

## 第 8 回 骨材の諸性質と配合設計

阿 部 頼 政\*

### 1. はじめに

アスファルトが単独で支え得る荷重は、きわめて小さい。アスファルト混合物が、舗装の表層や基層として交通荷重を支え、さらに下方の層に伝達できるのは、主として、混合物中の骨材の働きによるものである。アスファルトは骨材が十分に载荷能力を発揮できるように骨材相互を緊密に結びつける役割を持つ。これがバインダー(結合材)と呼ばれる所以である。

アスファルト混合物が骨材とアスファルトで構成されているとすれば、所要の目的に応じた理想的な配合比があるであろうと誰にも考えられる。それは、骨材だけで荷重を支える砂利道や、アスファルトだけで荷重を支えるような極端な場合を想定してみれば、これらがいずれも満足できる状態ではなく、両者の間に適当な量的関係が必要であると想像されるわけである。アスファルトと骨材、この二種の異った材料の配合比を定めることなどは、月と地球を往復できるほどの科学力を持った我々にとって、きわめて簡単なことのように思えるが、これはいまだに理論的には解決されていない問題である。さらに骨材だけに限ってみても、種々の粒度をどのように組みあわせればよいか、これも未解決の問題である。自然を相手とする土木工学の難しさの一端であろう。

アスファルト混合物の配合設計は上記の二つの問題にしばられる。すなわち、適正アスファルト量と骨材粒度配合である。今回は、これまで触れなかった骨材の性質とその粒度配合について、アスファルト舗装要綱<sup>1)</sup>の規

定を中心に紹介したいと思う。

### 2. 骨材の種類

最近、骨材不足が舗装では大きな話題になっている。河川の砂利を自由に採取できた時代には、現在のような骨材不足は考えられもしなかったであろうが、本協会が検討中のフルデプスアスファルト舗装にしても、骨材節約がその大きな目的の一つになっているのである。と言っても舗装に使用する骨材がほとんどなくなったということではなく、運搬距離の短い所からは採取が困難になってきたということであろう。舗装は表層にかぎらず、上層路盤・下層路盤でもその構成の中心をなすものは骨材であり、骨材入手に要する費用はそのまま、舗装の工費を左右する。今後、良質の骨材はますます入手しにくくなると思われるが、その問題はひとまずおいて、ここでは骨材の種類やその性質について考察していこう。

骨材は、この成因から天然骨材と人工骨材に大きく分けられる。天然骨材とは自然に産出したまま使用できるもの(砂利・砂)や、岩石を破碎したもの(砕石類)であり、人工骨材には、他工業の副産物として得られるもの(スラグ・シンダー等)や、特殊な目的のために岩石類を加工したもの(軽量骨材等)がある。

#### 2-1

天然骨材のもととなる岩石は、その成因によって火成岩・水成岩・変成岩に大別される。火成岩とは、地球内部の岩しようが地殻中、または地表に噴出して冷えたままのものであり、水成岩とは種々の岩石の破片が水によって運ばれ堆積してできたもの、変成岩とは、火成岩や水成岩が地球内部の圧力や熱によって、もとの岩石と異なった性質を持つようになったものである。

火成岩は、舗装用の骨材としては最も重要なものであるが、産出状態とシリカ含有量によって、表-1の

表-1 火成岩の分類<sup>1)</sup>

	酸性岩	中性岩	塩基性岩
シリカ含有量	66%以上	52~66%	52%以下
深成岩	カコウ岩	セン緑岩	ハンレイ岩
半深成岩	石英ハン岩	ヒン岩	輝緑岩
噴出岩	石英粗面岩	安山岩	玄武岩

\* 日本大学理工学部講師

ように分けられる。ここで、深成岩とは、岩しょうが地殻中深いところで、ゆっくり冷え固まったもの、半深成岩はわりあい浅いところで、さらに噴出岩は、岩しょうが地表に噴出して急激に冷えかたまったものである。これらは主として岩石の生成過程による分類であるが、一方、シリカの含有量によって酸性・中性・塩基性に分類されている。これは化学で我々が教わったものとは意味がちがうので注意されたい。便宜的なものと思ってよからう。

これらの原石は、姿を変えて天然骨材としてアスファルト混合物に使用されるわけであるがその場合、最も重要な性質の一つにアスファルトの付着性がある。つまりアスファルトが結合材として働くためには、骨材にしっかり付着しなければならないからである。これを骨材の側から見れば、アスファルトとの付着性が良いものは骨材として優秀なものと言える。一般に、酸性岩よりは塩基性岩の方が、また深成岩よりは噴出岩の方が付着性はよいと言われている。表-1を参照すれば、これらの条件から、玄武岩・輝緑岩・ひん岩・安山岩等が望ましい骨材原石であると言えよう。

なお、水成岩には、凝灰岩・集塊岩・レキ岩・砂岩・ケツ岩・石灰岩などがあり、変成岩にはミロナイト・ホルンヘルス・片麻岩・結晶片岩などがある。これらの中では石灰岩がわが国では多く産出される。

以上述べたのは、天然骨材のものになる岩石の種類である。これらの岩石が、人工的にまたは自然の力で姿を変え、碎石・砂利・砂等の骨材として舗装に使用されることになる。

## 2-2 碎石

表-2 碎石の材質<sup>1)</sup>

用途	表層・基層	上層路盤	
		マカダム工法 浸透式工法	粒度調整工法 歴青安定処理工法 セメント安定処理工法
表乾比重	2.45以上	-	-
吸水量%	3.0以上	-	-
スリヘリ減量%	35以下	30以下	50以下

〔註〕 試験方法は JIS A 5001 の規定による。なお表層基層用碎石の材質試験は粒度範囲13~5mmで行なう。上層路盤用碎石については、主として使用する粒径について行なえばよい。

表-3 碎石の粒度<sup>1)</sup>

呼び名	粒径の範囲 mm	フルイ通過重量百分率 %												
		フルイの種類 mm												
		100	80	60	50	40	30	25	20	13	5	2.5	1.2	
1号	80~60	100	85~100	0~15										
2号	60~40		100	85~100	-	0~15								
3号	40~30				100	85~100	0~15							
4号	30~20					100	85~100	-	0~15					
特5号	20~13							100	85~100	0~15				
特6号	13~5								100	85~100	0~15			
7号	5~2.5									100	85~100	0~25	0~5	

表-4 耐久性の限度の例<sup>1)</sup>

用途	表層・基層	上層路盤
損失量%	12	20

〔註〕 試験方法は JIS A 1122 の硫酸ナトリウムを用いるものによる5回くり返しとする。

表-5 有害物含有量の限度の例<sup>1)</sup>

有害物	含有量 (全試料に対する重量百分率%)
粘土、粘土塊	0.25
やわらかい石片 <sup>①</sup>	5.0
細長いあるいはうすつぺらな石片 <sup>②</sup>	10.5

(注) ①試験方法は、JIS A 1126 による。  
②骨材を包む直方体の最大長と最小長との比が5より大きい石片。  
5mm以下の骨材には適用しない。

碎石は、岩石を人工的に破碎して製造されるもので、アスファルト舗装では骨格の中心をなすものである。したがってアスファルト舗装要綱でも特に、材質・粒度・耐久性・有機物含有量等について表-2~表-5のように規定してある。要綱によれば、

「碎石は、その用途に応じて均等質・清浄・強硬・耐久であり、細長いあるいはうすぺらな石片・ごみ・どろ・有機物などの有害量を含まないものでなければならない」

とある。なお、クラッシャで割り放したままのものは切込碎石（クラッシュラン）と呼ばれている。

### 2-3 玉砕

玉砕は玉石または砂利をくいだいたもので、5mmフルイに止まるもののうち重量で40%以上が、少なくとも一つの破砕面を持つものである。また、マカダム工法用・浸透式工法用には5mmフルイに止まるもののうち重量で75%以上が、粒度調整工法用には60%以上が、少なくとも2つの破砕面をもつものでなければならないと、アスファルト舗装要綱では規定されている。このように、破砕面の規定が詳しいのは、玉石や砂利の表面が一般に丸いため、そのままでは舗装用骨材として適さないからである。したがって骨材のかみ合せを重視するマカダム工法や浸透式工法では特に制限が厳しくなっている。また玉砕の原料となる玉石や砂利は、種々の岩石からできており、死石などの混入もあるので、十分調査のうえ使用しなければならない。品質については碎石の規定が準用される。

### 2-4 砂利

砂利は採取地によって川砂利・山砂利・海砂利などに分けられる。砂利と砂とを分けずに採取したものは切込砂利と呼ばれる。海砂利に含まれる塩分は通常特に考慮する必要はないが、山砂利には粘土等が附着していることが多いので注意を要する。

### 2-5 砂

天然砂は採取地によって川砂・山砂・海砂などに分けられる。人工砂は岩石、玉石を破砕してつくったものである。後者の製造にともなって生ずる粒径2.5mm以下の細かい部分は碎石ダスト（スクリーニングス）と呼ばれている。

以上に述べた骨材が天然骨材である。自然産出のまま使用される砂利・砂等と区別して、破砕という手の加わる碎石等を人工骨材と呼ぶ人もあるが、人工骨材と言えば一般的には次に述べるスラグ等をさすものと思ってい

### 2-6 人工骨材

人工骨材の中で代表的なものが、スラグである。これは、金属の精錬にともなってでてくる一種の残渣で、特

に製鉄の高炉スラグが多量に使用されている。スラグの使用法に関しては、まだ明確な規定がなく、スリヘリ量粒度などについては碎石に準じている。

その他の特殊骨材としてはシノパール等に代表される明色骨材、セメントコンクリートで使用されている軽量骨材等がある。また、フィラーとして使用されるフライアッシュや石炭も、スラグと同系列の人工骨材である。

## 3. 骨材の性質

アスファルト舗装に使用する骨材として、どのような性質を持ったものが望ましいかということは、これまで多くの研究者により、また経験の積み重ねにより明らかにされてきた。前節でもいろいろと触れてきたが、ここでは項目ごとに簡単にまとめておこう。

- (1)原石：酸性岩よりも塩基性岩がよい
- (2)材質：かたくて強いものがよい
- (3)形：一般に角ばっているものがよい
- (4)表面形状：ざらざらしている方がすべすべしているものよりよい
- (5)表乾比重：一定限度（碎石で2.45）以上必要
- (6)吸水量：一定限度（碎石で3.0）以下
- (7)スリヘリ減量：少ないほどよい
- (8)有害物：粘土、やわらかい石片、細長いあるいはうすぺらな石片等の含有量が少ない程よい

以上、きわめて簡単に略述したが、骨材の性質としては、特に重要な問題である付着性と粒度については別に述べておく必要がある。

アスファルト混合物は、骨材の表面にアスファルトが附着し被膜をつくり、その被膜がたがいに接着して骨材粒子を結びつけていると考えられる。したがって、骨材とアスファルトが附着していなければ、混合物としての機能は著しく低下してしまう。この付着性は、骨材表面の形状や、化学的性質にも左右されるが、最大の敵は水の存在である。つまり、何らかの原因でアスファルトと骨材の間に水が介在すると、付着を防げるだけでなく、骨材とアスファルトを分離してしまう。これは、骨材の多くがアスファルトよりも水になじみやすい（親水性）ため、ハク離現象（ストリップング）、と呼ばれている。アスファルト混合物が加熱プラントで作製されるのは、アスファルトの粘度を下げると同時に、骨材表面の水分を追い出すためなのである。しかし、舗設された後は、雨が降れば表面は水にさらされるから、付着性の悪い原料を使用すると長い間にはハク離を起してしまうことになる。ハク離を起せば骨材が飛散してしまうことは容易に想像されよう。骨材の付着性を調べる方法としては、要綱にも「アスファルト被膜のハク離試験方法」

表-6 骨材の試験法<sup>1)</sup>

道路用碎石のすりへり試験	J I S A5001
骨材の安定性試験	J I S A1122
骨材中の軟石量試験	J I S A1126
骨材の単位容積重量試験	J I S A1104 準拠
石粉の水分試験	J I S A1202 準拠
石粉の比重試験	J I S A1202又は J I S R5201 準拠
骨材のふるい分け試験	付録 4-5
石粉の浸水膨張率およびフスファルトハク離抵抗性試験	付録 4-6
フスファルト被膜ハク離試験	付録 4-7

付録とはフスファルト舗装要綱の付録をさす。

(表-6)として概要が規定してある。

骨材の粒度は一般にフルイ分け試験によって行なわれる。試験法そのものはきわめて単純で、試料の骨材がどのような大きさを持っているか調べるだけであるが、これが重要なのは、次章にのべる配合設計のもとになるからである。一般にアスファルト混合物は、単一の骨材でつくられることはまれで、数種の骨材を組みあわせてアスファルトと混合する。その配合比を決定するのが、それぞれの骨材の粒度であり、混合物の良否を大きく左右するのが、全体の合成粒度である。

以上の性質に関する試験法は、要綱にも簡単にまとめられているので参考のためにあげておく。(表-6)

#### 4. 骨材の配合設計

骨材をどのように組み合わせれば、理想的な配合が得られるか、これは多くの研究者が解決を試みてきた問題である。まず考えられることは、最大密度の粒度にすれば最も安定性の大きいものが得られるだろうということである。ここでは、まず最上<sup>2)</sup>の考察を参考にし、粒子が等しい大きさの球と仮定して考えてみよう。一層に並べる配列の方法は、基本の形として図-1 a), b) がある。これを2層、3層にして積み重ねる場合、一番単純なものは図-2のように基本の形Aをそのまま重ねたものである (simple cubic packing)。図-3は第一層の2球間に第二層の1球がのる形で図-2の場合よりは密度が高くなる (cubical tetrahedral)。図-4は、第一層の4球の間に第二層の1球が入る形で、第3図よりもさ

図-1 基本の形

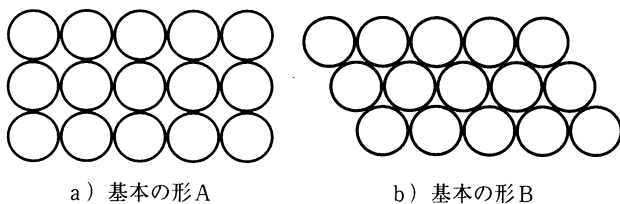


図-2 simple cubic

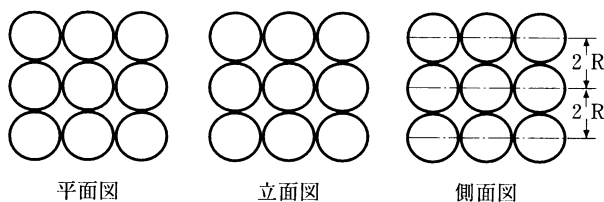


図-3 cubical tetrahedral

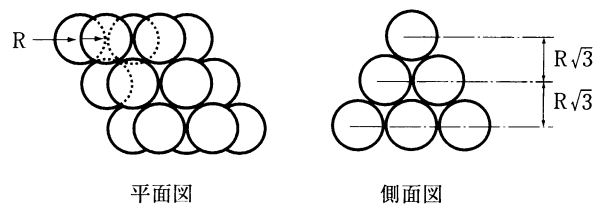


図-4 pyramidal packing

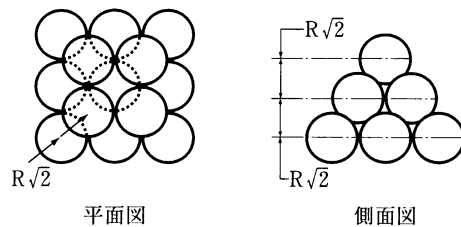


図-5 tetragonal sphenoidal

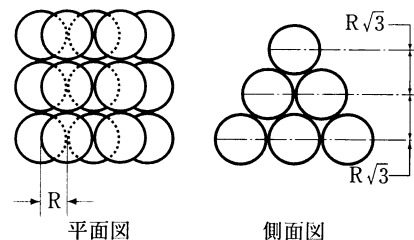
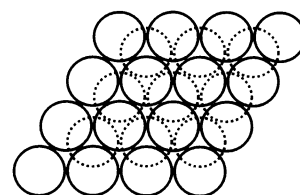


図-6 tetrahedral



らに密度は高くなる (pyramidal packing)。図-5は基本の形Bを使ったもので、第1層の2球間に第2層の1球が入る形 (tetragonal-sphenoidal)、さらに図-6は第一層の3球間に第2層の1球がのる形 (tetrahedral packing) である。これら5つが等しい大きさの球の代表的な詰め方であり、それぞれの接触点の数、密度等は

表-7に示した通りである<sup>2)</sup>。

表-7 接触点の数と空隙率<sup>2)</sup>

つまり方	接触点の数	層の間隔	密度	空隙率
simple cubic	6	2 R	0.5236	47.64
cubical tetrahedral	8	2 R	0.6036	39.54
tetragonal sphenoidal	10	$\sqrt{3} R$	0.6981	30.19
pyramidal	12	$\sqrt{2} R$	0.7405	25.95
tetrahedral	12	$2\sqrt{2/3}R$	0.7405	25.95

以上のような考え方を、2種の粒径、3種、4種と進めてゆけばよいのであるが、それは非常に難解な問題となるので、この程度にとどめておこう。

骨材配合において、このように理論的に最大密度を求めることはほとんど不可能に近い。粒子は球形ではないし、粒径が連続的に変化している

ことから、この困難さは想像できよう。しかし、最大密度を得る粒度のめやすとして、Fullerの式がよく使用されるので次に紹介しておく。

$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

P：あるフルイ目を通する粒子量の全量に対する比 (%)

d：そのフルイ目の大きさ

D：最大粒径

この式によれば、最大粒径Dを指定すれば、それ以下の粒度分布は一義的に定まってしまう。この式による粒度分布曲線は非常になめらかであり、このような粒度分布の型を連続粒度と呼んでいる。一方、最大密度を得るには不連続粒度が良いという意見や実験データもあり、いまだにいずれとも判定が下されていない。

また、さらに注意しなければならないことは、最大密度を与える骨材配合が必ずしも舗装にとって最良とはいえないことである。目的によっては空隙の多い単粒式が良い結果を示すこともある。

以上、骨材配合についてかなり否定的になってしまったが、あまり明確な見解はないというのが現状である。しかし、諸外国はもとより、わが国でも舗装に関しては相当の経験を積んでおり、望ましい粒度範囲はある程度つかんでいると言ってよかろう。それがアスファルト舗装要綱の規定である(表-8)。

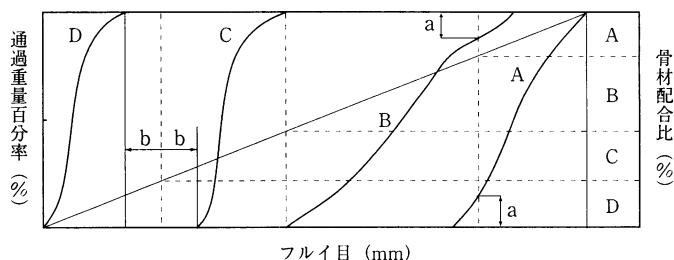
### 5. 骨材配合比の決定法

わが国では、特別の事情がないかぎり、要綱に示された標準配合にしたがって設計される。また、それが最も無難な方法であろう。入手できる骨材は各現場によって異なると思われるが、数種類の骨材を組み合わせ、標準配合に合致するような配合比を決めるには、要綱の付録に示された図表法が最もわかりやすいと思う。以下、その手順と方法を紹介することにする。

#### (1) 予定粒度の決定

これは、混合物の種類を決めれば必然的に定まる。

図-7 骨材の配合率を定め作る図法<sup>1)</sup>



たとえば、修正トベカにとれば、13mm通過は、規定が95~100%なのでその中央値の97.5%、5mm通過は65~80%なので72.5%というように定めていけばよい。

#### (2) 骨材の準備

予定粒度に照らし合せて使用予定の粗骨材、細骨材およびフィラーを選び、これらをフルイ分け、それぞれの粒度を求める(図-7のA、B、C、D)。

#### (3) 予定粒度と使用骨材の粒度図

普通方眼紙上に図-7のようなワクをつくり、縦軸に通過重量百分率を目盛っておいて対角線を引く。横の長さのとり方は任意である。つぎに、予定粒度のフルイ目の大きさと通過率の関係をうい、縦軸の通過重量百分率から対角線を利用して横軸上にフルイ目の大きさの位置を定める。つまり、横軸のスケールを逆にきめるわけである。さらに言いかえれば一般になめらかな曲線であらわされる予定粒度を、直線(対角線)で示したために生ずる歪を横軸の目盛を新しくとることにより補正してやるのである。こうして定めた目盛をもとに、使用予定骨材の各粒度曲線をえがく。

#### (4) 使用予定骨材の配合比決定

各骨材の相隣る粒度曲線の関係は図-7のような3通りのいずれかになる。これらの相隣る曲線の関係から、次の要領で垂直線をひく。

(i) たがいに重なっているとき(Aの下点とBの上点)：2つの粒度曲線と、上または下の横

軸との距離 (a の長さ) が等しくなるような位置に垂直線を引く。

(ii) たがいにならぬと相対しているとき (B の下点と C の上点) : 2 つの粒度曲線の上または下の横軸の交点を通る垂直線をひく。

(iii) たがいにならぬとき (C の下点と D の上点) : 2 つの粒度曲線の上または下の横軸との交点から、水平に等距離の点 (b = b) を通る垂直線を引く。

以上のようにして引いた垂直線と対角線の交点が骨材の配合比を示すことになる。

- (5) 以上のようにしてきめた骨材配合比から今度は逆にそれらの骨材を合成した場合の合成粒度を計算し、粒度曲線をプロットして検討する。
- (6) 必要に応じ、合成粒度を補正する。(比重による補正はここでは省略する)

以上の手順によって求められた配合比が、そのまま舗装に使用できるというのではなく、さらにアスファルト混合物の試験によって再検討されることになる。

## 6. あとがき

今回は、骨材に関する必要事項の概略を述べた。詳しく説明すればきりが無いとも思えるし、これ以上詳しくしても実際の役にたたないのではないかという感じもある。というのは、骨材はアスファルトのように品質が一定しておらず、千差万別のため数多くの報告があると同

表-8 加熱混合物の標準配合

種類		粗粒度 アスファルト コンクリート	密粒度アスファルト コンクリート		修正トベカ
用途		基 層	表 層		表 層
仕 上 り 厚 cm		4 ~ 6	5 ~ 6	4 ~ 5	3 ~ 5
最 大 粒 径 mm		20	20	13	13
通 過 重 量 百 分 率 %	25	100	100		
	20	95 ~ 100	95 ~ 100	100	100
	13	70 ~ 90	75 ~ 90	95 ~ 100	95 ~ 100
	5	35 ~ 55	45 ~ 65	55 ~ 75	65 ~ 80
	2.5	20 ~ 35	35 ~ 50		50 ~ 65
	0.6	10 ~ 22	18 ~ 29		25 ~ 40
	0.3	6 ~ 16	13 ~ 23		-
	0.15	4 ~ 12	6 ~ 16		8 ~ 20
0.074	2 ~ 6	4 ~ 8		3 ~ 8	
アスファルト 量 範 囲 %		4.5 ~ 6.5	5.0 ~ 7.0		6.0 ~ 8.0
アスファルト 針 入 度		60 ~ 80, 80 ~ 100, 100 ~ 120			

[注1] アスファルト量は混合物全量に対する重量百分率で示す。

[注2] 13~15mmの碎石の入手が困難な場合は10~5mmの碎石を使用することができる。

時に、それらの間になかなか一致点が見出せないからである。

しかし、骨材不足や、最近特に話題になるわだちぼれ等の問題から見ても、骨材に関する研究はできるだけ早急に整理しなければならないのではないかと筆者も考えている。いずれ機会を改めて紹介したいと思う。

今回は、アスファルト混合物の配合設計等について述べる予定である。

## 参考文献

- 1) アスファルト舗装要綱 日本道路協会
- 2) 最上武雄編著「土質力学」第8章、粒状体の力学、技報堂