

III-A211 ニューマーク法と変分法による盛土の地震時残留変位量の予測

大成建設技術研究所 正会員 ○ 樋口雄一・宇野浩樹
 正会員 末岡 徹

1. はじめに

盛土に対する通常の安定計算法では、すべりに対する安全率を計算して盛土が「滑る」か「滑らない」かを判定する。しかし、レベル2のような大地震に対して盛土を設計する際、滑動を許さない方法を用いると不経済になることが否めない。そこで盛土の機能上、差し支えない範囲で滑動を許す立場の設計法も必要になると考えられる。本論文では、まず盛土変位量を算定可能な計算法として、ニューマーク法と変分法を組合せた地震時盛土の変形量の計算方法¹⁾を示し、次にその適用性を調べるために砂地盤の盛土の振動台実験²⁾に対するシミュレーションを行ない、本計算法の特長について考察を加える。

2. 盛土の地震時残留変位量の計算方法

残留変位の計算はLeshchinskyら¹⁾の方法を用いた。この計算法では、まず盛土に作用する水平震度 C_s を未知数、すべり線形状 $Y(X)$ およびすべり線上に作用する垂直力分布 $S(X)$ を未知関数として、鉛直方向・水平方向の力のつり合い式(1)、(2)、モーメントのつり合い式(3)を求める。式(1)~式(3)で $F_s=1$ とおくと、水平震度 C_s は $Y(X)$ および $S(X)$ の汎関数となり、補汎関数 G を式(4)のように定義して G を極小化すれば、すべり線形状 $Y(X)$ 、垂直力分布 $S(X)$ 、限界水平震度 C_{sy} が求

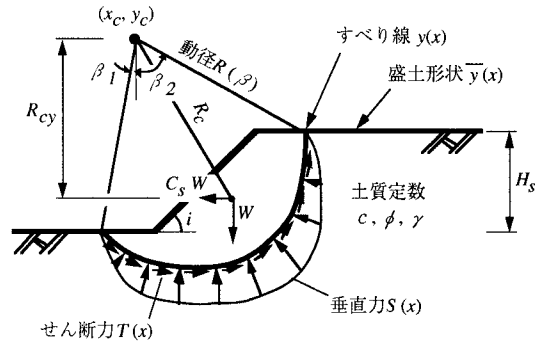


図-1 ニューマーク法と変分法を組合せた計算法の説明図

まる。変分法によって補汎関数 G に対するEulerの方程式を求めれば $Y(X)$ および $S(X)$ に関する微分方程式(5)、(6)が得られ、これらの解を式(4)に代入することにより C_{sy} が求まる。次に地震加速度を与え、水平加速度が $C_{sy}g$ を上回る間に発生するモーメントのつり合い分が土塊の滑動に寄与すると考え、式(7)に基づき角加速度を求めて時間 t について積分すれば、経時的な盛土の変位量を計算することができる。

$$H = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \{h\} d\beta = 0 \dots\dots (1) \quad V = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \{v\} d\beta = 0 \dots\dots (2) \quad M = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \{m\} d\beta = 0 \dots\dots (3)$$

ここに、

$$h = C_s(\bar{Y} - Y) + SY' - (N_m - S\Psi_m) \quad v = (\bar{Y} - Y) - S - (N_m + S\Psi_m)Y'$$

$$m = (\bar{Y} - Y) \left\{ (X - X_c) + \frac{1}{2} C_s (2Y_c - \bar{Y} - Y) \right\} - (N_m + S\Psi_m) \left\{ (Y_c - Y) + Y'(X - X_c) \right\} + S \left\{ Y'(Y_c - Y) - (X - X_c) \right\}$$

$$N_m = \frac{c}{F_s \gamma H_s} \quad \Psi_m = \frac{\tan \phi}{F_s} \quad X = \frac{x}{H_s} \quad Y = \frac{y}{H_s}$$

$$G = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \{g\} d\beta = \int_{\beta_1}^{\beta_2} \{h + \lambda_1 v + \lambda_2 m\} d\beta; \min G = 0 \dots\dots (4) \quad \text{ここに、} \lambda_1, \lambda_2 \text{はLagrangeの未定定数}$$

$$\frac{d}{dX} \frac{\partial g}{\partial Y'} - \frac{\partial g}{\partial Y} = 0 \dots\dots (5)$$

$$\frac{d}{dX} \frac{\partial g}{\partial S'} - \frac{\partial g}{\partial S} = 0 \dots\dots (6)$$

キーワード：動的、盛土、すべり面、残留変位、ニューマーク法

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設技術研究所 Tel.045-814-7236, Fax.045-814-7257

$$\ddot{\theta}_{(t)} = (C_{sy}(t) - C_{sy}) \frac{R_{cy}}{R_c^2} g \dots\dots (7)$$

3. 振動台実験のシミュレーション結果

ニューマーク法の適用性を調べるための検討条件として、豊浦砂を用いて作成した盛土の振動台実験²⁾を用いた。盛土高さは600mm、勾配は1:1.5($i=33.69^\circ$)で、豊浦砂の物性値は $\gamma_s=1.55\text{tf/m}^3$ 、 $c_d=0.0237\text{tf/m}^2$ 、 $\phi_d=42.04^\circ$ である。現実に近い状態を再現するため、盛土表面にはメンブレンを介して拘束圧 0.0173tf/m^2 を、盛土上面部には上載荷重として 0.1tf/m^2 を与えている。加振波は5Hzの正弦波で、振幅は最大605Galまで約50Galずつ増加させ、各加速度段階で約10秒間ずつ $t=24\sim 147\text{sec}$ の間、連続的に与えられた。

計算により限界加速度 $C_{sy}=0.447$ と図-2に示す臨界すべり線が得られた。実験では3本の断片的なすべり線が発生しており、臨界すべり線はこれらの内の1本と極めて近いが、概して大きめである。次に、盛土内部(A01H, A04H)および基盤部(A19H)に設置した加速度計の計測結果を水平加速度 $C_s(t)$ として与えて算出された天端沈下量を、法肩部における変位測定結果(DISP06, DISP07)と比較した(図-3)。盛土内の応答加速度を与えて得られた沈下量の経時変化の様子は、計測値の推移傾向と似ており、残留沈下量は計算値が26.9mm、26.3mmに対し計測値で30.9mm、20.5mmとほぼ値に近い。計算で得られた沈下曲線の勾配は実験の場合より大きい傾向がみられるが、これは実験では盛土崩壊にともない盛土勾配が次第に緩やかになるためと考えられる。図-4は盛土勾配*i*が残留変位量に与える影響を調べた結果で、*i*が小さくなると残留沈下量が急激に減少することが分かる。本論文で用いた計算法は盛土の緩勾配化を考慮していないため、沈下曲線の勾配が大きく計算される傾向をもつといえる。

4. まとめ

ニューマーク法と変分法を組合わせた残留変位計算法を砂盛土の振動台実験に適用したところ、入力加速度として盛土内の応答加速度を与えれば、実験結果にほぼ近い残留沈下量が得られた。今後の検討課題として、基盤面の加速度から盛土内の加速度を設定する方法、盛土の緩勾配化を考慮する方法などが挙げられる。その他、多層地盤への拡張、法枠やアンカーによる補強工の表現が必要になると考えている。

謝辞 本研究は、「土木学会 地震工学委員会 高地震力に対する土構造物の耐震設計法に関する研究小委員会(委員長 東畑郁生 東京大学教授)」における活動の一環として実施されたもので、委員各位より貴重な御意見を賜った。振動台実験における詳細な実験データは、(財)鉄道総合技術研究所殿より御提供頂いた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献 1) Ling, H I and Leshchinsky, D : Seismic Performance of Simple Slopes, *Soils & Foundations*, Vol. 35, No. 2, pp. 85-94, 1995, 2) 小島謙一・館山勝・木村英樹・古関潤一・龍岡文夫 : 盛土の模型振動実験, 第33回地盤工学研究発表会概要集, pp. 1033-1034, 1998.

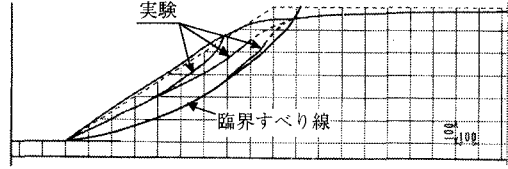


図-2 計算で得られた臨界すべり線と実験で生じたすべり線の比較 (格子の1目盛は100mm)

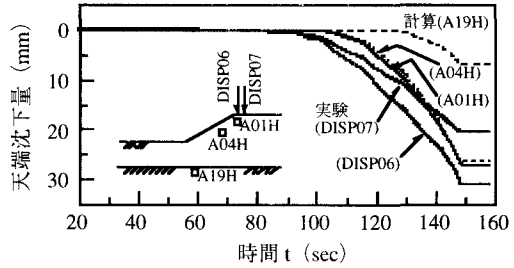


図-3 天端沈下量の経時変化

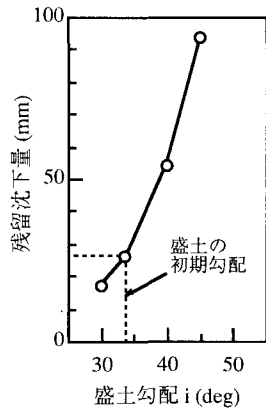


図-4 盛土勾配が変化した場合の残留沈下量