

○間 組 前場 洋之

京都大学 田村 武, 斯波 明宏

1. はじめに

砂のような粘着力のない摩擦性材に対する落とし戸実験を想定しながら、剛塑性有限要素法による数値シミュレーションをおこなった。同時に、昨年度発表した粘性土に対する結果（参考文献1）との比較や、砂質土と粘性土の互層地盤についても検討も行った。

2. 剛塑性有限要素法

土圧を塑性流動時の地盤内の応力と考えるとき、土圧をもっとも簡単に計算する方法は、Coulomb, Rankine 等にならない剛塑性モデルを用いる方法である。これを有限要素法したものが剛塑性有限要素法である。（参考文献2） 剛塑性解析では弾性変形を無視するので塑性流動に至るまでの変位の大きさは求められないが、直接、塑性流動状態を解析できることに利点がある。図-1に示すように、左下面の矢印の位置まである落とし戸（半幅 B ）を中心として右半分の領域を横20、たて15要素に分割し、重力場のもとで落とし戸を降下させる。このときの定常塑性すべり状態の応力場と速度場を計算する。底面から高さ $H(=6.67B)$ のところにある上面は無応力境界、左端（中心線に相当）、右面はなめらかな変位境界である。また、材料物性としてここでは、Mohr-Coulombの降伏条件：

$$f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

を仮定し、砂質土には $\phi = 30$ 度、 $c = 0$ 、一方、粘性土には $\phi = 0$ 、 $c/\gamma B = 0.125$ とし、関連流れ則に基づく応力-ひずみ速度関係を用いた。なお、 γ は地盤材料の単位体積重量である。

3. 数値解析結果

図-2, 3の実曲線は、それぞれ砂質土、粘性土からなる地盤に対して、落とし戸の解析をした場合の中心線上の鉛直土圧の分布形状を表している。ここで実直線は初期の静止土圧、破線はTerzaghiによる解である。砂質土の地盤では、アーチ作用により下部になるほど土圧が減少しているのに対し、粘性土地盤ではほとんど静止土圧から変化せず、Terzaghiの解がよく近似していることがわかる。これは、粘性土の粘着力がやや小さいことに起因する。（Terzaghiの理論によれば $c/\gamma B < 0.5$ では落とし戸に正の土圧が作用する。） しかし、砂質土とは異なった挙動をすることには注意しなければならない。

つぎに、2相系地盤の場合について考える。図-4は上部に粘性土、下部に砂質土がある場合の土圧分布である。粘性土の部分では、ほとんど静止土圧からの土圧の減少はみられないが、砂質土の部分で急激に土圧は減少する。これは、粘性土の自重が砂質土の等方圧縮応力を増加させ、その結果、砂質土のせん断抵抗が大きくなるためと思われる。つまり、粘性土の重量が、砂質土を強くしているためである。また、破線で示すTerzaghi（の解を拡張した）解も定性的に数値解析結果を近似しているが、やや大きめの落とし戸土圧を呈している。一方、図-5は上部が砂質土、下部が粘性土の場合の土圧分布である。ここで注意すべきは、落とし戸上の土圧の大きさは静止土圧とほとんど変わらないことである。つまり、上部に砂質土があっても、下部に粘性土がある場合には、砂質土の重量はそのまま粘性土の荷重として作用し、これがそのまま落とし戸土圧を増加させている。これは、 $c/\gamma B < 0.5$ のように相対的に粘性土の粘着力が小さい場合の結果であるが、大深度掘削時の土圧に関して十分検討しなければならないことの1つである。

図-6は、無次元化した落とし戸上の平均土圧（ $\sigma/\gamma B$ ）を横軸に、また、無次元化した被り高さ（ H/B ）を縦軸にとって、数値解析全体を表したものである。それぞれの番号は、1. 砂質土地盤に対して落とし戸を上昇させた場合、2. 砂質土地盤、3. 粘性土地盤、4. 上部が砂質土、下部が粘性土地盤、5. 上部が粘性土、下部が砂質土地盤でそれぞれ降下させた場合、および、6. 静止土圧を表す。なお、4, 5において、全体の被り高さ H は $6.67B$ のままである。

Hiroyuki Maeba, Takeshi Tamura, Akihiro Shiba

4. まとめ

Mohr-Coulomb の降伏関数に基づく剛塑性有限要素法を定式化し、2 相系を含む種々の地盤に対する落とし戸土圧の計算を行った。その結果、とくに粘着力の小さい粘性土を含む 2 相系地盤の土圧分布には注意が必要であることがわかった。

参考文献

- 1) 斯波 明宏, 田村 武: 剛塑性有限要素法によるトンネル土圧の基礎的研究, 平成 4 年度土木学会関西支部 年次学術講演会, 講演概要, III-14.
- 2) Tamura, T., S. Kobayashi and T. Sumi: Rigid-Plastic Finite Element Method for Frictional Materials, Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp.1-12, 1987.

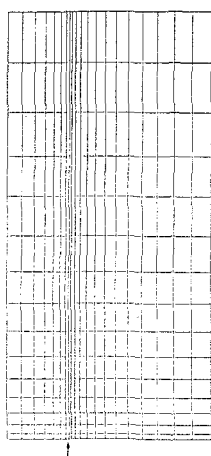


図-1 有限要素分割

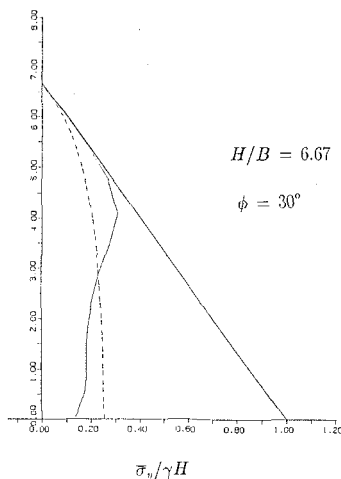


図-2 垂直土圧分布 (砂質土地盤)

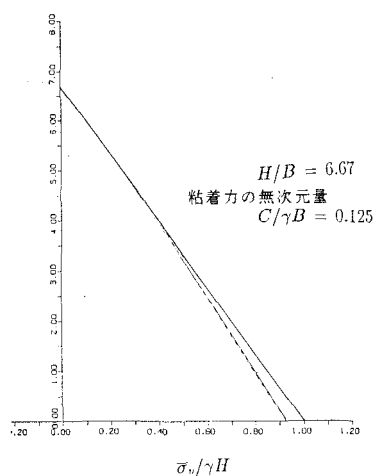


図-3 垂直土圧分布 (粘性土地盤)

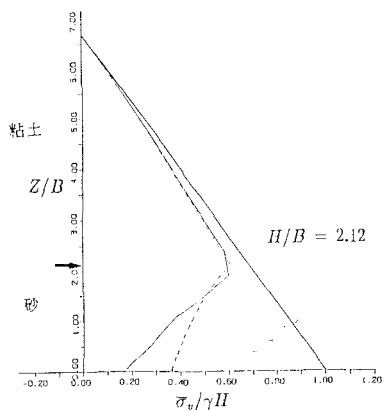


図-4 垂直土圧分布 (粘性+砂質)

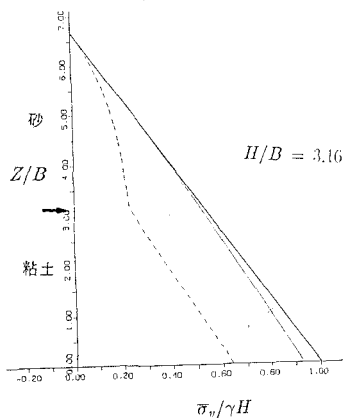


図-5 垂直土圧分布 (砂質+粘性)

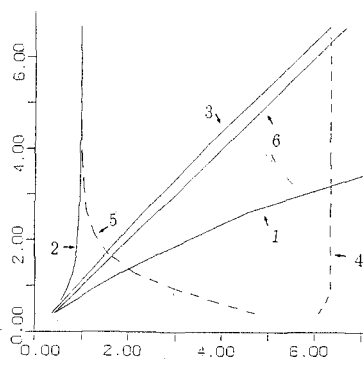


図-6 落とし戸土圧と被り高さ