

III-387 境界要素法によるピラーの安定解析

佐藤工業株式会社技術研究所 正会員 ○今野裕喜 篠川俊夫

1. はじめに 本報告では、最近地盤工学に適用が試みられている境界要素法¹⁾²⁾により、トンネル交点部付近に生じるピラー(両トンネル間の残柱)の安定性の検討を行なう。類似した解析モデルを数種類設定し、ケーススタディを行なう場合、有限要素法では入力データ作成に膨大な時間を必要とする。本検討のようにピラーの幅を変化させながら、ピラーに発生する応力を求めるには、入力データ作成が容易で、任意点での変位、応力値を計算できる境界要素法が適していると考えられる。今回、検討に先だって行なった要素分割数および境界付近での精度の評価と、その結果をもとに行なったピラーの安定解析例について報告する。

2. 精度評価 数値解析において、曲線の構造物をモデル化する場合、曲線部をある長さに分割して直線近似する。この際の分割の粗さが計算の精度に大きく影響するものと考えられる。また、境界要素法では境界要素にごく近い内点においても誤差が大きいと言われている。ピラーの安定解析を行なうにあたり、周辺等圧状態の円孔(図-1)において計算した解と厳密解³⁾とを比較することにより、要素分割数による計算値の精度を求め、信頼できる内点の位置について精度の評価を行なう。壁面の分割数を12, 24, 36として計算した結果を図-2~5に示す。12分割では、変位、応力とも明らかに厳密解とは大きく異なる(図-2)。24分割と36分割では大差がなく、壁面に近い部分を除き、変位では1%以内の誤差であり、応力についても5%以内の誤差である。これらの結果から、円孔では24分割で実用上十分な計算精度と考えられる。しかしながら、今回のように幅が狭いピラー内での応力を求めようとする場合、かなり壁面に近い部分での精度が必要となる。解が安定する内点の位置は、壁面での要素長を l とすると24分割と36分割においては、壁面から $0.4 \sim 0.45 l$ ($0.08 \sim 0.1 R$: R は円孔の半径)である。そこで、局所的に要素分割数を増やすことにより、壁面付近での精度を向上させることを試みる。全体を24分割とし、局所的に要素を2, 4, 6ごと追加した結果を図-3~5に示す。この結果からも要素を4個程度追加することにより壁面から $0.45 l$ ($0.06 R$)の位置での精度を約1%以内に確保できることがわかる。

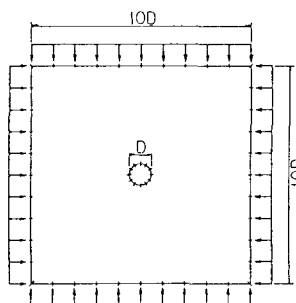


図-1 解析モデル

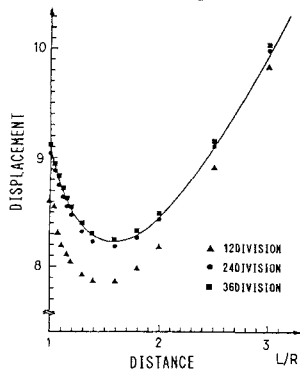


図-2 地山内半径方向変位

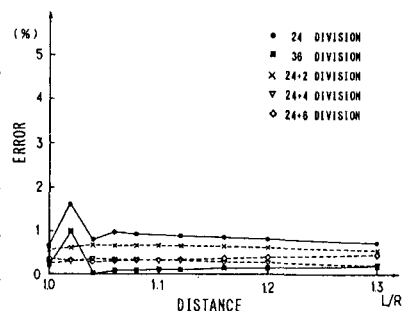


図-3 半径方向変位の誤差

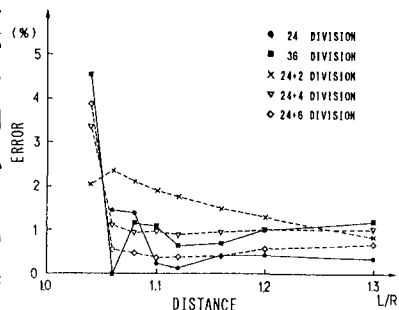


図-4 接線方向応力の誤差

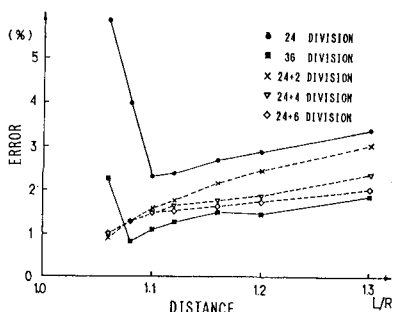


図-5 半径方向応力の誤差

3. ピラーの安定解析例

ここでは、ピラー幅が 1m の例を示す。解析に用いるモデル、内点の位置および物性値を図-6、7、表-1 に示す。壁面での境界の分割は、2 節の結果を参考に、全体を24分割（15° ピッチ）とし、応力状態を見るスプリングライン（以下S.L.と略）付近では、48分割相当とする。なお、初期応力は自重より与え、安全側を考慮して、無支保で解析を行なう。

ピラーの安全率⁴⁾は、各内点での主応力によるモールの応力円と破壊包絡線との離れにより局所安全率を求め、それらより平均安全率を求める（図-9）。この結果、AトンネルのS.L.上での安全率は 1.56、BトンネルのS.L.では 1.46 となる。したがって、安全率の低いBトンネルのS.L.上での主応力と安全率の分布を図-8、9に示す。A、Bトンネルの要素長 l はそれぞれ0.42m、0.35mであることから、信頼できる内点の壁面からの最小距離を0.45 l とすると、Aトンネル側で0.19m、Bトンネル側で0.16mとなり、計算結果とよく一致している。

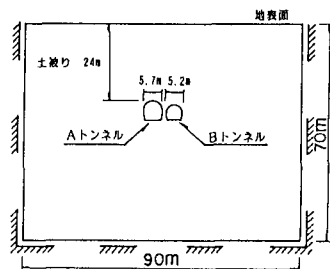


図-6 解析モデル

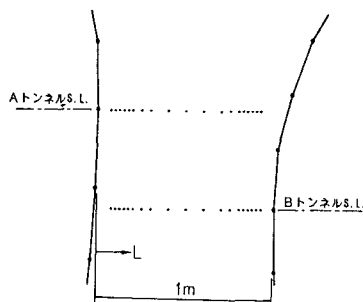


図-7 内点の位置

表-1 物性値	
弾性係数 E (Kg/cm ²)	10000
ポアソン比 ν	0.3
単位体積重量 γ (t/ml)	2.0
粘着力 c (Kg/cm ²)	10
内部摩擦角 ϕ (°)	35

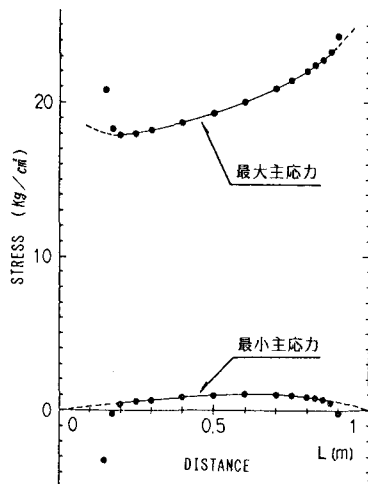


図-8 主応力の分布

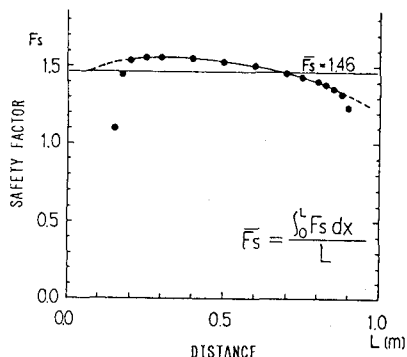


図-9 安全率の分布

4. おわりに 本報告では、以下のことがわかった。①要素分割数は円孔では24分割で実用上十分な計算精度である。②局所的に要素分割数を増やすことにより壁面付近での精度を向上させることができ、信頼できる内点の壁面からの離れが0.45 l 程度である。③今回のように、解析モデル自体をパラメータとしたピラーの安定解析では、境界要素法を用いると、ピラー内の応力状態を適確かつ容易に把握することができる。

<参考文献>

- 1) T. Shinokawa, N. Kaneko, N. Yoshida and M. Kawahara "Application of viscoelastic combined finite and boundary element analysis to geotechnical engineering" 7th Int. conf. on Boundary Element Method in Engineering, pp10-37~46 (1985)
- 2) 平本千年志, 門田俊一, 石井武美, 鎌田正孝 "三次元境界要素法による初期地圧評価に基づく立坑NATMの解析" 第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 pp276~280 (1986)
- 3) P. Egger "トンネル安工に及ぼす破壊後の岩盤影響" 海峡連絡鉄道に関する文献資料調査報告書, 昭和52年度特定翻訳文献, 日本トンネル技術協会 pp17~60 (1978)
- 4) E. フック, E.T. ブラウン共著, 小野寺選, 古中龍之進, 斎藤正忠, 北川隆共訳 『岩盤地下空洞の設計と施工』土木工学社 pp84~88 (1985)