

# グラウチングによる岩盤の力学的改良効果 に関する現場実験的研究

菊地宏吉<sup>1</sup>・水戸義忠<sup>2</sup>・足立敏之<sup>3</sup>・箱石憲昭<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 京都大学教授 工学部資源工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

<sup>2</sup>正会員 工博 京都大学助手 工学部資源工学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

<sup>3</sup>正会員 工修 建設省関東地方建設局宮ヶ瀬ダム工事事務所事務所長 (〒243 神奈川県厚木市恩名66)

<sup>4</sup>正会員 建設省関東地方建設局宮ヶ瀬ダム工事事務所調査設計課長 (〒243 神奈川県厚木市恩名66)

従来よりコンソリデーショングラウチングによる改良効果の検討はルジオン試験によって行われるのが一般的であり、グラウチングが岩盤の力学的性状に及ぼす効果については、これまでに検討が行われた例は少なく、不明な点が多い。本研究においては、グラウチング前後において孔内載荷試験を実施し、直接的に岩盤の力学的物性値を多数計測することによってグラウチングによる力学的改良効果の検討を行ったところ、変形性ならびにせん断強度がグラウチングによって増加することが確認された。

**Key Words :** *grouting, mechanical effect, elastic modulus, shear strength, borehole expansion test*

## 1. はじめに

グラウチングは、従来よりダム基礎処理工法として広く用いられてきており、現在まで多くの施工実績を上げてきた工法であり、近年のように良好な基礎岩盤が不足してきている現状では、ダム本体の安定性確保の観点から必要不可欠なものとなっている。

グラウチング工法のうち、本論文で主として取り扱うコンソリデーショングラウチングは重力式またはアーチ式ダムなどのコンクリートダムの着岩部を改良する際に必ず実施されている工法である。対象となる岩盤は一般に硬質岩盤であるために、節理を中心とする割れ目の空隙をグラウトで充填することによって透水性を改良すると同時に、基礎全体を固密化、一体化、均質化し、基礎岩盤の変形性と強度を改良することを目的としている。

従来よりコンソリデーショングラウチングによる改良効果の検討は、ルジオン試験によって行われるのが一般的であり、これによって岩盤の透水性が所要の基準に達しているか否かが確認される。しかしながら、グラウチングが岩盤の力学的性状に及ぼす効果については、これまでに検討が行われた例は少なく、不明な点が多い。したがって、力学的改良効果は基礎岩盤の設計に見込まれることはなく、基礎

岩盤の力学的安定性において安全側に作用する効果として評価されるにとどまっている。

岩盤の力学的特性としては、変形性及び強度を挙げることができるが、これらについてグラウチングによる改良効果を把握できれば、種々の工学的問題に対処する上で有益であると考えられる。

まず、変形性の改良効果についてであるが、例えば、松本と山口(1988)<sup>1)</sup>は、フィルダムの変形予測において実測値が予測値に比べて非常に小さくなることを指摘し、その一因としてグラウチングによる岩盤の弾性係数増加の影響を解析に反映していないことを挙げている。グラウチングによる変形性の改良効果の程度が把握できれば、予測解析時に実際の物性値により近い値を設定することができ、解析結果の信頼性が高まるものと考えられる。

一方、強度の改良効果については、例えば、重力ダムの基礎岩盤において、グラウチングによるせん断強度の改良効果が十分に確認されれば、基礎岩盤の安定性が増加するので、岩盤の掘削量やダム堤体の敷幅を低減することができるものと思われ、それに伴ってコンクリート量を低減させることができるものと考えられる。また、仕上げ掘削時において、計画段階に発見できなかった脆弱な岩盤が現れた場合にもグラウチングによって改良が可能であると判断できれば、掘削線の変更を行うに至らないものと

考えられる。

先に述べたように現場において力学的改良効果が検討された例は非常に少ない。特にせん断強度の改良効果が現場において検討された例は現在までのところ見あたらないようである。変形性の改良効果について検討された代表的な例としては次のようなものがある。

建設省天ヶ瀬ダムでは、グラウチング前後において平板載荷試験を実施し、グラウチングによる岩盤の変形性の改良度合いを検討した<sup>2)</sup>。静弾性係数と変形係数の比は一般にグラウチングにより減少し、グラウチング後の変形係数は、グラウチング前の静弾性係数に近い値となっており、静弾性係数も改善されているものの変形係数の場合の比ではないことが示されている。

また、関西電力(株)の黒部ダムでは、 $C_H$ および $C_M$ 級岩盤においてグラウチング前後の変形係数を水室試験により測定した<sup>3)</sup>。水圧をパラメータとして、グラウチング前後の変形係数を対比したところ、変形係数の改良が確認された。

一方、北陸電力(株)の有峰ダムにおいて、増田(1962)<sup>4)</sup>は、グラウチング前後で弾性波探査を行い、グラウチング前後で弾性波速度が増加していることを示した。また、その増加量は、グラウチング前における速度が小さい岩盤ほど大きいことを示している。

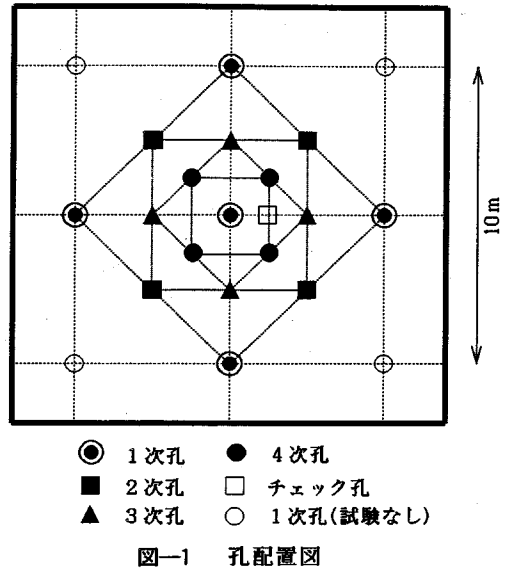
このように、グラウチングによって岩盤の変形性が改良されることを示した研究例はあるものの、原位置試験の量的制約から多くのデータが得られておらず、完全な実証には至っていない。そこで、菊地らは、比較的簡易で直接的に変形性を評価できる孔内載荷試験機を用いて、流紋岩分布地域<sup>5)</sup>および硬質塊状砂岩分布地域<sup>6)</sup>において、グラウチング前後で多数の試験を行い、岩盤性状が初期的に不良なものほどグラウチングによる変形性の改良効果が高いことを示した。

以上を踏まえて、本研究においては、グラウチングによる岩盤の変形性及びせん断強度の改良効果について、硬質の火山礫凝灰岩における現場実験を通して検討を行う。

## 2. 試験方法

### (1) 試験の概要

新第三紀の比較的硬質の火山礫凝灰岩が分布する宮ヶ瀬ダムの右岸上流部EL290m(ダム敷ではない)の水平な箇所において、岩盤性状がある程度不良な地点を選定し、表土を取り除いた後に厚さ約50cmの



キャップコンクリートを打設して試験ヤードを作成した。

試験ヤード上に図一のように中央内挿法に従ってボーリング孔(口径66mm, 深度5m)を配置した。なお、グラウチングを実施する範囲の岩盤は概ねC<sub>L</sub>~D級を呈している。

まず、1次孔を削孔した後、ボーリングコア鑑定を行い、引き続き孔内載荷試験、ルジオン試験、グラウチングを順に実施した。その後、2次孔、3次孔、4次孔においても同様の手順で試験及びグラウチングを行った。なお、この段階で得られた孔内載荷試験の値をグラウチング前の値とする。但し、2次孔のグラウチング前の値は、1次孔におけるグラウチングの影響を受けた値であり、同様に3次孔のグラウチング前の値は、1次孔及び2次孔におけるグラウチングの影響、4次孔のグラウチング前の値は、1~3次孔のグラウチングによる影響を受けた値となっている。

次に全ての孔についてグラウチングを施工した後、全ての孔をリボーリングし、グラウチング前と同一地点において孔内載荷試験を実施した。ここで得られた物性値をグラウチング後の値とする。

### (2) 孔内載荷試験の方法

孔内載荷試験機は、その載荷方式によって等圧分布載荷法と等変位載荷法とに大別できるが、今回の試験においては等圧分布載荷法の機種を用いた。

各孔において、載荷部(載荷長:52cm)の中心が

深度150cm, 250cm, 350cm となるような計3箇所において試験を実施した。載荷方法は載荷と除荷の間に1分間の持続荷重区間を設け、荷重を降伏荷重まで段階的に増加させていくものとし、その載荷速度は5 kgf/cm<sup>2</sup>/min とした<sup>7)</sup>。

試験の結果得られる荷重-変位曲線を用いて、変形係数を処女曲線の包絡線より、接線弾性係数(静弾性係数)を最終載荷曲線の接線の勾配より、それぞれ次式を用いて求めた<sup>7)</sup>。

$$E = (1 + \nu) R_m \frac{\Delta p}{\Delta r} \quad (1)$$

但し、E : 変形係数, 接線弾性係数

$\nu$  : ポアソン比

$\Delta p / \Delta r$  : 荷重-変位曲線の勾配

$R_m$  : 勾配を求めた区間の中間の試験孔半径

### (3) グ라우チングの方法

宮ヶ瀬ダムのでグラウチング注入規定に従い、以下のような方法でグラウチングを実施した。

ステージ長は5mとし、セメントは高炉セメントB種を用いた。水押し試験によって得られるルジオン値から注入開始濃度を決定し、順次配合を切り換えるものとした。各配合の規定量を注入した段階で、注入量が3 l/min 以下の場合には配合切り換えは行わず、同一配合で注入を続行した。

注入速度は4 l/min/m を上限、注入圧力は3 kgf/cm<sup>2</sup> を上限とし、水押し試験時に限界圧力に達した場合には 注入圧力=限界圧力+0.5(kgf/cm<sup>2</sup>) とした。規定注入圧において注入量が1 l/min/m 以下の状態が30分以上継続した場合にグラウト注入を終了した。

なお、本試験ヤードにおいて、水押し試験の結果得られたルジオン値は10~100 Lu程度であり、グラウチングの単位セメント注入量は10~300kg/m の範囲を示した。

## 3. 岩盤の変形性の改良効果の検討

### (1) 試験結果の検討

図-2, 図-3 にグラウチング前後の変形係数, 接線弾性係数の頻度分布をそれぞれ示す。それぞれの分布図内には平均値を示す線を入れてある。

変形係数については、グラウチング前では分布の範囲が概ね10000kgf/cm<sup>2</sup>以下であるが、グラウチング後ではその範囲が5000~15000kgf/cm<sup>2</sup>となり、全体的に分布が右の方へと移動している。また平均値を見ても5640kgf/cm<sup>2</sup> から10897kgf/cm<sup>2</sup>と値が高く

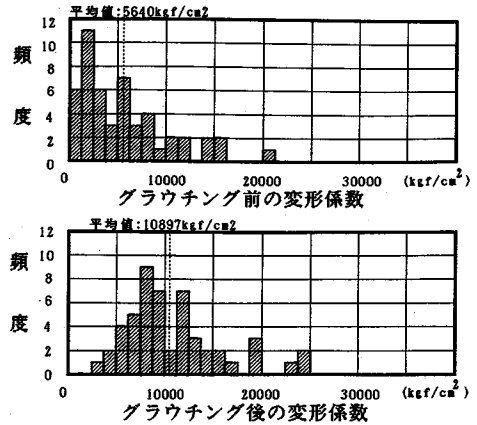


図-2 変形係数の頻度分布

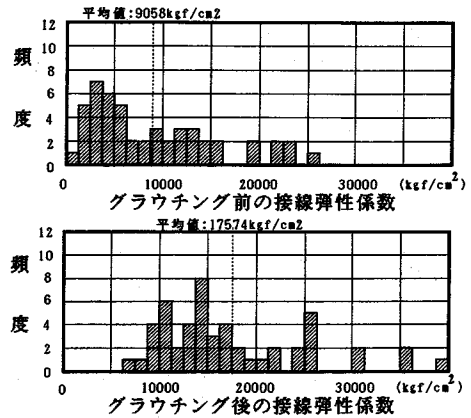


図-3 接線弾性係数の頻度分布

なっており、変形性が改良されていることがわかる。接線弾性係数についても同様の改良効果が認められ平均値も9058kgf/cm<sup>2</sup> から17574kgf/cm<sup>2</sup>に改良されている。

図-4, 図-5 にグラウチング前後に同一地点で得られた変形係数, 接線弾性係数の対応関係を示す。これらの図は、横軸にグラウチング前の各物性値をとり、縦軸に同一地点で得られたグラウチング後の各物性値をとって、全ての試験結果をプロットしたものである。図より全ての試験実施箇所において変形係数・接線弾性係数の上昇が認められ、変形性が改良されていることがわかる。またグラウチング前の物性値が小さいほど改良の度合いが大きく、グラウチング前の物性値が大きいほど改良の度合いが小さいという傾向が認められる。

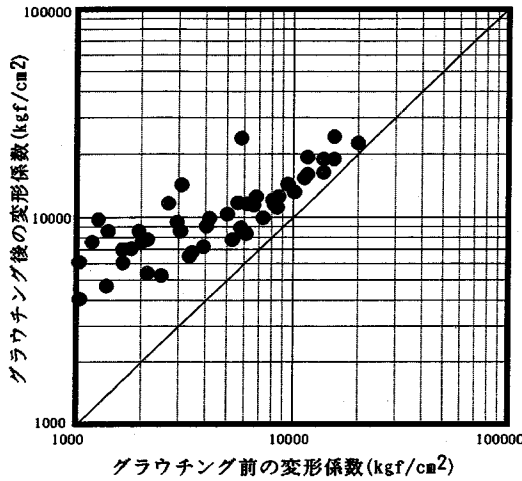


図-4 グラウチング前後の変形係数の関係

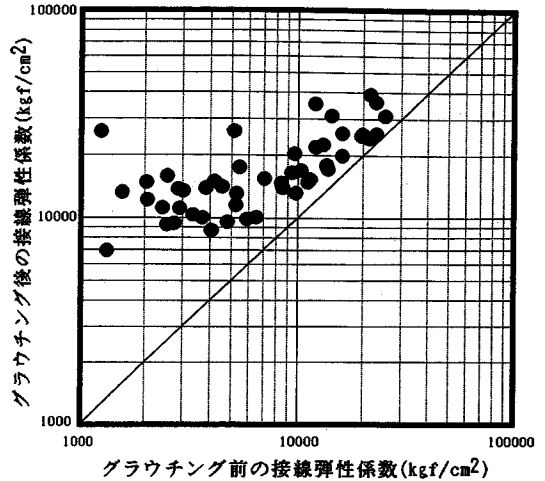


図-5 グラウチング前後の接線弾性係数の関係

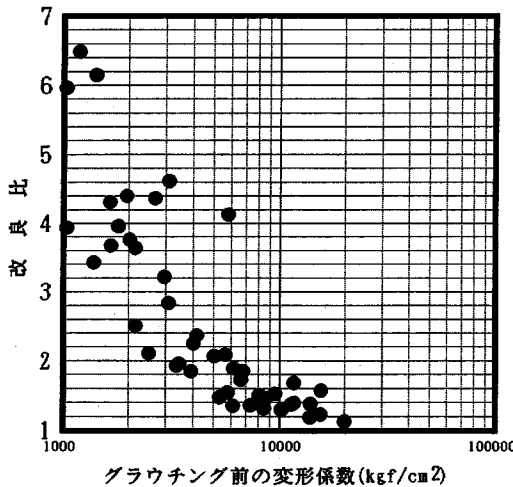


図-6 グラウチング前の変形係数と改良比

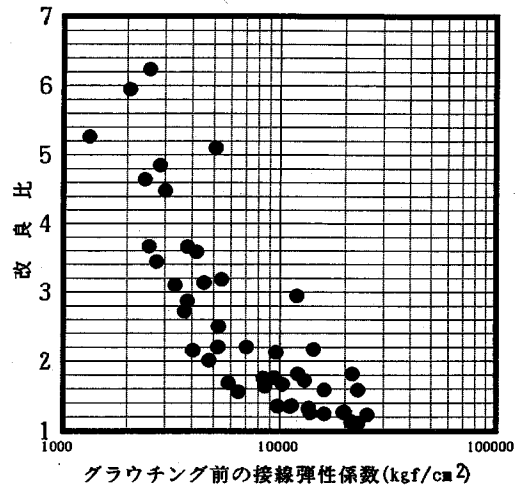


図-7 グラウチング前の接線弾性係数と改良比

この傾向をより詳しく調べるためにグラウチング前の各物性値を横軸に改良比（グラウチング後の値とグラウチング前の値の比）を縦軸にとり、全ての試験結果をプロットしたものが図-6、図-7である。これらの図よりグラウチング前の値が小さいものでは改良度合いが大きく、グラウチング前の値が大きいものに対しては改良度合いが小さいという傾向が明確に認められる。これは、初期的に変形性が良好な岩盤ほどグラウトが充填される空隙量（割れ目の開口部などの空隙）が少ないため、グラウチングによる改良効果が低くなったのに対し、初期的に変形性が不良な岩盤ほど空隙量が多いため、グラウチングによる改良効果が高くなったものと推察される。これらの傾向はこれまで筆者らが実施した同様の研究報告<sup>5)</sup><sup>6)</sup>とよく一致するものである。

表-1 に各物性値の次数毎の改良比の平均値を示

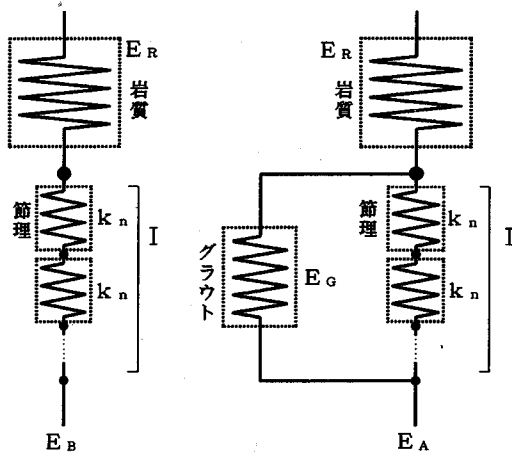
表-1 次数毎の平均改良比

| 次数  | 平均改良比 |        |
|-----|-------|--------|
|     | 変形係数  | 接線弾性係数 |
| 1次孔 | 2.323 | 2.241  |
| 2次孔 | 1.765 | 1.833  |
| 3次孔 | 1.791 | 1.999  |
| 4次孔 | 1.981 | 1.775  |

す。この表から明らかなように、1次孔における改良比は2次孔以降の改良比と比較して大きな値をとっている。これは2次孔以降の孔はそれより次数の低いグラウチングの影響でグラウチング施工前にある程度改良がなされている（表-2参照）ため、改良比では小さくなったものと考えられる。

表—2 次数毎の平均弾性係数(kgf/cm<sup>2</sup>)

| 次数  | 変形係数 | 接線弾性係数 |
|-----|------|--------|
| 1次孔 | 3970 | 6820   |
| 2次孔 | 5988 | 9339   |
| 3次孔 | 6776 | 9630   |
| 4次孔 | 6098 | 10817  |



(a) グラウティング前 (b) グラウティング後

図—8 グラウティング前後の岩盤のモデル

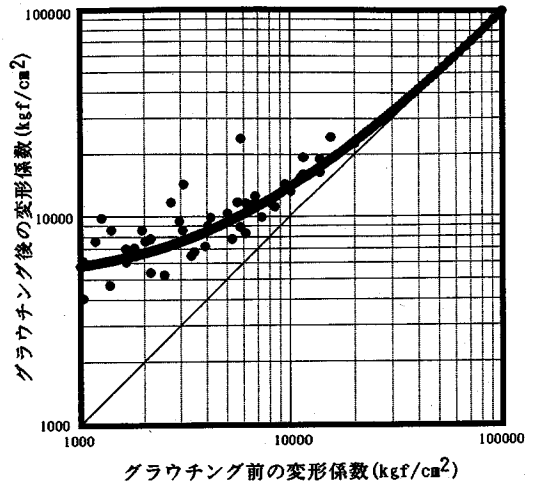
(2) 力学モデルによる検討

岩盤の変形は、岩質部分の変形と節理を主とする割れ目の開口・閉合による変形の和と考えられている。ここでは図—8 (a) のような岩質部および節理の変形をバネの変形に置き換えた簡単な岩盤モデルを考える。

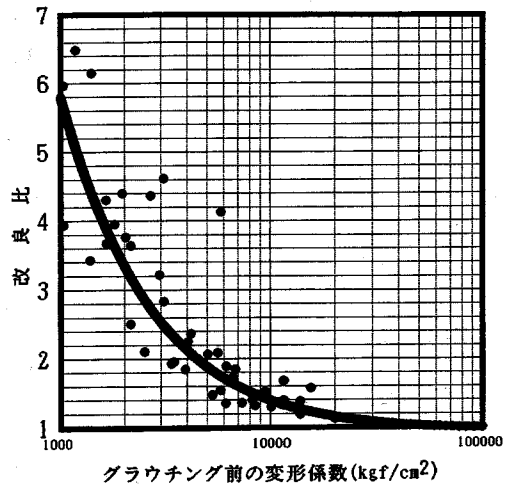
岩質部（インタクトロック）の弾性係数を  $E_R$ ，1つの節理の垂直剛性を  $k_n$  とし、節理密度（単位長さあたりに存在する節理の個数）を  $I$  とすると、グラウティング前の岩盤の弾性係数  $E_B$  は次式のように与えられる<sup>3)</sup>。

$$\frac{1}{E_B} = \frac{1}{E_R} + \frac{I}{k_n} \quad (2)$$

同様に、グラウティング後の岩盤のモデルとして、図—8 (b) に示すようなモデルを提案する。これは節理部分のバネ全体と並列になるように、グラウトが節理部分の変形性に対して与える改良効果のバネを連結したものである。すなわち、グラウトが節理の変形性に対して与える改良効果は、個々の節理に作用するものではなく、節理系全体に作用すると考えるものである。



図—9 モデルより得られるグラウティング前後の変形係数の関係



図—10 モデルより得られるグラウティング前の変形係数と改良比の関係

グラウトが節理系の変形性に対して与える改良効果の弾性係数を  $E_G$  とすると、グラウティング後の岩盤の弾性係数  $E_A$  は次式で表される。

$$\frac{1}{E_A} = \frac{1}{E_R} + \frac{1}{k_n/I + E_G} \quad (3)$$

式(2)、(3)を用い、 $k_n/I$  を媒介変数として  $E_B$  と  $E_A$  の関係（変形係数について）を示したものが図—9であり、 $E_B$  と改良比の関係を示したものが図—10である。ここで  $E_G$  に関しては未知数であり、試験結果より求められたグラウティング前後の変形係数の値を基に最小二乗近似によって推定を行った（約5000kgf/cm<sup>2</sup>）。

図—9, 図—10 をみると, 実際に測定によって得られた結果と式(2), (3)より得られた結果は岩盤の良否に関わらずよく対応していることがわかる。なお, 本試験ヤードにおいては, 適切な垂直剛性値の基に, ボーリングコアにおいて観察される節理数より得られる節理密度を式(2)に代入して変形係数を求めると, 実測の変形係数と比較的良好な対応性を示す。以上のことは, グラウチングにより岩盤内の主要な空隙である節理部分が力学的に改良されるというメカニズムを示していると考えられ, 上記(1)の試験結果より得られた結論である, 初期的に変形性が良好な岩盤ほどグラウトが充填される空隙量が少ないため, グラウチングによる改良効果が低くなったのに対し, 初期的に変形性が不良な岩盤ほど空隙量が多いため, グラウチングによる改良効果が高くなったことを一部実証するものである。

#### 4. 岩盤のせん断強度の改良効果の検討

コンクリートダム基礎岩盤の設計は, 岩盤のせん断強度を基準として行われるのが普通である。従って, グラウチングによる岩盤のせん断強度の改良度合いが把握できれば, グラウチング後の基礎の安定に対する信頼性がより高まるとともに, 設計段階で改良効果を見込むことにより, 経済的な掘削線を策定することができるものと考えられる。しかしながら, グラウチングによる岩盤のせん断強度の改良性に関する実験・報告は, 現在に至るまでほとんど皆無であり, せん断強度の改良効果が不明であるために, 現状では, グラウチングによる岩盤の改良効果はダムの設計に活かされていない。

一般に原位置において岩盤のせん断強度の改良度合いを推しはかることは非常に困難なことである。これは岩盤のせん断強度を得るためには, 原位置せん断試験において, 供試体となる岩盤を破壊させる必要があり, 同じ供試体を用いてグラウチング後にせん断試験を再び行うことができないためである。

以上を鑑み, 本研究では多数の孔内載荷試験によって得られたグラウチング前後の降伏点応力に関するデータを基に検討を行った。

孔内載荷試験より得られる応力—変位関係の直線部分は降伏点に達すると一般に折れ曲がり変位の進行度合いが大きくなる。岩盤を降伏させることによって実際には岩盤性状は変化するが, その変化の度合いは「破壊」に比べ小さいものと考えられる。このことは多段階三軸試験が実用化されていることから理解できよう。

この降伏点応力を用いて以下に示す武内ら<sup>9)</sup>の方

法によってせん断強度を算定する。なお, 降伏の認定方法については武内らの方法に従った。降伏点応力と最大破壊応力とはほぼ比例関係にあるという例が報告されている<sup>10)</sup>。

力学的特性が同様の岩盤(均質な岩盤)において, 深度 $z$ と降伏点応力 $P_y$ との関係を用いて, 次式における係数 $a, b$ を求める。

$$P_y = a z + b \quad (4)$$

ここで,  $\gamma$ : 単位体積重量,  $\nu$ : ポアソン比として,

$$A = (\gamma - 1) \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (5)$$

とすると, 粘着力 $c$ 及び内部摩擦角 $\phi$ は次式によって与えられる。

$$\phi = \sin^{-1} \left( \frac{a - A}{a + A} \right) \quad (6)$$

$$c = \frac{A b}{a - A} \tan \phi \quad (7)$$

深度と降伏点応力の関係式の係数を求めるにあたっては, 力学的特性が均質な岩盤において採取された多数のデータを基に最小二乗法などを用いて決定する必要がある。ここで均質な岩盤とは, 本来はせん断強度特性である粘着力・内部摩擦角が概ね等しい岩盤を意味するものであるが, 現実には変形性等の他の力学的特性が等しいものあるいは深度—降伏点応力関係が直線的に表すことができるものを均質な岩盤として評価せざるを得ない。

今回の検討においては, 孔内載荷試験によって得られた変形係数の値の大きさに基づいて岩盤の均質性の評価を行った。すなわち, グラウチング前の初期的な状態において, 変形係数が $4000 \text{ kgf/cm}^2$ 以下のグループ(本グループは宮ヶ瀬ダムの岩盤分類基準において概ねD級岩盤に属する)及び変形係数が $4000 \text{ kgf/cm}^2 \sim 10000 \text{ kgf/cm}^2$ のグループ(同様に概ね $C_L$ 下級岩盤に属する)についてグラウチング前後の粘着力及び内部摩擦角を求めて検討を行った。

D級岩盤グループ及び $C_L$ 級岩盤グループの深度—降伏点応力関係を示したものがそれぞれ図—11, 図—12であり, それぞれの岩級について粘着力及び内部摩擦角を算出すると表—3, 表—4のようになる。図—11, 図—12をみると, プロット点にばらつきが多少認められるものの, グラウチング前後において, 降伏点応力が顕著に増加しているのがわかる。表—3, 表—4をみると, グラウチング前後で内部摩擦角には改良効果がほとんど認められな

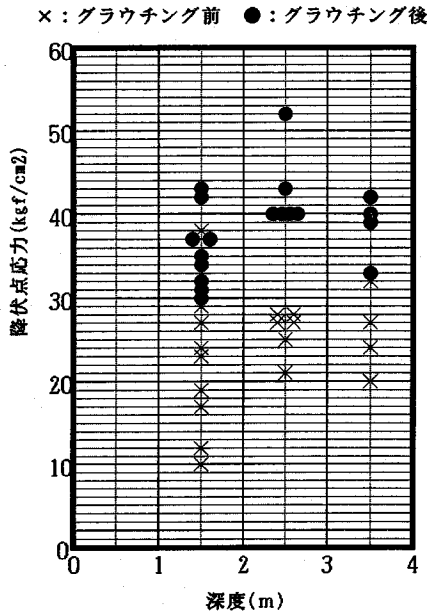


図-11 深度と降伏点応力の関係 (D級岩盤)

表-3 グラウチング前後の強度値 (D級岩盤)

|         | 粘着力<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>(deg.) |
|---------|-------------------------------|-----------------|
| グラウチング前 | 6.79                          | 30.2            |
| グラウチング後 | 10.91                         | 30.4            |

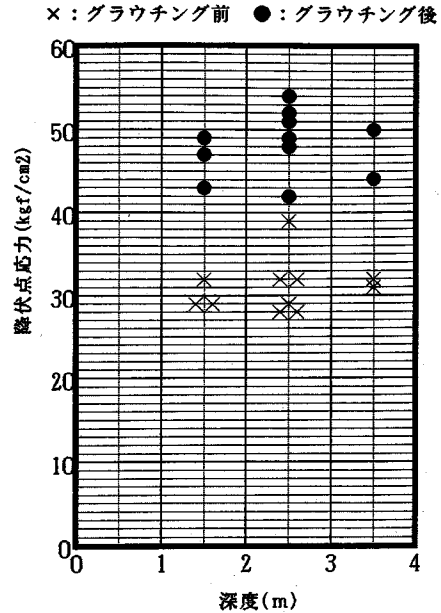


図-12 深度と降伏点応力の関係 (C<sub>1</sub>級岩盤)

表-4 グラウチング前後の強度値 (C<sub>1</sub>級岩盤)

|         | 粘着力<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>(deg.) |
|---------|-------------------------------|-----------------|
| グラウチング前 | 8.40                          | 33.3            |
| グラウチング後 | 13.04                         | 33.7            |

いが(この推定手法による内部摩擦角の推定は、本試験のように深度の範囲が狭い場合には推定精度が低くなると考えられるが、多数のデータの最小2乗近似によってある程度適正な値が得られているものと思われる)、粘着力については、D級岩盤グループにおいては4.12kgf/cm<sup>2</sup>、C<sub>1</sub>級岩盤グループにおいては4.64kgf/cm<sup>2</sup>と顕著な改良効果が認められる。この傾向は筆者らが行った単一節理を対象としたグラウチング前後のせん断強度の測定結果<sup>11)</sup>とよく対応するものである。

本試験ヤードにおけるコンソリデーショングラウチングは、宮ヶ瀬ダムコンソリデーショングラウチングの追加孔の規定(ルジオン値による最終基準)に達しないままに終了しており、ダム着岩部のコンソリデーショングラウチングと比較すると完全なものではない。しかしながら、それにもかかわらずD級、C<sub>1</sub>級ともに顕著な粘着力の改良効果が認められており、このことから推察すると、ダム着岩部では、本試験ヤードにおける改良効果以上の改良効果が期待されるものと考えられる。

また、C<sub>1</sub>級岩盤において、グラウチング前の初期的なせん断強度値が比較的低い値を呈しているが、

これは、①本試験ヤードはダム堤体の基礎部や調査横坑程慎重に掘削されているわけではなく、表面的な緩みが大いこと、②本試験ヤードのC<sub>1</sub>級岩盤は、D級岩盤に近い性状を示していること、③今回のせん断強度値は降伏点を基準として算出しており、破壊点を基準としたものではないこと等の要因のため、比較的低い値をとったものと考えられる。

なお、本研究では、一貫して、リボーリング孔を用いた測定の結果で岩盤全体の改良効果を論じている。リボーリング孔の周辺はグラウトの効果が他の部分よりも高いことが推察され、このような効果の高い部分の変形性のみを評価している可能性がある。

しかしながら、実際のダム基礎岩盤は、グラウチングによって、最終的には均質に改良されているものと思われる。菊地ら<sup>6)</sup>は、札内川ダムの基礎岩盤において、全てのコンソリデーショングラウチング(規定孔)が終了した後に実施したチェック孔における変形性の頻度分布とリボーリング孔におけるグラウチング後の変形性の頻度分布とを比較し、両者がほぼ一致することを示した。このような報告からも、リボーリング孔を用いた測定がある程度妥当性を有しているものと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、硬質の火山礫凝灰岩において、グラウチング前後で孔内載荷試験を実施し、直接的に岩盤の力学的物性値を多数測定することによってグラウチングによる力学的改良効果の検討を行った。本研究で得られた結論は以下の通りである。

- I 孔内載荷試験によってグラウチング前後の岩盤の変形性を調べたところ、全ての計測箇所の変形係数ならびに接線弾性係数が増加していることが確認された。
- II グ라우チングによる岩盤の変形性の改良効果は、岩盤性状が初期的に不良なもののほど高く、良好なもののほど低いことが判明した。
- III グ라우チングによる岩盤変形性の改良効果を組み入れた力学モデルを作成したところ、実測結果と良い対応がみられた。これよりグラウチングにより岩盤内の節理部分が改良されるというメカニズムがある程度実証されたものと考えられる。
- IV 孔内載荷試験によって得られる岩盤の降伏点応力よりグラウチング前後の岩盤のせん断強度を検討したところ、内部摩擦角については改良効果がほとんど認められなかったものの、粘着力においては顕著な改良効果が認められた。

以上のように、本研究においては、原位置岩盤の力学的特性（変形性ならびにせん断強度）がグラウチングによって改良されることが確認された。今後の課題として、①グラウチング前後の岩盤の変形性・せん断強度の改良効果に関する情報の蓄積、②計画段階における岩盤の力学的特性に関するグラウト

試験法の検討、③グラウチングによる岩盤の改良メカニズムに関する力学モデルによる検討等を行っていく所存である。

## 参考文献

- 1) 松本徳久, 山口嘉一: フィルダム基礎の変形予測手法とその精度, 土木研究所資料, p.24, 1988.
- 2) 飯田隆一: 土木工学における岩盤力学概説, 彰国社, pp.102-103, 1978.
- 3) 土質工学会編: 岩盤挙動の予測と実績, 土質基礎工学ライブラリー, 1989.
- 4) 増田秀夫: わが国におけるコンクリートダム基礎の弾性波速度に関する応用地球物理学的研究, 北海道大学学位論文, 1962.
- 5) 菊地宏吉, 水戸義忠, 小柳聡, 鈴木英也: グ라우チングの改良効果に関する現場実験とその検討一流紋岩に関する検討一, 第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.436-440, 1993.
- 6) 菊地宏吉, 水戸義忠, 井出康郎, 中弘幸, 吉野尚人: グ라우チングによる岩盤の変形性の改良効果に関する現場実験, 第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.557-562, 1994.
- 7) 土木学会編: 孔内載荷試験法の現状と課題—指針化の試み—, 126p, 1988.
- 8) R. E. グッドマン (大西有三, 谷本親伯訳): わかりやすい岩盤力学, 鹿島出版会, p.135, 1984.
- 9) 武内俊昭, 大橋武一郎: 孔内載荷試験による原位置岩盤の  $c, \phi$  測定について, 第6回岩の力学国内シンポジウム, pp.175-180, 1984.
- 10) 坂本良一, 犬東洋志: 平戸大橋の地質調査, 土と基礎22巻6号, pp.45-51, 1974.
- 11) 水戸義忠, 鈴木英也, 若林成樹, 吉野尚人, 菊地宏吉: グ라우チングによる節理面強度の改良効果に関する実験的検討, 第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.521-526, 1994.

(1994. 7. 28 受付)

## IN SITU EXPERIMENTAL STUDY ON GROUTING EFFECTS ON MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK MASSES

Kohkichi KIKUCHI, Yoshitada MITO, Toshiyuki ADACHI and Noriaki HAKOISHI

The aim of consolidation grouting in dam foundation is to improve permeability and mechanical properties of the foundation near the surface. Generally, the check for the improvement on permeability is usually carried out by using the check hole, however, the check for the improvement on mechanical properties is not done. Therefore, the improvement on deformability could have not been applied to the mechanical design for dam foundation.

The authors have made an in situ experiment in order to examine the grouting effects on deformability of rock masses. As the results, the followings were obtained;

1. The deformability of rock masses can be improved by grouting.
2. More deformable before grouting, higher improvement can be expected.
3. The rheological model is suggested in order to examine grouting effects.
4. The shear strength of rock masses can also be improved by grouting.