

中温化技術の新たな展開

(株)NIPPONコーポレーション 技術研究所 加藤 義輝

(株)NIPPONコーポレーション 技術研究所 高畑 浩二

1. はじめに

地球温暖化が誘因とも言われる集中豪雨や真夏日の増加、温暖化惹起ガスの1990年に対する削減目標を定めた1997年12月に京都で開催の気候変動枠組み条約(以下、京都議定書)の本年2月よりの発効、以降の温暖化ガスの増加(1990年に対し2003年で8%増、2004年で12.1%増¹⁾)への対処として省エネ法(エネルギーの使用の合理化に関する法律)の見直し、そしてCO₂排出量取引制度や環境税の導入が条約遵守から検討されている。

このような現況にあつて建設産業、特に舗装産業が占めるCO₂排出量が全体に占める割合は約3%²⁾と僅かとは言え舗装のほとんどを占めるアスファルト舗装にあつて、アスファルト混合所(以下、合材工場)ではアスファルトコンクリート(以下、アスコン)製造の排出ガスが工場周辺のコミュニティーとの共存で、路上工事の舗設現場では、アスコンからの熱放射と舗設機械の排出ガスが沿道住民や道路利用者へのイメージ悪化等で問題視されているとも言える。

本報告は、京都議定書のCO₂削減目標の6%を満足させるとして開発、実用化した中温化アスコンのサテライトプラントでの普及展開と、交通供用の時間的制約を克服した50℃低減の高性能中温化アスコンの適用例を紹介したものである。

なお、この中温化アスコンは、欧米で同様の環境保全と健康配慮の両面の規制から適用が進展しているWMA(Warm Mix Asphalt)に相当し、50℃低減は、我が国分類のセミホット型²⁾に近づけたものである。

2. 既往経緯

2-1 中温化技術の開発

CO₂削減に関連した研究開発は、加熱アスファルト舗装への中温化技術の適用という形で、京都会議以前の1995年から開始した。1997年には、加熱アスコン製造時の混合性と舗設時における締固め性を、従来の加熱アスコンより向上させる中温化技術を実用化した。³⁾

これにより加熱アスコンの製造時における混合温度を30℃低減しCO₂発生量を15%削減でき、舗設時における転圧機械編成を簡素化することでCO₂排出量の50%削減を可能にした。⁴⁾

当該技術は、図-1に示すように加熱アスコンの製造時に中温化材(結晶水を有する鉱物微粉末)を混入し、結晶水の気化によりアスファルトモルタル内に微細泡を発生させることで混合温度を低下させた場合にあつても十分な混合性が、さらに舗設時の温度低下の状態でも、その微細泡のベアリング的な働きによって転圧時の締固め性が確保できる。そして、供用開始時には、微細泡が消失し通常のアスコンと同等の特性を有するものである。

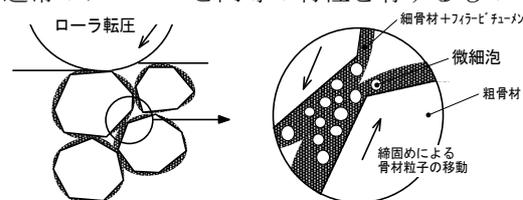


図-1 中温化技術のしくみ

なお、本中温化技術のための中温化材は、欧州で実用化されているタイプ3種(有機物添加材、合成ゼオライ

ト(合成結晶性水和アルミナ・シリケート)、プラントのフォームドタイプ)の内、合成ゼオライトと同種で、効果持続を図ったものである。ドイツでは、6.5 千万 t アスコンの製造で 40 万 t の CO₂ 削減を目指し、健康面での懸念排出物のガス、微粒子が製造後で 75%減、現場で 90%減となることを強調している。⁵⁾

2-2 中温化技術の実績

この中温化技術は CO₂ の排出量削減や早期交通開放を目的に、加熱アスコンの製造温度を 30 °C 低減する適用方法と、製造温度はほぼ従前どおりの加熱アスコンに中温化材を混入することで品質確保と施工性改善を目的とする適用方法に大別して適用してきた。⁶⁾

何れの適用方法も従来工法よりコスト高となること、また、締固め度確保のために納入時の温度管理の従来規定の存在にもかかわらず、施工実績は年々増加傾向にある。後述する製品販売およびアスコン製造時の多くを占める再生アスコンでの適用を除く過去 5 年間の施工実績は約 37 万 m² であり、その内訳は図-2 に示すとおりである。また、適用実績における供用結果にも問題が生じていないことも確認されている。

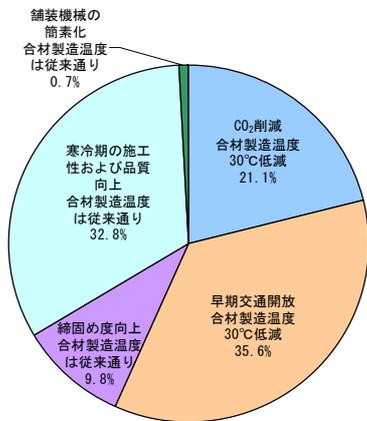


図-2 中温化技術の適用実績

3. サテライトプラント用中温化アスコン

都市部における合材工場の建設、稼働には必要な敷地、運搬路の確保や周辺への CO₂ 発生に加え騒音、臭気、粉塵の発生など環境面で多くの制約を受ける。この対策として、合材工場と異なる場所に加熱貯蔵サイロを設置し、このサイロにアスファルトの計量装置、二次混合装置などを組み合わせたサテライトプラントによる加熱アスコンの製造が行われるようになってきている。

ここでは、サテライトプラントで小規模維持修繕工事への使用を対象とした加熱アスコンの製造に中温化技術

を活用し、出荷後の温度低下による廃棄アスコンの削減や、少量で長時間使用可能とする施工性改善のためのアスコン製造技術の検討を行った。

3-1 サテライトプラント用アスコンの検討

(1) アスコンの共通粗・細粒材の検討

サテライトプラントは、通常の合材工場と異なりコールドビン、加熱装置、ホットビン等を装備しない簡便な装置である。従って、製造する加熱アスコンの種類を限定せざるを得ない。しかし、簡便な装置であっても多くの加熱アスコンの種類を製造することも必要である。

「舗装の構造に関する技術基準」に規定されている加熱アスコンは、粗粒度、密粒度、細粒度、密粒度および細粒度のギャップタイプ、密粒度および細粒度の F タイプさらに開粒度の 11 種類である。

これら 11 種類の加熱アスコンは粗粒材(粒径 ≥ 2.36mm)と細粒材(粒径 < 2.36mm)に分けると、粗粒材と細粒材のそれぞれに 2 種類(20mm、13mm に大別)および 3 種類(連続タイプ、ギャップタイプ、F タイプに大別)の共通した粒度範囲に整理できる。それぞれの一例を、図-3 および図-4 に示す。

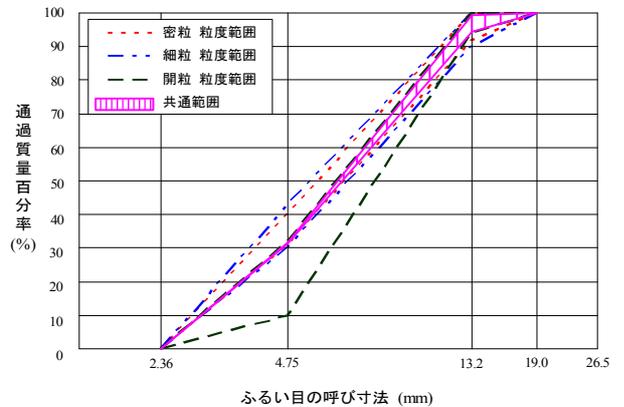


図-3 粗粒材の共通粒度範囲

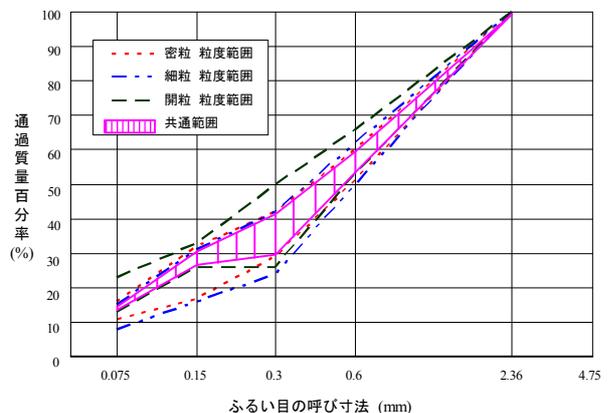


図-4 細粒材の共通粒度範囲

このように、粗粒材と細粒材の共通粒度範囲を有する骨材群を組み合わせる方法により、最少のサイロ数で複数の加熱アスコン種類の製造が可能となる。

(2) 共通粒度範囲としてのマーシャル試験

ここでは、都心での小規模維持修繕工事を対象としたことから、Fタイプを除く最大粒径 13mm の密粒度、細粒度および密粒度ギャップの各種加熱アスコンの製造を考慮した。

共通粒度範囲を有する粗粒材と細粒材の各粒度を表-1および表-2と設定し、表-3に示す各種加熱アスコンのマーシャル試験を実施した。(密粒度ギャップアスコンは、本検討で使用した細粒材の粒度と配合量の関係から共通する粗粒材の粒度を得ることができないため、単粒度粗骨材を組合せて粒度調整を行った。)なお、混合および突固め温度は、それぞれ 155℃、145℃である。

表-1 粗粒材の粒度

ふるい目 mm	粒度 %
13.2	100
4.74	35.0
2.36	0

表-2 細粒材の粒度

ふるい目 mm	粒度 %
2.36	100
0.6	60.7
0.3	38.5
0.15	22.6
0.075	13.9

表-3 各種アスコンの配合

種類	項目		配合割合 % (wt)	
	粗粒材	細粒材	粗粒材	細粒材
密粒度アスコン	57.5	42.5	57.5	42.5
細粒度アスコン	42.5	57.5	42.5	57.5
密粒度ギャップアスコン	[61.0]		39.0	39.0

当然のことながら、何れの加熱アスコン種類ともマーシャル特性値は問題ない結果であった。

この試験から得られた最適アスファルト量(以下、最適 As 量)の各種アスコンに中温化材を添加したマーシャル試験結果の一例は、図-6および図-7に示すとおりである。なお、中温化材を添加した際の突固め温度は、145℃と 110℃とした。

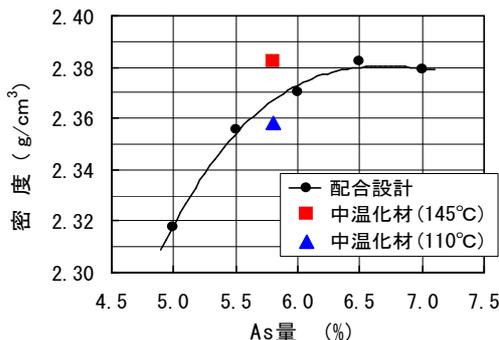


図-6 最適 As 量と密度との関係(密粒度アスコン)

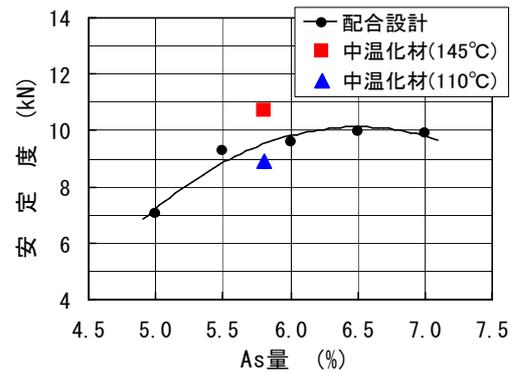


図-7 最適 As 量と安定度との関係(密粒度アスコン)
また、プラントミックタイプの改質材(II型)を添加した場合も検討し、その動的安定度を、図-8に示す。

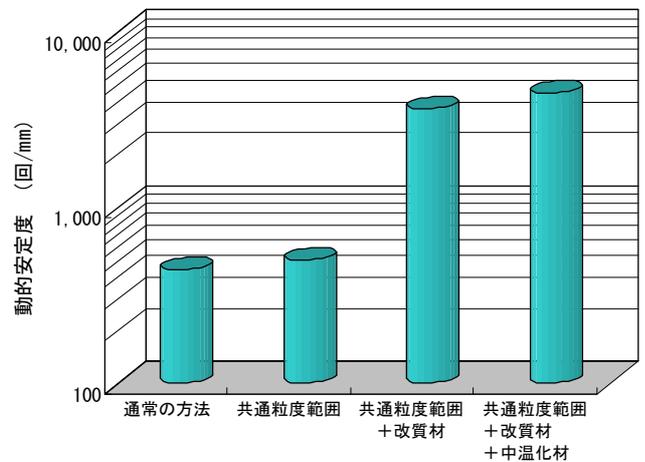


図-8 動的安定度(密粒度アスコン)

以上の結果、共通粒度範囲を有する粗粒材と細粒材を使用した中温化アスコンは、通常の加熱アスコンと同等の性状を有することが改めて確認できたことから、サテライトプラントに十分適用可能と判断した。

(3) 最適As量相当を加えた細粒材を使用した検討

サテライトプラントで品質規格を満足するアスコンをより効率的、合理的に製造する方法を検討した。

内容は、サテライトプラントに As 添加装置を装備せず、製造予定の加熱アスコンの最適 As 量相当の As を混合所で混入した細粒材(切削材の細粒分の活用も考慮)に、加熱粗粒材と中温化材を混合する場合を想定した検討を実施した。得られた結果のうち、密粒度アスコンの例を図-9に示した。図には密粒度アスコンの配合設計時の As 量と密度の関係も併記した。

なお、実際のサテライトプラントで製造する場合、サイロに一定時間ストックすることを想定して、最適 As 量相当を混入した細粒材は、130℃で混合後、6時間保温した後に使用した。

図より、密度が若干低下する傾向が認められた。しか

し、安定度は逆に多少増加する傾向にあった。

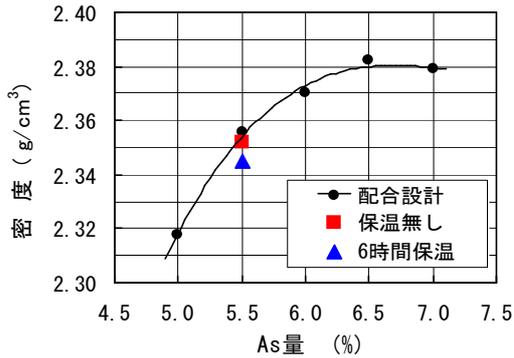


図-9 適正 As 量相当の細粒材による検討

この傾向は、細粒度アスコンや密粒度ギャップアスコンにおいても同様であり、サイロへの合材の貯蔵時間の影響が若干あるものと判断された。

なお、3種類の加熱アスコンの適正 As 量(最適 As 量とは異なる)に相当する細粒材の As 量は、11.9%(各アスコンの共通モルタルとして適用できるよう、最適 As 量から細粒材の As 量を算出し平均したもの)と As のリッチな細粒材の混合物となる。これをサイロに長時間ストックした場合、その排出が難しくなる懸念も生じた。

上記の理由などから適正 As 量を混入した細粒材と粗粒材を、アスコンの種類に応じた比率として、中温化材と同時に混合するだけとする製造の実用化は、排出を容易とする何等かのサイロ機構を採用しない限り難しいと判断した。

3-2 サテライトプラントでの中温化アスコンの製造

(1) サテライトプラントの製造機構

中温化アスコンの普及展開を目指し、品川区に建設したサテライトプラントは、上記に示す問題から As を現地で混合することとした。設置場所はマンションやアパートが隣接し、しかも限られた敷地であることから、図-10に示すような簡便な機能に限定したものとした。

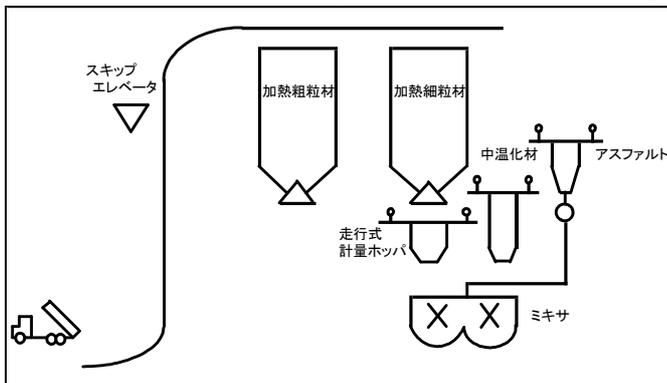


図-10 サテライトプラント略図

ホットサイロは、加熱粗粒材用 100t および加熱細粒材用 100t 容量のものを各々 1 基ずつ、それらから排出、計量する計量ホッパー、さらに中温化材などの特殊添加材計量ホッパー、As 計量槽およびミキサの構成である。

懸念される周辺への環境面への配慮には、騒音はプラント前面に自社ビルを建設し、臭気は苦情発生への安全を期して加熱アスコン製造時のマスクングによる方法で対処した。さらに加熱粗粒材および加熱細粒材の、運搬中や荷下ろし時における粉塵発生の抑制対策は、合材工場において微量(1%未満)の As でコーティングしたものを搬入することで対処した。この結果、As 量は分割混入となる。

(2) 試験練り

前述の経緯から中温化アスコンの製造に先立つ試験練りは、密粒度アスコンおよび細粒度アスコンとし、As 量の分割混入の検討を行った。通常の場合での混合とは異なるため、中温化アスコンの混合時間と混合温度を変化させ、空隙率とマーシャル安定度試験から混合物性状を確認した。その結果の一例を、混合時間と空隙率および安定度の関係として図-11、12に示す。

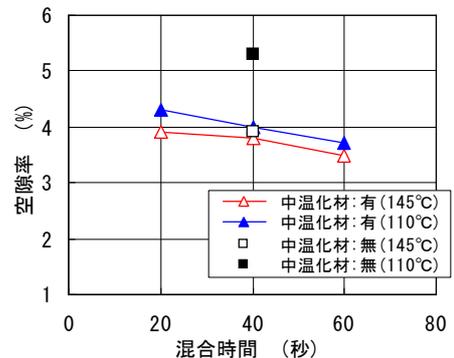


図-11 混合時間と空隙率との関係

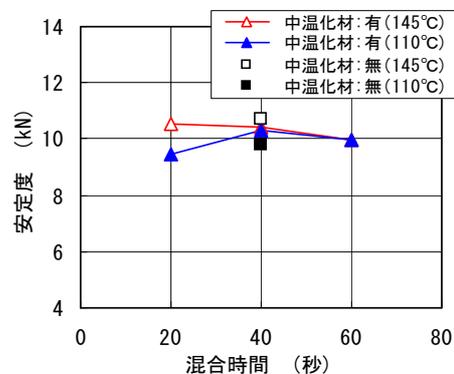


図-12 混合時間と安定度との関係

これらの結果を、室内検討でのマーシャル特性値と比較すると、130 ~ 150 °Cで 40 秒混合することで目標どおりの中温化アスコンが製造できることが確認された。

(3) 中温化アスコンの製造

本サテライトプラントの本格的な稼働は、平成14年4月からである。小規模維持修繕工事を対象としているにも係わらず図-13に示すとおり、その製造、出荷量は順調に推移し、その目的を果たしてきている。

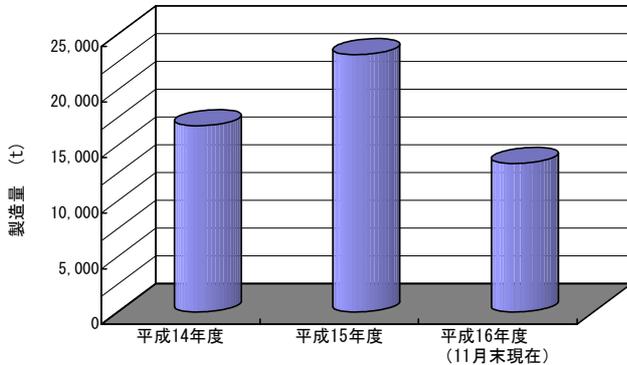


図-13 中温化アスファルト混合物の製造量

また、製造している中温化アスコンの種類は、概ね密粒度アスコンが90%、細粒度アスコンが10%であり、ごく僅かに開粒度アスコンも出荷している。

なお、過去2年間の実績からは2月および3月に出荷量が多いという特徴が見られる。施工時期が気象条件からは一番厳しい時期であるにも係わらず、中温化アスコンの特徴が十分発揮され、かつ適用現場における施工性も評価されているものと考えている。

4. さるなる温度低減への取り組み

既往の中温化技術は、通常の加熱アスコンの製造温度を30℃低減させたものであった。しかし、CO₂削減へのさらなる寄与や、交通供用の時間制約を受ける工事への対応には、さらなる温度低減をした中温化技術が要求されているのが現況である。

ここでは、製造温度の低減を50℃まで可能とした高性能中温化アスコンの開発とその適用例についてCO₂削減量、品質、熱放射の抑制について得られた結果を報告する。

4-1 高性能中温化アスコン

(1) 高性能中温化アスコンの開発

高性能中温化技術は、従来技術である中温化材を基本に鉱物結晶水の気化温度に改良を加え、50℃の温度低減に対応した発泡と滑性効果を付与する滑性材を使用する高性能中温化材を開発することで可能となった。

当該技術の加熱アスコンでの検討は、ジャイレトリー試験による締固め特性、ラベリング試験による耐摩耗性、

ホイールトラッキング試験による耐流動性などを行っており、通常の加熱アスコンと同等の性状であることを確認した。⁷⁾

(2) 厚層施工への高性能中温化アスコンの適用

50℃低減の高性能中温化アスコンは開発後、小規模での実施例はあったものの、最初で大量の適用は新千歳空港の滑走路の改良工事であった。この改良工事は、滑走路を夜間工事で一晩の間に42cmのアスファルト舗装を切削カバーし、翌朝供用するという過酷な条件であった。その施工断面は、図-14に示すとおりである。⁸⁾

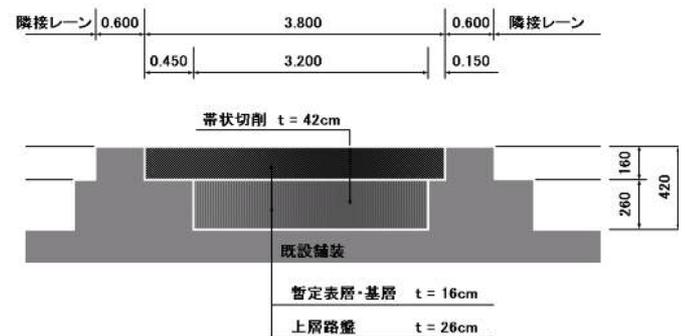


図-14 施工断面

本工事は、厚層施工であることから大粒径アスコンを使用した。試験施工での締固め特性(表-4参照)にも見られるとおり、高性能中温化アスコンは従来の中温化アスコンと同等の性能を示しており、後述するCO₂削減のさらなる寄与と、交通供用の時間的制約を受ける対応技術として適用可能と判断できた。

なお、試験施工時における締固め特性の結果は、表-4に示すとおりである。

表-4 締固め特性

混合物条件	転圧回数および密度	8t振動ローラ(無振1回) (有振3回) 8~20tタイヤローラ(12回)	
		平均密度 g/cm ³	締固め度 %
暫定表層 高性能中温化大粒径アスコン t=16cm (110℃)	上	2.375	98.1
	下	2.410	99.5
	平均	2.392	98.8
基準密度2.421g/cm ³ 、締固め度規格98%以上			
上層路盤 中温化大粒径アスコン t=26cm (130℃)	上	2.414	99.5
	中	2.407	99.3
	下	2.349	96.9
	平均	2.390	98.6
基準密度2.425g/cm ³ 、締固め度規格98%以上			

(3) CO₂削減効果など

当工事における中温化アスコンの製造は延べ27日間であり、関連したアスコンの製造も含めて、表-5に示すとおりである。

表より高性能中温化大粒径アスコンは、約25%のCO₂

削減できた結果が得られた。また、既往技術の中温化大粒径アスコンは 18%で、他試験工事においても表-6 の約 15%の結果が得られている。⁹⁾

表-5 新千歳空港滑走路改良工事例

項目	合材 製造数量 t	燃料 使用量 L	燃費 L/t	合材1t当たり CO ₂ 排出量 kg/t	CO ₂ 排出量 削減率 %
合材					
密粒度アスコン	9,977	88,190	8.84	19.92	—
中温化 大粒径アスコン	4,808	35,007	7.28	16.40	17.7
高性能中温化 大粒径アスコン	3,144	20,954	6.66	15.00	24.7

表-6 国道42号線切削オーバーレイ工事例

項目	合材 製造数量 t	燃料 使用量 L	燃費 L/t	合材1t当たり CO ₂ 排出量 kg/t	CO ₂ 排出量 削減率 %
合材					
再生 密粒度アスコン	442	4,424	10.01	22.53	—
中温化再生 密粒度アスコン	445	3,777	8.49	19.23	14.6

何れからも中温化技術が、CO₂削減に効果があることが証明された。

また、供用までに舗設されたアスコンから放射される熱量が低減されることも温暖化関連では有効と言える。

放射される熱量は、アスコン製造時に消費された熱量（製造時の熱効率があるものの、これを無視する）の放射に相当するとみなせ、中温化アスコンで -1.56・t、高性能中温化アスコンで -2.16・t の重油の節減となっている。ここで、重油の発熱量は 42MJ/kg¹⁰⁾であるので、アスコン 1t 当たり（重油の密度 0.88kg/・）56.9MJ および 79.8MJ の熱放射が通常のアスコンに比べて減少したこととなる。

この熱量を身近な都市ガス消費に例えると、その発熱量は 45MJ/m³¹⁰⁾であるので、各々のアスコン 1t 当たり 1.3m³ と 1.8m³ の都市ガス消費の熱量となる。表-5 の製造で見ると密粒度アスコンに比べ約 12 万 m³ の都市ガス燃焼に相当する熱を抑制したと言える。

5. おわりに

中温化技術の新たな展開として既往実績に対し、サテライトプラントからの出荷による普及とさらなる温度低減を図って、供用までの時間的制約のある工事への適用例をまとめた結果は、以下のとおりである。

(1)骨材の分類、調整を図り、中温化技術を適用したことで、簡易なサテライトプラントであるにも係わらず、小規模な維持修繕用の中温化アスコンを出荷して、その普及展開を図ることができた。

なお、都心部のプラント設置ということもあって、各々の車両の運搬距離の低減もあり、その燃費での CO₂削減も付随的に図られているのではと推測している。

(2)通常より 50℃低減した高性能中温化アスコンの大規模な工事への適用の結果、適切な供用開始時間の確保と CO₂ の削減が約 25%であることが確認できた。

また、舗設されたアスコンからの熱放射は、約 80MJ/t 軽減でき、適用工事の合計で都市ガス約 5,600m³ 燃焼相当が削減されたと推測された。

最後に、加熱アスコンの製造量は、1990年より約 10%減少していること、再生アスコンの製造割合が 1990年の 10%から約 60%増加していること、舗装での CO₂発生は 3%程度であることなどから舗装産業は京都議定書を達成しているとの見方も一部にあるが、プラントの稼働や舗設時および供用中のアスコンの熱放射の問題もあって、国民から温暖化防止、省エネ対策に対し十分な理解が得られていないとも受け取れる。

このような趨勢を考慮すると、中温化アスコンの積極的活用により CO₂削減、健康懸念の払拭、舗設時の熱放射の節減、施工性の改善とその品質確保等が図られていくことで各種対策を実践していることへの的確な理解が得られることを期待したい。

- 【参考文献】
- 1) 地球温暖化防止条約事務局のまとめ：環境リポート、日経産業新聞 2004.12.17
 - 2) 日本道路協会舗装委員会 環境・再生利用小委員会 環境WG：技術情報 環境改善をめざした舗装技術の現状(2) 第2章 工事における環境負荷軽減に関する技術、道路、p63~69、2000.5
 - 3) 吉中 保、根本 信行：アスファルト混合物の締固め性向上に関する検討、土木学会第52回年次学術講演会、p36~37、1997.9
 - 4) 吉中 保、根本 信行：環境保全を指向したアスファルト舗装技術に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第2巻、p239~248、1997.12
 - 5) NAPA、48th Annual Konvention (2003.1.15)のWorkshop (The Quest for Emission and Energy Reduction)資料
 - 6) 貫井 武：中温化技術の多様な適用事例、第25回日本道路会議論文集、2003.11
 - 7) 吉中 保、根本 信行、市原 利昭：中温化技術の適用温度の低減化に関する検討、土木学会舗装工学論文集 第4巻、p135~142、1999.12
 - 8) 池上 啓一、松谷 明典：大粒径中温化アスコンを使用した滑走路改良について、第46回北海道開発局技術研究発表会発表論文集 2003.2
 - 9) 志賀 勝宏、秋田 文生：CO₂削減等を目的とした中温化合材による試験施工の調査結果、第23回日本道路会議論文集、p154~155、1999.10
 - 10) 理科年表

