

SENS の覆工の挙動解析

地盤工学研究室 阿部 広明
指導教官 杉本 光隆
玉井 達毅

1. はじめに

SENS で施工されたトンネルでは、未固結の一次覆工コンクリート中の内型枠がシールド機から離れるに従って浮上る現象が確認されている。これは、内型枠が未固結な場所打ちコンクリートの浮力によって、上方に剛体変位したためと考えられる。また、時間の経過とともに、未固結であった場所打ちコンクリートは硬化し、地山からの有効土圧を受ける。この有効土圧は、トンネル掘削面の初期変位やトンネル掘削面と覆工との相対変位により減少したり、地山が自立し0となっていることも考えられる。

そこで本研究では、内型枠の挙動を解明することを目的として、内型枠の剛体変位、一次覆工コンクリートの硬化過程、主働側の土圧や地山の自立が表現可能な、SENS の荷重条件と施工過程を考慮した三次元解析モデルを開発した。

2. 解析モデル

2.1 解析モデル概要

本研究の3次元解析モデルの概要を図1に、メッシュ図を図2に示す。本解析モデルでは、地盤を覆工全周に配置させた法線方向地盤ばね、内型枠を地盤ばねによって支持されたシェル、内型枠のリング間継手を軸方向ばねとせん断ばね、内型枠間継手を回転ばねで表現する。また、シールドマシンテール部と内型枠の競りを表現するためにテールばねを、内型枠と一次覆工コンクリートとの周面摩擦を表現するために、一次覆工コンクリートが固体状態の区間には、内型枠と地盤ばねの間にインターフェイス要素を設定する。

リングに作用させる荷重は、先端のリングのジャッキ力、コンクリート液体区間のコンクリート打設圧、固体区間の土水圧である。地盤ばねの性状は、周辺地盤が比較的硬質な地山であることから、トンネル掘削面の初期変位やトンネル掘削面と覆工の相対変位による土圧減少、地山の自立を評価できる地盤反力曲線を適用する。

2.2 逐次解析

(1) 一次覆工コンクリートの硬化過程

一次覆工コンクリートが固体状態の場合、周辺地盤から土水圧は一次覆工コンクリートを介して内型枠に作用する。そこで、一次覆工コンクリートを地盤と内型枠間のスペーサーとみなし、一次覆工コンクリートばねとして表現するとともに、地盤ばねと一次覆工コンクリートばねを直列に配置したものと等価なばね特性を地盤ばねに設定する。なお、コンクリートばね値は、コンクリート打設後経過時間に応じたヤング係数（実験式）を用いて算定し、コンクリートが硬化過程を考慮した。

(2) 逐次解析

図3は逐次解析のイメージを示したものである。内型枠1リング分の掘進・組立時間を1ステップとして、施工ステップ毎に新たな内型枠を先端に設置し、コンクリート打設圧とテールばね、地盤ばねを前方に1リング分移動させる。

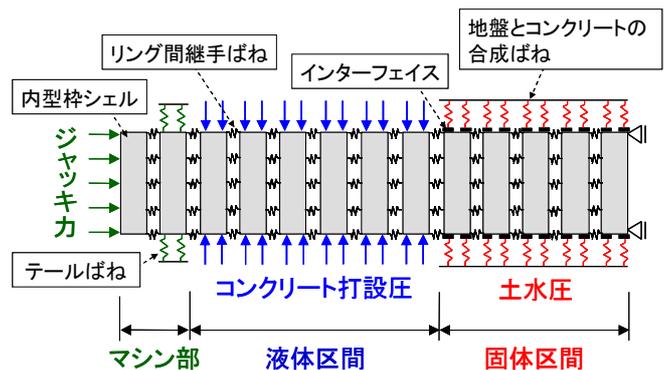


図1 解析モデル



図2 逐次解析

3. パラメータスタディ

3.1 解析ケース

本研究の解析モデルでは、地盤ばね特性の違いが内型枠シェルに与える影響が大きい。そこで、表 1 に示すように各パラメータを変化させて解析した。

3.2 解析結果

各パラメータが、鉛直剛体変位・扁平率・軸力・曲げモーメントに与える影響を図 3 に示す。この図から以下のことがわかる。

a) 地盤反力係数が大きくなると、剛体変位はほとんど変化しないが、扁平率は減少し、軸力と曲げモーメントが小さくなる。これは、地盤が硬くなると、地山が自立し、作用有効土圧が減少すること、周辺地盤の変位拘束が強くなることに起因する。

b) 水平土圧係数が 1 に近づく場合、剛体変位はほとんど変化しないが、扁平率は減少する。また、軸力は増加傾向、曲げモーメントは減少傾向にある。これらの原因は、水平土圧の増加により、有効土圧が等圧分布に近くなることで、リングが真円を保持したまま内側に変形し、また、単純に荷重が増加するため軸力が増加すると考えられる。

c) 初期変位が大きくなると、鉛直方向の剛体変位は増加するが、扁平率はほとんど変化しない。また、軸力は減少するが、曲げモーメントはほとんど変化しない。これは、初期変位で土圧が抜けることにより軸力が減少すること、隙間が大きくなり、剛体変位するスペースが存在するためと考えられる。

3.3 逆解析

パラメータスタディの結果から、断面力の計測値と解析値が一致するような地盤パラメータ推定した。断面力分布を図 4 に、推定したパラメータを表 2 に示す。なお、この時、変位の計測値と解析値は一致しなかった。結果として、地盤反力係数は軟岩程度の値と一致した。また、コンクリート打設の影響を受けて、水平土圧係数は通常よりも大きくなり等圧分布に近づくこと、初期変位は主働側に 10mm で地盤応力とコンクリート圧が釣合うことがわかった。

5. 今後の展開

現在の解析モデルでは変位の計測値を表現できないため、今後は、コンクリート硬化によるシェルの自重と剛性の変化を考慮できるように改良する。

表 1 解析ケース

Case	地盤反力係数 (MN/m ³)	水平土圧係数	初期変位 (mm)
1	50	0.75	10
2	100		
3	200		
4	100	0.50	10
5		0.75	
6		1.00	
7	100	0.75	5
8			10
9			20

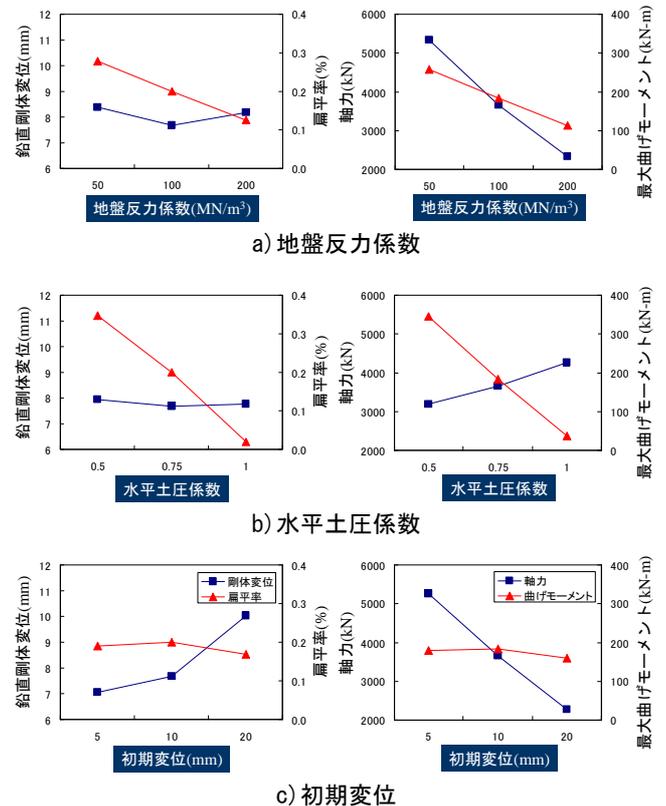


図 3 各パラメータの影響

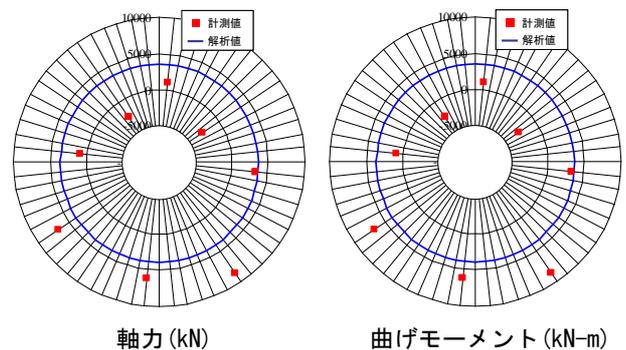


図 4 断面力分布

表 2 推定したパラメータ

地盤反力係数 (MN/m ³)	100
水平土圧係数	0.75
初期変位 (mm)	10