

初期高温養生のコンクリート強度に及ぼす影響

北大工学部土木科 松 井 司
 “ 宮 脇 敬
 “ 下 岡 清 昭

I. 緒 言

近年我国に於いてもプレキャスト及びプレストレストコンクリート製品の製作が増加し、これらのコンクリートには早期高強度のものが用いられる。それは、(1) 養生期間を短縮し脱型を早くしたい、(2) プレストレストコンクリートでは出来るだけ早くプレストレスを導入したい、といった理由からである。

コンクリートの圧縮強度は材齢、使用材料、配合、練り混ぜ程度、締め固め程度、養生方法、養生温度、供試体の形状寸法、供試体の乾湿の程度等により種々影響を受けるが、養生温度だけを取つてみても温度により著しく影響されるという事は今迄にもしばしば実験された事である。

本実験に於いては富配合のコンクリートが初期養生温度により、どのような影響を受けるかをしらべ、早期強度が高くしかも後期強度に悪影響を及ぼさない養生方法を求めんとするものである。

この実験では材齢 28 日の圧縮強度が 500 kg/cm^2 となる様な富配合のコンクリートについて行つた。養生温度は、我國に於いては蒸気養生を行う場合一般に最高温度を 60°C に押えており、又米國に於ける実験で 75°C が高温養生を行つて有利な最高温度としているので 40°C 、 60°C 、及び 80°C の 3 種とした。他に比較を行うため 21°C の標準養生の供試体も製作した。材齢は早期強度が特にどのような影響を受けるか、又後期強度に於いて幾らであるかをみるため 1 日、2 日、3 日、4 日、1 週、4 週、13 週と 7 種の材齢について強度を測定した。養生期間は 1 日、2 日、及び 3 日養生の 3 種とした。その他にセメントの凝結時間等により成型後養生開始迄の時間が強度に影響ある事がいわれているので成型後養生開始迄 0、2、4、6、8、24 時間と 6 種の時間を取つた。

以上養生温度、材齢、養生期間、養生開始迄の時間とそれぞれを組合わせそれら相互の関係を求めたのである。

なお養生方法は設備の都合より水槽中で温水によつて行つた。

II. 供試体の製作

(1) コンクリート材料

i) セメント；セメントは日本セメント K. K. 上磯工場製の普通ポルトランドセメントを使用した。その試験成績は 1 表のとおりである。

ii) 細骨材、粗骨材；砂は錦岡産、砂利は富川産のものを使用し、その性質、及び篩分試験の結果は 2 表、3 表のとおりである。

(2) コンクリート

i) 配合；コンクリートの配合は材齢 28 日の圧縮強度が 500 kg/cm^2 となるように予備実験を行つて 4 表のように決定した。

ii) 供試体製作；供試体は直径 10 cm、高さ 20 cm の円柱形とした。供試体の数は 5 表に示す如く養生温度 3 種、養生期間 3 種、養生開始迄の時間 6 種、材齢 7 種なのでこれらを組合わせ、それに供試体は 3 個をもつて 1 組としたので合計 1134 本、他に標準養生のものを 2 種類製作したのでこれが 42 本、全部で 1176 本である。

供試体には 5 表に示す如く記号をつけて取り扱いを便にした。A、B、C は 40°C 、 60°C 、及び 80°C と養生温度を示し、又 21°C で標準養生をしたものは D と記号をつけた。サフィックスの数字 1、2、3 は養生期間、— の次の 2、4、…… なる数字は養生開始迄の時間を示す。

供試体の製作は一つの符号のものを 1 バッチに作つた。練り混ぜは実験用ミキサーを使用し、1 バッチの量は 21 本分 36 l として、全材料を投入した後 5 分間練り混ぜ各バッチ毎に 1 回 2 ランプを測定した。型わくへのコンクリートでん充は 3 層とし 毎層 25 回ずつついて締め固めを行つた。

III. 供試体の養生と試験

(1) 養生方法

供試体の高温水養生に使用した水槽は長さ 180 cm、幅 120 cm、深さ 45 cm の木製水槽で木蓋をして水分の蒸発を防いだ。蓋の中央部にかくはん器をつけ、並べて

表—1 セメント試験成績表

試験項目	比重	ブレン比表面積 (cm ² /g)	凝				結			安定性 (浸水法)	フロ (mm)	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)		
			水量 (%)	始時	発分	終時	結分	水温 (°C)	室温 (°C)			3日	7日	28日	3日	7日	28日
試験成績	3.16	3,170	26.3	2-18		3-18	17	23	85	合格	236	34.1	50.2	71.4	123	219	357
規格	>3.05	>2,300	—	>1-00		<10-00	—	20±3	80%以上	—	—	>12	>25	>36	>45	>90	>200

表—2 使用骨材性質

骨材	比重	吸水率 (%)	単位容積 重量 (kg/m ³)	空隙率 (%)	洗い試験 (%)	有純物	機物	粗細率 (%)
細骨材	2.72	0.96	1825	32.9	1.9	合格		2.25
粗骨材	2.76	1.6	1741	36.9	—	—		6.43

表—3 篩分試験成績

細 骨 材						
7~5 mm	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15 以下
3.8%	4.4	13.8	19.2	21.8	23.8	13.2
粗 骨 材						
30~25 mm	25~20	20~15	15~10	10~5	5 以下	
1.7%	4.1	11.7	26.2	43.2	10.0	

表—4 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (cm)	スランプの 範囲 (cm)	水セメント 重量比 W/C (%)	コンクリート 1 m ³ 中の セメント量 C (kg)	コンクリート 1 m ³ 中の 水量 W (kg)	粗細骨材 重量比 G/S	コンクリート 1 m ³ に用いる表面乾燥飽和状態の骨材重量 (kg)		
						全量	細骨材	粗骨材
3.0	3.5~6.5	33	550	182	2.0	1761	587	1174

600 W のヒーターを持った温度調節器を取り付け水温の調節をした。60°C、80°C の高温の時はこれだけでは温度を保持出来ないので必要に応じ投込式電気ヒーターを入れて所定温度に保った。

供試体の養生には水槽中に合を置き型わくのままこの上にのせ、水面が型わくの上面より少し下る程度に水量を調節した。成型後 1 日経過してから脱型し所定の養生期間を終えたものは 21°C の標準養生水槽中に浸した。

型わくに付めたコンクリート供試体は高温水槽に入水迄 20°C の恒温槽中に入れておいた。

(2) 圧縮強度試験

所定の材齢に達した供試体は硫黄でキャッピングを行い直ちに圧縮試験をした。キャッピングの前に重量を測

定したが大きな変動は見られなかった。圧縮試験に用いた試験機はアムスラー型容量 200 t のものである。

IV. 圧縮強度試験成績

(1) 圧縮強度試験結果

試験結果は 5 表に示す。表に於いて圧縮強度の値は供試体 3 箇の平均を求めたものである。標準養生のものは供試体製作作業の最初と最後に製作して強度を比較してみたのであるが、その間に著しい差が認められなかったため 6 箇の平均値をとつてある。試験中に偏心をしたため強度の低いものは除外した。

5 表より 60°C 1 日養生 (B₁)、60°C 2 日養生 (B₂)、60°C 3 日養生 (B₃)、及び 40°C 2 日養生 (A₂)、80°C 2 日養生

表 - 5

養 生 度	養 生 期 間	養生開始迄の時間	材 齢 記号	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_7	σ_{28}	σ_{91}
40℃	1 日	0時間	A ₁ - 0	258	326	372	386	418	496	537
		2	A ₁ - 2	250	324	376	387	426	456	468
		4	A ₁ - 4	226	333	371	393	421	466	564
		6	A ₁ - 6	251	349	391	423	476	553	592
		8	A ₁ - 8	231	334	376	396	435	507	556
		24	A ₁ -24	135	314	351	375	424	504	564
	2 日	0	A ₂ - 0	258	322	374	423	450	491	519
		2	A ₂ - 2	250	368	392	409	429	440	454
		4	A ₂ - 4	226	355	395	416	452	481	573
		6	A ₂ - 6	251	361	404	426	471	521	564
		8	A ₂ - 8	231	346	386	408	441	496	520
		24	A ₂ -24	135	314	394	421	469	502	534
	3 日	0	A ₃ - 0	258	322	374	423	456	509	518
		2	A ₃ - 2	250	368	409	419	439	471	529
		4	A ₃ - 4	226	355	404	441	472	495	585
		6	A ₃ - 6	251	361	412	434	469	536	591
		8	A ₃ - 8	231	346	393	416	460	524	564
		24	A ₃ -24	135	314	394	414	443	513	559
60℃	1 日	0	B ₁ - 0	256	284	328	347	356	382	498
		2	B ₁ - 2	233	246	256	268	293	379	382
		4	B ₁ - 4	345	388	405	414	432	474	536
		6	B ₁ - 6	334	371	392	415	448	499	526
		8	B ₁ - 8	329	367	389	406	439	484	510
		24	B ₁ -24	135	318	359	381	412	481	524
	2 日	0	B ₂ - 0	256	309	318	324	331	358	411
		2	B ₂ - 2	233	272	283	293	316	384	397
		4	B ₂ - 4	345	391	410	422	445	503	548
		6	B ₂ - 6	334	396	421	442	474	522	541
		8	B ₂ - 8	329	389	420	442	467	509	529
		24	B ₂ -24	135	318	378	404	423	468	522
	3 日	0	B ₃ - 0	256	309	353	372	382	399	412
		2	B ₃ - 2	233	272	287	300	327	386	415
		4	B ₃ - 4	345	391	414	429	461	509	556
		6	B ₃ - 6	334	396	432	456	488	511	535
		8	B ₃ - 8	329	389	419	439	462	492	512
		24	B ₃ -24	135	318	378	392	414	446	509
80℃	1 日	0	C ₁ - 0	235	274	286	293	306	331	422
		2	C ₁ - 2	214	249	270	281	296	318	341
		4	C ₁ - 4	338	351	362	373	400	447	476
		6	C ₁ - 6	374	406	423	433	455	496	512
		8	C ₁ - 8	351	367	382	393	414	471	520
		24	C ₁ -24	135	344	361	373	397	458	529
	2 日	0	C ₂ - 0	235	291	306	317	335	373	417
		2	C ₂ - 2	214	238	260	270	287	309	328
		4	C ₂ - 4	338	375	394	404	428	461	484
		6	C ₂ - 6	374	436	452	461	479	509	530
		8	C ₂ - 8	351	393	424	446	479	525	560
		24	C ₂ -24	135	344	378	391	418	467	519
	3 日	0	C ₃ - 0	235	291	320	336	359	394	408
		2	C ₃ - 2	214	238	247	256	266	295	310
		4	C ₃ - 4	338	375	389	398	419	452	489
		6	C ₃ - 6	374	436	468	481	493	506	524
		8	C ₃ - 8	351	393	411	421	440	479	496
		24	C ₃ -24	135	344	378	399	428	474	528
標 準 養 生			D	135	223	277	312	381	512	565

(C₂) の圧縮強度と材齢の関係を図示すると 1～5 図の如くなる。1～5 図及び 5 表より次の事が認められる。

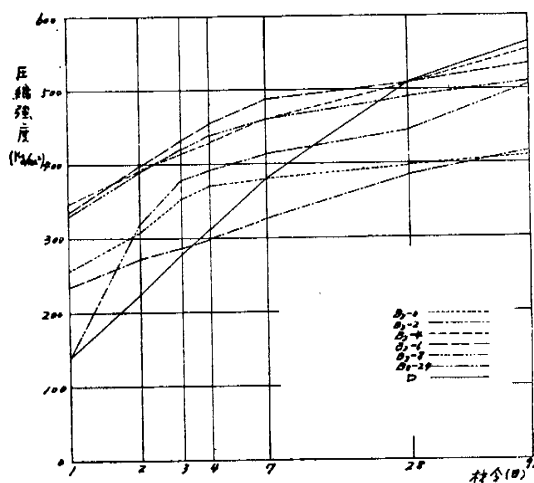
i) 60°C までは養生温度が高い程早期強度が高く出ているが 80°C に於いては 60°C と比較して余り強度は増加しない。

ii) 養生期間を長くしても強度増加は余りない。

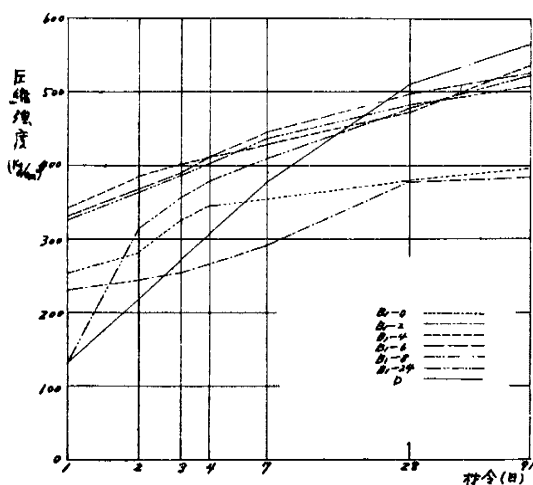
iii) 養生温度が高い程後期強度が低い傾向がある。

iv) 40°C 養生のものをみると、養生開始迄の時間が 2 時間のもは後期強度が他より少し低い。他のものは大体同じような強度を示している。24 時間後に入れたものの 1 日強度が低いのはまだ養生されていない時の強度だからである。これは他の温度についても同様である。

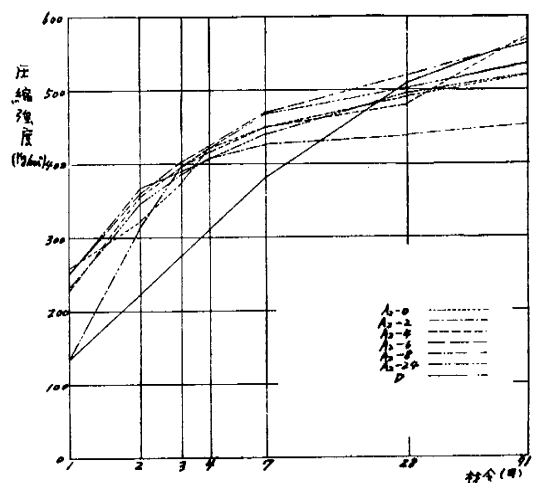
v) 60°C, 及び 80°C 養生のもので 0, 及び 2 時間後に養生を開始したものは早期及び後期強度共に他に劣っている。4, 6, 8 時間後に入れたものは大体同じ強度の上



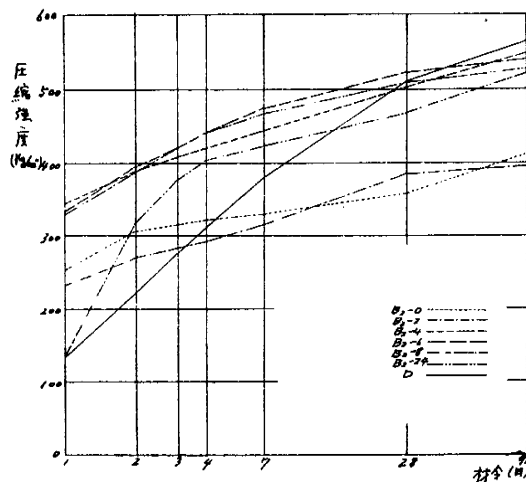
図—3 圧縮強度と材齢の関係 60°C 3 日養生



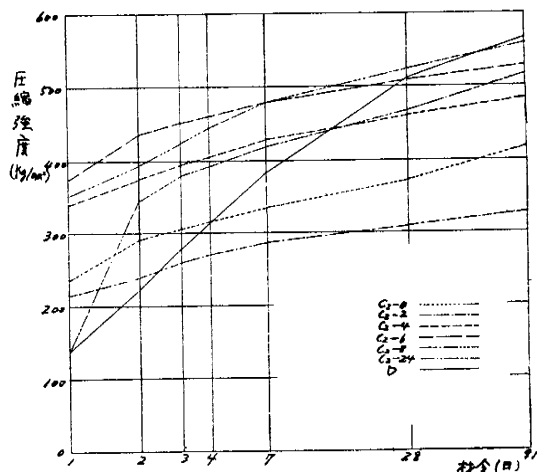
図—1 圧縮強度と材齢の関係 60°C 1 日養生



図—4 圧縮強度と材齢の関係 40°C 2 日養生



図—2 圧縮強度と材齢の関係 60°C 2 日養生



図—5 圧縮強度と材齢の関係 80°C 2 日養生

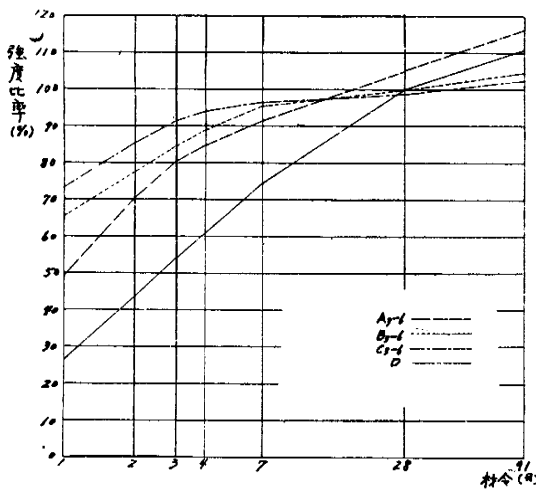
昇を示し早期強度は高いが強度増加率は低い。

(2) 試験結果に対する考察

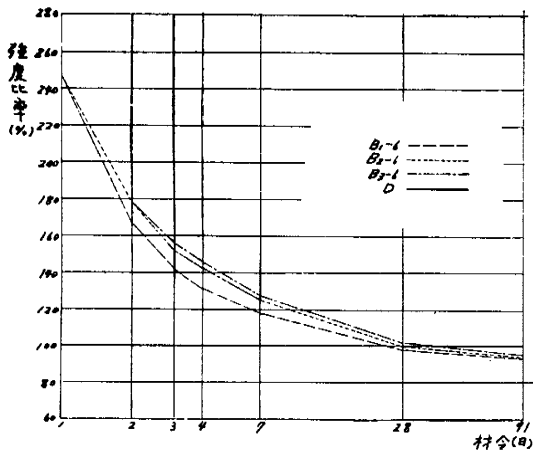
以上試験結果より判断される事項を更に詳しく検討してみる。

i) 標準養生供試の28日強度を100として40°C, 60°C, 80°C, 各6時間後3日養生 (A_3-6 , B_3-6 , C_3-6) の強度との比率と、材齢の関係を図示すると6図の如くなる。図から分る事は早期、強度は温度が高い程高く80°Cのものは2日で80%以上の強度を示すが、後期強度は養生温度が高いと標準養生のものより低く、高温養生による害が現われている。他のものも同様にしてしらべてみると早期強度に於いて60°Cより80°Cの方が低いものも認められる。

40°C 養生のものは、早期強度の発現は余り大きな



図—6 標準養生 σ_{28} を100としたときの強度比率



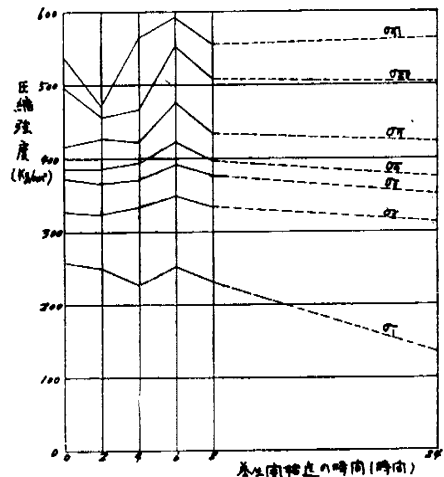
図—7 標準養生を100とした時の強度比率
60°C 6時間後のものについて

いが強度増加率が高く後期強度も標準養生のものより勝っている。このような関係は他のものについてもいえるが、養生開始迄の時間により差が認められる。

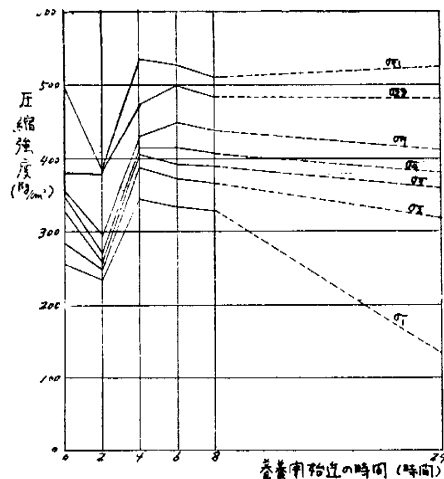
ii) 高温養生期間が強度にどのような影響を及ぼすかをみるため、標準養生の各材齢の値を100とした場合の強度比率を求めてみた。60°C 6時間後に養生開始したものの (B_1-6 , B_2-6 , B_3-6) を図示すると7図の如くなる。

標準養生のものに対する比率は、養生期間が長くなつても目立って高くはない。1日養生のもの (B_1-6) は2日 (B_2-6) 3日 (B_3-6) 養生のものに比べ早期強度が幾分低く、2日及び3日養生のものは同じような比率を示す。他のものについても同様な関係が認められ、2日及び3日養生はどちらが高いともいえない。

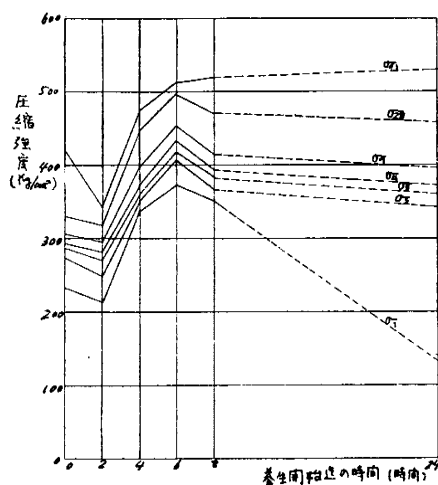
iii) 圧縮強度と養生開始迄の時間との関係を各材齢に



図—8 圧縮強度と養生開始時間との関係
40°C 1日養生 (A_1)



図—9 圧縮強度と養生開始時間との関係
60°C 1日養生 (B_1)



図—10 圧縮強度と養生開始時間との関係
80°C 1 日養生 (C₁)

について検討してみる。40°C 1 日養生 (A₁), 60°C 1 日養生 (B₁), 80°C 1 日養生 (C₁) のものを図示すると 8~10 図の如くなる。

40°C 養生のものは早期強度は大体同じ強度を示すが、材齢が進むにつれ 2 時間後のものが低く、6 時間後のものが高くなっている。60°C 及び 80°C 養生のものでは、

2 時間後の強度が特に低く次に 0 時間後のものが低い。又 4~8 時間後に入れたものは強度が高い。

ここに図示はしていないが、2 日養生、3 日養生の場合も同様な関係が認められる。

V. 結 論

富配合コンクリートを高温水養生した場合、本実験の範囲で次の事がいえる。

(1) 初期養生温度が高い程早期強度は高いが、60°C 以上では養生温度を上げてても効果は顕著でなく、強度の低くなる場合もある。

(2) 養生温度が高いと材齢が進むに従って強度増加率は減少し後期強度に害がある。

(3) 初期高温養生期間を長くしても効果は余り認められない。

(4) 練り混ぜ後 4~8 時間経過してから高温養生を開始するのが、強度に余り悪い影響を与えない。

以上初期高温養生のコンクリート圧縮強度に及ぼす影響について述べたが今回行つた実験は、富配合のコンクリートについて行つたもので一般的な結論を下す事は出来ない。

最後に本実験を行うにあたり御援助下さつた開発局土木試験所構造研究室の方々に深く感謝の意を表します。