

揮発性有機化合物を抑制した環境配慮型常温アスファルト混合物の開発

株式会社NIPPO 総合技術部 技術研究所 菊池 玲児
株式会社NIPPO 総合技術部 技術研究所 吉田 雅義
株式会社NIPPO 合材部 横溝 克美

1. はじめに

揮発性有機化合物：【(英) Volatile Organic Compounds】(以下、VOC)は、常温常圧で大気中に容易に揮発しやすく、大気中で気体となる有機化学物質の総称である。VOCは様々な成分があり、主なものだけでも約 200 種類存在する。具体例としてはホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン等が代表的な成分である。これらは溶剤、燃料等として重要な物質であることから、幅広い分野で使用されている。しかし、環境中へ放出されると、多様な生物の健康への影響が懸念されていることから問題になっており、特に最近では、ホルムアルデヒドによるシックハウス症候群や化学物質過敏症が社会に広く認知されている。また、光化学オキシダントと浮遊粒子状物質の主な原因であるため、2004年5月26日、改正大気汚染防止法により主要な排出施設への規制が行われることとなった。これにより経済産業省および厚生労働省は、VOCの排出削減に関する自主的取組みを推進している。

現在、一般的に製造している常温アスファルト混合物(以下、常温合材)の多くは、品質の向上や安定化を図るため、VOCを含有する添加剤を使用している。これらの常温合材(以下、従来品)の課題として、開封時、VOCが揮発し、環境面、健康面に影響を及ぼす可能性があること、開封後の包装袋を車両で運搬する際、車内に漂う臭気によって運転者等に不快感を与えること、また、推奨保存期間が最大6ヶ月程度であること(それ以上に長期保存が可能なものが欲しい)等が挙げられている。

このような背景から、VOC排出抑制による環境保全の

一助となるべく、VOCの排出を可能な限り低減するとともに、作業性および長期保存性を向上することを目的として、新たに「環境配慮型常温合材」(以下、開発品)の開発を行った。

本稿では、開発品に関する室内検討結果、実機で製造した混合物の評価結果および実路における適用事例をもとに供用性の調査結果について報告する。

2. 環境配慮型常温合材の開発コンセプト

常温合材は、昭和38年7月の名神高速道路開業の翌年に開発され、その後の自動車交通の増加に伴い、常温合材への要求水準は高まってきた。このような中、要求水準の段階的な高度化に対応し、その都度、改良改善を重ね多様な顧客ニーズに対応してきた。しかし、近年、法令改正による取り組みや顧客ニーズにより、VOC抑制型常温合材の必要性が高まっている。このため、新たなニーズに対応すべく、以下のコンセプトを掲げて開発を実施した。

- ◇VOCを含有する添加剤を使用しない
- ◇薄層舗装やゼロ擦り付けが可能である
- ◇作業性(施工性)は従来品と同等以上である
- ◇全天候で使用可能である
- ◇初期安定性、飛散抵抗性に優れる
- ◇加熱アスファルト混合物と同様な製造方法である
- ◇長期保存性(1年以上保存可能)がある

3. 特殊バインダ

開発品に使用するバインダは、汎用型のポリマー改質アスファルト(以下、改質 As)に VOC を含まない特殊添加剤を添加したもの(以下、特殊バインダ)である。この特殊添加剤は潤滑作用のある施工性改善剤の一種で、常温合材に混合することで混合物の粘性を低下させ、常温における作業性を確保する特性がある。

3.1 作業性確保と強度発現のメカニズム

特殊バインダは常温で良好な作業性を確保するために、二重円筒回転粘度計にて測定した粘度が 60°Cで 1,000~2,000mPa・s、35°Cで 7,000~10,000mPa・s となるように、特殊添加剤の添加量を調整している。なお、特殊バインダの添加量は、被覆状態やマーシャル作製時のろ紙への付着状況およびハンドリング等を勘案して設定している。

施工後の強度発現は、施工時の転圧(締固め)や供用後の走行車両等による自然転圧、空気中の水分等によりアスファルト粒子から特殊添加剤が分離する性質によりアスファルト粒子間が密着することで確保すると考える。

3.2 強度発現の検証

前項に示した強度発現メカニズムを検証するため、特殊バインダの強度変化について、転圧回数を変えて検証したバインダの直接引張試験と組成割合の変化を組成分析試験により評価して確認することとした。

(1) 特殊バインダの直接引張試験

特殊バインダの強度発現の評価として実施した直接引張試験における転圧回数と最大引張荷重との関係を図-1に示す。転圧回数の増加とともにバインダの最大引張荷重が大きくなる傾向が示された。これにより、転圧を繰り返すことで特殊添加剤の成分がアスファルト粒子から分離し、アスファルト粒子同士が接着したことによって強度が増加したものと考えられる。

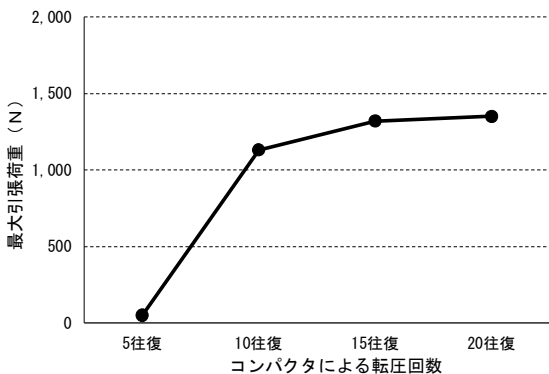


図-1 直接引張試験結果

(2) 特殊バインダの組成分析試験

転圧前後の特殊バインダの組成分析試験結果を図-2に示す。特殊バインダの組成は、硬い成分指標であるレジン分およびアスファルテン分が転圧作用により、12.7%増加していることを確認した。転圧を行うことで、アスファルトの硬い成分が増加していることから、特殊バインダが硬くなり強度発現に寄与していることが伺える。

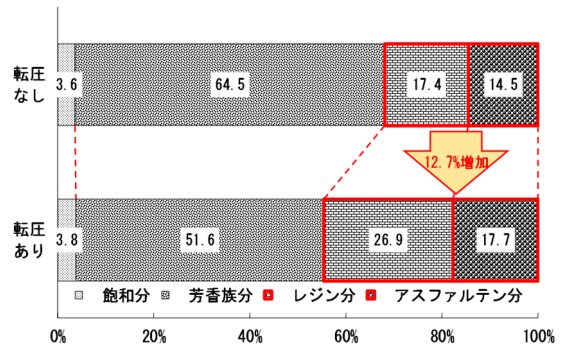


図-2 組成分析試験結果

4. 骨材粒度の設定

一般的に常温合材は、舗設時の優れた作業性、供用後の初期安定性が求められるほか、使用者のニーズとして、薄層舗装やゼロ擦り付けのしやすさも求められている。一般的な常温合材の粒度は、最大粒径 13mm 密粒型、最大粒径 5mm 開粒型、最大粒径 5mm 細粒型が代表的である。これらの薄層舗装やゼロ擦り付けの施工性は、通常の加熱アスファルト混合物(以下、加熱合材)と同様に、粒径が小さいもの、かつ細粒分が多いものが優れている。このことから、開発品の粒度は、ポットホールの穴埋め補修はもちろんのこと、パッチング、段差修正に伴う薄層舗装およびゼロ擦り付け等に対応できるように「最大粒径 5mm の細粒系」とした。骨材粒度の目標値を表-1に示す。

表-1 骨材粒度の目標値

ふるい目	通過質量百分率 (%)
9.5 mm	100
4.75 mm	90 ~ 100
2.36 mm	53 ~ 63
0.075mm	4 ~ 8

5. 室内検討

5.1 室内検討の概要

室内検討においては、作業性、飛散抵抗性、初期安定性、供用後の耐久性、雨天時の耐水性および臭気レベル・総 VOC 濃度について、開発品と当社で製造している従来品 3 種を含めて評価した。比較対象とした常温合材を表-2に示す。

表-2 比較対象常温合材

混合物種	開発品	従来品A	従来品B	従来品C
最大粒径	5mm	13mm	5mm	5mm
粒度	細粒系	密粒系	開粒系	開粒系
特徴	VOC低減型	汎用型	全天候・高耐久型	全天候・高耐久型 重交通対応

(1) 作業性

作業性は、常温合材の作業性を定量的かつ簡便に測定できる「作業性試験(フロー試験/貫入抵抗試験)」^{1),2)}で評価した。試験条件および方法を表-3に示す。

表-3 作業性試験条件および方法

試験名	フロー試験	貫入抵抗試験
評価項目	混合物のほぐれやすさ 粘性・アスファルト量など	混合物のほぐしやすさ スコップの刺さりやすさ
試験温度	20°C±2°C	20°C±2°C
試験状況		
試験方法	・専用の漏斗に混合物を入れ、漏斗の上面で平らに均す ・漏斗を水平に持ち上げ、漏斗内の混合物がすべて落下する時間を計測する	・マーシャルモールドの上端まで混合物を入れ、平らに均し、マーシャル用ランマにて3回突き固める ・フッシュブルゲージに取り付けた上記先端治具を1インチ/秒の速度で貫入する抵抗値を測定する

試験試料は、室内製造・放冷後、専用袋に詰めて封かんし、室温20°Cで24時間以上養生した。

フロー値、貫入抵抗値ともに小さいほど作業性(均しやすさ、ほぐしやすさ)が優れていることを示す。

(2) 飛散抵抗性

飛散抵抗性はカンタプロ試験で評価した。試験条件を表-4に示す。

表-4 カンタプロ試験条件

供試体 作製温度	試験温度	養生時間	試験方法
20°C	5°C	24時間	舗装調査・試験法便覧

(3) 初期安定性

初期安定性は常温ホイールトラッキング試験(以下、常温WT試験)で評価し、試験条件および方法は東京都建設局土木材料仕様書³⁾に準拠した。

(4) 供用後の耐久性

供用後の耐久性は一軸圧縮試験から算出した残留ひずみ率で評価し、試験条件および方法は東京都建設局土木材料仕様書³⁾および舗装調査・試験法便覧⁴⁾に準拠した。

(5) 雨天時の耐水性

耐水性は簡易ポットホール走行試験【水浸条件】(以下、簡易PH走行試験)で評価し、試験条件および方法は東京都建設局土木材料仕様書³⁾に準拠した。

(6) 臭気および総VOC濃度

臭気はポータブル型ニオイセンサにより、バット上に

山積みした状態における臭気レベルを測定した。

総VOC濃度はVOCセンサにより、密閉した容器内のVOC濃度を測定した。

5.2 室内試験結果

(1) 作業性の試験結果

作業性試験の結果を図-3、図-4に示す。開発品は従来品と同等以上の作業性を有していることを確認した。

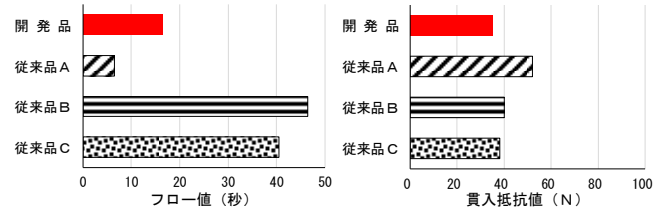


図-3 フロー試験結果

図-4 貫入抵抗試験結果

(2) 飛散抵抗性の試験結果

飛散抵抗性の評価として実施したカンタプロ試験結果を図-5に示す。開発品は、従来品Aと比較して著しく優れていること、従来品B、Cと同等であることを確認した。

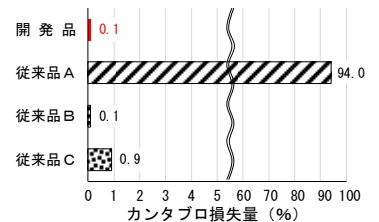


図-5 カンタプロ試験結果

(3) 初期安定性の試験結果

常温WT試験結果を図-6に示す。開発品は、従来品Aに比べ約2倍、従来品Bに比べ約4倍の走行回数を示した。また、重交通対応品である従来品Cよりは劣るものの、東京都建設局の品質規格値「50回/20mm以上」を十分に満足しており、優れた初期安定性を有していることを確認した。

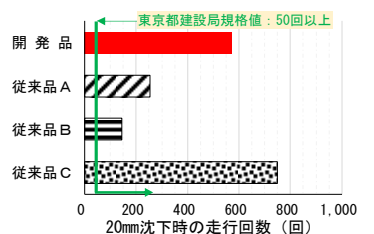


図-6 常温WT試験結果

(4) 供用後の耐久性の試験結果

一軸圧縮試験結果を図-7に示す。開発品は重交通対応品である従来品Cよりは劣るものの、従来品A、Bと同等の残留ひずみ率を示した。さらに

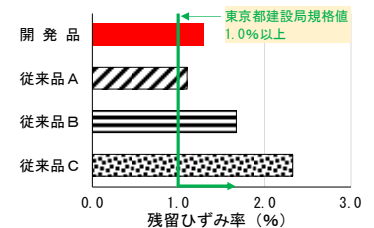


図-7 一軸圧縮試験結果

に、東京都建設局の品質規格値「1.0%以上」を満足して

おり、供用後の耐久性を有していることを確認した。

(5) 雨天時の耐水性の試験結果

簡易PH走行試験結果を図-8に示す。開発品は従来品よりも高い走行回数を示した。さらに、東京都建設局の品質規格値「30回/3mm以上」を

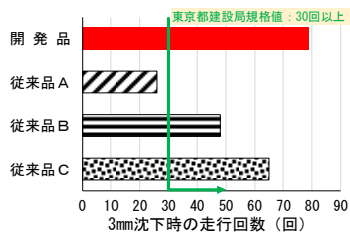


図-8 簡易PH走行試験結果

満足しており、高い耐水性を有していることを確認した。

(6) 臭気および総VOC濃度の測定結果

臭気レベルおよび総VOC濃度の測定結果を図-9に示す。開発品の臭気レベルは、従来品の臭気レベルの50%程度であることを確認した。一方、開発品の総VOC濃度は3.3ppmであり、従来品と比較して大きく低減していることを確認した。

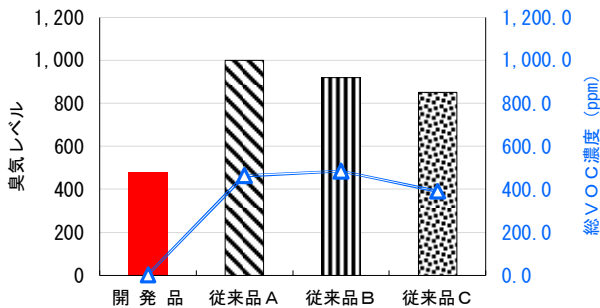


図-9 臭気レベルおよび総VOC濃度測定結果

5.3 まとめ

前述したことに基づき、室内製造した開発品は、開発コンセプトとして挙げた項目のうち、

- ◇VOCを含有する添加剤を使用しない
- ◇薄層舗装やゼロ擦り付けが可能である
- ◇作業性(施工性)は従来品と同等以上である
- ◇全天候で使用可能である
- ◇初期安定性、飛散抵抗性に優れる

の5項目を達成している。次に、アスファルトプラントでの製造を行い、製造方法と長期保存性の評価を行った。

6. 実機製造

室内検討により、全ての品質目標を満足できたことから、アスファルトプラントにおける製造に着手し、開発品について混合物性状と製造方法の妥当性を確認した。また、汎用型の改質Asは多くのバイндаメーカで製造されているが、これまでに5社の改質Asを用いて全国10工場で製造してきた。ここでは、表-5に示す工場で製造し

た開発品の製造事例を紹介する。

表-5 製造実施工場(例)

	工場Ⅰ	工場Ⅱ	工場Ⅲ
所在地	東北	関東	中部
製造年月	2020年10月	2021年9月	2022年10月
バイндаメーカ	A	B	C

6.1 製造方法

開発品の製造フローを図-10に示す。従来品はバイндаに揮発分が入っていることから常温での混合が必須であり、プラント本体が冷えている時間に製造する必要があった。しかし、開発品は一般的な加熱合材と同様の方法で製造が可能である。

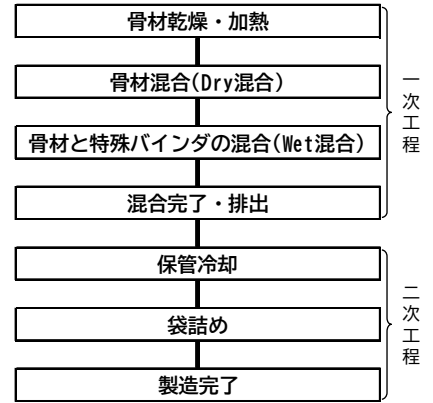


図-10 製造フロー

6.2 混合物性状

専用の製品袋に詰めた開発品の評価項目および試験方法を表-6に示す。

表-6 混合物の評価項目および試験方法

評価項目	試験方法	作製条件 養生条件	試験温度	評価指標
作業性	ほぐれやすさ	フロー試験	20℃・1日以上 開封直後試験	フロー値(秒)
	刺さりやすさ	貫入抵抗試験	20℃	貫入抵抗値(N)
	ほぐしやすさ			
飛散抵抗性	カンタプロ試験	20℃作製 5℃・24時間養生	5℃	損失量(%)
初期安定性	常温WT試験	20℃作製 作製直後	20℃	20mm沈下時の 走行回数
供用後の耐久性	一軸圧縮試験	20℃作製 60℃・7日	20℃	残留ひずみ率(%)
耐水性	水浸簡易PH走行試験	20℃作製 作製直後	20℃	3mm沈下時の 走行回数

各工場で製造した開発品の評価結果を表-7に示す。使用骨材やベースアスファルトが異なる条件において製造した結果、目標とする作業性や耐久性を満足するとともに、従来品と同等以上の性能を有していることを確認した。以上のことから、バイндаメーカが異なっても目標とする品質の製品が製造できることを確認した。

表-7 プラント製造した開発品の評価試験結果

評価項目	評価指標	工場Ⅰ	工場Ⅱ	工場Ⅲ	従来品B	目標値 規格値	
作業性	ほぐれやすさ	フロー値(秒)	14.0	45.2	31.2	46.5	10~50
	刺さりやすさ	貫入抵抗値(N)	53	51	42	40	60以下
	ほぐしやすさ						
飛散抵抗性	損失量(%)	1.2	0.2	0.0	0.1	10%以下	
初期安定性	20mm沈下時の 走行回数	165	573	2,431	144	50回以上	
供用後の耐久性	残留ひずみ率(%)	1.10	1.29	1.18	1.67	1.00以上	
耐水性	3mm沈下時の 走行回数	63	79	83	48	30回以上	

製造方法に関しては、加熱合材と同様の製造方法で製造した結果、室内検討において確認した性状を満足するとともに、製造過程において特別な対策が不要なことから、開発品の製造方法の妥当性も確認した。

7. 長期保存性の評価

常温合材は良好な作業性のもや高品質なものが開発されてきたが、保存期間は長いもので6ヶ月程度である。これは、材料のひとつである揮発性材料が徐々に揮発していくことで製品が硬化するためであり、特に開封後は急速に硬化しやすい。そこで、開発品は揮発性材料を使用していないことから、長期保存が可能であると考え、開封後の保存性と長期保管(12ヶ月程度)後の性状の検証を実施した。

7.1 促進試験による開封後の保存性検証

促進条件として、常温合材を袋から取り出しバットに山積みにした試料を、換気装置付保管庫内に静置した。試験試料および評価項目を表-8に、評価結果を図-11、図-12に示す。

表-8 試験試料および評価項目

試験試料	試験項目	試験条件	評価指標
開発品	フロー試験	20℃	フロー値(秒)
従来品A	締固め性試験	20℃ マッシュル突固め:片面30回	締固め度(%) 基準密度:開封直後の密度
従来品B			

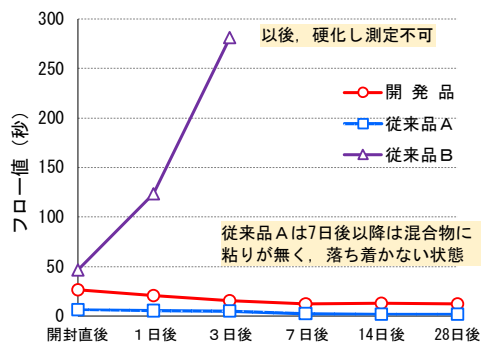


図-11 静置後経過日数とフロー値の変化

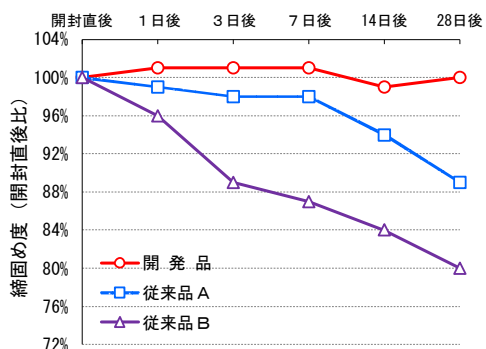


図-12 静置後経過日数と締固め度の変化

フロー値については、従来品Aは大きな変化は見られないが、7日経過時点で混合物に「粘り」が無い状態となり、舗装材として不適正となった。従来品Bは開封翌日には2倍以上、3日後には5倍以上となり、以後、測定不能となった。一方、開発品は次第に小さくなる傾向を示したものの、28日経過後も適度な粘りもあり、大きな変状は見られなかった。

締固め性については、開封直後の混合物を用いて測定した密度を基準密度とし、所定日数経過後の混合物密度から算出した締固め度を用いて評価した。締固め度96%を基準値に設定して評価した結果、従来品Aは7日後に、従来品Bは3日後に締固め度96%を下回った。一方、開発品は28日経過時点においても100%前後で推移し、締固め性に変化は見られなかった。

7.2 実際の保管方法による検証

完成した製品は、倉庫等の中で最大10段平積み保管されることが多い。平積み保管の最下段の試料を用いて、性状変化の有無を検証した。測定試料は前述した工場Iと工場IIの製品とし、製造1年後まで確認した。測定結果を表-9に示す。

表-9 工場保管期間における混合物性状確認結果

評価項目	単位	工場 I				規格値 目標値
		混合直後	3ヶ月後	6ヶ月後	1年後	
フロー値(20℃)	秒	14.0	15.2	14.8	15.4	10~50
貫入抵抗値(20℃)	N	53	51	42	43	60以下
マーシャル密度比	直後比%	100.0	99.9	99.3	98.3	—
カンタプロ損失量(5℃)	%	1.2	0.0	0.1	0.1	10以下
一軸圧縮残留ひずみ率	%	1.10	1.11	1.05	1.01	1.00以上
常温WT試験【東京都法】 (20mm沈下時の走行回数)	回	165	240	238	360	50以上
簡易PH走行試験【東京都法】 (3mm沈下時の走行回数)	回	63	52	63	88	30以上
評価項目	単位	工場 II				規格値 目標値
		混合直後	3ヶ月後	6ヶ月後	1年後	
フロー値(20℃)	秒	45.2	48.3	43.6	32.7	10~50
貫入抵抗値(20℃)	N	51	53	46	35	60以下
マーシャル密度比	直後比%	100.0	100.5	100.1	100.6	—
カンタプロ損失量(5℃)	%	0.2	0.0	0.1	0.0	10以下
一軸圧縮残留ひずみ率	%	1.29	1.15	1.09	1.01	1.00以上
常温WT試験【東京都法】 (20mm沈下時の走行回数)	回	573	620	543	529	50以上
簡易PH走行試験【東京都法】 (3mm沈下時の走行回数)	回	79	82	83	88	30以上

両工場とも、製造直後から1年経過後まで測定した結果、作業性や耐久性に関する社内目標値や規格値を満足しており、大きな変状が無いことを確認した。

以上のことから、開発品の開封後の保存性と長期保存性の従来品に対する優位性を確認した。

8. 実路での適用例

開発品の耐久性検証のため、工場で製造した開発品を用いて、ポットホール補修や段差修正等を実施した。ここでは、合材工場内での事例と一般道での事例を紹介する。

8.1 合材工場における供用性

合材工場はダンプトラックが常時通過する条件が厳しい箇所である。施工箇所はダンプトラック通路にある亀甲状ひび割れ発生箇所の中央部で、以前に穴埋め補修されている箇所のパッチングである。補修後3ヶ月経過したが合材の飛散等目立った損傷は見られず良好な状態を保っていることを確認した。



写真-1 施工前



写真-2 補修3ヶ月後



写真-3 路面キメ(接写)

8.2 一般道における供用性

(1) 施工事例①

公共施設に通ずる一般道において、開発品を用いて横断排水構造物の前後に発生した段差修正を行い、その後の経過観察を実施した。施工箇所を写真-4に、施工状況を写真-5に示す。施工は10月で気温は22℃前後、段差は最大30mm程度であり、既設舗装面とのゼロ擦り付けが必要であった。



写真-4 施工箇所



写真-5 施工状況

供用1年後の状況を写真-6に示す。供用中は冬を迎え、氷点下になる日や除雪作業があったが、合材の飛散や剥がれは見られず、健全な状態を保っていることを確認した。



写真-6 供用1年後

(2) 施工事例②

一般道において、開発品を用いてポットホールの補修を行い、その後の経過観察を実施した。施工時期は3月の気温が低い時期であり、袋から出した際に多少の塊が

確認されたが、スコップ等で容易に解すことが可能であった。写真-8に示すように供用7ヶ月経過後も良好な状態を保っていることを確認した。その後、当該道路は修繕工事が行われ、以後の供用性の確認は不可能となったが、維持補修用材料としての適用性を確認した。



写真-7 補修直後



写真-8 供用7ヶ月後

9. まとめ

本検討で得られた成果は以下のとおりである。

- ・VOCを含有する添加剤を配合することなく、従来品と同等の常温合材の製造が可能である。
- ・揮発分がほぼ無いことから、使用者を不快にする臭気を低減し作業環境の改善が可能である。
- ・作業性が良好であり、長期保存性もあることから、廃棄ロスの低減を図ることが可能である。
- ・通常の加熱合材と同様の工程で製造することが可能となり、製造時における負担の軽減が可能である。
- ・全天候高耐久型としての混合物性状と維持補修用常温合材としての供用性を併せ持つ常温合材である。

10. おわりに

VOCを含有しない特殊バインダを用いて開発した常温合材について、従来品と比較して、臭気や作業性および長期保存性の優位性を確認した。また、VOC濃度や臭気の低減に対する顧客の反応も概ね良好であり、当初の開発目標は達成されたものとする。

開発した常温合材が道路の維持管理に貢献できることを期待しつつ、今後も多様化するニーズに対応すべく、更なる環境負荷低減や耐久性、作業性の向上を目指して検討・開発を進めていく所存である。

<参考文献>

- 1) 門田誠也ほか：常温合材の高度化に関する検討，一般社団法人日本アスファルト合材協会 設立30周年記念応募論文集 平成27年5月
- 2) 加藤哲朗ほか：常温合材の性能評価に関する一検討，第32回日本道路会議論文集，3P01，2017
- 3) 東京都建設局 平成29年 土木材料仕様書，第4章 瀝青材料，421.常温混合物
- 4) 公益社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧（平成31年度版），平成31年3月