

異なる製造会社のセメントを混合した際の高炉セメントA種のセメント品質に関する検討

長井 智哉* 木村 仁治**
Tomoya Nagai Yoshiharu Kimura
中村 雄太** ポンマハーサイパラミ**
Yuta Nakamura Palamy Phommahaxay

1. はじめに

建築物の地上構造物で広く適用可能な環境配慮型コンクリートとして、普通ポルトランドセメント（以下Nセメント）と高炉セメントB種（以下BBセメント）の2種類のセメント混合して製造する高炉セメントA種相当コンクリートの開発・実用化1)が進んでいるが、2種類のセメントを混合したセメントの品質が、JIS R 5211（高炉セメント）（以下JIS）に規定されている高炉セメントA種に適合しているかは明確になっていない。

本報では、NセメントとBBセメントを混合した高炉セメントA種相当のセメント品質がJISに規定されている高炉セメントA種に適合していることを確認するため、異なる製造会社のNセメント、BBセメントを混合した高炉セメントA種相当によるJISに規定される高炉セメントの品質確認試験およびセメント製造会社から発行されている過去5年間のNセメントおよびBBセメントの試験成績表のデータの統計的な確認より、高炉セメントA種の適合性について検討した結果を報告する。

2. セメント品質確認試験による検討

(1) 試験概要

試料の組合せを表一1に示す。使用するセメントは、異なる製造会社3社(A, B, C)より製造しているJIS R 5210（ポルトランドセメント）に規定されているNセメントおよびJIS R 5211（高炉セメント）に規定されているBBセメントを使用し、NセメントとBBセメントの質量混合比率が50%：50%となるように試料を作製した。試料の水準として、3社の等量混合および各社の組合せとなるよう計10水準とした。作製した試料について、セメントの物理試験方法（密度、比表面積、凝結、安定性、圧縮強さ）およびセメントの化学分析方法（酸化マグネシウム、三酸化硫黄、強熱減量）により試験を行った。

* 建築技術部技術課

** 技術研究所建築技術グループ

(2) 試験結果

セメントの品質試験結果を表一2に示す。すべての組合せにおいて、NセメントとBBセメントを混合した高炉セメントA種相当の試料は、JIS R 5211（高炉セメント）の高炉セメントA種の各項目の規格値を満足していることを確認した。また、組合せの違いによるばらつきも小さいことから、異なる製造会社の組合せにより混合

表一1 試料の組合せ

セメント種類	Nセメント	BBセメント
混合比率	50%	50%
試料No.0	A+B+C	A+B+C
試料No.1	A	A
試料No.2	A	B
試料No.3	A	C
試料No.4	B	A
試料No.5	B	B
試料No.6	B	C
試料No.7	C	A
試料No.8	C	B
試料No.9	C	C

表一2 セメント品質確認試験結果一覧

項目	No.0	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.1~9 平均	標準 偏差	BA 規格値
密度 (g/cm ³)	3.09	3.10	3.09	3.10	3.09	3.08	3.10	3.11	3.09	3.11	3.10	0.01	-
比表面積 (cm ² /g)	3530	3680	3380	3530	3680	3420	3560	3750	3450	3610	3562	129	3000以上
凝結	水量 (%)	27.5	28.6	28.8	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	0.0	-
	始発 (h-min)	2-35	2-20	2-20	2-15	2-05	2-05	2-00	2-25	2-30	2-16	0-10	1-00以上
	終結 (h-min)	3-50	4-40	4-40	4-45	4-10	4-05	4-05	4-35	4-10	4-25	0-16	10-00以下
	安定性 バット法	良	良	良	良	良	良	良	良	良	-	-	良
圧縮強さ (N/mm ²)	材齢 3日	26.6	25.3	25.8	25.4	27.9	27.3	28.3	27.9	27.9	27.3	1.2	12.5以上
	材齢 7日	41.9	42.4	42.0	43.4	43.5	42.2	44.6	42.6	42.4	43.5	0.8	22.5以上
	材齢 28日	62.3	65.2	62.8	65.6	64.8	61.6	66.2	64.2	63.4	64.5	1.4	42.5以上
	酸化マグネシウム	2.19	1.78	2.11	2.18	2.08	2.38	2.44	2.18	2.52	2.56	0.25	5.0以下
化学成分 (%)	三酸化硫黄	2.12	2.10	2.20	1.75	2.46	2.48	2.06	2.18	2.34	1.84	0.25	3.5以下
	強熱減量	2.09	2.19	2.20	1.98	1.94	2.06	1.88	1.99	1.97	1.84	0.12	5.0以下

表一3 セメントの試験成績表による判定基準

項目	N 規格値	BA 規格値	BB 規格値	試験成績表に記載される項目			判定基準*
				平均値	標準偏差	最大値 (最小値)	
密度 (g/cm ³)	—	—	—	○	—	—	—
比表面積 (cm ² /g)	2500以上	3000以上	3000以上	○	○	—	$((X_N - 3\sigma_N) + (X_{BB} - 3\sigma_{BB})) / 2 \geq C_{BA}$
凝結	水量 (%)	—	—	○	—	—	—
	始発 (h-min)	1-00以上	1-00以上	1-00以上	○	—	最小値 $S_N \leq C_{BA}$ かつ $S_{BB} \leq C_{BA}$
	終結 (h-min)	10-00以下	10-00以下	10-00以下	○	—	最大値 $T_N \leq C_{BA}$ かつ $T_{BB} \leq C_{BA}$
安定性	バット法	良	良	良 / 不良	—	—	Nが良 かつ BBが良
圧縮強さ (N/mm ²)	材齢 3日	12.5以上	12.5以上	10.0以上	○	○	—
	材齢 7日	22.5以上	22.5以上	17.5以上	○	○	—
	材齢 28日	42.5以上	42.5以上	42.5以上	○	○	—
	酸化マグネシウム	5.0以下	5.0以下	6.0以下	○	—	最大値 $(T_N + T_{BB}) / 2 \leq C_{BA}$
化学成分 (%)	三酸化硫黄	3.5以下	3.5以下	4.0以下	○	—	最大値 $(T_N + T_{BB}) / 2 \leq C_{BA}$
	強熱減量	5.0以下	5.0以下	5.0以下	○	—	最大値 $(T_N + T_{BB}) / 2 \leq C_{BA}$

※N:普通ポルトランドセメント、BA:高炉セメントA種、BB:高炉セメントB種

※C_{BA}:高炉セメントA種の規格値(JIS R 5211)、X:平均値、σ:標準偏差、T:最大値、S:最小値

表一4 製造会社 10 社の 5 年間ににおける比表面積、圧縮強度の標準偏差を考慮した最小値の組合せ

項目		Nセメント										10社の 最小値	BBセメント										10社の 最小値	算出値	BA 規格値
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J			
比表面積 (cm ² /g)	平均値	3200	3170	3260	3190	3220	3200	3210	3260	3220	-	2878	3760	3740	3760	3730	3710	3760	3750	3650	-	3630	3381	3130	3000 以上
	標準偏差	88	83	75	104	92	88	89	77	48	-		89	85	75	96	96	87	90	80	-	83			
	算出値	2936	2921	3035	2878	2944	2936	2943	3029	3076	-		3493	3485	3535	3442	3422	3499	3480	3410	-	3381			
圧縮強さ (N/mm ²)	材齢 3日	平均値	29.4	30.1	31.3	29.2	30.7	29.3	31.0	31.2	28.6	24.2	20.5	21.0	20.3	20.8	21.1	20.5	19.7	21.2	-	19.9	14.8	19.5	12.5 以上
		標準偏差	1.7	1.7	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.5	1.1		1.3	1.6	1.5	2.0	1.6	1.6	1.2	1.4	-	1.5			
		算出値	24.3	25.0	26.8	24.6	25.8	24.2	25.9	26.7	25.3		16.6	16.1	15.9	14.8	16.3	15.8	16.0	17.0	-	15.5			
	材齢 7日	平均値	45.6	44.5	45.9	45.0	45.0	44.0	47.0	47.1	44.2	38.0	34.0	34.9	32.5	35.4	35.3	33.5	33.2	37.1	-	33.6	27.4	32.7	22.5 以上
		標準偏差	1.9	1.8	1.8	2.3	1.8	1.9	1.9	1.8	1.4		1.8	1.9	1.7	2.6	1.8	1.8	1.6	1.6	-	1.9			
		算出値	39.9	39.2	40.6	38.0	39.7	38.3	41.4	41.7	40.0		28.6	29.2	27.4	27.8	29.9	28.1	28.4	32.2	-	28.0			
	材齢 28日	平均値	62.5	61.6	61.3	61.9	60.7	61.7	60.9	62.3	60.1	53.8	60.7	59.8	58.1	57.7	60.0	60.8	58.9	61.7	-	59.6	49.5	51.6	42.5 以上
		標準偏差	2.0	1.9	2.0	2.7	2.0	2.0	2.1	2.0	1.8		2.0	2.0	2.0	2.7	2.0	2.0	2.4	1.9	-	2.0			
		算出値	56.6	55.8	55.4	53.8	54.8	55.8	54.5	56.4	54.9		54.7	53.8	52.1	49.5	53.9	54.8	51.8	55.9	-	53.5			

表一5 製造会社 10 社の 5 年間ににおける凝結試験の最大値または最小値の組合せ

項目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	10社の 最大(小)値	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	10社の 最大(小)値	BA 規格値
終結時間 最大値(h-min)	Nセメント_5年間の最大値										最大値	BBセメント_5年間の最大値										最大値	10-00 以下
	4-25	4-20	5-00	4-30	3-55	4-25	4-30	3-55	4-00	-	5-00	5-40	5-45	6-00	5-45	5-00	5-40	6-00	5-00	-	5-45	6-00	
始発時間 最小値(h-min)	Nセメント_5年間の最小値										最小値	BBセメント_5年間の最小値										最小値	1-00 以上
	1-45	1-30	1-30	1-35	1-35	1-45	1-40	1-40	1-50	-	1-30	2-20	1-45	1-45	2-40	2-15	2-20	2-40	2-10	-	2-05	1-45	

表一6 製造会社 10 社の 5 年間ににおける化学成分試験の最大値の組合せ

項目		Nセメント_5年間の最大値										10社の 最大値	BBセメント_5年間の最大値										10社の 最大値	算出値	BA 規格値
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J			
化学成分 (%)	酸化 マグネシウム	2.69	1.73	2.69	2.05	1.97	2.69	2.69	1.38	1.39	-	2.69	4.47	4.25	4.47	4.29	4.52	4.28	4.71	3.87	-	4.49	4.71	3.70	5.0 以下
	三酸化 硫黄	2.75	2.77	2.75	2.40	2.77	2.75	2.48	2.23	2.45	-	2.77	2.66	2.59	2.39	2.30	2.58	2.66	2.46	1.72	-	2.75	2.75	2.76	3.5 以下
	強熱 減量	2.81	2.93	3.00	2.99	2.99	2.80	2.79	2.76	2.78	-	3.00	2.44	2.30	2.36	2.62	2.83	2.44	2.19	2.15	-	2.63	2.83	2.92	5.0 以下

して製造される高炉セメント A 種相当コンクリートであっても、品質的に安定して供給できると考えられる。

3. セメント試験成績表による検討

(1) 検討概要

全国で流通している N セメントと BB セメントの組合せについてより多く網羅するため、品質試験により確認した 3 社に 7 社 (D, E, F, G, H, I, J) を加えた計 10 社において、過去 5 年間の N セメントおよび BB セメントの試験成績表によるセメント品質確認の検討を行った。

セメントの試験成績表による判定基準を表一3 に示す。比表面積および圧縮強度については、10 社における各セメントの 5 年間の最小値に、5 年間の標準偏差の最大値の 3 倍を減じた数値の平均が高炉セメント A 種の規定値以上となる判定基準とした。凝結時間について、始発時間は 10 社における各セメントの 5 年間の最小値が高炉セメント A 種の規定値以上となるように、終結時間は 10 社における各セメントの 5 年間の最大値が高炉セメント A 種の規定値以下となる判定基準とした。化学成分については、10 社における各セメントの 5 年間の最大値の平均が高炉セメント A 種の規定値以下となる判定基準とした。

(2) 検討結果

製造会社 10 社の過去 5 年間ににおける試験成績表により得られた N セメントおよび BB セメントの比表面積および圧縮強度の標準偏差を考慮した最小値の組合せを表一4 に、凝結試験の最大値または最小値の組合せを

表一5 に、化学成分試験の最大値の組合せを表一6 に示す。

各項目において設定した判定基準を満足する結果となったことから、検討した 10 社のセメントの組合せにより混合して製造される高炉セメント A 種相当のコンクリートについても、JIS R 5211 に規定されている高炉セメント A 種に適合していると考えられる。

4. おわりに

異なる製造会社のセメントの組合せにより混合して製造されるセメントが JIS R 5211 (高炉セメント) に規定されている高炉セメント A 種に適合していることを確認した。検討したセメント会社 10 社により全国の生コン工場を概ね網羅していることから、環境配慮型コンクリートの全国的な普及に向けて推進していきたい。

謝辞。 本報は、戸田建設との共同研究成果の一部である。また、本検討にあたり、麻生セメント(株)、UBE 三菱セメント(株)、住友大阪セメント(株)、太平洋セメント(株)、デンカ(株)、(株)トクヤマ、日立セメント(株)、日鉄セメント(株)、日鉄高炉セメント(株)、琉球セメント(株)には多大なご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長井他：異種セメントを混合して製造した高炉セメント A 種相当コンクリートの諸性状に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 90 巻，第 828 号，pp.167-175，2025.2