

劣化した再生アスファルト骨材の表層用混合物への適用

Application to asphalt mixture for surface of deteriorated recycled aggregate.

独立行政法人 北海道開発土木研究所 道路部 維持管理研究室 正員 ○吉井昭博(Akihiro Yoshii)
 正員 岳本秀人(Hidetoto Takemoto)
 正員 安倍隆二(Ryuuji Abe)

1. 検討の背景

北海道における道路整備事業は本格的な維持・修繕の時代を迎えようとしており、切削オーバーレイや打ち換え工事によるアスファルトコンクリート発生材（以下；アスファルト塊）が増加する傾向にある。

現在、再生アスファルト骨材（以下；再生骨材）の使用割合はほぼ横ばいであり（図-1）、2002年度では99%である。北海道における再生アスファルト混合物は繰り返して劣化を受けた再生骨材を使用している可能性がある。また、アスファルト舗装の多様化より、改質II型バインダーや高粘度改質バインダーが頻繁に使用されていることから（図-2）、再生骨材の種類及び性状が多様に変化している。

そこで本研究では、これらの多様化する再生骨材を少しでも多く、安全に使用することができるように、再生骨材の品質試験及び最大混入量の推定、再生されたアスファルトバインダー（以下；再生バインダー）の性状試験を行っている。

今回の室内検討は、2回の熱劣化を経験させた再生骨材及び針入度を20まで熱劣化させた再生骨材、排水性舗装切削剤を北海道のプラントにおける混入割合の限界である50%使用した再生アスファルト混合物（以下；再生混合物）を室内で作成し、各種試験の検討を行った結果を報告するものである。

2. 再生骨材と再生混合物の基本性状

1) 使用した再生骨材と性状

今回試験に使用した再生骨材は、以下に示す4種類である。

α：一般的に使用されている再生骨材
 （以下：1回劣化旧As針入度31再生骨材）

石狩管内のAプラントより採取した再生骨材で現在一般的に使用されている再生骨材。

β：2回劣化再生骨材
 （以下：2回劣化旧As針入度43再生骨材）

一般的な再生骨材を用いて、再生50%のアスファルト混合物（密粒度アスコン13F）を作製し、これを135℃で4時間加熱後に85℃で48時間熱劣化したものを100℃程度でほぐしたもの¹⁾。実際に再生された混合物がさらに再生骨材になった場合（再々骨材）を想定している。
 γ：針入度20再生骨材
 （以下：2回劣化旧As針入度20再生骨材）

一般的な再生骨材をそのまま150℃で18時間熱劣化し針入度を20としたもの。針入度が規格値ぎりぎりとなってしまった再生骨材を想定している。

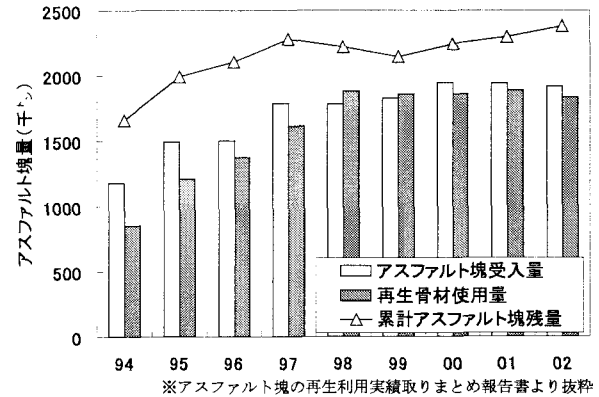


図-1 北海道の再生骨材の受入量と使用量（'94～'02）

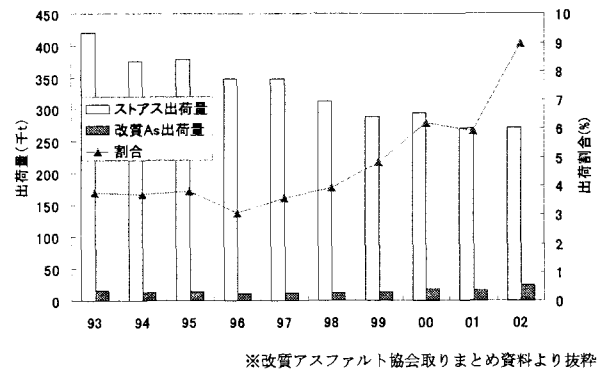


図-2 北海道の改質AsとスTAsの出荷量推移（'93～'02）

δ：排水性舗装切削剤

（以下：排水性切削剤入り旧As針入度30再生骨材）

現場より採取した排水性舗装切削剤と一般的な再生骨材を1:4の割合で混合したもの。排水性舗装材が基層、As処理を一緒に粉砕された場合を想定している。

表-1に今回使用した再生骨材の性状を示す。この結果、いずれの再生骨材もAs含有率及び旧As針入度の規格を満足している。最大比重については同等程度となったが、アスファルト含有率については差があり、排水性切削剤旧As針入度30再生骨材δはもっとも含有率が多く、2回劣化旧As針入度20再生骨材γが一番小さい結果となった。

2) 試験用再生混合物と基本性状

前述の再生骨材より試験用混合物として、以下に示される混合物を作製した。

①再生骨材を混入しないストアスの密粒度アスコン13F
 （以下；再生骨材0%ストアス密粒度アスコン）

②再生骨材を混入しない改質II型の密粒度アスコン13F
 （以下；再生骨材0%改質II型密粒度アスコン）

- ③再生骨材を混入しない改質Ⅱ型の細粒度Gアスコン 13F55
(以下;再生骨材 0%改質Ⅱ型細粒度Gアスコン)
- ④αの再生骨材を50%混入したストアスの密粒度アスコン 13F
(以下;1回劣化旧As針入度31再生骨材50%入りストアス密粒度アスコン)
- ⑤αの再生骨材を50%混入した改質Ⅱ型の密粒度アスコン 13F
(以下;1回劣化旧As針入度31再生骨材50%入り改質Ⅱ型密粒度アスコン)
- ⑥βの再生骨材を50%混入したストアスの密粒度アスコン 13F
(以下;2回劣化旧As針入度43再生骨材50%入りストアス密粒度アスコン)
- ⑦βの再生骨材を50%混入した改質Ⅱ型の密粒度アスコン 13F
(以下;2回劣化旧As針入度43再生骨材50%入り改質Ⅱ型密粒度アスコン)
- ⑧γの再生骨材を50%混入したストアスの密粒度アスコン 13F
(以下;2回劣化旧As針入度20再生骨材50%入りストアス密粒度アスコン)
- ⑨γの再生骨材を50%混入した改質Ⅱ型の密粒度アスコン 13F
(以下;2回劣化旧As針入度20再生骨材50%入り改質Ⅱ型密粒度アスコン)
- ⑩δの再生骨材を50%混入したストアスの密粒度アスコン 13F
(以下;排水性切削材入り旧As針入度30再生骨材50%入りストアス密粒度アスコン)
- ⑪δの再生骨材を50%混入した改質Ⅱ型の密粒度アスコン 13F
(以下;排水性切削材入り旧As針入度30再生骨材50%入り改質Ⅱ型密粒度アスコン)
- ⑫δの再生骨材を30%混入した改質Ⅱ型の細粒度Gアスコン 13F55
(以下;排水性切削材入り旧As針入度30再生骨材30%入り改質Ⅱ型密粒度アスコン)

今回作製した混合物は、現在北海道で一般的に使用されている密粒度アスコン 13F (ストアス) とし、当該再生骨材の混合量をⅢ型プラントの限界である50%とした。

また、重交通路線用として使用されている細粒度Gアスコン 13F55 (改質Ⅱ型) についても再生骨材を50%混入して試験を行ったが、合成粒度の規格を満足できないことから、今回の試験については密粒度アスコン 13F (改質Ⅱ型) を重交通路線用として適用することとした。

表-2に再生アスファルト混合物の配合設計を示す。再生骨材混合率や再生骨材の劣化の度合いによって再生添加剤の必要量に変化する傾向にあり、2回劣化旧As針入度20再生骨材50%入り改質Ⅱ型密粒度アスコン⑨は全体重量の1.1%もの再生添加剤が必要となった。

図-3、4に再生混合物の粒度を示す。この試験項目ではすべての再生混合物が規格の粒度範囲内に収まり、ほぼ目標粒度と同等になった。

3. 再生混合物の性状試験

前項に示された再生混合物を使用して、各種室内試験した結果を以下に示す。

1) マーシャル安定度試験

図-5に試験結果を示す。すべての混合物は規格値を満足しており、再生回数や旧As針入度 (以下;劣化の度合い) によるマーシャル安定度の違いは見受けられなかった。しかし、旧Asに樹脂が含まれる排水性舗装切削材入

表-1 再生アスファルト骨材の性状

	α:1回劣化旧As針入度31再生骨材	β:2回劣化旧As針入度43再生骨材	γ:2回劣化旧As針入度20再生骨材		δ:排水性切削材入り旧As針入度30再生骨材	規格値
			As抽出前	As抽出後		
19mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	—
13mm	99.8	100.0	100.0	100.0	99.4	—
4.75mm	60.8	63.2	50.7	65.0	79.7	—
2.36mm	46.0	50.4	30.8	49.3	66.3	—
600μm	34.2	38.4	7.8	36.2	47.9	—
300μm	21.9	25.2	1.9	23.3	32.0	—
150μm	10.0	11.9	0.3	10.7	13.9	—
75μm	6.4	8.6	0.1	6.7	8.2	—
As含有率(%)	4.92	4.89	4.78		5.66	3.8以上
As針入度(1/10cm)	31	43	20		30	20以上
最大比重(g/cm ³)	2.475	2.478	2.468		2.479	—

表-2 再生アスファルト混合物の配合設計

記号	①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		⑧		⑨		⑩		⑪		⑫		
	再生0%密粒	改質Ⅱ型	再生0%密粒G	改質Ⅱ型	再生50%密粒	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	再生50%密粒	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	再生50%密粒	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	再生50%密粒	改質Ⅱ型	再生50%密粒	改質Ⅱ型	再生30%密粒G	改質Ⅱ型	再生30%密粒G	改質Ⅱ型	
混合物種類	ストアス	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	ストアス	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	
再生骨材種類	—	—	—	—	α:1回劣化旧As針入度31再生骨材	β:2回劣化旧As針入度43再生骨材	γ:2回劣化旧As針入度20再生骨材	δ:排水性切削材入り旧As針入度30再生骨材	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
再生アスファルト量(%)	—	—	—	—	5.3	5.4	5.3	5.5	5.3	5.3	5.8	5.5	5.4	3.93	2.36	2.26	3.93	2.36	2.26	3.93	2.36	2.26	3.93	2.36	2.26
新アスファルト量(%)	5.3	5.4	5.6	—	2.35	2.26	2.35	2.44	2.42	2.38	1.7	2.84	2.84	1.7	2.84	2.84	1.7	2.84	2.84	1.7	2.84	2.84	1.7	2.84	
旧アスファルト量(%)	—	—	—	—	2.7	2.84	2.7	2.8	2.38	2.38	0.18	0.3	0.3	0.18	0.3	0.3	0.18	0.3	0.3	0.18	0.3	0.3	0.18	0.3	
再生添加剤必要量(%)	—	—	—	—	0.26	0.60	0.26	0.26	0.50	1.10	0.18	0.3	0.3	0.18	0.3	0.3	0.18	0.3	0.3	0.18	0.3	0.3	0.18	0.3	
石粉(%)	9	9.2	9.9	—	3.7	5.2	3.7	3.5	5.3	5.3	7.91	5.29	5.3	7.91	5.29	5.3	7.91	5.29	5.3	7.91	5.29	5.3	7.91	5.29	
碎石6号(%)	38	37.8	38.6	—	26.4	24.5	26.4	32.3	19.0	19.0	30.42	28.35	28.37	30.42	28.35	28.37	30.42	28.35	28.37	30.42	28.35	28.37	30.42	28.35	
碎石7号(%)	7.5	7.5	13	—	2.2	2.2	2.2	—	3.8	3.8	6.22	2.17	2.18	6.22	2.17	2.18	6.22	2.17	2.18	6.22	2.17	2.18	6.22	2.17	
粗砂(%)	30.8	30.7	5.4	—	11.4	10.5	11.4	14.2	13.3	13.3	4.43	10.49	10.5	4.43	10.49	10.5	4.43	10.49	10.5	4.43	10.49	10.5	4.43	10.49	
細砂(%)	9.4	9.4	27.5	—	3.7	4.9	3.7	—	6.0	6.0	16.96	0.95	0.95	16.96	0.95	0.95	16.96	0.95	0.95	16.96	0.95	0.95	16.96	0.95	
旧Asを除く再生骨材(%)	—	—	—	—	47.4	47.3	47.4	47.4	47.4	47.4	28.26	47.25	47.3	28.26	47.25	47.3	28.26	47.25	47.3	28.26	47.25	47.3	28.26	47.25	

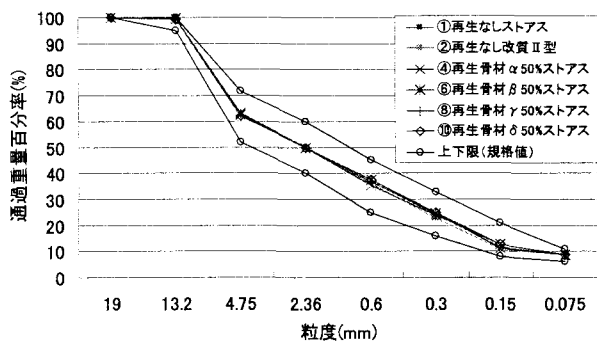


図-3 再生混合物の粒度 (密粒度アスコン 13F)

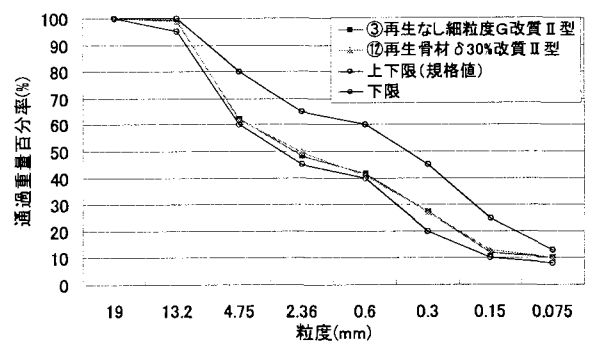


図-4 再生混合物の粒度 (細粒度Gアスコン 13F55)

り再生骨材については、多少マーシャル安定度が上昇する傾向にあった。

2) ホイルトラッキング試験

図-6に試験結果を示す。改質Ⅱ型の混合物のみに規格が適用されるが、今回試験した混合物は規格値を満足している。改質Ⅱ型の混合物には、劣化の度合いや旧Asの性状による違いは見受けられなかったが、ストレートアスファルト混合物では再生の度合いが大きくなるにつれて混合物の耐流動性が大きくなる傾向にある。これは、アスファルトの劣化によって混合物が硬くなることによると考えられる。

3) チェーンラベリング試験

図-7に試験結果を示す。すべての混合物は規格値を満足している。一般には、再生骨材の割合が大きくなるに従い少しずつではあるがスリヘリ量が増加傾向にあるとされているが、今回の試験では劣化の度合いや旧Asの性状による違いはほとんど見受けられなかった。

4) 曲げ試験

図-8、9に試験結果を示す。再生混合物は劣化するに従い曲げ強度は増加傾向を示し、曲げひずみは低下傾向にあるとされているが、今回の試験においても同様に劣化の度合いが大きくなるに従って曲げひずみ量が低くなる傾向となった。

5) 圧裂強度試験

図-10に圧裂強度比の試験結果を示す。舗装試験法便覧によると圧裂強度比が小さいとひび割れを発生しやすく、大きいとわだち掘れやすいとされており、一般的には20以下でクラックが起きやすく、40以上でわだち掘れやすいと言われている²⁾。試験の結果、劣化の度合いが大きいほど圧裂強度比が小さくなっていく傾向にあることがわかった。特に2回劣化旧As針入度43再生骨材βや2回劣化旧As針入度20再生骨材γは圧裂強度比が20を大幅に下回り、ひび割れやすい傾向にあると予想される。1回劣化旧As針入度31再生骨材αや排水性切削材入り旧As針入度30再生骨材δでも、再生骨材の入っていない混合物と比べると圧裂強度比は低くなる傾向にあることから、再生混合物は新規の混合物に比べてひび割れやすいということがわかった。

4. 再生混合物より回収したアスファルトバインダーの性状試験

1) 品質について

再生混合物より回収したアスファルトバインダー（以下；再生アスファルトバインダー）の性状試験結果を表-3に示す。

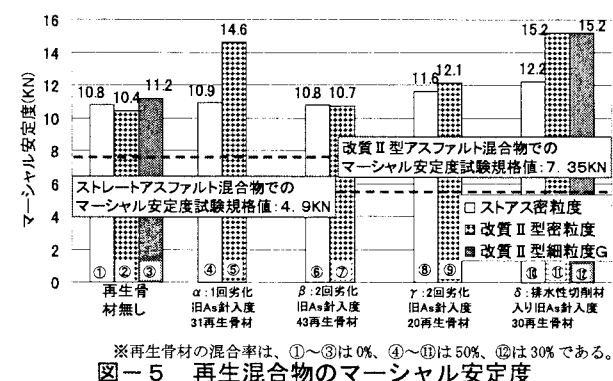


図-5 再生混合物のマーシャル安定度

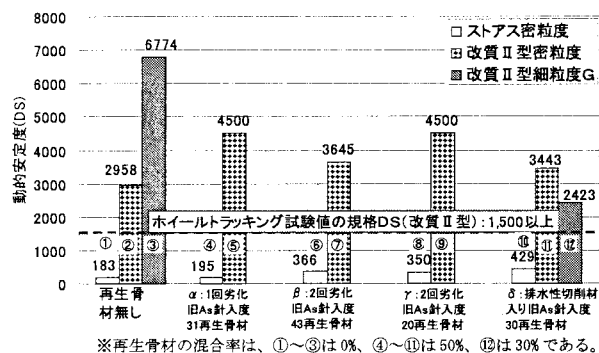


図-6 再生混合物の動的安定度

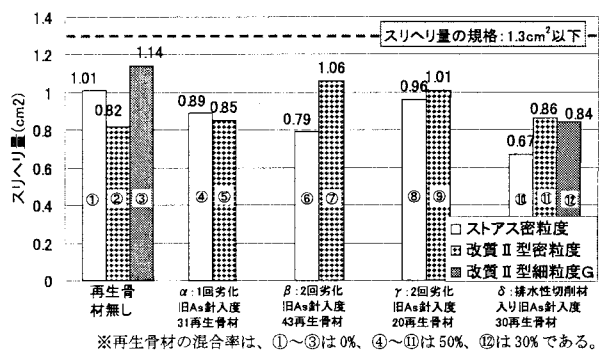


図-7 再生混合物のスリヘリ量

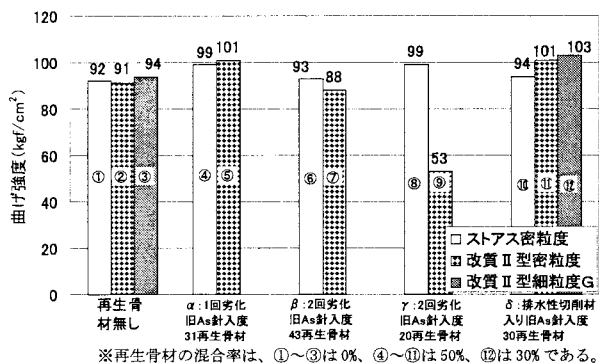


図-8 再生混合物の曲げ強度

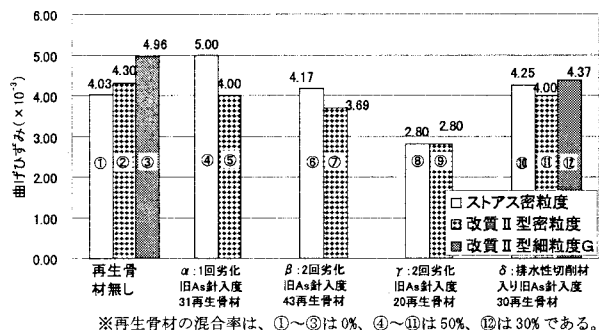


図-9 再生混合物の曲げひずみ

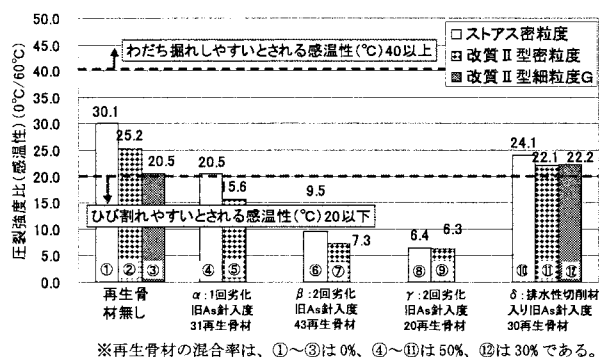


図-10 再生混合物の圧裂強度比

すべての再生アスファルトバインダーはすべての規格を満足していた。劣化の度合いが大きくなる度に軟化点は低くなる傾向に、タフネス・テナシティは高くなる傾向にあるが、その他に行った項目では劣化によるアスファルトバインダーへの影響は無い結果となった。

2) 最適混合・転圧温度について

高温動粘度試験を行い、最適混合温度、最適転圧温度についての検討を行った。図-11、12に試験結果を示す。試験の結果以下の知見が得られた。

- A. 再生骨材の混合割合が多いほど加熱に必要な温度が高くなる。
- B. 劣化の度合いが大きいほど加熱に必要な温度が高くなる。
- C. 新旧にかかわらず改質剤の入っている割合が大きいもののほど加熱に必要な温度が高くなる。

試験の結果、2回劣化旧As針入度20再生骨材50%入り改質II型密粒度アスコン⑨は、既存のアスファルトプラントでは作成できないほど高い混合温度となることがわかった⁸⁾。従って、上記の要因が多数重なった場合に混合温度が極端に必要な混合温度が高くなることから、再生骨材を実際に使用する際は、試験練り等を行い混合性等の検討をする必要があると考えられる。

5. まとめ

今回の試験では、以下の知見が得られた。

- 1) 劣化の度合いや再生混合率が大きくなっても、マーシャル安定度や動的安定度、スリヘリ抵抗性等の性状は大きく変化しないが圧裂強度試験結果より、混合物は脆

化していくと考えられるため、ひび割れが起りやすくなる予想される。

- 2) 劣化の度合いや再生混合率、改質剤の混入割合が大きくなるにつれて混合に必要な温度が高くなっていく傾向にあり、場合によってはプラントの加熱限界(185℃以上)以上の温度になる場合がある。

- 3) 排水性舗装切削材などの旧Asに樹脂を含んでいるものでも、使用方法によっては混合物のすべての規格を満足することができる。

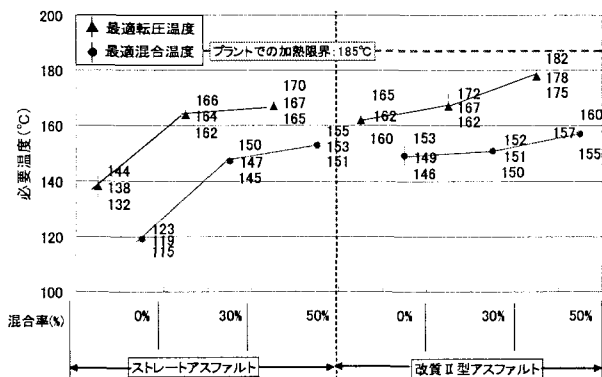
このことから、繰り返し再生を行った場合などの劣化の度合いの大きい再生骨材を使用する場合は、混合物の最適混合温度やひび割れに関する混合物性状を把握するなどの留意が必要と考えられる。

6. 今後の課題

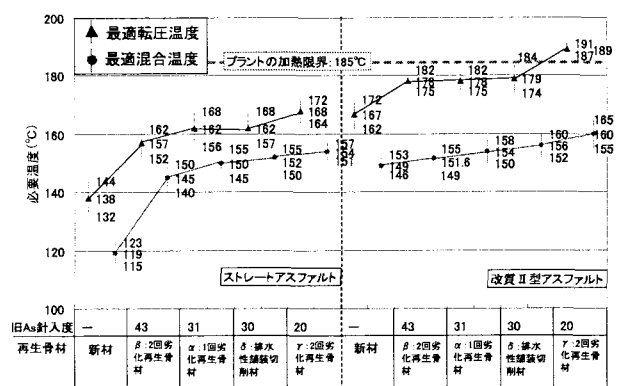
今回の試験結果を踏まえつつリサイクル材の有効利用を促進するために以下のことを行なう。

- ①再々生骨材及び混合物の品質を容易に確認する試験手法の検討
- ②各種再生混合物の品質を確保できる混合率の推定
- ③排水性舗装切削材や再生改質II型切削材などに含まれる古い改質剤が混合物に与える影響の検討

再生骨材の劣化は、施工されていた位置の条件によっても変化が生じるため、これからも条件の違うデータを蓄積することが重要である。更なる室内試験や試験施工及び供用性調査によって、混合物の性状、混合性、施工性、経済性、供用性についても調査していきたい。



※ここで使用した再生骨材は、2回劣化旧As針入度20再生骨材δである。
※ここで使用した再生混合物は密粒度アスコンとして作製した。



※ここで使用した再生混合物は密粒度アスコンとして作製した。
※ここで使用した再生骨材の混合率は50%である。

図-11 再生混合物の最適混合転圧温度(混合率の違い) 図-12 再生混合物の最適混合転圧温度(旧As針入度の違い)

表-3 再生アスファルトバインダーの性状試験

記号	再生0%密粒		再生50%密粒		再生50%密粒		再生50%密粒		再生50%密粒		ストアス規格	改質II型規格	
	ストアス	改質II型	ストアス	改質II型	ストアス	改質II型	ストアス	改質II型	ストアス	改質II型			
再生骨材種類	-		α:1回劣化旧As針入度20再生骨材		β:2回劣化旧As針入度40再生骨材		γ:2回劣化旧As針入度20再生骨材		δ:排水性切削材入り旧As針入度30再生骨材		-	-	
再生添加剤混入率(%)	-	-	0.27	0.28	-	-	0.5	1.1	0.27	0.28	-	-	
針入度(1/10mm)	97	55	86	70	84	78	86	80	86	70	80~100	40以上	
軟化点(°C)	45.1	63	63	47.8	60	48.5	56.6	47.5	64.5	47.8	60	42~50	56~70
伸び(cm)	100+	78	78	145	57	100+	100+	100+	145	57	100以上	30以上	
三塩化エタン可溶分(%)	99.78	-	-	99.78	-	99.9	-	99.9	98.86	99.78	-	99以上	280以上
引火点(°C)	330	-	-	320	318	320	310	310	305	320	318	-	-
薄膜加熱質量変化率(%)	0.04	-	-	-0.08	-0.48	-0.08	-0.33	-0.55	-0.44	-0.08	-0.48	-	+0.6以下
薄膜加熱針入度残留率(%)	54.6	65	65	59.3	68.6	-	-	66.3	61.3	59.3	68.6	-	50以上
蒸発後の針入度比	-	-	-	91	-	-	-	94.2	131.2	91	-	-	100以下
密度(g/cm³)	1.033	1.025	1.025	1.034	-	-	-	1.029	1.021	1.034	-	-	1.000以上
タフネス(N·m)	8.14	15.8	15.8	-	11.6	-	14.1	-	12.9	-	11.6	-	7.8以上
テナシティ(N·m)	5.83	8.4	8.4	-	7.4	-	10.8	-	10.0	-	7.4	-	3.9以上

(参考文献)

- 1) 木村、池田:「アスファルト混合物の促進劣化手法の検討」第54回年次学術講演会講演概要集V部門、(社)土木学会、pp416~417、1999年9月
- 2) 山之口:「圧裂試験によるアスファルト混合物の破断強さについて」、第23回年次学術講演会講演概要集IV部門、(社)土木学会、pp321~322、1968年