

シールド転回大断面交差部の設計（その2）

—京都市道高速道路1号線 稲荷山トンネル—

鹿島 土木設計本部 正会員 青柳隆浩 ○畝田篤志
 阪神高速道路公団 正会員 石原 洋 岡本信也
 鹿島 ITソリューション部 非会員 立川伸一郎

1. はじめに

（その1）では、地盤条件・施工上の制約条件をふまえて決定した施工ステップ・それを基に策定した設計フローを示した。本報告では、このフローにならない実施した設計の内容とその結果について述べる。

2. 支保工の設計

大断面交差部周辺の3次元的地山挙動を把握するために3次元掘削解析を実施し、この結果を設計実績の豊富な2次元FEM解析に盛り込んで支保構造の設計を行った。ただし、トンネルが交差している部分の支保構造は非常に複雑であり、2次元解析ではモデル化できないため、この部分については3次元Shell解析を併用した。

2.1. 3次元FEM掘削解析<3次元的地山挙動の把握>

本解析は、交差部を掘削することによる3次元的地山周辺の挙動(ゆるみ領域)を把握する事を目的とするため、支保工・細かい施工ステップ等をモデル化せず、出来るだけ簡易なモデルで解析を実施した。また地盤物性値は、本トンネルの既施工区間において実施した逆解析結果を基に設定した。

ゆるみ領域の評価は、局所安全率Fsを用いて行い、 $F_s < 1.3$ となる部分をゆるみ領域とした。これは、弾性限界パラメータk(=4)より、地山材料が非線形状態になる時のFsを逆算して求めたものである。

解析結果としては、交差部付近の緩み領域が最も大きくなり緩み高さは約4m程度となった。本解析により3次元的地山の挙動(緩み領域の分布)を把握する事が出来た。この解析結果を以降の各検討に盛り込み、支保工・二次覆工の設計を行った。

表-1 モデル化概要

地山材料	線形弾性
全体モデル	1/2 対称モデル
支保工モデル化	なし
掘削	掘削解放法
初期応力	ポアソン比($\nu=0.49$)により自重計算

表-2 解析ステップ

STEP1	初期応力の算定
STEP2	本坑上半掘削解放(100%)
STEP3	連絡坑上半掘削解放(100%)
STEP4	本坑下半掘削解放(100%)
STEP5	連絡坑下半掘削解放(100%)

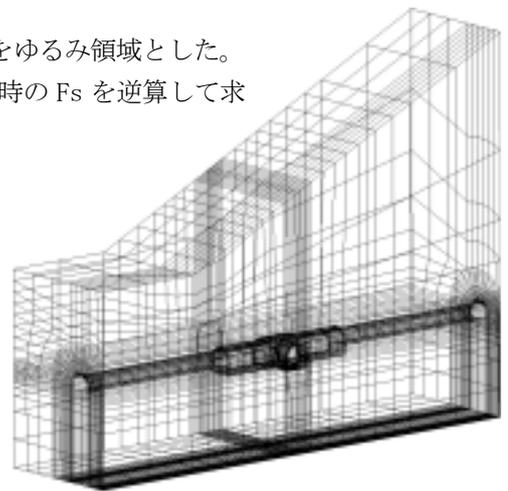


図-1 3次元FEMモデル

2.2. 2次元FEM掘削解析<支保構造の設計>

2次元の双設トンネルモデルに、トンネル交差部の影響を盛り込むために、3次元FEM解析結果より、連絡坑掘削による増分変位量を抽出し、これを荷重に変換して作用させた。また交差部分については後に述べる3次元Shell解析を併用しているが、本解析では施工ステップをモデル化し、施工途中の各支保工の健全性の確認を行った。

各STEPにおいて鋼製支保工・吹付けコンクリートの応力照査を実施した結果、上半掘削完了時に鋼製支保工脚部で最も大きな応力が発生し、その後下半掘削掘削完了時には、応力集中箇所が下半脚部に移行する事が分かった。一部で許容値を超えるような応力が発生したが、情報化施工により対処する事とした。次に述べる3次元Shell解析結果を含めて決定した支保構造の仕様を表-5に示す。

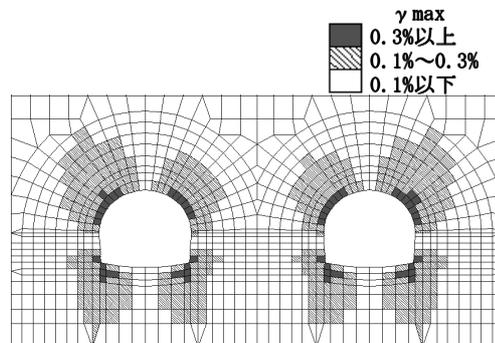


図-2 最大せん断ひずみ分布図(最終STEP)

表-3 解析ステップ

STEP1	初期応力の算定
STEP2	西行線上半掘削解放50%
STEP3	西行線上半支保建込50%
STEP4	東行線上半掘削解放50%
STEP5	東行線上半支保建込50%
STEP6	連絡坑上半掘削影響
STEP7	西行線下半掘削解放50%
STEP8	西行線下半支保建込50%
STEP9	東行線下半掘削解放50%
STEP10	東行線下半支保建込50%
STEP11	連絡坑下半掘削影響

キーワード：NATM, 大断面交差部, 軟岩, 破砕帯, シールドトンネル

連絡先：〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30 TEL. 03-5561-2111 FAX. 03-5561-5155

2.3. 3次元Shell解析<交差部完成形詳細検討>

前述したとおり、本解析はトンネル交差部分の複雑な支保構造をモデル化し、支保構造完成時における3次元的な応力の流れを把握し、2次元掘削解析結果と本解析結果を包含する様に支保工を決定する事が目的である。モデル化は表-4のとおり行い、3次元掘削解析より得られた緩み荷重を作用させ、交差部の各支保部材応力をチェックした。

その結果、図-3に示すとおり完成形においては、連絡坑交差部分に局所的に大きな応力が発生する事が分かった。

表-4 部材のモデル化

	モデル化方法
鋼製支保工	Beam要素
吹付コンクリート	SHELL要素
ロックアンカー	バネ支承
地盤	バネ支承(Non-Tension)

□ 短期許容応力度未満
■ 短期許容応力度以上

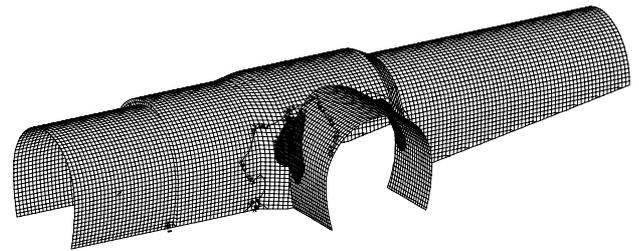


図-3 吹付コンクリート発生応力分布

表-5 支保工仕様

	交差部 $\sigma_{ck}=36N$		補強部 $\sigma_{ck}=24N$	
	H鋼	吹付コンクリート	H鋼	吹付コンクリート
DI	NH-250@1m	t=30cm	NH-200@1m	t=25cm

3. 二次覆工の設計

1次支保工の設計について以上までで述べたが、局所的に大きな応力が発生しているところがあり、永久構造物としての二次覆工は一次支保工で支えている荷重を全て、受け持つ事が出来る構造とした。

また本検討区間である交差部付近は最終的に非常駐車帯区間となる事から、最終的に必要な非常駐車帯断面部分に二次覆工を施工し、それより下はエアモルタルで埋戻すこととした。設計手法としては、二次覆工を2次元フレームモデルでモデル化し、3次元FEM解析より得られたゆるみ荷重を作用させ、算出した断面力により設計を行った。なお、底板下部のボックスは、排水管等を設置するためのものである。

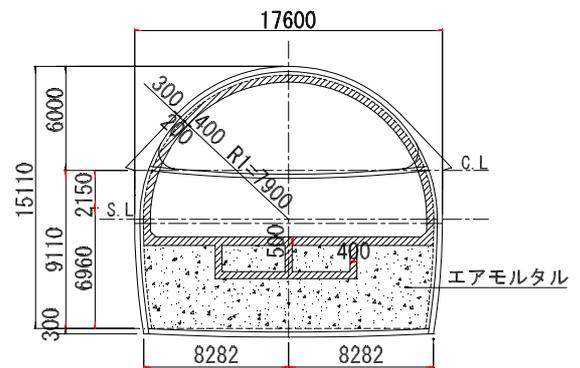


図-4 最大断面部断面 (単位:mm)

4. まとめ

3次元FEM掘削解析をはじめ、各種解析を用いて大断面地下交差部の支保構造・二次覆工等の検討を実施した。その結果、交差部付近の支保工応力が局所的に大きくなる事が分かった。したがって、支保構造については情報化施工を実施し地盤状況によっては、予め見込んである交差部の補強代(200mm)を用いて二重支保工・吹付けコンクリートの増吹等により対処するように考えている。

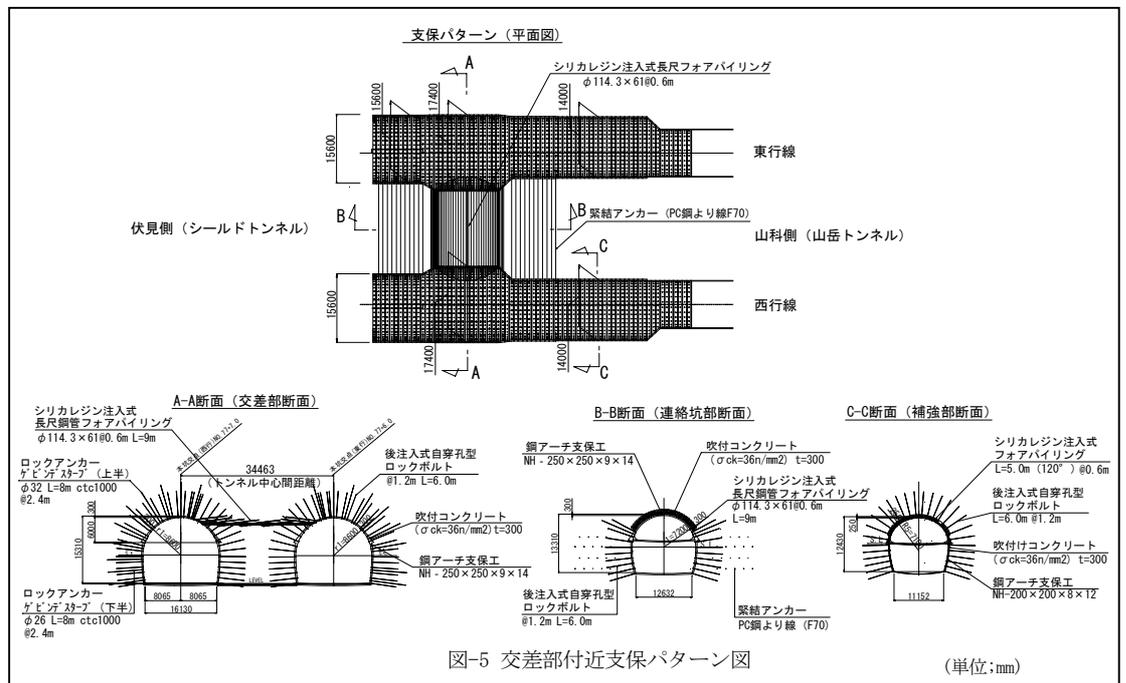


図-5 交差部付近支保パターン図 (単位:mm)

また支保構造の設計では、3次元FEM掘削解析により直接算定せずに、より簡易な解析(2次元FEM解析・3次元SHELL解析)により設計を行ったが、支保構造(決定した仕様)を組み込んだ3次元FEM掘削解析も実施し、本設計手法の妥当性を検証している。

最後に、本検討に多大なご指導・ご意見・ご協力を頂いた京都高速道路トンネル技術委員会の足立紀尚委員長・大西有三幹事長をはじめ委員各位に誌面をお借りして感謝の意を表する次第である。

参考文献：石原他，シールド転回大断面交差部の設計(その1)，第56回土木学会年次講演会(投稿中)，2001。