

動的 FEM による盛土のすべり解析

パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 山本 一敏

1. はじめに

大規模地震に対する盛土の耐震安全性の判定指標としてすべり量（残留変形量）が着目され、耐震設計においてすべり量の算出が必要になっている。本稿では(財)鉄道総合技術研究所で実施された図 - 1 の盛土の振動台実験を対象に、動的 FEM によるすべり解析を行った。振動台実験で用いた模型盛土は高さ 67cm、勾配 1 : 1.5、気乾状態の豊浦砂（Dr=65%）で作成されたものである。

2. すべり量の算出方法

図 - 2 の手順ですべり解析を行った。渡辺・馬場らの方法を参考に、2 次元動的 FEM 解析（等価線形化法）で求めた応力と加速度の応答に基づいて、次式によってすべり量を算出した。

$$\delta = \int_{t_0}^{t_1} \int_{t_0}^{\tau} (kh - khy) \cdot g \cdot d\tau \cdot dt$$

ここで、 δ ：すべり量、 kh ：すべり土塊の平均水平震度、 khy ：すべり線の降伏震度、 g ：重力加速度、 t_0 ：すべりが発生する時刻、 t_1 ：すべり速度が 0 となる時刻。なお、 $khy = Sf \cdot kh$ （ Sf ：すべり線の安全率）と仮定した。

3. すべり解析条件および結果

図 - 3 および表 - 1 に解析モデルおよび動的解析定数を示す。図 - 3 にはすべり量を算出したすべり線と実験のすべり状況も合わせて示す。初期応力解析ではせん断弾性係数を 13000KN/m^2 とし、動的解析では盛土の平均的な拘束圧に対応したせん断弾性係数を一律用いたケ - ス A、初期応力解析と同じせん断弾性係数を一律用いたケ - ス B、盛土の拘束圧の平方根に比例すると仮定して盛土の部位によってせん断弾性係数を変化させたケ - ス C の 3 ケ - スを実施した。強度定数については、平面ひずみ圧縮試験や三軸試験から $\phi = 42^\circ$ 、ポアソン比 0.3、単位体積重量 15.2KN/m^3 とした。

動的解析では図 - 4 に示す振動台の加速度波形を入力した。入力波形は 5Hz の定常波で、段階的に加速度振幅が大きくなっている。入力波形のと比較して模型盛土の固有振動数が高いこともあり、表 - 2 のように、いずれの解析ケ - スでも実験で見られた加速度応答の増幅が顕著でなかった。

図 - 4 にケ - ス B すべり線 2 のすべり安全率およびすべり量の時刻歴、表 - 3 に各ケ - スのすべり量を示す。解析で求まるすべり量は 6 ~ 10cm 程度であり、法肩の沈下量の実験値（3.1cm）と比較して大きい。また、解析ではすべり安全率が 1.0 を下回る時刻から急激に変形が増加するのに対して、実験では低い加速度の段階から変形が徐々に進行するゆすり込み沈下が見られる。ケ - ス A、C では浅いすべり線 1 の方が深いすべり線 2 よりもすべり量が多いが、ケ - ス B ではこの関係が逆転している。

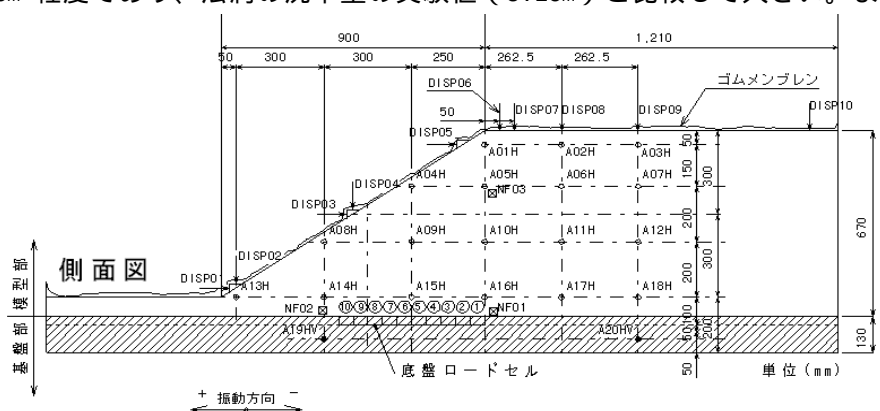


図 - 1 模型盛土の振動台実験

4. まとめ

動的 FEM によるすべり解析はニュ - マ - ク法と比較して複雑な地山や盛土の条件が複雑な場合にも適用性が高いと考えられるが、すべり解析結果は強度定数はもちろん、地盤剛性の影響も大きいことに注意が必要である。

この検討は、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の活動の一環として実施したものであり、貴重な実験結果を提供していただいた(財)鉄道総合技術研究所に感謝致します。

<参考文献> 渡辺・馬場：フィルダムの動的解析に基づくすべり安定評価手法の一考察、大ダム、No.97、p.29、1981.

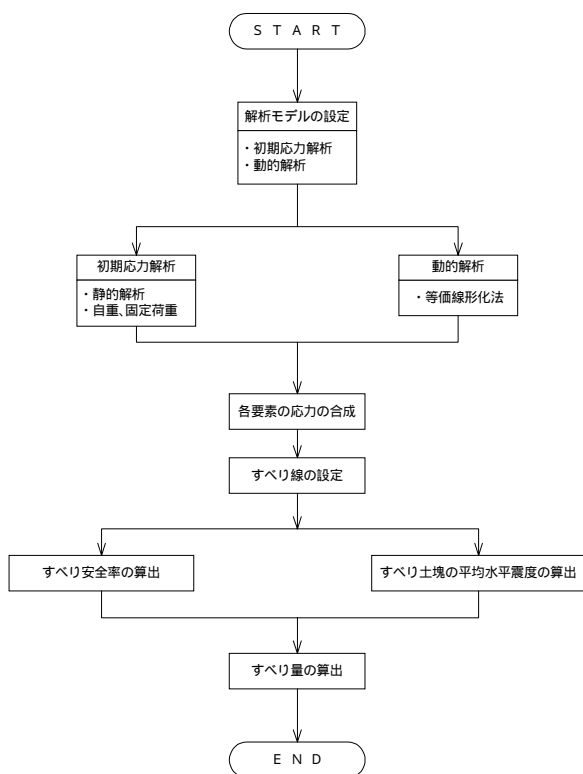


図 - 2 すべり量の算出の手順

表 - 1 動的解析定数

ケ - ス	ケ - ス A	ケ - ス B	ケ - ス C
せん断弾性係数 $G_0(\text{KN/m}^2)$	24000	13000	12000 ~ 24000

表 - 2 最大加速度の比較(gal)

位置	実験値	ケ - ス A	ケ - ス B	ケ - ス C
法先	704	622	612	609
法面	931	649	649	625
法肩	926	656	658	629
天端	876	659	662	630

表 - 3 すべり量の比較(cm)

すべり線	ケ - ス A	ケ - ス B	ケ - ス C
すべり線 1	7.9	0	10.1
すべり線 2	0.4	6.1	1.0

法肩で計測されたの残留沈下量 3.1cm

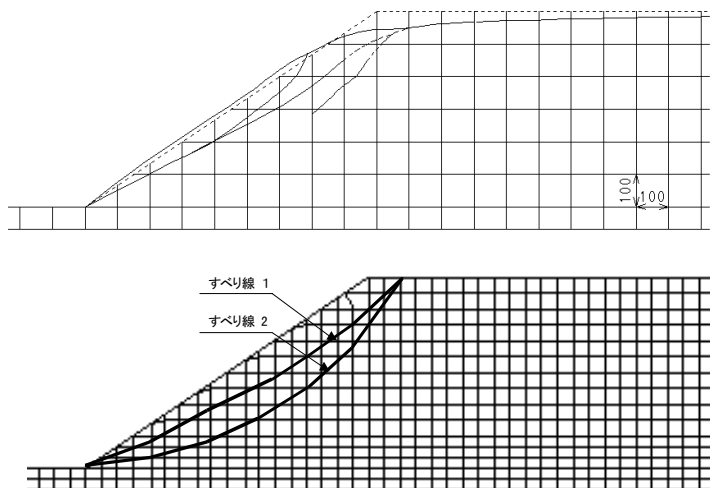


図 - 3 解析モデルおよびすべり状況図

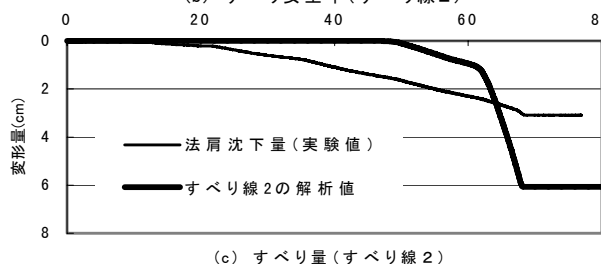
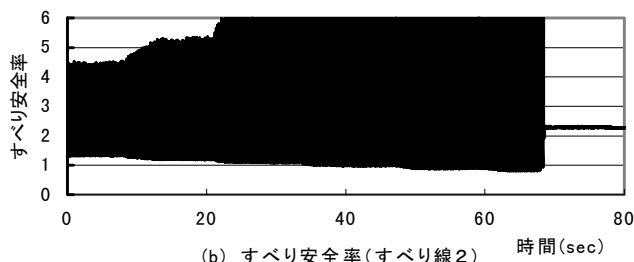
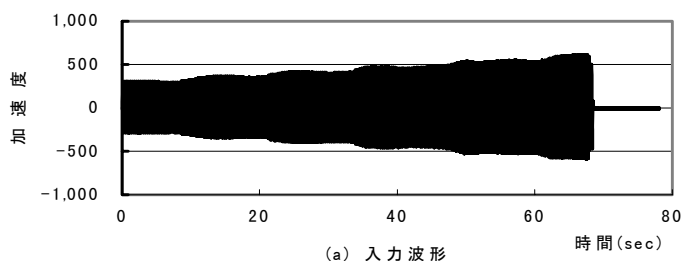


図 - 4 入力波形およびケ - ス B のすべり量