

## 13-2 擁壁等の土工構造物の管理水準を考慮した維持管理手法の開発に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平23～平27

担当チーム：施工技術チーム

研究担当者：宮武裕昭 藤田智弘

## 【要旨】

土工構造物は自然材料を主体の材料として構築されることから、舗装や橋梁など一定の大規模補修や更新を念頭においた構造物に比べ、計画的な維持管理への取り組みが十分に行われているとは言い難い状況にある。しかしながら、土工構造物においても、鋼材・コンクリート・各種補強材等老朽化による劣化を生じる可能性のある材料が用いられ、また、豪雨や地震動の作用により変形が生じ、設計時点で想定している力学的な条件と異なる状態となっていると考えられる構造物も存在している。道路管理者において戦略的な維持管理を行うためには、こうした変形した構造物が「その時点でどの程度の性能を保持しているか」を点検・評価する手法やこれに対応した補修補強方法等に関する技術の確立が必要である。

本研究では、これまでに模型実験等により施工不良（盛土締固め不足、細粒土の使用、補強材長不足）を要因とした変状の進行過程や限界状態の把握を行った。その結果、限界状態は盛土締固め条件、盛土材料、補強材長等により異なるため、一律な壁面変形量による補強土壁の維持管理は合理的でなく、外形の変化だけでなく機能低下の要因の有無を判断する実効性のある維持管理手法の構築が必要であると考えた。本年度は、著者らが考える補強土壁の維持管理手法を示し、その有効性についての検証を行った。その結果、本維持管理手法での各種計測に関する知見および課題が得られた。

キーワード：補強土壁，維持管理，メンテナンスサイクル

## 1. はじめに

道路構造物を計画的に維持修繕するためには、点検、診断、措置の維持管理の業務サイクル（以下、メンテナンスサイクル）の構築が不可欠であると言われている<sup>1)</sup>。土を主材料とした土工構造物についても同様に、メンテナンスサイクルの構築が求められている。一般的な鋼・コンクリート構造物では、外形の変化がすなわち機能の低下と考える場合が多いが、補強土壁では、ある程度変形を伴うことにより補強効果が発揮される構造物であり、多くの補強土壁は経年的にある程度変形しつつ安定していると考えられるため、外形の変化がすなわち機能の低下と判断することは適切でない。そこで、機能低下の要因の有無を判断する実効性のある維持管理手法の構築が必要であると考えた。著者らは以下に示すSTEPで補強土壁の維持管理を実施する試みを検討している。

STEP 1: 道路パトロールなどにより外形の変化を捉える

STEP 2: 詳細調査により外形の変化を引き起こした要因を検出する

STEP 3: 外形の変化を引き起こした要因が機能の低下要因かどうかを判断する

STEP 4: 適切な対策を実施する

提案する維持管理手法と実際の現場で行われている

維持管理業務の対応を考えると、STEP1は車上からの目視による日常的なパトロールに相当し、目に見える範囲の異常を検出するものである。日常的なパトロールで異常を発見したのちは、異常が発生した箇所に着目して詳細調査を実施し、原因の究明と対策の検討・実施へと移行するが、STEP2は詳細調査、STEP3が原因の究明等に相当する。

本研究では、STEP1（道路パトロールなどにより外形の変化を捉える）の手法について写真測量等の適用について検討するために、1995年に構築した実大補強土壁の計測を実施した。また、STEP2（詳細調査により外形の変化を引き起こした要因を検出する）の手法について各種計測方法の適用について検討するために、実大模型実験を実施した。実大模型実験は、実大のテールアルメ補強土壁（以下、補強土壁①）および実大のジオグリッド補強土壁（以下、補強土壁②）を構築し、機能低下の要因となる空洞を強制的に発生させた。補強土壁①では、補強土壁背面からの裏込め砕石のこぼれだしにより、壁面の背面箇所でも空洞を発生させた。補強土壁②では、盛土を局所的に沈下させることで、盛土内に空洞を発生させた。空洞は段階的に進展させ、各種計測方法により空洞を検出する試みを実施した。

本報では、「2. 実大補強土壁計測」で実大補強土壁

補強土壁は、壁高8 m のジオグリッドの補強土壁（図-1）で、壁面材には高さ0.5 m×幅1.0 m のコンクリートブロックを、補強材にはHDPEを原材料とした製品標準幅の一方方向延伸ジオグリッド（品番：SR-55）を用いた（内的安定検討で常時の安全率  $F_s=1.057$ ，敷設長および敷設間隔を図-2に示す）。盛土材には砂質土を用いた。盛土の施工は各層の仕上がり厚が25 cm となるように1 t 振動ローラにより転圧を行い、締固め度が90%以上になるように管理した。盛土天端には、交通荷重相当として10 kN/m<sup>2</sup>の上載荷重の砕石層を設けた。対象補強土壁の盛土材の概要を表-1に示す。

## 2. 2 対象補強土壁の変形状況

対象補強土壁の近傍（N 140.0718889 / E 36.12463889）の地震計の地震波記録から、2011 年東北地方太平洋沖地震（以下、「本地震」という。）時の、南北、東西最大加速度は282 cm/s<sup>2</sup>、323 cm/s<sup>2</sup>、183 cm/s<sup>2</sup>であった（図-3）。図-4 は減衰係数を5%にした時の加速度応答スペクトルを示す。本地震波は、短周期の構造物に対して大きな応答を示す特徴を示すことがわかった。これまでに実施した長期計測の結果から、壁面変形は最大で約50mm程度のみだし、盛土の変形は最大で約250mmの沈下が生じていることが分かっている。また、砕石層を撤去した盛土の天端の状況を確認すると、壁面に対して平行に走る3本のクラックが確認された。クラックは補強領域の背面に位置しており、クラックを境に補強領域側が130mm程度相対的に沈下していることを確認した（写真-1）。

## 2. 3 計測項目

対象補強土壁では、前述した維持管理手法における各STEPに対応した各種計測を表-2のとおり実施している。本報では、（STEP1）道路パトロールなどにより外形の変化を捉えることを目的として実施したTS測量、写真測量、MMS計測、クリノメータ、コンベックス、および（STEP2）詳細調査により外形の変化を引き起こす要因を検出することを目的として実施したレベル測量、GPR計測を報告する。以下に、各種計測項目の中から本年度実施した計測項目について報告する。

## 2. 4 計測方法

### 2. 4. 1 壁面の状態

#### （1）TS測量

対象補強土壁の壁面材に対して、図-5に示す配置でプリズムシールをターゲットとして貼り付け（写真-2）、トータルステーション測量機器で、プリズムシールの位置を測量することで壁面形状を月に1度計測し、壁面の变形を把握する試みを実施した。

#### （2）写真測量

写真測量は道路パトロール等で外形の変化から変形の兆候を捉えることを想定していることから、使用機材は市販されているものを用いた。デジタル一眼レフカメラ

はNikon D5300を用いた。カメラのレンズはNikon AF-S DX NIKKOR 18-140mm f/3.5-5.6G ED VRを使用した。写真測量の対象範囲は、図-6に示すハッチング箇所（延長8.0m×高さ8.0m）とした。車両を用いた写真測量ではカメラを2台使用し、各カメラの設置間隔を1.9m程度離して吸盤式の固定治具（Delkin Fat Gecko）を用いて車両（TOYOTA ESTIMA）の屋根に固定した（図-7）。

写真測量は①「走行している車両からの撮影（走行車両撮影）」、②「停車している車両からの撮影（停車車両撮影）」、③「車両から降りて手持ちでの撮影（降車撮影）」の3条件で実施した。①「走行車両撮影」ではカメラを連写モード（約3枚/秒）とした。走行速度の違いによる精度への影響を確認するため、走行速度は10km/h、20km/hおよび30km/hの条件で行った。①「走行車両撮影」および②「停車車両撮影」は、壁面から15.0m程度離れた位置から撮影した写真の構図は、補強土壁に対して上下方向に2分割で撮影した。カメラの設定条件を表-3に、撮影位置を図-8に示す。

### （3）MMS計測

MMS計測は通常の道路パトロール等で外形の変化から変形の兆候を捉えることを想定していることから一般的に使用されているMMS計測機器（三菱電機社製MMS TypeX 320R）を使用した（写真-3、写真-4）。MMS計測機器に搭載した長距離レーザは、RIEGL社製のVQ-250を使用した。VQ-250の諸元を表-4に示す。

MMS計測の対象範囲は、写真測量と同様図-6に示すハッチング箇所（延長8.0m×高さ8.0m）とした。走行車両は、赤線矢印に示す進行方向で、西側から東側へ約40mの走行距離で実施した（写真-5）。走行速度の違いによる精度への影響を確認するため、走行速度は10km/h、20km/hおよび30km/hの条件で行った。

## 2. 4. 2 盛土の状態

### （1）レベル測量

対象補強土壁の内部の盛土の変形を詳細に捉えることを目的に、盛土内に設置した沈下板のレベルを計測した。盛土内の沈下板設置箇所は図-9のとおりである。

### （2）GPR計測

対象補強土壁の内部の盛土の変形を詳細に捉えることを目的に砕石層上面の2測線（測線No.1、測線No.2）でGPR計測を実施した。計測位置は図-10のとおりである。計測装置は、中心周波数800MHzのインパルスレーダー（GSSI製UtilityScan-DF）を使用した。

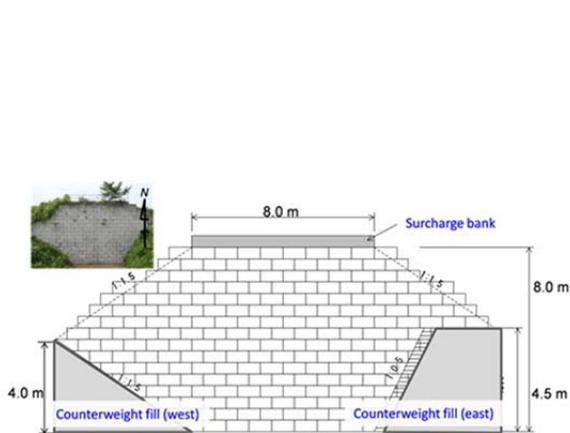


図-1 対象補強土壁の正面図

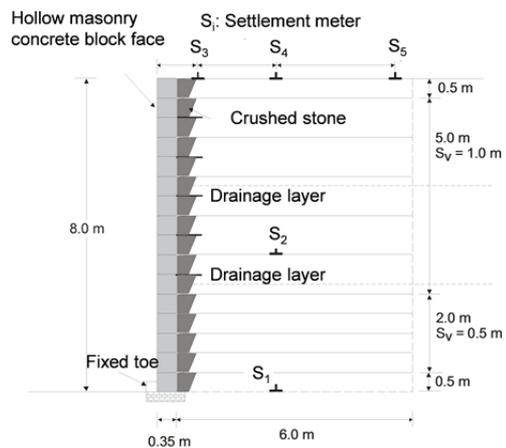


図-2 対象補強土壁の断面図

表-1 盛土材の概要

unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	18.5
fine contents (%)	25.0
friction angle (deg)	31.0
cohesion (kPa)	10.0

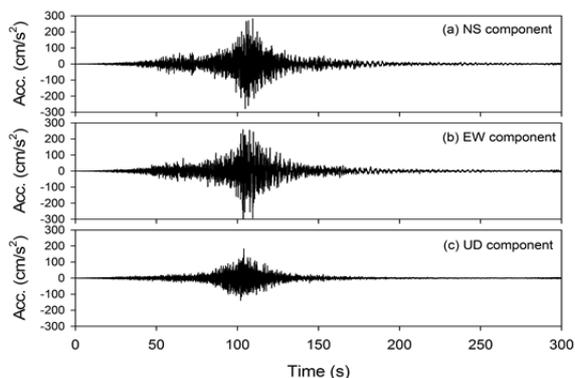


図-3 観測された加速度波形

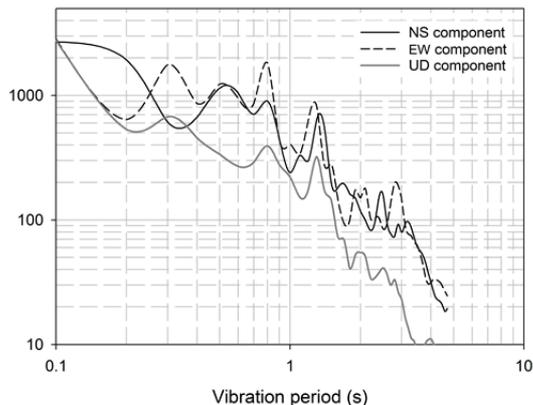


図-4 加速度応答スペクトル

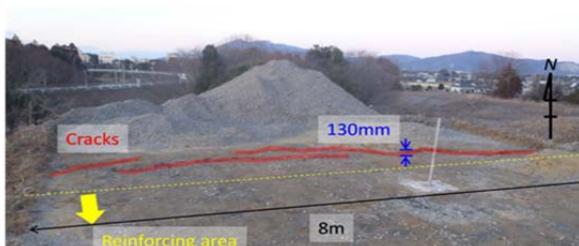


写真-1 盛土天端のクラック

表-2 計測項目

計測対象	計測項目	計測方法	計測目的		
			STEP1	STEP2	STEP3
壁面の状態	変形	TS 測量, 写真測量, MMS 計測, クリノメータ, コンベックス	✓		✓
盛土の状態	物性値の変化	電気比抵抗, 簡易動的コーン		✓	✓
	変形	レベル測量, GPR 計測		✓	✓
補強材の状態	物性値の変化	引張り試験 (掘り起こし)		✓	✓
基礎地盤の状態	物性値の変化	重錘落下試験, 平板載荷試験		✓	✓
外力	地震波	地震計			✓

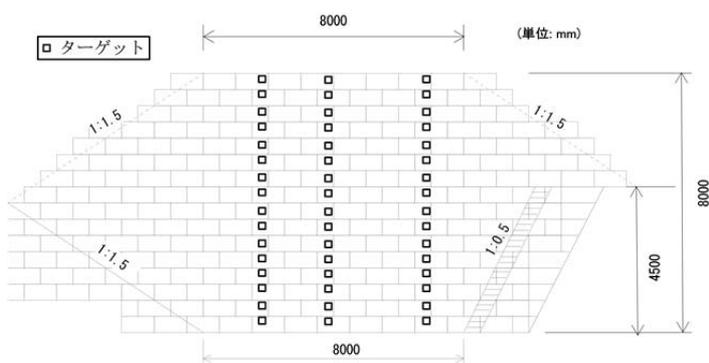


図-5 ターゲット設置位置



写真-2 壁面材に設置したターゲット

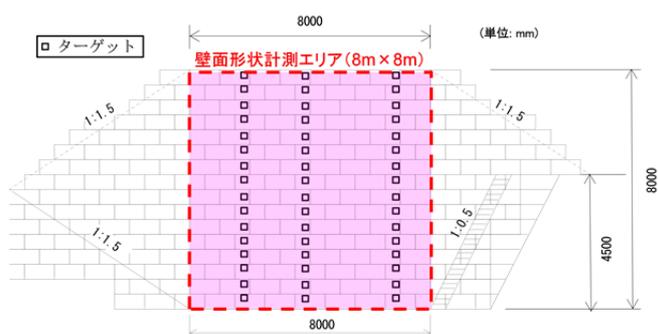


図-6 測量の対象範囲

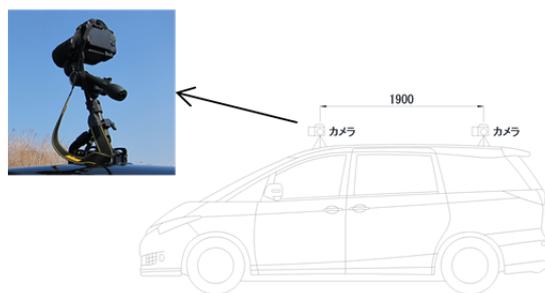


図-7 カメラ固定状況

表-3 カメラ設定条件

項目	走行車両撮影 停車車両撮影	降車撮影		
		8.0m	17.5m	31.0m
焦点距離	24.0	18.0	24.0	50.0
シャッタースピード	1/640	1/400		
露出	200			
絞り	F13			

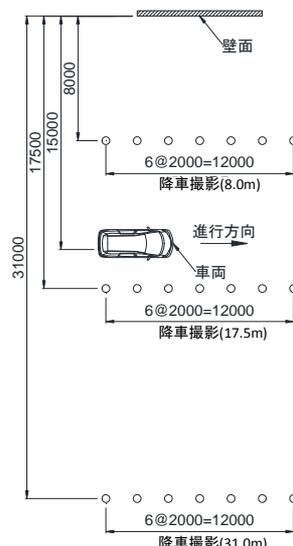


図-8 写真測量の撮影位置

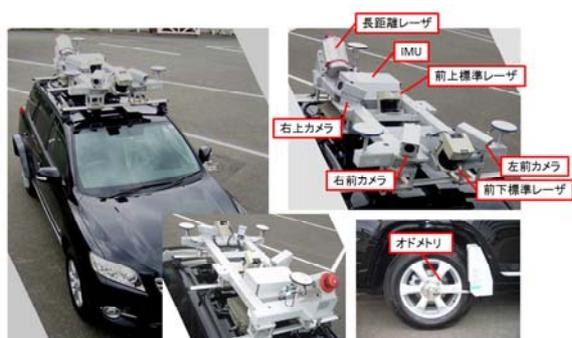


写真-3 MMS 計測機器 (車両外観)



写真-4 MMS 計測機器 (車両内部)

表-4 VQ-250 の諸元

有効測定レート	300 kHz
確実な最大測定距離	200m
自然物ターゲット $\rho \geq 80\%$	200m
自然物ターゲット $\rho \geq 10\%$	75m
最短測定距離	1.5m
精度	10mm
確度	5mm
レーザーパルス繰り返し周波数 PRR	300kHz まで
最大有効測定レート	300,000 回測定/秒 (PRR : 300kHz & FOV : 360°)
各エコー信号に対する受光強度	各エコー信号に対して、高分解能 16 ビットの受光強度情報が出力
レーザー波長	近赤外線
ビーム広がり角	0.3mrad

レーザビームサイズ	7mm@スキャナー出口 17mm@50m 31mm@100m
スキャニング機構	回転ミラー
測定範囲 (選択可能)	360° ギャップ無し
スキャニングレート (選択可能)	~100 スキャン/秒
角度ステップ幅 $\Delta\theta$ (選択可能) 連続するレーザショット間	$0.018^\circ \leq \Delta\theta \leq 0.72^\circ$
角度測定分解能	0.001°
内部 sync (同期) タイマー	スキャンデータのGPS同期タイムスタンプ用



写真-5 MMS 計測状況

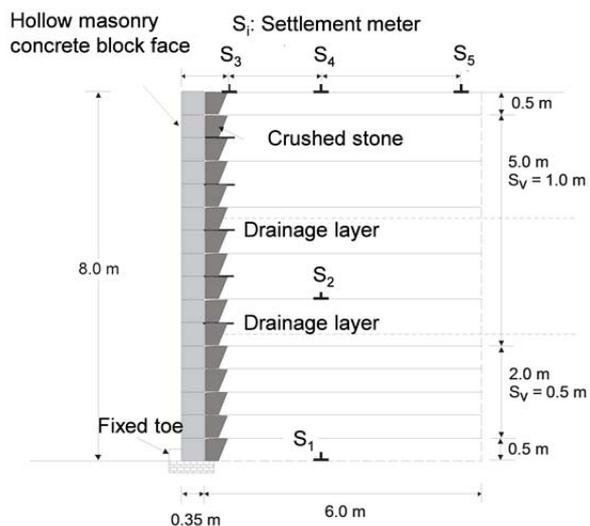


図-9 沈下板設置箇所

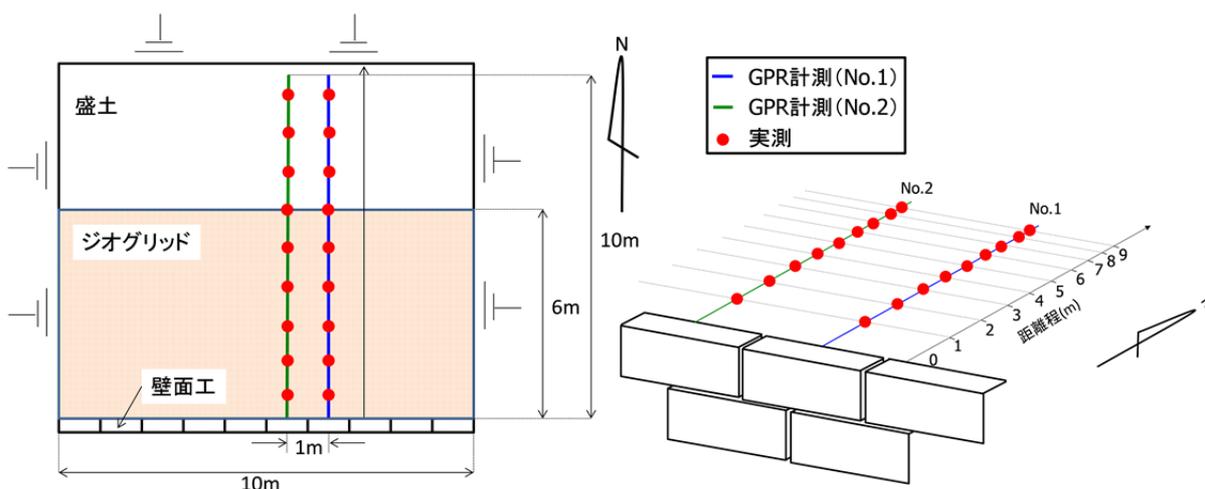


図-10 GPR 計測位置

## 2. 5 変状計測結果

### 2. 5. 1 壁面の状態

#### (1) TS 測量

図-11は対象補強土壁完成日(1995年5月9日)から2014年3月までに計測した壁面の最大変位を壁高で正規化した壁面変位の推移を示したものである。図-11のプロットのうち、朱書きのプロットが今年度実施の測量成果を示す。図注の直線はそれぞれ地震前後の計測データから求めた回帰直線(それぞれ、対象補強土壁完成日の1995年5月9日および本地震発生日の2011年3月11日を時間の原点とした。)を示す。対象補強土壁では、壁面の変位増加速度は本地震前と比較して本地震後は小さい。

#### (2) 写真測量

各種計測条件毎に写真枚数の違いが測量精度に及ぼす影響を確認することを目的に、横軸にTS測量の結果を縦軸に写真測量の結果をプロットした(図-12, 図-13, 図-14, 図-15)。図-12, 図-13は、各種計測条件毎に写真枚数の違いが測量精度に及ぼす影響を確認することを目的に整理した。図-14は、各種計測条件毎に走行速度の違いが測量精度に及ぼす影響を確認することを目的に整理した。図-15は、各種計測条件毎に撮影距離の違いが測量精度に及ぼす影響を確認することを目的に整理した。また、表-5は、TS測量の結果を正しい値と仮定して、各種計測条件毎に回帰直線の傾き、最大残差、および残差分散についてまとめたものである。

図-12, 図-13, 図-14, 図-15より全ての計測条件について、TS測量の結果と写真測量の結果は正の相関を示しており、壁面形状は概ね捉えることができているといえる。表-5から、回帰直線の傾き、最大残差、および残差分散の指標については、いずれの計測条件でも写真枚数6枚の測量結果が3枚の測量結果と比較して計測精度が向上する傾向があることを確認した。③「降車撮影」に関して、撮影距離が31.0mのケースでは、精度が極端に小さくなることを確認した。一方で、走行速度の違いは、写真枚数6枚のケースではほとんど精度に影響がないことを確認した。

#### (3) MMS 計測

走行速度の違いによる測量精度への影響について整理するために、計測したターゲット設置箇所(筒所)の壁面形状について走行速度の違いによる測量結果の違いを比較した。図-16は、各走行速度により計測した相対変位をコンター図(段彩図)で示したものである。ばらつきはあるものの、どのケースも壁面中央右よりの筒所で相対的に0.2m近く前面にはらんでいることを示している。また、各種計測条件毎に計測したターゲット設置箇所(筒所)の壁面形状を横軸にTS測量の結果を、縦軸にMMS計測の結果(走行速度が停車、10km/h、20km/h、30km/h)を

図-17にプロットした。走行速度の違いが計測精度に及ぼす影響については、有意な傾向はみられない。3.

### 5. 2 盛土の状態

#### (1) レベル測量

盛土の沈下計測の結果を図-18に示す。ここでは、図-19に示す沈下板S2～S4で計測された沈下量をS1の沈下量でオフセットした値を示す。沈下板S2の設置位置より上の盛土が下の盛土に比べて鉛直方向の圧縮量が多い結果を得た。図-18で示したとおり、長期にわたる盛土の沈下計測から予想される沈下量を大きく上回る沈下量が本地震後に確認された。ただし、地震後は沈下量が急増するなどの傾向はみられない。

#### (2) GPR 計測

図-19は、2測線の計測で得られたGPR断面を示したものである。往復走時が10(ns)の深さに明瞭な反射波(白色の線)がみられる。この反射波は盛土材と碎石層の境界面と考えられる。碎石層を通過する電磁波速度を $v=12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0(\text{cm/ns})$ と仮定して、GPR断面から換算した境界面の深度(以下、「換算深度」という。)を求めた。また、2測線上の16箇所(測線No.1と測線No.2でそれぞれ8箇所ずつ)において、碎石を掘削することで実際の盛土天端と碎石層の境界面までの深度(以下、「実深度」という。)を計測した。想定する電磁波速度毎の、実深度と換算深度の相関関係は図-20のとおりである。

図-21は、電磁波速度と残差分散の関係を示したものである。以上の結果から、電磁波速度 $v=13.0(\text{cm/ns})$ とすると、換算深度と実深度の相関係数が0.89、残差分散が $7.48 \times 10^4(\text{m}^2)$ となり、換算深度は実深度と概ね一致しているといえる(図-22)。また、この電磁波速度 $v=13.0(\text{cm/ns})$ は、一般的な碎石の電磁波速度10～14(cm/ns)(比誘電率5～9)の範囲内であった。

対象補強土壁は、約20年間の外力履歴等の影響で補強領域天端が150～250mm程度沈下していることを設置した沈下板の長期計測結果から把握している。碎石層の下では、前述のとおり補強領域と無補強領域の境付近の盛土天端で130mm程度の段差が生じている(写真-1)。図-22には、段差の位置を矢印で示した。対象補強土壁で生じた段差については、目視による碎石層上面の外形から段差の存在を示唆することは困難であるが、GPR計測により段差の位置や大きさを推測することは可能であるといえる。

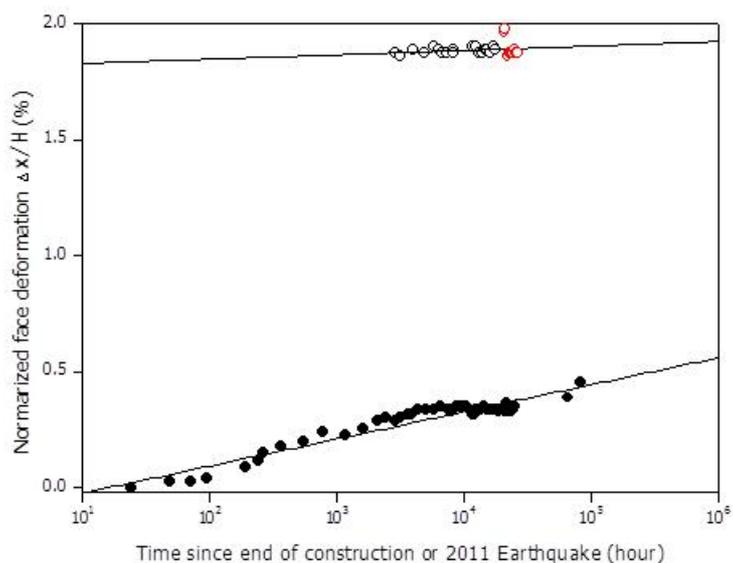


図-11 壁面変位の推移

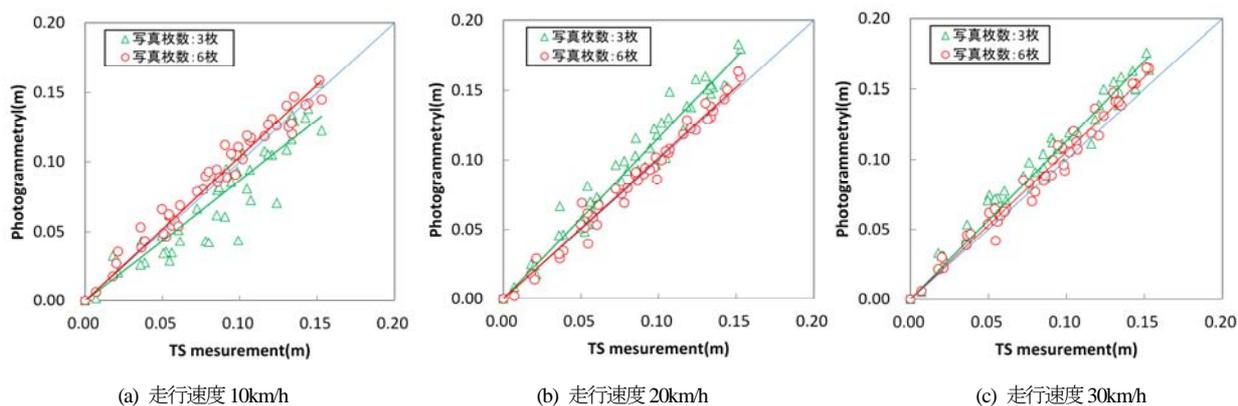


図-12 ①「走行車両撮影」に関する写真枚数の違いによる測量精度への影響

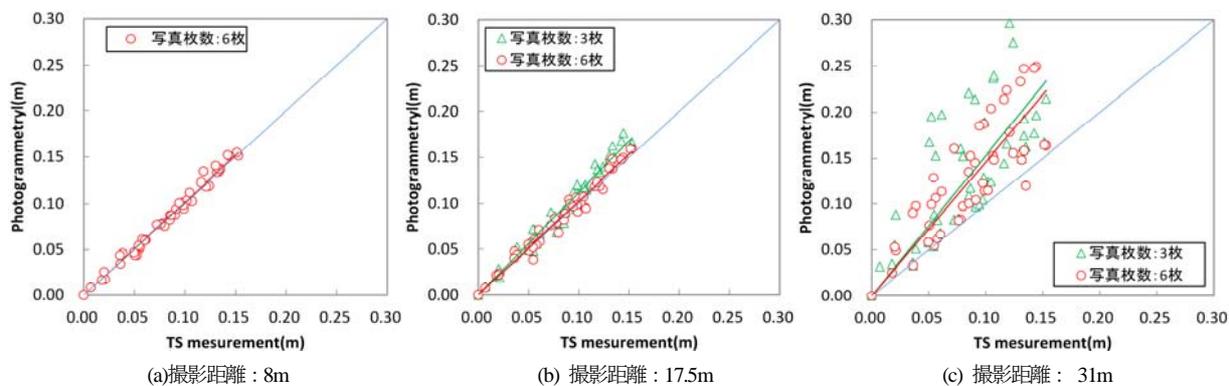


図-13 ③「降車撮影」に関する写真枚数の違いによる測量精度への影響

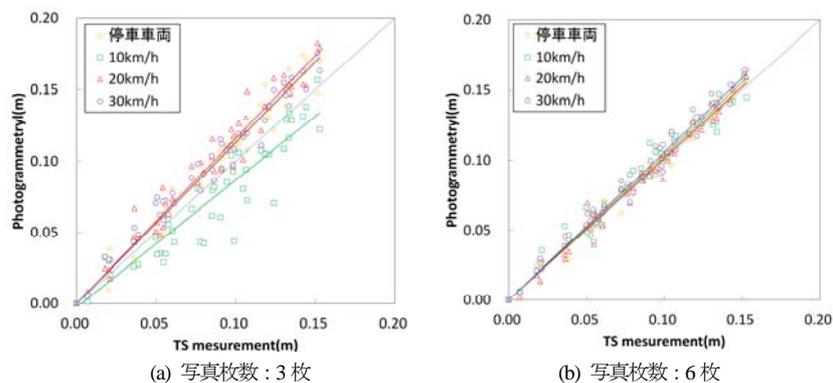


図-14 ①「走行車両撮影」および②「停車車両撮影」に関する走行速度の違いによる測量精度への影響

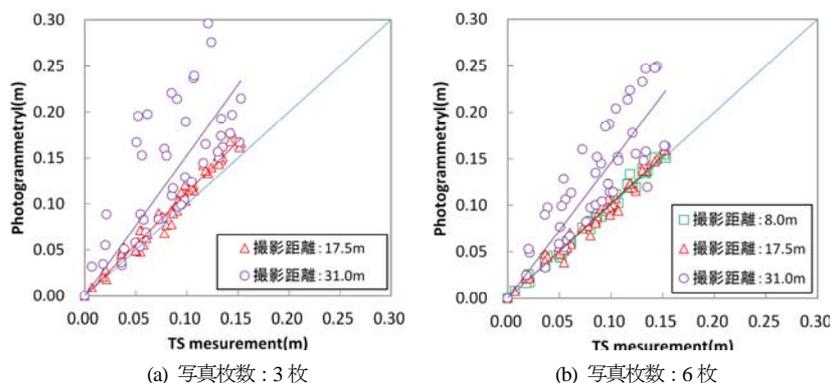


図-15 ③「降車撮影」に関する撮影距離の違いによる測量精度への影響

表-5 測量残差

		①「走行車両撮影」			②「停車車両撮影」	③「降車撮影」		
		走行速度 (km/h)				撮影距離(m)		
		10	20	30		8.0	17.5	31.0
傾き {最大残差(m)} 【残差分散 (m <sup>2</sup> )】	3枚	0.87 {0.055} 【3.71×10 <sup>4</sup> 】	1.16 {0.042} 【3.19×10 <sup>4</sup> 】	1.13 {0.026} 【2.19×10 <sup>4</sup> 】	1.12 {0.035} 【2.20×10 <sup>4</sup> 】	枚数不足	1.12 {0.033} 【1.89×10 <sup>4</sup> 】	1.53 {0.175} 【4.98×10 <sup>3</sup> 】
	6枚	1.01 {0.021} 【7.46×10 <sup>5</sup> 】	1.04 {0.019} 【3.92×10 <sup>5</sup> 】	1.06 {0.018} 【6.79×10 <sup>5</sup> 】	1.02 {0.011} 【2.96×10 <sup>5</sup> 】	1.01 {0.016} 【2.42×10 <sup>5</sup> 】	1.02 {0.016} 【5.15×10 <sup>5</sup> 】	1.46 {0.114} 【3.05×10 <sup>3</sup> 】

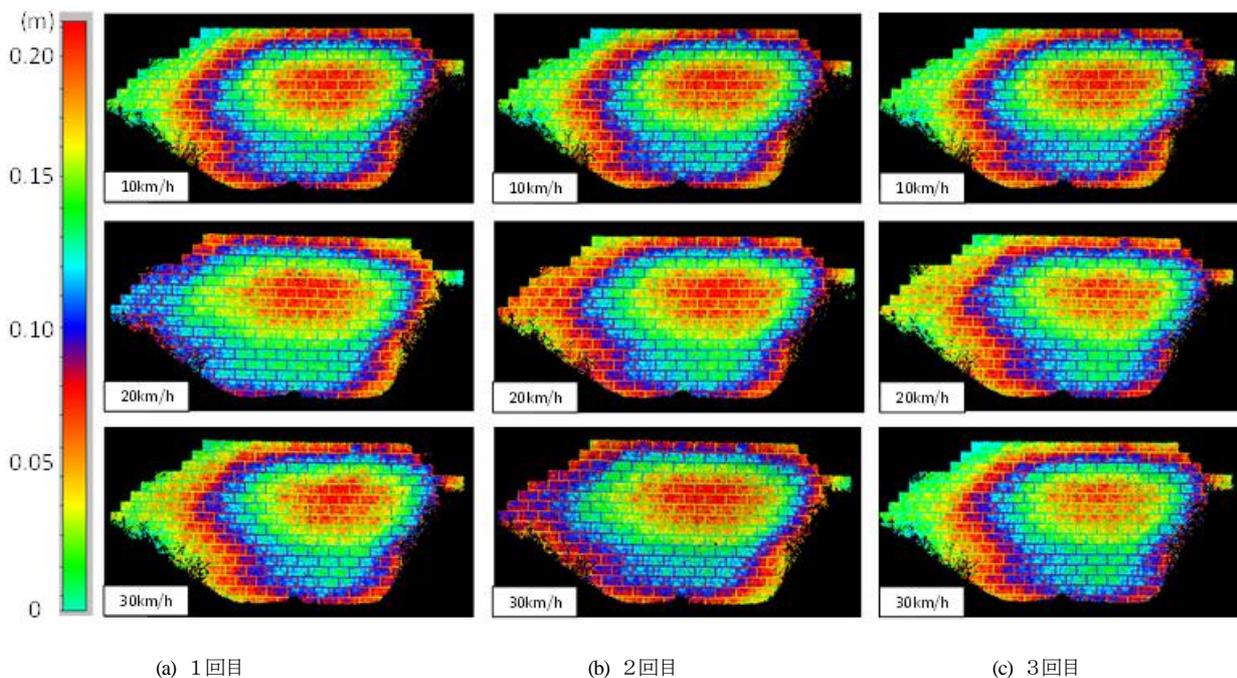


図-16 段彩図 (MMS計測)

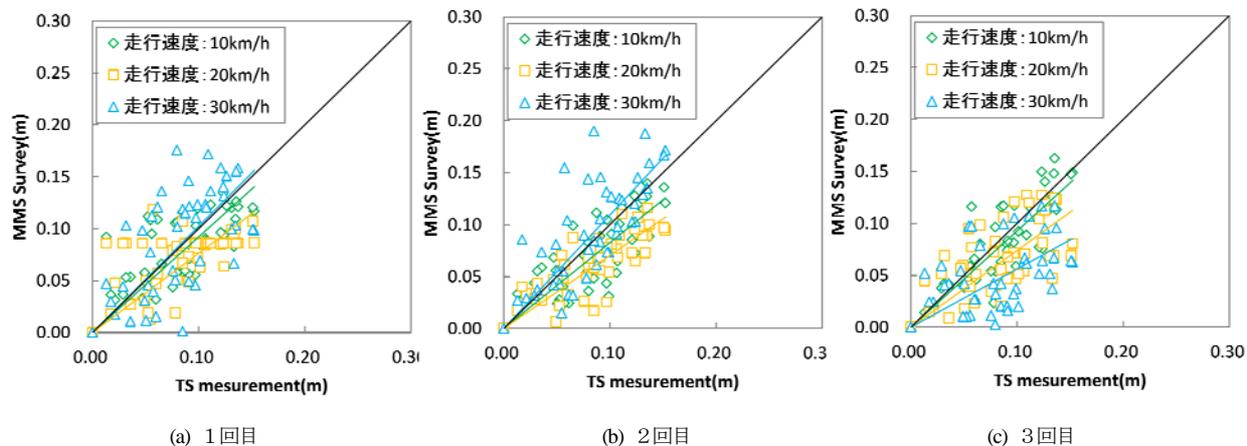


図-17 走行速度の違いによる測量精度への影響

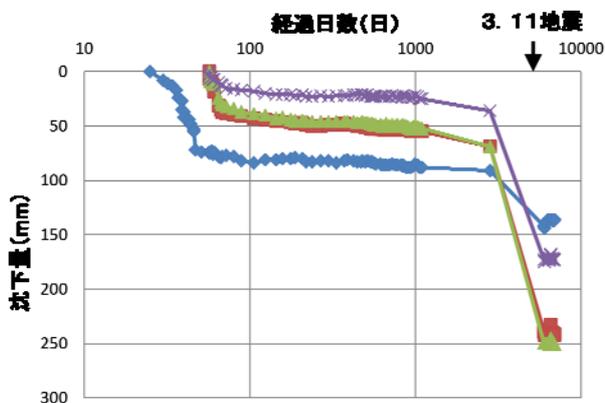


図-18 沈下板設置箇所

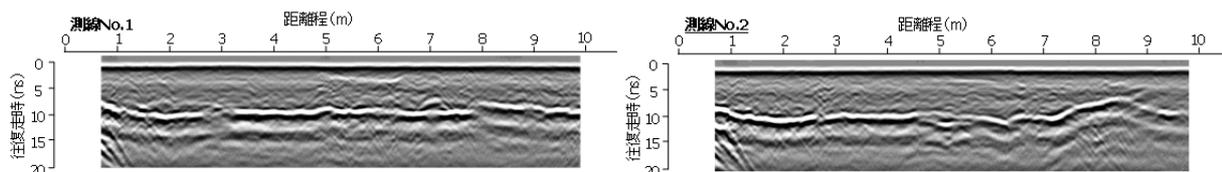


図-19 GPR 断面

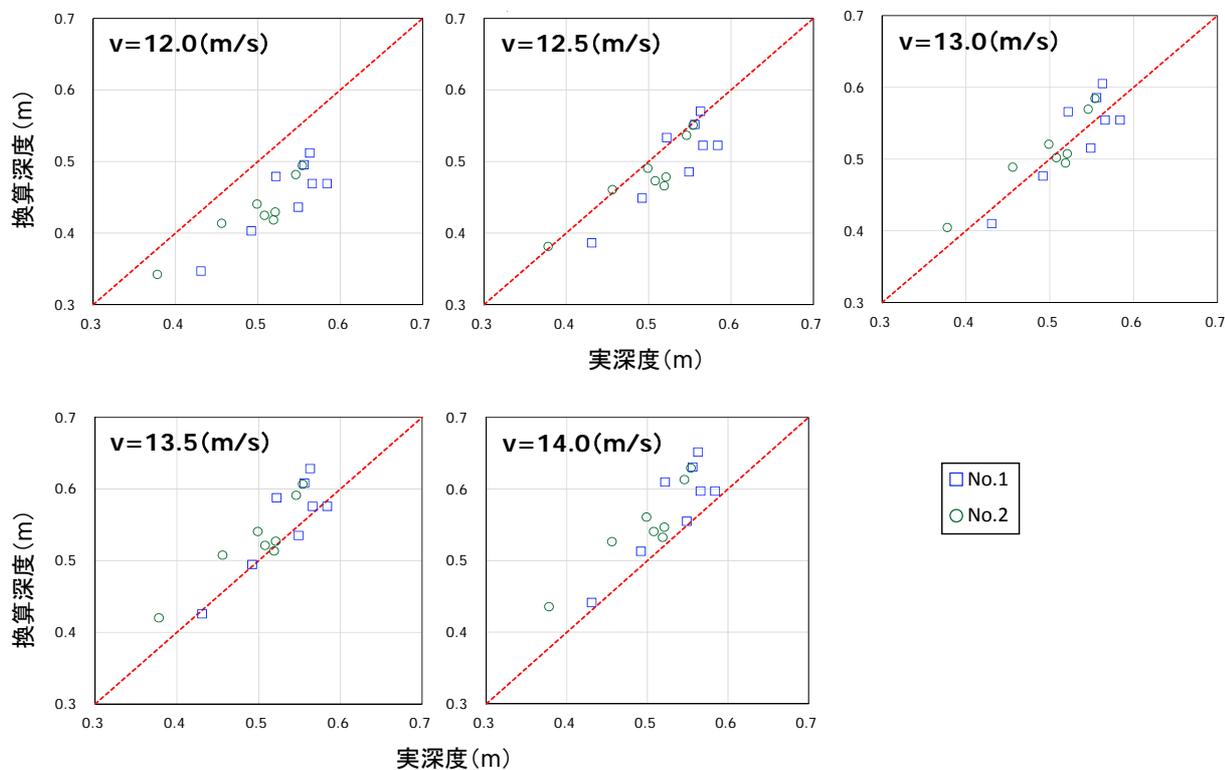


図-20 実深度と換算深度の相関関係

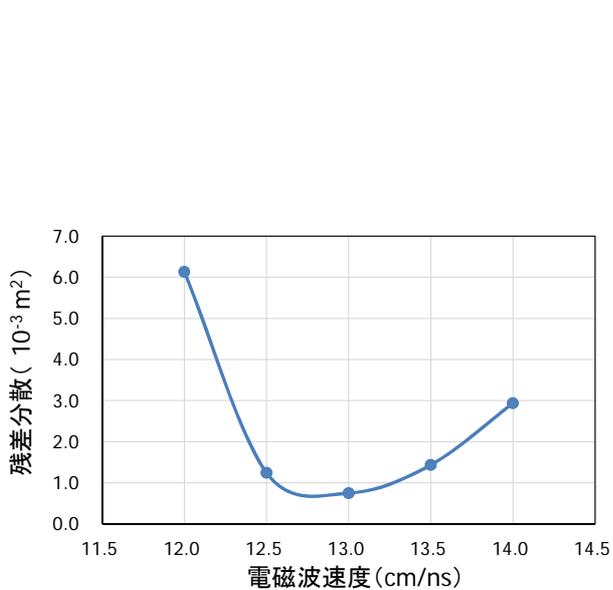


図-21 電磁波速度と残差分散の関係

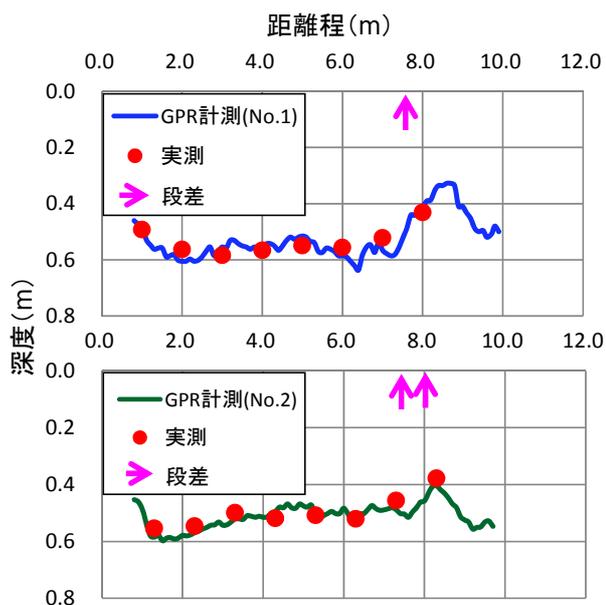


図-22 実測と GPR 計測{ $v=13.0(\text{cm/ns})$ }の比較

### 3. 実大模型実験

#### 3.1 実大模型実験の概要

対象補強土壁は、壁高 6m の補強土壁①および②（以下、実大模型）を構築した。実大模型の断面図、正面図を図-23、図-24に示す。

盛土材（写真-6）は、最適含水比 $w_{opt}=15.6\%$ 、最大乾燥密度 $1.71\text{g/cm}^3$ を用いた。突き固め試験（B-c）の結果は図-25のとおりであった。表-6に盛土材の物性値をまとめたものを示す。補強材については、補強土壁①はリブ付きストリップ（引張強さ 490~610N/mm<sup>2</sup>）、補強土壁②はHDPE 一軸延伸ジオグリッド（製品基準強度 50.0 kN/m）を用いた。壁面材については、補強土壁①はコンクリートスキン（縦×横：1.5m×1.5m）、補強土壁②はコンクリート壁面パネル（縦×横：1.0m×1.0m）を盛土材の締め固めには、自然含水比  $w_n=13.7\%$  の盛土材を用いて1層あたりの仕上がり厚を20cm とし、締め固め度が90%以上となるように管理した。内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ 、粘着力 $c=0$  の土質条件に対し、安定照査を実施して補強

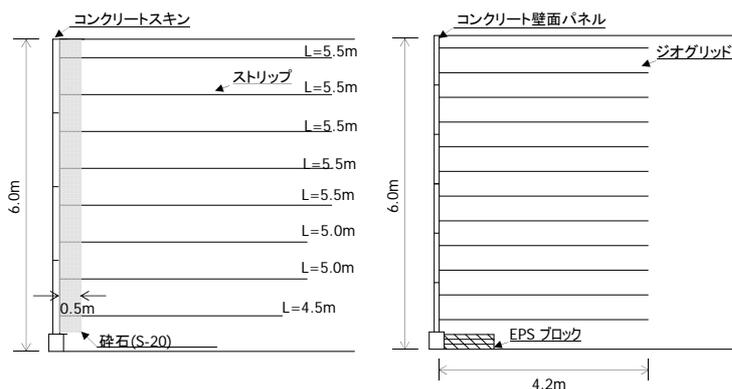
材の配置を決定した。

#### 3.2 空洞の発生方法

補強土壁①では、補強土壁背面からの裏込め碎石のこぼれだした事例（写真-7）を模擬した。補強土壁背面からの裏込め碎石のこぼれだしにより壁面の背面箇所

で空洞を発生させるために、図-26 に示すとおり着脱可能な端部調整治具（高さ0.5m×幅0.15m）を3段に分けて設置した。本実験では、段階的に空洞を進展させるために、端部調整治具（写真-8）を3段階に分けて1つずつ取り外して碎石（写真-9）をこぼれださせた。

補強土壁②では、盛土が不等沈下した事例（写真-10）を模擬した。盛土を局部的に沈下させることで盛土内に空洞を発生させるために、写真-11 に示すとおり壁面材の基礎背面にEPS ブロック（高さ0.1m×幅2.0m×奥行き1.0m）を3層で設置した。本実験では、段階的に空洞を進展させるために、1層ずつリモネンで溶かすことで3段階に分けて盛土を沈下させた。



(a) 補強土壁① (b) 補強土壁②

② 図-23 実大模型の断面図

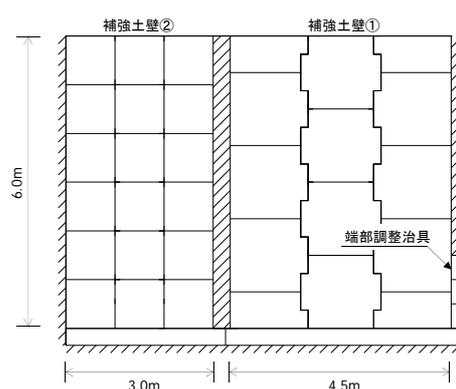


図-24 実大模型の正面図



写真-6 盛土材

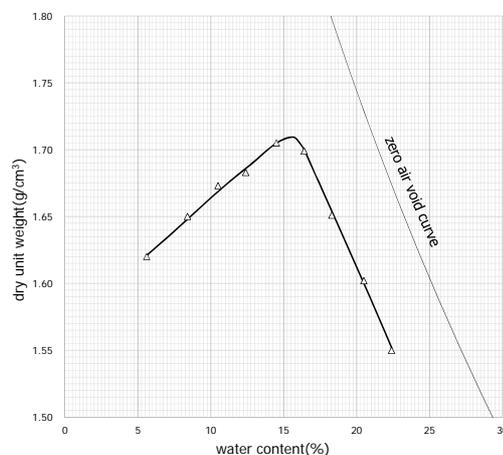


図-25 盛土材の締め固め曲線

表-6 盛土材の物性値

自然含水比 $w_n$ (%)	13.7	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.710
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.678	最適含水比 $w_{opt}$ (%)	15.6
細粒分含有率 Fc (%)	9.9	均等係数 $U_c$	3.6



(a) 砕石のこぼれだし事例



(b) 砕石および盛土材のこぼれだし事例

写真-7 補強土壁背面からの裏込め砕石のこぼれだし事例

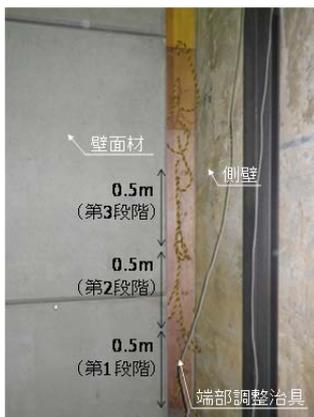


写真-8 端部調整治具



写真-9 単粒度砕石 (S-20)



写真-10 補強土壁の被害事例① (盛土の不等沈下)

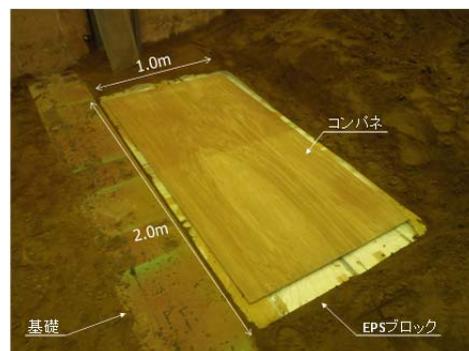


写真-11 壁面直背面に敷設した EPS ブロック

### 3. 3 計測項目

実大模型実験では、前述した維持管理手法における各STEPに対応した各種計測を表-7のとおり実施している。本報では、(STEP2) 詳細調査により外形の変化を引き起こした要因(機能低下の要因となる空洞)を検出することを目的として実施した地中レーダー(Ground Penetrating Radar:GPR)計測、電気比抵抗探査、および空洞により発生が予想される盛土のゆるみ(機能低下)を検出することを目的として実施したサウンディングの結果を報告する。

### 3. 4 変状計測方法

#### 3. 4. 1 壁面の状態

##### (1) 目視

実大模型の壁面前面から全体を見渡し、壁面に現れる外形の変化を把握する試みを実施した。本研究では、以下の点に着目し目視点検を実施した。

- ・壁面の形状変化(はらみだし、傾斜、目地の開き、壁面天端の段差)
- ・壁面パネルの損傷(クラック、角欠け)

##### (2) TS 測量

実大模型の壁面パネルに図-26に示す配置でプリズムシールをターゲット(写真-12)として貼り付け、段階毎にトータルステーション(TS)測量機器で、プリズムシール設置箇所40点を測量することで壁面形状を計測し、壁面形状の変化を把握する試みを実施した。

##### (3) 写真測量

写真-13に示すとおり壁面前面側で一定の基線長(4.15m)で固定したカメラ2台により実大模型の壁面パネル全体が写る写真を段階毎に撮影した。撮影した写真のペア2枚を用いて、段階毎の壁面形状を写真測量で計測し、壁面形状の変化を把握する試みを実施している。

#### 3. 4. 2 盛土の状態

##### (1) 目視

実大模型の天端から全体を見渡し、盛土天端に現れる外形の変化を把握する試みを実施した。本研究では、以下の点に着目し目視点検を実施した。

- ・盛土の形状変化(沈下、クラック、段差)
- ・砕石層の形状変化(沈下)

##### (2) TS 測量

実大模型の盛土天端に図-27に示す配置でプリズムシールを貼り付けたターゲット(写真-14)を設置し、段階毎にトータルステーション測量機器で、ターゲット設置箇所36点を測量することで盛土形状の変化を把握する試みを実施した。

##### (3) GPR 計測

実大模型の壁面前面側で地中レーダーGPR計測装置を天端から吊り下げ、壁面に沿わしながら計測することで壁面背面の空洞探査を実施した(写真-15)。計測装置中心周波数800MHzのインパルスレーダー(GSSI製UtilityScan-DF)を使用した。計測は、図-28の破線で示すとおり29測線(補強土壁①:15測線、補強土壁②:14測線)で実施した。

##### (4) 電気比抵抗探査

補強土壁②では、電気比抵抗探査機器で盛土内部の電気比抵抗の三次元分布を計測した。盛土内部の電気比抵抗の三次元分布を精度良く全域で把握するために、電気比抵抗を計測する電極は、図-29に示すとおり盛土天端に1m間隔で地表電極を設置するとともに、長さ6mの地中電極を盛土の四隅に深度方向に埋設した(写真-16)。探査機器は、AGI社製のSuperSting8R/IPを使用した。解析方法は、ダイポール法に加えて傾度法も取り入れた。

##### (5) サウンディング

実大模型でスウェーデン式サウンディング試験(JISA1221)を実施した。本試験は図-29に示す箇所まで深度6mまで実施した。試験結果は、貫入抵抗を把握するため $N_{sw}$ 値で整理した。また、空洞の進展に伴い特に盛土のゆるみが発生することが予想される壁面近傍で簡易動的コーン貫入試験(JGS1433)を実施した。本試験は図-29に示す箇所まで深度6mまで実施した。試験結果は、貫入抵抗を把握するため $N_d$ 値で整理した。

#### 3. 4. 3 補強材の状態

##### (1) ひずみ計測

実大模型の補強材にひずみゲージ(最大容量:15,000 $\mu$ )を設置し、補強材のひずみ分布の変化を把握する試みを実施した。ひずみゲージの設置箇所は、図-30に示すとおりとした。

表-7 計測項目 ( ) : データ取得のみ

計測対象	計測項目	計測方法	計測目的		
			STEP 1	STEP 2	STEP 3
壁面の状態	変形	目視, TS 測量, (写真測量)	✓		✓
盛土の状態	変形	目視, TS 測量, GPR 計測		✓	✓
	物性値の変化	電気比抵抗探査, サウンディング		✓	✓
補強材の状態	変形	ひずみ計測		✓	✓

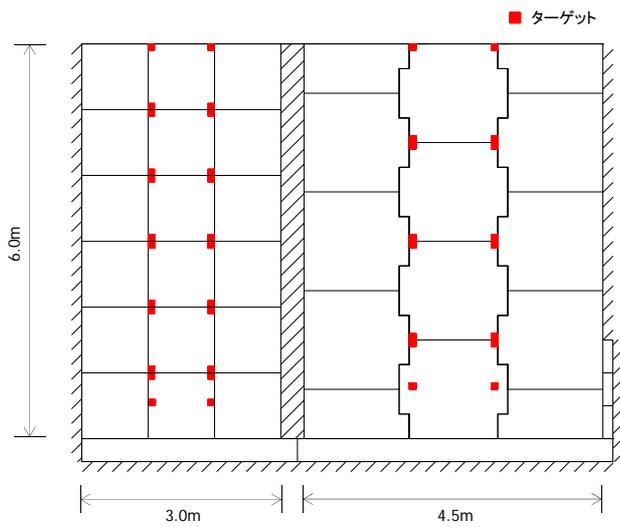


図-26 ターゲット設置位置 (正面図)



写真-12 ターゲット



写真-13 カメラ設置状況

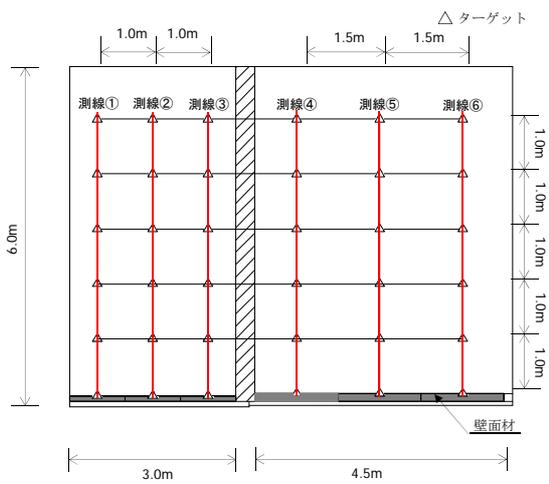


図-27 ターゲット設置位置 (平面図)



写真-14 ターゲット



(a) 計測装置吊り下げ状況



(b) 計測実施状況

写真-15 GPR 計測

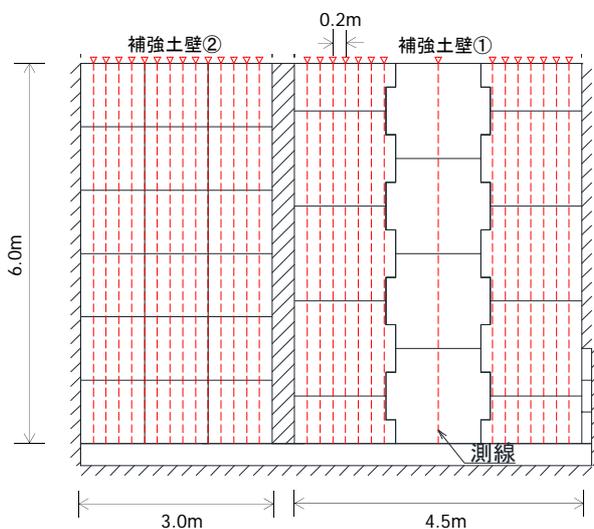


図-28 GPR 計測測線

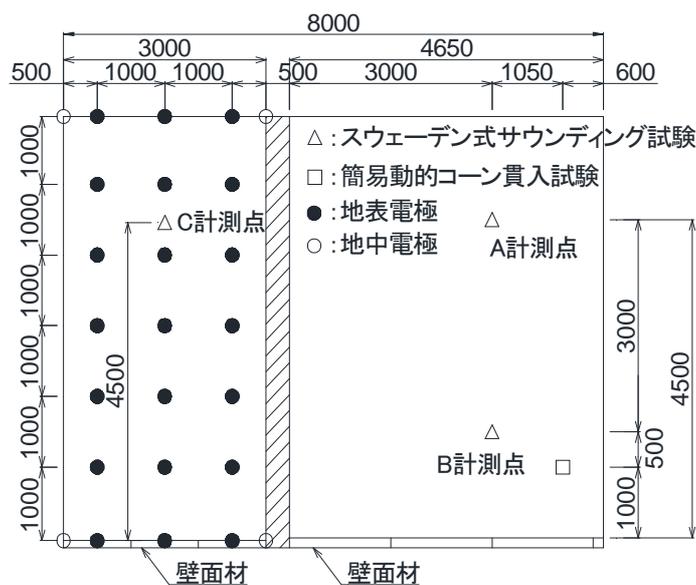


図-29 計測位置

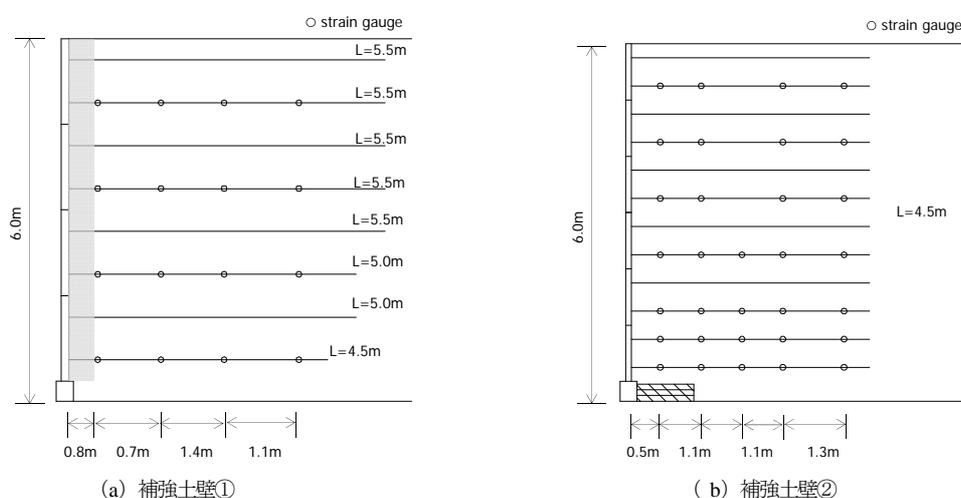


(a) 計測実施状況



(b) 地中電極

写真-16 電気比抵抗探査



(a) 補強土壁①

(b) 補強土壁②

図-30 ひずみゲージ設置箇所

### 3. 5 計測結果 3.

#### 5. 1 壁面の状態

##### (1) 目視

補強土壁①について、3段階で発生させた碎石のこぼれだしによる壁面の変形等を目視で把握することはできなかった。碎石のこぼれだし状況は写真-17のとおりであった。

補強土壁②について、初期の状態から3段階で発生させた盛土の沈下による壁面の変形を目視で把握することはできなかった。

##### (2) TS 測量

TS 測量により計測した壁面形状の経時変化を図-31、図-32に示す。ここでは、2列のターゲットの計測データの平均値を壁面形状とした。

補強土壁①では、第3段階変状後の壁面の形状は、壁高6m付近で最大8.2cm（壁高の1.4%）程度のはらみだしが生じた。ただし、初期の壁面の形状には、盛土の転圧等により壁高6m付近で最大8.0cm（壁高の1.3%）程度のはらみだしが生じていた。初期値から第3段階変状

後の壁面変位は、壁高6m付近で最大0.2cm（壁高の0.03%）程度であった。

補強土壁②では、第3段階変状後の壁面の形状は、壁高4m付近で最大7.5cm（壁高の1.3%）程度のはらみだしが生じた。ただし、初期の壁面の形状には、盛土の転圧等により壁高4m付近で最大7.2cm（壁高の1.2%）程度のはらみだしが生じていた。初期値から第3段階変状後の壁面変位は、壁高5m付近で最大0.3cm（壁高の0.05%）程度であった。

##### (3) 写真測量

写真-18のとおり写真測量のための写真を撮影した。解析は、今後実施する。

### 3. 5. 2 盛土の状態

#### (1) 目視

補強土壁①では、目視により盛土の形状変化（沈下、クラック、段差）を把握することはできなかったが、碎石層の形状変化は確認できた。碎石層の形状変化状況を

写真-19に示す。砕石層の形状変化は、第1段階変状後は最大で5cm程度の沈下が生じた。第2段階変状後は最大で50cm程度の沈下が生じた。その結果、1本のストリップの一部が露出し最上段のパネル1枚の背面部が空洞化した。第3段階変状後は最大で150cm程度の沈下が生じた。その結果、5本のストリップの一部が露出し最上段のパネル2枚と上から2段目のパネル1枚の背面が空洞化した。

補強土壁②では、初期の状態から3段階で発生させた盛土の沈下による壁面の変形を目視で把握することは不可能であった。

(2) TS 測量

図-33は、各段階において計測したTS測量の結果を示す。段階が進むにつれて壁面近傍で盛土が沈下する傾向が見られる。ただし、データには大きなばらつきを含んでいるので解釈には注意が必要である。

(3) GPR 計測

各段階において計測した GPR 波形のエンベロップ振幅の積分値を図-34、図-35に、各段階の計測結果と初期状態での計測結果の差分を図-36、図-37に示す。

図-34、図-35より、積分値のみでは空洞の有無を検知することは困難である。一方で、図-36、図-37より、差分値を取ることで補強土壁①では盛土上部右側で、補強土壁②では盛土下部において空洞の有無を示唆することができる。

(4) 電気比抵抗探査

各段階において計測した電気比抵抗の分布を図-38に、

初期状態での計測結果に対する各段階の計測結果の変化率を図-39に示す。ここでは、計測した断面のうち最も特徴的な計測結果を示した壁面直背面の横断面および壁面中央から1.0m左の箇所の縦断面を示す。

図-38より、盛土内の電気比抵抗の分布には大きなばらつきがあることがわかる。これは、盛土内の状態（水分量や間隙の大きさ等）の違いが要因と考えられる。一方で、図-39より、初期値からの変化率を取ることで補強土壁②の盛土下部において空洞の有無を示唆することができる。この結果は、GPR 計測の結果と整合する。

(5) サウンディング

表-8は、各段階で計測したNswとNdである。Nswの推移には有意な傾向は見られない。この原因としては、前述のとおり盛土内の状態の違いが影響していると考えられる。Ndの推移は、空洞の進展に従って減少する傾向が見られる。ただし、前述のとおり盛土内の状態の違いがあるので、現象の解釈には注意が必要である。 3.

5. 3 補強材の状態

図-40は、各段階で計測した初期値からのひずみ増分を示す。ひずみ増分は引っ張り側への変化を負で示している。補強土壁①は、ひずみの変化値が30μ以下と小さく、有意な変化はみられない。補強土壁②は、段階が進むにつれて、空洞を発生させた盛土下部で引っ張りひずみが増加する傾向が見られる。最下層の補強材における欠測箇所は、ひずみが計測不能なレベルまで達している。補強材のひずみ増分は要因発生箇所を検出するセンサー機能として期待できる。



写真-17 砕石のこぼれだし

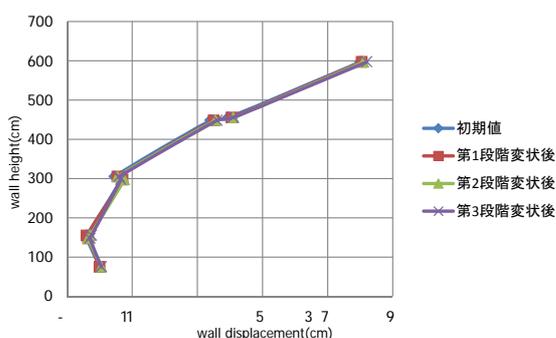


図-31 変状段階毎の壁面形状 (補強土壁①)

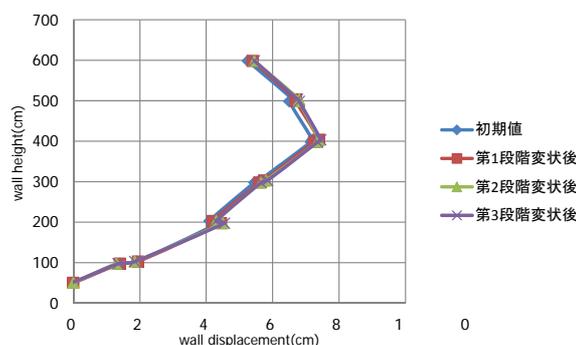


図-32 変状段階毎の壁面形状 (補強土壁②)

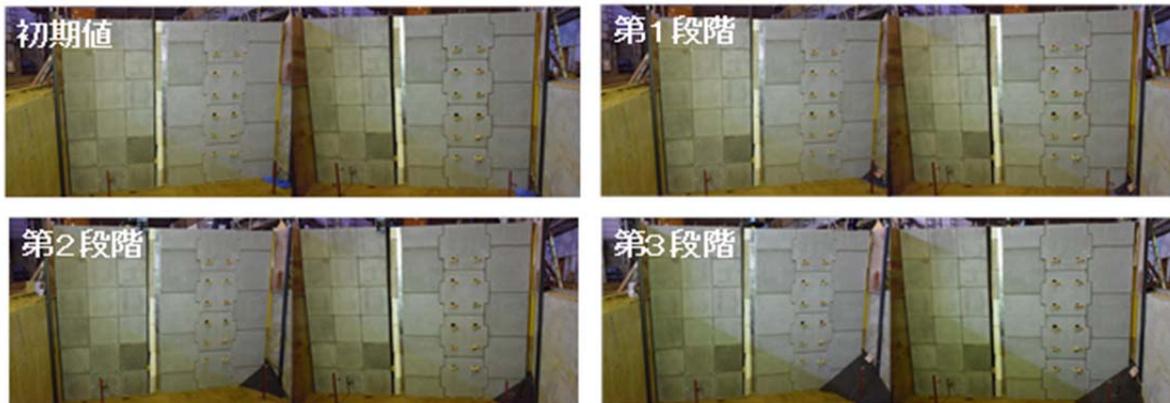


写真-18 写真測量用の写真



写真-19 砕石層の変形

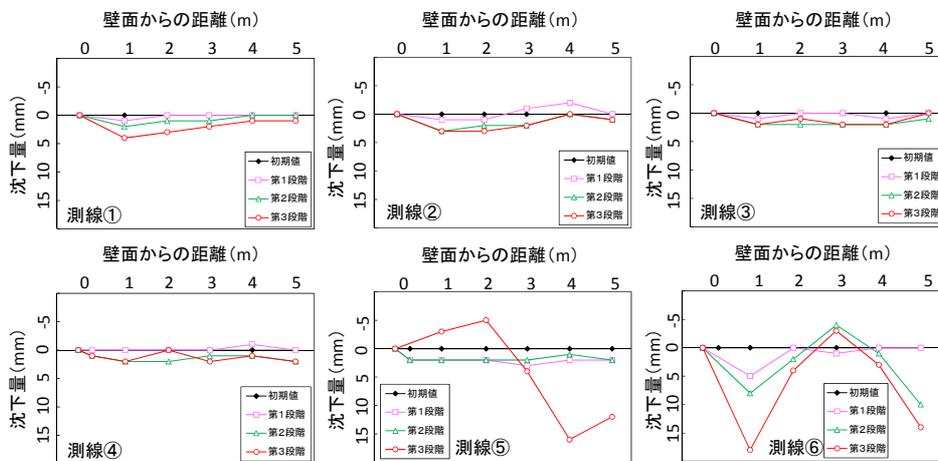


図-33 砕石層の変形

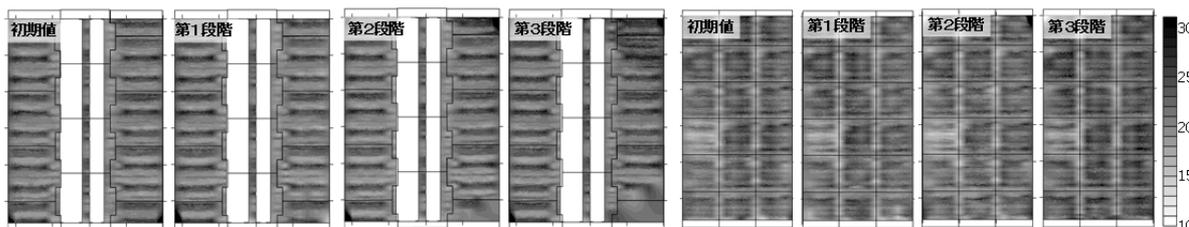


図-34 GPR 計測結果（補強土壁①）

図-35 GPR 計測結果（補強土壁②）

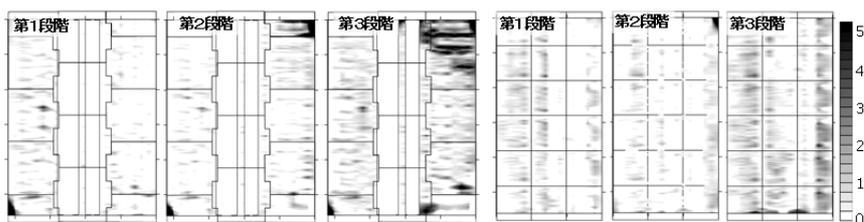


図-36 初期値との差分値 (補強土壁①)      図-37 初期値との差分値 (補強土壁②)

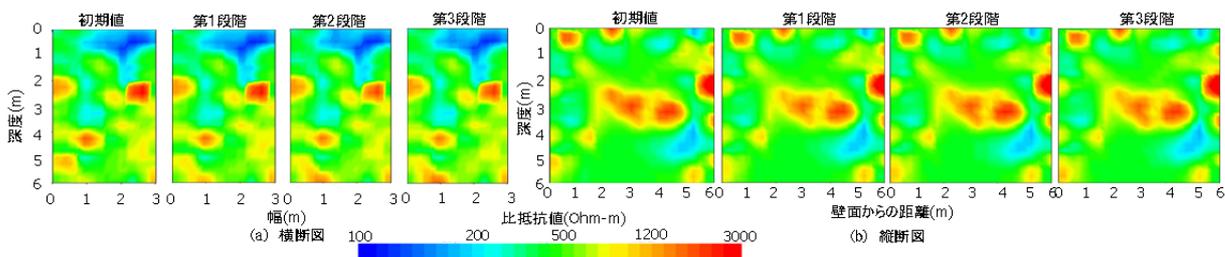


図-38 比抵抗分布

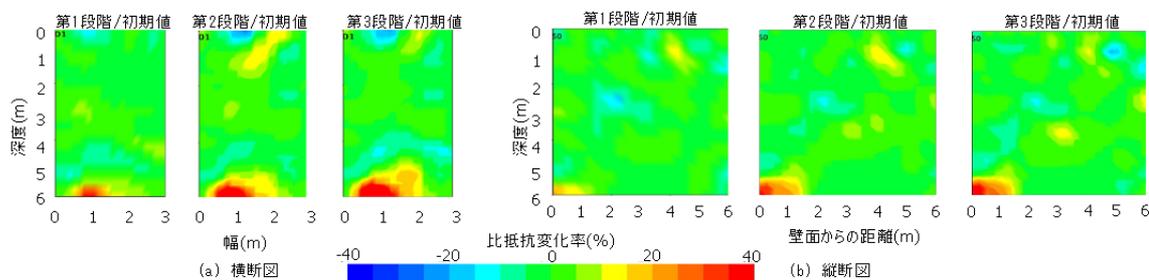


図-39 比抵抗変化率

表-8 段階毎の計測結果 (深度0~6mの平均値) の推移

		初期値	第1段階	第2段階	第3段階
Nsw 値	A 計測点	10.9	6.7	10.3	12.4
	B 計測点	8.4	5.2	8.8	6.3
	C 計測点	12.4	—	—	12.0
Nd 値		5.7	4.7	4.5	3.7

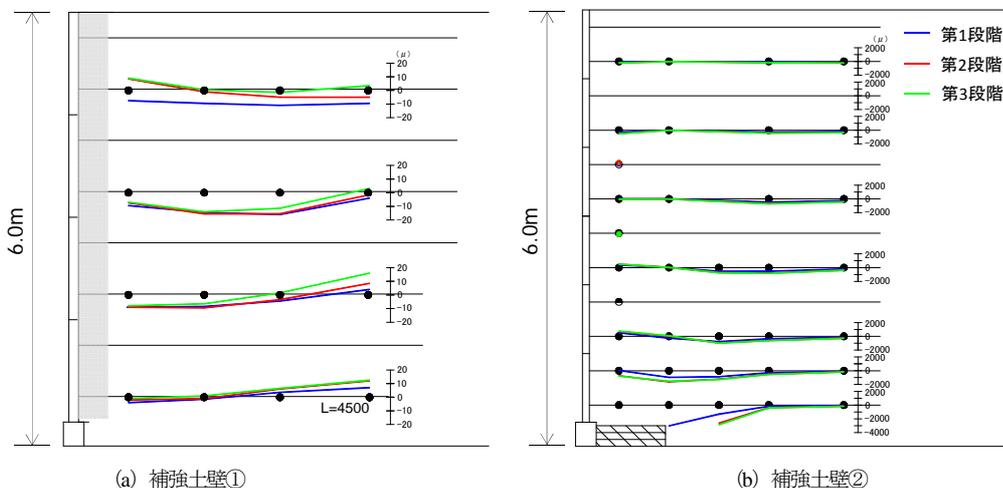


図-40 ひずみ増分

#### 4. まとめ

##### 【実大補強土壁の計測】

本研究では、維持管理手法の構築を目的に実大補強土壁の計測を実施し、著者らが提案する維持管理手法の有効性を検証した。本計測の主な結果は、以下のとおりである。

- ・長期計測（TS 測量およびレベル測量）の結果、実大補強土壁の地震後の変形速度は、地震前と比べて小さいことを確認した。変形速度は補強土壁が機能低下を生じているかどうかの判断材料となりうると考える。
- ・写真測量は精度良く壁面の変形量および変形モードを捉えることができた。ただし、3枚程度の解析写真枚数および30m以上の撮影距離の条件では、大きな誤差が生じる結果となった。6枚程度の解析写真枚数の条件では、走行速度は誤差に与える影響はほとんどないことを確認した。適切に実施することで写真測量は、道路パトロールなどにより外形の変化を捉えるための手法となりうると考える。
- ・MMS 計測は壁面変形の絶対量は写真測量と比べて誤差が大きい、変形モードは把握できた。走行速度は写真測量と同様、誤差要因としての感度は低い。適切に実施することでMMS 計測は、道路パトロールなどにより外形の変化を捉えるための手法となりうると考える。
- ・GPR 計測の結果、実大補強土壁の砕石下に生じた盛土の段差の位置や大きさを検出することができた。詳細調査により外形の変化を引き起こした要因を検出する手法となりうると考える。

##### 【実大模型実験】

本研究では、維持管理手法の構築を目的に実大模型実験を実施し、著者らが提案する維持管理手法の有効性を

検証した。本実験の主な結果は、以下のとおりである。

- ・GPR 計測、電気比抵抗探査、サウンディング、ひずみ計測は、外形の変化を引き起こした要因を検出するうえで有効な手段の一つになりうることを確認した。
- ・GPR 計測、電気比抵抗探査、ひずみ測定のいずれも、複数回の計測結果の相対値（初期値からの差分値、変化率など）から盛土内部の空洞の進展を把握することができた。
- ・サウンディングは、計測箇所毎の盛土内の状態（水分量や間隙の大きさ等）の違いが計測結果に影響するため、現象の解釈には注意が必要である。
- ・本実験条件においては、著者らが提案する維持管理手法におけるSTEP 2（詳細調査により外形の変化を引き起こした要因を検出する）は本実験で実施した各種計測方法により実行可能であることを確認した。

今後は、補強材の破断等の変状事例とその要因を実大模型で再現し、外形の変化および外形の変化を引き起こした要因を検出する技術（非破壊検査など）を整理する。最終的に、本研究の成果によりSTEP 1（道路パトロールなどにより外形の変化を捉える）、STEP 2（詳細調査により外形の変化を引き起こした要因を検出する）、STEP 3（外形の変化を引き起こした要因が機能の低下要因かどうかを判断する）、STEP 4（適切な対策を実施する）のサイクルで実施する補強土壁の維持管理手法をマニュアル等に整理する。

##### 【参考文献】

- 1) 社会資本整備審議会、道路分科会道路メンテナンス技術小委員会：道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて、平成25年6月

## Development of maintenance for earth structure with consideration for the control level

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Construction Technology Research Team

**Author** : HIROAKI Miyatake

TOMOHIRO Fujita

### Abstract

It is hard to say that sufficient designing maintenance is conducted to earth structures in comparison to pavements or bridges, because the earth structures consist mainly of natural materials. However, materials which are potentially deterioration are used even for the earth structures. Some earth structures deformed by heavy rains or earthquakes, and the deformed earth structures may not have assumed performance in design. For strategic maintenances, it is necessary to develop maintenance methods for the deformed structures.

In this research, deformation progress and limit states caused by shoddy workmanships were grasped by model tests. In this result, it can be said that it is inappropriate to judge the soundness from the value of wall displacements because limit states are different due to compaction condition, kind of embankment materials, and length of reinforcement materials. So, we should check not only outside change but also functional depression factors for development of effective maintenance method. In this year, authors suggested and verified maintenance method. This year's research gave some knowledge and problem.