

軟弱地盤上の道路盛土の性能設計検討事例 (その4) 地震時挙動を含めた盛土長期挙動の予測

日本道路公団 試験研究所
前田建設工業 技術研究所

稲垣太浩
藤山哲雄 竜田尚希 ○石黒健

1. はじめに

軟弱地盤対策工の長期的な挙動評価の一例として、神田地区をモデルとした耐震性能の予測事例を示す。(その3)に引き続き、道路盛土の地震時安定性及地震後残留変形を取り扱う。対策工の有無や地震の発生時期の組み合わせにより地震時被災量が異なることや、これを反映した道路盛土の長期沈下予測結果を示した。これにより道路盛土の常時の安定性、残留沈下特性、に加え地震時の耐震性能も含め総合的に評価した「最適設計」が可能であることを述べる。

2. 道路盛土の地震時安定性と地震後残留変形量の評価

性能設計において、「耐震性の評価」が要求される場合がある。通常の慣性力を考慮した円弧滑り計算では、静的震度0.25¹⁾に対して $F_s=0.91$ となり、所定の安全率の確保が難しい。ニューマークの方法では、基礎地盤を考慮したモデルでの地震後残留沈下量の予測精度が不十分と思われる。そこで、ここでは地震中の盛土の変形や、軟弱基礎地盤の剛性低下、発生するせん断ひずみの大きさなどを試算する目的で、履歴型H-Dモデルを用いた動的非線形解析を実施した。入力地震動については、兵庫県南部地震で得られた地震波形(鷹取地区)の最大加速度振幅値を、神田地区の工学的基盤で記録された既往最大値(230gal)で正規化した波を、底面粘性境界に入力した。

平成14年、神田地区の現地において盛土外(盛土荷重による基礎地盤の強度増加なし)、無対策工区(盛土中央)、SD工区($\phi 400\text{mm}$, $\square 2.0\text{m}$, 盛土中央)の3地点でPS検層が実施された((その1)図1参照)。その結果、設計に用いた値が図1である。盛土荷重による基礎地盤の強度増加やサンドドレーン打設の効果は、図に示すように地盤の動的物性値にも直接的に影響を及ぼしている。なお、盛土外でのPS検層データは、無対策時の盛土立ち上がり直後(圧密度が0に近く、基礎地盤の強度増加がほとんど生じていない状態)の地盤剛性に相当するものと考え、以降、「無対策(盛土立ち上がり直後)」と称して使用する。この実測データを用いて地震中の盛土の最大水平変位と地震後の盛土天端の残留沈下量を試算した結果が図2である。前者は動的応答解析により直接求める事ができるが、後者については、地震中の即時沈下(基礎地盤の剛性低下に伴う沈下)と、地震によって発生した過剰間隙水圧の消散に伴う沈下の足し合わせとして試算した²⁾³⁾。即時沈下については、動的応答解析の結果から盛土および基礎地盤の地震中の剛性低下を図3のように求め、基礎地盤に低下前後の地盤剛性値を別個に与えた2つの盛土自重解析を実施して、その差分量として求めた²⁾³⁾。無対策(盛土立ち上がり直後)のケースでは、基礎地盤の表層付近でせん断ひずみが急増し、地盤剛性の極端な低下によって顕著な即時沈下が発生している。地震時に軟弱粘性土層に発生する過剰間隙水圧の大きさについては、文献⁴⁾より図4のような地震時最大せん断ひずみ~過剰間隙水圧比関係を別途作成(図中には兵庫県南部地震の実測値を併記したが、図中の●印はカオリン粘土に対する実験値⁴⁾であり、図中の算式は実情とは

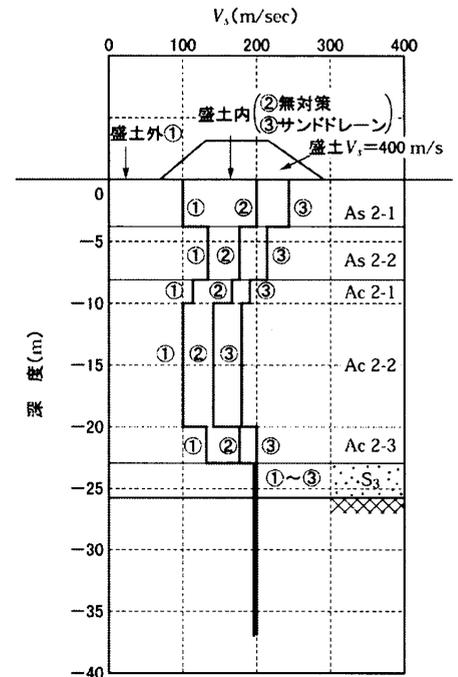


図1 設計に用いたPS検層の結果

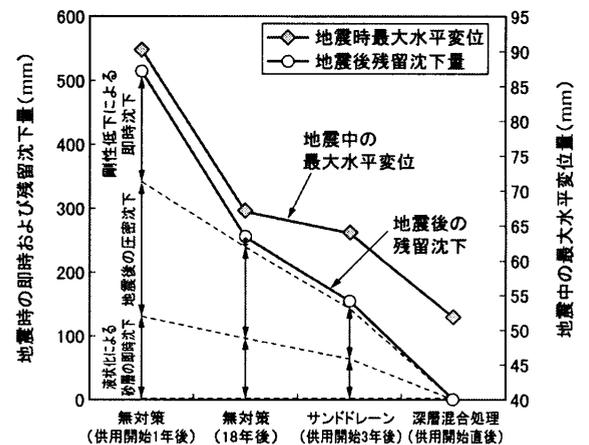


図2 地震中および地震後残留変形量の比較

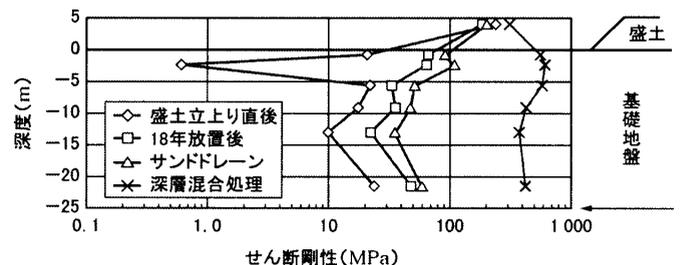


図3 地震時の基礎地盤の剛性低下に関する比較結果

キーワード 軟弱地盤, 道路盛土, 性能設計, ケーススタディ, 維持補修

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業(株) TEL03-3977-2584

必ずしも一致しない可能性がある）し、動的応答解析で得られた各ケースの粘性土層の最大せん断ひずみ量を図中の算式に代入して暫定的に求めた。そして、連成FEMの結果を援用し、その消散分に相当する沈下量を別途求めた（その2）で述べたような圧密消散解析を供用開始後もそのまま長期間実施し、粘性土層の過剰間隙水圧比が設定した値まで低減した時点以降の盛土天端沈下の増分量を、便宜的に地震後の圧密沈下に伴う沈下量とした）。また、地下水位以下の砂層では、一部地震時に液状化が発生する可能性があったため、Tokimatsu and Seed⁵⁾の手法を用いて地震時の砂層の即時沈下量を別途求め、加算した。図2中には、これら3種類の沈下成分の比率を併記した。図より、盛土立ち上がり後の長期的な放置（これによる基礎地盤の強度増加）、あるいはサンドドレーンや深層混合処理などの地盤改良を施すことにより、地震中の水平変位量および地震後の残留沈下量が、共によく似た傾向で大きく低減されていることが分かる。

3. 地震時変形を考慮した道路盛土の長期沈下挙動予測

図5は、地震時沈下の発生やその到来時点の違いを考慮して、供用開始以降50年間の残留沈下量を予測した結果である。無対策のケースにおいて盛土立ち上がり直後と長期放置後（平成14年現在）に大地震が到来した場合、あるいはサンドドレーン打設時や深層混合処理による地盤改良を施工した直後に、大地震が到来した場合の盛土天端沈下量を時系列で試算した結果を示す。盛土施工に伴う静的な長期残留沈下カーブの上に、上記の「剛性低下による即時沈下+地震後の圧密沈下+液状化による砂層の即時沈下」を地震発生時点以降に加算した。無対策の場合、盛土放置期間を十分に（現在、供用開始後18年が経過）置かなければ基礎地盤の耐震性の向上は期待できず、盛土完成直後に大地震が到来すると、かなりの即時および残留的な変形が発生して道路機能が損なわれることになる。また、このような地震後残留変形が発生すれば、その都度段差や縦断勾配の補修が必要となる。地盤改良を施しておけば、早期に地盤強度が向上するため、仮に供用開始後の早期に大地震が到来したとしても、十分な耐震性が確保され、地震後沈下に対する維持補修工事も軽微なものとなる。地震後に残留する圧密沈下についても、無対策の場合は、長期に渡って地震後沈下が継続するのに対し、サンドドレーンを打設しておけば、地震後沈下も早期に収斂（地震後沈下に対する維持補修の回数もまた、低減）する。

4. おわりに

本文に示したような手法を用いれば、地盤改良の有無と大地震発生時期（あるいは発生確率）の組み合わせを考えて盛土の耐震性を議論することや、大地震の発生を考慮したライフサイクルコストの算定も可能となる。

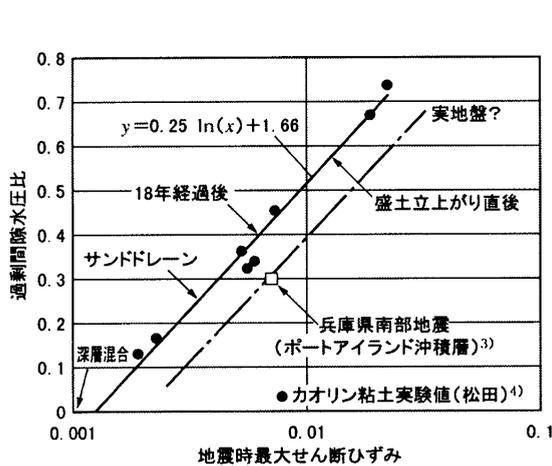


図4 粘性土の地震時最大せん断ひずみと過剰間隙水圧比の関係（松田⁴⁾より作図）

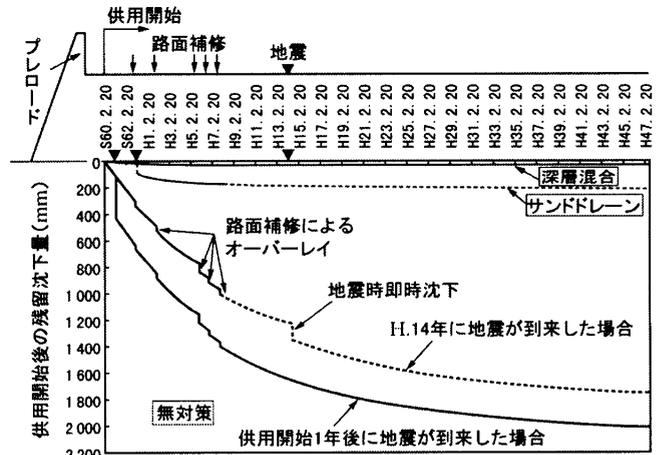


図5 地震時および地震後沈下の発生を考慮した供用後50年間の沈下予測結果

参考文献

- 1) 藤井輝久, 福田賢二郎, 大中英揮, 兵動正幸: 変形を考慮した盛土の耐震設計法, 土と基礎, No.50-1, pp.10~12, 2002.
- 2) 安原一哉, 村上 哲, 豊田紀孝: 土と基礎 講座: 粘性土の動的性質, 5. 粘性土の動的性質 (その3), No.47-1, pp.51~56, 1999.
- 3) 安原一哉, 常田賢一, 松尾 修, 那須 誠, 土と基礎 講座: 粘性土の動的性質, 3. 粘性土の動的問題に関するケース・ヒストリーと現象のメカニズム, No.46-7, pp.57~62, 1998.
- 4) 松田 博: 粘性土の地震後沈下過程の推定, 土木学会論文集, No.568/III-39, pp.41~48, 1997.
- 5) Tokimatsu, K. and H. B. Seed: Evaluation of Settlements in Sands due to Earthquake Shaking, J. GE, ASCE, Vol.113, No.8, pp.861~878, 1987.