

ダム基礎グラウチングにおける透水試験の合理化施工について

RATIONALIZATION OF PERMEABILITY TEST FOR GROUTING OF DAM FOUNDATION ROCK

吉田 等^{*}・名波義昭^{**}・井川貴史^{***}・栗飯原稔^{****}

Hitoshi YOSHIDA, Yoshiaki NANAMI, Takashi IKAWA and Minoru AIHARA

The evaluation of the improvement in water-tightness of dam foundation rock is usually performed by Lugeon test or water test. In these tests, water is injected at specified pressure values during a series of time steps, and the water injection rate is measured for 5 minutes during each step. In this paper, the utility examinations are carried out to rationalize these permeability tests. Two new methods are considered. One of the methods consists in changing continuously the water injection pressure ("no-step water test"). The other method is based on measuring the injection rate of thin cement milk ("Milk Lugeon test"). The Lugeon value predicted by no-step water test is in close agreement with the value obtained by the usual step water test. It is concluded that the method can be effectively applied to evaluate the permeability of dam foundation rock.

Key Words: grouting, dam, Lugeon test, water test

1. はじめに

近年、ダム基礎岩盤の地質条件が複雑化し、遮水性の向上を目的とするダム基礎グラウチング（以下「グラウチング」という）の施工範囲、施工数量が増大化する傾向にある。このため、グラウチングの施工の経済性を追求することが強く求められている。本研究は、グラウチングに先立って行われる水押し試験に着目し、施工時間の短縮化の可能性について検討したものである。

水押し試験の方法は「グラウチング技術指針・同解説」¹⁾、「ルジオンテスト技術指針・同解説」²⁾（以下「技術指針」という）に示されており、注入圧力を数段階設定し、各圧力段階において注入量が安定してから5分間流量を測定する段階方式を採用している。そのため、圧力段階が多い場合には水押し試験に長時間を要している。この方法が採用された背景には、流量が安定するまでに時間が必要であること、また、技術指針策定当時は主に積算流量計を用いており、流量の測定精度を上げるために時間を要したことが考えられる。

しかし、水押し試験はグラウトによる改良状況の確認と、追加孔の必要性を判断するための試験であり、ルジオンテストほど高い精度は要求されない。また、流量は時間とともに減少するのが一般的な傾向であり、安定するまで十分な時間を置かなくとも、測定値から算出したルジオン値は安全側の値になる。さらに、現在では電磁流量計の採用によって、連続的に流量の測定が可能となっている。

以上のことから、ダム基礎グラウチングの合理化を目的に、大滝ダムのカーテングラウチングをケーススタディとして、昇圧段階を設けない無段階昇圧方式による水押し試験の適用可能性について検討を行った。

^{*} 正会員 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室 室長

^{**} 正会員 建設省近畿地方建設局大滝ダム工事事務所 所長

^{***} 建設省近畿地方建設局大滝ダム工事事務所調査設計第1課 設計係長

^{****} 正会員 建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室 交流研究員

2. 試験施工

(1)大滝ダムの概要

大滝ダムは、近畿地方建設局が建設中の堤高 100m、堤体積 1,000,000m³の重力式コンクリートダムで、基礎岩盤は古生代三波川帯に属する砂岩、粘板岩およびその互層からなっている（図－1）。左岸はやや高透水のゾーンが分布するが、右岸は難透水性を示し地下水位は高い。カーテングラウチングは単列配置で、パイロット孔（孔間隔 12m）から順次中央内挿法に基づき 3 次孔（孔間隔 1.5m）までを規定孔としている。

(2)試験位置

試験は、右岸部のカーテングラウチングの 4 つのブロック、229 ステージを対象とした。この部分の地質は砂岩・粘板岩互層で、透水性は浅部も含めて概ね 10Lu 以下であり、比較的難透水性を示す。

(3)試験方法

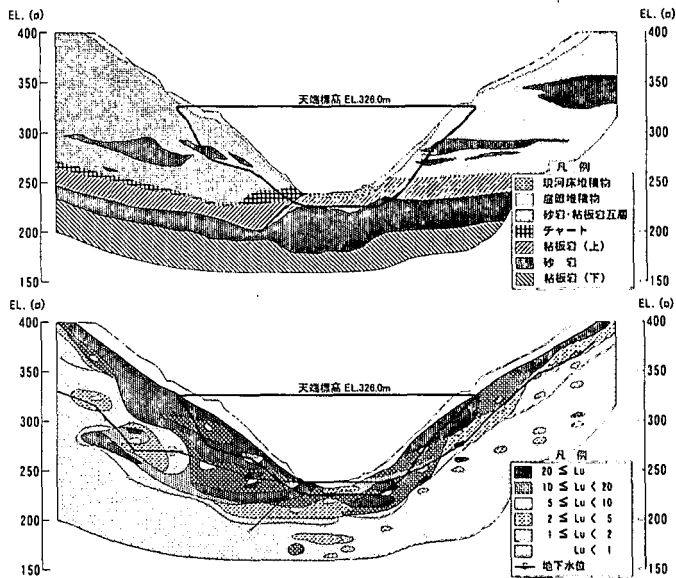
同一ステージで以下に示す 3 種類の水押し試験を行った（図－2）。

- ① 技術指針どおりに段階的に昇圧する方法（以下「段階水押し試験」という）
- ② 圧力段階を設けず連続的に昇圧する方法（以下「無段階水押し試験」という）
- ③ グラウト注入時の昇圧過程を利用してグラウトミルクの注入量からルジオン値を求める方法（以下「ミルク水押し試験」という）

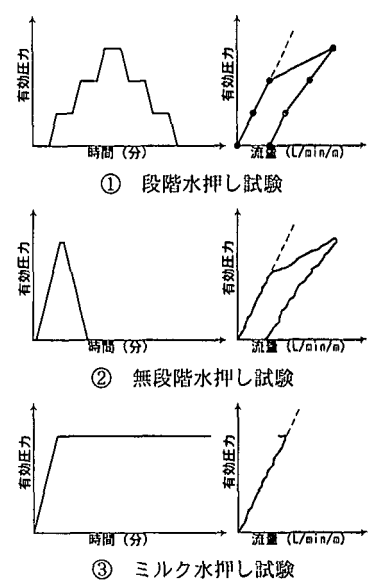
各試験の仕様を表－1 に示す。無段階水押し試験と段階水押し試験における圧力および流量の計測間隔は、大滝ダムで使用している計器の記録能力から 10 秒とした。また、ミルク水押し試験ではグラウトミルクの濃度をもとに圧力補正を行った。なお、ミルク水押し試験で測定されるルジオン値は、通常のルジオン値と区別して「ミルクルジオン値」と呼ぶこととした。

(4)試験順序

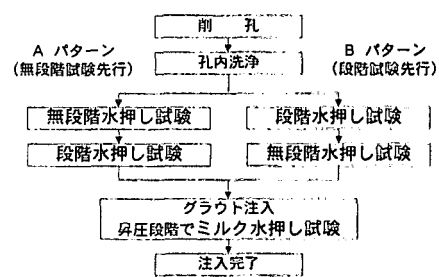
先行した試験が孔周辺の地下水状態や岩盤内亀裂の飽和状態に影響を及ぼし、これが後行する試験の結果に影響を及ぼす可能性があるため、無段階水押し試験を先行する A パターンと段階水押し試験を先行する B パターンの 2 種類を実施した（図－3）。なお、A パター



図－1 大滝ダムダムサイト地質図（上）、ルジオンマップ（下）



図－2 水押し試験の昇圧・降圧方法



図－3 試験施工フロー

表-1 試験施工仕様

パターン	Aパターン（無段階試験先行）					Bパターン（段階試験先行）				
施工箇所	46、50 ブロックで実施					47、49 ブロックで実施				
水押し試験 〔一般孔 昇圧過程のみ〕	ステージ	グラウト注入圧力 MPa (kgf/cm ²)	先行試験 無段階試験 MPa	後行試験 段階試験 MPa		ステージ	グラウト注入圧力 MPa (kgf/cm ²)	先行試験 無段階試験 MPa	後行試験 段階試験 MPa	
	1	0.5 (5)	0 ⇄ 0.5	0 ⇄ 0.1 ⇄ 0.3 ⇄ 0.5		1	0.5 (5)	0 ⇄ 0.1 ⇄ 0.3 ⇄ 0.5	0 ⇄ 0.5	
	2	0.7 (7)	0 ⇄ 0.7	0 ⇄ 0.1 ⇄ 0.3 ⇄ 0.5 ⇄ 0.7		2	0.7 (7)	0 ⇄ 0.1 ⇄ 0.3 ⇄ 0.5 ⇄ 0.7	0 ⇄ 0.7	
	3	1.0 (10)	0 ⇄ 1.0	0 ⇄ 0.2 ⇄ 0.4 ⇄ 0.6 ⇄ 0.8 ⇄ 1.0		3	1.0 (10)	0 ⇄ 0.2 ⇄ 0.4 ⇄ 0.6 ⇄ 0.8 ⇄ 1.0	0 ⇄ 1.0	
	4~5	1.5 (15)	0 ⇄ 1.0	0 ⇄ 0.3 ⇄ 0.6 ⇄ 0.9 ⇄ 1.2 ⇄ 1.5		4~5	1.5 (15)	0 ⇄ 0.3 ⇄ 0.6 ⇄ 0.9 ⇄ 1.2 ⇄ 1.5	0 ⇄ 1.5	
	6~7	2.0 (20)	0 ⇄ 1.0	0 ⇄ 0.4 ⇄ 0.8 ⇄ 1.2 ⇄ 1.6 ⇄ 2.0		6~7	2.0 (20)	0 ⇄ 0.4 ⇄ 0.8 ⇄ 1.2 ⇄ 1.6 ⇄ 2.0	0 ⇄ 2.0	
	8~9	2.5 (25)	0 ⇄ 1.0	0 ⇄ 0.5 ⇄ 1.0 ⇄ 1.5 ⇄ 2.0 ⇄ 2.5		8~9	2.5 (25)	0 ⇄ 0.5 ⇄ 1.0 ⇄ 1.5 ⇄ 2.0 ⇄ 2.5	0 ⇄ 2.5	
ルジオンテスト 〔パイロット孔 昇圧、降圧過程〕	10~	3.0 (30)	0 ⇄ 1.0	0 ⇄ 0.6 ⇄ 1.2 ⇄ 1.8 ⇄ 2.4 ⇄ 3.0		10~	3.0 (30)	0 ⇄ 0.6 ⇄ 1.2 ⇄ 1.8 ⇄ 2.4 ⇄ 3.0	0 ⇄ 3.0	
	安定時間		1 分		5 分	安定時間		5 分		1 分
	昇圧速度		0.1 MPa/min			昇圧速度		0.1 MPa/min		
降圧速度		0.2 MPa/min (水押し試験は降圧なし)			降圧速度		0.2 MPa/min (水押し試験は降圧なし)			
注入速度規制		4 t/min/m			注入速度規制		4 t/min/m			
ミルク水押し試験 〔グラウト注入時の 昇圧過程で実施〕	ステージ	グラウト注入圧力 MPa (kgf/cm ²)	ミルク水押し試験 MPa							
	1	0.5 (5)	0 ⇄ 0.5							
	2	0.7 (7)	0 ⇄ 0.7							
	3	1.0 (10)	0 ⇄ 1.0							
	4~5	1.5 (15)	0 ⇄ 1.5							
	6~7	2.0 (20)	0 ⇄ 2.0							
	8~9	2.5 (25)	0 ⇄ 2.5							
10~	3.0 (30)	0 ⇄ 3.0								
昇圧速度		0.2 MPa/min								
注入速度規制		4 t/min/m								
・グラウト初期配合 (高炉B種使用)						初期配合 (C:W)				
ルジオン値						1 : 8				
Lu ≤ 10										

ンでは後行する段階水押し試験に悪影響が及ばないように、先行する無段階水押し試験の最大圧力は 1.0MPa 以下に抑えた。また、空間的な差異が生じないよう Aパターンと Bパターンの試験ブロックは交互に配置した (図-4)。

3. 試験結果

(1) 試験施工データ

試験は各ブロックのパイロット孔、1次孔、2次孔、3次孔を対象に実施した。段階水押し試験により得られたルジオン値の次数ごとの頻度分布を図-5に示す。また、各試験から得られた有効圧力 (P) - 流量 (Q) 曲線の形状を、Ⅰ：直線型、Ⅱ：限界圧型、Ⅲ：逐次流量増加型、Ⅳ：逐次流量減少型、Ⅴ：高透水性に分類した^{3), 4)} (図-6)。その結果、全体の8割以上がⅠ：直線型を示し、基礎岩盤は概ね限界圧が 1.0MPa 以上の透水性の低い岩盤であると推定される。

得られたデータのうち、限界圧を生じたステージは正確な対比ができないことから除外した。また、高透水性の P-Q 曲線はルジオン値の評価に誤差を含む可能性があることから、高透水性のケースについても除外した。このようにして段階水押し試験 202 ステージに対して、無段階水押し試験 202 ステージ、ミルク水押し試験 190 ステージについてルジオン値の比較を行った。

(2) 段階水押し試験と無段階水押し試験のルジオン値の比較

段階水押し試験のルジオン値 (Lus) と無段階水押し試験 (Lun) のルジオン値を試験順序ごとおよび次数ごとに比較した結果を図-7に示す。また、両試験のルジオン値の差 $\Delta Lu = Lun - Lus$ の頻度分布を図-8に示す。これらの図より、無段階水押し試験のルジオン値

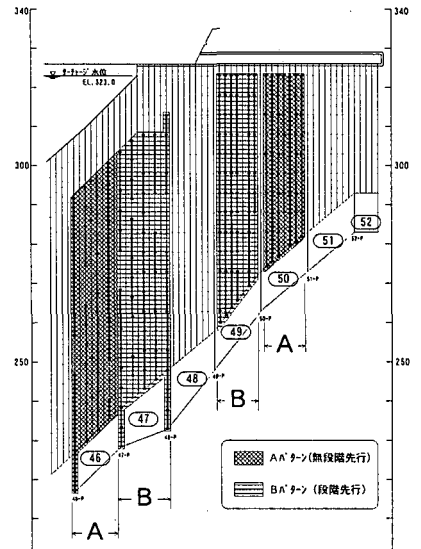


図-4 試験施工位置

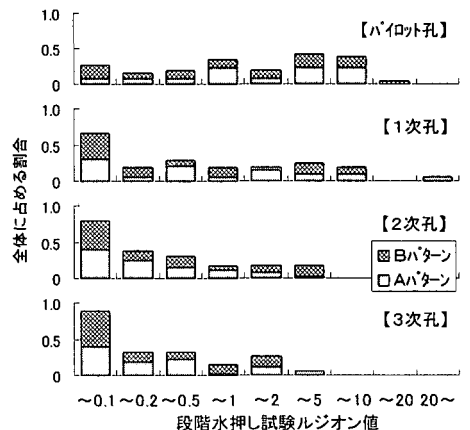


図-5 段階水押し試験のルジオン値分布

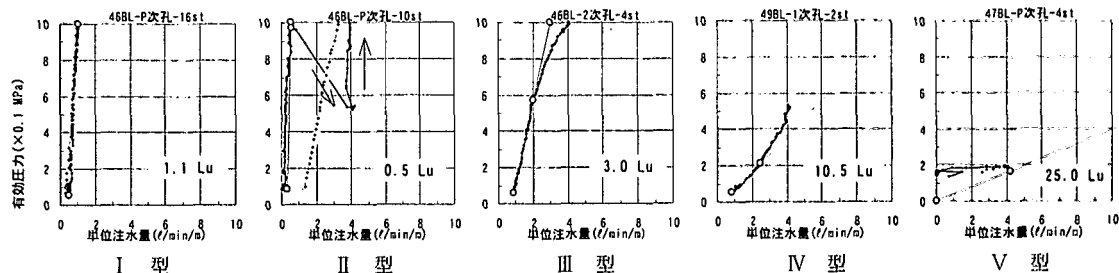


図-6 P-Q曲線形状の分類

(凡例: -, 昇圧過程; +, 降圧過程)

(Lu_N)の方が、わずかに大きな値となっているが、その差は平均して0.11Luとごくわずかであり、両者は概ね一致している。

また、段階水押し試験のルジオン値が改良目標値である2Lu以下であるのに、無段階水押し試験で2Lu以上と評価してしまう例は2.0%、反対に、段階水押し試験のルジオン値が2Lu以上であるのに、無段階水押し試験で2Lu以下と評価してしまう例は0.5%であり、いずれもわずかであった。

以上の結果より、無段階水押し試験は、従来の段階水押し試験に代わる試験として、十分実用に供することができる試験であると判断できる。

(3) 段階水押し試験のルジオン値とミルク水押し試験のミルクルジオン値の比較

段階水押し試験のルジオン値(Lu_S)とミルク水押し試験のミルクルジオン値(Lu_M)を試験順序ごとおよび次数ごとに比較した結果を図-9に示す。図より、ミルク水押し試験のミルクルジオン値は段階水押し試験のルジオン値よりもやや大きく評価されることが分かり、その差は平均して0.21Luである。

また、段階水押し試験のルジオン値が改良目標値である2Lu以下であるのにミルク水押し試験で2Lu以上と評価してしまう例は2.1%、反対に、段階水押し

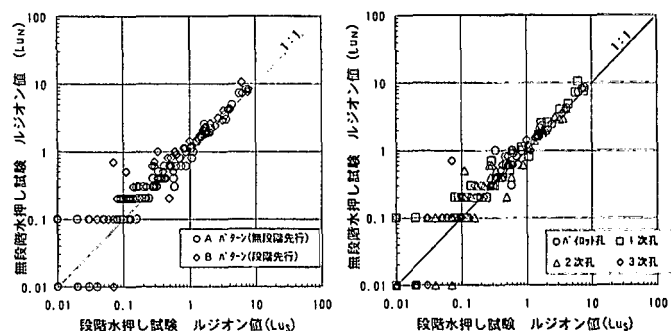


図-7 段階水押し試験と無段階水押し試験のルジオン値の比較 (左; 施工順ごと、右; 次数ごと)

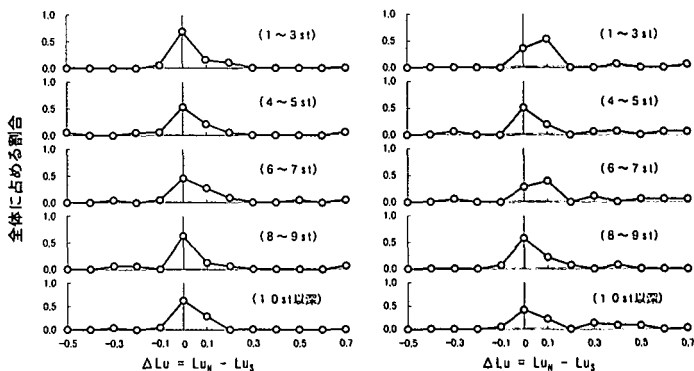


図-8 ステージごとの無段階水押し試験ルジオン値と段階水押し試験ルジオン値の差 (左; Aパターン、右; Bパターン)

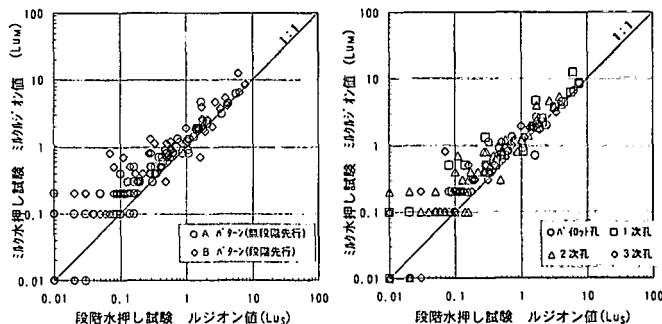


図-9 段階水押し試験のルジオン値とミルク水押し試験のミルクルジオン値の比較 (左; 施工順ごと、右; 次数ごと)

し試験のルジオン値が 2Lu 以上であるのにミルク水押し試験で 2Lu 以下と評価してしまう例は 0.5% であり、いずれもわずかであった。

ミルク水押し試験では、試験開始直後に流量が急増後また元に戻る現象が、全体の約 20% で見られた (図-10)。この原因の一つとして、グラウトの粘性により空気が混入し、見かけ上注入量が増加したことが考えられる。ミルクルジオン値を正しく測定するためにはこの現象の原因を解明し、その対策を講じる必要がある。

以上の結果より、グラウト濃度が C:W=1:8 またはそれより薄い場合には、ミルク水押し試験は、従来の段階水押し試験に代わる試験として、十分実用に供することができる試験であると判断できる。

4. 試験施工の評価

本試験施工において実施した従来の水押し試験 (段階水押し試験) と新たに実施した水押し試験 (無段階試験) に要した試験時間を B パターンについて比較をした (図-11)。なお、図中の時間は 1 ステージあたり に要した時間の平均値を示している。図によると無段階水押し試験に要した時間は段階水押し試験に要した時間より、どの深度においても 1 ステージあたり約 20 分減少している。B パターン全体では施工時間は約 1/2 となり、時間短縮効果が極めて大きいことが分かる。

5. おわりに

今回の試験施工により次のことが明らかとなった。

- ① 無段階水押し試験によるルジオン値は、従来の段階水押し試験によるルジオン値と同程度の精度で岩盤の透水性を評価することができ、無段階水押し試験は十分実用に供することができる。
- ② グラウト濃度が C:W=1:8 またはそれより薄い場合には、ミルク水押し試験によるルジオン値は、段階水押し試験によるルジオン値とほぼ同程度の精度で岩盤の透水性を評価することができる。ただし、グラウト注入開始直後に注入圧力-注入量曲線が乱れることがあり、その対策が必要である。

参考文献

- 1) 建設省河川局開発課監修：グラウティング技術指針・同解説、国土開発技術研究センター，1983
- 2) 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、国土開発技術研究センター，1984
- 3) 山口嘉一・松本徳久：ダム基礎の透水性とルジオン値、土木学会論文集、第 412 号/Ⅲ-12、51-60、1989
- 4) 松本徳久・山口嘉一：ダム基礎の透水性と浸透流対策、ダム技術 No.133、3-18、1997

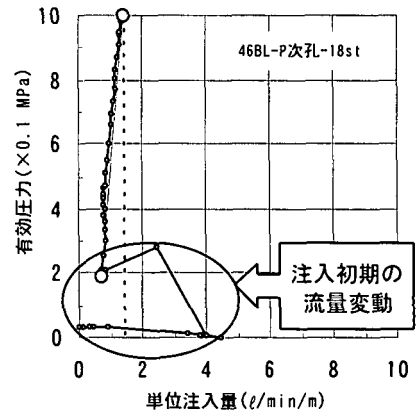


図-10 ミルク水押し試験開始直後における流量変動の例

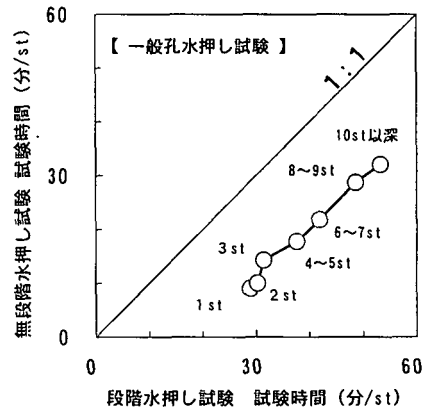


図-11 水押し試験時間の比較(Bパターン)