

偏平楕円トンネルの力学的挙動に関する基礎的研究

東京都交通局 正会員 山本 康裕
 東京都立大学 正会員 西村 和夫
 (株)熊谷組 河上 恭範

1. はじめに

トンネル断面形状は、円形断面が力学的に最も安定であるものの、3車線道路トンネルなどトンネル幅が広がった場合、掘削断面の余剰空間が増大し、また、掘削断面積が増え経済的にも施工的にも好ましくない。そこで、断面を偏平にすることが考えられるが偏平で大断面のトンネルの施工例は極めて少なく、その力学的安定性の解明が急がれている。本研究では、素掘りの楕円トンネルについて、偏平の度合いによる破壊挙動の違いを把握するために、室内模型実験を行い、理論・数値解析によって実験結果を検証することで、実験手法の確立とトンネルの安定性評価のための簡便な解析法を提示することを目的としている。

2. 模型実験

1) 実験概要と実験条件

実験対象のトンネルモデルは単純化のため、平面ひずみ、等圧、等質地山で、切羽から十分離れた位置での覆工のない素掘りトンネルとした。また、実際のトンネル断面を実験装置に適合した大きさに縮小し、単純な円形もしくは楕円断面とする。実験装置は、モデルの自重の影響を消すために水平に寝かせ空気圧でジャッキによって縦・横とも水平から载荷している(図-1)。地山モデルは標準砂と小麦粉に水を加え焼成したものである。トンネルモデル形状は、単純化した道路の建築限界に外接する円形を含む4種類の楕円断面を設定した(図-2)。そして、破壊の発生場所と成長の様子に主に注意して、目視による観察で実験を行った。

2) 実験結果

トンネルのごく近い場所で楔形に破壊されている部分が見られ、これらがせん断による破壊であることが分かる(図-3)。またトンネル内壁面の破壊の様子はその展開図(図-4)に示すように、クラックがトンネル軸に平行に走っているものがほとんどであり、実験において理想的な平面ひずみ状態を保持できていることを意味している。

偏平度の違いでは、円形トンネルではクラックがほとんど同時に全周面で発生し、楕円トンネルでは曲率の大きくなった左右側壁部からクラックが発生した。偏平度が小さいものほど、破壊が側壁部に集中しており、偏平度が大きくなるにつれクラックは全周面に分散されていることが分かる(図-4)。

周辺地山の様子は、楕円トンネルの場合側壁部周辺よりも、天端・底盤周辺に破壊領域が大きく広がっている。これは、トンネル側壁部での応力集中によって地山が崩壊し、その後、天井・底盤が横応力によって、トンネル内空へ押し出されているため、短径方向の破壊の進行が卓越している。

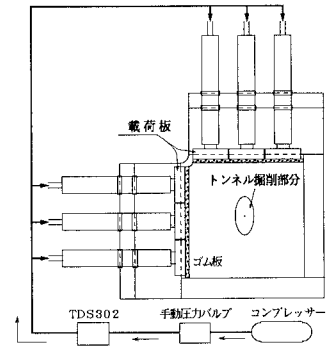


図-1 実験装置概略図

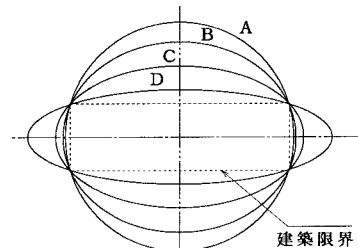


図-2 トンネルモデル形状

表-1 各モデルの偏平度 (cm)

	A	B	C	D
半長径 a	2.3	2.4	2.5	3.1
半短径 b	2.3	1.9	1.4	1.0
偏平度 b/a	1.0	0.79	0.56	0.32

表-2 地山物性値 (kgf/cm²)

内部摩擦角φ	粘着力C	弾性係数E
20.0°	1.8	1080.6

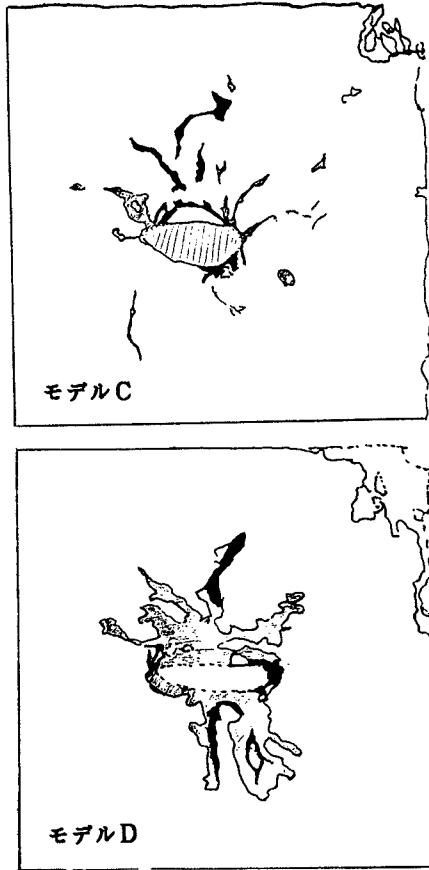


図-3 実験後の破壊の様子

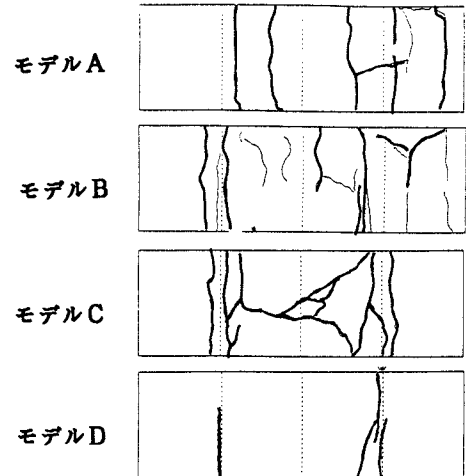


図-4 トンネル内壁面の展開図

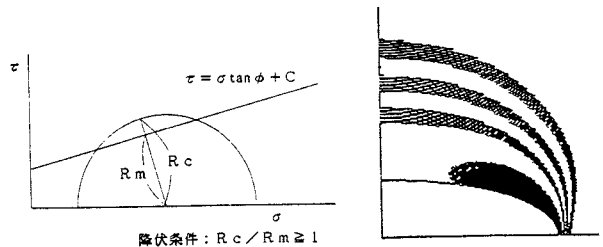


図-5 降伏判定

図-6 降伏領域

3. 線形解析

複素解析関数による解析から求めた地山応力のモールの円表示と、地山モデルの物性試験で求めたモール・クーロンの破壊包絡線を比べ、モール円がその包絡線からどれだけ越えているかということ（図-5）、線形解析における降伏基準を越えた領域として示した（図-6）。偏平度の小さなものほど側壁部での応力集中の勾配が大きいにも関わらず、側壁部周辺よりも天端・底盤周辺の短径方向に降伏基準を越えた領域の進行が卓越している。この領域を破壊領域に相当すると仮定するならば、拡がり方の特徴は実験結果とよく一致していることが分かる。

以上より、実験結果と解析結果を比較すると、クラックの発生する場所や破壊の拡がり方には類似した特徴と再現性が見られ、その点で今回の実験結果が定性的ではあるが妥当性のあるものであり、また、降伏基準を越えた領域の表示方法は、地山物性が C, ϕ 以外関与せず偏平度の違いのみがパラメータとなって簡単に解が得られるので、トンネル周辺地山の安定性を評価する上で簡便な表示法となることを示している。

4. まとめ

模型実験ではトンネル形状の偏平度が小さなものほど内壁面の側壁部で破壊が集中するが破壊の進行は短径方向に卓越する、といった特徴が顕著に表れた。今回の実験ではクラック発生に至る載荷応力値が解析値と異なり、定量的判断ができていないので、今後は覆工あるトンネルも含め、内空変位の測定やモデルにおける破壊開始の把握方法の検討が必要である。