平 28. 土木技術支援･人材育成センター年報　ISSN 1884-040X
Annual Report
C.E.S.T.C., TMG 2016

6. 小笠原支庁における 100%再生アスファルト混合物の検討

Consideration of Asphalt Paving Mixture Using 100% Recycled Material in Ogasawara Island Branch Office

技術支援課　峰岸順一、西岡佑介、藤田政彦（小笠原支庁土木課長）

1. まえがき

小笠原支庁の舗装は、表基層とも密粒度アスファルト混合物(13)、路盤材で構成され、通常基層に用いられる粗粒度アスファルト混合物(20)は用いられていない。表基層は、同一の混合物として単価を抑えており、父島の１箇所のプラントで供給されている。

補修時の既設舗装の取壊しは、切削機を用いず、舗装を剥ぎ取り圧砕機で塊状にして、中間処理センター（アスファルトコンクリート塊、コンクリート塊の再生プラント）に持ち込み、さらに破砕して再生アスファルト混合物の材料（アスファルトコンクリート再生骨材）としている。なお、アスファルトコンクリート再生骨材（以下再生骨材と記述する）には、コンクリート塊の混入は、行っていない。また、貯蔵に関しては、本来屋根付きストックヤードが好ましいが、屋根のないストックヤードに貯蔵しているのでシートで覆っている。これは、降雨により再生骨材中の含水比が増加すると、加熱混合時に製造量の低下や燃料消費量の増加などの問題が生じ無いようにするためである。

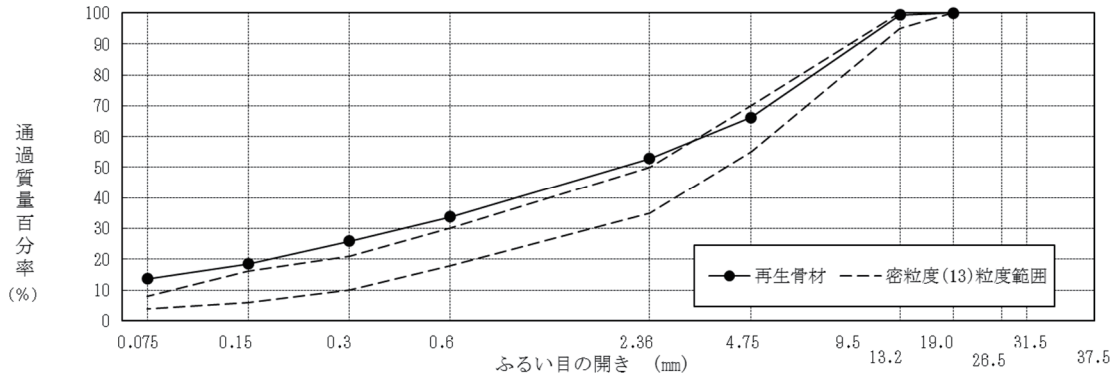
アスファルトコンクリート塊を再利用のために破砕すると骨材の粒度分布が図－1 に示すように細粒化することから、再生加熱アスファルト混合物への再生骨材配合率は、平成 27 年度現在 50%となっている。残ったアスファルト発生材は、環境への影響を懸念して路盤材に利用せず、島外へ搬出している状況である。アスファルト発生材の島外搬出費は、平成 26 年度約 2,500 万円になっている。

このような状況で、再生アスファルト混合物の再生利用率を高め、島外搬出費用の削減を図る必要があることから、①現状での最大再生利用率の確認②再生骨材の配合率 100%の再生アスファルト混合物の導入の 2 点について検討した結果を報告する。

2. 最大再生利用率の検討

(1) 検討内容

小笠原支庁で発生するアスファルトコンクリート再生骨材を用いて再生密粒度アスファルト混合物(13)の最大再生利用率の確認を行った。



図－1　破砕骨材の粒度分布

表－1　アスファルトコンクリート再生骨材の品質

項目	試験結果	品質規定
旧アスファルト含有量	4.42	3.8以上
旧アスファルト針入度（25℃）1/10mm	18	20以上
骨材の微粒分量　%	2.2	5以下

「東京都建設局土木材料仕様書（平成 27 年版）」および「舗装再生便覧（平成 22 年版）」（社団法人 日本道路協会）によると再生加熱アスファルト混合物の配合設計は、設計針入度への調整を行う方法（針入度法）と再生加熱アスファルト混合物の圧裂係数を調整して行う方法（圧裂法）があり、どちらの方法を用いても良いとしている。

本配合設計では、表－1 に示すようにアスファルトコンクリート再生骨材の旧アスファルトの針入度が品質規定を満足しないため、針入度法ではなく圧裂法を用いて配合設計を行うこととした。アスファルトコンクリート再生骨材をなるべく多く配合することを目標に、次の手順で配合設計を行った。

①粒度設計：再生骨材配合率を 50、60、70%の 3 種類について骨材配合割合を検討。

②圧裂試験：3 種類の配合について圧裂試験を実施し、圧裂係数の目標値を満足できる配合かつ再生骨材の配合割合が最も多い配合を決定。

③マーシャル安定度試験：圧裂試験で決定した配合について、アスファルト量を変化させてマーシャル安定度試験を実施し、最適アスファルト量を決定。

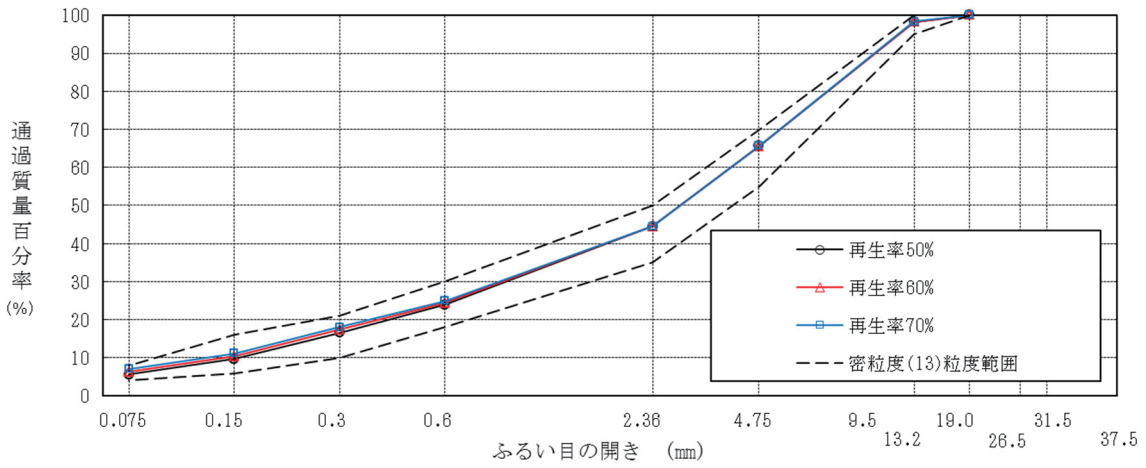
(2)　粒度設計

再生骨材配合率 50、60、70%について粒度設計を行った。各配合の骨材配合割合および合成粒度を表－2 と図－2 に示す。

再生骨材の配合率を 70%まで増加させても粒度範囲を満足できることが分かった。

表－2　骨材配合割合と合成粒度

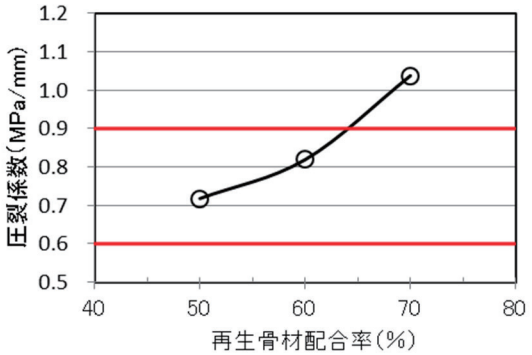
配合名	骨材配合割合				合成粒度（通過質量百分率%）							
	6号砕石	7号砕石	砕砂	再生骨材	19.0mm	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.75
再生率50%	17.0	12.5	20.5	50.0	100.0	98.2	65.7	44.5	23.9	16.6	9.7	5.6
再生率60%	14.0	11.0	15.0	60.0	100.0	98.2	65.5	44.5	24.4	17.4	10.4	6.3
再生率70%	10.5	10.0	9.5	70.0	100.0	98.3	65.7	44.5	25.0	18.1	11.1	7.1
密粒度（13）粒度範囲（%）					100	95～100	55～70	35～50	18～30	10～21	6～16	4～8



図－2　合成粒度

表－3　圧裂試験の条件

項目	試験条件
新アスファルトの種類	ストレートアスファルト60～80
再生アスファルト概要	全アスファルト量5.3%（暫定）
	再生用添加剤量9.0%（対旧アスファルト）
締固め温度・回数	145±3℃、両面各75回
圧裂試験温度	20℃
圧裂係数の目標値	0.60～0.90



図－3　圧裂試験の結果

(3)　圧裂試験

粒度範囲を満足した上記3 配合について圧裂試験を実施した。試験条件を表－3 に、試験結果を図－3 に示す。

再生用添加剤の添加量は、これまで実績から9.0%とした。なお、新アスファルトの性状および再生用添加剤の性状は、表－4、表－5 に示すとおりである圧裂試験結果より、再生骨材の配合率 70%では圧裂係数の目標値を満足できなかった。圧裂係数は、旧アスファルトの劣化の程度や再生加熱アスファルト混合物の再生の程度を評価する指標であり、圧裂係数が大きくなると混合物性状が硬くなり、劣化が進行していることを示す。

圧裂係数を満足しつつなるべく再生骨材の配合率が大きい配合を目標としているため、再生骨材の配合率 60%で配合設計を行うこととした。

(4)　マーシャル安定度試験

再生骨材の配合率60%の配合についてマーシャル安定度試験を実施した。結果を表－6 に示す。試験結果より、最適アスファルト量は、各特性値の規定を満足できる共通範囲（4.95～5.70%）の中央値の5.3%となった。

表－4　新アスファルトの性状

項目		性状	品質規定
針入度（25℃）1/10mm		69	60～80
軟化点℃		47.5	44.0～52.0
伸度（15℃）cm		100以上	100以上
トルエン可溶分%		99.49	99.0以上
引火点℃		368	260以上
薄膜加熱質量変化率%		−0.01	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率%		65.2	55以上
蒸発後の針入度比%		97	110以上
密度（15℃）g/cm^3		1.034	1.000以上
動粘度mm2/s	120℃	880	報告
	150℃	204	報告
	180℃	68.2	報告

表－5　再生用添加剤の性状

項目		性状	品質規定
動粘度（60℃）mm^2/s		188.1	80～1,000
引火点℃		262	250以上
薄膜加熱質量変化率%		1.22	2以下
薄膜加熱後の粘度比60℃		−0.61	±3以内
密度（15℃）g/cm^3		1.017	報告
組成%	アスファルテン	0	報告
	飽和分	53.1	
	芳香族分	41.3	
	樹脂分	5.6	

表－6　マーシャル試験結果

アスファルト量（%）	測定項目と品質規定				
	密度（g/cm^3）2.33以上	空隙率（%）3～6	飽和度（%）70～85	安定度（kN）8.0以上	フロー値（1/100cm）20～40
4.5	2.336	6.6	60.7	11.34	32
5.0	2.366	4.7	70.8	11.77	35
5.5	2.377	3.5	78.3	13.34	37
6.0	2.383	2.6	84.1	13.48	38
6.5	2.373	2.3	86.6	13.34	39

表－7　配合試験結果

骨材配合	材料名と配合割合（%）				
	6号砕石	7号砕石	砕砂	再生砕石	
	14.0	11.0	15.0	60.0	
アスファルト量	新アスファルト種別		最適アスファルト量（%）	再生用添加剤添加量（%）	
	ストレートアスファルト 60～80		5.3	9.0	
混合物性状	密度（g/cm^3）	空隙率（%）	飽和度（%）	安定度（kN）	フロー値（1/100cm）
	2.373	4.0	75.3	12.70	36

(5)　まとめ

以上の配合試験結果より決定した配合および混合物性状は、表－7 に示すとおりである。この結果を基に父島では、平成 28 年当初から再生骨材の配合率60%の配合で本格施工を行っている。

表－8　使用する再生骨材の性状

旧アスファルト		粒度mm（通過質量%）							
量%	針入度（1/100 cm）	19	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
4.15	10	100.0	99.4	66.2	52.8	33.7	25.9	18.5	13.7

表－9　特殊潤滑油の性状

項目	特殊潤滑油	再生用添加剤の品質規定
動粘度(60℃)(mm^2/s)	500～600	80～1,000
引火点(℃)	270	230以上
薄膜加熱質量変化率(%)	-0.37	±3以下
薄膜加熱後の粘度比(60℃)	1.04	2以下
密度(15℃)(g/cm^3)	0.95	報告
組成(JPI-5S-70-10)	植物由来化合物	報告

3.　再生骨材の配合率 100%の再生アスファルト混合物の検討

(1)　検討内容

小笠原支庁父島内で発生する舗装発生材を最大限有効利用するために、骨材はアスファルトコンクリート再生骨材のみ（再生骨材の配合率 100%）として再生手法の検討を行った。使用する再生骨材は、表－8に示すように粒度が密粒度混合物の上限側(図－1 参照)と細粒化していることと、表－8 に示したように旧アスファルトの針入度が 20 以下と品質規定を満たしていないため、従来の再生手法を適用することができないことから、「マイルドミックス NETIS:KT-100046-V」の技術を活用した。

マイルドミックスの技術の特徴は、製造時に特殊潤滑油（液体 190kg ドラム缶）と反応補助材（紛体袋詰め）を添加・混合し、施工時に水を散布してこれらを化学反応させることにより硬化するものである。本検討の 100%再生混合物の検討では、従来の再生手法である新アスファルトと再生用添加剤を用いず、特殊潤滑油を用いることにより、再生骨材中の旧アスファルトを回復（柔らかく）しつつ、表面をコーティングすることにより施工性を確保するものである。また、強度については施工後の温度降下による硬化とともに、敷きならし後（転圧前）に水を散布し特殊潤滑油と反応補助材を化学反応させて硬化させ、早期に交通開放に必要な強度を確保して供用するものである。

(2)　使用材料

100%再生混合物に使用する再生骨材の性状を表-8 に、特殊潤滑油の性状を表－9 に示す。

表－8 より、再生骨材の旧アスファルトの針入度は 10 程度であり、規定値の 20 以上を満たしていない。小笠原支庁では舗装の維持・補修工事を 10～15 年程度で行っているが、紫外線量 kJ/m^2(波長 280～315nμのUV-B 量)が東京都心部に比べ約1.5倍(気象庁データから推測)、年日照時間で約 1.1 倍あることから、アスファルトの劣化が早く進んだものと推定される。

表－9 に示す特殊潤滑油は、アスファルト再生骨材に相溶し旧アスファルトを柔らかくしつつ、コーティングすることで施工性を向上させるものであり、品質としては再生用添加剤の規定を満足するものである。また、特殊潤滑油は旧アスファルトと混ざり合ったうえ、反応補助材で硬化することにより、従来の再生アスファルトの代替として利用していけるものと考えられる。

さらに特殊潤滑剤は植物由来であり、反応補助材は無機系材料(密度 3.15g/cm^3(15℃))であるため、これらを用いた硬化後の 100%再生混合物からは、有害物質が溶出しない自然環境に配慮した材料となっている。

(3)　混合物の配合

100%再生混合物の配合を表－10 に示す。比較として、現在、父島内で使用している通常の再生アスファルト混合物（再生密粒度アスファルト混合物(13)、再生骨材配合率 60%）の配合も併せて示す。

100%再生混合物については、全アスファルト量が 5.5～6.5%となるように特殊潤滑油量を変化させて試験を行った。また、反応補助材は添加量により強度発現が異なるため、特殊潤滑油に対して 10、25、50%とした。

試験項目は、表－11 に示すとおりである。試験結果は、以下に示すとおりである。

表－10　100%再生混合物の配合

混合物種別	骨材配合(%)				全アスファルト量(%)	アスファルト内訳(%)					反応補助材
	再生骨材	6号砕石	7号砕石	砕砂		旧アスファルト	特殊潤滑油	ストレートアスファルト60～80	再生用添加剤	調整アスファルトの針入度	
100%再生混合物	100	－	－	－	5.5	4.33	1.49	－	－	－	10,25,50%
					6.0		2.05				
					6.5		2.62				
通常再生混合物	60	14	11	15	5.3	2.77	－	2.58	0.25	50	－

表－11　試験項目

試験項目	測定値	試験条件
マーシャル安定度試験	マーシャル安定度、フロー値	試験温度60℃、突固め回数両面75回、養生7日後に試験
ホイールトラッキング試験	動的安定度、圧密変形量	試験温度60℃、養生7日後に試験
圧裂試験	圧裂強度、圧裂係数	試験温度60℃、養生7日後に試験

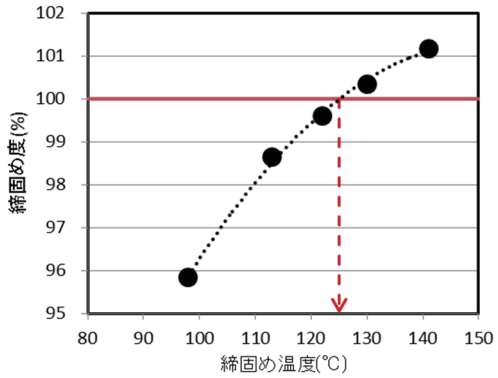


図-4　締固め温度と締固め度の関係

1)　マーシャル安定度試験結果

マーシャル安定度試験供試体の作製に際し、100%再生混合物の最適な締固め温度を決定するため、締固め温度を変化させて密度の測定を行った。また、通常の再生アスファルト混合物（再生率60%）と同様にストレートアスファルト（旧アスファルト量に対して50%の添加量）および再生用添加剤（調整アスファルトが針入度50になる添加量）を使用して作製した混合物を 145℃で締め固めた時の密度を基準とした。100%再生混合物（全アスファルト量:6.0%、反応補助材：50%）の測定結果を図－4 に示すが、締固め温度 125℃で通常の場合と同程度の密度が得られている。この結果を基に、最適締固め温度は125℃と決定した。

表-12　マーシャル特性値

混合物種別	アスファルト量(%)	締固め密度(g/cm3)	空隙率(%)	飽和度(%)
100%再生混合物	5.5	2.311	5.8	67.0
	6.0	2.335	4.1	77.1
	6.5	2.360	2.3	86.8
通常再生混合物	5.3	2.373	4.0	75.3

表-13　マーシャル安定度試験結果

混合物種別	アスファルト量(%)	反応補助材添加量(%)	マーシャル安定度(1/100cm)	フロー値(1/100cm)
100%再生混合物	5.5	10	10.4	41
		25	11.2	43
		50	12.4	45
	6.0	10	8.7	42
		25	9.9	42
		50	12.1	44
	6.5	10	8.1	48
		25	9.4	51
		50	11.3	55
通常混合物	5.3	－	12.7	36
規定値		－	8.0以上	20～40

マーシャル安定度試験の結果として、締固め密度から得られた特性値を表－12 に、また安定度試験結果を表－13 に示す。なお、通常再生混合物（再生 60%、OAC5.3%）の値と再生密粒度アスファルト混合物(13)の規定値も併せて示す。

100%再生混合物については、アスファルト量6.0%で通常混合物と同様な特性値が得られることが分かる。しかしながら、安定度は規定値を満足するが、フロー値は基準値の範囲から外れる結果であった。フロー値は、荷重を加え始めてから最大荷重を示すまでの変形量である。フロー値が基定値より大きく変形量が大きいことを示す。

表－14　圧裂試験結果

混合物種別	圧裂強度(N/mm²)			圧裂係数		
100%再生混合物	(10)	(25)	(50)	(10)	(25)	(50)
( )内反応補助材添加量%	0.84	1.04	1.16	0.81	1.18	1.30
通常再生混合物	1.63			0.82		
規定値	－			0.6～0.9		

表－15　決定配合

項目	再生骨材	特殊潤滑油	反応補助材
配合割合(%)	104.33	2.05	1.03
計量値(kg)(1,000kg当たり)	971	19	10

2)　ホイールトラッキング試験

マーシャル安定度試験結果より最適アスファルト量を 6.0%とし、ホイールトラッキング試験を実施した。反応補助材添加量 50%の動的安定度（DS）は 1,800 回/㎜(圧密変形量 1.58㎜)で、十分な耐流動性が期待できる。

3)　圧裂試験

圧裂試験結果を表－14 に示す。反応補助材添加量が少ない量（10%時）には圧裂係数の規定値を満たすものの、反応補助材が多いほど圧裂係数は大きくなる結果であった。

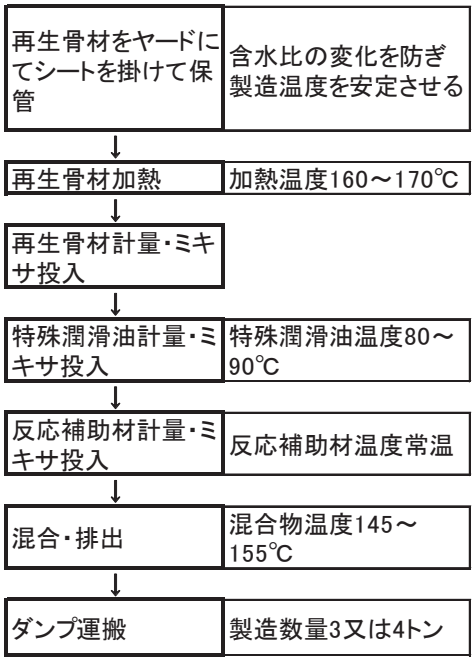
4)　100%再生混合物の配合の決定

100%再生混合物について、混合物性状の確認を行った結果、一部通常の再生密粒度アスファルト混合物(13)の規定値を満足できない項目（フロー値が規定値範囲から外れる）もあったが、概ね通常の再生密粒度アスファルト混合物と同程度の性状を有していることが確認できた。

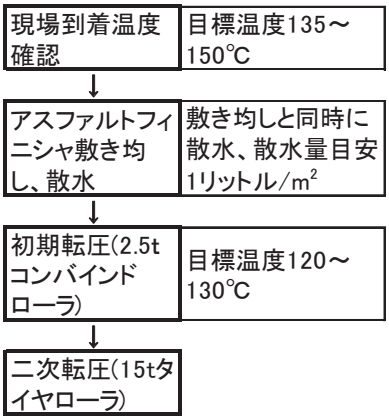
反応補助材の添加量については、添加量の違いにより強度が異なる（添加量が多いほど強度発現が早い）傾向が確認されたが、実施工においては、舗設後の早期交通開放が要求されるため、今回検討した添加量の最大値の 50%（対特殊潤滑油）が適当であると考えた。

以上の室内試験結果を基に、表－15 のように配合を決定し、試験施工を実施し経過観察を行うこととした。

(4)　試験施工



図－5　製造手順



図－6　施工手順

1)　試験施工概要

アスファルト合材プラント構内で 2.5×12m の施工面積で試験施工を実施し、100%再生混合物の製造、敷き均し締固め、混合状態の確認、作業性、温度、混合物の品質、舗設や締固め方法について検討した。

2)　100%再生混合物の製造および施工手順

100%再生混合物の製造および施工は図－5、図－6 に示す手順で行った。

3)　施工および仕上がり状況

敷きならし時、舗装表面に一部、材料を引きずったような跡が見られたが、これはアスファルトフィニッシャのアイロン部の加熱不足が原因であったと考えられる。また、タイヤローラ転圧時に部分的に

表－16　試験項目

試験項目	試験条件	測定項目
混合物温度測定	製造時、施工時適宜	出荷温度、転圧温度
マーシャル安定度試験	両面75回突き、締固め温度125℃	密度、安定度、フロー値、残留安定度
アスファルト抽出試験	再生骨材及び100%再生混合物対象	旧アスファルト量、粒度
現場締固め度測定	コア採取	密度、締固め度
アスファルト回収試験	再生骨材及び100%再生混合物対象	回収アスファルトの針入度
圧裂試験	試験施工時の再生骨材対象、試験温度20℃	圧裂係数

表－17　温度測定結果

測定時期	測定値	目標温度範囲
混合物出荷時	157～165℃	145～155℃
敷き均し時	135～140℃	－
初期転圧時	126℃	120～130℃
二次転圧時	115℃	－

表－18　マーシャル安定度試験結果

供試体種別	密度 (g/cm^3)	安定度 (kN)	フロー値 (1/100cm)
標準用加水有	2.324	13.12	41
残留安定度用加水有	2.322	19.45	43
参考用加水なし	2.334	13.91	46

ヘアクラックの発生が見られたが、これは混合物の温度がやや高かったことが原因と考えられる。しかし、転圧後の仕上がり状況は良好で、全面にわたり均一な仕上がり面を得ることができた。

4)　試験施工時の試験項目

試験施工における試験項目は、表－16 に示すとおりである。

5)　試験結果

試験項目ごとに結果を以下に示す。

①温度測定

温度測定結果を表－17 に示す。混合物の出荷温度が目標より高くなったが、混合物の敷きならし後、目標とする転圧温度になったことを確認した後、初期転圧を実施した。

②マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験結果を表－18 に示す。供試体の作製方法は、突固め前（モールドに試料を詰めた状態）に加水し、直ちにマーシャルランマで締め固めるが、参考として加水なしの条件でも作製を行った。安定度試験（標準）は、作製翌日に実施した。残留安定度試験は、48 時間 60℃水浸の条件で試験を実施した。

加水ありと加水なしでは安定度はほぼ同じであったが、残留安定度は 148%と標準安定度を大きく上回る結果であった。これは、水浸による水の影響と高温な条件下で 100%再生混合物の反応が促進した結果と考えられる。

③抽出試験（アスファルト量および粒度）

アスファルト量と粒度を確認するため抽出試験を行った。再生骨材に関する試験結果を表－19 に、試験施工に使用した 100%再生混合物に関する試験結果を表－20 に示す。

表－19 の結果より、試験施工時に使用した再生骨材は室内試験時とほぼ同一の性状であった。また、表-20 の結果より、アスファルト量は設定値 6.0%に対して 5.83%であり、再生骨材の旧アスファルト量がやや少なかったため、混合物のアスファルト量も少なめになっており、精度よく製造できていることが確認できた。

④現場締固め密度の測定（コア採取）

現場締固め度を測定するため、始点から 5、8、10m 各横断方向に左、中、右 3 か所の計 9 個でコア採取を行った。締固め度の測定結果は、96.7～101.1%の範囲で、平均 98.2%の締固め度が得られており、転圧条件（温度、転圧機械、転圧回数）は適切であった。

⑤アスファルト回収試験（針入度）

100%再生混合物に使用した特殊潤滑油の効果（旧アスファルトを回復させる効果）を確認するため、回収試験を行い針入度の測定を行った。骨材に付着している残留アスファルトは無く、反応硬化した特殊潤滑油を含むアスファルトは回収可能であること

表－19　再生骨材の抽出試験結果

試料種別	旧アスファルト量(%)	粒度(通過質量%)							
		19mm	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
配合設計時	4.15	100.0	99.4	66.2	52.8	33.7	25.9	18.5	13.7
試験施工時	4.05	100.0	99.0	70.2	56.8	36.9	28.8	21.7	14.2

表－20　試験施工に使用した100%再生混合物の試験結果

試料種別	アスファルト量(%)	粒度(通過質量%)							
		19mm	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
100%再生混合物	5.38	100.0	100.0	68.5	55.4	34.9	26.8	19.7	13.0

が分かった。

また、使用した再生骨材に含まれる旧アスファルトの針入度は9であったが、特殊潤滑油を添加して製造した100%再生混合物の回収アスファルトの針入度は30であり、特殊潤滑油を用いた100%再生混合物のアスファルト性状は回復していることが分かった。

これらのことから、特殊潤滑油は再生骨材の再生（回復）が可能であるだけではなく、特殊潤滑油を用いた100%再生混合物は、再生骨材として再度利用（再々生化）の可能性も確認できた。

⑥圧裂試験

試験施工時に使用した100%再生混合物をサンプリングし、室内で供試体を作製して圧裂試験を実施した。結果は、圧裂強度1.23N/mm²、圧裂係数1.09であった。表－14に示した配合試験とほぼ同程度の値が得られていることが分かった。

(5)　まとめ

試験施工に使用した100%再生混合物について性状を確認した結果、配合試験時と同程度な性状が確認され、設定した製造条件、手順は適切であったといえる。製造温度に関しては、初期転圧温度（目標125℃）が確保できるように、運搬距離や施工季節（気温）に応じて適宜設定する必要がある。

また、切り取り供試体により締固め密度の測定を行ったが、十分な締固め度が確認され、施工条件、手順は適切であったといえる。敷きならし時に、舗装表面で一部、混合物の引きずりが確認されたが、アスファルトフィニッシャのアイロン温度を上げることで改善できる。また、二次転圧（タイヤローラ）時にヘアクラックの発生が見られたが、転圧時の混合物温度の低下につれて、ヘアクラックは治まり、締固め度も十分な値が得られた。

実施工時には温度管理を徹底することにより、これらの不具合は解消できると考えている。

従来の舗設と異なり、散水の工程が必要になるが、均一な散水量が得られるように散水方法については、今後検討していく必要がある。

4.　今後の課題

本100%再生混合物については、これまで供用した実績がないため耐候性や耐久性は不明である。小笠原支庁は気温や紫外線などの気象条件が本土より厳しい条件下にあるため、今回施工した舗装について今後も観察を行い、耐候性の変化やひび割れ発生等の変状や車両通過による変形が発生しないかどうか調査を継続する予定である。

また、今回の配合については、早期の交通開放を重視し反応補助材添加量を50%としたため、圧裂係数等が規定値内に入っていない。今後は、交通開放に必要な強度を確保しつつ、強度発現と反応補助材の添加量および圧裂係数等の関係を確認し、全アスファルト量と反応補助材添加量などの配合の検討を行い、試験施工箇所の供用状況を確認し、小笠原仕様を確立していく必要がある。

さらに、特殊潤滑油は再生骨材の再生が可能であるだけではなく、将来的な再々生化の可能性も確認できたものと考えている。そして、この技術を新しい再生方法として、都内での応用についても検討して行く予定である。