

FSPS 八風太陽光発電所建設工事

2022年 5月

株式会社 土木管理総合試験所

目 次

1. 業務概要	1 頁
2. 土質試験	3 頁
2.1 土粒子の密度試験	3 頁
2.2 含水比試験	3 頁
2.3 粒度試験	4 頁
2.4 液性限界・塑性限界試験	4 頁
2.5 締固め試験	5 頁
3. 試験施工	6 頁
3.1 地山の透水係数	6 頁
3.2 試験盛土の手順	8 頁
3.3 試験ヤード略図	8 頁
3.4 現場密度の測定	9 頁
3.5 透水係数の測定	9 頁
4. 結果	16 頁

1. 業務概要

(1) 業務目的

太陽光造成工事に伴う盛土施工において、造成前の地山部と造成後の盛土部で浸透係数に差異が生じるのか、また適正な盛土の施工管理を実施するにあたっての基礎資料を得ることを目的とする。

(2) 検討項目

本業務は既述の目的を確認するため、以下の内容を検討する。

- 1) 造成前地山状態での透水係数の確認
- 2) 盛土施工の転圧回数に伴う密度の傾向把握
- 3) 転圧回数に伴う密度と透水係数の確認

(3) 試験項目(試験規格)・数量

本業務において実施する試験の規格ならびに数量は以下の通り提案する。

表 1-1 試験項目

区 分	試験項目	試験規格	試験数量
土質試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202	1 試料
	含水比試験	JIS A 1203	1 試料
	粒度試験	JIS A 1204	1 試料
	液性限界試験	JIS A 1205	1 試料
	塑性限界試験	JIS A 1205	1 試料
	締固め試験	JIS A 1210	1 試料
試験施工	現場密度試験 (3 孔)	JIS A 1214	3 回
	現地浸透試験 (土研法)	(雨水浸透施設指針)	4 回

(4) 参考文献・資料

「地盤材料試験の方法と解説」(地盤工学会)

「地盤調査の方法と解説」(地盤工学会)

「増補改訂 雨水浸透施設技術指針(案) 調査・計画編」

(公益社団法人 雨水貯留浸透技術協会編)

に準拠する。

(5)依頼者

合同会社 FSPS 八風

(6)調査者

株式会社 土木管理総合試験所
試験部 千曲市雨宮 2347-3
TEL (026) 299-8544
調査担当者 滝沢 悠介

建設コンサルタント登録 建30第7741号
地質調査業者登録 質02第2230号
土壌汚染指定調査機関 2003-4-2029

2. 土質試験

2.1 土粒子の密度試験 (JIS A 1202)

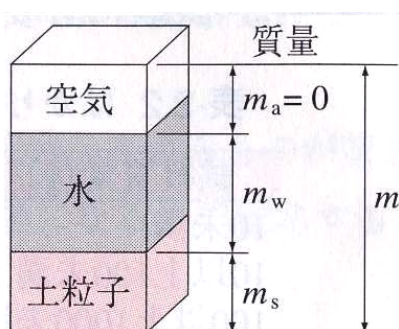
使用土砂の密度(土粒子の密度)を把握し、有機質土の傾向か確認できるとともに、現場密度における間隙率や飽和度の算出にも用いることができる。

- ①ピクノメーターの検定を行う。(ピクノメーター質量・蒸留水を満たした質量・水温)
- ②ピクノメーターに試料を入れ、蒸留水を加えて脱気する。
- ③ピクノメーターに蒸留水を満たし、全質量・温度を測定する。
- ④内容物を取り出し、炉乾燥してその質量を測定する。
- ⑤土粒子の密度を算出する。

2.2 土の含水比試験 (JIS A 1203)

土の間隙に含まれる水の量を含水量といい、この含水量を含水比 ω で表す。含水比は下記図 2-1 に示す土粒子部分の質量 m_s に対する間隙に含まれる水の質量 m_w との比をいい、百分率で表せる。

試験は、まず容器の質量 m_c (g)をはかり、試料を容器に入れ、全質量 m_a (g)をはかる。試料を容器ごと恒温乾燥炉に入れ、 $110\pm 5^\circ\text{C}$ で一定質量になるまで炉乾燥する。炉乾燥試料を容器ごとデジケーターに移し、ほぼ室温になるまで冷ました後、全質量 m_b (g)をはかる。含水比は次式によって算出する。



$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100 = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} \times 100 \quad (\%)$$

図 2-1 土の構成の模式図

2.3 粒度試験 (JIS A 1204)

土を構成する土粒子の粒径の分布状態を粒度といい、土粒子の分布状態を粒径とその粒径より小さい粒子の質量百分率の関係を示した粒径加積曲線で表わされる。

試験は 75mm 未満の土を対象とし、試料を粒径により 2mm 以上と 2mm 未満の 2 つに分ける。粒径 2mm 以上の土粒子は水洗いを行った後、ふるい分析を行う。粒径 2mm 未満の土粒子は沈降分析を行った後、粒径 0.075mm 以上の土粒子を水洗いし、ふるい分析を行う。

粒度試験結果は土の工学的分類のために用いられ、これをもとに工学的な性質の判断が行われる。土粒子の粒径区分とその呼び名は図 2-2 の通りとなる。

		粒径 (mm)							
		0.005	0.075	0.25	0.85	2	4.75	19	75
粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫		
		砂			礫				
細粒分		粗粒分							

図 2-2 土粒子の粒径区分と呼び名

2.4 液性限界・塑性限界試験 (JIS A 1205)

細粒土は図 2-3 に示すように、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す液性状態となり、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。さらに含水比が低下すると、もろい半固体状態を経て含水比が低下しても体積変化しない固体状になる。それらの状態の変化する境界の含水比をそれぞれ液性限界 (ω_L)、塑性限界 (ω_p)、収縮限界 (ω_s) と呼び、これらを総称してコンシステンシー限界という。コンシステンシー限界から導かれる指数は地盤材料の工学的分類に用いられるとともに、土の物理的性質や力学的性質の把握に利用される重要な指標となっている。

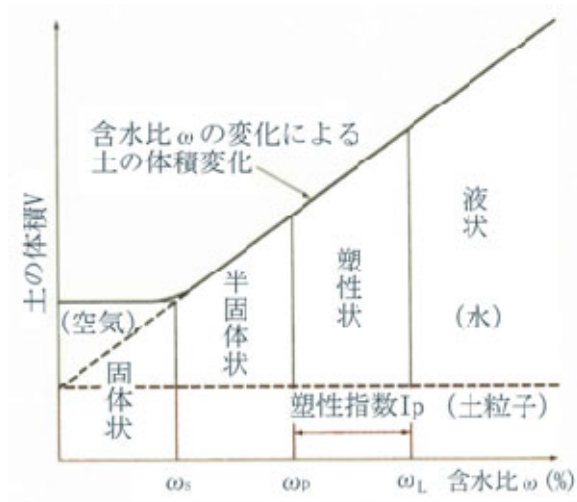


図 2-3 土のコンシステンシー限界

液性限界・塑性限界試験は 0.425mm 未満の試料を対象として、液性限界試験は、試料を黄銅皿に入れ、溝を切り 1cm の高さから落下させ、二分した溝の底部が長さ 1.5cm にわたり合流するときの落下回数及び含水比を調べる。この作業を含水比を変化させ数回行い、含水比と落下回数の関係より落下回数 25 回ときの含水比を求める。塑性限界試験は、試料をガラス板上で手のひらで転がしながらひも状にし、ひもの太さが 3mm になるように細くしていく。直径 3mm のとき、ひもが切れぎれになる時点の含水比を測定する。

2.5 締固め試験 (JIS A 1210)

(1) 試験目的

盛土施工の品質管理に伴い基準の密度（最大乾燥密度）を求めることを目的とする。

(2) 試験方法

突固め方法 (A～E) と試料の準備方法で試験方法を組み合わせる (例えば A-a 法)。様々な試料を用いることから試料の破碎等が生じないように配慮し、モールド内径 (15cm)、許容最大礫径 (37.5mm) とする B 法・非繰返し法を用いる。

- ① 試料をふるい、37.5mm ふるい通過試料を採取する。
- ② 各試料の含水比を乾燥させながら調整する。
- ③ 容器質量を計り、容器に試料を入れ 3 層に分けて突固める。
- ④ 容器 + 試料の質量を計り、土砂の含水比を測定する。
- ⑤ 乾燥密度と含水比の 2 軸のグラフにプロットし、最大乾燥密度と最適含水比を求める。

3. 試験施工

盛土施工の際の締固めは土構造物の品質を左右する重要な作業とされる。締固める意義は、土粒子の配列を密にして土構造物の安定化を図り、沈下・崩壊を防いで恒久性を向上させ、また耐震性を高めることにある。

長野県による森林法に基づく林地開発許可申請の手引き、開発事業に関する技術的細部基準では盛土締固めについて、以下に示す品質管理基準を明記している。

表 3-1 施工目標

工 種	盛土工
仕上がり厚	30 cm
締固め度	85%以上

3.1 地山の透水係数

切土等で盛土材として流用予定となる不攪乱状態の地山部にて現状の透水係数を測定する。試験方法は表 3-2 の選定（例）を参考に土質状況と施工後の転圧状態を想定して選定するものとする。本試験の目的として、原位置条件での結果を求めたいこと、地山状態と盛土後の比較ができること、の 2 点があり、3.5 透水係数の測定で推定される土質材料とその透水係数を考慮し現地浸透試験（土研法）を基本として設定する。

表 3-2 透水性の評価と試験方法の適用性

透水係数 k (m/sec)	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	10 ⁰
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い		中位		高い			
対応する土の種類	粘性土		微細砂,シルト, 砂-シルト-粘土混合土				砂および礫		清浄な礫			
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験		変水位透水試験				定水位透水試験		特殊な変水位透水試験			
試験方法の選定(例)	<p>マリオットサイフォン ← → ボアホール法 ← → 土研法</p>											

「土質試験の方法と解説」(公益社団法人 地盤工学会)に一部加筆

上述の【透水性の評価】として 10⁻⁹m/sec 以下の【実質上不透水】から 10⁻³m/sec 以上の【高い】まで 5 つの評価区分があり、そのオーダーは 10² (100 倍) 間隔で評価が変わっている。これは逆を返すと、諸々の地質・土質条件的な誤差も含めて、透水係数が数十倍程度の差であれば、ほぼ同一の評価区分になることを示唆している。

3.2 試験盛土の手順

試験盛土の実施箇所を平らに仕上げ、盛土材を 30 cm 程度の 1 層目を敷均し、計画の転圧回数（2・6・10 回）による転圧が終了した後、同様に 2 層目を転圧したのち、転圧回数毎に密度及び透水係数の測定を行う。

3.3 試験ヤード略図

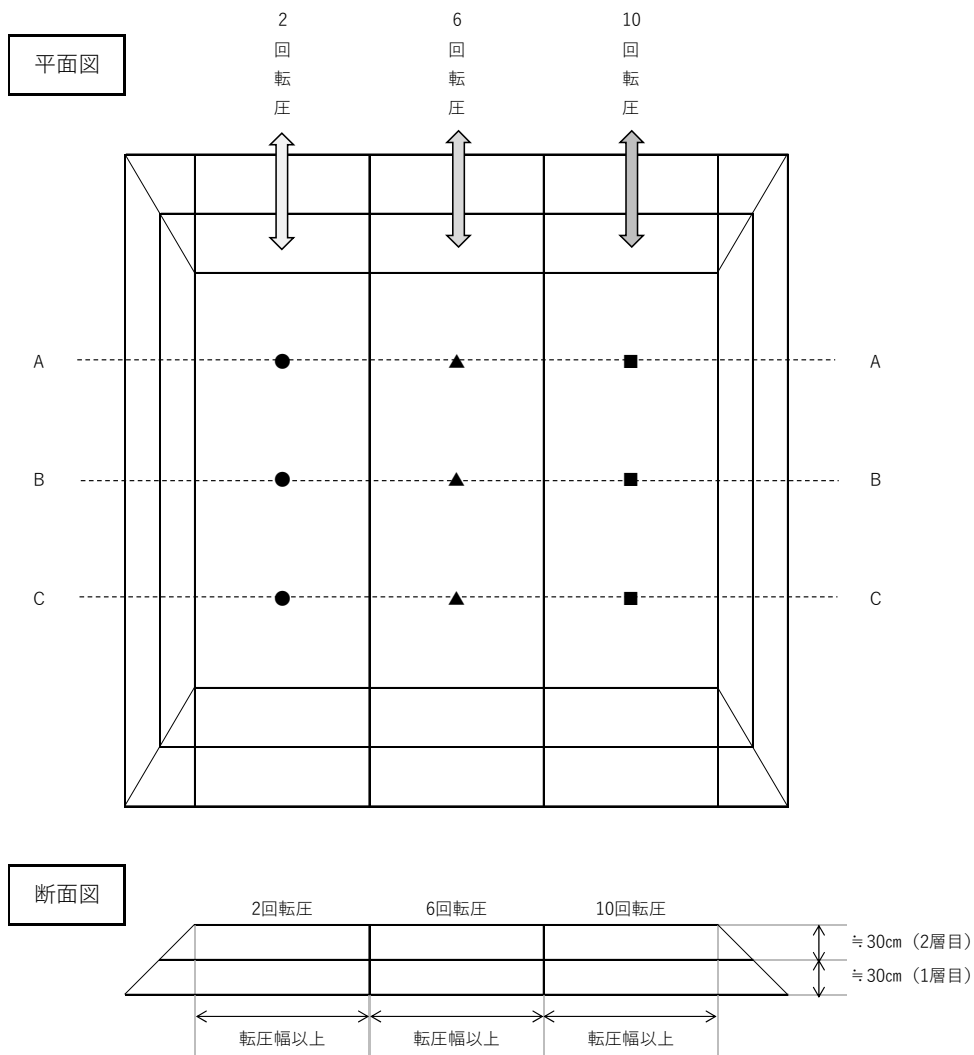


図 3-1 試験ヤード

測定状況	密度測定		透水測定
	凡例	測定点	測定点
2 回 転 圧	●	A・B・C	A 付近
6 回 転 圧	▲	A・B・C	A 付近
10 回 転 圧	■	A・B・C	A 付近

3.4 現場密度の測定

所定の転圧回数を締固めた後にそれぞれ現場密度試験を実施する。試験方法は、一般的に汎用性の高い砂置換法による密度試験<砂置換法>(JIS A 1214)または突き砂法による密度試験<突き砂法>(JGS 1611)を採用する。

規格・基準	試験法名 <通称>	適用範囲				試験孔		特徴*
		石	礫	砂	シルト 粘土	径	深さ	
JIS A 1214	砂置換法による土の 密度試験方法 <砂置換法>			最大粒径が 53 mm		162 mm	10~15 cm 程度	<ul style="list-style-type: none"> 標準的な手法であり、広い分野で用いられている。 特定の測定器具と粒度調整した置換用の砂を準備し、両者に対して体積や密度の検定が必要になる。 測定器具は比較的安価。 孔壁が乱さないように、試験孔(置換孔)を慎重に作製する必要がある。 孔壁がはらみ出すような自立性の低い地盤には不適。
JGS 1611	突き砂法による土の 密度試験方法 <突き砂法>	最大粒径が 150 mm			150, 250, 300 mm	150, 200, 300 mm	<ul style="list-style-type: none"> 砂置換法よりも迅速性に優れ、高速道路やフィルダムなどに用いられている。 粒度調整した置換用の砂に対して密度の校正が必要である。 測定器具に特殊なものはない(安価)。 砂置換法と同様に、試験孔の慎重な作製と地盤の自立性が重要。含水比の高い砂質土や礫が多く空隙の大きな土には不適。 	

地盤調査の方法と解説より

3.5 透水係数の測定

表 3-2 を参考に試験方法を選定する。今回は既往土質試験結果の工学分類が【細粒分質砂質礫】に該当(表 3-3 参照)し、シルト~砂・礫を均等に含み、透水性【低い~中位】程度が想定されることから現地浸透試験(土研法)を基本として設定する。

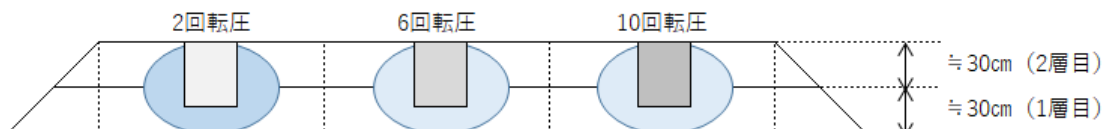


図 3-2 透水係数試験の概念断面図

表 3-3 既往土質試験結果より引用

試料番号 (深 さ)		sg2-2	sg2-3
一	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.664	1.839
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.110	1.383
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.826	2.685
	自然含水比 w_n %	49.9	33.0
般	間 隙 比 e		
	飽 和 度 S_r %		
粒	石 分 (75mm以上) %		
	礫 分 ¹⁾ (2~75mm) %	37.8	47.5
	砂 分 ¹⁾ (0.075~2mm) %	23.4	27.5
	シルト分 ¹⁾ (0.005~0.075mm) %		
	粘土分 ¹⁾ (0.005mm未満) %	38.8	25.0
	最大粒径 mm	75	75
度	均等係数 U_c	-	-
コンシステンシー特性	液性限界 w_L %		
	塑性限界 w_p %		
	塑性指数 I_p		
分 類	地盤材料の 分 類 名	細粒分質 砂質礫	細粒分質 砂質礫
	分 類 記 号	(GFS)	(GFS)

現地浸透試験は、「増補改訂 雨水浸透施設技術指針（案）調査・計画編」（公益社団法人雨水貯留浸透技術協会編）に従って実施する。

試験方法はボアホール法および土研法、実物実験の3種類が示されており、さらに各々で定水位と変水位による測定方法がある。

以下、試験方法について述べる。

〔土研法（円筒型底面浸透・定水位試験）の試験方法〕

- 1) 浸透試験箇所における浸透面（ピット底）まではスコップなどを用い人力で掘削し、浸透面は熊手等で目荒しを行い、本来の浸透能を把握できるよう手入れする。
- 2) 浸透試験地盤高が浸透面になるように円筒パイプを設置した後、パイプ先端からの水の回り込みを防ぐため、パイプ外側のピット底部分に粘土等でシールをし、地表面近くまで埋め戻す。パイプ内底部にフィルター材として砂利、あるいは碎石を 10cm 以上投入する。この際、浸透面をいためない様に十分注意する。
- 3) 設定した水位まで注水する。試験は経過時間ごとに流量計等で注水量を測定しながら湛水深を保つように行う。測定時間間隔は 10 分間隔を目安とするが、変化の著しい場合には測定時間間隔を細かくする。単位時間当たりの注水量がほぼ一定になるまで試験を継続し、継続時間は 2 時間程度とする。

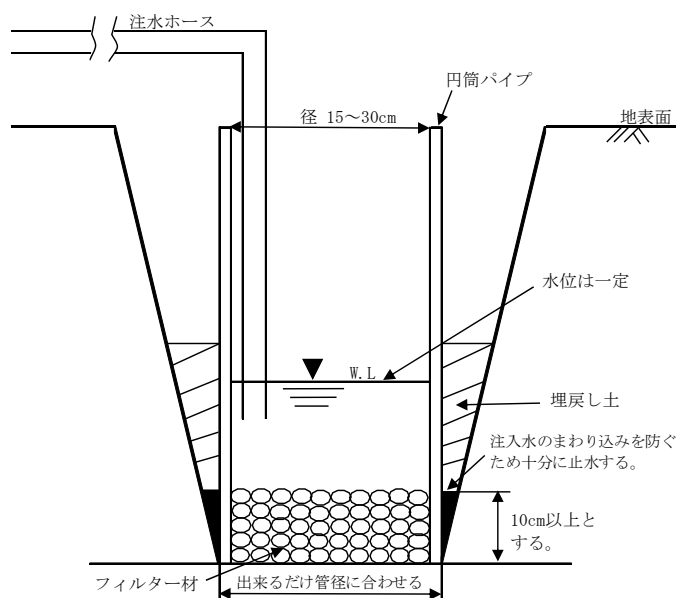


図 3-3 土研法で用いる試験施設（例）

〔ボアホール法（円筒型全面浸透・定水位試験）の試験方法〕

- 1) ハンドオーガー等を用い設定したボアホール深まで掘削する。ボアホール掘削後、浸透面をいためないよう充分配慮して、砂利あるいは砕石を充填する。また多穴のケーシングの設置も行い、注入水による浸透面の洗掘あるいは泥土の攪拌を防止する。
- 2) 実施設計の設計湛水深に相当する水位まで注水する。水源からの注水量を水位センサー等で調整し湛水深を維持する。経過時間ごとに流量計等で注水量を測定し、測定時間間隔は 10 分間隔を目安とする。注水量がほぼ一定になるまで試験を継続し、継続時間は 2 時間程度とする。

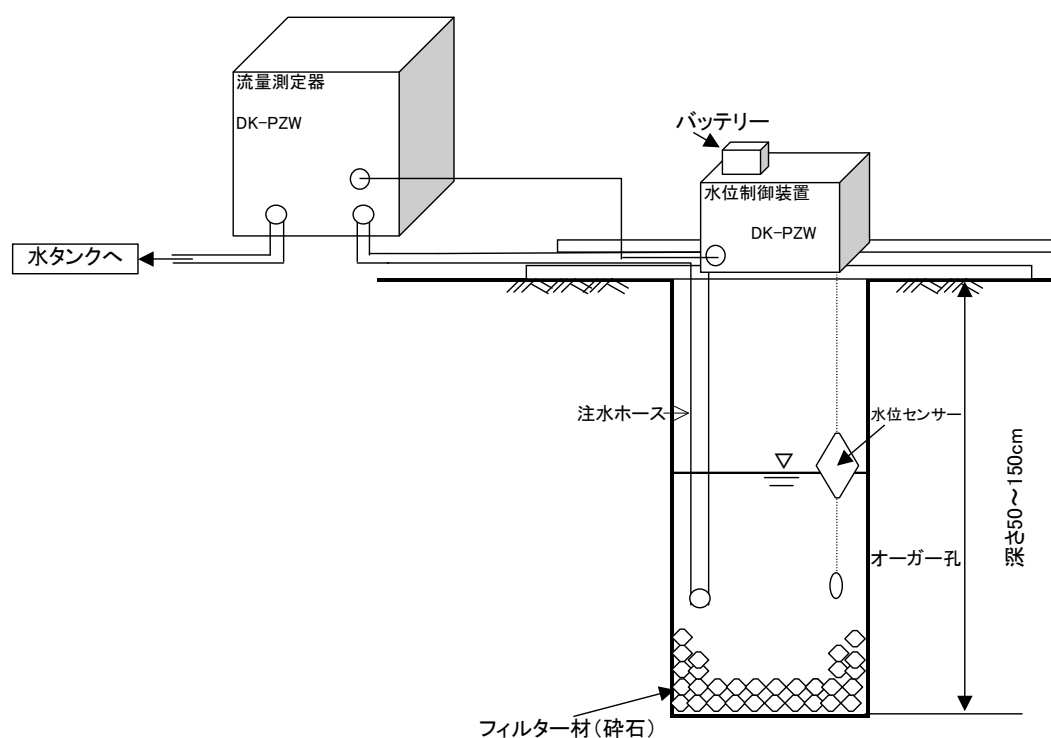


図 3-4 ボアホール法で用いる試験施設（例）

[結果の整理]

現地浸透施設から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。

$$k_0 = \frac{Q_t}{K_t}$$

- ここで、
- k_0 : 飽和透水係数 (m/hr)
 - Q_t : 浸透試験での終期浸透量 (m³/hr)
 - K_t : 試験施設の比浸透量 (m²) で施設の形状 [ボアホール法・土研法の場合は直径 D (m) と設定湛水深 H (m)] により決まる定数。図 3-5、-6 を用いて求める。

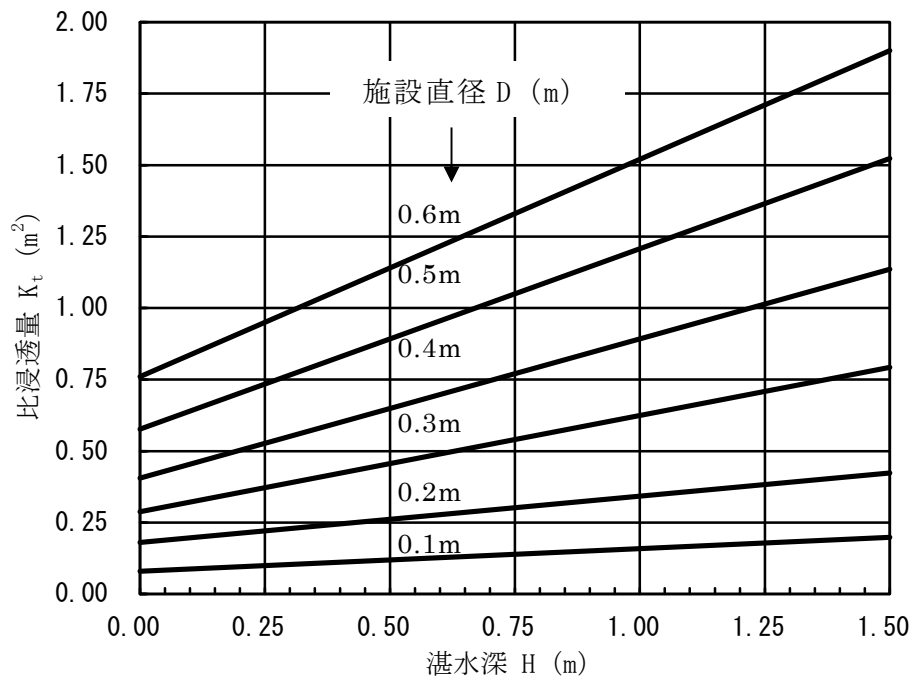


図 3-5 土研法の比浸透量

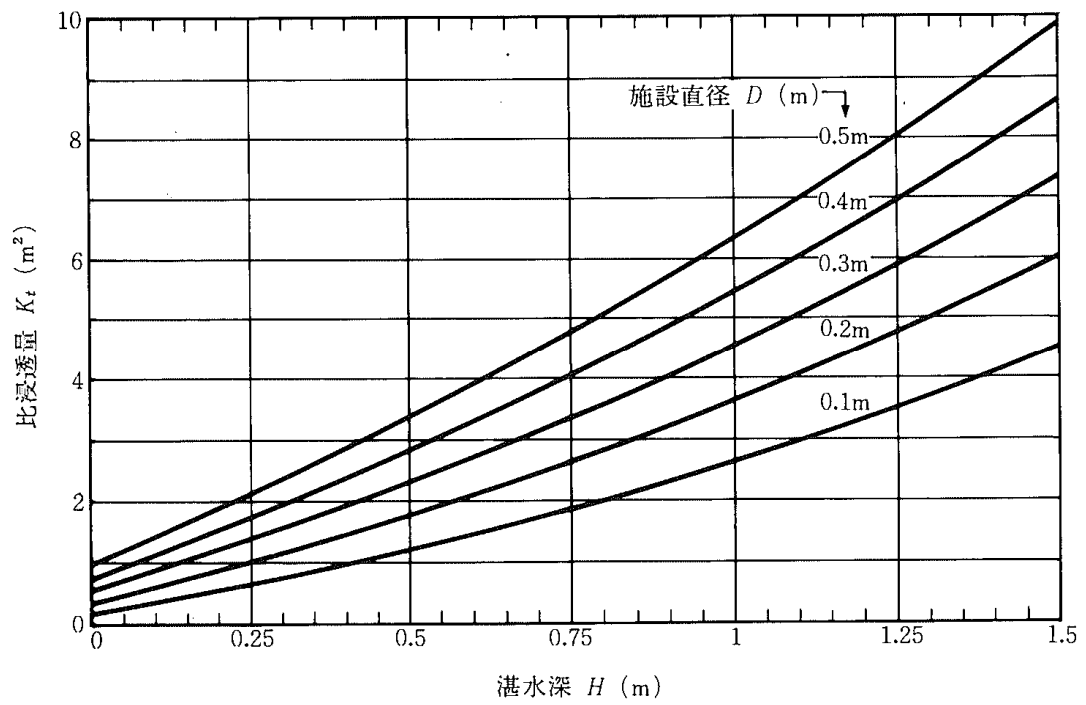


図 3-6 ポアホール法の比浸透量

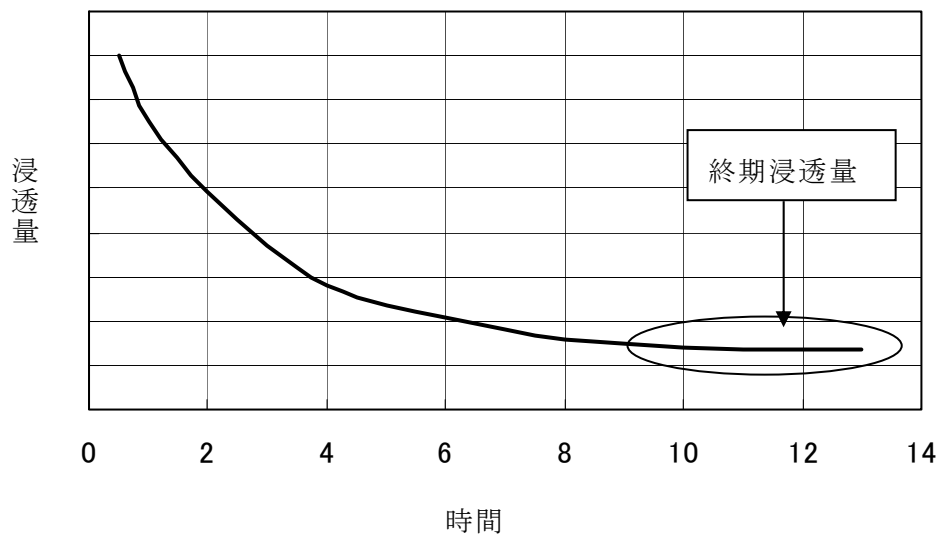


図 3-7 浸透量の時間変化

〔現場透水試験（マリオットサイフォン）の試験方法〕

(1) 試験準備

- ① 試験地盤にスコップ等を用い、円筒状の試験孔を掘る。
- ② 試験孔内に注水管を挿入し、碎石を充填する。
- ③ 気密水槽内に必要量水道水を入れる。

(2) 試験方法

- ① バケツ等により、試験孔内に水を満たし、その後注水バルブを開き、注水管から試験孔内に注水し、孔内の水面を定水位保持管の端末口に接触させて一定に保つ。
この時の地表から試験孔内水面までの深さ h_1 (cm) を測定し、試験孔の深さ z (cm) から試験孔内水深 h (cm) を求める。
- ② 時間 t (s) と気密水槽内の水位 H (cm) を水位標尺から読み取る。
- ③ 一定時間後の気密水槽内水位 H を読み取り、単位時間当たりの注水量 Q を求める。

(3) 試験結果の整理

下式によって透水係数 k (cm/s) を算定する。

$$k = \frac{Q}{2\pi h^2} \left[\ln \left[\frac{h}{r} + \left\{ \left(\frac{h}{r} \right)^2 + 1 \right\}^{1/2} \right] \right] - \left\{ \left(\frac{r}{h} \right)^2 + 1 \right\}^{1/2} + \left(\frac{r}{h} \right) \right]$$

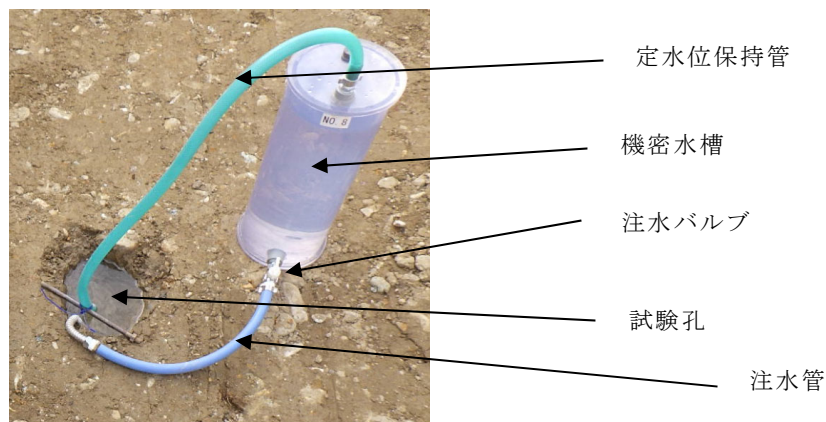


図 3-8 マリオットサイフォンを用いた試験施設 (例)

4. 結果

4.1 土質試験

表 4-1 試験結果一覧

試料名				ローム			
物理特性	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)			2.678			
	自然含水比 ω_n (%)			60.4			
	粒度特性	粗粒分	礫分	粗礫 (%)	50.9	25.1	13.5
				中礫 (%)			8.1
				細礫 (%)			3.5
		砂分		粗砂 (%)	25.8		2.7
				中砂 (%)			12.4
				細砂 (%)			10.7
		細粒分 (%)			49.1		29.6
						19.5	
コンシステンシー特性	液性限界 ω_L (%)			94.0			
	塑性限界 ω_p (%)			62.5			
	塑性指数 I_P (%)			31.5			
分類	土質材料の工学的分類			細粒分質礫質砂			
	分類記号			(SFG)			
締固め	試験方法			B-c			
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)			1.052			
	最適含水比 ω_{opt} (%)			39.0			
	自然含水時の乾燥密度 ρ_n (g/cm ³)			0.955			
	密度比 ρ_n / ρ_{dmax} (%)			90.8			

○物理特性について

土粒子の密度は有機質を含むと低く、磁鉄鉱等の重鉱物を含むと高めの値を示し、一般的に無機質な普通土は 2.6~2.8g/cm³ 程度の範囲内を推移する。試験結果から、普通土の範囲内に収まり、有機物や重鉱物等の含有はないものと推察される。

○締固め特性について

締固め特性は、材料の締固め曲線「乾燥密度-含水比曲線図」での自然含水比と最適含水比との位置関係が重要であり、最大乾燥密度(ρ_{dmax})に対する自然含水比が曲線と交わる乾燥密度(ρ_{dn})の密度比で評価でき、密度比の値が高いほど良好な締固めが実施できる。試料採取時の自然含水比状態において、90.0%以上の良好な締固めが可能であると判断できる。

4.2 試験盛土

一般的に転圧回数（転圧エネルギー）の増加に伴い、締固め度（密度）は増大するが、一定量を超えるとその増大は鈍化する。図 4-1 の試験結果では 2 回転圧時では品質管理基準を下回るものの、6 回転圧以上では品質管理を満足することが推察され、施工の際には 6 回以上の転圧が求められる。

表 4-2 密度試験結果

転圧回数	2 回転圧	6 回転圧	10 回転圧
締固め度(平均値) (%)	80.5	85.4	93.3

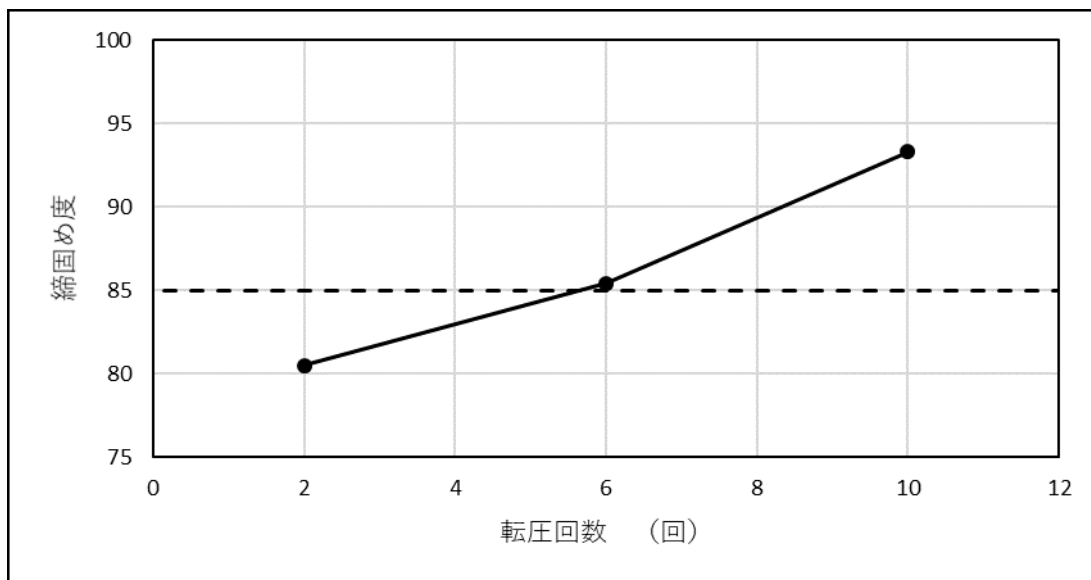


図 4-1 転圧回数－締固め度曲線

4.3 浸透試験

原位置条件での結果を求めると、地山状態と盛土後(2、6、10回転圧)の比較を行うことを目的として試験を行った。試験結果を表 4-3 に示す。

表 4-3 浸透試験結果

転圧回数		現況地盤 (ローム層)	2回転圧	6回転圧	10回転圧
飽和透水係数	(m/hr)	0.0345	0.0091	0.0036	0.0018
	(m/sec)	9.58×10^{-6}	2.53×10^{-6}	1.00×10^{-6}	5.00×10^{-7}
	(cm/sec)	9.58×10^{-4}	2.53×10^{-4}	1.00×10^{-4}	5.00×10^{-5}

締固め度と透水係数を曲線で表したものを図 4-2 に示す。

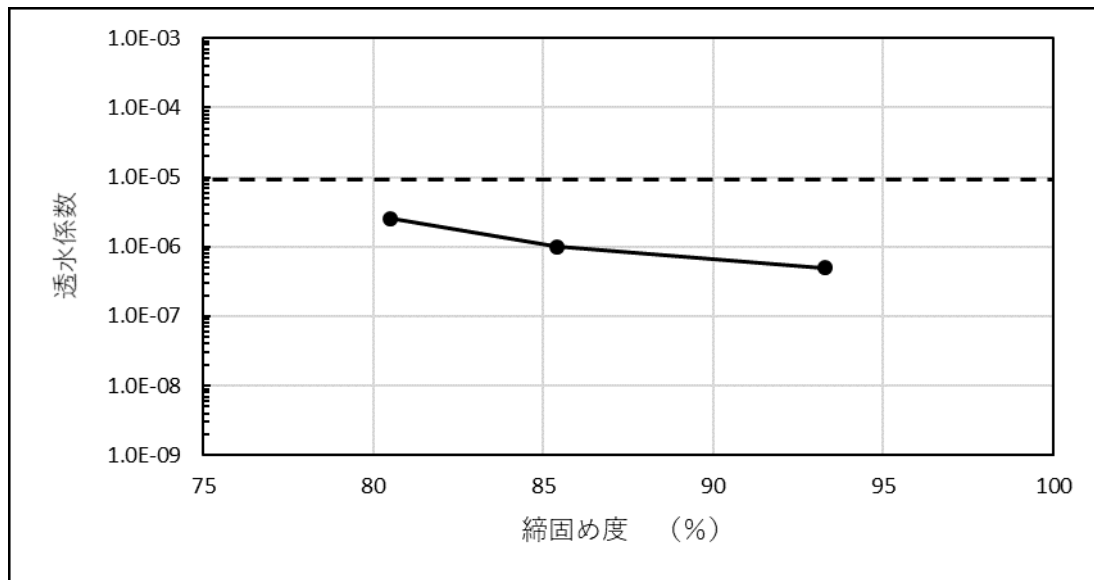


図 4-2 締固め度－透水係数曲線

上記の結果から盛土をすることで、地山の時に期待された浸透量を下回ることから浸透施設や調整池の検討が望まれる。

しかし、表 4-4 より【透水性の評価】として 10^{-9} m/sec 以下の【実質上不透水】から 10^{-3} m/sec 以上の【高い】まで 5 つの評価区分があり、そのオーダーは 10^2 (100 倍) 間隔で評価が変わっている。これは逆を返すと、諸々の地質・土質条件的な誤差も含めて、透水係数が数十倍程度の差であれば、ほぼ同一の評価区分になることを示唆していることから今回の地山時、盛土時の透水係数は同一評価区分の「低い」に分類される。

以上の結果を踏まえた上で、浸透施設や調整池の検討を行って頂きたい。

表 4-4 透水性の評価と試験方法の適用性

透水係数 k (m/sec)	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い		中位		高い			
試験値												
対応する土の種類	粘性土		微細砂,シルト, 砂-シルト-粘土混合土				砂および礫			清浄な礫		
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験		変水位透水試験				定水位透水試験		特殊な変水位透水試験			

現況地盤(ローム層) : 黒 ・ 2 回転圧 : 赤 ・ 6 回転圧 : 青 ・ 10 回転圧 : 緑

「土質試験の方法と解説」(公益社団法人 地盤工学会) 参照