

凍結工法による大断面地中拡幅工事（その2）

ー凍結地盤中での高流動コンクリートの施工実績ー

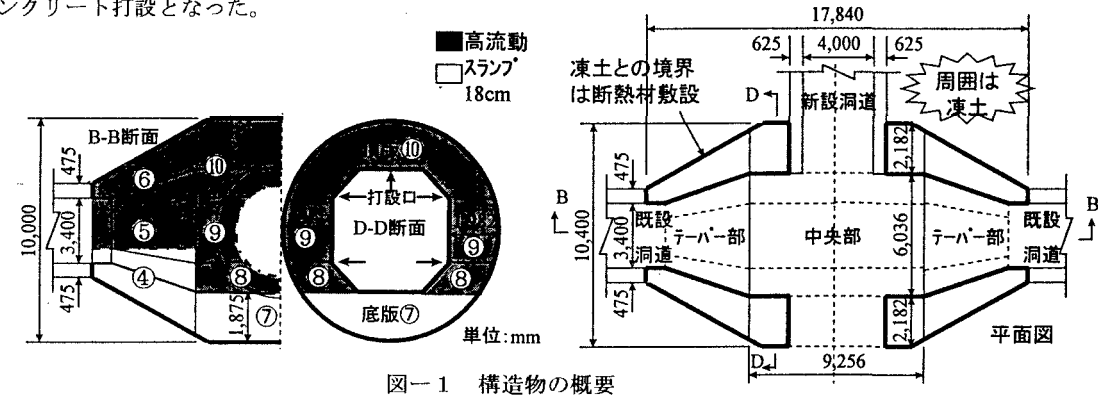
中部電力㈱ 正会員 ○上嶋 正樹
中部電力㈱ 片山 英明
鹿島建設㈱ 辻井 孝
鹿島建設㈱ 正会員 白井 徹弥

1. はじめに

本工事は、市街地の地下約 20m で新・旧シールドトンネル（電力洞道）の地中接続を行うもので、凍結工法により地盤を固めて掘削・拡幅した後に、覆工コンクリートを打設するという特殊な工事である。コンクリートの施工は、過密配筋かつ閉所での作業となり、コンクリートの流動性・充填性の確保ならびにコンクリートの水和熱と凍結地盤の温度差に起因する温度ひび割れ対策が重要な課題となった。そこで、近年施工法が急速に進歩しつつある高流動コンクリートの適用性を検討し、事前に温度ひび割れ対策検討を行った。本報文では、低温環境下での高流動コンクリートの適用性とひび割れ制御手法及び施工実績を報告する。

2. 構造物の概要

対象部位は、図ー1に示す2本のシールドトンネルが直角に交わる拡幅部（φ 10m × L 17.8m）の覆工コンクリート（壁厚 0.5m ～ 2.0m）であり、テーパ部及び中央部をそれぞれ底板・側壁・頂版部分に分けて打設した（総計約 600m³のうち高流動 430m³）。施工は掘削完了箇所から順次構築作業を行い、狭い空間でのコンクリート打設となった。



図ー1 構造物の概要

3. コンクリート配合検討

施工時期が8月から1月に亘るため、コンクリートの打設温度は30～10℃程度と変化する一方で打設部位は凍土の影響により0～10℃程度の低温環境となる。このような条件下で、①高い流動性の保持、②充填性の確保、③温度応力の低減、という要求品質を満足するために実施工を模擬した温度環境下での配合試験（室内）を実施した。表ー1に硬化コンクリート試験結果（温度応力解析に適用）、表ー2に実施工に用いたコンクリートの配合を示す。

表ー1 硬化コンクリート試験結果

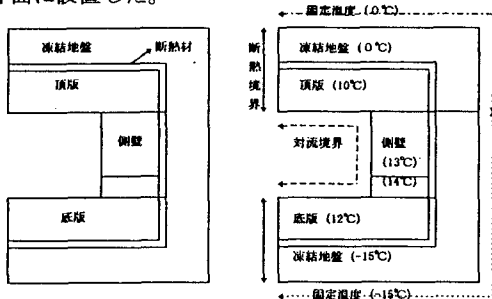
練混ぜ・養生温度(℃)	35℃	20℃	10℃
圧縮強度(N/mm ²)	$f_c = 4.90 \ln(M) - 23.7$		
M: 積算温度(℃・h)	$r = 0.928$		
引張強度(N/mm ²)	$f_t = 0.258 f_c(t)^{0.626}$		
	$r = 0.958$		
ヤング係数(N/mm ²)	$E_c = 2497 f_c(t)^{0.689}$		
	$r = 0.966$		
断熱温度上昇式	$Q(t) = Q_{\infty} (1 - \exp(-\gamma(t-t_0)))$		
終局断熱温度上昇量 Q_{∞} (℃)	46.4	46.8	49.8
温度上昇速度 γ (1/日)	1.69	1.33	1.13
遅れ時間 t_0 (日)	0.5	0.33	1.0

表ー2 コンクリートの配合

コンクリート 種類	スラフ [*] , 70~(cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								
					W	C	石粉	山砂	砕砂	砂利	砕石	SP 剤	増粘剤
高流動	65±5	4.5±1.5	55	44.6	175	318	226	472	214	431	441	6.0~7.3	0.35
普通	18	〃	〃	47.9	162	295	—	602	262	477	484	4.4	—

4. 温度応力解析

FEMによる温度解析、CP (Compensation Plane) 法による応力解析の結果、テーパ部・中央部ともに側壁部で最小温度ひび割れ指数が 1.2 を下回り、温度ひび割れ対策を施す必要があることが判明した (表一3 参照)。温度ひび割れ対策としては、パイプクーリング、低発熱セメントの利用等によりコンクリートの発熱を抑えることが考えられるが、養生期間が長期化する。ここでは、保温養生 (発泡スチロール、シート+投光器) を行うとともに各打設部位の中央部にひび割れ誘発目地を設置した。また、コンクリートの凍害に対しては、凍土壁面に断熱材 (グラスウール) を設置することに加えて、電熱線を凍土とコンクリートの境界面に設置した。



図一2 解析モデル及び境界条件 (中央部)

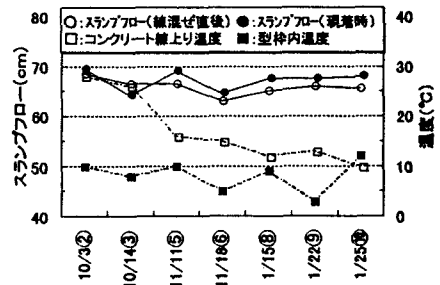
5. 施工結果

図一3に高流動コンクリートのスランプフロー試験結果を示す。練混ぜ温度は約 30℃ から 10℃ まで変化しているのに対して流動性は常に安定しており、側壁・頂版部ともに締固めを一切行わなくとも高い充填性を確保できた。

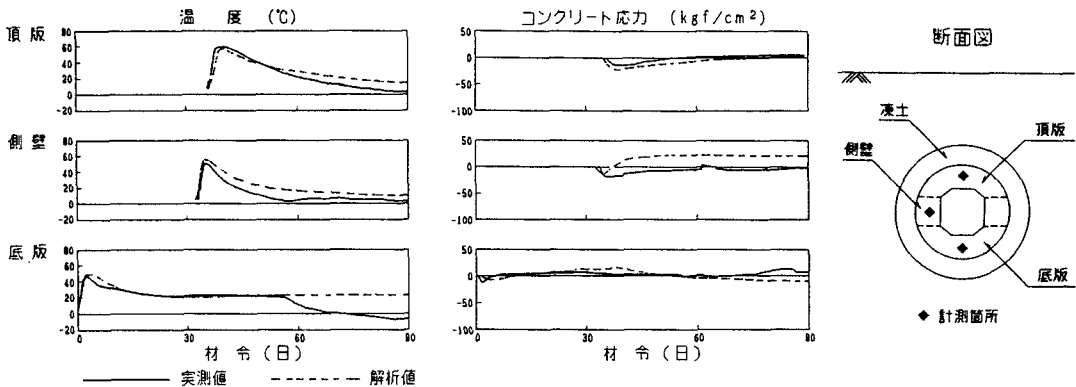
図一4にコンクリート温度及び応力の実測値と解析値の比較を示す。全般的には事前解析による予測結果よりも最高温度はやや低く、応力はほぼ同等かやや大きい結果となったが、ほぼ実測値を予測できていたものと考えられる。テーパ部・中央部ともに引張強度 (約 27kgf/cm²) に達するような応力はほとんど発生しておらず、ひび割れもほとんど認められなかったことから、養生方法及び誘発目地の設置は妥当であり、十分なひび割れ制御が行えたものと考えられる。

表一3 解析結果

		最小温度 ひびわれ指数	判定	温度ひびわれ 対策
東 テーパ部	頂版	3.3	○	
	側壁	1.1	△	誘発目地
	底版	2.3	○	
中 央 部	頂版	5.0 以上	○	
	側壁	1.1	△	誘発目地
	底版	2.8	○	



図一3 スランプフロー試験結果



図一4 実測値と解析値との比較 (中央部)

6. おわりに

凍結地盤中でのマスコンクリート打設という特殊な条件での施工において高流動コンクリートの適用性・ひび割れ制御手法について検討し、その有効性を確認できた。同種工事の参考となれば幸いである。