

(105) 長野県西部地震による松越地区斜面崩壊地点の動的応答解析

建設省土木研究所 正員 〇 栗原 徹郎

“ “ 佐々木 康

“ “ 高橋 和久

1 まえがき

昭和59年9月14日に発生した長野県西部地震(M=6.8)は、長野県本首都王滝村を中心に主に大規模斜面崩壊に起因する大被害をもたらした。崩壊土量10万 m^3 以上の大崩壊は、図-1に示す御岳山中腹、松越地区、滝越地区、御岳高原地区の4箇所が発生しており、特に「御岳崩れ」と呼ばれる御岳山南東斜面の崩壊は、土量3,600万 m^3 に及ぶものであった。本研究は、今回の地震で2番目に大きな斜面崩壊である松越地区の斜面崩壊地点を対象として有限要素法による動的応答解析を実施し、斜面表層地盤における地震動加速度の増幅特性及び最大応答加速度の斜面内分布等について検討を行ったものである。

2. 斜面崩壊の概要

本震の震央南方約1.5kmの松越地区に発生した斜面崩壊は、松草川が大又川に合流する直下の大又川右岸斜面部に最大崩壊深30m、崩壊幅170m、崩壊長225m、崩壊土量29万 m^3 の規模で発生した。崩壊は、段丘面を深く掘るように発生しており、その平面形態は、図-2に見られるように2箇所の明瞭な滑溜崖が連続して観察できる。崩壊した土塊は大又川を越え対岸の河床に近い位置にあつた生コンプラントを約3m押し上げた後、大又川に右へ流下し、崩壊地点から約900m離れた牧尾ダムの貯水池(御岳湖)に達して堆積した。この崩土は直径1~2mの流氷山や流木を含んでおり、大部分は火山灰土からなっている。

3 地質の概要

大又川沿いの基盤は右岸が火成岩(御岳山の輝石安山岩類)と古成層(粘板岩、砂岩、チャート)からなっており、左岸は大部分が古成層で一部花崗岩が露出している。大又川右岸の松越地区は、この基盤の上に河岸段丘では砂礫層が、また斜面には御岳火山の噴出物(ローム、軽石、火山性粘土)及びロームまじりの崖錐堆積物が堆積している。地震後、長野県及び建設省土木研究所において崩壊地周辺のボーリング調査が実施されているが、

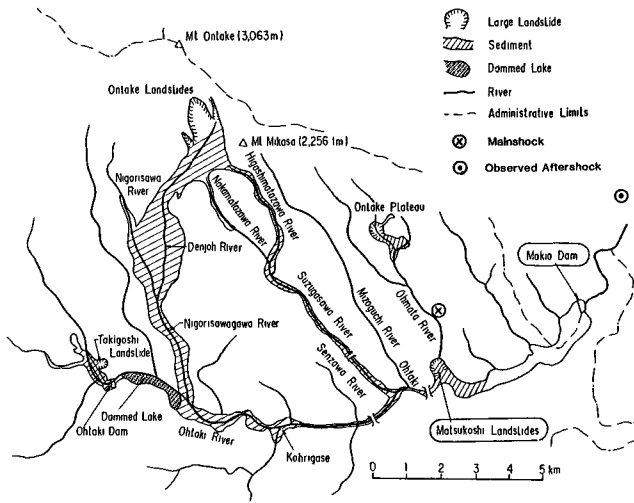


図-1 斜面崩壊地点案内図

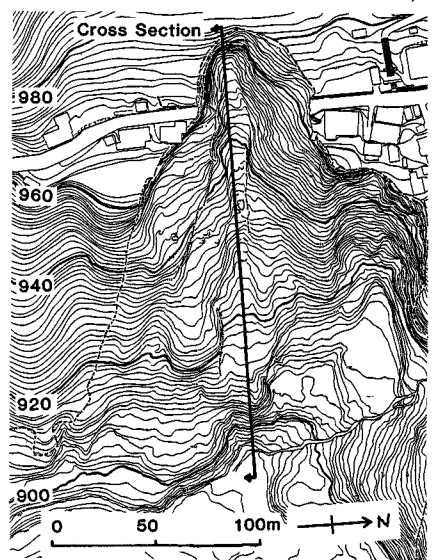


図-2 松越地区斜面崩壊地点平面図

この結果及び崩壊面の露頭観察の結果より図-2に示す断面について(図-3に示す地質区分を推定した。ここで崩壊前の地形は、地形図より読みとった。この断面の基盤は粘板岩であり、その上部に御岳火山の噴出物が堆積した構成となっている。この噴出物は古期噴出物と新期噴出物に分類することができ、今回の崩壊によるすべり面は主に新期噴出物最下層の軽石層によって形成されている。

4. 解析手法及び解析モデル

動的応答解析には、有限要素解析プログラムFLUSHを用いた。FLUSHでは、入力地震動について水平方向、鉛直方向の同時入力が行えない為、境界条件を変え個別に計算を行い結果の合成を行った。解析対象とした断面は、図-3に示す幅385m高さ200mの断面である。地震動の入射基盤は標高850mの粘板岩中とし、モデルの左側には伝達境界を適用した。表-1には、地質凡例及び今回の解析に用いた土質定数を示す。ここで湿潤単体重量率は、 $dt1$, Ol_m , Mf , Mgr は現場密度試験より求めたものであり、 Opt については室内土質試験により求めたものである。また Otb , Ovc , Ps_l については推定値を用いている。 S 波速度 V_s は、 Ps_l については土木研究所が実施したP.S.検査の値を用いており、 $dt1$, Ol_m , Mgr , Ovc , Ps_l については標準貫入試験の N 値より算定したものである。 Mf , Otb の V_s は推定値である。初期せん断弾性係数 G_0 は、 Opt については動的ねじり試験の結果を用いているが、その他の土質については ρ 値および V_s 値より算定したものである。初期減衰定数及びポアソン比は推定値を用いた。土の垂依存性については、 Mf のマトリックスおよび Opt について動的ねじり試験を実施している。図-4に示すNo.1は Mf の垂依存性で、No.2は Opt の垂依存性を表わしている。これより Mf および Mgr についてはNo.1の曲線を、また Opt , $dt1$, Ol_m についてはNo.2の曲線を用いることとし、 Otb , Ovc , Ps_l については G , h の垂依存性を考慮しないこととした。

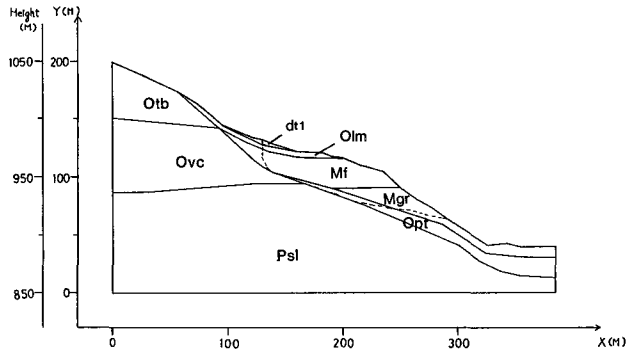


図-3 解析断面における地質区分

表-1 地質凡例および土質定数

地質記号	地質名	地質構成	γ (t/m ³)	V_s (m/s)	G_0 (kg/cm ²)	h_0 (m)	ν	垂依存性	
dt1	崩壊堆積物	礫まじり粘性土	1.77	140	350	5	0.49	あり No.2	
Ol_m	新期 御岳火山 噴出物	火山砂層物	1.39	160	360	5	0.49	あり No.2	
Mf		泥流堆積物	礫まじり粘性土	1.87	230	1010	5	0.49	あり No.1
Mgr		湖成堆積物	砂礫(軽石・凝灰岩含む)	1.93	280	1540	5	0.49	あり No.1
Opt	古期	火山砂層物	1.48	210	600	5	0.49	あり No.2	
Otb		火山砂層物	凝灰角礫岩	2.6	600	9500	5	0.3	なし
Ovc		泥流堆積物	火山円礫岩	2.6	620	10000	5	0.3	なし
Ps_l	基盤層	粘板岩	2.7	1250	43000	2	0.3	なし	

図-5に有限要素モデルを示す。節点数は294要素数は289であり、表層地盤における地震動加速度の増幅特性に着目していることから、表層部分において要素を多くとっている。

5. 入力地震動

本震の震史は、松越地区の北方約1.5 kmに位置し推定断面は、東北東から西南西の走向を示している。木質源開発公団の牧尾ダムには電磁式強震計が設置されていたが、300galを上限とするよう感度が設定されていたためスケールオー

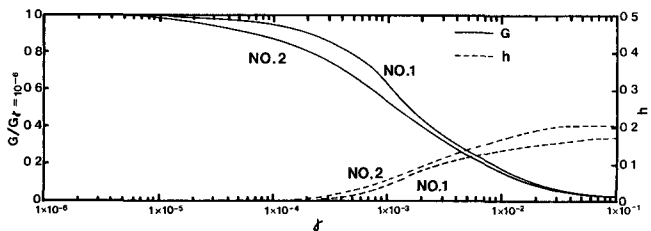


図-4 G/G_0 , $\gamma=10^{-6}$, $h \sim \gamma$ 曲線

バーシ記録は得られなかった。科学技術庁が地震動に関して実施した調査²⁾によれば、松越地区での地震動強度は震度6に近いものであり、短周期成分を多く含み、上下動成分がかなり大きく継続時間の短い衝撃型の地震動であったと報告されている。

本研究においては、本震後土木研究所ダム研究室が牧尾ダム岩盤に設置した強震計により得られた図6に示す余震記録を用いた。この余震の震央は図1に示すように牧尾ダムの北北東約3kmに位置し、そのマグニチュードは4.1である。この余震記録のうち水平方向としては、最大加速度の大きいダム軸方向の記録を用い、最大水平加速度103gal、最大鉛直加速度40galに振幅を調整し入力地震動とした。この値は、崩壊地上部の道路付近における最大水平加速度が基石の転倒率より推定される最大水平加速度³⁾440gal程度となるよう試行錯誤により求めたものである。

6. 解析結果及び考察

図5に示すNO.140, 144, 147, 148の各節点における応答加速度波形を図7に示す。最大応答加速度は、水平、鉛直両方向とも表層地盤において大きな値となり、表層地盤内でも地表に近いほど大きな値を示している。また最大応答加速度の生じる時刻は、おおむね地表に近づくほど遅くなり、また継続時間は長く、卓越周期は特に水平応答加速度についての傾向にある。

図8及び図9には、各節点における水平、鉛直方向の応答加速度の最大値分布を示す。この図においても表層地盤における応答加速度の増幅状況が明瞭に表わされている。図8においては、表層地盤表面に大きな応答加速度の部分があるとともに、表層地盤最下層である軽石層(Opt)内で最大応答加速度が増加しているのが注目される。これは、上下の堅い層にはさまれた軽石層に振動エネルギーが蓄積したためと考えられる。なお図中右側の部分の最大応答加速度の大きい領域は、境界による反射波の影響である。鉛直方向の応答加速度の最大値分布を示す図9においては、鉛直

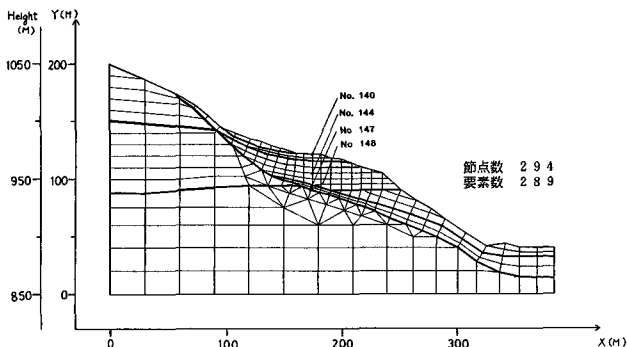


図-5 有限要素モデル

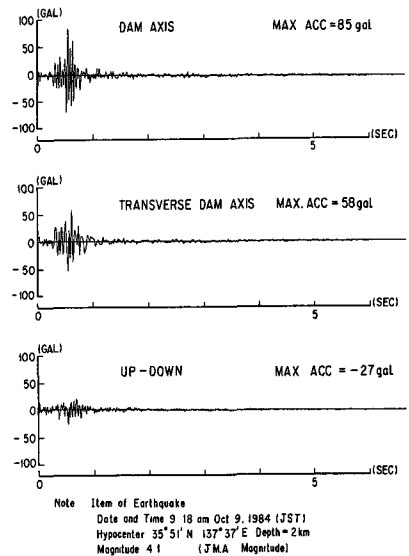


図-6 入力地震動

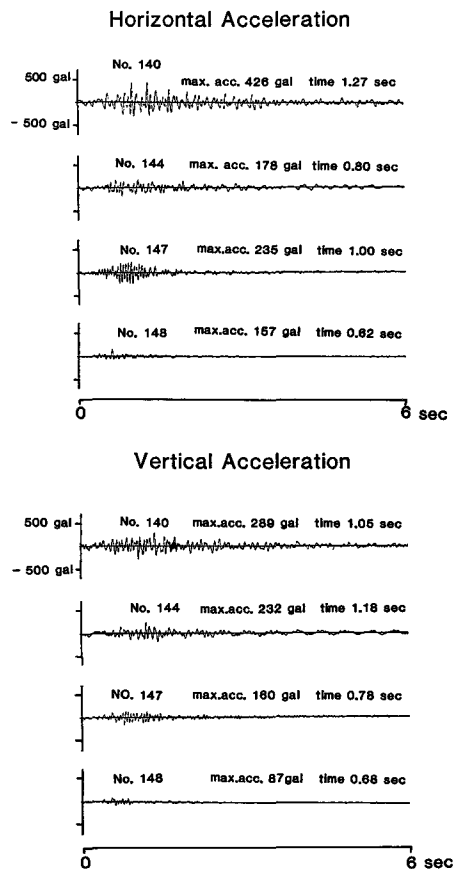


図-7 表層地盤における応答加速度波形

方向の入力加速度が小さいことから図8ほどには表層地盤における増幅状況が現われていないが、やはり表層地盤全体にわたって応答加速度の増加が認められ、特に斜面下端の部分に応答加速度の大きな領域が存在する。

最後に応答加速度と等価震度について弱干の検討を行う。図10に示すすべり面より上の節点について応答加速度の最大値の平均値Aをとると、水平方向については280gal、鉛直方向については187galとなる。最大加速度Aを等価震度 k_e に変換する式としては、次の2式が提案されている⁴⁾⁵⁾

$$k_e = 0.65 \frac{A}{g} \dots\dots(1)$$

$$k_e = \frac{1}{3} \left(\frac{A}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots(2)$$

式(1)、(2)を用いて水平方向の等価震度を計算してみるとそれぞれ0.19及び0.22となり、他の文献⁶⁾で実施している二次元斜面安定解析の結果と比較すると崩壊斜面の地震時安全率は0.9及び0.84となる。

7. まとめ

今回の検討結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 地震動加速度は、斜面表層地盤において水平、鉛直両方向とも大きな増幅を示し、継続時間、卓越周期も変化する。
- 2) 表層地盤最下層の軽石層内に帯状に最大水平加速度の大きな領域が存在する。
- 3) 斜面下端の表層地盤に最大鉛直加速度の大きな領域が存在する。
- 4) 等価震度の考え方を用い斜面安定解析結果と比較すると崩壊斜面の地震時安全率は0.9及び0.84となる。

本研究は、科学技術庁振興調整費「昭和59年(1984年)長野県西部地震による土砂災害に関する緊急研究」において土木研究所が担当した研究の一部である。なお解析に用いた地震動を提供していただいた土木研究所フルダム研究室に感謝します。

参考文献

- 1) LYSMER UDAKA・TSAI SEED, FLUSH, EERC75-30
- 2) 地震予知総合研究振興会、長野県西部地震における震度分布調査、昭和60年5月
- 3) 大橋 岩崎・川島、墓石の転倒状況が推定した伊豆大島近海地震の地震動強度、土木技術資料20-11(1978)
- 4) 松尾 板橋・佐々木、実際事例の逆解析による土構造物の耐震性に関する研究、土木学会論文報録343(1984年)
- 5) 工田他、港港・海岸施設耐震性調査手法にか(港研資料NO.336, 1980)
- 6) 谷口、松越地区の大規模斜面崩壊、土質工学会長野県西部地震における斜面崩壊の実態とその教訓

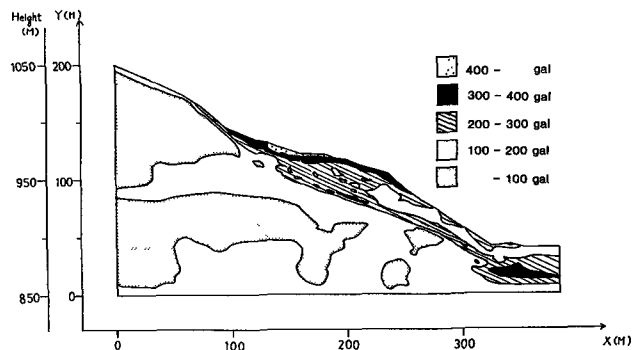


図-8 応答加速度の最大値分布(水平方向)

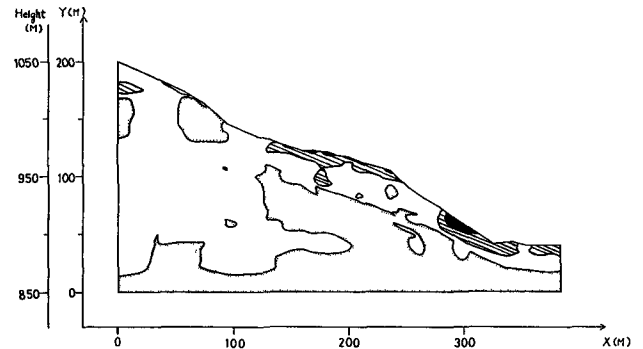


図-9 応答加速度の最大値分布(鉛直方向)

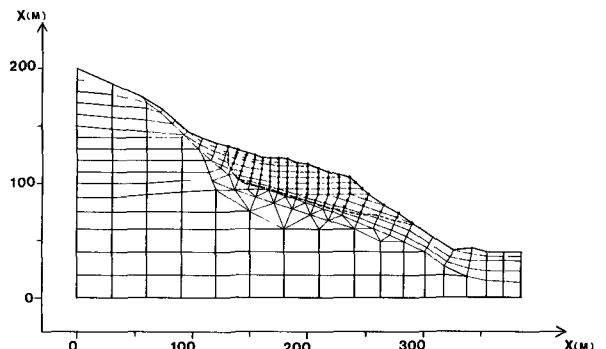


図-10 平均応答加速度の計算節点