

水力発電所水車基礎への再生骨材コンクリートの適用

北海道電力株式会社

正会員○石黒忠雄

橘井和也

正会員 峯田 稔

北海道大学大学院 工学研究院 正会員 佐藤靖彦

1. はじめに

運転開始以来約 70 年を経過した水力発電所のリブレースにおいて、水車基礎の解体に伴い発生したコンクリート塊を用い、簡易処理した再生粗骨材とバージン骨材を混合する方法で再生骨材コンクリートを製造し、新設する水車基礎コンクリートに適用した。本稿は、実構造物に適用するための再生骨材コンクリートの配合試験に関する検討結果および施工実績について報告するものである。

2. 室内配合試験の結果

原コンクリートの特性、再生粗骨材の製造方法および物理的性質については、既報¹⁾を参照願いたい。

4 種類の配合を用意し、各種実験を行った。コンクリート配合と試験結果を表-1 と図-1~5 に示す。当検討では、再生粗骨材とバージン粗骨材の混合率（合成吸水率）を指標とし、合成吸水率 3.73%（配合ケース 1）および 6.43%（配合ケース 2）と、比較検討用の普通コンクリート配合（吸水率 1.33%，配合ケース 3）の 3 水準を設定し、コンクリートのフレッシュ性状、硬化後性状の確認試験を行った。その結果、再生骨材コンクリートは普通コンクリートよりも力学特性が幾分小さい傾向であるものの、再生骨材コンクリート同士の比較においては、混合率（合成吸水率）がフレッシュ性状および圧縮強度の発現性に及ぼす影響は認められないこと（図-1 参照）、静弾性係数は、配合ケース 2 では示方書式よりも幾分小さい傾向であるが、配合ケース 1 においては混合率（合成吸水率）の影響は認められないこと（図-2 参照）、また、長さ変化率は、混合率（合成吸水率）が大きいほど低下する傾向があり（図-3 参照）、かつ、混合率の増加とともにほぼ直線的に低下する傾向を示すことを確認した（図-4~5 参照）。

なお、室内配合試験における示方配合は、配合ケース 1 に対し、単位水量が限界の推奨値 $165\text{kg}/\text{m}^3$ 以下となるよう混和剤を変更し決定した（配合ケース 4）。

3. 実機配合試験の概要

実機の配合試験の結果およびフレッシュ性状が、先に示した表-1（表中「配合ケース実機」参照）と図-6~8 に示されている。室内配合試験における示方配合に対し、同様の配合条件で実施工に使用する生コンプラントにおいて配合試験を行い、フレッシュ性状の経時変化、圧縮強度および静弾性係数を把握し、これらが施工性能、力学的性質に及ぼす影響について確認した。再生粗骨材は、20分程度のプレウェットングにより吸水させた後、表乾状態にあることを目視確認し使用した。30分後における目標スランプは $12\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量は $4.5\pm 1.5\%$ とした。コンクリート練混ぜは、容量1500Lの二軸強制練りミキサーを使用し、セメント、細骨材、粗骨材を空練りした後、水、混和剤を投入し60秒間練混ぜ、アジテーター車に排出した後5分間低速攪拌し静置した。フレッシュ性状の経時変化の測定については、都度、アジテーター車において15秒間高速攪拌しサンプリングした。

試験項目を表-2に示す。フレッシュ時は、スランプ、空気量およびコンクリート温度を、硬化後は、圧縮強度、静弾性係数をJISに準拠して測定した。経時30分の測定では、ポンプ試験圧送後のサンプリング調査も行った。

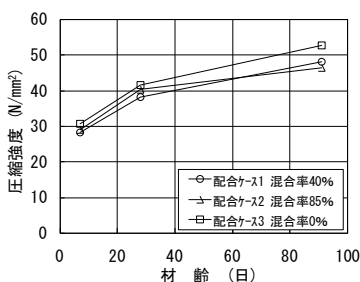


図-1 圧縮強度と材齢の関係

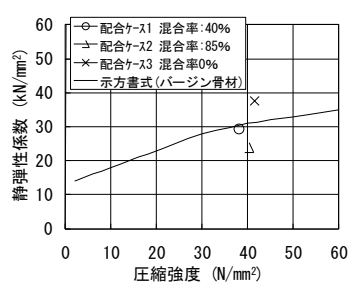


図-2 静弾性係数と圧縮強度の関係

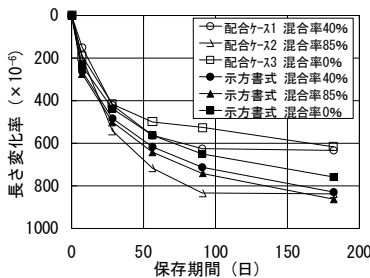


図-3 長さ変化率と材齢の関係

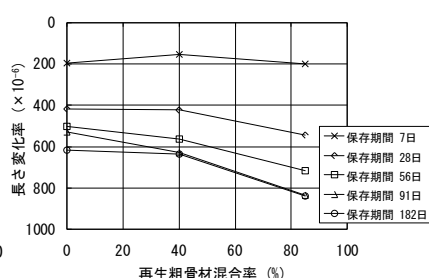


図-4 長さ変化率と混合率の関係

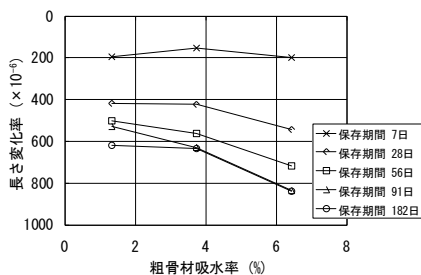


図-5 長さ変化率と吸水率の関係

キーワード 再生骨材コンクリート、簡易処理、水力発電所、吸水率、乾燥収縮

連絡先 〒044-0034 虻田郡倶知安町南 4 条西 3 丁目 35 番地 1 北海道電力(株)倶知安水力センター TEL 0136-22-2834

表-1 コンクリート配合およびフレッシュ性状一覧

配合 ケース	再生骨材 混合率	粗骨材 吸水率 (合成)	粗骨材の 最大寸法	スラン プの 範囲	空気量 の範囲	水セメント比	フライアッシュ 置換率	細骨材率	単 位 量 (kg/m ³)														フレッシュ性状		
									水		フライアッシュセメントB種		細骨材		粗骨材		再生粗骨材		混和剤						
									W	C+F	セメント C	フライアッシュ F	陸砂 S1	砕砂 S2	砕石 G2005	砕石 G4020	再生 R2005	再生 R4020	AE 減水剤 (g/m ³)	高性能 AE減水剤	AE剤 (g/m ³)	スラン プ	空気量	温 度	
									(%)	(%)	(mm)	(cm)	(%)	W/(C+F) (%)	F/(C+F) (%)	s/a (%)	W	C+F	C	F	S1	S2	G2005	G4020	R2005
1	40	3.73	40	18±2.5	4.5±1.5	45	15	40	168	373	317	56	315	385	243	365	162	243	932	—	10.44	18.5	4.5	19.3	
2	85	6.43						43	172	382	325	57	335	409	54	81	305	457	955	—	8.79	18.5	4.7	19.2	
3	0	1.33						15	165	367	312	55	317	388	434	651	—	—	918	—	11.01	18.5	4.2	18.7	
4	40	3.73						42	146	325	276	49	350	428	249	373	166	249	—	2.92	14.63	19.0	5.2	19.5	
実機	40	3.86						42	146	325	276	49	347	424	376	251	167	251	—	1.95	7.80	13.5	5.2	21.0	

[使用材料] セメント：普通ポルトランドセメント：密度 3.16g/cm³，比表面積 3,350cm²/g
混和材：フライアッシュ JIS II 種：密度 2.33g/cm³，比表面積 3,740cm²/g
細骨材：S1(陸砂)：密度 2.63g/cm³，吸水率 2.99%，粗粒率 1.41，S2(砕砂)：密度 2.65g/cm³，吸水率 1.87%，粗粒率 2.99
粗骨材：砕石：密度 2.70g/cm³，吸水率 1.39%，粗粒率 7.23 再生粗骨材：比羅夫発電所産
混和剤：配合ケース1, 2, 3 :AE減水剤：リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体，AE剤：アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤
配合ケース4, 実機：高性能AE減水剤：ポリカルボン酸系化合物，AE剤：ロジン酸カリウム塩とポリオキシエチレンアルキルエーテル

4. 試験結果

4.1 フレッシュ性状

実機配合のフレッシュ性状の経時変化を図-6に示す。図中の△印は経時30分後におけるポンプ試験圧送後のフレッシュ性状を示す。ポンプ試験圧送後のスランブは9.5cm，空気量は3.7%であり，目標性能のほぼ下限値を示すが，目視観察においては，コンクリートポンプの作動および圧送負荷の不具合，吐き出されたコンクリートの材料分離等のいずれも認められなかった。

4.2 圧縮強度

配合ケース4と実機配合の圧縮強度と材齢の関係を図-7に示す。実機配合は配合ケース4よりも圧縮強度の増加は小さいが，40N/mm²（材齢28日）程度の強度が確保され，目標強度28N/mm²（材齢28日）を満たす結果となった。

4.3 静弾性係数

配合ケース4と実機配合の応力-ひずみ曲線により求めた配合ケース4と実機配合の静弾性係数は，それぞれ29.3kN/mm²，29.9kN/mm²であった。静弾性係数と圧縮強度との関係を図-8に示す。図中の実線はコンクリート標準示方書式による計算値を示す。いずれの配合ケースも静弾性係数は計算値と良く一致する結果となった。

5. 施工実績

5.1 適用概要

再生骨材コンクリートの打設状況を写真-1に示す。再生粗骨材のプレウェッティング，コンクリート練混ぜは，実機試験と同様の方法とし適宜管理した。製造から打込み完了までの平均時間は，アジテーター車積込み時を練混ぜ後0分とした場合，約40分であった。ポンプ圧送筒先において，スランブロスが幾分大きい傾向であったが，コンクリートの材料分離は認められず，内部振動機による締固め作業に不具合もなく，全般的に良好なコンクリートの打設が行われた。そして，養生期間中の乾燥によるひび割れが発生しないよう十分な湿潤養生に努めた。

5.2 品質管理

再生骨材コンクリートの品質検査結果を図-9に示す。硬化後性状については，全ての供試体における圧縮強度（標準養生）は平均値40N/mm²（材齢28日）程度であり，室内および実機配合試験と遜色なく目標強度を満たす結果となった。また，コンクリートの現地受入れ検査（4m³，40m³，100m³荷卸し時）についても，全ての試験項目において目標性能を満たす結果となった。

6. まとめ

- (1) 圧縮強度発現性は実施工においても室内および実機配合試験時と遜色なく，その値は40N/mm²程度であった。
- (2) 静弾性係数は室内および実機配合試験時のいずれもコンクリート標準示方書と概ね一致することを確認した。
- (3) 実施工においてポンプ圧送筒先でのスランブロスが幾分大きい傾向にあったが，施工性能は確保されていることを確認した。

【謝 辞】 本検討にあたり北電総合設計㈱ 齋藤敏樹氏，比羅夫発電所 1・2 号水車基礎更新工事（前田・瀬尾・岩倉）共同企業体に多大なる協力を得た。ここに感謝の意を表す。

【参考文献】 1) 石黒忠雄，橋井和也，峯田稔，佐藤靖彦：水力発電所水車基礎への再生骨材コンクリートの利用検討について，土木学会第 66 回年次学術講演会，V-613,pp.1225-1226,2011。

表-2 試験項目

試験項目	試験方法	種別		備考
		室内	実機	
スランブ	JIS A 1101	○	○	経時変化共 0, 30, 60, 90分
空気量	JIS A 1128	○	○	経時変化共 0, 30, 60, 90分
コンクリート温度	JIS A 1156	○	○	経時変化共 0, 30, 60, 90分
圧縮強度	JIS A 1108	○	○	標準養生 7, 28, 91日
静弾性係数	JIS A 1149	○	○	標準養生 28日
乾燥収縮	JIS A 1129-1	○	○	乾燥材齢 7, 28, 56, 91, 182日

※実機試験に際しては乾燥収縮量測定装置により測定

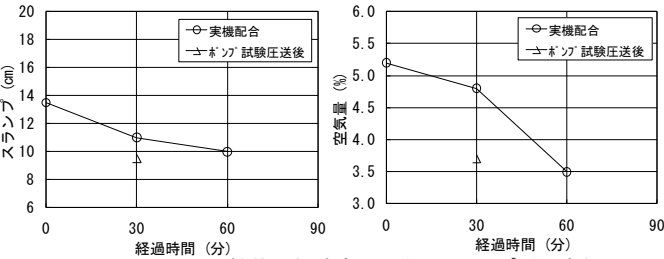


図-6 フレッシュ性状の経時変化（左：スランブ，右：空気量）

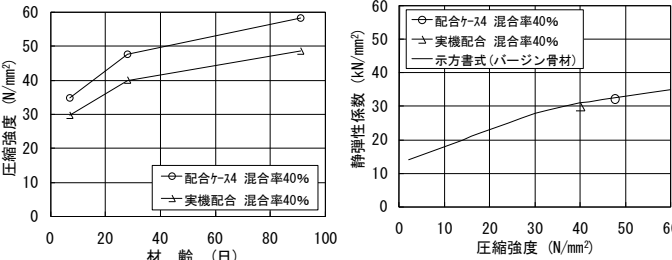


図-7 圧縮強度と材齢の関係

図-8 静弾性係数と圧縮強度の関係



写真-1 コンクリート打設状況

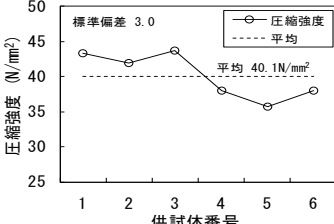


図-9 圧縮強度の品質検査結果