

土木研究所資料

アスファルト混合物用骨材の 品質改善に関する研究

昭和62年11月

建設省土木研究所
道路部舗装研究室

Copyright © (1988) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

アスファルト混合物用骨材の 品質改善に関する研究

舗装研究室 室長 安 崎 裕
研究員 池 田 拓 哉
岩 崎 尚 義

要 旨

アスファルト舗装に用いられる骨材は、形状、粒度、アスファルトとの付着性、耐久性など、他の土木工事で使用される骨材より、良好な品質が要求される。しかし、それらの要求を満足する骨材資源は減少しつつあり、良質なアスファルト混合物用骨材の枯渇が懸念されている。本報告書では、アスファルト混合物用骨材に要求される品質のうち、骨材の形状(細長、偏平)およびアスファルトとの付着性(剥離抵抗)が、通常の骨材より劣るものについて、品質改善を施すことにより、アスファルト混合物用骨材として有効に使用方法について研究した。この研究成果は、品質が若干劣る骨材の有効利用を図るだけでなく、通常の骨材の品質を改善して舗装の耐久性を向上させることにも役立つものである。

キーワード：細長指数、偏平指数、剥離抵抗、形状試験、剥離試験、カップリング剤、
形状改善

ま え が き

道路舗装に使用される材料のうち、アスファルト混合物用粗骨材は、形状、粒度、アスファルトとの付着性、耐久性など、セメントコンクリート用骨材や路盤用骨材に比べて、良好な品質が要求される。しかし、求められる品質を満足する骨材資源は減少する傾向にあり、アスファルト混合物用骨材の枯渇が懸念されている。

そこで、骨材資源の有効利用を図るため、以下の研究を行った。

- (1) 形状に問題がある骨材について、形状の良好な骨材を混合することで、骨材の品質を改善する方法。
- (2) 剝離抵抗の劣る骨材の表面を、カップリング剤で処理することにより、剝離抵抗性を改善する方法。

特に、(2)は剝離抵抗に劣る骨材の品質を改善するのみならず、通常のアスファルト舗装の耐久性の向上に役立つことが期待される。

目 次

1. 研究の目的	1
2. 研究の方法	3
2.1 骨材の評価試験方法	3
2.1.1 アスファルト混合物用骨材の剝離試験	3
2.1.2 骨材の形状試験	3
2.2 表面電位加工法による骨材の改良	3
2.2.1 アスファルト舗装における剝離のメカニズム	3
2.2.2 従来の剝離防止方法	6
2.2.3 カップリング剤	6
2.2.4 実験室におけるカップリング剤による骨材の表面処理方法	7
2.3 複合改善による骨材の改良方法	8
2.4 試験に使用した骨材	8
3. 複合改善による改良効果	9
3.1 基準骨材による改良効果	9
3.2 良形骨材による改良効果	9
3.3 考 察	10
4. 表面電位加工による改良効果	11
4.1 カップリング剤の効果	11
4.1.1 標準的な使用方法による試験	11
4.1.2 薄い溶液による剝離防止効果についての調査	11
4.1.3 繰返し曲げ試験によるアスファルト混合物の耐久性評価	11
4.1.4 考 察	12
4.2 舗装走行実験場における試験施工	14
4.3 経済的な検討	15
4.4 考 察	15
あとがき	17
参考文献	18

1. 研究の目的

本研究は、アスファルト混合物（以下アスコン）用骨材として比較的性質の劣るものに、何らかの改良を施してアスコン用骨材として有効利用を図ることを目的としている。

アスコン用骨材は、その機能に対応して以下のような材料規定が設けられている。

(1) 粒 度

アスファルト舗装は、骨材のかみ合わせで車両の重量を支えることを想定しており、要求されるアスコンの性質に応じて、アスコンの粒度が規定されている。アスコン用碎石の粒度については、JIS A 5001 の道路用碎石に規定されている。

(2) 比 重

骨材の比重が小さい場合には、耐久性その他の性質に劣ることが多い。したがって、それらの骨材を排除する目的で、骨材の表乾比重を 2.45 以上とすることが、アスファルト舗装要綱に規定されている。

(3) 吸 水 量

骨材の吸水量が大きい場合には、バインダーとして加えたアスファルトの一部を吸収してしまい、添加したアスファルトに比較して、実質的なアスファルト量が小さくなることがある。それを防ぐ目的で、吸水量を 3.0% 以下とすることが、アスファルト舗装要綱に規定されている。

(4) すり減り減量

舗装は、車両のタイヤによって摩耗作用を受ける。特に積雪寒冷地域では、スパイクタイヤやチェーンによる舗装のすり減りが、道路管理上の大きな問題となっている。舗装のすり減り抵抗を一定以上に保つことを目的として、JIS A 1121 に規定されるロスアンゼルス試験機によるすり減り減量を、30% 以下とすることがアスファルト舗装要綱に規定されている。

(5) 耐 久 性

舗装は外気に直接さらされるため、一定以上の耐候性を持つことが必要である。そこで、JIS A 1122 に規定する、硫酸ナトリウムによる安定性試験での損失量が 12% 以下であることが、アスファルト舗装要綱に規定されている。

(6) 粘 土 量

骨材に粘土分が含まれていると、車両の荷重が繰返し作用することにより粘土塊が崩壊し、舗装の弱点となることがある。そこで、粗骨材に含まれる粘土量を 0.25% 以下とすることが規定されている。

(7) 軟 石 量

粗骨材中に軟石が含まれていると、その部分から割れやはがれが生じるため、JIS A 1126 に規定されている軟石量試験による軟石の含有量を、5.0% 以下とすることがアスファルト舗装要綱に規定されている。

(8) 剝離抵抗

粗骨材とアスファルトのなじみが悪い場合、車両による繰返し荷重や水の影響により、舗装面から骨材がはがれて飛散してしまうことがある。これを防止するために、粗骨材との付着力の不足が心配される場合には、剝離試験を実施して、剝離抵抗を確認することがアスファルト舗装要綱に定められている。

(9) 形 状

細長い骨材および偏平な骨材が多量に含まれていると、アスコンの安定度が低下し、耐久性に問題を生じる原因となる。そこで、骨材の最大長と最小長の比率が5より大きい石片の含有量を10%以内とすることが、アスファルト舗装要綱に規定されている。

本報告書では、これらのうち(8)および(9)に着目し、それらの性状に劣る骨材を改良して使用する方策をまとめることを目的としている。

2. 研究の方法

2.1 骨材の評価試験方法

2.1.1 アスファルト混合物用骨材の剝離試験

アスコン用骨材とアスファルトの、付着性を試験する方法としては、各種の試験方法が提案されているが、今回の実験では(社)石油学会から提案されている、下記の試験方法を用いることとした。なお、(社)石油学会では昭和61年末に剝離試験方法を改訂しており、下記の方法は現在では用いられなくなっている。

- (1) 粒径 $10\sim 13\text{mm}$ の乾燥骨材 100g を取り、混合温度より 5°C 高く調整した乾燥機に1時間静置する。混合温度は、アスファルトの動粘度が $180\pm 20\text{cSt}$ を示す温度とする。
- (2) 加熱したアスファルト 5.5g を加えて、へらで2～3分激しく混合し、骨材をアスファルトで完全に被覆する。
- (3) アスファルトで被覆された骨材を、ガラス板上に1時間放置し室温までさます。
- (4) 骨材をガラス板ごと $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ の温水中に30分間浸す。
- (5) ガラス板と骨材を一緒に取り出し、常温の水につける。これを上方より観察し、図-2.1に従って剝離パターンを分類する。

2.1.2 骨材の形状試験

国内には、骨材の形状に関する試験方法の規定がないため、British Standard 812に規定される、下記の試験方法を適用した。

- (1) 試験を行う骨材の寸法と、厚さゲージ(図-2.2)および長さゲージ(図-2.3)の関係を表-2.1に示す。それぞれの寸法のふるいの間に残留する骨材から、無作為に200個以上の骨材を採取し、全体の質量を測定する。
- (2) 骨材寸法に対応する厚さゲージの穴を、骨材が通過するかどうかを調べ、通過する骨材(扁平骨材)全体の質量を測定する。そして、骨材全体の質量に占める扁平骨材の質量を求め扁平指数とする。
- (3) 骨材寸法に対応する長さゲージの棒の間を、骨材が通過するかどうかを調べ、通過する骨材(細長骨材)全体の質量を測定する。そして、骨材全体の質量に占める細長骨材の質量を求め細長指数とする。

2.2 表面電位加工法による骨材の改良

2.2.1 アスファルト舗装における剝離のメカニズム

アスファルト舗装は、粗骨材、細骨材を適当な粒度に混合したものに、結合材としてアスファルトを加えて混合した材料である。したがって、その耐久性に対するアスファルトと骨材の付着力の影響は大きい。アスファルトと骨材の付着力は、アスファルトと骨材の機械的結合力と、アスファルト分

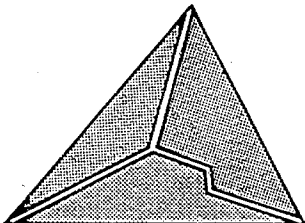
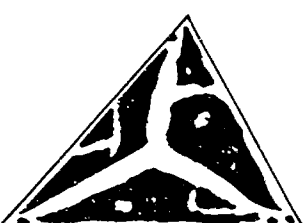
パターン番号	I	II	III	VI	
定義	まったく剝離していない。 (稜角が薄茶色の場合を含む)	稜角の剝離および／または小斑点の剝離がみられる。	稜角の剝離が拡大。および／または斑点状の剝離がみられる。	1 連続相の剝離がみられる。	2 アスファルトが島状または点状に残留している。
モデル図 (剝離面積率%)	 (0)	 (6.4)	 (15.8)	 (32.4)	 (39.8)
剝離面積率の範囲 (%)	0	5～12	12～28	28～	

図-2.1 剝離パターンの分類方法 (石油学会)

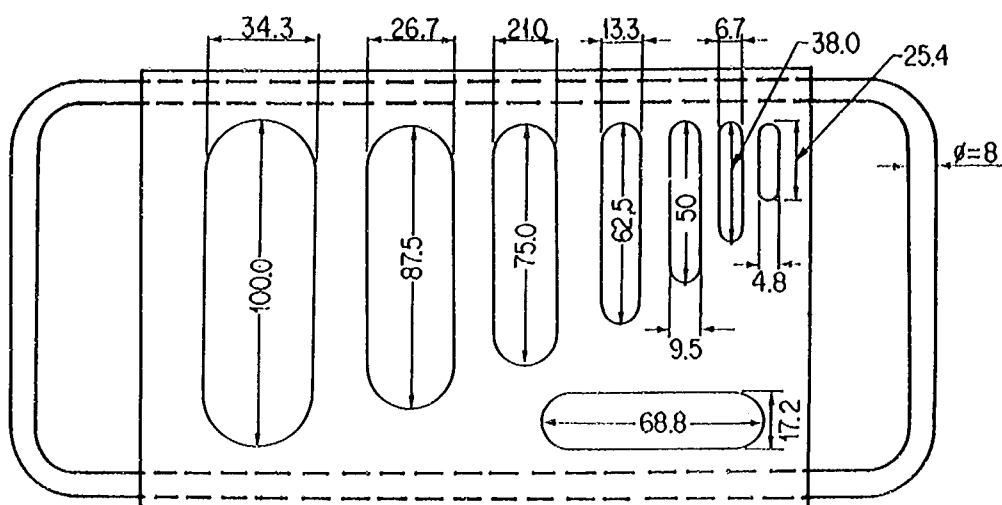


図- 2.2 厚さゲージ (BS 812)

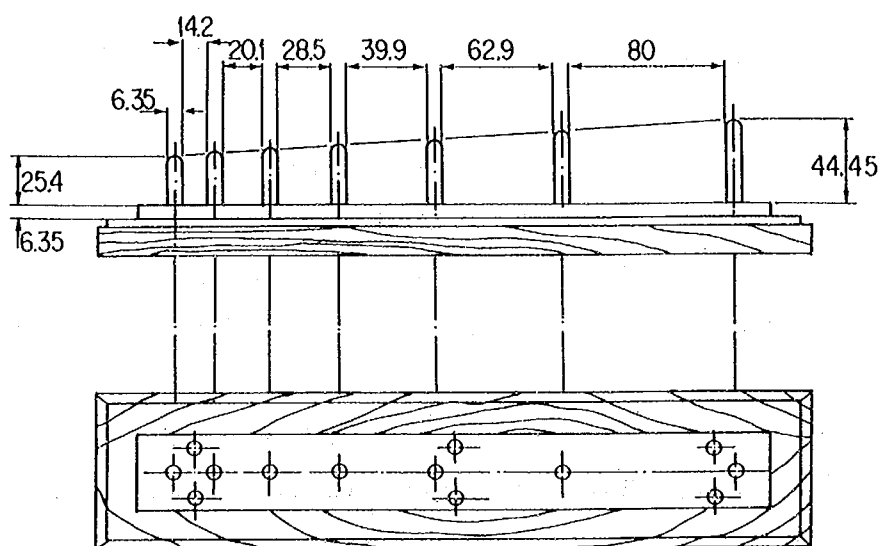


図- 2.3 長さゲージ (BS 812)

表- 2.1 厚さゲージおよび長さゲージの対応

骨材の寸法 (mm)		厚さゲージ (mm)	長さゲージ (mm)
通過するふるい	残留するふるい		
63.5	50.8	34.35 ± 0.25	—
50.8	38.1	26.75 ± 0.25	80.0 ± 0.25
38.1	31.7	20.95 ± 0.25	62.9 ± 0.25
31.7	25.4	17.13 ± 0.13	—
25.4	19.1	13.34 ± 0.13	39.9 ± 0.25
19.1	12.7	9.53 ± 0.13	28.5 ± 0.25
12.7	9.52	6.68 ± 0.03	20.1 ± 0.25
9.52	6.35 ^{*)}	4.78 ± 0.03	14.2 ± 0.25

子と骨材分子の間でのファン・デル・ワールス力に分類される。

アスファルトと骨材の付着力は、熱学的にもとづく計算により、下記のように算出されている。

- a. 機械的な結合力 …… 温度によって影響される
- b. ファン・デル・ワールス力 …… 約 5 kcal/mol

一般にケイ素を主成分とする岩石、土、粘土等の鉱物は、表面が負に帯電していると考えられている。一方、水は図-2.4に示すように、対称な分子構造をしておらず、水素側に正、酸素側に負という、極性を持った構造をしている。そのため、骨材表面の負電荷と、水分子の正の極性が引き合って結合を生じる。これを水素結合という。骨材と水との付着力についても、同様の計算によって下記の数値が与えられている。

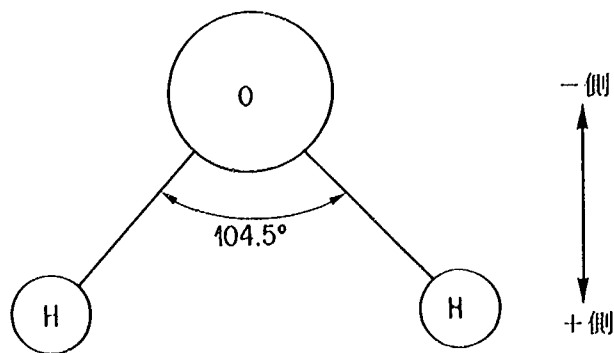


図-2.4 水の分子構造

- a. 水素結合力 …… 約 10 kcal/mol
- b. ファン・デル・ワールス力 …… 約 5 kcal/mol

もし、アスファルトと骨材の付着力が低下し、骨材との界面に水が侵入した場合、水素結合力が比較的大きな力であるため、アスファルトと骨材をはがすように作用する。これが剥離現象と考えられている。

実際の道路において剥離が生じた場合、アスファルトと骨材の付着力が失われる結果、骨材が路面から飛散し、路面のきめが粗くなる。また、このような舗装は強度や耐久性に劣ることが多く、早期にひび割れが発生しやすい。

2.2.2 従来の剥離防止方法

現在知られている剥離防止方法としては、フィラーとして加える石灰石粉の一部を、セメントや消石灰で置き換えることが行われている。これは、骨材の表面の負電荷をセメントや石灰によって中和しようとするものであるが、セメントや石灰はアスコンの中に混合物として存在するだけであり、骨材と科学的に結合しているのではない。したがって、水の侵入があった場合、水素結合のような科学的な結合を根本的に防止するものではない。

2.2.3 カップリング剤

アスコンは、いわば無機質の骨材と有機質のアスファルトを結合した材料である。化学工業の分野では、無機質と有機質の材料の結合を助ける材料として、カップリング剤が使用されている。カップリング剤は、鎖状でその両端に無機質および有機質と結合しやすい基を持った構造となっている。

カップリング剤は、中心となる反応物質の種類によって、シラン系、チタネート系、アルミネート系、クロム系、ジルコン系などがあるが、実際に使用されているのはシラン系がほとんどである。そ

のため本報告書では、カップリング剤としてシラン系カップリング剤のみを検討の対象とする。カップリング剤の一般的な用途としては、

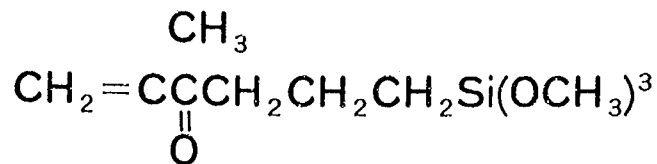
- (1) ガラス繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastic）の製造において、ガラス繊維を表面処理し、プラスチックとの付着性を改善する。
 - (2) 塗料の顔料を表面処理し、有機溶剤の中での分散性を改善する。
- などがあげられる。

2.2.4 実験室におけるカップリング剤による骨材の表面処理方法

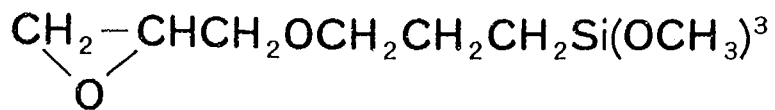
カップリング剤の製造メーカーに対して、使用目的（骨材の剝離抵抗の向上）を示したところ、3種類のカップリング剤が推奨された。それらは、シラン系カップリング剤であり、物質名はそれぞれビニルシラン、エポキシシラン、アミノシランといわれるものであった。それらの分子構造を図-2.5に示す。

ビニルシラン、エポキシシランによる、粗骨材の表面処理方法は以下のとおりである。

(1) ビニルシラン



(2) エポキシシラン



(3) アミノシラン



図-2.5 シランカップリング剤の分子構造

- (1) カップリング剤を水に溶かし水溶液を作る。濃度は、重量比で水：カップリング剤=99：1を標準とする。

- (2) 乾燥骨材をバットに入れ、カップリング剤の水溶液に浸す。

- (3) 骨材を水溶液から上げ、十分に水を切った後、110℃の乾燥機で12時間以上乾燥する。

なお、ビニルシランは水に溶解する際に、酢酸等でpHを3.5～4.0に調整することが必要である。

アミノシランによる粗骨材の表面処理方法は以下のとおりである。

- (1) アスファルトを十分に流動する状態まで加熱する。
- (2) アスファルトの重量の5～10%のカップリング剤を計量し、加熱したアスファルトに少量ずつ加える。
- (3) 攪拌機を使用して、カップリング剤とアスファルトを十分に混合する。
- (4) このアスファルトを使用して、アスコンを作製する。

カップリング剤による骨材の改良方法を、表面電位加工ということにする。なお、ビニルシランやエポキシシランをアスファルトに直接加える方法、アミノシランを水溶液の形で使用する方法も、アスコン用粗骨材の処理方法として実施可能である。

2.3 複合改善による骨材の改良方法

骨材の形状試験により偏平指数および細長指数を求めたが、それらの指数が大きい、形状的に問題がある骨材について、形状の良好な骨材と混合して形状を改善することとした。

- (1) 形状が不良な骨材および形状が良好な骨材を、110℃に保った乾燥機の中で12時間以上乾燥し、絶乾状態にする。
 - (2) 混合比に応じて2つの骨材を計量し、ミキサを使用して十分に混合する。
- この形状が良好な骨材を混合し、形状の改善を図る方法を複合改善ということにする。

2.4 試験に使用した骨材

骨材については、建設省の各地方建設局の技術事務所、北海道開発局土木試験所を通じて実態調査を行った。試験に用いた骨材は、それらの調査結果にもとづき、性状に問題がある可能性が高いものを選定し、現地から骨材を取り寄せた。収集した骨材の一覧表を表-2.2に示す。

表-2.2 収集した骨材の一覧表

番号	岩 種	産 地	番号	岩 種	産 地
1	閃 緑 岩	福島県双葉郡	12	転炉スラグ	住 友 金 属
2	不 明	秋田県大館市	13	砂 岩	茨城県石岡市
3	安 山 岩	秋田県鹿角市	14	安 山 岩	北海道函館市
4	玄 武 岩	秋田県大館市	15	角れき凝灰岩	北海道釧路町
5	クロム鉱さい	山形県酒田市	16	角 閃 岩	福島県いわき市
6	安 山 岩	岡山県後月郡	17	花 崗 岩	石川県河北郡
7	ニッケルスラグ	鳥取県鳥取市	18	輝緑凝灰岩	静岡県引佐郡
8	石 灰 岩	栃木県栃木市	19	粘 板 岩	広島県広島市
9	砂 岩	大阪府和泉市	20	石 英 斑 岩	広島県高田郡
10	両輝石安山岩	長野県諏訪市	21	粘 板 岩	香川県大川郡
11	石 灰 岩	栃木県葛生町	22	砂 岩	茨城県笠間市

3. 複合改善による改良効果

3.1 基準骨材による改良効果

表-2.2に示された骨材のうち、比較的形状の優れているNa 8の骨材を基準骨材とし、形状が比較的劣っているNa 2, Na 3, Na 10に、Na 8の骨材を50:50の重量比で混合し、アスコンの試験を行った。アスコンの試験の項目は、マーシャル安定度試験、水浸マーシャル安定度試験、ホイールトラッキング試験、曲げ試験の4項目とした。骨材単体の性状試験結果を表-3.1に、アスコンの試験結果を表

表-3.1 骨材の性状試験結果

骨 材 番 号	2	3	8	10
表乾比重 (25~13mm)	2.519	2.678	2.727	2.725
(g/cm ³) (13~5mm)	2.503	2.687	2.828	2.730
吸 水 量 (25~13mm)	3.35	3.17	0.67	1.09
(%) (13~5mm)	3.95	3.56	0.65	1.36
細長指数 (13~10mm)	16.4	23.8	17.6	28.4
(%) (10~5mm)	57.7	49.3	32.7	56.6
偏平指数 (13~10mm)	20.7	28.2	10.5	23.1
(%) (10~5mm)	12.1	30.1	18.3	17.1
すり減り減量 (%)	20.1	17.9	21.9	14.6
安 定 性 (%)	11.8	23.5	2.4	10.2

-3.2に示す。表中の数値は3回の試験結果の平均値である。混合物の粒度は、アスファルト舗装要綱に示される、密粒(20)の粒度範囲の中央値を目標に調整した。

この結果より、複合改善をした場合でも、アスコンの性状にはほとんど影響を与えないことがわかる。

表-3.2 混合物試験結果

骨 材 番 号		2	2+8	3	3+8	10	10+8
最適アス量 (%)		6.5	6.2	6.9	6.5	6.2	5.8
基準密度 (g/cm ³)		2.261	2.325	2.258	2.324	2.368	2.385
安 定 度 (kgf)		1123	1107	988	1042	1096	1031
残留安定度 (%)		79.8	86.4	67.2	65.8	87.2	80.1
動的安定度 (回/mm)		284	724	—	—	253	256
曲げ強度	(-10℃, kgf/cm ²)	55.4	60.0	—	—	63.1	64.2
	(-5℃, kgf/cm ²)	66.1	64.9	—	—	79.2	70.4
	(0℃, kgf/cm ²)	68.0	58.1	—	—	71.8	76.7
	(5℃, kgf/cm ²)	73.0	69.6	—	—	78.2	80.5
	(10℃, kgf/cm ²)	117.7	107.2	—	—	109.8	124.3

3.2 良形骨材による改良効果

前項の実験では、基準骨材としてNa 8の骨材を使用した。表-3.1を見てわかるように、Na 8の骨材は細長・偏平指数のいずれも非常に良好とはいえない。そこで、Na 13の骨材を使用して追加試験を行った。

まず、Na 13の骨材のうち6号砕石を目視により良形、細長、偏平に分類する。これに形状分類なしを加えた4種類の骨材と、細長・偏平骨材のそれぞれに良形骨材を8:2および6:4の重量比で加えた骨

材4種類の、合計8種類の骨材について、マーシャル安定度試験による配合試験、最適アスファルト量におけるマーシャル安定度試験および水浸マーシャル安定度試験を実施した。なお、アスコンの粒度は、アスファルト舗装要綱に示される密粒(13)の粒度範囲の中央値を目標とし、7号砕石は分類をしないものを用いた。試験の結果を表-3.3に示す。表中の数値は、3回の試験結果の平均値である。なお、分類なし場合の、No.13の粒径13~10mmの骨材の細長指数および偏平指数は、それぞれ31、28である。

この結果より、良形骨材や良形骨材を含む分類なしの骨材のマーシャル安定度が高く、細長や偏平骨材のマーシャル安定度が低いことがわかる。また、細長や偏平骨材に良形骨材を加えて改善を施した骨材のマーシャル安定度が向上することがわかる。

表-3.3 マーシャル安定度試験結果

形 状	OAC (%)	密 度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	飽和度 (%)	フロー値 (1/10mm)	安定度 (kg)	残留安定度 (%)
分類なし	6.0	2.343	4.1	76.8	30	1258	79.7
良 型	6.0	2.348	3.9	77.7	28	1223	80.4
偏 平	6.2	2.336	4.1	77.3	27	1075	77.0
細 長	6.1	2.348	3.7	79.0	27	1128	81.4
偏平:良型 8:2	6.1	2.339	4.1	77.1	27	1060	80.5
偏平:良型 6:4	6.0	2.339	4.3	76.0	29	1138	80.6
細長:良型 8:2	6.0	2.343	4.1	76.8	26	1157	81.4
細長:良型 6:4	6.0	2.349	3.8	78.2	26	1168	80.3

3.3 考 察

前節の実験を通じて、複合改善によりアスコンの性状を、改善できることが明らかになった。しかし、この改善手法を実際の現場に適用することを考えた場合、いくつかの問題点がある。

まず、複合改善を行う場合には、良形骨材を入手することが必要である。アスコン用に使用されている骨材は、大きな岩塊を破碎して作った砕石がほとんどである。原石を破碎する場合、最も効率的に破碎するためには、鉱物の結晶方向に破碎することが望ましい。砕石工場は、砕石用として硬質な原石を産出する地域に固まっていることが多く、同一地域の骨材は類似した骨材性状を示す。したがって、破碎状況も類似しており、良形骨材を得るためには他の地域から骨材を運搬する必要があり、このコストの問題を解決する必要がある。

形状の良い骨材を使用してアスコンを製造することは、アスコン性状の向上に効果がある。ここで調査を行った複合改善は、そのための方法の一つであるが、骨材破碎機を改良し、細長や偏平骨材の発生を減らすことも今後検討する必要がある。

4. 表面電位加工による改良効果

4.1 カップリング剤の効果

4.1.1 標準的な使用方法による試験

カップリング剤のメーカより、粗骨材の表面処理用として推奨された、ビニルシラン、エポキシシラン、アミノシランの3種類の材料を用いて、アスコン性状の改善効果について調査を行った。

ビニルシランおよびエポキシシランについては、1%の水溶液を用いて表面処理を行った。アミノシランについては、アスファルト重量の5%および10%を、溶融したアスファルトに直接溶解して使用した。なお、アミノシランをアスファルトに溶解した際には、アミノシランが気化し刺激性の気体が発生した。それらの粗骨材またはアスファルトを使用してアスコンを作製し試験を行った。試験項目は、剝離試験、マーシャル安定度試験、ホイールトラッキング試験とした。使用した骨材は、表-2.2に示すNo.6, No.12の骨材である。アスコンの粒度は密度(20)である。試験結果を表-4.1に示す。表中の数値は、3回の試験結果の平均値である。

表-4.1 アスコンの試験結果一覧表

	種 別	はく離 パターン	安 定 度 (kgf)	残留安定度 (%)	動的安定度 (回/mm)
骨 材 No 6	無 処 理	IV-1	1,108	84.5	256
	ビ ニ ル	I	997	101.1	260
	エポキシ	I	1,135	89.9	354
	アミノ5%	I	791	116.3	289
	アミノ10%	I	985	97.5	204
骨 材 No 12	無 処 理	IV-2	1,250	25.2	158
	ビ ニ ル	II	1,461	79.1	210
	エポキシ	II	1,457	75.2	162
	アミノ5%	I	1,150	105.6	216
	アミノ10%	II	1,299	93.2	140

4.1.2 薄い溶液による剝離

防止効果についての調

査

カップリング剤は、1kg当りの単価が1万円前後と高価なため、より薄い溶液での剝離防止効果を確認するため、ビニルシランおよびエポキシシランの1%および0.5%溶液を用いて、6号砕石の表面処理を行った。その骨材を使用してアスコンを作製し、剝離試験、マーシャル安定度試験、水浸マーシャル安定度試験を行った。アスコンの粒度は密粒(13)とし、骨材は表-2.2のNo.14, No.17, No.19, No.20, No.22を用いた。試験結果を表-4.2に示す。表中の数値は、3回の試験結果の平均値である。

4.1.3 繰返し曲げ試験によるアスファルト混合物の耐久性評価

カップリング剤は、粗骨材とアスファルトの付着性を高めるため、アスコンの耐久性を向上させることが期待される。そこで、繰返し曲げ試験によりアスコンの耐久性を評価した。

繰返し曲げ試験は、締め固めたアスコンの4面をカッターで平滑に切り落した、4cm×4cm×40cmの棒状の供試体を使用し、図-4.1に示すように設置して繰返し荷重を載荷した。載荷は、下方にのみ曲げる片振り載荷で、変位制御の条件で実施した。ひずみは、供試体下面に張り付けたひずみゲージ

表-4.2 アスコンの試験結果一覧表

	種 別	はく離 パターン	安定度 (kgf)	残留安定度 (%)		種 別	はく離 パターン	安定度 (kgf)	残留安定度 (%)
骨 材 No 14	無 処 理	IV-1	930	97.1	骨 材 No 20	無 処 理	Ⅲ	883	107.6
	ビニル 0.5%	I	966	99.5		ビニル 0.5%	I	977	102.7
	ビニル 1.0%	I	825	118.4		ビニル 1.0%	I	899	107.4
	エポキシ 0.5%	I	877	108.8		エポキシ 0.5%	I	977	106.8
	エポキシ 1.0%	I	894	93.0		エポキシ 1.0%	I	993	106.1
骨 材 No 17	無 処 理	IV-2	964	75.0	骨 材 No 22	無 処 理	IV-2	1072	92.1
	ビニル 0.5%	Ⅱ	864	106.7		ビニル 0.5%	I	902	106.5
	ビニル 1.0%	I	942	92.6		ビニル 1.0%	I	934	108.8
	エポキシ 0.5%	I	938	96.3		エポキシ 0.5%	I	807	119.5
	エポキシ 1.0%	I	918	95.8		エポキシ 1.0%	I	969	98.1
骨 材 No 19	無 処 理	IV-2	875	92.9					
	ビニル 0.5%	I	851	108.6					
	ビニル 1.0%	I	817	102.9					
	エポキシ 0.5%	I	909	102.4					
	エポキシ 1.0%	I	803	109.4					

によって検出し、試験温度は0℃とした。そして、一定のひずみ（500または 750×10^{-6} ）を与え続け、そのときの応力の変化を観測し、図-4.2に示す方法で破壊回数を決定した。試験には、エポキシシランの1%溶液で処理した6号砕

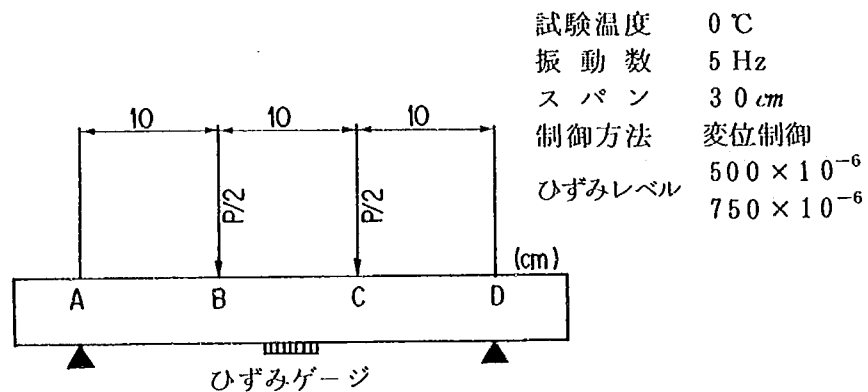


図-4.1 繰返し曲げ試験

石を用いた密粒(13)のアスコンを使用した。1条件あたりの繰返し数は、それぞれ5回とした。結果を表-4.3および図-4.3に示す。

4.1.4 考 察

表-4.1に示すように、カップリング剤の種類によらず、カップリング剤による表面処理は、剝離防止に有効であることがわかる。また、アスコン性状に着目すると、残留安定度が向上し剝離防止効果が見られる。しかし、マーシャル安定度やホイールトラッキング試験については、ほとんど差が生じないことがわかる。

表-4.2に示すように、メーカーによる推奨濃度1%の半分の濃度でも、十分な剝離防止効果があり、残留安定度の向上も見られるが、4.1.1の試験と同様にマーシャル安定度にはほとんど差を生じない。

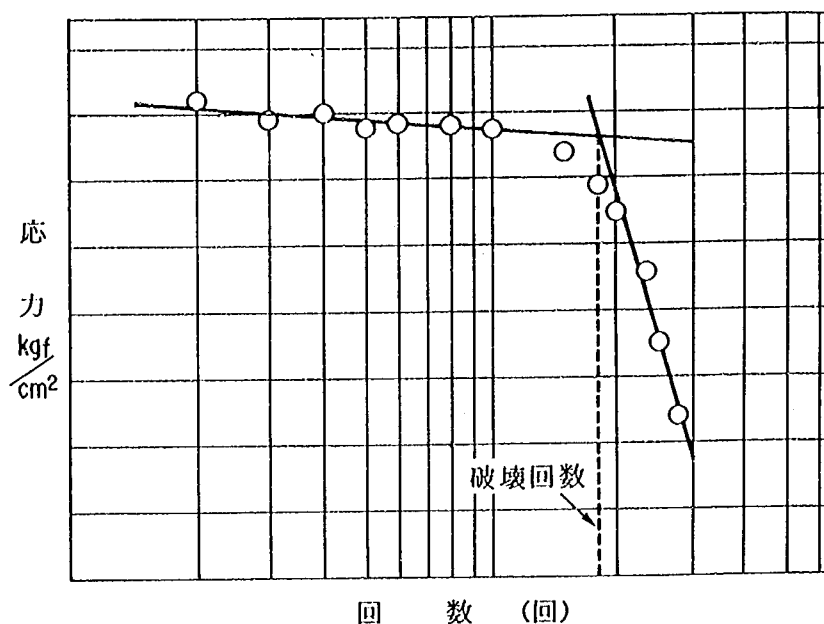
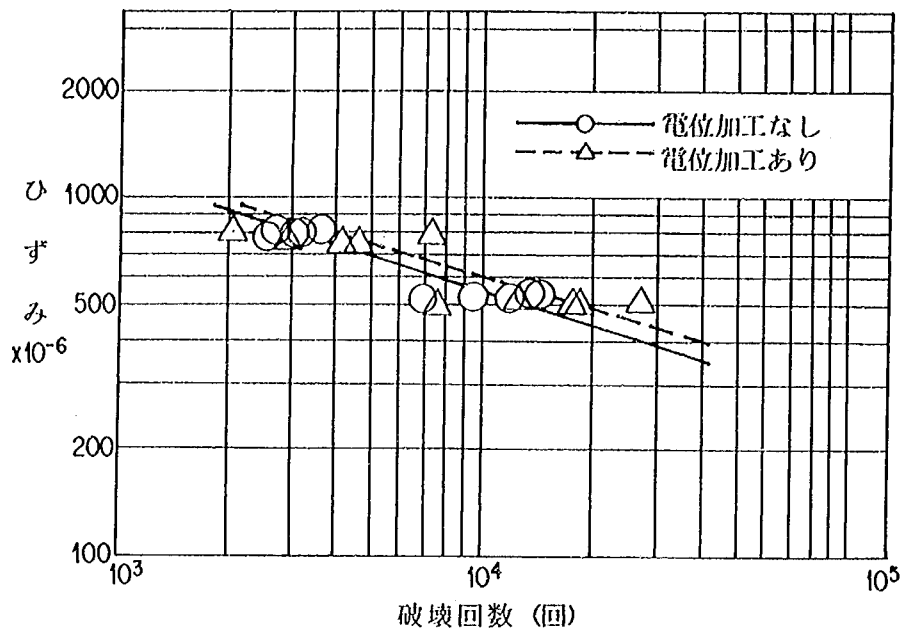


図- 4. 2 破壊回数の定義

表- 4. 3 繰返し曲げ試験結果

種別	目 標 ひずみ ($\times 10^{-6}$)	密 度 (g/cm^3)	締固め 度 (%)	破壊回数(回)		種別	目 標 ひずみ ($\times 10^{-6}$)	密 度 (g/cm^3)	締固め 度 (%)	破壊回数(回)	
				実 測	平 均					実 測	平 均
電 位 加 工 な し	500	2.334	100.5	14500	11320	電 位 加 工 あ り	500	2.319	99.9	18000	17160
		2.340	100.8	12000				2.320	99.9	28000	
		2.318	99.8	7000				2.333	100.5	13000	
		2.325	100.1	13500				2.329	100.3	7800	
		2.327	100.2	9600				2.321	100.0	19000	
	750	2.334	100.5	3100	3000		750	2.324	100.1	2100	4300
		2.332	100.4	2700				2.330	100.3	3000	
		2.339	100.7	2600				2.318	99.8	7500	
		2.321	100.0	3600				2.331	100.4	4200	
		2.338	100.7	3200				2.319	99.9	4700	

表- 4. 3 に示すように、表面処理した骨材を使用した骨材の方が、平均破壊回数が大きくなっているが、破壊回数のばらつきも大きくなっている。見方を変えれば、カップリング剤による処理効果が現れた場合と、効果が現れない場合にわかれているといえる。カップリング剤は、骨材の表面の分子と化学的に結合し、アスファルトと結合しやすい膜を形成する。この膜は、化学的には安定した構造であるが、摩擦等の物理的な衝撃には弱い。アスコンを製造する場合には、アスファルトの添加前に粗骨材、細骨材、フィラーを十分に混合するため、ドライミキシングを行うが、このときに膜が失われたためと考えられる。

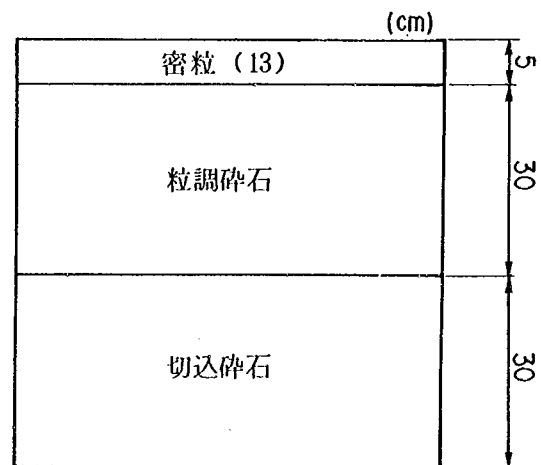


図－ 4.3 ひずみと破壊回数の関係

4.2 舗装走行実験場における試験施工

実験室内において、カップリング剤の効果を確認したので、引き続いて実大規模の試験舗装を通じた耐久性の確認を行った。

試験施工は、建設省土木研究所構内にある舗装走行実験場の試験走路上で行った。試験舗装の断面を図－4.4に示す。この表層のアスコンを、表面処理した骨材を使用したものと、表面処理しないものと2種類とし、長さ7.5m、幅5mの工区を2工区施工した。そして、この試験舗装上を軸重を5トンまたは7トンに調整した荷重車を合計8万回走行させた。なお、骨材



図－ 4.4 舗装構成

のカップリング剤による処理は、プラントの傾斜ベルトコンベアで運搬される骨材に、スプレーでエポキシシランのカップリング剤溶液を噴霧した。骨材は、表－2.2のNo.13を使用した。カップリング剤水溶液を散布後、ドライヤを通過した後の粗骨材を採取して剝離試験を行ったが、すべて剝離パターンIを示した。

8万回の载荷の後の表面性状を比較すると、表面処理した骨材を使用した工区にはひび割れが発生しなかったのに対し、表面処理しない工区にはひび割れが発生し、カップリング剤による表面処理で舗装の耐久性が向上したことがわかった。

4.3 経済的な検討

粗骨材の表面処理を実際のプラントで行う場合の費用を計算し、粗骨材の表面処理の経済性について検討した。

カップリング剤の溶液は1%の水溶液とし、スプレーで骨材に噴霧するものとする。また、代表的なアスコンとして、密粒(13)を取り上げて計算を行うことにする。

試算の結果を表-4.4に示す。昭和62年3月時点での東京地区の密粒(13)の価格は、7,100円/トンである。密粒(13)のアスコンに占める粗骨材の割合は57%前後であり、アスコン1トン当りの粗骨材量は570kgである。粗骨材1kgに付着するカップリング剤溶液の量は実験によると約15gであり、アスコン1トンを製造するのに必要なカップリング剤の量は、 $570 \times 0.015 \times 0.01 = 0.0855 \text{ kg}$ となる。スプレーは、基礎価格が200万円であるが、これを5年間で完全に償却することを想定し、年間のアスコン出荷量を40,000トンとして、償却費をアスコン1トンずつに割り当てている。プラントの時間当りのアスコン製造量は、平均的な値として60トン/時間を想定している。燃料費は、粗骨材の水分量が1%増加すると、燃料が10%余計に必要となることが、経験的に知られていることによった。投入手間は、カップリング剤の水溶液を1日1回製造し、その準備に作業員1人が2時間を要することを想定している。250日は、プラントの平均稼働日数である。

試算の結果によると、アスコン1トン当りの費用増加は824円であり、アスコン価格の11.6%上昇につながるということがわかった。この費用上昇に占めるカップリング剤の価格は93.2%である。試算では、1%の水溶液を使用することになっているが、0.5%の溶液でも剝離がなくなることが確認されており、価格上昇を約半分に抑えることが可能である。

表-4.4 プラントでの処理費用の積算

項 目	単 位	単 価	分 量	費 用	内 訳
カップリング剤	kg	9,000	0.0855	770	$1000 \text{ (kg)} \times 0.57 \times 0.015 \times 0.01 = 0.0855$
水	m ³	230	0.0085	2	$1000 \text{ (kg)} \times 0.57 \times 0.015 \times 0.99 = 0.0085$
スプレー				10	$2,000,000 \text{ (円)} / 40,000 \text{ (トン)} / 5 \text{ 年} = 10$
電 気	kwh	22	0.007	0	$0.4 \text{ (kw)} / 60 \text{ (トン/時間)} = 0.007$
燃 料	liter	26	1	26	$10 \text{ (liter/トン)} \times 0.1 = 1$
投入手間	hour	1,250	0.0125	16	$40,000 \text{ (トン)} / 250 \text{ (日)} = 160$

合計824円のコスト増

4.4 考 察

室内実験および舗装走行実験場における試験舗装を通じて、カップリング剤による粗骨材の表面処理がアスコンの耐久性向上に有効であることが明らかになった。しかし、繰返し曲げ試験で指摘されたように、粗骨材の表面をあらかじめ処理しておく場合には、アスファルトと結合する膜が失われることがあり、カップリング剤の効果は確実なものとはいえない。

それに対しアミノシランをアスファルトに直接添加する場合は、アスファルトと骨材が直接に反応するため、一定の効果が得られると考えられる。前述のようにアミノシランをアスファルトに溶解した際には、蒸気となったアミノシランに刺激性があるため、プラント等の現場での適用性があまり良いとはいえない。したがって、カップリング剤を剝離防止剤として使用する場合には、アスファルトに事前に添加した状態で使用することが適当であろう。この場合、アスファルトプラントの改造は、アスファルトタンクへの攪拌翼の設置のみでよく、費用の試算に用いたカップリング剤水溶液のスプレーによる散布に比べて、より経済的かつ実用性が高い処理方法とすることができる。

あ と が き

本調査で明らかになった点をまとめると以下のとおりである。

骨材の形状の問題については、

- (1) 形状が偏平または細長の骨材を含むアスコンは、マーシャル安定度に劣る。
- (2) 形状が偏平または細長の骨材に形状が良い骨材を加えると、マーシャル安定度が向上する。
- (3) 複合改善を実施する場合のコスト増については、今後検討する必要がある。
- (4) 破砕機の改良による細長や偏平骨材の発生防止について、今後検討する必要がある。

骨材の剝離抵抗については、

- (1) カップリング剤による粗骨材の表面処理によって、剝離抵抗が画期的に改善される。
- (2) カップリング剤による粗骨材の表面処理によって、アスコンの疲労抵抗が向上する。
- (3) カップリング剤の混合量を適当な設定することにより、かなり経済的にアスコンの改良ができる。
- (4) アスファルトに直接溶解する場合の処理方法の改良が望まれる。

カップリング剤による表面処理は、剝離抵抗性に劣る骨材に対して効果的に作用することが判明し、これにより剝離抵抗が劣る骨材を有効に利用することが可能であることがわかった。また、カップリング剤による表面処理によって、通常の骨材を使用したアスファルト舗装でも、その耐久性を向上させる可能性が見出された。今後は、カップリング剤の適用について、実際の施工を想定した検討を進める必要がある。

骨材に対して表面処理を施しても、混合時に処理皮膜層が失われるため、プラント等でカップリング剤を使用するためには、アスファルトにあらかじめカップリング剤を添加しておくことが望ましい。カップリング剤入りのアスファルトを開発することを想定した場合、以下の問題点を解決することが必要である。

- (1) 粗骨材の表面処理を目的とした場合の、カップリング剤の最適な種類を選定する。
- (2) アスファルトに溶解する際に、カップリング剤の蒸気が外部に漏れないような製造方法を確立する。
- (3) アスファルトに対する有効な添加量を明らかにする。
- (4) 輸送時およびプラント混合時の、カップリング剤入りアスファルトの品質変化を防止する。
- (5) カップリング剤入りのアスファルトを使用した、アスコンの耐久性向上について、室内試験および屋外試験のデータを蓄積する。

これらの点について検討し、カップリング剤入りのアスファルトを早急に実用化することが望まれる。

参 考 文 献

- 1) 慶井ほか：「界面現象の基礎」，表面工学講座，第3巻，朝倉書店
- 2) 藤田ほか：「骨材の表面電位の測定とアスファルトの剥離試験」，土木学会第35回年次学術講演会概要集，第V部，pp.404～405，昭和55年9月
- 3) 藤田ほか：「骨材の表面電位の測定とアスファルトの剥離試験第2報—石灰石とアスファルトの剥離—」，土木学会第36回年次学術講演会概要集，第5部，pp.449～450，昭和56年10月
- 4) 藤田ほか：「骨材の表面電位の測定とアスファルトの剥離試験第3報—骨材表面の電位加工とアスファルトの剥離—」，土木学会第37回年次学術講演会概要集，第5部，pp.549～550，昭和57年10月
- 5) 飯島ほか：「規格外骨材の利用法に関する室内試験」，第15回日本道路会議一般論文集，pp.456～457，昭和58年

アスファルト混合物用骨材
の品質改善に関する研究

ISSN 0386-5878

土研資料第2523号

昭和62年12月(1987)

安崎, 池田, 岩崎

要旨 アスファルト混合物用骨材に要求される品質のうち, 骨材形状および剝離抵抗に着目し, 形状改善およびカップリング剤による粗骨材の表面処理による改善効果を調査した。

キーワード: 細長指数, 偏平指数, 剝離抵抗, 形状試験, 剝離試験, カップリング剤, 形状改善



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

舗装研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2523号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印