

4-3 地山の安定を得る工法

4-3-1 グラウト注入工

(1) 工法の概要

サイトB背面は、やせ尾根となっており、割れ目が多く発達することから、安定性が極めて低い状態である。現状のまま放置した場合には、尾根全体が崩落する可能性も高いと判断された。

したがって、サイトB背面のやせ尾根に対しては、グラウト注入工を適用した。グラウト注入工は、岩盤内部に発達している割れ目（亀裂）にグラウト剤を注入することにより岩盤強度を増加させ、尾根全体の安定度を向上させるものである。

(2) 施工場所

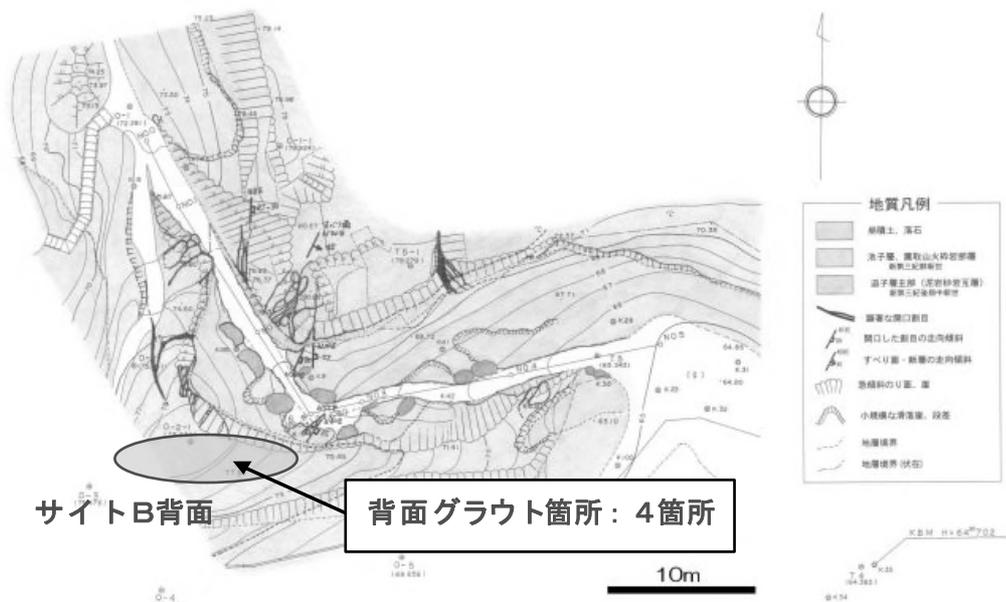
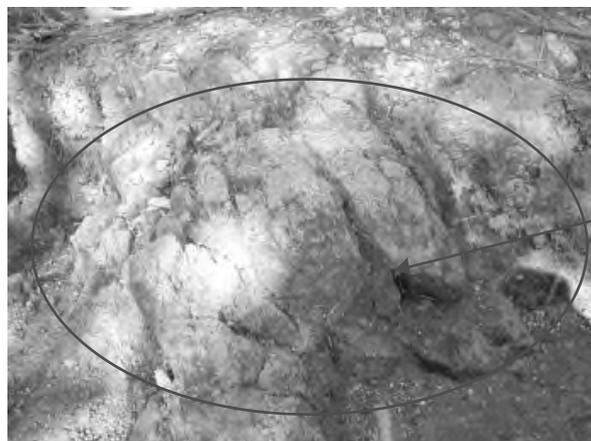


図4-3-1 グラウト注入施工位置



表土を剥いだサイトB背面の尾根頂部である。池子層の割れ目、亀裂の発達が判る。この割れ目は内部まで広がる。

写真4-3-1 サイトB背面尾根頂部の岩盤状況

(3) 施工内容および方法

1) 注入工法の選定

今回の注入工法に求められる性能は以下のとおりである。

- ① 亀裂部を確実に充填できること。
- ② 土被りの小さい改良範囲で注入材の岩盤壁面へのリークを防止できること。
- ③ 狭隘な施工場所のため、小型機械で施工可能なこと。

現在一般に使用されている注入工法を表4-3-1に示す。単純なロッド注入では岩盤壁面へのリークが避けられない。リーク対策としては、ある程度のゲルタイム(一定時間で流動性を失う性質)を有する注入材を用いる必要がある。また、岩盤の充填注入であるので固結強度が大きく、恒久性のある懸濁型注入材を用いる。以上の条件から「二重管ダブルパッカ工法」を選定する。

二重管ダブルパッカ工法は空洞や大きな亀裂を充填閉塞する1次注入と、細かい亀裂や土粒子間を浸透固結する2次注入の組合せにより最も信頼性の高い注入工法とされ、岩盤注入でも多くの実績がある。また、残置するストレーナ管による縫地効果で切羽の安定にも寄与するメリットも期待できる。

表 4-3-1 注入工法の分類

注 入 方 式		ゲルタイム	注入工法
二重管ストレーナ	単相式	瞬結	DDS工法
	複相式	瞬結+中結~緩結	ユニパック工法
<u>二重管ダブルパッカー</u>		<u>緩結</u>	<u>ダブルストレーナー工法</u>

2) 注入材料

注入材料に求められる性能は以下のとおりである。

- ① 亀裂部に対して十分な充填性能を有すること。
- ② 十分な強度を持つこと。
- ③ 状況に応じてゲルタイムの設定が容易であること。

現在一般に使用されている注入材料を表4-3-2に示す。亀裂性岩盤では強度が高く経済的なセメント系の注入材で大きな間隙を充填し、その後に細かい亀裂への充填製に優れた注入材を用いるのが効果的とされている。岩盤注入では一般の土砂地盤に用いる溶液型注入材は、強度、恒久性の点で適切ではない。表4-3-2より、1次注入材としては高強度で経済性の高い「セメントベントナイトミルク」を用いる。2次注入材としてはゲルタイムを有する「ハイブリッドシリカ」を用いる。

表 4-3-2 注入材料比較表

分類	無機 アルカリ系	有機 アルカリ系	無機シカゲル系 (中性酸性系)	恒久クラウト (特殊シカ系)	LW系	セメント系
種別	溶液型	溶液型	溶液型	極超微粒子 懸濁型	懸濁型	懸濁型
材料		CW-3	シカライザー	ハイブリッド [®] シカ	LW	セメントミルク セメントベントナイト
ゲルタイム	数秒～数分	数秒～数十分	数分～数十分	数分～数十分	数十秒～数分	なし
浸透性	中程度 ○	良好 ◎	良好 ◎	中程度 ○	劣る ×	しない ×
強度	低強度 △	比較的高強度 ○	比較的高強度 ○	高強度 ◎	高強度 ◎	高強度 ◎
恒久性	なし ×	なし ×	なし ×	あり ○	なし ×	あり ○
経済性	比較的安価 ◎ (43～46円/ℓ)	やや高価 ○ (60円/ℓ)	やや高価 ○ (50円/ℓ)	高価 △ (65～80円/ℓ)	安価 ◎ (33円/ℓ)	最も安価 ◎ (8～10円/ℓ)
適用	一般的砂地盤	一般的砂地盤 未固結地盤 破碎帯	一般的砂地盤 未固結地盤 破碎帯	一般的砂地盤 未固結地盤 破碎帯 岩盤亀裂	破碎帯 岩盤亀裂	破碎帯 岩盤亀裂
評価	強度低い ゲルタイム短い 恒久性なし 岩盤不向き ×	恒久性なし 岩盤不向き ×	恒久性なし 岩盤不向き ×	高強度 恒久性 細かい亀裂の 岩盤に最適 ◎	恒久性なし ×	浸透性に難 1次注入材に 最適 ○

* 注入材単価はメーカー公表価格参考値

3) 注入率

一般に岩盤注入においては一定の圧力に達するまで注入を行い、地山の均一化を図る定圧注入を採用することが多い。従って、現段階では注入率を設定することはできないが、従来実績では、岩盤の亀裂注入で数%（青函トンネル実績 1～8%程度）、破碎帯注入で 15～20%（恵那山トンネル 18%前後、六甲トンネル 20%程度）となっている。

ここでは工程を検討する上での必要性から、注入率のめやすとして 10%を想定した（表 4-3-3）。実際の注入量は後述するフローに従って注入することとする。

表 4-3-3 注入率（設計段階暫定値）

1次注入率	5.0%
2次注入率	5.0%
注入率 計	10.0%

* 注入率は亀裂の状況、空洞の存在等の条件により変動する。

4) 改良範囲

岩盤注入では注入を必要とする範囲に、注入管を1~3mピッチで配置する。今回のケースは先行孔2本と後行孔2本(先行孔の効果を確認しながら注入を行う)を施工し、合計4本を実施する。

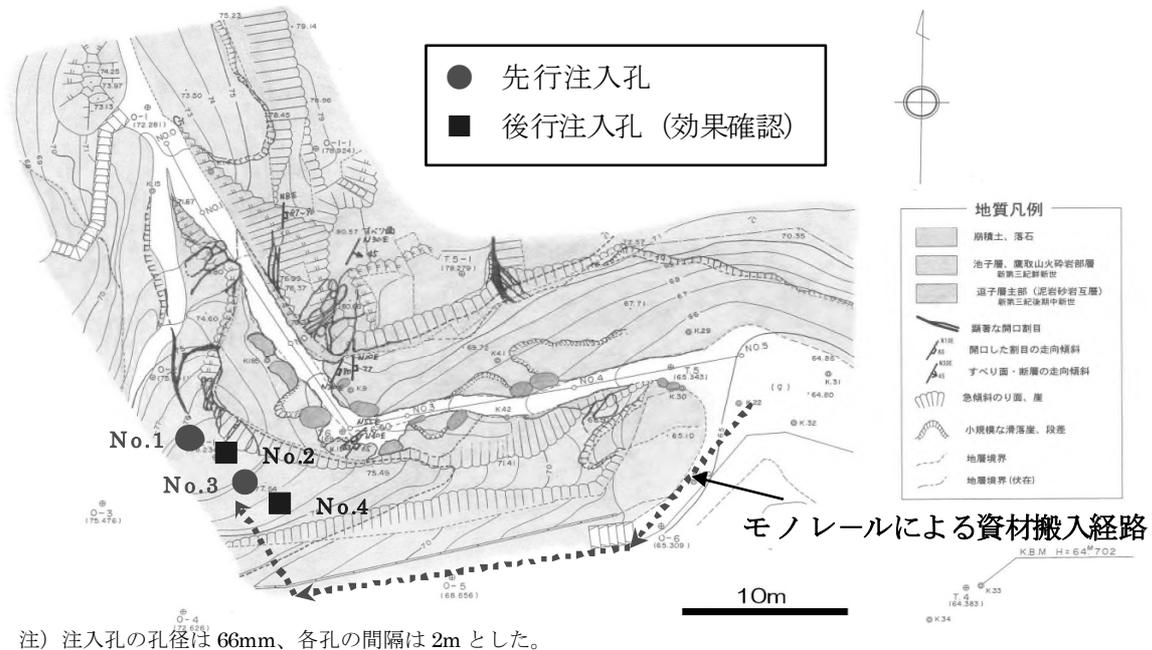


図4-3-2 グラウト注入箇所

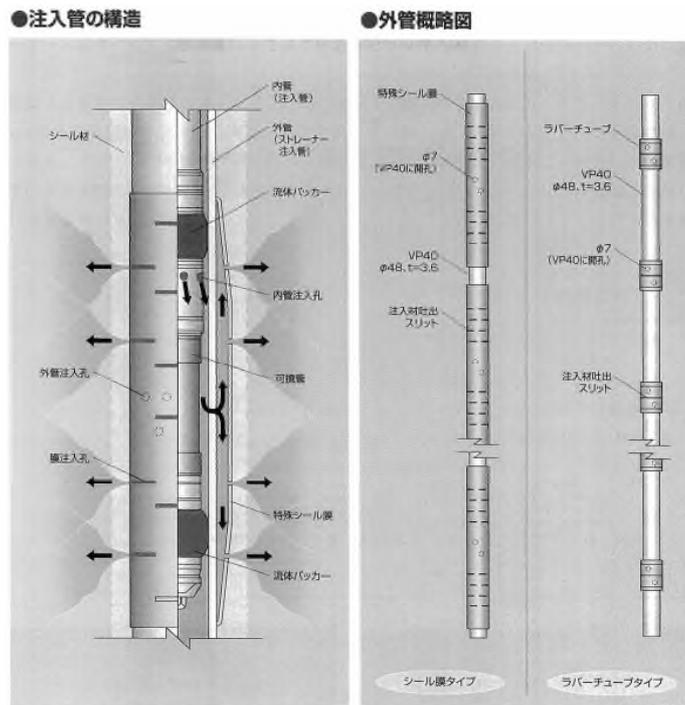


図4-3-3 注入管の構造および外管概略図

5) 注入基準

注入基準は、注入前の水押しテストと注入中の圧力の動向により判断した。圧力の値は岩盤の状況によって個々に異なるので計画段階で決定はできない。詳細については、当初の施工を試験施工と位置付け、その結果により再検討することが必要である。

基本的なフローを図4-3-4に示す。

なお、ルジオンテストは5m程度の区間に $1\text{MN}/\text{m}^2$ の圧力で注水した場合の透水量を測定するのが一般的である。圧力が $1\text{MN}/\text{m}^2$ に達しない場合や注入区間が短い場合は換算式を用いるが、二重管ダブルパッカ工法では1箇所の注入区間が短く、注入圧力も小さいことから「水押しテスト」と称する試験を行っている。水押しテストは注水量を一定にして注水圧力を測定するので、岩盤に無理な圧力を与えない利点がある。前述の換算式によってルジオン値への概略換算した。

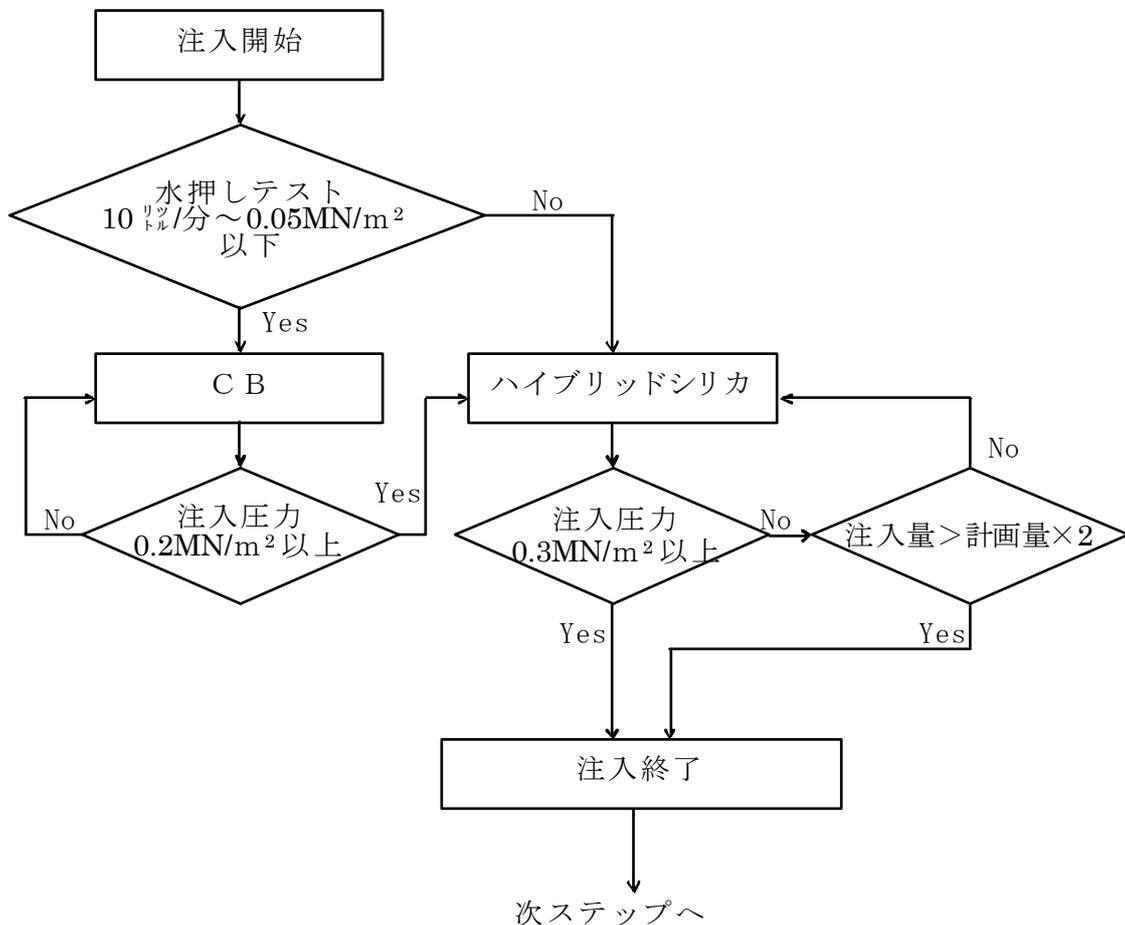


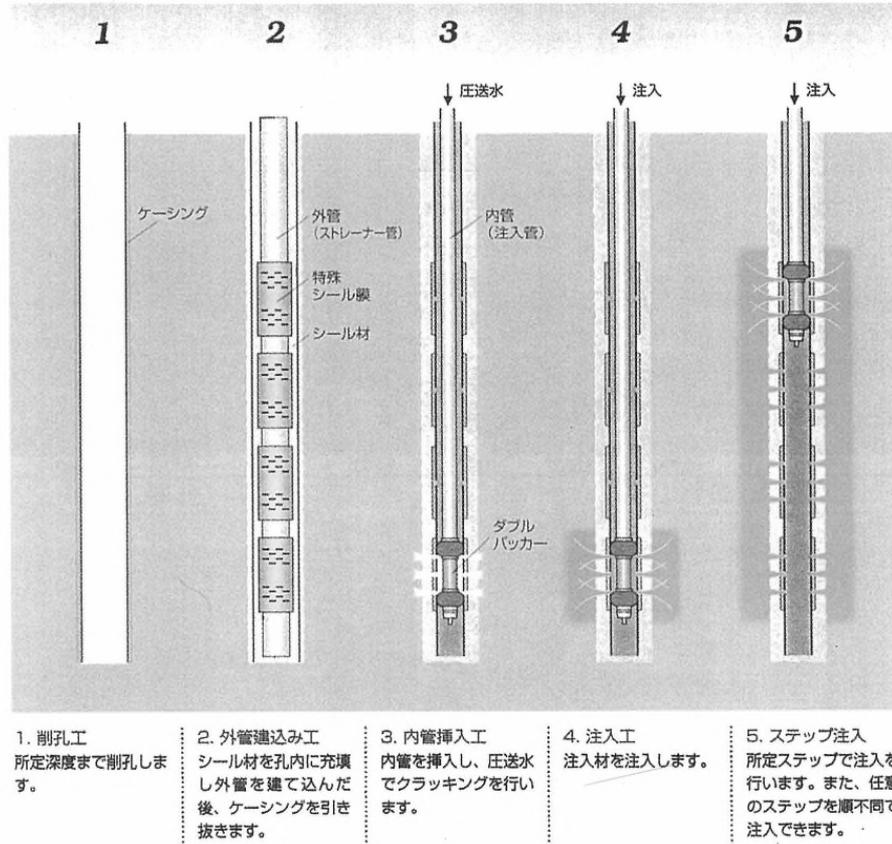
図4-3-4 注入基準

(注水量、圧力、計画量の倍数の各数値については状況により変更した。)

(4) 結果と評価

1) 施工状況写真

● 施工順序



ストレーナ管



一次注入状況

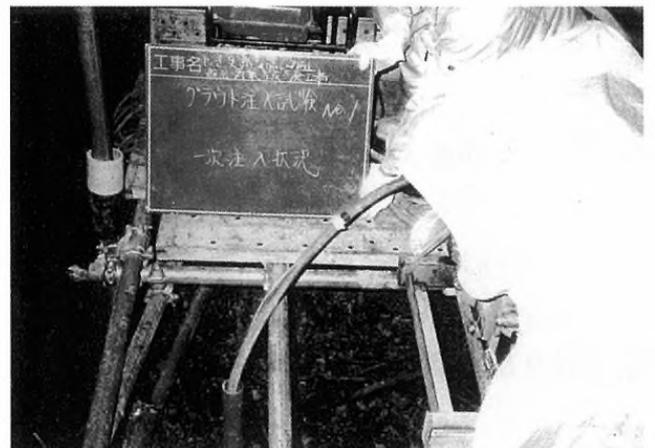


写真 4-3-2 グラウト注入工の施工状況

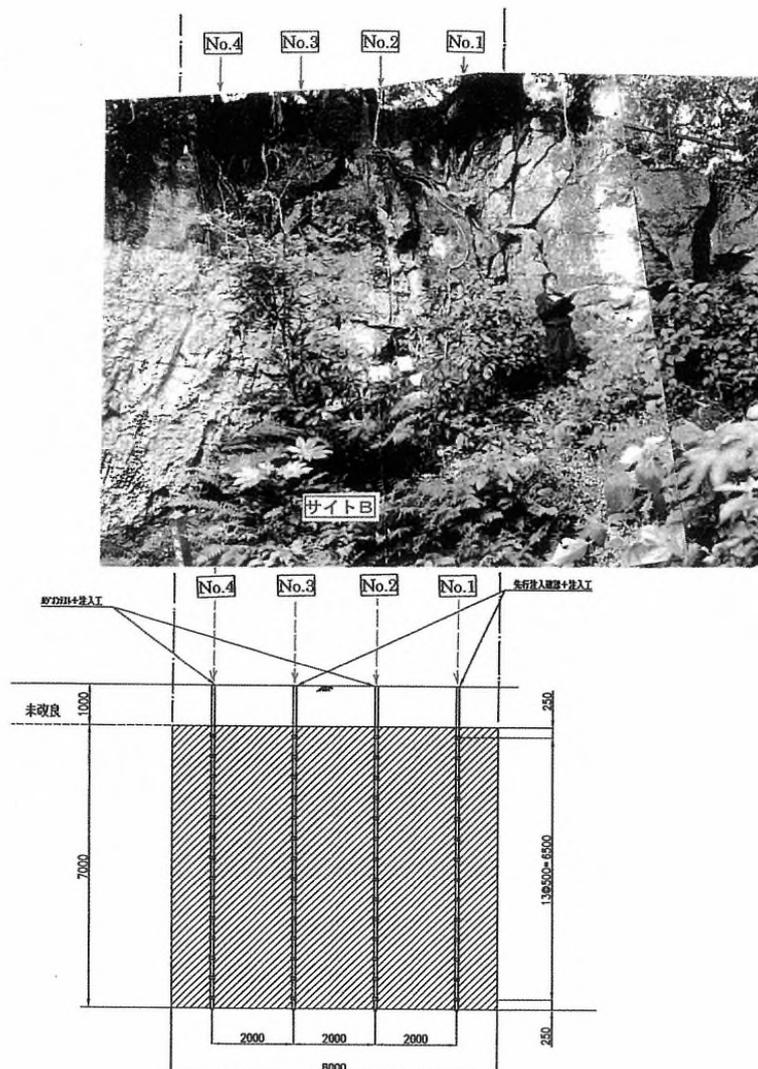
2) 注入量

下表にグラウト注入量を示す。

- ① 全体総注入量はほぼ計画とおりで11,339リットル（計画比：101%）であった。
- ② 1次注入量は計画の約50%、2次注入量は計画の約150%であった。
- ③ このことから、より大きな割れ目は比較的少なく、小さな割れ目・クラックが多かったと考えられる。

表 4 - 3 - 4 各孔の注入量

施工箇所	孔番	1次注入量(ℓ)			2次注入量(ℓ)			合計(ℓ)		
		設計量	実施量	増減	設計量	実施量	増減	設計量	実施量	増減
サイトB先行注入	No.1.	1,400	678	-722	1,400	1,918	518	2,800	2,596	-204
サイトB先行注入	No.3	1,400	635	-765	1,400	2,188	788	2,800	2,823	23
サイトB確認注入	No.2	1,400	630	-770	1,400	2,330	930	2,800	2,960	160
サイトB確認注入	No.4	1400	620	-780	1,400	2,340	940	2,800	2,960	160
計		5,600	2,563	-3,037	5,600	8,776	3,176	11,200	11,339	139



3) 採取コア評価（目視評価）

採取ボーリングコアを示す。注入前と注入後のボーリングコアの比較を行った。（ただし、注入後とは注入箇所でのコア採取でなく、注入位置／中心から1m離れた地点である。）

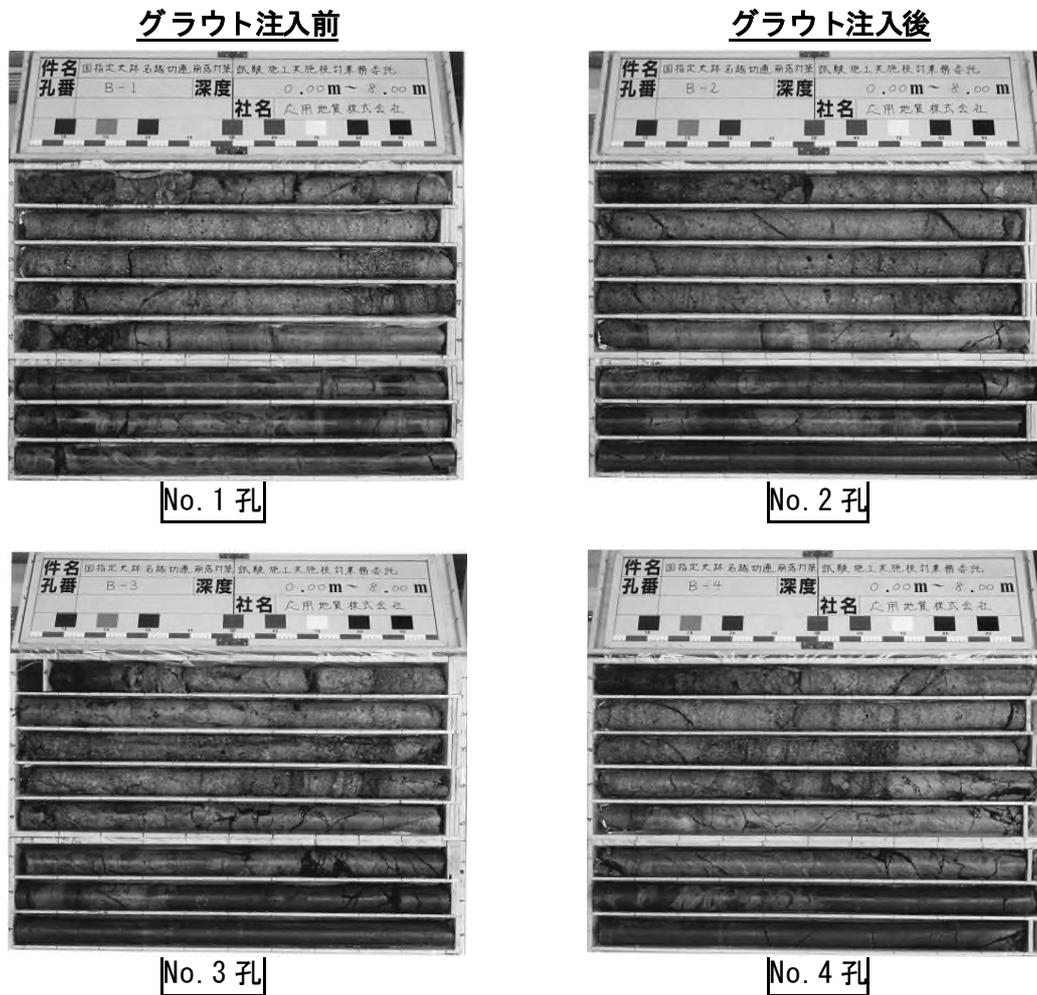


写真 4 - 3 - 3 グラウト箇所のボーリングコアの比較

●考察（観察結果）

- ① 目視観察でのコア状況は注入前・後に大きな違いは見られない。コアの品質の指標にもなる RQD にも大きな差異は見られない。
- ② 注入後のコアにはセメント独特の臭気が強い。
- ③ 手に触れた感覚（指圧感覚）では、注入後のコアの方が硬い。
- ④ 注入後のコアの割れ目には白く固まったセメントミルクの痕跡が確認される。
- ⑤ 注入後コアでも No.2 孔と No.4 孔に違いがあり、注入孔（No.1 孔および No.3 孔）に挟まれた No.2 孔の方が臭気・割れ目のセメントミルク跡・硬さとも注入効果が多く確認された。このことから注入離隔は最大で 1m が適当であったとされる。

4) 化学的評価による注入確認

定量評価として1次注入であるセメントミルクを確認するため採取コアにフェノールフタレイン液を塗布した。塗布後、赤く変色した場合はアルカリ性の証拠（セメントはアルカリ性を示す）示すことになる。

1次注入は割れ目の大きな箇所を注入する目的であるため、塗布は割れ目に対して行った。

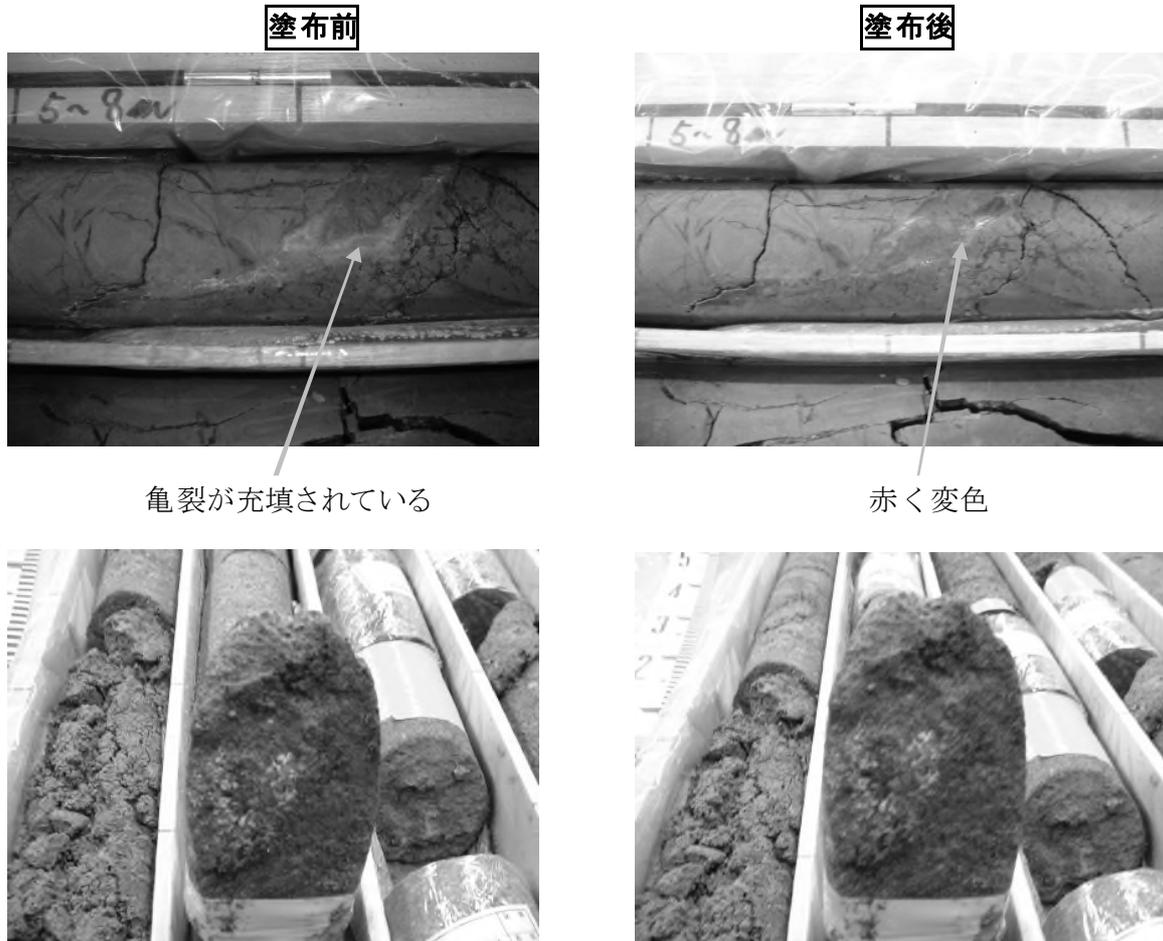


写真4-3-4 フェノールフタレイン液の反応状況

●考察（観察結果）

- ① No. 2 孔で亀裂が充填されている状況が確認された。
充填された部分はいずれも開口亀裂部であり、透水性の高い部分であると思われる。
- ② 密着した亀裂部では、セメントベントナイトミルクの付着も認められなかった。
セメントベントナイトミルクは、選択的に透水性の良い部分を流れたものと考えられる
- ③ フェノールフタレイン液による塗布の観察では、No. 4 孔より No. 2 孔の方が顕著であった。

5) 物理的評価による注入確認

2次注入の効果確認は下記に示す項目の試験を実施することにより確認した。

- ・ 一軸圧縮試験（一軸圧縮強度・変形係数）
- ・ 超音波速度測定（ V_p ・ V_s ）
- ・ 湿潤密度および含水比

● 考察

① 一軸圧縮強度

明らかに注入後が強度は増加している。強度増加率は約 1.35 倍である。また、注入後は注入前に比較し、強度のばらつきが小さくなっているのも特徴である。

注入前：平均強度 2014 (kN/m^2) → 注入後：平均強度 2712 (kN/m^2)

② 変形係数

一軸圧縮強度と同様に、明らかに注入後が増加している。増加率は約 1.65 倍である。また、注入後は変形係数のばらつきも小さくなってきている。

注入前：平均強度 442 (kN/m^2) → 注入後：平均強度 729 (kN/m^2)

③ 超音波測定

超音波速度は強度との相関もあるため、上記と同様に注入後には増加傾向が見られる。

④ 含水比および湿潤密度

注入後は注入前に比較し含水比は低下している。これは、間隙水がグラウト剤に置換された影響と思われる。湿潤密度は注入後が増加している。これは含水比との関連で間隙水がグラウト剤の置換されたことで増加したものと推察される。

● 考察

サイトBの池子層砂岩そのもの（言い換えれば砂岩の岩石）は硬く、岩盤分類では「軟岩」に評価される。割れ目が全くなく、この硬さがサイトBの尾根全体の1枚岩で構成されていれば安定性に対して問題ないところである。しかしながら、実際には多くの割れ目が存在し、この割れ目が尾根の弱部となり安定性を著しく低下させている。

今回のグラウトはこれらの割れ目・クラックに薬剤を注入・密着させることにより弱部を強化できたものと判断される。