

(4) 最近のルジオンテストについて

(株) 建設技術研究所 宇田 進一

(株) 建設技術研究所 ○ 井宮 裕

Recent Development of Lugeon Test Method

Shin-ichi Uda CTL Engeneering Co., Ltd.

Hiroshi Imiya CTL Engeneering Co., Ltd.

Abstract

Lugeon test is used usually for investigatig the permeability of dam foundation. Lugeon value is obtained from the corelation between the water pressure and volume. Usually the water pressue is mesured by the borehole surface gauge. On the other hand measurement of the water pressue in the test section below the packer saves the caliculation, and shows new knowledges.

1. はじめに

ルジオンテストは、岩盤の透水性を評価する目的で、ダムの地質調査などで一般に用いられる透水試験である。これは、ボーリング孔の一定区間を遮水器具（パッカー）で遮水し、ポンプで圧力水を段階的に送り、注水量と試験区間にかかる水圧の相関から岩盤の透水性を評価するものである。従来その注水圧力は、地表で測定した口元圧力に静水圧、管内抵抗による損失圧力の補正を行う事で求められてきた。筆者らは注水圧力を直接圧力センサーで実測する試みをいくつかのダムサイトで実施してきた。その結果得られた事柄について報告する。

2. 試験方法

試験は、図-1に示すようにパッカーより下部に半導体式圧力センサーを装備し、試験区間の水圧を実測し、同時に口元圧力も測定した。このとき、ウォーターシーベルは特に圧力損失が大きいので、これを取りはずし、注水ホースをエルボーで注水管に接合した。

有効注入圧力を求めるには、以下の3通りの方法が挙げられる。

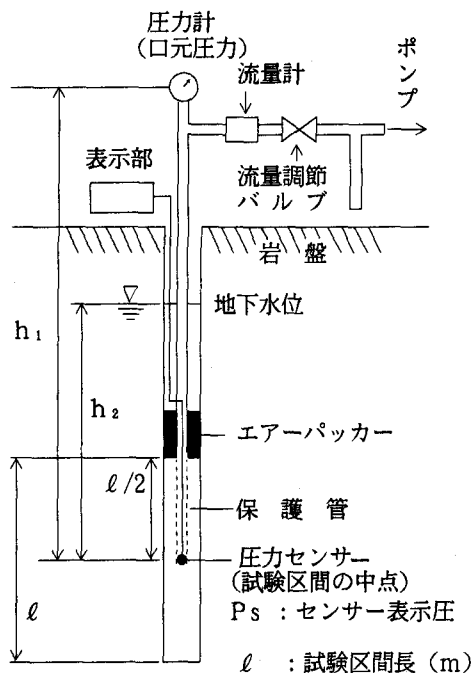
① α による方法

ルジオンテストの試験方法は、建設省河川局開発課監修（1984）“ルジオンテスト技術指針・同解説”にまとめられている。¹⁾これは要約すると口元圧力に静水圧と注水管の損失圧力の補正を行うもので、(1)及び(2)式に示される。ところで(2)式のうち α の値は実験により、 7×10^{-5} が提唱されているが、実測が望ましいとされている。ロッドを水平に継いだ状態での実験結果は、ボーリングロッドの種類や、使用歴によってこの値とは異なる結果も報告されている。

② $\alpha + \beta$ による方法

(1)、(2)の式に表示されていないパッカー部分、ウォーターシーベル又はエルボー、注水ホース等でも実際には相当の損失水頭があり、これを実測し β とし、 $\alpha + \beta$ による補正も行ったのが(3)式である。

これらの計算を行うに際しては注入管の種類毎に表-1に示す管内損失水頭係数を実験により求め、これを使用した。



- α による方法
 $P = P_0 + \gamma w (h_1 - h_2 - h_3)$ (1)
 $h_3 = \alpha Q^2 L$ (2)
- $\alpha + \beta$ による方法
 $P = P_0 + \gamma w (h_1 - h_2 - h_4)$ (3)
 $h_4 = (\alpha L + \beta) Q^2$ (4)
- 実測による方法
 $P = P_s - P_w$ (5)

P : 有効注入圧力 (kgf/cm²)
 P_0 : 口元圧力 (kgf/cm²)
 h_1 : 試験区間の中央までの標高差 (m)
 h_2 : 地下水位～試験区間の中央までの水頭 (m)
 h_3 : 注水管による損失水頭 (m)
 α : 注水管 1 mあたりの管内損失水頭係数
 γw : 水の単位体積重量
 Q : 注水量 (ℓ/min)
 L : 注水管長 (m)
 h_4 : 注水管、注水管以外の損失水頭 (m)
 β : 注水管以外のホース 5 m、パッカー等の管内損失水頭係数
 P_s : 試験区間にかかる実測の水圧 (kgf/cm²)
 P_w : 試験区間にかかる地下水位による水圧又は湧水圧 (kgf/cm²)

図-1 ルジオンテスト試験状況

表-1 管内損失水頭係数一覧表

種 類	管内損失水頭係数
内径 37mm ストレート管 (ケーシングパイプ)	$\alpha = 1.05 \times 10^{-5}$
内径 35mm ストレート管 (AQロッド)	$\alpha = 1.65 \times 10^{-5}$
内径 31mm ボーリングロッド (内径17mm 継手つき) 新品	$\alpha = 7 \times 10^{-5}$
センサーコード入り内径 16mm エアパッカー、ホース 5 m	$\beta = 2.90 \times 10^{-3}$

③ 実測による方法

圧力センサーにより実測した注水圧力に基づいて、有効注入圧力は(5)式により求まる。

この方法の利点は、

- 管内抵抗による損失圧力の計算を行う必要がなく、有効注入圧力が実測できる。
- 試験直前に試験区間にかかっている水圧 P_w が実測できる (図-2)。

P_w は、試験区間に働く有効地下水位であるが、試験区間に湧水や逸水がある場合は、必ずしも地下水位から計算される圧力とは一致しないことがある。 P_w の値は湧水がある場合には高く (図-2 a)、逸水がある場合は低くなり、極端な場合は試験区間内または以下まで地下水位が下がり、センサーの位置を下方に修正しないと有効に測定出来なくなる (図-2 b)。

(c) 地下水位が低く限界圧力が低い場合は、静水圧試験とそれに連続して普通のルジオンテストを行う事ができる（図-3）。これは地下水位が低いときに注入管内の水頭を一定に保つことによって圧力管理をするもので、水頭を段階的に変える事で低圧領域の試験が実施できる。

(d) 精度：上記圧力センサーの精度は、重錘型圧力計試験器及び深井戸での水压測定によってフルスケール（20kg/cm²）の0.25%である事が確認されている（図-4）。

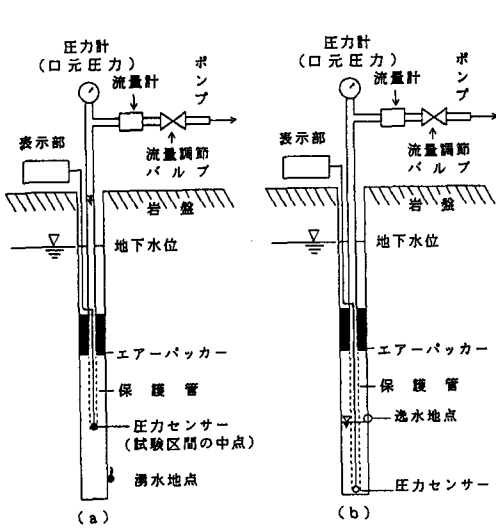


図-2 深部に湧水、逸水地点のある場合の状況

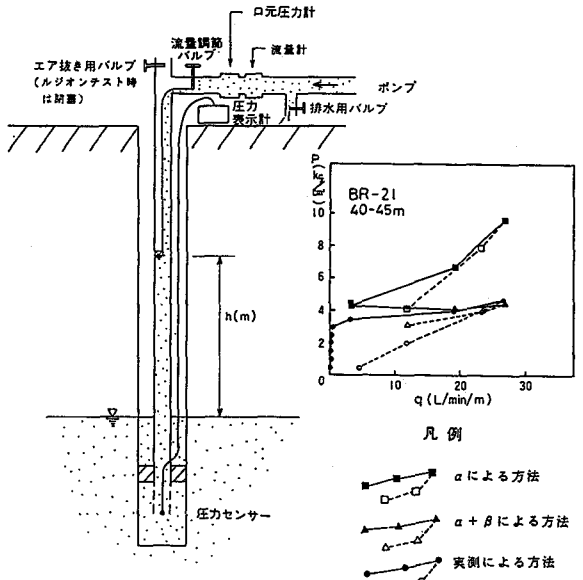


図-3 静水圧試験実施状況

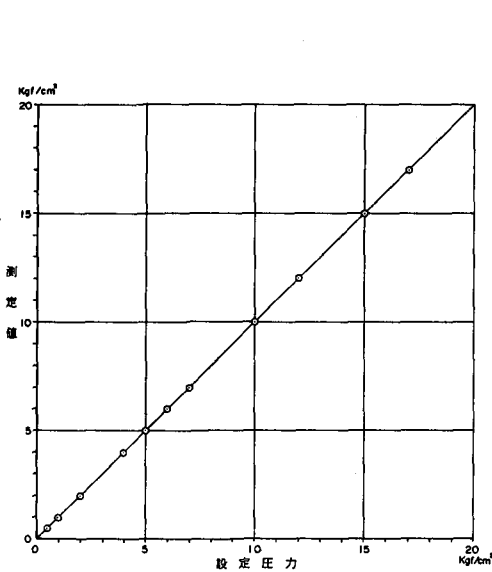


図-4 圧力計の検定

半導体圧力センサーを用いた圧力計の検定を重錘型圧力試験器にて行った。その結果、フルスケールに対する誤差は0.25%以下であった。

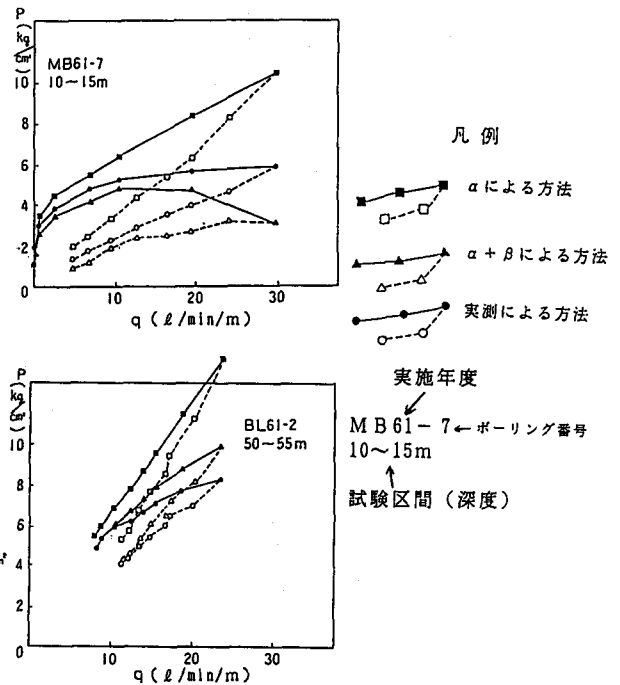


図-5 P-Q曲線の例

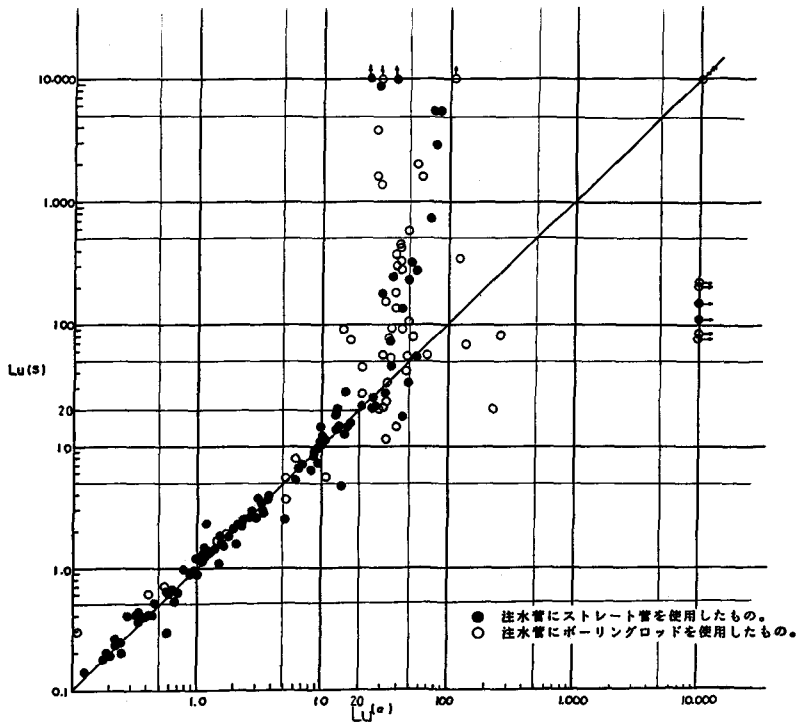


図-6 $Lu(S) - Lu(a)$ 図: $Lu(S)$ は、注入圧力を測定しルジオン値を算出したもの。
 $Lu(a)$ は、口元圧力に、注水管の管内損失水頭の補正を
 行いルジオン値を算出したもの。

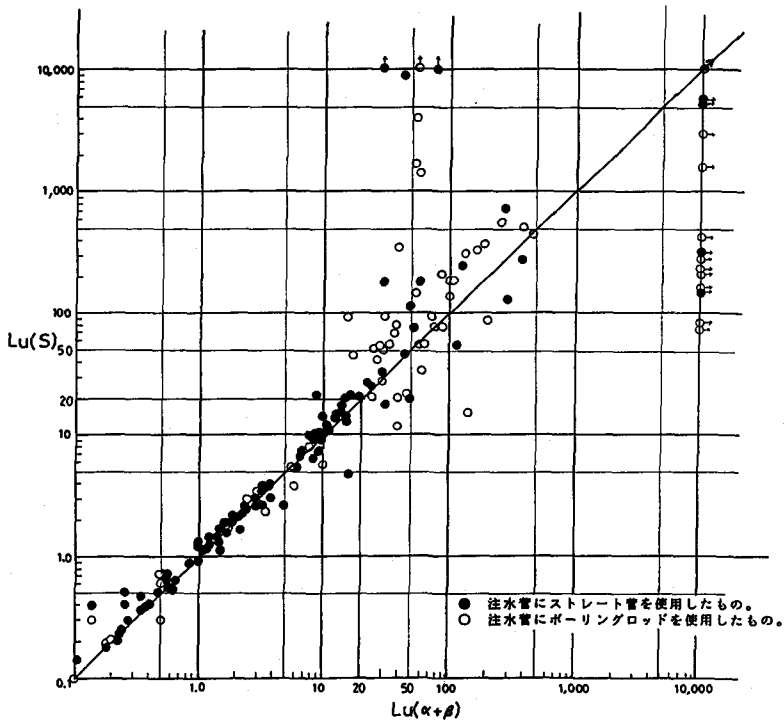


図-7 $Lu(S) - Lu(a+\beta)$ 図: $Lu(S)$ は、注入圧力を測定しルジオン値を算出したもの。
 $Lu(a+\beta)$ は、口元圧力に、注水管とそれ以外の器具の
 管内損失水頭の補正を行いルジオン値を算出したもの。

3. 試験結果

上記、①、②の方法により求めたルジオン値と③の方法による値を比較した。そのときのP-q曲線の例を図-5に示す。

$\alpha + \beta$ によるP-Q曲線は実測のそれと概ね一致するか、又は差が比較的小さいが、 α による方法ではその差が大きい。

図-6は縦軸に実測による方法で求めたルジオン値、横軸に α による計算で求めたルジオン値をとり、両対数方眼紙にプロットしたもので、注水管にストレート管を使用した場合は20ルジオン前後から誤差が大きくなる傾向がある。また、ボーリングロッドによる場合は誤差が大きい。なお、この図には静水圧試験を実施したものは除外した。

図-7は縦軸は同じ実測による方法、横軸に $\alpha + \beta$ による方法で得られたルジオン値をプロットしたものである。この結果は図-6に比較していずれも誤差が小さくなる傾向があり、注水管にストレート管を使用したものでは30ルジオン程度以上で差が大きな傾向があり、ボーリングロッドを使用した場合の差は大きい。

4. 結論

ルジオンテストを実施する上で有効注入圧力を実測でき、又、静水圧試験も行える事から試験区間の圧力を実測する事が望ましい。② 試験間圧力を実測しない場合では注水管にストレート管を使用し、有効注入圧力を上記(3)式による計算($\alpha + \beta$ による方法)により求める事が望ましい。

参考文献

- 1) 建設省河川局開発課監修(1984) ; 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