

[1104] 混合骨材を用いたコンクリートの諸性質

正会員 藤原 忠司 (岩手大学 工学部)

1. まえがき

比重や吸水率等の物理的性質が劣る低品質骨材を有効に利用するひとつの方法は、良質骨材との混合使用であると考えられる。この点に関し、レデーミクストコンクリートの JIS には、骨材を混合して使用する場合の規定が設けられており、同一種類の骨材を混合するときには、混合後の骨材の品質が規格を満たせばよいとされている。この規定は、規格外の骨材でも、良質骨材との混合によって使用可能であることを是認しており、低品質骨材の積極的な利用を意図しているとも解釈できよう。本研究では、粗骨材として混合砕石を用いたコンクリートの諸性質を調べ、この方法の有用性を検討している。

2. 実験概要

表-1 に示すような4種類の砕石を用いた。砕石自体の圧縮強度および静弾性係数は、母岩から採取した直径 30mm の円柱供試体を用いて測定している。

表-1 使用砕石

No	表乾比重	吸水率 %	すりへり減量 %	安定性損失 %	実績率 %	圧縮強度 kgf/cm ²	ヤング率 ×10 ⁵ kgf/cm ²
A	2.28	10.97	34.3	33.1	60.8	676	0.96
B	2.42	7.87	33.4	57.1	60.2	317	1.37
C	2.62	4.58	26.8	12.1	58.3	990	3.01
D	2.95	0.76	8.3	7.7	56.7	2,206	9.93

品質の極端に劣る砕石Aにきわめて良質の砕石Dを組み合わせた場合および品質の差が比較的小さい砕石BとCを組み合わせた場合の二通りについて検討した。以下、これらの混合骨材をそれぞれ砕石A-D、砕石B-Cと呼ぶ。良質骨材の混合割合は、全粗骨材量(容積)に対して、20% 刻みとした。

混合後の品質が規格を満たすために必要な良質骨材の割合は、表-2 に示す通りであり、砕石A-Dについては、良質骨材の混合割合を 83% 以上とすれば、全ての規格に合格する。これに対し、砕石B-Cについては、砕石Cの吸水率および安定性損失重量が比較的大きいため、混合割合を増しても両項目の規格を満たせない。ただし、混合割合を 40% 以上とすれば、比重は規格を満たす。

表-2 規格を満たすために必要な良質骨材の混合割合

物性	比重	吸水率	安定性損失	すりへり減量	
規格	2.50以下	3.0%以下	12%以下	40%以下	
混合割合 (%)	A-D	33	78	83	0
	B-C	40	不可	不可	0

コンクリートの配合は、表-3 に示すように、水セメント比の異なる3種類とし、単位水量および単位粗骨材容積を各配合とも一定としている。セメントには普通ポルトランドセメント、細骨材には川砂(表乾比重: 2.54、吸水率: 3.3%)を用いた。

表-3 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量				混和剤
			水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (l/m ³)	
25	30	36.1	194	647	553	386	減水剤
	50	43.7		388	762		—
	70	46.5		277	851		—

コンクリートの力学試験（圧縮強度、割裂引張強度、弾性係数等）には、φ10×20cmの円柱供試体、乾燥収縮および凍結融解試験には、10×10×40cmの角柱供試体を用いた。水中養生期間は28日であり、温度20℃、相対湿度60%の条件下で乾燥収縮を、温度-10～+20℃の気中凍結・気中融解によって耐凍害性を求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 強度特性

材令28日で行なったコンクリートの力学試験のうち、圧縮強度の試験結果を図-1に示す。図の混合割合とは、良質側の碎石の混入割合である。

水セメント比が30%および50%の場合は、良質骨材の割合が増すほどにコンクリートの圧縮強度が増大しており、混合による効果が見受けられる。これに対して、水セメント比70%については、強度がほとんど増大せず、とくに碎石B-Cでは、混合の効果がない。

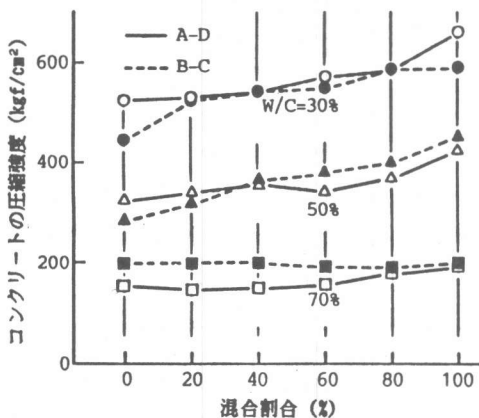


図-1 コンクリートの圧縮強度

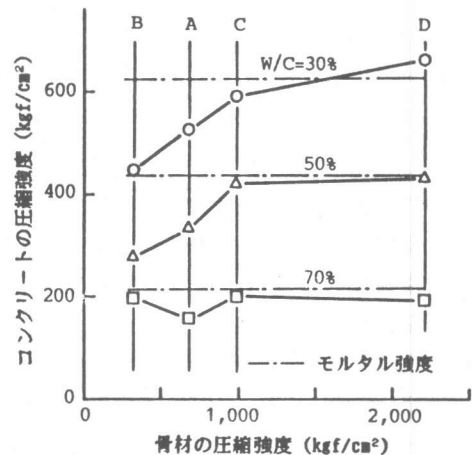


図-2 骨材とコンクリートの圧縮強度の関係

図-2は、各碎石を単独で使用した場合のコンクリートの圧縮強度を、碎石自体の圧縮強度との関連で捉えている。

総体的には、骨材自体の強度が大きいほど、コンクリートの強度が優れている傾向は見られるものの、それには限度のあることが認められる。たとえば、極めて大きな強度を有する碎石Dを用いたコンクリートの強度は、碎石Cを用いたコンクリートとほぼ同程度の値しか示していない。これは、コンクリートの強度がモルタルと粗骨材のうちの強度に劣る材料によって支配されるた

めと考えられ、図でも、砕石DおよびCを用いたコンクリートの強度は、モルタルの強度にほぼ等しい値となっている。したがって、混合使用により強度の改善を図る場合、たとえ極めて良質の骨材を混合したとしても、その強度はモルタル強度を超えられないことをよく認識しておく必要がある。水セメント比 70% の場合は、いずれの砕石を用いても、コンクリートの強度はモルタル強度にほぼ等しい。これは、モルタルの強度が骨材の強度を下回るためであるのは明かであり、図-1で、混合使用による効果がほとんどないのはこの理由によると考えられる。換言すれば、水セメント比の大きい配合では、骨材の品質がコンクリートの強度に影響を持たないことになるから、このようなコンクリートに低品質の骨材を使用するのも、有効利用のひとつの方法であると思われる。

混合使用によってコンクリートの諸性質が改善される効果を模式的に示せば、図-3のようになろう。

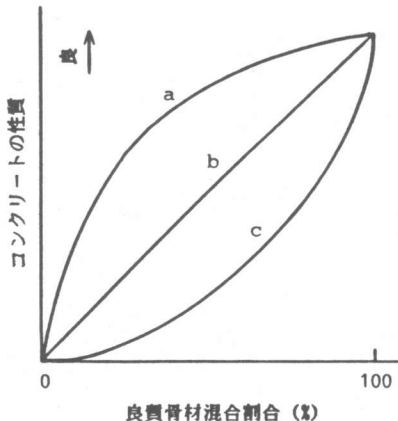


図-3 混合によるコンクリートの性質の改善 (模式図)

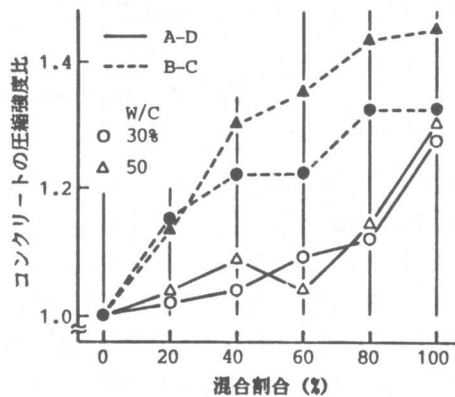


図-4 コンクリートの圧縮強度比

言うまでもなく、〈a〉のようなタイプであれば、混合の効果は理想的であり、他方、〈c〉のようであれば、その効果は薄い。

この図と対比させるため、図-1の結果を書き換えたのが図-4であり、ここでは、低品質骨材を単独で使用した場合(混合割合: 0%)を基準とした強度比で示してある。改善効果の小さい水セメント比 70% は割愛した。

混合の効果は、骨材の組合せではっきり異なり、砕石B-Cは理想的な〈a〉のタイプに近いのに対し、砕石A-Dは、混合割合が 60% 程度まで明確な効果を示さない〈c〉のタイプとなっている。したがって、混合使用とするときには、実際に組み合わせる骨材について、このタイプの違いをよく見極めておく必要がある。

図-5は、各砕石から 100 個の粒子を無作為に抽出し、一個一個の表乾比重を測定した結果を度数分布で示している。

砂利に比較すれば、比重のばらつきは小さい⁽¹⁾ものの、ほぼ同一の母岩から製造される割には、予想以上の広い分布を有していると評価せざるを得ない。とくに、砕石Aのばらつきが大きく、極めて劣悪な品質(たとえば、比重 2.3 以下程度)の粒子がこの砕石には多数含まれてい

る。このような粒子がコンクリート中において、強度上の弱点となるのは明かであり、たとえ良質骨材の混合割合を高めたとしても、残存する劣悪粒子が強度の増進を阻むことは強く懸念される。図-4において、碎石A-Dを用いたコンクリートの強度改善が思わしくない理由は、この劣悪粒子の作用によると推察され、骨材の性質を粒子レベルでとらえておく必要があるのを示唆している。

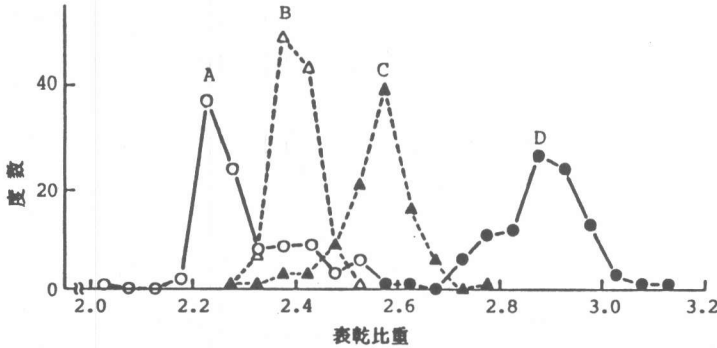


図-5 骨材粒子の表乾比重の分布

図-6は、混合割合によるコンクリートの引張強度の変化を、強度比で示している。

いずれの場合も、混合による強度の顕著な改善が見られず、図-3の分類に従えば、〈c〉のタイプに属する。とくに、碎石A-Dでは、混合割合のベシマムが存在するような極めて独特の傾向を示しており、良質骨材の混入が引張強度を低めるようでは、逆効果と言える。この理由については定かでないが、物理的性質に極端な差のある骨材の組合せであるため、強度に部分的なかたよりが生じて、それが悪影響をもたらしたと推察される。

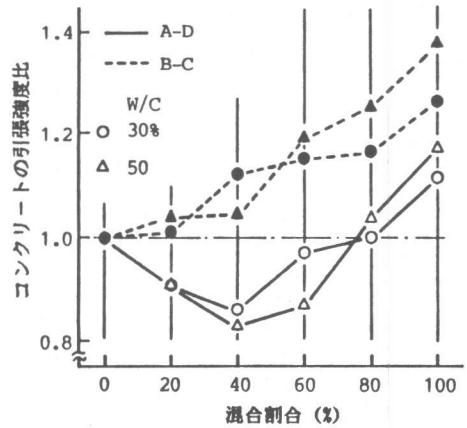


図-6 コンクリートの引張強度比

3. 2 弾性的性質

図-7および図-8は、それぞれコンクリートの動弾性係数および静弾性係数を示している。

いずれの場合も、良質骨材の混合割合が増すに従って、弾性係数もほぼ直線的に増大しており、混合による一定の効果が見受けられる。コンクリートの弾性的な性質に対しては、強度特性と異なり、混合骨材の平均的な物性が関連するため、このような傾向を示すと考えられるが、この点を複合則の観点から検討してみよう。低品質の骨材を用いたコンクリートをマトリックスとし、これに良質骨材を混合すると想定すれば、混合骨材を用いたコンクリートの静弾性係数は、Hansen らの式⁽²⁾によって次のように表示できる。

$$E = E' \frac{(1-V_a)E' + (1+V_a)E_a}{(1+V_a)E' + (1-V_a)E_a}$$

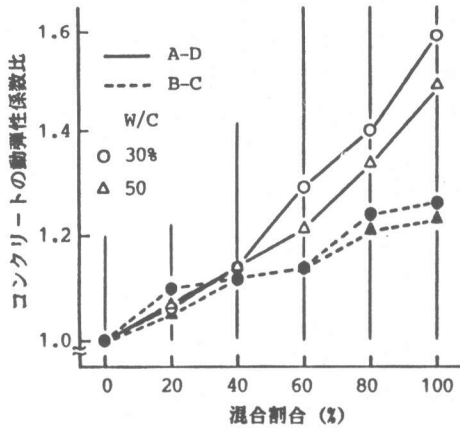


図-7 コンクリートの動弾性係数比

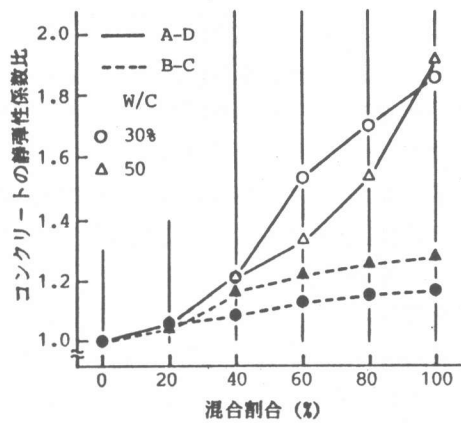


図-8 コンクリートの静弾性係数比

ここに、 E ：混合骨材を用いたコンクリートの静弾性係数、 E' ：低品質骨材を用いたコンクリートの静弾性係数、 V_a ：良質骨材混合割合、 E_a ：良質骨材の静弾性係数

砕石A-Dを用いた場合について、この式によるコンクリートの静弾性係数の計算値を実測値と比較したのが、図-9である。

両者はほぼ一致しており、弾性係数の改善効果は、この複合則に従っていると考えられる。

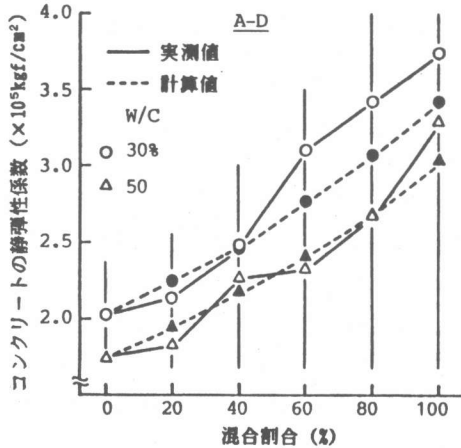


図-9 静弾性係数における複合式の検討

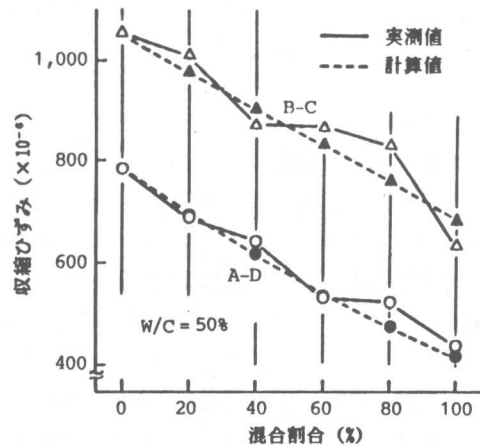


図-10 コンクリートの乾燥収縮

3.3 収縮特性

図-10は、乾燥10週におけるコンクリートの乾燥収縮を示している。

いずれの場合も、良質骨材の混合割合が増すに従い、収縮はほぼ直線的に減少しており、コンクリートの乾燥収縮に対しても、弾性的性質と同様、混合骨材の平均的な物性が関連すると推察される。静弾性係数の場合と同じ想定をして、この乾燥収縮に次の Pickett の式⁽³⁾を準用してみる。

$$\varepsilon = \varepsilon' (1 - V_a)^\alpha$$

$$\alpha = \frac{3(1-\nu c)}{1+\nu+2(1-\nu a)E/Ea}$$

ここに、 ε : 混合骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮、 ε' : 低品質骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮、 ν : 混合骨材を用いたコンクリートのポアソン比 (0.25 と仮定)、 νa : 良質骨材のポアソン比 (0.25 と仮定)

計算値は、図-10の中に示されており、実測値にほぼ近似している。したがって、乾燥収縮に対する混合の効果も、この式で表示できると考えられる。

3.4 耐凍害性

凍結融解 200 サイクルにおけるコンクリートの相対動弾性係数および凍伸度を図-11に示す。図には、砕石A-Dのみを示したが、砕石B-Cについては、実験条件が緩いためか、いずれの混合割合においても、200 サイクルまで劣化が生じていない。

砕石A-Dに関する限り、混合の効果は図-3のタイプ(a)に属し、改善効果は比較的顕著であると言える。しかし、コンクリート中に存在する劣悪粒子は耐凍害性に悪影響を及ぼすとの結果が別の実験によって得られており⁽⁴⁾、本実験結果のみでそのように断定することはできない。

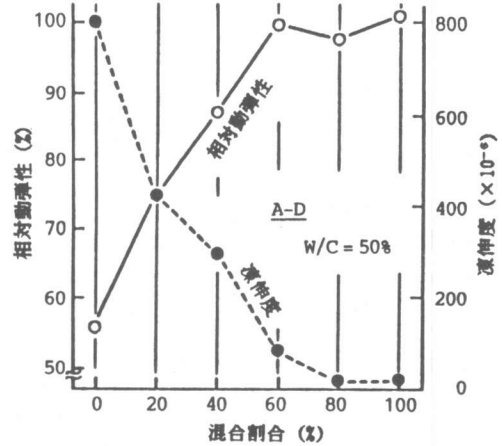


図-11 コンクリートの耐凍害性

4. あとがき

低品質の骨材に良質骨材を混合した場合、コンクリートの弾性的性質や収縮特性などは、混合に見合った改善が期待できるものの、強度特性の改良には限界が見受けられる。とくに、粒子レベルで品質に大きなばらつきを持つ低品質の砕石では、混合による逆効果を示す場合もあり、格段の注意を要する。本実験結果のみでは、混合後の骨材の性質が規格を満たせばよいとする JIS の規定の妥当性を定量的に検討できないが、少なくとも強度特性については、規格の見直しの余地があると考えられる。

おわりに、本実験の遂行に御尽力いただいた帷子國成氏 (岩手大学)、氏家邦夫氏 (安藤建設)、遠藤毅氏 (東急建設) に深甚の謝意を表します。

(参考文献)

- (1) 帷子國成、藤原忠司：砂利と砕石との不均一性の比較、昭和 62 年度土木学会東北支部技術研究発表会
- (2) Hansen, T.C.: Influence of Aggregate and Voids on the Modulus of Elasticity of Concrete, Cement Mortar and Cement Paste, Jour. of ACI, Vol.62, 1965, pp.193-216
- (3) Pickett, G.: Effect of Aggregate on Shrinkage of Concrete and Hypothesis Concerning Shrinkage, Jour. of ACI, Vol.52, 1956, pp.581-590
- (4) 藤原忠司：低品質の粗骨材を用いたコンクリートの諸性質、セメント・コンクリート、NO. 481, 1987, pp.8-15