

(2) 実測データを用いた楕円トンネルの安定性の検討

長岡技術科学大学 正会員○杉本 光隆
JR 西日本 正会員 金沢 芳信

Stability Examination of Elliptic Tunnels Based on the Measured Data

Mitsutaka SUGIMOTO, Nagaoka Univ. of Technology
Yoshinobu KANAZAWA, West Japan Railway Company

Abstract

This paper discusses the stability of elliptic tunnels based on the measured data by using analytical solution of elliptic tunnel and energetic. At first, the modulus of deformation of ground and lateral pressure ratio are calculated by using reverse analysis method based on the convergence data, which are measured at roadway elliptic tunnels executed by short bench cut method with NATM in soft rock mass. And then, the safety index is calculated by using energetic. As a result of examination, the followings are made clear, that is, the safety index of those tunnels from viewpoint of macroscopic stability of tunnels is more than two and almost between 4 and 8, and the safety index decreases according as the overburden is deeper.

1. はじめに

交通需要の増加にともない、片側二車線の既存道路を片側三車線とする道路の拡幅が行なわれるようになってきている。一方、新設道路においては、片側三車線として建設される場合もある。こうした道路区間のトンネルは、三車線を入れた大断面楕円トンネルを2本並列して建設されと考えられ、楕円トンネルの需要は増大してきている。

ところで、このような大断面楕円トンネルを建設する場合においては、

- ①トンネル内空断面の増大によるトンネルの安定性への影響
 - ②トンネルが偏平になることによるトンネルの安定性への影響
- を考慮しなければならない。

本研究は、楕円トンネルの実測データを用いて、トンネルをマクロにみた場合の楕円トンネルの安定性の検討を試みたものである。

2. 解析方法

(1) 解析モデルと解析に用いるパラメータ

本研究では、

- ①掘削前後とも地山は等方性弾性状態にある
- ②トンネル断面は楕円断面である
- ③トンネル周辺地山の境界において、鉛直方向には上載圧が、水平方向には上載圧に側圧係数を乗じた圧力が、地圧として働らく

kgf/cm^2 、ポアソン比は $\nu_c = 0.17$ とし、その他の物性値は施工データをもとにした。これらをもとに、楕円トンネルの内空変位・天端沈下の実測データを用いて、逆解析を行い、地山の側圧係数・変形係数を求めるとともに、これらの値を用いて、次式に示すエネルギー論²⁾に基づく安全率 f_s を算出した。

$$f_s = \sqrt{\frac{U_s}{U_s}} \quad (4)$$

ここに、

U_s : 地山に蓄えられうる形状弾性歪エネルギー

U_s : 地山に発生する最大の形状弾性歪エネルギー

である。

3. 実測データの解析

(1) 解析に用いたデータ

東名高速自動車道の大井松田 I.C. - 御殿場 I.C. の車線数を増大するために現在施工中の新都夫良野トンネル・新吾妻山トンネル^{5, 6)}を解析対象とした。これらのトンネルは、新第3紀の足柄層群^{7, 8)}の軟岩地山に、吹付コンクリートとロックボルトを支保工とするショートベンチ工法を用いて、仕上がり内空断面積約 130m^2 、代表半径 5.8m 、偏平比 0.22 (偏平率 = 内空高さ / 内空幅 = 0.64)、土被り $30 \sim 130\text{m}$ で施工されている三車線大断面偏平トンネルであって、既存トンネルの中では最も大きい偏平率を有している。これらのトンネルの代表的な標準断面・標準支保パターンをそれぞれ図3・図4に示す。用いた計測データは、

- ① 補助工法を使用していないこと
 - ② 地山が緩んで塑性化していないこと
 - ③ 土被りと短径の比が 6.5 以上であること
- という解析に必要な条件を満たす27断面の内空変位・天端沈下の実測データである。

(2) 解析結果

逆解析により求めた側圧係数と土被りの関係を図5に示す。これより、ほとんどの側圧係数が $0.5 \sim 1.5$ の間に入っており、平均すれば約 1.1 程度であること、また土被りが小さいときは側圧係数の値がばらつくが、土被りが大きくなるにつれて側圧係数が 1 に近づくことがわかる。逆解析により求めた地山の変形係数と土被りの関係を図6に示す。図より、土被りに比例して変形係数が増大していることがわかる。これ

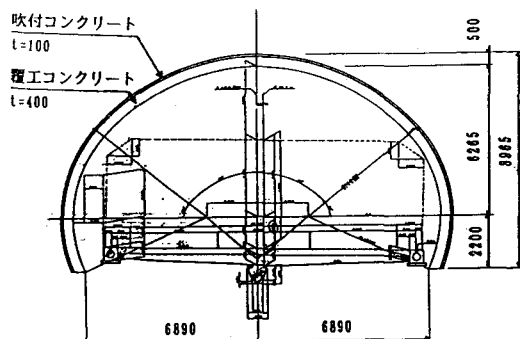


図3 標準断面の例

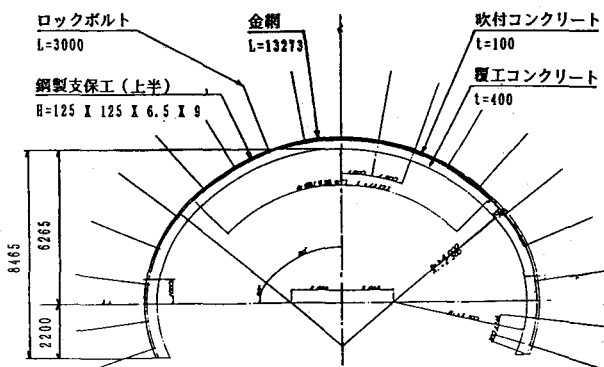


図4 標準支保工パターンの例

という仮定を用いて、解析対象のモデル化を行なった。トンネル掘削終了後の解析モデルを図1に示す。

この解析モデルに対し、図2に示すような楕円座標から極座標への等角写像関数をあてはめ、複素変数表示によるAiryの応力関数¹⁾を用いて、解析モデルの応力場・変位場の解析解を導いた。この解析解²⁾より得られる楕円トンネルの安定性を規定するパラメータは、側圧係数 K 、構造係数比 α_A' 、ロックボルト比 α_B 、地山のポアソン比 ν_R 、吹付コンクリートのポアソン比 ν_C 、偏平比 m 、の6つであって、構造係数比³⁾、ロックボルト比³⁾、偏平比は次式で表わされる。

$$\alpha_A' = \frac{E_C}{E_R} \times \frac{t}{C} \quad (1)$$

$$\alpha_B = \frac{n A_B}{S_d L} \frac{\sigma_B}{S} \quad (2)$$

$$m = \frac{r_L - r_s}{r_L + r_s} \quad (3)$$

ここに、

E_R : 平面歪状態に換算した地山の变形係数

E_C : 平面歪状態に換算した吹付コンクリートの变形係数

C : トンネル外周の代表半径

t : 吹付コンクリートの巻厚

n : トンネル軸方向長さ L 当りのロックボルトの本数

A_B : ロックボルトの断面積

σ_B : ロックボルトの降伏応力

S_d : トンネル外周の周長

L : トンネル軸方向のロックボルト打設ピッチ

S : トンネル設置深度における上載圧

r_L : 楕円の長径 = 掘削幅/2

r_s : 楕円の短径 = 掘削高さ/2

である。ここで、構造係数比は地山に対する吹付コンクリートの相対的剛性を表わし、ロックボルト比はトンネル設置深度における上載圧に対する、ロックボルト施工によって発生する応力変化の相対的割合を表わし、偏平比は偏平の程度を表わして、それぞれ無次元量である。

(2) 解析手順

実測データの解析にあたっては、諸物性値の設定が必要となる。本研究では、軟岩地山を想定し地山のポアソン比は $\nu_R = 0.30$ とし、吹付コンクリートの变形係数⁴⁾は $E_C = 20000$

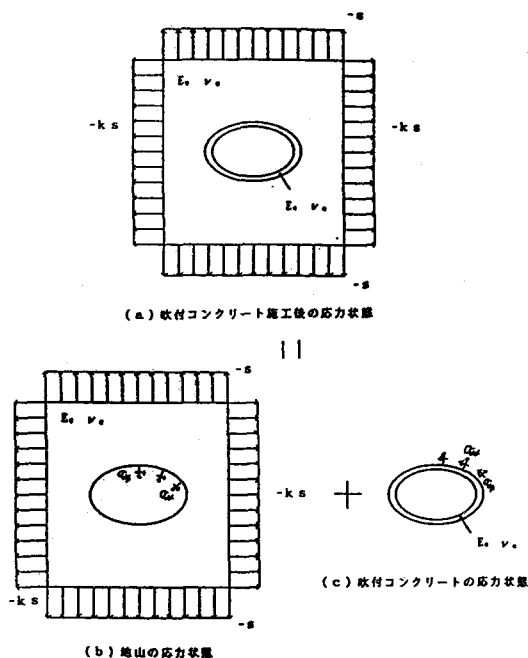


図1 吹付コンクリート施工後の楕円トンネルの解析モデル

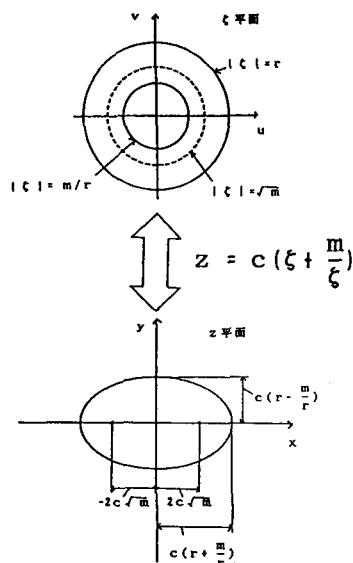


図2 等角写像の対応関係

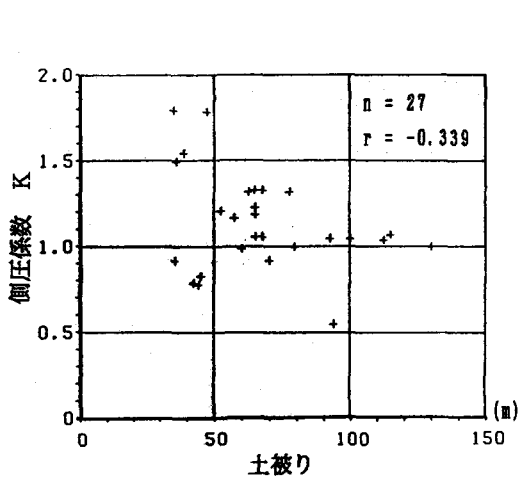


図5 土被りと側圧係数の関係

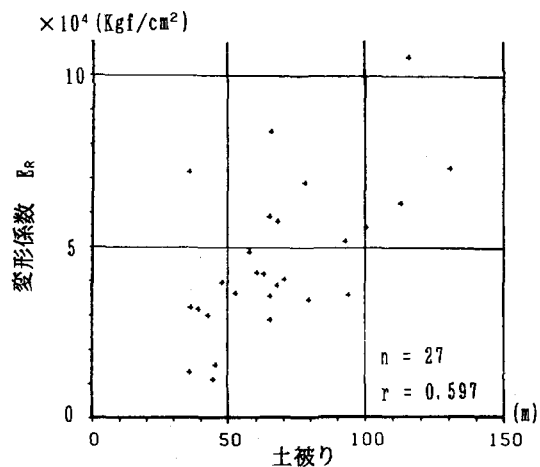


図6 土被りと変形係数の関係

らの結果は過去の事例と良い一致を示している。

また、土被りと式(4)により求めた安全率との関係を図7に示す。これより、安全率は2以上でおおむね4~8程度であること、土被りが大きくなるにつれて安全率が低くなる傾向にあることがわかる。これは、

- ①土被りが大きくなるにつれて、地山の変形係数が増大する傾向にあって、吹付コンクリートの効果を示す構造係数比 α_n が減少する。(土被りと構造係数比の相関係数 = -0.612)
- ②土被りが大きくなるにつれて、上載圧が増大し、ロックボルトの効果を示すロックボルト比 α_b が減少する。(土被りとロックボルト比の相関係数 = -0.792)
- ③土被りが大きくなるにつれて、上載圧は増大するのであるが、一軸圧縮強度はそれほど増大しないために、地山強度比が減少してしまう。

ためである。さらに、解析したデータの構造係数

比の平均は 0.013、ロックボルト比の平均は 0.055 と小さく、トンネルをマクロにみた場合の支保の効果はあまり期待できないこと、本解析における式(4)による安全率は素堀の楕円トンネルの安全率に近いことを考慮すると、③の理由が卓越すると考えられる。

4. 結論

本解析によりわかったことは、以下のとおりである。

- ①トンネルをマクロにみた場合、解析対象とした楕円トンネルの安全率は2以上で、おおむね4~8程度である。また、土被りが大きくなるにつれて、安全率は小さくなる傾向がある。

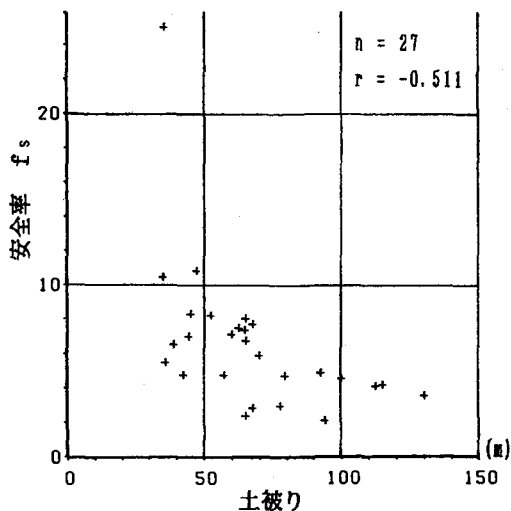


図7 土被りと安全率の関係

②逆解析により得られた側圧係数はほとんどが 0.5~1.5 の間に入っており、土被りが大きくなるにつれて 1 に近づく。

参考文献

- 1) たとえば、渡辺昇：土木工学のための複素関数論の応用と計算，朝倉書店，1981.
- 2) 金沢芳信・杉本光隆・佐野可寸志：エネルギー論を用いた楕円トンネルの安定解析，第44回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ，pp.344-345，1989.
- 3) 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，No.376，pp.151-160，1986.
- 4) 松本嘉司・西岡隆・鹿野正人：吹付コンクリートとロックボルトを用いたトンネルの特性と事前設計方法，土木学会論文集，No.376，pp.161-169，1986.
- 5) 荒川直士・黒滝正勝：東名高速道路改築工事の概要，土木施工，Vol.30，No.1，pp.65-76，1989.
- 6) 田中裕治：大断面トンネルの設計・施工，土木技術，Vol.43，No.5，pp.25-34，1988.
- 7) 日本道路公団東京第一建設局松田工事事務所・(株)サコ-コンサルタント：東海自動車道（大井松田～御殿場）新都夫良野トンネル地質調査総括報告書，1984.
- 8) 日本道路公団東京第一建設局松田工事事務所・(株)住鉱コンサルタント：東海自動車道（大井松田～御殿場）新吾妻山トンネル地質調査報告書，1984.