

中越地震の被災事例に基づいた斜面の耐震安定解析に関する検討

環境防災研究室 渡邊 慶輝

指導教官 大塚 悟

1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震による甚大な被害により、平成8年1月に土木学会による土木構造物の耐震基準などに関する「第二提言」が発表された。第二提言では2段階の設計地震動レベルを規定し、それぞれに対して要求耐震性能を定義している。この2段階の設計地震動レベルは確定的なものではなく、基本的には発生確率に対する定義である。レベル1地震動は土木構造物の使用期間内に1~2回発生する確率を有する地震動であり、レベル2地震動は発生する確率はきわめて低いが、非常に強い地震動のことをさす。

平成12年6月の土木構造物の耐震性能と耐震設計法などに関する「第三提言」では既存の提言を可能な限り具体化し、次のように2段階の地震動に対する土木構造物の要求性能を定義した。

レベル1地震動は、新設構造物において無被害レベルの耐震性を保有する。盛土の地震外力は0.15~0.2程度の水平震度を設定する。レベル2地震動は、損害回避便益と耐震化費用に基づく費用便益分析を基礎として新設構造物の耐震性能を決定する。レベル2地震動の設定はM6.5程度の直下地震を下限とする。レベル2地震動を想定した場合、動的な加速度と静的な震度との対応が明確でないため設計震度の設定方法は不明である。

2. 本研究の目的

兵庫県南部地震では土木構造物の被害が着目されたため、土木構造物の被害は注目されず、耐震安定性に関する議論は不十分であった。土木

学会の提言に対する対応も未だに研究課題のレベルにある。本研究は土木構造物の耐震安定形跡の検討を目的に、中越地震による斜面崩壊が発生した横渡地区を対象とした斜面安定解析より、逆算水平震度を算出する。崩壊・未崩壊斜面の逆算水平震度を比較することで、観測地震加速度と水平震度の関係性の検討を行う。

3. 横渡地区の斜面崩壊

小千谷市横渡地区は小千谷市の北東、東山丘陵の西端に位置する。東山丘陵は主に、堆積岩で構成されており、褶曲構造が顕著であり、地層が東西に傾斜している。地層は信濃川に向かって流れ盤であり、顕著なケスタ地形を形成する。

崩壊斜面が位置する尾根状山体付近には、白岩層上部が分布し、シルト岩（砂岩）で構成されている。崩壊地周辺では、シルト岩に火山灰の堆積による薄い凝灰質砂岩を挟んでいる。この挟み層は火山活動によるものであり、白岩層にて一般的に見られるものであり、横渡地区特有のものではない。

4. 横渡地区被害状況

横渡地区は凝灰質砂岩薄層にすべり面が形成されたことによる岩盤すべりが複数発生した。凝灰質砂岩薄層の特徴として、厚さが均一でなく、地下水の流路となっており、地下水の流動が顕著であった箇所は空洞化し、一部の土砂が流出している。

図-1に同一地層の3箇所の斜面崩壊を、図-2にA地区崩壊地を示す。白岩層から成る巨大な岩盤ブロックが直線すべり面に沿って崩壊して

いる。図-3 にすべり面となった凝灰質砂岩層の拡大写真を示す。

5. 凝灰質砂岩の地盤定数

横渡地区崩壊現場において、すべり面に位置する薄い凝灰岩層が露出していることからすべり面近傍の試料を採取して、物理定数及び力学定数を調査した。

一面せん断試験結果を図-4 に示す

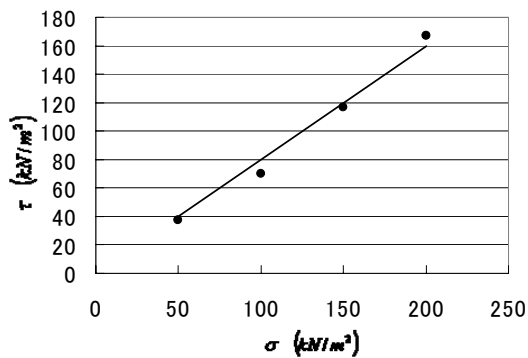


図-4 凝灰質砂岩 一面せん断試験結果

地盤強度定数は、 $c'=0(\text{kN/m}^2)$ 、 $\phi'=37.8(^{\circ})$ を得た。凝灰質砂岩の地盤定数の一覧を表-1 に示す。

表-1 凝灰質砂岩の地盤定数

		凝灰質砂岩
自然含水比	w_n (%)	39.1
土粒子密度	ρ_s (g/cm ³)	2.385
粘着力	c' (kN/m ²)	0
内部摩擦角	ϕ' (°)	37.8

以下の解析には、上記の地盤定数を用いる。

6. 崩壊・未崩壊斜面の解析方法

斜面安定解析には（株）五大開発市販ソフトを使用した。2次元解析では「power SSA pro」、3次元解析では「SSA_3D」を用いた。

斜面の解析モデルの作成にあたり、航空写真より作成した DEM データを用いた。地理情報システム (GIS) を用いて標高データを算出し、

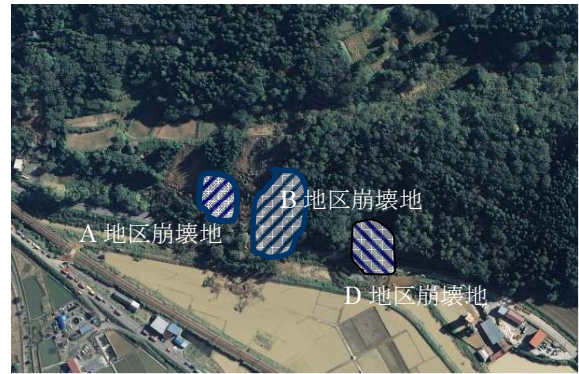


図-1 横渡地区崩壊地



図-2 横渡地区 A 地区崩壊地



図-3 凝灰質砂岩薄層 (拡大図)

解析モデルを作成した。岩盤すべり位置は標高データのみでは判断できなかったため、災害調査報告資料を参考にした。地下水位の考慮では、岩盤すべり位置の背後に地下水の供給源のないことと、すべり面位置に相当する凝灰質砂岩薄層が地下水の流路となっていることから、すべり面上部に地下水の存在がないと想定して、地下水の考慮は行わないこととする。

A崩壊地地区の2次元及び3次元解析モデルを図-5、図-6に示す。

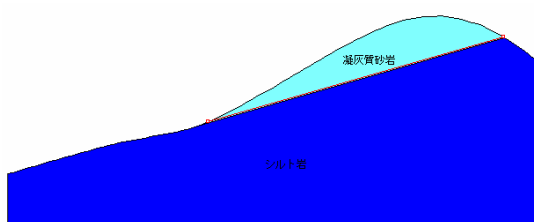


図-5 2次元解析モデル

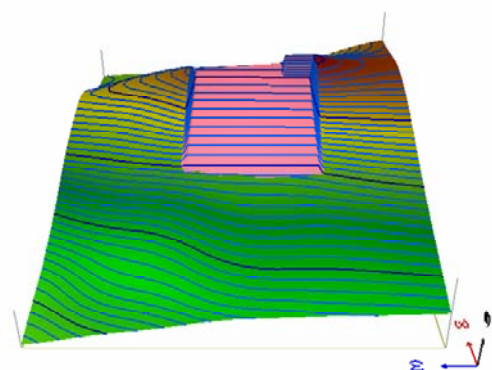


図-6 3次元解析モデル

7. 解析結果

A地区崩壊地で2次元解析と3次元解析の安全率の比較を行った。解析結果を図-7に示す。解析結果より、2次元解析と3次元解析では安全率にほとんど違いは現れなかった。横渡地区のすべり面は凝灰質砂岩に沿う形で明瞭な直線形状を示す。このため、崩壊形態は凝灰質砂岩薄層の上部の土塊が滑落したため、3次元解析において考慮される側面の摩擦（サイドフリクション）の影響がほとんどなく、2次元解析と3

次元解析に差異が少ない結果になった。

よって、以降の解析において3次元解析は行わず、2次元解析のみを実施した。

横渡地区の各崩壊地の安全率を図-8に示す。崩壊地よりも未崩壊地の安全率が高い結果となった。これは、凝灰質砂岩薄層上部にある土塊量と斜面の傾斜角に差異があることに起因する

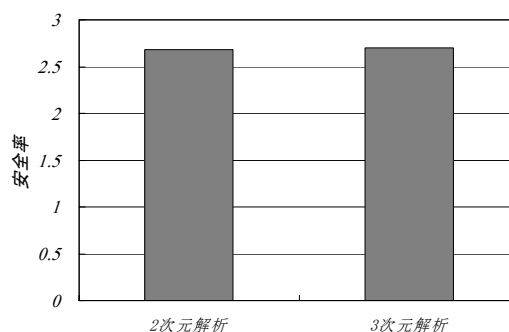


図-7 2次元・3次元解析比較

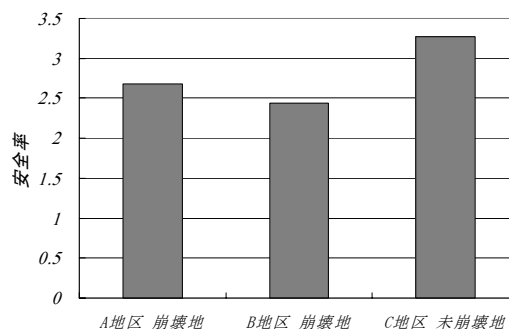


図-8 横渡地区の安全率

横渡地区の崩壊・未崩壊地について地震時に安全率 $F_s = 1$ となる水平震度係数 K_h を求めた。解析結果を図-9に示す。

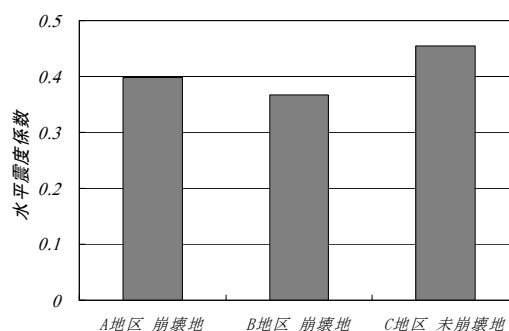


図-9 横渡地区の水平震度係数

A地区崩壊地の水平震度係数 $K_h=0.40$, B地区崩壊地の水平震度係数 $K_h=0.37$ に対して, C地区未崩壊地の水平震度係数 $K_h=0.45$ であることから, 中越地震における横渡地区の崩壊・未崩壊斜面の挙動は合理的に解釈できる. これらの逆算より, 図-10 に示す地震波が水平震度係数 $K_h=0.4\sim 0.45$ に等価であると推測できる.

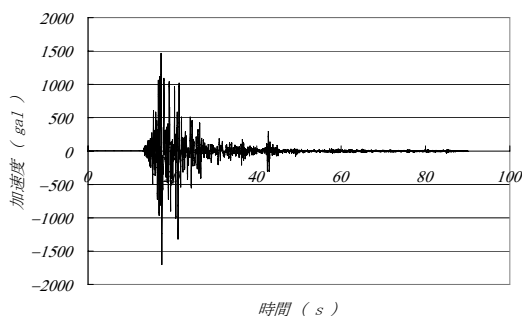


図-10 中越地震観測地震波形

小千谷市妙見堰観測点は横渡地区の近隣にあるため, この観測点で測定された地震波を用いて横渡地区の地震波形とした. すべり方向への最大加速度は 1500gal もの大きさであり, この衝撃で斜面が崩壊したとも考えられるが, 横渡地区には未崩壊地が存在しているため, 現実的解釈ではない. 横渡し地区の逆算水平震度係数は 0.4 強 (392gal) が得られており, 図-10 の地震波に等価であると判断できる.

8. 結論

横渡地区の自然斜面を対象として, 中越地震によって発生した斜面崩壊の安定解析を行った. 横渡地区の斜面崩壊のすべり面は, 地層内にある凝灰岩砂質土薄層に沿う形式であった. 解析において, 凝灰岩砂質土薄層が地下水の流路となっていることと, 斜面背面に地下水の供給源がないことから, 地下水位は考慮しなかった. 解析結果として, 安全率が崩壊地では 2.0 程度, 未崩壊地では 2.2 程度であった. 水平震度係数は崩壊地では 0.376~0.398, 未崩壊地では 0.454 であった. この結果より小千谷市妙見で観測さ

れた地震波は水平震度係数 0.4~0.44 程度に相当するものであることがわかった.

以上の結論を以下に箇条書きにして示す.

- (1) 横渡地区での斜面崩壊は地層中の凝灰質砂岩薄層に沿う形で, ほぼ直線である. すべり面の凝灰質砂岩の地盤強度は $\phi'=37.8(^{\circ})$ が得られた.
- (2) 横渡地区の崩壊地と未崩壊地の水平震度係数を比較すると, 崩壊地で 0.398~0.376, 未崩壊地で 0.454 であった.
- (3) 横渡地区で観測された地震波は水平震度係数 0.4~0.45 に相当するものであった. ここでは述べていないが高町団地においても検討を行ったため, 結論のみ述べる.

- (1) 地盤強度 $c'=0(\text{kN/m}^2)$, $\phi'=36.9(^{\circ})$ のとき, 水位のない状態の安全率は 2.0~4.0, 水平震度係数は 0.32~0.45 であった.
- (2) 繰返し強度を用いると, 解析結果は水位のない飽和状態で水平震度係数が 0.1~0.18 と得られた. すべり面上に地下水位(水圧)がなくても飽和していると容易に崩壊が発生する条件を備えていた.
- (3) 高町団地では水位の状況が不明である. 水位の変化によって解析結果が大きく変化することから高町団地の正確な安全性を判定することは出来なかった.

9. 参考文献

- 1) 土木学会, 土木構造物の耐震基準に関する第二提言, URL : <http://www.jsce.or.jp/committee/eart/propo2.html>, 1996
- 2) 土木学会, 土木構造物の耐震基準に関する第三提言, URL : <http://www.jsce.or.jp/committee/eart/propo3.html>, 2002
- 3) 土木学会, 活褶曲地帯における地震被害データアーカイブスの構築と社会基盤施設の防災対策への活用法の提案, 2005