

III-333

上昇板に作用する土圧の数値解析

京都大学工学部 正会員 ○田村 武
 京都大学工学部 正会員 足立 紀尚

1. はじめに

トンネル支保の設計において、「落し戸」に作用する土圧がしばしば用いられる。すなわち、トンネル掘削に伴う周辺地山の緩みがトンネル覆工に反映するという考え方である。この場合、いわゆるアーチ作用のため、落し戸に作用する土圧は、初期の上載圧(垂直静止土圧)から減少する。それについては、Terzaghiの理論や実験の結果と剛塑性有限要素法による数値解析との比較を参考文献1)に記した。そこで次に本報告では、「落し戸(降下板)」ではなく、「上昇板」に作用する土圧を数値解析する。これは、埋設管や特殊な条件でのトンネルに作用する土圧の算定に有用であるばかりでなく、土圧の発生機構を考察するうえでも興味ある問題である。以下において、剛な水平板が降下する場合と比較しながら、水平板が上昇する場合についての検討結果を述べる。

2. 数値解析法

参考文献1)と同様に剛塑性有限要素法(RPFEM)による土圧の数値解析を実施した。通常の弾塑性有限要素法と異なる点は、変形の弾性成分を無視し、変位速度を主たる未知量にしていることである。したがって、変位そのものではなく、極限(破壊)状態における塑性流れ場と、そのときに発生している降伏条件を満足する応力などが直接に求められることになる。いいかえると土質力学における古典的な土圧論と同じ枠組みの解法であるが、その理論的な詳細については参考文献2)に委ねる。

降伏条件にはMohr-Coulomb型と等価なDrucker-Prager型を仮定する。砂質土を想定し、内部摩擦角 ϕ は 30° 、粘着力 c は0とする。図-1に示すような横 $20 \times$ 縦 10 の要素分割を行い、下端の左側に幅 B ($=3$)の落し戸を設ける。下端から高さ H (土被り、この図では $=12$)のところに上端には一様な分布荷重 p_0 を作用させる。したがって、水平板が移動を始めるまえには、その上に一様な(垂直静止)土圧 $\gamma H + p_0$ が作用している。ここに、 γ は材料の単位体積重量である。このような状況のもとで水平板に上向きあるいは下向きの単位の一様速度を与えた場合、塑性崩壊状態で領域全体にどのような速度場、応力場が生じ、また、水平板の土圧はどのようになるかを関連流れ則に基づいて剛塑性解析を行なった。なお、同様の条件のもとでTerzaghiの理論に基づく垂直応力 σ_v は以下になる。

$$\sigma_v = -\frac{B\gamma}{K_0 \tan(\pm\phi)} + \left(p_0 + \frac{B\gamma}{K_0 \tan(\pm\phi)}\right) \exp\left\{\frac{K_0 \tan(\pm\phi)}{B}(H-z)\right\} \quad (1)$$

ここに z は水平板からの高さ、 K_0 は水平土圧係数でTerzaghiに従い1.0を用いた。また複号のうち、「+」は水平板の上昇に、「-」は下降にそれぞれ対応している。

3. 結果と考察

図-2は上載荷重 p_0 がないとして、水平板が下降する場合(a)と上昇する場合(b)におけるひずみ速度の全成分の大きさ(の平方根)の分布を示したものである。下降する場合には、水平板上方にアーチが形成される一方、上昇する場合には上方に広がる形式で変形領域が拡大している。したがって発生する垂直土圧も両者で大きく異なると思われる。そこで図-3に、水平板の直上部の領域における土圧を各高さ(z)ごとに平均した値 $\bar{\sigma}_v$ を示している。実直線で示す初期分布を境にして、左側(土圧の小さい方)の実曲線が下降の場合に、右側(土圧の大きい方)の実曲線が上昇の場合にそれぞれ対応している。また、破線は式(1)に従うTerzaghiの理論解である。被りの小さい上方部では、すべての分布は被り圧で近似されるが、深くなると大きく異なる分布になる。とくに、水平板が上昇する場合には、式(1)からも予測されるように、深さとともに指数関数的に土圧が増加している。ただし、Terzaghiの仮定にしたがう理論解は数値解を大きく上回っていることがわかる。図-4は、水平板に作用する平均垂直応力(すなわち図-3の $z=0$ に

おける土圧)と領域の高さ H の関係を示したものである。ここで横軸および縦軸はそれぞれ無次元化した水平板上の平均土圧 $\bar{\sigma}_v$ および領域の高さ H である。領域の高さ H は A, B, C, D および E の4種類である。A は図-1 と同じ高さ, B, C, D および E では図-1 の要素分割の上端から 1, 3, 5 および 7 層を除去したものに相当する。小さい●で示すものは水平板の下降を, 大きい●で示すものは上昇を表わす。右上がりの曲線は, 上載荷重 p_0 を 0 にしたまま高さ H を変化させた場合の結果である。一方右下がりの曲線は $(H + p_0/\gamma)$ を一定 (ここでは 1.2) に保ちながら H と p_0 を変化させた場合, つまり H から上ではせん断抵抗がないと仮定した場合の結果である。また, 破線はそれぞれの場合の Terzaghi の解 (式 (1)) を表わす。この図から, H が小さいときには, いずれも Terzaghi の解に近づくが, H が大きいときには, 数値解と比べて Terzaghi の解は土圧を大きく見積っていることがわかる。とくに, 水平板が上昇する場合, H とともに土圧が急増するので, 土圧の評価には慎重な検討が必要と思われる。

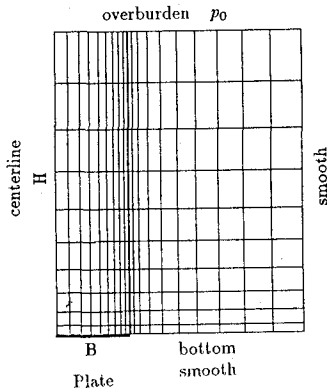
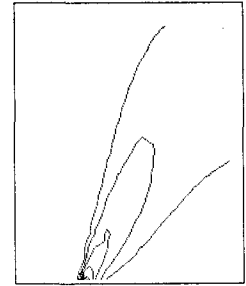


図-1 要素分割



(a) 下降の場合



(b) 上昇の場合

図-2 ひずみ速度場の分布

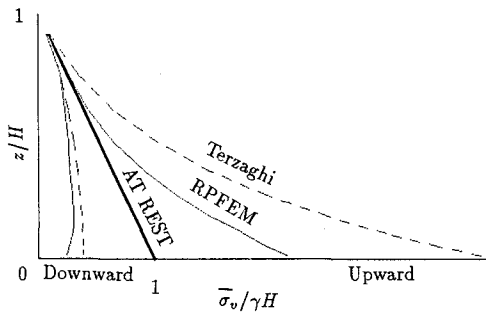


図-3 鉛直応力分布

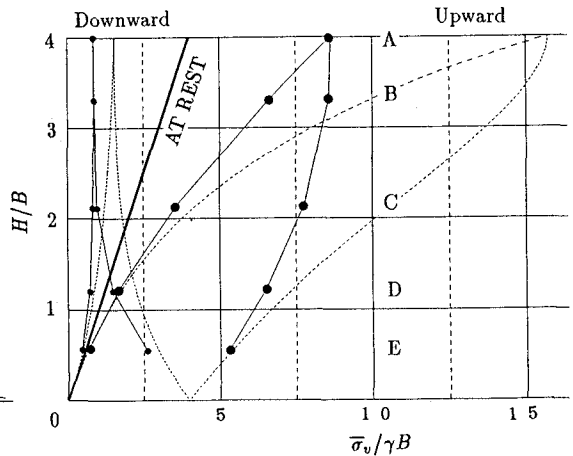


図-4 土圧と土被り

参考文献

- 1) 田村 武, 足立紀尚: ゆるみ土圧の数値解析, 第27回土質工学研究発表会, 1992 (予定).
- 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.