

(90) グ라우チングによる基礎岩盤の改良効果に関する現場実験

川崎地質(株) ○ 菅野孝美 山口大学工学部 正会員 結城則行
東電設計(株) 藤枝 誠 京都大学工学部 正会員 菊地宏吉

Field Test about The Improvement Effects of Foundation Rock by Grouting

By

Takami KANNO, Kawasaki Geological Engineering Co., LTD

Noriyuki YUKI, Yamaguchi University

Makoto FUJIEDA, Tokyo Electric Power Services Co., LTD

Koukiti KIKUCHI, Kyoto University

Abstract

The purpose of study is to evaluate the improvement of mechanical behaviors of foundation rock by grouting. So, We carried out grouting to the Ryoke Type granite had many discontinuities and we observed surround the wall of borehole by BHTV scanner before and after grouting. At same time, We carried out some kind of in-situ test at same point before and after grouting. Then we compared data after grouting with initial data obtained by the same test each other.

Some kind of in-situ test were Lugeon test, Borehole hammer and Borehole Loading test(KKT, Erastomater and P-200).

The result is as follows ;Lugeon value was obtained large we predicted, because the granite had so many discontinuities than we estimated. And among same kind of in-situ test. Borehole hammer test and Borehole Loading by P-200 tester could effectively described improvement of mechanical behaviors of foundation rock for grouting. It was possible that using these methods we certainly recognized the improvement of foundation rock by grouting in that geological conditions.

1. はじめに

グラウチングは、ダム基礎岩盤の力学的性質(強度及び変形性)の改良及び基礎岩盤内の浸透流の抑制・止水性を目的として行われる有効なダムの基礎処理工法の一つである。近年、地質状況の良好でないダムサイトの増加に伴い、グラウチングによる岩盤改良効果に期待する度合いは益々高まっており、硬岩から軟岩に至るまで様々な地質状況に応じたグラウチング技術の確立が望まれている。グラウチングによる岩盤改良及び岩盤評価の研究には、菊地他(1982)、白土他(1984)、土山(1988)によるものがあり、グラウチングにより岩盤の止水性の向上及び力学特性の改善が論じられている。

本研究では、グラウチングによる岩盤改良の効果を判定・評価するために、節理の卓越した花崗岩を対象に原位置試験を実施しグラウト前後での岩盤の物性値を比較検討した。本論では、これらの成果をまとめ、試験対象岩盤の工学的特性を示すとともにグラウト前後で実施したボアホールハンマー試験、ルジオン試験及び孔内水平載荷試験(KKT, エラスト, P-200)の結果を定性的に対比し検討した。

2. 試験位置及び対象地盤の概要

実験ヤードの概略図を図1に示す。試験地は、瀬戸内海に面する香川県木田郡庵治町の採石場である。庵治町周辺には、領家帯に属する白亜紀花崗岩類が分布し、含有する黒雲母のK-Ar年代は80 maを示す(河野他, 1966)。当実験地付近の花崗岩類は、庵治石と称され品質の高い加工石として全国的にも有名である。岩相は灰白色の細粒で塊状な黒雲母花崗閃緑岩で、黒雲母(角閃石)-カリ長石-斜長石-石英からなる。当実験地は採石場であるため発破等により人工的な開口亀裂が顕著に発達する。岩盤は堅固で、造岩鉱物の風化・変質の程度は弱い部分が多く、比較的新鮮な岩盤である。岩盤等級は、概ねC_H級に評価される。ボーリングコアではC_H級~C_L級に評価され、短柱状コアとして採取されることが多い。

岩石試験では、C_H級岩盤で1300~1750(Kgf/cm²)と高い一軸圧縮強度が得られ、一軸圧縮強度からは極めて堅固な岩石である。同様に静ポアソン比は概ね0.2~0.3を示し、静弾性係数は $4.5 \times 10^5 \sim 5.3 \times 10^5$ (Kgf/cm²)と非常に高い剛性を有している。

3. 試験方法

3-1) グ라우チングの方法、状況

グラウチング工法は、LW工法及び二重管ダブルパッカー工法を採用し、前者で孔底の根固後に、通常の工法で試験区間をグラウチングした。使用したセメントは普通ポルトランドセメントで、初期の配合(水:セメント)は4:1とし、徐々にセメント量を増加させた。注入量は注入範囲と岩盤の間隙比を考慮して設定し注入圧・注入速度の限界値は各々最大5kgf/cm²最大10ℓ/min/m・最小1ℓ/min/m(20分連続)とした。また、グラウチングの順序は崖側へのグラウト材の流出を極力避けるために、G-2孔からとし、孔別にグラウト材を着色し、グラウト材の浸透状況がわかるように配慮した。実際の注入では亀裂の開口状況、グラウト順、自由面までの距離などの諸要因から、G-2孔、G-1孔では注入量、G-3孔では注入圧の限界値で終了した。

3-2) 各試験の試験手順

試験ヤードは約8m×3mで、G-3孔側がC_H級岩盤を主体とし、G-1~G-2孔側ではC_L~C_M級岩盤からなる。また、試験ヤード内は、グラウト材の表層流出を防ぐ目的で、30~50cm厚のキャップコンクリートを打設した後に試験孔を掘削した。

図2は試験手順のフローチャートを示す。

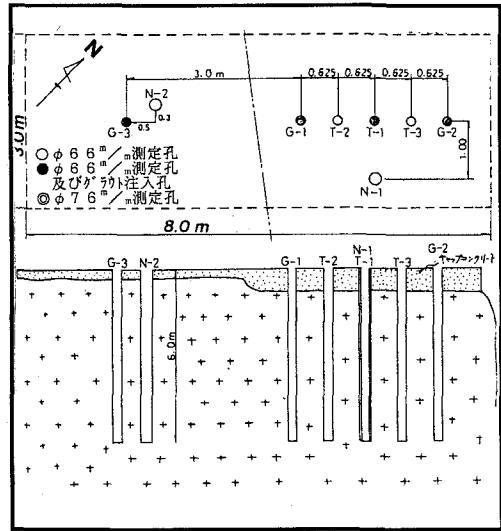


図1. 実験ヤードの概要

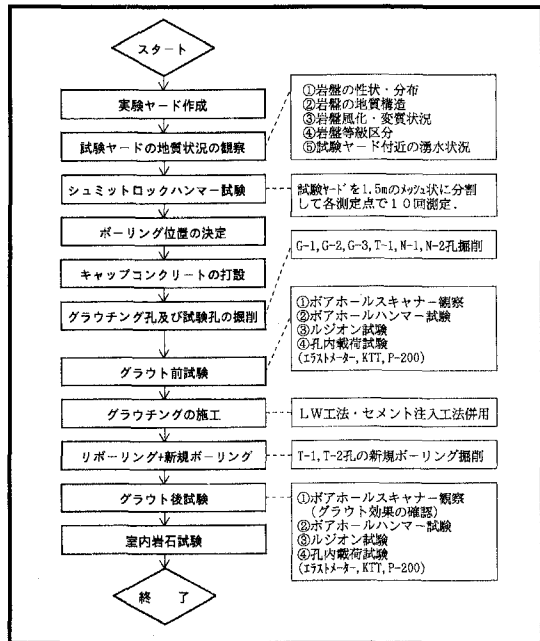


図2. 試験手順のフローチャート

4. 対象岩盤の工学的特性

4-1)対象岩盤の性状

試験ヤードの岩盤面に発達する亀裂、節理及び小断層についてその走向・傾斜を測定した他、それらの連続性、緻密性、開口性、挟在性、粗面性、について評価した。図3にはこれらの節理群の集中域を下半球に極投影したシュミットネットグラフを示す。

4-2)シュミットロックハンマー試験結果

図4にはシュミットロックハンマー試験結果をまとめた頻度分布図を示す。実験値の反発度は広範囲にばらつき、その分布特性はB級岩盤に類似する。また、平均値は35.6とC_H級を若干上回る値を示す。これは、ボーリングコア鑑定の結果及び実験地の岩盤評価に一致するものの、シュミットロックハンマー試験から推定される変形係数は $2.5 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^4$ Kgf/cm²と後に述べる孔内载荷試験結果とはかけ離れた値を示す。すなわち、人工亀裂が発達する岩盤では、反発度と変形係数の間には、既往の相関関係は見いだせないことを意味している。

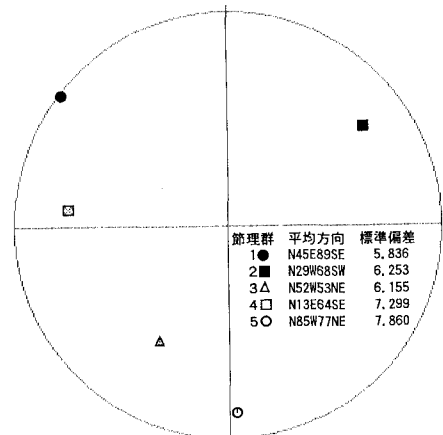


図3.節理群集中域のシュミット投影

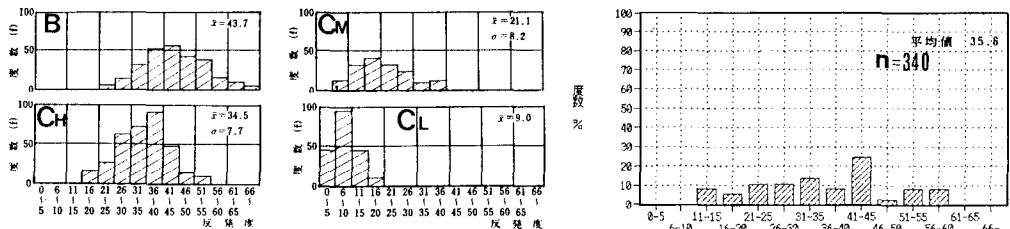


図4.シュミットロックハンマー試験による反発度の頻度分布図(菊地他,1984による)。左図は塊状岩盤等級とシュミットロックハンマー反発度との関係

5. 各種試験結果の対比

5-1)ポアホールハンマー試験結果

図5及び図6には、打撃応答量-深度相関図、弾性波速度-深度相関図を示す。

全体的にばらつき、グラウト前の打撃応答量は $0.144 \sim 26.3 \text{ ms}^{-2}$ 、弾性波速度で $69.4 \sim 1073 \text{ m/s}$ を示し、グラウト後の打撃応答量は $1.3 \sim 72.4 \text{ ms}^{-2}$ 、弾性波速度で $31.6 \sim 377.4 \text{ m/s}$ を示す。深度方向の相関性がないものの、弾性波速度に比べ、打撃応答量は、明瞭にグラウト後で増加側にシフトし、グラウティングによる改良効果が確認された。

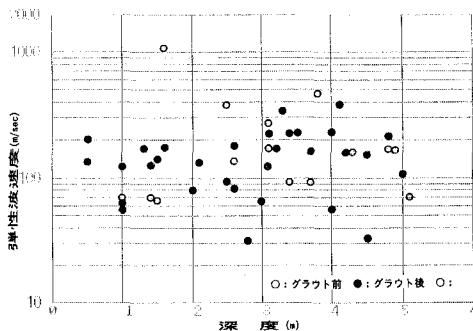


図5.ポアホールハンマー試験による打撃応答量-深度相関図

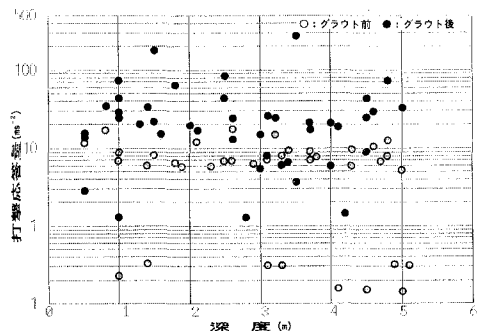


図6.ポアホールハンマー試験弾性波速度-深度相関図

5-2) ルジオン試験結果

グラウト注入前のルジオン値は101～159Luの範囲にあり、それに対しグラウト注入後のルジオン値は48～183Luの範囲にあった。この結果からルジオン値の低下は認められるものの、止水性に関しては期待通りの改良効果はは得られなかった。実際のダム基礎岩盤の注入目標は1～2Lu程度と言われているが、本実験では、発破等による人工的な開口亀裂等が著しく発達したこと、崖側へのグラウト材の流出が防止できなかったこと等により、特に崖側での止水性の改善の不備がこのような結果を招いていると考えられる。しかし、亀裂の多い岩盤性状を考慮すると、個々の測定区間のルジオン値はグラウティング後で向上しており、止水性の改善が確認された。

5-3) 孔内水平載荷試験結果

孔内水平載荷試験は、KKT、エラストメータ及びP-200について行った。尚、P-200については、 $\phi 76^m/m$ の試験孔N-1、N-2孔を用いて行った。それらの結果について述べる。

図7～図8には、KKT及びエラストメータによるグラウト前後の変形係数－深度相関図及び弾性係数－深度相関図を示す。KKTによる孔内載荷試験では、G-3孔では変形係数・弾性係数ともグラウト後で増加側にシフトし、グラウトによる改良効果が確認されたが、その他のG-1孔、T-1孔では逆に減少側へシフトし、グラウトによる改良効果は得られず、孔によってはグラウト材が十分浸透しなかったためと考えられる。

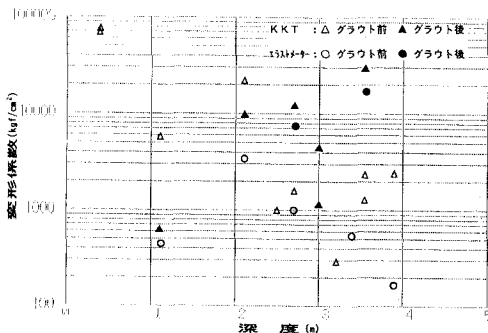


図7. KKT及びエラストメータ試験結果による変形係数(D)－深度相関図

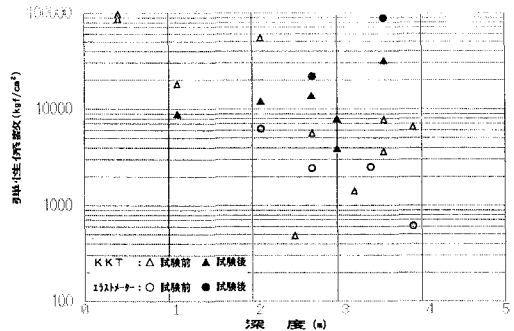


図8. KKT及びエラストメータ試験結果による弾性係数(E)－深度相関図

また、エラストメータによる孔内載荷試験では、変形係数・弾性係数ともグラウト後で増加側にシフトし、グラウトによる改良効果が確認された。尚、両試験結果とも深度方向の相関は認められなかった。

図9～図10はP-200孔内載荷試験結果による変形係数－深度相関図及び弾性係数－深度相関図を示す。N-1孔では深度方向に対して、グラウト前後とも弾性係数及び変形係数が緩く減少する負のトレンドを示している。グラウト前後では、グラウト後で深度方向に関係なく弾性係数及び変形係数が増加側にシフトし、グラウトによる改良効果が明瞭に確認された。また、N-2孔では、深度方向に対して増加する正のトレンドを示し、グラウト前に比べグラウト後ではその勾配は緩くなっている。すなわち、グラウト前後では、全体的にグラウト後で弾性係数及び変形係数が増加し改良効果が認められるが、その傾向は、グラウティング前の変形特性が小さいもの程顕著であり、主として亀裂に選択的に選択的にグラウト材が浸透したために変形係数が小さく、亀裂の多い部分が優先的に改良されたためと判断される。

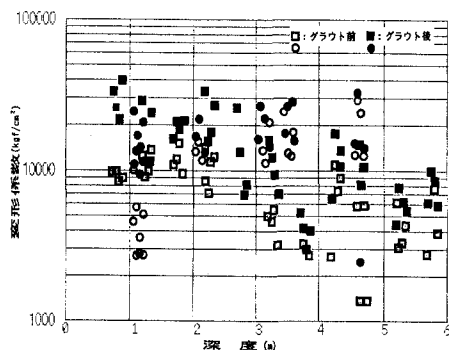


図9. P-200, 孔内載荷試験結果による変形係数(D)一深度相関図
□のシンボル: N-1孔のデータ, ○●のシンボル: N-2孔

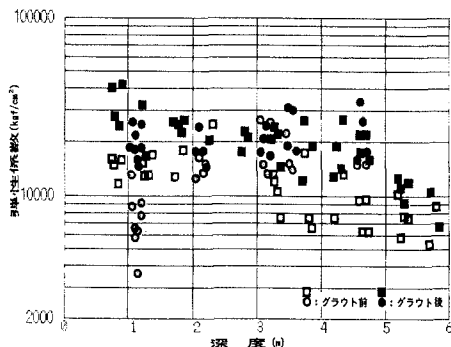


図10. P-200, 孔内載荷試験結果による弾性係数(E1)一深度相関図
□のシンボル: N-1孔のデータ, ○●のシンボル: N-2孔

6. ま と め

本論では、グラウチングによる基礎岩盤の改良効果の評価手法を検討するために、グラウト前後でボアホールハンマー試験、ルジオン試験及び孔内水平載荷試験(KKT, エラスト, P-200試験器)等の原位置試験を実施し、その結果を定性的に対比し検討した。

今回の実験では、実験場の制約があり、必ずしも現場施工と同等の止水効果は得られなかったが、ボーリング孔を利用した種々の原位置試験でグラウチングの改良効果を把握する事が可能であることが示された。

今回の試験結果から確認されたグラウトによる岩盤改良効果は定性的なものであり、今後は、グラウトによる岩盤改良効果を定量的に把握する方法を検討する必要がある。

また、岩種や岩盤性状の違いによるグラウト改良効果の度合いの比較を行うとともに改良効果を標準化できる評価手法及び指標値を確立することが本研究の最終課題であり、今後の研究に期待するものである。

文 献

- 菊地宏吉・斉藤和雄・岡村信行・春松安司(1982):ダム基礎岩盤のコンソリデーショングラウチングにおける地質工学的評価法, 電力土木, No179.
- ・藤枝 誠・岡 信彦・小林隆志(1984):ダム基礎岩盤の耐荷性に関する地質工学的総合評価, 応用地質 特別号.
- 白土博司・岡 信彦・菊地宏吉・春松安司(1984):ダム基礎岩盤のコンソリデーショングラウチングにおける地質工学的評価法について, 第6回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 317-322.
- 土山茂希・小林 憲・山脇 司(1988):硬質岩盤のグラウチングによる改良度の実験的検討, 中部電力(株) 社内資料.