

論文

[1049] 暑中環境下で製造・施工されるコンクリートの強度性状に関する実験的研究

正会員 松藤 泰典 (九州大学工学部)
 同 大久保 孝昭 (九州大学工学部)
 同 ○原田 志津男 (九州大学工学部)
 同 Victor SAMPEBULU (九州大学大学院)

1 はじめに

暑中環境下で製造・施工されるコンクリートは、ワーカビリティの低下、長期強度の低下等の問題が生じやすい。したがって、コンクリート工事に関する各規準・仕様書では、暑中コンクリートに関し、製造、運搬、打ち込み及び養生方法の各工程において、種々の規定を設けている。しかし、各工程において暑中環境がコンクリートの品質低下にどのような影響を及ぼすかは定量的に把握されていないために、暑中コンクリートの対策は、曖昧な表現となっているものが多い。

本研究は、コンクリートの製造、運搬、打ち込み、養生の各工程における外気温の高低が、硬化コンクリートの強度発現に与える影響を明らかにすることを目的としたものである。

2 実験概要

2-1 使用材料及び調査

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は安山岩の碎石、細骨材は山砂と海砂の混合砂(重量比 山砂:海砂=1:4)を用いた。表1に使用骨材の物理試験結果を示す。

調査は1種類のみとし、福岡市内において、夏季に建築構造物工事用コンクリートとして、生コン工場に最も発注の多い調査とした。表2にコンクリートの調査を示す。

表1 骨材の物理試験結果

	最大寸法 (mm)	比 重		吸水率 (%)	実積率 (%)	f · m
		飽 乾	表 乾			
粗骨材	20	2.62	2.64	0.80	58.4	6.78
細骨材	2.5	2.54	2.58	1.76	63.9	2.51

表2 調査表

W/C (%)	絶対容積 (l / m ³)				AE減水剤 (g / m ³)
	水	セメント	細骨材	粗骨材	
57	182	101	312	365	798

2-2 実験要因

本実験は、できる限り実際のコンクリート工事と類似した方法で行い、コンクリートの製造から養生までの各工程における外気温がコンクリートの強度性状に及ぼす影響について、検討するものである。表3に、各工程における実験要因を一括して示す。

コンクリートの練り上り温度は、20℃、30℃、35℃の3水準とした。練り置きは、実際のレーダミクストコンクリートの運搬を想定したものである。練り置きの間、ミキサーの外周速度は、コンクリートミキサー車と同じ6m/minとし、外気温は、20℃、30℃、40℃の3水準とした。練り置き時間は、30分、60分、90分の3水準とした。このような環境下、所定の時間練り置きされたコンクリートを打設し、脱型までの48時間は、各シリーズの練り置き時の外気温と同一温度の20℃、30℃、40℃の3水準の温度条件下でそれぞれ初期養生を行った。脱型後は、標準養生と暑中環境下を想定した35℃封かん養生の2種類行った。

なお、本論文では、試験体の記号を例えばLH60と表す。最初の英字は練り上り温度[20℃(L)、30℃(H)、35℃(H)]を表し、二番目の英字は、練り置き温度及び初期養生温度[20℃(L)、30℃(H)、40℃(H)]、最後の数字は練り置き時間(分)を示す。上述のLH60は、練り上り温度20℃を気温40℃環境下で60分間練り置きし、40℃の温度条件下で初期養生を行った試験体を意味する。

表3 実験要因

練り上り 温度	運搬(練り置き)		初期養生*		脱型後の 養生
	気温	時間	気温	時間	
20℃(L)	20℃(L)	30分(30)	20℃	48時間	標準養生 35℃封かん養生
30℃(M)	30℃(M)	60分(60)	30℃		
35℃(H)	40℃(H)	90分(90)	40℃		

* 打設から脱型までの初期養生温度は、練り置き外気温と同一温度とする。

3 実験結果及び考察

所定の練り混ぜ及び練り置きにより、各シリーズのコンクリート温度は、表4に示すようになった。各シリーズのコンクリート温度履歴を、図1に示す。結果として、本実験における、打設時のコンクリート温度は、 20 ± 2 ℃、 25 ± 2 ℃、 30 ± 2 ℃、 35 ± 2 ℃、 40 ± 2 ℃の5水準に分類することができる。

以下、このような温度変化を生じたコンクリートの強度性状について検討する。

表4 コンクリートの練り上り温度及び打設温度

シリーズ名*	練り置き 時間(分)	練り上り 温度(℃)	打設温度 (℃)	初期養生 温度(℃)
LL(20℃)	30, 60, 90	20 ± 2	20 ± 2	20
LM(30℃)	30, 60, 90	20 ± 2	25 ± 2	30
LH(40℃)	30, 60	20 ± 2	30 ± 2	40
	90	20 ± 2	35 ± 2	
ML(20℃)	30, 60, 90	30 ± 2	25 ± 2	20
MM(30℃)	30, 60, 90	30 ± 2	30 ± 2	30
	90	30 ± 2	40 ± 2	
MH(40℃)	30, 60	30 ± 2	35 ± 2	40
	90	30 ± 2	40 ± 2	
HL(20℃)	30	35 ± 2	30 ± 2	20
	60	35 ± 2	25 ± 2	
	90	35 ± 2	20 ± 2	
HN(30℃)	30, 60, 90	35 ± 2	30 ± 2	30
	90	35 ± 2	40 ± 2	
HH(40℃)	30	35 ± 2	35 ± 2	40
	60, 90	35 ± 2	40 ± 2	

※()内は練り置き時の気温を示す。

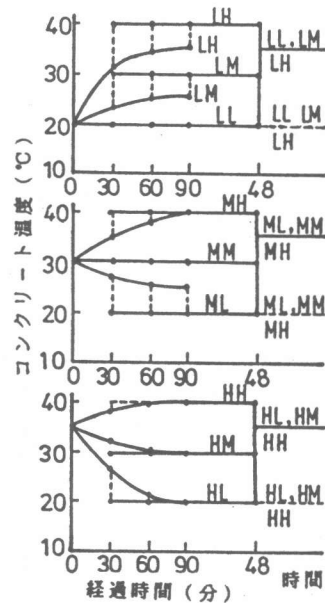


図1 コンクリートの温度履歴

3-1 初期の養生温度の影響

本実験は、初期の養生温度を20℃、30℃、40℃の3水準で行った。それぞれの初期養生条件の材令(7日、28日、91日)と圧縮強度の関係を図2に示す。

初期養生温度を40℃とした封かん養生のものは長期強度の発現不良が、顕著である。7日強度は、他の養生条件と同程度の 340 kgf/cm^2 の強度発現が認められたが、28日強度は15%、91日強度では20% 20℃及び30℃の養生条件より、強度発現が劣る結果となった。また、20℃、30℃の場合、封かん養生と標準養生の91日強度には、差がないのに対し、40℃のものでは、 30 kgf/cm^2 (10%)程度封かん養生の強度が劣る結果となった。

このように、コンクリートの硬化初期過程の初期養生温度は、長期強度の発現に大きく影響を及ぼし、高温になると、長期強度の発現を急激に低下する。この傾向は、暑中環境を想定した封かん養生に明確に現れる。

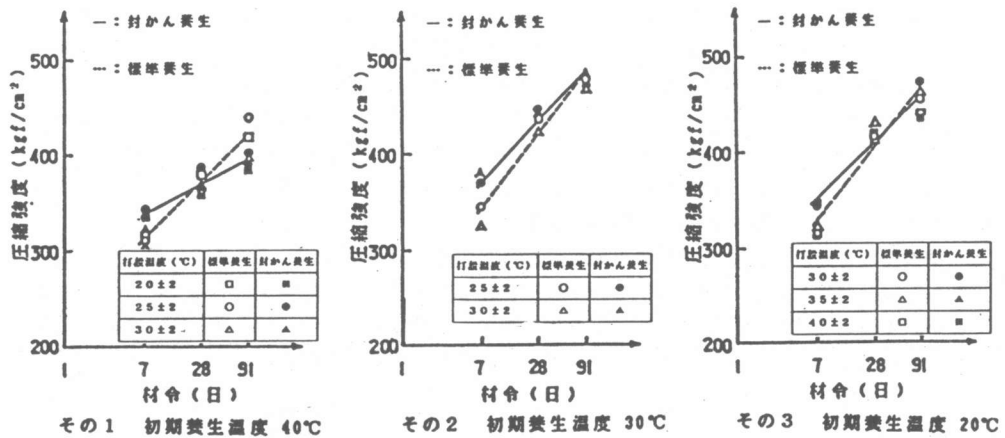


図2 初期養生温度と強度の関係

3-2 練り上り時及び打設時のコンクリート温度の影響

本実験では、練り置き時間 0分、標準養生試験体（記号：L0）を作成し、同供試体強度を比較のための基準強度とした。

練り上り温度と91日強度の関係を図3に、打設温度と91日強度の関係を図4にそれぞれ示す。

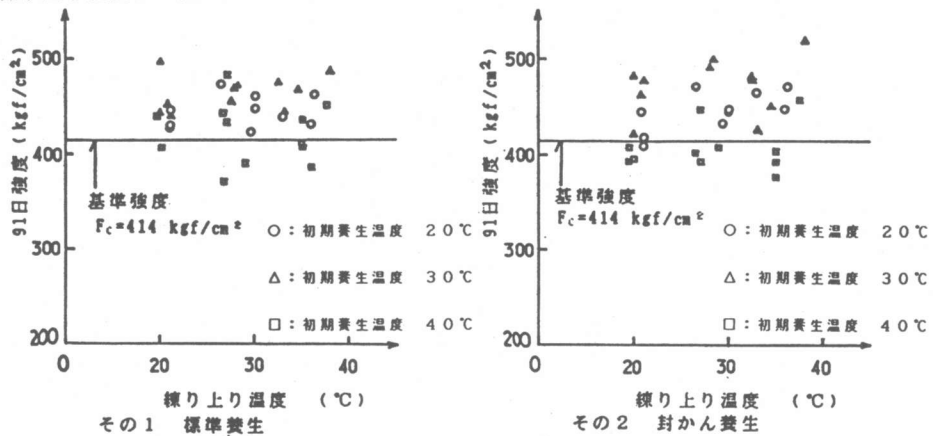


図3 練り上り温度と91日強度の関係

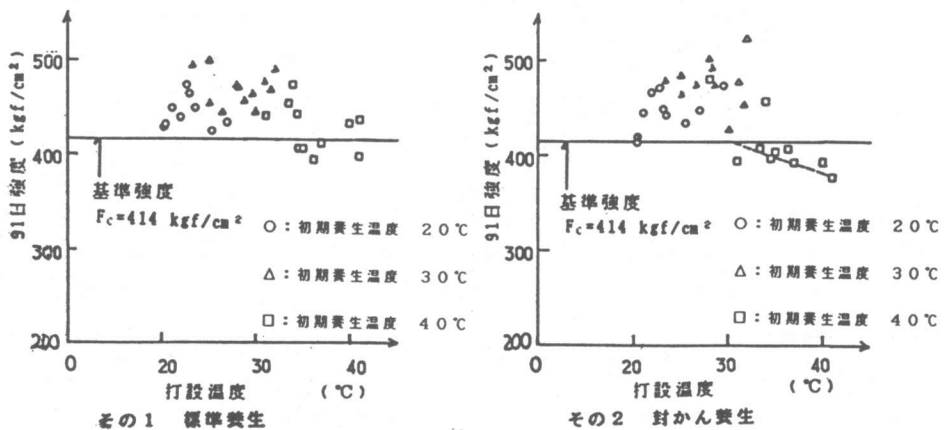


図4 打設温度と91日強度の関係

初期養生温度が20℃、30℃のシリーズは(図中○、△印)、いずれもL0の強度を上回っている。また、練り上り温度及び打設温度を要因とした分散分析の結果、初期養生温度20℃、30℃のシリーズでは分散比はいずれも1.0を下回り、長期強度の発現において、有意差は認められなかった。

一方、初期養生温度40℃のシリーズ(図中、□印)は、練り上り温度には依存せず、L0の強度を下回るものが一様に分散している。しかし、図4では、打設温度が高温になるしたがって、強度の絶対値が低下し、L0との強度差が大きくなる傾向を示している。特に、この傾向は、暑中環境下を想定した封かん養生のものに顕著である。

初期養生温度40℃、封かん養生のもの分散分析の結果、分散比は、それぞれ、練り上り温度で1.217、打設温度で7.769となり、長期強度の発現において、打設温度は有意水準5%で有意である。すなわち、初期養生温度が高温となる場合、長期強度の発現には、練り上り温度の影響より、練り置き中に变化する打設温度の影響が支配的になるといえる。

また、練り上り温度と打設温度の関係が対称的なLH90シリーズとHL90シリーズの強度比較を図5に示す。

LH90シリーズは、練り上り温度20℃、打設温度35℃、初期の養生温度40℃であり、HL90シリーズは、練り上り温度33℃、打設温度22℃、初期の養生温度20℃である。両シリーズの強度を比較すると、明らかに練り上り温度が高温であるHL90の方が各材令において、練り上り温度が低温であるLH90より強度は大である。その強度差は、材令13週で封かん養生の場合約70kgf/cm²(基準強度の15%)、標準養生の場合30kgf/cm²(同7%)である。また、LH90の91日強度は、HL90の28日強度より低い。本実験では、このように35℃と高温で練り上げたものも、打設時のコンクリート温度及び初期養生温度を低くすることにより、封かん養生のものも長期強度は、L0の強度を上回り、低下しなかった。一方、20℃と低温で練り上げたもので、打設温度と初期養生温度を高温としたものは長期強度の発現不良が認められた。

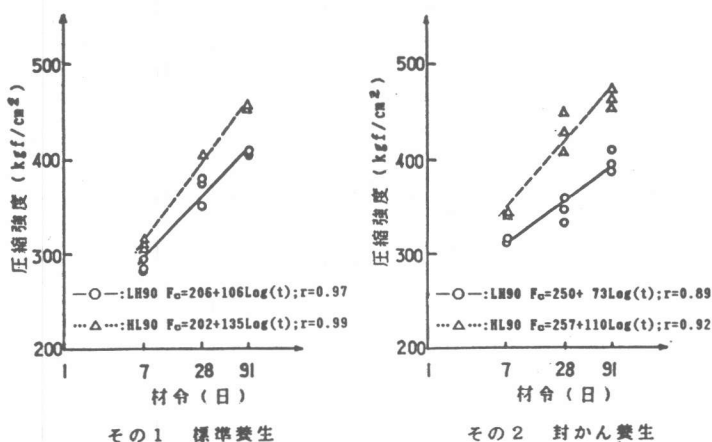


図5 LH90及びHL90の圧縮強度

4 まとめ

本研究では、種々の温度環境下で製造・施工されたコンクリートの強度性状を比較検討することにより、各工程での外気温及びコンクリート温度が暑中コンクリートの強度性状に及ぼす影響について次の結果を得た。

製造から養生までの各工程において、暑中コンクリートの長期強度発現に最も影響を及ぼす温度は初期の養生温度である。また、夏季、高温となりがちなコンクリートの練り上り温度の影響は、運搬及び初期の養生工程での温度管理により、長期強度の発現を改善することができる。