

III-638

北陸新幹線秋間トンネルにおける計測結果（2）

ー併進工法（ECL）での地山変位計測，覆工応力の解析ー

日本鉄道建設公団 正会員 熊耳 哲雄
 日本鉄道建設公団 正会員 堀地 紀行
 日本鉄道建設公団 正会員 田代 美樹男
 日本鉄道建設公団 正会員 鬼頭 誠
 鉄建建設株式会社 正会員 笹尾 春夫

1. 目的

掘削覆工併進工法（ECL，以下併進工法と略す）で施工中の北陸新幹線秋間トンネル東工区において，地山挙動と覆工コンクリートに発生する応力を把握することを目的として，地中変位計測・岩石試料試験を行った．覆工コンクリートに発生する応力については，無筋コンクリートの連続打設という施工上の制約のために応力等を計測する方法が無い．そのため地山変位を解析することにより間接的に覆工コンクリートの応力を逆算するという手法をとった．

2. 施工概要

秋間トンネルにおける併進工法は，シールドマシン前部に取付けられた自由断面掘削機で地山を切削し，同時にマシン後部で連続的に覆工コンクリートを加圧打設するものである．切羽面から約2m間は地山が露出しており，その後はマシンが前進し，切羽面から約18mの距離でコンクリートが加圧打設される．切羽からコンクリート打設までは地山に対する支保内圧はほとんど作用していないものと想定される．

3. 計測

(1) 計器配置，地質

計測は図-1に示すような計器配置で行った．計器は防水タイプの一点型の地中変位計を各深度（10，5，3m）ごとに計9本設置した．併進工法で覆工コンクリートを連続打設するため配線を取り出すのが困難であるので，自動記録計を地山内に埋設し計測開始後約2ヶ月後にコンクリートを取壊して記録計を回収した．

計測箇所の切羽地質は凝灰岩と火山円礫岩であり，円礫岩中には $\phi 100 \sim \phi 750$ の礫を含んでいる．

(2) 計測結果

図-2，表-1に地中変位の計測結果を示す．変位は深度10mを不動点とした絶対変位である．計器設置二日後に機械整備のために約6日間掘進が停止したため，その間のクリープ変位も計測されている．図，表中の変位が空白の部分は計測システムの不調のために計測できなかったものである．

掘進停止中のクリープ変位は測点によって0.018～0.064mm/日であり，総クリープ変位は全変位量に対して2.5～4.2%に相当する．

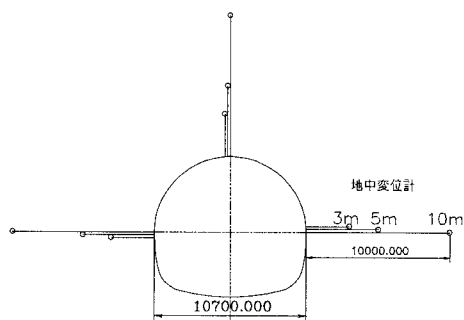


図-1 地中変位計設置図

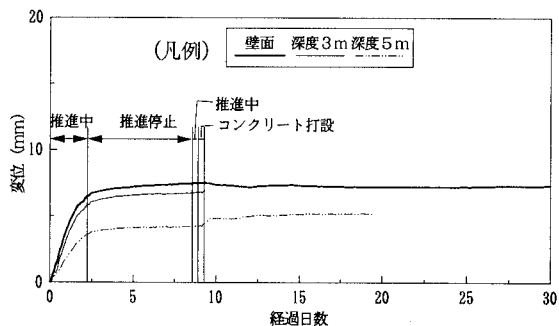


図-2 地中変位図（右側壁）

4. 解析および考察

(1) 地山物性値の逆解析

計測変位を用いて変形係数等の地山物性値を逆算した。逆解析の入力値として用いた変位は、切羽到達時の地圧の応力開放率を30%として全変位をこの仮定により逆算したものである。ここで用いた応力開放率は、弾性体内の円形トンネルにおける切羽距離～変位曲線によるものである^{1) 2)}。

逆解析による変形係数は約12,800 kgf/cm²であり表-2に示す地山試料試験によるコアの変形係数の約30%となっている。

表-1 地中変位計測値

		掘進 停止時	コンクリート 打設直前	停止中のクリープ変位		
		(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(mm/日)
天端	5 m	—	—	—	—	—
	3 m	—	—	—	—	—
	0 m	7.400	7.690	0.290	2.5	0.048
左	5 m	1.187	1.270	0.083	4.2	0.014
	3 m	1.682	1.790	0.108	3.9	0.018
	0 m	3.905	4.150	0.245	3.8	0.041
右	5 m	4.028	4.230	0.202	3.1	0.034
	3 m	6.382	6.740	0.358	3.5	0.060
	0 m	7.079	7.460	0.381	3.3	0.064

表-2 地山試料試験結果

試料番号	1	2	3	平均	
密度	g/cm3	1.995	2.065	2.021	2.027
圧縮強度	kgf/cm ²	38.1	128.0	117.0	94.4
静ヤング率	kgf/cm ²	3.97E+04	5.72E+04	3.14E+04	4.28E+04
ポアソン比		0.377	0.243	0.290	0.303
超音波伝播速度 (Vp)	km/sec	2.79	3.12	2.83	2.91
破壊ひずみ	%	0.07	0.19	0.38	0.21

表-3 FEM解析入力値

地 山	単位体積重量	t / m ³	2.0		
	土 被 り	m	155.0		
	変 形 係 数	kg f / cm ²	12,800.0	逆解析値	
	ポアソン比		0.30		
	初期の側圧係数		0.75	逆解析値	
コンクリート	打 設 厚	cm	50.0		
	単位体積重量	t / m ³	2.35		
	変 形 係 数	kgf / cm ²	150,000	材令24時間	
コンクリート設置前の応力開放率			%	97	クリップを考慮

(2) FEM 順解析

逆解析で得られた物性値を用いてFEM順解析を行い、覆工コンクリートの軸力、曲げモーメントを逆算した。岩盤の変形係数、初期地圧、側圧係数は逆解析で得られたものを用いた。コンクリート打設時点の応力開放率は、以下の仮定をもとにクリープ変位相当の地圧を考慮して決定した。

①掘進停止中に計測されたクリープ変位に相当する地圧は、掘進が連続していればコンクリート打設後に覆工コンクリートに作用したものと考えられる。

②全変位に対するクリープ変位の比率と応力開放の比率は等しい。

(3) 覆工コンクリートの応力

覆工コンクリートの軸力、モーメント、応力を図-3、表-4に示す。掘削相当外力の97%を解放した後、残りを覆工要素に作用させた解析値である。覆工の形状の影響で下半部に大きな曲げモーメントがみられる。

5. 結論

今回の計測およびその解析により以下の点が明らかになった。

①掘削からコンクリート打設直前までの壁面変位は約7mmである。

②掘進停止中に計測されたクリープ変位は全変位の2.5～4.2%である。

③FEM解析により推定された覆工応力は1.6～

9.8kgf/cm²の範囲の圧縮応力で、引張応力の発生は見られない。

④逆解析により推定された地山の平均的な変形係数は、地山試料試験によるものの約30%である。

〔参考文献〕

1) 日本材料学会編：岩の力学 基礎から応用まで，pp.607，1993

2) 伊東 孝，赤木知之，土山茂希：トンネルの切羽進行に伴う内空変位と地山のクリープ特性による変位の分離，土木学会論文集，No.418/Ⅲ-13，pp.279，1990

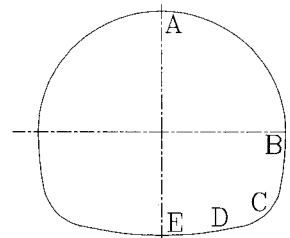


図-3 応力計算位置

表-4 覆工応力

計算位置	軸力 t	モーメント t・m	内側応力 kgf/cm ²	外側応力 kgf/cm ²
A	22.944	0.142	4.2	4.9
B	28.827	0.411	4.8	6.8
C	28.848	-1.683	9.8	1.7
D	18.109	0.829	1.6	5.6
E	15.834	0.436	2.1	4.2