

III-135

エネルギー論を用いた楕円トンネルの安定解析

JR西日本 正会員 金沢 芳信
 東京大学 正会員 杉本 光隆
 東京大学 正会員 佐野可寸志

1. はじめに

道路トンネルでは中にいれる車線数が多くなるにしたがい、内空断面が偏平になる傾向がある。しかも、近年、交通需要の増加に伴い、こうした偏平トンネルのニーズは増加しつつある。そこで、本研究では、こうした状況を踏まえ、吹付コンクリートとロックボルトによって支保される楕円トンネルの安定性を全般的に、しかも掘削前から覆工まで包括的に検討し、地山・吹付コンクリートの各種物性値の楕円トンネルの安定性への影響を明らかにするとともに、これを展開することにより楕円トンネルの事前設計方法を提案することを目的とする。本報告は、その概要を述べるものである。

2. 解析方法とモデル

トンネル周辺地山は掘削前後とも等方弾性状態にあり、かつ、トンネル断面は楕円形であるという仮定に基づき、等角写像を用いて、楕円座標を極座標に写像し、楕円座標表示のAiryの応力関数を求めることによって、トンネル周辺地山と吹付コンクリートを含めた楕円トンネル周辺の応力場・変位場を解析的な方法で求める。これをもとに、安定性指標として形状弾性歪エネルギー¹⁾を、判定条件としてVon Misesの降伏条件とDrucker-Pragerの降伏条件を使用し、トンネル周辺地山の安定性を検討する。また、吹付コンクリートとロックボルトの効果を形状弾性歪エネルギーの1/2乗の次元の換算値の比、すなわち地山強度比において示す。使用したモデルは図1に示すとおりである。

3. 楕円トンネルの安定性

まず、楕円トンネルの安定性は、以下に示す6つのパラメーターに支配されることがわかった。

側圧係数	: K
偏平比	: $m = ((r_y - r_x) / (r_y + r_x))$
構造係数比	: α_n
ロックボルト比	: α_B
地山のポアソン比	: ν_g
コンクリートのポアソン比	: ν_c

ここに、 r_x は楕円の長径、 r_y は短径である。

次に、楕円トンネルの理論を展開し、NATM楕円トンネルの事前設計図を作成した。図2はその一部である。

4. 円形トンネルとの比較

内空断面の形状の影響が顕著に現われる掘削後覆工前のトンネルにおいて、内空断面の形状が地山の安定性へ与える影響を調べた。この影響度合を表わす割増率 f_s を次式で定義する。

$$f_s = \frac{\max U^E}{\max U^R}$$

ここで、 U は形状弾性歪エネルギーを、添字の R は円形トンネルを、 E は楕円トンネルを表わす。形状弾性歪エネルギーの最大値の比を1/2乗するのは、従来設計に使われているのが応力度であるので、この次元に合わせるためである。図3に割増率 f_s と偏平比 m と側圧係数 k との関係を示す。図からわかるように、 $k=1.5$ の時には、 $m=0.2$ で f_s は最小となり、 $k=1$ の時には、 f_s は m によらず最大となる。実際に施工さ

れた楕円トンネルの偏平比が最大でも0.3程度であることから、割増率は0.8~1.8となる。また、側圧係数が与えられた場合には、 $r_y/r_x=1/k$ の時に、エネルギーも割増率も最小になり、最適断面となる。

5. 結論

①側圧係数、偏平比、構造係数比¹⁾、ロックボルト比¹⁾、地山のポアソン比、吹付コンクリートのポアソン比の6つの無次元化パラメータのほかに、Von Misesの降伏条件を適用した場合には地山強度比、Drucker-Pragerの降伏条件を適用した場合には地山粘着力比¹⁾と内部摩擦角により、楕円トンネルの各施工段階での地山の安定性は判定できる。

②楕円トンネルにおける塑性領域発生には、2つのタイプがある。1つは、楕円トンネルの形状による応力集中による場合で、偏平比が大きい程、側圧係数が小さい程、楕円トンネルの側方部において塑性領域が発生しやすい。もう1つは、側圧係数による応力集中による場合で、偏平比が小さい程、側圧係数が大きい程、楕円トンネルの上下端近傍において塑性領域が発生しやすい。

③楕円トンネルの事前設計方法を提案、検討することにより、楕円トンネルの安定性と楕円トンネルにおける支保効果を定量的に把握できた。

④実際に施工される楕円トンネルの偏平比が最大でも0.3程度であることから、割増率は0.8~1.8となる。

⑤掘削後覆工前のトンネルにあつては、 $r_y/r_x=1/k$ の時に、最適断面となる。

<参考文献>

1)西岡隆・松本嘉司：形状弾性歪エネルギーによるトンネル周辺地山の安定解析、土木学会論文集，第376号，PP.151~160，1986.12.

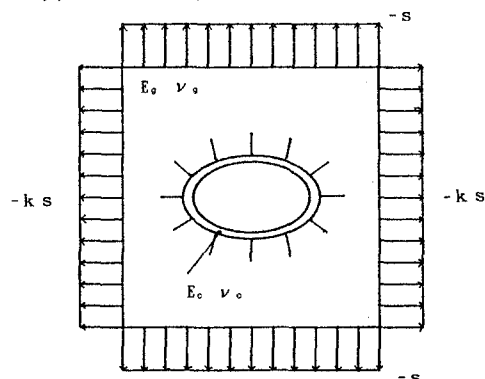


図1：吹き付けコンクリートとロックボルト施工後の応力状態

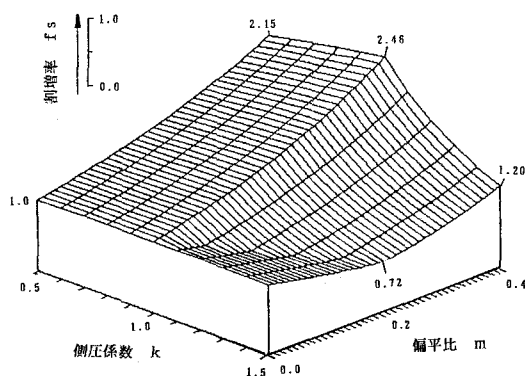


図3：側圧係数と偏平比と割増率との関係

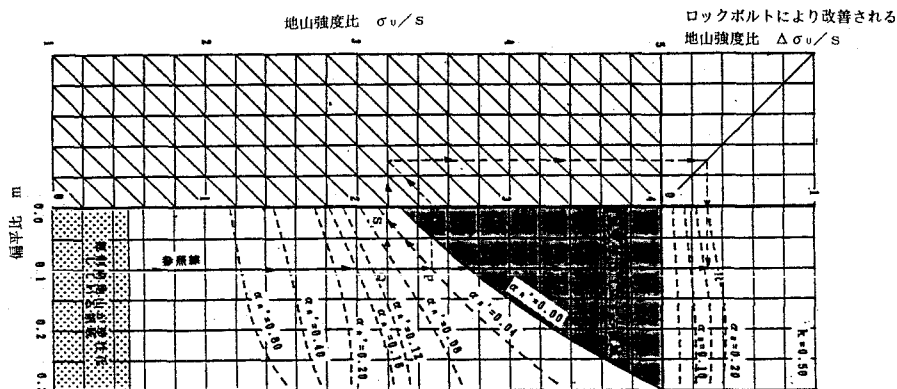


図2：NATM楕円トンネルの事前設計図