

京都大学 吉住永三郎 ○吉川宗治 ○菅野強
鹿島建設 佐藤忠五郎・渋谷長美

1. まえがき

ダムサイトの基礎処理のために、グラウト注入工事が実施されるが、この効果を判定するために、物理探査（弾性波探査、電気探査）を実施した。すなわち、注入前後の物理定数を比較することにより、その効果を判断しようとするものである。測定は矢作アーチダム（高さ100m、コンクリート量256,000 m^3 ）において実施され、測定期間は昭和43年1月から44年1月の約1年間にわたるものである。ここでは、特に断層が数多く存在して地質の悪いダム左岸（カーテングラウトは1.5m間隔一列、深さ50mで実施された）について、注入前後の変化を総括的に判断するための例として弾性波探査による一例を、また細部の変化を判断するための例として電気探査による一例を述べたものである。

2. 地質概況

ダムサイトの地質は前第三紀の花崗岩よりなり、すでに掘削終了したダムサイトの岩盤は新鮮堅固であるが、十数本の断層・破碎帯によりブロック化されている。これらの断層群の軟弱化の度合は、(1)新鮮堅固な岩盤、(2)粘土化は著しくないが、クラックの多い岩盤（割れ目間隔15～50cm程度のもの）(3)粘土化・軟弱化のとくに著しい岩盤の三つに大別される。この状況は V_p の事前測定値とともに図-1に示されている。

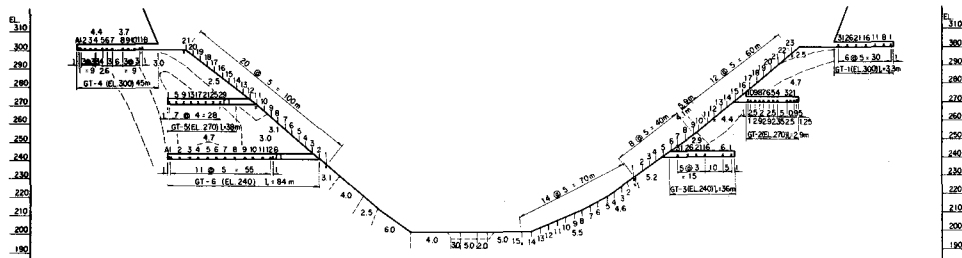


図-1 矢作ダム調査断面図（上流面展開図）

3. 弾性波測定 3.1 測定方法および装置

岩盤の良否を判断するために、普通P波の速度が使用されるが、今回はS波の速度も測定し、この二つから弾性定数を求めた。測定はグラウトトンネル内展開による測定、グラウトトンネル相互間の測定およびアバットメントにおける測定に分けて実施した。なお事前・事後の測定値が忠実に比較できるように、発破点および測定点の前後の位置はつとめて変えないようにした。測定装置は普通弾性波探査に使用されるものであるが、受震器はS波も測定するため、水平にして計測できるように、固有周波数の比較的高いもの（24Hz）を使用した。トンネル内およびトンネル相互間の測定では、表面波が存在しないため、P波のレイターフェイズとして、比較的容易にS波が測定できるが、アバットメントの測定の際は、発破点の工夫により主としてSV波を検出し、弾性定数を求めた。

3.2 結果の概要および考察

グラウト前後における弾性定数の分布は図-2に示す通りである。図からわかるように

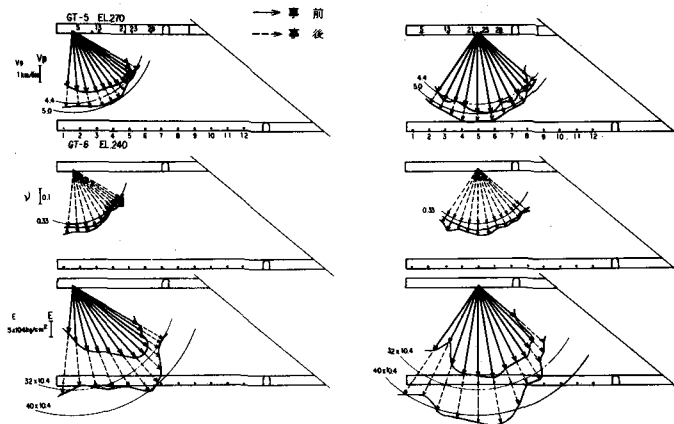


図-2 矢作ダムグラウト効果判定実験のうち左岸 EL. 270, 240 相互間
事前事後測定結果対照図 (一部分のみ)

1) 全体的に P 波, S 波の速度とも増加しており, 動弾性係数も相当よくなっている。したがってグラウトの効果は現われている。

2) しかしポアソン比 ν はあまり変化がなく, わずかに改善されているのみである。

3) このことは比較的大きなクラックには注入が行きわたって, そのため $V_p \cdot V_s$ とも増加しているが, まだ小さなクラックが残っているとみられ, 地山としての ν の値がそれほど改善されていないと考えられる。小さなクラックが埋り, 締つてくると, P 波の速度の増大の割合よりも, S 波の速度が増大し, ν が小さくなるものと想定される。

4) 図 2 からわかるように, 左端の方の改善は著しいが, 右の方はそれほどではない。左端には元来断層があつたが, 測定値の向上はこの断層に対する注入がよく行なわれたことを示している。右の方にも断層があつたが左端のものに比較して大きい。そしてそれに対して注入効果がまだ上つていないことを示す。このように断層の規模・性質によつてグラウト効果はことなり, 小規模で粘土化の進んでいないものに対しては注入によつて改善されることは比較的容易であることがわかる。

5) グラウト工事によつて弾性定数は増大したが, まだこの地域での最良の岩盤に比較すると, その値は小さい。そのためどの程度のグラウトが最適であるかを検討する必要があるが, そのためには注入量と測定値の関係をさらに厳密に求め, 注入量を増しても, 数値ののびがにぶくなるような限界値を今後求める必要がある。

4. 電気探査 4.1 測定方法

図-3 は電氣的測定によるグラウト効果判定実験を実施したボーリング孔断面図である。ボーリング孔はダム軸に沿つた左岸 EL. 240m のグラウトトンネル内に一列に設置された。ダム本体側から左岸側へ B56 孔, B57 孔, B58 孔, B59 孔, B60 孔の順に間隔 15m で設置し, B58' 孔を B58 孔から左岸側に 0.5m 離して設置した。これらの各孔はそれぞれ 50m の長さであり, 上流側に 5° 傾斜している。

ステージ工法によるグラウト注入の進行に伴い, 各ステージ (5m ごと) における注入前と注入後の比抵抗を測定し, その比抵抗の変化割合によつてグラウト効果の判定を行なう方法を実施した。

種々の測定電極配置を用いたが, この報告では等間隔 OPPC 電極配置について説明する。

4.2 測定結果

図-4と図-5は、6本のボーリング孔のうちB56孔およびB59孔において電極間隔 a が50cmの等間隔CPFC電極配置によつて、グラウト注入前と注入後に測定された結果である。B56孔における注入前の比抵抗は、4, 8ステージ付近で低く、3, 6, 7, 8ステージ付近で高い。注入後の比抵抗の変化は注入前に比抵抗の高かつた3, 6, 7, 8ステージの付近にあらわれている。B59孔における注入前の比抵抗は、2, 7ステージ付近で低く、3, 6, 8ステージ付近で高い。注入後の比抵抗の変化は、4, 8ステージの付近にあらわれ、注入前に比抵抗の高かつた部分と一致してはいない。

一般に、注入により岩盤の比抵抗は注入前より低下するのであるが、とくにB59孔の6ステージ付近での比抵抗の変化は測定上の間違いではないかと思われる。

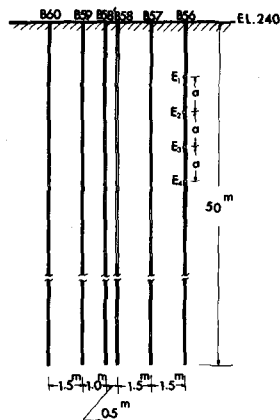


図-3 ボーリング孔断面図

4.3 ボーリング孔におけるグラウト効果判定

図-4はB56, B57, B58, B58', B59およびB60孔において電極間隔 a が50cmの等間隔CPFC電極配置によつて測定された結果から求めた注入前の岩盤の立体比抵抗分布図で、各ステージの中心に表示された各孔の5m単位の区間ごとの比抵抗の平均値から求められたものである。単位は $\Omega \cdot m$ である。注入前の岩盤の比抵抗は1000 $\Omega \cdot m$ 程度から11000 $\Omega \cdot m$ 程度までにわたつて分布している。10000 $\Omega \cdot m$ 以上を比抵抗の高い ρ_1 領域、4000 $\Omega \cdot m$ 以下を比抵抗の低い ρ_3 領域、4000~10000 $\Omega \cdot m$ を中間の比抵抗の ρ_2 領域とすれば

ρ_1 領域は、B56孔の6, 7ステージ付近、B58'孔の4, 5, B59孔の3ステージ付近、B58'孔の10ステージ付近、B60孔の5ステージ付近および7, 8, 9, 10ステージ付近である。 ρ_3 領域は、B56孔の1, B57孔の1, B58'孔の1, B59孔の1, 2, B60孔の1, 2ステージ付近、B56孔の4ステージ付近およびB56孔の8, B57孔の9, 10, B58'孔の7, 8ステージ付近である。

図-7はグラウト注入量をしめす立体分布図で、各ステージの中心に表示された各孔の単位長さあたりの注入量から求められたものである。単位は K_g/m である。注入量は20 K_g/m 程度から130 K_g/m 程度までにわたつて分布している。70 K_g/m 以上を注入量の多い G_1 領域、30 K_g/m 以下を注入量の少

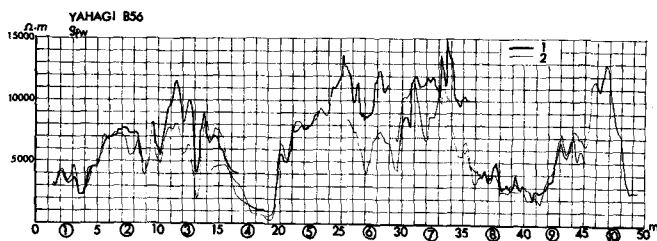


図-4 測定結果 1 注入前 2 注入後

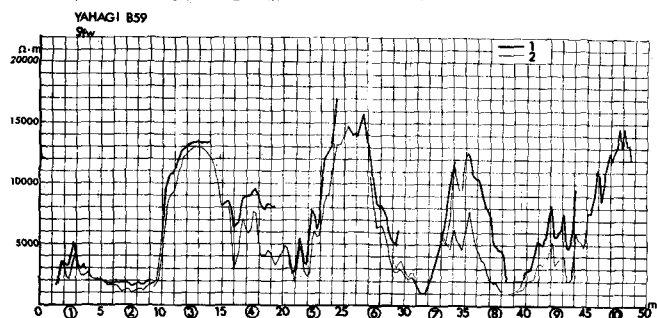


図-5 測定結果 1 注入前 2 注入後

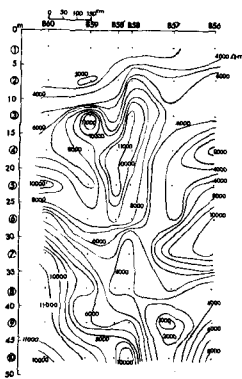


図-6 注入前の比抵抗分布図

ない G_3 領域, $30 \sim 70 \text{ kg/m}$ を中間の注入量の G_2 領域とすれば, G_1 領域は, B56 孔のステージ付近と 4 ステージ付近, B58' 孔の 3, 5, 6, B59 孔の 4 ステージ付近および B57 孔の 9, B58' 孔の 8, 9, B59 孔の 10, B60 孔の 10 ステージ付近である。 G_3 領域は, B56 孔の 1, B57 孔の 1, 2 ステージ付近, B56 孔の 6, 7 ステージ付近, B59 孔の 9 ステージ付近および B60 孔の 7 ステージ付近である。

図-8 は, 注入による比抵抗の変化割合をしめす立体分布図で, 各ステージの中心に表示された各孔の 5 m 単位の区間ごとの注入後の比抵抗の平均値の注入前に対する比から求められたものである。比抵抗の変化割合は 0.5 程度から 1.0 程度までにわたって分布している。0.6 以下を变化割合の大きい R_1 領域, 0.9 以上を变化割合の小さい R_3 領域, 0.6 ~ 0.9 を中間の变化割合の R_2 領域とすれば, R_1 領域は, B58' 孔の 3, 4, 5, B59 孔の 4 ステージ付近および B57 孔の 9, B58' 孔の 8, 9, B59 孔の 8 ステージ付近である。 R_3 領域は, B56 孔の 1, B57 孔の 1, 2 ステージ付近, B56 孔の 5 ステージ付近, B56 孔の 8, 9, B57 孔の 8 ステージ付近, B59 孔の 9 ステージ付近および B60 孔の 7, 8 ステージ付近である。

図-6 と図-7 とを比較すれば, 注入前の岩盤の比抵抗と注入量との間には余り明確な関係はみとめられないが, 図-7 と図-8 とを比較すれば注入量と比抵抗の変化割合の間にはある程度関係がみとめられる。すなわち G_1 領域の B58' 孔の 3, 5, B59 孔の 4 ステージ付近および B57 孔の 9, B58' 孔の 8, 9 ステージ付近は R_1 領域で, 注入量は多く比抵抗の変化割合は大きくなっており, G_3 領域の B56 孔の 1, B57 孔の 1, 2 ステージ付近, B59 孔の 9 ステージ付近および B60 孔の 7 ステージ付近は R_3 領域で, 注入量は少なく比抵抗の変化割合は小さくなっている。

注入前の岩盤の比抵抗, 注入量, 比抵抗の変化割合などの関係および現地での測定法の検討などなお今後の研究に待たなければならないが, 一応の結果が得られたので, グラウト注入による効果を把握するためには注入による岩盤の変化を比抵抗の変化によつてしめす電気的測定が判定法として可能性のあることを報告した。

5. むすび

ダム基盤のグラウト効果判定について, 上述の物理探査による注入前後の変化量より判断する方法を試みて上記のような成果を得, 左岸の地質不良箇所に対しては, 必要に応じてグラウト効果を上げるためグラウト孔が増設された。これ等の方法は今後さらに実験研究を重ねて効果判定の一方法としてさらに発展せしめることが望ましい。

参考文献:

○ 矢作グラウト効果判定実験

1) 測定数値表, 2) 電気的測定: 昭和 44 年 5 月, 鹿島建設(株)土木工務部, 技術研究所

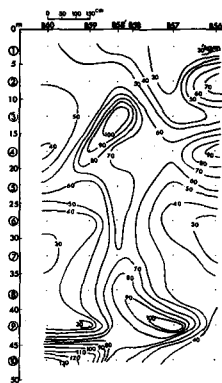


図-7 注入量分布図

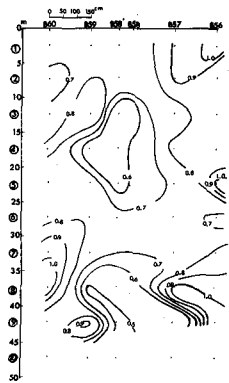


図-8 比抵抗の変化割合の分布図

Determination of Grouting Effectiveness in the Rock Foundation of a Dam

Kyoto University

Eizaburo Yoshizumi

° Soji Yoshikawa

• Tsuyoshi Sugano

Kajima Corporation

Chugoro Satoh

Takemi Shibuya

Among the many methods which have been devised for the determination of grouting effectiveness, the use of seismic prospecting and electrical measurements has been one of the most effective. That is to say, when making a determination from a macro viewpoint of the degree of grouting effectiveness in a grouted area, the degree of effectiveness can be expressed by performing before and after the grouting operation seismic prospecting and measurements of electric resistivity on the location in question from the ground surface or from within a tunnel. On the other hand, when making a detailed determination from a micro viewpoint of the condition of the rock together with the grout structure, these can be expressed by performing before and after the grouting operation measurements of the electric resistivity of the rock by utilizing the boring hole itself or a boring hole adjacent to that hole.

The present paper describes the results of measurements on the effectiveness of the grouting at Yahagi Dam.