

積雪寒冷地の耐摩耗性を考慮した 排水性舗装の配合に関する一考察

高畑浩二¹・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 工博 有限会社ソフィア 顧問 (〒331-0052 埼玉県さいたま市南浦和2-42-12)

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、その普及展開に伴いさらなる高度化が求められている。中でも、積雪寒冷地域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。著者らはこれまでに、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だし、摩耗抵抗性を備えた排水性舗装の望ましい材料・配合条件を検討してきた。¹⁾ 本報告では、その後実施された配合設計のデータをもとに、これを補足し摩耗抵抗性に関して再考察を行った。また、高度化技術として検討されている小粒径の排水性舗装や表面空隙にレジンモルタルを充填した排水性舗装についても、その摩耗抵抗性を検討した。その結果、望ましい使用骨材とバインダならびに配合上の方向性をみいだすことができた。

Key Words : porous asphalt concrete, raveling test, high viscosity modified asphalt, mix design, void of mineral aggregate

1. はじめに

排水性舗装は、排水機能による車両の安全走行や騒音低減効果による沿道環境への負担の軽減に寄与できることから、施工面積が急速に増加しており、社会的需要も高い。

排水性舗装の基礎的な技術は、施工面積の増加とともに飛躍的に進歩し、ほぼ確立されてきている。しかし、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、積雪寒冷地域でのタイヤチェーン等による摩耗抵抗性および骨材飛散抵抗性に対する要求は、摩耗にともなう間隙詰まりとあわせて、重要な課題となっている。

筆者らはこれまでに、既往の工事で検討された配合設計をもとに、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だし、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してきた。

本検討は、さらにその後実施された配合設計のデータをもとに、これを補足し再考察を行った。また、道路交通の低騒音化を図った小粒径の排水性舗装や、耐久性や各機能効果の持続性を図った表面空隙に透水性レジンモルタルを充填した排水性舗装²⁾についても、その摩耗抵抗性を検討することとした。

2. 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、カンタプロ試験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、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。また、高度化技術として検討されている小粒径の排水性舗装や表面空隙に透水性レジンモルタルを充填した排水性舗装についても、その摩耗抵抗性を検討する。

(2) 検討の方法

本検討では、平成11年4月から平成14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、

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
配合	粗骨材(6号碎石)	81.0	82.0	81.0	81.0	79.0	79.1	79.8	78.6	79.2	79.7	79.5	80.0	78.0	78.9	79.2	80.0
	細骨材(砂)	14.0	12.0	13.0	13.0	16.0	15.4	15.5	16.4	15.8	15.3	15.5	15.0	17.0	16.1	15.8	15.0
	フィラー(石粉)	5.0	6.0	6.0	6.0	5.0	5.5	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	As量(内 割)	5.0	5.0	5.0	5.2	5.3	4.9	5.1	5.1	5.0	5.1	4.8	5.0	5.3	5.1	5.0	5.5
使用As	名 称	一般仕様高粘度改質アスファルト															
マーシャル特性	密度(g/cm ³)	2.093	2.038	2.038	2.051	2.048	2.076	2.078	2.081	2.078	2.081	2.072	2.052	2.059	2.105	2.078	2.047
	全体空隙率(%)	17.3	17.8	17.8	17.0	16.8	17.1	17.2	16.9	17.1	17.0	17.1	17.1	16.7	17.0	17.0	17.4
混合物特性	低温カンパ [®] 損失率(%)	17.8	18.3	19.1	16.1	14.1	13.3	12.2	9.4	11.3	10.3	15.5	19.0	13.7	13.5	11.3	12.1
	ラベ [®] リング [®] 摩耗量(cm ²)	0.74	0.92	0.74	0.61	0.97	0.71	0.68	0.93	0.66	1.00	0.78	0.93	0.54	0.69	0.67	0.81
最大粒径(mm)		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)	86.6	76.7	79.0	79.5	79.8	78.0	78.5	79.8	79.8	79.8	79.5	85.0	85.0	81.0	82.0	83.0
	細骨材(粗 砂)	2.0	4.8	16.0	15.5	15.2	17.0	16.5	15.2	15.2	15.2	15.5	10.0	10.0	14.0	13.5	12.5
	フィラー(石粉)	4.5	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.5	4.5
	As量(外 割)	6.0	6.0	5.0	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	4.9	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1
使用As	名 称	一般仕様高粘度改質アスファルト															
マーシャル特性	密度(g/cm ³)	2.028	1.981	2.101	2.087	2.075	2.080	2.138	2.093	2.083	2.082	2.052	1.994	2.003	1.994	2.039	2.025
	全体空隙率(%)	17.0	17.2	16.7	16.9	17.5	17.5	16.8	16.7	17.2	17.3	18.2	19.9	19.7	20.0	20.1	20.5
混合物特性	低温カンパ [®] 損失率(%)	—	15.3	12.9	16.2	16.5	12.8	21.1	27.2	16.8	19.8	15.8	9.2	9.2	—	33.6	21.1
	ラベ [®] リング [®] 摩耗量(cm ²)	1.27	0.67	0.68	0.83	1.12	0.62	0.78	0.81	1.02	0.70	0.58	1.09	0.71	1.14	1.54	1.39
最大粒径(mm)		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)	83.0	85.0	82.0	85.0	83.0	83.0	80.7	79.8	82.2	84.0	83.0	83.6	85.0	85.0	86.0	86.4
	細骨材(粗 砂)	12.5	9.5	13.0	10.0	12.0	12.0	14.6	15.2	13.1	11.0	12.0	11.7	10.0	10.0	9.0	8.9
	フィラー(石粉)	4.5	5.5	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	5.0	4.7	5.0	5.0	4.7	5.0	5.0	5.0	4.7
	As量(外 割)	5.0	5.3	5.1	5.0	5.0	5.0	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.1	5.0	5.0	5.1	4.9
使用As	名 称	一般仕様高粘度改質アスファルト								寒冷地仕様高粘度改質アスファルト							
マーシャル特性	密度(g/cm ³)	2.036	1.967	1.981	2.024	1.990	2.021	2.204	2.091	2.171	2.077	2.069	2.149	1.995	1.991	2.013	2.080
	全体空隙率(%)	20.1	20.9	20.2	20.3	20.4	19.7	15.7	16.9	17.2	17.0	16.9	18.2	19.9	20.1	19.4	21.3
混合物特性	低温カンパ [®] 損失率(%)	18.6	15.5	—	11.9	—	—	7.6	11.0	9.0	8.6	6.7	10.6	9.2	10.4	7.3	12.9
	ラベ [®] リング [®] 摩耗量(cm ²)	1.33	0.95	0.62	0.72	0.67	0.85	0.33	0.49	0.41	0.45	0.52	0.49	0.88	0.96	0.67	0.58

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℃)、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。

摩耗特性と使用材料の性状、混合物特性などの各種特性との相関を見た。また、最大粒径 13mm より小粒径とした場合および透水性レジンモルタルを充填した場合の摩耗特性を確認した。

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をみると、以下のとおりである。

a) 粗骨材性状と摩耗特性との相関

粗骨材性状と摩耗特性の相関を検討するに当たり、バインダ性状による影響を除くために、一般に使用される高粘度改質アスファルトを用いた混合物について検討を行った。

図-1 は、使用した 6 号碎石のロサンゼルスすりへり減量 (以下、LA 減量) とラベリング摩耗量 (以下、摩耗量) の関係である。設定空隙率 17% では、LA 減量の影響はみられないが空隙率 20% では、1 点 (□で囲んだ混合物) を除いて相関がみられ、LA 減量が大きいくほど、摩耗量も大きくなる。これより、排水性舗装では粗骨材

が表面全面に露出しているため、粗骨材のフレッティングが起こり、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。なお、□で囲んだ混合物は、軟石量が 4.6% と大きいと、その影響を受けて摩耗量も大きくなったと考えられる。

図-2 は、軟石量と摩耗量の関係である。設定空隙率 17% では、LA 減量の場合と同様に、軟石量の影響はみられない。空隙率が 20% では、軟石量が 4% 程度を超えると摩耗特性低下の傾向がみられる。これは、軟石量が多いとチェーンの打撃により骨材が破碎されやすいと考えられる。

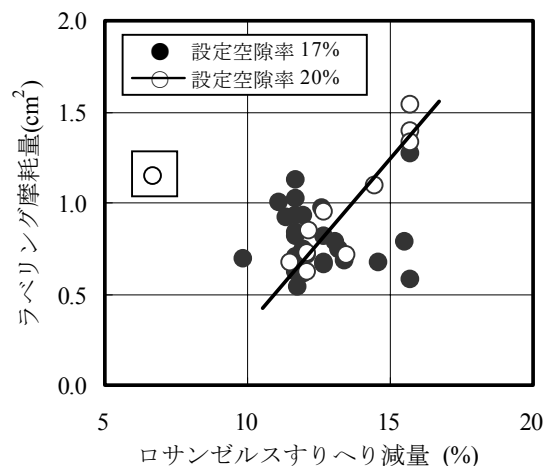


図-1 ロサンゼルスすりへり減量と摩耗量の関係

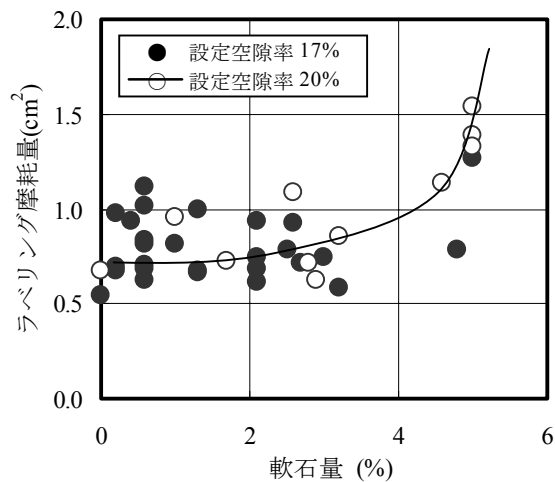


図-2 軟石量と摩耗量の関係

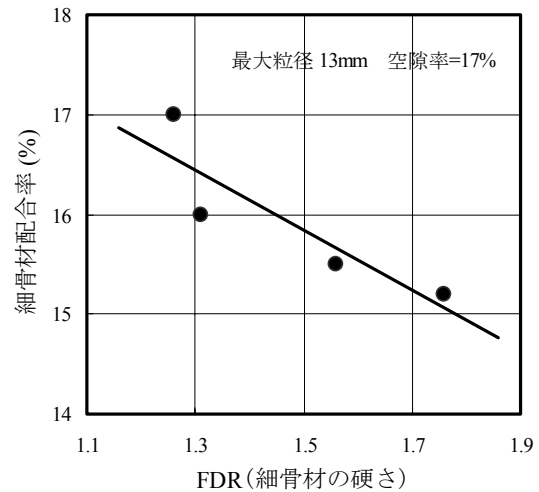


図-4 FDR と細骨材配合率の関係

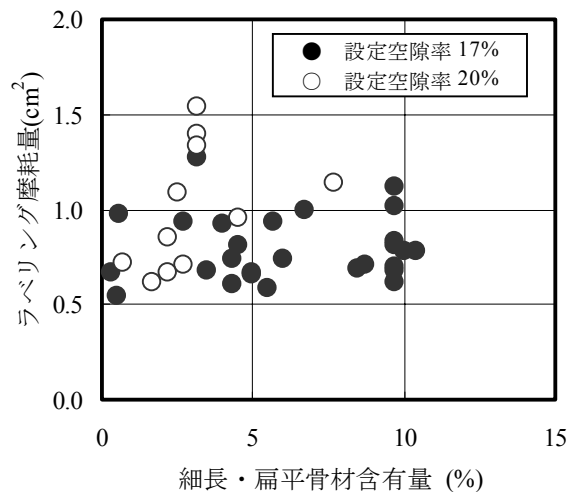


図-3 細長・扁平骨材含有量と摩耗量の関係

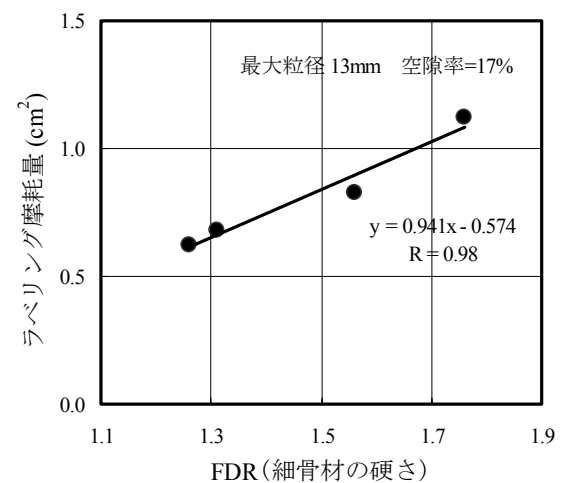


図-5 FDR と摩耗量の関係

図-3 は、細長・扁平骨材含有量と摩耗量の関係である。細長・扁平骨材とは、石片の長径／厚さ ≥ 5 のもので、文献³⁾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りにくいことによるものと考えられる。

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、粗骨材の選定が難しい場合は、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。

6) 細骨材性状と摩耗特性・骨材飛散との相関

排水性混合物の細骨材は、その配合率が粗骨材と比較して少ないことと、細骨材の品質を定量的に規定した規格が表記されていないことから、摩耗特性についての検討例は少ない。ここでは、舗装の破損を評価することが

できる細骨材の硬さ試験（以下、FDR）により、摩耗特性について検討した。なお、FDR が1.6 以上のものを使用すると、通常の加熱アスファルト混合物の品質低下が顕著にみられ、舗装の破損原因につながると言われている。⁴⁾

図-4 は、FDR と細骨材配合率の関係である。細骨材以外の骨材とバインダは同じものを使用している。FDR が大きい（軟かい）細骨材は、同じ空隙率を確保するのに、細骨材の配合率が低減する傾向にある。

図-5 は、FDR と摩耗量の関係である。FDR が大きい軟質な細骨材ほど、摩耗量は大きくなっている。これは、軟質な細骨材は配合率が低減し、アスファルトモルタル量が減量するため損失量が増加すると考えられる。

以上の結果より、細骨材の硬さが排水性舗装の摩耗特性に影響を与えるので、細骨材の選定も必要であることが明らかとなった。

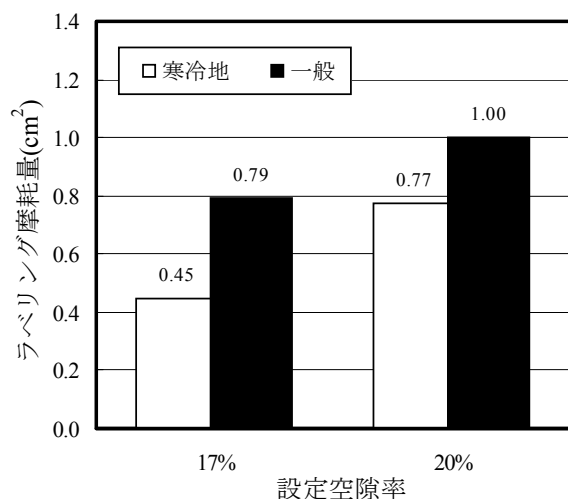


図-6 高粘度改質アスファルトと摩耗量の関係

c) バインダと摩耗特性・骨材飛散との相関

近年、高粘度バインダの改良が進み、積雪寒冷地向けの高粘度バインダが開発されている。そこで、一般仕様の高粘度改質アスファルトと寒冷地仕様の高粘度改質アスファルトについて耐摩耗性を検討した。

図-6 は高粘度改質アスファルトと摩耗量の関係を示したもので、摩耗量は、表-1 に示す一般仕様と寒冷地仕様の高粘度改質アスファルトの値をそれぞれ平均したものである。

摩耗量と損失率は、空隙率 17%および 20%とも寒冷地仕様の高粘度改質アスファルトの方が一般仕様のものよりも小さくなっている。また、摩耗量は空隙率 20%で寒冷地仕様の高粘度改質アスファルトと、空隙率 17%で一般仕様のものと同程度になっている。

以上のことより、寒冷地仕様の高粘度改質アスファルトを使用した排水性舗装は、耐摩耗性に非常に有効で、高空隙化が期待できることが明らかとなった。

d) 骨材配合と摩耗特性との相関

図-7 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間隙率（以下、測定 VMA）と摩耗量の関係である。ここでは、バインダによる影響を考慮して、一般仕様と寒冷地仕様の高粘度改質アスファルトに分けて整理した。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、骨材相互の接点が増すことでバインダ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、郡司らが提案⁹⁾している「間隙率計算式」に基づいて、本検討に用いた 48 件の排水性舗装の骨材粒度、比重、配合比率から骨材間隙率の計算（以下、計算式により求まる推定骨材間隙率を計算 VMA と称する）を行った。

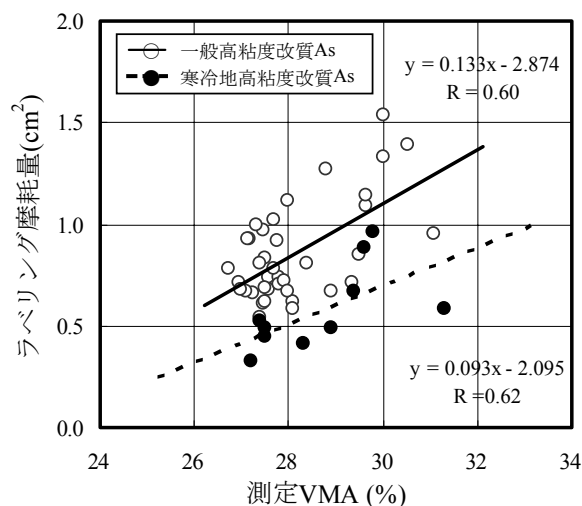


図-7 測定 VMA と摩耗量の関係

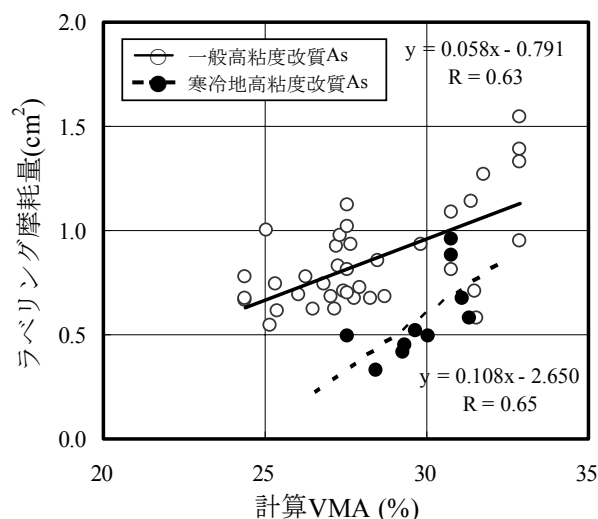


図-8 計算 VMA と摩耗量の関係

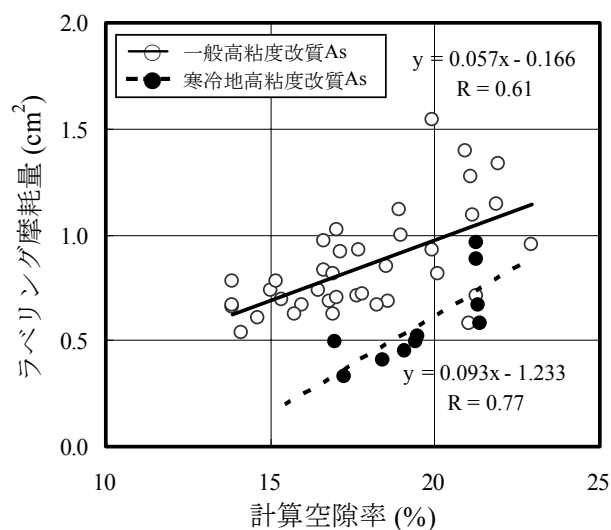


図-9 計算空隙率と摩耗量の関係

図-8は計算VMAと摩耗特性との関係である。例えば、ラベリング摩耗量が 0.7cm^2 以下を目標値と考えると、一般仕様の高粘度改質アスファルトを用いた場合、計算VMAは27%以下が望ましく、寒冷地仕様の高粘度改質アスファルトを用いた場合、計算VMAは30%以下が望ましい。このことから、計算VMAは使用骨材およびバインダの選定、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-9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。

e) 混合物特性と摩耗特性との相関

図-10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20%においては、既往の報告⁶⁾のように、カンタブロ損失率と摩耗特性の間に相関があり、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た。空隙率17%においても、空隙率20%ほどではないが、カンタブロ損失率と摩耗特性の相関がある程度見られ、カンタブロ試験は、骨材性状を含め、摩耗特性を判断する評価値ともなっている。

f) 排水性舗装の高度化と摩耗特性との相関

排水性舗装の小粒径化、レジンモルタルを充填する等の高度化を図った場合の耐摩耗性の検討を、騒音特性と透水性を併せて実施した。騒音特性は、吸音率試験（JIS A 1405に準じる）を行い、平均垂直入射吸音率⁷⁾で表した。透水性は、透水試験を行い透水係数 k_{15} で表した。

図-11は、最大粒径と摩耗量等の関係である。最大粒径を通常の13mmから10mm、5mmと小粒径化すると吸音率は大きくなり騒音低減効果はあるが、耐摩耗性は劣る結果となった。また、透水係数も小さくなり、透水機能も低下する。この要因として、同じ空隙率20%の混合物でも、小粒径化により連続空隙が少なく、また空隙の孔の形状自体が小さくなることが考えられる。

図-12は、レジンモルタルを充填した場合の摩耗特性を示したものである。空隙率が小さくなると、耐摩耗性は向上するものの、当然、排水・騒音低減機能は低下する。しかし、レジンモルタルを充填した排水性舗装は、レジンモルタルの空隙率にもよるが、排水・騒音低減機能をそこなうことなく、耐摩耗性を向上できる結果となった。

3. まとめ

既往の排水性舗装の配合検討をもとに、耐摩耗性を備えた排水性混合物の望ましい材料・配合条件を検討した。結果は以下のとおりである。

①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である。

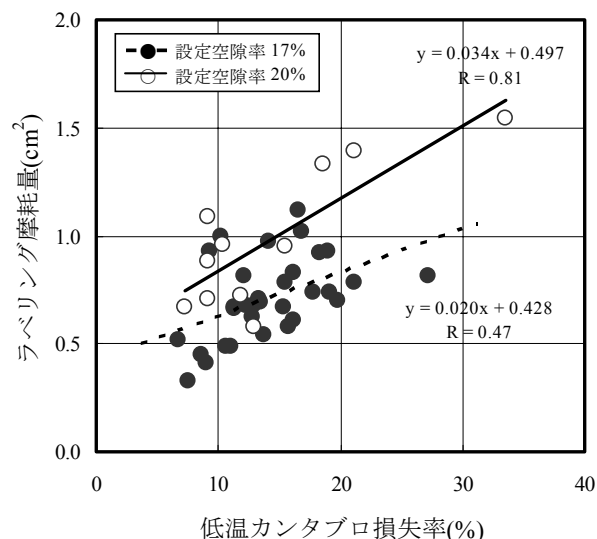


図-10 低温カンタブロ損失率と摩耗量の関係

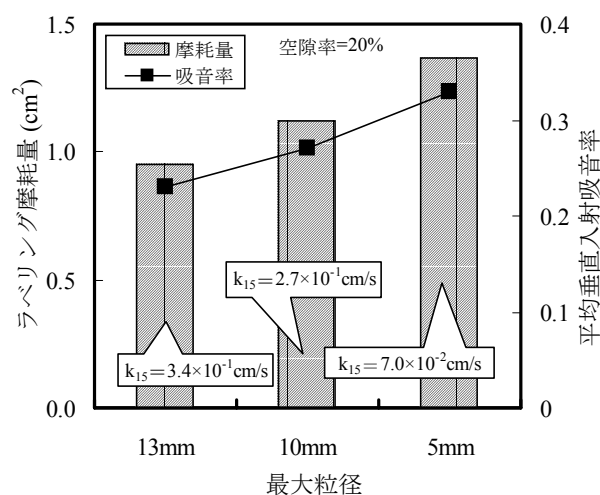


図-11 最大粒径と摩耗量等の関係

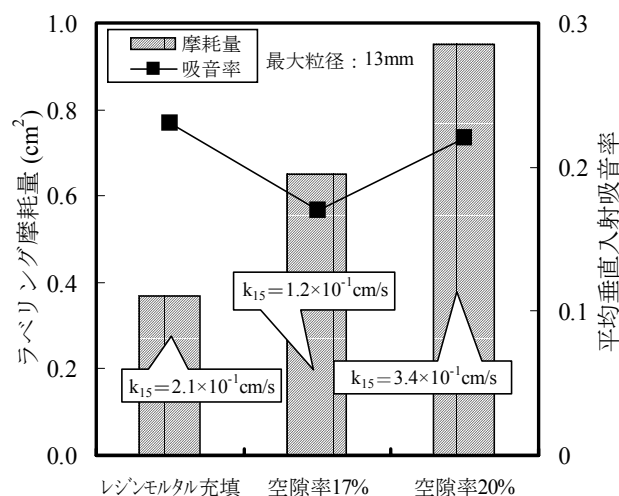


図-12 レジンモルタルを充填した混合物と摩耗量等の関係

粗骨材の選定が難しい場合は、空隙率を 17%程度まで低下させることで対応できる。

②細骨材の硬さが排水性舗装の摩耗特性に影響を与えるので、細骨材の選定も必要である。

③寒冷地仕様の高粘度改質アスファルトを使用することで、耐摩耗性を向上でき、高空隙化が期待できる。

④VMA を小さくすることで耐摩耗性は向上する。排水性舗装の VMA は「空隙計算式」より算出できるので、使用骨材の選定、配合比の適否が事前に推定可能である。

⑤レジンモルタルを充填した排水性舗装は、排水・騒音低減機能をそこなうことなく、耐摩耗性が期待できる。

4. 終わりに

今回の検討で、耐摩耗性を考慮した排水性舗装の望ましい材料・配合条件がある程度明らかになったと考えている。今後は、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騒音・排水機能の経年変化とあわせて把握していきたい。

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) 黒田智、郡司保雄、加藤義輝：排水性舗装の摩耗特性に関する一考察、土木学会舗装工学論文集、第 5 巻、pp.96-101、2000.
- 2) 原富男、島原辰利、松野晃：透水性レジンモルタルシステム工法 (PRMS 工法) による排水性舗装表面の効果、舗装、Vol.36、No.10、pp.15-19、2001.
- 3) 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.
- 4) 井上武美、木村鉄、名古屋次雄：道路用細骨材の硬さ評価の考察、道路建設、No.346、pp.41-45、1976.
- 5) 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空隙率推定法に関する研究、土木学会論文集 No.648/V-47、2000.
- 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) 明嵐政司、仲柴二三夫、長谷部正基：排水性舗装の騒音低減効果の改善に関する研究、交通工学、Vol.30、No.5、pp.23-32、1995.

A STUDY ON THE MIX DESIGN OF POROUS ASPHALT CONCRETE THAT TAKE WEARING RESISTANCE INTO CONSIDERATION IN SNOWY COLD REGIONS

Koji TAKAHATA, Yasuo GUNJI and Yoshiteru KATO

There is a need for further advancement of porous asphalt concrete pavement following its wide usage. Wearing resistance characteristic to porous asphalt pavement has become an important issue for its application in snowy cold regions. We have pointed out the relationship between the raveling test results and various kinds of characteristic of materials and mix proportion design of a porous asphalt concrete. Furthermore, as an advanced technology, this report examined wearing resistance characteristic of a porous asphalt concrete with small grain size and surface air void filled with resin mortar. Results obtained from these investigation showed that desirable wear resistant characteristics of porous asphalt concrete pavement should be designed in selecting both coarse and fine aggregate, binder type and mix proportion.