

(7) グ라우チングによる節理面の剪断強度の改良効果に関する実験的検討

(初期粘着力による影響)

○ 京都大学	吉野 尚人
京都大学	水戸 義忠
京都大学	菊地 宏吉
清水建設(株)	若林 成樹

The experimental study on the improvement by grouting
on the shear strength of rock joint surfaces
(the effect by the intact bridge)

Naoto Yoshino, Kyoto University
Kohkichi Kikuchi, Kyoto University
Yositada Mito, Kyoto University
Shigeki Wakabayashi, Shimizu Construction

It is important to grasp the degree of mechanical improvement by grouting about the strength of rock mass. However there is few study on that point of view. Therefore, we examined the subject for the shear strength of joints which is the important factor that controls the strength of rock mass. We made some specimens imitating the real joint surface. The vertical loads of four stages were applied both to the specimens which had not been grouted and to grouted ones. We made sure that the improvement was caused by increasing cohesion and the degree was approximately from 1 to 3 kgf/cm².

In this paper, we studied about the improvement of rock surface in case that there is intact bridge. If there is intact bridge, how will the grouting effects on cohesion of rock surface. In conclusion, we made sure that the rock surface which has intact bridge will be improved by grouting more than that has not intact bridge.

1. 研究の目的

近年土木構造物の建設にあたって良好な基礎岩盤箇所が不足しており、安定性を欠く基礎岩盤上における建設が必然的に増加している。したがって、安定性確保の上で基礎岩盤に対する基礎処理が不可欠のものとなっている。基礎処理の方法として、広く用いられているグラウチング工法のうちコンソリデーション・グラウチングは、ダム着岩部近傍において岩盤の力学的改良効果を高めることを主目的としながらもその処理効果の検討は、透水性の改良結果に基づいて行われているのが現状であり、この点に注目して研究が行われた例も極めて少ない。変形性の改良効果に関してはいくつかの実施例が報告されており、数少ないながらグラウチングによって変形性が高められていることが報告されている。しかしながら、強度の改良性に関する実験・報告は、現在に至るまで皆無であり、それゆえ、強度の改良効果の是非に関して一部より否定的な意見も出されていた。

以上を鑑み、筆者等は前回、グラウチングによる岩盤強度の改良効果を把握するための基礎的な検討とし

て、種々の粗さをもった節理を有する岩盤供試体にグラウチングし、この節理面をグラウトで充填することによる強度の改良効果を把握することを目的とした室内実験を行った。¹⁾しかし、前回の試験では初期的な粘着力がない状態での試験であった。そこで、今回の試験においては初期的な粘着力がある場合での試験を実施した。すなわち、今回の試験はインタクトブリッジを想定した場合におけるグラウチングによる岩盤の節理面の改良効果を把握することを目的としたものである。

2. 試験の内容

2.1 試験の概要

本研究においては天然の節理面を型どり、その型を用いて作製した人工的な供試体を用いて節理面特有のせん断強度の把握を行った。供試体の節理面形状は天然の節理を完全に再現するものではないが、節理面の粗さのフラクタル次元が天然のものと供試体でほぼ同一となり、かなり高い精度で再現できたと考える。この人工的に作製した供試体を、以降「模型供試体」と称する。

本室内実験は、この模型供試体を用いてグラウチング前後のせん断強度の変化を調べることを主たる目的として、以下に示す手順に従い試験を実施した。

①一面せん断試験（グラウチング前）

②供試体にグラウトを注入

③一面せん断試験（グラウチング後）

2.2 模型供試体

試験の対象とした節理面は、奥美濃地域に産出する流紋岩中の節理面である。現地においてある程度の大きさの節理面を含む岩体を選出し、節理面をはさむように上下2つで1組の供試体を整形・加工した。最終的には4組の（4種類の）節理面の供試体を室内試験に供するものとした。

また、実岩盤供試体を基に、シリコンでそれぞれの節理面を型どり同じ様な形で作り上げたコンクリート供試体を一つの節理面につき8つ作製した。セメントには普通ポルトランド・セメントを用い、重量を砂：セメント：水＝4：2：1の割合で配合させて作製した。作製後、水におよ1ヶ月間つけた後、試験に供するものとした。

供試体の寸法は、基本的に高さ20cm（節理面をはさんだ2つのブロックをあわせて）、奥行き30cm、横幅30cmとした。（図-1）

また、今回の試験においては、節理面の上下面を接着することを試みた。これは、インタクトブリッジを再現するために行ったものであるが、その接着方法としては、図-1に示すような配置で供試体のモルタルと同一の配合で作ったモルタルを円柱状に流し込むことにより接着することとした。

2.3 試験方法

(1) グ라우チング

高炉セメントB種を使用してグラウチングを行った。グラウトの濃度は、常時w/cが1になるように混ぜ合わせた。注入にあたって、試験容器に供試体を装填した上で、注入孔から圧力をかけない状態で行った。ひとつの供試体につき、6～8リットル程度のミルクを注入した後に、終了するものとした。

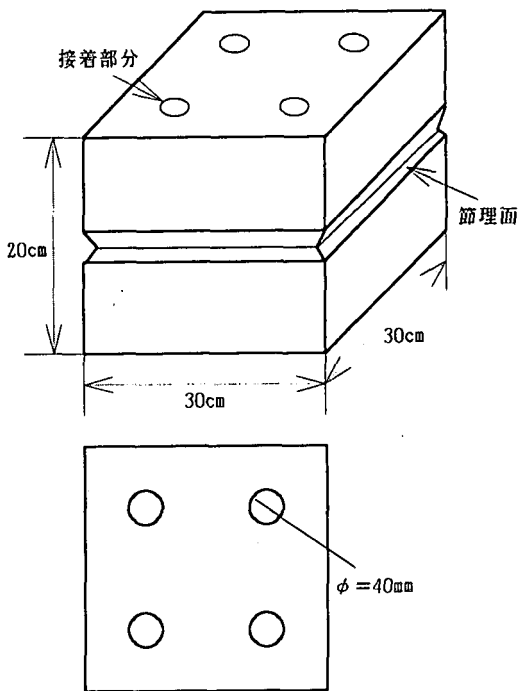


図-1 模型供試体の概観図

(2) 一面せん断試験

模型供試体を用いて一面せん断試験を実施した。模型供試体はひとつの節理面につき、8つのものをせん断試験に供したが、そのうち4つのものはグラウトを注入せずにせん断を行い、残りの4つはグラウトを注入した後一週間程度放置した後、せん断を行った。グラウトを注入した4個と注入しない4個の供試体は、いずれも4段階に変化させた異なる鉛直荷重を作用させた。この場合の鉛直荷重は、5, 10, 15, 20(kgf/cm²)の大きさとした。(図-2参照)このようにして、グラウト注入前後におけるそれぞれ4組の測定値から、クーロンの破壊基準に基づき、粘着力 c と摩擦角 ϕ をグラウト注入前後においてそれぞれ求め、改良度合いの評価を行うものとした。

せん断方向については、できるだけ大きな凹凸を衝突させないような方向とした。また、せん断は原則として、供試体長さの1割程度行い終了するものとした。せん断速度は、1分間に1mm程度の変位をするように設定した。

(3) 一軸圧縮試験

セメント模型ブロックを作製する際、余分なセメントで、高さ20cm、直径10cmの円柱供試体を作製した。これらの円柱供試体も2カ月程度水に浸した後、試験に供するものとした。模型ブロックそのものの強度は、日付によって区別するため、円柱供試体も日付ごとに区別したものを同じ日につき4個、計48個を一軸圧縮試験に供した。それぞれの供試体には、ストレイン・ゲージを使用した。

(4) グラウト強度試験(三軸圧縮試験)

供試体のグラウチングによる改良度合いを把握する上で、グラウト自体の強度を理解しておく必要があるため、グラウトに使用するセメントと同じセメント(w/cが1のセメントミルク)で作製した円柱供試体を用いて三軸圧縮試験を行った。せん断に供する模型供試体はグラウチングした後、一週間程度放置したことから、三軸試験の供試体に関しても作製したのち、試験を行うまで同じく一週間程度放置するものとした。

2.5 試験結果

(1) 一面せん断試験

考察においてまとめて述懐するものとする。

(2) 一軸圧縮試験

一軸試験結果結果より、強度の値は450~750kgf/cm²の範囲にわたっていることが判明した。

(3) グラウト強度試験(三軸圧縮試験)

この試験結果でモールの応力円表示を行い、各々の応力円の頂点に対して近似直線をひいた結果から、w/c=1:1のグラウト粘着力がおよそ70kgf/cm²、摩擦角が0に近いことが分かった。

岩盤供試体	模型供試体		
	垂直応力	グラウチング前	グラウチング後
	5kgf/cm ²		
	10kgf/cm ²		
	15kgf/cm ²		
	20kgf/cm ²		

図-2 剪断試験の鉛直荷重値と供試体

3. 考察

(1) クーロンの破壊基準に基づいた強度の改良効果の検討

まず、せん断試験より得られた鉛直荷重値およびそれに対する最大せん断応力値をプロットした図群（図-3のa図～d図）を示す。この図群には、グラウト前後における試験結果がそれぞれの供試体別に示されている。それぞれのプロット図において、グラウト後のせん断応力値がグラウト前のそれを上回っており、それぞれ改良効果が現れているものと見なせる。

図中の2本の直線のうち、太線は、クーロンの破壊基準に従ってグラウティング前の試験結果を基に線引きしたものである。一方、細線はクーロンの破壊基準に従ってグラウティング後の試験結果を基に線引きしたものである。

図-3より粘着力の上昇は5～6.5kgf/cm²程度の範囲であることが分かる。また、三軸試験結果より、グラウトミルクそのものの粘着力は70kgf/cm²程度であることが判明したが、実際の粘着力の上昇値は、それに比して著しく小さい。この原因として、せん断する際のグラウトと節理面との付着面での剝離がせん断に影響しているのではないのかと思われる。せん断終了後の実際の節理面を観察した結果、グラウトが剝離した跡が多く認められることから、この仮定の妥当性は高いものと推察される。

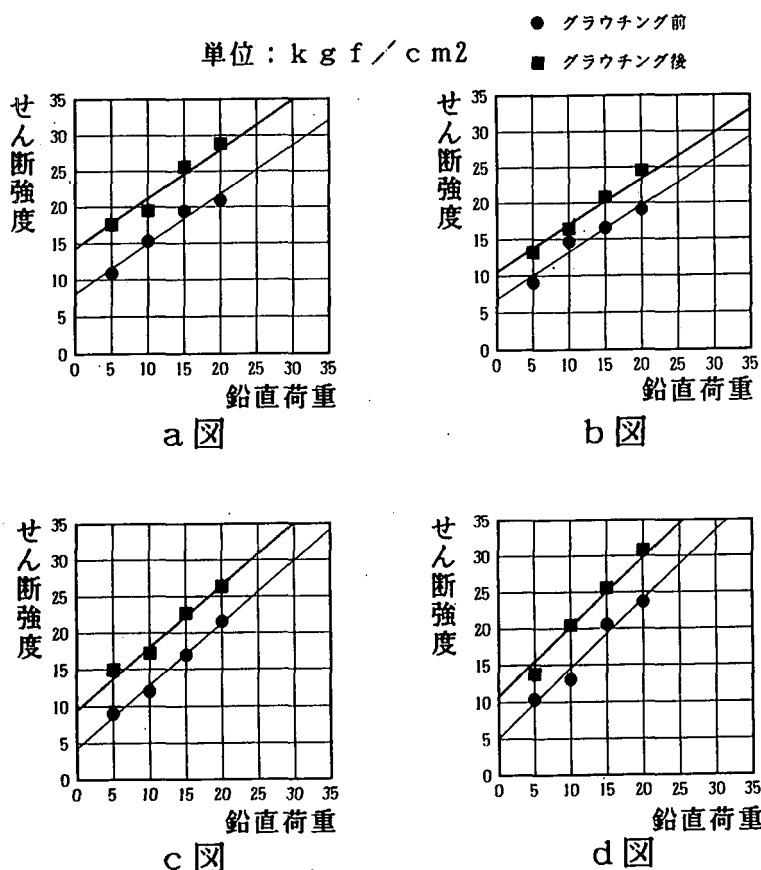


図-3 せん断試験結果

(2)前回の試験結果との比較

前回の試験結果は、初期的な粘着力の無い状態での試験すなわちインタクトブリッジを想定しない状態での試験であった。それに対して、今回の試験はインタクトブリッジを想定した状態での試験である。表－1に前回と今回の試験結果の比較図を示す。

前回の強度の改良効果においては、その粘着力の増分が1～3 kgf/cm²であったことから比較すると今回の改良効果は、それをかなり上回っていることが分かる。この結果より定性的ではあるが、インタクトブリッジによってグラウチングの改良効果はより大きく望めることが判明した。

4. 結論

(1) 室内試験において、インタクトブリッジがある場合においてもグラウチングによる節理面の粘着力は増加している（5～6.5 kgf/cm²程度の範囲）ことが認められた。また、インタクトブリッジが無い場合と比較して、グラウチングによる節理面の粘着力がより大きく増加していることが判明した。

(2) 前回の試験同様、グラウチングによる節理面の摩擦角に変化は認められなかった。これは、節理面のせん断がグラウトと節理面との付着面で生じると考えられるためである。

表－1 前回と今回との試験結果の比較図

C*：粘着力の上昇値 (kgf/cm²)
φ：内部摩擦角 (degree)

供試体		前回	今回
a	C*	1.08	8.28
	φ	45.7	34.4
b	C*	1.45	3.78
	φ	42.8	32.8
c	C*	2.43	5.20
	φ	43.4	40.5
d	C*	2.78	5.73
	φ	53.1	43.5

参考文献：水戸義忠、菊地宏吉、若林成樹、吉野尚人、グラウ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1回岩盤システム工学シンポジウム1993