

再生加熱アスファルト混合物の性能向上に関する実験的研究

(株)NIPPO 技術研究所 ○門田 誠也
合材部 横溝 克美
技術研究所 安藤 政浩

1. はじめに

我が国では、1980年代から再生加熱アスファルト混合物（以下、再生合材）によるアスファルトコンクリート発生材の再生利用が本格的に開始されており、2016年度の（一社）日本アスファルト合材協会の調査によれば、再生合材の製造数量は3,165万トンでアスファルト混合物（以下、合材）全体の76%を占めるまでに増加している。一方で、合材全体の製造数量は4,164万トンと、1992年度のピーク時の半分程度まで減少している。また、2012年度の国土交通省総合政策局の調査によれば、アスファルトコンクリート発生材の再資源化量は2,564万トンであり、排出量全体に対する再資源化率は99.5%と高い水準にある。さらに、再生合材には1,603万トンが使用され、循環型社会の形成に寄与している。

このような状況の中、石油系天然資源の乏しい我が国では、今後もアスファルトコンクリート発生材の再資源化率を高い水準で維持していく必要があり、アスファルトコンクリート再生骨材（以下、再生骨材）として再生合材に再資源化していくことが望まれる。これより、再生合材には新規材料で製造された加熱アスファルト混合物（以下、新規合材）と同等の品質および施工性が要求されると考える。

2. 再生合材における調査研究の内容

本研究では、再生合材の性能向上を目的として、「再生骨材の温度変化に影響する要因」についての調査を行うとともに、施工性に着目して再生舗装工法に用いる「再生材料」と「合材製造装置」および「施工性能の定量化」に関する施工性評価試験についての検討を実施した。また、本検討においては、研究の趣旨を鑑みて、あえて針入度が20以下の低針入度の再生骨材を使用して検討を実施することとした。

2-1. 再生骨材の温度変化に影響する要因の調査

併設加熱混合方式における再生骨材加熱ドライヤ（以下、再生ドライヤ）の加熱要因が、再生骨材の1時間後の温度変化に与える影響を確認するため、実機による調査を実施した。この結果、図-1より加熱温度とはほとんど相関がなく、図-2より再生ドライヤ加熱後も再生骨材中に残留した含水比（以下、残留含水比）と高い相関があることを確認した。また、図-3より再生骨材の再生ドライヤ内滞留時間とも高い相関があり、図中の赤枠で囲った部分より再生ドライヤ内の滞留時間を5分以上とすることで、再生骨材が芯まで加熱されて残留含水比が低下し、1時間後の温度変化が抑制できたと推察する。

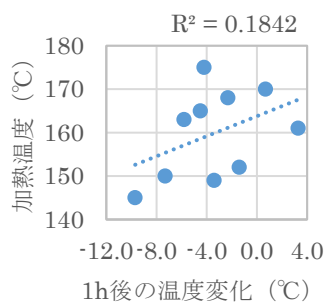


図-1 加熱温度との相関図

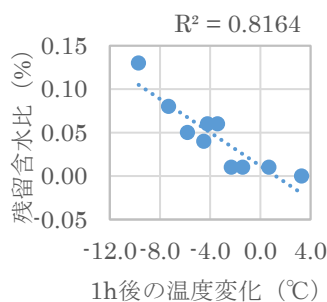


図-2 残留含水比との相関図

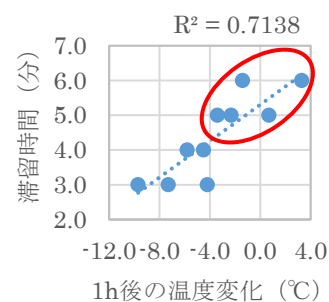


図-3 滞留時間との相関図

2-2. 再生材料の検討

近年、再生骨材に含まれる旧アスファルトは、繰り返し再生やポリマー改質アスファルトの影響などによる性能低下が顕著となっており、これが再生合材の品質や施工性に与える影響は非常に大きいと考えられる。なお、過去に実施された研究¹⁾によれば、針入度や軟化点と比較して、伸度は回復しにくい傾向にあるため、本検討では特に伸度に着目して評価を実施した。

(1) 再生用添加剤のブラッシュアップ

再生用添加剤（以下、添加剤）は、表-1に示す従来から使用している組成の異なる添加剤A、添加剤Bと、伸度の回復効果で選定した添加剤A改良品の添加剤Cと添加剤Dで評価を実施した。

(2) 新たな添加剤の開発

舗装再生便覧によれば、繰り返し再生された旧アスファルトに再生用添加剤が過度に添加された場合、再生アスファルトの性状が著しく損なわれるとされている。このため、添加量が少なくなるように再生効果の高い新たな添加剤を開発し、検討を実施した。なお、これらは引火点が低いなどの理由により添加剤の標準的性状を満足しないため、施工性改善剤（以下、改善剤）と称して添加剤と区別し、表-1に示す植物系化合物の改善剤L、改善剤Mと、アルコール系化合物の改善剤Wで評価を実施した。

表-1 添加剤と改善剤の性状

項目	添加剤A	添加剤B	添加剤C	添加剤D	改善剤L	改善剤M	改善剤W
密度 (15℃) g/cm ³	0.910	0.909	0.921	0.926	0.906	0.878	1.023
引火点 ℃	280	272	272	280	199	187	未検出
可溶性 (親油性、親水性)	親油性	親油性	親油性	親油性	親油性	親油性	両親媒性
組成	飽和分	51.8	79.1	53.5	32.6	-	-
	芳香族分	48.2	14.9	44.4	63.2	-	-
	レジン分	0.0	5.1	0.9	3.8	-	-
	アスファルテン分	0.0	0.9	1.2	0.4	-	-

(3) 添加剤と改善剤を添加した再生アスファルトの性状

再生効果を明確化するために、著しく老化が進行した旧アスファルトに対し、添加剤と改善剤をそれぞれ5wt%添加してアスファルト性状を確認した。結果は表-2に示すとおりであり、添加剤Cと添加剤Dは伸度の回復効果に優れることを、改善剤は添加剤と比較して再生効果が高いことを確認できた。

表-2 対旧アスファルト5wt%添加における再生アスファルトの性状

項目	旧As	添加剤A	添加剤B	添加剤C	添加剤D	改善剤L	改善剤M	改善剤W
針入度 1/10mm	15	21	22	21	21	46	51	47
軟化点 ℃	75.0	63.5	64.5	65.0	63.5	59.0	55.5	57.5
伸度 (15℃) cm	1	7	6	10	10	26	36	32

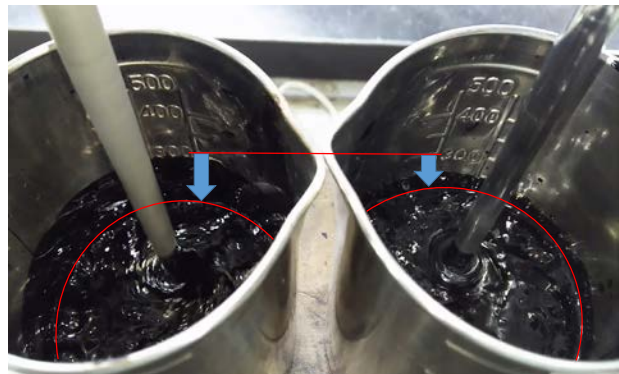
2-3. 合材製造装置の検討

近年、高圧力で水を添加するフォームド発生装置で施工性を改善する研究²⁾が行われているため、新たに開発した再生材料との併用による施工性の改善効果の検証を実施した。なお、フォームド用の液体の種類は、①水と、前述した②水にも可溶性改善剤Wを25wt%添加した水溶液（以下、添加液）とし、アスファルトに対する添加量は、過去の実績から発泡状態が良好な2wt%として室内検討を実施した。フォームドアスファルトの性状は表-3に示すとおりであり、改善剤Wの実質添加量は0.5%だが、ア

スファルト性状は軟質傾向を示している。また、発泡 30 分後の持続状態は写真－1 に示すとおりであり、水と比較して添加液のフォームド状態は、泡がきめ細かくムース状で発泡状態が維持できている。

表－3 フォームドアスファルトの性状

項目		①水	②添加液
発泡倍率	発泡直後	11.4	7.8
	% 30 分後	1.1	1.6
針入度	1/10mm	70	83
軟化点	℃	48.5	46.5
粘度 mm/s	180℃	62.0	58.0
	150℃	186.5	162.0
	120℃	802.3	686.7



写真－1 30分後のフォームド状態 (左:水 右:添加液)

2-4. 施工性能の定量化の検討

再生合材は、合材の温度が確保できていても、スコップやレーキで触ると重たく感じることもあるが、粒度、アスファルトの量や質などの確認に時間を要し、後追いの管理となる。このため、合材の施工性を即時かつ定量的に評価する方法が必要と考え、既往の研究³⁾⁴⁾を参考に施工性能の定量化を検討した。

(1) フロー試験

フロー試験は写真－2 に示すように、合材がロートから落下する時間（以下、フロー値）を測定しており、アスファルト量に依存する傾向が強く、合材のほぐれ具合を評価していると推察する。

(2) 貫入抵抗試験

貫入抵抗試験は写真－3 に示すように、所定の締め固めを行った合材に対し、一定速度で貫入する治具の抵抗値（以下、貫入抵抗値）を測定しており、粒度やアスファルトの粘度（質）に依存する傾向が強く、合材へのスコップの刺さり具合の評価ができていると推察する。

(3) 施工性評価試験の性能指標

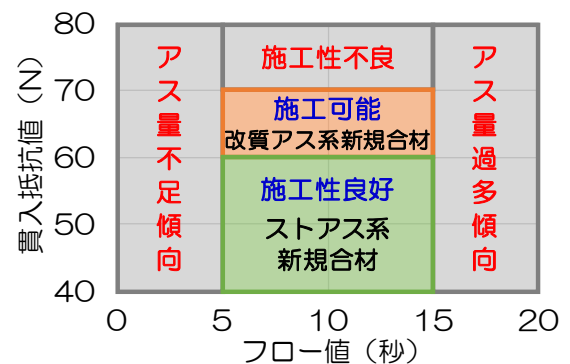
新規合材にフロー試験と貫入抵抗試験を適用して得られた分布は図－4 に示すとおりであり、複数の試験者で実施した触覚評価とほぼ同等の結果となり、施工性能の定量化が行えたと考えられる。なお、標準的な新規合材の密粒度アスファルト混合物(13)における出荷後1時間経過時のフロー値は10秒程度、貫入抵抗値は50N程度であったことから、これを施工性評価試験における社内目標値とした。



写真－2 フロー試験



写真－3 貫入抵抗試験



図－4 施工性評価試験の性能指標

3. 実機による再生合材の試験練り結果

検討結果の検証を目的として、再生材料および合材製造装置を使用した実機による試験練りを行い、

各種試験による評価を実施した。なお、施工性の差を明確にするため、添加剤と改善剤の添加量は、設計針入度が 40 程度となるように調整した。実機による試験練りの結果は表-4 に示すとおりである。なお、アスファルト性状は混合後に回収した結果であり、製造時の加熱による影響を受けて老化しているため、過去に実施された研究¹⁾における新アスファルトの変化傾向を参考に社内目標値を設定した。

(1) 再生骨材への施工性評価試験の適用

再生ドライヤで加熱した再生骨材の施工性評価試験を実施した結果、合材と同様にフロー値が小さいとアスファルトの量が少なく、貫入抵抗値が大きいとアスファルトが硬い傾向を示した。これより、施工性評価試験は旧アスファルトの量や質の変動を即時に推定でき、再生合材の品質向上に有用と考える。

(2) 併設加熱混合方式による再生材料の検討

伸度の改善効果に優れる添加剤 C と、添加剤 C と再生効果の高い改善剤 M を併用した再生合材の施工性が良好と判断された。なお、改善剤 M では、レーキ作業の際に合材が軽いという意見があった。

(3) ドラムドライヤ混合方式による再生材料とフォームド装置の検討

使用した再生骨材は、軟化点よりポリマー改質アスファルト由来と推察され、伸度が小さく圧裂係数が大きいものの、改善剤 W 添加のフォームドアスファルトでは再生合材の施工性が良好と判断された。

表-4 再生材料および合材製造装置を使用した実機による試験練り結果

項目	未添加	添加剤B	添加剤C	改善剤M	C+M	添加剤C	C+水	C+W	社内目標値
製造方式	併設加熱混合方式					ドラムドライヤ混合方式			
フォームドアスファルト添加種	-					-	水	添加液	-
再生骨材添加量 %	100	70	70	70	70	85	85	85	-
対旧アスファルト添加量 %	-	5	5	2	2.5+1	5	5	5+0.1	-
抽出アスファルト量 %	4.60	5.51	5.67	5.50	5.54	5.47	5.48	5.69	5.60
針入度 1/10mm	18	31	32	29	29	30	30	32	30 程度
軟化点 °C	67.0	57.0	56.5	57.5	57.0	62.5	63.0	62.0	55 程度
伸度 (15°C) cm	4	5	9	9	10	5	5	6	10 程度
圧裂係数 MPa/mm	1.71	0.76	0.81	0.78	0.76	0.99	1.02	0.98	0.90 以下
低温カンタブロ (-20°C) %	22.8	14.8	15.2	16.3	14.3	16.3	14.7	15.5	20.0 以下
動的安定度 回/mm	-	1,400	1,310	1,660	1,520	6,000	6,000	6,000	1,000 程度
合材温度 °C	164	162	162	159	158	173	173	175	165±10
フロー値 秒	3.0	10.5	6.5	9.0	8.8	4.2	4.5	5.3	5~15
貫入抵抗値 N	97.5	69.6	52.6	49.3	50.7	70.0	71.6	60.3	40~60
触覚による施工性評価	×	△	○	△~○	◎	×	×	○	-

4. おわりに

本研究では、再生骨材の温度変化が再生ドライヤ滞留時間に依存することや、施工性評価試験が再生骨材の粒度や旧アスファルトの量と質の推定と、合材の施工性能の定量評価に使用できることを確認した。また、伸度の回復効果に優れる添加剤と再生効果に優れる改善剤を使用することで、再生合材の品質や施工性が改善し、性能が向上することを実機試験練りで確認した。これらの技術は、舗装の長寿命化や中温化再生合材にも有用と考えられ、さらに環境負荷の小さい再生技術としての活用が期待される。

- 【参考文献】 1) 建設省道路局国道第一課，建設省土木研究所：舗装廃材の再生利用に関する研究，建設省技術研究会報告，pp.383-429，1985。
 2) 江向俊文ほか：微細泡に改良したフォームドアスファルトによる再生アスファルト混合物の検討，道路建設，pp.50-56，2013。
 3) 門田誠也ほか：常温合材の高度化に関する検討，設立30周年記念応募論文集，pp.48-53，2015。
 4) 村井宏美ほか：アスファルト混合物の各種作業性評価方法に関する検討，舗装，pp.17-2，2017。