

H型鋼を考慮したトンネルの3次元弾性応力解析

3-Dimensional Elastic Stresses Analysis of Tunnels with Consideration to H-Steel Support

北海道大学大学院工学研究科
北海道開発土木研究所
北海道大学大学院工学研究科
(株)ドーコン
(株)地崎工業

○学生員 福原康顕 (Yasuaki Fukuhara)
正員 佐藤京 (Takashi Sato)
フェロー 三上隆 (Takashi Mikami)
正員 小池明夫 (Akio Koike)
正員 河村巧 (Takumi Kawamura)

1. はじめに

トンネル掘削による地山変形状は3次元的に検討されるべきであるが、一般的に数値解析の場合、2次元解析により実施される場合が多い。例えば、山岳トンネル等で採用されているNATM工法によるトンネル設計において、3次元モデルは一般に多くの手数と膨大な計算量を必要とするため2次元的なモデル化による解析が中心となっている。またFEMの2次元解析では、H型鋼をモデル化する場合、梁要素あるいは埋め込み鉄筋棒要素として近似されることが多い。しかし、図-1に示すように、実際には吹付けコンクリートは内空に変位する。これを2次元的にモデル化することは不可能である。よって本研究では、H型鋼をソリッド要素でモデル化した3次元FEM弾性解析を行い、吹付けコンクリートの硬化特性は弾性係数の変化のみで表されると仮定し、その影響について検討した。



図-1 吹付けコンクリートの変形

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、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-2に示すように1/4の解析モデルとする。周辺地山は一様応力場とし、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。メッシュ図を図-3に示す。要素数9,414、節点数41,697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。

解析諸元を表-1及び表-2に示す。また応力開放率は掘削時0%、吹付け・支保工打設時100%とした。

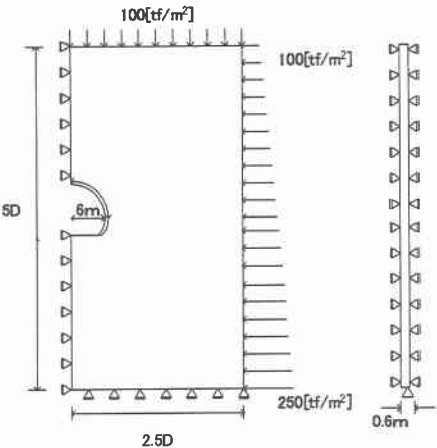


図-2 解析領域と境界条件

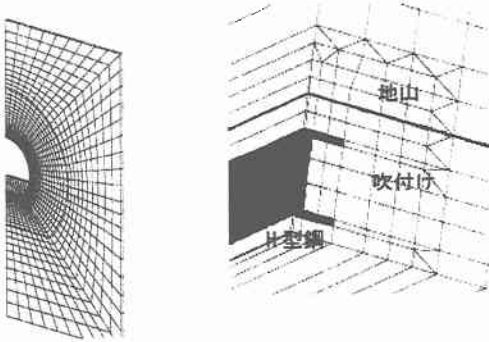


図-3 メッシュ

表-1 解析諸元

	弾性係数 [tf/m²]	ポアソン比	単位体積重量 [tf/m³]
吹付けコンクリート-①	2000000	0.2	2.5
吹付けコンクリート-②	1000000	0.2	2.5
吹付けコンクリート-③	500000	0.2	2.5
吹付けコンクリート-④	100000	0.2	2.5
岩盤	130000	0.3	2.5
H型鋼	21000000	0.3	7.866

表-2 鋼製支保H型鋼

材質	呼称寸法 (mm)	断面積 (cm²)	断面2次モーメント (cm⁴)
SS400	H-125×125×6×9	30	839

3. 解析結果

図-4 は天端部の円周方向断面における鉛直方向応力のコンター図である。H 型鋼からトンネル軸方向に離れるに従い、吹付けコンクリートにおける鉛直圧縮応力が増大していることから、次第に内空側に変位をしていることがわかる。また H 型鋼において吹付けコンクリートと比較し高い圧縮応力が確認できる。

図-5、6 は吹付けコンクリート、H 型鋼における最小主応力を図-7 のように支保工(H 型鋼、吹付けコンクリート)を 22.5 度間隔に 5 つの点で着目したものである。吹付けコンクリート応力は図-7 に示すように、トンネル軸方向は鋼製支保間中央、トンネル半径方向では内空側から 30mm の位置、H 型鋼においてはウェブ中央における値である。吹付けコンクリートの弾性係数が増加するに従い、吹付けコンクリートの最小主応力は減少し、それに対し H 型鋼の最小主応力は増加しているのがわかる。また弾性係数の増加に伴い、トンネル円周方向で最小主応力に差が生じるのが確認でき、吹付けコンクリートの弾性係数の値が大きいとき、吹付けコンクリートの最小主応力は側壁部分より天端付近において高い圧縮応力が発生することがわかる。

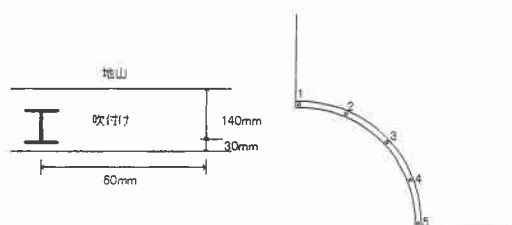


図-7 支保工における着目点

4. まとめ

本研究はH型鋼を考慮した3次元解析を行った。吹付けコンクリートが硬化する(弾性係数増加)に従い、H型鋼に掛かる荷重は軽減されることが確認でき、硬化が進行した際には特に天端付近の圧縮応力が高いことがわかる。

今後の課題としては、step解析を用いて応力開放率の変化、鋼製支保間隔などの影響について検討したい。

参考文献

- 1) 鷲津久一郎ら：有限要素法ハンドブック、培風館、1981.9
- 2) 松本嘉司、西岡隆：トンネルの設計理論、共立、1992.1
- 3) トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説、土木学会、p66-90

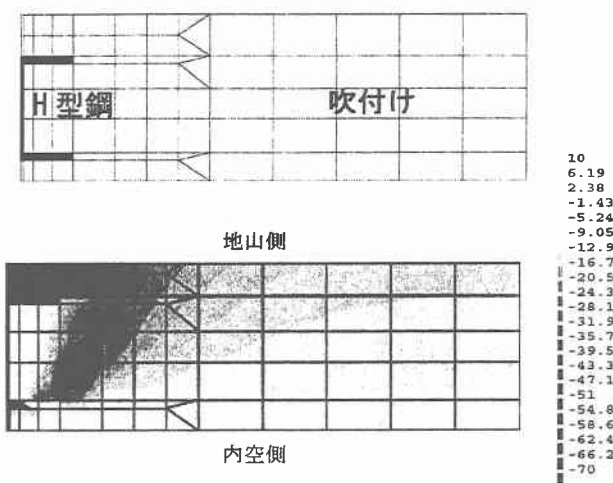


図-4 鉛直方向応力

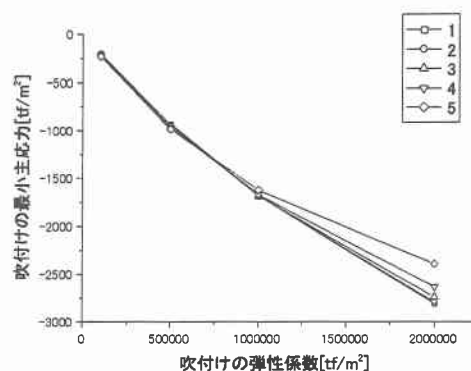


図-5 吹付けの最小主応力

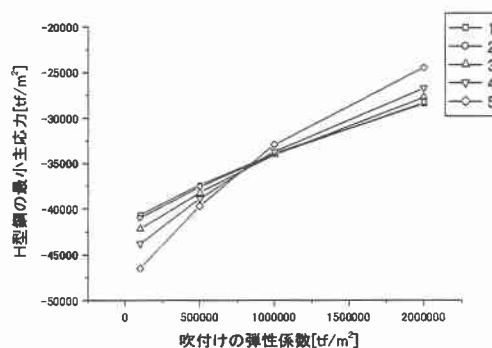


図-6 H型鋼の最小主応力