

V-17

高流動コンクリートの製品への応用に関する研究

北見工業大学 学生会員 大沼 康 弘
 北見工業大学 フェロー 鮎田 耕 一
 北見工業大学 正会員 桜井 宏
 北見工業大学 正会員 猪狩 平三郎

1. はじめに

コンクリート製品工場では、型枠振動機やテーブル振動機を使用してコンクリートを締固める方式が一般的である。しかし、この振動締固めを行う際の振動や騒音は大きく、工場が住宅地等に近い場合は問題になることがある。

高い流動性と材料分離抵抗性を兼ね備えた高流動コンクリートを製品に使用すれば、この種の問題は大きく改善されると思われる。高流動コンクリートを工場で採用するにあたり、ある程度のコストアップは考えられるが、製造設備・型枠の損傷の低減、製造工程の省力化、脱型時の製品の不良率の低減、電力消費量の低減等の利点¹⁾があり、結果として大きなコストアップとはならないと考えられる。

そこで、本研究では高流動コンクリートを製品へ応用するにあたり未解決な課題のうち、蒸気養生条件が圧縮強度及び耐凍害性に与える影響について検討した。

2. 実験方法

(1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材(最大寸法25mm)及び細骨材は依田産川砂利、川砂で、増粘剤は水溶性セルロースエーテル、AE剤は天然樹脂酸塩、高性能減水剤は高縮合トリアジン系化合物を主成分としているものを用いた。

(2) 配合

フレッシュコンクリートの性状の目標値は、スランプコーンを引き上げてから、15分経過後の空気量及びスランプフローをそれぞれ、 $4.5 \pm 0.5\%$ 、 $60 \pm 5\text{cm}$ とした。表1に配合を示す。

表1 配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				増粘剤 (kg/m^3)	高性能 減水剤 (C×%)	AE剤 (C×%)
			W	C	S	G			
SC-40	40	41	175	438	698	1007	0.300	1.7	0.052
SC-50	50	45	175	350	789	979	0.300	2.5	0.030

(3) 供試体の作成

1 蒸気養生条件につき、圧縮強度試験用として $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体を3個 \times 5材齢=15個、急速凍結融解試験及び硬化コンクリートの気泡組織測定用として $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の供試体を合計4個作成した。振動機等による締固めは行っておらず、二層に分け各々突き棒で10回突いた後、木づちで軽く叩いた。

(4) 養生

1) 蒸気養生

供試体を打込み後、型枠のまま蒸気養生槽に入れ常圧で養生を行った。蒸気養生条件を図1、表2に示す。表2の積算温度は図1に示す期間をもとに求めた。基準温度は 0°C である。

温度上昇を行う前の養生を前養生(養生温度 20°C 、 40°C)とし蒸気養生槽内で行った。等温養生終了後、供

Application to a Product of High Workable Concrete

by Yasuhiro OHNUMA, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI and Heizaburoh IGARI

試体をそのまま蒸気養生槽内に静置し徐冷を行った。

2) 蒸気養生終了後の養生

供試体は養生開始から約24時間で脱型し、急速凍結融解試験開始材齢、または、圧縮強度試験材齢まで室温約20℃の部屋で麻袋を被せ、散水し養生を行った。

3) 標準養生

比較のために蒸気養生を行わず、型枠のまま恒温恒湿室(室温20±2℃、相対湿度90±5%)に1日静置した後、所定の試験材齢まで水中養生(温度：20±2℃)を行った供試体を作製した。

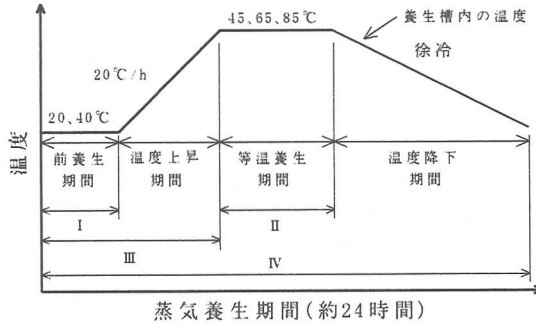


図1 蒸気養生期間と温度

表2 蒸気養生条件

条件 条件番号	前養生		温度上昇 昇温速度 (°C/h)	等温養生		蒸気通気 時間 (h-min)	積算温度 (°C・h) 期間					
	温度 (°C)	時間 (h)		最高温度 (°C)	保持時間 (h)		I	II	III	IV		
No. 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
No. 1	20	2	20	45	4	7-15	40	180	261	721		
No. 2				65		8-15	40	260	396	986		
No. 3				85		9-15	40	340	551	1251		
No. 4				65	2	6-15	40	130	266	931		
No. 5					6	10-15	40	390	526	1041		
No. 6					4	1	7-15	20	260	376	1004	
No. 7						4	10-15	80	260	436	951	
No. 8				40	1	65	4	6-15	40	260	366	1386
No. 9					2			7-15	80	260	406	1369
No. 10					4			9-15	160	260	486	1334
No. 11	2	2	5-15		80			130	276	1354		
No. 12		6	9-15		80			390	536	1384		
No. 13		85	4		8-15			80	340	561	1624	

*：比較のための標準養生

(5) 試験項目

1) 圧縮強度

JIS A 1108に準拠し、円柱供試体を用い材齢 1、3、7、14、28日に試験した。

2) 硬化コンクリートの気泡組織

角柱供試体 1個から10×10×3cmの試料2個を切断し、ASTM C 457の修正ポイントカウント法に準拠し画像解析システム²⁾を用いて気泡組織を求めた。

3) 耐凍害性

角柱供試体を1条件に3個用い材齢14日まで養生した後、土木学会規準「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し水中における急速凍結融解試験を行った。試験結果からASTM C 666に準拠して凍結融解300サイクルあるいは相対動弾性係数60%を基準とした耐久性指数を求めた。

4) ひび割れ面積

硬化コンクリートの気泡組織の測定に用いた10×10×3cm試料を用い測微鏡により10×10cmの試験面に発生したひび割れの長さ及び幅を計測しその積を求め、積を合計した値をひび割れ面積(mm²)とした。

3. 実験結果及び考察

表3に配合名SC-40の圧縮強度及び表4に配合名SC-50の圧縮強度、ひび割れ面積、耐久性指数、気泡間隔係数を示す。供試体名は(配合名-条件番号)の型式で示してある。

表3 圧縮強度

供試体名 (W/C=40)	圧縮強度(kgf/cm ²)				
	材 齢 (日)				
	1日	3日	7日	14日	28日
SC40-0	163	251	321	367	400
SC40-1	201	276	310	352	374
SC40-2	249	301	328	355	385
SC40-3	277	294	304	341	354
SC40-4	214	252	301	316	333
SC40-5	216	233	259	269	293
SC40-6	213	236	250	264	281
SC40-7	296	337	361	374	416
SC40-8	203	228	249	264	309
SC40-9	265	283	312	335	369
SC40-10	267	291	309	344	372
SC40-11	247	302	325	365	391
SC40-12	262	291	319	326	374
SC40-13	282	304	323	338	366

表4 圧縮強度、ひび割れ面積及び耐久性指数

供試体名 (W/C=50)	圧縮強度(kgf/cm ²)					ひび割れ 面積 (mm ²)	耐久性 指数	気泡間 隔係数 (μm)
	材 齢 (日)							
	1日	3日	7日	14日	28日			
SC50-0	72	129	222	271	305	0.0	92	199
SC50-1	121	172	225	265	290	0.0	96	190
SC50-2	117	130	145	164	167	14.0	98	195
SC50-3	124	141	145	153	176	5.5	91	194
SC50-4	122	137	196	196	208	2.6	94	209
SC50-5	139	143	163	162	175	4.8	40	238
SC50-6	128	144	173	192	179	12.1	39	261
SC50-7	187	212	258	277	308	0.0	99	215
SC50-8	132	130	145	150	162	3.0	96	200
SC50-9	178	209	227	265	275	0.0	90	224
SC50-10	189	211	227	262	277	0.0	92	214
SC50-11	190	215	238	257	290	0.0	90	223
SC50-12	204	232	234	255	274	0.0	98	176
SC50-13	182	208	220	231	254	0.1	84	203

3. 1 水セメント比とひび割れの関係

W/C=40%のコンクリートには、ひび割れは発生しなかった。一方、W/C=50%のコンクリートの約半数にひび割れの発生が見られた。ひび割れは打込み面に平行に面から約3cmの位置に発生しており、ひび割れ幅は0.1~0.3mm程度、長さは1~20mm程度で骨材との界面に生じたひび割れと連続しているものも見られた。

このことから、W/C=50%の配合の高流動コンクリートを蒸気養生すると、細かいひび割れが発生することが明らかになった。これは、増粘剤の使用に伴う凝結遅延が原因と思われる、ひび割れの発生を抑えるには、W/C=40%程度とするか、W/C=50%の場合には、次に述べる養生条件を設定する必要がある。

3. 2 蒸気養生条件とひび割れの関係

図2にW/C=50%のコンクリートの前養生期間の積算温度とひび割れ面積の関係を示す。ひび割れは、前養生期間の積算温度が40℃・h以下の場合に発生している。

W/C=50%のコンクリートのように強度増進が比較的遅いコンクリートでは、前養生期間の積算温度を40℃・hより高くする必要があるといえる。

3. 3 前養生条件の圧縮強度への影響

図3、図4に前養生時間と材齢1日及び材齢28日の圧縮強度の関係をそれぞれ示す。

この結果によれば、前養生時間が長くなるにつれて、材齢1日、28日の圧縮強度が高くなる傾向にある。しかし、前養生温度が40℃の場合(図中破線)は、前養生時間を4時間にしても圧縮強度は前養生2時間に比べて

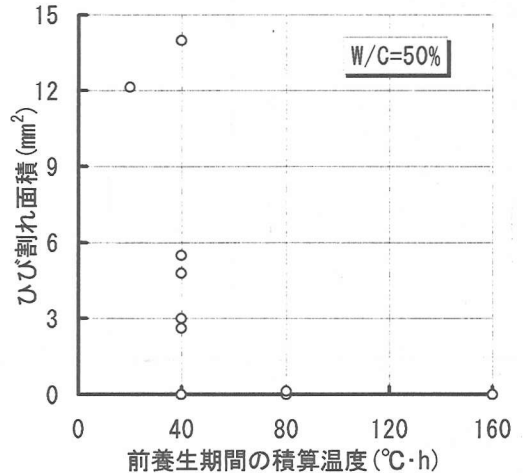


図2 前養生期間の積算温度とひび割れ面積

高くなっていない、高温(40℃)で必要以上に前養生を行っても効果が少ない可能性を示している。

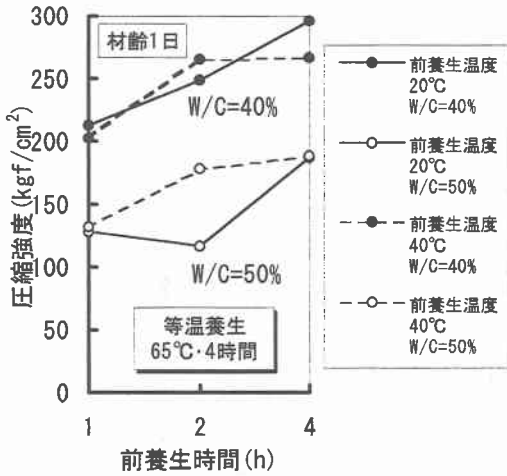


図3 前養生時間と材齢1日の圧縮強度

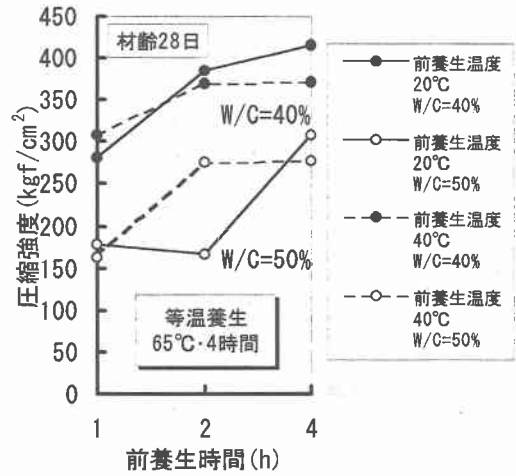


図4 前養生時間と材齢28日の圧縮強度

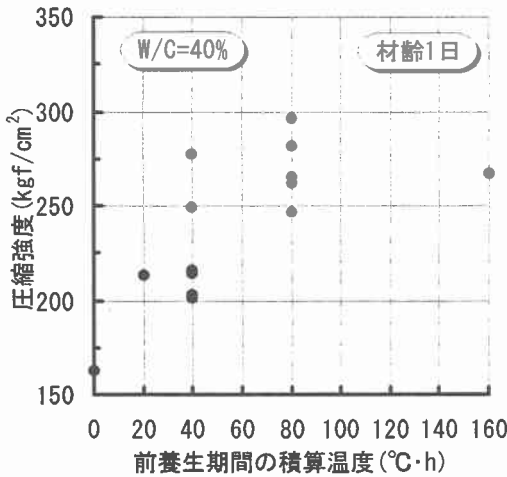


図5 前養生期間の積算温度と材齢1日の圧縮強度 (W/C=40%)

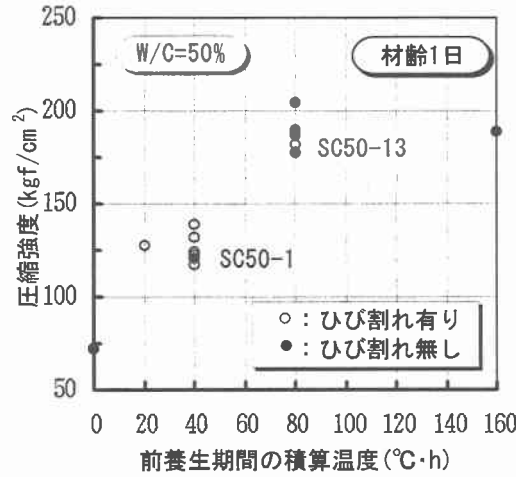


図6 前養生期間の積算温度と材齢1日の圧縮強度 (W/C=50%)

図5、図6にW/C=40%及びW/C=50%のコンクリートの前養生期間の積算温度と材齢1日の圧縮強度の関係を示す。

図5から、W/C=40%の場合、積算温度が高くなるにつれ、圧縮強度は大きくなる傾向にある。試験データが少なく断定はできないが、前養生期間の積算温度が160°C・hの場合は強度発現は停滞しているように見受けられる。

図6のW/C=50%の場合も、W/C=40%の場合とほぼ同じ傾向を示しているが、内部にひび割れの発生したコンクリートの圧縮強度は低い値を示している。例外としてSC50-1は、ひび割れが発生していないにも関わらず圧縮強度が低い、これは最高温度が45℃と低いためであろう。また、SC50-13はひび割れが発生しているが、発生量ごく僅かであったため、圧縮強度が大きくなったと思われる。

3.4等温養生条件の圧縮強度への影響

図7、図8にW/C=40%、W/C=50%のコンクリートの等温養生期間の積算温度と材齢1日及び28日の圧縮強度の関係をそれぞれ示す。

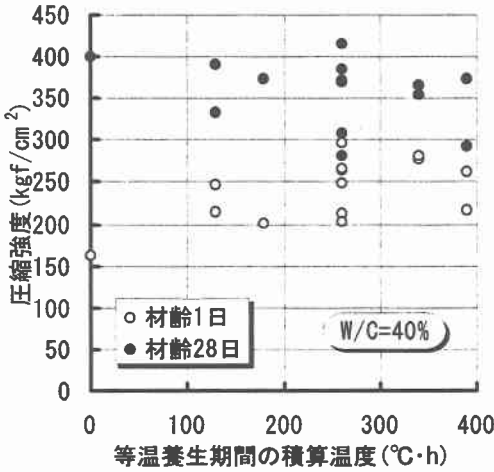


図7 等温養生期間の積算温度と圧縮強度(W/C=40%)

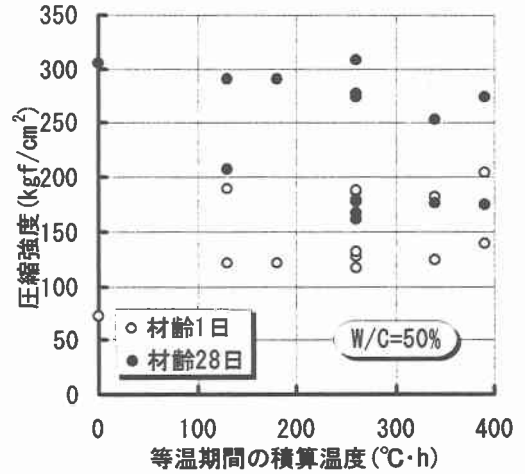


図8 等温養生期間の積算温度と圧縮強度(W/C=50%)

これらの図からW/Cに関わらず、等温養生期間の積算温度と材齢1日及び28日の圧縮強度の間には、相関が見られなかった。

図9、図10に、最高温度(最高温度の保持時間は4時間)と材齢1日、28日の圧縮強度の関係を示す。図9の結果によれば、W/C=40%のコンクリートでは、最高温度が高くなるにつれて材齢1日の圧縮強度が高くなる傾向を示した。W/C=50%のコンクリートでは、材齢1日の圧縮強度に及ぼす最高温度の影響は少ない。図10の結果によれば、W/C=40%のコンクリートでは、最高温度が材齢28日の圧縮強度に及ぼす影響は少ない。W/C=50%のコンクリートでは、最高温度が高くなると圧縮強度がむしろ低くなる傾向が見られた。

以上の等温養生と圧縮強度の関係から、安易に等温養生時間を長くしたり、最高温度を高くしても、高強度につながらない場合が多いことが明らかになった。

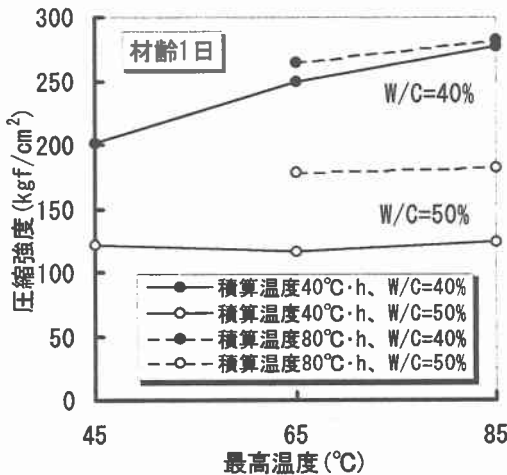


図9 最高温度と圧縮強度(材齢1日)

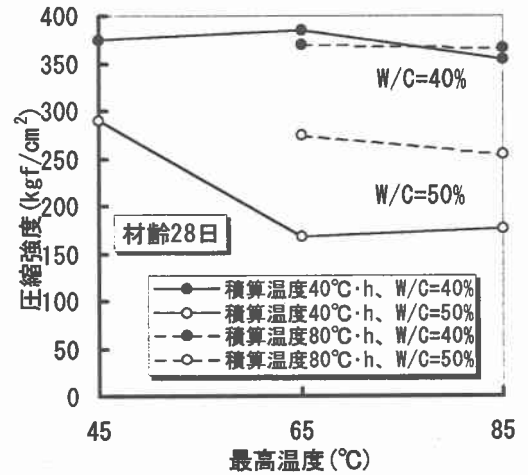


図10 最高温度と圧縮強度(材齢28日)

3.5 蒸気養生条件が耐凍害性に及ぼす影響

図11、図12にW/C=50%のコンクリートの前養生期間及び等温養生期間の積算温度と耐久性指数の関係をそれぞれ示す。

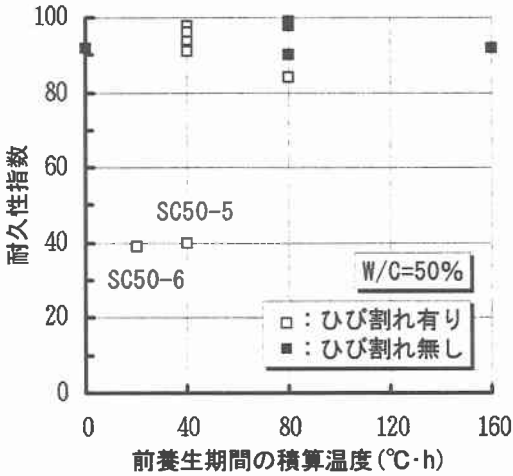


図11 前養生期間の積算温度と耐久性指数

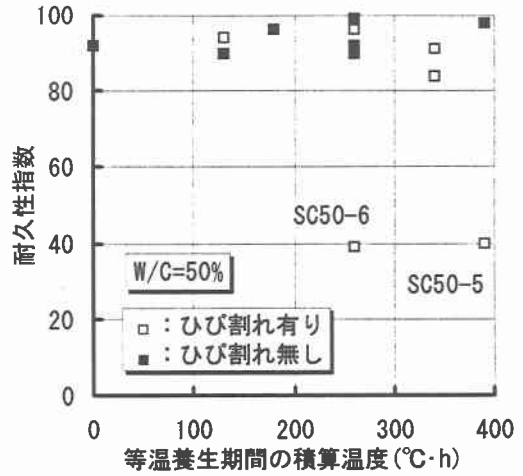


図12 等温養生期間の積算温度と耐久性指数

これらの結果から、前養生期間及び等温養生期間の積算温度と耐久性指数の間には相関は見られず、耐久性指数は一部の条件を除いて極めて高く80以上であった。高い耐凍害性が得られなかったSC50-5、SC50-6には、いずれもひび割れの発生が見られた。しかし、ひび割れが発生していても耐久性指数が大きいものがあることを考えると、この両者の耐凍害性が低かった原因はひび割れ以外の影響があったと考えられる。耐凍害性の低くなった原因は本研究の範囲では不明であるが、蒸気養生条件と関連付けると、SC50-5は他の養生条件が同じSC50-2に比べ、最高温度の保持時間が6時間と長く、SC50-6は前養生の積算温度が20°C・hと小さいことがあげられる。

4. 結論

本実験において以下のことが明らかになった。

- 1) W/C=50%のコンクリートの約半数に蒸気養生後、細かいひび割れが発生した。ひび割れの発生防止ためには、前養生の積算温度を40°C・hより高くし凝結を促進するか、水セメント比を小さくすること有効である。
- 2) 前養生時間が長くなると、材齢1日、28日の圧縮強度が高くなる傾向があり、前養生期間の積算温度と圧縮強度の間には相関が見られた。
- 3) 等温養生期間の積算温度と圧縮強度の間には相関は見られなかった。
- 4) いずれの蒸気養生条件の場合も高い耐凍害性が得られた。

【参考文献】

- 1) 米倉敏一：コンクリート製品工場における高流動コンクリートの導入と展望、セメント・コンクリート、No.585、pp.9-14 (1995.11)
- 2) 鮎田耕一・桜井宏・田辺寛一郎：硬化コンクリート気泡組織の照度差による画像解析、土木学会論文集、第420号/V-13、pp.81-86 (1990)