

論文 遅延剤を用いたコンクリートの実施工条件下における凝結特性

太田 達見^{*1}・内川 陽平^{*2}・高田 良章^{*3}・友澤 史紀^{*4}

要旨：遅延剤を用いたコンクリートについて、夏期および標準期においてコンクリート製造工場での実機実験を行い、フレッシュ性状の経時変化、ブリーディング、凝結、圧縮強度など各種基本性状を確認した。また、打重ね時間間隔の異なる試験体を製作し、打重ね部における割裂引張強度と促進試験による中性化深さを求めた。その結果、実機で製造するコンクリートに関しても、遅延剤を適量添加することで、スランプの低下を抑え、凝結の始発や打重ね時間限度を延長できることが明らかになった。また、遅延剤の添加は、構造体コンクリート強度に影響しないことも確認された。

キーワード：遅延剤、ブリーディング、凝結、打重ね時間間隔、暑中コンクリート

1. はじめに

近年、首都圏を中心にヒートアイランド現象も相まって、夏期に外気温が 35℃を超える日が増えてきた。こうした高温環境下でコンクリートを施工した場合、凝結が速まるためコールドジョイントやジャンカといった不具合が発生する可能性が高まる。夏期におけるこれら施工不具合の発生を抑えるには、使用材料の温度を下げるのが有効であるが、実際には難しい状況にある。そのため、施工現場では気温が高くない早朝から施工を開始する等で対応しているが、根本的な解決策になっているとはいえない。

一方、JASS 5¹⁾ においては、コンクリートの打重ね時間間隔の限度はコールドジョイントが発生しない範囲とされており、外気温が 25℃未満の場合は 150 分以内、25℃以上の場合は 120 分を目安とするとされている。しかし、首都圏においては、交通渋滞もあってアジテータ車によるコンクリートの輸送時間が夏期に 1 時間を超える場合もあり、夏期の施工においては、いかにしてコンクリートのフレッシュ性状を練上がり直後に近い状態に保持し、コールドジョイ

ントなどの発生を抑えるかが課題といえる。

そこで、こうしたコンクリートの施工時不具合を防止する対策の一つとして遅延剤（JIS A 6204 準拠の減水剤・遅延形）を採り上げ、夏期においてコンクリート製造工場（以下、工場と略記）での実験（実機実験）を実施し、遅延剤を用いたコンクリートの実施工条件下における各種性状を把握した。さらに、標準期（春秋期）における実機実験も行い、遅延剤添加による凝結遅延効果などを確認した。本報は、これら実験結果をまとめたものである。

2. 実験概要

実機実験は、遅延剤を用いたコンクリートの実施工への適用を念頭に置き、工場にて夏期（8 月下旬）と標準期（11 月初旬）に実施した。実験では、コンクリートの水セメント比を 50%（呼び強度 30 N/mm² 相当）とし、遅延剤添加率を既往の研究^{2)～4)} を参考に、夏期実験では単位セメント量に対し 0, 0.2, 0.3%, 標準期実験では同じく 0, 0.1, 0.2%とした。

夏期実験では、遅延剤を用いたコンクリート

*1 清水建設（株）技術研究所生産技術開発センター主任研究員 博（工）（正会員）

*2 清水建設（株）工修（正会員）

*3（株）フローリック 技術本部技術部部長（正会員）

*4 日本大学 生産工学部建築工学科教授 工博（正会員）

のフレッシュ性状の経時変化、ブリーディング、凝結などの基本性状を把握し、さらに実部材を模擬した壁試験体と柱試験体にコンクリートを打ち込み、硬化後に強度性状と中性化進行度を確認した。また、標準期実験でも、フレッシュ性状、ブリーディング、凝結などの初期性状と圧縮強度を測定した。

2.1 使用材料およびコンクリートの調合

実験で用いた材料の諸元を表-1 に、コンクリートの計画調合を表-2 に示す。使用したコンクリートは、練上がり直後でスランプ $20 \pm 2.5\text{cm}$ (想定輸送時間 30~50 分後で $18 \pm 2.5\text{cm}$)、空気量 4.5% を目標とした。なお、工場におけるコンクリートの練混ぜ時間は材料投入後 30 秒、練混ぜ量は 2.5m^3 とした。

2.2 試験体

夏期実験において遅延剤を用いたコンクリートを打ち込む試験体は、1) 打重ね時間間隔を変えることでコンクリートの一体性（コールドジョイントの発生）を評価するための壁試験体、2) 構造体コンクリートの圧縮強度を確認するための柱試験体とした。

(1) 壁試験体

壁試験体は図-1 に示す形状・寸法で、8 体製作した。このうち 4 体は、試験体底部から高さ 550mm までの 1 層目に遅延剤添加率 0% のコンクリートを、4 体は添加率 0.2% のコンクリートを、それぞれ練上がり直後のフレッシュ性状を確認した後に打ち込んだ。1 層目のコンクリート（添加率 0% と 0.2%）打ち込み後に、表-3 に示す打重ね時間間隔で、高さ 550mm から 850mm までの 2 層目に添加率 0.3% のコンクリートを打ち込んだ。練上がり時刻を起点とした打重ね時間間隔は、安田らの研究⁵⁾ を参考に、打重ね限度の目安とされる貫入抵抗値 0.14 N/mm^2 に達する時刻を 1 層目のコンクリートに対して推定し、その時刻を含むよう定めた。

2 層目のコンクリートを打ち重ねる際には、棒形振動機（ $\phi 40\text{mm}$ ）をセパレータ脇に沿って鉛

表-1 使用材料の諸元

材料	記号	該当規格・種類・諸元
セメント	C	JIS R 5210・普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm^3
細骨材	S1	JIS A 5005・青梅産硬質砂岩砕砂 (70%) 表乾密度 2.63g/cm^3 、吸水率 1.39%
	S2	JIS A 5005・万田野産山砂 (30%) 表乾密度 2.63g/cm^3 吸水率 2.40% (夏期)、2.43% (標準期)
粗骨材	G	JIS A 5005・青梅産硬質砂岩碎石 表乾密度 2.66g/cm^3 、実積率 0.59 吸水率 0.79% (夏期)、0.89% (標準期)
化学混和剤	Ad1	JIS A 6204・AE減水剤・標準形 I 種
	Ad2	JIS A 6204・減水剤・遅延形 I 種 (オキシカルボン酸塩系・遅延剤)
練混ぜ水	W	上水道水

表-2 コンクリートの計画調合

実験名称	単位量 (kg/m^3)					s/a (%)	化学混和剤	
	W	C	S1	S2	G		Ad1	Ad2
夏期実験	185	370	559	239	926	46.6	1.5	0.0
	183	366	565	241	926	47.0	1.5	0.2
	181	362	571	244	926	47.2	1.5	0.3
標準期実験	182	364	568	243	926	47.1	1.4	0.0
	181	362	571	244	926	47.2	1.4	0.1
	180	360	574	246	926	47.3	1.4	0.2

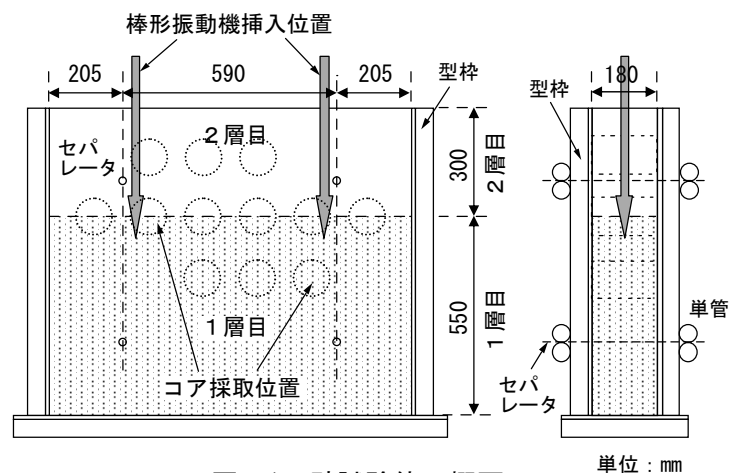


図-1 壁試験体の概要

表-3 壁試験体のパラメータ

遅延剤添加率 (C wt×%)	0	0.2
打重ね時間間隔 (時間)	3.5, 4.5 5.5, 6.5	4.5, 5.5 6.5, 7.5

直方向に挿入し、1 層目に到達させて約 10 秒間（試験体天端にセメントペーストが浮き上がる程度）振動締固めを行った。

(2) 柱試験体

夏期実験における柱試験体は、W 1000mm×D

1000mm×H 660mm で、下面と上面に厚さ 200mm の発泡スチロールで断熱したものである。柱試験体には、隅角部から 50mm の位置と中心に熱電対を配した。なお、柱試験体は遅延剤添加率の異なるコンクリートに対し 1 体ずつ製作した。

2.3 測定項目および測定方法

夏期実験および標準期実験における測定項目と測定方法は、表-4 に示すとおりである。

(1) フレッシュ性状の経時変化

コンクリートのフレッシュ性状は、練上がり直後から経時変化を測定した。測定用試料は、測定ごとにアジテータ車（工場内にて待機）から採取した。なお、コンクリート温度は 0.5℃単位で測定した。

(2) 圧縮強度

圧縮強度は、練上がり直後に採取した供試体で求めた。現場封かん養生供試体については、夏期実験では材齢 1 日、2 日、3 日、7 日、28 日に、標準期実験では 1 日、4 日、7 日、28 日に、標準養生供試体については 28 日に強度試験を行った。柱試験体からは、材齢 28 日、56 日、91 日にコアを採取し、圧縮強度を求めた。

(3) 割裂引張強度

材齢 28 日に、図-1 に示すように、壁試験体から 1 層目と 2 層目の打重ね部、1 層目のみおよび 2 層目のみがそれぞれ中心となる位置から φ 100mm のコア（全長 180mm）を壁の厚さ方向に採取し、打込み方向と直交する方向から載荷して割裂引張強度を求めた。コアは JIS A 1107 に準拠し、同一条件で 3 本ずつ採取した。

(4) 中性化深さ

割裂引張強度測定用のコアと同じ方法で壁試験体から採取したコア（φ 100×180mm）を、材齢 56 日まで温度 20℃、湿度 60% の環境で養生した後、コア側面にエポキシ樹脂を塗布し、材齢 56 日から温度 20℃、湿度 60%、CO₂ 濃度 5% で促進中性化試験を行った。所定の期間が経過した後コアを割裂し、JIS A 1152 に準拠して中性

化深さを測定し、打重ね部とそれ以外の一般部での相違を比較した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

コンクリートのスランプ、空気量および温度の経時変化を図-2～図-4 にそれぞれ示す。

(1) スランプ

夏期実験においては、遅延剤を添加した場合と添加率 0% の場合では 90 分まではスランプに差は見られなかったが、120 分以降その差が現れ、遅延剤 0.2、0.3% の場合はそれぞれ 18.5、17.5cm であったのに対し、添加率 0% の場合 15cm まで低下した。一方、標準期実験では、60 分までは遅延剤添加によるスランプの差はなかったが、90 分以降は両者間に 1.5cm 以上の差が生じた。

表-4 測定項目および測定方法

項目	方法	測定条件および供試体	
		夏期実験	標準期実験
スランプ	JIS A 1101	経時変化（練上がり直後から30分間隔で最長180分まで） 屋外雰囲気下	同左
空気量	JIS A 1128		
コンクリート温度	JIS A 1156		
ブリーディング	JIS A 1123	屋外雰囲気下 および20℃室内	同左
凝結	JIS A 1147	屋外雰囲気下 および20℃室内	同左
供試体による圧縮強度	JIS A 1108	現場封かん養生 標準養生 φ 100×200mm	同左
コアによる圧縮強度	JIS A 1107	柱試験体から採取したコア（中心部、隅角部）	—
割裂引張強度	JIS A 1113	壁試験体の打重ね部と一般部から採取したコア	—
中性化深さ	JIS A 1152		—

表中で、—は実施しなかったことを表す。

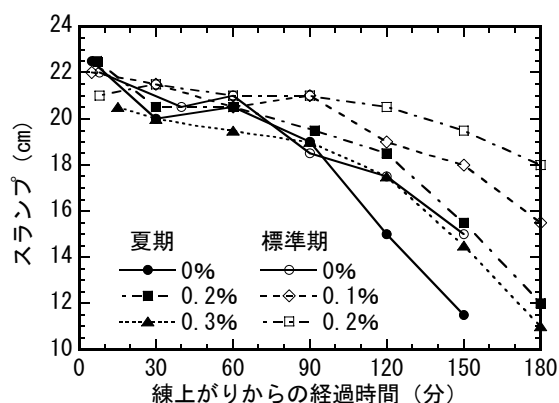


図-2 スランプの経時変化

(2) 空気量

空気量は、夏期実験、標準期実験とも、遅延剤添加の有無にかかわらず、時間が経過すると徐々に減少する傾向にあった。練上がりから120分までの空気量の減少量は、標準期で添加率0.2%の場合を除きいずれも1%前後であった。

(3) コンクリート温度

夏期実験では、コンクリート温度は練上がり直後に29.0～30.0℃であったが、120分経過した時点で、添加率0, 0.2, 0.3%の場合に各々3.0, 1.0, 1.5℃上昇した。これは、各コンクリートの経時変化測定期間における平均外気温が、添加率0, 0.2, 0.3%の場合に30.5, 29.9, 31.1℃であったことに応じた結果である。一方、標準期実験では、コンクリート温度はほぼ一定で、19.5～22.0℃の範囲で推移し、遅延剤添加によるコンクリート温度への影響はほとんどなかった。

3.2 ブリーディング量

図-5に、夏期実験および標準期実験で得られた屋外でのブリーディング試験結果を示す。

ブリーディング量は遅延剤添加によって増加し、添加率0%の場合、夏期、標準期で各々0.21, 0.51 cm³/cm²であったのに対し、添加率0.2%の場合は同じく0.39, 0.60 cm³/cm²となった。ブリーディング量の増加傾向は夏期の方が標準期よりも顕著で、このことはブリーディングが温度に依存していることを示している。また、ブリーディングの終了時間は、夏期では添加率0, 0.2, 0.3%の場合それぞれ270, 360, 390分、標準期では添加率0, 0.1, 0.2%の場合480, 570, 660分であり、いずれも遅延剤添加率にほぼ比例してブリーディングの終了時間は延びていた。

3.3 凝結特性

図-6に夏期実験および標準期実験における屋外での凝結試験結果を、図-7に遅延剤添加率と凝結の始発時間および終結時間の関係を示す。凝結の始発・終結時間は、図-6に示す凝結試験結果に基づき指数関数による近似式で求めた。

夏期、標準期とも、凝結の始発時間と終結時間は遅延剤添加率が高いほど遅くなった。また、

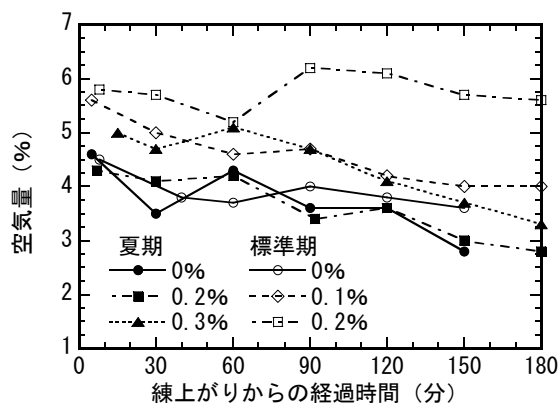


図-3 空気量の経時変化

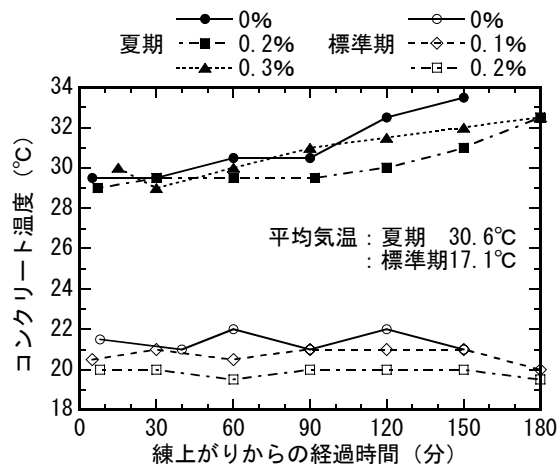


図-4 コンクリート温度の経時変化

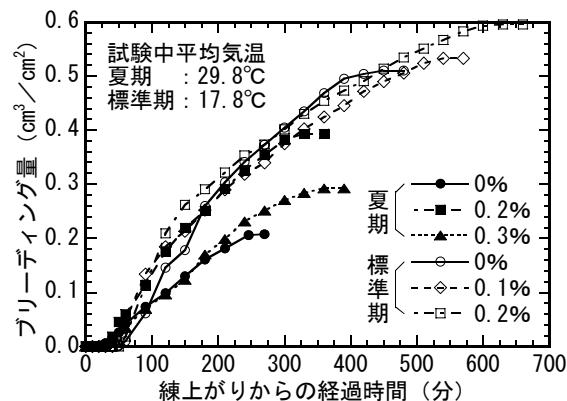


図-5 ブリーディング試験結果（屋外）

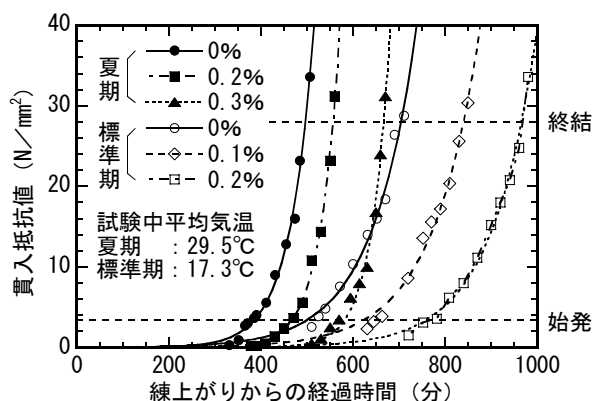


図-6 凝結試験結果（屋外）

図-7 に示す数値(時間)は、凝結の始発から終結までの時間間隔を表すが、標準期では遅延剤添加の有無にかかわらずほぼ一定であるのに対し、夏期では添加した方が短くなっている。これは、遅延剤の影響ではなく、温度の影響が大きいと考えられる。

3.4 圧縮強度

遅延剤を添加したコンクリートの圧縮強度について、夏期実験における現場封かん養生供試体強度と材齢の関係を図-8 に示す。材齢1日～2日では、遅延剤を添加した方が圧縮強度はやや低いが、材齢3日以降では添加率0%の場合と同等もしくはそれ以上となり、遅延剤添加による圧縮強度への影響はなかった。この傾向は、標準期においても同様であった。

なお、夏期では標準養生の材齢28日強度は、添加率0, 0.2, 0.3%で46.7, 45.9, 43.9 N/mm²、標準期では添加率0, 0.1, 0.2%で45.7, 44.4, 43.4 N/mm²と、いずれもほぼ同等であった。

柱試験体によるコア強度を遅延剤添加の有無で比べると、図-9 に示すように、材齢28日、56日、91日の各々において中心部、隅角部ともその差は最大約3 N/mm²で、しかも添加率による傾向が見られなかったことから、遅延剤の添加は構造体コンクリート強度にも影響しないといえる。なお、柱試験体中心部のコンクリート温度は、図-10 に示すように、遅延剤添加によって最高温度が約2～3℃低下し、最高温度到達時間も約2～3時間遅れる傾向が見られた。

3.5 割裂引張強度

図-11 に、練上がり時刻を起点とした打重ね時間間隔と壁試験体から採取したコアによる割裂引張強度の関係を、ブリーディング試験結果と関連づけて示す。

割裂引張強度は、1層目が遅延剤添加率0.2%の場合は4.5時間までは一体部(打重ね部以外の壁試験体一般部)と同等であったが、5.5時間以降急減し、初期の60%以下となった。これに対し、1層目が添加率0%の場合は、3.5時間以降徐々に割裂引張強度は低下し、5.5時間以降は

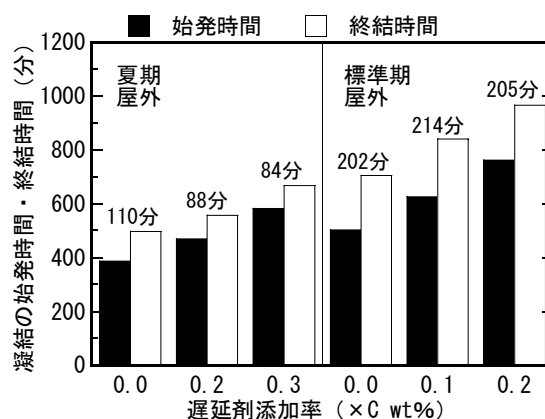


図-7 添加率と凝結始発・終結時間の関係

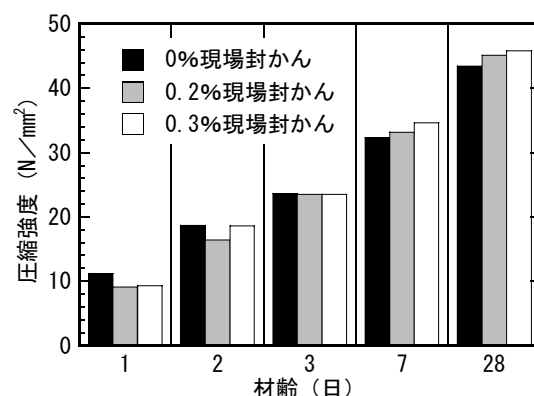


図-8 供試体による圧縮強度(夏期実験)

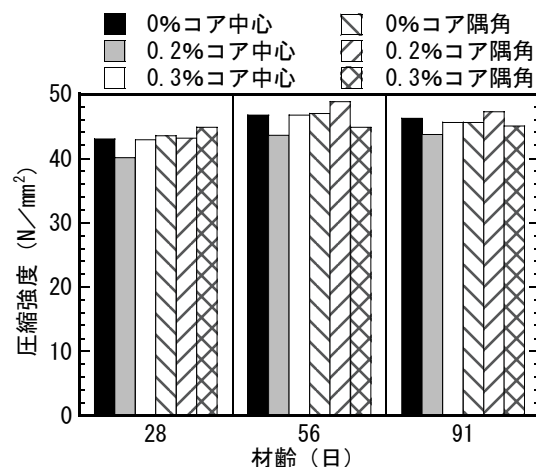


図-9 コア供試体による圧縮強度

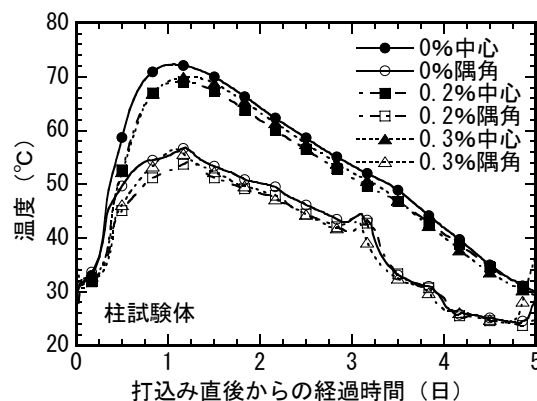


図-10 柱試験体の温度履歴

0.2%の場合と同様に急減した。この打重ね部において割裂引張強度が急減する時間は、図中に示すブリーディングの終了直前とほぼ一致する。したがって、コールドジョイントを発生させない、すなわち構造体として一体性を保持するための打重ね時間の限度としては、ブリーディング終了が一つの目安になると判断される。

3.6 中性化深さ

図-12 に、壁試験体から採取したコアによる促進期間4週と12週における中性化試験結果を示す。図の横軸は、練上がり時刻を起点とした打重ね時間間隔を、縦軸は打重ね部における中性化深さを表している。

図に示すように、若干ばらつきはあるが、打重ね時間間隔が長くなると、打重ね部の中性化深さは大きくなる傾向にある。特に、割裂引張強度が大きく減少する時点と中性化深さが増大する時点はほぼ合致しており、打重ね時間の限度を超えると一体性が損なわれ、打重ね部では中性化の進行が速まることが確認された。

4. まとめ

遅延剤を用いたコンクリートについて、夏期および標準期において工場での実機実験を行い、実施工条件下での各種性状を確認した。

本編で得られた知見は、以下のとおりである。

- 1) 遅延剤を添加することで、夏期においてスランプの低下を 30 分程度遅らせることが可能である。遅延剤添加は、空気量やコンクリート温度にはほとんど影響しない。
- 2) 遅延剤添加によってブリーディング量は増加し、それは温度の影響を受ける。また、始発から終結に至る時間間隔は、遅延剤添加率ではなく、温度に依存する。
- 3) 遅延剤を添加しても、構造体コンクリートの圧縮強度には影響しない。
- 4) 割裂引張強度と促進試験による中性化深さによって打重ね時間の限度を評価した結果、夏期においても、遅延剤を適切量添加することで打重ね時間間隔を延長することができる。

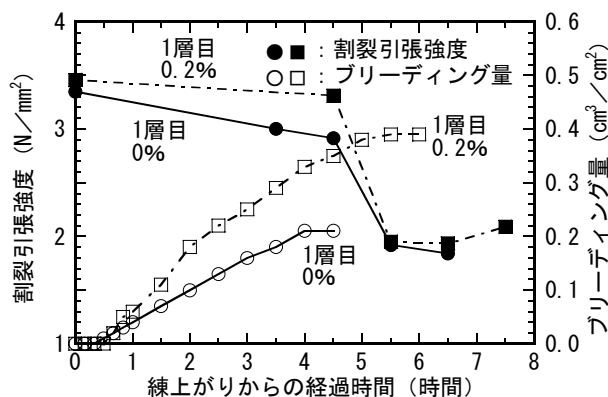


図-11 打重ね部における割裂引張強度とブリーディング量の関係

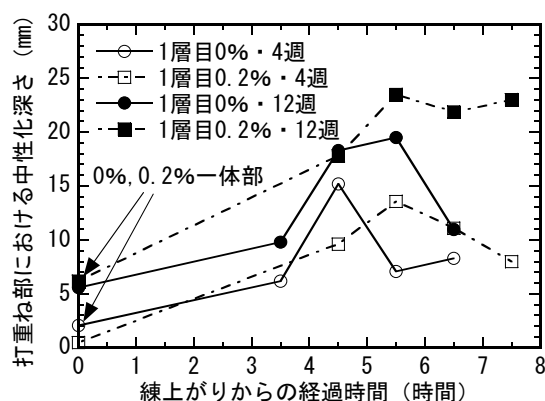


図-12 打重ね部における中性化深さ

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，2003
- 2) 竹内徹ほか：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
- 3) 高田良章ほか：遅延剤を用いたコンクリートの凝結特性およびその予測式（その1～その2），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.507-510，2005
- 4) 高田良章ほか：遅延剤を用いたコンクリートの凝結特性およびその予測式（その3～その4），日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp.1-4，2006
- 5) 安田敏夫ほか：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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.1，pp.633-638，1996