膨張性地山におけるトンネル覆工の設計法の開発

日本鉄道建設公団	北陸新幹線第二建設局	工事四課		豊原	正俊
日本鉄道建設公団	朝日鉄道建設所		正会員	長谷り	雅彦
日本鉄道建設公団	朝日鉄道建設所			山田	研一
清水建設㈱ 土オ	卜本部 技術第二部		正会員	平野	宏幸

1.はじめに

北陸新幹線朝日トンネルは大規模な断層破砕帯に遭遇し、この区間で膨張圧が作用し内空変位が大きく、 水平変位が 500mm を超えた。そのため設計巻厚を確保できず、坑口より 2k582m~2k950m 区間では縫返 しを余儀なくされた。この区間は、縫返し後も変位が収束せず、覆エコンクリートに長期的に土圧が作用す ると判断した。そのため覆エコンクリートには、補強が必要となった。そこで、解析により覆エコンクリー トに発生する断面力を推定し、覆エコンクリートに鋼繊維補強コンクリートを採用するものとして、構造設 計を限界状態設計法^{*)}に基づいて実施した。

本稿では、この鋼繊維補強コンクリートを採用した覆工コンクリートの設計法について報告するものである。

2. 覆工コンクリートに発生する断面力の算定

トンネルの覆エコンクリートに作用する土圧を直接算定することは困難である。そこで、計測データを基 にFEM解析により覆エコンクリート打設前までの変形過程を再現し、そこに二次覆工をモデル化して覆エ コンクリート打設後の覆工の変位量を予測し、その変位を荷重として二次元骨組解析を行うことで、覆エコ ンクリートに発生する断面力を算定した。以下にその手順を示す。

変位計測結果の分析

図-1 と図-2 に掘削時と縫返し後のの変位計測結果を示す。図の通り、側圧が卓越しており、掘削時に上半 水平測線が 300mm を超える大きな変位が発生し、縫返し後も変位が 100mm を超え、収束に至っていない。 そこで、図-3 の通り、この変位計測結果を指数関数で近似し、最終変位を予測した。



FEM解析による現状の再現

変位計測結果を同定解析することにより、掘削から変位収束時までの地山挙動が把握できる。そこで、この結果を基に、掘削から変位収束時までを縫返しの挙動も含めて、FEM解析により再現した。地山の物性 値は逆解析と室内試験により求め、初期応力解放率は50%とし、その他の応力解放率は変位計測結果に合う ように設定した。解析結果から変位速度 1mm / 月の時点(覆エコンクリート打設時)から最終変位に至る までの応力解放率は、縫返し時の掘削応力の約1~2%であることが判明した。

キーワード:膨張性地山,鋼繊維補強コンクリート,FEM解析,限界状態設計法,計測 連絡先:〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンスS館 TEL:03-5441-0567 FAX:03-5441-0515 覆エコンクリート打設後の地山挙動

再現した地山挙動は、覆エコンクリー トの剛性が考慮されていないので、同じ 解析モデルにシェル要素で覆工コンクリ ートを追加し、再度解析を行ことで覆工 コンクリート打設後の挙動を推定する。 表-1の解析結果示通り、覆工コンクリー

トを打設しない場合に予測される変位増

表-1 FEM解析結果

	天端沈下		上半水平測線		下半水平測線	
	解析值	実測値	解析値	実測値	解析值	実測値
掘削時	-123.7	-98.0	-239.0	-311.3	-	-
縫返し後	+16.0	-38.0	-147.2	-126.9	-102.4	-92.1
最終値までの変位増分 (二次覆工無し)	+1.1	-0.5	-9.4	-7.3	-7.6	-4.6
最終値までの変位増分 (二次覆工有り)	+0.1	-	-5.6	-	-3.8	-

注)負の値が内空側の変位

分が、覆工コンクリートを打設することにより、上半水平側線で-9.4 から-5.6、下半水平側線で-7.6 から-3.8 となることがわかる。

覆エコンクリートに作用する断面力の算定

覆工コンクリートに作用する軸力,曲げモーメント,部材回転角を算定するために、FEM解析で算定さ れた覆工コンクリートの変位量を二次元骨組解析で強制変位として与えた。解析結果を図-4~6 に示す。曲 げモーメントは、側壁部で最大 3.22t・m となっているが、軸力はインバートが閉合されていないため、最大 で1.38tと非常に小さな値となっている。





図-5 曲げモーメント図

3.22t · m



図-6 軸力図

3. 断面設計

覆エコンクリートの断面設計を行うため に、以下に示す2種類の鋼繊維補強コンク リートの配合について、限界状態設計法に 基づいて補強設計を行った。

設計基準強度	スチールファイ	混入率	
(N/mm)	バー形状・寸法	(%)	
24	0.8×60	0.50	
27	0.8×60	0.75	
	設計基準強度 (N/mm) 24 27	 設計基準強度 (N/mm) スチールファイ バー形状・寸法 24 0.8×60 27 0.8×60 	

安全性の照査は、図-7と図-8に示す鋼繊 維補強コンクリートの N-M 耐力曲線で行



う。照査結果から配合Bであれば、覆エコンクリートの安全性が確保できることがわかる。

この検討断面では、覆工の施工後、覆工コンクリートの応力測定と下半水平側線の計測を行った。計測結 果は、曲げモーメントがアーチ肩部で-4.80t·m, 側壁部で 3.47t·m (内空側に凸が正), 軸力が最大約 40t (圧縮が正),下半水平側線が-3~-4mm(内空側が負)と軸力以外は解析結果近い数値となった。

4.まとめ

大きな土圧を受け、変形の大きい地山では、変位は収束することなくクリープ的に土圧が作用する。本稿 では、このクリープ的挙動から土圧を推定する方法を提案し、鋼繊維補強コンクリートを用いた限界状態設 計法で補強設計を行った。結果は、設計値と計測値が良く一致し、本設計書方が有効であることが判明した。 【参考文献】*)鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル(トンネル編)

社団法人 鋼材倶楽部,SFRC構造設計施工研究会編