

北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託

報 告 書

平成27年10月

松阪市都市整備部 営繕課

松 阪 鑿 泉 株 式 会 社

目 次

	Page
1. 業 務 概 要.....	1
2. 調 査 方 法.....	5
2.1. 機械ボーリング.....	5
3. 調査地付近の地形・地質概要.....	9
3.1. 地 形 概 要.....	9
3.2. 地 質 概 要.....	11
4. 調査結果.....	13
4.1. 地層断面図と各層の特徴.....	13
4.2. 標準貫入試験結果.....	17
4.3. 孔内水平載荷試験結果.....	19
4.4. 室内土質試験結果.....	20
5. 考 察.....	26
5.1. 地盤定数の設定.....	26
5.2. 支持地盤と基礎形式について.....	30
5.3. 杭の支持力の試算.....	35
5.4. 地盤の液状化について.....	37
5.5. 設計・施工上の留意点.....	45
《 卷末資料 》	
ボーリング柱状図.....	卷末-2
孔内水平載荷試験データシート.....	卷末-8
室内土質試験データシート.....	卷末-11
作業状況写真.....	卷末-27

1. 業 務 概 要

(1) 業 務 名 : 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託

(2) 業務場所 : 松阪市曾原町地内
図1-1に調査地案内図を示す。

(3) 工 期 : 自) 平成27年 9月 1日
至) 平成27年10月30日

(4) 目 的 : 本業務は、建築物等の基礎構造設計に必要な支持地盤位置や地層構成の確認、せん断定数等の基礎地盤の工学的特性の把握などを目的として実施した。

(5) 業務内容 : ①機械ボーリング 5箇所 延べ150m
②標準貫入試験 5箇所 延べ150回
③孔内水平載荷試験 1回
④室内土質試験 1式
⑤解析等調査 1式
業務内容の内訳を表1-1に示す。

(6) 発 注 者 : 松阪市 都市整備部 営繕課

(7) 受 注 者 : 松阪鑿泉株式会社

〒515-0064 三重県松阪市五反田町1-1221-5

TEL 0598-21-4837 FAX 0598-21-7896

主任技術者 : 由井 恒彦 (技術士 建設部門[土質及び基礎])

現場代理人 : 手塚 大貴 (地質調査技士)

現場代理人補佐 : 秋永 昇久 (地質調査技士)

表1-1 調査実施数量表

工 種	内 容		ボーリング地点					合 計
	孔径・方向	土質・地質	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	
機械 ボーリング (m)	φ 66mm 鉛直	粘土・シルト	1.05	1.35	2.40	1.25	0.00	6.05
		砂・砂質土	25.55	18.95	20.60	18.55	21.10	104.75
		礫混じり土砂	5.40	8.70	10.00	9.20	8.90	42.20
	合 計	32.00	29.00	33.00	29.00	30.00	153.00	
標準貫入試験 (回)	粘土・シルト		2	2	3	2	0	9.00
	砂・砂質土		25	19	19	17	21	101.00
	礫混じり土砂		5	8	11	10	9	43.00
	合 計		32	29	33	29	30	153.00
孔内水平載荷 試験(箇所)	普通載荷		—	—	—	1	—	1
足場仮設 (箇所)	平坦地足場 50m 以下		1	1	1	1	1	5
室内土質試験	土粒子の密度試験		—	—	7	—	—	7
	土の含水比試験		—	—	7	—	—	7
	土の粒度試験(フルイ+沈降)		—	—	2	—	—	2
	土の粒度試験(フルイ分析)		—	—	5	—	—	5
	土の液性・塑性限界試験		—	—	2	—	—	2

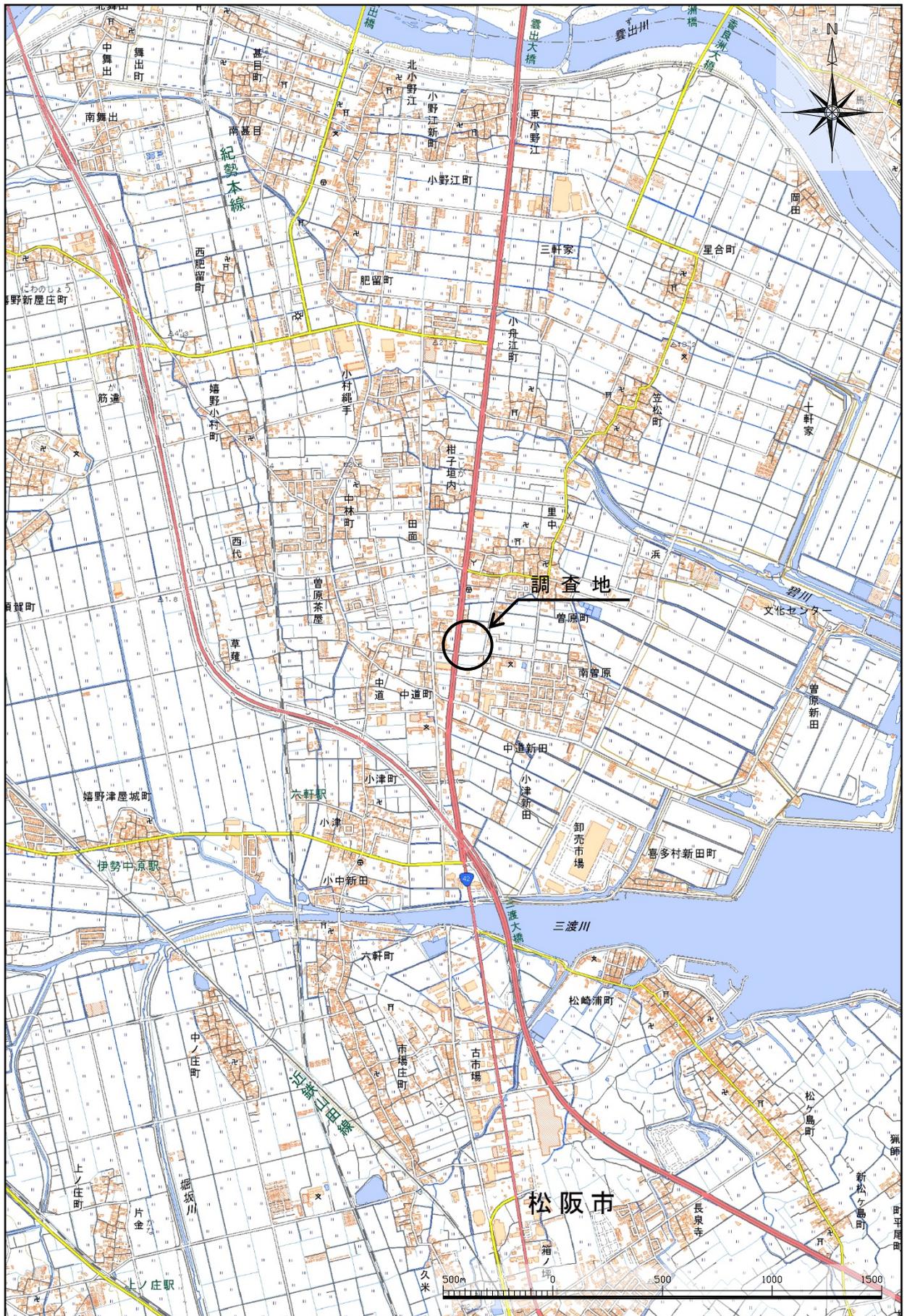
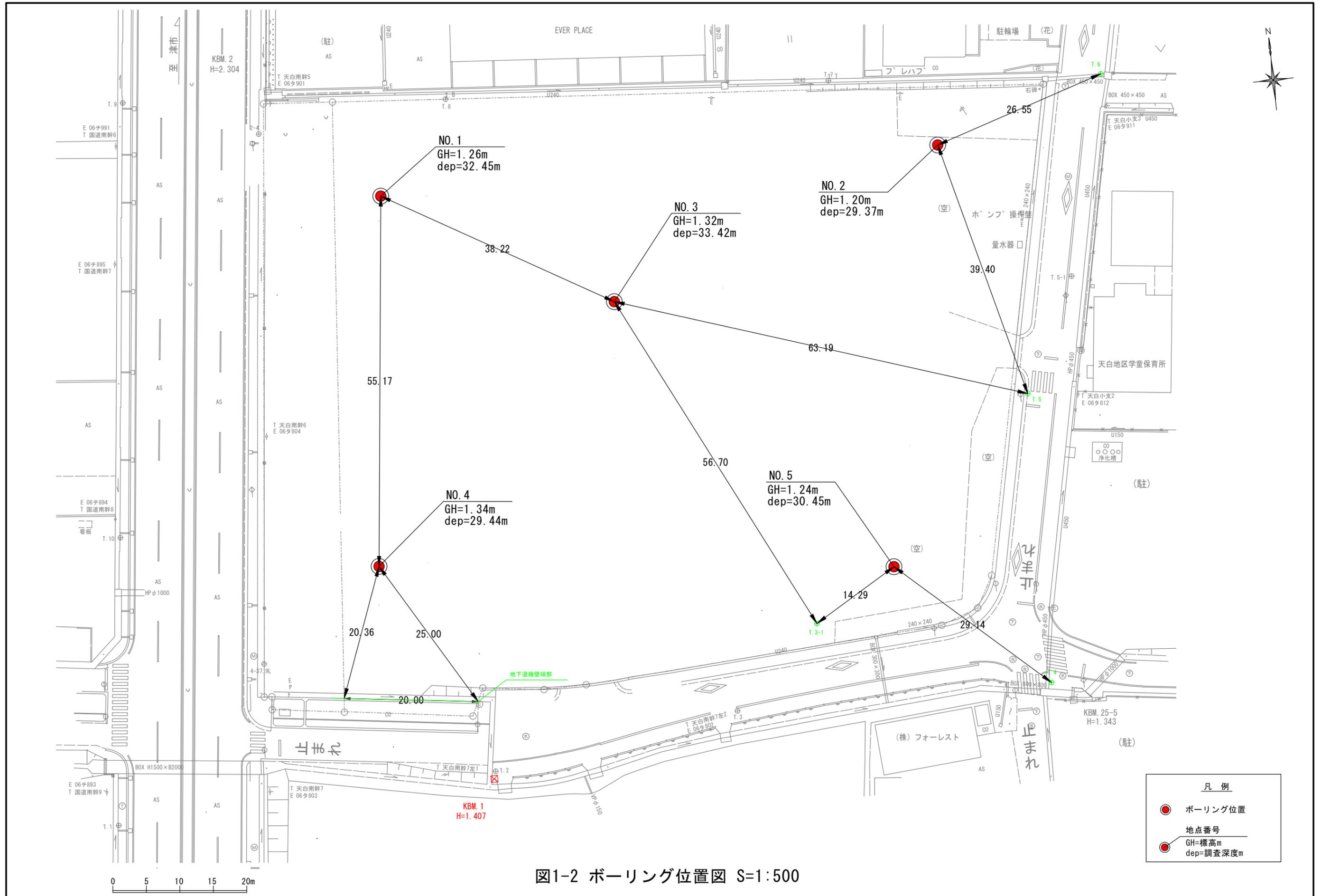


図1-1 調査地案内図(S=1:25,000)

(国土地理院「電子国土地図」 <http://www.gsi.go.jp/> より)



2. 調査方法

調査は、建築物基礎の支持地盤位置の確認と地層構成の把握などを目的に、標準貫入試験併用ボーリング、孔内水平載荷試験及び室内土質試験を行った。

以下に調査方法、試験方法を概説する。

2.1. 機械ボーリング

機械ボーリングの概要を図2-1に示す。

ボーリングは、地層構成の把握などに必要な土質試料の採取と標準貫入試験への利用を目的に、ロータリー式ボーリング機械を使用して行った。

ボーリングの方法は、コアチューブ先端に取り付けたビットに回転と給圧を与えて地盤を掘削し、掘り屑(スライム)を清水またはベントナイト泥水で孔外に排除して掘進を行うものであり、掘削孔径φ66mmで、標準貫入試験を併用したノンコアボーリングとした。

また、掘進時の孔壁の崩壊防止は、原則としてケーシングチューブの挿入により行った。

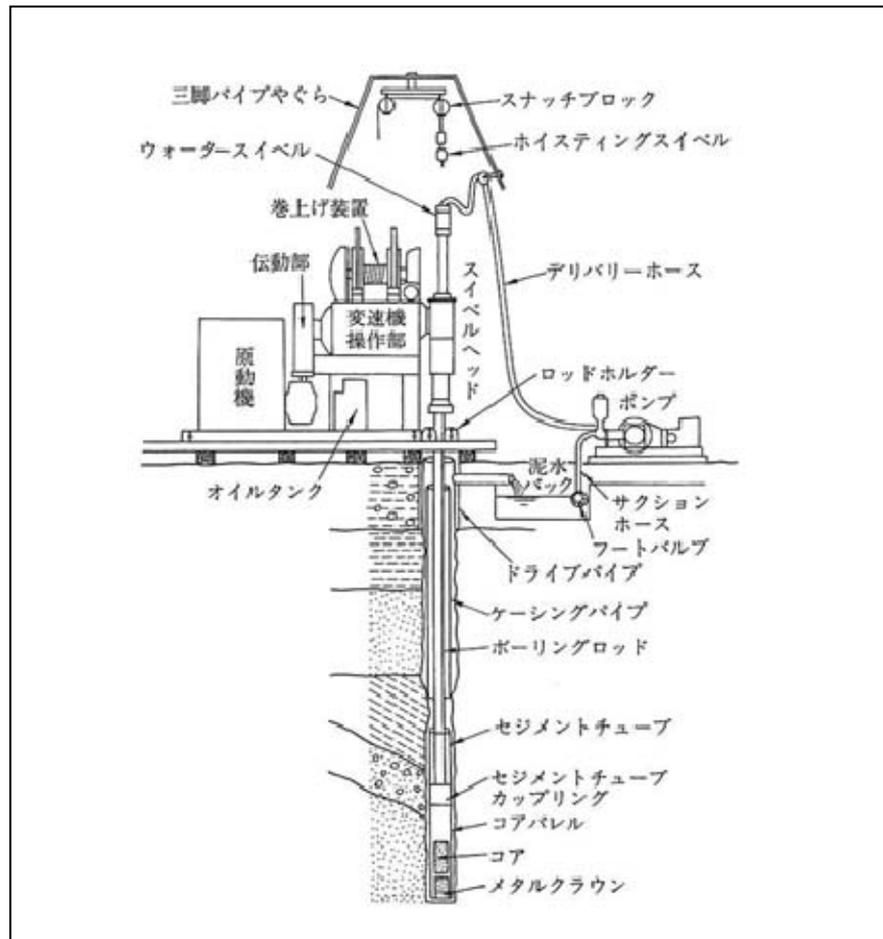


図2-1 機械ボーリングの概要図

2.2. 標準貫入試験

標準貫入試験の概要を図2-2、図2-3に示す。

標準貫入試験は、原位置における土の硬軟や締まり具合を知るため、ボーリングと併行して深度1.0m 毎を基本に、JIS A 1219に準じて実施した。

この試験は、 $63.5 \pm 0.5 \text{ kg}$ のハンマーを $76 \pm 1 \text{ cm}$ の高さからロッドに取り付けたアンビル上に自由落下させ、SPT サンプラーを30cm 貫入させるのに要した打撃回数（N値）を求めるものである。

試験に際し、ロッド或いはハンマーの自重でサンプラーが貫入する場合はその貫入量を記録し、逆に30cm 未満の貫入で打撃回数が50回（あるいは60回）を越える場合は、50回（あるいは60回）の打撃に対する貫入量を記録した。

また、サンプラーで採取した土質試料は、肉眼・触感観察によって土性を判別し、この結果とボーリング掘進状況記録などと併せ「ボーリング柱状図作成要領（案）解説書（改訂版）平成11年5月（財）日本建設情報総合センター」に従って土質柱状図を作成した。

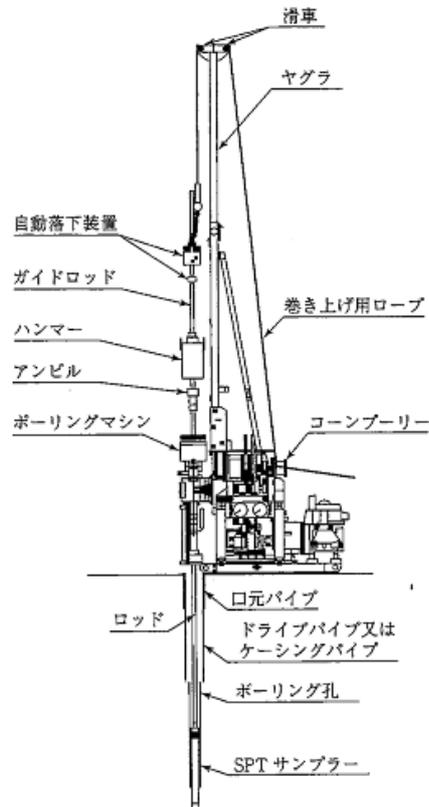
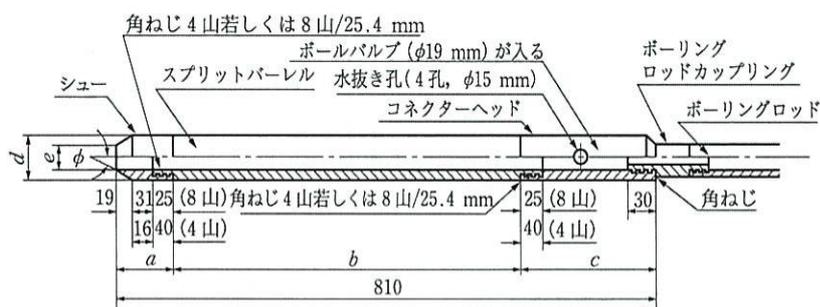


図2-2 標準貫入試験装置略図

（地盤調査の方法と解説 地盤工学会
平成25年 p295）



単位 mm (φ以外)

各部	全長	シユー長 a	バーレル長 b	ヘッド長 c	外径 d	内径 e	シユー角度 ϕ	刃先肉厚 t
寸法	810 ± 1.0	75 ± 1.0	560 ± 1.0	175 ± 1.0	51 ± 1.0	35 ± 1.0	$19^\circ 45' \pm 8'$	1.15 ± 0.05

図2-3 SPT サンプラー

（地盤調査の方法と解説 地盤工学会 平成25年 p284）

2.3. 孔内水平載荷試験

孔内水平載荷試験は、地盤の変形特性を得ることを目的にプレッシャーメータ法により行った。

試験方法は、ボーリング孔内にゴムチューブゾンデを挿入し、圧力水を注入することによってゴムチューブを加圧膨張させ、このときの圧力とチューブの膨張による孔壁変形量の関係を求め、地盤の変形特性を求める。

本業務では、基礎地盤コンサルタンツ(株)製「PM-5MW」を使用した。

図2-4に孔内水平載荷試験装置の外観を示す。

本装置は、1室型ゴムチューブゾンデおよび手動ポンプによる加圧法を採用した等分布荷重方式を採用している。このため、従来型の高圧ガスによる圧力源を用いた方式に比べ、コンパクトで取扱いが容易な利点がある。

試験実施位置は、杭基礎の杭頭変位が杭頭周囲の地盤の変形特性に支配されるが、現段階で杭頭位置が不明瞭であることから、本調査ではNO.4地点のGL-3m付近で実施した。

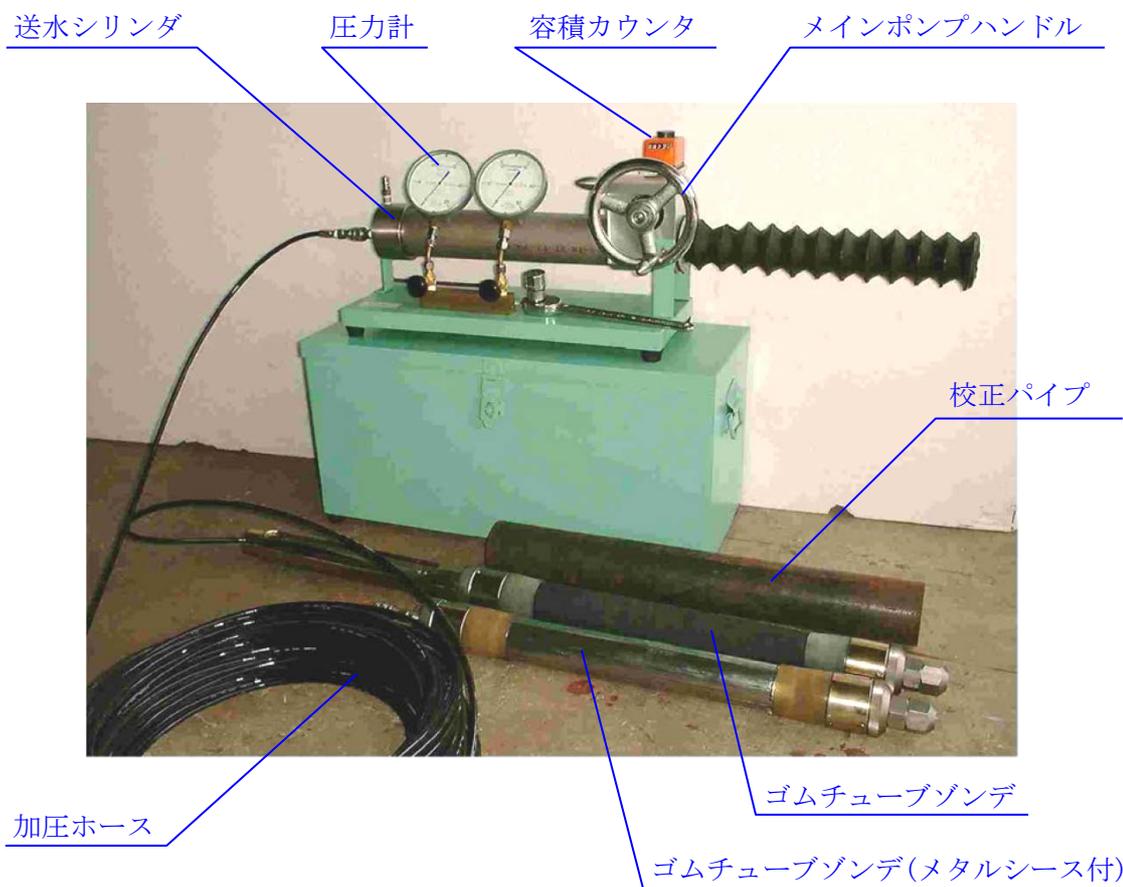


図2-4 孔内水平載荷試験装置外観

2.4. 室内土質試験

室内土質試験は、土の基本的な性質の把握や液状化判定への使用を目的に、標準貫入試験により採取された試料を用いて、表2-1に示す物理試験を実施した。

表2-1 室内土質試験一覧表

分類	試験名 (基準)	適用	主な用途	備考	
			求められる値		
物理試験	土粒子の 密度試験 JIS A 1202	9.5mm フルイ を通過した 土粒子。	基本的性質	ρ_s	土粒子の密度は、土の固体部分の単位体積あたりの平均質量を表し、土の性状を把握するための基本的なデータである。一般的な土か特殊な土かを判定するデータのの一つであり、また、間隙比や飽和度の算定、粒度試験（沈降分析）における質量百分率の算定などに使用される。
	粒度試験 (フルイ分析、 沈降分析) JIS A 1204	高有機質土 以外の土で、 粒径75mm 未 満の土粒子 で構成され る土。	土の分類、液状化判定、 透水係数推定	粒径加積曲線、 D10、D20、 U_c 等	粒度は、土を構成する土粒子径の分布状態を質量百分率で表したものであり、主に礫質土、砂質土、粘性土などのように土の定性的な分類に使用される。明らかに粗粒土主体と判断出来る場合にはフルイ分析のみで良いが、細粒分が混入する場合には沈降分析まで実施しておくことが望ましい。
	液性限界・ 塑性限界試験 JIS A 1205	粒径 $425\mu\text{m}$ ふるいを通 過した土。	細粒土の分類、安定度の 判定、圧縮指数等の推定	液性限界WL、塑性限界 WP、塑性指数 I_p など	土は含水量により「固体～半固体状～塑性状～液状」と状態が変化する。状態の変移点を含水比で表したものが液性限界、塑性限界である。主に細粒土の分類や細粒土が外力を受けた時の流動や変形に対する抵抗度合いの把握に利用される。また、地震時の液状化判定実施の必要性を判断する目安としても利用される。

3. 調査地付近の地形・地質概要

調査地は、JR 紀勢本線六軒駅の北東約1km にあり、伊勢湾岸から西に約2km に位置する。以下に、調査地周辺の地形・地質概要について記す。

3.1. 地 形 概 要

調査地は、伊勢平野の南部に位置し、地形・地質資料（土地分類基本調査 松阪、三重県 など）では南勢平野と呼ばれている。

南勢平野は、櫛田川を中央にして北の雲出川、南の宮川など、伊勢湾に注ぐ主要な河川により形成された平野であり、鈴鹿山脈に接した北勢平野に比べると台地・段丘地形の比高が全体に小さいことが特徴である。この地形的な比高の小ささは、第四紀の地殻変動が活発でないことを反映していると考えられている。

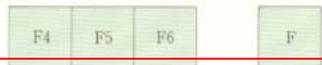
また、雲出川三角州を中心にした低地は、雲出川低地と呼ばれ、調査地を含む泥質の氾濫原上に、雲出川の両岸に沿って砂質の自然堤防が良好に発達するほか、J R 紀勢本線から海岸部にかけて、数列の砂州が認められる。



凡例（抜粋）

低地 LOWLANDS

谷底平野・氾濫平野
Valley plain・Flood plain



三角州・海岸平野
Delta・Coastal plain

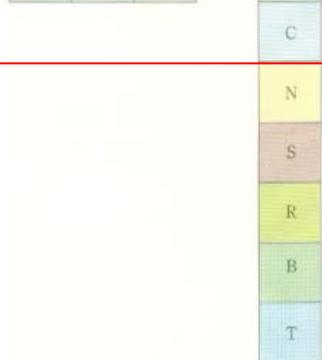
自然堤防
Natural levee

砂州・浜堤
Bar・Beach ridge

河原
Dry river bed

海浜
Beach

干潟
Tidal flat



その他 MISCELLANEOUS

浅い谷
Shallow valley

干拓地
Reclaimed land

盛土地
Heaped land

人工改変地
Artificially flattened area

河川・池
River・Pond

主要道路
Main road

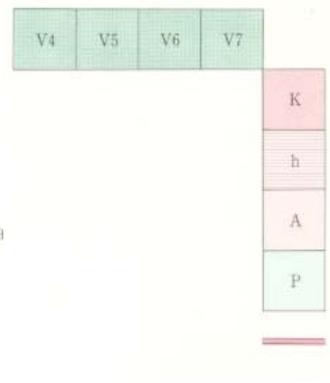


図 3-1 調査地付近の地形分類図

出典：土地分類基本調査 5万分の1 地形分類図「松阪」 H3.2 三重県地域振興部

3.2. 地質概要

ここでは、「伊勢湾南部臨海地帯の地盤 1962年 建設省計画局・三重県編」などを参考に、調査地域の地層構成と各層の特徴について概説する。

表3-1に調査地域の地層層序、図3-2に伊勢湾岸沿いの模式断面図を示す。

これらによれば、伊勢湾岸沿いの地層は上位より、沖積層の上部砂礫層（富田浜層）、上部粘性土層（四日市港層）、洪積層の下部砂礫層（伊勢神戸層・平田層）、下部粘土層（古伊勢湾層）、高位段丘層及び第三紀層（奄芸層群・一志層群）で構成されている。

ただし、松阪付近には下部粘土層と高位段丘層は存在しないとされており、また、上部の沖積層は各河川の影響により構成土質の変化が大きいことが考えられる。

以下、今回確認した洪積層の下部砂礫層（伊勢神戸層・平田層）までの各層について、上記文献によるごく一般的な特徴を示す。

上部砂礫層（富田浜層）

この層は、臨海低地部にほとんど連続して分布しており、厚さは各河川沿いで5～10m、その他の場所では5m以下が多い。

土質は、大部分が細～中粒砂で、下部はシルト～粘土混じりになることが多く、シルト層を薄層として伴ったりレンズ状に挟んだりすることがある。

N値は10～20を示す場合が多い。

上部粘土層（四日市港層）

この層は、臨海部では富田浜層の下位に厚さ5～10mで分布し、海に向かって厚くなり内陸部で消失する傾向にある。

土質は、正規圧密を受けた粘土～シルトが主体で、場所により厚さ1～2mの砂層を挟む。

N値は6以下が大半を占めている。

下部砂礫層（伊勢神戸層・平田層）

この層は、伊勢湾南部地帯全般に連続して分布し、砂分の多い上部（伊勢神戸層）と、礫分優勢で砂層やシルト層をあまり挟まないが全体に粘土で膠結されている下部（平田層）に区分される。

N値は、上部下部を通じて20～50の場合が多く、砂礫層では80以上に達することも少なくない。砂層では多くは10～30を示し、挟在する粘性土では概ね8以上を示す。

表3-1 伊勢湾南部臨海地帯地盤構成単位分類表
 (伊勢湾南部臨海地帯の地盤 1962年 建設省計画局・三重県編 p8)

地盤地質区分		地質学的区分
沖積層	上部砂レキ層	富田浜層
	上部粘土層	四日市港層
洪積層	下部砂レキ層	伊勢神戸層 平田層
	下部粘土層	古伊勢湾層
	基盤層	高位段丘層 奄芸志層群
第三紀層		

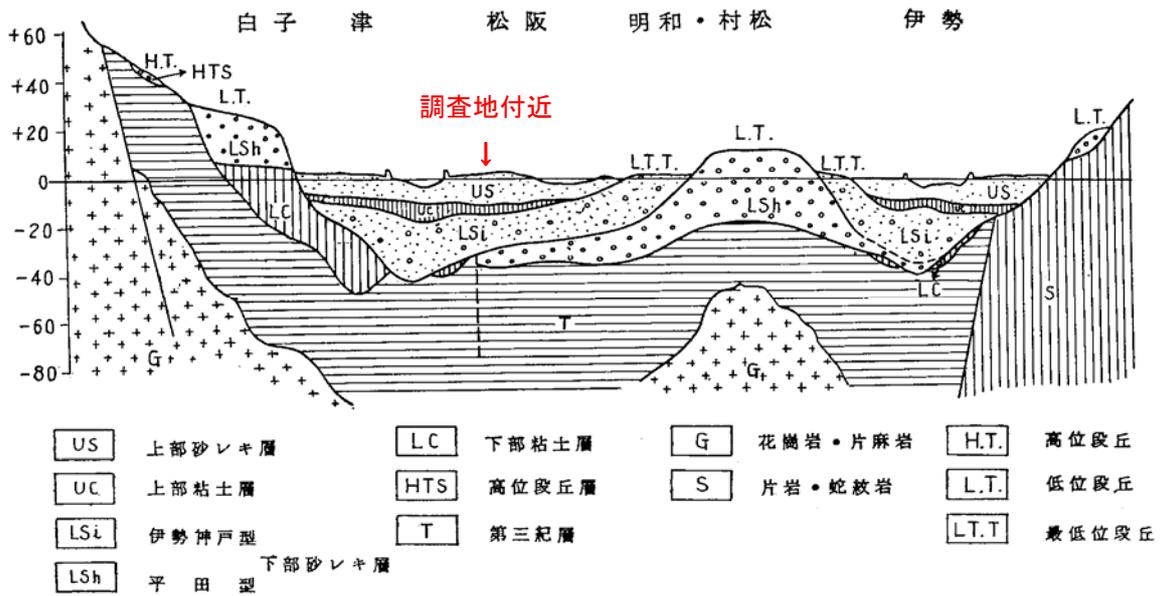


図3-2 伊勢湾南部臨海地帯模式断面図

(伊勢湾南部臨海地帯の地盤 1962年 建設省計画局・三重県編 p1)

4. 調査結果

調査は、建築物基礎の支持地盤位置の確認と地盤性状の把握を目的に、標準貫入試験併用ボーリング、孔内水平載荷試験および室内土質試験を行った。

以下に、調査・試験結果を述べる。

4.1. 地層断面図と各層の特徴

ボーリング結果は、その詳細をボーリング柱状図として巻末資料に示すと共に、図4-1～図4-3に地層断面図を、表4-1に地層層序と各層の特徴を示す。

これらの結果によれば、当該地盤の地層は、砂質土を概ね主体とする沖積層と、砂礫層を主体とする洪積層が概ね水平に成層している。

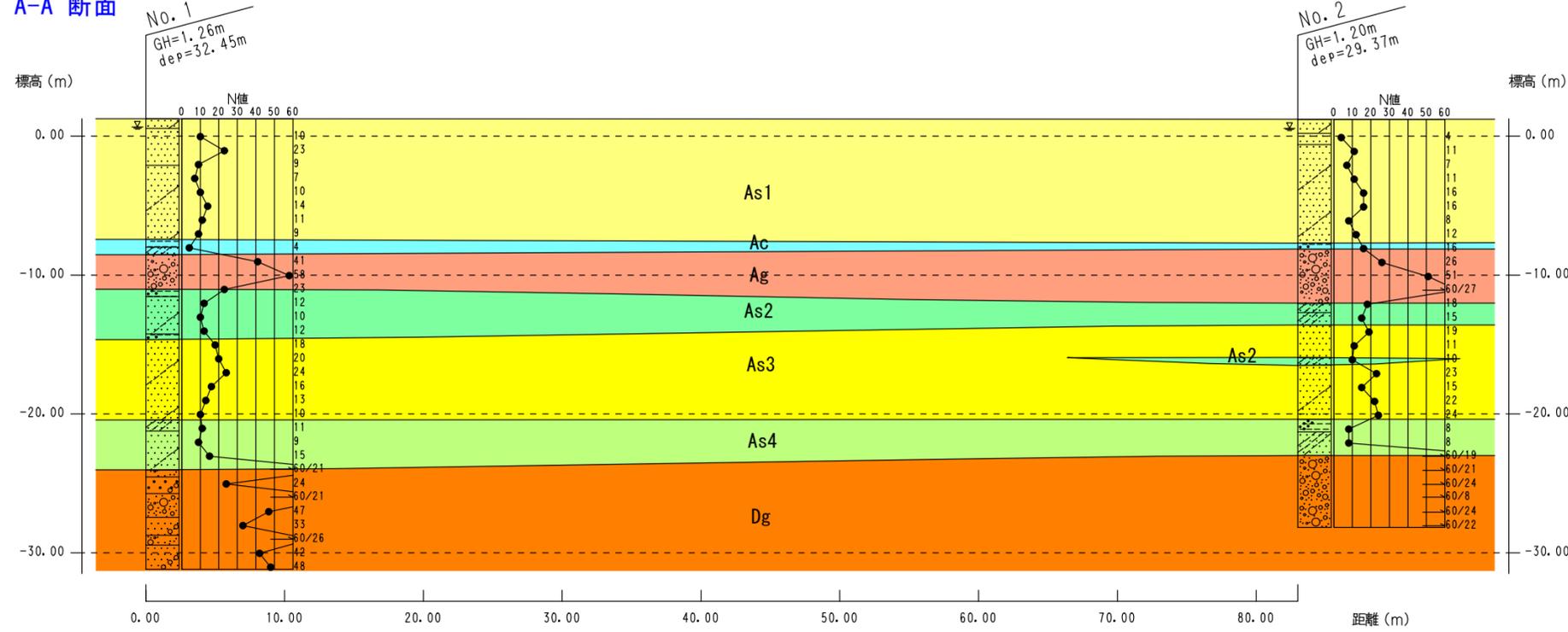
表4-1 地層層序と各層の特徴

地質時代	地層名	記号	主な土質	N値範囲 (平均値)	記 事	
第四紀	完新世	沖積 上部砂質土層	As1	細砂 シルト混じり砂	4~23 (11)	概ね均一粒径の細砂からなり、腐植物片を少量含む。層の下部ではシルト分を多く含み、貝殻片を混入する。
		沖積粘性土層	Ac	砂質シルト	0~4 (3)	砂分を薄層状またはポケット状に含む。
		沖積砂礫層	Ag	砂 礫	19~≥60 (57)	最大8cm程度の円礫を含む。基質は中~粗砂主体である。
		沖積 下部砂質土層	As2	シルト質砂 砂質シルト	6~18 (12)	中砂からなる砂層を主体とするが、所々シルト層を互層状に挟在する。
			As3	シルト混じり砂	10~36 (20)	中砂~粗砂からなり、全体にシルト分を少量混入する。
	As4	シルト質砂	8~30 (13)	シルト質細砂主体で、シルト薄層を所々で互層状に挟在する。		
	更新世	洪積砂礫層	Dg	砂 礫	24~≥60 (≥60)	最大径8cm程度の円礫を含む。基質は中~粗砂主体で、風化礫由来の砂や細粒分を含む。所々で礫分少なく、礫混じり砂状を呈する。NO.1・NO.3地点では、断続的にN≒30程度にN値が低下する。

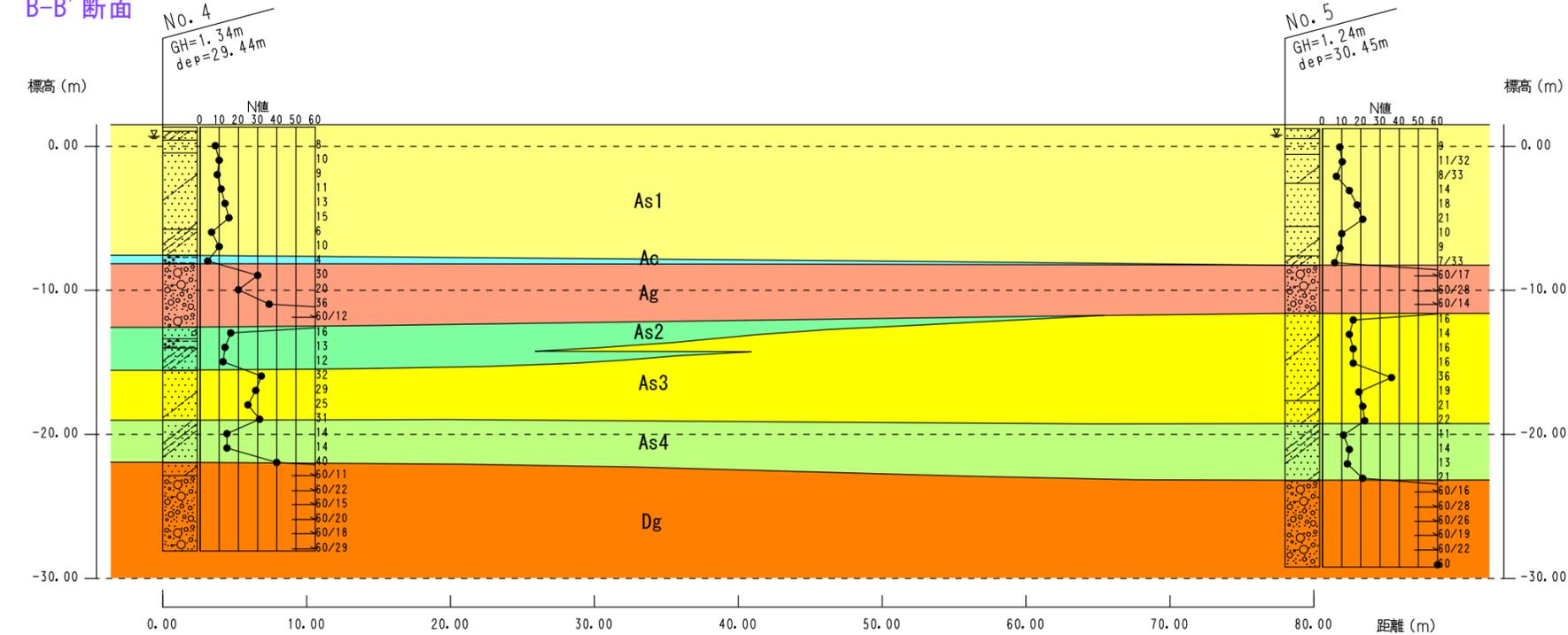
なお、地下水位は、無水掘進中に確認された水位を柱状図に示した。

調査時の地下水位は、GL-0.45m~GL-0.71mに確認され、総じて1m以下の浅い位置であった。

A-A' 断面



B-B' 断面



地層層序と各層の特徴					
地質時代	地層名	記号	主な土質	N値範囲 (平均値)	記事
第四紀	沖積上部砂質土層	As1	細砂 シルト混じり砂	4~23 (11)	概ね均一粒径の細砂からなり、腐植物片を少量含む。層の下部ではシルト分を多く含む、貝殻片を混入する。
	沖積粘性土層	Ac	砂質シルト	0~4 (3)	砂分を薄層状またはポケット状に含む。
	沖積下部砂質土層	As2	シルト質砂 砂質シルト	6~18 (12)	中砂からなる砂層を主体とするが、所々シルト層を互層状に挟在する。
		As3	シルト混じり砂	10~36 (20)	中砂~粗砂からなり、全体にシルト分を少量混入する。
更新世	洪積砂礫層	As4	シルト質砂	8~30 (13)	シルト質細砂主体で、シルト薄層を所々で互層状に挟在する。
		Dg	砂 礫	24~≧60 (≧60)	最大径8cm程度の円礫を含む。基質は中~粗砂主体で、風化礫由来の砂や細粒分を含む。所々で礫分少なく、礫混じり砂状を呈する。 NO.1・NO.3地点では、断続的にN≒30程度にN値が低下する。

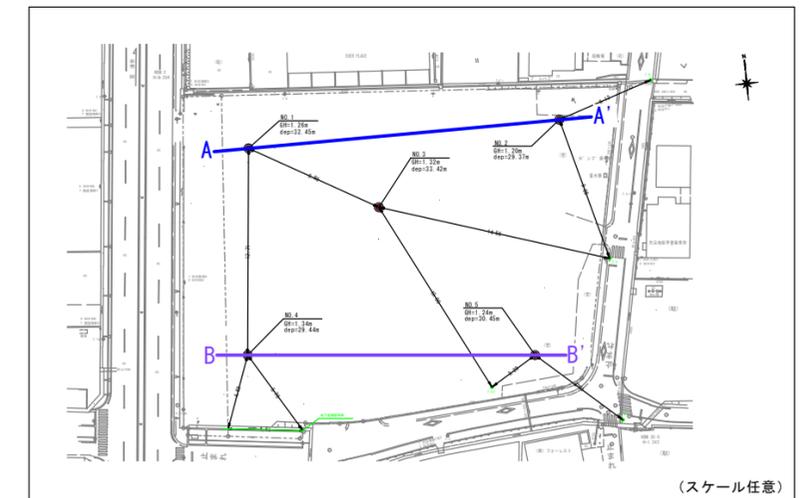
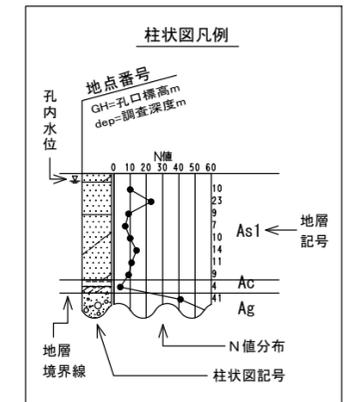
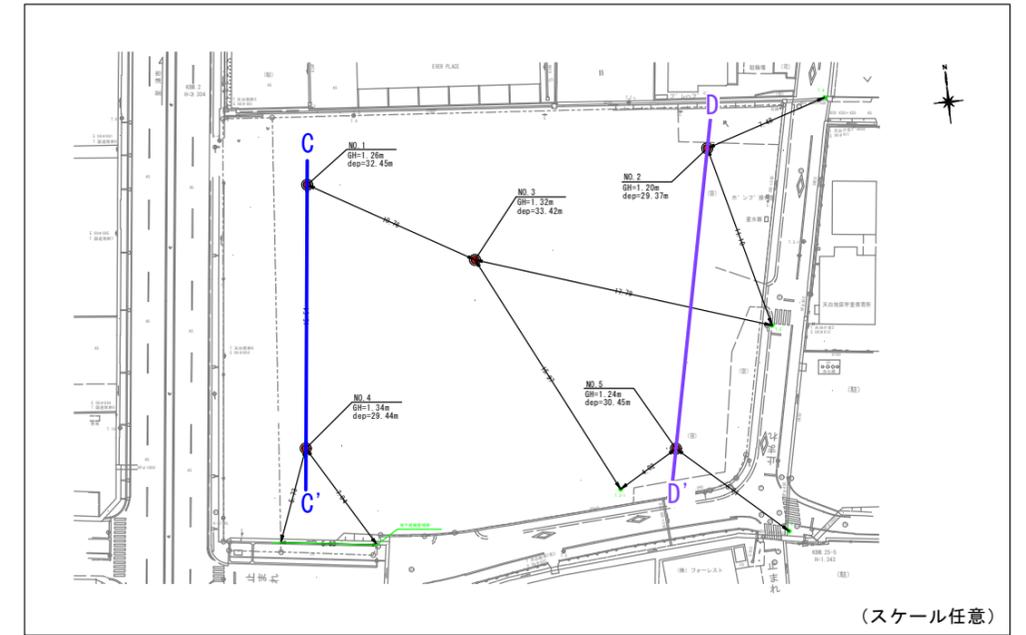
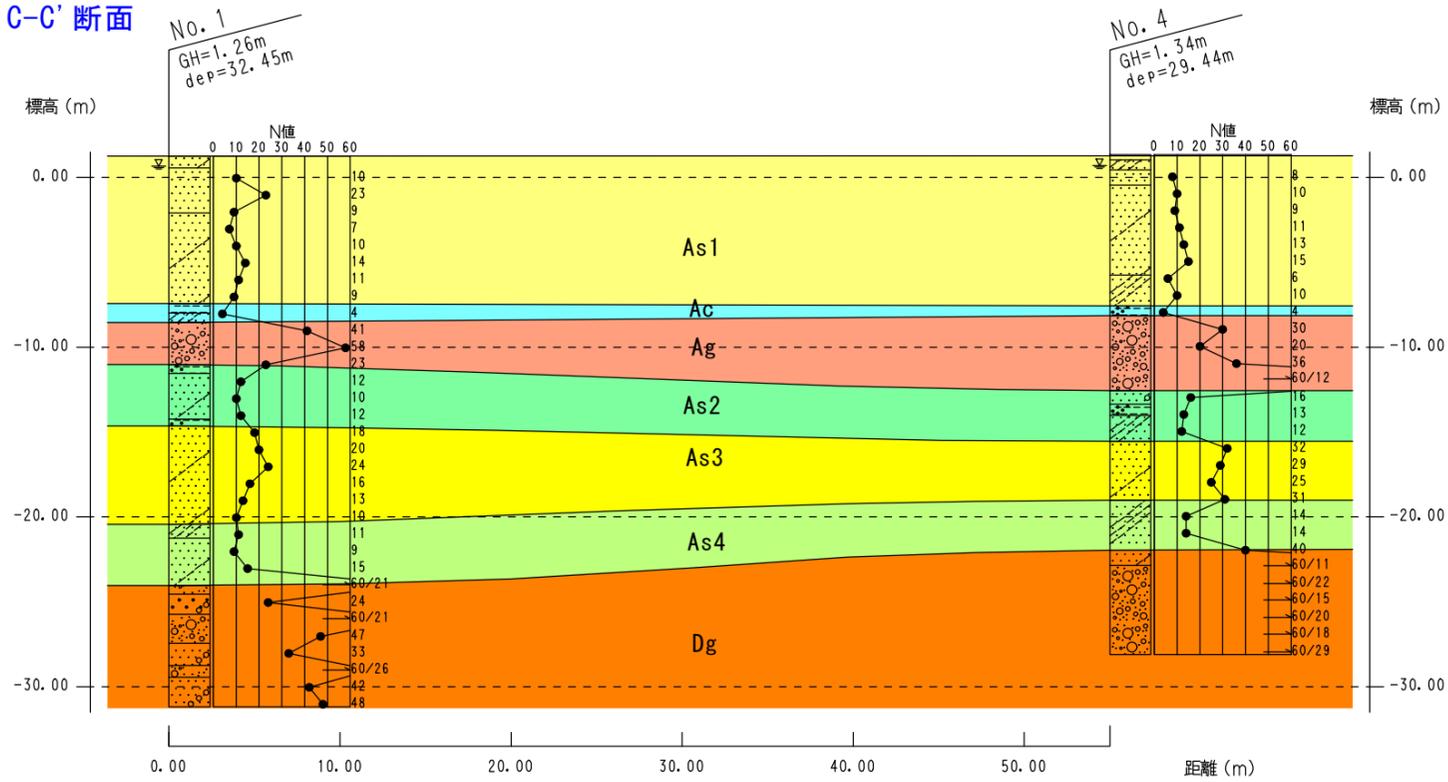


図4-1 地層断面図(1) S=1:400

C-C' 断面



(スケール任意)

地層層序と各層の特徴

地質時代	地層名	記号	主な土質	N値範囲 (平均値)	記事
第四紀 完新世	沖積 上部砂質土層	As1	細砂 シルト混じり砂	4~23 (11)	概ね均一粒径の細砂からなり、腐植物片を少量含む。層の下部ではシルト分を多く含む、貝殻片を混入する。
	沖積粘性土層	Ac	砂質シルト	0~4 (3)	砂分を薄層状またはポケット状に含む。
	沖積砂礫層	Ag	砂 礫	19~≥60 (57)	最大8cm程度の円礫を含む。基質は中~粗砂主体である。
	沖積 下部砂質土層	As2 As3 As4	シルト質砂 砂質シルト シルト混じり砂 シルト質砂	6~18 (12) 10~36 (20) 8~30 (13)	中砂からなる砂層を主体とするが、所々シルト層を互層状に挟入する。 中砂~粗砂からなり、全体にシルト分を少量混入する。 シルト質細砂主体で、シルト薄層を所々で互層状に挟入する。
更新世	洪積砂礫層	Dg	砂 礫	24~≥60 (≥60)	最大径8cm程度の円礫を含む。基質は中~粗砂主体で、風化礫由来の砂や細粒分を含む。所々で礫分少なく、礫混じり砂状を呈する。 NO.1・NO.3地点では、断続的にN=30程度にN値が低下する。

D-D' 断面

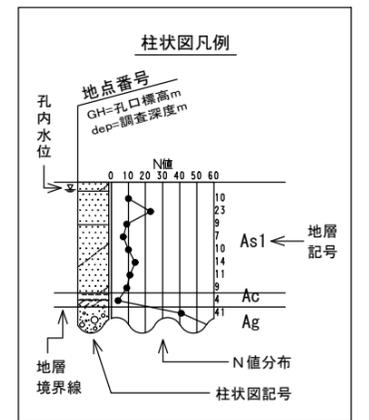
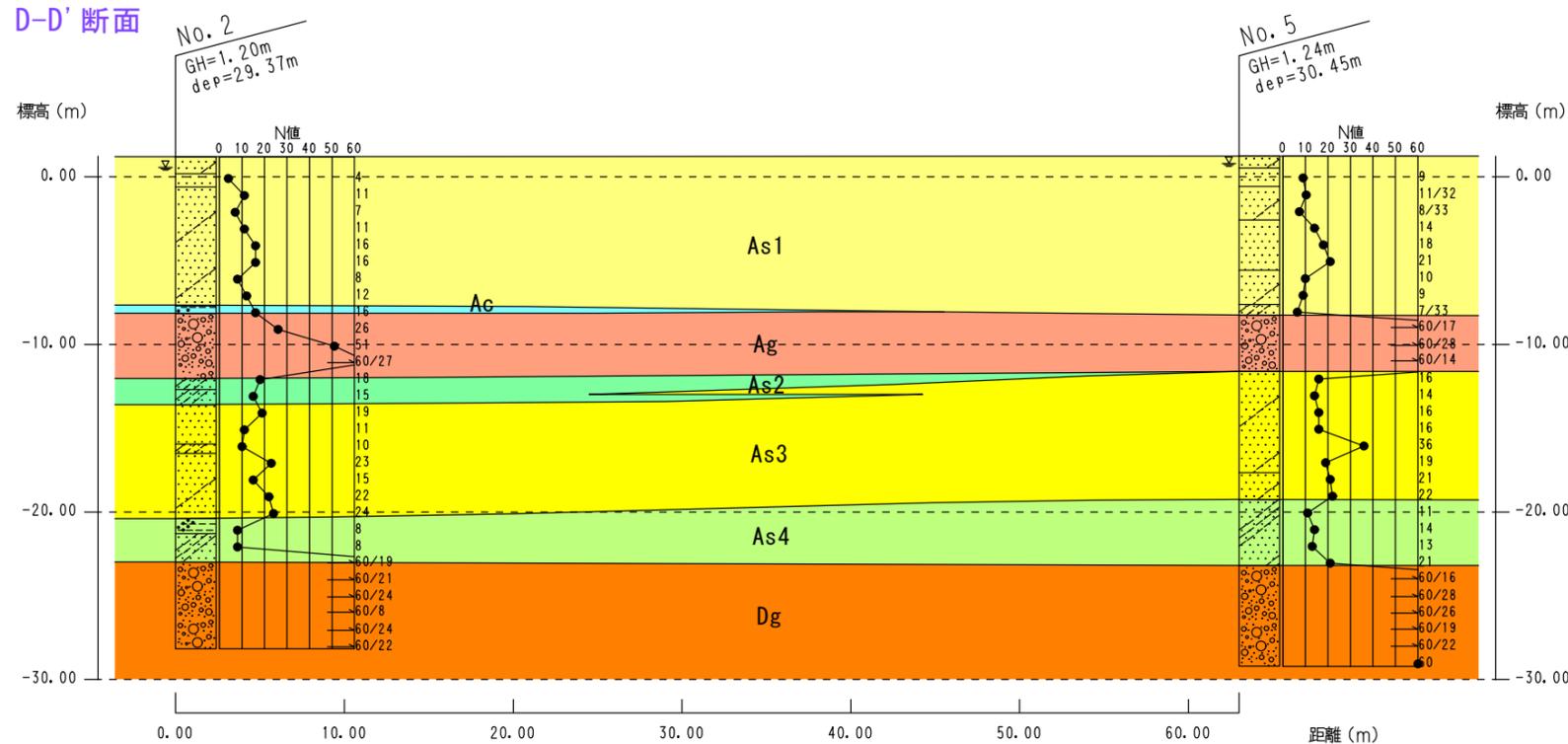
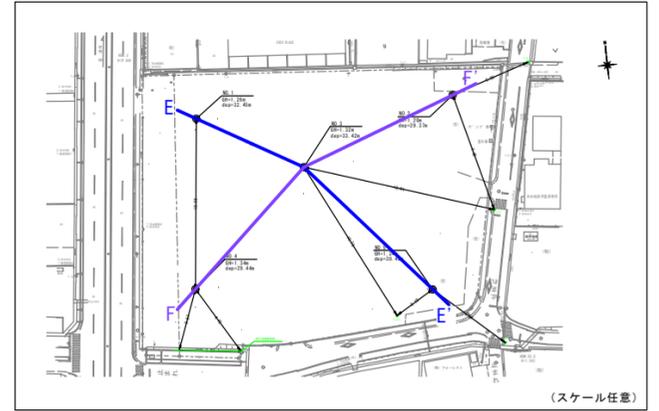
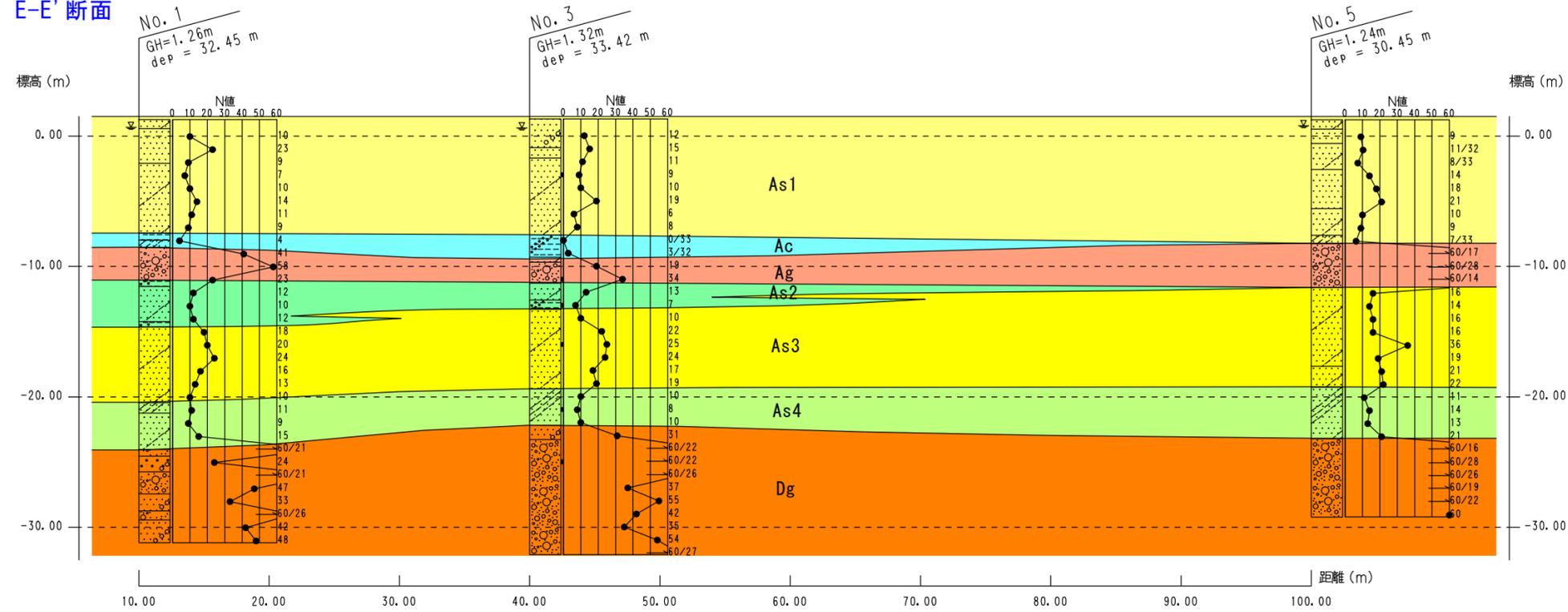


図4-2 地層断面図(2) S=1:400

E-E' 断面



地層層序と各層の特徴					
地質時代	地層名	記号	主な土質	N値範囲 (平均値)	記事
第四紀	沖積上部砂質土層	As1	細砂シルト混じり砂	4~23 (11)	概ね均一粒径の細砂からなり、腐植物片を少量含む。層の下部ではシルト分を多く含む、貝殻片を混入する。
	沖積粘性土層	Ac	砂質シルト	0~4 (3)	砂分を薄層状またはポケット状に含む。
	沖積砂礫層	Ag	砂礫	19~≥60 (57)	最大8cm程度の円礫を含む。基質は中~粗砂主体である。
	沖積下部砂質土層	As2, As3, As4	As2: シルト質砂 As3: シルト混じり砂 As4: シルト質砂	As2: 6~18 (12) As3: 10~36 (20) As4: 8~30 (13)	As2: 中砂からなる砂層を主体とするが、所々シルト層を互層状に挟在する。 As3: 中砂~粗砂からなり、全体にシルト分を少量混入する。 As4: シルト質細砂主体で、シルト薄層を所々で互層状に挟在する。
更新世	洪積砂礫層	Dg	砂礫	24~≥60 (≥60)	最大径8cm程度の円礫を含む。基質は中~粗砂主体で、風化礫由来の砂や細粒分を含む。所々で礫分少なく、礫混じり砂状を呈する。NO.1・NO.3地点では、断続的にN=30程度にN値が低下する。

F-F' 断面

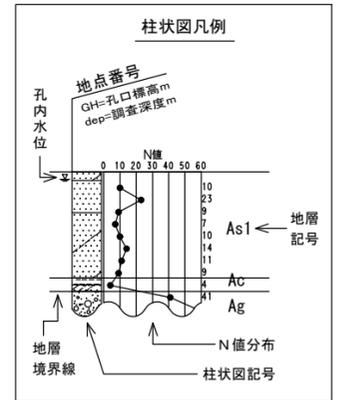
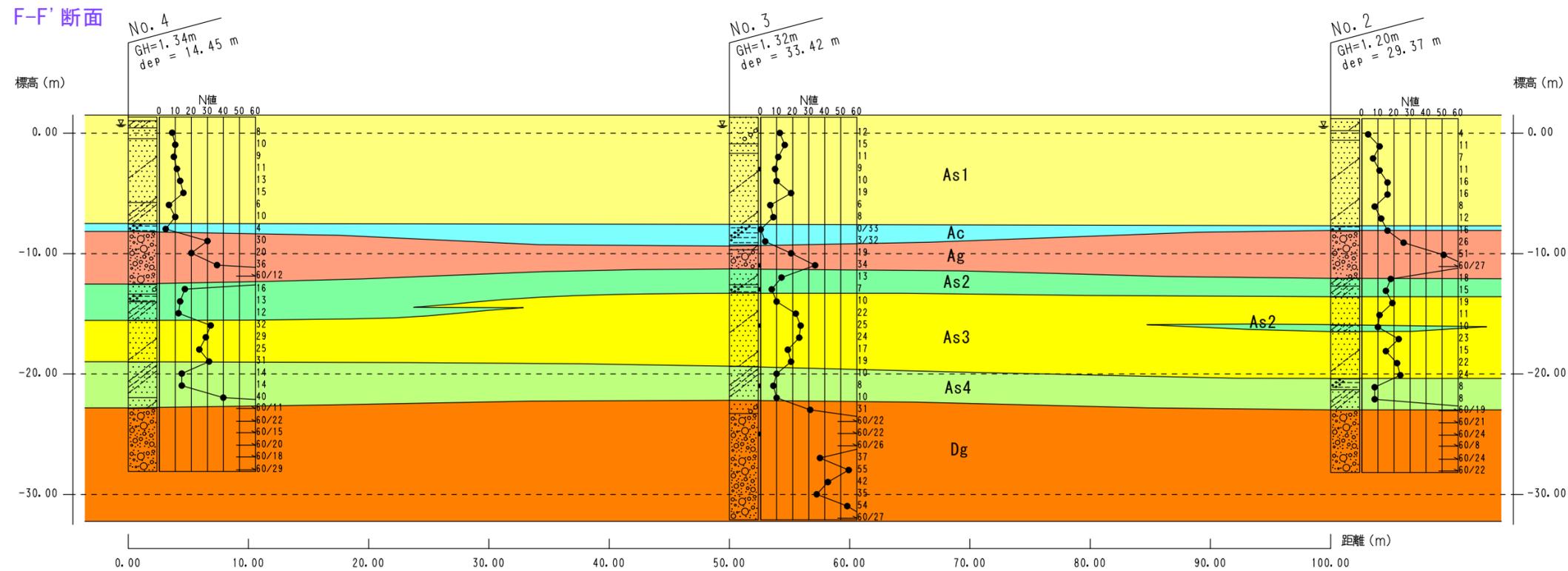


図4-3 地層断面図(3) S=1:400

4.2. 標準貫入試験結果

地層毎の試験結果を表4-4に、N値の深度分布図を図4-4に示す。

表4-2および表4-3を参考に、標準貫入試験結果の地層毎の特徴を以下に示す。

なお、N値>60については、式4-1により換算N値を算出した。

【沖積上部砂質土層 As1】

N値の範囲はN=4~23、平均値はN=11であり、緩い~中位の状態にある。

【沖積粘性土層 Ac】

N値の範囲はN=0~5、平均値はN=3であり、極めて軟質な状態にある。

【沖積砂礫層 Ag】

N値の範囲はN=19~150、平均値はN=57であり、中位~非常に密な状態にある。

礫の混入状態や締め具合が不均質であることにより大きなバラツキを示すが、礫を直接打撃したことにより過大値が得られている可能性がある。

【沖積下部砂質土層 As2】

N値の範囲はN=6~18、平均値はN=12であり、概ね緩い~中位の状態にある。

【沖積下部砂質土層 As3】

N値の範囲はN=10~36、平均値はN=20であり、概ね中位~密な状態にある。

【沖積下部砂質土層 As4】

N値の範囲はN=8~30、平均値はN=13であり、中位~密な状態にある。

【洪積砂礫層 Dg】

N値の範囲はN=24~330、平均値はN=82であり、中位~非常に密な状態にある。

Ag層同様、礫の混入状態や締め具合が不均質であることにより大きなバラツキを示すが、礫を直接打撃したことにより過大値が得られている可能性がある。

$$\text{換算N値} = \frac{30 \text{ (cm)}}{50\text{回打撃時の貫入量 (cm)}} \times 50 \text{ (回)} \dots \text{式 4-1}$$

表4-2 N値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係
(地盤調査の方法と解説 平成25年 (公社)地盤工学会 p. 308)

N値	q_u (kN/m ²)	コンシステンシー
0~ 2	0.0~ 24.5	非常に柔らかい
2~ 4	24.5~ 49.1	柔らかい
4~ 8	49.1~ 98.1	中位の
8~15	98.1~196.2	硬い
15~30	196.2~392.4	非常に硬い
30~	392.4~	固結した

表4-3 N値と砂の相対密度の関係
(地盤調査の方法と解説 平成25年 (公社)地盤工学会 p. 305)

N値	相対密度 (Terzaghi・Peck)	現場判別法
0～4	非常に緩い(very loose)	鉄筋が容易に手で貫入
4～10	緩い(loose)	ショベル(スコップ)で掘削可能
10～30	中位の(medium)	鉄筋を5ポンドハンマで打込み容易
30～50	密な(dense)	同上, 30 cm程度貫入
>50	非常に密な(very dense)	同上, 5～6 cm貫入, 掘削につるはし必要, 打込み時金属音

注) 鉄筋はφ13 mm

表4-4 各層の標準貫入試験結果

地質時代	地層名	記号	個数	最小値	最大値	平均値	
第四紀	完新世	沖積上部砂質土層	As1	41	4	23	11
		沖積粘性土層	Ac	5	0	5	3
		沖積砂礫層	Ag	16	19	150	57
		沖積下部砂質土層	As2	12	6	18	12
			As3	30	10	36	20
	As4	15	8	30	13		
更新世	洪積砂礫層	Dg	37	24	330	82	

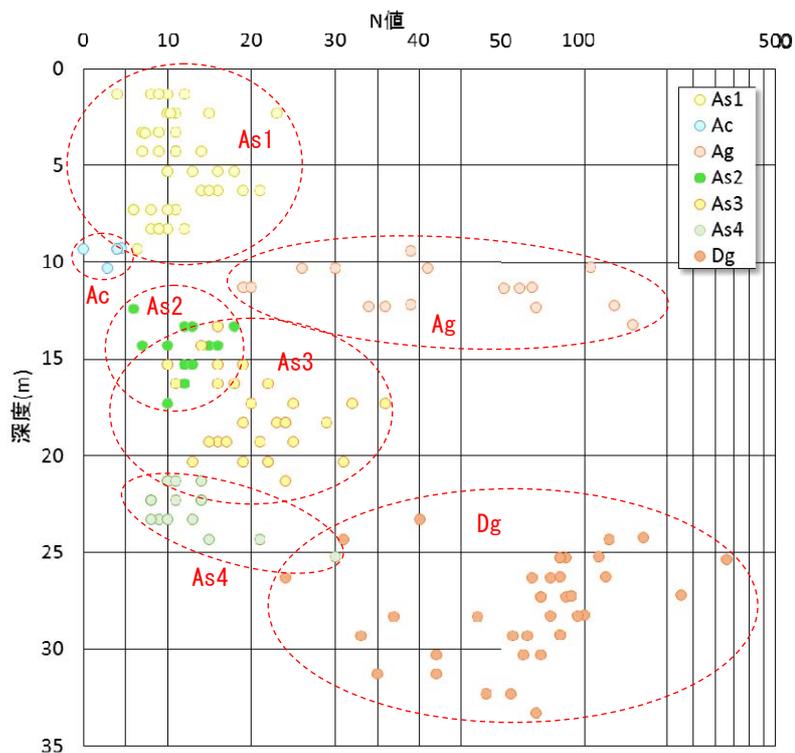


図4-4 各層のN値の分布状況

4.3. 孔内水平載荷試験結果

計画構造物が杭基礎となる場合、杭基礎の水平抵抗力や水平変位の検討に水平地盤反力係数が必要となり、水平地盤反力係数を求めるためには地盤の変形係数を知ることが必要となる。

本調査では、現段階で杭頭位置が明瞭でないことを考慮し、As1層のGL-3.0mを対象に、NO.4地点に隣接した別孔にて孔内水平載荷試験を実施した。

試験結果を表4-5に整理し、試験データは巻末資料に添付した。

表4-5 孔内水平載荷試験結果一覧表

NO.	深度 (GL-m)	地層	N値	静止土圧 P_0 (kN/m ²)	降伏圧 P_y (kN/m ²)	変形係数 E (kN/m ²)
4	3.0	As1	9	100	222	3128

一般に、孔内水平載荷試験の変形係数とN値は、図4-8に示すように、土質の種類にかかわらず相関が高いことが知られており、地盤工学会では以下の関係式を提案している。

$$E = 670 N^{0.986} \approx 700 N \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここで、 E : 変形係数 (kN/m²) N : N値

今回の試験結果を図4-5に併記した。

今回の試験結果は、上記の相関式より小さい値を示すものの、概ねバラツキの範囲内に分布することから、妥当な値が得られているものと判断する。

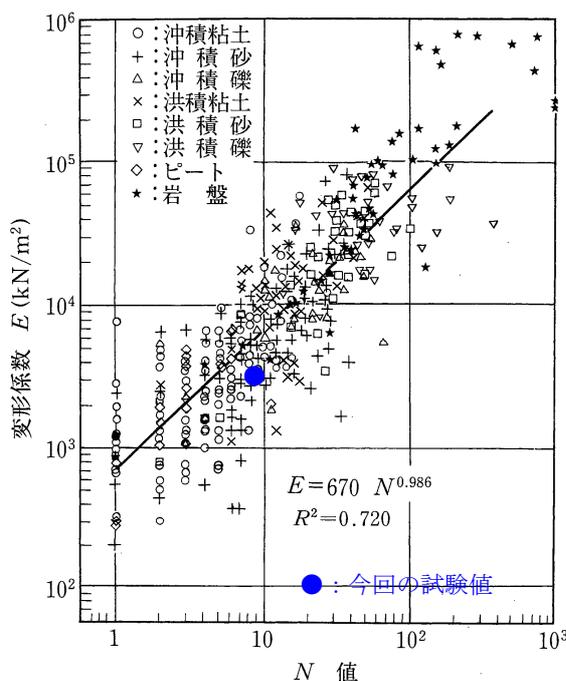


図4-5 一般的なN値と変形係数との関係

(地盤調査の方法と解説 平成25年 (公社)地盤工学会 p.687)

4.4. 室内土質試験結果

土質試験は、調査地に分布する各地層の土質分類および、物理的特性の把握、地盤の液状化の判定に利用することを目的に実施した。

表4-6に試験結果を整理し、各試験結果の特徴を次ページ以降で記述する。

なお、試験結果の詳細は、巻末資料に室内土質試験データとして添付した。

表4-6 室内土質試験結果一覧表

ボーリング地点		NO. 3						
試料名	3P-4	3P-9	3P-12	3P-14	3P-17	3P-22	3P-26	
採取深度 (GL-m)	4.15 ~4.45	9.15 ~9.48	12.15 ~12.45	14.15 ~14.45	17.15 ~17.45	22.15 ~22.45	26.15 ~26.45	
地層記号	As1	Ac	Ag	As2	As3	As4	Dg	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.752	2.751	2.669	2.684	2.663	2.717	2.676	
自然含水比 w_n (%)	31.7	49.1	9.9	24.5	16	30.9	9.7	
粒度組成 (%)	礫分	0	0	45.2	3.3	4.1	0.6	38.2
	砂分	79.1	6.8	41.8	56.2	83.5	34.1	48.7
	シルト分	11.7	34	6	17.2	5.6	44.2	6.2
	粘土分	9.2	59.2	7	23.3	6.8	21.1	6.9
地盤材料の分類名	細粒分質砂	砂まじり粘土 (低液性限界)	細粒分まじり砂質礫	細粒分質砂	細粒分まじり砂	砂質粘土 (低液性限界)	細粒分まじり礫質砂	
分類記号	(SF)	(CL-S)	(GS-F)	(SF)	(S-F)	(CLS)	(SG-F)	
平均粒径 D_{50} (mm)	0.1426	0.0028	1.4649	0.2076	0.6189	0.0446	0.9454	
10%粒径 D_{10} (mm)	0.0072	-	0.0295	-	0.0227	-	0.0284	
液性限界 w_L (%)		47.9		45.7		41.6		
塑性限界 w_P (%)		24.5		20.4		23.4		
塑性指数 I_P (%)		23.4		25.3		18.2		

①土粒子の密度

一般的な無機質土の土粒子の密度は、表4-7に示すように多く土質で $\rho_s=2.6\sim 2.8\text{ g/cm}^3$ の範囲にあり、泥炭などのように有機質を多く混入するものは一般的な値よりも小さく、値が大きい場合は重金属などの特殊な鉱物を含むことが考えられる。

表4-7 主な鉱物と土粒子の密度の例
(地盤材料試験の方法と解説 平成21年 (社)地盤工学会 p.101)

鉱物名	密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	土質名	密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$
石英	2.6~2.7	豊浦砂	2.64
長石	2.5~2.8	沖積砂質土	2.6 ~2.8
雲母	2.7~3.2	沖積粘性土	2.50~2.75
角閃石	2.9~3.5	洪積砂質土	2.6 ~2.8
輝石	2.8~3.7	洪積粘性土	2.50~2.75
磁鉄鉱	5.1~5.2	泥炭(ピート)	1.4 ~2.3
クロライト	2.6~3.0	関東ローム	2.7 ~3.0
イライト	2.6~2.7	まさ土	2.6 ~2.8
カオリナイト	2.5~2.7	しらす	1.8 ~2.4
モンモリロナイト	2.0~2.4	黒ぼく	2.3 ~2.6

本調査における試験結果の深度分布図を図4-6に示す。

試験結果 ($2.663\sim 2.752\text{ g/cm}^3$) は一般値の範囲内にあり、本調査地の土質は我が国の一般的な土として取り扱うことができるものと考えられる。

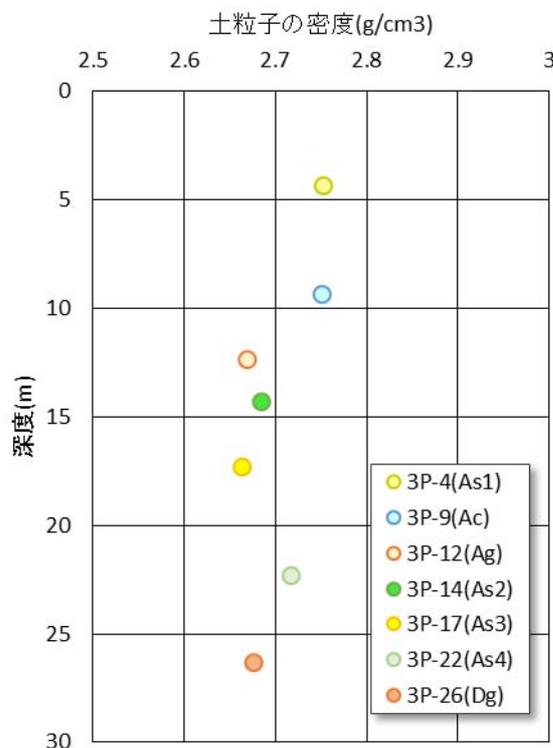


図4-6 土粒子密度の深度分布図

②自然含水比

自然含水比は、土質の粒度組成や地下水状態により大きく異なるが、表4-8に示すように粘土などでは30%以上、ローム質土では80~150%、有機質土では200%以上になることもある。

一方、粗粒土は20%以下となる場合が多い。

このように細粒分（シルト分、粘土分）が多くなるに従い含水比も高くなる傾向にある。

表 4-8 含水比の測定例
(地盤材料試験の方法と解説 平成21年 (社)地盤工学会 p. 110)

土質名	地域	含水比 (%)
沖積粘土	東京	50~80
洪積粘土	東京	30~60
関東ローム	関東	80~150
まさ土	中国	6~30
しらす	南九州	15~33
黒ぼく	九州	30~270
泥炭	石狩	110~1 300

本調査における試験結果の深度分布図を図4-7に示す。

結果の特徴は次のとおり。

- ・粘土に分類される Ac 層は $W_n > 40\%$ とやや高めの値を示す。
- ・礫質土よりなる Ag 層・Dg 層は、 $W_n < 10\%$ と低い値を示す。
- ・As1層~As4層などの砂優勢層は、 $W_n = 10 \sim 40\%$ を示す。

以上のように含水比の変化は、粒度に対応した変化がみられ、その値も概ね一般的な値に対応した結果となっている。

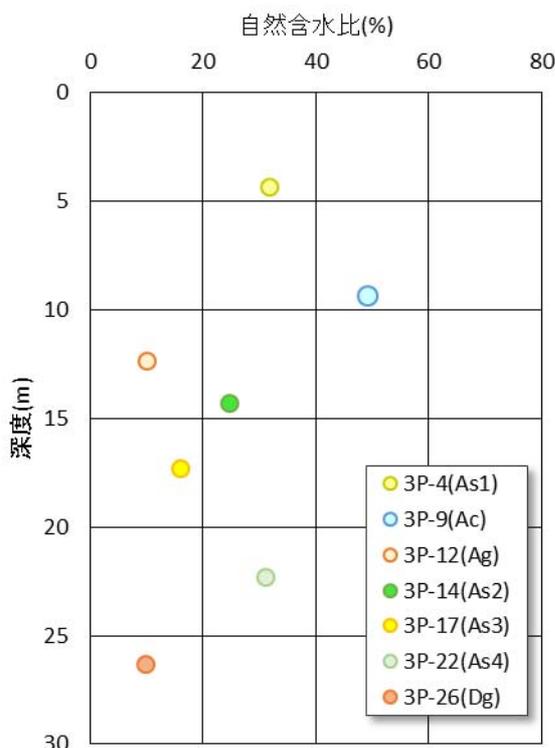


図4-7 自然含水比の深度分布図

③粒度特性

粒度試験結果は、土を構成する土粒子径の分布状態を全質量に対する百分率で表したものである。

土を構成する粒子には大小様々なものがあり、粒度組成によって土の工学的性質が大きく左右される。このため粒度試験の結果は、土の工学的性質の基礎的判断材料として土の分類などに用いられる。

粒度試験により得られた粒径加積曲線を、図4-8に整理する。
試験結果による各層の特徴は次のとおり。

◎沖積砂質土層である As1～As4層は、それぞれの粒径加積曲線の形状にバラツキがあり、粒径分布に違いがあることが読み取れる。

このうち、As1層、As3層は、やや急な勾配を持つ曲線となっており、粒度分布の悪い状態（均一粒径）にあることを示している。

一方、As2層、As4層は曲線の勾配が緩く、細粒分が比較的多く混入していることを示している。

なお、As4層の NO. 3P-22の試料は、細粒分が多く粘性土に区分されている。これは、As4層が細砂と粘性土の互層からなることから、細粒分優勢部の状態を反映したものと考えられる。

◎礫質地盤である Ag 層と Dg 層は類似した粒径分布を示す。

なお、粒度試験は標準貫入試験試料を用いているが、貫入試験のサンプラーに入らない大きさの礫は含まれないため、試験結果は礫質地盤の粒度分布を反映していない場合のあることに注意が必要である。

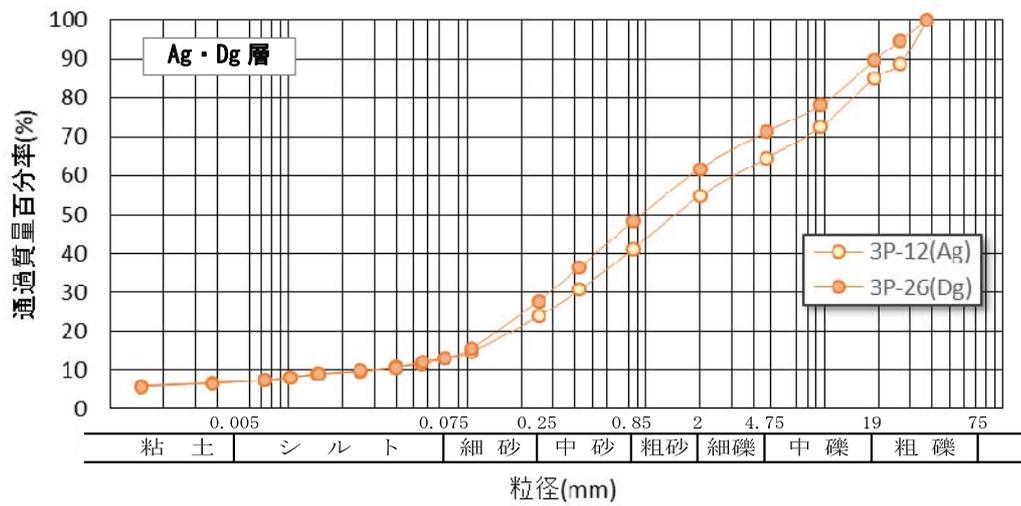
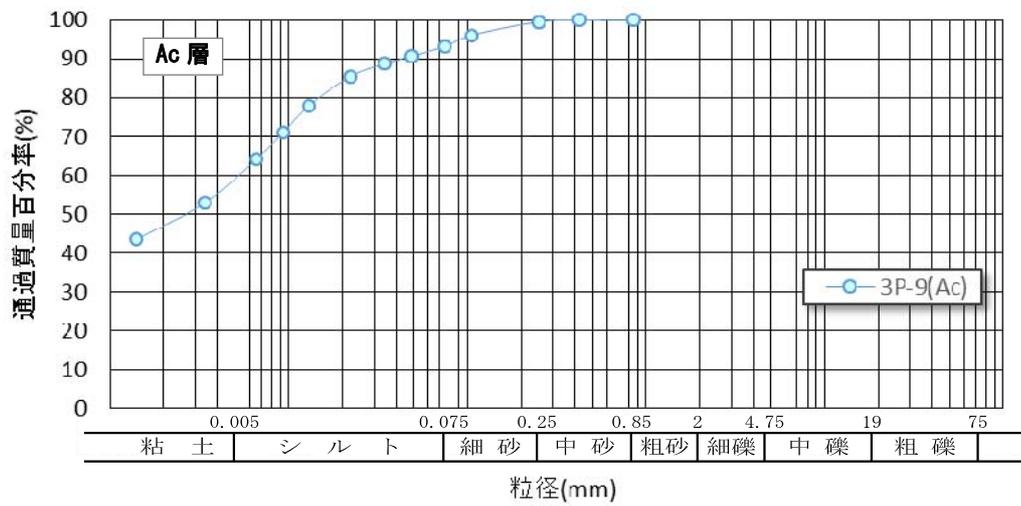
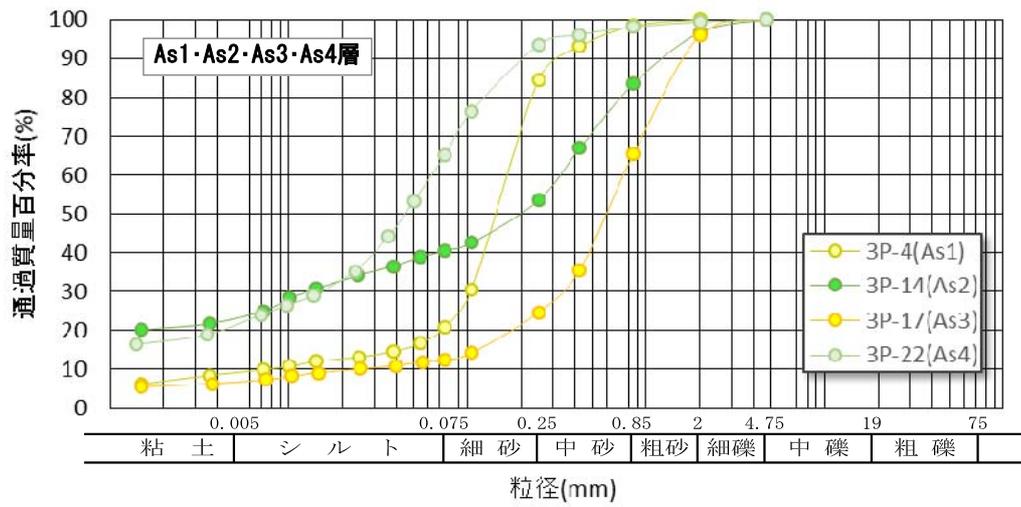


図4-8 各試料の粒径加積曲線

④コンシステンシー特性

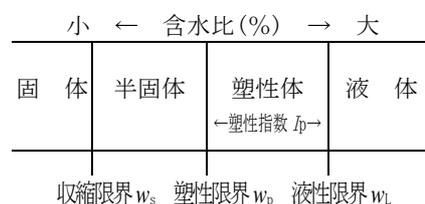
シルト分と粘土分の多い細粒土は、含水量によって液体状から固体状まで変化する。これを含水量で表した値がコンシステンシー限界で、それぞれ次のように示される。

〔コンシステンシー限界〕

液性限界 (w_L) : 液状体から塑性体へと変化する境界での含水量

塑性限界 (w_p) : 塑性状態から含水量を減少させた場合に、試料がボロボロになり成形ができなくなる状態(半固体)での含水量

収縮限界 (w_s) : 含水量を低下させて体積変化の生じなくなる状態、すなわち半固体と固体との境界での含水量



また、一般に、土の性質とコンシステンシー特性の関係には下枠のような傾向があるとされている。

- ◎液性限界 (w_L) が大きいほど圧縮性が高い。
- ◎塑性指数 (I_p) が小さいほど砂に近い性質を持つ。
- ◎自然含水量 (w_n) が w_p に近いほど土は安定であり、 w_L に近いほど不安定となる。特に $w_n > w_L$ の場合、外力による土の強度低下が著しい。
- ◎液性指数 (I_L) は、0に近いほど土は強度が大きく安定しているが、 $I_L=1$ の状態の土はわずかな外力で乱され不安定となる。また、正規圧密粘土では $I_L \approx 1$ 、過圧密粘土では $I_L \approx 0$ に近づく。
(ここに 塑性指数 $I_p = w_L - w_p$ 液性指数 $I_L = (w_n - w_p) / I_p$)

本調査の試験結果によるコンシステンシー特性を表4-9に整理する。

表4-9 コンシステンシー特性

地層・試料名 (採取深度)	自然含水量 w_n (%)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p (%)	液性指数 I_L (%)	特 徴
Ac 3P-9 (9.15~9.48m)	49.1	47.9	24.5	23.4	1.05	$I_L \approx 1$ でわずかな外力により強度低下し易い状態にあると考えられる。
As2 3P-14 (14.15~14.45m)	24.5	45.7	20.4	25.3	0.16	I_L が小さく、外力に対して安定した土であると言える。
As4 3P-22 (22.15~22.45m)	30.9	41.6	23.4	18.2	0.41	I_p が小さめで、砂に近い性質を有している。

5. 考察

ここでは、基礎設計用地盤定数の設定、支持地盤深度と基礎形式、液状化の簡易判定、設計施工上の留意点などについて考察する。

5.1. 地盤定数の設定

地盤定数は、調査結果で区分した各層について、代表N値、単位体積重量(γt)、粘着力(c)、せん断抵抗角(ϕ)および変形係数(E)の各定数を設定する。

なお、Dg層については、NO.1地点やNO.3地点の上部で断続的なN値低下部(最小N値=24)が存在することから、定数設定上は2層に区分して地盤定数を設定した。

表5-1に地盤定数設定値を示し、次頁以降で定数設定方法を説明する。

表5-1 地盤定数一覧表

地層名	記号	主な土質	代表N値	単位体積重量 γt (kN/m ³)	せん断強度定数		変形係数 E (MN/m ²)
					c (kN/m ²)	ϕ (°)	
沖積 上部砂質土層	As1	細砂 シルト混じり砂	9	17	0	28.4	3.1
沖積粘性土層	Ac	砂質シルト	2	14	25	0.0	1.4
沖積砂礫層	Ag	砂 礫	31	20	0	39.9	21.7
沖積 下部砂質土層	As2	シルト質砂 砂質シルト	10	18	0	29.1	7.0
	As3	シルト混じり砂	17	18	0	33.4	11.9
	As4	シルト質砂	10	18	0	29.1	7.0
洪積砂礫層	Dg-w	砂 礫	33	20	0	40.7	23.1
	Dg	砂 礫	54	20	0	47.9	37.8

*) 変形係数のうち、As1層は孔内水平載荷試験結果を採用し、その他はE=700N (P21参照)から推定した。

① 代表N値

代表N値は、測定値にばらつきがあることを考慮し、図5-1に示す統計処理を行って設定した。

ここで、Ag層・Dg層については、礫を直接打撃することにより過大な値が得られている可能性があることから、層中の「礫混じり砂」は実測値を採用し、「砂礫」については下枠の抜粋資料を参考に、10cm毎の打撃回数の最小値を3倍した修正N値を使用した。

代表N値の設定結果を表5-2に示す。

塩井・森重(1981)は、砂礫層、玉石層では著しい大きいN値を示すことがあり、他の方法から推定すると $N \approx 9$ 程度と考えられる層で $N > 50$ と測定された例があると指摘している。

このような場合、10cmごとの打撃数を求め、その中の最小値の3倍を修正N値とすることを提案している。なお、同一層の異なった深度のN値に対しても同様な手続きを行うとともに、他のボーリング孔の分を併せて総合判定することを推めている。

(地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例 1998 (社)地盤工学会 p343)

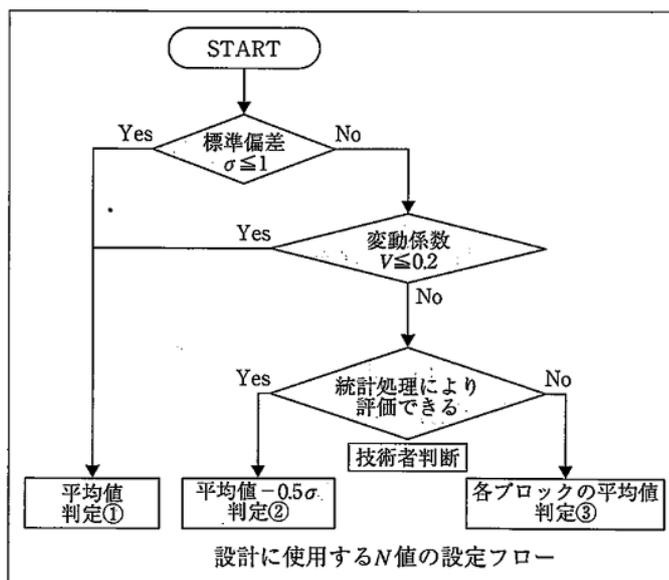


図5-1 設計に使用するN値の設定フロー

基礎工 Vol. 37, No. 4(2009)「道路橋基礎設計に用いる地盤物性値の評価」

表5-2 各層の代表 N 値

地層記号	個 数	最小値	最大値	平均値	標準偏差	変動係数	平均値－標準偏差/2	代表 N 値
As1	41	4	23	11	4.14	0.37	9.02	9
Ac	5	0	4.5	3	1.82	0.59	2.15	2
Ag(修正 N 値)	16	12	120	48	34.1	0.70	31.43	31
As2	12	6	18	12	3.46	0.29	10.27	10
As3	30	10	36	20	6.41	0.32	17.10	17
As4	15	8	30	13	5.84	0.45	10.15	10
Dg-w	12	24	81	43	17.5	0.41	33.83	33
Dg(修正 N 値)	24	39	225	74	40.0	0.54	54.02	54

②単位体積重量 γ_t

単位体積重量は表5-3を参考に設定した。

ここで、「緩いもの」と「密なもの」の区分は、「砂質土」・「砂および礫」についても、表4-3を参考に、代表 N 値により $N < 10$ を「緩いもの」、 $N > 30$ を「密なもの」、 $10 \sim 30$ を「緩いもの」と「密なもの」の“中間”の値として区分した。

粘性土については同様に、表4-2を参考に、 $N < 4$ 、 $N = 4 \sim 8$ 、 $N > 8$ で区分し、それぞれ「緩いもの」、「密なもの」、および“中間”の値とした。

表5-3 土の単位体積重量 (kN/m³)
(道路橋示方書・同解説 平成24年3月 (社)日本道路協会 p47)

地盤	土質	緩いもの	密なもの
自然 地盤	砂及び砂れき	18	20
	砂質土	17	19
	粘性土	14	18
盛 土	砂及び砂れき	20	
	砂質土	19	
	粘性土	18	

※表中の下線は次の各層の採用値を示す。

As1

Ac

As2~As4(中間値)

Dg-w(中間値)

Ag・Dg

- (注) (1) 地下水位以下にある土の単位体積重量は、それぞれの表中の値から 9 を差し引いた値としてよい。
 (2) 碎石は砂利と同じ値とする。また、ずり、岩塊等の場合は種類、形状、大きさ及び間隙等を考慮して定める必要がある。
 (3) 砂利まじり砂質土、又は砂利まじり粘性土については、混合割合及び状態に応じて適当な値を定める。
 (4) 地下水位は施工後における平均値を考える。

③ せん断強度定数 c 、 ϕ

粘性土については、 $\phi = 0$ で c (粘着力) のみを有するものとし、図5-2の破線で示されている $q_u = 25 \sim 50 \text{N}$ (kN/m^2) の関係のうち、小さめの値を与える下側破線により q_u を推定し、 $c = q_u/2$ の関係から粘着力 c を設定した。

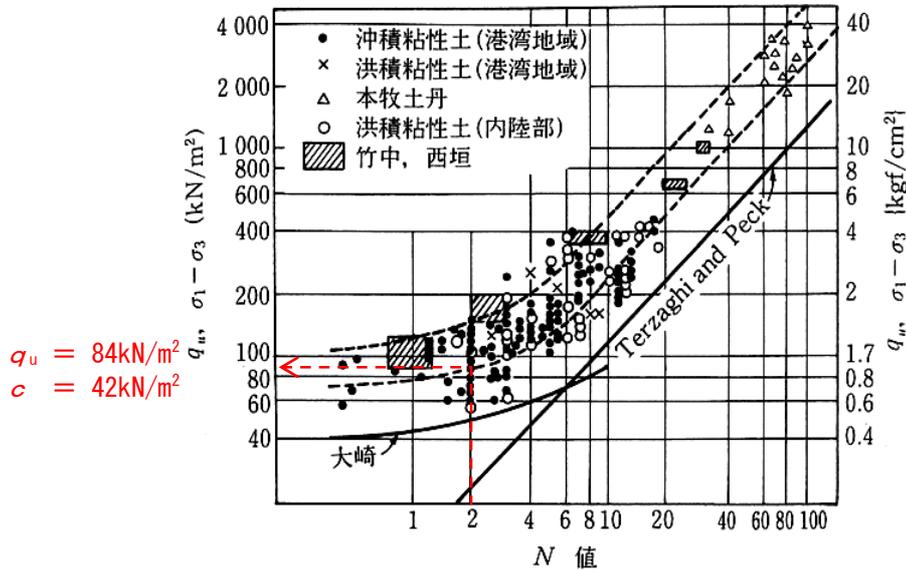


図5-2 q_u と N 値の関係

(地盤調査の方法と解説 平成25年 (公社)地盤工学会 p309)

砂礫及び砂質土からなる地層は $c = 0 \text{ kN/m}^2$ で ϕ (せん断抵抗角) のみを有する地盤とし、 ϕ は建築基礎構造設計指針に示されている大崎の推定式である下式により求めた。

なお、建築基礎構造設計指針には畑中らの推定式も記載されているが、「きれいな砂」を対象とした式であることから、ここでは大崎式を使用した。

$$\phi = \sqrt{20N + 15}^\circ$$

(建築基礎構造設計指針 2001改定 日本建築学会 p113)

④ 変形係数 E

As1層については孔内水平載荷試験の結果を使用した。

その他の試験を行っていない地層については次の関係式から推定した (p21参照)。

$$E = 670N^{0.986} \approx 700N \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここで、 E : 変形係数 (kN/m^2)

N : N 値

5.2. 支持地盤と基礎形式について

①支持地盤

一般に構造物の支持層選定にあたっては、砂層、砂礫層でN値が30程度以上あれば良質な支持地盤と考えて良いとしている場合が多い（道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 pp279など）。

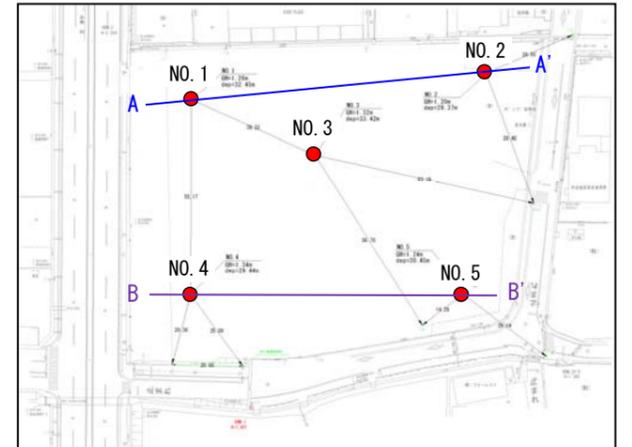
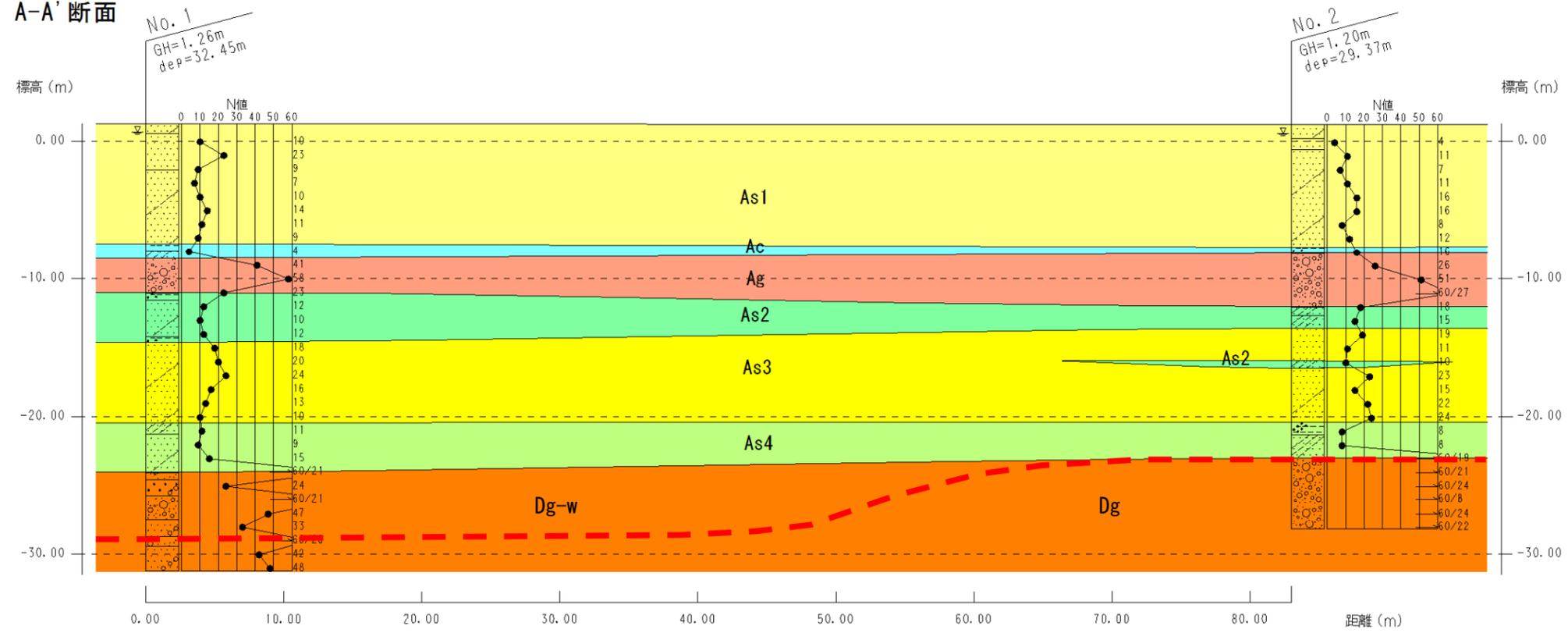
提案する支持層線を地層断面図に記入し、図5-3～図5-5に示す。

調査地の地盤は、おもに砂質土・礫混じり土からなる沖積層および洪積層で構成されている。当該地における確実な支持地盤としては、深度約25m付近より出現し概ねN値 \geq 60以上を示すDg層に求めることが妥当である。

ただし、NO.1地点、NO.3地点については、断続的にN値 \approx 30程度（最小N値=24）まで低下する部分が不規則に存在することから、現段階で、この部分を支持地盤として期待する事は避けることが適当と判断した。

なお、深度10m付近のAg層はN値 $>$ 30を示す傾向にあるが、N値の低い部分が含まれることや、NO.3で層厚が1.6mと薄いこと等、N値分布や層厚にバラツキが大きく支持地盤としての適用性は低いと判断する。

A-A' 断面



B-B' 断面

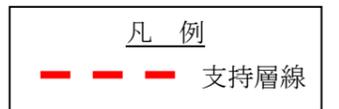
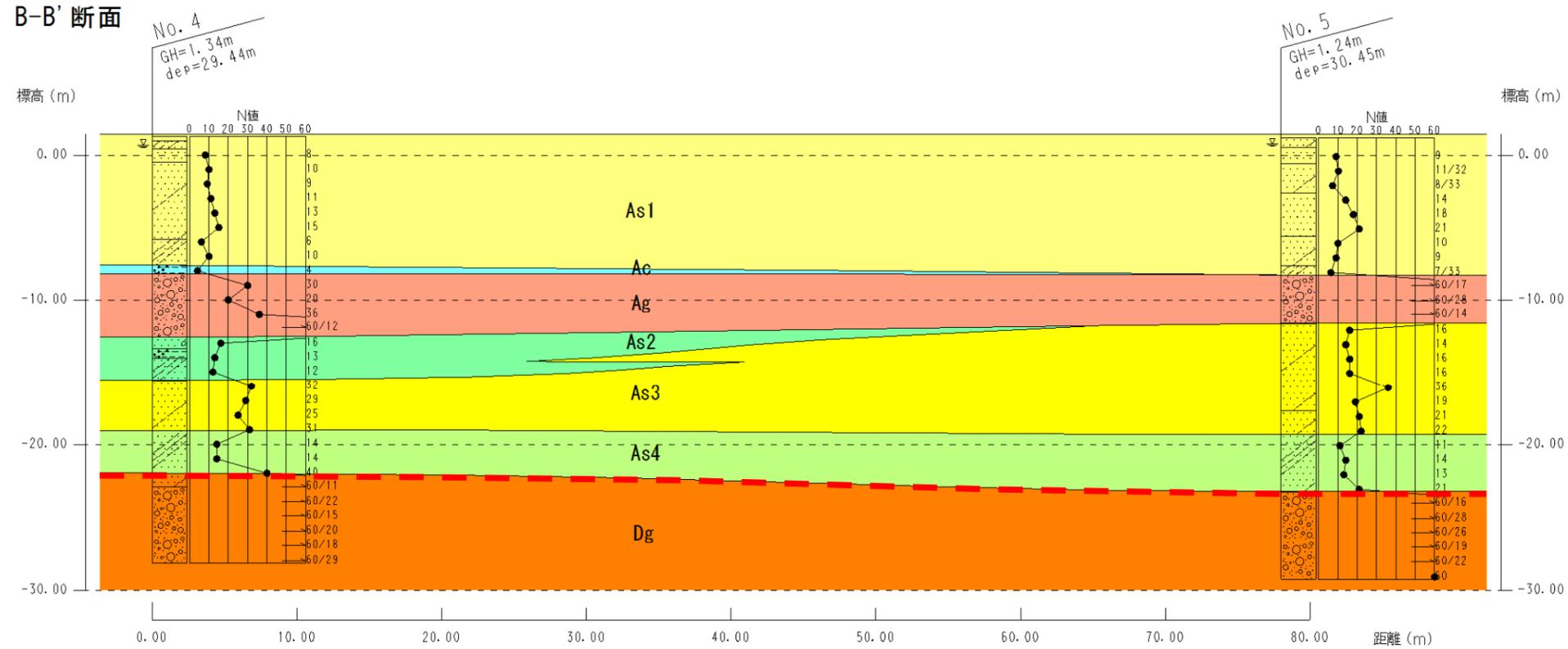
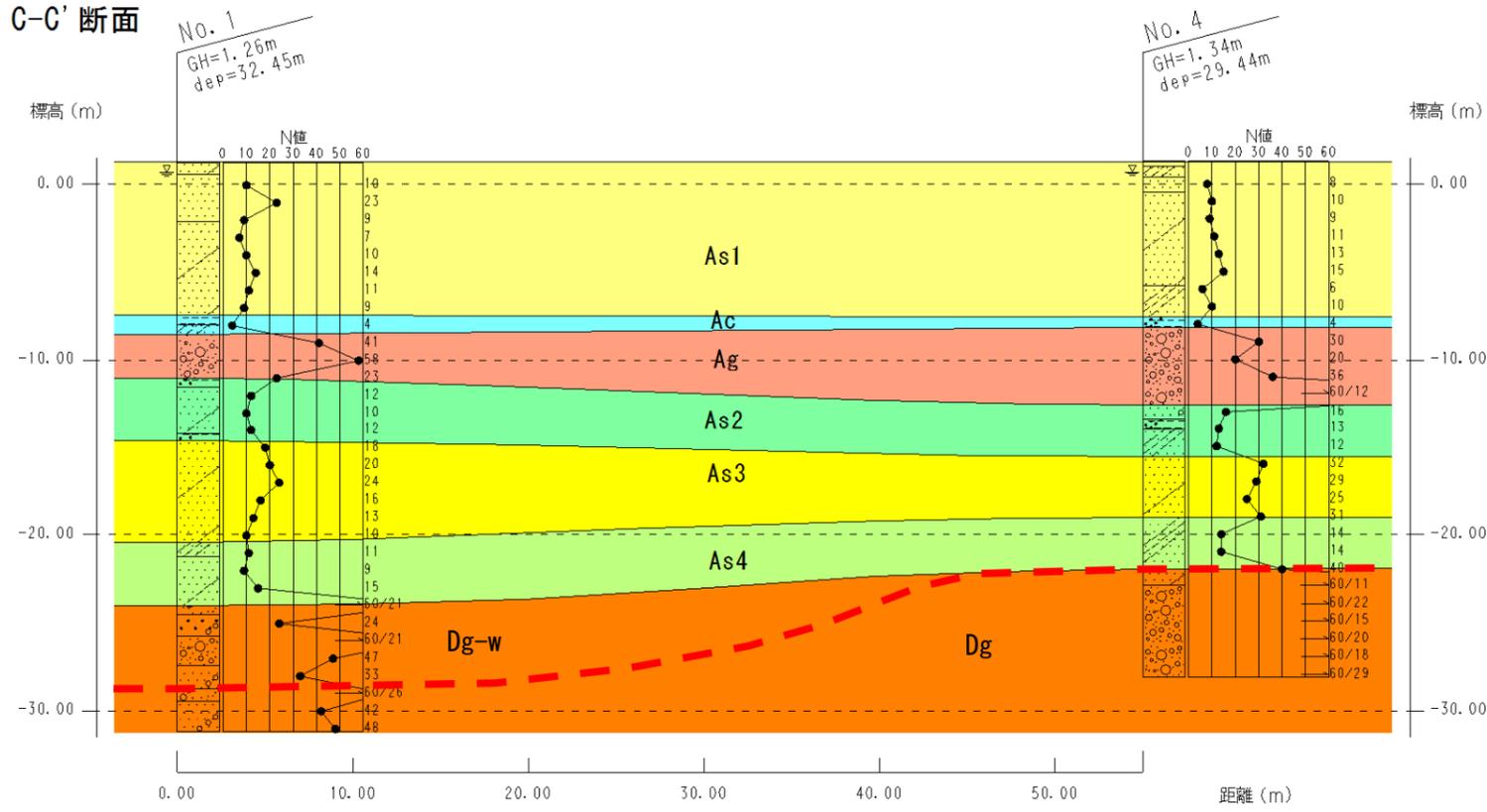


图5-3 支持層線图(A-A'·B-B'断面)

C-C' 断面



D-D' 断面

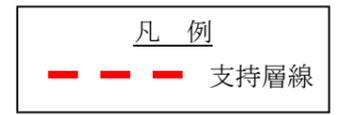
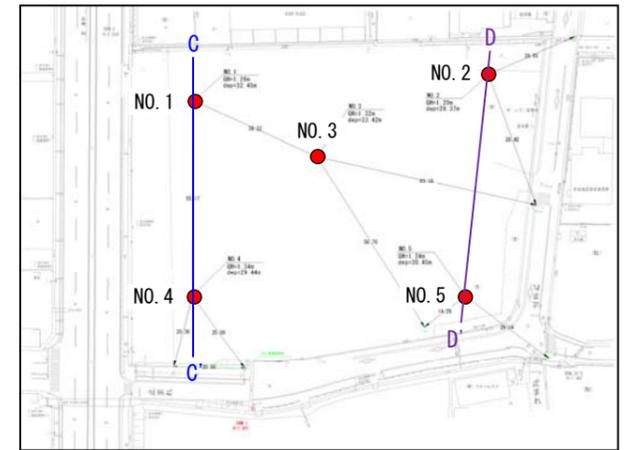
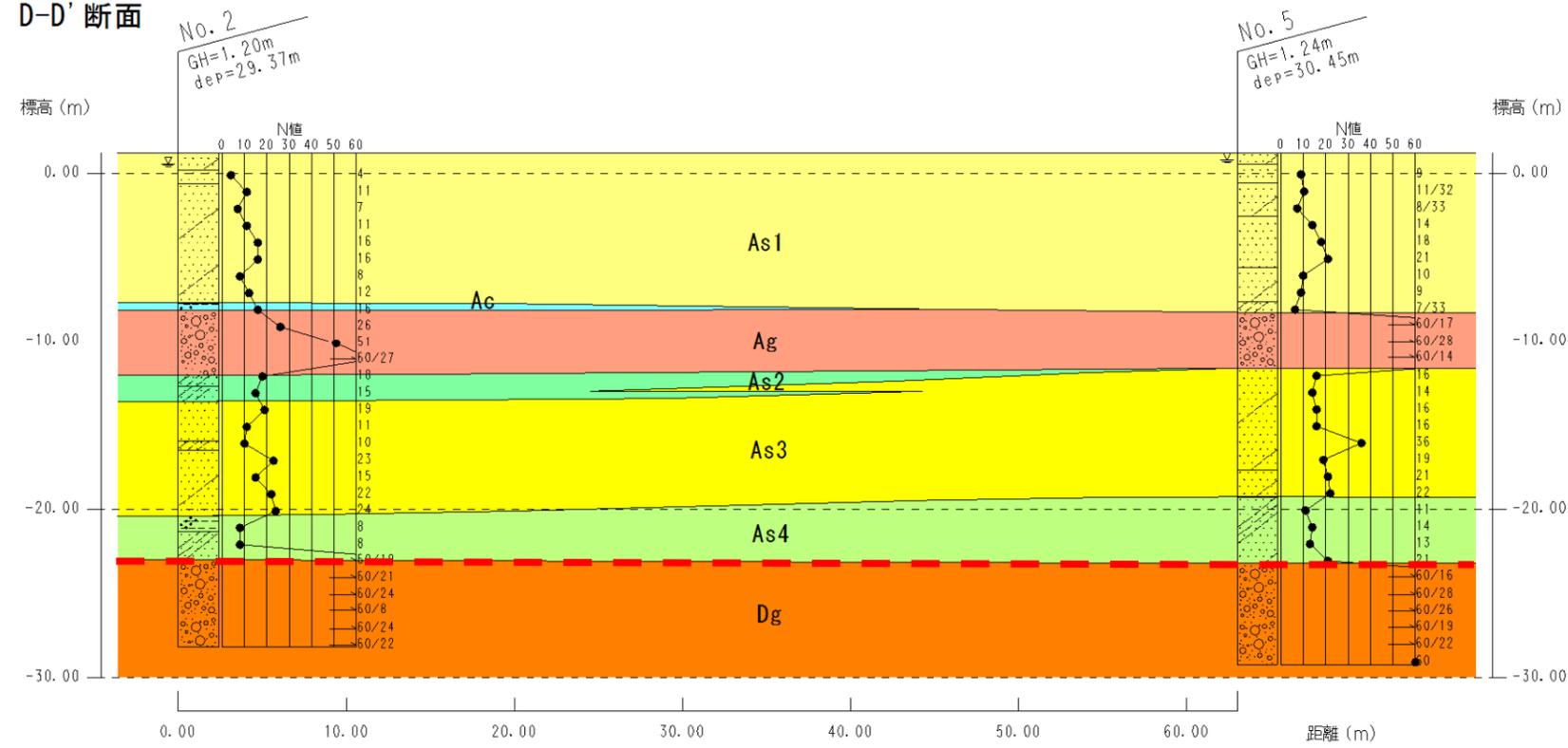
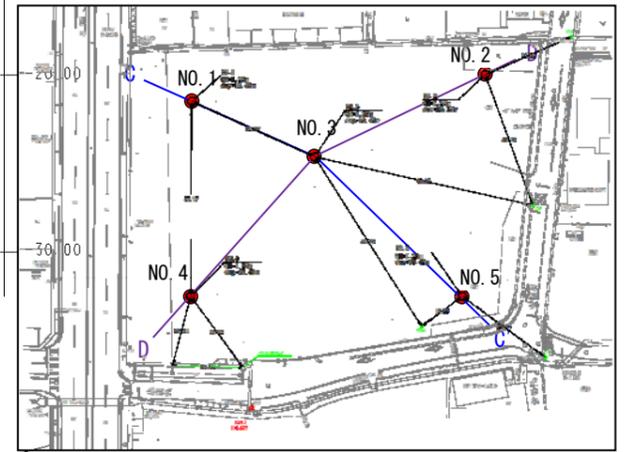
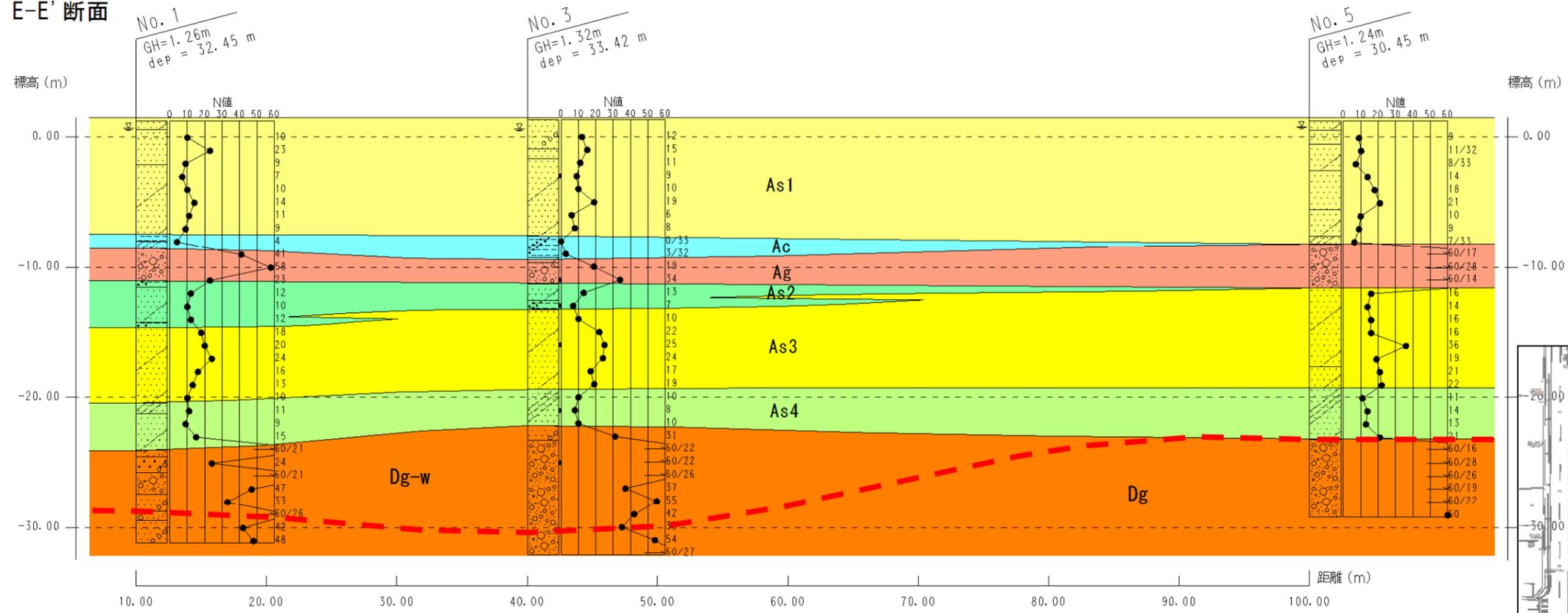


图5-4 支持層線图(C-C' · D-D' 断面)

E-E' 断面



F-F' 断面

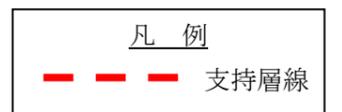
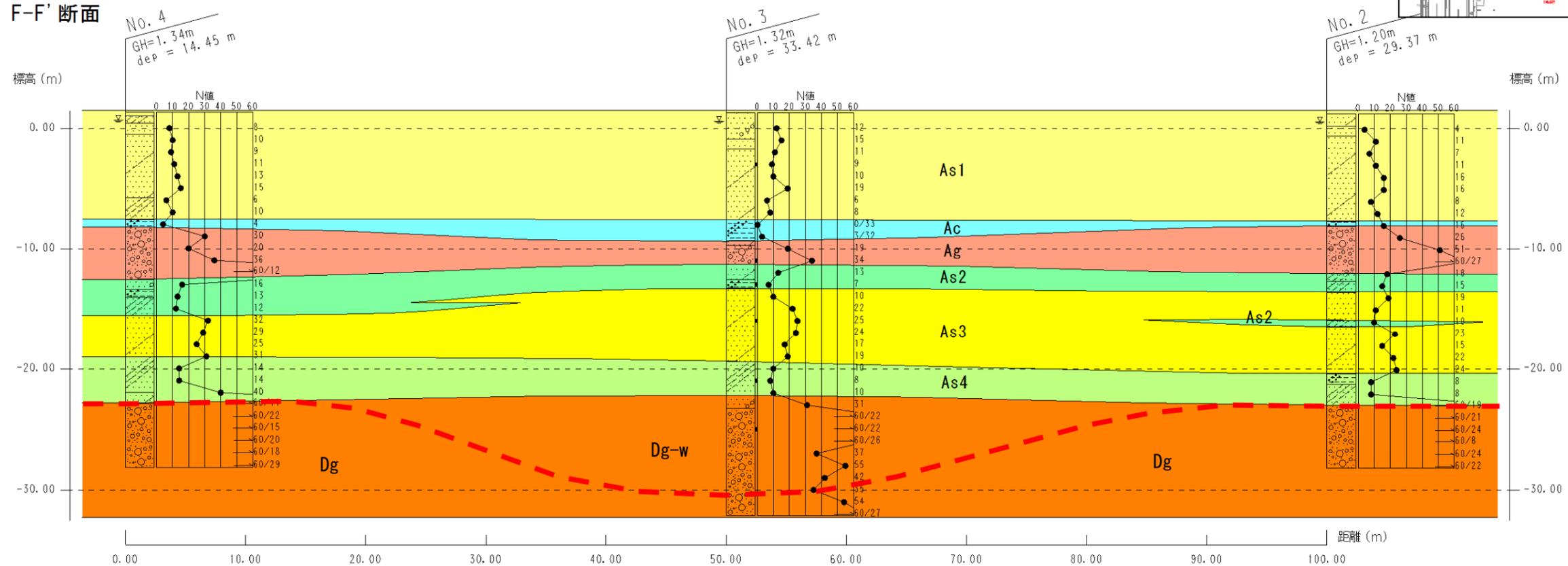


图5-5 支持層線圖(E-E' · F-F' 断面)

②基礎形式

基礎形式は、支持地盤深度や建築物の形式により図5-6のように種々の形式がある。

当該地盤では、支持地盤上面深度が約25m(Dg層)と深いことから、杭基礎の適用性が高いと考えられる。

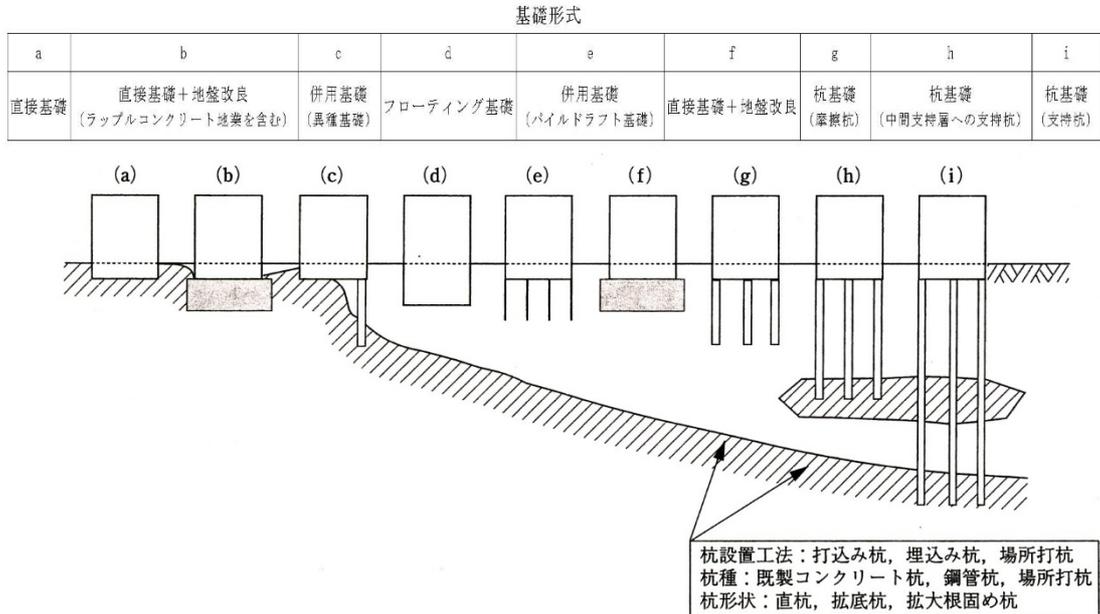


図5-6 支持地盤深度と適用可能な基礎形式

(建築基礎構造設計指針 2001改定 日本建築学会 p58)

5.3. 杭の支持力の試算

ここでは、基礎形式として Dg 層を支持層とする杭基礎を仮定し、一般的な埋込み工法について鉛直支持力の試算を行う。

なお、本試算は様々な仮定に基づく参考値であることに注意されたい。

計算条件は次のとおり。

計算方法：「建築基礎構造設計指針 日本建築学会 2001改定」の支持力算定方法による
(次ページ表5-5参照)

適用式：埋込み杭の算定式(周面摩擦力は考慮しないと仮定とする)

杭径：0.2m、0.3m、0.4m、0.5mの4種類

支持地盤：Dg層(GL-25.0m付近)

平均N値：表5-1の代表N値を使用する。

極限支持力の計算結果を表5-4、杭径と極限支持力の関係を図5-7に示す。

表5-4 支持杭の長期許容支持力の試算(目安)

杭径 (m)		0.2	0.3	0.4	0.5
A_p (m ²)		0.03	0.07	0.12	0.19
支持地盤 Dg層	$q_p=200N$ (kN/m ²) (平均N値=46)	9200			
	$R_p = q_p \cdot A_p$ (kN)	289	650	1156	1806

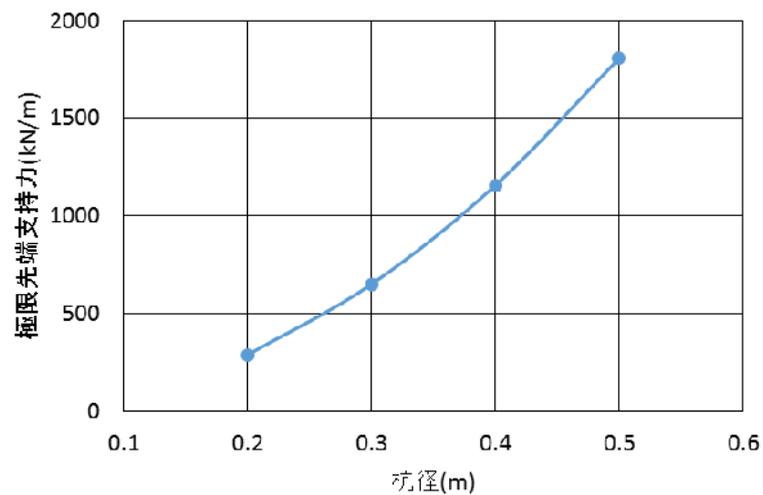


図5-7 杭径と極限支持力の関係
(様々な仮定に基づくことに注意)

表5-5 杭の極限先端支持力度、極限周面摩擦力度の算定式
(建築基礎構造設計 日本建築学会 2001改定 p205)

	極限先端支持力度 q_p (kN/m ²)		極限周面摩擦力度 (kN/m ²)	
	砂質土	粘性土	砂質土 τ_s	粘性土 τ_c
打込み杭	$q_p = 300 \bar{N}$ \bar{N} : 杭先端から下に $1d$, 上に $4d$ 間の平均 N 値 (d : 杭径)	$q_p = 6 c_u$ c_u : 土の非排水せん断強さ (kN/m ²)	$\tau_s = 2.0 N$ N : 杭周面地盤の平均 N 値 (上限 $N = 50$)	$\tau_c = \beta \cdot c_u$ $\beta = \alpha_p \cdot L_F$ $\alpha_p = 0.5 \sim 1.0$ $L_F = 0.7 \sim 1.0$ (上限 $c_u = 100$ kN/m ²)
	$q_p = 0.7 q_c$ q_c : 杭先端から下に $1d$, 上に $4d$ 間の平均 q_c 値 (kN/m ²)			
	上限値 $q_p = 18\,000$ kN/m ²			
場所打ちコンクリート杭	$q_p = 100 \bar{N}$ \bar{N} : 杭先端から下に $1d$, 上に $1d$ 間の平均 N 値	$q_p = 6 c_u$	$\tau_s = 3.3 N$ (上限 $N = 50$)	$\tau_c = c_u$ (上限 $c_u = 100$ kN/m ²)
	上限値 $q_p = 7\,500$ kN/m ²			
埋込み杭	$q_p = 200 \bar{N}$ \bar{N} : 杭先端から下に $1d$, 上に $1d$ 間の平均 N 値	$q_p = 6 c_u$	$\tau = 2.5 N$ (上限 $N = 50$)	$\tau_c = 0.8 \cdot c_u$ (上限 $c_u = 125$ kN/m ²)
	上限値 $q_p = 12\,000$ kN/m ²			

ただし, $c_u = q_u/2$ (q_u : 土の一軸圧縮強さ) としてよい。

$$R_u = R_p + R_f \quad (\text{kN})$$

記号 R_p : 極限先端支持力 (kN)

$$R_p = q_p \cdot A_p$$

q_p : 極限先端支持力度 (kN/m²)

A_p : 杭先端の閉塞断面積 (m²)

R_f : 極限周面摩擦力 (kN)

$$R_f = R_{fs} + R_{fc}$$

R_{fs} : 砂質土部分の極限周面摩擦力 (kN)

$$R_{fs} = \tau_s \cdot L_s \cdot \phi$$

τ_s : 砂質土の極限周面摩擦力度 (kN/m²)

L_s : 砂質土部分の長さ (m)

ϕ : 杭の周長 (m)

R_{fc} : 粘性土部分の極限周面摩擦力 (kN)

$$R_{fc} = \tau_c \cdot L_c \cdot \phi$$

τ_c : 粘性土の極限周面摩擦力度 (kN/m²)

L_c : 粘性土部分の長さ (m)

5.4. 地盤の液状化について

ここでは、「建築基礎構造設計指針 2001改定 日本建築学会」に示されている判定方法により、液状化の発生可能性について検討した。

①判定条件

液状化抵抗率 F_L による判定方法を上記指針より抜粋し39ページに示す。

判定にあたっての諸条件は次のように設定した。

- ・計算地点 : NO.1~NO.5地点
- ・地下水位 : ボーリングで確認された水位
- ・N 値 : 礫当たりを考慮した補正N値・層変化を考慮した換算N値
- ・地表面加速度 (α_{max}): 200cm/sec²(中地震)および350cm/sec²(大地震)の2ケースで検討した。
- ・マグニチュードM: 上記2ケースに対し、それぞれ7.0(中地震)および8.0(大地震)とした。
- ・地盤物性値: 各層の物性値は、表5-1及び室内土質試験結果を使用した。

F_L 値ではある深さにおける液状化発生の可能性は判定出来るが、地盤内に液状化部分が存在しても、その深さ、液状化層厚、不透水層の有無とその位置関係等の条件により液状化現象が地上構造物に与える影響は異なる。

ここでは、「液状化抵抗指数 P_L による液状化の判定方法」により液状化の影響を総合的に評価して当該地盤の液状化危険度を判定する。

この方法は、浅い部分の液状化が被害程度に大きな影響を与えるものとして、下式に示すように土層毎に求めた F_L に重み関数 $w(z)$ を乗じ、これを深さ方向に積分して P_L を求め、この P_L 値を基に表5-7に示す基準によって液状化発生危険度の高低を判定する。

【 P_L 計算式】

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz$$

$$F = \begin{cases} 1 - F_L & (F_L < 1.0) \\ 0 & (F_L \geq 1.0) \end{cases}$$

$$w(z) = 10 - 0.5z$$

ここに、

P_L : 液状化指数

F_L : 深度 z (m) における液状化に対する抵抗率

$w(z)$: 深度方向の重み係数

z : 深度 (m)

表5-6 液状化指数 P_L による液状化判定基準

P_L の範囲	判定基準
$P_L=0$ の時	液状化の危険度はかなり低い。 液状化に関する詳細な調査は不要。
$0 < P_L \leq 5$ の時	液状化の危険度は低い。 特に重要な構造物の設計に際しては、より詳細な調査が必要。
$5 < P_L \leq 15$ の時	液状化の危険度は高い。 重要な構造物の設計に際しては、より詳細な調査が必要。 液状化対策が一般に必要。
$15 < P_L$ の時	液状化の危険度がきわめて高い。 液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避。

(建設省土木研究所 地震防災振動研究室：地震時における砂質地盤の液状化判定方法と耐震設計への適用に関する研究 土木研究所資料 第1729号 1981 昭和56年)

②判定結果

液状化の計算結果を表5-7に整理し、40～44ページに液状化判定結果を示す。

計算結果によれば、200cm/sec²(中地震)のケースでは、 $F_L < 1.0$ となる深度は断片的で、液状化の発生は予想されない結果となるが、350cm/sec²(大地震)のケースでは、As1層・As3層における比較的N値の低い部分で $F_L < 1.0$ となり、液状化発生の危険があると判定される。

したがって、近年、巨大地震の発生が想定される情勢にあることから、液状化の対応を念頭においた施設の整備が必要な地盤であると考えられる。

表5-7 液状化判定結果

地点	ケース	抵抗率 F_L	PL 値	PL 値による液状化の危険度	評価
NO.1	M=7.0 $a_{max}=200gal$	深度4m、8m で僅かに $F_L < 1$ 。	0.57	液状化の危険度は低い。	M=8.0クラス、350galの地震動に対して液状化対策が必要と考えられる。
	M=8.0 $a_{max}=350gal$	深度3～8m、16～20mでほぼ全区間 $F_L < 1$	16.27	液状化の危険度がきわめて高い。	
NO.2	M=7.0 $a_{max}=200gal$	深度7m、16m で僅かに $F_L < 1$ 。	0.83	液状化の危険度は低い。	
	M=8.0 $a_{max}=350gal$	断続的に全区間の約半数で $F_L < 1$ 。	16.85	液状化の危険度がきわめて高い。	
NO.3	M=7.0 $a_{max}=200gal$	深度4～5m、15m で僅かに $F_L < 1$ 。	1.21	液状化の危険度は低い。	
	M=8.0 $a_{max}=350gal$	断続的に全区間の約半数で $F_L < 1$ 。	14.95	液状化の危険度は高い。	
NO.4	M=7.0 $a_{max}=200gal$	深度7m で僅かに $F_L < 1$ 。	0.17	液状化の危険度は低い。	
	M=8.0 $a_{max}=350gal$	深度3m、7～8m、14m で $F_L < 1$ 。	6.07	液状化の危険度は高い。	
NO.5	M=7.0 $a_{max}=200gal$	深度9m で僅かに $F_L < 1$ 。	0.28	液状化の危険度は低い。	
	M=8.0 $a_{max}=350gal$	断続的に全区間の約半数で $F_L < 1$ 。	13.26	液状化の危険度がきわめて高い。	

液状化判定方法

(1) 対象とすべき土層

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から20m程度以浅の沖積層で、考慮すべき土の種類は、細粒土含有率が35%以下の土とする。ただし、埋立地盤など人工造成地盤では、細粒土含有率が35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分(0.005mm以下の粒径を持つ土粒子)含有率が10%以下、または塑性指数が15%以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫は液状化の可能性が否定できないので、そのような場合にも液状化の検討を行う。

(2) 液状化危険度予測

液状化判定は図4.5.1~4.5.4を用い、以下の手順により行ってよい。

(a) 検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力比を次式から求める。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d \quad (4.5.1)$$

ここに、 τ_d は水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅(KPa)、 σ'_z は検討深さにおける有効土被り圧(鉛直有効応力)(KPa)、 r_n は等価の繰返し回数に関する補正係数で $0.1(M-1)$ 、 M はマグニチュード、 α_{\max} は地表面における設計用水平加速度(cm/s^2)、 g は重力加速度(980 cm/s^2)、 σ_z は検討深さにおける全土被り圧(鉛直全応力)(KPa)、 r_d は地盤が剛体でないことによる低減係数で次式で与えられる。

$$r_d = 1 - 0.015z \quad (4.5.2)$$

ここに、 z はメートル単位で表した地表面からの検討深さである。

(b) 対応する深度の補正N値(N_a)を、次式から求める。

$$N_1 = C_N \cdot N \quad (4.5.3)$$

$$C_N = \sqrt{98/\sigma'_z} \quad (4.5.4)$$

$$N_a = N_1 + \Delta N_f \quad (4.5.5)$$

ここに、 N_1 は換算N値、 C_N は拘束圧に関する換算係数、 ΔN_f は細粒土含有率 FC に応じた補正N値増分で、図4.5.2による。 N はトンビ法または自動落下法による実測N値とする。

(c) 図4.5.1中の限界せん断ひずみ曲線5%を用いて、補正N値(N_a)に対応する飽和土層の液状化抵抗比 $R = \tau_l/\sigma'_z$ を求める。ここに、 τ_l は、水平面における液状化抵抗である。

(d) 各深さにおける液状化発生に対する安全率 F_l を次式により計算する。

$$F_l = \frac{\tau_l/\sigma'_z}{\tau_d/\sigma'_z} \quad (4.5.6)$$

(4.5.6)式から求めた F_l 値が1より大きくなる土層については液状化発生の可能性はないものと判定し、逆に1以下となる場合は、その可能性があり、値が小さくなるほど液状化発生危険度が高く、また、 F_l の値が1を切る土層が厚くなるほど危険度が高くなるものと判断する。

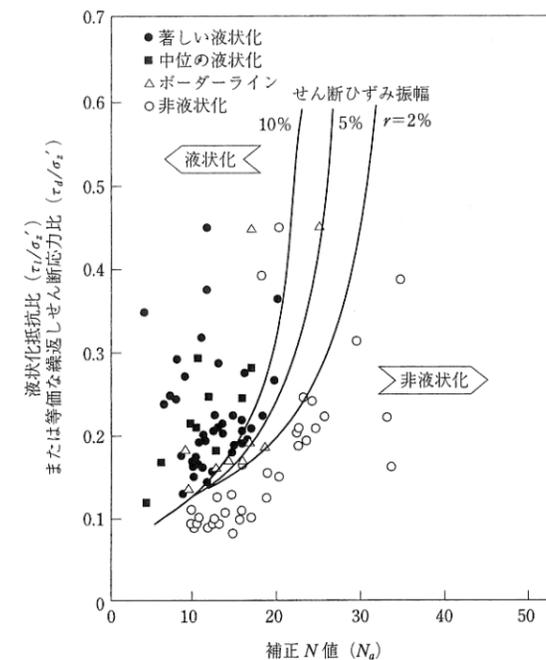


図4.5.1 補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係^{4.5.3)}

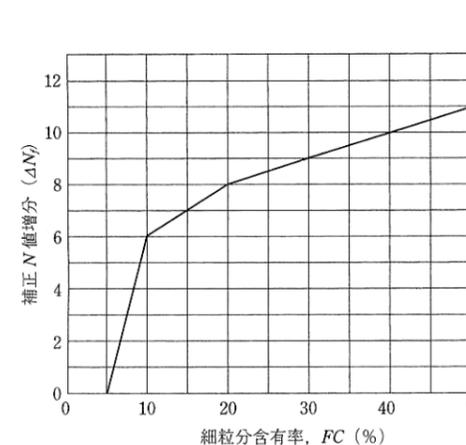


図4.5.2 細粒分含有率とN値の補正係数^{4.5.3)}

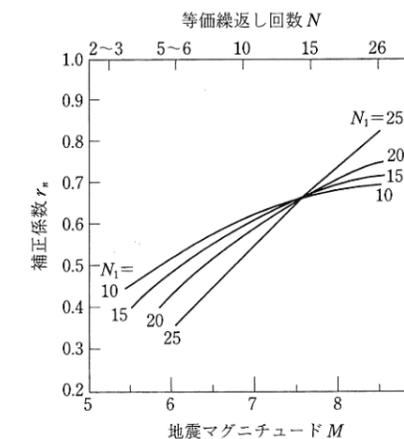


図4.5.3 補正N値、マグニチュード、繰返し回数と補正係数の関係^{4.5.3)}

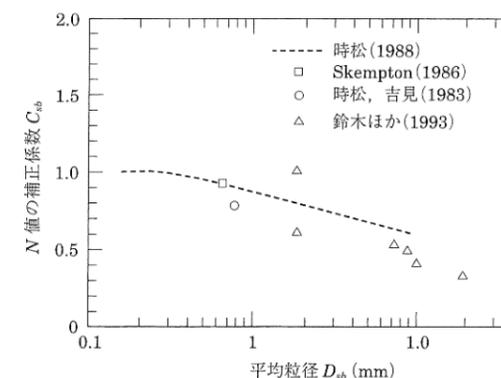
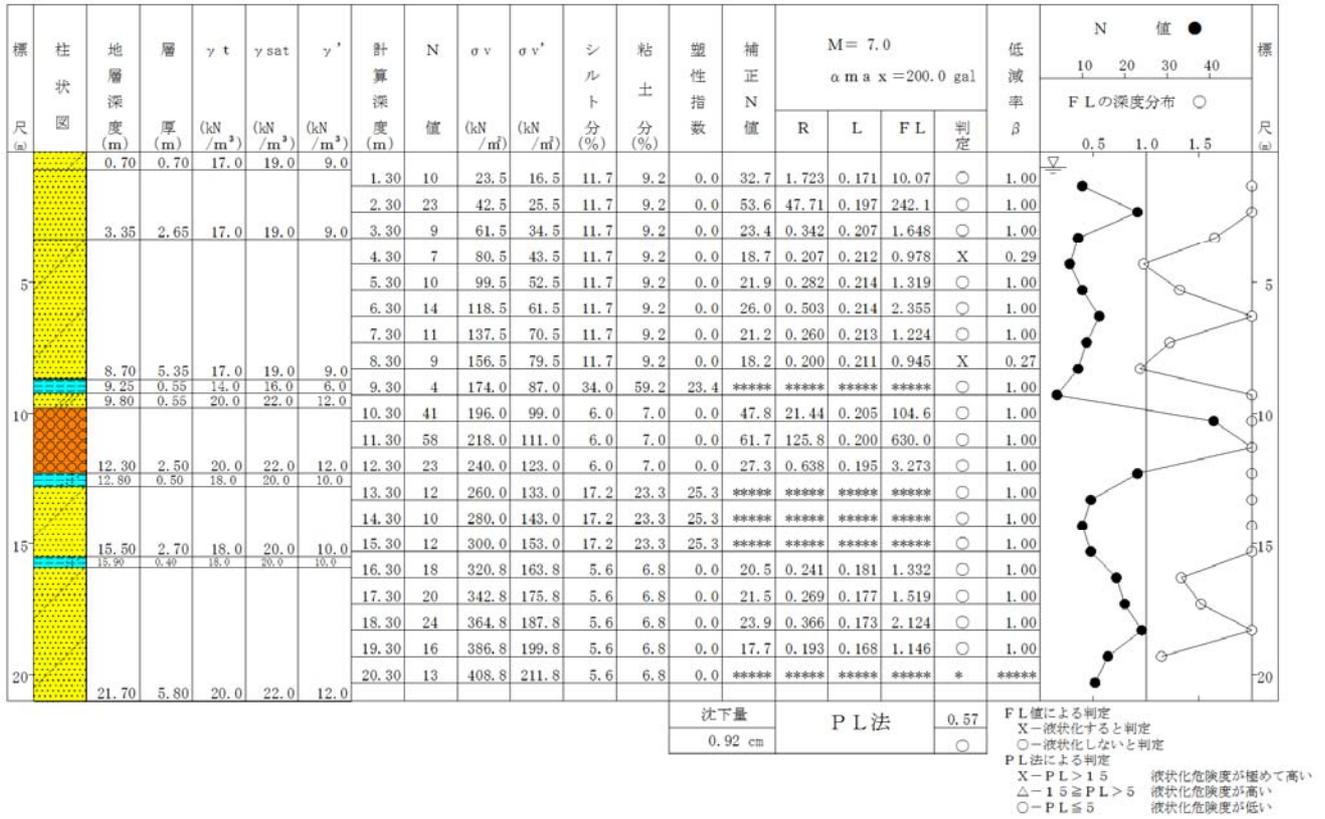


図4.5.4 砂礫地盤のN値補正係数^{4.5.3)}

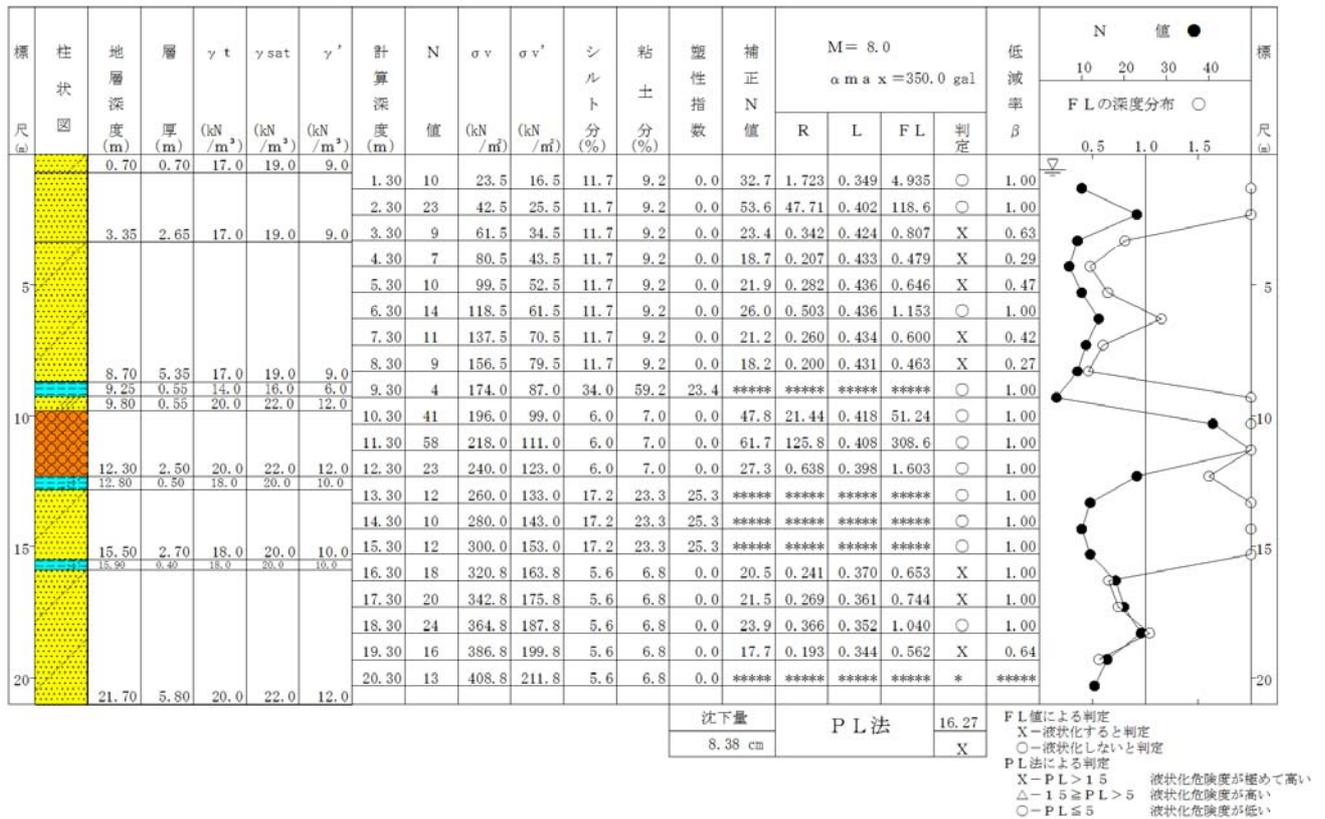
液状化簡易判定結果 No.1地点、M=7.0、 $\alpha_{max}=200gal$

件名： 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託
 ボーリングNo. No.1
 地盤標高： 1.26m
 地下水位： GL- 0.60m



液状化簡易判定結果 No.1地点、M=8.0、 $\alpha_{max}=350gal$

件名： 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託
 ボーリングNo. No.1
 地盤標高： 1.26m
 地下水位： GL- 0.60m



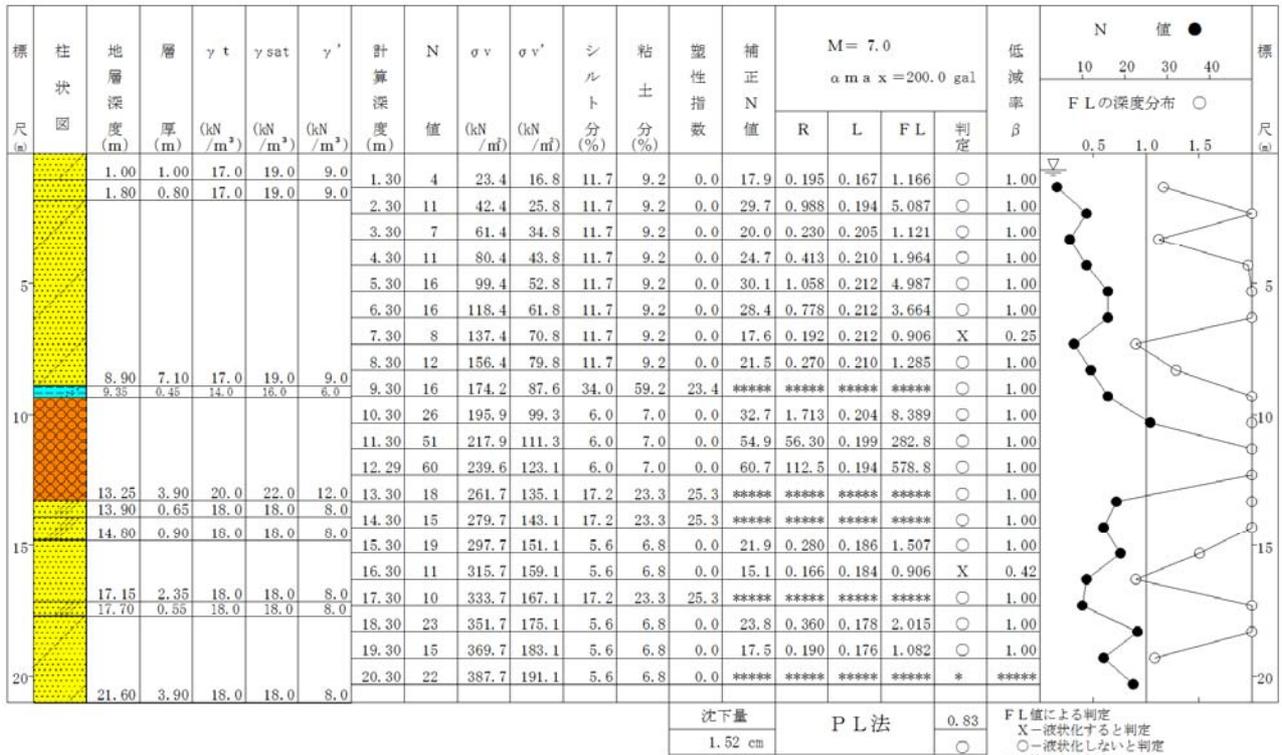
液状化簡易判定結果 No.2地点、M=7.0、 $\alpha_{max}=200gal$

件名： 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託

ボーリングNo. No.2

地盤標高： 1.20m

地下水位：GL- 0.64m



FL値による判定
 X-液状化すると判定
 ○-液状化しないと判定
 P L法による判定
 X-PL>1.5 液状化危険度が極めて高い
 △-1.5≦PL<5 液状化危険度が高い
 ○-PL≦5 液状化危険度が低い

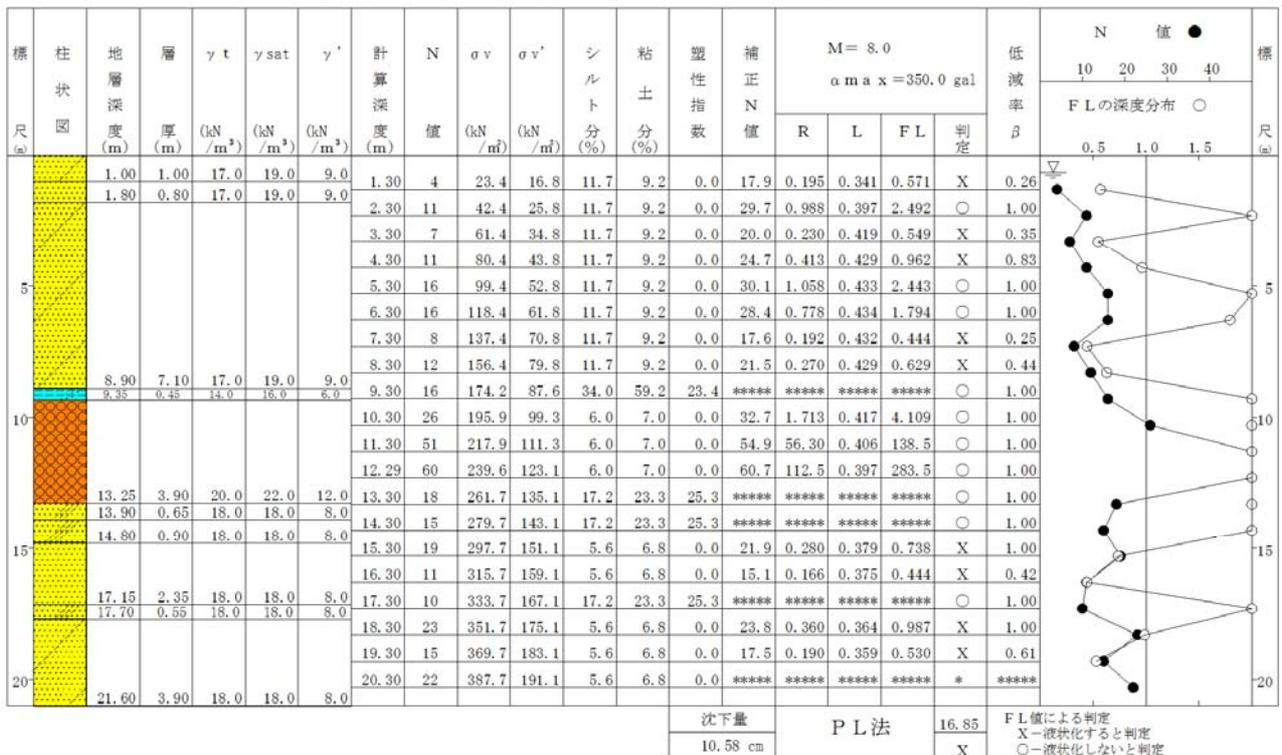
液状化簡易判定結果 No.2地点、M=8.0、 $\alpha_{max}=350gal$

件名： 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託

ボーリングNo. No.2

地盤標高： 1.20m

地下水位：GL- 0.64m



FL値による判定
 X-液状化すると判定
 ○-液状化しないと判定
 P L法による判定
 X-PL>1.5 液状化危険度が極めて高い
 △-1.5≦PL<5 液状化危険度が高い
 ○-PL≦5 液状化危険度が低い

液状化簡易判定結果 No. 3地点、M=7.0、 $\alpha_{max}=200\text{gal}$

件名： 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託
 ボーリングNo. No. 3
 地盤標高： 1.32m
 地下水位：GL- 0.71m

標尺 (m)	柱状 図	地層 深度 (m)	層 厚 (m)	γ_t (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	γ' (kN/m^3)	計 算 深 度 (m)	N 値	σ_v (kN/m^2)	σ_v' (kN/m^2)	シル ト 分 分 (%)	粘 土 分 分 (%)	塑 性 指 数	補 正 N 値	M= 7.0 $\alpha_{max}=200.0\text{ gal}$				低 減 率 β	N 値 ●			標尺 (m)			
															R	L	FL	判定		10	20	30		40		
																				FLの深度分布 ○				0.5	1.0	1.5
5		2.20	2.20	17.0	20.0	10.0	1.30	12	23.9	18.0	11.7	9.2	0.0	37.3	3.980	0.159	24.96	○	1.00							
		3.00	0.80	17.0	20.0	10.0	2.30	15	43.9	28.0	11.7	9.2	0.0	37.4	4.019	0.185	21.67	○	1.00							
							3.30	11	63.9	38.0	11.7	9.2	0.0	26.9	0.586	0.196	2.992	○	1.00							
							4.30	9	83.9	48.0	11.7	9.2	0.0	22.0	0.285	0.200	1.422	○	1.00							
							5.30	10	103.9	58.0	11.7	9.2	0.0	22.1	0.290	0.202	1.434	○	1.00							
							6.30	19	123.9	68.0	11.7	9.2	0.0	32.0	1.519	0.202	7.517	○	1.00							
							7.30	6	143.9	78.0	11.7	9.2	0.0	15.8	0.172	0.201	0.856	X	0.20							
		8.90	5.90	17.0	20.0	10.0	8.30	8	163.9	88.0	11.7	9.2	0.0	17.5	0.191	0.200	0.955	X	0.25							
							9.31	0	182.5	96.5	34.0	59.2	23.4	*****	*****	*****	*****	○	1.00							
		10.60	1.70	14.0	16.0	6.0	10.31	3	198.4	102.4	34.0	59.2	23.4	*****	*****	*****	*****	○	1.00							
		11.00	0.40	20.0	22.0	12.0	11.30	19	218.5	112.6	6.0	7.0	0.0	24.5	0.400	0.197	2.027	○	1.00							
							12.30	34	240.5	124.6	6.0	7.0	0.0	37.1	3.811	0.193	19.77	○	1.00							
		12.60	1.60	20.0	22.0	12.0	13.30	13	261.8	135.9	17.2	23.3	25.3	20.2	0.234	0.189	1.241	○	1.00							
		13.90	1.30	18.0	21.0	11.0	14.30	7	282.8	146.9	17.2	23.3	25.3	*****	*****	*****	*****	○	1.00							
		14.60	0.70	18.0	21.0	11.0	15.30	10	303.8	157.9	5.6	6.8	0.0	17.0	0.184	0.182	1.013	○	1.00							
							16.30	22	324.8	168.9	5.6	6.8	0.0	25.9	0.501	0.178	2.817	○	1.00							
							17.30	25	345.8	179.9	5.6	6.8	0.0	27.6	0.673	0.174	3.860	○	1.00							
							18.30	24	366.8	190.9	5.6	6.8	0.0	26.4	0.540	0.171	3.161	○	1.00							
							19.30	17	387.8	201.9	5.6	6.8	0.0	21.0	0.254	0.167	1.519	○	1.00							
		20.70	6.10	18.0	21.0	11.0	20.30	19	408.8	212.9	5.6	6.8	0.0	*****	*****	*****	*****	*	*****							

沈下量 P L 法 1.21
 1.47 cm ○

FL値による判定
 X-液状化すると判定
 ○-液状化しないと判定
 PL法による判定
 X-PL>1.5 液状化危険度が極めて高い
 △-1.5≧PL>5 液状化危険度が高い
 ○-PL≦5 液状化危険度が低い

液状化簡易判定結果 No. 3地点、M=8.0、 $\alpha_{max}=350\text{gal}$

件名： 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託
 ボーリングNo. No. 3
 地盤標高： 1.32m
 地下水位：GL- 0.71m

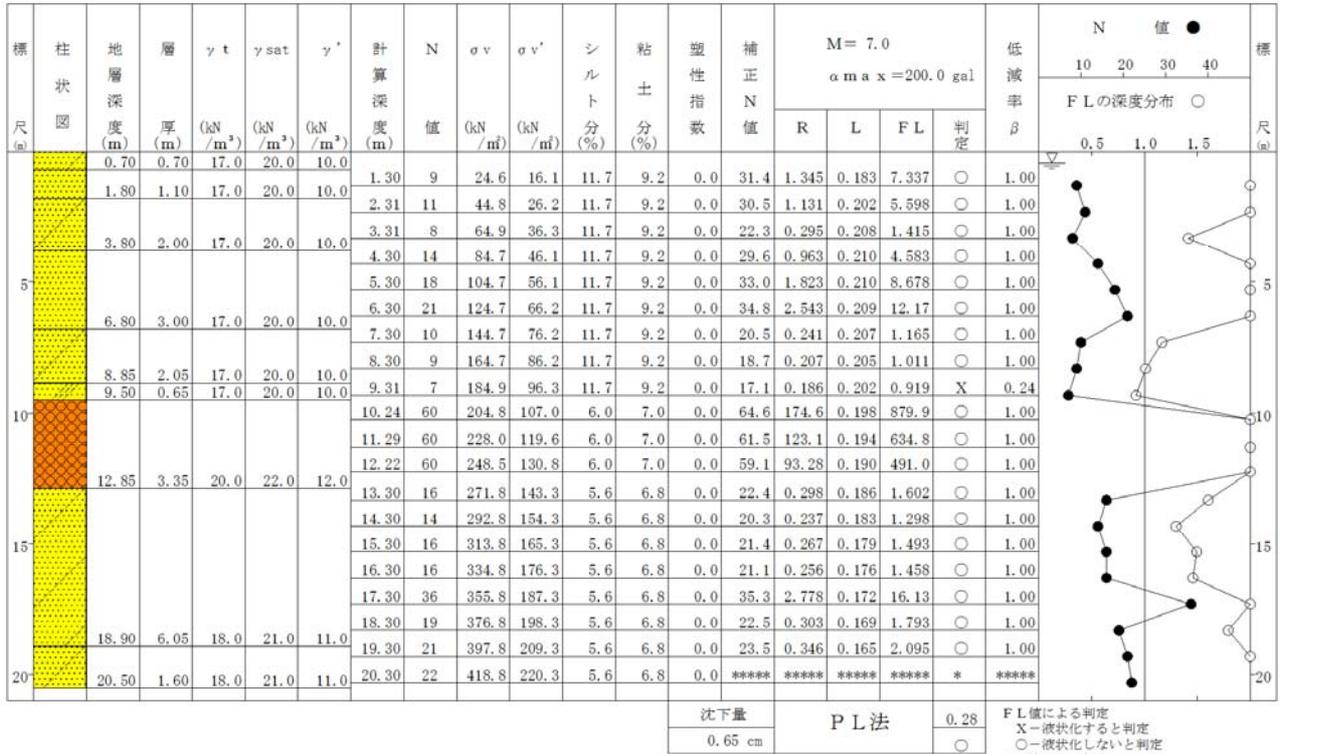
標尺 (m)	柱状 図	地層 深度 (m)	層 厚 (m)	γ_t (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	γ' (kN/m^3)	計 算 深 度 (m)	N 値	σ_v (kN/m^2)	σ_v' (kN/m^2)	シル ト 分 分 (%)	粘 土 分 分 (%)	塑 性 指 数	補 正 N 値	M= 8.0 $\alpha_{max}=350.0\text{ gal}$				低 減 率 β	N 値 ●			標尺 (m)			
															R	L	FL	判定		10	20	30		40		
																				FLの深度分布 ○				0.5	1.0	1.5
5		2.20	2.20	17.0	20.0	10.0	1.30	12	23.9	18.0	11.7	9.2	0.0	37.3	3.980	0.326	12.22	○	1.00							
		3.00	0.80	17.0	20.0	10.0	2.30	15	43.9	28.0	11.7	9.2	0.0	37.4	4.019	0.379	10.62	○	1.00							
							3.30	11	63.9	38.0	11.7	9.2	0.0	26.9	0.586	0.400	1.465	○	1.00							
							4.30	9	83.9	48.0	11.7	9.2	0.0	22.0	0.285	0.409	0.696	X	0.48							
							5.30	10	103.9	58.0	11.7	9.2	0.0	22.1	0.290	0.412	0.702	X	0.49							
							6.30	19	123.9	68.0	11.7	9.2	0.0	32.0	1.519	0.413	3.682	○	1.00							
							7.30	6	143.9	78.0	11.7	9.2	0.0	15.8	0.172	0.411	0.419	X	0.20							
		8.90	5.90	17.0	20.0	10.0	8.30	8	163.9	88.0	11.7	9.2	0.0	17.5	0.191	0.408	0.468	X	0.25							
							9.31	0	182.5	96.5	34.0	59.2	23.4	*****	*****	*****	*****	○	1.00							
		10.60	1.70	14.0	16.0	6.0	10.31	3	198.4	102.4	34.0	59.2	23.4	*****	*****	*****	*****	○	1.00							
		11.00	0.40	20.0	22.0	12.0	11.30	19	218.5	112.6	6.0	7.0	0.0	24.5	0.400	0.403	0.993	X	1.00							
							12.30	34	240.5	124.6	6.0	7.0	0.0	37.1	3.811	0.394	9.685	○	1.00							
		12.60	1.60	20.0	22.0	12.0	13.30	13	261.8	135.9	17.2	23.3	25.3	20.2	0.234	0.386	0.608	X	1.00							
		13.90	1.30	18.0	21.0	11.0	14.30	7	282.8	146.9	17.2	23.3	25.3	*****	*****	*****	*****	○	1.00							
		14.60	0.70	18.0	21.0	11.0	15.30	10	303.8	157.9	5.6	6.8	0.0	17.0	0.184	0.371	0.496	X	0.56							
							16.30	22	324.8	168.9	5.6	6.8	0.0	25.9	0.501	0.363	1.380	○	1.00							
							17.30	25	345.8	179.9	5.6	6.8	0.0	27.6	0.673	0.356	1.890	○	1.00							
							18.30	24	366.8	190.9	5.6	6.8	0.0	26.4	0.540	0.349	1.548	○	1.00							
							19.30	17	387.8	201.9	5.6	6.8	0.0	21.0	0.254	0.341	0.744	X	1.00							
		20.70	6.10	18.0	21.0	11.0	20.30	19	408.8	212.9	5.6	6.8	0.0	*****	*****	*****	*****	*	*****							

沈下量 P L 法 14.95
 8.94 cm △

FL値による判定
 X-液状化すると判定
 ○-液状化しないと判定
 PL法による判定
 X-PL>1.5 液状化危険度が極めて高い
 △-1.5≧PL>5 液状化危険度が高い
 ○-PL≦5 液状化危険度が低い

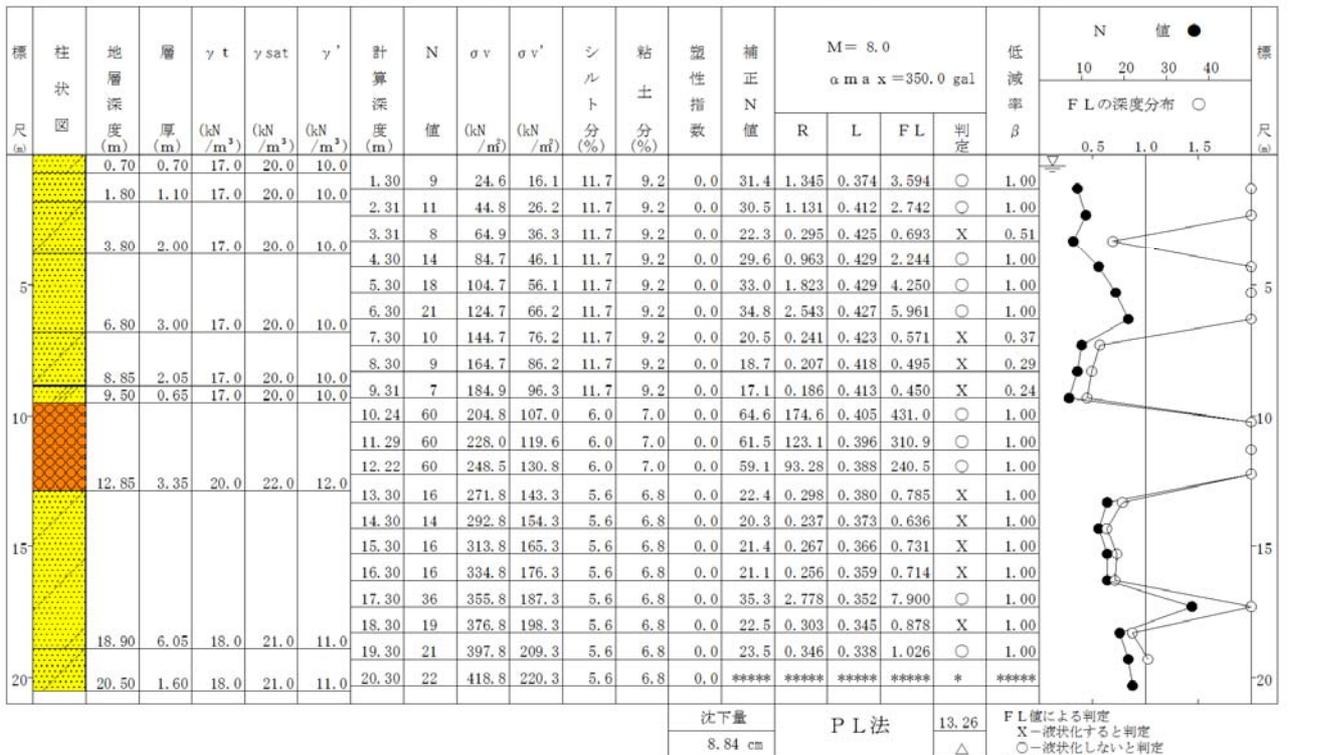
液状化簡易判定結果 No.5地点、M=7.0、 $\alpha_{max}=200gal$

件名： 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託 ボーリングNo. No.5 地盤標高： 1.24m 地下水位：GL- 0.45m



液状化簡易判定結果 No.5地点、M=8.0、 $\alpha_{max}=350gal$

件名： 北部学校給食センター建設工事に伴う地質調査業務委託 ボーリングNo. No.5 地盤標高： 1.24m 地下水位：GL- 0.45m



5.5. 設計・施工上の留意点

ボーリング結果による設計・施工上の留意点は次のとおり。

①支持地盤について

当該地における支持地盤は、Dg層に求めることが適当であることを提案した。

Dg層は概ねN値 ≥ 50 の密実な地盤であるが、主に敷地北西部のNO.1～NO.3付近において、Dg層上部にN値 ≈ 30 内外のN値低下部が認められ、この付近では支持地盤深度に最大で6m以上の高低差が生じる可能性がある。

このため、建築物の配置計画等が明確になった段階で、確認ボーリング実施の必要性を検討することが望ましい。

②地震時の液状化について

M=8クラス、350galの地震動に対する液状化判定結果では、As1層・As3層において液状化発生の可能性があり、 P_L 値による判定では「液状化危険度が高い」～「液状化危険度がきわめて高い」との結果となり、当該地盤は「液状化危険度が高い」として扱うことが適当である。

液状化に対する詳細調査や対策工実施の必要性については、構造物の重要度等を考慮して検討することが望ましい。

③最大礫径について

Ag層及びDg層では、ボーリングにより最大径8cm程度の礫の存在を確認している。

ボーリングで得られた礫試料は、標準貫入試験のサンプラーやボーリングビットによって割られた状態で採取されたものであり（図5-8参照）、地盤内の最大礫径は、一般的にはボーリングで把握した礫径の3倍程度を想定しておくことが多い。

杭基礎の施工計画にあたっては、Ag層、Dg層ともに最大径25cm程度の礫の存在を想定しておくことが適当であろう。

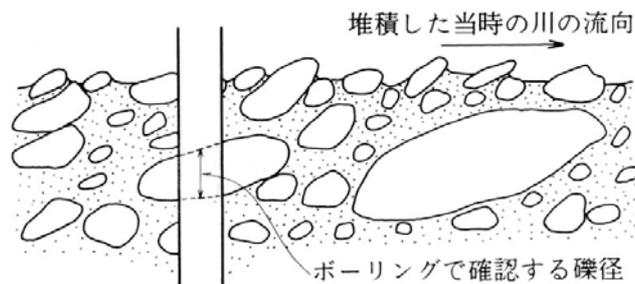


図5-8 ボーリングで確認する礫径

(ボーリング野帳記入マニュアル 土質編-改訂版 (社) 全国地質調査業協会連合会 p103)

④地下水について

当該地盤は、GL-1m 以浅に地下水位が観測され、ルーズな砂層が比較的厚く堆積した状態にある。

表層部の掘削や杭の施工にあたっては、掘削底面や杭先端部のボイリング、盤膨れ、パイピング現象などに留意した施工計画が必要となろう。

また、掘削施工等による泥水などが、周囲の地下水環境等に与える影響についても配慮しておくことが望ましい。

以 上