

清水建設大崎研究室 正員 ○ 山崎 文雄
正員 黒田 英高

1. はじめに

原子力施設等の重要構造物においては、構造物の耐震性ととも基礎部及び周辺地盤の耐震安定性が重要な課題となってくる。ここでは、地震時の地盤破壊モードのうち滑動モードに着目した弾性FEMによる安定解析法について紹介する。この問題は、従来円弧すべり法や剛体の力の釣合等の方法によって検討されてきたが、これらの方法では地盤-構造物の応答性状は余り考慮されず、地盤内の応力も求まらない。従って、図-1に示すような静的FEM及び動的FEMを核とする安定解析システムを作成し、耐震安定性を検討評価することにした。全体システムは、等価震度*1を地盤地震力として用いる静的安定解析と動的FEMによる時刻歴応力を用いる動的安定解析の2系統とした。

2. 安定解析手法

図-2に示すように地盤要素の地震時応力をMohr-Coulombの破壊規準と比較して、局所安全係数とモービライズド面*2(同心円状にMohr円が拡大した時に破壊の生ずる要素内の面)の向きを求め、局所安定性の指標とする。ここで地下水位下の地盤については、 $\Delta u = -1/2(\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_3)$ で表される地震時過剰間隙水圧を考慮し、平均増分応力は非排水条件下で全て水圧に転化するとした(ダイレタンシーは考慮せず)。これは平面ひずみ弾性体において、間隙圧係数Bを1.0とした場合のもので、この Δu を考慮すると地下水位下の地盤において、鉛直震度の局所安定性に及ぼす影響がほぼ無視できるようになる。

次に、局所安全係数とモービライズド面の向きを考慮して、潜在すべり面(滑動破壊モードの最も生じやすい連続面)を決定する。これには、工学的な判断を必要とする場合が多く、問題点として残されている。潜在すべり面に沿ったすべり安全率は、せん断応力とせん断抵抗の比として図-3のように表される。なおここで、現在の応力状態から破壊に至る応力経路の仮定によって図-4に示すような3通りの安全率が考えられる。円弧すべり等の方法では、一般にB法が用いられているが、局所安全係数との整合性を考慮すると、C法がより合理的な計算法ではないかと筆者らは考えている。これは、潜在すべり面上の応力が、最短の応力経路を通り破壊規準線に接すると仮定して安全率を求めるものである。

3. 解析例

図-5に成層地盤上に埋込れた構造物の動的安定解析の例を示す。図-6,7は、結果として求めた局所安全係数、すべり安全率の時刻歴波形である。これを同様な静的安定解析結果と比較すると、動的解析によるすべり安全率の方が30~60%程度大きかった。これは静的安定解析では、せん断応力の最大値の時刻的なずれを考慮していないことなどによると考えられる。

また、A法,B法,C法によるすべり安全率は、地盤の ϕ を 35° とした今回の解析では、ほぼ0.5:1:0.8の比率となっており、 ϕ 地盤において応力経路の仮定が安全率を大きく左右することが明らかとなった。

4. まとめ

静的FEM及び動的FEMを核とする安定解析システムを作成し、地盤-構造物系の滑動モードに対する耐震安定性を検討した。またすべり安全率の計算法や過剰間隙水圧について若干の提案を行った。今回の解析手法は、弾性範囲のものであり必ずしも十分なものとは言えないが、設計ベースで考えるなら安全側で実用的なものと言えよう。

5. 参考文献

- *1) 山崎,今津,黒田,“地盤の地震時安定解析に用いる等価震度”,第18回土質工学研究発表会,1983,6
- *2) 渡辺,馬場,“フィルダムのすべり安定評価手法の一考察”,大ダムNo97,1981,9

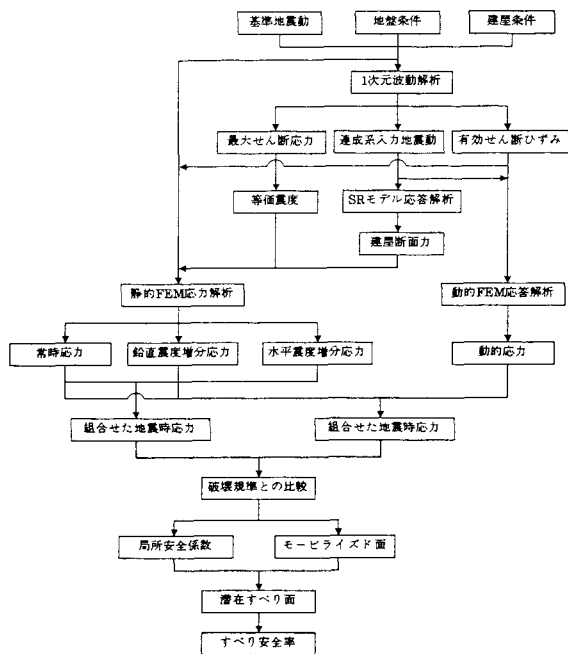


図-1 地盤-構造物系の耐震安定解析フロー

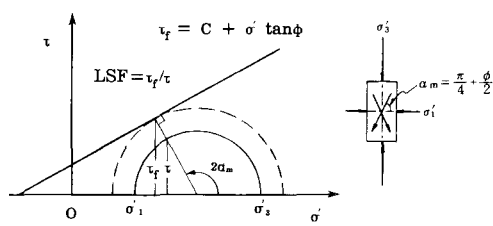


図-2 局所安全係数とモービライズド面

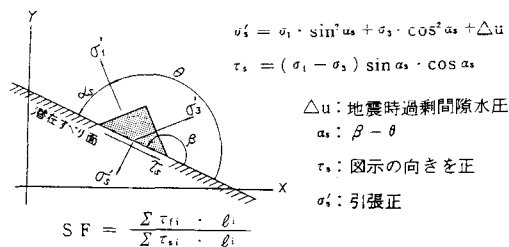


図-3 潜在すべり面とすべり安全率

① A 法

$$\tau_{1A} = [C \cdot \cos \phi - \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \Delta u \right) \cdot \sin \phi] \cdot \cos \phi$$

この τ_{1A} は、モービライズド面方向のせん断強度であり、潜在すべり面の方向と無関係に定まる。

② B 法

$$\tau_{1B} = C + \sigma'_i \cdot \tan \phi$$

$$= C + \left(\sigma_1 \cdot \sin^2 \alpha_i + \sigma_3 \cdot \cos^2 \alpha_i + \Delta u \right) \cdot \tan \phi$$

この τ_{1B} は、潜在すべり面上の直応力 σ'_i が変化しないと仮定した場合の潜在すべり面方向のせん断強度であり、慣用的に最もよく用いられる方法である。

③ C 法

$$\tau_{1C} = [C \cdot \cos \phi - \sigma'_{CN} \cdot \sin \phi] \cdot \cos \phi$$

$$= [C \cdot \cos \phi - (\sigma'_i - \tau_i \tan \phi) \cdot \sin \phi] \cdot \cos \phi$$

この τ_{1C} は、潜在すべり面上の応力が最短の応力経路を通過して破壊規準線に接すると仮定して求めたものであり、潜在すべり面をモービライズド面の向きに決めた時には、 $\tau_{1C} = \tau_{1A}$ となる。

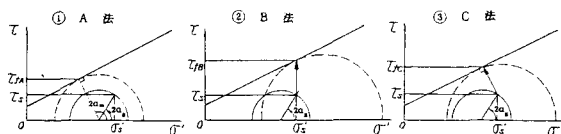


図-4 すべり安全率計算法

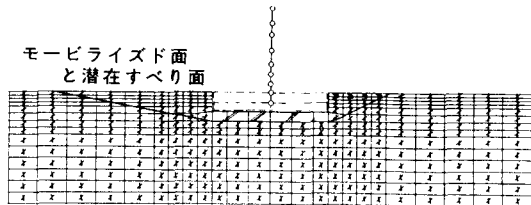
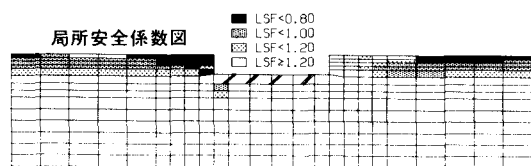
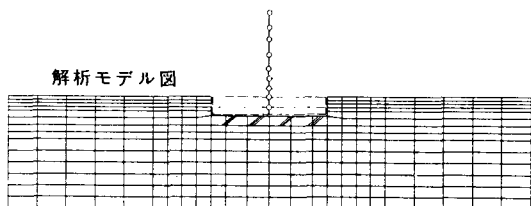


図-5 解析例

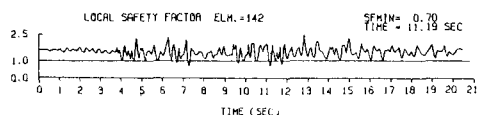


図-6 局所安全係数波形例

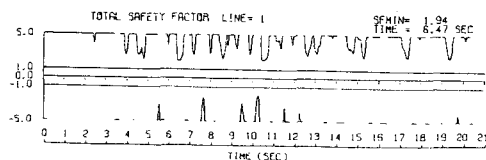


図-7 すべり安全率波形例