

斜面の地震時挙動と安全性の評価

京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三
 山口大学工学部 正会員 三浦房紀
 京都大学大学院 ○学生員 中山基隆

1. まえがき 山岳，丘陵地形が多く地震国であるわが国では斜面崩壊による被害が多く報告されており、斜面の地震時安定性を合理的に評価することの社会的要請は極めて高いといえよう。そこで、本研究では地震時における斜面の安定性を評価するために、まず数通りの静的な慣用手法を用いて水平震度を作用させた際の解析を行い、これらの解析結果を比較検討した。また有限要素法（FEM）を用いて静的解析を行い、慣用法との比較検討も行った。次に、FEMにより地震応答解析を行い、斜面内の動的応力からその安定性を評価し、慣用法との比較検討を試みた。

2. 静的解析手法による斜面の安定性の評価 図-1に示した勾配の異なる3通りの斜面について、水平震度 $kH = 0.0 \sim 0.5$ を作用させた際の安全率を Bishop 法、Fellenius 法、Janbu 法によって求めた結果を図-2に示す。これは内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ 、粘着力 $C = 1.0 \text{ tf/m}^2$ の場合であるが、この場合、Fellenius 法による安全率が他の手法に比べやや小さくなり、その差は安全率が 1.0 となる近傍では水平震度にして 0.05 程度である。Janbu 法と Bishop 法による安全率はほぼ一致している。また、 $\phi = 0^\circ$ あるいは $C = 0 \text{ tf/m}^2$ の場合には各手法による安全率の差は小さくなるのが別途確かめられた。

次に FEM による解析を行う。図-3は用いた有限要素網である。すべり安全率の算定は渡辺¹⁾らによって提案された手法によった。即ち、水平震度を作用させた際の各要素の静的応力状態から、適当な方法で想定したすべり線に沿って安全率を算定するものである。図-4は Bishop 法、Fellenius 法によって求めた安全率と、Bishop 法により決定されたすべり線について静的 FEM によって求めた安全率とを比較したものである。静的 FEM による安全率は両慣用法に比べるとやや大きく、その差は安全率が 1.0 となるレベルでは水平震度に換算して 0.1~0.15 程度である。

3. 有限要素法による動的安全性の評価 図-3に示したモデルの基盤から、(a) El Centro(1940), NS成分、(b) J.P.L(1971), S82E成分をその振幅を 100gal

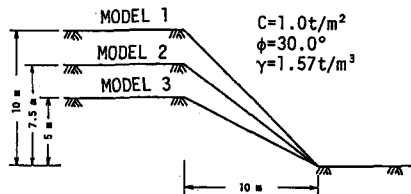


図-1 解析モデル

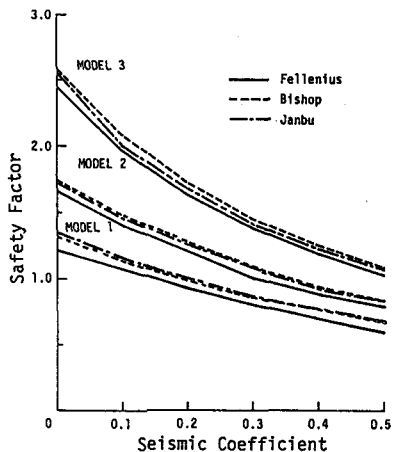


図-2 慣用法による安全率の比較

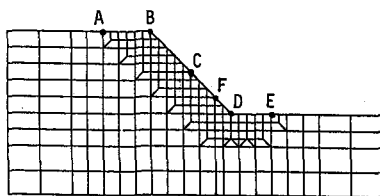


図-3 有限要素網

Kenzou TOKI, Fusanori MIURA, Mototaka NAKAYAMA

に修正して入力し、地震応答解析を行った。地震時においては時々刻々斜面内の応力状態が変化し、従って安全率も変化する。そこで、ここでは応答加速度の時刻歴に着目して加速度のピークとなる時刻を数点選んだ。その時刻前後で各要素の局所安全係数¹⁾を求めて、これが1.0以下となる要素の最も多い時刻を決定し、この要素を包絡するように潜在すべり線を決定した。そして、そのすべり土塊上の要素の水平方向加速度の平均値を求め、これを等価瞬間震度¹⁾とした。図-5はこのようにして決定した潜在すべり線(図-7)について、等価瞬間震度(E.S.C.)と安全率(S.F.)の時間的推移の1例を示したものである。(a)の場合、局所安全係数が1.0以下となる要素数が最大となる時刻は2.38秒であり安全率もこの時最低となっているが、その直前の2.34秒の方が等価瞬間震度は大きくなっている。(b)についても同様のことがいえる。すなわち、等価瞬間震度(応答加速度)が最大となる瞬間と安全率が最小となる瞬間とは時間差があることがわかる。そこで、図-6は図-3に示した各点の応答変位を示したものである。これより、安全率が最小となる時刻は加速度よりも変位が最大となる時刻により良い対応を示していることがわかる。

次に上で求めた最大等価瞬間震度を作用させてBishop法によって安全率を求めた結果、それぞれ、(a)1.061、(b)0.899を得た。また、その際のすべり線を示したものが図-7の破線である。安全率の差はそれぞれ、(a)2.4%、(b)8.5%と比較的良好な対応を示しているが、すべり線の位置、形状はかなり異なったものとなっている。FEMは法尻付近の応力集中を表現していると考えられ、このため、土塊全体のモーメントあるいは力のつり合いだけから安全率を算定する慣用法とは異なったものと考えられる。

参考文献 1) 渡辺、馬場、平田；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、電力中央研究所、研究報告No.381020、1981。

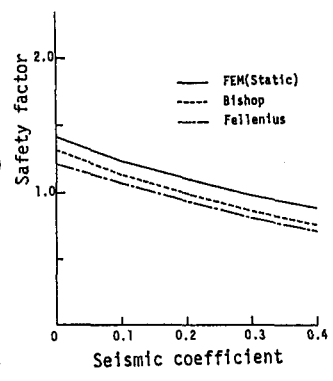


図-4 静的FEMと慣用法による安全率の比較

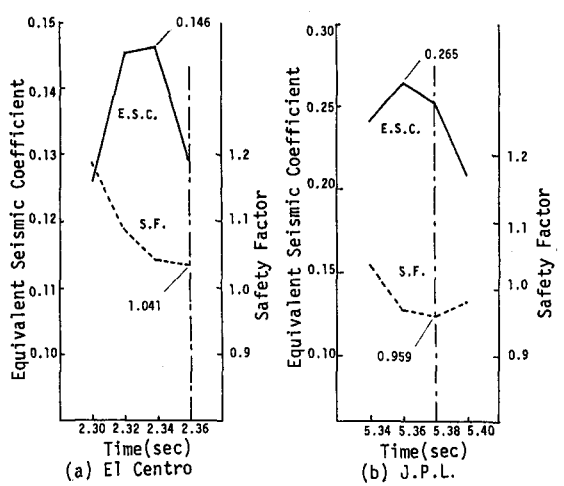


図-5 等価瞬間震度と安全率の時間的推移

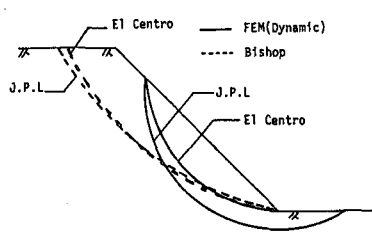


図-7 すべり線の比較

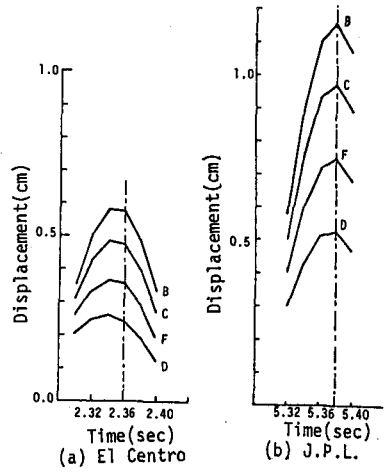


図-6 応答変位の時間的推移