

土 木 研 究 所 資 料

岩石質材料（泥流堆積物）の透水特性 に関する実験的検討

平成7年1月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright © (1995) by P.W.R.I.

All rights reserved, No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料

岩石質材料（泥流堆積物）の透水特性 に関する実験的検討

フィルダム研究室	室長	中村 昭
	主任研究員	豊田 光雄
		山本 裕之

要 旨

本報告は、フィル材料の有効利用を図るために、岩石質材料（泥流堆積物）を用いた室内の透水試験を行い、材料の最大粒径、粒度分布、締固め度等の要因が透水係数に与える影響について分析した内容を取りまとめたものである。

キーワード： 岩石質材料、泥流堆積物、透水試験、フィルダム

岩石質材料（泥流堆積物）の透水特性に関する実験的検討

目 次

1	はじめに	1
2	試験方法	2
2.1	試験材料	2
2.2	試験装置	2
2.3	供試体作製方法.....	4
2.3.1	材料の含水比調整	4
2.3.2	供試体の締固め	4
2.4	試験手順	6
2.5	供試体の飽和方法	7
3	せん頭粒度を用いた予備的検討	8
3.1	試験概要	8
3.2	供試体の締固め密度の設定	9
3.3	透水試験結果.....	15
3.3.1	試験法の比較	15
3.3.2	4.75mm以下の含有率および密度と透水係数の関係.....	17
3.3.3	締固め度の表現	21
3.3.4	モールドの大きさの影響	24
3.3.5	まとめ	27
4	透水特性に影響を及ぼす材料要因の検討	28
4.1	試験概要	28
4.2	試験粒度	30
4.3	締固め密度の設定	32
4.4	透水試験結果.....	34
4.4.1	含水比の影響	34
4.4.2	4.75mm以下の含有率の影響	36
4.4.3	最大粒径の影響	37
4.4.4	締固め密度の影響	38
4.4.5	まとめ	39
5	今後の課題	40

1 はじめに

従来、ロック材料として主に用いられてきた硬質の岩石材料は均等係数が比較的小さいために、ロック材料の透水性が大きく堤体内部の排水性に問題を生じることにはなかった。

近年、フィル材料の有効利用が叫ばれているなかで、従来のロック材料に比べ岩石単体として強度が小さい、あるいは砂分などを多く含む様々な特性をもつ粗粒材料の活用が要求されている。ここでは、このような材料を広義に岩石質材料と呼ぶことにする。岩石質材料をロック材料として用いるときには、力学特性のみならず、排水面からも透水特性を適切に評価することが必要である。すなわち、設計段階では室内試験に頼らざるを得ないため、従来のロック材料に比べると細粒分も多く含んでいるような岩石質材料の盛立後の透水係数を、縮小粒度の材料しか使えない室内試験からの確に予測するためには、岩石質材料の透水性を決定づける諸要因を明らかにしていくことが重要である。

一方、“粒径の大きい実物材料”と“その縮小材料”の関係については、透水性のような水理的性質に関するこの種の研究は、これまであまり活発ではなかったようである。その理由のひとつには、従来のロック材料の透水係数を室内試験で求めようとするときには、実物材料よりも粒径を小さくした縮小材料を用いた場合、縮小材料の透水係数は実物材料に比べ同等かもしくは低下する試験結果が多く得られており、従来の硬質なロック材料ではかかる検討はあまり必要性がなかった。

しかしながら、最近の岩石質材料の利用においてはこの課題は重要となりつつある。土質材料であれ粗粒材料であれ、粒度分布（特に細粒分含有率）が透水性に大きく影響することはよく知られている。岩石質材料の場合、せん断強度は十分な締固めを与えることで増加させることができることが明らかとなりつつあるが、透水性の面でも締固めを与えることで透水係数が小さくなることがわかってきており、締固め密度と透水係数の関係についても更に明らかにすることが必要と考えられる。

本報告は、岩石質材料のひとつである泥流堆積物の透水特性を明らかにするため、最大粒径、粒度分布、締固め密度などの試験要因をとりあげ、これらの要因が材料の透水係数に与える影響について実験的に検討したものである。

2 試験方法

2.1 試験材料

試験に使用した泥流堆積物は、第4紀の火山泥流堆積物である。礫は、種々の角礫および円礫の安山岩が多く、基質は砂質粘性土、火山砂礫よりなる。さらに礫を詳細に観察すると、岩質が一樣ではなく多孔質（色調は褐色系）のもろい岩材と、比較的硬質（色調は黒灰色系）の岩材がある。細粒径のものは、これらが砕かれて細粒化したものであるから、全体的に“ポーラス”な材料という特徴をもっている。

図-2.1 は粒径の対数と吸水率の関係を一次回帰式を用いて表したものである。図に示されているように、吸水率は粒径と密接な関係がある。粒径が大きくなるにつれて吸水率は単調に低下し、63mm以上の大礫は19.0～26.5mmの中小礫に比べると吸水率がおおよそ半減している。

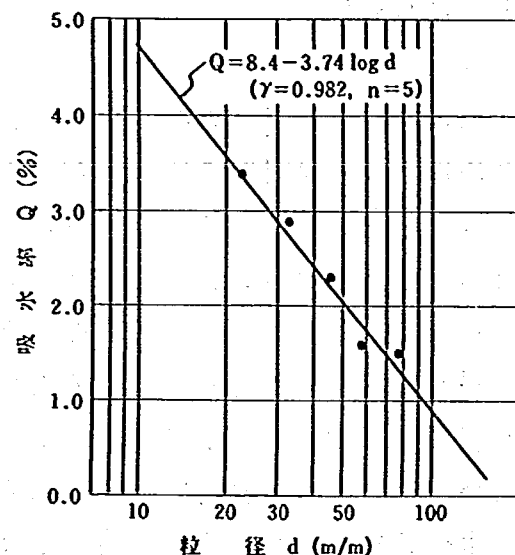


図-2.1 粒径と吸水率の関係

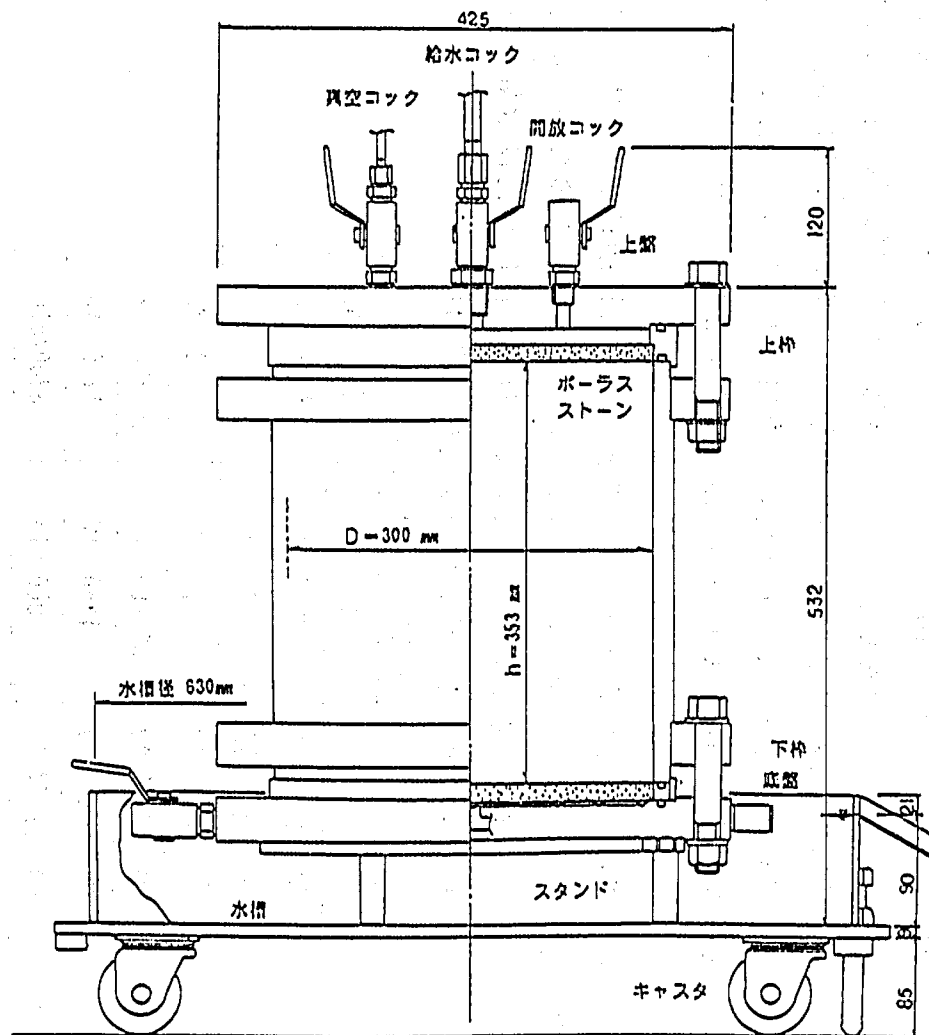
2.2 試験装置

大型透水試験に用いたモールド（表-2.1）は次の3種類である。いずれも円筒形で大きさが異なる。

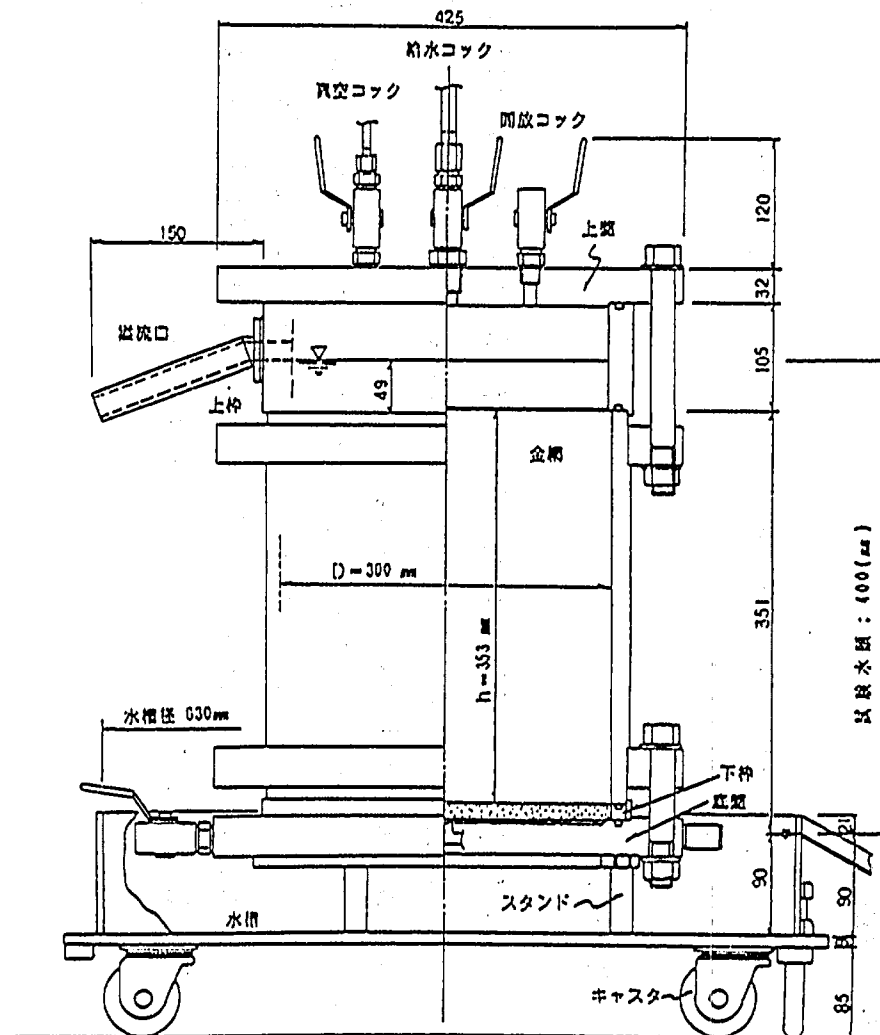
表-2.1 透水モールドの大きさ

呼び名	直径(cm)	高さ H (cm)	容積 V (ℓ)
D 15	15	15	2.65
D 15	30	35.3	24.95
D 50	50	50	98.17

透水モールドの基本的な構造は、一般の透水試験に用いられているモールドとかわりはない。ただし、D 30やD 50モールドなどでは断面積が大きいので透水流量も多くなり、十分な注水・排水容量が必要である。D 30透水モールドの構造を図-2.2 に示す。今回使用した材料は、材料自体が透水性の良いものであったので、コンプレッサーによる加圧法は用いず、貯水タンク（D 30、D 50モールドの場合）あるいはスタンドパイプ（D 15モールドの場合）の静水頭を利用して試験を行った（一般水道水を使用）。ただし、D 50モールドの定水位法の場合は貯水タンクだけでは給水能力が不十分であったので、水道から直接給水した。



a) 変水位装置



b) 定水位装置

図-2.2 D30cm透水試験用モールド構造図

2.3 供試体作製方法

透水試験の供試体は、試験に用いる材料の含水比調整を行った後に材料をモールド内に投入し、所定の密度に締固めて作製した。

2.3.1 材料の含水比調整

- (1) 4.75mm以下の細粒分は、一括して含水比調整を行った ($\omega(-4.75)=15.0\%$)。
- (2) 19mm以上の礫分は表乾状態にして細粒分と混合した。表乾状態とは24時間水浸した後、礫表面から水切りした状態である。
- (3) 中間粒径である4.75~9.5mmと9.5~19.1mmの2区間は、基本的に表乾状態として取扱った。しかし、19.0mm以上の礫分と異なり、試験毎に一定の表乾状態を再現することが困難なため、試験に先だち必要量を一括して加水混合し、目視により表乾状態を確認して密封保管したものを順次使用した。

2.3.2 供試体の締固め

D30およびD50の供試体の締固めは、図-2.3に示す2種類の電気ハンマーを用いて行った。表-2.2に電気ハンマーの諸元を示す。密度調整は、事前に締固め特性と把握するための試験を行い、その結果に基づいて締固め時間で調整した。D30の場合は3層、D50の場合は4層に分けて締固めた。材料をモールド内にまき出すときには、礫分が一様に分布すること、特に、モールド内壁面に礫が集中して水みちができないように注意をはらった(図-2.4)。

D15モールドに対しては、小型の電気ハンマーを使用しても振動打撃力が大きすぎるため、4秒程度の短時間で飽和密度に達してしまうことが分かった。このため、密度の調整が難しくばらつきが大きくなることが懸念されたので、D15の締固めには電気ハンマーは使用せず、微妙な調整が可能な手突きのランマーを用いて締固めた。

表-2.2 電気ハンマーの諸元

項 目	大 型	小 型
① 型 式	8600 N	8038 N
② 電 圧	100 V	100 V
③ 電 流	14 A	12 A
④ 周 波 数	50~60 Hz	50~60 Hz
⑤ 消費電力	1350 W	1130 W
⑥ 打 撃 数	900/min	3200/min
⑦ 重 量	36 kg	12 kg

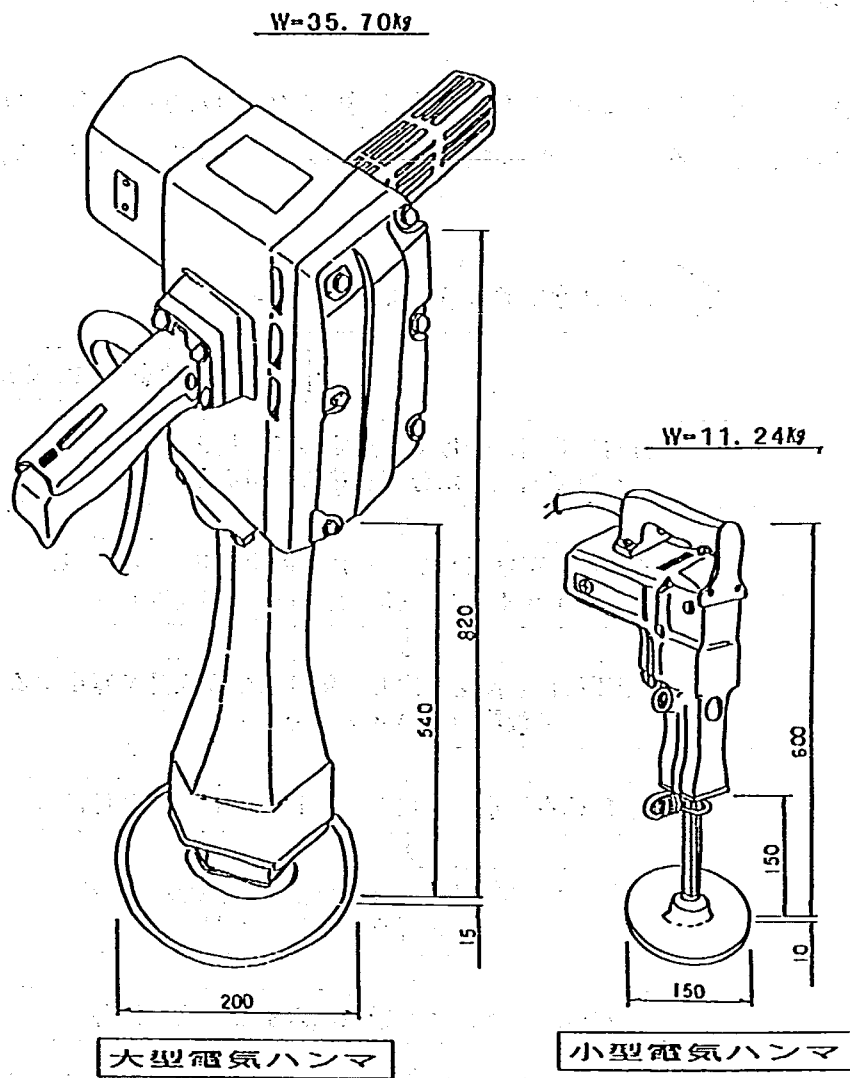


図-2.3 締固め用電気ハンマー

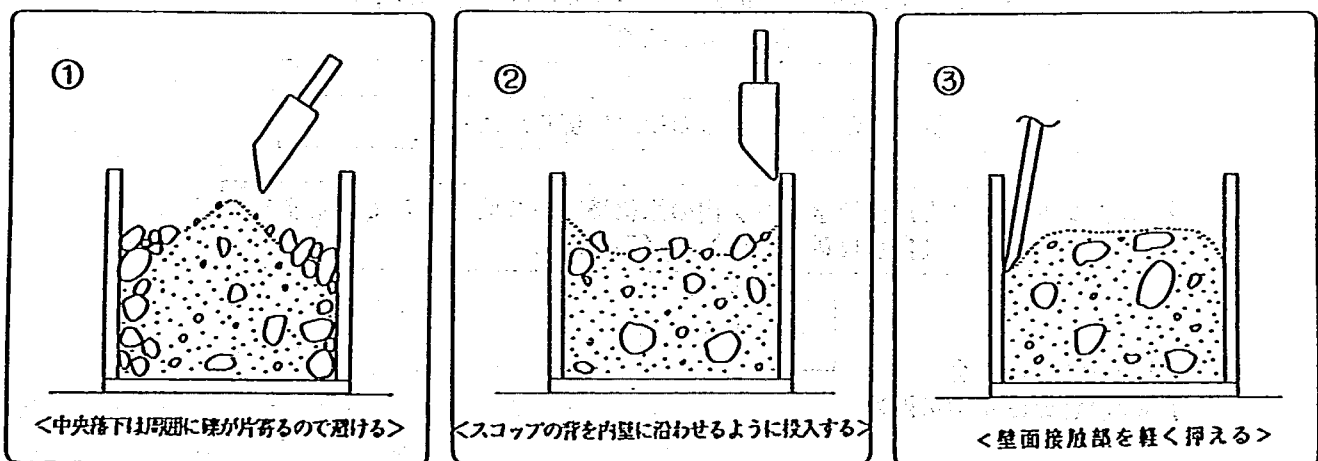


図-2.4 モールドへの材料投入方法

2.4 試験手順

試験の手順を図-2.5 に示す（ただしD 30またはD 50の場合。D 15の場合は供試体の作製方法が異なっているが、透水試験の方法はすべてのモールドで同じである）。

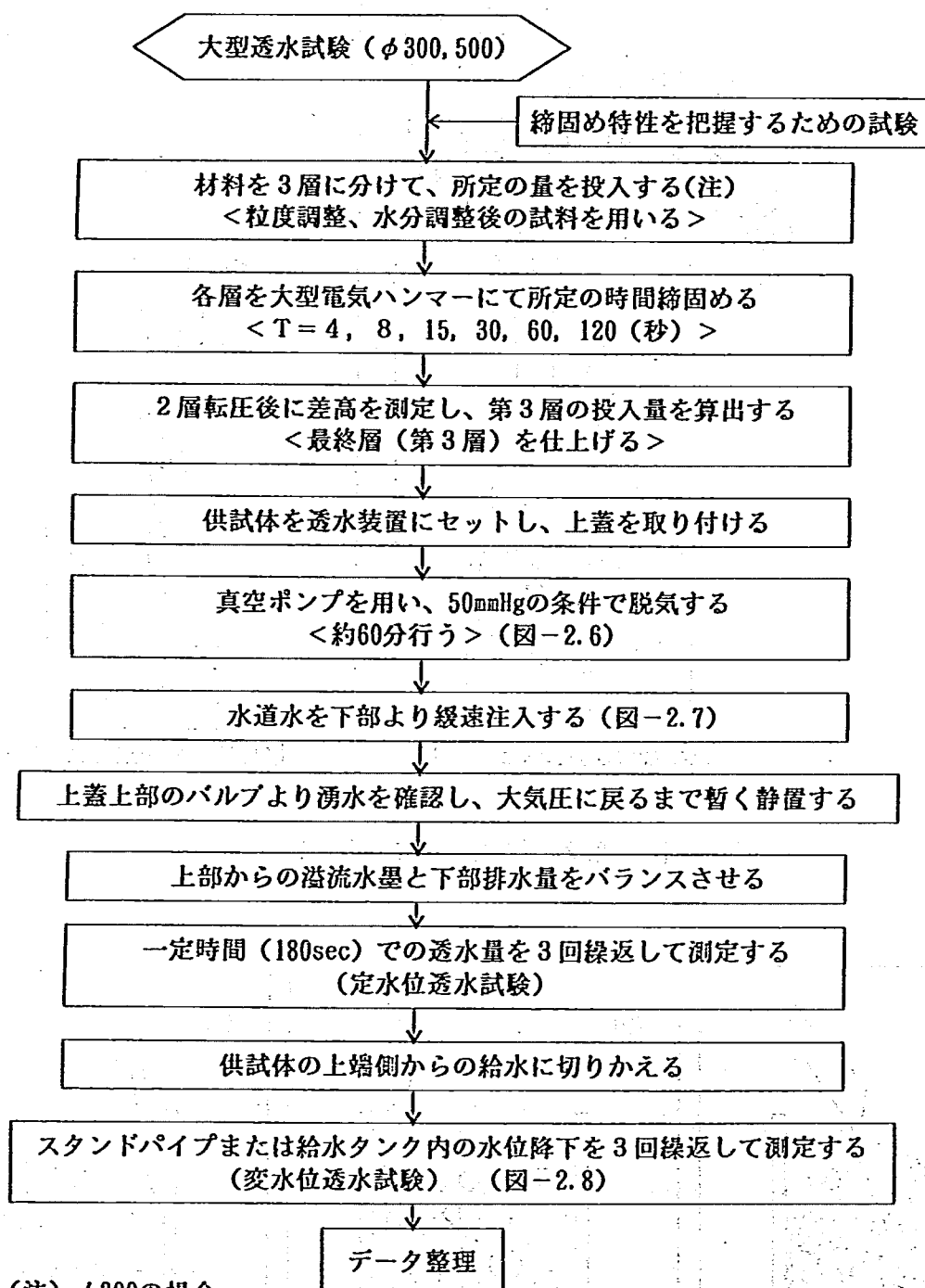


図-2.5 試験の手順

2.5 供試体の飽和方法

室内透水試験において、供試体を飽和させる方法として水浸脱気法と吸水脱気法の2通りの方法がある。今回の試験では一般に用いられることの多い後者によった。

今回の試験では緩詰め状態の透水試験も行うため、脱気によって供試体を傷めないことに最大の注意を払う必要があった。脱気は真空引きにより行ったが、減圧の程度はASTMの指針（砂礫に対しては、真空度 -50cmHg 以上）に基き -50cmHg とした。

なお、吸水脱気の繰り返し回数が透水係数に与える影響を調べるため、吸水脱気後に透水試験を行い、更にその後下方コックを開放して再び吸水しながら脱気を試みた。そして再脱気後の透水係数と初期脱気後の値とを比較してみた。このときの供試体作製条件は、D30モールドを用い最大粒径 63mm 、相対密度70%とした。

試験結果は、表-2.3の通りとなった。

表-2.3 脱気の繰り返しによる透水係数の比較

透 水 条 件	試 験 方 法	
	変 水 位 法	定 水 位 後
初期給水脱気後	8.56×10^{-3}	1.21×10^{-2}
再 脱 気 後	1.74×10^{-3}	1.98×10^{-3}

一般的には、飽和度が高くなると透水係数が大きくなるといわれている。しかし、上表の結果はこの逆の傾向となっている。この理由としては、試験後の解体時に供試体が多少沈下していたことが視認されたことから、再脱気に伴って供試体が圧縮され、その結果透水性が低下したことが考えられる。表-2.3に示した比較試験結果からは、再脱気の影響を明確に検証することは出来なかったが、緩詰め供試体を作る場合には脱気の繰り返しはあまり好ましくないとの感触を得たことにより、本試験での飽和方法はすべて1回の吸水脱気によることとし、飽和条件を統一することにした。

3 せん頭粒度を用いた予備的検討

3.1 試験の概要

ここでは、最大粒径が異なるせん頭粒度の材料を用いて、1) 最大粒径 d_{max} とモールドの直径 D との比 (d_{max}/D)、2) 4.75mm以下の細粒分含有率、3) 密度の違いによって透水係数がどのようにかわるかを調べた。表-3.1 に試験条件と数量を示す。

表-3.1 試験条件と数量

最大粒径 d_{max} (mm)	モールド径 D (mm)	d_{max}/D	試験個数		
			同一 間隙比	同一 相対密度	その他
100	500	1/5	2	2	—
100	300	1/3	—	2	—
63	300	1/5	2	2	—
37.5	300	1/8	2	2	—
19	300	1/16	2	2	—
19	150	1/8	2	2	2(注)
(合計)			10	12	2

(注) 最小密度および中間密度条件

表-3.2 試験粒度と合成絶対乾比重

粒径 (mm)	加積透過率 ^a			
	a	b	c	d
100.0	100.0	—	—	—
63.0	90.0	100.0	—	—
53.0	87.0	97.0	—	—
37.5	80.1	89.0	100.0	—
26.5	74.7	83.0	93.3	—
19.0	68.4	76.0	85.4	100.0
9.5	57.6	64.0	71.9	84.2
4.75	45.0	50.0	56.2	65.8
(2.00)	38.7	43.0	48.3	56.6
(0.85)	29.7	33.0	37.1	43.4
(0.425)	20.7	23.0	25.8	30.3
(0.250)	15.3	17.0	19.1	22.4
(0.105)	8.1	9.0	10.1	11.8
(0.075)	6.3	7.0	7.9	9.2
絶対乾比重 G_s	2.274	2.269	2.259	2.255

試験粒度を表-3.2 および図-3.1 に示す。試験粒度 b, c, d は粒度 a のせん頭粒度である。最大粒径は19mmから100 mmまでの範囲で4水準設定している。これに対応して細粒分含有率(注: 一般の土質では細粒分含有率 f_c は75 μ 以下の含有率を指すが、ここでは粗粒材料を対象としているので、4.75mm以下の含有率を簡単のため同じ用語を用いて呼んでいる)も45.0~65.8(%)の間で変化する。

密度の水準については、間隙比 e で指定するケースと相対密度 D_{rel} で指定するケースに分け、それぞれに2水準設けている。

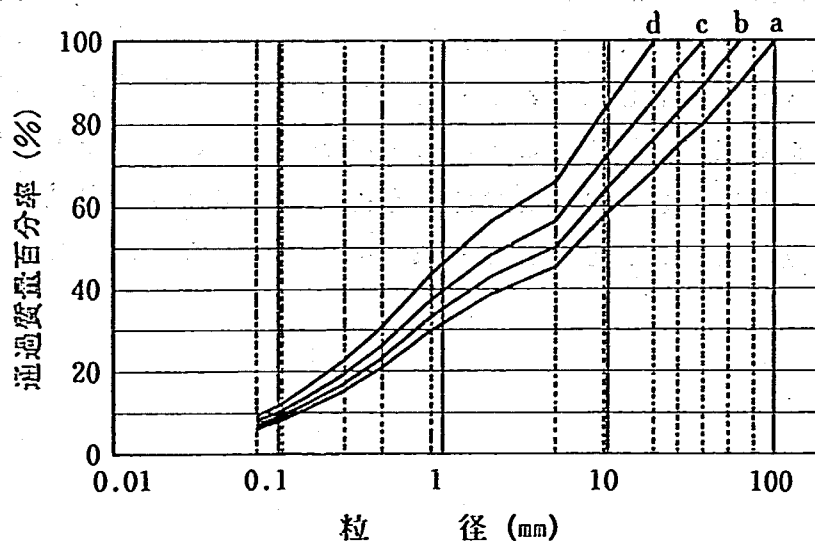


図-3.1 試験粒度

3.2 供試体の締固め密度の設定

供試体の締固め密度を設定するために、それぞれのモールド（D30およびD50）を用いて、各粒度に対する簡易締固め試験を行った。ここで「簡易」という意味は1層分（約12cm）についてだけ締固め試験を行うということである。したがって、簡易締固め試験では1個の供試体だけで（しかも1層分の締固めだけで）1本の締固め曲線（締固め時間と密度の関係）を得ることができる。正規の締固め試験の場合は締固め時間の水準数と同じ個数の供試体を作成する必要がある、モールドや粒度の条件が多いときには多大な時間と労力が必要となる。もちろん、正規の試験と簡易試験では締固め曲線に差がでることが予想されるが、概略の傾向を知るだけであれば、簡易試験も有益と考えられる。今回の締固め試験の目的は密度条件を決めることにあるが、モールド、粒度および電気ハンマーの組合せ条件が多いことから簡易試験を採用した。

簡易締固め試験の結果を表-3.3に一覧し、締固め時間と締固め密度（湿潤密度、乾燥密度）の関係を図-3.2に示す。図中の曲線は、密度と締固め時間の関係を下記の双曲線回帰式を用いて表したものである。

表-3.3 簡易締固め試験結果

モールド	最大粒径 d _{max}	電 気 ハンマー	密度	締 固 め 時 間 T (秒)								全 粒 径 含 水 比 ω(%)
				0	2	4	8	15	30	60	120	
D 30	19.0	小 型	湿潤	1.329	1.677	1.745	1.819	1.872	1.914	1.958	2.020	13.3
			乾燥	1.173	1.480	1.540	1.605	1.652	1.689	1.728	1.783	
		大 型	湿潤	1.322	1.745	1.806	1.914	2.020	2.120	2.192	2.231	
			乾燥	1.167	1.540	1.594	1.689	1.783	1.871	1.935	1.969	
	37.5	小 型	湿潤	1.455	1.722	1.783	1.835	1.875	1.918	1.948	2.025	11.1
			乾燥	1.310	1.550	1.605	1.652	1.688	1.726	1.753	1.823	
		大 型	湿潤	1.414	1.770	1.862	1.948	2.042	2.128	2.202	2.241	
			乾燥	1.273	1.593	1.676	1.753	1.838	1.915	1.982	2.017	
	63.0	小 型	湿潤	1.484	1.706	1.742	1.804	1.844	1.872	1.914	1.959	9.7
			乾燥	1.353	1.555	1.588	1.644	1.681	1.706	1.745	1.786	
		大 型	湿潤	1.502	1.754	1.831	1.914	2.006	2.073	2.125	2.181	
			乾燥	1.369	1.602	1.669	1.745	1.829	1.890	1.937	1.988	
	100.0	小 型	湿潤	1.545	1.751	1.815	1.856	1.913	1.943	1.947	2.005	9.2
			乾燥	1.415	1.603	1.662	1.700	1.752	1.779	1.808	1.836	
		大 型	湿潤	1.545	1.764	1.870	1.974	2.038	2.107	2.162	2.220	
			乾燥	1.415	1.615	1.712	1.808	1.866	1.929	1.980	2.033	
D 50	100.0	小 型	湿潤	1.521	1.636	1.665	1.698	1.722	1.746	1.768	1.783	9.4
			乾燥	1.390	1.495	1.522	1.552	1.574	1.596	1.616	1.630	
		大 型	湿潤	1.534	1.648	1.696	1.752	1.808	1.845	1.884	1.948	
			乾燥	1.402	1.506	1.550	1.601	1.653	1.686	1.722	1.781	

表-3.4 双曲線回帰係数と相関係数

モールド	電気ハンマー	最大粒径 d _{max} (mm)	回 帰 係 数		相関係数 r	密度
			a 値	b 値		
D 30	小 型	19.0	5.6147	1.4240	0.9990	湿潤
		37.5	8.5826	1.7297	0.9974	
		63.0	9.7326	2.0608	0.9987	
		100.0	8.4275	2.1260	0.9995	
		19.0	4.4867	1.0676	0.9997	
		37.5	5.2084	1.1725	0.9997	
		63.0	7.7458	1.4252	0.9994	
		100.0	8.0945	1.4320	0.9994	
	小 型	19.0	6.3837	1.6131	0.9989	乾燥
		37.5	9.5733	1.9223	0.9973	
		63.0	10.7292	2.2604	0.9987	
		100.0	9.2037	2.3226	0.9996	
	大 型	19.0	5.0849	1.2099	0.9997	
		37.5	5.7970	1.3032	0.9997	
		63.0	8.4450	1.5639	0.9994	
		100.0	8.8644	1.5639	0.9994	
D 50	小 型	100.0	15.9115	3.7150	0.9996	湿潤
	大 型	100.0	19.6552	2.3173	0.9971	
	小 型	100.0	17.4314	4.0559	0.9996	乾燥
	大 型	100.0	21.5734	2.5312	0.9971	

回帰係数と相関係数を表-3.4 に示す。いずれのケースでも相関係数は0.99以上の値が得られており、回帰性はきわめて良好である。

$$\rho(t) = \rho + \frac{t}{a + b t} \quad \text{----- (3.1)}$$

ここで ρ_0 : 初期密度 (最小密度)
 t : 締固め時間 (秒)
 a, b : 回帰係数

図-3.2 から分かるように、D30モールドで小型ハンマーを用いて締固めた最大乾燥密度（粒子破碎を考慮して、T=30秒のときの値を最大密度とした）と、D50モールドで大型ハンマーを用いてT=100秒程度締固めたときの密度がおおよそ等しくなる。したがって両モールドで同じ密度条件を設定するためには、電気ハンマーを使い分ける必要があることが分かった。

図-3.3 は両モールドの締固め特性の対応を示したものである。D30モールドでは、最大粒径が大きくなるにしたがって最大密度と最小密度がいずれも大きくなっており、これは均等係数の違いが影響した結果であると考えられる。d_{max}=100 mmの最大密度をD50モールドで実現するためには、大型ハンマーを用い93秒間締固めればよいことになる。

簡易締固め試験の結果をもとにして決定した透水試験の密度を表-3.5 に示す。

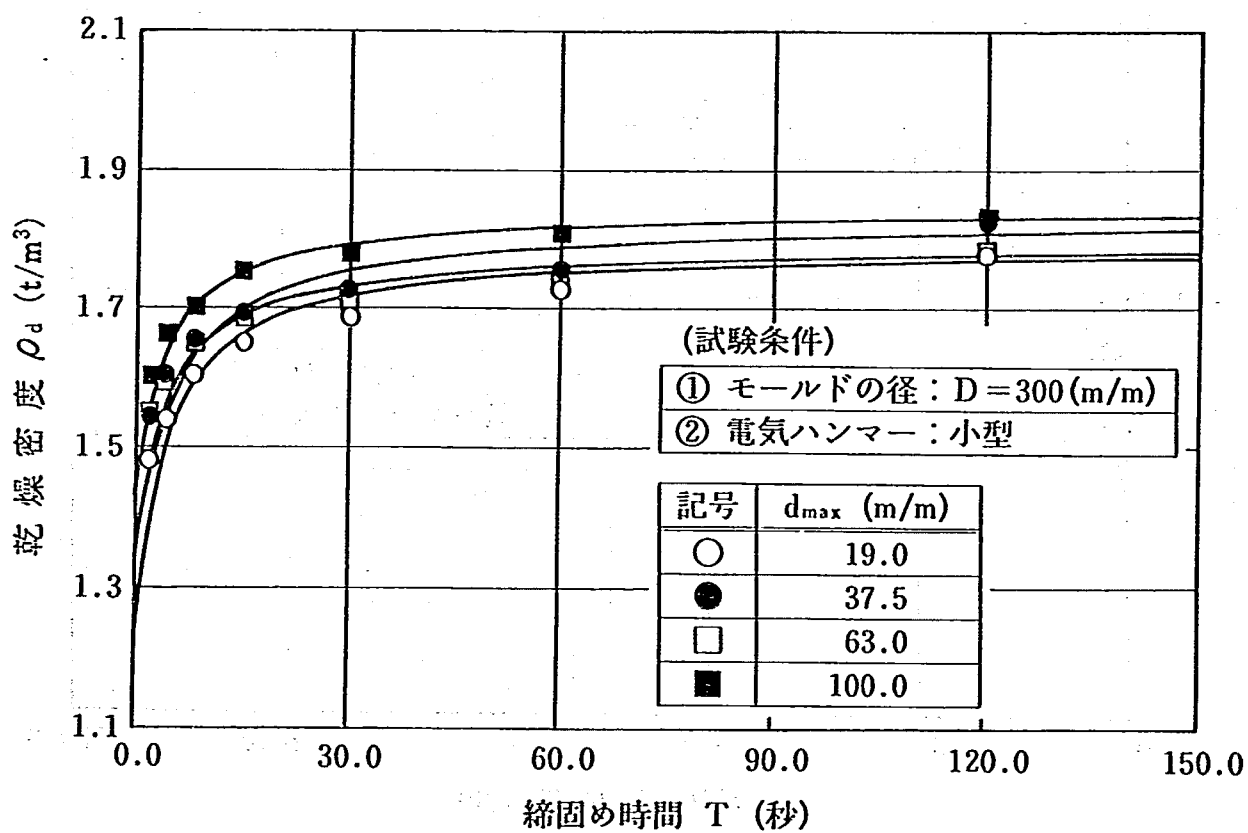
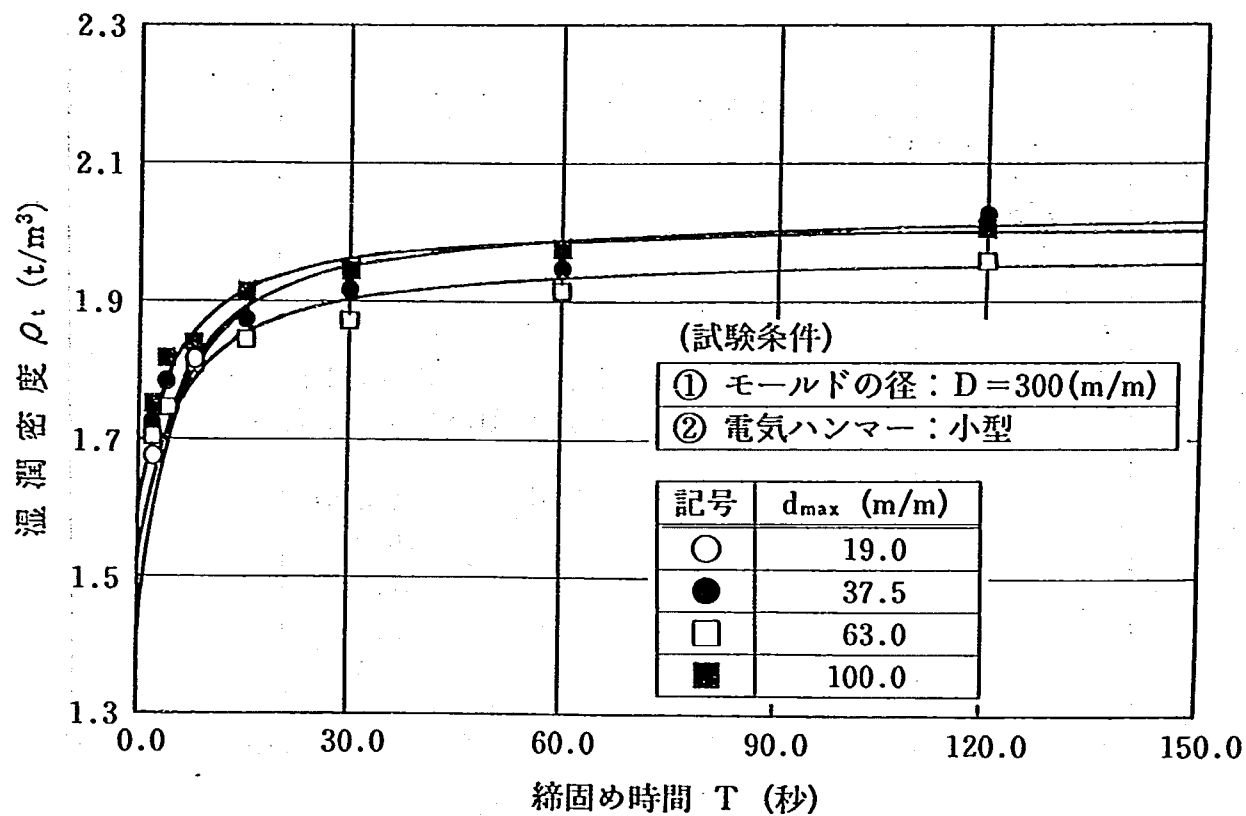


図-3.2(a) 締固め時間と密度の関係

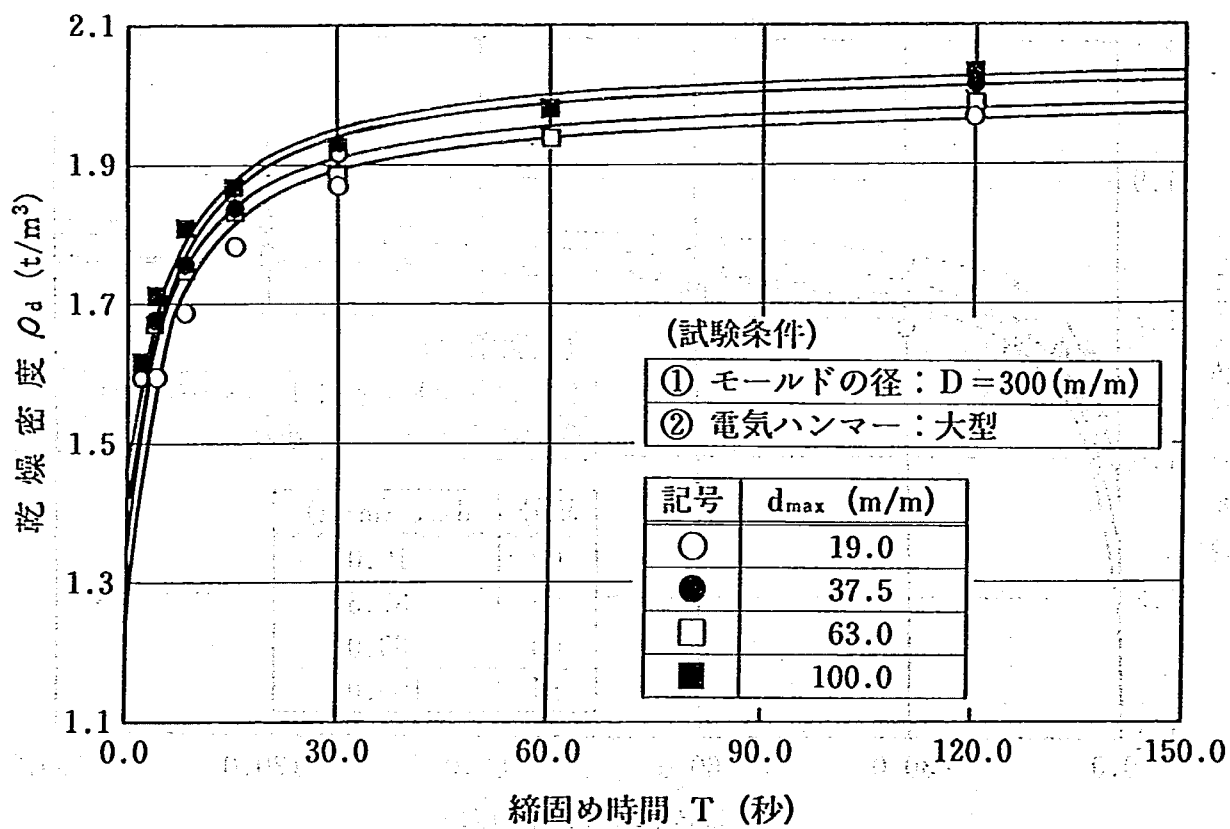
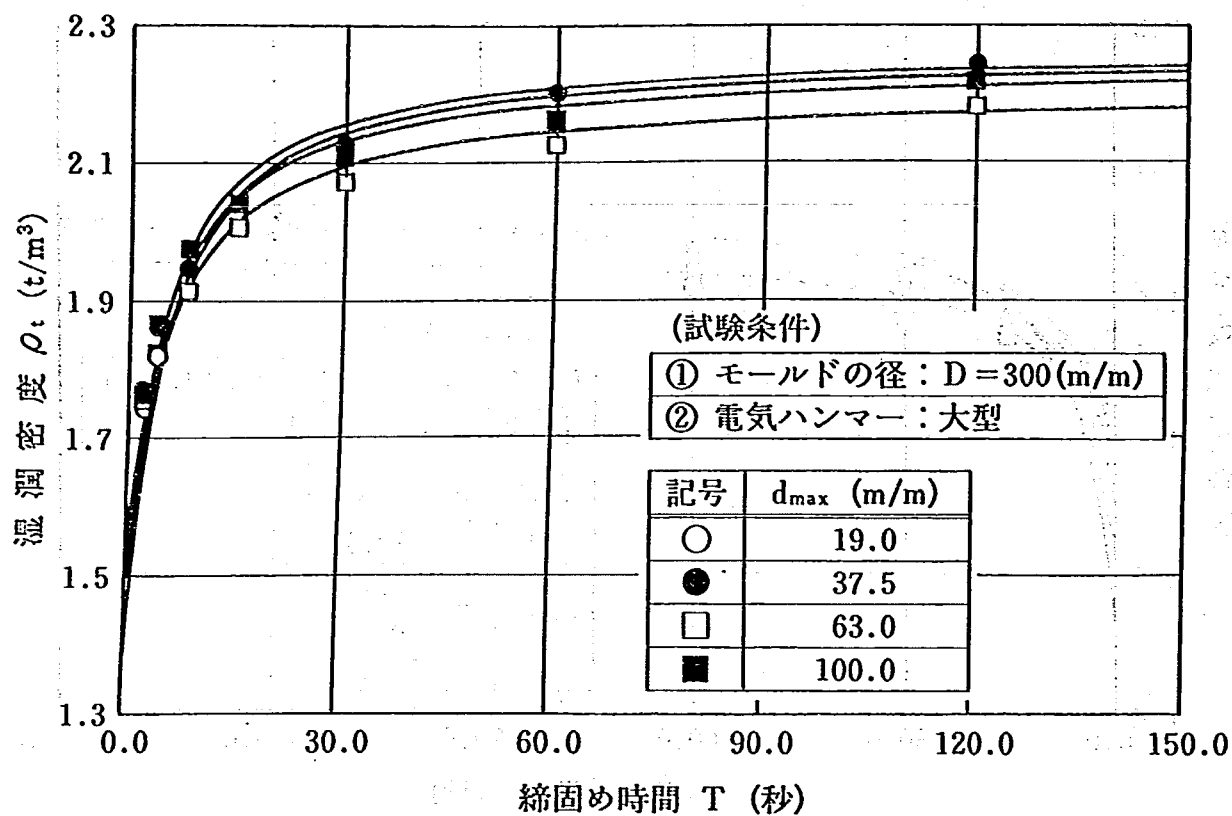


図-3.2(b) 締固め時間と密度の関係

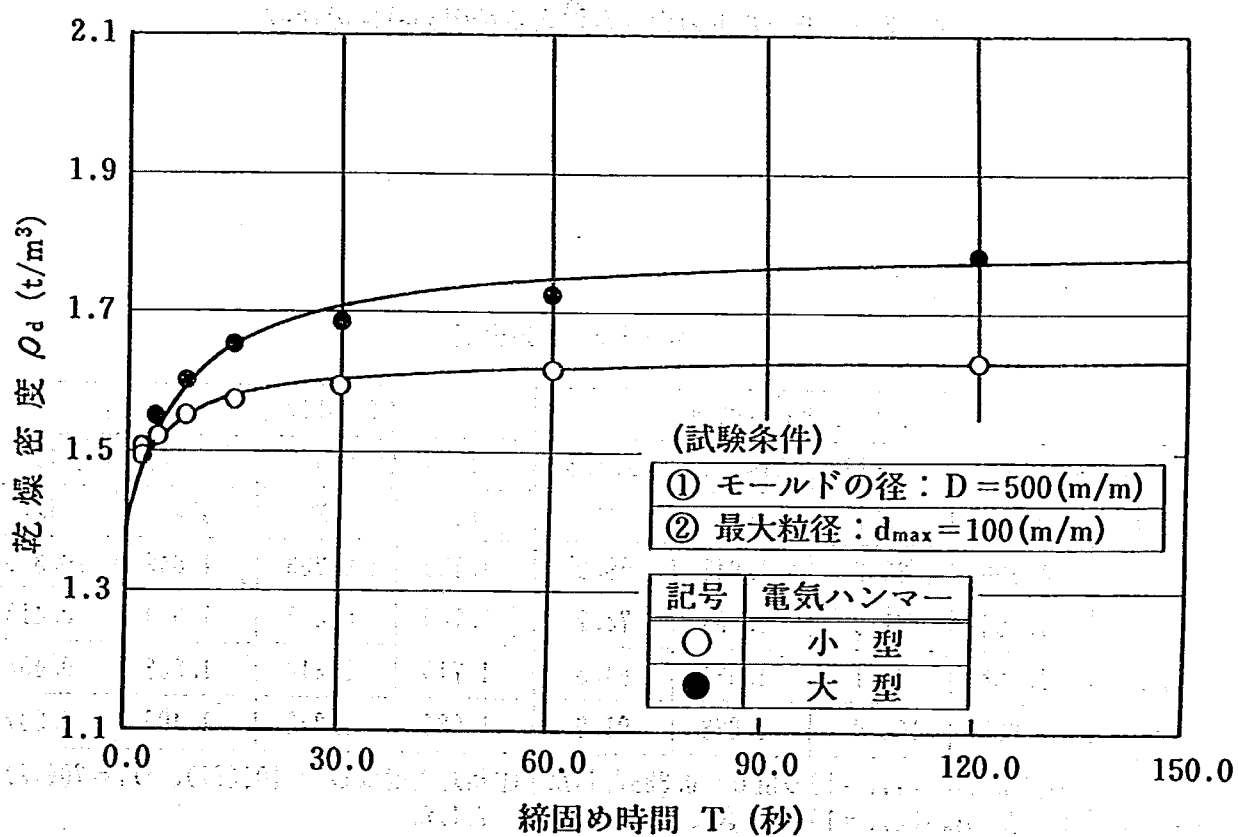
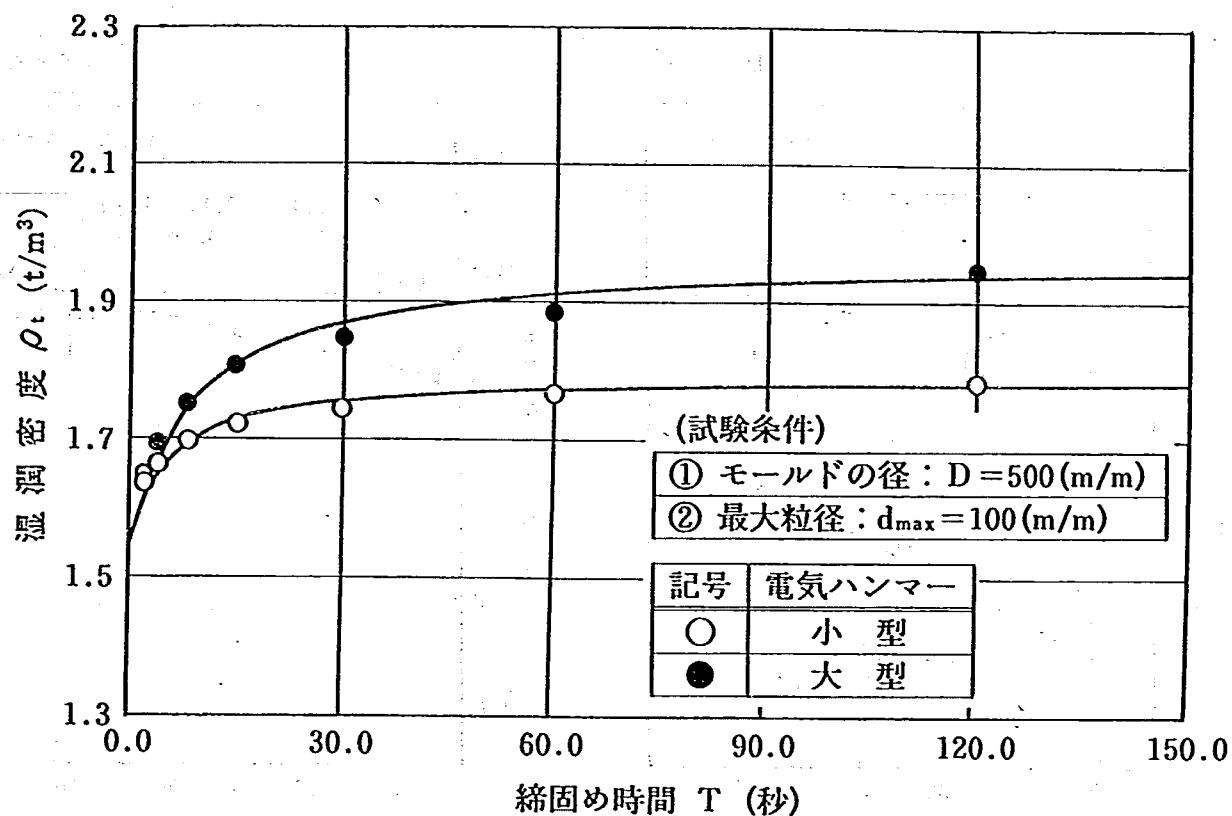


図-3.2(c) 締固め時間と密度の関係

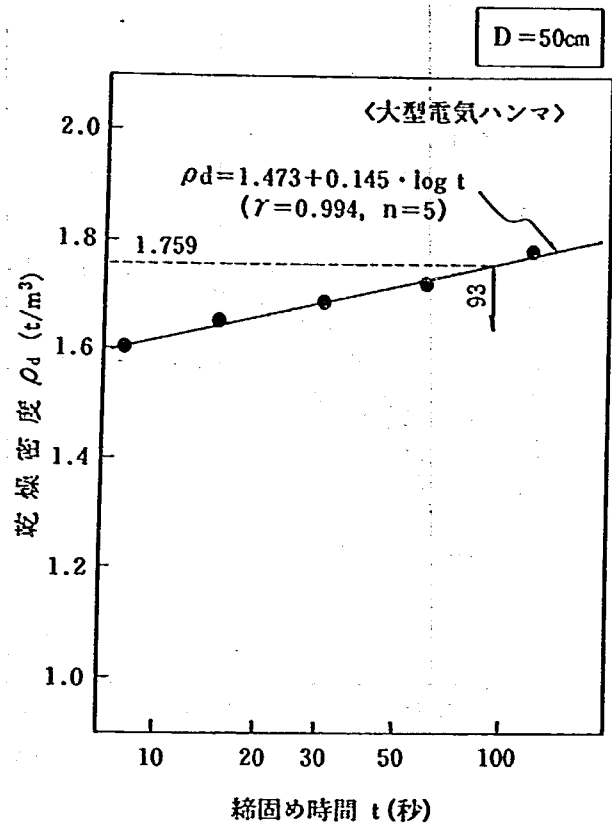
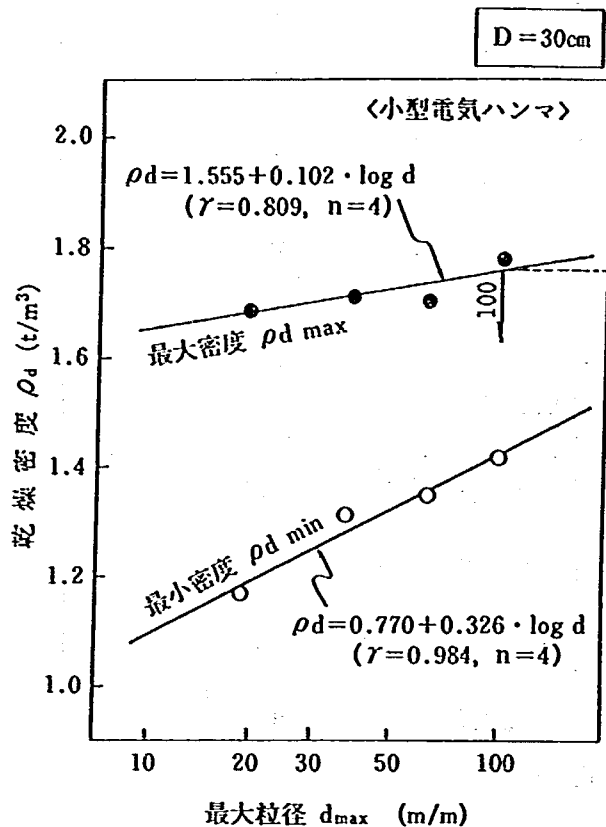


図-3.3 モールドの大きさによる締固め特性の比較

表-3.5 設定密度

試験区分	(1) 間隙比一定試験				(2) 相対密度一定試験			
	密詰め ($e = 0.338$)		緩詰め ($e = 0.385$)		$D_r = 100(\%)$		$D_r = 70(\%)$	
	$d_{\max}$ (mm)	ρ_d	D_r	ρ_d	D_r	ρ_d	D_r	ρ_d
100		1.700	85.3	1.642	69.9	1.759	0.293	1.642
63		1.696	91.0	1.638	78.2	1.739	0.305	1.604
37.5		1.688	95.1	1.631	84.5	1.716	0.316	1.558
19		1.685	100.0	1.628	91.6	1.685	0.338	1.496
備考	①密詰めは $d_{\max} = 19$ の値 $e = 0.338$ とした ②緩詰めは $d_{\max} = 100$ のときに $D_r = 70\%$ に相当する $e = 0.385$ の値を採用した				①相対密度は $D_r = 100(\%)$ 、 $D_r = 70(\%)$ とした			

3.3 透水試験結果

各モールドの透水試験結果を表-3.6 に一覧するとともに、供試体の乾燥密度と透水係数の関係を図-3.4 に示す。

3.3.1 試験法の比較

今回の材料では透水係数が $10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/sec程度と想定されたことから、変水位法と定水位法の両方の試験を行った。

図-3.5 に両試験法による透水係数の関係を示す。定水位試験の結果は変水位試験に対して2倍の範囲に分布しており、平均すると定水位試験による透水係数は、変水位試験の透水係数の値のおよそ1.5倍の値を示している。この差は給水系統内での水頭損失が両試験法で違うために生じたものと考えられる。

表-3.6 試験結果一覧表（せん頭粒度の予備検討）

モールド	試験種別	試験条件		供試体物性値（試験前）				透水係数	
		最大粒径 $d_{max}(mm)$	締固め度	湿潤密度 $\rho_s(t/cm^3)$	含水比 $\omega(\%)$	乾燥密度 $\rho_d(t/cm^3)$	間隙比 e	変水位法 $k_{1s}(cm/S)$	定水位法 $k_{1s}(cm/S)$
D15	D_r 一定	19.0	最小密度	1.628	12.8	1.442	0.564	3.53×10^{-3}	4.59×10^{-3}
			$D_r = 70$	1.693	12.9	1.500	0.503	2.54×10^{-3}	3.70×10^{-3}
			$D_r = 100$	1.907	12.9	1.689	0.335	8.67×10^{-4}	1.69×10^{-3}
			中間密度	1.768	13.5	1.558	0.447	2.63×10^{-3}	4.52×10^{-3}
	e 一定	19.0	$e = 0.385$	1.843	13.5	1.624	0.389	2.05×10^{-3}	3.70×10^{-3}
			$e = 0.338$	1.907	13.5	1.681	0.341	2.52×10^{-3}	4.39×10^{-3}
D30	D_r 一定	19.0	$D_r = 100$	1.908	13.1	1.687	0.337	2.91×10^{-4}	2.57×10^{-4}
			$D_r = 70$	1.694	12.6	1.504	0.499	2.34×10^{-3}	2.75×10^{-3}
		37.5	$D_r = 100$	1.918	13.9	1.685	0.341	3.07×10^{-3}	3.33×10^{-3}
			$D_r = 70$	1.742	11.2	1.567	0.442	7.26×10^{-3}	9.81×10^{-3}
		63.0	$D_r = 100$	1.918	11.1	1.726	0.315	7.25×10^{-3}	1.05×10^{-2}
			$D_r = 70$	1.776	10.5	1.607	0.412	8.56×10^{-3}	1.21×10^{-2}
		100.0	$D_r = 100$	1.931	9.2	1.768	0.286	8.40×10^{-3}	1.30×10^{-2}
			$D_r = 70$	1.803	10.3	1.635	0.391	1.29×10^{-2}	1.97×10^{-2}
	e 一定	19.0	$e = 0.385$	1.843	12.6	1.637	0.378	1.50×10^{-3}	2.19×10^{-3}
			$e = 0.338$	1.908	12.6	1.694	0.331	9.28×10^{-4}	1.08×10^{-3}
		37.5	$e = 0.385$	1.824	11.4	1.637	0.380	6.52×10^{-3}	9.70×10^{-3}
			$e = 0.338$	1.886	11.4	1.693	0.334	2.76×10^{-3}	3.98×10^{-3}
		63.0	$e = 0.385$	1.813	10.4	1.642	0.382	7.38×10^{-3}	1.13×10^{-2}
			$e = 0.338$	1.878	10.4	1.701	0.334	6.51×10^{-3}	1.11×10^{-2}
D50	D_r 一定	100.0	$D_r = 100$	1.930	9.7	1.759	0.293	4.90×10^{-3}	6.66×10^{-3}
			$D_r = 70$	1.802	9.7	1.643	0.384	8.66×10^{-3}	1.87×10^{-2}
	e 一定	100.0	$e = 0.338$	1.866	9.5	1.704	0.335	6.70×10^{-3}	9.36×10^{-3}
			$e = 0.385$	1.802	9.5	1.646	0.382	9.91×10^{-3}	1.82×10^{-2}

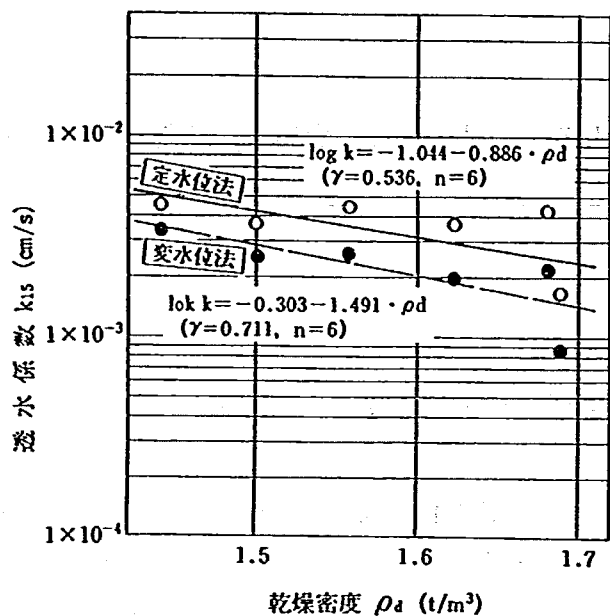


図-3.4(a) D15cmモールドにおける
透水係数と乾燥密度の関係

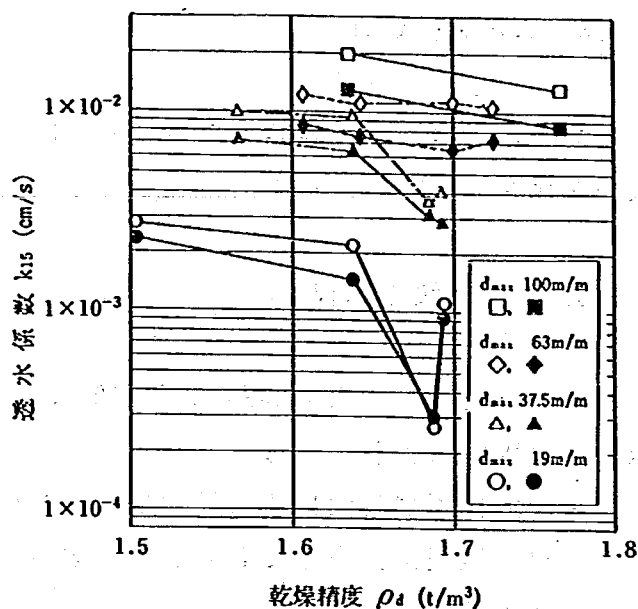


図-3.4(b) D30cmモールドにおける
透水係数と乾燥密度の関係

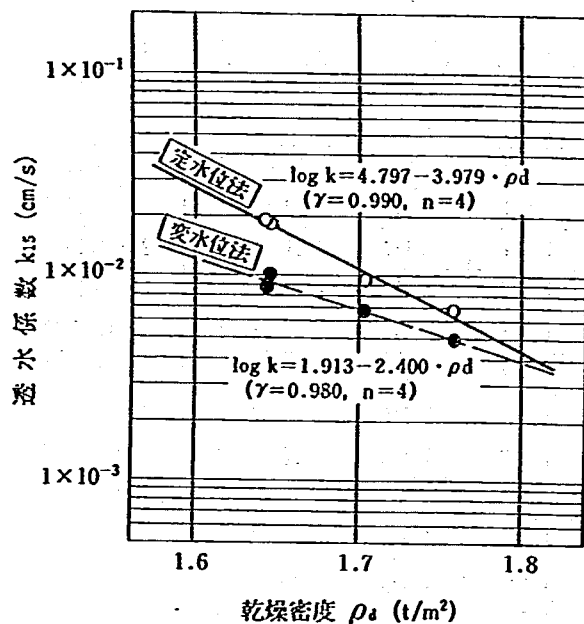


図-3.4(c) D50cmモールドにおける
透水係数と乾燥密度の関係

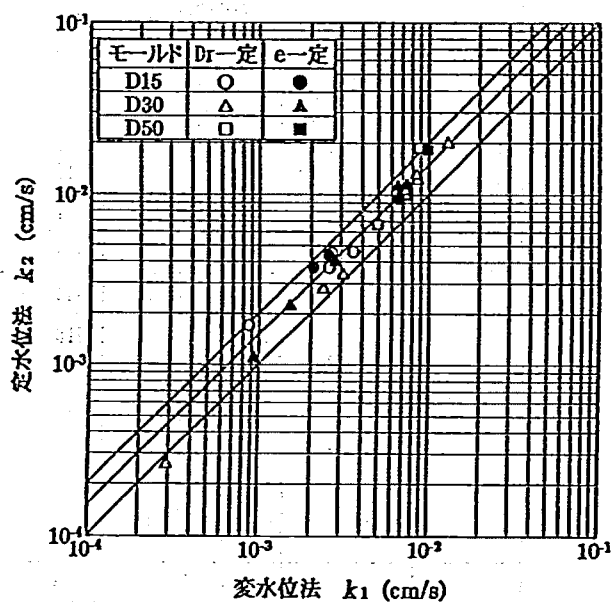


図-3.5 透水係数における定水位法と
変水位法の関係

3.3.2 4.75mm以下の含有率および透水係数の関係

D30モールドの透水試験では、最大粒径と密度をかえた試験を行っている。図-3.1に示した試験粒度から明らかなように、最大粒径は4.75mm以下の細粒分含有率 f_c と一義的な関係をもっており、透水係数に影響を与える因子としてとりあげる場合、最大粒径よりも細粒分含有率に注目するのが妥当と考えられる。ここでは間隙比 e と細粒分含有率 f_c が透水係数に与える影響を評価するため、これらを説明変数とした重回帰分析をおこなった。

締め密度の表示を間隙比 e から相対密度 D_r に変えた場合についても同様の回帰分析を行った。分析結果を表-3.7に示す。

(仮定した回帰式)

$$\log k = \alpha + \beta \cdot \log f_c + \gamma \cdot e \quad (3.2)$$

$$\log k = \alpha + \beta \cdot \log f_c + \gamma \cdot D_r \quad (3.3)$$

表-3.7 重回帰分析結果

密度の表示法	標本数	透水試験	回 帰 係 数			相関係数
			α	β	γ	
間隙比 e	13	定水位法	8.5874	-6.6902	2.2367	0.9518
		変水位法	7.3938	-6.0968	2.2850	0.9602
相対密度 D_r	13	定水位法	8.3602	-5.6351	-0.0090	0.9459
		変水位法	7.1628	-5.0183	-0.0092	0.9531

いずれの場合も $r=0.95$ 程度の相関係数が得られており、透水係数は f_c と e （または D_r ）と密接な関係にあることが分かる。図-3.6に細粒分含有率と透水係数の関係を示す（注：図中のカッコ付のデータは回帰分析では除外した。以下の各図でも同様である）。これらの図をみる限り粗粒材料の透水係数を支配する材料因子としては細粒分含有率が最も重要であると考えられる。

図-3.7、3.8には密度（間隙比または相対密度）と透水係数の関係を示す。透水係数が密度に影響されることも明らかであるが、両者の関係にはかなりばらつきがみられた。

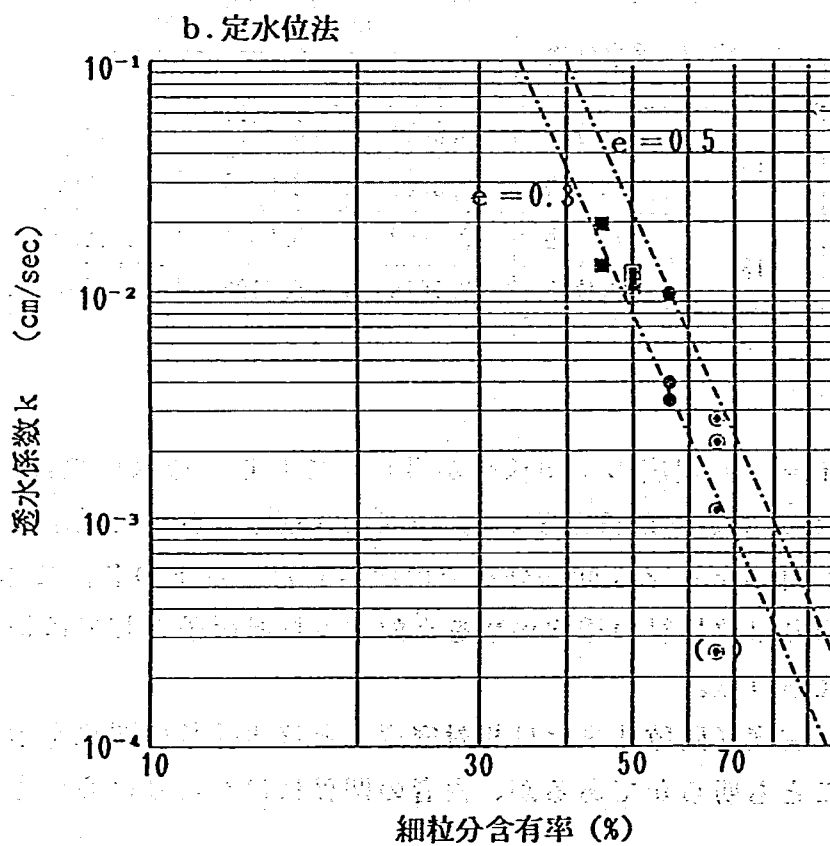
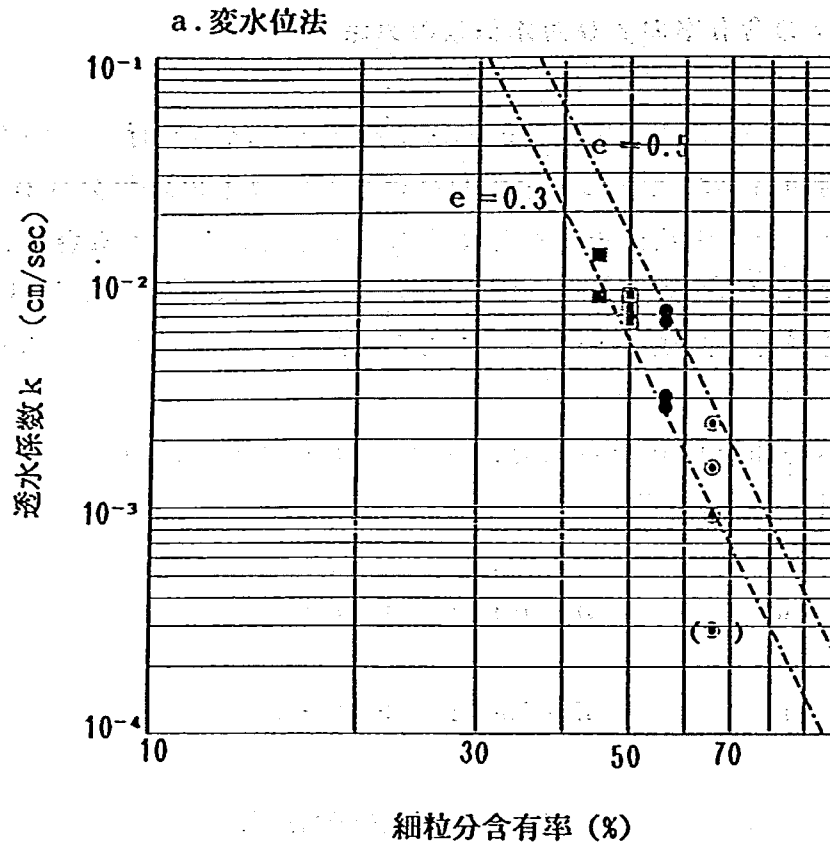


図-3.6 細粒分 (-4.75mm) 含有率と透水係数の関係 (モールド : $D=30\text{cm}$)

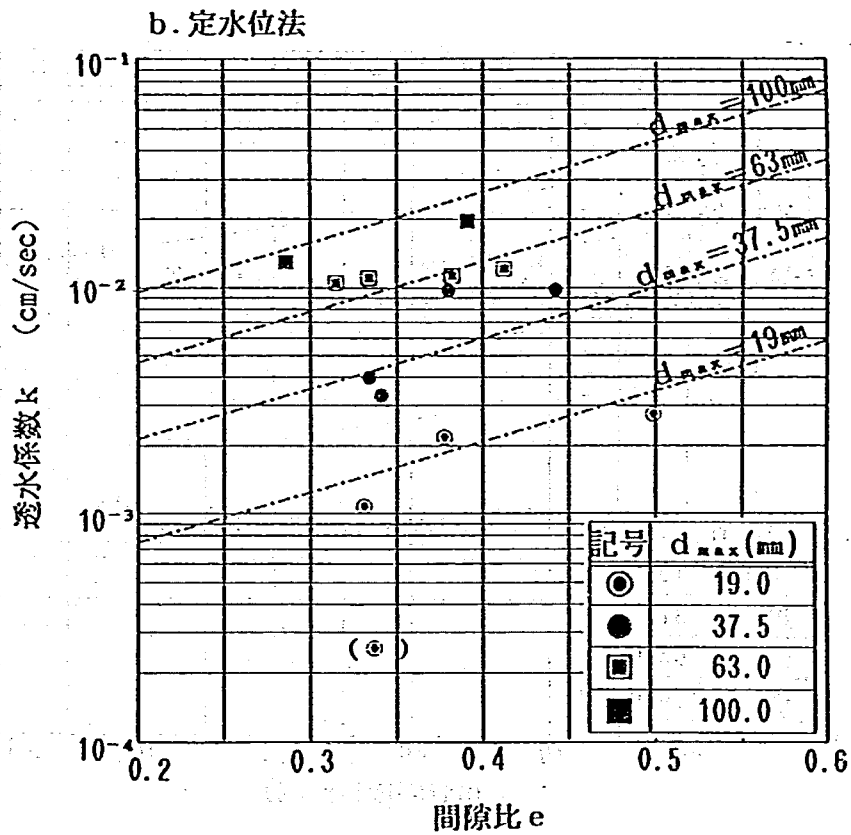
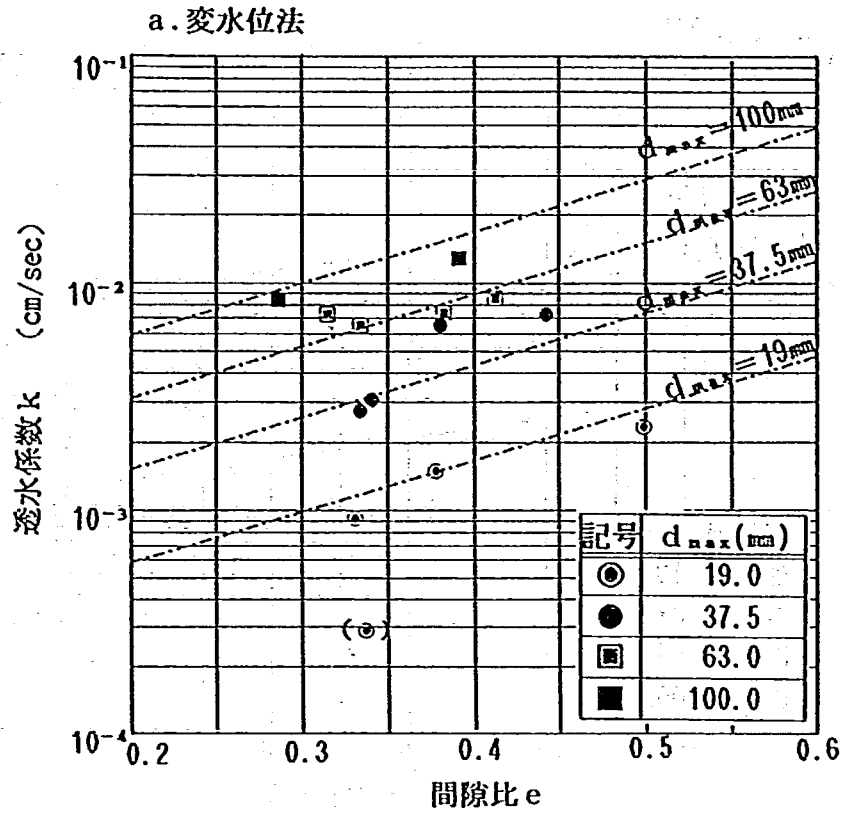


図-3.7 間隙比と透水係数の関係 (モールド: $D = 30\text{cm}$)

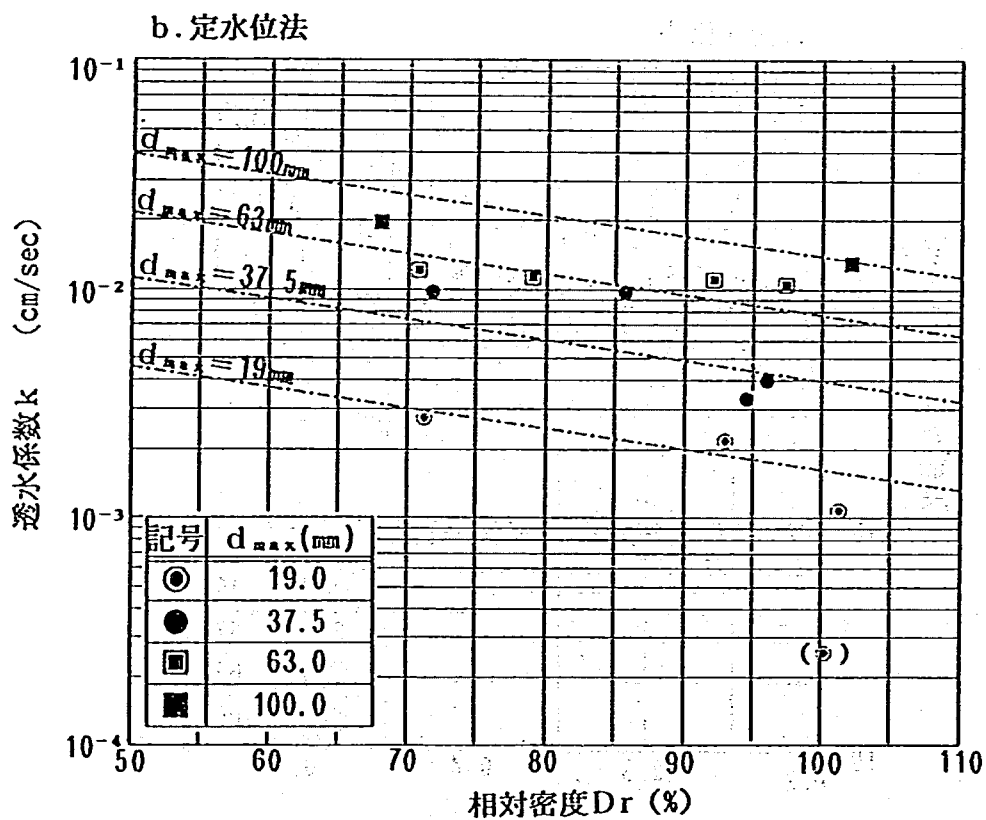
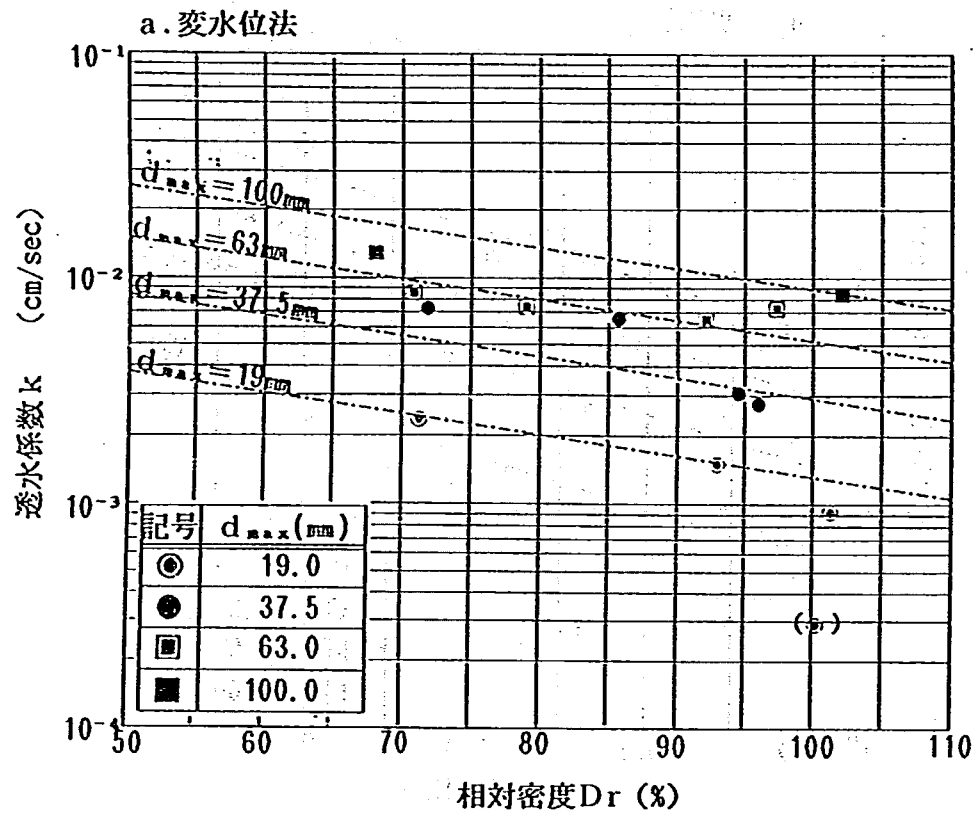


図-3.8 相対密度と透水係数の関係 (モールド: $D=30\text{cm}$)

3.3.3 締固め度の表現

締固め度は、乾燥密度、間隙比、相対密度などいろいろな形で表される。透水係数の影響因子という観点からみた場合、これらの締固め度の表示法に優劣があるかどうかは、相関性の高さを目安にして評価することが考えられる。

図-3.9 および図-3.10はD15モールドの試験（この試験では $d_{max}=19.0$ の材料が用いられている）結果を示したものである。表-3.8 に透水係数と締固め度（間隙比又は相対密度）との回帰分析結果を示す。

（仮定した回帰式）

$$\log k = \alpha + \beta \cdot x \quad \text{-----} (3.4)$$

（ x は e または D_r ）

表-3.8 回帰係数

密度の表示法	標本数	透水試験	回 帰 係 数		相関係数
			α	β	
間隙比 e	6	定水位法	-2.8507	0.9414	0.5236
		変水位法	-3.3534	1.6069	0.7040
相対密度 D_r	6	定水位法	-2.0053	-0.0053	0.5252
		変水位法	-1.9060	-0.0090	0.7055

これらの図（D15の場合）や前項の図-3.6～図-3.8（D30の場合）および図-3.4（乾燥密度の関係）をみると、いずれの場合も同程度の相関性を示していることから、密度の表示法の優劣に関してはほとんど差はないといえる。

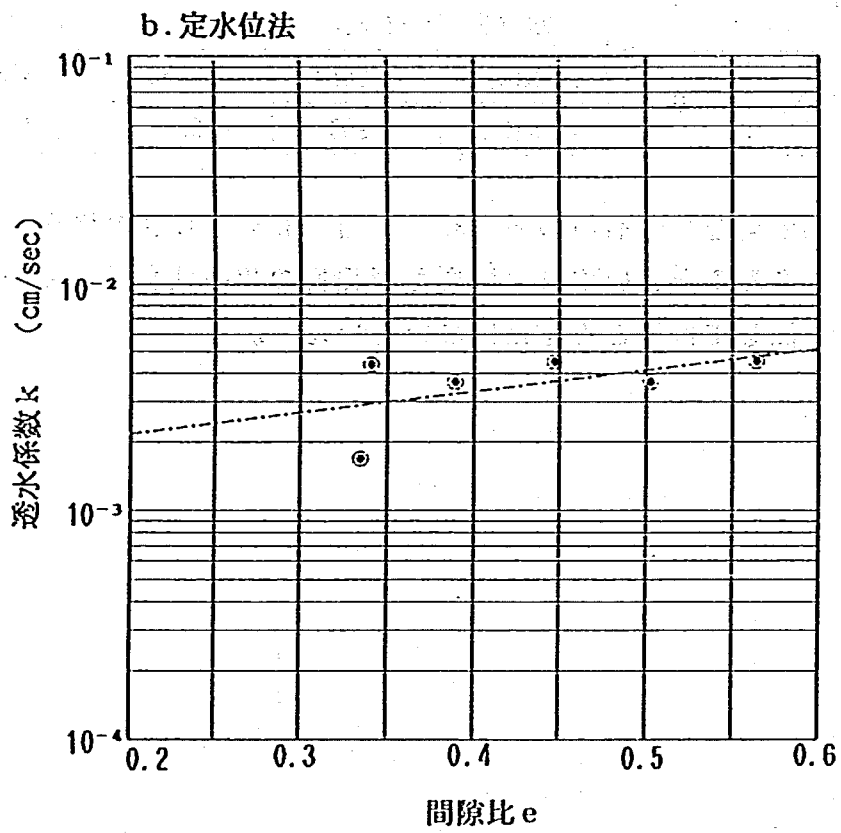
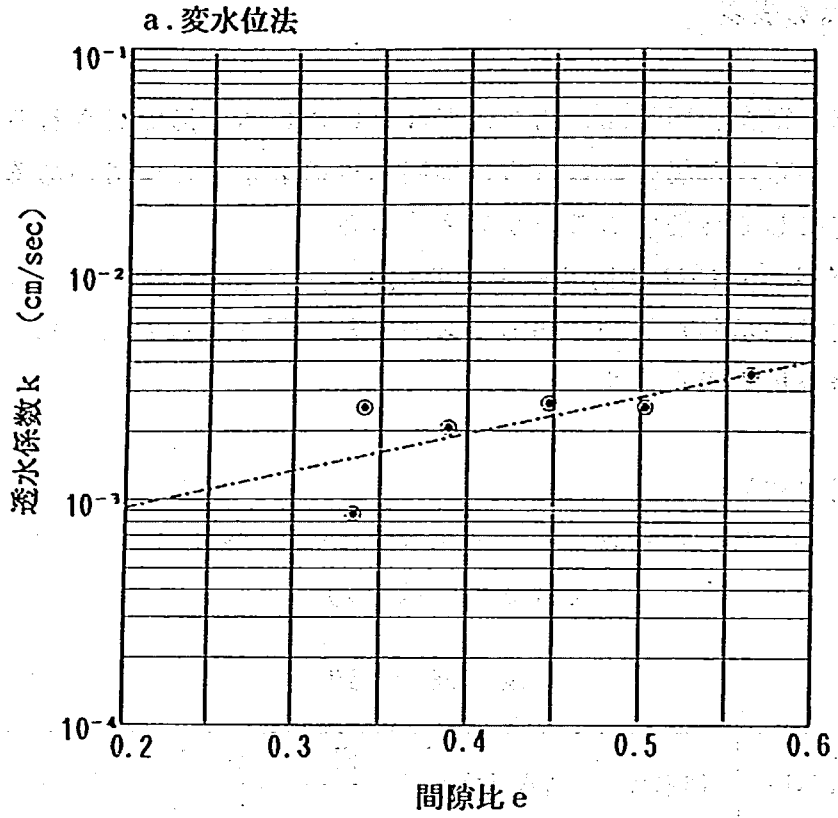


図-3.9 間隙比と透水係数との関係 (モールド : $D = 15\text{cm}$, $d_{\max} = 19.0\text{mm}$)

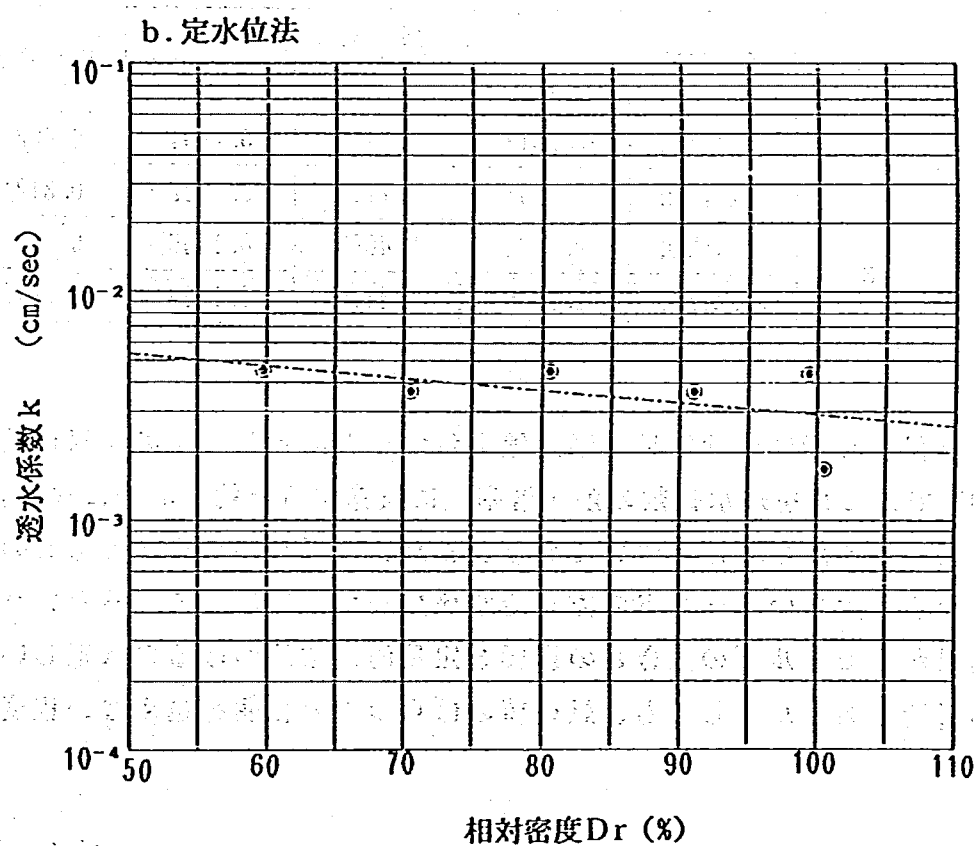
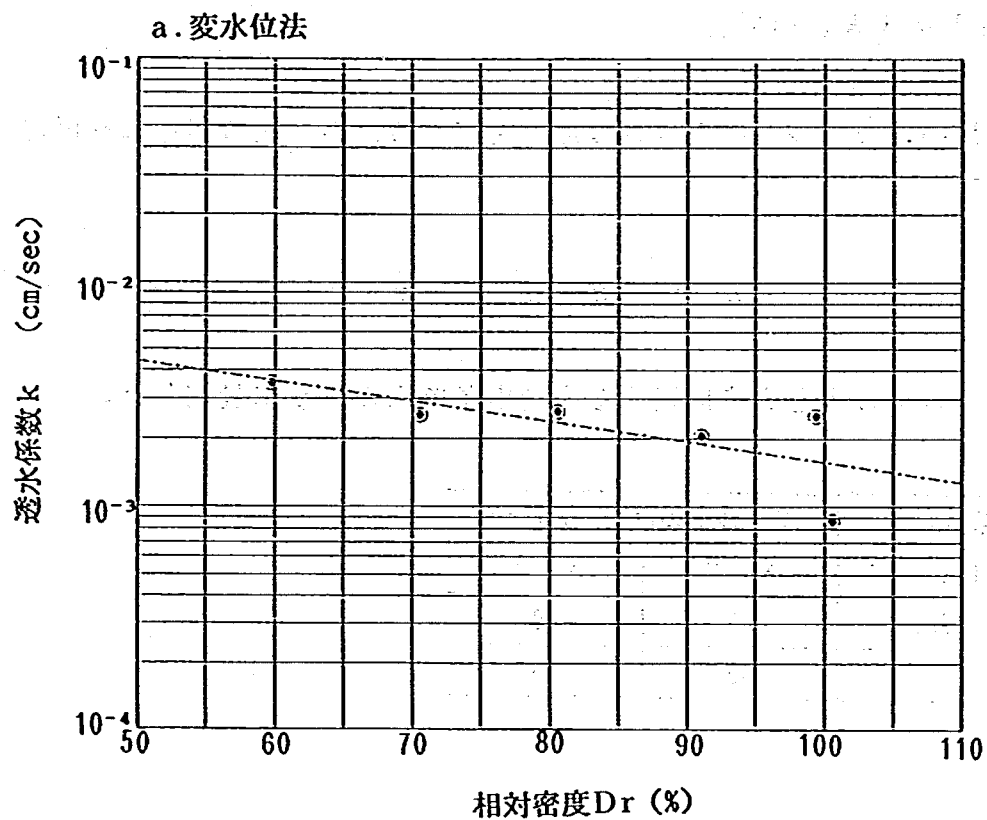


図-3.10 相対密度と透水係数の関係 (モールド : $D = 15\text{cm}$, $d_{\text{max}} = 19.0\text{mm}$)

3.3.4 モールドの大きさの影響

試験データを用いてモールドの大きさの違いを調べるため、次の回帰式を仮定した重回帰分析を行った。

$$\log k = \alpha + \beta \cdot e + \gamma \cdot x \quad \text{-----} \quad (3.5)$$

ここで、 x はモールドの大きさを区別する層別因子で次のように設定した。

最大粒径 $d_{max}(\text{mm})$	モールドの直径 $D(\text{cm})$	
	$X = 0$	$X = 1$
19.0	15	30
100.0	30	50

表-3.9 重回帰分析結果

最大粒径(mm)	標本数	透水試験	回 帰 係 数			相関係数
			α	β	γ	
19.0	9	定水位法	-2.9813	1.2452	-0.2491	0.8027
		変水位法	-3.4241	1.7713	-0.1182	0.8124
100.0	6	定水位法	-2.9494	3.4080	-0.1566	0.9038
		変水位法	-2.8009	2.4175	-0.1791	0.9676

図-3.11および図-3.12に試験結果と回帰線を示す。上に示した x の回帰係数で最も大きい値は-0.2491で、これを透水係数の差(倍率)に換算すると約1.8倍になる。しかし、 γ の値は試験法によってかなりばらついており、また、いずれのケースでも x の回帰係数は負であることから、大きいモールドの方が透水係数が小さめにでているという結果になった。以上の結果からモールドの大きさの影響を定量的に結論づけるのは難しいが、モールドの大きさの影響はあったとしても、試験値のばらつきの範囲を越えない程度であると推察される。

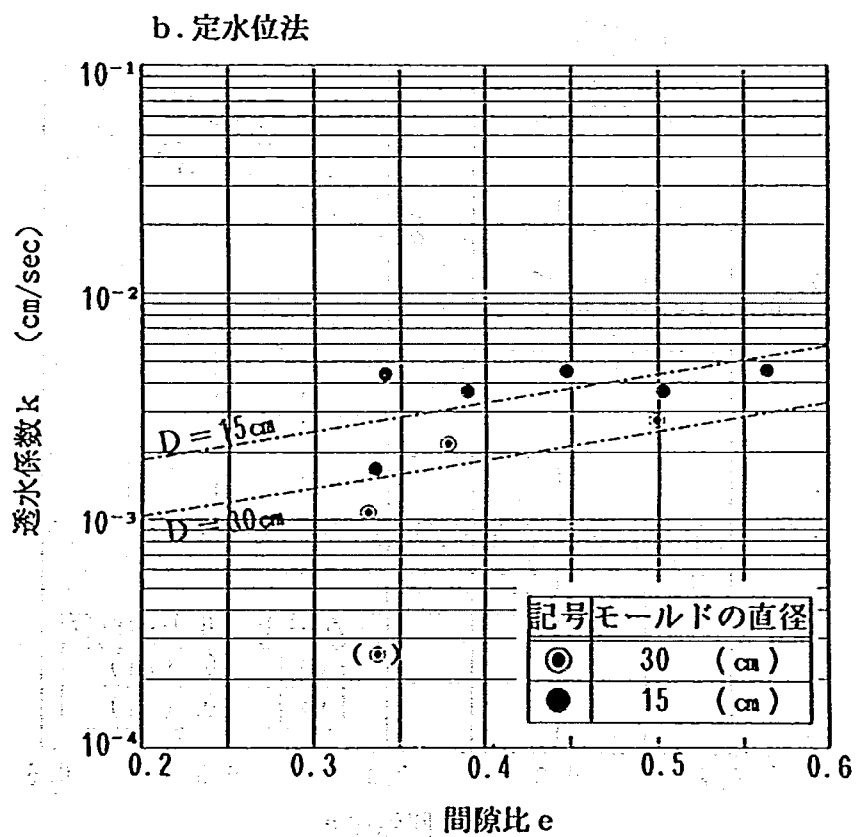
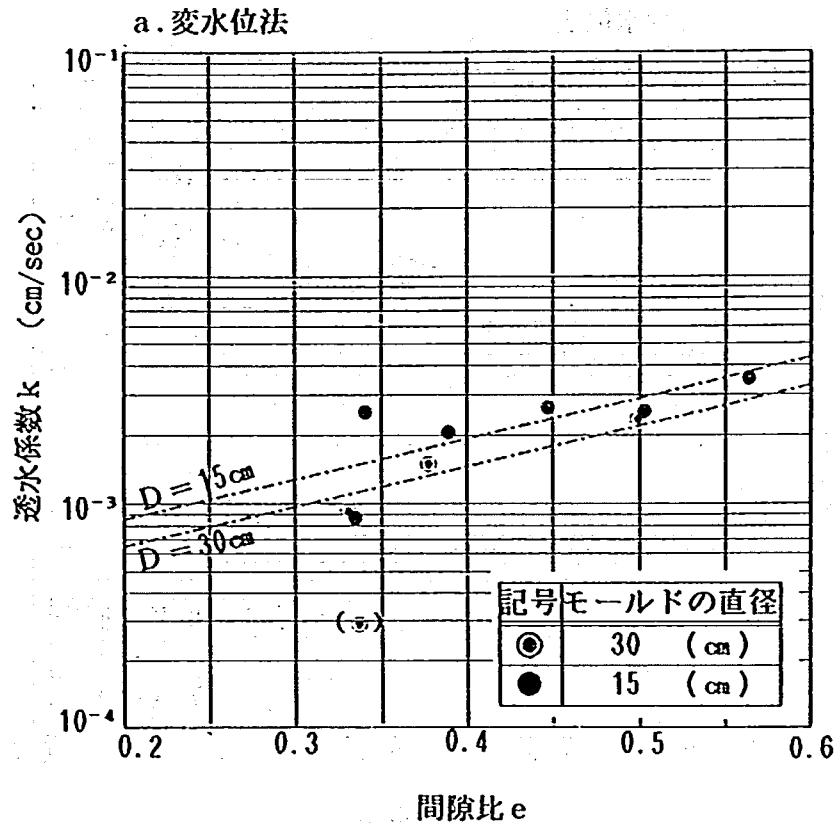


図-3.11 モールドの大きさが透水係数に及ぼす影響 ($d_{\max}=19.0\text{mm}$)

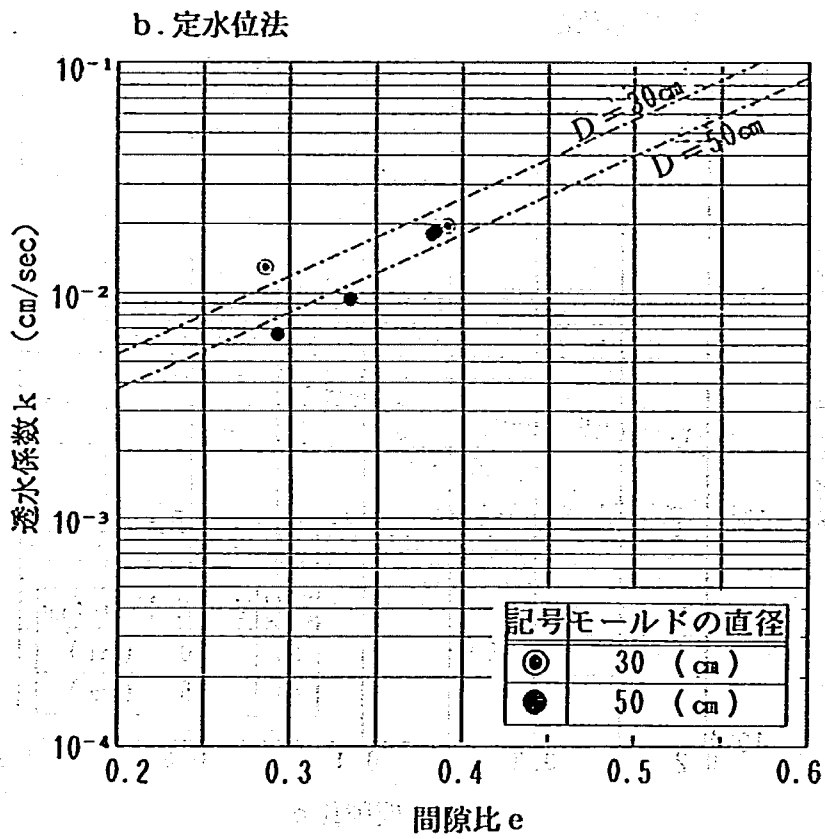
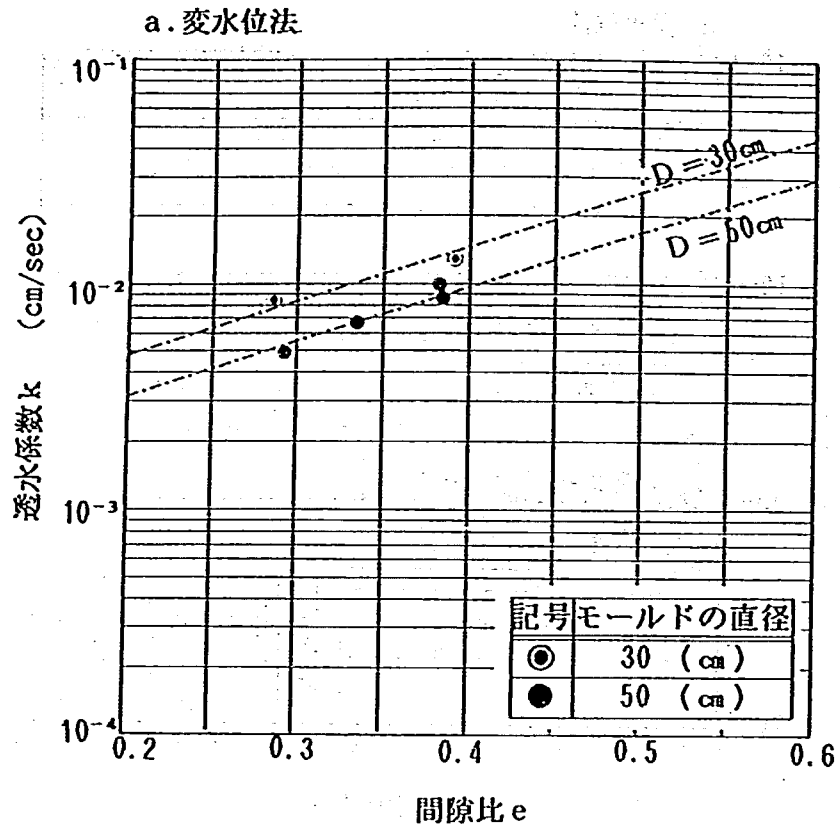


図-3.12 モールドの大きさが透水係数に及ぼす影響 ($d_{max}=100\text{mm}$)

3.3.5 まとめ

以上の試験結果を要約すると次のようになる。

(1) 岩石質材料(泥流堆積物)の透水係数に影響を及ぼす材料因子としては、4.75mm以下の細粒分含有率が最も重要であると考えられる。設定された密度範囲内においては密度の影響は比較的緩やかである。

(2) 締固め度の表示法としては、乾燥密度、間隙比および相対密度の三者は透水係数との相関性の面からみていずれも同程度に有効である。

(3) 試験モールド径の大きさの影響については、従来モールド径の大きい方が透水係数は大きいといわれてきたが、今回の実験結果からは逆の傾向が認められ、試験要因の詳細な検討分析が今後の課題として残された。

これらの結果は、限られた試験のもとで得られたものであるから、どこまで一般性があるかについては、今後のデータの蓄積を待たなければならない。

また、試験結果全体についていえる問題として試験データのばらつきがある。D50モールドの試験では、 $\log k \sim \rho_d$ (図-3.4c)の上ではばらつきは少なく相関の高い結果が得られたが、D15モールドとD30モールドの試験結果は相関が低くかなりばらついている(図-3.4aおよびb参照)。これらが偶然の結果であるのか、モールド径の大きさによってばらつきがでるのかなどの疑問がのこるが、いまのところいずれとも不明である。D30モールドの場合、 $d_{max}=19\text{mm}$ と 37.5mm のケースを比較すると、粒径が相対的に小さいケースにおいて、密度の高い側で透水係数が急激に低下する傾向がでている。これが単なるばらつきなのかどうかについても現時点では判断できないので今後の検討が必要である。

4 透水性に影響を及ぼす材料要因の検討

4.1 試験の概要

前章の予備検討では、試験粒度が“せん頭粒度”であるという前提条件があった。せん頭粒度であるという指定は基本粒度を決めれば1つのパラメータ（例えば最大粒径）で個々の粒度分布の形状が自動的に定まってしまうということを意味している。このため、粗粒材料の透水性に関して最も興味のある問題の一つである最大粒径の影響が、細粒分含有率の影響と完全に交錯することになり、各々の影響を個別に評価することができなかった。したがって、前章では岩石質材料の透水係数を考えるときには、細粒分含有率が最も重要であるという結論を得ているが、これについても更に検討を加える必要があると考えられる。例えば、細粒分含有率の影響は、粒度分布の形状が変わるとどのように変化するのか（あるいは粒度分布の形状とは独立とみなしてよいか）という問題は、細粒分含有率の重要性を客観的に評価するうえで、検討すべき最も基本的な課題の一つである。そこで、予備検討にひきつづいて以下の点に配慮した試験を行い、個々の材料要因が透水係数に及ぼす影響について検討した。

（１）要因間の交錯を避けるため、着目した因子のパラメータだけをかえる試験条件とする。

（２）粒度因子としては、細粒分含有率と最大粒径をとりあげ、上記（１）より各々を単独に変化させた試験粒度を設定する。これは粒度分布の形状をかえることになる。

（３）含水比の影響は粒度を固定して検討する。

要するに以下の試験では、①含水比、②細粒分含有率および③最大粒径の3つの要因について単独の影響を検討するわけである。それぞれの試験条件を表-4.1のように設定した。

表-4.1 試験条件（材料要因の影響検討）

検討項目	試験条件	水準数	摘 要
(1)含水比の影響 (A粒度)	① モールド	1	D30 ($d_{max}=53\text{mm}$)
	② 含水比	3	ω_1 、 ω_2 、 ω_3
	③ 締固め密度	6	$E_1 \sim E_6$
	(供試体数)	18	
(2)細粒分含有率 の影響 (B粒度)	① モールド	1	D30 ($d_{max}=53\text{mm}$)
	② 細粒分含有率	3	31、50、69%
	③ 含水比	1	ω_2
	④ 締固め密度	6	$E_1 \sim E_6$
	(供試体数)	18	
(3)最大粒径の 影響 (C粒度)	① モールド	1	D50
	② 最大粒径	4	$d_{max}=19$ 、37.5、53、100mm
	③ 含水比	1	ω_2
	④ 締固め密度	2	E_1 、 E_2
	(供試体数)	8	

4.2 試験粒度

試験粒度を表-4.2 および図-4.1 に示す。A粒度では粒度を固定して、締固め含水比の影響だけを調べることを目的としている。B粒度は細粒分含有率だけを変化させて、その影響を単独に検討するものである。最大粒径との交錯を避けるため、 $d_{max}=53\text{mm}$ に固定している。このため、細粒分含有率の変化に応じて粒度分布の形状も自動的にかわる。逆に細粒分含有率を固定して、最大粒径だけを変化させた粒度がC粒度である。この粒度の試験では最大粒径の影響だけに着目している。

なお、A粒度とB₁粒度およびC₂粒度は、予備検討の試験粒度のうち $d_{max}=53\text{mm}$ の粒度と同じものである。

表-4.2 試験粒度（材料要因の影響検討）

粒 径 (mm)	加積通過率 (%)			
	A	B ₁	C ₂	D ₂
53.0mm	100.0	100.0	100.0	100.0
37.5mm	89.0	89.0	84.8	93.2
26.5mm	83.0	83.0	76.5	89.5
19.0mm	76.0	76.0	66.8	85.1
9.5mm	64.0	64.0	50.3	77.7
4750 μm	50.0	50.0	31.0	69.0
2000 μm	44.5	44.5	27.6	61.3
850 μm	36.3	36.3	22.5	50.0
425 μm	27.4	27.4	17.0	37.8
250 μm	20.5	20.5	12.7	28.3
106 μm	12.1	12.1	7.5	16.7
75 μm	10.5	10.5	6.5	14.5

粒 径 (mm)	加積通過率 (%)			
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
100.0mm	100.0			
53.0mm	89.0	100.0		
37.5mm	84.0	89.0	100.0	
26.5mm	78.0	83.0	92.0	
19.0mm	73.0	76.0	84.0	100.0
9.5mm	62.0	64.0	66.0	75.0
4750 μm	50.0	50.0	50.0	50.0
2000 μm	44.5	44.5	44.5	44.5
850 μm	36.3	36.3	36.3	36.3
425 μm	27.4	27.4	27.4	27.4
250 μm	20.5	20.5	20.5	20.5
106 μm	12.1	12.1	12.1	12.1
75 μm	10.5	10.5	10.5	10.5

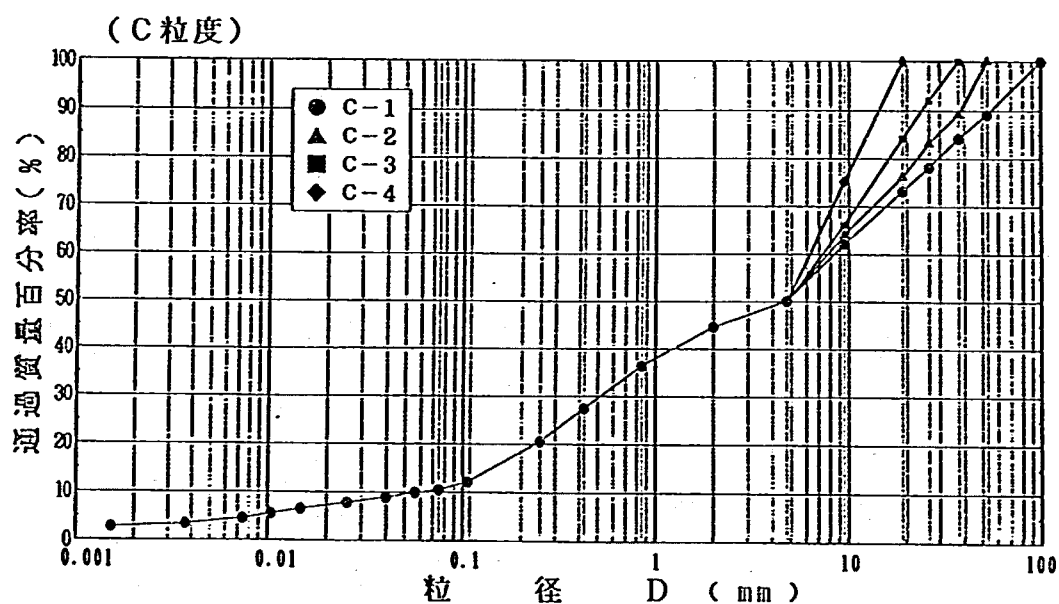
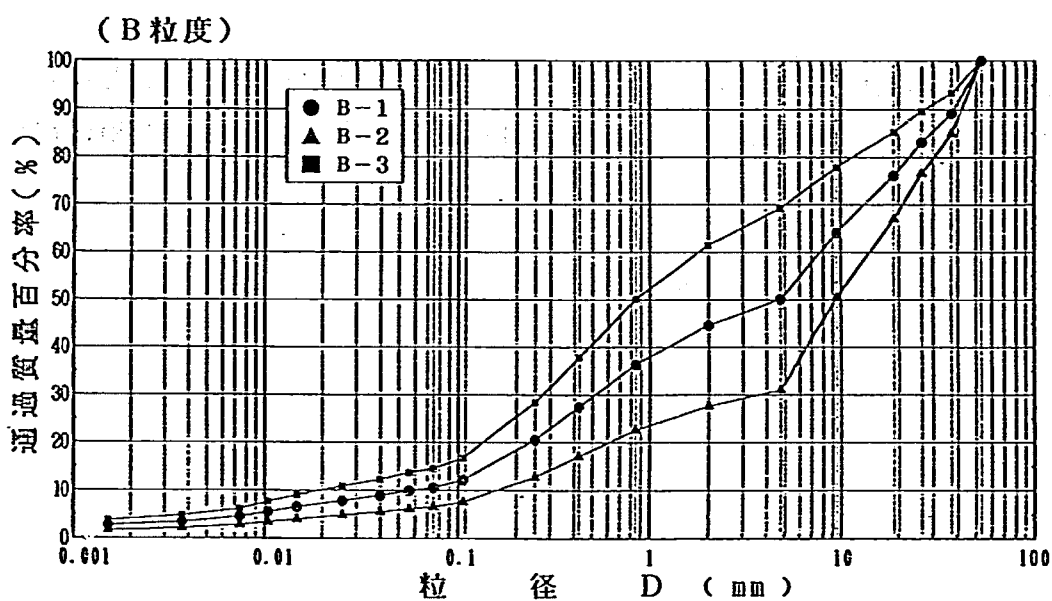
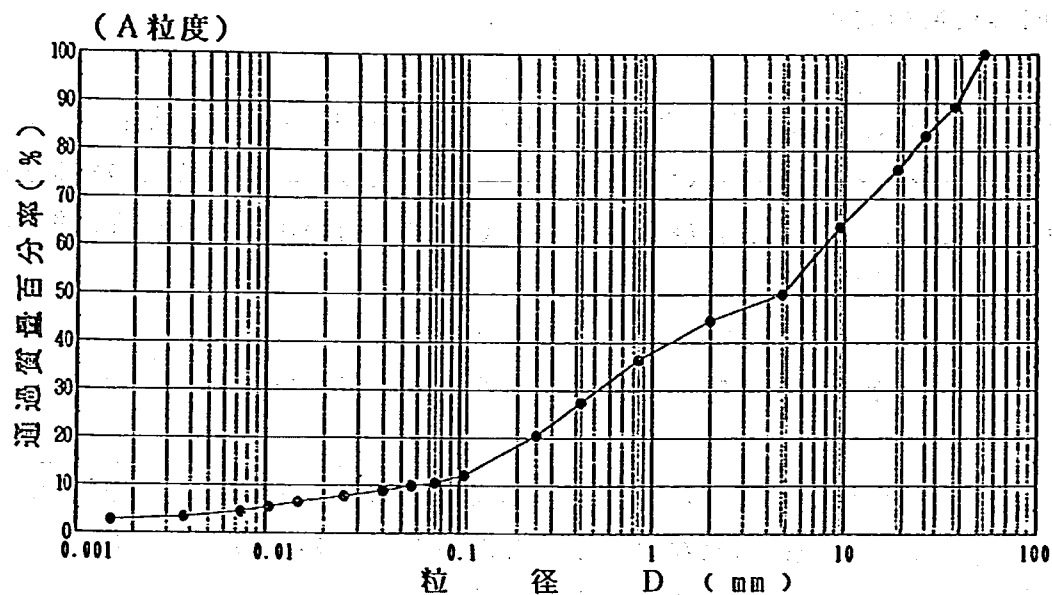


図-4.1 試験粒度

4.3 締固め密度の設定

供試体の密度については、予備検討のときと同様に簡易締固め試験を行い、その結果（表-4.3 および図-4.2）に基いて締固め時間を選定した。締固め用の電気ハンマーは大型のものを採用し、A粒度およびB粒度に対しては締固めエネルギー6水準の締固め時間を次のように設定した。

A, B粒度の締固め時間； $T = 1, 8, 15, 30, 60, 120$ （秒）

D50モールドを用いたC粒度では、最初の簡易締固め試験の結果、直径50cmの打撃板を用いるとあまり高い密度が得られないことが分かった。そのため、D30モールド用の打撃板（直径30cm）を用い、同一面内で打撃板の位置を4か所にかえて締固め、高い密度を確保した。

C粒度の締固め時間に関しては、締固めエネルギーが2水準であることから両者の密度巾を大きくすること、又、高密度領域をA、B粒度の場合と合わせるために次の値を採用した。

C粒度の締固め時間； $T = 8, 120$ （秒）

表-4.3 簡易締固め試験結果 (大型電気ハンマーによる)

着目因子	試験条件	全粒径含水比 $\omega(\%)$	項目	締 固 め 時 間 T (秒)							
				0	2	4	8	15	30	60	120
含水比 $\omega(\%)$	A_1 (乾燥)	6.6	湿潤	1.539	1.777	1.799	1.821	1.837	1.889	1.919	1.964
			乾燥	1.444	1.667	1.688	1.708	1.723	1.772	1.800	1.842
	A_2 (中位)	9.6	湿潤	1.506	1.813	1.868	1.932	1.992	2.056	2.112	2.145
			乾燥	1.374	1.654	1.704	1.763	1.823	1.876	1.927	1.957
	A_3 (湿潤)	12.6	湿潤	1.639	1.971	2.000	2.049	2.102	2.160	2.213	2.269
			乾燥	1.456	1.750	1.776	1.820	1.867	1.918	1.965	2.015
細粒分 含有率 $f_c(\%)$	B_1 (30)	9.6	湿潤	1.496	1.834	1.892	1.971	2.027	2.098	2.158	2.209
			乾燥	1.365	1.673	1.726	1.798	1.849	1.914	1.969	2.016
	B_2 (50)	7.6	湿潤	1.643	1.809	1.839	1.882	1.928	1.965	2.022	2.067
			乾燥	1.527	1.681	1.709	1.749	1.792	1.826	1.879	1.921
	B_3 (70)	11.7	湿潤	1.355	1.766	1.819	1.880	1.954	2.016	2.064	2.126
			乾燥	1.213	1.581	1.628	1.683	1.749	1.805	1.848	1.903
最大粒径 d_{max} (mm)	C_1 (100)	9.4	湿潤	1.455	1.794	1.844	1.895	1.944	1.993	2.016	2.048
			乾燥	1.330	1.639	1.686	1.732	1.777	1.821	1.842	1.871
	C_2 (53)	9.6	湿潤	1.445	1.774	1.818	1.883	1.932	1.999	2.026	2.117
			乾燥	1.318	1.618	1.658	1.718	1.762	1.823	1.873	1.931
	C_3 (37.5)	9.9	湿潤	1.394	1.737	1.782	1.824	1.880	1.936	1.944	2.031
			乾燥	1.268	1.581	1.621	1.660	1.711	1.762	1.796	1.848
	C_4 (19.0)	10.3	湿潤	1.385	1.782	1.813	1.855	1.898	1.932	1.966	2.016
			乾燥	1.255	1.616	1.644	1.682	1.721	1.752	1.782	1.827

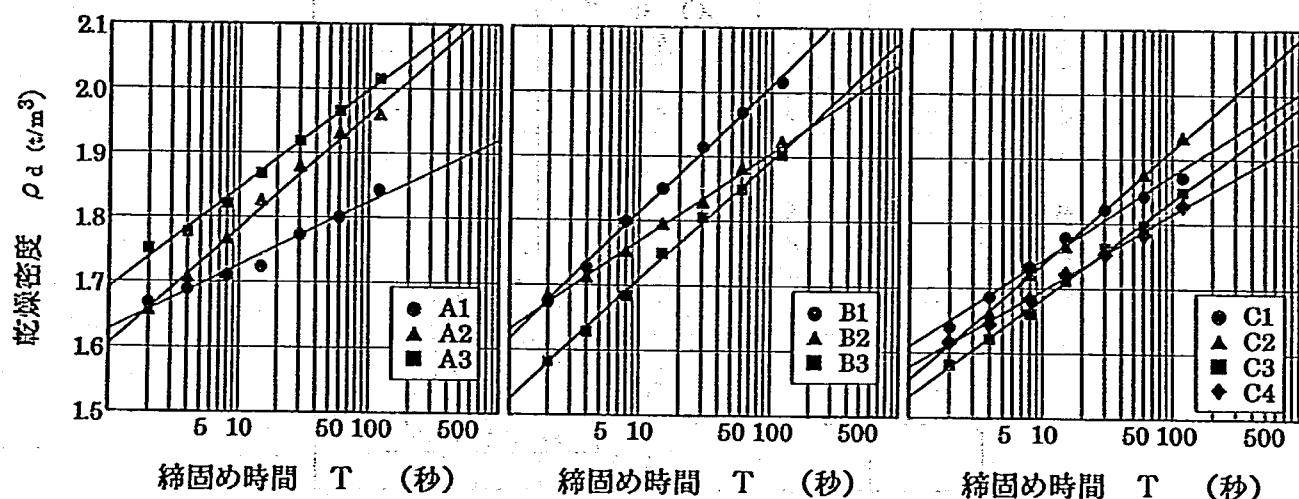


図-4.2 締固め時間と乾燥密度の関係

4.4 透水試験結果

大型透水試験の結果をまとめて表-4.4 に示す。以下では主として定水位法の試験結果に基づいて、着目因子ごとに試験結果を整理する。――

4.4.1 含水比の影響

A粒度の試験結果を間隙比と透水係数の関係でまとめると図-4.3 のようになる。全てのデータは間隙比と透水係数の関係において一定のばらつきの幅の中に分布しており、締固め時の含水比の違いによる透水係数の差異は認められない。すなわち、含水比の違いは締固め後の密度と高い相関関係にあり、図-4.3の結果から透水係数は間隙比によって変化していると理解されるので、含水比そのものの透水係数に及ぼす影響は事実上無視してよいと考えられる。したがって、岩石質材料の場合はコア材のような土質材料にみられるプロクターの締固め透水特性を示さず、透水性は同一粒度であれば主として間隙の大きさによって決まると考えてよいようである。いいかえれば、粒度が同じであれば岩石質材料の締固め後の透水構造は含水比によって変わることはないという結論になる。

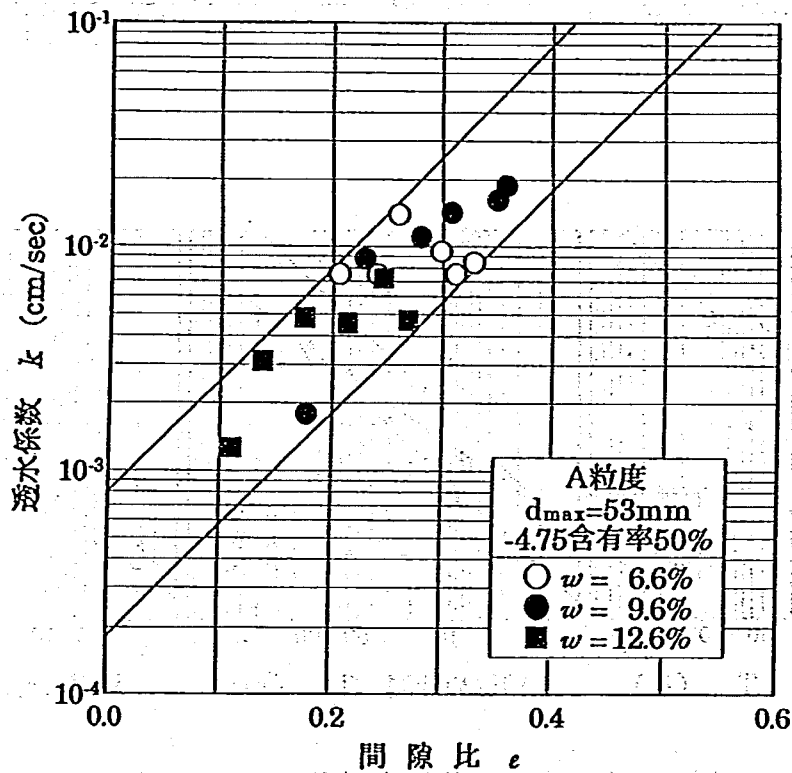


図-4.3 間隙比と透水位係数の関係

表-4.4 透水試験結果

試験因子	含水比 $\omega(\%)$	持固め時間	供試体物性値 (試験前)				透水試験値	
		エネルギー (秒)	湿潤密度 $\rho_s(t/m^3)$	含水比 $\omega(\%)$	乾燥密度 $\rho_d(t/m^3)$	間隙比 e	変水位法 $k_{1s}(cm/S)$	定水位法 $k_{1s}(cm/S)$
含水比 (A粒度)	$\omega_1=6.6$	4	1.823	6.6	1.710	0.328	5.47×10^{-3}	8.46×10^{-3}
		8	1.846	6.6	1.732	0.311	4.84×10^{-3}	7.49×10^{-3}
		15	1.866	6.6	1.750	0.298	4.73×10^{-4}	9.48×10^{-3}
		30	1.923	6.6	1.804	0.259	6.20×10^{-3}	1.39×10^{-2}
		60	1.953	6.6	1.832	0.240	3.71×10^{-3}	7.45×10^{-3}
		120	2.008	6.6	1.884	0.205	3.25×10^{-3}	7.49×10^{-3}
	$\omega_2=9.6$	4	1.834	9.6	1.673	0.357	9.25×10^{-3}	1.88×10^{-2}
		8	1.845	9.6	1.683	0.349	8.76×10^{-3}	1.62×10^{-2}
		15	1.902	9.5	1.737	0.307	7.77×10^{-3}	1.42×10^{-2}
		30	1.945	9.6	1.775	0.279	7.00×10^{-3}	1.10×10^{-2}
		60	2.026	9.6	1.849	0.228	5.61×10^{-3}	8.81×10^{-3}
		120	2.113	9.5	1.930	0.177	1.26×10^{-4}	1.79×10^{-3}
	$\omega_3=12.6$	4	2.018	12.6	1.792	0.267	1.44×10^{-3}	4.70×10^{-3}
		8	2.053	12.5	1.825	0.244	2.52×10^{-3}	7.18×10^{-3}
		15	2.109	12.6	1.873	0.212	1.80×10^{-3}	4.55×10^{-3}
		30	2.178	12.6	1.934	0.174	1.56×10^{-3}	4.80×10^{-3}
		60	2.249	12.6	1.997	0.137	1.10×10^{-3}	3.08×10^{-3}
		120	2.282	11.6	2.045	0.111	3.67×10^{-4}	1.26×10^{-3}
細粒分 含有率 (B粒度)	B ₁ 中間粒度	4	1.848	9.6	1.686	0.347	1.78×10^{-3}	1.67×10^{-2}
		8	1.873	9.6	1.709	0.329	9.09×10^{-3}	1.64×10^{-2}
		15	1.941	9.6	1.771	0.282	3.74×10^{-3}	9.35×10^{-3}
		30	1.976	9.6	1.803	0.260	8.26×10^{-3}	1.49×10^{-2}
		60	2.058	9.6	1.878	0.209	1.92×10^{-3}	5.39×10^{-3}
		120	2.168	9.6	1.978	0.148	5.02×10^{-3}	6.12×10^{-4}
	B ₂ 粗粒度	4	1.842	7.6	1.712	0.331	8.33×10^{-3}	1.49×10^{-2}
		8	1.908	7.6	1.773	0.285	4.72×10^{-3}	7.09×10^{-3}
		15	1.932	7.6	1.796	0.269	8.08×10^{-3}	1.47×10^{-2}
		30	2.046	7.6	1.901	0.199	5.33×10^{-3}	1.05×10^{-2}
		60	2.077	7.6	1.930	0.181	6.49×10^{-3}	1.13×10^{-2}
		120	2.137	7.6	1.986	0.148	3.29×10^{-3}	6.75×10^{-3}
	B ₃ 細粒度	4	1.819	11.7	1.628	0.390	4.61×10^{-3}	7.83×10^{-3}
		8	1.848	11.7	1.654	0.368	3.63×10^{-3}	6.19×10^{-3}
		15	1.941	11.7	1.738	0.302	4.28×10^{-3}	6.54×10^{-3}
		30	1.961	11.7	1.756	0.289	2.77×10^{-4}	4.79×10^{-3}
		60	2.120	11.7	1.898	0.192	1.75×10^{-4}	3.40×10^{-3}
		120	2.171	11.7	1.944	0.164	2.80×10^{-4}	9.50×10^{-4}
最大粒径 (C粒度)	C ₁ $d_{max}=100$	8	1.985	9.9	1.806	0.257	5.34×10^{-3}	1.27×10^{-2}
		120	2.170	10.0	1.973	0.151	5.90×10^{-4}	2.42×10^{-4}
	C ₂ $d_{max}=53.0$	8	1.941	10.2	1.761	0.290	4.56×10^{-3}	1.02×10^{-2}
		120	2.143	10.2	1.945	0.168	6.05×10^{-4}	3.19×10^{-4}
	C ₃ $d_{max}=37.5$	8	1.957	10.7	1.768	0.279	4.77×10^{-3}	9.39×10^{-3}
		120	2.084	10.7	1.893	0.201	4.05×10^{-4}	8.08×10^{-4}
	C ₄ $d_{max}=19.0$	8	1.926	11.4	1.729	0.307	5.48×10^{-3}	1.44×10^{-2}
		120	2.109	11.4	1.893	0.193	1.21×10^{-4}	1.07×10^{-3}

4.4.2 4.75mm以下の含有率の影響

B粒度の透水試験結果を先の予備検討の試験結果と合わせて図-4.4に示す。図に示されているように、細粒分含有率と透水係数の関係において、B粒度の試験結果は、予備試験の結果とかなり異なる傾向を示している。即ち、予備検討の結果では細粒分含有率によって透水係数が大きく変化しているのに対して、B粒度群の結果にはそれほど敏感な影響が現れていない。B₁粒度は、予備試験のせん頭粒度のグループに属しているので、透水係数の分布域もほぼ重なっている。一方、B₂粒度とB₃粒度は粒度分布の形状そのものが予備検討のせん頭粒度と異なっており、これが細粒分含有率の影響のしかたに異なる傾向をもたらした原因と考えられる。いかえれば、図-4.4の結果は細粒分含有率が同じであっても粒度分布の形が異なれば、透水性を支配する間隙の構造にも影響することを示す結果であるといえる。このことは細粒分含有率などの単一の粒度パラメータから透水係数に与える影響を予測することは一般にはできず、透水係数に対する材料要因の影響は、例えばせん頭粒度や相似粒度などの条件を設けた粒度群のなかでしか評価できないということの意味している。

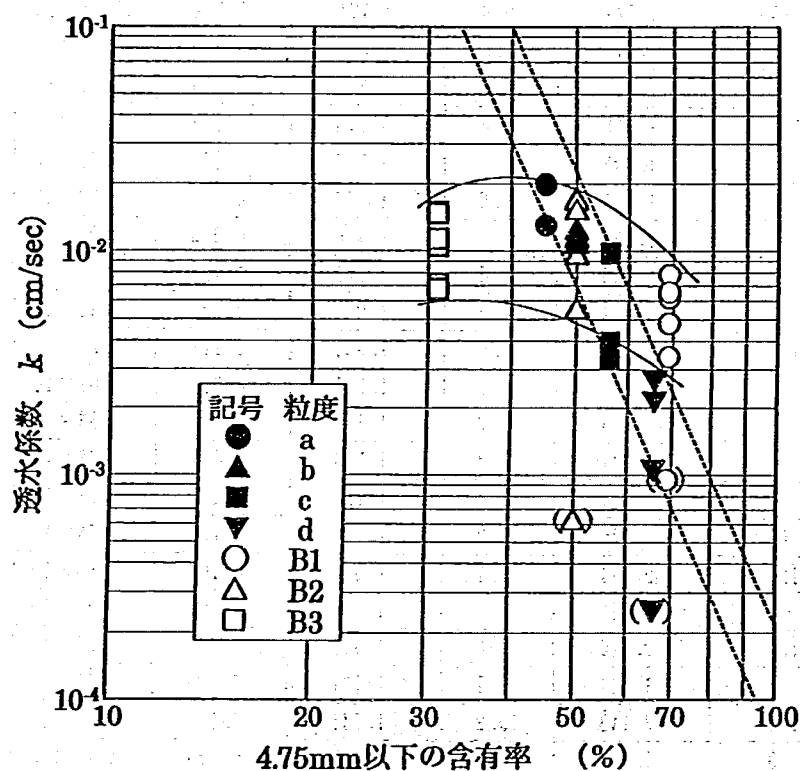


図-4.4 4.75mm以下の含有率と透水係数の関係

4.4.3 最大粒径の影響

図-4.5 はC粒度の試験結果を間隙比と透水係数の関係にまとめたものである。間隙比が小さい場合には、最大粒径によって透水係数が多少変化する傾向を示唆する結果となっている。変水位試験によると最大粒径が最も大きい $d_{max}=100\text{mm}$ のケース(C_1)で最も透水係数が大きく、最大粒径が最も小さい $d_{max}=19\text{mm}$ のケース(C_4)で透水係数が最も小さくなっている。しかしこれらの中間にある $d_{max}=53\text{mm}$ のケース(C_2)と $d_{max}=37.5\text{mm}$ のケース(C_3)では後者の方で透水係数が大きくなっており、透水係数の大小関係は必ずしも最大粒径の順序と合っていない。一方、定水位試験の結果では、変水位試験と異なり、最大粒径の小さい順に透水係数は大きくなっている。

変水位、定水位いずれの場合も、すべての粒度において透水係数は間隙比によって大きく変化している。このように細粒分含有率が同じであって粗粒分の粒度が異なる場合、最大粒径の違いが透水係数に影響しないとは断定できないが、最大粒径の影響は締固め密度(間隙比)の影響に比べると相対的にかなり小さいと考えてよいようである。

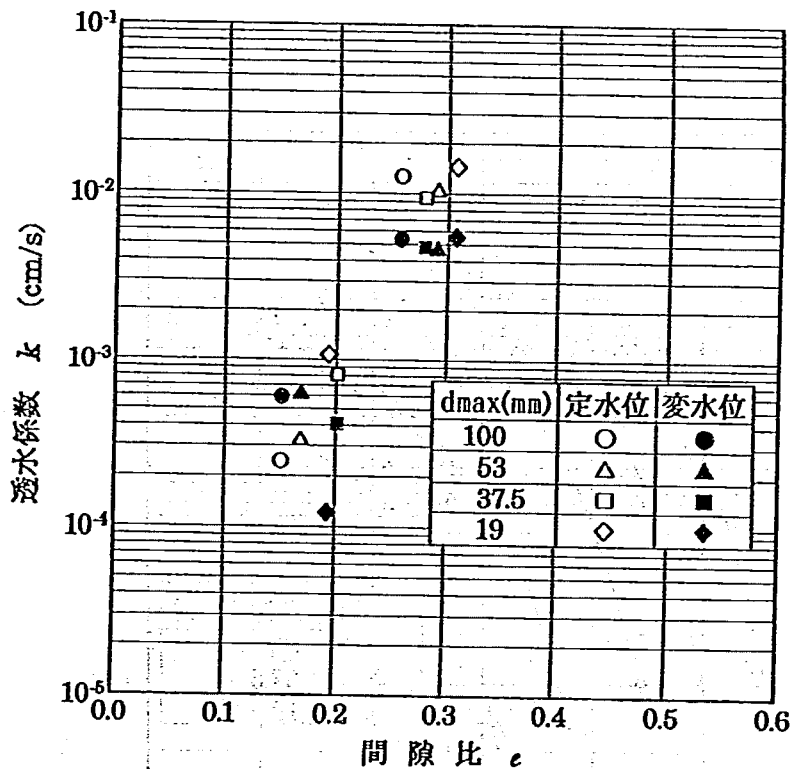


図-4.5 間隙比と透水係数の関係

4.4.4 締固め密度の影響

試験データの数が多いD30モールドの試験結果（ただし、A粒度とB-1粒度以外は粒度分布の形状が異なるため除いている）と予備検討の最大粒径63mm以下のせん頭粒度の結果を総合して図-4.6に示す。この図には一部に別途行ったせん頭粒度の補足試験結果もあわせてプロットされている（ d_{max} 4.75mmの5点、 d_{max} 19mmの4点、 d_{max} 37.5mmと63mmの各1点）。最大粒径63mmと53mmおよび19mmと4.75mmのケースはそれぞれ一括して同じ記号でプロットした。透水係数と間隙比の関係は最大粒径のグループごとに、同じパターンを示していることが分かる。即ち、せん頭粒度グループの中ではいずれのケースでも、ある間隙比以下になると透水係数は急激に低下する傾向が共通してみられる。しかし、透水係数が急減する間隙比は最大粒径によって異なっている。予備検討では供試体の間隙比が0.3以上の領域で試験がなされていたため、透水係数の急変傾向がはっきりと現れず、結果的に透水係数と密度（間隙比）の関係は直線で表すことができた。しかし、更に高い密度領域のデータを含めて総合的に間隙比と透水係数の関係を評価すると、今回試験を行った泥流堆積物の場合、透水係数（の対数）と密度の関係は線形ではないことが示された。このような材料を透水ゾーンに使用するときには、せん断強度の面から締固め密度を大きくとりすぎると、排水性に問題を生ずる可能性が考えられるので注意が必要である。

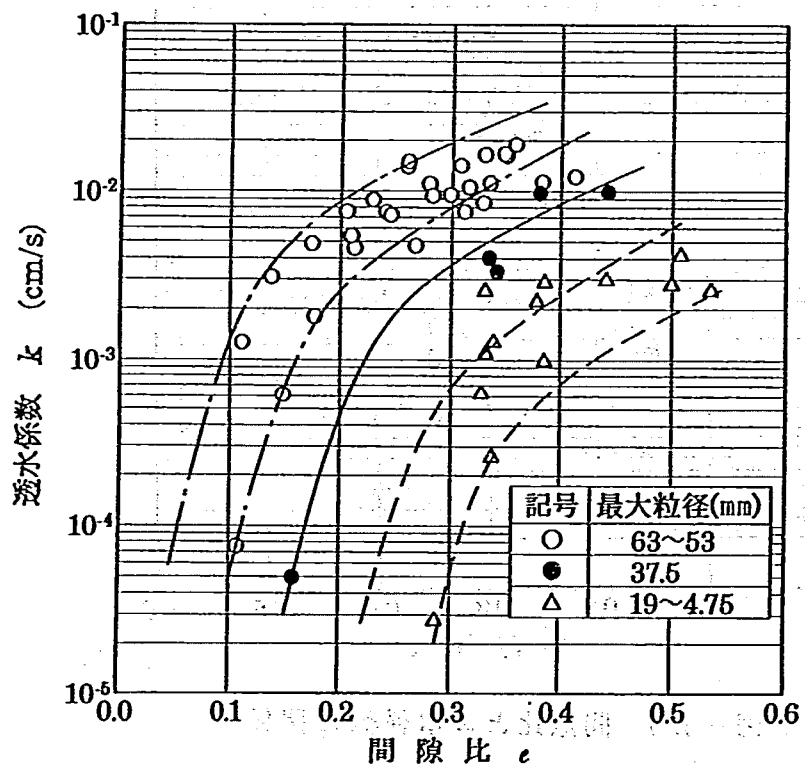


図-4.6 間隙比と透水係数との関係

4.4.5 まとめ

岩石質材料（泥流堆積物）の粒度分布の形状をかえて行った今回の透水試験結果から明らかになったことを以下に要約する。

（１）含水比の影響

岩石質材料の透水性に対する含水比の影響は、締固め密度の場合に比べると小さい。すなわち含水比の違いが密度の値に反映し、密度が変わることによって透水係数が変化すると考えられるのに対して、含水比そのものが透水係数に及ぼす影響は岩石質材料ではほとんどないと考えられる。これらの傾向は、土質材料の場合ときわだって性質が異なっており、岩石質材料（泥流堆積物）は透水性の面からは砂礫に近い材料と言える。

（２）細粒分（4.75mm以下）含有率の影響

せん頭粒度の場合においては、細粒分含有率は透水係数に影響しており、細粒分含有率が高いほど透水係数は小さくなる。ただし、先頭粒度と粒度分布の形状が異なると、上記の傾向が言えなくなり、細粒度含有率という単一のパラメータで粒度の影響を代表させることは難しいと言える。

（３）最大粒径の影響

4.75mm以下の細粒分含有率が同じであるとき、最大粒径が小さくなると、透水係数が若干低下する傾向もみられたが、最大粒径と透水係数の関係は単純ではない。締固め密度の場合には最大粒径の影響を受けることがわかっているが、透水係数の場合にはその影響度は小さいようである。

（４）締固め密度の影響

砂や砂礫では、従来から、主として透水係数は間隙比の大きさに支配されると言われており、今回の泥流堆積物でもこの傾向が見られたが、透水係数($\log k$)と間隙比の関係は線形ではなく、間隙比がある値以下になると透水係数が急減する傾向が認められた。

5 今後の課題

今回の試験において、室内試験に使用するモールド径の大きさに関して、データ数が少ないことから明確な結論を出すまでには至らなかった。ただし、室内試験では直径50cmまではそれほどの困難もなく試験が可能であることがわかった。直径50cmモールドを実務上許容できる試験限界と考えて、モールドの直径と最大粒径の比が透水係数にどのように影響する今後、実験的な研究を継続する必要がある。

また、現場透水係数を縮小材料を用いた室内試験から予測する手法としては、粒度、密度、最大粒径の要因が透水係数に影響していると考えられることから、これらの要因を介して推定できると考えられる。しかしながら、今回の試験からはこれらの要因が、どの程度影響しているか定量的に表現することはできなかった。このため、さらに要因分析等をおこない、現場透水係数の推定方法を検討する必要がある。さらには、室内試験だけでなく、現場盛立試験や実施工の品質管理試験データを通じて検証していく必要があると考えられる。

謝辞

本試験を実施するにあたり、長野県上田建設事務所に材料を提供して頂きありがとうございました。ここに感謝いたします。

岩石質材料（泥流堆積物）の透水特性
に関する実験的検討

ISSN 0386-5857
土木研究所資料第3336号
平成7年1月（1995）

フィルダム研究室 室 長 中村 昭
主任研究員 豊田光雄
山本裕之

要 旨

本報告は、フィル材料の有効利用を図るために、岩石質材料（泥流堆積物）を用いた室内の透水試験を行い、材料の最大粒径、粒度分布、締固め度等の要因が透水係数に与える影響について分析した内容を取りまとめたものである。

キーワード：岩石質材料、泥流堆積物、透水試験、フィルダム



郵便はがき

50円切手
をはって
下さい。

305□□

建設省土木研究所 行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 003

No. 003

配布先氏名

配布先住所



○

土木研究所資料 第3336号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○