グラウチングによる岩盤の力学的改良効果に関する実験的研究

ハザマ 土木事業本部　正会員○宇津木慎司　正会員　猪狩　哲夫
京都大学名誉教授　正会員　菊地　宏吉

１．概要

グラウチング工は，地中にボーリング孔を削孔し当該孔からセメントミルクを圧入する工法であり，岩盤内の割れ目などの空隙にセメントが充填されることにより，岩盤の力学的特性，および透水性状を改良することを目的としている．このグラウチング工の課題としては，実施工時における改良効果の確認が透水性状に関してのみ行われ，力学的な効果について十分な検討がなされていないことであり，現在においてもその改良効果がダム基礎などの設計に見込まれていない[1)]．これに対して，筆者らは，原位置岩盤においてグラウチング施工前後で孔内載荷試験を実施し，岩盤の変形特性に関する改良効果を，岩盤等級区分ごと，および岩種ごと，詳細に検討した．

２．原位置岩盤における現場実験内容

実際の原位置岩盤試験は，ダム建設サイトにおけるグラウチング施工箇所や試験用に設定したヤードにおいて，それぞれのダムサイトにおける実施工に準じたグラウチング施工前後でボーリング孔内の同一地点において孔内載荷試験を実施し，得られた試験結果を比較することにより，変形特性に関する物性値の変化を確認した．具体的には，まず，ボーリング孔をカバーロック部 1～2m と通常のグラウチング施工長である 5m，計 6～7m 程度削孔し，コア鑑定を実施した後に，60cm の載荷区間の中心が注入区間深度 1.5m，2.5m，3.5m となる位置で孔内載荷試験を行った．その後，各ダムにおける実施工時の注入仕様に準じて，5m の施工区間においてルジオン試験を実施し，その直後にグラウチング工を行った．そして，周辺孔におけるグラウチング工が全孔で終了した後に，当該孔においてリボーリングを実施し，グラウチング前と同一地点において孔内載荷試験を同様の方法で行った．なお，試験を実施したのは，14 箇所のダムサイト，5 種類の岩種における計 664 地点である．

３．試験結果および考察

3.1　岩盤の固密化に関する検討

岩盤が固密化するということは，変形特性などの力学的特性が向上すること，つまり岩盤の初期状態における物性値がグラウチング後に上昇することである．ここで，図-1 にグラウチング前後において同一地点で得られた変形係数の対応関係を示す．この図は，横軸にグラウチング前に実施した試験結果，縦軸に同一地点で得られたグラウチング後の試験結果を示したものである．これをみると，地質状況が良好な CH 級の一部の点を除いてほとんど全ての試験実施箇所において変形係数の上昇が認められており，グラウチングにより岩盤が固密化されていることが判明した．物性値の上昇の度合いについては，概ね，初期状態の変形係数が大きいほど上昇量が小さく，変形係数が小さいほど上昇量が大きい傾向が認められ，特に CL 級を物性値で二等分した上位クラスの CL-1 級(500～350(N/mm^2))では，全ての測定点が CM 級(2,000～500(N/mm^2))の下限値 500(N/mm^2)より上部に分布していることが認められる．ただし，強風化岩盤である CL-2 級(500～350(N/mm^2))，および D 級(200(N/mm^2) 以下)においては，平均値が大きく上昇しているものの，物性値がほとんど上昇しないものも混在していることが分かる．これは，既往の施工実績やコア観察による地質状況を勘案すると，強風化の影響を受け割れ目沿いに粘性土化しているものがあり，セメントミルクが浸透しづらい場合に改良が進まなかったためであると推察される[2)]．ま

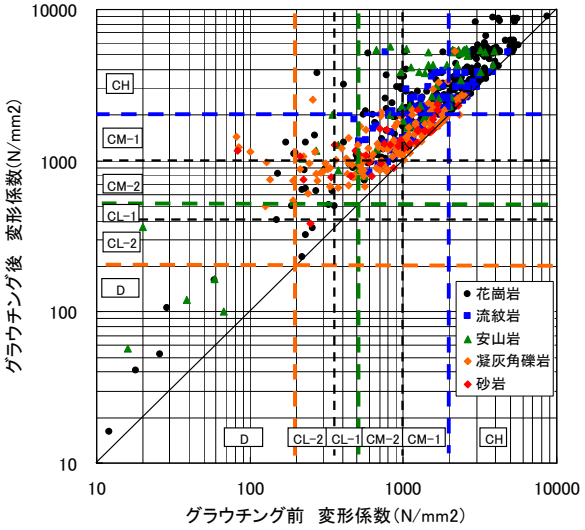

図-1　グラウチング前後における変形係数の関係

キーワード：グラウチング，ダム基礎，岩盤，力学的特性
連　絡　先：〒105-8479　東京都港区虎ノ門 2-2-5　TEL：03-3588-5770，FAX：03-3588-5755

た，岩種ごとの差異については，図-1 に暖色系で示した堆積岩と寒色系の火成岩とを比較すると，CH～CL 級，特に CH 級と CM 級において，火成岩の方が同一岩盤等級内における物性値の上昇が大きいことが確認できる．

3.2 岩盤の均質化に関する検討

岩盤が均質化するということは，変形特性や強度特性のばらつきが全体的に減少することである．ここで，図-2 にグラウチング前の変形係数とグラウチング前後における変形係数を除した上昇比の関係を示す．これをみると，概ね，グラウチング前の変形係数が小さいほど上昇比が大きく，変形係数が大きいほど上昇比が小さいという傾向が認められ，これにより，グラウチングによって物性値のばらつきが小さくなる，つまり岩盤が均質化していることが確認できた．具体的には，CH 級では平均 1.38 倍であるのに対し，CM 級:1.81 倍，CL 級:3.15 倍，D 級:5.76 倍と初期状態の変形係数が低くなるに従って上昇比が大きくなる傾向が認められる．ただし，CH～CL-1 級においては初期状態の変形係数が低いほど各点が上方に遷移していることが確認できるものの，CL-2 級，および D 級においては上昇比の大きなものとほとんど認められないものとが混在していることが分かる．これは，上述したように，割れ目沿いに強風化の影響を受けセメントミルクが浸透しづらい場合に，改良が進まなかったためであると推察される．

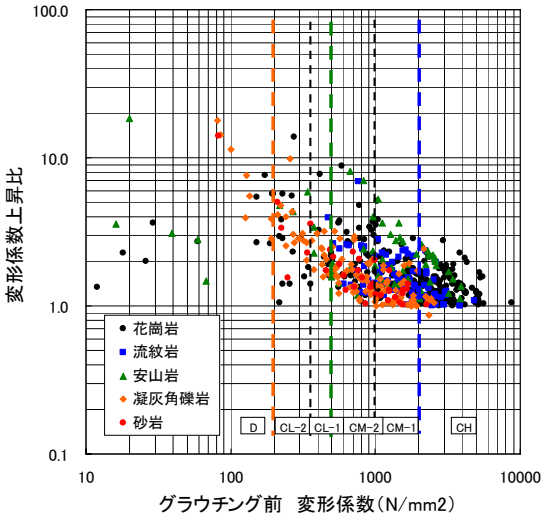

図-2 グラウチング前の変形係数と上昇比の関係

3.3 岩盤の一体化に関する検討

岩盤が一体化するということは，岩盤を分離する不連続面が改良され不連続面に起因する物理量の差異が減少することにより，岩盤が連続体に近づくことである．具体的には，変形係数(D)が節理などの不連続面を含む岩盤全体の変形性を反映する値であるのに対し，静弾性係数(E)は岩質部の変形性を反映する値であることが知られており，これらの比である D／E 比は岩盤の物性における不連続面の影響度合いを示す値であるといえる．図-3 はグラウチング前後における D／E 比の対応関係を示したものであるが，全体的にややばらつきは認められるものの，特に初期状態の物性値が低い CL 級と D 級で大半の点が 1:1 の線より上方側に分布しており，グラウチング後の値が増加している傾向が認められる．これは，セメントが割れ目などの空隙に充填されることにより変形係数(D)と静弾性係数(E)の値が近づくため，岩盤の変形特性における不連続面の影響度合いが減少し一体化が進んでいるためであると考える．

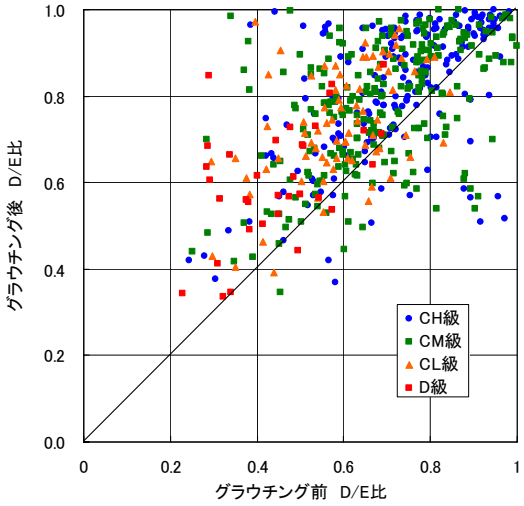

図-3 グラウチング前後における D/E 比の関係

4．まとめ

本研究においては，グラウチングによる岩盤の変形特性に関する改良効果の定量的な確認を目的として孔内載荷試験波試験を実施し，グラウチングによる岩盤の「固密化」，「均質化」，「一体化」について定量的に評価した．このように，グラウチングによる岩盤の力学的改良効果を定量的に評価することができれば，既往の施工実績よりも地山浅部を基礎岩盤に設定できることによる堤体基礎掘削量の低減，そしてそれに伴う堤体コンクリート打設量の低減を実現できる可能性がある．上記した検討内容を具体化する際には，実際のダム基礎設計で用いられている岩盤の強度特性に関する改良効果について，併せて定量的に評価する必要がある．今後は，本論文で確認した変形係数に関する改良効果と上記した強度特性に関する改良効果を総合的に検討することにより，具体的な設計への展開を図っていくとともに，施工時にその改良効果を逐次評価する手法を確立していく所存である．

参考文献

1) 飯田隆一：ダムの基礎グラウチング，技報堂出版，2002
2) 菊地宏吉：ｸﾞﾗｳﾁﾝｸﾞによるﾀﾞﾑ基礎岩盤の力学的改良効果に関する評価技術の現状と課題，ﾀﾞﾑ技術 No.117，1996