

論文 骨材強度がRCD用コンクリートの性状に及ぼす影響

土屋浩樹*¹・河野広隆*²・森濱和正*³・加藤俊二*⁴

要旨：ダム合理化施工における、さらなる合理化の一手法として、RCD用コンクリートにおける低品質骨材を利用することを目的とした骨材評価基準の確立を目指している。ここでは、低品質骨材を用いた際の練混ぜ時および転圧締め時におけるフレッシュコンクリートの性状、圧縮強度と骨材強度の関係について検討した。その結果、修正破碎率や圧裂強度、骨材の圧縮強度、弾性係数等を用いることにより、RCD用コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響や圧縮強度を推定できる可能性があることが分かった。
キーワード：低品質骨材、骨材強度、RCD用コンクリート、弾性係数

1. まえがき

ダム用コンクリート骨材の利用にあたり、環境保全、省資源、合理化施工等の観点から、今まで廃棄されていた低品質骨材を利用することを検討している。これは現在の基準において、内部コンクリートに使用されている骨材は外部コンクリートと同様の品質を求められているが、内部コンクリートの役割を考慮すると、骨材の品質はゆるやかであってもよいと考えられるためである。ここではRCD用コンクリート（以下、'コンクリート'と呼ぶ）において低品質骨材を活用するため、骨材評価基準を確立することを目的とした試験、すなわち、強度の異なる数種の骨材を用いた練混ぜによる骨材の破碎とフレッシュコンクリートの性状に関する試験、転圧を考慮したフレッシュコンクリートの破碎試験、圧縮強度試験を実施し、骨材強度がコンクリートの性状に与える影響を検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用骨材および試験配合

実験に用いた骨材は風化および変質度の程度により区分されたK産地の砂岩AとD、G産地の花崗閃緑岩I、III、IVである（以下、'K-A'というように産地-分類で表す）。細骨材にはK-Aを破碎して使用した。各骨材の物理試験結果ならびに強度試験結果を表-1に示す。破碎値、修正破碎率は、BS 812に準じた破碎試験を行い、破碎値は全骨材量に対する5mmふるいを通過した質量の百分率、修正破碎率は破碎試験前後の各ふるい目の残留率の差の絶対値の総和を2で除した値である。圧縮強度は、各種類5個ずつ採取したφ5×10cmのコアの供試体を圧縮試験した結果より、強度の確率分布を考慮して求めた結果である[1], [2]。圧裂強度は文献[3]に準じた点荷試験結果である。

これらの骨材を使用し、表-2に示す配合のコンクリートにより以下の実験を行った。

-
- * 1 (株)アイ・エヌ・エー、(正会員)
 - * 2 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室長、工修(正会員)
 - * 3 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室主任研究員、(正会員)
 - * 4 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室研究員、(正会員)

配合は各材料の単位容積を一定にし、セメントは中庸熟ポルトランドセメントを、混和剤にはリグニンスルホン酸化合物を主成分と

表-1 骨材の物理試験結果および強度試験結果

骨材の種類	粒度	表乾比重	絶乾比重	吸水率 %	安定性 損失量 %	すりへり 減量 %	破砕値 %	修正 破砕率 %	弾性 係数 ×10 ⁴ N/mm ²	圧縮 強度 N/mm ²	圧裂 強度 N/mm ²
K-A	4005	2.662	2.651	0.39	0.10	17.6	19.1	26.3	6.77	184.1	28.2
K-D	4005	2.550	2.479	2.89	3.78	31.8	24.7	30.4	4.60	96.2	11.8
G-I	4005	2.664	2.648	0.61	0.86	*14.8	21.0	21.0	7.13	193.6	23.7
G-III	4005	2.631	2.592	1.52	8.52	*19.8	26.0	26.0	5.54	151.5	15.6
G-IV	4005	2.612	2.537	2.97	32.60	28.3	31.0	31.0	4.69	129.1	10.8
K-A	細骨材	2.661	2.640	0.79	0.32	-	-	-	-	-	-

粒度4005とは骨材の粒度範囲が40mm～5mmであることを指す。

*印の試験値は4010のものである。

表-2 コンクリートの配合

粗骨材の種類	粗骨材 最大寸法 Gmax (mm)	水結合 材比 W/(C+F) (%)	フライッシュ 混合率 F/(C+F) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位粗骨 材絶対容 積 (l/m ³)	単位量(kg/m ³)				
						水 W	結合材 C+F	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤
K-A	40	66.9	30	42	0.476	105	157	918	1266	0.392
K-D									1214	
G-I									1266	
G-III									1252	
G-IV									1243	

するAE減水剤を使用した。

2. 2 練混ぜによる骨材の破砕とフレッシュコンクリートの性状に関する試験

練混ぜによる骨材の破砕状況とフレッシュコンクリートの性状の関係を検討するために、容量100ℓの二軸強制練りミキサを使用し、1骨材につき40ℓ練り混ぜた。

試験は以下の手順にて実施した。①コンクリートを1.5分練り混ぜた後、VC値を測定するだけ(約10ℓ)のコンクリートを採取し、VC値を測定した。②VC値を測定後のコンクリートは、骨材の破砕状況を調べるため骨材を洗い出し、ふるい分けを行った。③残りのコンクリートをさらに3.5分(合計5分)練り混ぜた後、同様の処理を行った。④同様のことを練混ぜ時間が合計10分の場合にも行った。⑤合計10分練り混ぜた後に残ったコンクリートについては、骨材を全量洗い出しふるい分けを行った。

2. 3 フレッシュコンクリートの破砕試験

コンクリートの転圧締め時における骨材の破砕状況について検討するために、骨材Kを使用して、容量50ℓの二軸強制練りミキサを使用して1骨材につき30ℓ練り混ぜた。

試験は以下の手順にて実施した。①コンクリートを1.5分練り混ぜ後、φ154mm×140mmの破砕試験容器にコンクリートを詰め、フレッシュコンクリートの破砕試験を行った。試験は載荷重を100kN、200kN、400kN、800kNの4ケースに変化させて行い、試験終了後には載荷後の骨材の破砕状況を調べるために骨材を洗い出し、ふるい分けを行った。②残りのコンクリートについては全量骨材を洗い出し、ふるい分けを行った。

2. 4 コンクリートの圧縮強度試験

φ150×300mmのコンクリート供試体を作製し、圧縮強度試験を実施した。コンクリートは3層に分けて詰め、各層ごとに振動締め機でモルタルが浮上するまで締め固めた。それにあわせて、表-2の配合から粗骨材を除いたφ100×200mmのモルタル供試体をJSCE-F 506-1995に準じて作製し、圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験時にはコンプレッソメータを用いてひずみを測定し、弾性係数を求めた。

3. 練混ぜによる骨材の破碎とコンクリートのフレッシュ性状に関する試験結果

3. 1 練混ぜによる骨材の破碎状況

練混ぜ時間と粗骨材減少率・粒度変化率の関係、練混ぜ時間とVC値の関係を図-1～2に示す。なお、本文中でいう'粗骨材減少率'とは試験前後の粗骨材減少量の百分率であり、'粒度変化率'とは練混ぜ前後の各ふるい目の残留率の差の絶対値の総和を2で除した値である。

図-1より、各練混ぜ時間における粗骨材減少率および粒度変化率はばらつきをみせているが、今回試験したコンクリート全体でみると、練混ぜ時間が長いほど粗骨材減少率ならびに粒度変化率が増加する傾向が伺える。また、同種類の骨材で比較すると相対的に強度が低い骨材の方が粗骨材減少率および粒度変化率が大きい傾向がみられた。

図-2では練混ぜ時間が長くなるとVC値は大きくなる傾向がみられた。これは粗骨材が減少し、細骨材率が多くなったためと考えられる。

3. 2 練混ぜによる骨材の破碎結果と破碎・すりへり試験結果との関係

練混ぜによる粗骨材減少率、粒度変化率と破碎・すりへり試験結果を一次回帰したところ、修正破碎率と粒度変化率の相関係数をもっとも大きい値を示した(図-3)。

今回の試験では練混ぜ時間の違いによる粗骨材減少率、粒度変化率の変化の度合いは試験結果がばらついたため明確ではなかった。しかしながら、修正破碎率と粒度変化率の関係については比較的高い相関を得られた。検討を重ね、予測精度を向上することによって、破碎試験結果より求められる修正破碎率から、練混ぜによる粒度変化率の予測が可能と考えられる。

4. フレッシュコンクリートの破碎試験結果

4. 1 フレッシュコンクリートの破碎試験結果

載荷重と粗骨材減少率、粒度変化率の関係を図-4に示す。載荷重と粗骨材減少率の関係をみると、サンプリング量が約3ℓときわめて少量なことに加えて最大寸法40mmの骨材が含まれていることから、粗骨材減少率および粒度変化率ともばらつきがみられるが、練混

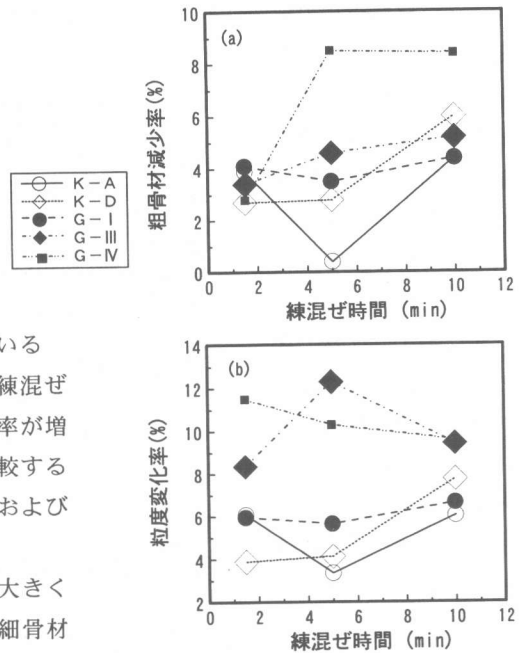


図-1 練混ぜ時間と粗骨材減少率、粒度変化率の関係

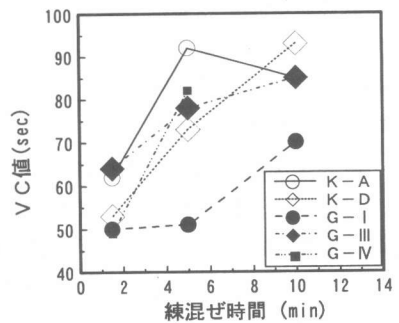


図-2 練混ぜ時間とVC値の関係

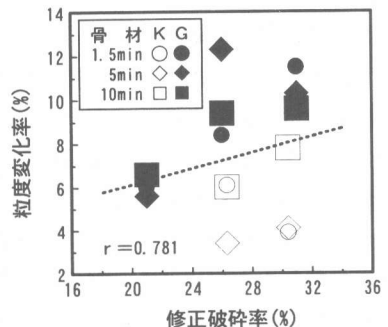


図-3 修正破碎率と粒度変化率の関係

ぜによる骨材の破碎を考慮すると（図-4斜線部分）載荷重にかかわらず骨材の破碎はわずかなものと考えられる。

4. 2 試験前後の粒度分布の変化状況の比較

K-Aについて、載荷重400kNにおけるフレッシュコンクリートの破碎試験と今回の試験に先立って行われた骨材の破碎試験の粒度区分ごとの変化状況を比較した結果を図-5に示す。なお、骨材の破碎試験は粒度4005であり、試験容器の内径φ305mm×280mm、載荷重1600kNとフレッシュコンクリートの破碎試験の試験容器および載荷重のそれぞれ2倍、4倍である。

フレッシュコンクリートの破碎試験における粒度分布は、骨材の破碎試験のものと比較して各粒度の変動が小さいもの

の、破碎状況は類似している。この結果より、骨材の破碎試験により、転圧による骨材の破碎性を評価できる可能性がある。また、コンクリートの場合の粒度変化が小さくなった理由として、骨材の破碎試験は骨材どうしが直接接触しているため、載荷による応力がそのまま骨材に伝達されるのに対して、フレッシュコンクリートの破碎試験では、骨材間にモルタルが介在することが考えられる。

5. 圧縮強度試験結果

5. 1 骨材強度と圧縮強度の関係

圧縮強度と材齢の関係を図-6に示す。図-6中のモルタル2はG-IVを使用したコンクリート供試体と同一日に作製したものの、モルタル1はその他の骨材を使用したコンクリート供試体と同一日に作製したものである。図中の曲線は式(1)によって回帰した結果である。また、圧縮強度と骨材強度（圧裂強度、圧縮強度、破碎値、修正破碎率）の関係を図-7に示す。なお、図-7中の相

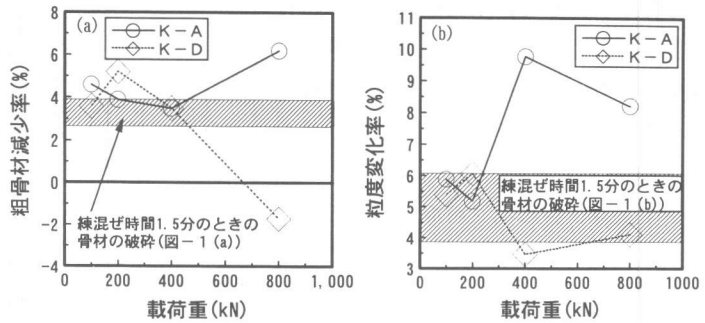


図-4 載荷重と粗骨材減少率、粒度変化率の関係

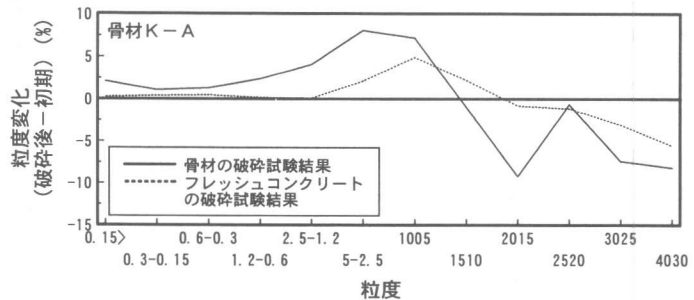


図-5 フレッシュコンクリートの破碎試験結果と骨材の破碎試験結果による粒度区分別の粒度変化状況

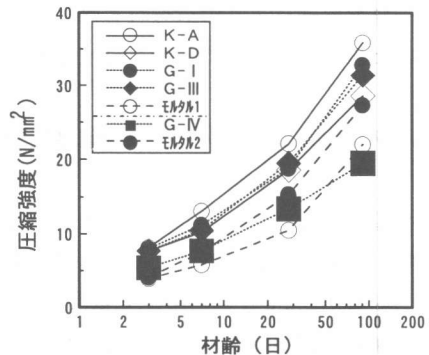


図-6 圧縮強度と材齢の関係

関係数 r は定数型の状態指示変数 [4] を導入して回帰した値であり、相関係数はいずれも高い値を示した。図-7の結果より、相対的に強度が低い骨材を使用したコンクリートでは、圧縮強度は低くなる傾向がみられた。

$$f_c = \frac{t}{(1/a) + (t/b)} \quad (1)$$

ここに、 t : 材齢(日)、 a : 初期接線を表す回帰係数、 b : 材齢が ∞ のときの強度を表す回帰係数

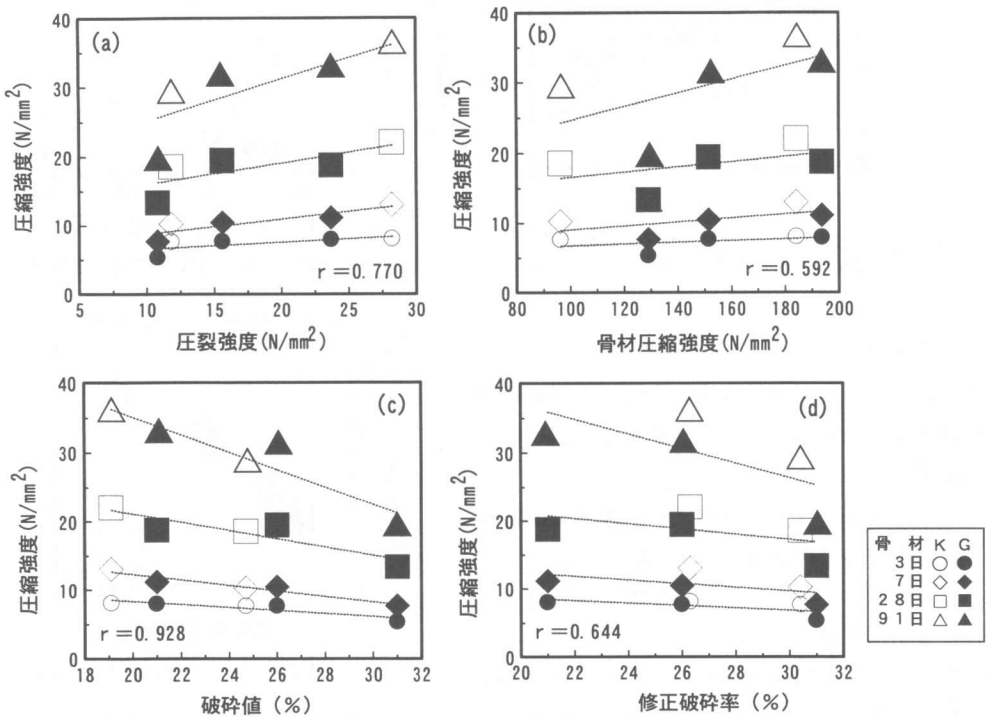


図-7 圧縮強度と骨材強度の関係

コンクリートとモルタルの圧縮強度の比 f_c/f_m とモルタル圧縮強度 f_m の関係を図-8に示す。なお、図中には式(1)で回帰した結果もあわせて示す。骨材の種類により圧縮強度比が異なる結果となったのは、モルタルの配合が同一であることを考慮すると、コンクリートの圧縮強度は骨材の圧縮強度に影響されると考えられる。また、骨材強度がコンクリートに与える影響を明らかにするため、圧縮強度時に骨材に作用する応力から骨材の破壊確率を求めた。その結果を図-9に示す。強度が低い骨材ほど、低い圧縮強度にて破壊される確率が大きくなるのが分かり、強度が低い骨材を使用したコンクリートでは骨材の破壊によってコンクリートの破壊が生じる可能性が高いと予想される。

5. 2 骨材強度と弾性係数の関係

圧縮強度と1/3割線弾性係数の関係を図-10に示す。圧縮強度と1/3割線弾性係数の間には正の相関関係がみられた。コンクリートの弾性係数に対する骨材の弾性係数の影響を検討するため、

コンクリートを骨材とモルタルの二相材として考え、それぞれポアソン比、骨材とモルタルの附着を考慮した弾性係数算定式より求めた弾性係数との関係を求めた[5]。その結果、計算より求めた弾性係数は実測の弾性係数と近似した(図-11)。

この結果から、モルタルの強度特性が既知であり、骨材の弾性係数が分かれば、コンクリートの弾性係数や圧縮強度を推測することが可能といえる。

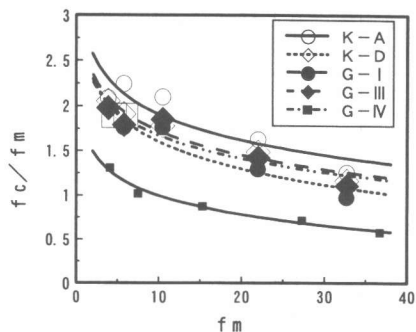


図-8 コンクリートとモルタルの圧縮強度の比 f_c/f_m とモルタルの圧縮強度 f_m の関係

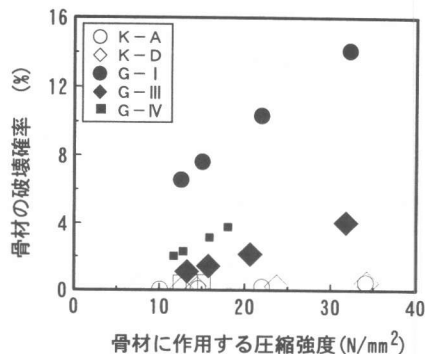


図-9 骨材に作用する圧縮強度と骨材の破壊確率

6. まとめ

- ①練混ぜによる骨材の粒度変化率は、骨材の破碎試験結果から求められる修正破碎率と比較的高い相関を示した。
- ②フレッシュコンクリートの破碎試験による粒度分布は、骨材の破碎試験結果と類似した。
- ③RCD用コンクリートの圧縮強度は、骨材の強度特性と相関があった。
- ④モルタルの強度特性が既知であり、骨材の弾性係数が分かれば、コンクリートの弾性係数を推測することが可能と考えられる。

参考文献

- [1] 森濱和正ほか：コンクリート用骨材の各種強度試験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 18, No.1, pp. 417~422, 1996. 7
- [2] 加藤俊二ほか：骨材強度と練混ぜ時の骨材の破碎性に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 19, 1997. 6
- [3] 土質工学会：岩の調査と試験，pp. 293~298, 1988. 5
- [4] 早川毅：回帰分析の基礎，朝倉書店，pp. 138~150, 1986. 10
- [5] 小阪義夫ほか：コンクリートのヤング係数に及ぼす骨材の影響について，セメント技術年報 22, pp. 260~265, 1968

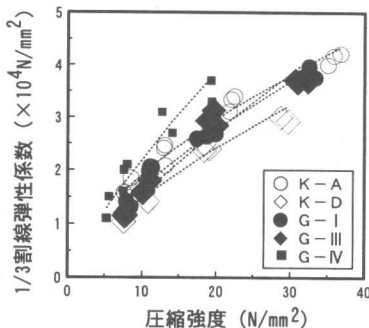


図-10 圧縮強度と1/3割線弾性係数の関係

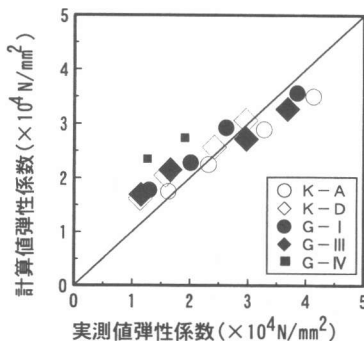


図-11 弾性係数の実測値と計算値の比較