

報告 超遅延剤を用いた高流動コンクリートに関する基礎的研究

唐沢 智之^{*1}・土井 至朗^{*1}・川又 篤^{*2}・松岡 茂^{*3}

要旨:フレッシュ性状を長時間保持させ、さらに所要の時間フレッシュ性状を保持した後は、一般的なコンクリートと同程度の凝結性能を得ることが可能となれば、昼夜施工を含む長時間施工等において適用範囲が拡大するものと考えられる。本研究は、48時間を目標にフレッシュ性状を保持し、その後速やかに凝結する高流動コンクリートを開発することを目的とした。実験では、超遅延剤と凝結促進剤を併用した高流動コンクリートについて、フレッシュ性状の経時変化と凝結性状、および圧縮強度について検討した。

キーワード: 高流動コンクリート, 超遅延, 凝結, 経時変化, 圧縮強度

1. はじめに

近年、長距離圧送や鋼管圧入などフレッシュ性状を長時間保持しなければならない施工方法が増加している。これらの施工方法では、トラブル等が発生するとコンクリートの打ち込みが長時間中断される場合があり、フレッシュ性状の保持時間が大きな問題となる。さらに、昼夜施工あるいは長時間搬送が伴う場合は、より長時間フレッシュ性状を保持する必要がある。

コンクリートのフレッシュ性状の長時間保持については、スランブ18cm程度の普通コンクリートを対象に数日間フレッシュ性状を保持することを研究した例¹⁾があるが、高流動コンクリートについて検討した例は少ない。

コンクリートの凝結を現場で任意の時間にコントロールできれば、施工時間を自由に設定できる可能性があり、また打ち込みが中断した場合にも対応でき、昼夜施工を含む長時間施工等において適用範囲が拡大するものと考えられる。そこで、超遅延剤と凝結促進剤を併用した高流動コンクリートについて、フレッシュ性状の経時変化と凝結性状、および圧縮強度を確認し、凝結時間の制御が可能かどうかを実験的に検証した。

2. 実験概要

2.1 凝結時間制御方法

凝結時間の制御フローを図-1に示す。凝結時間の制御方法は、フレッシュ性状の保持時間の目標値を24時間から48時間の間に設定し、初期練り混ぜ時に超遅延剤を添加し制御した。所要の時間フレッシュ性状を保持した後、さらに、打ち込みに要すると考えられる2時間までフレッシュ性状を保持し、その後速やかに凝結を開始するように、シリーズIでは高性能AE減水剤を、シリーズIIでは凝結促進剤と高性能AE減水

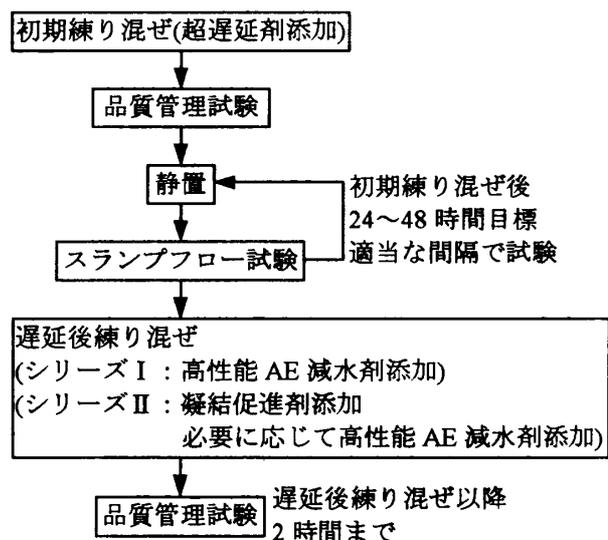


図-1 凝結時間制御フロー

*1 鉄建建設(株) 技術センター 材料・構造グループ 主任研究員 (正会員)

*2 鉄建建設(株) 技術センター 材料・構造グループ 工博 (正会員)

*3 鉄建建設(株) 技術センター 副所長 工博 (正会員)

剤を添加し、凝結時間を制御した。

2.2 コンクリートの必要性能

遅延後練り混ぜ時の超遅延高流動コンクリートの必要性能と試験方法を表-1に示す。必要性能は、土木学会の「高流動コンクリート施工指針²⁾」における併用系高流動コンクリートの値を参考に定めた。自己充てん性については、ランク2に設定し、土木学会基準 JSCE-F 511「高流動コンクリートの充てん装置を用いた間隙通過試験方法(案)」に定めるU形充てん装置(障害 R2)を用い、充てん高さの目標値を300mm以上に設定した。スランプフローについては、フレッシュ性状の保持時間が48時間と長大なため、目標値を65±10cmに設定した。50cmフロー到達時間については、3~15秒に設定した。初期練り混ぜ時のコンクリートの必要性能は、遅延後練り混ぜ時のコンクリートの必要性能を目安に、遅延後練り混ぜ時に回復可能な範囲とした。なお、静置後の試験では、試験前にコンクリート用ショベルで均一となるまでコンクリートを練り直した。

2.3 使用材料

超遅延高流動コンクリートの使用材料を表-2に示す。高性能 AE 減水剤と超遅延剤については、既往の研究¹⁾において、初期のスランプを長時間保持させ、スランプが低下し始めた後、速やかに硬化させるのに最適であると報告されているポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤、オキシカルボン酸類の超遅延剤を用いた。凝結促進剤については、無機系窒素化合物、増粘剤については、セルロース系のものを用いた。セメントについては、流動性に優れた高炉セメント B 種を用いた。

2.4 コンクリート配合

超遅延高流動コンクリートの配合を

表-1 必要性能と試験方法

必要性能		試験方法	目標値
流動性	スランプフロー	JIS A 1150	65±10cm
材料分離抵抗性	50cm フロー到達時間	JIS A 1150	3~15 秒
自己充てん性	U 形充てん高さ	土木学会基準(案) JSCE-F 511	300mm 以上 (障害 R2)
空気量		JIS A 1128	2.5±1.5%
凝結時間		JIS A 1147	
圧縮強度		JIS A 1108	

表-2 使用材料

材料	記号	物性その他
セメント	C	高炉セメント B 種 密度 3.05 g/cm ³
細骨材	S1	木更津産陸砂 表乾密度 2.60g/cm ³ 吸水率 2.24% 粗粒率 2.47
	S2	岩船産砕砂 表乾密度 2.60g/cm ³ 吸水率 1.75% 粗粒率 3.23
粗骨材	G	笠間産碎石 表乾密度 2.67 g/cm ³ 吸水率 0.47% 実積率 61.5%
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物
増粘剤	VA	セルロース系
超遅延剤 I	Ad1	変性リグニンとオキシカルボン酸化合物の複合体
超遅延剤 II	Ad2	アルキルアミノリン酸とオキシカルボン酸の複合体
凝結促進剤	Ad3	無機系窒素化合物

表-3 コンクリートの基本配合

配合記号	フレッシュ性状 保持時間目標値	W/C s/a		単位量(kg/m ³)						
		(%)	(%)	W	C	S1	S2	G	VA	
Plain		36.8	53.0	175	475	444	444	808	0.20	
I -24H-1	24 時間	35.8	53.0	170	475	447	447	814	0.20	
I -24H-2										
II -24H	24 時間	34.7	53.0	165	475	450	450	821	0.20	
II -48H-1	48 時間	34.7	53.0	165	475	450	450	821	0.20	
II -48H-2										
II -48H-3										

表-4 混和剤の添加量

配合記号	フレッシュ性状 保持時間目標値	添加時期	添加率(C×%)			
			SP	Ad1	Ad2	Ad3
Plain		初期練り混ぜ時	1.80			
I -24H-1	24 時間	初期練り混ぜ時	1.40	0.30		
		遅延後練り混ぜ時	0.40			
I -24H-2	24 時間	初期練り混ぜ時	1.40	0.20		
		遅延後練り混ぜ時	0.40			
II -24H	24 時間	初期練り混ぜ時	1.90		0.30	
		遅延後練り混ぜ時	0.20			1.50
II -48H-1	48 時間	初期練り混ぜ時	2.15		0.60	
		遅延後練り混ぜ時				2.00
II -48H-2	48 時間	初期練り混ぜ時	2.20		0.60	
		遅延後練り混ぜ時	0.05			3.00
II -48H-3	48 時間	初期練り混ぜ時	2.20		0.60	
		遅延後練り混ぜ時				4.00

表-3に、混和剤の添加量を表-4に示す。単位水量については、凝結遅延させない配合の場合 175kg/m^3 とし、凝結遅延させる配合の場合、シリーズ I では 170kg/m^3 、シリーズ II では 165kg/m^3 とした。これは、凝結遅延させる配合については、所要の時間フレッシュ性状を保持させた後、凝結促進剤および高性能 AE 減水剤を添加することにより、添加後の実質の単位水量が増加するため、添加前の単位水量をシリーズ I では 5kg/m^3 、シリーズ II では 10kg/m^3 減じた。単位セメント量は全ての配合で共通とした。材料分離抵抗性の確保と同時に、超遅延によるブリーディングを防止する目的で増粘剤を 0.20kg/m^3 添加した。

スランプフローについては、高性能 AE 減水剤の添加量、凝結遅延時間については、超遅延剤と凝結促進剤の添加量を調整することにより制御した。高性能 AE 減水剤は、初期練り混ぜ時の他、遅延後にスランプフローが低下したものについては、遅延後練り混ぜ時の必要性能を満足するように、遅延後練り混ぜ時にも後添加し、スランプフローを調整した。

3. 実験結果と考察

3.1 シリーズ I

(1) 初期練り混ぜ以降のフレッシュ性状

シリーズ I の初期練り混ぜ以降(超遅延剤添加後)のスランプフローの経時変化を図-2 に示す。

スランプフローについては、練り混ぜ 2 時間後まで増加する傾向が見られたが、I-24H-1 では 24 時間後に、I-24H-2 では 21 時間後に目標下限値の 55cm を下回った。

(2) 遅延後練り混ぜ以降のフレッシュ性状

シリーズ I の遅延後練り混ぜ以降(高性能 AE 減水剤添加後)のスランプフローの経時変化を図-3 に、U 形充てん高さの経時変化を図-4 に示す。

スランプフローについては、練り混ぜ 2 時間後まで、目標値を満足していた。U 形充てん高さについては、I-24H-2 では練り混ぜ 2 時間後

まで目標値を満足していたが、I-24H-1 では練り混ぜ 1 時間後までしか目標値を満足せず、練り混ぜ 2 時間後では目標下限値の 300mm を下回った。

以上より、超遅延剤 I によるフレッシュ性状の保持時間は 24 時間以下であり、高性能 AE 減水剤添加後の経時変化も大きい。

3.2 シリーズ II

(1) 初期練り混ぜ以降のフレッシュ性状

シリーズ II の初期練り混ぜ以降(超遅延剤添加後)のスランプフローの経時変化を図-5 に、

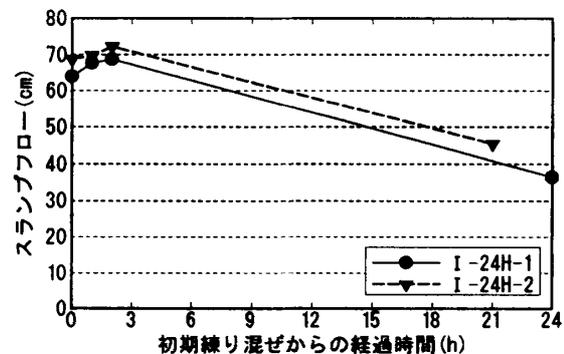


図-2 スランプフローの経時変化
(シリーズ I 初期練り混ぜ以降)

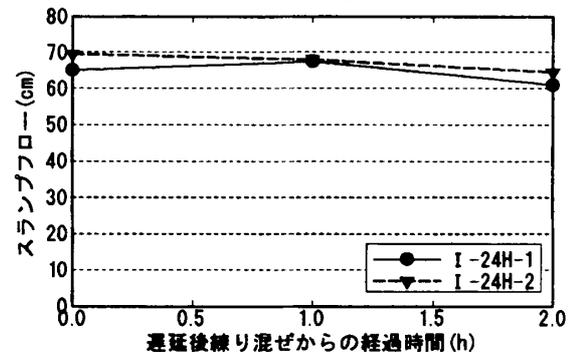


図-3 スランプフローの経時変化
(シリーズ I 遅延後練り混ぜ以降)

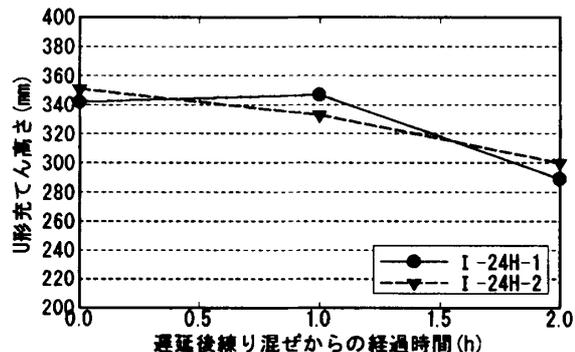


図-4 U 形充てん高さの経時変化
(シリーズ I 遅延後練り混ぜ以降)

50cm 到達時間の経時変化を図-6 に示す。

スランプフローについては、全ての配合において、練り混ぜ 6 時間後程度まで増加する傾向が見られた。その後、フレッシュ性状の保持時間の目標を 24 時間に設定した配合(II-24H)については、練り混ぜ 18 時間後までスランプフローを保持していたが、24 時間後では目標下限値の 55cm を下回った。一方、フレッシュ性状の保持時間の目標を 48 時間に設定した配合(II-48H-1, 2, 3)については、全ての配合で練り混ぜ 48 時間後までスランプフローを保持していた。

50cm フロー到達時間については、スランプフローが低下した II-24H の練り混ぜ 24 時間後では目標上限値以上の 38 秒となったが、18 時間後までは目標値を満足していた。一方、II-48H-1, 2, 3 の場合、48 時間後まで 10 秒程度と目標値を満足しており、良好な材料分離抵抗性が得られた。

以上より、超遅延剤の添加量を調整することで、練り混ぜ 48 時間後までフレッシュ性状を保持することが可能である。また、フレッシュ性状の保持時間の目標を 24 時間に設定した配合については、18 時間後までしかフレッシュ性状を保持出来なかったが、超遅延剤の添加量を若干増加させることで、練り混ぜ 24 時間後までフレッシュ性状を保持することが可能と考えられる。

(2) 遅延後練り混ぜ以降のフレッシュ性状

シリーズIIの遅延後練り混ぜ以降(凝結促進剤添加後)のスランプフローの経時変化を図-7 に、50cm フロー到達時間の経時変化を図-8 に、空気量の経時変化を図-9 に、U 形充てん高さの経時変化を図-10 に示す。

凝結遅延させない配合(Plain)のスランプフローは、1.5 時間まで十分な流動性を保持していたが、2 時間後には目標下限値の 55cm を若干下回る結果となった。フレッシュ性状の保持時間の目標を 24 時間に設定した配合(II-24H)のスランプフローは、遅延後練り混ぜ以降徐々に低下し、1 時間後には目標下限値の 55cm を下回った。II-24H については、遅延後のスランプフローが

50cm であったため、遅延後練り混ぜ時に高性能 AE 減水剤を再添加している。遅延後の時点で、

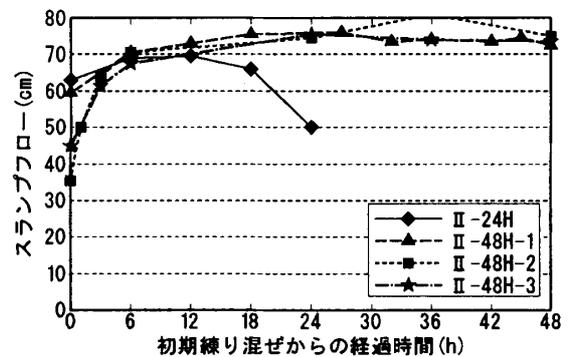


図-5 スランプフローの経時変化 (シリーズII初期練り混ぜ以降)

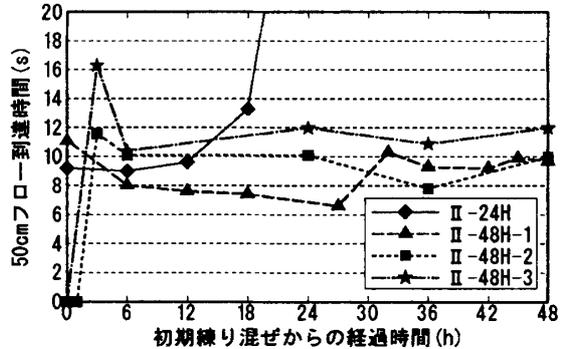


図-6 50cm フロー到達時間の経時変化 (シリーズII初期練り混ぜ以降)

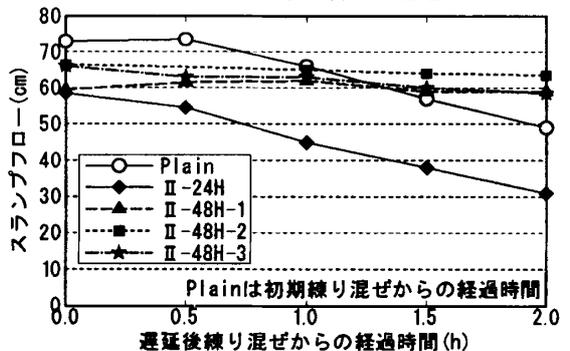


図-7 スランプフローの経時変化 (シリーズII遅延後練り混ぜ以降)

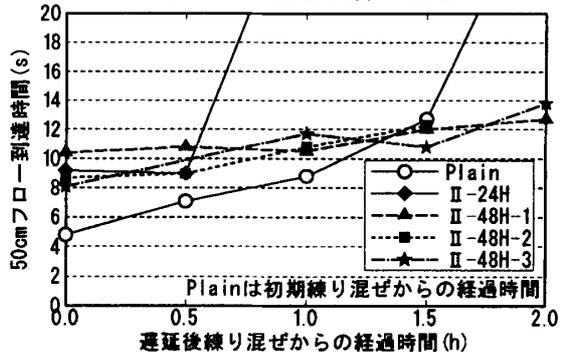


図-8 50cm フロー到達時間の経時変化 (シリーズII遅延後練り混ぜ以降)

徐々にではあるがセメントの水和反応が開始していると推察され、その状態で高性能 AE 減水剤を再添加した場合、一時的にスランプフローは回復するが、その後の経時変化は大きい。従って、超遅延剤の添加量は、フレッシュ性状の保持時間内でのスランプフローの低下が小さくなるように調整する必要がある。一方、フレッシュ性状の保持時間の目標を 48 時間に設定した配合(II-48H-1, 2, 3)のスランプフローは、全ての配合で遅延後練り混ぜ 2 時間後まで、十分な流動性を保持していた。

50cm フロー到達時間については、Plain の場合、初期練り混ぜ以降徐々に長くなったが、II-48H-1, 2, 3 の場合、遅延後練り混ぜ 48 時間後まで 10 秒程度と目標値を満足しており、良好な材料分離抵抗性が得られた。なお、スランプフローが低下した II-24H については、1 時間後以降、目標上限値以上の 30 秒となった。

空気量については、ばらつきがあるものの全ての配合で、遅延後練り混ぜ 2 時間後までほぼ目標値を満足していた。

U 形充てん高さについては、Plain の 2 時間後、II-24H の 1 時間後以降、目標下限値の 300mm を下回ったが、その他については、目標値を満足しており、良好な自己充てん性が得られた。スランプフローが目標値を満足したものについては、全ての配合で良好な自己充てん性が得られた。

以上より、超遅延剤および凝結促進剤を用いた超遅延高流動コンクリートは、打ち込みに要すると考えられる遅延後練り混ぜ 2 時間後まで良好なフレッシュ性状、自己充てん性を保持することが可能である。

(3) 遅延後練り混ぜ以降の凝結性状

シリーズ II の遅延後練り混ぜ以降(凝結促進剤添加後)の凝結時間の比較を図-11 に、凝結促進剤の添加量と凝結時間の比較を図-12 に示す。

フレッシュ性状の保持時間の目標を 24 時間に設定した配合(II-24H)の始発、終結時間は、凝結遅延させない配合(Plain)とほぼ同等の結果が得

られた。しかし、II-24H については、遅延後練り混ぜ以降のフレッシュ性状の保持が悪く、実

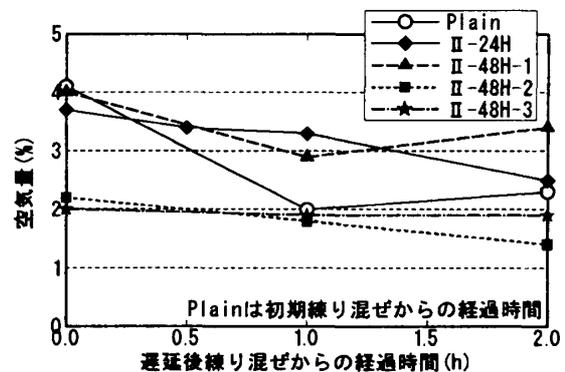


図-9 空気量の経時変化 (シリーズ II 遅延後練り混ぜ以降)

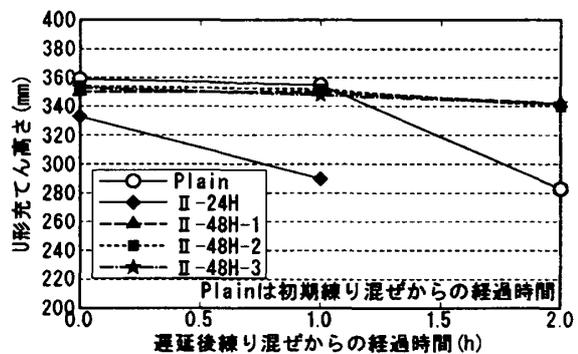


図-10 U 形充てん高さの経時変化 (シリーズ II 遅延後練り混ぜ以降)

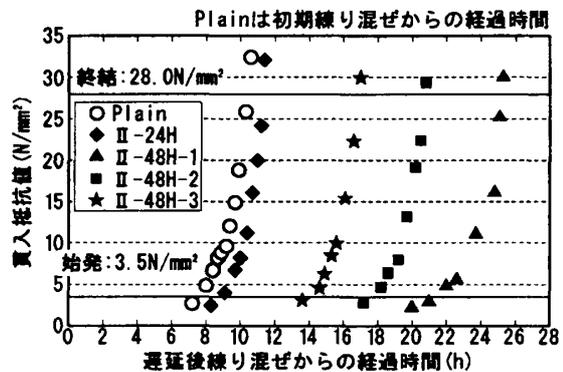


図-11 遅延後練り混ぜ以降の凝結性状

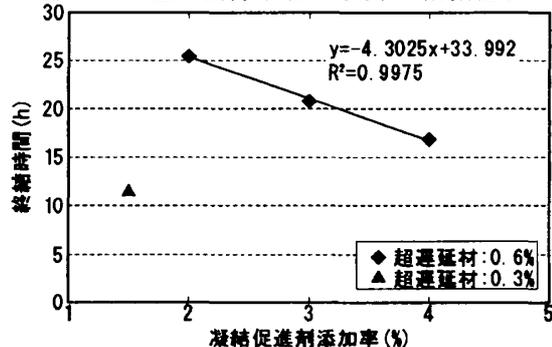


図-12 凝結促進剤の添加量と凝結時間の比較

際には超遅延剤の添加量が本実験ケースよりも多くなるため、凝結時間は遅延する傾向になると推察される。一方、フレッシュ性状の保持時間の目標を48時間に設定した配合(II-48H-1, 2, 3)の始発、終結時間は、Plainよりも長いものの、凝結促進剤の添加量が多くなるほど凝結時間が短くなる傾向が見られ、凝結促進剤の添加量が最も多い配合(II-48H-3)については終結時間が17時間程度になった。また、凝結促進剤の添加量と凝結時間の比較を見ると、凝結促進剤の添加量と終結時間はほぼ比例の関係が認められることから、目標とする終結時間に適した凝結促進剤の添加量を概ね推定できると考えられる。

(4) 圧縮強度性状

超遅延高流動コンクリートの材齢7日、28日、56日の圧縮強度の比較を図-13に示す。なお、凝結遅延させない配合(Plain)については初期練り混ぜ時を基準とし、凝結遅延させた配合については遅延後練り混ぜ時を基準とした。

材齢7日の圧縮強度は、全ての配合でさほど大きな差は見られないが、材齢28日、56日の圧縮強度については、凝結遅延させた配合の方が4~13N/mm²程度高くなった。凝結遅延させた配合は、初期練り混ぜ時の単位水量を凝結遅延させない配合よりも10kg/m³減じているが、所要の時間フレッシュ性状を保持させた後、凝結促進剤および高性能 AE 減水剤を添加したことにより、添加後の実質の単位水量は、凝結遅延させない配合よりも増加している。しかし、凝結遅延させた全ての配合の材齢7日、28日、56日の圧縮強度は、凝結遅延させない配合を上回った。これは、超遅延剤の添加によりセメントの凝集が抑制され、結果としてセメントの分散性が高くなったためと考えられ、超遅延剤においても高性能 AE 減水剤の場合と同様の効果があるものと推察される。

以上より、超遅延剤および凝結促進剤により凝結時間の制御を行っても、強度発現性状に影響を及ぼさないと判断される。

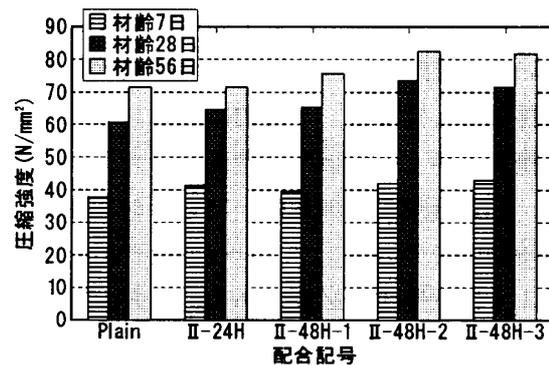


図-13 圧縮強度試験結果

4. まとめ

以上、本実験結果より、以下の知見を得た。

- (1) 本実験で使用した超遅延剤Ⅰによるフレッシュ性状の保持時間は、24時間以下であり、回復後のフレッシュ性状の経時変化も大きい。
- (2) 本実験で使用した超遅延剤Ⅱの添加量を調整することで、練り混ぜ後48時間まで、任意の時間でフレッシュ性状を保持することが可能である。
- (3) 超遅延剤および凝結促進剤を用いた超遅延高流動コンクリートは、打ち込みに要すると考えられる凝結促進剤添加2時間後まで良好なフレッシュ性状、自己充てん性を保持することが可能である。
- (4) 超遅延剤の添加量は、フレッシュ性状の保持時間内でのフレッシュ性状の低下が小さくなるように調整する必要がある。
- (5) 凝結促進剤の添加量を調整することで、凝結促進剤添加後の凝結時間の制御が可能であり、施工上問題のない程度の凝結時間が得られる。
- (6) 超遅延剤および凝結促進剤により凝結時間の制御を行っても、強度発現性状に影響を及ぼさない。

参考文献

- 1) 竹内徹, 長瀧重義, 大即信明, 番匠谷英司: コンクリートのスランプの長時間保持に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.571/V-36, pp.15~25, 1997.8
- 2) 土木学会, 「高流動コンクリート施工指針」, pp.101~102, 1998.7