

4章 崩落対策工事

4-1 崩落対策工法の種類と適用方針

4-1-1 崩落対策の基本方針

崩落対策工法を適用するにあたっては、下記の事項を基本方針とした。

＜名越切通における崩落対策の基本方針＞

切通部を通行可能な状態に整備し、一般に公開する。

* ただし、整備（崩落対策）の内容、規模によっては、制約条件（降雨、地震等の条件）を定める必要がある。

上記の基本方針と対極の方向として、「切通部を通行せずに迂回路を設け、外側から史跡を眺望する」といった案も考えられるが、名越切通は「交通遺跡」であり、現在も通行路としての役割を担う市道でもあることから、制約を持たせず常時公開活用するよう整備することが望ましいといえる。したがって、「**切通通行**」を原則と考えて崩落対策の検討を行うことにした。

4-1-2 工法検討の流れ

崩落対策工法を検討するにあたっては、上記の基本方針をはじめ、安全な公開活用のための崩落対策、史跡としての価値を失わないための保存対策を勘案することが必要である。

図4-1-1に、名越切通における崩落対策検討の流れを示す。

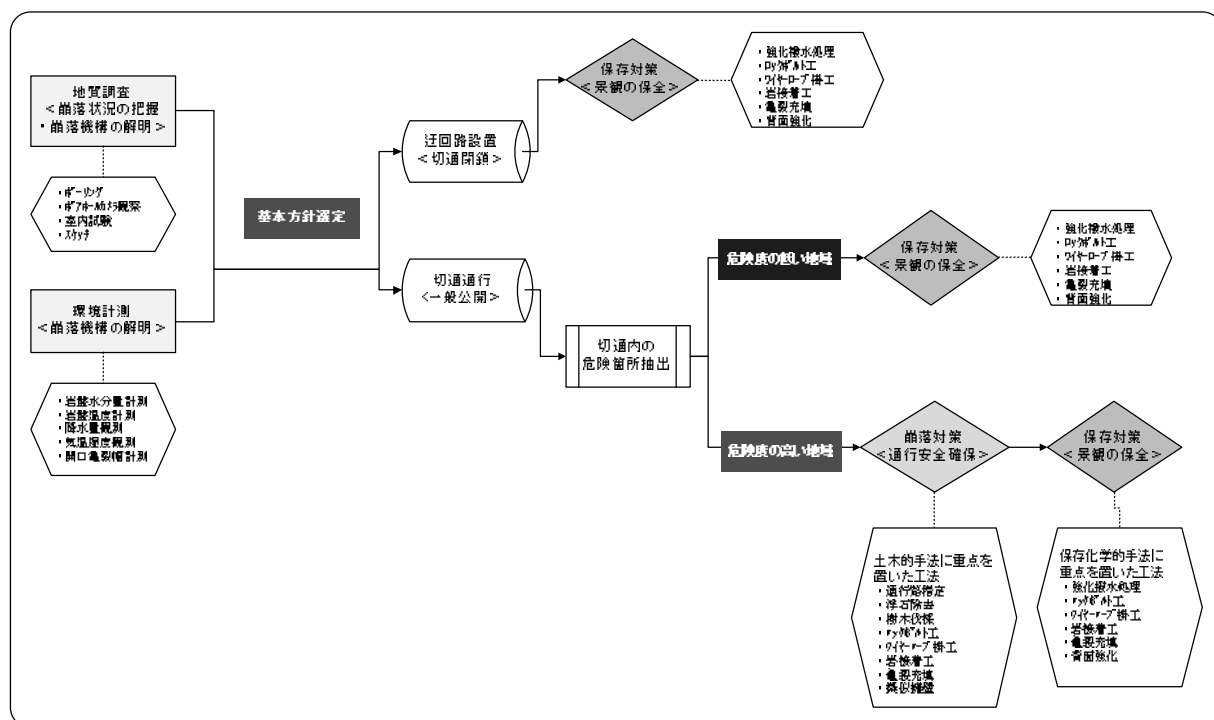


図 4-1-1 崩落・保存対策の検討の流れ

4-1-3 切通内の危険箇所の抽出

崩落対策の検討にあたっては、切通壁のスケッチをすることにより、岩盤性状把握・危険箇所の抽出を行い、切通部をA～Gの7箇所（サイト）に区分した。この区分ごとに、リスク要素からみた工法選定を行った。

図4-1-2に、岩盤区分と危険箇所の抽出の区分図を示す。

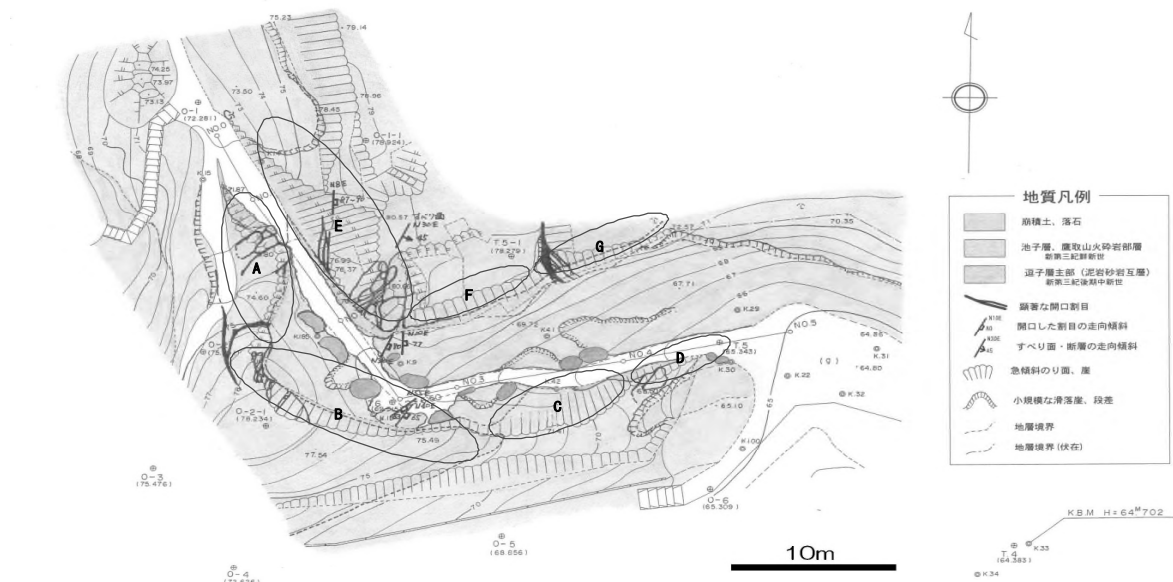


図4-1-2 切通部における岩盤区分と危険箇所抽出の区分

切通部には池子層砂岩と逗子層泥岩が分布する。両層とも新第三紀の三浦層群に属し、スレーキング特性を有する。これまでの地質調査・環境計測により切通壁面の崩壊機構・崩壊形態が明らかにし、今後発生が予想される崩壊形態を推測した。以下に簡潔に述べる。

池子層砂岩

- ・ 崩壊規模は大きい。
- ・ 下位の逗子層泥岩の崩壊に伴いオーバーハングし、重力的に不安定となり崩落する。
- ・ 浮石状の岩塊が崩落する。

逗子層泥岩

- ・ 崩壊規模は小さい。
- ・ 切通北側壁面は日照が良いため、乾湿繰返しによりスレーキングが発生し、ボロボロと崩壊する。
- ・ 切通南側は岩盤芯部まで風化が進行し、亀裂が発達した状態であり、表層が緩んでボロボロと崩壊する。

対策は岩盤の性質や崩落のメカニズムより、次のような目安となる。

- | | | |
|---------|---|-------------|
| ① 逗子層泥岩 | → | 保存対策（化学的手法） |
| ② 池子層砂岩 | → | 崩落対策（土木的手法） |

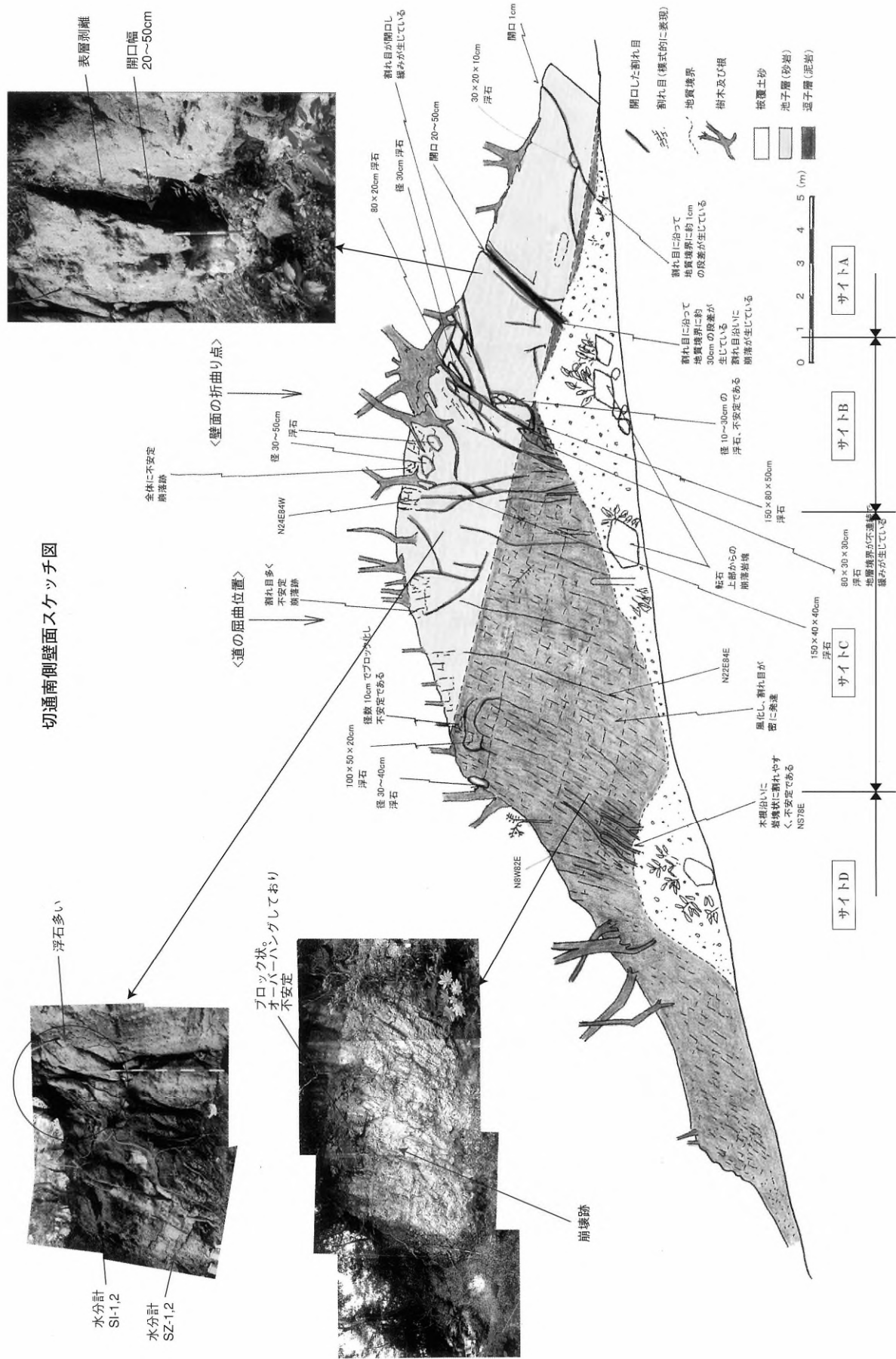


図 4-1-3 切通南側壁面スケッチ図

切通北側壁面スケッチ図

オーバーハング

浮石

オーバーハング
土層が30cm程度
張り出している

NS0W15N
差し目

浮石が密集している
φ20~50cm

N16E00W

浮石 φ50cm
浮石 φ20cm
隙間部に
透み出し程度の
湧水が認められる
コケが生えている

浮石 φ40cm

浮石 φ25cm

木の根が
割れ目内に
入りこんでいる

全体がφ30~50cmの
浮き石状となっている

崩落跡、
幅2m、深さ0.5m
木の根が入りこんでいる

崩落岩塊
松石φ60cm
上部からの
崩落岩塊

開口割れ目 (Γ=2mm)
N25W00E

開口割れ目 (Γ=1~2mm)
N30E75S

風化し、割れ目が発達

開口した割れ目

割れ目 (模式的に表現)

地質境界

樹木及び根

被覆土砂

池子層 (砂岩)

遮子層 (泥岩)

サイトE

サイトF

サイトG

0 1 2 3 4 5 (m)

図4-1-4 切通北側壁面スケッチ図

4-1-4 リスク要素と対策工選定の基本方針

本史跡では、リスク要素の種類により実施する対策工が異なる。以下に方針を示す。

★危険度の高い地域

「切通部の通行」を基本方針とするため、市道としての通行者の安全を確保するための**崩落対策**を優先した上で、史跡の景観保存を目的とした**保存対策**を実施する。すなわち、複合的な対策を講じる。

★危険度の低い地域

史跡の景観保存を目的とした**保存対策**を優先する。極力、崩落対策工法は採用しない。なお、現状、崩落・表層剥離等がない安定している地域については極力手を加えず、監視管理による現状保存を基本とする。

切通部の危険リスクと対策の基本方針

- ① 人命に係わるリスク
- ② 人の傷害（損傷）に係わるリスク
- ③ 切通全体の景観（大崩落）を損なうリスク
- ④ 切通一部の景観を損なうリスク
- ⑤ 切通の表面崩落のリスク

崩落対策

↑
重要度

↓
保存対策

ここで言うリスク要素とは

- ・浮石
- ・オーバーハング
- ・落石
- ・割れ目
- ・亀裂
- ・表層剥離 等を考える

4-1-5 対策工の区分と選定

本史跡で検討される対策工の区分は、表4-1-1に示すように崩落対策と保存対策の2通りに区分される。既に述べたように、崩落対策は人命等に係わるリスクを対象に、保存対策は史跡の景観等に損なうリスクを対象に対策工の選定を考える。

表4-1-2は前述した各地域の地質・岩盤状況と予想される落石（リスク要素）および崩落対策・保存対策の工法の適用性についてまとめたものである。

この表を参考に各地域の対策の方向性を検討した。

表 4－1－1 対策工の区分

対策工	目的	工種	検討方法
崩落対策	通行者の安全確保	通行路指定 浮石除去・樹木伐採 ロックボルト工 棚式補強工 岩接着工 亀裂充填 擬似擁壁	・地質調査結果・現地試験施工結果から適切な工法を選定する。 ・通行者の安全を最優先するため、土木工法を中心とする。
保存対策	切通部の形状・風合い等の景観保存	強化撥水处理 岩接着工 亀裂充填 背面強化	・地質調査結果・環境計測結果・室内試験施工結果・現地試験施工結果から適切な工法を選定する。 ・できるだけ景観を損なわない保存工法を中心とする。

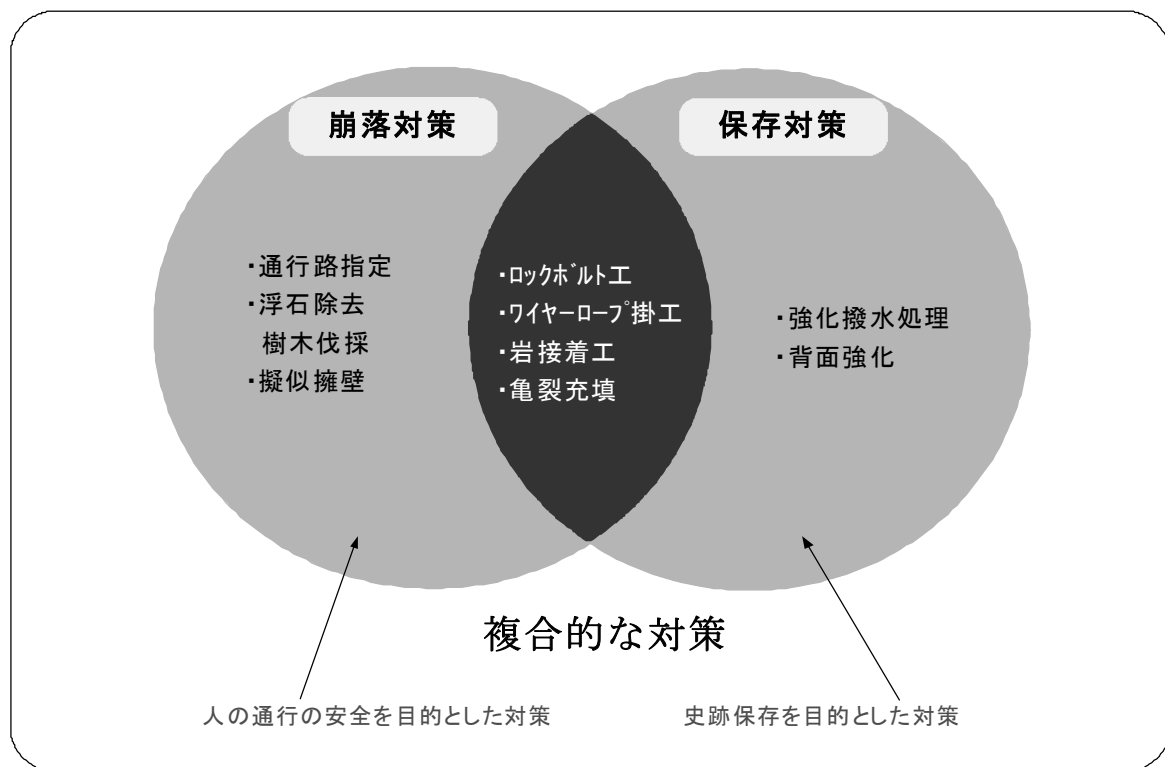


図 4－1－5 崩落対策・保存対策概念図

表 4-1-2 各地域における崩落対策・保存対策

	地 域	地 質・岩 壁 状 況			予 想 さ れ る 落 石			崩 落 対 策						保 存 対 策				備 考								
		地 質	亀 裂 状 況	備 考	落 差	規 模	発 生 頻 度	緩 衝 地 帯	危 険 性	通 行 路 指 定	ロープ 工事	補強工	浮石 除去	亀裂 充填	擬似 擁壁	強化掘削 処理	ロープ 工事		補強工	亀裂 充填	背面強化					
南 側	A	砂岩 泥岩 (砂岩主体)	幅 20～50cm の高角度の開口亀裂有り。	緩んだ岩壁となっている。開口亀裂部が不安定となり崩壊している。	2m ～ 3m	数 10cm	中	無	小	×	△	×	×	△	×	×	●	△	×	×	岩塊の移動を止めるためにロック 0.7m を実施する。開口幅 20～50cm の亀裂は充填し、表面は緩衝材で化粧するのが望ましい。					
	B	砂岩 泥岩	幅数 cm の開口亀裂有り。亀裂間隔は数 10cm 程度。亀裂沿いには樹根が入りこんでいる。	径 10～150cm 程度の浮石が認められる。	1m ～ 5m	10 ～150 cm	中	有	中		現状、危険性は小さい										△					
	C	砂岩 泥岩 (泥岩主体)	砂岩は開口亀裂が認められ、亀裂間隔は数 10cm。泥岩は密着した亀裂で、亀裂間隔は数 cm 程度。	泥岩（逆子層）が崩壊し、上位の砂岩（池子層）がオーバーハングしている。砂岩は不安定である。	2m ～ 3m	数 cm ～ 数 10cm	大	無	大	●	△	△	×	×	×	×	●	×	△	×	△	現在の通路を北側へ移動し、緩衝地帯を設ける。または不安定部分に擬似擁壁を設置するのが効果的な対策工と言える。				
	D	泥岩	密着した亀裂が認められ、亀裂間隔は数 cm 程度。	表層がボロボロと崩壊する。	2m 以下	数 cm ～ 30cm	小	有	小		現状、危険性は小さい										△	緩衝面があり、落差が小さいため、現状、危険性は小さい。通路を北側へ移動し、緩衝地帯を広く設ければ、より効果的である。				
北 側	E	砂岩 泥岩 (砂岩主体)	幅数 cm の高角度の開口亀裂が卓越。亀裂沿いには樹根が入りこんでいる。	径数 10cm～100cm 程度の砂岩（池子層）の浮石が認められる。下位の泥岩（逆子層）は苔が生えており、比較的稳定している。	2 ～10m	50 ～100 cm	中	無	大	×	×	△	△	×	×	×	●	△	×	△	安全を確保するため、通路を南側へ変更し、少しでも緩衝地帯設けることが望ましい。					
	F	砂岩 泥岩	砂岩は開口亀裂が認められ、亀裂間隔は数 10cm。泥岩では密着した亀裂が認められ、亀裂間隔は数 cm 程度。	砂岩（池子層）が大きくオーバーハングしている。泥岩（逆子層）はボロボロと表層が崩壊している。	7m	100 ～ 300 cm	大	不 充 分	大	×	△	×	×	×	×	●	×	△	×	×	ロックボルトやアンカーだけでは、オーバーハングした岩塊の端部を保護できない。 ロックボルト頭部は緩衝工を施す。					
	G	砂岩 泥岩 (泥岩主体)	密着した亀裂が認められ、亀裂間隔は数 cm 程度。	泥岩の表層がボロボロと崩壊する。	7m	数 cm ～ 50cm	小	有	小		現状、危険性は小さい										△	△	△	△	△	広い緩衝地帯があるため、落石が通路まで及ぶ可能性は低い。落石防護網を設ければ、より効果的である。
											現状、危険性は小さい										×	×	×	×	×	

●：有効 △：効果有り。ただし、その他の対策工と組合せる必要有り。 ×：効果無し。または施工不可。

4-1-6 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、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は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。この現象を阻止させるには、泥岩内部の含水比を上昇させず、降雨が泥岩内部に浸透させないことである。

(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と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.31 参照)、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(浸透性エポキシ樹脂)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: 表層強化処理)

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およ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メタクリル酸エステルを用い、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および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、シラン系撥水剤を使用し、表層で硬化させた。その基本的な処理の流れを図4-1-6に示す。

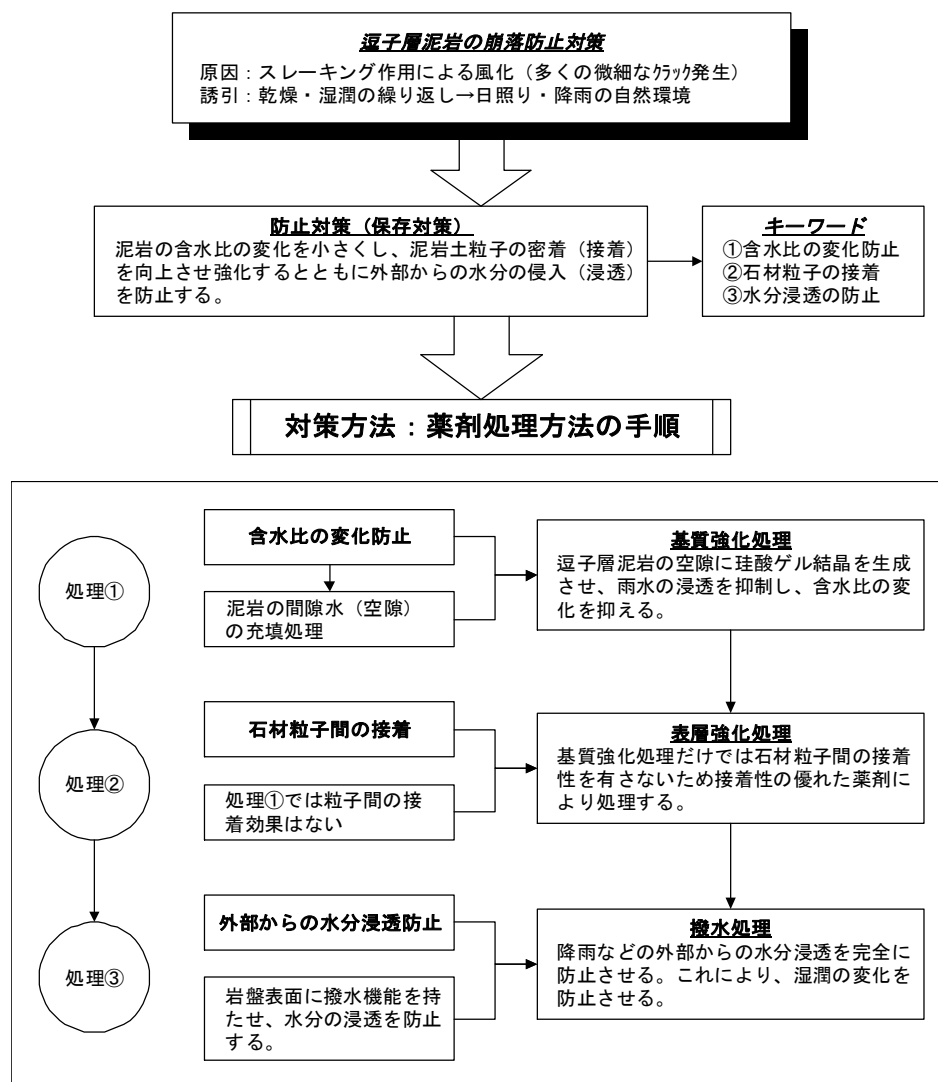


図4-1-6 逗子層泥岩の崩落対策の基本的な考え方