

集中豪雨による道路盛土崩壊の復旧に関する設計事例

○金城 博之¹ ・ ○新垣 政弥¹

¹(株)沖縄建設技研（沖縄県浦添市字前田 1 1 2 4 番地）

キーワード：道路盛土、間隙水圧、補強盛土、ジオテキスタイル、レベル 2 地震動

1. はじめに

集中豪雨やゲリラ豪雨等の災害で崩壊した構造物は、原形復旧を基本とする。しかし、竣工後 30 年以上が経過すると、当時の指針類が改訂され、新たな検討を求められることがある。

ここでは、集中豪雨で崩壊した道路盛土を原形復旧するために、新たにレベル 2 地震動の作用を加味した設計事例を報告する。

2. 被災時の気象概況および被災状況

2. 1 被災時の気象概況

寒冷前線に伴う低気圧（平成 28 年 4 月）が、図. 1 に示すように現地に激しい雨をもたらした。

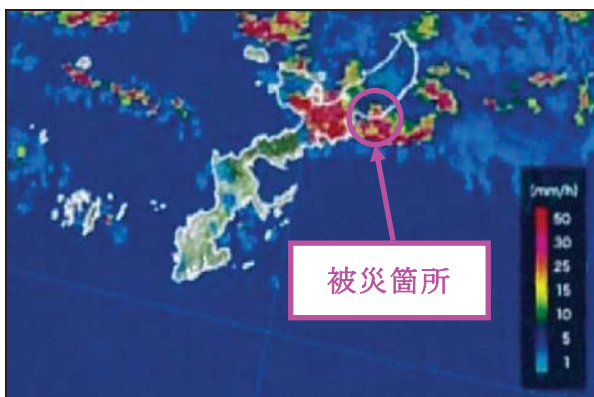


図. 1 気象庁レーダー雨量の画像

（一財）日本気象協会より発表された被災箇所近傍の降雨量観測結果は、図. 2 に示すように、最大 24 時間降雨量が 63.0mm、日最大 1 時間降雨量が 40.5mm であった。

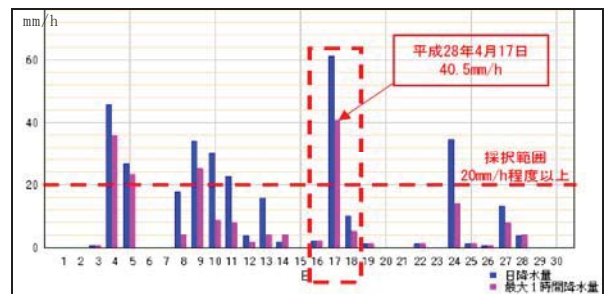


図. 2 平成 28 年 4 月の日毎降雨量を示したグラフ
これは、災害の採択範囲における時間雨量 20mm 程度以上を上回るものであった。

2. 2 被災状況

崩壊した盛土のり面の竣工時期は、1978 年頃で、約 38 年が経過しており、竣工図等は無かった。現地踏査より、被災前の盛土のり面は、写真. 1 に示すように、勾配が 1 : 1.5 で 3~4 段の高盛土を呈していた。

被災状況は、車道路肩端部から横断方向に約 50m、のり面全高さが約 27m、最大崩壊厚が約 8m の規模で崩壊していた。

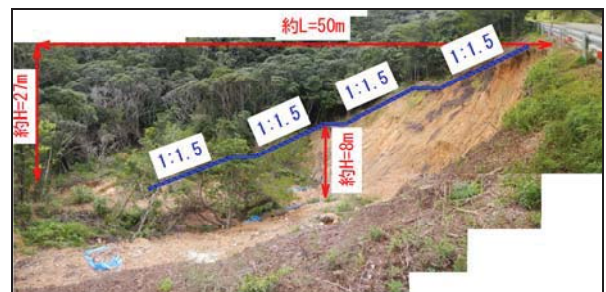


写真. 1 被災状況を示した横断方向の写真

また、図. 3 に示すように影響範囲を含む被災延長は、65m であった。

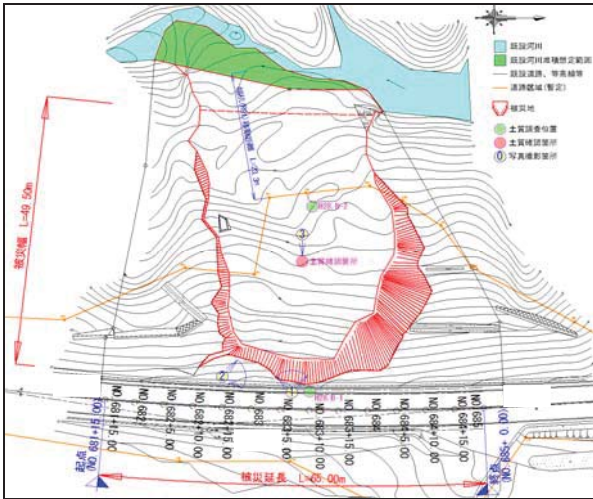


図. 3 被災箇所を示した平面図

ボーリング調査の結果より、崩壊した箇所は、盛土部であった。なお、崩壊した土砂は、室内試験結果より砂、砂礫、粘性土、シルト等が混合した良質土と確認できたことから、復旧に際して盛土材として流用することとした。

3. 被災の究明

被災に至るまでの経緯を順序立てると、以下のとおりとなる。

- ①被災日前日までの12日間の継続降雨で、盛土層は地下水が高い状態にあった。
- ②被災日当日の激しい降雨により、盛土層の地下水位が上昇し、かつ飽和状態となった結果、間隙水圧が上昇した。
- ③最終的に、図. 4に示すように、盛土部内での崩壊が発生した。

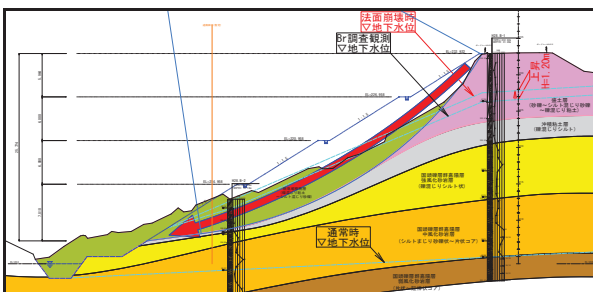


図. 4 被災後を示した断面図

盛土部内の崩壊を定量的に評価するために、修正フェレニウス法による安定解析を実施した。地下水位は、調査で観測された

位置から上昇させ、崩壊時の現況安全率が $F=1.0$ 未満となる位置を求めた。その結果、図. 5に示すように、調査で観測された水位から約1.2m上昇すると $F=0.999$ となる。この位置は、崩壊後の表面とほぼ一致するため、崩壊時の状況を再現できた。

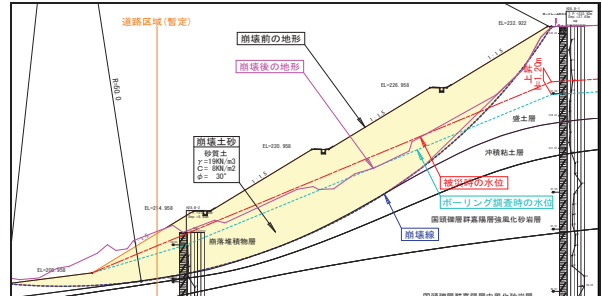


図. 5 盛土のり面の崩壊時を再現した断面図

以上より、素因は、被災地が竣工から約38年経過した高低差約27mの高盛土区間で、現行の基準より急な盛土勾配 ($i=1:1.5$) を有し、そこに12日間の継続降雨があった。

誘因は、日最大1時間降雨量40.5mmによる盛土内の間隙水圧の上昇とした。

4. 復旧に向けての問題点

4. 1 安定勾配の確保

原形復旧とした場合、既設の盛土のり面は、図. 6に示すように、最大4段の盛土で、その前面勾配が $i=1:1.5$ となる。

盛土工指針等では、盛土高が約10mまでの勾配は $1:1.8 \sim 1:2.0$ である。しかし、被災箇所の盛土高は約27mで、同指針等に示される盛土高をはるかに超え、かつ勾配を同指針等よりも急な $1:1.5$ での復旧が求められ、勾配の安定性確保が問題点となった。

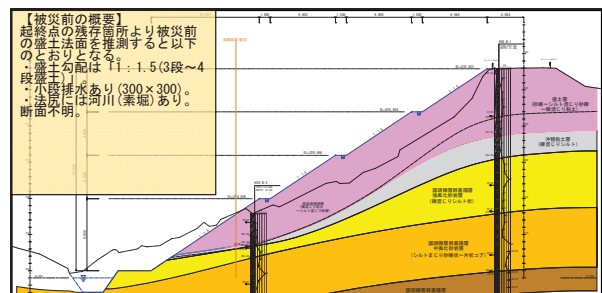


図. 6 既設の盛土のり面を再現した断面図

4. 2 耐震設計(レベル2地震動)

盛土の要求性能は、「重要度1」を基本とすることが沖縄県土木工事設計要領で定められている。「重要度1」とは、万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合や隣接する施設に重大な影響を与える場合を考慮するものである。

その性能は、表. 1より「性能2：想定する作用による損傷が限定的なものにとどまり、盛土としての機能の回復がすみやかにい行い得る性能」となる。

表. 1 盛土の要求性能を示した表

想定する作用		重要度	重要度 1
		常時の作用	
降雨の作用		性能 1	性能 1
地震動の作用	レベル 1 地震動	性能 1	性能 1
	レベル 2 地震動	性能 2	性能 2

被災箇所の道路は、付近に迂回路が無く災害時等の緊急輸送道路として位置付けられていることを考慮すると、耐震設計上において、「レベル2地震動」への対応が求められた。

5. 対策

5. 1 安定勾配を確保するための対策

盛土工指針等の現行の基準を参考にする、安定性を確保するための勾配は、1:1.8より緩い勾配を用いることが一般的となっている。そのため、後に示す補強盛土によりり面勾配を1:1.5として安定性を確保した案と、無補強で盛土り面勾配を1:1.8とした案による経済性を比較した。

その結果、表. 2に示すように、1:1.5を用いた案が安価となる。これは、1:1.8の案では盛土材の不足が生じる。被災箇所は僻地のため、不足分の土を購入又は同等の土を搬入するだけでも高コストとなった。

表. 2 経済性による比較を示した表

案	対策工法および盛土勾配の概要	概算工事費(本工事費) (円/m)	採用
第1案	補強盛土により1:1.5を用いた案	2,223,000	◎
第2案	無補強により1:1.8を用いた案	3,384,000	

さらに、盛土り面勾配を1:1.8とすると、図. 7に示すように、のり面前面の河川を一部閉塞してしまうことが懸念された。

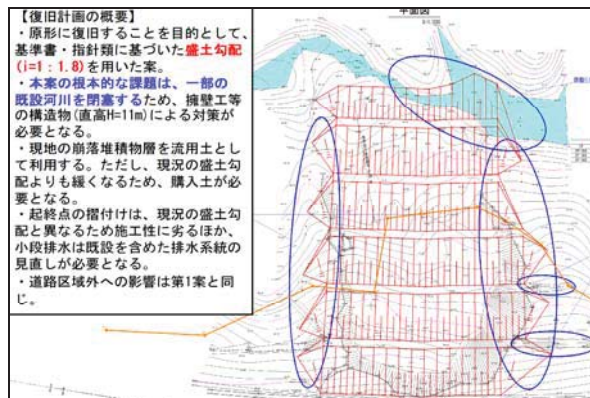


図. 7 盛土り面勾配1:1.8の復旧計画図

以上より、のり面の安定勾配はジオテキスタイルを用いた補強盛土により1:1.5の安定勾配を確保し、現地の崩落堆積物層を流用することで、土量バランスに配慮した。

5. 2 耐震設計(レベル2地震動)の対応

先に述べた採用案の安定性を評価するために、修正フェレニウス法による安定解析を行った。安定解析に必要な土質定数は、土質調査および土質試験の結果より、表. 3に示すとおりとした。また、地震時の設計水平震度は「kh=0.14」、耐震設計上の地盤種別は「II種地盤」とした。

表. 3 土質定数一覧表

層番号	土質名	単位 体積 重量	内 部 摩擦角	粘着力	備 考
		γ (kN/m ³)	ϕ (度)	c (kN/m ²)	
1	砂質土	19	30	8	ϕ -C: 三軸CD試験より
2	礫質土	20	35	0	マニュアルより
3	盛 土	19	30	0	土質報告書より
4	沖積粘土 (微細リシルト)	18	0	31	#
5	沖積粘土 (微細リシルト)	18	0	31	#
6	沖積粘土 (微細リシルト)	18	0	115	#
7	中風化砂岩 (シルト混り砂)	19	33	0	#

マニユアル：(ジオテキスタイルを用いた補強盛土の設計・施工マニユアル H25.12 P85-P86)

崩壊した土砂を盛土材として流用した、無補強の状態安定解析を実施した結果、

図. 8 に示すように常時の安全率は、 $F_s=1.297$ となり、計画安全率 ($F_s=1.2$) を上回る。しかし、レベル 2 地震動に対する安全率は、 $F_s=0.974$ となり、計画安全率 ($F_s=1.0$) を下回る結果となった。

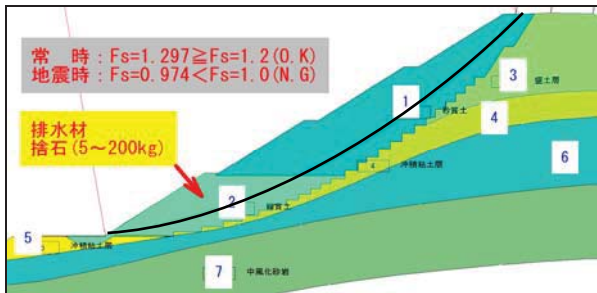


図. 8 安定解析に用いたモデル図(補強無し)

そこで、レベル 2 地震動の安全率を満足する対策として、図. 9 に示す構造選定フローより、補強盛土を用いるものとした。

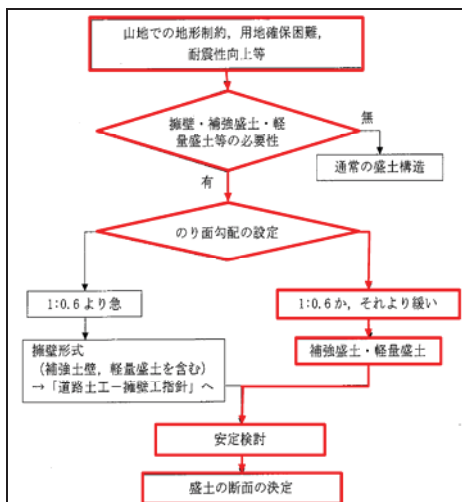


図. 9 急勾配のための構造選定フロー

フローでは、補強盛土以外の工法として、軽量盛土が選択可能であった。しかし、軽量盛土は現地の崩壊した土砂の排土と工法自体の高コスト化が懸念されるため、崩壊した土砂が流用可能な補強盛土を採用することで施工性および経済性に配慮した。

補強盛土は、沖縄県内で一般に流通し、資材が入手し易い「ジオテキスタイル工」を採用した。その工法は、図. 10 に示すように、盛土内に一定の間隔で補強材を敷設し、補強材と補強材の間には、のり面表面の浸食対策を目的としたのり面強化材を

0.3m 程度の間隔で敷設しながら盛土を構築する工法である。

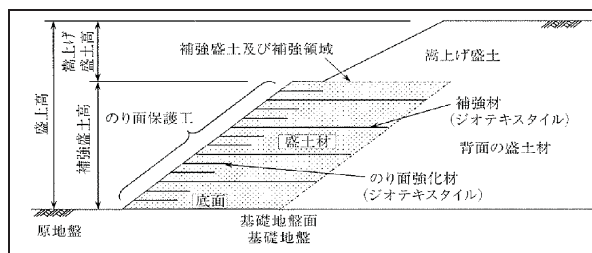


図. 10 ジオテキスタイル工の構造を示した図

補強盛土による安定解析を実施した結果、図. 11 に示すように常時の安全率は、 $F_s=1.392$ 、レベル 2 地震動に対する安全率は、 $F_s=1.051$ となり、計画安全率を上回る結果を得た。

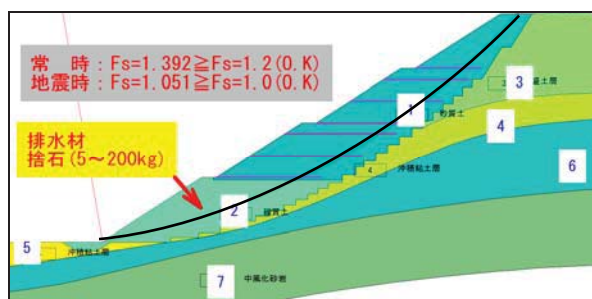


図. 11 安定解析に用いたモデル図(補強有り)

以上のように、ジオテキスタイル工を用いた復旧を行うことにより、レベル 2 地震動に耐え得る構造とすることができた。

さらに、のり面下端に排水材を設置し、間隙水圧の上昇を抑える対策とした。

6. おわりに

土質調査や試験結果に基づく定量的な評価により、被災原因が間隙水圧の上昇であったことを究明した。対策工は、盛土勾配を現況の 1:1.5 とし、補強材を設置することで耐震性能を向上させ、排水材を設置することで間隙水圧を抑えることができた。

参考文献

- 1) 道路土工 盛土工指針(平成 22 年 4 月)
- 2) 平成 28 年 災害手帳(2016 年 6 月)
- 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(平成 25 年 12 月)