

首都高速道路公団 正会員 寺山 健
 首都高速道路公団 正会員 高津 和義
 首都高速道路公団 正会員 山田 淳

1. まえがき

首都高速湾岸線に建設が予定されている多摩川及び川崎航路トンネルは、沈埋式海底トンネルであることから水密性が要求される構造物であり、ひびわれを極力抑える必要がある。しかしながら、本構造物はマッシブなコンクリート構造物であるため、セメントの水和熱に起因する温度応力によって温度ひびわれの発生の可能性があり、その抑制が重要な問題となった。そこで、温度ひびわれの発生を抑制するための適切な材料、配合及び施工法について、一連の試験及び検討を行ったので、ここに報告するものである。

2. ひびわれ制御の検討手順

以下に検討手順を述べる

1) 粗骨材の選定 粗骨材最大寸法40mmの玉碎石及び碎石について、同一のコンシスティンシー及び強度を得る条件のもとでどちらがよりセメント量を低減できるかの検討を行った。

2) 水セメント比-強度の関係

3種類の低発熱型セメントについて、セメント水比-強度の関係を求めた。

3) コンクリートの熱特性試験及び物性試験

打設温度20°C及び30°Cでの簡易断熱温度上昇試験を行った。

4) 断熱温度上昇式の推定

簡易断熱温度上昇試験結果から、1次元差分法を用いて断熱温度上昇式を推定した。

5) 温度応力解析 推定した断熱温度上昇式及び圧縮強度試験結果を用いて温度応力解析を行った。

3. 検討結果

1) 粗骨材の選定 試験結果を表-1に示す。この結果をもとにして、セメント水比と強度との線形関係であると仮定すると次式が得られる。(材令91日)

$$\text{碎石} : f = 285 c/\omega - 85$$

$$\text{玉碎石} : f = 215 c/\omega + 27$$

これより配合強度 405 kg/cm² での単位セメント量は

$$\text{碎石} : C = 233 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{玉碎石} : C = 234 \text{ kg/cm}^3$$

となり、粗骨材最大寸法40mmの玉碎石及び碎石については、所定の強度を得るために単位セメント量にはほとんど差がない結果となった。

粗骨材 最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	セメント 強度 (kg/cm ²)	セメント 量 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)						単位容積質量 (t/m ³)
				7日	28日	91日	7日	28日	91日	
40	45	6.0	4.0	21.5	250	345	419	555	7244	2.46
	55	6.0	4.3	21.5	250	345	419	549	7243	2.45
	45	6.5	4.0	22.0	250	345	419	549	7245	2.45
	55	6.5	3.9	22.0	250	345	419	549	7243	2.43
	55	7.0	4.3	21.5	250	345	419	549	7242	2.42
	玉 破	55	7.0	4.3	21.5	250	345	419	549	7242
25	45	6.0	4.0	21.5	250	345	419	549	7243	2.43
	55	6.0	4.3	21.5	250	345	419	549	7242	2.42
	45	6.5	4.0	22.0	250	345	419	549	7243	2.43
	55	6.5	3.9	22.0	250	345	419	549	7242	2.42
	55	7.0	4.3	21.5	250	345	419	549	7242	2.42
	玉 破	55	7.0	4.3	21.5	250	345	419	549	7242

表-1 粗骨材選定試験結果

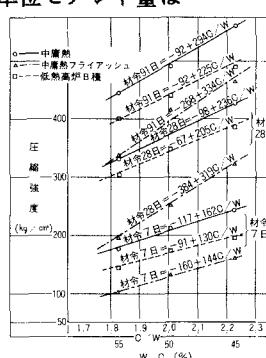


図-1 水セメント比-強度

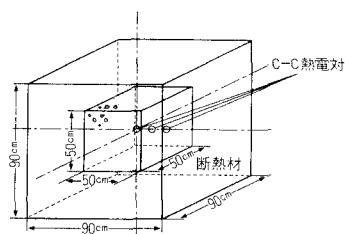


図-2 供試体寸法

2) 水セメント比-強度の関係

中庸熱ポルトランドセメント、中庸熱フライアッシュセメント及び低熱高炉B種セメントについて水セメント比-強度の関係を求めたところ図-1のようになった。中庸熱ポルトランドと低熱高炉B種に関しては水セメント比を55%に設定すれば、配合強度405kg/cm²を満足できるものとなった。

3) コンクリートの熱特性試験及び物性試験

簡易断熱温度上昇試験は、練り上り温度20±2°C及び30±2°Cのコンクリートを図-2に示すようなブロック供試体に詰め周囲を断熱材で囲み恒温室に入れ温度測定を行った。測定結果を図-3に示す。

4) 断熱温度上昇式の推定

簡易断熱温度上昇試験の結果は、完全な断熱状態での測定値ではなく、多少の放熱影響の入ったものである。そこでこの放熱の影響を考慮に入れて、完全断熱状態での温度上昇を推定するために図-4のような解折モデルを定め、断熱温度上昇式を定めた。断熱温度上昇式は次式を用いた。

$$T = K (1 - e^{-\alpha t})$$

この結果、図-5に示すような断熱温度上昇式が得られた。

5) 温度応力解析

上記で得られた結果を用いて行った夏場における温度応力解析結果を表-2に示す。これをみると夏場においては、低発熱セメントを用い、かつ打設温度を20°Cにすれば、ひびわれ指数を1.2以上にする結果を得た。また、春秋及び冬の検討結果を表-3に示す。これをみると、ひびわれ指数1.2を満足するためには、春秋には脱型後保温養生、冬には保温養生し、かつ打設温度を9°C以下に押さえることが要求される結果となった。

4. まとめ

以上、多摩川、川崎航路両トンネルの沈埋函コンクリートに関して総合的なひびわれに対する検討を行ってきたが、以下の結果が得られた。

1) 粗骨材は玉碎石でも碎石でも単位セメント量は変わらない。

2) 低発熱セメントの中でも中庸熱ポルトランドと低熱高炉B種が有利である。

3) コンクリート打設においては、全季節において何らかの対策が必要となる。

セメントの種類	単位セメント量 (kg/m ³)	初期上昇式		断熱温度上昇式		初期 外温 (°C)	初期 内温 (°C)	初期 温差 (°C)	初期 温差 (°C)	初期 温差 (°C)	初期 温差 (°C)	初期 温差 (°C)	初期 温差 (°C)	
		K	t ₀	R(t)	t									
普通熱ポルトランドセメント	46.4	1.49	263	278	372	30.7	35.7	5.0	36.8	34.6	23.7	9.68	85	
中庸熱ポルトランドセメント	36.5	0.93	164	29	378	30	34.9	27.5	24.9	28.1	25.6	22.6	0.88	60
低発熱高炉B種セメント	35.0	1.15	84	236	420	30	34.5	27.5	24.6	27.6	25.2	23.6	0.93	35
中庸熱フライアッシュセメント	29.5	0.95	132	262	393	30	34.1	27.5	18.1	21.3	17.9	15.5	1.09	35
低発熱高炉B種セメント	44.8	0.65	177	279	439	30	34.6	27.5	25.6	22.6	20.5	20.0	1.27	25
中庸熱ポルトランドセメント	37.5	1.16	220	402	563	30	34.0	27.5	29.0	32.1	11.0	26.5	1.34	15
中庸熱フライアッシュセメント	28.8	1.05	152	329	454	30	34.2	27.5	22.7	15.7	11.0	22.5	2.05	35
普通熱ポルトランドセメント	44.6	1.38	251	344	388	20	34.6	27.5	36.2	39.2	24.2	26.5	1.19	35
中庸熱ポルトランドセメント	38.8	0.67	151	314	438	20	34.3	27.5	26.3	19.3	15.9	25.8	1.06	35
中庸熱高炉B種セメント	31.2	1.15	173	325	417	20	34.8	27.5	24.8	17.9	14.1	24.3	1.72	35
中庸熱フライアッシュセメント	27.0	1.05	126	225	353	20	34.4	27.5	21.4	14.4	9.1	17.5	1.92	35

表-2 温度応力解析結果(夏)

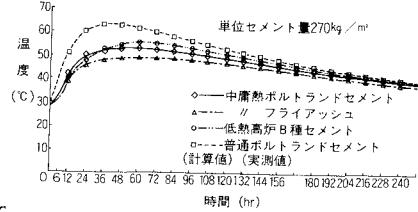


図-3 断熱温度上昇試験結果

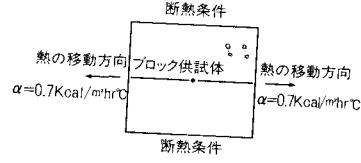


図-4 解折モデル

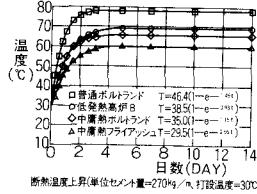


図-5 断熱温度上昇図

No.	シグマ (MPa)	セメント 種類	初期 外温 (°C)	初期 温差 (°C)		初期 内温 (°C)	初期 温差 (°C)						
				t ₀	t								
1	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
2	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
3	-	中庸 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
4	-	低発 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
5	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
6	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
7	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
8	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
9	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
10	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
11	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15
12	-	普通 セメント	30	10	15	30	10	15	15	15	15	15	15

表-3 温度応力解析結果(春秋、冬)