

京都大学工学部 正 員 土岐 憲三

京都大学工学部 正 員 田村 武

京都大学大学院 学生員○梅田 昌彦

1. はじめに

本研究では、トンネル掘削時における切羽周辺土圧と地盤変位の速度場について、剛塑性有限要素法¹⁾(以下 RPFEM と略する)を適用して数値解析を行い、過去に行われた実験の結果と比較する。さらに、RPFEM による解析結果をもとにして、切羽周辺土圧の簡易な評価法を検討する。

2. 切羽周辺土圧の剛塑性解析

一般に材料の応力とひずみの関係は弾塑性挙動を示す。この弾性変形のおきている部分を無視し、塑性域(極限状態)だけを考慮するのが剛塑性モデルである。剛塑性モデルにおける塑性状態を表す関数を降伏関数といい、本研究では Drucker-Prager の降伏関数を用いている。

この降伏関数が塑性ひずみ速度のポテンシャルと一致する場合を関連流れ則という。しかし、内部摩擦角が大きい土質材料を適用する場合、ダイレイタンスーによる過大な効果が生じ、不自然な速度場を得ることがある。ダイレイタンスーの効果を小さくするためには、降伏関数と塑性ポテンシャルを別にした非関連流れ則を適用すればよい。このとき、塑性ポテンシャルは降伏関数において α (内部摩擦角を意味する材料定数)を $r\alpha$ に置き換えたものである。この r は非関連の程度を表すパラメーターで、 r が 1.0 のとき関連流れ則となり、 r が 0.0 に近づくに連れてダイレイタンスーは小さくなる。解析する対象物を要素に分割し、この降伏関数と塑性ポテンシャルのもとで各要素ごとに力のつりあい式を解く手法が RPFEM である。

本研究ではトンネル掘削を剛塑性解析するため、図-1 のような解析モデルを用いた。図の斜線部の切羽面を右に移動させることで、トンネル掘削を模擬している。また、地山は砂地盤($\phi = 30^\circ$, $c = 0 \text{ kgf/cm}^2$)を想定している。

3. 結果と考察

図-1 のモデルを解析した結果、切羽周辺における各要素の節点の変位速度図は図-2、図-3 のようになった。図-4 は、山口²⁾により既に行われている、アルミ棒積層体を用いてトンネル掘削を模擬した実験の結果である。これらによると、 $r = 0.0$ の方が実験結果に近い挙動を示していることがわかる。また、図-2、図-3 を見るとすべり面があらわれている。切羽上端の面より下側におけるすべり面は、傾斜角が $30^\circ (= 45^\circ - \phi/2)$ 前後であり、切羽上端の面より上側では鉛直であると見て取ることができる。

この結果をもとに、切羽面に働く土圧の簡易な理論解を求めてみた。ここでは、図-5 のように切羽上端面を境界面として、それより上では Terzaghi の理論³⁾を、それより下では Coulomb の土圧論を適用する。これらの理論は塑性状態を扱うものであり、土を剛体として考え、すべり面に沿って土が抜け出すときに切羽面に働く土圧を求めている。このとき、境界面において摩擦が働く場合と働かない場合を考えてみた。

RPFEM、簡易な理論解およびアルミ棒実験により得られた、被り高さと切羽面に働く平均土圧の関係を図-6 に示す。図によると、RPFEM による解析結果は r が小さいほど土圧は大きくなっている。これは、変位速度図からわかるように節点の変位が地表面まで達しているため、アーチ作用による土圧の軽減が少ないためと考えられる。また、摩擦がある場合の簡易な理論解は、RPFEM による解析結果によく似た値を示しているものの、実験値と比べると小さい値を示した。これは、RPFEM の解析結果や簡易な理論の切羽周辺のすべり面の傾斜角が、実験の変位速度図におけるすべり面の傾斜角に比べてかなり小さくなっているため、すべり面に沿って抜け出す土塊の量が小さくなってしまったのだと考えられる。よって、簡易な理論解を求めるのに、切羽周辺の傾斜角を大きく設定すると実験値により近い値を示すものと推察できる。

Kenzo TOKI, Takeshi TAMURA, Masahiko UMEMA

4. まとめ

トンネル掘削の剛塑性解析の結果、 r が 0.0 の場合に切羽周辺土圧や地盤変位（速度）について実験結果により近い挙動を示した。また、本研究で用いた簡易な評価法は、摩擦がある場合に RPFEM による解析結果に比較的近い値を示した。これは実験値に比べると値は小さくなっているが、すべり線の傾斜角を大きくすると、土圧の値は実験値に近づくのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) Takeshi Tamura, Shoichi Kobayashi and Tetsuya Sumi :
LIMIT ANALYSIS OF SOIL STRUCTURE BY RIGID PLASTIC FINITE ELEMENT METHOD, 1984
- 2) 山口 直宏 : 土砂トンネルの力学挙動に関する実験的研究,
京都大学工学部特別研究, 1988
- 3) Karl Terzaghi : Theoretical Soil Mechanics, John Wiler
and Sons, New York, 1943, pp.66-76

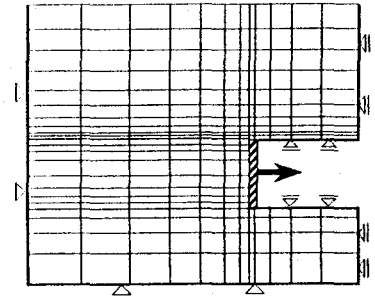


図-1 解析モデル

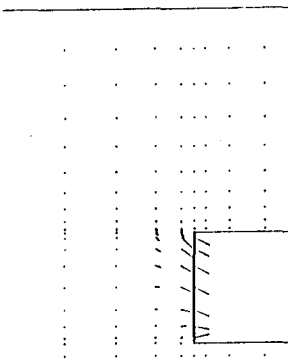


図-2 変位速度図 ($r = 1.0$)

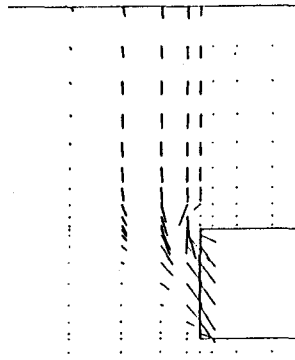


図-3 変位速度図 ($r = 0.0$)

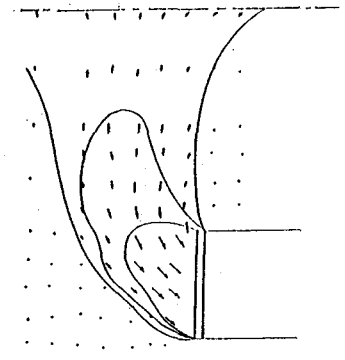


図-4 アルミ棒の変位図²⁾

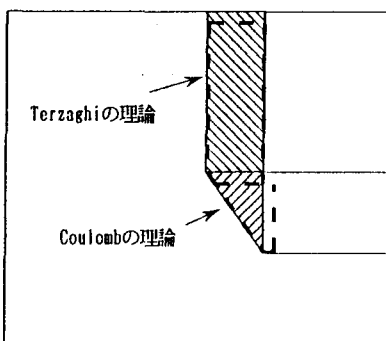


図-5 簡易な理論による解析方法

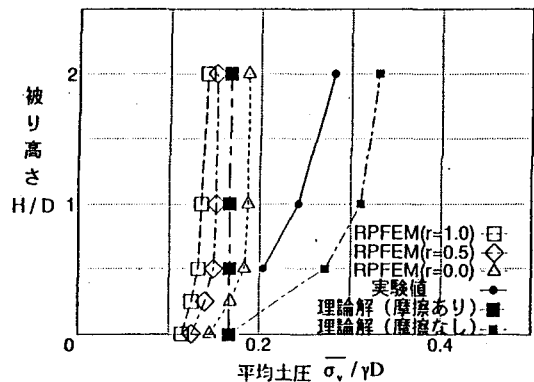


図-6 解析結果と簡易な理論解