

排水性舗装の摩耗特性に関する一考察

黒田 智¹・郡司保雄²・加藤義輝³

¹ 正会員 工修 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

² 正会員 ニッポメックス株式会社 代表 (〒331-0052 埼玉県大宮市三橋 6-70)

³ 非会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

排水性舗装は、その普及展開にともないさらなる高度化が求められている。中でも、積雪寒冷地への適用においては、摩耗抵抗性が重要な課題となっている。現在、タイヤチェーン等による摩耗が懸念される箇所への適用においては、通常の配合試験を実施したのち、チェーン型のラベリング試験を実施し、耐久性の確認を行っているのが現状である。本報告では、現在までに実施した排水性舗装のラベリング試験の結果と配合上の要因の関係をとりまとめた。その結果、望ましい使用骨材ならびに配合上の方向性をみいだすことができた。

KeyWords : porous asphalt concrete, ravelling test, mix design, Los Angeles abrasion, soft particles in aggregate, voids of mineral aggregate

1. はじめに

排水性舗装は、安全で快適な走行や沿道環境の保全に寄与できる舗装として、急速に施工面積を延ばしている。さらに最近では、その排水機能に着目し、ヒートアイランドや都市型洪水の抑制に関する検討など、多機能化も図られている。

排水性舗装は、施工面積の増加とともに基本的な技術はほぼ確立されてきたものの、さらなる普及・展開に向けて、いくつかの課題が残されている。中でも、積雪寒冷地におけるタイヤチェーン等による摩耗抵抗性に対する要求は、摩耗にともなう間隙づまりとあわせて、重要な課題となっている。

現在、タイヤチェーン等による摩耗が懸念される箇所への適用においては、通常の配合試験を実施したのち、チェーン型のラベリング試験を実施し、耐久性の確認を行っているのが現状である。

本検討は、現在までに実施してきた既往の排水性舗装のラベリング試験の結果と各種特性の要因の関係を明らかにし、耐摩耗性を備えた排水性舗装の望ましい材料・配合条件で考慮すべき事項を検討するものである。

2. 既往の摩耗対策

これまでのアスファルト混合物(以下、アスコン)の摩耗対策¹⁾は、アスファルトに対する75 μ m 以下の通過量の比率(以下、F/A)を多くする、アスファルト量を多くするといった改良で、アスファルトモルタル(以下、アスモル)自体の耐摩耗性と粗骨材の把握力を高めてきた。

しかし、排水性舗装のような開粒度タイプのアスコンは、粗骨材間隙を充填しているアスモルの量に対して、舗装表面に露出した粗骨材の割合が多く、従来の対応での摩耗対策は期待できない。

したがって、骨材飛散が生じやすく、摩耗特性が実質上最も懸念される排水性舗装は、その開発当初から数々の検討がなされてきた。

まず、排水性舗装の混合物性状のうち、空隙率との関係においては、空隙率の増加にともない摩耗量も増加する結果が得られており²⁾³⁾⁴⁾、特に、空隙率20%前後で摩耗量は急激に増加すること⁵⁾、排水性舗装用混合物の耐久性にかかわる諸性状は空隙率に支配されること⁶⁾、などが知見として得られている。日本道路公団においては、積雪寒冷地において耐摩耗性を有する場合は、設計要領⁷⁾において、設計空

表-1 本検討に用いた排水性舗装の配合と特性値

最大粒径(mm)			13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
配 合	粗骨材(6号碎石)		80.9	82.0	81.1	81.0	79.0	84.9	81.0	79.1	79.8	78.6	79.2	79.7	79.5	82.0	80.0	83.0	83.0	
	細骨材(粗 砂)		14.0	12.0	13.1	13.0	16.1	10.0	14.0	15.4	15.5	16.4	15.8	15.3	15.5	13.5	15.0	12.5	12.5	
	フィラー(石粉)		5.1	6.0	6.0	6.0	5.0	5.1	5.0	5.5	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	4.5	5.0	4.5	4.5	
	As量(外 割)		5.3	5.3	5.3	5.2	5.6	5.3	5.0	4.9	5.1	5.1	5.0	5.1	4.8	5.1	5.0	5.1	5.0	
使用As	名 称		高粘度改質アスファルト																	
	60℃粘度(Ps・s)		10×10 ⁴ 以上																	
合成粒度	通過質量百分率 (%)	13.2mm	96.8	96.7	99.2	99.2	98.7	98.7	98.9	98.2	99.8	100.0	94.2	95.1	98.6	97.7	96.6	97.7	97.7	
		9.5	69.3	64.1	65.0	65.0	75.7	75.7	78.5	69.4	77.7	79.9	68.3	71.1	72.3	63.2	66.5	62.7	62.7	
		4.75	21.8	20.3	23.5	23.5	25.3	25.3	19.0	22.7	23.0	22.2	25.4	24.0	22.0	19.3	21.4	18.3	18.3	
		2.36	19.1	19.0	19.1	19.1	19.5	19.5	15.6	20.0	19.5	20.0	19.0	19.0	19.5	16.6	18.6	15.7	15.7	
		1.18	15.6	17.2	14.6	14.6	15.1	15.1	—	—	—	—	—	—	—	—	13.6	—	—	
		0.6	13.0	11.8	11.5	11.5	11.4	11.4	8.9	10.3	13.6	12.2	10.8	12.2	14.5	10.2	8.2	9.8	9.8	
		0.3	9.7	7.2	9.1	9.1	8.0	8.0	6.8	7.3	9.2	7.2	7.5	7.5	9.7	7.6	6.1	7.4	7.4	
		0.15	6.1	5.9	7.2	7.1	6.1	6.1	5.6	5.8	5.4	5.6	5.3	5.1	5.8	5.5	5.2	5.5	5.5	
		(%)		6.1	5.9	7.2	7.1	6.1	6.1	5.6	5.8	5.4	5.6	5.3	5.1	5.8	5.5	5.2	5.5	5.5
			0.075	4.5	5.0	5.5	5.9	4.6	4.6	4.3	4.5	4.5	5.0	4.7	4.6	4.4	4.4	4.3	4.4	4.4
マーシャル特性	密度(g/cm ³)		2.093	2.038	2.038	2.052	2.048	2.003	1.994	2.076	2.078	2.081	2.078	2.081	2.072	2.039	2.052	2.025	2.036	
	全体空隙率(%)		17.3	17.8	17.8	17.0	16.8	19.7	20.0	17.1	17.2	17.0	17.1	17.0	17.2	20.1	17.0	20.4	20.1	
	安定度(kN)		5.4	5.7	6.1	—	5.1	5.1	6.0	7.4	8.1	8.0	9.1	8.0	7.4	8.0	6.6	8.7	9.1	
混合物特性	低温カンパロ損失率(%)		17.8	18.3	19.1	16.1	14.1	9.2	—	13.3	12.2	9.4	11.3	—	15.5	33.6	19.0	21.1	18.6	
	カンパロ摩耗量(cm ²)		0.74	0.92	0.74	0.61	0.97	1.09	1.15	0.71	0.68	0.93	0.66	1.00	0.78	1.54	0.93	1.39	1.33	

注1) マーシャル特性は、モールド直径10.16cm、突き固め50回の結果。

注2) 混合物特性のうち、低温カンパロ損失率はカンパロ試験(-20℃)、動的安定度はホイールトラッキング試験(60℃)、ラベリング摩耗量は往復チェーン型ラベリング試験(-10℃、サイドチェーン)の結果。

注3) 表中の「—」は、試験を行っていないことを示す。

隙率を17%としている。

カンタブロ試験の結果であるカンタブロ損失率との関係においては、カンタブロ損失率の増加にともない摩耗量も増加し、その両者間には強い相関がある⁶⁾との結果が得られており、また、骨材飛散をともし摩耗抵抗性の評価に、カンタブロ試験の有用性をあげている⁸⁾。

一方、使用材料のうち、骨材との関係においては、粗骨材量が少ないほど摩耗量が小さい結果⁹⁾¹⁰⁾や、最大粒径が20mmと13mmの排水性舗装の検討において、最大粒径が大きいほど摩耗量が小さい結果¹¹⁾¹²⁾¹³⁾が得られており、いずれも試験施工の追跡調査により良好な結果が得られたとしている。

バインダーであるアスファルトの性状との関係においては、耐久性にかかわる諸性状はアスファルトの60℃粘度に支配されること⁶⁾、アスファルトの低温下の伸び能力を向上させることで耐摩耗性を向上させることができる⁴⁾などの結果が得られている。また、バインダー膜厚の確保によって一定の骨材間の結合力が得られ、膜厚の確保により耐摩耗性を向上できる⁵⁾とした結果も得られている。

以上をまとめると、排水性舗装の摩耗対策は、

①使用材料面

- ・アスファルトの60℃粘度等を改良する。
- ・アスファルトの膜厚を確保する。
- ・大きな粗骨材を用いる。

②配合面

- ・設定空隙率を下げる。
- ・カンタブロ損失率の低い配合を見いだす。
- ・粗骨材量を少なくする。

などがあげられ、これら対策は、当然、排水性舗装の本来の機能である排水機能・騒音低減機能ほか、コスト等を勘案し、適用されることになる。

3. 摩耗特性に関する要因の検討

(1) 目的

現在、タイヤチェーン等による摩耗が懸念される箇所へ排水性舗装を適用する際の配合設計においては、カンタブロ試験等を含む通常の配合試験を実施したのち、チェーン型のラベリング試験を実施し、耐摩耗性の確認を行っているのが現状である。

ここで、耐摩耗性が確保できないときは、前章で述べたような、①使用材料面や②配合面からの対策が必要となる。

しかしながら、上記で述べたような、一連の配合試験は、ラベリング試験のような耐久性試験も含めるとその過程は煩雑であり、合理化が望まれる。

本検討の目的は、現在までに実施してきた既往の排水性舗装のラベリング試験の結果と各種特性の要因の関係を明らかにし、耐摩耗性を備えた排水性舗装の望ましい材料・配合条件で考慮すべき事項を検討するものである。

(2) 検討の方法

本検討では、平成11年4月から平成12年6月までに実際の工事へ適用した排水性舗装の配合検討例について、摩耗特性と使用骨材の性状、混合物特性

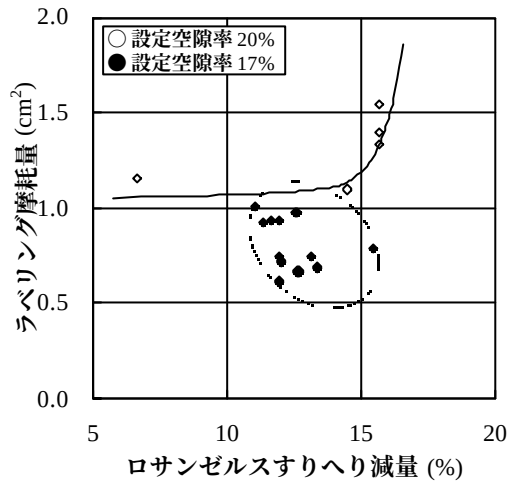


図-1 ロサンゼルスすりへり減量との関係

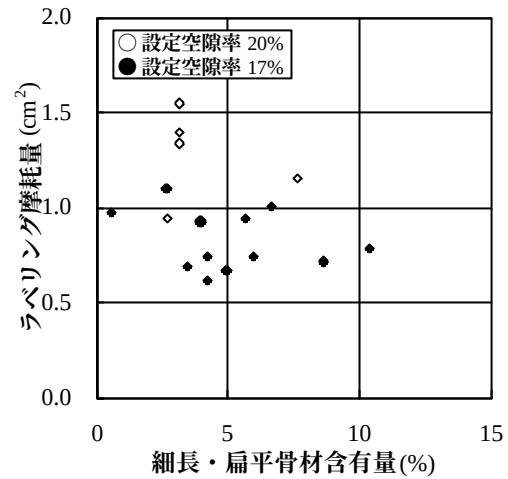


図-3 細長・扁平骨材含有量との関係

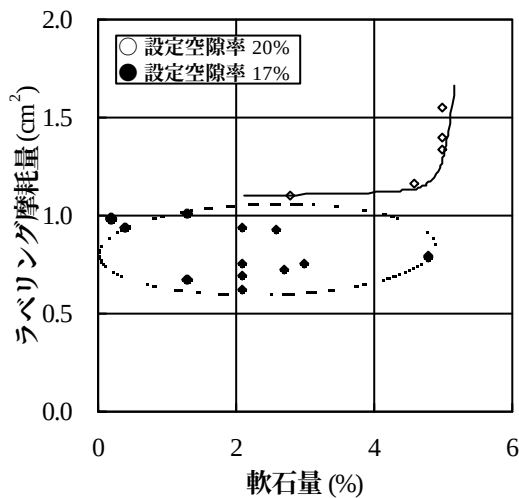


図-2 軟石量との関係

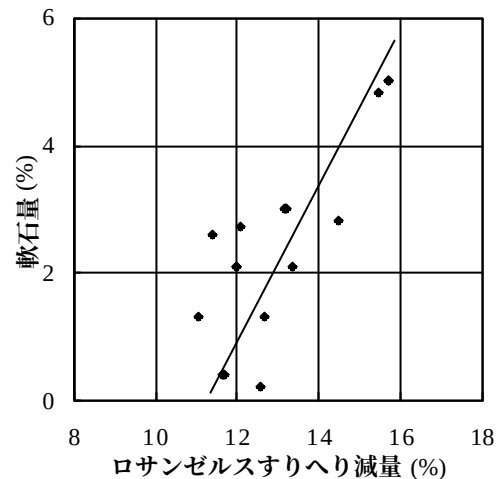


図-4 ロサンゼルスすりへり減量と軟石量との関係

などの各種特性との相関をみた。

本検討に用いた、各排水性舗装の配合と主な特性値を表-1に示す。

なお、摩耗特性については、「舗装試験法便覧((社)日本道路協会編)」に準じ、往復チェーン型のラベリング試験(試験温度-10℃、試験時間1.5時間、サイドチェーンを使用)の結果とした。

(3) 検討結果と考察

各種特性と排水性舗装の摩耗特性との相関結果とその考察は、以下のとおりである。

a) 骨材性状と摩耗特性との相関

図-1は、使用した6号砕石のロサンゼルスすりへり減量(以下、LA減量)と摩耗量との関係である。今回のデータからは、設定空隙率17%では、LA減量の影響はみられないが、空隙率が20%では、LA減量が15%程度を超えると摩耗特性低下の傾向がみられる。過去の密粒タイプの混合物の検討¹⁴⁾では、

LA減量とチェーン式ラベリング試験による摩耗量に相関はみられていないが、粗骨材が表面全面に露出した排水性舗装では、粗骨材のフレッティングも起こり、粗骨材のかたさが摩耗特性に影響を与えていることがわかる。

図-2は、軟石量と摩耗量との関係である。LA減量の場合と同様に、今回のデータからは設定空隙率17%では、軟石量の影響はみられない。空隙率が20%では、軟石量が5%程度を超えると摩耗特性低下の傾向がみられ、この5%という値は、アスファルト舗装要綱¹⁾における砕石の有害物含有量の目標値に一致する。

図-3は、細長・扁平骨材含有量と摩耗量との関係である。文献¹⁵⁾では、細長・扁平骨材含有量の高い粗骨材の使用による、排水性舗装の耐久性への影響を指摘しているが、今回の結果からは、摩耗特性との関係はみられない。これは、ラベリング試験の結果では、細長・扁平骨材の破碎の現象が起こりにくい

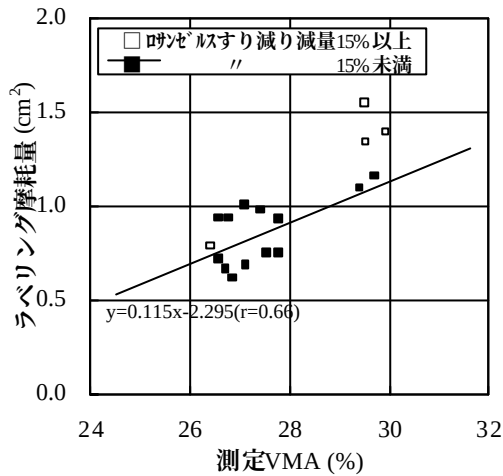


図-5 測定 VMA との関係

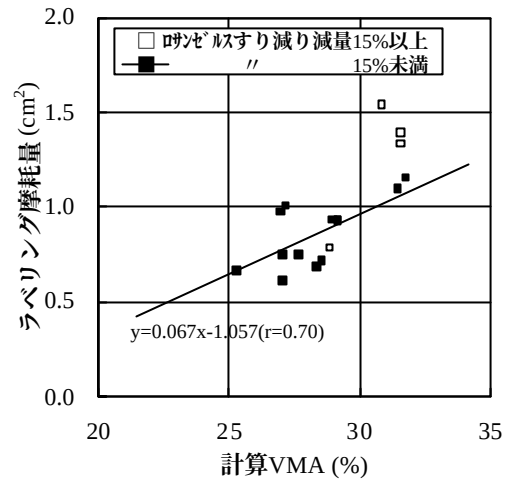


図-7 計算 VMA との関係

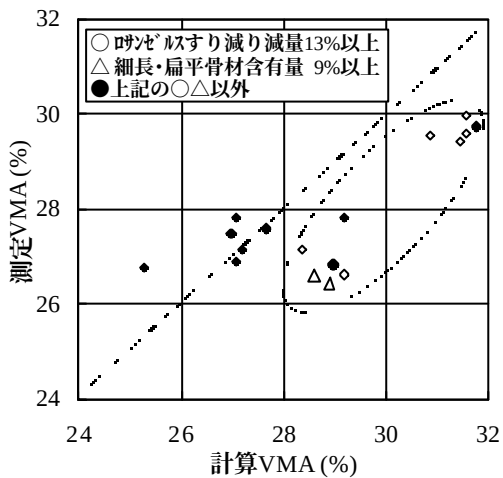


図-6 計算 VMA と測定 VMA の関係

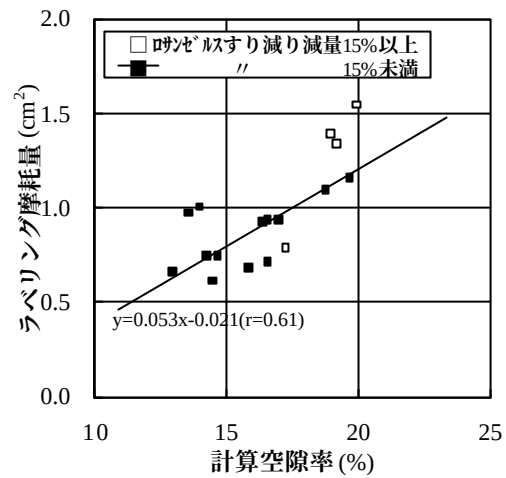


図-8 計算空隙率との関係

ことによると考えられる。

以上の結果より、排水性舗装の摩耗特性は、空隙率 20%程度では、使用する粗骨材の LA 減量や軟石量の影響を受けるため粗骨材の選定が必要なこと、粗骨材の選定が不可能な場合は、空隙率を 17%程度まで低下させることで対応できることが明らかとなった。

なお、今回検討した粗骨材の LA 減量と軟石量の関係は図-4に示すとおりであり、一定の関係が認められる。今後の粗骨材選定においては、軟石量を測定する簡易な判定方法が有効になると思われる。

b) 骨材配合と摩耗特性との相関

図-5は、各混合物におけるノギスによる密度測定から求めた骨材空隙率（以下、測定 VMA）と摩耗量の関係である。ここでは、粗骨材のフレッティングによる要因を除くため、LA 減量が 15 % 以上と以下に分け、整理した。測定 VMA と摩耗特性には関係が認められ、測定 VMA を小さくすることで耐

摩耗性は向上することがわかる。これは、測定 VMA が小さいほど、粗骨材相互の接点が増すことでバインダーによる骨材間の結合力（骨材の飛散抵抗性）が増すことによるものと考えられる。

ここで、本検討の目的のひとつである、配合試験の合理化の観点から、筆者のひとり（郡司）らが提案¹⁶⁾¹⁷⁾している「空隙率計算式」に基づいて、本検討に用いた 17 件の排水性舗装の骨材粒度、比重、配合比率から骨材間空隙率の計算（以下、計算式により求まる推定骨材間空隙率を計算 VMA と称する）を行った。

図-6は、計算 VMA と測定 VMA の相関である。計算 VMA と測定 VMA は、図中のような分布がみられるが、排水性舗装の場合では、測定 VMA が計算 VMA よりも小さい配合がみられた。LA 減量が大きく、細長・扁平骨材含有量が多いほど（図-6中の丸で囲んだ領域）この傾向は大きいことから、マーシャルランマで突き固められた排水性舗装は、粗

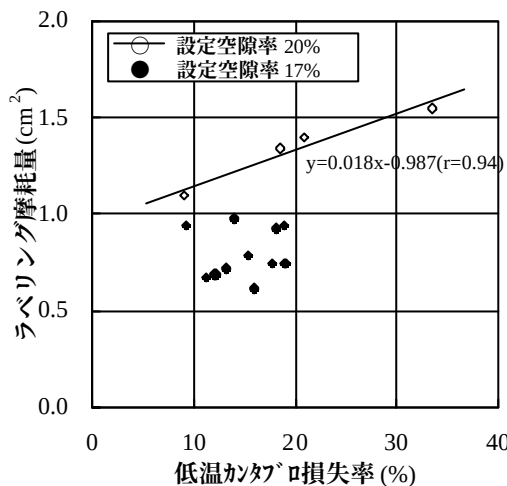


図-9 低温カンタブロ損失率との関係

骨材の破碎による細粒化がおこっているものと思われる、これは、筆者のひとり（郡司）らが文献¹⁷⁾で指摘している粗骨材の接触点破壊の影響と考えられる。実施工ならびにラベリング試験供試体における舗装の締固めは、ローラによるニーディング作用であることを勘案すると、計算 VMA も摩耗特性との関係において妥当であると判断され、計算 VMA と摩耗特性との関係は、図-7に示すとおりである。例えば、ラベリング摩耗量が 1.0cm^2 以下を目標値と考えると計算 VMA は 30%以下が望ましく、使用骨材の選定ならびにそれらの配合比の適否を事前に判定する目安となる。

図-8は、同計算式から算出される計算空隙率と摩耗特性の関係であり、空隙率からの予測判定も同様に有効とみなせる。

c) その他の性状と摩耗特性との相関

図-9は、低温カンタブロ試験（試験温度 -20°C ）の結果であるカンタブロ損失率と摩耗特性との関係である。空隙率 17%においては、カンタブロ損失率、摩耗特性ともに一定の範囲内にあり、明確な相関はみられない。空隙率 20%においては、既往の報告⁶⁾のように、カンタブロ損失率が大きいほど耐摩耗性は低下する傾向がみられ、カンタブロ試験は、粗骨材のフレットングも含め、摩耗特性を判断する評価値となる。

図-10は、混合物の F/A と摩耗特性の関係である。ここでは、粗骨材のフレットングによる要因を除くため、LA 減量が 15%以上と以下に分け、整理した。排水性舗装のような開粒度タイプのアスコンは、粗骨材間隙を充填しているアスモルの量が少なく、フィラービチューメンの効果は期待できないと考えられるが、混合物の F/A と摩耗特性には関係がみられ、F/A が大きいほど、耐摩耗性は向上する

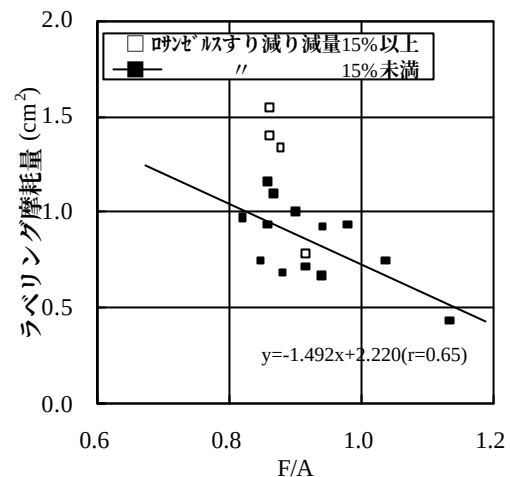


図-10 F/A との関係

傾向がみられる。過去、耐摩耗性を備えた大粒径アスコンの検討¹⁸⁾において、アスモルの F/A を高めることで、アスコン自体の耐摩耗性の向上と粗骨材の把握力が向上することが明らかにされている。排水性舗装も大粒径アスコンと同様、粗骨材を骨格構造としたアスコンと考えると、フィラービチューメンの効果はあるものと思われる。

また F/A を大きくする方向性は、前項の計算空隙率と摩耗特性の検討にあわせて適用できる。

4. まとめ

耐摩耗性を考慮した排水性舗装の配合設計の合理化を目的に、現在までに実施してきた既往の排水性舗装のラベリング試験の結果と各種特性の要因の関係を見いだした。また、耐摩耗性を備えた排水性舗装の望ましい材料・配合条件で考慮すべき事項を検討した。今回の検討で得られた知見は、以下のとおりである。

- ① 空隙率 20%の排水性舗装の耐摩耗性は、粗骨材の LA 減量や軟石量の増加にともない低下する傾向がみられる。LA 減量は 15%以上、軟石量は 5%以上で耐摩耗性は大きく低下する結果となった。
- ② 設定空隙率を 17%程度に低下させた排水性舗装の摩耗特性は、チェーン型ラベリング摩耗量の値で 1.0cm^2 以下のレベルまで向上する。
- ③ VMA を小さくすることで、摩耗特性を向上できる。また、排水性舗装の VMA は「空隙率計算式」より算出でき、使用骨材の選定、配合比の適否が事前に推定可能である。

④ F/A を大きくすることで、耐摩耗性を向上できる。

5. おわりに

今回の検討では、設計空隙率 20%の事例データが少なく、一部の結果は方向性を見いだすにとどまっている。これらは、今後、データが蓄積していく中での課題としたい。さらに今後は、新たな適用での配合に、上記考慮を活かすことと、今回検討した事例について追跡調査等を行い、供用後の実態との関連を把握していきたい。

謝辞：本検討にあたり、各排水性舗装の配合設計書の提供ならびに特性試験にご協力いただいた関係各位に対し、謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：アスファルト舗装要綱，1992.
- 2) 大野滋也，田原安文：排水性舗装の追跡調査，高速道路と自動車，Vol.34，No.8，pp.34-43，1991.
- 3) 笠原彰彦，根本信行，村上 浩：耐久的な排水性舗装の構築技術の標準化に関する一提案，道路建設，No.544，pp.44-53，1993.
- 4) 浅野耕司，後藤浩二，加藤和義：排水性混合物の耐久性向上への提案，第 8 回北陸道路舗装会議技術報文集，pp.171-176，2000.
- 5) 笠原彰彦：排水性舗装用混合物の配合設計手法の検討ならびに施工における問題点，舗装，Vol.27，No.8，pp.14-22，1992.
- 6) 中西弘光，武井真一，後藤浩二：排水性舗装の機能の

- 持続性向上への提言，道路建設，No.571，pp.40-53，1995.
- 7) 日本道路公団設計要領第 1 集(舗装編)，平成 11 年 7 月.
 - 8) 田口 仁，水野卓哉，本間 悟：カンタプロ試験による排水性舗装の骨材飛散に関する検討，道路建設，No.630，pp.58-63，2000.
 - 9) 大越 衛，林 邦彦，岡井賢一，帆苅浩三：積雪寒冷地における排水性舗装の試験施工，舗装，Vol.25，No.9，pp.3-9，1990.
 - 10) 上條誠司，岡井賢一，帆苅浩三：積雪寒冷地における排水性舗装の追跡調査，第 5 回北陸道路舗装会議技術報文集，pp.171-176，1991.
 - 11) 安斎康雄，秋山典幸，白木敏明：排水性舗装の試験施工，日本道路公団技術情報，No.101，1990.
 - 12) 渡辺幸二，神谷 誠，中村 研：東北自動車道における排水性舗装，舗装，Vol.24，No.11，pp.4-9，1989.
 - 13) 新田 登，秋本 隆，辻本明人，嶋崎和夫：排水性舗装の寒冷地への適用と課題，舗装，Vol.29，No.2，pp.27-31，1994.
 - 14) 山西信雄，熊谷茂樹，上田正昭，塚原和昭，山田了士：碎石の質とアスファルト混合物の耐摩耗性，土木試験所月報，No.397，pp.1-13，1986.
 - 15) 市岡孝夫，新田弘之：排水性舗装用骨材の簡単な形状評価，土木技術資料，Vol.42，No.7，2000.
 - 16) 郡司保雄，井上武美，赤木寛一：加熱アスファルト混合物の骨材間隙率の検討，土木学会舗装工学論文集 第 4 巻，pp.143-150，1999.
 - 17) 郡司保雄，井上武美，赤木寛一：骨材粒度に基づく加熱アスファルト混合物の骨材間隙率推定法に関する研究，土木学会論文集 No.648 / V-47，pp.191-202，2000.
 - 18) 内田精一，安藤政浩，溝渕 優：表層用大粒径アスファルト混合物に関する 2, 3 の特性，舗装，Vol.24 No.10，pp.3-9，1989.

A STUDY ON THE WEARING CHARACTERISTICS OF POROUS ASPHALT CONCRETE

Satoshi KURODA, Yasuo GUNJI and Yoshiteru KATO

There is a need for further porous asphalt concrete advancement following its wide development. In the application to the snow cold district, its wearing resistance characteristic has become an important subject. At present, after the usual mix design tests, ravelling test by using chains is performed in order to confirm durability of porous asphalt concrete when applied to areas that may be worn by tire chains. This report presents all the ravelling test results and mix design that have so far been done as well as their relationship. Furthermore, since the desirable aggregate to be used and the trend of the mix design were established, they are also reported.

