

# 論文 暑中コンクリートにこわばり低減剤を適用した際のフレッシュ性状および施工性に関する検討

渡邊 大河\*1・重本 憂大\*2・橋本 紳一郎\*3・根本 浩史\*4

**要旨:** 本研究では、暑中コンクリートの施工性や圧縮強度の確保を目的に、環境温度 30℃以上で実機製造した暑中コンクリートにこわばり低減剤を適用した際のフレッシュ性状、施工性、および硬化特性について検討を行った。その結果、こわばり低減剤の使用は、経時時間に対するフレッシュ性状の確保、間隙通過性の向上および振動締固め時間の短縮をはじめとする施工性確保、圧縮強度確保に有効であることが示唆された。

**キーワード:** 暑中コンクリート、こわばり低減剤、化学混和剤、フレッシュ性状、施工性

## 1. はじめに

昨今の我が国における夏期の外気温は、全国的に上昇傾向にある。夏期のコンクリート施工に対し、土木学会「コンクリート標準示方書 [施工編]」<sup>1)</sup>では、日平均気温が 25℃を超える時期に施工することが想定される場合には、暑中コンクリートとしての施工を行うことや、打ち込み時のコンクリート温度の上限 35℃以下を標準とし、上限を超える場合には、所要の品質を確保できることを確かめなければならないとしている。しかし、夏期平均気温が上昇の一途を辿ることを考慮すると、暑中コンクリートに対してさらなる施工性確保が要求される。

現状の暑中コンクリートにおける課題には、運搬中のスランプ低下や凝結の促進、コンクリート表面の水分の急激な蒸発、強度増進の鈍化等が挙げられ、その他にも圧送時の配管閉塞、充填不良、コールドジョイントやひび割れといった初期欠陥の発生が懸念されている。これらの原因の一つに、コンクリートの「こわばり」という現象が挙げられる。この現象は、練混ぜ時に分散したセメント粒子が重力作用下で凝集し、凝集体を形成することが主な原因と考えられており<sup>2)</sup>、静置状態のコンクリートが可逆的な凝集状態になる現象を指す。そこで、これらの現象を低減する化学混和剤である「こわばり低減剤」を暑中コンクリートに適用することで、圧送性の改善や充填性の向上、圧縮強度の確保が見込める。既往の研究<sup>3)</sup>から、暑中コンクリートにこわばり低減剤を使用した場合、特に試験室の環境温度 40℃で、改善効果が顕著であると示されているが、環境温度 30℃以上で実機製造された暑中コンクリートに対し、こわばり低減剤の適用効果を検討することが今後の課題であった。

以上より、暑中コンクリートの施工性や圧縮強度確保

表-1 使用材料

使用材料	内容
セメント	C: 普通ポルトランドセメント 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>
練混ぜ水	W: 上水道水
細骨材	S: 山砂, 千葉県富津市 表乾密度: 2.61g/cm <sup>3</sup> , F.M.: 2.60
粗骨材	G: 石灰岩砕石 2005, 山口県美祢市 表乾密度: 2.70g/cm <sup>3</sup> , 実積率: 61.0%
混和剤	AD: AE 減水剤 遅延形
	SP: 高性能 AE 減水剤 遅延形
	TR-1, TR-3: こわばり低減剤 主成分: グリコールエーテル系誘導体 オキシカルボン酸塩

表-2 配合表

種別	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			C	W	S	G	AD	SP	TR
27-12-20N	53.3	44.5	323	172	791	1021	3.23	-	-
27-12-20N+TR									0.19
36-18-20N	45.7	46.9	372	170	817	956	-	3.53	-
36-18-20N+TR									0.25

を目的に、環境温度 30℃以上で実機製造した暑中コンクリートにこわばり低減剤を適用した際のフレッシュ性状、施工性、および硬化特性について検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合条件

#### (1) 使用材料

表-1 に使用材料を示す。こわばり低減剤（以降、TR と略称する）は、水溶紙袋に梱包された後添加型の化学混和剤であり、常備薬的に必要に応じて使用できる利便

\*1 千葉工業大学大学院 創造工学研究科 都市環境工学専攻 (学生会員)

\*2 千葉工業大学大学院 創造工学研究科 都市環境工学専攻 (非会員)

\*3 千葉工業大学 創造工学部 都市環境工学科 准教授 (正会員)

\*4 清水建設株式会社 土木技術本部 バックエンド技術部 (正会員)

表-3 試験実施内容

試験条件	試験項目	試験実施タイミング			
		TR 添加からの経時時間 (分)			
		0	30	60	90
攪拌 (実機内で アジテート)	フレッシュ試験	○	○	○	○
	ベーンせん断試験・羽根沈入試験	○	○	○	-
	凝結試験・ブリーディング試験	○			
	加振ボックス試験	○	-	○	-
	振動締め試験	○	-	○	-
	圧縮強度試験	○			
静置	静置スランプ試験		○	○	○
	ベーンせん断試験・羽根沈入試験	試料採取	-	○	-
	加振ボックス試験	静置開始	-	○	-
	振動締め試験		-	○	-



写真-1 静置スランプ試験状況

性がある。また TR には、AE 減水剤コンクリート (27-12-20N) と高性能 AE 減水剤コンクリート (36-18-20N) に使用する 2 タイプ (順に、TR-1 と TR-3) があり、水セメント比により変化するセメント粒子の濃度に合せて主成分の組成比率を最適化している。本実験では、注水から約 40 分後に TR を添加することとした。

(2) 配合条件

表-2 に配合表を示す。コンクリートの種類は 27-12-20N および 36-18-20N の 2 種類とし、それぞれの配合において、TR 添加の有無による比較、検討を行った。

2.2 試験項目

表-3 に試験実施内容を示す。試験条件は、プラントで 2m<sup>3</sup> のコンクリートを練混ぜて、現場まで 30 分運搬した後、低速でドラムを回転 (攪拌) し続けた場合と、段取り替え等による現場での圧送中断を想定して、各試験容器内で静置させた場合の 2 水準を設定し、こわばりがコンクリートの経時変化に与える影響を評価した。

(1) フレッシュ性状に対するこわばり低減効果の検討

はじめに基礎性状試験として、スランプ試験、空気量試験、コンクリート温度の測定をそれぞれ JIS に準拠して行った。写真-1 に静置スランプ試験の状況を示す。本試験では、試料をスランプコーン内で静置させることにより、コンクリートの自重でセメントの凝集が生じ、こわばりが経時変化に与える影響をより顕著に捉えることを目的とした。ベーンせん断試験では、既往の研究<sup>4)</sup>を参考に、コンクリートのせん断抵抗力から、こわばりを評価することとした。続いて、既往の研究<sup>5)</sup>を参考に、

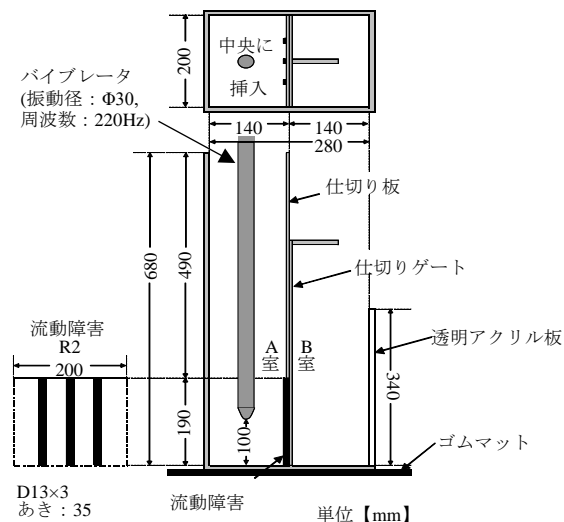


図-1 ボックス容器の形状

ウェットスクリーニングから採取したモルタルを用いて、羽根沈入試験を行った。本試験は、試料に羽根が完全に埋まった状態から、羽根が距離 L まで沈入するのに要する時間 T を測定するものであり、羽根上部に設置した錘の質量 W を段階的に変えて沈入時間 T を測定した。そして、得られたせん断速度 v (沈入時間測定距離 (L) / 沈入時間 (T)) とせん断応力  $\tau$  (羽根と錘の質量 (W) / 羽根の全面積 (A)) の関係から、降伏値と塑性粘度を求めた。加えて本実験では、こわばりが降伏値と塑性粘度に与える影響を検討するため、経過時間 0 分を 0 としたときの経過時間 60 分における降伏値と塑性粘度の変化率を算出した。経過時間 60 分における変化率がプラスの場合は経時変化による降伏値又は塑性粘度の増加を意味し、マイナスの場合は減少を意味する。同様に、ウェットスクリーニングしたモルタルで、こわばり低減剤による凝結遅延効果を凝結試験により確認した。また、ブリーディング試験を JIS に準拠して行った。

(2) 施工性に対するこわばり低減効果の検討

こわばりが施工性に与える影響の評価を目的に、加振ボックス試験を行った。図-1 にボックス容器の形状を示す。本試験は、土木学会標準: JSCE-F 701-2018 の試験方法 (案)<sup>6)</sup>を参考にした。評価項目は、充填高さ



写真-2 振動締め試験状況

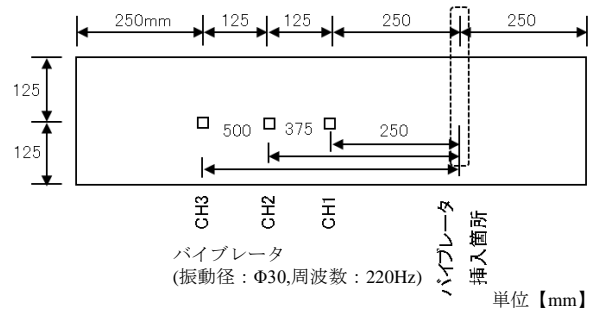


図-2 型枠寸法および計測概要

表-4 基礎性状結果

種別	目標スランプ (cm)	荷降ろしスランプ (cm)	TR 添加後スランプ (cm)	目標空気量 (%)	実測空気量 (%)	環境温度 (°C)	コンクリート温度 (°C)
27-12-20N	12±2.5	11.5	-	4.5±1.5	4.8	30	34
27-12-20N+TR		13.5	18.0		5.1	30	33
36-18-20N	18±2.5	18.0	-		4.2	32	34
36-18-20N+TR		19.0	24.0		4.8	30	33

190~300mm における間隙通過速度, および間隙通過後の試料上部 2L を洗い分析することで得られる, 計画配合の単位粗骨材量に対する粗骨材量比率とした。

続いて, コンクリートのこわばりは締め効果に影響を与えることが予測されることから, 棒状バイブレータを使用し, 各種条件に対する締めエネルギーの違いを検討した。写真-2 に振動締め試験の状況を, 図-2 に型枠寸法および計測概要を示す。型枠は, 内寸長さ 1000mm×幅 300mm×高さ 250mm とし, 側面および下面には, 振動の反射を抑えるために厚さ 150mm の発泡スチロール板を配置した。加速度計は, コンクリート標準示方書 [施工編] <sup>1)</sup> に示されている標準的な施工方法でのバイブレータ挿入間隔が 50cm 程度であることから, バイブレータの挿入位置から 250mm を CH1, 375mm を CH2, 500mm を CH3 とし, 型枠底面から高さ 125mm に設置した。その後, 加速度計から得られた最大加速度を, 既往の研究 <sup>7)</sup> を参考に, 式(1)に代入することで, 締め完了推定時間  $t$  を算出した。

$$t = \frac{4\pi^2 f}{\rho_0 \alpha_{\max}^2} E_{99.5} \quad (1)$$

ここに,  $t$ : 締め完了推定時間(s),  $f$ : 棒状バイブレータの振動数(Hz),  $\rho_0$ : 示方配合から計算される試料の単位体積重量(kg/m<sup>3</sup>),  $\alpha_{\max}$ : 最大加速度(m/s<sup>2</sup>),  $E_{99.5}$ : 締め完了エネルギー(J/L)

このとき, 締め完了エネルギー  $E_{99.5}$  は, 式(2)より, コンクリートのスランプを考慮しているが既往の研究 <sup>7)</sup> における本来のスランプの適用範囲は 5~15cm 程度であり, 本実験のスランプ 18cm, および 60 分の静置後にス

ランプが 5cm 以下となった際の, 締め完了エネルギーは推定値である。

$$E_{99.5} = 11.266e^{-0.191 \cdot SL} \quad (2)$$

ここに,  $SL$ : スランプの値(cm)

### (3) 硬化性状に対するこわばり低減効果の検討

暑中コンクリートの課題である強度増進の鈍化に対し, こわばり低減剤による効果を検証するため, 材齢 7 日および材齢 28 日において圧縮強度試験を実施した。養生条件は, 打込みから脱型 (約 24 時間) までを屋外での現場封緘とし, 脱型後それぞれ標準養生(20°C 水中), 屋内 20°C の封緘養生, 屋外での現場水中, および屋外での現場封緘とした。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 基礎性状試験結果

表-4 に基礎性状試験の結果を示す。TR 添加前の現場受け入れ試験で, 荷降ろしスランプ, 空気量ともに目標値を満足することを確認した。また TR の添加により, スランプは 5cm 程度増加する傾向がみられた。試験実施時の環境温度およびコンクリート温度はどちらも 30°C を超えており暑中環境の中でも気温の高い状況であった。

### 3.2 スランプおよび空気量の経時変化

図-3 に経時によるスランプの変化率を示す。27-12-20N のコンクリートにおいて, TR を使用しない場合は, 経時 60 分でスランプが 0cm となったのに対し, TR を使用することで, 経時 90 分でも荷降ろし時の半分程度までスランプを保持できる結果となった。また, 36-18-20N においても, TR を使用しない場合に比べて, TR を使用

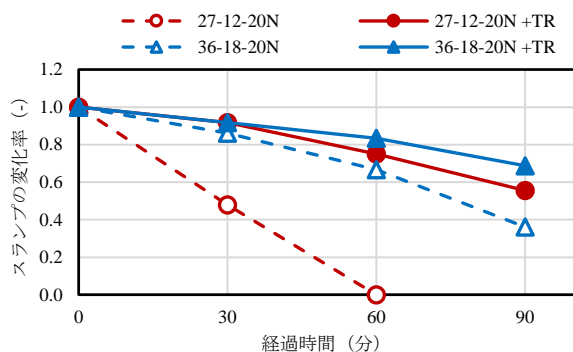


図-3 経時によるスランプの変化率

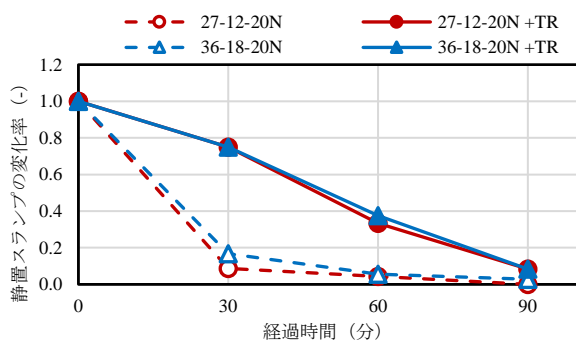


図-4 経時による静置スランプの変化率

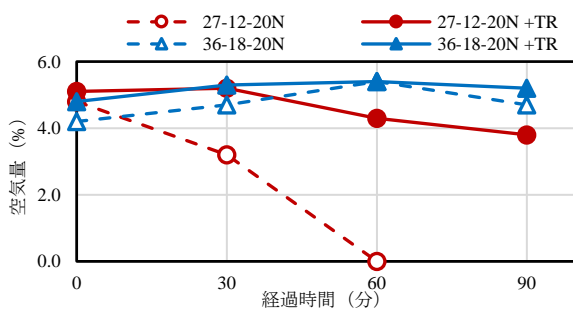


図-5 経時による空気量の変化

することでスランプの低下を制御できることが示唆された。図-4 に経時による静置スランプの変化率を示す。本結果から、こわばりを生じる厳しい試験条件に対して TR を使用しない場合の結果は、コンクリートの種類によらず経時 30 分で大幅に低下しているのに対し、TR を使用することで経時 30 分におけるスランプの低下を制御できていることがわかる。したがって、コンクリートのこわばりに対し、TR が有効に働いたと推察される。

図-5 に経時による空気量の変化を示す。27-12-20N のコンクリートにおいては、スランプ試験の結果と同様に、TR を添加しない場合の経時 60 分で空気量が 0% となったのに対し、TR を添加することで経時 90 分においても、十分な空気量を確保できていた。一方、36-18-20N のコンクリートにおいては、TR を添加していない場合でも、経時 90 分までの空気量の変化が見受けられなかったため、本検討の使用材料および配合条件では、TR 添加による効果の検証には至らなかった。

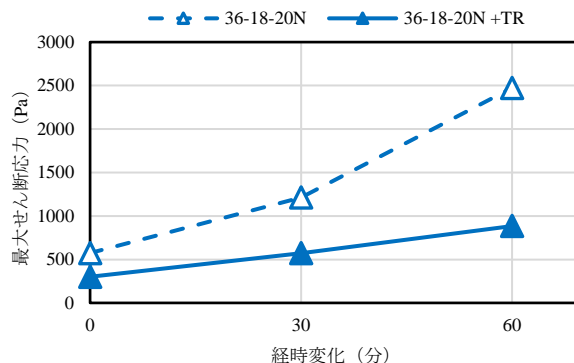


図-6 静置条件下におけるベーンせん断試験の結果

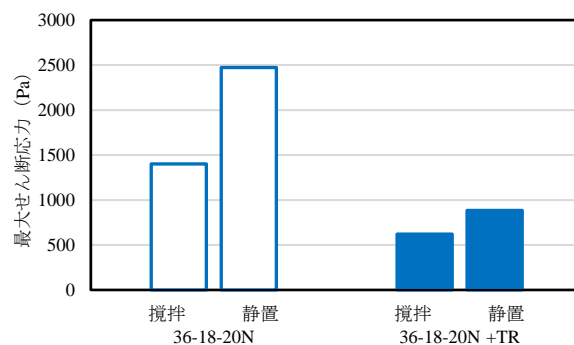


図-7 経時 60 分に対するベーンせん断試験の結果

### 3.3 ベーンせん断試験

本試験では、TR を添加しない場合のスランプが比較的小さかった 36-18-20N のコンクリートに対して TR によるこわばり低減効果を検討することとした。図-6 に静置条件下におけるベーンせん断試験結果の経時変化を示す。TR を添加していない場合、特に経時 30~60 分において最大せん断応力が上昇し、こわばりによりせん断抵抗力が増加していることがわかる。一方で、TR を添加した場合には、最大せん断応力は経時によって増加するが、その値は TR を添加していないときよりも低く、経時 30~60 分の上昇を制御できた。続いて、図-7 に経時 60 分に対する各試験条件の結果を示す。どちらも、試験容器内でコンクリートを静置させた場合よりも、アジテート（攪拌）し続けた場合の方が、最大せん断応力は小さく、こわばりが生じにくいことが示唆された。また、TR を添加することで、最大せん断応力は小さくなり、特に静置条件に対し、こわばり低減効果が顕著であった。

### 3.4 羽根沈入試験

本試験もベーンせん断試験同様、36-18-20N の配合で試験を行った。図-8 に経時変化に対する降伏値の変化率を、図-9 に経時変化に対する塑性粘度の変化率を示す。TR を添加していない場合、こわばりによって降伏値は上昇し、塑性粘度は概ね変化しない結果となった。また、こわばりによる降伏値の上昇は、特に静置条件で顕著となった。一方、TR を添加した場合には、降伏値はわずかに減少し、塑性粘度は上昇する結果となった。塑性

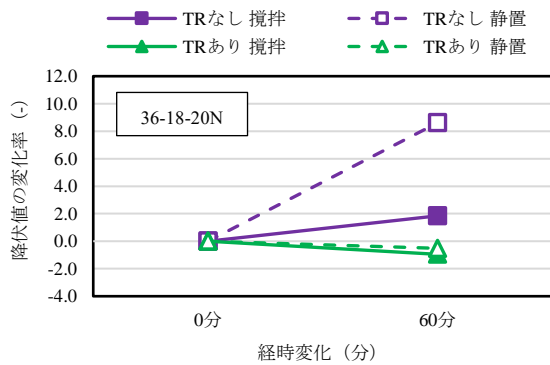


図-8 経時変化に対する降伏値の変化率

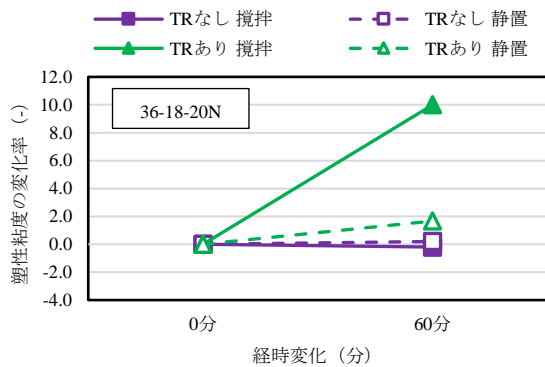


図-9 経時変化に対する塑性粘度の変化率

表-5 凝結試験およびブリーディング試験結果

種別	凝結時間 (h:m)		BL量 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )
	始発	終結	
27-12-20N	2:24	3:21	0.030
27-12-20N +TR	4:04	5:02	0.036
36-18-20N	2:53	3:59	0.004
36-18-20N +TR	4:11	5:27	0.010

粘度の上昇は攪拌条件で著しく、TR が有するセメント粒子の分散性に対して、攪拌による影響が生じていると考えられるが、これらの要因については、今後の検討課題である。

### 3.5 凝結試験およびブリーディング試験

表-5 に凝結試験およびブリーディング試験の結果を示す。凝結試験では、TR を添加することにより、始発と終結のどちらも 1 時間 30 分程度の遅延効果を確認することができた。また、ブリーディング試験においては TR を添加することでわずかにブリーディング量は増加する結果となったが、その総量は非常に小さい値であった。よって、TR を添加することで、凝結時間に対しては有効に働き、ブリーディングに対する影響はほとんど生じないことが示唆された。

### 3.6 加振ボックス試験

図-10, 11 に TR 添加有無による加振ボックス試験の結果を示す。本結果から、TR を添加することで、経時変

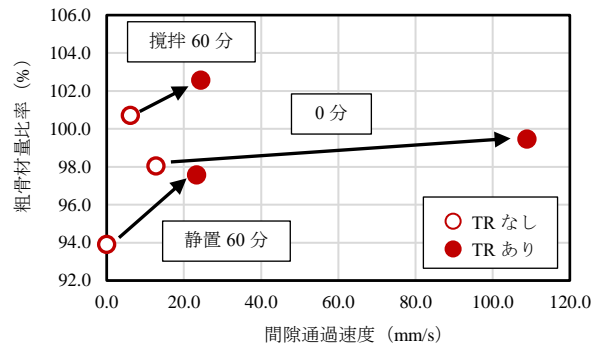


図-10 TR 添加有無による加振ボックス試験の結果 (27-12-20N)

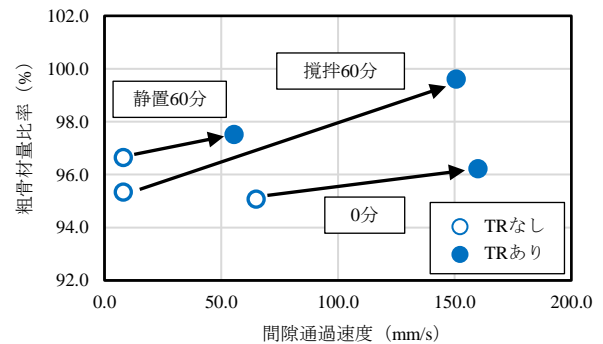


図-11 TR 添加有無による加振ボックス試験の結果 (36-18-20N)

化や、攪拌および静置条件によらず、間隙通過速度と粗骨材量比率は改善される結果となった。これらの結果は、間隙通過性の向上に対する、TR の効果による降伏値の減少と塑性粘度の増加が要因だと考えられる。

### 3.7 振動締め試験

図-12 に経時 0 分における締め完了推定時間を示す。どちらのコンクリートにおいても、TR を添加することで、各 CH における締め完了推定時間は短くなった。続いて、図-13 に CH1 における各試験条件の締め完了推定時間を示す。コンクリート標準示方書 [施工編] に示される標準的な施工方法でのパイプレータ挿入間隔が 50cm 程度であることから、25cm 離れた箇所に設置した CH1 に着目した。その結果、TR を添加していない場合に比べて、TR を添加した場合の方が、経時 60 分の攪拌や静置条件においても締め完了推定時間が短縮された。よって、TR の添加によるこわばり低減効果が、締め時間の短縮に対して有効であることが示唆された。

### 3.8 圧縮強度試験

図-14, 15 に圧縮強度試験の結果を示す。全ての条件で材齢 28 日の圧縮強度は呼び強度を上回る結果であった。養生条件を比較すると標準養生が最も高く、現場養生はわずかに低い値を示した。また TR の添加により 27-12-20N のコンクリートでは、圧縮強度は増加し、36-18-20N のコンクリートでは、概ね変化しない結果となった。

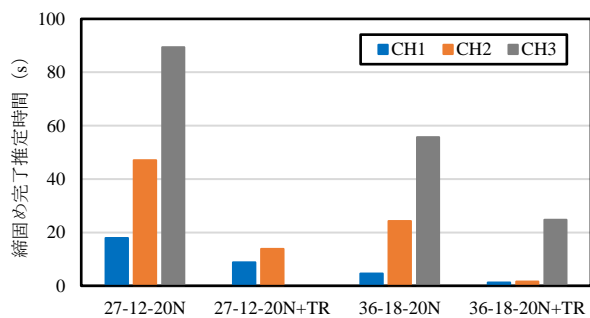


図-12 経時 0 分における締固め完了推定時間

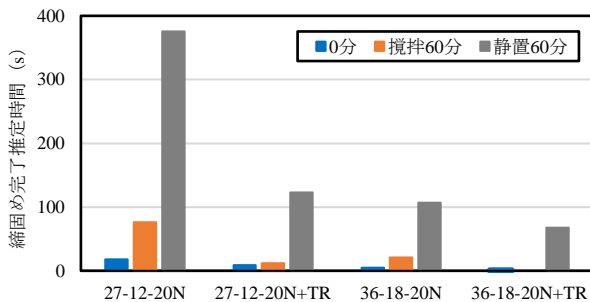


図-13 CH1 各試験条件の締固め完了推定時間

したがって、呼び強度が低い配合における TR の添加が、強度増進の鈍化に対して有効であると示唆された。

#### 4. まとめ

- (1) スランプ試験や空気量試験の結果から、暑中コンクリートに TR を添加することでスランプや空気量の低下を経時 90 分まで制御できることが示唆された。
- (2) ベーンせん断試験および羽根沈入試験の結果から、TR の添加によって、経時時間や、攪拌および静置に伴うこわばりの低減効果を確認できた。
- (3) 凝結試験およびブリーディング試験の結果から、TR は凝結の遅延に対して有効に働き、ブリーディング量には影響を与えないことが示唆された。
- (4) 加振ボックス試験および振動締固め試験から、TR の使用は、間隙通過性向上や締固め時間を短縮することができ、暑中コンクリートの施工性確保に有効であることが推察された。
- (5) 圧縮強度試験の結果から、TR によって材齢 7 日と 28 日の強度は同等、又は増加しており、暑中コンクリートの強度増進の鈍化に対し TR が有効であった。

以上より、環境温度 30℃以上で実機製造した暑中コンクリートにおいても、フレッシュ性状、施工性、および圧縮強度の確保に対し、TR の有効性が示唆された。

#### 謝辞

本論文の執筆にあたり、株式会社フローリック 西祐宜氏、西村和朗氏に実験指導や研究遂行をはじめ多大なるご助言、ご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

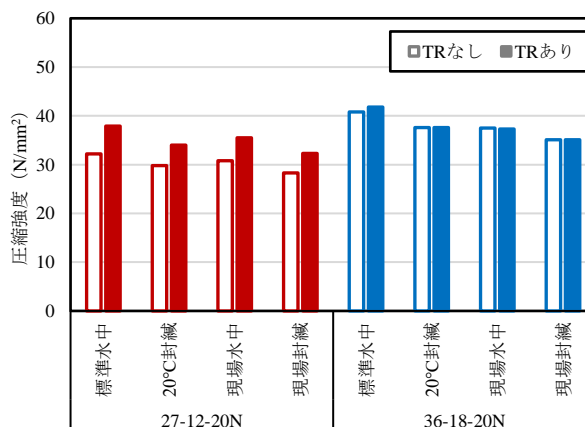


図-14 材齢 7 日における圧縮強度試験結果

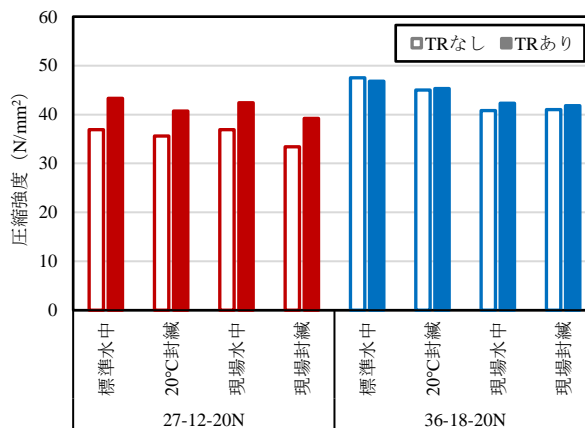


図-15 材齢 28 日における圧縮強度試験結果

#### 参考文献

- 1) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書 [施工編：施工標準]，2018.3
- 2) 根本浩史，平野修也，伊達重之，橋本紳一郎：コンクリートのこわばりを低減する化学混和剤の効果，コンクリート工学論文集，Vol.57，No.8，pp.565-573，2019.8
- 3) 橋本紳一郎，西村和朗，西祐宜，根本浩史：暑中コンクリートへのこわばり低減剤の適用性に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.1，pp.772-777，2022
- 4) 平野修也，西祐宜：ベーンせん断試験によるフレッシュコンクリートのハンドリングの評価に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.16-19，2019
- 5) 室賀陽一郎ら：新しい粘性試験器によるモルタルの塑性粘度の評価，土木学会第 58 回年次学術講演会，V-526，pp.1051-1052，2003.9
- 6) 土木学会：2018 年制定コンクリート標準示方書 [規準編] 土木学会規準および関連規準，2018.10
- 7) 梁俊，國府勝郎，宇治公隆，上野敦：フレッシュコンクリートの締固め性試験方法に関する研究，土木学会論文集 E，Vol.62，No.2，pp.416-427，2006.6