

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○魚谷 真基

大阪大学大学院工学研究科 フェロー 常田 賢一

大阪大学大学院工学研究科 正 会 員 秦 吉弥

1. はじめに

従来、残留変形量の評価に関して盛土内における加速度増幅特性を考慮しない Newmark 法の適用が一般的である。しかし Newmark 法による解析では残留変形量の過小評価を指摘されており、盛土内の応答加速度を考慮することは重要である。そこで筆者らは、増幅特性の考慮することにより、従来の手法より残留変形量を精度良く予測するための手法である「改良 O 型 Newmark 法」¹⁾を提案している。

本稿は、被害規模の予測法の検証・向上を目的として、従来の Newmark 法(以下、従来型 Newmark 法と呼ぶ)との比較に基づき、改良 O 型 Newmark 法の適用性を明らかにした。さらに、既往の経験地震による盛土の変状実績に従い土質定数を設定することで、実被災盛土における残留変形量の再現を行った。

2. 改良 O 型 Newmark 法

改良 O 型 Newmark 法は、盛土内の応答加速度を考慮することで、従来型 Newmark 法に比べて精度の良い残留変形量の評価を期待して、著者らが提案している手法である。本手法の解析フローを図-1 に示す。改良 O 型 Newmark 法の利点は、盛土内の加速度増幅特性の考慮により、すべり面位置及びすべり変位量の予測精度の向上が図れること、動的 FEM 解析では再現困難なすべり破壊変形を精度よく再現できること、すべり面位置を一意的に決定し定量的に評価できること等がある。

3. 対象盛土

2011 年東北地方太平洋沖地震により、茨城県水戸市の常磐自動車道の那珂 IC 付近上り車線の 92.4kp の盛土で大規模な、特徴的被害が発生した。その被害の特徴とは、比較的層厚が薄いものの軟弱な基礎地盤上において底部破壊でなく斜面先破壊が発生したこと等が挙げられる。崩壊盛土の天端における残留変形量は約 1.5m であった。

4. 円弧すべり法による斜面先破壊の再現

円弧すべり法により斜面先破壊の再現を試みた。モデルおよび土質定数を図-2、表-1 にそれぞれ示す。土質定数は、ボーリングデータおよび設計要領第一集土工編²⁾に基づき決定した。円弧すべり法による解析を行った結果、常時の安全率は 1.085 となり、破壊形態は実被害と同様の斜面先破壊となった。しかしここで、近傍で多くの地震が発生する対象盛土において、常時の安全率 1.085 は非常に小さく、過去の地震によって崩壊し得る。そのため、既往の経験地震によりモデルの検証が必要である。

5. 既往の経験地震による既往モデルの検証

対象盛土は、2011 年東北地方太平洋沖地震(以下、本震と呼ぶ)より以前の大規模な地震である 2008 年 5 月 8 日に発生した M7.0 の茨城県沖を震源とする地震(以下、前震と呼ぶ)の影響を受けているが、前震による被害は確認されていない。この前震を利用した盛土の残留変形量の評価を行う。動的 FEM 解析のモデルおよびパラメータを図-3、図-4 にそれぞれ示す。

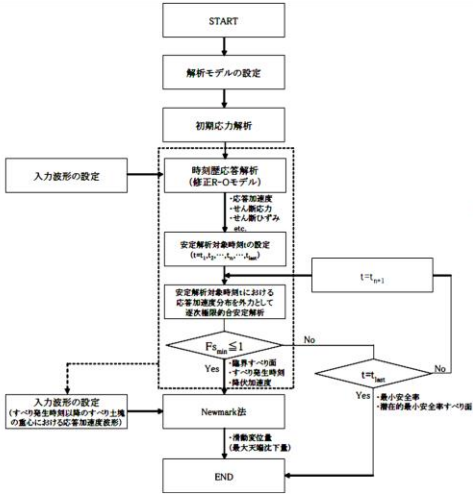


図-1 改良 O 型 Newmark 法のフロー

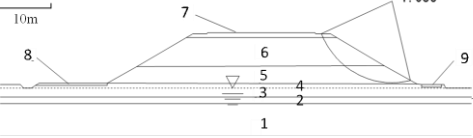


図-2 既往モデル

表-1 既往モデルの土質定数

層番号	飽和重量(kN/m ³)	湿潤重量(kN/m ³)	内部摩擦角(deg.)	粘着力(kPa)
1	20	20	35.86	0.00
2	20	16	20.00	18.75
3	20	16	15.00	13.00
4	20	16	15.00	13.00
5	20	14	20.00	5.00
6	20	19	20.00	10.00
7	20	20	40.00	0.00
8	20	20	35.00	0.00
9	20	20	30.00	0.00

地震動はサイト特性置換手法³⁾により推定された被災地点近傍の波形を使用した。前震による残留変形量は実際には生じなかったが、改良 O 型 Newmark 法による解析結果は 0.29m の残留変形量が発生した。そのため、破壊形態が斜面先破壊、かつ前震での残留変形量が発生しないモデルを再考する。土質定数は設計要領第一集土工編²⁾に基づき、

軟弱地盤上で斜面先破壊となりつつ盛土の強度が上昇するよう、試行錯誤により粘着力および内部摩擦角を決定した。変更した土質定数を表-3(網かけ部分が変更箇所)に示す。修正モデルを用いて円弧すべり法による解析を実施した結果、破壊形態は斜面先破壊となり常時の安全率は 1.252 と上昇した。修正モデルにおいて改良 O 型 Newmark 法による前震における残留変形量の解析を行った結果、残留変形量が 0.003m と限りなくゼロに近い値となった。この結果から対象盛土において前震時に、実際にはすべりが発生しなかったことを矛盾なく定性的に再現することができた。

6. 残留変形量による被災盛土の再現

修正モデルを用いて、本震における残留変形量に着目した従来型 Newmark 法および改良 O 型 Newmark 法による解析を行った。地震動は、前震と同様にサイト特性置換手法³⁾により推定した波形を採用した。得られた残留変形量を表-4に示す。前震による無被災実績を考慮した盛土モデルとしたことで、改良 O 型 Newmark 法による残留変形量は、本震による実被害非常に近い値を示す結果となったため、対象盛土のすべり変形の規模を一定の精度で再現できたと言える。一方、従来型 Newmark 法は、改良 O 型 Newmark 法および実被害による結果と比較すると残留変形量を過小に評価していることから、盛土内加速度増幅特性の重要性が示唆される。

7. まとめ

2011 年東北地方太平洋沖地震により被災した高速道路盛土において、残留変形量の観点から、改良 O 型 Newmark 法の適用に際してのモデル化の方法を検証し、以下に示す知見が得られた。

- (1) 破壊形態が斜面先破壊であることに加えて、当該盛土が 2008 年茨城県沖を震源とする地震 (M7.0) において残留変形量が発生しなかったことを考慮することにより、盛土モデルの修正を行った。その結果、修正モデルにおける 2011 年東北地方太平洋沖地震の残留変形量は実被害と近い値となり、適用性が確認できた。
- (2) 上記 (1) によれば、盛土モデルにおける土質定数の設定方法の重要性が示唆されるが、既往の経験地震による変状の有無による盛土モデルの検証が有効である。
- (3) 盛土および基礎地盤のモデル化を適切に実施することにより、盛土内における加速度増幅特性を考慮可能な改良 O 型 Newmark 法は、従来の Newmark 法と比較すると、より精度良く残留変形量を評価できることが確認できた。

【参考文献】 1) 江川祐輔・常田賢一・小田和広・中平明憲：地震時における道路盛土のすべり破壊の制御工法に関する解析的検討，土木学会地震工学論文集（報告），Vol.29, No.11-1002, 2007. 2) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：設計要領第一集土工編，第 1 章総説，pp. 43-44, 2012. 3) Hata, Y., Nozu, A., and Ichii, K. : A practical method to estimate strong ground motions after an earthquake, based on site amplification and phase characteristics, *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*, Vol. 101, No. 2, pp. 688-700, 2011.

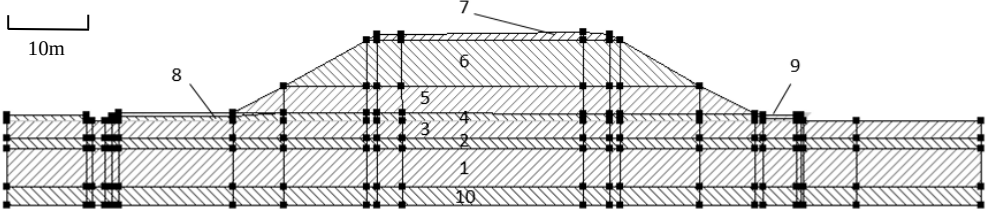


図-3 動的 FEM 解析におけるモデル

表-2 動的 FEM 解析におけるパラメータ

層番号	湿潤重量 γ_s (kN/m ³)	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角 ϕ (deg.)	せん断弾性係数 G_0 (kPa)	平均有効主応力 σ_{vm} (kPa)	ポアソン比 ν	R-O R_t	R-O α	R-O β	R-O h_{min}	弾性定数 E (kPa)	構成則
1	20	0.00	35.86	308000	93.082	0.33	9.30	2.451	2.293	0.25	—	修正 R-O モデル
2	20	18.75	20.00	207000	65.015	0.33	5.60	1.978	1.988	0.21	—	修正 R-O モデル
3	20	13.00	15.00	99300	58.882	0.33	1.20	2.079	2.056	0.22	—	修正 R-O モデル
4	16	13.00	15.00	99300	47.648	0.33	4.50	2.451	2.293	0.25	—	修正 R-O モデル
5	14	5.00	20.00	105000	43.655	0.33	1.70	1.657	1.729	0.17	—	修正 R-O モデル
6	19	10.00	20.00	66300	30.939	0.33	1.80	1.657	1.729	0.17	—	修正 R-O モデル
7	20	0.00	40.00	158000	4.551	0.33	5.00	1.887	1.916	0.20	—	修正 R-O モデル
8	20	0.00	35.00	118000	2.667	0.33	3.70	1.887	1.916	0.20	—	修正 R-O モデル
9	20	0.00	30.00	124000	2.667	0.33	2.50	1.727	1.788	0.18	—	修正 R-O モデル
10	20	0.00	35.86	—	—	0.33	—	—	—	—	164000	弾性モデル

表-3 修正モデルの土質定数

層番号	飽和重量(kN/m ³)	湿潤重量(kN/m ³)	内部摩擦角(deg.)	粘着力(kPa)
1	20	20	40.00	0.00
2	20	16	25.00	20.00
3	20	16	15.00	17.00
4	20	16	15.00	17.00
5	20	14	25.00	5.00
6	20	19	25.00	8.00
7	20	20	40.00	0.00
8	20	20	35.00	0.00
9	20	20	30.00	0.00

表-4 残留変形量の解析結果

	実被害	従来型 Newmark	改良O型 Newmark
残留変形量(m)	1.50	0.90	1.48