

紀の川市西脇地区斜面崩落に関する 調査検討会報告書

平成 30 年11月 2日

紀の川市西脇地区斜面崩落に関する調査検討会

本調査検討会は、平成 29 年 10 月 22 日台風第 21 号の豪雨に伴い、和歌山県紀の川市西脇地区で発生した斜面崩落について、各専門的立場から、その原因究明に向けた意見を述べるとともに、県当局が宅地・道路の復旧方針を検討するにあたり指導、助言するため、平成 29 年 10 月 30 日に和歌山県が提起した設立趣意書に基づき設立されたものである。(参照：「設立趣意書」「規約」)

調査検討会は平成 29 年 11 月 2 日に第 1 回が開催されて以来、翌年 3 月までに計 4 回開催されるとともに、調査検討会での意見を踏まえて、現地調査、試験および解析等が実施された。(参照：「調査検討会の経過」)

本報告書については、第 4 回調査検討会で「調査検討会で得られた結果が今後の教訓となるように」と委員からご意見が出されたことを受け、斜面崩落発生の原因究明に係る過程を取りまとめたものである。

したがって、本報告書は、斜面崩落および崩落に伴って発生した被害に関し、その全般を明らかにするものではない。(参照：平成 30 年 5 月 24 日 資料提供)

なお、斜面崩落に伴って発生した被害に対しては、第 3 回調査検討会における意見を受け、和歌山県知事が「県として責任がある」との判断をされ、別途県当局により補償等の手続きが進められている。(参照：平成 29 年 12 月 28 日知事記者発表)

紀の川市西脇地区斜面崩落に関する調査検討会
会 長 大 西 有 三

目 次

1. 災害および被害の概要	3
(1) 災害の概要	
(2) 斜面崩落の概要	
(3) 被害の概要	
2. 事実の認定	6
(1) 周辺の地すべり地形等分布状況	
(2) 斜面崩落の状況	
(3) 補強土壁の当初設計および施工について	
3. 調査検討会での調査・観測の結果	7
(1) 調査検討の経緯	
(2) 地元の方々からの意見聴取	
(3) 調査ボーリング結果	
(4) 観測結果（地盤伸縮計、地下水位、パイプ歪計）	
(5) 電気探査結果、表面波探査結果	
(6) 土質試験結果	
4. 解析結果	15
(1) 安定解析	
(2) 浸透流解析	
(3) 補強土壁排水工の検討	
(4) 連成解析	
5. 考察	19
(1) 排水工の配置が斜面崩落へ与えた影響	
(2) 地山強度が斜面崩落へ与えた影響	
(3) 斜面崩落発生メカニズム	
6. 再度災害防止および農地・農道の復旧について	20
7. 添付資料	21

1. 災害および被害の概要

平成 29 年 10 月 22 日、台風第 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。この斜面崩落によって、家屋 3 軒が被災し、住民 1 名の死亡が確認された。崩落した斜面の上部には供用前の広域農道が建設されており、この道路も含めて被災している。（「設立趣意書」より抜粋）

災害および斜面崩落被害の概要は以下のとおりである。

(1) 災害の概要

1) 斜面崩落発生位置情報

斜面崩落発生箇所：和歌山県紀の川市西脇地内

斜面崩落発生箇所は、和歌山県紀の川市西脇地内にあり、JR 和歌山線「名手駅」から南南西へ約 1.5km。紀の川左岸側の丘陵地に位置する。

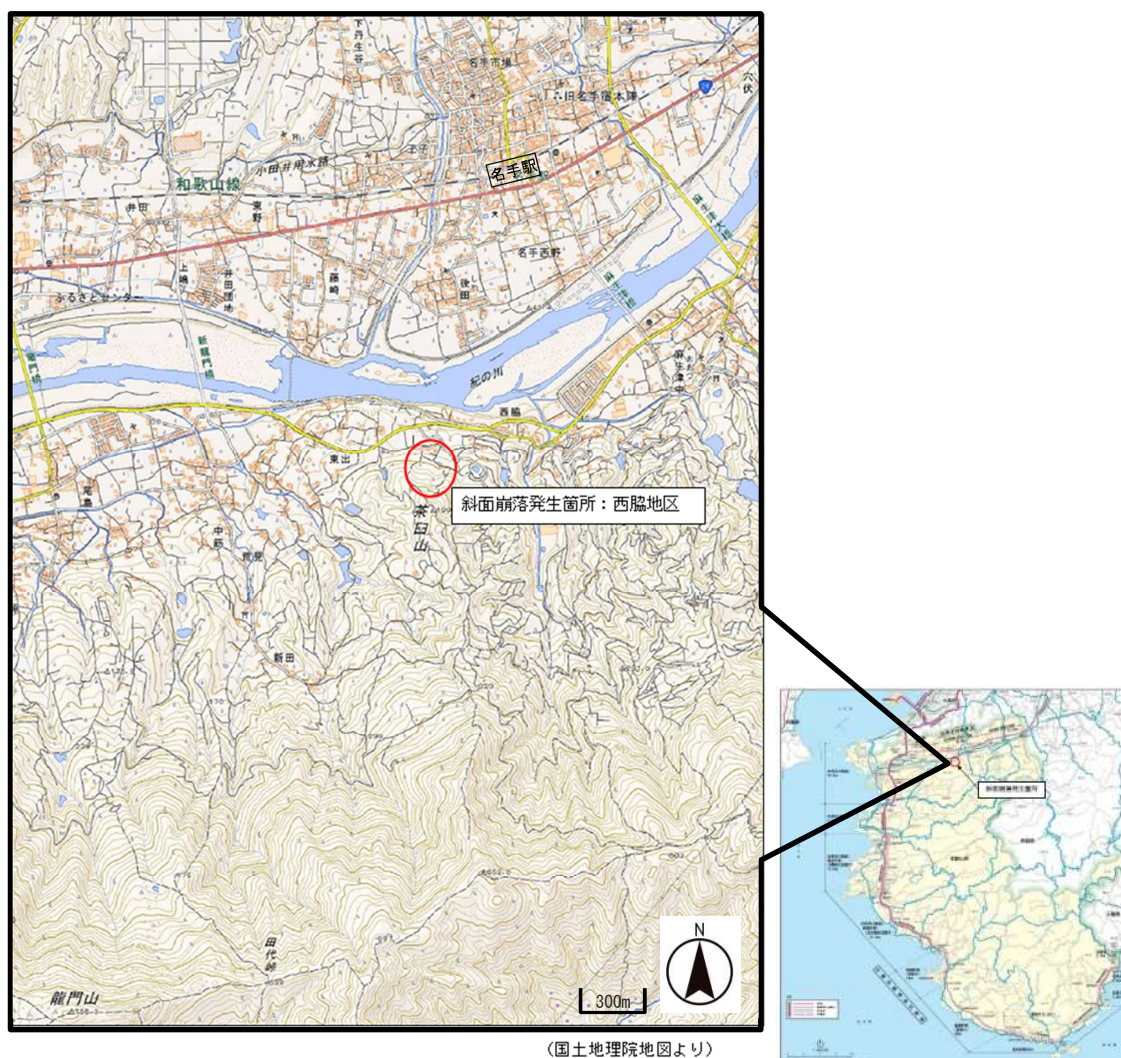


図 1.1 崩落発生箇所位置図

2) 斜面崩落時の雨量規模（資料 6）

西脇地区斜面崩落時の雨量規模を把握するために、アメダス「かつらぎ」観測所の過去 20 年の雨量データ（平成 10 年 4 月 1 日～平成 29 年 11 月 9 日）をもとに、「最大連続雨量（3 時間無降雨でリセット）」、「最大日雨量」、「最大時間雨量」を整理した。

- ・斜面崩落発生日（平成 29 年 10 月 22 日）の日降雨量 219 mm/日は観測史上第 1 位の日降雨量（統計期間昭和 54 年 1 月～平成 29 年 11 月）で、超過確率雨量 50 年規模であった。
- ・また、連続雨量は 300mm（崩落発生直前の 10 月 22 日 20 時までの連続雨量は 223.5mm）に達しており、過去 20 年間では平成 23 年の紀伊半島大水害時の連続雨量 332mm に次ぐ記録であった。

(2) 斜面崩落の概要

1) 斜面崩落発生日時

- ・斜面崩落発生日時：平成 29 年 10 月 22 日（日）20 時 30 分ごろ

2) スネークライン図（資料 7）

・紀の川市西脇地区（1km メッシュ）のスネークライン図を検討したところ、10 月 22 日 17 時には約 3 時間後に CL ラインを超えることが予想され、土砂災害警戒情報発表（17 時 40 分発表）の判断となった。その後、斜面崩落前の 20 時に CL ライン上にあり、21 時には CL ラインを超過していたことが確認される。

※スネークライン図：縦軸を短期降雨指標の 60 分間積算雨量、横軸を長期降雨指標の土壌雨量指数として、土壌中の水分量を評価し、土砂災害の起こりやすさを表示するもの

※CL ライン：土砂災害発生危険基準線

3) 斜面崩落の規模

崩落土砂の最大幅：約 80m

崩落土砂の最大長さ：約 120m

農道被災延長：約 50m

移動した土量：約 18,000m³（うち、補強土壁・盛土約 7,000m³）

※移動した土量は第 2 回調査検討会で報告されたもので、推定の根拠は以下のとおり

頭部：明瞭な滑落崖が形成された農道山側盛土と地山との境界

末端：元地形、ボーリング調査の結果、ボーリング NO.1 と NO.2 との中間で、平坦面と斜面との地形変換点付近

側部：明瞭な側方崖が形成された範囲

斜面崩落すべり面：風化した結晶片岩類と軟質で粘土分が多く褐色なレキ混じり粘性土（崩積土）との境界付近

(3) 被害の概要

- 1) 人的および物的被害（平成 29 年 10 月 27 日和歌山県発表：「台風 21 号に伴う被害状況等について（第 12 報）」より）

- ・死者 1人
- ・負傷者 1人
- ・避難指示 7世帯17人(平成29年11月1日時点で3世帯6人について解除)
- ・住家被害 全壊1棟、一部破損1棟

※物損被害については補償交渉の過程において、住宅全壊3棟、倉庫兼住宅一部破損1棟のほか、倉庫、収穫樹その他の被害が確認されている。(平成30年8月現在)



図 1.2 被災地の状況 (平成 29 年 10 月 24 日空撮)



図 1.3 崩壊箇所の状況 (平成 29 年 10 月 24 日撮影)

2. 事実の認定

(1) 周辺の地すべり地形等分布状況（資料 9）

西脇地区周辺の地すべり地形等分布図は資料 9 のとおりである。（出典：「紀の川市ハザードマップ」、国立研究開発法人防災科学技術研究所「地すべり地形分布図」）

分布図によると、斜面崩落箇所周辺には地すべり危険箇所、急傾斜地危険箇所が分布しているが、斜面崩落箇所は地すべり等の危険箇所には該当していない。さらにその上方斜面は尾根谷が入り組んだ複雑な地形を呈するが、大局的には標高約 600m の南北に連なる稜線まで連続する斜面である。また、西脇地区が位置する標高 100m 付近にはため池が点在している。

(2) 斜面崩落の状況（資料 10）

今回の斜面崩落による変状分布の状況、湧水の状況および家屋周辺の被害状況を写真で整理した。

(3) 補強土壁の当初設計および施工について（資料 5「第 3 回 調査・解析結果のまとめ」）

※補強土壁設計計算書、盛土材料土質試験結果報告書について資料添付

1) 設計（資料 11：斜面崩落発生前の地質調査資料の整理）

- ・当初設計時において、当該斜面には湧水や排水施設は認められなかった。また、地すべり性の変状は認められなかった。
- ・斜面崩落箇所は地すべり等の危険箇所ではなかった。
- ・調査ボーリングにおいては、地下水位は確認されなかった。
- ・補強土壁内部には、排水工（水平排水材）が敷設されていた。
- ・盛土工指針では「(斜面上の盛土等では、) 盛土内へ水を浸透させないよう適切な地下排水工の配置を行わなければならない」となっているが、盛土の背面および底面の排水工は計画されていなかった。

2) 工事（資料 12：道路工事資料の整理）

- ・現場は設計通りに施工されていた。
- ・施工写真から、補強土壁基礎の支持層として想定されていた軟岩層の存在を確認できる。
- ・施工時の平板載荷試験結果から、支持層は十分な支持力を保持していたことが確認できる。

（参考：資料 13,14,15）

3. 調査検討会での調査・観測の結果

(1) 調査検討の経緯

調査検討会の経緯については資料3のとおりであり、調査検討会における意見等は資料8に整理した。

(2) 地元の方々からの意見聴取

地元の方々から、当時の状況について意見を聴取した結果の概要は資料16のとおりである。

(3) 調査ボーリング結果

1) ボーリング調査位置と観測計器

斜面崩落の地質状況、地下水状況を把握するために、崩落地内外で7本のボーリング調査を実施した。さらに調査検討会にて東側補強土壁盛土部における調査の必要性が指摘され、3本のボーリング調査を追加した。

ボーリング孔にはパイプ歪計、地下水位計、地表にばらまき型傾斜計を設置した。また、地下水流動状況を把握するために、地下水検層を実施した。ボーリングコア写真、柱状図は資料17に示す。

2) 地質性状

西脇地区の地質性状、地質区分を以下に示す。この地質区分に基づき、地質縦断面図・地質横断面図を作成した。(図3.1、図3.2)

- ・今回、斜面崩落した土塊は、N値0(ハンマー自沈)～5と極めて軟質である。
- ・基盤岩は三波川帯結晶片岩類(泥質片岩・緑色片岩)が分布する。結晶片岩類(泥質片岩・緑色片岩)は、風化を被り褐色化している部分もある。
- ・基盤岩を被覆するように、軟質で褐色化したレキ混じり粘性土状の崩積土(Dt)が分布する(N値7～10)。
- ・ボーリング掘進中の地下水位は、斜面崩落土塊内で高い。
- ・現地調査(湧水)、実効雨量解析、地元情報、浸透流解析等の結果から、斜面崩落発生時の地下水位は、通常時よりも大幅に高かったと考えられる。

(4) 観測結果(地盤伸縮計、地下水位、パイプ歪計等)

1) 目的

応急ソフト対策(斜面監視)として、また、雨量、地表・地中変位、地下水位の状況を把握するために、監視・観測機器の設置及び観測を行った。

2) 方法

観測機器はすべて自動観測とし、リアルタイムでデータを収集し、観測データは関係者のみHPで閲覧可能とした。

観測を開始した地盤伸縮計、地下水位計、パイプ歪計、ばらまき型傾斜計(地盤傾斜計)について降水量と対比した変動図を作成した。資料17に降水量・地下水位・地盤伸縮計総括変動図を示す。

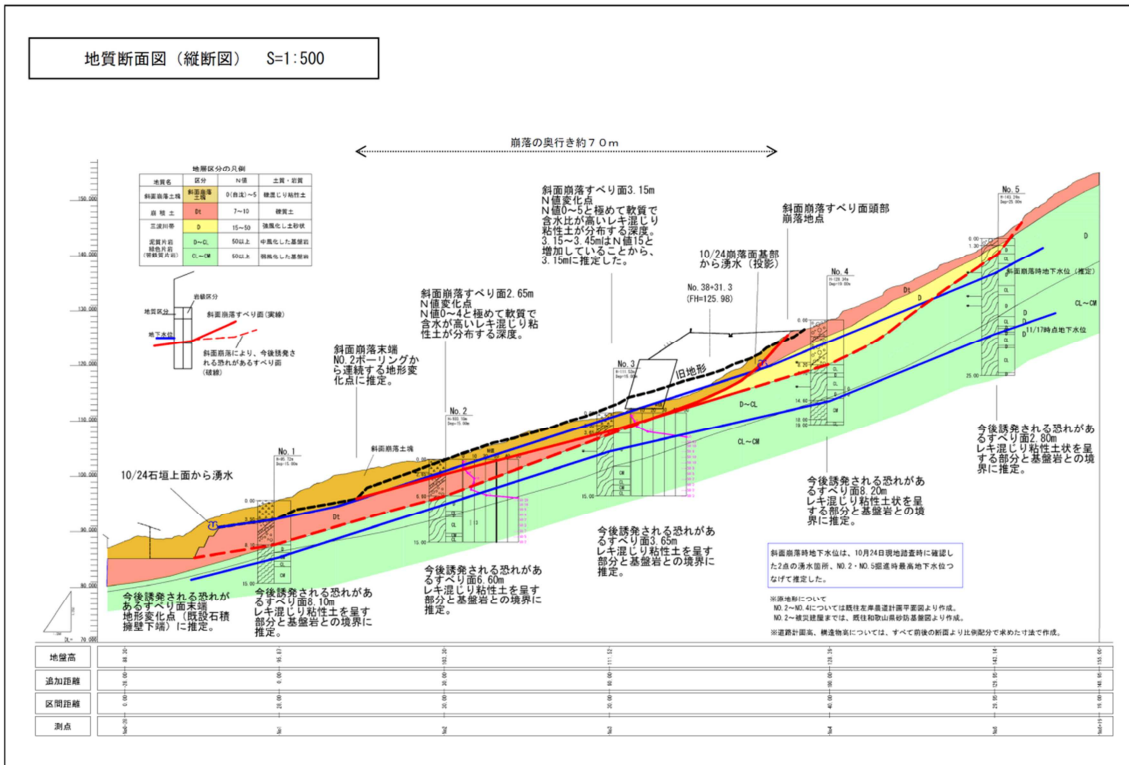


図 3.1 地質縦断面図 (崩落方向)

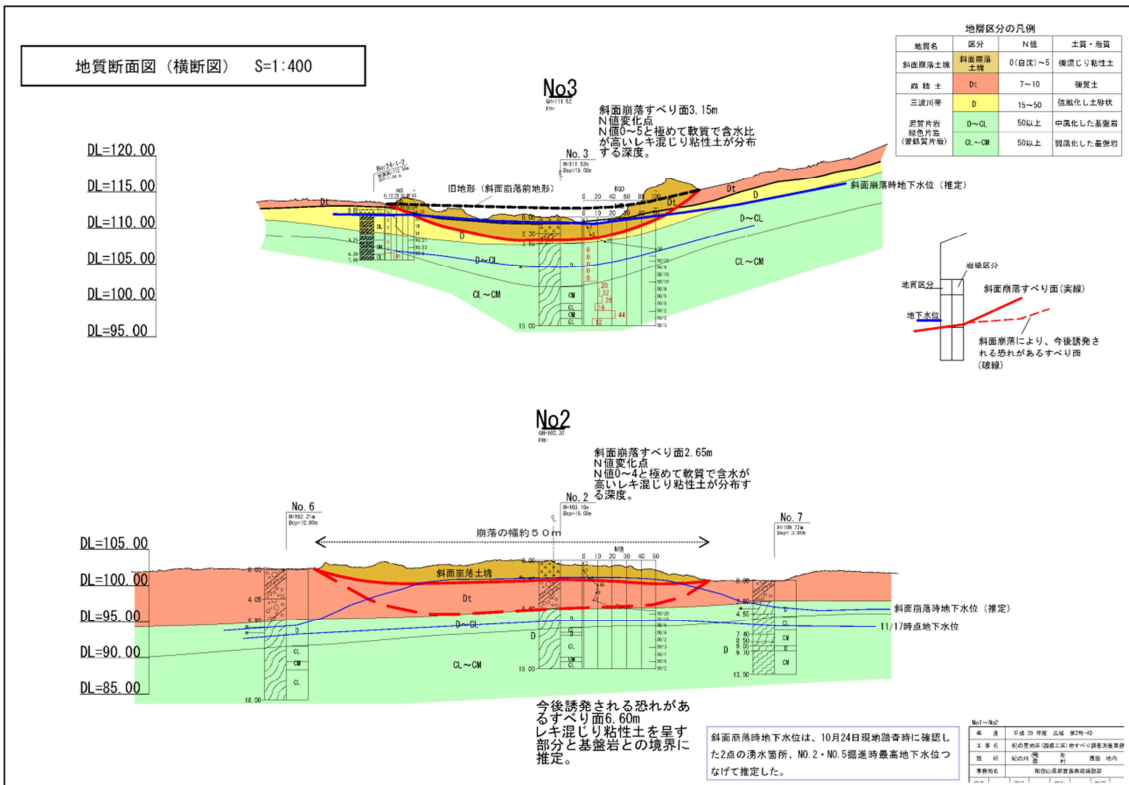


図 3.2 地質横断面図 (崩落に対し直角方向)

3) 結果

a) 雨量

表 3.1 に観測を開始した平成 29 年 11 月以降、翌年 3 月までの観測期間中の主な雨量を示す。期間中、最大 24 時間雨量 80mm を越える強い降雨は生じていない。時間雨量 20mm を越える雨量は平成 30 年 1 月 17 日に 1 回観測されたのみである。

時間雨量 20mm を越えた平成 30 年 1 月 17 日（最大時間量 21.0mm，最大 24 時間雨量 67.5mm）において、地下水位の上昇は全体的に認められるものの、地盤伸縮計、パイプひずみ計、ばらまき型傾斜計（地盤傾斜計）に変動は認められない。

表 3.1 観測期間中の雨量

降水量基準	日時	斜面変動の有無
時間雨量 20mm を越える雨量	平成 30 年 1 月 17 日 21.0mm（最大 24 時間雨量 67.5mm）。	斜面変動は認められない。
最大 24 時間雨量 80mm を越える雨量	観測期間中無し。	—

b) 地下水位

降雨による地中の水分量への影響を評価するために、実効雨量を算出し、図 3.3 に図示した。また、表 3.2 に地下水位観測結果一覧表を示す。

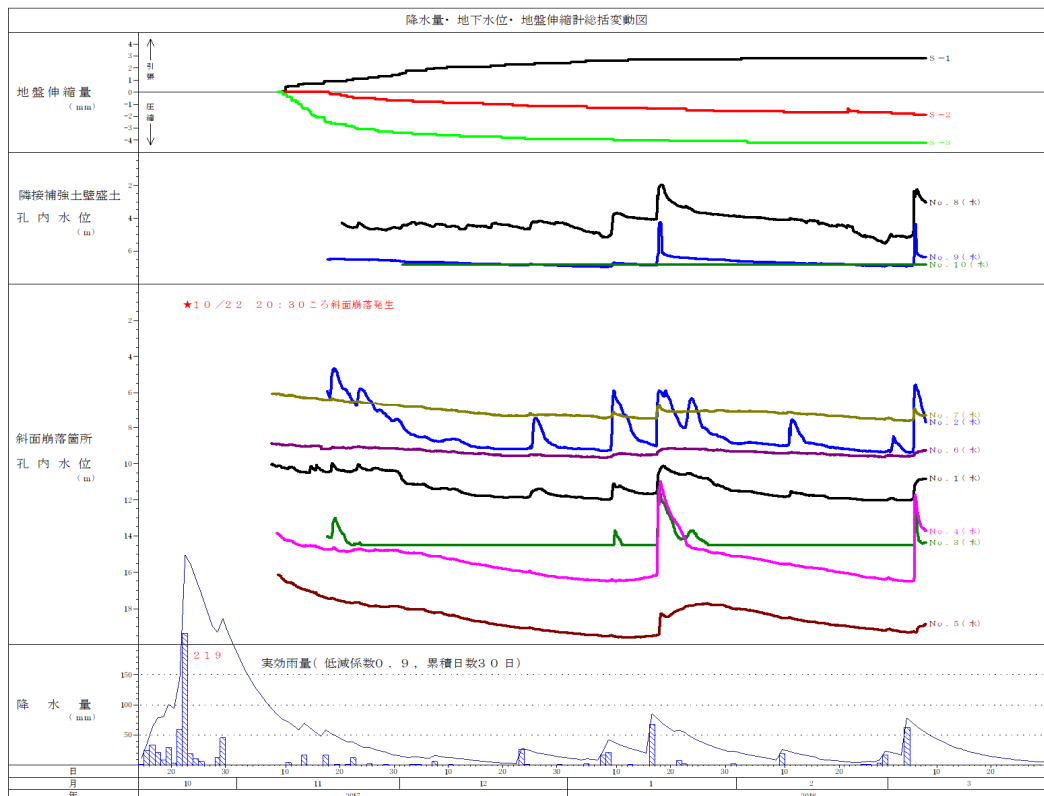


図 3.3 降水量・地下水位・地盤伸縮計総括変動図

表 3.2 地下水位観測結果一覧

観測孔	深度	位置関係	最高地下水位 GL-m	最低地下水位 GL-m	斜面崩落後の地下水変動傾向	降雨時の応答性
No. 1	15	斜面崩落下方	9.99 (2017/11/18 14:00)	12.01 (2018/ 2/27 00:00)	台風 21 号豪雨で上昇した地下水位は 1 月上旬にかけて低下。	降雨にตอบสนองして上昇。 地下水位の低下速度は緩慢。
No. 2	15	斜面崩落下方	4.69 (2017/11/19 00:00)	9.34 (2018/ 2/27 00:00)	台風 21 号豪雨で上昇した地下水位は 1 月上旬にかけて低下。 実効雨量との相関性が高い。	降雨にตอบสนองして鋭敏に上昇。 地下水低下速度は速い。
No. 3	15	斜面崩落下方	11.27 (2018/ 1/17 20:00)	14.50 (2018/ 3/ 4 00:00)	台風 21 号豪雨の影響はなし。これは斜面崩落により土塊の大部分が流出したためと考えられる。	降雨にตอบสนองして鋭敏に上昇。 地下水低下速度は速い。
No. 4	19	斜面崩落上方	10.99 (2018/ 1/18 03:00)	16.48 (2018/ 3/ 4 00:00)	台風 21 号豪雨で上昇した地下水位は 1 月上旬にかけて低下。 実効雨量との相関性が高い。	降雨にตอบสนองして鋭敏に上昇。 GL-14m 付近まで比較的速やかに低下するが、GL-14 付近以深は極端に速度が低下。
No. 5	25	斜面崩落上方	16.13 (2017/11/ 8 17:00)	19.58 (2018/ 1/12 05:00)	台風 21 号豪雨で上昇した地下水位は 1 月上旬にかけて低下。 実効雨量との相関性が高い。	降雨にตอบสนองして上昇。 地下水位の低下速度は極めて緩慢。
No. 6	18	斜面崩落側方 (範囲外)	8.87 (2017/11/ 7 11:00)	9.65 (2018/ 1/ 7 01:00)	台風 21 号豪雨の影響による地下水変動は認められない。	降雨後にわずかに上昇する程度。
No. 7	13	斜面崩落側方 (範囲外)	6.06 (2017/11/ 7 14:00)	7.60 (2018/ 3/ 4 04:00)	台風 21 号豪雨で上昇した地下水位は 12 月中旬にかけて低下。 実効雨量との相関性が高い。	降雨後にわずかに上昇する程度。
No. 8	9	隣接補強土壁盛 土下方	1.98 (2018/ 1/18 07:00)	5.36 (2018/ 2/28 23:00)	台風 21 号豪雨の影響による地下水変動は認められない。	降雨にตอบสนองして鋭敏に上昇。地下水位の 低下速度は緩やか。
No. 9	14	隣接補強土壁盛 土上方	4.26 (2018/ 1/18 00:00)	6.94 (2018/ 1/ 7 00:00)	台風 21 号豪雨の影響による地下水変動は認められない。	降雨にตอบสนองして鋭敏に上昇。 地下水低下速度は速い。
No. 10	7	隣接補強土壁盛 土部	6.80 (2018/ 3/ 7 00:00)	6.80 (2018/ 3/ 7 00:00)	地下水位なし。	地下水位なし。

斜面崩落箇所上方 No.4、No.5 は、平成 29 年台風第 21 号豪雨で上昇した地下水位が、平成 30 年 1 月上旬にかけて低下している。また、実効雨量との相関性が高い。

時間雨量 20mm を越えた平成 30 年 1 月 17 日（最大時間量 21.0mm，最大 24 時間雨量 67.5mm）は全体的に地下水位が上昇したが、No.3、No.4 の上昇が顕著である。

隣接する補強土壁盛土部において、盛土を挟んだ No.8、No.9 の地下水位は降雨に対して極めて鋭敏に上昇している。ただし、盛土内部の No.10 に、地下水位は認められない。

c) 地盤伸縮計

斜面崩落の影響で上方斜面に地すべりが発生する恐れがあることから、地形変換点に 3 基設置した。図 3.3 に総括変動図を示す。

平成 29 年 12 月上旬まで S-1 で引っ張り性の変動が、S-3 で圧縮性の変動が認められるが、徐々に収束したこと、後述するパイプひずみ計で地中変位が認められないことから、設置直後の地山とのなじみによる影響と考えられる。

時間雨量 20mm を越えた平成 30 年 1 月 17 日（最大時間量 21.0mm，最大 24 時間雨量 67.5mm）においても、地盤伸縮計に変動は認められない。

d) パイプひずみ計

観測期間（平成 29 年 11 月～平成 30 年 3 月）中、地中変動は認められない。

(資料 17,P10-12)

e) ばらまき型傾斜計 (地盤傾斜計)

観測期間 (平成 29 年 11 月～平成 30 年 3 月) 中、地表変動は認められない。

(資料 17,P12)

4) 考察

斜面崩落箇所上方 No.4、No.5 は、台風第 21 号豪雨で上昇した地下水位が、平成 30 年 1 月上旬にかけて低下している。また、実効雨量との相関性が高い。このことから斜面崩落箇所上方の地下水位は、台風第 21 号豪雨の影響で極めて高い状態にあったと考えられる。

隣接する補強土壁盛土部の地下水位は降雨に対して極めて鋭敏に上昇している。ただし、地下水位は盛土基礎部より深部に形成されているため、盛土内部に地下水位は認められない。

斜面崩落箇所の上方斜面及び下方斜面とも、現段階 (平成 30 年 3 月時点) で安定していると考えられる。

第 4 回調査検討会において、「現段階では、観測は渇水期のみであり、最大 24 時間雨量 80mm を越えるような強い降雨を経験していないことから、今後も継続的な観測が必要である。」との意見を受け、引き続き観測を行った。(平成 30 年 8 月時点で継続観測中)

(5) 電気探査結果、表面波探査結果

1) 目的

一般的な地質調査に加え、全体的な地質構造を把握するために電気比抵抗探査と高精度表面波探査を実施した。(図 3.4)

2) 方法

a) 電気比抵抗探査

- ・測線上の地下水分布を把握
- ・崩落箇所と周辺の地下水面の分布を把握

b) 高密度表面波探査

- ・測線上の S 波速度を把握
- ・崩落箇所と周辺の表層付近の緩み状況を把握

3) 電気探査結果 (縦断測線)

- ・斜面下部 (崩積土部) は地表面付近 (層厚約 5m) に低比抵抗域が分布する。
→崩積土、旧崩積土中の地下水位の分布、含水比の高さを示していると推察される
- ・低比抵抗域の下面付近に崩壊後の地下水位線が分布する。
- ・斜面上部は下部に比べて低比抵抗域が深くなる。

→No.4、5 孔の削孔時水位や現地の湧水点の標高と調和的であり、地表面に近い地下水位を示している可能性がある

4) 電気探査結果（横断測線）

- ・斜面上部では、地表面付近に高比抵抗部分が分布する。
- ・地表から深度 5m 程度の深さに低比抵抗域が斑点状に確認される。
 - 地下水は尾根付近では面的な分布ではなく、パイピングのような水道を形成している可能性がある
- ・現地で湧水が確認された箇所近傍で低い比抵抗値が確認される。
 - 水道の存在を示唆
- ・東側盛土区間の盛土の一部で低比抵抗値が確認される。
 - 含水比が高い状態を維持している可能性がある
- ・崩壊地内および東側斜面には浅部に低比抵抗域が分布する。
 - 浅層に地下水位が分布
- ・崩壊地西側に向けて、高比抵抗域が浅部に広がる。
 - ボーリング調査にて CL～CM 級岩盤が分布する

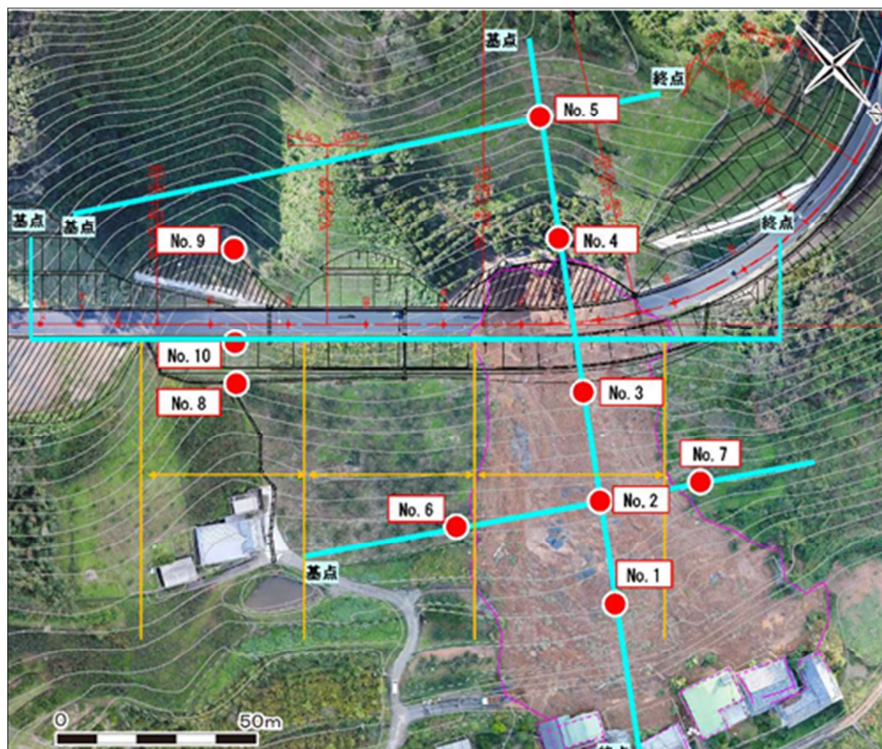


図 3.4 ボーリング・探査測線位置図

5) 表面波探査結果（電気探査結果との関連性）

- ・東側盛土区間では、盛土層内の比抵抗値が低くなっている。S 波速度は 200～300m/s 程度。
 - 盛土体としては締まっているが、高い含水比状態が維持されやすい可能

性がある

- ・切土区間では表層付近から比抵抗値が低く、S波速度は高い。

→地下水が分布せず相対的に安定した地盤と推定される

(6) 土質試験結果

1) 目的

斜面安定解析を行う上での土質定数を得るために、三軸圧縮試験（CU バー）を実施した。

平成 29 年 12 月に実施した三軸圧縮試験（CU バー）の結果、供試体によるばらつきが認められた。供試体によるせん断強度のばらつきを考慮するため、第 3 回調査検討会での意見を踏まえて、不攪乱試料採取箇所を増やして三軸圧縮試験（CU バー）を実施した。

2) 方法

a) 試料採取位置

不攪乱試料は、補強土壁基礎部に相当する強風化岩（D層）で3地点、旧崩積土（Dt層）で1地点採取した。供試体による試験結果のばらつきを考慮し、1地点当り3供試体×2試験の6試料、計24試料を採取した。

図 3.5 に不攪乱試料採取位置を示す。

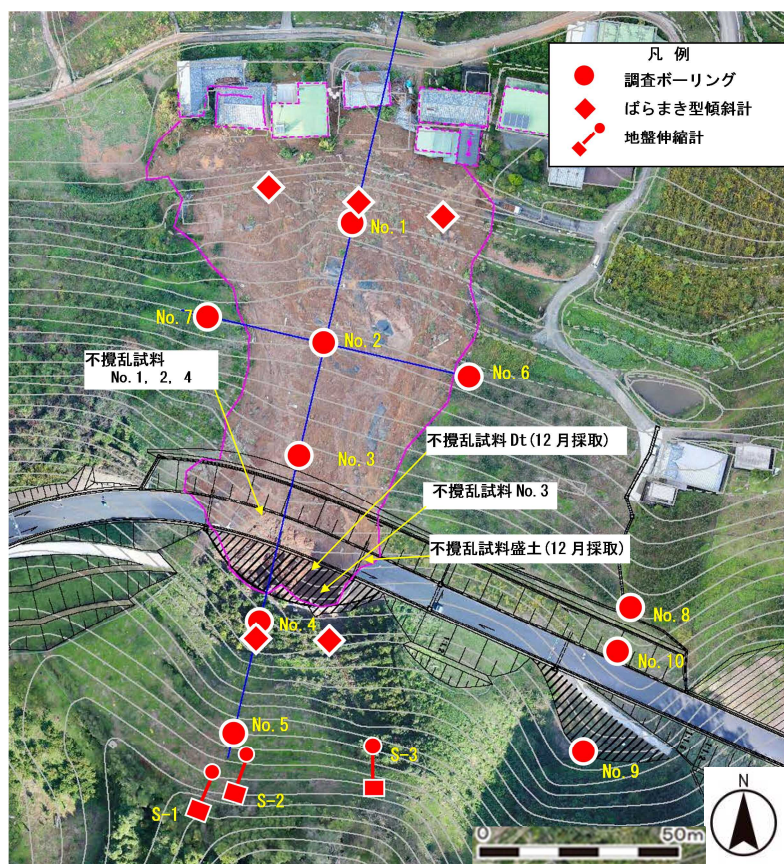


図 3.5 不攪乱試料採取位置図

b) 試験方法

斜面崩落箇所の土被り厚さを考慮し、三軸圧縮試験（CU バー）は、極力、低拘束圧で実施した。拘束圧は、最低拘束圧を 40kN/m^2 とし、 80kN/m^2 、 120kN/m^2 を基本として実施した。

3) 三軸圧縮試験（CU バー）結果

- ・強風化岩(D層)分布域には、灰白色を呈する脆弱で軟質な粘土が斜面に対し流れ盤構造で分布する（試料採取 No.1, 2）。
- ・せん断強度のばらつきは、旧崩積土（Dt層）で大きく、 $c' = 1\sim 10\text{kN/m}^2$ 、 $\phi' = 34\sim 37^\circ$ であった。特に粘着力 c' のばらつきが大きい。
- ・旧崩積土(Dt)のせん断強度は、補強土壁盛土設計時の地盤定数 ($c' = 0\text{ kN/m}^2$ 、 $\phi' = 29^\circ$: 表 3.4) を上回った。
- ・強風化岩（D層）は、せん断強度のばらつきは小さく、 $c' = 2\sim 4\text{ kN/m}^2$ 、 $\phi' = 34\sim 36^\circ$ であった。
- ・補強土壁基礎部に相当する強風化岩（D層）のせん断強度は補強土壁盛土設計時の地盤定数 ($c' = 41\text{ kN/m}^2$ 、 $\phi' = 36^\circ$: 表 3.4) に対し、 ϕ' は概ね同等であったものの、 c' は大きく下回った。
- ・補強土壁基礎部に相当する強風化岩（D層）のせん断強度は、旧崩積土（Dt）と概ね同等の強度であった。

表 3.3 三軸圧縮試験（CU バー）によるせん断強度（有効応力）

供試体名	旧地山部	NO. 3-①	NO. 3-②	—	—		
地質	Dt	Dt	Dt	Dt平均	採用値		
採取日	H29. 12月	1月23日	1月23日	—	—		
c' (kN/m ²)	9.7	1.4	2.4	4.50	4.5		
ϕ' (°)	36.9	35.1	34.2	35.40	35.4		

供試体名	NO. 1-①	NO. 1-②	NO. 2-①	NO. 2-②	NO. 4-①	NO. 4-②	—	—
地質	D	D	D	D	D	D	D平均	採用値
採取日	1月23日	1月23日	1月23日	1月23日	1月23日	1月23日	—	—
c' (kN/m ²)	3.2	2.5	3.9	3.4	2.7	2.8	3.08	3.0
ϕ' (°)	34.7	34.5	34.5	35.1	35.8	35.0	34.93	34.9

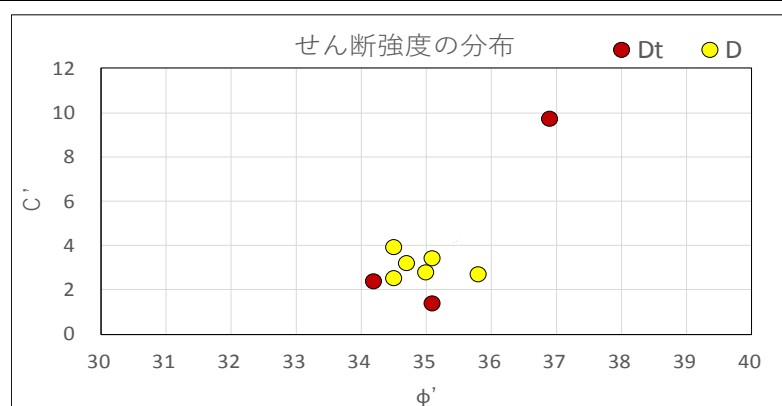


図 3.6 せん断強度の分布（有効応力）

表 3.4 補強土壁盛土当初設計における地盤定数

(3) 地盤条件

設計に用いる地盤定数は、「平成 24 年度 紀の里地区(粉河工区)地質調査その 1 業務」を基に見直しを行ない当該設計用として設定した。

表 9-6-3 設計地盤定数

地層名称	地質記号	設計 N 値	γ (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ (°)	E _o (kN/m ²)	許容支持力度 常時(kN/m ²)
崖錐性堆積物(盛土層含む)	T1	8.0	18.0	-	29	5,600	-
DL 級岩盤(DH, CL, CM 挟在)	DL	21.0	19.0	41	36	20,000	300 (密でない砂礫)
DH 級以上の岩盤	DH~	109.0	21.0	70	39	60,000	300 (軟岩・土丹)

平成 24 年度広域第 2 号-2 紀の里地区(粉河工区)道路実施設計業務, 平成 25 年 9 月, 報告書,

4) 考察(補強土壁基礎部の地質状況とせん断強度)

補強土壁基礎部掘削当時、軟質な粘土層が分布していたか確認するために、工事写真を整理した(資料 17、P15 写真 4.5~4.7)。施工当時の写真を見ると、掘削底面、掘削壁面には、褐色化した強風化岩が分布しているものの、灰白色の粘土層の分布は認められない。このことから、不攪乱資料採取時に確認した強風化岩(D層)に挟在する灰白色粘土層は、補強土壁基礎部より下位に分布していたと考えられる。補強土壁基礎部は、補強土壁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有していなかった。

せん断強度が低かった原因として、当時の地質調査、施工時には確認することができなかった、脆弱な灰白色粘土層、いわゆる弱層が強風化岩に挟在して分布していたためと考えられる。

4. 解析結果

(1) 安定解析

1) 目的

- ①地質調査結果で明らかにした複合すべりをもとに、補強土壁盛土の影響、地下水位上昇の影響を安定解析で検討する。
- ②地質調査結果で明らかにした複合すべりをもとに、補強土壁盛土前の当初地

形に対し、地下水位上昇の影響を安定解析で把握する。

- ③斜面崩落により最終的には複合すべり面形状が形成されたと考えられるが、斜面崩落発生直後のすべり面形状は不明である。そこで、すべり面を特定せず、繰り返し円弧すべり計算によって、斜面崩落現象の再現、補強土壁盛土の影響、地下水位上昇の影響を検討する。

2) 方法

方法の詳細については資料 18 のとおりである。

3) 結果

結果の詳細については資料 18 のとおりである。

a) 複合すべりによる盛土・地下水位の影響検討結果

- ・盛土段階で安全率は低下するが、1 は大きく上回っている。
- ・地下水位が盛土下面付近の段階では、安全率 1 を大きく上回っている。
- ・盛土後、地下水位が地表付近まで上昇したケースで、安全率は 1 を下回る。
- ・地表面の水たまりを想定するために設定した、「盛土天端付近で地表より 0.5m 上昇」、「盛土天端付近で地表より 1.0m 上昇」のケースでは、安全率はさらに低下するが、低下幅は小さい。

b) 複合すべりによる当初地形に対する地下水位の影響検討結果

- ・当初地形に対し、地下水位が地表まで上昇したケースを試算した結果、安全率は大きく低下するものの、安全率 1 は上回る。

c) 試行円弧すべりによる斜面崩落現象・盛土・地下水位の影響検討結果

- ・盛土後、地下水位が盛土下面付近の場合、円弧すべりの最小安全率は $F_s > 1.0$ となった。
- ・地下水位を地表面付近に想定した場合、最小安全率 $F_s = 0.72$ の円弧すべりが発生する結果となった。この円弧すべり範囲は、補強土壁のり尻ではなく下方斜面に出現している。
- ・地下水位を地表面付近までの上昇を想定したケースで、最大半径円弧すべりの安全率は、 $F_s = 0.76$ と 1 を大きく下回っている。この最大半径円弧すべりの範囲は、複合すべりの範囲と概ね一致している。
- ・複合すべりと同様に、地下水位が地表付近まで上昇したケースで、安全率 1 を大きく下回る結果が得られた。

(2) 浸透流解析

1) 目的

第3回検討会では、雨水を全て地表面に与える条件とした浸透流解析を実施している。しかしながら、実現象として雨水の全てが地山に浸透するのではなく、一部は表面流として流出する事が知られている。このため、降雨浸透条件の違いを考慮した浸透流解析を行うことで、斜面崩落に与える降雨の影響等について確認を行う事を目的とする。

2) 方法

方法の詳細については資料18のとおりである。

基本ケース：降雨100%を地山に浸透すると設定（流出係数0）

検討ケース1：地表面の流出係数を0.3として考慮

検討ケース2：地山の透水係数を設定（Dt層で最大3.6mm/h浸透）

検討ケース3：降雨浸透は考えずに斜面の上端と下端で境界条件を設定

3) 結果

- ・降雨条件として、平成29年10月14日から22日（被災日）までの時間雨量を全域に入力したところ、基本ケースでは盛土全体で圧力水頭は概ね0まで上昇している。
- ・検討ケース1では盛土地表面まで高い圧力水頭が確認され、基本ケースに比べ盛土内に若干の水頭の変化が認められるが、大きな差は認められない。
- ・検討ケース2では盛土地表面まで高い水頭が確認され、基本ケース、検討ケース1と大きな差は認められない。
- ・検討ケース3では盛土の基底面付近の圧力水頭はわずかに上昇するものの、盛土表面（地表面付近）の水頭は初期状態と変わらず低い状態が維持される結果となった。

(3) 補強土壁排水工の検討

1) 目的

農道補強土壁において、背面および底面に排水工を設置した場合の補強土内の圧力水頭の変化について検討を行うため、二次元浸透流解析を実施した。

2) 方法

方法の詳細については資料18のとおりである。

3) 結果

- ・排水層有り（透水係数 $1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ ）の場合、排水層無しの場合に比べて、盛土内の圧力水頭は若干低下する傾向にあるが、最終的には盛土地表面の圧力水頭は地表まで上昇（飽和）し、盛土内部も飽和に近い状態になる。
- ・平成29年台風第21号による降水量は非常に多かったため、排水層を設置して

いたとしても、補強土壁盛土の地下水をすべて排水することは困難であったと考えられる。

- ・排水層の透水係数を変化 (10^{-3} 、 10^{-2} 、 10^{-1}) させた浸透流解析を行ったところ、透水係数の違いによる盛土内圧力水頭分布に大きな違いは認められない。

(4) 連成解析

1) 目的

西脇地区で発生した崩落の原因究明の解析として実施した浸透流解析の結果を基に、補強土壁盛土背後斜面から地下水の浸透過程でどのような応力が作用したかを評価するため、浸透流解析と同じ降雨、浸透条件で弾性連成解析（完全連成）を行い変位や応力を求めた。

2) 方法

a) 計算条件の設定

- ①土質定数、地質毎の透水係数は浸透流解析と同様とする
- ②断面モデル、降雨条件も浸透流解析と同様とする
- ③解析方法は、弾性解析とする。

b) 検討手順

- ①連成解析プログラムにおける浸透流解析の再現
- ②浸透－変形連成解析（双方向）の実施

※本検討は、高度な解析技術と特殊なソフトウェアを用いる必要があったため、大西会長に助言を頂きながら、広島大学大学院 工学研究科 橋本助教に依頼し実施したものである。

3) 結果

連成解析の結果は間隙水圧分布図、変位ベクトル図、最大せん断ひずみ分布図により、時系列変化を表した。

- ・浸透流解析と同じ降雨、浸透条件で弾性連成解析（完全連成）を行ったところ、上部斜面地表、補強土壁盛土上面、下部斜面地表付近まで、間隙水圧 0kPa に近い領域（飽和に近い領域）が広がっている。
- ・補強土壁盛土背後斜面から地下水の浸透過程をみると、特に顕著な挙動は認められないものの、盛土より先に背後斜面の間隙水圧が上昇している。
- ・補強土壁盛土と、補強土壁盛土の下方斜面に、変位が生じている。変位が生じた範囲は、地質調査結果で明らかにした複合すべり範囲と概ね一致している。

4) 考察

- ・連成解析の結果でも、上部斜面、補強土壁盛土、下部斜面地表付近まで、間隙水圧 0kPa に近い領域（飽和に近い領域）が広がっており、地下水位は地表付近まで上昇したと考えられる。
- ・変位の発生は、盛土部の間隙水圧が上昇したためと考えられる。

- ・間隙水圧の上昇により有効応力が低下し、変位を誘発させたと解釈できる。
- ・補強土壁盛土下方斜面の変位ベクトルおよび最大せん断ひずみの分布は、崩壊に至る前兆現象を示唆している可能性がある。

5. 考察

(1) 排水工の配置が斜面崩落へ与えた影響

- ・盛土工指針では「盛土内へ水を浸透させないよう適切な地下排水工の配置を行わなければならない」となっており、地下水が観測されていなかったことから背面および底面の排水工が省略されていたことについて、斜面崩落への影響の有無を浸透流解析により検討した。
- ・補強土壁掘削面の背面および底面に標準的な排水工を設置した条件で浸透流解析を実施したところ、今回の現場では平成 29 年台風第 21 号による降雨により地下水は盛土地表部まで上昇し基礎地盤の間隙水圧が上がることを確認された。この結果に基づき、安定解析を実施したところ、安全率は 1 を下回る結果となった。このことから標準的な排水工の設置だけでは、今回の斜面崩落発生を防ぐことができなかったと考えられる。

(2) 地山強度が斜面崩落へ与えた影響

- ・追加の土質試験を実施した結果、補強土壁盛土の基盤としていた強風化岩 (D) 層のせん断強度は、設計時に想定していたせん断強度と比較して著しく低かった。追加の土質試験で得られた土質定数を用いて斜面安定解析を実施したところ、地下水位が上昇する条件下では斜面崩落が発生することを確認できた。
- ・盛土背後から流れ込む地下水により作用する力の影響を検討するため、水圧や浸透力を考慮した有効応力解析である水-土(浸透-応力)連成解析を実施し、盛土を含む斜面の変位や歪みの傾向を把握した。
- ・その結果、補強土壁盛土とその下方斜面に変位が生じており、せん断ひずみが増加した範囲は、地質調査結果による複合すべり面と概ね一致していると判断された。
- ・このことから、盛土部の間隙水圧が上昇し変位を発生させたと考えられ、斜面内でも間隙水圧の上昇により有効応力が低下し、大きな変位を誘発させたと解釈できる。

(3) 斜面崩落発生のメカニズム

今回の斜面崩落は、地形、地質による素因に加え、農道盛土が上載荷重として作用し斜面バランスを低下させたことや、平成 29 年台風第 21 号の記録的な豪雨による大幅な地下水位上昇が誘因となり、補強土壁盛土の基盤としていた強風化岩層の潜在的な弱層をすべり面として、すべり破壊が生じたと考えられる。

6. 再度災害防止および農地・農道の復旧について

(1) 応急対策

1) 第1回調査検討会での意見

- ・二次災害防止に向けた監視として、雨量観測、パイプ歪計、バラマキ型傾斜計観測、地盤伸縮計などにより多角的にリアルタイムで計測することが提案された。
- ・雨天時には避難する。
- ・崩落の上方斜面の挙動もバラマキ型傾斜計で計測する方がよい。
- ・地下水を排除することが重要。
- ・調査と同時に応急復旧を進め、次の出水期までに整備すべき。

2) 第2回調査検討会での意見

- ・雨期に備えた応急対策として、斜面崩落箇所上方で抑制工（横ボーリング工）を先行して実施した方がよい。
- ・東側補強土壁の排水性等をチェックし、排水が十分でない場合は横ボーリング工などで排水対策を検討した方がよい。

3) 応急対策工の進捗

調査検討会の意見を受けて以下の応急対策工を実施した。

- ・斜面崩落土砂撤去工
- ・地下水排除工（横ボーリング工）

(2) 本復旧に向けた対策

- ・農地の復旧については、地下水位上昇が崩落発生の誘因となっているため、崩落土砂の排除を行うとともに、地下水対策が必要である。
- ・農道の復旧については、斜面崩落が上記メカニズムにより発生していると考えられることから、被災前の補強土壁をはじめ基礎地盤に大きな負荷となる工法を避けるとともに周辺地域における地下水や降雨の排水路系統についても十分に検討の上、復旧工法を選定する必要がある。なお、工法選定にあたり県当局は、基礎地盤への負荷を軽減できる工法から施工性や経済性等を考慮し、地域住民の意見も踏まえ選定する必要があると考える。

(3) 当面の監視体制の継続

現在（第4回調査検討会時）、崩壊発生後の斜面は安定していると考えられるが、被災後の観測期間では災害を誘発する程の雨量が観測されていないことから、今後の多雨期に向け、現状の監視体制を継続すべきと考える。

7. 添付資料

- (1) 設立趣意書
- (2) 紀の川市西脇地区斜面崩落に関する調査検討会 規約
- (3) 調査検討会の経過
- (4) 平成 30 年 5 月 24 日 資料提供
- (5) 平成 29 年 12 月 28 日 知事記者発表
- (6) 斜面崩落時の雨量規模
- (7) スネークライン図
- (8) 意見と対応状況
 - 1) 第 1 回調査検討会における意見と対応状況の整理
 - 2) 第 2 回調査検討会における意見と対応状況の整理
 - 3) 第 3 回調査検討会における意見と対応状況の整理
- (9) 西脇地区周辺の地すべり地形等分布調査結果
- (10) 斜面崩落の状況
 - 1) 今回の斜面崩落による変状分布の状況
 - 2) 湧水の状況
 - 3) 家屋周辺の被害状況
- (11) 斜面崩落発生前の地質調査資料の整理
- (12) 道路工事資料の整理
- (13) 補強土壁設計計算書
- (14) 盛土材料土質試験結果報告書
- (15) 平板載荷試験結果報告書
- (16) 地元からの聞き取り
- (17) 調査・観測結果データ集
 - 1) 調査位置図
 - 2) 調査結果断面図
 - 3) 観測結果（雨量、地下水位、地盤伸縮計、パイプひずみ計、ばらまき型傾斜計）
 - 4) 土質試験結果
 - 5) コア写真・柱状図
- (18) 解析資料
 - 1) 安定解析
 - 2) 浸透流解析
 - 3) 補強土壁排水工の検討
 - 4) 連成解析
 - 5) 斜面崩落の原因について