

性能照査型設計法導入に向けた SENS の一次覆工の試設計

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 ○渡辺 和之、藤村 智、成田 研人
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 津野 究、仲山 貴司、滝川 遼

1. はじめに

SENS (シールドを用いた場所打ち支保システム) は、密閉型シールド機によりトンネルを掘削して切羽の安定を図るとともに、シールド機テール部でコンクリートを打設して山岳工法の支保工に相当する一次覆工を構築してトンネルを支保する工法であり、東北新幹線、北海道新幹線および神奈川東部方面線で採用実績を増やしている¹⁾。一方、鉄道トンネル全体としては、省令の性能規定化に対応できる性能照査型設計法を導入する検討が進められており、性能照査の基本原則とともに、開削、シールドおよび山岳工法の具体的な照査方法が示される予定である²⁾。そこで、SENS の設計法の再体系化の検討を目的として、一次覆工の試設計を行った。

2. 試設計の対象

試設計を行ったトンネルの断面を図-1、地山条件を図-2に示す。一般的な設計条件の新幹線複線断面を想定し、土被りが大きく高い水圧が作用する条件 (以下、大土被り) と土被りが小さく地山の剛性が低い条件 (以下、小土被り) とを設定した。

3. 要求性能と照査方法の設定

今回予定される改訂は従来のような仕様規定の変更ではなく、規定されていた事柄の自由度を高める目的があり、具体的な照査方法は設計者の適切な判断に委ねられることとなる。SENS の従来設計では、一次覆工の構造安定性を力で検討するとともに、構造細目による仕様を適用してきた。本研究では、表-1 のように要求性能を設定しつつ従来設計法を踏襲し、従来の力の検討は安定に関する安全性を安全側に照査している行為であり、これと構造細目を満足することとで表-1 に示す他の性能項目も満足できるとした。以降では、安定に関する安全性のうち一次覆工の構造安定性について報告する。

4. 作用の算定

照査では、自重、土圧、水圧、残留打設圧を作用の組み合わせで考慮した。残留打設圧は、一次覆工コンクリートの打設圧が地山に残留して内型枠脱型時に一次覆工に作用する圧力で、コンクリート打設圧に残留率を乗じることで算定する。残留率は施工実績より 90~60% であり、過去の設計計算例³⁾ に倣って検討断面毎に設定した。打設圧は、シールド機停止時の切羽の土水圧に予備圧と変動圧とを加えて設定する。本検討では天端土水圧に安全率を乗じることでそれを表した。作用の一覧を表-2 に示す。

キーワード SENS、一次覆工、性能照査型設計法

連絡先 〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー (独) 鉄道・運輸機構 設計第二課 TEL045-222-9083

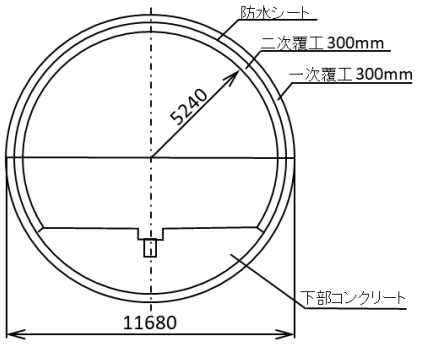


図-1 トンネル断面

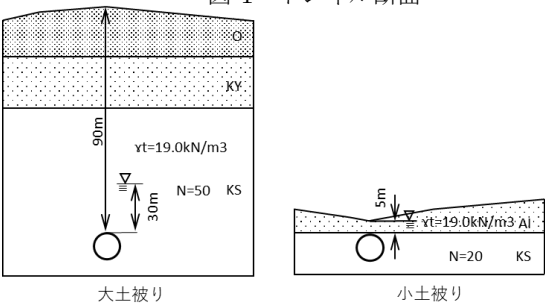


図-2 地山条件

表-1 要求性能、性能項目および照査指標の例²⁾

要求性能	性能項目	照査指標の例	考慮する作用
安全性	破壊	力、変位・変形	・設計耐用期間中に生じるすべての作用およびその繰返し ^{※1} ・発生頻度は少ないが影響の大きい偶発作用 ^{※3}
	疲労破壊	応力度、力	
	安定	力、変位・変形	
	走行安全性	内空の変位・変形、軌道面の不同変位 ^{※1} 、横方向の振動変位 ^{※1}	
使用性	公衆安全性	中性化深さ、塩化物イオン濃度、ボルトの種類	・設計耐用期間中に比較的にしばしば生じる大きな作用
	外観	ひび割れ幅、応力度	
	水密性	ひび割れ幅、応力度、漏水	
	支持性能	力、変位・変形	
	乗り心地	軌道面の不同変位 ^{※1}	
復旧性	騒音・振動	騒音レベル、振動レベル	・設計耐用期間中に生じる作用 ・発生頻度は少ないが影響の大きい偶発作用 ^{※3}
	損傷	部材の変位・変形、力、応力度、軌道面の不同変位 ^{※1} 、横方向の振動変位 ^{※1}	
	残留変位	力、変位・変形	

※1 地上の列車も支持する場合には、地上の列車に対しても設定する。
※2 疲労破壊の照査で考慮する作用は、変動の特性を考慮して別に定める。
※3 必要に応じ考慮する作用

表-2 作用の一覧

作用	断面	計算方法
自重	共通	単位重量 23.0 kN/m³
土圧	大土被り	1D 緩み土圧
	小土被り	全土被り圧
水圧	大土被り	天端+30m
	小土被り	天端+ 5m
打設圧	大土被り	天端土水圧 × 1.2
	小土被り	天端土水圧 × 1.2
残留打設圧	大土被り	打設圧 × 0.84
	小土被り	打設圧 × 0.87

5. 応答値の算定

一次覆工は、線路直角方向について、線形はり要素の完全剛性一様リングでモデル化した。一次覆工外周面の地山は、覆工法線方向の等価線形ばねでモデル化した。一次覆工の構造解析には耐荷機構モデルを採用した。モデル1は、地山の変位量が一次覆工の収缩量より大きく、有効土圧の減少が生じない場合を想定している。モデル2は、地下水位以下の砂質土地山のように、地山の変位量が一次覆工の収缩量より小さく、一次覆工の下半部に有効土圧の減少が生じる場合を想定しており、有効土圧の減少範囲を90°としたモデル2aと180°としたモデル2bとがある。これら3種類のモデルを用いて解析を実施した。荷重モデルを図-3、検討ケースと作用との組合せを表-3に示す。この結果、曲げモーメントは、大土被りではcase2、小土被りではcase6で最も厳しい値となった(図-4)。一方、軸力は、大土被りではcase3、小土被りではcase4で最も厳しい値となった。

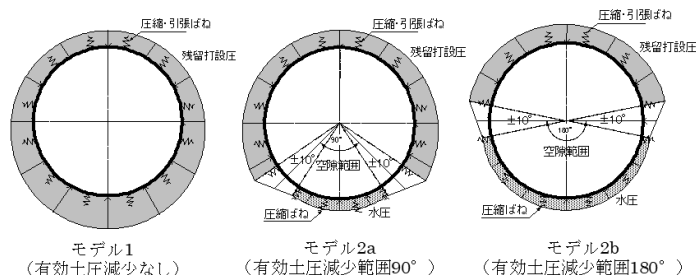


図-3 耐荷機構モデルの荷重モデル

表-3 検討ケースと作用との組合せ

case	要求性能	性能項目	断面モデル	作用係数				
				D1	Wp1	Wp2	ER1	ER2
1	安全性 (一次覆工の破壊)	安定	大土被りモデル1	1.05			1.0	
2			大土被りモデル2a		1.0		1.0	
3			大土被りモデル2b		1.0		1.0	
4			小土被りモデル1					1.0
5			小土被りモデル2a			1.0		1.0
6			小土被りモデル2b			1.0		1.0

D1 : 自重
Wp1 : 水圧(大土被り) ER1 : 残留打設圧(大土被り)
Wp2 : 水圧(小土被り) ER2 : 残留打設圧(小土被り)

6. 限界値の設定および照査

以下の式で曲げモーメントおよび軸力の照査を行い、いずれにおいても満足することを確認した。

$$\gamma_i \cdot I_{ud} / I_{ld} \leq 1.0$$

I_{ud} : 設計応答値, I_{ld} : 設計限界値, γ_i : 構造物係数

大土被りでの照査結果を図-5, 小土被りでの照査結果を図-6に示す。

7. まとめ

本研究では、従来の設計手法を踏襲しつつ、SENSに性能照査型設計体系を適用した場合の試設計を行い、具体的な照査方法の一例を示した。今後、施工中のSENSトンネルでの計測やパラメータスタディ等により、本来の移行目的である、より自由度の高い照査方法についても考察していきたい。

参考文献

- 1) 石島, 境, 磯谷, 阪田: 神奈川東部方面線及び北海道新幹線における SENS の設計施工, 地盤工学会誌, Vol.66, No.5, pp.8-11, 2018
- 2) 稲垣: 鉄道構造物等設計標準(トンネル)の改訂, 日本鉄道施設協会誌, vol.57, No.3, pp.48-49, 2019
- 3) 鉄道・運輸機構: シールドを用いた場所打ち支保システムの設計施工指針(案), 2016

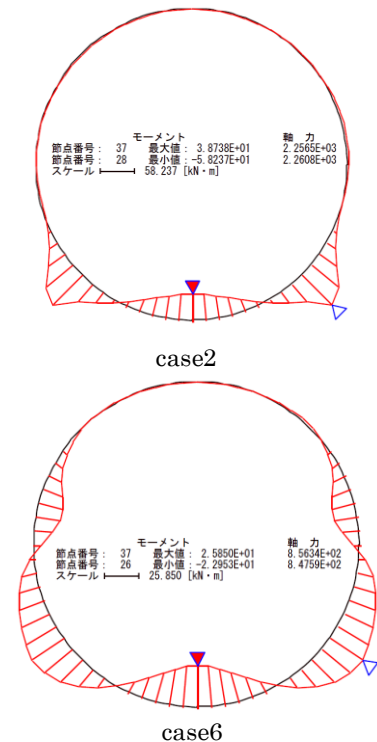


図-4 曲げモーメントの分布図

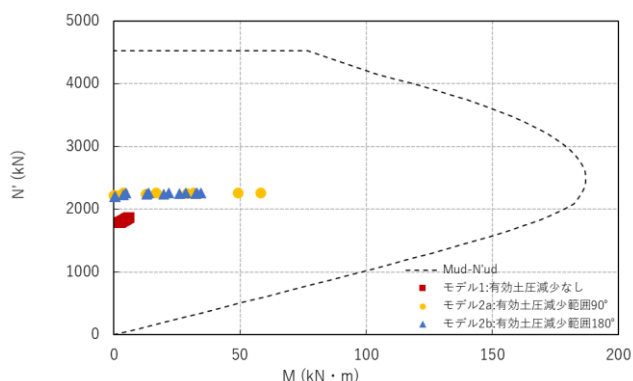


図-5 大土被りでの照査結果

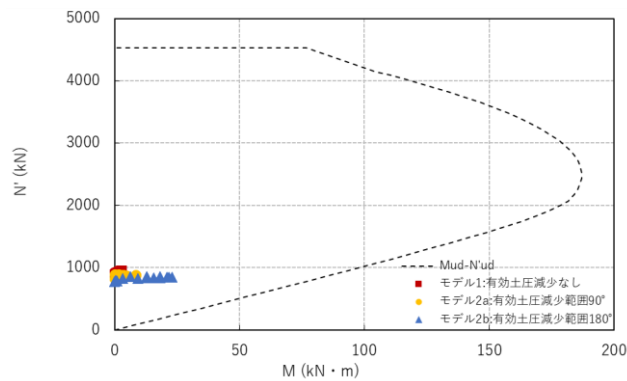


図-6 小土被りでの照査結果