

# 論文 再生粗骨材の超硬練り貧配合コンクリートへの利用

加賀谷 誠<sup>\*1</sup>・徳田 弘<sup>\*2</sup>・佐藤 正一<sup>\*3</sup>・水口 大輔<sup>\*4</sup>

**要旨：**再生粗骨材を用いた超硬練り貧配合コンクリートのVC値および空気量は川砂利を用いた場合より大きくなるが、圧縮強度は大きくなること、力学的性質は再生粗骨材の原コンクリートの強度が大きいほど大きくなること、再生粗骨材の製造時に発生する微粉の添加によって強度の改善がなされること、また、圧縮強度と引張強度の比は普通コンクリートと同程度であり、弾性係数と圧縮強度の比はRCD用コンクリートと同程度であることなどを明らかにした。

**キーワード：**再生粗骨材、微粉、超硬練り貧配合コンクリート、VC値、力学的性質

## 1. まえがき

できるだけ少ない破碎エネルギーで製造された再生骨材が低品質であっても、これをコンクリートに用いたとき、所要の品質が確保できるのであれば、再生コンクリートの利用促進のための一手法として利用できると考えられる。Hansenらは、再生骨材の原コンクリートと再生コンクリートの強度のバランスによってはこれが可能であることを述べている[1]。

本研究では、大型構造物の基礎コンクリートへの利用を想定し、超硬練り貧配合コンクリートに再生粗骨材の利用を試みた。このため、普通および高強度に区分したコンクリート塊をジョークラッシャで破碎して2種類の低品質再生粗骨材を製造し、これら再生粗骨材の品質および再生粗骨材製造時に発生する0.15mm以下の微粉の使用が超硬練り貧配合コンクリートの性質に及ぼす影響について検討し、川砂利を用いた場合と比較した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

普通セメント、川砂（比重2.56、吸水率3.14%、FM2.68）、川砂利（比重2.55、吸水率3.34%、最大寸法40mm）、再生粗骨材A、BおよびAE剤を使用した。

普通および高強度の原コンクリートを用いて再生粗骨材AおよびBをジョークラッシャにより製造した。その最大寸法は、40mmであって、標準粒度範囲に適合するよう粒度調整し、洗浄せずに使用した。一部の実験では、粗骨材Aを製造する際に発生した0.15mm以下の微粉を単位細骨材量の一部として使用した。原コンクリートは、製造後1～2年経過したものであって、その品質を表-1に示す。また、表-2に使用した再生粗骨材および川砂利の物理試験結果を示す。一次破碎のみで再生粗骨材を製造したことにより吸水率やモルタル付着率が大きく、再生粗骨材の分類[2]によると3種に相当する。表-3に製造したコンクリートの配合を示す。コンシステンシ

\*1 秋田大学助教授 鉱山学部土木環境工学科、工博（正会員）

\*2 秋田大学教授 鉱山学部土木環境工学科、工博（正会員）

\*3 秋田大学技術官 鉱山学部土木環境工学科

\*4 秋田大学大学院 鉱山学研究科土木環境工学専攻

表-1 原コンクリートの品質

種別	使用骨材	W/C (%)	材齢28日の圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
A	川砂利(MS:25mm) 川砂	60.0	248
B	碎石(MS:20mm) 川砂	35.2	580

表-2 粗骨材の物理試験結果

試験名	A骨材	B骨材	川砂利
洗い試験員失量 [%]	0.084	0.35	0
表乾比重	2.32	2.37	2.55
吸水率 [%]	6.96	6.39	3.34
単位容積質量[kg/m <sup>3</sup> ]	1276	1277	1634
実積率 [%]	55.0	53.9	64.1
すりへり減量 [%]	39.1	33.9	22.0
モルタル付着率 [%]	48.9	57.9	—

表-3 コンクリートの配合

M. S. (mm)	VC値 (sec.)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
					W	C	S	G			混和剤
								5~10■	10~20■	20~40■	
40	20±5	6±1	60	36	107	178	719	257	385	642	0.11
			70	38	108	154	766	251	376	627	0.09
			80	40	109	136	811	244	366	611	0.08

一を振動台式コンシステンシー試験方法 (RCD用) に基づいて判定したが、目標値の設定に際しては、前例がないため文献[3]に準じてVC値=20±5秒と定めた。単位水量および細骨材率を変えたコンクリートを強制練りミキサによって製造し、所要のVC値が得られるように配合を選定した。また、VC値測定後にコンクリートの単位容積質量を測定し、重量方法により空気量を求めた。

### 2.2 練りませによる粗骨材の破碎割合の測定

練りませ直後のバッチから約8ℓのコンクリート試料を採取し、質量を計量した。その試料を20mmふるいの上で水洗いし、ふるいとどまった試料中の表乾状態における粗骨材質量Aを測定した。次に、コンクリートの単位容積質量に対する20~40mm部分の単位粗骨材量の割合を用いて練りませ前における試料中の粗骨材量Bを求め、次式により練りませによる粗骨材の破碎割合を求めた。

$$\text{練りませによる粗骨材の破碎割合(\%)} = \frac{B-A}{B} \times 100$$

### 2.3 力学的性質の測定

供試体の寸法はφ15×30cmであって、振動数50Hz、質量15kgの振動ランマを使用して文献[3]に準じて供試体を同一試験条件につき3本製造した。JIS A 1108ならびにJIS A 1113に準じて圧縮および引張強度試験を行った。また、ワイヤストレーンゲージを用いてASTM C 469-65に準じて静弾性係数を求めた。試験材齢は、圧縮および引張強度の場合28および91日、静弾性係数の場合28日であって、それまで標準水中養生を行った。なお、圧縮および引張強度の変動は、平均値±5および15%であった。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 再生粗骨材の品質がコンクリートの性質に及ぼす影響

図-1に、一例として、W/C=70%のコンクリートを練り混ぜたときの20~40mm粗骨材の破碎割合を使用粗骨材種別ごとに示す。なお、練り混ぜ時間は全材料投入後90秒とした。図より、練り混ぜによる破碎割合は、骨材Aを用いた場合が最も大きく、次にB、Rの順となることがわかるのであって、原コンクリートの強度が小さく、モルタル付着率が高いほど練り混ぜによる破碎割合が大きくなることを示している。

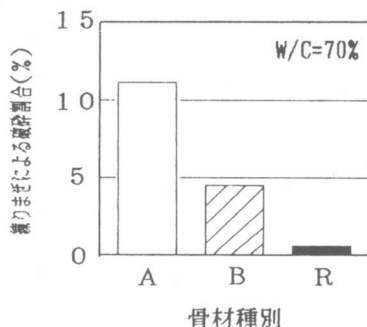


図-1 骨材種別の異なるコンクリートの練り混ぜによる粗骨材破碎割合

図-2に、一例として、W/C=70%のコンクリートのVC値および空気量を使用粗骨材種別ごとに示す。同一配合とした場合、粗骨材AおよびBをそれぞれ用いた場合のVC値および空気量は、ほぼ等しく目標範囲内となったが、Rを用いた場合より大きくなるのがわかる。VC値が大きくなるのは、粗骨材AおよびBの実積率がRに比較して小さいことが一原因と考えられ、同一コンシステンシーを得るには、川砂利の場合より単位水量を増加しなければならないと判断される。なお、練り混ぜによる破碎割合が大きいことの影響も考えられるが、粗骨材AおよびBを用いたときのVC値がほぼ等しかったことからその影響は小さいと思われる。粗骨材AおよびBをそれぞれ用いたときの空気量がRを用いたときより大きくなったのは、付着モルタルによるエントラップドエアの増大に起因すると思われる。

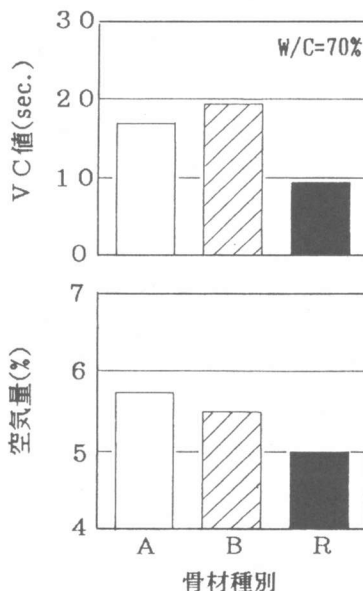


図-2 骨材種別の異なるコンクリートのVC値および空気量の比較

図-3にW/Cと材齢91日の圧縮強度および引張強度の関係を示す。圧縮強度は、各W/Cにおいて再生粗骨材を用いた方が川砂利を用いるより大きく、粗骨材Bを用いた場合が最も大きく、次にA、Rの順となった。一方、引張強度は、各W/Cにおいて粗骨材Bを用いた場合が最も大きくW/Cが小さいほどRを用いた場合がAを用いるより大きくなった。粗骨材Aを用いた引張強度がRの場合より若干小さくなる現象が発生した原因は明らかでないが、骨材自体の強度の違いがW/Cが小さくなるほど引張強度に対して敏感に表れたものと思われる。

図-4にW/Cと材齢28日における弾性係数および単位容積質量の関係を示す。弾性係数および単位容積質量は、各W/Cにおいて粗骨材Rを用いた場合が最も大きく、次にB、Aの順となった。このような違いは、骨材自体の弾性係数や比重の違いに起因すると思われる。

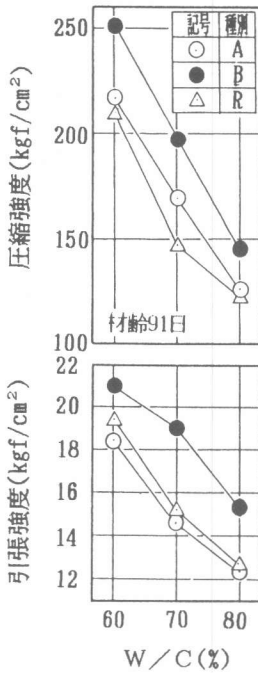


図-3 W/Cと圧縮および引張強度の関係

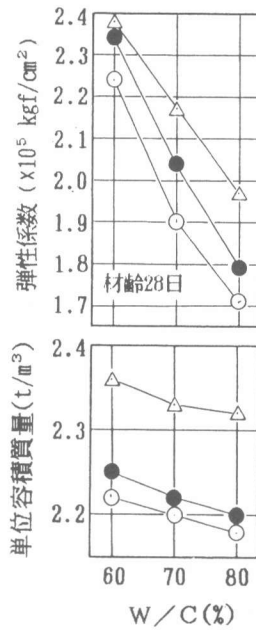


図-4 W/Cと弾性係数および単位容積質量の関係

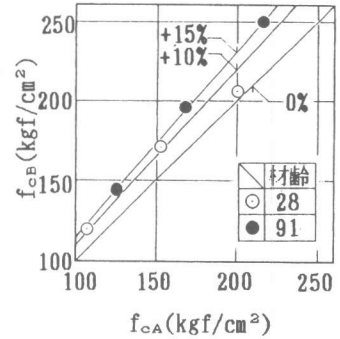


図-5  $f_{cA}$ と $f_{cB}$ の関係

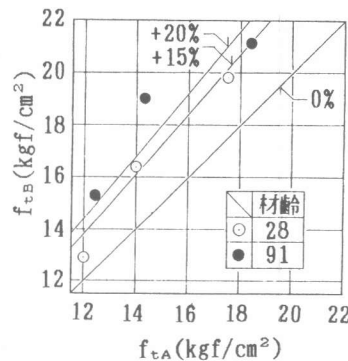


図-6  $f_{tA}$ と $f_{tB}$ の関係

次に、再生粗骨材の品質の違いが力学的性質に及ぼす影響を検討するため粗骨材AとBを用いた圧縮強度 $f_{cA}$ と $f_{cB}$ 、引張強度 $f_{tA}$ と $f_{tB}$ とならびに弾性係数 $E_A$ と $E_B$ の関係を図5～7に示す。図より、圧縮強度は、 $f_{cB}$ が $f_{cA}$ より材齢28日で10%程度、材齢91日で15%程度大きくなること、引張強度は、 $f_{tB}$ が $f_{tA}$ より材齢28日で15%程度、材齢91日で20%程度大きくなること、また、弾性係数は、材齢28日で $E_B$ が $E_A$ より5%程度大きくなることからわかる。したがって、再生粗骨材を製造した原コンクリートの強度が大きいほど力学的性質にとって有利であると考えられる。

### 3.2 微粉の添加がコンクリートの性質に及ぼす影響

図-8に微粉添加率とVC値および空気量の関係を示す。使用粗骨材はAであって、コンクリートのW/Cは80%とした。図より、微粉添加率を5.6%まで増加してもVC値にほとんど変化が認められず、目標VC値 $20 \pm 5$ 秒の範囲内となること、また、添加率をさらに増加するとVC値は増加し、目標範囲を越えることがわかる。空気量は、微粉添加率の増加によって、漸減傾向を示すが微粉添加率が5.6%以下であれば目標空気量 $6 \pm 1\%$ の範囲内となることわかる。なお、練りませ後、ミキサから排出されたコンクリートを目視観察した結果、微粉の添加によりこれを用いないものより材料分離が生じにくいことが明らかとなった。したがって、微粉添加率が適当量であればコンシテンシーおよび空気量を目標値とすることができ、材料分離抵抗性が高まると思われる。

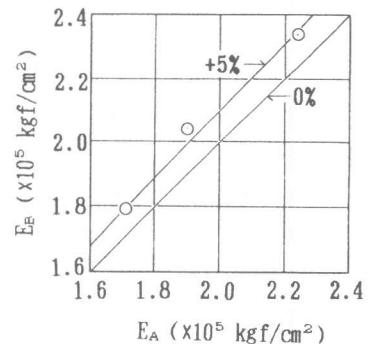


図-7  $E_A$ と $E_B$ の関係

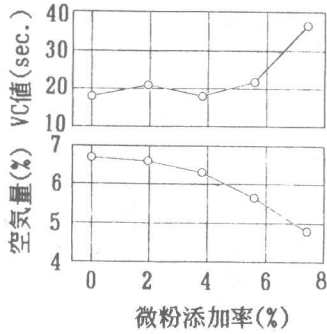


図-8 微粉添加率とVC値および空気量の関係

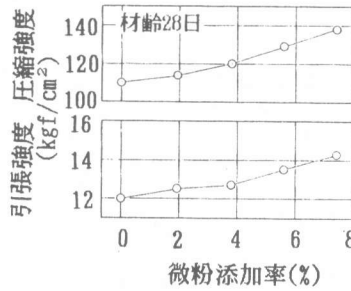


図-9 微粉添加率と圧縮および引張強度の関係

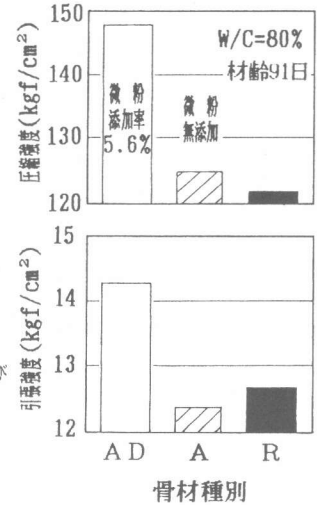


図-10 微粉添加および無添加コンクリートの強度比較

図-9に粗骨材Aを用い、W/C=80%のコンクリートの微粉添加率と材齢28日での圧縮および引張強度の関係を示す。圧縮および引張強度は、微粉添加率の増加に伴って増加する傾向が認められる。VC値および空気量を目標値とすることができる微粉添加率の最大値5.6%における圧縮強度および引張強度は、無添加の場合に対しておよそ15%増加した。このような強度の増加は、微粉の充填効果や空気量の減少などに起因すると考えられる。

図-10は、材齢91日での圧縮および引張強度を粗骨材Aを用いて微粉添加率5.6%としたものAD、無添加のものA、川砂利Rを用いたものについて比較した結果である。材齢91日において微粉を添加のときの圧縮および引張強度は川砂利を用いたときより大きく、また、無添加の場合に対してもおよそ15%増加した。したがって、微粉の適当量の添加は、強度改善に効果的であると考えられるが、乾燥収縮への影響については検討の余地がある。

### 3.3 圧縮強度と引張強度および静弾性係数の関係

図-11に圧縮強度と引張強度の関係を示す。図中には、3.1および3.2で示した全てのデータがプロットされており、土木学会コンクリート標準示方書における両者の関係式を示した。図より、再生粗骨材を用いた超硬練り貧配合コンクリートの圧縮強度と引張強度の関係は、川砂利を用いた場合も含め、示方書における両者の関係式の係数Aを0.5~0.55までとした関係式の範囲によってほぼ示されることがわかる。同図に示した再生粗骨材を用いた超硬練り貧配合コンクリートの圧縮強度と引張強度の比は9~11であって、普通コンクリートの場合とほぼ同程度であると判断される。

図-12に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図中には、3.1で示した全てのデータがプロットされており、ACIによる普通および軽量コンクリートの比重と関連付けた両者の関係式を比重2.2の場合について示した。再生粗骨材を用いた超硬練り貧配合コンクリートの比重はおよそ2.2であったが、同一圧縮強度に対する弾性係数は、ACI提案式より約10%大きくなること、川砂利を用いたものより小さくなることわかる。なお、同図に示した再生粗骨材を用いた超硬練り貧配合コンクリートの弾性係数と圧縮強度の比は1100~1500であって、RCD用コンクリートの両者の比900~1400[4]にほぼ相当した。なお、図中に両者の間の実験式を示した。

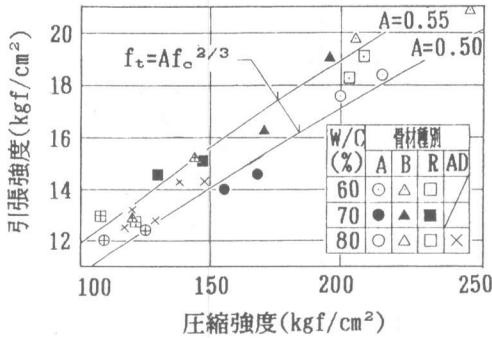


図-1 1 圧縮強度と引張強度の関係

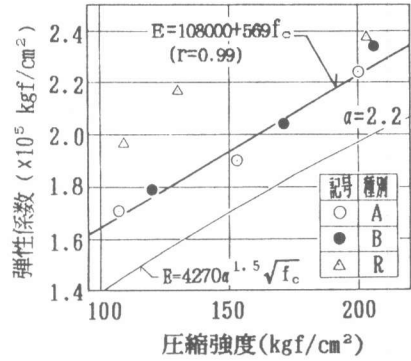


図-1 2 圧縮強度と弾性係数の関係

#### 4. 結論

原コンクリートが普通および高強度であり、再生粗骨材3種に分類される粗骨材AおよびBを用いた超硬練り貧配合コンクリートの性質を川砂利Rを用いた場合と比較し、以下の結論を得た。

- 1) 粗骨材AおよびBをそれぞれ用いたときのVC値および空気量はほぼ等しく、Rを用いた場合より大きくなる。また、練りませによる粗骨材の破碎割合は、原コンクリートの強度が小さいほど大きくなるがVC値への影響は少ない。
- 2) 粗骨材AおよびBをそれぞれ用いたときの圧縮強度はRを用いたときより大きくなるが、粗骨材Aを用いたときの引張強度では、W/Cを小さくするとRを用いたときより小さくなる場合があり、弾性係数および単位容積質量はRを用いたときより小さくなる。また、これらの力学的性質は、再生粗骨材の原コンクリートの強度が大きいほど大きくなる。
- 3) 粗骨材Aおよびこれを製造するときに発生する0.15mm以下の微粉をW/Cが80%のコンクリートに使用した場合、単位細骨材量に対する微粉添加率が適切であればVC値および空気量を所要値とし、材料分離抵抗性および強度を改善できる。
- 4) 再生粗骨材を用いた超硬練り貧配合コンクリートの圧縮強度と引張強度の比は、普通コンクリートの場合と同程度となり、弾性係数と圧縮強度の比はRCD用コンクリートの場合と同程度となる。

#### 参考文献

- [1] T.C.Hansen: Recycling of Demolished Concrete and Masonry, E & FN Spon, pp58~63, 1992.
- [2] 建設省・(財)国土開発技術研究センター: 建設副産物の発生抑制、再生利用技術の開発報告書 1993.
- [3] 建設省・(財)国土開発技術研究センター: 改訂RCD工法技術指針(案), 1989.
- [4] E.R.Shrader: Roller Compacted Concrete for Dams: The State-of-The-Art, Advances in Concrete Technology, pp.361~406, 1992.
- [5] 加賀谷 誠、佐藤 正一、徳田 弘、水口 大輔: 再生粗骨材の品質が超硬練り貧配合コンクリートの力学的性質に及ぼす影響, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.750~751, 1994.