

1. はじめに

現在のJASS5では、砕砂の使用は認められていても、具体的な調合設計法は示されていない。砕砂コンクリートの調合設計を行なう場合、砕砂の形・粗粒率および石粉量の取扱いが問題となる。ここでは、主として砕砂の形に着目し、これまで目視によって求められてきた砕砂コンクリートの調合と、骨材特性から理論的に求めることを目的としている。

2. 検討の方法

砕砂コンクリートの調合設計を考えるにあたり、骨材特性(比表面積・角ばり係数・細粗混合実積率)と調べ、調合の基本となる単位水量および細粗骨材の混合割合とこれらの骨材特性をもとに、実験的に決定した。

細骨材の比表面積は、0.15mm以下を除く試料について空気透過法により測定し、Fanの式から算出した。粗骨材の比表面積は、仮定値(川砂利:  $8.1 \frac{cm^2}{m^3}$ , 碎石:  $11.4 \frac{cm^2}{m^3}$ )を使用した。細骨材の角ばり係数は、Loudonの算出法を応用し、下式から求めた。細粗混合実積率は、10ℓ容器を用い、棒突き試験により求めた。

$$\text{角ばり係数} = \frac{0.15\text{mm以下を除く試料の比表面積}}{\text{試料と同一粒度の球の比表面積}}$$

使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は川砂利および安山岩砕砂(ともに最大寸法25mm)、細骨材は天然砂3種類および砕砂2種類で、安山岩砕砂については、粒度調整としたもの(粗粒率2.03および3.17)も使用した。使用骨材の組合せと表1に示す。混和剤はAE剤ウインソルを使用した。シリーズIで使用したものは、IIで使用したものより減水率が3.5%程度劣ったため、後の検討においては、シリーズIの単位水量を補正している。

測定項目は、スランパ・ジグ数および空気量(シリーズIIのみ)であり、リモルディング試験装置のクリアランスは5cm、<sup>3)~5)</sup>落差は6mmとした。なお、シリーズIでは空気量を測定していないため、後の検討において、シリーズIの空気量は仮定値(45%で4.0%、55%で5.0%)を使用した。

3. 検討の結果

(1) 細骨材率を用いた調合設計法

最適細骨材率を求めるには、水セメント比が一定の場合、単位水量を一定として細骨材率を変化させ、リモルディング試験のジグ数が極小となる点を求めればよい。(図1)しかしながら、ジグ数にはかなりばらつきがあるため、これを次の二つの仮定にもとづいて修正した。

仮定1. 単位粗骨材かさ容積とジグ数(対数)の関係は、細骨材率が同一の場合、直線となる。

表1 使用骨材の組合せ

	骨材の組合せ	細骨材の粗粒率
シリーズI	川砂利 - 海砂	2.55
	碎石 - 海砂	2.55
	〃 - 山砂	2.79
シリーズII	〃 - 安山岩砕砂 <sub>1</sub>	2.72
	碎石 - 川砂	2.74
	〃 - 安山岩砕砂 <sub>2</sub>	2.03
	〃 - 安山岩砕砂 <sub>3</sub>	3.17
II	〃 - 硬砂岩砕砂	2.66

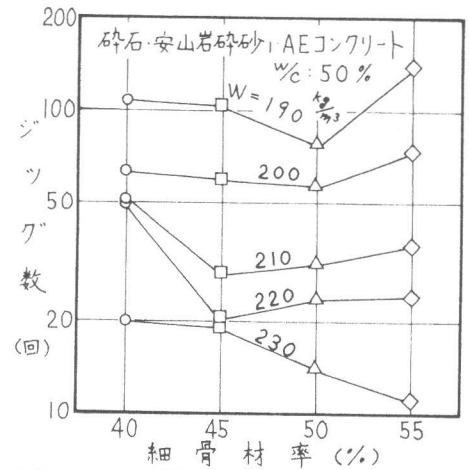


図1 細骨材率とジグ数の関係

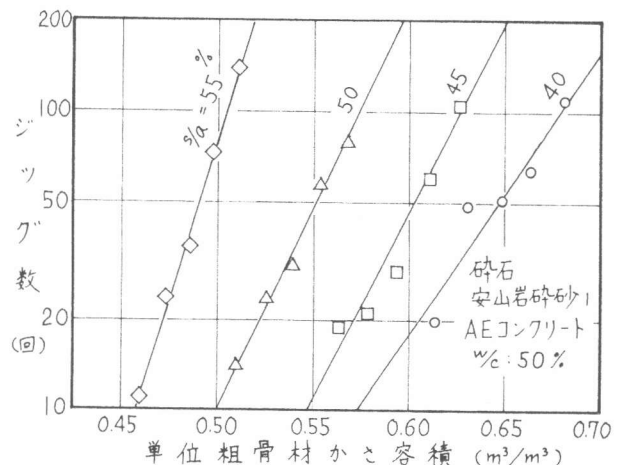


図2 単位粗骨材かさ容積とジグ数の関係

仮定2. 空気量はペーストと同様の働きとする。

この二つの仮定については、さらに検討を要するものと思われるが、ジググ数の修正という目的に対しては、十分成り立つものと考えられる。(図2)

修正されたジググ数を用いて求められた調合のスランフおよびジググ数と単位粗骨材かき容積および細骨材率の関係は、図3のようになり、同一スランフまたは同一ジググ数を得るための単位粗骨材かき容積は、砕砂と天然砂でかなり異なっている。このため、単位粗骨材かき容積と同一とする調合設計法は、砕砂には適用できないことになる。一方、細骨材率で比較すると、両者の差は単位粗骨材かき容積の場合より小さくなっており、特にジググ数においては、細骨材の粗粒率の相違を考慮すれば、その差はほとんど無視しうるものと考えてよい。このため、砕砂コンクリートの調合設計には、単位粗骨材かき容積を用いるよりも、細骨材率を用いた方が、その取扱いの点で便利であると判断される。

### (2) 調合設計に対する細粗混合粗粒率の適用性

水セメント比およびスランフが同一の場合、最適細骨材率は、細骨材の粗粒率によって異なった値をとる。これは、ワーカビリティを同一とするためには、骨材全体の粒度分布を同一としなければならぬことによるものと考えられる。図4は、JASS5の調合設計指針の参考調合表を用い、粗骨材の粒度をI級粒度の中間と仮定して計算した細粗混合粗粒率(骨材全体の粗粒率)を示したもので、その値は、碎石の場合、若干差は認められるものの、細骨材の粗粒率にかかわらず、ほぼ一定とみなしてさしつかえない。図5は、細粗混合粗粒率とジググ数の関係を示したもので、安山岩砕砂<sub>1,2,3</sub>の粗粒率は、それぞれ2.72, 2.03, 3.17であるが、同一ジググ数に対する最適細粗混合粗粒率は、ほぼ同一の値を示している。また、細骨材の種類が異なっても、最適細粗混合粗粒率にはあまり差は認められない。このため、ジググ数と最適細粗混合粗粒率の関係は、細骨材の種類や粗粒率にかかわらず一定であり、それは、図5の破線で示されると仮定してもさしつかえないと考えられる。

図6は、各種コンクリートの最適細粗混合粗粒率とスランフの関係を示したものである。本実験で求めた両者の関係は、JASS5の調合設計指針にもとづいて計算した場合はかなり異なっているが、軽量コンクリートとは類似した傾向を示している。同一スランフに対する最適細粗混合粗粒率は、海砂から山砂・川砂そして砕砂へと粒子形状の良否の順に減少する傾向を示している。このため、粒子形状の影響を考慮することにより、細粗混合粗粒率を調合設計に適用することが可能になるものと思われる。

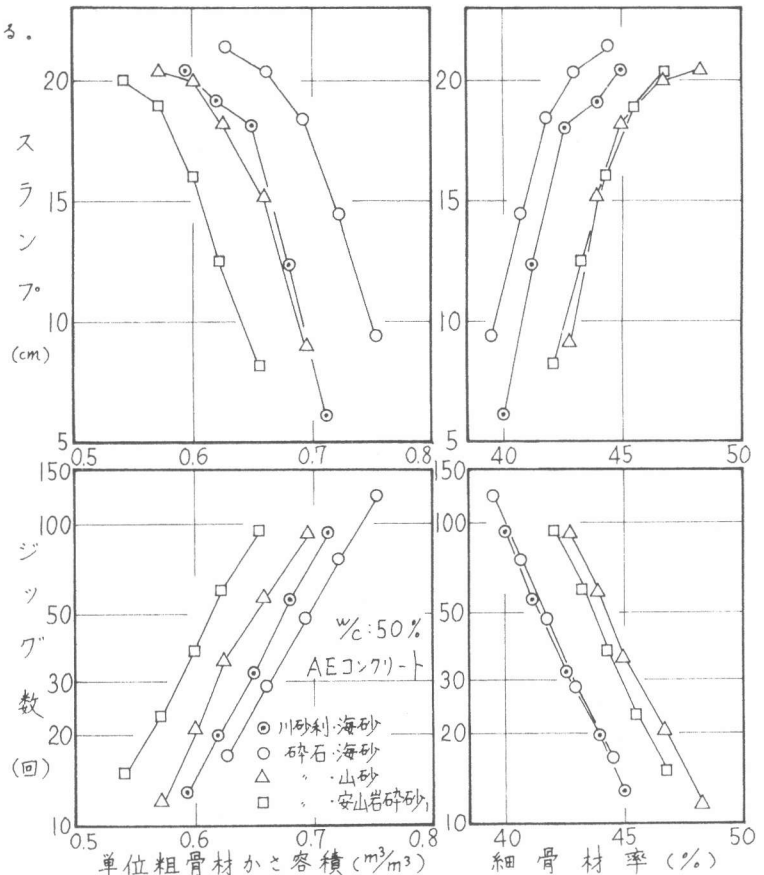


図3 単位粗骨材かき容積および細骨材率とスランフおよびジググ数の関係

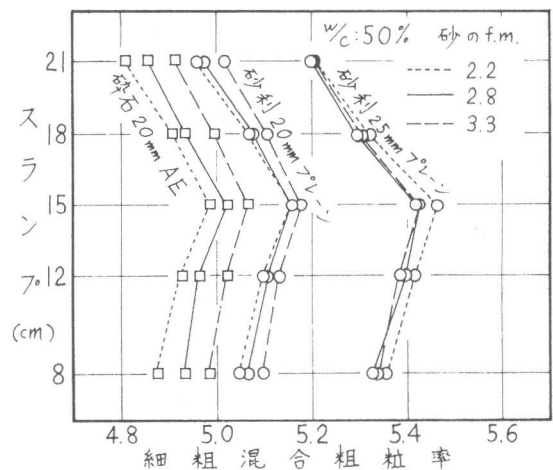


図4 各種コンクリートの細粗混合粗粒率

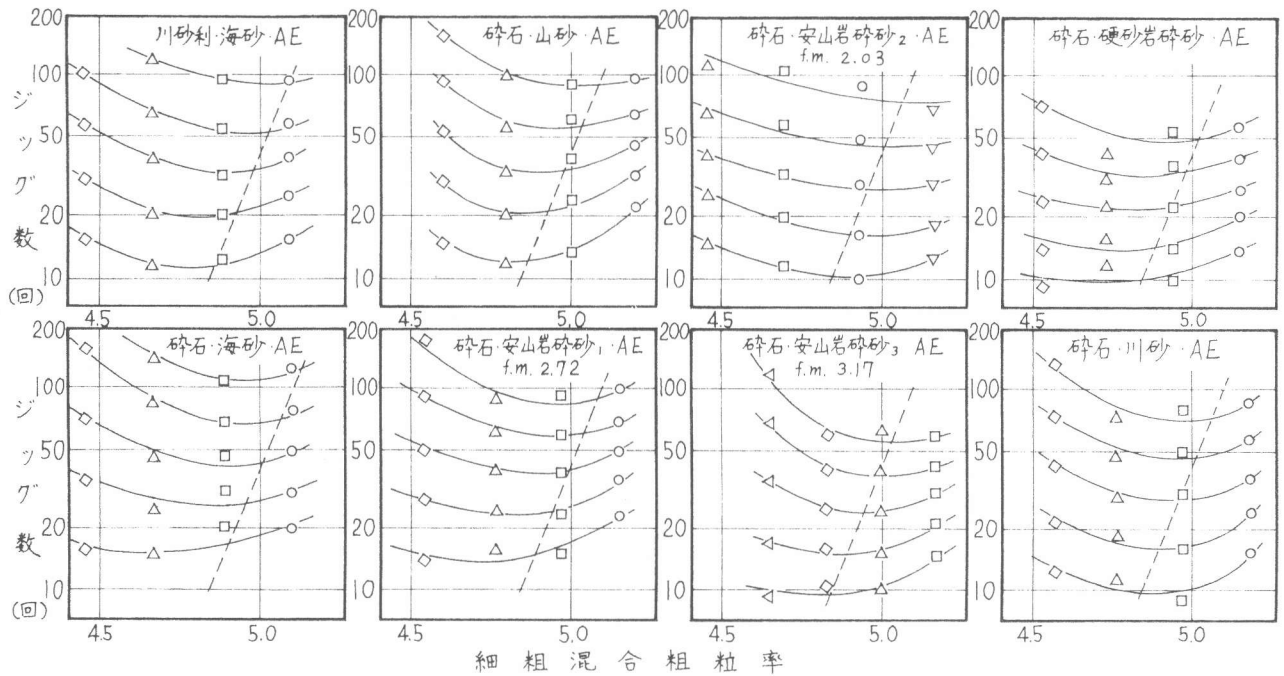


図5 細粗混合粗粒率とジツグ数の関係

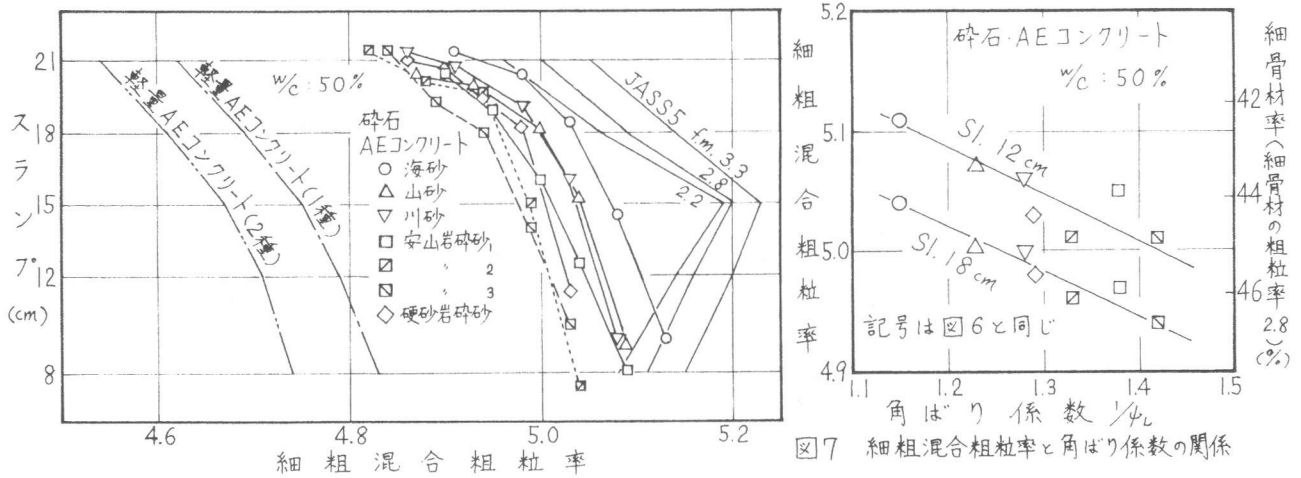


図6 各種コンクリートの最適細粗混合粗粒率とスランプの関係

(3) 最適細粗混合粗粒率および最適細骨材率と角ばり係数の関係

図7は、スランプ18cmと12cmにおける最適細粗混合粗粒率と細骨材の角ばり係数の関係を示したものである。両者の間には、比較的良い相関が認められ、角ばり係数0.1の増加に対する最適細粗混合粗粒率の減少は、スランプ18cm、12cmいずれの場合も約0.04となり、これは、細骨材率に換算すると、細骨材の粗粒率2.8の場合、約1%の増加となる。

(4) 調合設計に対するベスト膜厚理論の適用性

C.T.Kennedyは、水セメント比が同一の場合、骨材の空隙を満たしてなお余るベストによる骨材被膜の厚さとコンクリートのコンシステンシーとの間に強い相関のあることを認め、ベスト膜厚を用いた調合設計法を提示した<sup>7)</sup>。しかしながら、ベスト膜厚とスランプの関係は、細骨材率によって分かれ、同一スランプを得るのに要するベスト膜厚は、図8に示されるように、細骨材率が小さいほど小さくなっている。このため、単位水量算定に用いるベスト膜厚とスランプの関係は、最適細骨材率の調合に対して求められたものでなければならぬと考えられる。図9は、最適調合に対して求めた各種コンクリートのベスト膜厚とスランプの関係を示したもので、先のモルタル実験(図10)からも予想された通り、細骨材の種類により両者の関係は明瞭に分かれている。データに若干のはらつきは認められるが、同一スランプを得るのに要するベスト膜厚は、海砂・山砂・川

砂・硬砂岩砕砂・安山岩砕砂の順に大きくなり、これは粒子形状の良否の順にほぼ対応している。このため粒子形状の影響を考慮することにより

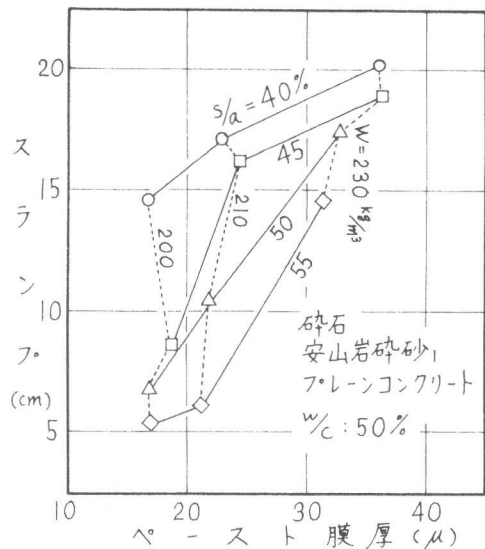


図8 ペースト膜厚とスランプの関係

膜厚理論の適用が可能になるものと考えられる。

(5) ペースト膜厚および単位水量と角ばり係数の関係

図11の①は スランプ18cmと12cmにおけるペースト膜厚とスランプの関係を示したもので、かなりばらつきはあるが、角ばり係数の増加とともに、ペースト膜厚は増加する傾向を示している。②は①のペースト膜厚に対する単位水量と角ばり係数の関係を示したもので、角ばり係数0.1の増加に対する単位水量の増加は、スランプ18cm・12cmいずれの場合も、約20kg/m³となっている。

4. 調合設計の一提案

以上の検討により、ここでは、水セメント比および粗骨材の種類が定まっている場合の調合設計に対して、次の方法を提案する。

まず、目標スランプに対する最適細粗混合粗粒率およびペースト膜厚を粗骨材の角ばり係数により求め、次に最適細粗混合粗粒率から最適細骨材率をペースト膜厚と最適細骨材率から単位水量を算出する。

この方法を、水セメント比50%の砕石AEコンクリートに適用した結果では、砕砂の粗粒率の変化に対する細骨材率の変化は、天然砂の場合と同様に考えてよく、また、細骨材の粗粒率が2.8の場合、細骨材の角ばり係数0.1の増加に対し、細骨材率は約1%、単位水量は約20kg/m³の増加となった。使用した細骨材の種類が少なく、石粉の影響に対する検討もなされていないため、天然砂に対する砕砂の調合の一般的な補正量はまた提示できないが、本実験では、天然砂(3種類)に対する砕砂(2種類)の角ばり係数の増加は、平均で0.12となり、これに対する細骨材率および単位水量の増加は、それぞれ1.2%、24kg/m³という値を示した。

- <参考文献> 1)三輪 粉粒体工学 朝倉書店 2)T.C.Powers Properties of Fresh Concrete 3)十代田 建築学会論叢集66(1960) 4)吉田 七技報(1965) 5)秋田 七工業 82(1966) 6)阿部 七技報(1977) 7)C.T.Kennedy Pro.A.C.I.(1940) 8)阿部 建築学会道支部49(1978)

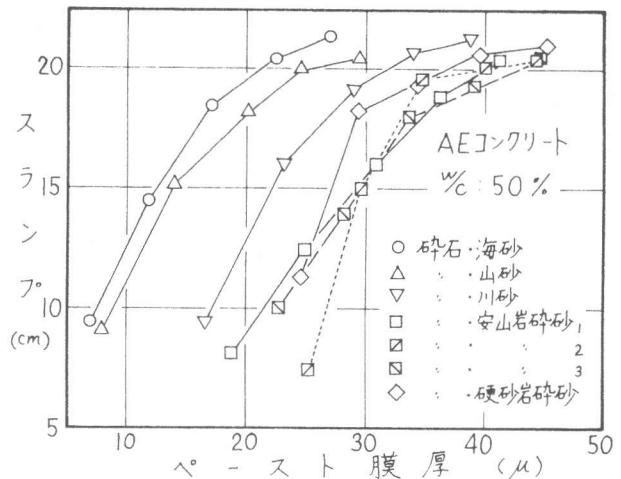


図9 各種コンクリートのペースト膜厚とスランプの関係

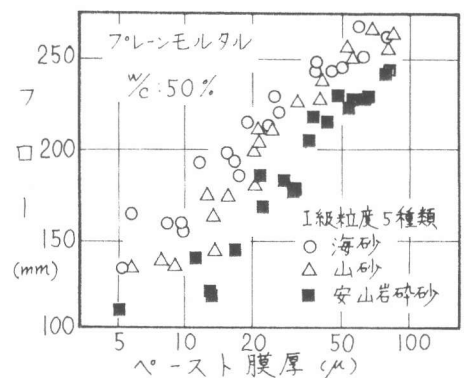


図10 ペースト膜厚とフローの関係

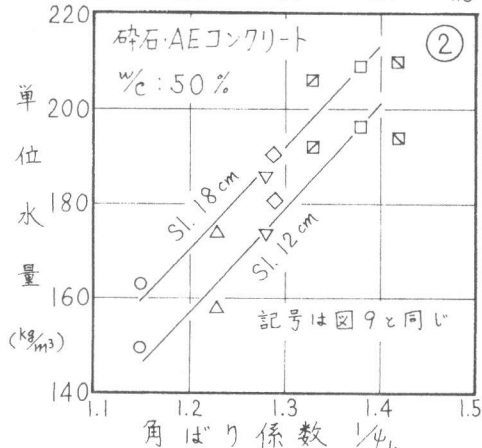
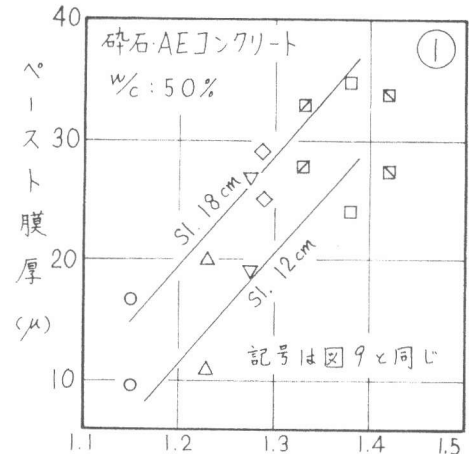


図11 膜厚および単位水量と角ばり係数の関係