

建築研究報告

REPORT OF THE BUILDING RESEARCH INSTITUTE

No. 156

March 2026

JIS 改正後のセメントを使用した コンクリートの性能に関する研究

Performance Evaluation of concrete using cement compliant with JIS revisions

中田清史、鹿毛忠継、石田征男、小畠明、黒岩義仁、本田和也、
廣川誠一、谷村充、吉田雅彦、吉本徹、島崎泰、伊藤孝文

Kiyofumi NAKADA, Tadatsugu KAGE, Masao Ishida, Akira Obatake, Yoshihito Kuroiwa,
Kazuya Honda, Seiichi Hirokawa, Makoto Tanimura, Toru Yoshimoto, Yasushi Shimazaki,
Takafumi Ito

国立研究開発法人 建築研究所

Published by

Building Research Institute

National Research and Development Agency, Japan

国立研究開発法人建築研究所、関係機関及び著者は、
読者の皆様が本資料の内容を利用することで生じた
いかなる損害に対しても、一切の責任を負うものでは
ありません。

はしがき

2020年10月、政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことを宣言した。カーボンニュートラルの達成のためには、温室効果ガスの排出量の削減等が必要であり、建築に関わる産業においても各種の取り組みがなされている。このうち、セメント産業は、2020年度に約4000万tの二酸化炭素を排出し、国内産業部門において電力、鉄鋼、化学に次ぐ第4位の排出源であることが知られている。当該産業のカーボンニュートラルの実現に寄与すべく、JIS R 5210〔ポルトランドセメント〕の改正の検討が進められ、2025年度中に普通ポルトランドセメントの少量混合成分の分量上限値が5%以下から10%以下に変更される等の改正が見込まれている。

ここで、建築物の主要構造部等に使用するコンクリートは、その品質がJIS A 5308に適合するか、大臣の認定を受けたものでなければならないとされている。特に後者のコンクリート（以下、大臣認定コンクリート）については、使用する材料の品質が変更となり、変更後のコンクリートの性能が認定内容と異なる場合は、大臣認定の再取得が必要になる可能性がある。大臣認定コンクリートの多くは普通ポルトランドセメントを使用しており、ポルトランドセメントのJIS改正によって、その品質基準が変更される場合、変更後のコンクリートの性能について同等であることを確認する必要がある。

本報告は、大臣認定コンクリートのうち、JIS改正の影響が懸念される高強度コンクリートを主な対象とし、少量混合成分の含量を質量で0%以上10%以下とした普通ポルトランドセメントへの切替えが、大臣認定コンクリートの性能に与える影響を評価することを目的に試験を実施したものである。試験は、「JIS改正後のセメントを使用した大臣認定コンクリートの性能に関する有識者懇談会」（座長：野口貴文 東京大学大学院 教授、事務局：（一社）セメント協会）において策定・承認された検証実験計画に基づき、（国研）建築研究所と（一社）セメント協会の共同研究（令和7年7月～令和8年3月）により実施した。

令和8年3月

国立研究開発法人 建築研究所

理事長 福山洋

JIS 改正後のセメントを使用したコンクリートの性能に関する研究

中田清史¹⁾、鹿毛忠継¹⁾、石田征男²⁾、小畠明²⁾、黒岩義仁³⁾、本田和也⁴⁾、
廣川誠一⁵⁾、谷村充⁵⁾、吉田雅彦⁵⁾、吉本徹⁵⁾、島崎泰⁵⁾、伊藤孝文⁵⁾

概要

セメント産業のカーボンニュートラルの実現に寄与すべく、普通ポルトランドセメントに混合する少量混合成分の分量を増量する取組みが進められている。JIS R 5210〔ポルトランドセメント〕では、普通ポルトランドセメントの少量混合成分の分量上限値を5%以下から10%以下に変更することを主目的とした改正作業が行われてきた。2026年2月現在、JIS R 5210〔ポルトランドセメント〕をはじめ、普通ポルトランドセメントを基材とする混合セメント（JIS R5211〔高炉セメント〕、JIS R 5212〔シリカセメント〕、JIS R 5213〔フライアッシュセメント〕）の改正案が日本産業標準調査会第25回土木技術専門委員会です承され、これらのJISは2025年度中の官報公示が見込まれている。

本報告は、少量混合成分の分量上限値の変更が、建築基準法第37条第二号に該当するコンクリート（以下、大臣認定コンクリート）の性能に与える影響を評価することを目的とした。また、本検討を実施するにあたり、「JIS改正後のセメントを使用した大臣認定コンクリートの性能に関する有識者懇談会」（座長：野口貴文 東京大学大学院 教授，事務局：セメント協会）を設立し、ここで策定・承認された検証実験計画に基づき試験を実施した。

少量混合成分の含量を質量で0%以上10%以下としたセメント（改正JISセメント）を使用した大臣認定コンクリートの性能評価試験として、既に認定を受けている大臣認定コンクリートを網羅した条件で、「コンクリートのフレッシュ性状・強度特性検証試験」、「高温環境下のコンクリートのフレッシュ性状確認試験」、および「高温度履歴下のモルタル・セメントペースト試験」を実施し、現行JISセメントを使用した場合と改正JISセメントを使用した場合との同等性を評価した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 様々な調合条件のコンクリートにおいても、フレッシュ性状に大きな差がないことが確認された。また、調合条件、養生条件、および材齢期間の違いによらず、コンクリートの強度は同等性を有していることが確認された。また圧縮強度結果から算出される強度式も同等性が有していることが確認された。また、構造体強度補正值も同程度の値であることが確認された。
- (2) 35℃を上回る高温環境下でのコンクリートのフレッシュ性状、凝結時間に大きな差がないことが確認された。
- (3) 高温度履歴を受けたモルタルのフレッシュ性状、圧縮強さ、細孔構造、セメントペーストのクリンカ反応量と水酸化カルシウムをはじめとする水和物の生成に大きな差がないことが確認された。

これらの結果から、改正JISセメントおよびそれを基材とするセメント（混合セメントを含む）を使用した大臣認定コンクリートは、現行JISセメントおよびそれを基材とするセメント（混合セメントを含む）を使用した大臣認定コンクリートの性能と同等であると判断できる。

1) 国立研究開発法人建築研究所, 2) 太平洋セメント株式会社, 3) UBE 三菱セメント株式会社, 4) 住友大阪セメント株式会社, 5) 一般社団法人セメント協会

Performance Evaluation of concrete using cement compliant with JIS revisions

Kiyofumi NAKADA¹⁾, Tadatsugu KAGE¹⁾, Masao ISHIDA²⁾, Akira OBATAKE²⁾, Yoshihito KUROIWA³⁾, Kazuya HONDA⁴⁾, Seiichi HIROKAWA⁵⁾, Makoto TANIMURA⁵⁾, Toru YOSHIMOTO⁵⁾, Yasushi SHIMAZAKI⁵⁾, Takafumi ITO⁵⁾

Abstract

To contribute to the realization of carbon neutrality in the cement industry, initiatives are underway to increase the allowable quantity of *minor additional constituents (MACs)* incorporated into ordinary Portland cement (OPC). In JIS R 5210 *Portland Cement*, revision work has been conducted with the primary objective of raising the upper limit of MACs in OPC from $\leq 5\%$ to $\leq 10\%$ by mass.

As of February 2026, proposed amendments to JIS R 5210 *Portland Cement*, as well as to blended cements based on OPC—namely JIS R 5211 *Blast-furnace Slag Cement*, JIS R 5212 *Silica Cement*, and JIS R 5213 *Fly Ash Cement*—have been endorsed by the 25th Civil Engineering Technology Committee of the Japanese Industrial Standards Committee (JISC). These revised JIS standards are expected to be promulgated in the *Official Gazette* during fiscal year 2025.

This report aims to evaluate the impact of revising the upper allowable limit of *MACs* on the performance of concrete specified under Article 37, Item 2 of the Building Standard Law of Japan (hereinafter referred to as *Ministerially certified concrete*).

For this evaluation, the *Expert Panel* (Chair: Prof. Takafumi Noguchi, The University of Tokyo; Secretariat: Japan Cement Association) was established. All testing was conducted in accordance with the verification testing program formulated and approved by this panel.

Performance evaluation tests were carried out for *Ministerially certified* concrete prepared using cements containing a total MAC content between 0% and 10% by mass, corresponding to the revised JIS specifications (revised JIS-compliant cement). Under conditions that comprehensively covered all concrete types previously granted *Ministerial certification*, the following tests were conducted:

- Verification tests on fresh and mechanical properties of concrete
- Confirmation tests on fresh properties of concrete under high-temperature conditions
- Mortar and cement paste tests under elevated temperature histories

The equivalence of performance between concretes produced with current JIS-compliant cement and those produced with revised JIS-compliant cement was assessed based on the outcomes of these tests. The obtained results are summarized below.

- (1) It was confirmed that the fresh properties of concrete showed no significant differences even under various mix proportioning conditions. Furthermore, regardless of differences in mix proportions, curing conditions, or age, the compressive strength of concrete demonstrated equivalent performance. The strength equations derived from compressive strength test results were also found to be equivalent. In addition, the structural strength correction factors were confirmed to be of comparable magnitude.
- (2) It was confirmed that, under high-temperature environments exceeding 35 °C, the fresh properties and setting times of concrete did not exhibit any significant differences.
- (3) For mortars subjected to elevated temperature histories, no significant differences were observed in fresh properties, compressive strength, pore structure, clinker reaction degree

of the cement paste, or the formation of hydration products, including calcium hydroxide.

Based on these results, it can be concluded that *Ministerially certified* concrete produced using the revised JIS-compliant cement and cements based on it (including blended cements) demonstrates performance equivalent to that of *Ministerially certified* concrete produced using the current JIS-compliant cement and its corresponding cements (including blended cements).

1) Building Research Institute, 2) Taiheiyo Cement Corporation, 3) Mitsubishi UBE Cement Corporation, 4) Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd., 5) Japan Cement Association

JIS 改正後のセメントを使用した コンクリートの性能に関する研究

《目次》

1. はじめに	1
2. 実験の概要	3
2.1 使用材料	3
2.2 試験項目と水準	6
2.3 調合条件	8
2.4 練混ぜおよび成形	9
2.5 養生	11
2.6 試験方法	12
3. 実験の結果	15
3.1 コンクリートのフレッシュ性状・強度特性検証試験	15
3.2 高温環境下のコンクリートのフレッシュ性状確認試験	22
3.3 高温履歴下のモルタル・セメントペースト試験	24
4. 同等性評価	30
4.1 評価方法	30
4.2 評価結果	31
5. まとめ	34

《附録》

附 1. 有識者懇談会 委員名簿	附 1
附 2. 実験計画の策定経緯	附 2
附 3. 実験データ集（生データ）	附 3

1. はじめに

一般社団法人 セメント協会（以下、セメント協会）において、セメント産業のカーボンニュートラルの実現に寄与すべく、普通ポルトランドセメント（以下、N）に混合する少量混合成分の分量を増量する取組みが進められている。JIS R 5210 ポルトランドセメントでは、普通ポルトランドセメントの少量混合成分の分量上限値を 5%以下から 10%以下に変更することを主目的とした改正作業が行われてきた。現在、JIS R 5210 ポルトランドセメントをはじめ、N を基材とする混合セメント（JIS R5211 [高炉セメント]、JIS R 5212 [シリカセメント]、JIS R 5213 [フライアッシュセメント]）の改正案が日本産業標準調査会第 25 回土木技術専門委員会です承され、これらの JIS は 2025 年度中の官報公示が見込まれている。

今回の JIS 改定において、N の品質基準は変更されるとともに、N の品質も従来の JIS 適合品とは若干異なるが、これを使用したコンクリートの性能は従来の N を用いた場合と同等であることが報告されている（表-1.1）。一方、建築基準法第 37 条（建築材料の品質）の第二号該当するコンクリート（以下、大臣認定コンクリート）において、使用する材料の品質が変更となり大臣認定コンクリートの性能が認定内容と異なる場合は、再認定あるいは新規の認定が必要となる。

本報告では、少量混合成分の含量を質量で 0%以上 10%以下とした N（以下、改正 JIS セメント）への切替えが、大臣認定コンクリートの性能に与える影響を評価することを目的として実施した検証実験の結果を報告する。なお、検証実験は、国立研究開発法人 建築研究所（指定課題：低炭素型コンクリート等のさらなる普及に向けた調合設計・耐久設計の合理化に関する技術開発）とセメント協会との共同研究（令和 7 年 7 月～令和 8 年 3 月）により実施した。また、検証実験計画は、「JIS 改正後のセメントを使用した大臣認定コンクリートの性能に関する有識者懇談会」（座長：野口貴文 東京大学大学院 教授、事務局：セメント協会）において策定・承認されたものである。以下に実施体制を示す。

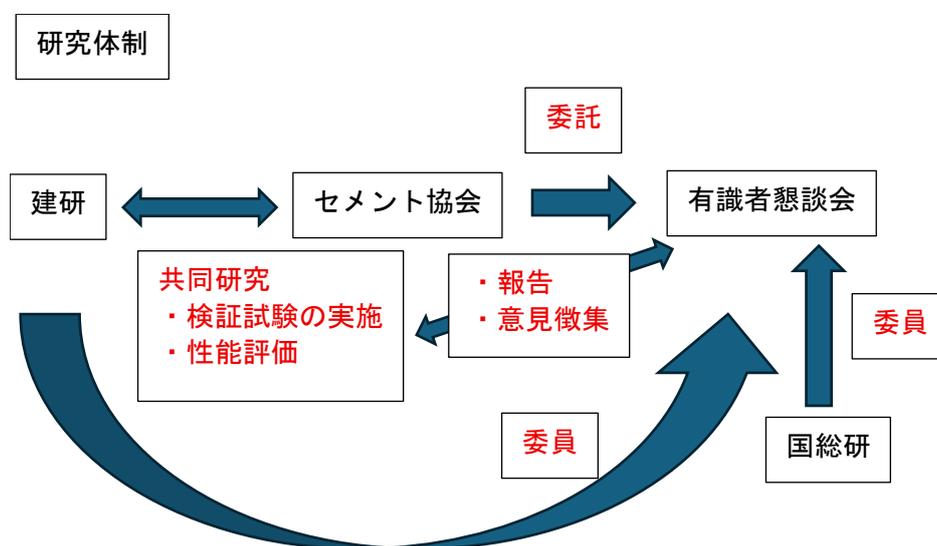


図-1.1 研究の実施体制

表-1.1 少量混合成分を 10%に増量した N を使用したコンクリートに関する対外公表論文

<p><u>第 78 回セメント技術大会 (2024 年 5 月)</u></p> <p>【主題】 セメントの少量混合成分増量がコンクリート特性に及ぼす影響の検証</p> <p>【副題】 その 1 実機により試製したセメントの品質 その 2 コンクリートのフレッシュ性状 その 3 コンクリートの圧縮強度 その 4 コンクリートの耐久性 その 5 実大模擬部材の構造体強度補正值に与える影響 その 6 セメントの水和熱とコンクリートの断熱温度上昇特性の関係 その 7 蒸気養生したコンクリートの圧縮強度および明度 その 8 セメント密度の変動がコンクリートの基本物性に及ぼす影響</p>	
<p><u>2024 年度日本建築学会大会 (2024 年 8 月)</u></p> <p>【主題】 セメントの少量混合成分増量がコンクリートの各種特性に与える影響の検証</p> <p>【副題】 その 1 収縮特性 その 2 簡易断熱養生時の発熱温度および圧縮強度 その 3 断熱温度上昇特性および実大模擬部材における構造体強度補正值 (S 値)</p>	
<p><u>令和 6 年度土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会 (2024 年 9 月)</u></p> <p>【主題】 セメントの少量混合成分増量がコンクリートの各種特性に及ぼす影響</p> <p>【副題】 その 1 圧縮強度および耐久性 その 2 高温履歴を受けた際の力学特性 その 3 高炉セメント基材に適用した場合の基本物性</p>	

2. 実験の概要

有識者懇談会で策定した実験計画に基づき、コンクリートおよびモルタル・ペースト実験を行った。なお、実験計画の策定経緯は附 2 に示す通りであり、これまで取得されている大臣認定コンクリート (M-CON) のセメントが改正 JIS セメントに置き換わった場合において、強度式を変更することなく、コンクリートの性能 (主にフレッシュ性状および圧縮強度) が同等であることを検証するために策定されたものである。コンクリート実験は建築研究所 建築材料実験棟にて、モルタル・ペースト実験は太平洋コンサルタント九州技術センターにて実施した。

2.1 使用材料

2.1.1 セメント

(1) セメントの種類

実験に使用したセメントは、表-2.1 に示すように、JIS 改正前後の N (改正 JIS セメントおよび現行 JIS セメント) 4 種類およびこれらの N に高炉スラグ微粉末 (以下、BFS) を混合した高炉セメント B 種相当セメント (以下、BB) 4 種類とした。

なお、本実験で使用した現行 JIS セメントは少量混合成分として石灰石のみを混合したセメントであり、改正 JIS セメントは少量混合成分として石灰石を 10% 混合したセメント (以下、NN) である。セメントおよび高炉スラグ微粉末の化学成分および物理的性質を表-2.2～表-2.5 に示す。

表-2.1 実験に使用したセメント

普通ポルトランドセメント (N)	1) NN (A 社製、改正 JIS セメント試製品) 2) N1 (A 社製、現行 JIS セメント市販品) 3) N2 (B 社製、現行 JIS セメント市販品) 4) N3 (C 社製、現行 JIS セメント市販品)
高炉セメント B 種相当セメント ^{※2} (BB)	5) NBB (NN+BFS ^{※1}) 6) BB1 (N1+BFS ^{※1}) 7) BB2 (N2+BFS ^{※1}) 8) BB3 (N3+BFS ^{※1})

※1：市販の高炉スラグ微粉末 3 種類 (2 社 3 工場) を等量混合したもの。

※2：BFS の分量はセメントの 43% (質量%) とした。

表-2.2 セメントの化学成分 (%)

セメント	ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SrO	Cl
NN	4.61	19.19	4.81	2.69	63.61	1.18	2.15	0.22	0.29	0.29	0.52	0.07	0.05	0.022
N1	2.06	20.42	5.47	3.29	63.68	1.12	2.17	0.26	0.42	0.28	0.33	0.12	0.04	0.025
N2	2.46	19.33	5.72	2.97	64.13	1.32	2.56	0.30	0.37	0.29	0.14	0.09	0.05	0.018
N3	2.14	20.37	5.23	3.07	64.86	0.92	1.98	0.25	0.39	0.30	0.13	0.07	0.06	0.008

表-2.3 セメントの物理的性質

セメント	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	凝結			安定性	圧縮強さ (N/mm ²)		
			水量 (%)	始発 h-min	終結 h-min	パット法	3d	7d	28d
NN	3.12	3790	28.2	2 - 05	3 - 15	良	31.4	46.3	63.3
N1	3.16	3270	27.2	2 - 20	3 - 10	良	32.9	49.5	64.2
N2	3.16	3240	27.9	1 - 45	2 - 50	良	32.9	47.0	63.2
N3	3.15	3390	28.2	2 - 00	2 - 50	良	29.5	44.6	62.7

表-2.4 高炉スラグ微粉末 (BFS) の化学成分 (%)

	ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SrO	Cl
BFS	0.39	33.09	12.89	0.33	42.82	5.72	2.04	0.19	0.29	0.62	0.02	0.18	0.07	0.005

表-2.5 高炉スラグ微粉末 (BFS) の物理的性質

	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	フロー値比 (%)	活性度指数 (%)		
				7日	28日	91日
BFS	2.90	4370	101	72	99	113

2.1.2 骨材

(1) 細骨材

コンクリート実験に使用した細骨材は、静岡県掛川市産の山砂を使用した。主な物理的性質を表-2.6に示す。また、モルタル実験には JIS R 5201 で規定されている標準砂を使用した。

表-2.6 細骨材の物理的性質（コンクリート用）

区分	産地	ふるい通過量 (%)									粗粒率
		20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
細骨材 (山砂)	静岡県掛川市	—	—	100	99	82	65	49	28	7	2.70

区分	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	粘土塊量 (%)	安定性 損失量 (%)	有機 不純物 —	塩分 含有量 (%)
細骨材 (山砂)	2.59	2.54	2.05	1.6	0.15	2.7	淡い	0.000

(2) 粗骨材

コンクリート実験に使用した粗骨材は、栃木県鹿沼市産の碎石（硬質砂岩）を使用した。主な物理的性質を表-2.7に示す。

表-2.7 粗骨材の物理的性質（コンクリート用）

区分	産地	ふるい通過量 (%)										粗粒率
		25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
粗骨材 (硬質砂岩)	栃木県鹿沼市	100	92	—	39	7	2	—	—	—	—	6.60

区分	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	単位容積 質量 (kg/l)	粒径判定 実積率 (%)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	粘土塊量 (%)	安定性 損失量 (%)	すり減り (%)
粗骨材 (硬質砂岩)	2.65	2.63	1.62	61.6	0.59	0.3	0.0	0.7	10.7

3.1.3 練混ぜ水

コンクリート実験では蒸留水を使用した。モルタル・ペースト実験では、水道水を使用した。

3.1.4 混和剤

混和剤は、表-2.8に示す株式会社フローリック社製の化学混和剤を調合条件により適宜選定し、使用した。

表-2.8 使用した混和剤

種類	品名	主な成分
AE 減水剤	SV10	リグニンスルホン酸塩、オキシカルボン酸塩、ポリカルボン酸系化合物
高性能 AE 減水剤	SF500S	ポリカルボン酸系化合物、標準型
	SF500H	ポリカルボン酸系化合物、高強度用途型
	SF500F	ポリカルボン酸系化合物と界面活性剤系特殊増粘剤の複合体、増粘剤一液タイプ
	SF500R	ポリカルボン酸系化合物、遅延型
消泡剤	DF	ノニオン系界面活性剤

2.2 試験項目と水準

2.2.1 コンクリートのフレッシュ性状・強度特性検証試験

表-2.9 にコンクリートの強度特性を把握するために実施したコンクリート調合と試験項目を示す。コンクリートの練混ぜ・成形は、20℃の環境下で実施した。また、養生条件および強度試験材齢は表-2.10 に示すとおりとした。

表-2.9 コンクリート調合と試験項目（環境温度：20℃）

（○：試験実施）

使用セメント		水セメント比 (%)	試験項目		備考
			スランプ/ スランプフロー 空気量	圧縮強度	
N	NN	65	○	○	普通強度
		55	○	○	普通強度
	N1	55	○	—	普通強度の高流動コンクリート
	N2	45	○	○	普通強度/高強度
	N3	35	○	○	高強度
		25	○	○	高強度
BB	NBB	45	○	○	普通強度/高強度
	BB1	35	○	○	高強度
	BB2	25	○	○	高強度
	BB3				

表-2.10 圧縮強度試験の養生方法と材齢

（○：試験実施）

使用セメント		水セメント比 (%)	圧縮強度試験の養生方法と材齢					
			水中		簡易断熱		スラブ模擬	
			7日	28日	28日	91日	28日	91日
N	NN	65	○	○	—	—	○	○
		55	○	○	—	—	○	○
	N1	55 (高流動)	—	—	—	—	—	—
	N2	45	○	○	○	○	—	—
	N3	35	○	○	○	○	—	—
		25	○	○	○	○	—	—
BB	NBB	45	○	○	○	○	—	—
	BB1	35	○	○	○	○	—	—
	BB2	25	○	○	○	○	—	—
	BB3							

2.2.2 高温環境下のコンクリートのフレッシュ性状確認試験

JIS改正前後のセメントを使用したコンクリートの高温環境下におけるフレッシュ性状を確認する実験を行った。表-2.11に試験項目および水準を示した。

令和2年6月12日に大臣官房営繕部整備課課長補佐（構造担当）発布の事務連絡「暑中コンクリートの荷卸し時のコンクリートの温度について」において、日本建築学会「暑中コンクリートの施工指針・同解説（2019年7月改定）」を引用し、以下に示す20℃環境下での2つの指標を満足すれば、荷卸し時のコンクリート温度の上限値を38℃以下とすることができるとされた。

- ①スランプの経時変化において、静置状態で60分経過後のスランプの低下量が6cm以下であること。
- ②凝結試験によって貫入抵抗値が0.5N/mm²に達した時間が5時間23分以上（原文ではT₃₈3.5時間以上、補正式 $T_{38}=0.65 \times T_{20}$ 、T：凝結時間で添字は温度）であること。

ここでは、改正JISセメントを使用し、練上り温度が38℃以上となったコンクリート（環境温度は40℃とした）のフレッシュ性状を、現行JISセメントを用いた場合と比較を行うこととした。また、上述の20℃環境下において①、②を満足するか確認するとともに、②に示されている補正式が改正JISセメントにおいても成立するか確認することとした。

表-2.11 高温環境下の影響：コンクリート調合と試験項目

使用セメント	環境温度(℃)	水セメント比(%)	スランプ(cm)	空気量(%)	使用混和剤	試験項目	
						スランプおよびスランプロス	凝結
NN、N1	20、40	35	23±1.5	2.0以下	SF500RおよびDR	○	○

2.2.3 高温履歴下のモルタル・セメントペースト試験

改正JISセメントを使用し、荷卸し時のコンクリート温度が35℃を超え、かつ高温履歴を受けた場合における硬化体の特性を確認することを目的として、高温履歴を受けた高強度モルタル硬化体の強度および空隙構造を確認し、現行JISセメントと比較した。さらに、改正JISセメントを上記の温度条件で使用した場合におけるセメントの反応率および水和生成物を評価する目的で、セメントペーストの示差熱-熱重量分析（以下、TG-DTA）および粉末X線回折およびリートベルト解析を行い、現行JISセメントの場合と比較した。表-2.12に、モルタルおよびセメントペーストの試験項目と水準を示す。

表-2.12 試験項目と水準

試験項目	温度条件		モルタル		セメントペースト	
	20℃	90℃高温履歴	20℃	90℃高温履歴	20℃	90℃高温履歴
圧縮強度	○	○	-	-	-	-
細孔系分布	○	○	-	-	-	-
硬化体組織の観察（SEM）	○	○	-	-	-	-
TG-DTA、XRD	-	-	○	○	○	○

2.3 調合条件

2.3.1 コンクリートの強度特性検証試験およびコンクリートによる高温環境下のフレッシュ性状確認試験

コンクリートの強度特性検証および高温環境下におけるコンクリートのフレッシュ性状の各実験に用いた調合条件を表-2.13に示す。水セメント比が65%および55%のコンクリートはAE減水剤を用い、45%以下は高性能AE減水剤を用いた。ただし、水セメント比55%のみ、普通強度レベルの高流動コンクリートへの大臣認定コンクリート対応として、増粘剤一液型の高性能AE減水剤を用いた調合条件を追加した。また、すべての調合において、空気量の影響を除くために、消泡剤を用いて空気量を2.0%以下に調整した。コンクリートによる高温環境下のフレッシュ性状への影響検証実験に用いたコンクリートの混和剤は、環境温度が20℃、40℃ともに遅延型の高性能AE減水剤を用い、スランプ23±1.5cmを目標値とした。これは上述の「暑中コンクリートの施工指針・同解説（2019年7月改定）」において、時間の経過にともなうスランプの低下量が規定されているためである。

なお、附2.実験計画の策定経緯に基づき、調合計算におけるセメント密度はN 3.16g/cm³、BB 3.04g/cm³一定とした。

表-2.13 コンクリートの主な調合条件

セメント	混和剤	水セメント比 (%)	目標フレッシュ性状		環境温度 (°C)	備考
			空気量 (%)	スランプまたは (スランプフロー) (cm)		
N	SV10	65	2.0 未満 ^{※1}	18±1.5	20	
		55		18±1.5		
	SF500F	55		(45±7.5)	20	
	SF500S	45		23±1.5	20	
		35		(60±10)		
	SF500R	35		23±1.5	20,40	高温環境下
	SF500H	25		(65±10)	20	
BB	SF500S	45	23±1.5	20		
		35	(60±10)			
	SF500H	45	23±1.5	20		
		25	(65±10)			

※1：消泡剤を使用して調整

2.3.2 高温度履歴下のモルタル・セメントペースト試験

モルタルの調合条件を表-2.14に示す。モルタルの水セメント比は35%、砂セメント比(S/C)は2.0とした。モルタルの流動性は、JIS R 5201に規定されるフロー試験用機械器具を使用して行い、フローコーンを抜き取り後に落下運動を与えないモルタルフロー(0打フロー)が220±20mm、空気量が3.0%以下を満足するように、混和剤の添加量を調整した。セメントペーストは、モルタルと同一の水セメント比および混和剤添加量とした。

表-2.14 モルタルの調合条件

調合条件			化学混和剤の種類		目標フレッシュ性状	
水セメント比 (%)	S/C (-)	設計空気量 (%)	高性能減水剤	消泡剤	モルタルフロー (mm)	空気量 (%)
35.0	2.0	3.0	SF500S	DF	220±20	3.0 以下

2.4 練混ぜおよび成形

コンクリートの強度特性検証試験および高温環境下におけるコンクリートのフレッシュ性状実験におけるコンクリートの練混ぜは、JIS A 1138「試験室によるコンクリートの作り方」に準じて実施した。また、コンクリートの強度特性検証試験における供試体の成形は、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に準じて実施した。

練混ぜは、すべての調合で容量 50L の強制 2 軸型ミキサを用いた。練混ぜの方法は、水セメント比 45% 以上の調合では一括練りとし、35%以下はモルタル先練りとし、練混ぜ時間は表-2.15 および図-2.1 に示すように、調合毎に適宜調整した。

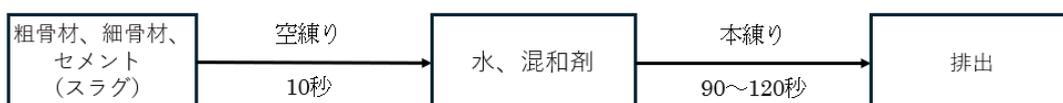
モルタルおよびペーストの練混ぜは、室温 38℃、湿度 80%RH の恒温恒湿室においてモルタルミキサを用いて図-2.2 の手順で行った。1 回の練混ぜ量は、モルタルでは 3.5L、セメントペーストでは 3.0L とした。供試体および分析試料の成形は、JSCE-F 506 を参考に、練混ぜ終了直後に内寸φ50×100mm の型枠内に 2 層で打ち込み、直径 9mm の突き棒でそれぞれ 25 回突いたうえで、タッピングを十分に行い締め固めた。なお、本実験では、比較用に室温 20℃、湿度 70%RH 以上の恒温室においても同様の実験を実施した。

表-2.15 調合毎の練混ぜ方法

使用セメント	水セメント比 (%)	スランブまたは (スランブフロー) (cm)	練混ぜ方法と本練りの練混ぜ時間
N	65	18±1.5	一括練り (本練り 1 : 90 秒)
	55	18±1.5	一括練り (本練り 1 : 90 秒)
	55	(45±7.5)	一括練り (本練り 1 : 120 秒)
	45	23±1.5	一括練り (本練り 1 : 120 秒)
	35	(60±10)	モルタル先練り (本練り : 90 秒)
	35	23±1.5	20℃→モルタル先練り (本練り : 150 秒) 40℃→一括練り (本練り : 120 秒)
	25	(65±10)	モルタル先練り (本練り : 120 秒)
BB	45	23±1.5	一括練り (本練り 1 : 120 秒)
	35	(60±10)	モルタル先練り (本練り : 90 秒)
	25	(65±10)	モルタル先練り (本練り : 150 秒)



(1) 一括練りの場合 (水セメント比 35%以下)



(2) モルタル先練りの場合 (水セメント比 45%以上)

図-2.1 コンクリートの練混ぜ手順



(1) モルタルの場合



(2) セメントペーストの場合

図-2.2 モルタルおよびセメントペーストの練混ぜ手順

2.5 養生

2.5.1 コンクリートのフレッシュ性状・強度特性検証試験

コンクリートの強度特性検証試験における養生は、以下の3通りで実施した。

- ①水中養生：供試体脱型後、供試体を所定の材齢まで、20℃の恒温水槽で養生する方法
- ②簡易断熱養生：供試体作成後、供試体を所定の材齢まで、**図-2.3**に示す簡易断熱養生箱に入れて20℃の室内で養生する方法
- ③スラブ模擬養生：供試体作製後5日間20℃室内にて封緘養生した後脱型し、直ちに供試体側面をアルミテープで巻き付け、水分の逸散を防止する。供試体の上下面はそのままコンクリート面を露出させたまま温度20℃、湿度60%RHの室内に所定の材齢まで静置する方法（**図-2.4**）



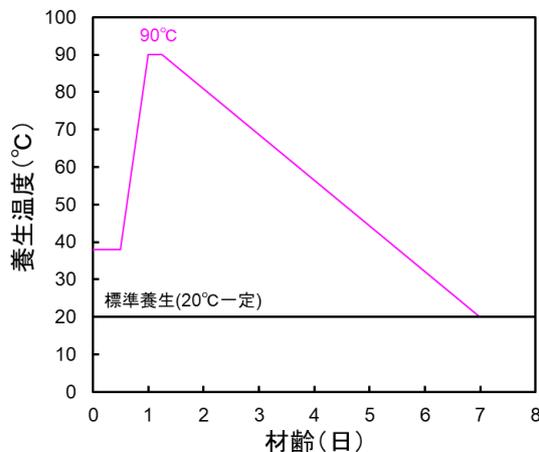
図-2.3 簡易断熱養生箱



図-2.4 スラブ模擬養生

2.5.2 高温度履歴下のモルタル・セメントペースト試験

供試体および分析用資料は、材齢24時間まで温度38℃、湿度80%RHの室内で型枠内養生を行った後に脱型し、**図-2.5**に示す温度履歴で養生を行った。すなわち、初期温度38℃から昇温し、最高温度90℃を6時間保持した後に、材齢7日で20℃になるように降温した。材齢7日以降は20℃恒温室内で封緘養生を行った。また、比較として実施した室温20℃の恒温室内で実施した実験では、材齢24時間まで恒温室内で型枠内養生を行った後に脱型し、以降は所定の材齢まで20℃の水中養生を行った。



- 12時間まで：初期温度38℃を保持
- 12時間～24時間：最高温度90℃まで昇温（温度勾配：約4.4℃/h）
- 24時間～30時間：最高温度90℃を保持
- 30時間～168時間（7日）：最高温度から20℃まで降温（降温勾配：約0.51℃/h）
- 7日以降：20℃環境にて所定材齢まで封緘状態で保管

図-2.5 モルタル・セメントペースト試験で設定した養生条件

2.6 試験方法

2.6.1 スランプ、スランプフローおよび空気量試験

スランプは JIS A 1101、スランプフローは JIS A 1150、空気量は JIS A 1128 にそれぞれ準拠して試験を実施した。

2.6.2 凝結試験

凝結時間は JIS A 1147 に準拠した方法で試料を採取し、貫入抵抗値が 0.5N/mm^2 になるまでの時間を測定した。

2.6.3 圧縮強度試験

圧縮強度は JIS A 1108 に準拠して試験を実施した。

2.6.4 細孔径分布

測定試料は、測定材齢まで養生した円柱供試体($\phi 50 \times 100\text{mm}$)の高さ中央より、厚さ 10 mm 程度の盤状片を 1 枚切断採取し、アセトンで水和停止を行った。採取した盤状片より、ニッパを用いて 5 mm 角程度の小片を採取し、1 週間真空乾燥したものを測定に供した。測定には micromeritics 社製水銀圧入式ポロシメーター AutoPoreV9620 を用いた。測定の概要を以下に記す。

ガラス製試料容器（試料室容積 5 ml, キャピラリ容積 0.392 ml）に、試料中の細孔容積が試料容器のキャピラリ容積の 25~90 %となるように試料を量り取り、ポロシメーターにセットし、容器内に水銀を注入した。次いで容器ごと圧力を加え、水銀を試料の細孔に圧入し、その量を測定した。圧力は段階的に増加させた。加える圧力と水銀が圧入される細孔の大きさには下式の関係があるため、これにより各圧力に相当する細孔径を算出した。また、各圧力における水銀の圧入量を、その時点までに水銀が圧入された細孔の量とし、両者より細孔径分布を求めた。

【圧入圧力と細孔径の関係式】

$$d = -4\gamma \cos\theta / P$$

d : 細孔径 (直径)

γ : 水銀の表面張力 0.484 N / m

θ : 水銀と試料との接触角 130° ($\cos \theta = -0.643$)

P : 圧入圧力 MPa

2.6.5 走査型電子顕微鏡による硬化体組織の観察

観察試料は供試体から採取された円盤状片の中央から、大きさが 1.5cm 角程度の小片を採取した。これを外径が 25 mm のプラスチック製リングに入れ、樹脂で包埋した。樹脂の硬化後、リングの底面から 2 mm 程度の位置で切断した後、切断面を研磨して観察面とした。なお、研磨は伸展液と洗浄液に有機溶剤を用いる湿式研磨とした。観察面に導電性を付与する目的で炭素を蒸着した後、走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察に供した。

SEM 観察は、物質の平均原子番号や疎密の違いを明るさの違いとして観察できる反射電子像観察とした。観察条件を以下に示す。

観察装置 : 日立ハイテク社製 SEM SU5000

加速電圧 : 15 kV

なお、反射電子像では、物質の平均原子番号が大きい物質は明るく、小さい物質は暗く観察される。また同じ物質であれば、緻密であれば明るく、疎であれば暗く観察される。

2.6.6 TG-DTAによる水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウムの定量

分析では、 $\phi 50 \times 100$ mm の円柱供試体の高さ方向中央付近から湿式ダイヤモンドカッターを用いて 8~10mm 程度にスライスされた試料を使用した。スライスした試料は、メノウ乳鉢を用い、目開き 90 μ m の網ふるい全通となるように微粉碎した。なお、試料は材齢日に水和停止されたものであり、粉碎は窒素環境下で行った。測定は、ネッチ社製 示差熱天秤装置 STA 2500 を用いて、以下の条件で測定した。

【測定条件】

測定温度範囲：室温~1000 °C

昇温速度：20 °C / min

基準物質： α -Al₂O₃ (アルミナ)

試料質量：約 20 mg

炉内ガス流通：N₂ 100 ml / min

測定結果より、450°C付近の水酸化カルシウムの脱水による質量減少率と、550~850°C付近の炭酸カルシウムの脱炭酸による質量減少率を求めた。これらの質量減少率から、水酸化カルシウム量を式(1)より、炭酸カルシウム量を式(2)より算出した。

$$\text{水酸化カルシウム量(\%)} = \text{脱水による減量(\%)} \times 74.10/18.02 \quad (1)$$

$$\text{炭酸カルシウム量(\%)} = \text{脱炭酸による減量(\%)} \times 100.09/44.01 \quad (2)$$

74.10：水酸化カルシウムの分子量

18.02：水の分子量

100.09：炭酸カルシウムの分子量

44.01：二酸化炭素の分子量

2.6.7 粉末 X 線回折およびリートベルト解析によるセメント鉱物の反応率の算出および非晶質生成量の定量

(1) 各鉱物の定量方法

3.6.6 に示す手順で調製した粉末試料に、内部標準として α -Al₂O₃(コランダム)を内割りで 10% 添加後、十分に均一になるよう混合機を用いて混合し、測定に供した。装置は PANalytical 社製 X 線回折装置 Empyrean を使用した。リートベルト解析は、星野らの手法²⁾に準拠した。解析ソフトは High Score Plus (PANalytical スペクトリス社製)を用い、各試料で同定された鉱物を定量対象鉱物として定量分析を行った。各鉱物量は式(3)より、非晶質量は式(4)より算出した。測定条件を下に示す。

$$M'_x = M_x \times A/R \times 100 / (100 - A) \quad (3)$$

$$\text{非晶質量} = 100 \times (R - A) / (R \times ((100 - A) / 100)) \quad (4)$$

ここに、M'_x：鉱物の定量値 (%)

M_x：リートベルト解析で定量した値 (%)

R : リートベルト解析で定量したコランダムの値 (%)

A : コランダム混合率 (%) (本試験では 10%)

【測定条件】

管球条件 : 45kV-40 mA

測定範囲 : 5~65°

ステップ幅 : 0.03 ° /step

(2) セメント鉱物の反応率算出方法

試料の反応率の算出手順を以下に示す。

- ① ペースト試料のリートベルト解析による定量値を ig.loss (TG : 室温~1000°Cまでの強熱減量) を用いて、酸化物換算した。
- ② 初期セメントのリートベルト解析による定量値から、せつこうの結合水および炭酸カルシウムの CO₂ 量を算出し、あわせて ig.loss とした。その後、この値を使って、初期セメントの各鉱物の値を酸化物換算した。
- ③ (1)式にて C₃S および C₂S の反応率を算出した。

$$\text{セメント鉱物の反応率(\%)} = \left(1 - \frac{\text{ペーストの C3S ないし C2S(酸化物換算値)}}{\text{初期の C3S ないし C2S(酸化物換算値)}} \right) \times 100 \quad (5)$$

2) 星野清一, 平尾宙, 山田一夫 : X線回折/リートベルト法によるセメントペーストの水和反応解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, 2006

3. 実験の結果

3.1 コンクリートのフレッシュ性状・強度特性検証試験

3.1.1 調合およびコンクリートのフレッシュ性状

コンクリートの調合およびフレッシュ性状を表-3.1 に示す。NN を使用したコンクリートが所定のスランプおよびスランプフローを得るために必要な混和剤量は、いずれの水セメント比においても N1、N2、N3 と同等であった。

表-3.1 コンクリートの調合およびフレッシュ性状

使用セメント	水結合材比 (%)	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³) ※1					混和剤使用量 (B×%)	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	
			水	結合材 B		細骨材	粗骨材					
				セメント	BFS							
N	NN	65	0.59	180	277	—	904	963	1.50	19.5	—	1.0
	N1								1.40	18.5	—	1.0
	N2								1.40	19.0	—	1.0
	N3								1.40	19.0	—	1.0
	NN	55	0.59	175	318	—	883	963	1.40	18.5	—	1.0
	N1								1.40	19.5	—	1.0
	N2								1.40	19.0	—	0.8
	N3								1.40	16.5	—	0.8
	NN	55 (高流動)	0.56	175	318	—	931	914	1.55	—	48.5	1.3
	N1								1.55	—	48.0	1.1
	N2								1.55	—	45.5	1.7
	N3								1.55	—	50.5	1.1
	NN	45	0.56	175	389	—	873	914	0.90	22.0	40.0	1.2
	N1								0.90	22.0	41.0	1.3
	N2								1.25	22.5	43.0	1.3
	N3								1.20	23.5	48.0	1.2
	NN	35	0.54	175	500	—	814	881	1.10	—	69.5	1.3
	N1								1.10	—	65.5	1.6
	N2								1.35	—	55.0	1.5
	N3								1.30	—	60.0	1.3
NN	25	0.54	175	700	—	650	881	0.93	—	66.5	1.2	
N1								1.10	—	68.0	0.4	
N2								1.50	—	66.0	0.6	
N3								1.40	—	70.0	0.7	
BB	NBB	45	0.56	175	222	167	860	914	0.85	23.5	48.0	0.8
	BB1								0.85	23.0	49.5	0.9
	BB2								1.05	23.5	52.0	0.8
	BB3								0.90	23.0	49.5	1.0
	NBB	35	0.54	175	285	215	797	881	0.80	—	54.5	1.3
	BB1								0.80	—	55.0	1.0
	BB2								1.00	—	62.5	0.7
	BB3								0.90	—	55.5	1.0
	NBB	25	0.54	175	399	301	627	881	0.80	—	70.0	1.0
	BB1								0.80	—	66.0	1.0
	BB2								1.00	—	67.0	0.8
	BB3								0.95	—	67.0	0.8

※1：調合計算に用いたセメント密度は、N 3.16g/cm³、BB 3.04g/cm³一定とした。そのため、厳密には単位量 (1m³) での数値ではない場合がある。表-3.3 のセメント密度を用いた場合の各調合における容積範囲は 1.000~1.003m³であった。

3.1.2 コンクリートの圧縮強度試験

(1) 水中養生

水中養生時のコンクリートの圧縮強度試験結果を図-3.1 および図-3.2 に示す。NN を使用したコンクリートの水中養生時の圧縮強度は、いずれの水セメント比においても N1、N2、N3 と同等であった。

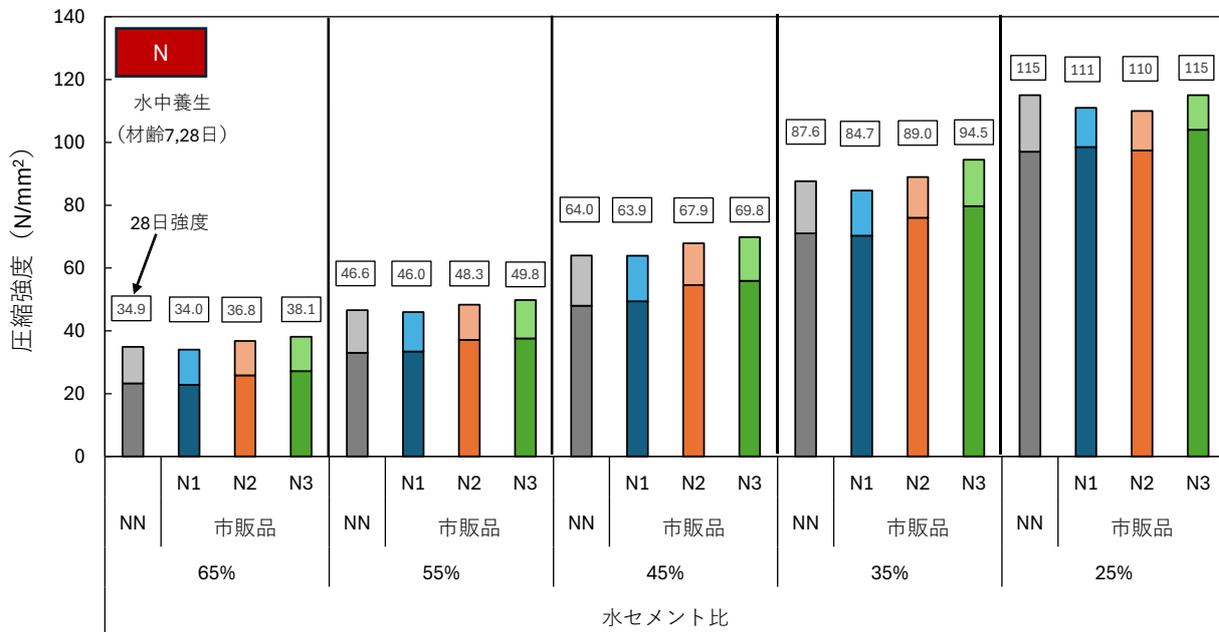


図-3.1 圧縮強度 (N-水中養生、材齢 7 日および 28 日) の結果

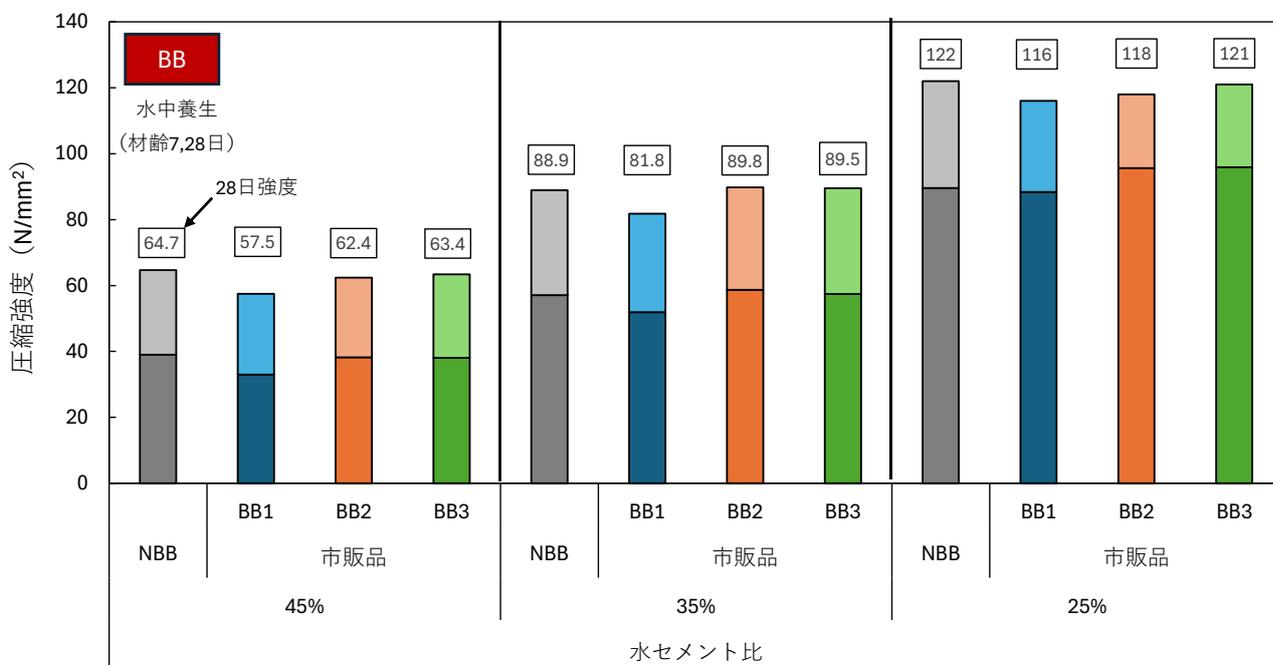


図-3.2 圧縮強度 (BB-水中養生、材齢 7 日および 28 日) の結果

(2)簡易断熱養生

簡易断熱養生時のコンクリートの圧縮強度試験結果を図-3.3 および図-3.4 に示す。NN を使用したコンクリートの簡易断熱養生時の圧縮強度は、いずれの水セメント比においても N1、N2、N3 と同等であった。

また、水中養生の材齢 28 日の圧縮強度に対する、簡易断熱養生の材齢 91 日の圧縮強度の差分として定義される構造体強度補正值 ($_{28}S'_{91}$) を図-3.5 および図-3.6 に示す。また、簡易断熱養生の材齢 91 日の圧縮強度と構造体強度補正值 ($_{28}S'_{91}$) の関係を図-3.7 および図-3.8 に示す。さらに図-3.9 には、N1,N2,N3 を使用したコンクリートの構造体強度補正值 ($_{28}S'_{91}$) NN を使用したコンクリートの構造体強度補正值 ($_{28}S'_{91}$) の関係を、セメントの種類ごとに示した。これらより、NN を使用したコンクリートの構造体強度補正值は、いずれの水セメント比においても N1、N2、N3 と大きな差異はなかった。

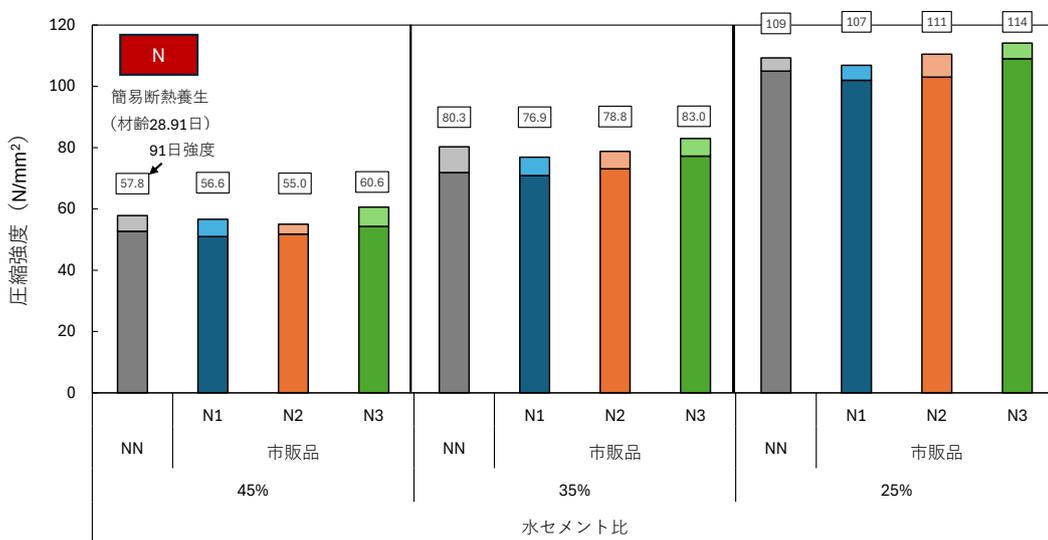


図-3.3 圧縮強度 (N-簡易断熱養生、材齢 28 日および 91 日) の結果

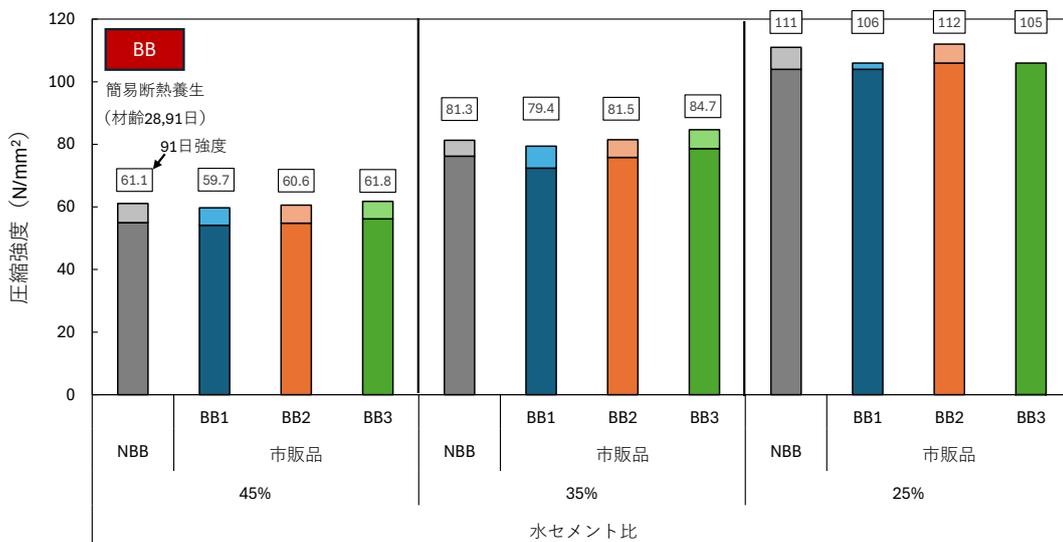


図-3.4 圧縮強度 (BB-簡易断熱養生、材齢 28 日および 91 日) の結果

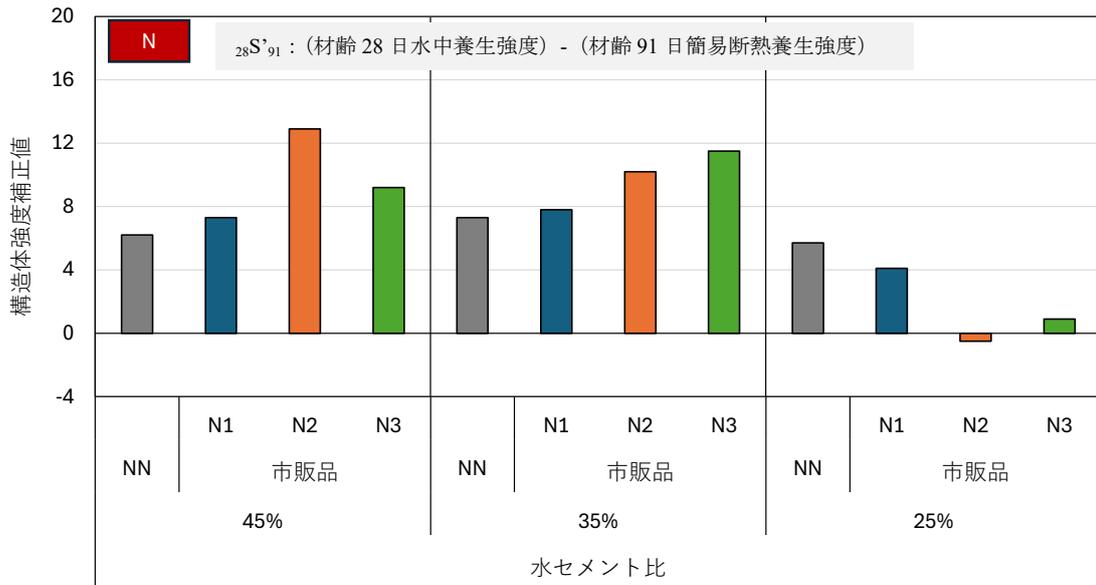


図-3.5 構造体強度補正值 $_{28}S'_{91}$ (N) の結果

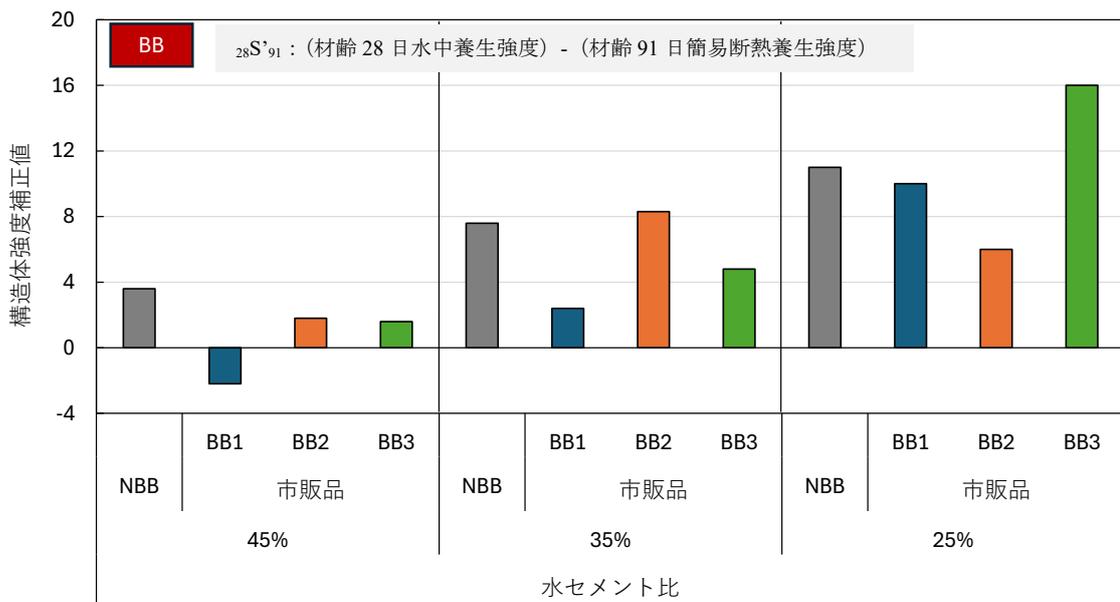


図-3.6 構造体強度補正值 $_{28}S'_{91}$ (BB) の結果

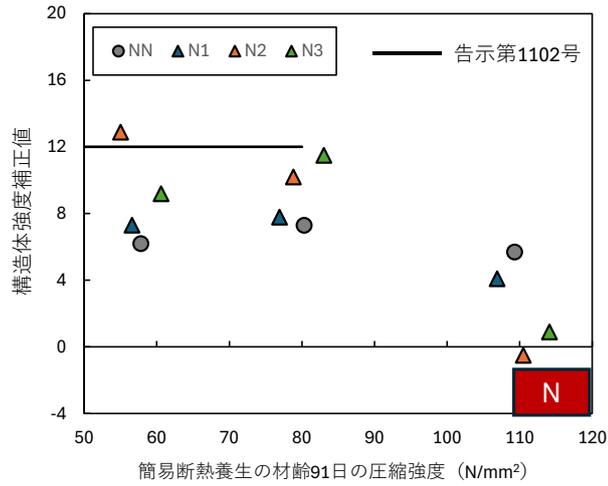


図-3.7 簡易断熱養生材齢 91 日の圧縮強度と構造体強度補正值 $_{28}S'_{91}$ の関係 (N)

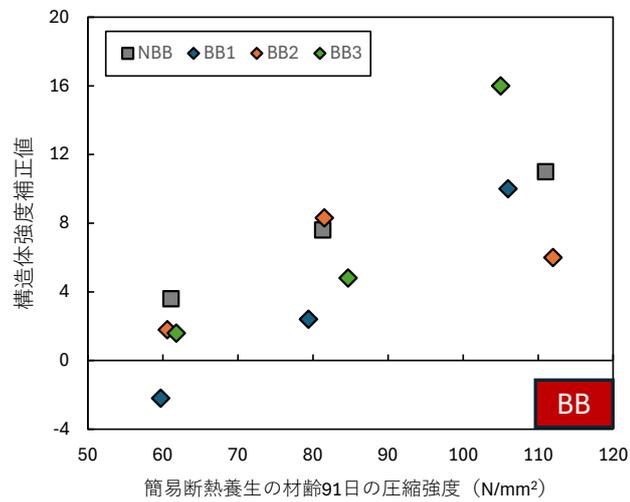
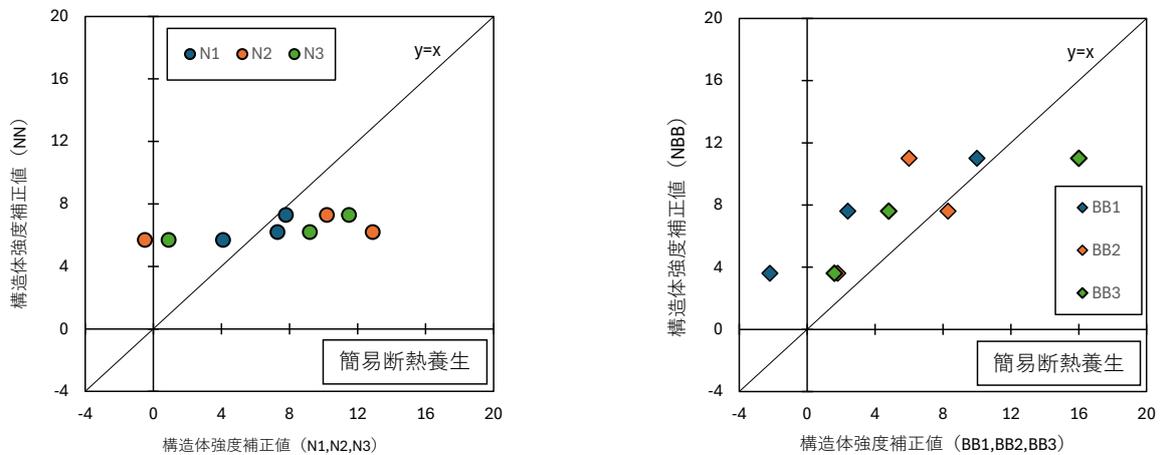


図-3.8 簡易断熱養生材齢 91 日の圧縮強度と構造体強度補正值 $_{28}S'_{91}$ の関係 (BB)



(1) NN と N1, N2, N3 の関係

(2) NBB と BB1, BB2, BB3 の関係

図-3.9 N と NN および BB と NBB の構造体強度補正值 $_{28}S'_{91}$ の関係

(3)スラブ模擬養生

スラブ模擬養生時のコンクリートの圧縮強度試験結果を図-3.10に示す。NNを使用したコンクリートのスラブ模擬養生時の圧縮強度は、いずれの水セメント比においてもN1、N2、N3と同等であった。

また、水中養生の材齢28日の圧縮強度に対する、スラブ模擬養生の材齢91日の圧縮強度の差分（以下、構造体強度補正值 $({}_{28}S''_{91})$ ）を図-3.11に、スラブ模擬養生の材齢91日の圧縮強度と構造体強度補正值 $({}_{28}S''_{91})$ の関係を図-3.12に、N1、N2、N3を使用したコンクリートの構造体強度補正值 $({}_{28}S''_{91})$ とNNを使用したコンクリートの構造体強度補正值 $({}_{28}S''_{91})$ の関係を図-3.13にそれぞれ示す。NNを使用したコンクリートの構造体強度補正值は、いずれの水セメント比においてもN1、N2、N3と大きな差異はなかった。

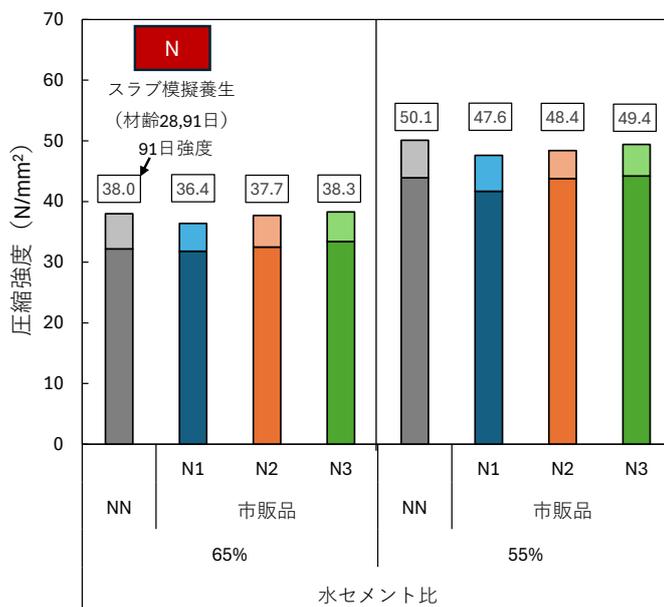


図-3.10 圧縮強度（N-スラブ模擬養生、材齢28日および91日）の結果

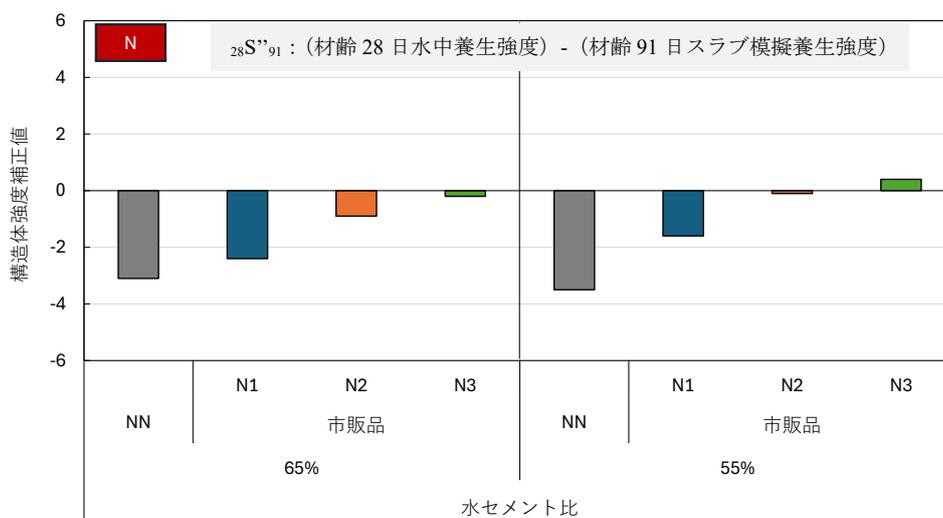


図-3.11 構造体強度補正值 $({}_{28}S''_{91})$ （N）の結果

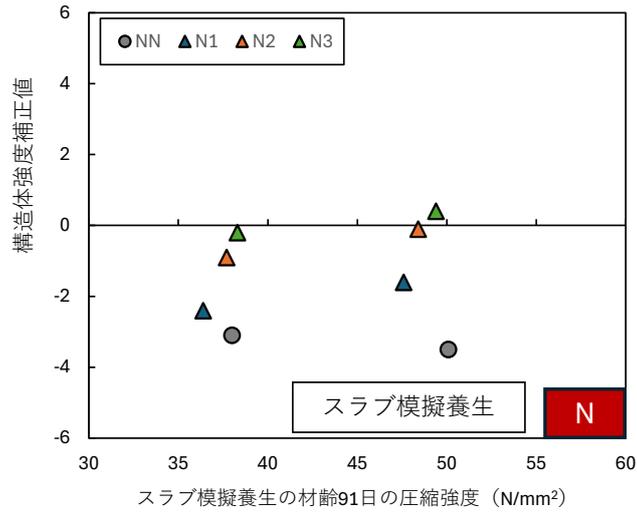


図-3.12 スラブ模擬養生材齢91日の圧縮強度と構造体強度補正值 $_{28}S''_{91}$ の関係 (N)

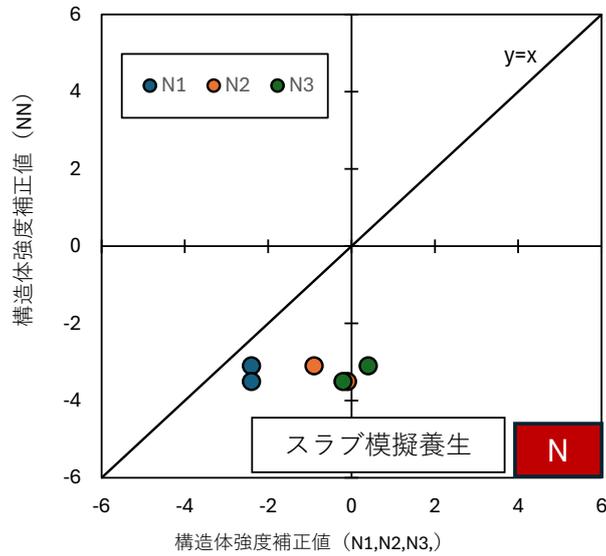


図-3.13 N と NN の構造体強度補正值 $_{28}S''_{91}$ の関係

3.2 高温環境下のコンクリートのフレッシュ性状確認試験

3.2.1 調合およびコンクリートのフレッシュ性状

コンクリートの調合およびフレッシュ性状を表-3.2 に示す。NN を使用したコンクリートの所定のスランプを得るために必要な混和剤量は、いずれの環境温度においても N1 と同等であった。

表-3.2 コンクリートの調合およびフレッシュ性状

セメント	環境温度 (°C)	水セメント比 (%)	単位粗骨材かさ容積 (m³/m³)	単位量 (kg/m³) ※				高性能 AE 減水剤 使用量 (セメント×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)
				水	セメント	細骨材	粗骨材				
NN	20	35	0.54	175	500	814	881	0.95	22.5	1.6	22
N1								0.95	22.0	2.2	22
NN	40	35	0.54	175	500	814	881	1.05	22.5	1.0	39
N1								1.05	23.5	0.7	39

※：いずれのセメントも N:3.16g/cm³、BB:3.04g/cm³ として調合計算を実施したため、厳密には 1m³ ではない。

3.2.2 スランプおよびスランプロス試験

コンクリートのスランプ試験結果を図-3.14 に示す。NN を使用したコンクリートの 60 分経過後のスランプの低下量は、いずれの環境温度においても N1 と同等であった。特に、20°C 環境における NN のスランプの低下量は 0.5cm であり、これは前述した日本建築学会「暑中コンクリートの施工指針・同解説 (2019 年 7 月改定)」に記載されている『20°C 環境下でのスランプの経時変化において、静置状態で 60 分経過後のスランプの低下量が 6cm 以下であること。』を満足しており、改正 JIS セメントを使用したコンクリートにおいても現行の基準が適用できると考えられる。

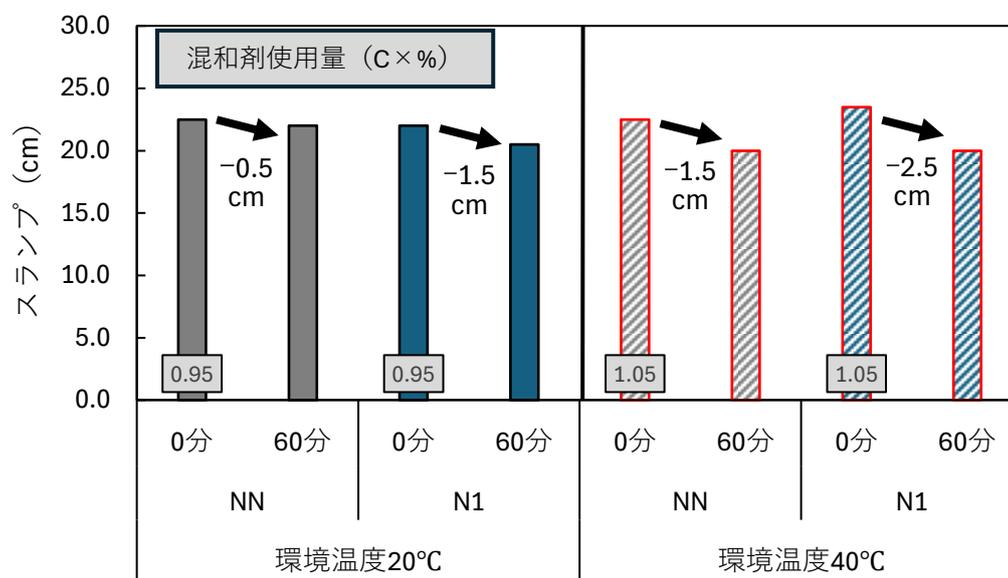


図-3.14 スランプおよびスランプロス試験結果

3.2.3 凝結試験

コンクリートの凝結試験結果を図-3.15に示す。NNを使用したコンクリートの貫入抵抗値が $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ に到達するまでの時間は、 20°C 環境および暑中期を想定した 40°C 環境においてもN1と同等であった。また、 20°C 環境においてNNを使用したコンクリートの貫入抵抗値が $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ に到達するまでの時間は7時間40分であり、これは前述した日本建築学会「暑中コンクリートの施工指針・同解説（2019年7月改定）」に記載されている『 20°C 環境下での凝結試験において、貫入抵抗値が $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ に達した時間が5時間23分以上（補正式 $T_{38}=0.65\times T_{20}$ 、 T_{38} :3.5時間以上、T:凝結時間で添字は温度）であること。』を満足しており、改正JISセメントを使用したコンクリートにおいても現行の基準が適用できると考えられる。今回の試験結果を図-2.3に加筆したものを図-3.16に示す。

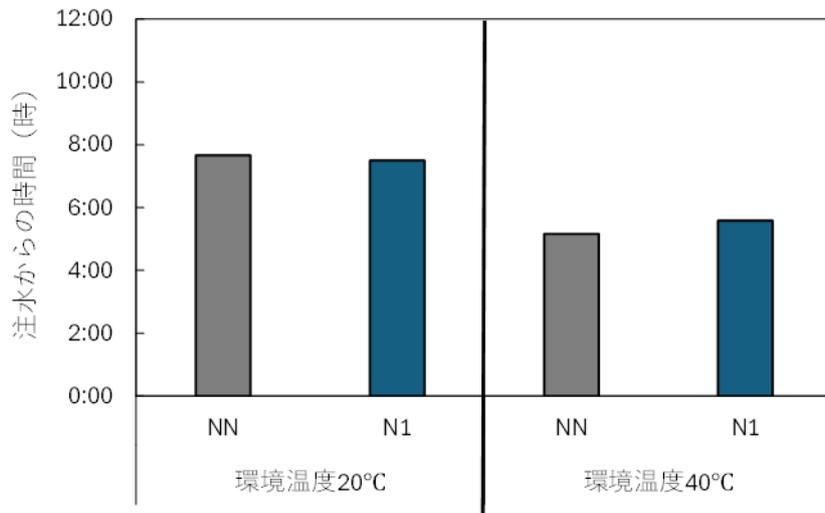


図-3.15 貫入抵抗値 $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ に到達するまでの時間

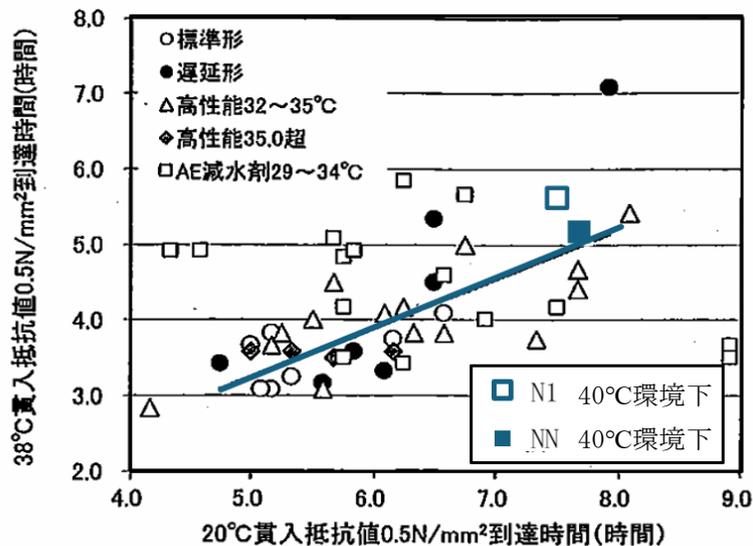


図-3.16 20°C 環境下と 38°C 環境下の貫入抵抗値 $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ 到達時間の関係 (NN, N1 追記)¹を元に加筆・修正)

1) 日本建築学会；暑中コンクリートの施工指針・同解、p.80、2019.7

3.3 高温度履歴下のモルタル・セメントペースト試験

3.3.1 フレッシュ性状

モルタルのフレッシュ性状試験結果を表-3.3 に示す。NN を使用したモルタルの所定のフローを得るために必要な SP 量は、環境温度に関わらず概ね N1 と同等であった。

表-3.3 モルタルのフレッシュ性状

環境温度 (°C)	養生条件	セメント	調合条件		混和剤添加率 (C×%)		フレッシュ性状		
			水セメント比 (%)	セメント砂比	SP	DF	フロー (mm)	練上がり 温度(°C)	空気量 (%)
20	20°C 水中	NN	35	2.0	1.10	0.10	233	23.1	1.9
		N1	35	2.0	1.30	0.20	223	23.8	1.8
38	90°C 高温履歴	NN	35	2.0	1.15	0.10	209	41.1	2.2
		N1	35	2.0	1.20	0.20	204	40.7	2.1

3.3.2 モルタルの圧縮強度

材齢 28 日におけるモルタルの圧縮強度試験結果を図-3.17 に示す。モルタルの圧縮強度は初期に高温履歴を受けることで低下するものの、それぞれの温度条件において NN を使用した場合は N1 を使用した場合と同等であった。

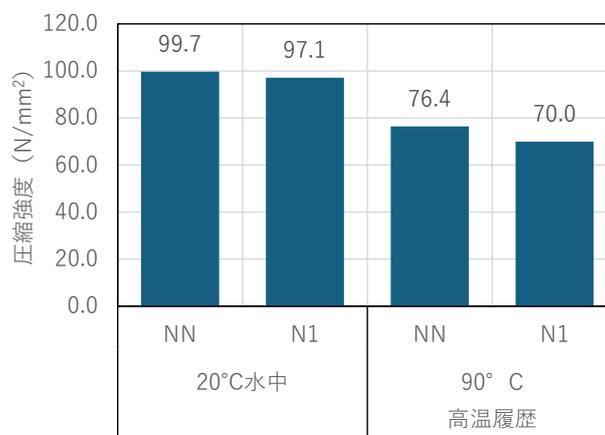


図-3.17 モルタルの圧縮強度

3.3.3 モルタルの細孔構造

材齢 28 日におけるモルタルの細孔構造として、細孔容積と細孔直径の関係を図-3.18 に、積算細孔容積と細孔直径の関係を図-3.19 に示す。高温履歴を受けたモルタルは 20℃環境で養生した場合と比較して、直径が 0.02~0.04μm 程度の空隙量が少なく、0.04~0.10μm 程度の空隙量が多くなり、総細孔量は多くなった。しかし、NN を使用した場合の細孔径分布および総細孔量は、N1 使用時と同等であった。

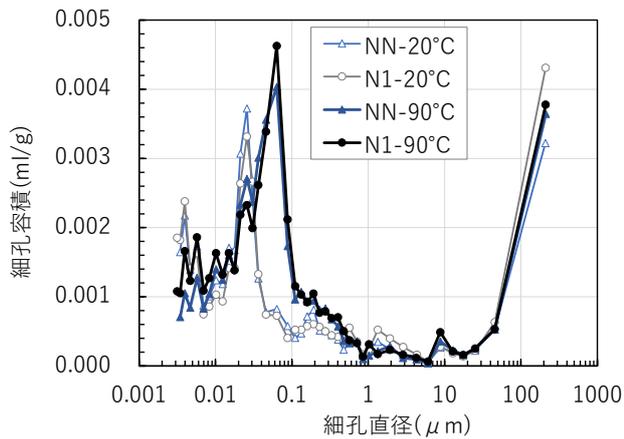


図-3.18 モルタルの細孔径分布

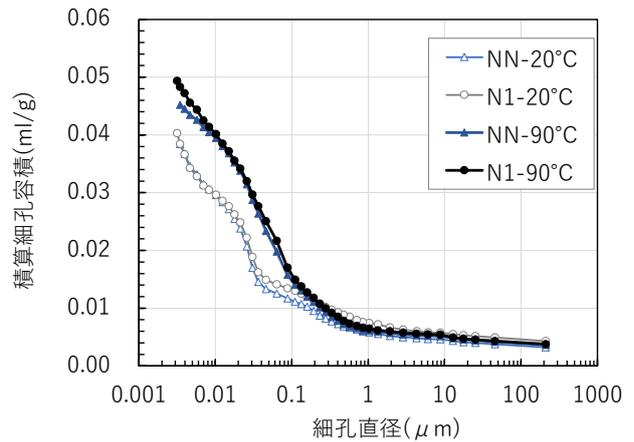


図-3.19 モルタルの積算細孔容積

3.3.4 走査型電子顕微鏡による硬化体組織の観察

材齢 28 日における各養生条件の二次電子像を表-3.4 および表-3.5 に示す。20℃水中養生を行った場合は、NN および N1 とともに密実な組織が形成されており、差は認められなかった。90℃温度履歴を受けた場合は、NN および N1 とともに、密実な組織が形成されている領域 (①) と、骨材や気泡の周囲等にやや疎な領域 (②) が確認された。密実な領域では、20℃水中養生を行った場合と同様に、NN と N1 の組織に差は認められなかった。一方、やや疎な領域では、N1 は NN と比較して、より疎であった。

表-3.4 20℃水中養生を行った試料の二次電子像

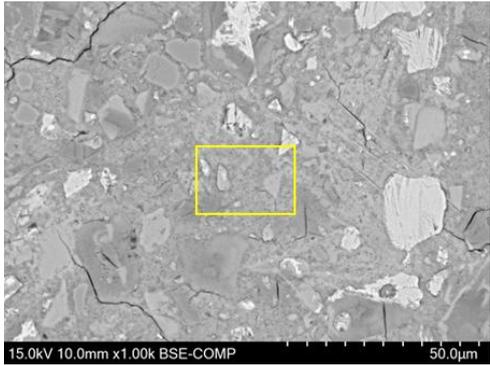
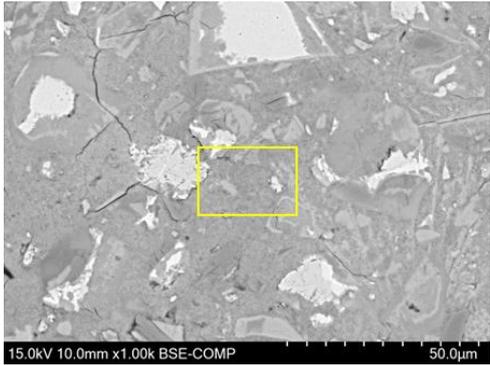
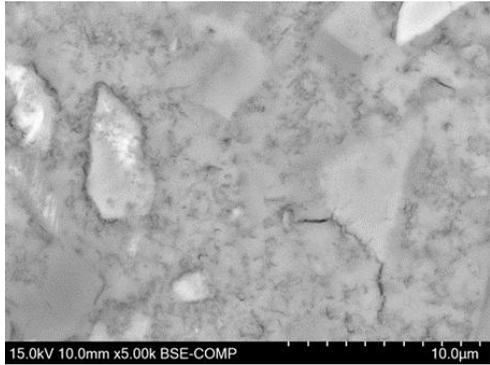
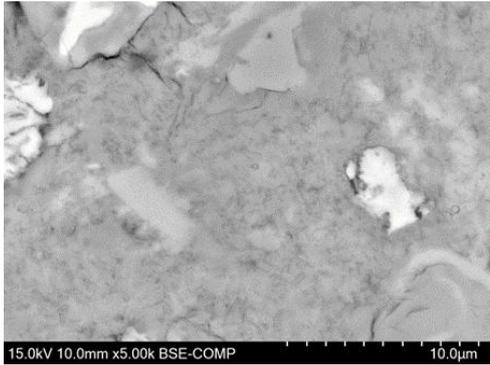
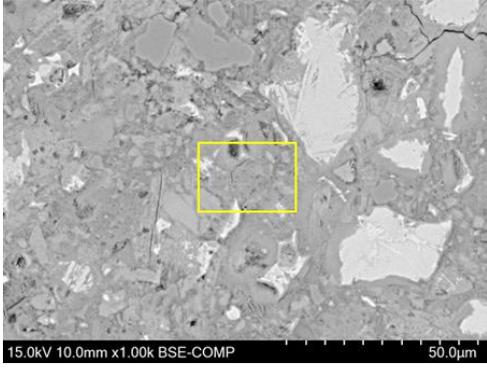
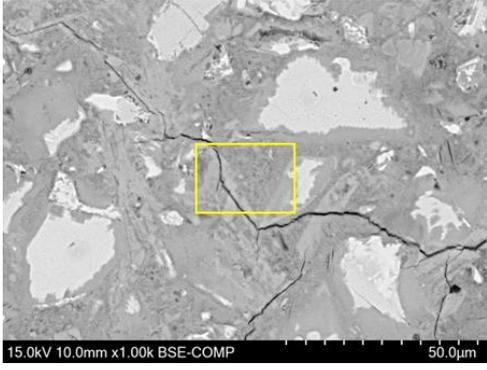
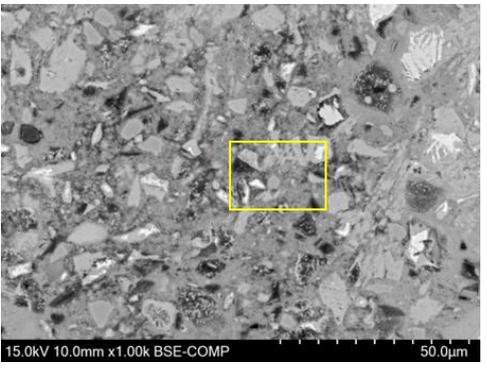
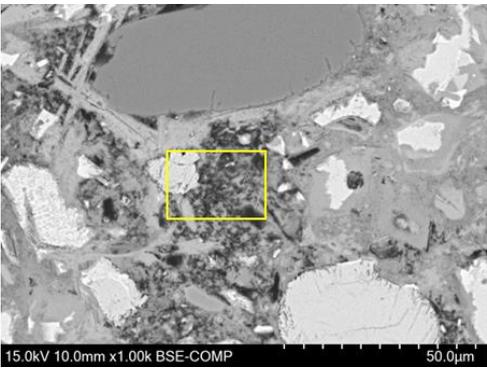
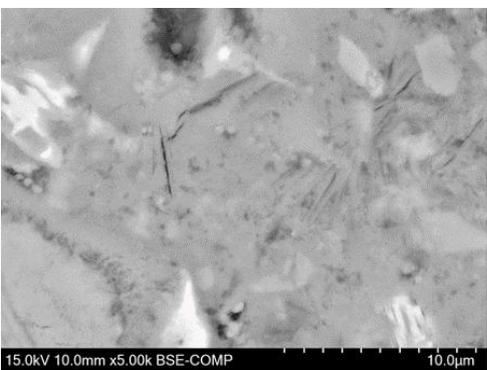
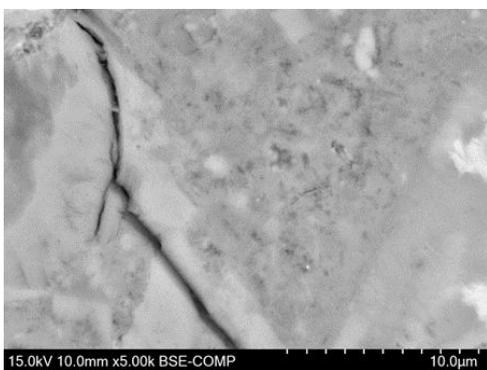
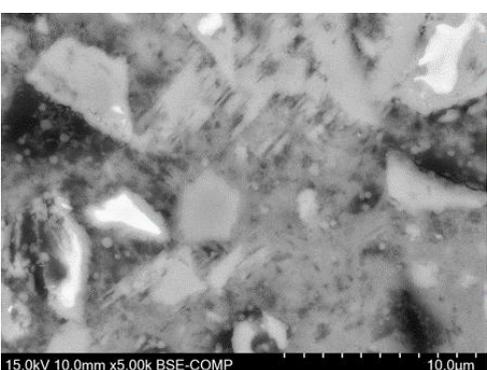
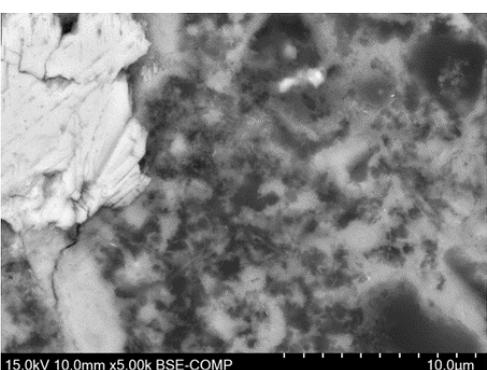
養生	倍率	NN	N1
20℃ 水中	×1k		
	×5k		

表-3.5 90℃高温履歴を受けた試料の二次電子像

養生	倍率	NN	N1
90℃ 高温履歴	×1k	① 	① 
		② 	② 
	×5k	① 	① 
		② 	② 

3.3.5 TG-DTAによる水酸化カルシウム量

材齢 7,28 日における TG-DTA による測定結果を表-3.6 に、水酸化カルシウムの含有率を図-3.20 に示す。表には質量減少率より算出した水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウムの含有率を示す。NN を使用した場合は、セメント中に含まれる石灰石微粉末量が増加したことによって、材齢および養生条件に関わらず、N1 の場合よりも炭酸カルシウム含有量が多くなった。水酸化カルシウムの含有率は、材齢による差は小さいものの、NN および N1 とともに高温履歴を受けた場合の方が 20°C で養生した場合よりも大きく、いずれの場合も NN は N1 と同程度であることが確認された。

表-3.6 TG-DTA による測定結果

材齢	養生	試料名	質量減少率(%)			含有率(%)	
			結合水※ (~1000°C)	H ₂ O	CO ₂	Ca(OH) ₂	CaCO ₃
7 日	20°C 水中	NN	18.04	3.42	3.25	14.06	7.39
		N1	16.79	3.35	0.93	13.78	2.12
	90°C 高温履歴	NN	17.77	4.22	3.33	17.35	7.57
		N1	15.65	4.05	1.25	16.65	2.84
28 日	20°C 水中	NN	18.71	3.22	2.97	13.24	6.75
		N1	16.96	3.18	0.72	13.08	1.64
	90°C 高温履歴	NN	18.17	3.92	3.23	16.12	7.35
		N1	15.99	3.80	1.09	15.63	2.48

※室温~1000°Cにおける強熱減量

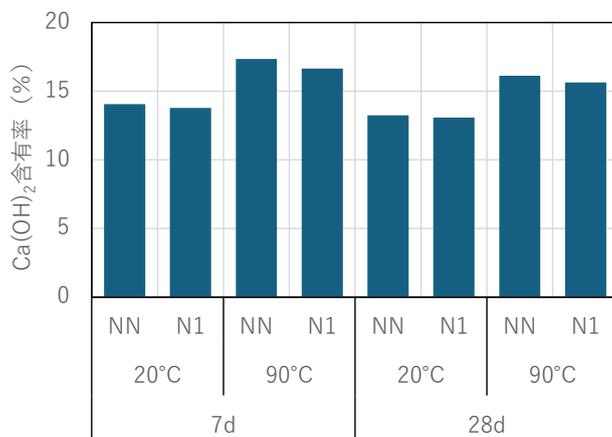


図-3.20 Ca(OH)₂含有率

3.3.6 粉末X線回折（リートベルト解析）による C_3S および C_2S の反応率および非晶質量

材齢 28,91 日における C_3S および C_2S の反応率およびセメントペースト中の非晶質量を表-3.7に示す。NN の材齢 28 日における C_3S および C_2S の反応率を N1 と比較すると、養生条件に関わらず C_3S は高く、 C_2S は低い結果となった。材齢 91 日における C_3S および C_2S の反応率は、材齢 28 日と同様に NN が N1 よりも C_3S の反応率は高く、 C_2S の反応率は低い結果であった。しかし、材齢 28 日以降における NN の C_2S 反応率の増加量が大きかったため、NN と N1 の C_2S 反応率の差は縮小した。

C_2S に関しては、高い精度で定量することが困難であり、ばらつきが大きいとされている^{3,4)}が、浅賀らの研究⁵⁾では、環境温度 20°C で養生した普通セメント中の C_2S の反応率は材齢 28 日が 20%程度、材齢 91 日が 40%程度とされており、本検討における NN の C_2S 反応率と同等であった。また、浅賀らは、50°C および 80°C で養生した場合の C_2S 反応率を測定しており、材齢 28 日ではそれぞれ 50% および 64%、材齢 91 日では 67% および 74% であったことを報告している⁵⁾。本検討において高温履歴養生を行った場合の、材齢 28 日までの平均養生温度は約 30°C、材齢 91 日では約 23°C であった。このことを踏まえると、高温履歴を受けた NN の C_2S 反応率は十分に高いと考えられる。

以上より、NN における C_3S および C_2S の反応率は、養生条件によらず十分高く、特に高温履歴を受けることで、材齢 28 日および 91 日ともにカルシウムシリケート相の反応が促進されることを確認した。また、養生温度によらず、非晶質量は NN と N1 で概ね同等であることから、C-S-H 生成量は同等と考えられる。細孔構造、SEM 画像、熱分析の結果も踏まえると、NN の C-S-H 生成量は、養生条件によらず従来の OPC と同等であり、緻密な組織を形成していると言える。

表-3.7 C_3S および C_2S の反応率および非晶質量

養生方法	セメント	反応率 (%)						非晶質 (%)	
		28d			91d			28d	91d
		C_3S	C_2S	カルシウム シリケート	C_3S	C_2S	カルシウム シリケート		
20°C 水中	NN	85.8	18.6	67.8	90.3	39.8	76.8	51.1	58.2
	N1	76.3	40.9	66.7	82.6	52.4	74.5	54.4	60.4
高温履歴 (最高温度 90°C)	NN	89.4	45.7	77.7	91.7	58.5	82.8	53.5	61.1
	N1	78.7	63.1	74.5	83.2	61.2	77.2	55.0	59.4

3) 松下哲郎、平尾宙、丸山一平、野口貴文：リートベルト解析によるセメントの水和反応の定量解析、日本建築学会構造系論文集、第 73 巻、第 623 号、1-8、2008.1

4) 日本コンクリート工学協会：反応モデル解析研究委員会報告（I）セメントコンクリートの反応モデル解析の現状と今後の展望、pp.43-47、1996

5) K.Asaga, M.Ishizaki, S.Takahashi, K.Konishi, T.Tsurumi, M.Daimon : Effect of Curing Temperature on the Hydration of Portland Cement Compound, 9th, Proc. of the Int.Cong. on the Chem. Cem., Vol.4, pp.181-187, 1992

4. 同等性評価

4.1 評価方法

本実験より得られた圧縮強度の試験結果から、改正 JIS セメントと現行 JIS セメント、およびこれらを基材とする高炉セメント B 種相当セメントを用いたコンクリートの強度について同等性の評価を行った。

(1) 圧縮強度の同等性評価

改正 JIS セメントと現行 JIS セメントを用いたコンクリートの各圧縮強度の同等性については、x 軸に現行 JIS セメントを用いたコンクリートの圧縮強度、y 軸に改正 JIS セメントを用いたコンクリートの圧縮強度を示した散布図を作成し、両者の関係を示して同等性を評価した。対象は本実験における全ての調合条件と養生条件、材齢期間とした。

(2) 強度式の同等性評価

圧縮強度とセメント水比の関係から算出される強度式の同等性については、N1,N2,N3 または BB1, BB2, BB3 を用いた全てのコンクリートの圧縮強度から求めた強度式と NN または NBB を用いたコンクリートの圧縮強度から求めた強度式の 2 つの式の有意差検定にて評価した。有意差検定は、「F 検定による分散の差」と「T 検定による回帰係数の差」、「T 検定による切片の差」によって評価した。この強度式の有意差検定は、住友セメントシステム開発株式会社の生コン品質管理システム SuperNet XL-Q (バージョン: R5091) の統計処理ツールを用いて行った。強度式の検定は、下記の表-4.1 に示す調合条件と養生条件、材齢期間を対象とした。

表-4.1 強度式の検定条件

No.	条件	セメント	水セメント比	養生方法	材齢
1	高強度コン 水中養生	N1、N2、N3	25%、35%、45%	水中	28 日
		NN			
2	普通強度コン 水中養生	N1、N2、N3	45%、55%、65%	水中	28 日
		NN			
3	高強度コン 水中養生	BB1、BB2、BB3	25%、35%、45%	水中	28 日
		NBB			
4	高強度コン 簡易断熱養生	N1、N2、N3	25%、35%、45%	簡易断熱	91 日
		NN			
5	高強度コン 簡易断熱養生	BB1、BB2、BB3	25%、35%、45%	簡易断熱	91 日
		NBB			

4.2 評価結果

4.2.1 圧縮強度の同等性評価

N1,N2,N3 または BB1,BB2,BB3 を用いたコンクリートの圧縮強度と NN または NBB を用いたコンクリートの圧縮強度の関係を養生種別毎に整理したグラフを図-4.1~図-4.5 に示す。また、図中に±5%の許容範囲を点線で、切片を 0 として近似した直線式を実線で併せて示す。いずれの養生においても、NN を用いたコンクリートの圧縮強度に対する決定係数 (R2 乗値) が 0.9 以上であり、高い相関性を有していることが確認できた。また、いずれの近似直線も許容範囲内にプロットされた。

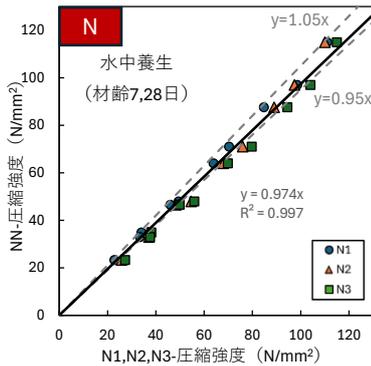


図-4.1 N1, N2, N3 と NN の強度の関係 (水中養生)

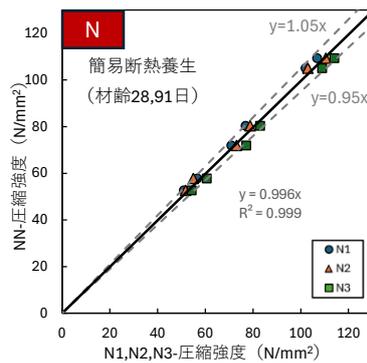


図-4.2 N1, N2, N3 と NN の強度の関係 (簡易断熱養生)

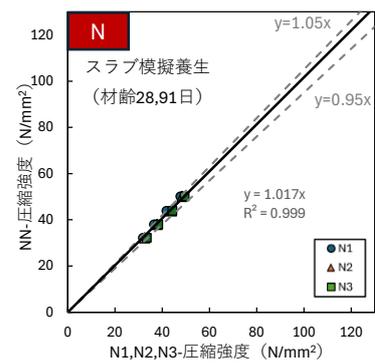


図-4.3 N1, N2, N3 と NN の強度の関係 (スラブ模擬養生)

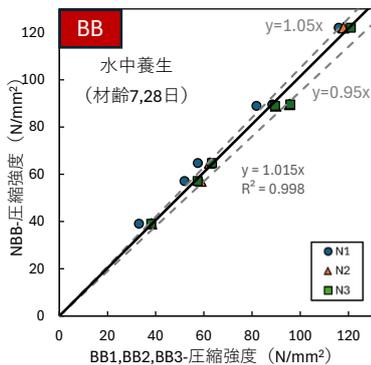


図-4.4 BB1, BB2, BB3 と NBB の強度の関係 (水中養生)

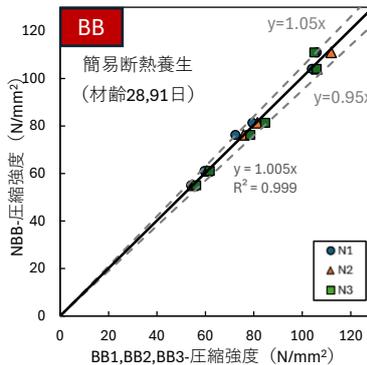


図-4.5 BB1, BB2, BB3 と NBB の強度の関係 (簡易断熱養生)

4.2.2 強度式の同等性評価

No.1～5 の各条件における、圧縮強度とセメント水比の関係と算出した強度式を示したグラフを図-4.6～図-4.10 に示す。これらの各強度式に対する有意差検定の結果を表-4.2 に示す。一部の条件においては、切片の値に差があるように見られる結果があるものの、実際にコンクリートを製造するセメント水比の範囲内では算出される圧縮強度に大きな差がないことが確認できる。また、いずれの条件においても、2つの強度式に大きな差はなく、有意差検定の結果からも分散、傾き、切片が有意でないという結果が得られた。なお、今回使用した生コン品質管理システムによる No.1～No.5 の詳細な検定結果については附6に記載する。

以上の結果より、改正 JIS セメントを用いたコンクリートの圧縮強度とセメント水比から算出される強度式は、様々な調合条件、養生条件、および材齢期間においても、現行 JIS セメントを用いたコンクリートの強度式と同等性があることが確認された。

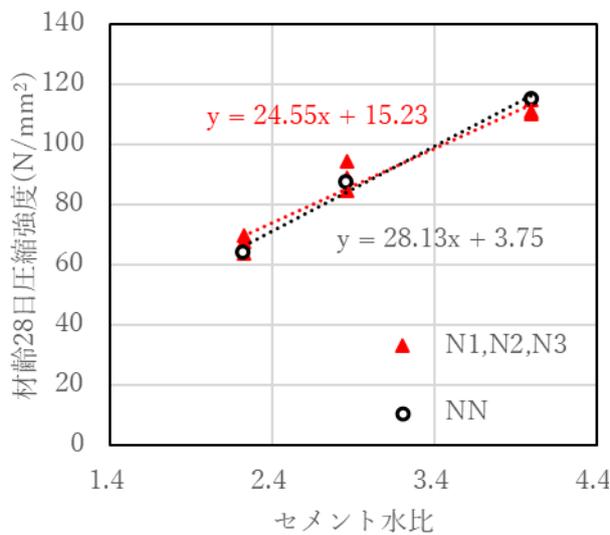


図-4.6 No. 1
(N-水中養生(高強度))

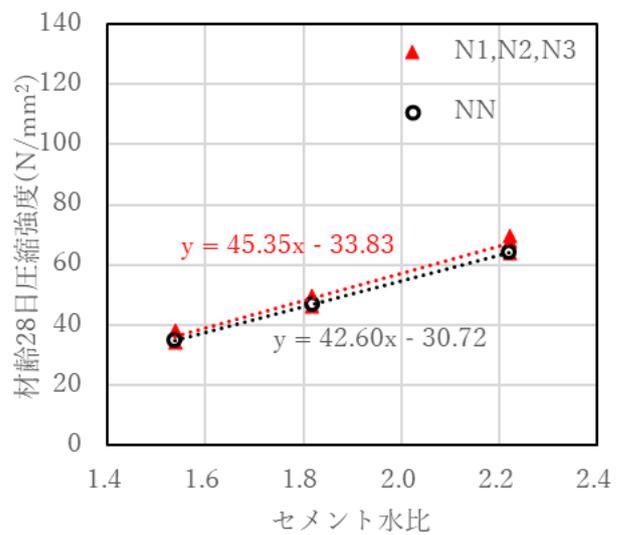


図-4.7 No. 2
(N-水中養生(普通強度))

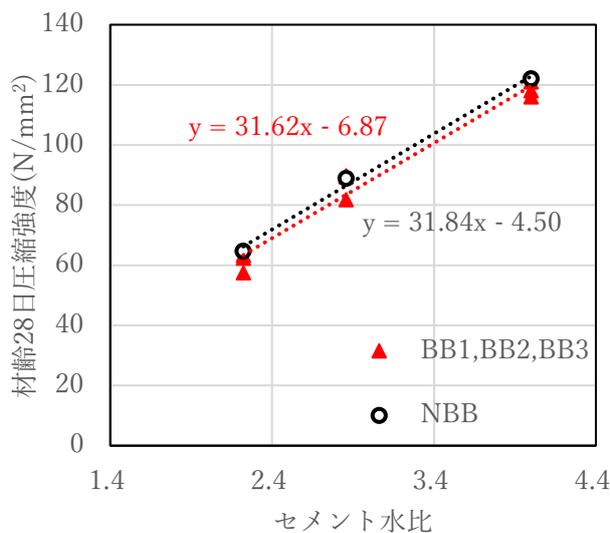


図-4.8 No. 3
(BB-水中養生(高強度))

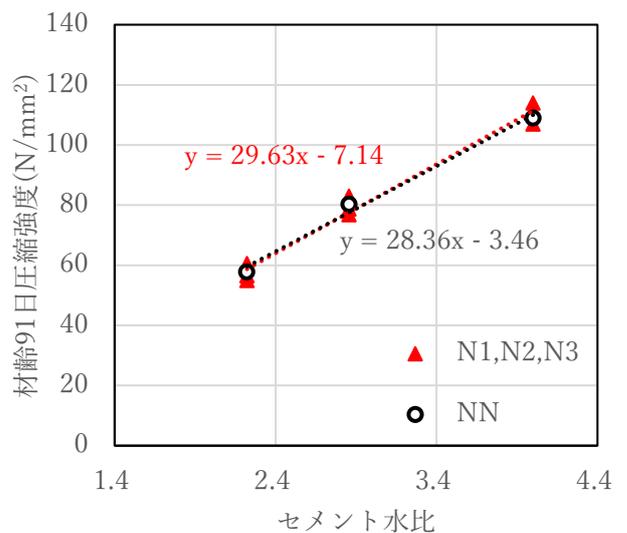


図-4.9 No. 4
(N-簡易断熱養生(高強度))

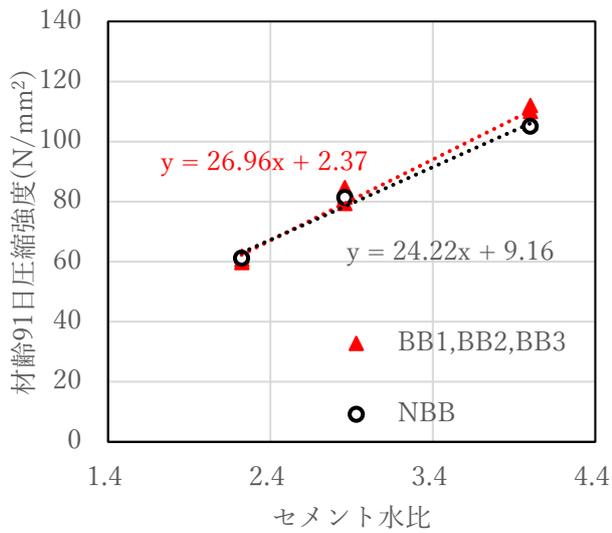


図-4.10 No. 5
(BB-簡易断熱養生(高強度))

表-4.2 各強度式の有意差検定の結果 (信頼区間 95%)

No.	条件	分散	傾き	切片
1	N、高強度、水中養生	有意差はない	有意差はない	有意差はない
2	N、普通強度、水中養生	有意差はない	有意差はない	有意差はない
3	BB、高強度、水中養生	有意差はない	有意差はない	有意差はない
4	N、高強度、簡易断熱養生	有意差はない	有意差はない	有意差はない
5	BB、高強度、簡易断熱養生	有意差はない	有意差はない	有意差はない

5. まとめ

少量混合成分の含量を質量で 0%以上 10%以下としたセメント（改正 JIS セメント）を使用した大臣認定コンクリートの性能評価実験として、既に認定を受けている大臣認定コンクリートを網羅した条件で、「コンクリートのフレッシュ性状・強度特性検証試験」、「高温環境下のコンクリートのフレッシュ性状確認試験」、および「高温度履歴下のモルタル・セメントペースト試験」を実施し、現行 JIS セメントを使用した場合との同等性を評価した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 様々な調合条件のコンクリートにおいても、フレッシュ性状に大きな差がないことが確認された。また、調合条件、養生条件、および材齢期間の違いによらず、コンクリートの強度は同等性を有していることが確認された。また圧縮強度結果から算出される強度式も同等性が有していることが確認された。また、構造体強度補正值も同程度の値であることが確認された。
- (2) 35℃を上回る高温環境下でのコンクリートのフレッシュ性状、凝結時間に大きな差がないことが確認された。
- (3) 高温度履歴を受けたモルタルのフレッシュ性状、圧縮強さ、細孔構造、セメントペーストのクリンカ反応量と水酸化カルシウムをはじめとする水和物の生成に大きな差がないことが確認された。

これらの結果から、改正 JIS セメントおよびそれを基材とするセメント（混合セメントを含む）を使用した大臣認定コンクリートは、現行 JIS セメントおよびそれを基材とするセメント（混合セメントを含む）を使用した大臣認定コンクリートの性能と同等であると判断できる。

JIS 改正後のセメントを使用した
大臣認定コンクリートの性能に関する有識者懇談会

名 簿

座 長	東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻 教授	野 口 貴 文	
委 員	東京工芸大学 工学部 工学科 教授	陣 内 浩	
〃	芝浦工業大学 建築学部 建築学科 教授	濱 崎 仁	
〃	国土交通省 国土技術政策総合研究所	三 島 直 生	
〃	国土交通省 国土技術政策総合研究所	土 屋 直 子	
〃	国立研究開発法人 建築研究所	鹿 毛 忠 継	
〃	国立研究開発法人 建築研究所	中 田 清 史	
オブザーバー	国土交通省 住宅局	石 塚 正 士	
〃	国土交通省 住宅局	柳 沢 圭 祐	
〃	国土交通省 住宅局	大 門 諒 亮	(2025年4月から)
〃	国土交通省 住宅局	難 波 基 晴	(2025年3月まで)
〃	一般財団法人 日本建築総合試験所	荒 井 正 直	
〃	一般財団法人 日本建築総合試験所	津 平 公 彦	
〃	株式会社 都市居住評価センター	室 屋 哲 也	
〃	一般財団法人 建材試験センター	中 村 則 清	
〃	一般財団法人 建材試験センター	上 村 昌 平	
〃	一般社団法人 日本建設業連合会 建築本部	梅 本 宗 宏	
〃	全国生コンクリート工業組合連合会	西 本 洋 一	
セメント協会会員	太平洋セメント株式会社 (技術専門委員会 委員)	石 田 征 男	
〃	太平洋セメント株式会社 (技術専門委員会 委員)	小 島 明	
〃	UBE三菱セメント株式会社 (技術専門委員会 委員)	黒 岩 義 仁	
〃	住友大阪セメント株式会社 (技術専門委員会 委員)	本 田 和 也	
事務局	一般社団法人セメント協会 常務理事	廣 川 誠 一	
〃	一般社団法人セメント協会 研究所長	谷 村 充	(2025年4月から)
〃	一般社団法人セメント協会 研究所長	吉 田 雅 彦	(2025年3月まで)
〃	一般社団法人セメント協会 研究所	吉 本 徹	
〃	一般社団法人セメント協会 研究所	島 崎 泰	
〃	一般社団法人セメント協会 研究所	伊 藤 孝 文	

附 2. 実験計画の策定経緯

本実験の目的は、これまで取得されている大臣認定コンクリート（M-CON）のセメントが改正 JIS セメントに置き換わった場合において、強度式を変更することなく、コンクリートの性能（主にフレッシュ性状および圧縮強度）が同等であることを検証することにある。

その目的を達成するために策定する検証実験計画は、既に認定を受けているコンクリートの各種条件を網羅できるよう、有識者懇談会で審議し決定したものである。

以下に、有識者懇談会における審議内容および検証実験計画の策定に至るまでの経緯を記す。

《第 1 回有識者懇談会～第 2 回有識者懇談会前までの活動内容》

第 1 回有識者懇談会（2025 年 3 月 17 日開催）では、セメント協会が予め実施した実験の結果を報告したうえで、協会事務局側から提案した検証実験計画案について審議された。

改正 JIS セメントに置き換わると、セメントの密度が現在の品質基準の範囲外になることになる。この場合、コンクリート製造マニュアルは改訂可能であることから、調査設計に採用する密度を変更する場合と変更しない場合の二つのパターンが想定される。前者はセメント協会の実験で確認済みである一方、後者は未対応であるため、現行セメントの密度を採用した調査設計で検証実験を行うこととなった。

なお、審議では、以下のような意見が寄せられた。

- ① 今回提案された実験計画(案)の水セメント比(強度レベル)の範囲をどのように想定しているのか。
- ② 養生(水分)が強度に及ぼす影響の程度は、改正 JIS セメントになっても変わらないのか。水中養生、簡易断熱養生以外の養生条件での検討を加えたほうが良いのではないのか。
- ③ 高強度コンクリート以外の普通強度域の大臣認定コンクリート、例えば、高流動コンクリート、軽量コンクリート、再生骨材コンクリートなども考慮すべきではないのか。

第 1 回有識者懇談会后、協会事務局で協議した結果、上記の意見への対応は以下の通りとし、検証実験計画案を修正することとした。

- ①への対応：セメント協会が調査した範囲では、既に認定を受けている N 単味を使用した高強度コンクリートの設計基準強度 F_c の最大が 78 N/mm^2 、水セメント比の最小が 25%であることを把握できたため、検証実験計画では水セメント比の下限値を 25%に設定する。
- ②への対応：養生(水分)の影響の検討として、スラブ部材の養生を模擬した養生条件を検証実験の水準に追加する。具体的には、円柱供試体を打設後 5 日間封かん養生(型枠存置)したのちに脱型し、直ちに側面をシール(上下端面のみを開放)して、材齢 28、91 日まで気中養生(以下、スラブ模擬養生)を行った後に圧縮強度試験を実施する。なお、スラブ模擬養生は水分移動の影響を比較的受けやすいと想定される水セメント比 65%および 55%の水準において実施する。
- ③への対応：協会事務局の調査によれば、表-2.1 に示す通り、高強度コンクリート以外にも大臣認定を取得した様々なコンクリートが存在する。これらの大臣認定コンクリートに対して以下の対応を行うとした。

表-2.1 大臣認定種類毎の F_c と水セメント比の関係(事務局調べ)

認定の種類	Fc の範囲 (N/mm ²)	水セメント比の範囲 (%)
高流動コンクリート	18~45	63.4~37.4
軽量コンクリート	18~33	70.4~36.6
再生骨材コンクリート	21~36	57.2~39.7
シラスコンクリート	18~36	66.0~37.2

◇普通強度のコンクリートへの対応：普通強度域での認定実績もあることから、それらを包含する水セメント比 65%および 55%のコンクリート試験を追加する。

◇高流動コンクリートへの対応：普通強度レベルの高流動コンクリート（水セメント比 55%）を想定し、増粘剤一液タイプ混和剤を使用してコンクリート試験を追加する。

◇骨材種類の違いに対する対応：今回の検証実験の焦点は、セメントの少量混合成分の上限を 5%以下から 10%以下に変更することによる、JIS 改正前後のセメントを使用したコンクリートの性能の同等性を問うことである。したがって、骨材種類によりセメントの違いがコンクリートの物性へ及ぼす影響が変わるものではないと考えられるため、軽量骨材や再生骨材といった特殊な骨材を用いた調合について検証は行わない。

◇混和材を添加した大臣認定コンクリートへの対応：N を基材とし、混和材を使用した大臣認定コンクリートにおける混和材の使用方法は、以下の a)~c)に大別できる。

a) 骨材代替として使用

（例えば、石灰石微粉末、フライアッシュを細骨材に置換して使用し、コンクリートの調合強度への寄与を考慮しない場合）

b) 結合材として使用

（例えば、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェームをセメント置換して使用し、水結合材比としてコンクリートの調合強度へ寄与する場合）

c) その他特殊な用途として使用（上記の a) ,b)に分類されるものも含めて）

（3D プリンティング用材料、強度・フレッシュ以外の要求性能を有するもの）

a)への対応：骨材代替として使用するため、骨材と同様に強度発現に寄与しない材料として取り扱うことができるため、検証の対象とはしない。

b)への対応：例えば、高炉スラグ微粉末を高炉セメント A、B、C 種相当の置換量で使用した条件、およびフライアッシュをフライアッシュセメント A、B、C 種相当の置換量で使用した条件に対して、改正 JIS セメントを適用した場合は、**図-2.1** および**図-2.2** に示す結合材の割合となる。これらの中で、混合材使用量が少ない条件（例えば、フライアッシュセメント A 種相当）では、性能に影響を与えると考えられる混和材料量が少ないことから N のみの実験水準と同様の傾向となると予想される。一方で、混合材使用量が多いほど（例えば、高炉セメント C 種相当）、少量混合成分の量が少なくなり、影響も小さくなると考えられる。以上より、検証実験では、N 単味および高炉スラグ微粉末を B 種相当混合したセメント（以下、BB）を検証の対象とした。

c)への対応：様々な調合条件や材料が想定されるが、例えば3Dプリンティング用途の大臣認定コンクリートについては、文献・調査等によれば幾つかの混合材とNの組合せであることから、上記のb)と同様の取り扱いとした。

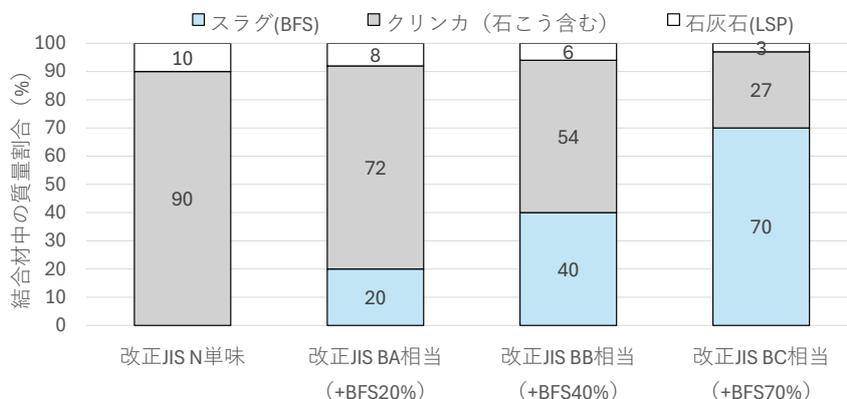


図-2.1 高炉セメントの少量混合成分の割合 (イメージ)

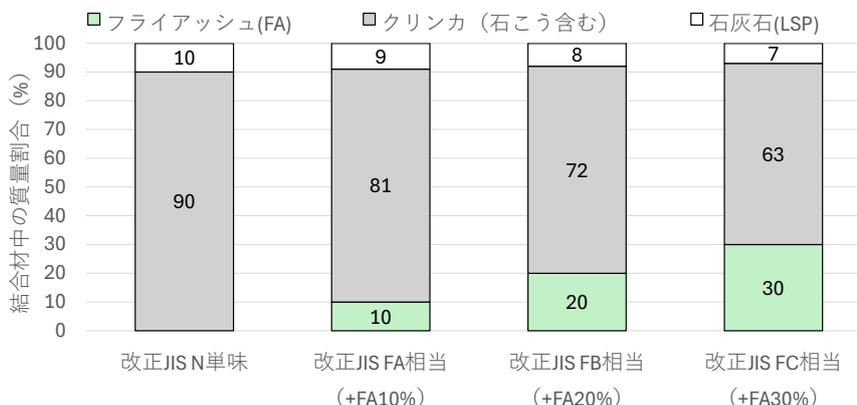


図-2.2 フライアッシュセメントの少量混合成分の割合 (イメージ)

《第2回有識者懇談会での審議内容》

以上の整理に基づいた修正実験計画案が第2回有識者懇談会（2025年7月1日開催）に提案された。

審議の結果、修正実験計画案は概ね承認された。ただし、昨今の猛暑に対応すべく、コンクリート温度が35°C超で取得した大臣認定コンクリートの実績があることから、(A)暑中環境下における高温モルタル・セメントペーストによる空隙構造等の確認実験の追加、(B)低水セメント比での凝結試験およびフレッシュ性状確認試験（20°C環境下での試験）を追加することとなった。

(A)に関しては、当該大臣認定の申請では、高温履歴を受けた高強度モルタルの細孔径分布や圧縮強さ、ペーストによるSEM観察やTG-DTAによる水和物量の測定等を行った報告書を別途追加して提出していることから、それに倣った実験を追加することとした。

(B)に関しては、令和2年6月12日に大臣官房営繕部整備課課長補佐（構造担当）発布の事務連絡「暑中コンクリートの荷卸し時のコンクリートの温度について」において、以下のa)およびb)に示す、20°C環境下での2つの指標を満足すれば、荷卸し時のコンクリート温度の上限値を38°C以下とすることが出来るとされていることより、これらを評価する試験を追加することとした。

- a) 20°C環境下でのスランプの経時変化において、静置状態で60分経過後のスランプの低下量が6cm以下であること。

b) 20°C環境下での凝結試験において、貫入抵抗値が 0.5N/mm² に達した時間が 5 時間 23 分以上（補正式 $T_{38}=0.65 \times T_{20}$ 、 T_{38} 3.5 時間以上、T：凝結時間で添字は温度、図-2.3）であること。

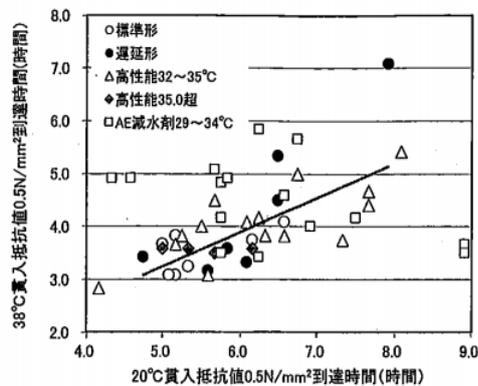


図-2.3 20°C環境下と 38°C環境下の貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間の関係¹⁾

1)日本建築学会；暑中コンクリートの施工指針・同解説、p.80、2019.7

なお、『高強度用セメント（シリカフュームセメントなど）に N を混合した大臣認定コンクリート』については継続審議となった。

《第 2 回有識者懇談会後の課題と対応》

第 2 回有識者懇談会後、協会事務局において、『高強度用セメント（シリカフュームセメントなど）に N を混合した大臣認定コンクリート』への対応について協議し、以下に示す対応案を、上述の(A)および(B)の実験を加えた検証実験計画修正案に組み込み、有識者懇談会委員に送付（2025 年 8 月 8 日）し、意見照会を行った。

【対応案】N に高強度用セメント（例えばシリカフュームセメント）を混和した結合材を用いた大臣認定コンクリートへの対応に関しては、第 2 回有識者懇談会後に関係各所から情報収集した結果、出荷実績のある大臣認定コンクリートの水セメント比は 23%以上であり、今回の検証実験の水セメント比（N および BB25%）よりもやや小さいことが明らかになった。しかし、このようなケースでは、結合材に占める N の比率が 50%以下であることや、水セメント比 25%未満での出荷実績は極めて少ないことなどにより、N および BB を用いた水セメント比 25%での評価結果に包含されるものとした。ただし、シリカフュームの反応性への影響を確認するために、JIS 改正前後のセメントを用いたペーストにおける材齢 7 日での水酸化カルシウム量の測定を加えることとした。

意見照会の結果、(B)の実験において、図-2.3 に示された 20°C環境下と 38°C環境下の貫入抵抗値 0.5N/mm² 到達時間の関係が、現行 JIS セメントを用いたコンクリートで検証された関係式であるため、改正 JIS セメントで同式が成り立つか不明であるとの意見が出された。

この意見に対して、改正 JIS セメントを用いたコンクリートにおいても図-2.3 に示す関係式が成立するか確認する実験（環境温度 40°C）を追加することとした。

《検証実験計画最終案の承認》

以上のとおりの修正を行った検証実験計画案を、有識者懇談会出席メンバー（委員およびオブザーバー委員）に送付（2025年9月3日、9月5日）し意見照会を行った結果、本計画案は承認された。承認された検証実験計画の詳細は3章に示す。

附表 3-1 N-水中養生-水結合材比 65%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
65	NN	7	100.04	100.14	100.09	194.65	194.56	194.61	3654.5	183.0	23.3	23.3
			100.07	100.18	100.13	196.37	196.41	196.39	3684.3	185.6	23.6	
			100.21	100.07	100.14	197.05	197.21	197.13	3711.7	181.2	23.0	
		28	100.26	100.14	100.20	198.16	198.15	198.16	3712.6	269.5	34.2	34.9
			100.01	100.08	100.05	196.26	196.31	196.29	3700.3	276.5	35.2	
			100.14	100.20	100.17	196.67	196.46	196.57	3690.6	278.5	35.3	
	N1	7	100.19	100.16	100.18	196.72	196.62	196.67	3699.0	176.4	22.4	22.8
			100.13	100.12	100.13	199.49	199.51	199.50	3744.2	179.0	22.7	
			100.12	100.06	100.09	197.92	197.89	197.91	3705.8	183.4	23.3	
		28	100.23	100.12	100.18	196.57	196.56	196.57	3705.1	267.5	33.9	34.0
			100.35	100.06	100.21	198.50	197.97	198.24	3714.0	268.0	34.0	
			100.01	99.97	99.99	194.56	194.94	194.75	3661.7	268.0	34.1	
	N2	7	100.06	100.20	100.13	195.87	195.99	195.93	3684.3	203.6	25.9	25.8
			100.30	99.94	100.12	198.85	198.91	198.88	3732.0	205.0	26.0	
			100.02	100.14	100.08	197.76	197.61	197.69	3708.3	200.2	25.4	
		28	100.28	100.11	100.20	196.88	196.89	196.89	3697.7	288.0	36.5	36.8
			100.22	100.01	100.12	196.94	196.38	196.66	3703.1	291.5	37.0	
			100.11	99.98	100.05	196.92	196.74	196.83	3698.3	291.0	37.0	
	N3	7	100.28	100.23	100.26	194.07	193.94	194.01	3650.6	216.6	27.4	27.2
			100.07	100.06	100.07	195.80	195.99	195.90	3675.4	214.0	27.2	
			99.97	100.09	100.03	195.51	195.55	195.53	3657.1	212.4	27.0	
		28	100.13	100.39	100.26	196.01	196.70	196.36	3708.2	301.0	38.1	38.1
			100.16	100.33	100.25	196.24	196.25	196.25	3705.0	297.0	37.6	
			100.20	100.17	100.19	194.88	195.25	195.07	3669.9	303.5	38.5	

附表 3-2 N-水中養生-水結合材比 55%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
55	NN	7	100.14	100.12	100.13	196.60	196.51	196.56	3692.0	262.2	33.3	33.0
			100.02	100.00	100.01	196.91	197.11	197.01	3718.1	256.8	32.7	
			100.01	100.17	100.09	197.23	197.35	197.29	3716.8	260.8	33.1	
		28	100.28	100.14	100.21	195.64	195.63	195.64	3685.6	367.5	46.6	46.6
			99.92	100.12	100.02	197.14	197.03	197.09	3709.2	367.0	46.7	
			100.08	100.20	100.14	195.84	195.79	195.82	3703.8	367.0	46.6	
	N1	7	100.09	100.05	100.07	197.65	197.49	197.57	3723.8	264.6	33.6	33.4
			100.32	99.71	100.02	196.67	196.70	196.69	3699.8	259.6	33.0	
			100.21	100.31	100.26	196.80	196.91	196.86	3736.7	266.4	33.7	
		28	100.14	100.00	100.07	196.51	196.54	196.53	3714.3	356.5	45.3	46.0
			99.77	100.36	100.07	196.52	196.55	196.54	3706.9	360.5	45.8	
			100.18	100.07	100.13	195.15	195.05	195.10	3692.5	369.0	46.9	
	N2	7	100.08	100.22	100.15	196.18	196.28	196.23	3716.0	292.4	37.1	37.1
			100.30	100.03	100.17	193.55	193.56	193.56	3656.2	292.4	37.1	
			100.02	100.30	100.16	196.26	196.38	196.32	3702.3	293.4	37.2	
		28	100.24	100.23	100.24	197.40	197.46	197.43	3728.9	384.0	48.7	48.3
			99.97	100.14	100.06	197.63	197.52	197.58	3732.7	377.5	48.0	
			100.18	100.27	100.23	197.50	197.41	197.46	3719.4	381.0	48.3	
	N3	7	99.78	100.15	99.97	196.37	196.28	196.33	3678.1	296.8	37.8	37.6
			100.02	100.10	100.06	196.72	196.54	196.63	3684.7	294.4	37.4	
			100.12	100.16	100.14	196.89	196.85	196.87	3689.4	295.2	37.5	
		28	100.15	99.94	100.05	197.51	197.40	197.46	3716.2	393.0	50.0	49.8
			99.95	100.32	100.14	196.65	196.54	196.60	3691.5	392.5	49.8	
			100.01	100.04	100.03	197.32	197.23	197.28	3716.3	390.5	49.7	

附表 3-3 N-水中養生-水結合材比 45%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
45	NN	7	100.31	100.41	100.36	191.92	191.92	191.92	3659.8	381.5	48.2	48.0
			100.47	100.35	100.41	196.08	196.19	196.14	3735.6	379.0	47.9	
			100.35	100.41	100.38	197.16	197.10	197.13	3770.6	378.0	47.8	
		28	100.25	100.39	100.32	193.55	193.75	193.65	3694.4	508.0	64.3	64.0
			100.23	100.38	100.31	195.93	195.89	195.91	3736.9	502.5	63.6	
			100.19	100.34	100.27	197.02	197.12	197.07	3760.6	506.0	64.1	
	N1	7	100.28	100.33	100.31	197.74	197.58	197.66	3746.2	390.5	49.4	49.4
			100.52	100.48	100.50	193.83	193.75	193.79	3682.2	393.0	49.5	
			100.28	100.20	100.24	194.70	194.76	194.73	3696.4	390.0	49.4	
		28	100.27	100.09	100.18	196.47	196.57	196.52	3731.9	506.0	64.2	63.9
			100.00	100.14	100.07	194.52	194.62	194.57	3691.4	499.5	63.5	
			100.02	100.00	100.01	196.31	196.15	196.23	3732.4	502.0	63.9	
	N2	7	100.28	100.23	100.26	196.80	196.86	196.83	3755.4	433.5	54.9	54.6
			100.22	100.46	100.34	195.40	195.62	195.51	3714.1	435.0	55.0	
			100.26	100.20	100.23	196.92	196.93	196.93	3748.1	424.5	53.8	
		28	100.11	100.03	100.07	195.40	195.53	195.47	3715.5	528.0	67.1	67.9
			100.02	100.01	100.02	195.83	195.76	195.80	3722.3	538.0	68.5	
			100.11	99.99	100.05	195.20	195.30	195.25	3705.9	535.0	68.1	
	N3	7	100.32	100.34	100.33	195.97	195.97	195.97	3759.0	444.0	56.2	55.9
			100.22	100.38	100.30	193.76	193.77	193.77	3692.8	442.0	55.9	
			100.08	100.35	100.22	193.01	192.95	192.98	3673.5	438.5	55.6	
		28	100.31	100.41	100.36	191.92	191.92	191.92	3659.8	381.5	48.2	69.8
			100.47	100.35	100.41	196.08	196.19	196.14	3735.6	379.0	47.9	
			100.35	100.41	100.38	197.16	197.10	197.13	3770.6	378.0	47.8	

附表 3-4 N-水中養生-水結合材比 35%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
35	NN	7	100.41	100.45	100.43	197.62	197.69	197.66	3793.4	565.0	71.3	71.0
			100.38	100.26	100.32	193.08	193.05	193.07	3713.6	556.5	70.4	
			100.34	100.49	100.42	195.23	195.46	195.35	3737.4	565.0	71.3	
		28	100.24	100.23	100.24	197.16	197.20	197.18	3786.0	687.0	87.1	87.6
			100.27	100.37	100.32	197.24	197.18	197.21	3775.7	697.0	88.2	
			100.45	100.31	100.38	196.64	196.48	196.56	3782.0	693.0	87.6	
	N1	7	100.13	100.11	100.12	193.30	193.40	193.35	3696.9	554.5	70.4	70.3
			100.20	100.30	100.25	195.35	195.43	195.39	3737.1	557.0	70.6	
			100.25	100.16	100.21	195.37	195.39	195.38	3741.2	551.0	69.9	
		28	100.21	100.06	100.14	194.17	194.30	194.24	3697.9	668.5	84.9	84.7
			100.18	100.04	100.11	195.15	194.96	195.06	3721.5	663.0	84.2	
			100.10	100.22	100.16	196.32	196.28	196.30	3744.6	670.5	85.1	
	N2	7	100.08	100.25	100.17	198.32	198.31	198.32	3778.0	598.0	75.9	76.0
			100.07	100.28	100.18	196.93	196.96	196.95	3753.5	603.5	76.6	
			100.38	100.13	100.26	196.82	196.95	196.89	3760.7	596.5	75.6	
		28	100.14	100.19	100.17	196.17	196.14	196.16	3734.2	703.5	89.3	89.0
			100.28	100.08	100.18	194.40	194.43	194.42	3705.8	701.5	89.0	
			100.34	100.33	100.34	197.56	197.61	197.59	3785.5	701.5	88.7	
	N3	7	100.51	100.20	100.36	197.53	197.41	197.47	3784.9	630.5	79.7	79.7
			100.28	100.48	100.38	194.75	194.53	194.64	3718.0	630.0	79.6	
			100.41	100.45	100.43	197.62	197.69	197.66	3793.4	565.0	71.3	
		28	100.38	100.26	100.32	193.08	193.05	193.07	3713.6	556.5	93.8	94.5
			100.34	100.49	100.42	195.23	195.46	195.35	3737.4	565.0	94.0	
			100.24	100.23	100.24	197.16	197.20	197.18	3786.0	687.0	95.6	

附表 3-5 N-水中養生-水結合材比 25%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
25	NN	7	100.08	100.30	100.19	194.79	194.74	194.77	3778.2	762.0	96.7	97.0
			100.32	100.21	100.27	195.48	195.55	195.52	3779.5	773.5	98.0	
			100.19	100.27	100.23	194.71	194.75	194.73	3767.6	759.0	96.2	
		28	100.05	100.19	100.12	195.14	195.15	195.15	3791.5	923.0	117	115
			100.17	100.26	100.22	194.43	194.33	194.38	3766.7	911.0	115	
			100.17	100.18	100.18	198.10	198.12	198.11	3822.9	891.0	113	
	N1	7	100.29	100.20	100.25	196.98	196.97	196.98	3813.6	783.5	99.3	98.5
			100.29	100.33	100.31	194.14	194.00	194.07	3775.5	786.5	99.5	
			100.30	100.23	100.27	195.21	195.38	195.30	3798.1	763.5	96.7	
		28	100.34	100.11	100.23	196.17	196.19	196.18	3810.9	892.0	113	111
			100.06	100.20	100.13	195.13	195.07	195.10	3780.6	868.0	110	
			100.29	100.19	100.24	195.89	195.97	195.93	3813.9	876.0	111	
	N2	7	100.60	100.23	100.42	194.14	194.35	194.25	3771.8	770.5	97.3	97.4
			100.05	100.26	100.16	195.99	196.05	196.02	3809.5	762.0	96.7	
			100.03	100.13	100.08	197.71	197.72	197.72	3820.7	772.0	98.1	
		28	99.92	100.17	100.05	194.83	194.92	194.88	3778.5	872.0	111	110
			100.04	100.07	100.06	196.62	196.61	196.62	3809.3	860.0	109	
			100.18	100.05	100.12	195.42	195.31	195.37	3784.3	860.0	109	
	N3	7	100.25	100.21	100.23	195.03	195.06	195.05	3775.1	819.0	104	104
			100.25	100.14	100.20	196.66	196.62	196.64	3828.1	829.0	105	
			100.19	100.11	100.15	197.68	197.78	197.73	3840.4	814.0	103	
		28	100.13	100.11	100.12	194.17	194.03	194.10	3778.7	930.0	118	115
			100.03	100.26	100.15	196.24	196.27	196.26	3816.4	910.0	116	
			100.16	100.17	100.17	194.13	194.08	194.11	3765.5	880.0	112	

附表 3-6 N-スラブ模擬養生-水結合材比 65%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
65	NN	28	99.98	100.14	100.06	198.78	198.77	198.78	3669.0	251.5	32.0	32.2
			100.26	100.02	100.14	196.25	196.24	196.25	3635.3	255.0	32.4	
			100.27	99.82	100.05	196.81	196.82	196.82	3648.8	253.0	32.2	
		91	100.29	100.18	100.24	196.78	197.23	197.01	3643.2	301.5	38.2	38.0
			100.24	100.30	100.27	194.37	194.56	194.47	3587.5	297.5	37.7	
			100.09	100.18	100.14	196.52	196.19	196.36	3623.6	299.0	38.0	
	N1	28	100.00	100.04	100.02	194.35	194.42	194.39	3603.0	252.5	32.1	31.8
			100.14	99.96	100.05	196.11	196.05	196.08	3635.8	254.0	32.3	
			100.07	100.04	100.06	197.73	197.75	197.74	3671.6	244.0	31.0	
		91	100.26	100.09	100.18	196.08	195.99	196.04	3587.5	289.5	36.7	36.4
			100.07	100.11	100.09	195.96	195.97	195.97	3601.3	285.5	36.3	
			100.09	99.98	100.04	196.50	196.71	196.61	3629.0	284.0	36.1	
	N2	28	100.06	100.09	100.08	198.75	198.90	198.83	3694.5	251.5	32.0	32.5
			100.21	100.05	100.13	198.35	198.55	198.45	3688.6	258.0	32.8	
			100.17	100.20	100.19	195.96	195.82	195.89	3625.2	258.5	32.8	
		91	100.08	100.29	100.19	199.22	198.84	199.03	3671.1	296.5	37.6	37.7
			100.16	100.04	100.10	197.38	197.19	197.29	3638.8	297.5	37.8	
			100.25	100.07	100.16	198.71	199.11	198.91	3660.3	296.5	37.6	
	N3	28	100.10	100.28	100.19	198.64	198.63	198.64	3671.2	267.5	33.9	33.4
			100.31	100.22	100.27	195.64	195.56	195.60	3641.7	260.5	33.0	
			100.32	100.55	100.44	197.49	197.49	197.49	3682.2	264.5	33.4	
		91	100.29	100.18	100.24	196.78	197.23	197.01	3643.2	301.5	38.2	38.0
			100.24	100.30	100.27	194.37	194.56	194.47	3587.5	297.5	37.7	
			100.09	100.18	100.14	196.52	196.19	196.36	3623.6	299.0	38.0	

附表 3-7 N-スラブ模擬養生-水結合材比 55%

水結合 材比(%)	セメント	材齢 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
55	NN	28	100.26	100.03	100.15	194.27	194.27	194.27	3618.7	347.0	44.0	43.9
			100.12	100.15	100.14	195.73	195.74	195.74	3627.4	341.5	43.4	
			100.08	100.22	100.15	196.36	196.30	196.33	3657.3	349.0	44.3	
		91	100.07	100.33	100.20	197.88	198.55	198.22	3678.5	397.0	50.3	50.1
			99.92	100.14	100.03	197.72	197.81	197.77	3658.7	390.5	49.7	
			100.13	100.25	100.19	197.12	197.57	197.35	3662.8	397.0	50.4	
	N1	28	100.38	100.06	100.22	194.16	194.24	194.20	3624.1	329.0	41.7	41.7
			100.14	99.97	100.06	194.78	194.84	194.81	3627.6	328.5	41.8	
			99.62	100.58	100.10	195.78	195.82	195.80	3636.2	327.0	41.6	
		91	100.21	100.05	100.13	196.62	197.00	196.81	3658.9	376.5	47.8	47.6
			100.08	100.16	100.12	196.86	196.59	196.73	3648.1	374.5	47.6	
			100.02	99.98	100.00	199.17	198.46	198.82	3680.1	373.0	47.5	
	N2	28	99.68	100.06	99.87	198.11	198.09	198.10	3701.3	336.5	43.0	43.8
			99.95	100.04	100.00	197.54	197.35	197.45	3667.5	344.5	43.9	
			100.04	100.26	100.15	193.76	193.82	193.79	3601.1	350.5	44.5	
		91	100.36	100.00	100.18	196.12	196.27	196.20	3658.1	387.5	49.2	48.4
			100.08	100.05	100.07	197.20	196.39	196.80	3649.6	371.0	47.2	
			100.27	100.20	100.24	195.66	196.27	195.97	3645.9	385.0	48.8	
	N3	28	100.17	100.00	100.09	198.62	198.71	198.67	3670.4	347.0	44.1	44.2
			100.13	100.13	100.13	195.77	195.68	195.73	3626.7	350.0	44.4	
			100.33	100.15	100.24	197.62	197.80	197.71	3664.4	348.5	44.2	
		91	100.00	100.25	100.13	195.46	195.29	195.38	3598.0	391.5	49.7	49.4
			100.03	100.21	100.12	197.54	197.95	197.75	3663.0	382.5	48.6	
			100.17	100.28	100.23	194.13	194.04	194.09	3584.2	393.5	49.9	

附表 3-8 N-簡易断熱養生-水結合材比 45%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
45	NN	28	100.40	100.09	100.25	194.64	194.50	194.57	3652.2	419.0	53.1	52.7
			100.24	100.29	100.27	197.38	197.28	197.33	3694.2	410.5	52.0	
			100.36	100.11	100.24	195.74	195.93	195.84	3671.5	419.0	53.1	
		91	100.25	100.40	100.33	197.78	197.83	197.81	3710.2	452.5	57.2	57.8
			100.31	100.37	100.34	197.62	198.33	197.98	3716.7	453.5	57.4	
			100.21	100.43	100.32	197.64	197.71	197.68	3727.6	464.0	58.7	
	N1	28	100.26	100.18	100.22	194.21	194.46	194.34	3665.9	397.5	50.4	51.0
			100.13	100.00	100.07	193.33	193.25	193.29	3602.7	409.5	52.1	
			100.23	100.13	100.18	195.05	195.25	195.15	3668.3	398.0	50.5	
		91	100.01	100.11	100.06	192.15	192.01	192.08	3609.2	447.0	56.8	56.6
			100.26	100.36	100.31	196.99	197.18	197.09	3700.5	446.0	56.4	
			100.06	100.23	100.15	195.34	195.12	195.23	3689.6	446.5	56.7	
	N2	28	100.11	100.12	100.12	195.88	195.87	195.88	3656.6	413.5	52.5	51.8
			100.28	100.27	100.28	196.62	196.74	196.68	3695.4	407.0	51.5	
			100.16	100.28	100.22	195.66	195.60	195.63	3668.6	406.5	51.5	
		91	100.00	100.22	100.11	197.17	196.84	197.01	3712.7	443.5	56.3	55.0
			100.08	99.95	100.02	192.40	192.70	192.55	3622.2	427.0	54.3	
			100.05	100.01	100.03	193.62	194.22	193.92	3631.2	427.0	54.3	
	N3	28	100.16	100.18	100.17	195.20	195.09	195.15	3677.3	425.0	53.9	54.3
			100.40	100.39	100.40	194.29	194.14	194.22	3646.2	434.0	54.8	
			100.11	100.15	100.13	197.19	197.97	197.58	3715.8	426.5	54.2	
		91	100.28	100.13	100.21	195.18	195.62	195.40	3684.0	489.5	62.1	60.6
			100.13	100.39	100.26	194.30	194.32	194.31	3639.9	476.0	60.3	
			100.16	100.12	100.14	193.65	194.23	193.94	3651.2	468.5	59.5	

附表 3-9 N-簡易断熱養生-水結合材比 35%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
35	NN	28	100.28	100.56	100.42	193.44	193.35	193.40	3685.3	564.0	71.2	71.9
			100.11	100.57	100.34	191.14	191.29	191.22	3641.6	577.5	73.0	
			100.30	100.32	100.31	191.97	191.87	191.92	3657.0	564.0	71.4	
		91	100.39	100.17	100.28	196.69	196.81	196.75	3711.4	612.5	77.6	80.3
			100.40	100.22	100.31	192.05	192.15	192.10	3652.0	644.0	81.5	
			100.15	100.31	100.23	191.95	191.90	191.93	3645.3	645.5	81.8	
	N1	28	100.22	100.06	100.14	196.63	196.69	196.66	3728.0	557.5	70.8	70.9
			100.29	100.01	100.15	194.73	194.57	194.65	3676.5	558.0	70.8	
			100.10	100.11	100.11	194.86	194.85	194.86	3679.5	558.5	71.0	
		91	100.08	100.02	100.05	190.77	190.78	190.78	3601.8	605.0	77.0	76.9
			100.17	100.03	100.10	196.49	196.27	196.38	3711.0	602.0	76.5	
			99.99	100.09	100.04	195.83	195.86	195.85	3704.4	607.0	77.2	
	N2	28	100.07	100.28	100.18	197.82	197.71	197.77	3757.0	563.5	71.5	73.1
			100.15	100.09	100.12	195.77	195.76	195.77	3691.3	586.5	74.5	
			100.28	100.42	100.35	193.67	193.50	193.59	3673.2	580.5	73.4	
		91	100.27	100.08	100.18	194.08	194.05	194.07	3664.4	620.5	78.7	78.8
			100.19	100.01	100.10	197.36	197.31	197.34	3742.8	618.5	78.6	
			100.09	100.14	100.12	190.84	190.67	190.76	3595.1	622.0	79.0	
	N3	28	100.10	100.28	100.19	195.54	195.38	195.46	3678.8	609.0	77.2	77.2
			100.29	100.14	100.22	195.84	195.85	195.85	3691.8	615.5	78.0	
			100.33	100.16	100.25	188.48	188.42	188.45	3558.3	603.0	76.4	
		91	100.29	100.10	100.20	194.96	195.11	195.04	3684.7	647.0	82.1	83.0
			100.10	100.07	100.09	193.06	192.86	192.96	3646.2	653.5	83.1	
			100.17	100.46	100.32	196.69	196.68	196.69	3718.3	662.0	83.8	

附表 3-10 N-簡易断熱養生-水結合材比 25%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
25	NN	28	100.11	100.27	100.19	197.48	197.43	197.46	3780.2	821.5	104	105
			100.19	100.14	100.17	196.09	195.93	196.01	3744.0	824.0	105	
			100.25	100.09	100.17	196.09	196.15	196.12	3755.5	835.0	106	
		91	100.11	100.04	100.08	197.86	197.73	197.80	3798.2	841.0	107	109
			100.13	100.19	100.16	195.62	195.69	195.66	3743.2	860.0	109	
			99.93	100.17	100.05	195.75	195.77	195.76	3750.1	880.0	112	
	N1	28	100.12	100.16	100.14	197.37	197.52	197.45	3788.1	794.0	101	102
			100.28	100.15	100.22	196.01	195.90	195.96	3788.9	819.5	104	
			100.23	100.21	100.22	197.51	197.41	197.46	3796.0	805.5	102	
		91	100.32	100.11	100.22	192.77	192.95	192.86	3738.2	849.0	108	107
			100.41	100.17	100.29	192.68	192.82	192.75	3718.5	852.0	108	
			100.23	100.29	100.26	195.47	195.71	195.59	3780.3	830.0	105	
	N2	28	100.20	100.02	100.11	198.87	198.92	198.90	3825.6	824.0	105	103
			100.16	100.08	100.12	195.95	196.10	196.03	3776.5	773.0	98.2	
			100.19	100.06	100.13	197.54	197.35	197.45	3801.5	831.0	106	
		91	100.28	100.01	100.15	197.32	197.55	197.44	3810.5	857.0	109	111
			100.28	100.02	100.15	197.13	196.97	197.05	3780.0	875.0	111	
			99.86	100.33	100.10	191.24	191.19	191.22	3685.9	878.0	112	
	N3	28	100.19	100.12	100.16	194.14	194.09	194.12	3738.0	859.5	109	109
			100.11	100.20	100.16	195.79	195.70	195.75	3771.7	861.5	109	
			100.19	100.08	100.14	196.20	196.29	196.25	3788.0	863.5	110	
		91	100.16	100.07	100.12	193.05	193.14	193.10	3730.0	902.0	115	114
			99.96	100.06	100.01	195.76	195.64	195.70	3776.1	882.0	112	
			100.06	100.11	100.09	196.32	196.37	196.35	3785.0	907.0	115	

附表 3-11 BB-水中養生-水結合材比 45%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
45	NN	7	100.11	100.25	100.18	190.86	190.98	190.92	3628.3	308.5	39.1	39.0
			100.08	100.07	100.08	193.15	193.20	193.18	3674.6	305.5	38.8	
			100.14	100.11	100.13	194.83	195.03	194.93	3702.2	307.5	39.1	
		28	100.39	100.03	100.21	195.66	195.55	195.61	3709.5	504.5	64.0	64.7
			100.20	100.01	100.11	196.01	195.91	195.96	3717.7	510.0	64.8	
			100.04	100.17	100.11	196.89	196.75	196.82	3737.8	514.5	65.4	
	N1	7	100.26	100.25	100.26	195.24	195.15	195.20	3696.4	261.0	33.1	33.0
			100.21	100.29	100.25	194.64	194.46	194.55	3686.1	260.5	33.0	
			100.24	100.10	100.17	194.28	194.31	194.30	3693.8	259.0	32.9	
		28	100.23	100.25	100.24	194.14	194.01	194.08	3681.0	454.0	57.5	57.5
			100.15	100.24	100.20	195.08	194.93	195.01	3703.0	457.5	58.0	
			100.22	100.27	100.25	193.80	193.64	193.72	3688.6	449.0	56.9	
	N2	7	100.06	100.20	100.13	192.67	192.80	192.74	3669.1	303.0	38.5	38.2
			100.23	100.36	100.30	193.25	193.38	193.32	3701.5	298.5	37.8	
			100.26	100.13	100.20	194.59	194.58	194.59	3689.4	301.5	38.2	
		28	100.22	100.37	100.30	195.73	195.79	195.76	3718.6	495.0	62.6	62.4
			100.39	100.22	100.31	196.18	196.10	196.14	3734.5	495.0	62.6	
			100.32	100.37	100.35	195.86	195.84	195.85	3718.3	490.0	62.0	
	N3	7	100.10	100.01	100.06	196.67	196.55	196.61	3736.8	297.0	37.8	38.1
			100.13	100.16	100.15	195.04	194.99	195.02	3691.0	301.5	38.3	
			100.11	100.12	100.12	196.51	196.40	196.46	3719.0	301.0	38.2	
		28	100.04	100.30	100.17	195.05	195.22	195.14	3691.9	500.5	63.5	63.4
			100.32	100.31	100.32	195.12	195.07	195.10	3709.8	500.5	63.3	
			100.09	100.35	100.22	195.18	195.23	195.21	3694.6	500.0	63.4	

附表 3-12 BB-水中養生-水結合材比 35%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
35	NN	7	100.26	100.22	100.24	197.07	196.97	197.02	3756.3	445.0	56.4	57.1
			100.35	100.17	100.26	193.17	193.18	193.18	3694.0	452.5	57.3	
			100.26	100.07	100.17	196.46	196.38	196.42	3758.7	453.0	57.5	
		28	100.36	100.28	100.32	193.72	193.61	193.67	3704.2	700.0	88.6	88.9
			100.19	100.39	100.29	195.71	195.58	195.65	3738.9	713.0	90.3	
			100.14	100.10	100.12	196.28	196.28	196.28	3727.4	692.0	87.9	
	N1	7	100.11	100.10	100.11	197.25	197.16	197.21	3755.6	403.5	51.3	51.9
			99.92	100.10	100.01	194.06	193.95	194.01	3675.5	411.0	52.3	
			100.06	100.17	100.12	196.35	196.23	196.29	3736.2	410.0	52.1	
		28	100.20	100.05	100.13	195.59	195.68	195.64	3726.6	637.5	81.0	81.8
			100.10	100.24	100.17	196.44	196.49	196.47	3740.6	644.5	81.8	
			100.25	100.21	100.23	195.89	195.79	195.84	3722.0	652.5	82.7	
	N2	7	100.18	100.16	100.17	195.23	195.22	195.23	3741.2	466.5	59.2	58.7
			100.24	100.26	100.25	194.14	194.03	194.09	3718.5	466.5	59.1	
			100.04	100.17	100.11	196.80	196.78	196.79	3756.0	454.5	57.7	
		28	100.17	100.34	100.26	196.86	196.94	196.90	3763.7	722.0	91.5	89.8
			100.16	100.14	100.15	195.66	195.71	195.69	3740.6	699.0	88.7	
			100.16	100.13	100.15	196.07	196.25	196.16	3743.3	701.5	89.1	
	N3	7	100.14	100.18	100.16	194.93	195.13	195.03	3722.2	454.0	57.6	57.4
			100.25	100.29	100.27	196.02	195.93	195.98	3741.1	452.0	57.2	
			100.31	100.32	100.32	195.92	195.94	195.93	3727.4	454.5	57.5	
		28	100.14	100.28	100.21	195.22	195.26	195.24	3731.1	707.0	89.6	89.5
			100.28	100.32	100.30	196.60	196.45	196.53	3754.4	702.5	88.9	
			100.22	100.16	100.19	193.01	192.98	193.00	3692.2	709.5	90.0	

附表 3-13 BB-水中養生-水結合材比 25%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
25	NN	7	100.14	100.17	100.16	197.27	197.33	197.30	3799.3	704.5	89.4	89.6
			100.08	99.99	100.04	197.22	197.37	197.30	3808.4	709.5	90.3	
			100.15	100.08	100.12	197.53	197.50	197.52	3813.1	702.0	89.2	
		28	100.21	100.05	100.13	195.31	195.20	195.26	3775.3	962.0	122	122
			100.21	100.03	100.12	197.20	197.10	197.20	3793.3	962.0	122	
			100.00	100.11	100.06	198.86	198.75	198.81	3835.3	953.0	121	
	N1	7	100.31	100.16	100.24	197.13	196.93	197.03	3797.6	700.0	88.7	88.4
			100.17	100.15	100.16	196.53	196.63	196.58	3797.8	691.0	87.7	
			100.08	100.18	100.13	197.99	197.98	197.99	3821.0	699.0	88.8	
		28	100.24	100.14	100.19	194.50	194.62	194.56	3746.3	937.0	119	116
			100.25	100.15	100.20	196.64	196.79	196.72	3800.3	879.0	111	
			100.20	100.20	100.20	197.33	197.45	197.39	3824.3	938.0	119	
	N2	7	100.25	100.06	100.16	198.42	198.53	198.48	3836.4	752.0	95.4	95.6
			100.15	100.21	100.18	197.48	197.30	197.39	3810.3	751.5	95.3	
			100.20	100.16	100.18	196.52	196.54	196.53	3788.1	758.0	96.2	
		28	100.12	100.25	100.19	198.26	198.29	198.28	3825.3	944.0	120	118
			100.19	100.05	100.12	196.54	196.52	196.53	3806.4	947.0	120	
			100.09	100.30	100.20	196.29	196.11	196.20	3796.2	897.0	114	
	N3	7	100.05	100.14	100.10	194.18	194.15	194.17	3740.8	759.0	96.4	95.9
			99.94	100.06	100.00	198.33	198.38	198.36	3830.5	743.5	94.7	
			100.01	100.06	100.04	197.67	197.59	197.63	3818.6	758.5	96.5	
		28	100.23	100.10	100.17	197.70	197.57	197.64	3825.9	956.0	121	121
			100.11	100.05	100.08	195.41	195.45	195.43	3775.9	944.0	120	
			100.06	100.13	100.10	195.85	195.77	195.81	3784.4	961.0	122	

附表 3-14 BB-簡易断熱養生-水結合材比 45%

水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
45	NN	28	99.98	100.09	100.04	193.35	193.31	193.33	3628.5	433.5	55.2	55.0
			100.13	100.15	100.14	196.30	196.21	196.26	3690.1	427.5	54.3	
			99.92	100.13	100.03	192.37	192.34	192.36	3616.8	436.0	55.5	
		91	100.05	100.15	100.10	194.35	193.89	194.12	3625.8	492.0	62.5	61.1
			100.28	100.25	100.27	191.42	191.48	191.45	3610.2	475.5	60.2	
			100.17	99.95	100.06	193.04	192.89	192.97	3629.1	477.0	60.7	
	N1	28	100.23	100.19	100.21	197.86	197.74	197.80	3728.8	429.0	54.4	54.1
			100.18	100.12	100.15	195.12	195.15	195.14	3645.4	429.0	54.5	
			100.17	100.23	100.20	198.56	198.51	198.54	3751.6	421.0	53.4	
		91	100.32	100.30	100.31	197.30	197.24	197.27	3697.4	469.0	59.3	59.7
			100.16	100.50	100.33	193.81	193.65	193.73	3638.1	474.5	60.0	
			100.57	100.21	100.39	190.16	190.26	190.21	3600.0	474.5	59.9	
	N2	28	100.24	100.16	100.20	195.78	195.74	195.76	3684.0	443.5	56.2	54.8
			100.21	99.99	100.10	197.87	197.69	197.78	3724.3	429.0	54.5	
			100.05	100.12	100.09	196.86	196.80	196.83	3704.4	423.5	53.8	
		91	100.17	100.36	100.27	193.80	193.80	193.80	3662.3	475.5	60.2	60.6
			100.48	100.27	100.38	193.77	193.80	193.79	3644.6	480.5	60.7	
			100.24	100.34	100.29	192.48	192.77	192.63	3634.2	480.0	60.8	
	N3	28	100.05	100.02	100.04	197.83	197.81	197.82	3717.2	443.5	56.4	56.2
			100.08	100.12	100.10	194.65	194.88	194.77	3667.1	443.5	56.4	
			100.16	100.03	100.10	196.60	196.41	196.51	3682.2	440.0	55.9	
		91	100.30	100.12	100.21	194.35	194.32	194.34	3658.0	494.0	62.6	61.8
			100.14	100.28	100.21	194.43	194.67	194.55	3636.9	481.0	61.0	
			100.31	100.05	100.18	194.44	194.61	194.53	3652.2	488.0	61.9	

附表 3-15 BB-簡易断熱養生-水結合材比 35%

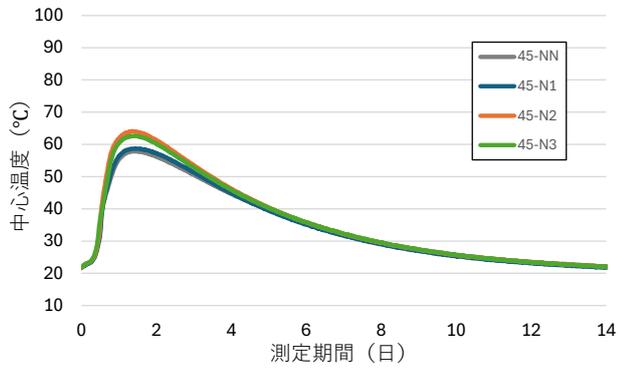
水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
35	NN	28	100.08	99.98	100.03	195.47	195.58	195.53	3688.8	613.5	78.1	76.2
			100.32	100.26	100.29	193.55	193.52	193.54	3665.4	583.0	73.8	
			100.09	100.07	100.08	195.17	195.29	195.23	3680.4	604.5	76.8	
		91	100.34	100.42	100.38	195.83	195.82	195.83	3705.8	645.5	81.6	81.3
			100.25	100.49	100.37	192.88	192.84	192.86	3649.9	650.0	82.2	
			100.54	100.26	100.40	191.16	191.02	191.09	3608.8	634.5	80.1	
	N1	28	100.06	100.04	100.05	194.05	194.10	194.08	3663.0	566.0	72.0	72.4
			100.17	100.03	100.10	193.91	193.88	193.90	3653.9	572.5	72.7	
			100.21	100.04	100.13	196.46	196.27	196.37	3697.8	572.0	72.6	
		91	100.28	99.99	100.14	196.86	196.74	196.80	3706.7	626.5	79.5	79.4
			100.26	100.23	100.25	193.60	193.43	193.52	3641.0	628.0	79.6	
			100.04	100.37	100.21	195.59	195.31	195.45	3666.7	625.0	79.2	
	N2	28	100.30	100.25	100.28	196.66	196.61	196.64	3720.5	602.0	76.2	75.8
			100.08	99.98	100.03	196.60	196.54	196.57	3710.2	596.5	75.9	
			100.08	100.30	100.19	196.39	196.45	196.42	3734.9	594.0	75.3	
		91	100.28	100.47	100.38	193.57	193.71	193.64	3667.0	650.0	82.1	81.5
			100.13	100.16	100.15	193.20	193.41	193.31	3657.3	639.0	81.1	
			100.59	100.26	100.43	194.78	194.97	194.88	3704.6	645.0	81.4	
	N3	28	100.25	100.38	100.32	196.43	196.45	196.44	3704.4	621.0	78.6	78.6
			100.05	100.21	100.13	194.72	194.54	194.63	3684.0	620.5	78.8	
			100.15	100.33	100.24	195.59	195.61	195.60	3705.0	619.5	78.5	
		91	100.40	100.40	100.40	196.22	196.55	196.39	3698.0	669.5	84.6	84.7
			100.11	100.45	100.28	196.45	196.36	196.41	3720.9	670.0	84.8	
			100.45	100.18	100.32	194.80	194.62	194.71	3687.5	669.5	84.7	

附表 3-16 BB-簡易断熱養生-水結合材比 25%

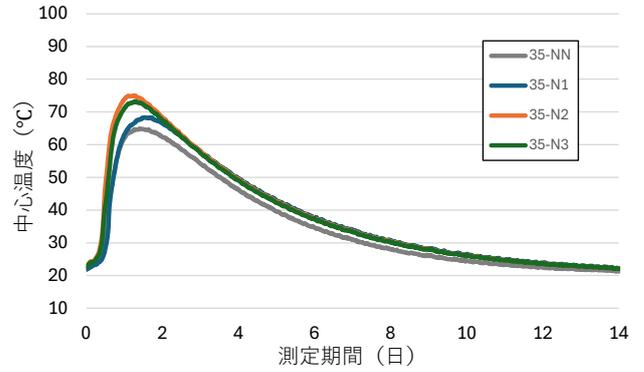
水結合 材比(%)	セメント	材齡 (日)	直径 (mm)			高さ (mm)			質量 (g)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	
25	NN	28	100.17	100.05	100.11	196.14	196.16	196.15	3750.5	814.0	103	104
			100.06	100.22	100.14	195.85	195.68	195.77	3741.6	835.0	106	
			100.07	100.09	100.08	196.51	196.47	196.49	3754.9	804.0	102	
		91	100.30	100.04	100.17	190.85	190.66	190.76	3637.2	859.0	109	111
			99.96	99.99	99.98	193.25	193.74	193.50	3690.4	870.0	111	
			100.14	100.06	100.10	193.63	193.52	193.58	3706.6	878.0	112	
	N1	28	100.11	100.00	100.06	193.97	193.83	193.90	3707.8	819.5	104	104
			99.94	100.00	99.97	197.43	197.52	197.48	3779.3	817.0	104	
			100.19	100.15	100.17	192.70	193.09	192.90	3690.3	830.0	105	
		91	100.18	100.16	100.17	193.10	193.33	193.22	3687.6	832.0	106	106
			100.07	100.02	100.05	195.95	196.07	196.01	3744.3	834.0	106	
			100.18	100.25	100.22	195.72	194.93	195.33	3730.6	827.0	105	
	N2	28	100.21	99.99	100.10	195.13	195.19	195.16	3729.0	829.0	105	106
			99.95	99.99	99.97	197.01	197.17	197.09	3771.9	857.0	109	
			100.21	100.05	100.13	195.85	195.78	195.82	3748.7	811.0	103	
		91	100.15	99.98	100.07	193.28	193.51	193.40	3679.1	892.0	113	112
			100.22	99.93	100.08	192.40	192.52	192.46	3683.2	875.0	111	
			100.07	100.28	100.18	197.66	197.47	197.57	3782.6	884.0	112	
	N3	28	100.06	100.20	100.13	195.91	195.98	195.95	3746.6	835.0	106	106
			100.04	100.17	100.11	196.32	196.21	196.27	3740.2	844.0	107	
			100.12	100.08	100.10	197.50	197.41	197.46	3775.4	836.0	106	
		91	100.07	100.11	100.09	192.85	192.72	192.79	3686.1	832.0	106	105
			100.12	100.24	100.18	194.61	194.48	194.55	3699.0	820.0	104	
			100.23	100.07	100.15	194.29	194.08	194.19	3711.2	827.0	105	

附表 3-17 見掛け（計算上）の単位量と実際の単位量の関係

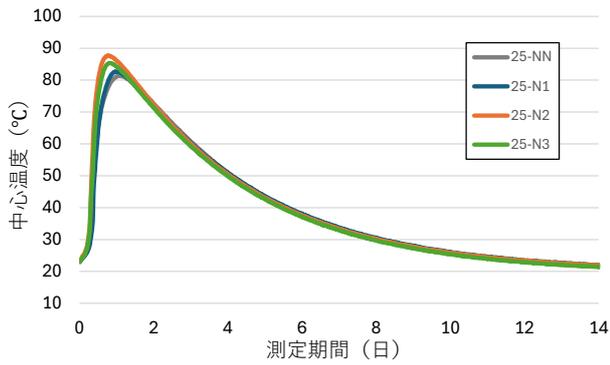
使用 セメント	水結合材 比 (%)	単位 粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	見掛け（計算上）の 単位量 (kg/m ³)						実際の 単位量 (kg/m ³)				
			水	結合材 B		細 骨 材	粗 骨 材	水	結合材 B		細 骨 材	粗 骨 材	
				セメント	BFS				セメント	BFS			
N	NN	65	0.59	180	277	—	904	963	180	277	—	903	962
	N1								180	277	—	904	963
	N2								180	277	—	904	963
	N3								180	277	—	904	963
	NN	55	0.59	175	318	—	883	963	175	318	—	882	962
	N1								175	318	—	883	963
	N2								175	318	—	883	963
	N3								175	318	—	883	963
	NN	55 (高流動)	0.56	175	318	—	931	914	175	318	—	930	913
	N1								175	318	—	931	914
	N2								175	318	—	931	914
	N3								175	318	—	931	914
	NN	45	0.56	175	389	—	873	914	175	388	—	871	912
	N1								175	389	—	873	914
	N2								175	389	—	873	914
	N3								175	389	—	872	913
	NN	35	0.54	175	500	—	814	881	175	499	—	812	879
	N1								175	500	—	814	881
	N2								175	500	—	814	881
	N3								175	500	—	813	880
NN	25	0.54	175	700	—	650	881	174	698	—	648	878	
N1								175	700	—	650	881	
N2								175	700	—	650	881	
N3								175	699	—	649	880	
BB	NBB	45	0.56	175	222	167	860	914	175	222	167	859	913
	BB1								175	222	167	860	914
	BB2								175	222	167	860	914
	BB3								175	222	167	860	914
	NBB	35	0.54	175	285	215	797	881	175	285	215	796	880
	BB1								175	285	215	797	881
	BB2								175	285	215	797	881
	BB3								175	285	215	797	881
	NBB	25	0.54	175	399	301	627	881	175	399	301	626	880
	BB1								175	399	301	627	881
	BB2								175	399	301	627	881
	BB3								175	399	301	627	881



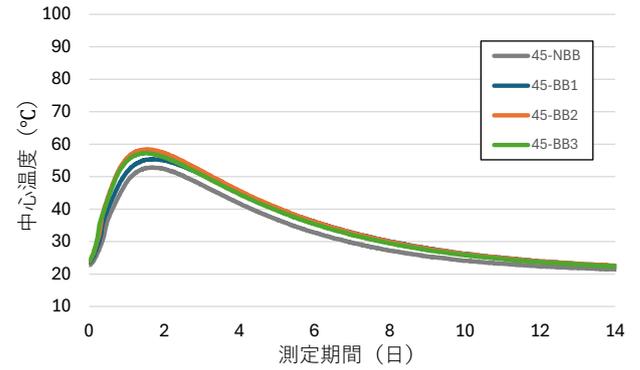
附図 3-1 簡易断熱養生槽の中心温度履歴
(N-W/B45%)



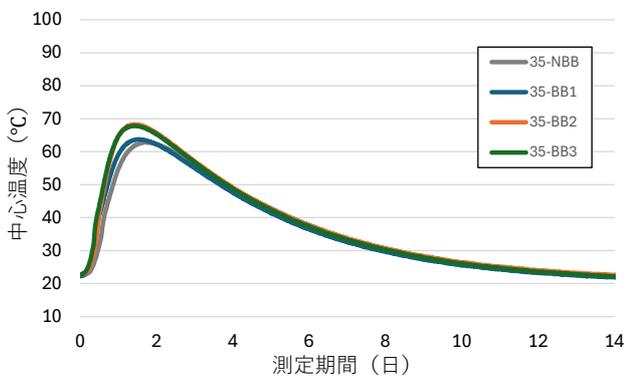
附図 3-2 簡易断熱養生槽の中心温度履歴
(N-W/B35%)



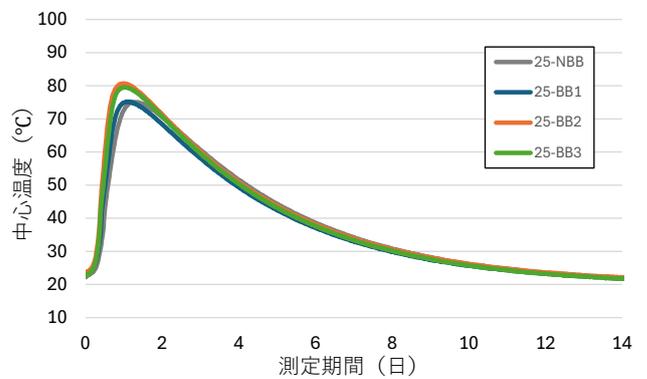
附図 3-3 簡易断熱養生槽の中心温度履歴
(N-W/B225%)



附図 3-4 簡易断熱養生槽の中心温度履歴
(BB-W/B45%)



附図 3-5 簡易断熱養生槽の中心温度履歴
(BB-W/B35%)



附図 3-6 簡易断熱養生槽の中心温度履歴
(BB-W/B25%)

一次式の違いの検定 N 普通強度 水中28d		検 印 欄		
		工場長	主 任	試験係
令和 7年12月23日				
N1, N2, N3 普通強度 水中28d $y = -33.83 + 45.35x$		NN 普通強度 水中28d $y = -30.72 + 42.60x$		
$n_1 = 9$ $\sum x_i = 16.74$ $\sum y_i = 454.60$ $\sum x_i^2 = 31.83$ $\sum y_i^2 = 24456.44$ $\sum x_i y_i = 877.54$ $\bar{x}_1 = 1.86$ $\bar{y}_1 = 50.51$ $S(x_i, x_i) = 0.71$ $S(y_i, y_i) = 1494.09$ $S(x_i, y_i) = 32.15$		$n_0 = 3$ $\sum x_0 = 5.58$ $\sum y_0 = 145.50$ $\sum x_0^2 = 10.61$ $\sum y_0^2 = 7485.57$ $\sum x_0 y_0 = 280.64$ $\bar{x}_0 = 1.86$ $\bar{y}_0 = 48.50$ $S(x_0, x_0) = 0.24$ $S(y_0, y_0) = 428.82$ $S(x_0, y_0) = 10.07$		
$a_1 = \bar{y}_1 = 50.51$ $b_1 = S(x_i, y_i) / S(x_i, x_i) = 45.35$ $Y = 50.51 + 45.35(X - 1.86)$ $SR_1 = b_1 \cdot S(x_i, y_i) = 1458.21$ $Sy_i x_i = S(y_i, y_i) - SR_1 = 35.88$ $Vy_i x_i = Sy_i x_i / (n_1 - 2) = 5.13$		$a_0 = \bar{y}_0 = 48.50$ $b_0 = S(x_0, y_0) / S(x_0, x_0) = 42.60$ $Y = 48.50 + 42.60(X - 1.86)$ $SR_0 = b_0 \cdot S(x_0, y_0) = 428.79$ $Sy_0 x_0 = S(y_0, y_0) - SR_0 = 0.03$ $Vy_0 x_0 = Sy_0 x_0 / (n_0 - 2) = 0.03$		
●プールした回帰からの不偏分散 $V_{yx} = (Sy_i x_i + Sy_0 x_0) / (n_1 + n_0 - 4) = 4.49$				
③回帰係数の差の検定 (1)分散の差の検定 $F_0 = Vy_i x_i / Vy_0 x_0 = 185.42$ $F(n_1, n_0; \alpha/2) = F(7, 1; \alpha/2)$ F分布表より 信頼区間 95% $F(7, 1; 0.025) = 948.20 \geq 185.42$ \therefore 有意ではない。すなわち分散に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $F(7, 1; 0.005) = 23715.20 \geq 185.42$ \therefore 有意ではない。すなわち分散に差があるとはいえない。 (2)回帰係数の差の検定 $T_0 = b_1 - b_0 / \sqrt{(1/S(x_i, x_i) + 1/S(x_0, x_0)) \cdot V_{yx}} = 0.55$ $T(n_1 + n_0 - 4; \alpha) = T(8; \alpha)$ T分布表より 信頼区間 95% $T(8; 0.05) = 2.31 \geq 0.55$ \therefore 有意ではない。すなわち回帰係数に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $T(8; 0.01) = 3.36 \geq 0.55$ \therefore 有意ではない。すなわち回帰係数に差があるとはいえない。				
④切片の差の検定 $T_1 = a_1 - a_0 / \sqrt{(\sum x_i^2 / (S(x_i, x_i) \cdot n_1) + \sum x_0^2 / (S(x_0, x_0) \cdot n_0)) \cdot V_{yx}} = 0.21$ $T(n_1 + n_0 - 4; \alpha) = T(8; \alpha)$ T分布表より 信頼区間 95% $T(8; 0.05) = 2.31 \geq 0.21$ \therefore 有意ではない。すなわち切片に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $T(8; 0.01) = 3.36 \geq 0.21$ \therefore 有意ではない。すなわち切片に差があるとはいえない。				

一次式の違いの検定 BB 高強度 水中28d		検 印 欄		
		工場長	主 任	試験係
令和 7年12月23日				
BB1, BB2, BB3 高強度 水中28d $y = -6.87 + 31.62x$		NBB 高強度 水中28d $y = -4.50 + 31.84x$		
$n_A = 9$ $\sum x_A = 27.24$ $\sum y_A = 799.40$ $\sum x_A^2 = 87.30$ $\sum y_A^2 = 76006.10$ $\sum x_A y_A = 2573.32$ $\bar{x}_A = 3.03$ $\bar{y}_A = 88.82$ $S(x_A, x_A) = 4.87$ $S(y_A, y_A) = 5001.62$ $S(x_A, y_A) = 153.99$		$n_B = 3$ $\sum x_B = 9.08$ $\sum y_B = 275.60$ $\sum x_B^2 = 29.10$ $\sum y_B^2 = 26973.30$ $\sum x_B y_B = 885.77$ $\bar{x}_B = 3.03$ $\bar{y}_B = 91.87$ $S(x_B, x_B) = 1.62$ $S(y_B, y_B) = 1654.85$ $S(x_B, y_B) = 51.69$		
$a_A = \bar{y}_A = 88.82$ $b_A = S(x_A, y_A) / S(x_A, x_A) = 31.62$ $Y = 88.82 + 31.62(X - 3.03)$ $S R_A = b_A \cdot S(x_A, y_A) = 4869.12$ $S y_A x_A = S(y_A, y_A) - S R_A = 132.50$ $V y_A x_A = S y_A x_A / (n_A - 2) = 18.93$		$a_B = \bar{y}_B = 91.87$ $b_B = S(x_B, y_B) / S(x_B, x_B) = 31.84$ $Y = 91.87 + 31.84(X - 3.03)$ $S R_B = b_B \cdot S(x_B, y_B) = 1645.79$ $S y_B x_B = S(y_B, y_B) - S R_B = 9.06$ $V y_B x_B = S y_B x_B / (n_B - 2) = 9.06$		
● プールした回帰からの不偏分散 $V_{yx} = (S y_A x_A + S y_B x_B) / (n_A + n_B - 4) = 17.69$				
③ 回帰係数の差の検定 (1) 分散の差の検定 $F_0 = V y_A x_A / V y_B x_B = 2.09$ $F(n_A, n_B; \alpha/2) = F(7, 1; \alpha/2)$ F分布表より 信頼区間 95% $F(7, 1; 0.025) = 948.20 \geq 2.09$ \therefore 有意ではない。すなわち分散に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $F(7, 1; 0.005) = 23715.20 \geq 2.09$ \therefore 有意ではない。すなわち分散に差があるとはいえない。 (2) 回帰係数の差の検定 $T_0 = b_A - b_B / \sqrt{(1/S(x_A, x_A) + 1/S(x_B, x_B)) \cdot V_{yx}} = 0.06$ $T(n_A + n_B - 4; \alpha) = T(8; \alpha)$ T分布表より 信頼区間 95% $T(8; 0.05) = 2.31 \geq 0.06$ \therefore 有意ではない。すなわち回帰係数に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $T(8; 0.01) = 3.36 \geq 0.06$ \therefore 有意ではない。すなわち回帰係数に差があるとはいえない。				
④ 切片の差の検定 $T_1 = a_A - a_B / \sqrt{(\sum x_A^2 / (S(x_A, x_A) \cdot n_A) + \sum x_B^2 / (S(x_B, x_B) \cdot n_B)) \cdot V_{yx}} = 0.26$ $T(n_A + n_B - 4; \alpha) = T(8; \alpha)$ T分布表より 信頼区間 95% $T(8; 0.05) = 2.31 \geq 0.26$ \therefore 有意ではない。すなわち切片に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $T(8; 0.01) = 3.36 \geq 0.26$ \therefore 有意ではない。すなわち切片に差があるとはいえない。				

一次式の違いの検定 N 高強度 簡易断熱91d		検 印 欄		
		工場長	主 任	試験係
令和 7年12月23日				
N1,N2,N3 高強度 簡易断熱91d $y = -7.14 + 29.63x$		NN 高強度 簡易断熱91d $y = -3.46 + 28.36x$		
$n_1 = 9$ $\Sigma x_1 = 27.24$ $\Sigma y_1 = 742.90$ $\Sigma x_1^2 = 87.30$ $\Sigma y_1^2 = 65678.97$ $\Sigma x_1 y_1 = 2392.65$ $\bar{x}_1 = 3.03$ $\bar{y}_1 = 82.54$ $S(x_1, x_1) = 4.87$ $S(y_1, y_1) = 4356.70$ $S(x_1, y_1) = 144.32$		$n_2 = 3$ $\Sigma x_2 = 9.08$ $\Sigma y_2 = 247.10$ $\Sigma x_2^2 = 29.10$ $\Sigma y_2^2 = 21669.93$ $\Sigma x_2 y_2 = 793.87$ $\bar{x}_2 = 3.03$ $\bar{y}_2 = 82.37$ $S(x_2, x_2) = 1.62$ $S(y_2, y_2) = 1317.13$ $S(x_2, y_2) = 46.04$		
$a_1 = \bar{y}_1 = 82.54$ $b_1 = S(x_1, y_1) / S(x_1, x_1) = 29.63$ $Y = 82.54 + 29.63(X - 3.03)$ $SR_1 = b_1 \cdot S(x_1, y_1) = 4276.67$ $S_{y_1 x_1} = S(y_1, y_1) - SR_1 = 80.04$ $V_{y_1 x_1} = S_{y_1 x_1} / (n_1 - 2) = 11.43$		$a_2 = \bar{y}_2 = 82.37$ $b_2 = S(x_2, y_2) / S(x_2, x_2) = 28.36$ $Y = 82.37 + 28.36(X - 3.03)$ $SR_2 = b_2 \cdot S(x_2, y_2) = 1305.60$ $S_{y_2 x_2} = S(y_2, y_2) - SR_2 = 11.53$ $V_{y_2 x_2} = S_{y_2 x_2} / (n_2 - 2) = 11.53$		
●プールした回帰からの不偏分散 $V_{yx} = (S_{y_1 x_1} + S_{y_2 x_2}) / (n_1 + n_2 - 4) = 11.45$				
③回帰係数の差の検定 (1)分散の差の検定 $F_0 = V_{y_2 x_2} / V_{y_1 x_1} = 1.01$ $F(n_2, n_1; \alpha/2) = F(1, 7; \alpha/2)$ F分布表より 信頼区間 95% $F(1, 7; 0.025) = 8.07 \geq 1.01$ \therefore 有意ではない。すなわち分散に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $F(1, 7; 0.005) = 16.24 \geq 1.01$ \therefore 有意ではない。すなわち分散に差があるとはいえない。 (2)回帰係数の差の検定 $T_0 = b_1 - b_2 / \sqrt{(1/S(x_1, x_1) + 1/S(x_2, x_2)) \cdot V_{yx}} = 0.42$ $T(n_1 + n_2 - 4; \alpha) = T(8; \alpha)$ T分布表より 信頼区間 95% $T(8; 0.05) = 2.31 \geq 0.42$ \therefore 有意ではない。すなわち回帰係数に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $T(8; 0.01) = 3.36 \geq 0.42$ \therefore 有意ではない。すなわち回帰係数に差があるとはいえない。				
④切片の差の検定 $T_1 = a_1 - a_2 / \sqrt{(\Sigma x_1^2 / (S(x_1, x_1) \cdot n_1) + \Sigma x_2^2 / (S(x_2, x_2) \cdot n_2)) \cdot V_{yx}} = 0.02$ $T(n_1 + n_2 - 4; \alpha) = T(8; \alpha)$ T分布表より 信頼区間 95% $T(8; 0.05) = 2.31 \geq 0.02$ \therefore 有意ではない。すなわち切片に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $T(8; 0.01) = 3.36 \geq 0.02$ \therefore 有意ではない。すなわち切片に差があるとはいえない。				

一次式の違いの検定 BB 高強度 簡易断熱91d		検 印 欄		
		工場長	主 任	試験係
令和 7年12月23日				
BB1, BB2, BB3 高強度 簡易断熱91d $y=2.37+26.96x$		NBB 高強度 簡易断熱91d $y=9.16+24.22x$		
$n_A = 9$ $\sum x_A = 27.24$ $\sum y_A = 755.70$ $\sum x_A^2 = 87.30$ $\sum y_A^2 = 67056.39$ $\sum x_A y_A = 2418.37$ $\bar{x}_A = 3.03$ $\bar{y}_A = 83.97$ $S(x_A, x_A) = 4.87$ $S(y_A, y_A) = 3602.78$ $S(x_A, y_A) = 131.29$		$n_B = 3$ $\sum x_B = 9.08$ $\sum y_B = 247.40$ $\sum x_B^2 = 29.10$ $\sum y_B^2 = 21367.90$ $\sum x_B y_B = 788.06$ $\bar{x}_B = 3.03$ $\bar{y}_B = 82.47$ $S(x_B, x_B) = 1.62$ $S(y_B, y_B) = 965.65$ $S(x_B, y_B) = 39.32$		
$a_A = \bar{y}_A = 83.97$ $b_A = S(x_A, y_A) / S(x_A, x_A) = 26.96$ $Y = 83.97 + 26.96(X - 3.03)$ $S R_A = b_A \cdot S(x_A, y_A) = 3539.56$ $S y_A x_A = S(y_A, y_A) - S R_A = 63.22$ $V y_A x_A = S y_A x_A / (n_A - 2) = 9.03$		$a_B = \bar{y}_B = 82.47$ $b_B = S(x_B, y_B) / S(x_B, x_B) = 24.22$ $Y = 82.47 + 24.22(X - 3.03)$ $S R_B = b_B \cdot S(x_B, y_B) = 952.37$ $S y_B x_B = S(y_B, y_B) - S R_B = 13.27$ $V y_B x_B = S y_B x_B / (n_B - 2) = 13.27$		
●プールした回帰からの不偏分散 $V_{yx} = (S y_A x_A + S y_B x_B) / (n_A + n_B - 4) = 9.56$				
③回帰係数の差の検定 (1)分散の差の検定 $F_0 = V y_B x_B / V y_A x_A = 1.47$ $F(n_B, n_A; \alpha/2) = F(1, 7; \alpha/2)$ F分布表より 信頼区間 95% $F(1, 7; 0.025) = 8.07 \geq 1.47$ \therefore 有意ではない。すなわち分散に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $F(1, 7; 0.005) = 16.24 \geq 1.47$ \therefore 有意ではない。すなわち分散に差があるとはいえない。 (2)回帰係数の差の検定 $T_0 = b_A - b_B / \sqrt{(1/S(x_A, x_A) + 1/S(x_B, x_B)) \cdot V_{yx}} = 0.98$ $T(n_A + n_B - 4; \alpha) = T(8; \alpha)$ T分布表より 信頼区間 95% $T(8; 0.05) = 2.31 \geq 0.98$ \therefore 有意ではない。すなわち回帰係数に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $T(8; 0.01) = 3.36 \geq 0.98$ \therefore 有意ではない。すなわち回帰係数に差があるとはいえない。				
④切片の差の検定 $T_1 = a_A - a_B / \sqrt{(\sum x_A^2 / (S(x_A, x_A) \cdot n_A) + \sum x_B^2 / (S(x_B, x_B) \cdot n_B)) \cdot V_{yx}} = 0.17$ $T(n_A + n_B - 4; \alpha) = T(8; \alpha)$ T分布表より 信頼区間 95% $T(8; 0.05) = 2.31 \geq 0.17$ \therefore 有意ではない。すなわち切片に差があるとはいえない。 信頼区間 99% $T(8; 0.01) = 3.36 \geq 0.17$ \therefore 有意ではない。すなわち切片に差があるとはいえない。				

© 建築研究報告 第156号

令和8年3月 印刷・発行
編集・発行 国立研究開発法人建築研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは下記まで
国立研究開発法人建築研究所企画部企画調査課
〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地
電話 (029) 864-2151(代)