

再生骨材を用いた再生コンクリートの施工実験

河野政典* 上西 隆**
起橋孝徳* 中村裕介*

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、その用途のほとんどが路盤材である。今後、廃コンクリート量の増加が見込まれる中、路盤材の需要が今まで以上に伸びるとは考えにくいいため、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¹⁾。

このような背景の中、近年、廃コンクリート塊から生コン JIS (JIS A 5308) に規定される骨材と同等の品質を有する再生骨材 (以下、高品質再生骨材と称す) を製造する技術²⁾が開発され、高品質再生骨材を用いたコンクリートの実施工への適用の報告³⁾がされている。しかしながら、高品質再生骨材は製造量、製造に伴い発生する微粉の処理および、製造コストに問題があり普及が進んでいない。再生コンクリートの普及を図るには、高品質再生骨材よりも品質基準を若干緩和した再生骨材 (以下、中品質再生骨材と称す) の適用が望ましいが、中品質再生骨材の構造体への適用事例は少なく、コンクリートの品質や施工性については不明な点が多い。そこで今回、中品質再生骨材を用いたコンクリートの基本的性状を確認するため、実大試験体の施工実験を実施した。その概要について報告する。

2. 再生コンクリートの概要

実験に用いた再生コンクリートの種類と調合条件を表-1に示す。骨材の組合せを要因として、コンクリートの粗骨材と細骨材のそれぞれに、再生骨材と JIS 骨材を用いた場合の性状比較を行った。また、ひび割れの抑制を目的にポリプロピレン短繊維を用いた再生コンクリートの適用性も検討した。再生骨材は市

中の再生骨材製造工場 (1 工場) で製造された再生細骨材、再生粗骨材を使用した。セメントにはアルカリ骨材反応の抑制対策として高炉セメント B 種を中心に用いた。

表-1 再生コンクリートの種類

記号	再生コンクリートの種類		調合条件
	骨材組合せと繊維の有無	セメント	
WV	JIS 細骨材+JIS 骨材 (プラント常備品)	高炉 B 種	スラブ ¹⁾ 18cm 空気量 4.5% 単位水量 185kg/m ³ 以下
VR	JIS 細骨材 (プラント常備品) +再生粗骨材		
RR	再生細骨材+再生粗骨材		
RRf	再生細骨材+再生粗骨材 +有機短繊維		
RR-N	再生細骨材+再生粗骨材	普通ポルト	

3. 実験概要

3.1 実験計画

実験は、実機プラントによる製造性およびフレッシュコンクリートの経時変化を確認するための実機実験と、再生コンクリートの施工性およびひび割れ状況を確認するための基礎構造体を模擬した実大試験体の施工実験を実施した。各実験に用いた再生コンクリートの種類および水セメント比を表-2に、構造体の基礎伏せ図および調合による打設区分を図-1に示す。

表-2 各実験に用いた再生コンクリートの種類および水セメント比

	再生コンクリート種類	W/C (%)	コンクリート量 (m ³)	主な検討項目
実機実験	RR	47.0, 43.0, 50.5	12	W/C と強度の関係
	WV, VR, RR	47.0	7.5	経時変化
施工実験	耐圧盤	WV, VR, RR, RRf	47.0	製造施工性 出来型
	基礎梁	WV, VR, RR, RRf	47.0	
	スラブ	RR-N (, WV-N)	48.0	ポンプ圧送性

*技術研究所 **技術本部建築部

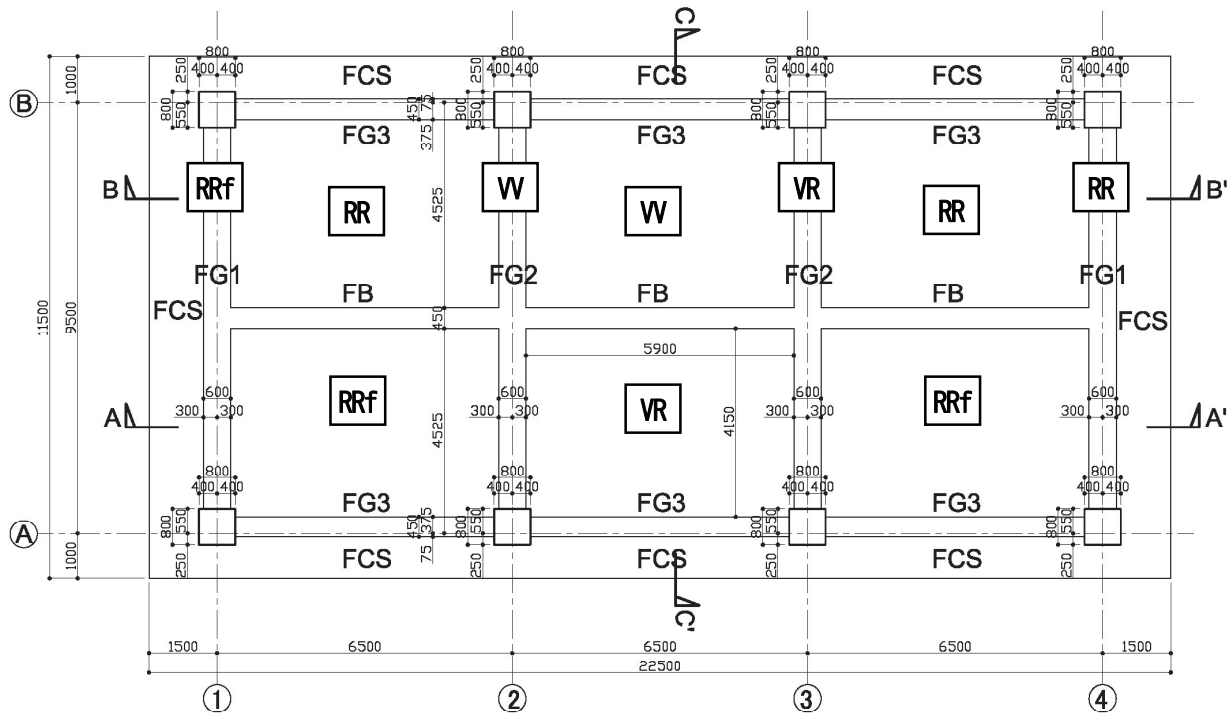


図-1 基礎伏せ図と調合による打設区分

構造体は、耐圧盤、逆梁形状の基礎梁およびスラブからなる。施工実験では打設区画を設け、複数の再生コンクリートを打ち分け、基礎梁打設においては①～④通りの梁別で打ち分けた。

高炉セメントB種を用いた水セメント比 43.0、47.0、50.5%は、JIS 調合の呼び強度ではそれぞれ 33、30、27 N/mm² に相当し、普通ポルトランドセメントの水セメント比 48.0%は呼び強度 30 N/mm² に相当する。

なお、試験体の施工は茨城県つくば市内で行い、再生コンクリートはレディミクストコンクリート JIS 工場で製造した。また、実機実験は7月中旬、施工実験は7月下旬から9月上旬に行った。

3.2 使用材料と調合

使用材料を表-3に、コンクリート調合を表-4に示す。ポリプロピレン繊維の添加率はコンクリート容積に対して 0.1%とした。コンクリートへの投入は、施工現場にてアジテータ車ドラムに直接投入し、3分間高速攪拌した。

再生コンクリートの単位水量は、JIS 調合同一としたものの他、RR47 においては単位水量を 5kg/m³ 増した調合も実施し経時変化の比較を行った。フレッシュコンクリートのスランプは 18±2.5cm、空気量は 4.5±1.5%を管理目標とした。

表-3 使用材料

使用材料	記号	性質
セメント	高炉B種	Cb T社製 密度: 3.04
	普通ポルトランド	Cn T社製 密度: 3.16
細骨材	JIS品	栃木県栃木市産砕砂 密度: 2.61, 吸水率: 1.65%, FM2. 73
	再生	Sr (砕砂相当)
粗骨材	JIS品	新治産硬質砂岩碎石 2005 密度: 2.69, 吸水率: 0.82%, 実積率: 60.2%
	再生	Gr (2005相当)
混和剤	Ad	F社製 AE減水剤 密度: 1.1、 (AE助剤、消泡剤)
有機短繊維	PP	W社製 ポリプロピレン繊維 長さ: max12mm, 密度: 0.91

表-4 コンクリート調合

調合名	再生コンクリート種類	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
				W	Cb (Cn)	S		G	
						Sj	Sr	Gj	Gr
W47	W	47.0	44.9	179	381	763	0	968	0
VR47	VR	47.0	42.8	179	381	728	0	0	978
RR47	RR	47.0	42.8	179	381	0	708	0	978
RRf47	RRf								
RR47w	RR	47.0	42.1	184	392	0	686	0	978
RR43	RR	43.0	42.0	183	426	0	675	0	964
RR50	RR	50.5	43.6	177	350	0	734	0	983
W-N	W-N	48.0	45.1	182	(379)	769	0	967	0
RR-N	RR-N	48.0	43.1	182	(379)	0	715	0	977

3.3 試験項目

再生骨材の試験項目と方法を表-5に示す。アルカリシリカ反応性試験は迅速法とし、評価判定は長さ変化率試験により行った。

コンクリートの基本試験項目と方法を表-6、実験別の検討項目と方法を表-7に示す。フレッシュコンクリートの経時変化試験は120分までとし、スランブの管理値を下回った場合には、高性能 AE 減水剤を後添加して所要の性状のコンクリートが得られるか確認を行った。

施工実験では、再生コンクリートの日内変動を確認するため、全アジテータ車においてフレッシュ試験および圧縮強度試験を実施した。ポンプ圧送試験には、最大吐出量 115 m³/hr、最大吐出圧 4.7 N/mm² のピストン式ポンプ車を使用した。圧送管は、ポンプ車から 125A(5B) 管で水平 50m、鉛直 5 m 配管し、フレキシブルホース 8m を接続した。圧送試験ではコンクリートの吐出量を三段階に変化させ、フレッシュ性状、管内圧力損失および発現強度の影響について検討した。

4. 実験結果

4.1 再生骨材

再生骨材の絶乾密度および吸水率の測定結果を表-8に示す。再生細骨材の吸水率は 3.5~4%、再生粗骨材は 2.5~3% であった。

塩化物量試験とアルカリシリカ反応性試験の結果を表-9に示す。塩化物は再生細骨材、再生粗骨材いずれも NaCl で 0.01% 以下であった。

アルカリシリカ反応性試験の迅速法における長さ変化率の測定結果は、JIS A 1804 の判定基準である 0.10% 未満を満足し、両再生骨材とも”無害”の判定となった。

表-5 再生骨材試験項目と方法

	試験項目	方法	
		再生細骨材	再生粗骨材
骨材	絶乾密度	JIS A 1109	JIS A 1110
	表乾密度		
	吸水率		
	粒度分布	JIS A 1102	
	塩化物量	JIS A 5002	
	アルカリシリカ反応性試験	JIS A 1804 (迅速法)	

表-6 コンクリートの基本試験項目と方法

	試験項目	方法
フレッシュコンクリート	スラブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	コンクリート温度	棒状温度計
硬化コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108, 標準水中養生供試体 材齢 7, 28, 56 (91) 日

表-7 実験別の検討項目と方法

	検討項目	方法	
実機実験	フレッシュコンクリートの経時変化	練り直後から 30 分毎に 120 分までのフレッシュ試験の実施	
	W/C と強度の関係	圧縮強度試験の実施	
施工実験	耐圧盤 基礎梁	再生コンクリートの製造変動	全アジテータ車のフレッシュ、圧縮強度試験の実施
		繊維混入によるフレッシュ性状の変化	繊維投入前後のフレッシュ試験の実施
	スラブ	再生コンクリートの出来形状態	硬化後の表面/ひび割れ観察
		ポンプ圧送による影響	ポンプ配管: 水平 50m+鉛直 5m +フレキシブルホース 8m 吐出量: 30, 60, 90m ³ /h
フレッシュ性状の変動		圧送前(荷卸し)と圧送後(筒先採取)のフレッシュ試験の実施	
スラブ	圧力損失	圧送管に圧力計を 3 点取付け圧力測定を実施	
	発現強度の影響	圧送前(荷卸し)と圧送後(筒先採取)のコンクリート強度試験の実施	
	再生コンクリートの出来形状態	硬化後の表面/ひび割れ観察	

表-8 再生骨材の絶乾密度と吸水率

		再生細骨材	再生粗骨材
		測定値	判定値
絶乾密度	①	2.41	2.52
	②	2.45	2.54
	③	2.44	2.53
	④	2.43	2.49
吸水率 %	①	3.98	2.78
	②	3.54	2.50
	③	3.86	2.61
	④	3.92	2.90

表-9 再生骨材の塩化物試験とアルカリシリカ反応性試験の結果

		再生細骨材		再生粗骨材	
		測定値	判定値	測定値	判定値
塩分 (NaCl)	①	0.003%	0.04%	0.003%	0.01%
	②	0.004%	以下	0.003%	以下
アル骨迅速法	①	0.0152%	0.10%	0.0249%	0.10%
	②	0.0202%	未満	0.0245%	未満

4.2 再生コンクリート

a. 実機実験

① フレッシュ経時変化

水セメント比47%の各再生コンクリートにおけるフレッシュ時のスランプ経時変化を図-2に、フレッシュ性状の一例を写真-1に示す。

再生細骨材と再生粗骨材を用いたRR47ではJIS骨材を使用したVV47よりスランプの経時変化は大きいですが、夏期条件で60分までは目標範囲内にあり、単位水量を5 kg/m³増やすことで120分まで目標範囲内にすることが可能であった。なお、RR47は経時90分でスランプが目標範囲を外れたため、現場で高性能AE減水剤を後添加して所要の性状が得られたことを確認した。

粗骨材のみを再生としたVR47の場合は、120分までスランプは目標範囲にあった。

フレッシュ性状にはコンクリート種類による違いはみられなかった。

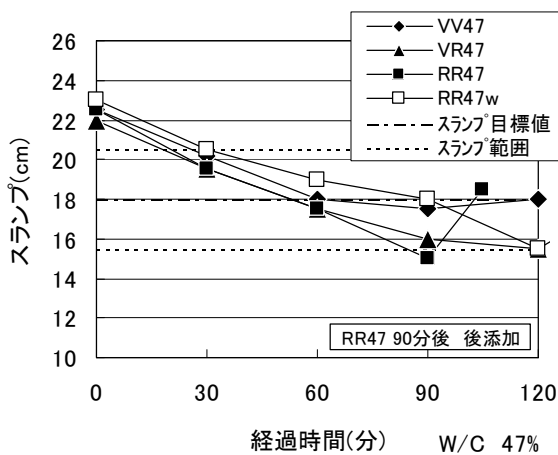


図-2 スランプ経時変化



写真-1 RR47w調合の60分後のフレッシュ状況

② コンクリート種類と圧縮強度の関係

コンクリート種類ごとの圧縮強度の比較を図-3に示す。VR47とRR47の材齢28日圧縮強度はVV47とほぼ同等であったが、長期材齢における強度増進は再生コンクリートのほうがやや大きく、RR47の材齢91日強度は52.7 N/mm²であった。なお、RR47においては経時90分後に高性能AE減水剤を後添加したが、後添加の強度は材齢28日で約2 N/mm²大きかった。

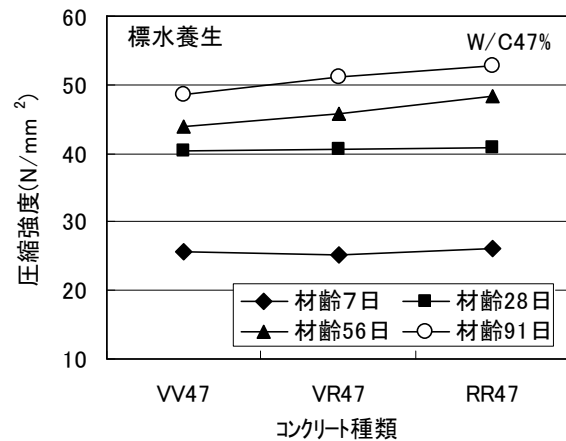


図-3 圧縮強度の比較

③ セメント水比と圧縮強度の関係

RRのセメント水比と材齢28日圧縮強度の関係を図-4に示す。セメント水比と圧縮強度の関係は、水セメント比50.5~43%の範囲ではセメント水比に対して直線的に増加する傾向にあった。また、水セメント比50.5%は呼び強度27 N/mm²相当の強度を、水セメント比43%は呼び強度33 N/mm²相当の強度を十分満足していた。

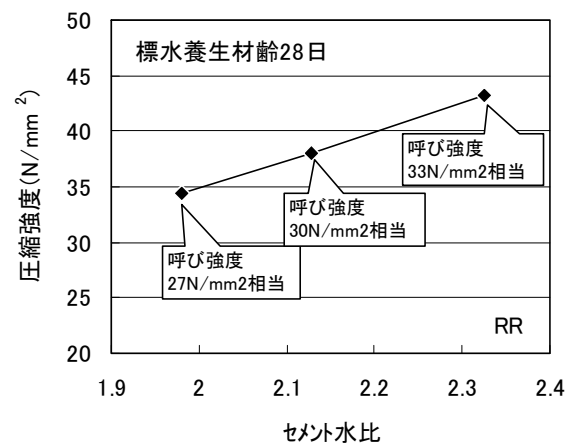


図-4 セメント水比と圧縮強度の関係

b. 施工実験

① フレッシュ性状の日内変動

耐圧盤打設時のコンクリート種類の出荷順序を表-10に、生コン車全車における荷卸しフレッシュ試験のスランプと空気量の測定結果を図-5に示す。なお、繊維混入のコンクリートRRf(3, 6, 8, 10, 13, 16台目)は混入前(RR荷卸し時)と混入後の測定結果を示す。荷卸し時のスランプは全車で目標範囲を満足した。RRはスランプと空気量がVV、VRよりやや大きかったが、通常のコンクリートの出荷管理で製造可能と考えられた。

繊維を混入すると空気量が1.5~2.0%増加する傾向にあったため、RRfの10, 13, 16台目は繊維混入時に消泡剤を添加して、空気量調整を行った。空気量調整後はスランプがやや小さくなる傾向にあった。

表-10 コンクリートの出荷順序

生コン車(台目)	1,2	3	4	5	6	7	8	9	10	11,12	13	14	15	16	17,18
コンクリート種類	RR	RR RRf	RR	VR	RR RRf	VR	RR RRf	VR	RR RRf	W	RR RRf	W	RR	RR RRf	RR

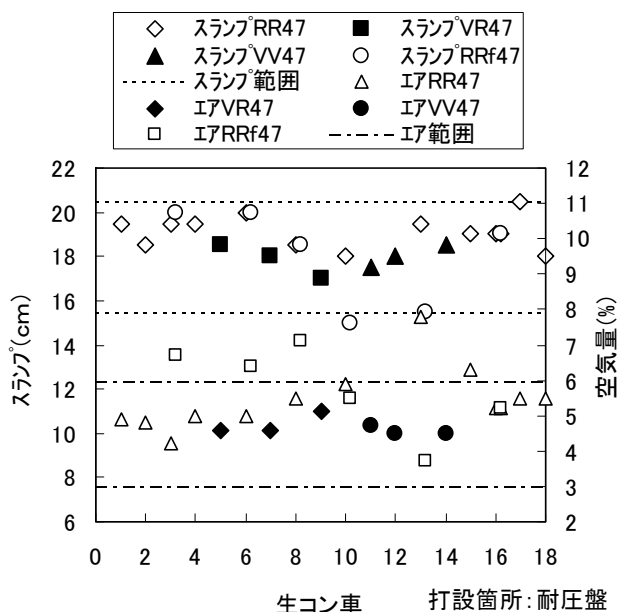


図-5 フレッシュ試験結果

② 圧縮強度の日内変動

耐圧盤と基礎梁打設時の生コン車全車の圧縮強度試験結果を図-6、7にそれぞれ示す。図-6においてRRの圧縮強度はVVおよびVRよりやや小さい傾向にあるが、呼び強度30 N/mm²は十分満足していた。強度低下の理由としては図-5に示すようにVVおよびVRよりも空気量が大きかったことが考えられる。

繊維混入時に空気量調整を行わなかった場合、混入後の圧縮強度は空気量の増加により小さくなったが、10, 16台目の結果から、繊維混入時に空気量調整を適正に行えば、圧縮強度への影響は小さいと考えられる。

基礎梁打設時においても生コン車全車で圧縮強度は呼び強度30 N/mm²を十分満足し、強度発現も耐圧盤打設時の結果とほぼ同じであった。

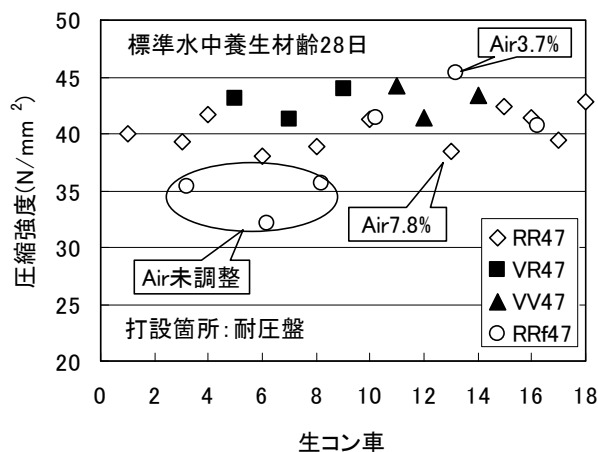


図-6 耐圧盤打設時の圧縮強度試験結果

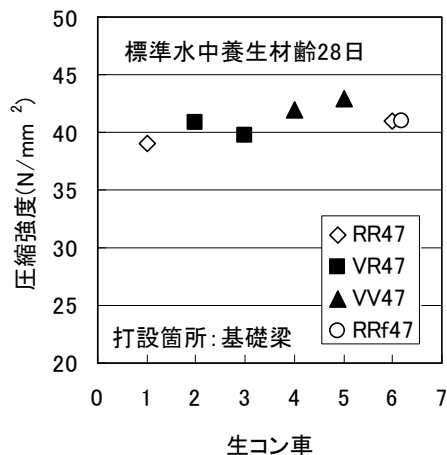


図-7 基礎梁打設時の圧縮強度試験結果

③ 施工性およびポンプ圧送性

バケットにより行った基礎梁打設においては、再生コンクリートと普通コンクリートの施工性には違いは見られなかった。耐圧盤の一部とスラブのコンクリート打設にはポンプ車を用いた。スラブコンクリートは配管50mのポンプ圧送により打設したが、普通コンクリートと同様、問題なく圧送できることを確認した。

圧送前後のフレッシュコンクリートの試験結果を図-8に示す。RR-Nは圧送によりスランプが1 cm小さくなったが、VV-Nでも小さくなっていったため再生コンク

リートと普通コンクリートとの違いはみられなかった。圧送は低速、中速、高速と吐出量を変えて行ったが、圧送速度によるフレッシュ性状への影響は見られなかった。また、圧送や圧送速度による強度への影響は見られなかった。圧送時の管内圧力損失の計測結果を図-9に示す。再生コンクリートの圧送性は普通コンクリートに遜色のないことが確認できた。

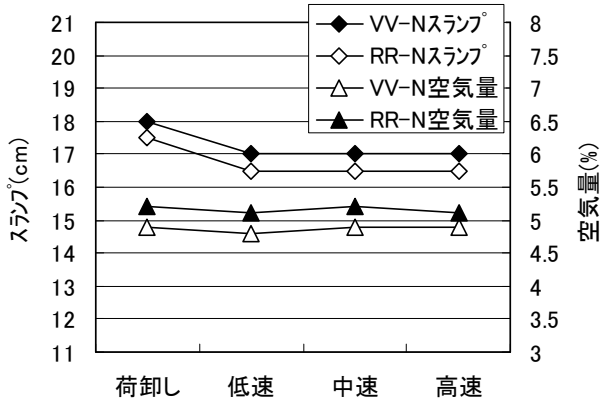


図-8 圧送前後のフレッシュ試験結果

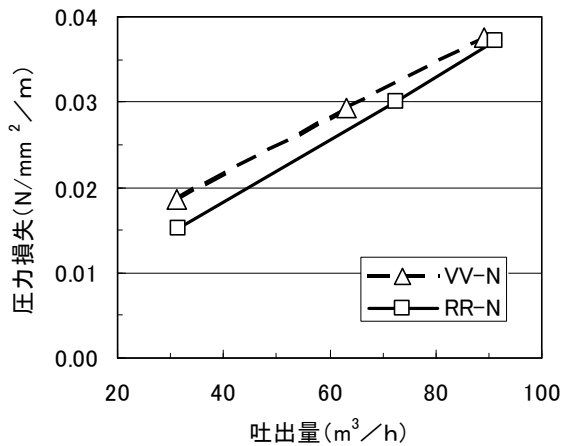


図-9 圧送時の管内圧力損失

④ ひび割れ状況

打設後約1年経過したの耐圧盤においては、いずれのコンクリートにおいてもひび割れは見られず、再生コンクリートは普通コンクリートと同様の状態である。

基礎梁においては耐圧盤の拘束を受けるため、いずれのコンクリートにおいてもひび割れの発生が認められたが、ひび割れ幅は0.2 mm以下であり、再生コンクリートと普通コンクリートのひび割れに違いは見られなかった。繊維を混入した再生コンクリートにおいてもひび割れが発生したが、ひび割れ幅は0.1 mm未満と小さくなっており、繊維混入の効果が見られた。

5. まとめ

細骨材および粗骨材に再生骨材を用いたコンクリートの実機および施工実験の結果を以下に示す。

- i. 再生コンクリートのフレッシュの経時変化は60分までは、普通コンクリートとほぼ同じで、調合調整により60分以降の経時変化にも対応できるため、現場までの輸送時間を事前に把握しておけば、実施工への適用は十分可能である。
- ii. 再生コンクリートの圧縮強度は普通コンクリートとほぼ同等であり、普通コンクリートと同様に水セメント比と圧縮強度の関係から、呼び強度に対応する水セメント比を決定できる。
- iii. 普通コンクリートと同程度のスランプ、空気量であれば、再生コンクリートのポンプ圧送、打込み・締固め、仕上げなどの施工性は、普通コンクリートと変わらない。
- iv. 普通コンクリートと同程度の単位水量で調合が可能であれば、再生コンクリートと普通コンクリートのひび割れ状況に違いは見られない。

6. おわりに

施工実験の結果、今回の中品質の再生骨材を用いた再生コンクリートは十分実物件に適用できる事がわかった。今後は、再生コンクリートの耐久性を把握するため、試験室での耐久性試験や打設した試験体のひび割れ状況の観察を長期にわたり行う予定である。また、再生骨材の品質は、原コンクリート塊および製造方法によって異なるので、今後も再生骨材および再生コンクリートのデータを蓄積していきたい。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会、「建築材料とリサイクル、2004年度日本建築学会大会(北海道)材料施工部門研究協議会資料」、2004.8
- 2) 島 裕和他、「加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収技術の開発」、コンクリート工学年次論文集Vol.22-2, pp.1093-1098, 2000
- 3) 黒田泰弘他、「構造用再生骨材コンクリートによる現場内リサイクル」、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)2004, pp.61-64, 2004.8