

山岳トンネルにおけるH形鋼の影響

The Effect of H-steel Support on Stress Distribution of Shotcrete in Mountain Tunnel

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 松村謙治(Kenji Matsumura)
 北海道開発土木研究所 正員 佐藤京 (Takashi Sato)
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 三上 隆 (Takashi Mikami)
 (株)ドーコン 正員 小池明夫(Akio Koike)
 (株)地崎工業 正員 河村巧 (Takumi Kawamura)

1. はじめに

山岳トンネル等で採用されている NATM 工法では、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保などにより、トンネル周辺の地山の安定を確保し、変形を抑制するものである。しかし、一般に用いられる2次元解析では、H形鋼をモデル化する場合、梁要素あるいはコンクリートと支保工の剛性を均一化した複合要素として近似されることが多く、適切なモデルとは言い難い。

本研究では、H形鋼(鋼製支保)の影響を調べるため、ソリッド要素でモデル化し3次元弾性解析を行った。また、掘削を行った場合、掘削断面上に存在する初期応力は、一瞬の内に解放されるのではなく、徐々に解放されていくと考えられる。そこで切羽進行に伴う応力解放を応力解放率として表し、吹付けコンクリートの弾性係数も時間経過に伴い変化させた。

2. 解析概要

解析対象となるトンネルはトンネル円中心(半径6m)から土被り70mの位置にある山岳トンネルを想定している。解析では、解析領域を5D(D:直径)、支保工間隔1.2mとし、構造、荷重の対称性により半断面かつトンネル軸方向の対称性も考慮し、図-1に示すように1/4の解析モデルとする。周辺地山は一樣応力場とし、自重を考慮し、静止土圧を作用させる。トンネル軸方向の境界を軸方向、底部を鉛直方向、境界左側面を水平方向に拘束する。

3次元FEMによる数値解析では、六面体20節点アイソパラメトリック要素及び五面体15節点アイソパラメトリック要素を用いた。要素数9,594、節点数43,021である。なお、解析には有限要素法汎用ソフトDIANAを使用した。

H形鋼はH125とH150の2種類を用いた。解析諸元を表-1及び表-2に示す。切羽の進行速度は3日で1Dと仮定した。過去の論文を参考に式(1)を用い、応力解放率を算出した。Phase1,2で掘削を行い、Phase3で吹付けコンクリートを打設した。Phase4からPhase7では応力を徐々に解放させ、コンクリートを硬化させた。応力解放率・吹付けコンクリートの弾性係数の関係は表-3とした。

$$y = 70(1 - 0.1^x) + 30 \quad (1)$$

x: 切羽進行位置(直径の倍率) y: 応力解放率

表-1 解析緒元

	弾性係数 (tf/m ²)	ポアソン比	単位体積重量 (tf/m ³)
H形鋼	21000000	0.3	7.866
吹付けコンクリート	表-3	0.2	2.5
岩盤	130000	0.3	2.5

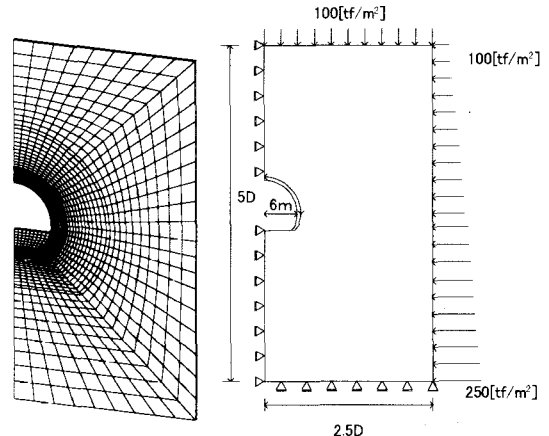


図-1 メッシュ図・解析領域

表-2 鋼製支保H型鋼

材質	呼称寸法 (mm)	断面積 (cm ²)	断面2次モーメント (cm ⁴)
SS400	H-125×125×6.5×9	30.00	839
SS400	H-150×150×7×10	39.65	1,620

表-3 応力解放率・吹付けコンクリートの弾性係数

	応力解放率 (%)	弾性係数 (tf/m ²)
Phase3	30	-
Phase4	50	480000
Phase5	70	870000
Phase6	90	1180000
Phase7	100	1800000

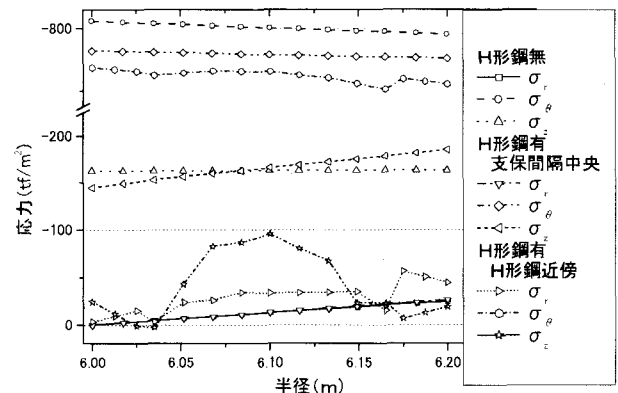


図-2 σ_r, σ_θ, σ_z

3. 解析結果

図-2はPhase 7での吹付けコンクリートの、H形鋼がない場合、H形鋼がある場合の鋼製支保間隔中央、H形鋼がある場合のH形鋼近傍の、それぞれの半径方向応力 σ_r 、円周方向応力 σ_θ 、トンネル軸方向応力 σ_z である。 σ_r 、 σ_z ともに支保間隔中央ではほとんど差が無い。H形鋼近傍では、3つの応力すべてに大きな影響を与え、フランジ部で応力が減り、逆にその他の部位で応力が増加しているのがわかる。3つの成分では σ_θ の値が圧倒的に大きい。よって以下では σ_θ に着目する。また、H125とH150では、吹付けコンクリートの応力に、大きな差がみられなかったため、図-4以外はすべてH150の場合で代表した。

図-4、図-5は応力解放率による、H形鋼の σ_θ と図-3のA~D点での吹付けコンクリートの σ_θ である。まず、H形鋼をみるとH125、H150ともに、応力解放率の増加に伴い、 σ_θ の値は大きくなってはいるが、傾きは小さくなっている。吹付けコンクリートでは、H形鋼とは逆に、応力解放率の増加に伴い、傾きが大きくなっている。このことから、初期の段階ではH形鋼が応力を分担する割合が大きく、その後、吹付けコンクリート硬化に伴い、吹付けコンクリートが応力を負担する割合が増加しているのがわかる。また、ウェブ中央の σ_θ に断面積を乗ずることで軸力を評価すると、H150のほうがH125よりも約3割大きい軸力が生じていた。

図-6はPhase 7での脚部の、H形鋼がある場合とない場合の、 σ_θ のコンター図である。H形鋼がある場合は、H形鋼に応力が集中しているのがわかる。そして、吹付けコンクリートの応力は、H形鋼がない場合と

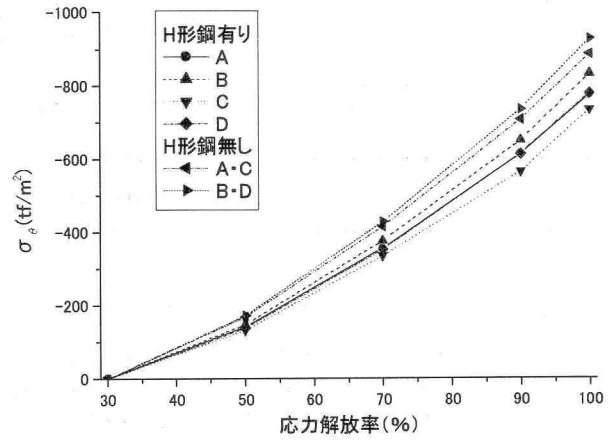


図-5 吹付けコンクリート σ_θ

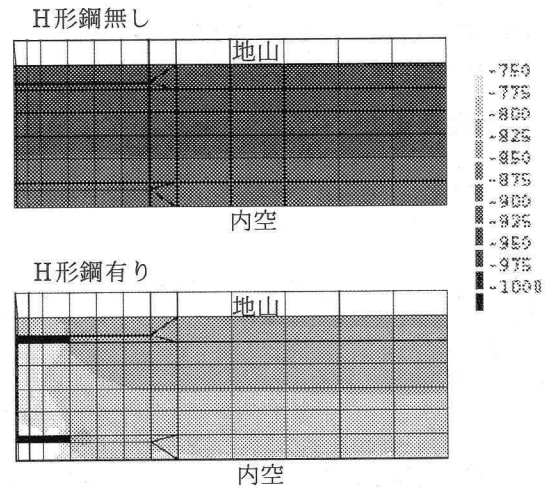


図-6 円周方向軸応力

比べ、H形鋼極近傍で変化が顕著に表れ、約17%減少し、H形鋼より右~支保間中央でも約12~13%減少している。

4. まとめ

本研究において次のような結論を得た。

H形鋼近傍では、3つの応力すべてに大きな影響がある。3つの応力の中では σ_θ の値が圧倒的に大きい。

どの段階においても、H形鋼にかかる応力は大きく、特に初期の段階でH形鋼が果たす役割は大きい。吹付けは硬化するに伴い、応力を負担する割合が増える。

H形鋼を入れることで、吹付けコンクリートにかかる応力を減らすことができる。特にH形鋼近傍で顕著である。

今後は、吹付け厚、鋼製支保間隔、H形鋼の寸法、コンクリートの材質などを変えて解析を行いたい。

参考文献

- 1) トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説, 土木学会
- 2) トンネルコンクリート施工指針(案), 土木学会
- 3) 山岳トンネル覆工の現状と対策, 土木学会
- 4) トム・A・メルビー: 地山支保のための吹付けコンクリート, 吹付けコンクリート協会
- 5) 戸川隼人: 有限要素法概論, 培風館, 1981.11

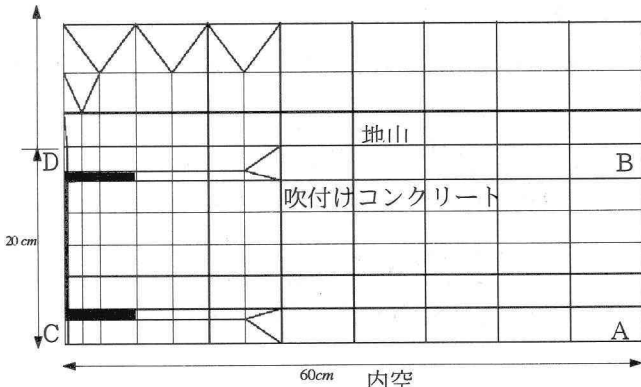


図-3 評価点

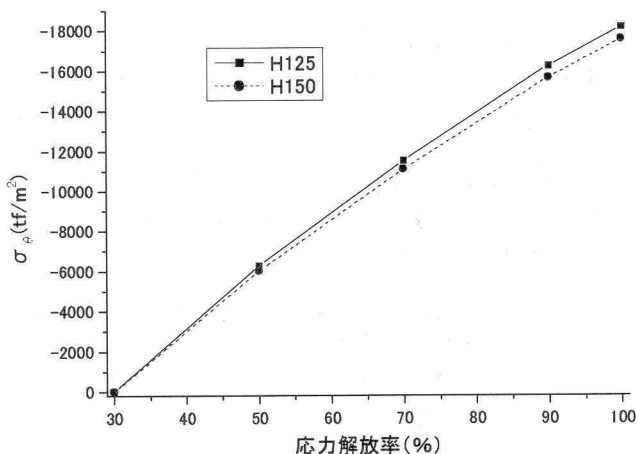


図-4 H形鋼 σ_θ