

少量混合成分を増量したセメントを用いたコンクリートの基本性状

～その1 フレッシュ性状および圧縮強度～

(一社)セメント協会 コンクリート専門委員会

1. はじめに

セメント業界では、国の目指す2050年カーボンニュートラルの方向性を念頭に、2020年3月に「脱炭素社会を目指すセメント産業の長期ビジョン」を策定、2022年3月にこれを改訂し、「カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン」(以下、長期ビジョン)を策定している¹⁾。

長期ビジョンを実現するソリューションの一つとして、少量混合成分増量による「クリンカ／セメント比の低減」が挙げられており、最も汎用的な普通ポルトランドセメントの少量混合成分を10%まで添加できるよう、JISの改正手続きを進めているところである。

セメント協会に設置されているコンクリート専門委員

(一社)セメント協会 コンクリート専門委員会

委員長	石田 征男	太平洋セメント株式会社
委員	平本 真也	日鉄高炉セメント株式会社
〃	藤田 和希	日鉄セメント株式会社
〃	新見 龍男	株式会社トクヤマ
〃	高原 幸之助	UBE 三菱セメント株式会社
〃	本田 和也	住友大阪セメント株式会社
協会事務局	谷村 充	一般社団法人 セメント協会
〃	吉本 徹	一般社団法人 セメント協会
〃	伊藤 孝文	一般社団法人 セメント協会
〃	高市 大輔	一般社団法人 セメント協会

会(委員長；石田征男 太平洋セメント(株)研究開発本部 セメント・コンクリート研究所 コンクリートソリューショングループリーダー)では、JIS改正後を想定してセメント協会の会員複数社において実機で試製した少量混合成分を増量したセメント(以下、改正JISセメントと称す)を用いた種々のコンクリート実験を行い、データの蓄積を行っている。

本報告では、本委員会において実施した以下の試験結果を示す。

- ・改正JISセメントを用いたコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度に関する室内試験
- ・生コンクリート工場で製造したコンクリートを用いた実大模擬部材による構造体強度補正值(S値)の検証試験

さらに、現行JISに規定された普通ポルトランドセメント(以下、現行セメントと称す)を用いたコンクリートとの圧縮強度に関する同等性評価の結果についても併せて報告する。

なお、本誌次号以降も以下のように改正JISセメント関連の試験結果を掲載する予定である。

2. 室内試験

2-1. 試験概要

(1) 使用材料

試験に使用したセメントの物性を表1に示す。現行

《掲載号と掲載概要(予定)》

2025年12月号(No.946)	その2 耐久性
2026年1月号(No.947)	その3 プレキャストコンクリートを想定した場合の基本物性 その4 BBでの使用を想定した場合の基本物性

表1 使用セメントの種類と主な物性

セメント (記号)	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	凝結 (h:m)		圧縮強さ(N/mm ²)		
			始発	終結	3日	7日	28日
三社混合	3.14	3180	2:35	3:40	299	460	625
L5	3.15	3110	2:55	4:15	308	465	665
L10-1	3.10	3880	2:55	4:15	354	499	624
L10-2	3.11	3490	2:50	4:15	328	491	654
L10-3	3.11	3470	2:40	4:30	299	456	593
B5L5-1	3.10	3720	3:15	4:25	347	510	668
B5L5-2	3.12	3170	2:50	4:35	278	448	618
F5L5	3.08	3480	2:45	4:05	326	476	632

表2 コンクリートの種類

強度区分	W/C (%)	目標フレッシュ性状		
		SL (cm)	SLF (cm)	空気量 (%)
普通コンクリート	65	18±1.5	—	4.5±0.5
	55			
	45			
高強度コンクリート	45	23±1.5	—	2.0~3.5
	36	—	55±5.0	
	27	—	60±7.5	

表3 普通コンクリートの配(調)合(W/C55%)

セメント	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (C×%)	SL (cm)
		W	C	S	G		
三社混合	55	178	324	855	912	1.0	18.5
L5		178	324	855	908		17.5
L10-1		179	325	852	904		19.5
L10-2		177	322	856	908		18.5
L10-3		175	318	860	916		19.5
B5L5-1		174	316	862	914		19.5
B5L5-2		173	315	864	920		19.0
F5L5		175	318	859	916		19.5

表4 高強度コンクリートの配(調)合(W/C36%)

セメント	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				SP (C×%)	SLF (cm)
		W	C	S	G		
三社混合	36	170	472	791	909	1.30	59.5
L5		170	472	792	910	1.40	59.5
L10-1		170	472	792	910	1.30	59.0
L10-2		170	472	788	906	1.25	54.5
L10-3		170	472	789	907	1.65	53.5
B5L5-1		170	472	789	907	1.45	50.5
B5L5-2		170	472	788	906	1.50	51.0
F5L5		170	472	790	912	1.65	51.0

のJISにおいて5%まで添加が認められている各種の少量混合成分(石灰石(L), 高炉スラグ(B), フライアッシュ(F))にさらに5%のLを加えたものとした。それぞれをL10, B5L5およびF5L5と記す。また, 改正JISセメントの他にも, 現行セメントとして市販の普通ポルトランドセメント(OPC)の3銘柄を等量混合した三社混合と改正JISセメントと同時期に製造したクリンカに対して石灰石を5%混合したL5も各種試験を実施した。

細骨材は静岡県掛川市産の山砂(表乾密度: 2.59g/cm³, F.M.: 2.63)を, 粗骨材は東京都青梅市産の硬質砂岩碎石2005A(表乾密度: 2.64g/cm³,

F.M.: 6.63)を用いた。混和剤は, 高性能AE減水剤(SP), AE減水剤, 空気量調整剤を適宜用いた。

(2) コンクリートの種類および試験項目

本検討で実施したコンクリートの種類を表2に, 普通コンクリートおよび高強度コンクリートの配(調)合の一例を表3および表4にそれぞれ示す。コンクリートは普通コンクリートと高強度コンクリートとし, それぞれ水セメント比(W/C)を変化させた。目標フレッシュ性状を得るために, 普通コンクリートではAE減水剤の使用量を一定(C×1.0%)として, 単位水量と空気量調整剤で調整した。一方, 高強度コンクリートでは単位水量を一定

表5 試験項目

試験項目	備考
スランブ	JIS A 1101 に準拠。W/C55%で経時変化を測定した。その際、コンクリートは水密性の容器(幅450×長さ600×高さ180mm)に入れて、乾燥防止のシートで覆い、測定時間まで静置した。その後、試験直前にコンクリート用ショベルで練り返した。
スランブフロー	JIS A 1150 に準拠。
空気量	JIS A 1128 に準拠。
コンクリート温度	JIS A 1156 に準拠。
凝結時間	JIS A 1147 に準拠。W/C55%で実施
ブリーディング	JIS A 1123 に準拠。W/C55%で実施
圧縮強度	JIS A 1108 に準拠。供試体寸法はφ10×20cm 材齢は3,7,28日とし、W/C55%のみ1,9,18,2,364日も実施

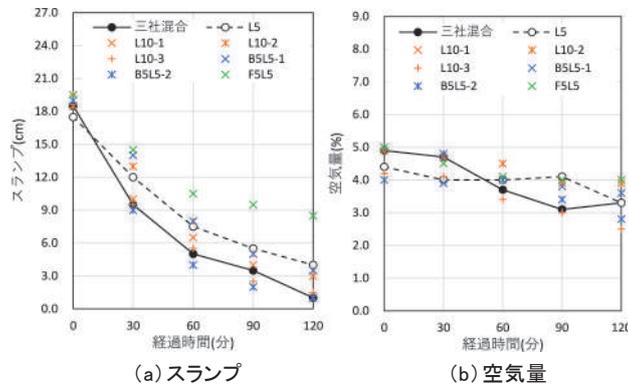


図1 フレッシュ性状の経時変化(20℃)

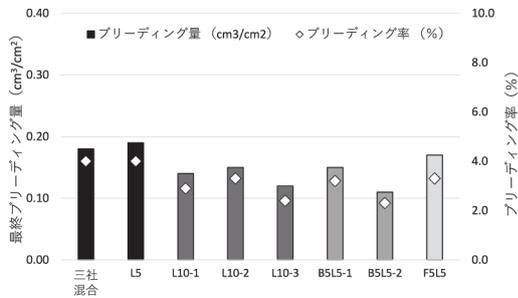


図2 ブリーディング試験の結果

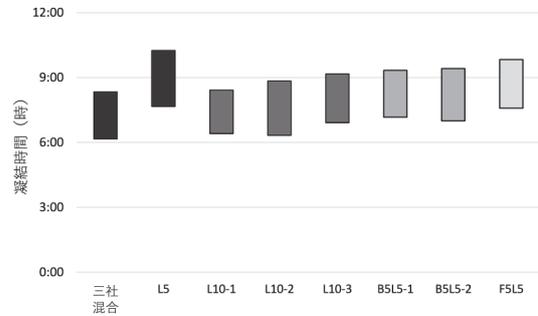


図3 凝結時間の測定結果

(170kg/m³)として、SPと空気量調整剤で調整した。試験項目を表5に示す。コンクリートの練混ぜは、パン形強制練りミキサ(公称容量55ℓ)を用い、JIS A 1138:2018に準拠して行った。

2-2. 試験結果

(1) フレッシュ性状

表3および表4に示す通り、所定のスランブ(SL)およびスランブフロー(SLF)を得るために必要な単位水

量およびSP使用量は、改正JISセメントと現行セメントで同程度であった。なお、その他のW/Cでも同様の傾向であることを確認した。

W/Cが55%の場合におけるフレッシュ性状の経時変化を図1に示す。使用セメントにより経時変化の傾向は若干異なるものの、改正JISセメントのスランブおよび空気量の経時変化は現行セメントと同程度であった。

(3) ブリーディングおよび凝結時間

コンクリートのブリーディング試験および凝結時間試

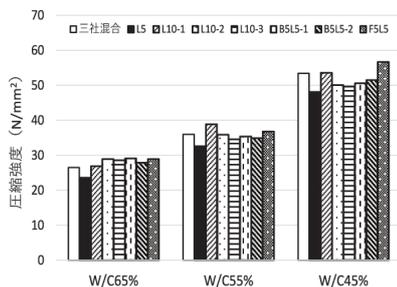


図4 圧縮強度(普通コンクリート)

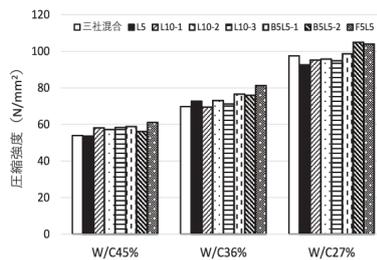


図5 圧縮強度(高強度コンクリート)

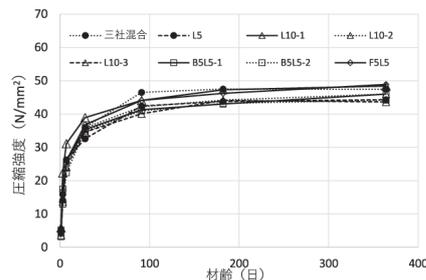


図6 材齢と圧縮強度の関係 (W/C55%)

表6 コンクリートの種類

W/C (%)	目標フレッシュ性状		
	SL (cm)	SLF (cm)	空気量 (%)
45	23±1.5	—	2.0～3.0
36	—	55±5.0	
27	—	60±7.5	

表7 試験項目(実大模擬部材試験)

試験項目	備考
スランプ	JIS A 1101 に準拠。経時変化も測定
スランプフロー	JIS A 1150 に準拠。経時変化も測定
空気量	JIS A 1128 に準拠。経時変化も測定
コンクリート温度	JIS A 1156 に準拠。経時変化も測定
構造体温度	模擬部材 (1m×1m×1m) の中央部の温度を測定。
圧縮強度	JIS A 1108 に準拠。供試体寸法はφ10×20cm <ul style="list-style-type: none"> 水中養生 (材齢 7,28,91 日) 簡易断熱養生 (材齢 28,91 日) 構造体強度 (材齢 28,91 日)

験の結果を図2および図3にそれぞれ示す。改正JISセメントのブリーディング率は現行セメントと比べて若干小さくなる傾向であったが、その差は小さく概ね同等と考えられる。

また、改正JISセメントを使用したコンクリートの凝結時間は現行セメントを用いた場合と同等であった。

(4) 圧縮強度

普通コンクリートおよび高強度コンクリートの圧縮強度(水中養生-材齢28日)を図4および図5にそれぞれ示す。改正JISセメントを使用したコンクリートの圧縮強度は現行セメントの場合と同程度であった。また、図6に示すとおり、改正JISセメントを用いた場合の材齢364日までの強度発現性は現行セメントの場合と同程度であることを確認した。

3. 実大模擬部材試験

3-1. 試験概要

(1) 使用材料

使用したセメントは表1に示すL10-3および生コン工

場で使用されているOPC(以下、市販セメント、市販品と称す)の2種類とした。セメント以外の材料は工場で使用している材料とし、水(W)は工業用水、細骨材(S1とS2)は山砂と砕砂、粗骨材(G)は碎石2005を使用した。混和剤は高性能AE減水剤(SP)とし、夏期は遅延型I種、冬期は標準型II種を使用した。

(2) コンクリートの配(調)合条件および試験項目

本検討で実施したコンクリート配(調)合条件を表6に、試験項目を表7に示す。試験は夏期(日平均気温28.4℃、最高気温32.8℃、最低気温24.5℃)および冬期(日平均気温8.3℃、最高気温12.6℃、最低気温3.2℃)の2シーズンで行った。コンクリートの練混ぜは、生コンクリート工場の設備を用いて実施した。1バッチの練混ぜ量を1.5m³とし、2バッチ分(3m³)をアジテータ車に積載し、各種試験に供した。なお、フレッシュ性状は、現場到着時を想定し、練り混ぜ60分後に目標値を満足するよう調整した。コンクリートの配(調)合

表8 コンクリートの配(調)合(実大模擬部材試験)

記号	W/C (%)	G かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)				SP(C×%)	
			W	C	S	G	夏期	冬期
27-市販	27	0.554	170	630	704	896	1.60	1.40
27-改正 JIS	27		170	630	697	896	1.70	1.75
36-市販	36	0.559	170	472	828	904	1.30	1.10
36-改正 JIS	36		170	472	822	904	1.45	1.20
45-市販	45	0.554	175	389	906	883	1.15	1.20
45-改正 JIS	45		175	389	901	883	1.20	1.20

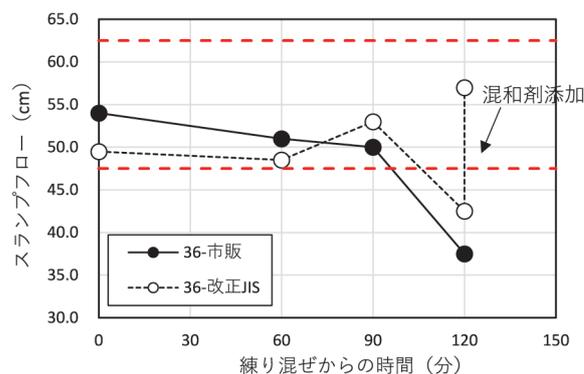


図7 スランブフローの経時変化(夏期-W/C36%)

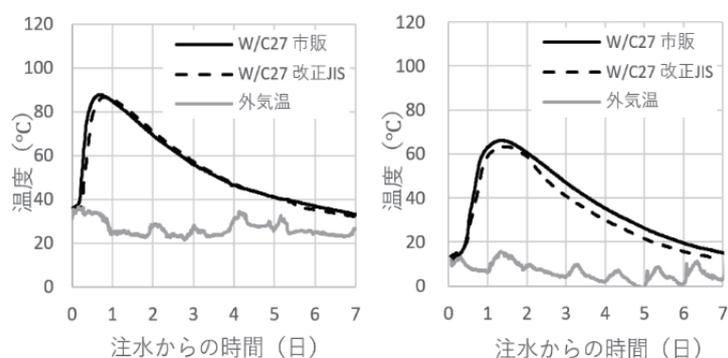


図8 W/C=27%の模擬部材の温度履歴(左:夏期, 右:冬期)

は表8に示すように粗骨材かさ容積一定とした。

3-2. 試験結果

(1) フレッシュ性状

表8に示したとおり、所定のSLまたはSLFを得るために必要なSP使用量は、改正JISセメントと現行セメントで同程度であった。

(2) フレッシュ性状の経時変化

一例として、夏期-W/C36%におけるスランブフローの経時変化を図7に示す。改正JISセメントのスランブフローの経時変化は市販セメントと同程度であった。なお、改正JISセメントは時間の経過に伴い目標フレッシュ性状が基準値を外れた場合に混和剤を後添加することで、フレッシュ性状が回復することも確認した。

(3) 発熱特性

一例として、夏期および冬期-W/C27%における模擬部材中央部の温度測定結果を図8に示す。夏期、

冬期ともにすべてのW/Cにおいて、改正JISセメントを使用したコンクリートの温度上昇量は市販セメントと同程度であった。

(4) 圧縮強度

夏期および冬期における圧縮強度試験結果を図9および図10にそれぞれ示す。なお、本結果は空気量補正(設定空気量を3.0%とし、空気量±1.0%に対して圧縮強度を±4.0%で補正)した値である。改正JISセメントを用いたコンクリートの圧縮強度は、全ての養生条件および材齢で市販セメントと同等であった。

水中養生試験体の材齢28日圧縮強度と模擬部材から採取したコア試験体および簡易断熱養生試験体の材齢91日圧縮強度より求めたS値を図11に示す。これらのS値は昭和56年建設省告示第1102号に記載の上限値をいずれも下回る結果であり、夏期および冬期ともに、改正JISセメントを用いたコンクリートのS値は市販セメントの場合と差がないことが明らかになった。

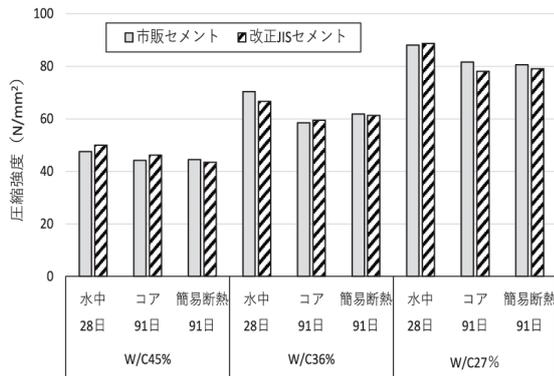


図9 圧縮強度(実大模擬部材試験-夏期)

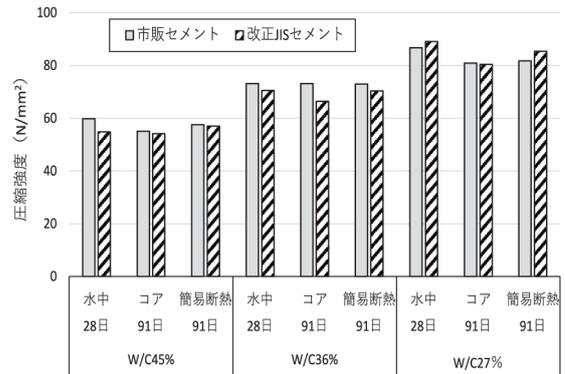


図10 圧縮強度(実大模擬部材試験-冬期)

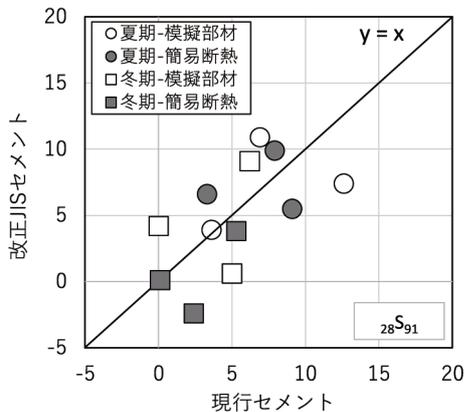


図11 市販セメントと改正JISセメントの $_{28}S_{91}$ 値の関係

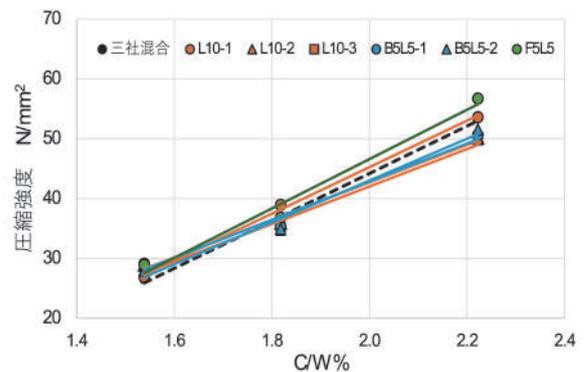


図12 C/Wと圧縮強度の関係
(室内試験 普通コンクリート-水中養生-材齢28日)

4. 現行セメントと改正JISセメントの同等性の検証

一連の検討で得られた室内試験および実大模擬部材試験の圧縮強度試験結果について、以下に示す2つの方法で同等性評価を実施した。

4-1. C/Wと圧縮強度の回帰式の比較

ここでは、図12に示すように、横軸をセメント水比(C/W)、縦軸を圧縮強度とし、現行セメントと改正JISセメントのC/Wと圧縮強度の回帰式(以下、C/W式と称す)を比較した。比較評価にあたっては、現行セメントと改正JISセメントのC/W式を、生コン工場で

用いられている品質管理システムの有意差検定で比較し、有意差を評価した。この品質管理システムでは、二組の分散の違いの検定、回帰係数の差の検定、切片の差の検定、の3つについて統計的手法を用いて検定を行うことができる。

有意差検定(有意水準 $\alpha=0.05$ で実施)結果のうち室内試験の結果を表9に、実大模擬部材試験の結果を表10に示す。ここでは、室内試験の結果は一般用途(水セメント比65%, 55%, 45%の3点)と高強度用途(水セメント比45%, 36%, 27%の3点)に分けて有意差検定をした。その結果、全ての水準で現行セメントと改正JISセメントで有意差がないことが確認された。

表9 有意差検定結果(室内試験)

養生 (材齢)	強度 区分	現行 セメント	改正JIS セメント	有意差
水中 (28日)	普通	三社混合 (N=3)	L10-1 (N=3)	なし
		三社混合 (N=3)	L10-2 (N=3)	なし
		三社混合 (N=3)	L10-3 (N=3)	なし
		三社混合 (N=3)	B5L5-1 (N=3)	なし
		三社混合 (N=3)	B5L5-2 (N=3)	なし
	高強度	三社混合 (N=3)	F5L5 (N=3)	なし
		三社混合 (N=3)	L10-1 (N=3)	なし
		三社混合 (N=3)	L10-2 (N=3)	なし
		三社混合 (N=3)	L10-3 (N=3)	なし
		三社混合 (N=3)	B5L5-1 (N=3)	なし

表10 有意差検定結果(実大模擬部材試験)

試験	養生 (材齢)	現行 セメント	改正JIS セメント	有意差
実大模擬 部材(夏)	水中 (28日)	市販品 (N=3)	改正JIS品 (N=3)	なし
	コア (91日)	市販品 (N=3)	改正JIS品 (N=3)	なし
	簡易断熱 (91日)	市販品 (N=3)	改正JIS品 (N=3)	なし
実大模擬 部材(冬)	水中 (28日)	市販品 (N=3)	改正JIS品 (N=3)	なし
	コア (91日)	市販品 (N=3)	改正JIS品 (N=3)	なし
	簡易断熱 (91日)	市販品 (N=3)	改正JIS品 (N=3)	なし

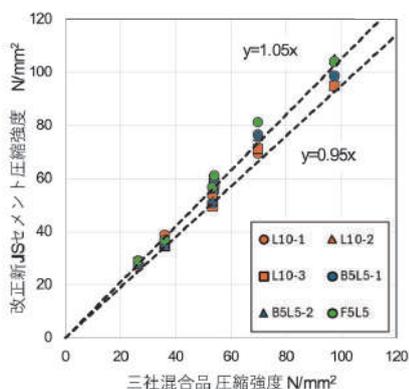


図13 三社混合品と改正JISセメントの圧縮強度の関係(室内試験-水中養生-材齢28日)

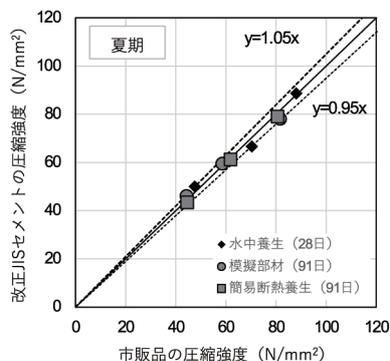


図14 市販品と改正JISセメントの圧縮強度の関係(実大模擬部材試験-夏期)

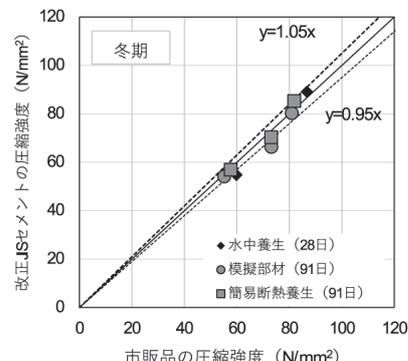


図15 市販品と改正JISセメントの圧縮強度の関係(実大模擬部材試験-冬期)

4-2. 1対1の関係での圧縮強度の比較

ここでは、横軸を現行セメントの圧縮強度、縦軸を改正JISセメントの圧縮強度とし、現行セメントと改正JISセメントの圧縮強度を1対1の関係で比較した。各種試験結果を整理したものを図13、14および図15に示す。図中には強度比95%および105%の範囲を示すが、改正JISセメントの圧縮強度は概ね現行セメントの95%~105%の範囲内であった。

度試験結果について報告した。室内試験の結果より、改正JISセメントを用いたコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度は現行品と同程度であった。また、生コン工場で製造したコンクリートを用いて実大模擬部材による構造体強度補正值(S値)についても確認し、改正JISセメントを用いたコンクリートのS値は現行品と同程度であった。さらに、現行品と改正JIS品のC/W式の有意差検定を行い、両者で有意差がないことを確認した。

5. まとめ

本稿では、少量混合成分を10%混合した改正JISセメントを用いたコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強

【参考文献】

- 1) セメント協会/カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン(2022), セメント協会HP
<https://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/220324.html>