

論文 凝結遅延剤を添加したコンクリートの諸性質に関する実験的研究

安田敏夫*¹・原田暁*²・坂本健*³・藤田康彦*⁴

要旨：大規模な底版等をその日のうちに打ち継ぐ場合、打ち継ぎ時間が長くなり、コールドジョイントが発生する恐れがある。本研究は、コールドジョイントの発生を凝結遅延剤を用いて防止することを目的とし、凝結遅延剤を添加したコンクリートの一体性と凝結の関係、凝結性状が外気温の変動・風等の外的要因から受ける影響などについて検討したものである。その結果、コンクリートの凝結時間は温度や風などの影響を受けるが、凝結遅延剤の添加量を調整することにより、打ち継ぎ面の一体性をほぼ確保できることが判明した。

キーワード：凝結遅延剤、コールドジョイント、凝結、曲げ強度、アジテート

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の大型化が進んでいる。それにともない部材の面積、厚さとも大きくなる傾向にある。例えば液化天然ガス等の地下貯蔵タンクの底版では、直径 50~80m、厚さ数メートルにおよぶ構造物が建設されている。従来、このような部材にコンクリートをその日のうちに打設する場合コールドジョイントの発生が懸念されるため、あらかじめ部材を鉛直または水平方向に分割し数回に分けて打設してきた。しかし、この工法では、後行ブロックのコンクリートが先行ブロックに拘束されひび割れが生じ易くなる等の耐久性の低下が懸念される。本研究は、耐久性の高いコンクリート構造物を構築するためにコールドジョイントの発生を凝結遅延剤（以下、遅延剤と略す）を用いて防止することにより、コンクリートの一体性を損なわない工法を検討したものである。室内実験において遅延剤を添加したコンクリート（以下、遅延コンクリートと略す）の一体性と凝結の関係および外気温の変動・風等の外的要因の検討を行った。次に、野外実験を実施し、室内実験との比較を行うとともに打ち継ぎ部のせん断力により一体性について検討した。

2. 実験概要

本研究ではコールドジョイントが発生し易い暑中を想定し、コンクリート温度 30℃を基準とした。また、コンクリートの打ち継ぎ時間は、コンクリート製造後 7 時間程度を想定した。

コンクリート温度 30℃で製造後 7 時間まで打ち継ぎ可能とするには、遅延剤を多量に添加する必要がある。遅延剤の種類によっては多量に添加すると、凝結時間の制御が困難になる場合や硬化不良を起こす場合があるので、ここでは、多量に添加しても添加量と凝結時間に一定の関係がある遅延剤を選定し使用した。

*¹ (株) 大林組 土木技術本部 技術第五部、工修（正会員）

*² (株) 大林組 土木技術本部 技術第五部 副部長、工修（正会員）

*³ 藤沢薬品工業（株）筑波コンクリート研究所 主任

*⁴ 藤沢薬品工業（株）筑波コンクリート研究所 主任研究員（正会員）

室内実験では、遅延剤を添加したコンクリートの温度依存性、フレッシュ性状、凝結性状、硬化性状の検討（シリーズⅠ）、曲げ試験によりコンクリートの一体性の検討（シリーズⅡ）、実施工を想定し外的要因（アジテート・外気温・風）がコンクリートの凝結性状におよぼす影響の検討（シリーズⅢ）を実施した。野外実験では、遅延コンクリートの凝結性状を室内実験結果と比較検討し、打ち継ぎ面のせん断力により一体性について検討した（シリーズⅣ）。

3. コンクリートの配合

表-1 に使用材料を示す。セメントは高炉セメントB種を使用した。また、ひび割れ対策として膨張材を使用した。混和材は遅延材とAE減水剤を併用した。表-2 にコンクリートの基準配合を示す（シリーズⅠについては、コンクリート温度、遅延剤の添加量を変化させている。）

表-1 使用材料

セメント	高炉セメントB種（比重 3.05）
細骨材	香川県室木島産海砂 兵庫県西島産砕砂（海砂7：砕砂3，比重 2.57）
粗骨材	兵庫県西島産碎石（比重 2.62）
混和材	水和熱抑制型膨張性混和材（セメント内割：30kg/m ³ ）
混和剤	凝結遅延剤（井川株式会社） AE減水剤（井川株式会社），AE剤

表-2 コンクリートの基準配合

コンクリート温度 (°C)	コンクリートの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	C	S	G
30	AE減水剤	65	45.1	180	277	797	990
	AE減水剤 + 凝結遅延剤		45.5	176	271	812	

注) AE減水剤の添加量:0.2%一定
凝結遅延剤の添加量:0.5%一定

4. 実験方法および実験結果

4-1. シリーズ

(1) 実験方法

遅延コンクリートの温度依存性、フレッシュ性状、凝結性状、硬化性状を検討するため、スランプ試験（JIS A 1101）、空気量（JIS A 1128）、凝結試験（JIS A 6204「附属書 1」）、圧縮強度試験（JIS A 1108）を行った。実験ケースを表-3 に示す。

(2) 実験結果

フレッシュ性状、圧縮強度試験結果を表-4 に示す。今回使用した遅延剤は、減水性能を有しており、水セメント比一定条件で配合修正をすることにより、スランプ、空気量を一定とした。圧縮強度は、添加量の増加にともない若干大きくなる傾向であり、遅延剤の分散性の影響と推測する。

温度別の凝結試験結果（始発開始まで）を図-1 に示す。コンクリート温度により凝結の始発時間は異なるが、各凝結曲線を見ると貫入抵抗値 0.1~0.2N/mm² からの立ち上がり方は、ほぼ

表-3 シリーズⅠ・実験ケース

コンクリート温度 (°C)	遅延剤の添加量 (C×%)						
	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
25	○	○	○	○	—	—	—
30	○	○	○	○	○	—	—
35	○	—	—	○	○	○	○

【注】圧縮強度試験用供試体の養生方法
コンクリート温度25、35℃・・・20℃水中
コンクリート温度30℃・・・30℃水中

一定であった。このことにより、今回使用した遅延剤は、温度依存性はあるものの、添加量により、凝結の開始時間をコントロールすることが可能であるが判った。

表-4 シリーズ1・実験結果

コンクリート 温 度 (℃)	遅延剤 量 (C×%)	スランフ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)		
				7日	28日	91日
25	0	11.2	4.4	17.8	30.4	36.8
	0.2	11.0	4.4	19.0	32.5	37.4
	0.3	11.7	4.7	19.7	32.2	37.1
	0.4	13.5	4.2	19.1	30.8	38.2
30	0	12.0	4.2	21.8	33.7	38.9
	0.2	11.9	4.6	22.9	34.2	40.3
	0.3	12.1	4.0	23.3	34.5	41.5
	0.4	11.8	4.0	23.6	36.9	42.8
	0.5	11.7	4.0	23.9	37.0	43.4
35	0	13.5	4.6	17.4	29.5	37.1
	0.4	12.1	4.4	17.5	30.7	39.0
	0.5	11.8	4.5	16.9	30.7	40.0
	0.6	11.8	4.5	16.9	33.2	41.2
	0.7	11.6	3.9	16.5	34.0	43.0

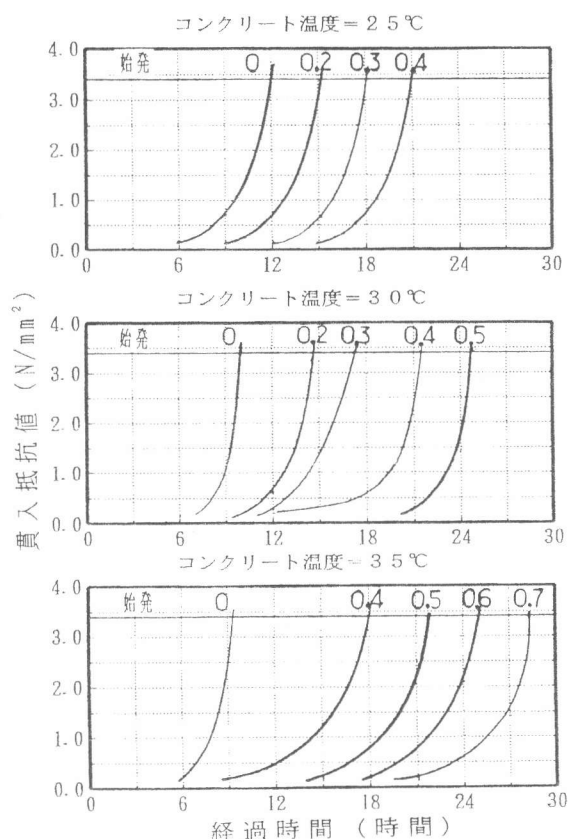


図-1 凝結試験結果

4-2. シリーズII

(1) 実験方法

図-2 に示す型枠を用いて下層コンクリート打設から 7~24 時間後に上層コンクリートを打設し、材齢 91 日で曲げ試験 (JISA 1106) を行った。なお、コンクリートのブリージング率は 7% 以下で、下層コンクリートのブリージング処理は行っていない。

(2) 実験結果

打ち継ぎ時間と材齢 91 日の曲げ強度比 (一体物の曲げ強度を 100) との関係、および打ち継ぎ時の下層コンクリートの貫入抵抗値を図-3 に示す。

コンクリートの曲げ強度は、上層コンクリートの打ち継ぎ時間が 12 時間後まではほぼ同程度 (強度比 98%) であった。

また、このときの下層コンクリートの貫入抵抗値は 0.14N/mm^2 であった。このことより、打ち継ぎ面の曲げ強度が一体物と同程度確保するには、遅延コンクリートの貫入抵抗値を 0.14N/mm^2 以下とすることが必要と考えた。凝結曲線が貫入抵抗値 $0.1\sim 0.2\text{N/mm}^2$ で立ち上がることも考慮し、この研究では、貫入抵抗値 0.14N/mm^2 を打ち継ぎの目安とした。

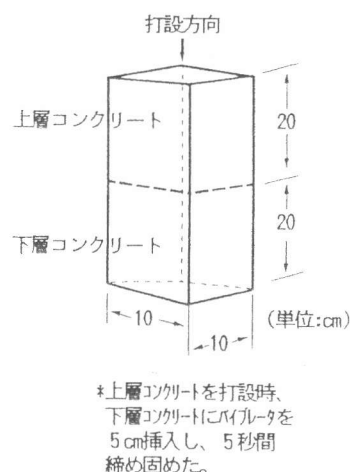


図-2 曲げ供試体

4-3. シリーズIII

(1) 実験方法

実施工を想定し、アジテートによる運搬、アジテートから搬出後の風、温度変化がコンクリートの凝結遅延性状に及ぼす影響について検討した。

アジテータを模擬し、スパイラルミキサを用いて練上りから 30 分および 60 分間低速撹拌 (1rpm) し、そのコンクリートから凝結試験用試料を採取し、その試料に風 (1~2m/sec) および温度変化 (30~35℃) を与えて表面が乾燥しやすい条件を設定して凝結性状を検討した。

さらに、同時に採取したモルタル試料を所定時間で吸引ろ過し、全有機炭素計を用い液相中の遅延剤のセメントへの吸着性状を検討した。また、原子吸光光度計によりセメントから溶出した液相中のカルシウムを測定した。

(2) 実験結果

a) アジテートおよび風の影響

実験結果を図-4 に示す。生コンプラント出荷から打設に要する時間 (以下、アジテートの時間と称す) を 30 分および 60 分と仮定した場合、遅延コンクリートの始発時間は、アジテートを行わない遅延コンクリートの始発時間に比べ約 5 時間早くになっている。遅延剤を添加しない通常のコンクリートでも約 1 時間早くになっている。

風の影響については、通常の天候を想定して風速 1~2m/sec の風を凝結が終結に達するまで 5 秒おきに 5 秒間づつ凝結試験用試料の表面に当て検討した。

遅延コンクリートの始発時間は、アジテート条件の始発時間よりさらに約 2 時間早くになっている。原因としては、表層部の水セメント比が水分の蒸発により低下したためと考える。

b) 外気の温度変化による影響

暑中にコンクリート打設した場合、コンクリートの温度は日射の影響により上昇することが考えられる。よって、ここでは、図-5 に示す環境温度のもとで凝結遅延性状を検討した。

実験結果を図-6 に示す。遅延コンクリートの始発時間は、図-4 に示す同一条件に比べさらに約 3 時間早く、シリーズ I での始発時間 (アジテート、風共に無) と比較すると約 10 時間早

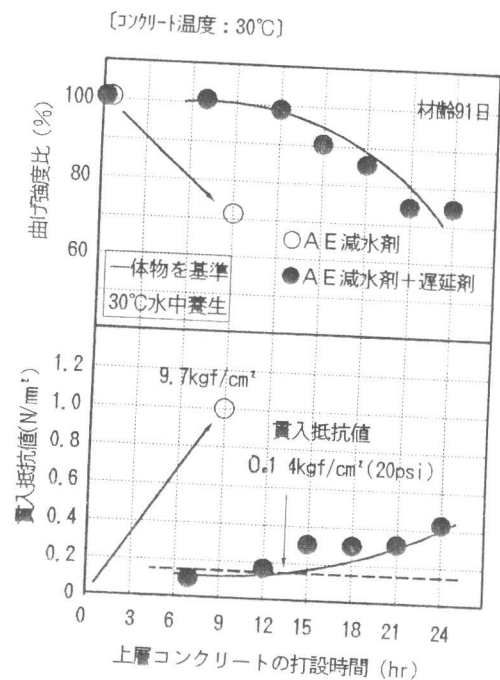


図-3 曲げ強度試験結果

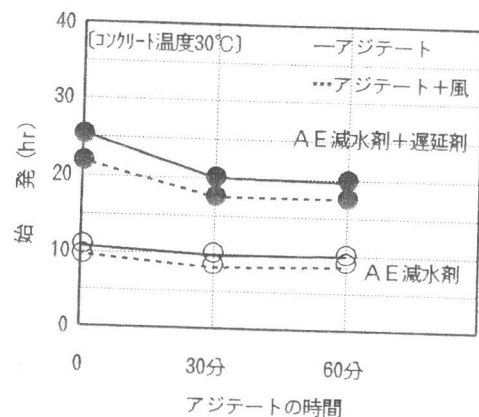


図-4 アジテートと風の影響

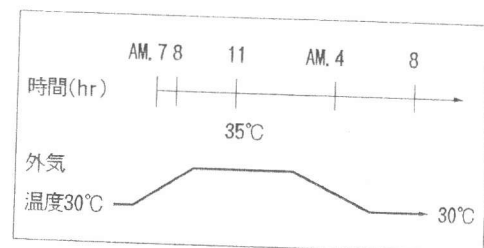


図-5 環境温度の変化

くなっている。

c) 遅延コンクリートの液相分布

遅延コンクリートの凝結遅延性状は、各種外的要因により低下することから遅延コンクリートの液相中のカルシウム量および遅延剤のセメントへの吸着性状を測定した。測定結果を図-7に示す。図-7の上段に示す液相中の溶存Ca量は、時間の経過に伴い減少しており、特にアジテートと風の影響を与えた場合、保存Ca量が最も減少する結果となった。この結果と図-5に示す凝結時間と比較した場合、溶存Ca量減少速度が速いものほど始発時間が早くなり、逆に溶存Ca量の減少速度が遅いものほど遅延している。これは、遅延剤を添加した場合、遅延性の大きいものほど液相中の溶存Ca量が高濃度を維持する時間が長いため[1]と思われる。図-7の下段に示す混和剤の吸着量には、条件による大きな変化は見られなかった。

4-4 シリーズⅣ

(1) 実験方法

シリーズⅢの結果より遅延コンクリートの凝結性状は、アジテート、雰囲気温度等の外的要因により変動することが明らかになった。そこで、シリーズⅣでは、野外でのコンクリートの凝結性状を室内実験と比較すると共に、図-8に示す試験用型枠の下層部にコンクリートを打設し、所定時間に上層部にコンクリートを打ち継ぎ、硬化後コア(φ200mm×200mm)を採取し、図-9に示す試験方法により打ち継ぎ面のせん断強度試験を実施し、打ち継ぎ面の一体性を評価した。せん断強度は永山氏らの評価式[2]を参考に $I = I_0 + \sigma \tan 45^\circ$ によって求めた。

(2) 実験結果

実験ケースと実験結果を表-5に示す。この遅延コンクリート(添加量 $C \times 0.5\%$)の場合、貫入抵抗値約 $0.1N/mm^2$ (打ち継ぎ時間コンクリート製造後7時間)では、遅延剤を添加しない通常のコンクリートの一体物のせん断強度と同程度となった。この時の貫入抵抗値は、シリーズⅡで目安とした数値($0.14N/mm^2$)とほぼ一致する。また、貫入抵抗値 $1N/mm^2$ (打ち継ぎ時間10時間)でのせん断強度は、通常のコンクリート一体物のせん断強度の約7割程

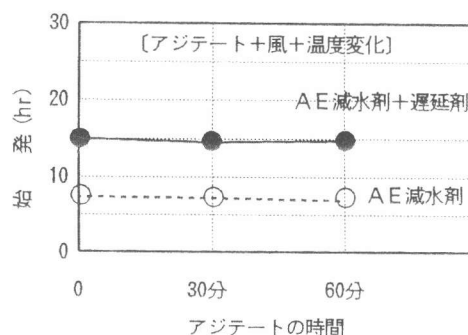


図-6 凝結時間に及ぼす温度変化の影響

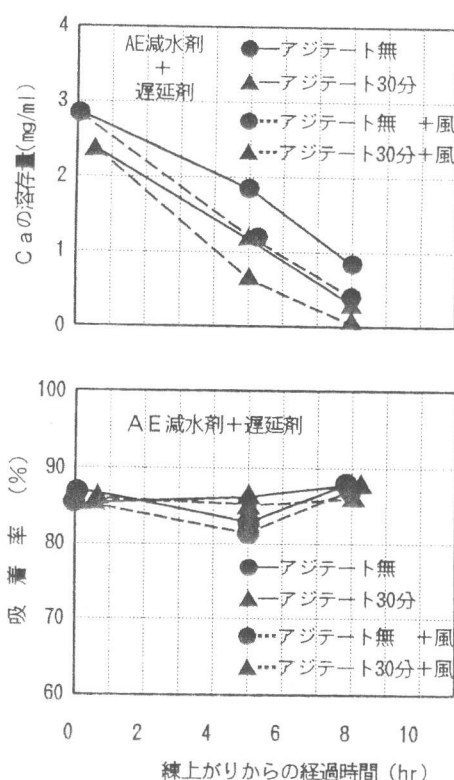


図-7 遅延コンクリートの液相分析

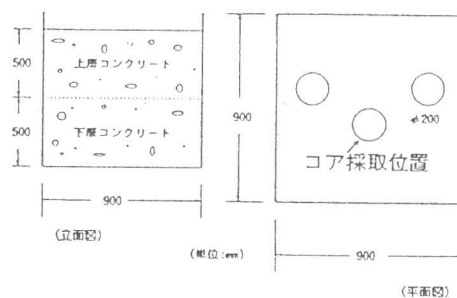


図-8 シリーズⅣ・試験体

度となった。

打ち継ぎ面に対する要求性能は構造物の重要性、部材の特性等により異なるので、一概にいけないが、重要構造物で一体物と同程度せん断強度が必要な場合の打ち継ぎの目安は、室内実験と同様に遅延コンクリートでは、 0.14N/mm^2 以下とすることが望ましい。

次に、野外での議決試験結果を室内実験結果と比較し図-10に示す。シリーズⅢの結果より野外での凝結は外的要因等により室内実験結果と異なることが明かになったが、図-10の結果は、その傾向を顕著に示している。しかし、シリーズⅢの結果より凝結は早かった。これは野外での凝結はシリーズⅢで検討した外的要因の他の要因にも影響を受けていると言える。

5. まとめ

本研究では、面積、厚さとも大きな部材の打設方法として、コンクリートに凝結遅延剤を添加することによりコールドジョイントを防止する工法を対象として、凝結遅延剤を添加したコンクリートの物性について検討してきた。本研究で明かになったことを列挙する。

- ・凝結遅延剤には、温度依存性があるが添加量により凝結性状をコントロールすることができる。
- ・凝結時間は、アジテート、風、環境温度等の外的要因により変動する。
- ・貫入抵抗値 0.14N/mm^2 以下であれば曲げ強度、せん断強度が遅延剤を添加しないコンクリートの一体物と同程度となる。笠井 [3] の提唱値（一般のコンクリート）よりやや厳しい値、佐久田 [4] の提唱値と同じ値となった。

次に、本研究の過程での新たな課題としては、次のような事柄がある。

- ・野外出の凝結遅延性状の定量的な算出方法。
- ・コンクリート温度 $5\sim 20^\circ\text{C}$ での凝結性状の検討。

参考文献

- [1] 笠井順一：セメントの錯塩化学、セメント技術年報、38、pp. 10-14、1984
- [2] 永山功也：せん断用治具を用いたコンクリートのせん断試験、土木技術資料 32-6、pp. 58-63、1990
- [3] 笠井芳夫：コンクリートの初期性状、コンクリート工学、vol 19 No. 2、1979
- [4] 佐久田他：超遅延剤を用いたコンクリートの打設工法、日本建築学会学術講演梗概集（東北）、1982

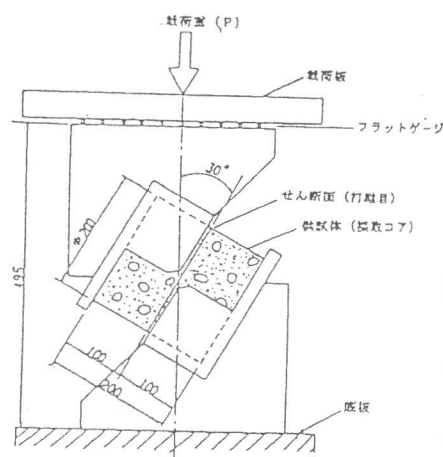


図-9 せん断試験概要

表5 シリーズⅣ - 実験ケース
および実験結果

No.	遅延剤 添加量 (C×%)	打継ぎ 時間 (h)	打継ぎ時 の貫入 抵抗値 (N/mm^2)	せん断 強度 (N/mm^2)	備考
1	0	2	0.02	2.97	一体物の せん断強度 = 4.36N/mm^2
2	0	5	0.96	2.67	
3	0.5	7	0.10	4.39	一体物の せん断強度 = 5.25N/mm^2
4	0.5	10	0.89	3.04	

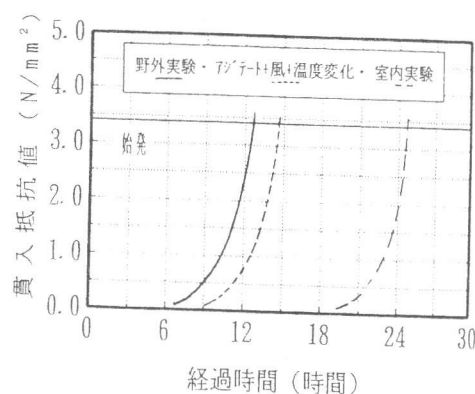


図-10 凝結試験結果（比較）