

Ⅲ-586

三次元有限要素法による長尺先受工のモデル化に関する検討

大成建設（株） 正会員 ○瀧 治雄
 大成建設（株） 名合 牧人
 大成建設（株） 正会員 大津 宏康
 大成建設（株） 正会員 田中 良弘

1. はじめに

近年、トンネル坑内からの補助工法として、長尺先受工が注目されつつある。長尺先受工は、掘削に先立ち、あらかじめ切羽前方の地山を改良し、トンネル外周部にアーチ状の領域を形成するものである。本研究では、長尺先受工の効果を明らかにするために、三次元有限要素法により、長尺先受工の解析的モデル化が異なる条件下でのトンネル掘削解析を実施した。

2. 解析条件

解析は、長尺先受工の三次元構造、および逐次掘削に伴う三次元効果を考慮するために、三次元有限要素法による弾性解析とした。解析ケースは、長尺先受工の有無、および長尺先受工の解析的モデル化の相違により、以下のように設定した。

ケース1：長尺先受工なし

ケース2：長尺先受工あり

（長尺先受工：異方性シェル要素）

ケース3：長尺先受工あり

（長尺先受工：ビーム要素）

なお、すべての解析ケースにおいて、鋼製支保工および吹付コンクリートを考慮している。図-1に、解析モデル図を示すが、トンネルの断面形状として、断面

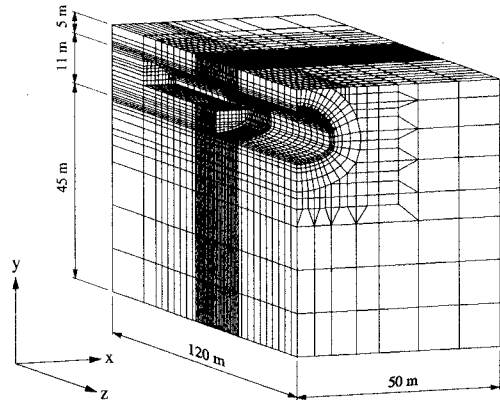


図-1 解析モデル

積 150 m^2 程度の大断面偏平トンネルを想定し、土被りは 5 m （約 $0.4 D$ 、 D ：換算直径）としている。

表-1に、解析用物性値の一覧を示す。ここに、地盤条件として、等方均質な未固結地山を想定している。長尺先受工（トレビチューブ工を想定）は、異方性シェル要素およびビーム要素で表現するが、以下にそれぞれの物性値の設定方法を述べる。まず、異方性シェル要素の場合、アンブレラアーチ円周方向の弾性係数 E_1 と、これに直交するトレビチューブ方向の弾性係数 E_2 を決定するために、トレビチューブと周辺注入部から成る平板の曲げ解析を実施した。その結果、 E_1 は周辺注入部の弾性係数（地盤の弾性係数の2倍として評価）とほぼ等価

となり、また、 E_2 は E_1 の4倍となる。次に、ビーム要素の場合は、トレビチューブ工を、トレビチューブと周辺注入部からなる合成梁として考え、断面積および断面2次モーメントを算出した。

表-1 解析用物性値

		弾性係数 E (kg/cm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (t/m^3)			
地 盤 (ソリッド要素)		500	0.3	2.0			
		弾性係数		ポアソン比 ν	断 面 積 A (cm^2)	断面2次モーメント I (cm^4)	仕 様
		E_1 (kg/cm^2)	E_2 (kg/cm^2)				
支保工	鋼製支保工 (ビーム要素)	2.1×10^4	—	0.2	63.53	4,720	H-200
	吹付コンクリート (シェル要素)	4.0×10^4	4.0×10^4	0.2	2,500	—	$t = 25 \text{ cm}$
	長尺先受工 (異方性シェル要素)	1,000	4,000	0.2	4,000	—	トレビチューブ： $\phi 114$, $t = 7$
	長尺先受工 (ビーム要素)	2.1×10^4	—	0.2	24.13	398	注入域： $\phi 400$

解析手順は、1.0 m ピッチの掘削・支保工建込みを基本とし、上半掘削 30 ステージ、下半掘削 8 ステージ、計 38 ステージの逐次掘削を繰り返すこととした。なお、長尺先受工の打設長を 12.0 m、ラップ長を 4.0 m とすれば、掘削が 8.0 m 進むごとに長尺先受工の打設が繰り返されることとなる。

3. 解析結果

図-2 に、上半掘削時における天端沈下の経時変化を示す。同図より、長尺先受工による天端沈下の低減効果は、ほとんど認められない。この傾向は、長尺先受工の解析的モデル化によらず同様なものとなっている。

さらに、図-3 に、上半掘削時における天端位置の応力経路を示した。図中、記号 A、B は、上半切羽からの距離が、それぞれ +0.5, +1.5 mであることを示し、添え字は解析ケースを示している。なお、一点鎖線は、

Drucker-Prager の破壊規準に基づく破壊包絡線を示している。同図より、各解析ケースともに、切羽通過に伴う切羽の仮支保効果の消失により、急激な応力変動(図中、A 点から B 点への移動)を示すが、ここでも、ケース 1 とケース 2 の解析結果はほぼ一致している。一方、ケース 3 の

応力経路は、他の解析ケースと異なるものとなるが、安定性の観点からは必ずしも有利とは言えない。

以上より、長尺先受工をシェル要素でモデル化した場合、長尺先受工は地盤の応力・変形状態に大きな影響を及ぼさない。これは、シェル要素の剛性が、切羽後方に設置される支保部材(鋼製支保工および吹付コンクリート)の剛性に比して低すぎたため、掘削解放力のほとんどが支保部材により分担されたものと考えられる。一方、長尺先受工をビーム要素でモデル化した場合、長尺先受工はトンネル軸方向に高い剛性を有するため、トンネル軸方向の応力・変形状態には影響を及ぼすものと考えられる。しかしながら、トンネル軸方向のみの剛性を高めることは、周辺地盤の変位抑制および安定性向上にはほとんど寄与しない。

4. おわりに

長尺先受工を、シェル要素、ビーム要素のいずれでモデル化しようとも、解析的にはその効果が認められなかった。この理由として、両者ともに、アーチ効果を発揮可能な支保構造までに至っていないものと考えられる。ここで、土被りが浅い場合には、地盤自身によるアーチ効果は期待できないことから、長尺先受工の重要性が一層増すこととなる。今後、支保部材と長尺先受工の剛性比、さらには土被りをパラメータとして、さらに検討を進めていく所存である。

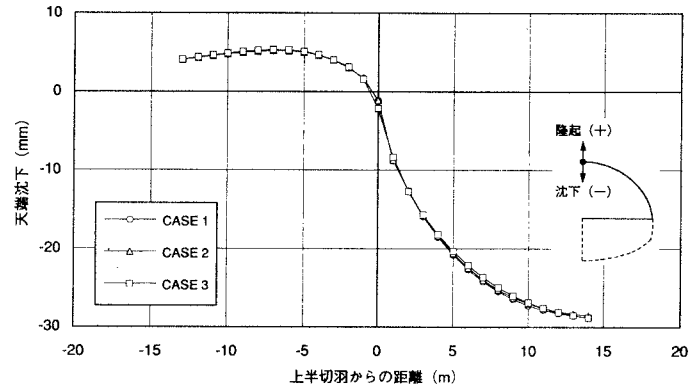


図-2 天端沈下の経時変化

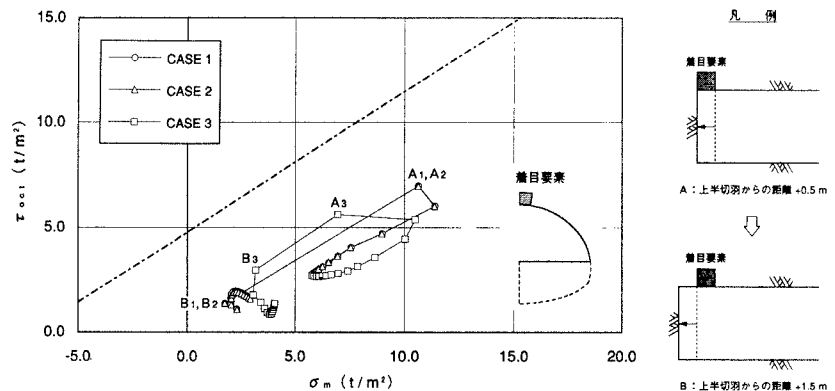


図-3 応力経路