

再生骨材コンクリートの実用化に関する研究

－実機試験練りによる所要品質の実証－

竹内 博幸* 森 達哉*
山浦 一郎*

要 旨

市中の再生骨材プラントと生コン工場を連動し、杭を適用対象とする再生骨材コンクリートの製造と品質確保を実証することを目的として、再生骨材プラント2工場の再生骨材(M:中品質)を用いて生コン工場4社にて3季にわたり実機試験練りを行った。試験練りでは、所要品質が得られるように調合修正するとともに、再生骨材の品質確保とその変動状況、再生骨材コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度の発現状況について検討した。その結果、以下の事項が明らかになった。① 今回設定した再生骨材の品質の範囲では、単位水量の調整や再生骨材のプレウェッチングなどの実施により、所要のコンクリート品質を確保することができる。② 再生粗骨材コンクリートと再生細・粗骨材コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度に大きな違いは見られない。③ 再生骨材コンクリートの塩化物量については、再生骨材中に固定化された塩化物量を考慮して評価する必要がある。④ 再生骨材コンクリートのアルカリ骨材反応性については、試験による変動が少なく、コンクリートの状態で評価できる「ZKT-206(コンクリートのアルカリシリカ反応性迅速試験方法)」が適切である。

1. はじめに

建設リサイクル法が平成14年5月に全面的に施行され、一定規模以上の建設工事における分別解体や建設廃材の再資源化等が義務付けられた。特定建設資材の一つである廃コンクリートはリサイクル率は高いが、その用途の大部分は路盤材であり、その需要に急激な増大は見込めないことから、コンクリート用骨材としての再利用の推進が望まれている。

再生骨材コンクリートは、コンクリート塊を原料として製造された骨材(再生骨材)を使用したコンクリートで、再生骨材は、JISおよびJIS原案では、密度、吸水率などによりH(高品質)、M(中品質)、L(低品質)に級別されている。Hクラスの再生骨材の品質は、通常の骨材のそれと大差ないものの、製造コストを要するため、Hクラスを用いた再生骨材コンクリートの実施例は少ない。また、Lクラスは、その品質が著しく低く、変動が大きいことから、用途は著しく制限されている。

以上より、本報では、品質とその変動の程度から構造体コンクリートに適用可能と考えられるM(中品質)クラスの再生骨材を用いた再生骨材コンクリートの製造と品質確保を実証することを目的として、再生骨材プラント2工場の再生骨材を用いて生コン工場4社にて3季にわたり実機試験練りを行った。試験練りでは、所要品質が得られるように調合修正するとともに、再生骨材の品質確保とその変動状況、再生骨材コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度の発現性状について検討した。なお、適用対象は、再生骨材の品質と環境条件など

を考慮して、場所打ち杭に限定した。

2. 実施概要

2.1 試験練りの概要

一連の試験練りは、再生骨材プラント2工場(X・Y工場)の再生骨材を用いて、生コン工場4社(A・B・C・D工場)にて3季(夏期、中間期、冬期)にわたり実機により行った。

2.2 再生骨材

一連の試験練りに用いた再生骨材の概要を表-1に示す。再生骨材製造における原コンクリートの粉砕方法は、X社はジョークラッシャー+ボールミル、Y社はジョークラッシャー+インパクトクラッシャーによる。なお、再生骨材の品質試験は、試験練りの実施期間にわたり適時実施した。

2.3 再生骨材コンクリート

試験練りにおける実験因子と水準を表-2に示す。実施対象となる水セメント比は、各生コン工場における普通コンクリートの呼び強度 24N/mm^2 、 30N/mm^2 、 36N/mm^2 と同一となる値とした。各工場とも、粗骨材に再生材料を用いた再生骨材コンクリート(以下SR)を検討対象としたが、A工場とD工場は、細・粗骨材の両者に再生材料を用いた再生骨材コンクリート(以下RR)についても検討した。

*本社 建築エンジニアリング部

2.4 試験項目

試験練りにおける再生骨材および再生骨材コンクリートの試験項目を表-3に示す。塩化物量試験は、再生骨材の可溶性塩分量についてはJIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材」の「5.5 塩化物」により、再生骨材コンクリートの全塩分量についてはJIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」により実施した。また、アルカリシリカ反応性試験は、コンクリートを試験対象としているZKT-206「コンクリートのアルカリシリカ反応性迅速試験方法」により実施した。

表-1 再生骨材の概要

項目	X社		Y社
	細骨材	粗骨材	粗骨材
絶乾密度 (g/cm ³)	≥2.2	≥2.4	≥2.2
表乾密度 (g/cm ³)	2.45±0.05	2.50±0.05	2.43±0.05
吸水率(%)	≤8.0	≤4.0	≤7.0
粗粒率	2.80±0.20	6.55±0.20	6.55±0.30
破碎方法	ジョークラッシャー +ボールミル		ジョークラッシャー+ インパクトクラッシャー

表-3 使用材料および再生骨材コンクリートの試験

対象	試験項目	試験方法	摘要	
再生骨材	細骨材	密度・吸水率	JIS A 1109	
	粗骨材	密度・吸水率	JIS A 1110	
	共通	粒度分布	JIS A 1102	
		塩化物量	JIS A 5002	CI-
コンクリート	フレッシュ	スランプ	JIS A 1101	経時変化
		空気量	JIS A 1128	経時変化
		塩化物含有量	JASS5T-502	
	硬化	圧縮強度	JIS A 1108	
		アルカリシリカ反応性	ZKT-206	
	塩化物量	JIS A 1154	CI-	

3. 再生骨材の品質およびその変動

3.1 密度

X社製およびY社製の再生骨材について試験練り実施期間にわたる絶乾密度の変動を図-1に示す。

これより、X社の再生粗骨材の絶乾密度は、期間中 2.4~2.5g/cm³の範囲にあるのに対し、Y社のそれは2.2~2.35 g/cm³の範囲にあり、密度が小さく変動が大きい傾向にある。一方、X社の再生細骨材の絶乾密度は、データ数は少ないが、2.25~2.3g/cm³の範囲で比較的安定している。

3.2 吸水率

X社製およびY社製の再生骨材について試験練り実施期間にわたる吸水率の変動を図-2に示す。

これより、X社の再生粗骨材の吸水率は、期間中 3.0~3.5%の範囲にあるのに対し、Y社のそれは4.5~7.5%の範囲にあり、変動が大きい。一方、X社の再生細骨材の吸水率は、データ数は少ないが、7.0~7.5%の範囲で比較的安定している。

3.3 粒度分布

X社製およびY社製の再生粗骨材について試験練り実施期間にわたる粒度分布の変動を図-3に示す。

これより、X社の再生粗骨材の各ふるい(5, 10, 15, 20 mm)の通過質量%(X-05~20)は、ごく一部を除き概ね変動幅10%の範囲にあるのに対し、Y社のそれ(Y-05~20)は最大で同20%程度の範囲に変動している。

4. フレッシュコンクリートの性状

4.1 再生骨材コンクリートの調合設定

再生骨材コンクリートの調合計画にあたっては、以下の点に留意し、調合を設定した。

① 単位水量の上限を195kg/m³とし、スランプおよび空気量は、練り上がり後60分の時点で、18±2.5 cmおよび4.5±1.5%を目標とした。

② X社製の再生骨材を使用した場合の単位水量は、SRではJISコンクリートと同じとし、RRではJISコンクリートの単位水量+5kg/m³とした。

表-2 試験練り概要

生コン製造	使用材料			W/C (%)			時期	再生骨材製造
	セメント	細骨材	粗骨材	24N/mm ²	30 N/mm ²	36 N/mm ²		
A工場	高炉 B種	普通・再生	再生	56.5	48.5	42.0	夏期 中間期 冬期	X社
B工場	高炉 B種	普通	再生	58.0	50.0	43.5		Y社
C工場	高炉 B種	普通	再生	58.5	48.5	42.5		Y社
D工場	高炉 B種	普通・再生	再生	55.0	49.5	44.0		X社

- ③ Y社製の再生骨材を使用したSRの単位水量は、JISコンクリートの単位水量+5~10kg/m³とした。
- ④ 再生骨材コンクリートの粗骨材かさ容積は、同じ呼び強度のJISコンクリートと同じ値とした。
- ⑤ 混和剤には、AE減水剤を使用した。ただし、夏期、中間期で単位水量が上限を超える場合については、高性能AE減水剤を使用した。

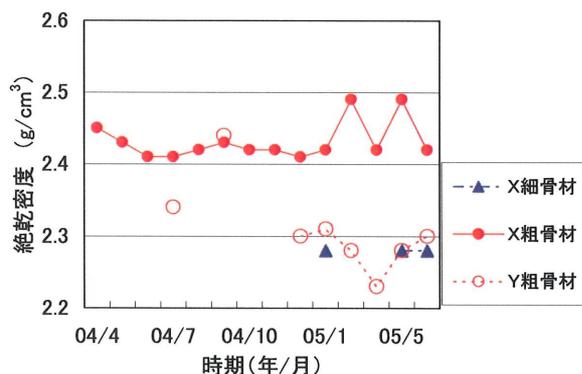


図-1 再生骨材の絶対乾密度の変動

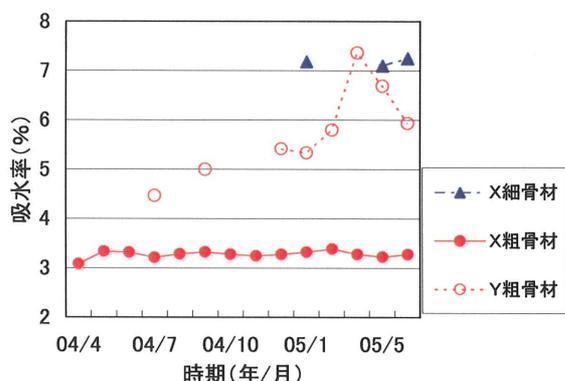


図-2 再生骨材の吸水率の変動

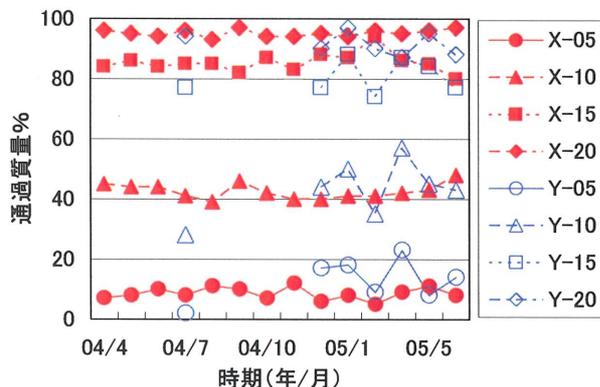


図-3 再生粗骨材の粒度分布の変動

4.2 実施調査

各工場の呼び強度 24・30・36N/mm²、スランプ 18 cm、空気量 4.5%の再生骨材コンクリートおよび呼び強度 30N/mm²のJISコンクリートの中間期における実施調査を表-4に示す。セメントは、アルカリシリカ反応性抑制対策として高炉セメントB種を用いた。再生骨材コンクリートの調合は、各工場で行われている同じ呼び強度のJISコンクリートの単位水量を調整することにより、フレッシュ性状が経時60分で所定の範囲内にあるように定めた。

4.3 再生骨材の違いによるスランプ経時変化の比較

呼び強度 30N/mm²のSRについて、X社製ないしY社製の再生粗骨材を用いた場合のB、D工場におけるスランプの経時変化を図-4に示す。これより、両者の骨材の品質は、3章に示されているように、密度、吸水率、粒度分布ともに異なっているが、単位水量の調整(B工場:JIS調合+5~10kg/m³、D工場:JIS調合±0kg/m³)や再生骨材のプレウェッチングなどを実施したことにより、いずれの時期においてもほぼ同様のフレッシュ性状の経時変化とすることができた。

4.4 再生骨材コンクリートと再生細・粗骨材コンクリートのスランプ経時変化の比較

X社製の再生細・粗骨材を用いたD工場における呼び強度 30N/mm²のSRおよびRRのスランプの経時変化を図-5に示す。これより、いずれの時期においてもSRとRRのスランプ経時変化に有意な違いは見られなかった。

表-4 実施調査(中間期)

種類	工場 時期	強度 (N/mm ²)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)			
				W	C	S	G
RR	A工場 (中間期)	24	56.5	179	317	785	928
		30	48.5	185	382	690	929
		36	42.0	191	455	600	947
JIS		30	48.5	180	372	775	957
SR	B工場 (中間期)	24	58.0	187	323	796	876
		30	50.0	192	384	725	881
		36	43.5	175	407	751	880
JIS		30	50.0	182	364	770	974
SR	C工場 (中間期)	24	58.5	179	306	835	883
		30	48.5	189	390	835	883
		36	42.5	195	459	641	899
JIS		30	48.4	179	370	783	972
SR	D工場 (中間期)	24	55.0	177	322	781	921
		30	49.5	182	368	721	929
		36	44.0	187	425	640	948
JIS		30	49.5	182	368	758	957

注]網掛けの調査は、高性能AE減水剤使用

SR:再生粗骨材コンクリート

RR:再生細・粗骨材コンクリート

4.5 JIS コンクリートとの比較

呼び強度 30N/mm² のコンクリートについて、D工場におけるSR、RR および JIS コンクリートのスランプの経時変化を図-6に、また同じく空気量の経時変化を図-7に、それぞれ示す。これらより、いずれの時期においても、再生骨材コンクリートのスランプと空気量は、JIS コンクリートのそれらと同様の経時変化を示し、有意な差は見られなかった。

5. コンクリート中の塩化物量

5.1 再生骨材の塩化物量測定結果

再生骨材の塩化物量について、JIS A 5002 の 5.5(可溶性塩化物量)および JIS A 1154(塩化物イオン全量)により測定した結果を表-5に示す。塩化物全量の測定値は、Y社製の再生粗骨材の方がX社製のものよりやや大きく、これは付着モルタル分による影響と考えられる。塩化物全量に対する可溶性塩化物量の割合は、再生粗骨材では 24~26%、再生細骨材では約 37%であった。

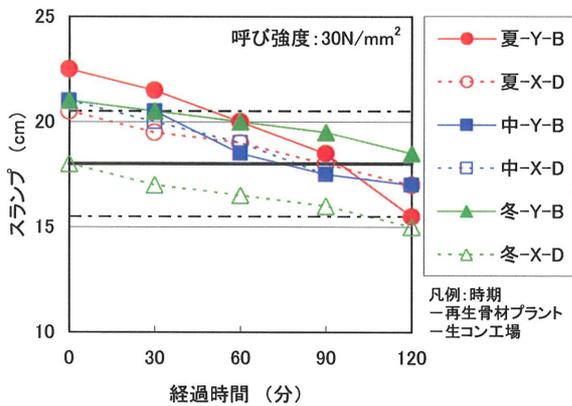


図-4 再生骨材の違いによるスランプ経時変化の比較

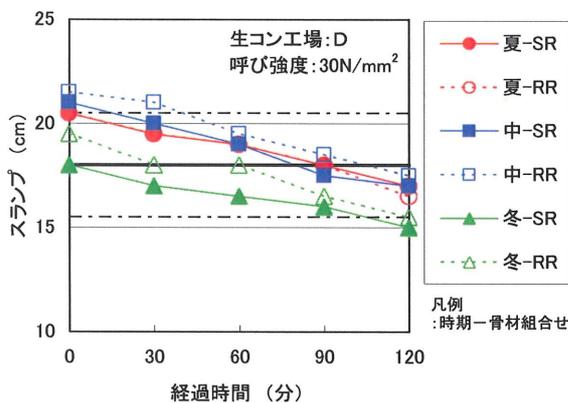


図-5 再生粗骨材コンクリートと再生細・粗骨材コンクリートのスランプ経時変化の比較

5.2 フレッシュコンクリート中の塩化物量測定結果

実機試験練り時に、JASS5T-502「フレッシュコンクリート中の塩化物量の簡易試験方法」により測定したコンクリート中の塩化物量の測定結果を図-8に示す。コンクリート中の塩化物量は、生コン工場により若干の違いが見られるが、Cl⁻として 0.01~0.08kg/m³ であり、同時に試験をした JIS コンクリートと同程度の測定値であった。

5.3 コンクリート中の塩化物全量の推定

表-5に示した再生骨材の塩化物イオン量(Cl⁻)の測定結果により、再生骨材コンクリート中の塩化物全量を推定した。他の材料の塩化物含有量については、それぞれの試験成績表に記載されている値を用いた。図-9に示すように、塩化物全量の推定値はフレッシュコンクリートの測定値より 0.01~0.04kg/m³ 程度多くなっている。今回は、再生骨材中の塩化物量が少なかったため、コンクリート中の推定塩化物全量も規定値である 0.30kg/m³ を十分下回っていたが、再生骨材コ

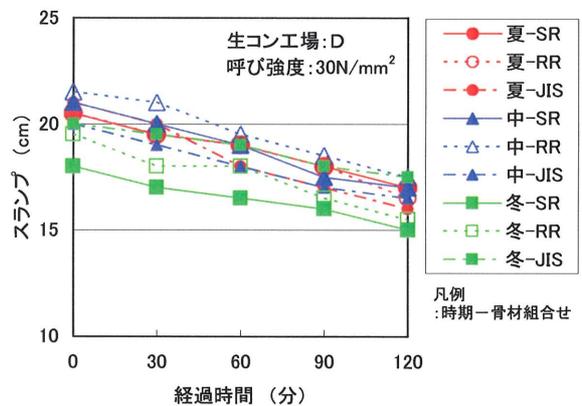


図-6 再生骨材コンクリートと JIS コンクリートのスランプ経時変化の比較

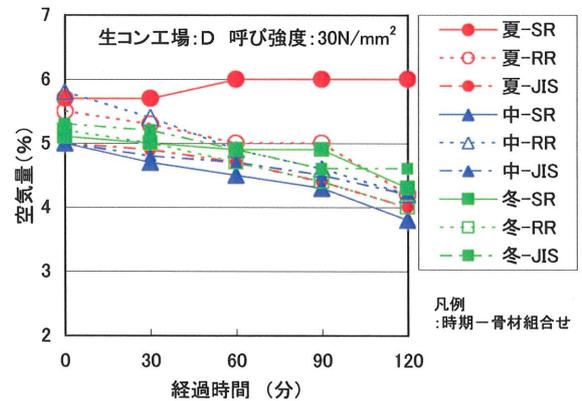


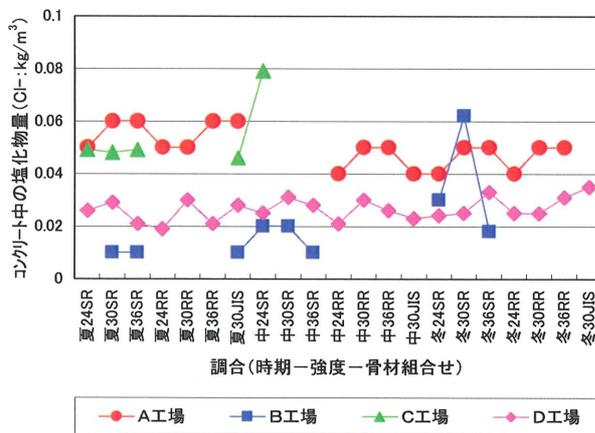
図-7 再生骨材コンクリートと JIS コンクリートの空気量経時変化の比較

ンクリート塩化物量は、JASS5T-502 によるコンクリート中の塩化物量と再生骨材中に固定化された塩化物量の両者により評価する必要があるものと考えられる。

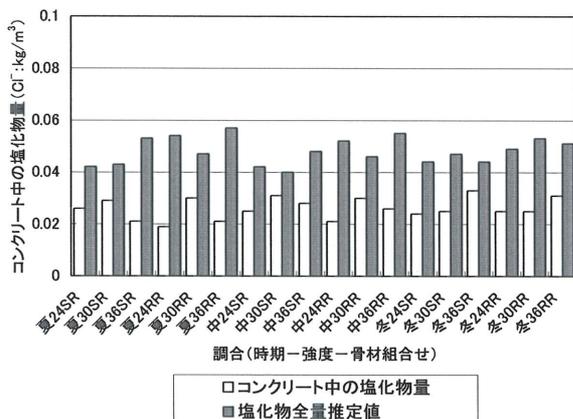
表一5 再生骨材の塩化物量測定結果

X 社製再生骨材				Y 社製再生骨材	
JIS A 5002		JIS A 1154		A 5002	A 1154
細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	粗骨材	粗骨材
0.0007	0.0007	—	—	0.0011	—
0.0011	0.0007	—	—	0.0007	—
0.0007	0.0007	0.0019	0.0029	0.0009	0.0038
—	—	—	—	0.0011	0.0042

注] 測定値:Cl⁻%



図一8 再生骨材コンクリート中の塩化物量測定結果



図一9 全塩分量推定値と JASS5T-502 測定値との比較

6. 圧縮強度試験結果

6.1 各工場間における比較

各工場のセメント水比と圧縮強度の関係を図一10 に示す。図中のデータは、材齢 28 日の標準水中養生供試体の実施結果による。これらより、各工場ともセメント水比の増加に伴い、圧縮強度が線形的に増大する傾向にあった。また、同時に実施した呼び強度 30N/mm² の JIS コンクリートの圧縮強度がいずれの工場においても同程度であったことから、再生骨材コンクリートの水セメント比に対する強度発現は、JIS コンクリートと同様の傾向にある。なお、B 工場は他の工場よりも各水セメント比において 10N/mm² 程度大きい値を示し、D 工場は他の工場よりもセメント水比に対する圧縮強度の変化が大きい傾向にあった。

6.2 再生細・粗骨材コンクリートと再生粗骨材コンクリートの比較

セメント水比と圧縮強度の関係について、再生細・粗骨材コンクリートと再生粗骨材コンクリートを比較したものを図一11 に示す。両者とも多少ばらつきはあるものの、ほぼ同程度の圧縮強度を示していることから、今回検討した範囲においては両者間の強度発現性状に大きな差異はないものと考えられる。

6.3 再生骨材の品質による影響

製造元の異なる再生骨材(X社製、Y社製)を用いた再生骨材コンクリートについて、セメント水比と圧縮強度の関係が同じような傾向(図一10 参照)を示したA、C 工場の圧縮強度試験結果を図一12 に示す。図中比較のために JIS コンクリートのデータも示している。これより、各工場により同セメント水比における圧縮強度の発現性状は若干異なるが、いずれも JIS コンクリートと同程度の圧縮強度となっていることから、再生骨材の品質の違いによる圧縮強度に及ぼす影響は小さいことがわかる。

6.4 気温による影響

生コン4工場のうち、再生細・粗骨材コンクリートを製造したA 工場での3季(夏期・中間期・冬期)にわたるセメント水比と圧縮強度の関係を図一13 に示す。これより、各水セメント比において若干の強度差は見られるものの、時季の違いによる一定の傾向は見られないことから、時季による有意な差はないものと考えられる。

7. まとめ

生コン4工場において再生骨材コンクリートの実機試験練りを3季にわたり実施した結果、再生骨材の品質やその変動および各種コンクリート性状について以下の事項が明らかになった。

- (1) 密度と吸水率については、X社製の再生粗骨材は一定の範囲に安定しているのに対し、Y社製のものは期間中変動が見られた。
- (2) 品質が異なる再生粗骨材を用いた再生骨材コンクリートは、単位水量の調整や再生骨材のプレウェッチングなどの実施によりほぼ同様なフレッシュ性状とすることができた。
- (3) 再生骨材の品質の違いによるフレッシュコンクリート性状および圧縮強度性状に及ぼす影響は小さい。
- (4) フレッシュコンクリート性状および圧縮強度性状について再生粗骨材コンクリートと再生細・粗骨材コンクリートに大きな差異は見られない。
- (5) 再生骨材コンクリートのスランプや空気量の経時変化は、JISコンクリートと同様の傾向を示す。
- (6) 再生骨材コンクリートの圧縮強度は、同一水セメント比のJISコンクリートと同等で、時季による有意な差は認められない。
- (7) 再生骨材コンクリートの塩化物物量については、再生骨材中に固定化された塩化物物量を考慮して評価する必要がある。

本研究は、五洋建設、奥村組、東亜建設工業および西松建設の4社による共同研究「再生骨材コンクリートの実用化」により実施された。

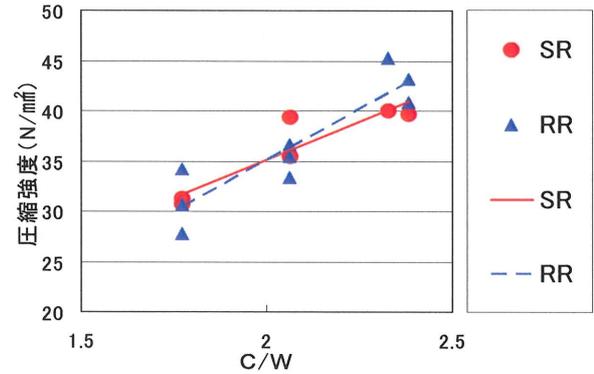


図-11 再生粗骨材コンクリートと再生細・粗骨材コンクリートの圧縮強度の比較

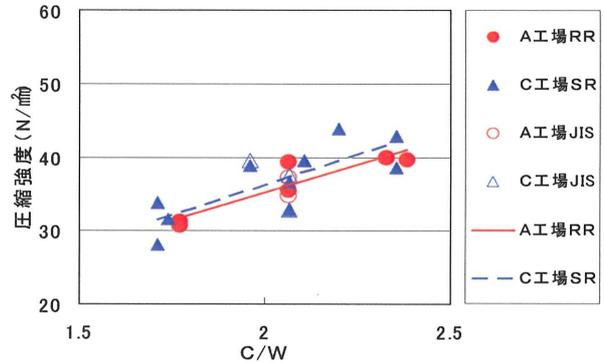


図-12 再生骨材の品質が圧縮強度に及ぼす影響

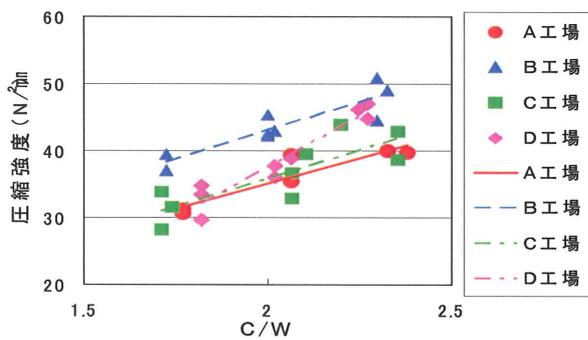


図-10 セメント水比と圧縮強度の関係

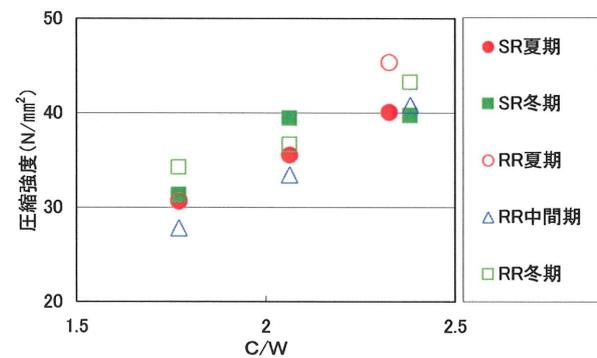


図-13 各時季におけるセメント水比と圧縮強度の関係 (A工場)