

報告

[1127] 横浜港ベイブリッジフーチング工事におけるコンクリートの早期品質判定の適用

正会員 池田尚治 (横浜国立大学工学部)
 正会員 和田克哉 (首都高速道路公団神奈川建設局)
 正会員 ○万木正弘 (鹿島建設技術研究所)
 正会員 平野敏則 (鹿島建設横浜支店)

1. はじめに

コンクリート工事における品質管理に対する従来の考え方は、最終品質である強度を特性値に選んで品質管理を実施していこうとするものであった。そのためには、極めて早い時期に硬化後の強度を推定する必要があるが、コンクリートの性質として強度を把握するまでにかなりの時間を要することから、強度試験の結果を製造や施工の過程にフィードバックすることは実質的には難しいことであった。このような点を改善するため、種々の早期品質判定法が提案されてきたが、上記のような観点で使用するには、試験に要する時間、試験精度等に問題があった。

最近ではコンクリートの作り出される過程において使用材料の品質や製造設備の状態などいわゆる上流側の管理を重要視し、結果として得られる品質を製造過程の中で作り込んでいこうとする考え方になりつつある。しかしその場合でも最終的には強度の確認を行う必要があり、それも確認の結果に対して何等かの処置のとれる程度の早い時期に確認試験を行うことが望ましい。

このように早期品質試験に対する考え方は、品質管理そのものの見方も含めて以前とは多少異なって来つつあるが、いずれにせよコンクリートの最終的品質を早期に把握することは、品質管理の実効を挙げる上で極めて重要な課題である。首都高速道路公団においても、昭和54年より急速硬化モルタル法によるコンクリートの早期品質判定法について研究を進め、室内実験、現場での適用をとおして、実用的な試験要領、強度推定式、品質管理全体の体系の中での位置付け等についての提案を行ってきた。¹

それらの結果をふまえ、急速硬化モルタル法によるコンクリート強度の早期判定法を標記工事に適用した。特に本構造物はマッシュなコンクリートであり、低発熱形セメントを用い、長期間にわたって施工したものであり、そのような工事への急速硬化モルタル法の適用性、問題点等について検討した結果を報告するものである。

2. 構造物および施工法概要

当橋の基礎は、フーチングの外郭をなすPCバースと、中詰めコンクリートよりなり、総コンクリート量は主塔基礎で23,000

m³、端部基礎で14,000m³のマスキングコンクリートである。主塔基礎は隔壁により25の区画に分割されており、各区画毎図-1に示す1.4～3m厚の水平リフトに分けて施工した。中詰めコンクリートには温度応力の低減を目的として、フライアッシュ20%と高炉スラグ45%を混入したいわゆる

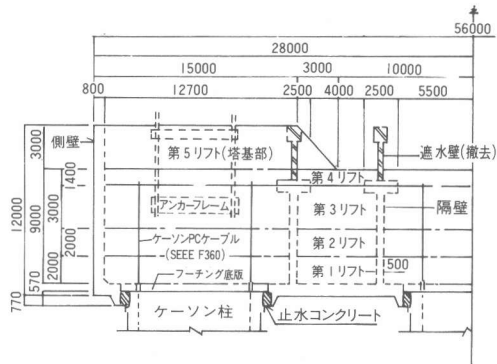


図-1 フーチング中詰めコンクリートリフト割図

3成分系セメントを用いており、配合は表-1に示すとおりである。施工にあたっては、通常の品質管理に加えて、「まだ固まらないコンクリートの硬化後の強度推定のための急速硬化強度試験方法」(コンクリート品質の早期判定方法基準, JCI=SE3)による強度確認を行った。

3. 試験方法に関する検討

表-1 配合表

設計基準強度 (kgf/cm ²)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位置 (kg/m ³)			
					C	W	S	G
300	8±2.5	4±1	48.5	42.2	299	145	778	1092

(1) 養生時間

日本コンクリート工学協会の基準JCI-SE3によれば、急速硬化モルタルの80℃における標準養生時間は50分とされているが、高炉セメント等を使用した場合には養生時間の延長が必要であるとしている。当フォーミング中詰めコンクリートには3成分系セメントを用いており、特に初期強度の発現が遅いと考えられたため、養生時間とモルタル強度との関係について検討した。

表-2 養生時間の検討結果

養生時間 (分)	モルタル強度 (kgf/cm ²)						平均値	標準偏差	変動係数 (%)
	1	2	3	4	5	6			
60	35	26	31	43	34	40	34.8	6.1	17.5
90	41	42	45	38	45	43	44.0	5.1	11.7
120	45	52	53	41	46	46	47.2	4.5	9.6

同じモルタル試料に対して80℃の養生時間を60, 90, 120分とし、ばらつきも検討するため供試体数を6箇として試験を行った。試験の結果は表-2に示すとおりであり、①. 養生時間60分ではモルタルの強度も低くばらつきも大きいため、品質管理試験としては適当でないこと、②. 養生時間90分と120分では強度、ばらつきとも大差ないこと、などの結果が得られた。これらの結果さらには型枠の回転効率等を考慮し、今回の試験では養生時間を90分とした。

(2) コンクリートの強度推定式

急速硬化モルタル強度に基づくコンクリート強度の推定式は、水セメント比を3種類に変化させて、おのおのモルタル強度とコンクリート強度を試験し、その結果より回帰して求めた。結果を図-2に示す

4. 当工事における品質判定

急速硬化モルタル強度による品質判定基準としては既往の研究の結果から、91日材令の推定強度 $f_c(91)$ に対して下記のとおりとし、設計基準強度 300 kgf/cm^2 に対して判定を行った。また試験頻度は 150 m^3 に1回とした。

- i). $f_c(91) \geq f'ck$; コンクリートの品質は適当
- ii). $f'ck \geq f_c(91) \geq 0.85 f'ck$; 監視の強化の要あり
- iii). $0.85 f'ck \geq f_c(91) \geq 0.65 f'ck$; 養生方法強化など嚴重な注意が必要

急速硬化モルタルの強度および各材令のコンクリート強度の打設日毎の平均を図-3に示す。全試験結果のうち約95%は推定強度が $f'ck$ を上回り、コンクリートの品質は適当と判断されたが、

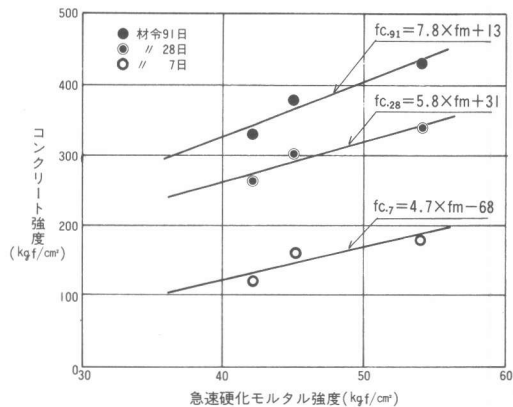


図-2 室内試験によるコンクリート強度推定式

約5%のものは f_{ck} をわずかに下回ることが考えられた。このような試験結果が得られた場合には、スランプ等他の試験結果との照合を行うとともに、計量、表面水量のチェック等コンクリート製造過程の確認を行った。各材令毎の推定強度および実測強度は表-3に示すとおりであり、このような管理により所定の品質を十分確保しているコンクリートが得られたものと考えられる。しかしマスコンクリート工事では強度の大きすぎることも温度ひびわれ制御の観点からは望ましいことではない。今回の結果では実測値は推定値に比較してかなり高い値となったが、マスコンの品質管理という点からはより精度のよい推定方法について検討する必要があるものと思われる。

急速硬化モルタルおよびコンクリートの強度の変動は図-3に示すとおりであり、モルタル強度は多少のばらつきを有するが夏期に試験したもののほうが大きく、秋、冬期になるに従い強度の低下する傾向が認められた。一方材令28, 91日コンクリートの強度は施工時期が夏期から冬期になるに従い徐々に強度の大きくなる傾向が示された。このようなモルタル強度、コンクリート強度の季節的な変動には、コンクリートの打込み温度の影響があるものと考えられるが、その影響の仕方はモルタルとコンクリートとは逆の傾向が認められた。

表-3 実測強度と推定強度の比較
(kgf/cm^2)

材令 (日)	実測値		推定値	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
7	155	12.4	134	26.3
28	316	20.9	281	32.5
91	421	26.5	350	43.7

5. 温度の影響についての検討

(1) 強度におよぼす打込み温度の影響

コンクリートの打込み温度とモルタル強度および各材令でのコンクリート強度実測値と

の関係を単回帰分析を行って調べた。結果は表-4に示すとおりであり、モルタル強度および材令7日強度に対する打込み温度の影響はほとんど認められないのに対し、材令28, 91日強度には負の相関が認められ、それも91日と長期材令の方が温度との相関が強くなる結果となった。

(2) 急速モルタル強度とコンクリート強度との関係

以上の検討により、コンクリート強度にはモルタル強度の他に打込み温度が強く影響しているので、コンクリート強度を目的変数とし、モルタル強度および打込み温度を説明変数として重回帰分析をおこなった。結果は表-5に示すとおりであり、材令が長期になるにつれ、2つの因子の寄与率は大きくなっており、材令91日強度については、全変動のうち約50%は2つの因子の変動で説明でき、そのうちの各因子の影響度合いを、標準回帰係数の比をもとに推定すると、その約80%は温度因子の変動により、残りの20%がモルタル強度因

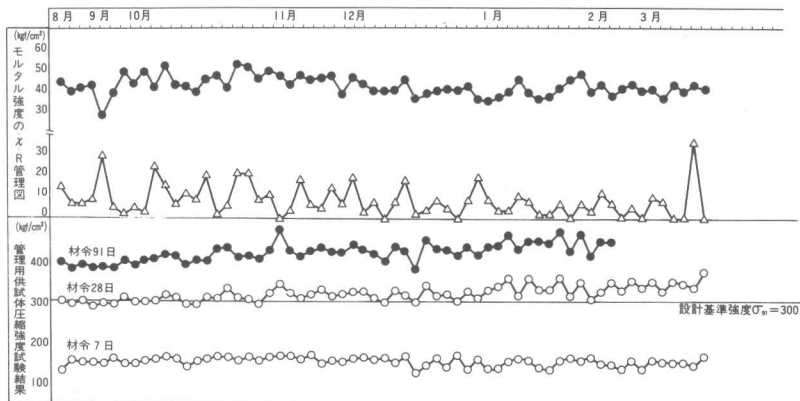


図-3 モルタル強度管理図及び推定強度とコンクリート強度の変化

子の変動によって説明できる結果となった。このようにコンクリート強度に対して打込温度の影響が強く現れていることは、コンクリート強度推定式を立てるにあたり、温度の影響を考慮する必要のあることを示しているものと思われる。

6. 季節的変動を考慮したコンクリート強度の推定式

以上検討したように、コンクリートの施工時期が長期にわたる工事において、コンクリート強度の精度よい推定式を得るためには、季節変動に伴う打込み温度の変化を考慮する必要のあることが示された。そこで当工事で得られた全期間にわたるデータを、打込み温度がある範囲内に入ると考えられる夏、秋、冬期の各時期に分けて整理をした。すなわち各時期毎最初の10箇のデータを用いてモルタル強度とコンクリート強度の係数を求め、その式によりモルタル強度からコンクリート強度を推定した。結果を表-6に、推定強度と実測強度とを比較した一例を図-4に示す。このような整理を行うことにより、強度の推定精度はかなり改善される結果が得られた。

7. まとめ

横浜港ベイブリッジ基礎フーチング中詰めコンクリート工事では、急速硬化モルタル法による早期品質判定試験を実施することにより、良好な状態のもとでコンクリートの施工を行うことができた。しかし、モルタル強度によるコンクリート強度の推定式の導入に関しては、これらの強度が季節による温度変化の影響を受ける場合、全期間をととして一つの推定式を用いることは推定精度上好ましいことではなく、温度がある一定温度の範囲内に入るような期間毎に推定式を変える必要のあることが示された。今後はそのような推定式を実験室で事前に求める方法や、材料が特殊なものを用いた場合などについて研究を進め、より一層合理的な早期品質判定法を確立していく必要があるものと思われる。

表-4 打込温度と強度との関係

f_m : モルタル強度 T : 打込み温度

供試体	回帰式	相関係数
モルタル	$f_m = 41.1 + 0.13T$	0.147
材令7日強度	$f_7 = 155 - 0.001T$	-0.003
材令28日強度	$f_{28} = 345 - 1.69T$	-0.512
材令91日強度	$f_{91} = 468 - 2.86T$	-0.677

表-5 コンクリート強度の重回帰分析

材令	回帰式	標準回帰係数		寄与率
		モルタル	温度	
7日	$f_7 = 113 + 1.00f_m - 0.14T$	0.451	-0.069	0.20
28日	$f_{28} = 323 + 0.52f_m - 1.76T$	0.141	0.531	0.28
91日	$f_{91} = 434 + 0.85f_m - 2.97T$	0.179	0.705	0.49

表-6 季節毎のコンクリート強度推定結果 (材令91日強度)

時期	データ数	回帰式	実測値 (kgf/cm ²)	推定値 (kgf/cm ²)	推定値と実測値 との比 (%)
夏期	26	$f_{91} = 292 + 2.27f_m$	388	388	100
秋期	58	$f_{91} = 350 + 1.20f_m$	416	405	98
冬期	79	$f_{91} = 262 + 3.77f_m$	436	419	96

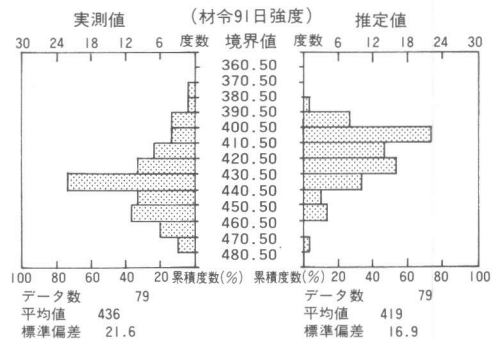


図-4 実測値と推定値との比較(冬期)

参考文献 ; 杉浦征二他, 急速硬化モルタル法によるコンクリート強度の早期判定と工事への適用, 第4回コンクリート工学年次講演会論文集, 1982