

善徳地区における 地震時地すべり挙動解析の検討

山崎 久美子

四国地方整備局 四国山地砂防事務所 調査課 (〒779-4806 徳島県三好市井川町西井川68-1)

善徳地区地すべりは日本でも最大級の破碎帯地すべり地である。本検討では、善徳地区内の地すべりブロックを対象に地震時の地すべり挙動を評価する解析を行い、地震時の地すべり斜面安定度の評価を実施した。

キーワード 地すべり、地震時挙動解析

1. はじめに

善徳地区は、徳島県三好市西祖谷山村を流れる祖谷川中流部の両岸に位置し、善徳、今久保の2地区にまたがる日本でも最大級の破碎帯地すべり地である(図-1)。周囲は急峻な地形を呈した中山間地域であるが、地区内には地すべり活動の結果により形成された緩斜面が点在し、集落、畑地や林地として利用されている。また、当該地域は、「祖谷のかずら橋」を中心とした観光地となっており、旅館や民宿、人家などが平坦地に軒を連ねている。昭和57年度より直轄地すべり対策事業を実施しており、地すべり対策工事の進捗により、近年では大きな地すべり災害は発生していないが、年間10 mm程度の変動が観測されている箇所もある。



図-1 善徳地区全景

平成16年新潟県中越地震や平成20年岩手・宮城内陸地震において大規模地すべりが発生し、地震時に発生する地すべり現象が注目されている。四国においても南海トラフ巨大地震の30年以内の発生確率は70%程度と高く、大規模地震が地すべりに対しどのような影響を与えるか検討し、発災時の人的被害の軽減を図る必要がある。

本稿では、地すべり災害の危険性が高いブロックを対象に地震時の地すべり挙動解析を行い、地すべり斜面安定度の評価を行った。本稿では、現在も変動量が大きく、対策工が必要なZ2ブロックを対象とした結果を報告する。

2. 検討対象地震

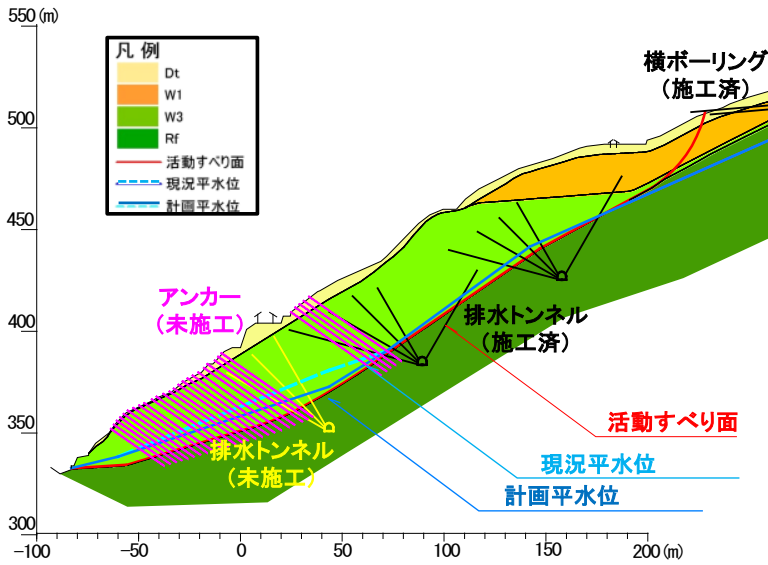
地震応答解析では地震波形の数値データが必要であるため、善徳地区にて想定しうる最も規模の大きい地震動である中央防災会議「南海トラフ巨大地震検討会」で公表された地震動(陸域ケース)を対象とした。

当該地区では、平成25年度に対象地震を想定した善徳地すべり地内のどのブロックにどのような力が作用するかを把握するために、3次元的地形効果を考慮した3次元動的弾塑性有限要素法(FEM解析)を実施し、地表面の想定地震波形を設定した。この結果から、2次元解析モデルに適用する基盤入力地震波を設定した。

3. 地震時斜面安定解析モデル

地すべりブロック内では、物性値の異なる各層で地震動伝搬特性が異なるため、地すべりブロック内を多数の

A) 横断面図



B) 平面図

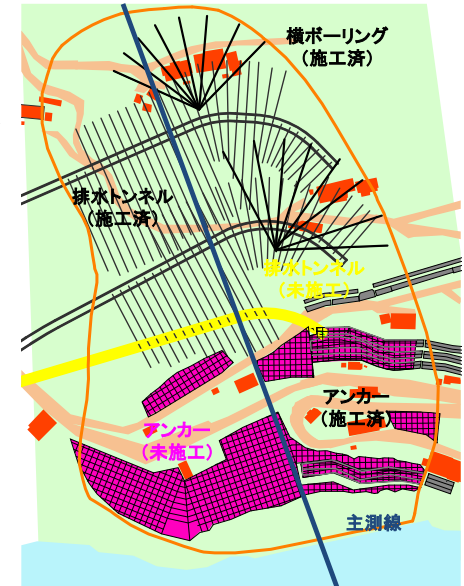


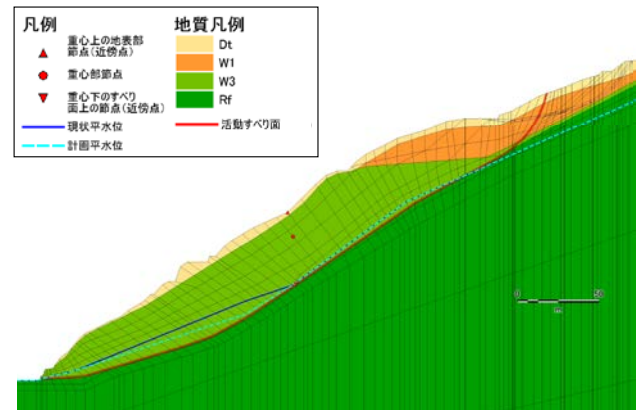
図-2 Z2 に設定した現況平水位と計画平水位および対策工配置図

要素に区分して評価する必要がある。さらに、地震時に生じる強度低下を表現するために、繰返し載荷時のひずみ軟化特性を考慮する必要がある。そこで、本解析では地すべりが地震による慣性力を受けて不安定化するかどうかを検討する解析方法として、すべり面の強度低下を再現できる FEM 解析モデルのひとつである UW 軟化モデルを用いた。

解析における地下水位条件は、今後実施される地下水排除工の効果を評価するため、「現況平水位」と「計画平水位」の 2 種類の条件を設定した (図-2)。「平水位」とは「一年の内 185 日はこれを下回らない水位」とし、観測された一年間のデータを用いて現況平水位を設定した。計画平水位は、残事業の実施による水位低下を排水トンネル工 -8m^{D} と仮定して設定した。

安定解析では解析対象ブロックの断面図を用いて現況条件およびアンカーを考慮した2次元動的安定解析を行った (図-3) 。①現況対策 (現況平水位) , ②計画地下水排除工済み (計画平水位) , ③計画対策済み (計画平水位+アンカー工) の条件で検討した。検討で用いた物性値及び残留強度については、既往の調査結果及び文献からの一般値を設定している。計画アンカー工は、弾性体として評価し、本解析では 3-5段を一つの集団としてモデル化した。なお、解析モデルの妥当性については、2011年1月16日の実地震を再現した波形を作成し、この時の地表面の残留平水変位と実際の変位量とを比較することで検証している。以上の結果を踏まえ、解析で用いる解析ケースを設定した (表-1) 。

A) 現況条件の2次元動的安定解析の結果



B) アンカーを考慮した2次元動的安定解析の結果

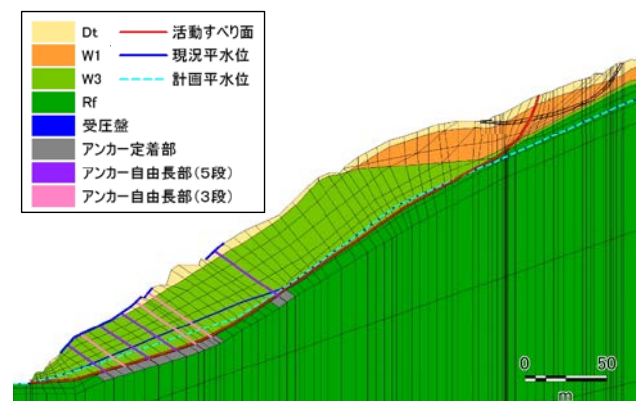


図-3 Z2 ブロックの地震時安定解析モデル

表-1 地震時安定解析に用いた解析ケース

断面	Z2ブロック
項目	
想定すべり面	活動すべり面
すべり面強度	・活動すべり面 ピーク強度 $C = 30 \text{ kN/m}^2$ $\phi = 35^\circ$ 残留強度 $C = 2.5 \text{ kN/m}^2$ $\phi = 26.2^\circ$
地下水位	ケース①現況の平水位 ケース②地下水低減工後の計画平水位 ケース③地下水低減工後の計画平水位 と計画アンカー

4. 地震時安定解析

解析結果図-4より、現況対策および計画地下水排除工済みでは地震動入力とともに徐々に変位量が増大していき、加速度振幅が増す86秒過ぎから変位量も大きくなった。最大値はそれぞれ現況対策で1.29 m、計画地下水排除工済みで1.08 mの値を示した。一方で、計画対策済みも同様に地震動入力とともに徐々に変位量が増大していき、加速度振幅が増す86秒過ぎから変位量も大きくなったものの、100秒付近で最大変位が発生し、最大値は地表部で0.48 mの値を示した。

地震時におけるアンカーに作用する緊張力を図-5に示す。アンカー頭部とアンカー定着部頭部間の変位量よりアンカーに作用する緊張力を求めた。地震時に作用する地震慣性力は、現在の想定されている規格のアンカーの降伏荷重を超えるが、引張荷重を超えないことより、南海トラフ巨大地震が発生してもアンカーが破断に至る可能性は低い。

5. 地震時の地すべり斜面安定度評価

本解析では有限要素法を用いているため、地すべりブロックの安定性の判断する指標として一般的な「安全率」での評価ができない。そこで、地震時の地すべり斜面安定度の評価指標として「限界移動量」を用いた。限界移動量とは、地表面がある限界を超えると崩壊を生じる森脇が提案した限界の移動量で、崩壊斜面長が大きい地すべりほど限界移動量は大きくなる傾向がある²⁾。これは、限界移動量を上回る移動があった場合にその地すべりブロックの土塊が破局的に滑落することを示す。しかしながら、森脇の移動量は、豪雨による地すべりの限界移動量を整理したものであるため、地震時地すべりの事例を考慮していない。本解析では、森脇の限界移動量を参考に、由比（中部地方整備局富士砂防事務所）や亀の瀬（近畿地方整備局大和川河川事務所）で用いられた、降雨滑落事例の下限値を適用し、安全側を考慮した限界

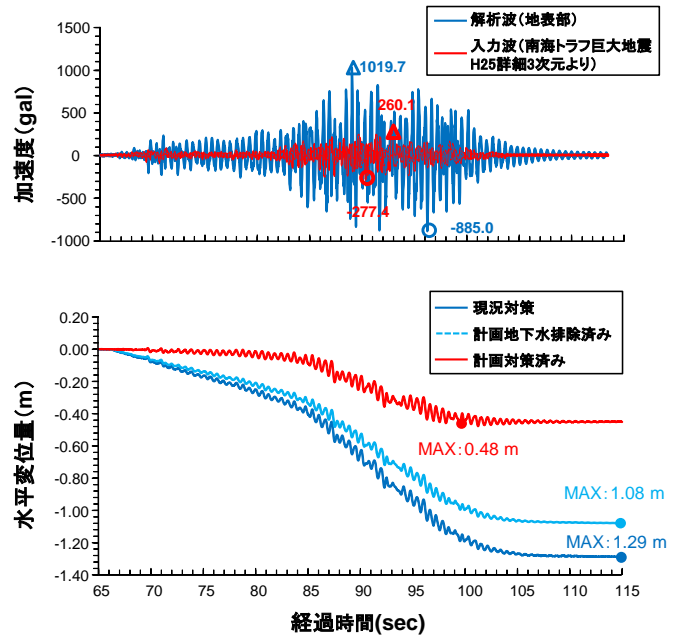


図-4 主側線上の水平変位量の時刻歴

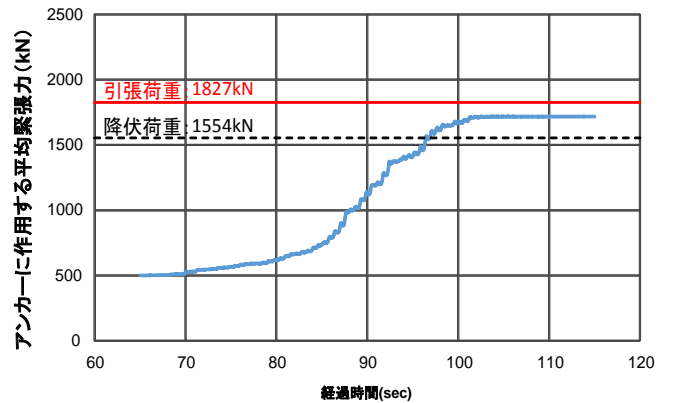
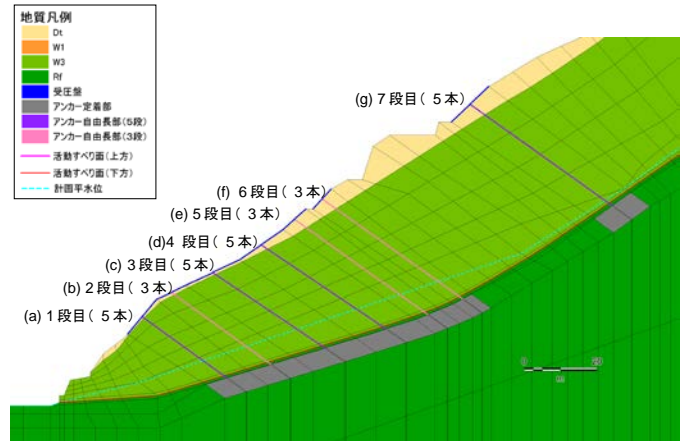


図-5 アンカーに作用する緊張力

移動量を設定し、「地すべり斜面長と累積変位の関係」により総合的な評価を行った（図-6）。この結果、Z2ブロックの限界移動量は0.98 mとなった（表-2）。

図-8はZ2ブロックで法尻からの水平距離と地表部における最終水平変位量を求めた。Z2ブロックの活動すべり面では、現況対策の場合の平均変位量は1.36 m、最

大変位量は 1.70 m, 計画地下水排除済みの場合の平均変位量は 1.16 m, 最大変位量は 1.49 m, 計画対策済みの場合, 平均変位量は 0.54 m, 最大変位量は 1.24 m を示した (表-3). 対策済みの場合でのみ平均変位量が限界移動量 (0.98) よりも小さい値を示したことから, 対策工をしない場合に比較して大きく変位量が抑制されている. しかしながら, 一部 Dt 層 (崩積土層) が厚く堆積している箇所で大変位量が限界移動量を超える区間があった. 解析断面から外れた近傍にアンカー工を施工しているため 2次元安定解析では抑止力が反映されなかったと思われる.

6. 終わりに

本稿では, 善徳地区を対象として, 地震時の地すべり挙動解析を行い, Z2ブロックを対象として地すべり斜面安定度の検討を行った. Z2ブロックでの平均変位量は, 計画対策済みの場合でのみ限界移動量以内である. よって, 対策工をしない場合に比較して大きく変位量が抑制されている. 以上より地すべり対策を行うことで, 地震時における斜面安定度を向上できることが確認できた.

今回の動的解析においては有限要素法を用いたため, 地すべりブロックの安定性を判断する指標として「安全率」を用いることができなかったため, 評価指標として「限界移動量」の考え方を導入した. しかし, この考え方は, 斜面長に影響され, 斜面長が短いものは危険側になる傾向がある. 今後の検討では, 斜面長が短い小ブロックが集まっている地区において検討し, それに応じた解析手法を考えていく必要がある. さらに, 本解析では 2次元動的安定解析を行ったが, 主測線断面における 2次元解析では安定度の評価に限界があるといえる. 今後は, 実施される対策工の効果を広域的にとらえるために 3次元モデルを用いて検討していく必要がある.

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部, (独)土木研究所 (2008) : 地すべり防止技術指針及び同解説
- 2) 森脇寛 (2001) : 地表面移動量を指標とする地すべり斜面の崩壊危険度評価, 地すべり, Vol.38, No.2, pp.11-18.

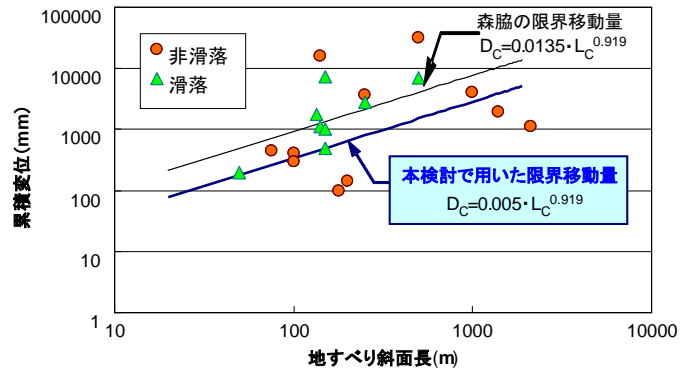


図-6 地すべり斜面長と累積変位の関係

表-2 限界移動量の算定結果

ブロック名	斜面長 (水平距離) Lc(m)	関係式	限界移動量 Dc(m)
Z2ブロック	311	$D_c = 0.005 \times L_c^{0.919}$	0.98

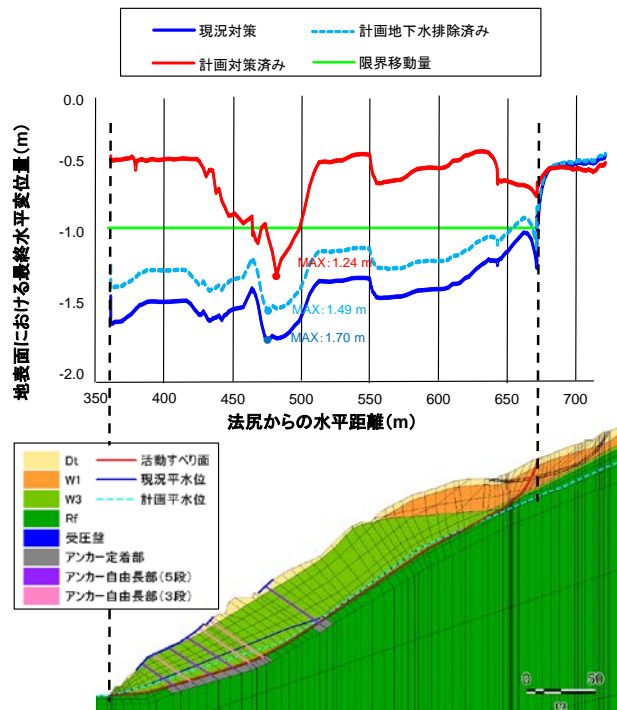


図-7 Z2ブロックの水平変位量と限界移動量の関係

表-3 限界移動量と解析結果

ブロック名	斜面長 (水平距離) Lc(m)	限界移動量 Dc(m)	解析結果					
			平均変位(m)			最大変位(m)		
			現況平水位	計画平水位	計画平水位 +アンカー工	現況平水位	計画平水位	計画平水位 +アンカー工
Z2ブロック	311	0.98	1.36	1.16	0.54	1.70	1.49	1.24