研 6.

粗骨材の岩種による乾燥収縮および収縮低減剤の効果に関する研究

○木間　栄一*1　香取　恒雄*1　井原　正廣*1　山口　昇三*2　金田　勝見*3

要旨：コンクリートの乾燥収縮低減を目的として粗骨材の岩種が異なる場合の乾燥収縮量を確認するとともに収縮低減剤の使用による収縮低減効果を調べた。

キーワード：粗骨材の岩種，乾燥収縮，収縮低減剤，耐久性

1. はじめに

最近、鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上を目的として、コンクリートの収縮を低減する対策の検討が各方面で進められており、粗骨材の岩種の違いにより乾燥収縮に差があることが報告されている[1),2),3),4)]。また、日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)[6)]では有害なひび割れを防止するためコンクリートの乾燥収縮ひずみを 800×10^{-6} 以下とすることを標準としている。そこで本研究は、コンクリートの乾燥収縮低減を目的として、硬質砂岩と石灰石による乾燥収縮量の違いを確認すると共に、収縮低減剤の使用によるコンクリートの乾燥収縮低減効果を確認した。

2. 実験概要

実験はまず室内実験で粗骨材の岩種の違いによる乾燥収縮と収縮低減剤の効果を確認し、次にその結果を実機実験で検証した。

2.1 実験の組合せ

実験の組合せを**表－1** に示す。粗骨材は硬質砂岩と石灰石の２水準とした。収縮低減剤の添加率は、室内実験では硬質砂岩は単位水量に対して 0,1,2,4%の 4 水準、石灰石は 0,2,4%の 3 水準とし、実機実験では両粗骨材ともに 0,1,2%の 3 水準とした。

表－1　実験の組合せ

種別	粗骨材の岩種	収縮低減剤 (W×%)	室内実験	実機実験
G1-0	硬質砂岩	0.0	○	○
G1-1		1.0	○	○
G1-2		2.0	○	○
G1-4		4.0	○	－
G2-0	石灰石	0.0	○	○
G2-1		1.0	－	○
G2-2		2.0	○	○
G2-4		4.0	○	－

また、コンクリートの乾燥収縮はコンクリート中の水分の乾燥による毛細管張力により生じ、収縮低減剤はその表面張力低下作用により毛細管張力を低下させ効果を発揮すると考えられている[5)]。このことから収縮低減剤はコンクリート中の水に対して働くと考えられるため、本研究では収縮低減剤の添加率を単位水量に対する割合(W×%)で示すこととした。

*1　佐倉エスオーシー株式会社　　*2　竹本油脂株式会社
*3　竹本技研株式会社

2.2 使用材料

使用材料を**表－2** に示す。細骨材は通常使用しているものを使用し、粗骨材は硬質砂岩として茨城県笠間産砕石と、一般に乾燥収縮が小さいとされている石灰石を使用することとし、本実験では佐野市会沢産の石灰石を使用した。また、収縮低減剤として、ポリエーテル誘導体を主成分とする収縮低減剤を使用した。

表－2　使用材料

種別	記号	銘柄、産地または品質
セメント	C	S 社製普通ポルトランドセメント，密度 3.15g/cm^3
細骨材	S1	茨城県神栖市太田産陸砂，表乾密度 2.60g/cm^3
	S2	栃木県佐野市会沢産石灰石砕砂，表乾密度 2.70g/cm^3
粗骨材	G1	茨城県笠間産砕石 (硬質砂岩)，表乾密度 2.65g/cm^3
	G2	栃木県佐野市会沢産砕石 (石灰石)，表乾密度 2.70g/cm^3
混和剤	AD	高性能 AE 減水剤標準形 I 種（ポリカルボン酸系）
	HDB	収縮低減剤（ポリエーテル誘導体）

2.3 コンクリートの配合

コンクリートの配合を**表－3** に示す。コンクリートの配合は高性能 AE 減水剤を使用した一般強度コンクリートのうち最も出荷量の多い領域、すなわち水セメント比 40%(配合強度 45N/mm^2)でスランプ 21cm のコンクリートとした。

表－3　コンクリートの配合

岩種	W/C (%)	s/a (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	単位量 (kg/m^3)							
					W	C	S1	S2	G1	G2	AD	HDB
硬質砂岩	40.0	48.4	21±1.5	4.5±1.0	175	438	564	251	877	－	4.161	0～7
石灰石									－	894		

2.4 試験条件

試験条件を**表－4**、試験項目および試験方法を**表－5** に示す。

本研究では、収縮低減剤を練混ぜ水の一部とみなし、室内実験、実機実験共に収縮低減剤を添加する場合は、予め練混ぜ水から収縮低減剤量に相当する分の水を差し引いてベースコンクリートを練混ぜ、収縮低減剤は後添加することとした。

乾燥収縮試験は、100 × 100 × 400mm の供試体を用いて材齢 7 日までの標準水中養生後に基長をとりコンパレータ法により乾燥期間 6 ヶ月まで測定した。

表－4　試験条件

室内実験	ミキサ		強制二軸ミキサ(容量 55L)
	練り量		50L
	練混ぜ	HDB 無	1/2S+C+1/2S+G→15 秒+(W+Ad)→115 秒
		HDB 添加	1/2S+C+1/2S+G→15 秒+(W+Ad)→115 秒→+HDB→30 秒
	試験温度		20℃
実機実験	ミキサ		強制二軸ミキサ(容量 3m^3)
	練り量		1m^3
	練混ぜ	HDB 無	G＋S＋C＋(W+AD)→30 秒
		HDB 添加	G＋S＋C＋(W+AD)→30 秒→HDB 投入→アジテータ高速 30 秒

表－5　試験項目および試験方法

項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」
空気量	JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」
圧縮強度	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」、標準水中養生
乾燥収縮	JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」

3. 室内実験結果

3.1　フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果を**表－6** に示す。一般に所定の流動性を得るための高性能 AE 減水剤の添加率は粗骨材の岩種により変化することが知られているが、今回の実験では硬質砂岩と石灰石で AD の添加率の違いは認められなかった。また一般に収縮低減剤を添加した場合も高性能ＡＥ減水剤の添加率が変化することがあるが今回の実験では収縮低減剤の添加による AD の添加率の違いは認められなかった。

3.2　圧縮強度

圧縮強度試験結果を**表－7** に、粗骨材の岩種別に収縮低減剤無添加に対する収縮低減剤添加コンクリートの圧縮強度比を求めた結果を**表－8** に示す。

圧縮強度は粗骨材の岩種と収縮低減剤の添加率の影響を受け、岩種で比較すると、石灰石を使用した方が硬質砂岩に比べて圧縮強度が約 4～7%高い傾向を示した。

また、収縮低減剤を添加した場合、添加率 W×2%程度までは強度低下はほとんど認められなかったが、W×4%では初期に約 10%程度の強度低下が認められた。しかし、材齢の進行に伴い強度差は小さくなり、材齢 91 日では硬質砂岩では無添加と同等、石灰石は約 5%程度の低下となった。

表－6　フレッシュコンクリートの試験結果

No.	種別	AD (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ温度 (℃)
1	G1-0	0.95	20.8	5.2	20.0
2	G1-1	0.95	19.5	4.0	20.0
3	G1-2	0.95	20.6	4.0	20.0
4	G1-4	0.95	21.0	4.2	20.0
5	G2-0	0.95	21.2	5.5	20.0
6	G2-2	0.95	19.5	4.4	20.0
7	G2-4	0.95	21.2	4.7	20.0

表－7　圧縮強度試験結果

No.	種別	圧縮強度 (N/mm^2)				
		材齢 24h	材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 56 日	材齢 91 日
1	G1-0	10.3	48.6	59.7	64.3	65.5
2	G1-1	12.2	51.0	63.5	68.4	67.9
3	G1-2	11.0	50.8	63.4	67.6	67.8
4	G1-4	9.24	48.0	60.3	63.6	65.5
5	G2-0	11.1	51.6	63.7	67.1	69.8
6	G2-2	10.7	50.2	62.8	66.7	68.1
7	G2-4	9.80	48.7	59.9	65.7	66.2

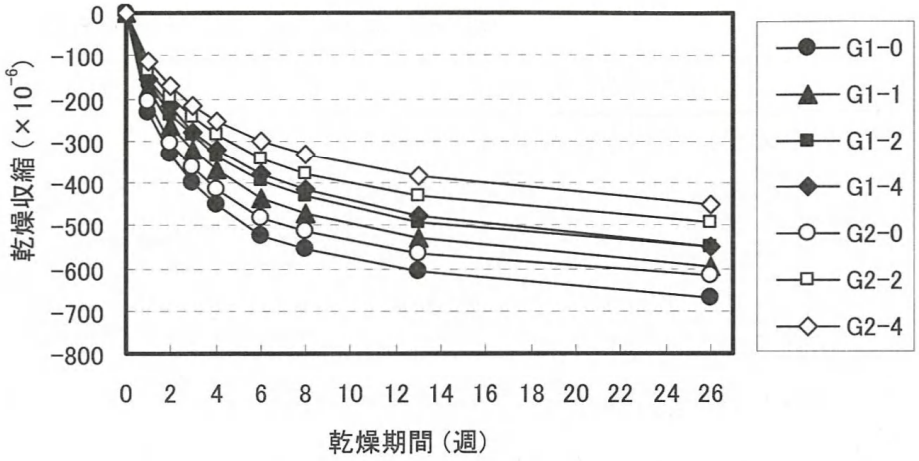
表－8　圧縮強度比

No.	種別	圧縮強度比 (%)				
		材齢 24h	材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 56 日	材齢 91 日
2	G1-1	118	105	106	106	104
3	G1-2	106	104	106	105	103
4	G1-4	89	99	101	99	100
6	G2-2	96	97	98	99	98
7	G2-4	88	94	94	98	95

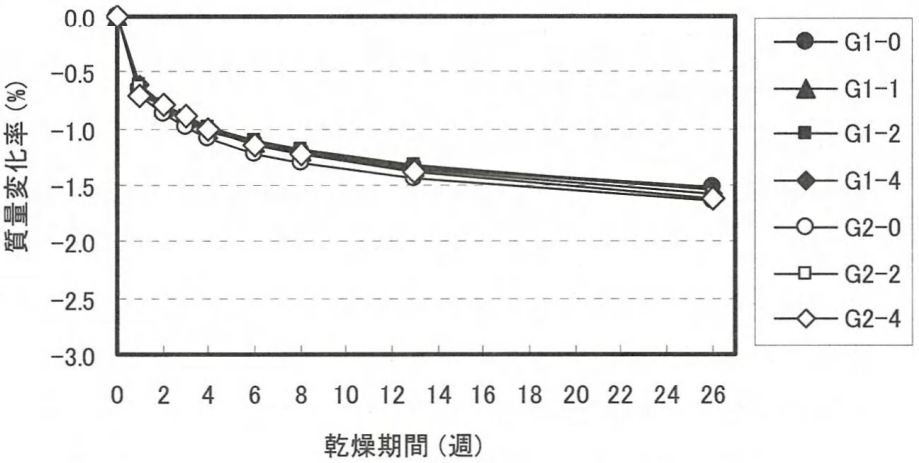
3.3　乾燥収縮試験結果

乾燥収縮試験結果を**図－1**、質量変化率を**図－2** に示す。硬質砂岩および石灰石のいずれも乾燥期間 26 週において、日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)の乾燥収縮ひずみの標準値である 800×10^{-6} 以下を満足したが、岩種の違いにより乾燥収縮の程度は異なり、石灰石の方が約 50×10^{-6} 程度小さい傾向が見られた。

また、いずれの粗骨材を使用した場合も収縮低減剤添加率の増加にともない乾燥収縮ひずみは低減した。粗骨材の岩種の違いおよび収縮低減剤の有無による質量変化率の違いは認められなかった。



図－1　乾燥収縮試験結果



図－2　質量変化率

4. 実機実験結果

4.1　フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果を**表－9** に示す。硬質砂岩、石灰石ともに室内実験と同様の傾向であり、粗骨材の岩種の違いや収縮低減剤の有無による AD の添加率の変化は認められなかった。

表－9　フレッシュコンクリートの試験結果

No.	種別	AD (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	ｺﾝｸﾘｰﾄ 温度(℃)
1	G1-0	0.95	21.1	4.3	16.0
2	G1-1	0.95	21.9	5.3	16.0
3	G1-2	0.95	21.8	4.6	16.0
4	G2-0	0.95	21.6	3.8	15.0
5	G2-1	0.95	22.0	3.5	15.0
6	G2-2	0.95	22.0	5.3	15.0

4.2　圧縮強度

圧縮強度試験結果を**表－10** に示す。室内実験と同様に石灰石を使用した方が硬質砂岩に比べて圧縮強度が約 1～6%程度高い傾向にあった。また、収縮低減剤を添加した場合初期に10%程度の強度低下したものがあったが、材齢 91 日ではほとんど強度差は認められなかった。

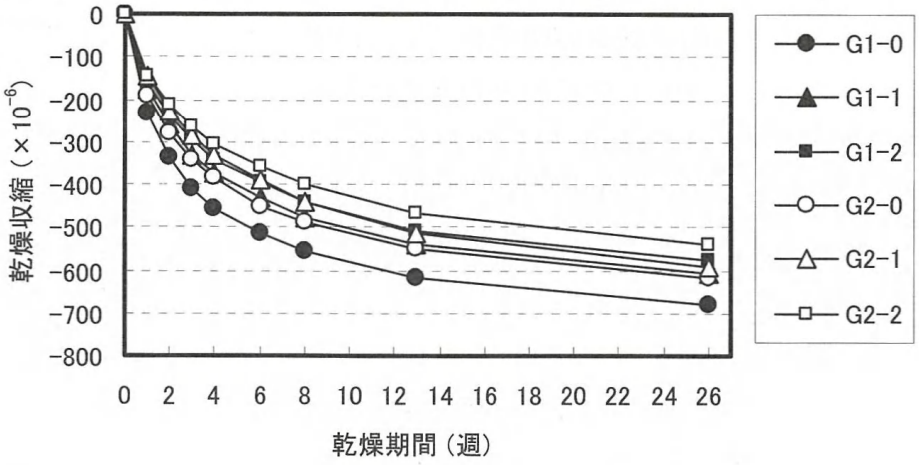
表－10　圧縮強度試験結果

No.	種別	圧縮強度 (N/mm^2)			圧縮強度比 (%)		
		材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 91 日	材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 91 日
1	G1-0	46.0	58.1	63.9	100	100	100
2	G1-1	42.5	54.2	62.1	92	93	97
3	G1-2	45.4	60.3	64.9	99	104	102
4	G2-0	48.8	62.3	64.6	100	100	100
5	G2-1	42.4	54.6	63.9	87	88	99
6	G2-2	44.2	57.6	63.7	91	92	99

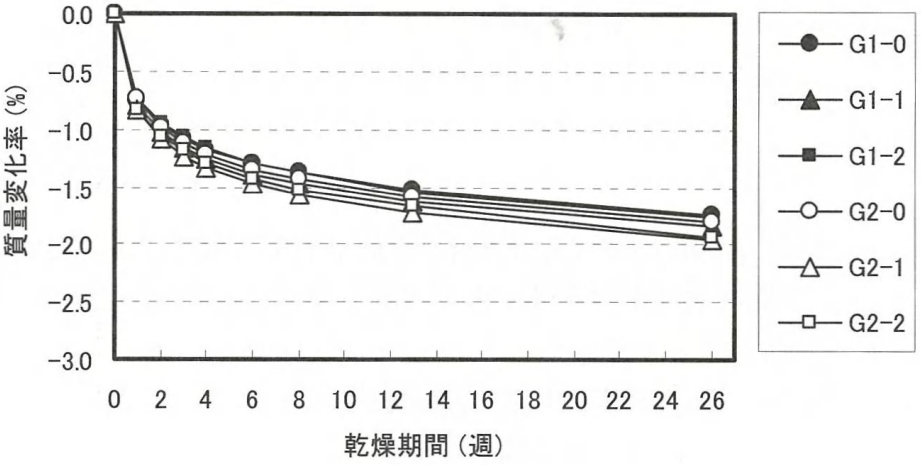
4.3　乾燥収縮試験結果

乾燥収縮試験結果を**図－3**、質量変化率を**図－4** に示す。硬質砂岩、石灰石ともに室内実験と同様の傾向であり、いずれも乾燥期間 26 週において、800×10^{-6} 以下を満足した。粗骨材の岩種の違いにより乾燥収縮ひずみの程度は異なり石灰石の方が約 50×10^{-6} 程度小さい傾向が見られた。また、いずれの粗骨材を使用した場合も収縮低減剤添加率の増加にともない乾燥収縮は低減した。

粗骨材の岩種の違いおよび収縮低減剤の有無による質量変化率の違いはほとんど認められなかった。



図－3　乾燥収縮試験結果



図－4　質量変化率

5. 考察

表－11 に乾燥収縮試験結果のまとめを示す。室内と実機の乾燥収縮を比較するとほぼ同様な傾向であるが実機の方が $1\sim45\times10^{-6}$ 程度大きい値となった。

岩種の違いで比較すると、硬質砂岩に比べて石灰石は約 8～9%程度乾燥収縮が小さい傾向にある。

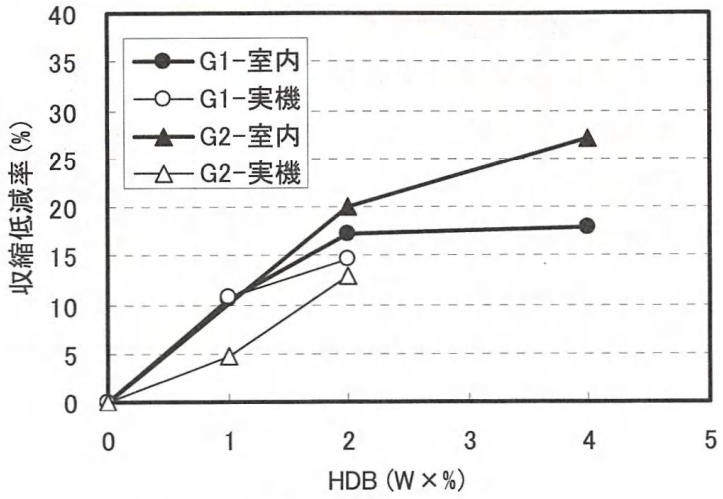
岩種の違いによらず、室内、実機ともに収縮低減剤の添加率の増加にともない乾燥収縮は小さくなった。収縮低減剤を添加することにより、収縮低減剤無添加に比較して硬質砂岩の場合は最大で約 18%、石灰石の場合は最大で約 27%乾燥収縮を低減できた。また、石灰石と収縮低減剤を併用した場合、硬質砂岩を単独で使用した場合に比較して最大で約 33%低減できた。

表－11　乾燥収縮試験結果まとめ（乾燥期間 26 週）

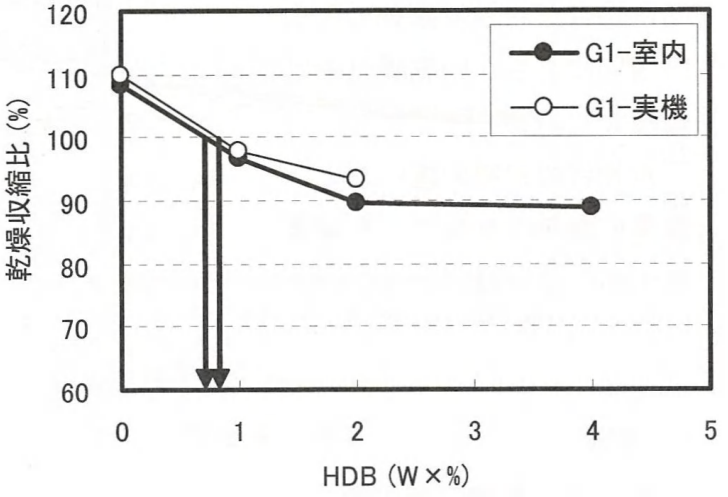
種 別	乾燥収縮($\times10^{-6}$)			乾燥収縮低減率(%)			
	室内	実機	差（実機-室内）	G1-0 を基準		G2-0 を基準	
				室内	実機	室内	実機
G1-0	669	679	10	0.0	0.0	-8.3	-9.7
G1-1	598	606	8	10.6	10.8	3.2	2.1
G1-2	553	579	26	17.3	14.7	10.5	6.5
G1-4	550	—	—	17.8	—	11.0	—
G2-0	618	619	1	7.6	8.8	0.0	0.0
G2-1	—	590	—	—	13.1	—	4.7
G2-2	495	540	45	26.0	20.5	19.9	12.8
G2-4	450	—	—	32.7	—	27.2	—

図－5 に乾燥期間 26 週における HDB 添加率と収縮低減率の関係を示す。いずれの場合も HDB の添加率の増加にともない収縮低減率は増加した。しかし、W×2%から 4%に増加したときの収縮低減率の伸びは小さく、その傾向は硬質砂岩の方が顕著であった。

図－6 に石灰石、HDB 無添加の場合の乾燥収縮を基準とした、硬質砂岩を使用して HDB を添加した時の乾燥収縮比を示す。硬質砂岩を使用して石灰石と同等の乾燥収縮量とするためには、HDB を W×0.8～0.9%程度添加すればよいことがわかった。



図－5 HDB 添加率と収縮低減率の関係



図－6 HDB と乾燥収縮比の関係

6. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

・乾燥収縮量は室内実験、実機実験ともに同様の傾向を示した。

・粗骨材の岩種の違いにより乾燥収縮量に差があり、石灰石は硬質砂岩よりも乾燥期間 26 週において約 $50～90\times10^{-6}$ 程度小さい乾燥収縮を示した。

・収縮低減剤を使用することにより最大で硬質砂岩では約 20%、石灰石では約 30%乾燥収縮を低減することができた。

・硬質砂岩の乾燥収縮量を石灰石と同等の乾燥収縮量とするためには、収縮低減剤を単位水量の 1%程度添加すればよいことがわかった。

参考文献

1) 岩清水　隆、米澤敏男、井上和政、松本竹史：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材品質の影響に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1079-1080、1998.9

2) 荒井正直ほか：骨材の品質がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響に関する研究(その 1～8)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.741-746、1999.9、pp.645-654、2000.9

3) 元木　亮、木村芳幹、外谷与生：骨材の品質が収縮性状に及ぼす影響、第 11 回生コン技術大会研究発表論文集、pp.213-218、2001.4

4) 元木　亮、外谷与生、木村芳幹：骨材の品質や調合がコンクリートの収縮性状に及ぼす影響、第 12 回生コン技術大会研究発表論文集、pp.65-70、2003.4

5) 児島孝之監修：コンクリート混和材料ハンドブック、pp.78-90、エヌ・ティー・エス

6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説、2006.2