

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。

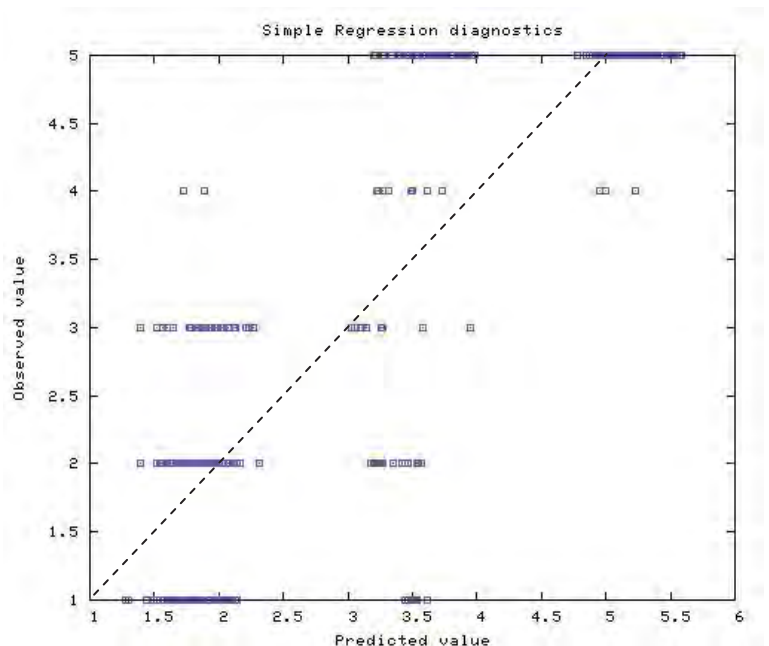


図2 予測値と観測値の相関図

($R=0.8354$)(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。

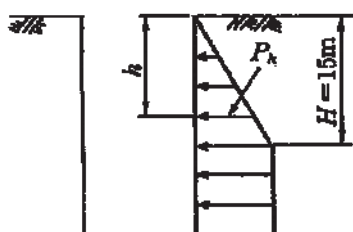


図4 集水井設計における土圧
想定図

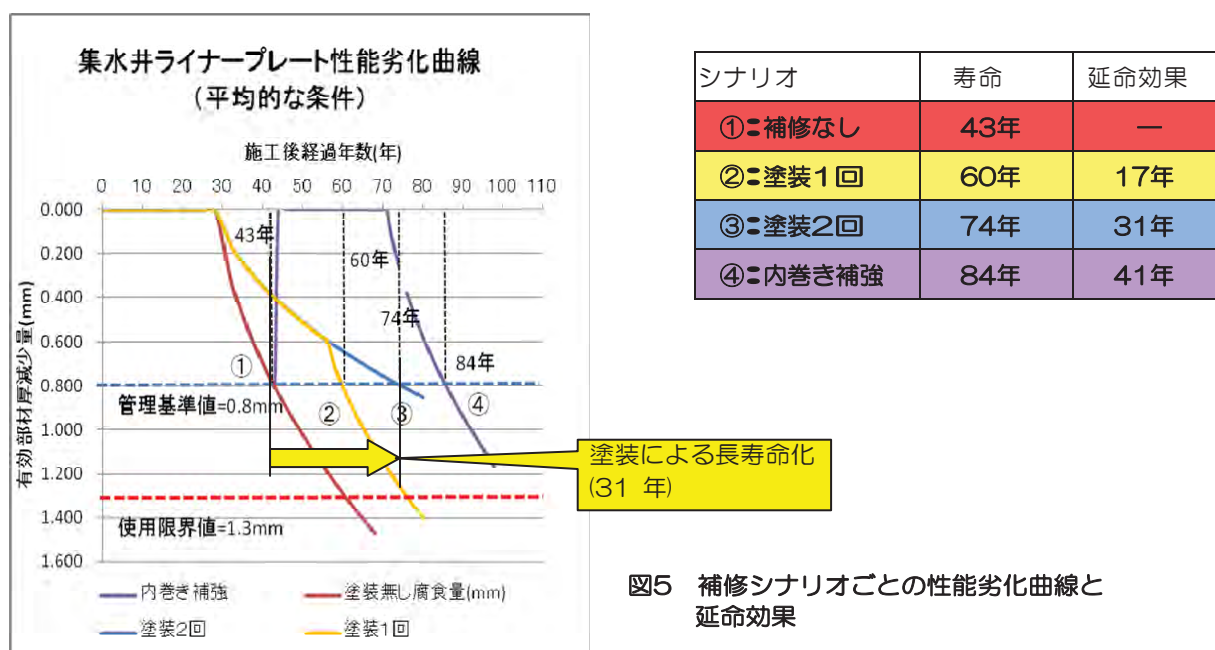
一般的なライナープレートは亜鉛メッキが施されていること、また塗装面では塗膜が部材厚さの減少を妨げることから、有効部材厚による性能劣化曲線を作成するため、次の3つを推定する必要がある。

- 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（申告まりしていた水みちが回復する）：図 1.1 参照

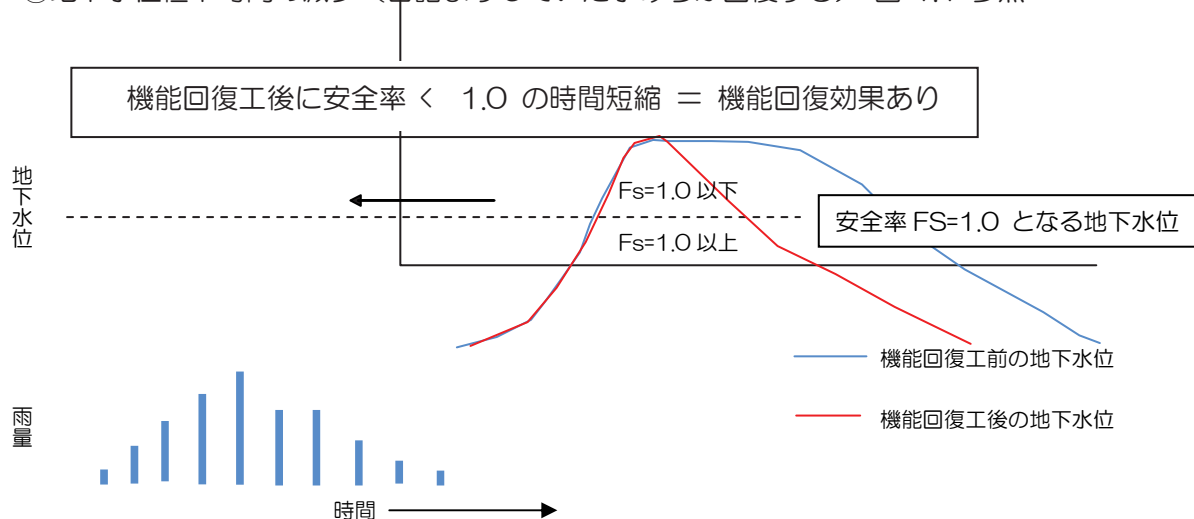


図 1.1 観測最高水位では確認できない機能回復効果例

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】

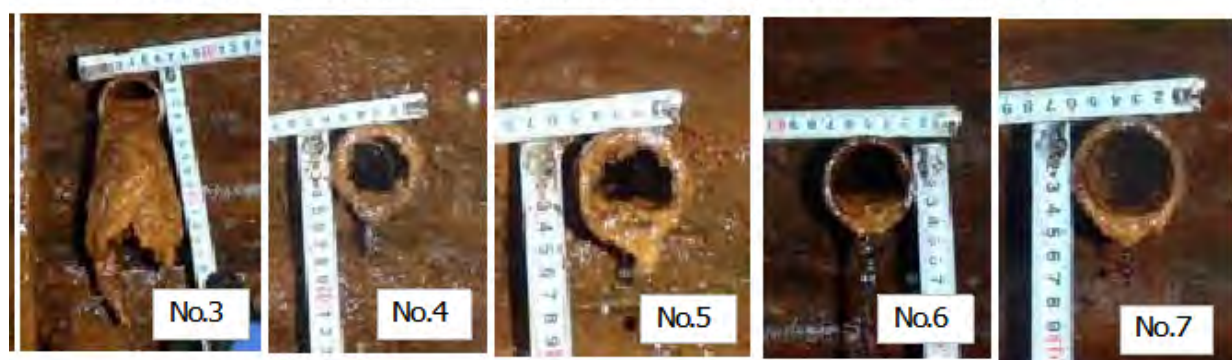


図2.1.2 (1) 洗浄前の集水ボーリングの目詰まり状況

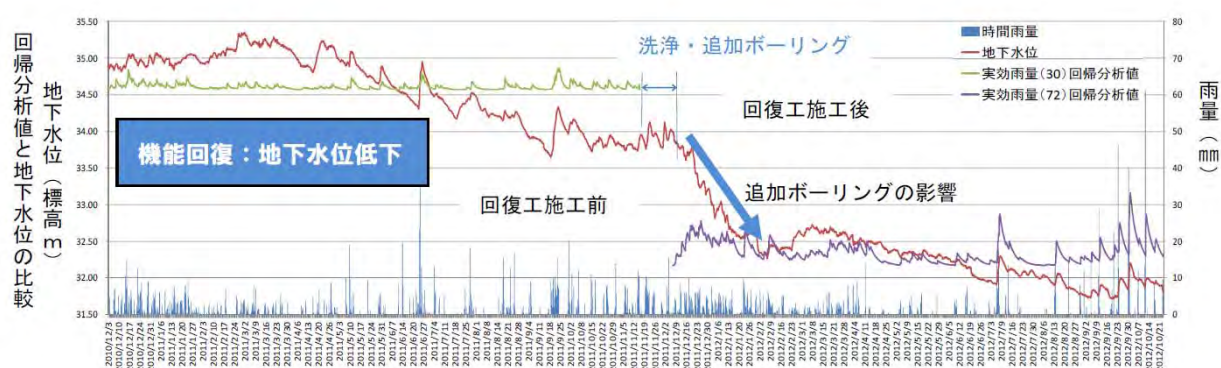


図2.1.2 (2) 丸山地区地下水経年変化図

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。

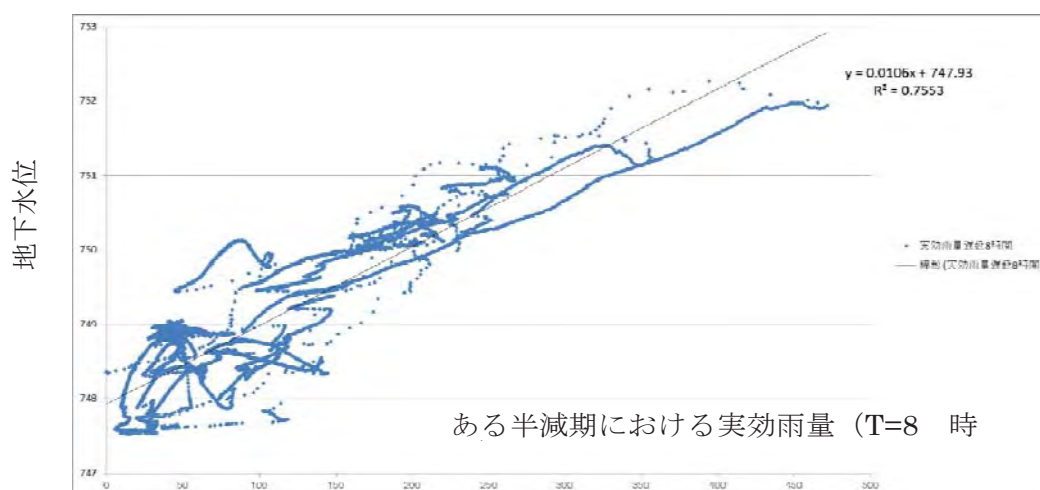
② 実効雨量の計算

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

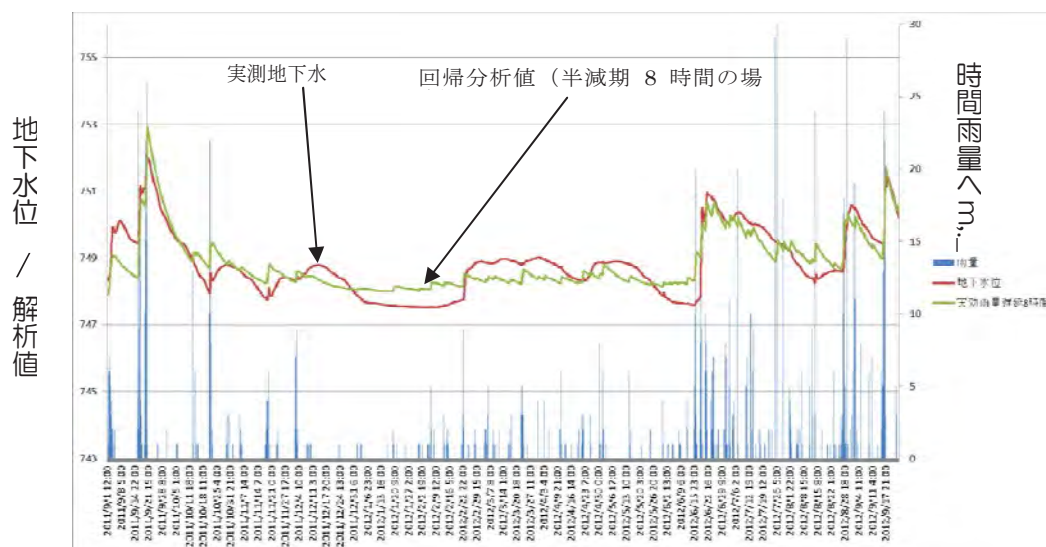
機能回復工前後のそれぞれについて、複数の半減期における実効雨量を求める。

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

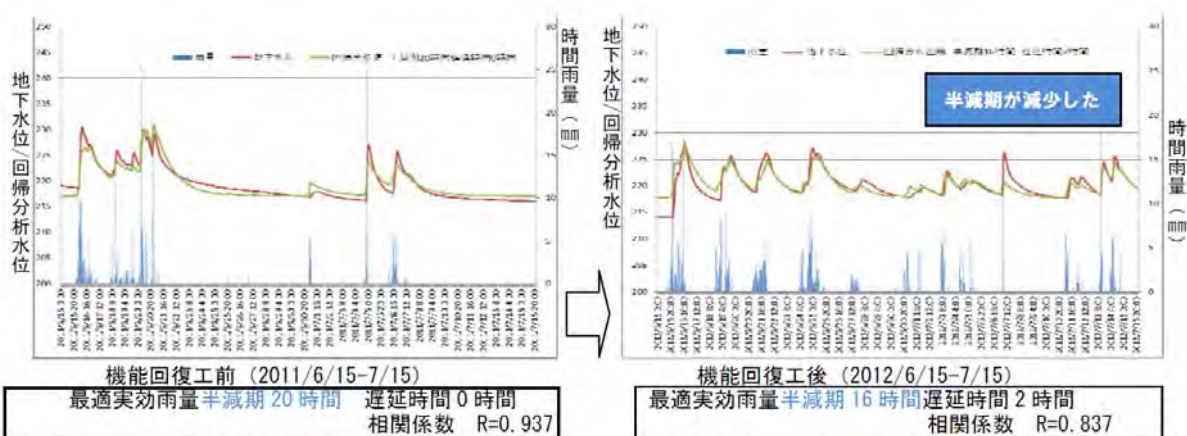


図 2.2.2 (2) 池の窪地区 (H22No. 1) の機能回復工前後の半減期比較

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。

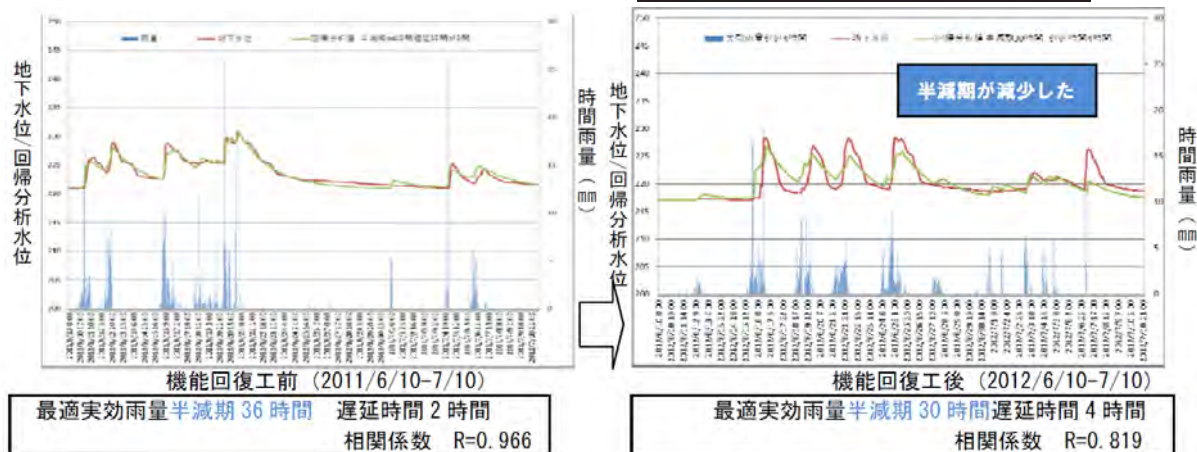


図 2.2.2 (3) 池の窪地区 (H22No.2) の機能回復工前後の半減期比較

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

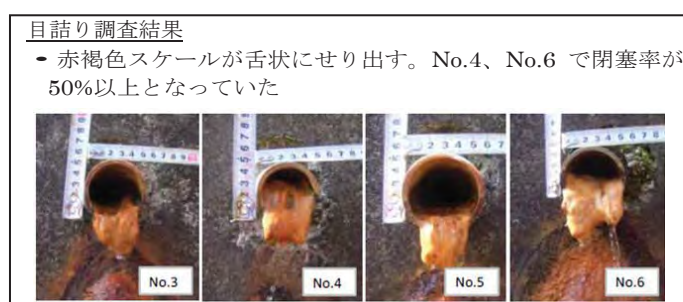


図 2.3.2 (1) 洗浄前の集水ボーリングの目詰まり状況

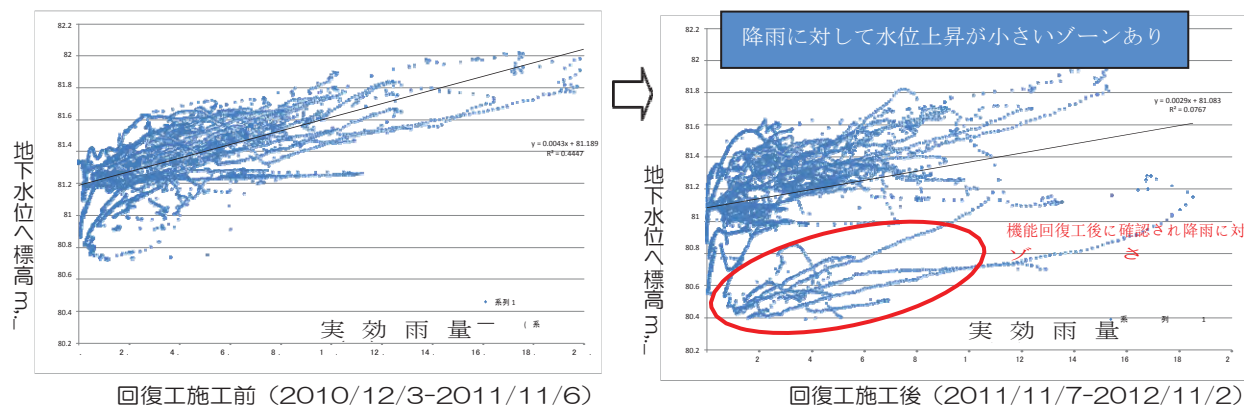


図 2.3.2 (2) 鷲尾東地区実効雨量と地下水位の関係

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

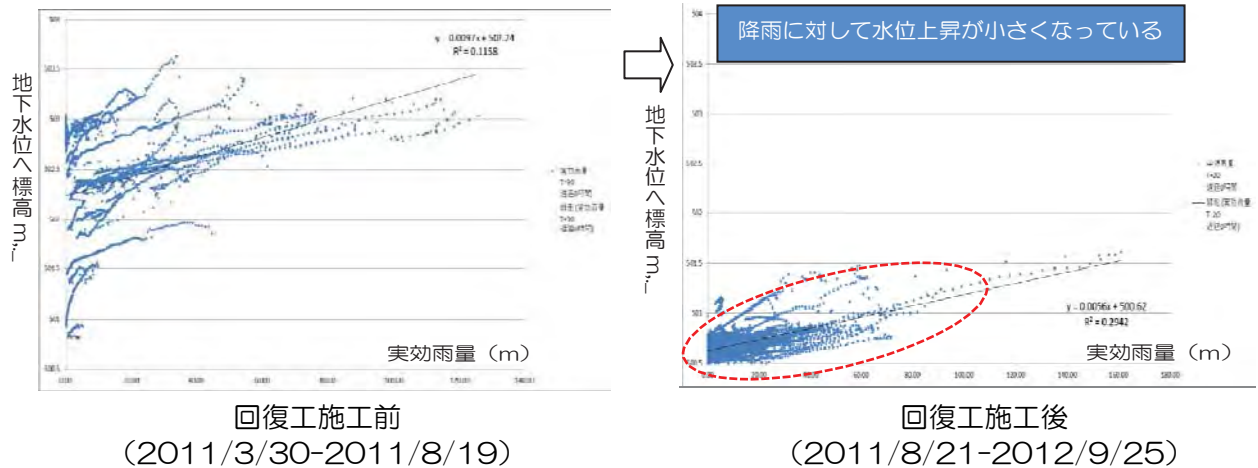


図 2.3.2 (4) ハツ松地区実効雨量と地下水位の関係
機能回復工施工前は、実効雨量に対して地下水位がばらついてしたが、
機能回復工後は水位変動が小さくなっている。