

(91) グ라우チングの改良効果に関する現場実験とその結果の検討

流紋岩に関する検討

京都大学工学部 菊地 宏吉
京都大学工学部 水戸 義忠
京都大学工学部 小柳 聡
中部電力(株) 鈴木 英也

The in-situ examination about the improvement by grouting
and the investigation of the result

Kokichi Kikuchi. Kyoto University
Yoshitada Mito. Kyoto University
Satoshi Oyanagi. Kyoto University
Hideya Suzuki. Chubu Electric Power Co., Inc.

Abstract

The objective of grouting of the foundation of civil engineering construction is to improve permeabilitital and dynamical property of it. But only the examination of the effect of permeabilitital improvement is generally done and the one of dynamical improvement have not done.

So, for the purpose of grasping the dynamical improvement by grouting, we did consoridation grouting and made borehole expansion test and borehole hammer test before and after grouting at the same point of the borehole. As the results, the deformation of the rock masses after grouting improves by from 1.3 to 4.0 times. In the case that the rock masses are weak, the strength rises largely. In the opposite case, the strength scarcely rises.

1. はじめに

土木構造物基礎岩盤のグラウチング、特にコンソリデーショングラウチングの目的は、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基礎全体を固密化・一体化・均質化し、岩盤の力学的性状、及び透水性状を改良することにあるが、その改良効果に関する検討は透水性に関するのみ行われており、力学的性質については検討が行われていないのが一般である。そこで、本研究では、力学的性状の改良効果の把握を目的として、試験ヤードにおけるコンソリデーショングラウチングの施工前後において、ボーリング孔の同一地点で孔内載荷試験(LLT)、及び孔内簡易打撃応答試験機による試験を実施し、グラウチングによる力学的性状の改良効果に関する検討を行った。

2. 原位置試験について

2.1 試験ヤードの設定

4.3m×4.3mの平面的に正方形の領域を確保した後に、その正方形の外周に約20cm間隔、 $\phi=65\text{mm}$ 、 $L=4\text{m}$ 、ロータリー方式でボーリング孔を削孔し粘性の高いセメントミルクを注入することによって、試験ヤードの縁部にモルタルによるグラウトカーテンを形成させた（図-1）。これは、グラウチングの際にセメントミルクの外部への流出を防ぎ、所定の試験ヤードにおいてその改良効果を上げる目的で実施したものである。次に、試験ヤード上面のアスファルト、及び表土をグラウトカーテンに沿って剥ぎ、ハイウォッシャー等を用いた清掃を行って岩盤を露出させた。地質は中生代白亜紀の火山岩類（流紋岩）であり、表面的には概ね $C_H \sim C_M$ 級を呈する岩盤であった。岩石の一軸圧縮強度は $900 \sim 1200\text{kgf/cm}^2$ 程度であり、堅硬緻密な岩盤性状を示していた。

2.2 孔内における調査・試験

図-2は、試験ヤードにおけるボーリング孔の配置を示したものである。孔内における調査・試験は、図-3に示すような項目に従って実施した。

孔番号1-1、1-2、1-3、1-4の各ボーリング孔はグラウチングの一次孔、2-1、2-2、2-3、2-4の各孔は二次孔、そして3-1、3-2、3-3、3-4の各孔は三次孔である。また、孔番号0-C、1-C、2-C、3-Cの各孔はグラウチングを行わず孔内試験のみを行う孔で、0-C孔は岩盤の初期状態における各物性値を得るための孔、1-C、2-C、3-C孔はそれぞれ、一次、二次、三次のグラウチング終了後それによる岩盤の改良効果をチェックするための孔である。

測定は、深さ4m強のボーリング孔を一本掘削し、ボーリングコア鑑定を行った後（2.2.1参照）、最初に孔内打撃応答試験を、次に孔内载荷試験（LLT）をそれぞれ2.2.2、2.2.3の手順に従って行った。そして、岩盤の透水性及び限界圧力等の資料を得るため2.2.4の手順に従って透水試験を行い、その直後に、一次孔、二次孔、三次孔においてはグラウチング

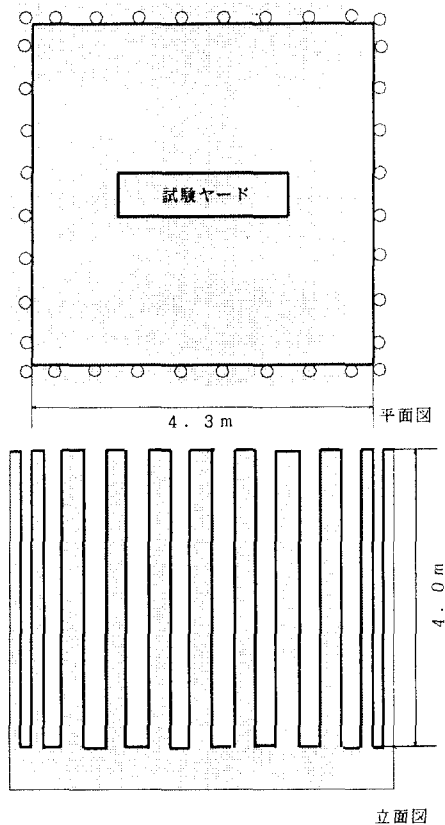


図-1 グラウトカーテン孔施工図

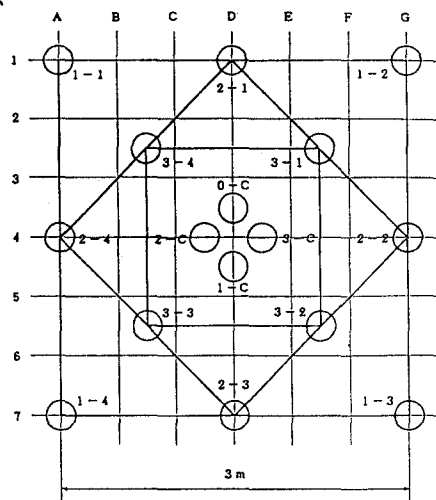


図-2 試験ヤードにおける孔配置図

(2.2.5 参照) を、チェック孔においてはボーリング孔の埋め戻し (2.2.5 参照) を行った。この手順をを 0-C 孔、一次孔、1-C 孔、二次孔、2-C 孔、三次孔、3-C 孔の順に繰り返した。次に、各孔でリボーリングを行い、孔内打撃応答試験、孔内載荷試験、透水試験、及びボーリング孔の埋め戻しを同様の順で実施した。

2.2.1 ボーリングコアの鑑定

削孔されたボーリングコアを観察することにより、岩盤等級区分を実施した。

2.2.2 孔内打撃応答試験

試験ヤード上の一点の標高 (グリッド交点: A-1、図-2 参照) を基準とし、まずそこから深度 330cm の地点で打撃点を固定し、計 5 回の予備打撃を行った。そして、その後の計 5 回の打撃により得られたハンマーの孔壁に衝突してから離れるまでの挙動を示す速度波形、加速度波形、及び岩盤中を伝播する弾性波を受振点が記録した弾性波波形を地上計測部において表示・記録させた。測定終了後、ゾンデを 20cm 引き上げる毎に深度 130cm の地点まで同様の測定を繰り返した。すなわち、深度 130cm から 330cm の間で 20cm おきに 11 地点で測定を行い、一つのボーリング孔において計 55 の打撃応答量を得た。

2.2.3 孔内載荷試験

孔内打撃応答試験終了後、岩盤等級区分が等しい区間 2ヶ所 (全ての孔において、ゴムチューブの中心が深度 280cm 及び 180cm となる 2 点がこの条件を満たした) で孔内載荷試験を実施した。載荷方法は、載荷と除荷の間に 5 分間の持続荷重区間を設け、荷重レベルを 10kgf/cm²、20kgf/cm²、40kgf/cm²、60kgf/cm² と段階的に増加させていくものとし、その載荷速度は 5 kgf/cm² /min とした。

2.2.4 透水試験

孔内載荷試験終了後、シングルパッカー方式 (エアパッカー使用) によってルジオン試験 (水押し試験) を実施した。基本的に圧力段階は 1.0kgf/cm² と 2.0kgf/cm² の 2 段階とした。

2.2.5 グ라우チング及び埋め戻し

透水試験終了後、所定の注入規定 (注入量・注入時間) に基づき、グラウチングを実施した。この際に各次数毎に異なった色素材をグラウトミルクに混入させて、後に判別できるようにした。また、チェック孔及び既にグラウチングが終了している孔については、硬練りのモルタルを流し込み埋め戻しを行った。

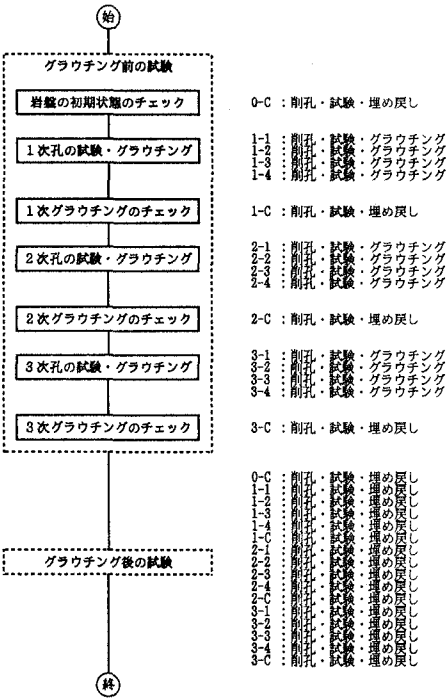


図-3 孔内における調査・試験のフロー

3. 原位置試験結果、及び考察

3.1 透水試験結果、及び考察

透水試験結果として、各孔のグラウチング前後のルジオン値を表-1に示す。グラウチング前の孔においては概ね次数があがることにルジオン値が改良され、グラウチング後では全ての孔において5ルジオン以下の値を示していた。

表-1

孔番	ルジオン値(Lu)		
	グラウチング前	グラウチング後	
1-1	38.25	0.32	
1-2	29.92	0.00	
1-3	23.71	0.00	
1-4	18.89	2.48	
2-1	7.33	0.28	
2-2	87.00	0.00	
2-3	4.54	0.00	
2-4	29.69	0.00	
3-1	2.89	0.76	
3-2	8.53	0.69	
3-3	10.60	0.00	
3-4	4.47	0.68	
0-C	24.67	4.08	
1-C	59.12	4.27	
2-C	24.13	0.00	
3-C	1.95	~	

表-2

孔番	セメント量 (kg/m)	ミルク量 (l)	9-9	最大圧 (kgf/cm ²)	最終圧 (kgf/cm ²)
1-1	81.9	852.7	無	3.1	3.0
1-2	19.3	292.1	#	3.0	2.9
1-3	33.4	631.9	#	3.0	2.9
1-4	61.1	1080.0	#	3.0	2.9
2-1	35.8	877.3	#	3.1	3.0
2-2	98.8	989.7	#	3.0	2.9
2-3	6.3	222.2	#	3.0	2.9
2-4	55.1	633.5	#	3.0	2.9
3-1	5.9	211.1	#	3.0	2.9
3-2	20.7	585.0	#	3.0	2.9
3-3	6.0	174.7	#	3.0	3.0
3-4	4.6	164.5	#	3.0	2.9

3.2 グ라우チング結果、及び考察

グラウチング施工状況として、各孔のグラウチングにおける注入セメント量、注入ミルク量、リークの有無、最大圧、最終圧を表-2に示す。

3.3 グ라우チングによる岩盤の力学的改良効果の検討

図-4のa図、b図、c図、d図のそれぞれにグラウチング前およびグラウチング後の変形係数、接線弾性係数、割線弾性係数、打撃応答量の関係をそれぞれ示す。全体として、グラウチング前の概ね1.3~4倍値が増加する傾向がみられる。また、グラウチング前の値が小さいほど改良される割合が高く大きいほど少ないような傾向がみられる。

この傾向を詳しく調べるためにグラウチング前の変形係数、接線弾性係数、割線弾性係数、打撃応答量の値に対するグラウチング前後の改良度合い（グラウチング前後における各値の比）を示したものが、それぞれ図-5のa図、b図、c図、d図である。

全体として、注入前の値が小さいものに対しては改良される度合いが大きく（グラウチング前後における値の比が大きく）、注入前の値が大きいものに対しては改良される度合いが小さく（グラウチング前後における値の比が小さく）なるような傾向が認められる。ここで、変形係数、接線弾性係数、割線弾性係数について考えてみると、初期的な係数の値が5000kg/cm²程度の場合、最大で4倍程度の改良が期待され、以下10000kg/cm²程度で最大3倍、20000kg/cm²程度で最大2.5倍、50000kg/cm²程度で最大2倍の改良が期待されることがわかる。

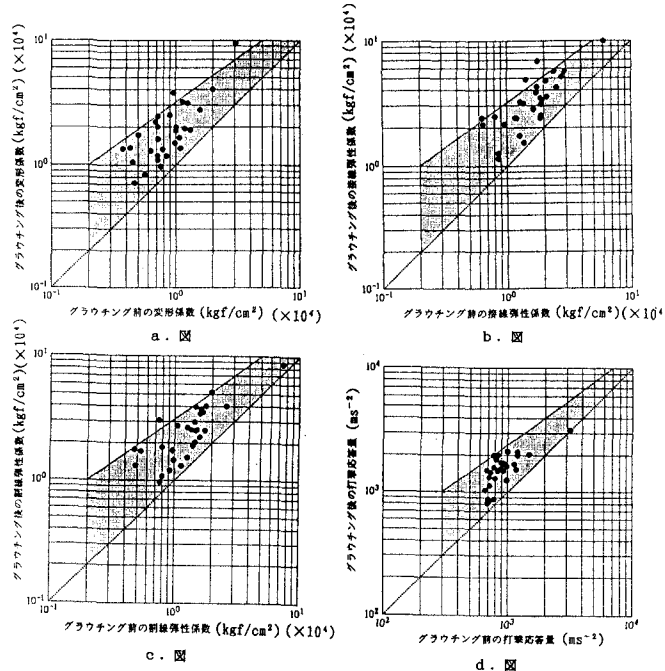
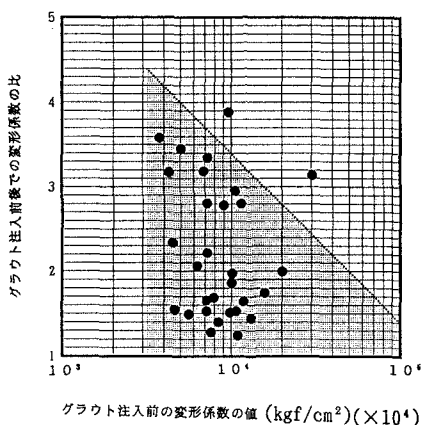
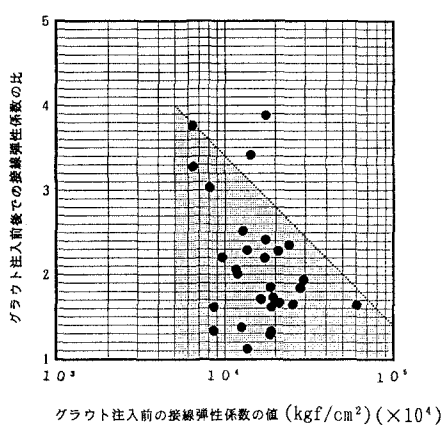


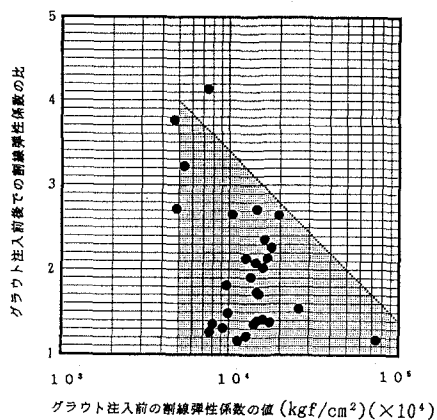
図-4 グラウト注入前及び注入後の各物性値の対応関係



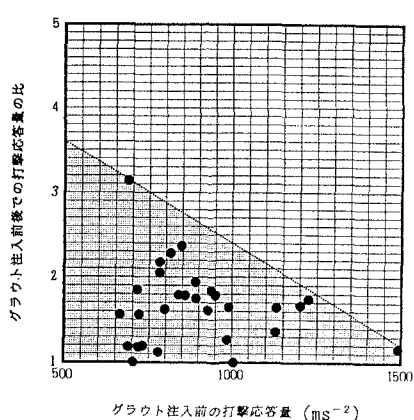
a. 図



b. 図



c. 図



d. 図

図-5 グラウト注入前の物性値と注入前後での物性値の比の対応関係

4. 結論

グラウチングによる岩盤改良効果の検討を行ったところ、グラウチング後の岩盤の変形性は概ね初期状態の1.3倍から4倍にわたる改良効果があらわれた。

また、岩盤性状が初期的に不良であればその改良効果は高く、良好であればその改良効果は不良なものと比較して低いことが判明した。

参考文献

- 1) 齊藤和雄、楠建一郎、菊地宏吉：簡易測定機による岩盤評価、電力土木 No176、1982。
- 2) 鈴木英世、野沢是幸、菊地宏吉、藤枝誠、曾根好徳：ボーリング孔を利用した簡易打撃応答試験機の開発、第7回岩の力学国内シンポジウム、岩の力学連合会、1987。
- 3) 野沢是幸、鈴木英世、菊地宏吉、莊司泰敬、曾根好徳、大橋武一郎、小倉公雄：孔内打撃応答試験法の開発、第81回学術講演会、物理探査学会、1989。
- 4) 菊地宏吉、藤枝誠、岡信彦、小林隆志：ダム基礎岩盤の耐荷性に関する地質工学的評価、応用地質特別号、1984。