

土 木 研 究 所 資 料

ルジオンテスト施工指針(案)
—付 ルジオンテスト関連資料—

昭和52年 8 月

建設省土木研究所
地質化学部地質研究室

Copyright © 1977 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ルジオンテスト施工指針（案）について

ダム基礎岩盤からの漏水は貯水効率を低下させるだけでなく堤体やアバットの安定をおびやかす危険があり、その対策として行われるグラウトその他の止水工に多額の費用を要す。

キレツ性の基礎岩盤の透水性を評価する方法としてルジオンテストが行われているが、現在のところ試験基準がなく試験方法や解析方法がバラバラで多少混乱を生じている。そこで試験方法や解析方法、報告書のまとめ方などを統一化し、基礎岩盤の透水性の適正な評価が行えるようにするとともに、他の地点での試験結果と相互に比較検討ができるようにする必要がある。

この施工指針（案）は、河川局開発課と土木研究所地質研究室とで計画し、現在調査中または建設中のダムの事務所において実施されたルジオンテストに関する資料を提出していただき、それをもとにして第1次（開発課、地方建設局、工事および調査事務所、土木研究所）、第2次（第10回建設省地質担当学会議）の検討を加え、さらに土木研究所で細部のつめを行ったものである。

資料の収集段階や数次にわたる検討会においても、データの不足、機器の開発や改良の必要性等、まだまだ研究の余地や意見の不一致が指摘されたが、現段階で一応まとめしばらく試行してみたいと考えている。

なお、後段に施工指針（案）の補足説明、アンケート結果、地質とルジオン値、ダルシー法則にもとづく透水試験法等を参考資料として付した。

ルジオンテスト施工指針(案)
同解説

土木研究所地質研究室

目 次

1. 総 論	1
1.1 本指針の目的	1
1.2 ルジオンテストの目的	1
1.3 用語の定義	1
2. 試験範囲	2
2.1 試験範囲	2
3. 使用機器	3
3.1 ポ ン プ	3
3.2 パ ッ カ ー	4
3.3 圧 力 計	4
3.4 流 量 計	4
4. 試験準備	5
4.1 試験孔の位置	5
4.2 試験孔の掘削	5
4.3 試験孔の孔内清掃	5
4.4 試験区間長	6
4.5 パッカーの設置	6
4.6 パッカー部の特殊処理	7
5. 試 験	8
5.1 注入圧力	8
5.2 注入量の測定	8
6. 解 析	9
6.1 注入圧力の求め方	9
6.2 注入圧力～注入量曲線	10
6.3 限界圧力	10
6.4 ルジオン値の計算	10
7. 報 告	11
7.1 報告内容	11

1. 総 論

1.1 本指針の目的

本指針はダムサイトの調査にあたって実施するルジオンテストに関する標準的な手法を定めるものである。

〔解 説〕

ダムサイトの透水試験法として用いられるルジオンテストは、試験方法や解析方法によって試験値が異なることがあり、また、試験データそのものが岩盤の透水特性を示す重要な要素をもっているため、その計画、試験、解析方法について標準化する必要があるため、本指針を定める。

グラウチングの施行管理におけるルジオンテストも本指針に準じて行えるが、すでに岩盤の透水特性がわかっており、また、高い注入圧力によって試験する必要があること等から本指針をそのまま適用する必要がない部分もある。

1.2 ルジオンテストの目的

ルジオンテストはダムの基礎岩盤の透水性の評価、グラウチングの計画、施工、結果の判定等のために行う。

〔解 説〕

ダムの基礎岩盤からの漏水は貯水効率を低下させるだけでなくダム本体の安全にかかわる重要な問題である。したがって基礎岩盤の透水性の調査を行う必要があるが、ルジオンテストはとくにダムの位置（ダム軸）の選定のために岩盤の透水性を評価したり、止水工としてのグラウチングの計画、施工、結果の判定等のために行う。

1.3 用語の定義

本指針で使用する用語は次のように定義する。

- (1) ルジオンテスト……ボーリング孔に圧力水を注入して岩盤の透水性を評価する試験方法
- (2) 注 入 圧 力……試験区間での有効圧力（口元圧力を静水位、地下水位、管内抵抗による損失水頭により補正した後の圧力）
- (3) 限 界 圧 力……注入圧力～注入量曲線において注入量が急増する点の注入圧力
- (4) ル ジ オ ン 値……注入圧力 10 kg/cm^2 下で試験孔長 1 m 当りの毎分の注入量 (ℓ)
- (5) 換算ルジオン値……限界圧力が 10 kg/cm^2 以下の場合に図式法や計算法により注入圧力 10 kg/cm^2 相当の注入量から求めたルジオン値

〔解 説〕

(1) 均質な透水層の場合には、ダルシーの法則にもとづく種々の透水試験法があるが、硬岩やある種の軟岩では主としてキレツを通して透水するのでそのような透水試験法を採用することができない。そういう場合に行う試験法がルジオンテストである。ルジオンテストはボーリング孔（試験孔）に水を注入する方法、すなわち透水試験における一種の圧入法で、注入圧力と注入量の関係から岩盤の透水性を評価する試験法である。

(2) 注入圧力は試験区間の midpoint での有効圧力とするが、試験は口元圧力で測定管理されるので、地下水位やその他の試験条件で、その補正を行う必要がある（6.1 注入圧力の求め方 参照）。

(3) 注入圧力をあげてゆくと岩盤を持ち上げたり、細粒分を押し流すために注入圧力に比し、注入量が急に増大するところがあり、これを限界圧力という。限界圧力は 6.2 注入圧力～注入量曲線 から求める。

(4) ルジオン値（Lu）は注入圧力 10 kg/cm^2 で試験孔長 1 m 当りの毎分の注入量（ ℓ/min ）を表わしたものである。すなわち、

$$1 \text{ Lu} = 1 \ell/\text{min}/\text{m}/10 \text{ kg/cm}^2$$

(5) キレツの多い硬岩、風化岩、軟岩、破りの薄い岩盤等では、注入圧力が 10 kg/cm^2 に達しないとか、限界圧力が 10 kg/cm^2 以下のことがある。そういう場合は 6.4 ルジオン値の計算 によって注入圧力が 10 kg/cm^2 に相当する注入量を求めて換算ルジオン値とする。

2. 試験範囲

2.1 試験範囲

試験範囲はダムサイトの地質調査の調査段階や調査目的によってきめなければならない。

〔解 説〕

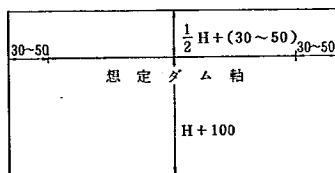
ダムサイトの地質調査は調査の進展につれて段階的に行い、ルジオンテストもそれに応じて行われるので、試験範囲はそれによってきめる（河川砂防技術基準（案）調査編第4節ダムの地質調査および第8節岩盤の現場試験参照）。

(1) 初期段階

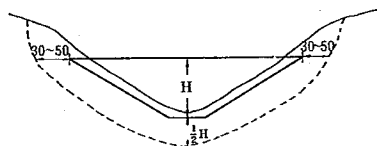
地質調査の初期の段階では原則としてダムサイトで行われるすべてのボーリング孔でルジオンテストを行う。試験結果はボーリング柱状図に表示する。

(2) 中期段階

調査が進み比較案も含めてダムの位置（ダム軸）の想定ができるようになれば、図-1 ルジオンテストの標準的な試験範囲の範囲内の透水性が検討できるようにする。試験結果は図-6(a)および(b)ルジオン図のように表示する。



(a) 平面図



(b) 断面図

H : ダム高

単位 : m

図-1 ルジオンテストの標準的な試験範囲

(3) 最終段階

想定ダム軸上で図-6(c)ルジオン図が描けるように調査する。ルジオンテストを行うボーリング孔の間隔は20~30m、深さはダム高の1/2程度を標準とするが、さらに河床部に1~2本、両アバットにおおの1~2本のパイロット孔(深さはダム高相当)を必要とする。

3. 使用機器

3.1 ポンプ

ポンプは十分な吐出圧力および吐出容量を有するものを使用しなければならない。また、吐出圧力の調整が容易なものでできるだけ脈動の少ないものとする。

〔解説〕

注入管の長さや注入量が大きくなると管内抵抗による圧力の損失が無視できなくなるので、余裕のあるポンプを使用する必要がある(6.1注入圧力の求め方)。また、透水性の高い岩盤では、注入量が大きくなるので吐出容量に余裕のあるポンプを使用しなければならない。例えば注入管の管内抵抗を無視しても試験区間長5mで注入圧力10kg/cm²、吐出量100ℓ/minのポンプでは20ルジオンまでしか測定できない。

試験は注入圧力を一定に保つ必要があるので使用するポンプは吐出圧力の調整が容易なこととともできるだけ脈動の少ない型式のものを使用する。たとえば2連または3連の横型複動ピストンポンプがよい。

3.2 パッカー

パッカーは試験孔孔壁によく密着し、孔内の止水が完全に行えるよう適切なものを使用しなければならない。

〔解説〕

パッカーは孔壁の地質状態に応じた型式のものを選択する必要がある。一般に硬岩ではエクспанション（メカニカル）パッカーが使われる。孔壁が滑らかな軟岩や試験地点が深くてエクспанションパッカーが使い難い場合にはレザーパッカーが使われることもある。軟岩や孔壁が乱れている場合には接着面積が広く密着性の高いエアパッカーを用いる。エアパッカーのパッカー圧は最大注入圧力より 5 kg/cm^2 程度高くする。

3.3 圧力計

圧力計は原則として自記記録のできるものを使用するものとする。圧力計の目盛の最小単位は 0.5 kg/cm^2 とする。

〔解説〕

注入量は注入圧力によって大きく異なるので圧力計は精度がよく、安定したものを使用する。とくに軟岩では限界圧力（6.3限界圧力）が低いので精度のよい圧力計を使用する必要がある。

また、試験中一定圧で注入していても注入量に変化したり、ポンプによっては注入圧力が変動するものがあるので圧力計は自記記録装置のついているものを使用して、試験の管理や結果の解析に役立つようにする。しかし、試験は注入圧力を一定にして行わなければならないのでつねに自記記録を監視し圧力変動の有無を確認しながら試験しなければならない。

3.4 流量計

流量計は目盛の単位が 1 l の積算流量計を使用するものとする。

4. 試験準備

4.1 試験孔の位置

試験孔は既存の横坑やボーリング孔等の影響を受けない位置とする。

〔解説〕

近くに既存の横坑やボーリング孔がある場合には注入水は漏洩して正しい測定ができないことがある。どの程度離せばよいかは地質によって異なるが、比較的地質のよい場合でも20m以上離すのが望ましいといわれている。漏水の有無を事前に予測することはできないので、試験中に横坑や地表を調べるとかボーリングコアと見比べて異常に注入量が多くないかをチェックする必要がある。

キレツ等に顕著な方向性がある場合には試験孔はできるだけキレツ等と交叉するように掘削する。

4.2 試験孔の掘削

試験孔は清水掘とし、できるだけ孔壁を乱さないように留意しなければならない。試験孔の孔径は原則として66mmとする。

〔解説〕

泥水を使用して削孔すると孔壁に泥のうすい膜ができたり、また、無水掘では孔壁が焼きついたりして、実際の岩盤より小さいルジオン値が得られるので試験孔は清水で掘削する必要がある。

試験孔は岩質に適合したビットを使用し、入念な施工によって孔壁を滑らかに仕上げバッカーの効きをよくするようにしなければならない。

軟岩の中には無水掘や泥水掘でなければコアの採取ができないものがあるが、そういう場合にはコア採取用のボーリング孔とは別にルジオンテスト用のボーリング孔を掘削しなければならない(ルジオンテスト用を先行し、試験が終了してからコア採取用を掘削する)。

試験孔の孔径はルジオンテストの精度をあげ、他のダムでの調査結果と比較できるように孔径66mmのものを使用するのがよい。ただし、グラウチングの施工管理や結果の確認のための試験では孔径46mmが用いられることが多い。

4.3 試験孔の孔内清掃

試験孔は試験を行う前に十分清掃しなければならない。

〔 解 説 〕

試験孔は清水掘の場合でもスライム等によって孔壁の目詰りをおこすことがあるので、注入を行う前に十分清掃しなければならない。清掃は一般に試験孔孔口での循環水にスライム等が混らなくなるまで行う必要がある。

4.4 試験区間長

試験区間長は原則として5mとする。

〔 解 説 〕

試験区間長は原則として5mとするが、次の場合には試験区間長を変更することもある。

- 透水性が異なる地層や断層破砕帯などが存在し、それらの透水性を求めるためとか、特に透水性が高い個所を確認する場合。
- 透水性が非常に高く、局所的に注入量が不足する場合。
- 孔壁の状態が悪くて所定のところにパッカーを効かせることができない場合。

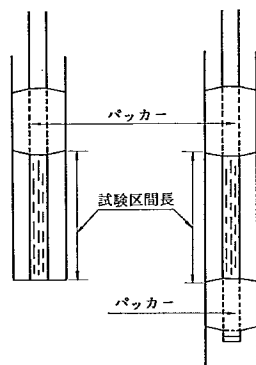
4.5 パッカーの設置

パッカーは試験孔内の止水が完全に行えるよう適切なものを、工程や地質に応じて適切な位置に設置しなければならない。

〔 解 説 〕

試験時にパッカーをかける数によってシングルパッカー法とダブルパッカー法がある（図-2参照）。シングルパッカー法はステージ法とも称され、試験区間上部に1ケのパッカーをかけるもので、試験孔を掘削しながら1ステージ毎に試験する方法である。ダブルパッカー法は試験前に試験孔全体を掘削しておき、試験区間の上・下に2つのパッカーをかけて試験するものである。後者の方法は能率的であるが、下部パッカーの効き具合の確認がむずかしいので特別の場合の他はシングルパッカー法を用いる。

シングルパッカー法はパッカーが一つでパッカー部の漏水の危険性が少くなるのみならず、試験孔に孔内水がある場合にはそれを観察することによってパッカー部からの漏水の有無を知



(a) シングルパッカー法 (b) ダブルパッカー法

図-2 試験区間長

ることができる利点があるので、望ましい方法とされ広く行われている。

試験区間長は原則として5mとするが、パッカーの位置は単に孔口からの深さによって機械的に決めてはならない。ボーリングコアをよく観察しできるだけキレツ等の少い良好な岩盤を選ぶのが望ましい。また、掘削を注意して行い孔壁の崩壊等があればそこをさけて試験しなければならない。

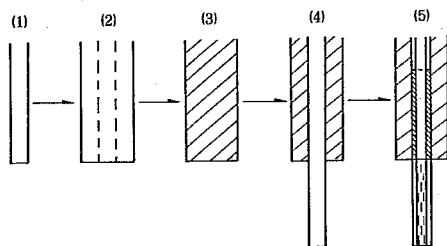
パッカーの効き具合は試験中の孔内水位の変化を調べるとか、先行した類似の地質状態での試験結果と比較することによってチェックすることができる。パッカーの効きが悪い場合にはパッカーをかけなおすか異なった型式のものを使用する必要がある。

4.6 パッカー部の特殊処理

キレツが多かったり軟弱な岩盤のためパッカーの効きが悪い場合には、事前にパッカー部をセメンテーション等によって強化して試験を行うものとする。

〔解 説〕

キレツが多い岩盤では試験孔の孔壁が一様にならず、また試験孔に平行した節理やキレツがあってパッカーがよく効かないことがある。また軟弱岩では孔壁が変形して十分な圧力をかけることができないこともある。そういう場合にはパッカー部を拡孔し（試験孔が66mmの場合には直径86～100mm位で拡孔する）、セメントモルタルを孔長1m以上の区間にわたって注入し、岩盤を強化してから再掘削し、さらに試験区間部を掘削して試験する。



工 程

- (1) 前回の試験
- (2) リーミング（拡孔）
- (3) セメンテーション
- (4) 試験孔の掘削
- (5) 試験

図-3 パッカー部の特殊処理

5. 試 験

5.1 注入圧力

注入圧力の昇圧および降圧は段階的に行わなければならない。最大注入圧力は原則として 10 kg/cm^2 とするが、限界圧力や上載岩石荷重が小さい場合にはそれ以下とする。

注入圧力は口元圧力で管理する。口元圧力は自記記録させ常に圧力が一定になるよう監視しながら試験するものとする。

〔解 説〕

注入圧力は地下水位や管内抵抗による損失水頭の補正を行った後の試験区間での有効圧力とする（6.1 注入圧力の求め方）。実際に試験を行う場合には試験孔孔口の口元圧力で圧力管理するので、事前に予備的な試験を行ってこれらの補正值や限界圧力を求める必要がある。しかし、補正值は注入量や試験区間の深さによって異なり圧力管理が煩雑になるので、試験時にはこれらを考慮して概数値を使う。

注入圧力の昇圧および降圧は段階的に行い、最大注入圧力を含めて原則として各々4段階以上とする。限界圧力が 10 kg/cm^2 以下の場合には最大注入圧力を予想される限界圧力の $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ 増とし、圧力段階は限界圧力をはさんで両側に2点以上とるのが望ましい。この場合限界圧力以上では $1 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ 程度ずつで昇圧および降圧する。

グラウチングの効果を判定するために行う試験では注入圧力を1段階とすることが多い（例えば 10 kg/cm^2 とか 15 kg/cm^2 ）。

5.2 注入量の測定

注入量の測定は、各注入圧力段階で注入量が一定になったことを確認した後に開始するものとする。注入量の測定時間は10分間とする。

〔解 説〕

試験孔を十分清掃しても孔壁が目詰りをおこしていたり岩盤が不飽和だったりして、注入量はなかなか一定にならないことが多い。注入量が一定になるまで十分注入してから注入量の測定を行わなければならない。

注入量の測定時間は10分間とするが、その間1～2分間毎に注入量を調べ変動が小さい（10%未満程度）ことを確認する必要がある。

6. 解 析

6.1 注入圧力の求め方

注入圧力は口元圧力から、試験区間の中点から圧力計までの静水圧、地下水位、管内抵抗による損失水頭、等によって補正して求めるものとする。

〔解 説〕

注入圧力の基準面は試験区間の中点にとるが、実際の試験では試験孔の口元に設けられた圧力計によって測定管理されるので、解析を行う場合には次式によって補正しなければならない。

$$P = P_0 + \gamma_w (h_1 - h_2 - h_3) \quad (\text{kg/cm}^2)$$

P : 注入圧力 (kg/cm^2)

P_0 : 口元圧力 (kg/cm^2)

h_1 : 圧力計から基準面までの標高差 (m)

h_2 : 地下水位から基準面までの水頭 (m)

h_3 : 管内抵抗による損失水頭 (m)

γ_w : 水の単位体積重量 ($1 \text{ t/m}^3 = 0.1 \text{ kg/cm}^2 / \text{m}$)

被圧水の場合にはそれに相当する水頭を h_2 とする。また地下水位の測定は毎朝作業開始前に行うのがよく、広い範囲で地下水位がどうなっているかを常に念頭において試験しなければならない。

管内抵抗による損失水頭は注入管内壁の摩擦によるものと口径の増減によるものがある。前者は使用する材料や内壁の状態によって著しく異なる。損失水頭を求めるためには使用する注入管で実験を行うのが好ましいが、実験が困難な場合には次式によってもよい。

$$h_3 = \alpha \cdot Q^2 \cdot L$$

Q : 注入量 (ℓ/min)

L : 注入管長 (m)

α : 10^{-4} 程度 (min^2/ℓ^2)

ただし上式は注入管長 3 m, 注入管内径 31 mm, 継手長 110 mm, 継手内径 17 mm のものを使用した場合のものである。また、内径 35.7 mm の継手なしのガス管を使用した場合には $\alpha = 8 \times 10^{-6} (\text{min}^2/\ell^2)$ 程度となる。

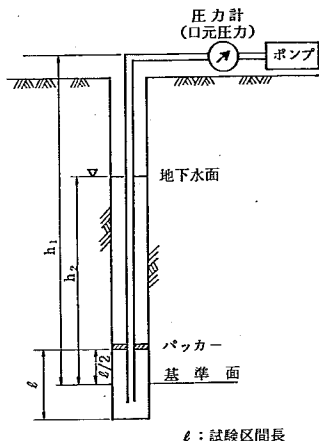


図-4 注入圧力の求め方

6.2 注入圧力～注入量曲線

試験結果から各試験区間ごとに注入圧力～注入量曲線を描くものとする。

〔解説〕

6.1 注入圧力の求め方によって求めた注入圧力 (kg/cm^2) を縦軸に、注入量 ($\ell/\text{min}/\text{m}$) を横軸にとって描いたグラフを注入圧力～注入量曲線 (略称 P～Q 曲線) という。注入量は試験区間長 1 m 当り、1 分間の注入量をリッター (ℓ) 表示したものである。

注入圧力～注入量曲線はたんにルジオン値を求めるために必要なだけでなく、限界圧力を求めたり、岩盤の透水特性や試験の信頼性を知るうえで重要な資料でもある。

6.3 限界圧力

注入圧力～注入量曲線において注入量が急増する点の注入圧力を限界圧力とする。

〔解説〕

注入圧力を段階的にあげながら試験するとある注入圧力のところから注入量が急激に増大することがある。これは細粒分を流したり岩盤を破壊または持ち上げるためにおこる現象で、その時の注入圧力を限界圧力または限界圧という。限界圧力を越えて水圧がかかればパイピングや透水量の持続的な増大をもたらす、グラウチングにおいては岩盤を破壊させることもある。

6.4 ルジオン値の計算

注入圧力～注入量曲線において注入圧力が $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ のところの注入量をルジオン値とする。

限界圧力が $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以下の場合には換算ルジオン値を求めるものとする。

〔解説〕

注入圧力が $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ またはそれ以上で試験している場合には注入圧力と注入量とが直線関係にあることを確認してそのまま求める。

1 ルジオンとは試験区間長 1 m につき注入圧力 $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ で $1 \ell/\text{min}$ の水が岩盤に圧入されるとき透水度を意味する。したがってもしこの圧入がダルシーの法則にしたがうような条件であれば、1 ルジオンは $1.3 \times 10^{-6} \text{ cm}/\text{sec}$ 程度の透水係数に相当する (ダルシーの法則が成立する条件を満たさない場合があるので、直接結びつけることは危険である)。

キレツの多い岩盤や軟岩の場合にはしばしば注入圧力を $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上にあげることができないことがある。また、限界圧力が $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以下の場合に注入圧力が $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の注入量をとると実際の岩盤より透水性を過大に評価することがあるので、図式法 (図-5) や計算法によって

換算ルジオン値 (Lu')を求める。このようにして求めた換算ルジオン値は注入圧力～注入量曲線とともに報告書にその旨明記しなければならない。

a) 図式法

直線部分を延長し、注入圧力が 10 kg/cm^2 に相当する注入量を図式的に求める (図-5)。

b) 計算法

注入圧力と注入量が直線関係にあるという条件を確認して次式から換算ルジオン値を求めることもできる (図-5参照)。

$$Lu' = \frac{10(Q_2 - Q_1)}{(P_2 - P_1)\ell}$$

Lu' : 換算ルジオン値

Q : 注入量 (ℓ/min)

P : 注入圧力 (kg/cm^2)

ℓ : 試験区間長 (m)

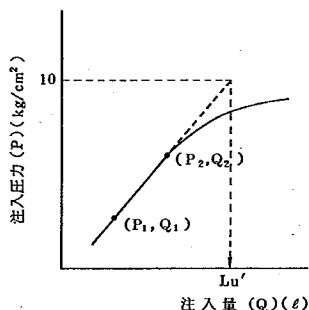


図-5 換算ルジオン値の求め方 (図式法)

7. 報 告

7.1 報告内容

試験の結果は次の内容を盛り込んで報告しなければならない。

- 1) 試験目的, 位置, 数量, 方法, 解析法等の概要
- 2) ボーリング柱状図, 試験区間図
- 3) 試験記録 (生データ)
- 4) 注入圧力～注入量曲線 ($P \sim Q$ 曲線)
- 5) ルジオン図
- 6) 限界圧力または限界圧力図
- 7) 地質または岩級区分との関係
- 8) 考察

(解 説)

報告書はいろいろな形式のものがありうるが, 最小必要な事項である。これらのうち次の事項

は特に重要である。

- ① 試験記録………試験の生データで、試験結果の再解析や再検討ができるだけでなく岩盤の性状や測定の問題点の検討ができる貴重な資料である。
- ② 注入圧力～注入量曲線（P～Q曲線）………ルジオンテストの成果を検討する場合に最も重要であり、また、視覚的に検討できる分かり易い資料である。
- ③ ルジオン図………ダム軸の選定やグラウチングの計画に必要な資料である。測定したルジオン値をもとに岩質や地質構造を考慮して作るが、調査の進展につれて随時修正を加える。調査の初期の段階ではボーリング調査の柱状図にルジオン値を直接併記することが多い。しかし、ある程度データが増えれば想定ダム軸とかダムサイトの透水特性をよく表わす断面について図-6(a)のようなルジオン図を作成する。さらに調査が進み試験孔相互の関連がつくようになれば図-6(b)のようにまとめる。この段階では、試験孔の位置や投影の有無を明示しなければならない。

最終調査結果は図-6(c)のようにまとめる（ルジオン値の大きいところを赤色、小さいところを青～緑色に彩色することもある）。

ルジオン値の区分けは調査の目的、岩盤の透水性、調査の進展等によって異なるが、例えば1未満、1～5、6～10、11～19、20ルジオン以上とする。

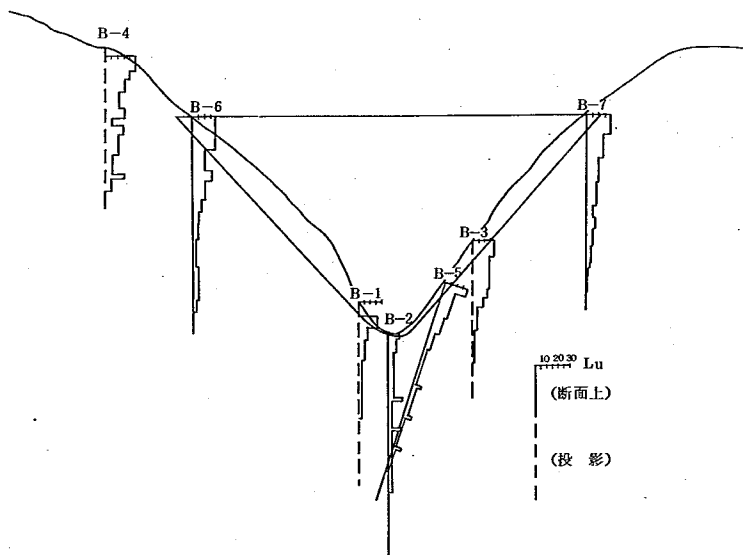
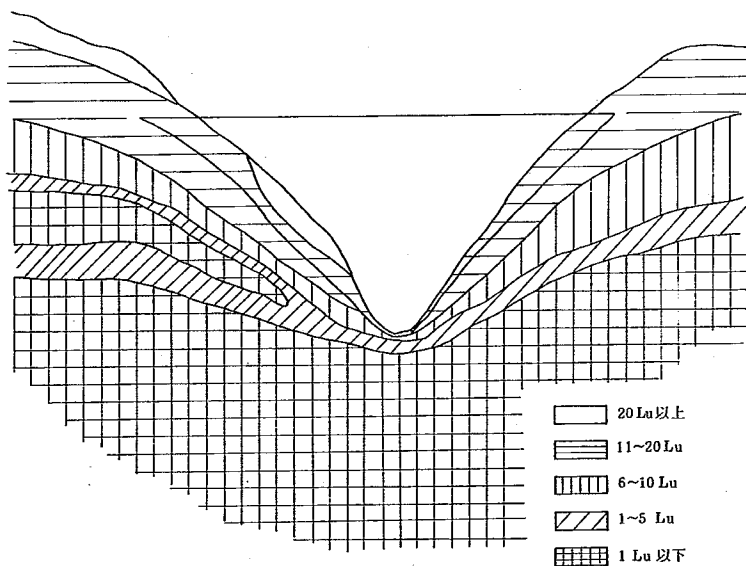
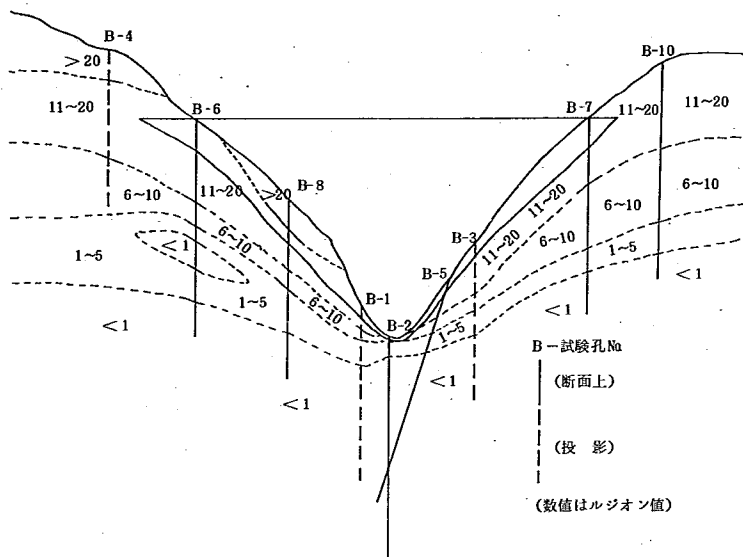


図-6(a) ルジオン図（調査初期）



ルジオンテスト関連資料

ルジオンテスト関連資料

目 次

資料 1.	ルジオンテスト施工指針（案）補足説明	21
資料 2.	ルジオンテスト施工実態調査	30
資料 3.	注入管の損失水頭について	37
資料 4.	岩質とルジオン値	49
	(1) 岩級区分とルジオン値	49
	(2) R Q Dとルジオン値	53
資料 5.	グラウチングとルジオン値	55
資料 6.	ダルシー法則に基づく現場透水試験法	59

付 図 目 次

資料 1 ルジオンテスト施工指針(案)補足説明

図-1.1	限界圧力の明瞭な $P \sim Q$ 曲線	23
図-1.2	限界圧力の不明瞭な $P \sim Q$ 曲線	23
図-1.3	注入圧力のパターンと標準作業時間割の例	24
図-1.4	口元圧力のパターン例	25
図-1.5	注入圧力補正例	26
図-1.6(a)	$P \sim Q$ 曲線のパターン	27
図-1.6(b)	$P \sim Q$ 曲線のパターン	27
図-1.7	復路を含めた $P \sim Q$ 曲線のパターン	28
図-1.8	$P \sim Q$ 曲線と注入量の増大要因	28
図-1.9	$P \sim Q$ 曲線とルジオン値	29

資料 3 注入管の損失水頭について

図-3.1	Moody のダイヤグラム	39
図-3.2	Weisbach の縮流係数ダイヤグラム	40
図-3.3	注水量と 1 m 当りの損失水頭	42
図-3.4	試験管および継手の形状寸法	43
図-3.5	実験施設概念図	44
図-3.6	試験管内圧力測定位置	45
図-3.7	試験管内圧力分布	47
図-3.8	注入量と 1 m 当りの損失水頭	48

資料 4 岩質とルジオン値

図-4.1(a)	岩級別ルジオン値の頻度	50
図-4.1(b)	岩級別ルジオン値の頻度	51
図-4.2	深度とルジオン値	53
図-4.3	深度と接触部のルジオン値	53
図-4.4(a)	R Q D とルジオン値	54
図-4.4(b)	R Q D とルジオン値	54

資料 5 グラウチングとルジオン値

図-5.1	グラウチングの施工回数とルジオン値	55
図-5.2	ルジオン値と総セメント注入量	56
図-5.3	回数別ルジオン値とセメント注入量	57
図-5.4	ルジオン値別注入圧力と注入セメント量	58

資料 6. ダルシー法則に基づく現場透水試験法

図-6.1	バッカー法	61
図-6.2	注水量と時間の関係	61
図-6.3	オープンエンド法（注水法）	62
図-6.4	オープンエンド法（水位回復法）	63
図-6.5	オーガー孔法（水位回復法）	63
図-6.6	H/d , ro/d と S の関係	64
図-6.7	USBRの方法	64
図-6.8	トレーサー法（地下水位より上）	66

付 表 目 次

資料 1. ルジオンテスト施工指針 (案) 補足説明

表-1.1	諸外国で行われているルジオンテストおよび類似試験法の基準例	21
表-1.2(a)	試験区間長と透水係数	22
表-1.2(b)	注入圧力と透水係数	22
表-1.3	ルジオン値と透水係数	22
表-1.4(a)	AダムにおけるP~Q曲線パターンの比率	27
表-1.4(b)	AダムにおけるP~Q曲線パターンの比率	27

資料 2. ルジオンテスト施工実態調査

表-2.1	ルジオンテスト施工実態調査ダム	30
表-2.2	地建別アンケート集計表	32
表-2.3	アンケート解析結果	32
①	試験孔の孔径	32
②	パッカーの種類	32
③	地下水位による補正	33
④	ルジオン値の換算	33
⑤	ポンプ容量	33
⑥	昇圧パターン	34
⑦	降圧パターン	34
⑧	ポンプの機種	35
⑨	ポンプの型式	36

資料 3. 注入管の損失水頭について

表-3.1	注入管の摩擦損失水頭の計算例	38
-------	----------------	----

資料 4. 岩質とルジオン値

表-4.1	ダム基礎岩盤の岩級区分例	49
表-4.2(a)	岩級区分とルジオン値	50
表-4.2(b)	岩級区分とルジオン値	52

資料 6. ダルシー法則に基づく現場透水試験法

表-6.1	現場透水試験法とその適用性	60
-------	---------------	----

資料 1

ルジオンテスト施工指針(案)補足説明

施工指針(案)は本文と解説とからなっており解説として最小限必要な事項はふれられているが、ルジオンテストは試験方法が未だ十分確立しておらず、対象とする地質条件も非常に幅広く種々まちまちである。そのために試験の計画、実施、解析上参考になると思われる点について解説をさらに補足し説明を加える。

(1) ルジオン値と透水係数

ルジオン値(Lu)は直径が46~76mm程度の試験孔に注入圧力10 kg/cm²の圧力水を注入し、その時に注入された水の量(Q)を試験孔長1m当りに換算したものである。例えば試験区間長が5mで25 ℓ/minの注入量であれば25 ℓ/min÷5m=5 Lu (ℓ/min/m/10 kg/cm²に相当)となる。

表-1.1 諸外国で行われているルジオンテストおよび類似試験法の基準例

	Corps of Engineers (米)	Bureau of Reclamation (米)	水力発電局 (蒙)	ルジオン法 (仏)
試験区間長	5または10 ^{ft} (1.5または3m)	規定なし 層厚が試験区間長の5倍 以上	20 ^{ft} (6m)	1~2m
試験孔径	NX (φ 76.2 mm)	規定なし	NX (φ 76.2 mm)	46~76 mm
流量測定	5 min	3~5 min	5 min	5~10 min
注入圧力	上載岩荷重相当の圧力	同 左	上載岩荷重以内3段階	10 kg/cm ²
そ の 他	1) 注入法による試験法である。 2) 圧力降下は全体の調査が終了してから行う。 3) 岩荷重は2.31 kg/cm ² (地下水上下)および1.31 kg/cm ² (地下水下)を用いる(10m当り)。	1) ~3) 同 左 4) 注入水は地下水温より高いものを用いる(アワの発生を防止するため)。	1) Snowy Mountains Hydro-electric Authorityで採用。	1) ヨーロッパで広く行われている。

もし注入される岩盤がダルシーの法則に従うような水理条件(後述)であれば次式から透水係数を求めることができるのでLu値と比較することができる。

$$k = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot \ell \cdot P} \ln \frac{\ell}{r} \quad \ell > 10r$$

ただし

k : 透水係数 (cm/sec)

Q : 注入量 (cm³/sec)

ℓ : 試験区間長 (cm)

r : 試験孔の半径 (cm)

P : 注入圧 (g/cm² = cm³/cm²)

例えば、試験区間長 5 m, 注入圧力 10 kg/cm² で 1 Lu の場合には (r = 3.3 cm, Q = 5 ℓ/min)

$$k = \frac{5000}{2 \cdot \pi \cdot 5 \times 10^2 \cdot 10^4} \times \ln \frac{500}{3.3}$$

$$= 1.332 \times 10^{-5} \text{ (cm/sec)}$$

となる。

試験区間長や注入圧力、試験孔孔径などの測定条件が変われば同一ルジオン値 (Lu) でも計算上透水係数が異なる。表-1.2(a)は試験区間長が異なる場合、表-1.2(b)は注入圧力が異なる場

表-1.2(a) 試験区間長と透水係数

区間長 (cm)	透水係数 (cm/sec)
100	0.905×10^{-5}
200	1.089×10^{-5}
300	1.196×10^{-5}
400	1.273×10^{-5}
500	1.332×10^{-5}

(1 Lu, r = 3.3 cm, P = 1 × 10 kg/cm²)

表-1.2(b) 注入圧力と透水係数

注入圧力(kg/cm ²)	透水係数 (cm/sec)
2	6.659×10^{-5}
4	3.329×10^{-5}
6	2.220×10^{-5}
8	1.665×10^{-5}
10	1.332×10^{-5}

(1 Lu, r = 3.3 cm, ℓ = 500 cm)

合を上記の式を用いて計算したものである。表に示すように透水区間長による差 (1 m と 5 m) は透水係数にして 1.47 倍の差だが、注入圧力 (2 kg/cm² から 10 kg/cm²) の差はそのままの差 (5 倍) で表われる。つまり本試験法においては 表-1.3 ルジオン値と透水係数

表-1.3 は試験区間長 5 m, 試験孔の半径 3.3 cm 注入圧力を 10 kg/cm² とした場合のルジオン値と透水係数を示したものである。

表-1.2(a)(b) および表-1.3 はいずれもダルシー法則が成立するような岩盤、つまり水理的に均質、等方性の岩盤で透水量があまり多くなく屈

ルジオン値 (Lu)	透水係数 (cm/sec)
1	1.332×10^{-5}
2	2.664×10^{-5}
3	3.995×10^{-5}
4	5.327×10^{-5}
5	6.659×10^{-5}
10	1.332×10^{-4}
15	1.998×10^{-4}
20	2.664×10^{-4}

(ℓ = 500 cm, r = 3.3 cm, P = 10 kg/cm²)

流が期待できるような条件のところを想定して求めたものであり、実際の岩盤はこの条件に合わないことが多いので水理条件の検討なしに透水係数として求めることは避けなければならない。

(2) 限界圧力

[基準(案)1.3(4)]

低圧から段階的に徐々に注入圧力をあげながら試験して行くところとある圧力以上で注入量が急増するところがある。これは岩盤を持ち上げ変形させたり、岩盤が本来的にもっている細粒分を押し流すため(パイピング)といわれている。この現象を知るためには $P \sim Q$ 曲線を検討しなければならない。多くの $P \sim Q$ 曲線では図-1.1に示すような明瞭な屈曲点が現われ限界圧力(P_1, P_2, P_3)を確認することができるが、中には図-1.2のように明瞭な屈曲点が現われないこともある。この場合限界圧が極端に小さいこともあるが、岩盤の特性でこのような現われ方をすることもあ。どちらかは類似の岩盤と比較して確認する以外によい方法はない。

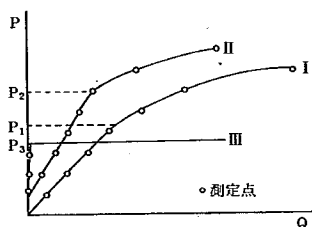


図-1.1 限界圧力の明瞭な $P \sim Q$ 曲線

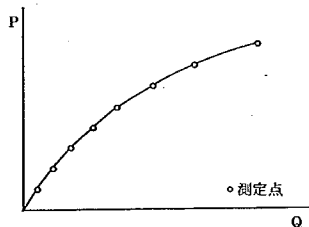


図-1.2 限界圧力の不明瞭な $P \sim Q$ 曲線

限界圧力を越えて試験しているか否かを調べる有力な手がかりの一つは復路(注入圧降下時の試験)を検討することである。とくに注入圧力0付近での注入量が往路の値まで戻らずに大きな違いがある場合には往路の試験で限界圧力を越えて試験していることを暗示している(孔壁洗浄が不十分な場合には多少のパラッキが生ずる)。詳細については「(9)限界圧力の検討」で述べる。

(3) 試験範囲

ダムの型式や規模と重要な関係がある基礎岩盤の要素として岩盤の形状、透水性(又は遮水性)等がある。ダムサイトの地質調査はこれらの要素の調査であり、ダムの規模や調査の段階、地質等によって調査範囲が異なる。

a) 概査段階

調査の初期の段階はダム軸の候補地点を探るための地質調査であり、地表踏査やボーリングが中心となることが多いのでルジオンテストもこれに付随して行われる。この段階でも特に岩石や地層の透水特性を重点的に調査する必要があることがある。熔結凝灰岩や熔岩類はオープントラックも多く透水性が高いのが普通であり、第三紀の堆積岩(特に凝灰質岩)は限界圧力が低いので初期の段階から透水特性に注意して地質調査を進めなければならない岩種である。

b) 設計のための調査段階

地質調査が進んでくるとボーリング地点もグリット方式によって決められることが多い。一般的な調査範囲は指針(案)図-1に示す通りであり、グリット間隔は40~60mのことが多い。調査が進めば少くともダム軸においてはグリット間隔が20~30mとなる。深さはダム高の1/2程度までであるが、さらに川床や透水性の高いおそれのあるところを重点的にダム高相当

の深さのパイロット孔（40～60 m間隔）を掘って試験する必要がある。

例えば花崗岩からなるサイトで、概査の段階で大間隔のグリット（60 m）のすべてにダム高相当及び30 m（両アバット付近）の深さのボーリング調査及びルジオンテストを行い、設計のための調査段階では小間隔のグリット（30 m）で深さをダム高の1/2にして試験を行い、さらにルジオン値が1～2に達しない場合はその間をうめるパターンで調査した例がある。1および2段階においてはすべて規定通りの深さまで調査したが、最終段階の調査ではルジオン値が1～2 Lu以下になり、それより下位には大きなルジオン値の部分がないと予想される場合にはそれ以上深い部分の調査は行わなかった。

(4) 使用機器

[3]

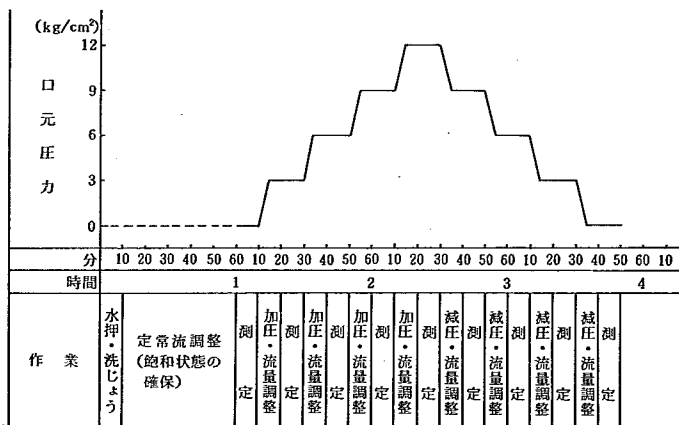
ポンプ、バッカー、注入管（ロッド）、圧力計、流量計等の諸機器は十分な能力と精度を有するものでなければならない。発注者は試験を行う前に機種や能力等を調べ承認を取らせるようにしなければならない。

特に注意を要する点はポンプの能力不足や脈動、地質にマッチしないバッカー、ロッドの継手からの漏水、能力不足または過大な圧力計（最大圧力15～20 kg/cm²が適する）や流量計等である。

(5) 注入圧力

[5.1]

注入圧力は試験区間に作用する有効圧力とするが、実際の試験では試験孔の口元の圧力計で管理される（口元圧）。したがって口元圧をきめるために予備的な試験を行う必要がある。また限界圧力が10 kg/cm²に達しない恐れのある場合にも同様に予備的な試験を行って限界圧力を確認する必要がある。



図一 1.3 注入圧力のパターンと標準作業時間割の例

883

注入圧力（口元圧力）の昇圧および降圧は図-1.3に示すように段階的におこなう。最大口元圧力は地下水位や注入管の管内抵抗（注入管の口径の増減によるものも含む）を考慮し、注入圧力で 10 kg/cm^2 よりやや大きくなるようにする。

限界圧力が 10 kg/cm^2 以下の場合には、最大注入圧力を予想される限界圧力の $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ 増としあまり大きな圧力をかけないように留意する必要がある。図1.4は限界圧力（補正後）が 5.5 kg/cm^2 程度の岩盤の試験を行った場合の口元圧力の例である。

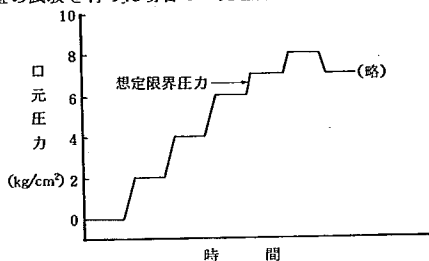


表-1.4 口元圧力のパターン例（限界圧力は 5.5 kg/cm^2 ）

(6) 注入量の測定

[5.2]

試験区間付近の岩盤は不飽和状態であったり、試験孔掘削時の岩粉で目づまりをおこしていることが多い。試験をおこなう前に洗じようや水押、水飽和させるための注水などを十分におこなって定常状態で試験ができるようにしなければならない。それに要する注入時間は岩盤によって大きく異なり、キレツの少い岩盤では数分で定常状態に達するが、キレツの多い岩盤では1時間以上を要することがある。この間定常流状態に達したかどうかを確認するために5分間隔で1分間の流量測定をおこなう。

加圧や減圧は $2 \sim 3$ 分でおこない、各圧力段階で5分以上の流量調整をおこないそのまま10分間程度の測定をおこなう（図-1.3参照）。加圧または減圧後の流量調整でも1分毎に流量測定をおこなう。本測定も1分間毎に測定しバラツキが10%以内に入れば注入量が一定になったものとみなし、10分間の平均をとる。

(7) 注入圧力の求め方

[6.1]

注入圧力は指針（案）の〔解説〕にしたがって求めればよい。静水圧および地下水位の補正も〔解説〕にしたがっておこなうが、地下水位（口元圧力計が地表に近く設置されるので $h_1 - h_2$ が地下水位に相当する）で補正する事例も多い。

〔例〕

次のようなケースで試験区間に実際にかかる注入圧力を求める（図-1.5参照）。

試験孔々底深	: 100 m
試験区間長	: 5 m
地下水位深	: 15 m
注入量(Q)	: 100 l/min
注入管(ロッド)長(L)	: 102 m

口元圧力 (P_0): 10 kg/cm^2

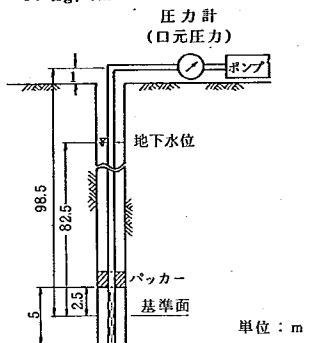


図-1.5 注入圧力補正例

以上の条件から

$$h_1 = 98.5 \text{ m}$$

$$h_2 = 82.5 \text{ m}$$

$$h_3 = \alpha Q^2 L = 102 \text{ m}$$

したがって注入圧力 (P) は

$$\begin{aligned} P &= P_0 + r_w (h_1 - h_2 - h_3) \\ &= 10 + 0.1 (98.5 - 82.5 - 102) \\ &= 1.4 (\text{kg/cm}^2) \end{aligned}$$

口元圧力 10 kg/cm^2 で試験している場合でも上記の条件では試験区間にかかる実際の注入圧力は 1.4 kg/cm^2 にしかならないという想像以上の減圧になっていることに注目しなければならない。なお注入管の管内抵抗による損失水頭は 資料3 注入管の損失水頭について に詳述している。

(8) 注入圧力～注入量曲線

$P \sim Q$ 曲線と略称されているもので、ふつう縦軸に注入圧力(P)を、横軸に注入量(Q)をとって表わす。 $P \sim Q$ 曲線にはいろいろなパターンがあり、それぞれ岩盤の透水特性を示すものと考えられているが、まだ定説となっていない。

$P \sim Q$ 曲線は類型別に図-1.6のように分けることができる。図-1.6(a)は P と Q との比例関係を、図-1.6(b)は Q が0のときの P (切片)を表わしたものである。ただし(a)においてⅡのパターンは P と Q との関係が折点以後も一次函数的であるという点で限界圧力を越えた岩盤の破壊とは異なる(図-1.8 参照)。

表-1.4はAダムにおける $P \sim Q$ 曲線のパターンを類型化して示したものである。地質はほとんどはれい岩でAからD岩盤を含む(表-4.1 参照)。ルジオン値の比率は0～5 Luが30%、5～10 Luが20%、10～20 Luが20%、20 Lu以上が30%と $P \sim Q$ 曲線のパターンの解析

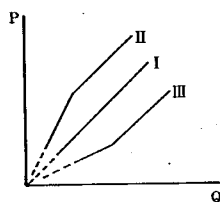


図-1.6(a) P～Q曲線のパターン

表 1.4(a) AダムにおけるP～Q曲線パターンの比率

パターン	限 界 圧 力		計
	10 kg/cm ² 以下	10 kg/cm ² 以上	
I	4.8	18.7	23.5
II	5.6	29.2	34.8
III	12.4	22.3	34.7
計	22.9	77.1	100

(集計数 144ケ, 数字は%)

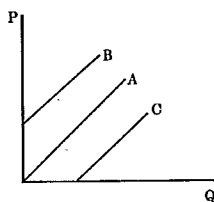


図-1.6(b) P～Q曲線のパターン

表 1.4(b) AダムにおけるP～Q曲線パターンの比率

パターン	限 界 圧 力		計
	10 kg/cm ² 以下	10 kg/cm ² 以上	
A	1.4	13.9	15.3
B	14.6	13.9	28.5
C	6.9	42.6	49.3
計	22.9	77.1	100

(集計数 144ケ, 数字は%)

にはよい分布を示している。パターンの解析は限界圧力が10 kg/cm²以下のものと10 kg/cm²以上のものとに大別しておこなった。前者は岩石そのものの強度が小さいかまたはキレツが多いもので全体の22.9%を占め、後者は岩石の強度が大きくキレツも少ないと考えてよいもので全体の77.1%を占める。

P～Q曲線のパターンは、予想と異なりIやAとはならず、IIおよびIIIやBおよびCのパターン、とくにCのパターンのものが多い(この傾向は多くのサイトでみられるがはっきりした原因はわからない。)

限界圧力が10 kg/cm²以下のもので、IIIが多いのはキレツ性の岩盤を意味しているものと思われる。

これはBが多いことと符合する。また限界圧力が10 kg/cm²以上のものではIIやCが多いのは開口性のキレツを意味するものと思われる。

ルジオン値との関連でみると、Iはルジオン値の大小と関係ないが、IIはルジオン値が小さくIIIは大きい。同様にAにはルジオン値との関係は顕著でないが、Bはルジオン値の小さいものが、Cは大きいものが多い傾向が認められる。

以上のような傾向は岩盤の特性によって異なると思われるが、個々のダムサイトや岩種によって同じような傾向があり、それによってルジオンテストの施工計画(注入圧力等)、透水性の評価、グラウト計画、等の資料が得られるものと思われる。

復路を含めた典型的なP～Q曲線のパターンを示せば図-1.7のようになるが、岩盤との関係等の解釈はよくできていない。

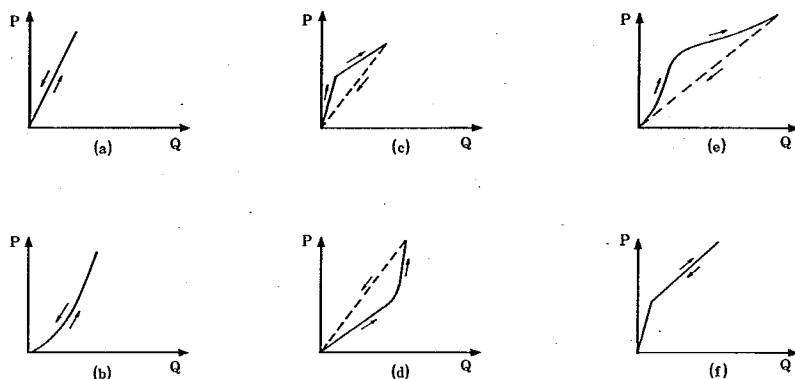


図-1.7 復路を含めたP～Q曲線のパターン

(9) 限界圧力の検討

[6.3]

限界圧力は注入圧力～注入量曲線において注入量が急増する点の注入圧力と規定されているが(2)限界圧力参照), その判定はかなりむずかしい。実際にP～Q曲線を描くと直線にならず、ギクシャクとした折線になることが多い。さらに(8)に示したように注入量が増加する要因は岩盤の破壊のみとは限らない(図-1.6(a)パターンⅡ)。

注入量が増大する要因は図-1.8に示すように岩盤の破壊、水ミチの拡大(圧力を下げれば元に戻る)、細粒物の洗い出し(試験前の洗じょうや水押の不足のこともある)などがあり、このうち岩盤の破壊による注入量の増大が限界圧力を意味する。図-1.8で(a)および(b)は注入量の増大の後も注入圧力に比べ注入量が指数函数的に増大するパターンで、限界圧力が試験範囲内に存在する例である。

パターン	(a)	(b)	(c)	(d)
注入圧力増大の要因	岩盤の破壊 パッカー部の漏水	パッカー部の漏水 岩盤の破壊	水ミチの拡大 細粒物の洗い出し	水ミチの一時的な閉そく 細粒物の一時的な目づまり

図-1.8 P～Q曲線と注入量の増大要因

(a)は(i)が限界圧力で(i)より注入圧力を大きくすると注入量が指数函数的に増え、注入圧力を下げて元の状態に復元しない。さらに注入圧力があがらなくなることがある。

(b)は明瞭な限界圧力が存在しないが(a)の(i)点以後と同じ傾向をもっている。このパターン
のものは限界圧力が非常に小さいか岩盤が継続的に破壊する場合である。これも注入圧力
を下げて元の状態に復元しない。

(c)は(i)点で注入量が增大するが、その後はPとQが一次函数的であるので(i)点は限界圧力
ではない。注入圧力を下げると元の状態に近いところまで復元する場合が多い。

(d)は(c)と同様な状況が考えられ、注入圧力が(i)以下と(i)以上での勾配がほとんど等しくなる。
注入圧力を下げるとほとんど元的位置まで復元することが多い。このパターンも試験範囲
では限界圧力が存在しない。

(10) ルジオン値の計算

図-1.6 および図-1.7, 図-1.8のようにP~Q曲線はいろいろなパターンを示す。したが
って調査地点の岩盤の特徴(限界圧力の大小, 水理学的異方性, キレツの性状等)をよく把握し
てからルジオン値を求めなければならない。ルジオン値の求め方や計算方法は指針(案)〔解説〕
のとおりだが、図-1.6 (b)に示すようにP~Q曲線は必ずしも原点を通るとは限らない。

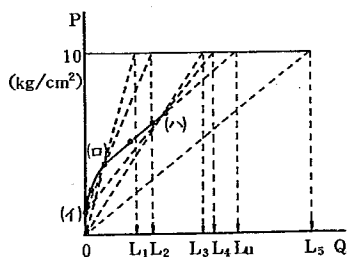


図-1.9 P~Q曲線とルジオン値

図-1.9において曲線(i)~(c)~(v)は補正後の値をプロットしたものである。この図からル
ジオン値を求めるのに(i)~(c) (L_2), (c)~(v) (L_4), (i)~(v) (L_u), 0を通り(c)~(v)に平行なものを (L_5) の6ケースが考えられるが、本指針(案)では
図の直線部分(c)~(v)を結んだ L_u をルジオン値と規定する。

資料 2

ルジオンテスト施工実態調査

ルジオンテストの施工指針（案）を作るにあたり昭和51年8月から10月にかけてアンケート形式によってルジオンテストの実態調査を行った。調査対象は各地方建設局管内、北海道開発局及び沖縄総合事務局の建設及び調査中のダムで、過去数年間にを行ったルジオンテストの実施例から、原則として1年度1データを対象として集計したものである。集計総数は823件であるが地建によってダムの数が異なり、また地質によって調査の頻度に精粗がある。

表-2.1 ルジオンテスト施工実態調査ダム

北海道開発局	赤川ダム	中部地方建設局	九州地方建設局			
留萌ダム	寒河江ダム	蓮ダム	耶馬溪ダム			
札内ダム	玉川ダム	長嶋ダム	大淀ダム			
三笠ダム	白川ダム	近畿地方建設局	高山ダム			
奥名寄ダム	七ヶ宿ダム		広瀬ダム			
下川ダム	御所ダム		川辺川ダム			
沙流川ダム	三春ダム		立野ダム			
十勝ダム	関東地方建設局	大戸川ダム	竜門ダム			
白井ダム		真名川ダム	嘉瀬川ダム			
漁川ダム		中国地方建設局	城原川ダム			
滝里ダム			猪牟田ダム			
梶子第二ダム			厳木ダム			
二風谷ダム			(大分川分水)			
平取ダム	北陸地方建設局	八田原ダム	(五ヶ瀬川水系)			
小樽内ダム		温井ダム	(筑後川水系)			
美利河ダム		四国地方建設局	沖縄総合事務局			
鹿ノ子ダム						
東北地方建設局						
浅瀬石川ダム	宇奈月ダム	大渡ダム	福地ダム			
	手取川ダム	野村ダム	新川ダム			
	大石ダム	富郷ダム	安波ダム			
	大町ダム					
	三国川ダム					

特に九州地方建設局や北海道開発局の管内のデータが多く両者で55.65%と過半を占めている。これは現在計画中や建設中のダムの数が多いからと思われる。データが両者に片寄っているためにアンケート結果が両者の地質条件や透水特性に引きずられることのないよう十分注意しな

から調査結果を検討する必要がある。なお項目によって集計総数が異なるのは記入もれとか途中で試験方法を変更しているからである。

ルジオンテストに関する集計結果は次のとおりである。

(1) 試験孔の孔径

ダムの地質調査のためのボーリングの孔径は66mmに統一されつつあるのでそれを反映しているものと思われる。四国で小孔径(46mm)で試験されている数が多いのは調査の初期の段階でしかも地質が非常に良いサイトで行ったボーリング調査のためと思われる。北陸については不明である。

(2) パッカーの種類

シングルパッカー法での試験が全体の83.94%を占めているが、関東、中部、四国ではダブルパッカー法でもかなり行われている。ダブルパッカー法が用いられるのはルジオンテストを含めたボーリング調査全体の工程が関係しているものと思われる。

大部分の事務所ではエクспанションパッカーが使用されているが、九州および北海道ではエアパッカーが使われていることが多い。これは地質条件とルジオンテストへの努力を反映しているものと思われる。

(3) 地下水位による補正

全体の90.43%と大部分の事務所地下水位による補正を行っている。補正を行わないのは地下水位が低く補正の有無による差が小さいためと思われる。

(4) ルジオン値の換算

注入圧力が 10 kg/cm^2 未満の場合に図式法もしくは計算法によって換算ルジオン値を求めたか、否かを集計したものである。ただし、注入圧力が 10 kg/cm^2 を越える場合には当然換算が必要なので集計から除外した方が良いと思われるが、アンケート記録から判別することができなかったでそのまま集計した。

(5) ポンプ容量

試験に使用されたポンプは市販されているポンプの機種やコンサルタントの手持の機種等できまってしまうことが多いようである。一番多く使われているのは $101\sim 150\text{ l/min}$ クラスで(31.21%)、つづいて $51\sim 100\text{ l/min}$ (26.55%)、 $201\sim 250\text{ l/min}$ (25.85%)となっている。 $51\sim 100\text{ l/min}$ クラスが多いのは北海道や四国、北陸等である。これらの地域ではキレツの少い軟岩や片岩が多く試験時に注入量が少くてすむためと思われるが、このクラスでは大部分の地質では試験が十分行えない恐れがあるので使用しない方がよい。

(6) 昇圧パターン

昇圧および降圧パターンは試験孔の掘削工程を考慮してきめているようである。最も多いパターンは $0-3-6-10\text{ (kg/cm}^2\text{)}$ である(25.72%)。これは九州の例が過半を占めているためでもある。各地で広く行われているパターンは機械的に 2 kg/cm^2 ごと(21.03%)とか 1 kg/cm^2 ごと(14.9%)とするものであるが、これはあまりよい方式とはいえない。

(7) 降圧パターン

降圧パターンは昇圧パターンの裏返しで全く同じパターンをとっているものが多い。

表-2.2 地建別アンケート集計表

地 建 等	北海道	東 北	北 陸	関 東	中 部	近 畿	中 国	四 国	九 州	沖 縄	合 計
集 計 数	136	79	82	30	19	6	34	68	322	47	823
百 分 率 (%)	16.52	9.60	9.96	3.65	2.31	0.73	4.13	8.26	39.13	5.71	100

表-2.3 アンケート解析結果

① 試験孔の孔径

孔 径	北海道	東 北	北 陸	関 東	中 部	近 畿	中 国	四 国	九 州	沖 縄	合 計	百分率(%)
46	4	7	28	5	0	2	0	35	4	0	85	10.61
56	39	8	0	0	0	0	0	0	0	0	47	7.17
66	79	20	51	23	19	4	34	33	317	47	669	83.52
(計)	122	77	79	28	19	6	34	68	321	47	801	100.00

② パッカーの種類

シングルパッカー	113	72	56	11	4	0	32	27	202	37	554	83.94
エクспанション	61	67	44	11	3	0	30	25	14	37	292	44.24
エ ア	52	5	12	0	0	0	2	2	188	0	262	39.70
ダブルパッカー	2	0	7	16	7	0	0	42	32	0	106	16.06
エクспанション	0	0	7	16	7	0	0	42	17	0	89	13.48
エ ア	2	0	0	0	0	0	0	0	15	0	17	2.58
(計)	115	72	63	27	11	0	32	69	234	37	660	100.00

③ 地下水位による補正

	北海道	東北	北陸	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	合計	百分率(%)
補正有	132	72	68	12	19	0	33	33	293	47	709	90.43
補正無	0	1	12	14	0	6	0	21	21	0	75	9.57
(計)	132	73	80	26	19	6	33	54	314	47	784	100.00

④ ルジオン値の換算

換算有	66	58	27	6	8	2	30	21	274	47	539	76.78
換算無	40	10	22	13	0	4	1	46	27	0	163	23.22
(計)	106	68	49	19	8	6	31	67	301	47	702	100.00

⑤ ポンプ容量 (ℓ/min)

～ 50	4	0	0	0	0	0	8	9	9	0	30	4.24
51 ～ 100	53	11	31	0	10	6	16	40	9	12	188	26.55
101 ～ 150	6	55	45	18	25	0	1	26	18	27	221	31.21
151 ～ 200	4	2	0	5	0	0	5	4	17	1	38	5.37
201 ～ 250	10	0	0	6	0	0	0	5	162	0	183	25.85
251 ～ 300	2	0	0	0	1	0	0	0	13	0	16	2.26
301 ～	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	32	4.52
(計)	79	68	76	29	36	6	30	84	260	40	708	100.00

⑥ 昇圧パターン

	北海道	東北	北陸	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	合計	百分率(%)
0-1-2-3-4.....(kg/cm ²)	93		2					4	25		124	14.90
0-2-4-6-8.....	41	27	30		11	1			18	47	175	21.03
0-2.5-5.0-7.5-10.0...		35				1	14		2		52	6.25
0-1-3-5-7-10.....		5	24						4	47	80	9.62
0-3-6-10.....				9				41	164		214	25.72
0-5-10-15.....				16			16		45		77	9.25
0-3-6-9.....			12	5					2		19	2.28
0-4-8-12-16.....			9						1		10	1.20
0-1-2-3-5-7.....								17			17	2.04
0-1-3-6-10.....								6	19		25	3.00
その他		12	7				4	2	14		39	4.69
(計)	134	79	84	30	11	2	34	70	294	94	832	100.00

⑦ 降圧パターン

.....4-3-2-1-0 (kg/cm ²)	93	12	2						1		108	14.01
.....8-6-4-2-0	41	27	30		11	1			32		142	18.42
.....7-5-3-2-1-0		5						17			22	2.85
.....10.0-7.5-5.0-2.5-0		35	2			1	9		2		49	6.36
.....10-6-3-0				9				41	174		224	29.05
.....20-15-10-5-0			27	16			2		48		93	12.06
.....9-6-3-0			12	5					2	32	51	6.61
.....16-12-8-4-0			9						1		10	1.30
.....10-6-3-1-0								6	19		25	3.24
.....7-5-3-1-0									4	32	36	4.67
その他			2					5	4		11	1.43
(計)	134	79	84	30	11	2	11	69	287	64	771	100.00

⑤ ポンプ

機 種	北海道	東北	北陸	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	合計
ハイプロ	12										12
ヤンマー-L-33	9								36		45
ヤンマーディーゼル F-8	5										5
ヤンマー-NS 90	7										7
ヤンマー-NS 90 C	4										4
ヤンマー-NS 75	4										4
ヤンマーニューポンプ	4	4									8
ピストン三連式 (マルカナ製)		8									8
機型三連単動ピストンポンプ		12									12
久保田 SD 90		13		1	3		8				25
ブランジャーポンプ三連		12									12
NAS-4				6							6
NAS-60				1							1
NS-1500 (丸山製)				1						5	6
定吐出型 MG-15				16							16
機型三連ピストンポンプ			9								9
鉋研 MG-10			35		3			21			59
利根 NAS-130 A			16								16
T-8			6								6
SE型					7						7
MS-900					7						7
MS-400					7						7
HFV-2A型						1					1
ヤンマー-SP 200							5				5
YSD-1							10				10
D2-G							2				2
DP-1							2				2
ロビン SP-40								15			15
利根 NAS-130								4			4
利根 KP-6 S								4			4
ヤマト DP-3								4			4
クラウン P								11			11
機型二連複動ピストン									31		31
久保田 SD 240									40		40
F-12									40		40
MG-30									25		25

※ 各地建毎に使用頻度の高い5機種

(8) ポンプの機種

ポンプの機種はメーカーや型式によって沢山あり、生データは50種以上になった。ポンプ容量の項でのべたようにポンプは市販状況とかコンサルタントの手持の機種いかんによってきまることが多い。表は各地建ごとに使用頻度の高い5機種づつをリストアップしたものである。これによると地区によってメーカーや型式がかなり片寄ることがうかがえる。

メーカー名のはっきりしないものや類似の型式番号のものについてメーカーやコンサルタントに問い合せてある程度整理したものであるが不明なものがある。また型式を一般名で表示しているものがあるが原記録が不十分なので確認の方法がない。しかしこれらの機種の大部分は横型2～3連の複動ピストンポンプに属する。

仕様のはっきりした320件につき集計すると次表のようになる。

⑨ ポンプの型式

ポンプの型	ピストンポンプ	310 合	98.1 %
	タービンポンプ	6	1.9
シリンダー数※	単 筒	17	5.5
	2 連	160	51.6
	3 連	133	42.9
サイクル	単 動	12	4.2
	複 動	276	95.8
配 置	横 型	300	100.0

※ タービンポンプは1段3件 6段3件

資料 3

注入管の損失水頭について

(1) 計算による求め方

ルジオンテストにおいては注入圧力が重要な意味をもっている。試験時の圧力管理は口元圧力によっておこなうが、試験区間が深くなると試験区間までの深さや地下水位、さらに注入量が多くなれば注入管の管内抵抗による損失水頭を考慮しなければならない。ここでは後者の問題について検討する。

注入管路における損失水頭は、管内の摩擦損失水頭、縮小損失水頭、拡大損失水頭、弁類損失水頭、わん曲折曲損失水頭、分岐合流損失水頭などがある。これらの損失水頭についてはいろいろな計算式が提案されているが未だ決定的なものがない。正しい値を求めるために、実験精度をあげることは大変むずかしいが実際に実験をしてみる以外に方法がない。

ルジオンテストで問題となるのは摩擦損失水頭 (H_{c1})、縮小損失水頭 (H_{c2}) および拡大損失水頭 (H_{c3}) である。したがって全損失水頭 H_c は次式で表わされる。

$$H_c = H_{c1} + H_{c2} + H_{c3}$$

(a) 摩擦損失水頭 H_{c1}

① Weisbach の式

$$H_{c1} = f \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\ell}{d}$$

f : 摩擦損失係数

ℓ : 注入管の長さ

d : 注入管の直径

v : 流速

本式は一般によく用いられているもので絶対粗度 (k) がわかればすべての種類の管路の摩擦による水頭損失計算に適用できる。摩擦損失係数 (f) は ① 絶対粗度 (k) をきめる ② 相対粗度 (k/d) を求める ③ 管内の流速よりレイノルズ数 (Re) を求める (実用上は動粘性係数 $\nu \approx 13 \times 10^{-3} (10^\circ C) \text{ cm}^2/\text{sec}$ と仮定) ④ レイノルズ数と相対粗度から Moody のダイアグラムを用いて求めることができる (図-3.1)。ルジオンテストに用いる注入管の絶対粗度 (k) は軽度になびた鋼管として $(1 \sim 1.5) \times 10^{-4} \text{ m}$ を仮定してよい。

② Weston の式

多くの铸铁管の実験から求めた実験式であるが簡便なのでよく使われている。

$$H_{c1} = \left\{ 0.0126 + \frac{1}{\sqrt{v}} (0.01739 - 0.1087 d) \right\} \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\ell}{d}$$

v : 流速

d : 注入管の直径

ℓ : 注入管の長さ

③ Weisbach の式と Weston の式の比較

試みに注入管内径 31 mm , 管長 50 m の場合を計算してみると表 - 3.1 のようになる。ただし Weisbach の式でまさつ損失係数 f を 0.02 と 0.04 の 2 ケースについて試算した。これによる

表 - 3.1 注入管の摩擦損失水頭の計算例

注 入 量 Q (ℓ/min)	損 失 水 頭 H (m)		
	H_1	H_2	
		$f=0.02$	$f=0.04$
5	0.0657	0.0251	0.0503
25	0.7870	0.5013	1.0026
50	2.5963	2.0048	4.0097
100	8.8221	8.0201	16.0401

H_1 : Weston の式による

H_2 : Weisbach の式による

と注入量が少ない場合 (25 ℓ/min 以下) には $f=0.04$ に近い値となり, 注入量が多い場合には $f=0.02$ が合う。もともと Weston の式はルジオンテストで使われる鋼管よりもかなり大きな口径のものを使った実験式と思われるので注入量が増大してもそれ程大きな損失水頭とはならないものと思われる。したがって絶対粗度 k の値が分っているものについては Weisbach の式を用いる方がよいが, 絶対粗度がわからず, 注入量あまり大きくなければ Weston の式を使うのも一方法と思われる。

(b) 急縮による損失水頭 H_{c2}

注入管の急縮による損失水頭は, 次式によって求められる。

$$H_{c2} = f_{c2} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

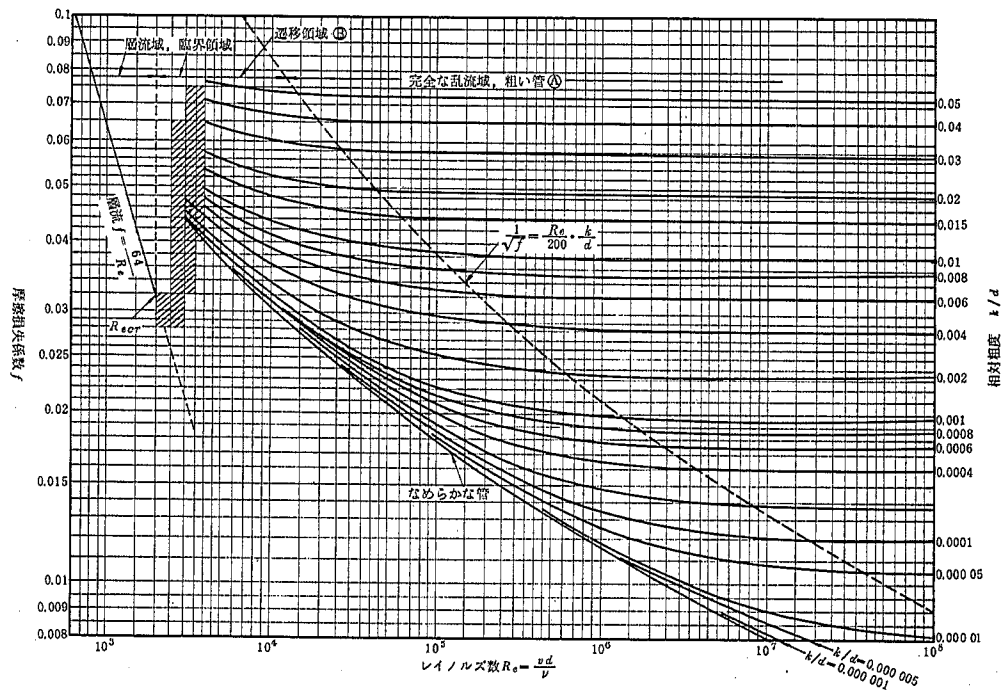


図-3.1 Moody のダイヤグラム

v : 管の細い方での流速

f_{c2} : 縮流係数

縮流係数 f_{c2} について

① Merriman の式

$$f_{c2} = \left(\frac{1}{C} - 1 \right)^2$$

$$C = 0.582 + \frac{0.0418}{1.1 - \frac{d_2}{d_1}}$$

C : Jet の収縮係数

d_1 : 細管の直径

d_2 : 太管の直径

〔例〕 太径 (ロッド) 31mm, 細径 (継手) 17mm の場合

$$C = 0.582 + \frac{0.0418}{1.1 - \frac{17}{31}} = 0.6578$$

したがって

$$f_{c2} = \left(\frac{1}{0.6578} - 1 \right)^2 = 0.2706$$

② Weisbach の値

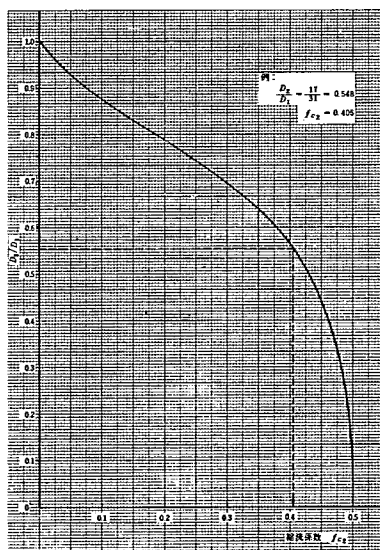


図-3.2 Weisbach の縮流係数ダイヤグラム

Weisbachの縮流係数の値にもとずいて D_2/D_1 ごとに算出したものが図-3.2である。例えば $D_1 = 31\text{mm}$, $D_2 = 17\text{mm}$ とすれば $D_2/D_1 = 0.548$ となり、図から $f c_3 = 0.405$ が求められる。

(c) 急拡による損失水頭 H_{c_3}

注入管の急拡による損失水頭には次のような求め方がある。またルジオンテストにおいては試験区間でストレーナーから試験孔に流出するところでも同様な現象が起るはずであるが、注入管が長くなると単位長当りの値が小さくなるので無視する。

① Borda の式

$$H_{c_3} = f c_3 \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$f c_3 = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

A_1 : 細管断面積

A_2 : 太管断面積

v : 細管内の流速

本式は実用上精度が高いといわれている。

② Archer の式

$$H_{c_3} = 0.997 \frac{(v_1 - v_2)^{1.919}}{2g}$$

(m · sec 単位)

v_1 : 細管内の流速

v_2 : 太管内の流速

(2) 実験による求め方

実際の損失水頭は注入管の絶対粗度が異なったり、継手の形状が変わったりしてなかなか計算通りに行かないので実際に使用する注入管で損失水頭を測定する必要があることがある。

実験の原理は一定圧力下で一定量の水を流した場合に管の途中でどれだけ圧力低下をおこしているかを調べるものである。圧力の測定は管の途中に数ヶ所以上の穴をあけて測定するものと、管の長さを変えながら両端で測定するものがある。実際の測定では圧力や流量が変動するためよいデータが得られないことがあるので、試験の個数を増やさなければならない。なお測定管を鉛直に立てて行なう場合でも各測定点に重力水頭分の差が生ずるだけで、本質的な差はない。

大分工事事務所、熊本工事事務所、松原下釜ダム管理事務所等で損失水頭の実験を行っておりそれをもとに注水量と損失水頭との関係を求めれば図-3.3のようになる(図中実験A~C)。ただし松原下釜ダムの実験では1.5mの測定管を用いているので、ここでは継手の数を減らすための補正を行なって他の実験結果と比較できるようにしている。

さらに土木研究所篠崎試験所においても同様な試験を行ない、図-3.3に示すようにだいたい同じような結果を得ている。また参考までに指針(案)にもとづいてプロットすると図-3.3のようになる。

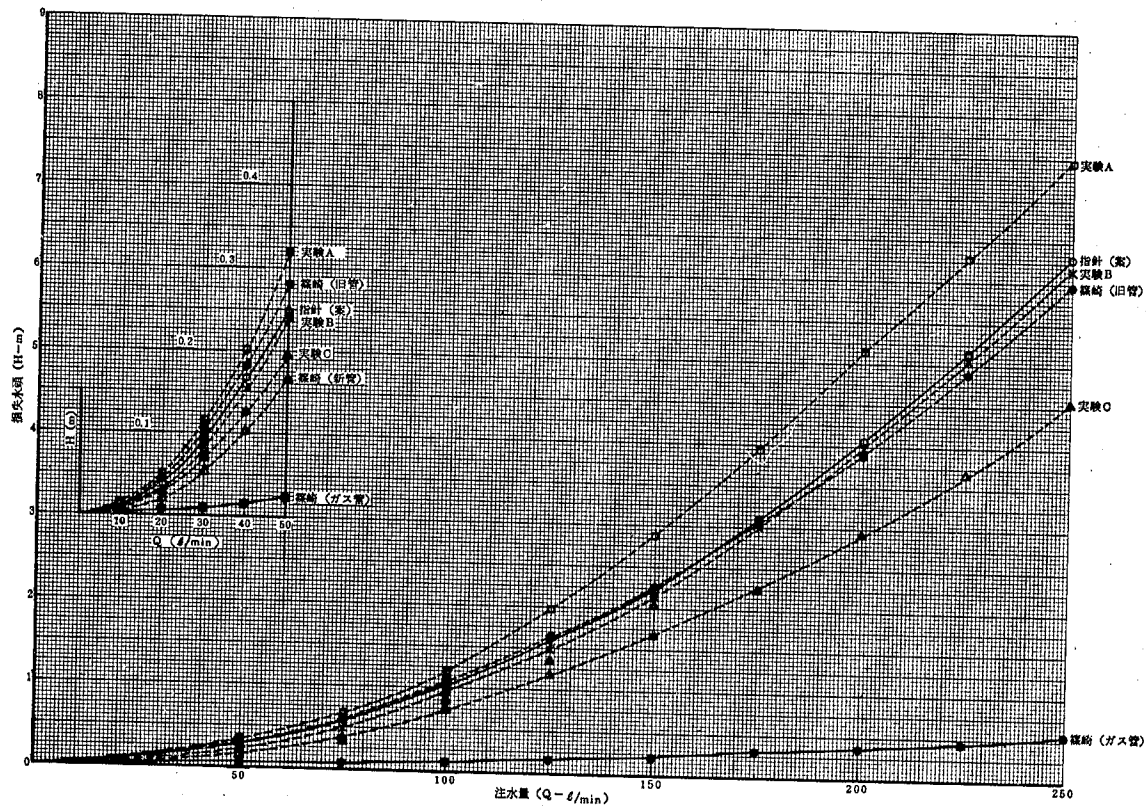


図-3.3 注水管と1 m当りの損失水頭

〔篠崎試験所における試験例〕

現場での実験や定数を仮定して損失水頭を試算するとかなりバラつくが土木研究所篠崎試験所において精度の高い実験がなされている。

(I) 実験装置

① ポンプ

利根NAS-4

最大吐出量 185 ℓ/min

最大圧力 36 kg/cm^2

② 圧力計

容量 0 ~ 50 kg/cm^2 (最小読み 2 kg/cm^2)

③ 量水法

三角堰 (切欠き 60 度) および水槽による

④ 計測機器

圧力変換器 6 ケ (コックの切換によって 22 点の測定が可能)

動ひずみ測定器 DPM-6G 型 (共和電業製)

電磁オシログラフ RMV-500 (共和電業製)

⑤ 試験管

ロッド

ボーリングロッド 新管 呼び径 40.5 mm (内径 31.0 mm, 長さ 3,000 mm)

JIS.M.1409

ボーリングロッド 旧管 呼び径 40.5 mm (内径 31.0 mm, 長さ 3,000 mm)

JIS.M.1409

ガス管 (外径 42.7 mm, 内径 35.7 mm)

継手

ボーリングロッド用 新・旧管 呼び径 40.5 mm (内径 17.0 mm, 長さ 110 mm)

JIS.M.1410

ガス管用 (外径 42.7 mm, 内径 35.7 mm)

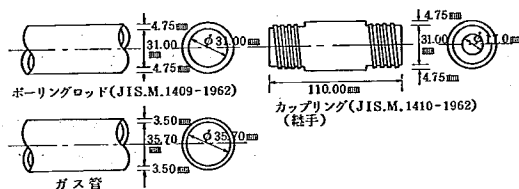


図-3.4 試験管および継手の形状寸法

(ii) 実験方法

試験用ロッドをほぼ水平に継手を介して直線に継ぎ、ポンプで送水して試験管の各点で圧力を測定し損失係数を求めるものである。実験施設の概要およびピエゾ管の設置位置は図-3.5および図-3.6のとおりである。

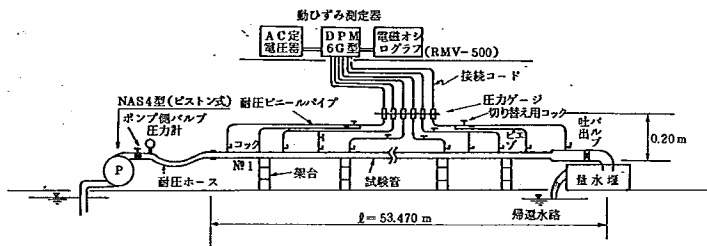


図-3.5 実験施設概念図

① 注入圧力および注入量

当初注入圧力および注入量をおのおの独立させて28ケースの試験を行なう計画であったが、注入圧力と注入量とは密接な関連があり、おのおの独立して試験することは出来なかった。注入圧力および注入量の管理は、ポンプ側のバルブと吐出側のバルブの操作によって行なった。(注入圧力 $2.5 \sim 12 \text{ kg/cm}^2$, 注入量 $18.06 \sim 139.26 \text{ l/min}$)。

② 圧力の検出

注入圧力はポンプに付属している圧力ゲージで読む。試験管内の圧力は、管壁面に $\phi 2 \text{ mm}$ の測定孔をあけピエゾ管を設置し、圧力変換器に接続して自動記録した(図-3.5)。

③ 注入量(吐出量)

注入量の測定は試験装置の末端に設置した三角堰(切欠き 60°)および量水マス(縦 128 cm , 横 51 cm , 高さ 50 cm)によった(図-3.5)。

(iii) 実験結果

水の流れが定常状態になり一連の試験を行なうためには1ケースにつき $40 \sim 60$ 分間を要した。その間ポンプ内で発生する気泡の影響や圧力の変動でデータがかなりバラつくので値がほぼ平均変動内に入ったことを確認し、その変化量の最大と最小の点を読みとりその平均を圧力とした。

測定の結果から(1)にもとずきおのおの管内摩擦や急縮、急拡による損失圧力を求めた。さらに、継手を含めた試験管全体が一樣なものとして注入量と試験管 1 m 当りの損失水頭を算出した。水頭損失は任意の測定点の圧力差を区間距離で除したものである。

各試験ケースごとに 1 m 当りの損失水頭を縦軸に、その時の注入量を横軸にとったものが図-3.8である。図から最小二乗法によってその関係を求めると次のようになる。

$$P = 1.628 \times 10^{-4} Q^{1.903} \quad (\text{旧管})$$

$$P = 2.34 \times 10^{-5} Q^{2.271} \quad (\text{新管})$$

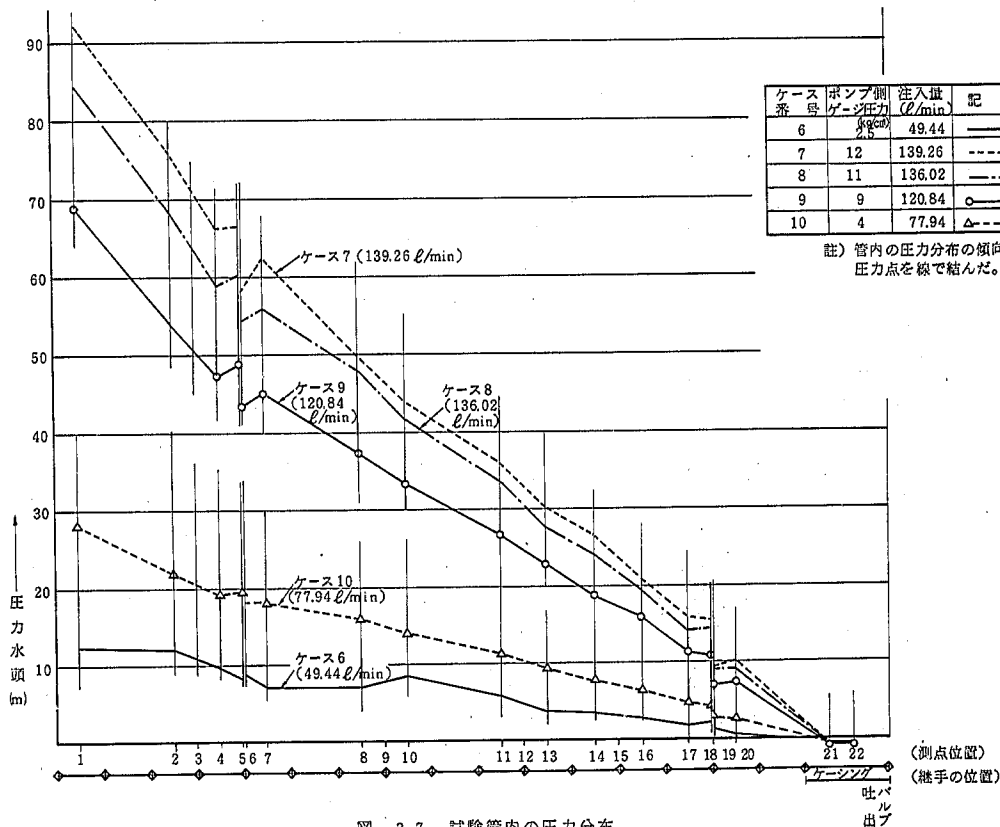


図-3.7 試験管内の圧力分布

又は

$$P = 1.181 \times 10^{-5} \times Q^{1.943} \quad (\text{ガス管})$$

P : 損失水頭 (m)

Q : 注水量 (ℓ/min)

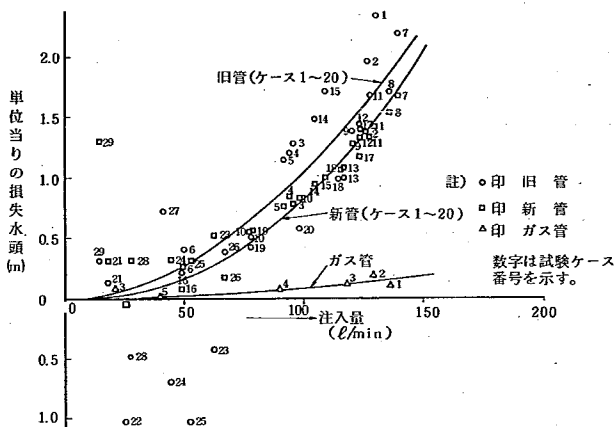


図-3.8 注水量と1m当りの損失水頭

資料 4

岩 質 と ル ジ オ ン 値

(1) 岩級区分とルジオン値

ダムにおける基礎岩盤の岩級区分は岩石そのものの硬さ，風化や変質の程度，割目の頻度や状態によっておこなう。一方岩盤中の透水は一部の半固結～未固結のものを除くと大部分割れ目を通しておこる。したがって同一岩種で粘土等があまりはさまれていないキレツ性岩盤では岩級区分とルジオン値とにより相関があってもよいと考えられるが，多くの場合高い相関を期待することができないようである。

前述のアンケート結果では調査地点（ボーリング孔）によってルジオン値のいちじるしい片寄りが見られる。したがって個々のデータをみても全体を表わすことにはならない。また岩級区分は各サイトで最も適する方法や基準でおこなっているので単純に比較することができない。

表-4.2 (a) および図-4.1 (a) はルジオン値を 5 Lu キザミに岩級別に頻度を表わしたものである。すべての岩級で 0～5 Lu が多く，全体の 55.44 % を占める。これはほとんどのダムサイトで調査が岩級を考慮しながらも Lu 値が 1～2 以下になるところまでデータを取るのものでそうい

表-4.1 ダム基礎岩盤の岩級区分例 (田中)〔表現について一部加筆, 土木学会〕

記 号	地 質 の 特 徴
A	造岩鉱物*が風化・変質していない新鮮なもの。割れ目はよく密着し，その面に沿う風化はない。ハンマーで打診すると澄んだ音を出す。
B	造岩鉱物は部分的に多少風化・変質するが岩質は堅い。割れ目は密着。ハンマーで打診すると澄んだ音を出す。
C _H	造岩鉱物は風化しているが岩質は比較的堅い。一般にかつ鉄鉱などにより着色。岩塊間の結合力が，わずかに減少し，ハンマーの強打で岩塊が割れ目に沿ってはく離する。割れ目に粘土をはさむことがある。ハンマーで打診すると少し濁った音がでる。
C _M	造岩鉱物は風化し，岩質も多少軟らかくなる。ハンマーの普通の強さの打撃で岩塊が割れ目に沿ってはく離する。割れ目に粘土などはさむことがある。ハンマーで打診すると多少濁った音がでる。
C _L	造岩鉱物は風化し岩質も軟らかくなる。ハンマーの軽打で岩塊が割れ目に沿ってはく離し，割れ目面に粘土が残る。ハンマーで打診すると濁った音がでる。
D	造岩鉱物は風化し軟らかく，岩質も著しく軟らかい。岩塊間の結合力はほとんどない。ハンマーでわずかに打つだけで崩れる。割れ目には粘土をはさむ。ハンマーで打つと著しく濁った音がでる。

* 石英を除く他の造岩鉱物

表-4.2(a) 岩級区分とルジオン値

Lu 値	岩 級 区 分						(計)
	A	B	C _H	C _M	C _L	D	
0 ~ 5	168	685	1060	704	243	165	(55.44) 3025
5 ¹ ~ 10	18	107	209	213	106	62	(13.10) 715
10 ¹ ~ 15	14	66	92	102	61	48	(7.02) 383
15 ¹ ~ 20	5	45	69	87	43	52	(5.52) 301
20 ¹ ~ 25	3	14	46	59	47	36	(3.76) 205
25 ¹ ~ 30	4	9	42	62	32	22	(3.13) 171
30 ¹ ~ 35	0	17	26	49	32	18	(2.60) 142
35 ¹ ~ 40	0	6	19	28	26	17	(1.76) 96
40 ¹ ~ 45	3	8	12	26	15	12	(1.39) 76
45 ¹ ~ 50	1	8	9	12	16	15	(1.12) 61
50 ¹ ~	4	49	29	65	51	83	(5.15) 281
(計)	(4.03) 220	(18.59) 1014	(29.56) 1613	(25.79) 1407	(12.32) 672	(9.71) 530	5456

() は %

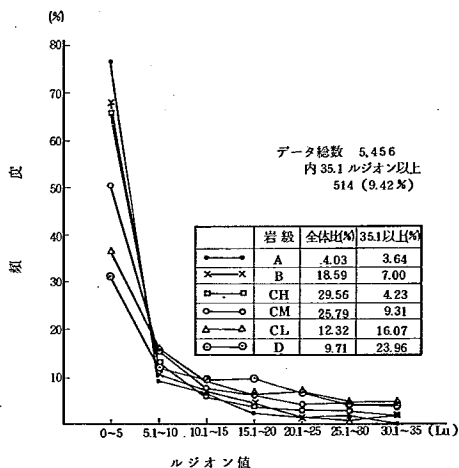


図-4.1(a) 岩級別ルジオン値の頻度

う結果になったものと思われる。図で特徴的なことは、岩盤が良いほど 5 Lu 以下の占める率が
高く、ルジオン値が大きくなるにつれて岩盤の悪いものの比率が相対的に高まる傾向を示してい
ることである。特に 35.1 Lu 以上の比率が C_M 岩級までは 10% 以下であるのに対して C_L 16.07
%, D 23.96 % と著しく高くなる。

表-4.3 および 図-4.1 (b) は 10 Lu 以下のものについて 1 Lu キザミに頻度分布を示した
ものである。ルジオン値が 3 以下では岩級がよいほどその比率が高く特に 1 Lu 以下では岩級に
よって大きな差が認められるが 3 ~ 10 Lu ではあまり差は認められない。反対に 10 Lu 以上の
比率は A が 9.51% にすぎないが B ~ C_H が 22.45 ~ 21.58 %, C_M が 36.38 %, C_L が 48.84 %, D
が 58.64 % と急に高くなる。

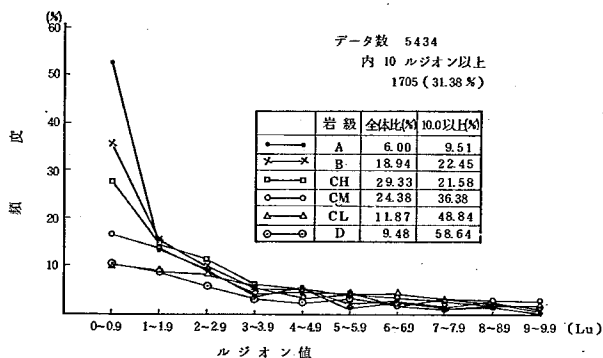


図-4.1 (b) 岩級別ルジオン値の頻度

図-4.2 はあるダムサイトの試験結果から試験区間の深度とルジオン値をプロットしたもので
ある。岩質は塩基性の深成岩で全域がほぼ同種のものからなる。ただし試験区間の標高や山腹斜
面からの距離は考慮していない。図から次のようなことがわかる。

① 深度が増すにつれてルジオン値が小さくなる。特に 25 m 以深あたりから 1 Lu 以下
が急増する。

表-4.2 (b) 岩級区分とルジオン値

Lu 値	岩 級 区 分						(計)
	A	B	C _H	C _M	C _L	D	
0 ~ 0.9	171	340	443	219	67	54	(2381) 1294
1 ~ 1.9	43	157	231	178	58	43	(1307) 710
2 ~ 2.9	30	100	181	116	54	30	(940) 511
3 ~ 3.9	13	52	98	59	34	20	(508) 276
4 ~ 4.9	18	42	84	64	23	12	(447) 243
5 ~ 5.9	4	25	66	55	27	17	(357) 194
6 ~ 6.9	8	28	50	38	27	11	(298) 162
7 ~ 7.9	4	22	40	39	17	8	(239) 130
8 ~ 8.9	4	24	29	38	11	9	(212) 115
9 ~ 9.9	0	8	28	37	12	9	(173) 94
10 ~ 14	11	70	90	93	54	42	(662) 360
15 ~ 19	5	47	70	84	39	53	(548) 298
20 ~	15	114	184	305	222	207	(1928) 1047
(計)	(600) 326	(1894) 1029	(2933) 1594	(2438) 1325	(1187) 645	(948) 515	5434

() は%

② 試験地点によってその傾向が異なる。河床部は深さに比例してルジオン値が確実に低下する。左岸に比べて右岸は全般にルジオン値が高く深度にともなう低下率も小さい。

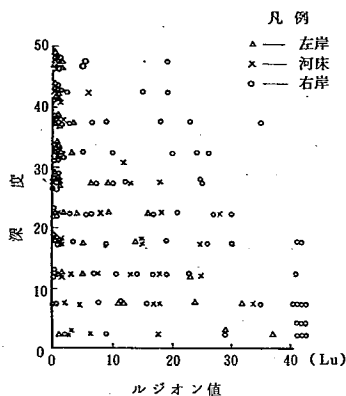


図-4.2 深度とルジオン値

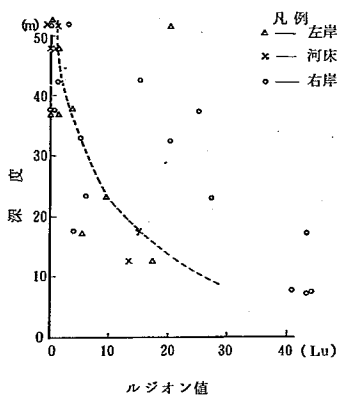


図-4.3 深度と接触部のルジオン値

図-4.3は2種の岩体の接触部のルジオン値を抽出したものである。この場合も前述の深度とルジオン値との関係に類似した傾向をみることができるが、前図より、より顕著である。特に左岸と右岸では著しい差があり、河床部および左岸部では深さによってルジオン値の限界をある程度予測できる。

(2) RQDとルジオン値

RQDは岩石コアにおける単位区間長あたりのコア長10 cm以上のコア採取率を表わしたものである。1片1片のコアの長さはボーリング工の技術にもよるが、割れ目や弱線の数に逆比例する。割れ目とRQDは直接関連しているとはいえないが、RQDがある程度以下では割れ目と密接な関係があるはずである。

図-4.4 (a) はある地区のアンケートから抽出したものである。この場合調査は16地点で地質も第三紀の凝灰岩等いわゆる軟岩と称されるものを含んでいるので本来RQD表示が好ましくないものもある。またRQD表示が好ましい岩盤でも、ルジオン値やRQDの分布形状が特定の区間に集中してしまいその差を見るのに十分なレンジが得られないこともある。図-4.4 (b) は主として花崗閃緑岩からなるダムサイトの例である。この場合地下水は岩石中よりも岩盤中の割れ目を通して流れ、また割れ目の量はRQDに比例すると考えられるので、RQDとルジオン値には密接な関係があるものと想定される。この例では縦軸にRQDを、横軸にルジオン値(対数)

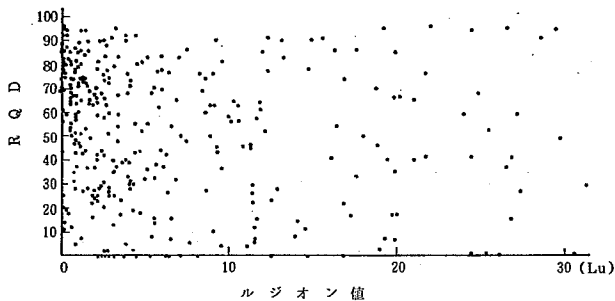


図-4.4 (a) RQDとルジオン値(データ数364, 30 Lu以上26 (7.28%))

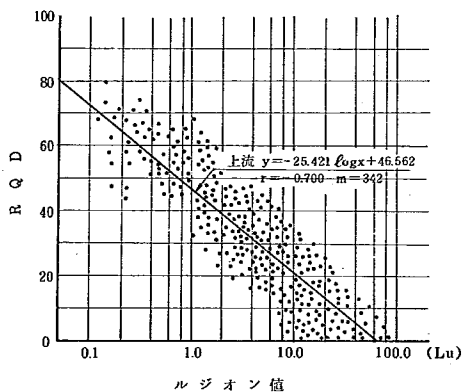


図-4.4 (b) RQDとルジオン値

をとれば相関係数は $r = -0.700$ となり、かなりよい負の相関を示すことがわかる。なおこのサイトではダム軸に関して上、中、下の3案があり、いずれも主として花崗閃緑岩からなるので同じようなまとめ方をおこない、回帰線の勾配や相関から割れ目の量や性質(開口性や粘土等の有無)等がある程度想定できダム軸の選定の一助とした。

資料 5

グラウチングとルジオン値

近頃ダム計画地点の地質がますます悪化しており、グラウチングの重要性が高まるばかりである。グラウチングそのものが過去の経験に頼る要素が非常に大きくなかなか合理的な計画や施工管理または効果の判定がむずかしい工種である。

グラウチングの施工計画をたてるためにグラウトテストを行うのが一般化している。グラウトテストは、グラウト孔の配置パターン、孔間隔、注入材料や濃度、注入圧力等を変えながら試験するもので、その効果は透水度（ルジオン値）で判定している。図-5.1はグラウチングの施工回数とルジオン値の低下の例を示したものである。地質は高塔結凝灰岩□と閃緑岩（×, ○, △）で孔配列は直線状である。1次グラウト孔の間隔は4mとし、2次孔は1次孔の中間をうめて1次孔から2mのところ、同様に3次孔は1mのところに配置した。これらのグラウト孔は掘削後直にルジオンテストを行い、それぞれの回数に相当するルジオン値とした。3次のグラウチング

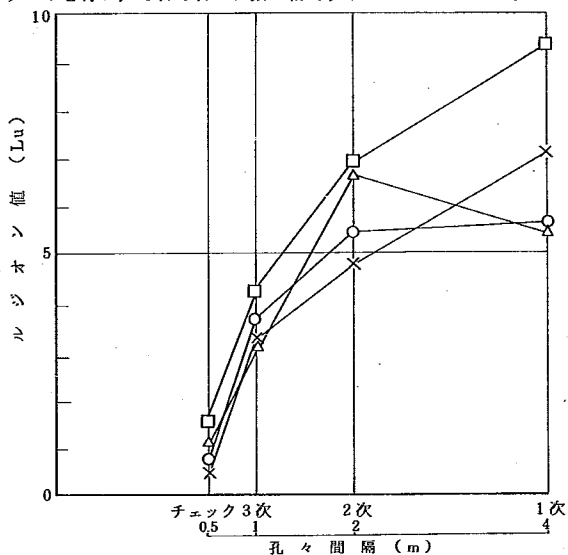


図-5.1 グ라우チングの施工回数とルジオン値（グラウトテスト）

終了後に0.5m離れた点にチェック孔を掘りルジオンテストを行った。図からすべての岩種で2次グラウチングによってルジオン値が当初のほぼ半分になり（3～4Lu）、3次グラウチングで目標の2Lu以下になることが確認された。

ルジオン値から所要のセメント注入量を予測しようとする試みがなされているが、現在のところ

ろデータが不十分でよく分っていないのが実状である。しかし多くのダムではグラウトの施工管理の一環としてルジオン値と注入セメント量を求めている。図-5.2は元岩盤のルジオン値とm

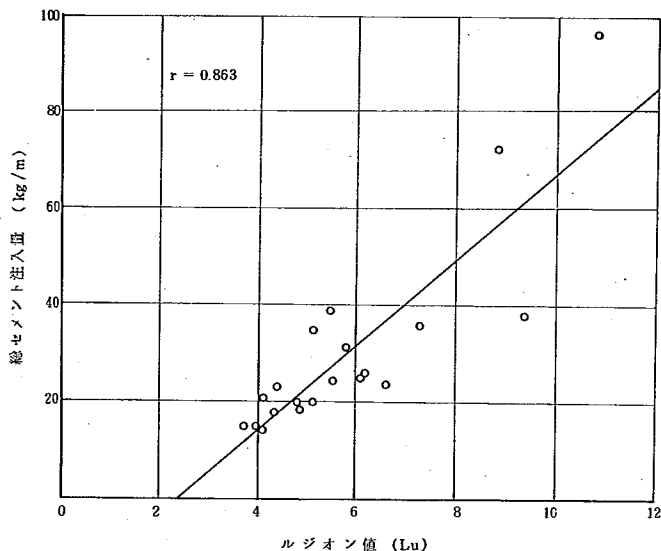


図-5.2 ルジオン値と総セメント注入量

当りの総セメント注入量の関係を示したものである。この岩種は閃緑岩でキレツの比較的少ない良い岩盤である。総セメント注入量 (V kg/m) と元岩盤のルジオン値 (Lu) は $V = 8.76 Lu - 20.0$ という関係にあり、相関係数は $r = 0.863$ と非常によい。

図-5.3はグラウト孔(カーテングラウト)の次数別ルジオン値とセメント注入量の関係を示したものである。岩種は片麻岩でキレツが少なく良好な岩盤に属する。グラウトの孔列は0.5 m間隔の2列、標準仕上り孔間隔は3 mの千鳥で、孔深度はおおの河床部80 m、アバット部50 m天端部30 mとした。各次の標準孔間隔は、調査孔18 m、1次孔9 m、2次孔(調査孔側)3 m、3次孔(1次孔側)3 m、4次孔(前面2列目)1.8 mで、検査孔は列の中間とした。図-5.3はかなりバラついているように見えるが非常によい相関($r = 0.9357 \sim 0.6626$)を示している。

- ① セメント注入量とルジオン値は高い相関関係にある。調査孔はグラウティング前の岩盤の状態で相関が最もよく($r = 0.9357$)、グラウティングの次数が増すにつれてやや悪くなる(検査孔で $r = 0.6626$)。
- ② 次数があがると同一ルジオン値でもセメント注入量が低下する(検査孔は同一断面上ではない)。

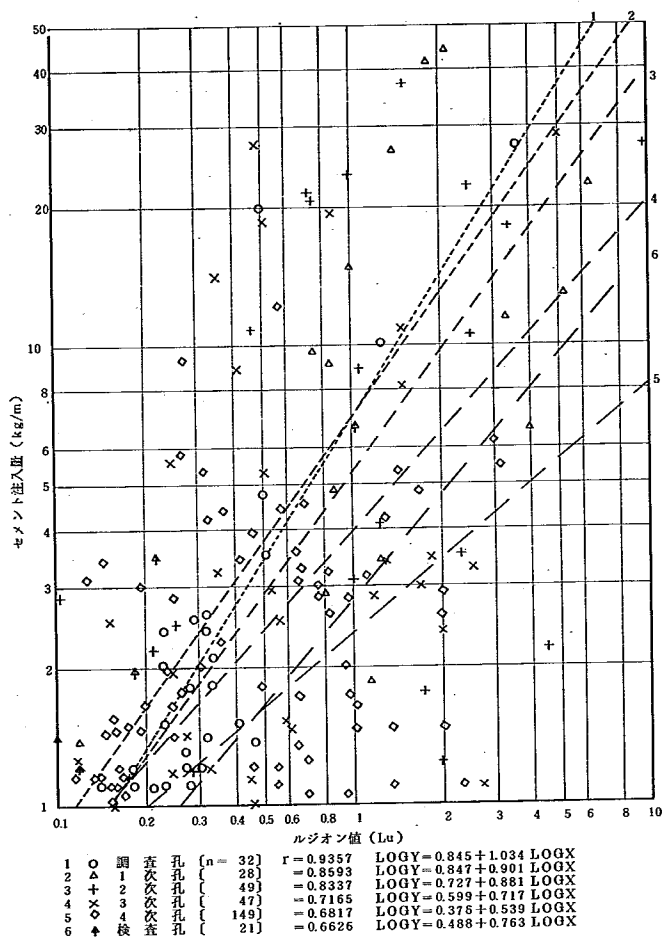


図-5.3 次数別ルジオン値とセメント注入量

図-5.4 は同一ルジオン値の岩盤中に注入されたセメント量と注入圧力との関係を示したものである。注入圧力 10 kg/cm^2 のところで注入量がいく分多くなっている他は、3 者はよい直線関係にある。

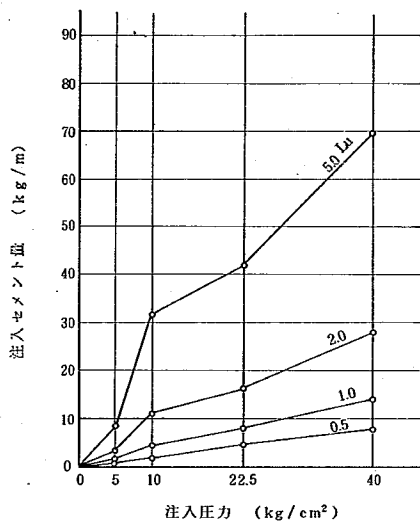


図-5.4 ルジオン値別注入圧力と注入セメント量

916

資料 6

ダルシー法則に基づく現場透水試験法

浸透流がダルシーの法則に従うためには、流れが層流状態で、平均流速は水頭勾配に比例し、流線方向の速度成分以外の速度成分を有しない流れでなければならない。ダルシーの法則に基づく透水係数 k (cm/sec) は次式で与えられる。

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{dh}{d\ell} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

ここに Q : 透水量 (cm³/sec)

A : 透水断面積 (cm²)

$d\ell$: 透水層の長さ (cm)

dh : $d\ell$ 間における水頭差 (cm)

透水係数 k の意味は、水頭勾配 $dh/d\ell = 1$ のもとで、 k (cm/sec) の平均流速をもつ浸透流が生じるということである。

一般にはダム基礎の水理地質的に複雑で、ダルシーの法則が成立するとは言い難く、ダム基礎の浸透流は不透水と見做せる岩塊に囲まれ、不規則に分布するパイプ内の流れに近いと思われる。したがってダム基礎の透水性を調べる試験法としては、試験区間の漏水量から計算して平均した透水係数で表現するよりも、直接ある条件下での漏水量を表示する方法が一般的であると思われる。

しかしながら、ダム基礎を巨視的に等方均質な多孔質媒体と見做せる場合、例えば、均一な砂礫層や火山灰等の未固結地盤、マサ化した風化花崗岩、多孔質凝灰岩類、第3紀末から第4紀の砂岩、泥岩等の多孔質岩盤等では、ダルシーの法則が適用できるものとして、透水性の概略評価を行うための各種の現場透水試験法が提案されている。

ダルシーの法則に基づく現場透水試験法は主として土質工学の分野で発達したものであるが、ダムの基礎を考慮した試験法としては表-6.1のようなものが考えられる。これらの方法は地盤条件、地下水位、試験孔の形状、試験法の仮定条件等によって適用性や解析法、結果の信頼性が異なるので、それらの条件をよく検討して計画を立て、適切な方法を選択して実施しなければならない。

(1) ボーリング孔を利用する現場透水試験

ボーリング孔を利用する透水試験にはルジオンテストと全く同様の方法で行い、試験区間の孔壁周辺の主に水平方向の透水係数の概略値を求めるパッカー法と、孔底までケーシングパイプを打込み、孔底付近の主に鉛直方向の透水係数の概略値を求めるオープンエンド法がある。いずれの方法も地下深部の透水性の評価に適しており、地下水面の上下いずれも適用可能であるが、地下水面より上および試験区間が浅くなると精度が落ちる。

表-6.1 現場透水試験法とその適用性

試験方法	注水 or 揚水	試験地点の深さ 別適応性			地下水条件			測定される 透水係数の 主な方向	備 考
		深い	中	浅い	地下水位下深部	地下水位下浅い	地下水位より上		
パッカー法	注水	◎	○	△	◎	○	△	水平	
オープンエンド法	注水	◎	○	△	◎	○	△	鉛直	
オープンエンド法	揚水	◎	○	△	◎	○	×	鉛直	
オーガー孔法	揚水				◎	○	×	水平	孔底が不透水層に達しているか否かで適用式が異なる。
U S B R 法	注水	×	×	○	×	×	○	水平	地下水位までの深さと孔内水深、孔内水深と孔半径で適用式が異なる。
トレーサー法	注水	×	×	○	×	×	○	鉛直	
トレーサー法	注水	○	○	○	○	○	×	水平	広域調査に適する。

記号説明 ◎ 適応性高く精度、信頼性比較的高い。
 ○ ◎より適応性は劣るが精度、信頼性とも問題ない。
 △ 適用可能であるが結果の精度、信頼性に問題あり。
 × 適用不能。

(A) パッカー法

ルジオンテストと全く同様の方法で、ボーリング孔内の試験区間をパッカーで区切り、圧力水の注入量から透水係数を求める方法である。

① 試験方法

試験方法はルジオンテストと全く同手順であるが、注入圧力と注入量はダルシーの法則の仮定が近似的に成立する範囲内で選定しなければならない。一般に注入圧力は土被り相当圧以下で貯水時の水頭を考慮して決める。

② 解析方法 (図-6.1 参照)

透水係数 k (cm/sec) は次式により求める。

$$k = \frac{Q}{2\pi LH} \sinh^{-1}\left(\frac{L}{2r}\right) = \frac{Q}{2\pi LH} \ln \left\{ \frac{L}{2r} + \sqrt{\left(\frac{L}{2r}\right)^2 + 1} \right\} \quad \text{..... (6.2)}$$

なお $L/r \gg 1$ ならば (6.2) 式は近似的に

$$k \approx \frac{Q}{2\pi LH} \ln \frac{L}{r} \quad (L/r \gg 1) \quad \text{..... (6.3)}$$

ここに Q : 注入量 (cm³/sec)

L: 試験区間長 (cm)

H: 全水頭 (cm) (Hの計算は図 6.1 参照)

r: 試験孔の半径 (cm)

普通 (6.3 式) は $L \geq 10r$ の場合に適用される。

上式は、流れが無限地盤内の点湧水源に関するポテンシャル流であると仮定し、また試験区間 L での水頭 H は一定で区間中央 ($1/2 H$) で代表される (試験区間の深さ方向の水頭変化は無視する) と仮定して求めたものである。したがってこの仮定が近似的に成立するためには、透水層の厚さが試験区間長に比して十分大きいことが必要であり、一般に透水層の厚さが試験区間長の 5 倍以上で精度が良いと言われる。また試験区間内の水頭変化が全水頭に比して無視できるためには、深部であるか、注入圧力が位置水頭に比べて十分大きいか、試験区間長が短いことが必要である。さらに試験は注入量が定常値に到達するまで試験を継続するとしているが、厳密には無限地盤内で水頭差を与えるという仮定から定常状態には達せず、本質的には非定常状態での試験である。しかしながら実用上は一定時間継続することによりほぼ安定した流量となる。この場合、地下水面下の試験は比較的短時間で安定状態が得られる (普通 30 分程度以内) が、地下水面上の試験では図 - 6.2 に示すように安定するまでに長時間を要する (2 時間 ~ 数時間) ことが多く、このため地下水面上の試験結果は精度が落ちることが多い。

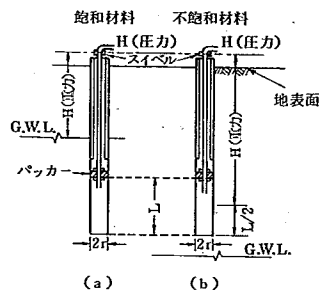
③ 試験上の注意事項

試験上の注意事項はルジオンテストとほとんど同じであるが、一般にルジオンテストが行われる基礎よりも軟質の場合が多いので、特に次のような点に留意する。

1) パッカー部付近は水頭勾配が最も大きいので、パッカーの裏側

を通してボーリング孔内へ漏れが生ずる恐れがある。したがってコア状況によって適切にパッカータイプを選定し、またパッカー位置を選ばなければならない。場合によってはパッカー位置までケーシングパイプの打込みやパッカー部のセメンテーション等も考慮する。

2) 試験区間内の清掃を十分行い、細粒分による目詰りを起さないようにするとともに、使用水は目詰りを起すような細粒分を含まない清水でなければならない。基礎の条件によってはコアリングを行うボーリング (無水掘りや泥水掘り) と透水試験を行うボーリング (送水掘り)



$$H = H(\text{重力}) + H(\text{圧力})$$

図 - 6.1 パッカー法

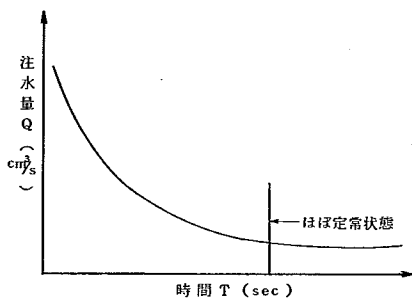


図 - 6.2 注水量と時間の関係

を別に設けなければならない。

Ⅲ) 注入圧をできるだけ一定に保ち、流量が安定するまで十分時間をかけること。

(B) オープンエンド法 (注水法)

ボーリング孔の孔底までケーシングパイプを打込み、パイプの先端から清水を注入して孔底付近の透水係数を求める方法で、一般にボーリング孔の孔壁の保持が難しい場合に用いられる。

① 試験方法

ボーリングやオーガーによって所定の深さまで試験孔を掘削し、ケーシングパイプまたは類似のパイプを打込んで、ケーシング内に一定水位を保つよう清水を加え、送水量が定常に達したときの流量を測定する (図-6.3 参照)。ポンプを使用して圧力水で試験することもできる。

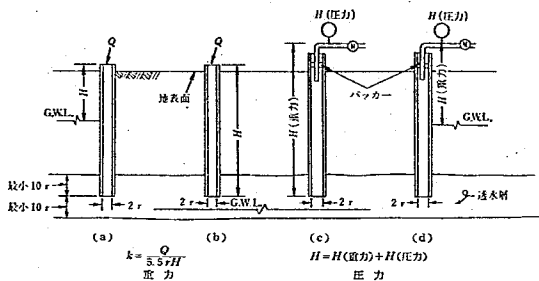


図-6.3 オープンエンド法 (注水法)

② 解析方法

透水係数 k (cm/sec) は電氣的相似実験によって得られた次の実験式から求める。

$$k = \frac{Q}{5.5 r H} \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

ここに、 Q : 送水量 (cm³/sec)

r : パイプの半径 (cm)

H : 水頭差 (cm)

③ 試験上の注意事項

Ⅰ) 試験孔の孔底の清掃を完全にすること。

Ⅱ) 孔壁とケーシングパイプ外周の間の空隙を通過して注入水が上部へ逸水し易いので、ケーシング末端の処理に慎重さと工夫が要求される。

Ⅲ) 水頭を過大にかけないようにする。注入圧力の選定はバッカー法と同じ。

Ⅳ) 水位をできるだけ一定に保ち、注入量が安定するまで十分時間を掛けること、特に地下水面より上部の試験では安定するまでに時間を要する。

(C) オープンエンド法 (水位回復法)

土質調査法 (土質工学会) で紹介されている方法で、ボーリング孔の孔底が地下水面よりかな

り深い場合に揚水して孔内の水位を下げ、揚水を停止して水位回復量と停止時間の関係から孔底付近の局部的かつ鉛直方向の透水係数を求めるものである。

① 試験方法及び解析方法

試験条件は(B)とほぼ同じであるが、孔底は地下水面より十分深くなければならない。図-6.4に示すように半径 r (cm) の孔内の水位を初期水位より水位低下量 S_0 (cm) まで下げ、揚水を停止する。停止して t (sec) 後に水位低下量が S_t (cm) まで回復したものとすると、孔の先端付近の主に鉛直方向の透水係数 k (cm/sec) は次式で求められる。

$$k = \frac{r_0}{4t} \ln \left(\frac{S_t}{S_0} \right) \quad \text{..... (6.5)}$$

② 試験上の注意事項

i) 試験孔の孔底の清掃を完全にする。
ii) 孔壁とケーシングパイプのすき間の逸水に注意し、孔の先端の管周にパッキングを行ったり、グラウチングを考慮する。ただしグラウチングの際、孔底部をシールしないよう留意する。

iii) 試験は揚水、水位回復を数度繰返し、一定になった値を採用する。

(D) オーガー孔法 (水位回復法)

ケーシングを用いず、孔壁からの浸透水を水位回復法により測定し、主として水平方向の透水係数を測定する方法である。

① 試験方法及び解析方法

オーガーやボーリングによって、図-6.5に示すように地下水面下 d (cm) まで半径 r_0 (cm) の円孔を掘る。地下水位が安定するのを待って、孔内水を揚水し、停止する。停止時間 Δt (sec) 中の水位回復量 ΔH (cm) とその間の孔内平均水位 H (cm) (図-6.5 参照) から透水係数 k (cm) は次式で求められる。

$$k = 0.617 \frac{r_0}{Sd} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad \text{..... (6.6)}$$

ここに、 $S : r_0/d$, H/d の関数で、Spangler が示した図-6.6によって与えられる。

上式はオーガー孔が不透水性地盤に達し、孔底からの湧水はないとして導かれたもので、孔底が浸透層にあるときは近似解となる。

Hooghoudt はこのような問題に対して、孔壁よりの湧水は水平流、孔底よりの湧水は鉛直流のみと仮定し、各水量は浸出面積と瞬間水頭差 $d-H$ (m) に比例するとモデル実験を併用し、透水係数 k (m/sec) を次式で求めている。

$$k = \frac{5.26 r_0^2 d}{(2d + r_0)(d - H)} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t} \text{ (m/sec)} \quad \text{..... (6.7)}$$

ここに、 d (m), r_0 (m), H (m), ΔH (m), Δt (sec) は図-6.5 参照。

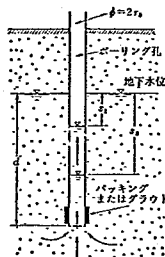


図-6.4
オープンエンド法
(水位回復法)

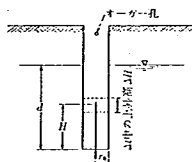


図-6.5 オーガー孔法
(水位回復法)

③ 試験上の注意事項

- i) 試験孔の清掃を完全にする。
- ii) 試験は揚水、水位回復を数度繰返し、一定になった値を採用する。

(2) 地表面付近の現場透水試験法 (U.S.B.R.の方法)

地表面あるいは調査横坑や立坑の表面からピットを掘り、ピット中の水位と注水量の関係から概略の透水係数を求める試験法で、地下水位がピットより低い場合に用いられ、地下水位が高い場合は前述した揚水試験を用いる。

① 試験方法

試験地点に周りの地層をできるだけ乱さないように注意しながらハンドまたはパワーオーガーでピットを掘る。孔壁の維持が難しい場合にはケーシングで孔壁を保ちつつ掘削し、所定の深さまで掘った時点で、透水性のよい砂礫を投入し、ケーシングを抜きとって試験ピットとする。試験はピット内の水位ができるだけ一定となるよう注水量を調節し、定常状態となったときの注水量から透水係数を求める(定水位法)の一般的である。さらにより簡便な方法として、定常状態に達した後注水を停止して、一定時間での水位低下量から概略の透水係数を求める方法(変水位法)もある。なお透水係数を求める際に地下水位あるいは不透水層までの深さによって解析式が異なるので、予め調査しておく必要がある。

② 解析方法 (図-6.7 参照)

- i) ピット内の水深 H がピット半径の 10 倍以上の場合 ($H \geq 10r$) (定水位法)

1) 地下水位が深い場合: 条件 I

ピットの水面から地下水位または不透水層までの深さ T_u がピット内の水深 H の 3 倍以上ある

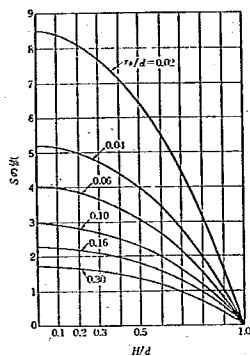
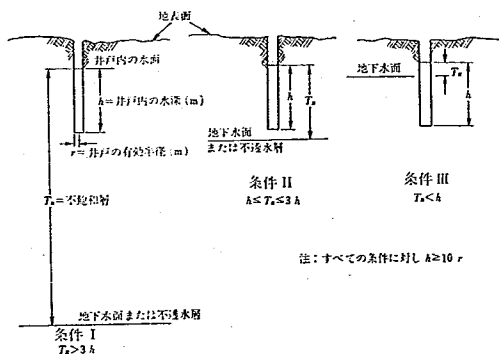


図-6.6 H/d , r_0/d と S の関係



注: すべての条件に対し $A \geq 10r$

図-6.7 USBRの方法

とき $Tu \geq 3H$ の透水係数 k (cm/sec) は次式から求める。

$$k = \frac{Q}{2\pi H^2} \left\{ \sinh^{-1} \left(\frac{H}{r} \right) - 1 \right\} \quad (\text{cm/sec}) \quad \dots\dots\dots (6.8)$$

ここに、 Q ：定常状態に達した後の注水量 (cm³/sec)

他の記号は図-6.7 参照

ロ) 地下水位が孔底より下の高い位置にある場合：条件Ⅱ

$H \leq Tu < 3H$ の場合の透水係数は次式から求める。

$$k = \frac{3Q \ln(H/r)}{\pi H (H + 2Tu)} \quad (\text{cm/sec}) \quad \dots\dots\dots (6.9)$$

ハ) 地下水位が孔底より上の場合：条件Ⅲ

$Tu < H$ の場合の透水係数は次式から求める。

$$k = \frac{Q \ln(H/r)}{\pi Tu (2H - Tu)} \quad (\text{cm/sec}) \quad \dots\dots\dots (6.10)$$

Ⅱ) $H < 10r$ 、 $Tu \geq 3H$ の場合 (定水位法)

$$k = \frac{Q}{2\pi H^2} \left[\sinh^{-1} \left(\frac{H}{r} \right) - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{H} \right)^2} + \left(\frac{r}{H} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (6.11)$$

Ⅲ) $H < 10r$ 、 $Tu \geq 3H$ における変水位法

$$k = -\frac{r^2}{2(t_2 - t_1)} \left[-\frac{1}{h} \sinh^{-1} \left(\frac{h}{r} \right) - \frac{1}{2r} \operatorname{cosec} h^{-1} \left(\frac{h}{r} \right) + \frac{1}{2h} \sqrt{1 + \left(\frac{r}{h} \right)^2} - \frac{r}{2h^2} \right] \frac{h_2}{h_1} \quad \dots\dots\dots (6.12)$$

ここに、 t_1 、 t_2 ：それぞれ測定開始時、終了時の時間 (sec)

h_1 、 h_2 ：それぞれ測定開始時、終了時の孔内水位 (cm)

③ 試験上の注意事項

ⅰ) ピットの掘削に当っては、周りの地盤をできるだけ乱さないよう注意する。注水または透水性の砂礫を投入する前に側壁 (ただしケーシング使用の場合はケーシング挿入前) と孔底を清掃し、細粒分の付着を除く。

ⅱ) 投入する砂礫は現地盤に比し十分な透水性を有するものでなければならない。現地盤の透水性が十分小さいことが予想される場合には、予め密度試験を行った砂を填充材として用い、填充に使用した砂の重量と深さからピットが不規則な場合の半径を計算できる。

ⅲ) Tu と H の関係、 H と r の関係により適用式が異なるので、必要な調査を実施するとともに、 H と r は試験目的、地盤情况等から適切に選定しなければならない。また試験結果を表示する際には、試験方法及び適用式を必ず付記しなければならない。

(3) トレーサーを用いる現場透水試験

トレーサーを用いて地盤の透水係数を求める方法には地下水位より上部の場合と地下水流がある場合の2方法がある。

① 試験方法および解析方法

a) 地下水位より上部の場合

図-6.8に示すようにトレーサー検出用の調査横坑の上方にトレーサー投入孔を設け、投入孔内に食塩(NaCl)や塩化アンモン(NH₄Cl)等の電解質の溶液を水位を一定に保つよう注ぐ。検出横坑の先端に一对の電極を設置し電流計を経て電圧をかけておくと、溶液が重力浸透で横坑先端に達するための所要時間T(sec)を知ることができる。これから次式により投入孔～調査横坑間の実流速V(cm/sec)と透水係数k(cm/sec)を求めることができる。

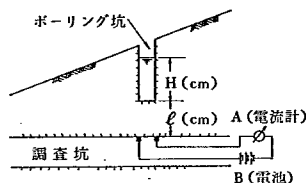


図-6.8 トレーサー法
(地下水位より上)

$$\left. \begin{aligned} k' &= \left\{ l + H \ln \left(\frac{H}{H+l} \right) \right\} / T \\ k &= n k' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.12)$$

ここに、n：地盤の有効間隙率

b) 地下水流がある場合

地下水流のある帯水層中の1点にボーリング孔等を利用してトレーサーを投入し、検出地点のボーリング孔、井戸、湧水地点等の水に流入することを確認し、地下水流の方向を把握し、到達時間を測定して、地下水流の実流速V(cm/sec)を求める。帯水層の有効間隙率をn、投入孔と検出孔の水頭勾配をiとすると、透水係数k(cm/sec)は次式から求まる。

$$k = nV / i \dots\dots\dots (6.13)$$

c) トレーサー

トレーサーとしては色素類、電解質類、RI類の3種類が使用される。

色素類……フローレッシン、ウラニン、フクジン、サクラニン等。フローレッシンがもっとも一

般に用いられている。色素類は粘土等の土粒子の表面に吸着されやすい欠点がある。

電解質類……食塩、塩化アンモン、重クロム酸ソーダ、硫酸マンガニン等。地中にすでに電解質類(多くの酸性水)が溶け込んでいるところでは使えない。

RI類……⁶⁰Co、³²P、¹³¹I等半減期の短いものを使う。トレーサーとしては優れているが、取扱いに注意を要する。

② 試験上の注意事項

i) トレーサーが土粒子に吸着され易く、検出が困難ことがある。

ii) トレーサーの拡散現象によって、トレーサーの検出が遅れ気味になり、またピークが明確に出にくいことがある。

iii) 投入量が大きくなると自然状態の地下水流を乱してしまう。

iv) トレーサーはもっとも容易なルートを通るので、透水性が過大に評価される恐れがある。

以上のような点で、透水性の調査という点では必ずしも確実な方法とは言えないが、ダムの漏水調査には効力を発揮することが多い。