

2. 再生加熱アスファルト混合物の再生骨材配合率に着目した品質調査

Quality Survey Focusing on Recycled Aggregate Blending Ratio of Recycled Hot Asphalt Mixture

技術支援課 道路環境支援担当 課長代理 橋本喜正 課務担当 課長代理 峰岸順一

1. はじめに

再生加熱アスファルト混合物（以下、再生アスファルト混合物という）は、比較的軽交通の路線（目安として交通量区分が N_6 以下）の場合には、表層も含めてすべてのアスファルト混合物層に再生アスファルト混合物を使用している箇所が多数存在している。

さらに、高い耐久性が求められる環七通り、環八通りなどをはじめとする重交通路線（交通量区分 N_7 相当）においても表層および基層の上層部を除く部分において適用されている。

再生アスファルト混合物の材料となるアスファルトコンクリート再生骨材（以下、再生骨材という）は、配合率が高いほどリサイクル、省資源の面で有効である。この再生アスファルト混合物の再生骨材配合率は、リサイクル、省資源社会を指向し、年々向上してきている。一方、再生骨材は新材と比較すると品質の安定性は低くなる傾向がある。

本稿では、再生骨材の利用率拡大を目的とし、運用されているアスファルトプラント（以下プラントという）における再生骨材配合率を向上させた混合物について実施した、室内試験による品質確認結果と関東近郊のアスファルトプラント 6 社に再生骨材の配合率等についてヒアリングを実施した結果について報告する。

2. 調査概要

本調査における室内試験による品質確認は、図-1 に示すフローに従って実施した。

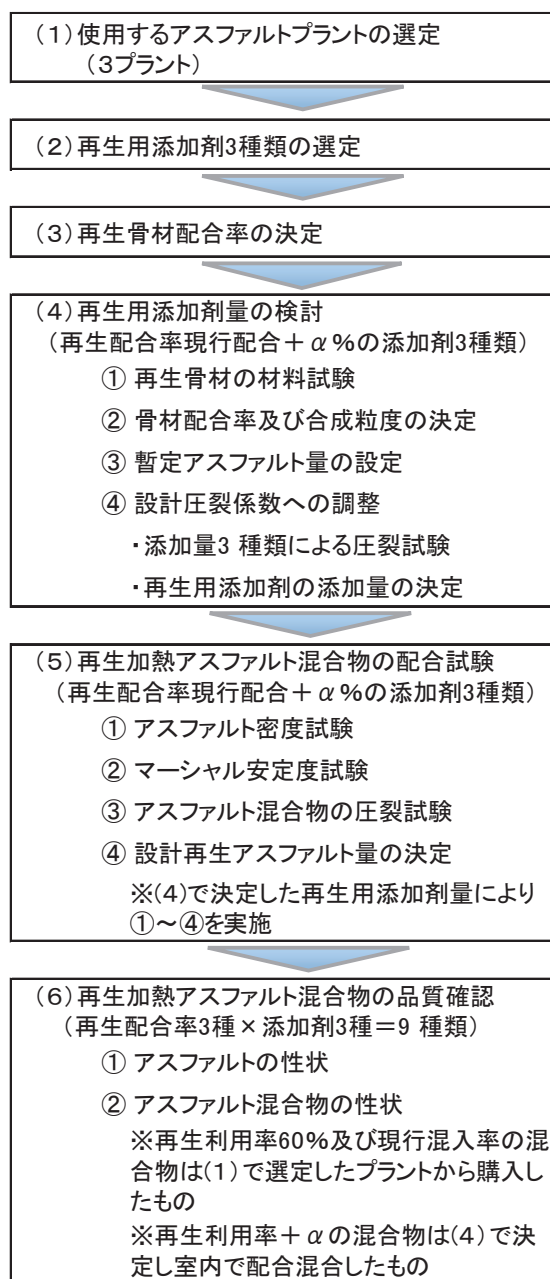


図-1 室内試験のフロー

表-1 試験項目

対象	試験項目	測定
再生用添加剤量の検討	材料試験及び配合設計	—
	アスファルト混合物の圧裂試験	圧裂係数MPa/mm
再生加熱アスファルト混合物の配合試験	アスファルト混合物の密度試験	設計アスファルト量の決定
	マーシャル安定度試験	
	アスファルト混合物の圧裂試験	圧裂係数Mpa/mm
アスファルトの性状	アスファルトの回収試験	—
	針入度試験	針入度(25°C)1/10 mm
	軟化点試験	軟化点°C
	伸度試験	伸度(15°C)cm
アスファルト混合物の性状	アスファルト混合物の密度試験	密度g/cm ³
		空隙率%
		飽和度%
	マーシャル安定度試験	安定度kN
		フロー値1/100 cm
	アスファルト混合物の圧裂試験	圧裂係数Mpa/mm

プラントごと、再生骨材配合率が3種類、再生用添加剤3種類の組み合わせとなる計9種類のアスファルト混合物について、選定したプラントの再生骨材を使用し、使用されたアスファルト及びアスファルト混合物の性状を確認するために表-1に示す試験を行った。なお、対象とする混合物の種類については、最も使用率が高い再生粗粒度アスファルト混合物とした。

このうち、再生骨材配合率が最も多い配合については、材料試験、合成粒度の決定、暫定アスファルト量の設定、設計圧裂係数への調整、設計再生アスファルト量の決定等の配合設計を行い、決定した設計再生アスファルト量で室内での供試体作成を行い、品質を確認した。

再生利用率60%及び現行配合率の各試験に供するアスファルト混合物は、選定したアスファルトプラントから購入した。購入数量は1種類につき1t程度とし、2つの再生利用率に対して再生用添加剤が3種類であることから、各プラントで計6t程度とした。

また、温度が下がらないようにプラント練り落とし直後に供試体を作製した。

各試験方法は、舗装調査・試験法便覧（（社）日本道路協会）、舗装再生便覧（平成22年版）（（社）日本道路協会）に準拠して実施した。

3. 実施内容

(1) プラントの選定

検討を実施するにあたり、調査を実施するプラントの選定を行った。今回の調査では、関東近郊のプラントのうち、再生骨材配合率が65%以上の混合物を出荷可能なアスファルトプラントを選定した。

(2) 再生用添加剤3種類の選定

再生用添加剤は、現在一般的に使用されているもののうち、再生利用率65%を達成できる3種類を選定した。

(3) 再生骨材配合率の決定

対象とするアスファルト混合物の再生粗粒度アスコン(20)における各プラントの再生骨材の使用量であるが、本調査を行う時点では、Aプラントで75%、Bプラントで85%、Cプラントで78%であった。

再生骨材使用量60%及び現行使用量+5%、もしくは+10%の配合を決定するために、配合設計書の粒度をもとに、粒度範囲を満足する再生骨材の混入率を決定した。

各プラントの再生骨材配合率及び合成粒度を表-2に示す。

表-2 各プラントの再生骨材配合率及び合成粒度

【Aプラント】

材料		配合割合			ふるい目 (mm)	合成粒度			粒度範囲	
		再生60%	再生75% (現行配合)	再生85%		再生60%	再生75% (現行配合)	再生85%		
新規	S-20	7	5		26.5	100.0	100	100	100	100
	S-13	16	10	11	19	98.6	98.6	99.1	95	~ 100
	S-5	7	6	4	13.2	85.1	85.4	89.9	70	~ 90
	砕砂	9	4		4.75	45.9	45.8	44.3	35	~ 55
	石粉	1			2.36	30.1	33.6	32.1	20	~ 35
	計	40	25	15	0.6	17.3	21.0	20.4	11	~ 23
再生	R20-13	44	55	62.3	0.3	12.1	15.0	14.7	5	~ 16
	R13-0	16	20	22.7	0.15	7.3	9.3	9.2	4	~ 12
	計	60	75	85	0.075	4.7	6.2	6.2	2	7
合計		100	100	100						

【Bプラント】

材料		配合割合			ふるい目 (mm)	合成粒度			粒度範囲	
		再生60%	再生85% (現行配合)	再生90%		再生60%	再生85% (現行配合)	再生90%		
新規	S-20	14.5	14.5	9.5	26.5	100	100	100	100	100
	S-13	12			19	98.6	98.6	99.1	95	~ 100
	S-5	7			13.2	85.1	85.4	89.9	70	~ 90
	砕砂	6			4.75	45.9	45.8	44.3	35	~ 55
	石粉	0.5	0.5	0.5	2.36	30.1	33.6	32.1	20	~ 35
	計	40	15	10	0.6	17.3	21.0	20.4	11	~ 23
再生	R13-5	42	60	70	0.3	12.1	15.0	14.7	5	~ 16
	R5-0	18	25	20	0.15	7.3	9.3	9.2	4	~ 12
	計	60	85	90	0.075	4.7	6.2	6.2	2	7
合計		100	100	100						

【Cプラント】

材料		配合割合			ふるい目 (mm)	合成粒度			粒度範囲	
		再生60%	再生78% (現行配合)	再生88%		再生60%	再生78% (現行配合)	再生88%		
新規	S-20	18	15	12	26.5	100	100	100	100	100
	S-13	12			19	98.7	98.9	99.1	95	~ 100
	S-5	7	7		13.2	82.9	85.5	88.1	70	~ 90
	中砂	3			4.75	45.4	46.0	43.6	35	~ 55
	石粉				2.36	29.2	33.5	31.1	20	~ 35
	計	40	22	12	0.6	18.4	21.0	20.3	11	~ 23
再生	R13-5	40	48	66	0.3	13.2	15.5	15.2	5	~ 16
	R5-0	20	30	22	0.15	7.6	9.7	9.6	4	~ 12
	計	60	78	88	0.075	4.7	6.0	6.1	2	7
合計		100	100	100						

(4) 再生用添加剤量の検討

各プラントの再生骨材の現行配合率+ α の混合率の配合について、圧裂試験を用いて再生用添加剤量を決定した。なお、各混合物の暫定アスファルト量は、配合設計（現状の再生骨材配合率）のアスファルト量、再生用添加剤は各プラントで使用しているものにて実施した。

結果を表-3及び図-2に示す。

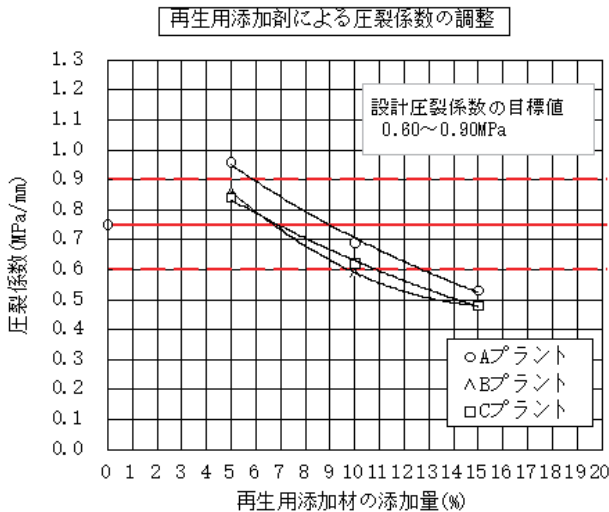


図-2 再生用添加剤量の調整

表-3 再生用添加剤量

再生用添加剤量 (%)	Aプラント			Bプラント			Cプラント		
	5	10	15	5	10	15	5	10	15
圧裂係数 (MPa/mm)	0.96	0.69	0.53	0.86	0.59	0.48	0.84	0.62	0.48
設計圧裂係数 (MPa/mm)	0.60~0.90								
再生用添加剤量の決定 (%)	8.8			6.7			6.7		

※最適な再生用添加材量は、設計圧裂係数の中央値

※再生用添加剤量は、旧アスファルトに対する重量比である

表-4 各プラントの再生骨材配合率における最適アス量でのマーシャル特性値

プラント	再生骨材割合	最適アス量	密度	理論密度	空隙率	飽和度	安定度	フロー値	S/F	圧裂係数	配合設計	摘要
		%	g/cm ³	g/cm ³	%	%	kN	1/10mm	kN/m	MPa/mm		
A	60	5.0	2.381	2.484	4.1	73.7	11.87	35	3,391.0	-	AP提供	
	75	4.7	2.391	2.492	4.1	72.1	11.85	28	4,232.0	-	AP提供	現行配合
	85	4.5	2.376	2.472	3.9	72.7	11.63	25	4,652.0	0.74	今回実施	
B	60	4.6	2.408	2.510	4.1	72.3	12.20	31	3,935.0	-	AP提供	
	85	4.6	2.408	2.507	3.9	73.3	12.19	31	3,932.0	-	AP提供	現行配合
	90	4.5	2.406	2.503	3.9	72.9	12.43	26	4,780.8	0.75	今回実施	
C	60	4.6	2.403	2.504	4.0	72.8	12.14	33	3,678.8	-	AP提供	
	78	4.6	2.407	2.508	4.0	72.8	12.17	32	3,803.1	-	AP提供	現行配合
	88	4.4	2.407	2.503	3.8	72.9	12.60	28	4,500.0	0.75	今回実施	
基準値		4.3~5.3	2.35以上	-	3~7	65~85	8.0以上	20~40	-	0.6~0.9		

以上の結果から、それぞれの混合物に対する再生用添加剤量は、以下の通りとなった。

- ①Aプラント（再生骨材配合率85%）・・・8.8%
- ②Bプラント（再生骨材配合率90%）・・・6.7%
- ③Cプラント（再生骨材配合率88%）・・・6.7%

(5) 再生加熱アスファルト混合物の配合試験

各プラントの再生骨材配合率における最適アスファルト量（以下、最適アス量という）におけるマーシャル特性値を表-4及び図-3~9に示す。なお、各プラントの再生骨材配合率60%及び現行配合率は、各プラントの配合設計の値である。

なお、表-4に示す「AP提供」が各アスファルトプラントから提供を受けた、各アスファルトプラントにて用いられている再生骨材配合率及び配合であり、「今回実施」は今回の検討にて実施した再生骨材配合率および配合である。

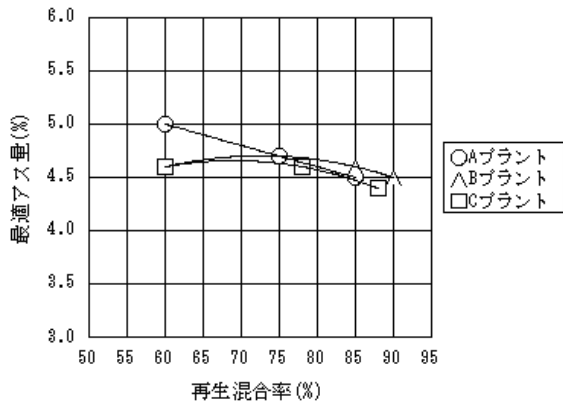


図-3 特性値 (最適アス量)

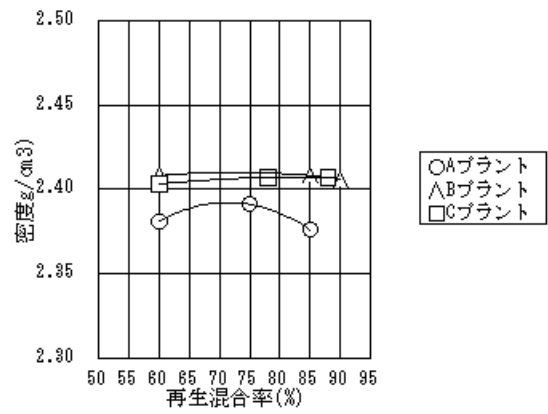


図-7 特性値 (密度)

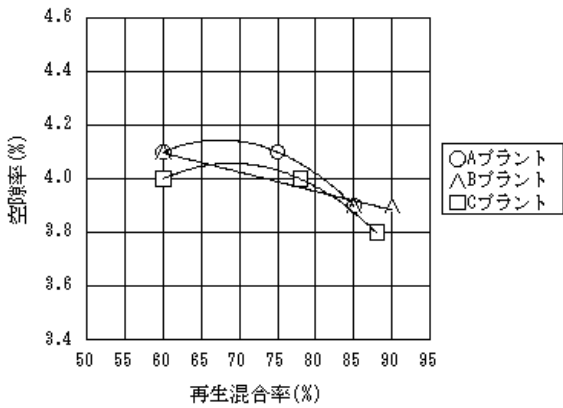


図-4 特性値 (空隙率)

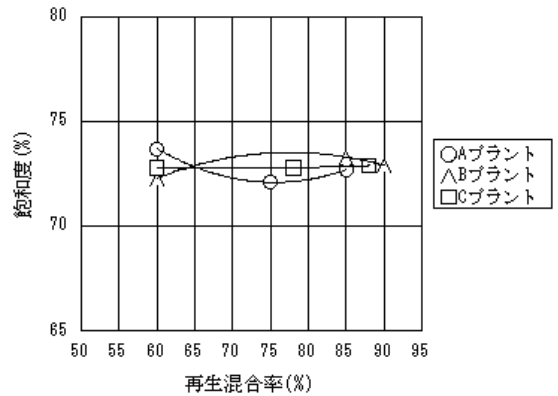


図-8 特性値 (飽和度)

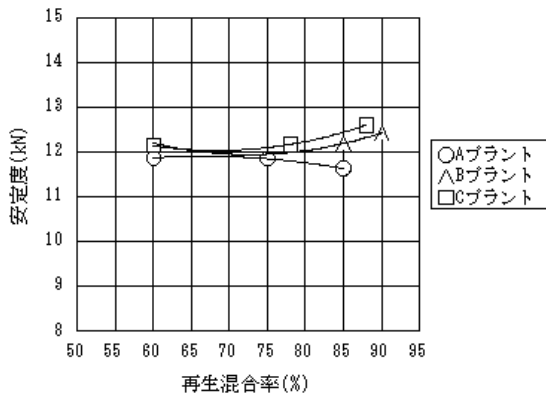


図-5 特性値 (安定度)

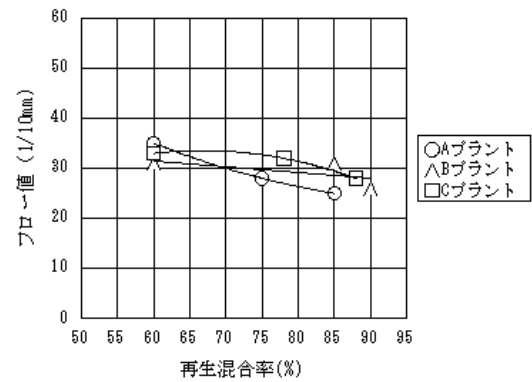


図-9 特性値 (フロー値)

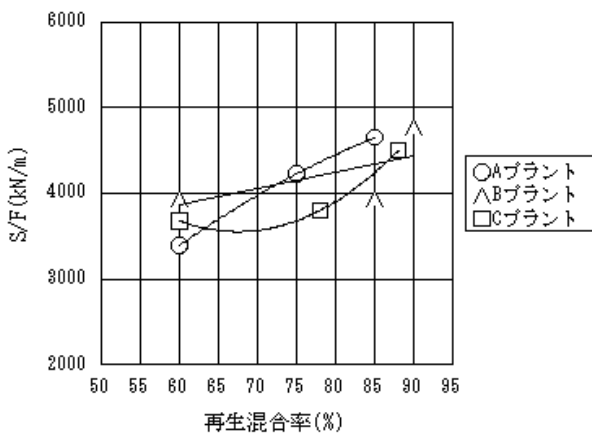


図-6 特性値 (S/F)

以上の結果をまとめると以下の通りとなる。

- ・再生骨材配合率が多くなるに伴い、最適アス量は低下傾向にある。
- ・最適アス量における密度は大きな違いはみられない。ただし、再生骨材の混入率が多くなるに伴い、空隙率は低下傾向にある。
- ・安定度は、1 プラントの傾向を除くと、再生骨材の混入率が多くなるに伴い、大きくなる傾向がみられる。一般的に、再生混合物は新規混合物と比較して高い安定度を示す傾向にあるが、再生骨材配合率が多いほど

安定度も高くなる傾向がある。

・混合物のS/F（S：安定度/F：フロー値）は、混合物のスチフネスを表す指標であり、値が大きいほど、剛性であることを意味するものであり、再生骨材の配合率が多いほど、高い値を示す傾向がある。

(6) 再生加熱アスファルト混合物の品質確認

1) アスファルトの性状確認試験結果

再生加熱アスファルト混合物のアスファルトの性状を確認するため、3種類の再生利用率と3種類の再生用添加剤の計9種類に対して回収アスファルトの性状試験を行った。

回収アスファルトの性状試験結果を表-5及び図-10～14に示す。

プラント間にやや傾向の違いがみられるが、各試験結果をまとめると以下の通りとなる。

- ・針入度は、再生骨材配合率が多いほど低くなる傾向にある。
- ・軟化点は針入度との関係があり、針入度が低いと軟化点は高くなる傾向にある。

表-5 回収アスファルトの性状試験結果

プラント	再生骨材割合	アスファルトの性状				針入度低下率
		最適アス量 %	針入度 1/10mm	軟化点 °C	伸度 cm	
Aプラント	60	5.0	36	57.0	18.0	72
	75	4.7	34	59.0	18.0	68
	85	4.5	34	58.5	16.0	68
Bプラント	60	4.6	39	55.0	17.0	78
	85	4.6	38	56.0	17.0	76
	90	4.5	38	57.0	15.0	76
Cプラント	60	4.6	37	60.5	21.0	74
	78	4.6	35	61.0	20.0	70
	88	4.4	36	62.0	19.0	72

※針入度の低下率=回収針入度/設計針入度50

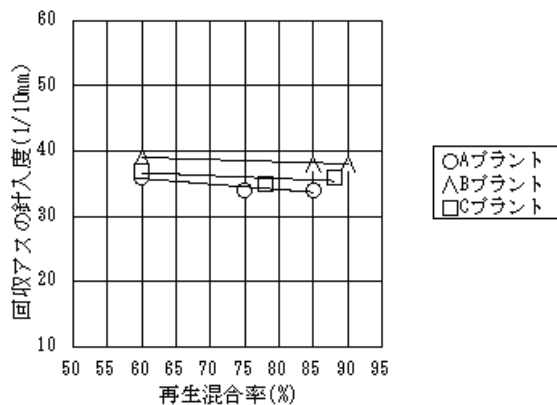


図-10 回収アスファルトの針入度

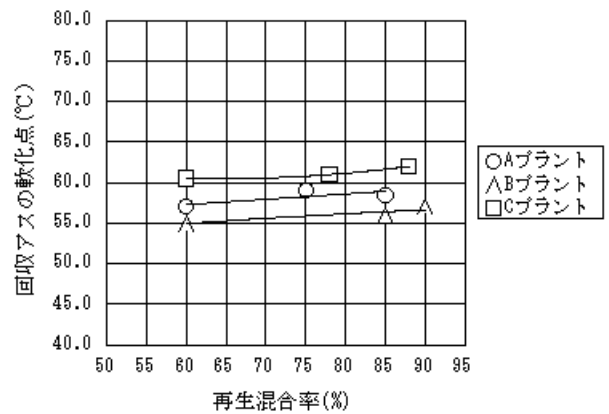


図-11 回収アスファルトの軟化点

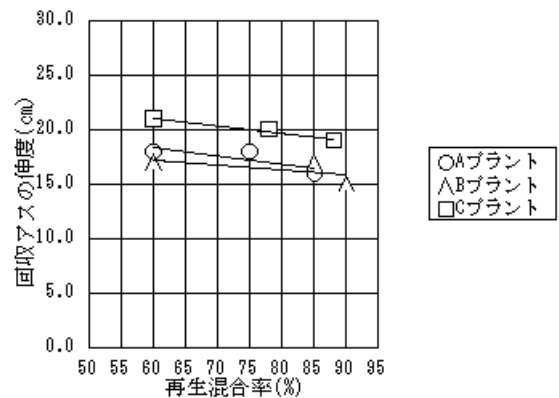


図-12 回収アスファルトの伸度

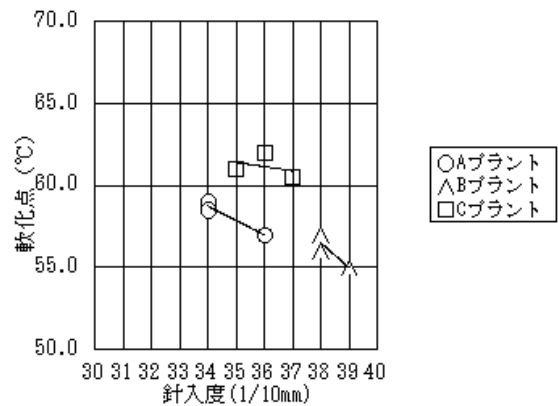


図-13 回収アスの針入度と軟化点の関係

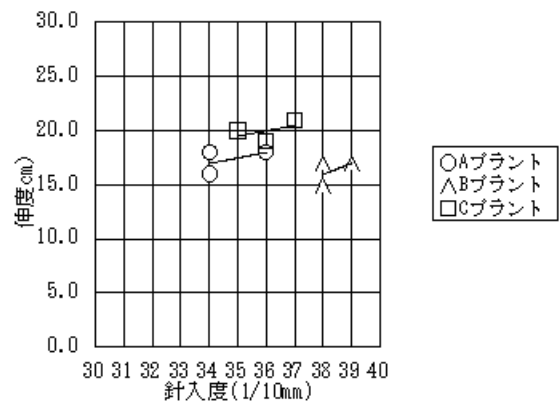


図-14 回収アスの針入度と伸度の関係

表-6 アスファルト混合物の性状試験確認結果

プラント	再生骨材割合	設計	最適アス量	密度	理論密度	空隙率	飽和度	安定度	フロー値	S/F	圧裂係数	配合設計	摘要
		確認	%	g/cm ³	g/cm ³	%	%	kN	1/10mm	kN/m	MPa/mm		
Aプラント	60	設計	5.0	2.381	2.484	4.1	73.7	11.87	35	3,391	-	AP提供	
		確認		2.371		4.5	71.9	11.52	34	3,388	0.73		
	75	設計	4.7	2.391	2.492	4.1	72.1	11.85	28	4,232	-	AP提供	現行配合
		確認		2.382		4.4	71.1	12.56	31	4,052	0.75		
	85	設計	4.5	2.376	2.472	3.9	72.7	11.63	25	4,652	0.75	今回実施	
		確認		2.373		4.0	72.0	11.56	26	4,446	0.75		
Bプラント	60	設計	4.6	2.408	2.510	4.1	72.3	12.20	31	3,935	-	AP提供	
		確認		2.396		4.5	70.4	12.85	33	3,894	0.74		
	85	設計	4.6	2.408	2.507	3.9	73.3	12.19	31	3,932	-	AP提供	現行配合
		確認		2.391		4.6	69.7	13.88	34	4,082	0.73		
	90	設計	4.5	2.406	2.503	3.9	72.9	12.43	26	4,781	0.75	今回実施	
		確認		2.402		4.0	72.4	12.65	26	4,865	0.75		
Cプラント	60	設計	4.6	2.403	2.504	4.0	72.8	12.14	33	3,679	-	AP提供	
		確認		2.385		4.8	68.8	13.50	35	3,857	0.72		
	78	設計	4.6	2.407	2.508	4.0	72.8	12.17	32	3,803	-	AP提供	現行配合
		確認		2.398		4.4	70.9	13.56	33	4,109	0.73		
	88	設計	4.4	2.407	2.503	3.8	72.9	12.60	28	4,500	0.75	今回実施	
		確認		2.408		3.8	73.9	12.47	29	4,300	0.75		
基準値			4.3~5.3	2.35以上	-	3~7	65~85	8.0以上	20~40	-	0.6~0.9		

・伸度は、再生骨材配合率が多いほど低くなる傾向にある。

・針入度と軟化点の関係、針入度と伸度との関係は、それぞれ一般的に言われているような関係を示しているが、同じ針入度の値であってもプラントによって軟化点、伸度ともに値に違いがみられる。これは、再生添加剤の種類や再生骨材中の旧アスファルトが異なる事が影響しているものと思われる。

2) アスファルト混合物の性状確認試験結果

再生加熱アスファルト混合物の性状を確認するために、3種類の再生骨材配合率と3種類の再生用添加剤の計9種類に対して、アスファルト混合物の性状試験を行った。

結果は、表-6 に示す通りであり、設計時と確認試験結果の比較を図-15~20 に示す。

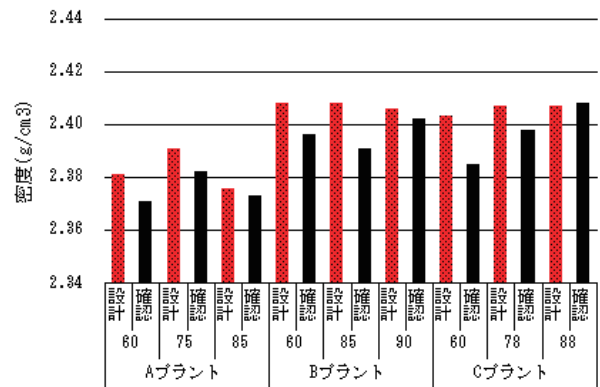


図-15 設計時と確認試験結果の比較 (密度)

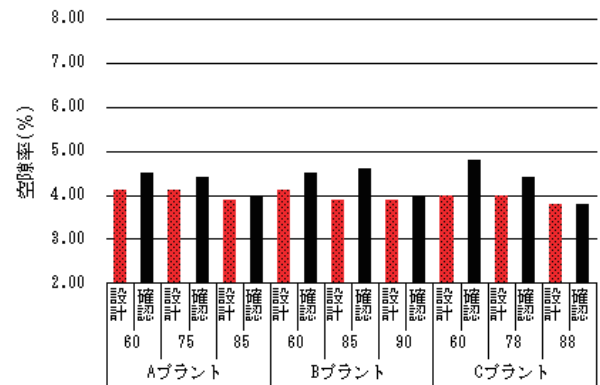


図-16 設計時と確認試験結果の比較 (空隙率)

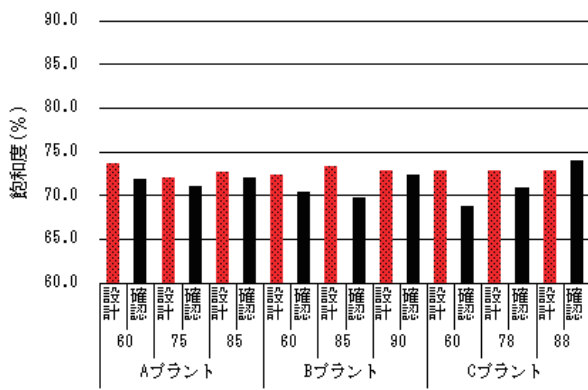


図-17 設計時と確認試験結果の比較（飽和度）

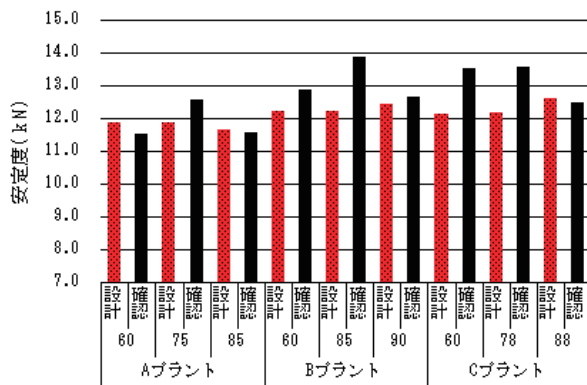


図-18 設計時と確認試験結果の比較（安定度）

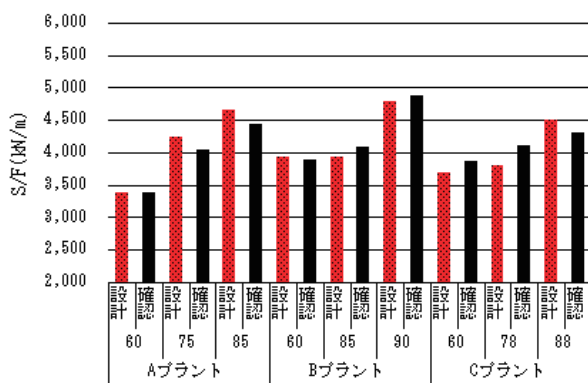


図-19 設計時と確認試験結果の比較（S/F）

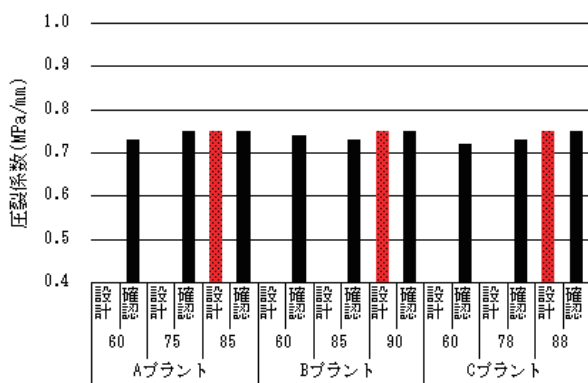


図-20 設計時と確認試験結果の比較（圧裂係数）

各特性値とも再生骨材配合率 60%と現行配合率（それぞれ 75、85、78%）の設計値と確認結果の値に差がみられる。これらのデータは、各プラントの配合設計と出荷合材の比較である。これに対し、各混合物の 85、90、88%は、今回実施した配合設計と室内で供試体を作成した確認値であり、配合設計との差はほとんど見られない。

この原因として、今回実施した配合設計のものは使用した再生骨材が配合設計時とプラント出荷時でほぼ同じものを使用しているのに対し、各プラントの配合設計のものは、プラントの配合設計時と実際の出荷時にタイムラグが発生していることから、再生骨材の変動による影響と考えられる。

ただし、出荷合材の各特性値は範囲を満足していた。

次に、各プラントの再生骨材配合率と確認試験結果の関係を図-21～26 に示す。

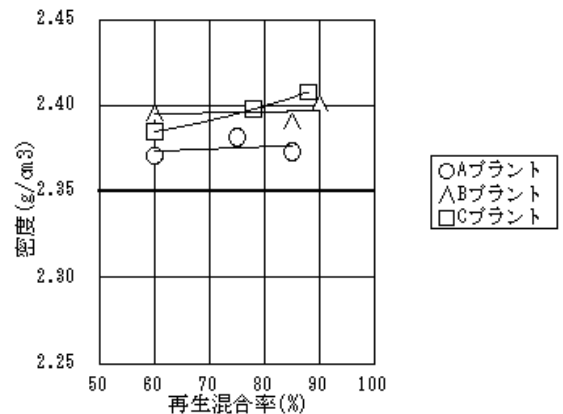


図-21 再生骨材配合率と密度の関係

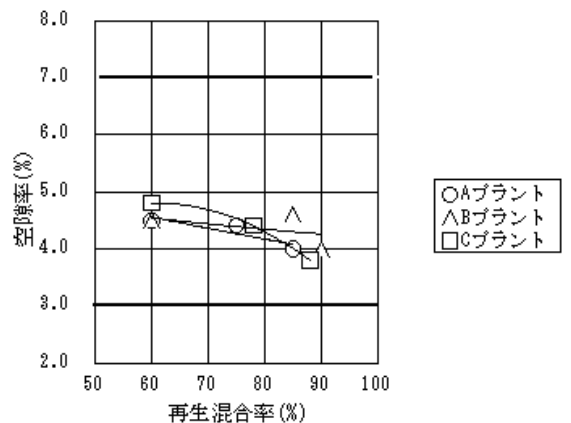


図-22 再生骨材配合率と空隙率の関係

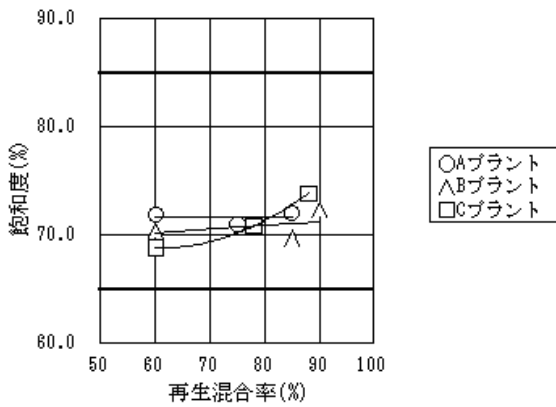


図-23 再生骨材配合率と飽和度の関係

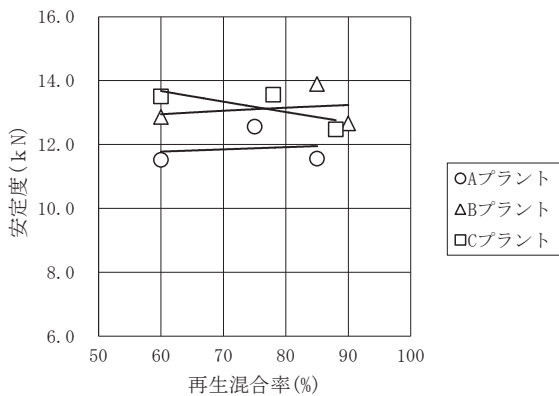


図-24 再生骨材配合率と安定度の関係

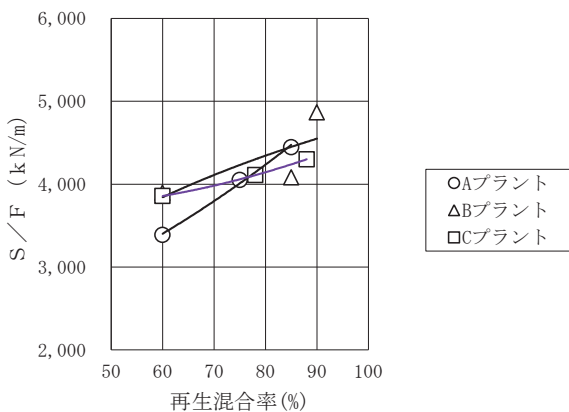


図-25 再生骨材配合率と S/F の関係

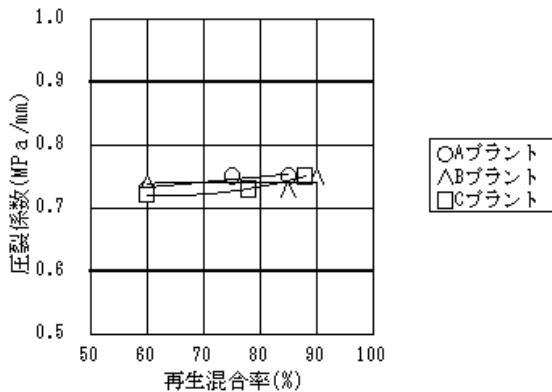


図-26 再生骨材配合率と圧裂係数の関係

再生骨材配合率と各特性値の関係をまとめると以下に示す通りとなる。

- ・空隙率は、再生骨材配合率が多くなるに伴い低下する傾向がある。

- ・安定度は、再生骨材配合率が多くなるに伴い大きくなる傾向がみられるが、バラツキが大きく明確なことはいえない。

- ・S/Fは、再生骨材の配合率が多いほど、高い値を示す傾向が見受けられる。

- ・圧裂係数は、再生骨材配合率が多くなるに従い、大きくなる傾向がみられるが、その差は僅かである。

(7) 再生骨材の配合率についてのヒアリング結果

関東近郊のアスファルトプラント6社に再生骨材の配合率等についてヒアリングを実施した。

再生骨材の平成27年度全国平均は50.1%であるが、今回ヒアリングを実施した6社の回答では、再生骨材の配合率は64～85% (平均75%) であり、全国平均と比べて高い配合率である。

この理由として、首都圏で用いられている舗装については重交通路線が比較的多く、アスファルトを用いた層の厚さが厚いことから路盤材と混合される部分が少なく、プラントに搬入されるアスファルトガラ品質が一定であること、プラントの運用面においても、使用する再生骨材を20-13mm、13-5mm、5-0mmのように分級し、粒度範囲内を満足する事が出来るようにしている工夫などがあげられる。

4. まとめ

今回の確認試験等により、以下のことがわかった。

(1) 回収アスファルトの性状試験結果

- ・針入度は、再生骨材配合率が多いほど低くなる傾向にある。

- ・軟化点は針入度との関係があり、針入度が低いと軟化点は高くなる傾向にある。

- ・伸度は、再生骨材配合率が多いほど低くなる傾向にある。

- ・針入度と軟化点の関係、針入度と伸度の関係は、それぞれ一般的に言われているような関係を示しているが、同じ針入度の値であってもプラントによっ

て軟化点、伸度ともに値に違いがみられる。これは、再生添加剤の種類や再生骨材中の旧アスファルトが異なる事が影響しているものと思われる。

(2) 再生骨材配合率と各特性値の関係

・空隙率は、再生骨材配合率が多くなるに伴い低下する傾向がある。

・安定度は、再生骨材配合率が多くなるに伴い大きくなる傾向がみられるが、バラツキが大きく明確なことはいえない。

・S/Fは、再生骨材の配合率が多いほど、高い値を示す傾向がある。

・圧裂係数は、再生骨材配合率が多くなるに従い、大きくなる傾向がみられるが、その差は僅かである。

(3) 再生骨材配合率

関東近郊のアスファルトプラントの再生骨材配合率は、全国平均と比べて高い。

(4) 配合設計と出荷混合物の各性状値の比較

各プラントの再生骨材の変動が大きいため、試験結果の値のバラツキはみられること、今回試験を行った3プラント限定ではあるものの、各マーシャル特性値の規格値は満足しており、現行の再生骨材配合率+5%もしくは+10%の混合物においても問題ない混合物を製造することができた。もちろん、すべてのプラントにおいて可能といえるわけではないものの、安定した再生骨材の供給やプラントの運用により、再生骨材配合率をさらに高めることができる可能性が示唆された。