

# アスファルト混合物特性における 細骨材形状の効果

小林正利<sup>1</sup>・帆苺浩三<sup>2</sup>・久保和幸<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 福田道路(株)技術研究所(〒959-04新潟県西蒲原郡西川町大瀨中之島2031)

<sup>2</sup>正会員 工博 福田道路(株)技術研究所

<sup>3</sup>正会員 工修 建設省土木研究所道路部舗装研究室(〒305茨城県つくば市旭1番地)

アスファルト混合物特性における細骨材形状の効果について検討した。細骨材形状に対して、細骨材の内部摩擦角とアスファルトモルタルの動的粘弾性は高い依存性を示した。細骨材形状以外のパラメータを規格化したアスファルト混合物に対するホイールトラッキング試験においては、天然細骨材を用いた場合、含有アスファルト量の増大に伴い動的安定度は低下した。しかし、スクリーニングスを混入した場合、含有アスファルト量が増大するにも関わらず動的安定度は著しく増大した。細骨材形状の画像処理解析結果より、スクリーニングスは高い針状度を有し、クラスター解析より天然細骨材と明確に分類されるため、その特異的形狀が耐流動性を改善することが示唆される。

**Key Words :** *fine aggregates shapes, image processing analysis, complex modulus, dynamic stability*

## 1. はじめに

近年、日本国内において、良質な天然骨材の枯渇が憂慮されている。その一方で、舗装の長寿命化、高性能化が望まれている。そのような状況下において、良質な天然骨材の枯渇は舗装業界において深刻な問題となっている。この対策として、輸入骨材の検討、バインダーの高性能化、新しい工法の開発等の取り組みがなされている。これらの対策の一つとして、人工骨材の利用が高い関心を集めている。

人工骨材を舗装用材料として適用するにあたり、骨材品質の判断基準として粒度、硬度、および比重などの各物理性状は規格化されており<sup>1),2)</sup>、アスファルト混合物に与える影響に関する多くの研究がなされてきた<sup>3),4),5),6)</sup>など。しかし、粗骨材形状に関しては扁平率として規格化されているが<sup>1),2)</sup>、細骨材形状に関する規格は現状において定められておらず、その形状の評価方法、および細骨材形状がアスファルト混合物特性に与える影響に関する研究例も少ない<sup>7),8),9),10)</sup>。

一般に、碎石製造過程で得られるスクリーニングス(以下 Scr)は碎石同様に角張った形状を有するため、舗装用細骨材として使用した場合、細骨材の噛み合わせ効果により耐流動性に優れた舗装体を与えるとされている。しかし、この定説は経験的かつ定

性的な認識にすぎず、その形状の定量的評価とアスファルト混合物特性の相関性に関する知見はいまだ得られていない。

本研究では、細骨材形状がアスファルト混合物特性に与える影響を明らかとすることを目的としている。本報告では、種々の細骨材を用いて、その形状を画像処理解析により定量的に評価し、それらの結果と細骨材の内部摩擦角の関係を評価した。また、簡易的な細骨材形状の評価方法として、ドライビスコシティ試験の検討を行った。また、アスファルト混合物の流動変形発生の一要因として、粗骨材間隙中に充填されるアスファルトモルタルの粘弾性に依存すると考えられることから、アスファルトモルタルの動的粘弾性の細骨材形状依存性を評価した。これらの試験結果とアスファルト混合物特性の相関性より、細骨材形状がアスファルト混合物に与える影響について検討を行った。

## 2. 実験概要

### (1) 試料

実験に用いた試料は、産地の異なる細砂、粗砂、およびScrをそれぞれ5種類ずつを、同一粒度に調整して使用した。また、アスファルト混合物試験において、各混合物に対して同一の粗骨材、およびフィ

表-1 材料物性一覧

骨材種	種別	比重 (g/cm <sup>3</sup> )			吸水率 (%)
		表乾.	かさ.	見掛け.	
ScrA	碎石ダスト	2.619	2.535	2.642	1.61
ScrB	碎石ダスト	2.661	2.594	2.654	0.88
ScrC	碎石ダスト	2.723	2.633	2.748	1.59
ScrD	碎石ダスト	2.704	2.619	2.729	1.54
ScrE	碎石ダスト	2.617	2.511	2.680	2.50
粗砂A	川砂	2.608	2.523	2.636	1.70
粗砂B	山砂	2.637	2.557	2.655	1.45
粗砂C	山砂	2.645	2.535	2.730	2.83
粗砂D	川砂	2.640	2.567	2.661	1.38
粗砂E	山砂	2.621	2.499	2.727	3.34
細砂A	浜砂	2.677	2.587	2.709	1.75
細砂B	浜砂	2.616	2.533	2.638	1.56
細砂C	浜砂	2.671	2.591	2.715	1.77
細砂D	浜砂	2.605	2.522	2.636	1.71
細砂E	浜砂	2.677	2.599	2.722	1.74
6号碎石	13/5mm	2.633	2.599	2.69	1.33
7号碎石	5/2.5mm	2.611	2.572	2.675	1.50
石粉	—	—	—	2.699	—

ラーを使用した。試料の物性値を表-1に示した。

(2) 細骨材形状の評価試験

a) 画像処理解析

細骨材形状の評価は画像処理解析によって行った。試料は粒度の違いを考慮して各細骨材を 0.3～0.6mm に単粒化したものを用いた。計測は 1 試料当たり 300～400 個の粒子を測定した。細骨材画像は CCD カメラにより取り込まれ、コントラスト補正を行った後、粒子形状は二値化処理により 1dot が  $8.1 \times 10^{-6} \text{mm}^2$  に相当する画素の集合として表される。粒子形状は、粒子を構成する画素数、およびイメージ画面上の座標により解析される。解析された形状は式(1)～(3)に定義される画像解析パラメータとして評価した<sup>11)</sup>。画像解析パラメータの概念を図-1に示した。

$$\text{丸さ度} = \frac{ML^2\pi}{4A} \quad \text{式(1)}$$

$$\text{凹凸度} = \frac{L^2}{4\pi A} \quad \text{式(2)}$$

$$\text{針状度} = \frac{ML}{MW} \quad \text{式(3)}$$

A: 実面積 L: 周囲長 ML: 最大絶対長 MW: MLに平行な二直線で挟まれる幅

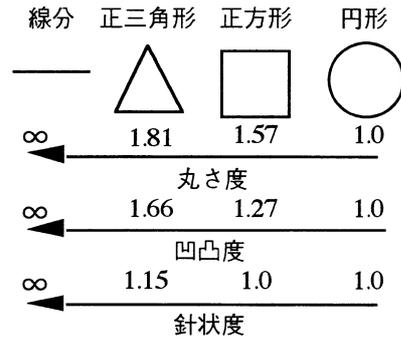


図-1 画像解析パラメータ概念

表-2 一面せん断試験条件

項目	パラメータ
排水条件	定圧せん断
圧密荷重	0.005, 0.001, 0.015(N/cm <sup>2</sup> )
せん断速度	0.25(mm/min)
測定試料	0.3～0.6mmに単粒化

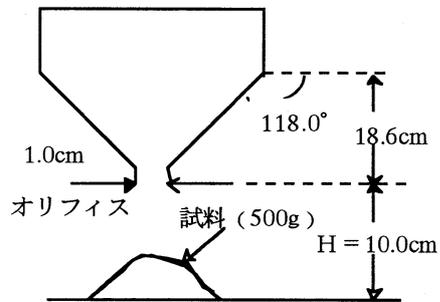


図-2 DV 試験器概要

b) 一面せん断試験

細骨材形状の違いによる細骨材の内部摩擦角を評価するために一面せん断試験を行った。試料は画像処理解析同様に各細骨材を 0.3～0.6mm に単粒化したものを用いた。試験条件は表-2に示した。

c) ドライビスコシティ試験

細骨材形状の簡易的な評価方法として、ドライビスコシティ試験(以下 DV 試験)を行った。試料は画像処理解析同様に各細骨材を 0.3～0.6mm に単粒化したものを用いた。この試験は図-2に示す試験器を用いて、一定量(500g)の試料が流下する時間より、細骨材形状を評価するものである。

(3) アスファルトモルタルの動的粘弾性試験

アスファルト混合物の流動変形において、粗骨材間隙中のアスモルの流動がその要因の一つであると考えられることから、細骨材形状がアスモルの粘弾性に与える影響を明らかにするためにアスファルトモルタルの動的粘弾性測定を行った。測定はダイナミックシェアレオメータ(以下 DSR)を用いて、0.3～

表-3 アスファルトモルタルの動的粘弾性試験条件

項目	パラメータ
測定タイプ	周波数掃引試験
測定試料	細砂A, 粗砂B, ScrA
アスファルト量(%)	16~32
測定周波数範囲 (rad/s)	0.1~100
歪み量範囲 (%)	0.05~50.0
試験温度 (°C)	60
プレート形状	平板 (φ 2.5mm)
試料厚さ (mm)	2.0mm

表-4 マーシャル安定度試験条件

項目	パラメータ
使用細骨材	細砂A, 粗砂B, ScrA
混合物配合	密粒度混合物 (1 3)
アスファルト量 (%)	5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0
突固め回数	両面75回
突固め温度 (°C)	145

表-5 骨材配合率

材料名	6号碎石	7号碎石	細骨材	石粉
配合率 (%)	42	19	32	7

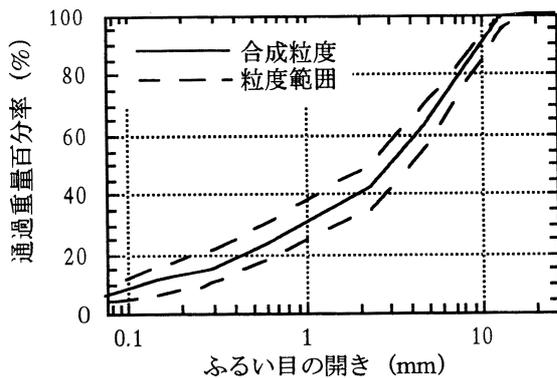


図-3 混合物合成粒度曲線

0.6mmに単粒化した細砂, 粗砂, およびScrをそれぞれ用いたアスモルの動的粘弾性を測定した. 試験条件を表-3に示した.

#### (4) アスファルト混合物試験

##### a) マーシャル安定度試験

アスファルト混合物特性の評価として, 舗装試験法便覧<sup>11)</sup>に準拠したマーシャル安定度試験を行った. 細骨材は細砂, 細砂と粗砂を1:1に混合したもの, 粗砂, 粗砂とScrを1:1に混合したもの, およびScrを各1種類を使用した. 使用骨材は全て同一粒度に調整し, 細骨材形状以外のパラメータを規格化した. 混合物配合は密粒度混合物(13)の中央粒度とした. 試験条件を表-4に, 骨材配合率を表-5にそれぞれ

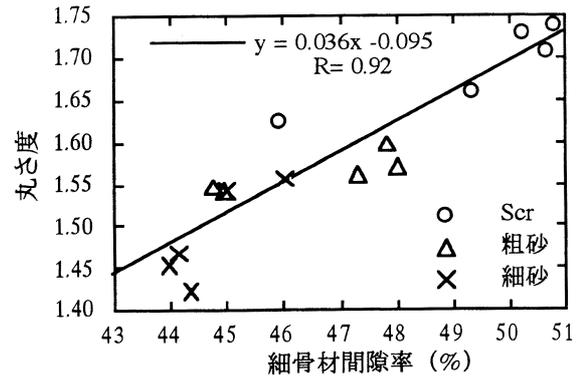


図-4 細骨材間隙率と丸さ度の関係

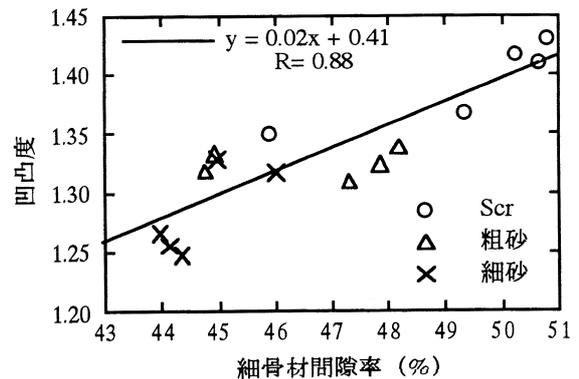


図-5 細骨材間隙率と凹凸度の関係

示した. また, 混合物合成粒度曲線を図-3に示した.

##### b) ホイールトラッキング試験

マーシャル安定度試験結果から, 共通範囲法で得られた最適アスファルト量における配合で, 舗装試験法便覧<sup>11)</sup>に準拠したホイールトラッキング試験を行った.

### 3. 結果と考察

#### (1) 細骨材形状の評価

##### a) 画像処理解析による細骨材形状の定量的評価

単粒化した細骨材の間隙率と各画像解析パラメータの関係を図-4~7にそれぞれ示した. いずれの画像解パラメータも細骨材の間隙率に対して正の相関を示し, 形状のいびつさは, 細砂<粗砂<Scrとなることわかる. この結果より, いびつな形状の粒子は排除体積が大きいため, 細骨材間隙率が大きくなると考えられる. また, 実面積と各形状因子の関係より, 同一粒径の分級を行った場合, 粒子形状のいびつさにともない粒子体積が大きくなることがわかる. 細骨材粒子が球状であると仮定した場合, ここで得られた実面積より, Scrは細砂の1.2~1.8倍の体

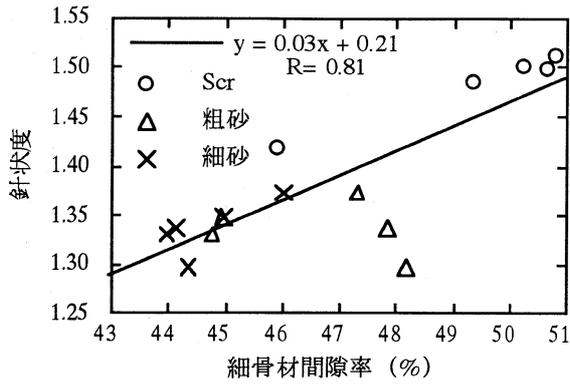


図-6 細骨材間隙率と針状度の関係

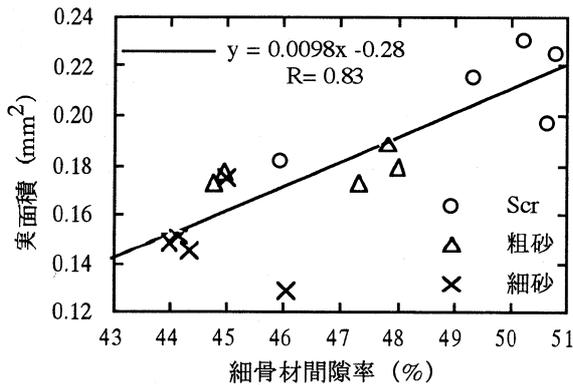


図-7 細骨材間隙率と実面積の関係

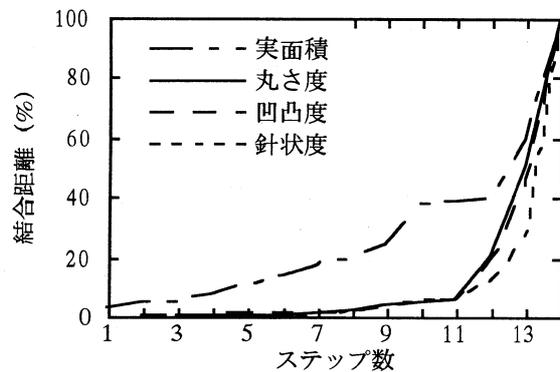


図-8 クラスター結合過程におけるステップ数と結合距離

積を有することになる。

これらの各画像解析パラメータと細骨材間隙率の関係から、形状による細骨材の分類を行うために群平均法によるクラスター解析を行った。クラスター間距離は平方ユークリッド距離を用い、各プロットにおけるクラスター間距離を基準化するために最大クラスター間距離を 100% として、クラスター数と結合距離を評価した。

図-8 にクラスター結合過程におけるステップ数と結合距離の関係を示した。この結果より、11 ステップまでは丸さ度、凹凸度、および針状度は同様のクラスター結合過程を経ているが、12 ステップ、すなわちクラスター数が 4 個から丸さ度と凹凸度は結合距離が増大するが、針状度は 13 ステップまで結合

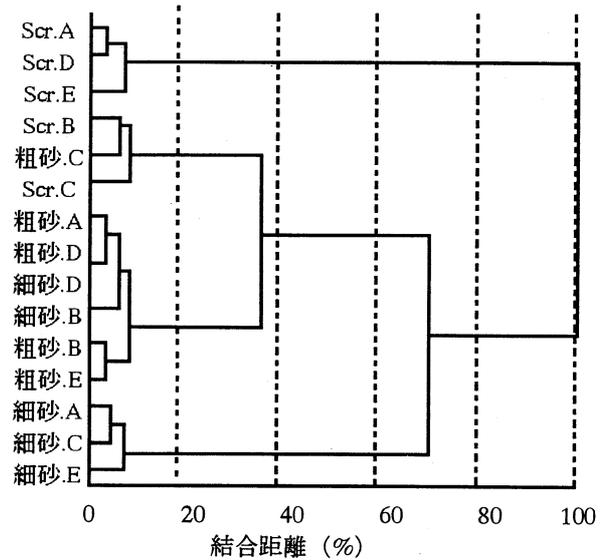


図-9 細骨材間隙率と丸さ度の関係から得られた樹形図

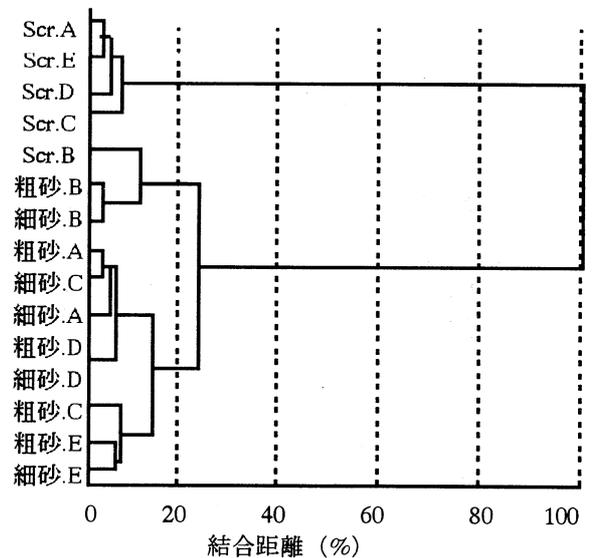


図-10 細骨材間隙率と針状度の関係から得られた樹形図

距離は小さく、最終的に形成される二つのクラスターの有意性が示唆される。また、丸さ度、および針状度と細骨材間隙率の関係から得られた樹形図を図-9、図-10 にそれぞれ示した。これらの樹形図より、丸さ度から得られるクラスターは逐次的に形成されることがわかる。それに対して、針状度による分類では、細骨材形状は明確に二つのクラスターに分類されることがわかる。さらに、クラスター成分は一つの例外を除いて明確に天然細骨材と Scr に分類される。これらの結果より、Scr は針状度が著しく高い特徴を有し、天然細骨材と明確に分類される。

#### b) 細骨材形状と内部摩擦角の関係

一面せん断試験より得られた内部摩擦角と各画像解析パラメータの関係を図-11～13 に示した。いずれの場合においても、形状のいびつさに伴い内部摩擦

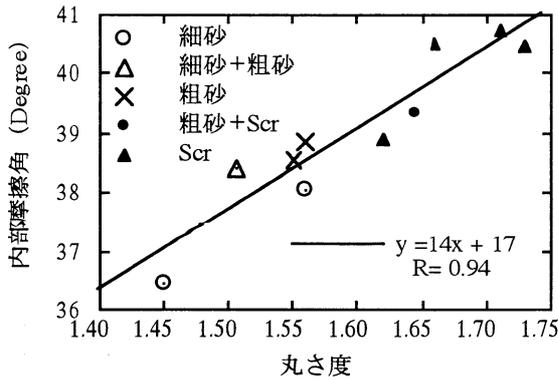


図-11 内部摩擦角と丸さ度の関係

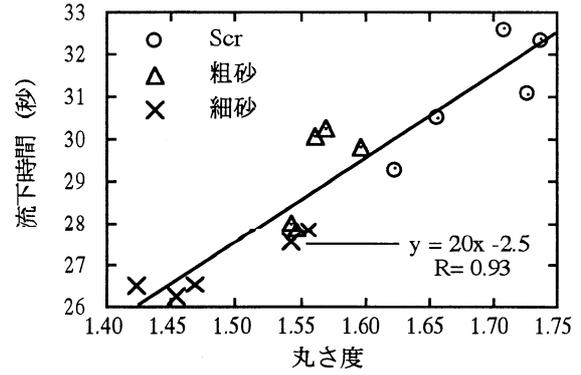


図-14 DV試験結果と丸さ度の関係

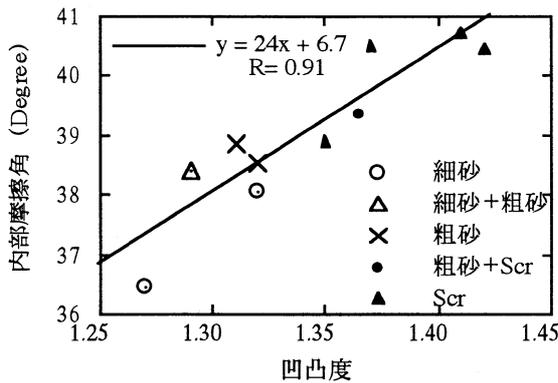


図-12 内部摩擦角と凹凸度

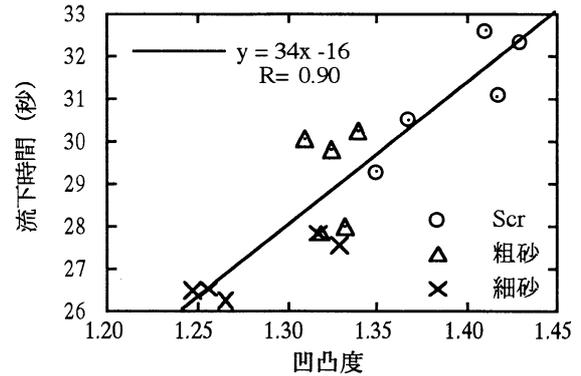


図-15 DV試験結果と凹凸度

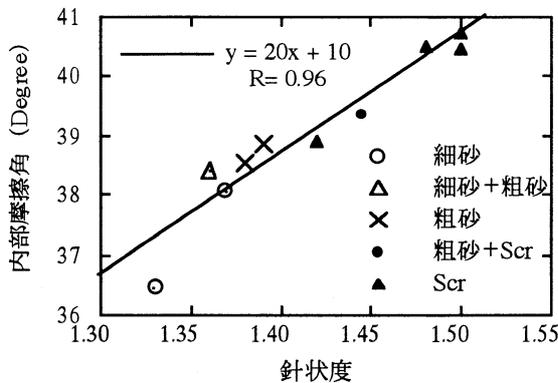


図-13 内部摩擦角と針状度

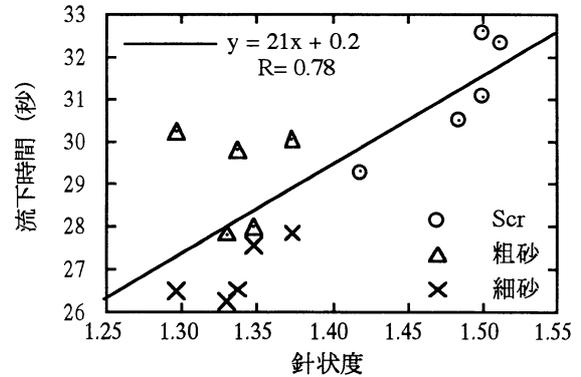


図-16 DV試験結果と針状度

角は増大し、高い相関が得られた。吉村らによれば、せん断中の粒子破壊が無視できるような応力レベルにおいては、砂のような粒状体の内部摩擦角は粒子寸法、粒度分布、および材質にほとんど影響を受けず、粒子形状の影響が大きいとしている<sup>13)</sup>。これらのことから、いびつな形状を有するScrをアスファルト混合物に適用したとき高いせん断強度が得られることが予測される。

### c) DV試験による細骨材形状の評価

DV試験より得られた細骨材流下時間と各画像解析パラメータの関係を図-14~16にそれぞれ示した。丸さ度、および凹凸度と流下時間の関係においては、細骨材形状のいびつさに伴い流下時間は増大し、高

い相関関係が得られた。一方、針状度と流下時間の関係においては、同様の傾向を示すものの相関性は低い結果となった。DV試験は細骨材の内部摩擦力を流下時間により評価するものであるが、この場合、一面せん断試験と異なり細骨材の回転モーメントの影響が大きいため、丸さ度が有効なパラメータとなると考えられる。これらのことから、DV試験により細骨材形状の相対的な評価は可能であるが、Scr形状の特異性を表すことはできないと考えられる。

### (2) アスファルトモルタルの動的粘弾性

#### a) 複素弾性率のアスファルト量依存性

各細骨材を用いたアスファルトモルタルの周波数

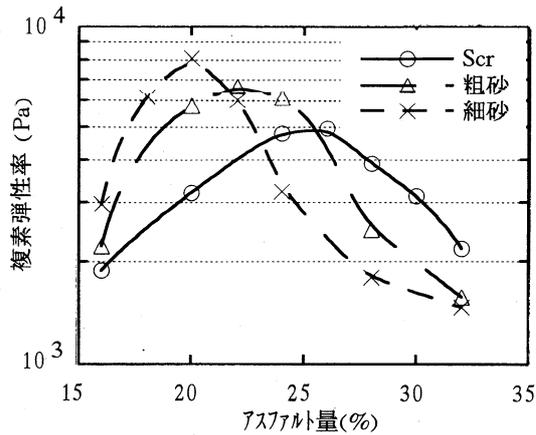


図-17 複素弾性率とアスファルト量の関係  
(周波数=12.0rad/s, 歪み量=10.0%)

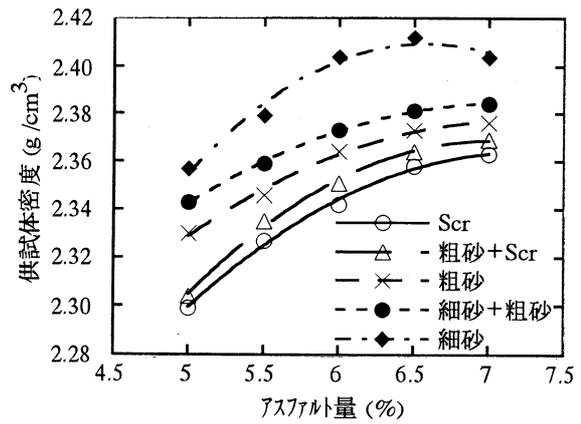


図-19 マージル供試体密度

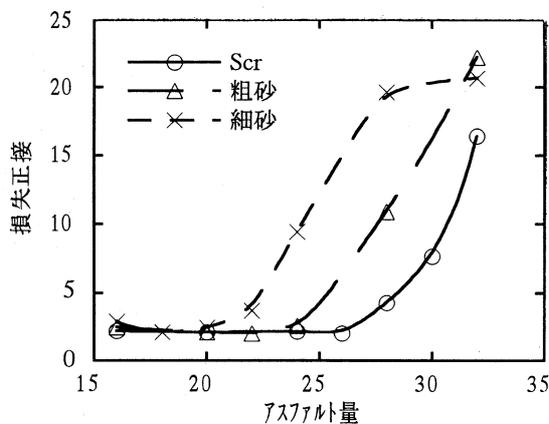


図-18 損失正接とアスファルト量の関係  
(周波数=12.0rad/s, 歪み量=10.0%)

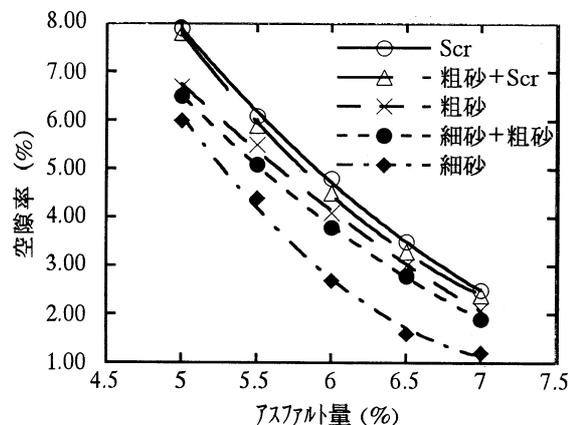


図-20 マージル供試体空隙率

掃引試験結果から、一定周波数 (12.0rad/s) における複素弾性率をよみとり、アスファルトモルタルの複素弾性率のアスファルト量依存性を評価した。複素弾性率とアスファルト量との関係を図-17に示した。各細骨材ともに、複素弾性率は同様のアスファルト量依存性を示した。各アスファルトモルタルともにそれぞれ固有のピーク値を示し、複素弾性率のアスファルト量依存性は Scr < 粗砂 < 細砂の順に顕著になることがわかる。また、複素弾性率のピーク値も Scr < 粗砂 < 細砂の順に高くなり、各細骨材の間隙を飽和するアスファルト量近傍(細砂≒20%, 粗砂≒23%, Scr≒27%)でピーク値を示した。すなわち、アスファルトが細骨材間隙をほぼ飽和する状態でアスファルトモルタルの粘弾性は卓越した状態になると考えられる。

#### b) 損失正接のアスファルト量依存性

図-17に示した試験結果における損失正接とアスファルト量との関係を図-18に示した。いずれの細骨材を用いた場合においても、低アスファルト量領域では同程度の損失正接を示しているが、複素弾性率が

ピーク値を示すアスファルト量から著しく損失正接は増大した。この結果より、細骨材間隙中をアスファルトが飽和するまで、細骨材間隙中を流動するアスファルトの粘性と細骨材間の内部摩擦力にアスファルトモルタルの動的粘弾性は依存すると考えられ、いびつな形状なもの、すなわち、細骨材間隙率の高いものほど細骨材の内部摩擦力に依存する領域が広いと思われる。これに対し、アスファルト量が細骨材間隙の飽和量を越えた過剰な状態では、細骨材粒子はアスファルト中に浮遊した状態であり、アスファルト量の増大に伴い細骨材粒子同士の接触確率は低下し、アスファルト単体の粘弾性挙動に近づくと考えられる。

#### (3) アスファルト混合物特性

##### a) 細骨材の違いによるマージル特性

異なる細骨材を用いたマージル安定度試験結果を図-19~24に示した。マージル供試体密度は細砂 > 細砂+粗砂 > 粗砂 > 粗砂+Scr > Scr となり、細骨材の充填性に従う結果となった。マージル安定度は

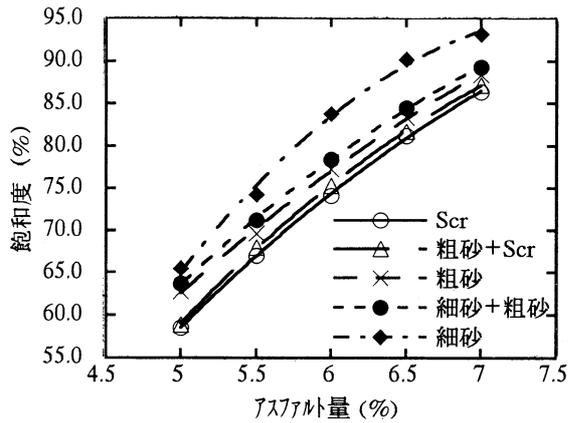


図-21 マーシャル供試体飽和度

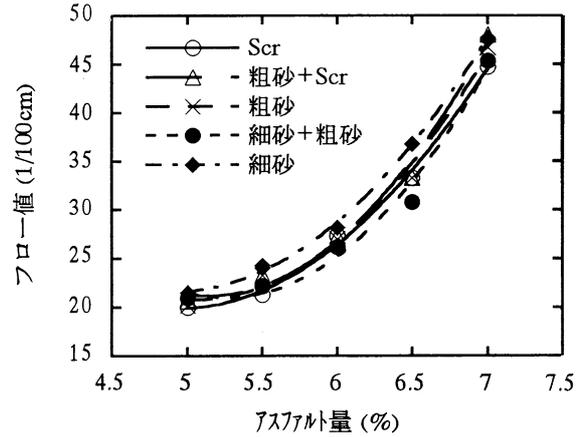


図-23 フロー値

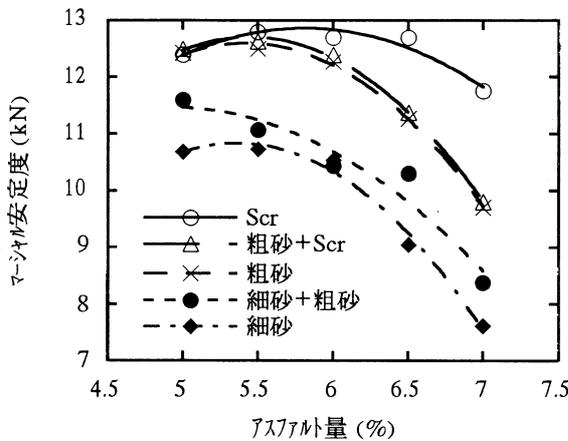


図-22 マーシャル安定度

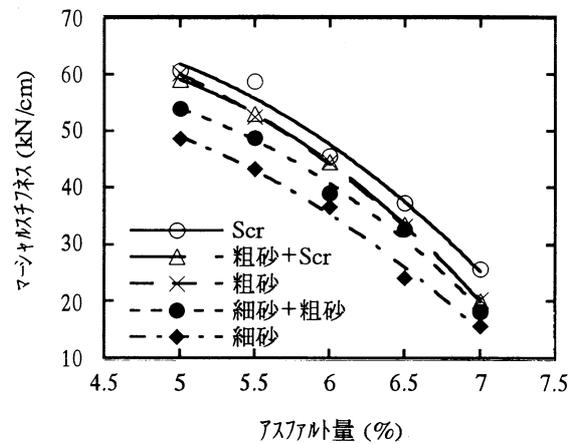


図-24 マーシャルスチフネス

アスファルト量の増大に伴い低下する傾向を示した。しかし、Scrを用いたものはアスファルト量依存性が低く、全アスファルト量領域で高いマーシャル安定度を示した。また、全アスファルト量領域で、マーシャルスチフネスは、細骨材形状がいびつになるに従い、高い値を示す傾向にある。ここでは細骨材形状以外のパラメータを排除しているため、この結果はScrに形状に依存する効果と考えられる。前節で示したように、Scrは内部摩擦力に依存するアスファルト量領域が広いことから、アスファルト混合物特性としてもアスファルト量変化に鈍感な性状を示すと考えられる。また、これらの結果より、共通範囲法で得られた最適アスファルト量は細骨材形状のいびつさに伴い増加した。

#### b) 細骨材の違いによる耐流動特性

共通範囲法で得られた最適アスファルト量、およびホイールトラッキング試験結果より得られた動的安定度を図-25に示した。最適アスファルト量は細砂<細砂+粗砂<粗砂<細砂+Scr<Scrの順に細骨材間隙率に伴い増大した。動的安定度は、天然細骨材

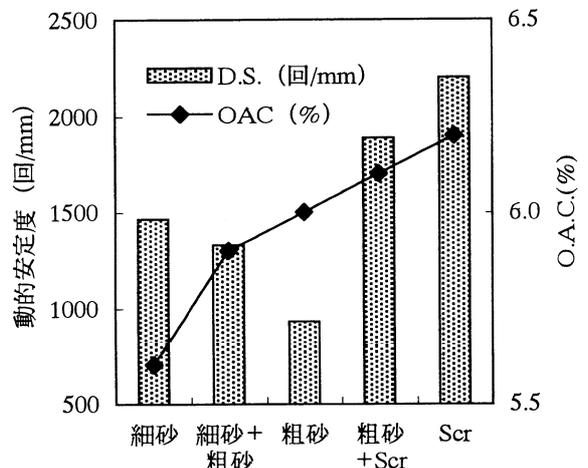


図-25 最適アスファルト量と動的安定度

を用いた場合、細砂>細砂+粗砂>粗砂の順に含有アスファルト量の増大に伴い低下した。これは、アスファルトモルタルの動的粘弾性試験結果における複素弾性率のピーク値の細骨材依存性に一致している。一方、Scrを混入した場合、含有アスファルトが増大するにも関わらず、動的安定度は著しく増大した。この結果から、Scrは天然細骨材と異なる形状特性を持ち、その効果はアスファルト混合物の耐流動

性改善に寄与すると考えられる。細骨材形状の評価において、針状度は Scr と天然細骨材の形状をを明確に分類する因子であり、Scr は高い内部摩擦角を示すことを明らかとした。すなわち、高い針状度を有する細骨材は、アスファルト混合物に高いせん断強度を与え、耐流動特性を改善すると考えられる。

#### 4. 結 論

Scr は人工的破碎により、天然細骨材と著しく異なる形状を持つ。特に針状度において Scr は高い値を示し、天然細骨材と明確に区別される。より高い針状度を持つ細骨材はアスファルト混合物に高いせん断強度を与え、耐流動性を高める。舗装の高性能化、および骨材資源状況の観点から、Scr をアスファルト混合物に用いることは有効である。

謝辞：本研究の遂行にあたり、建設省土木研究所道路部舗装研究室室長 池田拓哉氏より貴重なご助言、御指導を賜った。また実験に際して、建設省土木研究所道路部舗装研究室 小森谷一志氏の協力を得た。ここに記して、深く感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱, 1992 年
- 2) 日本道路公団：設計要領第 1 集, 1983 年

- 3) 南雲貞夫, 小島逸平, 内川彬：路面のすべりを考慮した骨材の選定, 土木技術資料, Vol. 13-10, pp.494~501, 1971 年 10 月
- 4) 川島義昭, 松田健治：アスファルト混合物のはく離に関する試験, 日本道路公団試験所報告書 昭和 50 年度, pp.176~182, 1976 年
- 5) (財) 高速道路調査会：高速道路の舗装補修基準に関する調査報告書, 1973 年 2 月
- 6) 小島逸平, 加藤朝男：実際路面における骨材の磨耗性状, 土木技術資料, Vol.19-3, pp.14~19, 1977 年 3 月
- 7) 小川孝雄：アスファルト混合物特性に及ぼす細骨材の影響について, 日本道路公団試験所報告 昭和 49 年度, pp.181~187, 1975 年
- 8) 飯島尚, 小島逸平：アスファルト混合物用細骨材の試験法, 舗装, pp.3~10, 1983 年 6 月
- 9) 坂田耕一, 高木幸男：マスチック系合材に対する細骨材粒子の評価, 第 11 回日本道路会議一般論文集, pp.209~210, 1973 年 11 月
- 10) 七五三野茂, 神谷恵三, 竹田豪文：アスファルト混合物用細骨材の粒形評価手法に関する研究, アスファルト, Vol.39, No.188, pp.42~51, 1996 年 7 月
- 11) 株式会社ネクサス：nexus68546 画像解析 ROM パック取扱説明書 REV.1.00, pp.68~70, 1991 年
- 12) (社) 日本道路協会：舗装試験法便覧, 1988 年
- 13) 吉村優治, 小川正二：粒状体の間隙比およびせん断特性に及ぼす一次性質の影響, 土木学会論文集, No.478/III-26, pp.99~108, 1994 年 3 月

## EFFECTS OF FINE AGGREGATE SHAPES ON CHARACTERISTICS OF ASPHALT MIXTURES

Masatoshi KOBAYASHI, Kozo HOKARI and Kazuyuki KUBO

This paper investigates effects of fine aggregate shapes on characteristics of asphalt mixtures. The internal friction of fine aggregates, the complex modulus of asphalt mortars and the optimum asphalt contents (O.A.C.) of asphalt mixtures were depended on fine aggregate shapes. In case of natural sands, the dynamic stabilities (D.S.) decreased when O.A.C. increased in accordance with viscoelasticity of asphalt mortars. In case of screenings (Scr), D.S. increased in spite of higher O.A.C. The image processing analysis showed that Scr had high degree of needle-like shapes. The degree of needle-like shapes showed difference between natural sands and Scr through cluster analysis. These results are considered that the specific shape of Scr improve the plastic flow resistance of asphalt mixture.