

Ⅲ-549

シールドトンネルNATM拡幅施工時の計測結果と分析

西松建設
株式会社
福岡大学

正会員 ○倉岡 豊、荒井 紀之
正会員 郡司 靖丈
正会員 大和 竹史

はじめに

電力地中送電線工において、シールドトンネルの一部をNATMにより拡幅施工した。拡幅部の土被りは約12.6mである。岩被りは7.7mで強風化を受けている。直上の埋設物、周辺建物に対して影響が懸念された為、周辺地盤の挙動と支保応力の計測を実施した。FEM解析結果との比較を含め計測の分析結果について報告する。

1、地質および施工内容

拡幅施工位置の地質は、上から表土層4.9m、強風化岩層(D級)4.6m、風化岩層(CL級)3.1m、風化岩層(CM級)より成り立っている。岩質は、頁岩主体の古第三紀層である。強風化岩層(D級)はN値30～50程度である。風化岩層の一軸圧縮強度はCL級で10kgf/cm²、CM級で80kgf/cm²程度である。ロックボルト(FRP, φ26, L=4.5m)はシールドトンネル内部より先行して施工した。上半部は、1m毎、セグメント撤去、掘削、鋼製支保工(H125×125)建込み、吹付(t=16cm)を行った。上半完了後、下半部のセグメントを撤去し、片側2m～3mの範囲で左右交互に下半側壁部の掘削、支保(上半と同一内容)を施工した。インバート部は最後に一括して掘削し閉合した。

2、計測内容とFEM解析の内容

図-1に示す①-①断面で内空変位(H、D測線)、天端沈下、ロックボルト軸力(M)、鋼製支保工応力(S)、コンクリート応力(T)、背面土圧(R)、地中変位(E)を、②-②断面で内空変位、天端沈下を計測した。また、地表面の沈下は延長、横断方向を測定した。図-2に①-①断面の各計測の配置を示す。FEM解析は拡幅トンネルに直交する2次元鉛直断面について平面ひずみによる2次元弾性解析を行った。地盤のモデル化は、表層、D級、CL級、CM級の4層からなる水平多層地盤とした。地盤定数を表-1に示す。シールドトンネル掘削前の水平地盤中の初期応力は、自重解析より求めた。この際、側圧係数Kは、0.5(解析1)と1.0(解析2)の2種類で解析した。施工過程のモデル化は施工ステップを表-2のように分割し逐次的に解析を繰り返した。3、計測結果と解析結果との比較

計測結果を図-3～図-5、表-3～表-4に示す。

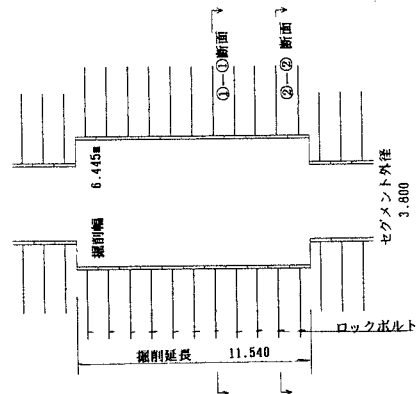


図-1 拡幅平面および計測位置図

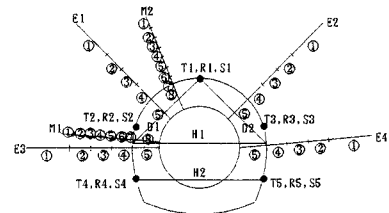


図-2 計測配置断面図(①-①断面)

表-1 地盤定数

	単位体積重量 (t/m ³)	ヤング率 (t/m ²)	ポアソン比	粘着力 (t/m ²)	内部摩擦角 (度)
表土 (A)	1.9	650	0.4	0	33
強風化岩 (D)	1.9	2000	0.4	4.0	20
風化岩 (CL)	2.0	10000	0.4	8.0	30
風化岩 (CM)	2.3	80000	0.35	60.0	35

表-2 施工過程のモデル化

施工過程	解放面に掘削相当外力の負担割合(解放率)
初期応力解析	
シールドトンネル掘削 セグメント組立、ロックボルト打設	15% 85%
拡幅部上半掘削 鋼製支保工設置、吹付け	30% 70%
拡幅部下半掘削 鋼製支保工設置、吹付け	30% 70%
拡幅部インバート掘削 吹付け	30% 70%

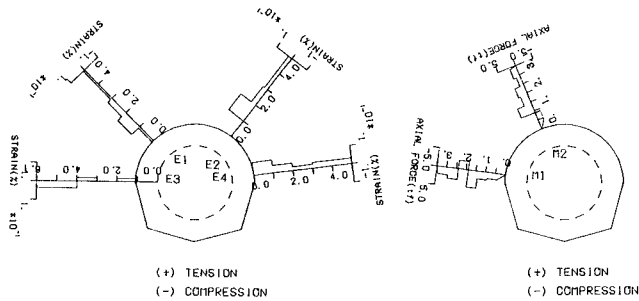


図-3 地中変位 (区間ひずみ)

図-4 ロックボルト軸力

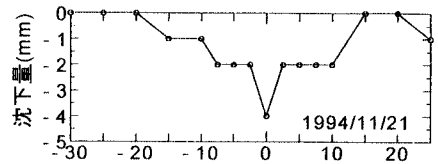


図-5 トンネル軸上 地表面沈下量

表-3 内空変位 (mm)

		計測値		解析値	
		①-①断面	②-②断面	K=0.5	K=1.0
上半掘削後	H1	-1.1	-2.8	0.08	-0.44
	D1	-0.3	-4.4	-1.38	-1.38
	D2	-0.4	-3.8		
下半掘削後	H1	-4.1	-4.4	-0.53	-1.78
	D1	-7.2	-4.1	-1.47	-1.56
	D2	-1.2	-4.1		
インバート吹付け後	H2	-2.2	0.4	-2.07	-1.28
	D1	-3.8	-3.9	-0.43	-1.72
	D2	-1.3	-4.1	-1.47	-1.56
	H2	-2.8	-1	-0.4	-1.35

表-4 吹付けコンクリート、背面土圧、鋼製支保工軸力

吹付けコンクリート応力				(tf/m ²)			背面土圧			(tf/m ²)			鋼製支保工軸力			(tf)		
		計測値	解析 1	解析 2		計測値	解析 1	解析 2		計測値	解析 1	解析 2		計測値	解析 1	解析 2		
上半掘削後	T1	167	51.2	84.1	R1	1	9.2	12.3	S1	-12.22	-10.23	-19.32						
	T2	2	84.0	79.0	R2	1	13.7	13.4	S2	-7.29	-21.38	-19.09						
	T3	6			R3	5			S3	-6.11								
下半掘削後	T1	197	53.3	95.3	R1	3	9.6	13.7	S1	-16.1	-11.22	-24.05						
	T2	4	86.1	80.4	R2	3	14.0	13.5	S2	-6.87	-22.55	-19.75						
	T3	12			R3	5			S3									
	T4	16	60.1	56.0	R4	5	4.6	5.1	S4	0.35	-7.35	-7.57						
	T5	9			R5	0			S5									
インバート吹付け後	T1	177	51.8	93.6	R1	3	9.4	13.5	S1	-16.93	-10.36	-23.37						
	T2	5	86.7	81.3	R2	4	14.1	13.7	S2	-7.35	-22.92	-20.21						
	T3	13			R3	6			S3									
	T4	15	64.6	61.1	R4	10	5.2	5.6	S4	0.16	-9.03	-9.64						
	T5	15			R5	0			S5									

地表面沈下は水平距離で掘削端部より10m～15m離れた位置まで影響がある。これは、掘削底盤から4.5' + ϕ / 2 ~ 4.5' の勾配で地表面まであげた線と一致する。天端沈下は地表面沈下に比べて小さい値を示している。支保施工までの変位は計測していない理由のため、比較的早期に変位が発生したと考えられる。内空変位は①-①断面で下半掘削時D1測線が7mm変位している。これは上半側壁部の足付け部の沈下のためである。②-②断面では下半掘削時の大きな沈下(変位)が見られないことは端部に近いこと、下半掘削の始まりの位置であることで周囲からの拘束で下半の変位は少なかったものと考えられる。地中変位とロックボルト軸力は、上半掘削時には斜め上方に設置したE1、E2、M2において引張りひずみや軸力の累積があり、下半掘削時には水平方向に位置するE4、M1において引張り変形の累積傾向が認められた。ただし、E3においては下半では変形がほとんど進んでいない。吹付けコンクリート応力は、天端に位置するT1が19.7 tf/cm²の最大値を示したが、他の計測点の値はT1の10%以下の数値を示した。背面土圧は左斜め下方に位置するR4の値がインバート閉合後に上昇傾向が認められた。鋼製支保工応力の軸力は天端のS1がS2、S4に対し相対的に大きく、上半、下半を通して増大傾向にある。また、曲げモーメントについてはS2において0.2 tf・mの地山側にはらむ変形が認められた。

FEM解析結果と比較すると地表面沈下、内空変位、地中変位いずれも計測値が大きい値を示している。上半、下半ともに支保の施工が完了する以前に変位が予想以上に進んでいるので、表-2の設定した解放率の過小設定も一因と考えられる。

また、支保の応力については、天端付近の応力が解析結果に比べ顕著に大きい計測結果となった。同種の地山で類似の事例の報告もあり、土被りの浅い軟岩の地山の特色と考える。

おわりに

今後、軟岩で土被りの浅い地山において、地表面や近接構造物に対する影響を正確に予測するためには同種の計測結果の収集、分析をさらに行い、今回の解析で想定した応力解放率の特定と支保効果の特異性を考慮した手法を見出したい。