

III-665

非関連流れ則を用いた落とし戸土圧の数値解析

京都大学 学生員 ○ 斯波 明宏
京都大学 正 員 田村 武

1. はじめに

剛塑性有限要素法を用いて、粘着力のない摩擦性材料(アルミ棒)に対する落とし戸の実験(図-1)の数値シミュレーションを行った。また剛塑性有限要素法を用いるに当たって、関連流れ則と非関連流れ則を適用し、それぞれの結果を比較、検討した。さらに足立らによる実験値(参考文献1)との比較も行った。

2. 解析方法

弾性変形を無視して塑性変形のみを考慮した剛塑性モデルを有限要素法に適用したものが剛塑性有限要素法である。(参考文献2) これはすべり線理論と同様の理論的背景をもつ。この剛塑性有限要素法は、関連流れ則に基づいて定式化されることがほとんどであったが、砂のような摩擦角を有する土質材料に適用する場合には、過大な体積膨張を生じ、場合によっては不自然な速度場を呈することがある。そこで体積膨張を抑えるために非関連流れ則を適用する。非関連流れ則では降伏関数と塑性ポテンシャルを区別して考えなければならない。降伏関数 f として Drucker-Prager の降伏条件(式(1))、塑性ポテンシャル g として式(2)を仮定する。

$$f = -\alpha I_1 + \sqrt{J_2} = k \quad (1)$$

$$g = -\bar{\alpha} I_1 + \sqrt{J_2} \quad (2)$$

また

$$\bar{\alpha} = r\alpha \quad (3)$$

とおくと内部摩擦角 ϕ は以下ようになる。

$$\sin \phi = \frac{3\alpha\sqrt{1-3r^2\alpha^2}}{1-3r\alpha^2} \quad (4)$$

r が 1 の場合は関連流れ則に一致し、 r が 0 の場合は非圧縮になる。

次に解析モデルとして、図-1 に示す落とし戸の実験の右半分を対象とし、横 20、縦 10 要素に分割する。そして落とし戸の半幅を B 、モデルの高さを H とし、落とし戸を降下(または上昇)させたときの落とし戸にかかる土圧を算定する。なお $\phi = 30$ 度、 $k = 0(c = 0)$ とした。

3. 数値解析結果

図-2, 3 の横軸は落とし戸にかかる土圧の平均値を γB で除して無次元化したもので、縦軸はモデルの高さ H を B で除したものである。破線は初期の静止土圧を表し、細い実線は Terzaghi の理論解を表している。小さい点を太い実線で結んだものは関連流れ則によって数値計算した結果であり、大きい点は非関連流れ則によって数値計算した結果で $r = 0.5$ と $r = 0.0$ の順で右に並んでいる。三角の点は実験値を表す。図-2 は落とし戸を降下させた場合であるが、高さ H が $3.0B$ 以上では土圧は収束している。これはアーチ作用によりある高さ以上の土被りを支えていると考えられる。非関連流れ則を用いた場合は r を小さくすれば土圧は大きくなる。体積膨張を小さくすれば落とし戸を降下した分、上層の部分も下に落ちようとするためアーチ作用によって支える部分が減少し、土圧が大きくなると考えられる。また r が 0 に近づくにつれて、土圧の増加する割合が大きくなった。 H/B が 4.0 のところでは非関連流れ則による結果と実験値がほぼ一致していた。

次に、落とし戸を上昇させた場合、落とし戸にかかる土圧は被り H が大きくなるにつれて、かなりの割合で増加する。非関連流れ則による結果は関連流れ則によるものよりも土圧が減少している。特に被りが大きいほうが減少の割合が大きい。落とし戸を上昇させることは落とし戸の外側部分を下げたのと同じことになり、外側部分に対してアーチ作用が働く、つまりアーチ作用により外側部分の上層の土被りを落とし戸上で支えることになる。また落とし戸を上げた場合にも体積膨張を生じ、上層部分全体が上昇する。このことか

ら非関連流れ則を用いれば上層部分の体積膨張を抑えることにより、アーチ作用が負担する土被りが減るため落とし戸にかかる土圧が減少すると考えられる。また被り H が大きい程、膨張する部分が多くなるため、土圧の減少する割合が大きくなると考えられる。図-2 と同様に $H/B=4.0$ のところでは非関連流れ則による結果と実験値とがほぼ一致していた。

4. まとめ

非関連流れ則を用いれば、落とし戸土圧が変化することがはっきりと認められた。またその計算結果は、関連流れ則による結果よりも、より実際に近い現象を示していることがわかった。

参考文献

- 1) 足立 紀尚, 田村 武, 木村 亮, 荒巻 智: 落とし戸の実験と数値解析, 第28回土質工学研究発表会講演集(予定), 1993
- 2) T.Tamura, S.Kobayashi and T.Sumi :Rigid-Plastic Finite Element Method for Frictional Materials, Soils and Foundations, Voi.27, No.3, pp.1-12,1987.

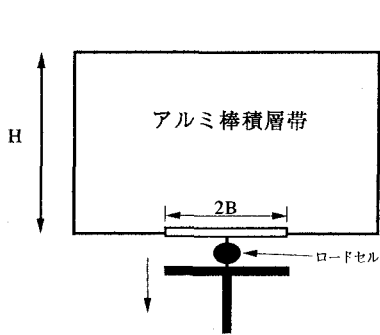


図-1 落とし戸の実験モデル

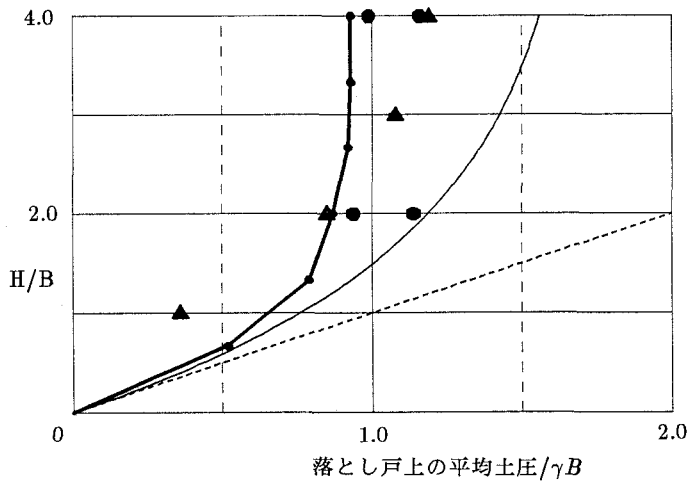


図-2 落とし戸土圧と被り高さ（降下）

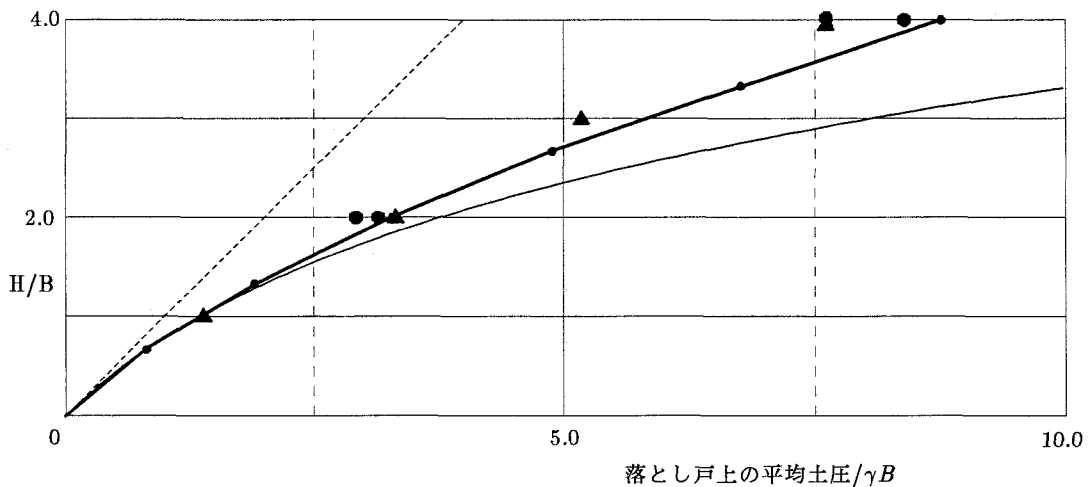


図-3 落とし戸土圧と被り高さ（上昇）