

論文 養生水槽で保管して脱型時期を遅らせた供試体の強度に関する検討

古田 満広*1・新居 宏美*2・新居 佑将*3・島 弘*4

要旨：生コンクリートの強度試験用供試体の作り方における脱型時期は、JISA 1132 にコンクリートを詰め終わってから 16 時間以上 3 日間以内と規定されている。本規定を順守するには休日出勤が求められるケースがある。そこで、脱型しないで 20℃前後で保管する方法を提案し、JIS を満足する方法で得られた強度と比較した。さらに、脱型前の保管温度の及ぼす影響を検討した。その結果、供試体を脱型せずに 20℃の養生水槽で保管した場合、その期間を 1 週間としても強度への影響は認められず、休日を確保する手段として有効であることがわかった。また、脱型までの温度が 35℃の条件では、早期に脱型して所定の養生を開始することが重要であることを明らかにした。

キーワード：圧縮強度試験供試体、供試体の作り方、脱型前保管期間、脱型前保管温度、養生水槽、労働環境

1. はじめに

生コンクリートの品質のひとつとして圧縮強度が重要視される。また、その結果が明らかになるのは打込み後 28 日となることから、生コン工場では不合格にならないように配合設計、供試体の作製・保管・運搬、脱型および強度試験など管理工程の適切性維持に注力している。しかしながら、供試体の保管から脱型については、JISA 1132 にコンクリートの打込み後 16 時間以上 3 日間以内に型枠を取り外して所定の養生を開始するよう規定されており、時間に制約があるのが現状である。

供試体の作製は、通常、コンクリートを打込み、翌日までは静置し、その後上面仕上げを行う。上面仕上げの方法はペーストキャッピングが多く、翌日に脱型することになる。この場合、脱型までの時間は最短で 2 日間を要し、休日を挟むと 3 日間になる。さらに連続休暇を挟むと 4 日間になり、現状の規定では休日出勤が必要になる。昭和の時代は連続休暇を得られるのが夏期休暇と年末年始の休暇ぐらいであったが、平成に入って祝日を休日にするのが当然になり、最近では隔週土曜日を休日とする生コン工場が増加しつつある。さらに、働き方改革が推奨されており、近い将来には、生コン工場も完全週休 2 日制を導入すると推測され、通常の勤務体制では脱型を 3 日間以内で処理できないことが度々発生すると考えられる。

脱型時期に関して、供試体作製直後に荷卸し地点から生コン工場まで運搬することによる工程の短縮化については渡部らの研究成果^{1) 2)}が報告されている。そこで本研究では、脱型までの保管期間の延長の可能性について検討を行った。保管期間の延長策として、打込み直後

にコンクリートの入った型枠をビニール袋で包み、そのまま 20℃の養生水槽で保管することとし、保管温度が強度に及ぼす影響の最小化および乾燥防止によって脱型までの期間延長の可能性を試みた。さらに、保管期間を延長した場合の脱型前の保管温度が強度に及ぼす影響について検討した。

2. 実験の概要

2.1 コンクリートの配合

コンクリートは JIS A 5308 に適合する生コン工場から出荷されるものである。コンクリートの種類は強度を 3 水準とし、呼び強度 18, 30 および 45 とした。スランプは 18cm, 粗骨材の最大寸法は 20mm, セメントの種類は普通ポルトランドセメントである。コンクリートの配合を表-1 に示す。なお、試験場所は香川県生コンクリート工業組合技術試験センター（以下、「試験所」という。）とし、運搬時間が約 15 分である近隣の生コン工場から生コンクリートを納入した。

表-1 コンクリートの配合

呼び強度	W/C (%)	s/a (%)	単位容積質量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	AD
18	65.0	50.0	173	267	925	942	1.60
30	49.0	46.7	177	362	822	953	2.17
45	34.5	41.9	185	537	665	942	3.87

2.2 保管方法・保管期間

保管方法および保管期間を表-2 に示す。保管方法は、一般的な気中保管と今回試行する水中保管とした。供試体作製直後に上面をビニールキャップで覆い型枠側面

*1 香川県生コンクリート工業組合 専務理事（正会員）

*2 香川県生コンクリート工業組合技術試験センター 所長代理（正会員）

*3 香川県生コンクリート工業組合技術試験センター 試験主任

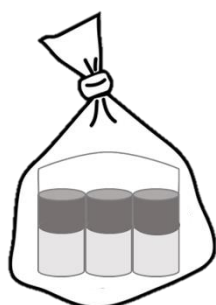
*4 高知工科大学 大学院工学研究科基盤工学専攻教授 工博（正会員）

表－２ 保管方法および保管期間

保管方法	20℃水中										5℃気中				20℃気中				35℃気中			
	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	14日	21日	28日	1日	2日	3日	7日	1日	2日	3日	7日	1日	2日	3日	7日
記 号	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-14	A-21	A-28	B-1	B-2	B-3	B-7	C-1	C-2	C-3	C-7	D-1	D-2	D-3	D-7

と隙間ができないよう輪ゴムで縛り水分の蒸発を防止した。保管環境温度は、気中保管では季節を想定して冬期は5℃、標準期は20℃、夏期は35℃とした（以下、それぞれ「5℃気中」、「20℃気中」、「35℃気中」という）。なお、環境温度を一定に維持するため、5℃は恒温装置を、20℃は恒温室を、35℃は乾燥機を使用した。水中保管は、生コン工場で常に恒温を維持して稼働している供試体養生水槽の活用を前提として20℃とした（以下、「20℃水中」という）。水中保管は水の侵入を防ぐために供試体転倒防止容器に3本ずつセットし、2重のビニール袋で梱包した。さらに、浮力を小さくするため梱包後にビニール内の空気を吸引した。梱包のイメージを図－1に、実際の状況を写真－1に示す。また、20℃水中の保管状況を写真－2に、5℃気中を写真－3に、20℃気中を写真－4に、35℃気中を写真－5に示す。

保管期間は供試体の端面処理に要する時間を想定し、研磨あるいはアンボンドキャッピングでは翌日脱型で1



図－1 梱包イメージ図



写真－2 保管状況（20℃水中）



写真－3 保管状況（5℃気中）



写真－1 梱包状況



写真－4 保管状況（20℃気中）



写真-5 保管状況 (35℃気中)

日間、ペーストキャッピングで2日間、休日を1日挟む場合で3日間とした。また、連続休暇などによって脱型までの期間が4日以上になることを想定し、延長期間として7日間を追加した。さらに、20℃水中については、14日間、21日間および28日間を追加した。なお、脱型する時間は、保管期間1日～3日は供試体作製時間からそれぞれ±30分、7日は±1時間、14日、21日および28日は±2時間とした。なお、保管期間中は、データロガーで気中環境の温度を測定した。水中環境は呼び強度別に温度を測定し、呼び強度30については湿度も併せて測定した。

2.3 強度試験

所定の保管終了後、20℃±2℃の水中養生とし、材齢28日で圧縮強度試験を実施した。なお、保管期間28日については脱型後、直ちに端面を処理して試験を実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 保管環境温度

20℃水中の環境温度を図-2に示す。20℃水中の保管温度は、全配合とも梱包後6～8時間で21℃を超え、その後6～10時間で21℃を下回った後は20℃±1℃で安定している。最高温度は呼び強度18が21.2℃、呼び強度30が21.3℃、呼び強度45は22.6℃であった。若干の差

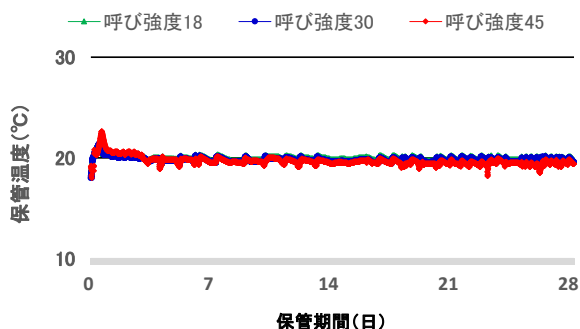


図-2 保管環境温度 (20℃水中)

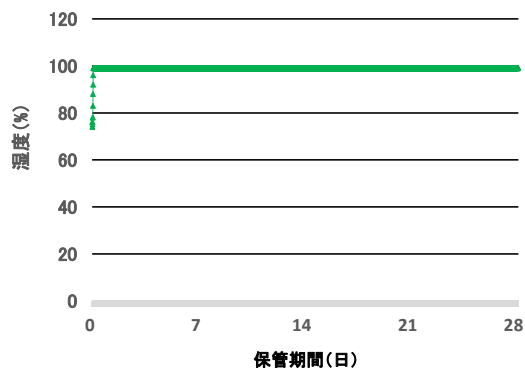


図-3 保管環境湿度 (20℃水中)

異が認められるが、要因として水和熱が影響したのではと推測される。20℃水中の環境湿度を図-3に示す。湿度は、梱包後1.5時間で99%になり、その後28日間維持している。

気中環境の保管温度を図-4に示す。気中環境の保管温度は、5℃気中は小さい恒温槽であるため全配合を収納した時に9℃まで上昇した。また、供試体を恒温室からの出すときの開閉時に若干上昇するものの概ね5～6℃で安定している。20℃気中は全期間中20℃±0.5℃の範囲内であり、非常に安定している。35℃気中は、骨材の乾燥機を活用したため、開閉時に若干の変動はあるものの35℃±1℃で安定しており、気中環境温度維持について総合的に評価すると、目標とする温度が確保できたといえる。

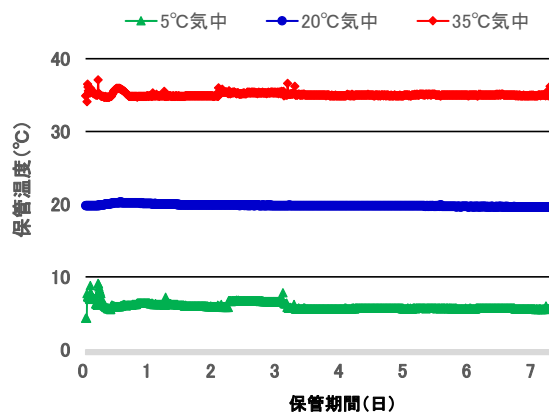


図-4 保管環境温度 (気中環境)

3.2 圧縮強度

呼び強度18、30、45における28日圧縮強度の結果をそれぞれ図-5から図-7に示す。28日強度に対する保管条件の影響を検討するために、基本とする保管条件をこれまでの経験から脱型までの期間が2日間、保管環境温度が20℃(記号C-2)のものとし、図中の最初に表示している。28日強度は、それぞれの配合において脱型までの保管方法によって異なっている。それぞれの保管方法における脱型までの保管期間の影響については、呼び強度18および30では保管期間が長くなるほど強度が高

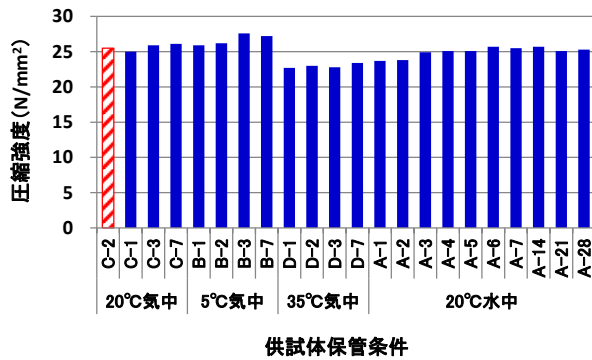


図-5 圧縮強度（呼び強度 18）

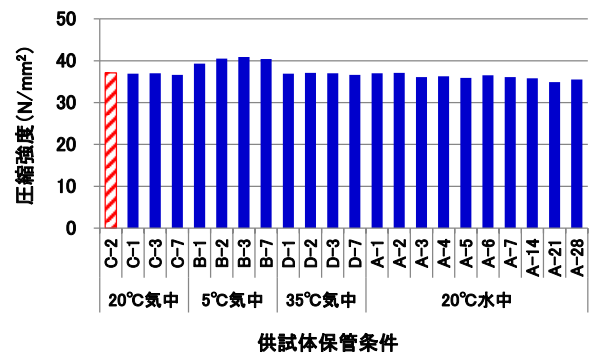


図-6 圧縮強度（呼び強度 30）

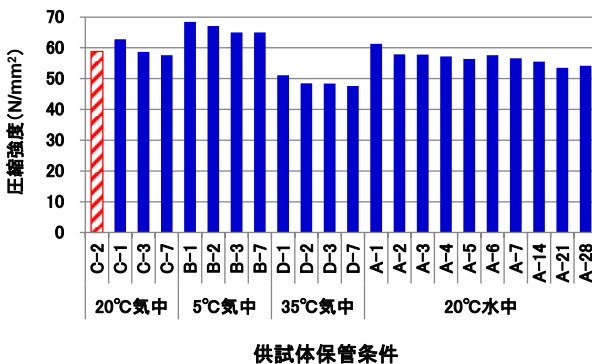


図-7 圧縮強度（呼び強度 45）

くなる傾向が見られる 5°C 気中を除き顕著な影響は認められない。一方、呼び強度 45 では保管期間が長くなるほど強度が低くなる傾向が見られる。

呼び強度 18 の各条件における強度を基本条件の C-2 の強度に対する強度比で表して比較した結果を図-8 に示す。呼び強度 18 では、C-2 と比較して 20°C 水中は保管期間 1 日と 2 日を除き 98~101% であって安定している。なお、A-1 と A-2 が 93% と強度が低くなった要因は特定できなかった。5°C 気中では全期間とも 100% 以上である。初期の環境温度が低いため強度が高くなったと考えられる。20°C 気中は 98~102% と安定している。本配合はセメント量が少ないため水を 7 日間補充しなくても強度が低下しなかったのではと考えられ、供試体に含まれる水がその役割を果たしたともいえる。35°C 気中は 89~92% であり、約 10% 低下している。脱型 1 日で 11% 低

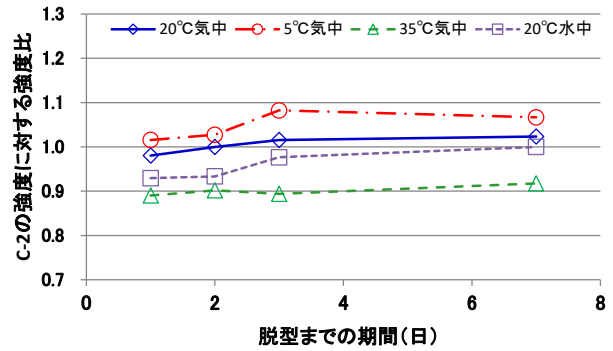


図-8 C-2 の強度に対する強度比（呼び強度 18）

下しており、保管期間の影響は認められない。

呼び強度 30 の各条件における強度を基本条件の C-2 の強度に対する比で表した結果を図-9 に示す。呼び強度 30 では、20°C 水中は保管期間 7 日までは 97~100% と安定しているが、14 日以降は 94~96% と強度が低下しており、呼び強度 18 と異なる結果になった。これはセメント量の違いが要因と考えられ、水和に必要な水量が単位セメント量によってそれぞれ異なるのではないかと考えられる。5°C 気中は、呼び強度 18 と相違なく全期間が 100% 以上である。20°C 気中は 99~100% であり、非常に安定している。35°C 気中は 74~90% と全期間とも 10% 以上低下しており、保管期間 7 日では 26% の低下が認められる。

呼び強度 45 における各条件の強度を基本条件 C-2 の強度に対する比で表した結果を図-10 に示す。呼び強度

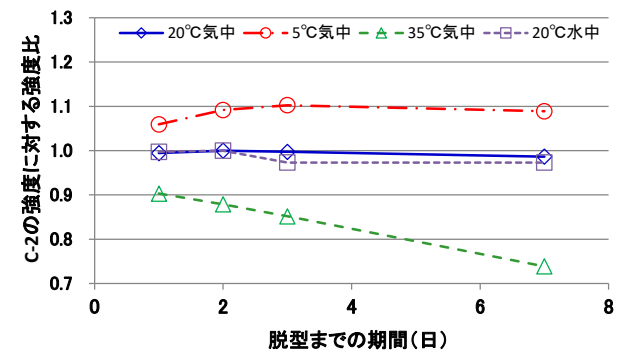


図-9 C-2 の強度に対する強度比（呼び強度 30）

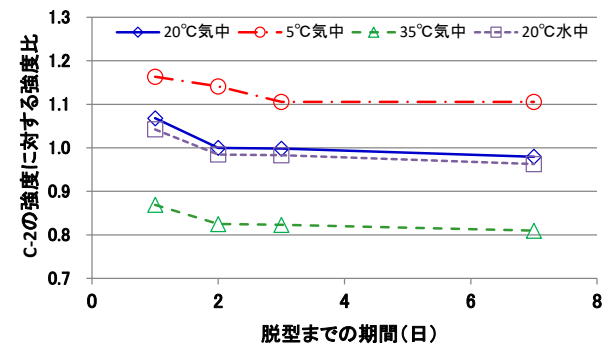


図-10 C-2 の強度に対する強度比（呼び強度 45）

45 では、20℃水中は保管期間 6 日までは安定しているが、7 日になると若干の低下が認められ、14 日以降は 91～94%と低下率が大きい。単位セメント量が最も多いコンクリートであるため、保管期間が 7 日以降になると水和に必要な水量が確保できなくなったのが要因ではないかと考えられる。5℃気中は、全期間とも 100%以上であるが保管期間が長くなると強度が低下する傾向が認められる。このことより高い強度領域のコンクリートは低温環境であっても早めに脱型し水中養生に移行することの重要性がわかる。20℃気中は、保管期間 7 日でも大幅な低下は認められない。35℃気中は、保管期間 1 日で 13%、2 日で 18%、7 日で 19%低下しており、このレベルの環境温度になると、脱型までの期間短縮よりも供試体の常温環境下への移動時間短縮策の検討が重要であると思われる。

3.3 基本条件 C-2 の強度との関係

基本条件 C-2 の強度とそれぞれの保管方法および保管期間で得られた強度との関係として 20℃水中の保管期間 7 日までを図-11 に、5℃気中を図-12 に、20℃気中を図-13 に、35℃気中を図-14 に示す。また、20℃水中の全保管期間の強度の基本条件 C-2 の強度に対する比を図-15 に示す。20℃水中では強度が 60N/mm² クラスだと保管期間 7 日までは基本条件 C-2 の強度の±5%以内であり、30 N/mm² 前後だと一部を除き全期間とも C-2 強

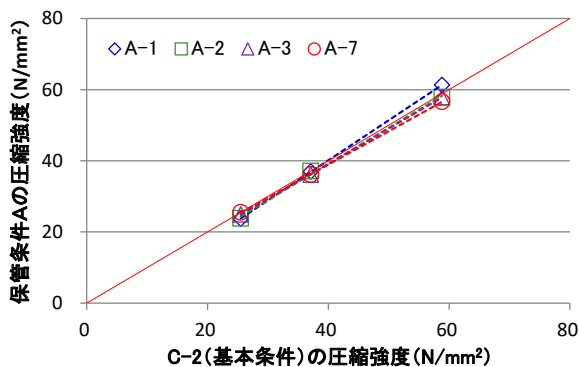


図-11 C-2 の強度との関係 (20℃水中)

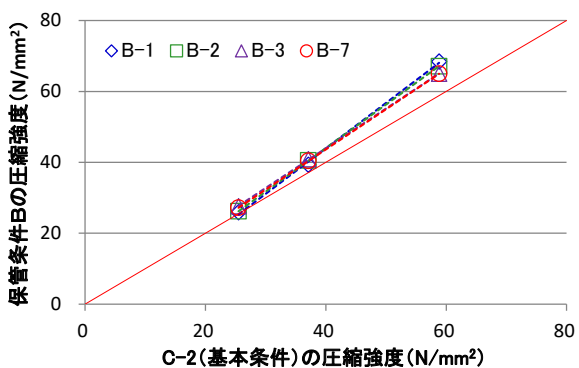


図-12 C-2 の強度との関係 (5℃気中)

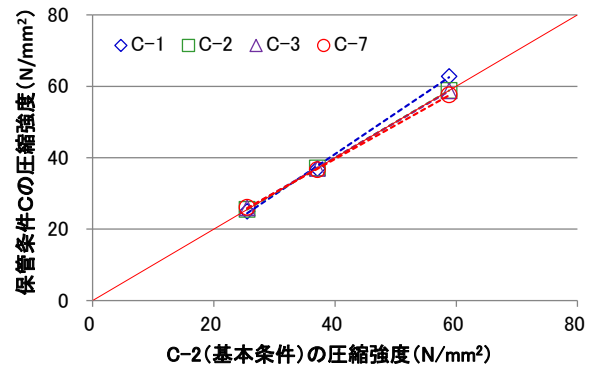


図-13 C-2 の強度との関係 (20℃気中)

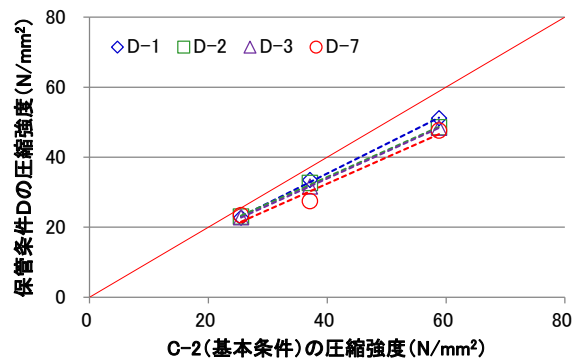


図-14 C-2 の強度との関係 (35℃気中)

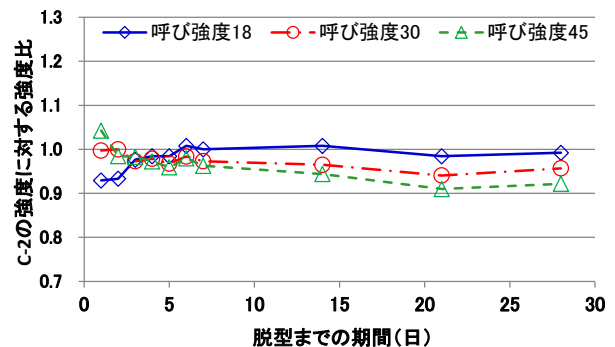


図-15 C-2 の強度に対する強度比 (20℃水中全期間)

度の±5%以内である。5℃気中では保管期間 7 日までの全期間とも 100%以上であり、20℃気中では 98%以上である。このことより保管期間を延長しても強度低下に大きな影響を及ぼさないといえ、その結果、保管期間を 7 日まで延長できる可能性がある。なお、保管期間を 28 日まで検証した 20℃水中では 30 N/mm² 前後の強度領域では保管期間をさらに延長できる可能性がある。35℃気中は、低強度領域以外では、早急に所定の養生への移行が重要であるといえる。

3.4 強度の標準偏差

保管期間を JIS 規格で許容されている 1 日、2 日および 3 日に特定し、保管環境条件別に強度の標準偏差を求めた。その結果を図-16 から図-18 に示す。なお、図中

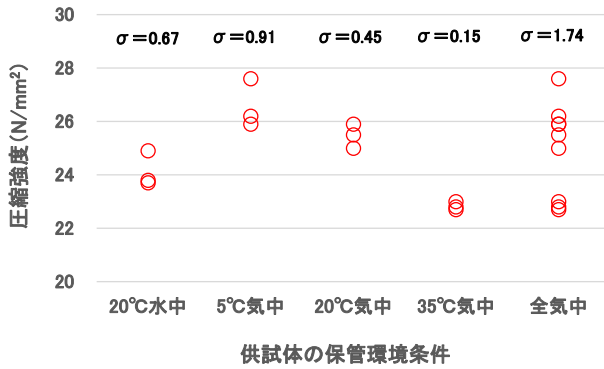


図-16 保管条件と強度の標準偏差（呼び強度 18）



図-17 保管条件と強度の標準偏差（呼び強度 30）

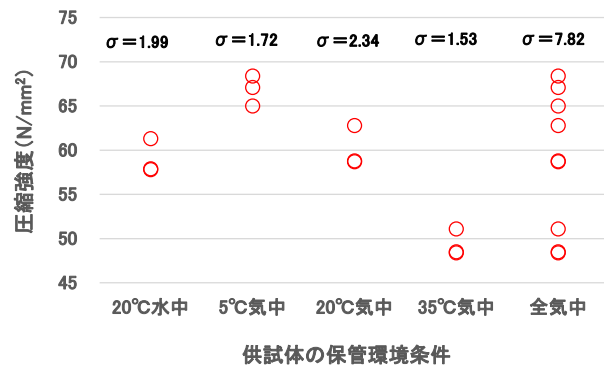


図-18 保管条件と強度の標準偏差（呼び強度 45）

のプロットは3本の平均値であり、 σ は標準偏差である。データが3と少ないため傾向を特定できないが、保管環境4条件の標準偏差に大きな差異は認められない。なお、気中保管の全温度のデータの標準偏差を供試体の初期保管環境が及ぼす年間変動として仮定した場合、その標準偏差は20°C水中と比較して大きく、呼び強度18では約2.5倍、呼び強度30では約6倍、呼び強度45では約4倍である。このことより、1年間を通して初期保管を20°C水中とした場合、初期保管環境による強度の変動要因を抑制することができ、品質管理の安定化に繋がるのではと考えられる。

4. まとめ

供試体の保管環境を20°C水中にすることで、脱型までの期間延長の可能性を検討した。得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 保管方法が35°C気中以外の場合、基本とした20°C気中の保管期間2日の強度と比べ、保管期間7日まではほぼ同一の強度が得られることがわかった。
- (2) 20°C水中に保管することにより期間の延長の可能性を検討した結果、60N/mm²クラスだと保管期間は7日までだが、30N/mm²以下だと28日まで延長しても強度への影響が少ないことがわかった。
- (3) 35°C気中で1日でも保管した場合、著しく強度が低下しており、供試体作製直後に常温環境下に移転することの重要性を明らかにした。
- (4) 20°C水中で初期保管した場合、気中による初期保管（全温度）の強度のばらつきを抑制することができる。

以上の結果、供試体作製後の保管期間の制約規定は適切と考えられたが、今回提案した20°C水中で保管した場合、本実験の範囲では最長7日間までの延長が可能であることがわかった。つまり、この期間内であれば都合のいい時期に脱型することができる。今後の課題として、セメントの種類の影響、あるいは高強度コンクリートへの適用についての検討が考えられる。さらに、製品検査用供試体の即時持ち帰りの標準化、保管期間7日間からのさらなる延長、および20°C水中用供試体保管容器の開発等について検討することが必要である。

最後に、JIS認証の全生コン工場が強度管理用として水温を20°C±2°Cに管理した養生水槽を備えており、恒温維持に新たな設備投資が必要でないことから本方法が採用されれば普及が拡大するのではと期待される。

謝辞：本実験は、JCI 四国支部の「四国の生コン技術力活性化委員会（第5期）」の活動として実施した。委員の皆様および多大な応援をして頂いた香川県生コンクリート工業組合の組合員工場の皆様に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 竹村 賢, 重見 高光, 渡部 善弘, 島 弘: 現場採取した供試体を即時持ち帰った場合の圧縮強度に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.38, No.1, pp.363-368, 2016
- 2) 渡部 善弘, 森田 剛介, 島 弘: 猛暑日に現場で作製した強度試験用供試体の常温環境下への移動に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.42, No.1, pp.227-232, 2020