

谷埋め高盛土の地震時の変形に関する被災事例を対象とした解析手法の検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○佐々木直也 正会員 東 拓生
 正会員 佐々木哲也 正会員 加藤 俊二

1. 目的

過去の地震において、沢部を横断する道路盛土が大規模崩壊し、地震後の道路交通機能の確保に支障となる事例が報告されており、特に既存盛土の耐震性を定量的に評価できる手法の確立が求められている。本研究は、盛土材料の繰返しせん断破壊を考慮して地盤剛性を低下させた上で、その自重による変形を静的に解析する手法（自重解析）を用いて、過去の被災事例を模擬した解析を行い、解析手法の適用性等の検討を行ったものである。

2. 解析方法

本研究では、表-1 に示す盛土の崩壊が発生した「平成 19 年能登半島地震」と「平成 23 年東北地方太平洋沖地震」の 2 地震のうち、盛土の情報が残されている 27 事例（能登半島地震：24 事例（未崩壊部を含む）、東北地方太平洋沖地震：3 事例）を対象に、2次元自重解析「ALID」を用いて解析を行った。

解析モデルは、基礎地盤、盛土内水位下、盛土内水位上に分け、基礎地盤は弾性モデル、盛土内水位下は地震時の剛性低下を考慮し、盛土内水位上は地震時の剛性低下を考慮しない弾・完全塑性モデル「改良 MC/DP モデル」とした。

解析手法は、盛土内水位下に繰返しせん断強度比 R_L を設定し、所定の地震外力（繰返しせん断応力比）との関係から液状化に対する抵抗率 F_L を計算し、この F_L に基づきせん断剛性を低下させて自重解析を行った（解析手法の詳細は参考文献 1）を参照）。

解析条件のうち、土質定数、盛土内水位等は調査結果等²⁾を基に、地震動は K-NET、KiK-net 近傍観測所の EW 成分の最大加速度を設定した。但し、繰返しせん断強度比 R_L は試験値が得られていない盛土もあるため、本解析では道路橋示方書³⁾の液状化判定式により N 値と細粒分含有率 F_c を用いて算出した。なお、能登半島地震で崩壊した盛土については深度方向、調査位置等で粒度にばらつきがみられ（図-1 に例として縦-38 の粒度加積曲線を示す）、細粒分が多く含まれる材料は液状化判定式の粒度補正により R_L が大きく評価される。そこで、本解析では図-2 に示す N 値と細粒分含有率 F_c （ペネ試料）の関係から下限値付近の近似式を求め、 N 値に応じた F_c を設定した。また、崩壊箇所の調査時の水位は崩壊により水位が低下している場合があり、地震発生時の水位を表せていないと考えられる。このため、本解析では参考文献⁴⁾に示される地震発生時推定水位を参考に水位を設定した（図-3 に調査時と地震発生時水位の例を示す）。水位が推定されていない盛土は調査時の水位とした。

キーワード 道路盛土, 地震, 2次元自重解析, 盛土内水位

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 TEL 029-879-6771

表-1 解析事例一覧

地震	路線	盛土	被災状況	崩壊有無		盛土高 (m)
				未崩壊	崩壊	
能登半島地震	能登有料道路	縦-1+7	縦横断クラック	○		32.6
		縦-5	クラック	○		33.4
		縦-5+1		○		24.0
		縦-6	道路欠壊		○	32.4
		縦-7	路肩, 横断クラック	○		35.9
		縦-9	道路欠壊		○	29.6
		縦-10	道路欠壊		○	17.4
		縦-11	路面陥没	○		26.1
		縦-14	道路欠壊		○	14.3
		縦-18	クラック, BOX損傷	○		37.9
		縦-21	道路欠壊		○	39.2
		縦-22	横断クラック	○		32.7
		縦-26(1)	クラック	○		32.3
		縦-26(2)	道路欠壊		○	18.0
		縦-28		○		29.3
		縦-28+1	セパ, 横断クラック	○		34.6
		縦-30	縦横断クラック	○		37.3
		縦-32(1)	路面陥没	○		31.7
		縦-32(2)	道路欠壊		○	32.8
		縦-34	縦横断クラック	○		21.4
		縦-38	道路欠壊		○	24.6
		縦-39	道路欠壊		○	18.4
		縦-41	道路欠壊		○	30.4
		縦-43	橋台背面陥没, ウイング損傷		○	31.9
東北地方太平洋沖地震	国道6号	広野町 (230kp)	道路欠壊		○	11.7
		富岡町 (239kp)	道路欠壊		○	17.7
		山元町 (313kp)	道路欠壊		○	11.3

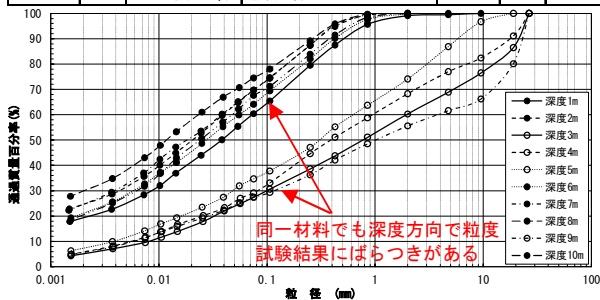


図-1 粒度加積曲線(縦-38)

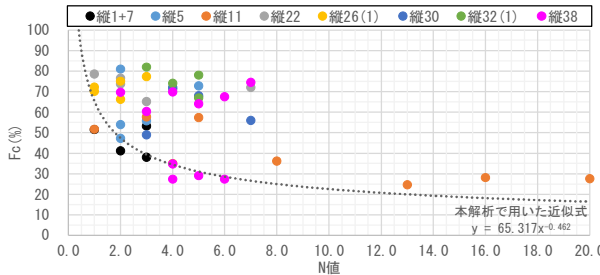


図-2 N値と細粒分含有率 F_c の関係図

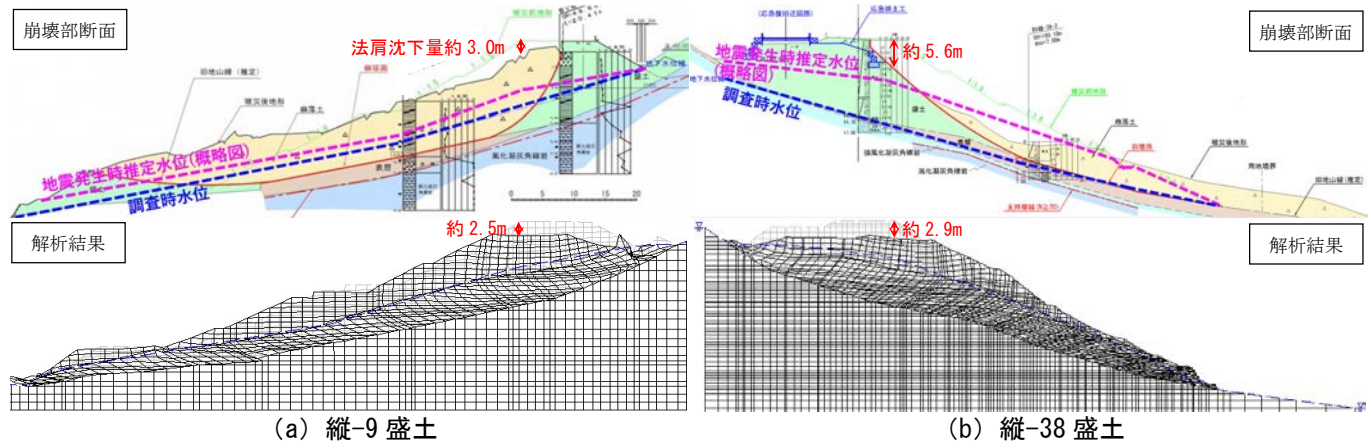


図-3 解析結果と崩壊部断面の変状状況

3. 解析結果

図-3 に解析結果の例として、(a) 縦-9 盛土と (b) 縦-38 盛土の崩壊部断面における変状状況と解析による変状状況を示す。変形量については、大きく崩壊した盛土では崩壊後の法肩位置などの特定が困難なため、本解析では崩壊前の法肩から直下の欠損部までの距離を法肩沈下量と定義し、崩壊部断面から読み取った値（以降、実測値と表記する）と解析値を比較した。(a) の変状状況をみると、崩壊部はすべりのような崩壊形態を示すのに対し、解析では盛土と地山の境界付近に変形が集中し、盛土全体が法尻方向に向かって変形している。法肩沈下量は実測値が約 3.0m、解析値が約 2.5m と実測値がやや大きいものの、概ね整合している。(b) の変状状況は (a) と同様であり、法肩沈下量は実測値が約 5.6m、解析値が約 2.9m と実測値が約 2 倍大きくなる結果となった。これらの要因として、解析では隣接する要素が繋がっているため、すべりのような変形が再現できず、その結果、解析値の法肩沈下量が小さく評価されていると考えられる。

図-4 に全 27 事例の法肩沈下量の実測値と解析値の比較を示す。崩壊箇所（14 事例）では、前述の要因からほとんどの箇所で実測値が解析値に比べて大きいものに対し、未崩壊箇所（13 事例）の解析値では 1.0m を超える沈下量が生じる箇所が 5 箇所ある。未崩壊箇所の沈下量が大きい要因の一つとして、元地形の形状などの影響を考慮できていないことが考えられる。一方で、被災事例の崩壊有無の判別を道路機能確保の観点から法肩沈下量 1.0m と仮定して評価すると、崩壊箇所で調査時の水位を用いている箇所を除いて、概ね崩壊有無の判別が可能である。

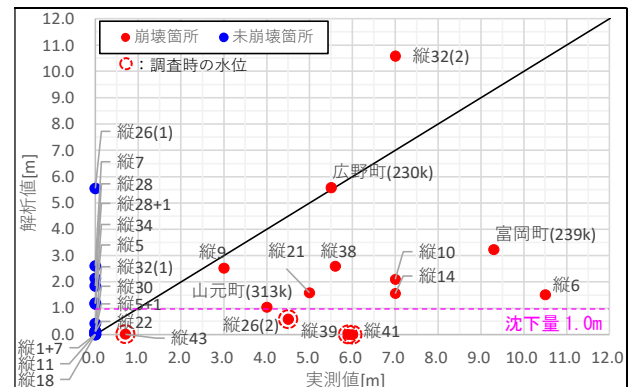


図-4 実測値と解析値の法肩沈下量の比較

4. まとめと今後の課題

盛土の N 値や粒度にはばらつきが多く、道示の液状化判定式から繰り返しせん断強度比 R_L を算出する場合、細粒子が多く含まれる材料は粒度補正により R_L が大きく評価される傾向がある。また、盛土の地震時変形は盛土内水位が大きく影響するため、水位を適切に設定することが重要である。盛土内水位、繰り返しせん断強度比 R_L を適切に設定することができれば、崩壊有無の判別が可能であり、危険性の高い盛土の変状予測や対策工の検討等での活用性が考えられる。今後も、既存盛土への適用性を検討するとともに、N 値と粒度、盛土内水位の設定方法について検討していくことが必要であると考えている。

参考文献

- 1) 東拓生, 佐々木哲也, 加藤俊二: 谷埋め高盛土の地震時変形挙動に関する解析手法の検討, 土木技術資料 Vol. 62 No. 12, pp16-19, 2020. 12.
- 2) 平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震被害調査報告, 土木研究所資料, No. 4087, 2008. 2.
- 3) 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 日本道路協会, 2017. 11.
- 4) 森本励, 川村國夫, 宮下孝ら: 能登半島地震による「のと里山海道(旧能登有料道路)」盛土崩壊とその地下水位推定-山岳・丘陵部道路盛土の地震時安定評価の簡便法提案-, 地盤工学ジャーナル, Vol. 12, No. 2, 177-195, 2017.