

東京大学 工学部	正	石原 研而
基礎地盤コンサルタンツ(株)	正	森 研二
東京大学 大学院	学	梶田 卓嗣
東京大学 大学院	学	桑野 二郎

1. はじめに

斜面、盛土の地震時における安定性は、仮想すべり面の安全率の大小により評価されるのが一般的である。しかし、この安全率のみによる評価では、地震後の斜面の変形量、および変形状は予想することができない。Seedらは、地震時に盛土内の要素に働く動的な応力成分を応答解析により計算し、それを地震前より加わっている静的な応力を圧縮した試料に加え、その結果生じたひずみ (Strain Potencial) より地震後の斜面の変形の大きさや形状を予測する方法を提案し、いくつかの例で検証を行なっている。これらの研究では、仮想すべり面に働くせん断応力の動的成分を与えて繰り返し載荷を行なっている。しかし、実際の斜面、盛土では主応力方向は回転し、従って最大せん断応力の面も回転しているのど、単一のすべり面へのみ注目するのは必ずしも原位置をシミュレートしたことにはならないと考えられる。ここでは、実在する盛土を例として、応答解析の結果に基づいて、主応力方向の回転の問題を含めて、ひずみポテンシャルを求める方法について検討を加えてみた。

2. 地震時に盛土に働く応力について
静的な応力を除き、地震により要素に加わる動的な応力成分のみを考えてみた。図1に示すように水平方向の直応力、鉛直方向の直応力、面上のせん断応力をそれぞれ、 σ_x , σ_y , τ_{xy} とすると、土の変形を左右する因子として、偏差応力 $\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ 、せん断応力 τ_{xy} 、平均主応力 $\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$ を挙げる事ができよう。現在のところ、これら3つの成分を独立に制御しよう

動的な繰り返しせん断装置は実現困難であるが、土が飽和していれば平均主応力の変化は間隙水圧に転化され、有効応力には影響しないと

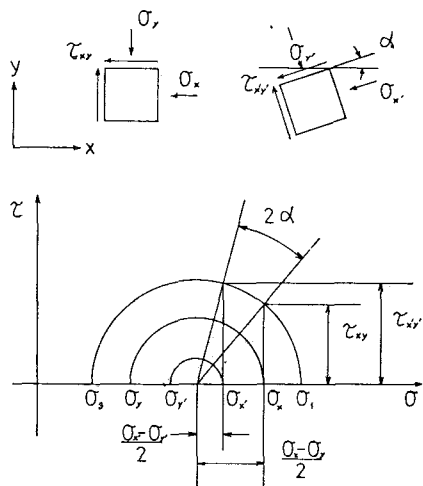


図1. 要素に加わる応力とモールの円

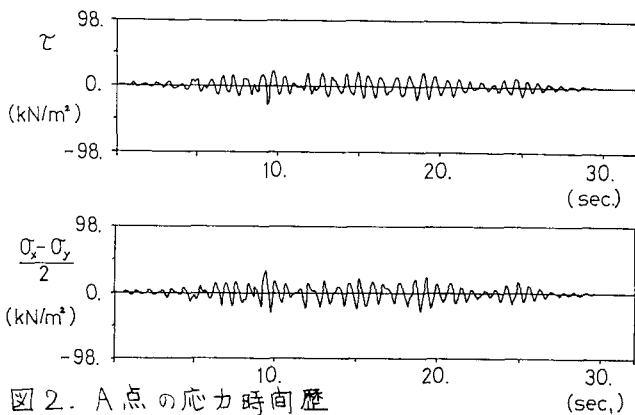


図2. A点の応力時間歴

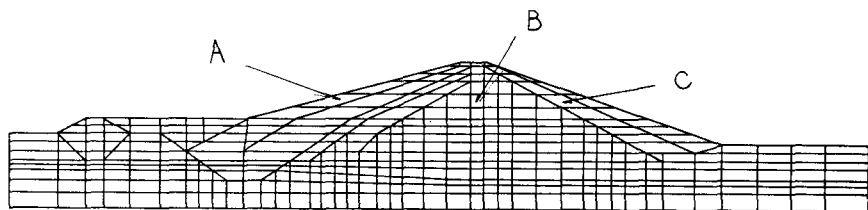


図3 盛土の形状

考えよ。そこでせん断応力と偏差応力について事例をもとに考えてみることにする。図3のような盛土に最大加速度150galのランダム波を基礎より入力した場合について、図中の代表的な3点A, B, Cの応力時刻歴を用いて検討してみた。A点の偏差応力 $\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ 、及び水平面上のせん断応力 τ_{xy} の時刻歴を図2に示す。このように斜面の左端では $\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ と τ_{xy} がほぼ同程度の大きさで加わっている。従って水平面を仮想すべり面として、水平面上に働くせん断応力のみを使、ミズミポテンシャルを求めることは適切でない。A点についてさらに、横軸に偏差応力 $\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ 、縦軸にせん断応力 τ_{xy} をとり、応力経路図を描いたのが図4 a) である。この図からわかることは、偏差応力とせん断応力のピークは一致し、応力経路はほぼ原点を通る直線上を往復している。図1のモール円からもわかるように、この応力経路図で座標原点を中心回転移動させることは、水平な要素のかわりに傾いた要素を選ぶことに対応する。従って図4 a) の場合、適当に座標を回転させ、 $\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ (もしくは τ_{xy}) が卓越する面を選ぶことにより、動的なせん断応力を繰返し三軸 (もしくは中空ねじり三軸等の単純せん断試験機) により再現できる。同様に点B, Cについてもこのような応力経路図を描いてみると、図4 b), c) のようになる。図4 a) は図4 a) とほぼ同様であるが、 $\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ と τ_{xy} との位相が逆転している。盛土の中央付近Bでは図4 b) のようにおもに τ_{xy} が卓越しているが、 $\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}$ も必ずしも無視し得ず、複雑な応力状態となっている。

3. 三軸試験機より求めたミズミポテンシャル

B, C 点について、前述の方法で偏差応力が支配的となる面を選ぶ。この面に加わるせん断応力を動的、静的両成分とも無視し、直応力のみを用いて繰返し三軸試験機を使い実験を行なった。実際の盛土 (図3) に用いた砂を突き締めにより原位置と同じ密度に締め固めた直径6cm、高さ12cmの供試体を原位置の要素に加わる静的直応力で圧密した後、動的偏差応力成分を加えた。結果は表1のようになり、盛土は安定だと言える。しかし、主応力面が固定された三軸試験機を用いたため、無視した応力 (表1中*印) が危険側に働くことが予想される。今後は、中空ねじり三軸等の単純せん断試験機を用いることにより、より正確に応力を再現した実験を行なう必要がある。

4. 参考文献

Lee, K.L. "Seismic Resistant Deformations in Earth Dams"
Report No. UCLA-ENG-7497. Jan. 1975

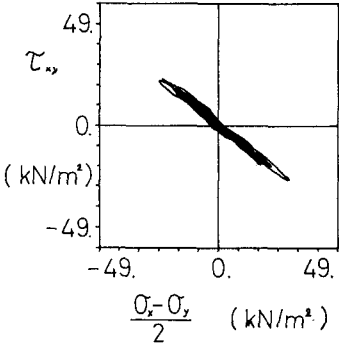


図4 a). A点での応力経路図 (左側斜面)

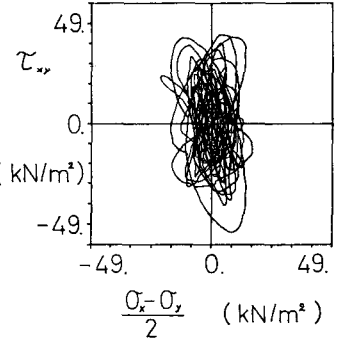


図4 b). B点での応力経路図 (盛土中央)

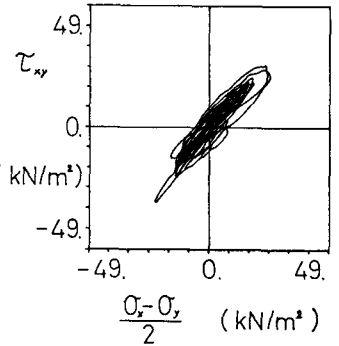


図4 c). C点での応力経路図 (右側斜面)

地点	σ_{zc} (kN/m²)	σ'_{zc} (kN/m²)	τ_{zgc} *	$(\sigma_z - \sigma_y)/2$ (kN/m²)	τ_{xy} (max) *	E_a (max)	E_a (residual)
B	137.6	164.9	34.7	54.1	22.1	0.20	0.17
C	160.0	80.3	16.3	44.7	10.2	0.85	0.57

表1. 実験結果 (*: 無視した応力成分)