

京都大学工学部
(株)大本組正会員
正会員足立紀尚, 田村 武, 木村 亮
○西村拓也

1. はじめに

近年, 我が国のトンネルの工事量は着実に増加してきておりと共に, 工事の内容も高度な技術を必要とするものが増えてきている。これらのトンネルの合理的な設計, 施工を行うためには, トンネル土圧の真の発生機構を把握し, トンネルと地山の相互作用を明らかにすることが重要である。このような現況を踏まえて, 筆者らは軸対称円形降下床装置(直径5cmの降下床)を用いて, 40gの遠心力場において落し戸実験を実施してきた¹⁾。本報告では, これらの研究の実験結果と, 落し戸に作用する荷重を算定するのによく用いられるTerzaghiの理論を, 軸対称の3次元に拡張し算出した結果を比較検討した。

2. 降下床に作用する荷重の算定方法

本研究ではTerzaghiの理論を応用して, 砂地盤及び粘性土地盤中の3次元の軸対称の円形降下床に作用する土圧の算定式を導いた。Fig.1に示すモデルを用いて, 降下床を初期の位置から下降させたときに降下床に作用する平均鉛直土圧 $\bar{\sigma}_v$ を求める。降下床の下降にともなう生ずるせん断面を降下床を底面とする円柱の側面部分と仮定する。せん断面にそって作用するせん断強度を τ とし

$$\tau = c + \bar{\sigma}_h \tan \phi \quad \dots \dots (1)$$

とする。これらの鉛直線断面に挟まれた dz の厚さの微小土柱要素の釣り合い条件はFig.1を参照にして次のように得られる。

$$(\bar{\sigma}_v + d\bar{\sigma}_v) \cdot \pi a^2 - \bar{\sigma}_v \cdot \pi a^2 + \tau \cdot 2\pi a \cdot dz - \gamma \cdot \pi a^2 \cdot dz = 0 \quad \dots \dots (2)$$

ここに, $\bar{\sigma}_v$ は降下床が十分下降し, せん断応力が完全に発揮されたときの鉛直せん断断面内に挟まれた領域内の平均鉛直土圧, c は地盤の粘着力, a は降下床の半径, z は降下床上から上方への距離である。なお, 平均鉛直土圧 $\bar{\sigma}_v$ は同一水平面上に等分布されているとし, また, $\bar{\sigma}_v / \bar{\sigma}_h$ の比はどの深さでも一定値 K_0 と仮定する。これにより式(1)は,

$$\tau = c + K_0 \cdot \bar{\sigma}_v \cdot \tan \phi \quad \dots \dots (3)$$

となる。式(3)を(2)に代入して, 地表面無載荷の条件で釣り合い式(2)を解けば, 降下床上 z の距離における平均鉛直土圧は次式になる。

$$\bar{\sigma}_v = \frac{2c - a\gamma}{2K_0 \tan \phi} \left[1 - \exp \left\{ K_0 \cdot (z - h) \cdot \frac{2}{a} \cdot \tan \phi \right\} \right] \quad \dots \dots (4)$$

ゆえに, 降下床にかかる土圧は, 式(4)において $z=0$ としたときの $\bar{\sigma}_v$ によって次のように与えられる。

$$\bar{\sigma}_v = \frac{2c - a\gamma}{2K_0 \tan \phi} \left[1 - \exp \left\{ -K_0 \cdot H \cdot \frac{2}{a} \cdot \tan \phi \right\} \right] \quad \dots \dots (5)$$

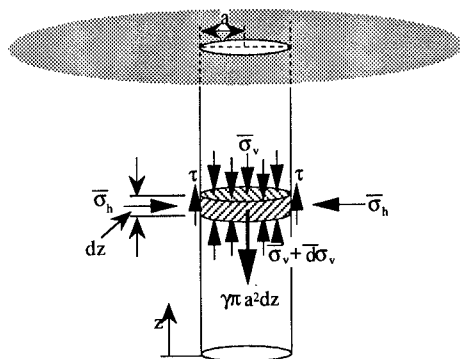


Fig.1 軸対称問題に拡張したTerzaghiの土圧理論のモデル

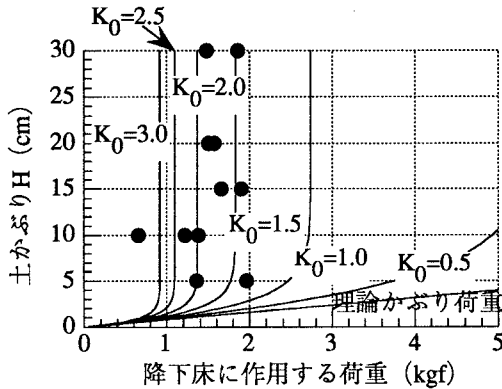


Fig.2 降下床に作用する荷重の実験値とTerzaghiの理論値との比較（乾燥砂地盤）

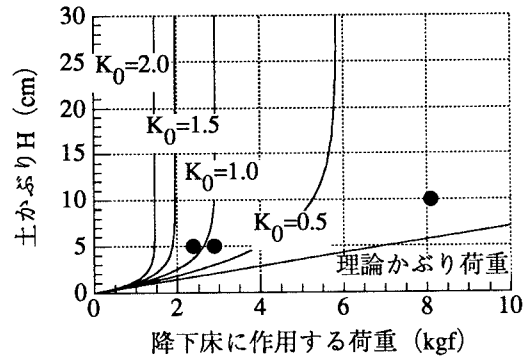


Fig.3 降下床に作用する荷重の実験値とTerzaghiの理論値との比較（粘性土地盤）

砂質土の場合には $c=0$ として、

$$\bar{\sigma}_v = \frac{a\gamma}{2K_0 \cdot \tan \phi} \cdot \left[1 - \exp \left\{ -K_0 \cdot H \cdot \frac{2}{a} \cdot \tan \phi \right\} \right] \quad \dots \dots (6)$$

となる。また、土かぶり H が降下床径 $B=2a$ に対して2～3倍程度以上であれば、式（6）は次式で近似することができる。

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\gamma a}{2K_0 \cdot \tan \phi} \quad \dots \dots (7)$$

3. 計算値と実験結果の比較

前節で求めた式（5）、（6）と乾燥砂および粘性土の遠心模型実験の実験結果を、Fig.2、Fig.3に示す。乾燥砂の場合には、降下床径で規準化した降下床変位量 δ/B が1%の時点の降下床に作用する荷重を、粘性土の場合には δ/B が2%の時点の降下床に作用する荷重を横軸にとり、縦軸には土かぶり H をとっている。これらの実験値は、Fig.1に示すモデルにおいて十分にせん断応力が発揮されたと考えられる値を採用している。なお計算に用いた地盤定数は、実測の平均値を用いた。すなわち、砂地盤では粘着力 $c=0$ 、内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ 、乾燥単位体積重量 $\gamma_d=1.61\text{gf/cm}^3$ 、粘性土地盤では粘着力 $c=0.09\text{kgf/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ 、乾燥単位体積重量 $\gamma_d=1.79\text{gf/cm}^3$ の値を用いた。この図から、実験値にはかなりばらつきがあるものの、乾燥砂地盤に関しては $\bar{\sigma}_v / \bar{\sigma}_h$ の比である K_0 が1.5～2.5の、Terzaghiの理論式から求めた曲線の間に存在していることがわかる。これは、降下床の下降にともなって周辺の地山が降下床の方向に移動しようとするため、降下床上に存在する地盤をあたかも側方から拘束するような状態となり、 K_0 の値が1.0よりも大きくなると考えられる。

粘性土地盤の場合には実験の試行回数が少ないため、正しく評価するのは困難であるが、今回の実験についてはTerzaghiの理論では実験結果をよく表現できなかった。むしろ、初期の理論かぶり荷重に比例するような関係があるように思われる。さらなるデータの蓄積が必要である。

*参考文献

- 1) 足立紀尚, 田村 武, 木村 亮, 西村拓也: 砂質および粘性地盤に対するゆるみ土圧に関する軸対称降下床実験, 第30回土質工学会発表講演集, 1995（印刷中）。