

# 論文 各季節における構造体コンクリートのせき板存置による 湿潤養生効果に関する検討

井出 朋孝\*1・金子 樹\*2

**要旨:** 本研究では、夏期、標準期および冬期において実大の壁試験体を作製し、せき板の存置による構造体コンクリートの湿潤養生の効果、およびその管理手法の検討を行った。その結果、コンクリートの表面の品質、強度発現性および中性化抵抗性は、湿潤養生期間に係わらず、同程度であった。これらの結果から、JASS 5 の 8 節にならない、圧縮強度を判断基準として湿潤養生を打ち切ることで、構造体コンクリートの品質を確保できること、耐久設計基準強度を満足するコンクリートは湿潤養生期間に係わらず、十分な中性化抵抗性を有することを明らかにした。

**キーワード:** 湿潤養生、表面性状、強度発現性、中性化抵抗性、暑中コンクリート

## 1. はじめに

コンクリートにおいて硬化初期の養生は極めて重要であり、打込まれたコンクリートを十分な湿潤状態かつ、適当な温度に保つ湿潤養生は、硬化後のコンクリートの強度発現性や耐久性能を確保するために必要な施工工程となる。日本建築学会の建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事（以下、JASS 5 とする）では、「8 節 養生」において、セメントの種類や計画供用期間の級に応じた湿潤養生の期間を定めており、普通ポルトランドセメントでは、短期および標準で 5 日以上、長期および超長期で 7 日以上としている。

また、早強、普通および中庸熱ポルトランドセメントを用いる場合は、この日数の経過以前であっても、所定の圧縮強度が発現していることを確認すれば、湿潤養生を打ち切ることができるとされている。この圧縮強度の確認による湿潤養生の期間の管理は、コンクリートの強度発現性や耐久性能といった品質の確保を考慮したうえで、早期の型枠の脱型・転用による円滑な施工工程の進行やせき板の塗装保護にも有効となる。

一方、夏期や冬期のコンクリート工事においては、強度発現性や耐久性能に関する問題が生じやすく、構造体コンクリートの湿潤養生の重要性はより大きくなる。特に、暑中コンクリート工事において 2022 年版 JASS 5 では、実験または信頼できる資料によりコンクリートの品質を確認した場合に、8 節に規定の圧縮強度による湿潤養生の打ち切りが認められている。しかし、旧版の JASS 5 では、暑中コンクリート工事の場合は、圧縮強度による湿潤養生の打ち切りを除外すると解説されていた。

このように、コンクリートの圧縮強度による湿潤養生の期間の管理は、構造体コンクリートの品質や施工工程

において合理的ではあるが、課題も示されていた。そこで、本研究では、暑中期を含む各季節におけるせき板存置による湿潤養生期間が構造体コンクリートの品質に及ぼす影響を明らかにするため、実大の壁試験体を作製し、表面品質、強度発現性および耐久性能の検討を行った。

なお、本稿は夏期（8 月下旬）および標準期（11 月中旬）に実施した実験の報告<sup>1)</sup>に、冬期（1 月下旬）のデータを追加し、再考察したものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験の要因と水準

表-1 に実験を行った季節とセメントの種類、水セメント比との組み合わせ、ならびに試験項目を示す。実験は実大の壁試験体について湿潤養生の方法をせき板の存置とし、水セメント比 45, 50, 56% のコンクリートを用いて、各時期に実施した。使用したセメントは普通ポルトランドセメント（記号 NP）に加えて、NP と同様に JASS 5 の 8 節で圧縮強度による湿潤養生の打ち切りが認められている中庸熱ポルトランドセメント（記号 MP）、および普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種を併用した高炉セメント A 種相当<sup>2), 3)</sup>（記号 BA）の 3 水準とした。一般に高炉セメント A 種は NP と同様な性状とされ、2022 年版の JASS 5 でも湿潤養生の期間は NP と同様であるが、湿潤養生を打ち切ることができる圧縮強度に関しては実験または信頼できる資料によるとされている。ただし、高炉セメント A 種は現在では一般的な製造、流通がないため、本実験では、BA を水準とした。

また、湿潤養生期間は、コンクリートの打込みから 1~7 日を基準とし、標準期の MP と BA および冬期では初期強度の発現を考慮して 2~7 日とした。

\*1 株式会社 長谷工コーポレーション 技術研究所 修士 (工学) 正会員

\*2 株式会社 長谷工コーポレーション 技術研究所 博士 (工学) 正会員

## 2.2 壁試験体の概要

壁試験体の概要を図-1に示す。壁試験体は寸法が長さ1900×高さ900×幅200mmの壁を模擬した形状とし、両端面および上面は厚さ200mmの断熱材で熱の伝達を遮断した。また、壁試験体の湿潤養生は厚さ12mmのコンクリート型枠用合板を使用した。なお、2022年版JASS5では、暑中コンクリート工事においても構造体コンクリートでは、せき板の存置期間を湿潤養生期間に含めることができる」とされている。

壁試験体は、左右半分ずつで異なる湿潤養生期間とし、表裏の両面で同一の期間とした。すなわち、ひとつの試験体で2水準の養生期間が2面となり、計4面の試験面を設けている。

壁試験体の作製には、レディーミクストコンクリート工場で作製したコンクリートを使用し、表-1に示す14条件で各2体の計28体を作製した。また、トラックアジテータによる運搬時間は30～40分程度であり、コンクリートの打込みおよび壁試験体の保存は、環境温度が外気温に近く、日射や風雨の影響を受けない屋内とした。

## 2.3 試験項目および方法

フレッシュコンクリート試験はコンクリートの荷卸し時に、スランプ(JISA1101)、空気量(JISA1128)、コンクリート温度(JISA1156)および壁試験体と同一な雰囲気環境下でのブリーディング(JISA1123)を実施した。

壁試験体については、図-1のように壁面の左右それぞれで横5行(1～5)、縦4列(A～D)を割り当て、2および4行目の6か所で透気性試験、B列の5か所で反発度試験(JISA1155)を行った。

透気性試験はダブルチャンバー法で実施し、各条件の片面につき6点の測定値に対して検定を行った。検定にはGrubbs検定を用いて、片側5%の有意水準で最大および最小値に対して、外れ値となる1または2点を棄却した。その後、表裏両面を合わせた最大12点から相乗平均で透気係数 $KT$ を求めた。また、コンクリート表面の含水率は透気性測定時に低周波静電容量式で測定し、4.4～5.3%と、測定値に対して含水率が影響するとされる5.5%よりも小さい値であった。なお、反発度および透気性の測定は材齢28日のコアの採取前日に実施している。

圧縮強度試験(JISA1107)および促進中性化試験は、図-1中の位置で採取した寸法 $\phi 100 \times 200$ mmのコアにより実施した。コアは湿潤養生の打切り時(材齢1～7日まで)では当日に、材齢28、91日では1～3日前に採取した。なお、コアは湿式で採取したが、材齢7日までの圧縮強度試験はコア採取直後に実施したこと、また、促進中性化試験用のコアは材齢28日頃に採取した後、材齢56日まで温度20℃、相対湿度60%で気中養生としたことより、コア採取時の水分が試験値に与える影響は小

表-1 実験の組み合わせと試験項目

季節区分	夏 期		標準期			冬 期		
	NP	MP	NP	MP	BA	NP	MP	
W/C (%)	45	○	○	—	—	—	●	●
	50	○	○	○	●	●	●	●
	56	○	—	—	—	—	●	●
試験項目	透気性、反発度、圧縮強度、促進中性化							

【凡例】 ○：湿潤養生期間1、3、5および7日  
●：湿潤養生期間2、3、5および7日

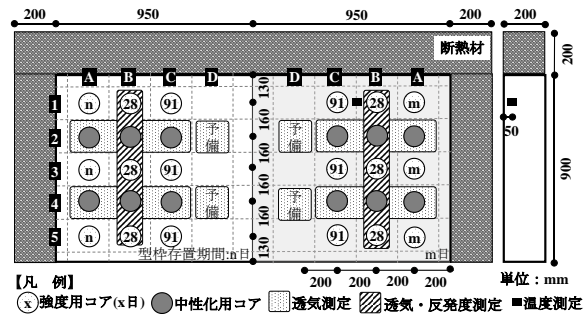


図-1 壁試験体の概要と各試験の実施位置

さいと考える。

促進中性化試験は、JISA1153をもとに20℃、60%RH、CO<sub>2</sub>濃度5.0%の促進環境下で行った。試験用のコアは、小口を試験面として側面はシール処理し、中性化深さはJISA1152に準じて測定した。なお、対象箇所に表面不良が見受けられる場合は、予備の箇所で代用した。

## 2.4 コンクリートの材料および調合

表-2に実験に使用したコンクリートの調合を示す。コンクリートに使用した材料は、セメントは同一製造者のNP(密度3.16g/cm<sup>3</sup>)、MP(3.21g/cm<sup>3</sup>)および高炉セメントB種(3.04g/cm<sup>3</sup>)とした。また、細骨材は陸砂と石灰岩砕砂の混合砂(表乾密度2.62g/cm<sup>3</sup>)、粗骨材は石灰岩砕砂の2種混合(表乾密度2.70g/cm<sup>3</sup>、実積率60.2%)を使用し、練混ぜ水は工業用水、化学混和剤は高性能AE減水剤で、夏期では遅延形を、標準期および冬期では標準形を使用した。

コンクリートの計画調合はレディーミクストコンクリート工場の標準調合をもとに、いずれも目標スランプ21±2.0cm、目標空気量4.5±1.5%とし、粗骨材かさ容積は0.57m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。なお、BAではセメント中の高炉スラグ微粉末の混入量が約20%となるように、NPと高炉セメントB種を55:45の質量比<sup>3)</sup>で併用した。

## 3. フレッシュコンクリートおよび表面性状

### 3.1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果を表-2に示す。いずれのコンクリートも荷卸し時の性状は目標のスランプおよび空気量を満足し、良好であった。また、壁試験体と同様な雰囲気環境下で実施したブリーディング試験

では、いずれのブリーディング量も  $0.02 \sim 0.15 \text{ cm}^3 / \text{cm}^2$  と小さいことから、壁試験体の表面におけるブリーディングの影響は小さいと考えられる。

壁試験体のコンクリート温度を表-2 および図-2 に示す。材齢 7 日までの平均の環境温度は、夏期で  $29^\circ\text{C}$ 、標準期で  $17^\circ\text{C}$ 、冬期で  $10^\circ\text{C}$  であった。夏期の実験時期

は、JASS 5 で暑中コンクリート工事の適用範囲となる日平均気温の平年値が  $25^\circ\text{C}$  を超える期間であり、荷卸し時のコンクリート温度は夏期で  $31 \sim 35^\circ\text{C}$ 、標準期で  $19^\circ\text{C}$ 、冬期で  $7 \sim 13^\circ\text{C}$  であった。

壁試験体の最高温度は、水セメント比が小さいほど高かった。また、セメントの種類では、同一の水セメント

表-2 コンクリートの計画調合およびフレッシュ試験結果

季節区分	セメント種類	計画調合						スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 ( $^\circ\text{C}$ )	ブリーディング		標準 28 日 圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	試験体の温度履歴		
		W/C (%)	s/a (%)	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )							量 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ )	終結時間 (min)		最高温度 ( $^\circ\text{C}$ )	上昇量 ( $^\circ\text{C}$ )	到達時間 (h)
				W	C	S	G									
夏期	NP	45	47.9	175	389	825	924	22.0	3.8	35	0.02	240	48.7	50.6	16.8	12.0
		50	48.9	175	350	858	924	20.5	3.7	34	0.04	210	42.2	49.0	15.1	12.0
		56	49.8	175	313	889	924	19.5	4.0	32	0.06	210	34.5	46.1	14.4	12.5
	MP	45	48.1	175	389	832	924	22.5	3.3	31	0.03	270	50.0	43.6	14.2	12.0
		50	49.0	175	350	863	924	21.0	3.3	31	0.05	270	44.6	42.4	13.1	12.5
標準期	NP	50	48.9	175	350	858	924	20.5	3.5	19	0.08	420	45.7	29.0	10.7	16.0
	MP	50	49.0	175	350	863	924	21.5	4.2	19	0.06	330	44.0	28.5	10.1	14.5
	BA	50	48.8	175	350	853	924	21.0	3.5	19	0.09	390	46.0	27.6	10.2	26.0
冬期	NP	45	47.9	175	389	825	924	22.0	3.5	7	0.04	540	46.6	18.5	9.5	31.5
		50	48.9	175	350	858	924	22.0	4.6	9	0.06	540	38.9	17.3	8.8	33.0
		56	49.8	175	313	889	924	22.0	4.3	10	0.15	660	32.0	16.3	8.8	34.0
	MP	45	48.1	175	389	832	924	21.0	3.6	11	0.08	450	43.0	21.5	8.7	16.5
		50	49.0	175	350	863	924	21.0	5.0	12	0.08	450	37.5	19.9	8.4	29.0
		56	49.9	175	313	893	924	20.5	4.0	13	0.12	480	35.4	19.1	9.1	31.0

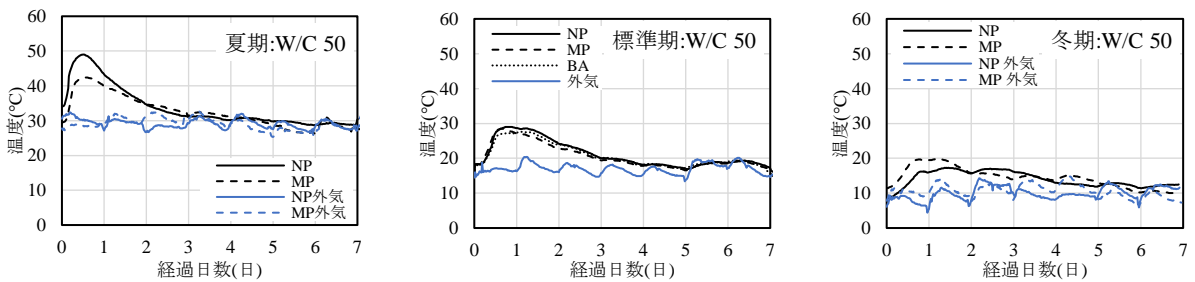


図-2 打込み後の試験体の温度履歴 (W/C=50%)

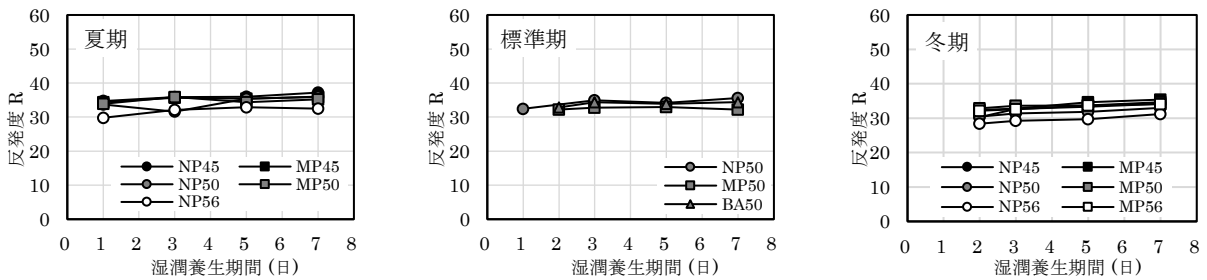


図-3 反発度と湿潤養生期間の関係

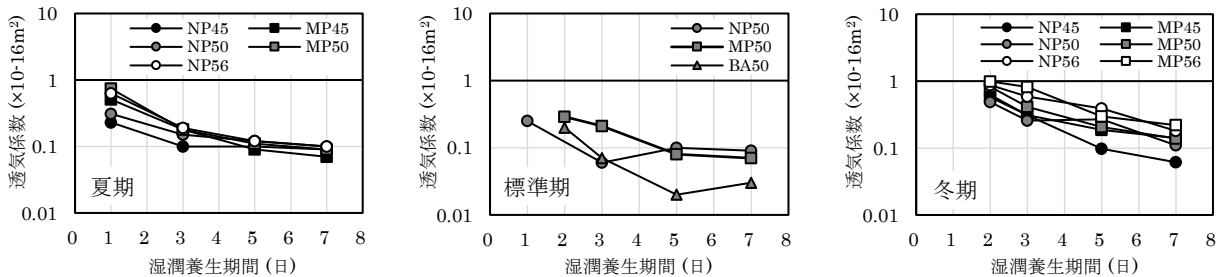


図-4 透気係数と湿潤養生期間の関係

比における最高温度は、夏期はNPがMPより高く、標準期は同等、冬期はMPがNPよりも高かった。

また、最高温度に到達するまでの時間では、夏期のNPとMPは同程度であったのに対し、冬期はNPの方が若干遅かった。さらに、標準期のBAでは最高温度までの到達時間が10時間程度遅くなったが、いずれも、3日以降ではほかのセメントと同程度であった。

### 3.2 反発度および透気性

湿潤養生期間との関係について、壁試験体表面の反発度を図-3に、透気係数を図-4にそれぞれ示す。

反発度は、各条件において、いずれの湿潤養生期間においても同程度であり、明確な違いは見られなかった。

一方で、透気係数は、湿潤養生期間が短いほど大きくなる傾向が見られ、特に冬期では明確であった。また、水セメント比が大きいほど透気係数が大きくなる傾向が見られた。しかしながら、いずれの条件においてもNormalグレードとされる $1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下<sup>4)</sup>と小さく、絶対評価としては大きな値ではなかった。なお、実部材を模擬した大型試験体では、型枠面でブリーディング水による不均一な水みちが生じることから、部分的に表層コンクリートに脆弱部が形成され、透気性などの表面の品質が低下するとの報告がある<sup>5)</sup>。しかし、本研究においては、前述のようにブリーディング量が小さいことや複数点での測定値について検定を行っていることから、このような影響は大きく受けけないものと判断した。

以上より、いずれのセメントの種類や水セメント比、季節においても、湿潤養生期間の違いによる反発度および透気係数といったコンクリート表面の品質への影響は小さいと考えられる。

## 4. 強度発現性

### 4.1 構造体コンクリートの圧縮強度

湿潤養生を打ち切り後の構造体コンクリートの強度発現性について、図-5に湿潤養生期間と材齢28日のコア強度の関係を示す。いずれのセメントでも湿潤養生期間が短い場合にわずかにコア強度が小さくなるものが見られたものの、その差は小さく、湿潤養生期間が短い場合にも構造体コンクリートとして十分な強度発現が確認された。また、いずれの季節でも同一水セメント比のコア強度と同程度であった。

### 4.2 湿潤養生の期間と効果の検討

湿潤養生の打ち切り時期の違いがその後の構造体コンクリートの強度発現性に与える影響に関して、今回の実験結果に加え、同様に湿潤養生の打ち切り時期を水準として壁試験体を作製した実験（湿潤養生期間2, 4, 7および10日）のコア強度<sup>6)</sup>より検討を行った。

図-6に湿潤養生打ち切り時の壁試験体におけるコア強度と、材齢28日時点のコアの圧縮強度比の関係を示す。なお、圧縮強度比は、材齢28日のコア強度について、湿潤養生期間7日の強度に対する、各湿潤養生期間の強度の比として示した。湿潤養生打ち切り時のコア強度が、JASS 5で供用期間の級が短期および標準期において湿潤養生の打ち切りができる $10 \text{N/mm}^2$ 以上では、ほとんどの条件において圧縮強度比は90%以上であり、早期に湿潤養生を打ち切ることによる圧縮強度への影響は見られなかった。そのため、圧縮強度 $10 \text{N/mm}^2$ を基準として、湿潤養生期間の打ち切りを判断した場合、夏期でも標準期や冬期と同様に、その後の構造体コンクリートの強度発現性への影響は小さいと考えられる。

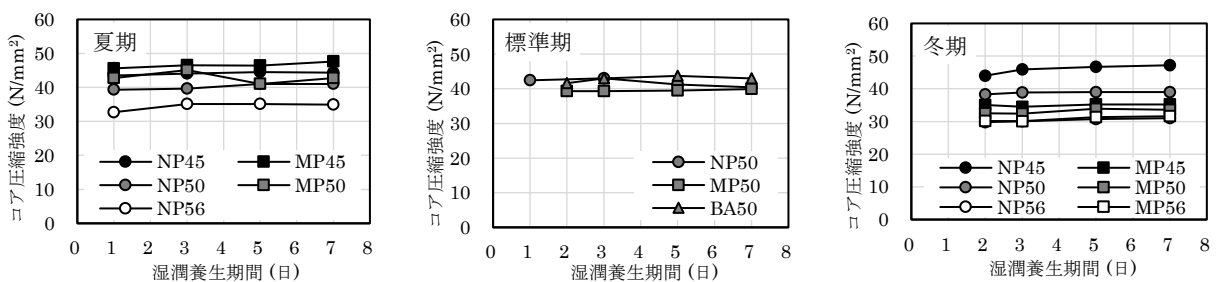


図-5 模擬試験体の材齢28日コアの圧縮強度と湿潤養生期間の関係

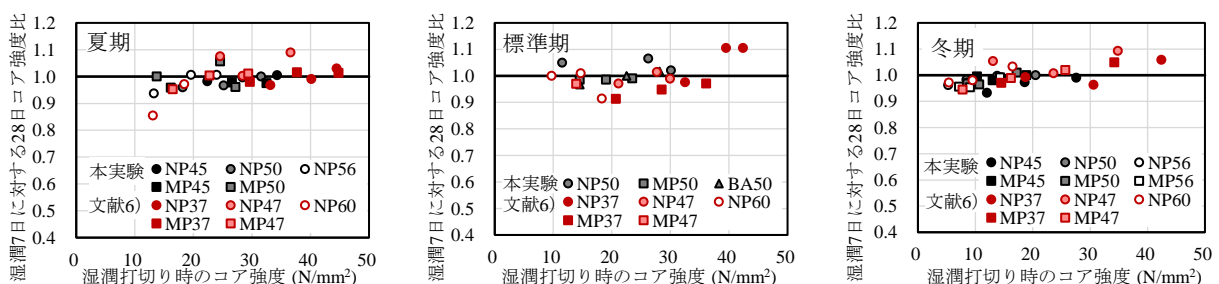


図-6 湿潤養生打ち切り時のコア強度と材齢28日の圧縮強度比の関係

## 5. 中性化抵抗性

### 5.1 中性化速度係数

促進中性化試験における中性化速度係数を表-3に、中性化速度係数と湿潤養生打切り時のコア強度との関係を図-7に示す。中性化速度係数は、夏期や冬期では、湿潤養生期間が1日または2日と短い場合に大きくなるものが見られたが、3日以上では同程度であった。また、図-7のように、湿潤養生の打切り時のコア強度が10N/mm<sup>2</sup>以上の場合においては中性化速度係数のばらつきが小さく、早期に湿潤養生を打ち切ることによる影響は小さいと考えられる。

なお、同一のセメントでは水セメント比が大きいほど中性化速度係数は大きく、この差は湿潤養生期間による違いよりも顕著であった。

### 5.2 水セメント比による中性化への影響

前述の通り、コンクリートの中性化抵抗性では、湿潤養生の期間や打切り時のコンクリート強度よりも水セメント比の影響が顕著に見られるため、水セメント比と中性化抵抗性の関係から湿潤養生期間の検討を行った。なお、文献1)での検討の結果、屋外より屋内環境の方が危険側の試算結果となるため、本稿では屋内環境のみ検討を行った。

検討にあたっては、はじめに水セメント比で3水準のデータを有する夏期のNPおよび冬期のNP、MPにおいて、式(1)、式(2)を用いて、計画供用期間の級に応じた水セメント比に対する、屋内環境における中性化深さへの換算を行った<sup>7)</sup>。中性化深さの換算にあたっての条件を表-4に示す。中性化速度係数は、表-3に示した、全ての湿潤養生期間より求められる平均の値を用いることとした。なお、屋内環境のCO<sub>2</sub>濃度を0.1%とした。

$$C = A \cdot A_{CO_2} \sqrt{t} \quad (1)$$

$$A_{CO_2} = \sqrt{CO_2/5} \quad (2)$$

ここに、 $C$ ：試算される中性化深さ (mm)、

$A$ ：中性化速度係数 (mm/√年)、

$A_{CO_2}$ ：促進試験に対する中性化速度係数の比、

$t$ ：耐用年数 (years)、

$CO_2$ ：促進試験におけるCO<sub>2</sub>濃度 (%)

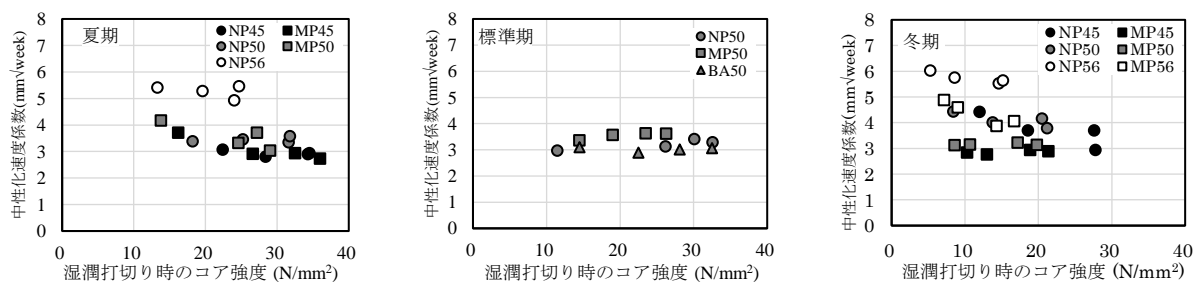


図-7 中性化速度係数と湿潤養生打切り時のコア強度の関係

屋内環境への換算結果を図-8に示す。水セメント比が中性化におよぼす影響については、一般に水セメント比に比例して中性化深さが直線的に推移する関係<sup>7),8)</sup>が知られているため、図-8でも同様に直線で示した。

この関係から換算した中性化深さより、耐久性能を満たすために必要な水セメント比の上限値を計画供用期間の級ごとに試算した。試算結果を表-4に示す。中性化深さの評価の基準値としては、JASS5の3節の屋内の最小かぶり厚さ20mmに、急速に腐食しない領域としてさらに20mm<sup>9)</sup>を加えた、40mmを採用した。

また、試算結果を評価するため、各計画供用期間の級に応じた呼び強度をJASS5における耐久設計基準強度に構造体強度補正值<sub>28S91</sub>として、夏期および冬期の標準値とされる6N/mm<sup>2</sup>を加えて求め、これに相当する水セメント比の範囲を既往の文献<sup>10)</sup>より求めた。

これらの試算結果と文献より求められる計画供用期間の級に応じた範囲について水セメント比を比較すると、表-4に示すように、図-8の関係より求められる換算した中性化深さが40mmとなる水セメント比は、すべてにおいて冬期のNPでもっとも小さくなるが、この耐久性を満たす水セメント比は、いずれも耐久設計基準強度に応じた範囲よりも大きい。すなわち、構造体コンクリ

表-3 中性化速度係数

季節区分	セメント	W/C (%)	中性化速度係数 (mm/√week)						変動係数
			湿潤養生期間 (日)				平均	標準偏差	
			1(2)	3	5	7			
夏期	NP	45	3.06	2.8	2.89	2.93	2.92	0.11	0.04
		50	3.38	3.45	3.34	3.57	3.44	0.10	0.03
		56	5.41	5.28	4.93	5.46	5.27	0.24	0.05
	MP	45	3.7	2.91	2.93	2.73	2.86	0.43	0.15
		50	4.16	3.32	3.7	3.03	3.55	0.49	0.14
		56	6.02	5.75	5.53	5.64	5.74	0.21	0.04
標準期	NP	50	2.96	3.12	3.4	3.28	3.19	0.19	0.06
	MP	50	3.36	3.56	3.63	3.61	3.54	0.12	0.03
	BA	50	3.1	2.89	3.01	3.06	3.02	0.09	0.03
冬期	NP	45	4.42	3.70	3.70	2.93	3.69	0.61	0.17
		50	4.43	4.00	4.15	3.78	4.09	0.27	0.07
		56	6.02	5.75	5.53	5.64	5.74	0.21	0.04
	MP	45	2.84	2.76	2.94	2.89	2.86	0.08	0.03
		50	3.12	3.15	3.22	3.14	3.16	0.04	0.01
		56	4.88	4.59	3.87	4.05	4.35	0.47	0.11

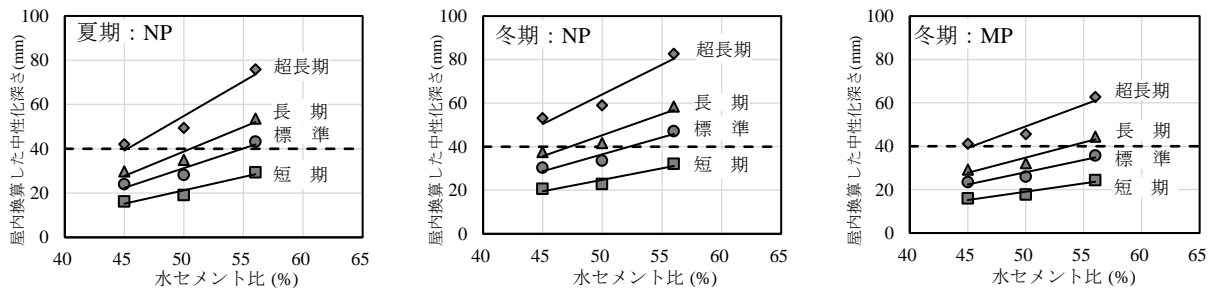


図-8 水セメント比と屋内換算した中性化深さの関係

表-4 耐久性能を満たす水セメント比の試算結果

		計画供用期間の級				
		短期	標準	長期	超長期	
試算条件	供用期間 (年)	30	65	100	200*	
	耐久設計基準強度 : $F_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	18	24	30	36	
	呼び強度 : $F_d + 6$ ( $_{28}S_{91}$ )	24	30	36	42	
	①相当する水セメント比 (%)	56~61	48~52	41~45	36~40	
試算結果	②耐久性能を満たす水セメント比 (%)	夏期 : NP	≤65	≤55	≤51	≤45
		冬期 : NP	≤64	≤52	≤47	≤41
		冬期 : MP	≤77	≤61	≤54	≤45
	呼び強度との関係 (①≤②)	OK	OK	OK	OK	

※2022年版 JASS 5 では 100 年超と規定されているが、旧版に則り、200 年として試算を行った。

ートの耐久性能は、季節区分や湿潤養生期間にかかわらず、計画供用期間の級に応じて求められる最低の呼び強度であっても、十分な中性化抵抗性が確保されることを示している。

なお、2022 年版 JASS 5 では屋内空間にある部位で、水分供給の可能性のない部位を非腐食環境と区分し、耐久設計基準強度を設定しないとされている。この考え方では、耐久性能の評価は、屋外環境が主要因となり、また、屋外では中性化の進行速度は屋内と比べて遅いことから、表-4 で示した水セメント比と中性化抵抗性の関係は、より安全側であると考えられる。

## 6. まとめ

夏期、標準期および冬期における、せき板の存置による構造体コンクリートの湿潤養生の効果とその管理手法についてのまとめは以下の通りである。

- 1) 表面の品質は、いずれの季節でも、湿潤養生期間に係わらず、反発度は同程度であり、透気性は Normal グレード以上であった。
- 2) 暑中期においても、JASS 5 の 8 節にならい、圧縮強度 10N/mm<sup>2</sup> を判断基準として湿潤養生を打ち切ることで、その後の強度発現および中性化抵抗性を確保できる。
- 3) 中性化抵抗性は、耐久設計基準強度を満足するコンクリートであれば、湿潤養生期間に係わらず十分な耐久性を有する。

## 参考文献

- 1) 金子樹, 大倉真人, 陣内浩: 暑中期における構造体コンクリートのせき板存置による湿潤養生効果に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 86 巻 第 782 号, No.782, pp.524-532, 2021.4
- 2) 金子樹, 関新之介, 大倉真人, 榊田佳寛: セメント混合による高炉セメント A 種相当のコンクリート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.95-100, 2019
- 3) 金子樹, 大倉真人, 榊田佳寛: セメント混合による高炉セメント A 種相当のコンクリートにおける調合設計および構造体コンクリートの養生に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.95-100, 2019
- 4) 今本啓一, 山崎順二, 下澤和幸, 永山勝, 二村誠二: コンクリートの透気性に基づく RC 構造物の耐久性検証に向けた基礎的研究—各種試験方法における透気性の指標値と中性化深さの関連—, 日本建築学会構造系論文集, 第 74 巻 第 638 号, pp.593-599, 2009.4
- 5) 迫井裕樹, 月永洋一, 阿波稔: コンクリートの表層部に形成される脆弱層の性状に及ぼすブリーディングの影響, コンクリートのブリーディング制御に関するシンポジウム, pp.61-66, 2016.3
- 6) 棚野博之ほか: 型枠の取り外しに関する管理基準の検討, 建築研究資料, No.168, 2016.3
- 7) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造物の耐久設計施工指針・同解説, 2016.7
- 8) セメント協会: 各種セメントを用いたコンクリートの耐久性に関する研究, コンクリート専門委員会報告, F55, 2008.3
- 9) 嵩英雄, 和泉意登志, 友沢史紀, 福士勲: 経年 RC 構造物におけるコンクリートの中性化と鉄筋の腐食, 第 6 回コンクリート工学年次論文集, pp.181-184, 1984
- 10) 大寺雄也, 佐藤幸恵, 道正泰弘, 西祐宜, 宮野和樹, 渡邊悟士, 土屋直子: コンクリートの調合計算方法のための調査および実験—その 3 呼び強度とセメント水比, 日本建築学会大会梗概集, pp.517-518, 2014.7