

トンネル掘削に伴う低土被り区間における影響評価および対策工検討について

西日本高速道路(株) 正会員 ○水野 希典

西日本高速道路(株) 非会員 前畑 和幸

西日本高速道路(株) 非会員 中川 太貴

1. はじめに

天神山トンネル工事とは、西九州自動車道（佐々IC～佐世保大塔 IC 間）4 車線化事業に伴い、佐世保湾の東に位置する天神山（標高 135.8m）を東西に掘り抜くⅡ期線工事である。トンネル上部全線にわたり住宅が密集しており、西側坑口には断層破碎帯が確認されている。そのため、Ⅰ期線工事時には地表面沈下を発生させた経緯がある。本業務は、Ⅰ期線施工の実績を踏まえ、再現解析による地表面沈下対策としての補助工法の選定および土被りの小さい西側坑口における近接構造物への影響について検討したものである。

2. 解析条件

解析については、西側坑口付近にある断層破碎帯の影響を表現するために 3 次元 FEM 解析を行うこととした。以下に解析条件を述べる。

(1) 解析対象領域の設定

天神山トンネル西側坑口部の解析対象領域としては、Ⅰ期線施工時に大きな地表面沈下を観測した断層破碎帯がⅠ期線～Ⅱ期線を包括するように設定を行う。トンネル延長方向についてはⅡ期線 130m とし、横断方向についてはⅠ・Ⅱ期線 SL 壁面から水平方向に 5D（Ⅰ期線 1D=12.8m，Ⅱ期線 1D=12.3m）確保して全体幅 183.76m とした。また、縦断（深さ）方向についてはⅡ期線 1D（=12.3m）とした。

(2) 各種物性値の設定

断層破碎帯とその前後の D 級・CL 級層の物性値については、Ⅰ期線を対象とした 2 次元 FEM 再現解析によって求められた破碎帯定数、既往地山物性値を初期値として採用し、Ⅰ期線トンネルでの地表面沈下計測値を主体に着目して、変形係数と側圧係数をパラメータとした 3 次元 FEM 再現解析にて断層破碎帯の定数を設定した。

Ⅰ期線施工時再現解析の結果、地表面沈下分析や計測工 A 測定結果を再現するには、図 2 に示すように断層破碎帯を広げ、前後に破碎帯 1・破碎帯 2 の地層を新たに設けることとした。

それぞれの物性値を表 1 に示す。



写真 1 西側坑口現況

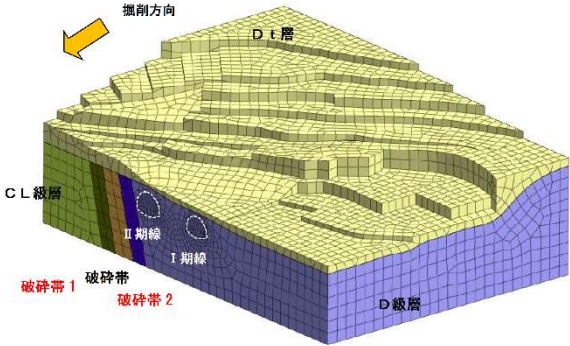


図 2 解析モデル図

表 1 地山物性値

地質	単位体積重量 $\gamma_t(kN/m^3)$	初期変形係数 $F(kN/m^2)$	ポアソン比 ν	粘着力 $C(kN/m^2)$	内部摩擦角 $\Phi(deg)$	側圧係数
破碎帯 (F-1断層)	23.8	15,000 (40,000)	0.35	200	38.0	0.7
破碎帯1	23.8	30,000	0.35	200	38.0	
破碎帯2	19.5	20,000	0.35	50	29.0	
崖錘	19.0	4,000	0.40	35	10.0	
D級	19.5	100,000 (60,000)	0.35	5	29.0	
CL級	23.8	200,000	0.35	200	38.0	

※0内変形係数は当初値

表 2 Ⅱ期線トンネル構造物性値

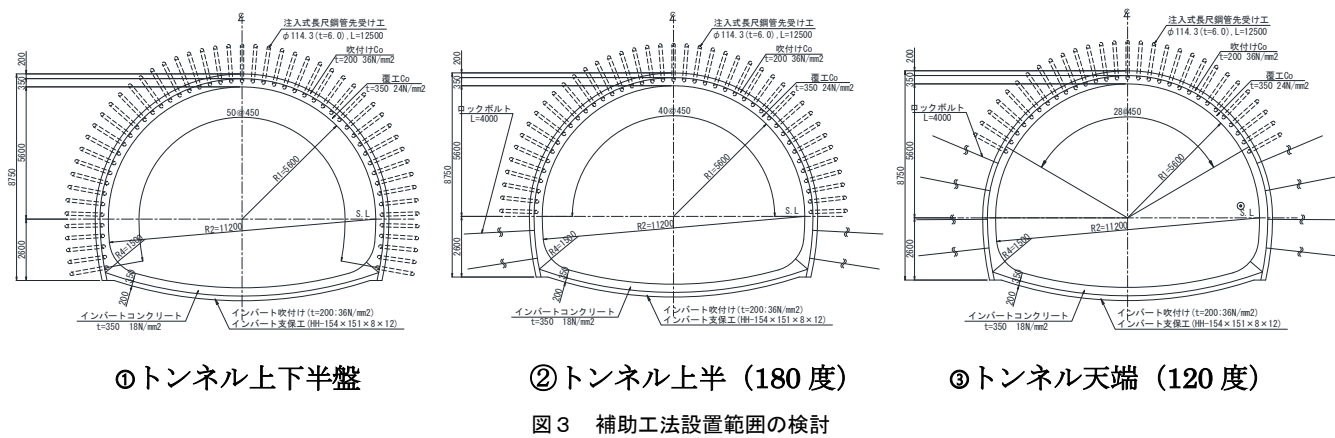
構造物	仕様	要素 モデル	変形係数 $F(kN/m^2)$	断面積 $A(m^2)$	断面2次 $I(m^4)$	断面係数 $Z(m^3)$
DII-a	吹付け コンクリート $t=20cm$ 36N/mm ²	シェル	6.0×10^6	0.20	—	—
	鋼7-チ 支保工 HH-154 @1.0m	ビーム	4.0×10^7 (2.0×10^6)	47.19×10^{-4}	$2,000 \times 10^{-8}$	260×10^{-6}
DI-b	吹付け コンクリート $t=10cm$ 36N/mm ²	シェル	6.0×10^6	0.10	—	—
	鋼7-チ 支保工 HH-100 @1.0m	ビーム	4.0×10^7 (2.0×10^6)	21.59×10^{-4}	378×10^{-8}	75.6×10^{-6}
長尺鏡ガルト	$\phi 76.3$ $t=5.2$	トラス	2.0×10^8	11.62×10^{-4}	—	—

表 3 注入式長尺鋼管先受け工等価剛性(Ⅱ期線：鋼管 2 段)

対象地山	地山変形係数 (MN/m ²)	鋼管変形係数 (MN/m ²)	注入材変形係数 (MN/m ²)	等価剛性 (MN/m ²)
破碎帯	40	200,000	350	2,100

キーワード 地表面沈下, FEM 解析, 管理基準値, 補助工法

連絡先 〒857-0852 長崎県佐世保市干尽町 3 番 3 号 西日本高速道路(株)佐世保工事事務所 TEL 0956-59-8777



（3）構造物性値の設定

支保部材の物性値については表2のとおりとした。

注入式長尺鋼管先受け工のモデル化は、これにより改良された地盤の剛性を地山、鋼管、注入材を考慮した等価剛性の平面要素に置き換えることにより表現する。なお、注入材の変形係数は、ウレタン系注入材を想定して表3のとおりとした。

3. 補助工法の検討

施工方法については、I期線施工時に大きな地表面沈下が生じていたことや近接構造物が多いことから、地表面沈下抑制のための機械掘削方式を採用し、施工方法は「補助ベンチ付き全断面早期閉合工法」を採用した。補助工法の設置範囲については、図3に示すとおり長尺鋼管フォアパイリングの打設範囲を変更した3ケースで解析を行うこととした。

（1）管理基準値の設定

管理基準値については、現地条件を考慮し比較的小規模な建築物（一般的な戸建て住宅程度）の鉄筋コンクリート造・直接基礎を対象とした指針である「小規模建築基礎設計指針2008：一般社団法人日本建築学会」を参考に表4のように設定した。

（2）II期線施工時予測解析結果

設定した解析対象領域において、図3に示す各パターンでの沈下量の最大値および傾斜角の最大値を表5に示す。この結果より、パターン③では管理基準値を満足しないことが分かった。よって管理基準値を満足し、最も経済的なパターン②を採用することとした。

（3）補助工法の設置範囲

I期線トンネル施工時の計測結果より、切羽がF-1断層の約20m手前から地表面沈下が発生していたことから、II期線施工時についてもF-1断層から20m離れた個所から補助工法を開始するものとする。

4. まとめ

本検討において、天神山トンネルII期線の新設における近接構造物への影響を予測することができた。しかし、解析はあくまで予測であることから、掘削の都度、内空変位や天盤沈下、地表面沈下等の常時計測による地山評価および支保工の妥当性を確認しながら、対策を講じていくことが必要である。

謝辞

本稿の断層破碎帯区間における地表面沈下をはじめとした天神山トンネルの施工課題に関する対策については、九州大学三谷教授を委員長とする天神山トンネル技術検討会で、対策工の解析手法に関しましてご指導いただきました。ここに記して深甚の謝意を表します。

表4 解析結果一覧

項目	設計目標値
絶対沈下量	20mm以下
傾斜角	1×10^{-3} rad以下

表5 解析結果一覧

検討	地表面沈下最大値 (mm)	傾斜角最大値 (rad)
①	-10.8	0.67/1000
②	-13.3	0.95/1000
③	-26.7	1.58/1000