

京都大学工学部 正会員 土岐憲三
京都大学工学部 正会員 田村武
NTT 関西支社 正会員 永井裕樹

1. はじめに

トンネルを建設する際、そのトンネルに作用するゆるみ土圧を予測する方法の一つとして落とし戸実験がしばしば行われる。今日においては、それに対する数値解析も実用化されているが、この時にしばしば用いられるのが Terzaghi のゆるみ土圧の算定式である。本研究では、2次元における Terzaghi のゆるみ土圧の算定式をもとに、3次元の場合における落とし戸周辺の受働土圧の簡易計算法を導きだすことを目的としている。この際、求められた簡易式の精度を確認すべく3次元剛塑性有限要素法による数値解析を適用し、それぞれの結果の比較検討を行った。

2. 解析方法

2次元における Terzaghi のゆるみ土圧の算定式、及び、2次元落とし戸を上昇させるときの受働土圧分布の簡易計算式^[1]をもとに、3次元における落とし戸上の同様の受働土圧分布の簡易計算式を求めた。さらに、落とし戸を降下させることがその周辺要素を上昇させることと同意であるという概念に基づいて、落とし戸周辺の3次元土圧分布を求めた。

次に、Drucker-Prager の降伏関数を用いて、関連流れ則に基づく場合の剛塑性体の構成式を導いた上でつり合い式を解き、数値解を求めた。即ち、3次元剛塑性有限要素法を適用し、収束計算を行って漸近的に数値解を導き出した。ここでは、その収束状況に合わせて、材料定数を変えながら解析を行った。

3. 結果及び考察

図1に示すように落とし戸周辺の要素を分割したときの、簡易計算法による落とし戸周辺の3次元土圧分布を図2に図示した。このとき、材料定数として、内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ 、粘着力 $c = 0$ を用いた。図2を見てわかるように、落とし戸（図1中の要素IVの部分）を降下させた場合、掘削面（切羽）、及び掘削側面に沿って、その土圧分布はもとの被り土圧よりも至る所で大きくなっており、特に切羽中央部分で最大値を示している。また、図1の要素IIIの土圧分布についてであるが、本研究では、3次元落とし戸を上昇させたときの受働土圧分布を求める際に、落とし戸の形状を正方形と仮定して解析を行ったために、あたかも要素IIIの両側（図1中、要素IIIの手前部分と奥部分）で落とし戸を降下させているような土圧分布になってしまった。

落とし戸周辺の要素を図3に示すように分割したときの、3次元剛塑性有限要素法における解析結果を図4に図示した。この数値解析に用いた材料定数は、内部摩擦角による変数 $\alpha = 0.02$ 、及び粘着力による変数 $k = 0.5$ である。前述の簡易計算式の場合は、その材料定数 ϕ 及び c から、 $\alpha = 0.16$ 、 $k = 0.0$ と計算でき、数値解析で用いた値がこれと大きく異なることがわかるが、 α をより大きく、 k をより小さくすると収束性が悪くなったのでこの値に留まった。図4を見てわかるように、やはり落とし戸周辺部では土圧が至る所で大きくなっており、特に切羽中央部分で最大値を示している。また、落とし戸周辺の要素を細かく分割することで土圧分布をより正確に把握しようとしたが、要素数が増えると発散性が強まったために、落とし戸周辺要素を $9 \times 5 \times 5$ に分割するのが限界であった。

4. まとめ

本研究では、3次元の落とし戸周辺の土圧分布の簡易計算式を、Terzaghi のゆるみ土圧の算定式から導きだすこと、それにより得られた結果と、3次元剛塑性有限要素法による数値解析で得られた結果とを比較し、その検討を行う。ここで得られた結果を以下のようにまとめることが出来た。

本研究では、数値を用いた定量的な比較結果を得ることはできなかったため、主として定性的な比較のみを行った。落とし戸を降下させた場合、その周辺部分の土圧分布は至る所で大きくなり、特に切羽中央部分で最大値を示す。また、3次元落とし戸を上昇させたときの簡易計算式を求める際に、落とし戸の形状を正方形と仮定したため、落とし戸から少し離れた部分の土圧分布の結果は不十分なものとなっている。今後、3次元落とし戸を上昇させたときの簡易計算式を求める際、落とし戸の形状を長方形にすることでこの問題を解決する必要がある。有限要素法による数値解析で得られた結果についても、今後の課題として、要素数を増やすこと、かつ材料定数をより現実的な値に近づけることの2点が挙げられる。

参考文献 [1] 足立紀尚・田村 武ら：落とし戸の受動土圧分布の簡易計算、地盤の破壊とひずみの局所化に関するシンポジウム発表論文集、pp.239-242、1994、10

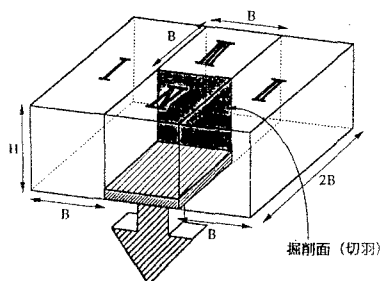


図1 落とし戸周辺の要素分割図

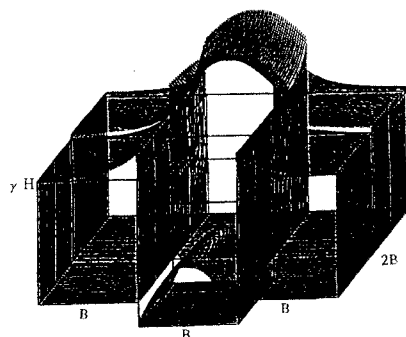


図2 簡易計算式で求めた3次元の場合の落とし戸周辺の土圧分布

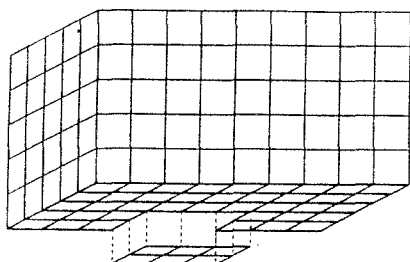


図3 落とし戸周辺の要素分割図

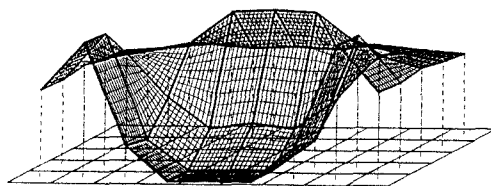


図4 有限要素法で求めた3次元の場合の落とし戸周辺の土圧分布