

アスファルト舗装への砂鉄選鉱処理細骨材の有用性に関する研究

宮 内 一 光 *
山 本 勲 *
斉 藤 秀 光 *
○ 萩 原 英 三 **

1. 概 説

アスファルト舗装用の細骨材としての砂は、多く河川、海浜等より採取場所によって良質なものを使用しているが、舗装工事における経済性と地理的条件から近辺の良質の細骨材を使用する必要がある、今後の舗装事業の進捗にともなって各地の埋もれている資源の中からも有用な細骨材が見出され採択されるものと考えられる。

砂鉄選鉱処理細骨材は、道南の尻岸内町古武井に産出する砂鉄含有細砂を鉱業所において磁力選鉱法で鉄を回収処理し、処理後の細砂を海岸近くの広大な段丘に堆積分布させているものである。事業は現在縮小されているが、37年から始まり39年より本格的な採取となって最盛期には日産約1000tの砂鉄含有細砂を処理していたので相当量が未利用資源として埋もれていることになる。このような遺棄同様な資源を道路材料として利用することは以上のことからみて重要なことであるが、今回、アスファルト舗装への細骨材としての利用価値について検討する必要を生じたので、工学的な面から実験研究を行ない判定を加えてみた。

この報文は、利用価値の判定上から、現在道南の舗装に用いられている函館市近郊七飯浜海浜砂および鹿部村海浜砂を細砂として採択し、これら3種の細砂の比較を取上げて次にかかげる事項について実験研究を行なったものである。

- | | |
|---------------|---------------|
| 1) 各細砂の物理的性状 | 2) 各細砂の鉱物学的性状 |
| 3) マーシャル安定度試験 | 4) ステフネス |
| 5) 常温における圧裂試験 | 6) 凍結融解後の圧裂試験 |
| 7) 曲げ試験、圧縮試験 | |

この報文は1), 2), 3), 4)に関するもので第1報とし、続いて行なう以下の力学的試験結果による結論評価は第2報として次回に予定している。

2. 使用材料

アスファルト：アジア石油KK製、針入度 80~100、比重 1.029

粗 骨 材：七飯町鳴川産

細 骨 材：細砂として函館市近郊七重浜海浜砂、鹿部村海浜砂および尻岸内町古武井砂(砂鉄選鉱処理の砂)、以下略称をNa砂、Si砂、Ko砂とす。(ASTM規定の細砂でない)

フ ィ ラ ー：アサノフィラー(主成分石灰岩粉)

3. 実験内容、結果

1) 各細砂の物理的性状

3種の細砂について粒度、比重、吸水率、安定性、単位容積重量、空げき率、内部摩擦角、単位重量当り表面積(比重

* 函館工業高等専門学校 ** 北海道釧路土木現業所

差考慮)を測定した結果は図1, 表1の通りである。また形状の判定に顕微鏡写真(写真1~3)を示した。試験方法は主

表1

細 砂		Na 細砂	Si 細砂	Ko 細砂
比 重	表 乾	2.681	3.091	3.006
	か さ	2.626	3.061	2.921
	見 掛	2.780	3.154	3.191
吸 水 率(%)		2.114	0.959	2.892
安 定 性(%)		4.374	3.675	4.609
(単位容積重量(kg/m ³))		1,638	1,855	1,922
空 隙 率(%)		38.2	37.2	37.2
内 部 摩 擦 角		43.2°	44.5°	42.5°
表 面 積 (m ² /kg)		6.801	7.751	6.036
すりへり減量 (%)		30	29	22

として国分正胤編：土木材料実験によった。細砂のすりへり試験はボールミル粉砕機に陶球, 中20個, 小20個, 計975gを試料と共にに入れて1時間(3600回転)終了したものにつき減量を測定し3種の比較を行なった。その結果は表1のようにKo細砂がすりへり抵抗性にすぐれている。3種とも粒度構成は似ているが, 比重はNa細砂を通常用いられる値とすれば, 他2種はかなり大きい値である。従って

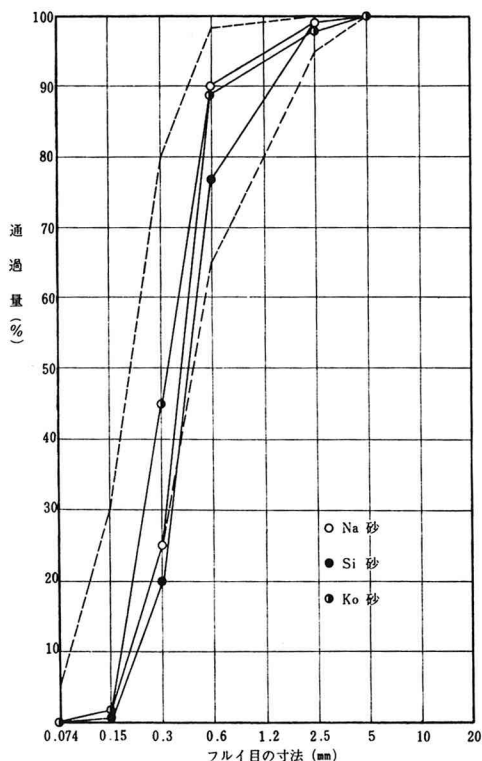


図1 細砂の粒度曲線(アスモル)

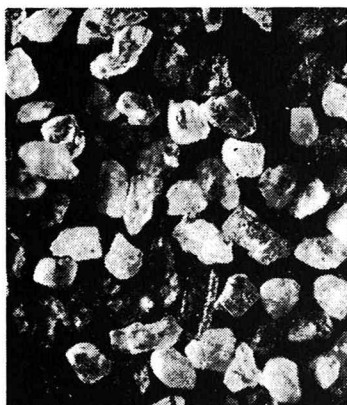


写真1 Na 細砂



写真2 Si 細砂

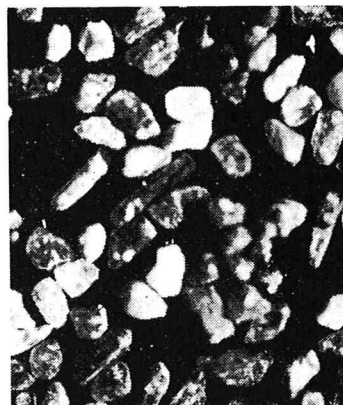


写真3 Ko 細砂

力学的試験における重量配合は, 3種の比較のための供試体の均一性を考慮して比重の比率を配分してきた。吸水率は細骨材に対して規定はないが, 参考のために粗骨材としての規定をとれば3%以下であり, 安定性試験も同様10%以下で, 何れも3種とも特に問題のない骨材である。形状について写真から見る限りあまり差はなく, 空げき率はNa細砂が僅か大きいほか3種に差は少ない。単位容積重量はSi細砂, Ko細砂が標準より大きく重鉱物成分の含有が予想される。

今回の細骨材は, 後記の配合表のように粗砂と細砂から構成され, 粗砂には鹿部産粗砂(海浜砂)を共通して用い,

細砂のみ本研究の3種のものを用いて、それぞれの舗装の種別（アスファルトモルタル、トベカ、粗粒式アスファルトコンクリート）について比較検討するもので、この場合のふるい分け粒度分布は、粗砂と細砂の合成である。すなわち細骨材はそれぞれ次のようになる。

七重浜細骨材：（鹿部粗砂）+（七重浜細砂）

鹿部細骨材：（鹿部粗砂）+（鹿部細砂）

古武井細骨材：（鹿部粗砂）+（古武井細砂）

ただし、上記はトベカ、粗粒式アスファルトコンクリートの細骨材で、アスファルトモルタルは細砂が全部細骨材となる（配合表参照）。以上の細骨材を配合表によって舗装の種別ごとに粒度曲線で示すと図1, 2, 3のようになり、ア

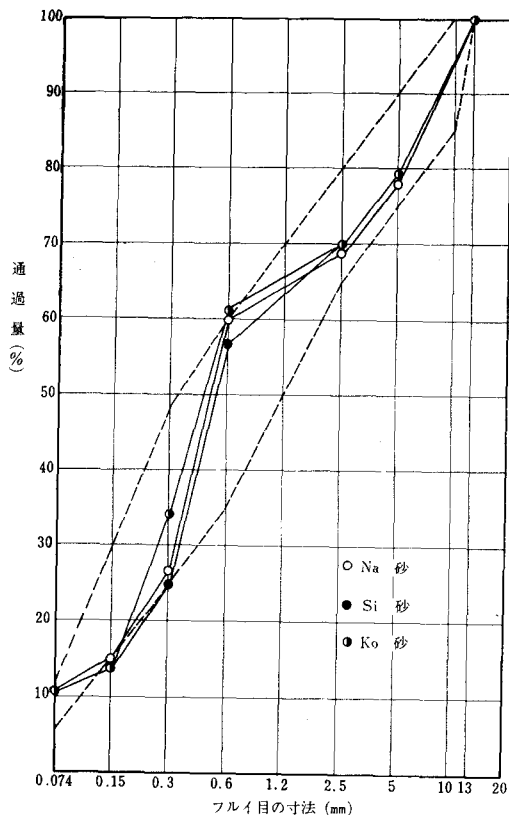


図2 細骨材粒度曲線（トベカ）

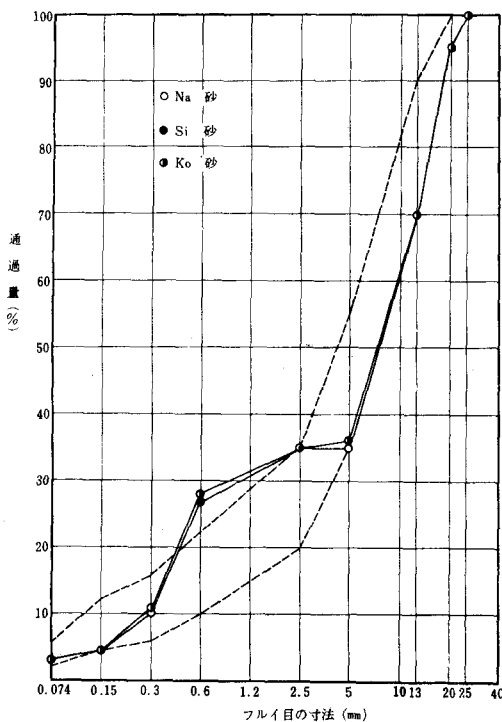


図3 細骨材粒度曲線（アスコン）

スファルトモルタルにおいては、Ko細骨材が最もよく粒度標準内に入っており、Si細骨材は少しく範囲から出るようである。トベカにおいては、3種とも粒度標準内に入るが、少し不連続傾向を示している。粗粒式アスファルトコンクリートでは、3種とも不連続傾向を示し粒度標準内には一部含まれていない。これについては、配合表にすでに決めてあるものを使用し、細骨材のうち細砂を3種の砂について比較の対称とし、現地より運搬したものをそのまま舗装に使用するものとして実験したので、粗粒式アスファルトコンクリートの細骨材の粒度分布は、このように範囲からはずれてもそのまま取上げた。ただし細骨材の量が僅少であるため結果としては、粗粒式アスファルトコンクリートはあまり大きく本実験には貢献していないが、一部のデータとして考慮した。以上の結果からの力学的性質に及ぼす影響を考察で記述する。

2) 各細砂の鉱物学的性状

一般に骨材表面にアスファルトを付着させる力は、骨材の種類によって変化する。特にこの影響のあらわれるのは常温あるいは加温の状態で施されるアスファルト混合物の場合である。石英岩、花崗岩、黒花崗岩のような酸性岩は

アスファルトとの接着が非常に悪く、玄武岩、斑礫岩、石灰岩、橄欖岩のような塩基性あるいはアルカリ性の岩はアスファルトとの付着がよいとされている。従って3種の細砂について力学的試験との相関性を調べるため、その鉱物成分を表2のように分離し、後述の力学的性質（マーシャル安定度）との関連について論及した。これらの鉱物成分

表2 細砂の鉱物成分

含有成分	重 鉱 物 (%)						軽 鉱 物 (%)				
	磁鉄鉱	赤鉄鉱	紫蘇輝石	普通輝石	角閃石	計	石 英	長石類	其の他	計	合 計
Na 細砂	17	3	38	13	1	72	12	15		27	99
Si 細砂	31	3	33	7	2	76	14	7	2	23	99
Ko 細砂	20	5	56	7	1	89	5	4	3	12	101

は重液分離法によったものである。この表から重鉱物の割合がKo細砂が最大、Na細砂が最も少なく、また軽鉱物の割合がNa細砂が最大、Ko細砂が最小で、特にKo細砂の重鉱物の紫蘇輝石がきわだって多く、軽鉱物の悪影響を及ぼす石英は非常に少なく、他の2種の半量以下であった。

また、粒度組成図、累積頻度曲線を求めた結果は、図4～8の通りであり、骨材のふるい分け試験法より得られた粒度曲線とおおむね一致している。(図1)

混合物に対する以上の結果の影響は考察の項で述べる。

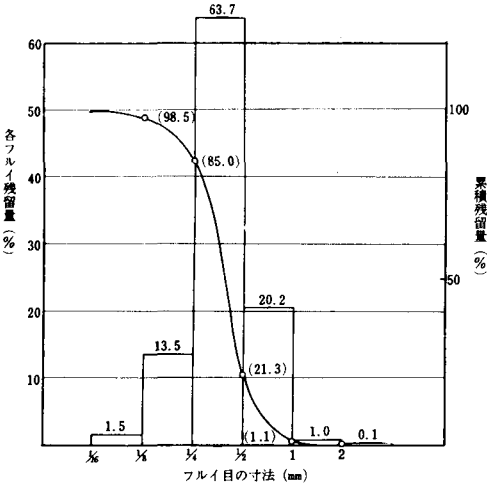


図4 Na細砂粒度組成図 累積頻度曲線

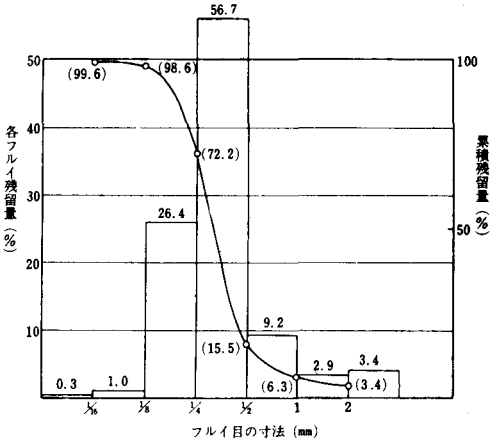


図5 Ko細砂粒度組成図 累積頻度曲線

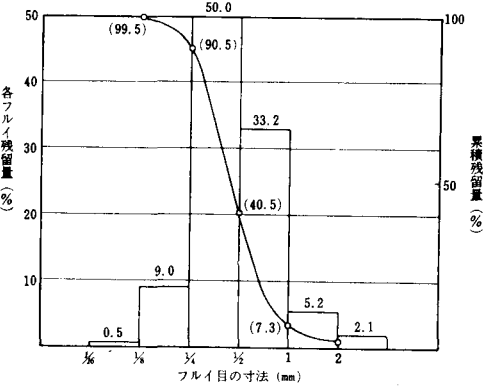


図6 Si細砂粒度組成図 累積頻度曲線

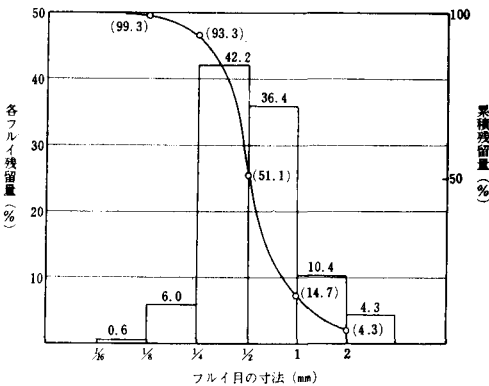


図7 Si粗砂粒度組成図 累積頻度曲線（参考）

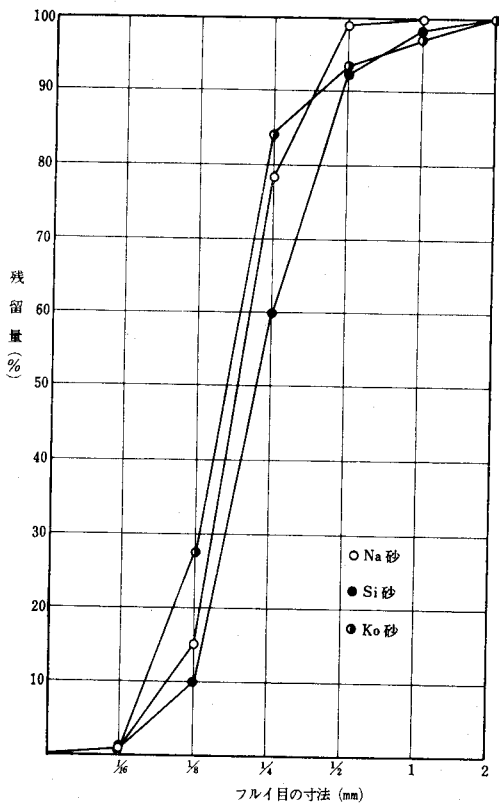


図8 累積頻度曲線

ように表われ、トベカ、粗粒式アスファルトコンクリートになると細骨材の細砂使用量が少なくなって、その影響が漸減している。

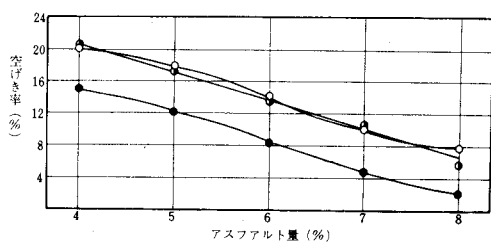


図9(1) (アスモル)

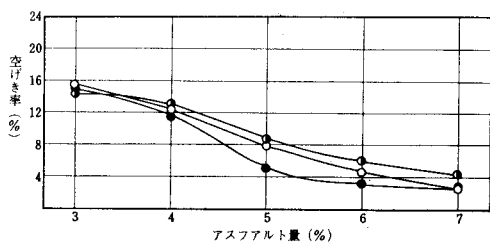


図10(1) (トベカ)

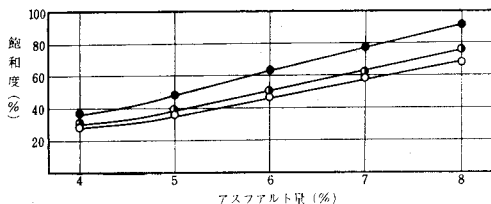


図9(2) (アスモル)

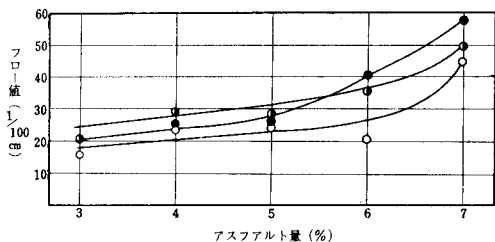


図10(2) (トベカ)

3) アスファルト混合物のマーシャル安定度、フロー値、密度、飽和度

混合物の力学的性質より、これまでの細砂あるいは細骨材との相関性を究明するため安定度試験を行なった。アス

表3 配合表

材料 混合物	ファイラー (%)	砂 (%)		砕石 (%)				
		細砂	粗砂	20	13	13	10	5
				30	20	5	5	2.5
アスモル	20	68						
トベカ	15	29	19			20		8
アスコン	6	6	18	32	13	19		

ファルト混合物は、実際に用いられている表層用アスファルトモルタル、トベカ、粗粒式アスファルトコンクリートを取りあげ、これらについて次頁のようにファイラー、細骨材、粗骨材の配合を定めておいて、アスファルト量を変化させ、試験結果から安定度の最大値を求めてこれに関連する他の要素とともにアスファルト量を決めた。アスファルト量が細骨材の細砂の種類によって後述のように変化する。なお、この配合は北海道函館土木現業所の材料配合表を参考としたものであり、アスファルト量のみ変化させて試験した。これらの結果は図9～11の通りである。この図によるとマーシャル安定度は、アスファルトモルタルが全部細骨材の細砂であるので、この場合の3種の比較が明り

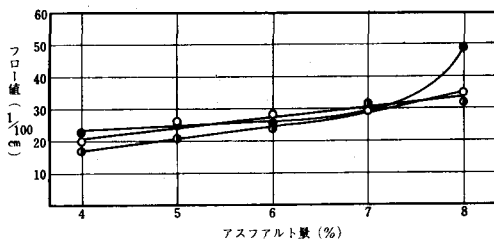


図9(3) (アスモル)

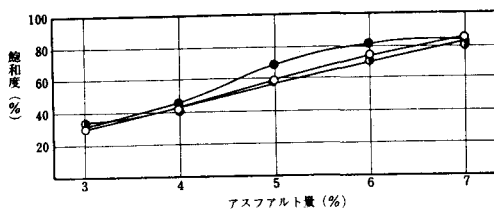


図10(3) (トベカ)

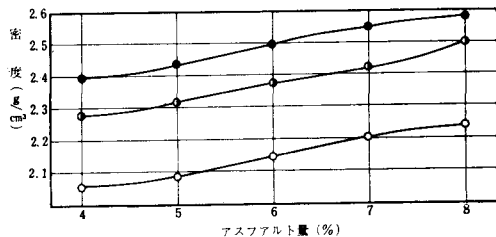


図9(4) (アスモル)

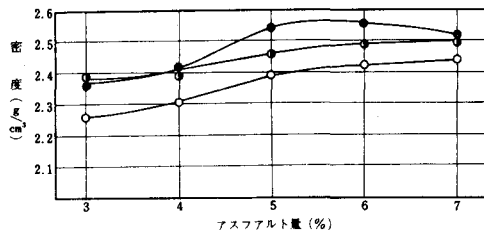


図10(4) (トベカ)

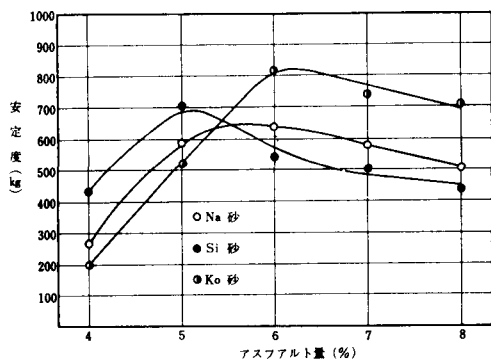


図9(5)

図9(1)~(5) マーシャル安定度 (アスモル)

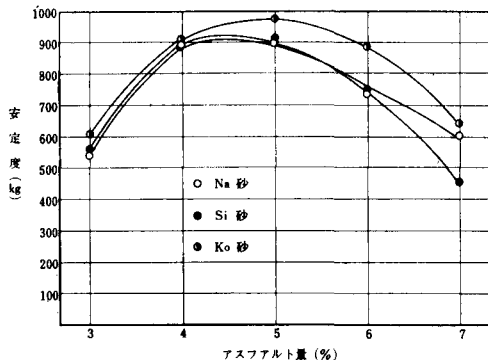


図10(5)

図10(1)~(5) マーシャル安定度 (トベカ)

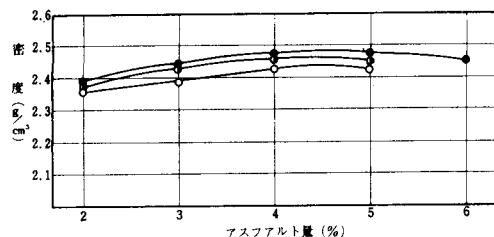


図11(1) (アスコン)

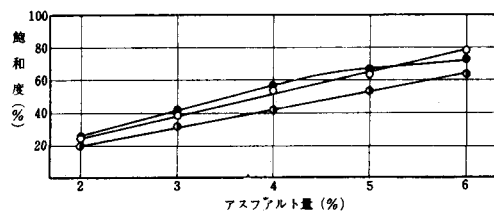


図11(2) (アスコン)

4) アスファルト混合物のステフネス

アスファルト混合物のステフネスは、変形と荷重との関係から力学的特性を調べる1つの尺度であるが、通常用いられているのはStress/Strainであって、ここではマーシャル安定度とフロー値をもってこれに代えてステフネスとすれば次の図12~14のようになる。

アスファルトモルタルでは前記と同様、細骨材がすべて細砂使用であるため、3種の細砂比較には中心的役割をなすものと考えてトベカ、粗粒式アスファルトコンクリートとともに有意差を検討することになるが、この場合もトベカ粗粒式アスファルトコンクリートでは碎石の混入によって有意差はなくなる傾向にある。

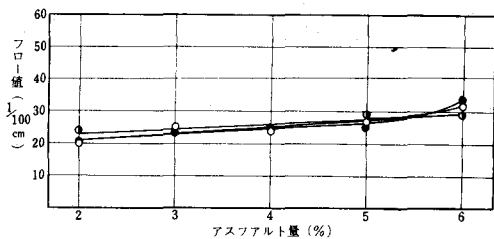


図11(3) (アスコン)

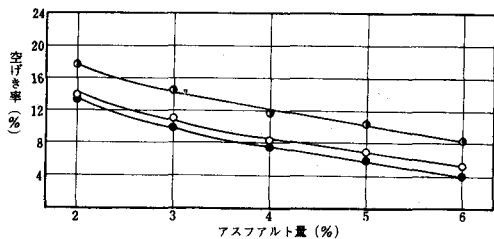


図11(4) (アスコン)

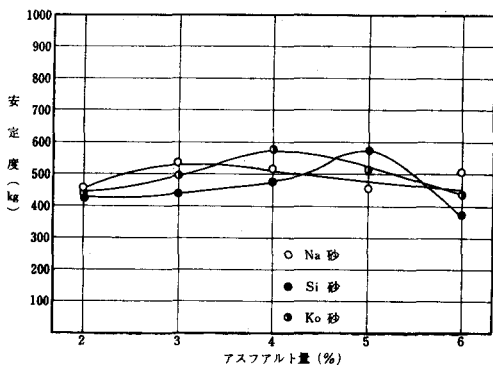


図11(5)

図11(1)~(5) マーシャル安定度 (アスコン)

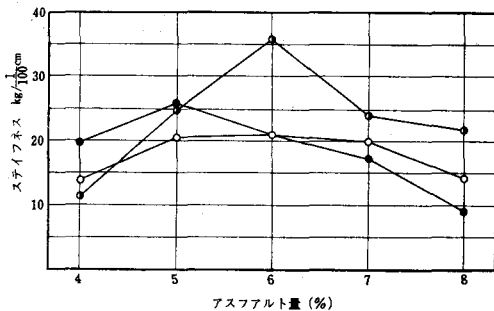


図12 ステフネス (アスモル)

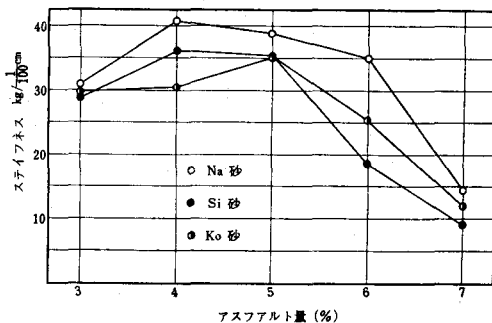


図13 ステフネス (トベカ)

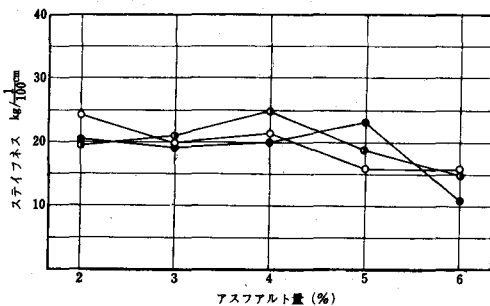


図14 ステフネス (アスコン)

4. 考 察

1) マーシャル安定度と細砂の物理的性状による考察と判定

アスファルトモルタルは骨材として68%全部が細骨材として細砂であるため、3種の細砂による安定度の差が大きく表われている。物理的性状から判断すると、形状には写真のように差がなく、主として単位重量当り表面積、内部摩擦角、結合力が影響を与えているものと考えられる。これはマーシャル安定度は交通及び気温による変位に対する内部抵抗を意味し、気温が上昇したときでもなお外力のための変形を起こさないための抵抗の程度を評価するのが目的であるから、細骨材の空げきへアスファルト、フィラーが填充されて混合物として一体として考えるときに、その安定度は全く内部の機械的組織によっているからで、アスファルトモルタルの抵抗力を構成する要素は、アスファルトの粘着力と付着力（合わせて結合力）および骨材間の摩擦抵抗とである。従ってアスファルトの Plasticity および使用量、骨材の組成および粒子の性質等により左右されるものであるが、最大安定度は、粒子表面積にアスファルトが最も良好に被覆された場合であって、それによって適正アスファルト量がきめられるので、アスファルト被膜で骨材粒子を被覆する役目をもつ必要アスファルト量は、骨材粒子の表面積の和によって決定されるものである。

物理的性状から得られた表面積のKo細砂7.751 m^2/kg 、Na細砂6.801 m^2/kg 、Si細砂6.036 m^2/kg は、図9のアスファ

ルトモルタルの安定度試験に示すように最大安定度におけるアスファルト量のKo細砂6.1%, Na細砂5.7%, Si細砂5.1%を与えて、この理論の裏づけをなし、これらのうちでは古武井砂(Ko細砂)が他よりアスファルト量を必要とするようである。

また、骨材の摩擦抵抗を考察すると、もし細骨材が同一大きさの球よりなるときはその空げき量は26%である。この場合細骨材が小さくなると空げき量は一定であるが空げき個々の大きさは益々小となり、同時に細骨材間の接触点を増す。従って摩擦抵抗は増大する。ゆえにこれに一層小さい粒子が混入すれば空げきの量および大きさを減じ接触点を増すのでアスファルト所要量は少なくなり、他方摩擦抵抗は大きくなる。

図からアスファルトモルタルにおける最大安定度のアスファルト量を求めると、Ko細砂6.1%, Na細砂5.7%, Si細砂5.1%で、物理的性状から得られた内部摩擦角、Ko細砂にて42.5°, Na細砂43.2°, Si細砂44.5°から、明らかに摩擦抵抗の大きい細骨材(細砂)がアスファルト量を少なくする傾向になっている。この試験においてはアスファルト量の細砂による差は1%以下である。

トベカは、配合表のように細骨材(粗砂+細砂)を主要材とするもので粗骨材(碎石)はそれ自身骨格となるよりもむしろアスファルトモルタル中に浮いている程度のものである。この安定度は主として骨材間の摩擦力とアスファルトの結合力に負うものであるが、粗骨材の混入によって(この場合28%)全部が3種の細骨材によるアスファルトモルタルの安定度のような大きい有意差は表われなくなる。トベカの細骨材は48%でそのうち29%が細砂として、この研究の主眼となるものであるが、図10より明らかなように有意差は少なくなるがアスファルトモルタルと同様な傾向を示し、細砂の摩擦抵抗、表面積による影響が明らかであり、Ko細砂、Si細砂、Na細砂の順に摩擦抵抗、表面積に従っている。この試験においても1%以下のアスファルト量の差で特に問題はない。

粗粒式アスファルトコンクリートは、主として碎石(粗骨材)のかみ合わせにあるので、不整形で稜角に富む碎石粒がローラーで圧縮されて互にかみ合わされ、あたかもマカダム舗装と同様な働きをなすものであるが、骨材間の摩擦抵抗およびアスファルトの結合力はアスファルトモルタルの場合程の効果はないとされている。この試験においても明かなように多量の粗骨材のため、細骨材の細砂による有意差は認められないので特に考察しないことにする。

以上の実験からアスファルト舗装要綱のマーシャル試験に対する基準値により最終アスファルト量と最終安定度を決定すると次の表4、5のようになる。

ただし、配合表は始めからきめられてあるので粗粒式アスファルトコンクリートのマーシャル試験の結果のうち、空げき率、飽和度に配合の再検討の余地が何かわれるが、これによって測定結果の表われない個所は図より類推してきめてある。安定度の基準値は試料突固め回数が50回であるので舗装要綱により350 kg以上とした。表5の結果から明かなように決定した最終アスファルト量は、何れの舗装の種別においても1%以下の差であり、これらのアスファルト量から得られた最終

表4 舗装要綱範囲から採用した基準値

	安定度	フロー値	空げき率	飽和度
アスモル	350以上	25	8	70
トベカ	350以上	25	7	75
アスコン	350以上	25	6	75

表5 基準値より求めたアスファルト量と安定度

		最大安定度より	フロー値より	空げき率より	密度より	飽和度より	最終アスファルト量	最終安定度
アスモル	Na細砂	5.7%	5.4%	7.8%	—%	8.1%	6.8%	595 kg
	Si細砂	5.1	5.8	6.1	—	6.5	5.9	590
	Ko細砂	6.1	6.5	7.5	—	7.6	6.9	765
トベカ	Na細砂	4.5	5.8	5.2	—	6.0	5.4	840
	Si細砂	4.6	4.6	4.6	—	5.2	4.8	920
	Ko細砂	5.0	3.7	5.6	—	6.4	5.2	960
アスコン	Na細砂	3.1	4.0	5.1	4.1	5.8	4.4	490
	Si細砂	5.0	4.0	4.9	4.6	6.2	4.9	560
	Ko細砂	4.0	3.7	8.0	4.0	7.0	5.3	500

安定度は、何れも基準値350kg以上を満足していて、特にアスファルトモルタル、トベカにおいて古武井砂(Ko細砂)の安定度が最大の値を示した。粗粒式アスファルトコンクリートは、前述のように主として、粗骨材である碎石のかみ合わせによる効果が大きいため、細骨材の細砂の影響による最終アスファルト量、最終安定度への効果は判定困難ではあるが一応満足すべき結果を与えている。(ただし、ここに求められた最終アスファルト量は、あくまで理論と室内実験から得られたものであり、実際に採用する場合には、この他現地の特殊条件を考慮し、過去の実績なども検討して所要アスファルト量を決定することになる。)

2) ステフネスによる判定

図12のようにアスファルトモルタルにおいては、Ko細砂によるものが高いステフネスを示している。今、アスファルトモルタル、トベカ、粗粒式アスファルトコンクリートのステフネス図より、得られた最終安定度におけるそれぞれのステフネスを求めると次の表6ようになる。

表6 最終安定度におけるステフネス (100kgcm⁻¹)

	ア ス モ ル			ト ベ カ			ア ス コ ン		
	Na	Si	Ko	Na	Si	Ko	Na	Si	Ko
最終安定度	595 ^{kg}	590	765	840	920	960	490	560	500
ステフネス	20	22	24	37	36	34	18	23	18

すなわち、最終安定度から求められたステフネスについては、それぞれの混合物において大きな差はなく、アスファルトモルタルでKo細砂が、トベカでNa細砂が他よりわずかにすぐれ、粗粒式アスファルトコンクリートではSi細砂によるものがよい結果となっているが、これは下記の理由によって細砂の影響とは限らない。

アスファルト舗装要綱では、安定度/フロー値は20～50の範囲にあるのが割合にたわみ性に富み、流動を起さないとしている。この考え方から行くと、アスファルトモルタル、トベカは3種の細砂とも何れも満足すべき値である。ここでは粗粒式アスファルトコンクリートでNa細砂、Ko細砂によるものが18を示しているが、これは粗骨材の碎石のかみ合わせ効果による影響の方が大で、細砂混入量6%の細骨材による影響は、この場合も判定出来ないと考ええる。粗粒式アスファルトコンクリートの場合は、安定度/フロー値が20以上になるように別に配合を検討し、最終アスファルト量を決めればよいことになる。

3) 力学的性質と細砂の鉱物学的性状による考察判定

混合物の安定度の増大は、(a)角に富む砂のかみ合わせ、(b)骨材粒子の摩擦抵抗、(c)骨材空気を満たす所要アスファルト量、(d)アスファルトと骨材の結合力、(e)骨材の単位重量当り表面積によって変化する。この実験において、アスファルトモルタルにおける安定度の最大値を比較すると、図9から明らかなようにKo細砂が顕著で最大、Si細砂、Na細砂という順位になっているが、(a)の事項に対しては顕微鏡写真のように3種とも類似で差はなく、(b)についてはSi細砂が最大の摩擦抵抗値を、Ko細砂が最小のそれを示しているにかかわらず、最大安定値は逆の値を示している。所要アスファルト量は最大安定度の時のものであるから、(c)については問題はなく、(e)の表面積の最大はKo細砂で安定度はこれらのうちで最大を示しているが、他の2種は逆で表面積の順位にはならず、表面積の大きいものが必ずしも大きな安定度を示すとは限らない結果を示している。(ただし、前記説明のように表面積、摩擦抵抗はアスファルト量に關与している。) 結局は(d)の結合力がこの3種の最大安定度に差を与えていることになり、これをそれぞれの種類によって究明することが重要となる。

この結合力は、すでに述べたように細砂中に含まれる鉱物質成分のうち、塩基性岩質を含むものが一般にアスファルトとの付着がよいとされているので表2からこの傾向を検討すると次のように明らかに安定度への影響を示すことができる。鉱物学的に得られた重鉱物(比重3以上のもの)、軽鉱物(比重3以下のもの)は表の名称の通りであるが、これより重鉱物はほとんど塩基性岩質で、軽鉱物は酸性岩質を示している。従って重鉱物の非常に多いKo細砂が結合力にすぐれていることを示し、特に悪影響を及ぼす軽鉱物の石英がはなはだ少ないことは、さらにこれを有利にし

ていると考えられる。他の2種もこの傾向を示し、重鉱物が増大し、軽鉱物が減少するに従って最大安定度が増大する傾向を明らかに示している。

鉱物成分からみて、Ko 細砂は、砂鉄を一度処理したもので鉄分はSi 細砂より少ないが、結局、他の重鉱物成分による影響が大きく、安定度に好結果を与えていることになる。

さらに結合力の究明のために、圧裂試験、凍結融解後の圧裂試験、曲げ試験を行なうことによって、マーシャル安定度とともにこれらの力学的試験と鉱物成分との関係が得られることになる。

5. 第1報としての結論

この研究では、砂鉄選鉱処理細骨材としての古武井砂を鹿部村海浜砂、七重浜海浜砂と比較検討したが、概説のように、物理的性状、鉱物学的性状、マーシャル安定度、ステフネスまでに関する結論を第1報としてまとめると次のようになる。

- 1) アスファルトモルタル、トベカにおいて、最大安定度は古武井砂がすぐれている。ただし、アスファルト量は1%以下の差であるが、古武井砂は他種より多目の傾向がある。アスファルト量は、単位重量当り表面積の順位に従い、内部摩擦角の大きい程少なくなる傾向にある。最大安定度は必ずしも表面積順位にはならず、骨材の摩擦抵抗にも従っていない。すなわち、アスファルトと細骨材の結合力に関係すると考えられる。(今回のアスファルトモルタルとトベカの場合)
- 2) 最終安定度は、3種とも基準値350 kg以上を十分満足する。特に古武井砂は、アスファルトモルタルで顕著であり、トベカでもそんな色はない。
- 3) 最終安定度から得られたステフネスは、20~50 ($\text{kg/cm}^{-1} \times 100$) の範囲にあり、3種ともたわみ性に富み、流動を起こしにくいといえる。(粗粒式アスファルトコンクリートを除く)
- 4) 結合力は、細砂の鉱物成分に影響され、主として、塩基性岩質である重鉱物が多く、酸性岩質である軽鉱物の少ないものが安定度の増大を示し、古武井砂が特に顕著である。
- 5) すりへり抵抗性は、古武井砂がすぐれている。
- 6) 配合の決定には、比重が重鉱物成分のため、通常用いられるものよりかなり大きいことから、重量配合の場合、この点を考慮しなければならない。
- 7) 舗装の種別のうち、粗粒式アスファルトコンクリートについては、すでに説明したように細骨材としての細砂の量が僅少であり、有意差が表われにくいので判定を無視した。

以上の結果から、これまでの実験の範囲内では、古武井砂はアスファルト混合物用細骨材として十分に使用できる。なお以上のデータのみで必ずしも十分とはいえないが、概説に述べた5)、6)、7)項の実験研究による判定は第2報とし、特に本道の寒冷期の影響による結合力の究明を中心に比較検討を行なう考えである。

参 考 文 献

- 1) 北海道立地下資源調査所：恵山（札幌一第87号）、昭和44年
- 2) 国分正胤：土木材料実験、技報堂
- 3) 谷藤正三：歴青舗装の設計と施工、理工図書
- 4) 原田種成：黒い砂、地質ニュース、地質調査所編、1966.10.
- 5) 佐藤良昭：砂岩の中の重鉱物、地質ニュース、地質調査所編、1966. 5.
- 6) 竹上 寛：鹿児島県における海浜砂の鉱物組成と環境地質との関係について、日本岩石鉱物鉱床学会、第66巻3号、1971
- 7) Kreds, Walker : Highway Materials, McGraw-Hill
- 8) 昆布谷竹郎：アスファルト舗装用材料、舗装、第5巻3号、1970
- 9) Gandhi, Gallaway : The Effect of Aggregate Characteristics on the Behavior of Asphalt Mixtures Under Static and Dynamic Loading Conditions, Journal of Materials, ASTM, June 1970
- 10) 谷本誠一：アスファルト混合物のはく離に関する試験舗装とその観測結果、舗装、第6巻5号、1971
- 11) 近藤 正：舗装用骨材の調査、舗装、第3巻6号、1968
- 12) アスファルト舗装要綱、日本道路協会、新44年4月、旧41年4月
- 13) 吉本 彰、萩野正嗣：細骨材の粒度がアスファルトコンクリートのマーシャル安定度におよぼす影響、土木学会論文報告集、第166号、1969年6月