

III-63

震度法すべり面計算法に用いる土の動的強度に関する考察(その3)

建設省土木研究所 正員 松尾 修
 建設省土木研究所 正員 古賀泰之
 飛島建設株式会社 正員 武藤正人

1. まえがき

筆者らは前報¹⁾において、すべり面上のせん断強度として $\tau_f = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi'$ (σ_n : 垂直全応力、 $u = u_0 + \Delta u$ 、 u_0 : 初期間隙水圧、 Δu : 繰返しせん断による過剰間隙水圧) で表わされるいわゆる「有効応力強度」を盛土の地震時安定解析に適用することの問題点を明らかにした。この点に関連して、模型振動実験のデータを用いてさらに検討を加えたので以下に報告する。

2. 有効応力強度の適用性に関する予備的考察

図-1(a)の盛土構造物内の任意のすべりブロックを考え、すべり面上の任意の点Aの地震時のストレスパスは一般に(b)のように有効応力空間上で破壊面より内部で変動するものと考えられる。ここで有効応力強度をその時々 σ 、 u を用いて上式で定義すれば、常に $\tau \leq \tau_f$ 、すなわち $F_s = \tau_f / \tau \geq 1$ となる。一方、一般に用いられている有効応力強度は繰返しせん断に伴う間隙水圧 Δu_c のみを考えた τ_f 、あるいは初期せん断応力を考慮しない場合の間隙水圧 Δu_c を考えた τ_f であり、作用応力としては最大せん断応力 τ_{max} または常時応力 τ_0 が対比されることが多い。このとき、たとえば $F_s = \tau_f / \tau_{max}$ あるいは $F_s = \tau_f / \tau_0$ はいずれも 1.0 より小さくなり得るが、これは前者ではせん断強度と作用応力を定義する時点にずれがあるためであり、後者については初期せん断応力を考慮していないためである。したがって、このように定義された安全率は力学的な意味で曖昧であると言わざるを得ない。

3. 有効応力強度を用いた地震時安定解析
 別報²⁾で報告した模型振動実験結果に

$$F_s = \frac{\sum [c'l + (1 - k_h \tan \alpha) W \cos \alpha / l - u \cos^2 \alpha] l \tan \phi'}{\sum (W \sin \alpha R + k_h W y)} \dots (1)$$

$$\sum (m \ddot{x}_y + m \ddot{y}_x) = \sum \tau R \dots (2)$$

$$F_s = \frac{\sum \tau_f}{\sum \tau} \geq 1 \dots (3)$$

$$F_s = \frac{\sum [c'l + (\sigma_n - u) l \tan \phi'] R}{\sum [(1 \pm k_v) W \sin \alpha R + k_h W y]} \geq 1 \dots (4)$$

対して震度法円弧すべり計算を実施した。計算式は式(1)で示される修正フェレニウス法を用いた。有効応力強度定数については、三軸 $\bar{C}\bar{U}$ 試験の結果を参考に $c' = 0$ 、 $\phi' = 35^\circ$ を与えた。 u については時々刻々の実測値を用いた。これは繰返しせん断、全応力の变化による影響をすべて含むものと考えることができる。震度 k についても応答加速度記録の時々刻々の値 α を用いて与えた。ただし、ダランベールの原理により地震力は加速度の向きと反対に作用させることとなり、 $k = -\alpha/g$ としている。計算は全加振8秒間のうち最初の4秒間について、 $\Delta t = 0.04$ 秒刻みで100 ステップ実行した。

4. 解析結果と考察

図-2に実験(解析)モデル、応答加速度・間隙水圧・盛土沈下量の記録の一部、および安全率を示す。まず実験データに限って見ると、過剰間隙水圧の上昇とともに応答加速度が大きくなり盛土の沈下が始まっているのがわかる。これに対し、安全率は繰返し回数とともに低下し、加振2秒付近より $F_s < 1$ となる部分が生じ、4秒あたりでは $F_s \approx 0$ にまで達している。なお、図-3には $F_s \sim \delta$ 関係を示す。この安全率の低下傾向と盛土の沈下の関係は見かけ上素直であるが、2. で述べたこととは矛盾する。そこで、 $F_s < 1$ という

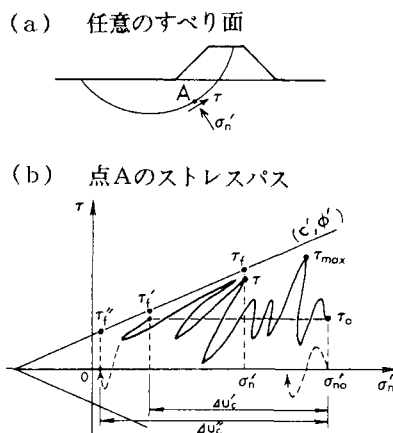


図-1 すべり面上の点Aのストレスパス

結果になった理由について以下考察してみる。

まず、1つには実験上の間隙水圧・加速度の測定誤差が考えられる。現に水平地盤部では $\Delta u \approx 1.2 \cdot \sigma'_{vo}$ となる測定データもあった。もう1つは式(1)の問題が考えられる。図-4に示す任意の円弧すべりブロックに対し、角運動量保存則より式(2)が成り立つ。一方、安全率 F_s を式(3)のように定義し $\tau f/\tau \geq 1$ が成り立つと仮定すれば $\bar{F}_s \geq 1$ である。式(3)を多少変形し、式(2)を用いると式(4)が得られる。式(4)を式(1)と比較すると、 $\tan \phi'$ にかかる項および鉛直震度の項の有無の点が異なっている。鉛直震度（加速度）は小さいのでこれを無視すると、残るは $\tan \phi'$ の項（垂直有効応力）である。式(1)の $u \cdot \cos^2 \alpha$ は修正フェレニウス式に特有の項であるが、これを u に置き換えると式(1)の F_s はさらに小さい値となる。したがって、測定誤差がなくしかも $\tau f/\tau \geq 1$ が常に成立すると仮定すると、式(1)で $F_s < 1$ となる理由は垂直全応力の評価がすべり面全体として小さめとなっていることにあると言える。このことは簡便分割法では安全率が小さめに得られると一般に言われていることに対する理由の一つでもある。

以上をまとめると、有効応力強度を用いた修正フェレニウスの式(1)で $F_s < 1$ となり得たのは、実験上の測定誤差かあるいは式(1)の鉛直応力の評価法に原因があることを示した。今回の結果がその2つのいずれに主に原因しているのかわかりにすするために、スライス間力を考慮した一般分割法を用いるなどして今後もう少し検討してみたいと考えている。

（参考文献） 1）古賀・松尾：震度法すべり面計算法に用いる土の動的強度に関する考察、第21回土質工学研究発表会講演集、PP.867～870、1986。 2）武藤・古賀・松尾：盛土の地震時被災

度に及ぼす入力地震動特性の影響に関する模型振動実験、第22回土質工学研究発表会、1987（投稿中）。

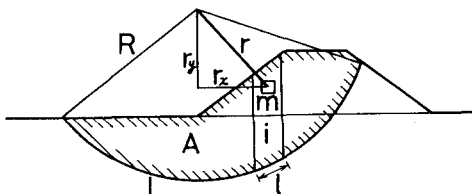


図-4 すべり円弧のキースケッチ

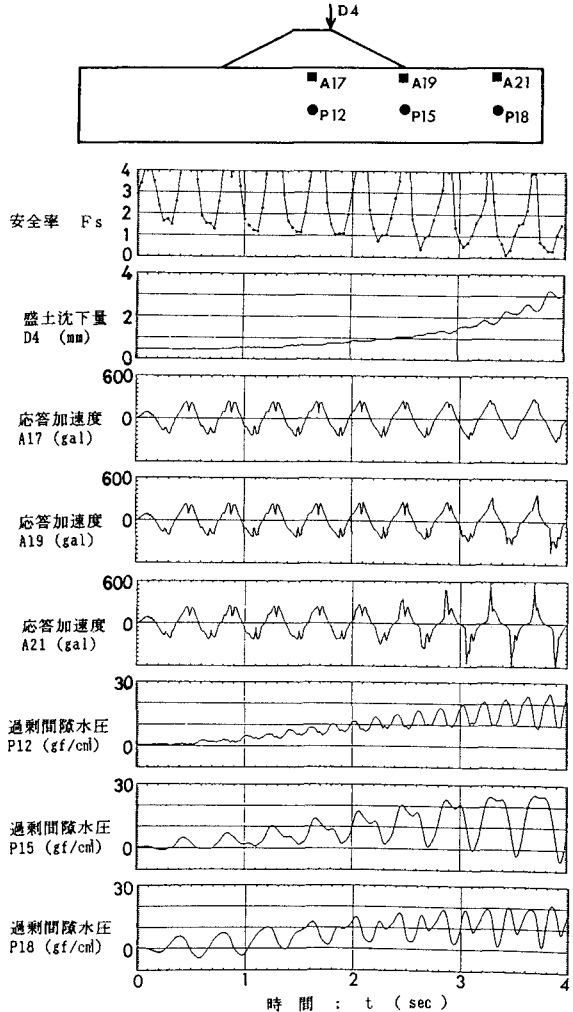


図-2 実験データと安全率の経時変化

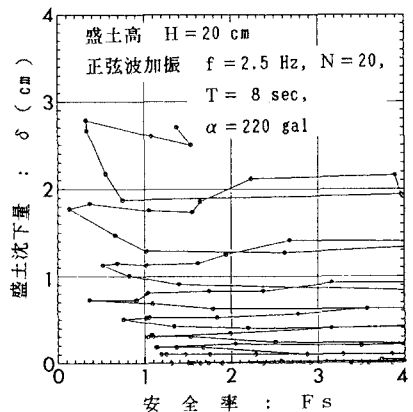


図-3 $F_s \sim \delta$ 関係