

補強土壁における 排水施設設置状況の調査について

中筋 一希¹・松岡 里奈²

¹和歌山県 県土整備部 道路局 道路建設課 (〒640-8585 和歌山県和歌山市小松原通 1-1)

²国土交通省 大臣官房 技術調査課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関 2-1-3)

2017年10月和歌山県紀の川市西脇地区で発生した斜面崩落災害では、原因究明のための調査検討会において農道盛土によるバランスの低下と、補強土壁内部の地下水位の上昇が誘因となったとの指摘がなされた。同様の災害が起こる可能性を懸念し、県内の補強土壁について排水施設の設置状況調査を行った。その結果、西脇地区同様に排水施設が十分ではないと懸念される箇所が複数確認され、変状をきたしている箇所も存在することがわかった。変状が確認された箇所については地域条件等詳細に整理し、排水対策工の必要性について検討を行った。また、今後補強土壁における排水対策を検討していくための一般的なフローを作成した。

キーワード 補強土壁, 斜面崩落, 調査検討会, 排水対策工

1. 研究概要

2017年10月に上陸した台風21号の豪雨により、和歌山県は各地で甚大な被害を受けた。中でも県北部の紀の川市西脇地区においては、農道を含む斜面が崩落し、人的被害が発生した。

県では被災後速やかに第三者委員による調査検討会を立ち上げ、原因究明に取り組んだ。この調査検討会の中で、崩落した斜面に含まれる補強土壁について、排水施設として水平排水層のみ設置し、地下水が観測されなかったことから基盤および背面の排水工を省略していたことが確認され、課題の一つであると指摘された。

この指摘を受け、浸透流解析等により、排水工の一部を省略したことが斜面崩落に与えた影響の有無について検討したところ、標準的な排水工の設置だけでは今回の崩落は防ぐことができなかったとの結論を得た。しかしながら、県では排水施設の設置が十分でなかったことを重く受け止め、県内全域で補強土壁における排水施設設置状況の調査を行った。

本研究では、県内の過去10年間で施工された補強土壁を対象に各補強土壁の排水施設の設置状況を把握し、斜面崩落の発生した補強土壁と他所の補強土

壁を様々な観点から比較することで、同様の災害が発生しないために必要な排水施設の検討及び既存の補強土壁で行う排水対策検討の一助となることを目的とする。

本研究に関連する既存研究として、補強土壁に関する調査の報告は多く存在する。

橋本ら¹⁾は、北海道開発局で施工された補強土壁について、冬期施工による雪や凍結土の混入、締固め不良による変状が指摘されたことから、設計・施工条件と壁面変位量を調査し補強土壁の状態を整理している。中村ら²⁾は、ジオシンセティックス補強土壁の降雨作用による変状分析が不十分であることから降雨作用による変状事例を対象に補強土壁と変状の概要を整理している。

これらは、補強土壁に関する調査を行っているが、調査内容は施工条件と変状の関係性が重視されていたり、変状が確認された事例のみを対象としていたり、調査項目や調査対象が全く異なっている。排水施設の設置状況を調査した研究はなく、また、和歌山県内の補強土壁が対象の研究もない。

一方、本研究は、和歌山県内の過去10年に施工された補強土壁全てを対象として整理し、排水施設の設置状況に焦点を当てた調査であるとともに、今後

の補強土壁設計において適切な排水施設設置を促すという点で大変重要であると言える。

2. 紀の川市西脇地区の斜面崩落の概要

(1) 災害の概要

2017年10月22日20時30分頃、台風21号の豪雨に伴い、和歌山県紀の川市西脇地区において斜面崩落が発生した。

斜面崩落の規模は、崩落土砂の最大幅が約80m、最大長さが約120m、農道被災延長は50mにも及んだ(図2)。人的被害は死者1名、負傷者1名、避難指示7世帯17人、住家被害は全壊1棟、一部破損1棟と大きな被害をもたらした。

当日の日降雨量は近傍のアメダス観測所(かつらぎ)において219mm/日と観測史上第1位(統計期間昭和54年1月～平成29年11月)を記録、超過確率雨量50年規模であった。また、連続雨量は300mmに達し、過去20年間では平成23年の紀伊半島大水害時に次ぐ雨量となり、記録的な豪雨であったことがうかがえる(図3)。

紀の川市ハザードマップによると、当該地域は土砂災害危険区域には該当しないものの、周辺には多数の危険箇所が存在する地形となっている。

被災直後に設立された調査検討会では、農道との因果関係も含め、斜面崩落の原因を究明するとともに、農地・農道の復旧についても検討が進められた。

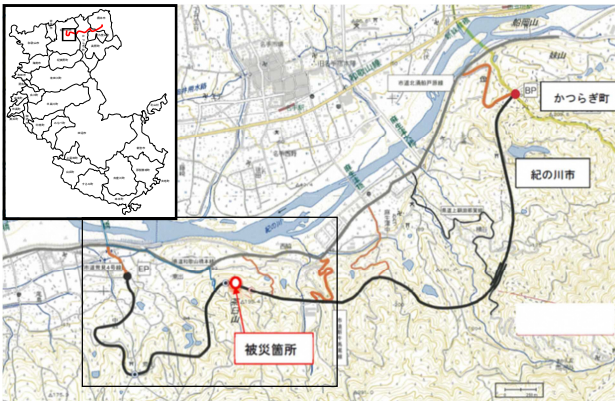


図1 位置図



図2 斜面崩落写真

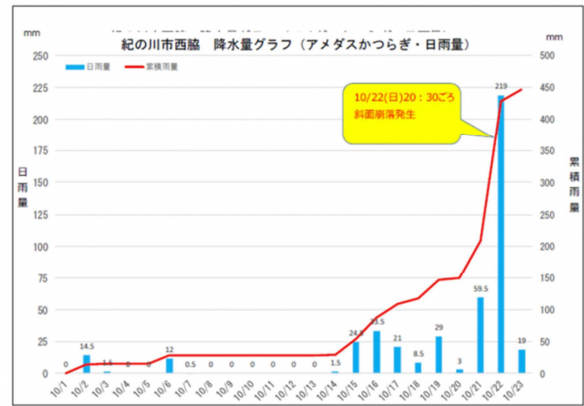


図3 降水量グラフ

(2) 調査検討会での指摘事項について

4回に及ぶ調査検討会では主に「当該斜面がどのように崩れ、土が動いたのか」「地下水位変動が斜面崩落に及ぼした影響について」「道路盛土の基盤となる地山の強度の影響について」に焦点が当てられ調査・解析がなされ、議論が進められた。そして、これらの検討を踏まえ斜面崩落発生メカニズムとしては「農道盛土による斜面バランスの低下、台風21号豪雨による地下水位の上昇が誘因となり、補強土壁基盤層の潜在的な弱層をすべり面として発生したと考えられる」と結論付けるとともに、再度災害防止および農地・農道の復旧について意見がまとめられた。調査検討会の結果を表1に示す。

調査検討会での具体的な検討の一つに「排水工の配置が斜面崩落へ与えた影響」がある。道路土工盛土工指針¹⁾では、「盛土内へ水を浸透させないように適切な地下排水工の配置を行わなければならない」とあるが、今回の被災構造物の設計では事前の地質調査において地下水が観測されていなかったことから背面と底面の排水層が省略されていた。今回の豪雨規模に対しても補強土壁の背面と底面に標準的な排水施設を設置した条件で浸透流解析を行った結果、今回の現場で台風21号ほどの豪雨が襲った場合、仮に標準的な排水施設が設置されていたとしても斜面崩落を防ぐことはできなかったとわかった。

表1 調査検討会指摘事項

	(素因)	(誘因)
斜面崩落発生メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> 補強土壁盛土背後斜面は集水地形を呈し、表流水、地下水が補強土壁盛土に流入しやすい地形を呈していたこと 斜面崩落後の調査から補強土壁基礎部の地盤は、構造物の基礎として必要な支持力を有していたが、外的安定に必要なせん断強度は当初設計時に想定した強度よりも著しく低かったこと 	<ul style="list-style-type: none"> 補強土壁盛土が上載荷重として作用し、斜面バランスが低下したこと 台風21号による記録的な豪雨により多量の地下水が供給され、盛土部まで地下水位が大幅に上昇し斜面が不安定化したこと
再度災害防止策	<ul style="list-style-type: none"> 補強土壁の計画・設計時) <ul style="list-style-type: none"> 地形判読 十分な地質調査の実施 出水期を含めた地下水位分布の把握 地下水の上昇を考慮した底面及び背面の排水層の設置 住民への十分な聞き取り 	<ul style="list-style-type: none"> 既設の補強土壁) <ul style="list-style-type: none"> 点検 周辺地形判読 既往地質調査資料の見直し 一カルテとして整理し維持管理に役立てる 当該斜面と同様な地形、地質、地下水条件を有する場合、地下水対策・補強対策を検討すること
農地・農道の復旧	<ul style="list-style-type: none"> 周辺からの浸透水も考慮した十分な排水施設を設けるとともに、基礎地盤への負荷を軽減できる復旧工法の選定を行うこと ※応急対策として、斜面崩落土砂撤去工、地下水排除工(横ポーリング)を行った復旧として、切り下げを行い法面をアンカーで支える工法とした 	

一方で再発防止のために「当該斜面と同様な地形、地質、地下水条件を有する場合は、地下水対策・補強対策を検討する」との指摘があり、本県では、上記の指摘事項を踏まえ、既存の補強土壁について西脇地区と同様な地形、地質、地下水条件、排水施設設置条件を有するか把握すべく、調査を行った。

3. 排水施設設置状況の調査

(1) 補強土壁工の分類

補強土壁は補強材の種類により、帯鋼補強土壁とアンカー補強土壁とジオテキスタイル補強土壁の3種類に分けられる。それぞれ設計・施工のマニュアルとして、①補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル^{3) 4)} ②多数アンカー式補強土壁工法設計・施工マニュアル^{5) 6)} ③ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル^{7) 8)}の3つの書籍が販売されており、これに基づき設計・施工している。

なお、これらのマニュアルの上位基準として、指針が存在しており、直壁～1:0.6までの構造（補強土壁）は道路土工－擁壁工指針^{9) 10)}を、1:0.6よりも勾配が緩い構造（補強盛土）の場合は道路土工－盛土工指針¹¹⁾を基準としている。これら5つの書籍についてそれぞれその中で排水施設の設置について言及されている。また、2012年に道路土工－擁壁工指針⁹⁾が一度改訂されており、それに伴い各補強土壁マニュアルも改訂されている。

なお、本調査においては、補強土壁・補強盛土すべてを対象としており、調査内容のみでは補強土壁、補強盛土の区別が困難であったため総称として補強土壁としている。

(2) 調査概要

平成19年度から平成29年度に発注された補強土壁を含む工事（全231件）をピックアップし各補強土壁について調査を行った。

調査1として現時点で、補強土壁に変状をきたしている箇所がないか、目視により補強土壁自体・路面上の変状を確認した。

続いて、調査2として各補強土壁の排水施設設置状況を把握するため、設計図書等により各補強土壁に①基盤排水層 ②水平排水層 ③壁面背面排水層④縦排水溝 ⑤縦断排水溝 ⑥基盤排水溝の排水施設

（図4）が設置されているかどうか確認し、補強土壁工の形態別に分類して整理した。

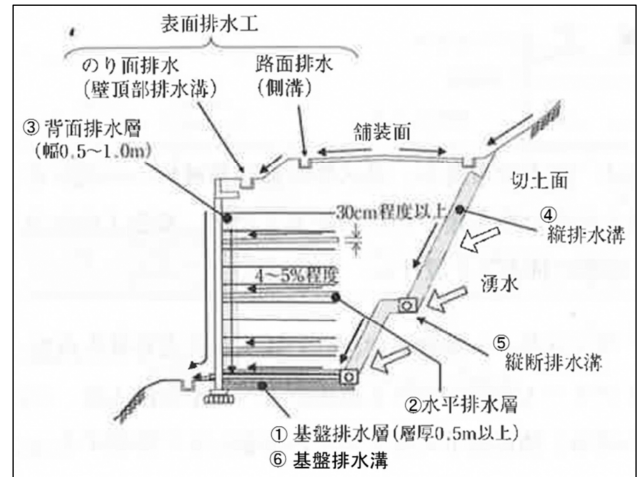


図4 各排水施設⁹⁾

(3) 調査結果

a) 調査1（変状箇所の確認）について

変状箇所が確認されたのは7件であった。補強土壁と路面両方に変状が確認された箇所が2件、補強土壁のみに変状が確認された箇所が1件、路面上のみに変状が確認された箇所が4件である。補強土壁の変状としては、壁面材の損傷や、壁面材の間に開きが生じているもの（図5）路面上の変状としては、主にクラックや変状を修復した形跡であるオーバーレイ（図6）が確認された。



図5 補強土壁の変状（左：損傷 右：開き）



図6 路面の変状（左：クラック 右：オーバーレイ）

b) 調査 2 (排水施設設置状況) について

排水施設の設置状況結果について、テールアルメ、ジオテキスタイル、多数アンカーに分類し整理を行った(図7-9)。

テールアルメについては、対象が全115件であった。「基盤排水層・背面排水層」の設置が最も多く4分の1を占めている。次いで、「基盤排水層・背面排水層・縦排水溝・基盤排水溝」の設置が多く、この2パターンで全体の半数近くを占めている。基盤排水溝と背面排水層が含まれているパターンが多く、両方を含むパターンは87%となっており、どちらも含まないパターンはわずか2件であった。

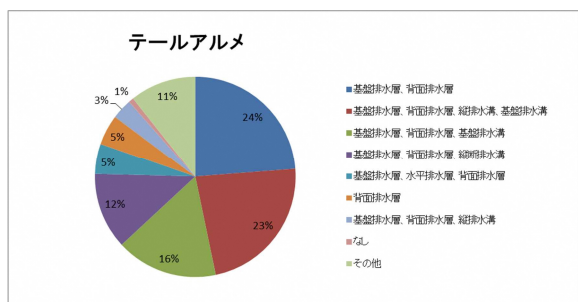


図7 テールアルメの排水施設設置状況

ジオテキスタイルについては、対象が全82件であった。西脇地区で見られたような、「水平排水層のみ」が最も多く35%と3分の1以上を占めている。次いで、「水平排水層・背面排水層」、「基盤排水層・水平排水層・縦排水溝・基盤排水溝」「基盤排水層・縦排水溝・基盤排水溝」と続くが、その次に多いのが排水施設を設置してないパターン6件で8%を占めている。

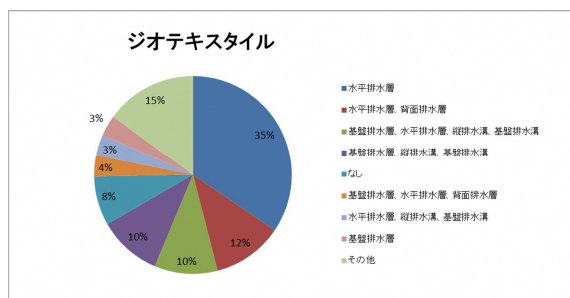


図8 ジオテキスタイルの排水施設設置状況

複数の排水施設を設置しているパターンが多く8割近くが3種類以上の排水施設を設置している。基盤排水層と背面排水層を設置している場合が多くそれぞれ8割近く、どちらも設置していないパターンはわずか1件であった。また、ジオテキスタイルとテールアルメには、排水施設を設置していないパターンが確認されたが、多数アンカーでは確認されなかった。

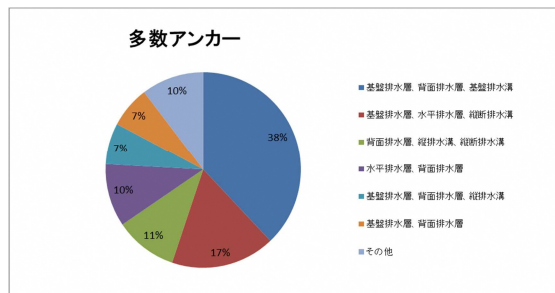


図9 多数アンカー排水施設設置状況

(4) 各種マニュアルの適用

各種マニュアル^{3)~11)}において、新旧の基準で排水施設についてどのように定められているかを表2に整理した。

確実に設置しなければならない排水施設は現地条件によって異なるが、マニュアルで読み取れる範囲で必須と思われる排水施設は、新基準においては各補強土壁の種類において基盤排水層、旧基準においては、テールアルメで基盤排水層と背面排水層、ジオテキスタイルで基盤排水層、多数アンカーでは特に記載がない。マニュアルの上位基準である指針では旧基準においては記載がなく、新基準においては基盤排水層のみ必須であると読み取れる。

表2 補強土壁に関する基準まとめ (○は必須)

		旧基準	新基準
		(平成11年3月版 指針)	(平成24年7月版 指針) (平成22年4月版 指針)
補強工指針	縦断排水溝・縦排水溝		自然斜面を切土して補強土壁を設置 ○
	基盤排水層・排水溝		規模が大きい補強土壁や掘削土壁を有する・細粒分を多く含む材料を盛土材として用いる場合
	水平排水層	記載なし	コンクリート製の壁面材を設ける場合 山地部の沢部を埋め立てた盛土
盛土工指針	壁面背面排水層		-長大のり面を有する高盛土 -片切り片盛り -切り盛り境 -沢を埋めた盛土や傾斜地盤上の盛土
	縦排水溝		-長大のり面を有する高盛土 -片切り片盛り -切り盛り境 -沢を埋めた盛土や傾斜地盤上の盛土
	基盤排水層・排水溝		
補強土(テールアルメ)工法設計・施工マニュアル	水平排水層	盛土の背面に掘削部が発生する場合	記載なし
	縦排水溝	○	○
	基盤排水層・排水溝	のり面に湧水のおそれあるとき	細粒分が多く透水性の低い盛土材料を適用した場合
ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル	壁面背面排水層	○	記載なし
	※備考		①盛土材料が(GW)、(GP)、硬岩等、粗砂である ②基礎地盤の透水性が盛土材料より大きく、かつ地下水が基礎地盤から5m以下にある ③かつ②の場合は省略可能
	縦排水溝	地山に接して片盛りとなる補強土壁など	掘削時に切土面からの湧水が認められる場合
多数アンカー式補強土工法設計・施工マニュアル	縦断排水溝・縦排水溝	記載なし	自然斜面を切土して補強土壁を設置する場合 ○
	基盤排水層・排水溝		○
	水平排水層	必要に応じて検討	-規模が大きい -掘削分を多く含む材料やスレーキング性を有する岩材を盛土材料として用いる場合
※備考	壁面背面排水層	必要に応じて検討	コンクリート製の壁面材を設ける場合
	※備考		細粒分の多い盛土材やスレーキング性を有する盛土材を用いる場合には、水の影響が大きいため十分な地下水排水工の検討が必要。 盛土材料に砕石や岩等透水性の高い材料を使用し、盛土の排水が確保できる場合、基盤部分からの排水を行えば、地下水工の設置については省くことができる

(5) 考察

調査1,2の結果、現地で変状が確認された箇所について表3にまとめた。

表3 調査1,2まとめ

番号	場所	路線	補強土壁の変状	路面の変状	工法	排水施設
①	海南	花園美里線(長谷宮)		打換	ジオグリッド	基盤排水層
②	有田	国道424号(西ヶ峯)	壁面材の損傷	クラック	ジオテキスタイル	なし
③	有田	国道424号(瀬井)	壁面材のはらみ		多数アンカー	水平排水層 背面排水層 基盤排水層
④	有田	国道424号(瀬井)	壁面材の開き	クラック・打換	多数アンカー	水平排水層 背面排水層 基盤排水層
⑤	有田	楠本小川線(小川)		クラック	テールアルメ	水平排水層 背面排水層 基盤排水層
⑥	串本	国道371号(蔵土)		段差	テールアルメ	水平排水層 背面排水層 基盤排水層
⑦	串本	上富田すさみ線(江住)		オーバーレイ	スリットウォール	縦排水溝 基盤排水層

a) 調査1に関する考察

補強土壁自体に変状が確認された箇所は3か所と少なかったがそのうち2か所では路面にも変状が確認されており、路面の変状箇所が今後補強土壁自体にも変状をきたす可能性は否定できないと言える。

調査2と関連し、補強土壁や路面に変状が確認されている箇所について排水施設設置状況の共通点を考察したが、母数も少なく確認できなかった。

b) 調査2に関する考察

3.(3)に記載のとおり、新旧によらずマニュアルから読み取れる確実に設置しなければならない排水施設は、基盤排水層であるが、テールアルメで9件(8%)、ジオテキスタイルで50件(67%)、多数アンカーで6件(24%)と省略されている箇所が多数見受けられた。

これには西脇地区で問題視された、水平排水層のみ設置しているパターン、排水施設自体が省略されているパターンも含み、西脇地区と同じジオテキスタイルで多く確認された。

一方で、地下水位が全く観測されない場合、必ずしも排水施設を設置する必要はないと考えられる。設計時、地下水位の調査や周辺地形の特徴等から、排水施設の設置を検討している場合は問題があるとは言えない。そこで、排水施設が省略されていた箇所について詳細に調査を行う。

4. 排水施設省略箇所の詳細調査

3.の調査結果のうち排水施設が省略されていた箇所8件のうち変状も確認された西ヶ峯と水平排水層のみ設置で設計時の報告書が確認できた一例として大又について詳細に調査を行った。

(1) 有田郡有田川町西ヶ峯

設計報告書は保存期間が過ぎており確認できず、設計時の地下水の有無等排水施設を設置しないとした理由は不明であった。図面から読み取れる表面流水の処理については、上方斜面・道路面からは水路工で行う設計となっており、特段補強土壁内へ浸入を促すものとはなっていない。

図10は、和歌山県が作成している土砂災害マップ¹²⁾である。補強土壁箇所自体は土砂災害警戒区域には指定されていないが、周囲は地すべり警戒区域に囲われ、補強土壁のすぐそばには急傾斜地崩壊特別警戒区域が存在しており、地すべり地帯であると想定される。

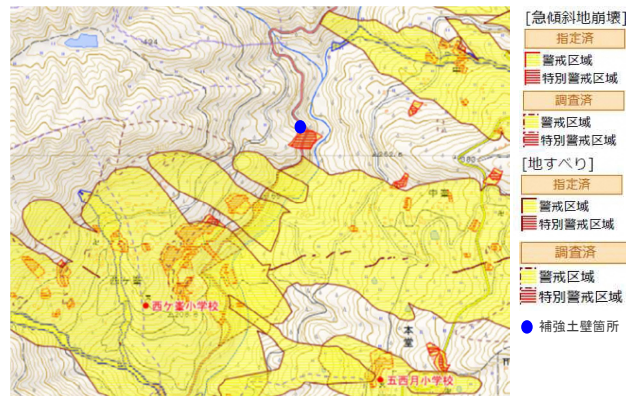


図10 土砂災害マップ(西ヶ峯)

(2) 日高郡日高川町大又

設計報告書内「設計フロー」において排水施設の検討の項目があるが報告書自体には省略されており、排水施設設置の考え方は確認できなかった。図面から読み取れる表面流水の処理については、上方斜面・道路面からは水路工で行う設計となっている。補強土壁上に路体盛土を行う設計となっており、路体盛土法面の表面流水については処理する水路がないため補強土壁内へ浸入する可能性がある。

図11の土砂災害マップ¹²⁾より、周囲に急傾斜地崩壊区域は存在するが地すべりの警戒区域等は存在していない。

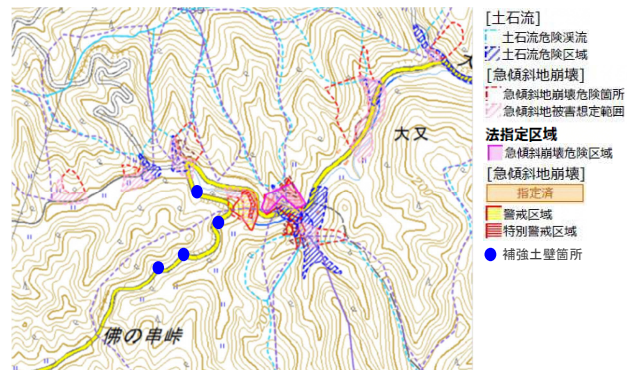


図11 土砂災害マップ(大又)

(3) 排水対策の検討

詳細調査を行った2件についてどちらも設計時に排水施設を省略した理由は確認することができず、対策が必要な箇所判断は難しいが、西ヶ峯は、周辺に土砂災害危険区域がない大又と比較して周辺全体が地すべり地形となっている。そこで検討した排水対策のフローを図12に記す。なお、検討に当たっては国立研究開発法人農研機構の堀土構造物ユニット長にご教授いただいた。

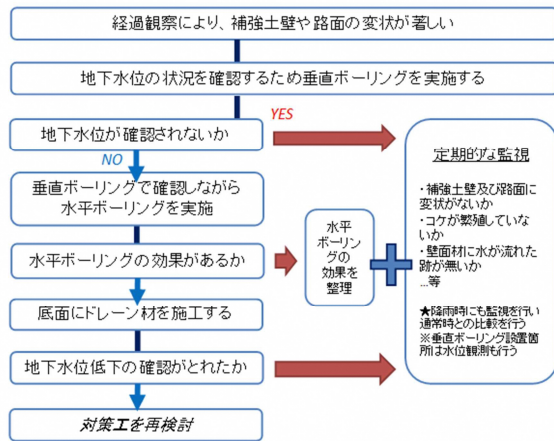


図12 排水対策工フロー

現段階で変状が生じている箇所について、経過観察をし、変状の進行具合が著しい場合は、調査ボーリングを実施する。地下水位が確認されない場合や水平ボーリングによって効果が確認できた場合は定期的な監視を行うことで対応する。水平ボーリングで効果が確認できない場合、底面にドレーン材を施工し再度効果を確認するがなお効果がなかった場合は再度対策工を検討する。定期的な監視は、降雨時のみではなく平常時でも行うことで比較が可能となりより効果的である。

その他、排水施設省略箇所及び水平排水層のみ設置箇所については、フローに記載の定期的な監視を行うこととし、変状等が確認された場合は別途排水対策を検討する。

5. まとめと今後の課題

3章及び4章より下記4点の知見が得られた。

- ①県施工の補強土壁では3件の変状が確認されたが、全体数(231件)から考えるとおおむね施工状況は良い。
- ②排水施設省略箇所や水平排水層のみ設置箇所は

15%ほど確認され特にジオテキスタイルでは40%を超える結果となった。

- ③マニュアルから読み取れる必須の基盤排水層が30%以上の箇所で省略されていた。
- ④変状が確認された箇所については、経過観察をし、変状が著しく進行すれば排水対策として地下水位の観測を行い、地下水位が観測された場合は水平ボーリングや底面にドレーン材を施工することで対応する。

今回詳細な調査を行った箇所は2件(第4章参照)だが、今後の課題として変状箇所及び排水施設省略箇所、水平排水層のみ設置箇所については、定期的な監視を行う必要がある。

また、定期的な監視についてより効果を発揮するためには、図12のフローにも記載のとおり、通常時と降雨時での比較や、監視項目の充実によってより確実に効果的な監視が可能となる。県内全域で有効な監視を定期的に行うことができれば、再度災害の防止に大きく寄与するだろう。

<参考文献>

- 1) 橋本聖、西本聡、林宏親、梶取真一「一般国道における既設補強土壁の実態調査結果」：寒地土木研究所月報 No. 70, 2012年7月
- 2) 中村洋丈、宮田喜壽、篠田昌弘、弘中淳市、竜田尚希「ジオグリッド補強土壁の降雨に伴う変状事例分析」：ジオシンセティックス論文集第28巻 p295-302, 2013.12
- 3) 一般財団法人 土木研究センター「補強土（テールアルメ）壁工法 設計・施工マニュアル」：第3回改訂版, 平成15年11月
- 4) 一般財団法人 土木研究センター「補強土（テールアルメ）壁工法 設計・施工マニュアル」：第4回改訂版, 平成26年8月
- 5) 一般財団法人 土木研究センター「多数アンカー式補強土壁工法 設計・施工マニュアル」：第3版, 平成14年10月
- 6) 一般財団法人 土木研究センター「多数アンカー式補強土壁工法 設計・施工マニュアル」：第4版, 平成26年8月
- 7) 一般財団法人 土木研究センター「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル」：改訂版, 平成12年4月
- 8) 一般財団法人 土木研究センター「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル」：第二回改訂版, 平成25年12月
- 9) 公益社団法人 日本道路協会「道路土工 擁壁工指針」：平成24年度版, 平成24年7月
- 10) 公益社団法人 日本道路協会「道路土工 擁壁工指針」：改訂版, 平成11年3月
- 11) 公益社団法人 日本道路協会「道路土工 盛土工指針」：平成22年度版, 平成22年4月
- 12) わかやま土砂災害マップ
([http://sabomap.pref.wakayama.jp/\(S\(ozfr3gnk0dv m3do0kuaxcpkx\)\)/Top.aspx](http://sabomap.pref.wakayama.jp/(S(ozfr3gnk0dv m3do0kuaxcpkx))/Top.aspx))

松岡 里奈

2019年4月1日付人事異動により現職へ異動.

異動前官職：和歌山県 県土整備部 道路局 道路建設課

本研究は従前の所属である道路建設課における所掌内容をもとに行った.