

### 補強土壁の損傷検知技術検証のための実大実験

岡三リビック 正 ○林 豪人 ヒロセ 正 志村 直樹 前田工織 正 久保 哲也  
土木研究所 正 宮武 裕昭 藤田 智弘 佐藤 登 新田 武彦  
防衛大学校 正 宮田 喜壽

#### 1. はじめに

補強土壁は、盛土材のこぼれ出しが生じなければ他の土工構造物と同様、緩やかに変形が進行すると考えられる。したがって、補強土壁は盛土材のこぼれ出しに至る損傷（致命的な損傷）を見つけて早期に対応することを基本とした維持管理を実施することが合理的である。補強土壁の劣化のシナリオの整理から、盛土材のこぼれ出しに至る前段階として、図1に示す5つの損傷の発生がある<sup>1)</sup>。調査ではまず近接目視により図1に示す損傷の有無を確認し、これらの損傷が生じている場合には、要因や不可視箇所の損傷を把握するために資料調査と詳細調査等を実施する。ただし、損傷(1)：「補強材・連結部の破断（→壁面材の脱落）」については、補強材・連結部の破断は土中で生じる損傷であり、近接目視で損傷そのものを直接確認することができない。そのため、補強材・連結部の破断を早期に検知できる維持管理手法の開発が望まれている。そこで、補強材・連結部の破断の検知を目的とした表1に示す各種の診断技術について、実大の補強土壁や部材を用いて補強土壁への適用性の検証を行い、それぞれの特徴と課題を整理した。

- 損傷(1)：「補強材・連結部の破断（→壁面材の脱落）」
- 損傷(2)：「壁面材の開口・貫通」
- 損傷(3)：「壁面材間の目地の開き」
- 損傷(4)：「基礎の洗堀」
- 損傷(5)：「連続/隣接構造物との目地の開き」

図1 盛土材のこぼれ出しに至る損傷

表1 対象とした診断技術

診断技術	対象	検知の範囲
壁面振動計測	既設	広範囲に破断の可能性をスクリーニング
AE計測	既設	ピンポイントで破断や過緊張を検知
衝撃弾性波計測	既設	ピンポイントで破断を検知（ただし壁面材を切る必要あり）
光ファイバーによるひずみ計測	新設	ピンポイントで破断や過緊張を検知

#### 2. 各診断技術の概要と検証結果

##### (1)壁面振動計測

構造物の振動特性の評価は橋脚等の健全性診断として実施されている。図2に示す壁高6mの補強土壁のコンクリート製壁面材に起振器と速度計を設置し、step毎に壁面をスイープ加振させ、壁面直角方向の速度を計測した<sup>2)</sup>。補強土壁は帯鋼補強土壁である。補強材の破断が進行することを模擬して、図2に示す3つのstepで段階的に補強材の破断を模擬した。図3は、計測した補強土壁の速度応答のスペクトル密度関数マトリックスを特異値分解し、補強土壁のモード解析を行って得られたパワースペクトル密度行列の特異値の分布である。破断させたストリップを含む測線Iは、図3に示すi~iiiの3箇所で見られる顕著なピークが確認できる。iおよびiiiはstepによる有意な差は見られないが、iiはstep3のみでピークが立つことを確認した。一方、破断させた壁面材を含まない測線IIでは、i~iiiでstepによる有意な差は確認できない。このことから、補強材の破断の検知には、高次の周波数の変化に着目すべきと考える。なお、ジオテキスタイル補強土壁についても同様の実験を実施し、補強材の破断の有無で高次の周波数に変化が出る結果となった。

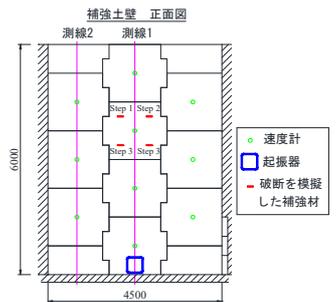


図2 補強土壁の実大模型 (壁面振動計測)

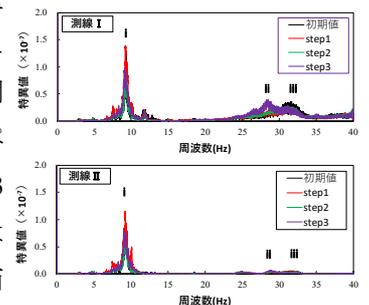


図3 パワースペクトル密度行列の特異値

##### (2)AE計測

AE（アコースティックエミッション）計測は、材料が変形したり亀裂が発生したりする際に、材料が内部に蓄えていたひずみエネルギーを放出する際に発生する高周波の弾性波をセンサーで検出し材料の破壊過程を評価する手法である。図4に示す通

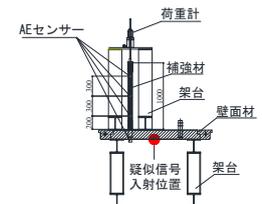


図4 実験模型 (AE計測)

キーワード 補強土壁, 維持管理, 非破壊検査

連絡先 〒108-0075 東京都港区港南 1-8-27 岡三リビック(株)技術開発部 TEL 03-5782-9085

り、コンクリート壁面材と補強材（鋼製ストリップ、鋼製タイバー、ジオテキスタイル）を連結し、補強材に緊張力を作用させた状態で、壁面材に設置したセンサーで AE を計測した<sup>3)</sup>。図 5 に AE のカウント数と補強材緊張力との関係を示す。ストリップは緊張力の増加に伴い AE カウント数が増加し、両者に正の相関が認められた。一方でタイバー及びジオテキスタイルは緊張力の大小にかかわらず一定であった。図 6 に AE のピーク周波数と補強材緊張力の関係を示す。ストリップの場合では 50kN 付近で AE のピーク周波数が増加するものの、それ以下ではほぼ一定であり、タイバー及びジオテキスタイルでは緊張力の増加に伴って低下する傾向であった。ジオテキスタイルはピーク周波数と補強材緊張力に負の相関関係が認められた。

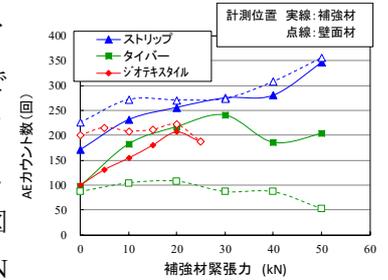


図 5 AE カウント数

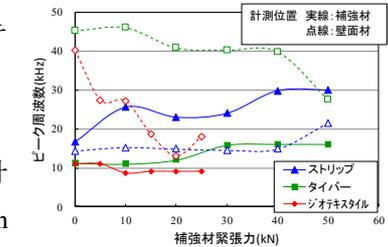


図 6 AE のピーク周波数

(3) 衝撃弾性波計測

衝撃弾性波計測は、材料の端部から入力した弾性波の応答を加速度センサーで計測する方法であり、鋼製防護柵支柱の根入れ長の測定等で適用されている。壁高 5.5m のアンカー補強土壁の実大模型のうち、頭部を壁面から突出させた補強材を対象に鋼球で弾性波を入力し、補強材側面に取り付けた加速度センサーで応答を計測して、土中の補強材の長さを計測した<sup>4)</sup>。図 7 は長さと土被り毎の補強材の実測値と計測値の比較である。補強材の長さや土被りによらず、補強材の実測値と衝撃弾性波計測による計測値に大きな違いは見られなかった。このことから、設計時の補強材の長さと計測値とを比較することにより、土中の補強材の破断の有無を判定することが可能である。ただし、衝撃弾性波計測では一時的に補強材の緊張力を開放する必要がある。

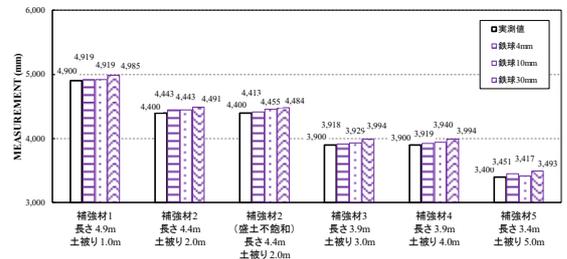


図 7 衝撃弾性波による計測結果

(4) 光ファイバーによるひずみ計測

内部に光ファイバーを内蔵したジオテキスタイルを補強材として土中に設置することによって、補強材に生じるひずみ分布を連続的に計測する方法であり、補強土壁への適用例もいくつか存在する。ここでは、壁高 6m のジオテキスタイル補強土壁の実大模型の 4 か所に光ファイバーを内蔵した補強材を設置し、補強材に発生したひずみを計測した。図 8 は補強土壁上部に 30kN/m<sup>2</sup> を

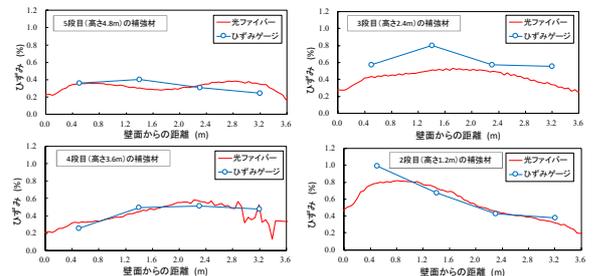


図 8 光ファイバーによるひずみ計測結果

を載荷させたときの光ファイバーによるひずみ分布と、同じ高さの位置の補強材に取り付けたひずみゲージの計測結果を示す。この結果より、ひずみゲージの計測値と光ファイバーの計測値はほぼ同じ傾向を示していることが分かる。補強材に破断が生じた場合でも光ファイバーによる検知は可能であることが推測できる。

3. 各診断技術の特徴と課題

補強材・連結部の破断の検知を目的とした各種の診断技術の検証を実大の補強土壁や部材を用いて実施した。壁面振動計測及び AE 計測は、任意の場所を非破壊で検知ができる可能性を有するものの、実用化のためには、さらに多くのデータを収集し、適用範囲や破断の有無の指標を明確にする必要がある。衝撃弾性波計測は比較的信頼性が高いものの、通常は壁面材の裏に位置する補強材頭部を表面に露出させる必要がある。光ファイバーによるひずみ計測は信頼性が高いが、計測用の補強材をあらかじめ埋設しておく必要がある。

<参考文献>

- 1) 土木研究所ほか：補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究，土木研究所共同研究報告書，2016年3月。
- 2) 藤田ら：補強材連結部破断を検知する手法の確立に向けた実大補強土壁の振動計測，土木学会第70回年次学術講演会，2015年9月。
- 3) 志村ら：補強土壁に用いられる三種の補強材の AE 特性，第51回地盤工学研究発表会（岡山），2016年9月。
- 4) 林ら：アンカー補強土壁の補強材を対象とした健全性調査技術の土中における検証実験，土木学会第71回年次学術講演会，2016年9月。