

Ⅲ-B83

FEM解析による鏡ボルトの効果に関する研究

東洋建設(株)〔元土木研究所 交流研究員〕 正会員 大杉 一郎
建設省土木研究所 正会員 真下 英人
建設省土木研究所 正会員 池口 正晃
建設省土木研究所 正会員 鈴木 正彦

1. まえがき

NATMによるトンネル掘削では、切羽の安定性の確保が重要となる。このため、筆者らは切羽の安定対策工法のひとつである鏡ボルトの効果について、遠心力载荷模型実験を実施し、報告を行ってきた。本報告では、三次元有限要素法により模型実験の検証を行い、その適用性を検討した。

2. 解析概要

解析の対象となる実験¹⁾は、図-1に示す実験土槽を遠心力载荷し、所定の遠心加速度に達した段階でトンネル模型の押さえ板を引き抜いて切羽の応力解放を行い、その際の切羽の安定状態を調べたものである。地山材料には豊浦標準砂を使用し、土被り比 H/D を1としている。鏡ボルトは $\phi 1.2\text{mm}$ のリン青銅棒を使用し、図-2に示す位置に配置した。

解析は三次元弾性有限要素法(解析コード:3D- σ)により行い、地山の安定度をMohr-Coulombの降伏条件から定まる降伏曲面に対する応力の破壊接近度で評価することとした。要素数は1740個、節点数は8091点となるメッシュ(図-3参照)を作成した。解析ステップは2とし、STEP1では全体を標準砂とする初期応力解析を行い、STEP2は鏡ボルトをトラス要素として入力して、 $0.1D$ の掘削を行った。それぞれの物性値を表-1に示す。ただし、遠心力実験を25gの遠心加速度の下で実施したため、解析に用いる単位体積重量には1gでの単位体積重量 1.53gf/cm^3 に25を乗じた値を用いた。

3. 解析結果および考察

鏡ボルトの打設長による検証を行うため、実験から得られた破壊形状図を図-4に、解析から得られた破壊接近度 $R_i=1$ のコンター(等高線)図を図-5に示す。ただし $R_i=1$ のコンター図は、トンネルセンターの縦断面における破壊接近度の分布から、 $R_i=1$ のコンターを図化したものである。破壊接近度が1を超えた領域は破壊状態であり、 $R_i=1$ のコンター線と切羽面で囲われた領域が破壊域となる。よって、この破壊域が狭くなるほど、切羽の安定性が増すものと判断される。

図-5の解析結果において、鏡ボルトの打設長が $0.25D$ では切羽崩壊に対する抑制効果が全くなく、 $0.5D$ であれば抑制効果があり、鏡ボルトの打設長がそれ以上になっても抑制効果は大きくならないことがわかる。無対策での切羽面から $R_i=1$ のコンターまでの距離は最大で約32mmであり、

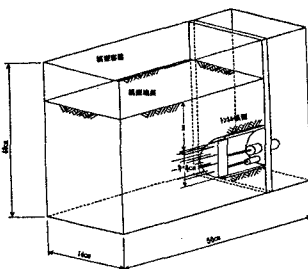


図-1 解析対象とした模型実験

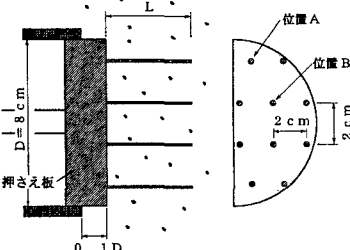


図-2 鏡ボルト打設位置図

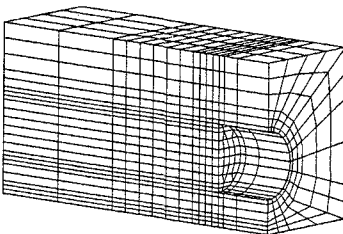


図-3 FEM解析のメッシュ図

表-1 解析時の物性値

ソリッド要素:地山材料(標準砂)	
弾性係数E	$2.0 \times 10^2 \text{ kgf/cm}^2$
ポアソン比 ν	0.3
単位体積重量 γ	38.25 gf/cm^3
粘着力c	47 gf/cm^2
内部摩擦角 ϕ	34.5°
トラス要素:鏡ボルト(リン青銅)	
弾性係数E	$1.2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
断面積A	1.131 mm^2

キーワード: 切羽安定, 補助工法, 鏡ボルト, 遠心力载荷実験, 有限要素解析

連絡先: 〒305茨城県つくば市大字旭1番地, 建土研道路部トシ研究室, TEL (0298) 64-4689, FAX (0298) 64-0178

鏡ボルトの打設長は、0.25Dが20mm、0.5Dで40mmであることから、無対策での $R_t = 1$ のコンター線を超えるところまで鏡ボルトが挿入されることによって、切羽崩壊に対する抑制効果が発揮されると考えられる。図-4の実験結果では、鏡ボルトの打設長が0.25Dでは切羽崩壊に対する抑制効果があまりなく、0.5Dであれば抑制効果があり、鏡ボルトの打設長がそれ以上になっても抑制効果は変わらないことから、実験と解析の結果は概ね整合しているものと考えられる。

次に鏡ボルトの打設位置による検証を行うため、実験結果を図-6に、解析結果を図-7に示す。L=1Dの鏡ボルトを全断面(10本)、上半断面(5本)、下半断面(5本)に設置した場合の比較である。図-6の実験結果では、上半断面に鏡ボルトを設置した場合は天端および上部の破壊域が小さく、下半断面では下半の切羽面の破壊域が小さくなっている。図-7の解析結果においても、鏡ボルトを設置している部分は破壊域が縮小しており、実験と解析で同様の傾向が表れていることがわかる。ただし、上半断面と下半断面を比べた場合、解析では同等程度の抑制効果であると評価されているが、実験結果による下半断面の場合には、天端上方に及ぶドーム状の崩壊が発生し、上半断面よりも効果がないと考えられることから、下半断面での解析結果の評価には注意が必要である。

図-8と図-9は、打設長 $L = 1D$ の鏡ボルトを全断面に設置した場合の解析と実験から得られた軸力分布を、それぞれ打設位置AとB（図-2参照）について表したものである。ただし、鏡ボルトにはひずみを計測するため、幅3mm、厚さ0.1mmのリン青銅を使用しており、解析に用いる鏡ボルトの断面積を 0.3mm^2 とした。位置Aでは解析値と実験値が非常に似通った値を示しているのに対し、位置Bでは解析値の方が高い軸力となっている。また、解析ではAよりもBの方が高い軸力となっているが、実験値では双方に大きな差はない。弾性解析では破壊接近度が1を超える破壊域も弾性体として計算されるのに対して、実際は塑性体となるため、弾性解析による鏡ボルトの軸力は切羽面の中央部分ほど実際の軸力より大きくなる傾向があることが考えられるが、詳細な検討については今後の課題である。

4. まとめ

鏡ボルトの軸力など弾性解析では実際の現象と一致しない部分があるが、鏡ボルトの打設長や打設位置による切羽の安定性に対する有効性は、弾性解析による破壊接近度によって大まかな検証ができることがわかった。

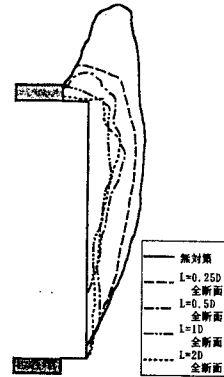


図-4 打設長別実験結果（破壊形状図）

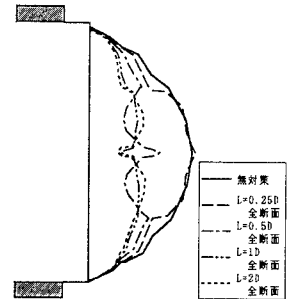


図-5 打設長別解析結果（ $R_t = 1$ コンター図）

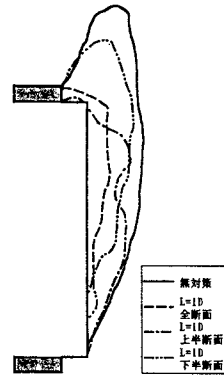


図-6 位置別実験結果（破壊形状図）

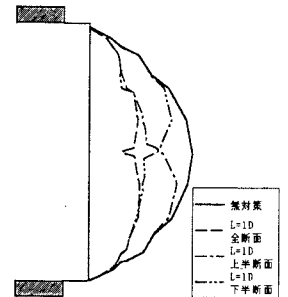


図-7 位置別解析結果（ $R_t = 1$ コンター図）

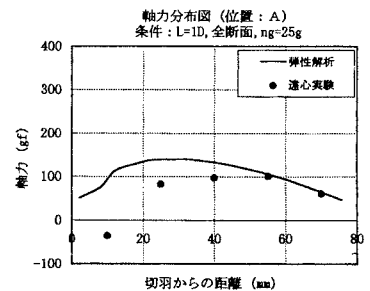


図-8 軸力分布図（位置A）

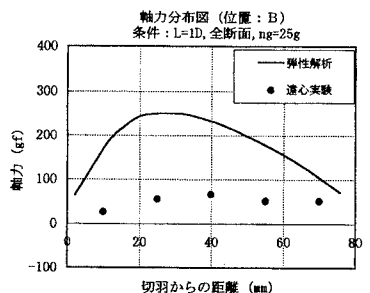


図-9 軸力分布図（位置B）