

特集：舗装・トンネルの維持管理技術

アスファルト・コンクリート塊の持続的なりサイクル

新田弘之* 佐々木 巖** 西崎 到*** 川上篤史**** 久保和幸*****

1. はじめに

日本の道路舗装は、施工性や走り心地の良さなどからおよそ95%をアスファルト舗装が占めている。このアスファルト舗装は、一般に5~10年程度の期間で表層打換え等のメンテナンスを必要とし、その際にアスファルト・コンクリート塊（以下、アスコン塊）などの舗装発生材が発生する。アスファルト舗装の普及とともに舗装発生材が増加したため、舗装発生材のリサイクルの研究は、昭和40年代には始まっており、リサイクル技術の向上により、最近ではアスコン塊の98%(平成20年度)¹⁾が再利用されるようになっている。

一方、舗装では、舗装発生材以外の発生材も多く取り入れている。セメント・コンクリート塊（以下、セメコン塊）は、建築工事など、舗装工事以外の工事からの発生が大半を占めているが、これも舗装分野でのリサイクルが進んでいる。セメコン塊の97%（平成20年度）¹⁾がリサイクルされる中、舗装での利用は、全体の3分の1程度を占めると見られている。その他、製鉄業の副産物である鉄鋼スラグの利用やゴミの熔融スラグの利用など様々なものが、舗装で再利用されている。

この様に舗装分野でリサイクルが進む中、新たな問題も発生してきている。特にリサイクルの歴史が古いアスコン塊については、アスファルト材料の多様化や、繰り返しの利用の進行などにより、従来の方法では利用範囲が狭まる可能性があり、持続的なりサイクルのための新たな対応が求められている。ここでは、アスコン塊のリサイクルの課題と土木研究所の研究成果について紹介する。

2. アスコン塊のリサイクルの現状と課題

2.1 アスコン塊の有効利用方法と課題

図-1に示すように、道路工事等により発生したアスコン塊は、中間処理施設に持ち込まれ、破碎、分級等の処理を行い、アスファルトコンクリート

再生骨材（以下、再生骨材）に加工される。この再生骨材は、再生路盤材料として利用したり、バージン材料と混合して再生アスファルト混合物に加工したりして利用される。特に再生アスファルト混合物への利用は、廃棄物が多少の加工で元の製品に戻りリユースに近い（厳密にはセミクローズドリサイクルの範疇）ことから、持続的なりサイクルが可能な好ましい利用方法である。

一方で、再生アスファルト混合物への利用については、課題も発生している。アスファルトには、大きく分けてストレートアスファルト（以下、ストアス）と改質アスファルト（以下、改質アス）があり、図-1に示すとおりこれらを使ったアスファルト混合物が供用後リサイクルされる。リサイクルは、再生骨材に含まれる劣化したアスファルト（以下、旧アスファルト）の性状を回復させて行うが、回復できる劣化の限度があり、これまで針入度を指標として下限値を設けて使用してきた²⁾。近年、繰り返し再生の進行や改質アスファルトの使用が原因と見られる針入度低下が起こっており、リサイクルに支障を来すおそれが生じてきている。そこで、針入度低下したものでも再生アスファルト混合物へ有効利用できる方法が求められていた。

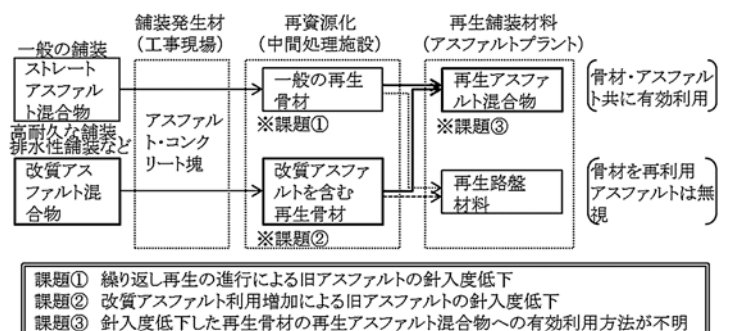


図-1 アスコン塊の有効利用の流れと課題

2.2 再生骨材の性状の変化

再生アスファルト混合物に用いることができる再生骨材は、一般的に旧アスファルトの針入度が20以上のものとされてきた²⁾。図-2に、全国の再生骨材を採取して旧アスファルトの針入度を調査

した結果を示す。1980年代と比べ2000年代では、旧アスファルトの針入度は低下し、針入度20を下回る再生骨材が増加している。

従って、再生アスファルト混合物へ利用できる再生骨材は、減少していく傾向にあると見られる。

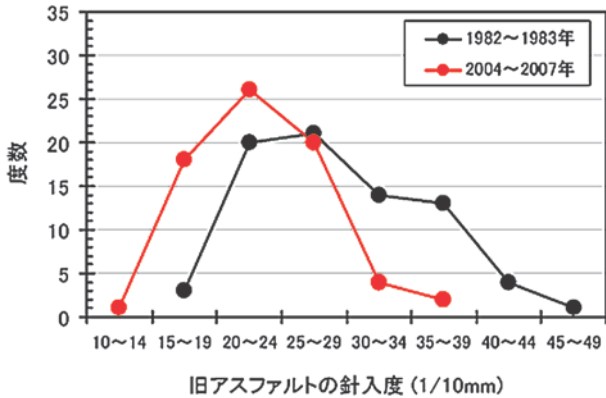


図-2 再生骨材に含まれる旧アスファルトの性状変化³⁾

2.3 再生アスファルト混合物製造の変化

旧アスファルトの針入度低下の原因の一つとして、再生骨材の繰り返し再生の可能性が指摘されている。図-3にアスファルトプラントで製造された全てのアスファルト混合物に占める再生アスファルト混合物の割合の推移を示す。再生アスファルト混合物の割合は年々大きくなっており、現在では70%を超えるまでになっている。また、図には再生アスファルト混合物に配合した再生骨材の配合率も示しているが、2000年度以降増加してきており、近年40%を越す値となっている。

これらのことから、現在のアスコン塊は、過去に1回以上再生されている可能性が高いことが推測され、また再生骨材配合率も高いため、劣化したアスファルトをより多く含む傾向にある。

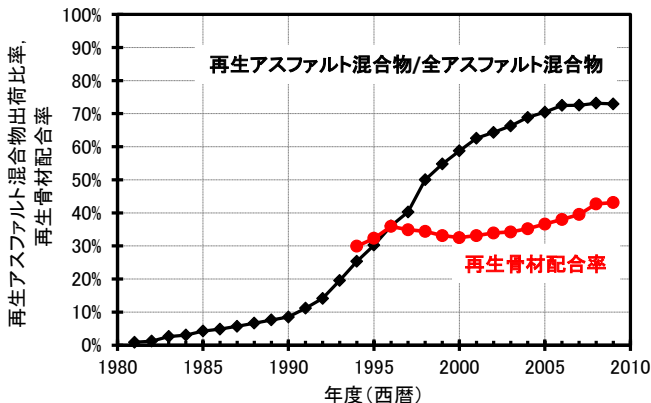


図-3 再生アスファルト混合物の製造割合および再生アスファルト混合物中の再生骨材配合率の変遷 (文献⁴⁾を基に作成)

2.4 改質アスファルト使用量の変化

ストアスが一般的な舗装に使用されるのに対し、改質アスはストアスにポリマーを添加するなどの改質を図ったもので、アスファルト舗装のわだち掘れ対策のために使用されたり、排水性舗装用に使用されるなど、混合物に機能を付加する場合に用いられる。図-4に、全てのアスファルト混合物に占める改質アスを使用したアスファルト混合物(以下、改質アスファルト混合物)の割合を示す。改質アスファルト混合物の出荷比率は年々増加し2009年度には約15%に達している。

排水性舗装が広く普及し、更新の時期を迎えていることもあり、今後、改質アスを含むアスコン塊が増加していくことが予想される。

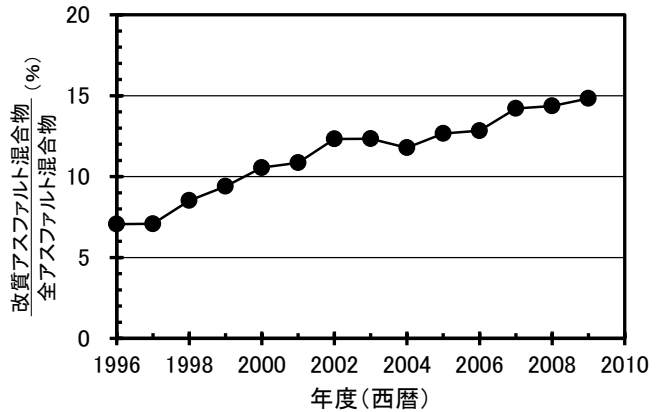


図-4 改質アスファルト混合物の製造割合の変遷 (文献⁴⁾を基に作成)

3. 再生骨材の有効利用方法の開発

3.1 圧裂係数の開発

現状では再生アスファルト混合物に利用できる再生骨材は減少していく傾向にあった。一方、改質アスを含む再生骨材は針入度が20未満であっても再生アスファルト混合物に利用できることが指摘されていたが、プラント等でストアスカ改質アスカを判別することができず、そのような再生骨材は、有効活用されずにいた。そこで、土木研究所の舗装チームと新材料チームでは、(社)日本アスファルト合材協会と共同で、再生骨材の有効活用方法の開発を目的として研究を行い、再生骨材の新しい評価方法などを開発した。

開発技術を広く普及させるためには、既設のアスファルトプラントで対応しやすい方法であることが望ましい。そのため、既存の設備を利用しながらできる方法として、圧裂試験を選び、検討を

行った。圧裂試験は、広く普及しているマーシャル試験機を利用して行える試験であり、図-5に示すように円柱状供試体（直径101.6mm、厚さ63.5mm）を円の上下から圧縮して、最大荷重を測定する試験である。アスファルト混合物の場合、通常は図-6に示すように載荷ヘッドの移動量（変位量）に応じて、荷重が変化し、最大荷重を示すとともに供試体中央部縦方向に亀裂が生じて破壊して、荷重が小さくなっていく。

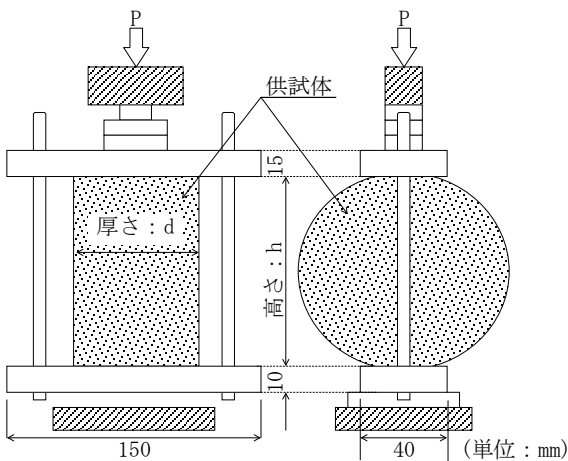


図-5 圧裂試験の概観

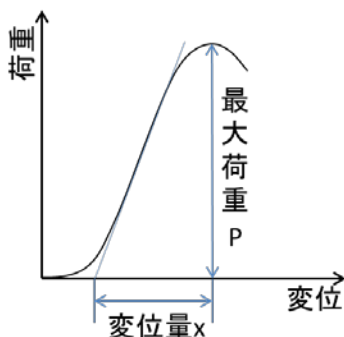


図-6 圧裂試験の載荷ヘッドの変位と荷重の変化

本研究においては、圧裂試験から求められる様々な特性値について、疲労試験などと比較検討し、相関性の高い特性値を求めた。その結果、圧裂強度を最大荷重時の変位量で除した値が疲労破壊回数と相関が得られたため、これを圧裂係数と名付け使用することにした。圧裂係数は、最大荷重とそのときの変位量から（式-1）のように求められる。

$$\text{圧裂係数 (MPa/mm)} = \sigma_t / x \quad (\text{式-1})$$

ここに σ_t : 圧裂強度 (MPa) = $2P/\pi dL$

P : 最大荷重(N)

d : 供試体の厚さ(mm)

L : 供試体の直径(mm)

x : 最大荷重までの変位量(mm)

3.2 再生骨材の圧裂試験による評価

従前、再生骨材の品質は、含有する旧アスファルトを溶剤抽出し、針入度を測定して評価していた。これによると、改質アスとストアスの区別ができず、ストアスの基準値である針入度20未満であれば改質アスであっても再利用できずにいた。しかし、疲労特性等と対比して圧裂係数における再利用限界値（1.70MPa/mm）を設けた結果、改質アスであれば、低い針入度であってもまだ利用できるかと判定できるようになった。

図-7に再生骨材の針入度と圧裂係数の分布を示す。針入度20未満で圧裂係数が1.70MPa/mm以下の部分が新たに使用できるようになった部分である。主に改質アスが分布しており、また実プラントから採取した再生骨材（プラント再生骨材）ではアスファルト種類は確定できないものの、産出地域から改質アスである可能性が高いと推測されるものであった。このように、圧裂係数導入により、再生骨材の利用範囲を広げることができた。

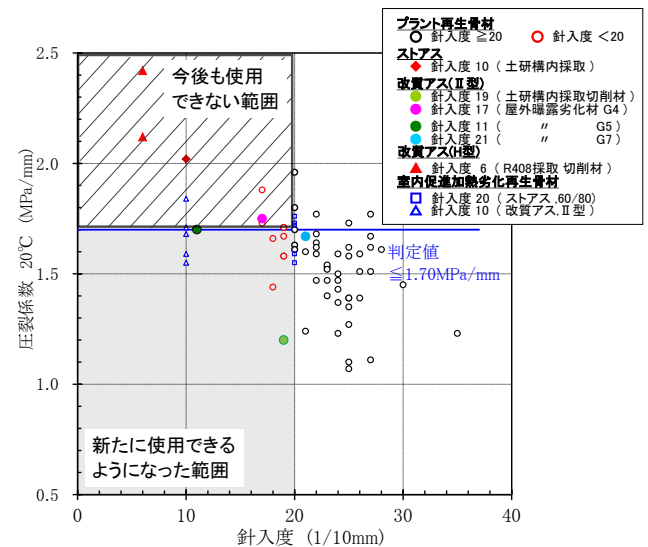


図-7 再生骨材の針入度と圧裂係数の関係⁵⁾

3.3 圧裂試験による配合設計

再生骨材に含まれる旧アスファルトは劣化しており、再生利用時には性状を回復させなければならない。従前、旧アスファルトの針入度を測定し、針入度を指標として添加剤などを添加して性状回復を行ってきた。しかし、圧裂係数によって再生骨材を評価した場合、旧アスファルトの溶剤抽出は行わないので、針入度は測定できない。このため針入度以外の指標でアスファルトの性状回復を図る必要がある。

針入度以外の指標として圧裂係数を検討した結果、圧裂係数を指標にしてもアスファルトの性状回復が適切に行えたため、再生混合物の配合設計にも圧裂試験が利用できるようになった。

図-8に様々な混合物の針入度と圧裂係数の関係を示す。この図によれば、性状回復の目標とする圧裂係数（以下、設計圧裂係数）は、ストアスの針入度等級に合わせて設定でき、例えば一般に使用される針入度等級60/80相当に再生する場合は、設計圧裂係数を0.4~0.6MPa/mmとすればよい。

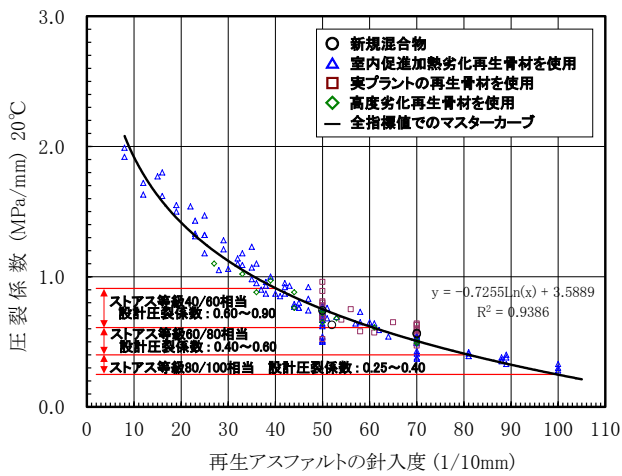


図-8 針入度と圧裂係数の関係⁵⁾

4. 舗装再生便覧の改訂

舗装のリサイクルに関する最新の情報を基に、平成22年11月に舗装再生便覧（平成22年度版）⁶⁾が発刊された。本便覧は平成16年に発刊された舗装再生便覧の改訂版であるが、前述の共同研究の成果である圧裂係数が採用されるなど、舗装のリサイクルの質の向上に向けた新しい技術が導入

されている。本便覧の活用により、資源の有効活用が進むものと期待している。

5. おわりに

舗装は古くからリサイクルをしてきており、高いリサイクル率を維持するまでになっている。しかし、リサイクルが広く浸透しているが故の問題も発生している。舗装再生便覧が改訂され、いくつかの問題について対応ができるようになったが、未対応のものもある。また、CO₂排出削減型の舗装材料が開発されるなど、新たな技術の開発・普及が予想され、これらの材料のリサイクル技術も確立していかなければならない。持続的なりサイクルのために、今後も継続的な努力が必要である。

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局：平成 20 年度建設副産物実態調査結果について、2010.3
- 2) 日本道路協会：舗装再生便覧、日本道路協会、2004.3
- 3) T. Kanou, H. Nitta, I. Sasaki, A. Kawakami, & K. Kubo：Highly-aged and Highly-modified Asphalt Concrete Recycling in Japan, The 11th International Conference on Asphalt Pavement, 2010.8
- 4) 日本アスファルト合材協会資料・広報委員会：平成 21 年度アスファルト合材の現況、アスファルト合材、No.96、pp.4~20、2010.10
- 5) 土木研究所、日本アスファルト合材協会：アスファルト舗装の再生利用に関する共同研究報告書、土木研究所共同研究報告書、第 408 号、2009.12
- 6) 日本道路協会：舗装再生便覧（平成 22 年度版）、日本道路協会、2010.11

新田弘之*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム主任研究員、博士(工学)
Dr.Hiroyuki NITTA

佐々木 巖**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム主任研究員、博士(工学)
Dr. Iwao SASAKI

西崎 到***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム上席研究員、博士(工学)
Dr.Itaru NISHIZAKI

川上篤史****



独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム研究員
Atsushi KAWAKAMI

久保和幸*****



独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム上席研究員
Kazuyuki KUBO