

補強土壁の異常降雨作用下での挙動確認実験

宮武裕昭・藤田智弘

1. はじめに

近年は従来の経験工学に基づく設計範囲を拡張させた大規模な道路土工構造物や新たな形式の道路土工構造物等が増加している。これらの構造物について、適切な設計、施工、維持管理を通じたマネジメントをするためには、想定される作用のもとでの構造物の状態の変遷を明確にし、崩壊シナリオを明確にすることが求められている。

補強土壁の崩壊のシナリオに基づく維持管理の方法については、「補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究」(平成26～27年度)¹⁾等において進められており、その中で、盛土材のこぼれ出しは補強土壁にとって致命的となる重大事象であることが確認されている。しかし、盛土材のこぼれ出しが生じた補強土壁の修復の必要性の判断方法や補修による効果は明らかにできていない。本研究では、補強土壁の補修方法の確立に必要なこぼれ出しの詳細な進行過程の解明と従来から実施されているこぼれ出しに対する補修方法の要否の判定及び効果を確認することを目的として、異常降雨作用下での挙動確認実験を行った。道路土工構造物技術基準では、降雨の作用として” 供用期間中に通常想定される降雨に基づく作用” を考慮することとしており、いわゆる局地的大雨の作用は想定していない。本実験における異常降雨作用とは、局地的大雨を想定した降雨作用である。本報告では、その実験について報告する。

2. 模型実験概要

2.1 実験概要

こぼれ出しの進行過程を確認するために、補強土壁に隣接する構造物との取合い部の相対変位による目地の開きを模擬した開口部等を予め設けたうえで、降雨により補強土壁上方から盛土内に水を浸透させた。また、補修方法の効果を確認するために、こぼれ出し箇所に碎石を充填して降雨の作用を与えた。

2.2 模型概要

実大模型はコンクリートピット内に構築された、壁高H=6.0mの補強土壁(写真-1)である。補強材は鋼製の帯状補強材を用いた。盛土材の締めめは、



写真-1 補強土実大模型

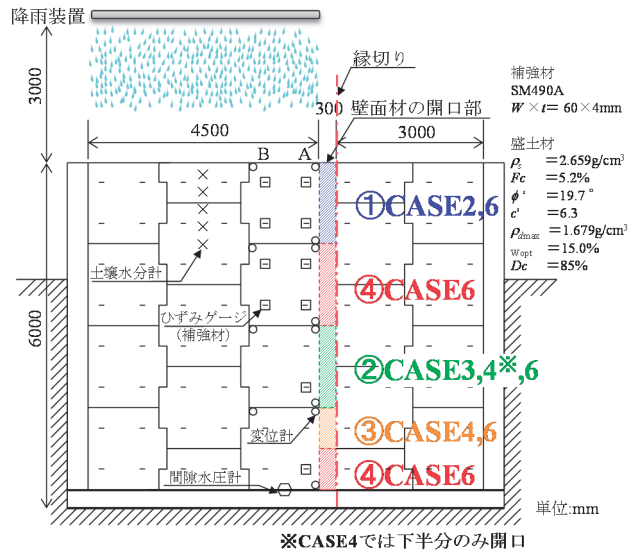


図-1 実大模型の概要

表-1 実験ケース

ケース名	時間雨量 (mm/hr)	総雨量 (mm)	開口長 (m)	開口位置 (図-1)
CASE1	26.3	約 1,700	0	—
CASE2	27.6	約 1,500	1.5	①
CASE3	27.6	約 2,000	1.5	②
CASE4	29.7	約 2,000	2.25	② ③
CASE5	34.1	約 2,500	0(閉塞)	—
CASE6	33.2	約 1,600	6.0	①～④



写真-2 各ケースにおける開口位置 (開口位置は赤破線部)

作為的にこぼれ出しを進行しやすくするという観点に加えて、こぼれ出しが生じる要因となる盛土の施工不良などを想定して、道路土工 - 擁壁工指針²⁾において補強土壁の締固め管理基準値の目安として示している90%よりも低い85%とした。また、排水施設の不足・不良を想定して、壁背面排水層は未設置とした。さらに、補強土壁に接する側面、底面及び背面のコンクリートピットから排水されない状況で実験を行った。本実験の計測項目は図-1に示す位置にて、壁面材に設置した変位計により壁面の変形、各段の補強材に壁面より盛土側に500mm離れた位置を起点として900mmピッチで設置したひずみゲージにより補強材に発生するひずみをそれぞれ計測した。また、降雨により盛土内に浸透する水の挙動を土壌水分計及び間隙水圧計により計測した。

2.3 盛土材のこぼれ出し発生機構

補強土壁の盛土材のこぼれ出しに関する事例調査の結果、補強土壁における盛土材こぼれ出しの発生個所は、隣接した構造物との境界部で起こる事例が多い傾向にあることがわかっている。このことから本実験では図-1に示すように、既設構造物を想定した縁切り部に幅0.3mの壁面材開口部を設け、開口長は0~6.0mで設定し、こぼれ出し発生個所とした。また、盛土天端から3.0mの高さに降雨装置を設置し、降雨により盛土材が開口部からこぼれ出すのを誘発させた。

2.4 実験ケース

実験ケースの一覧を表-1に、開口位置を図-1及び写真-2に示す。CASE1は開口をせずに降雨作用を与えた基本ケースとし、CASE2~CASE4は各ケースで高さ方向に開口部を可変させ、開口位置による

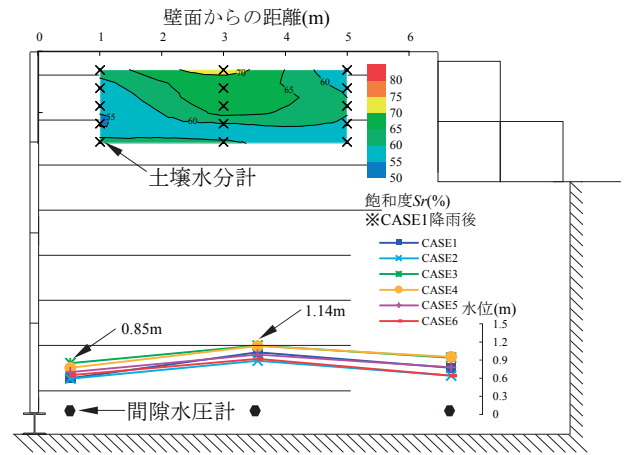


図-2 水位と飽和度(CASE1)の状況



写真-3 CASE1での目地部からの排水状況 (最下段)

こぼれ出し挙動の差異を観測した。CASE5はCASE4にて発生したこぼれ出し箇所に碎石 (C-40)を充填し、開口部を閉塞させた状態で降雨作用を与えた。CASE6ではCASE5で充填した碎石を撤去し、壁高と同じ開口長6.0m全てを開放し降雨作用を与えた。各ケースでの降雨は26.3~34.1mmの時間雨量で、最大で約2,500mmの総雨量を補強土壁に作用させた。実験ケースの進行としては各ケースの間は降雨を停止し、盛土内の水位が安定したのを確認し次ケースへと移行した。なお、本報告ではこぼれ

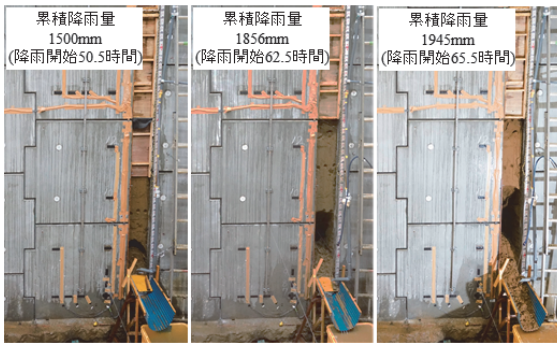


写真-4 こぼれ出し状況 (CASE4)



写真-5 こぼれ出し状況 (CASE6)

出しの発生したケースについて報告する。

3. 実験結果および考察

3.1 盛土内の降雨作用の影響

図-2に各ケースの最高水位及びCASE1の降雨終了時の飽和度分布(深度1.5mまで)を示す。飽和度は $S_r=51.0\sim 72.4\%$ で分布しており、降雨開始後12時間(累積雨量 約315mm)までに深度1.5mまでの飽和度すべてが頭打ちとなった。ケース毎に1,500mm以上、最大で2,500mmの累積雨量を与え形成された水位は、壁面から3.5m内部で最大1.14m、壁面から0.5m内部において最大0.85mで水位が頭打ちとなった。写真-3は、定点カメラで観測した補強土壁の壁面材目地からの漏水状況を示す。以上の観測水位と漏水状況から、分割壁面材による補強土壁は、盛土内に浸透した水が壁面材目地部からも排水されるため、降雨作用による盛土内の水位が漸増しにくい構造であると推測できる。

3.2 盛土材のこぼれ出し状況

開口させなかったCASE1、 $H=4.5\sim 6.0\text{m}$ を開口させたCASE2、 $H=1.5\sim 3.0\text{m}$ を開口させたCASE3では、累計雨量1,500mm以上の降雨作用を与えたがこぼれ出しは発生しなかった。写真-4にCASE4のこぼれ出し状況及び写真-5にCASE6でのこぼれ出し状況、図-3にCASE4、CASE6終了時のこぼれ出し範囲を示す。 $H=0.75\sim 3.0\text{m}$ を開口させたCASE4では、こぼれ出しは即座には発生せず、開始後の累積雨量約800mm(約26時間後)の、水位が開口部下端位置まで達した時点辺りから盛土材がこぼれ出し始めた。含水比が高くなった盛土材は累積雨量約1,500mm(約50.5時間後)付近より流動化して急速にこぼれ出し、その結果盛土の空洞化が生じ

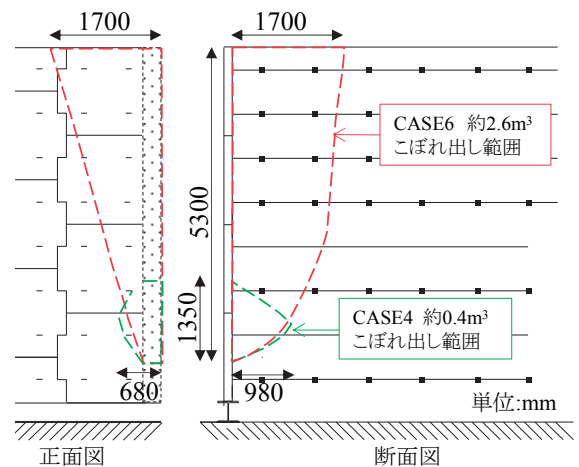


図-3 CASE4、CASE6におけるこぼれ出し範囲(正面図の範囲は、写真-5の撮影範囲位置と同じ)

た。CASE4では、最終的に約0.4m³(補強領域の体積比0.3%)がこぼれ出した。 $H=0\sim 6\text{m}$ を開口したCASE6では、累積雨量約650mm(開始後約19時間後)の、水位が開口部下端位置まで達した時点辺りからこぼれ出し始めた。累積雨量約1,735mm(約52.3時間後)付近より流動化し、累積雨量約2,125mm(約64.0時間後)にて突如大規模なこぼれ出しが起こり、盛土天端が陥没するに至った。最終的に約2.6m³(補強領域の体積比1.8%)がこぼれ出し、盛土未崩壊部は図-3に示す通り、急勾配のり面が形成されていた。

3.3 こぼれ出し後の補強材張力と壁面変位の挙動

図-4にCASE1の降雨前後、こぼれ出しが発生したCASE4、CASE6後の補強材の張力分布及び壁面変位量を示す。補強材張力はCASE1の降雨前後で最大1.8kN増加しており、壁面に作用する土圧増加の影響を受けていると考えられる。一方で、降雨後に水位以下に位置することとなった1段目補強材の張力について、降雨前の水位のない状態からの顕著

な張力の変化は確認されなかった。CASE6後の張力は初期状態と比較して最大7.4kN程度低下し、こぼれ出しにより補強効果(抵抗力)が損なわれたと考えられる。その一方で、壁面に作用する土圧(作用力)も低下したと考えられる。その結果、補強材が引き抜ける、壁面材が脱落するなど補強土壁が脆性的に崩壊することもなかったと考えられる。また、CASE6後の壁面変位は、測線A(開口部に近い測線)では盛土側に最大約6mm倒れ込む挙動となった。定点カメラによると、盛土材がこぼれ出す際に補強材が下方側へ引き込まれ、壁面材が盛土側に倒れ込む挙動が観測されている。また、CASE4後の張力分布と壁面変位はCASE1の降雨後の値からの有意な変化は見られなかった。図-5に各ケースの補強材に作用した最大応力度を工法マニュアル³⁾に示す許容応力度で除した値を示す。降雨の繰り返し作用における張力の変化は小さく、また許容応力度に達するような大きな作用は発生しなかった。

4. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1) 分割壁面材による補強土壁は、盛土内に浸透した水が壁面材目地部からも排水されるため、盛土内の水位が漸増しにくい構造であると推測できる。
- (2) 補強土壁壁面に開口部が生じた状態で降雨作用を与えても、盛土内水位が開口位置まで達していなければ、必ずしも盛土材が即座にこぼれ出すというものではない。
- (3) 盛土材のこぼれ出しが進行すると、盛土天端が突如陥没することがある。
- (4) 降雨作用でこぼれ出しは進行するが、補強効果(抵抗力)が失われる一方で土圧(作用力)も同時に失われると考えられるため、補強土壁自体は必ずしも脆性的に崩壊するものではない。

補強土壁は、橋梁取付け部や用地制約の厳しいボトルネック部などに用いられることが多く、その変状が道路ネットワークに影響を与えることが懸念される。今回の実験で得られた知見をもとに特に重大な要因であるこぼれ出しについて、異常豪雨のような条件下でも道路機能を確保するような工法の仕様の改良、変状発生時の補修手法の確立に向けた検討を進めていく予定である。

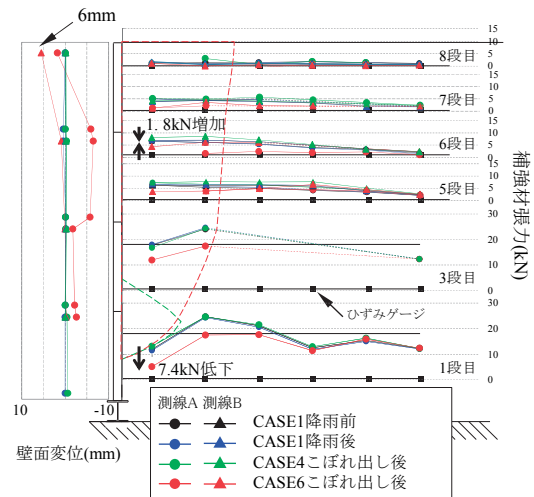


図-4 壁面変位及び補強材の張力分布

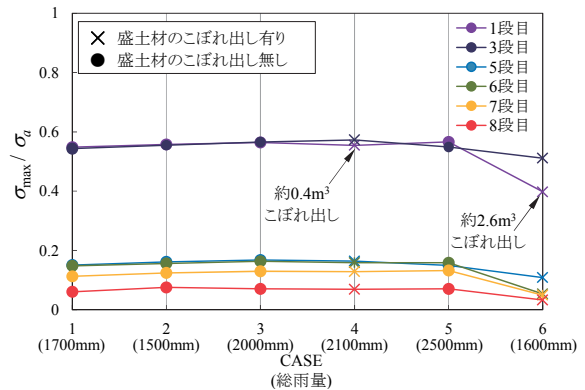


図-5 総雨量と補強材張力の変化

参考文献

- 1) 補強土壁の維持管理手法の開発に関する共同研究共同研究報告書 第486号、国立研究開発法人土木研究所ほか、2016
- 2) 道路土工 - 擁壁工指針 (平成24年度版)、一般社団法人日本道路協会、2012
- 3) 補強土 (テールアルメ) 壁工法 設計・施工マニュアル第4回改定版、一般財団法人土木研究センター、2014

宮武裕明



土木研究所地質・地盤研究グループ施工技術チーム 上席研究員
Hiroaki MIYATAKE

藤田智弘



研究当時 土木研究所地質・地盤研究グループ施工技術チーム研究員、現国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部構造・基礎研究室研究官
Tomohiro FUJITA