

III-B 101

長尺鏡ボルトの支保効果に関する3次元弾塑性FEM解析

前田建設工業 正会員 櫻井孝臣 梶山孝司
前田建設工業 正会員 梨本 裕 高森貞彦

1. まえがき

膨張性地山等において切羽安定対策が必要と判断されたとき、その補強工として鏡ボルト工があげられる。この支保効果は大きい¹⁾と考えられるが、計測やモデル実験の困難さを考えれば鏡ボルトの定量的な評価は数値解析に頼らざるを得ないと考えられる。本報は、長尺鏡ボルトを考慮したトンネル逐次掘削解析を3次元弾塑性FEMで行い、その支保効果について報告する。

2. 解析概要

表-1に、解析ケースを示す。CASE-1は補強工を考慮しないで支保工だけの逐次掘削解析で、CASE-2は鏡ボルトを考慮したものである。図-1に最終状態のメッシュ図を、図-2に掘削面に鏡ボルトを表現したビーム要素の配置図と節点変位出力位置を示す。X軸をトンネル横断方向、Y軸をトンネル軸方向、Z軸を鉛直方向にとってある。

初期応力は外側境界面に300tf/m²の分布荷重を3方向から作用させ等圧状態とした。坑口(Y=0)から注目断面(Y=37.2mの断面)の10m手前までは掘削過程を簡略化し、そこから、注目断面の10m先までは1m掘進の逐次掘削解析を行った。ここでは、注目断面から切羽までの距離を切羽距離と呼び、切羽が注目断面より手前であればマイナスとする。CASE-2の鏡ボルトを表現したビーム要素は初期応力状態計算後、解析領域の端(Y=0)から端(Y=74.4m)まで設置した。

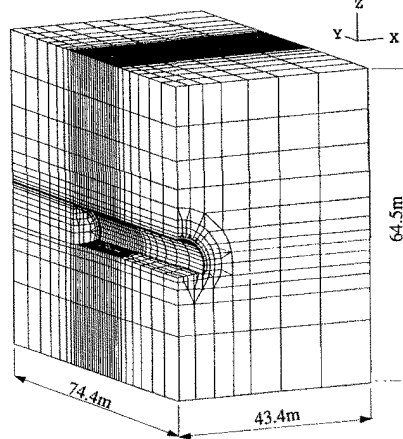


図-1 解析メッシュ

表-1 解析ケース	
CASE-1	補強工無し
CASE-2	鏡ボルトを考慮

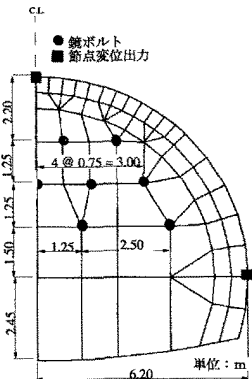


図-2 トンネル掘削面

表-2 解析に用いた物性値

ソリッド	弾性係数 (tf/m ²)	ポアソン比	粘着力 c (tf/m ²)	内部摩擦角 φ (deg)	備考
地 山	10000	0.3	50	20	弾塑性
吹付コンクリート	3.3×10^5	0.2			線形弾性 (ν=0.25m)
ビーム	弾性係数 (tf/m ²)	断面積 (m ²)	備考		
鋼製支保工	2.1×10^7	6.4×10^{-3}	H-200		
長尺鏡ボルト	3.5×10^6	1.2×10^{-3}	D=28mm 2本/孔		

表-2に解析に用いた物性値を示す。地山は、Drucker-Pragerの降伏規準に従う弾塑性体とした。降伏パラメータは、Drucker-Prager降伏曲面がMohr-Coulomb降伏曲面に引張り午線上で外接するものとして、表-2のc、φより算定した。

3. 解析結果および考察

図-3(a)および(b)に、トンネル天端沈下および側壁水平変位の経時変化を示す。出力した節点変位は、注目断面上のものである。横軸に切羽距離、縦軸に変位をとってあり、初期変位を引いた値をプロットしてある。図-3(a)より、切羽距離=-6mより両者の差が生じ始め、切羽距離=0でCASE-2（鏡ボルト）はCASE-1（補強工無し）より約14%小さくなっている。図-3(b)の側壁水平変位は、切羽距離=0までは図-3(a)と同様な傾向であるが、両者の差は小さい。しかし、切羽距離=0から、両者は離れる傾向になっており、切羽

距離=10mでCASE-2は約7.4%側壁水平変位は小さくなっている。

図-4 (a)および(b)に、トンネル天端および側壁の地山の応力経路を示す。出力した応力は注目断面上の節点変位出力位置に最も近いGauss-pointである。横軸に応力の第1不変量 (I_1)、縦軸に偏差応力の第2不変量 (J_2) の平方根をとってある。また、図中にはDrucker-Prager降伏規準線も示してある。図-4 (a) のトンネル天端では、切羽距離=-5mから両者の差が生じ、切羽距離=-2mまではCASE-2の方がDrucker-Prager降伏規準から離れた位置にプロットされている。切羽距離=0および1mでは両者は塑性状態になり、切羽距離=2mからは弾性領域に回復し両者の差はほとんどみられない。また、切羽距離=-4mから-1mにかけて、CASE-2の I_1 はCASE-1より大きくなっており、鏡ボルトが切羽前方の地山の応力解放を抑制しているのがわかる。図-4 (b) の側壁では、両者の差はあまりみられないが、切羽距離=-1mまではcase-2の方が降伏規準線から離れている。切羽距離=0mからは、両者とも塑性状態になり弾性領域に回復していない。切羽距離=0mから両者とも塑性領域になり、case-2の側壁水平変位が小さくなっていることより、切羽通過後は鏡ボルトの支保効果の影響が反映され、側壁部の塑性ひずみを抑制していると考えられる。

4. あとがき

今回の解析結果によれば、長尺鏡ボルトには、トンネル軸方向の変位を抑制する効果だけでなく²⁾、切羽通過前は天端沈下を、切羽通過後は内空変位を抑制する効果が期待できる。

<参考文献>

- 1) 北里新生, 飯村博之, 野村忠彦, 櫻井孝臣: 凝灰岩の変質帯を長尺鏡ボルトで突破—磐越自動車道竜ヶ岳トンネル—, トンネルと地下, vol.27 no.2, pp.33~41, 1996
- 2) 北里新生, 飯村博之, 梨本裕, 相山孝司: 3次元弾塑性FEM解析による長尺鏡ボルトの支保効果に関する検討, トンネル工学研究発表会論文・報告集第5巻, pp.303~308, 1995.11

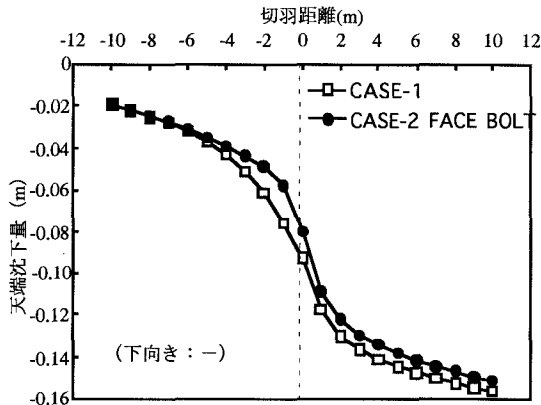


図-3 (a) 天端沈下の経時変化

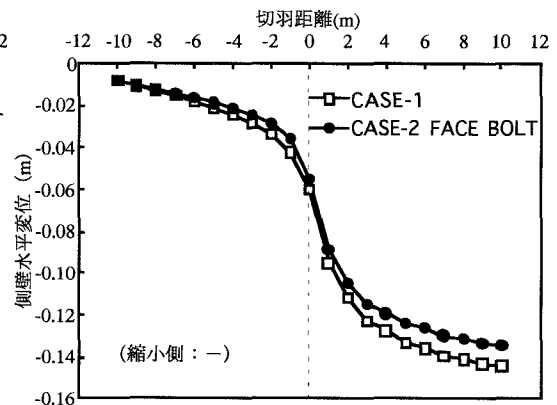


図-3 (b) 側壁水平変位の経時変化

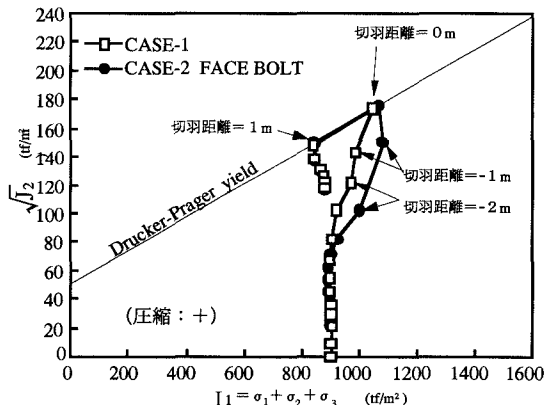


図-4 (a) 天端の応力経路

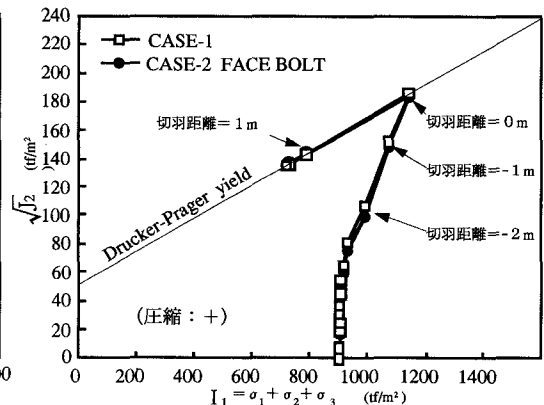


図-4 (b) 側壁の応力経路