

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3044号

土 木 研 究 所 資 料

ダム基礎浅部の透水性

平成4年1月

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

Copyright © 1992 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。

ダム基礎浅部の透水性

フィルダム研究室 室長 藤澤侃彦

研究員 山口嘉一

(前)室長 松本徳久*

* 現(財)ダム技術センター首席研究員

要 旨

ダム基礎グラウチングによる透水性の改良度合いは、一般に5 m長の試験区間を基本とした定圧注水式試験であるルジオンテストにより判定されている。このように、ルジオンテストで得られる5 m区間の平均的な透水性のほかに、ダム、特にフィルダム堤体直近傍の透水性がいかなる値であるのか、さらにはカバーロックの除去により透水性がどの程度変化するかを把握しておくことの意義は大きい。そこで今回は、5 mのカバーロックを残して施工したカーテングラウチングによる透水性の改良が終了したフィルダムサイトにおいて、カバーロック除去後堤体底面から50cm区間の基礎を対象に現場透水試験を実施した。さらに、このダム基礎浅部の透水性が、基礎掘削、堤体築造といった上載荷重の増減によりどのように変化するかについても検討した。

キーワード：ダム、砂礫層、透水試験、グラウチング、ダルシー則

は じ め に

軟岩基礎等の強度の小さい基礎におけるグラウチング、特に浅部でのグラウチングでは、その効果を上げるため通常かなりの厚さのカバーロックを残して施工される。また、その改良度合いは基本的には試験区間5mの定圧注水式透水試験であるルジオンテストにより判定している。よって、評価の対象となる透水性はカバーロックが存在している場合の5m区間の平均的なものとしている。しかし、この5m区間の平均的結果が改良目標値を達成しているにしても、その5m区間で透水性がどのような分布をしているのか、特にフィルダムの場合、堤体の止水機能を受けもつコア極近傍部の基礎の透水性が果たしてどの程度なのか、さらにはカバーロック除去によりこの透水性がどのように変化するのかを知ることは非常に意義のあるところである。そこで、今回は、5mのカバーロックを残して実施したカーテングラウチングによる透水性の改良および5mの試験区間でのルジオンテストによる効果の判定が終了しているフィルダムサイトにおいて、カバーロックを除去し、コア盛立面から約50cmの深さの試験孔を掘削し、それを利用してルジオンテスト以外の原位置透水試験を実施し、上記ルジオンテスト結果と比較する等の考察を加えた。さらに、同一サイトにおいて、基礎の掘削あるいはその後堤体の盛立といった上載荷重の増減により基礎の透水性が、特に浅部においてどのように変化するかといった、応力と透水性の連成特性についても調査し、考察を加えた。

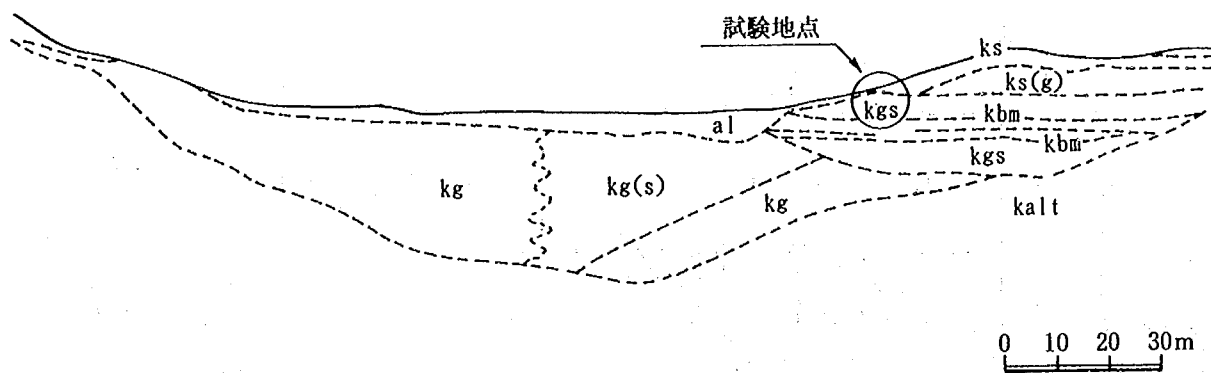
目 次

はじめに

第1章 試験サイト周辺の地質概要	1
第2章 基礎浅部での透水試験	2
2.1 試験サイトの概要	2
2.2 試験孔の位置	2
2.3 試験実施時期	3
2.4 試験方法	3
2.4.1 揚水式変水位透水試験	3
2.4.2 注水式変水位透水試験	5
2.5 試験条件	6
第3章 試験結果	7
第4章 応力状態の変化に伴う透水性の変化	10
4.1 概説	10
4.2 礫層の変形と透水性の連成特性	10
4.3 盛土後の透水試験	12
4.3.1 概説	12
4.3.2 試験方法	12
4.3.3 試験結果	16
第5章 おわりに	20
参考文献	21
付図	23

第1章 試験サイト周辺の地質概要

試験地点周辺の地質は、図-1.1に示すように、基盤をなす古第三紀始新世の砂岩粘板岩互層 (kalt) と、これを不整合に覆う第四紀更新世の礫層 (砂礫層 (kg)、シルト層 (ks)、シルト混じり礫層 (kgs)、黒色泥層 (kbm) および完新世の沖積層 (al)、表土および崖錐堆積物 (di) 等により構成されている。図-1.1中のkg (s) は砂礫層 (kg) のうちシルト分が多いものを、ks (g) はシルト層 (ks) のうち小礫を含むものを示す。



地 質 代	地 質 名	記 号
第 四 紀	完 新 世	沖 積 層
第 四 紀	更 新 世	国 頭 礫 層
第 四 紀	更 新 世	シ ル ト 層
第 四 紀	更 新 世	黒 色 泥 層
第 四 紀	更 新 世	シルト混り礫層
第 四 紀	更 新 世	礫 層
第 三 紀	始 新 世	嘉 陽 層
第 三 紀	始 新 世	砂 岩 粘 板 岩 互 層

図-1.1 試験サイトの地質断面図

第2章 基礎浅部での透水試験

2.1 試験サイトの概要

試験は、図-1.1に示した地質状況下で、カーテングラウチングの1ブロック（第12ブロック）内で実施した。試験実施ブロック内のグラウチングパターンと透水試験実施位置を図-2.1に示す。なお、カバーロック（土被り）厚は5 mである。このブロックのコア盛立面付近の地質は、礫層とというもののシルト分がやや多いkgs層である。

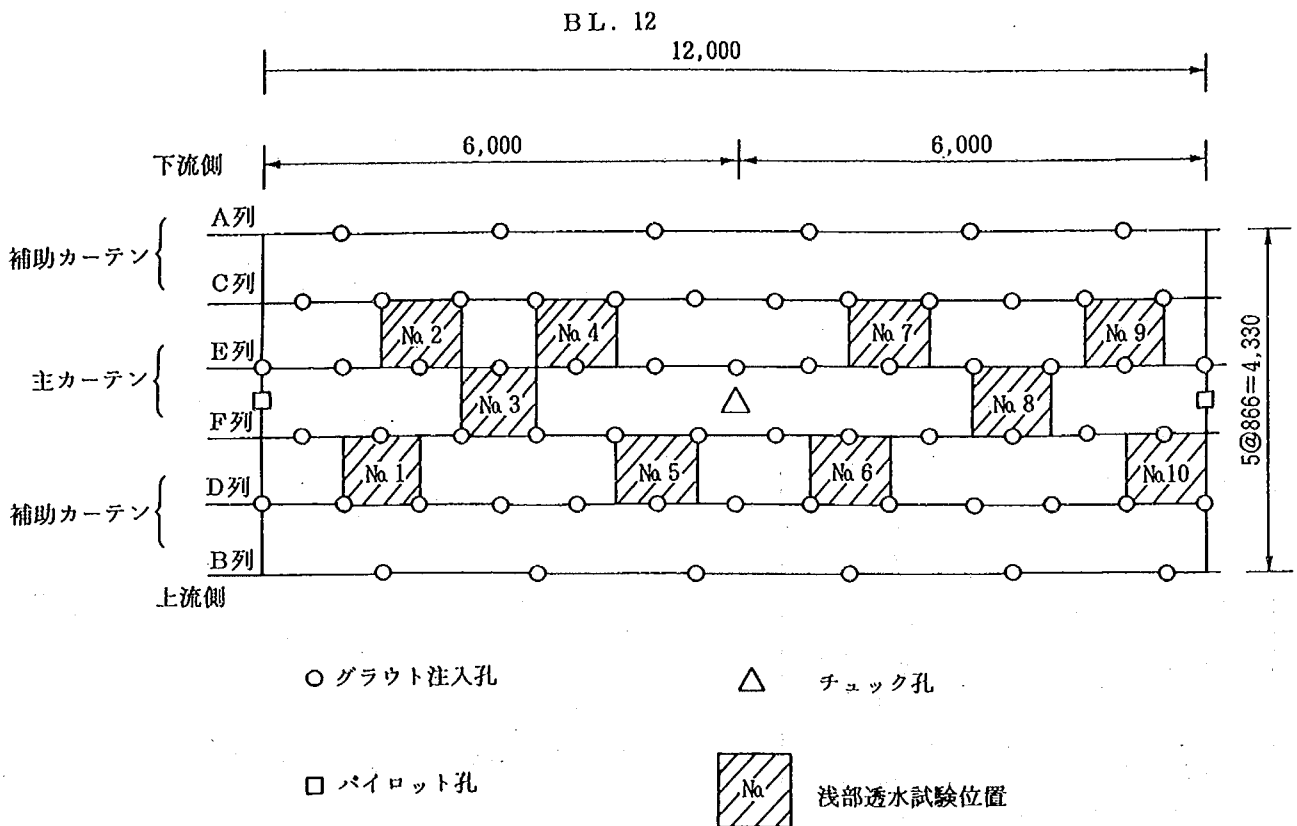


図-2.1 試験実施位置

なお、第1ステージとなる地表からの5 m区間を対象とした透水試験であるルジオンテストをパイロット孔とチェック孔（5 mの土被りが存在する状況）で実施した結果は、前者の左岸側で7.3Lu、右岸側で1.9Lu、後者で0.0Luであった。本ブロックの透水性は、パイロット孔の時点で改良目標値である10Luを下回っていたが、その透水性はグラウチングによりさらに改善されていることがわかる。

2.2 試験孔の位置

今回の主目的である浅部の透水性を把握するための透水試験孔は、孔径66mmのボーリング（コアボー

リング)により掘削し、その深度は約50cmとした。孔数は、対象ブロック内で10とし、その位置は図-2.1に示すとおりである。

2.3 試験実施時期

今回の透水試験は、グラウチング効果の判定のためのチェック孔でのルジオンテストが終了した後、グラウチング時のカバーとなる5mの土被りを除去した時点で実施した。孔口はコア盛立面に一致させた。

2.4 試験方法

上記の透水試験孔では、以下に示す2種類の方法で透水試験を実施した。

2.4.1 揚水式変水位透水試験

試験サイトにおいては、コア盛立面付近に地下水面が存在するため、試験孔内の水を汲み上げ、汲み上げ停止後の孔内水位の回復を測定することにより透水係数を算定する揚水式の変水位試験を実施した(図-2.2参照)。試験結果の整理には以下の2つの算定式を用いた。

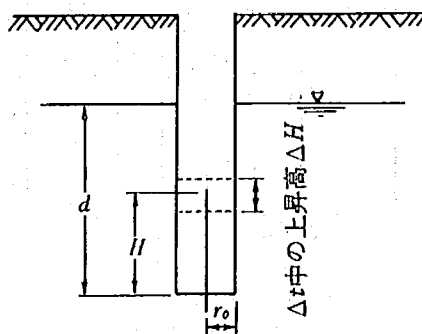


図-2.2 揚水式変水位透水試験

a) Auger 孔法の理論解¹⁾

透水係数 k の算定式は以下に示すとおりである。

$$k = 0.617 \cdot \frac{r_0}{S d} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、

- k : 透水係数 (cm/s)、
- Δt : 揚水停止後の経過時間 (s)、
- ΔH : 回復した水位 (cm)、

- r_o : 試験孔半径 (cm)、
 d : 地下水面から孔底までの深さ (cm)、
 S : 定数 (r_o/d 、 H/d の関数)
 H : 孔内平均水位。

上述のとおり、 S は r_o/d と H/d の関数で、その関数形は Bessel 関数を含んだ複雑なものであるが、Spangler¹⁾ が S の値を容易に求めるための図を図-2.3として与えている。

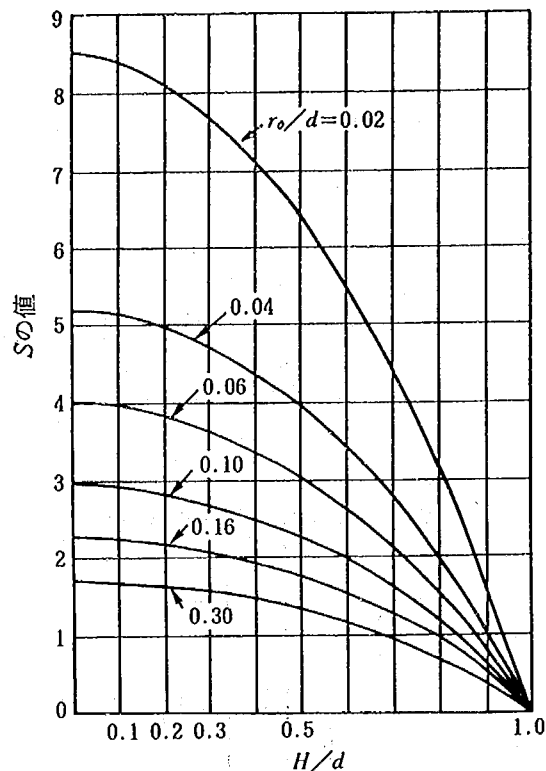


図-2.3 Sの値

ただし、上記の理論解は、試験孔底面が不透水層面に一致しているという仮定のもとに求められるもので、試験孔底が透水層内に止まる場合には近似解となる。

b) Hooghoudt の式¹⁾

この透水係数算定式は試験孔底が透水層内に止まる場合の実用解（モデル実験等を併用）の1つで、次式で表現される。

$$k = - \frac{5.26 r_o^2 d}{(2d + r_o) y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$y = d - H$$

ただし、 r_o 、 d 、 y 、 H の長さは全てメートル単位で代入するものとする。

2.4.2 注水式変水位透水試験

揚水式試験終了後、試験孔内に孔壁保護等の目的で碎石を投入し、さらに注水用のスタンドパイプを建て込み、孔口付近を粘土と速硬セメントで遮水する（図-2.4参照）。スタンドパイプ口から注水するとともに、スタンドパイプ内の水位の降下と経過時間を測定し、次式により透水係数を算定する。

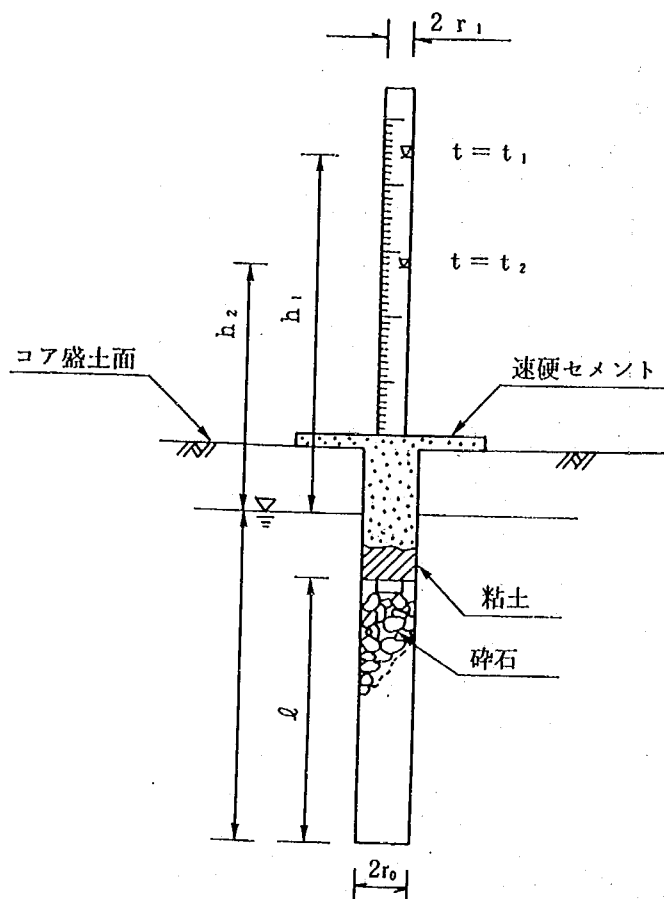


図-2.4 注水式変水位透水試験

$$k = \frac{r_1^2}{2l(t_2 - t_1)} \sinh^{-1} \left(\frac{l}{2r_0} \right) \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

ここに、 r_1 : スタンドパイプ内半径、

r_0 : 試験孔半径、

l : 試験区間長、

t_1, t_2 : 経過時間、

h_1, h_2 : $t = t_1, t_2$ の時の水位、

$\sinh^{-1}$: 逆双曲線関数。

なお、今回ま試験では l は30cm程度になるようにした。また、スタンドパイプは内径($2r_0$)が1.0cm

のものを使用した。

2.5 試験条件

今回実施した原位置透水試験の孔寸法、地下水位等の条件を表-2.1にまとめて示す。

表-2.1 試験条件

試験孔 No	$2r_0^{*)}$ (cm)	$d^{*)}$ (cm)	$l^{**)}$ (cm)
1	7.0	47.8	—
2	7.3	33.9	28.1
3	7.2	49.3	27.6
4	7.0	48.8	22.8
5	6.8	59.5	35.6
6	7.2	50.3	34.8
7	7.3	51.1	34.2
8	7.4	50.8	—
9	7.1	52.7	33.1
10	7.2	47.6	—

*) 揚水式と注水式共通。

**) 注水式用。

第3章 試 験 結 果

コア盛立面から約50cmの深さまでの基礎を対象にして実施した揚水式および注水式の変水位透水試験の結果を表-3.1にまとめて示す。各試験は複数回実施し、安定した結果の平均値を採用している。なお、揚水式試験結果である $h \sim t$ 関係と注水式試験結果である $\log h \sim t$ 関係の一例 (No. 6 孔) をそれぞれ図-3.1、3.2に示す。No. 6 孔以外の孔の結果は、巻末に付図として添付する。図中の直線部の勾配を基に透水係数を算定した。

同一の揚水式透水試験の結果をもとに Auger 孔法の理論解から求めた透水係数と Hooghoudt の式から求めたその関係を図-3.3に、揚水式透水試験から求めた透水係数と注水式透水試験より求めたその関係を図-3.4に示す。

以上の原位置透水試験の結果から以下のことがいえる。

- ① 揚水式透水試験の結果を Auger 孔法の理論解と Hooghoudt の式に代入して透水係数を算定したところ、前式より深まる透水係数の方が後式より求まるそれよりも 1～2 倍程度大きい値となった。これは、Auger 孔法の解が試験孔底面が不透水層に一致している場合の理論解であるのに対して、Hooghoudt の式は孔底面が透水層中に止まる場合の実用解であるためである。また、後者の求解条件の方が実際の境界条件に近く、Hooghoudt の式から求めた透水係数の方がより実際の値に近いと判断する。

表-3.1 原位置透水試験結果

No.	透 水 係 数 (cm/s)		
	注 水 式	揚 水 式	
		Auger 孔法の理論解	Hooghoudt の式
1	————	2.1×10^{-4}	1.3×10^{-4}
2	9.1×10^{-5}	1.5×10^{-4}	7.3×10^{-5}
3	2.7×10^{-4}	2.1×10^{-4}	1.4×10^{-4}
4	1.3×10^{-4}	1.3×10^{-4}	8.1×10^{-5}
5	5.4×10^{-5}	7.4×10^{-5}	5.9×10^{-5}
6	4.4×10^{-4}	3.5×10^{-4}	2.2×10^{-4}
7	1.8×10^{-4}	2.6×10^{-4}	1.7×10^{-4}
8	————	6.6×10^{-4}	4.5×10^{-4}
9	1.8×10^{-4}	2.1×10^{-3}	1.6×10^{-3}
10	————	2.6×10^{-4}	1.6×10^{-4}

注) 1) No.1, 8, 10での注水式試験はシール不良等の理由により試験を実施することができなかった。

2) 透水係数は水温15℃の値に変換してある。

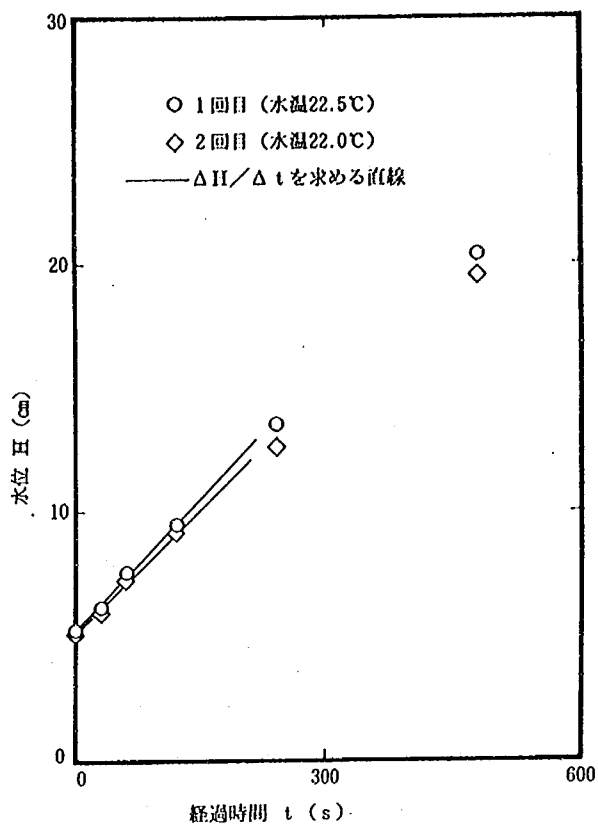


図-3.1 $H \sim t$ 関係
(揚水式変水位透水試験結果: No. 6)

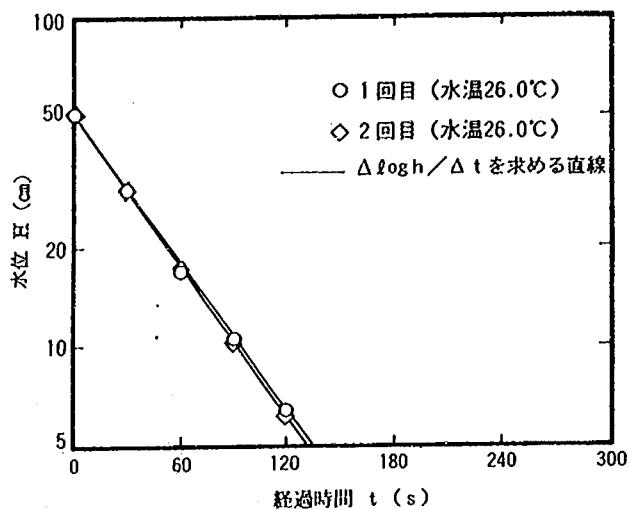


図-3.2 $\log h \sim t$ 関係
(注水式変水位透水試験結果: No. 6)

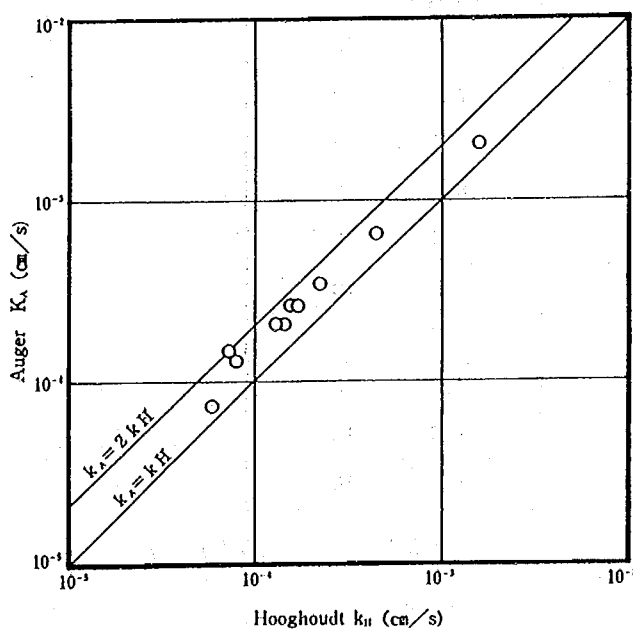


図-3.3 揚水式透水試験結果

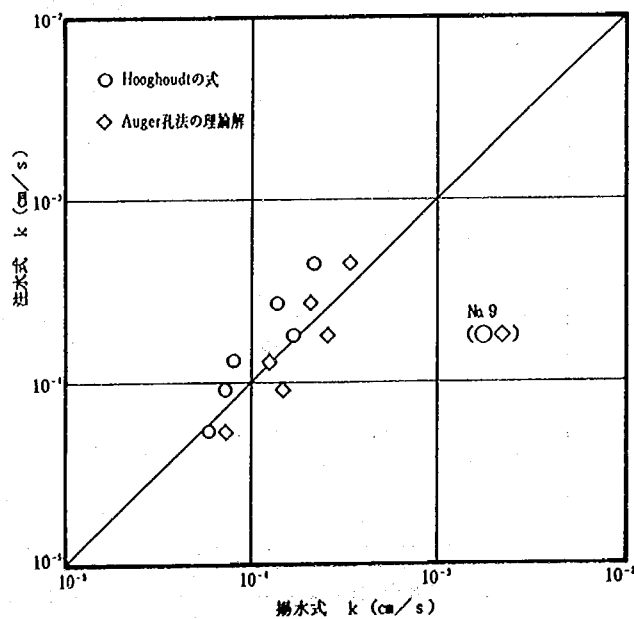


図-3.4 揚水式と注水式の結果の比較

② 注水式と揚水式の透水試験から求めた透水係数は、No.9 孔を除いて比較的よく一致しており、両方式の透水試験とも首尾よく実施されたことが伺える。

No.9 孔の注水式透水試験実施時に試験区間内に挿入しているスタンドパイプ先端部での目詰まり現象が発生したこと、試験孔掘削時に採取したボーリングコアが礫質部が大半であること等も考慮すると、No.9 付近の基礎の透水性は揚水式透水試験から求めた値に近いと判断できる。

③ 揚水式、注水式透水試験とも簡易に実施でき、かつ精度の良い試験であることが判明し、今後も数多く実施していきたいと考える。

④ 孔径66mm、試験区間 5 mの基本的寸法で実施したルジオンテストの結果得られるルジオン値と透水係数には、Darcy 則が成立すれば、 $1 \text{ Lu} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ の関係がある。この関係式により揚水式透水試験を Hooghoudt の式で整理して求めた透水係数をルジオン値に変換して、以下のようなグループ分けをする。

- | | |
|--------------------------|---------------|
| a) 10Lu (第1ステージ改良目標値) 以下 | No.1, 2, 4, 5 |
| b) 10~15Lu | No.3, 7, 10 |
| c) 15~20Lu | No.6 |
| d) 20Lu 以上 | No.8, 9 |

上記のグループのうち、大きい透水性を示すd)に属するNo.8, 9孔で採取されたボーリングコアを観察すると、かなりの礫が含まれていた。

本サイトの透水性の改良目標値である10Luを越える試験孔が10本中6本あったが、グラウチング効果の判定は試験期間区間長 5 mでの透水試験結果により行うことが基本であること、また基礎掘削 (5 m) による緩みの影響をかなり受けている地表付近で実施した今回の透水試験でも改良目標値の10Luよりも極端に大きな透水性を示すものが少なかったこと、さらに今後の堤体盛土が緩み部分を締めることが可能であること等を考慮すると、本サイトのグラウチングは成功しているものと判断できる。なお、無処理状態の礫層の浅部に対して以前に実施されているピット法等の原位置透水試験から、無処理状態で浅部の礫層は $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ cm/s}$ 程度の比較的高い透水性を有していることが判明しており、今回得られた結果はこれよりもかなり小さく、このことからグラウチングの効果は基礎浅部においても十分あったと考える。しかし、これでは定性的な議論の域を出ないゆえ、次章において、基礎掘削および堤体盛土の基礎の透水性に与える影響を定量的に評価してみる。

第4章 応力状態の変化に伴う透水性の変化

4.1 概説

前章では、グラウチング後の土被り除去により地表付近が緩み、地表から50cmという地表付近の区間を対象に実施した透水試験の結果として得られた透水性が5mの土被り状態で5m区間を対象としたチェック孔でのルジオンテストより得られたそれより大きかったり、今後の堤体盛土により緩み部分が締められ、結果として透水性は小さくなるという議論を定性的に展開した。本章では、既に把握している試験対象である礫層の変形と透水性の連成特性を用いて、上記の議論を定量的に進めるとともに、ダム堤体盛立後に再度透水試験を実施し、実際に透水性の変化を確認した。

4.2 礫層の変形と透水性の連成特性

一般に、土の透水係数 k (cm/s) と空隙比 e の関係は次式で表現される²⁾。

$$e = a + b \log k \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここに、 a 、 b は定数である。

現場試験より求めた礫層 kg の e と k の関係を示す a 、 b の値は、 $a=0.71$ 、 $b=0.031$ である³⁾。ただし、この関係は礫層を巨視的に均質な多孔質媒体とみなして求めたものであることを明記しておきたい。

なお、今回透水試験の対象となったのは、礫層のうちでもややシルト分の多い kgs であるが、上記特性については kg と大差はないものとして以下の議論を進める。

まず、図-4.1に示すようにグラウチング終了直後の土被り T_m の状態での透水試験区間 ℓ_0 ($=5$ m) の中央部における空隙比を e_0 として、 T_m の土被りを除去した後、つまり今回の現場透水試験の試験区間 ℓ_1 ($=0.5$ m) の中央部における e_1' を求める。この際、地盤は弾性体と考え、その弾性係数 E は現場変形試験 (孔内載荷試験) から求めた値を参考に 100kgf/cm^2 ³⁾、 kgs 単体体積重量 γ_s は 2gf/cm^3 とした。なお、チェック孔での透水試験実施時の土被り厚 T は 5 m である。

以上の条件から e_0 と e_1' の関係は次式で表現できる。

$$e_1' = e_0 + (1 + e_0) \frac{\gamma_s T + \gamma_s (\ell_0 - \ell_1) / 2}{E} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

式 (4.1) の a 、 b に現場試験から求めた値を代入し、これと式 (4.2) より仮にグラウチング改良後の 5 m 区間の平均透水係数 k_0 を 5×10^{-5} 、 1×10^{-4} cm/s とした場合の土被り除去後 50 cm 区間の透水係数 k_1' を算定してみる。

a) $K_0 = 5 \times 10^{-5}$ cm/s の場合

$$e_0 = 0.71 + 0.031 \times \log_{10} (5 \times 10^{-5}) = 0.577$$

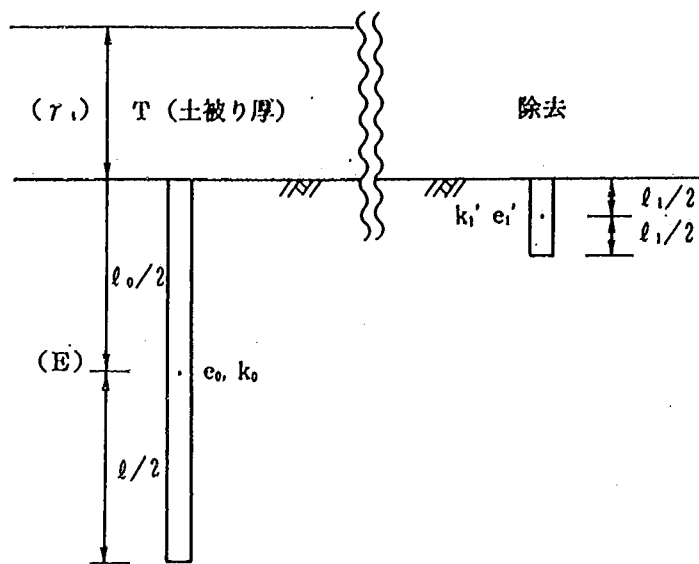


図-4.1 モデル概略図

$$e_1' = 0.577 + 1.577 \times \frac{5 \times 2 + 2 \times (5 - 0.5) / 2}{1000} = 0.600$$

$$k_1' = 10^{\left(\frac{0.600 - 0.710}{0.031} \right)} = 2.8 \times 10^{-4} \text{ (cm/s)}$$

$$k_1' / k_0 = 5.6$$

b) $k_0 = 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ の場合

$$e_0 = 0.71 + 0.031 \times \log_{10} (1 \times 10^{-4}) = 0.586$$

$$e_1' = 0.586 + 1.586 \times \frac{5 \times 2 + 2 \times (5 - 0.5) / 2}{1000} = 0.609$$

$$k_1' = 10^{\left(\frac{0.609 - 0.710}{0.031} \right)} = 5.5 \times 10^{-4} \text{ (cm/s)}$$

$$k_1' / k_0 = 5.5$$

以上のようなモデルを使った試算によると、今回実施したコア盛立面直下50cm区間という非常に浅部を対象にした透水試験から得られた透水係数は土被り厚5mの時のチェック孔（コア盛立面下の試験区間長5m）での透水係数の約5.5倍になることがわかる。よって単純に考えると、5mの土被り状態でのチェック孔の仕上がり目標値が 10Lu （ $=1.3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ）であるとすれば今回の50cm区間の透水試験における仕上がり目標値は、本礫層の場合 $7.2 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 程度となる。今回の試験結果は表-3.1に示したが、ほとんど（No 9孔以外）がこの値を満足していることがわかる。

4.3 盛立後の透水試験

4.3.1 概説

前節では、チェック孔での透水試験終了後、カバーとなる5mの土被りを除去し、コア材盛立面極近傍50cmを対象に透水試験を実施したところ、5m区間のチェック孔での透水性よりも大きい値を示したという事実を、対象砂礫層の変形と透水性の連成特性を用いて定量的に説明することを試みた。本節では、前節での議論の正当性を実証するために、堤体築堤途中に堤体上から透水試験孔を形成し、透水試験を実施したので、その方法と結果について報告する。

4.3.2 試験方法

(1) 透水試験孔の穿孔¹⁾

透水試験の対象が強度の小さい砂礫層であるうえ、フィルダムの堤体上から試験孔を穿孔しなくてはならないため、極力コア、地盤を痛めない穿孔法の選択が迫られた。最終的に採用したのは、ロータリー式のミスト（泡）ボーリング工法である。ミストボーリングでは、図-4.2に示す装置を用いて、水の代わりに界面活性液を送り込んで発生する泡でスライムを排出してボーリングを行い、孔壁に過大な水圧が載荷されることを防いでいる。

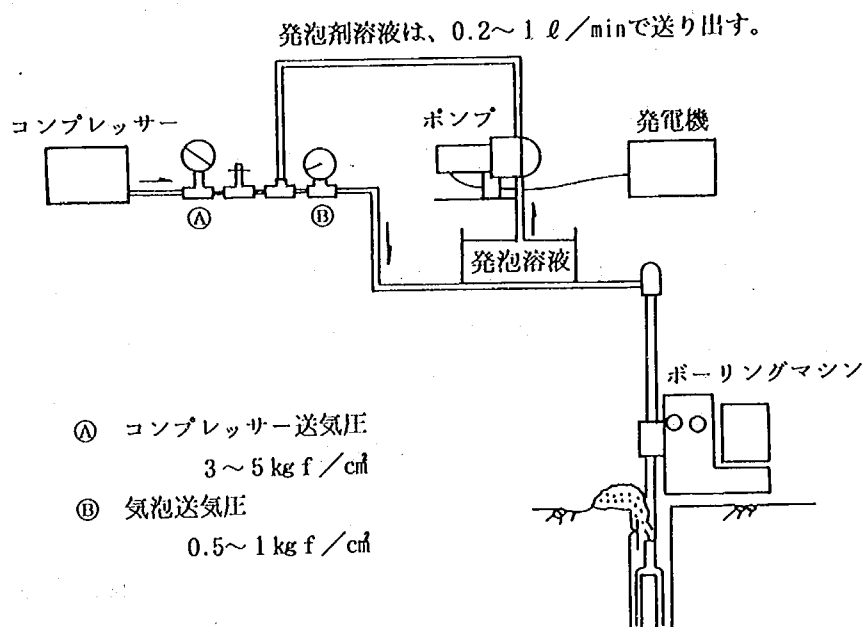


図-4.2 ミストボーリング工法

(2) 透水試験方法^{5) ~ 1)}

透水試験は、コアの盛土表面から実施するため試験対象の砂礫層に対しては、比較的地下水位が低い状態にある。そのため、孔口での圧力管理を行うと、有効圧力としては、最低圧力状態でもかなり

大きい圧力となり、その時点で地盤の限界圧力を越えて地盤に新たな水みちを形成し、正確に透水性を評価できない恐れがある。そこで今回は、図-4.3に示す装置を用い、極低圧領域については、注入管内の水位を調整しながら水圧载荷を試みた。なお、水圧測定については、その精度を上げるため試験区間内に水圧センサーを設置している。透水試験は、「ルジオンテスト技術指針・同解説」⁸⁾に準拠して行くとともに、圧力段階は有効圧力で以下のように設定した（全9段階）。

0.1 0.2 0.3 0.5 0.7 1.0 (kgf/cm²)

なお、以下では、本透水試験方法を孔内静水圧透水試験と称す。

(3) 透水試験の実施位置と時期

試験孔の平面的設置位置を図-4.4に示す。試験孔は、平面的には第12ブロックのチェック孔を近傍とした。前述したように、5 mの土被り状態でのチェック孔の第1ステージ（5 m区間）で得られた透水試験結果は0 Lu、その後の土被り除去後、コア盛立面以深50cmの浅部を対象に実施した透水試

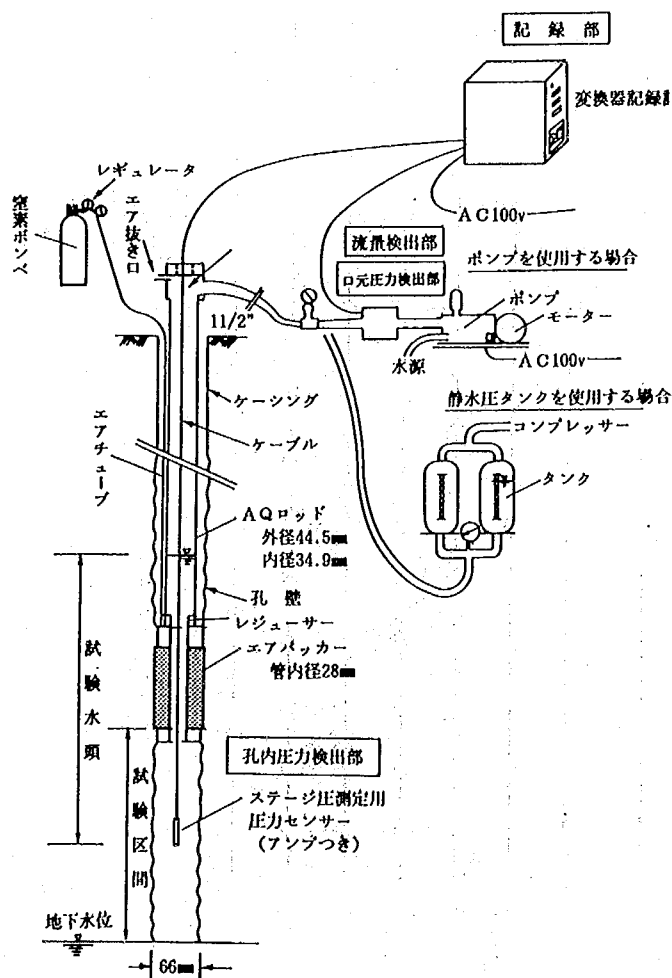


図-4.3 孔内静水圧透水試験方法

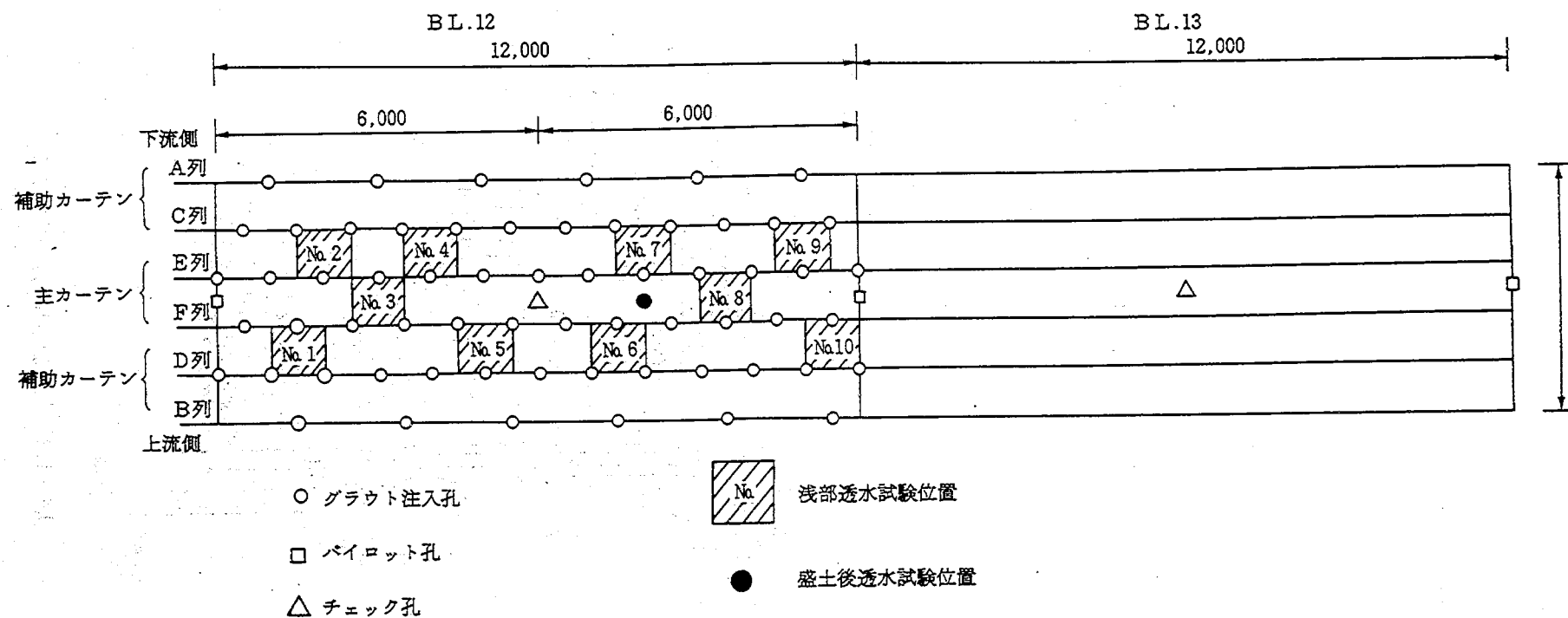


図-4.4 盛土後透水試験位置 (平面)

験のうち今回設置した試験孔近傍にあるNo.6,7,8ではそれぞれ 2.2×10^{-4} 、 1.7×10^{-4} 、 $4.5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ (Hooghoudt の式による) の透水係数を得ている。

透水試験区間深度を図-4.5に示す。まず、コア盛立面から50cmまではケーシングを追い込みながら $\phi 116\text{mm}$ ないし $\phi 86\text{mm}$ のボーリングを実施する。その後、 $\phi 66\text{mm}$ のボーリングで1 m掘進するごとに透水試験を実施し、掘進深度5 mまで1 m区間の試験を5回、最後に5 m区間の試験を1回実施することとした。透水試験区間の最浅部をコア盛立面に一致させなかったのは、透水試験時の漏水によりコアと基礎の境界部に水みちとなる弱部を形成することを防止するためである。

試験の実施時期は、第12ブロック直上の堤体の盛立高が26.5mの時である。

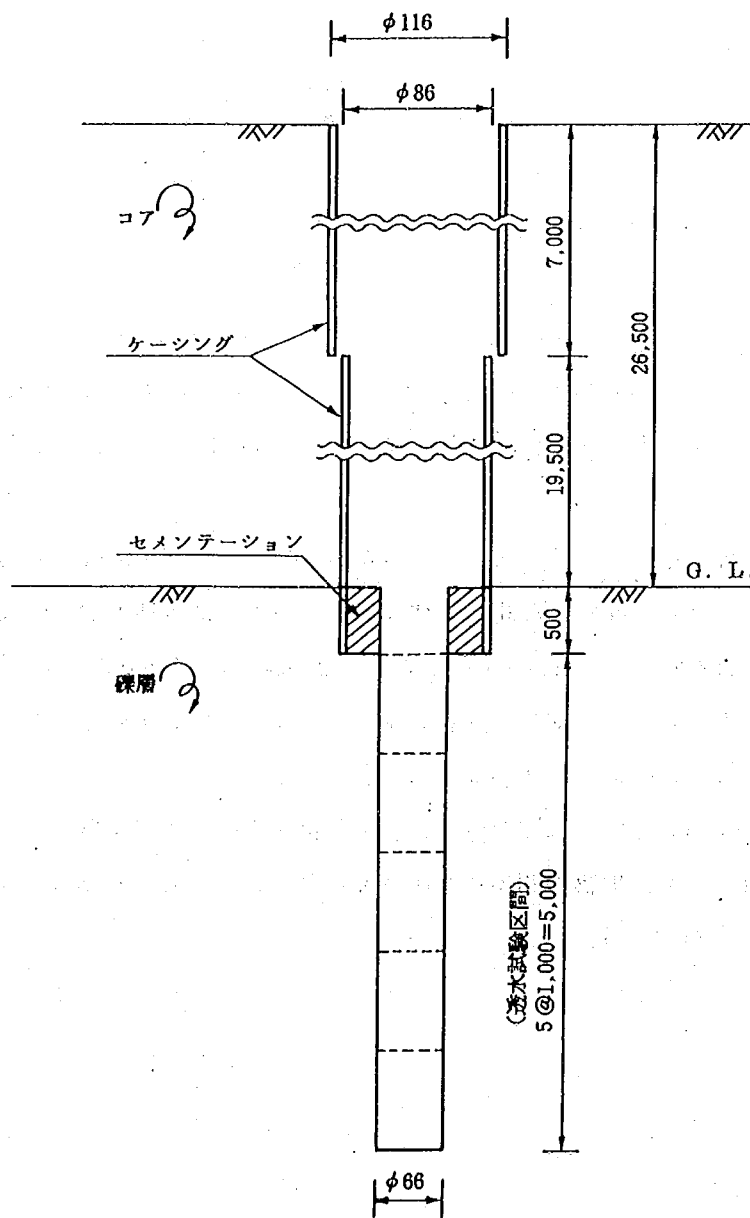


図-4.5 透水試験の区間割り

(4) 試験孔の埋め戻し

試験孔の埋め戻し作業手順を図-4.6に示す。

まず、孔の基礎地盤部には、チェック孔の埋め戻しと同様水セメント比 $W/C=0.8$ のセメントミルクを注入する。

6時間経過後、コア材と同程度の弾性係数を有するようにセメントCとベントナイトBと水Wの配合を調整して作製した埋め戻し材 ($B/C=2$ 、 $W/C+B=12$) をケーシングパイプ内にコア盛土上面まで注入する。ケーシングパイプを引き抜きながら埋め戻し材をコア盛土上面に液面が一致するように注入する。埋め戻し材硬化後、ブリージングによる体積減少分の埋め戻し材を再注入して孔の埋め戻しを完了する。

4.3.3 試験結果

堤体盛土(盛土高26.5m)後実施した透水試験より求めた $p-q$ 曲線を図-4.7に、また得られた透水性を、第12、13ブロックのチェック孔および浅部透水試験孔Na6,7,8での透水試験結果とともに図-4.8に示す。これらの図より以下のことがわかる。

- ① チェック孔での透水試験後の5mの土被り除去により、基礎、特に浅部の透水性が大きい値を示したにもかかわらず、5m区間での透水性を比較すると、その後の26.5mの堤体盛土により透水性が大きく減少し、チェック孔での透水試験実施時点と同等程度になっていることがわかる。
- ② 試験区間1mの結果を見ても、最浅部(コア盛立面 $-0.5\sim-1.5$ m区間)の透水性で $1.1Lu$ と、堤体盛土によりコア盛立面付近の透水性は土被り除去後の平均透水性 $2.8\times 10^{-4}cm/s$ (Na6,7,8での透水係数はそれぞれ 2.2×10^{-4} 、 1.7×10^{-4} 、 $4.5\times 10^{-4}cm/s$) (盛立面 $-0\sim-0.5$ m)より大きく改善されていることがわかる。確かに両者の試験対象深度には若干の差異があるものの、概ね上記の傾向があるということに疑う余地がないものと考える。
- ③ 試験区間5m内の1mごとの透水性の分布は、概ね深度方向に小さくなっている、この事実からも地盤の応力の増加とともに地盤の間隙比が小さくなり、結果として透水性が小さくなるという連成特性を伺い知ることができる。

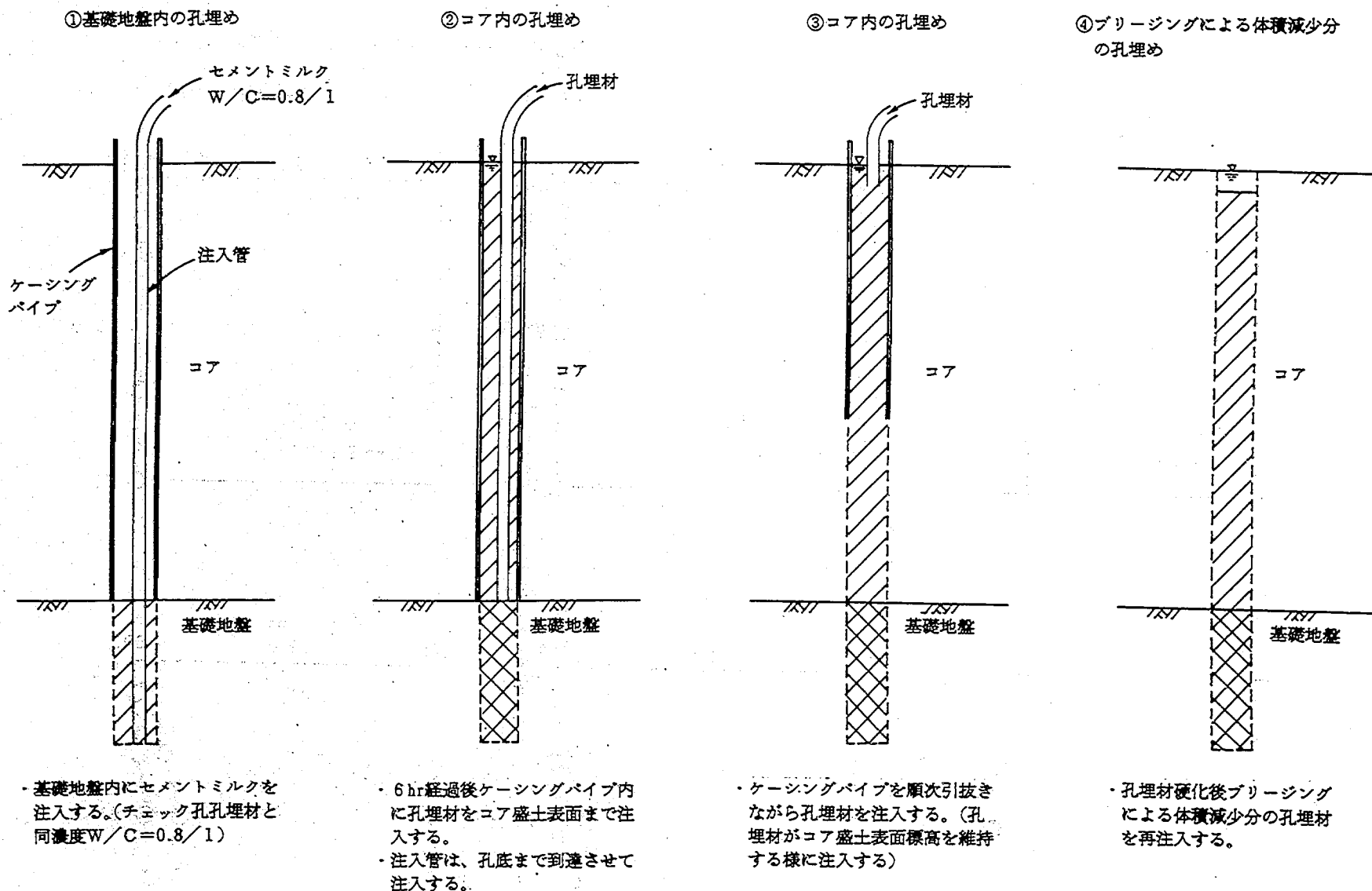


図-4.6 試験孔の埋め戻し作業手順

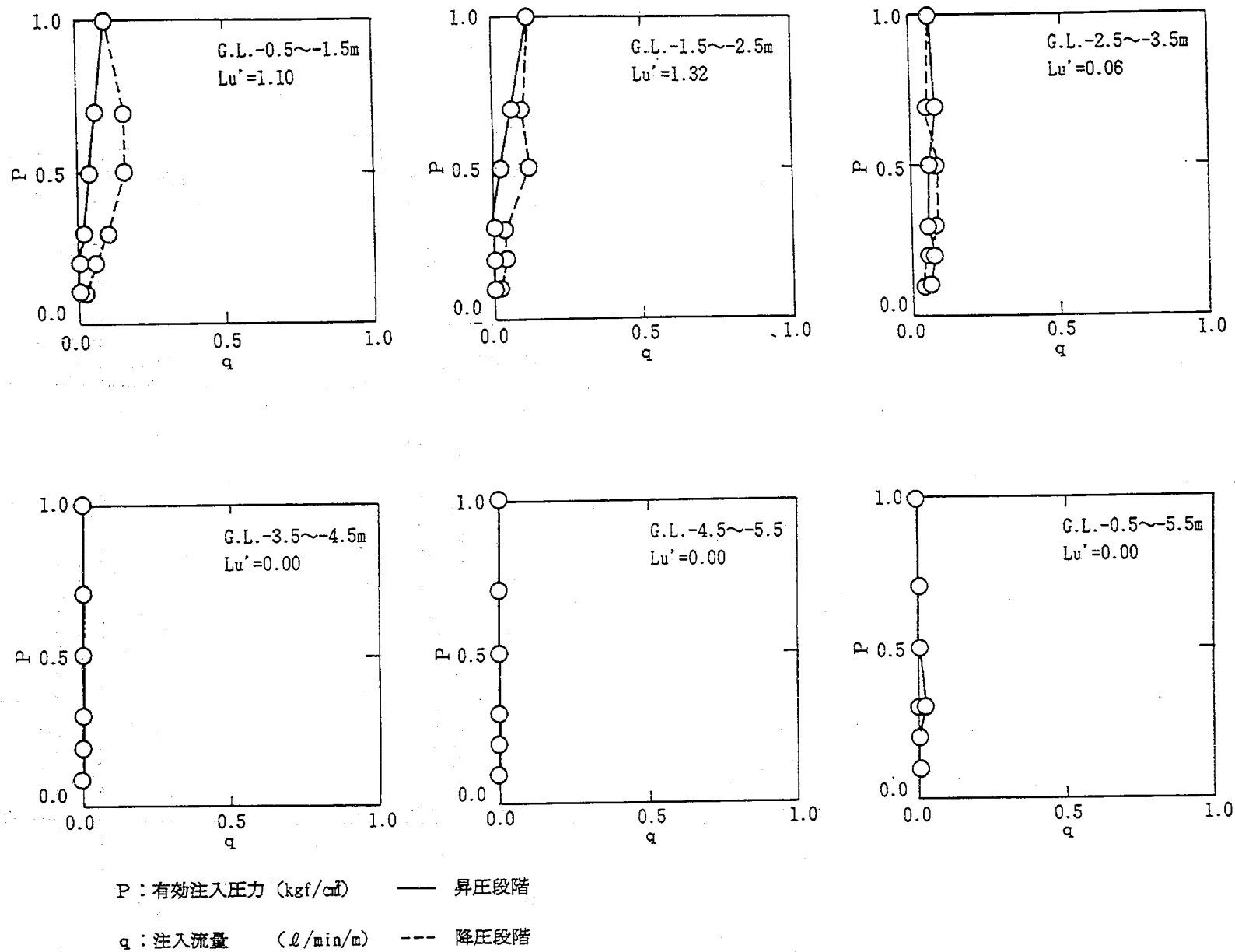


図-4.7 $P-q$ 曲線

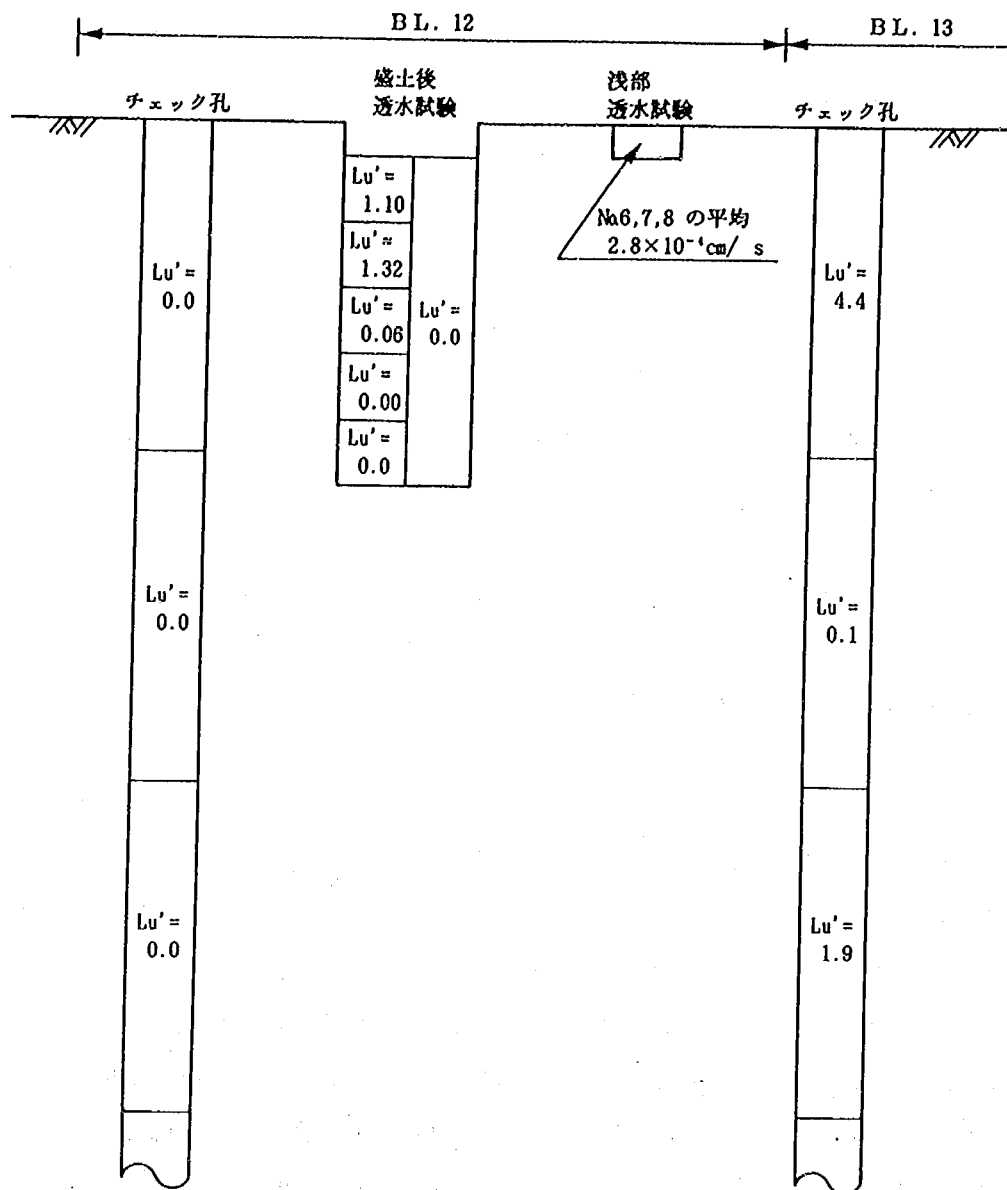


図-4.8 透水試験結果

第5章 お わ り に

グラウチング処理が終了した砂礫層を対象に、フィルダムのコア盛立面近傍の50cm区間を対象に揚水式および注水式の透水試験を実施し、以下に示す知見を得た。

- ① 揚水式透水試験の結果をAuger孔法の理論解とHooghoudtの式に代入して透水係数を算定したところ、前式より求まる透水係数の方が後式より求まるそれよりも1～2倍程度大きい値となった。これは、Auger孔法の解が試験孔底面が不透水層に一致している場合の理論解であるのに対して、Hooghoudtの式は孔底面が透水層中に止まる場合の実用解であるためである。また、後者の求解条件の方が実際の境界条件に近く、Hooghoudtの式から求めた透水係数の方がより実際の値に近いと判断する。
- ② 注水式と揚水式の透水係数から求まった透水係数は、比較的良好一致しており、両方式の透水試験とも首尾良く実施されたことが伺える。
- ③ 両試験は、簡易に実施でき、かつ精度の良い方法であることがわかり、今後も現場で実施していきたいと考える。
- ④ 孔径66mm、試験区間長5mの基本的寸法で実施したルジオンテストの結果得られるルジオン値と透水係数には、Darcy則が成立すれば、 $1\text{Lu} = 1.3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ の関係がある。この関係式により揚水式透水試験をHooghoudtの式で整理して求めた透水係数をルジオン値に変換すると、実施10孔中6孔で得られた透水性が改良目標値である10Luよりも大きいことが判明した。
- ⑤ チェック孔（土被り厚5m、試験区間5m）での透水試験結果では、首尾良くグラウチングが実施されていたと判定されたものが、今回実施の10孔での50cm区間を対象とした試験結果では改良目標値10Luをクリアしていないものが過半数を占めた。しかし、試験対象である砂礫層の変形と透水性の連成特性を考慮して、チェック孔での透水試験結果と今回のそれとの関係を定量的に評価したところ、土被り厚5m、試験区間5mのチェック孔での透水試験状態を透水性改良評価の基本とすれば、今回の試験結果からもグラウチングは首尾良く実施されたと判定できた。
- ⑥ さらに、土被りを除去し、堤体を盛土（26.5m）した後、堤体上からボーリングを実施して基礎浅部を対象とした透水試験を実施したところ、チェック孔での値と同程度あるいはそれ以上に透水性が改善されていることが判明した。

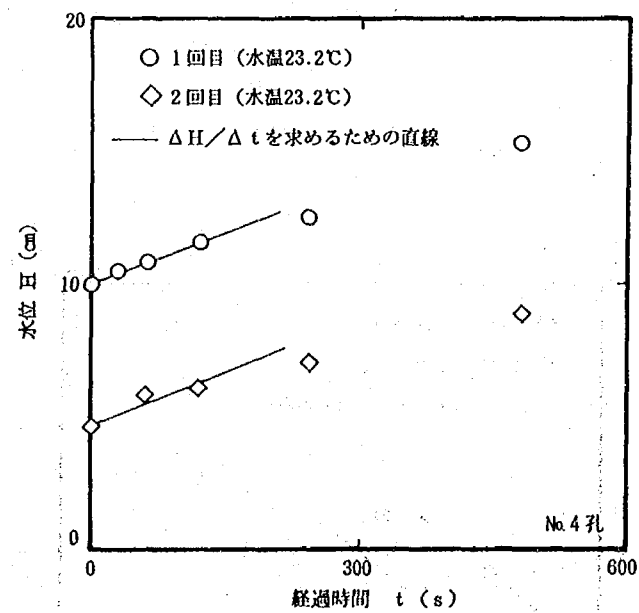
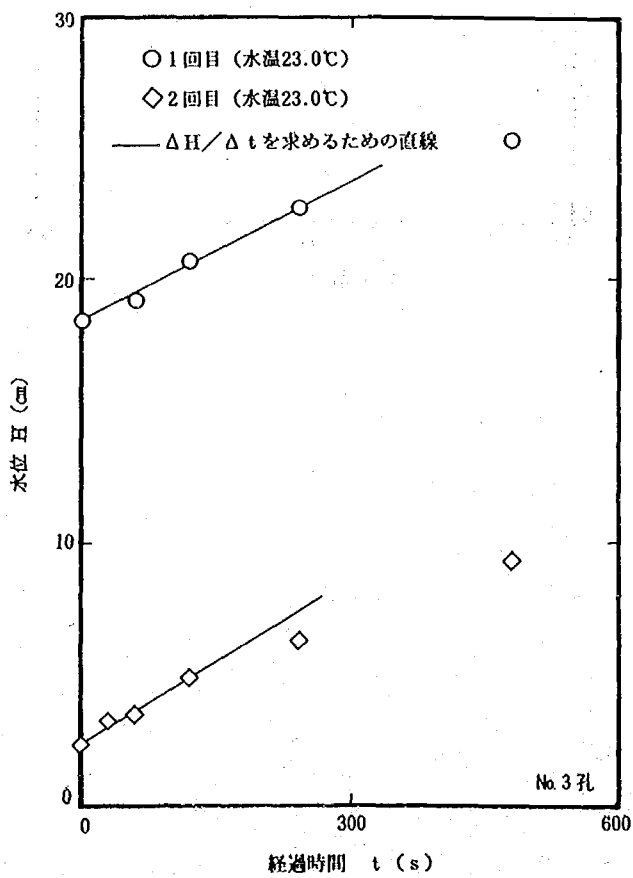
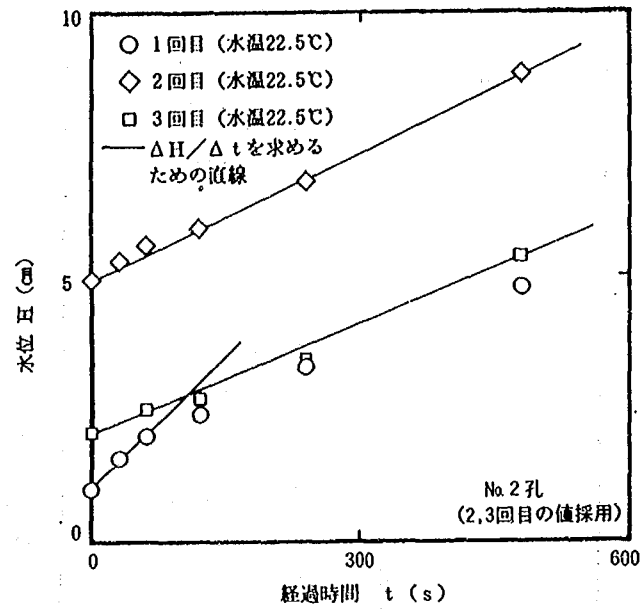
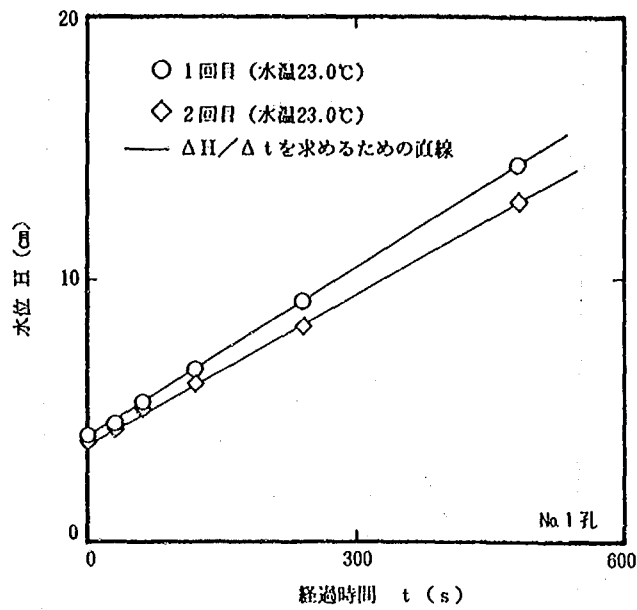
最後に試験を実施するにあたり多大なご協力を賜った沖縄総合事務局北部ダム事務所の関係各位、および計測に同行頂いたフィルダム研究室の大久保雅彦氏、部外研究員の加瀬俊久（清水建設㈱）、木下靖（㈱建設技術研究所）の両氏には、記して感謝の意を表します。

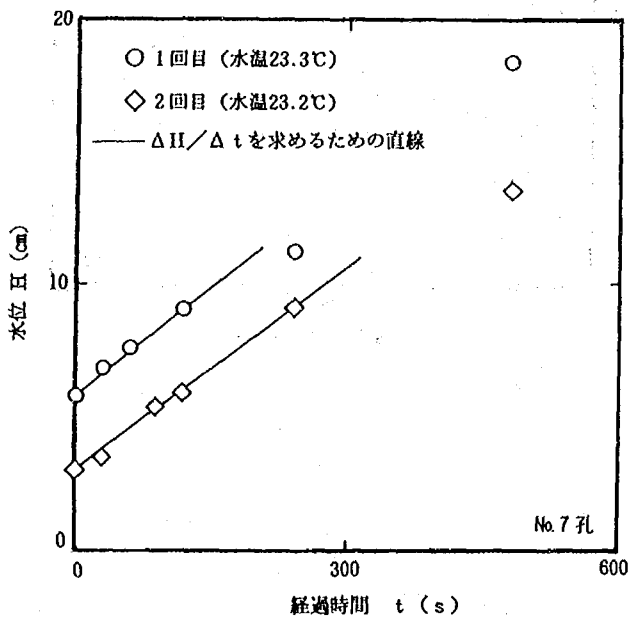
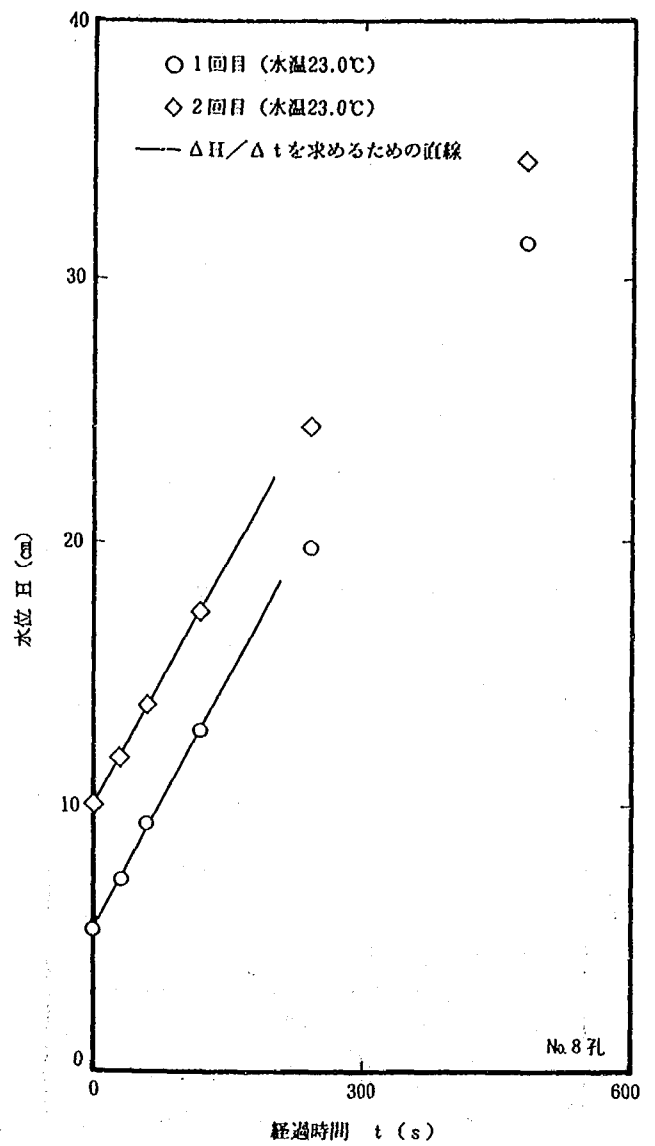
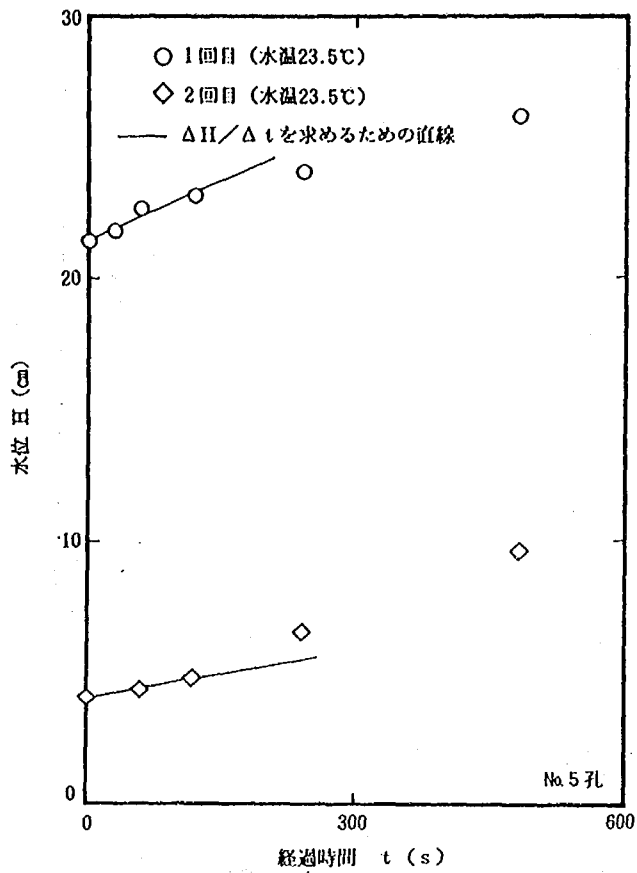
[参考文献]

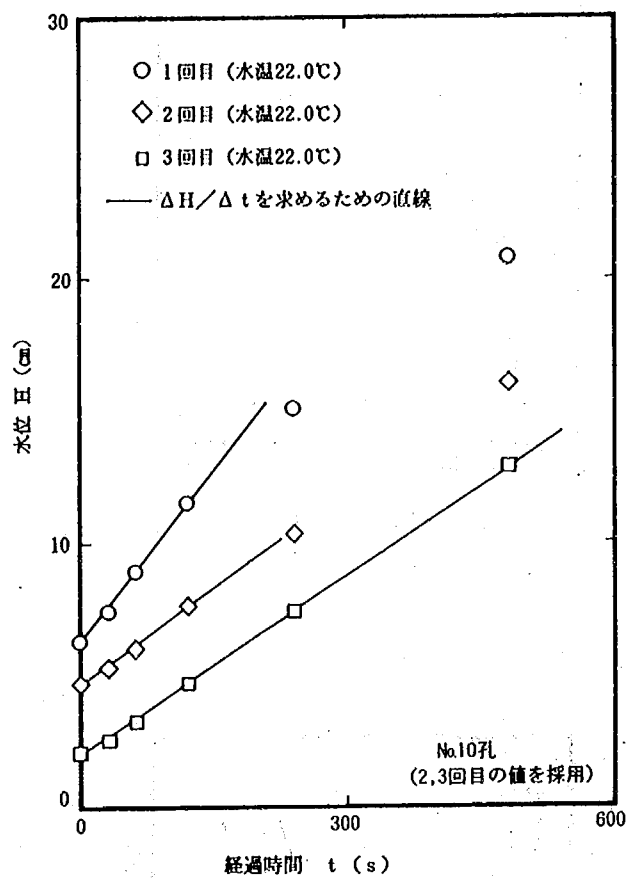
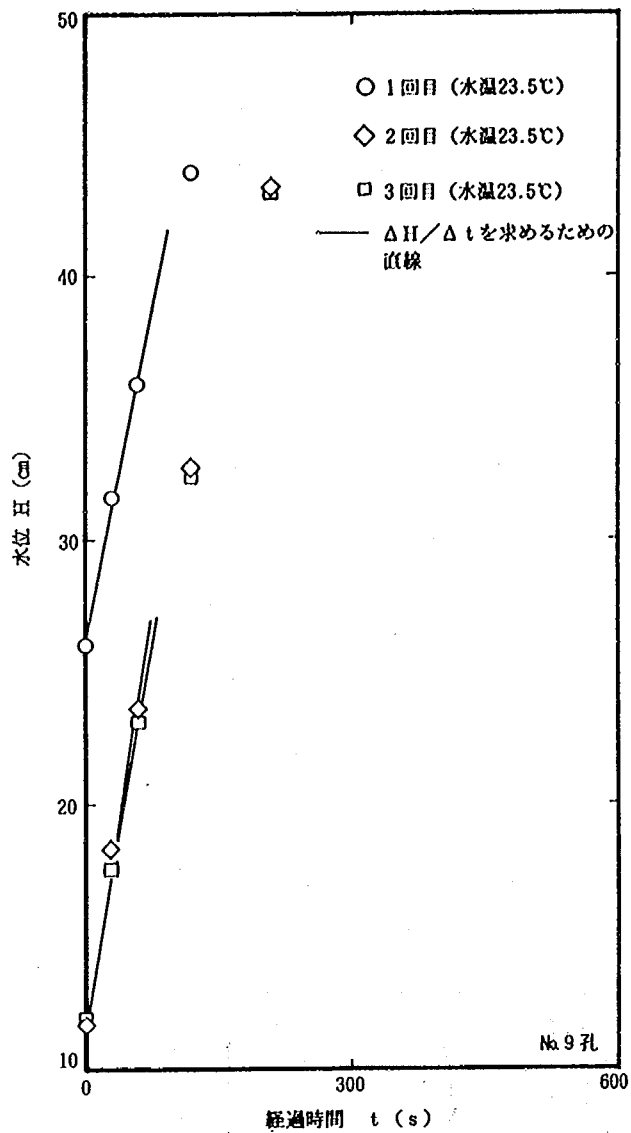
- 1) 山口柏樹・大根義男：フィルダムの設計および施工、技報堂、pp.259～261、1973年.
- 2) Lambe, T.W. & Whitman, R.V. : Soil Mechanics, John Wiley & Sons, p.286, 1969.
- 3) 松本徳久・山口嘉一：砂礫層における応力と透水性の連成特性、土木学会論文集、No.430/Ⅲ-15、pp.59～67、1991年6月.
- 4) 例えば、唐沢優・塚田基治：砂礫地盤の非凍結サンプリング（事例）、地質と調査、'89、No.4、pp.37～42、1989年12月.
- 5) 松本徳久・山口嘉一：地下深部の軟岩地盤に対するルジオンテスト、第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、岩の力学連合会等、pp.223～228、1987年12月.
- 6) 山口嘉一・松本徳久：低地下水位域におけるルジオンテスト、第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、pp.406～410、1989年2月.
- 7) 日本基礎技術（株）技術本部：孔内静水圧透水試験技術資料、1989年5月.
- 8) 建設省河川局開発課監修：ルジオンテスト技術指針・同解説、（財）国土開発技術センター、1984年6月.

付 図

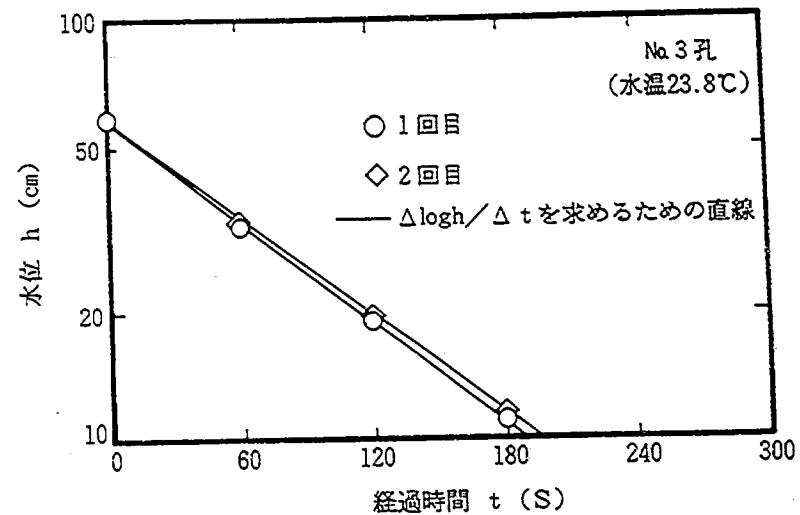
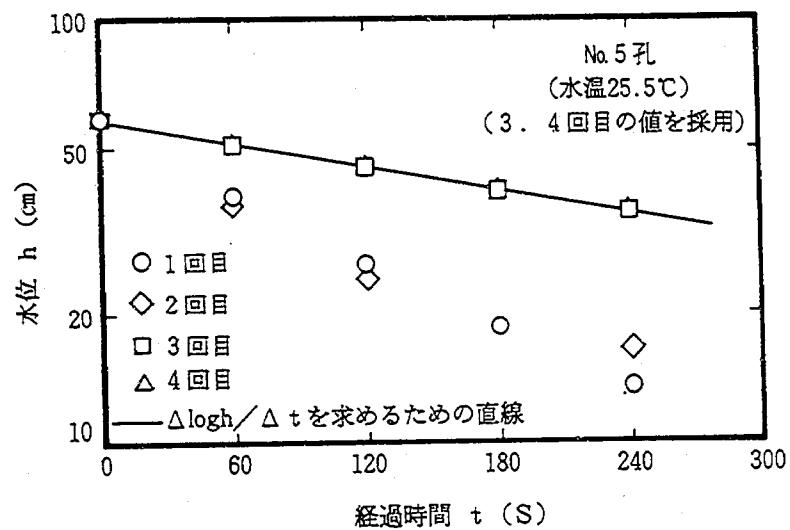
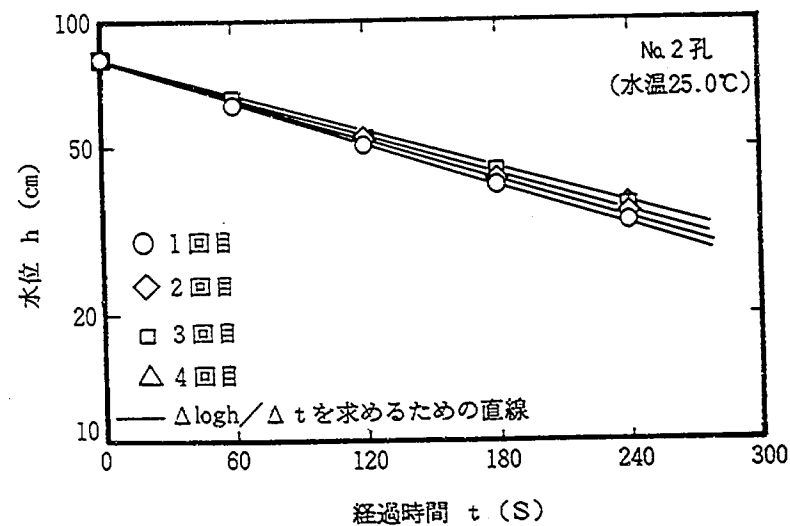
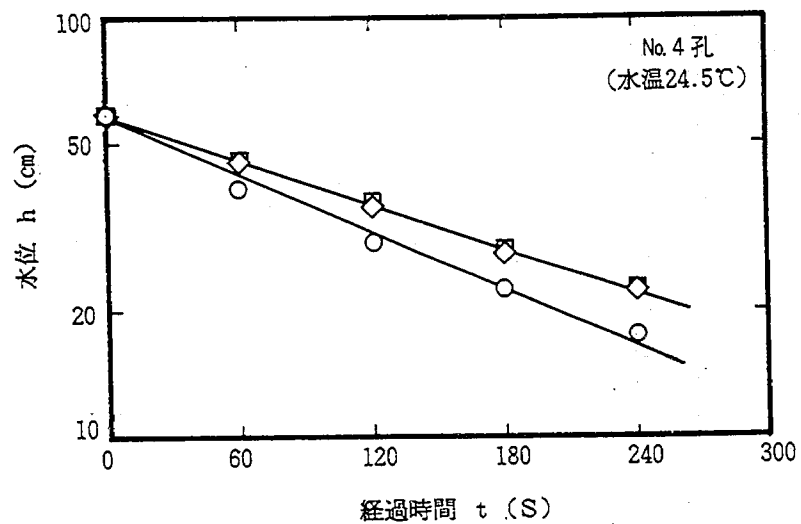
揚水式試験結果

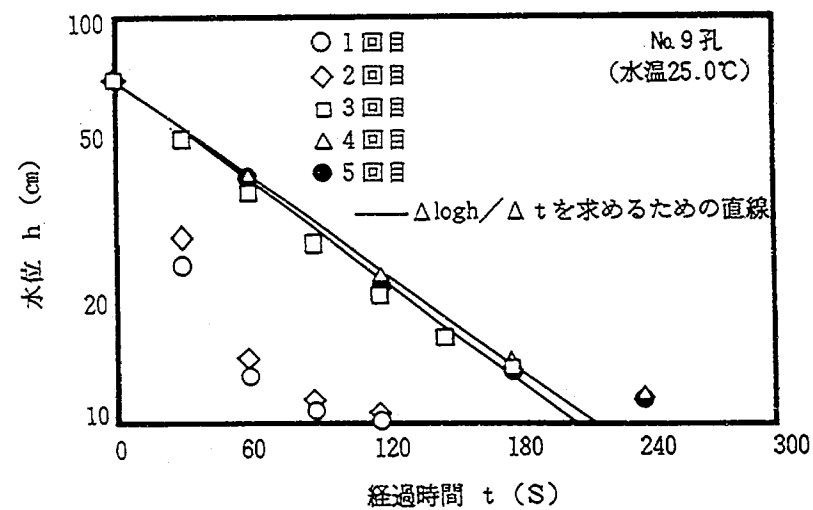
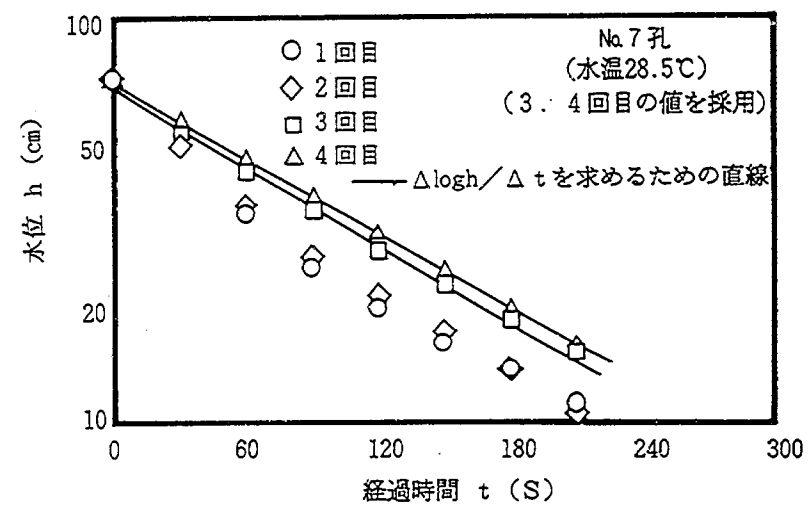






注水式試験結果





ダム基礎浅部の透水性

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3044号

平成4年1月(1992)

ダム部フィルダム研究室 室長 藤澤侃彦, 研究員 山口嘉一
(前) 室長 松本徳久

要 旨

ダム基礎グラウチングによる透水性の改良度合いは、一般に5m長の試験区間を基本とした定圧注水式試験であるルジオンテストにより判定されている。このように、ルジオンテストで得られる5m区間の平均的な透水性のほかに、ダム、特にフィルダム堤体直近傍の透水性がいかなる値であるのか、さらにはカバーロックの除去により透水性がどの程度変化するのかを把握しておくことの意義は大きい。そこで今回は、5mのカバーロックを残して施工したカーテングラウチングによる透水性の改良が終了したフィルダムサイトにおいて、カバーロック除去後堤体底面から50cm区間の基礎を対象に現場透水試験を実施した。さらに、このダム基礎浅部の透水性が、基礎掘削、堤体築造といった上載荷重の増減によりどのように変化するかについても検討した。

キーワード：ダム、砂礫層、透水試験、グラウチング、ダルシー則

郵便はがき

41円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

ダム部フィルダム研究室 行

1

No. _____

土研資料第3044号

1

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第3044号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

⑩

土木研究所資料第3044号