

供用線と避難連絡坑との接続部における覆工応力変状について

日本道路公団 正会員○諸岡 伸

日本道路公団 正会員 加藤 陽一

1. 研究背景

トンネル交差部の覆工に対しては、局所的に応力集中が生じること、通常より大きな緩み荷重が作用する可能性があること、交差部の覆工の一部が切断されるため、覆工構造として剛性が低下することなどの問題が生じる¹⁾。北陸自動車道 柳ヶ瀬トンネル避難連絡坑工事は長大供用トンネルに対する避難連絡坑設置工事である。本工事においては、連絡坑掘削に伴う緩み荷重の発生により、トンネル接続部の覆工に対する応力変状が予想される。従って、本稿は、供用線に対し、二次元 FEM 弾塑性解析による管理基準値の設定ならびに施工時においては計測工を行い、接続部における覆工応力変状について検討を行った。

2. 二次元 FEM 解析

(1) 柳ヶ瀬トンネル背景

柳ヶ瀬トンネルは昭和 55 年に完成しており、矢板工法にて全線側壁導坑掘削工法にて施工している。全体の地質は建設時の施工記録から粘板岩である。

避難連絡坑の掘削延長は、約 38m で、断面寸法は、TN 火災時における避難連絡坑の高度利用を目的に、救急車両の通行が可能な断面としている。本線及び避難連絡坑断面を図-1 に示す。連絡坑掘削は、供用線を規制しながら全断面機械掘削により施工している。なお、本線に対しては補強工として補強ロックボルト工、覆工背面空洞注入工の施工を事前に行っている。

(2) 解析モデル

解析モデルの設定に当たり、本線覆工に作用する初期応力は、土荷重高さを推定し²⁾、ステップ解析により算出した。解析領域、境界条件、地盤・支保等に関する物性値についてはそれぞれ地山調査、文献等³⁾に留意して設定した。解析モデルを図-2 に示す。

(3) 解析手法及び解析結果

本解析は、本線覆工が終局状態に達する時を基準としている。従って、避難連絡坑掘削に伴う本線終局状態を想定するため、解析モデルに対して、本線上部に本線幅 + 本線覆工脚部より 45° の影響ラインに対し、覆工応力が終局状態に達するまで上載荷重を繰返し載荷させ、終局強度、許容圧縮強度に達する時の着目点における応力、変位量を算出した。載荷状態及び着目点を図-3 に、解析結果一覧表を表-1 に示す。着目点における応力、変位量から覆工応力、ロックボルト軸力、地中変位に対してそれぞれ管理基準値を設定した。

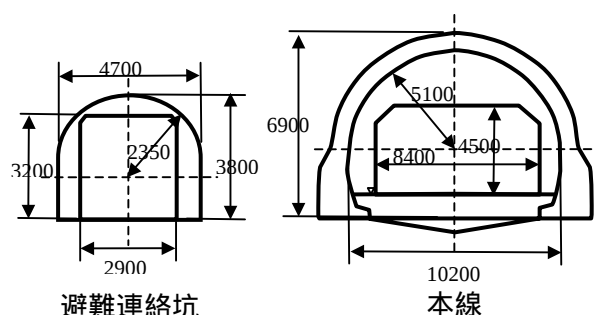


図-1 トンネル断面図

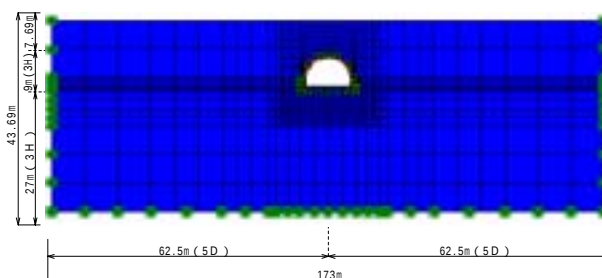


図-2 解析モデル

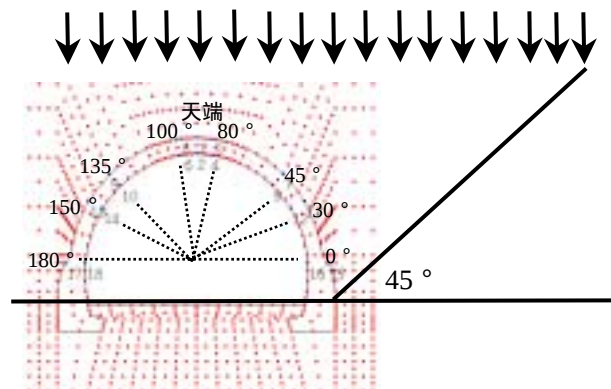


図-3 載荷状態及び着目点

キーワード：トンネル避難連絡坑 二次元 FEM 弾塑性解析、管理基準値、オンライン計測、

連絡先：〒914-0014 福井県敦賀市井川 17 号字敷 8-1 TEL：0770-25-5223 FAX：0770-22-9293

3. 計測結果との比較

連絡坑掘削時の本線覆工及び周辺地山の挙動を把握し、覆工変位に迅速な対応がとれるよう、本線に対して、覆工応力測定、補強ロックボルト軸力、地中変位の計測を行った。計測位置を図-4に示す。計測は、オンラインによる自動計測にて行った。また、計測結果を表-2に示す。表中の計測値は、掘削期間中の最大値、レベルは解析結果から算出した管理基準値である。

表より、覆工応力、地中変位計は、計測値は管理基準値に比べると30%以下の範囲であり、十分に小さい値であった。しかし、ロックボルト軸力に関しては、レベル付近まで増加し、圧縮側の値を示した。これは、覆工背面の空隙に起因する変位差の影響であると考えられる。また、本線覆工に作用する応力は、解析結果と同様、連絡坑掘削直上部周辺において大きく発生する傾向であることがわかる。

結果として、地中変位、覆工応力の値は小さく、また、ロックボルト自体の強度に問題が無く、軸力値も収束し安定していたため、地山は安定しているといえる。つまり、本工事に関しては、連絡坑掘削に伴い覆工に作用する地山緩み荷重は小さかったといえる。

4. あとがき

本稿は、供用線側に対し、二次元FEM弾塑性解析による管理基準値の設定ならびに施工時には計測工を行い、トンネル交差部における覆工応力変状について調査・検討を行った。

その結果、覆工応力、地中変位に関しては、計測工結果よりも十分に小さい値を示しており、管理基準値は概ね妥当であったといえる。しかし、ロックボルト軸力に関しては、レベルを越えており、覆工応力に連動していないため、本線覆工背面空隙を考慮した管理基準値の設定方法を行う必要がある。

今後の課題として、同種工事に対して、計測工を行い、データの集積から解析モデル、解析手法及び管理基準値の改定を行う必要がある。

（参考文献）

- 1) 日本道路公団設計要領第三集 1997.4
- 2) トンネル標準仕方書（山岳編）・同解説 1986
- 3) トンネル数値解析マニュアル JHRI 技術資料第358号

表-1 解析結果一覧

着目点 位置	初期 応力	応力	応力	-	-
	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)
0°	-1408	-4436	-17437	-3028	-16029
30°	-1416	-4510	-17799	-3094	-16383
45°	-1416	-4314	-16215	-2898	-14799
80°	-1414	-3929	-14730	-2515	-13316
天端	-1421	-3942	-14769	-2521	-13348
100°	-1403	-3941	-14840	-2538	-13437
135°	-1389	-4294	-16767	-2905	-15378
150°	-1392	-4380	-17213	-2988	-15821
180°	-1412	-3934	-14768	-2522	-13356

応力：本線覆工が許容強度に達した時の着目点での応力
 応力：本線覆工が終局強度に達した時の着目点での応力
 覆工管理基準値 レベル：- レベル：レベル*0.5
 レベル：(-)*0.75

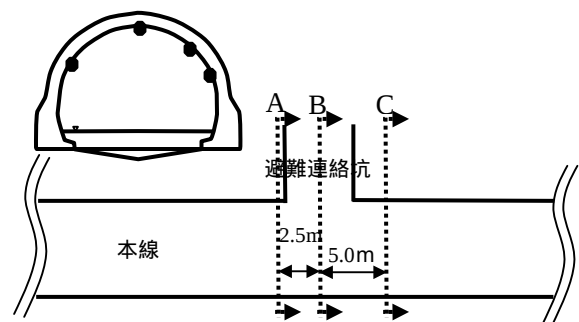


図-4 計測位置

表-2 管理基準値と計測結果との比較

計測位置		覆工応力(kN/m ²)		R.B 軸力(kN)		地中変位(mm)	
		レベル	計測値	レベル	計測値	レベル	計測値
A		3100	675.7	35.6	66	1.5	0.09
		2900	453.8				
		2500	614.4	40.4	37	1.7	-0.04
		2900	857.6	9.5	14	0.4	-0.07
B		3100	226.5	35.6	45	1.5	0.29
		2900	441.0				
		2500	299.5	40.4	31	1.7	-0.12
		2900	96.1	9.5	13	0.4	0.03
C		3100	781.3	35.6	30	1.5	-0.36
		2900	530.1				
		2500	331.3	40.4	11	1.7	-0.05
		2900	324.8	9.5	10	0.4	-0.04