

卷末資料

目次

1	地すべり防止施設の機能回復手法についての概要 -----	巻末-1
2	集水井内詳細調査において点検梯子の安全性が 確保されていない場合の作業事例 -----	巻末-9
3	集水井工の機能回復事例 -----	巻末-13
4	集水井内点検方法及び塗装による 機能回復試験施工の検討事項 -----	巻末-37
5	地下水排除工（水抜きボーリング・集水井工） の機能回復工の効果検討事例 -----	巻末-45
6	アンカー工で確認される異常の事例 -----	巻末-55
7	アンカー工に対する詳細回復事例 -----	巻末-73
8	アンカー工の機能回復事例 -----	巻末-81
9	アンカー工の機能保全における草刈作業の試行事例 -----	巻末-93
10	その他の機能回復事例 -----	巻末-103

1 地すべり防止施設の機能回復手法についての概要

1.1 本手引きにおける機能診断結果と対応方針と対策

地すべり防止施設の機能が低下したと判断された場合は、必要な対策を実施する。ここでは、機能回復工の実施が必要と認められる場合に対して、機能回復工の実施内容・事例についてまとめる。

機能診断調査における健全度評価を受けた対応方針との関係の目安を図-1.1.1 に示す。対応方針および対策の選定においては、現場状況、施設の特性、対応に係る費用、地すべり防止区域内での優先順位等に基づいて総合的に判断することが望ましい。

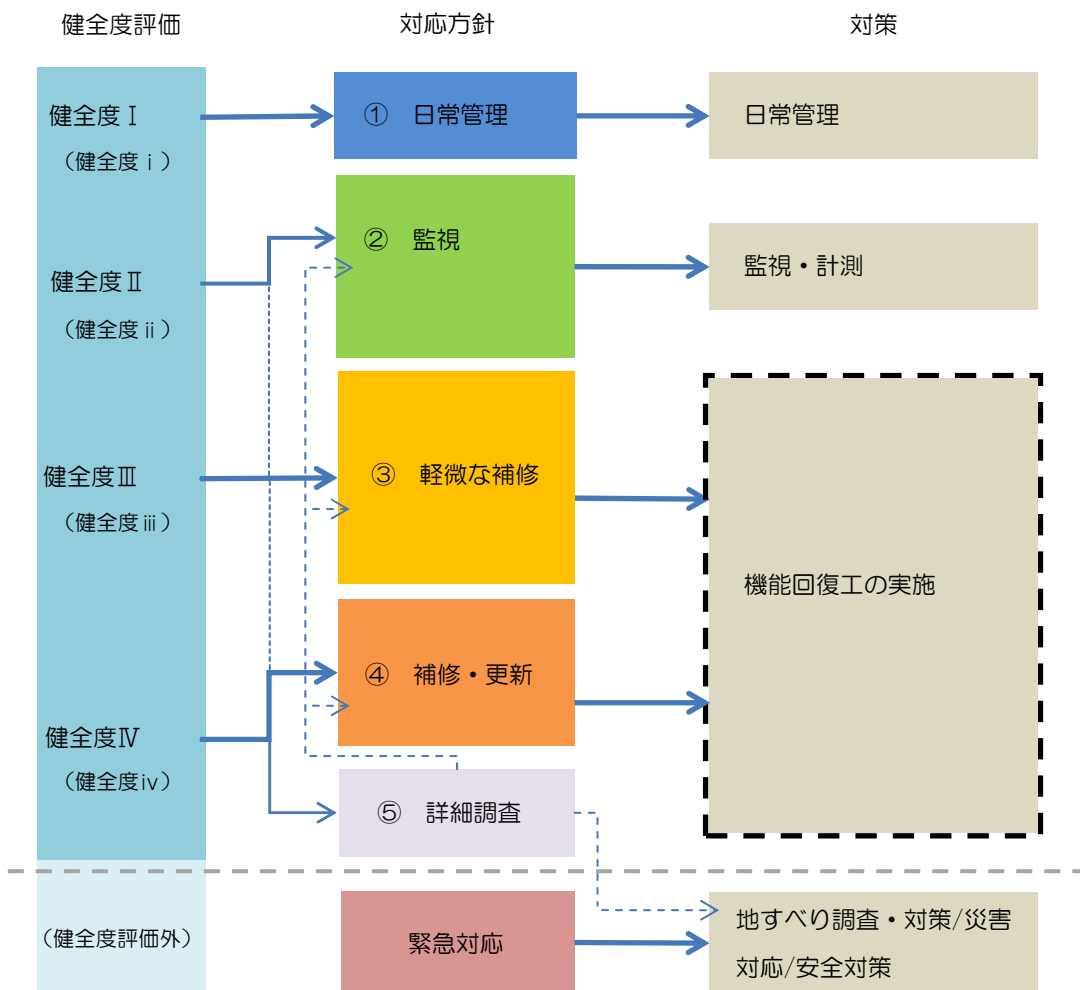


図 1.1.1 本手引きにおける機能診断結果と対応方針と対策

1.2 地すべり防止施設の機能回復工の例示

地すべり防止施設の機能回復工を、それぞれの対策の目的や工法の特徴に基づいて、「補修(延命化)」「補強(力学的性能回復)」「更新・大規模補修」に分類し、まとめる。

機能回復手法は、近年日進月歩の発展を遂げつつあり、実際に機能回復手法を具体的に検討する際には、その時々最新の情報を入手して検討することが望ましい。

また、どのような工法・対策を実施するかは、個々の施設状況や地すべり防止区域の維持管理方針、あるいは、地すべり防止施設の個別施設計画(長寿命化計画)等に応じて決定するものであり、本手引きで一律に規定するべきものではない。

ここでは、地すべり防止施設の機能回復手法(工法・対策)を網羅的に例示したので、工法・対策に関する判断の参考としていただきたい。

表 1.2.1 機能回復工の例(1)

地すべり防止施設 工種		水路工				
部位		水路部、集水升等				暗きょ出口
劣化現象の分類		錆・破損	変形、接合部の開き	閉塞(植物や土砂の堆積)	水はね・逸水等による周辺地盤の侵食	閉塞(植物や土砂の堆積)
1	補修(延命化)	塗装	目地埋め ひび割れ補修	土砂等の除去(土砂かき・清掃等)	土のう積み	土砂等の除去(土砂かき・清掃等)
2	補強(力学的性能回復)	目地埋め ひび割れ補修 断面補修工法		接続部のボルトの方向の見直し	水路接続部等のカバー設置 土のう積み	—
3	更新・大規模補強	樹脂製の水路への更新		水路両側面のコンクリート張りへの更新 防草シート 蓋の設置		再掘削

表 1.2.2 機能回復工の例（2）

地すべり防止施設 工種		横ボーリング工		集水井工	
部位		集水管・排水管	孔口保護工	井筒	集水管・排水管
劣化現象の分類		目詰まり、破損	破損・腐食	井筒腐食・破損	目詰まり、破損
1	補修(延命化)	高圧水による洗浄	—	鏽落とし 塗装	高圧水による洗浄
2	補強(力学的性能回復)	集水管の増し打ち・性能向上（MTパイプ、サビレス等）	—	内側を鉄筋コンクリートで巻き立て 内側を小口径ライナープレート の井筒設置(隙間は玉石等で充填)	集水管の増し打ち・性能向上（MTパイプ、サビレス等）
3	更新・大規模補強	管の継ぎ足し・再掘削	再設置	井筒再設置(既設井筒を埋め戻し新たに井筒を設置) 既設の井筒の玉石等で埋める	管の継ぎ足し・再掘削

表 1.2.3 機能回復工の例（3）

地すべり防止施設 工種		渓流護岸工		
部位		側壁護岸	床固め工	基礎地盤
劣化現象の分類		変形・破損	変形・破損	洗掘
1	補修(延命化)	ひび割れ補修 圧送充填補修	ひび割れ補修	土のう積み
2	補強(力学的性能回復)	ひび割れ補修 断面補修工法 圧送充填補修(石積み)	ひび割れ補修 断面補修工 水衝部保護 (ゴム鉄保護材、張石)	土のう積み
3	更新・大規模補強	グラウンドアンカー工 嵩上げ	再設置	根継ぎ

表 1.2.4 機能回復工の例（４）

地すべり防止施設 工種		堰堤工			
部位		本体		基礎地盤	天端
劣化現象の分類		変形（継ぎ目のズレ、はらみ出し）	破損（ひび割れ、欠損）	洗掘	摩耗
1	補修(延命化)	亀裂充填工法		土のう積み	土のう積み
2	補強(力学的性能回復)	グラウト注入工法		基礎充填工法	ラバーsteel工法
3	更新・大規模補強	グラウンドアンカー工法 腹付け(下流側、上流側、上下流) 再設置 嵩上げ（機能強化）		前提保護工設置 根継ぎ	腹付け（天端上流、下流側、上流側、上下流） ラバーsteel工法

表 1.2.5 機能回復工の例（５）

地すべり防止施設 工種		押え盛土工	排土工（切土斜面保護工）		
部位		本体	吹付工等		
劣化現象の分類		変形・破損	吹付工自体の劣化	吹付と地山の密着性の低下	風化による地山強度の低下
1	補修(延命化)	土のう積み（小崩壊、侵食箇所の補修）	表面被覆工（環境・景観を考慮した対策例も含む） ひび割れ補修工	—	—
2	補強(力学的性能回復)	鉄筋挿入工	繊維補強モルタル吹付工	地山補強土工（補強鉄筋工） 空洞充填工	—
3	更新・大規模補強	盛土再設置	吹付工（はつり取り・打換え） 繊維補強モルタル吹付(増厚吹付)工	グラウンドアンカー工 切土工(切り直し)+吹付工(打換え)	
		盛り土法面保護（植生工、構造物工の新規実施）		繊維補強モルタル吹付工+地山補強土工	吹付のり砕工

表 1.2.5 機能回復工の例（6）

地すべり防止施設 工種		擁壁(枠)工	杭工	アンカー工
部位				
劣化現象の分類		変形・破損、腐食	変形・破損	変更・破損
1	補修(延命化)	目地詰め工	—	アンカー工のヘッド キャップ交換
2	補強(力学的性能回復)	格子枠工 沿い打ち工	—	—
3	更新・大規模補強	グラウンドアンカー工 抑止工(杭) 擁壁再設置 補強土工	杭再施工	再設置

2 集水井内詳細調査において点検梯子の安全性が 確保されていない場合の作業事例

※「地すべり防止施設の機能保全の手引き～抑制工編～(平成 25 年 6 月)」の巻末資料より採録したものである。

以下3つの方法を用いて実施する場合がある（作業条件や設備によって労働基準監督署との協議が必要な場合があるため注意必要）

- ① チェア型ゴンドラ
- ② 登山用ロープ、ハーネスによる懸垂下降
- ③ 簡易梯子の設置

<チェア型ゴンドラ>

集水井内の観察は、地表から井筒の底まで行うことから、基本的にゴンドラを使用することを推奨する（足場組立等ほかの方法を使用しても問題ない）。

- ・ゴンドラはチェア型（重量約40kg）の作業性が良い
- ・ゴンドラの設置及び親綱固定のために、足場及びアンカーを架設する必要がある。
- ・ゴンドラを使用する場合には研修を受ける必要がある



チェア型ゴンドラは、一人乗りのゴンドラで、建設物等に設けられた突りょう等からつり下げられたチェア（椅子）の下に取付けられた昇降装置によってチェアの昇降を行うもので、デッキ型のゴンドラが使えない狭い所や部分的な作業を行う場合に使用されている

図-1 チェア型ゴンドラ
（日本クレーン協会HPより引用）

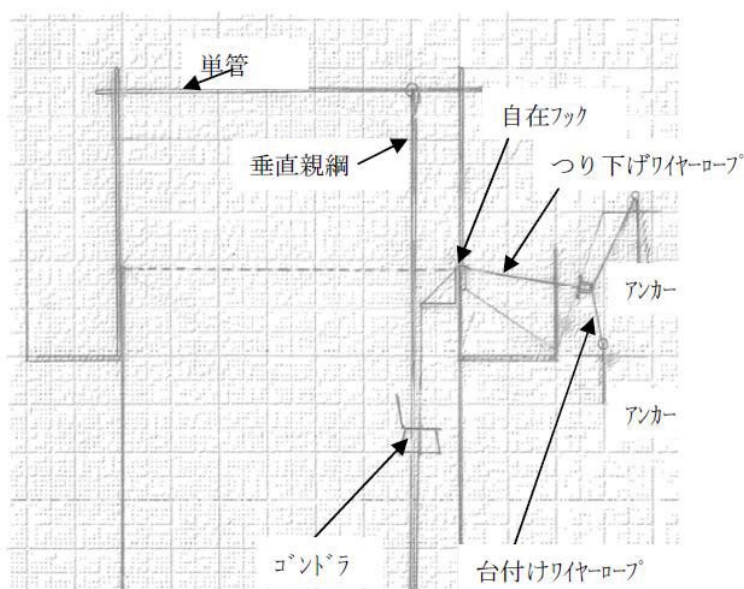


図-2 チェア型ゴンドラの設置事例

＜登山用ロープ、ハーネスによる懸垂下降＞

チェア型ゴンドラは、装備がやや多くなることからより簡便な方法として、高層ビルの窓洗浄や登山で使用されている懸垂下降を行う方法もある。

- 集水井近傍に親綱の設置ができない場合、アンカーを設置する必要がある。
- 資材は必要ないが、ゴンドラに比べ訓練が必要である。



図－3 懸垂下降による詳細調査事例

＜破損した点検梯子の代わりにアルミ梯子を設置＞

長さ4m程度の梯子を親綱で固定しながら、部分的に既存の点検梯子に固定することで、仮梯子を追加設置することができる

- 親綱で固定できる梯子の本数から、集水井深さ 10m程度が限界である。
- 親綱固定だけでは、梯子の安定性が保たれないため、既存の点検梯子に部分的に固定する必要がある。

3 集水井工の機能回復工事例

※「地すべり防止施設の機能保全の手引き～抑制工編～(平成 25 年 6 月)」の巻末資料より採録したものである。

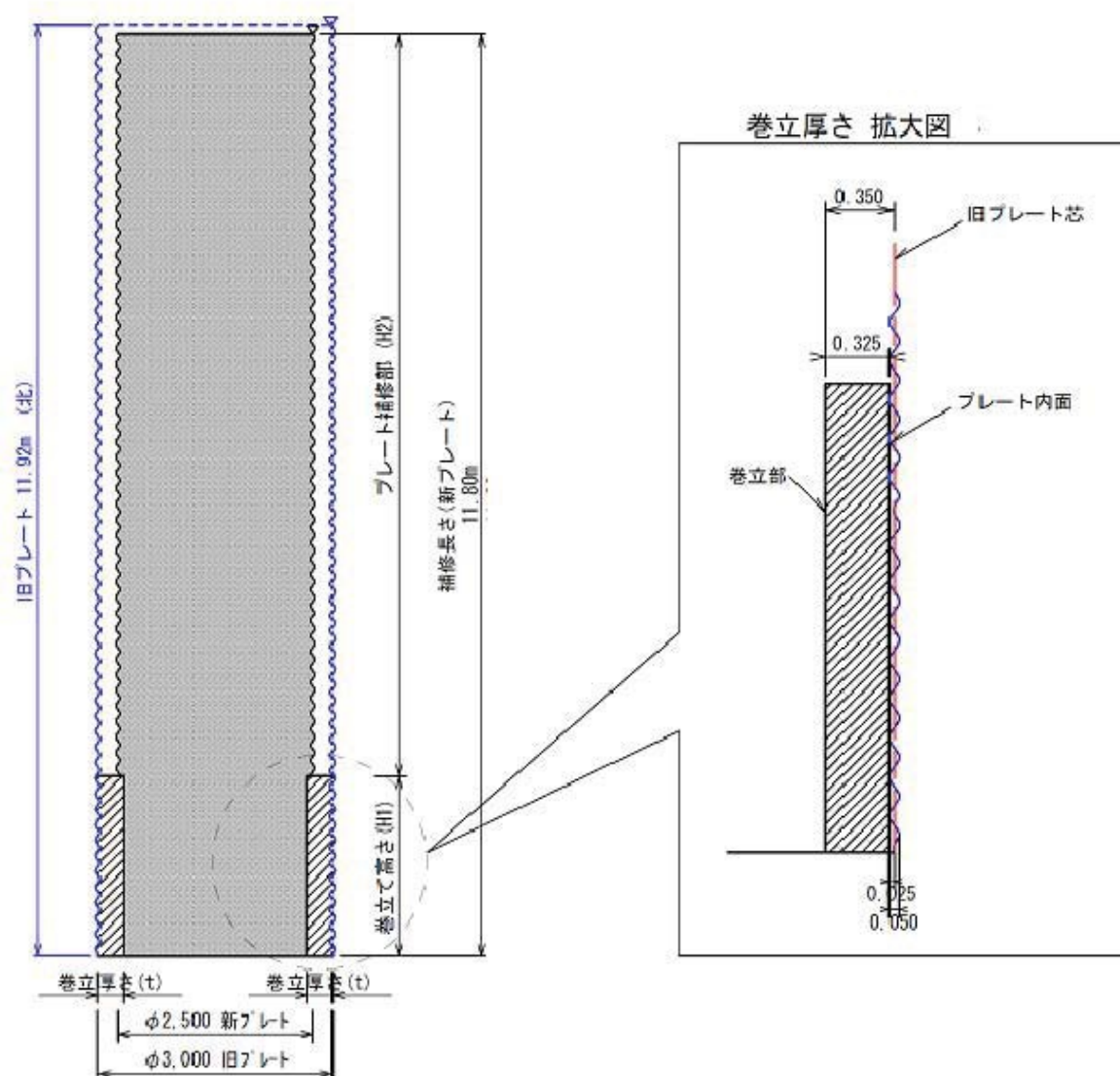
1. ライナープレート集水井老朽化に伴う内巻き補修工事例

経年劣化で腐食が顕著なライナープレート集水井（φ3,000）の補修対策として、φ2,500 のライナープレートを内巻き施工している。

内巻き用ライナープレートを積み上げるため、底盤コンクリートの巻き立てを行い、その上にライナープレートを乗せ、旧躯体との間を碎石で充填しながら立ち上げていく。

φ2,500までであれば集水井内においてボーリングの掘削も可能な大きさであり、追加対策を含めた維持管理が可能である。

なお、この事例の自治体では、既設集水井は補強リング・バーチカルスティフナーを用いず、ライナープレートの部材厚を変える形で設計・施工されているため、内巻き施工において比較的クリアランスを取りやすい状況であるといえる。

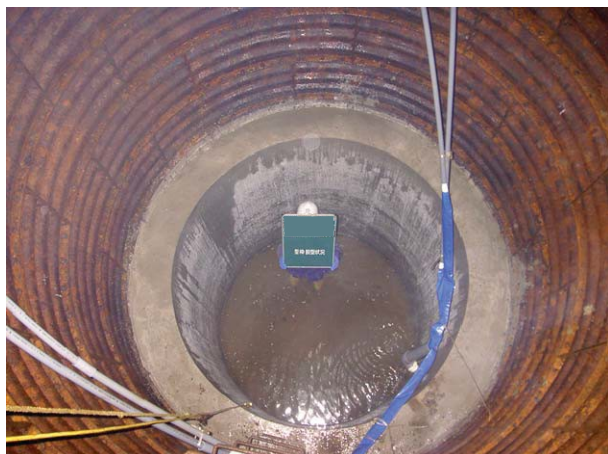




汚泥処理



型枠設置



底盤コンクリート設置完了



下部ライナープレート固定



裏込め碎石締め



パイプ類接続状況



張コンクリート工型枠設置



張コンクリート設置完了



点検梯子設置状況



天蓋設置状況



安全柵取付状況



施工完了

2. 酸性水（温泉水）による腐食対策としての内巻き補修工事例

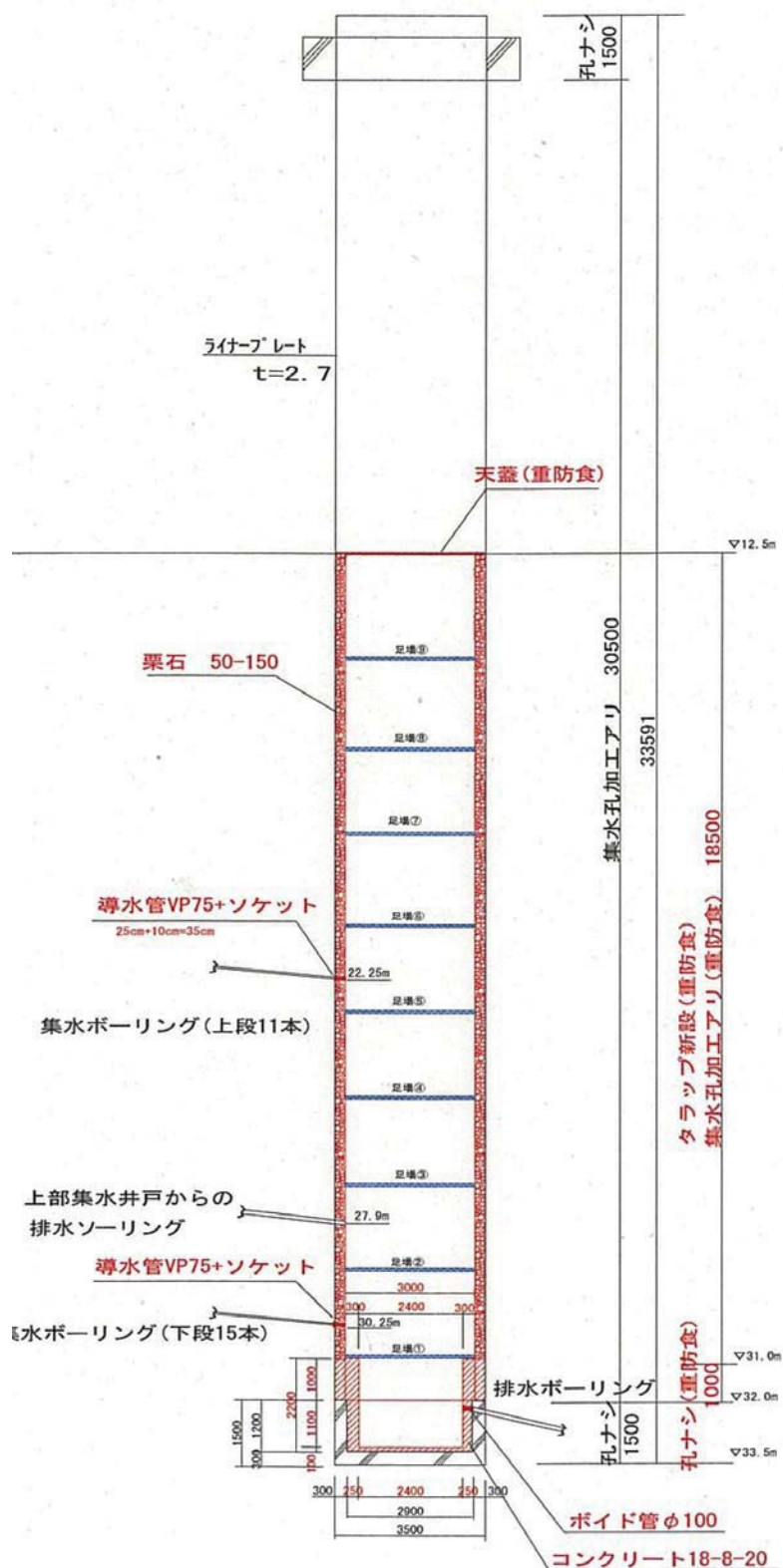
酸性水（温泉水）で腐食が顕著なライナープレート集水井（φ3,500）の補修対策として、φ3,000 の重防食加工ライナープレートを内巻き施工している。

重防食加工のライナープレートは、飽和ポリエステル粉体塗装加工品であり、酸性水などによる腐食に対しては強いが、塗装自体非常に傷付きやすいため、施工にあたっては碎石詰めする際にヤシ系マットをあてがい、内巻きプレート自体に傷がつかないように注意しながら施工した。

工法比較対象としてコンクリートセグメントも上げられたが、維持補修可能な2,500を確保して内巻き施工ができないと判断し、採用案から除外されている。

集水・排水ボーリング管には塩ビ管を用い、耐腐食性を高めている。

この成果については農業農村工学会九州支部講演会(2012)において発表されており、その文献を次ページ以降に示す。



温泉地すべりにおける集水井工の腐食対策について

大分県 中部振興局 農林基盤部 彌田雄太

1.はじめに

本地区は、大分県中部に位置する由布市湯布院町の「湯平温泉街」の上流域に展開する花合野地区の農地 25ha を受益地として、地すべり防止対策事業を実施している。

当地域は、平成 12 年度に地すべり防止区域の指定を受け、同年に花合野第 1 地区として新規採択の承認を得て事業に着手した。これまで、第 1 地区、第 2 地区、第 3 地区と順次事業化を進めてきた。

地すべり防止対策の工法選定には、大別して地すべり活動を促す誘因を軽減もしくは除去することにより、間接的に地すべりを安定させる抑制工と、地すべりに対する抵抗力を付加することで、その安定を図る抑止工とがあり、それぞれの機能に応じ図-1 のように分類されている。

また、地すべり対策工法の選定に当たっては、以下の事項に留意するように言われている。

- ① 地すべり構造に適合した効果的かつ経済的なものとする。
- ② 基本的には、長期的な安定確保の観点から抑制工中心の工法選定が望ましい。

以上のことから、本地区は抑制工を主体とした地下水排除目的の集水井工を多数計画した。しかしながら、典型的な温泉地帯のため、一部の集水井工(内径 $\phi 3500\text{mm}$)において、地下水等に起因したと思われる顕著な劣化が確認された。このままでは継続的な対策工効果を発揮し続けることが危ぶまれる状況と判断し、改修工事に向けた調査・分析及び対応方針の検討を行った。

その結果、劣化の原因は一部のゾーンからの強酸性水による「さび」が主原因であることが判明したため、重防食加工した一回り小さなライナープレートを既設のライナープレート集水井工内に設置する方針とした。



図-1 地すべり防止対策工法の種類

2.地すべりの概要

今回、対象の集水井工は、図-2に示す花合野地すべりのAブロックのほぼ中央部、A3すべりに位置している。このAブロックはA1~7の7つのすべりブロックで構成されており、すべり規模は、長さ140~280m、幅60~320m、深さ15~40mと比較的大規模なこと、背後の山からの地下水供給が豊富なことから、対策工として抑制工である集水井を多く配



図-2 集水井工と温泉街の位置関係

置し、それでもなお地すべり変動が収まらないブロックは、抑止工を配置している。なお、集水井工はライナープレート集水井を採用している。

3.調査、分析手法

(1)火山性ガス測定

集水井内の立ち入りにあたっては、火山性ガスによる人体への影響を考慮して、図-3の様に井戸内のガス測定を行う。

測定する主な火山性ガスは、二酸化硫黄・塩化水素・硫化水素・一酸化炭素・二酸化炭素・メタン・酸素の7種類である。調査方法は、バキュームで集水井内のガスを吸引し、検知管によりガスの種類・濃度を測定する。その結果、ガスが生命の危険となる濃度で検出された場合は、送風機により井戸内のガスの除去作業を行って、再度、検知管により安全性を確認した後に立ち入る。立ち入りにはガス検知器を携帯するとともに、安全性を十分確認しながら調査作業を行った。



図-3 火山性ガス測定状況

(2)目視観察

集水井内のタラップを昇降しながら、タラップやライナープレートの老朽化状況を観察する。

観察のポイントは、老朽化や腐食等、ここでは主に「さび」の分布範囲と腐食進捗の状況を観測しながら写真に記録する。

(3)水質分析

集水井工の老朽化の原因とその対策検討のために、目視観察の際に集水井工内で湧水を採取し、その水質測定を行った。水質測定の内容は、水温・pH・電気伝導度の項目である。また、その内、老朽化に密接に関係のある湧水については採水後、室内にてイオン分析を行い、詳細な原因究明に役立てた。現地での測定には、電気伝導度計(CM-11Pモデル)を使用した。

(また、室内でのイオン分析はJIS K 0101-1998「工業用水試験方法」の分析方法を採用した。)

4.調査、分析結果

(1)火山性ガス測定

表-1 に火山性ガスの測定結果を示す。測定当初は集水井内の二酸化炭素濃度が5000ppm以上、酸素濃度が17%であったので、安全を確保するため送風機による送風と吸引を行い、最終的に二酸化炭素濃度が500ppm、酸素濃度は21.2%となり、坑内に入るための安全性が確保されたので、その後集水井内の調査を行った。

表-1 火山性ガス測定結果一覧表

使用器具	項目	測定範囲	測定結果		
			10:25	11:33	12:25
検知管 (ppm)	二酸化硫黄	0.5-60	ND	ND	ND
	塩化水素	0.2-76	ND	ND	ND
	硫化水素	1-40	ND	ND	ND
	一酸化炭素	5-50	ND	ND	ND
	二酸化炭素	300-5000	>5000	2100	500
有害ガス検知器 (%)	メタン	0-100%LEL	ND	ND	ND
	酸素	0.0-25.0	17.7	20.7	21.2
備考			酸素濃度が低く、二酸化炭素濃度が高いため、送風機による換気を開始した。		
			酸素濃度及び二酸化炭素濃度が安全値に合ったため、集水井内への進入を開始した。		

※有害ガス検知器:GX-111型(防護型) (理研計器社製)

(2)目視観察

図-4 に目視観察結果図を示す。これによると、0~13m間は腐食なし、13~19m間は褐色「さび」が弱く発生している。19~29m間は褐~黒色に著しく「さび」ており、図-5のように一部ライナープレートが溶け出している。特に、22~29mが著しい。29~32m間の溶け出しはないが、「さび」が著しい。

地下水位は、対策前は14m付近であったが、対策後は28m付近まで低下している。

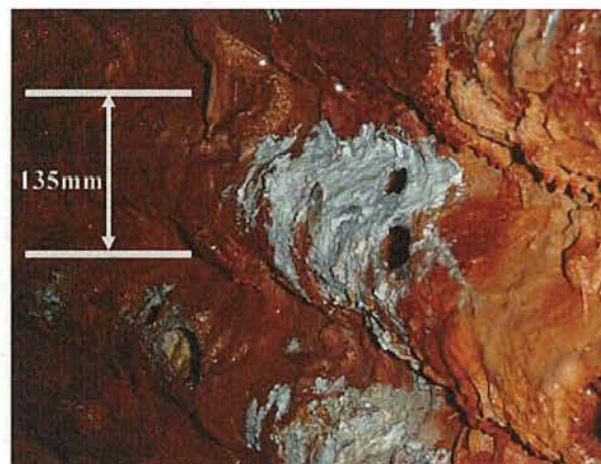
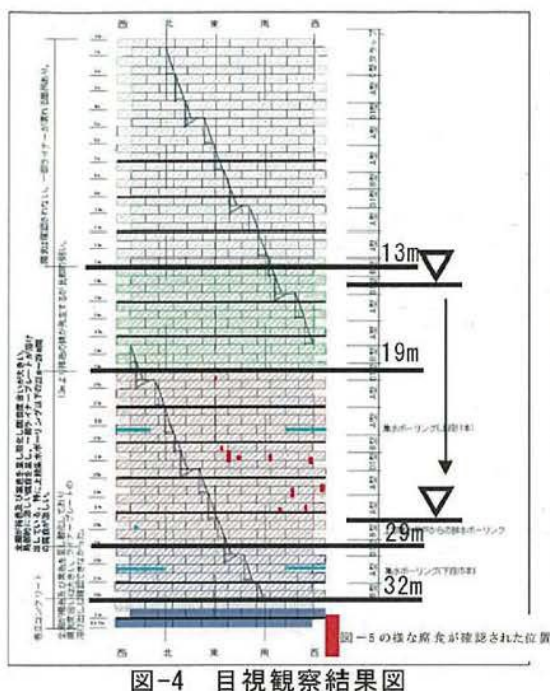


図-5 腐食状況

(3)水質分析

表-2 に現地での水質分析値を示す。これによると、「さび」の原因と考えられる pH に関して、集水井工内 30m 付近の落水では pH6.3 で中性程度を示したが、25～27m 付近の「さび」が著しい箇所の局部的な湧水は pH3.7～3.8 と強酸性を示した。この局部的な強酸性湧水のイオン分析の結果、非常に硫酸イオンが多いことが判明した。

表-2 現地での水質分析結果一覧

採水場所	採水時間	気温 (°C)	水温 (°C)	pH (水素イオン 指数)	EC (電気伝導 度:mS/m)
湧水① 30m付近の落水を主体に採水	13:11	30.0	24.8	6.3	29.1
湧水② 27m付近のさびが著しい箇所より採水	13:30	31.2	19.9	3.7	20.1
湧水③ 25m付近のさびが著しい箇所より採水	14:11	29.8	21.0	3.8	19.4

5.まとめ

今回の調査、分析の結果をまとめると以下となる。

- ・施工完了時から4年程度の経過の割に腐食の進行が早い。
- ・水質試験の結果 pH3 と強酸性を示しており、現在腐食が弱い箇所も今後腐食の進行が考えられる。
- ・13m～19m 間北面は「さび」がやや強い。今後進行することが懸念される。

次に、対策工の検討に際して留意すべき事項は以下である。

- ・集水ボーリング及び排水ボーリングの機能を確保する。
- ・将来的な維持管理を容易にする。

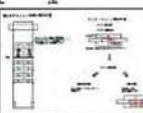
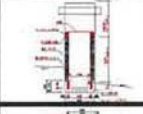
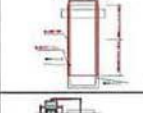
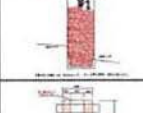
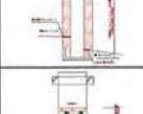
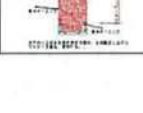
- ・維持管理時の安全性を確保できるように内径 φ3000mm を確保する。
- ・施設の延命化・ライフサイクルコストの低減が図られる。
- ・施工時の安全が確保される。

また、対象の集水井工の特徴を考慮した施工・維持管理上の留意点は以下である。

- ・当集水井工は、上下の集水井工と連結されており、当井戸の機能を確保できない場合は上下集水井工への影響も懸念される。そのため対策工施工中及び維持管理においては、集排水ボーリングの機能を確保出来る工法でなくてはならない。
- ・将来的に集排水ボーリングの再削孔が必要な場合に備え、機械設置可能径である、φ3000mm を確保する必要がある。
- ・pH3 を示す強酸性化に耐える防食処置が必要である。

以上を考慮した結果、表-3 に示すとおり、今後の維持管理時の安全性、集排水ボーリングの機能確保、将来的な施工可能な構造を考慮した結果、ライナープレート内部設置(重防食)が最も適していると判断し、対策工を決定した。なお、施工時には、重防食塗装が傷つかないように既設井戸と新設井戸の間に、傷防止のマットを巻き込みながら栗石を投入していった。

表-3 対策工法比較一覧表

工 法	工法の概要	利 点	欠 点	当現場での対応	評価
1 ライナープレート 部分改修 (重防食)	 部分的な腐食箇所を除去して新たにライナープレート(重防食)を設置する。	部分的な改修のためコストが最小限で可能。 集排水機能が最小限となる。今まで通りの機能が維持できる。	腐食性の高い地山では施工不可。 集排水機能が無い状態で足場設置が困難。	19m以深、全面改修が必要であり、地山の腐食性に対応することが困難。	×
2 ライナープレート 内部設置 (重防食)	 既設集水井戸内に一回り小さいライナープレート(重防食)を設置する。施工実績あり。	集排水機能の低減が抑えられる。 クランプの設置が可能のため維持管理が容易。 集排水機能が最小限となる。今まで通りの機能が維持できる。 内径3000以上で将来的に再削孔は可能。	新たに鋼管材料費が増加。 特殊な防食加工が必要。 既設と新規設置位置で段差ができる。 段差によっては維持管理がやや困難となる。	施工が容易である。 集排水機能は確保される。 段差は巻上に設置する方法で改修後の内径はφ3000が確保できる。	○
3 RCセグメント (縦立集水井戸) 内部設置	 既設集水井戸内に一回り小さいRCセグメント(集水井戸)を設置する。施工実績あり。(鶴見山地区すべり)。	酸性地帯での施工実績あり。 地山作業が簡単で、自立施工は地上で出来る。 集排水機能が最小限となる。 内径2500以上で将来的に再削孔は可能。	新たに鋼管材料費が増加。 自立作業は特注。 既設と新規設置位置で段差ができる。 段差によっては維持管理がやや困難となる。 高度な施工精度が必要。	内径φ3000(高さ180mm)が最小径となり、当現場では設置が困難。 既設井戸内径は既設リング部でφ370、セグメント外径φ330、高さは15mmとなり、施工困難。	×
4 栗石投入	 井戸内に栗石・炭石を投入する。	コストが安い。 工期が短い。 施工が容易。結核が結核に進行している場合の対策として有効。	維持管理ができない。特に長期間にわたりスケールの付着や目詰まり等により集排水機能が確保できない場合、雨水や集水が滞り地すべり水位が上がる危険がある。腐食が進行する。	集水井戸が連結されているため、目詰まり等により他の集水井戸への影響も懸念される。腐食の進行により井戸の機能が考えられる。	×
5 コンクリート埋戻	 φ1000程度の入孔を残してコンクリートで埋め戻す。施工実績あり(須賀野山地区すべり(高さ7m)、香川熊形山地区すべり)。	コストが安い。 コンクリートの強アルカリで腐蝕が抑制できる。	維持管理が困難。 地下水の集水井戸内に流入は不可。 後立コンクリート部分が結核に小さくなるため、地下水・集水が多い地帯では不向き。 将来的に再削孔は困難。 貫通地帯は腐蝕性となり系統性大。	当井戸は地下水が多いが、集水井などの集水機能が無いため不利である。 集水井戸が連結されているため、集水量が多く他の集水井戸への影響も懸念される。 再削孔は困難。	×
6 ライナープレート 設置替え (重防食)	 既設井戸を土砂で埋め、再度掘削しながら既設ライナーを除去後、新設ライナー(重防食)を設置する。長崎県で実績多数あり。	同形状が確保されるため、今後の維持管理は容易である。 自立コンクリート製の設置が確保される。 将来的に再削孔は可能。	土砂埋め後の集排水ボーリングの機能確保が困難。 特殊な防食加工が必要。 既設プレート支持時の土砂崩壊が懸念される。 土砂確保が必要。 集排水機能が施工より多い。	掘削時に集排水ボーリングの機能確保が可能であれば有利である。 掘削時に透水性の高い玉石・炭石を埋め、改修後はφ3000が確保できる。	○

6.あとかき

今回実施した温泉地すべりにおける集水井工の腐食対策に関する調査、分析及び対策工は、既設の集水井工やその他地すべり対策工の維持管理に対し、その効果の継続的な発現を促す意味あるものとなった。また、今後、対策工を計画する場合においても有効な一事例となったと確信する。

協力者

九州特殊土木(株) 朝井裕二 氏

(株)ジオテック技術士事務所 香月裕宣 氏、火山憲司 氏

3. 同位置同径再掘削工事事例

都建設HP:<http://www.miyakokensetsu.jp/blog/?p=61> より転載

用地上の制約から、同一位置で集水井の再掘削工事を実施した事例。

峠・清水谷集水井設置・補修工事（第 2 回）

現 場 名	峠・清水谷集水井設置・補修工事
発注機関	近畿地方整備局 大和川工事事務所
主体業者	日特建設 株式会社
工事場所	大阪府柏原市峠地区
工事期間	平成 19 年 11 月 26 日～
工事概要	集水井（井戸築造）φ3,500 3 本 「深礎工法」 No.16 号集水井 L=21.0m（既設集水井の補修工） No.54 号集水井 L=36.0m No.56 号集水井 L=16.0m 総計 73.0m 螺旋階段設置工 静水槽側壁コンクリート工

当作業所は平成 20 年 3 月 31 日の竣工検査を無事終え、集水井の掘削工事も無事故で工事を完了できました。当作業所の工事内容としては地すべり防止用の集水井の新設と、老朽化した既設集水井の補修工事でした。今回は当社でもあまり施工例の少ない、既設ライナープレートの補修工事の手順をお伝えしたいと思います。

「施工状況」

既設集水井の老朽化したライナープレートです。地表面付近はライナープレートの水抜き孔から草木が茂っておりまして、昇降設備も錆が回っているため、集水井底部には入坑できないのでそのまま天端まで土砂で埋め戻します。



埋め戻し完了後、新設の ライナープレートの 吊りコンクリート打設完了状況です。



地すべりが発生するような軟弱地盤での施工となるので、鋼材等にて落下防護を施します。坑内入坑用のエレベーターや、掘削用のクレーンを配置し本作業に入ります。



新設の集水井（ライナープレート）掘削と同時に、既設集水井の撤去作業です。1ステップ（1.0m）毎に既設ライナープレートを撤去し、新たなライナープレート（メッキ加工）を設置します。

掘削作業：13m付近

掘削完了：21.0m



現場代理人：鶴丸からのコメント

集水井のライナープレートの設置替えということで、当社としても大変珍しい施工を経験することができました。着手前から既設ライナープレートの撤去方法について色々と検討を重ねる工事を進めてきましたが、軟弱地盤上での作業ということもあり、坑壁の崩壊・雨天時の工事車両進入不能など施工も困難を極めました。

工事完了までの4ヶ月間怪我一つ無く、工期内に工事を完了することができたのも、当作業所に従事された方々の努力の賜物だと思っています。この場をお借りし厚くお礼申し上げます。又、今後も新たなものに対し前向きにチャレンジしていきたいと思います。

平成 20 年 4 月 12 日

株式会社都建設 深礎工事部

鶴丸知之

4. 機能回復工試験施工事例(孔内洗浄工、孔口アタッチメント、追加ボーリング工)

■概要

農地地すべりの安定化を目的とした地すべり防止施設が多く設置されているが、近年老朽化に伴い機能低下が生じているものが多く見受けられるようになってきたため、長寿命化手法の検討が求められている。本資料では、地すべり防止施設の長寿命化に関わる基礎データを得ることを目的に行った、水抜きボーリング等の洗浄工や追加ボーリングなどの機能回復工の試験事例を紹介する。

■結果

- ・赤色スケール発生抑制は、いかにして溶存酸素量を低い状態に維持するかがポイントである。
- ・地質（地域）によって洗浄効果の維持期間が異なるので、それぞれ洗浄間隔の検討が必要である。
- ・新設ないし追加孔については部分ストレーナが効果的と考えられる。
- ・既設孔については、孔口アタッチメントでは効果が得られないこともあるので、点検しながら洗浄を行うことが肝要である。

1. 孔内洗浄工

1.1 方法

集水井集水ボーリング孔及び水抜きボーリング孔について高圧洗浄水を用いて孔内洗浄を行い、直後に孔口部の観察や孔内カメラ観察を行った。その約1年後に追跡調査を行い、洗浄効果が維持されている状況を確認した。調査地区は以下の通り。

- ・愛媛県（池の窪地区）：三波川帯泥質片岩等
- ・千葉県（鹿原地区）：新第三紀泥質岩
- ・新潟県（丸山地区、四俣刈地区、鷲尾東地区）：新第三紀泥質岩



洗浄工の状況（丸山地区）



孔内カメラ測定機材



孔内カメラ測定状況

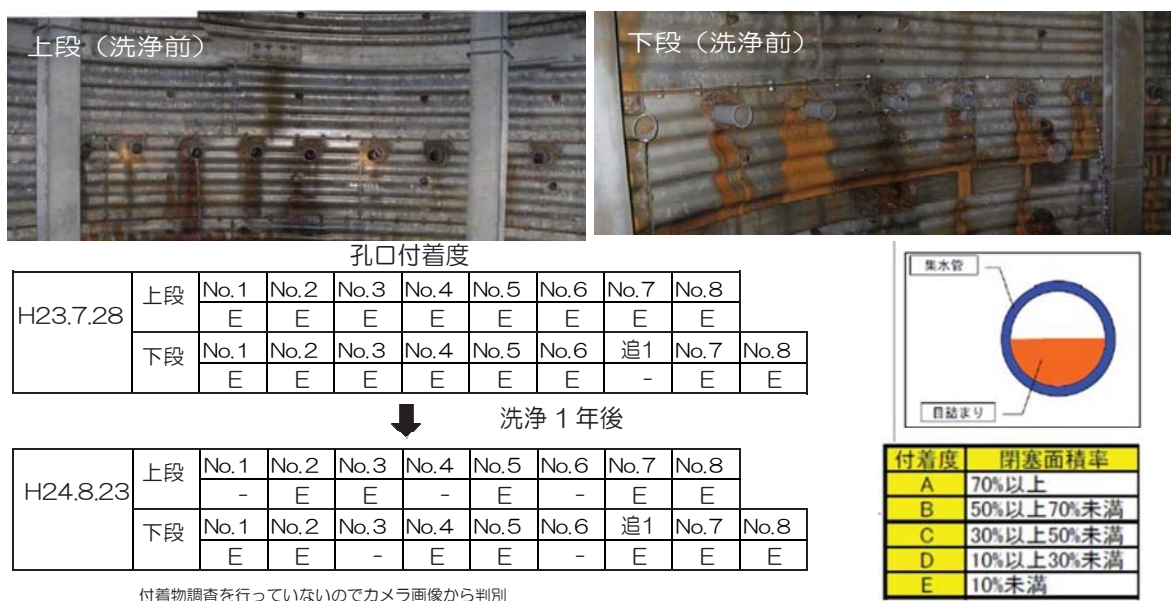
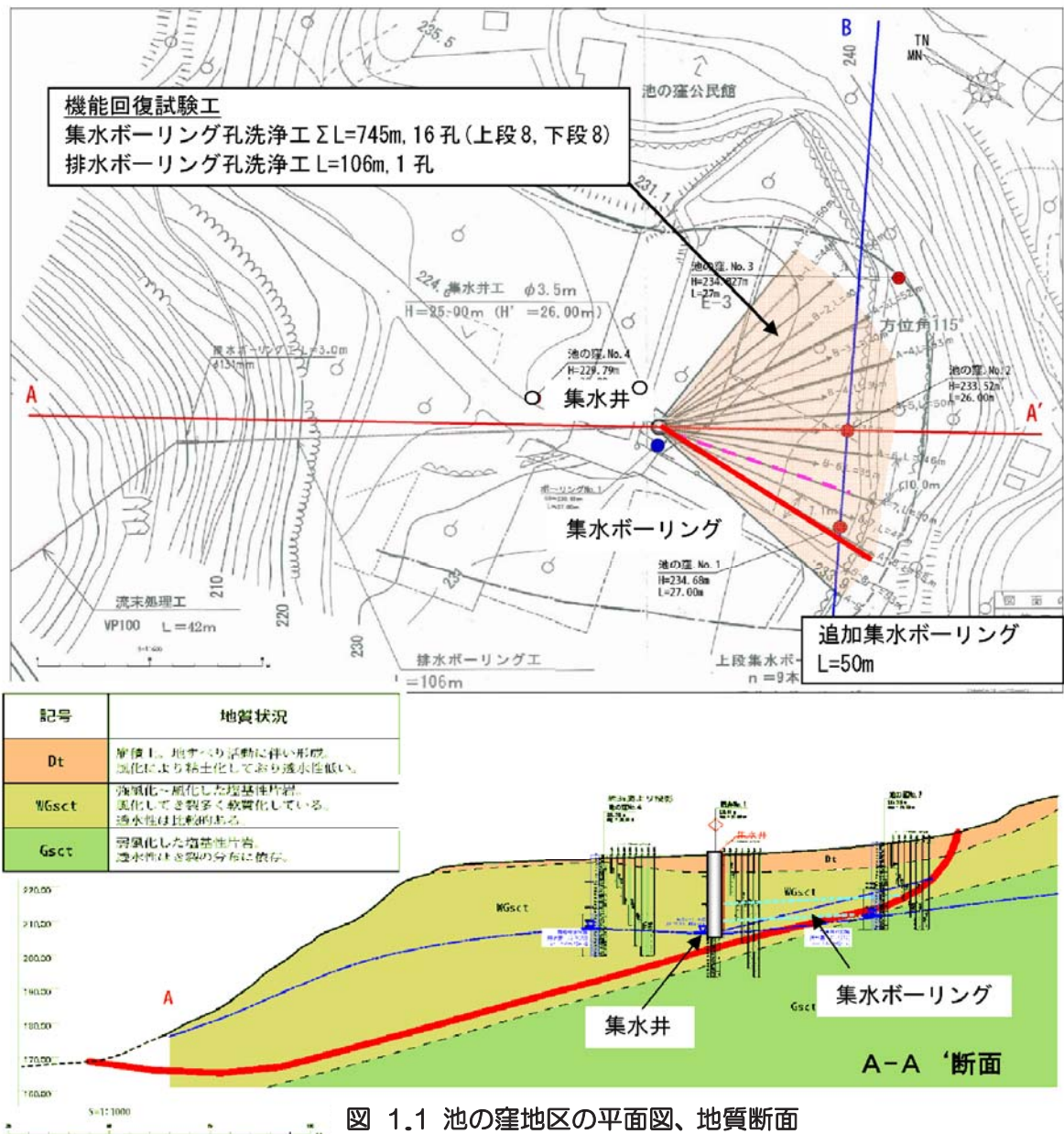
1.2 結果

1) 愛媛県（池の窪地区）

本地区では、三波川帯泥質片岩の地すべり地に施工された、集水井集水ボーリング16孔（上段8,下段8）の洗浄を行った（図 1.1）。

孔口部のスケールによる目詰まりは洗浄前からなく、洗浄1年後も目詰まりは発生していない（図 1.2）。孔内カメラ観察では、孔内の目詰まりは、洗浄前は細粒分の土砂で詰まっており、洗浄から1年後に孔内に少量の土砂が見られた（図 1.3）。

本地区では、孔口部の目詰まりは洗浄前後ともみられないが、孔内には少量ではあるが土砂が再び流入していた。



カメラ観察結果 (H23/7/28)

- ・上段は褐灰色堆積物あり。40%程度堆積
- ・下段もやや土砂で詰まっている



洗浄工 (H23/7/30)

- ・全体に暗褐色を呈しており細粒分（シルト）が多い。
- ・φ 2-3mm の小礫をまばらに混入している



洗浄1年後

カメラ観察結果 (H24/8/25)

上段

—: 孔内カメラでの撮影範囲

先端付近に大量の土砂流入を確認

51.5m 付近に土砂溜りを確認

50.5m 付近に土砂溜りを確認

φ25.0mm (H=26.0m), φ3500mm
[産廃工]



図 1.3 池の窪地区洗浄結果と孔内カメラ観察結果

2) 千葉県（鹿原地区）

新第三紀泥質岩の地すべり地に施工された、集水井集水ボーリング11孔（上段6，下段5）の洗浄を行い、その1年後に経過観察を行った（図 1.4）。

洗浄前は約半数が 30%以上目詰まりしていたが、洗浄工により孔口部の目詰まり、孔内のスケールや細粒土砂は除去された。洗浄時の残留物は、地すべり土塊の碎屑物と見られる細粒な土砂であった。洗浄から1年後、孔口部では11孔のうち7孔で 10～30%の目詰まりが再び発生していた（図1.5）。

以上、洗浄によりスケールが除去され機能回復が認められたが、1年後には目詰まりが進んでいた。

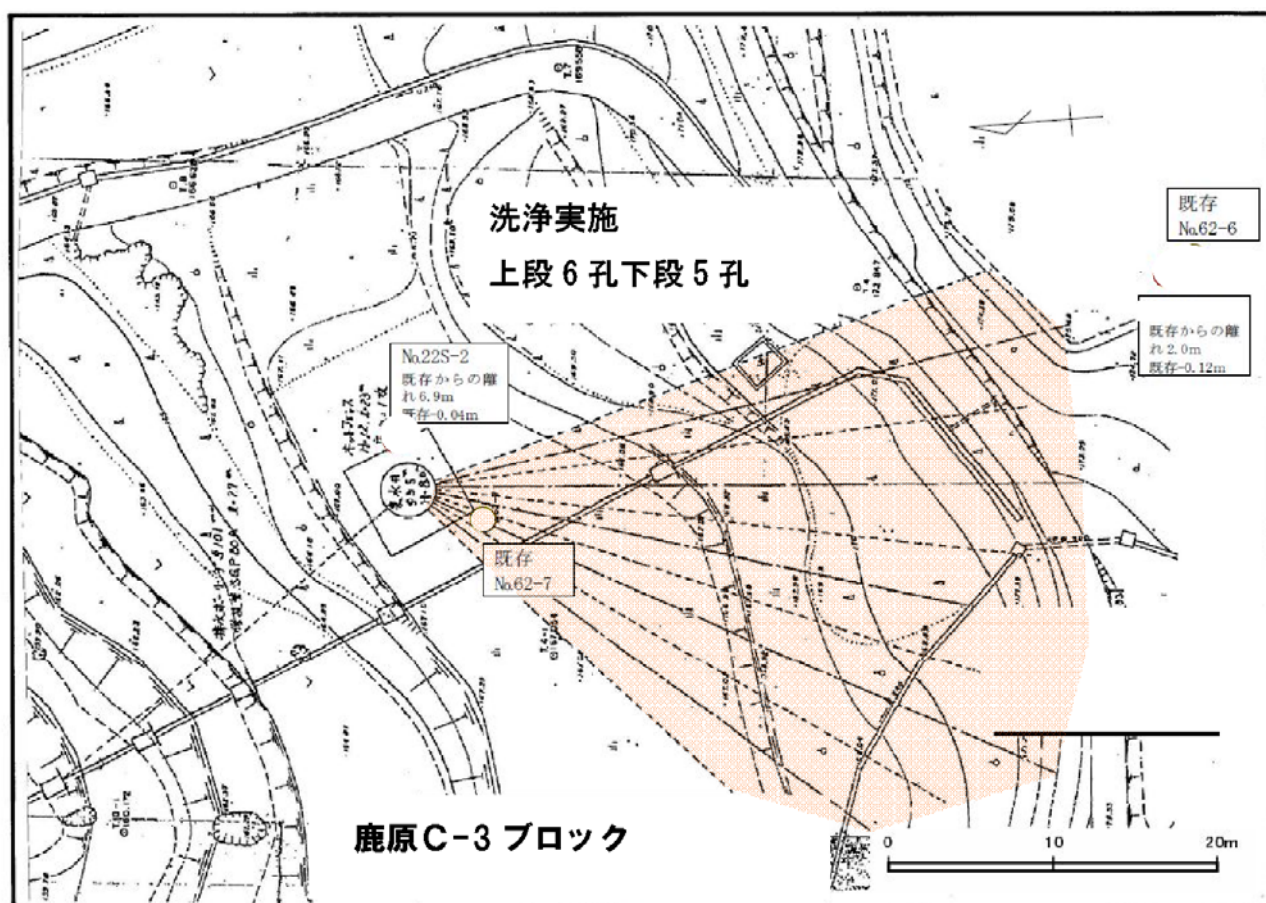


図 1.4 鹿原地区の平面図、地質断面図

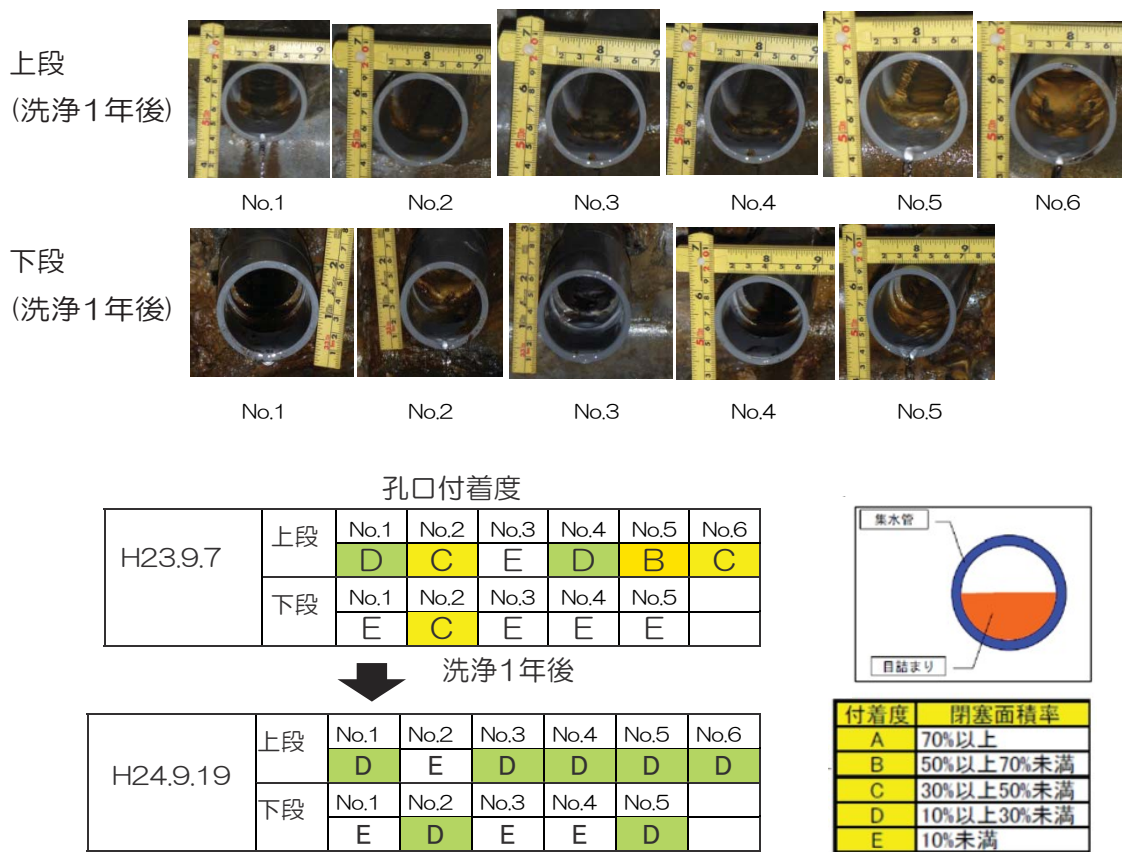


図 1.5 鹿原地区孔口観察結果

洗浄工 (H23.9.8)

- ・残留物は上段・下段とも細粒な土砂で、地すべり土塊の碎屑物と見られる

上段 下段

カメラ観察結果 (H23.9.7)

- ・最も目詰まりしていた孔では、黄褐色のスケールが管上半部に多く付着。
- ・スケールにより挿入できない孔が半数以上見られた（特に上段）。

上段 No.5
2.8m [2.8m]↑

カメラ観察結果 (H24.9.19)

- ・管上半部はやや黒茶褐色を呈している。洗浄直後の状況とほぼ変わらない。管下半部には黄褐色を呈するスケールが付着している。

上段 No.5
3.0m 3.0 m

図 1.6 鹿原地区洗浄結果と孔内カメラ観察結果

3)新潟県（鷺尾東地区）

新第三紀泥質岩の地すべり地に施工された、水抜きボーリング 6 孔の洗浄を行い、その1年後に経過観察を行った（図 1.7）。

洗浄前は全孔で孔口及び孔内手前の赤褐色スケール、孔奥部では白色粘土の孔内への進入が著しく、洗浄工により一時的に除去された。洗浄80日後には赤褐色スケールや白色粘土が観察され、約10カ月後には赤褐色スケールの形成が見られた。孔口付着度は、洗浄工実施前と比較すると No.1 を除いて低い傾向にあった（図 1.8）。

以上、洗浄によりスケールが除去され機能回復が認められたが、約 3 か月後に目詰まりが観察され、約1年後には目詰まりが進んでいた。

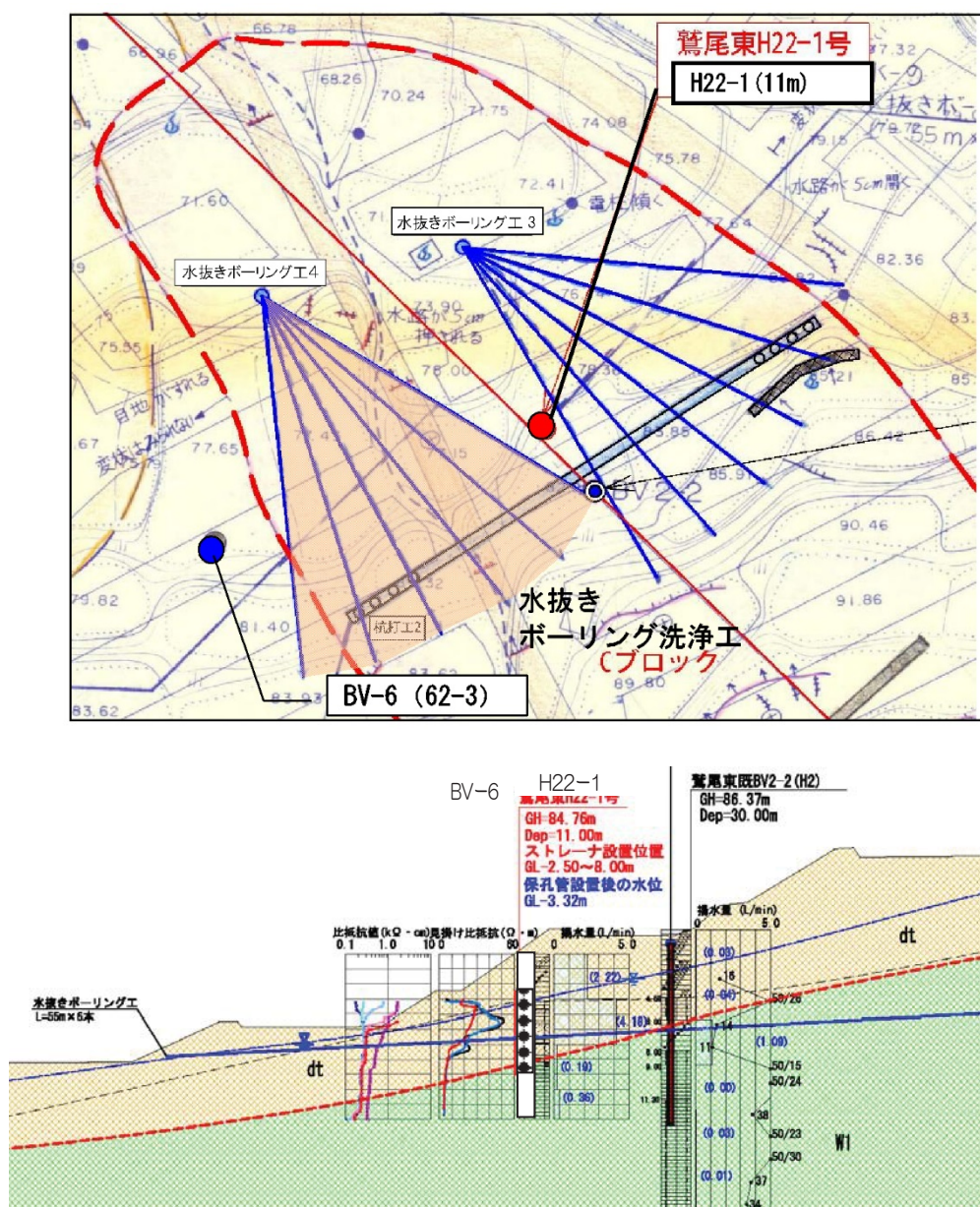


図 1.7 鷺尾東地区の平面図、地質断面図

・孔名	孔口および孔内手前部分における赤褐色スケール分布に関する項目						孔奥への粘土の侵入に関する項目				
	孔口付着度		孔口写真			孔内写真(孔手前)		粘土付着度 (最大箇所)		孔内写真(孔奥)	
	平成23年(施工前、追加は施工後)	平成24年9月	平成23年11月 (洗浄前)	平成23年11月 (洗浄直後)	平成24年9月	平成23年11月 (施工前)	平成24年9月	平成23年11月 (施工前)	平成24年9月	平成23年11月 (施工前)	平成24年9月
No.1	E	D						E	D?(褐色粘土)		
No.2	D	E						B	E		
No.3	E	E						D	E		
No.4	B	E						A	B		
No.5	D	E						A	A		
No.6	C	D						E	E		

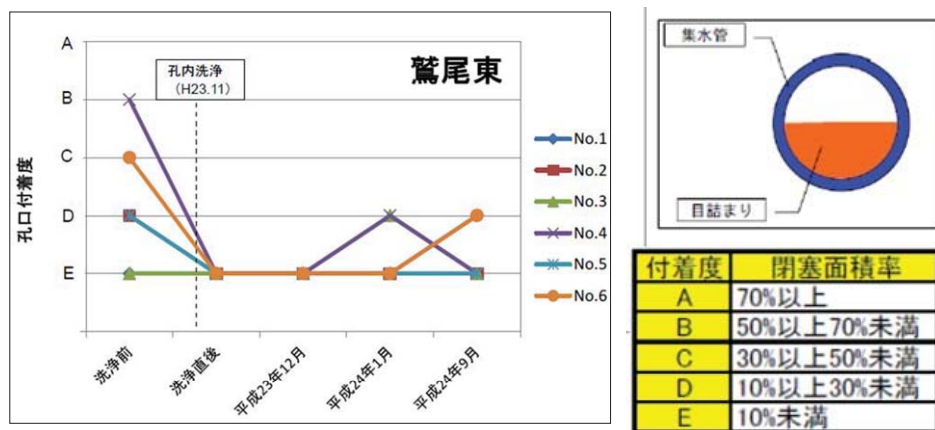


図 1.8 鷺尾東地区孔口観察・孔内カメラ観察結果

1.3 まとめ

洗浄工により孔内の目詰まり物質は除去できるが、地質により洗浄効果が維持できる期間が異なる。新第三紀泥質岩の新潟では数週間～数ヶ月、新第三紀泥質岩の千葉県では1年程度で目詰まりや孔奥への土砂流入が始まるのに対し、三波川帯の愛媛では1年後に目詰まりは無いが孔奥への土砂の流入が認められた。

洗浄工は短期的には目詰まり物質の除去や排水量の増加が期待できるため、地区（地質）ごとに洗浄時期を検討するとともに、対象施設の重要度を考慮した上で必要な施設を選定して施工する。

洗浄・追加ボーリングを行っても、台風等に伴う豪雨により地すべりが発生することもあるので、予期せぬ事象に備えて周辺部も含めた地すべり防止施設の定期点検が必要である。

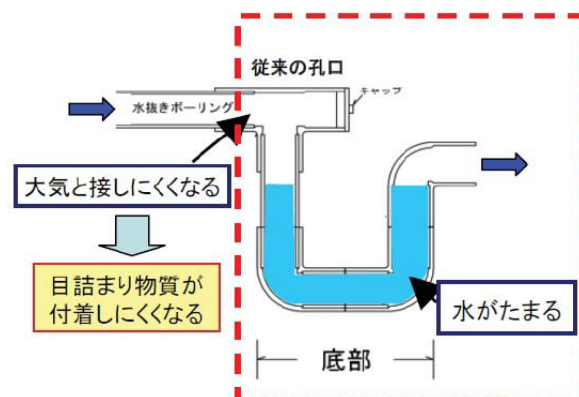
2. 孔口アタッチメント

2.1 方法

対象地区：新潟県鷲尾東地区、丸山地区、四俣刈地区

地質：いずれも新第三紀の泥質岩

目的：鉄酸化細菌は地下水中の Fe^{2+} を酸化させることでエネルギーを得る好気性とされる。本実験では、逆サイフォン構造（U字型）のアタッチメントを孔口に取り付けて、孔口付近の酸素量を低下させてスケールの孔口への形成の抑制効果を確認することとした。



2.2 結果

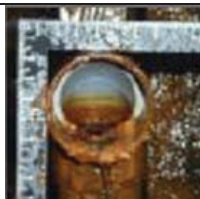
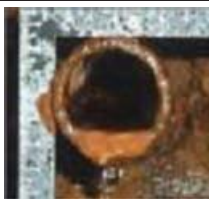
1) 鷲尾東地区：No.1

孔口及び孔内手前部分へのスケール形成状況はアタッチメントを取り付けていない他の水抜きボーリングと概ね同様であり、孔口へのスケール抑制効果は本地区では明瞭に確認できない。

	洗浄約10ヶ月後
孔口 アタッチメント あり	
孔口 アタッチメント なし	

2) 丸山地区：下段 No.5

孔口アタッチメントを取り付けた水抜きボーリングは、取り付けしていない場合と比較すると孔口ではスケール形成の減少は明瞭ではないが、孔内手前部分へのスケール形成が少ない傾向にあり、効果があると判断される。

	洗浄約10ヶ月後	
	孔口	孔内
孔口 アタッチメ ントあり		
孔口 アタッチメ ントなし		

3) 四俵刈地区：下段 No1

孔口アタッチメントを取り付けた水抜きボーリングは、取り付けしていない場合と比較すると孔口及び孔内手前部分へのスケール形成が少ない傾向にあり、効果があると判断される。

	洗浄約10ヶ月後	
	孔口	孔内
孔口アタッチメントあり		
孔口アタッチメントなし		

4) 溶存酸素濃度の測定

アタッチメントを取り付けた孔とその他の孔の溶存酸素濃度を測定することで、アタッチメントによる空気の遮へい効果を確認した。その結果、周辺他孔と比較すると地下水中の溶存酸素濃度が小さい傾向が見られる（表.1）。

表.1 地下水中の溶存酸素濃度の現地測定値（mg/L）

鷺尾東	平成24年9月	平成24年11月	丸山	平成24年8月	平成24年11月
No.1	2.6	3.1	上段No.1	3.5	2.2
No.2	5.9	6.2	上段No.2	5.1	3.5
No.3	6.9	6.5	上段No.3	3.8	3.2
No.4	5.2	5.5	上段No.4	データなし	データなし
No.5	5.6	5.1	上段No.5	4.4	4.3
No.6	6.0	5.4	上段No.6	6.0	2.4
			上段No.7	8.0	4.7
			上段No.8	4.7	4.7
			上段No.9	6.0	5.6
			下段No.1	3.8	3.3
			下段No.2	4.0	2.5
			下段No.3	4.5	3.7
			下段No.4	4.9	4.7
			下段No.5	2.0	2.3
			下段No.6	5.0	3.0
			下段No.7	4.9	3.9
			下段No.8	7.0	5.7
			追加No.1	2.0	1.8
			追加No.2	3.9	2.0
			追加No.3	7.1	5.0
			排水	9.4	6.3

四俵刈	平成24年8月	平成24年11月
上段No.1	4.1	2.5
上段No.2	3.6	2.6
上段No.3	3.3	2.8
上段No.4	6.3	5.2
上段No.5	7.0	5.7
下段No.1	データなし	4.5
下段No.2	7.2	5.2
下段No.3	6.9	5.7
下段No.4	5.5	3.6
追加No.1	データなし	2.9
追加No.2	データなし	5.0
追加No.3	7.0	5.4
排水	データなし	6.4

 ：孔口にアタッチメントを取り付けているもの

2.3 まとめ

アタッチメント取り付けによる孔口及び孔内手前付近への赤褐色スケール抑制効果については、丸山地区や四俵刈地区で見られたものの鷺尾東地区では明瞭に見られなかった。効果が得られなかった孔は、オールストレーナーによる土壌や強風化層を通じた酸素や浅層地下水の溶存酸素供給の可能性が考えられる。

アタッチメントを取り付けた孔は、周辺他孔と比較すると地下水中の溶存酸素濃度が小さくなる傾向があり、アタッチメントの効果は表れていると考えられる。

3. 追加ボーリング工

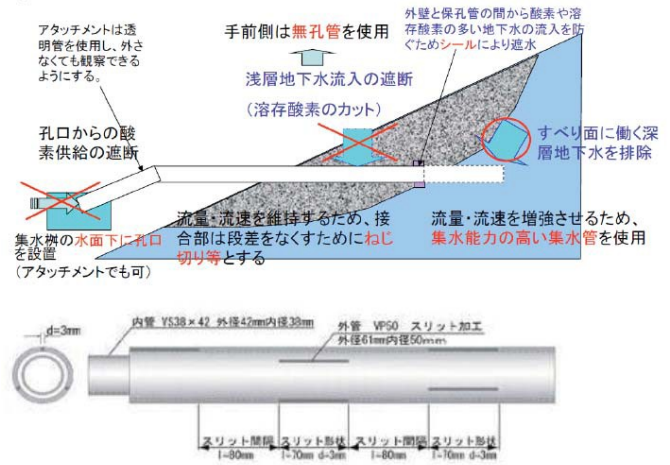
3.1 方法

対象地区：新潟丸山地区（3孔）、新潟四俣刈地区（3孔）

地質：いずれも新第三紀の泥質岩

目的：追加水抜きボーリングの施工効果の持続性を確認する目的で、追加水抜きボーリングを実施。3本のうち1本は、集水効率を上げるため高機能のパイプを用いた。

その後、施工約 10 ヶ月後の目詰まり物質形成状況を経過観察して施工効果の持続性について検証した。平成 23 年 11 月に洗浄、その後平成 24 年 9 月に観察を行った。なお、追加孔は浅層地下水、空気、溶存酸素の流入を防止する目的で孔口側は無孔管とした部分スクリーン孔とした。

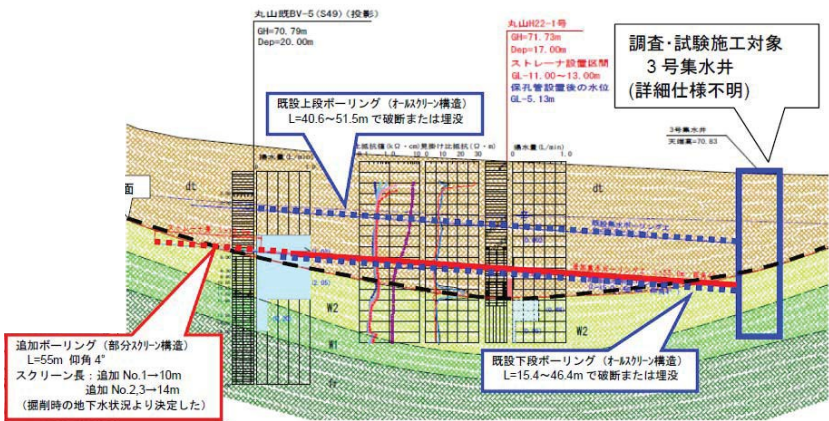


追加ボーリングの考え方と高機能パイプ

3.2 結果

1) 丸山地区

既設ボーリングがほぼすべての孔で赤褐色スケール形成しているのに対し、追加施工は3本すべてでスケールの形成が見られなかった。追加孔はスクリーン構造やアタッチメントの有無によらず赤褐色スケールの形成を抑制できた。孔奥への粘土侵入についてはどの孔も見られ、スクリーン構造の違いによる粘土侵入の抑制効果はない。

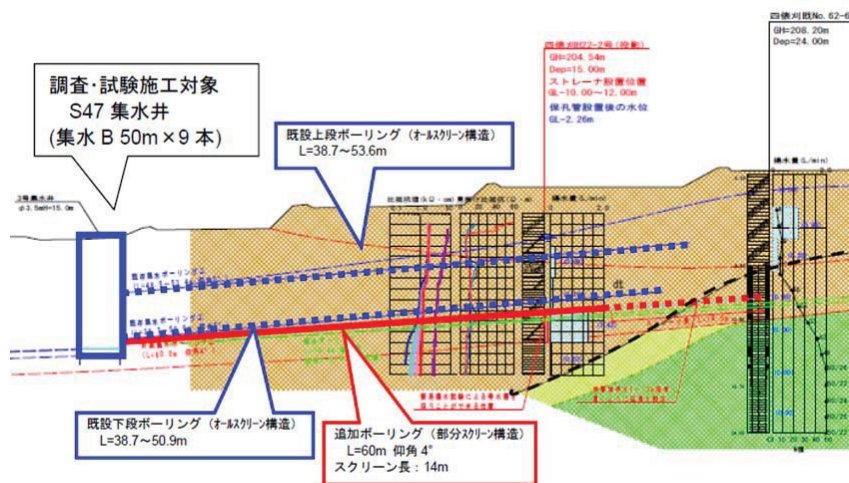


洗浄前 洗浄直後 洗浄後 10 ヶ月 孔奥洗浄直後 孔奥洗浄後 10 ヶ月

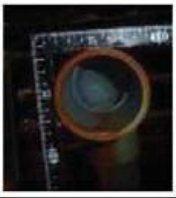
	洗浄前	洗浄直後	洗浄後 10 ヶ月	孔奥洗浄直後	孔奥洗浄後 10 ヶ月
丸穴オール					
丸穴部分		-		-	
MTパイプ部分		-		-	

2) 四俵刈地区

追加孔のうち 1 孔でわずかに赤褐色スケールが形成したが、残りの 2 孔ではスケールの形成がみられない。また、通常丸穴と高機能パイプにかかわらず孔奥への粘土の侵入が見られスクリーン構造の違いによる粘土侵入の抑制効果は確認できない。



洗浄前 洗浄後 10 ヶ月 孔奥洗浄後 10 ヶ月

丸穴部分			
MTパイプ部分			
丸穴部分			

3.3 まとめ

部分スクリーンによる追加水抜きボーリング施工は、丸山地区において明瞭に赤色スケール発生抑制効果が確認された。四俵刈地区では一部の孔にのみ効果が確認された。

すべての地点で効果があるわけではないが、赤褐色スケール形成の抑制には有効な工法であるものと考えられる。

4 集水井内点検方法及び塗装による機能回復試験施工の 検討事例

※「地すべり防止施設の機能保全の手引き～抑制工編～(平成 25 年 6 月)」の巻末資料より採録したものである。

集水井内点検方法及び塗装による機能回復試験施工の検討事例

1. 打診及びシュミットロックハンマーを用いた集水井ライナープレートの劣化度評価事例

目視による集水井ライナープレートの劣化度評価は、迅速性と安全性の点で有効な方法といえる。しかしながら、坑内での安全な作業が確保される場合、目視による劣化度評価に加えて、「打音」、「シュミットハンマー反発値」、「相対深度」の3つの指標を用いた評価を行うことで、より正確かつ客観的な評価が可能となる。

※ この手法は農林水産省が試験的に実施した調査を基にまとめたものであり、評価手法のひとつの事例として取りまとめたものである。適用にあたっては、それぞれの現場における劣化状況・施工状況を勘案し、評価を行っていただきたい。

1) 概要

関東農政局、北陸農政局、中国四国農政局及び九 農政局の458サンプルの調査データについて、劣化度評価(S)(図1)に関する多変量解析を行い、ライナープレートに作用する劣化要因を分析するとともに、劣化度評価の妥当性について検証した。

その結果、劣化度評価(S)値は、重相関係数 $R=0.8354$ の精度で、「①打音」「②シュミットロックハンマー反発値」、「③相対深度」の3つの説明変数を用いて評価できることが明らかになり、実用的に十分な精度を有しているものと判断される。

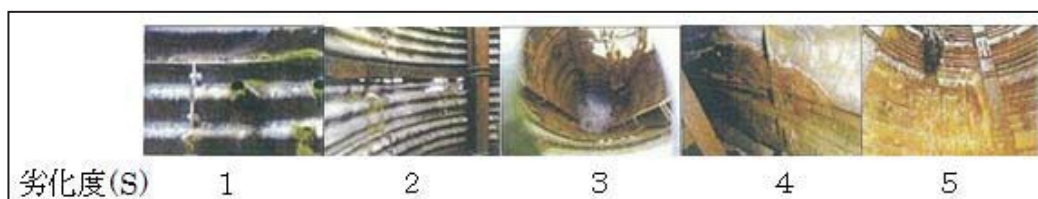


図 1 集水井ライナープレートでの目視による劣化度評価事例

2) 使用したデータ

分析に用いた集水井は、「松本(長崎県)」、「宮の前(長崎県)」、「大田(長崎県)」、「丸山(新潟県)」、「四俣刈(新潟県)」、「鹿原(千葉県)」、「大成(愛媛県)」、「池の窪(愛媛県)」、「中峰(愛媛県)」の9ヶ所のデータである。

分析に使用したデータは、「深度」「劣化度評価」「打音」及び「シュミットロックハンマー(SRH値)」の4つのデータが揃っているものを用い、コンクリートによる裏込めが確認された部分は除外している。

なお、「深度」については、経験的に深度が増すにつれて劣化度が増加する傾向が認められたため、深度絶対値ではなく、測定最大深度に対する相対的な値(深度比)の値(dr 値)を用いた。

3) 多変量解析による劣化度の定量的評価

各変数間の単相関マトリックスは表1のとおりであった。

表1 単相関マトリックス

S	1.0000			
DAON	0.8269	1.000		
SRH	-0.5518	—	1.000	
dr	0.2148	0.193	—	1.000
	S	DAON	SRH	dr

S：劣化度評価値（1-5）

DAON：打音（10:キンキン,20:カンカン,30:ポコポコ）

SRH：シュミットロックハンマー反発値（平均値）

dr：相対測定点深度（測定点深度／測定最大深度）

目的変数、「劣化度（S）」に対して、説明変数「打音（DAON）」は単相関係数 $r=0.8269$ と高い相関が認められた。続いて「シュミットロックハンマー反発値（SRH）」が $r=-0.5518$ となっている。

「相対深度（dr）」の相関は $r=0.2148$ と低い結果となった。

重回帰分析は、ステップワイズ法（変数増減法、変数編入除去有意水準 $P=0.05$ ）を用いて説明変数の組み込みの妥当性を検討しながら行った。統計解析ソフトは、Black-Box --- data analysis on the WWW --- を用いた。分析の結果、下記の結果を得た。

重回帰式： $[S] = 0.1522X[DAON] + 0.3389X[dr] - 0.0230X[SRH] + 0.8406$

重相関係数： $R = 0.8354$

t値： $t(DAON) = 24.42$,

$t(dr) = 2.28$,

$t(SRH) = 4.10$

(t値：変数の影響度を示す値)

それぞれの説明変数の偏回帰係数の符号をみると、「打音」で正、「相対深度」で正、「シュミットロックハンマー反発値」で負となっており、鈍い打音で、相対深度が大きく、シュミットロックハンマー反発値が小さいほど「劣化度（S）」は大きく評価されるといった経験的な傾向と一致する結果となった。

t値をみると、「劣化度（S）」に影響する因子として「打音（DAON）」が最も高く、続いて「シュミットロックハンマー反発値（SRH）」、「相対深度（dr）」の順となっている。

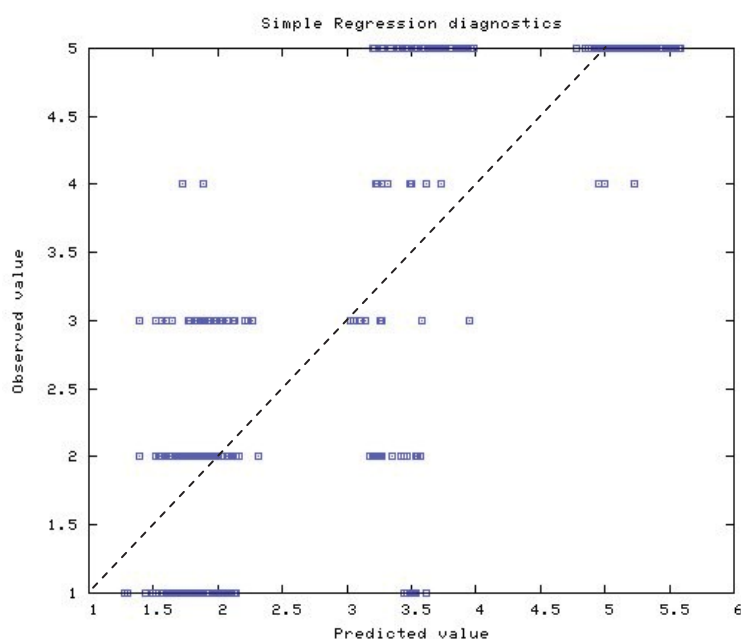


図2 予測値と観測値の相関図

($R=0.8354$)(破線は 1:1 線)

様々な分野で、打診による劣化度評価（健全度評価）が行われており、今回の分析結果において、「打音」の影響度が高く評価されたのも妥当な結果であるものとする。

統計解析の結果をみると、「打音」だけでも「劣化度（S）」に対して相関関係（単相関係数 $r=0.8269$ ）が認められたが、「シュミットロックハンマー反発値」と「相対深度」を併用することにより、より精度高く（重相関係数 $R=0.8354$ ）「劣化度」を評価することが可能となるものと判断される。

2 塗装による機能回復試験施工

集水井ライナープレートの補修工法としては、鉄素地の保護が考えられる。湿潤面での施工が可能で耐久性のある改良型エポキシ系樹脂塗料をライナープレートに試験施工したところ、作業は支障なく行え、品質管理も可能であった。

従来、集水井のような湿潤で閉鎖的な空間において手作業で安全に施工が行える塗料がなかった。近年、湿潤面での施工が可能な改良型エポキシ系樹脂塗料が開発され、港湾施設の鋼構造物の防蝕に適用されている。この塗料が集水井ライナープレートの補修工法として適当かどうか試験施工を行った。集水井への本塗料の適用は本調査が初めてである。

対象施設は、平成22年度の健全度調査対象施設のうち、補修の試験施工に適当な劣化度2～3程度の状況にある集水井を選定し（宮の前地区集水井（長崎県佐世保市内））、井筒内面（ライナープレート）の一部範囲に塗装を行った（図3）。

塗装の手順は一般的な塗装と同じように、清掃（植生除去・水洗）、プラスト処理（錆・汚れ除去）後、刷毛塗りで塗装（下塗り・上塗り）を行った。



図3 集水井内塗装作業状況

集水井内部であっても、塗装作業は支障なく行え、また必要な品質（塗膜厚さなど）の管理が可能であった。

3 塗装による施設の長寿命化とその適用性

現地暴露試験及び室内暴露試験等の結果、全国の平均的な劣化進行条件では、塗装を2回行うことにより31年間の施設の長寿命化が可能となり、塗装が施設の長寿命化を図る手法として妥当であることが確認された。

しかしながら、臨海部等の劣悪な劣化進行条件では、井筒背面での腐食の進行が速く、塗装の効果を上回るため、内巻き補強、新設等の抜本的対策が必要となる。

他方で、塗装工法は部分的な劣化部の補修が可能であり、補修範囲の程度によっては、内巻き補強や新設に対して経済的となるケースもあり得る。

現場での塗装による補修に際しては、集水井のおかれた劣化進行条件（劣化速度）の違いや施工範囲により延命効果と経済性が異なってくるため、事前に劣化進行状況を適正に把握し、期待できる延命効果を見極めることが重要である。集水井のおかれた劣化進行条件や施工範囲について検討することが重要である。

塗装による施設の長寿命化の効果を定量的に把握するため、現地暴露試験、室内暴露試験及び既存資料等により、集水井ライナープレート及び塗装面の劣化速度を推測し、これらの性能劣化曲線を作成した。

性能劣化曲線の作成に際しては、ライナープレートの周辺に生じる土圧（図4）に対抗できるだけの鉄素地部材の厚さ（有効部材厚）を性能指標とした。

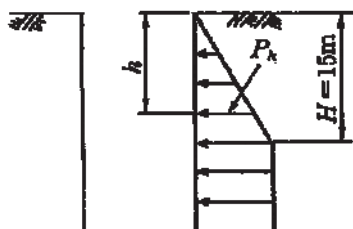


図4 集水井設計における土圧
想定模式図

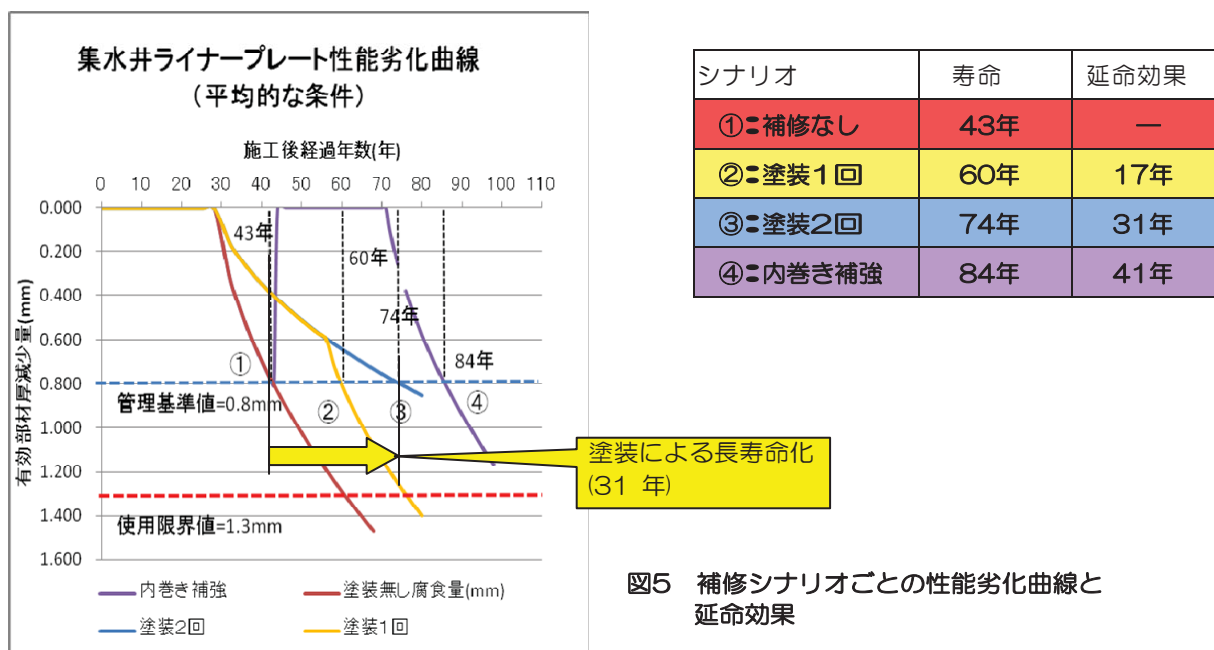
一般的なライナープレートは亜鉛メッキが施されていること、また塗装面では塗膜が部材厚さの減少を妨げることから、有効部材厚による性能劣化曲線を作成するため、次の3つを推定する必要がある。

- 1) 亜鉛メッキの耐久時間
- 2) 鉄素地（塗装もメッキも無い状態）の腐食速度
- 3) 塗膜の耐久時間

施設供用年数が約 30 年で、劣化度が異なる2ヶ所（宮の前：平均劣化度 2.5、松本左中：平均劣化度 4.8）の集水井について、現地暴露試験と室内暴露試験、あるいは既存文献等に基づき、上記1)～3)を推定して、補修シナリオに応じて性能劣化曲線を作成した（図5）。

なお、暴露試験の結果、鉄素地腐食曲線の形状は二次関数で最も精度良く近似できることが明らかになったため、性能劣化曲線は下に凸の二次曲線を用いて表現している（図5）。

補修シナリオは以下の4つについて比較した。①補修なし、②塗装1回、③塗装2回、④内巻き補強。検討の結果、平均的な劣化度条件下では塗装を2回行うことにより、31年間の施設の長寿命化が可能であることが分かった（図5）。



同様な試算を、臨海部等の劣悪な劣化進行条件下（劣化度 S=5 程度）でも行ったところ、井筒背面のライナープレートの劣化速度が著しく速いため、塗装による長寿命化の効果は低く、寿命は 29 年、延命効果は6年という結果となった。これらの場合、塗装による長寿命化を図るより、内巻き補強や 新設等の抜本対策を検討する必要がある。（そもそも劣化度 S=5 程度の劣化度では坑内に立ち入ることは危険であり、補修程度の対策では不十分である。）

しかしながら、塗装による補修工法は、部分的な劣化部の補修が可能であるメリットがあり、補修範囲の程度によっては、内巻き補強や新設に対して経済的となるケースもあり得る。

以上の検討結果から、現場での塗装による補修に際しては、集水井のおかれた劣化進行条件（劣化速度）の違いや施工範囲により延命効果と経済性が異なってくるため、事前に劣化進行状況を適正に 把握し、期待できる延命効果を見極めることが重要である。

5 地下水排除工（水抜きボーリング・集水井工）の 機能回復工の効果検討事例

※「地すべり防止施設の機能保全の手引き～抑制工編～(平成 25 年 6 月)」の巻末資料より採録したものである。

機能回復工の効果検討事例

■概要

地下水排除工（水抜きボーリング・集水井）の機能回復工による効果判定は、一般的には洗浄前後の排水量変化や地下水位低下に着目して行われている。しかし、これらの評価方法は観測時の天候に左右されやすく、効果判定が難しい場合がある。

そして、今回検討した機能回復工（洗浄・追加ボーリング等）実施前後の観測データを用いた効果判定事例を示す。

本件で検討した評価方法は以下の3方法である

- ①機能回復工後に地下水位が低下した事例
- ②機能回復工後に実効雨量の半減期が低下した事例（水みちの回復）
- ③機能回復工後に降雨に対する地下水位上昇パターンが変化した事例（水みちの回復）

※ この手法は機能回復工施工箇所の周囲に新たに水位観測孔を設置し、機能回復工の効果を判定した一事例を示すものであり、観測条件の違い等により全ての事例において評価可能なものとは限らないことに留意されたい。

1. はじめに

地下水排除工の効果判定は、主に機能回復工施工後の排水量の増加や観測最高水位の低下量等により判定されているが、評価を行う期間の降水量に左右されることもあり、この方法で適切な評価ができない場合がある。観測水位（最高水位比較）以外に、地すべり活動の抑制効果は、以下の2条件で評価できると考えられる。

- ①地下水位の低下
- ②地下水位低下時間の減少（申請まわりの水みちが回復する）：図 1.1 参照

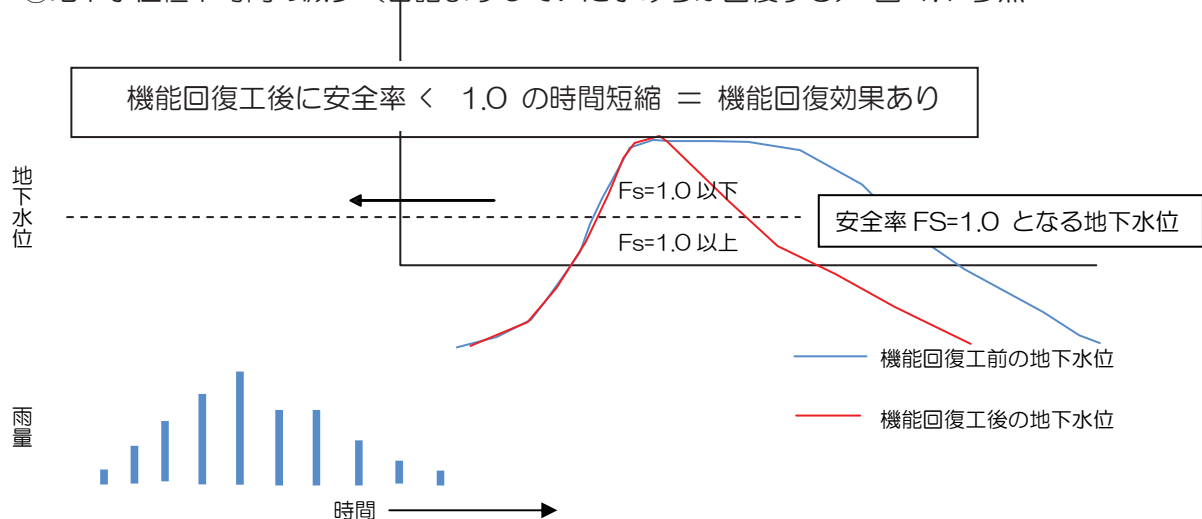


図 1.1 観測最高水位では確認できない機能回復効果例

同一規模の一連の降雨に対して、水みちが回復することで安全率が 1.0 に満たない時間が短くなれば、地すべり抑制には効果があると判断できる。

上記①②の条件が評価できる方法として以下の事例を2章に示す。

- ・機能回復工後に地下水位が低下した事例：2事例
- ・機能回復工後に実効雨量の半減期が低下した事例：2事例
- ・機能回復工後に降雨に対する地下水位上昇パターンが変化した事例：2事例

2. 機能回復工の効果判定方法と事例紹介

2.1 機能回復工後に地下水位が低下した事例

2.1.1 評価方法

施工前後の最高水位を比較する。ただし、突発的な集中豪雨時の水位上昇が、機能回復工施工前の最高地下水位を超過する場合があるので、最高地下水位の数値比較だけでなく、降雨の経年変化グラフによって評価する。

2.1.2 機能回復効果が確認できた事例

1) 新潟県丸山地区の事例

機能回復工：既設集水ボーリング洗浄 9 本
追加ボーリング 3 本

丸山地すべり集水井 上段集水ボーリング洗浄前【11月17日】

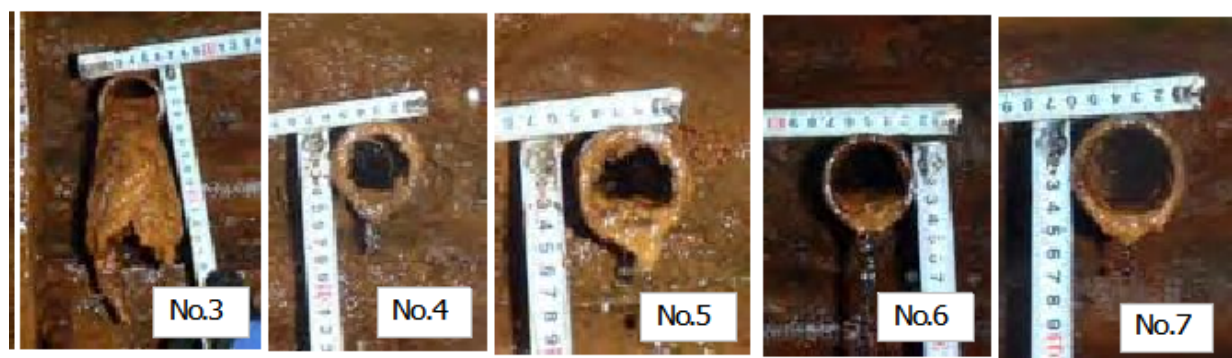


図2.1.2 (1) 洗浄前の集水ボーリングの目詰まり状況

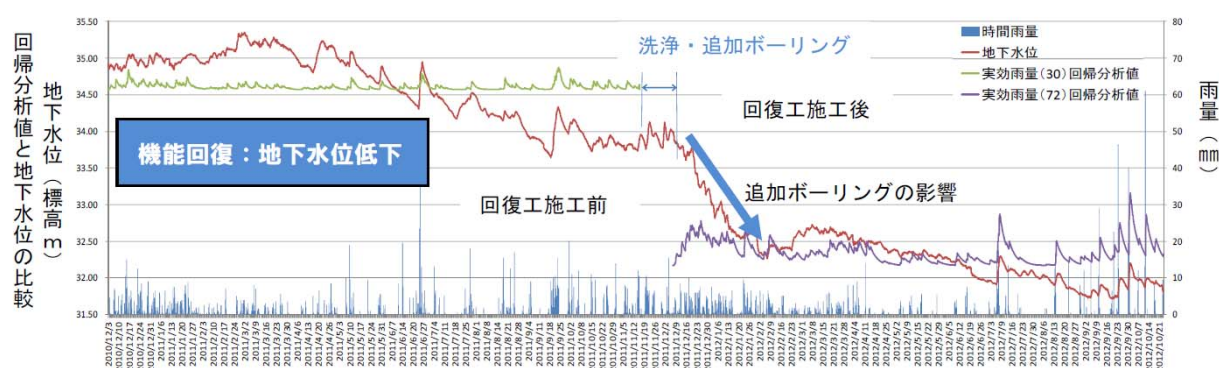


図2.1.2 (2) 丸山地区地下水経年変化図

2) 愛媛県ハツ松地区の事例

機能回復工：既設集水ボーリング洗浄 9 本



図2.1.2 (3) 洗浄前の集水ボーリングの目詰まり状況



図2.1.2 (4) ハツ松地区地下水経年変化図

機能回復工施工直前に水位が低下したが、その後、例年ならば上昇する水位が上昇しなくなった

2.2 機能回復工後に実効雨量の半減期が低下した事例

2.2.1 評価方法

(1) 方針

実効雨量半減期比較：回復工施工前後期間について、実効雨量を複数の半減期において計算し、地下水位と実効雨量の相関係数の最も高いものを最適半減期と認定する。機能回復工施工前後の半減期（水位低下曲線）の差があれば機能回復効果があったものとする。

(2) 解析の考え方

地すべり土塊中の地下水位分布は複雑であることから、単純な降雨-水位応答モデルの成立が期待できない。松浦ほか（2004）は、降雨から地下水位変動を予測する手法として①実効雨量②応答関数③タンクモデル④浸透流解析を用いる手法などをあげているが、本検討では、もっともパラメータ設定の簡単な実効雨量を用いる方法で検討した。

実効雨量を用いた地下水位想定方法としては、半減期の設定が重要であり、榎田ほか（2002）の時系列共分散分析を用いた方法や、海野ほか（2008）による回帰率の高い半減期を用いて実効雨量と地下水位を比較検討した事例が示されている。ただし海野ほか（2008）では豪雨や長期間の降雨では値がばらつくことが指摘されている。

本検討では、海野ほか（2008）の検討にならい実効雨量法を用いて検討を実施した。

実効雨量とは

一連の降雨（前後に24時間以上の無降雨期間があるひとまとまりの降雨）の降り始め時刻から起算して、1週間前までの降雨を前期降雨という。

一般的に土砂災害の発生は、現在降っている雨だけではなく、前期降雨の影響も受けており、この影響の度合いは現在との時間差が大きくなるほど減少すると考えられる。

そこで、前期降雨において時間雨量毎に半減期を考慮した係数をかけたものを累積した雨量を前期実効雨量といい以下の式で表現される。

$$R_t = r_t + \sum_{n=1}^x a_n r_{t-n} \dots\dots\dots(1)$$

$$a_n = 0.5^{n/T} \dots\dots\dots(2)$$

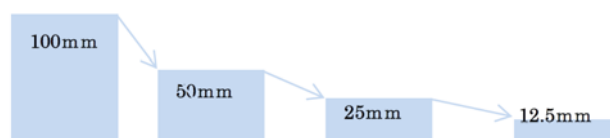
r_t ：時刻 t の時間雨量 a_n ：減少係数 T ：半減期

前期実効雨量と連続雨量の和の雨量を実効雨量といい、土砂災害発生危険基準線（CL）の設定に用いられる。

※ 半減期・・・ 地表に残った雨や地下にしみ込んだ雨が時間とともに減っていき、

地表や地下に残った雨量が降った雨量の半分になるまでの時間の長さという（単位：時間）

1日目降水 100mm 2日目降水 50mm 3日目降水 25mm 4日目降水 12.5mm



例：半減期T=1日（1日で半分 残留する）

榎田充哉・福田陸寿・清水洋・福井理作・市川仁士・岸原信義（2002）水文諸量の時系列解析手法に関する検討（2）-2 変量時系列解析手法の提案-水文・水資源学会誌15（1）23-88、

檜垣大助・丸山清輝・吉田克己・吉松弘之（1991）地すべり地における間隙水圧返送の観測、地すべり、28（3）、9-16.
北陸農政局 農村計画部資源課（2007）地すべり調査 農村地域地すべり対策施設機能維持検討調査 北陸地区 調査報告書

中里裕臣・海野寿康・井上敬資・高木圭介（2007）破碎帯地すべり地における地下水位の降雨応答解析、農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp.828-829, 2007

松浦純生（2004）積雪地帯における降水の到達過程と地下水及び地すべりの挙動（その3）、地すべり技術、30（3）12-22

海野寿康・中里裕臣・井上敬資・高木圭介（2008）破碎帯地すべり地区における地下水位計測と実効雨量に基づく地下水位の降雨応答特性、地すべり、45（3）、219-226.

(3) 具体的な作業手順

① 解析期間の設定

洗浄や追加ボーリング施工時期を境にして、機能回復工施工前・機能回復工施工後の観測期間を分ける。

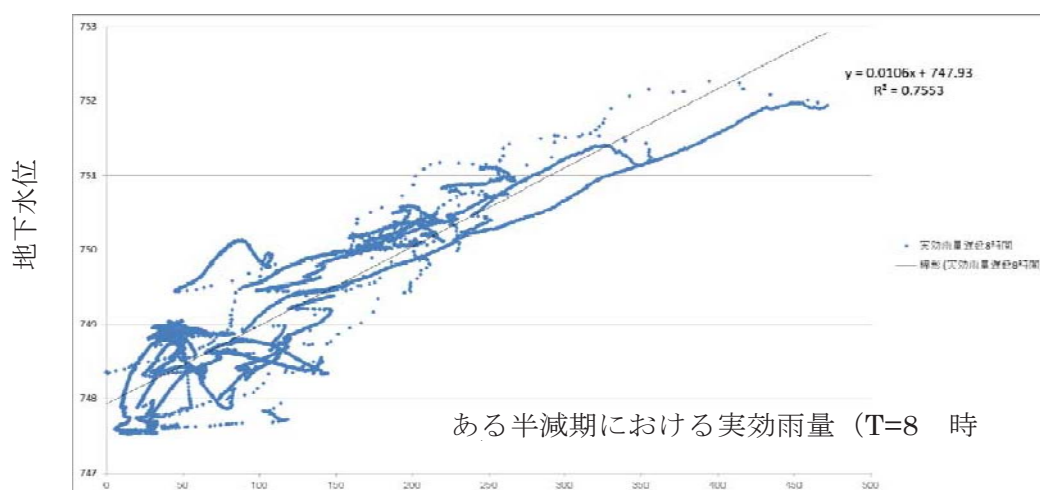
② 実効雨量の計算

それぞれの期間において、複数の半減期・遅延時間を設定し、実効雨量を計算する。

③ 最適半減期の決定

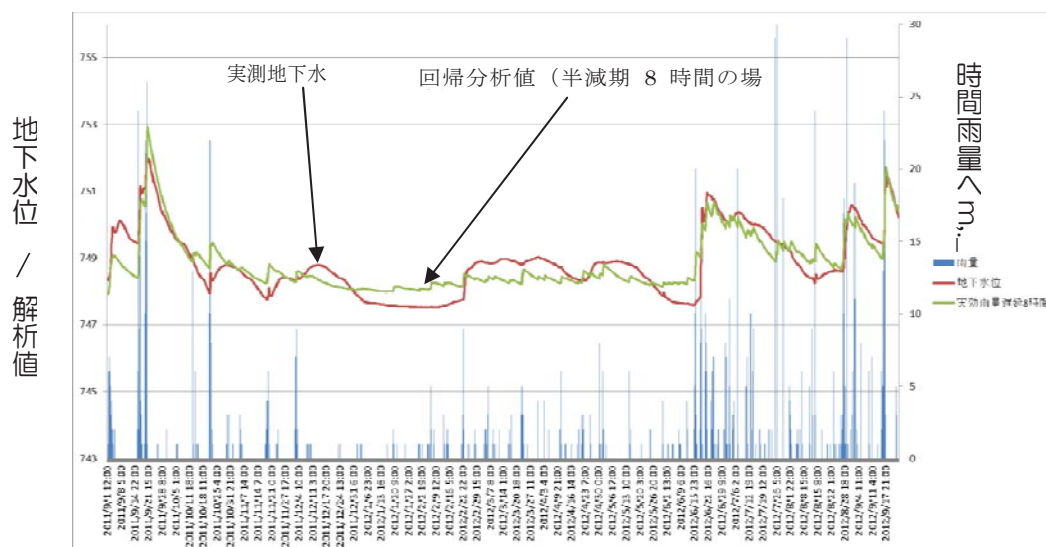
機能回復工前後のそれぞれについて、複数の半減期における実効雨量を求める。

地下水位と複数求めた実効雨量の中で、最も相関係数が良くなる半減期を決定する（最適半減期）。その際、下図に示す、実効雨量／地下水位図を作成し、ばらつきを確認する。



④ チェック

上図の近似式 (上記ならば $Y=0.0106x+747.93$) に実効雨量を代入し、実効雨量から想定される地下水位 (回帰分析曲線) を求め、実際の地下水位とのピークを比較する (下図)。



⑤ 半減期の確定と比較

上図を作成したうえで、回帰分析曲線と実測地下水位のピーク形状に大きな差がなければ、最適半減期とする。回復工施工前の最適半減期と回復工施工後の最適半減期の長さを比較する (上図では、2011/10/18—2012/6/15 までピーク形状が異なるため再検討する)。

2.2.2 機能回復工後に実効雨量の半減期が低下した事例

1) 愛媛県池の窪地区の事例

機能回復工：既設集水ボーリング洗浄 16 本
追加ボーリング 1 孔

目詰り調査結果

目詰り状況調査は、上段 8 孔、下段 8 孔の合計 16 孔について実施した。調査の結果、閉塞率 0%の孔が 9 孔あり、閉塞率 10%未満の孔が 7 孔であった



カメラ観察結果

・上段は褐灰色堆積物あり。
40%程度堆積



図 2.2.2 (1) 洗浄前の集水ボーリングの目詰り状況

2) 愛媛県池の窪地区 (H22No.2) の事例

機能回復工：既設集水ボーリング洗浄 16 本
追加ボーリング 1 孔

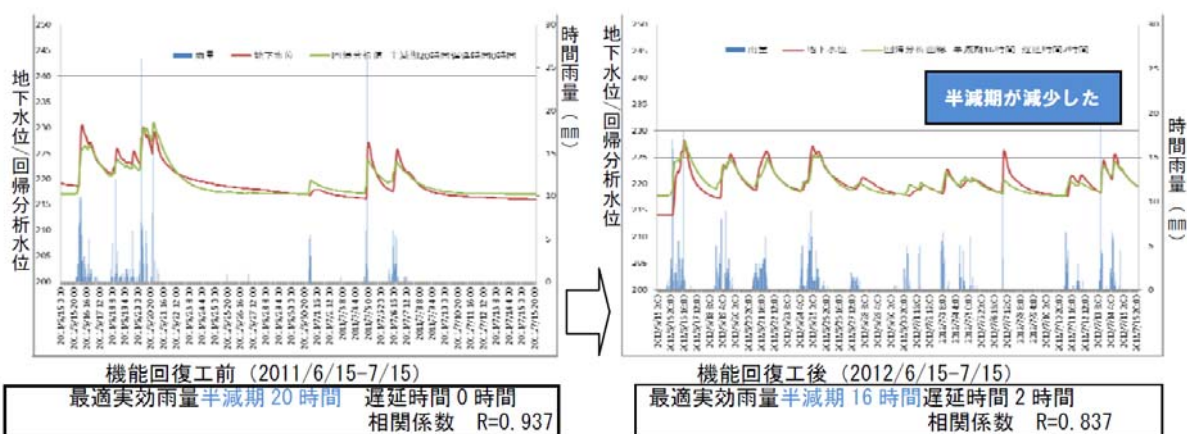


図 2.2.2 (2) 池の窪地区 (H22No. 1) の機能回復工前後の半減期比較

図 2.2.2 (2) 池の窪地区 (H22No.1) の機能回復工前後の半減期比較

実効雨量解析による回帰分析曲線と地下水位を示す。半減期は洗浄後に 4 時間低下している。

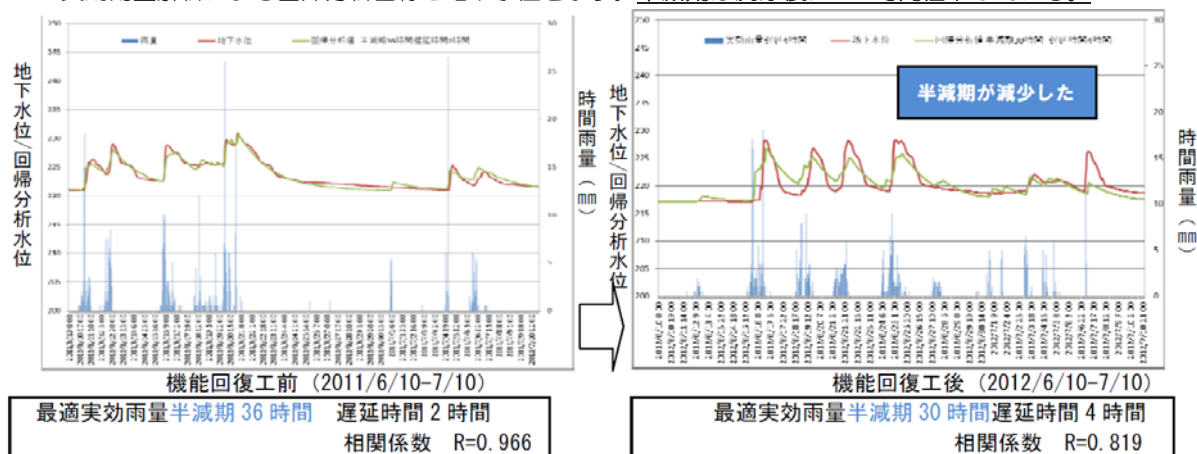


図 2.2.2 (3) 池の窪地区 (H22No.2) の機能回復工前後の半減期比較

実効雨量解析による回帰分析曲線と地下水位を示す。半減期は洗浄後に 6 時間低下している。

2.2 機能回復工後に降雨に対する地下水上昇パターンが変化した事例

2.2.1 評価方法

前項で述べた実効雨量解析において得られた最適半減期における実効雨量—地下水位図を用いて、降雨（実効雨量）に対する水位上昇パターンを機能回復工前後で比較する。機能回復後の水位上昇パターンが、機能回復前と異なる場合（特に一定降雨に対しての水位上昇が小さくなっている場合）は、機能回復工により水みちが回復したと評価する。

2.2.2 機能回復工後に降雨に対する地下水上昇パターンが変化した事例

例 1) 新潟県鷲尾東地区の事例

機能回復工：既設集水ボーリング洗浄 6本

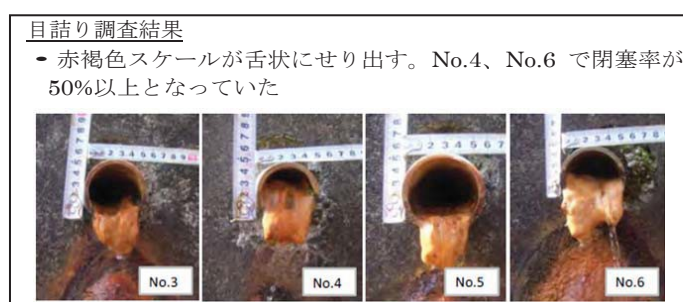


図 2.3.2 (1) 洗浄前の集水ボーリングの目詰まり状況

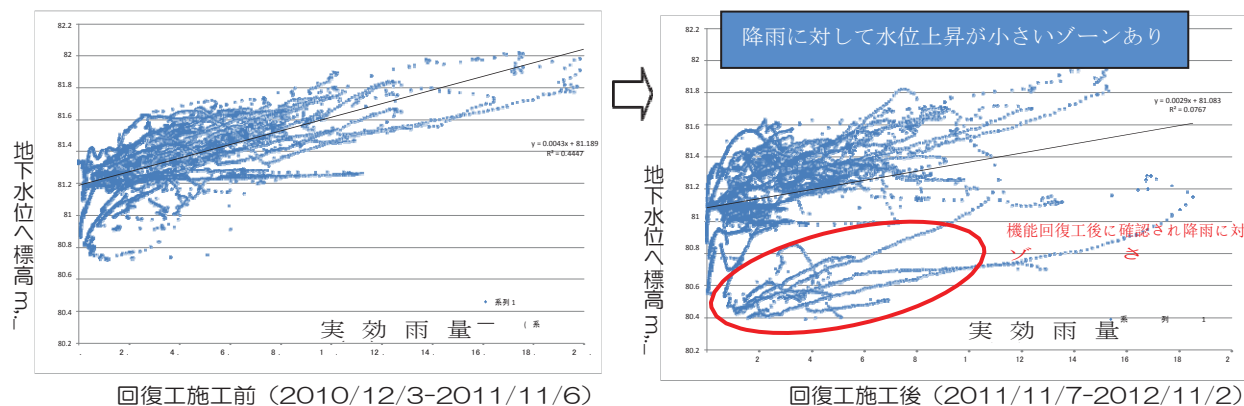


図 2.3.2 (2) 鷲尾東地区実効雨量と地下水位の関係
機能回復工施工後に実効雨量に対して水位上昇が顕著ではないゾーンが確認された

2) 愛媛県ハツ松地区の事例

機能回復工：既設集水ボーリング洗浄 9 本

洗浄前の目詰り調査結果

- 閉塞率 0%の孔が 1 孔、閉塞率 10%未満の孔が 7 孔あり、閉塞率 30-50%の孔が 1 孔、詰まりは少ない。見た目はあまり目詰まりがない箇所。



図 2.3.2 (3) 洗浄前の集水ボーリングの目詰まり状況

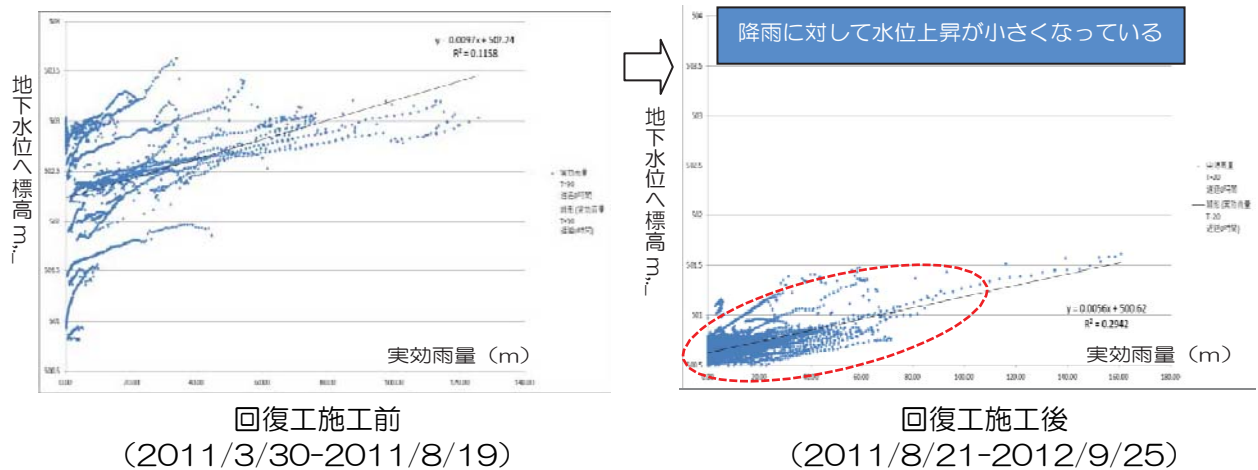


図 2.3.2 (4) ハツ松地区実効雨量と地下水位の関係
機能回復工施工前は、実効雨量に対して地下水位がばらついていたが、
機能回復工後は水位変動が小さくなっている。

6 アンカー工で確認される異常の事例

※「地すべり防止施設の機能保全の手引き～アンカー工編～（平成 27 年 7 月）」の巻末資料より採録したものである。

1 アンカーの構造と異常

ここでは、施設の機能診断で見られるアンカーの劣化・損傷などの事例について紹介する。

通常、アンカーは構造の大部分が地中に埋設されており、一般に可視できるのはアンカー頭部に限られる。図 1-1 にアンカー頭部を構成する部材の名称を示す。

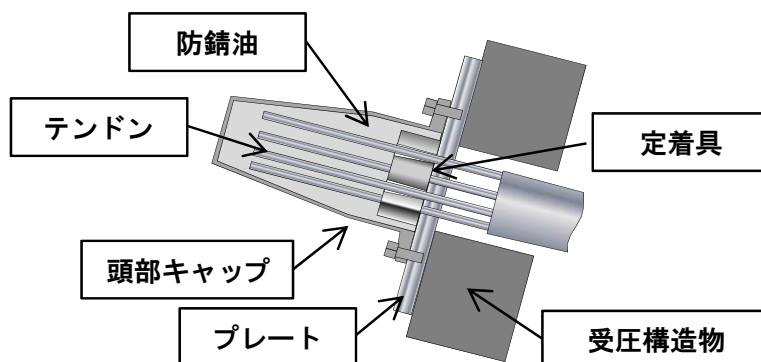


図 1-1 アンカー頭部の構造例と部材名称（頭部キャップ（くさび方式）の場合）

アンカー頭部は、頭部コンクリートもしくは頭部キャップによって保護されていることが多く、外観上の劣化・損傷の状況は確認しやすいが、内部の状態を施設外観から判断することは非常に困難である。

アンカーにおける異常は、抑止機能に関するものと維持機能に関するものに分類される。抑止機能はアンカーにとって最も重要な機能であるが、この機能の状態を施設の外観から判断することはできない。ただし、完全に機能喪失している場合には外観上にその影響が及ぶ場合もある。維持機能は、腐食などに代表される部材劣化が中心であり、施設の状態を目視で判断することも可能である。

2 アンカー工の異常事例

アンカー工の異常は、抑止機能や維持機能と関連をもって整理される必要がある。ここでは、アンカー工に生じやすい異常について、概査点検項目をもとに説明する。また、外観では目視できない定着具や頭部背面でみられる異常について概説する。

2.1 テンドンに見られる異常

外観で認められるテンダンの異常は、テンダンの飛び出し、落下である。頭部背面でのテンダンの破断や地盤とアンカー体の付着切れ等が原因で、緊張荷重の急激な低下によって生じる。これらは、材料の劣化や想定外の外力の影響が主たる要因である。

また、頭部保護がないアンカーでは、テンドンが露出しているため腐食しやすい。



図 2-1 テンドンの飛び出し事例（腐食による破断）

左の写真は昭和 54 年に施工された低防食構造のアンカーで見られたテンドンの飛び出し事例。同様の飛び出しが周辺でも確認されることから、テンドンの腐食による破断が原因と推察される。右の写真は別の現場で腐食により多数のテンドンの飛び出しが確認されたもの。腐食環境下にある旧タイプアンカーは、このように集団で機能低下することがある。



図 2-2 テンドンの飛び出し事例（斜面崩壊による破断）

酒井俊典他（2013）：「平成 23 年台風 12 号の豪雨によるグラウンドアンカーの被災状況の調査」地盤工学会中部支部シンポジウム

平成 23 年の台風 12 号により、施工途中のアンカー法面が被災し、斜面崩壊による荷重増加によりテンドンが飛び出した。



図 2-3 テンドンの飛び出し事例（定着地盤の風化による摩擦抵抗の低下）

豊住健司（2009）：「奈良名張線における既設アンカーの
老朽化調査と維持管理について」国土交通省国土技術研究会
国土交通省ホームページ

(www.mlit.go.jp/chosahokoku/h21giken/program/kadai/pdf/ippan/ippan2-04.pdf)

テンドンの飛び出し事例（定着地盤の風化によって摩擦抵抗が低下したことが要因と推定される）

テンドンは鋼線や鋼棒などで構成されている。したがって、頭部保護がない場合は、腐食などの異常が見られることが多い。



図 2-4 テンドンの腐食事例

頭部保護がなく、防錆構造が確保されていないことにより、テンドンの腐食が急速に進行している。

テンドンの飛び出しがある場合は、テンドンが既に切断されているか、アンカー体と地盤の付着力が喪失している状態を示す。この状態に至った場合、補修や補強をすることは困難であり、アンカーの再設置が必要かどうかの判断となる。

2.2 頭部保護に見られる異常

頭部コンクリートや頭部キャップには、 tendon や定着具を保護する重要な役割があるが、周辺環境の影響で劣化・損傷を受けやすい。また、 tendon の飛び出しにより影響を受けることも多い。

①頭部コンクリートの異常



図 2-5 頭部コンクリートの浮き事例

頭部コンクリートがプレートとともに浮き上がっている事例。この状態では、抑止機能が喪失している可能性が高い。 tendon の飛び出しと同様に、再設置の検討が必要となる。



図 2-6 頭部コンクリート背面からの漏水・錆汁の事例

アンカー頭部背面の状態を、頭部コンクリート背面付近で推察できることがある。写真のように錆汁がある場合は、 tendon の腐食も疑われる。



図 2-7 破壊・部分的な欠損の事例

頭部コンクリートの破壊や部分的な欠損の要因は様々である。外的要因で生じる場合やテンドンの腐食（錆による膨張）に伴う割れ目の生成等も考えられる。頭部コンクリートのみの異常であれば、頭部キャップへの付け替えなどを検討する。



図 2-8 0.5mm 幅を超える程度のひび割れの事例

コンクリートや鋼材など材料の劣化等によりコンクリート表面にひび割れが生じる。ひび割れ補修を検討するか経過観察が必要となる。



図 2-9 頭部コンクリートからの遊離石灰の事例

遊離石灰はコンクリート構造物によく見られる現象であるが、頭部コンクリート背面にある場合は、アンカー頭部背面に地下水が浸入している懸念がある。ただし、確認される異常が遊離石灰のみの場合は、即対応を実施とはせず、経過観察とする。



図 2-10 頭部コンクリート背面に隙間の事例

頭部コンクリート背面の隙間は、テンドンの飛び出しに関連する可能性もあるが、どちらかといえば施工による影響や経年劣化の影響が大きい。隙間沿いからの水の浸入等の可能性もあり、写真のように遊離石灰などを伴うこともある。隙間が大きければセメントや樹脂系材料を充填などするか、頭部キャップへの交換を検討する。

②頭部キャップの異常



図 2-11 頭部キャップの損傷の事例

頭部キャップは設置環境により様々な影響を受ける。左上写真は、積雪荷重により頭部キャップが谷側へ押し倒されたものである。右上写真は、落石によってキャップが陥没したものである。下写真は、腐食環境下で穴が開いた事例である。このような事例では、損傷を与える要因を除去することを優先させ、現在の頭部キャップより強度が高いもの、より耐候性のあるものへ取り換える。



図 2-12 頭部キャップの材質劣化・肉厚減少や浮きを伴う腐食の事例

頭部キャップの材質劣化や腐食は、設置環境の影響によって大きく左右される。写真の事例では、腐食が進行し穴はないものの浮きが認められる。



図 2-13 固定ボルトの緩みの事例

写真の事例では固定ボルトの緩みが認められている。現象自体に重大性はないが、頭部キャップ内の防錆油漏れの原因になり、維持性能を低下させる恐れがあるため、可能であれば増締めを行う。



図 2-14 頭部キャップ周辺の防錆油漏れによる汚れの事例

頭部キャップからの防錆油漏れは、頭部キャップの緩みや O リングなどの止水部材の劣化が原因となっていることが多い。このような部材は容易に交換可能であるため、適宜対策を実施するのが良い。

2.3 プレートに見られる異常

プレートの異常は、浮きや漏水、材料の劣化（腐食）、周辺の汚れなど目視観察によって確認するものの他に、緊張荷重の喪失によりプレートが人力で動かせるような状態もある。



図 2-15 プレートが人力で回転可能な事例

アンカーの残存引張力が維持されていれば、プレートは固定され容易に動くことはない。人力で回転させることができるようなアンカーでは、引張力が失われており、抑止機能に問題がある状態といえる。アンカー体の定着状態が健全であり、テンドンに問題がなければ、荷重を与えて再び緊張させることができる。



図 2-16 頭部・プレートの浮きの事例

頭部・プレートの浮きは、抑止機能に関係する場合もあるが、容易にプレートが動かないような場合は、むしろ維持機能が問題となることがある。プレート背面から地表水等が流入しやすい状態になっているときは、シール材を用いてプレート外周の止水処理を行う。



図 2-17 プレート背面からの漏水の事例

プレート背面からの漏水は、アンカー頭部背面に水が浸入している可能性のある事象として注意する必要がある。プレート背面に限らず、アンカー頭部周辺からの湧水や頭部背面から漏水していると想定される場合は、腐食環境下であると意識して、周辺に同様な事象がないか、または部材の腐食がないか注意して観察することが重要である。



図 2-18 プレートの肉厚減少や浮きを伴う腐食の事例

腐食環境下では、プレートの腐食も進行する場合がある。また、供用年数の長いアンカーの場合も、プレートの腐食が見られることがある。全面的に発錆していてもそれ自体がアンカー機能に直接影響することはないが、腐食環境にあることに留意し、防食性に問題がないが確認することが望ましい。深部に至る腐食がある場合は留意する必要がある。程度の大きい異常があればプレートを交換する。

2.4 受圧構造物に見られる異常

アンカー機能に影響する受圧構造物の異常は、変位を伴うものが主体であり、抑止機能に大きく影響する。構造物を点検する際の大事な視点は、アンカーの緊張荷重を正常に支持させることができるかどうかである。



図 2-19 受圧構造物に生じたひび割れ、段差等を伴うひび割れの事例

構造物に生じたひび割れは、アンカーの抑止機能を低下させる要因となる。開口性があるひび割れや段差を伴うひび割れの場合、緊張荷重を正常に地盤等に伝達させることは困難である。また、鉄筋コンクリート構造物の場合は、ひび割れが影響して鉄筋を腐食させる原因となる。大きな変状がある場合は受圧構造物背面の地盤に問題があることも想定されるため、詳細調査は施設の他に地盤も含めて実施することを検討する。



図 2-20 受圧構造物の大きな変状の事例

酒井俊典他（2013）：「平成 23 年台風 12 号の豪雨によるグラウンドアンカーの被災状況の調査」地盤工学会中部支部シンポジウム

受圧構造物の変状によってアンカー機能が喪失する場合と、アンカー機能の喪失により受圧構造物が大きく変状する場合がある。後者では、受圧構造物の落下が想定されるため、周囲への危険性がある異常といえる。写真は、豪雨による崩壊で施工中のアンカーが被災し、受圧板が落下したものである。



図 2-21 アンカー直下まで達するような大きな隙間の事例

法枠枠内の中抜けや受圧構造物周辺の侵食等により、受圧構造物背面地盤に隙間が生じ、それが拡大することによってアンカー直下まで至るようになると、受圧構造物としての機能が失われる恐れがある。左写真では、吹付枠部背面の土砂の流出が認められ、右写真のように枠部背面ではテンドンが露出する状態になっている。大きな隙間は充填するなどして、地盤反力が得られる状態にする。

2.5 定着具周辺に見られる異常

定着具は、アンカーの抑止機能に係る重要な部材である。以下に示す異常の事例は、通常外観目視では確認できないが、頭部露出調査などで見ることができる。



図 2-22 防錆油の劣化の事例

弘和産業(株)：「グラウンドアンカー維持管理技術」カタログ（一部加筆）

防錆油の劣化は、水や熱の影響または酸化などにより生じ、色調によってある程度確認することが可能である。写真のように黒色や赤褐色、乳白色に変質した防錆油は交換する。また、防錆油がなかったり十分に充填されていないこともあるため留意する。



図 2-23 定着具の腐食の事例

定着具は、通常は防錆処理が施されているため腐食することはないが、水の浸入や防錆油の流出により、発錆することがある。軽度であれば、錆落としなどの処理が有効であるが、腐食が進行している場合は交換する。ただし、定着具を交換するような場合は、テンドンの腐食も進行している場合が多く、補修は困難なことが多い。



図 2-24 テンドンの引き込まれの事例

テンドンの引き込まれは、くさび定着などでみかけられる。緊張余長が短くなり、アンカーの緊張荷重も減少していることが想定される。くさびに異常がある場合は交換する。

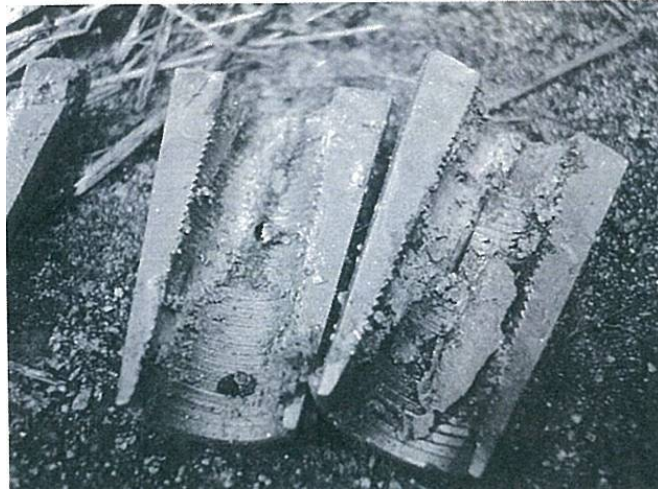


図 2-25 くさび劣化の事例

末吉達郎（2010）：「既設アンカーの補修・補強事例」
基礎工 vol.38, No.9, pp.61-64

写真の事例は、頭部コンクリート設置時に、くさびの隙間からセメントなどが流入したものである。このような状態では、定着機能を十分発揮できず、テンダンの引き込まれなどが生じやすくなる。また、くさびは大きな耐荷性が求められるが、破損しやすい部材でもあるため、僅かな異常がアンカー機能全体に大きく影響することに留意しなければならない。

2.6 頭部背面に見られる異常

頭部背面の異常は、施設の維持管理において最も留意しなければならない。テンダンの破断は、頭部背面で起きている事例が多いと言われており、その要因にテンダンの腐食が挙げられる。



図 2-26 テンダンの腐食の事例

豊住健司（2009）：「奈良名張線における既設アンカーの
老朽化調査と維持管理について」国土交通省国土技術研究会
国土交通省ホームページ

(www.mlit.go.jp/chosahokoku/h21giken/program/kadai/pdf/ippan/ippan2-04.pdf)

左写真は鋼棒によるテンダンの腐食事例、右写真は PC より鋼線によるテンダンの腐食事例である。自由長部は防錆処理のない状態で設置されていた。



図 2-27 頭部背面の異物等混入の事例

出典：独立行政法人土木研究所・社団法人日本アンカー協会 共編『グラウンドアンカー維持管理マニュアル』、鹿島出版会(2008), pp.78-79

左写真は頭部背面の土砂混入状況、右写真は頭部背面の地下水の浸入状況である。本来、異物の混入は劣化を助長させる要因になりやすいため、除去しなければならない。除去後は、水密性を確保させるため、現状の頭部背面構造に適した止水対策を行う。

7 アンカー工に対する詳細調査の実施事例

※「地すべり防止施設の機能保全の手引き～アンカー工編～（平成 27 年 7 月）」の巻末資料より採録したものである。

1 調査概要

ここで紹介するアンカー工の詳細調査の事例は、本手引き作成にあたり試行的に実施されたものである。

調査対象とした施設は、同じ地すべりブロック内に異なる時期に施工された 2 種類のアンカー工で、概査において頭部の緩み（プレートが人力で回転する）等の異状が認められた。ただし、概査に先立って実施した日常点検では、全ての施設で「異常なし」と判断されており、歩行目視点検だけでは施設の異常が判断しにくい状況にあった。また、これらの施設では、設計や施工に係る資料が十分には揃っていなかった。

概査の結果から、頭部の緩みが確認されたアンカーの周辺のアンカーが過緊張になっている可能性が示唆されたことから、「頭部露出調査」「リフトオフ試験」を実施し、部材の状態と残存引張り力を調べた。また、頭部が緩んだ原因を調べるために、今回はさらに、テンドンの状態やアンカー体の地盤への付着状況を確認する目的で「頭部背面調査」「維持性能確認試験」を行った。

「頭部露出調査」等の結果、部材の劣化や損傷は認められず、維持機能は保持されていた。一方「リフトオフ試験」の結果、過緊張は確認されず、テンドンの飛び出しや地すべり活動の兆候は確認されなかった。ただ、残存引張り力の低下傾向が全体にみられ、その大きさにもばらつきが見られた。また、「維持性能確認試験」を実施した 3 本のアンカーの内、2 本は引っ張り力を加えて引き続き供用できることが確認できたが、1 本で試験中に引抜けが生じるなど、課題が見られた。

2 対象箇所

対象とした場所は、本州の寒冷地に位置し、新第三紀の砂岩泥岩互層が分布している。周辺には、地すべり地形が比較的多く分布し、地すべり防止区域も多い。調査対象となったアンカー工は、人家の裏にある傾斜 40° 程度の斜面に施工されたもので、平成 9 年に 91 本が施工され、隣接する斜面で平成 14 年に 14 本が施工されている。



図 2-1 対象箇所に設置されたアンカー

アンカーは、縦 4m×横 4mの等間隔で配置され、頭部には角度調整のための台座が付けられている。なお、受圧構造物としては吹付砕工が採用されている。

法枠背面では表土の侵食が生じており、一部は空洞が形成されていた。なお、対象法面が位置する地すべりブロック周辺では、新たな地山の変状等は認められず、地すべり活動は停止しているものと判断された。



図 2-2 吹付法枠工背面の空洞部

3 概査結果と調査計画

概査結果では、2 施設 105 本のアンカーのうち、23 本で「プレートが人力で回転可能」の状態にあり、アンカー頭部の緩み（残存引張り力の喪失）があると考えられた。また、「頭部キャップ周辺での防錆油漏れによる汚れ」が 9 本で確認され施設の劣化も懸念されたため、「詳細調査が必要」との判定結果となった（図 3-1）。

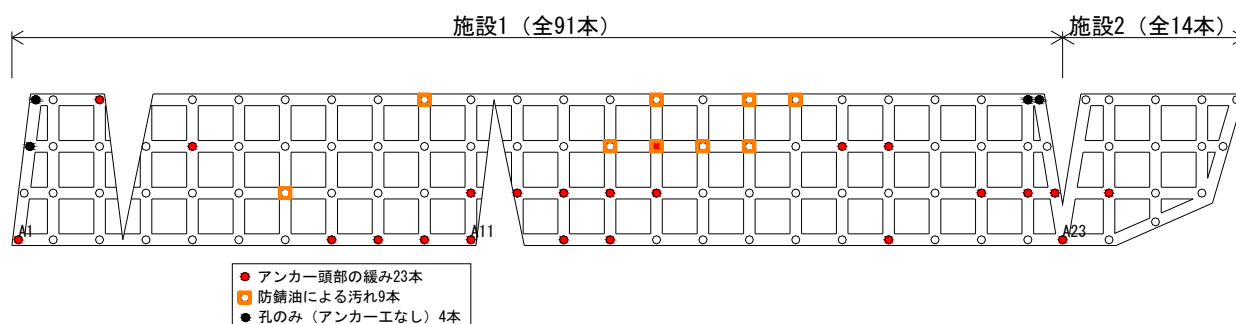


図 3-1 概査結果による異常の分布

上記の結果から、以下の点に着目して詳細調査を計画した。

①特定範囲に集中するアンカー頭部の緩みの分布

アンカー頭部の緩みは、法面の中央下部や施設1と施設2の境界付近に偏在し、その分の負荷が周辺のアンカーに荷重の増加として及んでいる可能性が考えられた。

②頭部キャップからの防錆油漏れ

頭部キャップから防錆油が漏れていることから、テンドン（PC 鋼より線）の腐食や頭部定着具の劣化が懸念された。

③アンカー定着部の付着状態

アンカー頭部の緩みが一定範囲で生じた原因の一つとして、アンカー定着部のグラウトもしくは定着している基盤の劣化によって摩擦抵抗が小さくなり引抜けが生じている可能性が考えられた。

当施設では、上記の点を踏まえ「頭部露出調査」等によって部材の状態を確認するとともに、概査では異常が見られなかったアンカーを対象に「リフトオフ試験」を行って、残存引張り力の大きさとその分布を確認することとした（図 3-2）。

さらにアンカーに過緊張状態がないことを確認した上で、頭部の緩んだアンカーの一部で「維持性能確認試験」を併用して、アンカー定着部と基盤の付着状態についても確認した（図 3-3）。

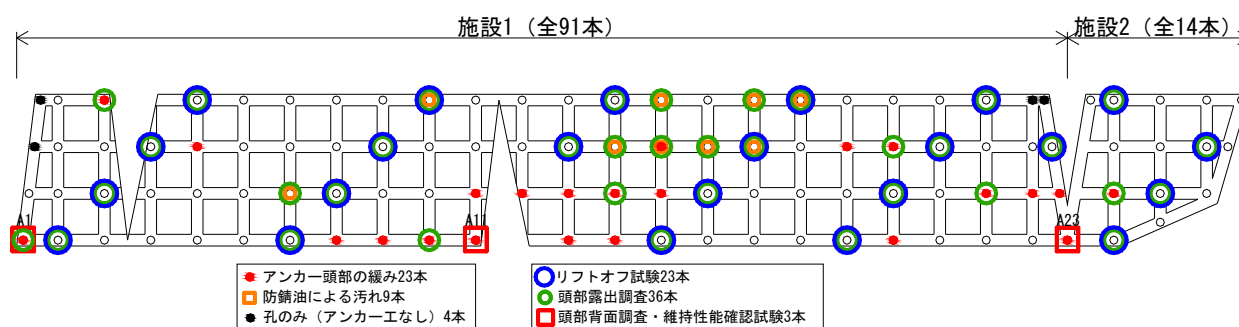


図 3-2 詳細調査計画

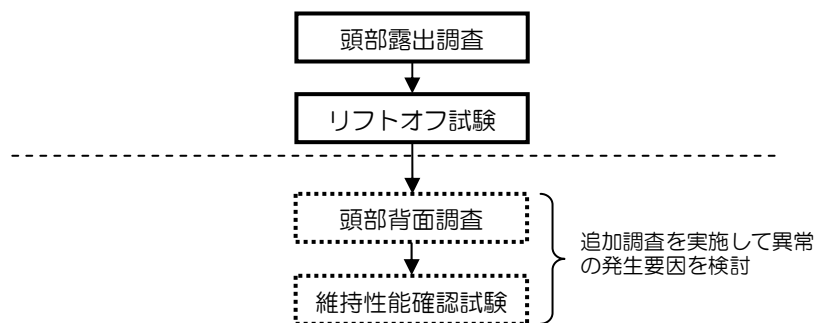


図 3-3 詳細調査の流れ

4 詳細調査の結果

(1) リフトオフ試験まで

「頭部露出調査」を行った結果、対象施設のアンカーに腐食や劣化・損傷など、維持性能が顕著に低下している傾向は認められず、ほぼ健全な状態であることが確認された（図 4-1）。なお、法面の右側（施設 1 の右側と施設 2）のアンカーは、PC 鋼より線が 2 本、左側（施設 1 の左側）のアンカーは 3 本の規格であることがわかった。



図 4-1 頭部露出調査例

リフトオフ試験は、法面全体の残存引張り力の大きさと分布の傾向が分かるように実施箇所を配置した（図 3-2）。

アンカーの荷重に関する資料がないため、計測した残存引張り力を、当初の設計・施工条件と比較して評価することはできないが、降伏引張り力（ T_{ys} ）に対する残存引張り力の比でみると 2～40% の範囲にあり、全体に低めの値で、その分布も不均一となっていることが認められた（図 4-3）。

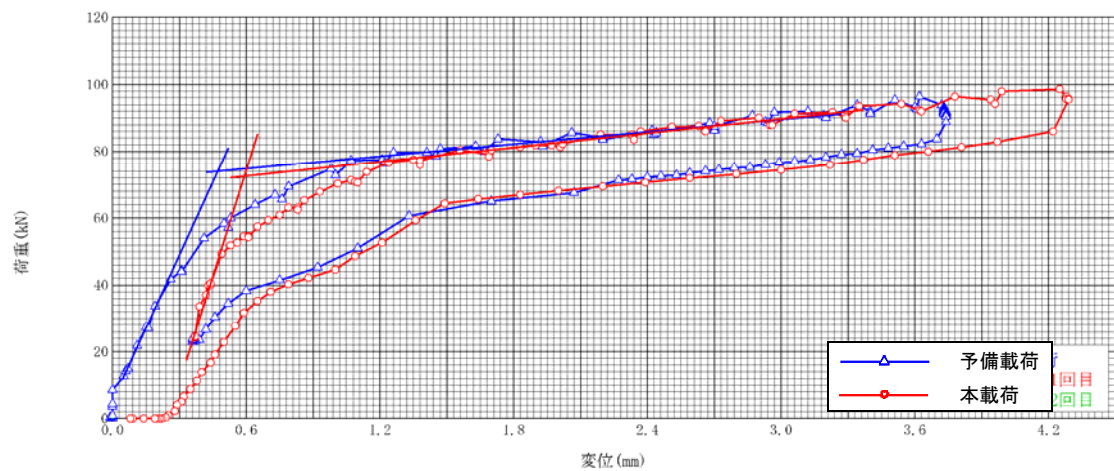


図 4-2 リフトオフ試験結果例 (D9 地点の荷重—変位置量曲線図)

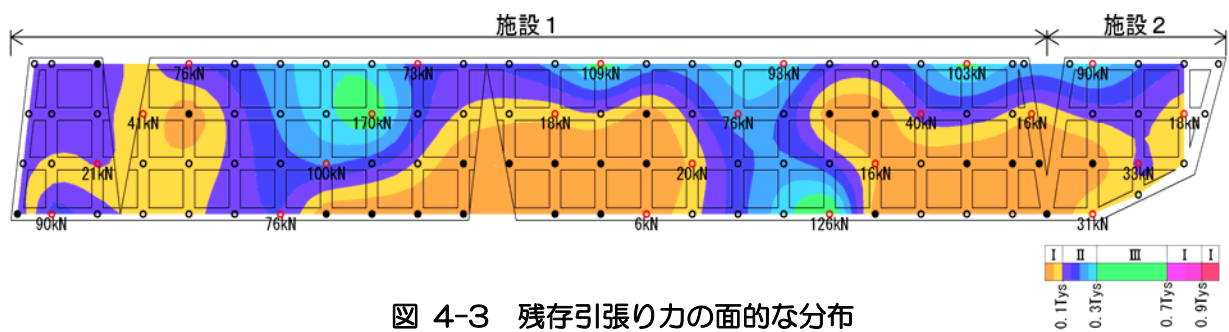


図 4-3 残存引張り力の面的な分布
(リフトオフ試験実施箇所のデータから作成)

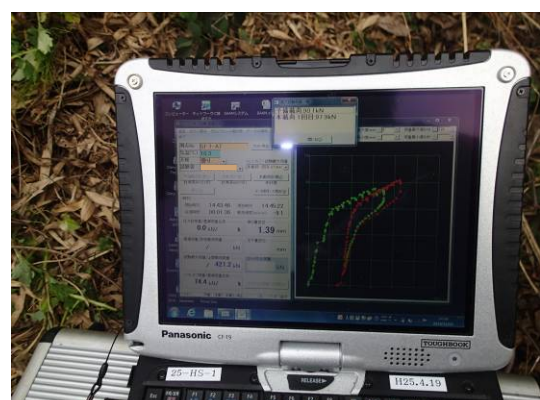


図 4-4 リフトオフ試験 (小型軽量ジャッキ使用)

(2) 追加調査

「頭部背面調査」を行った結果、アンカー機能が低下している状況は認められず、テンドンの劣化などは見られなかった（図 4-5）。



図 4-5 頭部背面調査例

維持性能確認試験は、主としてアンカー定着部の付着状態（地盤とグラウトの周面摩擦抵抗が発揮されるか）を確認する目的で実施した。試験時の最大荷重の設定は、設計アンカー力が把握できた施設2を参考に、A23 ではその値に 1.25 を乗じた値を目安とした。A1 及び A10 では設計アンカー力が不明であったため、テンドンの降伏荷重に 0.9 を乗じた値を目安に試験最大荷重を設定した。

試験を行った結果、施設中央（A10）と右側（A23）のアンカー工では試験最大荷重まで載荷ができ再緊張が可能であることなどが確認できたが、施設左端（A1）のアンカー工では試験途中でテンドンの引き抜けが生じた。

5 まとめ

アンカー工の詳細調査の結果、対象施設ではテンドンや頭部定着部材自体の劣化・損傷等がないこと、過緊張状態にないことから、現時点ではアンカーの飛び出しの恐れが小さいこと等が確認された。一方、全体に残存引張り力の値が小さいことも認められた。また、一部で吹付法砕工背面の侵食が確認された。残存引張り力でばらつきがあったことから、侵食による影響などが想定される。また、アンカー定着部と地盤の付着が十分でない箇所が一部確認された。

上記の結果から、対象とした施設は今後対策を検討すべきと考えられる。

8 アンカー工の機能回復事例

※「地すべり防止施設の機能保全の手引き～アンカー工編～（平成 27 年 7 月）」の巻末資料より採録したものである。

1 アンカー工の維持管理における対策手法

アンカーは、持続的に緊張荷重を与えることが求められており、それぞれの部材を組み合わせる一つのシステムをつくっている。

そのため、維持管理における対策手法は、①緊張荷重の調整、②劣化部材の補修・補強（機能向上）が主たる対策となる。また、応急的な対応として、③テンドンの飛散防止対策などを行い、第三者被害防止を図ることも検討される。

なお、維持管理における対策を検討する際は、異常に至った要因も踏まえ、必要であれば要因除去も併せて実施することが望ましい。

2 対策手法の事例

2.1 緊張荷重の調整

地すべり地に設置されたアンカーの緊張荷重は、初期に導入された荷重が常に一定であることはなく、気象条件や設置環境により増減を繰り返している。こうした荷重増減は、気温などによる周期的な変動の他に、テンドンや受圧構造物の劣化等による影響、アンカー設置地盤の風化や地表部の凍上による影響で変化することが知られている。また、地すべり地では、想定していなかったすべりなどの影響により、荷重が増加することがある。

以下の事例は、アンカーが設置された道路のり面で、吹付工の変状拡大が認められたことから、詳細調査を実施して荷重調整を行ったものである。

詳細調査としてリフトオフ試験を実施した結果、残存引張り力が設計アンカー力の20%近くまで低下していることが明らかとなり、荷重調整（再緊張）による対応をとっている。

ここでは、荷重調整後にモニタリングを実施しているが、残存引張り力はその後も徐々に低下し、設計アンカー力の40%程度で安定している。

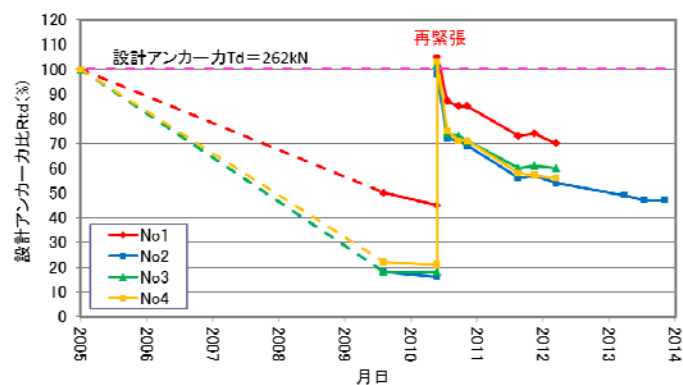
残存引張り力が減少した原因については、吹付工背面の土砂の流出・空洞化が考えられている。



アンカー周辺の吹付工の変状



小型軽量ジャッキによるリフトオフ試験



再緊張後の残存引張り力の変化

図 2-1 アンカー荷重調整事例

「グラウンドアンカーのり面の維持管理調査事例について」、全地連「技術フォーラム 2014」より抜粋

2.2 劣化部材の補修・補強（機能向上）

アンカーは、複数の部材の組み合わせで構成されている。そのため、補修・補強対策は部材の交換が主たる処置となる。また、ここでの目的は維持機能の継続もしくは向上であり、主要材料である鋼材の腐食対策を念頭に行うことが多い。

なお、ここでは以下の点に留意する必要がある。

- ・新設時のアンカーとは異なる部材が必要になることがある。
- ・緊張力が解除できないと交換が困難な部材がある。
- ・防食機能が十分でないアンカー（例えば旧タイプアンカー）は、水密性を確保した構造にすることが原則である。

①頭部保護

頭部保護は、損傷を受けやすい部材である。頭部キャップは、交換が容易であるが、頭部コンクリートの場合は、原則として頭部キャップに付け替える必要がある。付け替えについては、手引きの「頭部露出調査」に示す頭部コンクリートの場合の頭部処理に準じて行う。

②防錆油

防錆油が頭部キャップ等から漏洩している場合があるが、このようなときには防錆油を補充する必要がある。なお、防錆油に劣化がある場合には、除去した後に再度充填する。また、防錆油の漏洩は頭部キャップにあるＯリングなど止水部材の劣化も考えられるため、あわせて交換対象とする。

③プレート

腐食の程度が大きい場合は、腐食環境を考慮して適切な防食処理を施した部材に交換する。交換は、緊張力が解除できる場合に適用できる。

なお、余長が短い場合には図 2-2 に示すプレートを採用することもある。

左図は、支圧板に直接くさびを設置するように加工されている。右図は支圧板にネジ加工を施して、支圧板中にアンカーヘッドを埋め込むものである。どちらもアンカーヘッド高さ分の余長が確保されるようになっている。



左：テーパプレートにくさび用の穴を設置したアンカーヘッドー体型支圧板事例
右：支圧板にネジ穴加工を行い、そこにネジ式のアンカーヘッドを取り付けた事例

図 2-2 必要余長が短いアンカーで設置されたプレート

末吉達郎（2010）：「既設アンカーの補修・補強事例」
基礎工 vol.38,No.9,pp.61-64

④定着具

アンカーヘッドやくさびなどは腐食による劣化が見られる。軽度の腐食であれば錆落とし・錆止めなどで対処可能であるが、程度が大きければ交換を検討する。なお、定着具の発錆は防食性の低下を示唆する現象であり、施設への深刻なダメージにつながる可能性があることから、原因究明が必須である。部材交換は、緊張力が解除できる場合に適用できる。

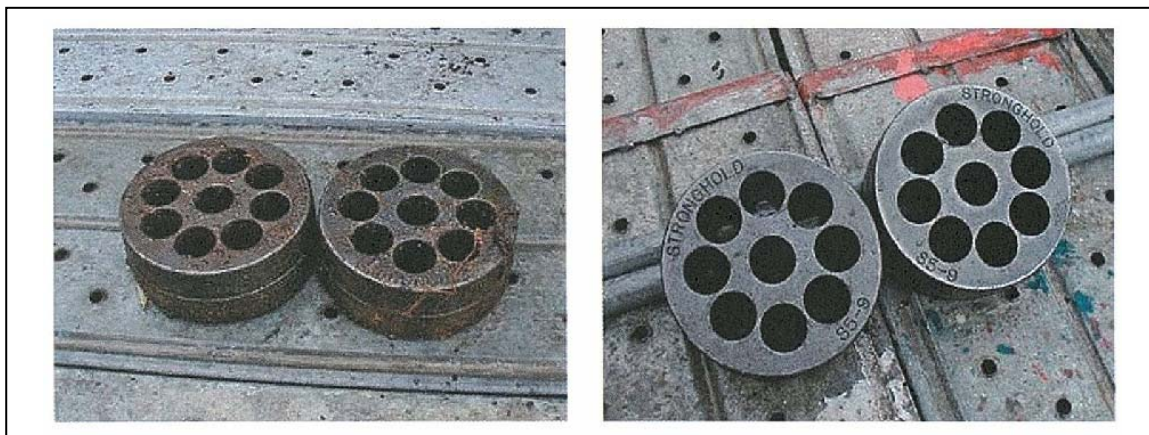


図 2-3 アンカーヘッドの錆落とし

出典：独立行政法人土木研究所・社団法人日本アンカー協会 共編『グラウンドアンカー維持管理マニュアル』、鹿島出版会(2008),p109

⑤頭部背面部

頭部背面部は、テンドンの破断事例が多い箇所と言われており、水密性を確保した構造とする必要がある。

頭部背面の構造は工法によって異なるが、それぞれの構造で必要な止水部材の状態やシール状況に応じて対処する。部材交換は、緊張力が解除できる場合に適用できる。

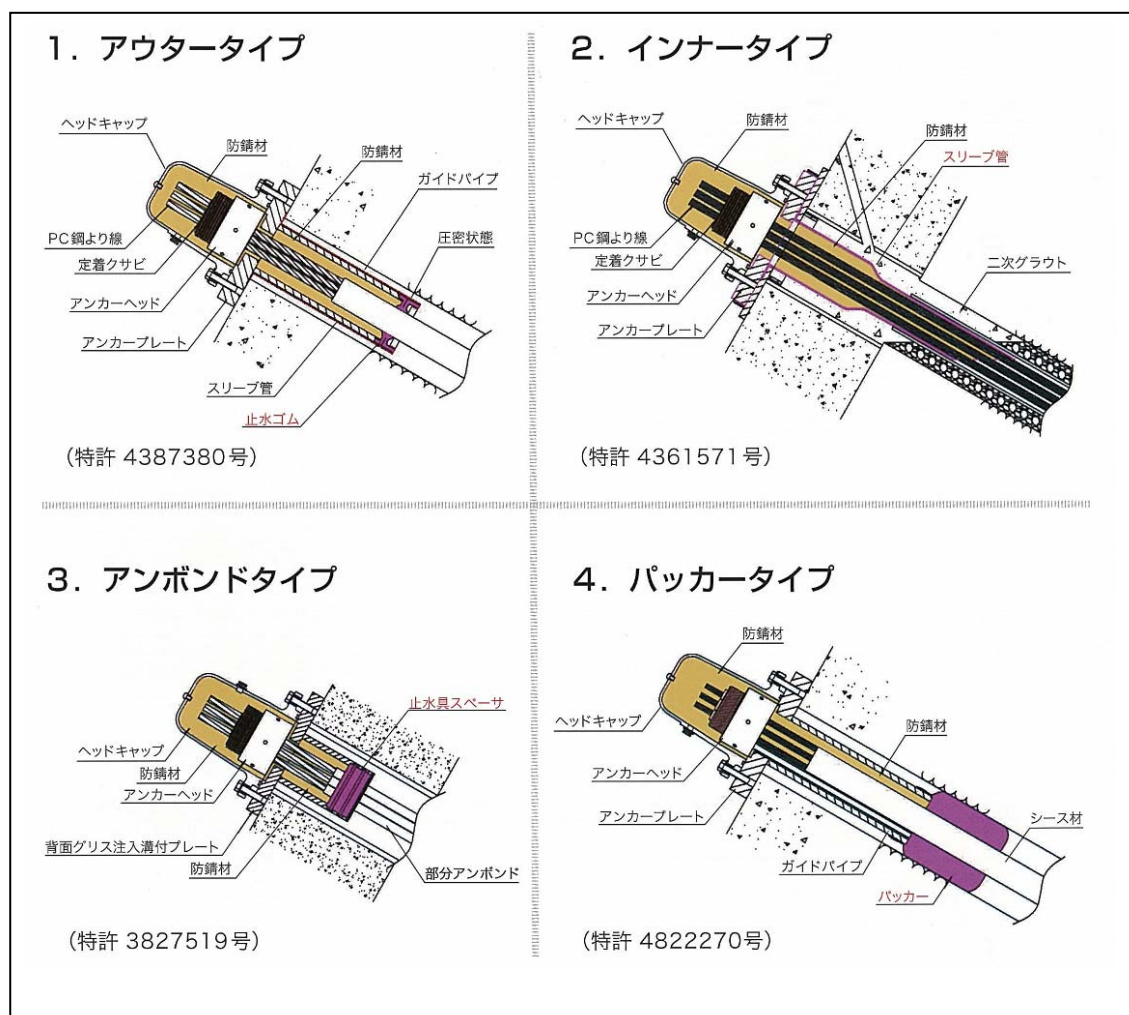


図 2-4 頭部背面の止水対策の例

弘和産業(株)：「グラウンドアンカー維持管理技術」カタログ

山形県寒河江ダム貯水池法面では、アンカー頭部背面の防食機能を高めるため、スライドシース付アンカープレートに既設のシース部分に被せることで、外部からの水の浸入を防ぎ防食機能を高めている。

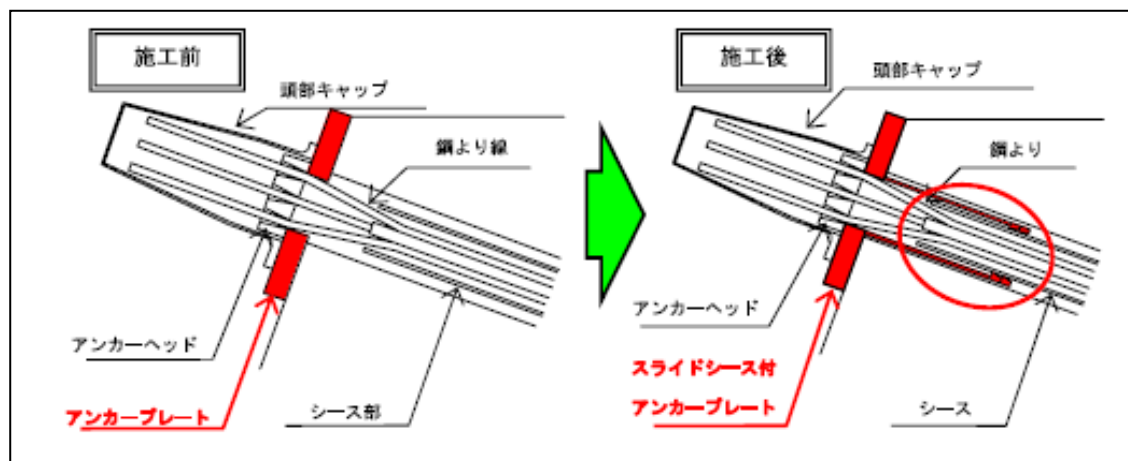


図 2-5 寒河江ダムにおける頭部背面の止水対策事例

畠山徹・他（2007）：「貯水池法面における既設 PC アンカーの補修について」、東北地方整備局技術研究発表会

2.3 テンドンの飛散防止対策（応急対応）

テンドンの飛び出し、落下等が認められた場合などで、施設周辺に対する安全性を確保する必要性があると判断された場合に、緊急対策として飛散防止対策を行うことがある。これは、施設の長寿命化のために計画されるものではなく、安全性の観点から設置されるものであり、飛散防止対策を実施した後は、速やかに原因の究明を行い、対策を施すことが重要である。また、飛散したアンカーは、既にその機能を喪失しているため、この対応が後手に回ると、斜面そのものの不安定化や周囲にある施設の機能喪失を助長する恐れがあることに留意しなければならない。

アンカー頭部の状況は現地によって個々に違うため、飛散防止対策は状況に即して適切に計画する必要がある。



図 2-6 テンドンの飛び出し防止対策の例

弘和産業(株)：「グラウンドアンカー維持管理技術」カタログ

2.4 アンカーの再設置（更新）

アンカーの機能が完全に喪失し、回復する見込みがない場合は、周辺への安全性等も踏まえて、必要な対策を検討する。この場合、アンカー工以外の地すべり対策工が有効となる場合もあるが、設置条件等から対策工として再度アンカー工を選択する場合もある。

アンカー工による対策が有効となった場合は、詳細調査などから得られる情報も考慮して当初計画を見直し、現地にあった計画をする必要がある。

以下の事例は農道法面でテンドンが破断し、受圧構造物が落下したため、アンカーの再設置が行われたものである。



図 2-7 再設置されたアンカーの例



図 2-8 受圧構造物落下箇所状況



図 2-9 テンドンの破断状況

アンカーの再設置に当たっては、頭部露出調査とリフトオフ試験を実施し、周辺のアンカーに異常がないことを確認した上で、対象のものだけに限って再設置する計画としている。また、設計や地盤には問題がなかったとの判断を踏まえて、新設のアンカーは、当初の設計から打設角度だけを変えて行われた。

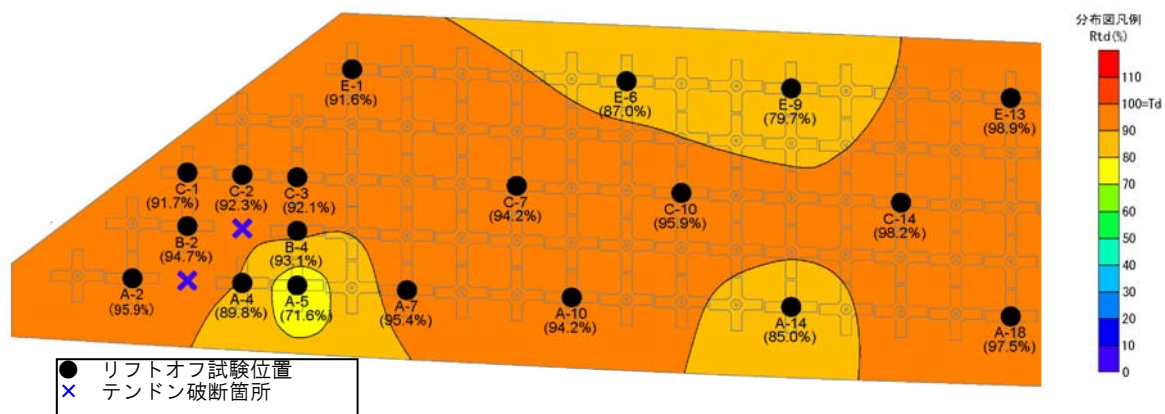


図 2-10 リフトオフ試験（面的調査）結果
（残存引張り力の設計アンカー力比）

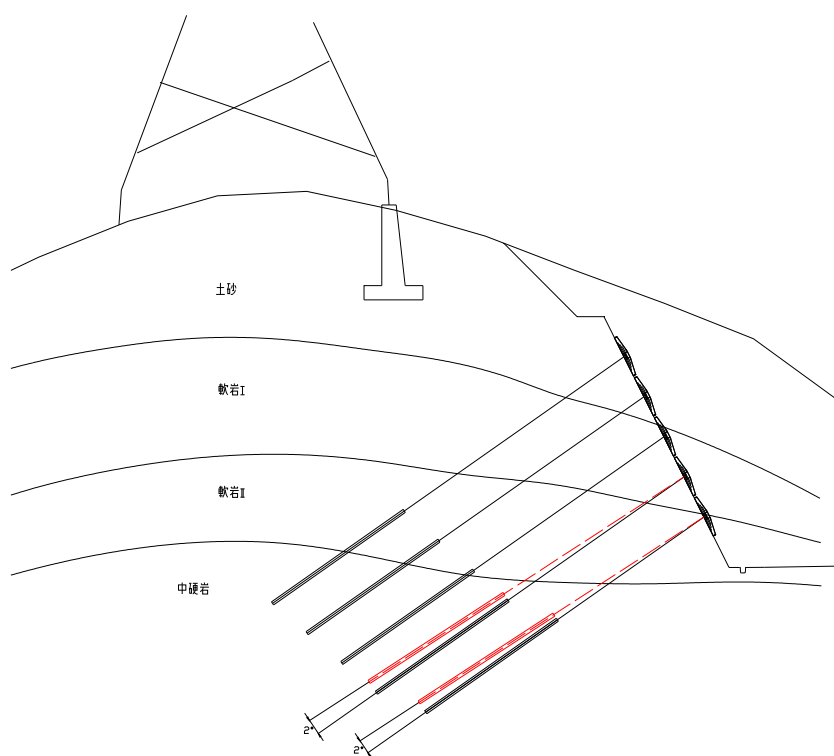


図 2-11 アンカー工断面図（打設角度変更）

9 アンカー工の機能保全における草刈作業の試行事例

※「地すべり防止施設の機能保全の手引き～アンカー工編～（平成 27 年 7 月）」の巻末資料より採録したものである。

1 草刈り作業の方針

地すべり防止施設の機能保全（長寿命化）においては、持続可能な維持管理体制を構築することが必要である。

従来は耕作の際に亀裂や段差等の変状を農家が発見してきたが、中山間地においては耕作放棄が進行し、地すべり防止施設や地すべり対策工事が実施された地すべりブロックに発生した異常の発見が遅れたり見過ごされたりする危険性が増大している。

そこで、適切な維持管理を行うに当たって不可欠である草刈り作業について、地域住民等が参画する草刈り作業を試行し、効果の検証と課題抽出を行うこととした。

2 草刈り作業の委託先の検討

県（本庁・出先）及び市（農林水産部局）の協力を得て委託先の候補として以下の団体を候補に選定し、うち①～③と交渉等を行った。

- ① 多面的機能支払組合
- ② NPO 法人（地域おこし）
- ③ 地元企業（建設業）
- ④ 地域おこし協力隊（総務省の事業制度）
- ⑤ 県庁内農地部局のボランティア団体

3 草刈り作業の概要

（１）広い面積の地区の例

- ① 作業地の条件 アンカー工は 6 段 398 本で平成 7～12 年度に施工された。保全対象は農道及び 2 級河川である。また草刈り作業の範囲は農道沿いの延長 150m×斜面幅 3mの範囲と、地すべりブロック上部平坦地の計 9,000m²である。
- ② 作業者 地元の建設業者に依頼した。NPO 法人は一度は受諾の意向を示したものの、活動範囲外であるという理由により辞退した。地域おこし協力隊については地域に 1 人しかいないため、依頼の対象外とした。
- ③ 所要日数及び人数 10 月中～下旬に実施、7 日間（8 時作業開始、17 時作業終了）延べ 16 人を要した。
- ④ 経費 草刈り作業については、農林水産省土地改良工事積算基準（土木工事）農地造成工により積算を行った。また、道路法面で発生した木くず（620kg）の産業廃棄物処理については見積徴収によった。
- ⑤ 効果 アンカー工及び地山を含めた周辺の状況について、適切な点検ができるようになった。地すべり防止施設自体の維持管理とともに、地すべりブロックの異常の把握においても草刈り作業は重要かつ有効であることが明らかとなった。

- ⑥ 課題 アンカー工の設置から 14～19 年が経過していたため、木や蔓が成長
 していて伐採作業が大掛かりとなった。このため、作業から、毎年、樹
 勢が小さい時期に定期的に作業を行うことが必要という意見があった。

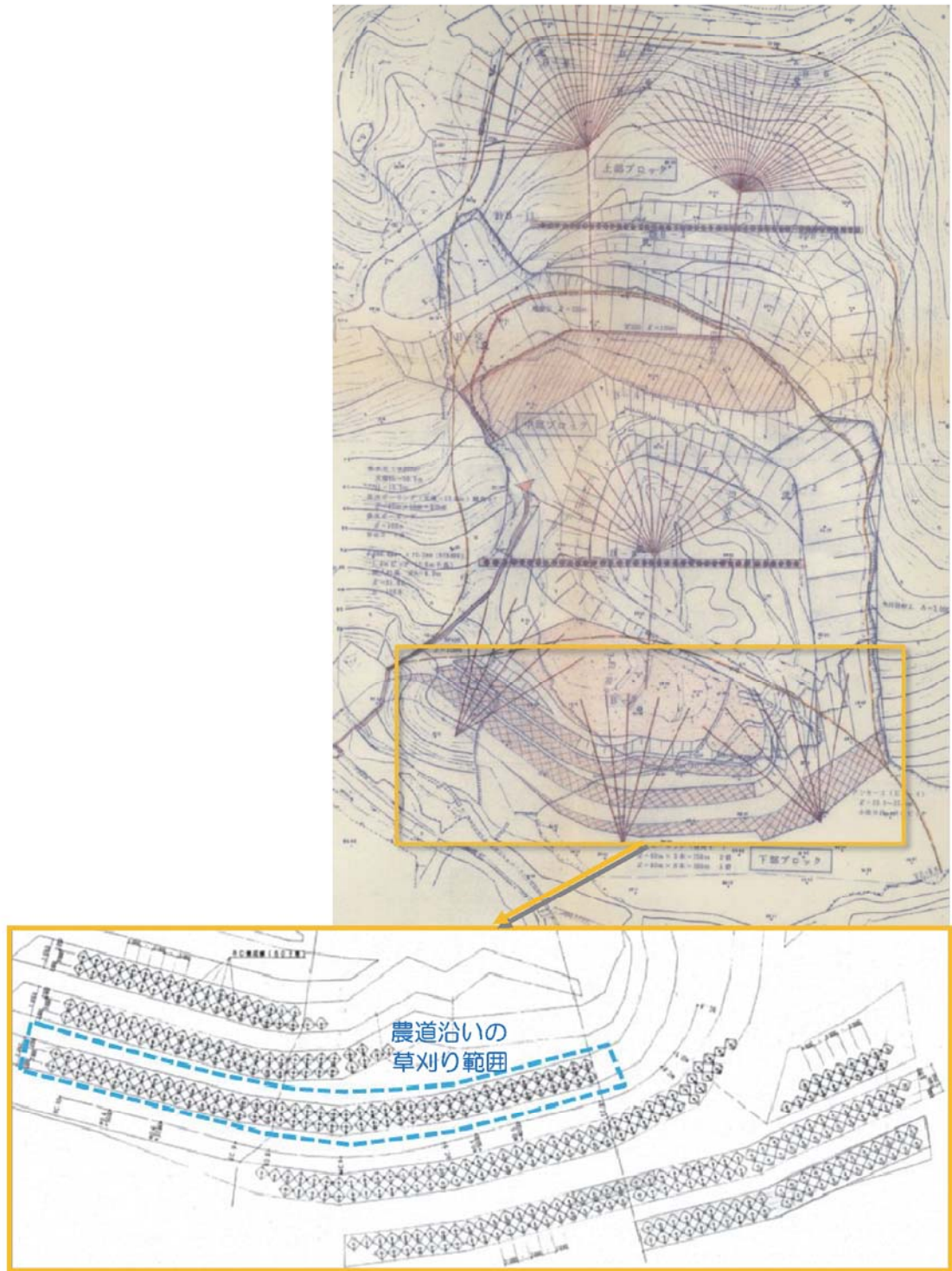


図1 広い面積の地区の平面図



写真1 草刈り作業前後の現地状況（遠望）

草刈り作業前（写真上：8月）には草木に覆われてアンカー工が対岸からは見えない状況であったが、作業の結果（写真下：11月）、対岸からもアンカー工の存在がはっきりと確認できるようになった。



写真2 草刈り作業前後の現地状況

草刈り作業前（写真左上）には草木に覆われてアンカー工が見えない状況であったが、作業を行った範囲（写真左下）はアンカー工及びその周辺について点検ができるようになった。（写真右上は作業状況）



図2 平坦地の草刈り作業状況

アンカー工上部の平坦面（青枠の範囲）は耕作放棄地であったため、亀裂等の確認を行うために写真左上に示すとおり緑点線のように通路状に草刈り作業を行った。その結果、刈り倒した草木は脇に除けられるため地表が露出し亀裂の有無の確認ができた。この方法は監視区間が明確になる点でも効果的と考えられる。

一方、地すべりブロック上部の平坦面（赤枠の範囲）についても耕作放棄地となっているため、亀裂等の確認を行うために写真右上のように面的に草刈り作業を実施した。草木は現地に刈り倒しとしたことから地表が覆われており、段差の有無はできるものの亀裂の確認は困難であった。この方法は労力がかかる割に効果が小さい。

（２）狭い面積の地区の例

- ① 作業値の条件 アンカー工は２段 20 本で、平成 14 年度に施工された。保全対象は県道、農道、農地である。また草刈り作業の範囲はアンカー工及びその周辺斜面の 300m²である。
- ② 作業者 多面的機能支払組合に依頼した。

- ③ 所要日数及び人数 草刈り作業は10月17日に実施、1日（7時作業開始、14時作業終了）、延べ2人を要した。
- ④ 経費 農林水産省土地改良工事積算基準（土木工事）農地造成工により積算を行った。
- ⑤ 効果 アンカー工及び地山を含めた周辺の状況について、適切な点検ができるようになった。地すべり防止施設自体の維持管理とともに、地すべりブロックの異常の把握においても草刈り作業は重要かつ有効であることが明らかとなった。また副次的な効果として、地元住民に当該箇所及びその周辺が地すべり地であることを再認識してもらう契機となった。
- ⑥ 課題 アンカー工の設置から12年が経過していたため、蔓が成長して伐採作業が大掛かりとなった。このため、毎年、作業員から樹勢が小さい時期に定期的に作業を行うことが必要という意見があった。また、アンカー工は比較的急な斜面に設置されていることから、地元の団体等に草刈り作業を委託する際には作業時の安全確保が必要である。

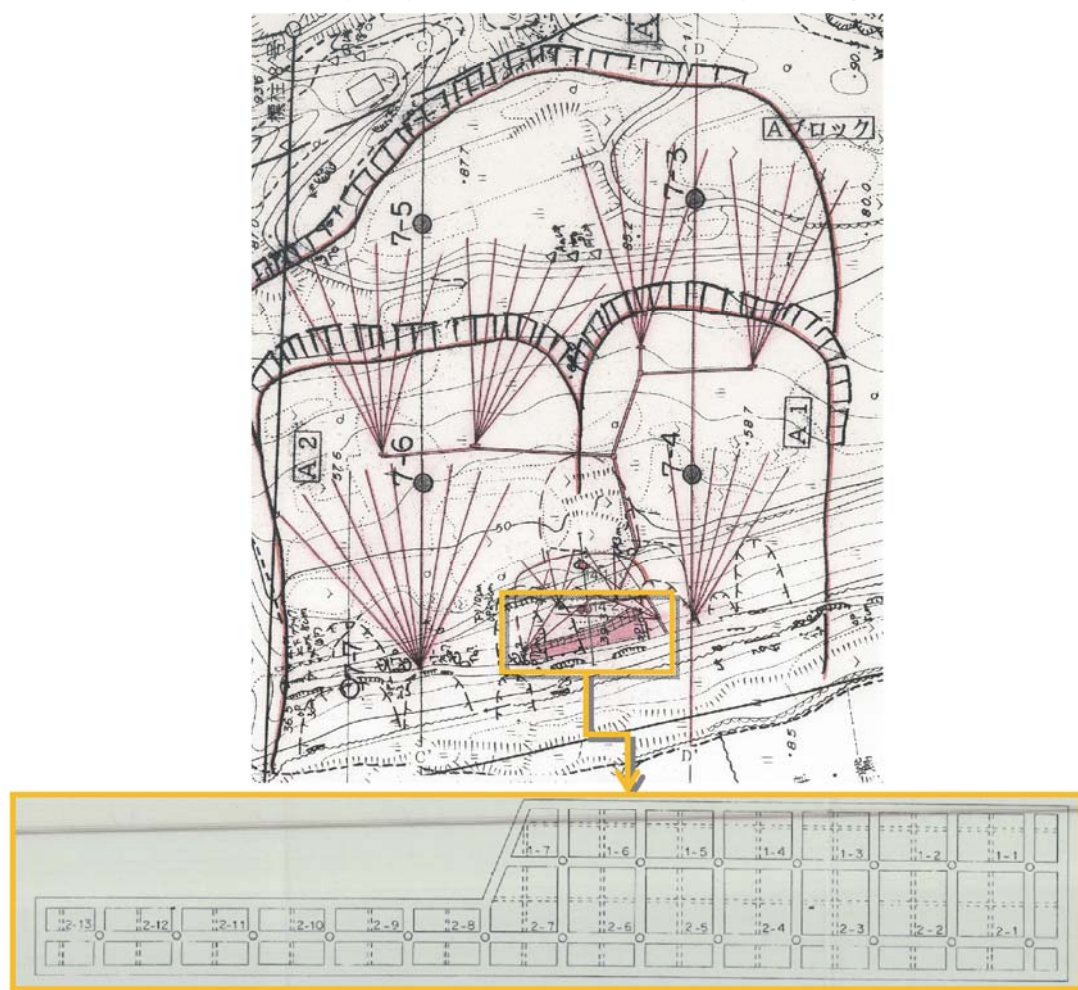


図3 狭い面積の地区の平面図



写真3 草刈り作業前後の現地状況（遠望）

8月（写真左上）には、草木に覆われてアンカー工が見えない状況であったが、草刈り作業の結果（写真左下：11月撮影）、斜面の下を通る主要地方道（両写真で車の停まっている道路）からもアンカー工の存在がはっきりと確認できるようになった。

これにより、地元住民から「ここが地すべり地であることを再認識した」という感想が得られた（写真右上は主要地方道と地元集落（右奥）。いずれからも当該アンカー工が望める。）。



写真4 草刈り作業前後の現地状況

8月（写真左上）には草木に覆われていたが、草刈り作業後（写真左下：11月撮影）はアンカー工及びその周辺の点検が可能になった。

写真右上は地元多面的機能支払組合による草刈り作業の状況。



4 まとめ

(1) 草刈り作業の必要性

アンカー工については、異常の有無を点検し、当該地すべりブロックの安定性を把握するために草刈り作業が不可欠である。

また、耕作放棄が進む中山間地においては、亀裂や段差等地すべりブロックの異常を把握するためにも、一般的に重要な保全対象がある抑止工が施工されたブロックについて草刈り作業を行い、点検箇所を明確にすることは、地すべり防止施設の維持管理や長寿命化と合わせて重要である。

(2) 草刈り作業の時期と回数

作業者から「草刈り作業は毎年行くと、木や蔓植物が成長する前に刈り取れることから容易になる。特に成長前の春先か枯れた後の晩秋または初冬のほうが作業がしやすい。」という意見が得られた。

なお、農家団体に委託する場合は農作業の繁忙期には実施できないことに留意することが必要である。

(3) 草刈り作業への地元の協力

持続可能な維持管理体制の一部として草刈り作業を地元団体に委託することは、地域住民の目を異常の有無の監視に活用することにつながり有効である。この際、草刈りの趣旨を説明することで、地元団体も草刈り作業の意義や地すべり対策工の維持管理の必要性についての理解が深まり、協力しようという姿勢が得られ、試行地区においては毎年実施してほしいという要望が上がった。

ただし、草刈り作業はボランティアではできないため、日当と実費（草刈り機の刃や燃料費等）を支出することが必要である。またアンカー工が設置されている斜面は急勾配であることも多いことから、地元団体が作業を行うに当たっては安全対策を十分に行うことが求められる。

このほか、広い面積の場合は建設業者の活用も検討対象とする必要が考えられる。

10 その他の機能回復手法事例

1 水路工における機能回復事例

水路工において、ひび割れなどによって漏水が起きている場合の機能回復事例を示す。

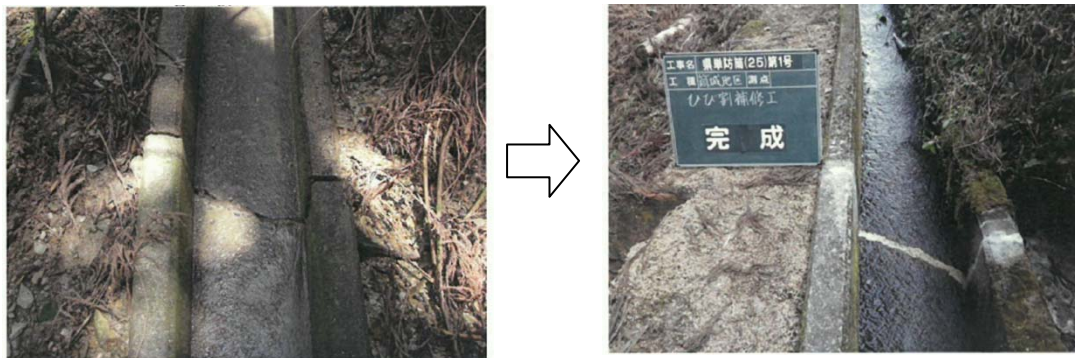


図-1.1 水路工のひび割れ補修

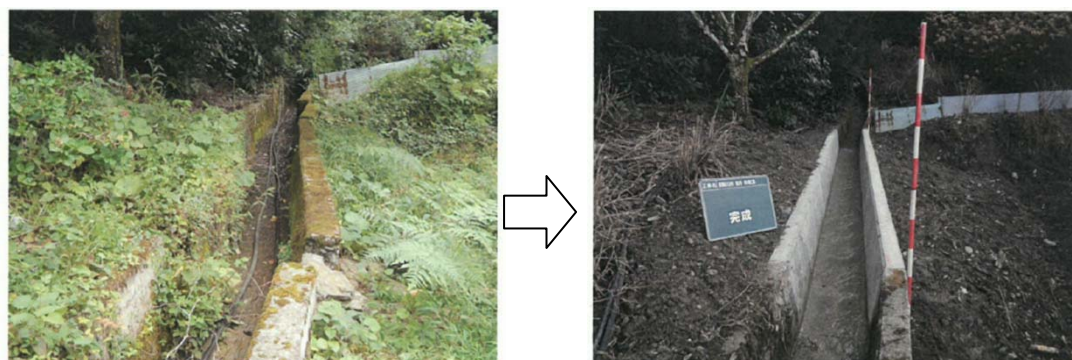


図-1.2 水路工の更新

2 堰堤工における機能回復事例

堰堤工における機能回復事例（紹介する事例は砂防堰堤での事例）を示す。

下記の事例は、堰堤工の安定性を確保することを目的とした事例である。堰堤工の安定性を確保するためには、下流腹付け工法が最も一般的に施工されているが、本堰堤の規模が大きい場合、単純な下流腹付け工法ではコンクリートの数量が増大し、運搬も含め経済的に不利になる場合がある。下記の事例では、グラウンドアンカー工を併用している。グラウンドアンカー工法は、河床岩盤と堰堤とをアンカーで結ぶことにより堰堤の滑動や転倒を防ぐものであり、これを併用することで下流腹付け工法に用いるコンクリート量を減らす選択をした（図-2.1③赤枠囲み内参照）。

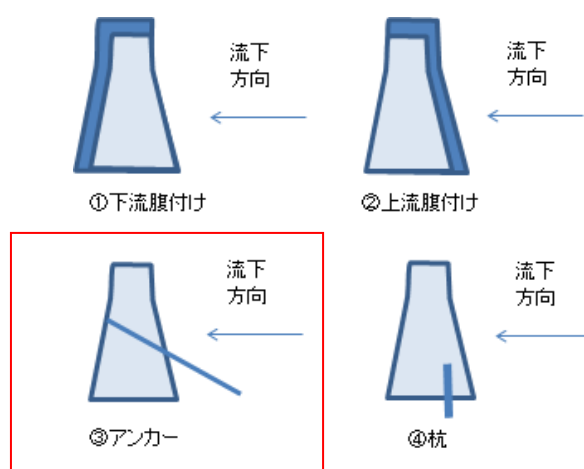


図-2.1 堰堤工に対する主な補強対策断面図（イメージ）

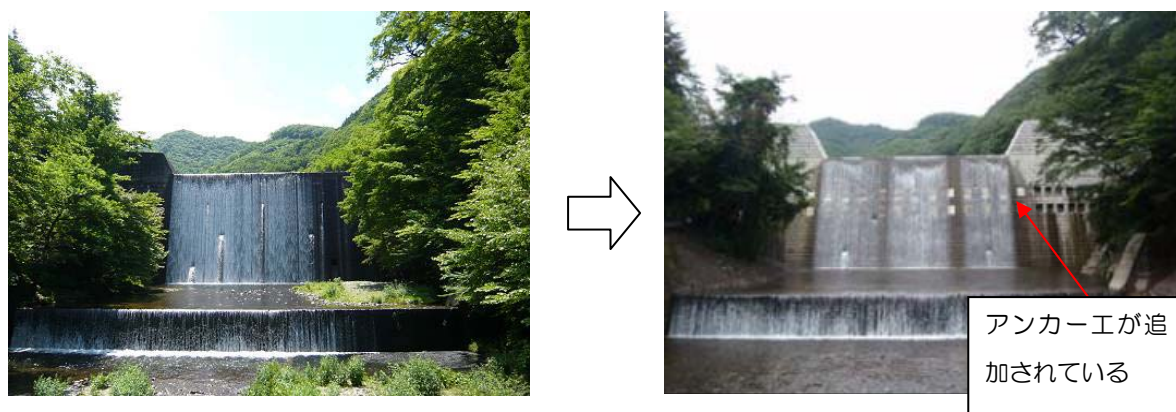


図-2.2 堰堤工に対する補強工事の事例（砂防堰堤へのグラウンドアンカー工法の適用）

（図-2.1、図-2.2 および説明文は、下記の文献から抜粋、一部改変した。）

出典：熊田 泰幸「グラウンドアンカー工法を活用した 砂防堰堤の補強工事について」
関東地方整備局ホームページ

(www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000105744.pdf)

3 法面保護工における機能回復事例

排土工などに伴う法面保護工のうち、排土法面へのモルタル吹付け工にひび割れや表面の劣化が生じた場合の機能回復事例を示す。

ここで示すひび割れ補修工は、ひび割れから水などが内部へ侵入しないように、主に樹脂系材料やセメントを注入・充填してひび割れをシールする工法である。

ひび割れの補修は、コンクリート構造物の補修では広く行われているが、法面では施工時のひび割れ補修で用いられる例があるものの、維持管理段階ではあまり用いられていない。しかし、モルタル吹付け工等に生じたひび割れが開口すると、遮水性が損なわれることから、機能回復工として、ひび割れ補修は重要である。



図 3.1 ひびわれ補修工法の施工例（ひび割れへの充填材の注入作業）

（図-3.1 および説明文は、下記の文献から抜粋、一部改変した。）

出典：のり面診断・補修補強研究会 「吹付のり面診断・補修補強の手引き」