

製造会社の異なるセメントを使用したJISモルタルとコンクリートの乾燥収縮共通試験結果

(社)セメント協会 コンクリート専門委員会
セメントコンクリート技術専門委員会

1. はじめに

異なるセメント会社で製造されたセメントを用い、これらのセメントの違いが乾燥収縮に及ぼす影響を把握することを目的に共通試験を(社)セメント協会 研究所にて実施した。セメントは12社のセメント会社から入手し、品種は汎用的に使用されている普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の2種類とした。

乾燥収縮試験は、JIS R 5201(セメントの物理試験方法)に準拠したモルタルおよび水セメント比55%の普通コンクリートを対象とした。なお、コンクリートに関しては骨材の種類の違いの影響についても実施した。

セメントの品種……2種類：普通ポルトランドセメント(以下、N)、高炉セメントB種(以下、BB)
セメント会社数……12社(N)、10社(BB)
試験体の種類……2種類：JIS R 5201に準拠したモルタル(以下、JISモルタル)、コンクリート
試験項目……1)乾燥収縮率
(供試体の養生や保存はJIS A 1129：2010(モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法)附属書A。測定方法はJISモルタルがJIS A 1129-3：2010(ダイヤルゲージ方法)、コンクリートがJIS A 1129-2：2010(コンタクトゲージ方法))
2)圧縮強度(JIS A 1108)

図1 試験条件

2. 試験概要

試験(以下、セメント会社別試験と称する)条件を要約すると、図1の通りである。

なお、JISモルタルとは水セメント比が50%、セメントと標準砂の質量比が1：3の配合で練り混ぜたモルタルである。

また、セメント会社別試験と比較するため、骨材の種類の違いがコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する試験(以下、骨材種類試験と称する)についても実施した。

2-1. 使用材料

2-1-1. セメント

試験に用いた普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種の品質特性をJIS R 5201(セメントの物理試験方法)およびJIS R 5202(セメントの化学分析方法)に従って試験した。結果を表1、2に示す。

2-1-2. 骨材

骨材は、JIS A 5308：2009(レディーミクストコンクリート)附属書A(規定)の粒度および品質値を満足したものを使用した。細骨材と粗骨材の種類と組合せを表3に示す。骨材は、セメント会社別試験では記号①の組合せを、骨材種類試験では記号①～

表1 普通ポルトランドセメント(N)の品質値

会社 記号	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	凝結		安定性 (バット法)	圧縮強さ(N/mm ²)			化学成分(%)				
			始発 (h-min)	終結 (h-min)		3日	7日	28日	酸化 マグネシウム	三酸化 硫黄	強熱減量	全 アルカリ	塩化物 イオン
A	3.16	3480	2-22	3-22	良	30.4	45.0	60.7	1.20	2.37	2.50	0.48	0.020
B	3.14	3350	2-04	3-24	良	30.7	48.1	64.1	1.66	2.17	2.48	0.50	0.022
C	3.16	3270	2-23	3-28	良	29.2	46.9	64.0	0.92	1.91	2.29	0.40	0.017
D	3.16	3270	2-07	3-17	良	30.6	45.3	64.8	1.11	2.32	1.59	0.49	0.018
E	3.16	3450	2-35	3-40	良	29.5	42.5	60.3	2.02	2.33	0.90	0.66	0.018
F	3.16	3320	1-55	2-40	良	31.8	48.2	61.1	1.24	2.14	1.73	0.54	0.021
G	3.15	3160	2-15	3-35	良	27.6	43.7	64.7	1.56	1.81	1.96	0.48	0.023
H	3.15	3300	1-55	3-05	良	31.6	47.5	63.3	1.32	2.10	0.78	0.63	0.012
I	3.14	3160	2-05	3-20	良	28.8	47.1	66.0	0.95	2.06	2.44	0.58	0.012
J	3.14	3280	1-20	2-35	良	31.2	47.0	65.4	0.99	2.01	1.48	0.45	0.018
K	3.15	3550	2-16	3-13	良	32.7	48.5	63.7	1.04	2.37	2.21	0.58	0.015
L	3.16	3300	2-02	3-04	良	28.6	47.5	67.1	1.41	2.06	1.48	0.51	0.005

表2 高炉セメントB種(BB)の品質値

会社 記号	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	凝結		安定性 (バット法)	圧縮強さ(N/mm ²)			化学成分(%)		
			始発 (h-min)	終結 (h-min)		3日	7日	28日	酸化 マグネシウム	三酸化 硫黄	強熱減量
a	3.04	3890	2-54	4-44	良	21.9	37.2	61.9	3.27	2.02	2.29
b	3.04	3900	2-30	3-59	良	23.3	36.2	60.6	3.27	1.85	1.51
c	3.04	3920	2-25	3-30	良	20.7	33.5	62.6	2.95	1.81	1.02
d	3.04	3740	2-55	4-30	良	20.5	33.0	60.8	3.15	2.28	1.96
e	3.04	3890	2-45	4-05	良	20.0	34.5	60.7	3.53	2.27	1.30
f	3.05	3900	2-40	4-20	良	21.2	37.8	62.0	3.21	2.07	0.56
g	3.04	3860	3-15	5-05	良	21.9	34.7	62.7	2.95	1.88	1.28
h	3.04	3740	2-45	4-20	良	22.6	35.4	61.0	3.21	2.23	0.85
i	3.04	3890	2-10	3-40	良	25.9	42.5	67.4	2.69	2.16	2.01
j	3.04	4070	2-47	3-58	良	23.9	36.8	62.2	2.89	2.10	1.61

表3 細骨材と粗骨材の種類と組合せ

組合せ記号	骨材の種類	
	細骨材	粗骨材
①	山砂 (表乾密度：2.65g/cm ³ , 吸水率：1.37%)	硬質砂岩碎石 (表乾密度：2.65g/cm ³ , 吸水率：0.61%)
②	山砂 (同上)	石灰石碎石 (表乾密度：2.70g/cm ³ , 吸水率：0.71%)
③	硬質砂岩砕砂 (表乾密度：2.67g/cm ³ , 吸水率：1.20%)	硬質砂岩碎石 (表乾密度：2.65g/cm ³ , 吸水率：0.61%)

③の組合せを使用した。

2-1-3. 混和剤

混和剤は、セメント会社別試験ではリゲニンスルホン酸化合物とポリオール複合体を主成分としたAE減水剤標準形(I種)およびアルキルエーテル系

陰イオン界面活性剤を主成分としたAE剤(I種)を使用した。また、骨材種類試験ではリゲニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテル複合体を主成分とした高機能タイプAE減水剤標準形(I種)および同上のAE剤(I種)を使用した。

表4 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

試験の区分	セメントの種類	骨材種類		W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量						フレッシュ性状		
						水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	AE剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	練上温度 (℃)
		(kg/m ³)				(ml/m ³)								
セメント会社	N ^{*1}	山砂	硬質砂岩 碎石	55	46.5	168	305	850~ 851	978~ 979	763	10~11	18.0~ 19.5	4.1~5.0	22.0
	BB ^{*2}	山砂	硬質砂岩 碎石	55	46.5	168	305	846~ 847	974	763	12~15	17.5~ 19.5	4.0~5.0	22.0
骨材種類	N ^{*3}	山砂	硬質砂岩 碎石	55	46.5	168	305	850	978	2288	16	19.0	4.0	22.0
		山砂	石灰石 碎石	55	48.5	168	305	887	960	1830	24	18.0	5.0	22.0
		硬質砂岩 砕砂	硬質砂岩 碎石	55	47.5	168	305	875	960	3660	6	17.5	4.7	22.0

※1 12社のNを使用した。

※2 10社のBBを使用した。

※3 表1のA, BおよびC社の3社のNを等量混合して使用した。

2-2. コンクリートの配合およびフレッシュ性状

コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表4に示す。コンクリートの配合は、水セメント比(以下、W/Cと略)を55%、目標スランプを18±1.5cm、目標空気量を4.5±0.5%とした。

セメント会社別試験ではセメント以外の要因が乾燥収縮に及ぼす影響を排除するため同一配合で実施した。フレッシュ性状を表4に示したが、いずれのセメントを用いた場合でも同様のスランプおよび空気量を満足しており、セメント会社間の差は認められなかった。骨材種類試験でも同様に、骨材種類以外の要因が乾燥収縮に及ぼす影響を排除するため単位水量および単位セメント量は同一とし、スランプおよび空気量の調整を、混和剤量を変化させることにより行った。

コンクリートの練混ぜおよび成形は、JIS A 1132:2006(コンクリート強度試験用供試体の作り方)およびJIS A 1138:2005(試験室におけるコンクリートの作り方)に準じて行った。

練混ぜに使用したミキサは、パン型強制練りミキサ(公称容量55ℓ)であり、練混ぜは、粗骨材、細骨材、セメントを投入後、空練りを30秒間行い、その後、混和剤を分散させた練混ぜ水を投入し、90秒間

練り混ぜる手順で行った。

3. 試験結果と考察

3-1. コンクリートの圧縮強度

3-1-1. セメント会社別試験

20℃水中養生した材齢7日および28日における、セメント会社が異なるコンクリートの圧縮強度試験結果を図2に示す。

材齢28日の圧縮強度は、Nは平均値が36.4N/mm²、最大が38.7N/mm²、最小が34.0N/mm²、範囲(=最大-最小)が4.7N/mm²、標準偏差が1.43N/mm²であった。一方、BBは平均値が32.8N/mm²、最大が34.5N/mm²、最小が30.8N/mm²、範囲が3.7N/mm²、標準偏差が1.17N/mm²であった。今回の結果においては、セメント会社の違いがコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響は、4~5N/mm²程度の範囲であった。

3-1-2. 骨材種類試験

20℃水中養生した材齢7日および28日における、骨材種類が異なるコンクリートの圧縮強度試験結果を図3に示す。なお、図中の骨材の組合せ記号は表3の記号①~③を指す。

材齢28日の圧縮強度は、③(硬質砂岩砕砂+硬質

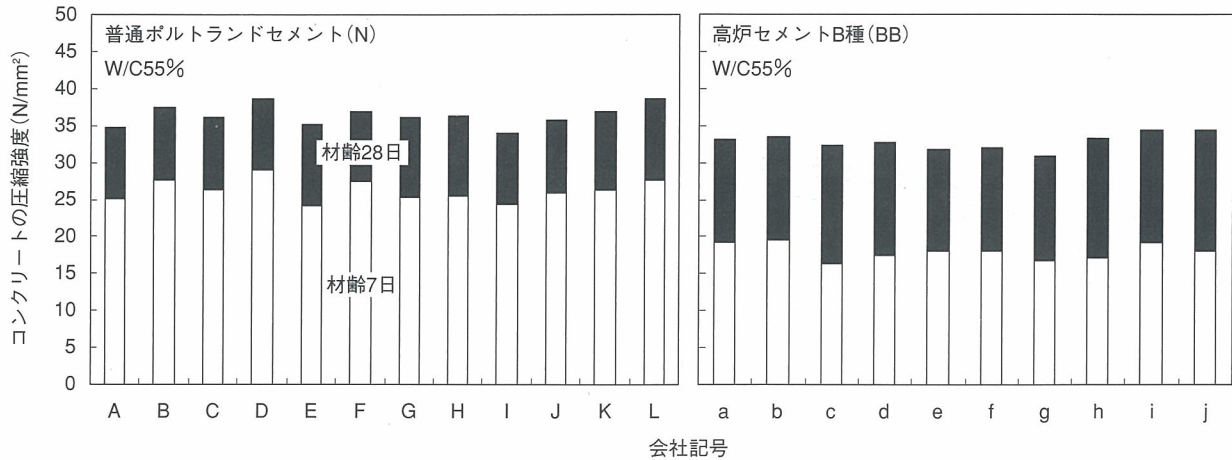


図2 セメント会社が異なるコンクリートの圧縮強度

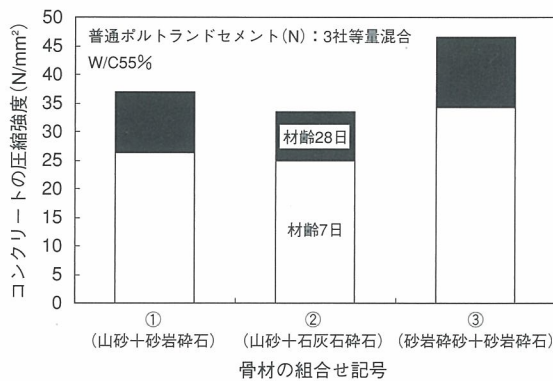


図3 骨材種類が異なるコンクリートの圧縮強度

砂岩碎石) > ①(山砂 + 硬質砂岩碎石) > ②(山砂 + 石灰石碎石)の順となり、硬質砂岩の骨材を使用したコンクリートの方が高くなる傾向であった。圧縮強度の範囲は12.9N/mm²であり、セメント会社別試験の範囲に比べて3倍程度大きく、コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響は、セメント会社の違いよりも骨材種類の影響の方が大きいことが確認された。

3-2. 乾燥収縮

3-2-1. セメント会社別試験

(1) 普通ポルトランドセメント

12社の普通ポルトランドセメント(N)を用いたJISモルタルおよびコンクリートの乾燥収縮率試験結果を図4に示す。乾燥期間182日のJISモルタルの乾燥収縮率は、平均値が946×10⁻⁶、最大が1012×

10⁻⁶、最小が817×10⁻⁶、範囲が195×10⁻⁶、標準偏差が58.8×10⁻⁶であった。一方、乾燥期間182日のコンクリートの乾燥収縮率は、平均値が670×10⁻⁶、最大が693×10⁻⁶、最小が638×10⁻⁶、範囲が55×10⁻⁶、標準偏差が16.8×10⁻⁶であった。

JISモルタルに対するコンクリートの乾燥収縮率の比は平均値で0.71、範囲で0.28となり、JISモルタルよりもコンクリートの方が平均値、範囲ともに小さくなった。

(2) 高炉セメントB種

10社の高炉セメントB種(BB)を用いたJISモルタルおよびコンクリートの乾燥収縮率試験結果を図5に示す。乾燥期間182日のJISモルタルの乾燥収縮率は、平均値が1027×10⁻⁶、最大が1129×10⁻⁶、最小が938×10⁻⁶、範囲が191×10⁻⁶、標準偏差が65.1×10⁻⁶であった。一方、コンクリートの乾燥収縮率は、平均値が699×10⁻⁶、最大が739×10⁻⁶、最小が627×10⁻⁶、範囲が112×10⁻⁶、標準偏差が34.1×10⁻⁶であった。

JISモルタルに対するコンクリートの乾燥収縮率の比は平均値で0.68、範囲で0.59となり、Nと同様、JISモルタルよりもコンクリートの方が平均値、範囲ともに小さくなった。

3-2-2. 骨材種類試験

骨材種類が異なるコンクリートの乾燥収縮率試験

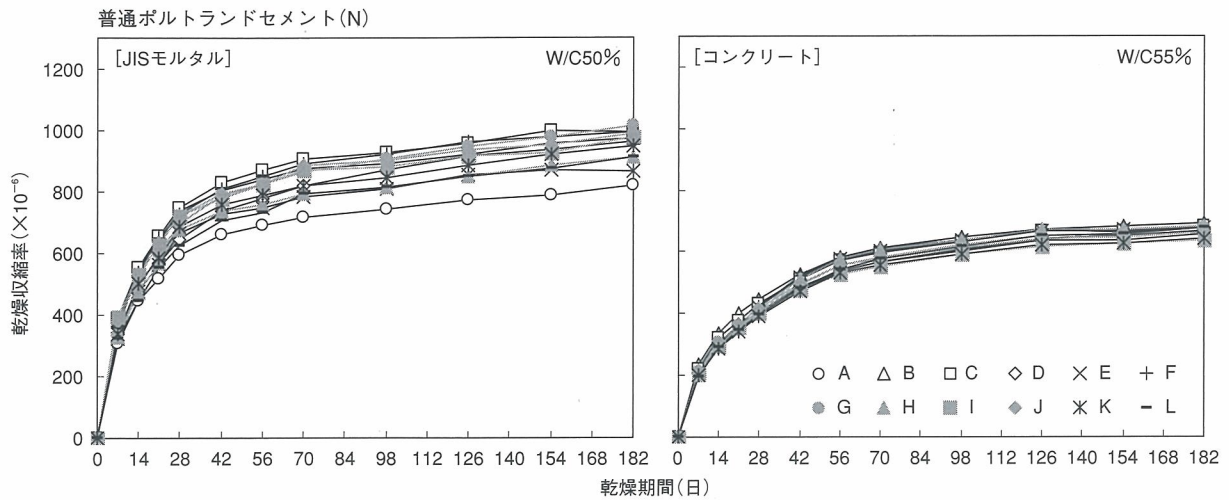


図4 セメント会社異なる普通ポルトランドセメント(N)の乾燥収縮率

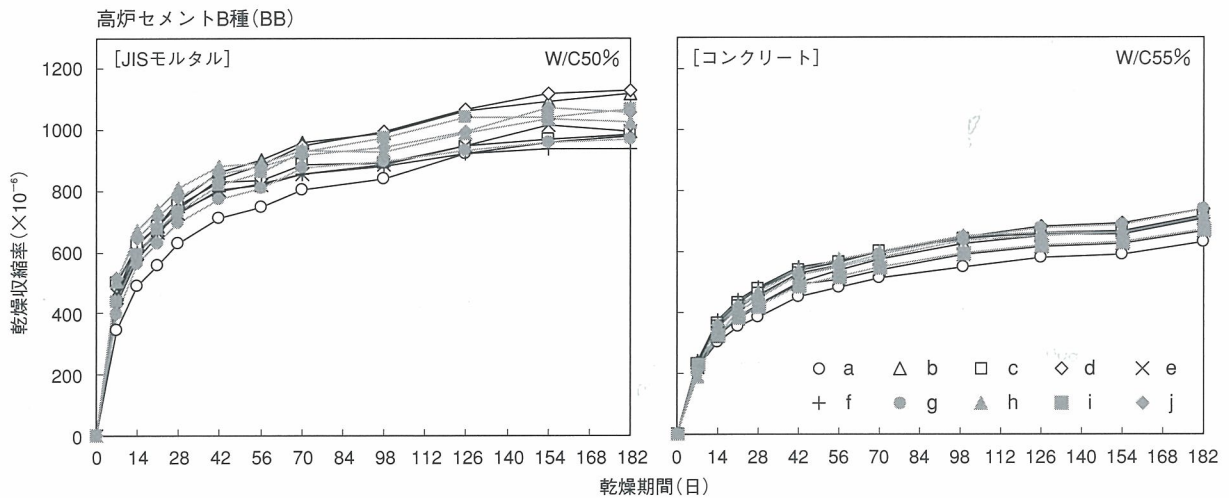


図5 セメント会社異なる高炉セメントB種(BB)の乾燥収縮率

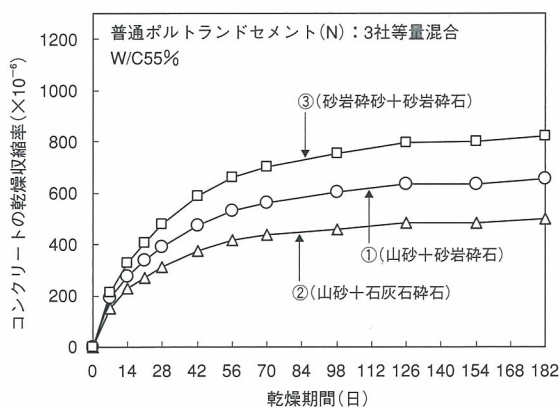


図6 骨材種類異なるコンクリートの乾燥収縮率

結果を図6に示す。なお、図中の記号は表3の記号①～③を指す。乾燥期間182日の乾燥収縮率は、③

(硬質砂岩砕砂+硬質砂岩碎石) > ①(山砂+硬質砂岩碎石) > ②(山砂+石灰石碎石)の順となった。また、範囲は 325×10^{-6} で、セメント会社別試験のコンクリートの範囲に比べて3～6倍程度大きく、コンクリートの乾燥収縮率に及ぼす影響はセメント会社の違いよりも骨材種類の違いの方が大きいことが確認された。

3-3. JISモルタルとコンクリートの相関性

3-2-1.のセメント会社別試験で得られた、乾燥期間182日のJISモルタルとコンクリートの乾燥収縮率の比較を図7に示す。NとBBの両者ともJISモ

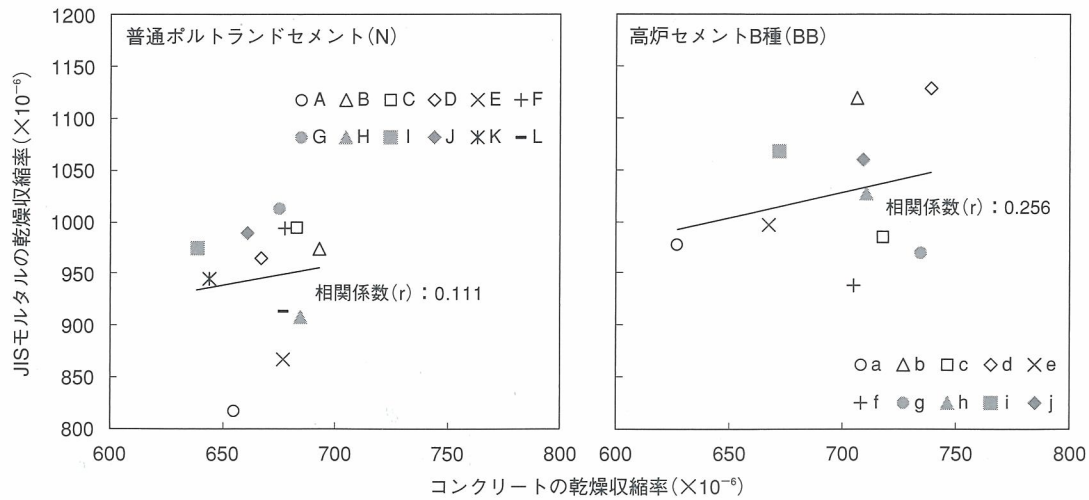


図7 乾燥期間182日のJISモルタルとコンクリートの乾燥収縮率の比較

ルタルとコンクリートの相関性は認められず、乾燥収縮率がJISモルタルで大きくてもコンクリートでは小さく、その逆にJISモルタルで小さくてもコンクリートで大きくなるセメントがある結果となった。

本結果の範囲では、同品種のセメントで、コンクリートの乾燥収縮率をJISモルタルの乾燥収縮率から予測することはできないと言える。

3-4. セメント会社間の差異

中村¹⁾は、同一ロットの材料を使用し、W/C55%でスランプ18cm±2.5cmのコンクリート供試体を用いて乾燥収縮試験を数週間ごとに10回実施した結果を報告している。そこでは、乾燥期間26週での乾燥収縮率の範囲は 100×10^{-6} とされている。

今回の結果ではセメント会社の違いによるコンクリートの乾燥収縮率の範囲はNで 55×10^{-6} 、BBでは 112×10^{-6} であり、10回の繰返し試験の範囲と同程度と判断できる。

4. まとめ

異なるセメント会社で製造されたセメントの違いが乾燥収縮に及ぼす影響を把握するために実施し

た、本試験の結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 乾燥期間182日におけるJISモルタルの乾燥収縮率は、普通ポルトランドセメント(N)の場合、平均値が 946×10^{-6} 、範囲が 195×10^{-6} であり、また、高炉セメントB種(BB)の場合、平均値が 1027×10^{-6} 、範囲が 191×10^{-6} であった。
- (2) 一方、乾燥期間182日におけるW/C55%のコンクリートの乾燥収縮率は、Nの場合、平均値が 670×10^{-6} 、範囲が 55×10^{-6} であり、また、BBの場合、平均値が 699×10^{-6} 、範囲が 112×10^{-6} であった。今回の結果ではセメント会社の違いによるコンクリートの乾燥収縮率の範囲は、既往の研究で報告されている同一試料を用いて行った10回の繰返し試験の範囲と同程度であった。
- (3) (1)(2)より、JISモルタルに対するコンクリートの乾燥収縮率の比は、平均値はNの場合に0.71、BBの場合に0.68であり、範囲はNの場合に0.28、BBの場合に0.59となり、JISモルタルよりもコンクリートの方が平均値、範囲ともに小さくなった。
- (4) 骨材種類の組合せを「山砂+硬質砂岩碎

石], [山砂+石灰石碎石], [硬質砂岩砕砂+硬質砂岩碎石] の3種類に変化させた, W/C55%のコンクリートの乾燥期間182日における乾燥収縮率は, 範囲が 325×10^{-6} であった。

(2)で得られた範囲に比べて, 3~6倍程度大きく, 乾燥収縮に対する影響はセメント会社の違いよりも骨材種類の違いの方が大きいことが確認された。

(5) NとBBの両者とも乾燥期間182日でのJISモ

ルタルとコンクリートの乾燥収縮率には相関性は認められず, 同品種のセメントで, コンクリートの乾燥収縮率をJISモルタルの乾燥収縮率から予測することはできないと言える。

[引用文献]

- 1) 中村則清/コンクリートの乾燥収縮試験結果の変動に関する検討, 建材試験情報 Vol.46, pp.10~15, 2010.2