

追跡調査から得られた排水性舗装の骨材飛散現象に関する室内検証

上杉直樹¹・木田哲量²・岡崎真二³

¹正会員 修(工) 横浜市 道路局 道路部 維持課 (〒231-0017 横浜市中区港町1-1)

E-mail : na00-uesugi@city.yokohama.jp

²正会員 工博 日本大学生産工学部 土木工学科 教授 (〒275-0006 千葉県習志野市泉町1-2-1)

³非会員 東亜道路工業株式会社 関東支社 横浜工場 (〒232-0023 横浜市区南区中村町5-318)

横浜市では、排水性舗装の交差点付近における骨材飛散現象の対策として、平成13年度よりねじれ抵抗性改善型ポリマー改質アスファルトH型を使用したポーラスアスファルト混合物を交差点付近に導入した。この骨材飛散対策について追跡調査を平成16年度に実施した結果、概ね骨材飛散現象が抑制されているものの、人力舗設施工箇所および施工ジョイント部の一部に骨材飛散現象が発生していることがわかった。この一部分発生した骨材飛散現象を室内再現試験で検証した結果、問題発生箇所には交差点付近に施工するアスファルト混合物特有の強度不足が生じることが確認された。

Key Words : *low-noise pavement, porous asphalt pavement, aggregate stripping, torsional resistance, pavement joint*

1. はじめに

排水性舗装の表層部に使用されるポーラスアスファルト混合物（ポーラスアスコンと略称）は、粗骨材が80%前後配合された開粒度型の粒度であり、十分に締固められた状態でも密粒度アスファルト混合物と異なり、粗骨材の噛み合わせは近接するが点接着になる。このためポーラスアスコンは、高空隙率が確保され、この空隙によって排水・騒音低減機能を有する特徴がある¹⁾。

国道43号線（神戸～大阪）訴訟の最高裁判決（平成7年7月）で、自動車に起因する騒音・排気ガス等の被害について道路の公共性および必要性を考えると、道路の設置・管理に瑕疵があるとされたことが要因となり、横浜市では、平成8年から騒音低減効果を期待して排水性舗装を本格導入してきた。

横浜市で導入された排水性舗装は、導入から9年が経過した平成16年度末現在で約660,000m²の実施面積を有しているものの、交差点部等の特殊な車両荷重が加わる箇所、その中でも特に大型車交通量が多い箇所において骨材飛散が発生し、排水機能および騒音低減機能が損なわれたのはもちろんのこと、走行安全性に影響を及ぼした。

横浜市では、交差点付近に施工された排水性舗装の骨材飛散対策として、現存する各種工法²⁾について、機能

性、骨材飛散抑制効果、経済性、環境性を考慮して評価した結果、ねじれ抵抗性を改善したポリマー改質アスファルトH型をポーラスアスファルト混合物（13mm）に適用する対策³⁾（ねじれ改善ポーラスアスコンと略称）を選定し、表-1、表-2に示す材料規格を定め、平成13年度より試験導入している。尚、表-2に示すねじれ抵抗性試験は、写真-1に示すような試験機を使用した。

この骨材飛散対策について、導入から最大で3年経過した平成16年度に追跡調査を実施した結果、大半は健全状態を維持しているものの、一部分に交差点付近に施工するアスファルト混合物特有の問題があることを見出した。

表-1 ねじれ改善ポーラスアスコンの材料規格

試験名	試験規格	試験方法
定水位透水試験	透水係数 1×10 ⁻² cm/sec以上	舗装試験法便覧 に準拠
ねじれ抵抗性試験	最終平均変位量 3mm以下	表-2、写真-1参照
マーシャル試験	安定度 7.8kN以上	舗装試験法便覧 に準拠
ホイール トラッキング試験	動的安定度 9,000回/mm以上	舗装試験法便覧 に準拠

表-2 ねじれ抵抗性試験条件

試験条件		仕様
使用 タイヤ	形式	ソリッドタイヤ
	寸法	200mm×50mm (直径×幅)
	ゴム硬度	JIS硬度 78 (60℃)
接地圧 (載荷荷重)		0.63MPa (686N)
回転速度		10.5回/分
回転回数 (時間)		1,260回 (120分)
回転半径		5.7cm (タイヤの中心に対して)
試験温度		60℃
測定項目	1回転時に90°毎に定点で4箇所およびその他43箇所任意に変位量 (mm) を測定	

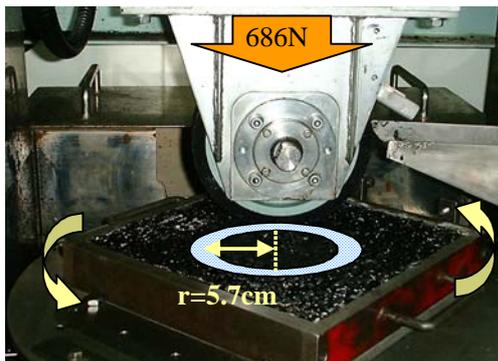


写真-1 ねじれ抵抗性試験機

本論文は、追跡調査によって見出されたねじれ改善ポーラスアスコンの問題点について、室内検証を実施した結果についてまとめたものである。

2. 追跡調査で見出した骨材飛散対策の問題点

横浜市内で試験導入したねじれ改善ポーラスアスコンについて、交通量および交通条件の異なる23箇所を任意に選定し、目視による追跡調査を実施した。

追跡調査によって明らかになったねじれ改善ポーラスアスコンの状態は、次のように分類することができる。

- ① 対策・破損なし。これは、現在健全状態で且つ施工を行うのに何も対策を行わなかった箇所である。
- ② 人力施工部に対策。これは、現在健全状態を維持しているが、人力施工を減らすことや、人力施工部の舗装表面を特殊アスファルト乳剤⁴⁾ ⁵⁾で補強した箇所である。
- ③ ジョイント部に対策。これは、現在健全状態を維持しているが、通過車両タイヤの軌跡上の施工ジョイント部に**写真-2**のような補強を行ったり、施工ジョイントの設置位置をタイヤ軌跡上からずらした箇所である。
- ④ 人力施工部に破損。これは、フィニッシャーによる敷均しが行えない人力施工部に骨材飛散が発生した

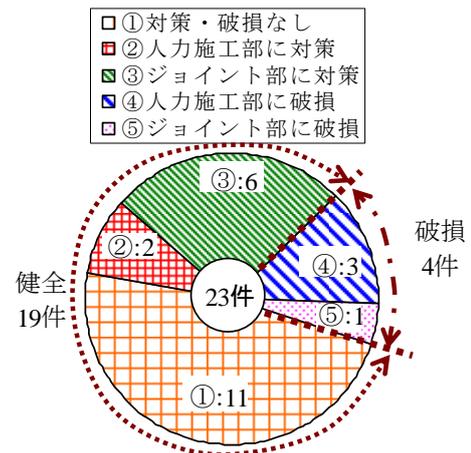


図-1 ねじれ改善ポーラスアスコンの追跡調査結果



写真-2 ジョイント部の補強例

箇所である。

- ⑤ ジョイント部に破損。これは、通過車両タイヤの軌跡上の施工ジョイント部に局所的な骨材飛散が発生した箇所である。

ここで、本23調査箇所において特筆しておく必要があるのは、調査箇所全てに人力施工部および施工ジョイント部が存在するが、人力施工部と施工ジョイント部の破損が同時に発生していないことである。この要因の一つとして考えられるのは、調査箇所すべてにおいて車両が右左折する走行軌跡上に人力施工部および施工ジョイント部が存在していたわけではないことである。またもう一つの要因として考えられるのは、車両タイヤのねじれ力が厳しく加わる箇所に施工ジョイント部を設置しないようにすると人力施工部が車両軌跡部に位置してしまうこと、逆に人力施工部をなくして機械施工を行おうとすると施工ジョイント部が車両軌跡部に位置してしまう交差点部の特有の複雑な形状および車両規制に起因した現象であると考えられることである。

この5つに分類した供用状態の頻度を**図-1**に示す。

図-1より、横浜市で導入した骨材飛散対策は、調査箇所23件の中で約83%に相当する19件（分類①，②，③の合計）が骨材飛散発生を抑制していることがわかった。

しかし、残りの17%に相当する4件（分類④，⑤の合計）には骨材飛散破損が発生し、その破損は、④人力施工箇所において、舗装表面が骨材飛散して粗くなるが、その後は進行が止まる形態のもの、および⑤ジョイント部において、V字型に深く骨材飛散し、この飛散骨材が車両タイヤによって押しつぶされる状態でジョイント部周辺を荒れた状態にしている形態のものであった。

ここで、現在健全状態を維持しているが何らかの対策を実施している箇所は、対策を実施しなければ骨材飛散が発生してしまうと仮定すると、ねじれ改善ポーラスアスコンの骨材飛散抑制効果が発揮されているのは、調査箇所23件の中で約48%に相当する11件（分類①）であると判断できる。しかしながら、次に示す問題点を解消すれば、調査箇所23件すべての箇所において、健全状態を維持していた可能性があると言える。

- a) 交差点を右左折する車両タイヤ軌跡上に人力施工箇所があると、骨材飛散抑制効果が低下してしまう問題。
- b) 交差点を右左折する車両タイヤ軌跡上に施工ジョイントがあると、骨材飛散抑制効果が低下してしまう問題。

これらの問題は、交通規制の制約が厳しくなる供用路線の交差点付近において施工区間を細分化しなくてはならないことが多いこと、およびに交差点部では施工区間の形状が複雑になることを考慮すると、避けることが難しい問題であると共に、ねじれ改善ポーラスアスコンだけではなく交差点付近に施工されるすべてのアスファルト混合物に共通な問題であると言える。

3. 追跡調査で見出した問題点の検証

追跡調査によって見出されたねじれ改善ポーラスアスコンの問題点であるa)人力施工箇所、b)施工ジョイント部における骨材飛散抑制効果の低下について室内再現試験を実施して検証した。

尚、室内再現試験では、理論密度 1.995g/cm^3 、基準密度 1.995g/cm^3 、設計アスファルト量4.8%、推奨混合温度 $180\pm 5^\circ\text{C}$ 、推奨締固め温度 $165\pm 5^\circ\text{C}$ 、空隙率20.5%のねじれ改善ポーラスアスコン（13mm）を使用した。

(1) 人力施工箇所の問題検証

アスファルトフィニッシャーによる機械敷設が行えず、人力による敷設を実施した箇所の状態を再現し、骨材飛散現象の要因について検証した結果を次に示す。

a) 人力施工箇所を再現した供試体作製方法

合材搬入時間を考慮して、ねじれ改善ポーラスアスコンを $165\pm 5^\circ\text{C}$ の乾燥機に1時間養生して、冬期施工を再

現するため 5°C に冷却したホイールトラッキング試験用型枠に詰め、表-3に示す転圧方法で供試体を作製した。

通常、ホイールトラッキング試験用供試体を作製する場合は、型枠に合材を詰めた後にハンドタンバなどで初期転圧を行うが、人力施工箇所を想定した条件①では、無転圧のままローラコンパクタによる締固めを行った。また、機械施工を想定した条件②および③では、アスファルトフィニッシャーのバイブレータによる締固めを再現するため、 170°C に熱した鉄板を供試体表面に設置し、振動タンバで30秒間初期転圧した。通常、ローラコンパクタによる締固めは、コンパクタ部を 150°C 程度に加熱して合材のピックアップ現象を防止するが、実施において鉄輪ローラのローラ部を加熱することがないのを考慮し、コンパクタ部にシリコン離型剤を塗膜させて常温転圧した。さらに、実施の鉄輪ローラを用いた締固めでは、散水しながら転圧することを考慮して、コンパクタ部に霧吹きで散水しながら転圧を行った。

ローラコンパクタによる転圧回数は、通常のホイールトラッキング試験用供試体を作製するときに、マーシャル基準密度に対して $100\pm 1\%$ の締固め度が得られる回数に統一して行った。ここで、条件③においては、タイヤローラの転圧を想定し、最後の5往復転圧時に8mm厚のゴムシートを供試体の上に載せて実施した。

b) 人力施工箇所再現供試体の密度分布

ねじれ改善ポーラスアスコンの転圧方法の違いによる密度変化を確認するため、前記a)のように作製した各供試体について、ノギス法で全体密度を測定した後、 $\phi 100\text{mm}$ のコアカッターを用いて供試体中央と四隅に位置する端部を抜き取り、コンクリートカッターで上下半分に分断し、十分乾燥させた後にノギス法で密度を測定した。

表-3 人力施工箇所の再現供試体作製方法

作製条件	①			②		③	
	人力施工		機械施工1		機械施工2		
混合温度	180±5℃						
養生温度	165±5℃の乾燥機で1時間						
型枠温度	5℃（低温恒温槽に5時間以上養生）						
ローラ温度	常温（シリコン離型剤を塗膜）						
型枠に合材設置後の処理	周辺24回、中央15回スコップで突き刺した後、平らになるように成型						
初転圧方法	なし		170℃に熱した鉄板を供試体表面に置き、30秒間バイブレータを用いて上部から転圧する				
転圧時直前の温度	中央	151℃	149℃	148℃			
	端部	138℃	135℃	136℃			
転圧時の処理	霧吹きで水をローラ部に吹き付ける						
転圧時の荷重	線圧294kN						
転圧回数	ローラ	20往復回	20往復回	15往復回			
	ゴムシート	—	—	5往復回			

各条件で作製した供試体の縮固め度を図-2、図-3に示す。

図-2より、各条件で作製した供試体端部の縮固め度は、5℃に冷却した型枠に合材温度が吸熱されたことに起因して、供試体中央部より低くなり、作製条件に影響を受けずにほぼ一定になることがわかる。

また、各条件で作製した供試体中央部の縮固め度は、バイブレータによる初期転圧を実施した作製条件②および③より、人力施工を想定した作製条件①の方が低くなった。これは、特に冬期施工において、ねじれ改善ポラスアスコンの温度が確保されている初期に十分な転圧を実施しなければ、高い縮固め度が得られないことを示唆している。

図-3より、各条件で作製した供試体上部は、下部より縮固め度が低くなった。この縮固め度の分布差は、鉄輪ローラのみでの転圧を想定した作製条件①および②の中央部で約10%の差が生じることがわかる。しかしながら、タイヤローラによる転圧を想定した作製条件③においては、密度差が約4%と少なくなることがわかる。

このような現象が起こった要因の一つは、供試体表面の合材温度がローラ部および散水によって吸熱され、これに連動して縮固め特性が低下したためであると判断できる。またもう一つの要因は、既知な縮固め特性として知られている、図-4に示すような鉄輪ローラのアスファルト混合物全体を移動する作用が働くが、混合物中の骨材の配列変化（ニーディング作用）についてはほとんど起こらず、アスファルト混合物を一様に押さえた状態に

なり、密度も舗装下部は良くしまっているが舗装上部は良くしまっていない状態になる特性⁶と、タイヤローラが、タイヤゴムの柔軟性によってニーディング作用（コネ繰り返し作用）が発生し、混合物の骨材が配列変化して、舗装の上部が良く締まる状態になる特性⁹と同様な現象が表-3の供試体作製条件でも発生したために起こった現象であると判断できる。

c) 縮固め温度と縮固め特性の関係

前記b)の検証によって、ねじれ改善ポラスアスコンは、縮固め工程で起こる合材温度低下によって縮固め特性が大きく低下することが判明したため、この温度と縮固め特性の関係を、実施工の縮固め特性と相関があるジャイレトリー試験機を用いた縮固め特性試験⁷で確認した。尚、ジャイレトリー試験方法は、SHRP⁸（Strategic Highway Research Program）の配合設計手法を参考にし、表-4に示す試験条件に準拠して行った。

このとき縮固め回転数は、実物大の試験舗装との比較試験によって得られている表-4の式⁹に、標準的な転圧回数（16回）と舗装厚（50mm）を代入して算出した値を使用した。また、試験供試体は、縮固め後の体積がφ10×50mmとなるようにし、180±5℃で製造した混合物を各温度に設定された乾燥機に4時間養生し、その後、各温度になるように鍋で再加熱して調整し、ジャイレトリー試験機によって縮固めた。縮固め特性評価は、作製供試体密度をノギス法によって測定し、165±5℃で作製

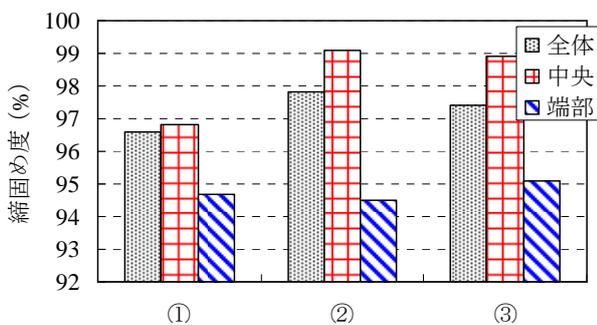


図-2 作製条件の違いによる縮固め度の変化

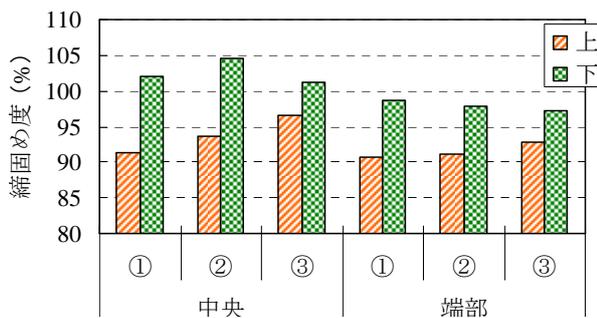


図-3 供試体上部と下部の縮固め度分布の変化

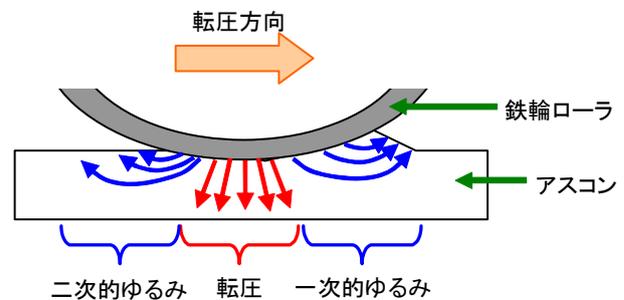


図-4 鉄輪ローラの縮固め特性

表-4 ジャイレトリー試験条件

項目	設定条件
使用モールド	φ10cm
縮固め圧力	600kPa
回転速度	30回/分
角度	1.25°
回転回数	50回 $Ng = 0.0625eNp$ Ng: 縮固め回転数 (回) e: 舗装の厚さ (mm) Np: ローラの通過回数 (回)
試験温度	6点 (120~170℃の範囲で10℃刻み)
養生時間	各温度に設定した乾燥機に4時間

したマーシャル供試体の基準密度に対する縮固め度変化を算出する方法で行った。

縮固め特性試験結果を図-5に示す。

図-5より、ねじれ改善ポーラスアスコンの縮固め特性は、170℃では一般的なポーラスアスコンと変わらないが、温度低下に伴って急勾配で低下することが分かる。

試験結果および一般的な密粒度アスコンにおいても人力施工が機械施工より合材温度を1.7倍速く低下させてしまう旧ソ連の実験データ¹⁰から判断すると、ねじれ改善ポーラスアスコンは、機械施工より人力施工の方が縮固め度が低下する要因を多く含んでいると言える。

また、同じ骨材配合および温度の条件の場合アスファルト混合物の縮固め特性に関わる因子はアスファルト混合物の粘度になり、この粘度に支配されるねじれ改善ポーラスアスコンの施工性は、合材搬入時の合材温度として予測される $175 \pm 10^\circ\text{C}$ において一般的なポーラスアスコンと変わらないが、温度低下と共に一般的なポーラスアスコンより混合物粘度が増加してしまう特性があることを、初めて取り扱う施工者に対して、戸惑いをなくすため啓発しておく必要があると言える。

d) 縮固め度と骨材飛散抑制効果の関係

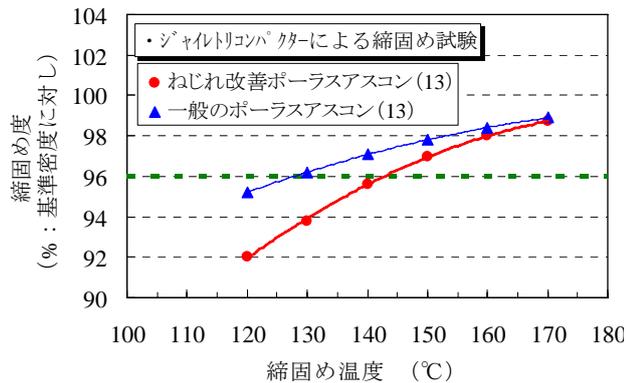


図-5 縮固め温度と縮固め度の関係

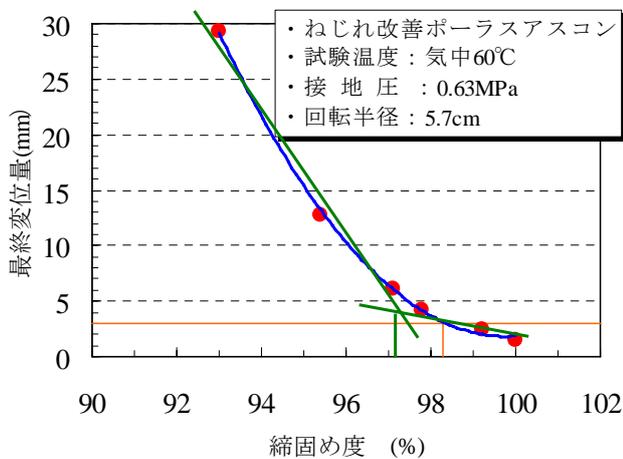


図-6 縮固め度と骨材飛散抑制効果の関係

人力施工箇所では、ねじれ改善ポーラスアスコンの温度と縮固め特性の関係、および縮固め機械特性によって、舗装上部の縮固め度が低下してしまうことが見出された。

このようにねじれ改善ポーラスアスコンに縮固め不足が生じた場合に、骨材飛散抑制効果に発生する影響を把握するため、縮固め度を变化させた供試体について、表-2に示す試験条件でねじれ抵抗性試験を実施した。

このねじれ抵抗性試験結果を図-6に示す。図-6より、ねじれ改善ポーラスアスコンの骨材飛散抑制効果は、縮固め度が97%以下になると急激に低下することが分かる。

e) 人力施工箇所の破損要因の特定

人力施工したねじれ改善ポーラスアスコンは、アスファルトフィニッシャーによる初期転圧が行えないことを想定して試験した前記a), b), c), d)の室内検証結果、および合材温度低下が機械施工より速くなることから推察すると、転圧機械の縮固め特性や舗装表面温度低下が顕著に現れ、図-7のように推定した舗装状態になってしまったことが骨材飛散破損の要因であると判断できる。

人力施工箇所が図-7のような状態になった場合、縮固め度が大きく低下する舗装表面に骨材飛散が発生するが、その後縮固め度が得られる舗装内部になると骨材飛散が止まると判断できる。このことは、追跡調査によって確認された人力施工箇所の破損形態が、施工後初期に舗装表面はパラパラと骨材飛散して粗い状態になるものの、その後は骨材飛散の進行が止まることの説明になる。

(2) 施工ジョイント部の問題検証

施工ジョイント部の状態を再現し、骨材飛散現象の要因を検証すると共に、追跡調査によって確認された

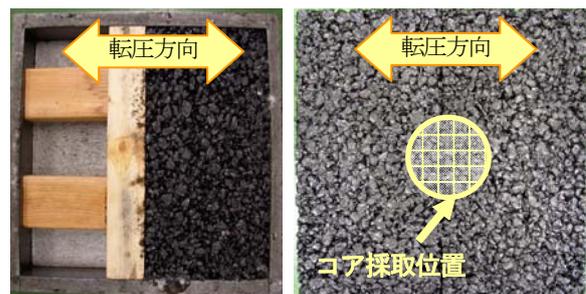


写真-3 施工ジョイント部の再現試験供試体

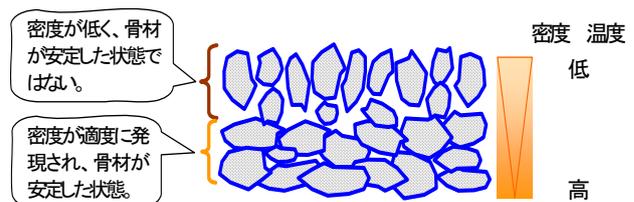


図-7 人力施工箇所に発生した舗装状態の推定図

施工ジョイント部の補強対策の効果についても検証を行った。

a) 施工ジョイント部を再現した供試体の作製方法

ねじれ改善ポーラスアスコンの施工ジョイント部は、**写真-3**に示すようにホイールトラッキング試験用型枠の半分（幅15×奥30×厚5cm）に160℃の合材を投入してローラコンパクタを用いて締固めた後、この締固めた供試体の温度が**表-5**に示す温度に達したときに、残りの半分に160℃の合材を投入しローラコンパクタで締固める方法で供試体を作製し、ホットジョイント、セミホットジョイント、コールドジョイント¹¹⁾を再現した。

また、再現したコールドジョイントの上部には、追跡調査によって確認された各種補強対策を**写真-4**の例に示すように、5cm幅一定で補強した供試体を作製した。作製した供試体の一覧表を**表-5**に示す。

b) ジョイント部再現供試体の密度分布

表-5に示す再現施工ジョイント部の中で、補強を実施していないジョイント部の締固め度を確認するため、**写真-3**に示すような位置をφ100mmのコアカッターで抜き取り、乾燥させた後にノギス法で密度を測定した。

各ジョイント部の締固め度の測定結果を**図-8**に示す。

尚、各供試体の全体締固め度は、マーシャル基準密度に対して99.4～99.7%の範囲になるように作製した。

図-8より、事前打設した供試体半分の温度が低下すると、供試体全体の締固め度がほぼ一定であるのに対してジョイント部の締固め度が低下してしまうことが分かる。

このジョイント部の締固め度の傾向は、135℃を下回ると勾配が急になることが分かる。これは、人力施工箇所**図-2**の結果から明らかになったように、事前打設した供試体の温度が低下すると、次に打設する合材の温度が吸熱され、ジョイント部の締固め特性が低下してしまうことが要因である。

表-5 ジョイント部再現供試体一覧

ジョイントの分類	事前打設した供試体半分の温度	補強方法
なし	通常	通常
ホットジョイント	160℃	なし
セミホットジョイント	120, 90, 60℃	なし
コールドジョイント	30℃	なし
		PKR-Tと砂
		樹脂モルタル
		成型目地材（高弾性タイプ厚さ2mm） 特殊アスファルト乳剤（脱水反応型樹脂配合）

c) 施工ジョイント部の接着性の確認

前記b)で確認されたように、施工ジョイント部の締固め度低下が発生した場合、舗装間の接着性低下が発生してしまうことが予測される。

このため、再現ジョイント部で曲げ試験治具の載荷が行えるように、**表-5**に示した供試体の**写真-4**に示す位置をコンクリートカッターで幅15×奥30×厚5cmに切り出し、舗装試験法便覧に準拠して-10℃で曲げ試験¹²⁾を実施した。このとき、追跡調査によって確認された各施工ジョイント補強対策の効果を舗装表面の引張り特性で確認することを目的とし、通常の曲げ試験と異なり、供試体上部が下になるようにして試験を実施した。

曲げ試験によって得られた曲げ強度を**図-9**に、曲げひずみを**図-10**に示す。

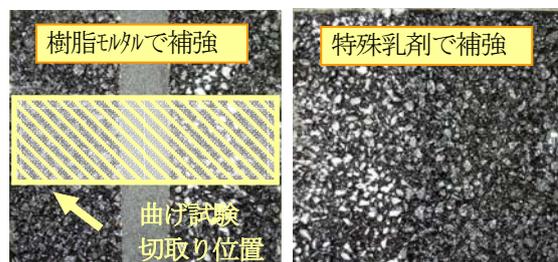


写真-4 施工ジョイント部の補強対策例

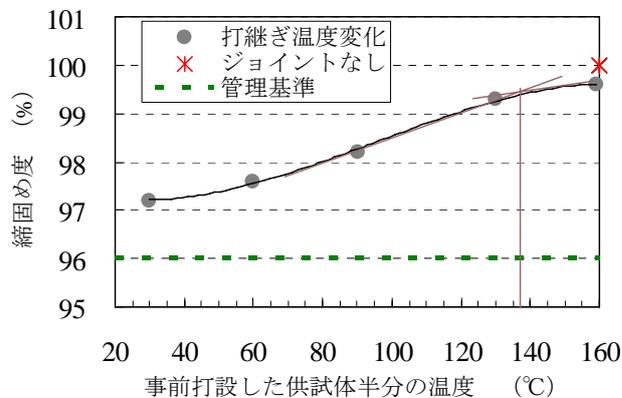


図-8 温度変化させて作製したジョイント部の締固め度

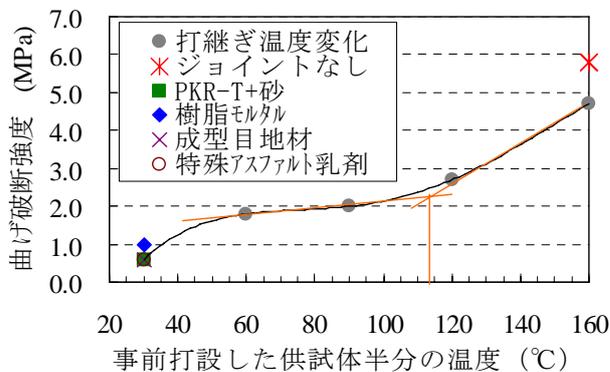


図-9 施工ジョイント部の曲げ強度特性

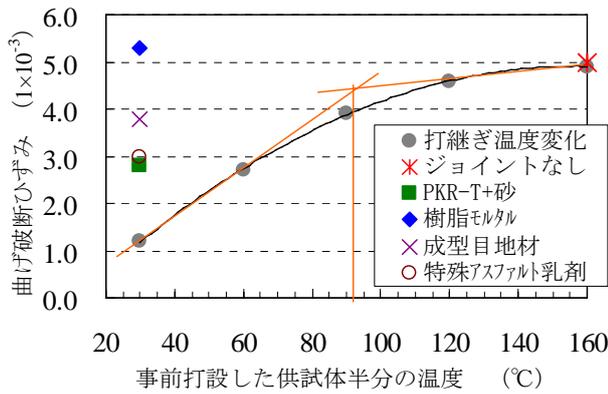


図-10 施工ジョイント部の曲げひずみ特性

図-9および図-10より、施工ジョイント部があると明らかに曲げ強度および曲げひずみが低下することがわかる。曲げ強度の低下は、事前打設した供試体温度が115°C程度までは大幅に低下するものの、115°C~60°Cまではほぼ一定になり、60°C以下になると急激に低下する傾向である。曲げひずみの低下は、120~90°Cまでは緩やかな低下だが、90°C以下になると低下傾向が大きくなることが分かる。

これは曲げ強度に影響する因子として骨材の噛み合わせ効果が挙げられることから、事前打設した混合物が115°C以下になると、温度低下および締まった状態になることによって締固め工程でニーディング作用が起こりにくくなり、新たに打設する混合物と骨材の噛み合わせが発生しにくくなることが要因であると判断できる。このことは前記b)でジョイント部の締固め度が低下していることから理解できる。

また、追跡調査によって確認された各施工ジョイント部の強化方法は、曲げ強度について大きな差が生じないが、曲げひずみについては大きくなっていることが分かる。これは、施工ジョイント部にひずみ(変位)が発生した場合、これに追従することによって、ひび割れ(目開き)破損が発生してしまうのを抑制する機能が付加されたと判断できる。

ここで、各施工ジョイント部の強化方法の中で最も有効なのは、樹脂モルタルによるジョイント補強であった。

d) 施工ジョイント部の骨材飛散抑制効果の確認

前記b), c)によって、施工ジョイント部は、特にコールドジョイントにおいて密度が低下すると伴に舗装間の接着強度が低下してしまうことが確認された。

このように密度および接着強度低下が発生した場合に追跡調査で確認された骨材飛散抑制効果の低下が発生するかについて、ねじれ抵抗性試験によって確認した。

試験供試体は、表-5の中からジョイントなし、ホットジョイント、コールドジョイント、コールドジョイントを補強したものを選択した。

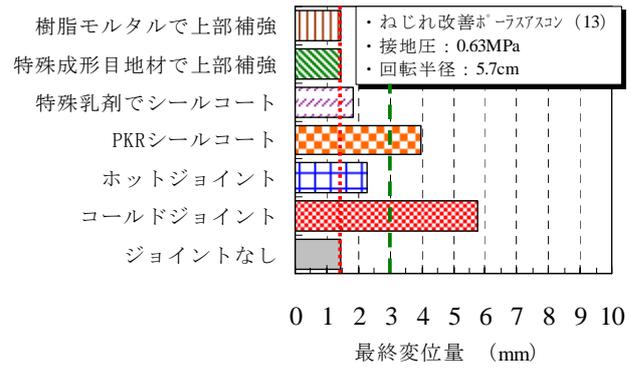


図-11 ねじれ抵抗性試験結果

ねじれ抵抗性試験結果を図-11に示す。

図-11より、施工ジョイント部は、コールドジョイントにおいて、大幅に骨材飛散抑制効果が低下してしまうものの、ホットジョイントの場合、大きな低下がないことが分かる。ここで追跡調査によって確認された施工ジョイント部の骨材飛散現象は、コールドジョイントであったために発生したと判断できる。

この現象は、曲げ試験と同様に施工ジョイント部では、事前打設した舗装の温度が低下すると骨材の噛み合わせ効果が減少すること、および人力施工箇所の検証結果である図-6からも分かるようにジョイント部の締固め度が低下してしまうことが要因であると判断できる。

しかしながら、このように骨材飛散抑制効果が低下してしまう施工ジョイント部において、追跡調査で確認された補強対策を実施すれば、図-11から明らかなように、骨材飛散現象を抑制することが見出された。このとき各施工ジョイント補強対策は、段差擦り付け補修で使用実績のある樹脂モルタル補強および橋面防水の端部処理に使用する高弾性タイプの成型目地材補強したものが、ジョイントなしと同程度まで骨材飛散抑制効果が向上する。

これは、排水性舗装の骨材飛散現象が、アスファルトの骨材把握力と粗骨材の噛み合わせ力より大きなねじれ力加わったときに、粗骨材が大きく変位してもぎ取られる現象であると考えた場合、施工ジョイント部を補強すると次に示す要因から骨材飛散抑制効果が向上すると推測できる。

- ① 施工ジョイント部は、締固め度が低下すると粗骨材の噛み合わせが不足する。各補強材料を施工ジョイント部に充填することによって、この現象を見かけ上補足することができる。
- ② 施工ジョイント部は、締固め度が低下すると粗い状態になり、車両タイヤとの引っ掛りが多くなる。各補強材料を充填することによって、施工ジョイント部が密な状態になり、この現象を軽減することができる。

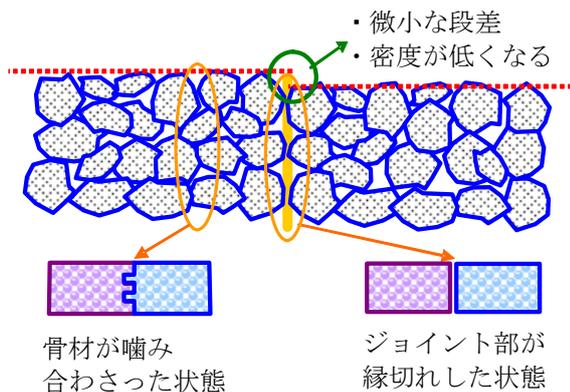


図-12 施工ジョイント部に発生した舗装状態の概略図

- ③ 各補強材料を充填することによってひずみに対する追従性が向上し、ねじれ力によって起こる粗骨材の変位に追従することが可能になる。
- ④ 環境温度変化による舗装の伸縮¹³⁾や車両通過による繰返し応力によって施工ジョイント部にひずみが蓄積されると目開き（ひび割れ）破損が発生するが、これによって、骨材飛散現象が促進されてしまうと考えられる。ひずみに対する追従性が高い各補強材料を充填することによって、目開き破損の発生を抑制することができる。

e) 施工ジョイント部の破損要因の特定

前記a), b), c), d)の室内検証から、施工ジョイント部では、事前打設した舗装温度が低下するとジョイント部の締固め度が低下すると共に、骨材噛み合わせ効果も減少し、曲げ試験後供試体の観察から判断すると図-12に示す状態になることが分かる。

施工ジョイント部が図-12のような状態になった場合、c), d)で確認されたジョイント部の強度低下が発生し、骨材飛散が発生することが確認されたものの、追跡調査で確認された補強対策を実施すればこの現象を十分抑制することが可能であると判断できる。

4. 結論

横浜市で適用されたねじれ改善ポーラスアスコンの追跡調査の結果、供用路線の交差点付近特有の交通規制や複雑な施工区間の形状に起因して発生してしまう人力施工区間および施工ジョイント部に対策を実施しなければ、骨材飛散が発生する問題を見出すことができた。

この2つの問題について室内検証した結果をまとめて示すと共に、この明らかになった問題点を踏まえて今後の施工に際しての実施可能な対応策を次に示す。

(1) 人力施工箇所の問題点

人力施工箇所の問題点検証によって見出されたことを

次に示す。

- ① 特に冬期施工において、人力施工区間は、機械施工区間より舗装表面の温度低下が起こりやすいこと、合材敷設時の初期転圧がないこと、転圧機械の締固め特性に起因して、舗装表面が下面より密度が低くなる。
- ② 舗装表下面の締固め度の差は、最大で10%程度と大きくなるものの、温度がある程度確保された状態でニーディング作用を起こせる締固め機械で転圧すれば、その密度差が4%程度まで縮小することができる。
- ③ 舗装端部は、吸熱作用によって密度が低下する。
- ④ ねじれ改善ポーラスアスコンは、170℃程度の高温度においては、一般のポーラスアスコンと締固め特性が変わらないが、その温度以下になると急勾配で締固め特性が低下する。
- ⑤ ねじれ改善ポーラスアスコンは、マーシャル基準密度に対して締固め度が97%以下になると急激に骨材飛散抑制効果が低下する。
- ⑥ 前記事項から、人力施工箇所の骨材飛散現象は、舗装全体では管理基準を上回る密度が確保されているものの、舗装表面の密度が低下してしまったことで発生したと言える。

(2) 施工ジョイント部の問題点

施工ジョイント部の問題点検証によって見出されたことを次に示す。

- ① 施工ジョイント部は、事前舗設していた温度が135℃を下回っていると、次に打設する合材温度が確保されていても施工ジョイント部の締固め度が低下する。
- ② 施工ジョイント部の接着性能は、事前打設した舗装の温度が115℃以上確保されていないと、新たに打設する合材温度が160℃以上確保されていても低下する。
- ③ 施工ジョイント部の骨材飛散抑制効果は、コールドジョイントになると大幅に低下する。
- ④ 前記事項から、施工ジョイント部の骨材飛散現象は、事前打設した舗装への吸熱による温度低下や骨材の噛み合わせ効果が減少することに起因して、舗装強度が低下することが要因である。
- ⑤ 施工ジョイント部の強度低下は、追跡調査で確認された樹脂モルタルおよび成型目地材による補強対策を実施すれば、ジョイント部のひずみに追従することでひび割れを抑制し、骨材飛散抑制効果が改善される。

(3) 問題点の対応策

ねじれ改善ポーラスアスコンの骨材飛散抑制効果は、合材温度が確保されている状態で、締固め度が98%以上確保することを目標にし、ニーディング作用を働かせた転圧を行うこと、および車両タイヤ軌跡部に施工ジョイ

ントを設置しないことによって発揮できることがわかった。

これらのことを踏まえて、横浜市として実施できるねじれ改善ポーラスアスコンを施工する際の問題点の対応策を次に示す。

- ① 重機施工がスムーズに行える範囲で施工計画を立てる。
- ② 合材温度低下が起りにくい夏期施工を念頭に計画を立てる。
- ③ ねじれ改善ポーラスアスコンの材料特性を施工業者に啓発し、事前協議を十分に行う。
- ④ 大型車両の走行軌跡方向の施工ジョイントを避ける設計を行う。
- ⑤ 車両規制の関係で施工ジョイントを設置する場合は、樹脂モルタルなどで補強する。

5. おわりに

ねじれ改善ポーラスアスコンは、追跡調査および室内試験の結果、幾つかの対策を行えば交差点付近に発生する骨材飛散を大きく抑制できることを見出した。

また、本追跡調査の中で、排水性舗装の骨材飛散現象は、交差点付近のみで発生している現象ではなく、路上駐車が頻繁に発生する箇所および車両出入口などにも発生していることが確認されている。

これらのことから、今後、本報告で見出したねじれ改善ポーラスアスコンの問題点を考慮して適用拡大を検討していく所存である。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：排水性舗装技術指針（案），pp.1-7, 1996.
- 2) 村山雅人：排水性舗装の骨材飛散の実態とその対策，舗装38号12月，pp.18-21, 2003
- 3) 北村一男，前田利明，村山雅人：09201 ネジレ抵抗性改善高粘度改質アスファルトの開発，第25回日本道路会議，pp.402-403, 2003.
- 4) 遠藤孝司，後藤雅明，樋口貴裕：9118 ディストリビュータ車で散布する排水性舗装の保護強化材料について，第24回日本道路会議，pp.236-237, 2001.
- 5) 田中敏弘：駐車場における高機能舗装の骨材飛散対策について，舗装39-7, pp.6-7, 2004.
- 6) 建設図書：第1巻舗装技術の質疑応答，pp.141-144, 1972
- 7) 社団法人日本道路協会：3-1-4T ジャイレトリー試験機によるアスファルト混合物の締固め試験方法，pp.163-174, 1998.
- 8) 建設図書：第7巻（下）舗装技術の質疑応答，pp.178-182, 2003.
- 9) 池田拓哉：SHRP で提案された新しい配合設計方法，舗装32-10, pp.24-29, 1997.
- 10) 建設図書：第1巻舗装技術の質疑応答，pp.130-131, 1972.
- 11) 建設図書：第1巻舗装技術の質疑応答，pp.152-155, 1972.
- 12) 社団法人日本道路協会：舗装試験法便覧，3-7-5 曲げ試験方法，pp.562-571, 1988.
- 13) 建設図書：第7巻（上）舗装技術の質疑応答，pp.58-60, 1997.

VALIDATION OF AGGREGATE STRIPPING PHENOMENON OF POROUS ASPHALT PAVEMENT FROM FOLLOW-UP SURVEY

Naoki UESUGI, Tetsukazu KIDA and Shinji OKASAKI

Yokohama City has been introducing new porous asphalt mixture using modified asphalt with high viscosity and torsional resistance since 2001, to restrain aggregate stripping problem of porous asphalt pavement at intersection. According to the follow-up survey conducted in 2004, aggregate stripping is almost restrained except the place done by manual work and at the part of pavement joint. This aggregate stripping is replicated and validated at laboratory. As a result, insufficiency of the strength is observed which is specific to the asphalt mixture applied at intersection.