

能登半島地震における道路盛土被害と地山構造との関連についての動的解析による基礎的検討

豊橋技術科学大学 非会員 ○ 白石直也
 豊橋技術科学大学 正会員 河邑眞

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、被災者の救助・支援という観点から大規模災害に対応できる緊急輸送道路の確保は各自治体で重要な課題となっている。しかし、その道路を構成する盛土については十分な耐震対策が施されていない。特に中部地方では予測されている大規模地震による影響は計り知れないものがある。

そこで、本研究では被害予測の第一歩として、2007年能登半島地震での被害を例にとり、道路盛土被害と地山構造との関連について把握することを目的とした。2007年能登半島地震では同一道路で多数の大規模盛土崩壊が発生した。その崩壊を動的弾塑性解析によって再現し、崩壊挙動の特性を調べた。

2. 解析概要

研究の流れとして地盤工学会がボーリング調査によって明らかにした調査崩壊断面図¹⁾を2次元動的弾塑性有限要素法によって再現した後、それを3次元へ拡張し盛土被害と地山構造との関連を把握した。

2-1 動的弾塑性解析

弾塑性構成則には弾完全塑性体・非関連流れ則(Mohr-Coulomb基準)を用いる。塑性ポテンシャルにはDrucker-Prager式を採用した。

2-2 入力地震波

入力地震波には実際に観測された地震波を採用する。独立行政法人 防災科学研究所のK-NET強震データを利用し、能登有料道路の盛土崩壊点に近い富来(観測点名:ISK006)での観測データを採用した。差分時間間隔0.05[s]、600stepを入力した。

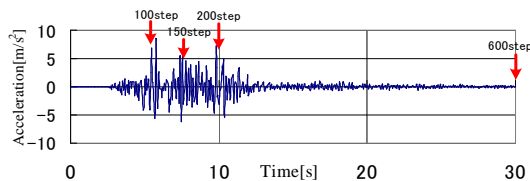


図1 E-W成分波(富来)

3. 2次元解析

3-1 2次元解析モデル

先述の調査断面図¹⁾よりスケールを読み取りモデ

ル化を行った例を示す(図2)。地盤材料の物性は、報告書のボーリング調査N値から経験式による算出および文献から決定した(表1)。今回は、大きな地震慣性力が作用したとき地山構造が盛土被害に及ぼす影響のみを考え、浸透水や地下水を起因とする崩壊メカニズムには着目していない。

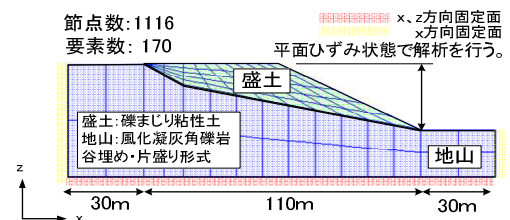


図2 縦6現場2次元モデル

表1 縦6物性値

	盛土	地山
ヤング係数E(kPa)	14700	56000
ポアソン比ν	0.45	0.25
粘着力c(kPa)	32.8	125
内部摩擦角φ(°)	10	35
ダイレイタンシー角ψ(°)	0	5
単位体積重量γ(kN/m³)	16	20

3-2 2次元解析結果および考察

解析結果として図3(b)に150stepでのせん断ひずみ分布図を示す。ひずみが10%に近づく程濃く表示されている。崩壊の挙動としてstepを追うごとに、盛土内部から盛土表面に向けてせん断ひずみが大きくなる領域が確認された。またその破壊領域は図3(a)に示す調査崩壊面と概ね対応している。せん断ひずみが大きくなることは、解析に用いた構成則から、せん断応力が集中・卓越することでもあり、その箇所で地盤は塑性化し、剛性の低下に伴って実被害同様の盛土崩壊に至ると考える。実際の3次元的な盛土崩壊形態については図4に示すような3つのタイプのものがみられる。これらタイプと地山構造との関連を推定するために3次元解析を行う。

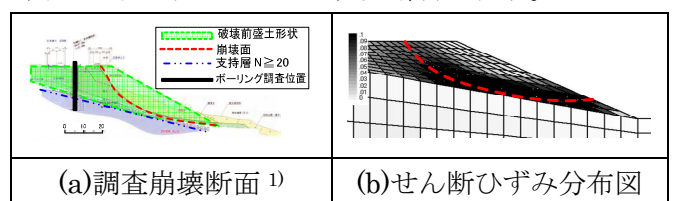


図3 縦6現場調査崩壊断面図と2次元解析結果

4. 3次元解析

4-1 道路盛土崩壊パターン

図4に空中写真よりまとめた2007年能登半島地震での崩壊土塊パターンを示す。また表2に全現場の崩壊タイプと盛土形式をまとめたものを示す²⁾。

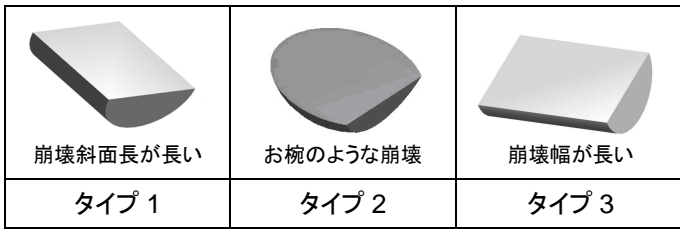


図4 道路盛土崩壊土塊パターン²⁾

表2 全崩壊現場の盛土形式および諸値²⁾

	盛土形式	崩壊タイプ	盛土 斜面長L (m)	底面傾斜 θ (°)	崩壊幅W (m)	最大崩壊 斜面長L' (m)	
縦06	片盛り	谷埋め	1	69.2	16.4	50.0	125.0
縦14	両盛り	谷埋め	1	40.5	17.1	36.4	74.4
縦21	片盛り	谷埋め	1	88.9	30.0	30.0	144.8
縦32	両盛り	谷埋め	1	81.5	8.0	68.2	206.6
縦38	両盛り	谷埋め	1	73.4	15.5	73.3	112.0
縦39-1	両盛り	谷埋め	2	40.0	20.7	47.0	48.1
縦39-2	両盛り	谷埋め	2	36.3	31.4	49.0	50.4
縦39-3	両盛り	谷埋め	2	47.9	30.7	90.0	65.1
縦43	両盛り	谷埋め	2	50.0	32.6	58.1	38.6
縦09	両盛り	腹付け	3	65.4	11.9	135.1	89.8
縦10	片盛り	腹付け	3	35.0	29.5	75.0	91.9
縦26	片盛り	腹付け	3	43.9	32.4	106.4	52.9
縦41	片盛り	腹付け	3	75.6	34.0	80.0	66.4

4-2 3次元解析モデル

3次元解析モデル内部の地山構造を適切に設定することを優先し、モデルをブロック集合体で表現して解析を行う。より細かなブロックで構成し、調査断面から得られたスケールと地山構造の特徴を保持するよう留意しモデルを作成した。その有用性は予備解析にて確認している。2次元断面を3次元拡張したモデルを図5に示す。なお盛土建設前の地山構造の詳細記録は残っておらず、明らかになっていない。そこで本研究は空中写真より既知となっている崩壊幅、崩壊タイプといった事項より、その全てを満たす地山構造を模索した上で決定した。いわゆる逆解析となる手法をとった。

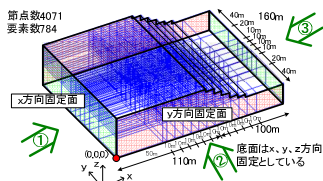


図5 縦6現場3次元モデル

4-3 3次元解析結果

図6に示すせん断ひずみ分布図は既に複数回の解析を経て図4タイプ1の崩壊土塊を再現できる地山構造であり、各ひずみ分布図から見る塑性化領域はその崩壊土塊形状を再現している。

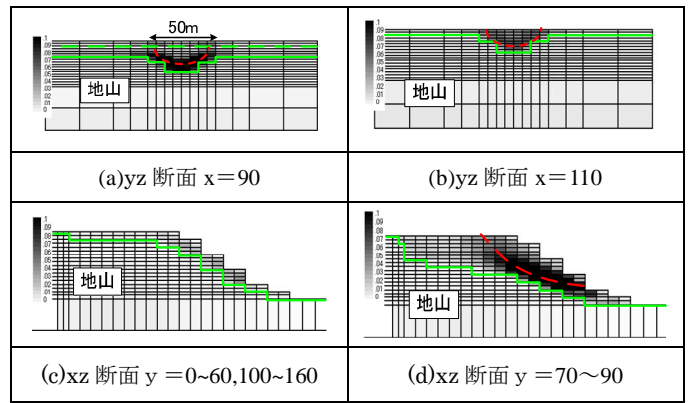


図6 3次元解析任意断面のせん断ひずみ分布図

4-4 推定地山構造とその特徴による道路盛土被害

4-3の結果を整理すると崩壊タイプ1となった縦6現場の地山は図7タイプAに示す谷を有した構造と推定された。またその谷の特徴は谷幅に比べ、谷長さが長い。他崩壊現場においても同様に解析を行い、縦39-1(崩壊タイプ2)はタイプBのような谷幅、谷長さが同程度の谷を有した地山が推定された。縦9(崩壊タイプ3)はタイプCのような地山構造が推定され、腹付け盛土を建設する場合の地山特徴が再現された。

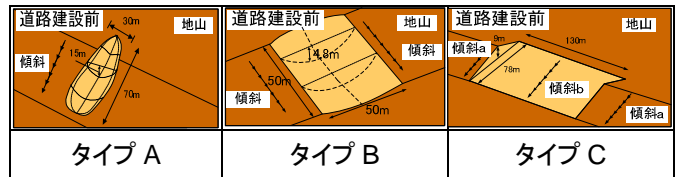


図7 推定地山構造

5. まとめ

2次元動的弾塑性解析で実被害断面を概ね再現できた。この動的弾塑性解析を3次元に拡張することにより、現場地山構造を推定できた。そして盛土形式によって崩壊形態を大別することができ、さらに地山構造が有する谷構造の特徴による崩壊形態の大別に繋がった。これらより地山構造と盛土破壊の3次元的形状との関連が明確にされた。

参考文献

- 1) 社団法人 地盤工学会：2007年能登半島地震 道路災害データ集,2007
- 2) 高田啓志：2007年能登半島地震における道路盛土破壊形態の特徴についての基礎的検討,平成19年度卒業論文,豊橋技術科学大学,2007
- 3) 社団法人 地盤工学会：弾塑性有限要素法がわかる,丸善,2003