

フジタ工業(株)技術研究所

正員 後藤 哲雄

同 上

○ 正員 香川 和夫

同 上

正員 中井 照夫

1. まえがき

土構造物の応力・変形解析に有限要素法がよく用いられているが、解析を定量的に扱うためには、応力-ひずみ曲線の表示方法、非線形の計算方法、解析の精度など、多くの問題を含んでいる。今回、⁽¹⁾⁽²⁾既報に続き、大型砂箱内での斜面の載荷実験結果を、斜面勾配の差に着目して解析したので報告する。

2. 実験概要

供試体は、片面耐圧ガラスの鋼鉄製砂箱(1.5 m × 1.5 m × 5.5 m)内で、指紋砂(比重2.66、砂分79%、シルト分15.8%の砂質ローム)を振動締固め機(重量12.6 kg、振動数1450/s)を用い、10層の締固めをおこない(平均含水比16%、平均間げき比0.97)、その後所定の斜面勾配(1:1.5, 1:1, 1:0.5)に整形して作成した。

載荷は、応力制御で、のり肩から60 cmの位置に載荷板(300 × 300 × 1450のH-鋼)を用いて、1 tonずつの荷重増分で破壊までおこない、各荷重段階の鉛直土圧、地表面変位の測定をおこなった。

3. 有限要素法による非線型解析

解析は、荷重増分法による非線型弾性解析によっておこなった。解析に用いた応力-ひずみ関係式は、松岡らにより提案されているものである。解析上、以下の仮定を設けた。

a) 圧密による体積ひずみの ϵ_1 、 ϵ_3 方向への配分比 α_1 、 α_3 は、

$$\alpha_1 = (2\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3), \quad \alpha_3 = (\sigma_1 - 2\sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3) \text{ とする。}$$

b) 供試体は、振動締固めによると思われる $\sigma_{mo} = 1.2 \text{ kg/cm}^2$ の先行圧密荷重を受けた過圧密状態と考え、過圧密による粒子向力を仮定する。すなわち、図-1で、P点で破壊するものは、正規領域の破壊線の延長上のP'点で破壊するものとする。

c) 初期応力は、ポアソン比 $\nu = 0.35$ で計算した有限要素法による弾性解を用いる。

d) 破壊基準として、図-1に示すモール・クーロンの破壊基準を用い、

又、破壊後の弾性係数は、ヤング率 $E_f = 5 \text{ kg/cm}^2$ 、

ポアソン比 $\nu_f = 0.47$ とする。

4. 実験・解析結果および考察

図-2、図-3に、斜面勾配1:1.5, 1:0.5の鉛直方向土圧の分布を実験と解析結果について示す。横軸には、荷重段階を表わし、縦軸には、鉛直土圧 σ_z (自重は含まない)を、等分布荷重強度 p で除した値を示す。実験結果では、荷重載荷中心線上のB、E点では、載荷に伴い σ_z/p の値が増加し、応力集中の傾向にあるが、表面に近いA、C点では、逆の傾向となる。斜面勾配の急なほど、応力集中の傾向は強くなる。斜面勾配が1:0.5

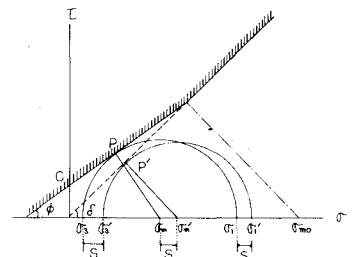


図-1 破壊基準と応力円

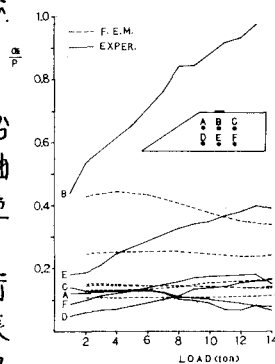


図-2 鉛直応力の変化(1:1.5)

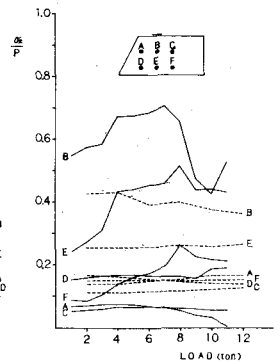


図-3 鉛直応力の変化(1:0.5)

の場合6~8tの荷重で、ピークらしきものが測定された。解析結果では、4tぐらいまでの初期の荷重段階では、 σ/p の値は、ほぼ実験結果を説明するが、その後はあまりあわない。これは解析上、破壊時の弾性係数を一定にしたためと思われる。

図-4に解析で得られる荷重載荷にともなう安全率の変化を示す。2tでは、1:1.5の場合、供試体全体が安全率1.5以上であるが、1:0.5の場合、載荷板下で既に1.5以下となる。6tでは、両方とも破壊域が表われるが、1:0.5の方がはるかに大きい。12tでは、1:0.5の場合、斜面のほとんどが安全率1.5以下となり、円弧状の破壊域がのり尻に進行し、斜面中央部分では、かなりのテンション領域が発生する。1:1.5の場合、載荷板下から円弧状に破壊域が発生する。更に荷重を載荷すると、16tで破壊域が底部に達し、その後の荷重増加に対し破壊域の幅が広がっていく。今回の解析では、斜面勾配がゆるくなると、最初、破壊の発生する荷重および最終的な崩壊荷重は大きくなるが、破壊形状は1:1.5、1:0.5とほとんど同一な円弧状となる。図-4に示した実験結果と比較すると1:0.5の場合はよく一致するが、1:1.5のゆるい斜面の場合、実験結果および剛塑性論的な解とは異なる破壊形状を示す。又、解析上、興味深いと思われることは、主動くさび周辺の破壊において、載荷板下のくさび先端付近に発生した破壊域が、まずのり尻に遠い載荷板端に進行していき、次いでのり尻に近い載荷板端に進行するという傾向がみられることである。

図-5に斜面の垂直方向変位に関して、実験および計算結果を示す。斜面の変形は、鉛直応力の分布に比較し、顕著に斜面勾配の影響を受け、1:0.5の場合、1:1.5の数倍の変形を示す。

なお、現在、応力-ひずみ曲線を直接、剛性マトリックスに組み込んで解析を進めており、まとまりしだい報告したいと考えている。

(参考文献) (1) 後藤 喬川: 第9回土質工学会 (2) 後藤 喬川, 中井: 第10回土質工学会

(3) 松岡: 京大防災年報 1973 (4) 菅野 康雄, 松岡: 京大防災年報 1974

(5) 中瀬, 木村, 山下: 第10回土質工学会

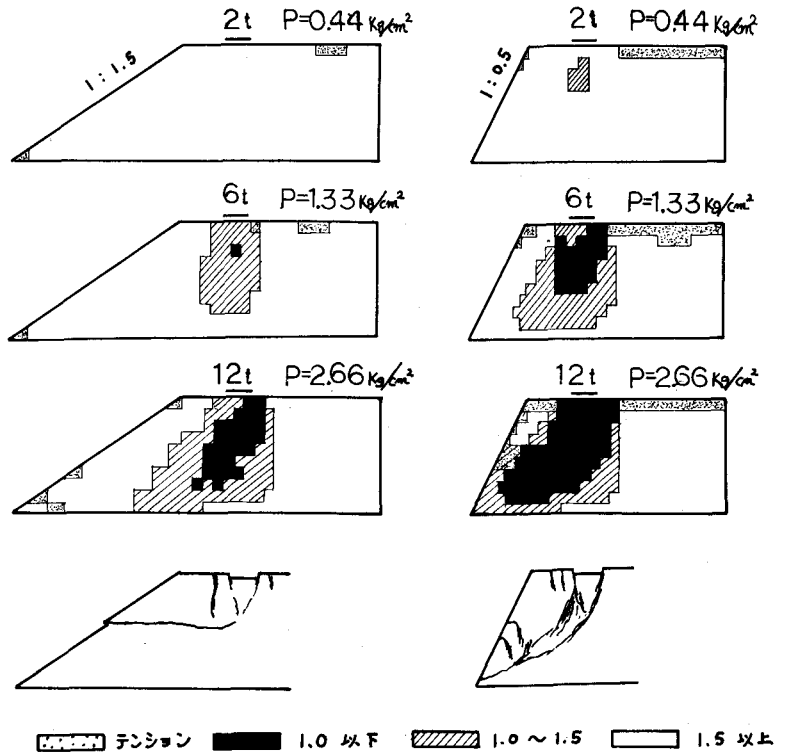


図-4 安全率の変化と破壊形状

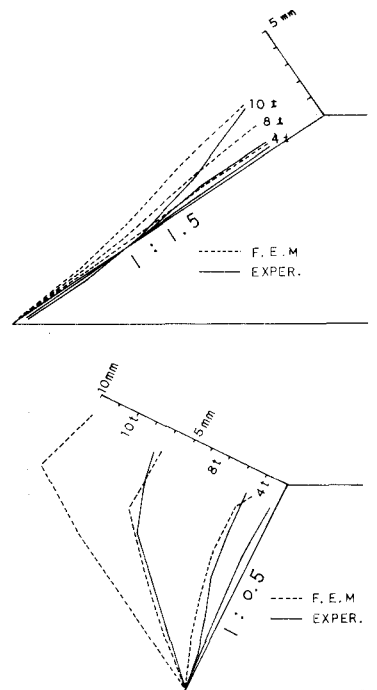


図-5 斜面の垂直方向変位