

図1-1 調査地案内図

2. 地形・地質概要

2.1 地形概要

調査地は、図 1-1 調査地案内図に示すように合志市西部の熊本電鉄沿線であり、黒石駅と御代志駅付近の台地に位置する。

調査地付近の地形は、東方の阿蘇外輪山や西方の金峰山、二の岳、三の岳等の山地、阿蘇外輪山から西方に広がる台地、白川や大小河川沿いの低地に区分される。

調査地付近の地形は、阿蘇外輪山から西側に広がる台地からなり、南側の堀川と西側の坪井川に挟まれた標高 80～85m の比較的平坦な地形を呈している。調査地はこの台地のほぼ中央付近に位置している。坪井川右岸側は、比較的起伏の発達した丘陵地や台地からなる。

また、調査地北方には弁天山等の小高い山地が、東方には飯高山等の小高い山地が残丘状に点在している。

調査地及び調査地東側の台地は主に宅地として、調査地西側の台地は主に畑地として利用されている。

2.2 地質概要

調査地付近の地質は、図 2-1 調査地付近の地質図に示す。調査地付近の地質は、調査地北東の弁天山や二塚山に分布する古生代の変成岩類や調査地東方の群山や飯高山に分布する中生代白亜紀の堆積岩を基盤岩とする。これらを覆って新生代第四紀更新世の阿蘇火砕流堆積物や河川堆積物である段丘堆積物が分布している。また、河川沿いの低地や丘陵地の谷間には新生代第四紀完新世の未固結は沖積層が分布している。

基盤岩である中生代白亜紀の堆積岩は、姫浦層群と呼ばれ砂岩や頁岩からなり、調査地東方の小高い残丘状の丘陵地を形成している。阿蘇火砕流堆積物は、主に台地裾部や坪井川右岸側の丘陵地を形成している。段丘堆積物は、調査地南側を流下する白川沿いの兩岸台地や坪井川左岸側の台地を形成している。調査地付近を構成する段丘堆積物は、託麻砂礫層に相当する。

また、地質図には表示されていないが、台地の表層部を覆って降下火山灰層である赤ぼくや黒ぼくが層厚 2～3m 程度で分布する所もみられる。

3. 調査方法

3.1 ボーリング調査

(1) 目的

ボーリング調査は、土質および岩盤の地質構成や地下水位を確認するとともに、併せて原位置試験（標準貫入試験）や試料採取を実施し、設計・施工のための基礎資料を得ることを目的として行った。

(2) 作業手順

ボーリング調査の実施位置は、監督職員と現地立会の上、決定した。

ボーリング作業中は、地質分類、層厚、N値等を測定するとともに、地下水位の確認に努めた。

表 3.1-1 に、機械ボーリングの概要を示す。掘削は、地質状況に合わせてコアチューブを選定するが、土砂部はシングルコアチューブ（泥水循環採取および無水打ち込み採取）、軟岩部および土砂部内の巨転石はダブルコアチューブ（清水採取および泥水循環採取）を基本とした。また、使用するビットも、地質状況に合わせて選定するが、基本的に土砂部はメタルビット、軟岩部および土砂部内の巨転石はダイヤモンドビットを基本とする。掘削中における孔内水位の測定は、毎作業日の作業開始前と終了時に測定し、記録した。

(3) 土質標本の整理

ボーリング調査で採取したコアは、コア箱に収納し 5m 毎に写真撮影を行った後、肉眼観察および触手等により鑑定をおこない、この結果をボーリング柱状図としてまとめた。また、標準貫入試験の際に採取した土質サンプルも同様に観察を行った。観察した土質サンプルはコア箱の所定の位置に納めた。

3.2 標準貫入試験

標準貫入試験は、機械ボーリングと併用して実施した。標準貫入試験は、ボーリング地点における地盤の締まり具合及び硬軟の指標である N 値を求めるとともに、地質観察するための攪乱試料を採取することを目的に実施した。表 3.2-1 に標準貫入試験の概要を示す。

試験方法は、表 3.2-1 に示すように、JIS A 1219「土の標準貫入試験方法」に準じて実施した。試験深度は原則として 1.0m 間隔で実施した。

表3.2-1 標準貫入試験概要

<p>モデル図</p>	
<p>原理</p>	<p>土の標準貫入試験方法 (JIS A 1219) による。 標準貫入試験用サンプラーを所定の深さの孔底におろし、重量 $63.5 \pm 0.5 \text{ kg}$、落下高 $76 \pm 1 \text{ cm}$ のハンマーの打撃により、15 cm の予備打ち後 30 cm 貫入させ、さらに 5 cm の後打ちを行う。30 cm 貫入の際の打撃回数 (N 値) を測定すると共にその場所の試料を採取する。</p>
<p>目的</p>	<p>採取した試料による土の判別、分類。 原位置における土の硬軟、締まりぐあいの判定。 試料及び N 値による土質柱状図、土質断面図の作成。 これらによる地盤の総合判定並びに概略支持力の算定。</p>
<p>注意事項その他</p>	<p>適応土質は岩盤や玉石を除くあらゆる土。ただし、きわめて軟弱な有機質土などでは $N=0$ となり、微細な判定はできない。 一般に砂質土は粘性土より高い N 値を示し、砂と粘土の混合割合によって N 値も変化する。 土層が密な砂礫や固結した粘土で N 値が 50 を越える場合には、特に必要のないかぎり、一般に 50~60 回の打撃で打止めにする。 深さ方向の試験間隔は調査目的により異なるが、概ね 1 m ごとに行われることが多い。 沖積層の N 値は一般に砂質土で 5~20 程度、粘性土で 0~5 程度である。 N 値から推定できる特性値、地盤定数</p> <ul style="list-style-type: none"> ・粘着力 (c) ・内部摩擦角 (ϕ) ・一軸圧縮強さ (q_u) ・変形係数 (E) ・地盤の支持力度

3.3 試料の採取

室内土質試験に使用する試料の採取は、図 3.3-1 に示すシンウォールサンプラーを用いて行った。

(1) シンウォールサンプリング

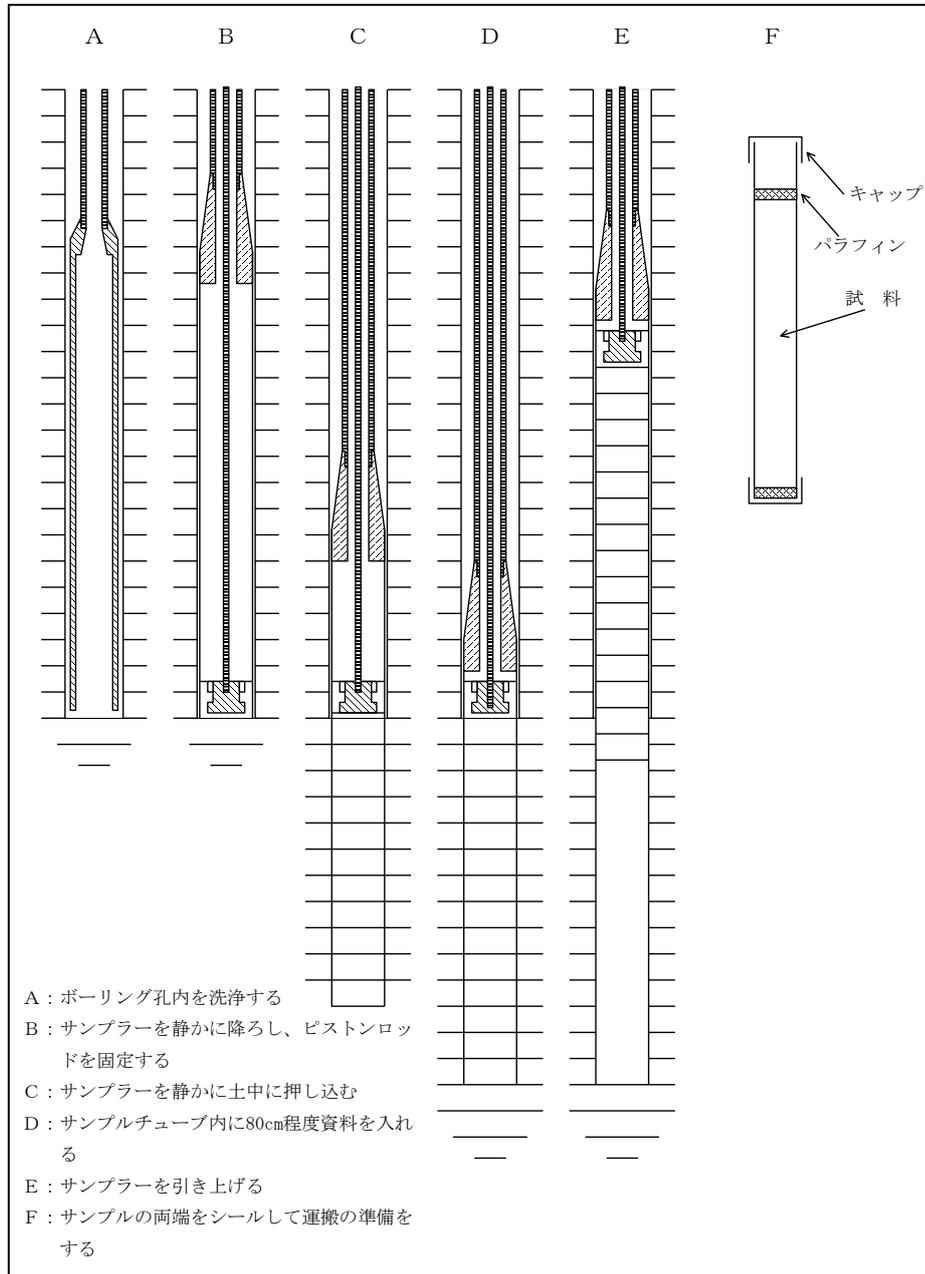


図 3.3-1 シンウォールサンプリングの概要図

3.4 現場透水試験

現場透水試験は、赤ぼくの下位に分布する砂質地盤について地盤工学会基準に準拠したケーシング法（パッカー法）により行った。

一般には、孔内の地下水を汲み上げた後、試験区間（裸孔）から流入する地下水の上昇を測定する水位回復法で実施する。しかし、今回は試験深度まで地下水位が確認されていないので、管頭部まで注水し、水位を一定に保ちながら送水量を測定する、単孔式定水位法を採用した。なお、試験開始前には、孔壁または孔底に泥水が付着しないように清水で孔内を十分に洗浄して実施するとともにスライムの排除を行った。

下記に透水係数の算定式を、図 3.4-1 に現場透水試験の試験方法を示す。

（透水係数の算定式）

$$k = \frac{2.3Q_0}{2\pi s_0L} \cdot \log \frac{2L}{D}$$

（記号）

k : 透水係数 (m/sec)

L : 試験区間長 (m)

Q₀ : 定常時の流量 (m³/s)

S₀ : 定常時の水位差 (m)

※(社)地盤工学会「地盤調査法」参照

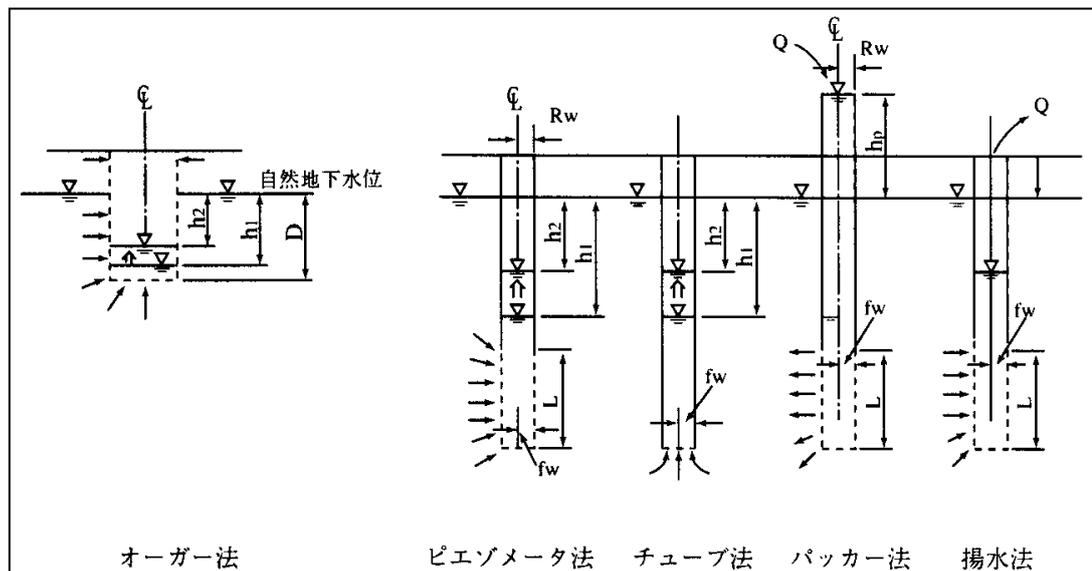


図 3.4-1 現場透水試験概要図

3.5 孔内水平載荷試験

孔内水平載荷試験は、ボーリング孔の孔壁面を加圧し、変形量（孔壁の拡がり）を測定することによって、地盤の物性（地盤の強さ、変形性）を調べる原位置試験であり、水平方向の地盤反力係数（ K_m ）や変形係数（ E_m ）等が求められる。

図 3.5-1 に、孔内水平載荷試験機（LLT 低圧型）の概要図を示す。

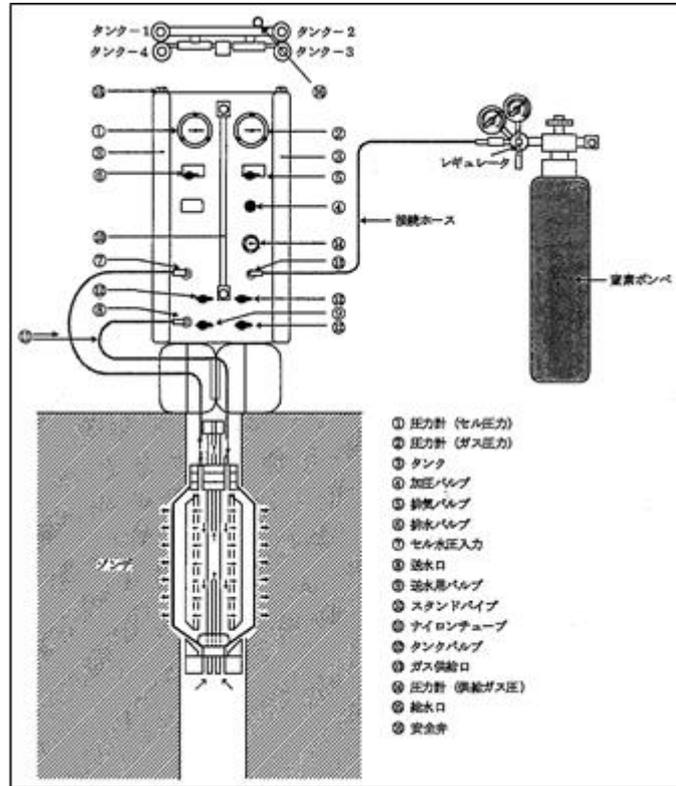


図 3.5-1 孔内水平載荷試験（LLT）概要図

この試験の原理は、ボーリング孔内にプローブ（ゴムチューブまたはジャッキ等）を挿入し、これらによりボーリング孔内を水平方向へ加圧し、この加圧力とボーリング孔壁の変形量を測定し、地盤の荷重～変形の関係を求めるものである。

前図に示した装置を用いて、所定の荷重（圧力）段階における変位量を読み取り、図3.5-2に示す荷重—変位曲線を求める。

右図における各折れ点間の地盤の性状は次のとおりである。

- (1)～(3) 区間……ゴムゾンデが試験孔壁に密着する区間である。
- (4)～(6) 区間……圧力の増加とともに、変位が比例的に増加する弾性域の区間である。
- (6)～(7) 区間……弾性域から塑性域に移行する弾

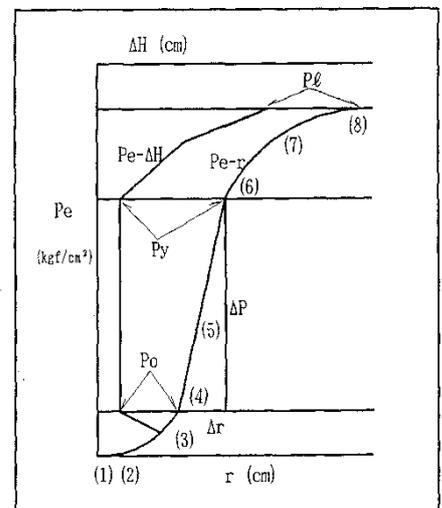


図 3.5-2 荷重—変位曲線

塑性域で、(6)が地盤の降伏点である。

(7)～(8)区間……塑性域に入り、(8)点が地盤の破壊点となる。

地盤の横方向の変形係数(E_m)は、上図の(4)～(6)区間の変位量と増加荷重の関係より、次式から求める。

$$P_y = P_y - P_0 \quad (P_0: \text{静止土圧}, P_y: \text{降伏圧})$$

$$P_L = P_L - P_0 \quad (P_L: \text{破壊圧})$$

$$K_m = \Delta P / \Delta r \quad (K_m: P_e-r \text{ 曲線の直線部分の勾配})$$

$$E_m = (1 + \nu) \cdot r_m \cdot K_m \quad (\text{kN/m}^2)$$

ここで、

ΔP : 圧力～半径曲線で直線を示す区間の圧力差

Δr : dp を求めた区間の中間半径

r_m : ΔP を求めた中間半径

K_m : 水平方向地盤反力係数

E_m : 変形係数

ν : ポアソン比(一般に $\nu = 0.3$)

3.6 室内土質試験

室内土質試験は、各地層の物理的性質や強度特性等を把握するために、シンウォールサンプリングで採取した乱れの少ない試料を用いて実施した。室内試験項目と準拠する基準を表 3.6-1 に示す。

表 3.6-1 室内土質試験項目及び基準

区分	試験名称	JIS	JGS	求められる事項	主な利用法
物理試験	土粒子の密度試験	A1202	0111	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	土の基本的性質の計算 (間隙比、飽和度など)
	含水比試験	A1203	0121	含水比 w (%)	土の基本的性質の計算 鋭敏度合の判別
	粒度試験	A1204	0131	粒径加積曲線、均等係数 U_c 曲率係数 $U_{c'}$	土の分類、粒度特性 透水性の判断、液状化強度の推定、 一軸圧縮強さの補正
	液性限界・塑性限界	A1205	0141	液性限界 w_L (%) 塑性限界 w_p (%) 塑性指数 I_p (%)	土の分類、土の安定性判定 材料の判定、圧縮特性の判定 路床路盤上の適合判定
	収縮定数試験	A1209	0145	収縮限界 w_s (%)	
	湿潤密度試験	A1225	0191	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	土の分類、土被り圧、 各種工学計算
	砂の最少密度・ 最大密度試験	A1224	0161	最少乾燥密度 ρ_{dmin} (g/cm ³) 最大乾燥密度 ρ_{dmin} (g/cm ³)	土の締めり度合いの判定
化学試験	pH試験	-	0211	土懸濁液のpH値	土の酸性、アルカリ性の判定 地盤改良の適用性
	強熱減量試験	-	0221	有機物含有量 L_i (%)	土の圧縮性、土の性質 土の処理方法の判定
	水溶性成分試験	-	0241	水溶性ナトリウム、カリウム カルシウム、マグネシウム 塩化物、硫化物含有量 S (mg/g)	土の水溶性成分の含有量 地盤改良の適用性
安定化試験	突き固めによる 土の締め固め試験	A1210	0135	最適含水比 w_{opt} (%) 最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	盛土工事の施工管理基準
	CBR試験	A1211	0141	CBR (%)	土の支持力比、施工管理 舗装厚の決定
透水試験	透水試験	A1218	0311	透水係数 k (m/sec) [変水位] [定水位]	地盤の透水性の評価 透水量の算定
圧密試験	段階载荷による 圧密試験	A1217	0411	圧密降伏応力 P_c (kN/m ²) 圧縮指数 C_c	圧密沈下量の計算 沈下時間の計算
	定ひずみ速度载荷 による圧密試験	A1227	0412	圧縮係数 C_v (cm ² /d) 体積圧縮係数 m_v 透水係数 k (m/sec)	
せん断試験	一軸圧縮試験	A1216	0511	一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²) 変形係数 E_{50} (kN/m ²)	粘性土地盤の支持力・安定計算 弾性変形量の計算
	三軸圧縮試験 非圧密非排水(UU) 圧密非排水(CU) 圧密非排水(CU) 圧密排水(CD)	-	0521 0522 0523 0524	粘着力 c (kN/m ²) せん断抵抗角 ϕ (°) 応力-ひずみ曲線 モールの応力円	地盤の支持力・安定計算 地盤の強度増加(低下) 有効応力法による安定検討
	一面せん断試験 (圧密定体積) (圧密定圧)	-	0560 0561	粘着力 c (kN/m ²) せん断抵抗角 ϕ (°)	土の支持力、摩擦力の計算
	繰返し非排水三軸試験 (液状化試験)	-	0541	繰返し回数 N 、軸ひずみ ϵ 間隙水圧 u (kN/m ²) 液状化応力比 R	砂の液状化強度の推定
	繰返し三軸試験 (動的変形特性試験)	-	0542	応力-ひずみ履歴曲線 せん断ひずみ-せん断弾性係 数、減衰定数関係	土の動的変形特性 地震応答解析

今回実施試験項目

3.7 現地浸透試験

雨水浸透施設を計画するにあたり、簡易型施設を用いて浸透試験を実施し、対象地盤の浸透能力を直接測定する。試験方法には、ボアホール法と土研法があるが、今回の調査においては「土研法」で実施した。図 3.7-1 に現地浸透試験模式図を示す。

(1) 試験方法

① 掘削

浸透試験箇所の掘削は、予定深度付近まで機械掘削（バックホウ掘削）を行い、浸透面直前はスコップ等を用いて人力掘削を行う。

② 浸透面の手入れ

浸透面は、熊手やワイヤブラシ、直ナイフ等で目荒らしを行い、本来の浸透能を把握できるよう丹念に手入れする。

③ 円筒パイプのセット

円筒パイプは、次の手順で若干地中に押し込むようにセットする。

1. パイプ先端からの水のまわり込みを防ぐため、パイプ外側のピット底部分に粘土などを投入し、強く締め固めてシールする。
2. 更に、掘削土をパイプ外側に埋め戻し、締め固める。
3. パイプ内底部に砂利を浸透面を乱さないように注意して静かに入れる。

④ 定水位試験

1. 湛水深に相当する水位まで水を注入し、初期条件とする。
2. 水源からの注水量をバルブなどで調整し、湛水深 0.9mを維持する（図 3.1 参照）。
3. 経過時間ごとに流量計で注水量を測定する。測定時間間隔は、5 分間隔で測定を行う。
4. 注水量がほぼ一定になるまで、2、3 を継続する。試験継続時間の目安は 2 時間程度とする。

⑤ 原状復帰

最後に円筒パイプを引き抜き、掘削土を埋め戻し、締め固めて原状復帰し試験を修了する。

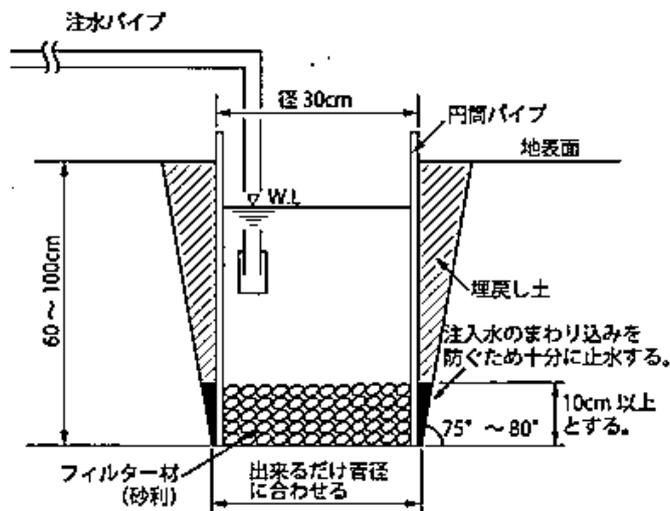


図 3.7-1 現地浸透試験「土研法」模式図

(2) 結果の整理

① データシートと記録

測定値は、データシートに記録し、整理・保存する。データシートには、施設形状、設定湛水深ならびに注水時の単位時間当り浸透量及び累加浸透量などの記録の他に、目詰まりや浸透能力との関係把握に必要な注入水の水質（濁り）、水温（気温）なども記録する。

② 終期浸透量

浸透試験結果は、図 3.7-2 に示したような単位時間当り浸透量と注水時間の関係図として整理する。注水を継続すると単位時間当り浸透量はほぼ一定値に近づくので、この量を終期浸透量とする。なお、2 時間の注水を行っても浸透量が一定にならない場合は、注水を打ち切り、その時の浸透量を終期浸透量とする。

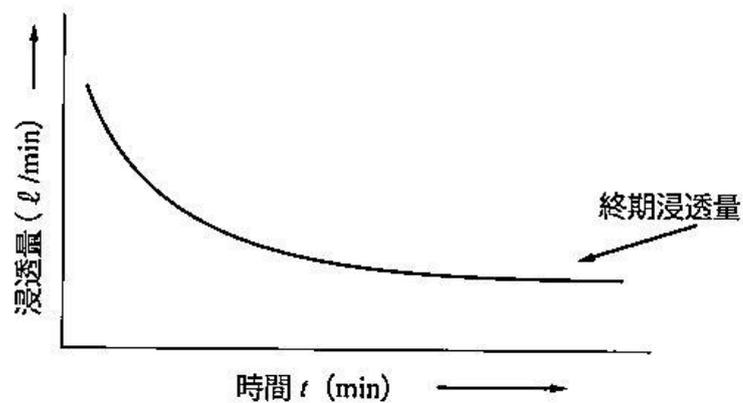


図 3.7-2 浸透量の時間変化図

参考文献 社団法人 雨水貯留浸透技術協会
「増補改訂 雨水浸透施設技術指針[案]調査・計画編 平成 18 年 9 月」
-第 2 編 現地調査 第 4 章 現地浸透試験 P.33~34

4. 調査結果

4.1 ボーリング調査結果

ボーリング調査は、図4.1-1に示した3箇所地点で実施した。ボーリング調査結果の詳細は、巻末にボーリング柱状図及びコア写真集として示した。

表4.1-1に調査地の地盤構成表を示す。調査の結果、調査地の地層は盛土を含め4層に区分される。調査結果より調査地の地質断面図を作成し、図4.1-2～図4.1-3に示した。

表 4.1-1 調査地の地質構成

地質時代		記号	地層名		記 事
新生代 第四紀	完新世	B	盛土	礫混り粘性土	赤ぼくと黒ぼくが混合した礫混り粘性土主体。No.1は砂礫主体。No.3付近ではタイル片混入。N値=3～12程度。
	更新世	Lm1	新时期ローム	黒ぼく	全体的に均質な砂混り～砂質シルト主体。含水量が少なくコアは固い。火山質粘性土。N値=3～4程度。
		Lm2		赤ぼく	粘土混りシルトを主体とした火山灰質粘性土。含水量が少なく均質で固い。こねるとべたつく。最下部に細礫点在。N値=4～5程度。
	更新世	Tr-s	段丘堆積物	礫混り砂質土	粒度分布の良好な礫混り砂質土。礫分は25～35%程度。下部はやや凝灰質。一部φ30cm程度の玉石混入。N値=4～18。

今回の調査で確認された地質は、下位から順に新生代第四紀更新世の段丘堆積物(tr-s)の礫混り砂層、新生代第四紀完新世～更新世の新时期ローム(Lm1、Lm2)及び盛土(B)構成される。

以下、各地層の性状について述べる。

(1) 新生代第四紀更新世 段丘堆積物 砂礫層 (Tr-s)

本層は、暗褐灰色を呈する礫混り砂質土層である。全体的に径5～25mmの垂円礫を混入し、一部砂礫状を呈する所もある。礫を25～35%程度混入し、やや凝灰質な腐れ礫を混入する所もある。礫種は砂岩や緑色岩の礫からなる。最大礫径は35mm程度と多いが、一部φ30cm程度の玉石を混入する所もある。中程度の締まり具合でN値は4～18程度の範囲にある。

(2) 新生代第四紀更新世 新时期ローム 赤ぼく (Lm2)

本層は、特徴的な褐色を呈する火山灰質粘性土からなり。一般的には赤ぼくと呼ばれる特殊土である。土質としては粘土混りシルトからなり、層厚は1.4m程度で旧地形に沿って概ね水平に分布している。含水量が少なくやや固いが、こねるとべたつく。最下部付近にφ5～8mmの細礫を点在している。N値は4～5程度の範囲にある。

(3) 新生代第四紀完新世 新时期ローム 黒ぼく (Lm1)

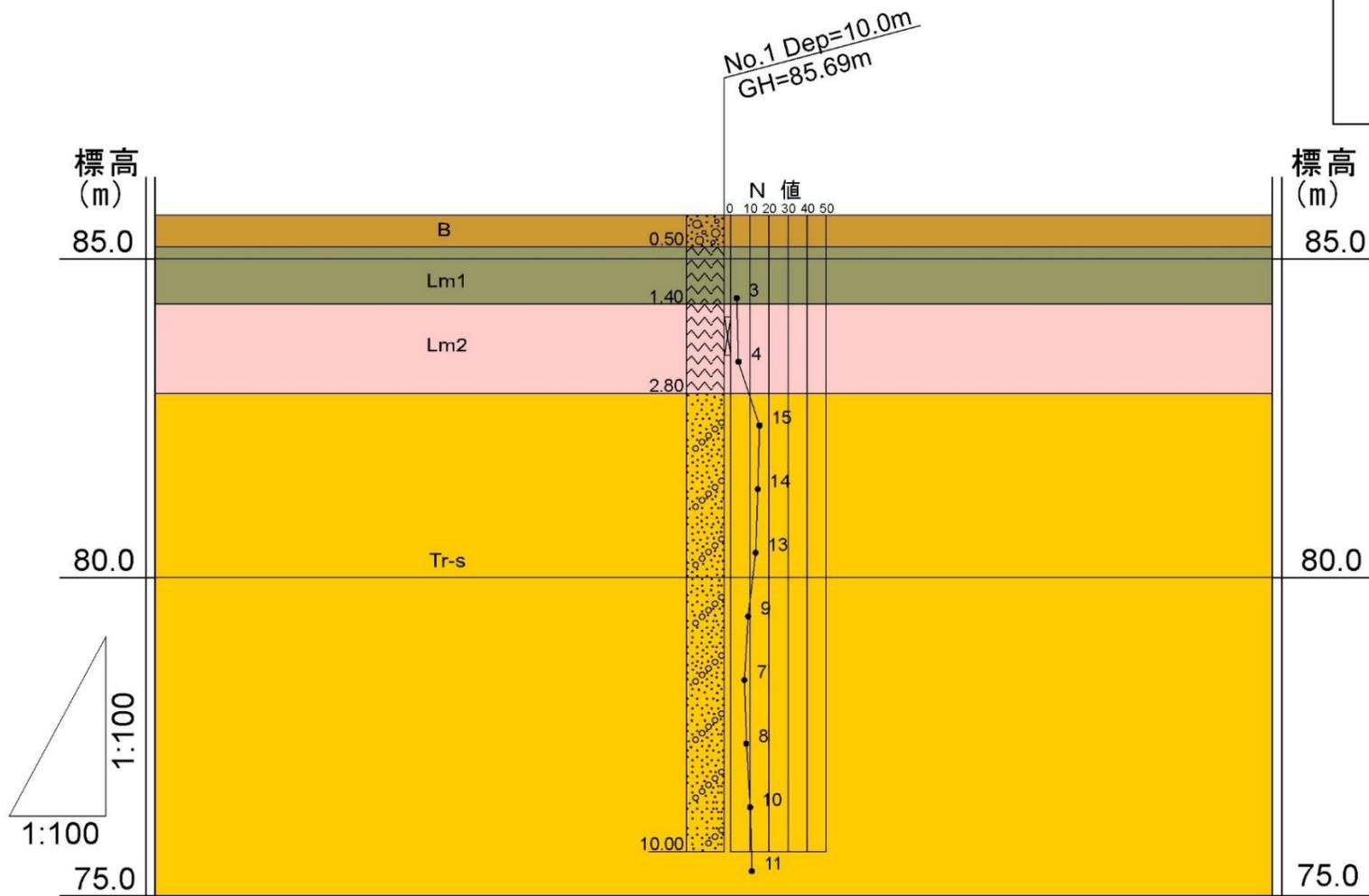
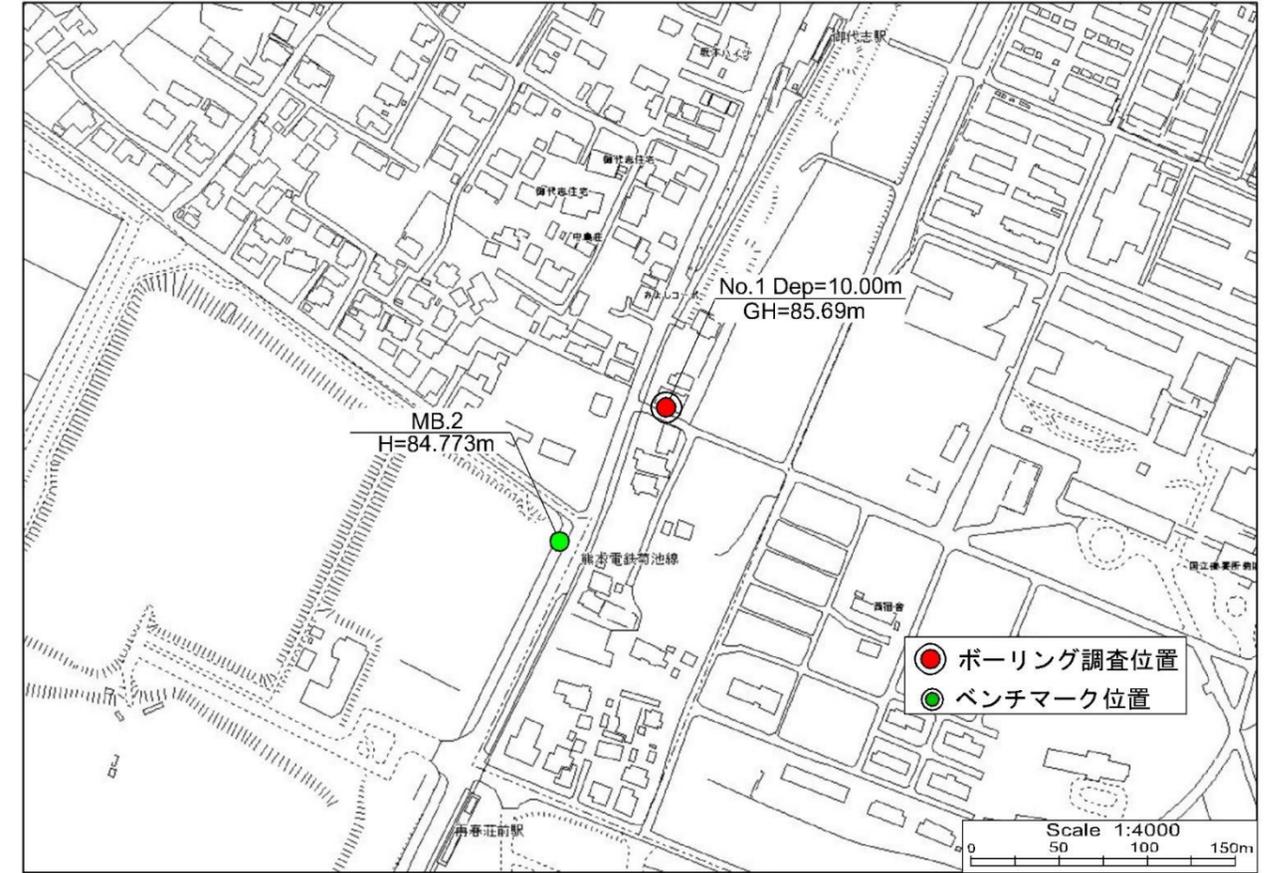
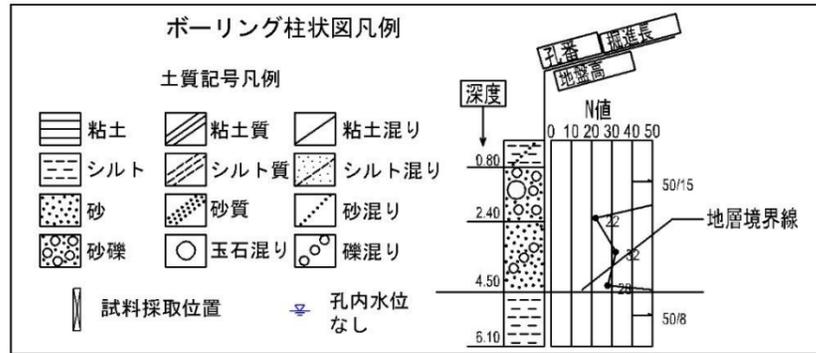
本層は、特徴的な黒灰～黒褐色を呈する火山灰質粘性土からなり、一般的には黒ぼくと呼ばれる特殊土である。土質としては砂混じりシルト～砂質シルトからなり、層厚は1m程度で赤ぼく(Lm2)を覆って分布している。含水量が少なくやや固い。N値は3～4程度の範囲にある。

(4) 盛土 (B)

No.1地点では、最上部に黒ぼくを覆って層厚0.5mで分布する。土質は砂礫からなり宅地盛土と思われる。

No.2地点及びNo.3地点では、層厚3.2～6.2mと厚く分布している。土質は不均質な礫混じり粘性土を主体とし、No.3地点ではタイル片が確認された。N値は3～12程度の範囲にあり不規則に変化する。

断面図凡例

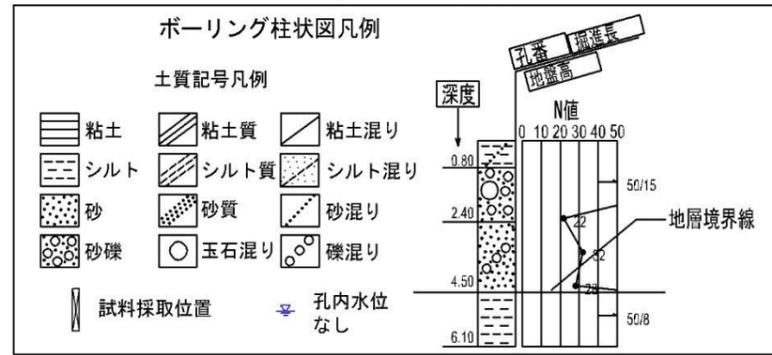


地質構成表

地質時代	記号	地層名	記事
新生代	B	盛土	礫混り粘性土 赤ぼくと黒ぼくが混合した礫混り粘性土主体。No. 1は砂礫主体。No. 3付近ではタイル片混入。N値=3~12程度。
	Lm1	新期ム	黒ぼく 全体的に均質な砂混り~砂質シルト主体。含水量が少なくコアは固い。火山質粘性土。N値=3~4程度。
Lm2	赤ぼく 粘土混りシルトを主体とした火山灰質粘性土。含水量が少なく均質で固い。こねるとべたつく。最下部に細礫点在。N値=4~5程度。		
第四紀	Tr-s	段丘堆積物	礫混り砂質土 粒度分布の良好な礫混り砂質土。礫分は25~35%程度。下部はやや凝灰質。一部φ30cm程度の玉石混入。N値=4~18。

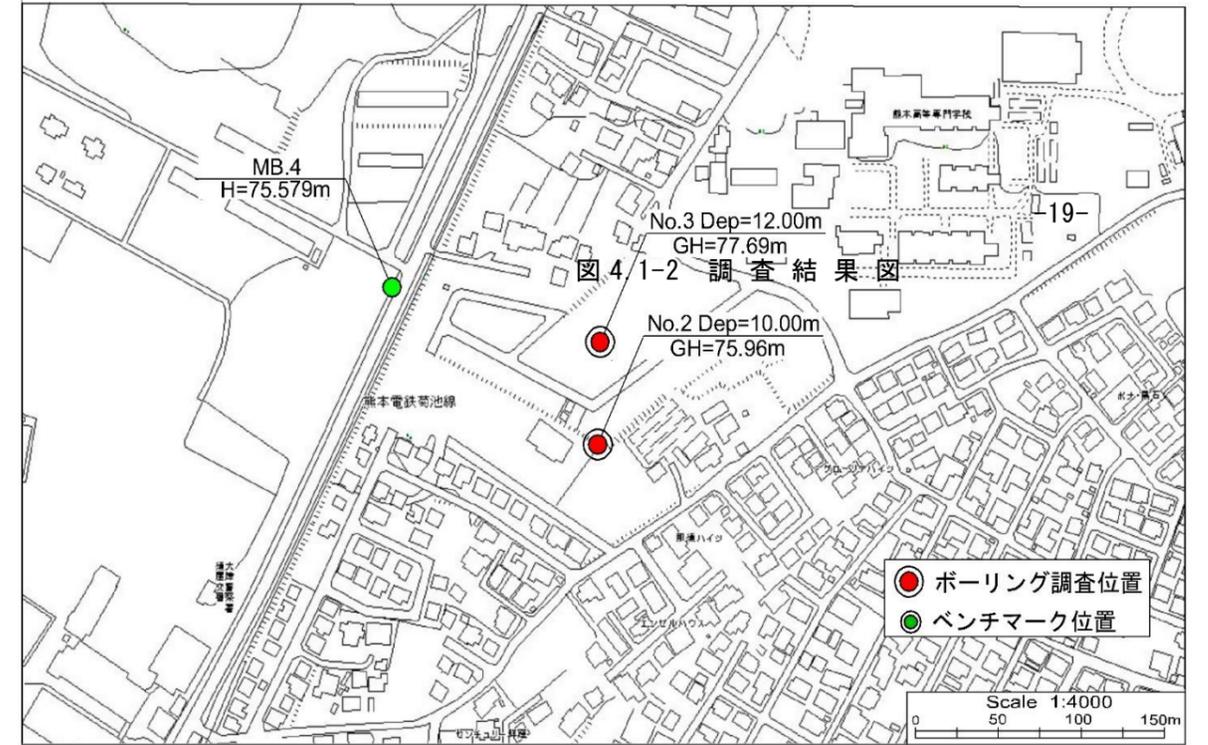
図4.1-2 調査地点位置図

断面図凡例



地質構成表

地質時代	記号	地層名	記事
新生代 第四紀 更新世	B	盛土	礫混り粘性土 赤ぼくと黒ぼくが混合した礫混り粘性土主体。No. 1は砂礫主体。No. 3付近ではタイル片混入。N値=3~12程度。
	Lm1	新期ローム	黒ぼく 全体的に均質な砂混り~砂質シルト主体。含水量が少なくコアは固い。火山質粘性土。N値=3~4程度。
	Lm2		赤ぼく 粘土混りシルトを主体とした火山灰質粘性土。含水量が少なく均質で固い。こねるとべたつく。最下部に細礫点在。N値=4~5程度。
	Tr-s	段丘堆積物	粒度分布の良い礫混り砂質土。礫分は25~35%程度。下部はやや凝灰質。一部φ30cm程度の玉石混入。N値=4~18。



調査位置図

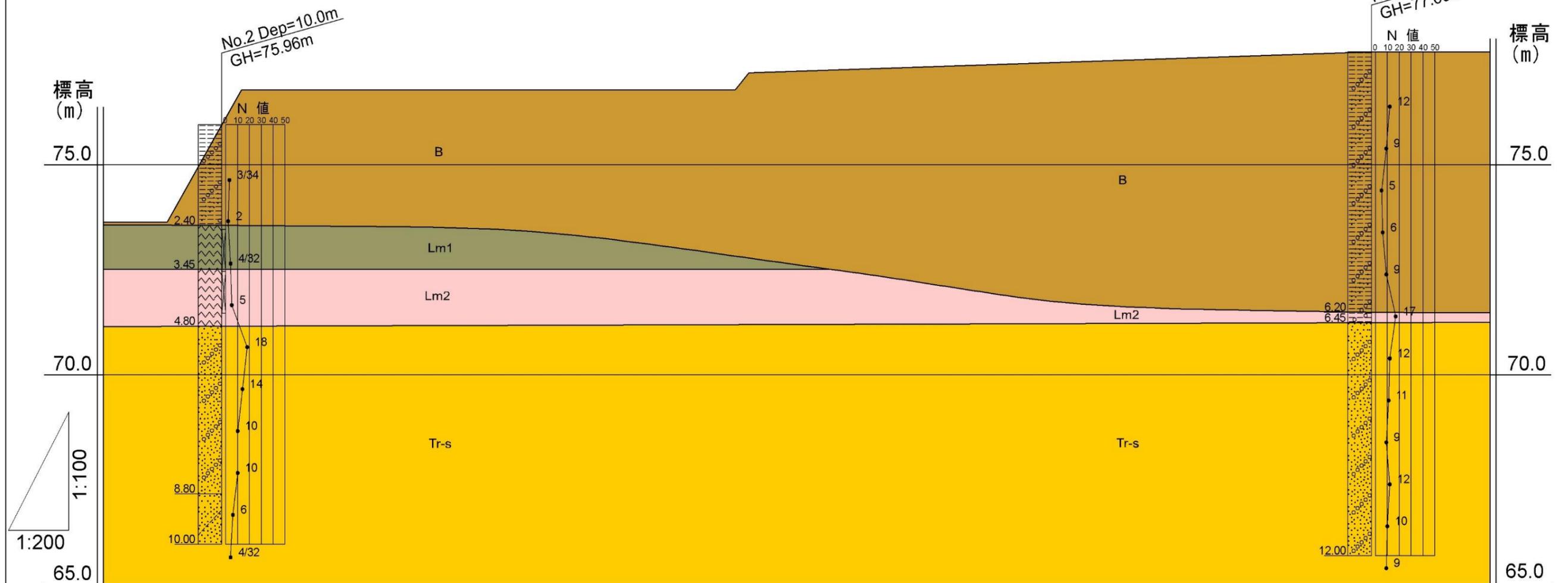


図4.1-3 調査地点位置図

4.2 標準貫入試験結果

各調査地点のN値を集計して表4.2-1に示した。集計結果から、各地層のN値の深度分布を図4.2-1にまとめて示した。

以下、各地層のN値について述べる。

(1) 盛土 (B)

不均質な礫混じり粘性土からなる。N値は3～12の範囲にあり、平均N値は6.5程度である。

(2) 黒ぼく（粘性土） (Lm1)

黒灰色を呈する砂混じりシルト～砂質シルトからなる火山灰質粘性土である。N値は3～4程度の範囲にあり平均N値は3.4程度である。

(3) 赤ぼく（粘性土） (Lm2)

褐色を呈する粘土混じりシルトからなる火山灰質粘性土である。N値は4～5の範囲にあり平均N値は4.5程度である。

(4) 段丘堆積物（礫混じり砂質土） (Tr-s)

粒度分布の良好な礫混じり砂質土からなる。N値は4～18程度と範囲にあり、平均N値10.6程度である。

表 4.2-1 各調査地点の N 値集計表

番号	深 度	地層名	N 値	貫入量	換算N値	平均深度
No.1	1.15 ~ 1.45	Lm1	3	0.30	3	1.30
	2.15 ~ 2.45	Lm2	4	0.30	4	2.30
	3.15 ~ 3.45	Tr-s	15	0.30	15	3.30
	4.15 ~ 4.45	Tr-s	14	0.30	14	4.30
	5.15 ~ 5.45	Tr-s	13	0.30	13	5.30
	6.15 ~ 6.45	Tr-s	9	0.30	9	6.30
	7.15 ~ 7.45	Tr-s	7	0.30	7	7.30
	8.15 ~ 8.45	Tr-s	8	0.30	8	8.30
	9.15 ~ 9.45	Tr-s	10	0.30	10	9.30
No.2	1.15 ~ 1.49	B	3	0.34	2.65	1.32
	2.15 ~ 2.45	B	2	0.30	2	2.30
	3.15 ~ 3.47	Lm1	4	0.32	3.75	3.31
	4.15 ~ 4.45	Lm2	5	0.30	5	4.30
	5.15 ~ 5.45	Tr-s	18	0.30	18	5.30
	6.15 ~ 6.45	Tr-s	14	0.30	14	6.30
	7.15 ~ 7.45	Tr-s	10	0.30	10	7.30
	8.15 ~ 8.45	Tr-s	10	0.30	10	8.30
	9.15 ~ 9.45	Tr-s	6	0.30	6	9.30
No.3	1.15 ~ 1.45	B	12	0.30	12	1.30
	2.15 ~ 2.45	B	9	0.30	9	2.30
	3.15 ~ 3.45	B	5	0.30	5	3.30
	4.15 ~ 4.45	B	6	0.30	6	4.30
	5.15 ~ 5.45	B	9	0.30	9	5.30
	6.15 ~ 6.45	Lm2	17	0.30	17	6.30
	7.15 ~ 7.45	Tr-s	12	0.30	12	7.30
	8.15 ~ 8.45	Tr-s	11	0.30	11	8.30
	9.15 ~ 9.45	Tr-s	9	0.30	9	9.30
	10.15 ~ 10.45	Tr-s	12	0.30	12	10.30
	11.15 ~ 11.45	Tr-s	10	0.30	10	11.30
12.15 ~ 12.45	Tr-s	9	0.30	9	12.30	

平均値から除外

各地層の平均N値		
地層名	平均N値	標準偏差σ
B	6.5	3.7
Lm1	3.4	0.5
Lm2	4.5	0.7
Tr-s	10.6	3.3

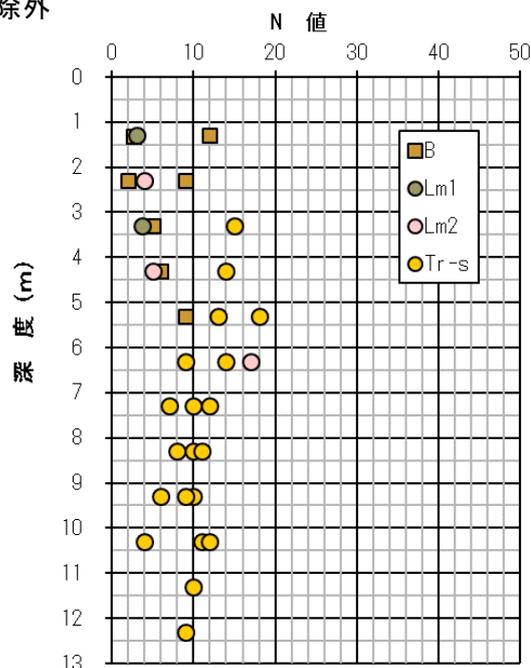


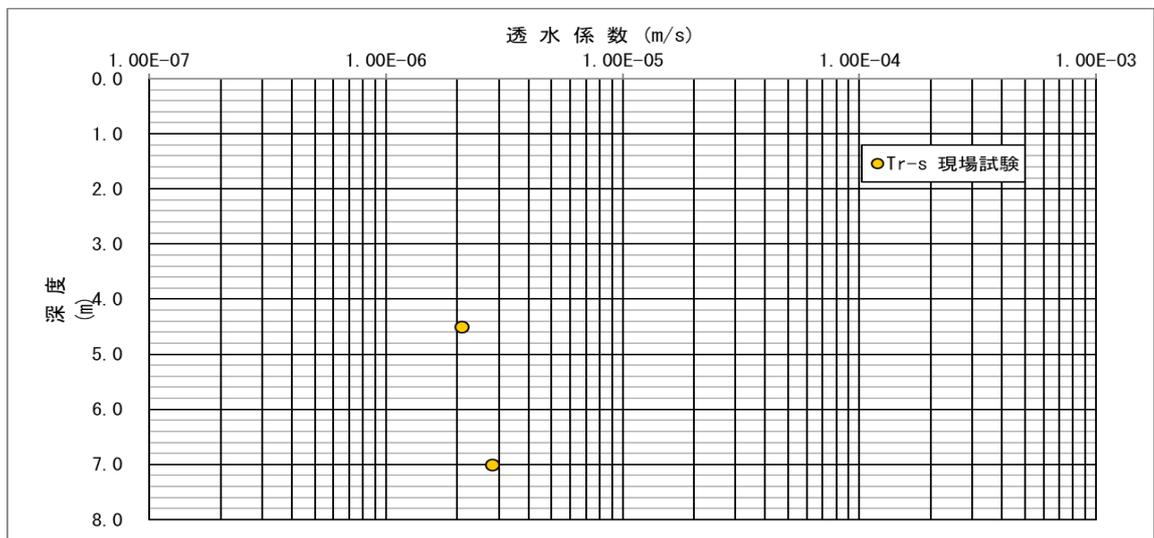
図 4.2-1 各地層の N 値深度分布図

4.3 現場透水試験結果

現場透水試験は、段丘堆積物の礫混じり砂質土層 (Tr-s) について実施した。現場透水試験のデータは、巻末にまとめて示した。表4.3-1に現場透水試験結果一覧表を、図4.3-1に現場透水試験結果図を示す。

表4.3-1 現場透水試験結果一覧表

地点	深度 (m)	平均深度 (m)	地層名	地質	透水係数 (m/s)
No. 1	4.00 ~ 5.00	4.50	Tr-s	礫混じり砂	2.08×10^{-6}
No. 2	6.50 ~ 7.50	7.00	Tr-s	礫混じり砂	2.80×10^{-6}



Tr-s層は礫混り砂を主体とした砂質土層からなり、透水係数は $k=2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ m/s 程度となり、平均的な透水係数は、 $k=2.4 \times 10^{-6}$ m/s程度の結果が得られた。

4.4 孔内水平載荷試験結果

孔内水平載荷試験は、地盤の変形特性を把握することを目的として Tr-s 層（礫混じり砂質土）について、2 箇所を実施した。試験結果を表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 孔内水平載荷試験結果一覧表

孔番号	深度	地層名	N 値	降伏圧 P_y	破壊圧 P_I	地盤係数 K_m	変形係数 E
				(kN/m^2)	(kN/m^2)	(kN/m^3)	(kN/m^2)
No. 1	3.3	礫混じり砂 (Tr-s)	15	341.0	-	241,500	10,980
No. 2	7.0	礫混じり砂 (Tr-s)	10	322.5	710.1	197,200	8,473

一般的な N 値と孔内水平載荷試験による変形係数 E の関係を図 4.4-1 に示す。

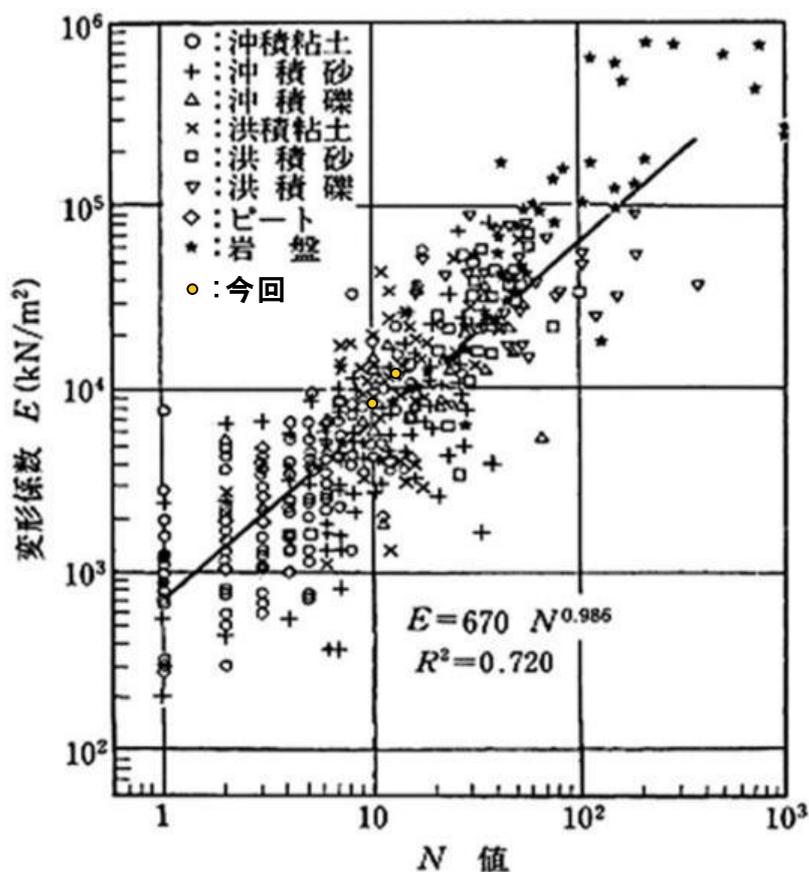


図 4.4-1 孔内載荷試験より得られた変形係数と N 値との関係（土谷・豊岡²¹⁾に加筆修正）

上図からわかるように、今回の孔内水平載荷試験結果では、礫混じり砂質土層（Tr-s）の変形係数は概ね一般的な N 値との関係（ $E=700N$ ）と同様な関係が得られた。

4.5 室内土質試験結果

室内土質試験は、調査地表層部に分布する粘性土（黒ぼく、赤ぼく）について土質特性を把握するために実施した。試験結果の詳細は巻末に室内土質試験データ集として添付した。今回実施した室内土質試験結果の一覧表を表4.5-1に、取りまとめた室内土質試験結果図を図4.5-1に示す。黒ぼく及び赤ぼくは特殊土と呼ばれ一般的な土とは異なった土性を示す。

以下、各地層の土質特性について述べる。

表 4.5-1 室内土質試験結果一覧

孔番号	試料番号	採取深度	地層区分	土の密度		土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	自然含水比 Wn(%)	粒 度								
				湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)			礫分	砂分	シルト分	粘土分	細粒分	均等係数	10%粒径	20%粒径	50%粒径
								(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Uc	D10(mm)	D20(mm)	D50(mm)
No.1	T1-1	1.60 ~ 2.20	赤ぼく	1.423	0.728	2.559	96.5	3.0	4.8	63.8	28.4	92.2	-	-	0.0025	0.0101
No.2	T2-1	2.50 ~ 3.50	黒ぼく	1.227	0.570	2.371	114.5	0.1	6.6	77.3	16.0	93.3	23.27	0.0011	0.0069	0.021
	T2-2	3.50 ~ 4.50	赤ぼく	1.441	0.785	2.441	84.2	0.2	3.3	71.6	24.9	96.5	-	-	0.0025	0.0129
孔番号	試料番号	採取深度	地層区分	コンシステンシー特性			一軸圧縮試験				分 類					
				液性限界	塑性限界	塑性指数	一軸圧縮強さ(qu (kN/m ²))				分類名	分類記号				
				WL(%)	Wp(%)	Ip	供試体	供試体	供試体	平均						
No.1	T1-1	1.60 ~ 2.20	赤ぼく	119.9	66.7	53.2	13.50	12.90	16.50	14.30	シルト	(MH)				
No.2	T2-1	2.50 ~ 3.50	黒ぼく	150.9	90.4	60.5	12.80	20.50	19.00	17.40	砂混じりシルト	(MH-S)				
	T2-2	3.50 ~ 4.50	赤ぼく	115.0	63.7	51.3	11.50	14.20	10.70	12.10	シルト	(MH)				

(1) 土粒子の密度 (ρ_s)

土粒子の密度は、土の固体部分を構成する土粒子群の平均値であり、固体部分の組成より異なる。つまり、土粒子の密度(ρ_s)は、土の固有性質であり一般にはその土が生成された岩石・鉱物・堆積環境及び混入物等により定まり、通常 $\rho_s=2.6\sim 2.7$ (g/cm³)程度の範囲にあるが、重金属等の重たい鉱物を含む場合は大きく、軽石や腐植物等を含む場合は小さくなる。参考として、主な鉱物と土粒子の密度の例を表4.5-2に示す。

表 4.5-2 主な鉱物と土粒子の密度の例 (嘉門・浅川に加筆修正)

鉱物名	密度 ρ_s (g/cm ³)	土質名	密度 ρ_s (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(PEAT)	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

出典)「地盤材料試験の方法と解説」.(社)地盤工学会(2009), P101

今回の試験結果を図4.5-2に示す。黒ぼく(Lm1)の土粒子の密度は $\rho_s=2.371$ (g/cm³)、赤ぼく(Lm2)の土粒子の密度は $\rho_s=2.441\sim 2.559$ (g/cm³)と一般的な土の値よりも小さな値となっている。

(2) 自然含水比

一般的に、土の性質は含水量の多少によって大きく変化する。特に、粘性土の場合は、含水量が土の強度に大きく関係し、含水量の多いものほど強度は小さく不安定となる。

土の含水比は、一般的には砂質土では $W_n=30\%$ 以下、粘性土では $W_n=30\%$ 以上を示す場合が多い。また、泥炭など腐植物を多く混入する土では 100% 以上の高含水比を示す。

今回の試験結果を図 4.5-3 に示す。

黒ぼく (Lm1) の含水比は、 $W_n=150\%$ 程度と高い値を示している。これは粘性土中に腐植物片を混入することにもよるものと考えられる。赤ぼく (Lm2) の含水比は、 $W_n=84\sim 96\%$ 程度とやや高い値を示している。

(3) 粒度特性

各層の粒度曲線 (粒径加積曲線) を図 4.5-4 に示した。

黒ぼく (Lm1) 及び赤ぼく (Lm2) は、細粒分 (粘土 + シルト分) を主体とした土からなり、粗粒分 (砂 + 礫分) を 10% 程度混入している。粘土分の混入量は、黒ぼくで 16% 程度、赤ぼくで $25\sim 28\%$ 程度であり、黒ぼくはシルトを主体としていることがわかる。

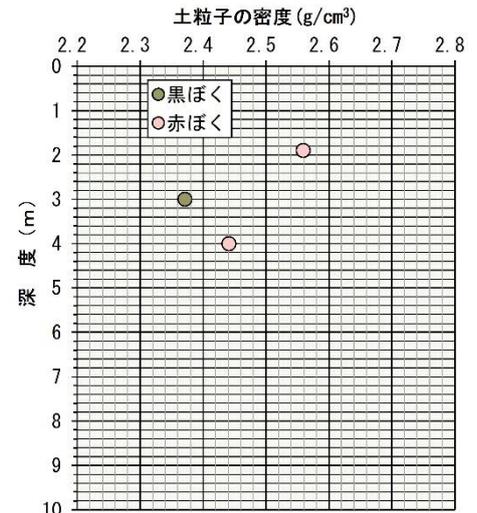


図 4.5-2 各地層の土粒子の密度

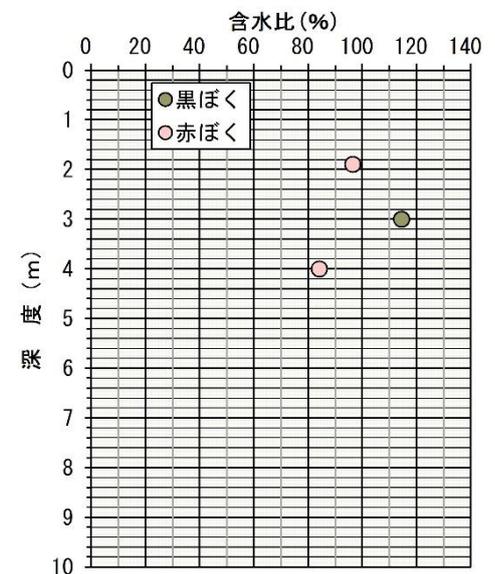


図 4.5-3 各地層の含水比

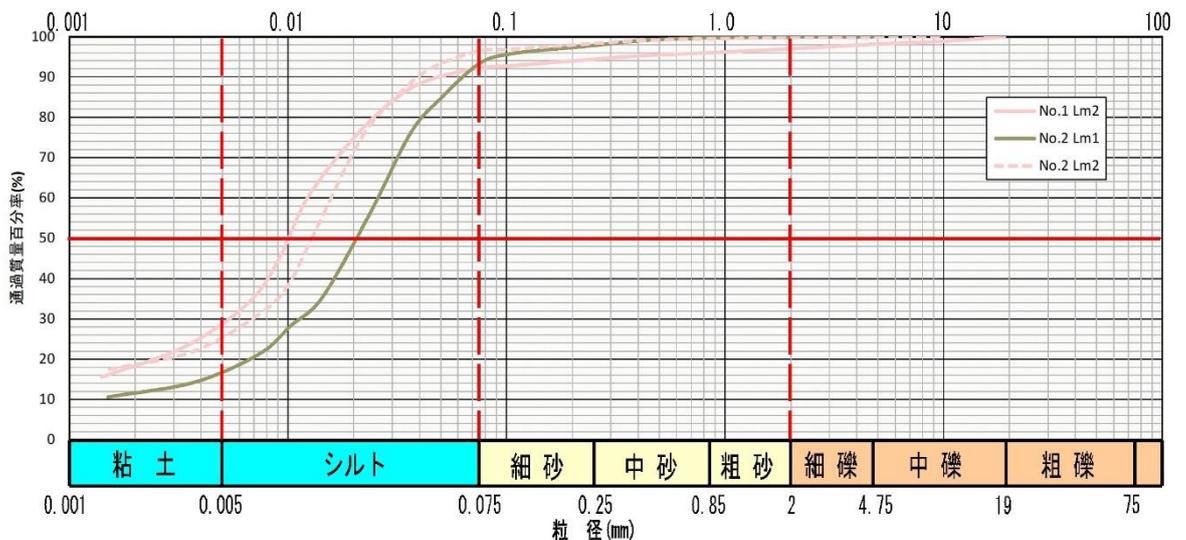


図 4.5-4 粒度曲線総括図

(4) 稠度特性

シルトや粘土を多く含む細粒土は、含水比が十分に高いと流動化を生じて液体と同様な性質を示し、含水比が低下すると力を加えた後の変形が残留する塑性状態に変わる。このような含水比の変化による細粒土の流動や変形に対する抵抗の大きさを土のコンシステンシーという。また、コンシステンシーの各状態の変移点をコンシステンシー限界といい、含水比で表してそれぞれ液性限界、塑性限界および収縮限界と呼ばれている。

液性限界 (WL) は、土が液体から塑性体に移る境界の含水比であり、塑性限界 (WP) は、土が塑性体から半固体に移る境界の含水比を表している。液性限界と塑性限界の差を塑性指数 (IP) という。なお、液性限界や塑性限界が試験で求められない場合又は液性限界と塑性限界に有意な差がない場合は NP とする。

今回の試験結果を、図 4.5-5 及図 4.5-6 に示す。黒ぼく及び赤ぼくは、液性限界が自然含水比よりも大きく、安定した状態にあることが分かる。また、塑性図では両粘性土層とも A 線よりも下にプロットされ、高液性限界のシルト (MH) に分類される。

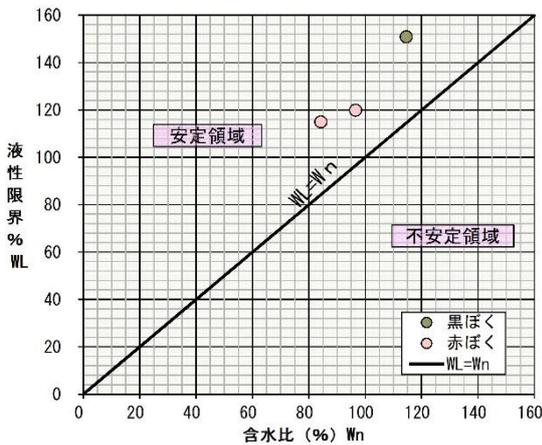


図 4.5-5 含水比と液性限界の関係図

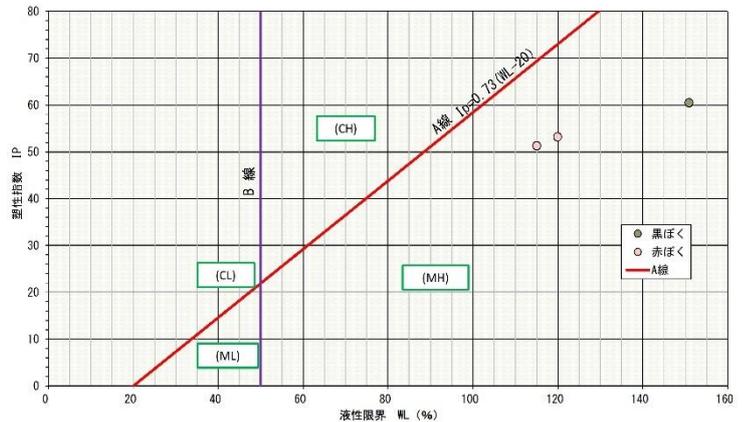


図 4.5-6 塑性図

(5) 湿潤密度

土の湿潤密度は、地盤の基本的性質を示す指標の一つであり、地盤の分類や設計数値として、基礎地盤の支持力・沈下計算における土被り圧の算定および斜面の安定計算・土圧計算における土塊重量の算定などに必要となる土質定数である。ただし、土の湿潤密度は、間隙中の水の量によって変動する。

一般的な土の湿潤密度を表 4.5-3 に示す。

表 4.5-3 我が国における土の密度のおおよその範囲

	沖積層		洪積層 粘性土	関東 ローム	高有機 質土
	粘性土	砂質土			
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.2 ~ 1.8	1.6 ~ 2.0	1.6 ~ 2.0	1.2 ~ 1.5	0.8 ~ 1.3
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.5 ~ 1.4	1.2 ~ 1.8	1.1 ~ 1.6	0.6 ~ 0.7	0.1 ~ 0.6
含水比 ω (%)	30 ~ 150	10 ~ 30	20 ~ 40	80 ~ 180	80 ~ 1200

出典)「地盤材料試験の方法と解説」.(社)地盤工学会(2009), P181

今回の試験結果を図 4.5-7 に示す。各層の湿潤密度は、黒ぼくで、 $\rho_t=1.23\text{g/cm}^3$ 程度、赤ぼくで $\rho_t=1.42\sim 1.44\text{g/cm}^3$ 程度である。

(6) 強度特性

今回、強度特性を把握するために、黒ぼく及び赤ぼくについて一軸圧縮試験を実施した。

以下、各試験結果について述べる。

一軸圧縮試験から得られた一軸圧縮強さ (qu 値) の深度分布図を図 4.5-8 に示す。

この図には、有効土被り圧 (σ') と理論 qu 値の曲線も併記した。なお、理論 qu 値は次式から算出した。

$$c/\sigma' = 0.3 \text{ (強度増加率=0.3 と仮定)}$$

$$c = 0.3 \sigma'$$

$$c = qu/2 \text{ (ただし、}\phi = 0^\circ \text{)}$$

$$\text{理論 } qu = 0.3 \times 2 \times \sigma'$$

$$= 0.6 \sigma'$$

ここで、 σ' : 有効土被り圧
 qu : 一軸圧縮強さ
 c : 粘着力

図 4.5-8 からわかるように、一軸圧縮試験結果では黒ぼく、赤ぼくとも理論強度よりも小さな強度が得られている。

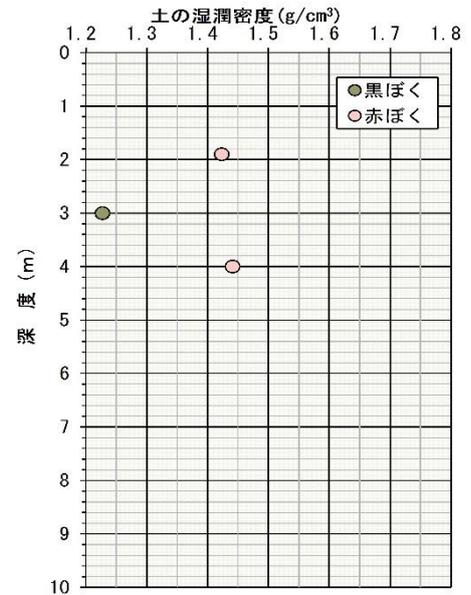


図 4.5-7 粘性土層の湿潤密度

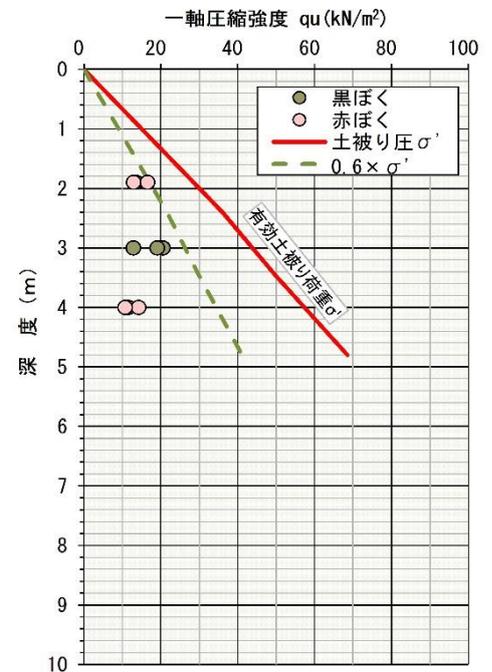


図 4.5-8 一軸圧縮強さ

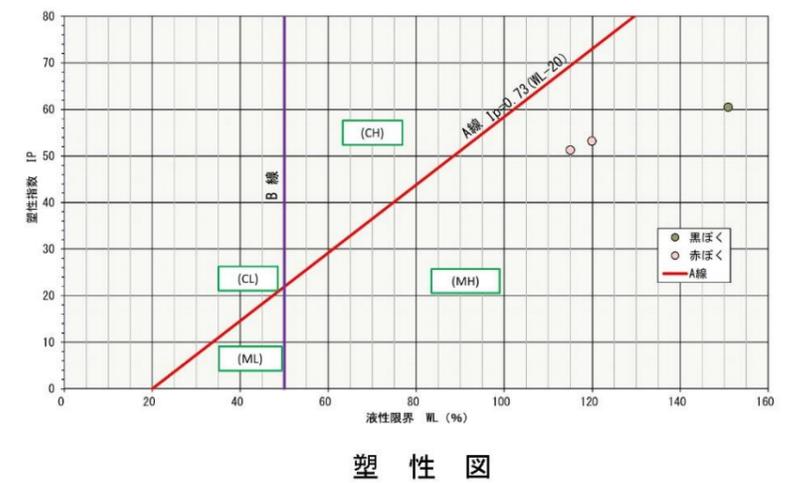
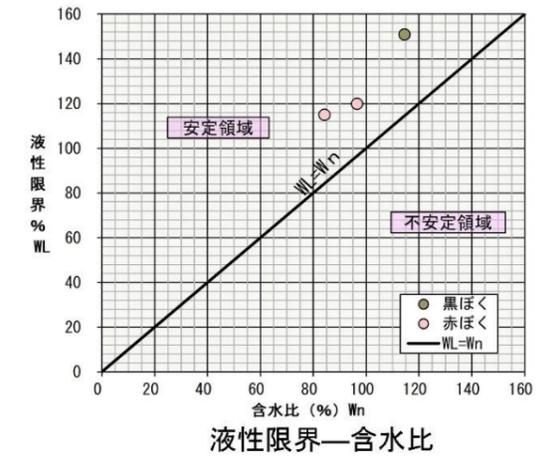
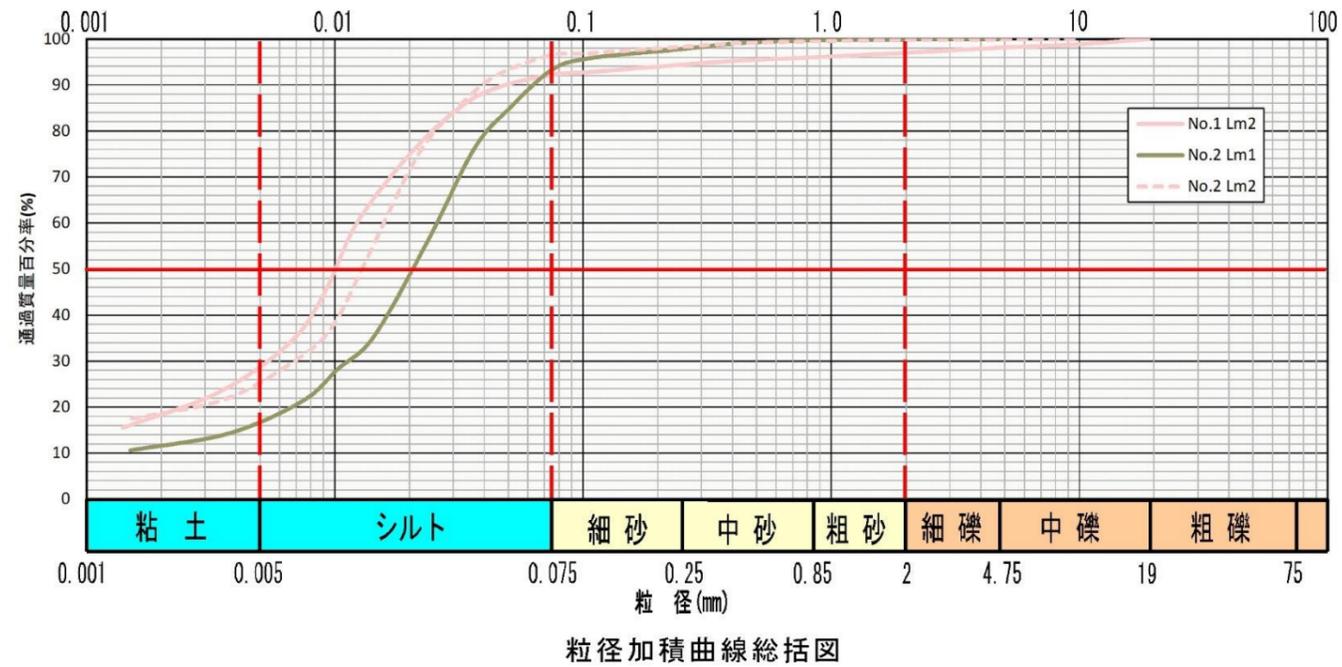
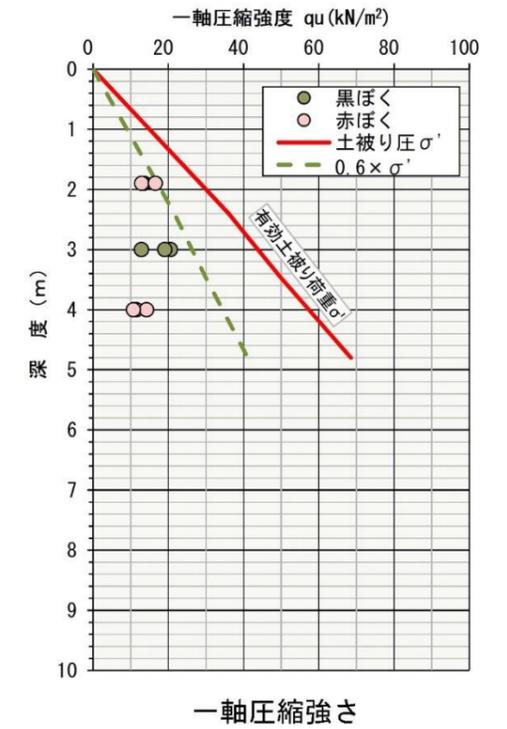
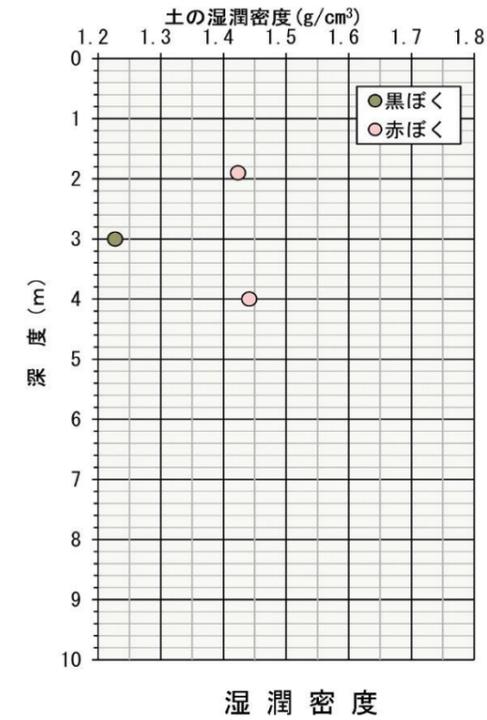
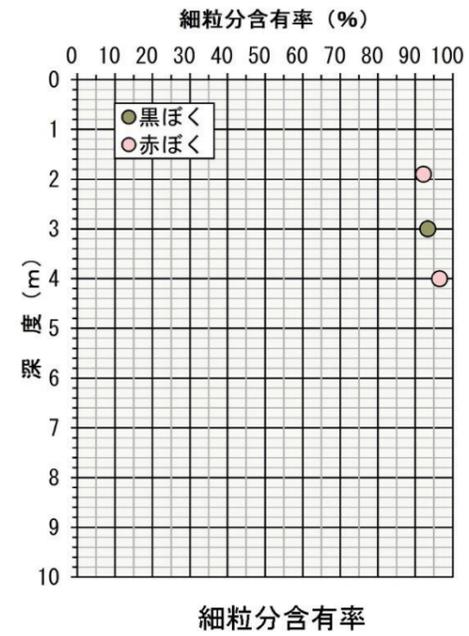
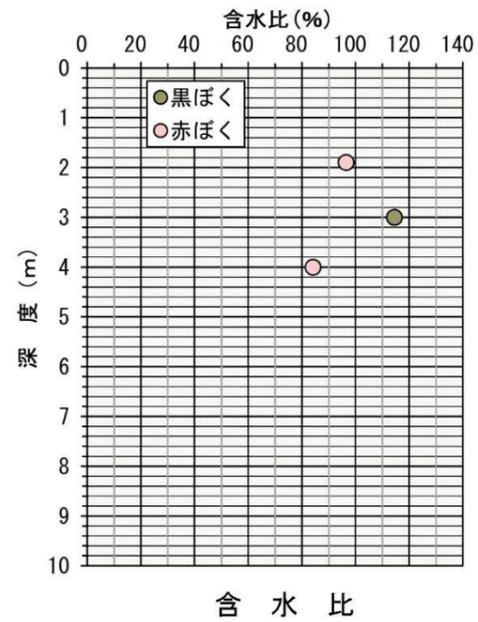
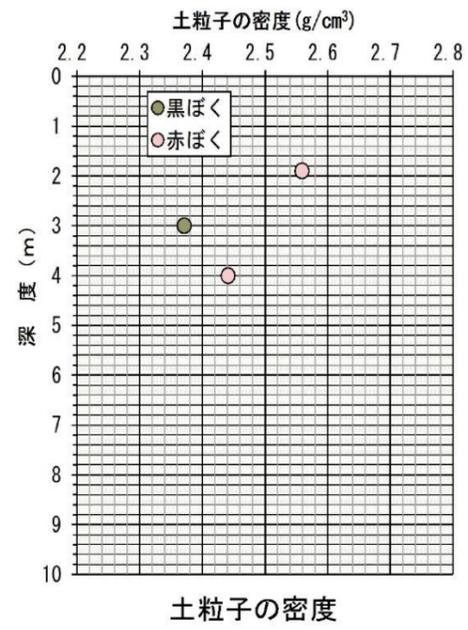


図 4.5-1 室内土質試験結果一覧図

4.6 現地浸透試験結果

現地浸透試験は、段丘堆積物（Tr-s 層）の浸透能力を把握するために、図 4.1-1 に示した 1 箇所の地点において土研法で実施した。

(1) 浸透試験状況

注入量の時間変化図を図 4.6-1 に示す。また、浸透試験施設を図 4.6-2 示す。これらの図に示すように、試験開始直後の浸透量は 100 L/min 程度であるが、その後、徐々に低下し、25 分後頃から浸透量は徐々に低くなっていき、50 分後には約 78.0 L/min 程度に一定となった。

この結果より最終浸透量は、 $Q_t = 78.0 \div 1000 = 0.078 \text{ m}^3 \times 60 \text{ 分} = 4.68 \text{ m}^3/\text{hr}$ が得られた。

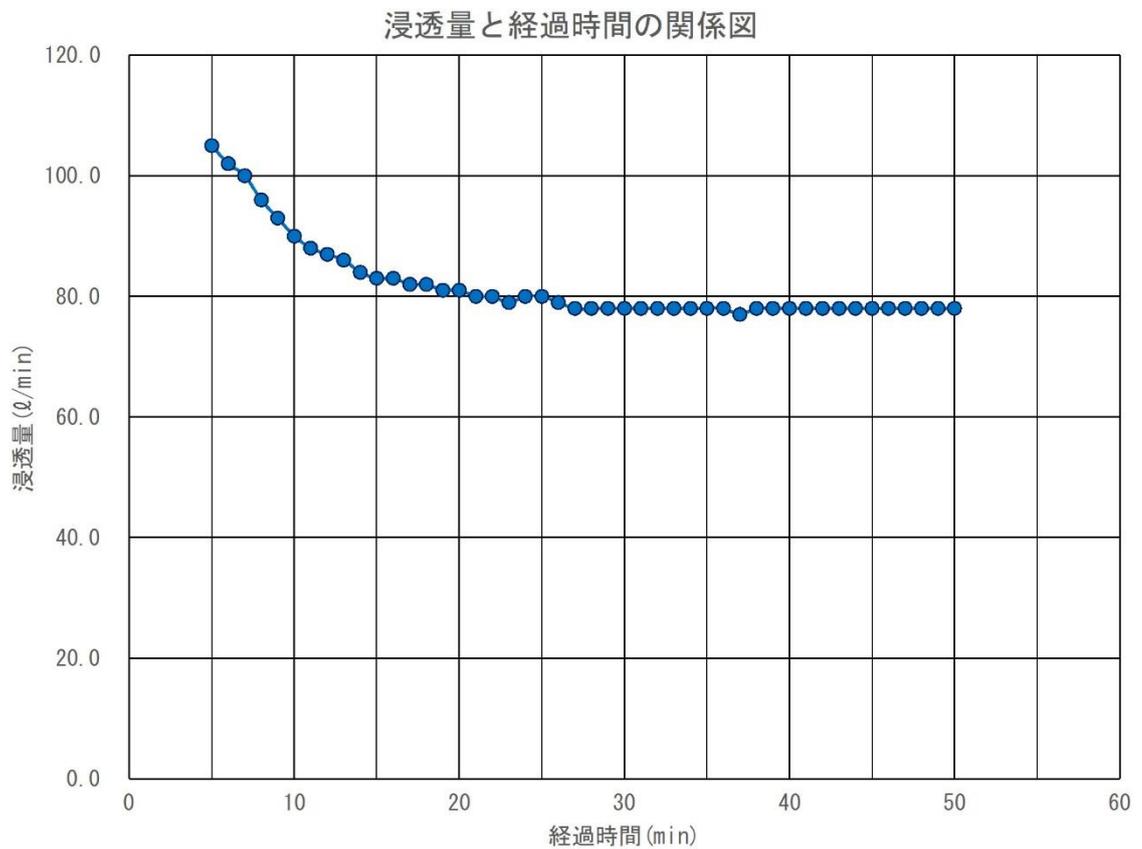


図 4.6-1 浸透量の時間変化

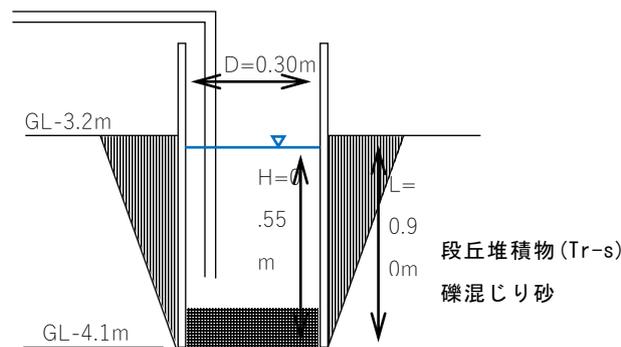


図 4.6-2 浸透試験施設図

(2) 飽和透水係数の算定

試験結果より得られる試験施設の形状と湛水深に対応した終期浸透量をもとに、下式によって飽和透水係数を算定する。

$$k_0 = Q_t / K_t$$

ここに、 k_0 : 飽和透水係数 (m/hr)

Q_t : 浸透試験での最終浸透量 (m^3/hr)

K_t : 試験施設の比浸透量 (m^2) 施設の形状で決定 [径 D (m) と湛水深 H (m)]

図 4.6-3 から読み取る

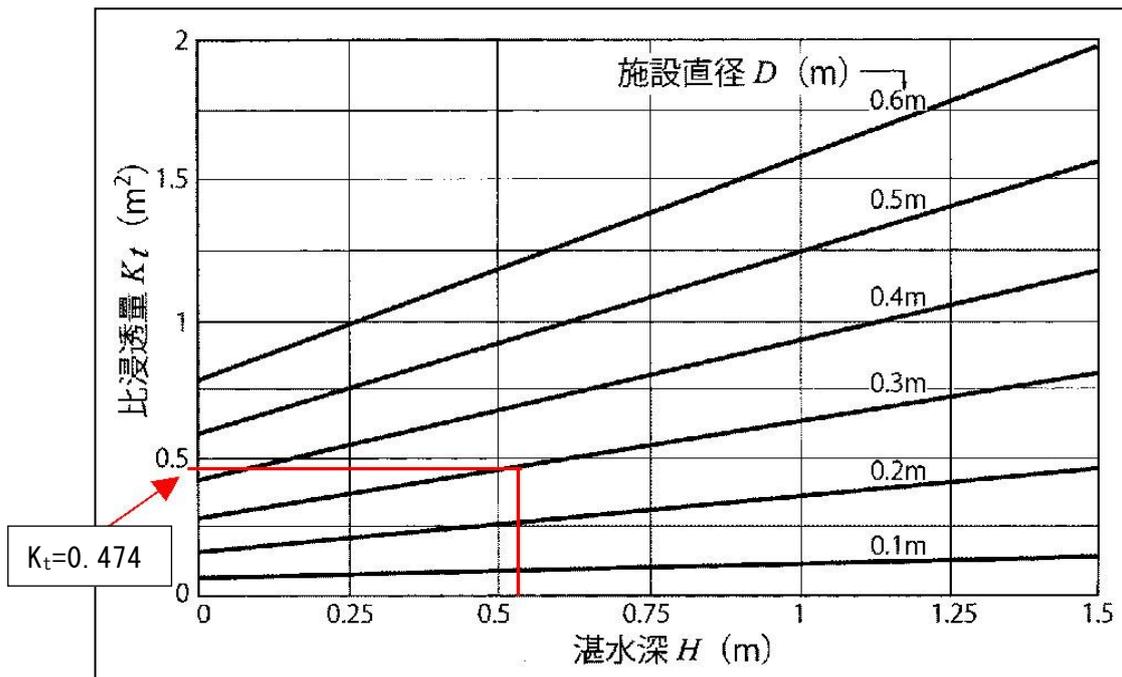


図 4.6-3 土研法による比浸透量の算定図

試験箇所での飽和透水係数 k_0 は、以下のとおりとなる。

$Q_t = 4.68 \text{ m}^3/hr$ (浸透試験結果より)

$K_t = 0.474$ (図 4.6-3 より)

$$\therefore k_0 = Q_t / k_t = 4.68 / 0.474 = 9.87 \text{ m/hr} = 2.74 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$$

表 4.6-1 に現地浸透試験結果一覧表を示す。参考までに表 4.6-2 に土壌の種類による飽和透水係数の概略値を示す。この表からわかるように当地の段丘堆積物 (Tr-s) の飽和透水係数はきれいな砂利の飽和透水係数に相当し、透水性が大きいことがわかる。

表 4.6-1 現地浸透試験結果一覧表

試験箇所		合志市調整池計画箇所
試験面土質		段丘堆積物、礫混り砂 (Tr-s)
試験面地盤高		GL-3.2m (GH=85.8m)
試験湛水深 H		55cm
最終浸透量 Q_t	判定	測定 50 分後の浸透量
	測定結果	4.68 (m ³ /hr)
飽和透水係数 k_0		9.87 (m/hr)
		2.74×10^{-3} (m/s)
		2.74×10^{-1} (cm/s)

表 4.6-2 飽和透水係数の概略値(参考)

k_0 (m/s)	1.0	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}
土壌の種類	きれいな砂利		きれいな砂、 きれいな砂利 まじりの砂	細砂、シルト、 砂とシルトの混合砂		難透水土 粘土

透水性大きい ←

→ 透水性小さい

浸透型流出抑制施設の現地浸透能力調査マニュアル試案 (旧)建設省土木研究所

5. 考察

5.1 調査地周辺の地形及び地質構成

【地形】

調査地は、熊本平野の北東部に位置し、周りを台地や丘陵地に囲まれた熊本電鉄沿線の黒石駅と御代志駅付近の台地である。

調査地付近の地形は、東方の阿蘇外輪山や西方の金峰山、二の岳、三の岳等の山地、阿蘇外輪山から西方に広がる台地、白川や大小河川沿いの低地に区分される。

調査地付近の台地は、阿蘇外輪山から西側に広がる台地の末端付近に位置し、南側の堀川と西側の坪井川に挟まれた標高 80～85m の比較的平坦な地形を呈している。調査地はこの台地のほぼ中央付近に位置している。坪井川右岸側は、比較的起伏の発達した丘陵地や台地からなる。

また、調査地北方には弁天山等の小高い山地が、東方には飯高山等の小高い山地が残丘状に点在している。

調査地及び調査地東側の台地は主に宅地として、調査地西側の台地は主に畑地として利用されている。

【地質】

調査地付近の地質は、調査地北東の弁天山や二塚山に分布する古生代の変成岩類や調査地東方の群山や飯高山に分布する中生代白亜紀の堆積岩を基盤岩とする。これらを覆って新生代第四紀更新世の阿蘇火砕流堆積物や河川堆積物である段丘堆積物が分布している。また、河川沿いの低地や丘陵地の谷間には新生代第四紀完新世の未固結は沖積層が分布している。

基盤岩である中生代白亜紀の堆積岩は、姫浦層群と呼ばれ砂岩や頁岩からなり、調査地東方の小高い残丘状の丘陵地を形成している。新生代第四紀更新世の阿蘇火砕流堆積物は、主に台地裾部や坪井川右岸側の丘陵地を形成している。これを覆う段丘堆積物は、調査地南側を流下する白川沿いの両岸台地や坪井川左岸側の台地を形成している。調査地付近を構成する段丘堆積物は、託麻砂礫層に相当する。

また、地質図には表示されていないが、台地の表層部を覆って降下火山灰層である赤ぼくや黒ぼくが層厚 2～3m 程度で分布している。

5.2 各地層の地盤定数について

ここでは、室内土質試験結果及び標準貫入試験によるN値等をもとに、各地層の地盤定数について検討する。地盤定数は、室内試験で求めることを原則としているが、室内試験を実施していない地層については、N値をもとに各地層の地盤定数を検討した。

5.2-1 地盤定数設定条件

以下に地盤定数の設定条件を示す。

[1] 設計N値

各地層の設計N値は以下の要領で決定するものとした。

- ① N値のばらつきの大きい地層
設計N値＝最小値
- ② N値のばらつきが比較的大きい地層（標準偏差 $\sigma > 1.0$ ）
設計N値＝平均N値－ $(0.5 \times \text{標準偏差値 } \sigma)$
- ③ N値のばらつきが小さい地層（標準偏差 $\sigma \leq 1.0$ ）
設計N値＝平均N値
- ④ データが1つで妥当な値を示す地層
設計N値＝実測値

[2] せん断抵抗角 ϕ （度）および粘着力 c （ kN/m^2 ）

室内土質試験を実施している場合はその結果や、室内土質試験を実施していない地層については、表5.2-1に示した一般的な土の地盤定数や設計N値等を参考に強度定数を算定した。

- ① 礫質土、砂質土の場合のせん断抵抗角および粘着力
砂質土の場合 $\phi = 4.8 \log N_1 + 21^*$ （ \log は自然対数）

$$N_1 = \frac{170N}{\sigma v' + 70}$$

※ 引用：道路土工「擁壁工指針」社団法人日本道路協会平成24年7月p64

ただし、 $N > 5$

ここに、

ϕ ：土のせん断抵抗角（°）

$\sigma v'$ ：標準貫入試験を実施した地点の有効上載圧（ kN/m^2 ）

ただし、原位置 σv が $\sigma v' < 50 \text{kN/m}^2$ である場合には、 $\sigma v' = 50 \text{kN/m}^2$ として算出する。

N_1 ：有効上載圧 100kN/m^2 に換算したN値

N：標準貫入試験から得られるN値

②粘性土(黒ぼく、赤ぼく)のせん断抵抗角および粘着力

土質試験結果及び図5.2-1に示す熊本の特特殊土の参考値やN値から換算し、採用値を検討した。

・ N値からの推定値

せん断抵抗角 $\phi=0^\circ$

粘着力----- $c=6.25N (kN/m^2)$ ※

ここに

N:設計N値

度 (kN/m^2)

c : 土の粘着力 (kN/m^2)

※ 引用:地盤調査の方法と解説 公益社団法人地盤工学会平成26年3月p308

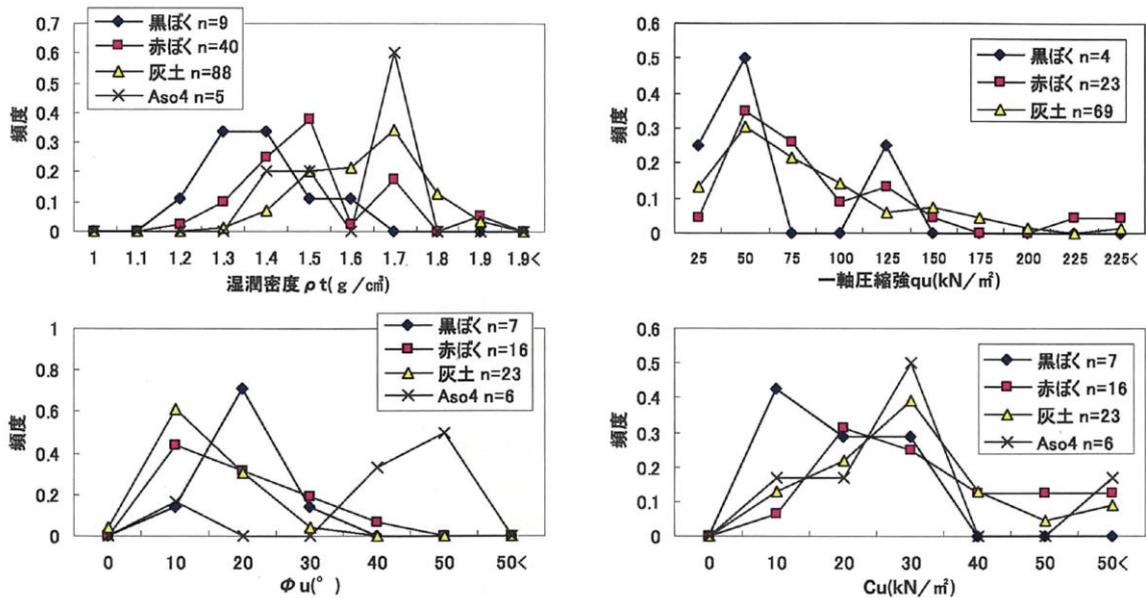


図 5.2-1 熊本の特特殊土の土質特性※

※ 引用:熊本市周辺地盤図 熊本県地質調査業協会 平成15年8月 p135

[3] 単位体積重量

土質試験を実施していない地層については、各地層の単位体積重量は表5.2-1を参考にして設定した。

[4] 変形係数 (Em)

土砂や岩盤の変形係数は一般的に孔内水平載荷試験を実施して求めるが、孔内水平載荷試験を行っていないので、孔内水平載荷試験とN値との相関式により算出する。

・ 土砂 ----- $E_b \doteq 7N (kgf/cm^2) = 700N (kN/m^2)$ ※

※ 引用:地盤調査の方法と解説 公益社団法人地盤工学会平成26年3月p687

表 5.2-1 一般的な土の地盤定数及び単位体積重量の目安

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 ^{注2)}	
盛土	礫および礫まじり砂	締固めたもの	20	40	0	{G}	
	砂	締固めたもの	粒径幅の広いもの	20	35	0	{S}
			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}	
関東ローム	締固めたもの	14	20	10以下	{V}		
自然状	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） ^{注1)}	18	25	50以下	{M} , {C}	
		やや軟らかいもの（指の中程度の力で貫入） ^{注1)}	17	20	30以下		
軟らかいもの（指が容易に貫入） ^{注1)}		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） ^{注1)}	17	20	50以下	{M} , {C}		
	やや軟らかいもの（指の中程度の力で貫入） ^{注1)}	16	15	30以下			
	軟らかいもの（指が容易に貫入） ^{注1)}	14	10	15以下			
関東ローム		14	5(ϕ_w)	30以下	{V}		

※ 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10kN/m³差引いた値とする。 引用：NEXCO「設計要領 第一集」平成28年8月 P参1-2)

5.2-2 土質定数提案値

表 5.2-2 に各地層の設計 N 値を示す。
以下、各地層の土質定数提案値について述べる。

表 5.2-2 各地層の設計 N 値

地層名	各地層の平均N値		設計N値	備考
	平均N値	標準偏差 σ		
B	6.5	3.7	4.7	$\sigma > 1.0$ であり、平均N値- $\sigma/2$ を採用
Lm1	3.4	0.5	3.4	$\sigma \leq 1.0$ であり、平均値を採用
Lm2	4.5	0.7	4.5	$\sigma \leq 1.0$ であり、平均値を採用
Tr-s	10.6	3.3	9.0	$\sigma > 1.0$ であり、平均N値- $\sigma/2$ を採用

(1) 盛土 (粘性土) (B)

No. 1 付近では層厚 0.5m 程度で砂礫からなるが、No. 2～No. 3 付近では粘性土からなり層厚 3～6m 程度と厚く分布する。

・ 設計 N 値

$$N=4.7$$

・ 単位体積重量

軟質な礫混じりの黒ぼくや赤ぼくの混合土からなることから、土質試験結果や図 5.2-1 を参考に $\gamma_t=15\text{kN/m}^3$ とする。

・ せん断抵抗角

粘性土であることから $\phi=0^\circ$ とする。

・ 粘着力

軟質な粘性土からなることから、N 値から推定すれば、

$$c=6.25 \times 4.7=29.4 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

図 5.2-1 を参考にすれば、 $c=20\sim30 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ 程度となる。

以上から、 $c=30 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ とする。

・ 変形係数

$$E=700N \text{ から、} E=700 \times 4.7=3290 \rightarrow 3200 \text{ (kN/m}^2\text{)} \text{ とする。}$$

(2) 黒ぼく (粘性土) (Lm1)

均質な砂混じり火山灰質粘性土からなる。

・ 設計 N 値

$$N=3.4$$

・ 単位体積重量

土質試験結果では、 $\rho_t=1.227\text{g/cm}^3 \rightarrow \gamma_t=12\text{kN/m}^3$

図 5.2-1 を参考にすれば、 $\gamma_t=13\sim14\text{kN/m}^3$ 程度となる。

以上から、 $\gamma_t=13\text{kN/m}^3$ とする。

・ せん断抵抗角

粘性土からなることから、 $\phi=0^\circ$ とする。

・ 粘着力

土質試験結果では、 $q_u=17.4 \text{ kN/m}^2$ だから、 $c=q_u/2=8.7\text{kN/m}^2$

図 5.2-1 を参考にすれば、 $c=10\sim30\text{kN/m}^2$ 程度となる。

N 値から推定すれば、 $c=6.25 \times 3.4=21.2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ 程度と推定される。

今回の土質試験結果では本来よりもやや小さな強度がでてしていると想定されることから、 $c=20 \text{ kN/m}^2$ とする。

・ 変形係数

$$E=700N \text{ から、} E=700 \times 3.4=2380 \rightarrow 2300 \text{ (kN/m}^2\text{)} \text{ とする。}$$

(3) 赤ぼく (粘性土) (Lm2)

均質な粘土混じりシルトを主体とした火山灰質粘性土からなる。

・ 設計 N 値

$$N=4.5$$

・ 単位体積重量

土質試験結果の平均値では、 $\rho_t=1.432\text{g/cm}^3 \rightarrow \gamma_t=14\text{kN/m}^3$

図 5.2-1 を参考にすれば、 $\gamma_t=14\sim 15\text{kN/m}^3$ 程度となる。

以上から、 $\gamma_t=14\text{kN/m}^3$ とする。

・せん断抵抗角

粘性土からなることから、 $\phi=0^\circ$ とする。

・粘着力

土質試験結果の平均値では、 $q_u=13.2\text{ kN/m}^2$ だから、 $c=q_u/2=6.6\text{kN/m}^2$

図 5.2-1 を参考にすれば、 $c=20\sim 40\text{kN/m}^2$ 程度となる。

N 値から推定すれば、 $c=6.25\times 4.5=28.1\text{ (kN/m}^2)$ 程度と推定される。

今回の土質試験結果では本来よりもやや小さな強度がでてしていると想定されることから、 $c=30\text{ kN/m}^2$ とする。

・変形係数

$E=700N$ から、 $E=700\times 4.5=3150\rightarrow 3100\text{ (kN/m}^2)$ とする。

(4) 段丘堆積物 (砂質土) (Tr-s)

粒度分布の良好な礫混じり砂質土からなる。

・設計 N 値

$N=9.0$

・単位体積重量

礫混じり砂質土からなることから、表 5.2-1 の「自然地盤」の「礫混じり砂」の「密実でないもの」を参考に、

$\gamma_t=19\text{kN/m}^3$ とする。

・せん断抵抗角

砂質土からなることから、砂質土層中央部の土被りと設計 N 値から算定する。

No. 1 地点 (地下水位なし)

$$\phi=4.8\log N_1+21$$

$$\sigma_v' =20.5\times 15+0.9\times 13+1.4\times 14+3.6\times 19=107.2$$

$$N_1=170\times 9/(107.2+70)=8.6$$

よって、 $\phi=4.8\times \log 8.6+21=25.49^\circ$

No. 2 地点 (地下水位なし)

$$\phi=4.8\log N_1+21$$

$$\sigma_v' =2.4\times 15+1.05\times 13+1.35\times 14+2.6\times 19=117.95$$

$$N_1=170\times 9/(117.95+70)=8.14$$

よって、 $\phi=4.8\times \log 8.14+21=25.37^\circ$

No. 1 と No. 2 の平均値

$\phi=25.43\rightarrow 25^\circ$ とする。

・粘着力

砂質土からなることから、 $c=0\text{ (kN/m}^2)$ とする。

・変形係数

$E=700N$ から、 $E=700\times 9=6300\text{ (kN/m}^2)$ とする。

以上の結果をまとめて、表 5.2-3 に調査地の地盤定数の提案値として示す。

表5.2-3 調査地の地盤定数の提案値

時代	地層名		記号	設計N値	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断抵抗角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)	変形係数 E_m (kN/m ²)	
新生代 第四紀	完新世	現河床堆積物	粘性土	B	4.7	15.0	0.0	30.0	3,200
		黒ぼく	粘性土	Lm1	3.4	13.0	0.0	20.0	2,300
	更新世	赤ぼく	粘性土	Lm2	4.5	14.0	0.0	30.0	3,100
		段丘堆積物	砂質土	Tr-s	9.0	19.0	25.0	0.0	6,300

5.3 建造物の基礎について

ここでは、今後の土地区画整理事業に伴う建造物の支持地盤及び基礎形式について検討する。

【基礎支持地盤の選定】

建築基礎構造指針によれば、「建造物を構成する各地層のうち、どの地層に支持させるかを決定することは、基礎の構造選定と関連して設計上の基本的な問題である。基礎支持地盤を選定するにあたっての原則は、建造物および建造物の機能に有害な障害を生じないように建造物を確実に支持しうる地盤を選ぶことである。また、その場合には上部構造の特性や想定しうる基礎の形式、地盤の条件等を十分に考慮する必要がある。良く締まった砂層・砂礫層、硬質な粘性土層あるいは岩盤などの基礎層を支持層とするのは、確実に賢明な代表例である。」とされている。(建築学会 P117 抜粋)

「実務から見た基礎構造設計(上野嘉久著)」においては、直接基礎や杭基礎での、建造物に応じた基礎地盤の目安が表 5.3-1 及び表 5.3-2 に示されている。

表 5.3-1 直接基礎の選定表

・以下の条件に当てはまるときは直接基礎とする。当てはまらないときは杭基礎とする

構造規模		低層 RC造:2階以下 S造:3階以下		中低層 RC造:3~6階 S造:4~6階		中高層 各種構造 7~9階		低層~中低層~中高層 地下室有		備考
必要な地耐力		50kN/m ² 以上		100kN/m ² 以上		100~300N/m ² 以上		100~200~300N/m ² 以上		fe > 200N/m ² の場合は、原則として平板載荷試験を行う。
地質例		砂質地盤50kN/m ² ローム層50kN/m ²		堅い粘土質地盤 堅いローム層10kN/m ²		密実な砂質地盤 密実な礫層30t/m ² 固結した砂500kN/m ² 岩盤1000kN/m ²				
必要なN値の目安	D _r 効果	有	無	有	無	有	無	有	無	建造物の密集した市街地においては、D _r 効果は無の値を採用することが望ましい。
	砂質土地盤	N ≥ 5	N ≥ 15	N ≥ 10	N ≥ 20	N ≥ 20	N ≥ 25	N ≥ 10~20	N ≥ 20~25	
	粘性土地盤	N ≥ 5	N ≥ 10	N ≥ 8	N ≥ 10	N ≥ 15~20	N ≥ 15~25	N ≥ 8~20	N ≥ 10~25	
必要な支持地盤の深さ		1.0~1.5m(3m)		1.0~1.8m(4m)		1.5~2.5m(5m)				()は地盤改良または栗コンの場合
必要な支持層の厚さ		2~3m以上		3m以上		3m以上 5~10mが望ましい。		3~5m以上 5~10mが望ましい。		
選定する基礎の種類		独立基礎 布基礎		独立基礎 布基礎		独立基礎 布基礎、べた基礎 独立基礎+耐圧板		べた基礎 独立基礎+耐圧板		

・地耐力: 建造物の構造・規模によって、その建造物に相応した地盤(地耐力)を示したものである。
 ・その必要地耐力は令38(基礎)の条項を参考にした。
 ・地質例: 前項の必要地耐力に相当する地質を、令93条(地盤及び基礎ぐい)に示されている地盤の種類に応じた値により示したものである。
 ・必要なN値の目安: 地盤調査報告書等により、砂質土か粘質土かを判別して、その地質、構造規模に相応するN値によって選定する。

・D_r効果: 土の押え効果である。したがって、建造物が密集している市街地においては隣地が根切りされると、D_r効果がなくなる恐れがあるのでD_r効果が「無」が望ましい。
 ・必要な支持地盤深さ: 直接基礎の条件として、基礎を支持する深さ及び厚さが重要である。その支持地盤の深さの限度は4~5mが目安である。

「実務から見た基礎構造設計 P51」より抜粋

建造物の概ね中低層以上の規模・土木建造物の杭基礎では、N値 ≥ 30~50の砂質土・礫質土が基礎支持地盤の目安であり、粘性土層においては、N値 ≥ 20が良質な支持層として採用されている。

表 5.3-2 杭基礎の選定表

・原則として深さ5m以内に支持地盤がない場合

構造規模		低層 RC造:2階以下 S造:3階以下		中低層 RC造:3~6階 S造:4~6階		中高層 各種構造 7~9階	低層~中低層~中高層 地下室有
必要なN値の目安	杭の種類	支持杭	摩擦杭	支持杭	摩擦杭	支持杭	摩擦杭
	砂質土地盤	N \geq 20	液状化のあるものを除く	N \geq 30	液状化のあるものを除く	N \geq 50	N \geq 20~30~50
	粘性土地盤	N \geq 15	地盤沈下の恐れのあるものを除く	N \geq 20	地盤沈下の恐れのあるものを除く	N \geq 30	N \geq 15~20~30
必要な支持地盤の深さ		5~10m	10m以上	5~20m	20m以上	7~30m	10~30m
必要な支持層の厚さ		2~3m以上		3m以上		3m以上 5~10mが望ましい	3~5m以上 5~10mが望ましい
杭の種類 と杭径	既製杭	ϕ 300~450mm		ϕ 300~600mm		ϕ 450~600mm	ϕ 450~600mm
	場所打ちコンクリート杭	—	—	ϕ 800~1000mm		ϕ 1000~2000mm	ϕ 1000~2000mm
選択する基礎の種類		独立基礎	布基礎 独立基礎	独立基礎	布基礎 独立基礎	独立基礎	独立基礎+耐圧板

・必要なN値の目安:地盤調査の結果、支持地盤が深い場合には、杭基礎を採用することになるが、杭先端のN値が小さいと、杭の支持力も小さく、不経済となる。
摩擦杭は、地盤調査のデータにより判断すべきであるが、一般には中低層以下の構造規模の建築で布基礎として採用される事例が多い。

・必要な支持地盤の深さ:杭径、地盤とも関係しているが、杭長が短い「短杭」については原則として地盤改良を行う。
必要な支持層の厚さ:支持層の厚さは、3m以上あるのが理想である。

「実務から見た基礎構造設計 P53」より抜粋

次に、支持地盤の深度と適応可能な基礎形式を図5.3-1に示す。

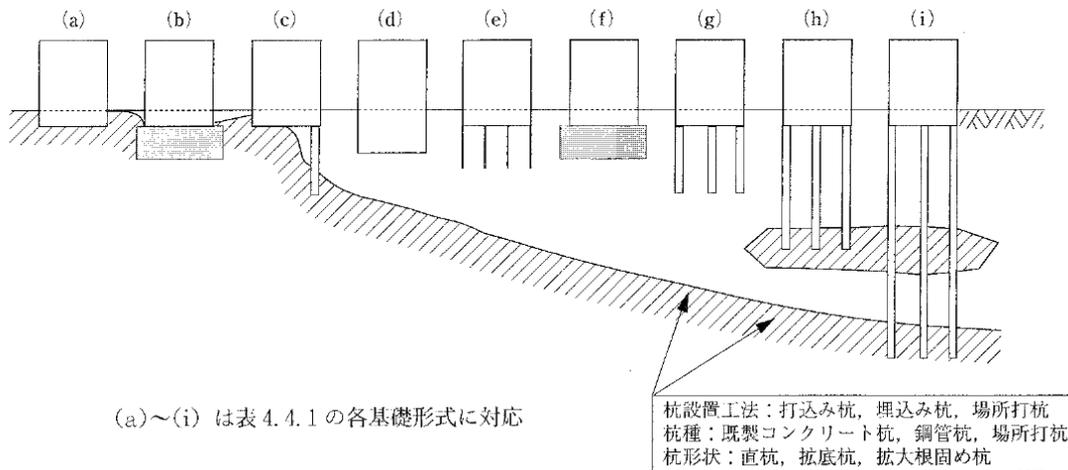


図 5.3-1 支持地盤の深度と適応可能な基礎形式

「建築基礎構造設計指針(日本建築学会, 2001. 10)P58」参照

図 5.3-1 から分かるように、基礎形式と支持地盤は密接な関係にあり、両者の組み合わせとして基礎構造をとらえることが重要である。表 5.3-3 には基礎形式ごとの検討事項を示す。支持地盤が深くなるにつれて、適用可能な基礎形式の幅も広がり建物の要求性能を満たす構造が複数考えられ、それらの中から対象建物に最も適した基礎構造を選定することが重要である。

表 5.3-3 基礎形式ごとの検討事項

基礎形式		基礎部材		検討事項
(a)	直接基礎	基礎スラブ	べた基礎 布基礎 独立基礎	地盤の鉛直支持力,滑動抵抗力,浮き上がり抵抗力 即時沈下,圧密沈下,凍結震度,地下水位
(b)	直接基礎+地盤改良 (ラップル基礎を含む)	基礎スラブ	改良体 改良地盤	改良地盤の鉛直(水平)支持力,改良地盤の滑動抵抗力 支持地盤の鉛直支持力,即時沈下,圧密沈下 改良体の設計基準強度,発生(圧縮,せん断)応力度
(c)	併用基礎 (異種基礎)	基礎スラブ	改良体 改良地盤	直接基礎,地盤改良工法,杭基礎の該当欄のほか 傾斜地盤の鉛直支持力,境界部応力,基礎のねじれ
		杭基礎	摩擦杭 中間支持杭 支持杭	
(d)	フローティング基礎	基礎スラブ	べた基礎	直接基礎の項のほか,排土重量,地中応力
(e)	併用基礎(パイルドラフト基礎)	基礎スラブ	べた基礎	同上+平均鉛直バネ定数,ラフトの相対剛性
		杭基礎	摩擦杭	
(f)	直接基礎+地盤改良	基礎スラブ	改良体 改良地盤	(b)直接基礎+地盤改良の検討事項+層状地盤の鉛直支持力
(g)	杭基礎(摩擦杭)	パイルキャップ		杭の鉛直支持力,引き抜き抵抗力,水平抵抗力,群杭効率,負の摩擦力
		杭頭接合部各種の杭種の杭種		地盤変位を考慮した耐震設計,液状化地盤の水平抵抗
		杭工法		傾斜地盤の鉛直支持力,水平抵抗力,杭基礎の即時沈下,圧密沈下
(h)	杭基礎(中間支持杭)		同上	基礎の変形角・傾斜角,杭体(圧縮,曲げ,せん断)耐力,杭頭接合部耐力
(i)	杭基礎(支持杭)		同上	

上記を踏まえると、今回の調査深度までは構造物基礎としての良好な支持地盤となる地層は確認されていない。

したがって、擁壁等の支持層としてはN値的に問題があるため、十分な支持力等の検討を行う必要がある。なお、粘性土（黒ぼくや、赤ぼく）については長期的に沈下が継続する圧密沈下の恐れはない。これらの地層については弾性的な沈下について検討する必要がある。実際には平板載荷試験等により支持力を確認することが望ましい。

基礎地盤の支持力が不足する場合は、固化材（セメント、石灰等）を併用した地盤改良や良質土による置換え等が必要となる。

5.4 地盤の透水性について

調査地の表層部を覆う黒ぼくや赤ぼくはシルトを主体とした粘性土からなり、表 5.4-1 に示すように透水性の小さな地層である。

したがって、浸透施設を設ける場合は赤ぼくの下位に分布する段丘堆積物の礫混じり砂質土層 (Tr-s) が良い浸透地盤となる。

Tr-s 層は、ボーリング調査による現場透水試験結果では、透水係数が $k=2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 程度となり、表 5.4-1 のきれいな砂やきれいな砂利混じり砂の透水係数に相当する地盤である。

一方、現地浸透試験では、 $k_0=2.74 \times 10^{-3} \text{m/sec}$ 程度の飽和透水係数を示し、透水性の大きなきれいな砂利に相当する値が得られている。上記試験の精度から考えれば、設計に採用する透水係数としては、現地浸透試験結果を優先して採用することが望ましい。ただし、透水係数は試験実施場所や粒度組成によっても変化するので、実測値よりもやや安全側の値を採用することが適切と考えられる。

表 5.4-1 飽和透水係数の概略値 (参考)

k_0 (m/s)	1.0	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}
土壌の種類	きれいな砂利		きれいな砂、 きれいな砂利 まじりの砂	細砂、シルト、 砂とシルトの混合砂		難透水土 粘土

透水性大きい ←

→ 透水性小さい

浸透型流出抑制施設の現地浸透能力調査マニュアル試案 (旧)建設省土木研究所

5.5 地盤の液状化について

一般に地下水面下の飽和した砂質土層については、建築基礎構造設計指針によれば、次に示す土層については液状化の可能性があるとされている。

- ・対象深度：深度0～20m
- ・粘土分含有率 $P_c \leq 20\%$
- ・細粒分含有率 $F_c < 35\%$ の土層（ただし $35\% \leq F_c$ でも $P_c \leq 10\%$ または塑性指数 $I_p \leq 15$ の土層）

地盤の液状化とは、地下水面下の緩い砂質土地盤において、地震動による繰り返しせん断応力を受け間隙水圧が上昇し、有効拘束圧が減少することにより、土粒子間のかみ合わせがはずれ、泥水のような状態になる現象である。

今回の調査ボーリングでは、孔底まで地下水面確認されなかったことから、少なくとも深度10m付近までの地層は地震時に液状化を生じる恐れはない。

以上