

経験地震による無被災実績を考慮した盛土のモデル化および 改良 O 型 Newmark 法による残留変形量の評価

大阪大学 学生会員 ○魚谷 真基
大阪大学 正会員 常田 賢一
大阪大学 正会員 秦 吉弥

1. はじめに

従来、盛土の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。高盛土あるいは形状の不規則な盛土では、盛土の増幅特性の考慮が重要となる。そこで、筆者らは盛土の増幅特性の考慮により、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、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モデルの最適化を行い、実被災盛土における残留変形量の再現を行った。また、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 法の適用性を検証した。

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 法と比較して精度よい残留変形量の評価を期待する手法である。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、すべり面位置およ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挙げられる。

3. 対象盛土およびモデル化

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的那珂 IC 付近上り車線の 92.4kp の盛土で大規模な被害が発生した。その被害の特徴は、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。

まず、円弧すべり法により対象盛土の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、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 は許容安全率(例えば、1.25)より小さく、過去の地震によって崩壊し得ることを示唆している。そのため、既往の経験地震を考慮したモデルの妥当性の検証が必要である。

4. 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)に近い過去に発生した大規模な地震である、2008 年 5 月 8 日に発生した茨城県沖を震源とする地震(M7.0)(以下、経験地震と呼ぶ)の影響を受けているが、経験地震による被害は確認されていない。この経験地震を考慮し、対象盛土の残留変形量を評価する。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。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。経験地震による残留変形量は実際には

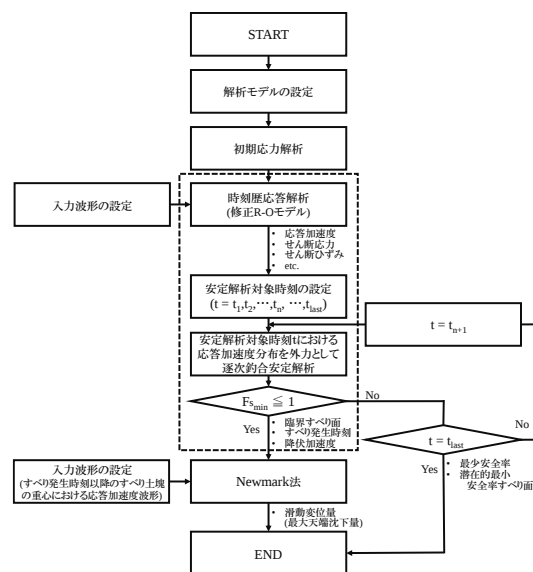


図-1 改良 O 型 Newmark 法のフロー

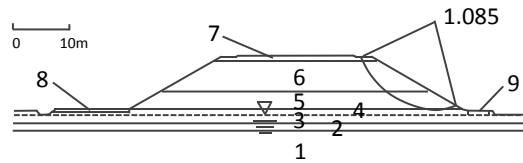


図-2 既往モデル

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

発生しなかったが、改良 O 型 Newmark 法による解析結果は 0.29m の残留変形量が算出された。そのため、破壊形態が斜面先破壊、かつ経験地震により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、斜面先破壊となるよう決定した。変更した土質定数を表-3(網がけ部分に変更箇所)に示す。円弧すべり法に

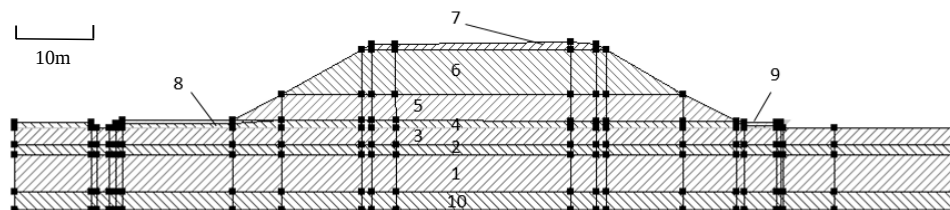


図-3 動的 FEM 解析におけるモデル

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_f	R-O α	R-O β	R-O η_{max}	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

よる解析結果は、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 法を適用し、経験地震時の残留変形量の解析を行った。解析結果の残留変形量は 0.003m であり、極く微量になった。この結果から、対象盛土において、最近の比較的規模の大きい経験地震時の、すべりが発生していない状態が再現でき、モデルの妥当性が確認できた。

5. 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、経験地震と同様に、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。経験地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いえる。一方、従来型 Newmark 法は、改良 O 型 Newmark 法による解析結果および実被害と比較すると、残留変形量を過小に評価している。これにより、盛土内加速度増幅特性の重要性が示唆される。

6. まとめ

2011 年東北地方太平洋沖地震により被災した道路盛土において、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) 2011 年東北地方太平洋沖地震による盛土の破壊形態が斜面先破壊であることに加えて、2008 年茨城県沖を震源とする経験地震(M7.0)の被害状況を考慮することにより、盛土モデルの修正を行った結果、2011 年東北地方太平洋沖地震による残留変形量の算出値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が評価できる。

【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.

キーワード 道路盛土，地震，Newmark 法，残留変形量，土質定数

連絡先 〒565-0871 大阪府大阪市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 TEL 06-6879-7626