

5 章. 平成15年度事業

5－1 平成15年度事業の概要

5－1－1 目的と経緯

切通部の崩落対策及び保存対策のために、最適な工法、材料の選定及び、施工性、対策の効果を確認することを目的として試験施工を実施した。

本試験施工に先立ち、平成14年度は強化処理剤・撥水処理剤の最適材料を選定するため、室内試験を行った。さらに、室内試験において選定された処理剤を用いて、切通部周辺の現地において強化処理及び撥水処理の対象となる逗子層泥岩の含浸方法や設計含浸厚の検討を行った。

平成15年度の試験施工は、平成14年度の成果を受けて、室内試験では実施していない「亀裂充填工・ロックボルト工・岩盤内部へのグラウト注入工」について最適な材料・施工法の選定を行うことにした。また、強化処理剤・撥水処理剤は、平成14年度に薬剤選定試験および浸透性確認試験結果を踏まえて選定した。なお、強化処理・撥水処理は、周辺現地における浸透性確認試験も実施していることから、本年度の試験施工は本施工相当工事であり、施工箇所は崩落の進行が早いサイトC及びサイトF（下部：逗子層泥岩を対象）を選定した。

試験施工の目的（試験テーマ）

目的（テーマ）	対策工法	対策効果・評価内容
①不安定砂岩の抑止	ロックボルト工	施工性、岩盤の設計強度
②擬岩処理の有効性	擬岩処理工	施工性、景観、強度
③岩盤内部の強度増加による尾根崩落抑止	グラウト注入工	施工性、景観、強度
④泥岩表面の風化抑止及び崩落抑止	強化・撥水処理工	施工性、景観、強度
⑤亀裂・割れ目の充填及び崩落抑止	亀裂充填工	施工性、接着効果、強度

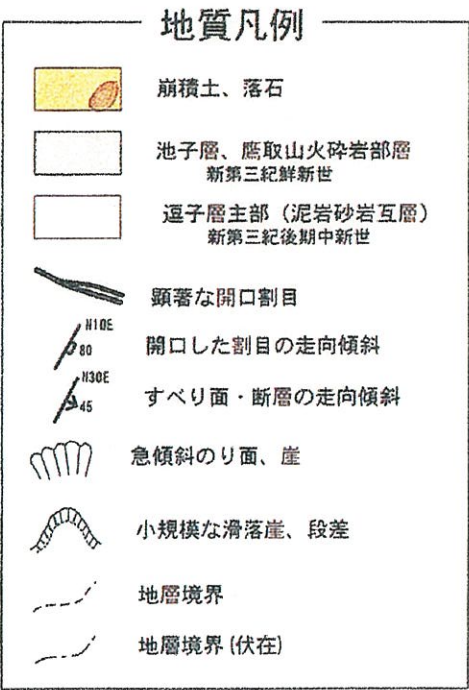
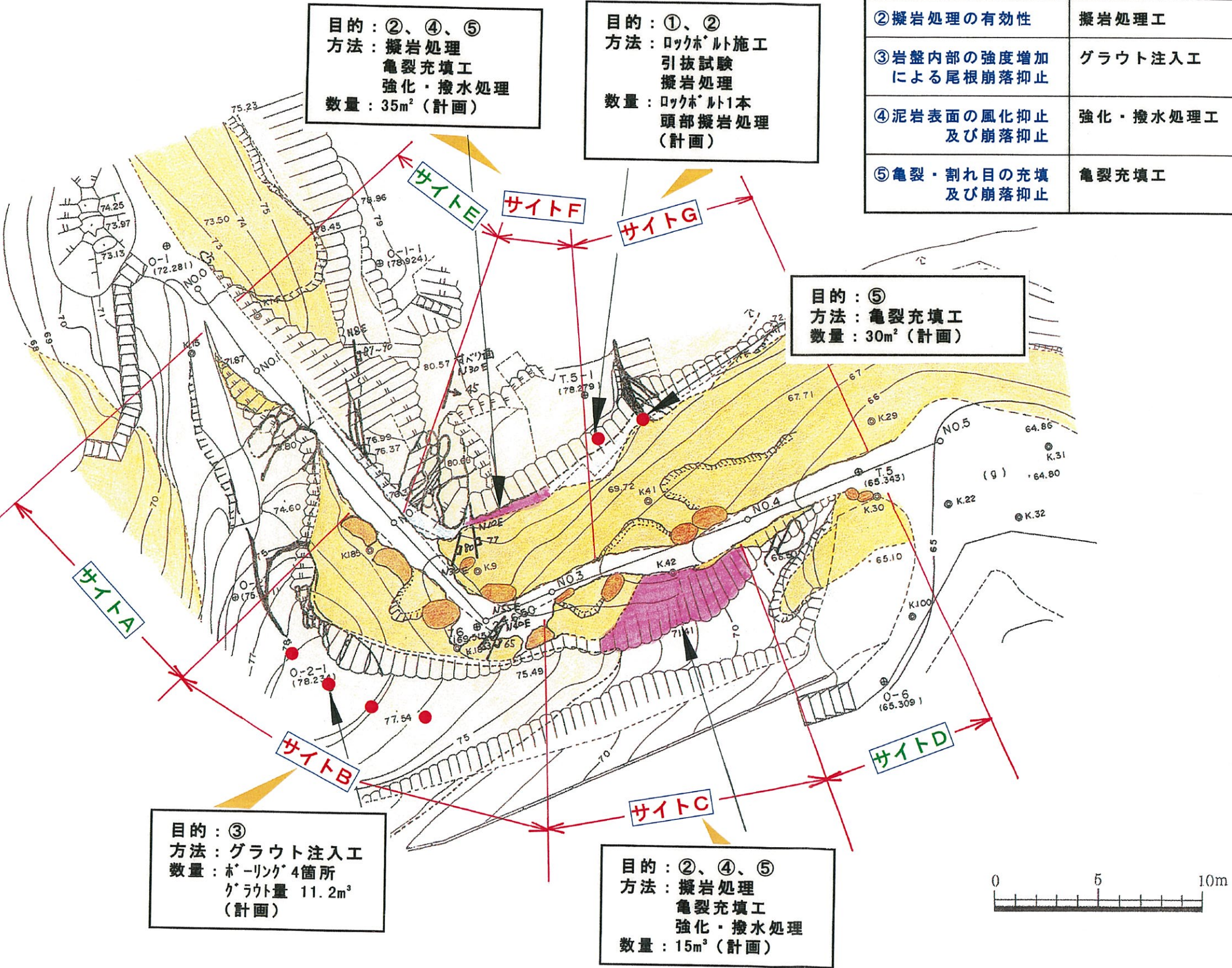


図5-1-1 試験施工箇所位置図

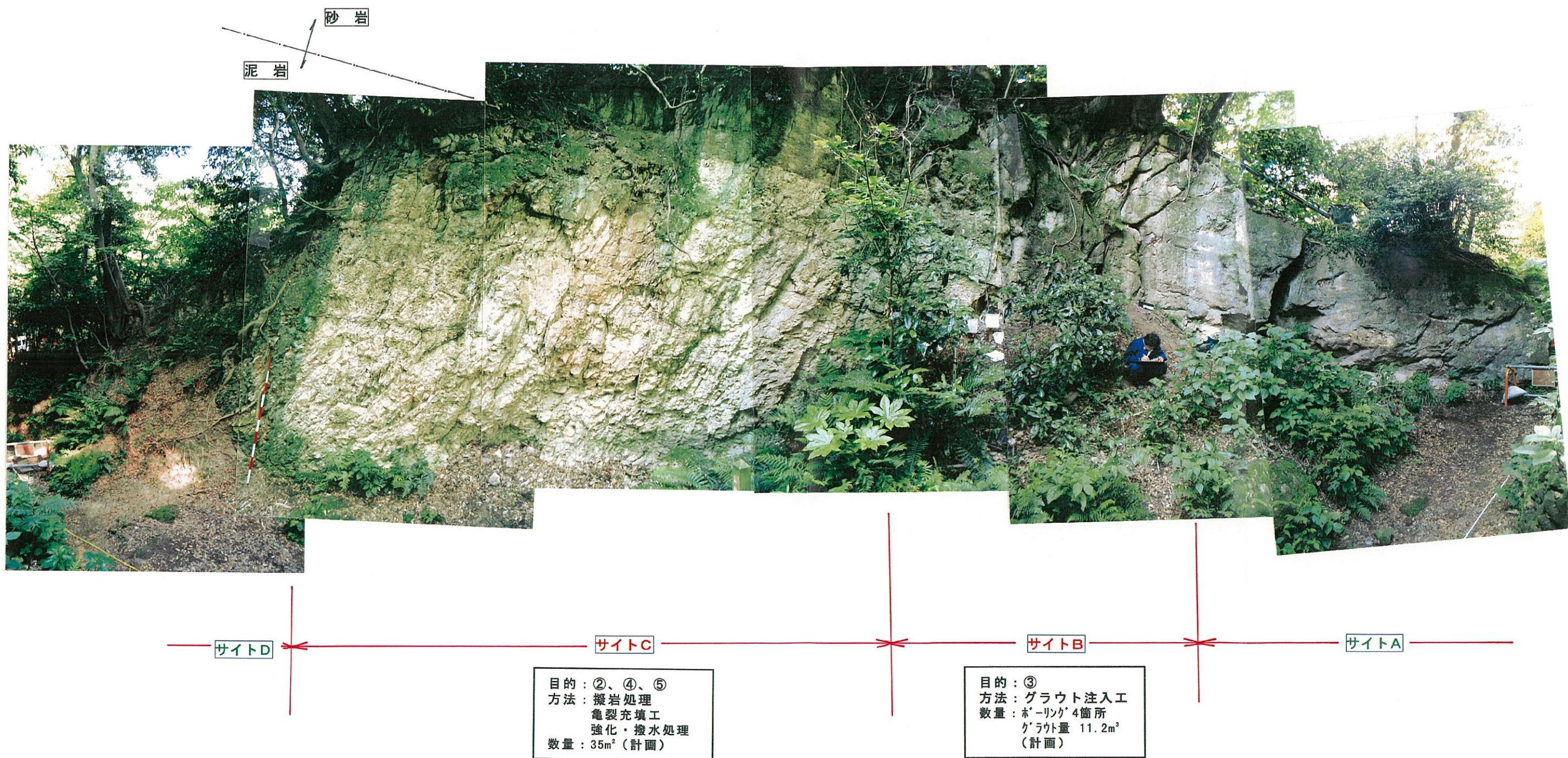


写真5-1-1 サイトA～サイトD



池子層砂岩

逗子層泥岩

サイトF

目的：②、④、⑤
方法：擬岩処理
亀裂充填工
強化・撥水処理
数量：15m³（計画）

※施工は逗子層泥岩部（サイトF下部）とした。



サイトG

目的：⑤
方法：亀裂充填工
数量：30m²（計画）

※施工はサイトGの代表的な
割れ目とした。



サイトG

目的：①、②
方法：ロックボルト施工
引抜試験
擬岩処理
数量：ロックボルト1本
頭部擬岩処理
（計画）

5－1－2 施工箇所

工法を検討する必要があるロックボルト工、亀裂充填工については、次の条件を考慮して施工箇所を選定した。

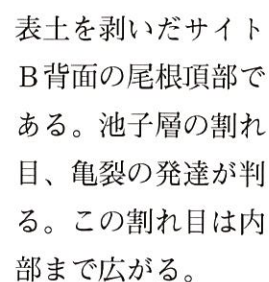
- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">①試験的役割（工法検討）の工種は目立たない箇所②施工条件の良い箇所③逗子層泥岩及び池子層砂岩が分布している箇所④崩落の危険度が高い、進行性のある箇所 |
|---|

工法検討のための試験的役割の高い工種の施工は、主にサイトGで実施した。サイトGは切通内部に位置し、比較的崩落が進行しておらず、逗子層泥岩及び池子層砂岩とも分布している。また、入口部にも近く作業ヤードを確保しやすいため、施工条件が良いと言える。また、切通部通路から比較的離れており、「目立たない箇所」であるため、施工箇所として選定した。

また、「岩盤内部へのグラウト注入工」に関しては、風化の進行が速いことが判明している南側の尾根部（サイトB背面）の岩盤内部に必要な工種と考える。このサイトと類似した岩盤状況は史跡内には存在せず、また、岩盤状況の異なる地域での調査結果を当該箇所に適用した場合、注入時に岩盤を破壊したり、効果が得られない等の問題が生じる可能性がある。よって、この工種は当該箇所の岩盤（池子層砂岩）で本施工的位置付けとして実施することにした。選定した施工箇所位置図を図5－1－1に示す。

グラウト注入工は、サイトB背面の岩盤内部に発達している割れ目や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ことを目的として実施した。

図 5-2-1 グラウト注入工施工箇所



グラウト注入工の対象となる池子層砂岩。割れ目が大きく発達しており、細かな亀裂も多く存在する。グラウト注入はこの大きな割れ目や亀裂に対して行い、岩盤を補強する。

5-2-3 施工内容及び方法

(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5-2-1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ー工法」を選定する。

二重管ダブルパッカー工法は、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。

表5-2-1 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
二重管ダブルパッカー		緩結	ダブルストレーナー工法

(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5-2-2に示す。亀裂性岩盤では、強度を高くするためには、まず、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性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5-2-2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、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」を選定した。注入管の構図を図5-2-3に示す。

表5-2-2 注入材料比較表

分 類	無機 アルカリ系	有機 アルカリ系	無機シリカゾル系 (中性酸性系)	恒久グラウト (特殊シリカ系)	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	シリカライザー	ハイブリッド シリカ	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 ◎	やや高価 ○	やや高価 ○	高価 △	安価 ◎	最も安価 ◎
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 ○

(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、従来の実績では、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、計画注入率として10%を想定した（表5－2－3）。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した。

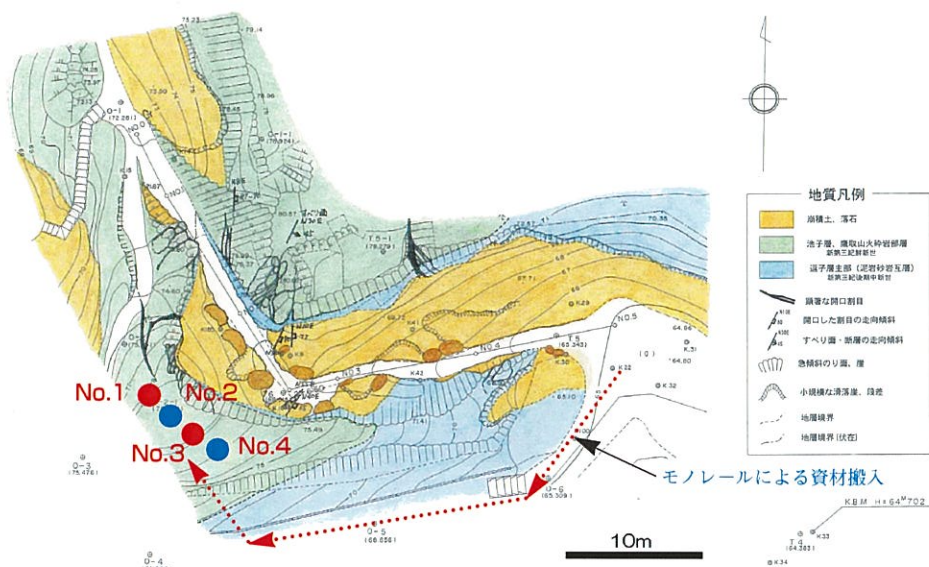
表5－2－3 注入率（設計段階暫定値）

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2mピッチで配置した。今回は、先行孔2本と先行孔の効果を確認しながら注入を行う後行孔2本の合計4本を実施した。

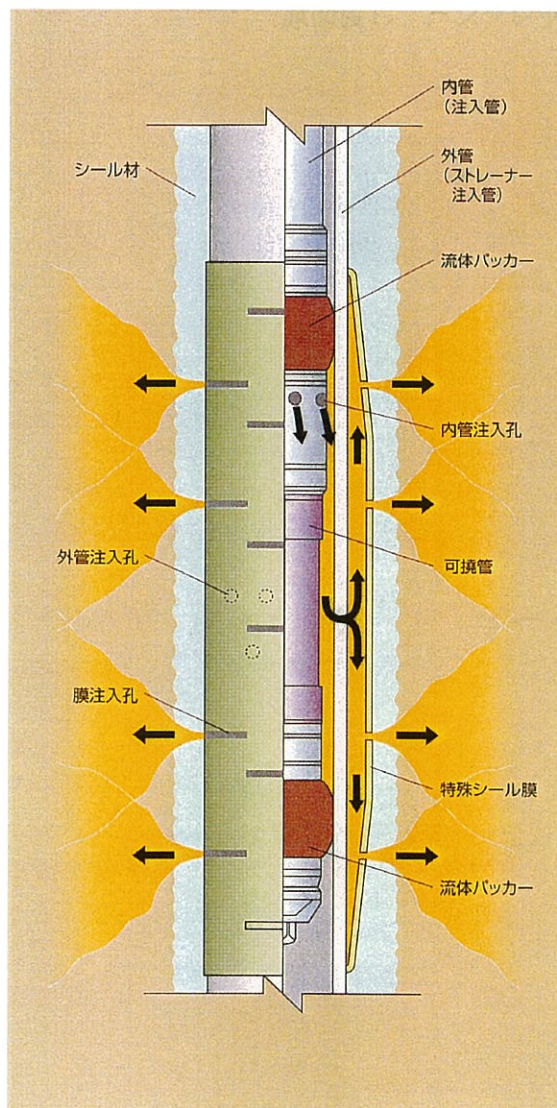


注) 各注入孔の間隔は2mとした。

- 先行注入孔
- 後行注入孔（効果確認）

図5－2－2 グラウト注入工箇所

● 注入管の構造



● 外管概略図

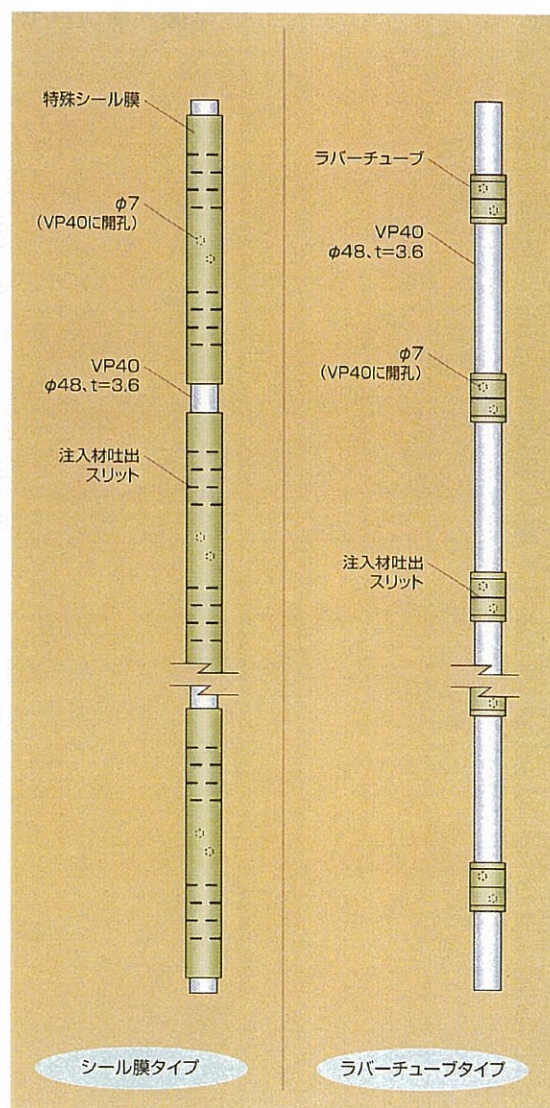


図 5 - 2 - 3 注入管の構造及び外管概略図

(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する。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が、基本的なフローを図5-2-4に示す。

なお、ルジオンテストは5 m程度の区間に 1 MN/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 MN/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ー工法では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する。

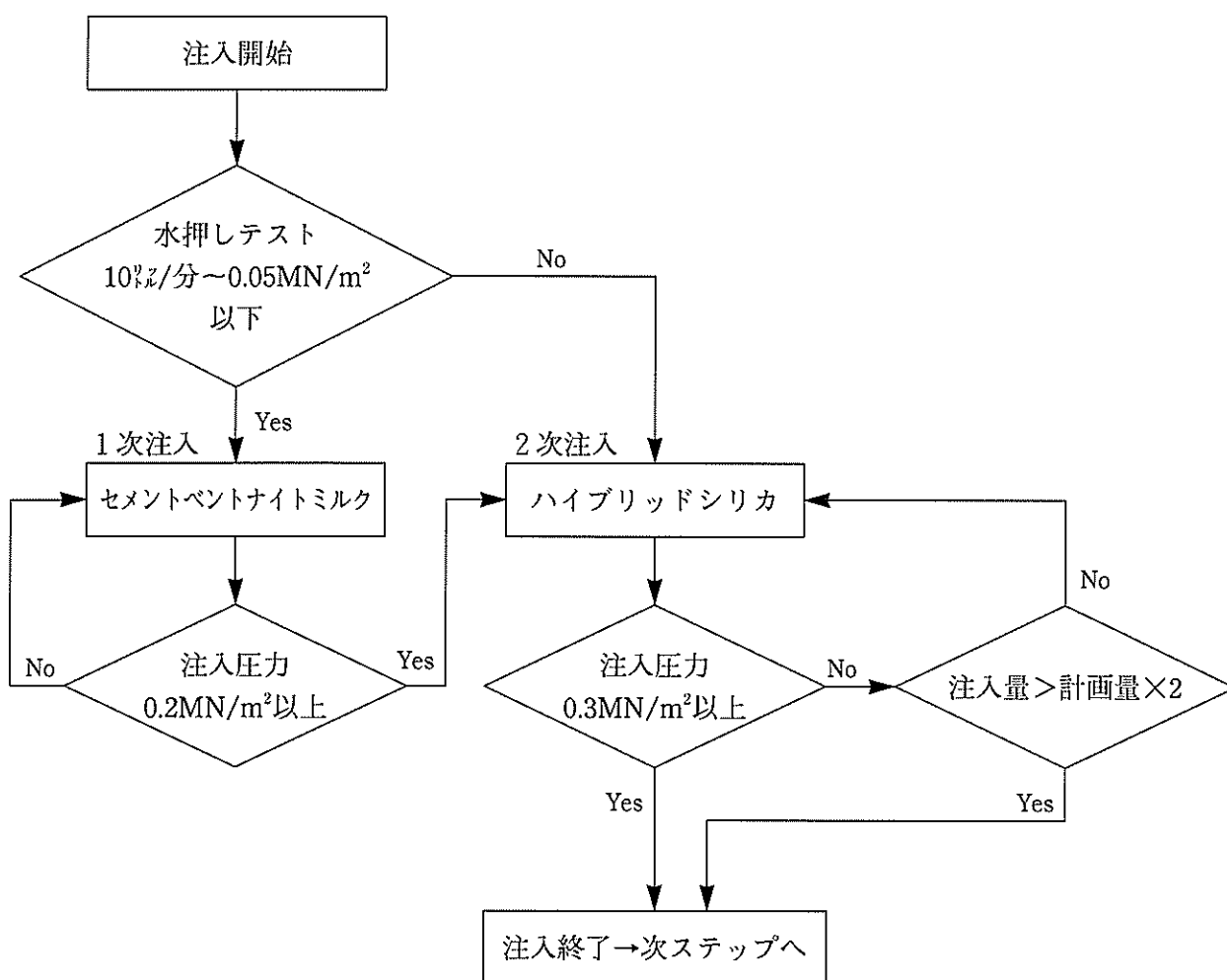


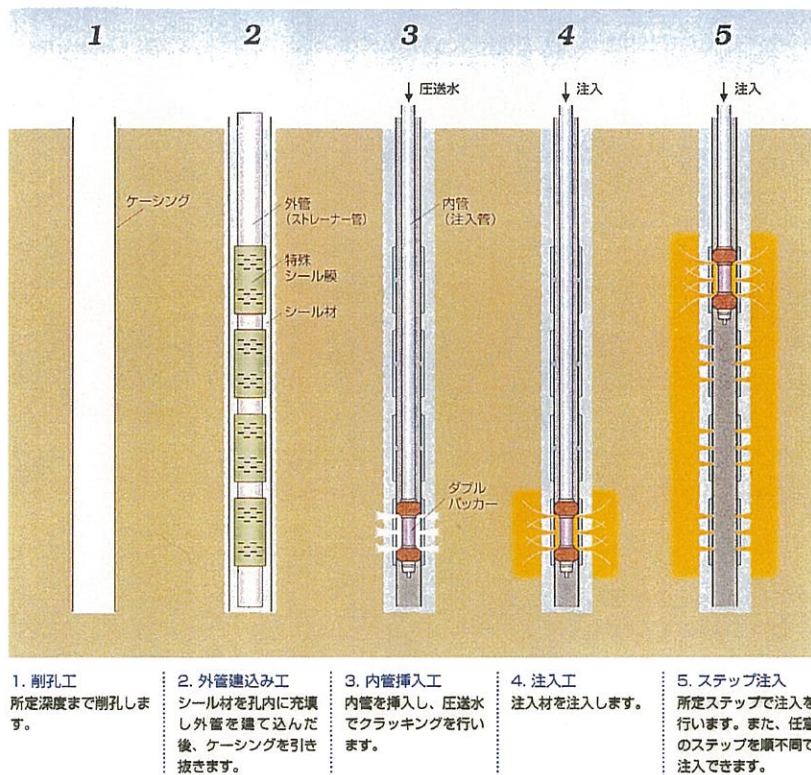
図5-2-4 注入基準

(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。)

5-2-4 結果と評価

(1) 施工状況写真

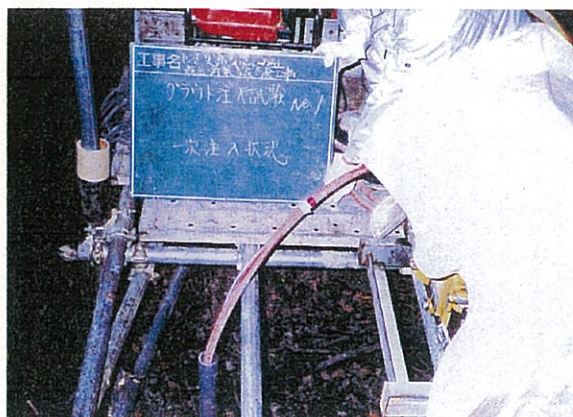
● 施工順序



ストレーナ管



一次注入状況



(2) 注入量

表5-2-4にグラウト注入量を示す。

- ①全体総注入量はほぼ計画どおりで、11,339リットル（計画比：101％）であった。
- ②1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、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。

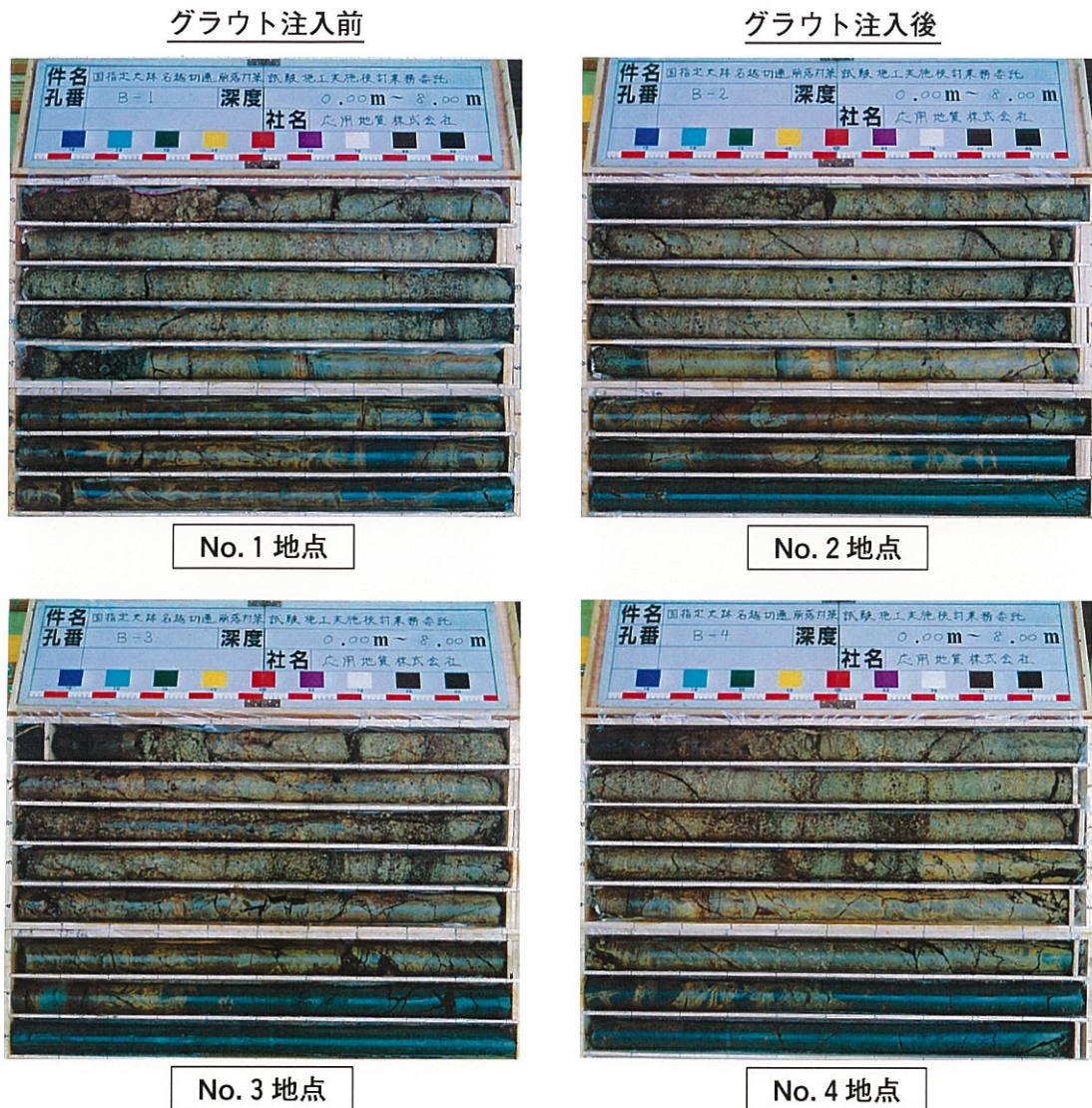
表5-2-4 各孔の注入量

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)

ボーリングより採取したコアを示す。



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 2m離れた地点である。)

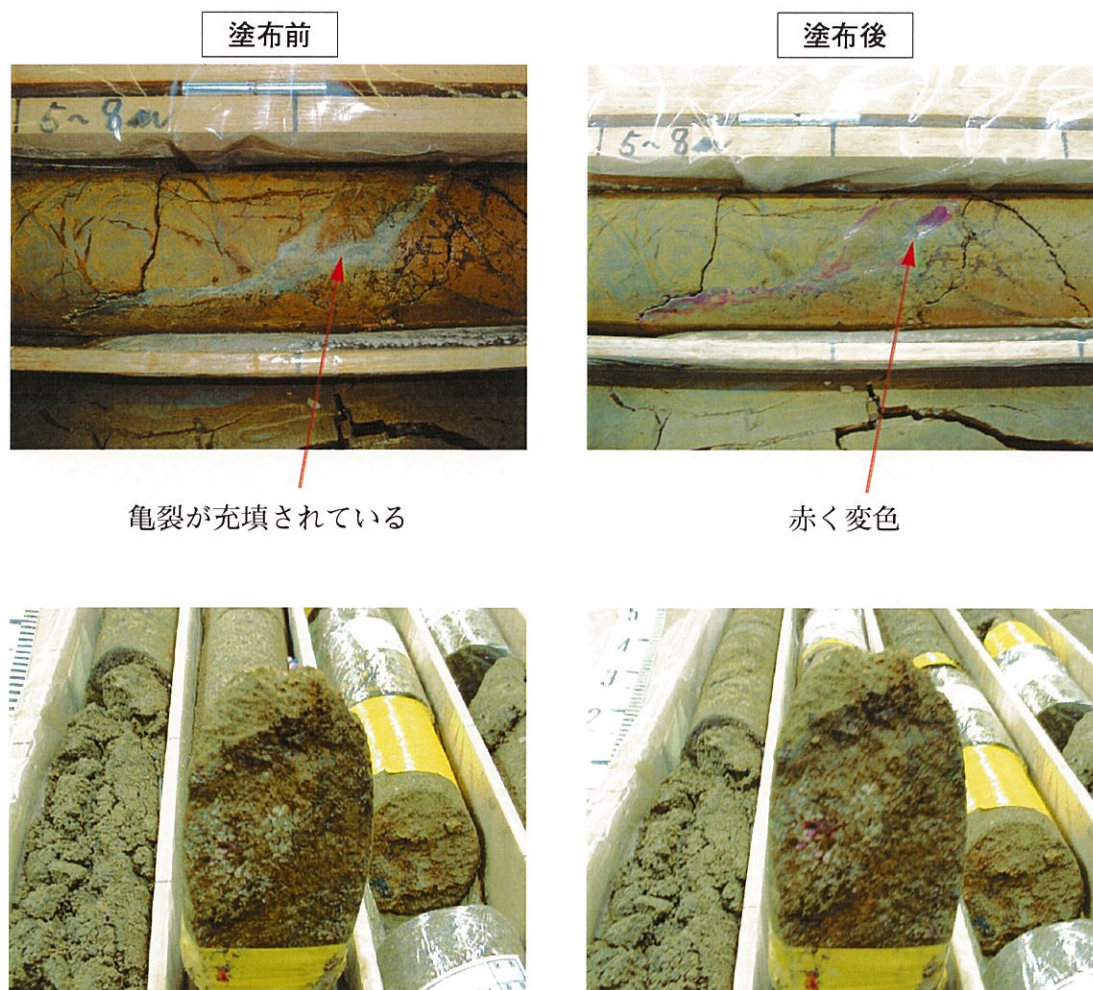
●考察 (観察結果)

- 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。コアの採取率は良好で、短棒～長棒状のコアとして採取される。
- 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とNo.4に違いがあり、注入孔 (No.1孔及び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2mが適当であったとされる。

(4) 化学的評価による注入確認

定性評価として1次注入であるセメントベントナイ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）を示すことになる。

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。



●考察（観察結果）

① B-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 地点より、No. 2 地点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。

①一軸圧縮試験（一軸圧縮強度・変形係数）

②超音波速度測定（ V_p ・ V_s ）

③含水比及び湿潤密度

試験結果の関係を図5-2-5から図5-2-9に示す。

● 結 果

①-1 一軸圧縮強度（図5-2-5）

注入前に比較し、注入後の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。

注入前：平均強度 2014 (kN/m²) → 注入後：平均強度2712 (kN/m²)

①-2 変形係数（図5-2-6）

一軸圧縮強度と同様に、明らかに注入前に比較し、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/m²) → 注入後：平均強度729 (kN/m²)

②超音波測定（図5-2-7）

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。

③含水比及び湿潤密度（図5-2-8、図5-2-9）

含水比については、注入後は、注入前に比較し、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推察される。湿潤密度については注入後は、注入前に比較し、増加している。これは、間隙にグラウト剤が充填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。仮に、割れ目が全くなく、この硬さ（岩石圧縮強度）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発達し、この割れ目が尾根の弱部となり、安定度を著しく低下させている。

今回のグラウト注入工は、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。

○ No. 1 注入前
● No. 2 注入後

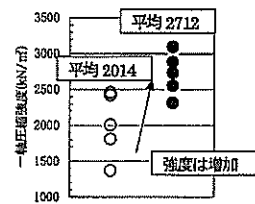
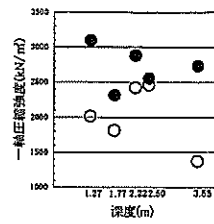


図 5-2-5 一軸圧縮強さ (q_u)

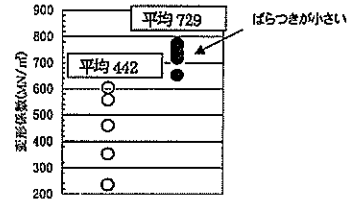
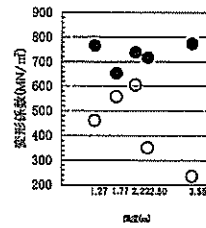


図 5-2-6 変形係数 (E)

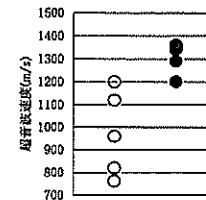
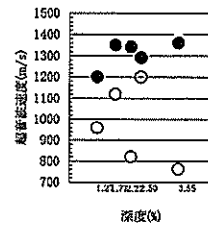


図 5-2-7 (1) 超音波速度 (v_p)

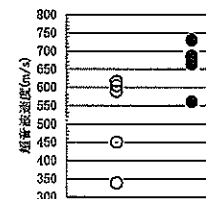
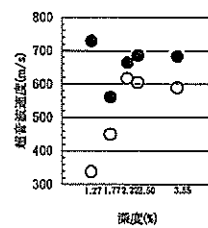


図 5-2-7 (2) 超音波速度 (v_s)

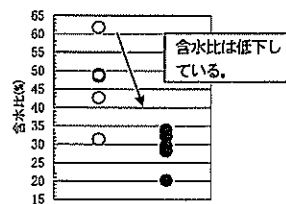
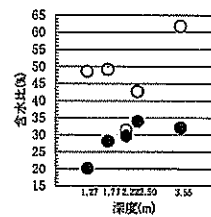


図 5-2-8 含水比

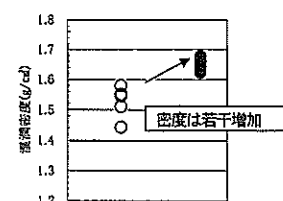
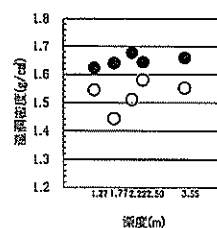


図 5-2-9 湿潤密度

5-3 ロックボルト工（引き抜き試験）

5-3-1 目的

本施工に先立ち、当該地での崩落対策としてのロックボルト工の適用性の確認を目的とする。
適用性の確認項目は下記のとおりである。

- ①引き抜き試験を実施し、対象地盤（池子層砂岩）に対するアンカーの極限引き抜き力およびその挙動を把握し、ロックボルト工の設計に用いる諸定数等を確認する。
- ②ロックボルト頭部を擬岩処理することにより、周辺との調和（景観）を確認する。
- ③現地におけるロックボルトの施工性を確認する。

なお、施工に関しては以下の図書に準じた。

- ・ 土木工事必携：関東地方建設局（H.12年度）
- ・ 切土補強土工法設計・施工要領：J H日本道路公団（H.10.10）

● 試験仕様

削孔（打設）角度は、本施工を踏まえて法面に約10度（下向き）とする。

削孔径は、 $\phi 45\text{mm}$ とする。

補強材長は2.0mのものを使用し、10cmを頭部の引っ張り余長とする。

図 5-3-1 に施工箇所を示す。



写真 5-3-1 ロックボルト（引き抜き試験）施工箇所

対象地盤は、斜面上部の池子層砂岩であり、注入材と地盤の周面摩擦抵抗力を「軟岩」と想定して載荷計画を考えて引き抜き確認試験を行った。

なお、周面摩擦抵抗力： $\tau = 0.8 \text{ N/mm}^2$ (8.0 kgf/cm^2) としている。

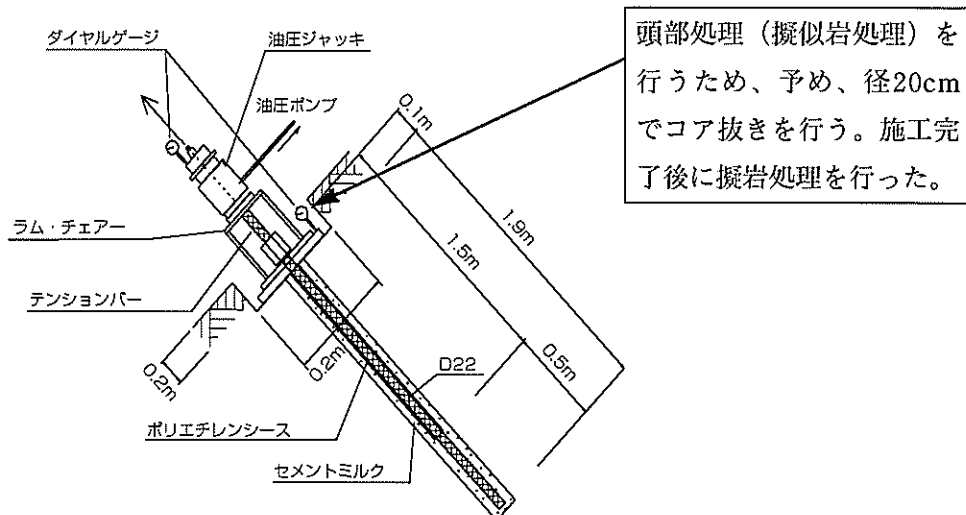
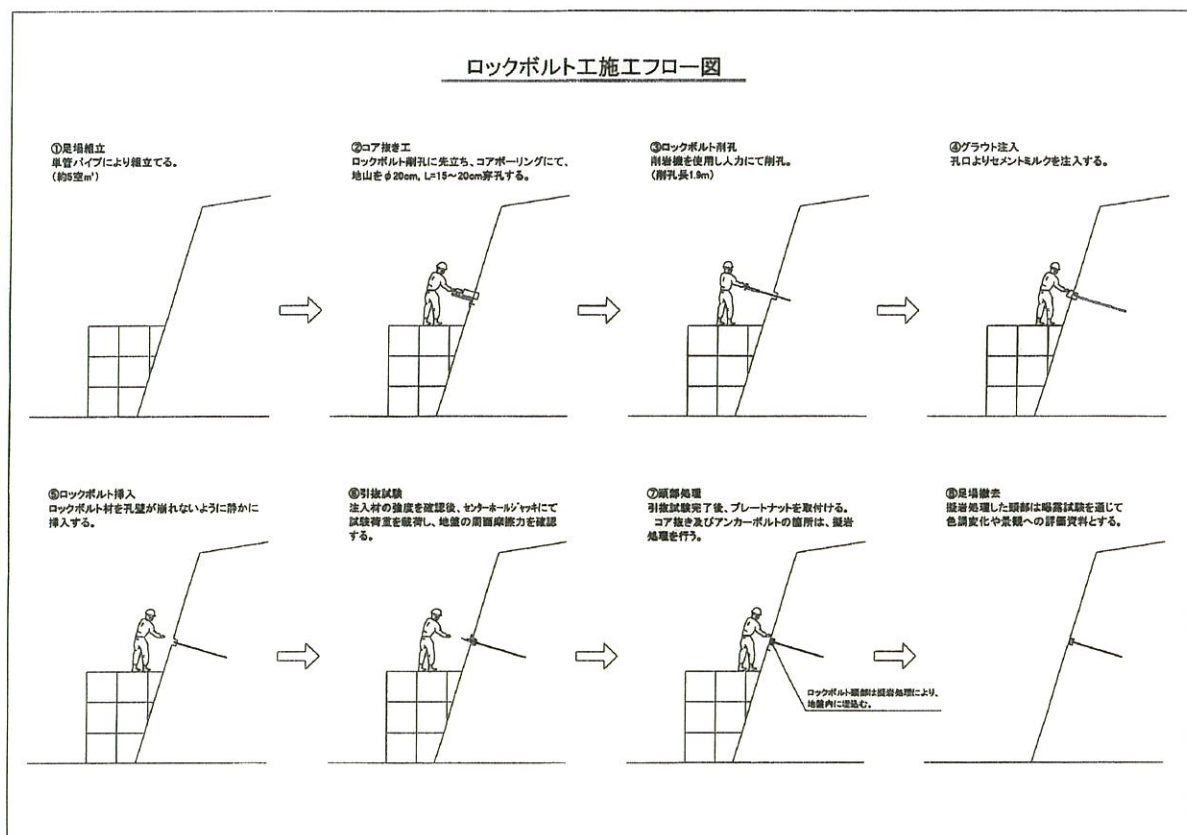


図 5-3-2 ロックボルト引き抜き試験概要図

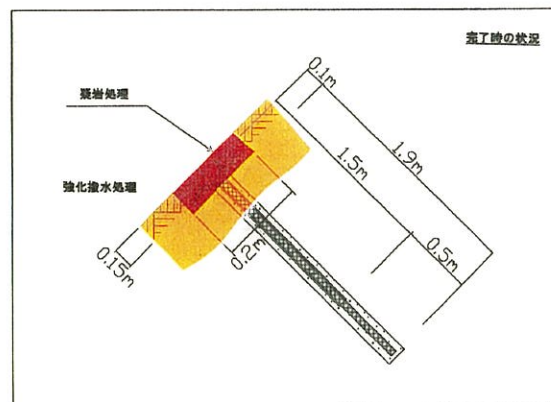
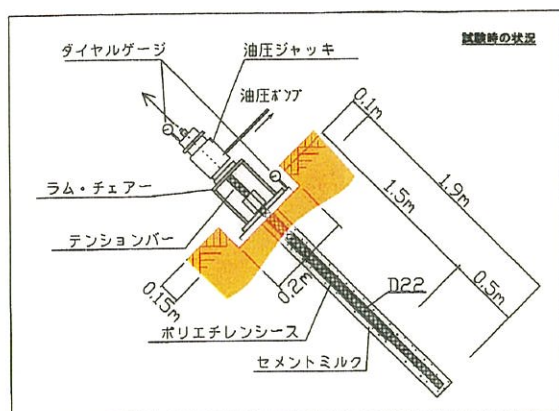
表 5-3-1 極限周面摩擦抵抗の推定値

地盤種類			摩擦抵抗 (N/mm^2 (kgf/cm^2))
岩 盤	硬 岩		1.2 (12)
	軟 岩		0.8 (8)
	風化岩		0.5 (5)
	土 丹		0.5 (5)
砂 礫	N 値	10	0.08 (0.8)
		20	0.14 (1.4)
		30	0.20 (2.0)
		40	0.28 (2.8)
		50	0.36 (3.6)
砂	N 値	10	0.08 (0.8)
		20	0.14 (1.4)
		30	0.18 (1.8)
		40	0.23 (2.3)
		50	0.24 (2.4)
粘性土			0.8 c (c は粘着力)

道路土工 のり面工・斜面安定工指針 : 社団法人 日本道路協会より抜粋



ロックボルト施工フロー



頭部処理概念図

図 5 - 3 - 3 ロックボルト施工フロー図及び頭部処理概念図

5-3-3 施工内容及び方法

(1) 試験荷重

地盤とグラウトの摩擦抵抗より求まる引拔荷重、鋼材とグラウトの付着による引き抜き荷重を比較し、小さい方を試験荷重とする。

①地盤とグラウトの摩擦抵抗より求まる引き抜き荷重

引拔に抵抗する長さ、定着長 l_a は、

$$l_a = \frac{P_1 \cdot f_s}{\pi \cdot D_a \cdot \tau} \quad \text{で表される。}$$

ここで、 P_1 : 設計引拔力

l_a : アンカー定着長 (0.5m)

D_a : 削孔径 (45mm)

τ : グラウトと地盤の周面摩擦抵抗 (設計: 0.8N/mm^2)

f_s : 安全率 (1.0 ここでは単に引拔力の算定なので1.0とする)

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{l_a \cdot \pi \cdot D_a \cdot \tau}{f_s} \\ &= \frac{500\text{mm} \times \pi \times 45\text{mm} \times 0.8\text{N/mm}^2}{1.0} \\ &= 56,548\text{N} \\ &= 56\text{kN} \end{aligned}$$

②セメントミルクと鋼材の付着による引き抜き荷重 (軸荷重)

付着長は次式による $l = \frac{P_2}{U \times \tau}$

U : 鋼材の公称周長 D22 7.0cm

τ : セメントミルクと鋼材の付着力 1.6N/mm^2 ($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$)

注入材と異形鉄筋の許容付着応力度 (N/mm^2 (kgf/cm^2))

	18 (180)	24 (240)	30 (300)	40以上 (400以上)
異形鉄筋	1.4 (14)	1.6 (16)	1.8 (18)	2.0 (20)

セメントミルクと鋼材の付着による引き抜き荷重は、

$$\begin{aligned} P_2 &= l \times U \times \tau = 500\text{mm} \times 70\text{mm} \times 1.6\text{N/mm}^2 \\ &= 56,000\text{N} = 56\text{kN} \end{aligned}$$

したがって、 $P_1 \approx P_2$ であるから、引抜試験荷重 P は、

$P = 56\text{kN}$ とする。

(2) 引き抜き試験仕様

①試験本数：1本（長さ：2m）

②載荷サイクル：設計耐力の確認が目的であるから単サイクルで引抜試験荷重まで載荷する。

③載荷方法：段階的に荷重を増加させる。初期荷重は5kNとした。

0 → 5 kN → 15kN → 25kN → 35kN → 45kN → 56kN を目安で載荷する。

引抜試験荷重でも引き抜けない場合は、引き抜き試験荷重を極限引抜力とする。

載荷速度は10kN/min程度とする。

④計測項目：

載荷荷重・試験時間・補強材変位（引抜変位、支圧板変位）

今回の試験では極限まで行わず、弾性領域内に留めた。理由は、極限までの引抜力により岩盤を破壊する恐れがあるためである。表 5－3－1 に示す推定値（周面摩擦抵抗力： $\tau = 0.8\text{N/mm}^2$ ）の確認を目的とし、推定値より小さい値であった場合はこの値を今後の設計値として採用することにした。

5-3-4 結果と評価

(1) 施工性の確認

図5-3-4に施工の流れを示す。

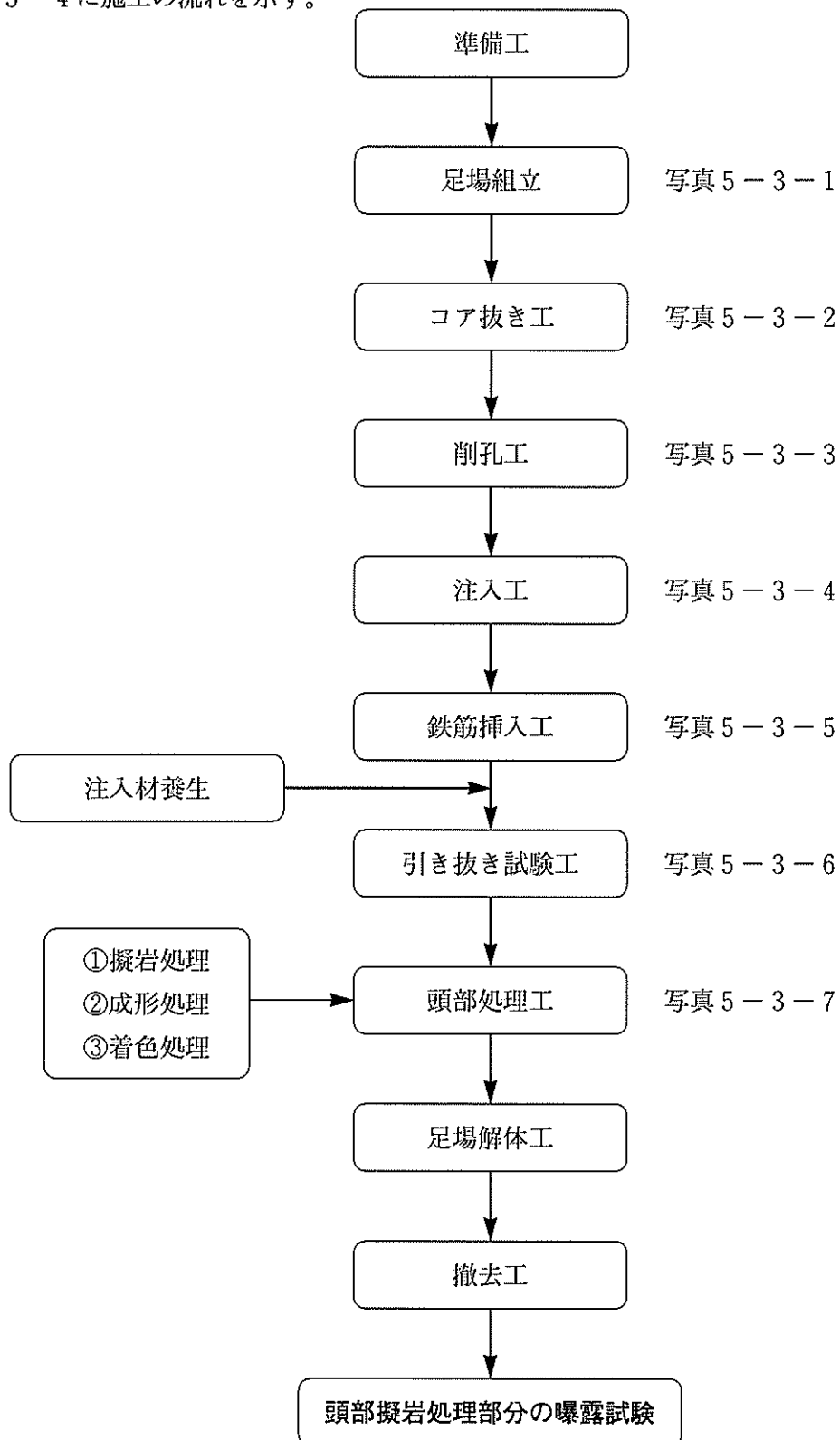


図5-3-4 施工の流れ図



作業足場をサイトGに
仮設した。

2.5m×2.0m×5m

写真 5－3－1 足場工



写真 5－3－2 頭部コア抜き（径20cm 深さ20cm）

頭部処理（擬岩）としての事前施工として、コア抜きを行った。



写真 5－3－3 鉄筋挿入のための事前削孔（孔径45mm）

削孔はレッグハンマードリルにより行った。表層50cm程度は風化が著しく削孔抵抗は小さかったが、50cm以深は抵抗は強くなる。このことから、50cm以深は比較的風化の進行は遅く、岩盤状況は良好と推察される。



写真 5－3－4, 5 セメントミルク注入、鉄筋挿入後の状況
(鉄筋 ネジテッコン D22 2.0m)

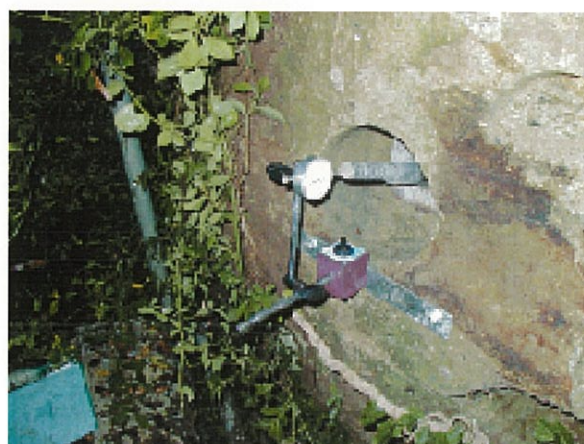


写真 5－3－6 引き抜き試験状況

左写真：引き抜き試験状況

右写真：クリープ試験

引き抜き試験における載荷荷重に対して、周辺岩盤にクラックの発生やクリープ変形等も特に認められなかった。

頭部処理状況（写真 5－3－7）



写真 5－3－7（1）施工前の岩盤状況



写真 5－3－7（2）コア抜き後の状況



写真 5－3－7（3）ロックボルト引抜試験跡の状況



写真 5－3－7（４）擬岩処理状況
ロックボルト頭部箇所の充填



写真 5－3－7（５）擬岩処理状況
成形処理状況



写真 5－3－7（６）擬岩処理状況
全体処理の完了（着色仕上げ処理前）



写真 5－3－7（７）擬岩部着色仕上げ処理



写真 5－3－7（８）擬岩処理完了
岩盤の色彩や地層の様相を再現

(2) 引き抜き試験結果

1) 設計強度定数の確認

平成16年度本工事に計画されているサイトFのオーバーハングの池子層砂岩の崩落抑止としてロックボルトを採用する。このため、設計に際して池子層砂岩の極限周面摩擦抵抗力を把握するため引き抜き試験を実施した。

試験の設定強度は一般の設計資料に示されている「軟岩」として評価できるかを確認するため実施した。

2) 評 価

試験結果を図5-3-5に示す。図示のとおり、試験荷重範囲（引張り軸荷重：0～56kN）での荷重～変位曲線はほぼ直線であり弾性領域内であるが、若干、45（kN）付近で変化点（折れ点）が認められる。

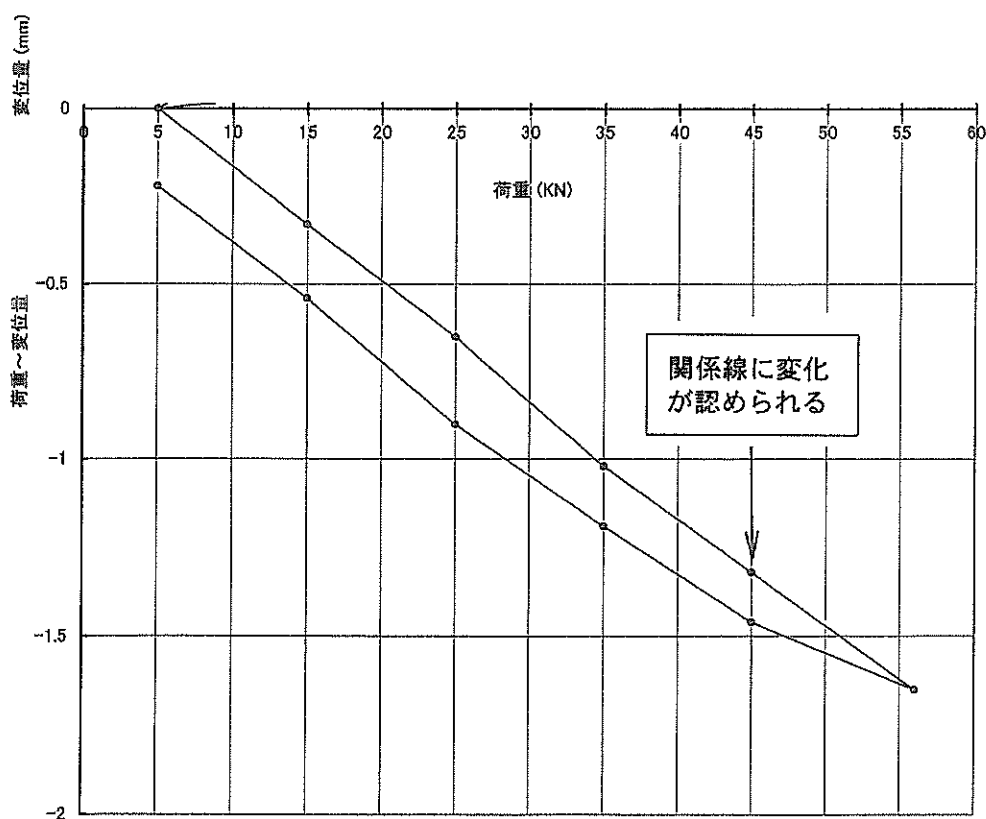


図5-3-5 荷重と変位量との関係

引き抜き試験結果より池子層砂岩の設計時の極限周面摩擦抵抗力は下記の値を採用することにした。

$$\tau = 0.5 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{風化岩})$$

(3) 頭部処理

頭部の擬岩処理はエポキシ樹脂系処理剤を使用した。その結果（施工過程）は写真 5－3－8 に示したとおりである。評価項目は以下のとおりである。

- ・ 擬岩処理の施工性・景観性
- ・ 擬岩強度

1) 擬岩処理の施工性・景観性

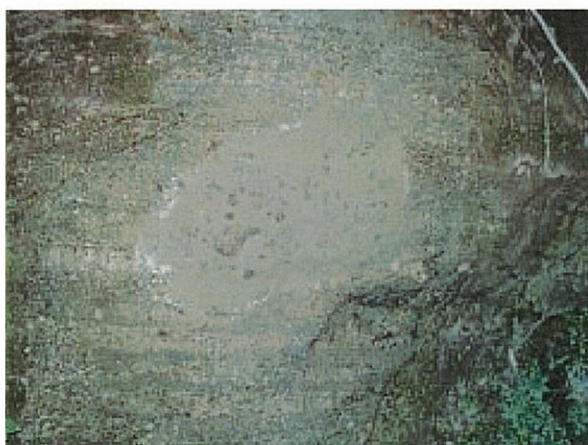
下記の写真に示すとおり、エポキシ樹脂系処理剤による擬岩処理は周辺と調和でき、成形は可能と判断できる。施工に関しても地山岩盤との密着性も良好で、特に問題はない。本施工で予定されているサイトFのロックボルトの頭部処理に有効と判断できる。



① 施工前
ロックボルト施工前の状況



② ロックボルト施工後
ロックボルト打設後の状況（径20cm）



③ 擬岩処理後（着色前）
擬岩によるコア抜き跡の充填及び成形後



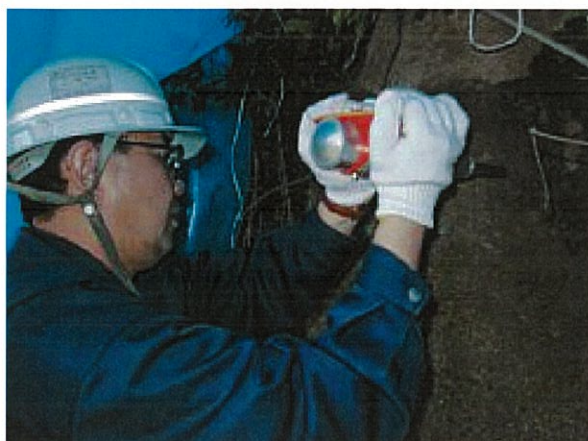
④ 擬岩処理完了（着色処理後）
成形後に着色処理により周辺と調和させる

写真 5－3－8 ロックボルト頭部の擬岩処理過程

2) 擬岩強度

①強度確認箇所

また、擬岩の強度を把握するため、非破壊調査としてシュミットハンマーテストを行い、強度の比較評価（地山岩盤（池子層砂岩）と擬岩）を行った。



地山岩盤でのテスト（擬岩処理箇所の横）



擬岩部でのテスト（1ヶ月養生後）

②シュミットハンマーテストの結果と評価

試験結果を表5-3-2に示す。これはシュミットハンマーテストの反発度数（R）より圧縮強度を推定したものである。これによれば、28日（1ヶ月）強度はほぼ地山岩盤とほぼ同等の強度を有していることがわかる。

表5-3-2 擬岩の強度評価

池子層砂岩の強度	擬岩処理後の強度
623.5	643.0

単位：kN/m²

池子層砂岩のボーリングコアでの圧縮強度は1780～4020（kN/m²）である。この強度と比較すれば小さな値であるが、試験サイトは岩盤表面の強度であり、ボーリングによる深部の強度に比較すれば、1／5～1／3程度の強度となっている。

補足

シュミットハンマーテスト：コア採取が不可能な場合（例えば、使用中の構造物、耐力上問題のある構造物、美観を損なう恐れのある構造物など）は非破壊調査としてシュミットハンマーテストにより反発度（R）を求め、公認されている推定式より圧縮強度を求めるものである。今回利用した圧縮強度推定式は日本材料学会式である。

5-4 強化・撥水処理工

5-4-1 目的

崩落の要因である逗子層泥岩の風化（スレーキング）を防止することを目的とする。

5-4-2 施工箇所

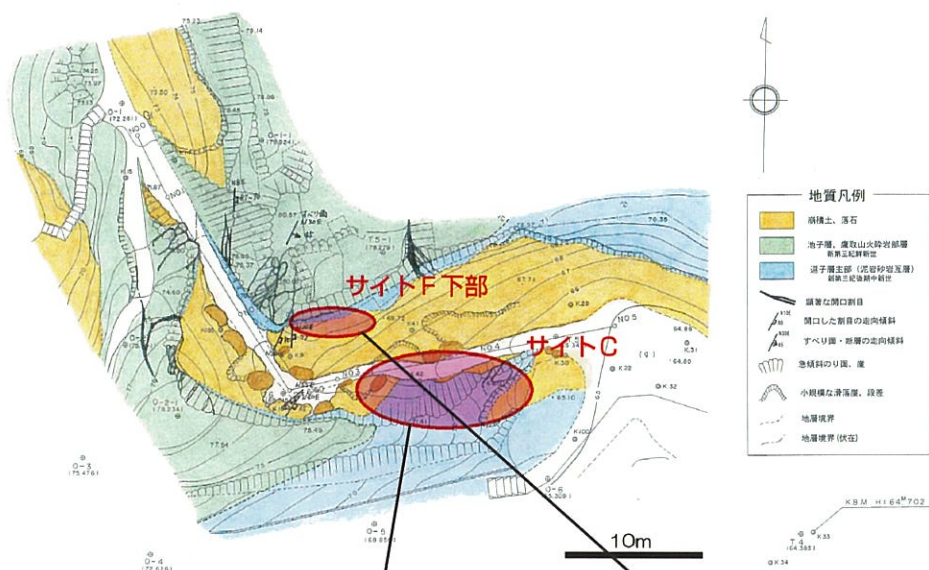


図 5-4-1 強化・撥水処理施工箇所



サイトCの岩盤状況：逗子層泥岩が主体であり、微細な亀裂が卓越する。1回の剥離は10cmから20cmの厚さで発生している。

サイトF下部の岩盤状況：切通区間の崩壊のメカニズムを代表する箇所である。下位にある逗子層泥岩の剥離崩壊の進行により、上位の池子層砂岩がオーバーハングしている。

5-4-3 施工内容与方法

(1) 岩盤表面の清掃・洗浄

- 1) 上部の地衣類・苔等を取り除き、明らかに落下の危険がある箇所（浮石やオーバーハング）はあらかじめ落下させた。
- 2) 地衣類・苔等生息する箇所については、クラックに沿って洗剤が浸透しないよう洗剤を含浸させたキッチンペーパーを貼り付け、少なくとも1昼夜養生後、水洗いを実施した。
- 3) 洗浄瓶に入れた水を少しずつかけながら、全体を上部より、必要に応じて洗剤を併用してブラシ、歯ブラシ等で洗浄を実施する。その後洗浄器を使用し、やや強めのシャワー状で全体を2～3回洗浄して完全に洗剤を除去した。
- 4) 乾燥養生期間を1週間設けた。

(2) 強化処理

強化処理は「基質強化処理」と「表層強化処理」の2段階に分けて行った。

使用剤は室内試験、現場実験結果で効果が期待できるものを使用することを基本と考えた。しかしながら、実際は現地と室内での違いもあるため、本工事においては使用剤料の選定の再検討（変更）も念頭において進めるものとした。

●基質強化処理

1) 目的

泥岩の亀裂は微細で多く存在する。崩落はこの亀裂に沿って発生するため、この亀裂や割れ目に強化処理剤を含浸させ、岩盤基質を強化する。

2) 方法及び使用強化剤

- ①室内実験及び現場実験で判明したように、岩盤の含水比が低い状態の方が浸透能が良好である。処理時期は基本としては自然状態での乾燥を考え、昨年度の環境計測結果を踏まえて、降雨が少なく、湿度が低い季節である秋～冬期とした。
- ②強化剤は室内実験結果として最も効果が期待できる珪酸エステル系とする。本強化剤は空气中、又は石材中の水分を反応し、岩石中の間隙にゲルガラス結晶を生じさせて、岩石そのものの密度を上げて強化するものである。すなわち、岩石中の間隙を小さくし、含水比の増加を抑制する。
- ③強化剤を洗浄瓶に入れ、クラック線に沿って全体を最初に十分含浸させた。
- ④上部より1mの高さごとに全体に吹き付け、含浸状態を確認しながら同作業を2～3回繰り返す。目標とする最低含浸厚は室内及び現場実験を踏まえて、10mm以上を目標とした（クラックのない新鮮面）。

3) 目標含浸量

全体の目標含浸量は 4 kg/m^2 とし、必要とする箇所についてはこの量以上とした。この量は、現場実験での実績によるものである。

4) 養生期間

硬化養生期間を少なくとも1ヶ月以上設けた。

● 表層強化処理

1) 目的

基質強化処理では石材粒子間の接着性を有さない為、落下防止の目的で表層強化処理を実施する。

2) 方法及び使用強化剤

①強化剤としては耐水性、耐候性を有するアクリルエステル溶液を採用する。これらは石材表面に樹脂特有の濡れ現象を生じない、接着性に優れる共重合体のサンドストッパーを使用した。

②強化剤は洗淨瓶に入れ、亀裂やクラック線に沿って含浸させた。表層強化剤には防カビ・防藻剤を含有するものとした。

3) 目標含浸量

目標含浸量は 0.5 kg/m^2 とした。

4) 養生期間

硬化養生期間を少なくとも2日以上設けた。

(3) 撥水处理

1) 目的

雨水等から防ぐために適切な撥水处理を実施する。

2) 方法及び使用撥水剤

①撥水剤は室内実験結果を踏まえて、分子量の高いシランオリゴマー系を基本とした。

②含浸方法は噴霧器を用い、全体均一に吹き付けて、含浸させた。

3) 目標含浸量

使用量は 0.3 kg/m^2 前後とした。

4) 仕上げ処理

全工程終了後、効果確認（不安定土塊の有無、処理後の強度、色調等）を行い、必要に応じて再処理を実施して終了とした。

(4) 作業手順の概要

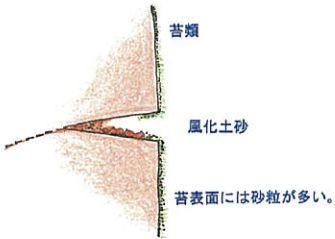
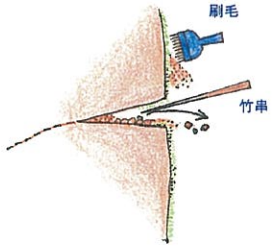
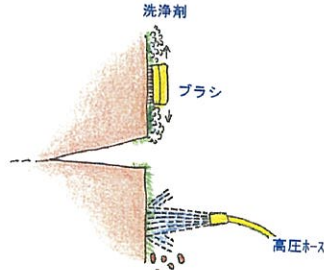
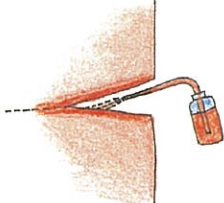
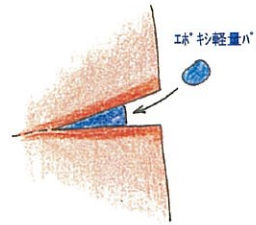
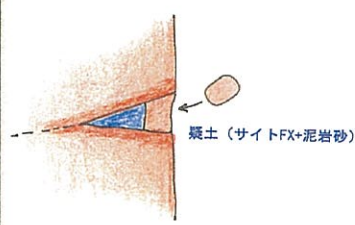
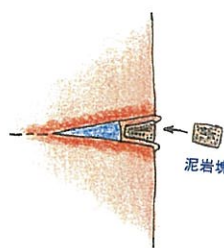
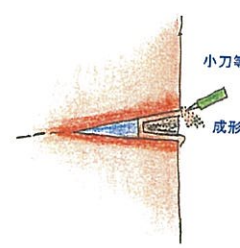
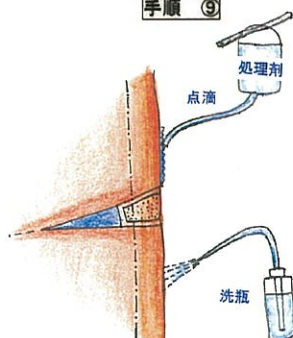
手順 ① 	手順 ② 	手順 ③ 
作業前段階 ・岩盤表面には、苔類が繁茂している。 ・割れ目には風化土砂が入り込んでいる。	壁面表層清掃 ・表面の砂粒は刷毛で清掃する。 ・割れ目の奥の砂粒は竹串で清掃する。	洗浄処理 ・洗浄剤を塗布する。 ・洗浄器 (5kg 水压) で洗浄する。 ・ブラシで表面清掃する。
手順 ④ 	手順 ⑤ 	手順 ⑥ 
下地強化処理 ・割れ目、クラックの下地を浸透性エポキシ樹脂で含浸強化する。	亀裂充填 ・崩落となるキーストンの割れ目の強化。 ・軽量エポキシ樹脂を割れ目奥に充填。 ・充填により割れを接着、楔により修復する。	擬岩処理 (1) ・修復箇所の外観を損なうところは擬岩処理する。
手順 ⑦ 	手順 ⑧ 	手順 ⑨ 
擬岩処理 (2) ・当該地に分布する岩 (泥岩、砂岩) 割れ目に埋め込む。	擬岩修復 ・擬土の盛上り分を半硬化時に周辺形状と調和できるように成形する。	基質強化・表層強化・撥水处理 ・泥岩の空隙充填による強度増加のため基質強化をする。養生は1ヶ月以上。 ・粒子間の接着のため表層強化をする。 ・水分浸透の防止のため撥水处理をする。

図 5-4-2 強化・撥水处理作業の手順の概要

5-4-4 結果と評価

(1) 準備工

1) 足場の設置

処理作業可能な数段の足場を設置し、処理面より25～30cm離れて作業用板があるように組み立てる。不可能な箇所についてもできる限り50cm以内とした。

足場階段踊り場に資材置き場として利用できる場所を2m²以上設ける。

又足場を利用して雨よけとして仮設テントの機能を有するよう設置する。



2) 洗浄用水供給システムの設置

軽トラで積載可能な300L程度のポリタンクを2ヶ準備し、1ヶを現場に設置した。

1ヶを補充用に使用して水を入れトラックにより繰り返し運送する。運ばれた水は水中ポンプで現場タンクに移動させる。



3) 擬岩修復用として同岩石材の準備

擬岩修復用として同岩石材を粉碎し、2mm以下に調粒した石材粉を約100kg準備する。

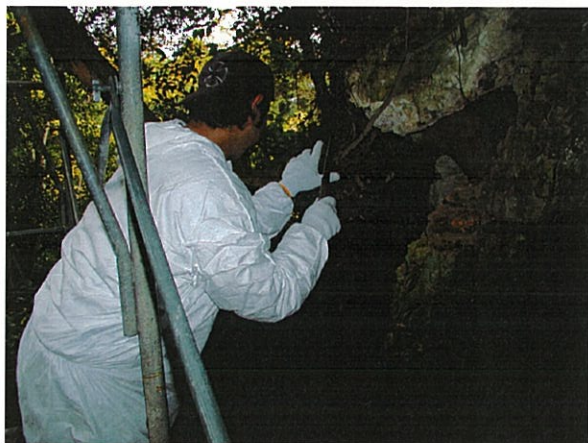


(2) 強化・撥水処理工の全体の流れ

1) 清掃・洗浄処理

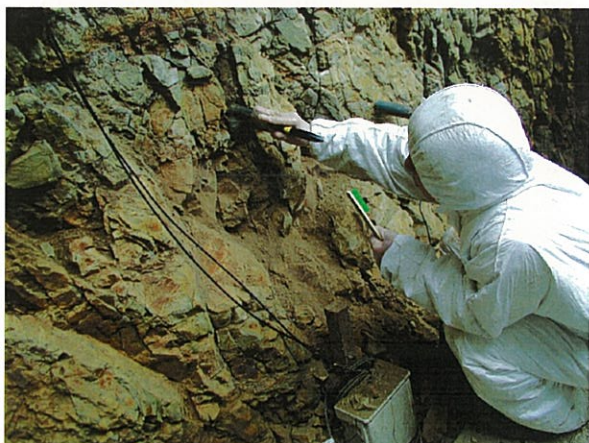
①木・草の伐採

処理上障害になりうる木、草等はこれを取り除いた。ただし、岩壁維持に關与していると思われるものについてはそのままとした。



②清掃と岩片塊の採集

擬岩処理を実施される箇所についてはあらかじめ刷毛等で清掃して、落下するものは取り除き、擬岩用に使用すべく採集・保管した。



③洗浄処理

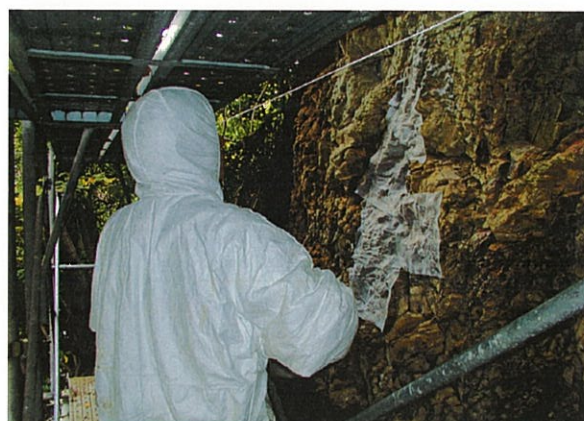
小型高圧洗浄器を用いて約5kg圧で全体を洗浄し、この際崩れるものについては取り除き、岩壁面に十分水を含浸飽和させた。

水を十分飽和後、直ちに準備した洗浄剤を刷毛で塗布し、歯ブラシ、ブラシ等で清掃を試みたが、洗浄剤の表層からの吸収が以外に速いうえ、歯ブラシ等の巾洗浄では崩れる箇所が多く使用不可と判断した。



竹串を束ねてこれを使用し、洗浄器で落とせない箇所については実施した。必要に応じて蒸気洗浄器を併用して実施した。

なお落とせない箇所については、洗浄剤の吸収を防ぐために十分に水を飽和させた後、キッチンペーパーを貼り付け、その上に洗浄剤を塗布して一定時間洗剤蒸しを行ったのち、同作業を実施して取り除き、再度サイトC、F全体を高圧洗浄器で洗浄して洗浄処理を終了した。



2) 下地強化処理



上部の泥岩はほとんど土化しており、植物の茎の生息が多く、これらを引き抜こうとすると、まわりの崩壊を誘う状況にある。そこで、基質強化処理に先立ち、泥岩の土化した箇所を事前に下地強化処理を行うことにした。

下地強化剤として浸透性エポキシ樹脂系を利用した。これを洗浄瓶及び油さしに入れ、土化した箇所は全面含浸させて形状を保持しながら押し固め、石材片については崩壊を防ぐキープポイントとなる接点箇所に油さしで含浸させて強化した。又全体的に大きなブロックとしては、凹み部を利用して、表層に強化剤が滲みでないように注意しながら含浸して強化した。



本強化剤はサイトC、サイトF中央下部、及びサイトG（ロックボルト施工箇所）の下地強化処理にも使用した。

3) クラック部の修復・補強



クラック修復・補強剤としてはエポキシ軽量パテを使用した。

本強化剤は湿潤硬化タイプであり、かつ硬化物比重が0.85で、修復される周辺に自荷重による負担をかけず、又硬化後に切削可能なものである。

クラックに沿って埋め込み、ぐらつき石材片は一旦抜き取りパテ埋め込み後、再度はめ込む方法で修復・強化を行った。

主に石材片接点間に使用し、必要とする箇所についてはその上及びクラック巾に擬岩組成を埋め込んで強化して、外観的にも整えた。



4) 擬岩処理

擬岩用バインダーとして透水性エポキシ樹脂系を選定した。

主剤、硬化剤を計量、混合後、規定量の水を加えて混合、分散させてエマルジョン溶液を作成。これに準備した泥岩粉、砂岩粉を混合して擬岩組成とした。

① サイトC及びサイトFの泥岩部組成

エマルジョン溶液濃度 : 33.5%
バインダー／骨材比 : 1 : 2 重量比

② サイトGの砂岩部組成

エマルジョン溶液濃度 : 40.0%
バインダー／骨材比 : 1 : 4.5 重量比

いずれもまわりの石材強度に近い強度を有するように溶液濃度、充填比を設定した。

サイトF：中央下部



下地強化（接着性を得る為）処理後、同様に擬岩組成と採集しておいた泥岩片を組み合わせ、外観形状を損なわない様に造形修復した。



5) 基質強化処理

基質強化剤としては空气中又は石材中の水分と反応して、石材空隙間にゲルガラス結晶を生成する珪酸エステル系を、防カビ・防藻剤として環状窒素イオウ化合物とトリアジン化合物の防カビ剤を選定した。

含浸作業は、点滴装置又は必要に応じて洗浄瓶を併用して実施した。浸透性は非常に速く、準備した強化剤量を考慮して連続含浸せずに間隔をとって3回に分けて実施した。

全体含浸終了後、間隔を設けて浸透性が高く、脆弱部と考えられる箇所を主に洗浄瓶にて再度含浸処理を実施した。約1ヵ月半の硬化養生期間を設けた。



6) 表層強化処理



表層強化剤として外観を損なうことなく、接着強化出来るものとして3種類準備した。

これを現場石材片に塗布、その効果をあらかじめ表層強化処理実施前に確認実験をした。

接着効果は変わらないが、外観的判断から光沢が出ない仕上がりとなるアクリルエステル溶液を選択した。

パテ詰め修復できる箇所についてはこれを実施し、実施不可能と判断した箇所については表層強化剤を重点的に含浸することとした。



表面が脆弱と思われる白色表層面については、スプレーにて表層全体に外観を損なわれないよう吹き付け含浸を実施した。



7) 撥水处理

当該地は微細なクラックが多数存在するため、浸透性の優れる撥水剤では泥岩表層面に残らず、その効果は著しく損なわれる恐れがある。そこで、多少分子量が高く、かつ溶剤を添加した後、溶剤の蒸発する性質を利用して一旦深く浸透したシラン分子を表層面に引き上げてその効果を得られるシランオリゴマー系撥水剤を選定した。

①サイトC：1次撥水处理

撥水剤を4L噴霧器に入れ、これを吹き付け含浸した。特に雨等がかかり、苔が生育していた上部及び側壁部には重点的に含浸させた。

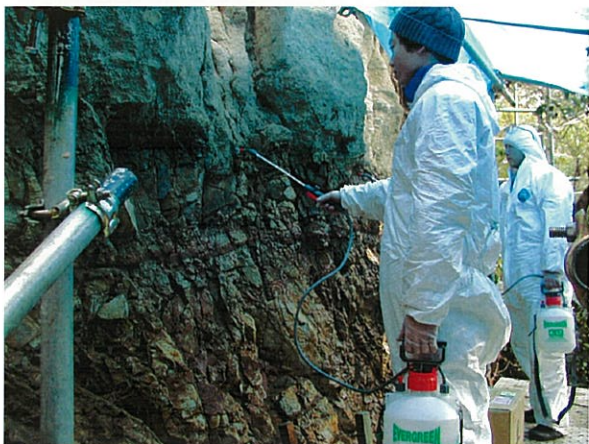


②サイトF：1次撥水处理



③サイトC及びサイトF：2次撥水处理

2次撥水处理：1次処理後、約1日間の溶剤蒸発期間を設けた後実施した。1次処理は噴霧器からやや線状で含浸したが、2次処理は完全霧状含浸で実施した。



(3) 強化・撥水处理全体施工のまとめ

①洗浄剤

泥岩についてはあらかじめいくら水を飽和させても吸収が早く、直後の洗浄剤塗布でも岩への洗浄剤吸収は避けられない。本サイトではペーパー貼り付け後実施したが、原則的に使用を控えることが望ましい。手間はかかるが、水の使用量を低減する意味からも、物理的に苔・地衣類をハギ取り清掃することが重要である。

②下地強化剤

泥岩浮き部の裏は土化されて、植物の根等も生息しこれが落下の大きな原因と考えられる。これらの土固めに浸透性エポキシ樹脂系強化剤は非常に有効であった。浸透性が高いためクラック巾から注入することにより、大きな岩塊間の固定接着にも有効に働いていることが確認できた。今後の泥岩保存強化処理には必要な薬剤と考えられる。

③クラック修復・擬岩処理

泥岩の場合、クラック修復にいきなり擬岩組成を使用することは、表層が脆弱な上、クラック巾が狭いために不可能な箇所が多い。そのためまわりに負担をかけない軽量EAパテで予め補強（接着）した後で修復することが望ましい。

擬岩修復は各岩の粉碎粒度巾を広く取り込むことにより、外観的にも周囲の岩壁と十分類似した質感の擬岩が得られることが確認できた。

④基質強化処理・表層強化処理

基質強化剤について事前に試験を実施し、本サイトでは泥岩に対しては 4 kg/m^2 設計であったが、予想以上の割れ目が存在することにより、完全含浸すれば設計量の3倍量は十分に含浸する状態であった。ただし、完全含浸による弊害も考えられる。つまり、泥岩の凝結力が余りにも弱すぎる点で、強化剤の結晶生成反応時における内部応力に対しての抵抗力の弱さが考えられるので、含浸量は多くて本設計量の1.5倍が適当と現段階では考えられる。これらを補う意味での表層強化剤（粒子間接着）であるが、泥岩については基質強化（密度増加）と同時に粒子間接着を与える薬剤の研究・開発が望まれる。

⑤撥水处理

泥岩の撥水处理にシランモノマー系の薬剤を使用することは、浸透性が優れるために、その効果を十分に発揮するにはかなりの量の含浸量を必要とする（基質強化剤の含浸量が制限されるため）。

このため本処理については、分子量の高いアルコキシシランモノマー又はオリゴマー、ポリマーの使用が望ましい。同時に溶剤カット品とすれば、溶剤揮発にともなう表層残留が期待できる。また含浸方法は、溶剤の蒸発期間を設けて2～3回に分けて含浸することで、より効果が期待出来ると考える。

(4) 強度評価

基質強化処理により逗子層泥岩自体が処理前と処理後で強度がどれほど増加したか、非破壊調査としてシュミットハンマーテストを実施し、その反発度から圧縮強度を推定することにより効果の確認を行った。

①試験状況

試験は基質強化処理後1ヶ月に実施した。

試験位置は、サイトC壁面の上段、中段、下段の任意3箇所とした。試験箇所は、処理前・処理後とも強度比較のため同一箇所とした。



基質強化処理前



処理後1ヶ月

②試験結果

シュミットハンマーテストの結果を表5-4-1に示す。圧縮強度は、シュミットハンマーテストの反発度(R)から推定したものである。圧縮強度の推定式は日本材料学会式を用いた。

これによれば、圧縮強度は基質強化処理前に比較し、14～21%の増加があり対策効果が現れている。

表5-4-1 基質強化処理前・後の圧縮強度の変化

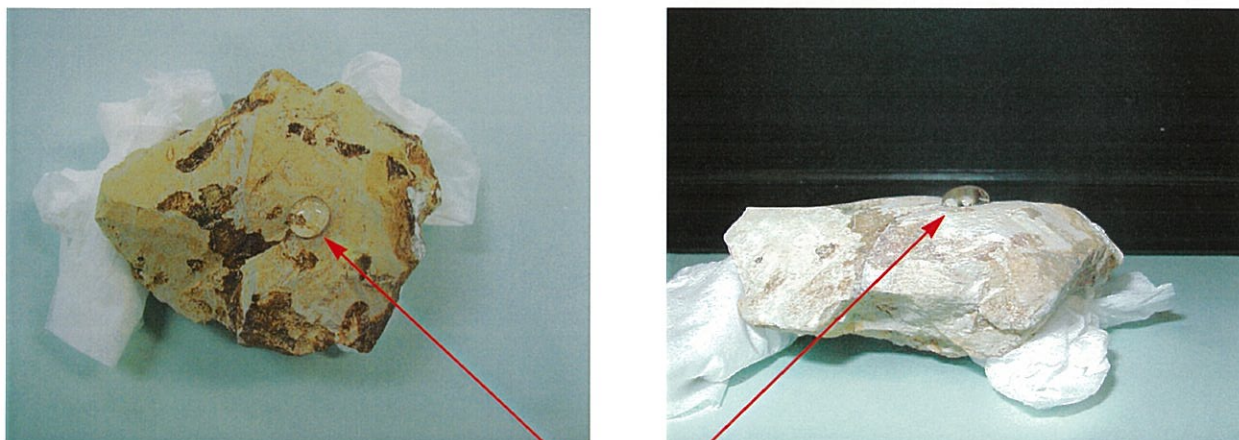
試験箇所	強化処理前 (a)	強化処理後 (b)	増加率(b)/(a)
サイトC：上段	1286.5	1462.0	1.14
サイトC：中段	1033.0	1254.0	1.21
サイトC：下段	1020.0	1234.5	1.21

単位：kN/m²

(5) 撥水処理効果の確認

撥水処理施工中に、施工サイトに置いた泥岩供試体にも同様に撥水処理剤を含浸させた。その供試体に水滴を垂らした状況が写真 5-4-1 である。水滴は泥岩内部に浸透せず、表面張力により水滴粒として存在した。この状態を24時間確認したが水滴は浸透せず、このままの状態を保った。このことより、現地の逗子層泥岩にも撥水効果は十分得られたものと判断できる。

写真 5-4-1 撥水処理後の泥岩の撥水効果



撥水処理した泥岩に水滴を垂らした状態。
撥水効果は極めて良好で水滴は浸透せず表面張力により岩石表面上に水滴粒として存在した。

(6) モニタリング（追跡効果確認調査）

強化処理及び撥水処理の効果を確認するため、試験施工後の追跡調査を行うことが重要である。調査項目としては次のとおりである。

- ① 未処理領域と処理領域との崩落土砂の測定
- ② 施工前と施工後の色調観察（曝露試験）

これらの結果より、対策効果を定性的・定量的に評価していく考えである。

(7) 逗子層泥岩の崩落対策の基本的な考え方

1) 切通の崩落のメカニズムと対策方針

切通の崩落のメカニズムは第2章で述べたとおりであり、当該地に分布する性質の異なる2層の地層（逗子層泥岩と池子層砂岩）の風化によるものである。そのメカニズムは次のとおりである。

①壁面部分で下位の逗子層泥岩の風化が先行して崩落する。

②壁面下方の逗子層泥岩が崩落することにより、上位の池子層砂岩がオーバーハングして崩落する。

③これらサイクルが長期にわたり繰り返され現在の状態に至っている。

すなわち、崩落を防止するには逗子層泥岩の風化を抑制・抑止することが重要である。

平成14年度には逗子層泥岩の風化メカニズムとして室内試験を実施し、その風化促進の主因はスレーキングであることが判明している。風化防止対策を行うには、このスレーキングの現象を理解し、その防止方法が切通の崩落対策の一つであることは過言ではない。

2) スレーキング現象と泥岩の風化防止について

スレーキングという現象は、軟岩（特に泥岩）に含まれるスメクタイトという種類の粘土鉱物が原因となって、その構造の層間に交換性陽イオンや水分子を吸着したり、放出したりすることにより粘土鉱物自体が膨張・収縮し、これが軟岩（泥岩）を早期に劣化させ細片状～粘土状にする現象である。自然現象としては、湿潤（降雨）・乾燥（日照り）の繰り返しが泥岩の風化を促進させる。土質工学的に言うと泥岩内部の含水比の変化がスレーキング現象を助長させる。この現象を阻止するには、泥岩内部の含水比を上昇させず、降雨を泥岩内部に浸透させないことが重要である。

3) 逗子層泥岩の崩落対策としての強化・撥水処理の基本的な考え方

泥岩のスレーキングを防止させるには、その現象・性質を理解し、可能性のある対策を複数の手法で講ずることにより効果が発揮できるものとする。

スレーキング現象を防止させるには下記の対策が基本と考える。

①泥岩の含水比の変化防止（間隙を小さくする処理：基質強化処理）

泥岩など粘土・シルト系の粒子により構成される岩の間隙は大きい。すなわち、粒子間に水を保持しやすい構造となっている。この間隙を小さくすることにより、含水比の変化を極力小さくすることができる。間隙を小さくすることは密度増加になり、岩そのものの強度も増加する。今回の基質強化は、泥岩の間隙にある水分（間隙水）に珪酸エステル系の薬剤を含浸させることにより珪酸ゲル結晶を生成させ、これにより間隙を小さくさせる。

なお、この基質強化では、間隙に珪酸ゲル結晶を生成させる密度増加しか期待できないため（曝露試験結果P.98参照より）、次の処理ステップとして表層強化を施すことにした。なお、現状泥岩の表面に見られる開口したクラックや亀裂に関してはパテ剤（エポキシ樹脂系）を竹串等で充填させる下地強化処理を施した。

②粒子間の接着強化（せん断強度を増加させる：表層強化）

①の基質強化処理だけでは、粘度・シルト系粒子同士の接着効果は期待できないため、泥岩のせん断強度の増加及び微細な亀裂を接着させるために表層強化処理を施すことにした。処理剤

は耐候性であるアクリルエステル系を用い、光沢がでない薬剤を選定した。この薬剤は、低分子で浸透性に優れ、深部まで含浸し、岩の内部から強化する。

③泥岩表面からの浸透防止（雨水などを遮水させる：撥水处理）

①及び②の処理を施しても、泥岩の間隙を完全に充填できるわけではない。これらは曝露試験結果を見れば明白のように、その効力の違い（強化処理剤と撥水处理剤）は顕著に現れていた。曝露試験で判明したように、泥岩表面からの浸透防止（撥水剤処理）が最も風化防止効果が優れていた。すなわち、泥岩の風化防止は基質強化による密度増加、表層強化によるせん断強度増加、さらに全体の最終処理仕上げとして、撥水处理による浸透防止、の3段階の化学的処理がスレーキングのメカニズムを考慮した対策と考えた。撥水剤としては、シラン系、高分子のオリゴマー系薬剤を使用し、表層で硬化させた。その基本的な処理の流れを図5-4-3に示す。

逗子層泥岩の崩落対策の基本的な考え方

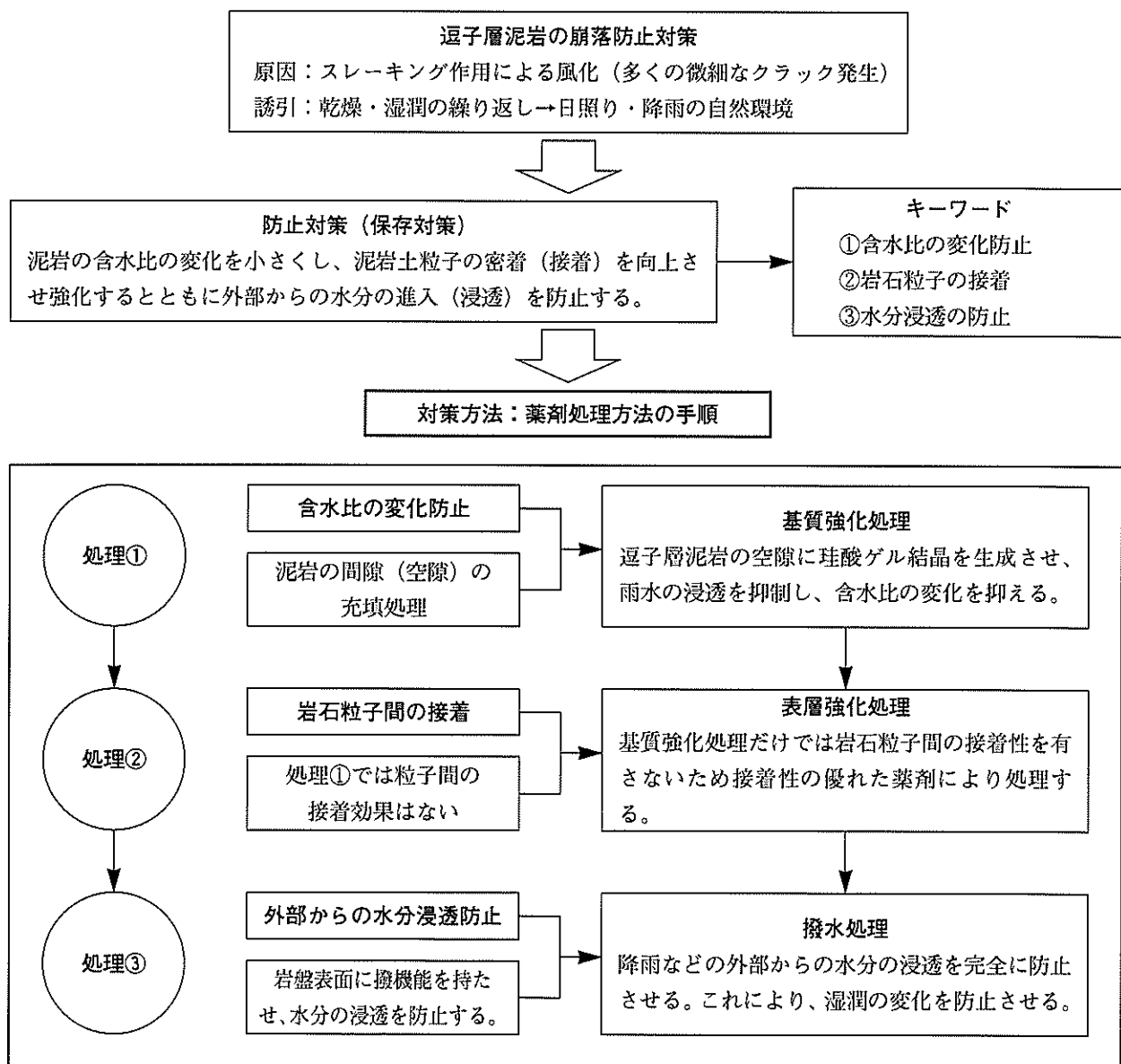


図5-4-3 逗子層泥岩の崩落対策の基本的な考え方

比較的割れ目の大きな岩盤を対象にする。岩盤の亀裂部分に充填材を注入し、岩同士を密着させることで安定性を確保するものであり、その施工性を試験施工で確認する。

[illegible]

図 5—5—1 亀裂充填工施工箇所



写真 5-5-1 割れ目状況 (施工前)

サイトGでは、比較的割れ目大きい箇所について亀裂充填として目地工及び注入工の施工を行い、その施工性・景観性（周辺との調和）・接着効果の有効性について検討した。

5-5-3 施工内容与方法

1) 清掃ならびに水洗工

亀裂・空隙部に堆積している土砂等を手動の圧力水によって慎重に除去し、特に表層に近い部分のモルタル接着面を入念にケレンして洗浄した。

この作業は、一度に行うと岩塊の剥落を誘発する危険があるので、次に述べる目地詰め作業の直前に少区間（概ね1m単位）ごとに行った。

2) 目地工

所定の配合で混練した目地モルタル（DKボンドモルタル）を、手作業で亀裂の側面にこすりつけながら亀裂を閉塞していく。完成表面は岩表面から少なくとも5cm、大きな亀裂では10cm奥に留めた。

また、目地モルタルには微量の顔料（セメント量の2%程度）を混入してセメント色を消すとともに、現地に類似した石片を貼り付けることによって景観に配慮した。

3) 注入工

目地モルタルに設置した注入孔から、所定の配合で混練した注入モルタルを注入する。この作業は一般には機械施工であるが、この現場では岩塊に圧力が加わると剥落を起こす危険があり、また数量規模からみて慎重を期すため、手作業で行った。

今回使用した充填剤は、①EVAと呼ばれる高分子樹脂接着増強剤を主剤とした「DKハイエマルジョン」と、②セメント、珪砂その他混和剤を工場配合した「DKボンドフィラー」および③清水、を所定の重量比で現場配合したものである。

この工法は岩塊表面には全く手を加えないものであることから自然景観の保全に有効で、多くの国立、国定公園などで採用されている。

施工手順説明図



図5-5-2 亀裂充填工の施工手順の概要

5－5－4 結果と評価

1) 施工状況

亀裂充填工は前述したように、清掃→目地工→注入工の順で実施した。その施工状況の写真を示す。

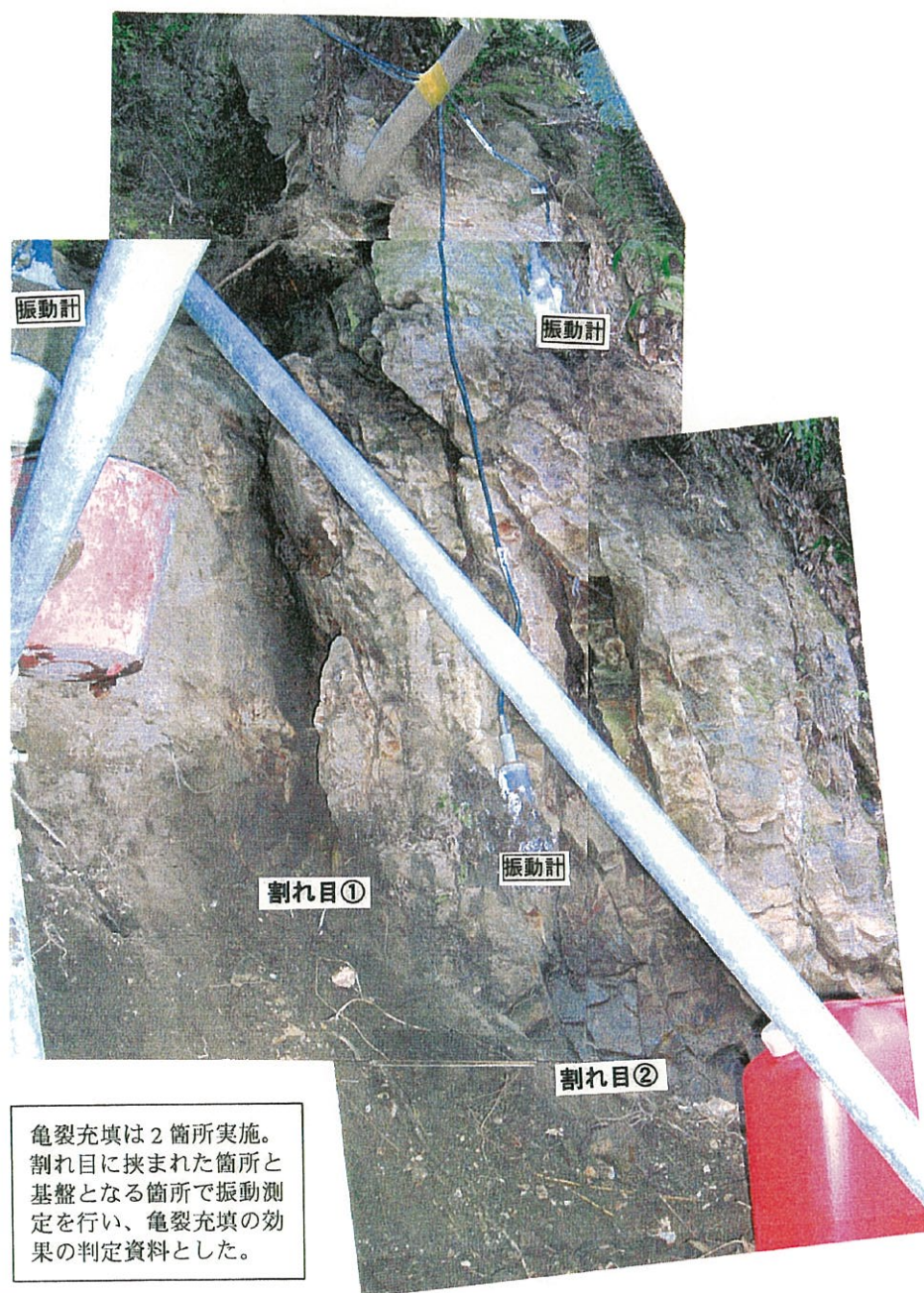


写真 5－5－2 施工箇所全景



写真 5-5-3 清掃状況（水洗い）

通常、大規模な工事であればジェットポンプ等を利用するが、割れ目が非常に脆いため手作業により清掃。



写真 5-5-4 清掃状況（ワイヤーブラシ）

岩盤に付着している苔類をワイヤーブラシで落とす。



写真 5-5-5 目地工の施工状況

DKボンドモルタル及び周辺の岩片とで割れ目を閉じていく。



写真 5-5-6 目地立ち上げ状況
DKボンドモルタルと岩片とで割れ目を閉じていく。



写真 5-5-7 目地工完了
目地工終了後、モルタル注入を行う。
(青いホースが注入口となる)



写真 5-5-8 注入モルタル
注入ホースより手作業で注入する。口元
までモルタルが溢れるまで作業を続ける。

2) 施工性について

サイトCと異なり、ここでの亀裂充填は比較的大きな割れ目・亀裂を対象にしたもので、平成16年度に実施するサイトB及びサイトE、Fの試験施工的な目的で実施した。

今回の施工性について把握できたことは次のとおりである。

①清掃・洗浄は、サイトCと同様に、対象岩盤が非常に脆いこともあり、きめ細かく刷毛等で慎重に行う必要がある。

②水洗い洗浄は、高圧であり、剥離・崩落が生じるためで行わない。

③目地工における配合は設計値で十分機能は発揮できることが確認できた。

DKハイエマルジョン：水：DKボンドフィラー＝1：2：15

④目地工における石片接着は、周辺の見栄えを配慮する必要がある。割れ目を尊重する場合はあえて石片は加えず、対象岩盤の粉碎土粒子を加える方が景観性は良い。

⑤注入時に目地からの漏洩は認められなかった。→③の効果確認。

⑥注入工における配合も設計値で十分機能が発揮できることが確認された。

DKハイエマルジョン：水：DKボンドフィラー＝1：2：9

⑦注入の際は目詰りに十分注意する必要がある。

3) 引張り接着強さ

下記のような供試体を作成し、14日強度を確認した。

試験結果は表 5-5-1 のとおりである。

表 5-5-1 引張り接着強さ

供試体No	引張り接着強さ	備 考
1	0.41	岩片の内部破断
2	0.41	岩片の内部破断
3	0.33	岩片の内部破断
平 均	0.38	管理値0.25 (OK)

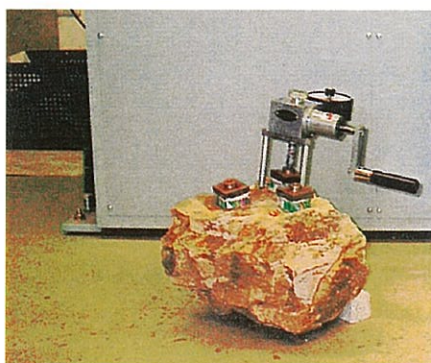


写真 5-5-9 引張り接着強さ試験の状況

4) 岩接着の効果確認

落石危険度振動調査法を用いて岩接着の効果確認を行った。落石危険度振動調査法とは、落下の危険が予測される岩体（浮石部）とその周辺の基盤岩（基盤部）の振動測定を行い、振動特性の違いから落石危険度を把握する調査方法である。この調査を現地で用い、亀裂充填の効果の確認を行った。

評価の方法は、施工前の基盤部と浮石部の振動特性の変化より判断した。

図 5-5-3 及び図 5-5-4 は施工前と施工後の振動測定結果である。

基盤部の振動計

浮石部の振動計



写真 5-5-10 振動計設置状況



写真 5-5-11 測定本部

浮石部の波形

基盤部の波形



図 5-5-3 振動測定（亀裂充填施工前）

浮石部と基盤部で測定された波形は同じ振動源（例えば電車走行）でありながら振動波形が異なる。これは浮石部がぐらついており、振動振幅が大きくなったものと考えられる。

浮石部の波形

基盤部の波形



図 5-5-4 振動測定（亀裂充填施工後）

浮石部と基盤部で測定された波形が類似している。これは浮石部が基盤部と一体化したものと考えられる。

図 5-5-5 は RMS 速度振幅比による岩接着効果の評価である。

施工前では不安定領域もしくはそれに近い結果であったのに対し、施工後ではほとんどが安定領域にプロットされている。これは浮石部の落石危険度が不安定領域から安定領域へ移行したことを示す。この結果から、岩接着により浮石部と基盤部が一体化してことがわかり、岩接着（亀裂充填）した効果が確認できたといえる。

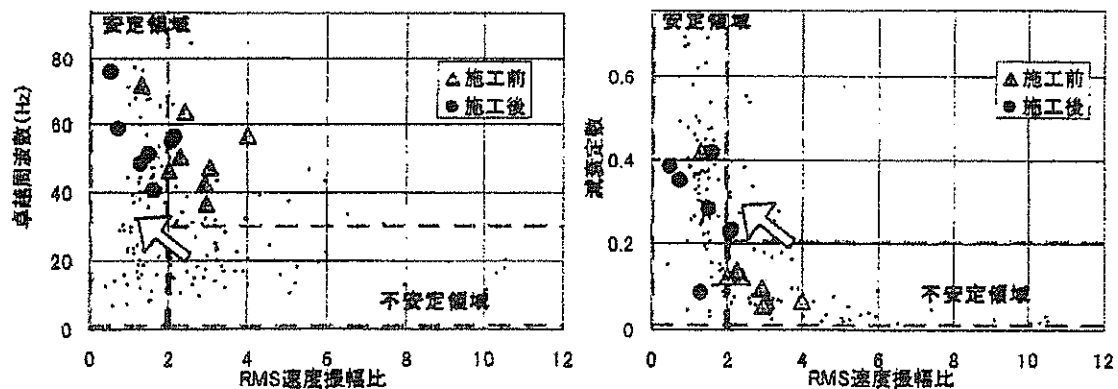


図 5-5-5 施工前・後の落石危険度比較（RMS速度振幅比～卓越周波数）

5 - 6 平成15年度事業のまとめ

切通部の崩落対策及び保存対策のために、これまでの調査・検討結果を踏まえて最適な工法及び材料、施工性、対策効果を確認することを目的として試験施工を実施した。

(1) グラウト注入工

サイトBの背面岩盤は割れ目が多いため、尾根全体の安定性を向上させるためグラウト注入を行った。グラウトは大きな割れ目を対象にした1次注入と微細な亀裂等を対象にした2次注入の2段階に分けて施工を行った。結果は計画とおりの注入量であり、定性的評価、定量的評価とも対策効果が確認された。

- ・ 1次注入量は計画の50%程度、2次注入量は150%程度であり、全体量はほぼ計画どおりであった。2次注入が多くなったのは、亀裂が多く存在し、池子層砂岩の粒子間に多くのグラウト剤が注入されたためと考えられる。
- ・ 強度の増加率は1.35倍程度であり、注入前の強度と比較して全体の強度のバラツキが小さくなった。均質な注入が行われ、強度が増加し尾根全体の安定性は向上できたものと考えられる。

(2) ロックボルト工（引き抜き試験）

平成16年度の本施工に計画されているロックボルト工の施工性、景観性（頭部の擬岩処理）及び池子層砂岩の設計強度（引き抜き試験）を事前に把握するために実施した。結果は施工性及び景観には問題なく、設計強度としては当初の「軟岩」評価を安全側の「風化岩」評価とすることにした。

- ・ 景観性を重要視するため、ロックボルトの頭部は埋込みとした。この頭部処理はコア抜きを行い、最終処理は擬岩処理を行った。
- ・ コア抜き及びロックボルト打設のための削孔や鉄筋棒挿入に関しては全く問題なく、頭部ボルトの締め付けに対しても周辺にクラックの発生やクリープ変形も認められなかった。
- ・ 擬岩処理は、①擬土による削孔跡の埋戻し→②擬土の成形→③周辺と調和するための着色処理の手順により行った。結果としては周辺の景観と違和感は全くなく、本工法の有効性を確認できた。但し、これら一連の作業は慎重かつ丁寧に行い、繰り返しの作業が必要である。
- ・ ロックボルト設計に用いる周面摩擦抵抗値を把握するために引抜き試験を実施した。事前の検討では既往ボーリング結果より、「軟岩」評価としていたが、試験結果より「風化岩」評価とした。「風化岩」は「軟岩」より強度的に1ランク下の分類評価で、より安全側に評価することにした。

(3) 強化・撥水処理工

返子層泥岩の風化（スレーキング）による崩壊を抑制するために、サイトC及びサイトF下段において強化・撥水処理を実施した。処理作業は基質強化処理及び撥水処理を主にするが、現地の状況判断により、更に下地強化、表層強化の補助強化処理も実施した。結果として、強度は約20%の増加が確認され、撥水も水が浸透しないほどの効果が確認できた。

- ・下地強化は、風化により土化した泥岩の一部の基質強化処理に先立ち、土固めとして浸透性エポキシ樹脂系を含浸させた。大きな岩塊間の固定接着にも有効に働いていることも確認できた。
- ・泥岩の場合、クラック修復にいきなり擬岩組成を使用することは、表層が脆弱な上、クラック巾が狭いために不可能な箇所が多いため、まわりに負担をかけない軽量パテで予め補強（接着）した。擬岩修復は各岩の粉碎粒度巾を広く取り込むことにより、十分に外観的にも類以した質感の擬岩が得られることが確認できた。
- ・基質強化剤は、事前に実施した試験結果を基に、本サイトでは泥岩に対して 4 kg/m^2 で設計したが、予想以上の割れ目が存在することにより、完全含浸すれば設計量の3倍量は十分に含浸する状態であった。
- ・撥水剤は、分子量の高いシランオリゴマー系を使用した。含浸方法は、溶剤の蒸発期間を設けて2～3回に分け含浸することがより効果が期待出来ると考える。
- ・強度の増加確認のため、非破壊調査としてシュミットハンマーテストを実施した。反発度から推定した圧縮強度は処理前強度に比較し、約20%の強度増加が確認された。

(4) 亀裂充填工

サイトB及びサイトEの大きな割れ目を補強対策するための試験施工として、サイトGにおいて亀裂充填工を行った。本工法は①大きな割れ目を目地工で塞ぎ、②目地工背面の空洞部（元々の割れ目）に接着効果のあるモルタルを注入することにより岩盤を一体化するものである。結果として、接着効果（引張り強度）は十分期待でき、施工後の振動特性も向上することが判った。

- ・本工法の施工性、景観性や確実性は本試験施工で確認できた。但し、施工は機械施工に頼らず、手作業により慎重かつ丁寧に行う必要がある。対象となる割れ目毎に、事前に施工方針を検討・計画することが重要である。
- ・引張り強度は、十分設計値を確保でき、本試験施工での配合を本施工に用いても問題ないものとする。
- ・施工後の振動特性は向上され、浮石部は基盤岩と同等な振動特性を有する結果が得られ、本工法の有効性が確認できた。