

簡易な監視機器を用いた斜面点検・監視の強化マニュアル(案)

～球座式傾斜検知および簡易型地下水監視～

～産学官共同研究報告書～

平成 22 年 3 月

(財) 福井県建設技術公社

序文

(財)福井県建設技術公社は、県および市町村の建設技術向上と建設事業の効率的な推進を図るため、建設に関する受託・研修等の諸事業を行い、良質な社会資本の整備に寄与することを目的とし、県の出捐により平成6年4月に設立されました。

産学官共同研究支援事業は平成12年度より、大学と民間企業および県が対等の立場で共通の課題に取り組み、技術研究開発を推進し、建設技術の高度化を図ることを目的として始まり、当公社はこの共同研究のコーディネートをを行っています。

福井県では道路の将来ビジョン「安全で安心な地域づくり～地域をまもる街づくり」の中の道路整備プログラムで、防災危険箇所の解消に取り組んできています。防災危険箇所は平成2年、平成8年、平成17年に実施された道路防災総点検の結果より抽出しています。道路防災総点検の対象斜面は3,500箇所以上あり、そのうち対策が必要と判断された斜面が1000箇所以上、防災カルテを作成して監視を強化していく必要があると判断された斜面が1200箇所以上という結果になっています。

これらの斜面をすぐに対策することは不可能であったため、道路パトロールを強化するなどして斜面災害の未然防止に尽力しています。しかしながら、道路パトロールは道路面からの異常感知を中心とした点検であることから、斜面上部の異常等の監視には限界があります。この「簡易な監視機器を用いた斜面点検・監視の強化」の研究は、道路パトロール者の負担をあまり大きくすることなく、できる限り費用をかけず、監視精度を大きく向上させることを目的としています。平成20年度～21年度の2年にかけて現場での検証と設置方法の改良を実施してきました。

本マニュアル（報告書）は研究成果をまとめて、実務者向けにマニュアル化したものであり、斜面の安全管理など斜面災害の未然防止に活用いただければ幸いです。

平成22年3月

財団法人 福井県建設技術公社
理事長 児玉 忠

まえがき

福井県の山岳地域や海岸線は急峻な地形が多く、斜面崩壊や落石などの自然災害が少なくありません。さらに、高度経済成長時代に造成した多数の切土・盛土斜面の老朽化が進んでいるので、斜面防災のための予防管理方法の確立と早急な導入が望まれています。

斜面災害を未然に防ぐには、その予兆を見逃さないことが重要です。福井県でも予兆を見逃さないように、週に2～3回程度の道路パトロールを実施し、必要に応じて技術職員が現地を確認して対応するなど、斜面の安全管理に尽力しています。しかし、現状の管理では次の問題点があります。①管理斜面の数が膨大で個々の斜面に時間をかけられないため、道路パトロールでは車窓からの目視点検が主体となり、斜面上部の予兆を発見することが困難です。②警報器付の監視装置があれば、パトロール内容やパトロール人員を増強することなく、適切な管理が可能になりますが、数多くの斜面に設置することは費用的に困難と思われれます。

本研究の目的は、人的、費用的負担をできる限り抑えたいうえで斜面防災力を向上するための機器を開発することです。具体的には、①道路パトロールが車窓から斜面上部の予兆を確認でき、②人員の補充を必要とせず、設置コストも極力抑え、斜面災害の予兆を捉えることができる機器を開発することを目的としました。

開発したのは傾斜変位の監視を目的とした「球座式傾斜検知器」と、地下水位の上昇を監視する「簡易型地下水位監視方法」です。「球座式傾斜検知器」は、水平に調整した台に載せた玉が、台が傾斜変位すると転がるという単純な機構によるものです。電源を使わないことや、分かりやすさを重視しています。「簡易型地下水位監視方法」は、水があると電流が流れるという単純な機構によるものであり、観測孔に設置した電極の通電状況を確認して地下水位の上昇を捉えます。地下水位が下がった後にも電極間に地下水を保持させることで地下水位の上昇を記憶させることが特徴です。小口径の観測孔で設置可能であり設置コストを抑えることができます。

近年の各種センサー機器のハイテク化に対して、本研究で開発した機器はローテクにこだわった作りとなっています。現在の社会的なニーズは「安くて安全な道路」であり、ローテクを活用した機器の開発はニーズに応える一つの手段となります。福井県内においても、これまで予算的に監視しきれなかった多くの不安定箇所を監視対象にでき、落石や斜面崩壊による災害を大きく軽減できると考えられます。今後、多数の実際斜面への適用を通じて、信頼性を一層高め、より広範な普及を図る必要があります。本マニュアルが落石や崩壊による斜面災害の防止に大きく貢献することを期待します。

平成 22 年 3 月

斜面防災のための新しい管理方法に関する研究会 グループ 2

産学官共同研究支援事業
斜面防災のための新しい管理方法に関する研究会 グループ2

岡島 尚司	(株) サンワコン	開発部
吉田 十三	(株) サンワコン	地質部
堂前 裕子	(株) サンワコン	開発部
荒井 克彦	福井大学大学院工学研究科	教授
木村 定勝	福井県土木部道路保全課	(H21.4～H22.3)
丸中 孝通	福井県土木部道路保全課	(H20.4～H21.3)
久保 光	福井県雪対策・建設技術研究所	
山木 忠嘉	(財)福井県建設技術公社	
安久 健一	(財)福井県建設技術公社	(H20.4～H21.3)
坪内 孝治	(財)福井県建設技術公社	(H21.4～H22.3)
時岡 重典	(財)福井県建設技術公社	(H20.4～H21.3)

1 編 球座式傾斜検知装置

1. コンセプト	1
2. 球座式傾斜検知装置の概要	2
2.1 設置のイメージ	2
2.2 検知器の構造	3
2.3 警報表示器の構造	4
2.4 適用	5
3. 設置計画	6
3.1 設置目的	6
3.2 設置方法の留意点	6
3.3 運用方法	6
4. 設置準備 (材料)	7
5. 設置手順	10
5.1 本体を乗せる土台の設置 (例)	10
5.2 検知器本体	13
5.3 連絡ホース	16
5.4 警報表示器	17
6. 運用	18
7. 参考資料	19
7.1 検知性能	19
7.2 地震動に対する性能	24
7.3 暴風雨に対する性能	26
8. 設置事例	27
8.1 不安定岩塊の変位監視への適用事例	27
8.2 擁壁の変状 (水平変位) の監視への適用事例	29
8.3 崩壊斜面の対策工施工中の安全管理への利用例	30
8.4 比較的規模の大きい変状のり面の監視事例	31
8.5 盛土斜面の変状監視事例	32

2 編 簡易型地下水位監視方法

1. コンセプト	33
2. 簡易型地下水位監視方法の概要	34
2.1 設置のイメージ	34
2.2 地下水検知センサーの構造	35
2.3 適用	37
3. 設置計画	38
3.1 設置目的	38

3.2 設置方法の留意点	-----	38
3.3 運用方法	-----	38
4. 設置準備(材料)	-----	39
5. 設置手順	-----	40
6. 運用	-----	42

1 編 球座式傾斜検知装置

1. コンセプト

斜面災害を未然に防ぐために日常的に道路パトロールが実施されている。路上への落石や崩土の到達、路面のき裂の発生などをチェックすることで多くの斜面災害が未然に防止されている。しかし、路上からの目視監視であり、路上から見えない斜面上部の監視などには限界がある。

路上からの監視が困難な場合はデータ送信装置や警報器を接続した各種計測機器を設置して監視する方法が有効である。しかし、機器が高価であることや、電源の供給やバッテリー交換、雷などによる精密機器の故障、機器内部がブラックボックスで専門技術者によるメンテナンスが必要なことなどから、よほどの斜面でないと採用しにくいのが現状である。

本マニュアルの傾斜検知器は上記の問題を解消するために、下記のコンセプトで企画・開発・検証したものである。

- ① 道路パトロール者が路上または車窓から見るだけで斜面上部の異常を知ることができるようにする。
⇒道路パトロールの範囲および精度の強化。
- ② できるだけ安価の機器とする。⇒複数設置可能。
- ③ 電源を使わない。⇒メンテナンス軽減。
- ④ 精密な電子回路等を使わない。⇒雷による故障をなくす。
- ⑤ 単純な構造。⇒理解しやすく、誰でもメンテナンスできる。

2. 球座式傾斜検知装置の概要

2.1 設置のイメージ

傾くと玉が転がり落ちる仕組みの球座式傾斜検知器本体を監視対象の岩盤などに設置する。道路パトロール者が路上から確認できる位置に「警報表示装置」を設置する。「傾斜検知器本体」と「警報表示装置」を「連絡ホース」で接続する。連絡ホースは途中で接続することで、一つの「警報表示装置」に複数の「傾斜検知器本体」を接続する。

- ① 傾斜検知器本体のレベル調整ステージを水平調整して、検知玉をのせる。
- ② 検知玉の上におもり板をのせ、その上部に連絡玉をのせる。
- ③ 検知対象が傾くと検知玉が転がり、おもり板が移動して倒れ、連絡玉が落ちる。
- ④ 落ちた連絡玉は連絡ホースを通して警報表示器に到達する。
- ⑤ 警報表示器の赤旗が表示される。
- ⑥ 道路パトロール者は赤旗の表示を確認して、上部斜面の変状の可能性を報告する（普段は赤旗が出ているか否かを確認するのみでよい）。

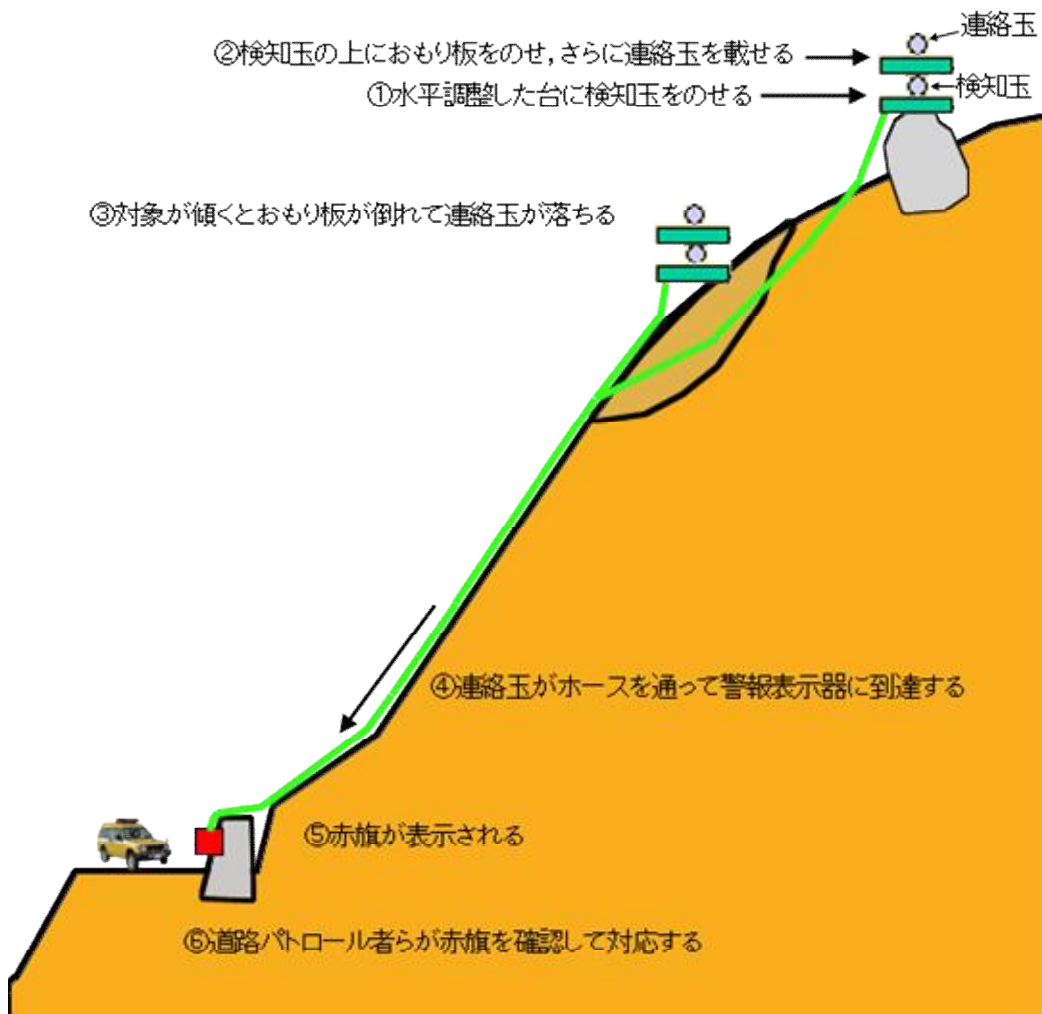


図 2.1.1 設置のイメージ

2.2 検知器の構造

傾斜検知器本体の構造を図 2.2.1 に示す。

「水平調整機構」

水平面を作るための主たる部材は「本体ベース」と「レベル調整ステージ」である。監視対象に対して概ね水平となるように本体ベースを設置し、レベル調整ネジを使ってレベル調整ステージを精密に水平調整する。

「検知機構」

レベル調整ステージに検知玉（3 個）を載せる。その上におもり板を載せる。おもり板は検知精度を高める役割を持つ。おもり板の上の連絡玉は、検知した時に連絡ホースを通して警報表示器まで到達する。

「連絡玉を連絡ホースへ誘導する機構」

連絡玉誘導板は、レベル調整ステージとは独立して傾きを調整できる。連絡玉がどこに落下しても連絡ホースの入り口に誘導されるように調整する。

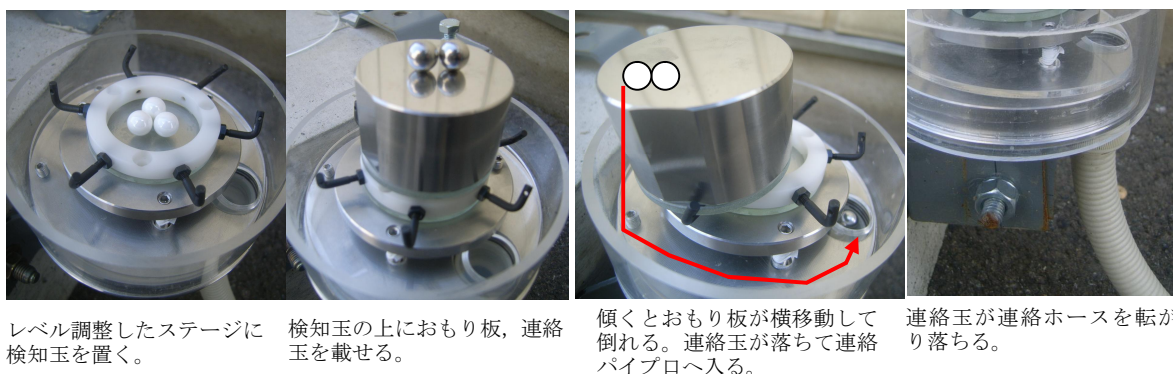
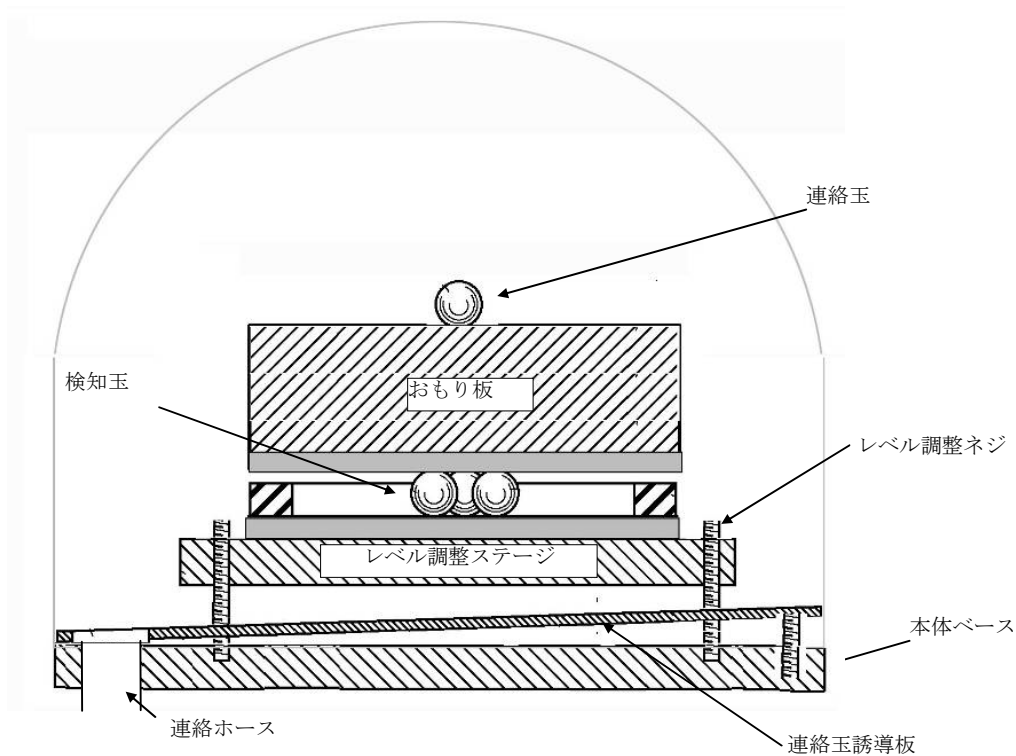


図 2.2.1 傾斜検知器の構造

2.3 警報表示器の構造

図 2.3.1 に警報表示器の構造を示す。赤旗を吊り下げたフックが連絡玉の到達により回転する。フックから外れた赤旗が落下して、赤旗が表示される。

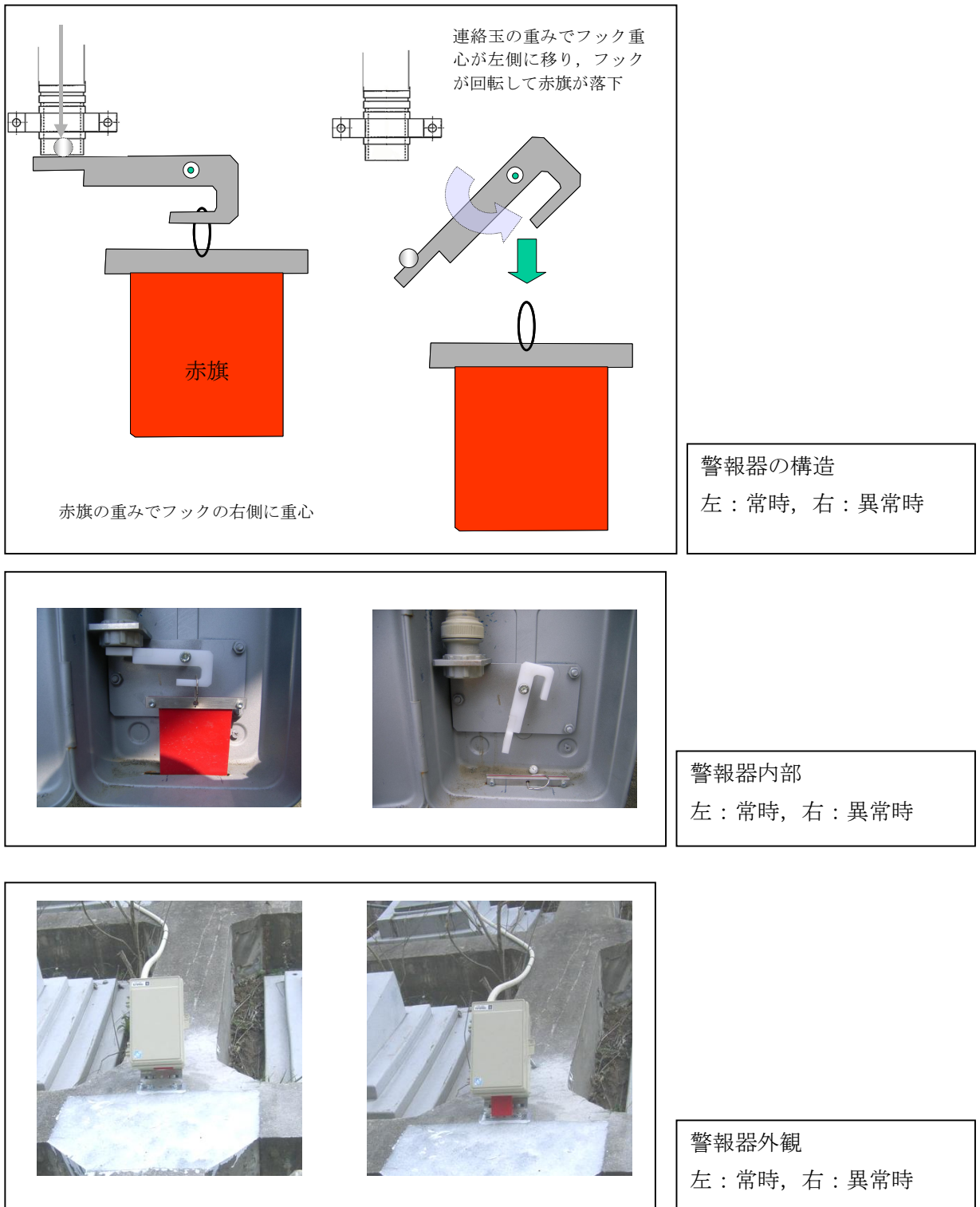


図 2.3.1 警報表示器の構造

2.4 適用

2.4.1 適用ケース

表 2.4.1 のような適用ケースが考えられる。

表 2.4.1 適用ケース

ケース	留意点
岩盤崩壊の可能性がある岩塊	脚部で要となる部分に設置する。要が複数ある場合は複数設置することが望ましい。
規模の大きい浮石・転石	対象が複数ある場合は要（動くとき周辺の浮石も落ちる）となる浮石に設置するのが望ましい。少し動いた時点で落石してしまうような対象の場合は、監視より応急対策を検討するべきである（応急対策あとに恒久対策までの安全監視として使うことは可能）。
構造物に発生したき裂	き裂をまたぐように設置する。 軟弱地盤上の構造物の場合、地震時に比較的周期の長い揺れが伝わるため、傾斜しなくても作動する場合がある。
地すべりや崩壊の頭部開口き裂	き裂をまたぐように設置する。 掘削してコンクリートを打って設置することを検討する。
施工中の安全管理	効果的かつ施工の妨げにならない位置に設置する。

2.4.2 適用上の留意点

- ・ 比較的大きな地震時には傾斜変位がなくても作動する場合がある*1。
- ・ 震度3以下の地震で作動するような箇所は基盤岩と分離していて、より不安定である可能性がある*1。
- ・ 軟弱地盤では周期の長い振動を受ける可能性があり誤作動の原因となる可能性がある*2。

「*1 補足説明」

「7.2」に示す震動実験では周期が0.2秒程度の横波に対して震度3程度まで作動しにくいことが分かっている。現場への設置事例では震度3の地震でも作動しなかった箇所と震度2程度の地震で作動した箇所がある。震度2程度の地震で作動したのは開口き裂によって基盤と分離している岩塊に設置したものである。基盤と密着していない岩塊では地震動が増幅されることが知られている。震動を計測して岩塊の安定度を評価する研究もある。すなわち、ちょっとした地震（場合によっては常時微動）によって誤作動するような岩塊は、予兆としての傾斜変位がなくても、より不安定と考えるのが適切と考えられる。

「*2 補足説明」

軟弱地盤では誤作動しやすいが、簡単に誤作動するわけではない。軟弱地盤上の国道脇で台車に乗せたコンクリート（振動しやすい条件）に本機器を設置してテストしたところ、大型トラックの通過時にも作動しなかった。同様に軟弱地盤上の線路脇で特急列車が通過する際の挙動も確認したが作動しなかった。



図 2.4.1 国道沿いのテスト状況



図 2.4.2 不安定な台車に乗せた状況



図 2.4.3 鉄道沿いのテスト状況

3. 設置計画

3.1 設置目的

設置目的の例として下記のパターンが考えられる。

- ・対象物の落下，崩落を事前に検知して知らせる。
- ・各種計測（リアルタイムでない）において計測間の異常を検知する。
- ・各種計測（リアルタイムでない）のタイミングを知らせる。
- ・高度な計測機器（高額なため複数の設置が難しい）を補間する。

設置目的を検討する際の留意点として下記がある。

- ・極めて不安定な状態にあり，予兆なしで落下する可能性が高いものを監視対象としない。

3.2 設置方法の留意点

設置の具体的手順は5. 設置手順で説明する。計画段階で検討すべき設置方法の留意点を述べる。

- ・ 構造物に設置する場合，地山の変位に追従して構造物が動くか（地山を掘削してコンクリートを打設して設置する必要がないか）。
- ・ コンクリートを打設して設置する場合は，コンクリートの養生期間中に誤作動する可能性があるので注意する。
- ・ 水平変位は原則的に検知できない（き裂をまたいで設置する必要がないか）。
- ・ 完全に浮石化した部分は常時振動する可能性があり，誤作動が多い可能性がある。
- ・ 土台を定着するアンカーボルトを打設するための削孔により，浮石などが不安定化しないか。
- ・ 積雪時に完全に雪の下になる場所や避ける。
- ・ 屋根雪が勢いよく落ちてくる場所は屋根などでカバーしても，振動により誤作動するので避ける。
- ・ 動物の接触による誤作動の可能性がある場合は，なんらかの対策をするのが望ましい。

3.3 運用方法

運用方法については6. 運用方法を参照されたい。

4. 設置準備（材料）

設置方法は現場の条件に応じて、適切に検討する必要がある。ここでは、原則的な設置方法に係る材料を示す。

表 4.1 傾斜検知器の本体

	名称	個数	チェック	備考
本体	本体ベース	1		—
	連絡玉誘導板	1		—
	誘導板調整ネジ	2		六角穴付き止めネジ（いもネジ）：くぼみ先 呼径 M5, L=15mm
	レベル調整ネジ	3		六角穴付き止めネジ（いもネジ）：くぼみ先 呼径 M5, L=20mm
	レベル調整ステージ	1		強化ガラス付
	検知玉	3		ジルコニア球 3/8 インチ
	おもり板	1		強化ガラス付 高さ 3cm
	連絡玉	2		SUS304 球 3/8 インチ
本体カバー	1		—	

表 4.2 本体を設置するための土台材料 (例)

	名称	個数	チェック	備考
設置土台	対象面取り付け部	1		凸形鋼材
	オールアンカー	2		M10 L=90* *長さは場合に応じて
	オールアンカー締め付け用ナット	2		オールアンカーとセット
	水平調整回転部	2		コの字鋼材
	凸形とコの字の連結ボルト	1		
	凸形とコの字の連結ワッシャー	1		メッキスプリングワッシャー M8*
	凸形とコの字の連結ナット	1		
	回転軸用ボルト	1		寸切ユニクロ 3/8×100M* φ9mm L=100mm
	回転軸固定用ナット	4		ナットユニクロメッキ 3/8* 外径 17mm
	回転軸固定用スプリングワッシャー	4		メッキスプリングワッシャー M10*
	ゴム板	1		オレフィン系エラストマート 約1mm 50*45mm
	本体と土台のボルト	1		全ネジ六角ボルトユニクロメッキ 1/4×16* 頭10mm ネジ6mm 長さ21mm
	本体と土台のワッシャー	1		メッキスプリングワッシャー M6*

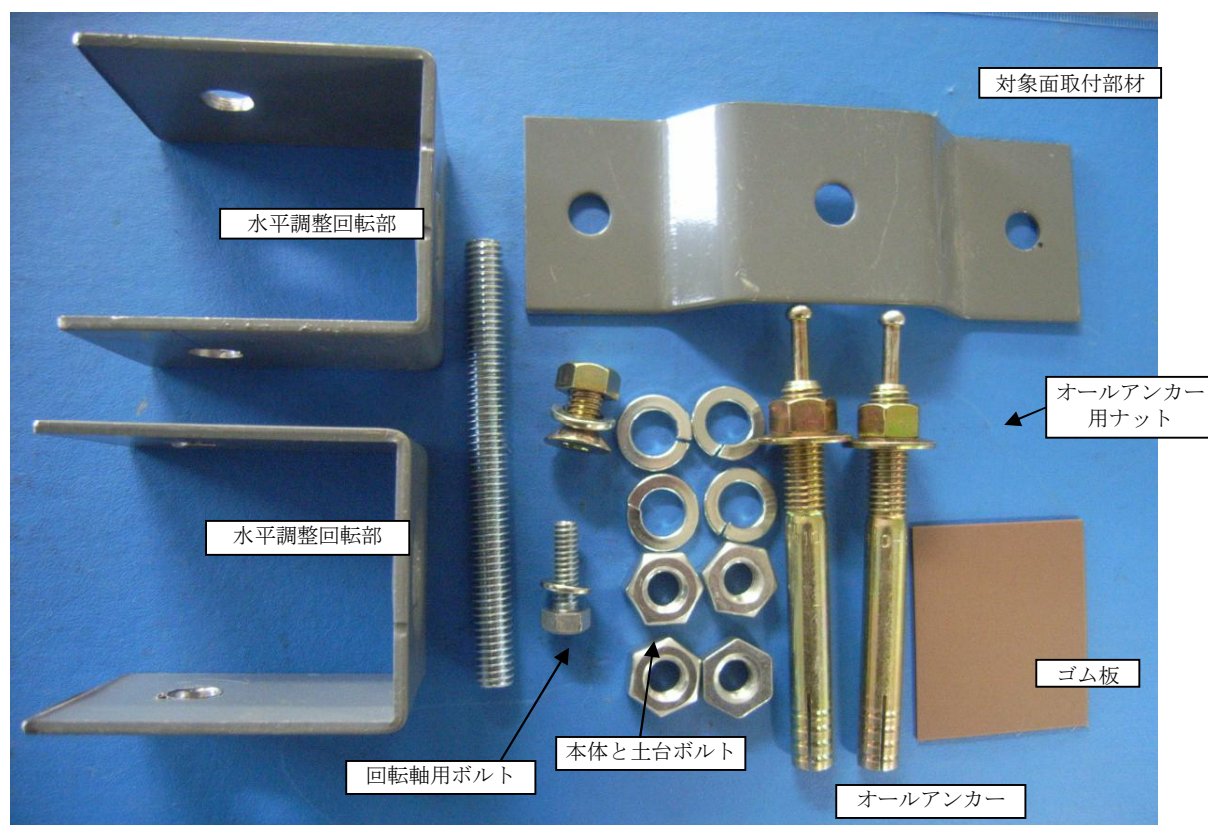


表 4.3 警報表示器関連部材

	名称	個数	チェック	備考
本体	警報器	1		—
	警報器の旗	1		—
設置および接続	警報表示器固定用オールアンカー	多めに		オールアンカーによる固定を標準とするが現場状況に応じて要検討。
	連絡ホース	-		(未来工業製) MF-14 長さは現場に応じて
	本体とホースのジョイント	-		(未来工業製) カップリング FPK-14Y
	ホースとホースのジョイント	-		(未来工業製) カップリング ワンタッチ型 FPC-14Y
	結束バンドなど	多めに		普通 or ビス固定
	ホース固定用ビス, オールアンカー	多めに		ビス止めなど
	ホースと警報器のジョイント	多めに		(未来工業製) カップリング ワンタッチ型 FPC-14Y
	三又塩ビパイプ	-		(未来工業製) J 菅チーズ VET-14J (2系統のホースを1本にまとめる)
	塩ビパイプ			(未来工業製) VE-14H-M
	塩ビパイプとホースのジョイント			(未来工業製) コンビネーションカップリング FPVE-14
	塩ビ用接着剤	1		

5. 設置手順

5.1 本体を乗せる土台の設置（例）

設置土台は現場の条件に合わせてさまざまな工夫が考えられる。ここでは4. 設置準備（材料）で示した土台材料例を利用した設置について示す。



①取付位置に対象面取付部材を当てて、固定用ボルトの位置をマーキングする。

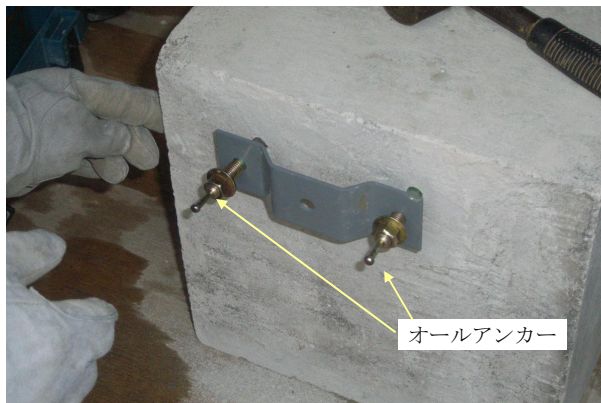
- ・対象面取付部材ががたつく場合は表面を削って平滑化する、または、場所を変える。
- ・対象面の勾配が急な場合は本体が対象に当たってレベル調整しにくい場合があるので注意する。



- ・本体と対象面が接触している例（もう少し、オーバーハングすると本体をレベルに調整できない）。場所を変えるなどの対応を考える。



②削孔する。



③削孔した孔にオールアンカーを挿入する。

- ・先に対象面取付部材にオールアンカーを通しておくとよい。



④軽くたたいてオールアンカーを適度な深さまで挿入する。



⑤対象面取付部材も軽くたたいて対象面と密着させる。

⑥オールアンカーの打ち込みピンを打撃してオールアンカーを固定する。



打ち込み完了のイメージ

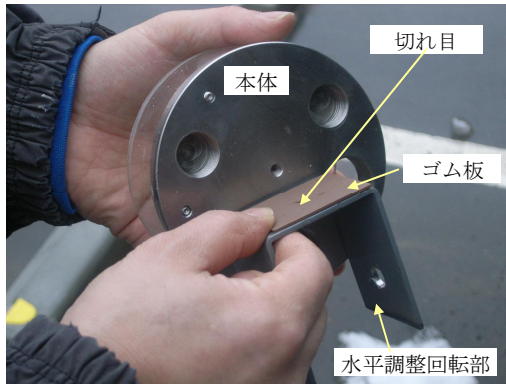


⑦ナットを締めて、対象面取付部材の設置を完了する。



⑧水平調整回転部を取り付ける。

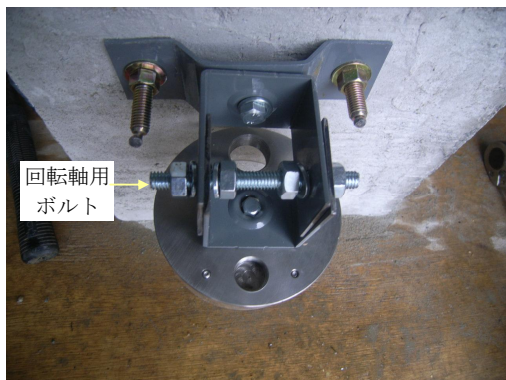
・本体を載せてから水平調整するため、この段階では軽く締めておく。



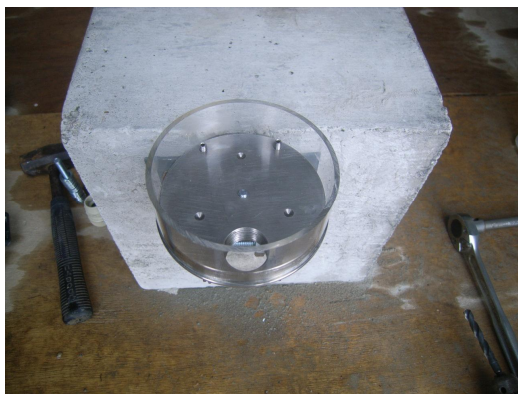
- ⑨本体とゴム板，水平調整回転部を準備する。
- ・ゴム板の中央にカッターで切れ目を入れて，ボルトが通るようにしておく。



- ⑩本体とゴム板，水平調整回転部をボルトで締める。



- ⑪回転軸用ボルトを通して水平調整回転部どうしを接続する。
- ・本体ベースを下向きにしておくとう作業しやすい。

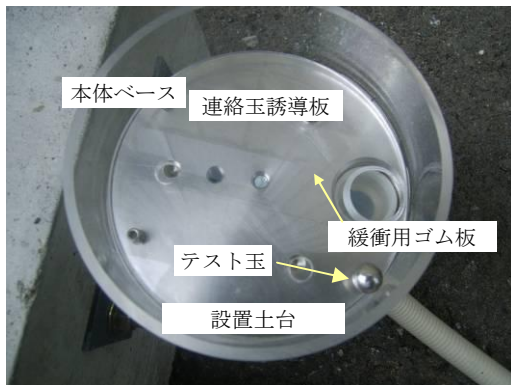


- ⑫本体ステージを上向きにして土台の設置が完了
- ・この段階では回転軸のボルトナットは仮締め程度でよい。

5.2 検知器本体



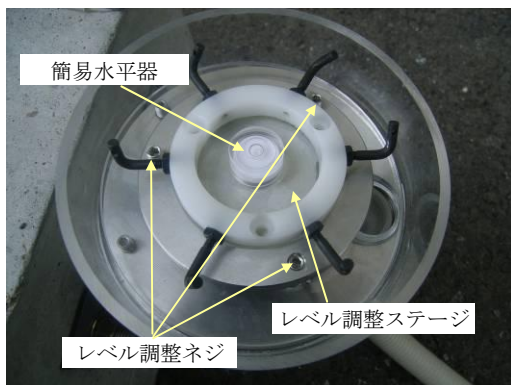
- ① 本体ベースがほぼ水平になるよう調整する。
 - ・ 各回転軸部のナットを確実に締める。



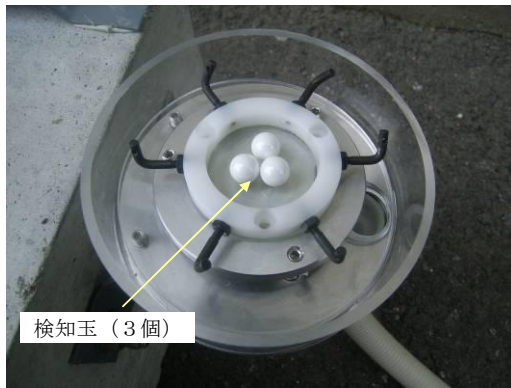
- ② 連絡玉誘導板を配置する。
- ③ テスト玉を載せて, 玉をどこに置いても連絡ホース取り込み口に玉が誘導されることを確認する。



- ③' 連絡ホース取り込み口に玉が誘導されない場合は, 誘導板調整ネジで板の傾きを調整する。



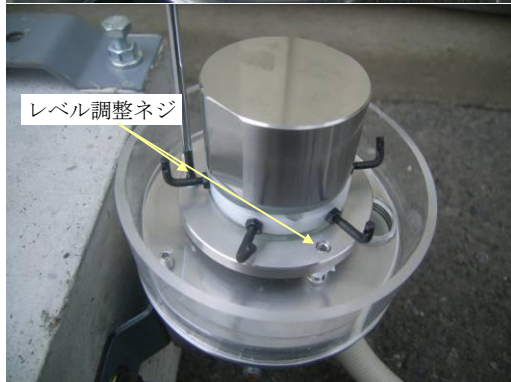
- ④ レベル調整ステージを載せる。
- ⑤ 簡易水平器を置いて概ね水平に調整する。



⑥ 検知玉を載せる。



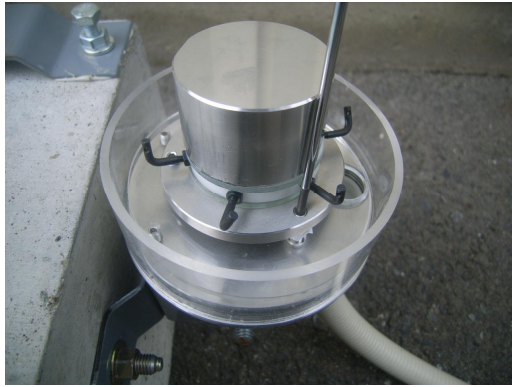
⑦ 検知玉の上におもり板を載せる。



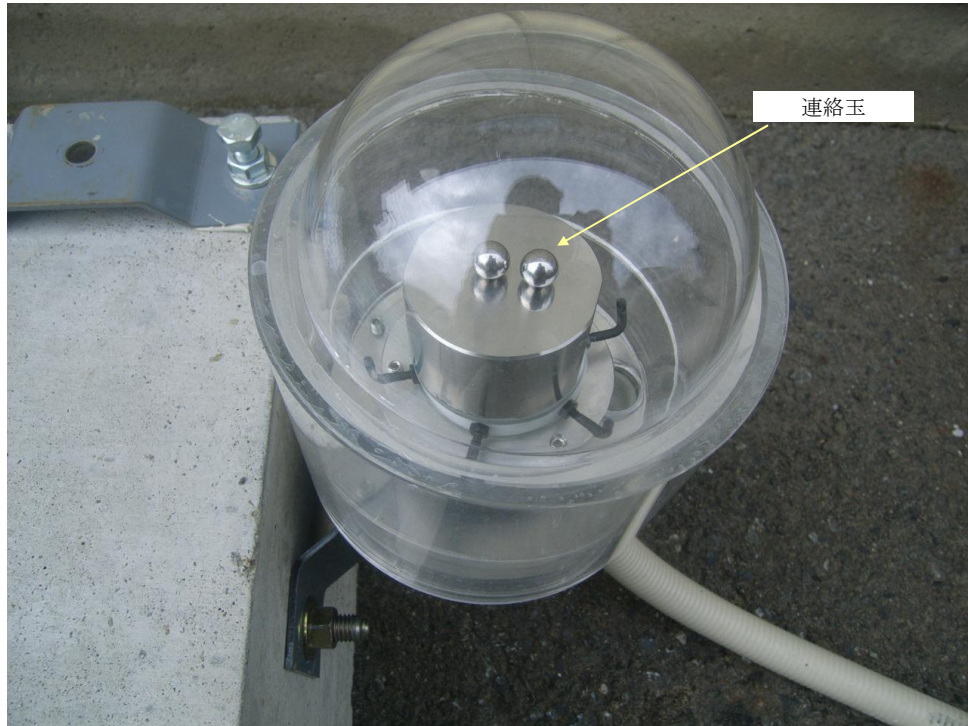
⑧ おもり板が動かなくなるように、レベル調整する。
(写真はある程度レベル調整された状態である。レベル調整が甘いとおもり板は簡単に落ちてしまうので、おもりに手を添えながら動く方向を確認しつつレベル調整するとよい)



⑨ 高周波の振動発生器で本体に振動を与えてもおもり板が横移動しなくなるまでレベル調整する。
(写真はマッサージ器を利用した例。蓋の中心に振動を与えることで均等に振動が伝わるようにしている。マッサージ器と本体の間に手を挟んで安定した振動を与えるようにしている)



⑨' 高周波の振動でおもりが横移動する場合はレベル調整する。横移動しなくなるまでレベル調整を繰り返す。



⑩ 連絡玉と蓋をセットして，設置完了

5.3 連絡ホース

下記の点に留意して連絡ホースを設置する。

- 連絡ホースは途中で連絡玉が止まらないよう、勾配に注意して設置する。
- 連絡ホースがずれないように固定する（例えば、小型のオールアンカーと結束バンドなどを使うと固定しやすい）。
- ホースを合流させる場合（複数の検知器を一つの警報表示器に接続する場合）は、合流点で玉がつかまらないよう注意する。



合流部の状況

- 状況に応じてガス管などでホースを保護する。



ガス管を通して、ホースを浮かせた状況。（ホースの勾配を確保、および保護の目的）

5.4 警報表示器

下記の点に留意して警報表示機を設置する。

- 警報表示器を確認する人から見やすい位置に設置する。冬場に設置する場合は、夏場に周囲の植生が成長した時に警報表示器が隠れないかも注意する。
- 積雪地では除雪された雪などで埋もれる位置でないかを確認する。
- できる限り鉛直に設置する（勾配があると赤旗がうまく表示できない可能性がある）。
- 風などで大きく振動しないよう設置する（振動により赤旗が誤表示される可能性がある）。
- 連絡ホースの挿入口から雨水などが入らないようにシールする。



勾配の緩い箇所に警報表示器を設置した例。
長いボルトを利用して警報表示器が鉛直になるように設置している。



内部の状況
ボルトが内部まで貫通して取り付けられていることが分かる

6. 運用

運用のイメージを図 6.1 に示す。ここでは道路パトロール者による確認を原則としているが、適用ケースによっては、住民や施工会社作業員などによる確認も考えられる。

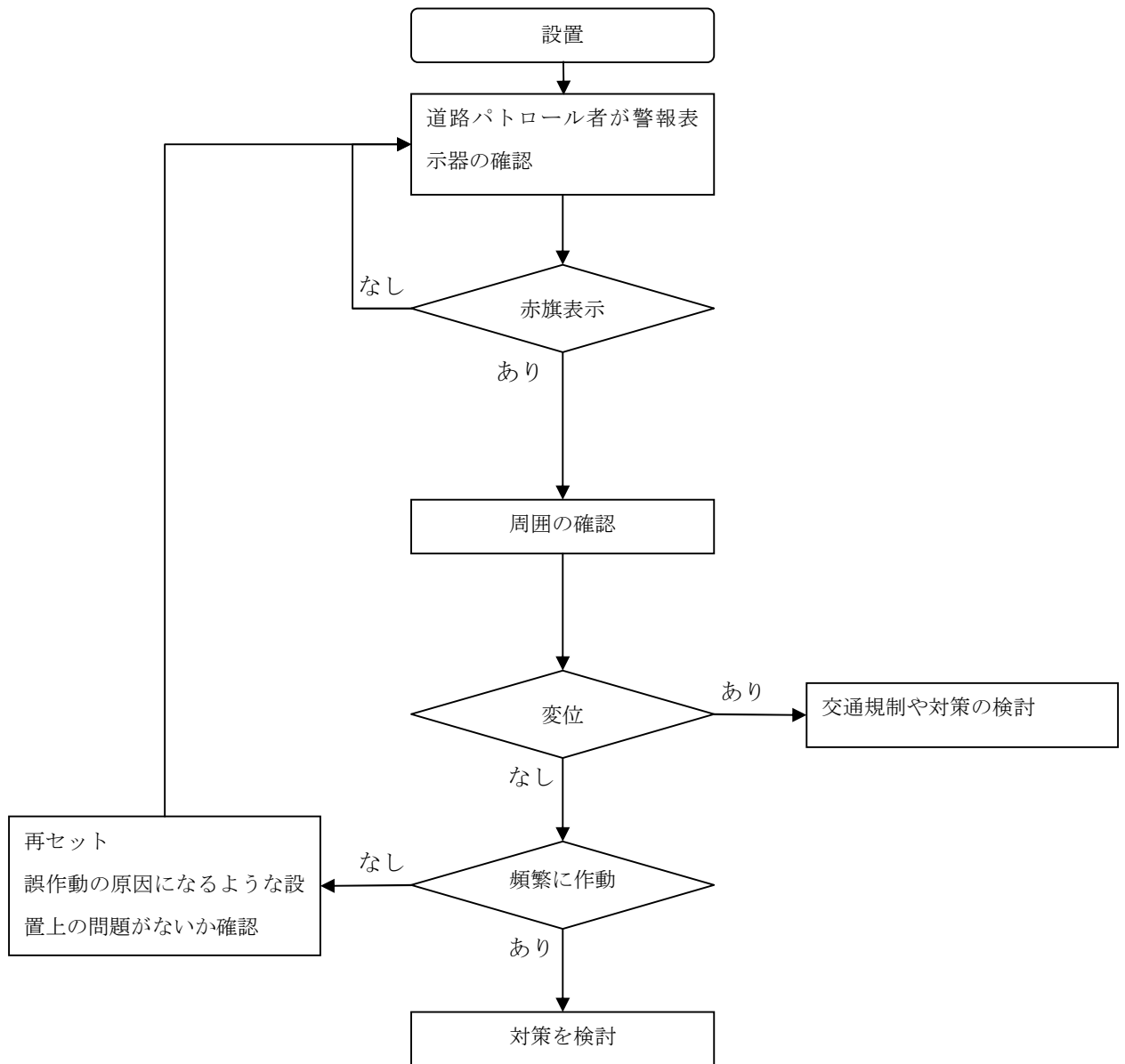


図 6.1 簡易型傾斜検知器を用いた斜面監視の運用イメージ

7. 参考資料

7.1 検知性能

次ページ以降に示す性能確認試験結果に基づいて次の性能を保持することを確認した。

- 1) 本機器は傾斜角度が約 0.01° ～ 0.05° になったときに作動する（傾斜を検知して、おもり板が傾いて連絡玉が転がり落下する）。
- 2) 実際の現場で設置テストをした結果、暴風雨や小さな地震などで簡単に誤作動することはない。

ただし、1), 2) の性能を発揮するためには、下記の条件を満たしておく必要がある。

- a) レベル調整ステージ、おもり板、検知玉を組み合わせた個別の機器について、検知する傾斜角度が 0.01° ～ 0.05° の範囲内にあることを5回以上の繰り返しテストで確認しておく。
- b) 本機器が監視対象に確実に設置され、簡単には動かないことを確認しておく。
- c) 本機器設置時の水平調整において、高周波の微振動を与えても、おもり板が動かないことを確認しておく。

傾斜変位による監視が有効な場合で、かつ監視対象の適切な位置に設置されていれば、本機器による管理は斜面などの安全管理手法として有効である。

性能確認試験結果

(1) 試験条件

- 1) 実施場所：(株)サンワコン社屋1階フロアー（先端支持杭基礎上の鉄筋コンクリート構造物）
- 2) 日時：2010年3月8日～3月9日
- 3) 室温：18℃～21℃。

(2) 試験方法

- 1) 試験台：鉄骨製。脚にゴム製カバーをつけて微振動の影響などを排除した。



図 2.1 試験台



図 2.2 試験台脚のゴム製カバー

2) 試験機器（傾斜計）

a) 精密級電子水準器：新潟精機株式会社製レベルニック（DL-S1）。

b) 基本仕様：振り子型の電子水準器。傾斜角に応じて得られる振り子の微小変位を電気信号として取り出し、mm/m による勾配としてデジタル表示（小数点以下2桁表示）する。

c) 校正証明：校正成績表，トレサビリティ体系図，校正証明書を添付する。

[仕様]

型式	DL-S1
測定範囲	±9.99 mm/m
最小読み取り値	0.01 mm/m
使用温度範囲	0 ~ 40 °C
読み取り精度(※1)	±1.3 %rdg [17 ~ 23 °C] ±3.0 %rdg [0 ~ 40 °C]
繰り返し精度	±0.01 mm/m 以内
電源	9V 乾電池 (JIS 5-006P) 1個 AC100V アダプター
連続使用時間(※2)	マンガン乾電池 約25時間 アルカリ乾電池 約50時間
外形寸法(※3)	159 (L) × 78 (W) × 104 (H) mm
ベース寸法	150 (L) × 55 (W) mm
重量	2.0 kg
付属品	9V 乾電池 収納ケース 取扱説明書

(※1) %rdg は読み取り値に対するパーセントです。

(※2) 使用条件により多少異なります。

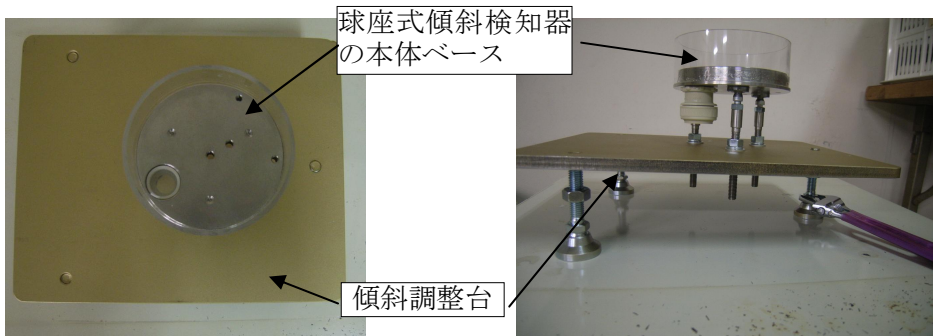
(※3) DL-S1Vの場合、111 (H) mm となります。

3) 検査の内容

- a) 「レベル調整ステージ (検知玉を含む)」を5セット、おもり板を2セット準備した。
- b) 各レベル調整ステージに対しておもり板を替えて、 $5 \times 2 = 10$ 通りの組合せで試験を行った。
- c) レベル調整ステージの設置方向を3方向に変えて、1方向あたり5回の試験を行った。
- d) b) のステージとおもり板の組合せ10通りに対し、c) のレベル調整ステージの向き3ケースで各5回の試験で、試験の合計回数は $10 \times 5 \times 3 = 150$ 回となる。

4) 傾斜調整台

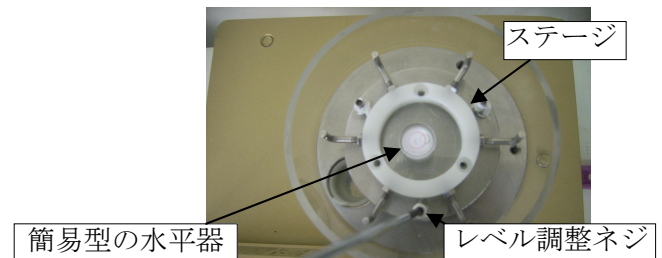
- a) 3点支持のテーブル状の台で、脚の高さが調整可能となっている。
- b) 1箇所の脚の高さを変化させることにより、傾斜角度を変化させる。



5) 試験方法

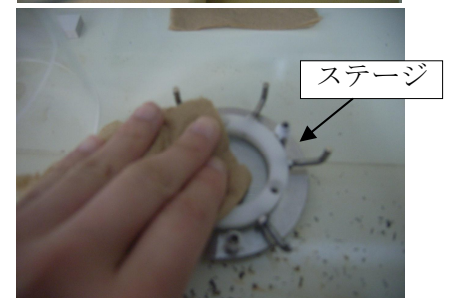
①傾斜調整台に取り付けた本体ベース上に、試験に供するレベル調整ステージと検知玉を設置する。

②簡易型の水平器を置いて、おおまかな水平調整を行う。



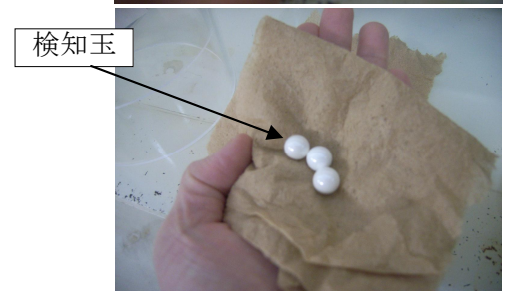
③レベル調整ステージ上面のガラス板の汚れをペーパータオルで拭き取る (本体ベースから外して作業する)。

ペーパータオルとして、商品名：キムタオル，日本製紙クレシア製 (材質 パルプ100%，未ざらし製品) を使用した。



④検知玉の汚れをペーパータオルで拭き取る。

ペーパータオルは③と同じものを使用した。



⑤検知玉を台座に乗せ、エアダスターで細かい埃を取り

除く。

エアダスターは空気で埃を飛ばすもので，商品名：
ダストブローアーAD152，ELECOM社製（代替フロン
HFC-152a使用）を使用した。

⑥おもり板下面のガラス板の汚れをペーパータオルで
拭き取る。

ペーパータオルは③と同じものを使用した。

⑦エアダスターでおもり板下面のガラス板の埃を取り除く。

エアダスターは⑤と同じものを使用した。

⑧おもり板をセットする。必要に応じて水平調整を行う。

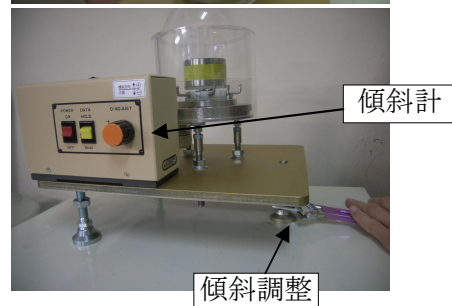
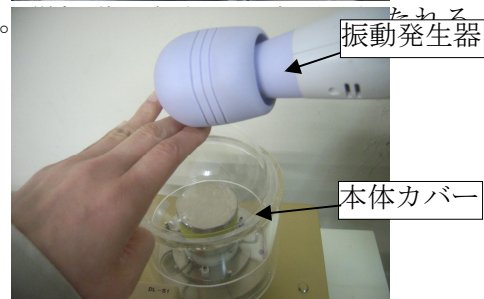
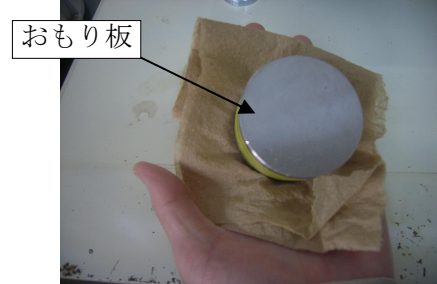
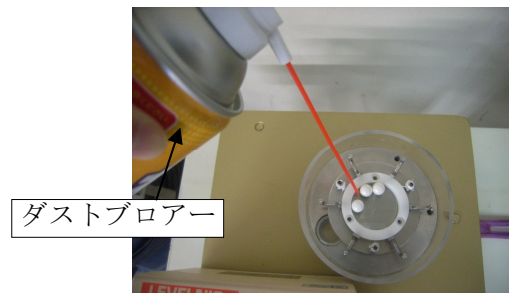
⑨カバーを被せて，カバー上面より振動発生器で微振動を与える。
まで水平調整を繰り返す。

振動発生器として，商品名：ハンドマッサージャー
YCM-20，（株）山善製（『強・弱』2段切替式）を使用
した。試験では「強」を使用した。

⑩傾斜調整台に載せた傾斜計の数値を0に設定する。

⑪傾斜調整台を調整して傾斜させる。

⑫検知玉が転がり，おもり板が倒れた時の傾斜計の数値を記録す
る。



(3) 試験結果

合計 150 回の試験結果の検知角度のヒストグラムを図 7.1.1 に示す。頻度分布が偏っているため、横軸を検知角度の対数にしたヒストグラムおよび確率密度関数を図 7.1.2 に示す。ヒストグラムと確率密度関数がほぼ一致しており、対数正規分布として扱うことが適切と判断される。対数正規分布として求めた図 7.1.2 の確率密度関数を確率分布関数として横軸を実数にして表現した結果を図 7.1.3 に示す。

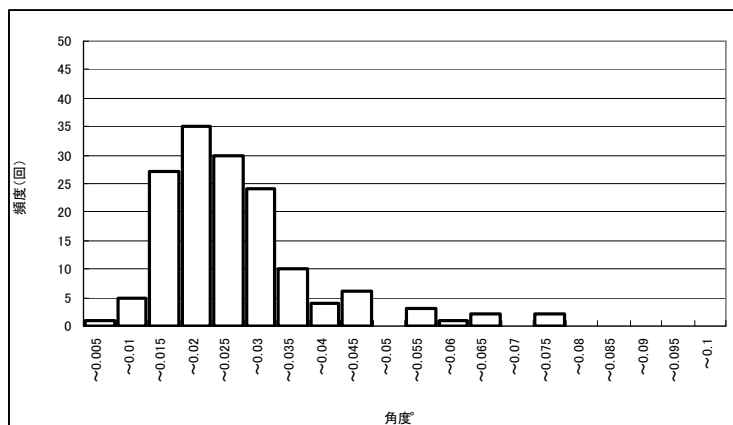


図 7.1.1 試験結果のヒストグラム

図 7.1.3 から、95%の確率で、検知角度は $0.010^\circ \sim 0.044^\circ$ となる。以上の結果から安全側をみて、本機器の検知角度の精度を 95%の確率で $0.01^\circ \sim 0.05^\circ$ とする。

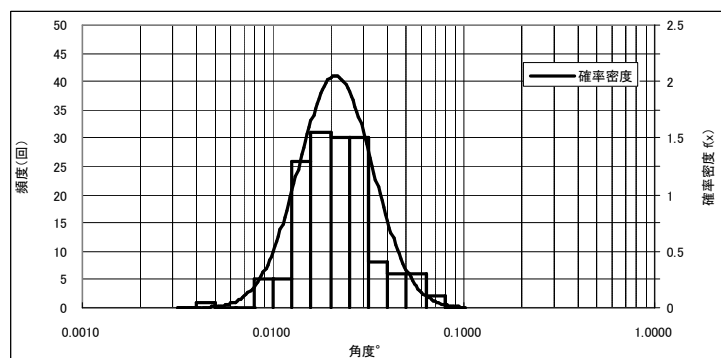


図 7.1.2 横軸を対数とした場合のヒストグラムと確率密

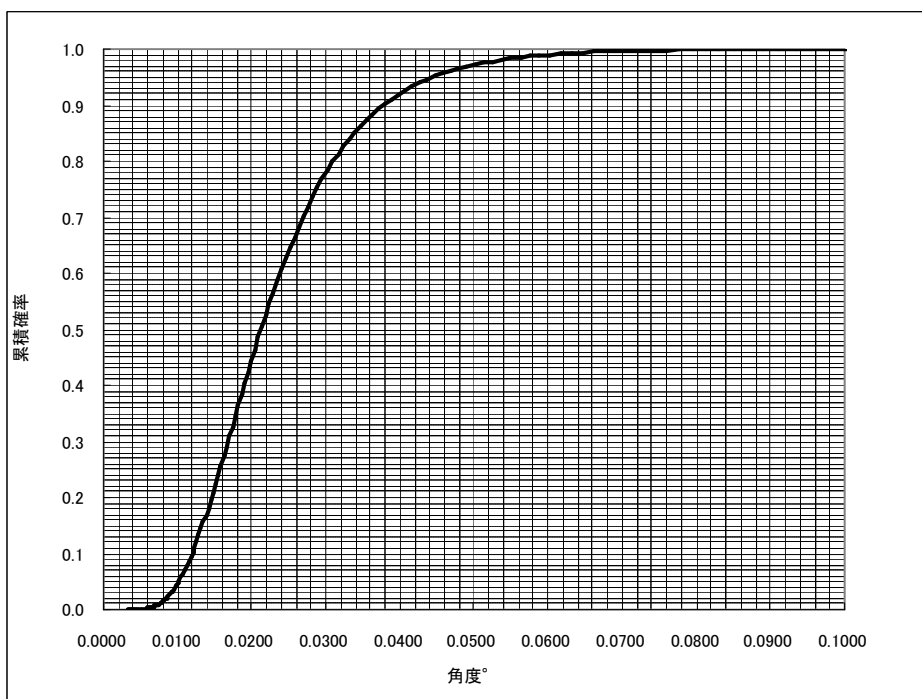


図 7.1.3 検知角度の確率分布関数

7.2 地震動に対する性能

振動に対する誤作動の可能性を検討した。

(1) 試験条件

- 1) 実施場所：福井大学工学部建築建設工学科 地震波再現実験室
- 2) 日時：平成19年10月18日
- 3) 室温：18°～20°

(2) 試験方法

振動台（株式会社鷺宮製作所製 地震波再現装置 VTVH-5）に傾斜検知器を設置して、周期と加速度の組み合わせを変えた正弦波（横方向）の振動を加え、傾斜検知器が作動するまでの時間を計測した（20秒でストップ）。同じ条件の実験を5回繰り返した。

(3) 試験結果

結果の一覧を表7.2.1および図7.2.1に示す。傾斜検知器が作動するまでの時間の平均値が10秒以上あれば、地震時に誤作動しないと判断した（表7.2.1の“○”，図7.2.1の“○”）。作動するまでの時間が5秒以上～10秒未満の場合は“△”，5秒未満は“×”で示した。

実験結果から下記のことが分かる。

- ① 振動周期が短いほど誤作動しにくくなる。
- ② 振動周期が0.2秒未満であれば震度3程度の地震まで誤作動しないと考えられる。
- ③ どのケースでも傾斜検知器が作動するまでの時間にばらつきがある。水平調整の微妙な違いが作動までの時間のばらつきとなって現れると考えられる（実現場では微振動を与えて水平精度を向上させるため、この実験データよりも誤作動しにくくなると考えられる）。

表 7.2.1 振動実験結果

No	周期 (秒) 加速度 (gal)	振動を与えてから、検知器が作動するまでの時間 (秒)								
		1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	最大	最小	平均	作動のタイ ミング*
1	0.1 秒 100gal	1.8	19.0	5.5	20.0	8.2	20.0	1.8	10.9	○
2	0.2 秒 50gal	20.0	20.0	15.8	15.4	7.9	20.0	7.9	15.8	○
3	0.33 秒 10gal	4.0	2.3	2.5	1.5	5.0	5.0	1.5	3.1	×
4	0.33 秒 7gal	20.0	6.8	5.2	20.0	8.6	20.0	5.2	12.1	○
5	1 秒 3gal	4.8	2.2	3.5	2.1	3.0	4.8	2.1	3.1	×
6	1 秒 2gal	16.8	4.5	9.4	13.2	4.6	16.8	4.5	9.7	△
7	1 秒 1.5 gal	8.9	13.0	20.0	13.8	20.0	20.0	8.9	15.1	○
8	0.8 秒 3gal	6.2	8.7	3.7	3.7	3.5	8.7	3.5	5.2	△
9	0.71 秒 3gal	5.2	0.0	-	-	-	5.2	0.0	2.6	×
10	0.5 秒 6gal	20.0	6.3	4.6	9.0	3.4	20.0	3.4	8.7	△
11	0.5 秒 4gal	16.2	17.3	14.7	20.0	20.0	20.0	14.7	17.6	○

*作動のタイミング

○：10秒以上経過して作動，△：5秒以上～10秒未満で作動，×：5秒未満で作動

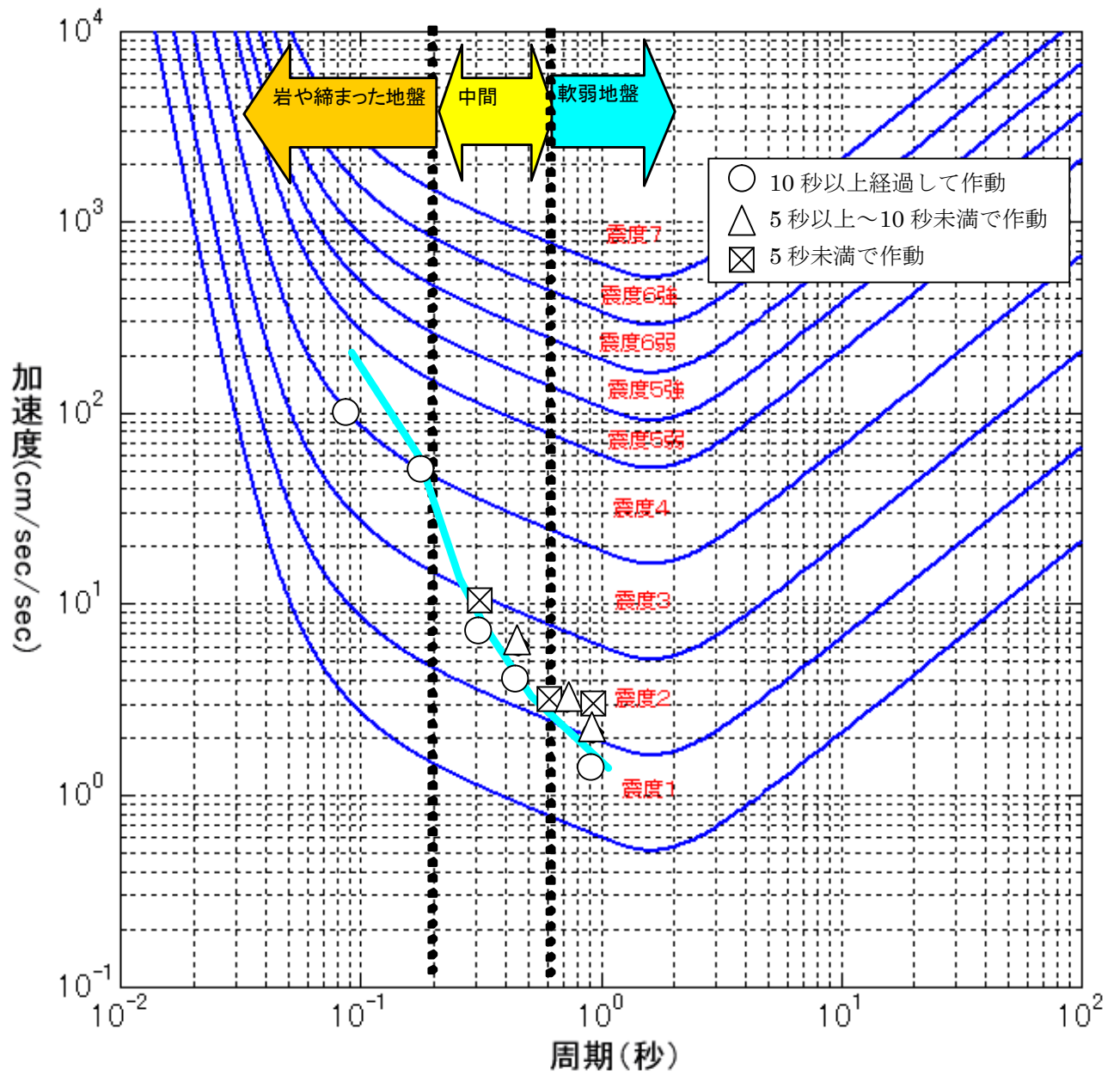


図 7.2.1 振動実験結果 (周期～加速度の関係と誤作動の可能性)

7.3 暴風雨に対する性能

強風時、地震時の誤作動を防ぐことが課題である。強風時の本体の挙動を確認するために、ブロアー（風速 40m/s）と高圧洗浄機（吐出能力 900L/h-6MPa）を用いて、風、雨風を検知器に近接してさまざまな角度から当てる実験を行った（図 7.3.1）。特に、高圧洗浄機による雨風は自然環境の中ではありえない勢いのものである。

設置手順で説明したような確実な設置がなされていれば、ブロアーと高圧洗浄機による雨風に対して誤作動しないことが分かった。自然環境における雨風で誤作動する可能性は極めて低いといえる。



図 7.3.1 風に対する挙動(左) と暴風雨に対する挙動(右) の確認状況

8. 設置事例

8.1 不安定岩塊の変位監視への適用事例

巨大な岩塊の挙動監視のために、岩塊脚部で巨大岩塊を支える岩塊に本機器を設置した。本機器が作動した時に岩塊が変位したかどうかを確認するために、機器周辺のき裂にモルタルを塗布した。

道路と本機器の設置位置の比高は約 120m 程度である。警報器は道路横の擁壁に設置した。道路パトロール者が週に 2～3 回、警報装置の赤旗が出ていないかを確認する。車を停めて数秒程度で確認作業は終了する。設置当初は対策工施工中であったため、施工者も現場に入る前に確認した。



図 8.1.1 不安定岩塊の挙動監視事例箇所の全景



図 8.1.2 不安定岩塊の全景と検知器設置位置

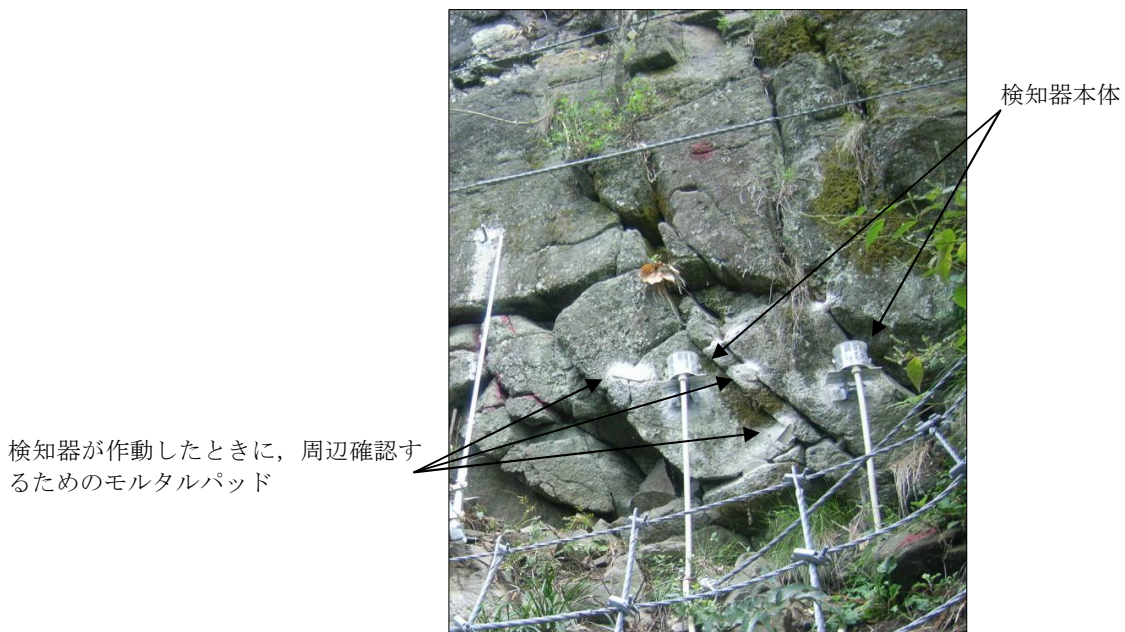


図 8.1.3 不安定岩塊の脚部への設置状況



図 8.1.4 警報機設置状況（道路パトロールおよび対策施工者が確認）

8.2 擁壁の変状（水平変位）の監視への適用事例

擁壁の打ち継ぎ目（水平）を境界に上部が水平にズレている擁壁に本機器を設置した。既に対策が実施されているが、変位が完全に止まっていることの確認を目的とした。

対象は水平変位であるが、き裂を挟んで機器を設置することで水平変位を回転変位に変えて検知する。下部擁壁にも設置して挙動を監視した。

道路から直接見える部分の変状であるが、目視だけでは変状の進行を捉えにくい。斜面上部の変状を監視する事例ではないが、検知器を設置することで確認の精度が高くなる事例である。



図 8.2.1 擁壁の変状状況



図 8.2.2 検知器本体および警報表示器の設置状況

8.3 崩壊斜面の対策工施工中の安全管理への利用例

自然斜面の崩壊現場においてオーバーハング部分に根固め工を施工する。施工中の安全管理のために検知器を設置した。施工者が警報表示の有無を確認した。



図 8.3.1 崩壊斜面の全景と検知器および警報常時器の設置位置

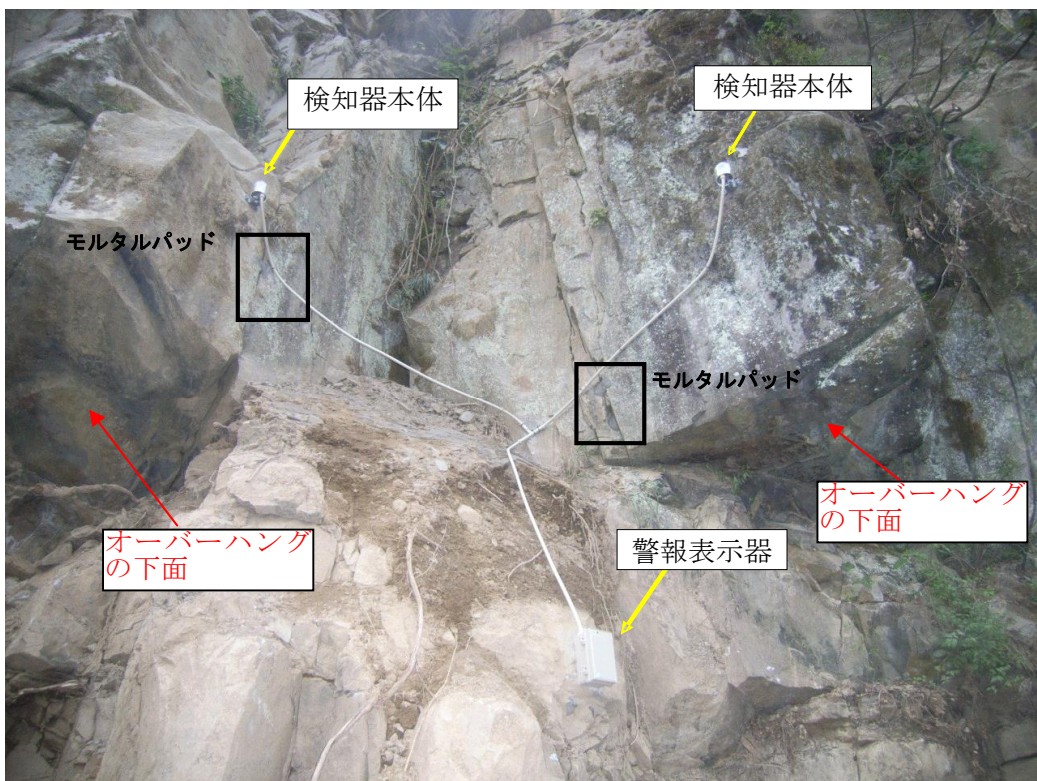


図 8.3.2 近景

8.4 比較的規模の大きい変状のり面の監視事例

切土斜面に地すべり的な変状が発生し、排土工や集水井工，アンカー工などが施工されている。部分的に変状が継続しており，各種計測がなされている。リアルタイムのデータ転送システムも導入されているが，全面を監視することはできない。リアルタイムのシステムを補間する位置に本機器を設置した。道路パトロール者が道路路肩に車を止めて，警報表示器を確認して変状を監視した。

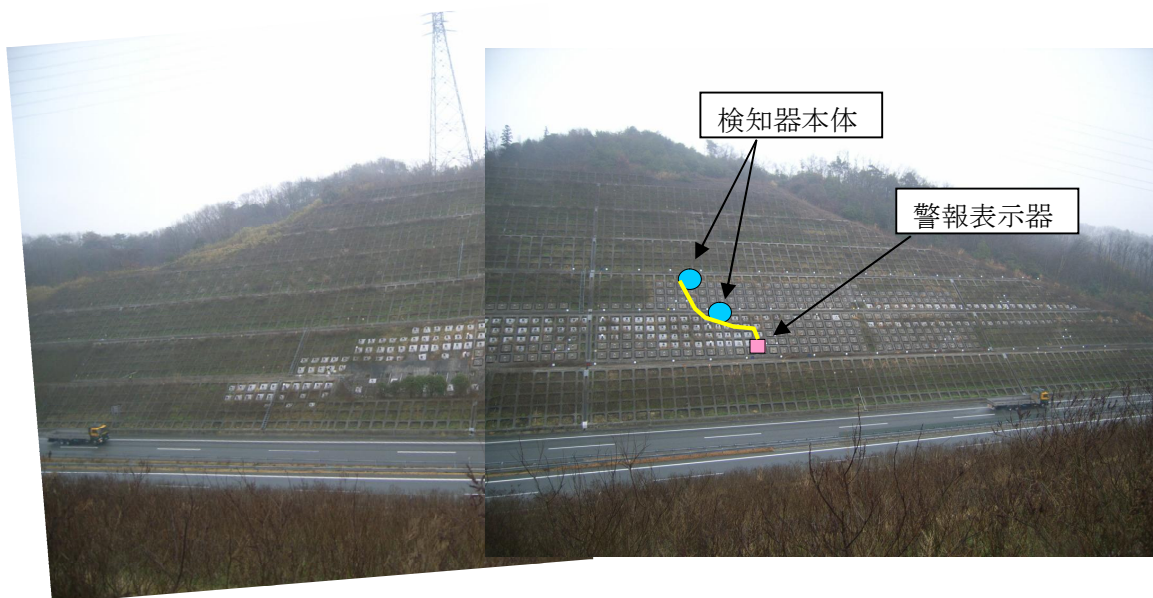


図 8.4.1 対象斜面の全景と本体および警報表示器の設置位置



図 8.4.2 本体設置状況（上部）



図 8.4.3 本体設置状況（下部）および連絡ホースの小段横断部



図 8.4.4 警報表示器設置状況



図 8.4.5 警報表示器設置状況

8.5 盛土斜面の変状監視事例

盛土斜面に変状が認められた。傾斜検知器により変位状況を監視した。当該盛土およびその上部施設の管理者が定期的に傾斜検知器本体が作動していないかを確認した。本体が作動した場合には、変位確認用の測量点の高さを測量して変位状況を確認する。



図 8.5.1 設置遠景



図 8.5.2 本体設置状況

地山にコンクリートを打設して本体を設置（地山の変位をダイレクトに検知）



①穴掘

②穴の中央に杭を打つ

③コンクリート充填

図 8.5.3 コンクリート打設の状況

2 編 簡易型地下水位監視方法

1. コンセプト

斜面崩壊は「地盤材料の悪さ」「構造的な問題」に加えて「地下水位による間隙水圧の増加や見かけ粘着力の低下」によって発生する。地下水位の状況を把握することは非常に重要である。

一般の斜面点検では「湧水」に着目する。湧水があれば地下水位が高い可能性を考える。しかし、湧水箇所が確認しにくい場合がある。簡易かつ客観的（定量的）に湧水の多少を評価することも難しいため、道路パトロールの一環としてチェックすることは難しい。

調査ボーリングなどにより観測孔を設置して地下水位を計測すれば、客観的かつ直接的に地下水位を把握できるので斜面防災上有用な情報が得られる。しかし、観測孔の掘削・設置、センサ購入、センサの維持管理などに多くの費用がかかるため、広く多くの斜面に設置することは難しい。

本マニュアルの本地下水位監視方法は上記の問題を解消するために、下記のコンセプトで開発した。

- ① 地下水位の一定水位をよりも上昇することを直接的に監視する。
- ② 観測孔の掘削・設置費用が安い。
- ③ センサも安い。

2. 簡易型地下水位監視方法の概要

2.1 設置のイメージ

簡易貫入試験孔を利用し、径の細い塩ビパイプを挿入した観測孔を設置する。導線の先端を電極とし、地下水位が達すると通電する簡易なセンサーを監視した水位（深度）に設置する。導線の道路際まで配線する。道路パトロール者などが道路際でセンサーの通電の有無を確認することで監視水位を超えたか否かを判断する。監視水位を超えた時刻を把握する場合はテスター部にデータロガーを接続する。

センサーの設置深度は 4m 以浅を標準とする。すなわち、本手法は表層崩壊を対象としており、すべり面深度の深い地すべり等は従来の方法で監視するべきである。

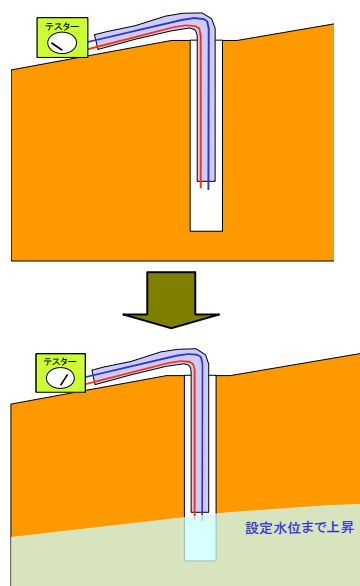


図 2.1.1 地下水センサーの基本的なしくみ

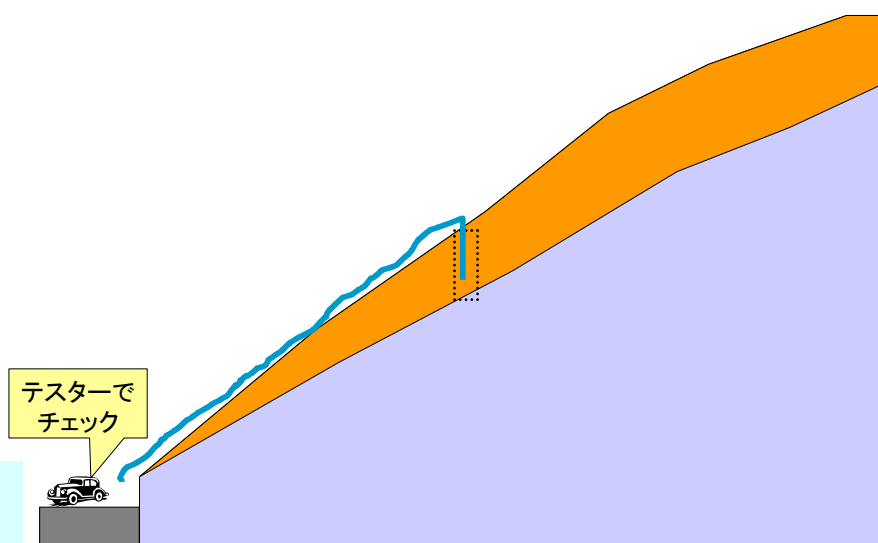


図 2.1.2 観測孔から離れた地点でのチェックのイメージ

2.2 地下水検知センサーの構造

センサーは導線の先端を電極として電極間に水分があると通電する単純な構造とする（図 2.2.1）。

通常の接点式の地下水位計測との違いは「電極部に到達した水分がそこに貯留される構造」を持つことである。豪雨により上昇した地下水位が下がった後にチェックしても、監視水位以上に地下水位が上昇したことを見逃さない。

電極を複数準備して深度を変えて設置すれば、監視水位だけでなくその近辺の水位までの到達状況が把握できる。深度の異なる電極間での通電状況を確認すれば、チェック時のおおまかな水位を知ることができる。観測孔を多数設けてそれぞれに電極センサーを設置すればミズミチ的な宙水の発生状況も把握できる。

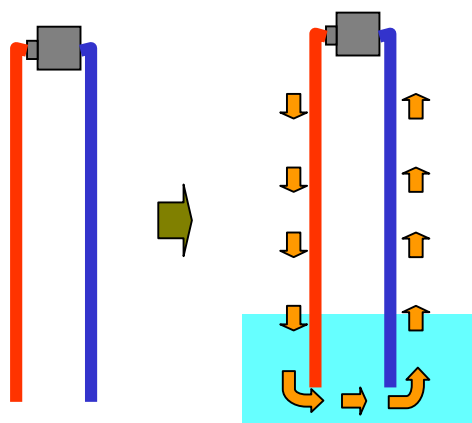


図 2.2.1 地下水センサーの基本的なしくみ

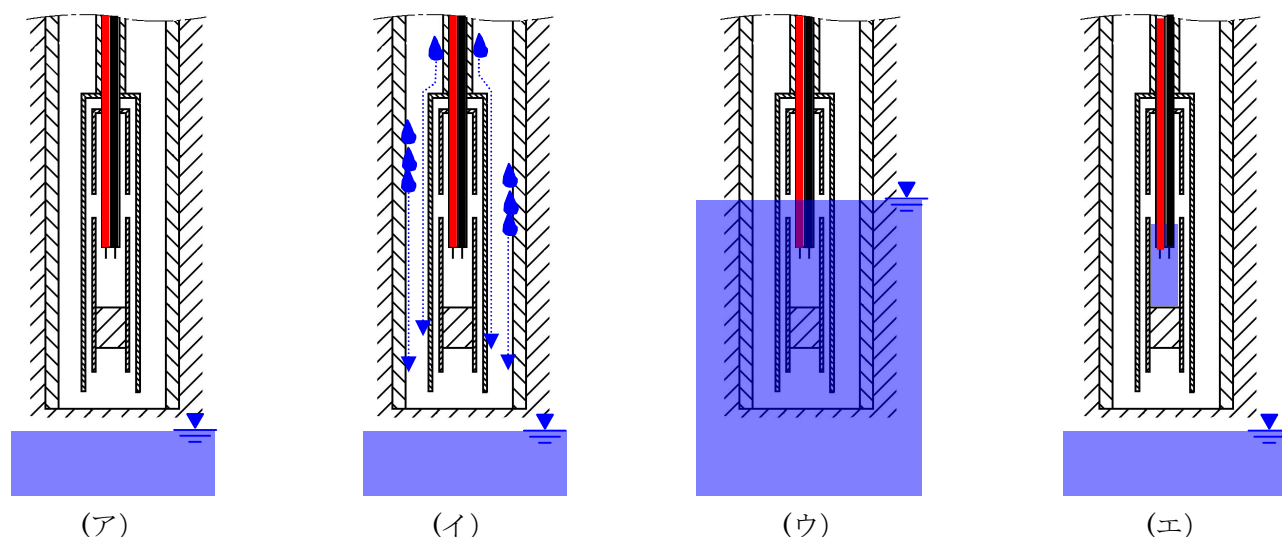


図 2.2.2 センサーの構造と地下水検知

(ア) (イ) は地下水位がセンサーに達していない。(イ) は観測孔壁についた水分などがセンサー内に入進して誤検知しない状況。(ウ) は地下水位が上昇して、センサーが検知している状況。(エ) は地下水位が下がった後にもセンサー部に水分が残留してセンサーの検知が続いている状況。すなわち、地下水位が到達したことを記憶している。

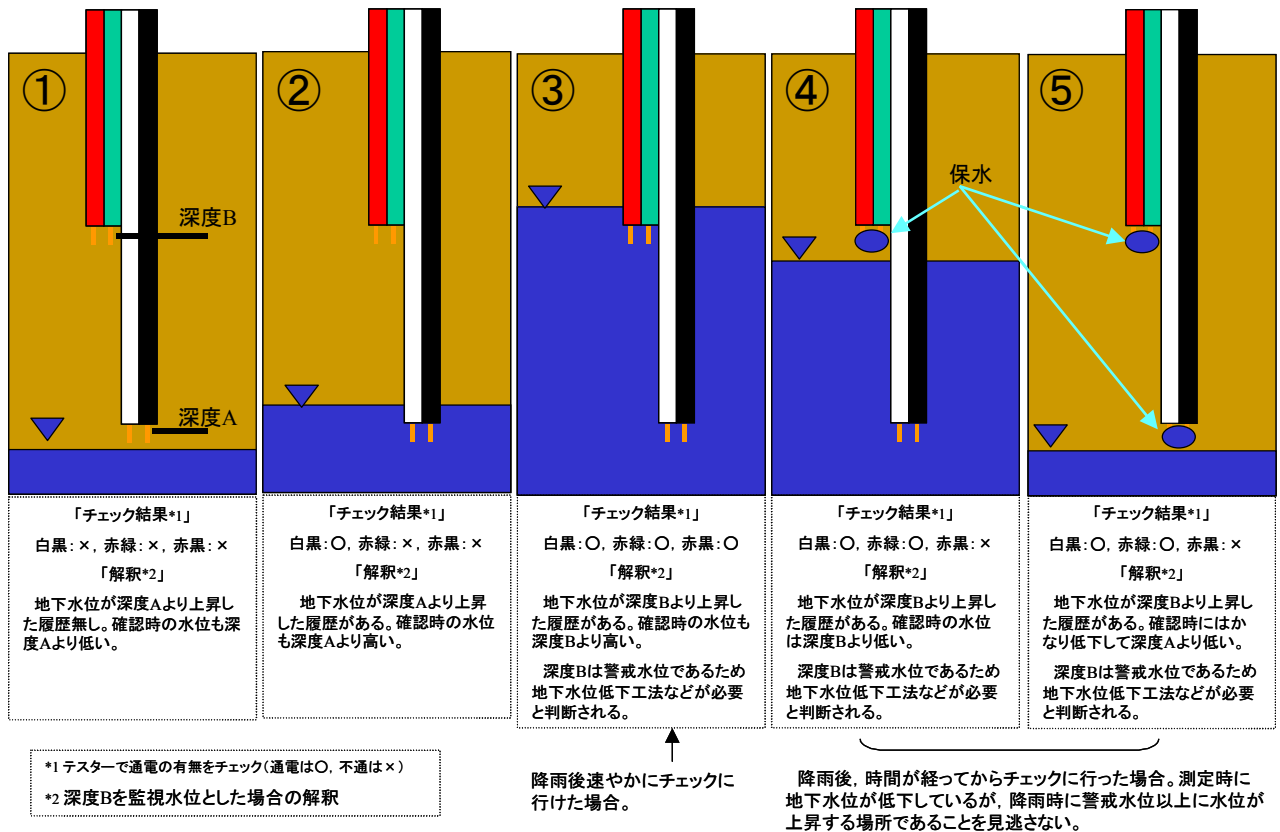


図 2.2.3 複数のセンサーを設置した場合の地下水検知のイメージ

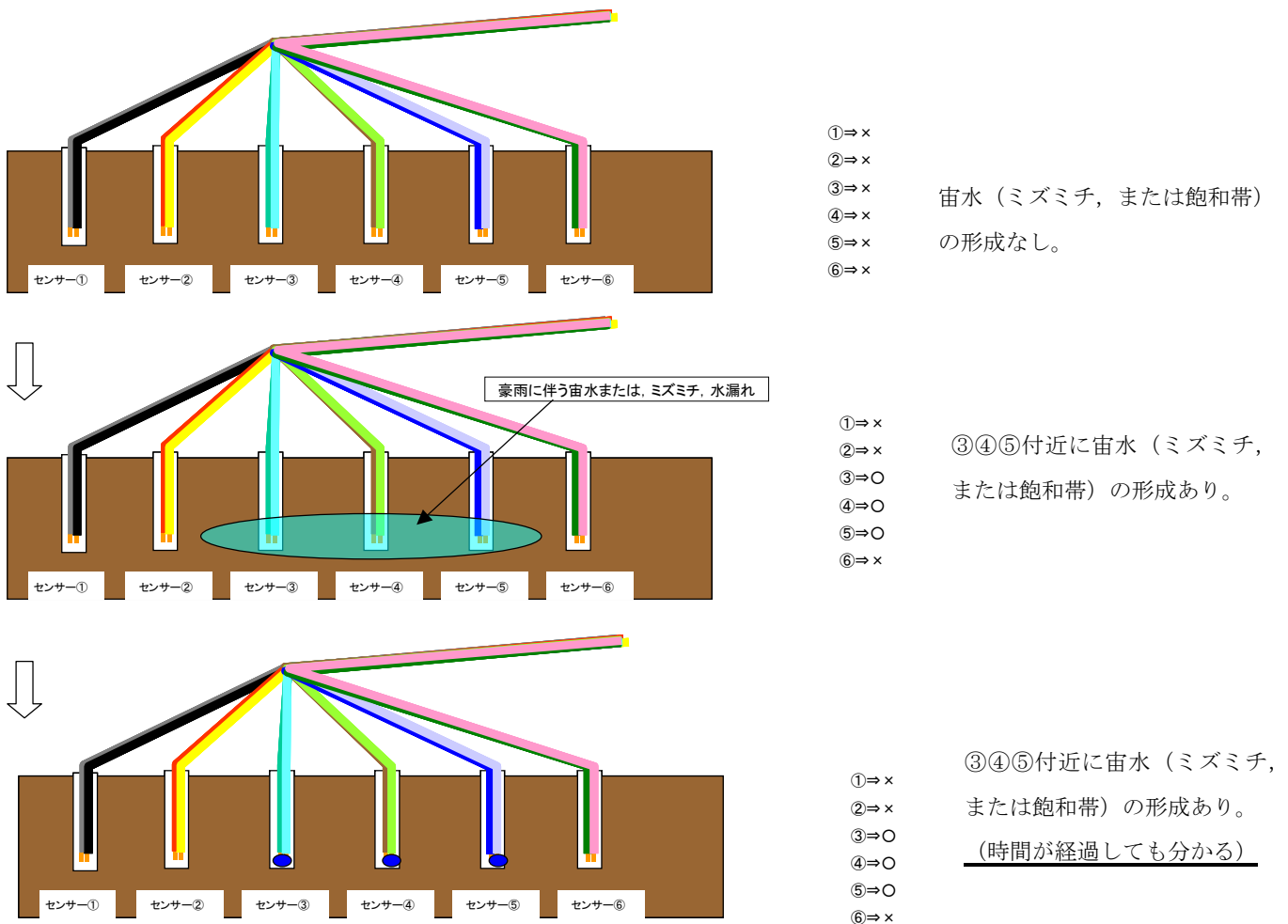


図 2.2.4 複数の観測孔にセンサーを設置した場合の地下水検知のイメージ

2.3 適用

この方法は比較的浅い深度の地下水位の監視を対象としている。表 2.3.1 のような適用ケースが考えられる。

表 2.3.1 適用ケースの例

ケース	留意点
崖錐斜面	崖錐の下部から湧水（伏流水が湧水）している場合は特に計測が重要となる。 観測孔を設ける際の簡易貫入試験試験では基盤岩を確認することがのぞましい。
崩壊跡地の周辺	崩壊の深さを勘案して、観測孔の深さを決める。観測孔がすべり面より深くならないよう注意する。 簡易貫入試験で強度の不連続面を確認し、崩壊跡から想定されるすべり面深さとの関係を勘案してすべり面の深さを決める。
盛土斜面	片切片盛の盛土や溪床横断部の盛土など、盛土内の水位が問題となる斜面で計測する。 地下水位の断面を想定して適切な位置に観測孔を設置する。
擁壁背面	擁壁の背面の水は速やかに排除されることを前提に、擁壁の設計では背面の水圧を考慮しない場合が多い。背面に水位があれば大きな不安定要因となる。 ドリルでの削孔が必要になる。

3. 設置計画

3.1 設置目的

本監視は地下水位が監視水位を超えたかどうかを確認する。監視の目的は下記の2つに分けられる。

- ① 斜面の安全率が1.00ないし1.05を下回るほどの地下水位上昇がありうるかの判断。
- ② 絶対に地下水があってはならない部分への地下水の侵入の監視。
- ③ 漏水箇所や漏水の範囲の検討。

3.2 設置方法の留意点

削孔方法とセンサーの配置について検討する。

「削孔方法」

原則的に簡易貫入試験による試験孔，ドリルによる削孔が考えられる。条件によっては他のサウンディング手法を使うなど，現場に応じた適切な手段を検討する。

「センサーの配置」

深度と平面的配置を検討する。

降雨時に宙水的に形成される飽和帯による地下水位が問題となる場合は，透水性の不連続面（概ね強度の不連続面と一致）よりも観測孔が深くならないよう注意する。脚部から常時湧水が認められる場合など豪雨時に地下水位が上昇することが問題となる場合は，常時の地下水位を参考に観測孔の深度を検討する。

局所的な地下水が問題となる場合，平面的な分布が分かりにくい場合は平面的に複数の観測孔を設置することを検討する。

3.3 運用方法

運用方法については6.運用を参照されたい。

4. 設置準備（材料）

設置する材料はセンサーと保護管のみである。簡易貫入試験孔を利用して設置するため、保護管は外径14mmを原則とする。観測したい深度区間は有孔管にする。

設置材料		
センサー	—	通電を確認する地点まで届く長さとする。
孔壁保護管	塩ビ管	L=4m 外径 14mm 観測深度に応じてストレーナ
ケーブル保護管	—	センサーから連続する導線を通電を確認する地点まで配線する際に保護する。

5. 設置手順

- ① 簡易貫入試験を実施する（簡易貫入試験が困難な場合はドリルで削孔する）。



- ② 孔壁保護管を挿入中に管内に土砂が入り込まないように先端を処理する。



- ③ 孔壁保護管を挿入する（手作業）。



- ④ 孔底まで挿入し、地表に残った部分の長さを計測する（予定深度に達したかの確認）。



- ⑤ センサーを所定の深度まで挿入する。

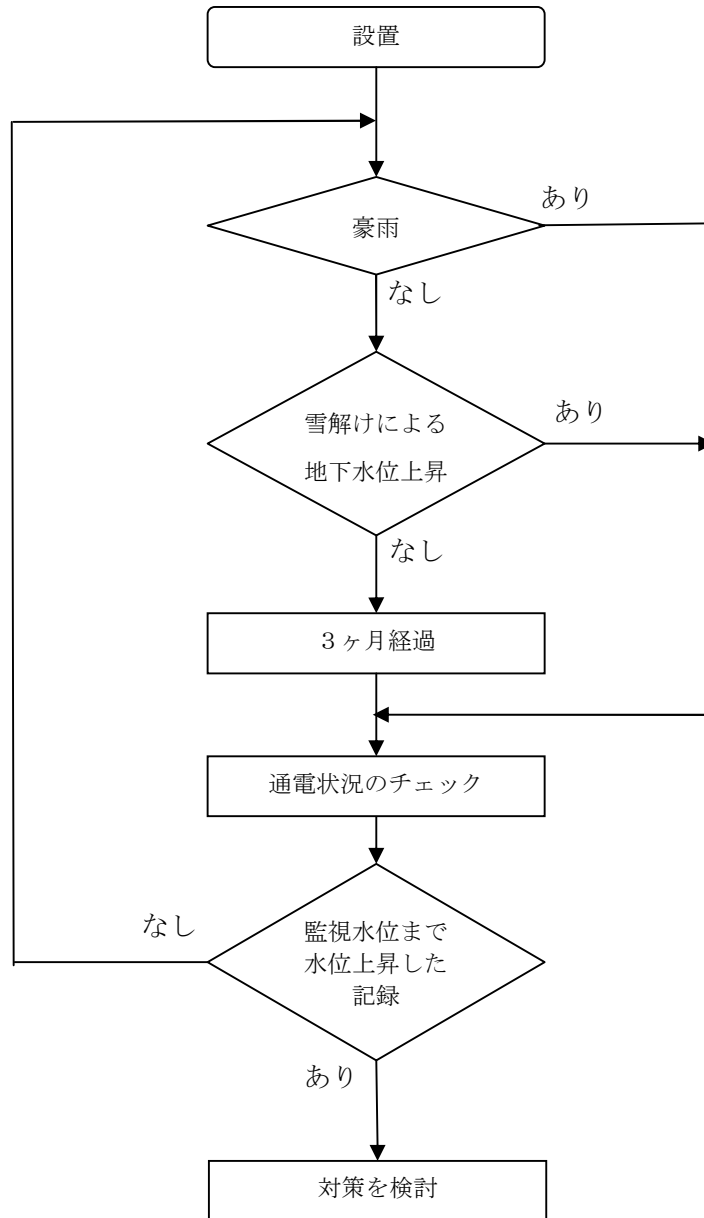


- ⑥ 各電極の通電状況を確認する。



6. 運用

豪雨後および雪解けに伴い地下水位が上がった可能性がある時、3ヶ月に1回程度、センサーの通電状況を確認する。



参考文献・発表等

- (1) 岡島尚司, 荒井克彦, 町原秀夫, 丸中孝通, 久保光, 山木忠嘉, 堂前裕子, 吉田十三: 道路パトロール強化のための簡易な傾斜検知器の開発, 第44回地盤工学研究発表会発表講演集, 地盤工学会, 2009.
- (2) 斜面変動検知装置, 特開 2008-170426
- (3) 地下水位検知装置, 特願 2009-197680
- (4) 建設技術展 2008 近畿 技術展示「傾くと玉が転がる傾斜検知器」 審査委員特別賞

あとがき

産学官共同研究支援事業により、道路からの目視観察を主体とする道路パトロールでは監視が困難であった斜面上部の不安定要因について、道路パトロール担当者の負担を大きくせず、なるべく安価な方法で監視する有効な方法を確立することができた。この手法が落石や斜面崩壊などの自然災害を未然に防ぐことに役立つことを期待する。

本研究は産学官共同研究支援事業のほか、福井大学 技術員 町原秀夫氏、同博士後期課程王 宗建氏(当時)、西日本高速道路㈱ 関西支社 神戸管理事務所、日特建設株式会社 大阪支店 技術部長 谷口清氏、南海電鉄グループ南海りんかんバス株式会社 社長 橋本安博氏、南海辰村建設株式会社 土木本部土木部工務課長 高邊潔久氏、同 御幸辻作業所統括所長 大岩光一氏など多くの方々に多大なご助力とご支援をいただいたことに対し、深く感謝の意を表します。

平成 22 年 3 月