

鳥取県西部地震による西伯町法勝寺中学校の斜面崩壊メカニズムの考察

橋本 隆雄¹、宮島 昌克²、冨澤 元³

¹正会員 ㈱千代田コンサルタント (〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 3-3-7)

²正会員 金沢大学工学部土木建設工学科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

³金沢大学大学院自然科学研究科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

2000年10月6日、鳥取県西部の山間部を震源とするマグニチュード7.3の鳥取県西部地震が発生した。この地震により斜面表層崩壊と落石による道路斜面被害が多かった。また、宅地造成盛土でも斜面崩壊や低地での液状化の発生により被害が生じた。特に震源地に近い西伯町法勝寺中学校では、高台にある軟式野球場の高さ14mの盛土法面が2.5mのテンションクラックを生じ、地上高さ4.5mの下部擁壁を崩壊する斜面崩壊を生じた。そこで筆者らは、土質調査と土質試験を行い、そこから得られる土質定数を用いて被害発生メカニズムについて考察した。

Key words: Earthquake, Earthquake damage, Residential damage, Land slope

1. はじめに

2000年10月6日13時30分に発生した鳥取県西部地震は、宅地擁壁・盛土に多くの被害をもたらした。沖村らは兵庫県南部地震による宅地被害が①古い時代に造成された宅地、②元地形が谷地形である場所に盛土を行った宅地、③地下水が高い宅地という立地条件の重なった所に多いことを指摘している¹⁾。盛土の耐震設計は、通常、震度法によってなされるが、大規模で重要な盛土では、ニューマーク法及びFEM応答解析も行われる。こうした解析の適用に当たっては、どの程度地震時の挙動を表現できるか、また、震度法と応答解析結果の相互の関係はどのようであるかを知っておくことが重要と考えられる。

本報告は、このような視点から、鳥取県西部地震で変状を生じた宅地盛土を対象に、ボーリングなどの一般的な調査情報から、通常考えられる物性値を設定して、震度法によるすべり安定計算、ニューマーク法及び等価線形化法による地震応答解析を行い、限られた地盤情報に基づくこれらの解析結果が被災状況をどの程度説明できるかについて調べたものである。

2. 被災状況

対象とした宅地盛土(法勝寺中学校)の位置は図-1に示すとおりで、鳥根県と鳥取県の県境付近にあり、西伯町役場から南西約400m、法勝寺

の南西約500mに位置している。西伯町付近は標高200~400m程度の山に囲まれており、法勝寺川や山田川などによって開析された長石低地が僅かに川沿いに見られる。地盤変状は図-2に示すように、上グラウンドから下グラウンドに向かって西北西のり面が下部の地上高さ約4.5m土留め擁壁を含めて北西に向かって円弧すべり崩壊した。これは、本来のり面直角方向にすべりを生じようとしたものが、のり尻部に高さ約4.2mの押え盛土が機能したために、斜方向に崩壊が生じたものと考えられる。その規模は、天端が幅約42.5m、下部擁壁部が約13m、すべり崩壊距離が25m~45mである。主な変状は、左右の盛土のり肩よりおよそ11mの位置にすべりの頭部があり、亀裂と約2.7mの沈下を生じ、のり尻の地上高さ4.5mの石積擁壁が崩壊している。さらに、崩壊した擁壁の隣接している約4.2mの擁壁も土圧により横クラックを生じ、倒壊寸前である。図-3及び表-1は図-2のA-A'断面構成を表している。地震直後にボーリング調査を行った結果、宅地地盤の亀裂の位置や変位状況から盛土内の地下水位が非常に高く、地下水位面の直ぐ下のN=0の所が盛土内のすべり面と想定される。

3. 物性値の設定

解析ではA-A'断面を対象とした。表-2に震度法と応答解析に用いた物性値を示す。以下に変状を生じた盛土と旧表土層の物性値の設定根拠を

表-2 解析物性値

項目	盛土	沖積粘性土	まさ土	花崗岩
N値	3	4	9	50
γ_1 (tf/m ³)	1.85	1.60	1.90	2.10
c (kN/m ²)	25	30	0	100
ϕ (度)	16.2	0	30	35
V_s (m/s)	150	160	200	1250
ポアソン比 μ	0.49	0.45	0.40	0.25
G_0 (tf/m ²)	4,200	4,200	7,700	330,000
E (tf/m ²)	12,500	12,100	21,500	825,000
初期減衰定数 h	0.05	0.03	0.03	0.03

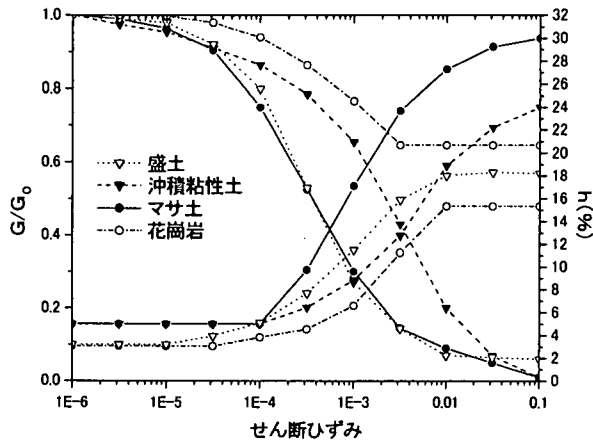


図-4 動的物性値のひずみ依存性の関係

示すが、これらの物性値は、土性とN値より既存資料に示された平均的な値として設定した。

① C、 ϕ : 強度定数

盛土材は、土質試験結果から $C=25\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=16.2^\circ$ とした。沖積粘性土は、 $C=0.8N=30\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=0$ とした。マサ土 (強風化花崗岩) は、砂質土として大崎の式から $\phi=15+15N=30^\circ$ とした。

② V_s : せん断波速度

盛土及び旧表土層の V_s はN値と V_s の一般的な関係式²⁾ より求めた。また、 V_s より初期せん断剛性率 G_0 を求めた。

$$V_s = 80 \cdot N^{1/3} \text{ (砂質土: 盛土 } N=3)$$

$$V_s = 100 \cdot N^{1/3} \text{ (粘土: 沖積粘性土 } N=4)$$

③ $G/G_0 \sim \gamma$ の関係、 $h \sim \gamma$ の関係

盛土及び旧表土のせん断剛性率のひずみ依存性 ($G/G_0 \sim \gamma$ の関係) と減衰定数のひずみ依存性 ($h \sim \gamma$ の関係) は図-4 に示す関係を用いた。これらの特性は既存資料に土質別に図示された値の平均値を取ったものである。

4. FEM応答解析による検討

FEM応答解析は等価線形化法 [FLUSH] に

よる周波数領域の解析を行った。入力地震波は日野町での観測波形のEW成分を用いた。日野町でEW方向の最大加速度は、岩盤で574gal、地表面で760galであった。これは、西伯町の加速度波形が得られていないこと、日野町の花崗岩の岩盤内で計測された値であり検討地点の基盤と類似していること、などを考慮したものである。また、西伯町のEW方向の最大加速度は、地表面で802galである。そこで、地表面の加速度比 [= $802/760=1.05$] を基盤の加速度比と同様に考え、 $574 \times 1.05=605\text{gal}$ として解析した。また、斜面の方向を考慮してEW成分を用いた。図-5のようにFEM応答解析法による検討結果では、残留最大沈下量がのり肩付近の滑った位置において50.2cmとなった。ただし、実際の沈下量が約2.7mに対してかなり小さな値となった。また、のり尻の擁壁が崩壊しているが、応答加速度分布によれば、のり面低部の沖積粘性土砂質シルト層の加速度が1,180galと非常に高く、せん断ひずみも 6×10^{-3} となっているので、すべり現状を十分に表現できることわかった。

5. ニューマーク法による検討

図-6 に示すように常時の安全率は、1.10、降伏震度は0.04と非常に小さな値となった。図-7に示すニューマーク法による検討結果では、滑り変位量が52.1cmとなった。この値は、FEM応答解析法による検討結果とほぼ一致しているが、実際の沈下量が約2.7mに対してかなり小さな値となった。

3. 結論

限られた地盤情報から平均的な物性値を設定して行った解析によっても、残留沈下量において違いがあるものの、被災状況がある程度説明できることが分かった。崩壊原因としては、解析対象地の地盤内に存在する地下水の影響が考えられる。今後、有効応力に基づく非線形モデルを用いた地震応答解析で検討する必要がある。

参考文献

- 1) 沖村他: 兵庫県南部地震における宅地地盤被害の原因(その1), 建設工学研究所報, No.38-B, pp.85~95, 1996.11.
- 2) 日本道路公団: 道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説, p.43, 1996.12.

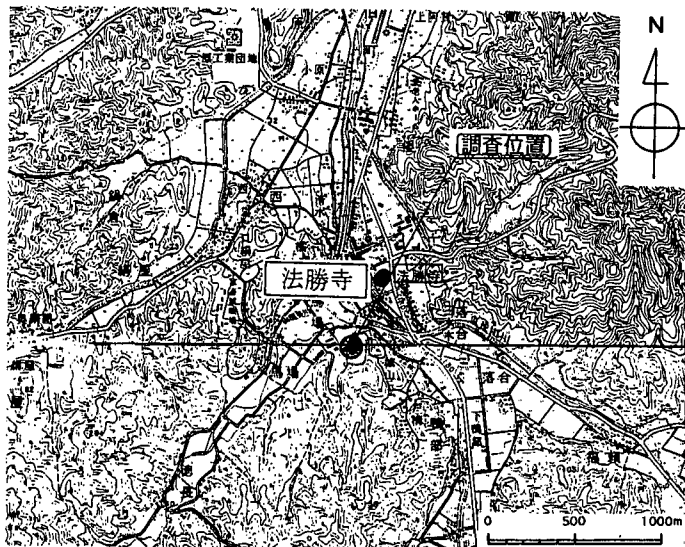


図-1 検討位置

表-1 地質層序表

時代	地層名	代表土質	柱状	記号	備 相
現世	盛土	粘土質マサ土		Bk ₁	全体に粘土化したマサ土からなる。所々礫混入する。
	盛土	礫混り砂質シルト		Bk ₂	全体に細礫を混入し、所々有機物を混入する。
沖積世	沖積粘性土	砂質シルト		A _c	全体に有機物を混入し、所々木片を混入する。粘性は弱い。
古第三紀	因美期	強風化花崗岩(マサ土)		+	全体に風化著しく土砂化している。
	貫入岩類	花崗岩		+++	調査地の基盤層で半礫~短柱状コアを呈す。

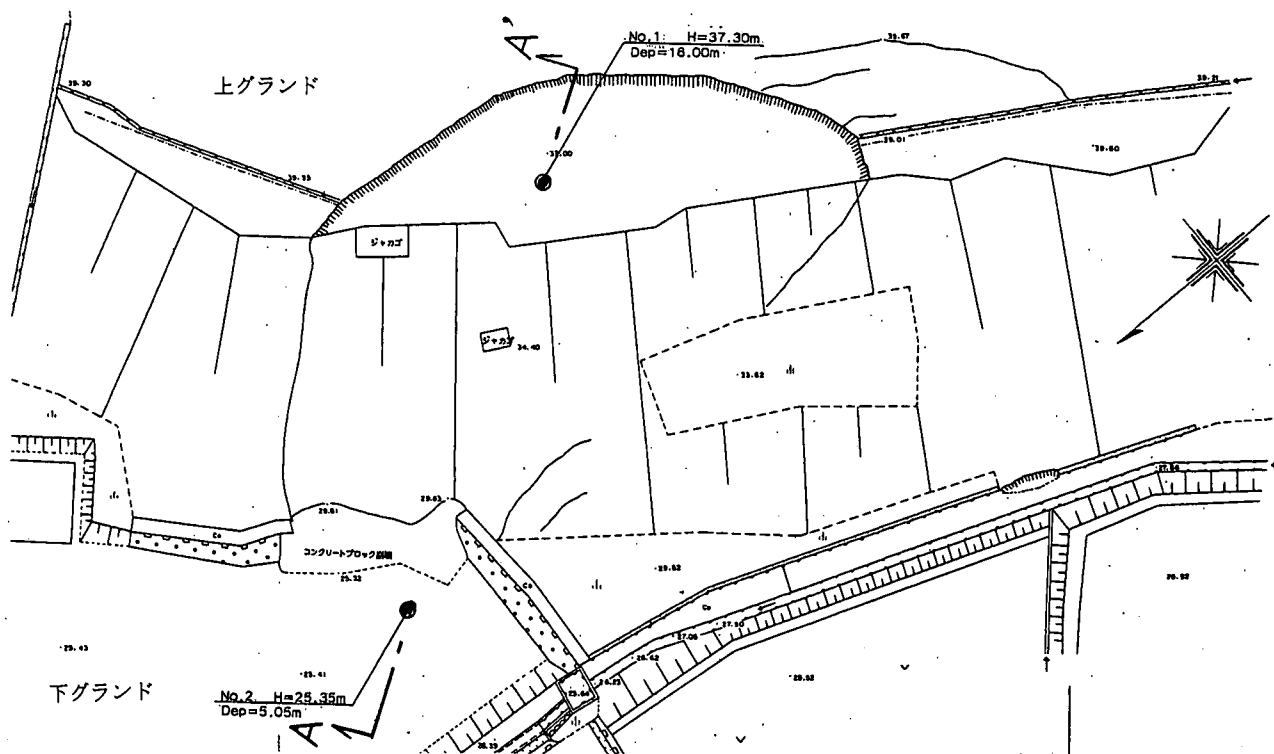


図-2 被災状況平面図 (S=1:600)

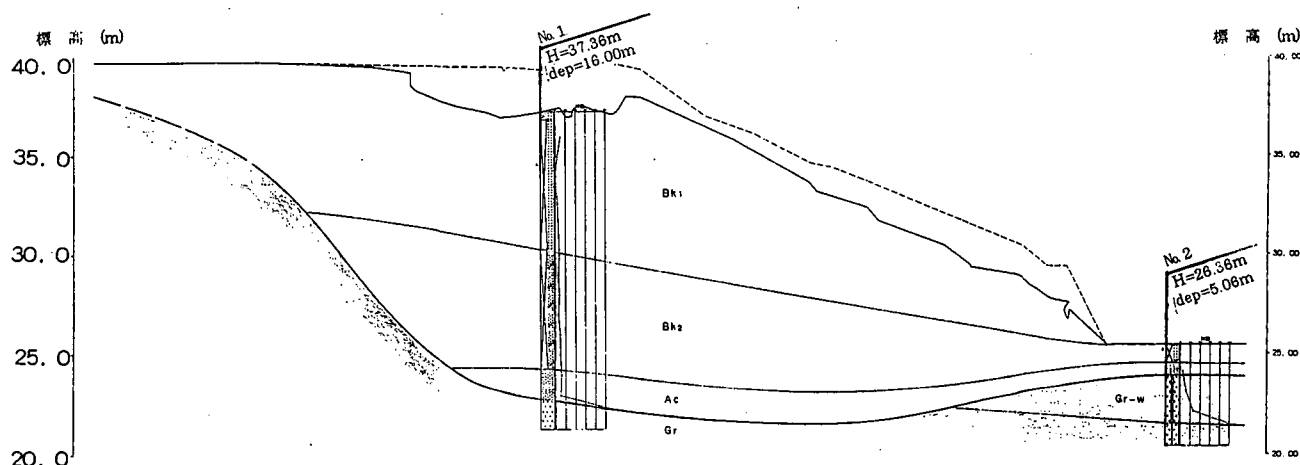
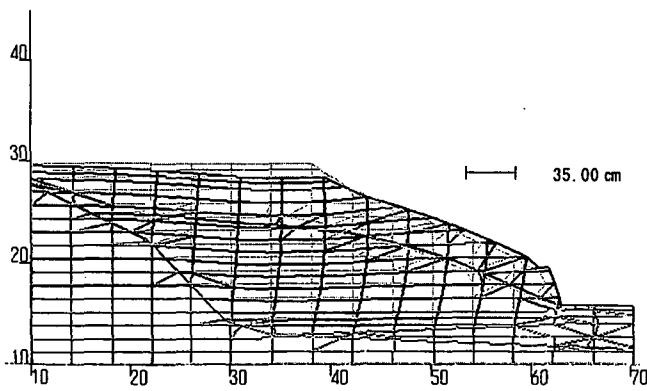
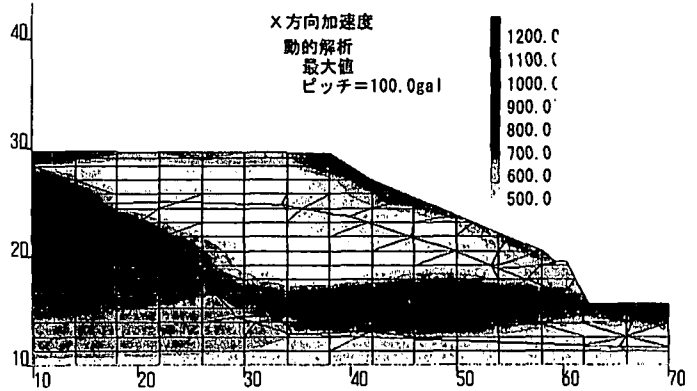


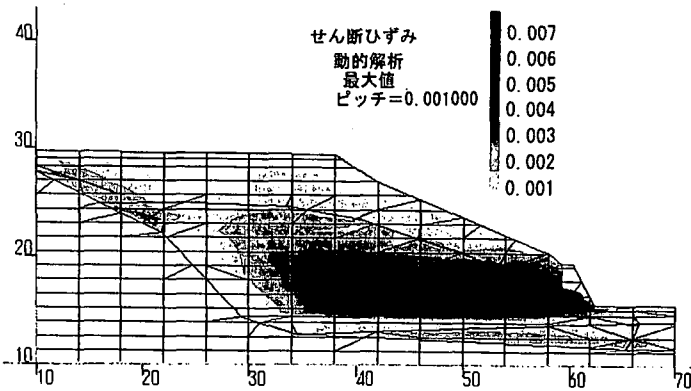
図-3 被災のり面検討断面 (A-A', S=1:400)



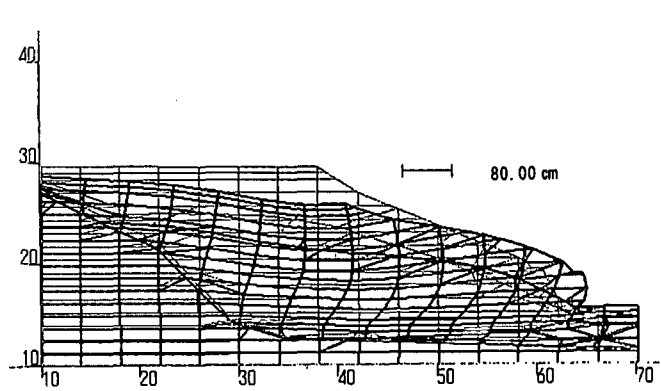
(a) 静的解析による変形図



(b) 動的加速度分布図



(c) 動的せん断ひずみ分布図



(d) 動的解析による変形図

図-5 FEM応答解析法による解析結果

(常時)

最小安全率 F_s min = 1.103
 円錐の中心 $X = 55.00$ (m)
 $Y = 39.00$ (m)
 半径 $R = 25.00$ (m)
 抵抗モーメント $M_R = 3741.47$ (tf·m)
 起働モーメント $M_0 = 3392.33$ (tf·m)

(地震時)

最小安全率 F_s min = 1.001
 円錐の中心 $X = 54.50$ (m)
 $Y = 39.50$ (m)
 半径 $R = 25.50$ (m)
 抵抗モーメント $M_R = 3866.88$ (tf·m)
 起働モーメント $M_0 = 3863.37$ (tf·m)

層番号	飽和重量 (tf/m ³)	湿潤重量 (tf/m ³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (tf/m ²)	粘着力の 一次係数	水平震度	鉛直震度
1	1.850	1.850	16.20	2.50	0.00	0.040	0.000
2	1.850	1.850	16.20	2.50	0.00	0.040	0.000
3	1.600	1.600	0.00	3.00	0.00	0.040	0.000
4	1.900	1.900	35.00	0.00	0.00	0.040	0.000
5	2.100	2.100	10.00	0.00	0.00	0.040	0.000

水の単位体積重量 = 1.000 (tf/m³)

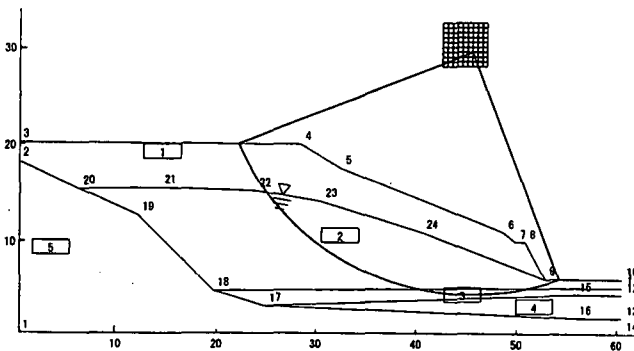


図-6 フェレンス法による安定計算

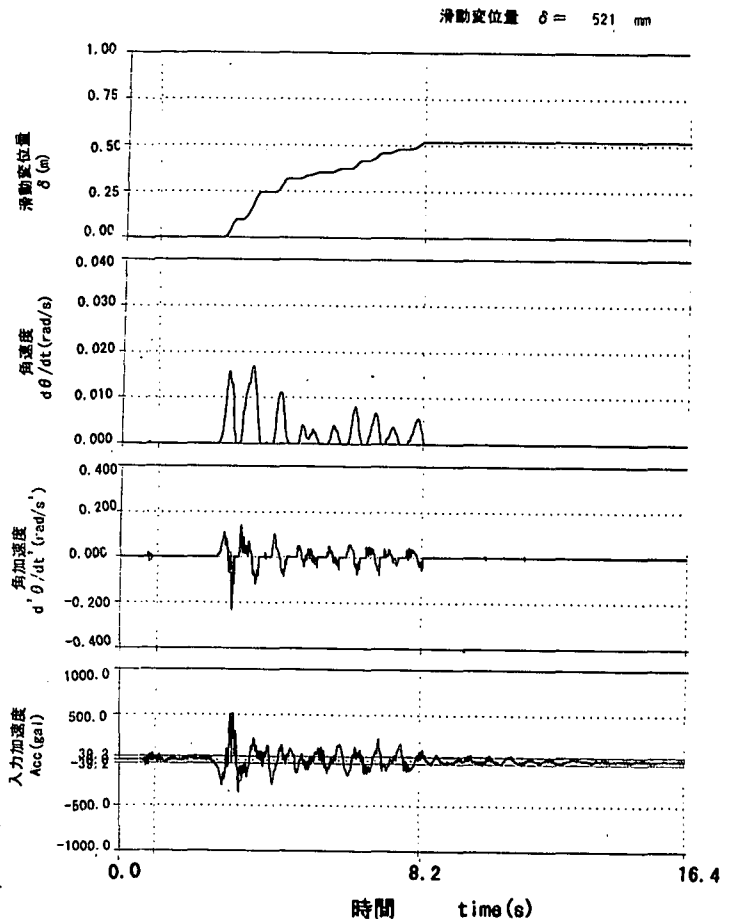


図-7 ニューマーク法による滑動解析結果