

論文 流動保持剤をあと添加したコンクリートの諸性状に関する一考察

古川 雄太*1・大岡 督尚*2

要旨: 本論文は、流動保持性を高めた混和剤（流動保持剤）をあと添加したコンクリートの諸性状について検討を行ったものである。その結果、流動保持剤の種類によって添加後のスランプの増加量は大きく異なるが、いずれも良好な流動保持性を有することが確認された。また、10℃環境下においては、流動保持剤の添加量が多くなると凝結時間が大きく遅延する傾向を確認した。ただし、初期強度への影響等は認められなかった。さらに、流動保持剤をあと添加しても構造体強度補正值_{28S₉₁}は JASS 5 の標準値と同等であり、耐久性への影響も認められなかった。

キーワード: 流動保持剤, 流動保持性, あと添加, 経時変化, 凝結時間

1. はじめに

コンクリートは時間の経過とともに流動性を失うことが広く知られており、適切なワーカビリティを有している時間内で打込み・締固め・仕上げ等の各作業を終えることが重要である。これに関連し、JIS A 5308 においては、レディーミクストコンクリート（以下、生コン）の運搬時間は原則 90 分以内と定められている。また、2022 年版の建築工事標準仕様書・同解説¹⁾（以下、JASS 5）においては、コンクリートの練混ぜから打込み終了までの時間の限度を外気温が 25℃未満のときに 120 分、25℃以上のときに 90 分と定められている。加えて、コールドジョイントの発生を抑制する目的で、一般的な目安として打重ね時間間隔の限度を外気温が 25℃未満の場合は 150 分、25℃以上の場合には 120 分とするなど、各々時間の規定を設けている。ただし、JIS A 5308 においては、購入者と協議のうえ、運搬時間の限度を変更できるとされており、JASS 5 においては、スランプの低下を遅らせたりコンクリートの凝結時間を変化させたりすることで、練混ぜから打込み終了までの時間の限度および打重ね時間間隔の限度を工事監理者の承認を受けて変更できることにしている。

前述の流動性の低下に対し、これまでは遅延形の化学混和剤の使用が一般的であり、一部では凝結遅延剤の添加等の取り組みも行われてきた^{例えば 2)}。しかし、これらの対策は、凝結時間の過度な遅延または初期強度の低下など、施工工程に影響を与える懸念点もあり、その採用には十分な事前検討が必要であった。また、近年の地球温暖化の影響等によって、コンクリートの荷卸し時の温度は年々高くなり、従来よりも流動性の確保が困難になってきている。このような中、近年では過度な凝結遅延を生じず、初期強度への影響も与えない流動性の保持に特化した化学混和剤（以下、流動保持剤）が開発され、その実用化が進められてきている^{例えば 3)}。そこで本論文で

は、あと添加型の流動保持剤を用いて、通常よりも流動保持時間を長くしたコンクリートの基本性能について、添加量と環境温度の影響因子に着目して検討を行った。

2. 実験計画

実験の要因と水準を表-1 に示す。流動保持剤の種類は、製造者の異なる 3 種類（以下、SP1・SP2・SP3）を用いた。JIS A 6204 の区分は、2 種類（SP1・SP2）が減水剤（標準形）、1 種類（SP3）が流動化剤（標準形）に適合するものである。添加量については、各々 3 水準であり、事前検討（20℃環境下で実施）において比較的標準的な添加量（以下、標準添加）のものを中心に、標準添加の半分（以下、少量添加）および標準添加の 1.5 倍（以下、多量添加）の 3 水準とし、環境温度によって添加前のコンクリートのスランプに多少の違いはあるが、各添加時期での添加量は環境温度に関わらず一律とした。また、SP1・SP2 と SP3 では添加後のスランプの増加に大きな違いが生じることから、各々の特性に合わせて添加時期を設定する必要がある。本実験では、SP1・SP2 は添加後のスランプの増大量が比較的小さいため、練上がり直後のフレッシュ試験実施後直ちに 3 水準の添加量で添加を行った。SP3 は添加後のスランプが大きく変化する特性があるため、添加時期を揃えて添加量を変化させると添加後のスランプが大きく異なる。このことから、添加量

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
流動保持剤の種類	SP1：ポリカルボン酸系化合物(減水剤) SP2：ポリカルボン酸エーテル化合物(減水剤) SP3：ポリカルボン酸系化合物(流動化剤)
添加量 (C×wt%)	SP1：0.15%(少量), 0.30%(標準), 0.45%(多量) SP2：0.30%(少量), 0.60%(標準), 0.90%(多量) SP3：0.20%(少量), 0.40%(標準), 0.60%(多量)
環境温度	10℃, 20℃, 30℃

*1 東急建設(株) 技術研究所 修士(工学) (正会員)

*2 東急建設(株) 技術研究所 博士(工学) (正会員)

を変化させるには添加時期を変える必要があるため、練上がり直後のフレッシュ試験後直ちに添加したもの（少量添加）に加え、30分経過後（標準添加）および60分経過後（多量添加）と添加時期に応じて添加量を変えることで、流動保持剤の添加後のスランプが可能な限り同程度となるように計画した。なお、少量・標準・多量添加の表記は便宜上使用しており、標準添加は流動保持剤の製造者が推奨する標準的な使用量であることを意味するものではない。環境温度は10℃、20℃および30℃の3水準とし、コンクリートの練上がり温度は各温度の±2℃とし、各環境温度下でフレッシュ性状の測定を行った。

コンクリートの練混ぜは、強制二軸ミキサ（容量60L）を使用し、各コンクリート60Lを練り混ぜ、流動保持剤を添加していないコンクリートをベースコンクリートとして扱った。経時中は、練り舟内にコンクリートを静置しておき、各フレッシュ試験の前にスコップによって切返しを行った後、各試験を実施した。

表-2に使用材料を示す。いずれの材料も市中の生コン工場で使用されている一般的な材料を使用した。細骨材の混合割合（重量比）はS1:S2=4:6、粗骨材の混合割合（重量比）はG1:G2=5:5とした。高性能AE減水剤（ベースコンクリートに使用）は、環境温度10℃および20℃では標準形、30℃では遅延形を使用した。

表-3に試験項目を示す。各試験は表内に示す試験方法に準じて行った。圧縮強度は、初期強度として各環境温度下で封かん養生した試験体を用いて材齢1, 3, 5, 7日での試験、管理材齢の強度発現として標準水中養生した試験体を用いて材齢28日での試験を実施した。また、耐久性試験（長さ変化、促進中性化、凍結融解）については、各環境温度における標準添加のみで実施した。なお、耐久性試験におけるベースコンクリートは、SP1の実験で練り混ぜた試料（SP1を添加する前のベースコンクリート）で作製した試験体を試験に供した。

表-4にコンクリートの調合を示す。水セメント比は50%とし、単位粗骨材かさ容積570L/m³とした。ベースコンクリートの目標スランプは21±2cm、目標空気量は4.5±1.5%とした。なお、事前検討において、試験室の実験ではトラックアジテータのドラム内でコンクリートを攪拌した場合よりも経時に伴うスランプ低下が2~3倍生じたため、許容差2cmの3倍にあたる6cmを試験室実験での許容差と仮定し、流動保持剤添加後のスランプの管理下限値を15cm（21cm-6cm）として、流動保持性の考察を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

(1) スランプおよび空気量

表-2 使用材料

材料	種類・物性等
水	上水道水(W)【神奈川県】
セメント	普通ポルトランドセメント(C)【ρ:3.16g/cm ³ 】
細骨材	山砂(S1)【ρ:2.63g/cm ³ ,Q:1.62%,FM:2.50】
	砂岩砕砂(S2)【ρ:2.64g/cm ³ ,Q:1.18%,FM:3.02】
粗骨材	硬質砂岩碎石(G1)【ρ:2.65g/cm ³ ,Q:0.59%,Gs:60.0%】
	石灰岩碎石(G2)【ρ:2.70g/cm ³ ,Q:0.57%,Gs:60.0%】
化学混和剤	高性能AE減水剤(Ad)(標準形,遅延形)【ポリカルボン酸系化合物】
	AE剤【ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸塩】

ρ:密度(骨材は表乾状態), Q:吸水率, FM:粗粒率, Gs:実積率

表-3 試験項目および方法

試験項目	方法
スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
温度	JIS A 1156
ブリーディング	JIS A 1123 附属書 A
凝結時間	JIS A 1147
圧縮強度	JIS A 1108
構造体コンクリート強度	JASS 5 T-606:2015
長さ変化	JIS A 1129-2
促進中性化	JIS A 1152, JIS A 1153
凍結融解	JIS A 1148

表-4 コンクリートの調合

W/C	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						Ad(C×wt%)		
		W	C	S1	S2	G1	G2	10℃	20℃	30℃
50%	48.9	175	350	344	518	458	458	0.75	0.80	0.90*

* 30℃環境下のみ遅延形を使用

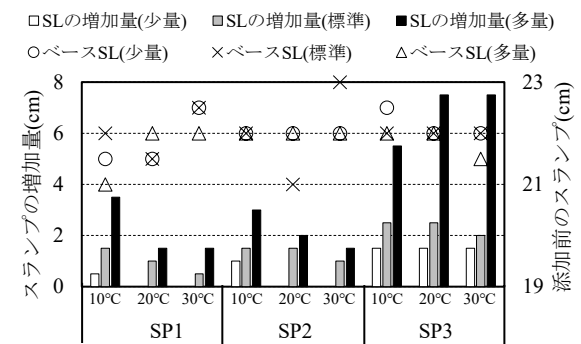


図-1 スランプの増加量

図-1に流動保持剤の添加後のスランプ(SL)の増加量を示す。図中には、流動保持剤の添加前のスランプ(ベースSL)を併記しており、その値は21~23cmの範囲であった。流動保持剤の添加に伴うスランプの増加量は、添加量の大小に応じて変化しており、一般的な化学混和剤と同様な傾向であった。また、その増加量はSP1で最小0.0cm(増大なし)、最大3.5cmであり、SP2では最小0.0cm(増大なし)、最大3.0cmとなり、両者のスランプの増加量は小さい傾向であった。しかし、SP3は最小1.5cm、最大7.5cmのスランプ増加量であり、SP1および

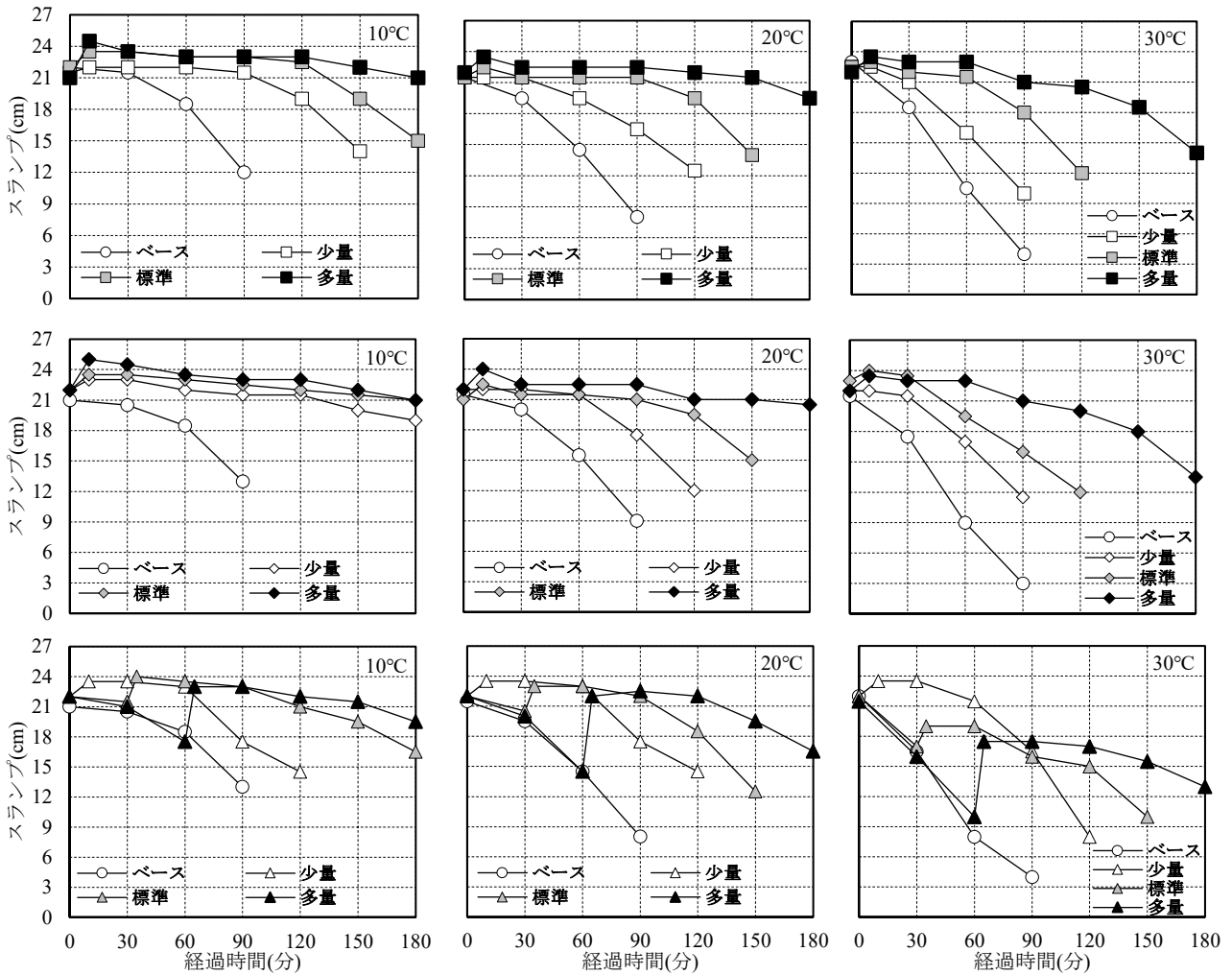


図-2 各コンクリートのスランプの経時変化 (上段：SP1, 中段：SP2, 下段 SP3)

SP2 と SP3 では傾向が大きく異なる結果であった。これは、SP1 および SP2 が JIS の減水剤、SP3 が流動化剤の区分に適合しており、両者の減水率に差が生じていることに起因しているためであると考えられる。よって、SP1 および SP2 は、標準添加以下（本検討の設定値）であれば、添加後のスランプの管理値を変えることなくコンクリートの品質管理が行える可能性が示唆された。一方、多量添加になると、スランプの増加量が大きいため、その増加量に応じた添加後のスランプの管理値の設定が望ましいと考えられる。また、SP3 は、添加後のスランプ増大量は SP1・SP2 に比べて大きいため、一般的な流動化コンクリートと同じような管理手法が必要であると考えられる。

図-2 に各コンクリートのスランプの経時変化を示す。SP1 の 20°C 環境下においては、ベースコンクリートが経時 60 分時点でスランプ 15cm まで低下しているのに対し、少量添加で経時約 90 分、標準添加で経時約 150 分、多量添加では経時 180 分でもスランプ 15cm 以上であり、添加量が多くなるにつれて流動保持時間が長くなる傾向が確認された。また、環境温度 10°C ではこの傾向がより

顕著であり、少量添加で約 135 分、標準添加で約 180 分に渡りスランプ 15cm 以上であり、多量添加においては経時 180 分時点でスランプ 21cm であり、高い流動保持性が認められた。一方、環境温度 30°C では、少量添加では経時約 75 分、標準添加で約 90 分、多量添加では約 165 分時点でスランプ 15cm を下回る傾向であり、流動保持性は確認されたものの、少量添加では流動保持性がやや低い傾向であった。なお、SP2 についても同様な傾向であった。SP3 の 20°C 環境下においては、各添加量（添加時期）において、流動保持剤の添加後に練上がり直後と同程度のスランプに回復していることが確認できた。また、その後の流動保持性は、経時 120 分から 180 分程度スランプ 15cm 以上であり、良好な流動保持性が確認された。環境温度 10°C では、流動保持性が顕著に表れ、長時間に渡って流動性を保持できた。一方、環境温度 30°C においては、環境温度 10°C および 20°C と同一の添加量としたため、標準添加（経時 30 分後以降あと添加）および多量添加（経時 60 分後以降あと添加）においては、添加前のスランプが著しく低下しており、添加後のスランプは 18cm 程度の回復に留まった。しかし、その後の流

動保持性は認められ、経時約 120 分および 150 分程度まで各々スランプ 15cm を確保していた。これらより、SP3 は添加量を一律にするのではなく、ベースコンクリートのスランプによって添加量を調整することで、所定のスランプに回復させる必要があると考えられる。すなわち、SP3 はベースコンクリートの状態や環境温度に応じた添加後のスランプの増加量を正確に把握し、添加量を決定することが重要であると考えられる。なお、筆者らの検討⁴⁾では、流動保持剤の種類に関わらず、室内実験よりも実機実験の方が流動保持剤の添加によるスランプの増大が大きい傾向であったことを確認しているため、添加量を決定するための実験方法にも留意が必要であると考えられる。

図-3 に SP1 の 20℃環境下における空気量の経時変化を示す。ベースコンクリートは練上がり直後から 30 分経過時点で 0.8%の空気量の減少であり、一般的なコンクリートの減少量 0.5%⁵⁾よりもやや大きい値ではあるが、経時中に攪拌していないことなどを考慮すると、標準的な減少量の範囲であった。SP1 を添加したことによる空気量の変化は、添加量によって 0.3~0.9%の減少であり、経時 30 分時点ではベースコンクリートの減少量と同程度の変化量であった。また、全体的な傾向として、スランプが低下してくるとやや空気量が増加する傾向ではあったが、経時中の著しい変化は生じなかった。なお、SP2 および SP3 も同様な傾向であり、流動保持剤の添加による空気量への著しい影響は認められなかった。

(2) ブリーディング量

図-4 にブリーディング試験結果を示す。全体的な傾向として、環境温度が低いほどブリーディング量が大きい傾向であった。流動保持剤の添加においては、30℃環境下の場合、ブリーディングの終了時刻が早く、流動保持剤の添加による顕著な差は認められなかった。また、環境温度 10℃では流動保持剤の添加量が多いほどブリーディングの増加が認められた。しかし、流動保持剤の添加によるブリーディング量の増加量は最大で 0.06cm³/cm²であり、過度なブリーディングの増加は認められず、環境温度の影響が支配的であった。なお、流動

保持剤の添加量に応じてブリーディングの終了時刻が 30~90 分程度遅延する傾向であったことから、ブリーディング量の増加にはブリーディング終了時刻が大きく影響したと考えられ、流動保持剤が高まったこと、および後述の凝結時間の遅延に起因していると推察される。

(3) 凝結時間

図-5 に各コンクリートの凝結時間試験結果を示す。20℃環境下においては、全体的に流動保持剤の添加によって始発および終結時間ともに 1 時間程度遅延する傾向であったが、添加量による差は小さかった。また、環境温度 30℃においては、全体的に始発時間・終結時間が早く、流動保持剤の添加による遅延傾向は確認されなかった。しかし、環境温度 10℃においては、流動保持剤の添加量に応じて凝結時間の遅延が明確に現れており、今回設定した標準および多量の添加量では、始発で 2 時間程

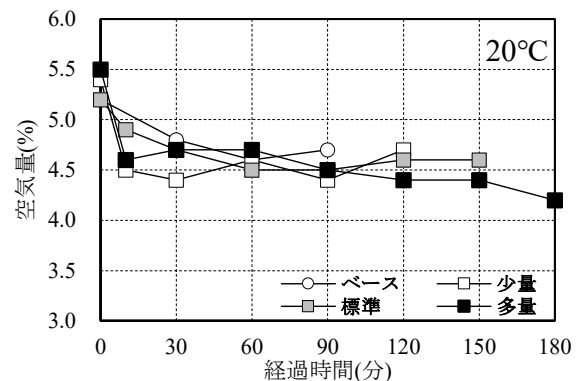


図-3 空気量の経時変化（一例：20℃環境下）

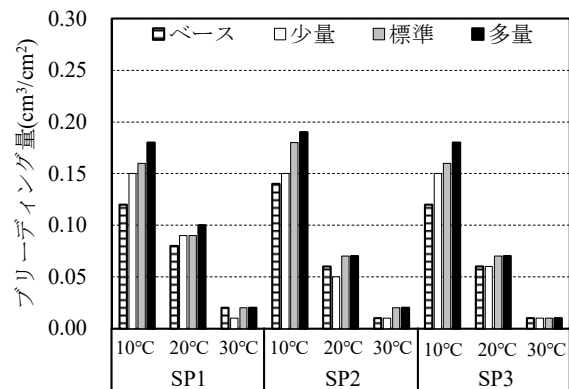


図-4 ブリーディング試験結果

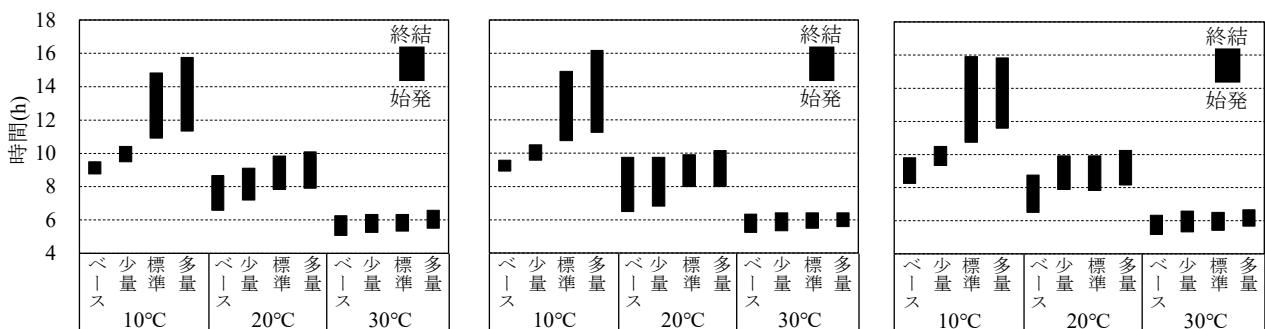


図-5 凝結時間試験結果(左から SP1, SP2, SP3)

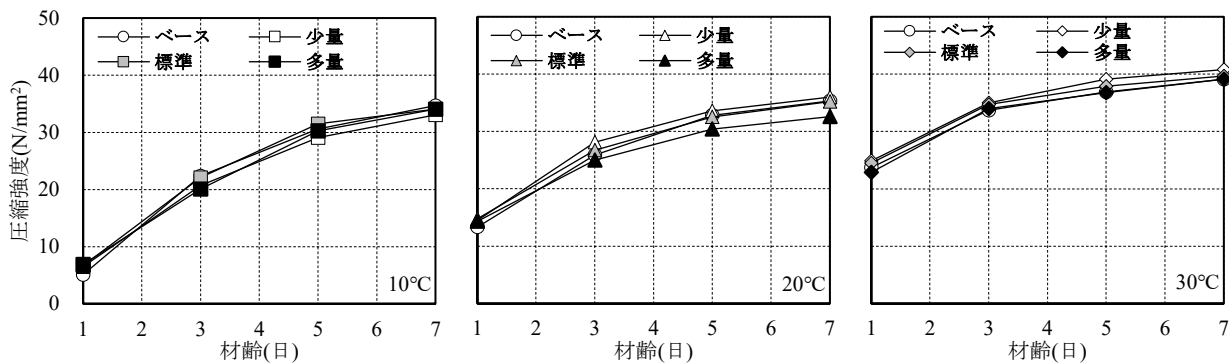


図-6 圧縮強度試験結果（初期材齢）：SP1（左から 10°C、20°C、30°C環境下）

度、終結で6時間程度遅延する傾向であった。そのため、低温環境下では仕上げ作業等の遅延が懸念されるような部位への適用にあたっては、流動保持性を有する範囲で添加量を下げることが望ましいと考えられる。

3.2 力学特性

(1) 初期強度発現

図-6 に初期材齢の圧縮強度の比較として、SP1 を添加したコンクリートの各環境温度下で養生(封かん養生)した圧縮強度試験結果を示す。環境温度によって強度発現性は異なるが、ベースコンクリートと比較すると流動保持剤を添加しても圧縮強度への影響は小さい傾向であった。環境温度 10°C においては、凝結時間の遅延傾向が認められたため、初期強度への影響が懸念されたが、水セメント比 50% の本検討では、全体的に材齢 1 日の圧縮強度そのものが 5~7N/mm² 程度と小さく、流動保持剤の添加の影響が明確に現れなかった可能性も考えられる。なお、SP2 および SP3 も同様な傾向であった。

(2) 管理材齢の強度発現

図-7 に材齢 28 日標準養生における圧縮強度試験結果を示す。全体的な傾向として、流動保持剤の添加によって圧縮強度への影響は認められなかった。よって、流動保持剤の添加による圧縮強度への影響は小さく、一般的な流動化コンクリートと同様に、ベースコンクリートに基づく調査強度の設定が可能であることが示唆された。

(3) 構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$

図-8 に SP1 を使用したコンクリートの簡易断熱養生環境下における温度履歴を示す。各環境下において、20~25°C 程度の温度上昇が認められ、比較的断面の大きい部材と同様な温度履歴を与えることができた。SP2 および SP3 についても同様な温度履歴であり、簡易断熱養生ではあるが、JASS 5 T-606:2015 に準じて構造体コンクリート強度として扱うこととした。

図-9 に構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ （簡易断熱養生における材齢 91 日強度と標準水中養生における材齢 28 日強度の差）と標準水中養生における材齢 28 日強度の関係を示す。図中には、JASS 5³⁾ に示される設計基準強度

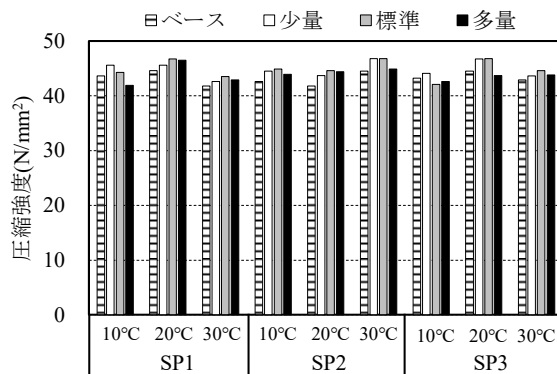


図-7 材齢 28 日圧縮強度試験結果

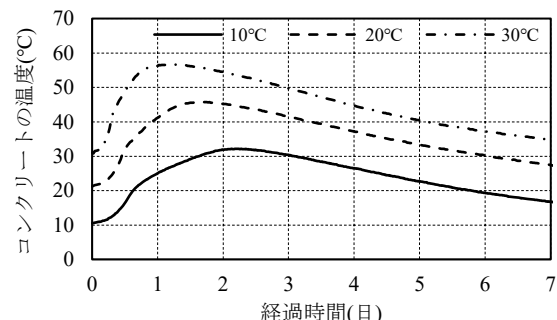


図-8 コンクリートの温度履歴（SP1）

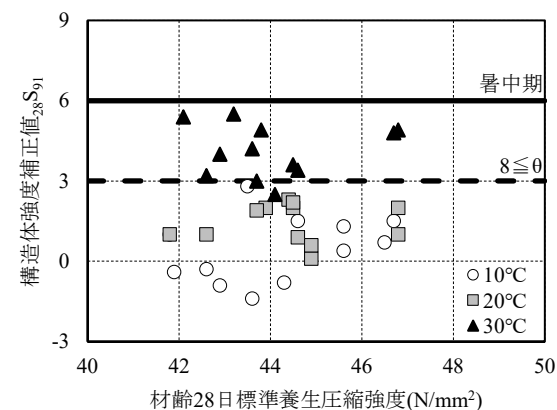


図-9 材齢 28 日標準養生圧縮強度と構造体強度補正值の関係（簡易断熱養生における評価）

36N/mm² 以下の標準値 ($8 \leq \theta$: 3N/mm²—破線, 暑中期 : 6N/mm²—実線) を示している。なお、図中の θ (°C) はコンクリートの打込みから材齢 28 日までの予想平均気温の範囲を示している。今回の検討範囲では、いずれの

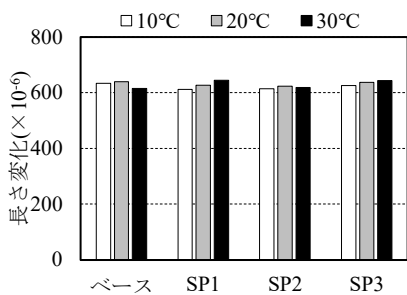


図-10 長さ変化試験結果

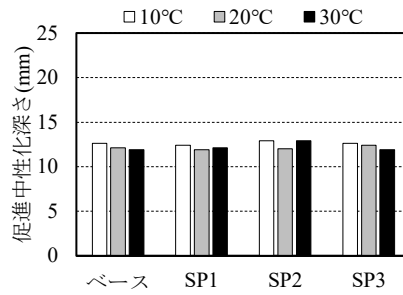


図-11 促進中性化試験結果

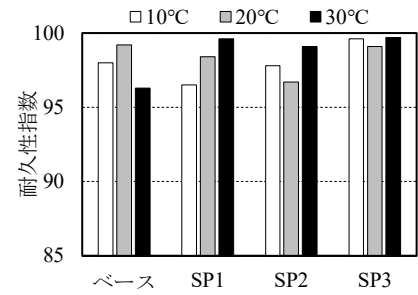


図-12 凍結融解試験結果

流動保持剤・添加量のコンクリートも JASS 5 の標準値の範囲であった。流動性の保持または凝結時間を改善することで構造体強度補正値を低減できる検討例⁹⁾もあるが、本検討ではその傾向は確認されなかった。

3.3 耐久性

(1) 長さ変化

図-10 に長さ変化試験結果(乾燥期間 26 週)を示す。ベースコンクリートと比較すると、流動保持剤の種類に関わらず同等の長さ変化であった。また、環境温度の影響を受ける傾向も認められなかった。

(2) 促進中性化

図-11 に促進中性化試験結果(促進期間 26 週)を示す。流動保持剤の種類に関わらず、ベースコンクリートと同等の中性化深さであった。流動保持剤の添加による圧縮強度への影響が認められなかったことから、表層強度(緻密度)への影響もなかったものと推察される。よって、流動保持剤を使用したコンクリートは、中性化の観点では一般的なコンクリートと同等の耐久性を有していると考えられる。

(3) 凍結融解

図-12 に凍結融解試験結果を示す。多少のばらつきはあるが、全ての水準で耐久性指数が 95 以上であり、流動保持剤の添加による凍結融解抵抗性への影響は認められなかった。

4. まとめ

流動保持剤を用いたコンクリートの基本性能を検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 流動保持剤の種類によって、添加後のスランプの増加量は異なる傾向であった。
- (2) 環境温度および添加量によって傾向は異なるが、流動保持剤の添加によって無添加に比べて 2~3 倍の時間、流動保持性を有することが認められた。
- (3) ブリーディング量は、流動保持剤の添加量が多く環境温度が低いほど増加傾向が認められたが、その増加量は最大で 0.06cm³/cm²であり顕著な増加傾向ではなかった。
- (4) 凝結時間は、10℃環境下においては標準添加および

多量添加で凝結遅延が認められるが、その他の条件下では、著しい凝結への影響は認められなかった。

- (5) 圧縮強度は、材齢 1~7 日の初期強度および材齢 28 日強度において、流動保持剤の添加による影響は認められなかった。
- (6) 構造体強度補正値_{28S₉₁}は、本検討範囲では JASS 5 の標準値と同等であった。
- (7) 耐久性については、流動保持剤の添加に関わらず、ベースコンクリートと同等の性能を有していた。

謝辞

本研究の実施にあたり、日本シーカ(株)、ポゾリスノリューションズ(株)および(株)フローリックの各位に流動保持剤の提供および実験の助言・協力をいただきました。記して謝意を表します。

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，2022.11
- 2) 高田良章ほか 4 名：実施工条件下におけるコンクリートの凝結遅延抑制に関する実験的研究(その 1) 実験計画およびコンクリートの硬化前の諸性状，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)，pp.629-630，2007.8
- 3) 猪瀬亮・平野修也・西祐宜・石川あゆこ：新規流動化剤によるフレッシュコンクリートの流動性の長時間保持に関する実験的検討(その 1 任意の経過時間におけるコンクリートの流動化時のコンシステンシー)，日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)，pp343-344，2017.8
- 4) 古川雄太・大岡督尚：あと添加型の流動保持剤を使用したコンクリートの諸性状に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)，pp327-328，2022.7
- 5) 日本建築学会：コンクリートの調合設計指針・同解説，pp.291-292，2015.2
- 6) 下島啓志ほか 5 名：暑中コンクリートのフレッシュ性状改善，構造体強度補正値低減に関する研究 その 4 実機実験 柱模擬部材における評価，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，pp339-340，2020.9