

首都高速道路公団 正会員 ○ 岡田郁生  
 “ 江尻隆雄  
 “ 松本弘輝

1 配合

この報告は 首都高速道路公団が現在建設を進めている東京港海底トンネルのコンクリートに関するものである。このトンネルは大断面の沈埋トンネル(6車線)であり 各エレメントは鉄筋コンクリート構造となっている。一般に水中構造物である沈埋トンネルのコンクリートに要求される条件を要約すると次の2点になる。

(1) 水和熱発生が低いこと。(2) 乾燥収縮の小さいことである。いずれも、ひびわれ発生を極力おさえ耐水性をもたせることである。これらの条件を満たすコンクリートの示方配合を決定するにあたり 調査なうびに配合試験については建設省土木研究所コンクリート研究室(室長 柳田力也)の協力を得て行った。

試験に当って使用したセメントは (1)中層熟ポルトランドセメント(小野田, 住友, 秩父, 日本セメントK.K.の4社混合) (2)フライアッシュセメント(オーセメント) (3)高炉セメント(オーセメント) (4)普通ポルトランドセメント(日本セメント)の4種である。実施した試験の内容と結果を次に示す, なおこの場合 配合強度を450 $\text{kg}/\text{cm}^2$ , スランプ8 $\text{cm}$ を目標にした。表-1は $\text{C}/\text{W}$ と強度なうびに枚令と強度の関係を求めるためのものであり, このうちセメント300 $\text{kg}/\text{m}^3$ について断熱上昇温度, 乾燥収縮試験を行った。表-2は枚令と圧縮強度および引張強度との関係を得るための試験に用いた。図-1, 図-2は各々の試験結果である。図-3, 表-3は断熱上昇温度の測定結果とコンクリートの乾燥収縮の試験結果である。

表-1 コンクリートの配合(1)

セメントの種類	水セメント比		単 位 量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )						供試体製作時	
	水	セメント	水	セメント	細骨材	粗骨材	コンクリート	スランプ	空気量	
(%)	(%)	(%)	W	C	S	G	P-8	一層度	(%)	
								( $^{\circ}\text{C}$ )	(%)	
普通ポルトランドセメント (N)	59	3.9	25.0	75.6	1,180.0	5	2.6	7.5	5.0	
	49	3.8	14.6	30.0	71.4	#	6	#	7.2	
	42	3.6	35.0	67.2	#	7	#	6.2	5.1	
中層熟ポルトランドセメント (M)	56	4.0	25.0	78.0	1,180.0	5	2.5	9.6	4.0	
	47	3.9	14.0	30.0	73.9	#	6	#	8.7	
	4.0	3.7	35.0	69.8	#	7	#	8.0	#	
フライアッシュセメント A種 (FA)	58	3.9	25.0	75.9	1,180.0	5	2.6	6.5	3.8	
	48	3.8	14.4	30.0	71.6	#	6	#	8.3	
	4.1	3.6	35.0	67.3	#	7	#	7.2	4.5	
高炉セメント B種 (SB)	60	3.9	25.0	74.5	1,180.0	5	2.6	7.4	4.2	
	5.0	3.7	15.0	30.0	70.2	#	6	#	9.6	
	4.3	3.6	35.0	65.9	#	7	#	7.7	3.0	

(注) コンクリートの断熱温度上昇ならびにコンクリートの乾燥収縮試験は単位セメント量 300 $\text{kg}/\text{m}^3$ のもののみ実施。

図-1 セメント水比と圧縮強度

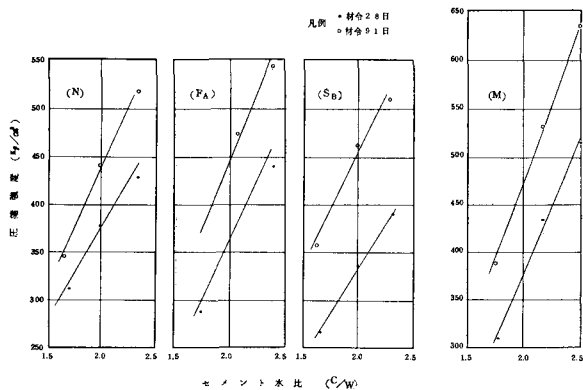
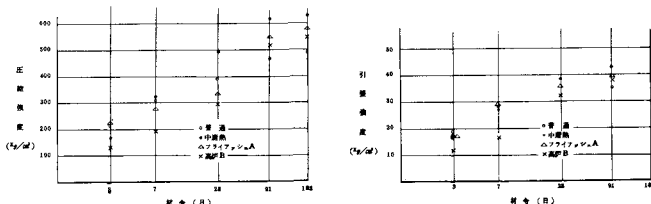


表-2 コンクリートの配合(2)

セメントの種類	水セメント比		単 位 量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )						供試体製作時	
	水	セメント	水	セメント	細骨材	粗骨材	コンクリート	スランプ	空気量	
(%)	(%)	(%)	W	C	S	G	P-8	一層度	(%)	
								( $^{\circ}\text{C}$ )	(%)	
(N)	45	3.4	135	300	659	1,280	3.3	2.2	8.5	
(M)	41	3.4	124	300	641	1,200	7.6	2.1	8.7	
(FA)	42	3.4	127	300	654	1,290	7.5	2.2	7.7	
(SB)	44	3.4	132	300	651	1,280	7.6	2.2	8.4	

(注) 枚令と圧縮強度および引張強度との関係を得るための試験に使用。

図-2 枚令と圧縮強度なうびに引張強度



これらの試験結果から 4種類のセメントのうち断熱上昇温度と乾燥収縮が最も小さいのは 中庸熱セメントであることが判った。こうして得られた資料を基にして東京港海底トンネルに使用するコンクリートのセメントは中庸熱セメントとし、その示方配合を表-4のように決めた。

表-3 コンクリートの乾燥収縮 (長と変化率%)

材 令 (日)	高熱ポルトランドセメント (N)	中庸熱ポルトランドセメント (M)	フライアッシュセメント (FA)	高炉セメント (SB)
7	0.010	0.010	0.011	0.014
14	0.020	0.015	0.020	0.030
21	0.031	0.024	0.029	0.045
28	0.037	0.032	0.036	0.050
56	0.056	0.055	0.056	0.067
91	0.067	0.067	0.068	0.076
180	0.077	0.074	0.077	0.085

図-3 断熱上昇温度

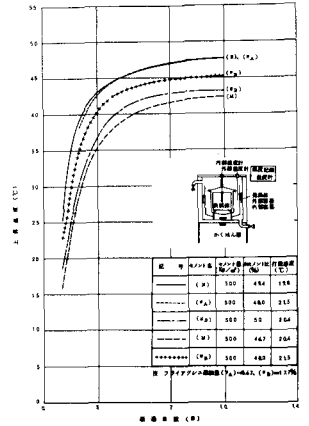


表-4 示方配合

調整率	粗砂	スラン	管径	水	細骨材	材 料				水和剤
						水	セメント	細砂	粗砂	
110	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
kg/m <sup>3</sup>	mm	mm	%	%	%	kg	kg	kg	kg	kg
400	25	8	3	45	36	135	300	714	1,274	0.75

2. 温度上昇

コンクリート打設時に上下床と側

壁にカールソン型歪計および温度計を設置して 歪と温度を測定した。コンクリート打設時温度と最高上昇温度は図-5のとおりであった。なお測定は7月から9月の暑中で外気温は 下床、側壁打設時は30℃、上床打設時は25℃位であった。

次に打継目に近接する新旧コンクリートの温度と歪の関係を側壁に注目してみると図-4のようであった。新コンクリート打設後の温度は約24時間でほぼ最高に達し 以後徐々に下降する。又歪も同じように約24時間後に圧縮歪が最大となり 以後引張方向へ移行している。引張方向の歪量と枚令毎のマンガ率によって引張応力を求めてみると図-8のようになる。但しこの場合のマンガ率はクリープ等の影響を考慮して それぞれ歪として計算した。

この結果を枚令毎のコンクリート引張強度(図-2)と比較すると多少コンクリートには引張強度としての余力があるように思えるが枚令の異なる打継目においての新コンクリートには かなりの引張応力が働き ひびわれにつながる要因となり得ると推定される。

しかしながら断熱上昇温度(図-3)から分るように中庸熱セメントは普通セメントに較べてかなり低い値を示していることから

図-5 コンクリート打設時温度と最高上昇温度

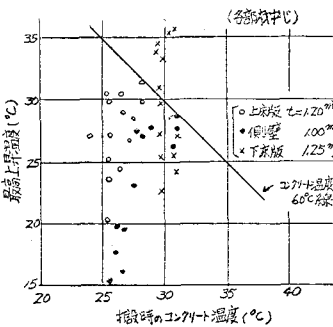


図-6 部材別の断面内最高温度分布

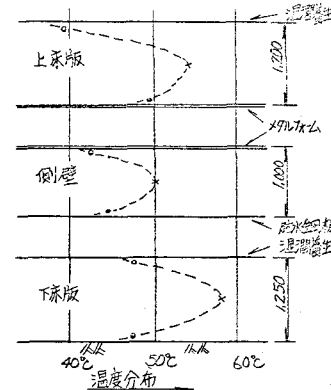


図-4 枚令と温度および歪

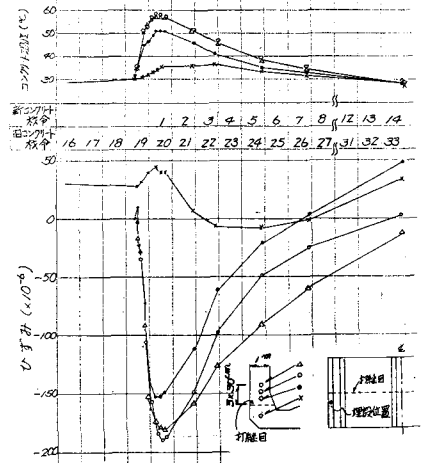


図-7 マング率の変化

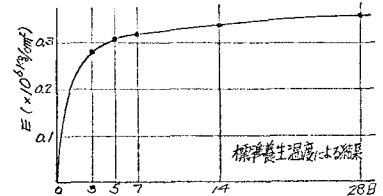
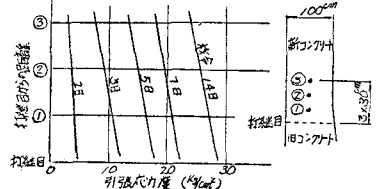


図-8 打継目付近の引張応力の分布



他のセメントを使用した場合に較べて発生する引張応力は低く抑え得たと思われる。

### 3 比重管理

沈理工法の特徴のひとつは、ドックで製作したエレメントを浮かせてトンネル敷設地点まで曳航することにある。したがってコンクリートの比重管理が重要になってくる。そこで養生方法を変えた場合の比重の経時変化を調べるために、以下の要領で測定試験を行なった。

3-1 試験体 S.T.( $\phi 15^{\text{cm}} \times 30^{\text{cm}}$ ), M.T.( $\phi 36^{\text{cm}} \times 36^{\text{cm}}$ ), L.T.( $80^{\text{cm}} \times 80^{\text{cm}} \times 80^{\text{cm}}$ )

3-2 測定時期 コンクリート打設後, 3<sup>日</sup>, 7<sup>日</sup>, 14<sup>日</sup>, 1<sup>ヶ月</sup>, 2<sup>ヶ月</sup>, 3<sup>ヶ月</sup>,

表-5 養生方法

3-3 養生方法 表-5のとおり6種類

番号	養生方法	滴 装
①	屋外放置	各3本
②	屋内(直射日光をさけた)放置	"
③	屋外で7日間散水養生	"
④	屋内で7日間散水養生	"
⑤	屋外で2週間散水養生(型枠のまま)	"
⑥	屋内で2週間散水養生(型枠のまま)	"
	水中養生(21±3℃)	SLのみ9本

本試験から要約して次の3点が明らかになった。(図9参照)

(1) 比重はおおよそ枚令1ヶ月で一定値になる。(2) 養生方法の違いによる比重の相違は1%未満である。(3) 試験体ごとの変動係数は, S.T.=0.6% M.T.=0.4% L.T.=0.2%である。この結果を参照して実際の現場においては、変動係数が小さく、又締固めの条件が実状に近いと考えられるM.T., L.T.によって以下のような管理試験を行った。

3-4 測定時期 コンクリート打設後 3<sup>日</sup>, 7<sup>日</sup>, 14<sup>日</sup>, 28<sup>日</sup>, 56<sup>日</sup>, 180<sup>日</sup>,

3-5 試験体総数 M.T. 648個(194<sup>m<sup>3</sup></sup>に1個)

L.T. 108個(1.163<sup>m<sup>3</sup></sup>に1個)

得られた結果は図-10の通りである。これから判ったことを以下に要約する。

- (1) 比重は枚令1ヶ月でほぼ一定値( $\gamma_c$ )になる。
- (2)  $\gamma_c$ と練上り時コンクリートの理論比重( $\gamma_0$ )の間には  $\gamma_c \approx 0.98 \gamma_0$  の関係式が成立する。
- (3) 648個のMTと108個のLTの変動係数は各々0.71%と0.68%であった。
- (4) 型枠を浮かせた時の乾燥と型枠の出来上り寸法とから逆算したコンクリートの比重は2.352である。
- (5) 型枠コンクリート比重( $\gamma_1$ )と試験体MT( $\gamma_2$ ) LT( $\gamma_3$ )との間には次の関係式が成り立つ。

$$\gamma_1 = 0.993 \cdot \gamma_2 = 0.997 \cdot \gamma_3$$

以上のように変動係数が1%以下のコンクリートを造り得たことは、骨材の供給を大井川1ヶ所に限定し骨材比重も粗骨材で2.65~2.67、細骨材で2.61~2.63の範囲で収めたこと、プラントも全自動、計量誤差1%未満の高性能プラントを使用したこと、など品質管理を厳重にした結果であると考えられる。こうして、総量125,000<sup>m<sup>3</sup></sup>にもおよぶ大量の型枠コンクリートの比重と試験体比重との誤差を0.3%~0.7%に収めることができた。このように試験体の大きさ、個数、養生条件を考慮して比重管理を厳しくすれば、試験体と本体との誤差を僅少差に収め得ることがわかった。

図-9 試験体別比重測定結果

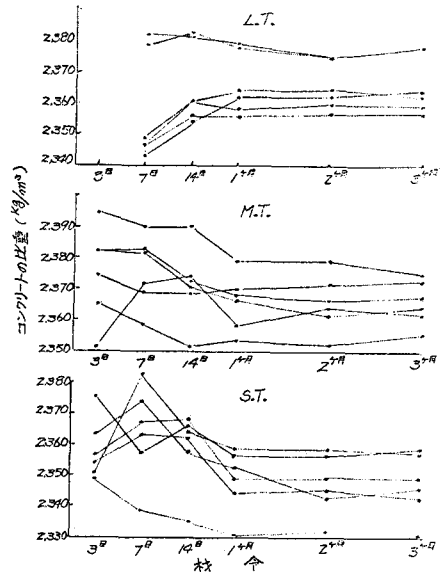
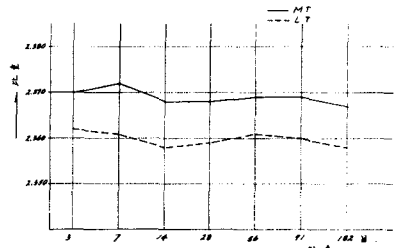


図-10 枚令による比重の変化



	枚令 (日)					
	3	7	14	28	56	180
M.T.	2.370	2.372	2.368	2.368	2.369	2.367
L.T.	2.362	2.361	2.358	2.359	2.361	2.358