

第Ⅲ部門 アルミ棒積層体を用いた円形空洞の安定性に関する剛塑性有限要素解析

神戸大学工学部	正会員	櫻井春輔
神戸大学工学部	正会員	芥川真一
協和設計(株)	正会員	小川清貴
神戸大学大学院	学生会員	○畝田篤志

1. はじめに

トンネル横断面の周辺地山の挙動解明を目的として、櫻井らは掘削面に一定の応力を与える応力境界制御に基づく方法を採用し、掘削問題をモデル実験により検討した¹⁾。その結果、トンネル崩壊時の最小支保圧力は設計計算用土圧²⁾よりもかなり小さくなることが判明した。そこで、実験においては計測が困難である地山内の圧力分布などを解析によって求め、実験結果と対比・検討することにより極限状態での崩落領域に関する力のつりあいについて検討した。なお、解析には二つの荷重系を別々に取り扱うことのできる剛塑性有限要素法を用いた。

2. 解析の概要

応力境界で掘削をシミュレートする方法ではトンネル部にエアバックを設置し、その空気圧を減じることで掘削を表現している。この方法ではエアバックの圧力を低減する過程において、ある圧力でトンネル周辺地山が急激に変形し始め変形が収束しない状態になる。その圧力をもってトンネルを安定させるのに必要な最小支保圧力を求めることができる。

剛塑性有限要素法は、極限状態の挙動のみを解析するための方法で地盤工学の分野では田村ら³⁾によってはじめて支持力問題などに適用された。ここでは荷重系を二つに分けることによってこのモデル実験をシミュレートする。すなわち、図-1に示すように一定に保つ荷重系を物体力 G （ここでは重力）とし、エアバック内の圧力 P を荷重係数 μ を伴って変化させるものとする。 μ がある値に達すると、その荷重のもとで地山の変形が連続して生じる極限状態となりその値を地山を支保するのに最低限必要な最小支保圧力とみなす。

3. 解析結果および考察

まず、ダイレイタンスシーによる変形挙動の違いについての考察を行う。図-2にトンネル直径が10cm、土被りが10cmの場合の最大せん断ひずみ速度分布図を示す。この図において r （ダイレイタンスシーの程度を表すパラメータ）=1.0のときは流れ則に関連流れ則、 $r=0.5$ のときはダイレイタンスシーの効果を関連流れ則を用いた場合の半分、 $r=0.0$ のときはダイレイタンスシーを0に設定したケースとなっている。これらの図においてダイレイタンスシーが小さくなるに伴ってトンネル天端付近の最大せん断ひずみ速度の比較的大きい領域がなくなり、トンネル壁面からの最大せん断ひずみ速度の大きいゾーンが上方に発達する傾向が顕著に表れていることがわかる。これらの図とモデル実験の結果¹⁾を比較すると非関連流れ則を適用した場合の方が実験の挙動をよく表しているように思われる。

図-3にモデル実験で測定された最小支保圧力および剛塑性解析で計算された最小支保圧力および設計計算用土圧を土被り高さに換算したものを示す。これを見ると剛塑性解析の結果とモデル実験の結果はほぼ一致しており、これらの値は設計計算用土圧に比べてかなり小さい値となっていることがわかる。このように、荷重系を二つに分離した剛塑性解析の結果は、変形挙動・最小支保圧の両方において実験結果を良く再現していると考えられる。

ここで、解析結果として得られた応力分布に基づき、崩落しようとする領域に関する力の釣り合いについて検討する。まず、図-2に示す最大せん断ひずみ速度分布図からすべり線を決定し、その内側の領域は全体としてはほぼ剛体的に変形していると考え、この領域に作用する力は自重 W 、空気圧が与える最小支保圧 P 、およびすべり線に沿う抵抗力 R の三つである。このとき、添字 y は鉛直成

分を表すものとすれば、 $W+R_y+P_y=0$ の関係が成り立つ。トンネル直径が10cm、土被りが10cmの場合、これらの成分を求めると、 $W=0.118$, $R_y=0.094$, $P_y=0.024$ （単位 kgf/cm：鉛直下向きが正）となり、極限状態における最小支保圧は崩落しようとする領域の自重のおよそ20% 程度であることがわかる。

4. まとめ

荷重系を二つに分離した剛塑性有限要素法を用いることにより、応力境界によるモデル実験を比較的精度よくシミュレートすることができた。また崩落領域に関する力のつりあいについて検討した結果、極限状態においては、主としてすべり線に沿う抵抗力が崩落領域の自重を支え、最小支保圧力が占める割合は比較的小さいことが確かめられた。

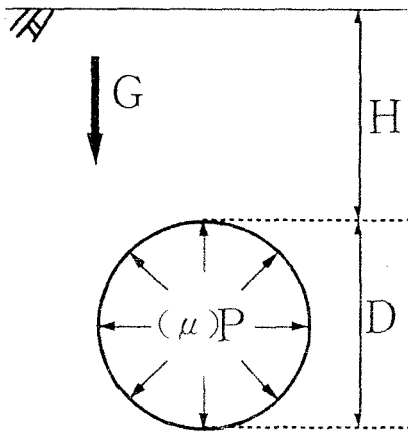


図-1 解析の概要

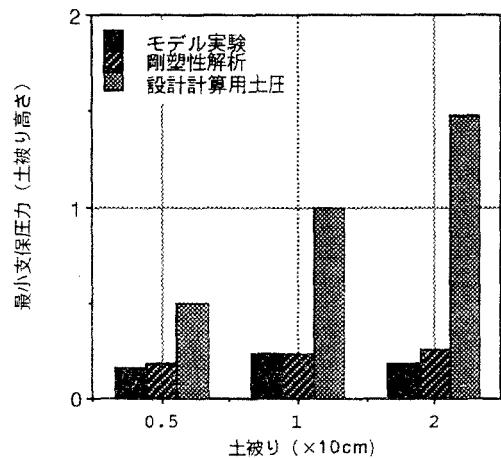


図-3 最小支保圧力（土被り高さ）

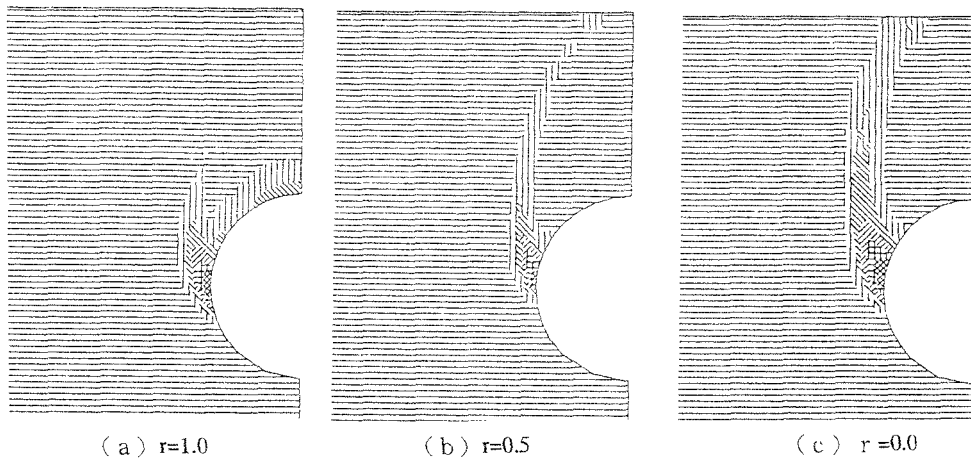


図-2 最大せん断ひずみ速度分布図（土被り10cm）

参考文献

- 1) 櫻井春輔・川嶋幾夫・川端康祝・皿海章雄：土被りの浅いトンネルの力学的挙動に関するモデル実験，土木学会論文集，No.487，pp.271~274，1994.
- 2) 土木学会トンネル工学委員会：トンネル標準示方書（シールド編）同解説，土木学会，pp.34~36，1977.
- 3) Takeshi Tamura, Shoichi Kobayashi, Tetsuya Sumi：Limit Analysis of Soil Structure by Rigid Plastic Finite Element Method, Soils and Foundations, Vol.24, No.1, pp.34~42, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1984.