

III-78

静的震度法に関する2、3の考察

名古屋大学大学院 飯谷 隆
 名古屋大学工学部 大塚 悟
 名古屋大学工学部 松尾 稔

1. はじめに

盛土の地震時安定性は従来静的震度法によって解析されてきた。静的震度法は一般に地震荷重の中で最も盛土に危険な水平方向の加速度を取り上げてその安定性を評価するが、地震のように加速度の作用方向や大きさが著しく変化する複合荷重の場合には、一般的に危険側の解が得られることが多い。そこで、shakedown 解析を用いて従来の静的震度法の与える解について考察する。

他方、経時的な地震加速度の変化を与えれば、盛土の地震に対する安全率を定義することができる。本研究では動的応答解析とshakedown 解析の両者を用いて地震に対する盛土の安定性を直接評価し、最大加速度を静的荷重に置き換える静的震度法との関係について数値シュミレーションを用いて考察する。

2. 区分線形近似降伏関数とshakedown 解析

応力 $\sigma(t)$ を外力 $F(t)$ と弾性的に釣り合う応力 $\sigma^E(t)$ と残留応力 $\sigma^R(t)$ との和で記述する。ある領域内の任意な荷重の繰り返しに対して残留応力がある一定値 σ^R に収束し、構造物の挙動が弾性応答に落ち着くことをshakedown と言う。作用する荷重を図1に示す領域で表すと、Melan の定理(下界定理)はこの荷重領域に対するload factor ρ (図1の ρ 倍の荷重領域内の任意な繰り返し荷重に対して構造物が安定)の最大化問題になる。

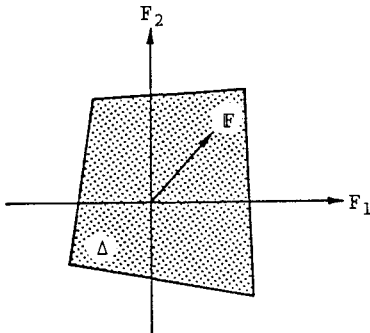


図1 荷重領域

降伏関数に線形不等式を用いると、

$$N^T(\rho\sigma^E(t) + \sigma^R) - K \leq 0 \quad (1)$$

Melan の定理は次の線形計画問題に帰着する。

$$s = \max\{\rho \mid \rho M + N^T \sigma^R \leq K, B^T \sigma^R = 0\} \quad (2)$$

ここに、

$$M = \max\{N^T \sigma^E(t) \mid B^T \sigma^E = F(t), F(t) \text{ in } \Delta\} \quad (3)$$

上式の相対問題はKoiterの定理(上界定理)に一致し、得られた解は正解であることが保証される。

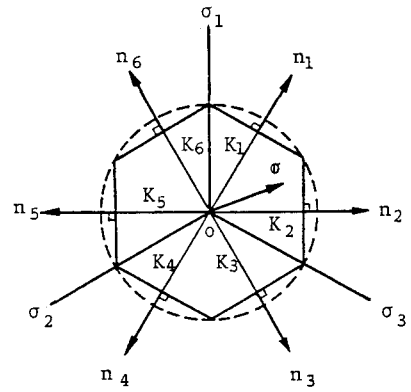


図2 荷重領域

3. 静的震度法による盛土のshakedown 解析

地震時の盛土の安定性の評価は地震加速度を用いた静的荷重(物体力)に対して行なわれてきた。そこで図3の盛土を取り上げて、単一方向荷重および複合荷重に対して安定解析を行ない、複合荷重による安定性への影響について考察した。

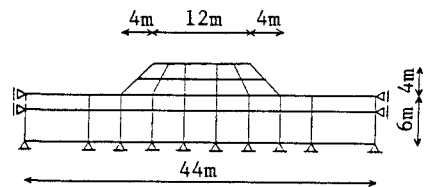


図3 境界条件

地震外力は極めて短い時間に作用するものとして、ここでは地盤に非排水仮定を用いた。地盤は一様とし、解析に用いた土質定数は表1に掲げた。図4は解析結果である。

表1: 土質定数

ν	=	0.2
E	=	827.45 (kN/m^2)
$(C_u)_{ps}$	=	23.561 (kN/m^2)
γ_d	=	19.6 (kN/m^3)

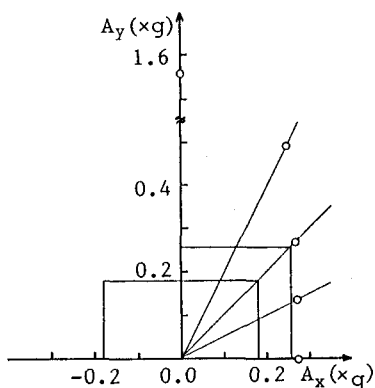


図4 解析結果

図の原点より放射状の直線は単一方向荷重(加速度)を表し、長方形で表される領域はその領域内の任意な加速度が作用する複合荷重であることを示す。鉛直方向の物体力により盛土を破壊させると、 $1.58g$ が得られ、Janbuの安定図表による $1.71g$ と比較的近い値が得られた。鉛直方向に対して水平方向の加速度が作用すると盛土がより不安定になるが、複合荷重の場合には更に小さな加速度で盛土が破壊することが分かる。特に加速度の反転する両振り载荷の場合には著しく盛土の安定性が劣化する結果となった。このことから盛土の地震時安定性を従来の慣用静的震度法により評価すると、過大に安定性を評価することが分かる。

4. 荷重履歴を考慮した盛土の地震時shakedown解析

地震加速度を静的荷重として盛土に作用させる静的震度法による解析に代わり、動的応答解析を実施

し、その弾性応答を基に地震に対する盛土の安定性をshakedown解析により評価する。この方法によると、地震の加速度記録に対して盛土の安定性が定義され、最大加速度が同じでも加速度記録が異なる場合には、異なる安全率が得られることになる。図3の盛土に基盤から振動数 ω 、最大振幅加速度 \bar{g} 、の加速度を入力し、盛土の減衰係数 α (比例減衰モデル:質量マトリックスの係数を変化、剛性マトリックスの係数は0.00001で一定と仮定した)を変化させて解析を行なった。表2に解析結果を示す。

表2: 解析結果

\bar{g}	ω	α	load factor
0.01	0.5	1.0	21.6
0.01	5.0	0.5	28.1
0.01	5.0	1.0	38.3
0.01	5.0	10.0	561.7
0.01	50.0	1.0	409.0
0.04	5.0	1.0	9.6
0.10	5.0	1.0	3.8

減衰係数 α が大きい場合や振動数 ω が大きいと盛土内部に発生する応力が小さく、したがって安全率が大きい傾向が見られる。最大振幅加速度 \bar{g} については盛土の安全率との間にほぼ線形性が成立している。動的応答解析においては十分な地震作用期間を取るよう留意した。

最大振幅加速度と盛土の安定性との線形性を利用して、表から安全率が1になるときの限界最大振幅加速度を逆算すると、表の数値事例は $0.22 \sim 5.62g$ の水平両振りの地震荷重に相当し、盛土や基盤の振動特性や地震入力波によって盛土の破壊する水平加速度に随分と幅の有ることが分かる。静的震度法による限界両振り加速度 $0.19g$ と比較すると、これらの数値解析は従来の静的震度法による解析が安全側であることを示唆する結果となった。

参考文献

- (1) M.Z. Cohn and G. Maier(1977): Engineering plasticity by mathematical programming, Proc. of the NATO Advanced Study Institute, Pergamon Press.