり、格別な配慮を頂きました。御礼申し上げます。また、同社施工技術開発部 基礎地盤開発グループの皆様には研究途中の色々な場面でご協力いただきました。特に、松谷裕治課長には共同研究者として終始ともに地盤調査一斉試験や結果の整理に携わっていただきました。深く感謝いたします。

積和建設埼玉栃木株式会社 坂本新氏には、共同研究者かつ SWS 試験のオペレータとして全国各地の地盤調査を実施していただきました。厚くお礼申し上げます。

日東精工株式会社 白波瀬雅史氏、株式会社ワイビーエム大阪支店長 橋田光幸氏、株式会社トラバース 渡辺佳勝氏には全自動式試験機の仕様をご教授いただきました。厚くお礼申し上げます。

また、地盤調査一斉試験を通じて、参加各社の皆様から多くの試験データを提供頂きました。本論文は 11 年間の多くの試験データから導かれたものであり、厚く御礼申し上げます。

最後に現場での作業に協力いただき、膨大な数の室内力学試験、データ整理を実施いただいた大阪市立大学大学院工学研究科 地盤工学研究室の皆様には深く感謝申し上げます。

令和 4 年 3 月

深井 公

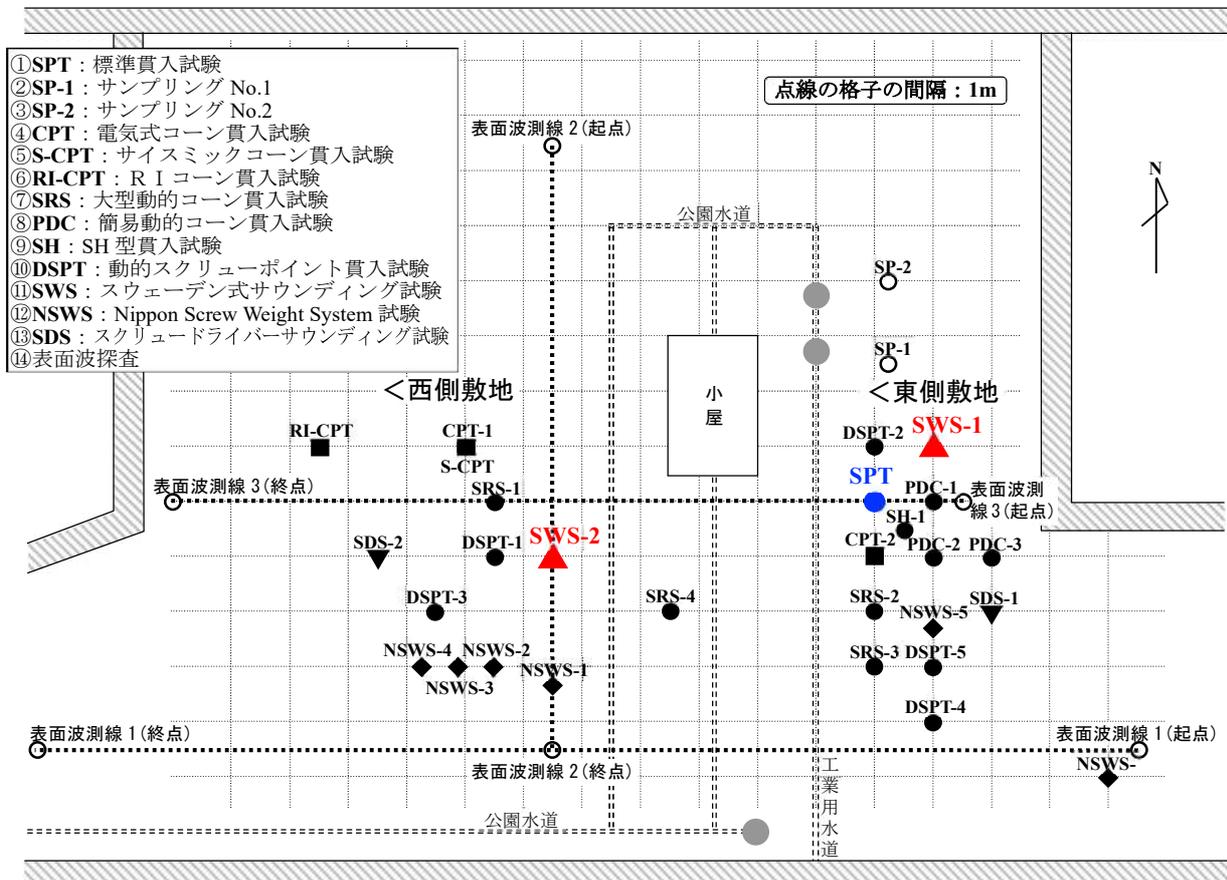
付 録

調査地点の詳細な位置図と調査配置図

付録-1 東大阪市松原南（花園中央公園内）：2010年11/24～12/10 調査



地盤調査位置図



地盤調査の配置図

付録-3 東大阪市花園東2丁目：2011年1/11～1/18 調査



地盤調査位置図

東大阪市花園東2丁目地盤調査

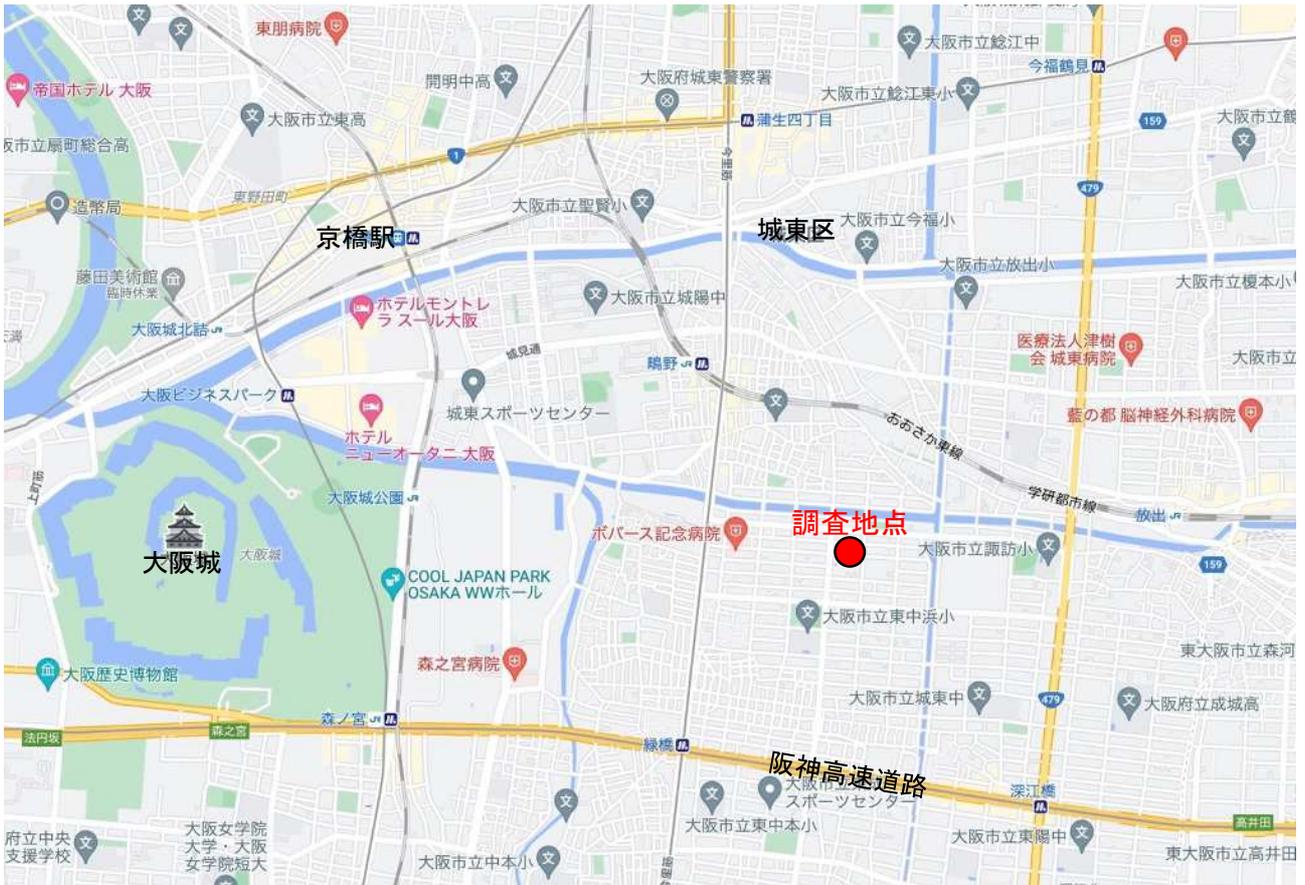
格子の間隔: 1m

上が南側(敷地奥), 下が北側(敷地入口)

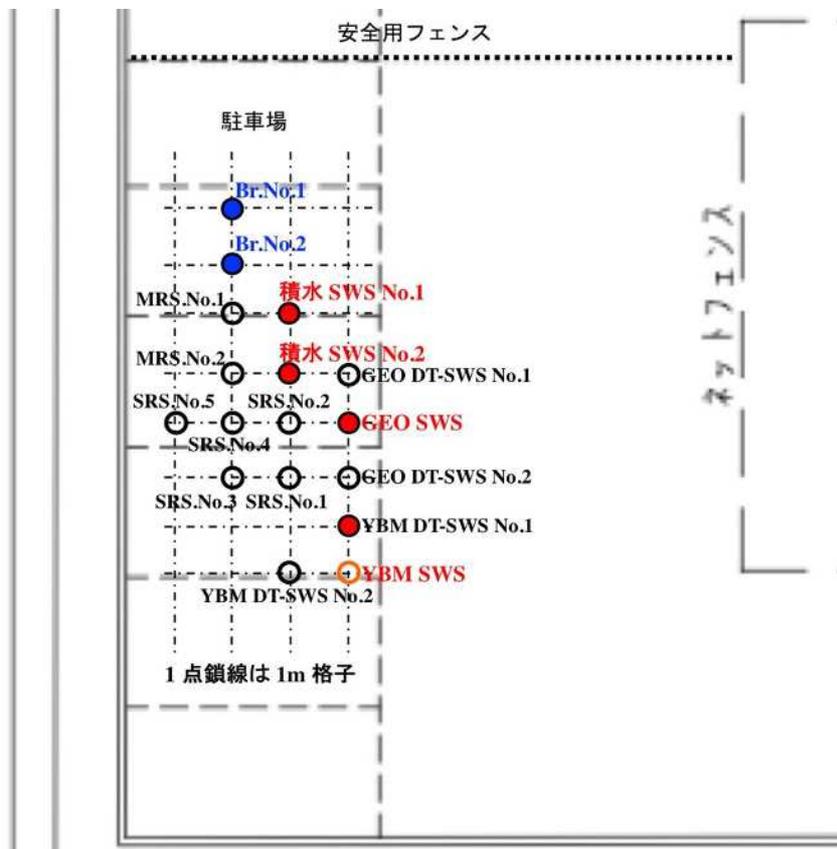
大和 SRS-1 ● L=20.0m (1/14)		積水 SWS-1 ● L=18.17m (1/18)		
大和 SRS-2 ● L=20.0m (1/14)	大阪市大 SPT_SP ● L=19.15m (1/11-13)	積水 SWS-2 ● L=18.25m (1/18)		
積水 MRS-1 ● L=18.2m (1/14)	積水 MRS-2 ● L=18.06m (1/14)			
大和 SWS-1 ● L=17.66m (1/14)	日東精工 SWS ● L=16.25m (1/13)	山下工業 SWS ● L=18.43m (1/14)		
大和 SWS-2 ● L=20.0m (1/14)	日東精工 DT-SWS ● L=16.25m (1/13)	山下工業 DT-SWS ● L=18.74m (1/14)		

地盤調査の配置図

付録-4 大阪市城東区東中浜4（大阪府寝屋川水系改修工営所）：2012年6/4～6/11調査



地盤調査位置図

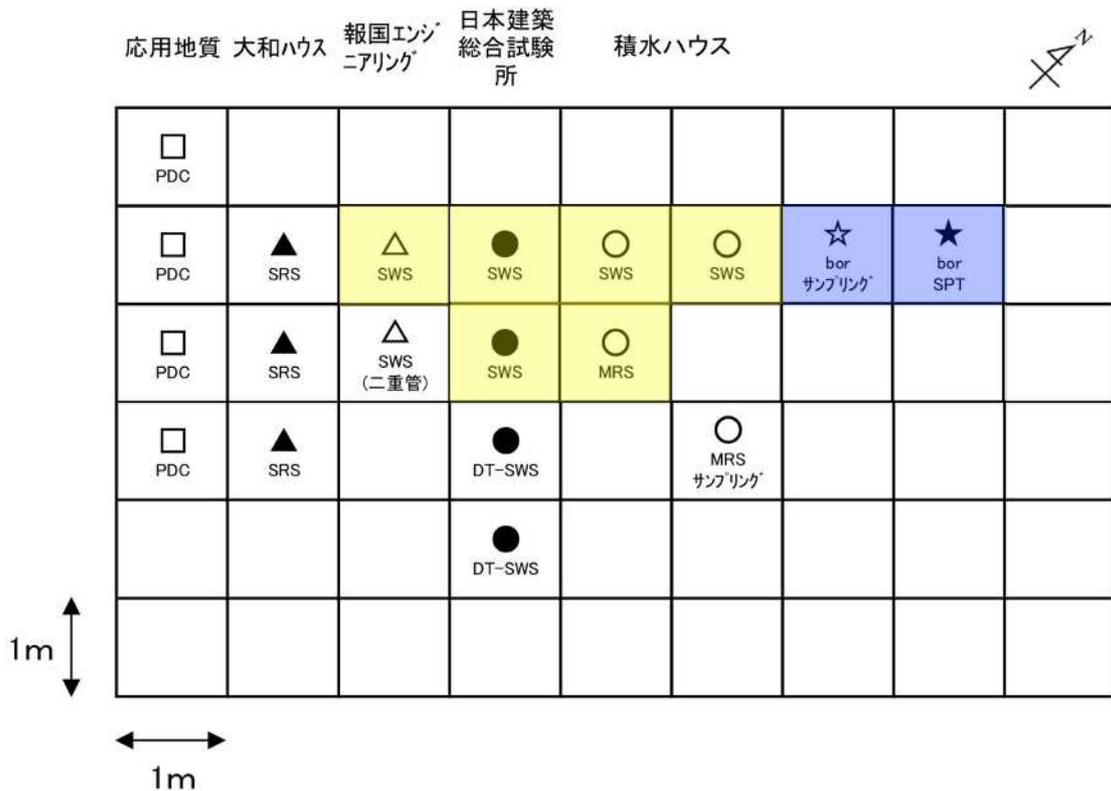


地盤調査の配置図

付録-6 千葉県浦安市舞浜2（運動公園1）：2012年10/31～11/9 調査



地盤調査位置図

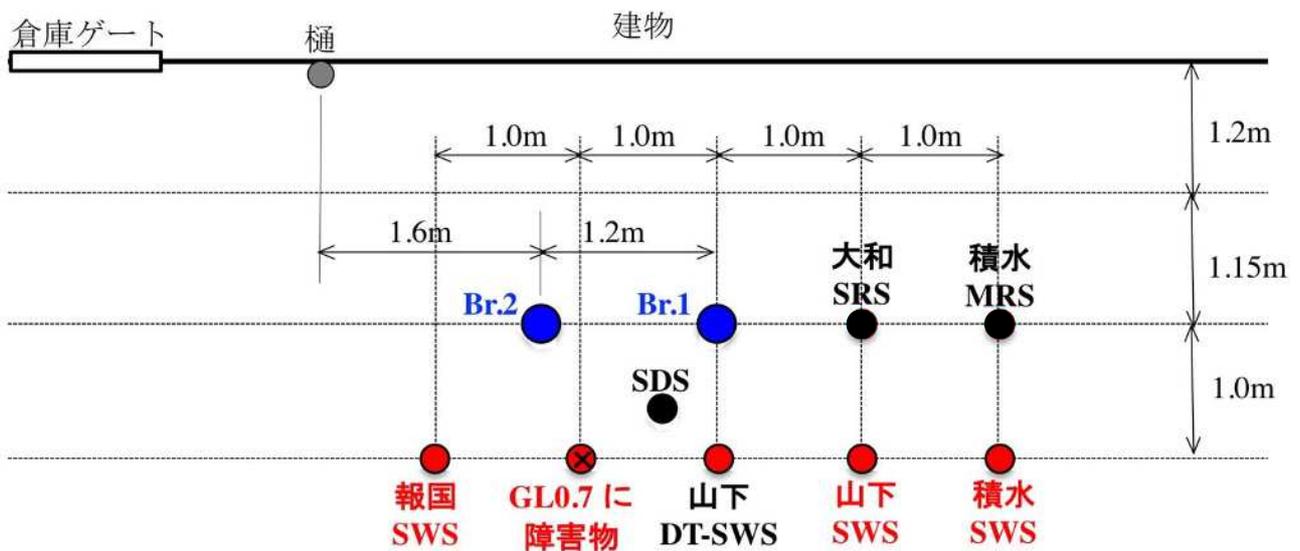


地盤調査の配置図

付録-7 千葉県浦安市鉄鋼通り3 (西尾レントオール浦安機材ヤード) : 2012年10/9~11/9 調査



地盤調査位置図



地盤調査の配置図

付録-9 千葉県浦安市港 49 (アールアンドアール敷地) : 2013 年 8/26~9/7 調査



地盤調査位置図

千葉県浦安市港49

上が北西方向

標高TP+3.60m

格子の間隔: 1m

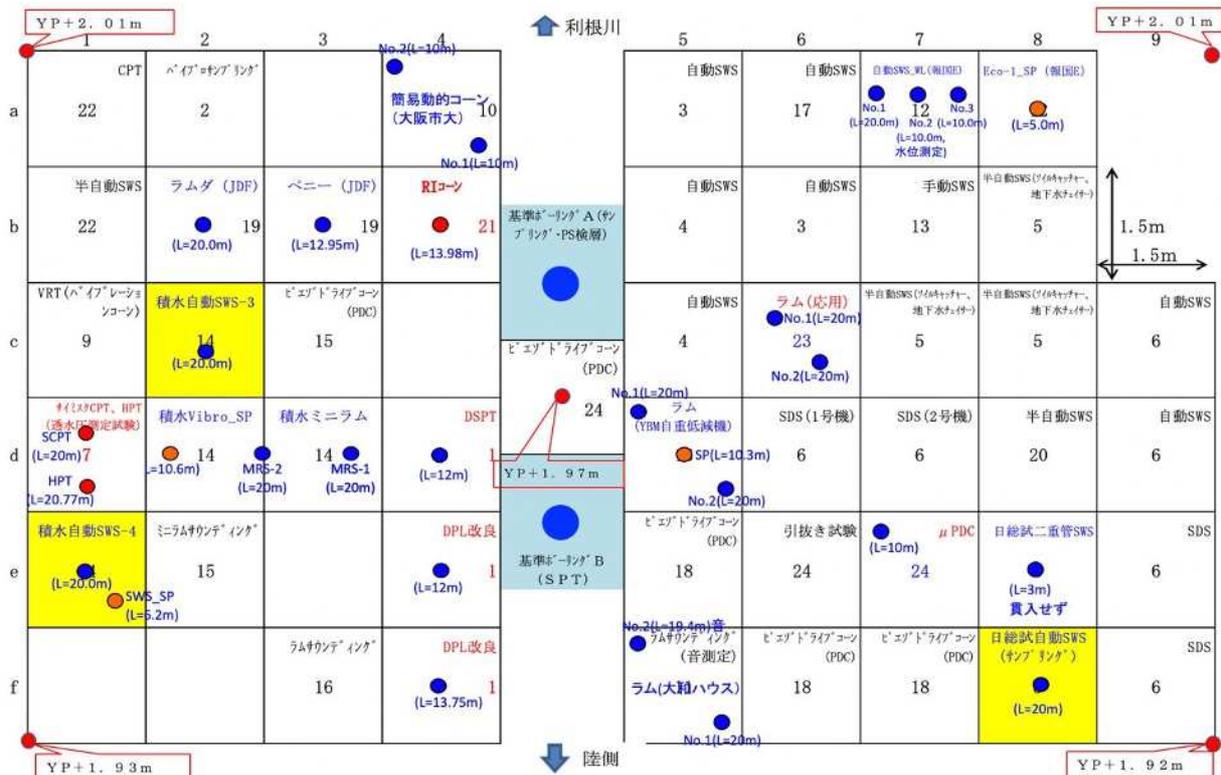
			SWS(G)-2 ● L=20m (9/5, S社)	SWS(G)-1 ● L=20m (9/4, S社)	MRS-2 ● L=20m (9/5, S社)	MRS-1 ● L=20m (9/4, S社)	PDCPT-2 ● L=10m (8/30, OCU)	PDCPT-1 ● L=10m (8/28, OCU)
		SPT, Vane ● SPT:L=20m Vane:L=32m	開閉式SP ● L=1,2,4m (9/5, S社)	ドリル式SP ● L=5m (9/5, S社)	手動Vibro SP ● L=8.8m (9/5, S社)	SRS-Y1-2 ● L=30m (9/2, D社)	SRS-Y1-1 (開閉式SP) ● L=20m (9/2, D社)	SRS-Y1-5 ● L=20m (12/12, 音測定)
			SRS-Y3-1 ● L=23m (9/5, Y社)	SRS-Y3-2 ● L=23m (9/5, Y社)	改良型開閉式SP ● L=10m (9/6, Y社)	SRS-Y1-4 ● L=20m (9/3, 音測定)	SRS-Y1-3 (先端式SP) ● L=6.8m (9/2, D社)	PDCPT-3 ● L=10m (9/2, OCU)
		SPT, SPS ● SPT:L=16m SPS:L=47.9m	Vibro SP-2 (Eco-1V) ● L=10m (9/6, H社)	SWS(H)-1 ● L=20m (9/6, H社)	改良型開閉式SP ● L=1, 5, 6m (9/6, Y社)	SWS(Y2) ● L=20m (9/4, N社)	DT-SWS(Y2) ● L=16m (9/5, N社)	
手動SWS-1 ● L=6.87m (K社)			Vibro SP-1 (Eco-1V) ● L=4m (9/6, H社)	Vibro SP-3 (Eco-1V) ● L=10m (9/6, H社)	SWS(H)-2 ● L=20m (9/6, H社)	DT-SWS(Y1) ● L=20m (9/5, Ya社)	SWS(Y1) (開閉式SP) ● L=20m (9/4, Ya社)	手動SWS-2 ● L=8.75m (9/2, OCU)

地盤調査の配置図

付録-10 千葉県香取市佐原口（地点2，佐原河川敷緑地）：2013年12/2～12/12調査



地盤調査位置図



地盤調査の配置図

付録-11 大阪市住之江区泉1（住之江下水処理場敷地）：2014年6/19～7/4調査



地盤調査位置図

大阪市住之江区泉（住之江下水処理場敷地内）

標高OP+3.0m(推定)

上が北方向

格子の間隔: 1m

Br. No.1 SPT L=25.0m (6/19~23)		DT- SWS(Y) L=12.65m (7/2)	PDCPT (OCU) L=3.5m (6/25~7/3)
SWS(N) 積水H L=11.8m (7/3)	SRS_Y3 大和H L=24m (7/2)	MRS-2 積水H L=20m (7/3)	SWS(Y)+SP 日総試 L=12.25m (7/1,2)
SWS(N)_S P L=2~9.8m (7/3)	Vibro_SP 積水H L=3~9.5m (7/4)	MRS-1 積水H L=21m (7/3)	
Br. No.2 GS-SP, L=3~23m (6/24~27)	SRS_Y1(音) 大和H L=19.2m (7/3)	SRS_SP 大和H L=2~10m (7/3)	

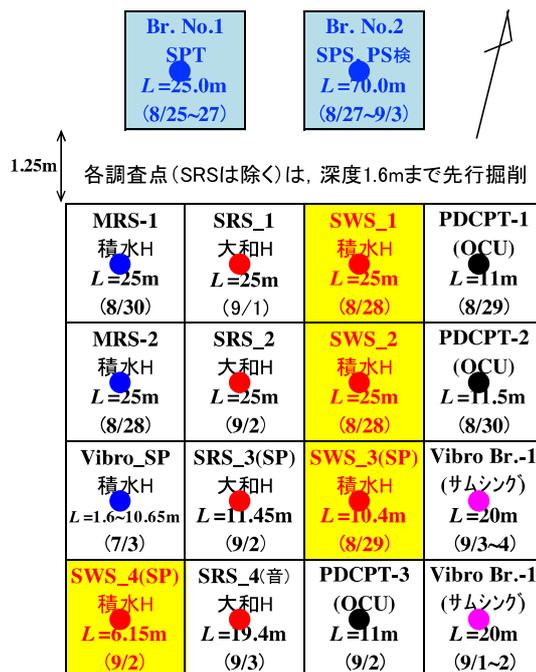
地盤調査の配置図

付録-12 千葉県浦安市千鳥 15 (西尾レントオール新浦安営業所) : 2014 年 8/25~9/6 調査



地盤調査位置図

千葉県浦安市千鳥15-20 (西尾レントオール新浦安営業所敷地内)
 標高TP+5.3m 格子の間隔: 1m



地盤調査の配置図

付録-13 長野県諏訪市湖南1（西山運動広場駐車場）：2015年7/21～7/31 調査

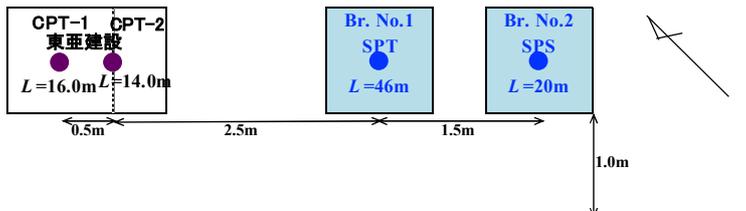


地盤調査位置図

長野県諏訪市湖南（西山運動広場）

標高TP+760.3m (近傍の値)

格子の間隔: 1m



手MRS-1 トラバース ● L=17.8m	MRS-1 積水H ● L=24.4m	SRS-1 大和H ● L=25.0m (金トルク)	SWS-1 積水H ● L=24.4m	SWS-1 日総試 ● L=23.0m	SWS-1 報国E ● L=25m	不攪乱試料採取 サムシング ● L=5.8m
手MRS-2 トラバース ● L=13.0m	MRS-2 積水H ● L=24.4m	SRS-2 大和H ● L=25.0m (1mトルク)	SWS-2 積水H ● L=26.5m	SWS-2 日総試 ● L=14.25m	SWS-2 報国E ● L=25m	Vibro Br サムシング ● L=20m
手SRS-1 トラバース ● L=23m	Vibro-SP 積水H ● L=10m	SRS-3(SP) 大和H・YBM ● L=10.45m	SWS-SP3 積水H ● L=10m	SWS-3 日総試 ● L=13.5m		
手SRS-2 トラバース ● L=23m	手SRS-SP トラバース ● L=10m	SRS-4(音) 市大・大和H ● L=23.35m SP:L=9.45m	SWS-SP5 積水H ● L=10m	SWS-1 トラバース ● L=23.32m	SWS-2 トラバース ● L=26.0m	PDCPT-2 (OCU) ● L=10.0m
DSPT 東邦地下 ● L=14.75m	DPM 東邦地下 ● L=16.5m	簡易SP-2 東邦地下 ● L=10.0m	SH-1 アサ/大成 ● L=9.5m	SH-2 アサ/大成 ● L=9.3m	PDCPT-3 (OCU) ● L=10.0m	PDCPT-1 (OCU) ● L=10.0m

地盤調査の配置図

付録-14 千葉県浦安市舞浜2（浦安市運動公園内）：2015年9/7～9/19調査



地盤調査位置図

千葉県浦安市運動公園（舞浜2丁目）

標高TP+3.75m (近傍の値)

格子の間隔:1m

	A	B	C
1	半自動MRS トラバース ● L=18.0m	Boring 基礎C-OCU SPT, SPS ● L=35m	半自動SRS トラバース ● L=25m
2		SWS+SP 海洋工業 ● L=4.6m	
3	SWS-1 トラバース ● L=25.0m	SWS-2 トラバース ● L=25.0m	SWS-1 日総試 通常SWS ● L=27.5m
4	SWS-1 報国E SP ● L=25.0m	SRS-1 大和H L=25.0m (全トルク)	SWS-2 日総試 センサー入り ● L=27.5m
5	SWS-2 報国E SP ● L=25.0m	SRS-2 大和H L=32.0m (1mトルク)	SWS-3 日総試 全センサー入り ● L=10.3m
6	SH-2 アサノ大成 ● L=5.5m	SRS-3 大和H・YBM YBM_SP ● L=10.4m	PDCPT-1 OCU ● L=10.0m
7	SH-1 アサノ大成 ● L=7.5m	SRS-4 OCU・大和H 音測定 ● L=14.2m	PDCPT-2 OCU ● L=9.0m
8		Vibro Br. サムシング 半ベネ・半コア ● L=20.55m	

地盤調査の配置図

付録-15 大阪市北区大深町（うめきた2期地区B区域）：2016年6/6～6/29 調査



地盤調査位置図

うめきた地盤調査（B区域内）

標高TP-0.41m (OP+0.89m)



2016/7/8

格子の間隔: 1m

追加試験

2016/12/17

SRS-5(摩擦)

大阪市大

L=24.0m

SRS-6(音)

大阪市大

L=22.0m

	A	B	C	D	E	F
1	PDCPT-1 (OCU) L=10.0m		SRS-1 大和H L=25.0m	SWS-1 積水H L=24.85m SWS-SP2 L=5.0m	液状化試験 積水化学 水圧計+加速度計 L=9.5m	Vibro Br サムシグ L=20.47m
2	PDCPT-2 (OCU) L=10.0m	MRS-1 積水H L=20m	SRS-2(摩) 市大・大和H L=25.0m	SWS-2 積水H L=25m		Rayleigh 積水化学 L=10.0m
3	SH-1 アサノ大成 L=10.02m	MRS-2 積水H L=25m	SRS-3(SP) 大和H・YBM L=10m	SWS-SP1 積水H L=9.2m	SWS-1 日総試 L=23.75m	SWS-1 報国E L=23.75m
4	SH-2 アサノ大成 L=10.03m	Vibro-SP 積水H L=9m	SRS-4(音) 市大・大和H L=25.0m	SWS-1 トラバース L=24.25m	SWS-2 日総試 L=24.0m	SWS-2 報国E L=24.0m
5	SRS-2 トラバース L=25m	SRS-1 トラバース L=25.0m	PDCPT-3 (OCU) L=10.0m	SWS-2 トラバース L=24.48m		Vibro-SP 報国E L=10m

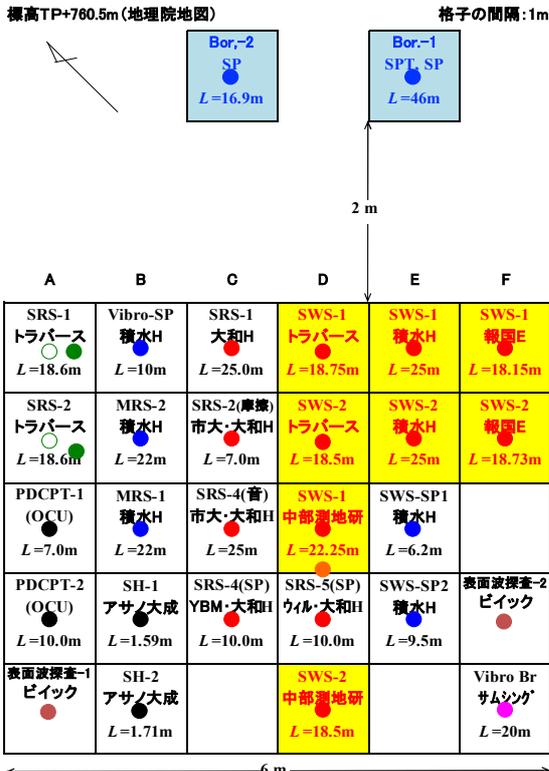
地盤調査の配置図

付録-16 長野県諏訪市上川 1 (虹の広場), 同四賀 49 (旧諏訪警察署) : 2016年 7/18~7/30 調査

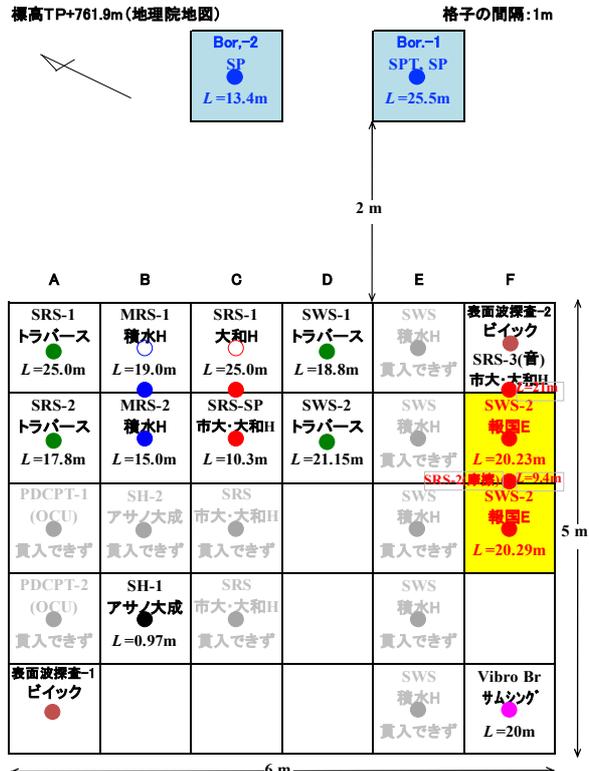


地盤調査位置図

長野県諏訪市上川 (地点 1)



長野県諏訪市四賀 (地点 2)



地盤調査の配置図

付録-17 熊本県益城町（町民グラウンド）：2016年9/19～9/27 調査

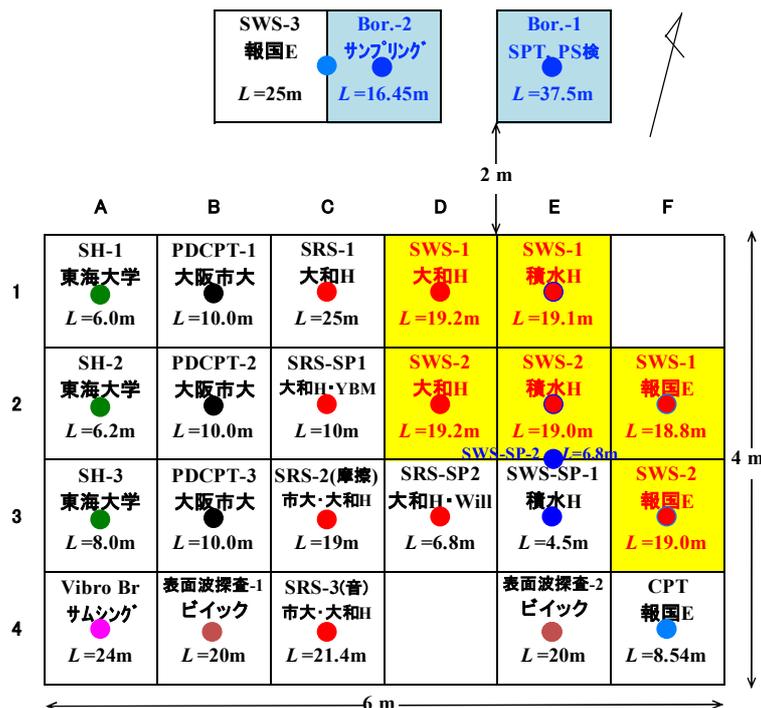


地盤調査位置図

熊本県益城町町営グラウンド

標高TP+9.9m

格子の間隔:1m



地盤調査の配置図

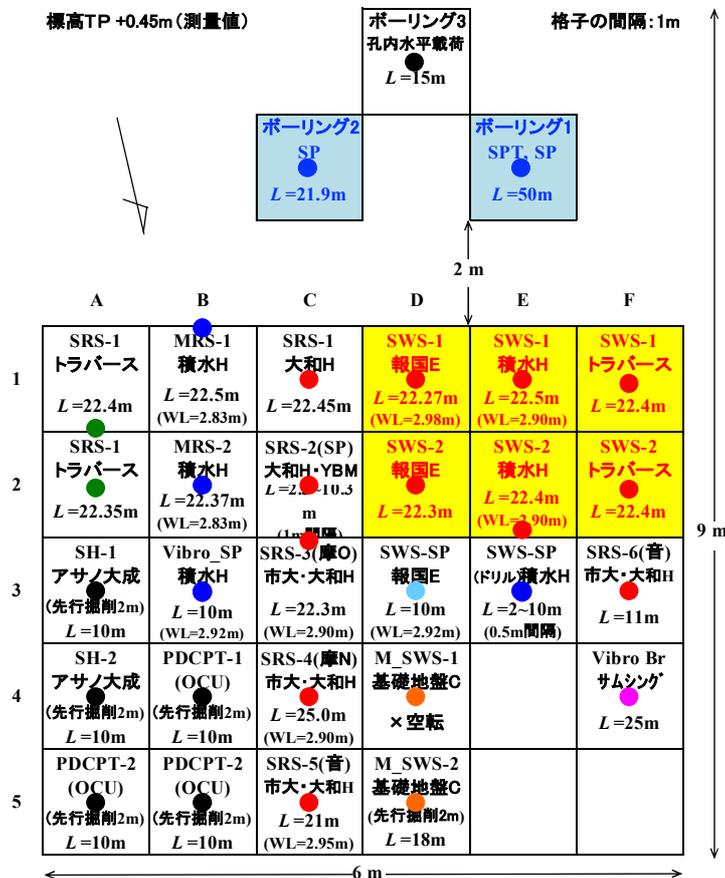
付録-18 兵庫県尼崎市築地（築地公園）：2017年6/5～6/17調査



地盤調査位置図

尼崎市築地地盤調査

標高TP +0.45m(測量値)



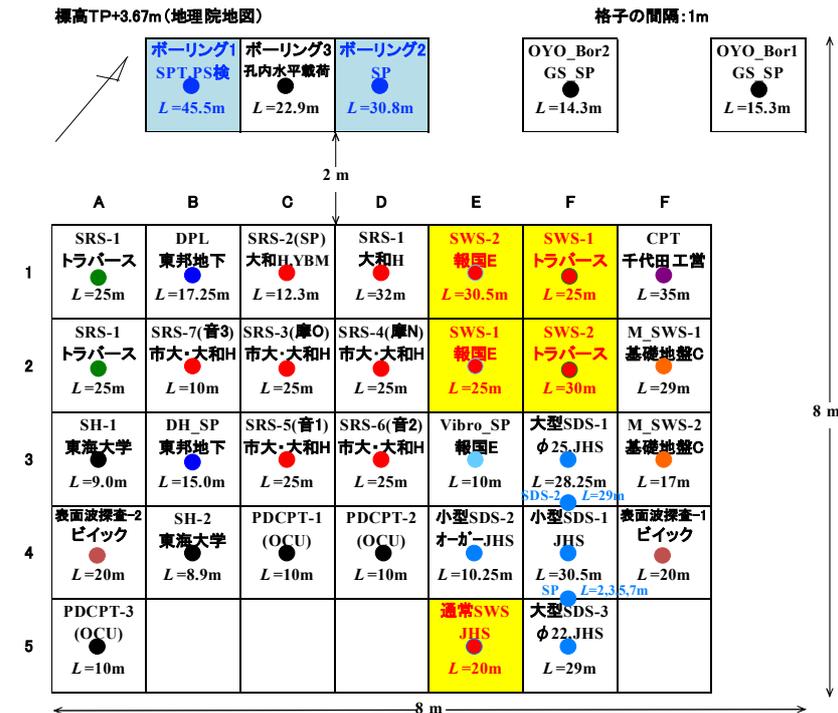
地盤調査の配置図

付録-19 千葉県浦安市高洲8再調査 (NTTコム グラウンド) : 2017年7/17~7/28 調査



地盤調査位置図

浦安市高洲8地盤調査 (再調査)



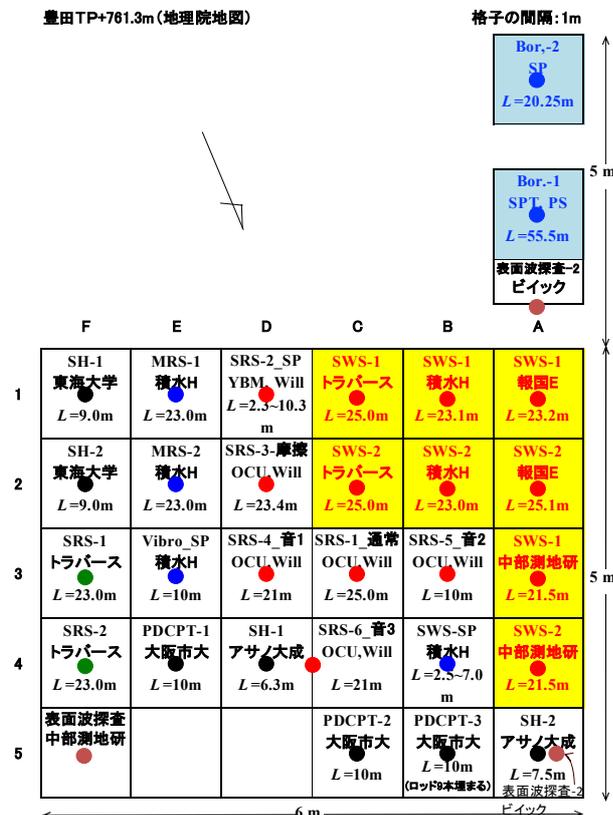
地盤調査の配置図

付録-20 長野県諏訪市豊田字湖畔 1866-1 (豊田終末処理場) : 2017年 8/18~8/30 調査
 長野県諏訪市湖南 1315-3 (湖南2) : 2017年 8/18~8/30 調査

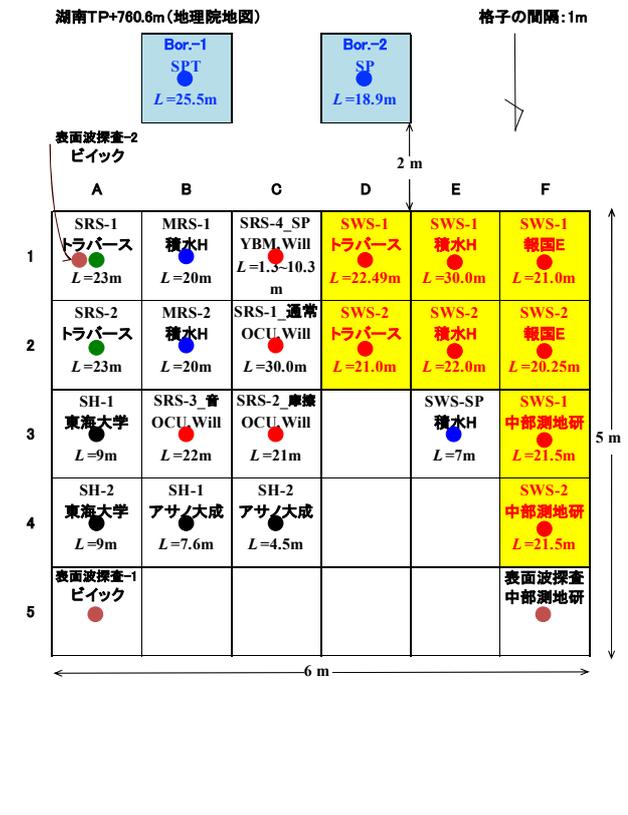


地盤調査位置図

長野県諏訪市豊田 (地点1)
 豊田TP+761.3m (地理院地図)



長野県諏訪市湖南2 (地点2)

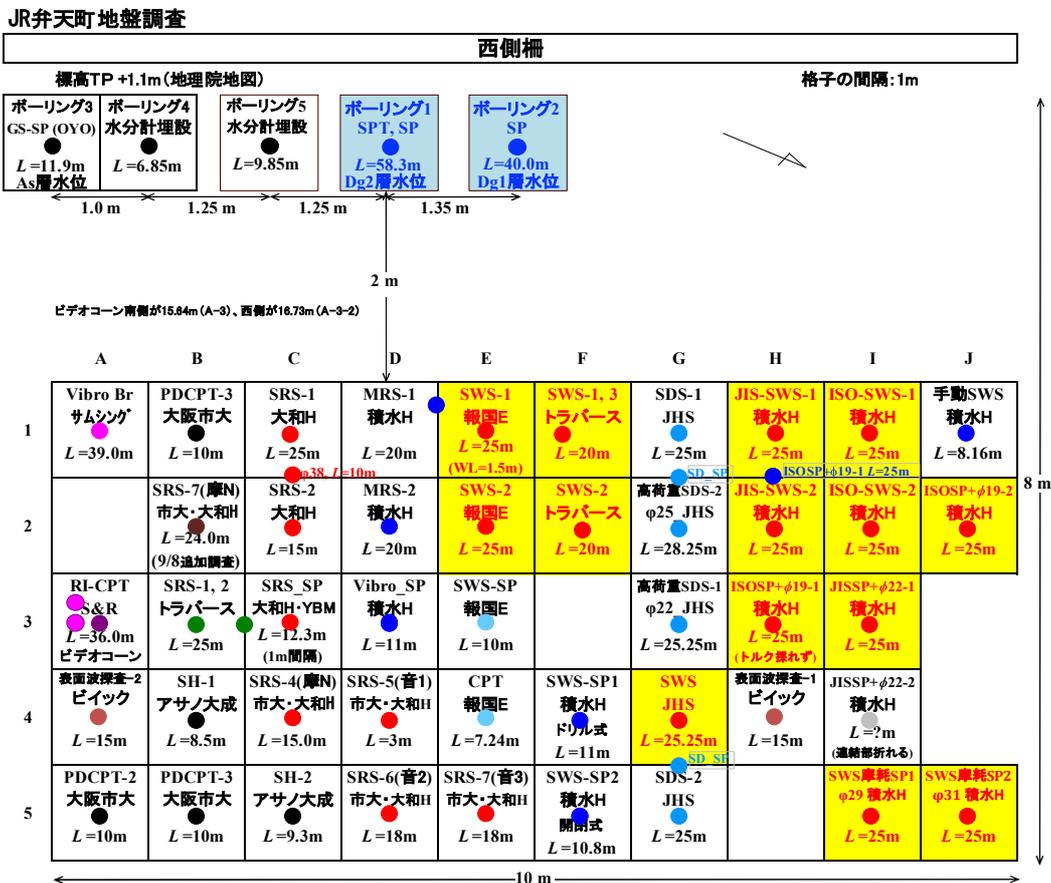


地盤調査の配置図

付録-21 大阪市港区波除3丁目 (JR 弁天町駅北側敷地) : 2018年6/4~6/23 調査



地盤調査位置図



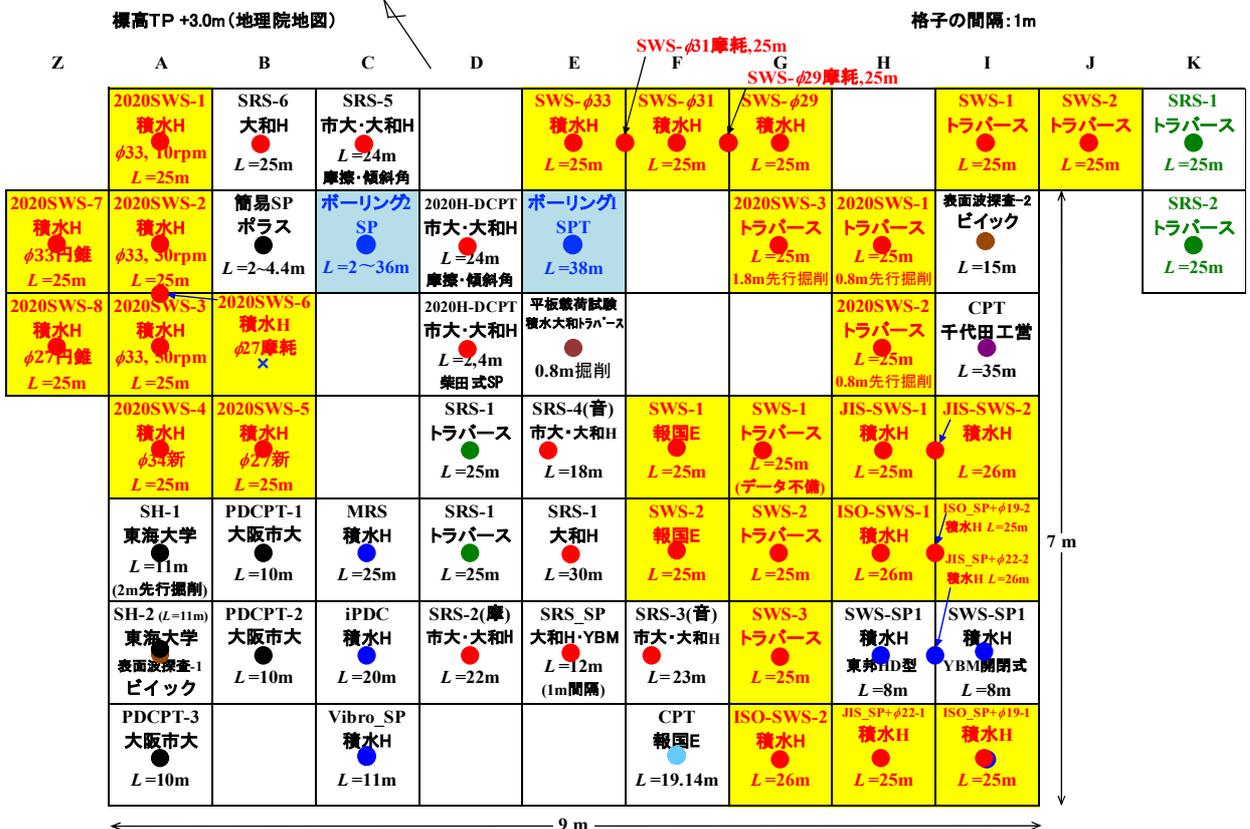
地盤調査の配置図

付録-22 埼玉県越谷市新川町 1-447 (ポラス暮らし科学研究所敷地) : 2018年 9/9~9/16 調査



地盤調査位置図

越谷市新川町地盤調査



地盤調査の配置図

付録-23 茨城県稲敷市浮島 6128 : 2018年 9/17~9/23 調査



地盤調査位置図

稲敷市浮島地盤調査

標高TP +3.2m (地理院地図)

格子の間隔: 1m

	J	A	B	C	D	E	F	G	H	I
-1					CPT 地盤試験所 L=25m					
0					2020H-DCPT 大和H L=24m 摩擦、傾斜角			2020SWS-4 積水H φ33, 10rpm L=3.25m	2020SWS-1 積水H φ33, 10rpm L=20m	
1	SWS-2 トラバース L=20m	SWS-2 トラバース L=20m	SRS-1 トラバース L=20m	ボーリング As SP L=2.5-14.5m	2020H-DCPT 大和H L=1-9m 集約式SP	ボーリング SPT L=30m	SWS-φ31 積水H L=20m SWS-φ29 傾斜 20m	φ33, 50rpm L=5.07m 同じ孔で継続	2020SWS-2 積水H φ33, 30rpm L=20m	
2		SRS-2(音2) L=17m	SRS-1 トラバース L=20m	SRS-1(音1) L=20m	SRS-5 大和H L=25m 摩擦、傾斜角	SWS-φ33 積水H L=20m	SWS-φ31 積水H L=20m		2020SWS-3 積水H φ33, 35rpm L=20m	
3	2020SWS-1 トラバース L=20m	SRS-1 トラバース L=25m	MRS 積水H L=25m	seismicPDC-1 応用地質 SRS仕様 L=20m	SRS-1 大和H L=25m	SWS-1 トラバース L=25m	SWS-1 韓国E L=25m	JIS-SWS 積水H L=20m	ISO-SWS 積水H L=20m	
4	2020SWS-2 トラバース L=20m	SRS-2 トラバース L=25m	事前SWS 大和H+Sam L=21.5m	seismicPDC-2 応用地質 MRS仕様 L=10m	SRS-2(摩) 市大・大和H L=20m	SWS-2 トラバース L=25m	SWS-2 韓国E L=25m	JIS-SP+φ22 積水H L=20m	ISO-SP+φ19 積水H L=20m	
5	2020SWS-3 トラバース L=20m	表面波探査-1 ピック L=15m	iPDC 積水H L=25m	PDCPT-2 大阪市大 L=10m	SRS-SP 大和H+YBM L=10m (1m間隔)			SWS-SP1 積水H 東邦HD型 L=7m	SWS-SP3 積水H YBM,ドリル L=4m	
6		PDCPT-1 大阪市大 L=10m	Vibro_SP 積水H L=10m	PDCPT-3 大阪市大 L=10m	SRS-3(音) 市大・大和H L=6.6m	SRS-4(音) 市大・大和H L=20.4m	CPT 韓国E L=3.73m	SWS-SP2 積水H SD_SP L=3m	表面波探査-2 ピック L=15m	Vibro Br サムシグ L=31m

地盤調査の配置図

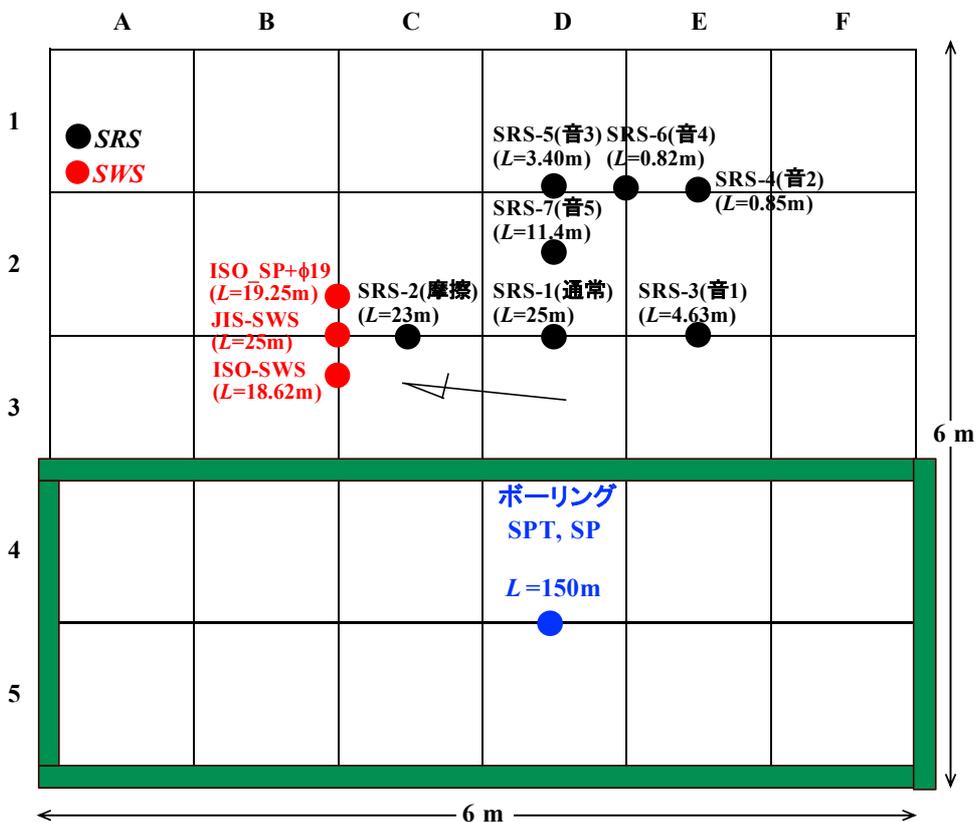


地盤調査位置図

舞洲地盤調査

標高TP +4.2m (地理院地図)

格子の間隔: 1m



地盤調査の配置図

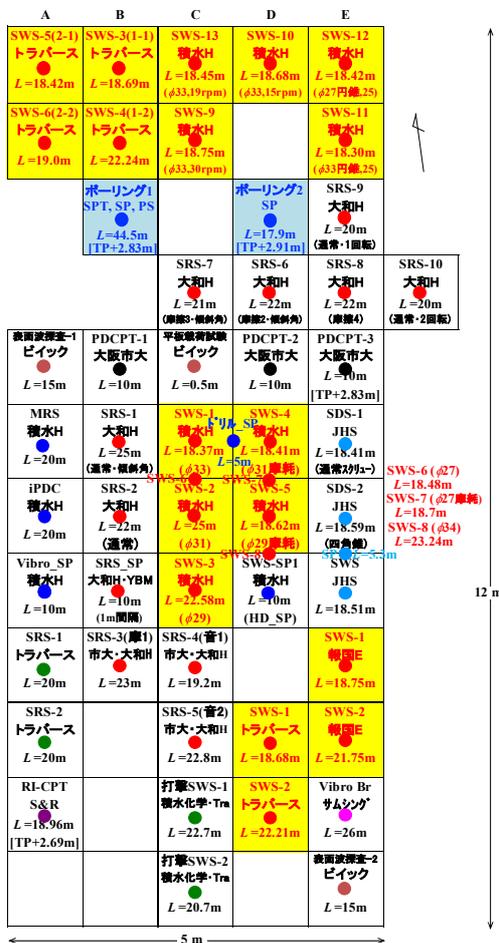


地盤調査位置図

東大阪市西岩田地盤調査 (2019/8/19～31, 2020/1/18, 2020/7/4)

標高TP +2.0m(地理院地図)

格子の間隔:1m



地盤調査の配置図



地盤調査位置図

白石町福富地区地盤調査

標高TP +0.8m (地理院地図)

格子の間隔: 1m

	A	B	C	D	E	F	G	H
	表面波探査-1 ピイック L=15m 平板載荷			ボーリング1 SPT L=32m		ボーリング2 SP L=15.9m		ボーリング3 SP L=12.9m
0	PDCPT-4 大阪市大 L=10m	PDCPT-3 大阪市大 L=10m	PDCPT-6 大阪市大 L=10m	SDS-1 JHS L=20m	SDS-2 JHS L=20m	SWS JHS L=20m		SWS-3 トラバース L=20m
1	MRS 積水H L=20m	PDCPT-5 大阪市大 L=10m	SRS-1 大和H L=25m (通常・傾斜角)	SD-SP JHS L=2,4,6,8m	SWS-7 積水H L=20m (φ29摩耗)	SWS-6 積水H L=20m (φ31摩耗)	SWS-E 報国E L=20m	SWS-1 トラバース L=20m (データ未保存)
2	iPDC 積水H L=20m	PDCPT-2 大阪市大 L=10m	SRS-2 大和H L=22m (自沈速度速く)	井上・YBM L=19.4m	SWS-9 積水H L=16m (自沈20mm/s)	SWS-8 積水H L=20m (φ27摩耗)	SWS-2 報国E L=20m	SWS-2 トラバース L=20m
3	Vibro_SP 積水H L=10m	PDCPT-1 大阪市大 L=10m	SRS_SP 大和H・YBM L=10m (1m間隔)	SWS-3 井上・YBM L=21m	SWS-10 積水H L=16m (自沈10mm/s)	SWS-3 積水H L=20m (φ29)	SWS-1 積水H L=20m (φ33)	HDS-1 積水化学・Tra L=20m
4		SRS-4(音1) 市大・大和H L=23m	SRS-3(摩) 市大・大和H L=24m	SWS-2 井上・YBM L=19.6m	SWS-11 積水H L=16m (自沈40mm/s)	SWS-4 積水H L=20m (φ27)	SWS-2 積水H L=20m (φ31)	HDS-2 積水化学・Tra L=20m
5	SRS-1 トラバース L=20m	SRS-5(音2) 市大・大和H L=23m		SWS-15 積水H L=16m (自沈判定時間0)	SWS-12 積水H L=16m (自沈40mm/s)	SWS-5 積水H L=20m (φ34)	CPT 報国E L=16.48m	表面波探査-2 ピイック L=15m
6	SRS-2 トラバース L=20m			SWS-SP2 積水H L=1-6.5m (ドリルSP)	SWS-SP1 積水H L=1-10m (HD_SP)	SWS-14 積水H L=20m (J18モー-F4摩耗)	SWS-13 積水H L=20m (J18モー-F4摩耗)	

地盤調査の配置図

付録-27 大阪市此花区桜島1 (安治川桜島入堀上流右岸) : 2019年10/15~10/30 調査

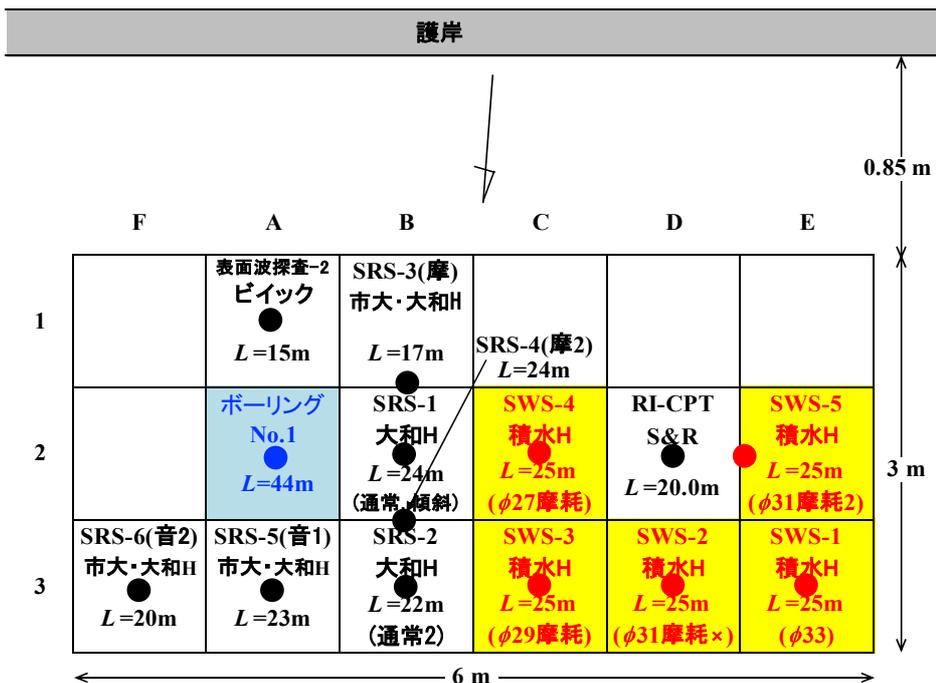


地盤調査位置図

桜島地盤調査No. 1

標高OP +2.50m(測量値)

格子の間隔: 1m

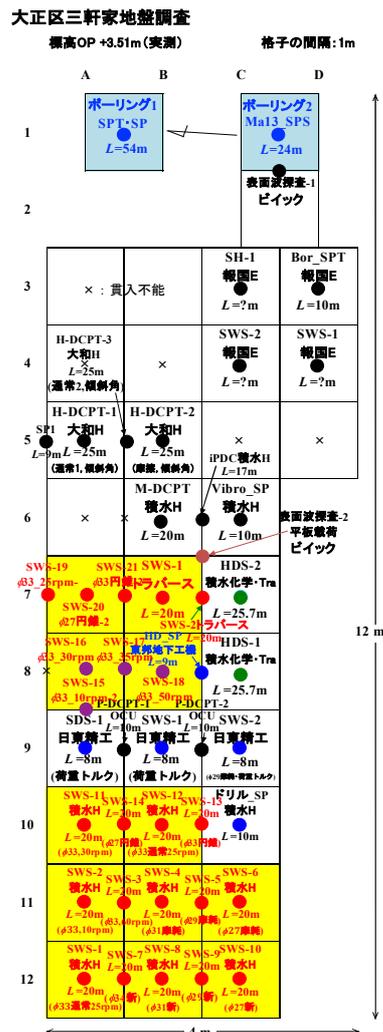


地盤調査の配置図

付録-28 大阪市大正区三軒家東3丁目6（木津川水門西側）：2020年9/23～10/3 調査



地盤調査位置図



地盤調査の配置図