

論文 Original Paper

レジェンドパイプ工法を用いた地下水位低下の
実験による効果検証橋本隆雄*¹・橋ヶ谷直之*²・金子恵太*³・清水敏孝*⁴Verification of effectiveness by groundwater level lowering
experiment using the legend pipe methodTakao Hashimoto*¹, Naoyuki Hashigaya*², Keita Kaneko*³ and Toshitaka Shimizu*⁴

Abstract: The Legend Pipe method was researched and developed to reduce groundwater and prevent landslides and liquefaction by utilizing a subsidy from the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. However, since the effect of this method has not been confirmed, a construction experiment was conducted in Hamamatsu City, Shizuoka Prefecture to lower the groundwater level of the liquefied ground. In this paper, it was clarified from the experimental results that the groundwater level drops in a short time, there is no land subsidence, and it is effective as a countermeasure against liquefaction.

Key words: Liquefaction, groundwater level lowering method, landslide, construction experiment, liquefaction countermeasures, propulsion method

1. はじめに

レジェンドパイプ工法は、国土交通省の平成30年度建設技術研究開発制度において新工法を活用した建設現場の生産性向上に関する技術の新規課題として採択された「研究開発名：新工法・新材料を活用した地下水排除工を用いた効果的な液状化・地すべり対策に関する技術開発」の助成金を活用して、研究開発したものである。この工法は地下水位が高い箇所に推進工法により小口外径300mmの集排水パイプを設置して効率的に地下水を下げ、地すべりおよび液状化現象を抑制するものである。

しかし、レジェンドパイプ工法の施工性や地下水位低下の効果について検証できていない。

そこで、図-1に示す静岡県浜松市西区篠原町の液状化が発生する恐れがある緩い砂地盤で本工法を用いた地下水位低下の施工実験を令和元年8月30日から継続して行った。

本論文では年間の降雨変動はあるが、降雨と地下水位

低下の実験結果から、レジェンドパイプ工法の施工性や地下水位低下の効果を検証する目的で行ったものである。

2. 試験施工概要

新工法、新素材を活用した液状化・地すべり対策のレジェンドパイプ工法による地下水位低下の効果を確認するために、図-2に示すように静岡県浜松市西区篠原町

図-1 試験施工位置図¹⁾*¹ 国土館大学理工学部まちづくり学系教授*² アサヒエンジニアリング株式会社営業部長*³ 株式会社アートコーポレーション統括本部取締役営業本部長*⁴ メインマークアクアテック株式会社代表取締役

の鰻養殖場で現在太陽光発電のソーラーパネルがある場所を借用して試験施工を行った。

現地施工は、図-3に示すように鋼製ケーシング立坑を4基設置し、この立坑からレジェンドパイプ工法によりそれぞれ、38m、70m、100m、および10mの排水パイプを設置した。施工期間は令和元年6月から令和2年1月まで行い、ポンプ排水はすべて接続が完了した令和2年1月23日から立坑のNo.4とNo.1よりを開始した。排水ポンプの設置標高はNo.4で-1.826m（深度3.96m）、No.1で-1.760m（深度3.90m）である。

レジェンドパイプ工法（標準型）の施工は以下の手順で施工した。図-4①に示すようにの推進装置を発進立坑に据え付け写真-1の掘進機のNo.1、No.2をセットする。②掘進機No.1、No.2発進後、掘進機No.3、No.4をセットする

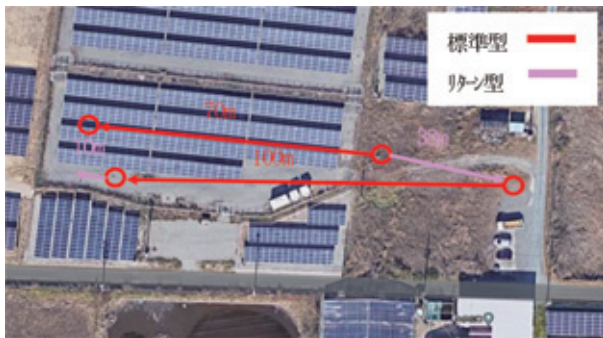


図-2 試験施工位置図

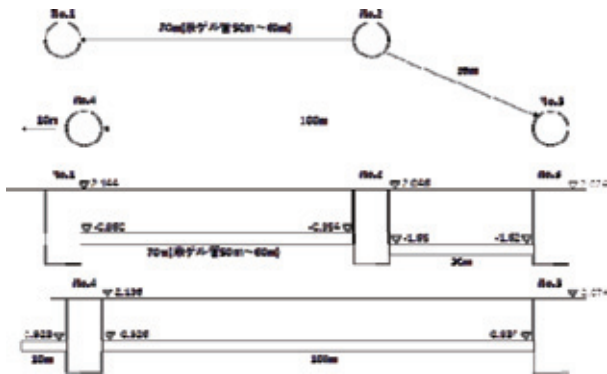


図-3 試験施工概要図



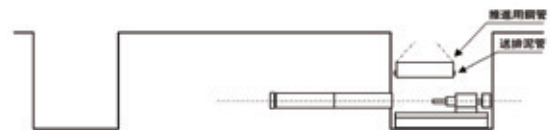
写真-1 掘進機設置状況



① 推進装置を発進立坑に据え付けて、掘進機No.1、No.2 をセット



② 掘進機No.1、No.2 発進後、掘進機No.3、No.4 をセット



③ 推進用鋼管内に送排泥管をセットし、推進用鋼管を接続する



④ 方向修正を行いながら、推進用鋼管を順次推進する



⑤ ③～④の作業を繰り返し、掘進機を到達立坑に至らしめる



⑥ 到達したら掘進機を回収し、ケーシング、ケーブル等の管内設備を撤去する



⑦ 掘進機を撤出した後、排水パイプを推進管内に挿入する



⑧ 集排水パイプを所定の位置まで挿入した後、推進用鋼管を引き抜く



⑨ 推進用鋼管を引抜き後、発進立坑内の推進装置を撤去する

図-4 レジェンドパイプ工法施工手順（標準型）

る。③推進用鋼管内に送排泥管をセットし、写真-2の推進用鋼管を接続する。④掘進機の方角修正を行いながら推進用鋼管を順次推進する。⑤③～④の作業を繰り返し掘進機を到達立坑に到達させる。⑥到達した後、掘進機を回収しケーシング・ケーブル等の管内設備を発進側へ撤去する。⑦掘進機を撤出後、写真-3の排水パイプを推進管内に挿入する。⑧排水パイプを所定の位置まで挿入後、写真-4のように推進用鋼管を引き抜く。⑨推進用鋼管を引抜き後、発進立坑内の推進装置を撤去する。⑩鋼管引抜き後、端部管にセットした止水プラグ

を開放し、写真-5のように集排水および水替えを行う。

リターン型の施工は図-5に示すように、以下の手順で施工した。新工法モデルとして開発した写真-6のリターン型掘進機は、前面のカッターが写真-7及び写真-8のように内側に格納した後、推進管内を後進し発進立坑側で回収できるため到達立坑が必要ない。本試験施工ではまずNo.2～No.3の38m区間において到達立坑がある条件で格納及び後進状況を確認した。次にNo.4から10mの区間にて到達立坑が無い条件でリターン型回収の施工に成功した。歩掛調査の結果、表-1に示すように工事費



写真-2 推進用鋼管接続



写真-5 集排水状況



写真-3 集排水パイプ挿入



写真-6 リターン型掘進機



写真-4 鋼管引抜き

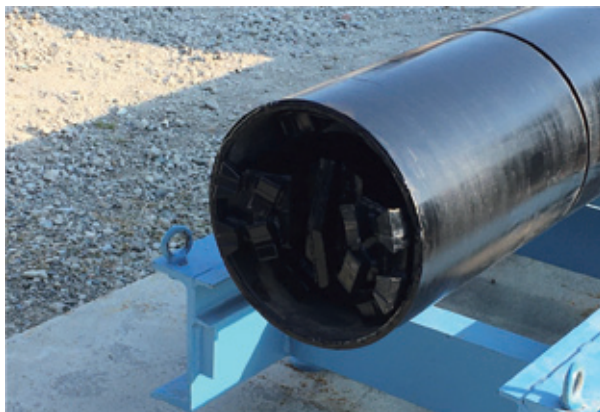


写真-7 掘進機格納状況

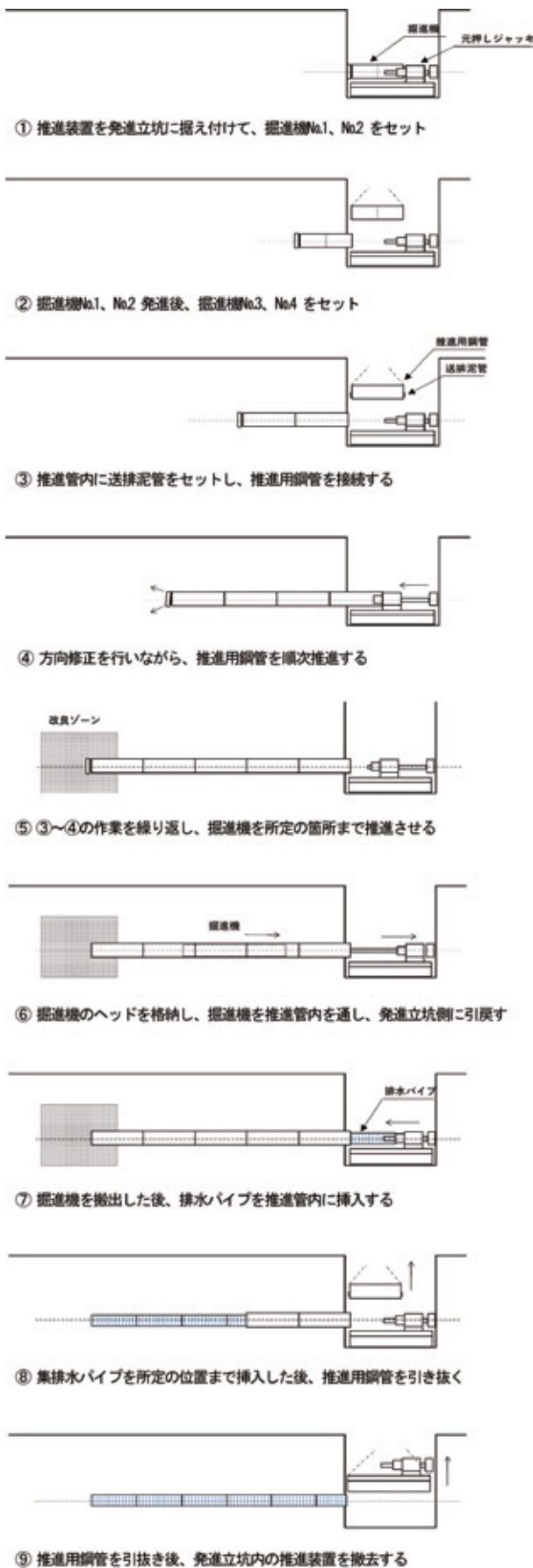


図-5 レジェンドパイプ工法施工手順 (リターン型)

は従来より約4/5に低減できた。さらに引抜き方式+押抜き方式の採用により1スパンの延長を従来の50mから100mに延伸させた。また発進立坑寸法は従来φ2.5m必要であったがφ2mで施工可能とした。これにより工事費を約3/4に低減、工程を約20%短縮した。

本試験施工で採用したMPDパイプ (暗渠集排水管) は空隙率70%以上、表面開口率80%前後であり透水性が高く洗浄により目詰まりを低減することが出来る。地上にてパイプを並べ内側より写真-9のように高圧洗浄



写真-8 掘進機格納完了

表-1 経済比較表

①1スパン100m区間における引抜き方式+押し抜き方式との比較

工種	詳細	50m+50m、2スパン	100m、1スパン
推進工	φ310MPD	7,000,000	6,000,000
立坑工	H=4m	3箇所	2箇所
棄液注入工	坑口注入	4箇所	2箇所
合計		13,100,000	9,800,000
コスト低減率			25%

②1スパン40m区間における標準方式とリターン回収方式との比較

工種	詳細	標準型		リターン型	
		箇所	費用	箇所	費用
推進工	φ310MPD	2箇所	3,000,000	1箇所	3,200,000
立坑工	H=4m	2箇所	3,000,000	1箇所	1,500,000
棄液注入工	坑口注入	2箇所	800,000	2箇所	800,000
合計			6,800,000		5,500,000
コスト低減率					19%



写真-9 MPDパイプ洗浄状況

機による洗浄を行った結果、パイプ表面までロスなく水圧が届きフィルター表面の目詰まりが容易に解消できることを確認した。

3. 調査結果

(1) 土質断面図作成

篠原試験施工区域は、養鰻池を埋め立てて造成された区域とされる。当該地は、図-6の土質調査及び推定地層断面図に示すように埋土 (B)、沖積層砂質土 (As)、沖積層粘性土 (Ac) からなる。埋土は碎石、礫混じりシルト質砂、砂礫、砂質シルト等からなり、不均質である。N値は2~5を示す。層厚は0.85~1.1mである。

沖積層砂質土は細砂、シルト混じり細砂からなる。深度2~4mまでN値10以下を示す軟弱な砂層である。粘性土層を挟み、N値が10以上に上昇する箇所が多いが、明瞭な地層境界を持たずにN値が上昇する箇所もある。

沖積層粘性土は砂混じりシルト、シルトからなる。全体に腐植物を伴う。N値は1~3である。

地区南側の1-1断面では、埋土の直下に沖積層粘性土が分布する。No.1立坑とNo.2立坑を結ぶ2-2断面では、埋土の直下に沖積層粘性土の分布は連続性に乏しいが、沖積層砂質土中に粘性土が挟在する。なお、スウェーデン式サウンディングでは、重りで自沈する箇所が多数認められるが、これが全て粘性土に相当するとはいえない。

(2) 自記水位計とりまとめ

地下水位低下の効果を検討するため、表-2に示すように地下水観測孔を9基設置した。図-7及び図-8は、降水量と地下水位 (TP) の推移である。また、図-9及び図-10は、降水量と地下水位 (GL表示) の推移である。No.7はポンプ排水開始後に地下水位の急激な低下は認められず、他の観測孔と50cm程度水位差がみられる。

2020/1/23から地下水位低下のためにポンプ排水を開

表-2 水位観測孔 (2020/2/18計測)

	観測位置 標高	手水位計 測定値 GL-	手水位計 標高	自動水位 計標高
No.1	2.415	2.37m	0.045	0.105
No.2	2.556	2.83m	-0.274	-0.228
No.3	2.494	2.58m	-0.086	-0.06
No.4	2.434	2.81m	-0.376	-0.303
No.5	2.478	2.67m	-0.192	-0.102
No.6	2.559	2.61m	-0.051	0.03
No.7	2.54	1.93m	0.610	0.648
No.10	2.558	2.83m	-0.272	-0.252
No.11	2.498	2.63m	-0.132	-0.144

注1)：観測位置標高は測定パイプ天端の標高、地盤標高は-0.4mとする。

注2)：手水位測定値は測定パイプ天端からの深度である。

始した。

No.1はポンプ排水開始直後では地下水位の低下速度がNo.7を除くほかの観測孔より遅いが、時間経過とともにNo.7を除く観測孔の地下水位程度まで低下する。

No.1, No.2, No.3, No.7, No.11は降雨に対応して明確に地下水位が上昇する。これは、地下水の流動方向に対して上流側にある可能性がある。これは川から海側への流動を示唆するものである。ただし、水位差は明確な流動方向を示していない。

細かいノコギリの歯形の波形は、ポンプ排水の影響を受けたものと想定される。

ポンプ排水直後が最も地下水位低下の影響が強く出ている、その後降雨により地下水位が上昇したのち、地下水位は以前の低下深度まで戻らない傾向が認められる。

地下水位低下後の地下水位標高は概ね0mで、すなわち海水面付近であることからこれ以上の水位低下は困難と考えられる。

4. 総合解析

(1) 地下水位の横断形状

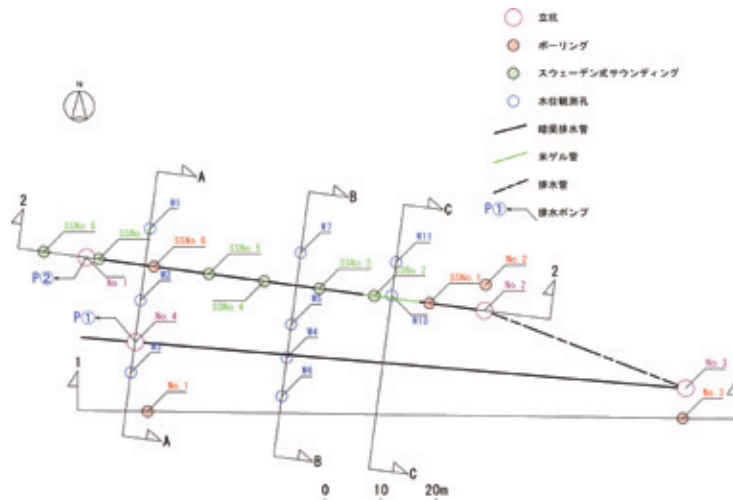
2020/1/23から地下水位低下のためにポンプ排水を開始した。ポンプ排水開始前 (2020/1/22) と開始1ヶ月後 (2020/2/22) の水位差は、標高で表-3、深度で表-4のようになる。水位差の平均値は0.91mであるが、地下水位低下の影響が弱いNo.7の値を除くと0.96mである。

表-3 地下水位低下前後の水位差 (標高)

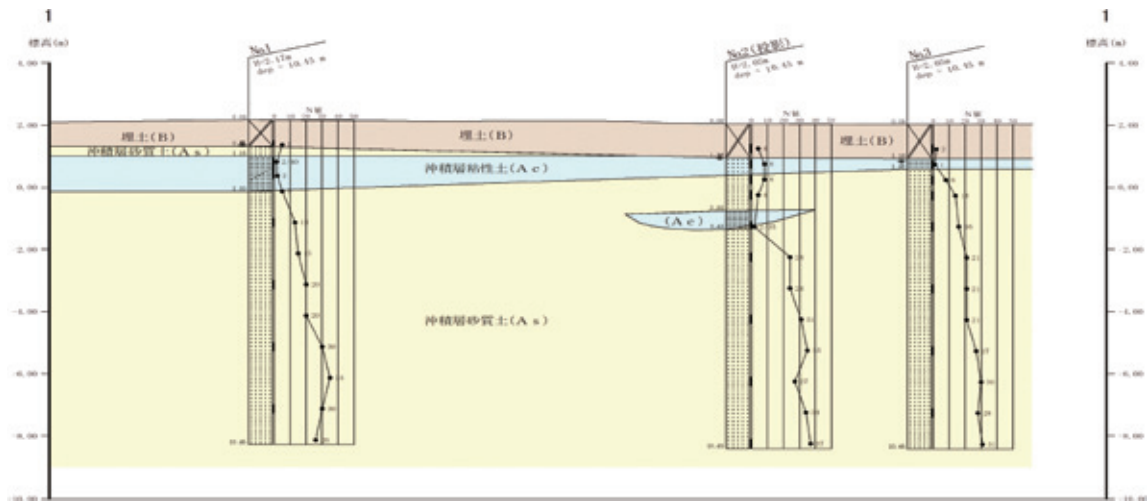
観測孔名	地下水位標高(m)		水位差 (m)
	2020/1/22	2020/2/22	
3	0.73	-0.10	0.83
2	0.72	-0.30	1.02
1	0.74	-0.17	0.91
6	0.85	-0.03	0.88
4	0.87	-0.34	1.21
5	0.82	-0.16	0.98
7	0.98	0.49	0.49
10	0.69	-0.29	0.98
11	0.69	-0.23	0.91

表-4 地下水位低下前後の水位差 (深度)

観測孔名	地下水位標高(m)		水位差 (m)
	2020/1/22	2020/2/22	
3	1.36	2.19	-0.83
2	1.44	2.45	-1.02
1	1.28	2.19	-0.91
6	1.31	2.19	-0.88
4	1.17	2.37	-1.21
5	1.26	2.24	-0.98
7	1.16	1.65	-0.49
10	1.47	2.45	-0.98
11	1.41	2.32	-0.91

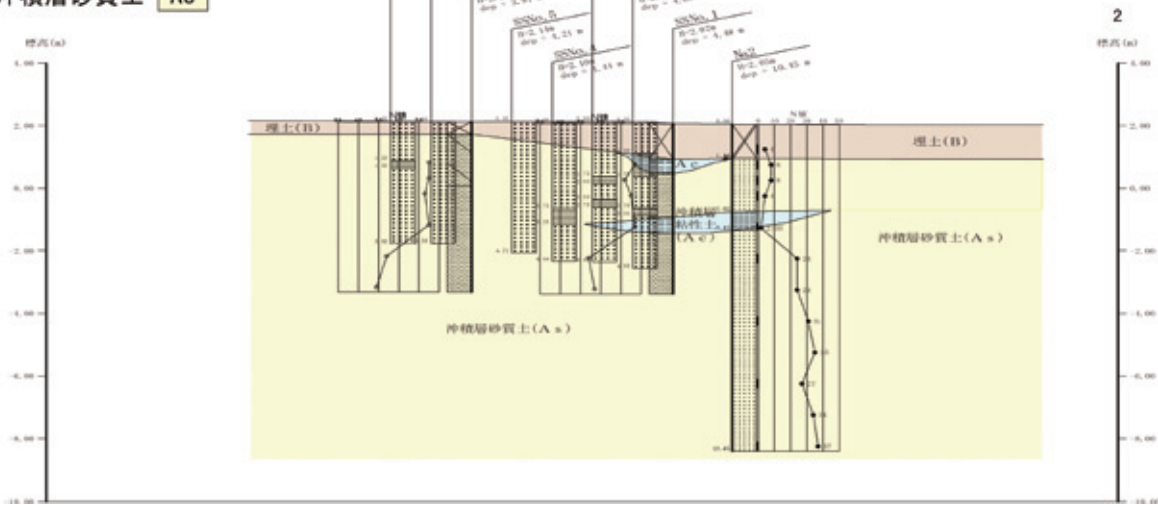


(a) 土質調査位置図



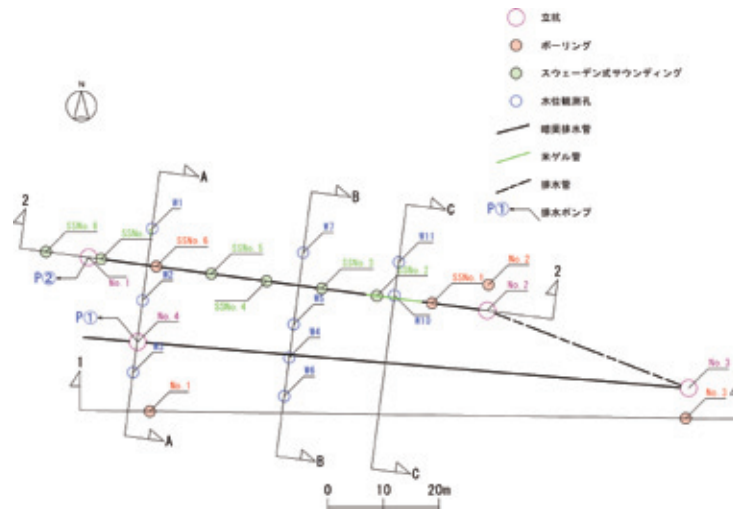
(b) 1-1推定地層断面図

埋土 B
 沖積層粘性土 Ac
 沖積層砂質土 As

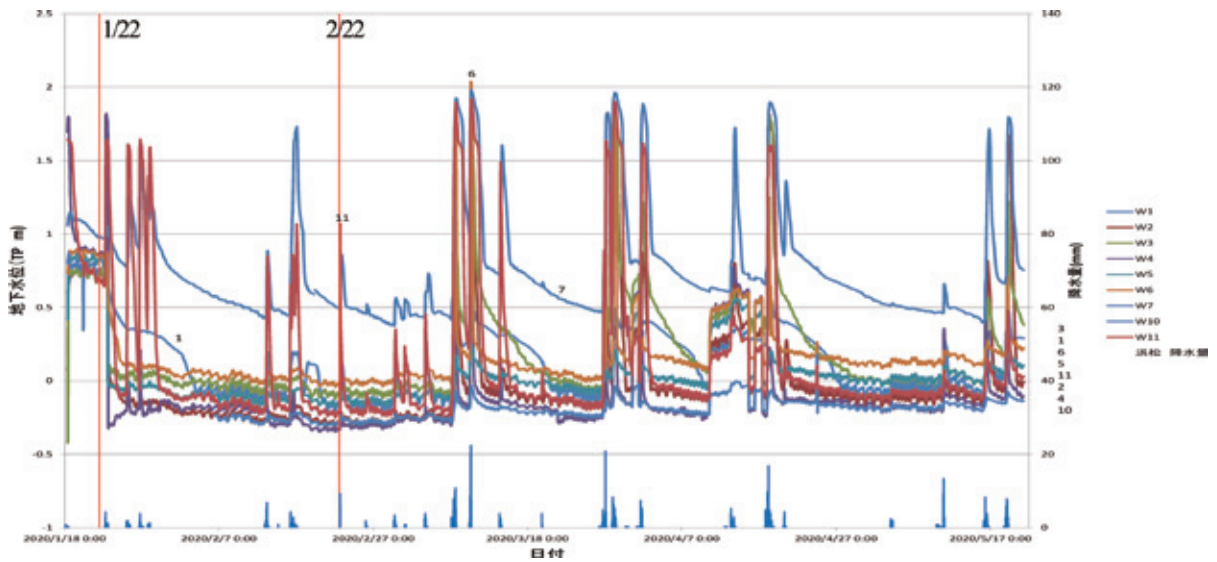


(c) 2-2推定地層断面図

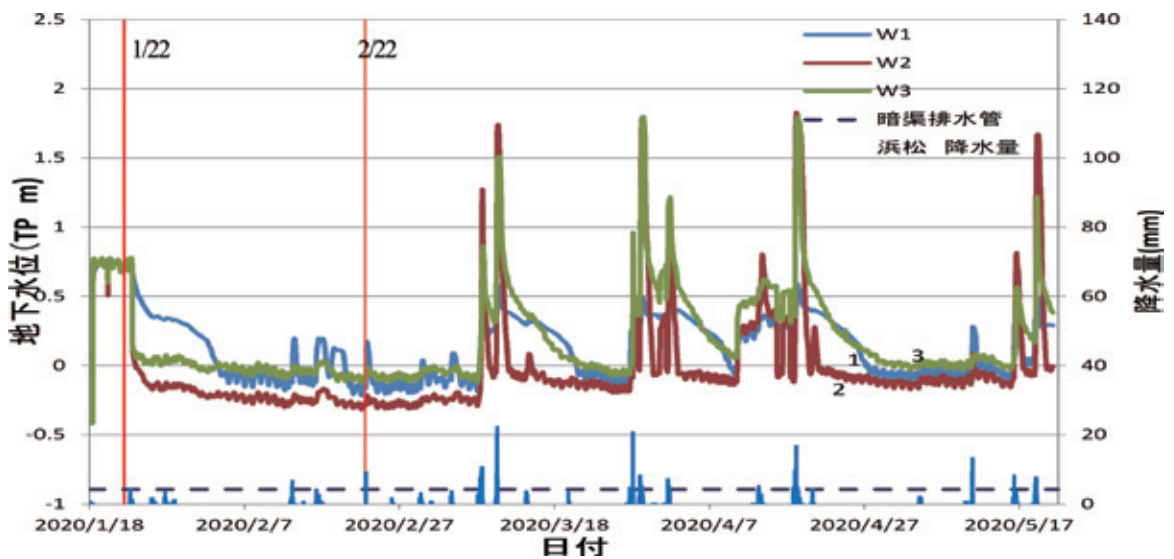
図-6 土質調査及び推定地層断面図



(a) 土質調査位置図

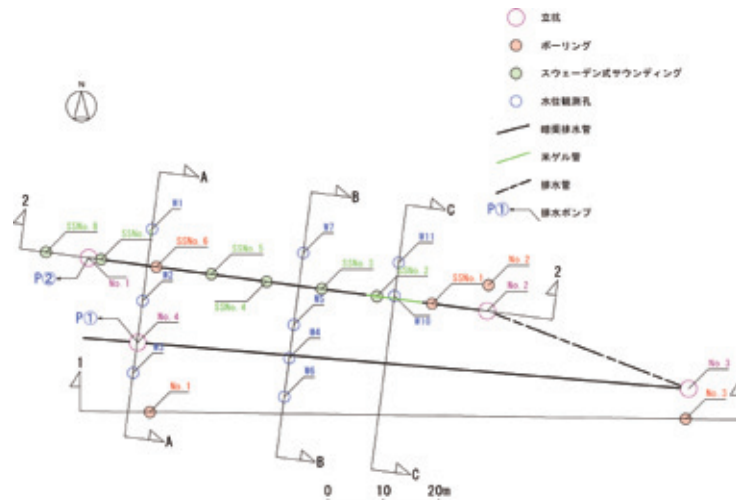


(b) 全体の降水量と地下水位

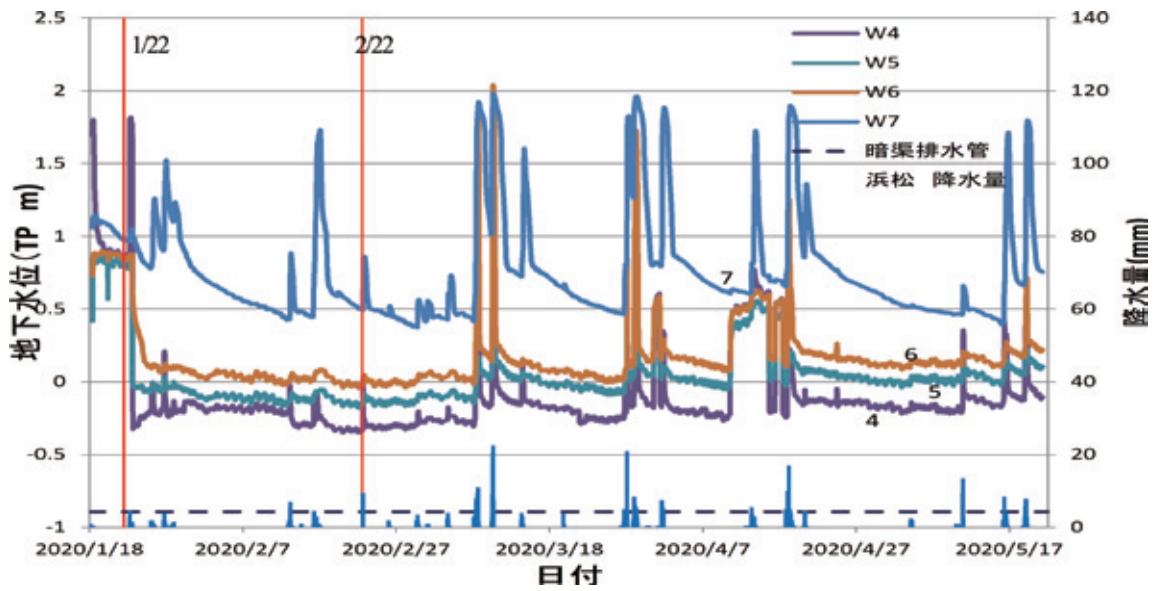


(c) 降水量とA-A断面の地下水位

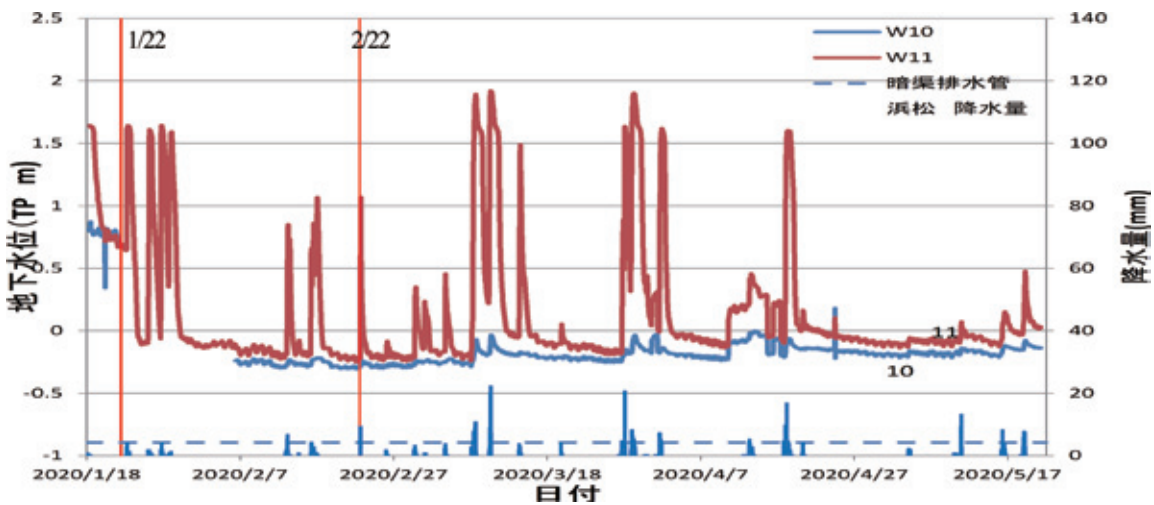
図-7 降水量と全体・A-A断面の地下水位 (TP表示) の推移



(a) 土質調査位置図

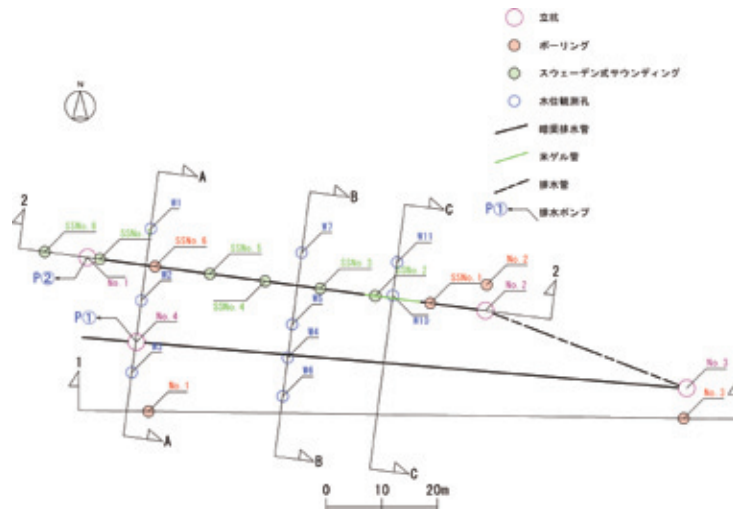


(b) 降水量とB-B断面の地下水位

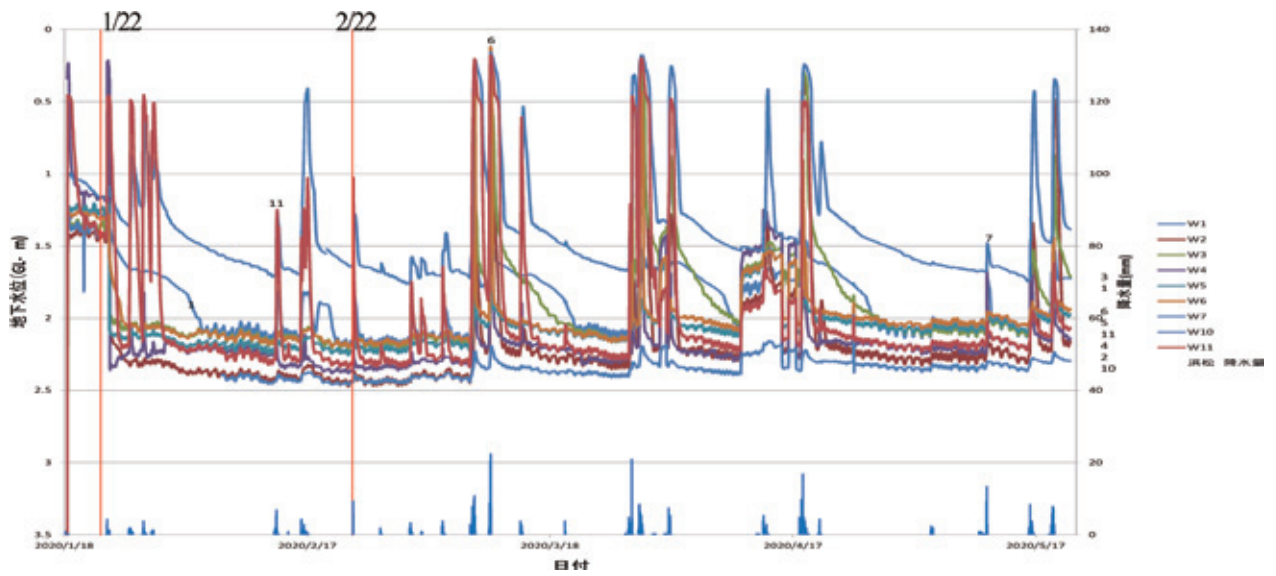


(c) 降水量とC-C断面の地下水位

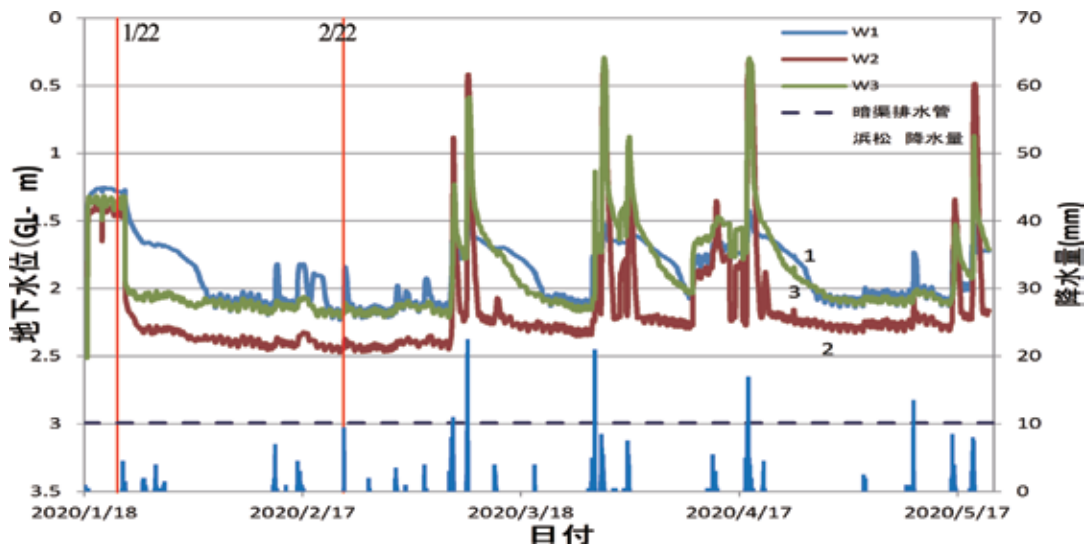
図-8 降水量とB-B・C-C断面の地下水位 (TP表示) の推移



(a) 土質調査位置図

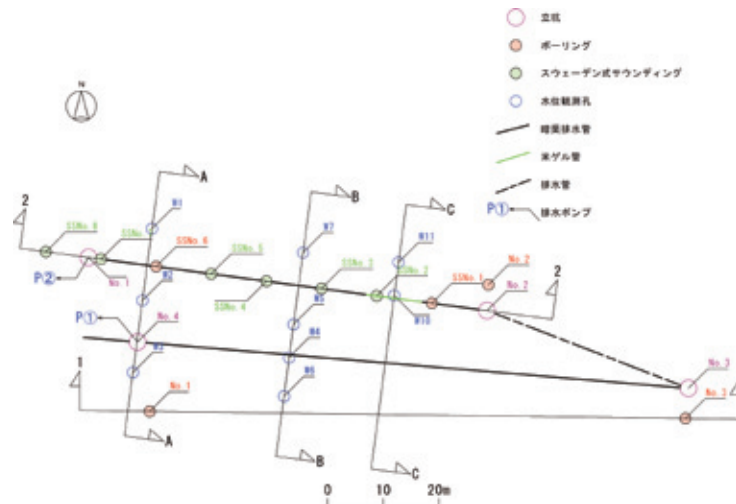


(b) 全体の降水量と地下水位

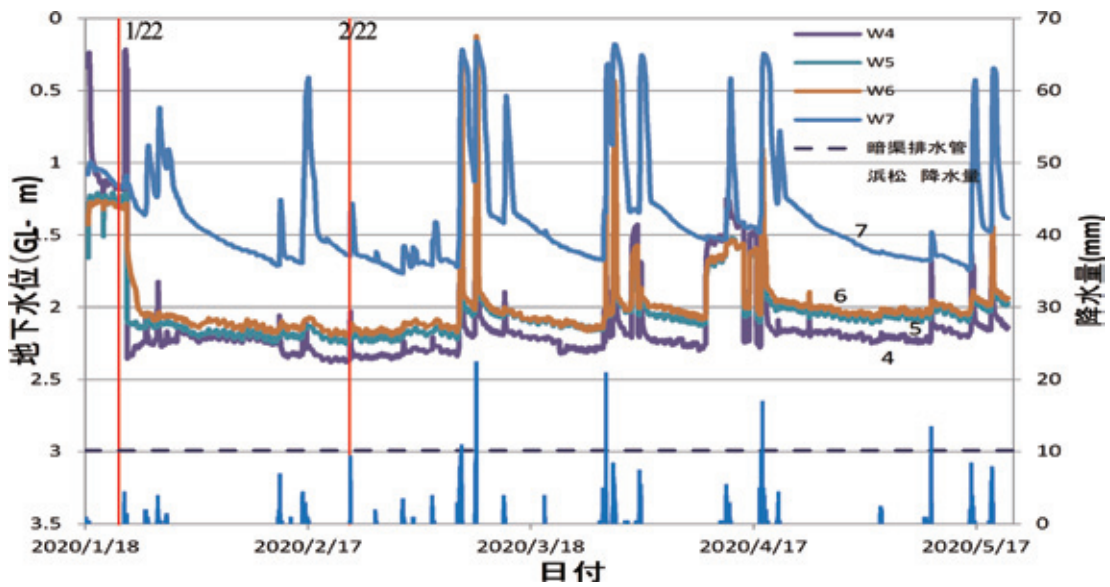


(c) 降水量とA-A断面の地下水位

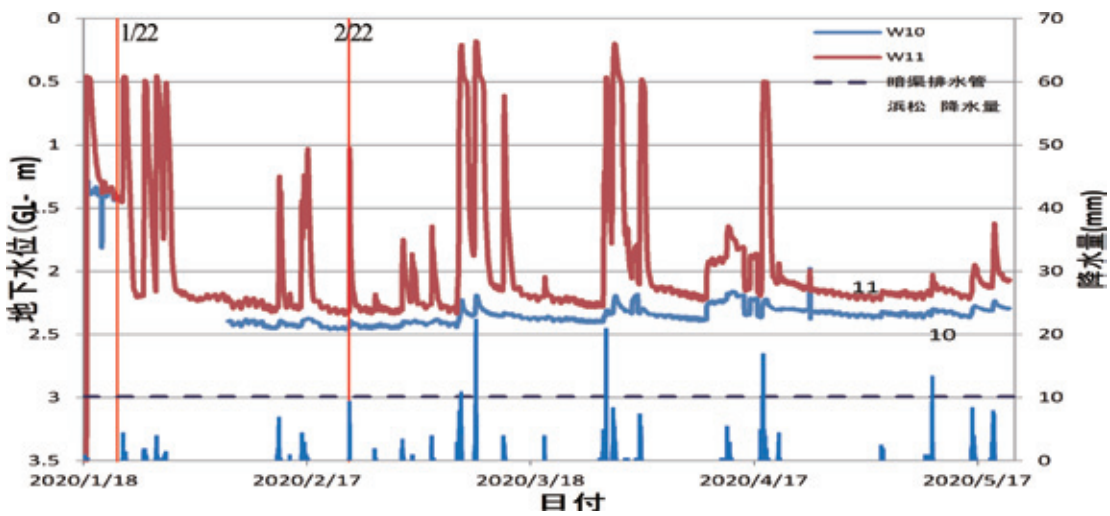
図-9 降水量と全体・A-A断面の地下水位 (GL表示) の推移



(a) 土質調査位置図



(b) 降水量とB-B断面の地下水位



(c) 降水量とC-C断面の地下水位

図-10 降水量とB-B・C-C断面の地下水位 (GL表示) の推移

また、図-11は、地下水位低下前後の横断形状を表している。青は地下水位低下前、赤は地下水位低下後の地下水位を表している。ただし、これは試験区の周囲を矢板で囲まない結果であることを念頭に置く必要がある。僅か1ヶ月でも十分に地下水位が低下していることが分かる。

暗渠排水管直近の水位観測孔の水位が最も低いが、暗渠排水管から離れた水位観測孔との水位差は20～30cmである。このように暗渠排水管による低下した地下水位線はラッパの形状ではなく、全体に低下するものと判断される。

(2) 水収支

2020/1/23からポンプ排水を開始した。排水量は表-5に示すように毎週月曜日に観測した。排水量は平均

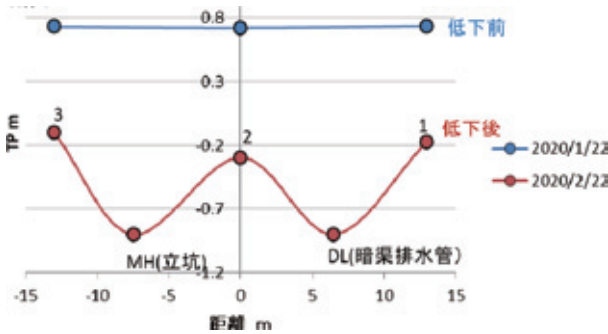
0.7m³/minで、ポンプ排水開始から2020/3/31までの総排水量は68,000m³である。

これに対し、アメダス浜松地点では、図-12に示すように上記に対応する期間の累積降水量は431mmである。ここで、As層の透水係数 $k=8.95 \times 10^{-6}$ m/sec、水位低下量 $S=0.96$ mから、シーハルトの影響半径の算出式 $R=3,000 \times S \times \sqrt{k}$ （ここで、 S :水位低下量m、 k :透水係数m/sec）を用いると、影響半径 $R=8.6$ mとなり、影響半径を含めた区域(2,700m²)に降った雨が全て地下水になったと仮定してもその水量は1,160 m³程度である。これは、上記の総排水量の2%程度であることから、地下水位を低下させるのに要した排水は、その区域の降雨だけでなく、側方、あるいは集排水管より下層からの地下水も排水の対象であると考えられる。

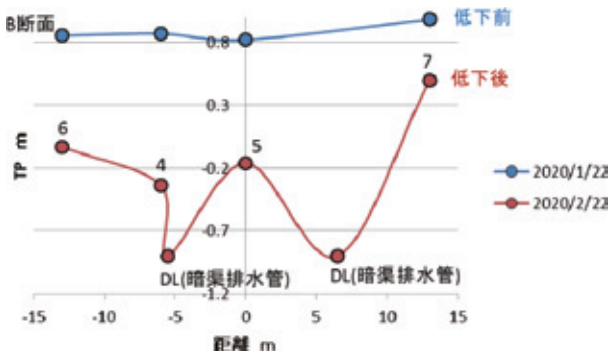
5. 軟弱地盤解析

(1) 解析方法

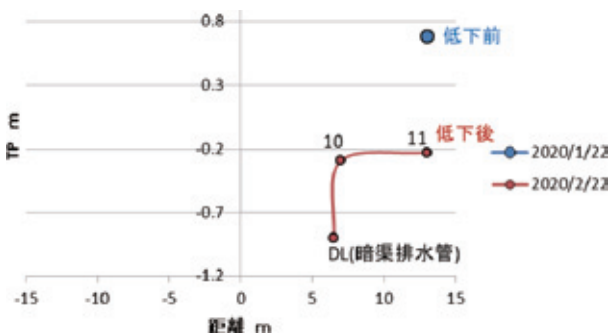
解析方法は「道路土工 軟弱地盤対策工指針」²⁾を基準とした。圧密沈下量の計算は△e法（間隙比を主とした式）を用いた。圧密沈下時間計算は、圧密層厚を時間係数(Cv試験値)で割り戻した値に、圧密度に相当する時間係数を乗じたものとし、圧密層厚は層厚換算法により求めた。



(a) A断面



(b) B断面



(c) C断面

図-11 地下水位低下前後の横断形状

表-5 地下水位低下に要した排水量

計測日	No.4立坑 ①排水量(m ³ /min)	No.1立坑 ②排水量(m ³ /min)
2020/1/27	0.55	0.16
2020/2/10	0.54	0.16
2020/2/17	0.55	0.17
2020/2/24	0.55	0.16
2020/3/2	0.56	0.15
2020/3/9	0.55	0.16
2020/3/16	0.55	0.16
2020/3/23	0.55	0.17
2020/3/30	0.55	0.17
2020/4/6	0.42	0.15

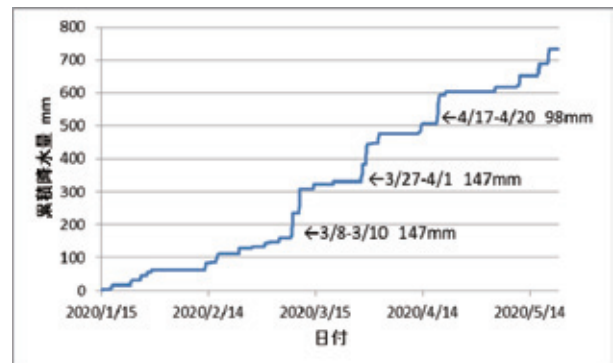


図-12 累積降水量 (アメダス浜松)

(2) 解析条件

a) 解析断面

過年度の調査結果を元に解析断面を設定した。当該地では砂質土層と粘性土層が混在しており、隣接した地点でもそれぞれの層厚が異なることを考慮して、令和元年度5月のボーリング柱状図No.1, No.2を元に図-13に示すように2断面を作成した。

b) 土質定数値の設定

過年度調査の土質試験結果を元に土質定数を設定した。

設定した単位体積重量を表-6に示す。試験値がない土層については表-7に示すNEXCO設計要領第一集、土工建設編 1. 総則³⁾より単位体積重量を設定した。

c) 圧密沈下曲線

圧密曲線は沖積粘性土 (Ac) の値を用いた。Ac層のe-logP曲線は、図-14に示すようになった。また、Ac層のlogCv-logP曲線は、図-15に示すようになった。検討断面Aにおける沈下量は図-16(a)及び表-8に示すよう

に検討地点センターにおいて0cmで、沈下は生じない。検討断面Bにおける沈下量は図-16(b)及び表-9に示すように検討地点センターにおいて0.561cmと沈下量は微小である。なお、沈下は地下水位低下期間内にほぼ収束する。

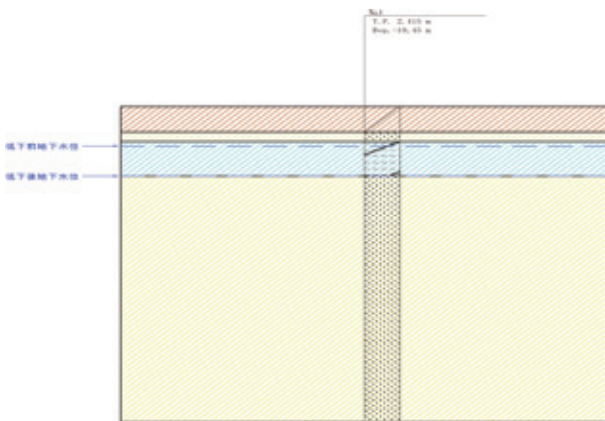
(3) 地下水位

地下水位観測結果から低下前水位を決定し、地下水位低下後の地下水位とそれに要した日数とした。低下にかかった日数は表-10に示すように低下開始日の2020年1月23日を基準日とし、地下水位が最も低下した、2020年2月18日を低下終了日とした。

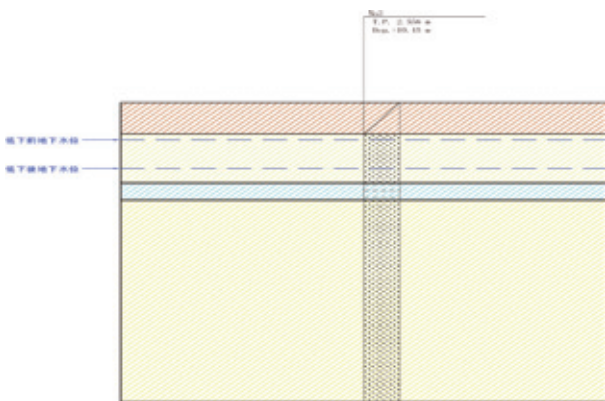
表-7 単位体積重量の目安 (NEXCO設計要領第一集³⁾)

種類	状態	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断抵抗角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	地盤工学会基準 ^④		
盛土	礫および礫まじり砂	締固めたもの	20	40	0	{G}	
		粒径幅の広いもの	20	35	0	{S}	
	砂	締固めたもの	19	30	0		
		分級されたもの	19	30	0		
砂質土	締固めたもの	19	25	30以下	{SF}		
粘性土	締固めたもの		18	15	50以下	{M}, {C}	
			14	20	10以下	{V}	
自然地盤	礫	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	40	0	{G}	
		密実でないものまたは分級されたもの	18	35	0		
	礫まじり砂	密実なもの	21	40	0	{G}	
		密実でないもの	19	35	0		
	砂	密実なものまたは粒径幅の広いもの	20	35	0	{S}	
		密実でないものまたは分級されたもの	18	30	0		
	砂質土	密実なもの	19	30	30以下	{SF}	
		密実でないもの	17	25	0		
	粘性土	固いもの(指で強く押し多少へこむ) ^{①)}		18	25	50以下	{M}, {C}
			やや軟らかいもの(指の中等度の力で貫入) ^{②)}	17	20	30以下	
			軟らかいもの(指が容易に貫入) ^{③)}	16	15	15以下	
	粘土およびシルト	固いもの(指で強く押し多少へこむ) ^{①)}		17	20	50以下	{M}, {C}
やや軟らかいもの(指の中等度の力で貫入) ^{②)}			16	15	30以下		
軟らかいもの(指が容易に貫入) ^{③)}			14	10	15以下		
関東ローム		14	5(φ)	30以下	{V}		

注1) N値の目安は次のとおりである。
 固いもの (N=8~15)、 やや軟らかいもの (N=4~8)、 軟らかいもの (N=2~4)
 注2) 地盤工学会基準の記号は、およその目安である。



(a) 解析断面A

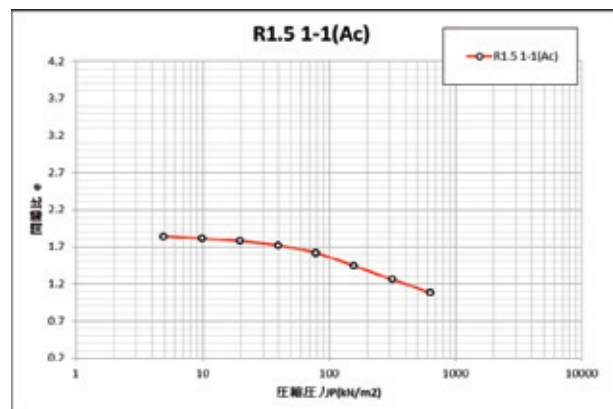


(b) 解析断面B

図-13 圧密地盤解析断面

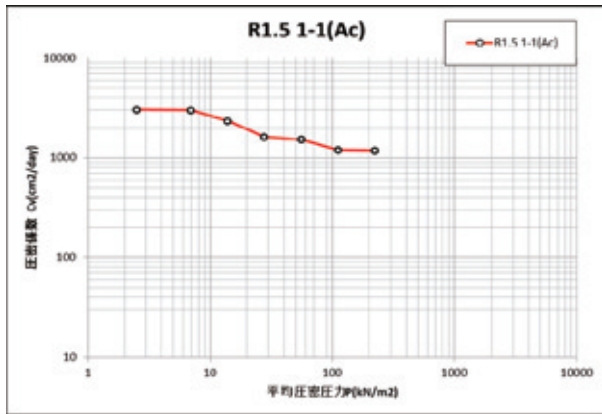
表-6 単位体積重量 γ 一覧表

地層	土質	記号	単位体積重量 γ (kN/m ³)		
			試験値	一般値	設定値
盛土・埋土	砂質土	Bs	-	17	17
沖積層	砂質土層	As	-	17	17
	粘性土層	Ac	15.1	-	15



No.	1	2	3	4	5	6	7	8
平均圧密応力 P(kN/m ²)	2.5	6.9	13.9	27.7	55.5	111	221.9	443.8
圧密係数 Cv(cm ² /day)	3033	2987	2338	1615	1523	1197	1181	1008

図-14 e-logP 曲線 (Ac層)



No.	1	2	3	4	5	6	7	8
圧密圧力 P(kN/m ²)	4.9	9.8	19.6	39.2	78.5	156.9	313.8	627.6
間隙比 e	1.841	1.814	1.78	1.721	1.621	1.442	1.262	1.083

図-15 logCv-logP 曲線 (Ac層)

表-8 検討断面A圧密沈下計算結果

検討断面A		No.1			備考
BorNo.		GL-1.3m→GL-2.3m			
地下水位		27日			
地下水位低下期間		27日			
計算位置		センター-1.0m	センター	センター+1.0m	
埋土・盛土	Bs	-	-	-	非圧密層
砂質土層	As	-	-	-	非圧密層
粘性土層	Ac	0	0	0	圧密沈下層
砂質土層	As	-	-	-	非圧密層
最終沈下量(cm)		0	0	0	

表-9 検討断面B圧密沈下計算結果

検討断面B		No.2			備考
BorNo.		GL-1.3m→GL-2.3m			
地下水位		27日			
地下水位低下期間		27日			
計算位置		センター-1.0m	センター	センター+1.0m	
埋土・盛土	Bs	-	-	-	非圧密層
砂質土層	As	-	-	-	非圧密層
粘性土層	Ac	0.539	0.561	0.539	圧密沈下層
砂質土層	As	-	-	-	非圧密層
最終沈下量(cm)		0.539	0.561	0.539	

表-10 設定地下水位

低下前地下水位	低下後地下水位	低下期間	経過日数
GL-1.3m	GL-2.3m	1/23~2/18	27日

6. 液状化解析

(1) 解析方法

液状化解析は、「市街地液状化対策推進ガイドンス」(国土交通省令和元年6月)⁴⁾を基準として、以下のように行った。

a) 液状化に対する安全率 (FL)

液状化に対する安全率 (FL) は、地盤の液状化に対する抵抗比Rを地震によるせん断応力比Lで除した値である。

$$F_L = \frac{\text{液状化抵抗比}R}{\text{せん断応力比}L}$$

ここで液状化抵抗比Rとは、地盤の液状化に対する強さであり、標準貫入試験より得られたN値と粒度試験結果から推定した。一方、せん断応力比Lとは、地震によって地盤に伝わる強さを示し、地盤の有効土被り圧σz'と加速度から推定した。

FL値は、FL=1を境にFL≤1の場合には液状化の発生する可能性が高く、FL>1では液状化の発生する可能性が低いと判断される。建物の液状化の判定は、「建築基礎構造設計指針」の中で、液状化に対する安全率を示す指標として定義されている「FL値」を用いて判定した。FL値は地表面から深さ方向に1mごとに算出し、「FL値≤1.0：液状化の可能性あり」、「FL値>1.0：液状化の可能性なし」とそれぞれ判定した。

b) 液状化被害の判定

FL値を算出するために、標準貫入試験やスウェーデン式サウンディング試験等及び室内土質試験(物理試験)を行った。FL値算出に必要な項目は以下の通りである。

- ①地質構成
- ②地下水位
- ③標準貫入試験値 (N値)、または簡略的な方法としてスウェーデン式サウンディング試験からの換算N値
- ④粒径加積曲線の50%通過粒径 (D50)、10%通過粒径 (D10)
- ⑤細粒分含有率 (FC) %
- ⑥塑性指数 (IP)
- ⑦土の単位体積重量 (力学試験がない場合は一般値を使用)

宅地の液状化被害可能性の判定手法として、「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針(案)」⁵⁾では、FL値を基に算定される非液状化層の層厚(H1)と地表変位量(Dcy値)、又は液状化指標値(PL値)から液状化被害の可能性を判定することができる。また、判定方法は、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」を基本とした方法と「建築基礎構造設計指針」⁶⁾がある。しかし、ここでは、宅地が建物を支持する地盤であることから「建築基礎構造設計指針」を基本として、以下の方法を用いた。

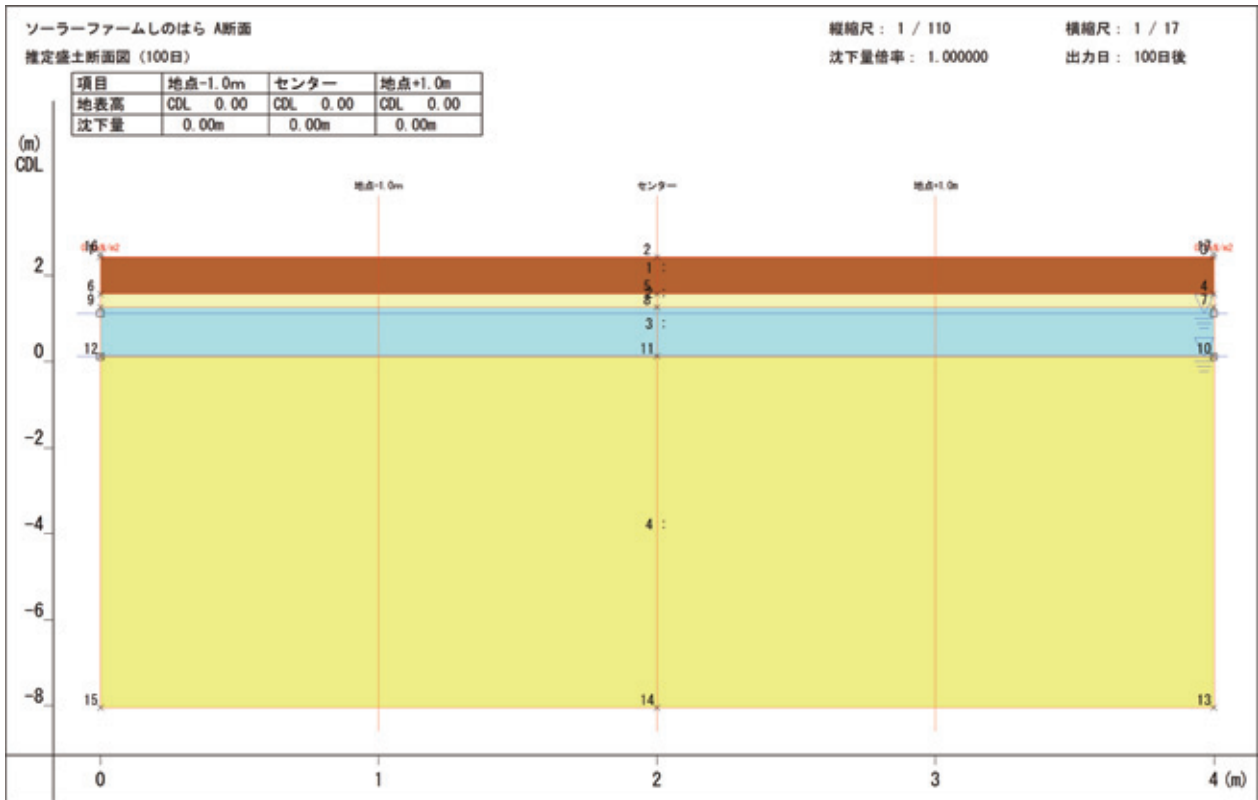
①「建築H1-Dcy法」

非液状化層厚(H1)と地表変位量(Dcy値)の関係から判定する手法

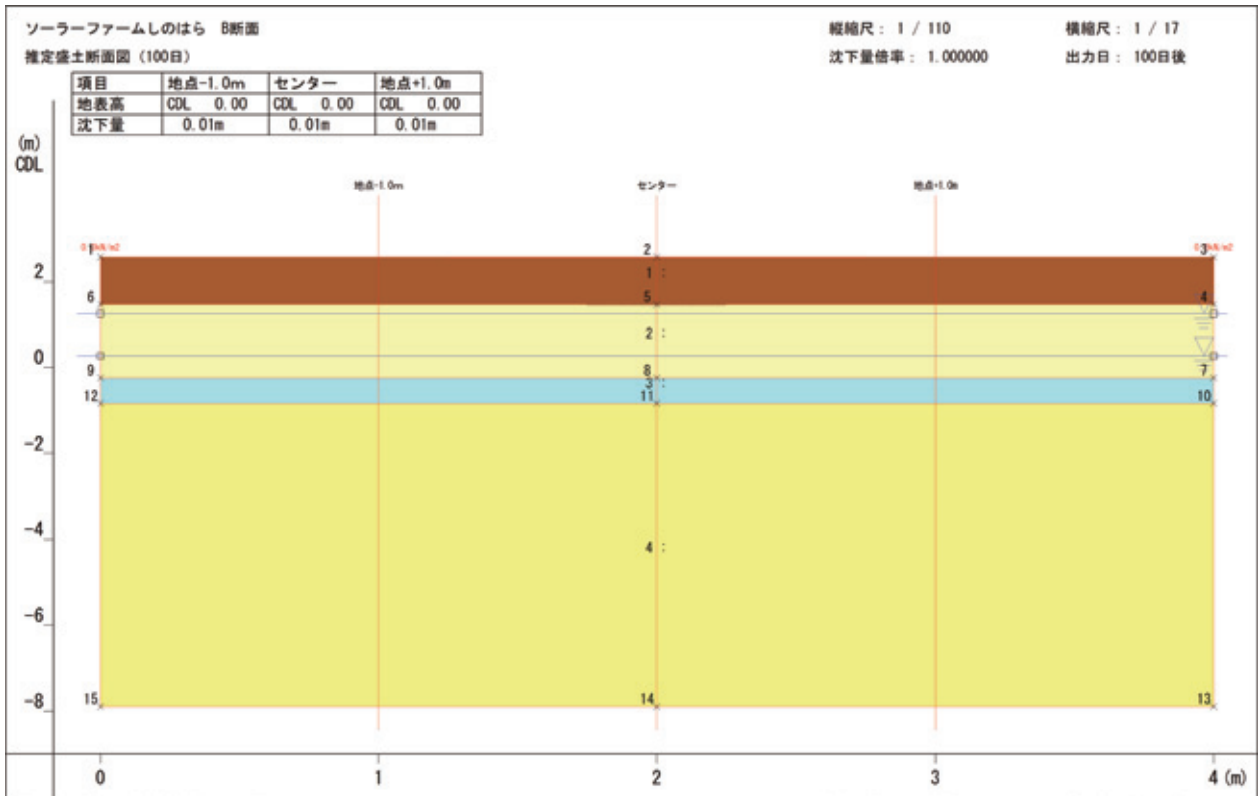
②「建築H1-PL法」

非液状化層厚(H1)と液状化指標値(PL値)の関係から判定する手法

この結果から図-17の判定図及び表-11の判定図の数値表より、「A：顕著な被害の可能性が低い」、「B：顕著な被害の可能性が比較的低い」、「C：顕著な被害の可能性が高い」の3ランクで判定する。

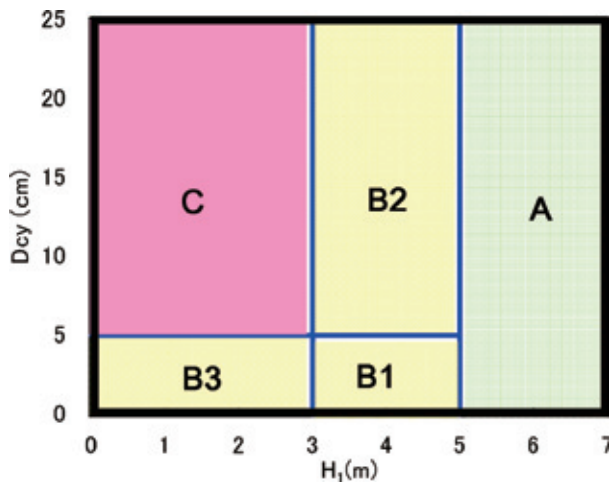


(a) 検討断面A

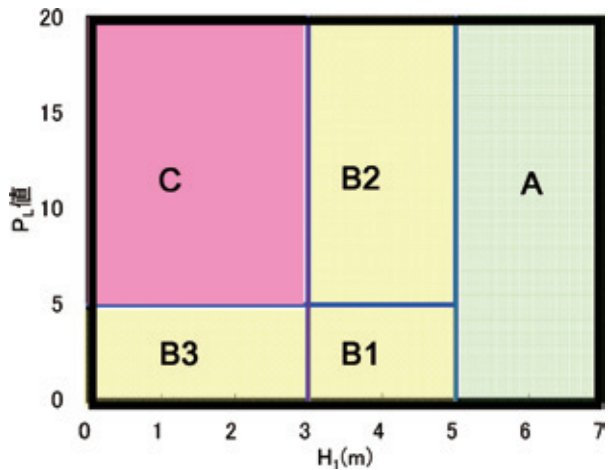


(b) 検討断面B

図-16 検討断面の圧密沈下計算結果図



(a) H1 ~ Dcy 判定図



(b) H1 ~ PL 判定図

図-17 H1 値, Dcy 値, PL 値による判定図⁴⁾

表-11 判定図の数値表⁴⁾

判定結果	H ₁ の範囲	Dcyの範囲	PL値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm 未満	5 未満	
B2	3mを超え、5m以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1		5cm 未満	5 未満	
A	5m を超える	-	-	顕著な被害の可能性が低い

c) 非液状化層厚 (H1)

非液状化層厚 (H1) は、地表面から地下水位面より浅い部分の層厚、または、粘性土層の層厚を示す。液状化層厚 (H2) は、地下水位より深い部分の液状化する層厚を示している。非液状化層厚 (H1) と液状化層厚 (H2) の関係を図-18 に示した。すなわち、 $F_L > 1$ となる地層の上端から下端までの厚さである。

d) 地表変位量 (Dcy 値)

地表変位量 (Dcy 値) は、「建築基礎構造設計指針」⁵⁾ に準拠して算出し、各層の“せん断ひずみ”から“変位量”を算出して積分し、表-12 からその液状化の程度を

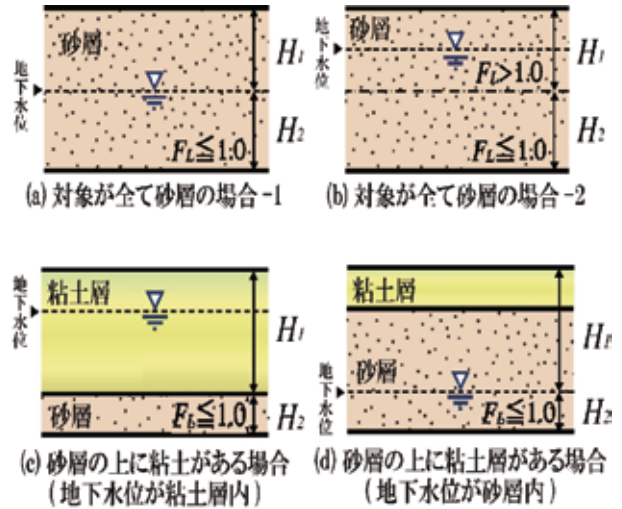


図-18 非液状化層厚 (H1) と液状化層厚 (H2) の関係⁴⁾

表-12 地表変位量 (Dcy) と液状化の程度⁵⁾

Dcy(cm)	液状化の程度
0	なし
~05	軽微
05 ~ 10	小
10 ~ 20	中
20 ~ 40	大
40 ~	甚大

評価した。

e) 液状化指標値 (PL 値)

この方法は、浅い部分の液状化が特に構造物に大きな影響を与えることを考慮して、図-19 に示すように深さに対する重みを考慮して、(1-FL) の値を 20m の深さまで積分することにより液状化指数 PL 値を定義したものである。

液状化指標値 (PL 値) は、下式により算定し、表-13 により評価した。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L) W(z) dz$$

ここで、FL: 液状化に対する安全率

W(Z): 深さ方向の重み関数 (図-19 参照)

判定深度 20m $W(Z) = 10.0 - 0.5 \cdot Z$

Z: 地表面からの深さ (m)

F: 1 - FL

(2) 解析条件

a) 解析モデル

過年度調査より、令和元年5月 No.1, 2, 3 及び令和元年10月 No.1, 6 の柱状図を用いて、液状化解析を行った。地下水位は、表-10 の値を使用し、地下水位低下前

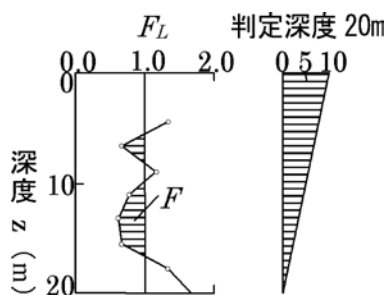


図-19 判定深度と重み係数の関係

表-13 PL値と液状化による影響の関係⁷⁾

$P_L=0$	液状化による被害発生の可能性はない
$0 < P_L \leq 5$	液状化による被害発生の可能性は低い
$5 < P_L \leq 15$	液状化による被害発生可能性がある
$15 < P_L$	液状化による被害発生可能性が高い

注) P_L が負の場合は $P_L=0$ とする。

後で比較した。

b) 土質定数値の設定

単位体積重量は表-6の設定値を用いた。

c) 設定地震動

設定地震動は「市街地液状化対策推進ガイドンス」⁴⁾が基準としている、マグニチュード7.5、地表面加速度200galとした。

(3) 解析結果

液状化解析は、地下水位低下前と低下後の液状化の危険度を把握し、地下水位低下による効果を検証することを目的に実施した。表-14、表-15に液状化判定結果を示す。また、図-20、図-21に低下前の判定図を示す。地下水位低下前は2孔でB3判定だったが、地下水位低下後は全孔でA判定に改善した。

7. ま と め

レジェンドパイプ工法による試験施工の結果、当該地では以下の効果が検証できた。

- ①ポンプ排水後、短期間で地下水位は低下する。
- ②試験区域を矢板等で止水しない条件であっても、地下水位は0.96m低下させることが可能である。
- ③地下水位低下後の地下水面は、暗渠排水管の位置に規制されず、全体に低下すると判断される。
- ④地下水位低下後の地下水位標高はほぼ0mで海水面に等しいため、これ以上の水位低下は困難と考えられる。
- ⑤地下水位低下により生じると想定される圧密沈下は1cm以下である。
- ⑥地下水位低下により、液状化の対策効果が認められる。

表-14 地下水位低下前液状化判定結果

地下水位低下前 (GL-1.3m)					
BorNo.	R1.5 No.1	R1.5 No.2	R1.5 No.3	R1.10 No.1	R1.10 No.6
非液状化層H1(m)	2	2	5	5	3
PL値	0.129	0.235	0	0	0.105
Dcy(cm)	1.56	1.72	0	0	1.23

表-15 地下水位低下後液状化判定結果

地下水位低下後 (GL-2.3m)					
BorNo.	R1.5 No.1	R1.5 No.2	R1.5 No.3	R1.10 No.1	R1.10 No.6
非液状化層H1(m)	5	5	5	5	5
PL値	0	0	0	0	0
Dcy(cm)	0	0	0	0	0

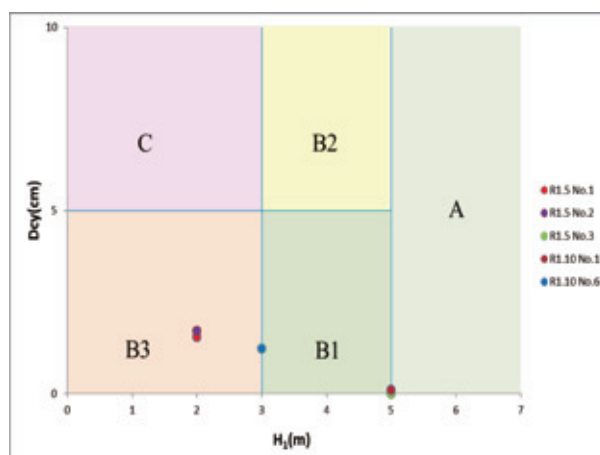


図-20 H1-Dcy 値判定図

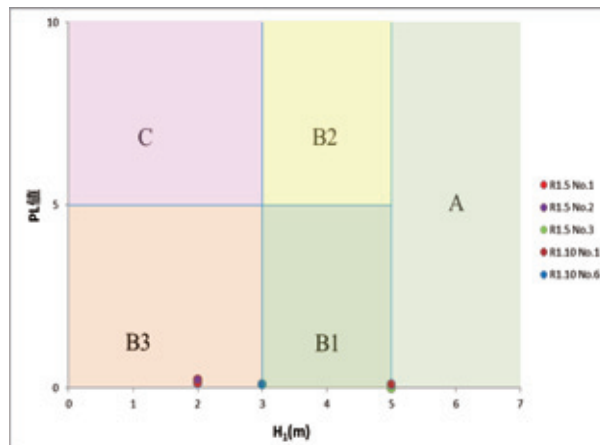


図-21 H1-PL 判定図

謝辞：本実験の資金は、国土交通省の平成30年度建設技術研究開発制度において新工法を活用した建設現場の生産性向上に関する技術の新規課題として採択された「研究開発名：新工法・新材料を活用した地下水排除工を用いた効果的な液状化・地すべり対策に関する技術開発」の助成金を活用して行ったものである。

また、実験場については、須山建設(株)のソーラパネル設置箇所を使用させていただいた。

この紙面を借りて、関係者に厚く御礼を申し上げ、感謝する次第です。

参考文献

- 1) 地理院地図電子Web : <https://maps.gsi.go.jp/#12/36.279793/140.245704/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>, 閲覧日 (2020.9.14)
- 2) 日本道路協会 : 道路土工—軟弱地盤対策工指針 (平成24年度版), 2012.
- 3) NEXCO 総研 : 設計要領第一集 土工保全編・土工建設編, 2020.7.
- 4) 国土交通省都市局都市安全課 : 市街地液状化対策推進ガイダンス【本編】, 2019.6.
- 5) 国土交通省都市局都市安全課 : 宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針 (案), https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi06_hh_000008.html, 閲覧日 (2020.9.14)
- 6) 日本建築学会 : 建築基礎構造設計指針, 2001.10.
- 7) 国土庁防災局震災対策課 : 液状化地域ゾーニングマニュアル平成10年度版, 1999.1