

土 木 研 究 所 資 料

低塑性築堤材料のパイピング抵抗性

平成 2 年12月

建 設 省 土 木 研 究 所
ダム部フィルダム研究室

「Copyright © (1990) 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、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

低塑性築堤材料のパイピング抵抗性

フィルダム研究室 室長 松本 徳久
研究員 山口 嘉一

要 旨

低塑性の土質材料の遮水材料としての利用可能性を、パイピング抵抗性の観点から検討した。具体的には、突固め供試体を作製し、それに対してパイピング試験を実施し、供試体の限界動水勾配を求め、以下の点について考察した。

- 1) 透水係数をパラメータに、他ダムの土質材料と比較してパイピング抵抗性の指標である限界動水勾配がどの程度の大きさであるか。
- 2) 長期透水にともなって、パイピング抵抗性の低下があるか。
- 3) パイピング抵抗性に、突固めにともなう異方性が存在するか。

キーワード：フィルダム、土質材料、パイピング試験、低塑性材料、異方性

ま え が き

フィルダムは、ダム建設予定地付近にある自然の材料を利用して堤体を築造することがその一つの特徴である。ただし、近年の我が国においては、ダム建設予定地付近に、必ずしも良質な材料ばかりが存在するとは限らず、場合によっては経済性の観点から、従来よりもやや品質の落ちる材料を利用しなければならないことが多くなっている。

フィルダムの堤体構成材料には、ロック材となる粗粒材、コア材となる土質材料などがあるが、本資料の中ではフィルダムの土質材料を例にとり、低塑性の材料がこの土質材料として適しているか否かを、パイピング抵抗性の観点から検討している。

目 次

まえがき

1. はじめに	1
2. 材料物性	2
3. 基本物性から推定したパイピング抵抗性	3
3.1 透水性とパイピング抵抗性の関係	3
3.2 塑性とパイピング抵抗性の関係	3
3.3 総合見解	4
4. 室内パイピング試験	5
4.1 概説	5
4.2 材料物性の確認	5
4.3 供試体の作製方法	7
4.4 供試体の飽和方法	8
4.5 試験手順	10
4.6 試験条件および数量	11
5. 試験結果	12
5.1 供試体諸元	12
5.2 段階圧載荷試験	13
5.2.1 流量および透水係数と動水勾配の関係	13
5.2.2 透水性	21
5.2.3 限界動水勾配	25
5.3 一定圧載荷試験	27
5.3.1 動水勾配5の場合	27
5.3.2 動水勾配10の場合	29
6. 考察	31
6.1 他材料のパイピング抵抗性	31
6.2 他材料との比較	34
6.3 土質材料としての適用性評価	34
7. まとめ	36
謝辞	38
参考文献	39

1. は じ め に

今回の研究の主目的は、低塑性材料をフィルダムの土質材料として使用可能か否かを、材料のパイピング抵抗性から判断することにある。

今回用いた試料は、ダムの導水路掘削にともない発生する新第三紀の細粒凝灰岩である。この材料に対する室内土質試験の結果によると、静的設計に必要な c 、 ϕ を与える密度やダムとしての所定の遮水性は十分得られている。しかし、盛立試験からは、かなりの過剰間隙水圧が発生したり、ダンプのトラフィカビリティが確保しにくいといった問題点があることがわかっている。

本報告では、トラフィカビリティや間隙水圧発生といった施工時の問題ではなく、浸透流に対するパイピング抵抗性の問題を室内試験により検討したものである。

2. 材 料 物 性

試料に対する室内土質試験結果を表-2.1に示す。この表から、この試料に対して以下のことがいえる。

- 1) 比重がやや小さく、火山灰の含有を思わせる。
- 2) 粒度的には、0.074mm以下の細粒分の含有がかなり多く、透水係数は十分小さい材料であると思われる。実際に、突固め、透水試験によれば、透水係数は通常ダムのコア材の値である $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ よりも小さい。
- 3) 液塑性限界試験結果より、本材料は塑性に乏しい土 (NP) であることがわかる。

表-2.1 室内土質試験結果

物 理 試 験	比 重		2.486
	自然含水比		21.1%
	粒 度	-4.76mm粒径	75.9%
		-0.42mm粒径	60.5%
		-74 μm 粒径	51.2%
		60%粒径	0.25mm
		10%粒径	3.6 μm
		均等係数	74.1
	コン シ ス テ ン シー	液性限界	35.2%
		塑性限界	NP
		塑性指数	NP
力 学 試 験	突固め仕事量		J I S, 1 E c
	最適含水比		19.7%
	最大乾燥密度		1.611 g/cm ³
	最小透水係数		$3.82 \times 10^{-7} \text{cm/s}$

注) ・上記の値は多くの試験結果の平均値である。
 ・力学試験は、-19.1mmの材料に対して実施した。

3. 基本物性から推定したパイピング抵抗性

3.1 透水性とパイピング抵抗性の関係

図-3.1に、シチャート (Sichart) ¹⁾ と中部電力²⁾ の提案している透水係数 k (cm/s) とパイピング抵抗性の指標である限界動水勾配 i_c の関係を示す。この関係によると、今回使用する試料のように、その透水性が $10^{-7} \sim 10^{-6}$ cm/s 程度と小さければ (表-2.1 参照), かなり大きいパイピング抵抗性 (限界動水勾配で数百以上) を有している可能性がある。

なお、一般に均一型のフィルダムを想定すると、湛水に伴い堤体内に発生する浸透流の動水勾配は1程度と小さい。

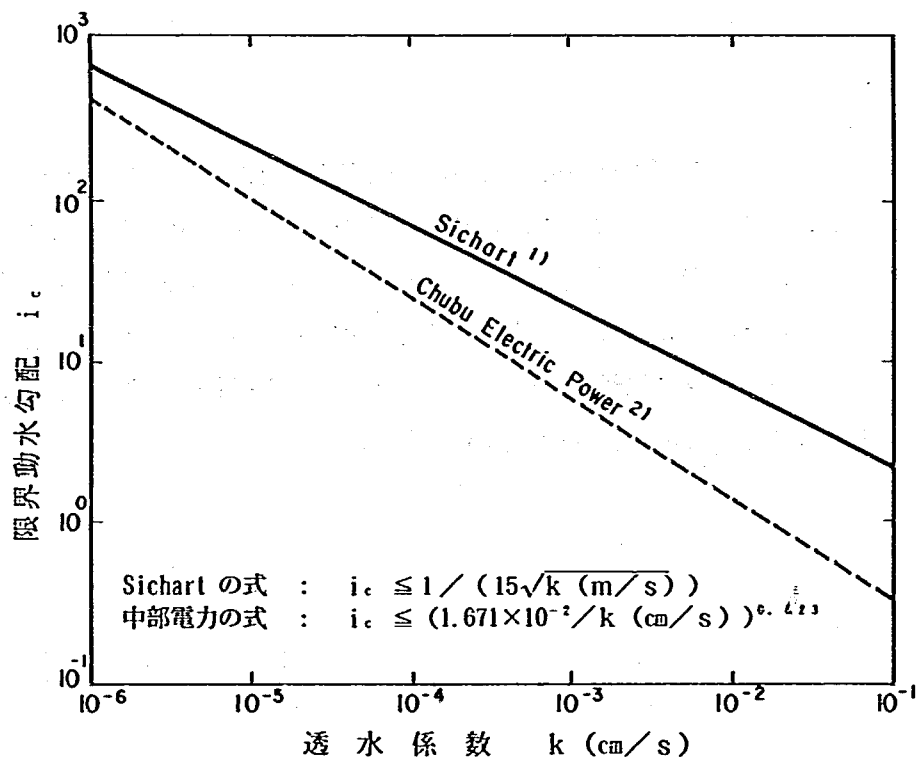


図-3.1 透水係数と限界動水勾配の関係

3.2 塑性とパイピング抵抗性の関係

シェラード (Sherard) ら³⁾ が提案している塑性指数 PI とパイピング抵抗性の関係を表-3.1に示す。この表より、今回使用する試料のように塑性の極端に乏しい材料 (NP) は、そのパイピング抵抗性がかなり小さい可能性がある。

表-3.1 アースダム堤体のパイピングに対する抵抗性と土性および施工法の関係について行なった観察結果に基づく概略の判定法（パイピング抵抗性の大きい順）¹⁾

抵抗性大	1. 塑性の大きな粘土 ($P.L. > 15$)。よく締固められたもの。
	2. 塑性の大きな粘土 ($P.L. > 15$)。締固め不十分なもの。
抵抗性中程度	3. 粒度分布の良好な粗い砂あるいは砂とれきの混合物に中程度の塑性を持った粘土バインダーを加えたもの ($P.L. > 6$)。よく締固められたもの。
	4. 粒度分布の良好な粗い砂あるいは砂とれきの混合物に中程度の塑性を持った粘土バインダーを加えたもの ($P.L. > 6$)。締固め不十分なもの。
	5. 粒度分布の良好な非粘着性のれき, 砂, シルトの混合物 ($P.L. < 6$)。よく締固められたもの。
抵抗性小	6. 粒度分布の良好な非粘着性のれき, 砂, シルトの混合物 ($P.L. < 6$)。締固め不十分なもの。
	7. 粒度の均等な非粘着性微砂 ($P.L. < 6$)。よく締固められたもの。
	8. 粒度の均等な非粘着性微砂 ($P.L. < 6$)。締固め不十分なもの。

3.3 総合見解

今回の試料は、そのパイピング抵抗性を透水性から推定するとかなり大きいと考えられたが、塑性指数から推定すると逆にかなり小さいと考えられた。この相反する推定が生ずる理由は、図-3.1が特定の土に対する実験であり、塑性指数をパラメータとしていないのに対して、表-3.1は、塑性指数をパラメータとした広い範囲の土に対する経験的総括であることによる。そこで、以下では、上記試料を用いて室内パイピング試験を実施し、そのパイピング抵抗性（限界動水勾配）の定量的把握とフィルダム土質材料としての適合性の検討を実施した。

4. 室内パイピング試験

4.1 概説

貯水用の土構造物（その代表的なものがフィルダムであるが）にあつては、堤体材料のうち遮水材料が浸透流に対して安定であることが重要な要件である。浸透破壊のうち、代表的なものが、パイピングと称せられるものである。これは、「浸透水の作用により土粒子が移動、浸出し、孔が徐々に上流側に進行し、遂には貯水池側と下流側が連絡し、大量の漏水を発生し、最悪の場合には破堤に至る」現象である。さて、このパイピングに対する抵抗性を把握する試験方法として、一定の確立された方法が存在するわけではない。それは、パイピング現象は、基礎に生ずるものを除き、堤体に生ずるものに限っても、①施工上の欠陥、②基礎と堤体の境界の浸透、③不等沈下や地震による亀裂、などの均一な材料とは異なる何らかの引き金となる原因とリンクしている場合が多いと考えられるからである。これらの引き金を想定した試験の代表はピンホールテスト¹⁾である。これは、供試体に予めピンホール（孔）を設けておき、その孔に通水し、浸透水に対する供試体の抵抗性を調べる試験である。もうひとつの方法は、本報告で採用したものであり、欠陥のない均質な供試体に通水し、材料のパイピングに対する抵抗性を調べるものである。本報告で後者の方法を採用したのは、前者の方法では、ピンホールのサイズなどの特性と現地の欠陥の対応がつけにくいという、今回は一般的な抵抗性を求めるのが目的であり、取り合えず均一単体材料のパイピング抵抗性を調べておけば、欠陥があるときの抵抗性もこれから類推できると考えたからである。

4.2 材料物性の確認

実際に試験に用いるために搬入した試料が、2章でその物性を示した試料と大きな差がないことを確認するために、再度室内土質試験を実施した。試験結果を表-4.1および図-4.1、4.2に示す。これらの図表と表-2.1より、今回のパイピング試験に用いる試料は、比重、コンシステンシー、粒度、突固め特性に関して前述材料と大きな差がないことがわかる。

なお、試験には、後述の供試体寸法の制限もあり、19.1mmのふるい目を通した試料を使用している。ただし、原粒度と19.1mmのふるい目通過粒度にはほとんど差がなく（19.1mm以下の含有率は95%）、今回の試験はほぼ堤体のパイピング特性を把握できる要素試験になると考える。

表-4.1 室内土質試験結果（搬入材料）

真 比 重 G_s			2.493
自 然 含 水 比 w_n (%)			22.6
コ テ ン シ ス ー	液性限界LL (%)		35.1
	塑性限界PL (%)		NP
	塑性指数PI		NP
粒 度 特 性	最大粒径 D_{max} (mm)		38.1
	礫 分 2 mm以上 (%)		28
	砂 分 0.074~2mm (%)		24
	シルト分0.005~0.074mm (%)		33
	粘土分0.005mm以下 (%)		15
	19.1mm以下含有率 (%)		95
	2.0mm以下含有率 (%)		72
	0.074mm以下含有率 (%)		48
突 固 め 特 性	試験条件	試験方法	JIS 1・3・C
		エネルギー	JIS 1 Ec
	最適含水比 w_{opt} (%)		18.6
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (t / m ³)		1.664

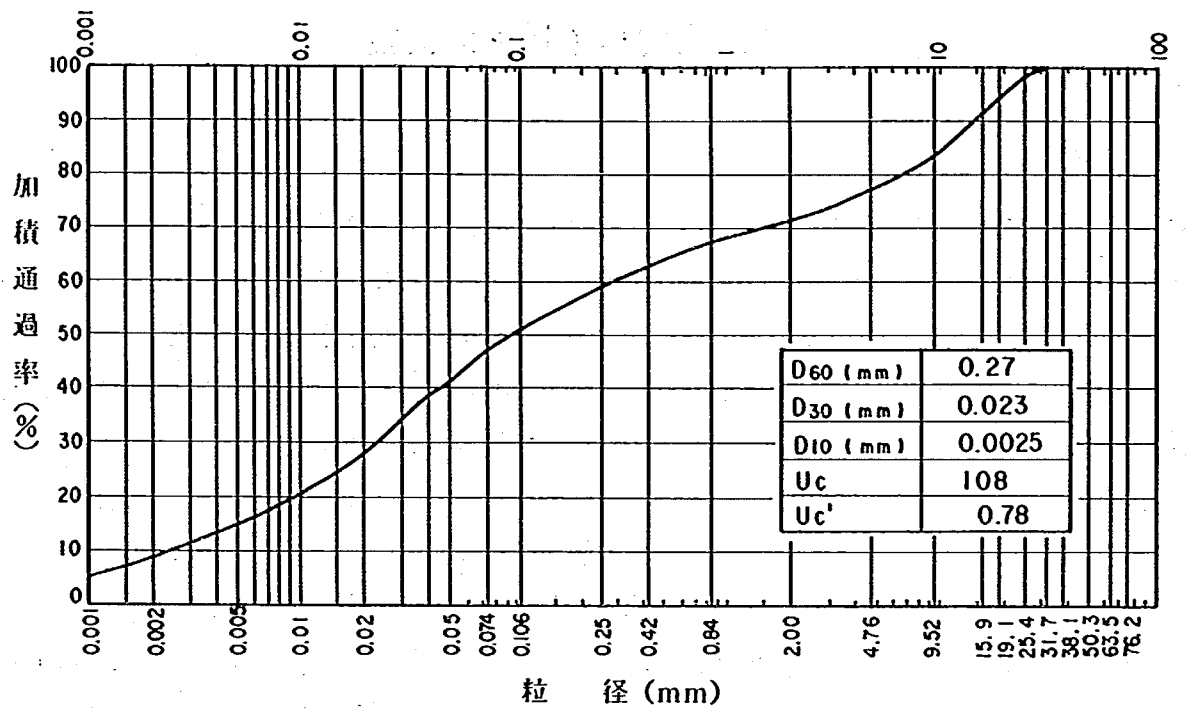


図-4.1 粒度分布曲線

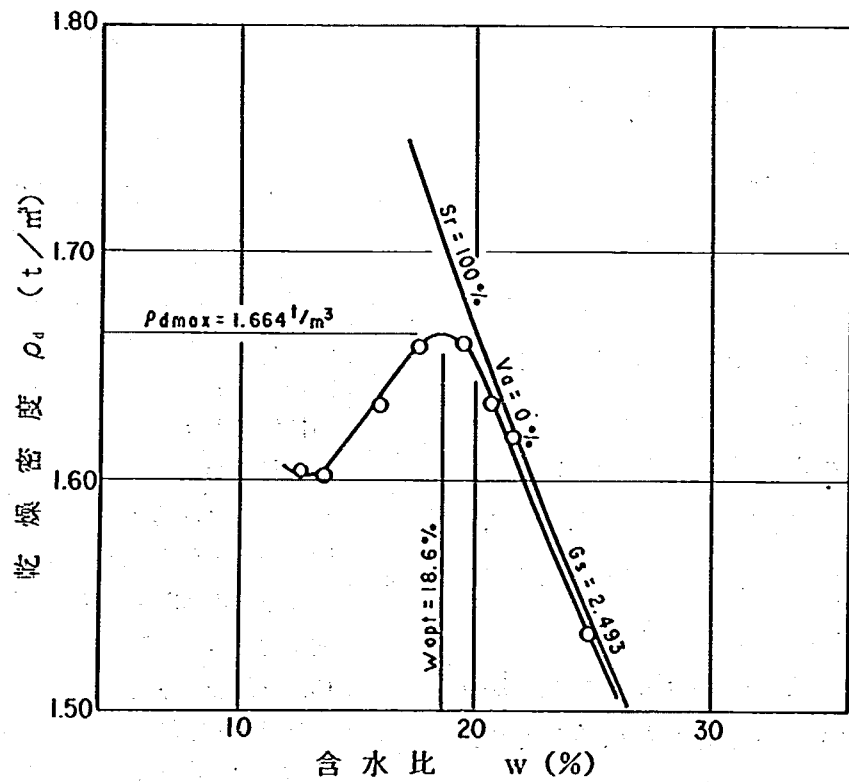


図-4.2 締固め曲線

4.3 供試体の作製方法

今回は、単に突固めて作製した供試体のパイピング抵抗性を把握することのほかに、突固めによる異方性が存在するか否かの検討も行うために、以下に示す2通りの方法で供試体を作製した。室内で突固めて作製された供試体やフィルダムのように層状に転圧されながら築造された土構造物の透水性に異方性が存在することは一般によく知られている²⁾が、パイピング抵抗性のそれについての研究はほとんど見当たらない。

(1) 供試体 I

まず、含水比調整試料を1Ecのエネルギーで内径100mm、高さ127mmの標準モールド内で締固めて供試体を作製する。締固め仕様は、JIS A 1210に従う。この供試体を標準モールド内から押し出し、内径150mmの亚克力樹脂製のモールド中央部に設置し、供試体とモールド内壁の空隙にはエポキシ樹脂系の接着剤を充填し、壁面付近の水密性を確保した(図-4.3参照)。なお、エポキシ樹脂系の接着剤は、非常に小さい収縮硬化特性を有しているため、空隙を一度にエポキシ樹脂系の接着剤で埋めることはせず、10層程度に分けて注入、硬化させることにより供試体外周付近の引張による強度低下を防止した。

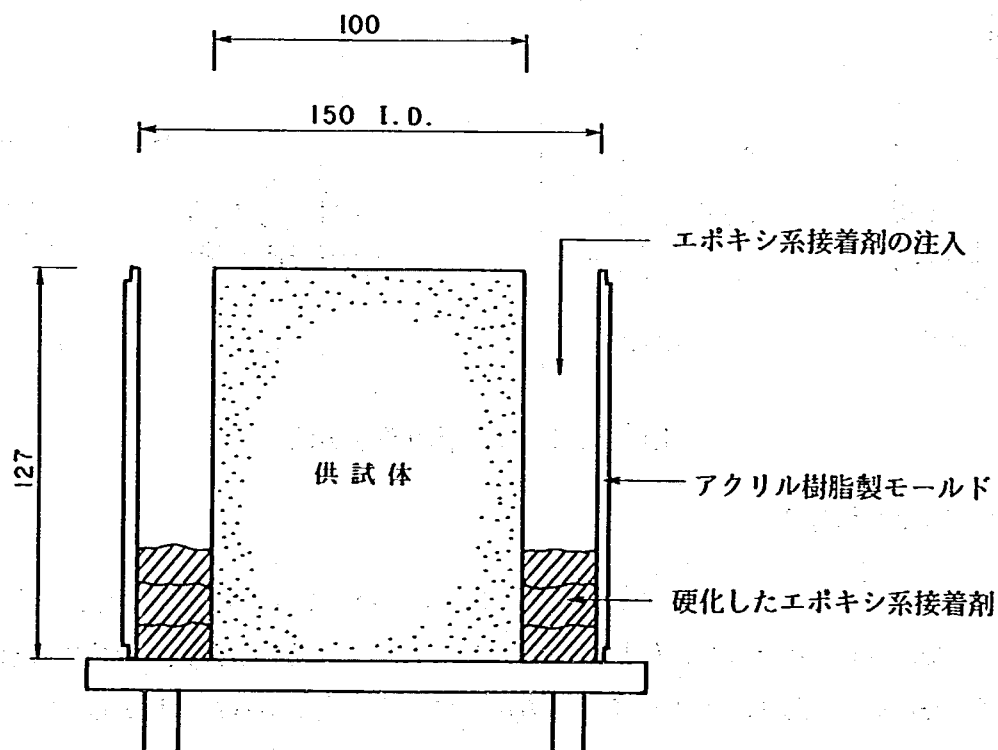


図-4.3 供試体側周面の止水方法

標準モールド内で締固めた供試体をそのままパイピング試験に供さなかったのは、モールド壁面との接触部分が水みちとなって供試体自体の破壊現象が発生する前に供試体がモールドから押し出され、試験を終了しなければならないと判断したからである²⁾。

本供試体は、供試体作製時の締固め方向とパイピング試験時の通水方向が一致する場合のパイピング抵抗性を把握するのに用いた。

(2) 供試体Ⅱ

これは、供試体作製時の締固め方向とパイピング試験時の通水方向が直交する場合のパイピング抵抗性を把握するための供試体である。この供試体は、以下の手順で作製した。

まず、内径300mm、高さ354mmの大型モールド内に締固め後の試料の押し出しを容易にするために外径300mm、内径298mm（肉厚1mm）の亚克力樹脂製円筒を設置した。含水比を調整した試料を、標準モールド内で1Ecのエネルギーで締固めた際に得られる湿潤密度（図-4.2参照）で16cm高分準備し、4層に分けて投入して1Ecのエネルギーで締固めた。実際に、供試体高は、目標の16cmにほぼ仕上がった。次に試料を大型モールドから押し出し、半割りモールドを利用して締固め方向に直交する方向と供試体の長手方向が一致する供試体（目標寸法、直径100mm、高さ127mm）を作製した（図-4.4参照）。これを内径150mmのモールド中央部に設置してからの処理は供試体Ⅰと同じである。

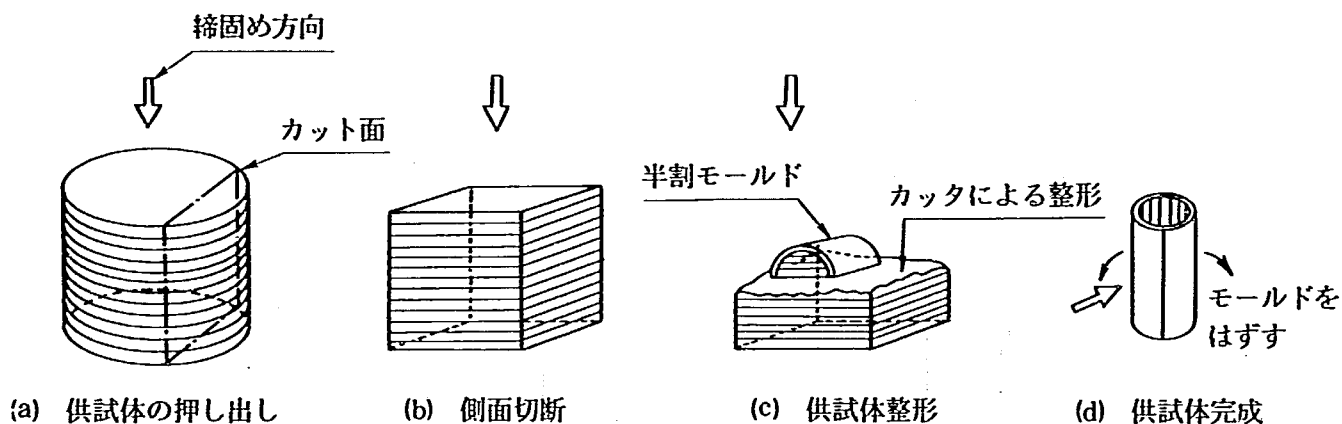


図-4.4 供試体Ⅱ作製方法

4.4 供試体の飽和方法

上記方法で作製した供試体Ⅰ、Ⅱに対して加圧通水してパイピング試験を実施する前に、供試体を飽和する。当初、供試体の飽和は、供試体を図-4.5に示すような水浸減圧容器内に水浸させた後、真空度調整器を用いて段階的に真空脱気する方法⁶⁾による予定であった。しかし、図-4.6に示すように非常に丁寧に段階的な脱気を実施したにもかかわらず、供試体内の残存空気が膨張し、大量漏水を発生させるような破壊や供試体上面の膨らみひび割れが確認された。そこで、図-4.7に示すように供試体底面から約50cmの水頭差（動水勾配で約4）をつけて脱気水を通水して、供試体内の空気を脱気水に溶解させることにより供試体を飽和する方法を採用することとした。供試体上面から水が浸出した時点を飽和完了時とみなす。なお、この方法によってもかなり高い飽和度が得られるとされている⁷⁾。

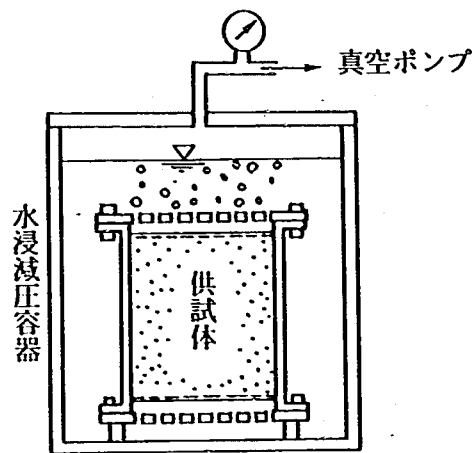
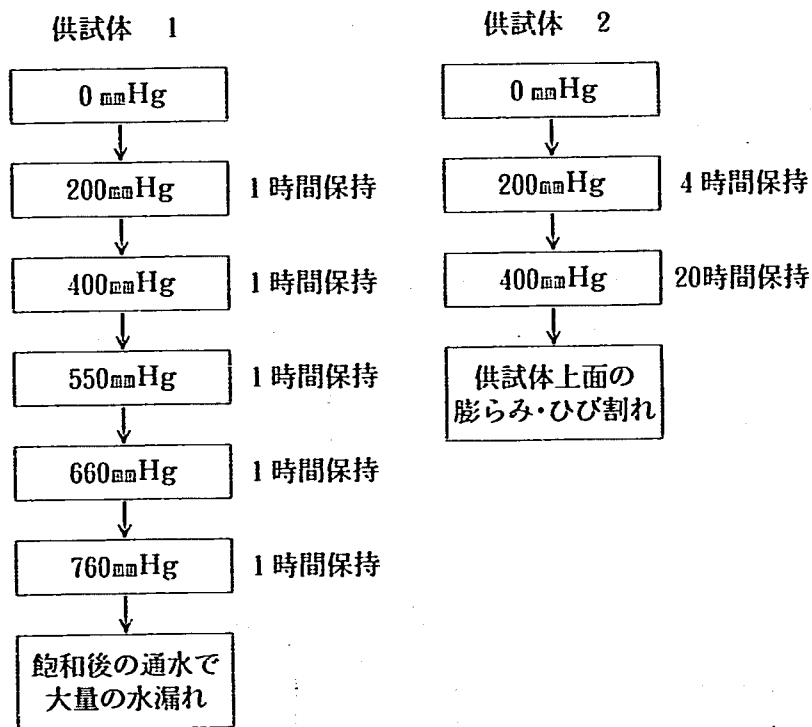


図-4.5 水浸減圧容器による飽和方法⁶⁾



飽和時に破壊が生じて
いたものと判定

供試体	含水比 (%)	湿潤密度(t/m ³)	乾燥密度(t/m ³)
1	21.6 ($w_{opt} + 3.0$)	1.881	1.547
2	21.5 ($w_{opt} + 2.9$)	1.921	1.580

$w_{opt} = 18.6\%$

図-4.6 水浸減圧法による真空飽和結果

4.5 試験手順

今回のパイピング試験は、従来から実施されているように、供試体に加える動水勾配を段階的に大きくして供試体を破壊する方法（以下、段階圧载荷試験と呼ぶ）のほかに、今回の試料を堤体材料として使用しようと考えているダムにおいて湛水時に発生する最大の動水勾配よりも大きい一定の動水勾配を長時間加える方法（以下、一定圧载荷試験と呼ぶ）でも実施した。以下にこの2種類の試験方法を具体的に説明する。

(1) 段階圧载荷試験

作製した供試体を図-4.8に示す装置に連結し、段階的に動水勾配を载荷していく。原則として、第1段階の動水勾配は1で、その後2ずつ増加していくこととした。動水勾配5までは加圧タンク内水位と供試体上面水位の水位差を利用し、その以上の動水勾配は空圧により载荷した。なお、配管内の水頭損失を考慮し、極力供試体近傍で圧力を測定して、動水勾配を設定することにした。

今回の供試体の透水係数が小さいため、試験水として脱気水を使用するとともに、1動水勾配段階は1日24時間継続し、その最終の1時間で通水量を測定し、透水係数を求めた。また、流量測定水の濁りや供試体の変状等は目視により観察し、パイピング発生認定の基礎資料とした。

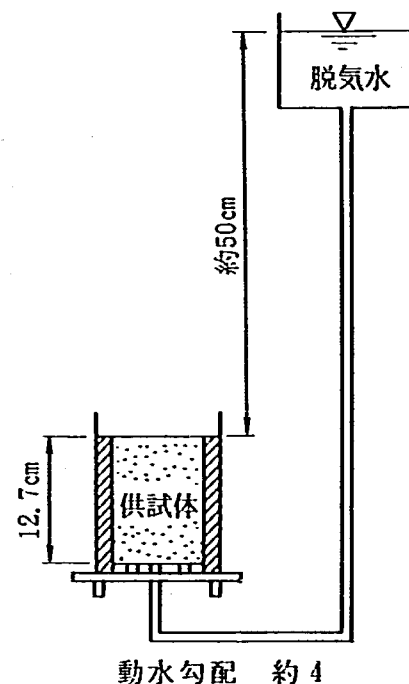


図-4.7 水頭差法による供試体飽和

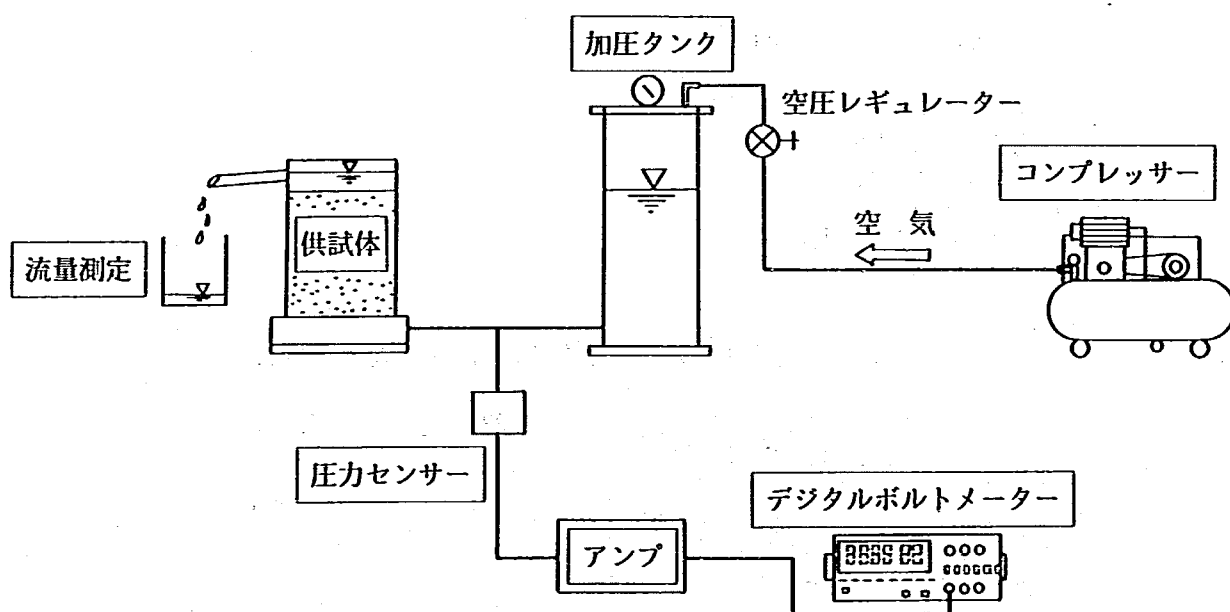


図-4.8 試験設備構成図

(2) 一定圧載荷試験

一般に均一型フィルダムにおいては、湛水時に発生する平均動水勾配はおよそ1程度と考えてよい。そこでここでは、この値に余裕をもたせて、タンク内水位と供試体上面水位との水位差により、一定の動水勾配5, 10を与えて約3ヶ月間の長期間通水(脱気水)を実施し、流量変化(原則として1～2日に1回1時間の流量測定による)、供試体変状等を観測した。

上記の両試験とも、原則として浸透破壊が発生した供試体に対しては色素(ローダミン)水を流し、その後供試体を切断することにより、破壊発生箇所の認定および観察を実施した。

4.6 試験条件および数量

前述のとおり、供試体作製時の締固め方向とパイピング試験時の通水方向の関係から2種類の供試体を作製する。締固め方向と通水方向が一致する試験をケースV、直交する試験をケースHとする。なお、締固め時の試料含水比は、最適含水比 w_{opt} (=18.6%)と $w_{opt} \pm 3\%$ の3種類とした。両ケースの3含水比でそれぞれ2～3本の供試体を作製し、段階圧載荷試験を実施した。

一方、一定圧載荷試験は、ケースVのみについて実施した。設定動水勾配は5, 10の2種類とし、実施工において考えられる w_{opt} と $w_{opt} + 3\%$ の2含水比の供試体(各1～2本)に対して試験を実施した。

試験条件と数量を表-4.2にまとめておく。

表-4.2 試験条件および数量

圧力 載荷法	供試体 作製法	目標含水比 (%)	供試体 本数
段階 圧載荷試験	V	$w_{opt} - 3$	各2～3本
		w_{opt}	
		$w_{opt} + 3$	
	H	$w_{opt} - 3$	
		w_{opt}	
		$w_{opt} + 3$	
一定 圧載荷試験	V	w_{opt}	動水勾配 5, 10で 各1～2本
		$w_{opt} + 3$	

V: 締固め, 通水方向が一致

H: 締固め, 通水方向が直交

$w_{opt}=18.6\%$

5. 試 験 結 果

5.1 供試体諸元

室内パイピング試験用に作製した供試体の諸元を表－5.1にまとめて示す。この表に示した供試体の締固め含水比 w と乾燥密度 ρ_d の関係を図－5.1に示す。図中の曲線は、本試料に対して実施した締固め試験より得られたものである（図－4.2参照）。今回作製した供試体のうち締固め、通水方向が一致しているもの（ケースV）については、その乾燥密度は締固め曲線よりやや小さくはあるが、ほぼ一致しているといえる。なお、供試体の体積は、供試体をモールドから押し出した後、ノギス法により寸法を測定して算出している。一方、締固め、通水方向が直交する供試体（ケースH）の乾燥密度は、締固め曲線や締固め、通水方向が一致する供試体の乾燥密度に比べるとかなり小さい。これは、図－4.4に示す手順で、半割モールドを使用して供試体を整形すると、供試体周面部の礫は除去せざるを得ないにもかかわらず、ノギス法による体積算定では礫除去による陥没を考慮できないことによる（図－5.2参照）。ただ、本供試体を作製するに際しては、前述のとおり締固め試験結果を参照に目標密度を設定し、ほぼ目標通りに仕上がっている。よって、締固め、通水方向が直交

表－5.1 供試体諸元

供試体 番号	圧力 載荷法	供試体 作製法	目標含水比 (%)	含水比 (%)	湿潤密度 (t/m ³)	乾燥密度 (t/m ³)
1	段階 圧 載 荷 試 験	V	$w_{opt} - 3$	16.0	1.846	1.591
2				16.0	1.853	1.598
3			w_{opt}	18.8	1.882	1.585
4				18.5	1.936	1.634
5				18.6	1.909	1.609
6			$w_{opt} + 3$	22.9	1.910	1.554
7				22.0	1.934	1.586
8				21.5	1.938	1.595
9		H	$w_{opt} - 3$	15.2	1.622	1.407
10				15.4	1.674	1.451
11			w_{opt}	18.3	1.839	1.555
12				18.2	1.864	1.577
13			$w_{opt} + 3$	21.3	1.827	1.506
14				22.0	1.827	1.498
15	一定 圧 載 荷 試 験	V	w_{opt}	18.9	1.946	1.636
16				21.5	1.945	1.600
17			$w_{opt} + 3$	21.7	1.935	1.590
18				18.6	1.935	1.632
19			w_{opt}	19.0	1.911	1.606
20				21.3	1.943	1.602
21				22.0	1.937	1.588

V：締固め、通水方向が一致

H：締固め、通水方向が直交

$w_{opt} = 18.6\%$

する供試体は、形状に不陸があるものの、締固め、通水方向が一致する供試体とほぼ同様の乾燥密度に仕上がっていると考える。

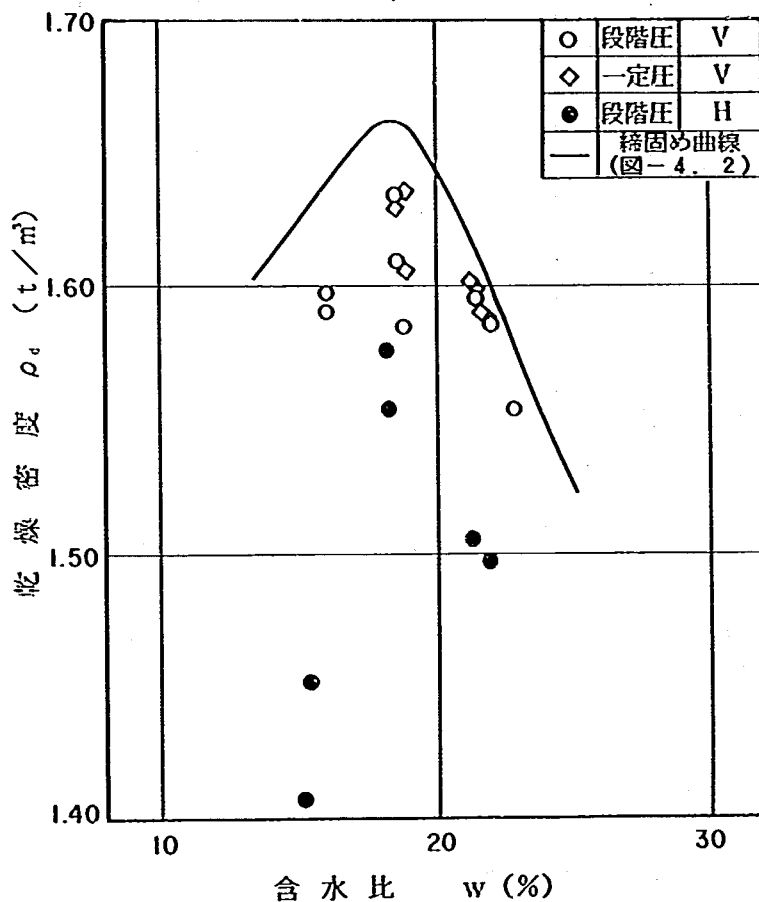


図-5.1 供試体の乾燥密度と含水比の関係

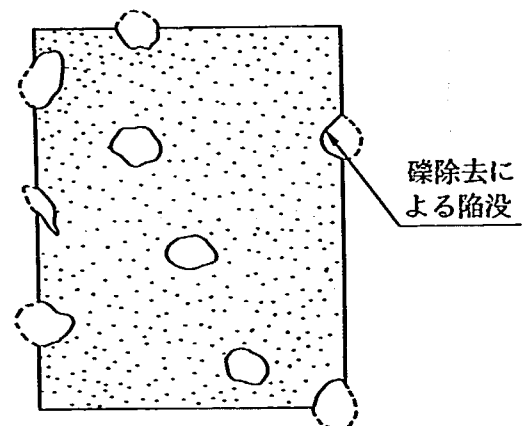
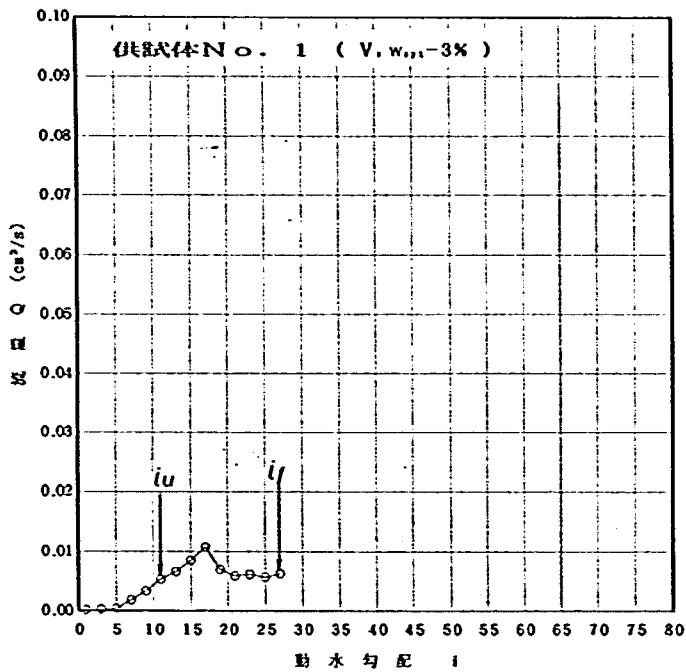


図-5.2 ケースHの供試体

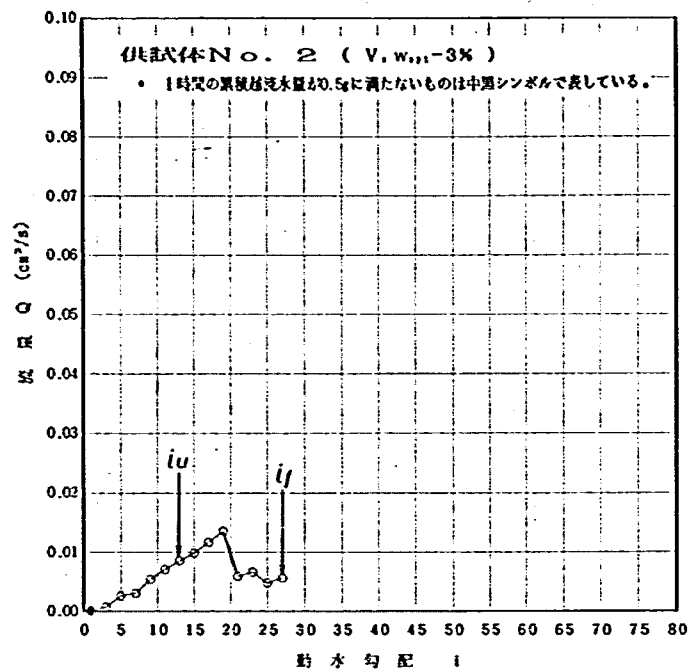
5.2 段階圧载荷試験

5.2.1 流量および透水係数と動水勾配の関係

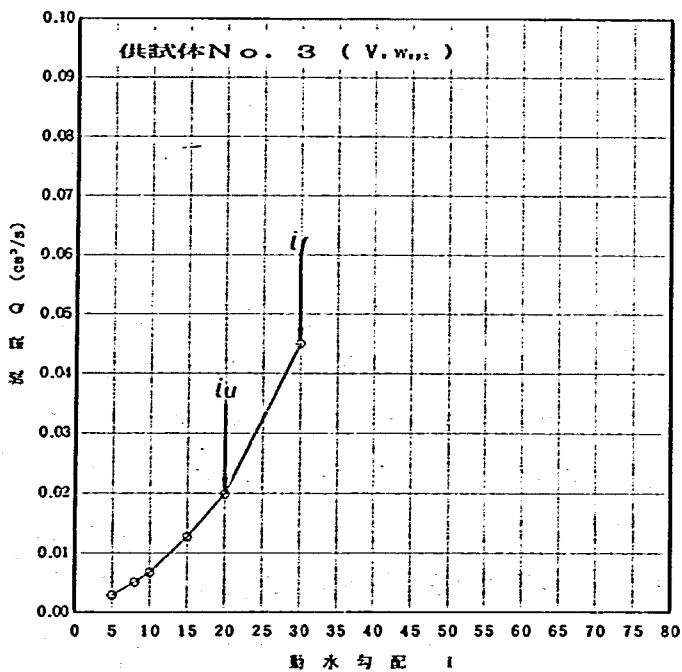
段階圧载荷試験の結果として得られた流量と動水勾配および透水係数と動水勾配の関係をそれぞれ図-5.3と5.4にまとめて示す。越流流量は、前述したとおり、1時間の越流量を最小目盛0.01gの電子秤で測定することにより算出している。よって、この測定時間の長さや測定精度を考慮して、1時間の累積越流量が0.5gに満たないものは中黒のシンボルとした。これらの図を見ると、透水係数で 10^{-7} から 10^{-5} cm/sオーダーの透水係数を定水位法に測定しようとした精度上の問題に加えて、試験がかなりの長時間に渡り（1動水勾配段階1日）、かつ高動水勾配下での試験ゆえ供試体内の細粒子の移動、目詰まりが繰り返し発生することにより、得られる透水係数がばらついていることがわかる。よって、流量が急増して完全に破壊に至った時点を認定するのは容易であるが従来のパイピング試験で限界動水勾配の認定に使用されることの多い流量と動水勾配の比例限界点を求めることはかなり困難である。そこで今回は、以下の供試体変状が発生した時点の動水勾配と透水係数を記録することとした。



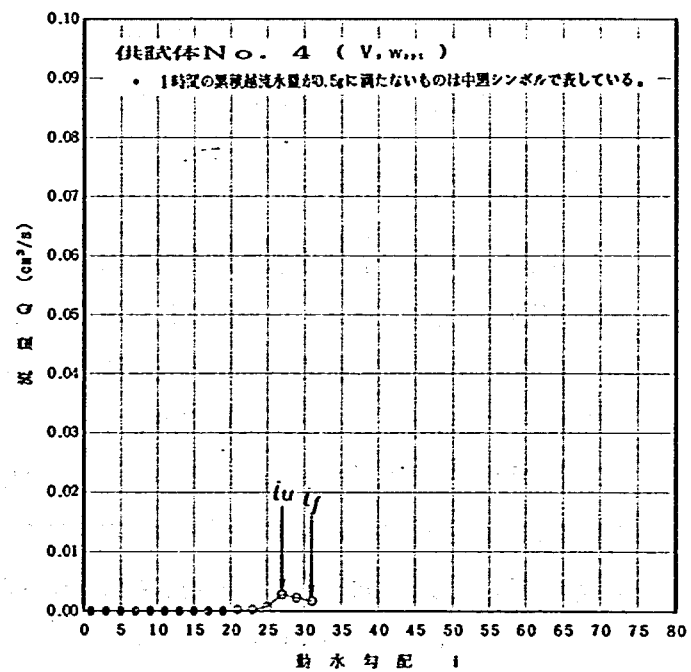
(a) 供試体No 1 ($V, w_{opt} = 3\%$)



(b) 供試体No 2 ($V, w_{opt} = 3\%$)

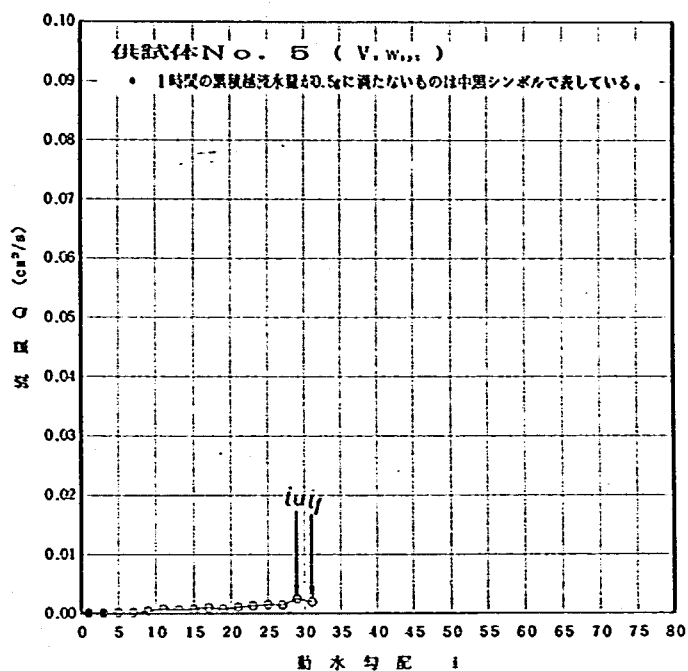


(c) 供試体No 3 (V, w_{opt})

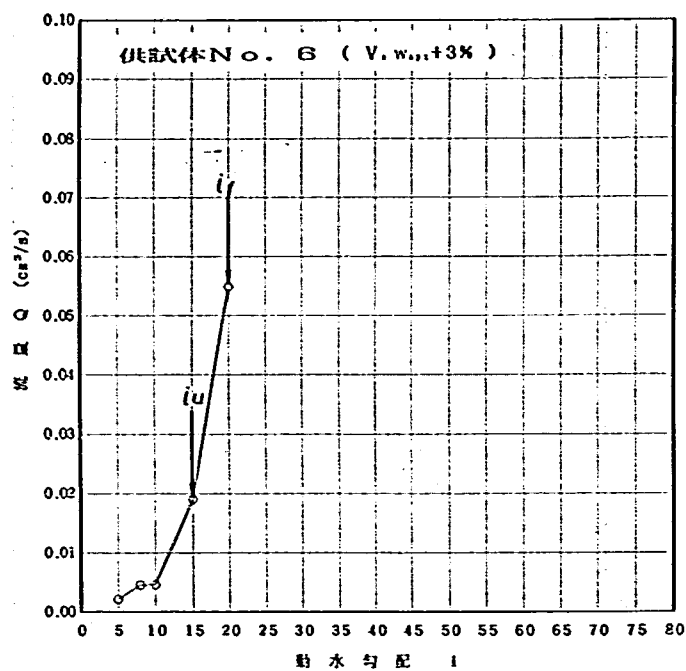


(d) 供試体No 4 (V, w_{opt})

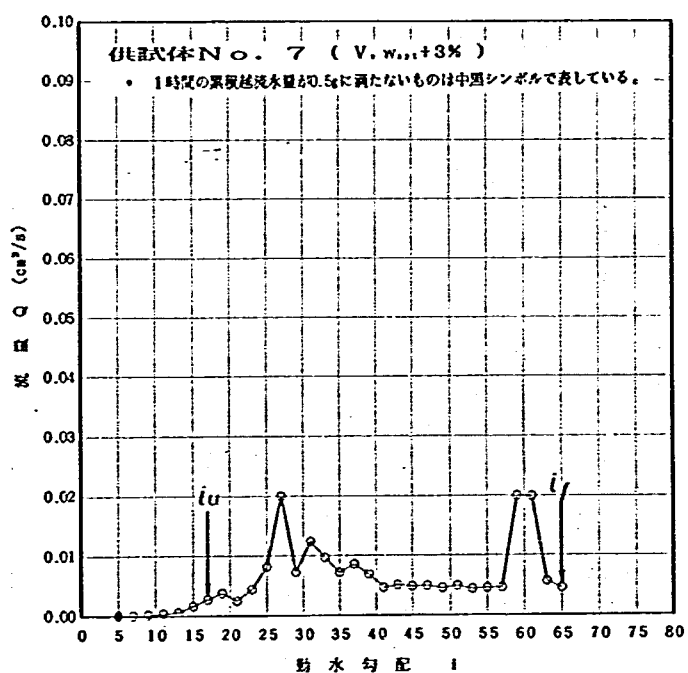
図-5.3 動水勾配と流量の関係



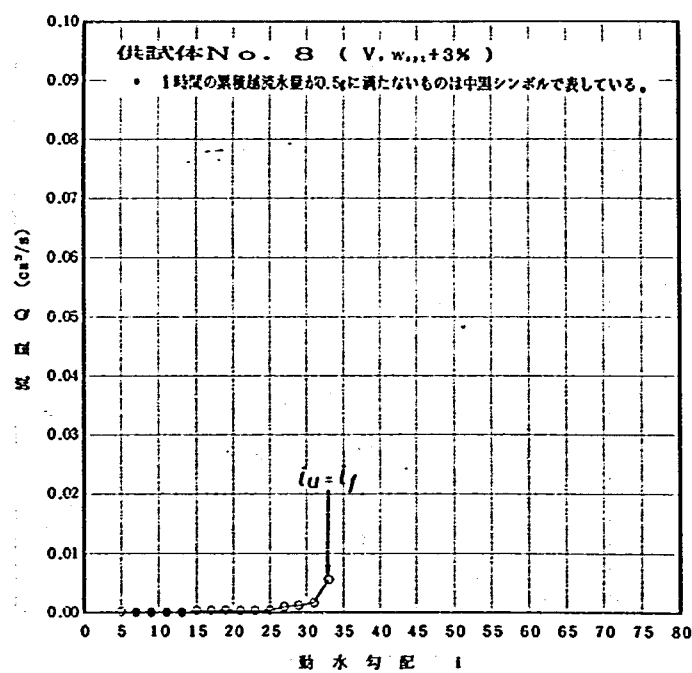
(e) 供試体 No. 5 (V, w_{opt})



(f) 供試体 No. 6 ($V, w_{opt} + 3\%$)

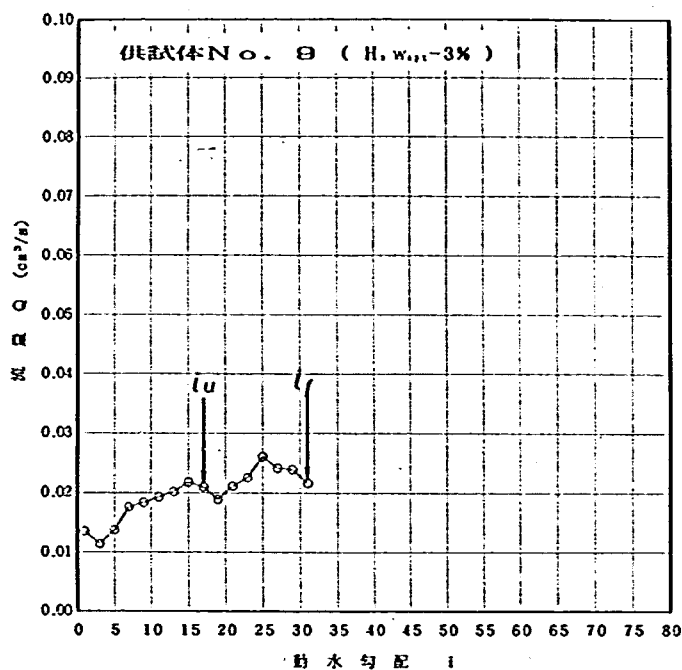


(g) 供試体 No. 7 ($V, w_{opt} + 3\%$)

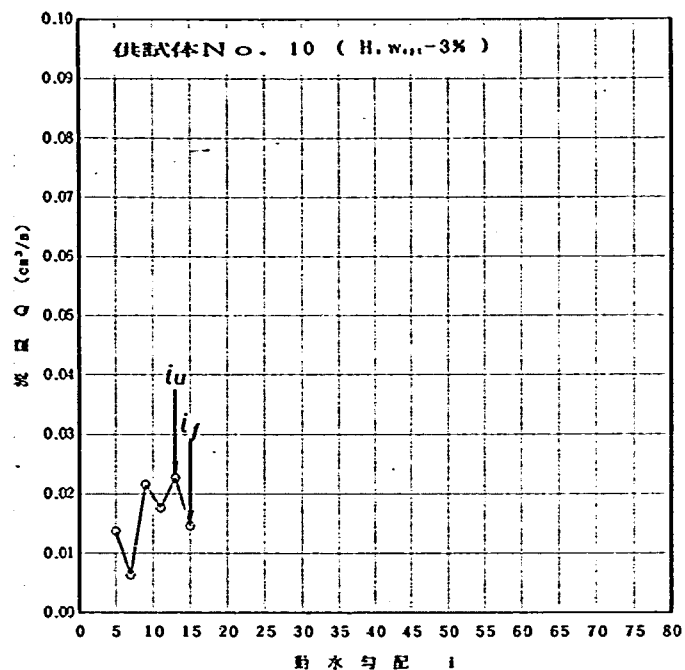


(h) 供試体 No. 8 ($V, w_{opt} + 3\%$)

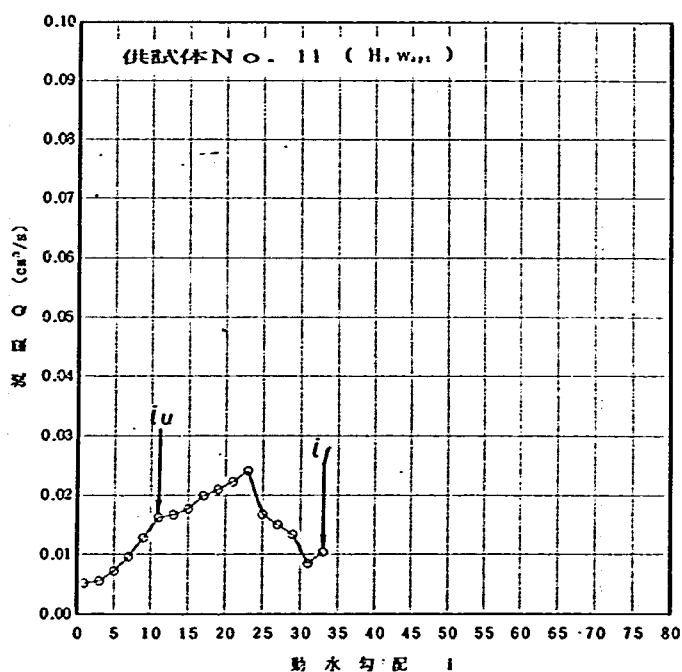
図-5.3 動水勾配と流量の関係



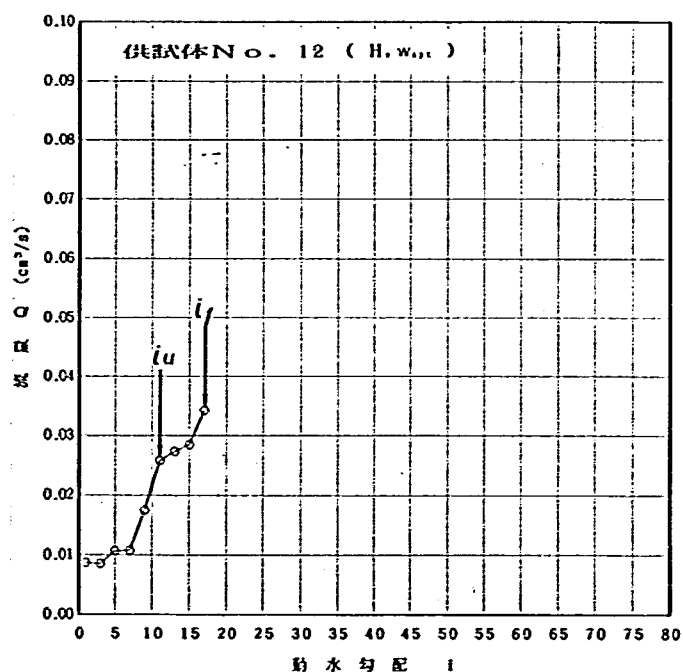
(i) 供試体No. 9 (H, w_{opt} - 3%)



(j) 供試体No. 10 (H, w_{opt} - 3%)

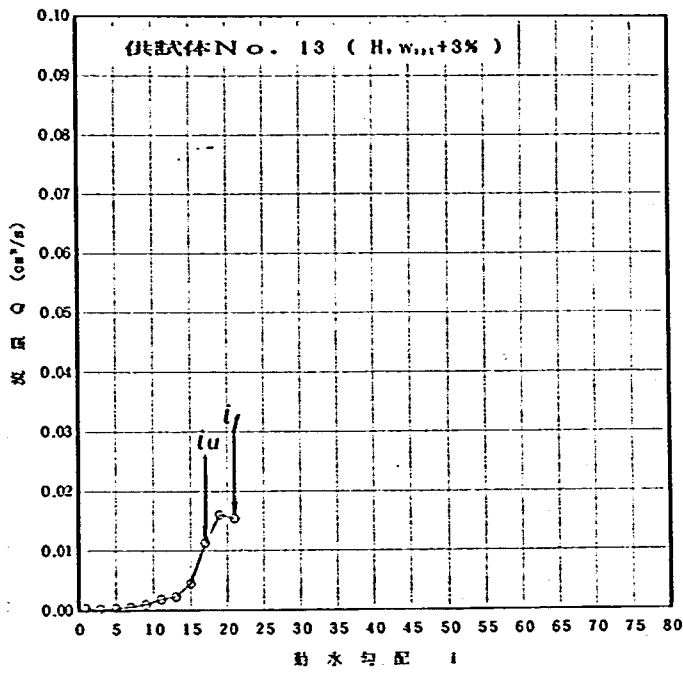


(k) 供試体No. 11 (H, w_{opt})

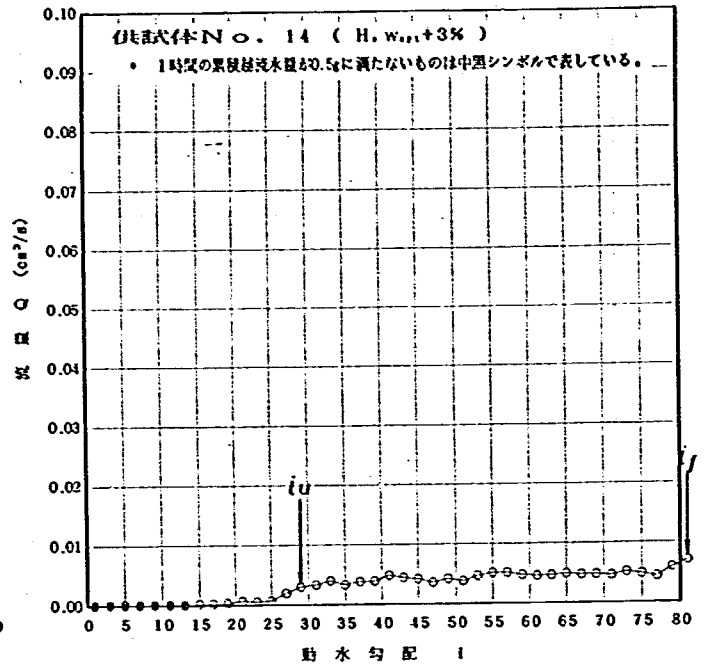


(l) 供試体No. 12 (H, w_{opt})

図-5.3 動水勾配と流量の関係

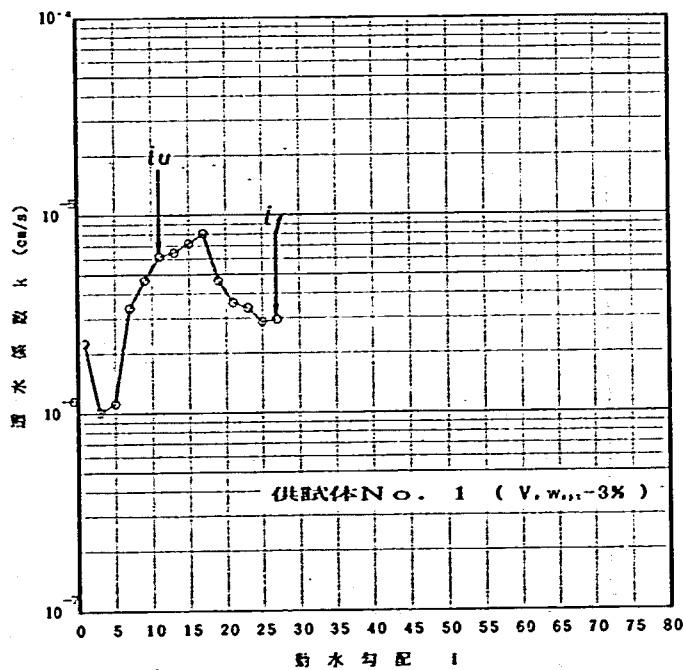


(m) 供試体 No. 13 (H, $w_{opt} + 3\%$)

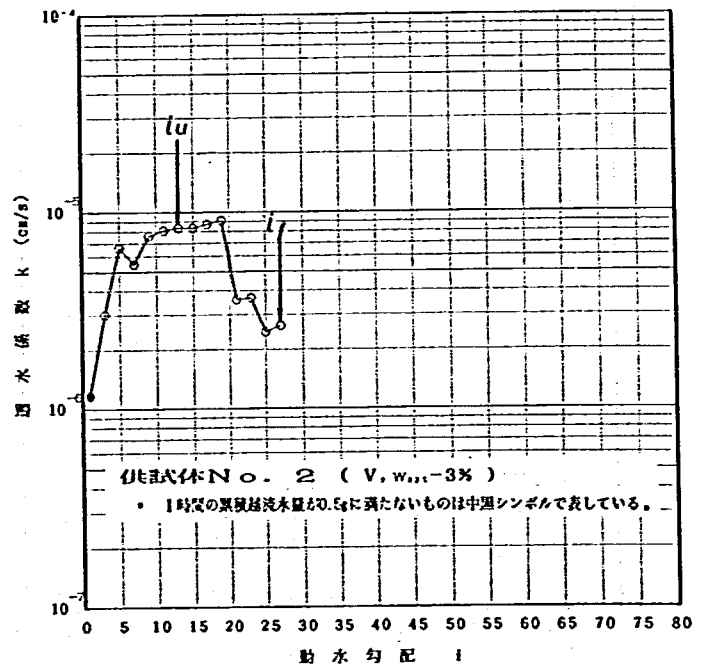


(n) 供試体 No. 14 (H, $w_{opt} + 3\%$)

図-5.3 動水勾配と流量の関係

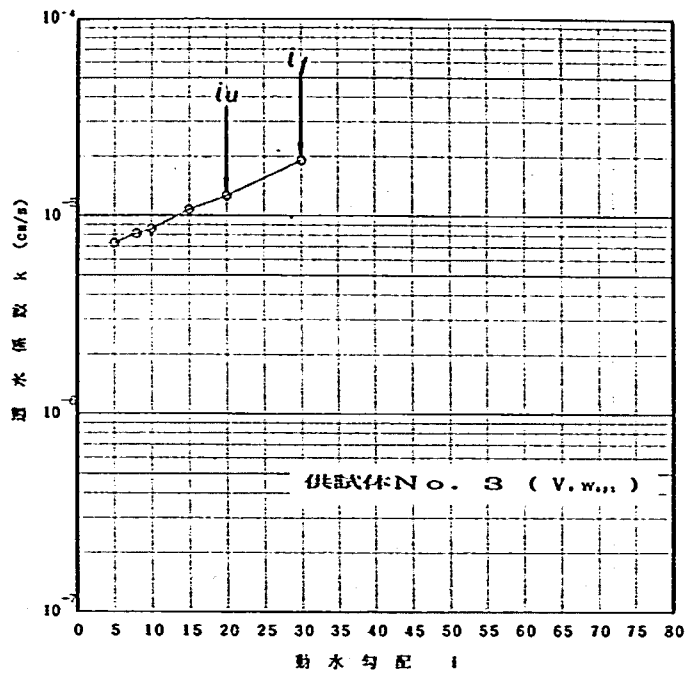


(a) 供試体 No. 1 (V, $w_{opt} - 3\%$)

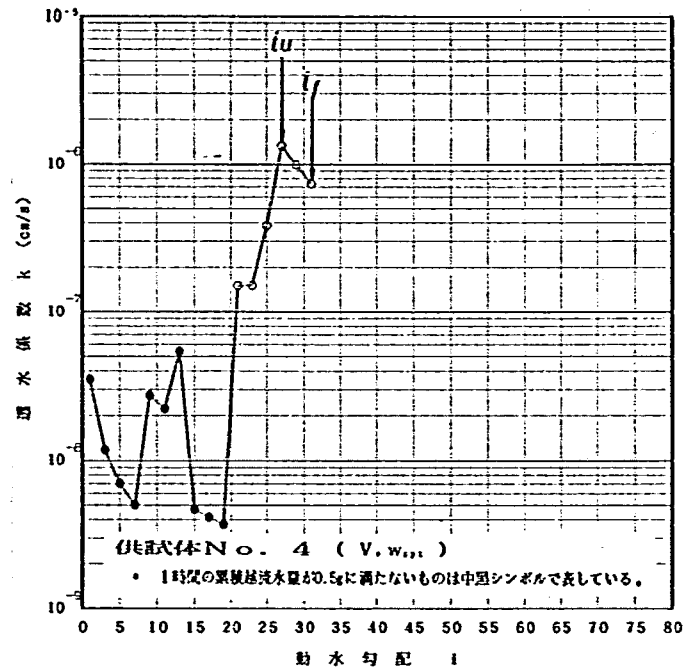


(b) 供試体 No. 2 (V, $w_{opt} - 3\%$)

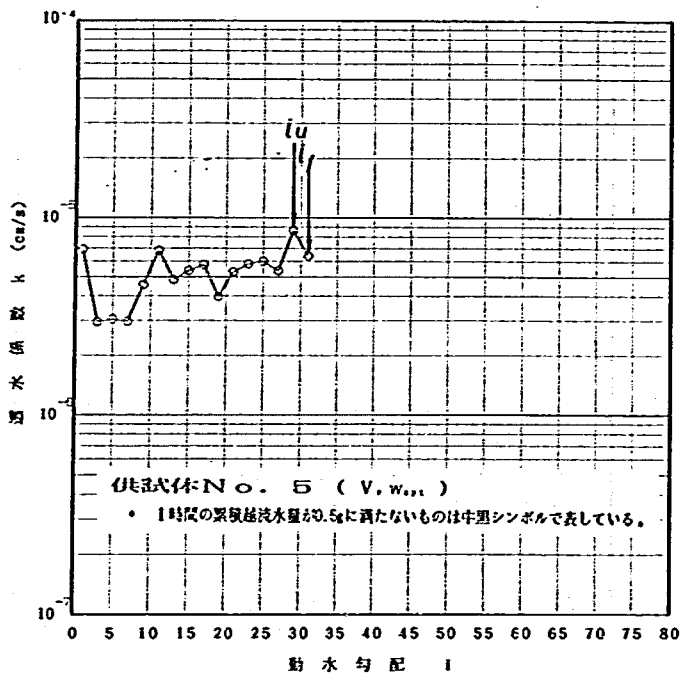
図-5.4 動水勾配と透水係数の関係



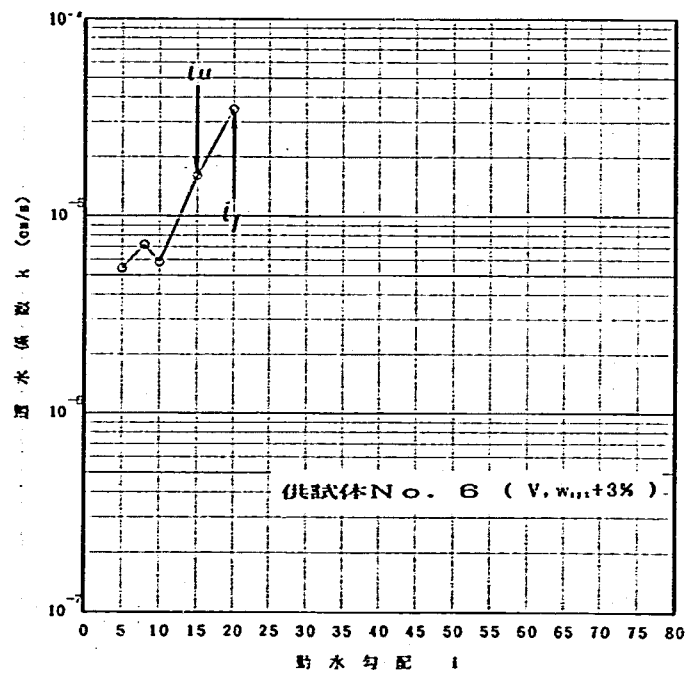
(c) 供試体 No. 3 (V, w_{opt})



(d) 供試体 No. 4 (V, w_{opt})

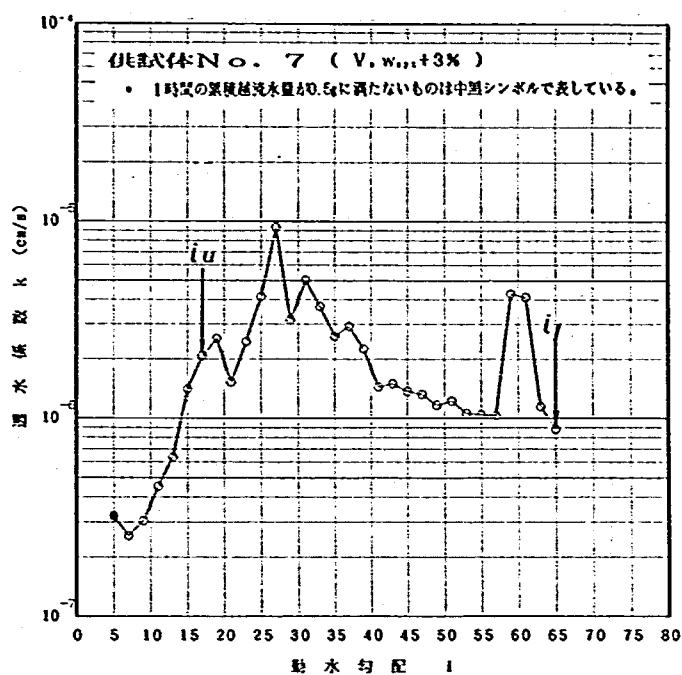


(e) 供試体 No. 5 (V, w_{opt})

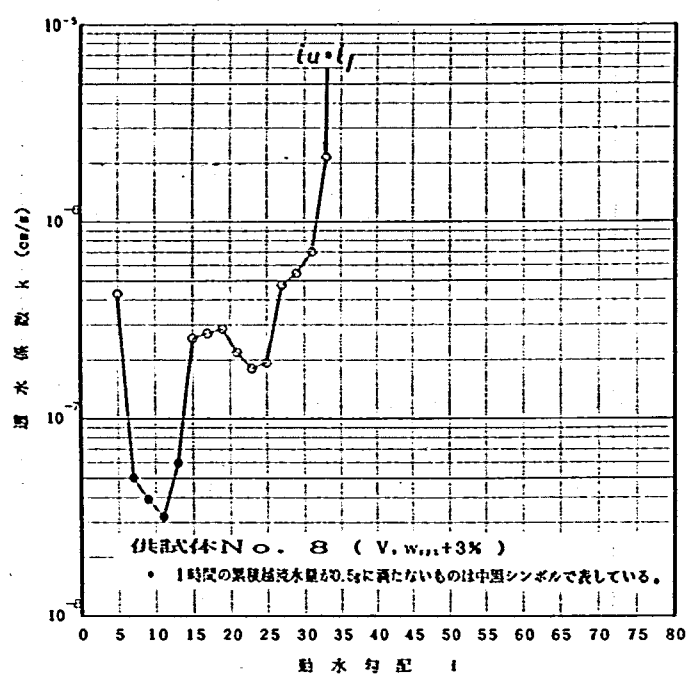


(f) 供試体 No. 6 ($V, w_{opt} + 3\%$)

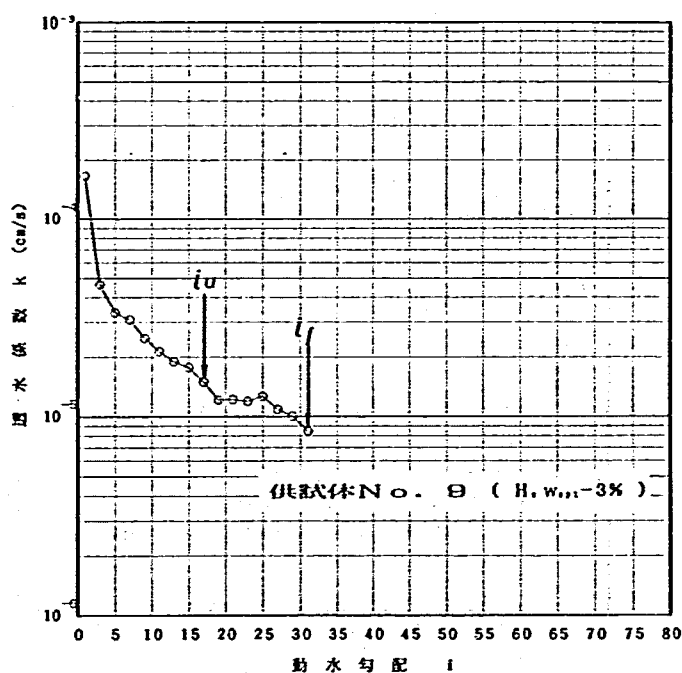
図-5.4 動水勾配と透水係数の関係



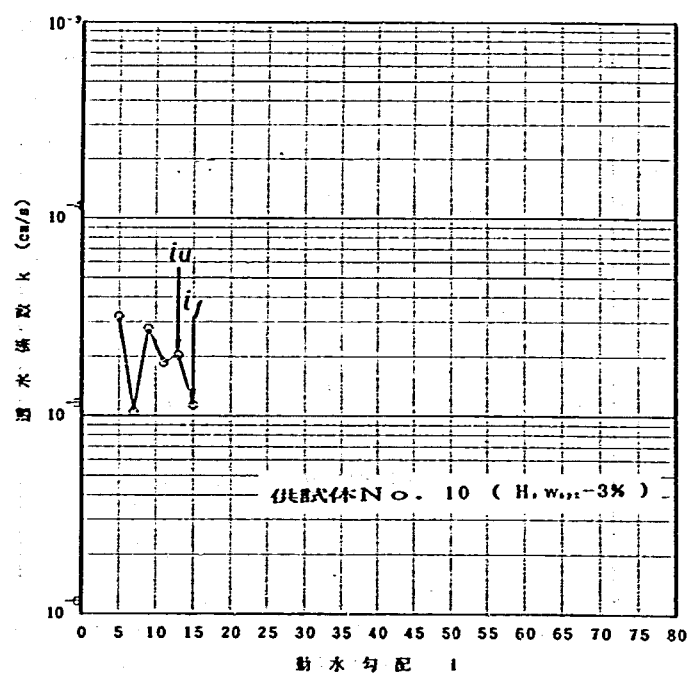
(g) 供試体No. 7 ($V, w_{opt} + 3\%$)



(h) 供試体No. 8 ($V, w_{opt} + 3\%$)

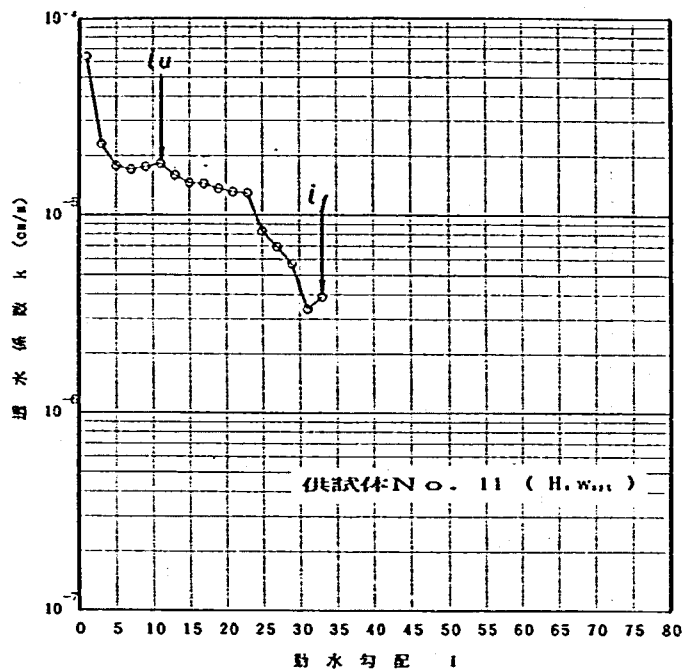


(i) 供試体No. 9 ($H, w_{opt} - 3\%$)

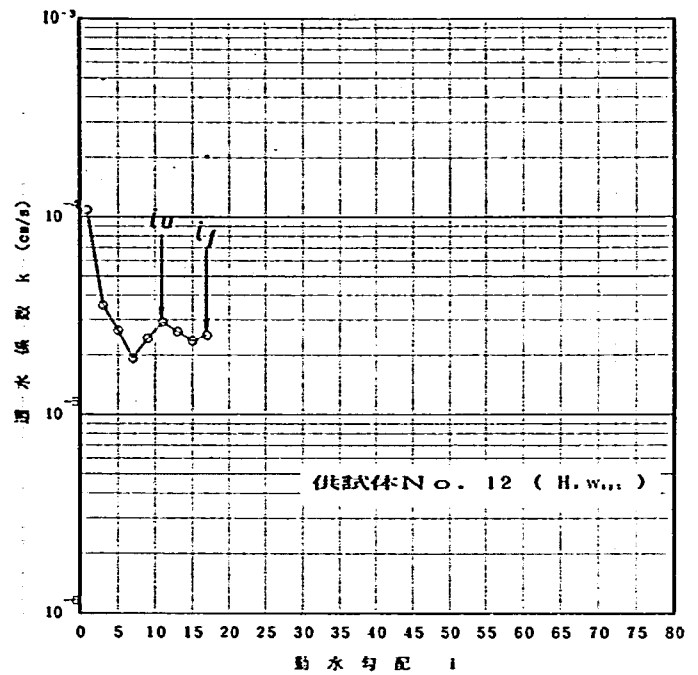


(j) 供試体No. 10 ($H, w_{opt} - 3\%$)

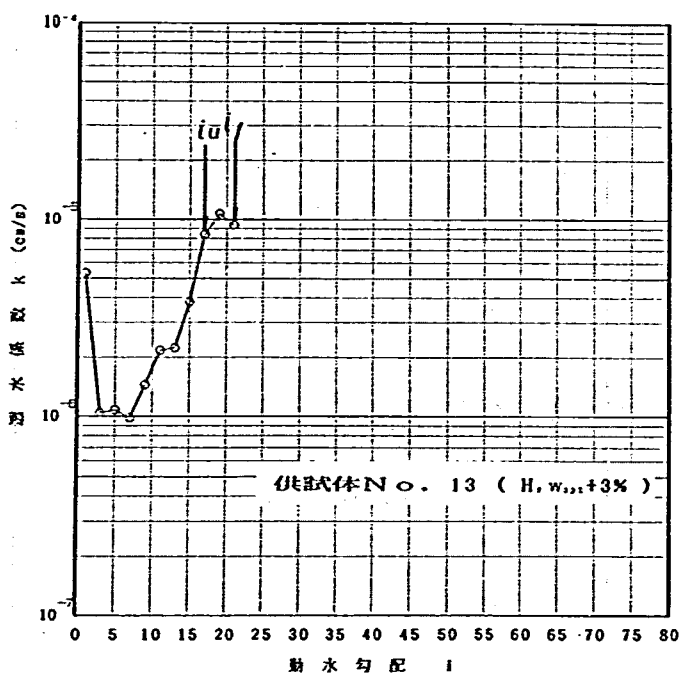
図-5.4 動水勾配と透水係数の関係



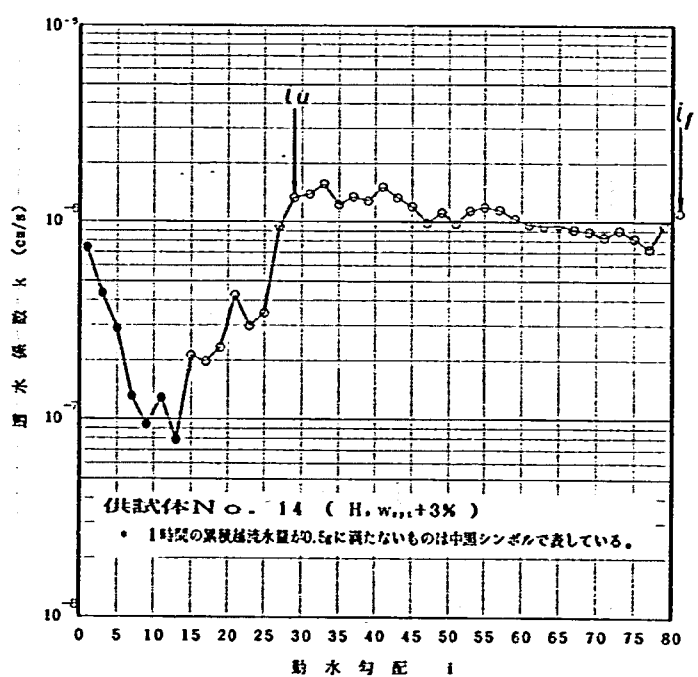
(k) 供試体 No. 11 (H, w_{opt})



(l) 供試体 No. 12 (H, w_{opt})



(m) 供試体 No. 13 ($H, w_{opt} + 3\%$)



(n) 供試体 No. 14 ($H, w_{opt} + 3\%$)

図-5.4 動水勾配と透水係数の関係

① 供試体表面が盛り上がったたり、ひび割れが発生した時点。この時の動水勾配と透水係数をそれぞれ i_0 、 k_0 とする。

② 供試体が完全に破壊し、流量が急増した直前の動水勾配の時点。この時の動水勾配と透水係数をそれぞれ i_1 、 k_1 とする。

今回のパイピング試験に供した供試体の拘束条件（境界条件）は現地とは異なるため、上記で示した現象が、現地において同じ動水勾配時点で発生することはないと考える。しかし、過去においては、同様の拘束条件でパイピング試験は実施されており、横並びのパイピング抵抗性についての指標が得られるものとする。

5.2.2 透水性

段階圧载荷試験より得られた i_0 、 i_1 、 k_0 、 k_1 を表-5.2 に示す。また、完全な破壊に至った時点での供試体の状況および色素水通水による水みち確認状況を整理したものを表-5.3 に示す。なお、表-5.2 の供試体 No. 3、6 は、予備的な試験に供したため、载荷した動水勾配の段階は他のものよりも少し粗いものとなっている（動水勾配で、1、2、5、8、10、15、20、30、40。ただし、低動水勾配時には流量を測定しなかった段階もある。）。

表-5.2 中の透水係数 k_0 、 k_1 と含水比の関係をケース V、H ごとにまとめたものを図-5.5 に示す。この図を見ると、動水勾配段階が粗く、供試体周面付近での破壊が確認された供試体 No. 3、6 を除いて、 k_0 の方が k_1 よりも大きいことがわかる。これは、 k_0 (i_0) 時点から k_1 (i_1) 時点までの時間経過による目詰まり（気泡発生あるいは細粒分の詰まり）に起因するものとする。さらに、図-5.6 に示した k_1/k_0 と i_1/i_0 の関係を見ると右上がりの傾向が確認でき、両時点間の経過時間が長くなればなるほど k_1 と k_0 の差が大きくなることがわかる。

表-5.2 段階圧载荷試験結果

供試体 番号	供試体 作製法	目標含水比 (%)	含水比 (%)	i_0		i_1	
				動水勾配	k_0 (cm/s)	動水勾配	k_1 (cm/s)
1	V	$w_{opt} - 3$	16.0	11	6.2×10^{-6}	27	3.0×10^{-6}
2			16.0	13	8.3×10^{-6}	27	2.6×10^{-6}
3*		w_{opt}	18.8	20	1.3×10^{-5}	30	1.9×10^{-5}
4			18.5	27	1.3×10^{-6}	31	7.4×10^{-7}
5			18.6	29	8.6×10^{-6}	31	6.4×10^{-6}
6*		$w_{opt} + 3$	22.9	15	1.6×10^{-5}	20	3.5×10^{-5}
7			22.0	17	2.1×10^{-6}	65	8.9×10^{-7}
8			21.5	33	2.2×10^{-6}	33	2.2×10^{-6}
9	H	$w_{opt} - 3$	15.2	17	1.5×10^{-5}	31	8.5×10^{-6}
10			15.4	13	2.0×10^{-5}	15	1.1×10^{-5}
11		w_{opt}	18.3	11	1.8×10^{-5}	33	3.9×10^{-6}
12			18.2	11	2.9×10^{-5}	17	2.5×10^{-5}
13		$w_{opt} + 3$	21.3	17	8.4×10^{-6}	21	9.4×10^{-6}
14			22.0	29	1.3×10^{-6}	81	1.1×10^{-6}

*) 動水勾配の段階が他のものより少し粗い。

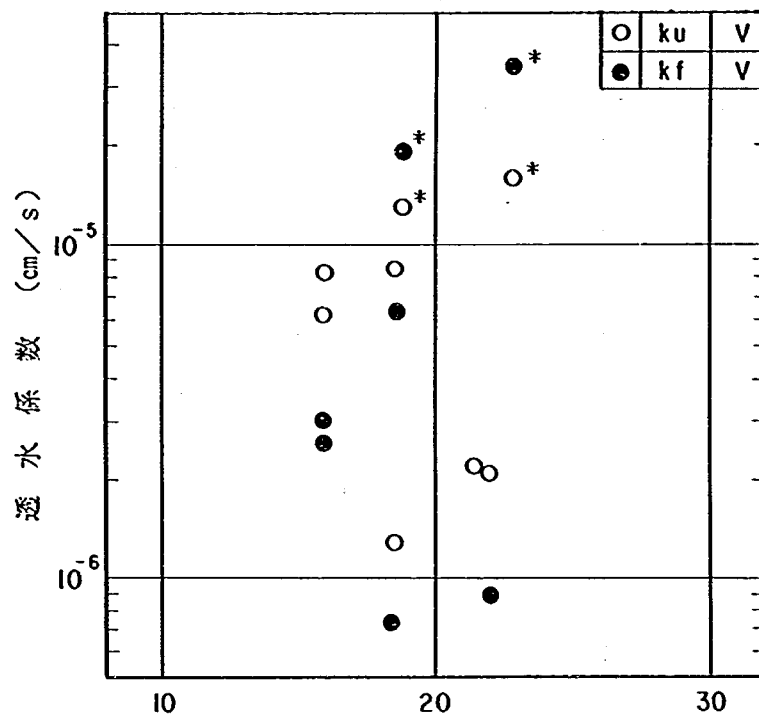
1、2、5、8、10、15、20、30、40が基本。

表－５．３ 供試体の破壊状況

供試体 No	破壊時の供試体表面部の状況	色素水通水後の供試体切断時の断面状況
1	表面の数か所に小さい穴があいて破壊。	供試体下部では、比較的周面付近を流れていた水が上部では、供試体を押し上げて破壊に至らしていた。
2	表面に数か所の穴があき、それらが徐々に大きくなり破壊。	供試体に裂け目が発生していた。
3*	供試体周面から破壊が発生。	供試体周面に集中した水みちが確認された。
4	中央部に大きな穴があいて破壊。	供試体下部から上部まで大きな水みちが形成されていた。
5	表面に数多くの穴があいて破壊。	No 1 と同様。
6*	No 3 と同様。	周面に集中した水みちは確認できなかった。
7	供試体周面近くの2か所に大きな穴があいて破壊。	No 1 と同様。
8	No 4 と同様。	No 4 と同様。
9	No 4 と同様。	No 4 と同様と考え、色素水の通水は実施しなかった。
10	No 4 と同様。	No 9 と同様。
11	No 4 と同様。	No 9 と同様。
12	No 4 と同様。	No 9 と同様。
13	No 4 と同様。	No 9 と同様。
14	No 4 と同様。	No 9 と同様。

*) 動水勾配段階の粗いもの。

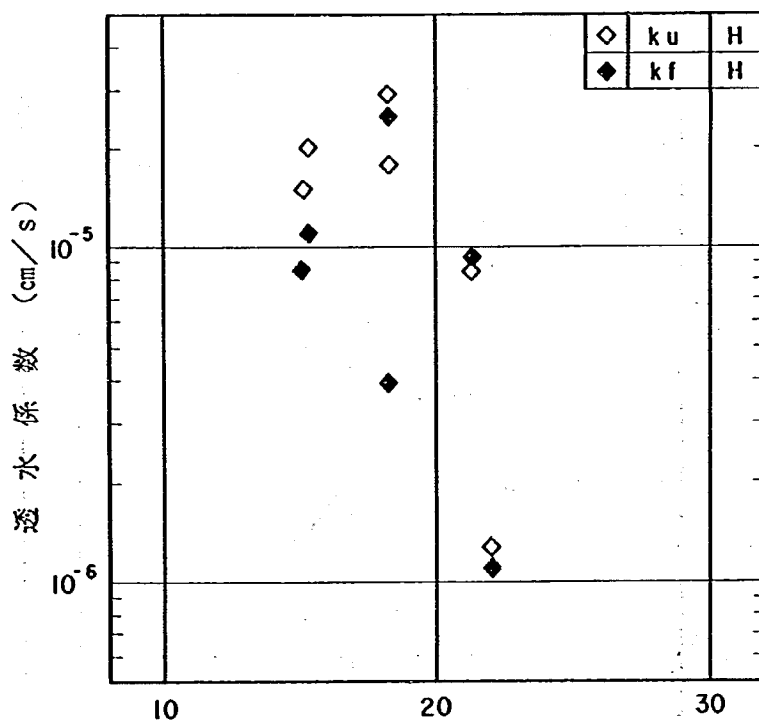
次に透水性の異方性について検討設定するために、ケースV、Hの k_v を図－５．７に示す。図中の実線と破線は、それぞれケースVとHの各含水比での透水係数の平均値を結んだものである。既往の研究^{1)~11)}に従うと、ケースVの供試体から得られた透水係数を鉛直方向の透水係数 k_v 、ケースHの供試体から得られたそれを水平方向の透水係数 k_h と称せる。今回の試験より得られた水平方向透水係数 k_{vh} は、鉛直方向透水係数 k_v よりも大きく、締固めにより透水性に異方性が発生していることがわかる。また、 k_{vh}/k_v は最適含水比付近で最大をとり、既往の研究成果^{1)~11)}にほぼ一致している。



含水比 w (%)

*) 動水勾配段階の粗いもの。

(a) ケース V



含水比 w (%)

(b) ケース H

図-5.5 含水比と透水係数の関係

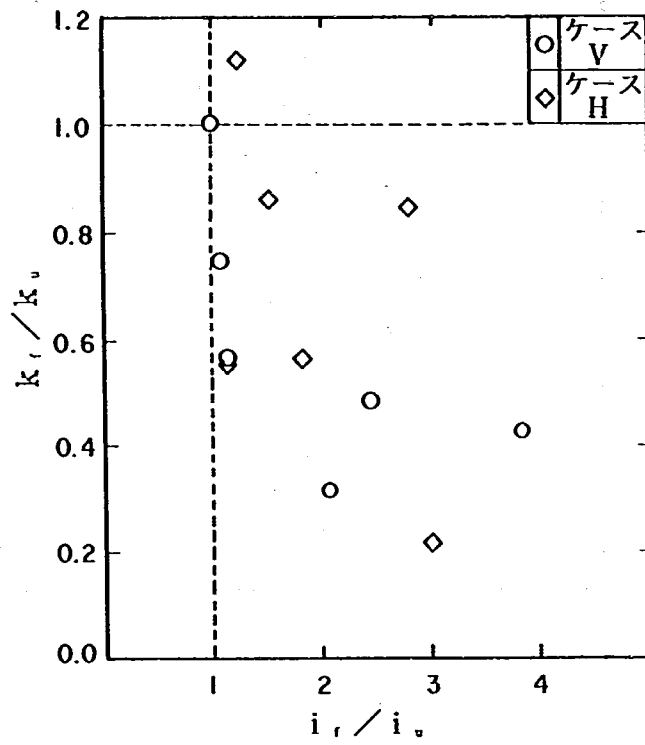


図-5.6 i_r/i_u と k_r/k_u の関係

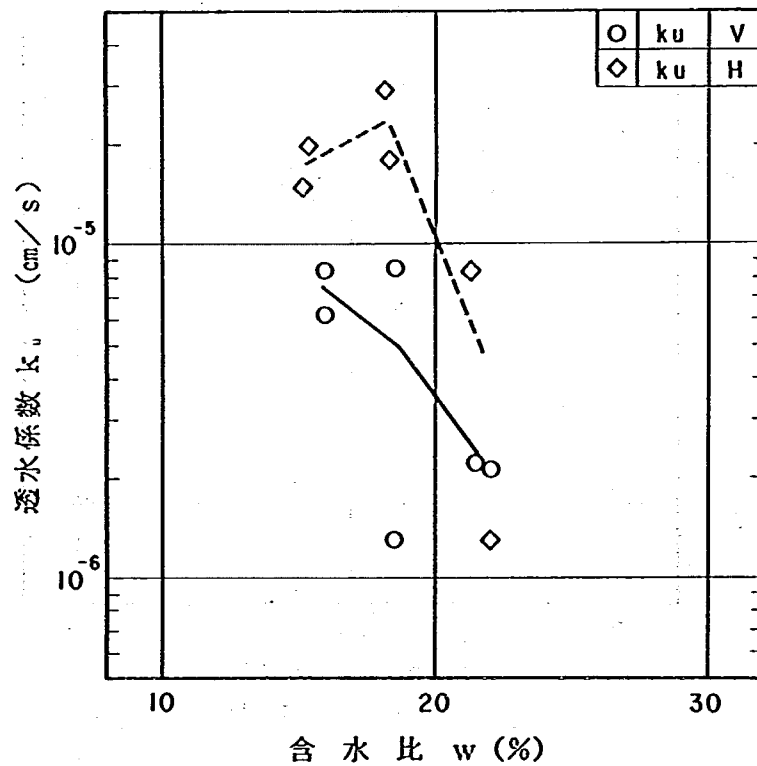


図-5.7 k_u の異方性

5.2.3 限界動水勾配

限界動水勾配 i_l に相当する今回の試験の i_u , i_r と供試体作製時の含水比の関係を図-5.8に示す。図中の実線と破線は、それぞれケースVとHの各設定含水比での動水勾配の平均値を結んだものである。ただし、平均値を求めるに際して、動水勾配段階が粗く、供試体周面付近での破壊が確認された供試体 (No.3と6) の試験結果は除外した。また、これらの動水勾配と透水係数の関係を見るために、 i_u と k_u , i_r と k_r の関係を図-5.9に示す。これらの図から以下のことがわかる。

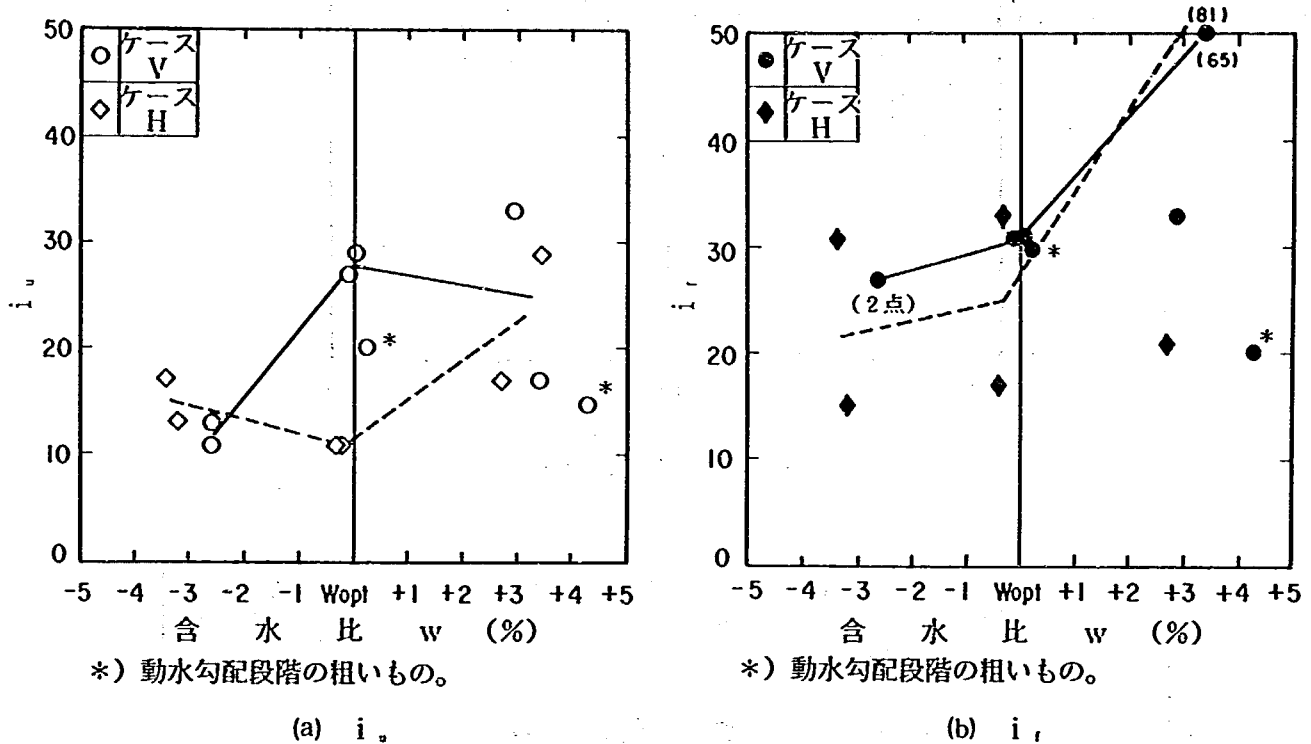
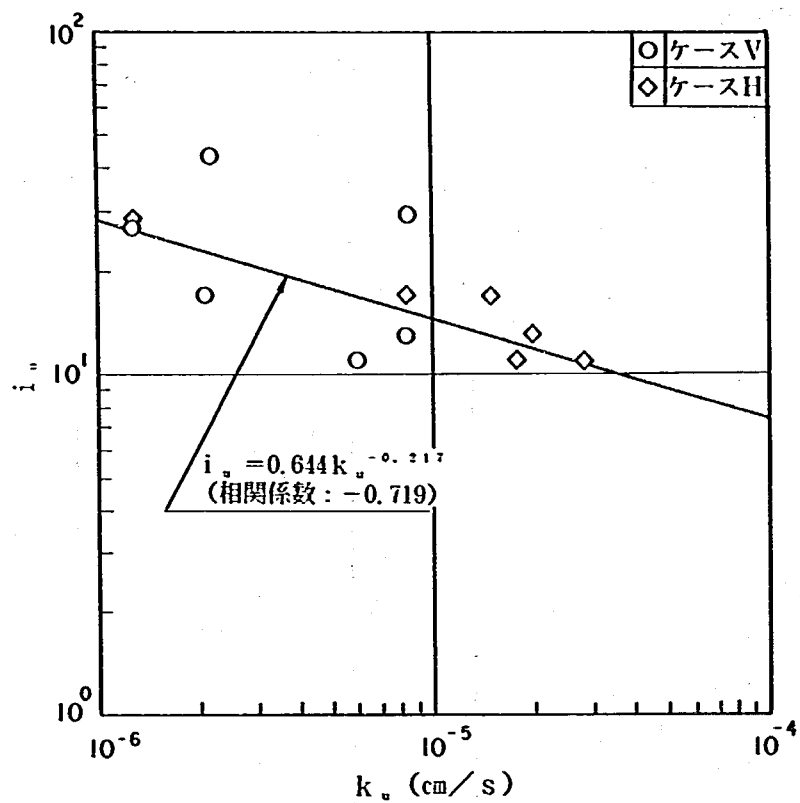
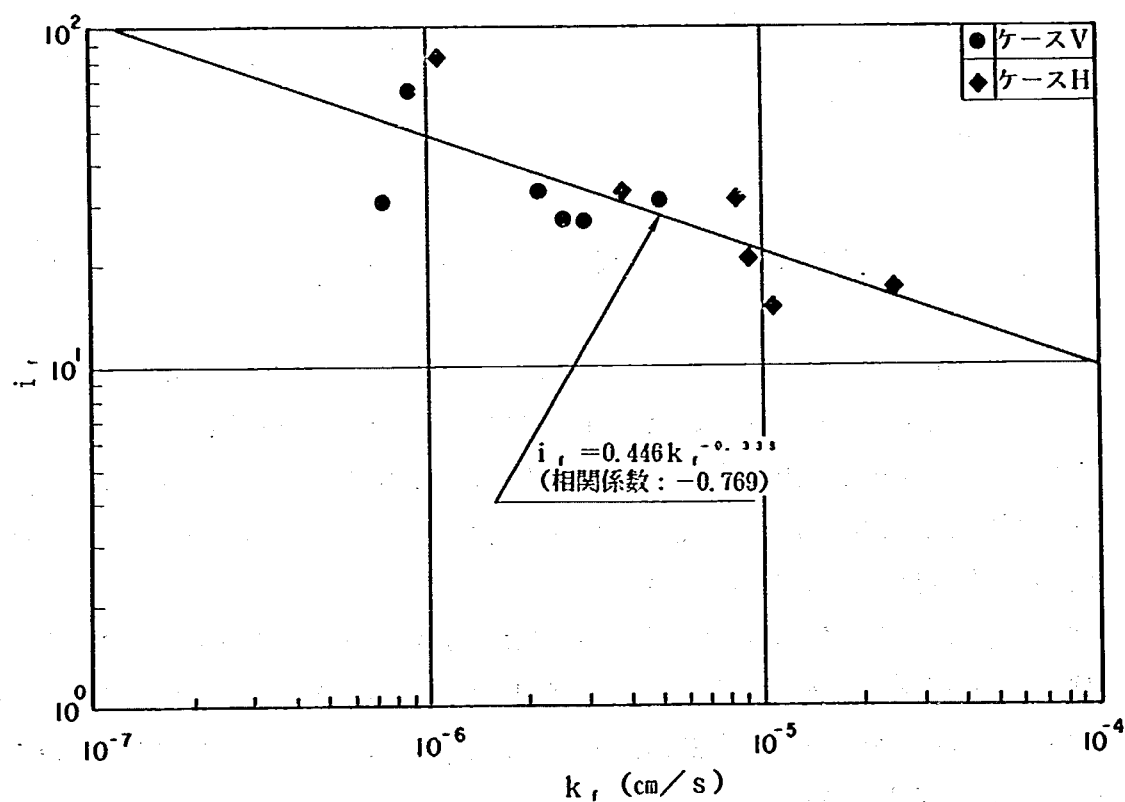


図-5.8 含水比と限界動水勾配の関係

- ① i_u は、ケースV, Hを併せて $w_{opt} - 3\%$, w_{opt} , $w_{opt} + 3\%$ と、含水比が大きくなるにつれて、やや上昇する傾向がある。ただし、 i_u は11から33の範囲に分布する。
- ② i_r にも、 i_u と同様に含水比が大きくなるにつれて、上昇する傾向にある。特に、 $w_{opt} + 3\%$ のグループには i_r が81, 65と他のものよりかなり値が大きいものが含まれている。この2例以外の i_r は15から33の範囲に分布している。
- ③ ①, ②の現象は、一般に締固められた土の透水性が粒子配列等の原因により最適含水比よりやや湿潤側で最小値をとること (今回の試験結果は図-5.7に示す) に起因しているものと考えられる。つまり、透水性が小さいほど浸透破壊に対する抵抗性が高いということである。このことは図-5.9からも明らかである。
- ④ 浸透破壊に対する抵抗性を表す指標である i_u , i_r にも透水性と同様に、締固めによる異方性が存在していることがわかる。平均値で議論すると、 i_u については、 w_{opt} 付近ではケースVがケースHの2.5倍程度の値を有しているが、 $w_{opt} \pm 3\%$ では両ケースの i_u に大きな差がな



(a) i_v と k_v の関係



(b) i_r と k_r の関係

図-5.9 透水係数と限界動水勾配の関係

い。一方、 i_r については、 w_{opt} 、 $w_{opt} - 3\%$ ではケースVがケースHの1.2~1.3倍程度の i_r を有しているが、 $w_{opt} + 3\%$ では両ケースの i_r にほとんど差がない。

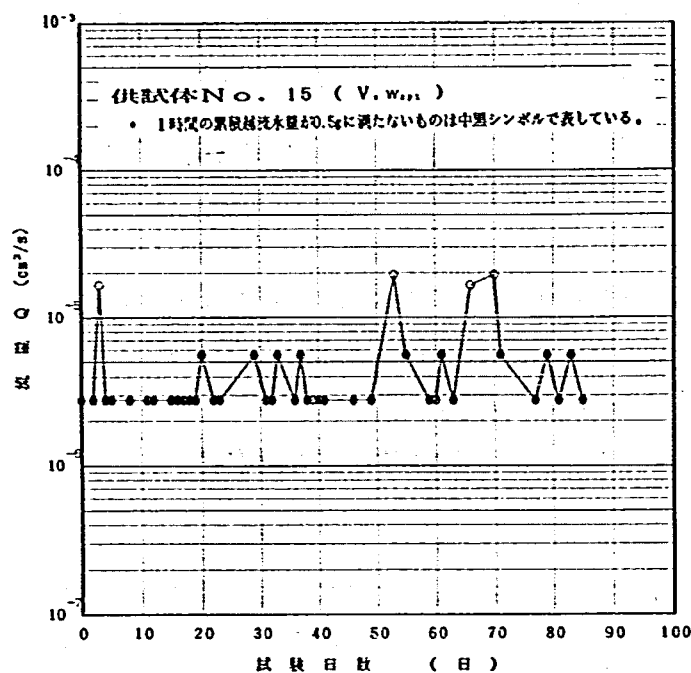
以上より、限界動水勾配についても、 w_{opt} 付近の含水比をピークとした締固めによる異方性が存在するものと推察される。

5.3 一定圧载荷試験

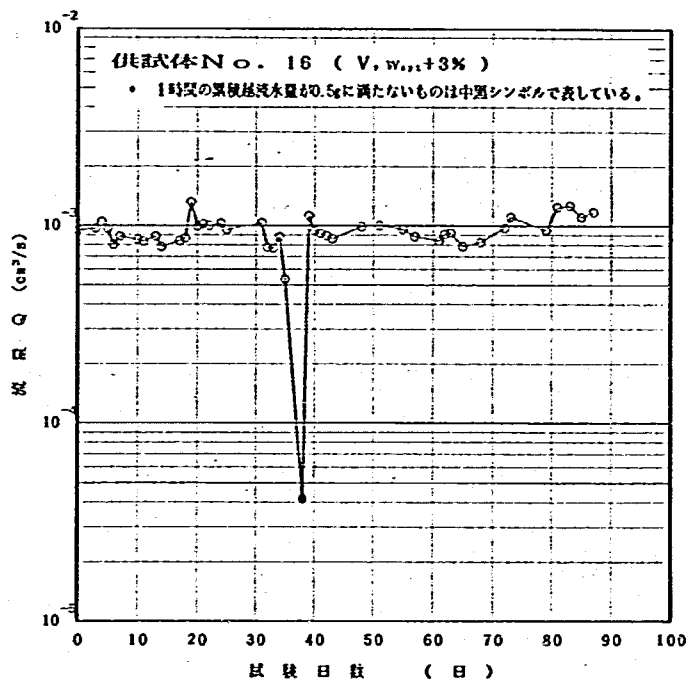
5.3.1 動水勾配5の場合

一定動水勾配5で約3ヶ月間の長期間通水を実施した3本の供試体 (No15, 16, 17) の流量および透水係数の経時変化を、それぞれ図-5.10, 5.11に示す。なお、段階圧载荷試験と同様に、1時間の累積越流量が0.5 g以下のデータポイントは、中黒のシンボルで示している。

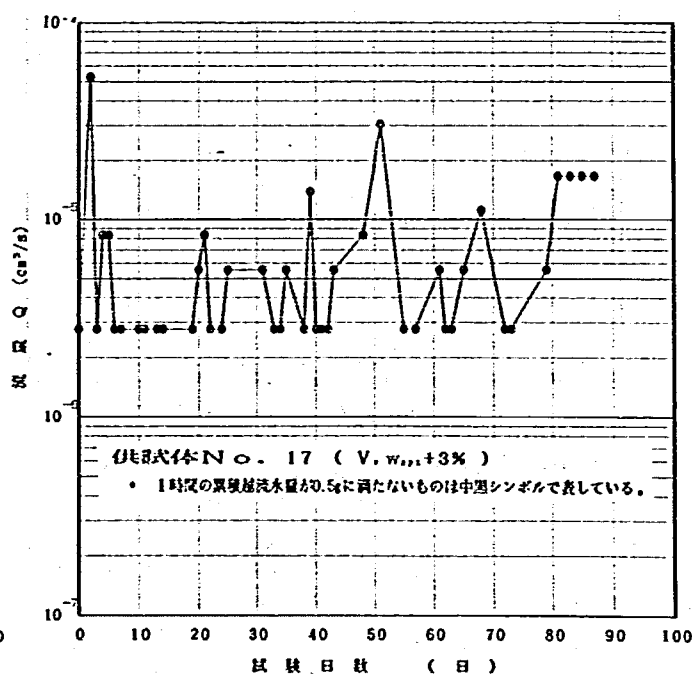
w_{opt} の供試体No15と $w_{opt} + 3\%$ の供試体No17の透水性は、 $1.0 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 程度(ほとんどの測定で、1時間の越流量は0.01 gであった。)であった。ただし、この値は通水期間中安定していた。目視による観察によっても通水期間中は何ら変状は確認できな



(a) 供試体No15 (V, w_{opt})



(b) 供試体No16 (V, $w_{opt} + 3\%$)



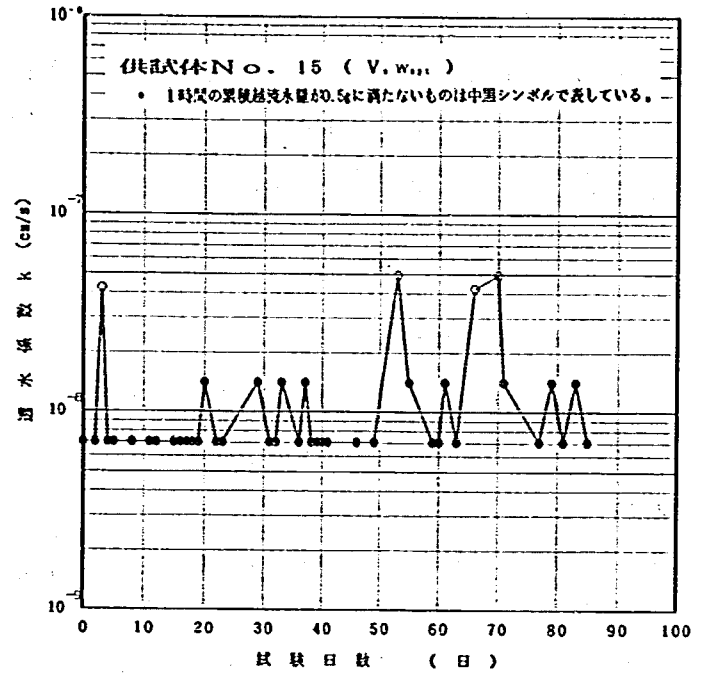
(c) 供試体No17 (V, $w_{opt} + 3\%$)

図-5.10 流量の経時変化 ($i = 5$)

かった。よって、低透水土に対する定水位透水試験であるため透水係数の絶対値の信頼度は低いものの、両供試体は動水勾配5の状況下で長期間安定していることが判明した。

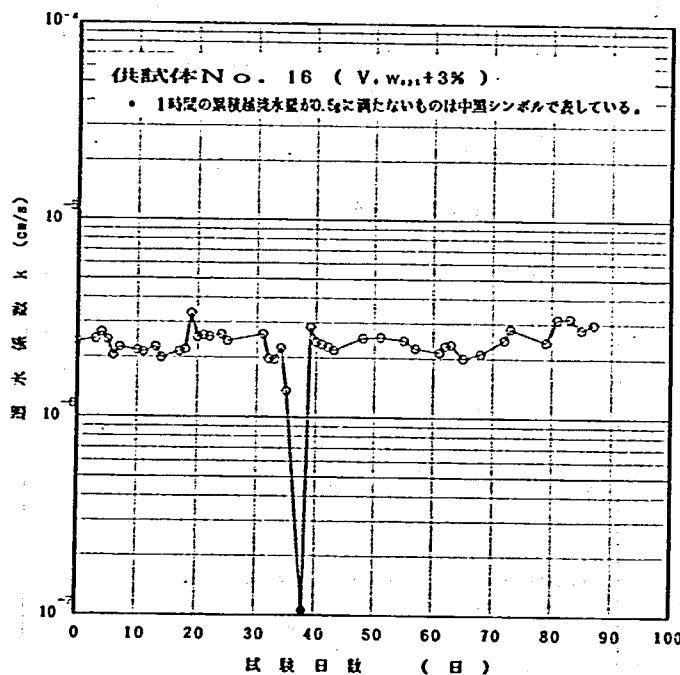
$w_{opt} + 3\%$ の供試体No.16では、上記の2供試体よりやや透水性は大きいが、通水期間中の透水係数の変動は小さく、かつ目視による観察でも何ら変状は確認されず、動水勾配5での長期安定性が判明した。なお、本供試体の透水性は、 $2 \sim 3 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ である。

以上より、今回試験に用いた試料を1Ecのエネルギーで締固めて作製した供試体に対して、締固め方向に通水した場合、動水勾配5の条件下では長期間の安定が保たれることがわかった。

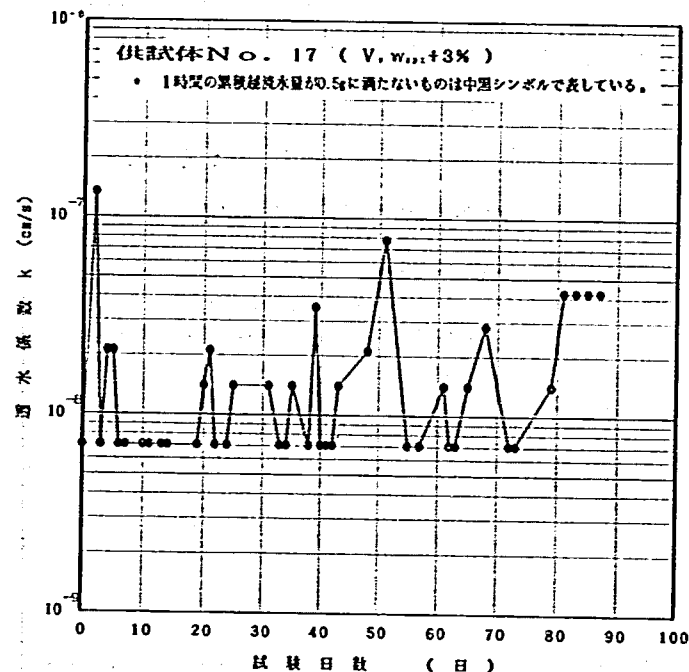


(a) 供試体No.15 (V, w_{opt})

図-5.11



(b) 供試体No.16 (V, $w_{opt} + 3\%$)



(c) 供試体No.17 (V, $w_{opt} + 3\%$)

図-5.11 透水係数の経時変化 ($i = 5$)

5.3.2 動水勾配10の場合

w_{opt} の供試体No.18と $w_{opt} + 3\%$ の供試体No.20は、動水勾配約4での水頭差による飽和が終了した後、動水勾配を10に急激に上げる段階で破壊してしまった。両供試体の破壊が供試体とエポキシ樹脂系の接着剤との境界付近の集中漏水から端を発していたり、他の供試体に比較して極端に密度が小さいということとはなかった。ただし、目視によっては確認できないような不均質部分や傷が存在した可能性は否定できない。

そこで、 w_{opt} の供試体No.19と $w_{opt} + 3\%$ の供試体No.21に対しては、飽和完了時の動水勾配4から設定の10に上げるのに、前者で20日、後者で40日かけ、その後動水勾配10を保持するようにした。No.19, 21の流量および透水係数の経時変化をそれぞれ図-5.12, 5.13に示す。これらの図から動水勾配一定後の両供試体への通水状況は安定しており（透水係数で 10^{-6} cm/s の前半）、目視による変状も確認されなかった。なお、両図中においても、1時間の累積越流量が0.5gに満たないデータポイントは、中黒のシンボルで表している。

以上より、一定動水勾配10で供試体の締め固め方向に長期通水した場合でも、供試体に極端な不均質部や傷が存在しなければ、供試体の安定は保たれると考えるが、今回の供試体No.18, 20の破壊を考えると断定はできない。

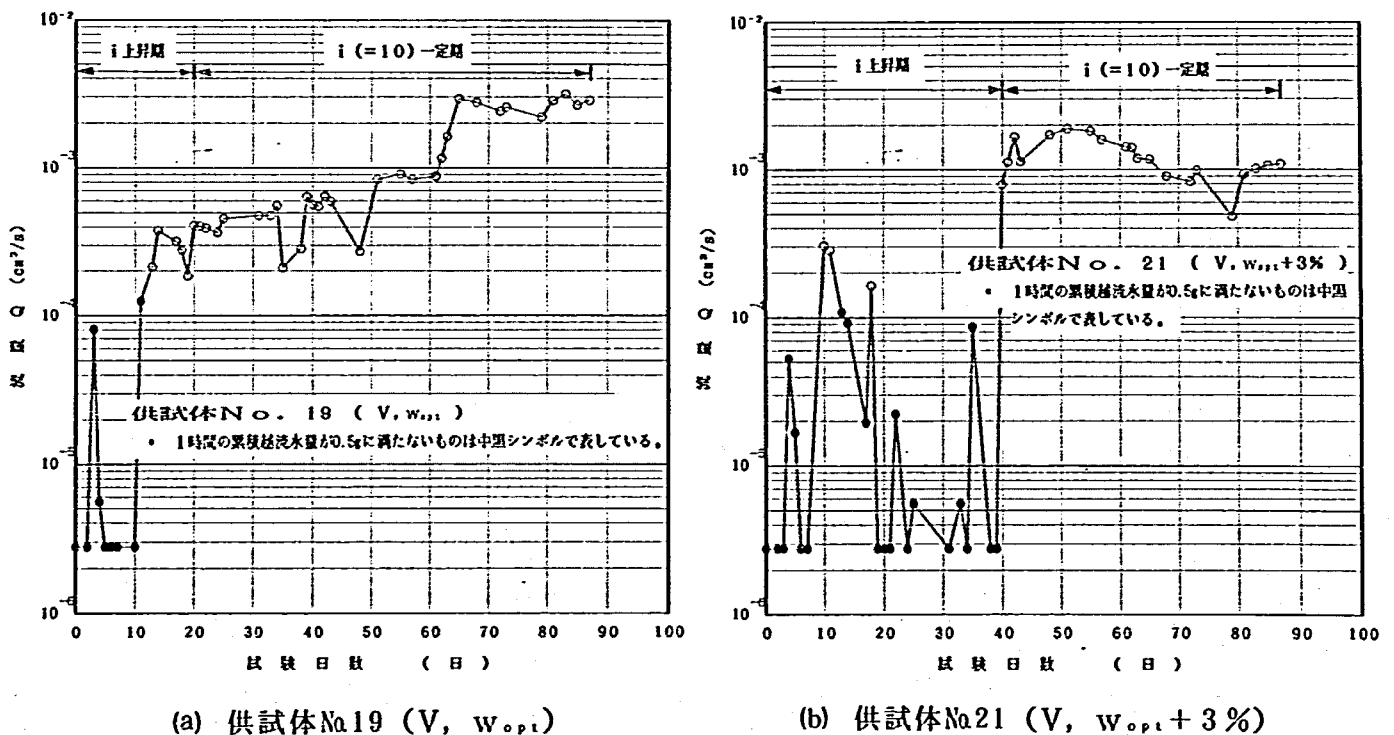
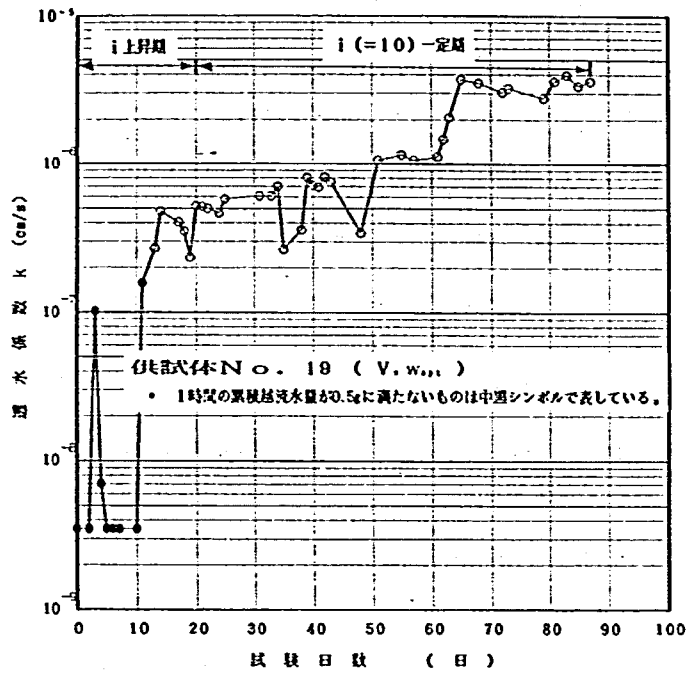
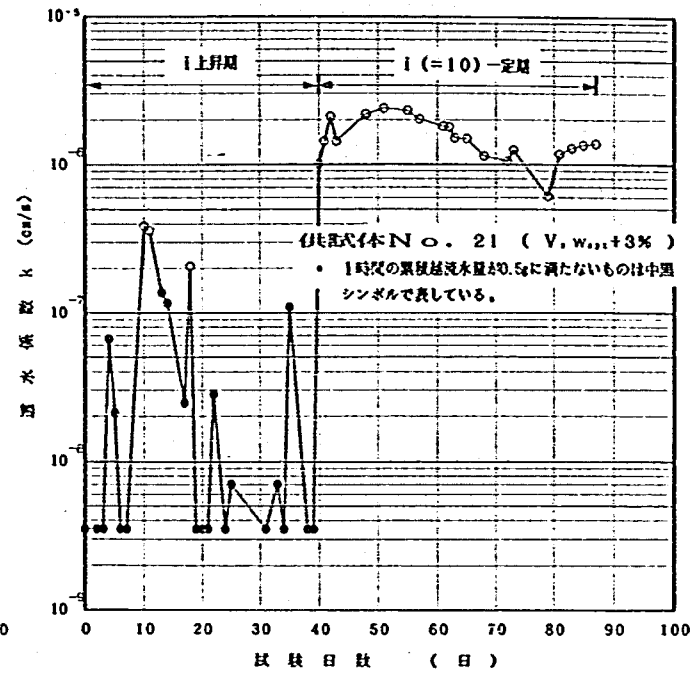


図-5.12 流量の経時変化 ($i=10$)



(a) 供試体 No. 19 (V, w_{opt})



(b) 供試体 No. 21 ($V, w_{opt} + 3\%$)

図-5.13 透水係数の経時変化 ($i = 10$)

6. 考 察

6.1 他材料のパイピング抵抗性

今回試験対象とした低塑性材料のパイピング抵抗性が他の材料に比較してどの程度であるかを検討するため、まず他材料のパイピング特性に関する研究成果を整理しておく。

(1) 十勝ダムのコア材¹⁴⁾

十勝ダムのコア材は、粗粒材である風化粘板岩と細粒材であるシルト材との混合材で、その諸試験値は表-6.1に示すとおりである。十勝ダムのコア材は、細粒材がシルト材であることもあり、その塑性については懸念されていたが、塑性指数は20.8であり、今回の試料に比較すると十分な塑性を有していることがわかる。

この材料を、内径300mm、高さ354mmの大型モールドの内で1 E cのエネルギーで締固めて供試体を作製する。含水比は9.9%で、乾燥密度は2.068 t/m³と最適含水比付近での締固めである。この供試体の上面に通水径が150mmとなる蓋を取り付け（この内容が参考文献14）中に明記されているのではなく、あくまで筆者らの解釈による。）、パイピング試験を実施している。その結果を図-6.1、6.2に示す。この図より、動水勾配を53.1から58.9に上げた時点から通水量が増加し始めていることがわかるとともに、文献中にも越流水の濁りが確認されたと報告されている。よって、限界動水勾配 i_c は53.1と判定されている。なお、限界動水勾配以下の各動水勾配での透水係数を平均すると 2×10^{-5} cm/s である。

表-6.1 十勝ダムコア材に対する
土質試験結果

真 比 重 G_s		2.756
コン シ ス テ ン シ ー	液性限界 LL (%)	40.8
	塑性限界 PL (%)	20.0
	塑性指数 PI	20.8
粒 度 特 性	最大粒径 D_{max} (mm)	101.6
	-4.76mm以下 (%)	39.9
	-0.074mm以下 (%)	14.4
	-0.005mm以下 (%)	1.5
	均等係数 U_c	625
締 固 め ・ 透 水 試 験	締固め仕事量	J I S, 1 E c
	最適含水比 w_{opt} (%)	11.0
	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (t/m ³)	2.076
	最小透水係数 k_{min} (cm/s)	4.8×10^{-7}

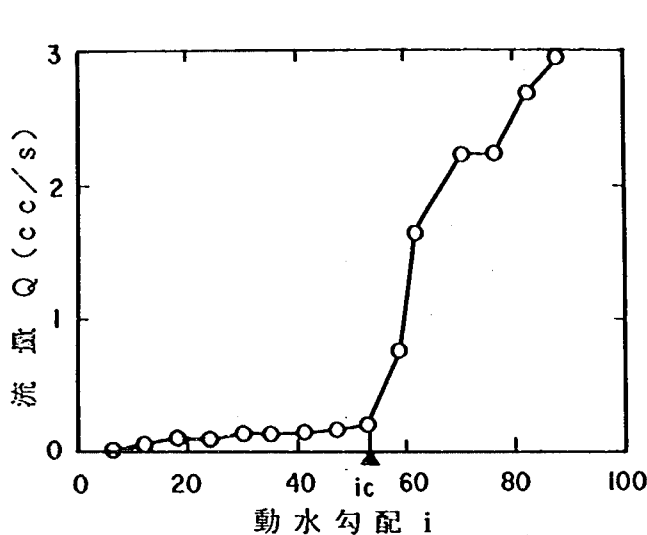


図-6.1 動水勾配と流量の関係
(十勝ダムコア材)

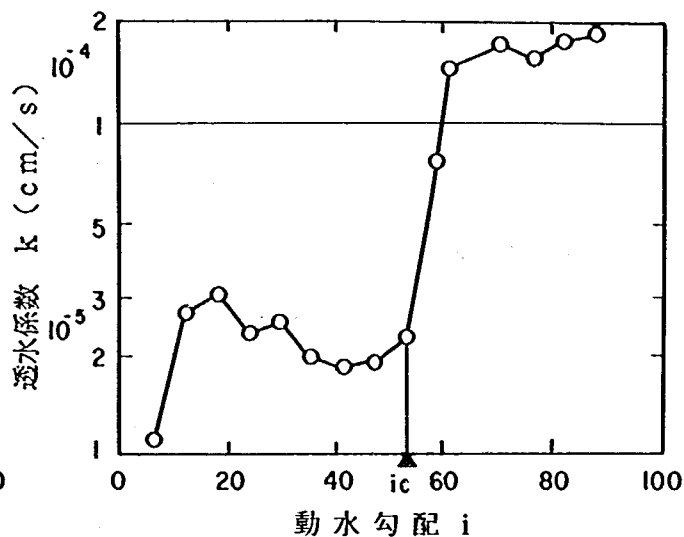


図-6.2 動水勾配と透水係数の関係
(十勝ダムコア材)

(2) 大雪ダムのコア材¹⁵⁾

大雪ダムのコア材は、風化粘板岩を母材に、新期湖底堆積物の砂質シルト材を粒度調整材とした混合材である。このコア材に対して実施したパイピング試験によって、図-6.3に示すような結果を得ている。この図は、横軸に突固めエネルギーを調整して作製した供試体の透水係数 k (cm/s) を、縦軸に供試体に作用させた動水勾配 (i) をとって、供試体の中の流れの状態を示したものである。この流れの状態のうち層流域 (図中に(層)で示してある) とは、供試体にかかる動水勾配 i と、浸透流速 (見掛けの流速, v (cm/s)) とが、直線関係にあつて、かつ排水に土粒子が含まれない状態の範囲をいい、遷移域 (図中に(遷)で示してある) とは、さらに i を高めて i と v とが直線関係にはないが、排水に濁りが認め

られない状態の範囲をいう。さらに、動土域 (図中に(動)で示してある) とは、さらに i を高めて排水に濁りが認められる状態の範囲を示している。そして層流域から遷移域への変化点の動水勾配 i_{c1} 、遷移域から動土域への変化点の動水勾配を i_{c2} で表している。

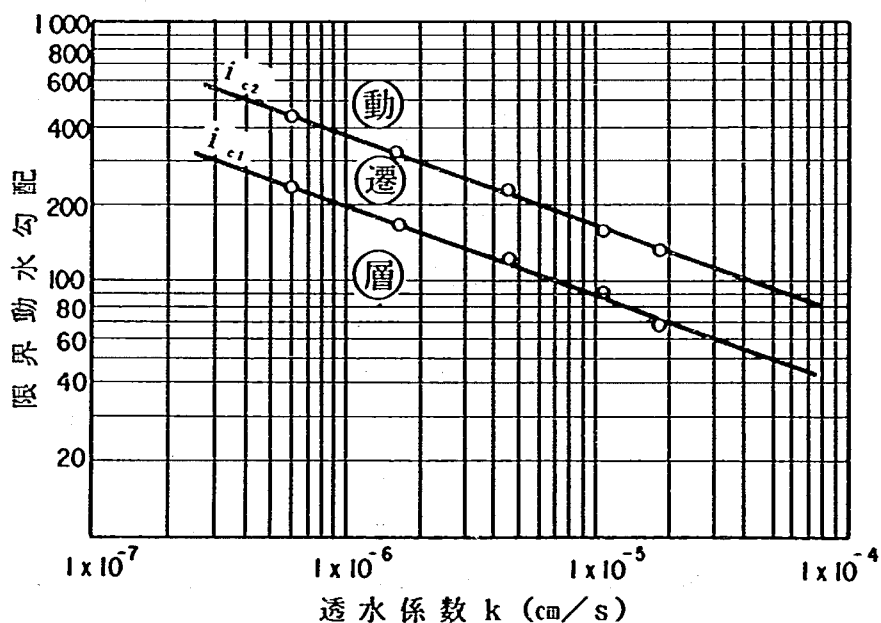


図-6.3 透水係数と限界動水勾配の関係 (大雪ダムコア材) ¹⁵⁾

値の小さい方の i_c を限界動水勾配 i_c として採用しても、透水係数が 10^{-5} cm/s 以下になると i_c は100を越えることがわかり、かなり大きいパイピング抵抗性を有していることがわかる。

(3) 中部電力の研究²⁾

表-6.2にその材料特性を示す土質材料（フィルダムのコア材候補）を種々の間隙比に締固めてパイピング試験が実施されている。その結果として得られた限界動水勾配 i_c とその時の透水係数 k の関係を図-6.4に示す。なお、図中の直線は次式で表現され、 i_c の下限値を示している。

$$i_c = (1.671 \times 10^{-2} / k)^{0.623} \dots\dots (6.1)$$

ここに、透水係数 k は cm/s 単位である。

この図より、 10^{-5} cm/s の透水性であれば、下限値においても限界動水勾配は100を越えていることがわかる。

表-6.2 土質試験結果（中部電力）²⁾

物理試験	分類	三角座標による分類	砂質ローム	
		統一分類法による分類	SM	
	比重		2.643	
	自然含水比		26%	
	粒度	-4.8mm粒徑含有率	100%	
		-420 μm "	68%	
		-74 μm "	39%	
	均等係数	60% 粒徑	0.24mm	
		10% "	0.001mm	
		均等係数	240	
	コンシステンシー	液性限界	38.4%	
		塑性限界	30.0%	
塑性指数		8.4%		
力学試験	突固め仕事量		JIS・Ec	2×JIS・Ec
	最適含水比		23.2%	21.2%
	最大乾燥密度		1.567g/cm ³	1.620g/cm ³
	最小透水係数		8.7×10 ⁻⁷ cm/s	4.7×10 ⁻⁷ cm/s

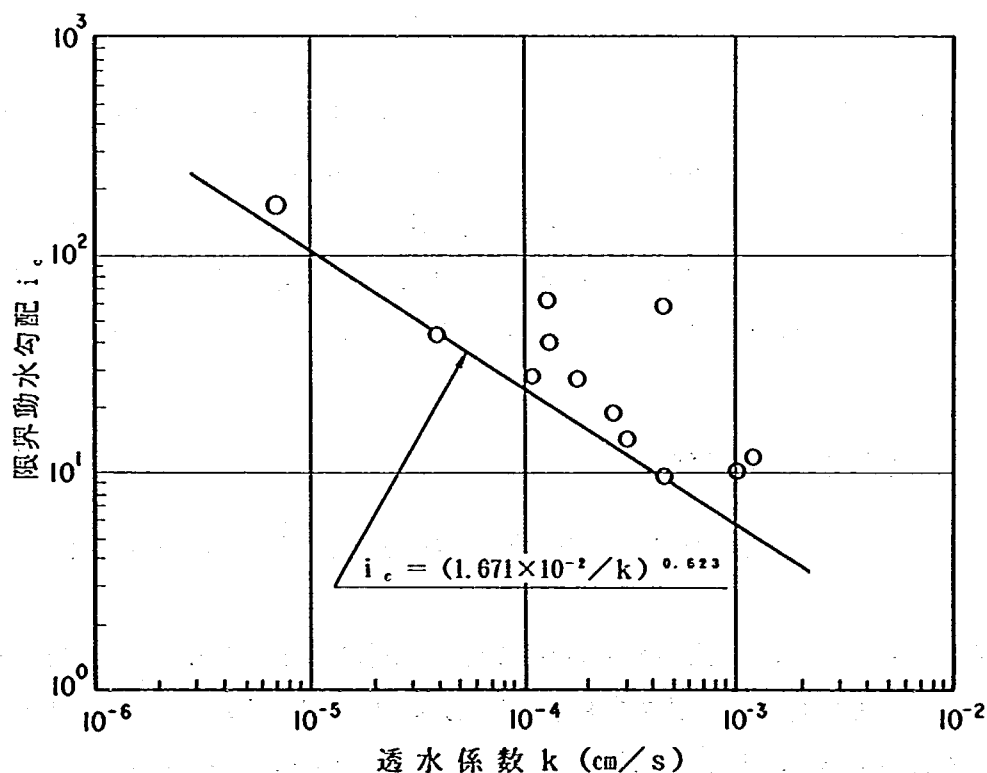


図-6.4 透水係数と限界動水勾配の関係（中部電力）

(4) Sichart の実験式¹⁾

Sichart により提案された限界動水勾配 i_c と透水係数 k (m/s) の関係は次式のとおりである。

$$i_c = \frac{1}{15 \sqrt{k} \text{ (m/s)}} \quad \dots\dots (6.2)$$

なお、上式がいかなる材料を用いた実験に基づき求められたかについては不明である。

6.2 他材料との比較

今回使用した低塑性材料のパイピング抵抗性を他材料のそれと比較する。

まず、パイピング抵抗性の指標である限界動水勾配と透水係数の関係を図-6.5 にまとめて示す。なお、今回使用した試料の限界動水勾配候補 i_{c0} 、 i_{c1} とそれぞれの時点での透水係数 k_0 、 k_1 の関係は以下のとおりである。

$$i_{c0} = 0.644 k_0^{-0.271} \quad \dots\dots (6.3)$$

ただし、 $1.3 \times 10^{-6} \text{ (cm/s)} \leq k_0 \leq 2.9 \times 10^{-5} \text{ (cm/s)}$ 。

$$i_{c1} = 0.446 k_1^{-0.333} \quad \dots\dots (6.4)$$

ただし、 $7.4 \times 10^{-7} \text{ (cm/s)} \leq k_1 \leq 3.5 \times 10^{-5} \text{ (cm/s)}$ 。

なお、基本となるデータが不明である Sichart の実験式以外は、限界動水勾配と透水係数の関係式を求める際に用いたデータの透水係数の範囲内で関係式の図化を行っている。

この図より、今回の試料である低塑性材料の限界動水勾配は、同程度の透水性を有する他ダムの土質材料のそれよりもかなり小さいことがわかる。この大きな原因は、今回の試料がかなりの細粒子を含んでいるものの火山灰質のシルト分がその大半を占め、結果として塑性の低い材料であることにあると考える。

6.3 土質材料としての適用性評価

今回、試験に供した試料の土質材料としての適用性の評価を、パイピング抵抗性を指標に行ってみたい。

- ① 他ダムの材料に対しても実施されている、締固め試料に締固め方向に一致して段階的な動水勾配をかけて破壊して得られる限界動水勾配 i_c と本試料に対する段階圧载荷試験から得られた i_{c0} 、 i_{c1} を比較すると、 i_{c0} 、 i_{c1} は i_c よりもかなり小さい (図-6.5 参照)。

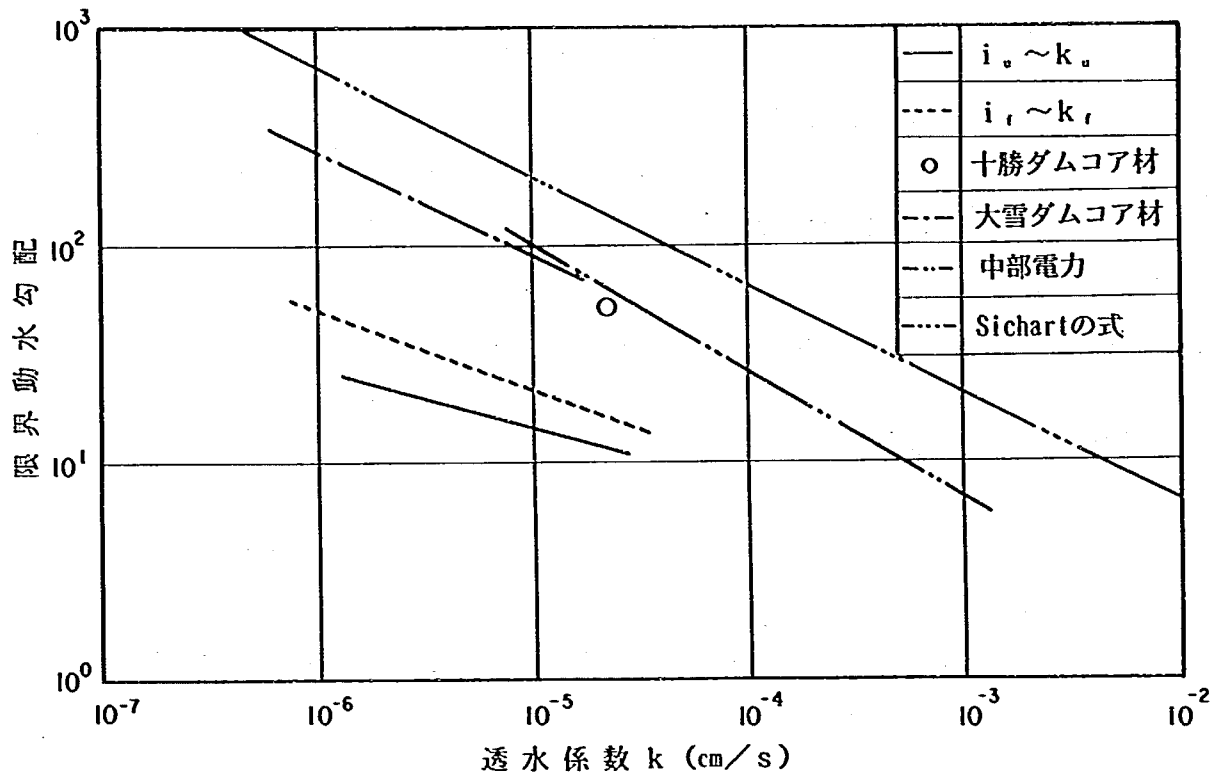


図-6.5 限界動水勾配の比較

② 同じ段階圧載荷試験結果でも、試料の締固め方向と通水方向が一致する場合（ケースV）と直交する場合（ケースH）では、締固め時の含水比によってはケースVよりもケースHの方が透水性が大きく、パイピング抵抗性が小さいという異方性が存在している（図-5.8, 5.9参照）。なお、貯水池の湛水に伴いフィルダム堤体（特にコア部）内に発生する浸透流は、水平方向、つまり締固め方向に対して直交する方向に卓越している。

③ 今回の試料は、一定動水勾配5の状況下では、長期安定するが、動水勾配10の状況下では、供試体の不均質部や傷の存在によっては、その長期安定性には疑問が残る（5.3.2参照）。

前述のように均一型フィルダム堤内での平均動水勾配は1程度であるので、今回得られた程度の限界動水勾配と有していれば、十分パイピングに抵抗できるものと考ええる。ただ、他ダムの土質材料に比べると、その抵抗力はかなり小さいうえ、③にも示したように、供試体の不均質部や傷の存在により抵抗力がかなり落ちるのではないかという懸念がある。さらに、最近では、地震、基礎の不等沈下、水圧破碎、施工上の不均質さ等の原因で遮水ゾーン内に亀裂が発生し、結果として集中漏水が起こっているという指摘もある¹⁶⁾。

以上を総合的に判断すると、このような材料をフィルダムの遮水材として使用するときには、過剰間隙水圧の発生やトラフィカビリティなどの施工上の問題の他に、パイピング抵抗性の点からフィルタの配置その他の慎重な対策が必要となつてこよう。

7. ま と め

今回は、低塑性材料のフィルダム土質材料としての適用性を、パイピングに対する抵抗性を指標に検討することを主目的に、締固めて作製した低塑性材料の供試体に対して室内パイピング試験を実施した。その結果、以下に示す知見を得た。

(段階圧載荷試験)

- ① 締固めて作製した供試体の透水性には、 w_{opt} 付近の含水比をピークに異方性を有することがわかった。この際、締固め方向に直交に通水した場合（ケースH）の透水性の方が、締固め方向に一致して通水した場合（ケースV）のそれよりも大きい。
- ② 供試体の最初の変状である表面の盛り上がりやひび割れが発生した時の動水勾配 i_v は、ケースV, Hを併せて、 $w_{opt} - 3\%$, w_{opt} , $w_{opt} + 3\%$ と含水比が大きくなるにつれて、やや増加する傾向にある。ただ、全体としては、11から33の範囲に分布する。
- ③ 最終的破壊が発生した1つ前の段階の動水勾配 i_r も、 i_v と同様に含水比が大きくなるにつれて、上昇する傾向にある。特に、 $w_{opt} + 3\%$ のグループには i_r が81, 65と他のものよりかなり値が大きいものが含まれている。ただ、この2例以外の i_r は15から33の範囲に分布している。
- ④ i_v , i_r についても、透水性と同様に締固めによる異方性が存在することがわかった。特に、 i_v については、 w_{opt} 付近をピークにした顕著な異方性が確認できた。なお、 i_v , i_r の異方性については、ケースHの方がケースVよりも小さい。
- ⑤ i_v , i_r とそれぞれの動水勾配時点での透水係数 k_v , k_r とには以下に示す相関関係があった。

$$i_v = 0.644 k_v^{-0.271}$$

ただし、 $1.3 \times 10^{-6} \text{ (cm/s)} \leq k_v \leq 2.9 \times 10^{-5} \text{ (cm/s)}$ 。

$$i_r = 0.446 k_r^{-0.333}$$

ただし、 $7.4 \times 10^{-7} \text{ (cm/s)} \leq k_r \leq 3.5 \times 10^{-5} \text{ (cm/s)}$ 。

- ⑥ 本試料の i_v , i_r は、同程度の透（遮）水性を有する他ダムの土質材料の限界動水勾配よりかなり小さいことが判明した。

(一定圧載荷試験)

- ⑦ 本試料は、動水勾配5の一定状況下での長時間通水では、安定を保てる材料であることが判明した。

- ⑧ 動水勾配10の一定状況下での試験では、動水勾配を通水飽和時の4から10に上昇させる途中で破壊する供試体もあり、供試体の不均質部分や傷の存在により、かなり小さい動水勾配により破壊する可能性があるものと考ええる。

以上の本試料のパイピング抵抗性と、近年、地震、基礎の不等沈下、水圧破碎、施工の不均一さ等の原因で遮水ゾーン内に亀裂が発生し、結果として集中漏水が起こっているという指摘を考え合わせると、本試料をフィルダムの遮水材として使用するときには、過剰間隙水圧の発生やトラフィカビリティなどの施工上の問題の他に、パイピング抵抗性の点からフィルタの配置その他の慎重な対策が必要となってこよう。

謝 辞

室内パイピング試験に供した試料に関する諸実験結果および試料の提供を賜った宮城県土木部水資源開発課の関係各位には、末筆ながら記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) J. タロブル (進藤一夫訳) : 岩盤力学, 森北出版, p. 279, 1970年.
- 2) 朝倉喜美男・長谷川英明 : 土質材料のパイピングに対する抵抗性とフィルターの有効性について, 中部電力(株)総合技術研究所研究報告書, 1970年7月.
- 3) 河上房義 (Sherard ら) 監訳 : アースダムとアースロックダム (設計と施工), 森北出版, p. 65, 1972年.
- 4) Sherard, J. L. and L. P. Dunnigan : Critical Filters for Impervious Soils, Journ. of Geot. Engg., ASCE, Vol.115, No 7, pp.927~947, 1989.
- 5) 松本徳久・山口嘉一 : 異方性地盤における原位置透水試験方法に関する研究, 建設省土木研究所資料, 第2373号, 1986年5月.
- 6) 土質工学会 : 土質試験の方法と解説, 第6編, 第1章, 土の透水試験, pp. 271~288, 1990年3月.
- 7) 松本徳久・山口嘉一 : フィルダム土質材料の長時間透水試験, 土木技術資料 (投稿中) .
- 8) 近藤武 : 土の透水性の異方性について (I), 三重大学農学部学術報告, No56, pp.239~246, 1978年.
- 9) 近藤武 : 締固め土の透水係数の異方性, 土と基礎, Vol.32, No11, pp.55~58, 1984年11月.
- 10) 播田一雄・柏木順・吉田亮二 : ロックフィルダムのコア材料の透水性の異方性に関する研究, 第18回土質工学研究発表会講演集, pp.187~188, 1983年6月.
- 11) 貞弘丈佳, 他 : 透水性に関する層状盛土の異方性について, 第19回土質工学研究発表会講演集, pp.179~182, 1984年6月.
- 12) 野口俊郎, 他 : 転圧して締固められる土構造物の透水性について, 第18回土質工学研究発表会講演集, pp.189~190, 1983年6月.
- 13) 野口俊郎, 他 : 転圧して締固められる土構造物の透水性について (第2報), 第19回土質工学研究発表会講演集, pp.177~178, 1984年6月.
- 14) 北海道開発局帯広開発建設部 : 十勝ダム工事誌, pp.195~306, 1987年2月.
- 15) 北海道開発局 : 大雪ダム工事記録, p. 95, 1977年12月.
- 16) Sherard, J. L. : Hydraulic Fracturing in Embankment Dams, Proc. Symp. on Seepage and Leakage from Dams and Impoundments, ASCE, 1985.

(平成2年10月11日 情報資料課原稿受理)

要 旨 低塑性の土質材料の造水材料としての利用可能性を、パイピング抵抗性の観点から検討した。具体的には、突固め供試体を作製し、それに対してパイピング試験を実施し、供試体の限界動水勾配を求め、以下の点について考察した。

- 1) 透水係数をパラメータに、他ダムの土質材料と比較してパイピング抵抗性の指標である限界動水勾配がどの程度の大きさであるか。
- 2) 長期透水にともなう、パイピング抵抗性の低下があるか。
- 3) パイピング抵抗性に、突固めにともなう異方性が存在するか。

キーワード：フィルダム，土質材料，パイピング試験，低塑性材料，異方性

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切
手をはって
下さい。

建設省土木研究所

フィルダム研究室 行

茨城県つくば市旭一番地

No. 34

No. 34

配布先住所

配布先氏名

○

土木研究所資料 第 2 9 1 7 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○