

ホワイトトッピングの付着強度

東本崇¹・福手勤²・西澤辰男³・國分修一⁴・濱田秀則⁵

¹正会員 大林道路技術研究所 (〒336-0027 浦和市沼影 2-12-36)

²正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 計画設計基準部長 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

³正会員 工博 石川工業高等専門学校 環境都市工学科助教授 (〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条)

⁴正会員 工博 大林道路株式会社中部支店部長 (〒460-0008 名古屋市中区栄 1-10-21 住友生命御園ビル 2F)

⁵正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 構造部材料研究室長 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

ホワイトトッピング工法においては、コンクリート版とアスコン層の付着が舗装構造の耐久性を向上させるために重要である。この付着力はコンクリートの配合にも影響されるが、アスコン層の表面性状に大きく影響されると考えられる。本研究では、高圧・大水量タイプと超高圧・小水量タイプの2種類のウォータージェットでアスコン層の表面性状を変化させて、付着強度との関連を調べた。その結果、付着強度は表面粗度だけでなく、表面の清浄程度も考慮しなければならないこと、超高圧・小水量タイプで処理した方が大きくなることがわかった。また、ウォータージェットの施工条件から、表面粗度と清浄程度を考慮できる指標を導入することによって、最適な施工条件が推測できることを示した。

Key Words : whitetopping, bond strength between asphalt and concrete overlay, texture of asphalt surface, water jet

1. はじめに

わが国の舗装は大部分がアスファルト舗装であり、交通量の多い道路では、流動によるわだち掘れが供用性の低下の原因となっている。このようなわだち掘れ対策の工法の一つとして、ホワイトトッピングがある。ホワイトトッピングは、流動変形した既設アスファルト舗装の上に厚さ 5~10cm の薄層コンクリートオーバーレイを行う工法で¹⁾、欧米諸国では盛んに研究されている^{2) 3) 4)}。これらの研究によると、ホワイトトッピングの耐久性を向上させるには、既設アスコン層とコンクリート版の付着が重要であると報告されている。これは、コンクリー

ト版とアスコン層が付着して一体化することにより、コンクリート版に発生する応力が低減するからである。

付着力はコンクリートの配合と、アスコン層の表面性状に大きく影響されると考えられるが、アスファルトの表面性状に注目した研究はほとんど皆無であって、表面粗度や清浄程度が及ぼす影響は明らかとなっていない。本研究では、ウォータージェットを用いてアスコン層の表面性状を変化させ、まず、表面粗度と付着強度との関連を調べた。その結果、表面処理の工法毎に、強度増加の傾向が異なり、表面粗度だけでなく、表面の清浄程度も大きく付着強度に影響することが考えられた。そこで、表面粗度と表面の清浄程度の両方に影響を及ぼす指標

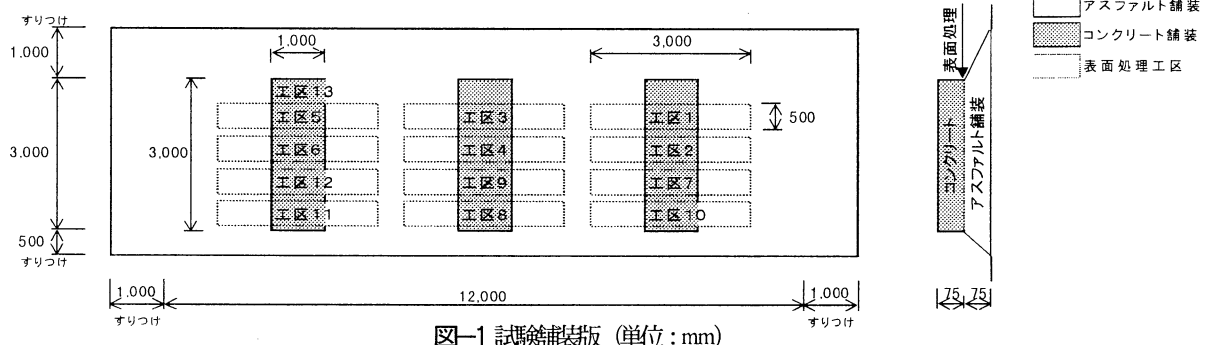


表-1 ウォータージェット施工条件

工区	工法	水圧(MPa)	速度(m/min)	水量(m ³ /min)
1	A	49.0	4.0	0.0250
2	A	49.0	2.0	0.0250
3	A	68.6	4.0	0.0300
4	A	68.6	2.0	0.0300
5	A	88.2	4.0	0.0350
6	A	88.2	2.0	0.0350
7	B	88.2	3.0	0.0140
8	B	117.6	4.0	0.0162
9	B	117.6	3.0	0.0162
10	B	117.6	2.0	0.0162
11	B	147.0	4.0	0.0181
12	B	147.0	3.0	0.0181
13	未処理工区			

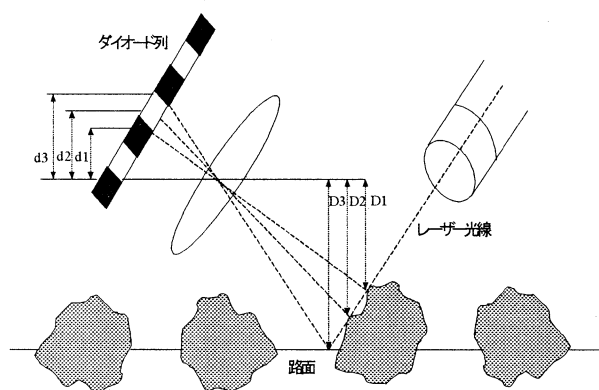


図-2 MTMの測定原理

“研掃力”を、ウォータージェットの施工条件から求め、付着強度との関連を調べた。本文にその結果を報告する。

2. 試験概要

(1) 試験舗装版の作製

付着試験を行うために作製した試験舗装版を図-1に示す。既設アスファルト舗装上に試験舗装版として密粒度アスファルト混合物（最大骨材寸法13mm）を厚さ75mmで舗設し、ウォータージェットにて表面を処理後、4箇所の表面処理工区をまたぐように3枚のコンクリート版（45-8-25H）を厚さ75mmで作製した。既設アスファルト舗装厚は50mmであるので、コンクリート版とアスファルト舗装の比は3/5である。

(2) アスコン層の表面処理

アスコン層の表面を500×3000mmを1区画とし、表面処理工区を12工区、未処理工区を1工区の合計13工区を設定した。表面処理にはA、B2種のウォータージェット工法を用いた。各工法とも水圧、施工速度、水量を変化させ、それぞれ6パターンずつ表面処理を行っ

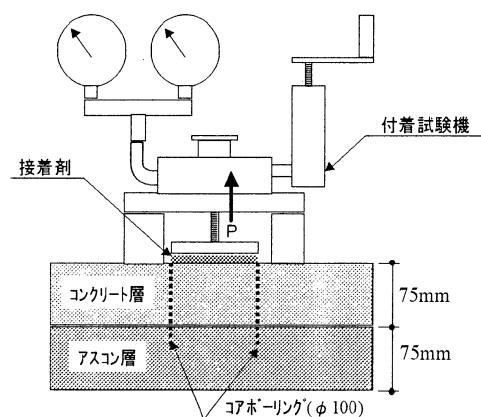


図-3 建研式付着試験

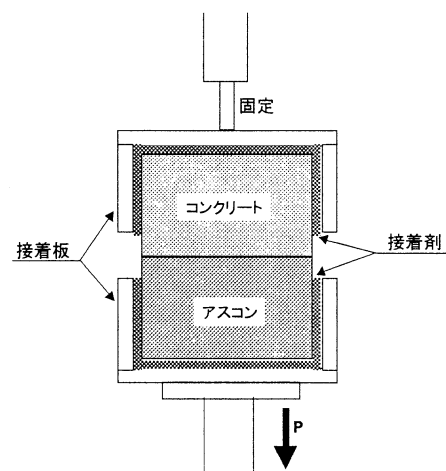


図-4 1ストロマン式試験機による付着試験

表-2 試験条件

制 御	応力制御
載荷速度	0.098N/mm ² /sec
試験温度	10℃

た。表-1にウォータージェットの施工条件を示す。工法Aは高圧・大水量、工法Bは超高圧・小水量である。

(3) 表面粗度の測定

アスコン層の表面粗度は、レーザー方式の非接触型測定機であるTRRL ミニ・テクスチャー・メーター（MTM）により測定した。MTMは英国運輸道路研究所（TRRL）の研究をもとにWDM社が開発、製造したものである。MTMの測定原理を図-2に示す。レーザー光線を測定する路面に投射し、路面で反射した光線が受光レンズを通してダイオード列に照射されて路面のテクスチャーを測定する仕組みになっている。測定されたデータから、30cm毎に二乗平均の平方根を算出し、測定距離10m毎にその値の平均値がSMTD（Sensor Measured Texture Depth）として算出されアウトプットされる。MTMによる路面の粗度の評価値であるSMTDと、サンドパッチングによる平均テクスチャ深さとの間に高い相関があり、

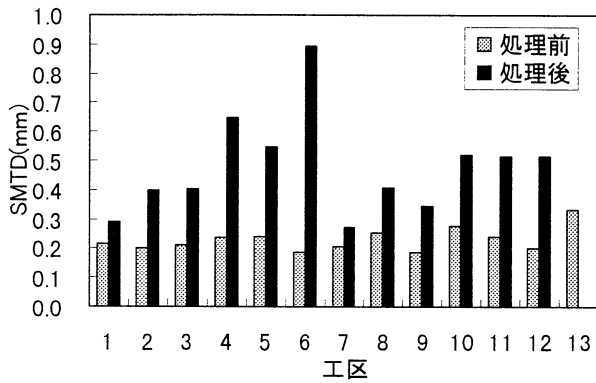


図-5 MTM による測定結果

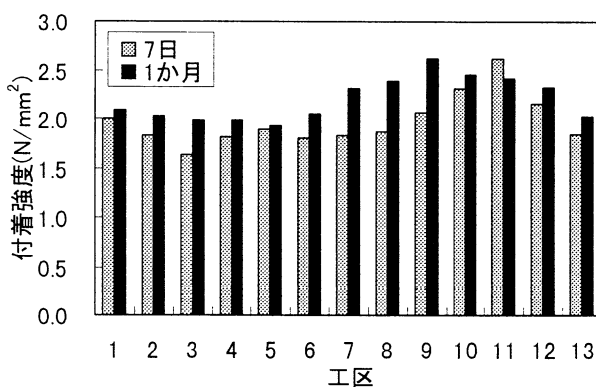


図-6 付着強度試験結果

SMTD によってマクロテクスチャの評価が可能であると報告されている⁵⁾。測定は各工区とも表面処理区間のうち、コンクリート版で覆われる位置で3回行い、平均値を工区の SMTD とした。

(4) 付着強度試験

付着強度試験は材齢 7 日および 1 か月において、各工区とも材齢毎に 3 箇所で行った。当初、建研式付着試験機により測定する予定であったが、材齢 7 日の試験時に 4 個の供試体が引き抜き用の接着板付近のコンクリートで破壊したため、材齢 1 か月においてはコアカッターでアスコン層まで切り出し、上部だけでなく側面部にも円筒形の接着板（モールド）を接着し、インストロン万能試験機で付着強度を測定した。それぞれの試験概要を図-3 および 4 に、試験条件を表-2 に示す。また、3 箇所の平均値を工区の付着強度とした。

3. 試験結果と考察

(1) 表面粗度

表面処理前後の MTM による測定結果を図-5 に示す。表面処理前の SMTD は若干の変動はあるものの、どの

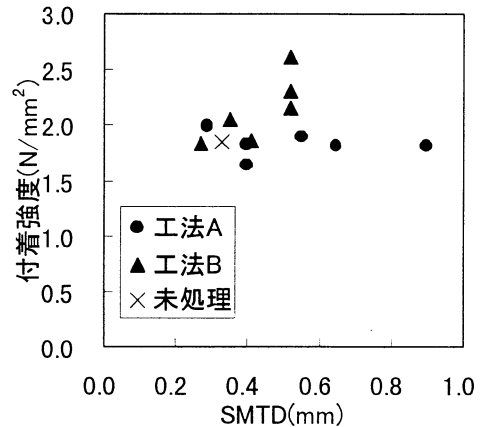


図-7 SMTD と付着強度の関係 (材齢 7 日)

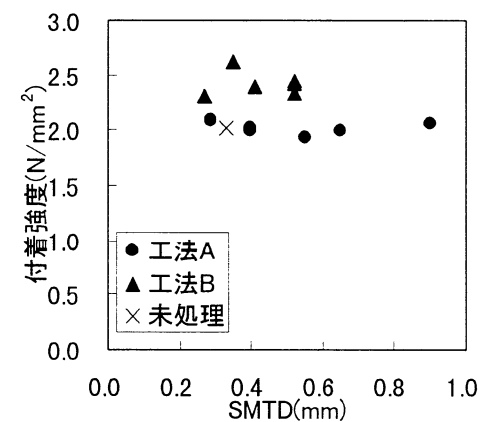


図-8 SMTD と付着強度の関係 (材齢 1 か月)

工区も 0.2mm 程度でほとんど変わらない。一方、表面処理後の SMTD はすべての工区で処理前よりも大きくなっている。表-1 と合わせてみると、処理水圧が大きくなるほど、また、処理速度が遅くなるほど SMTD は大きくなることがわかる。次に工法の違いは、工法 A は工法 B よりも全体的に SMTD が大きくなっており、水量の大きい方が SMTD は大きくなることがわかる。これらのことは、水圧および水量が大きいほど路面に加わるエネルギーが大きくなり、速度が遅いほど単位面積の処理時間が長くなるため、アスファルトモルタル（以後、アスモルと記す）や骨材をより多く取り除くからであると思われる。

(2) 付着強度

材齢 7 日および 1 か月における付着強度試験結果を図-6 に示す。材齢 7 日の試験では 4 個の供試体が、材齢 1 か月の試験では 2 個の供試体が、コンクリート上部表面に引張破壊を起こしたため、このデータは除いた。コンクリートから破壊した原因は、コンクリートのブリージング、接着面の平滑性、引張金具の偏心などが考えられる。図より、ウォータージェットによる表面処理の効

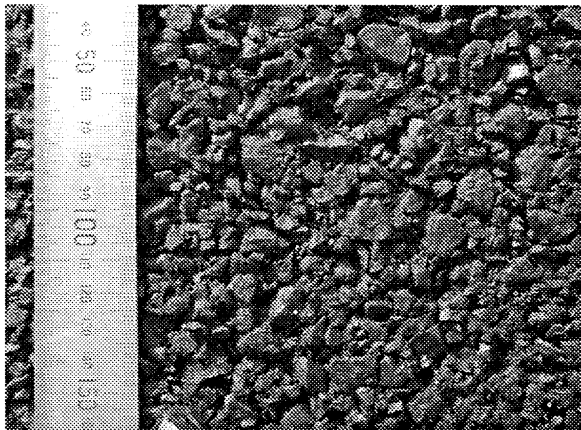


写真-1 工法Aの処理表面 (工区6)

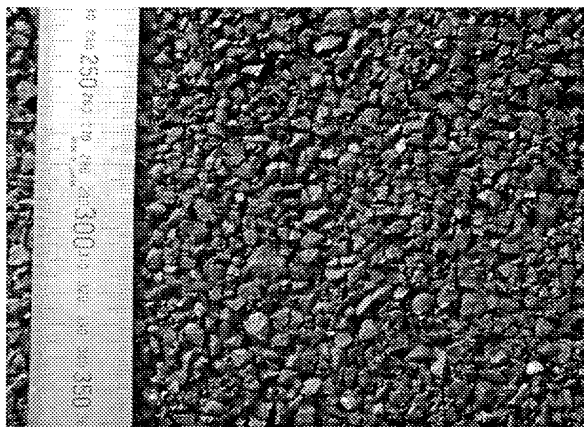


写真-2 工法Bの処理表面 (工区12)

果は施工方法によって異なることがわかる。すなわち、各材齢とも、工区7から12の超高圧・小水量（工法B）の場合の方が、工区1から6の高圧・大水量（工法A）の場合よりも付着強度は大きく、工法Aは未処理工区と付着強度に差がない。また、各工区とも材齢が進行することによって付着強度が増加していることがわかる。

（3）表面粗度と付着強度の関係

各材齢における付着強度とSMTDの関係を図-7および8に示す。図より、SMTDと付着強度に明確な関係は見られないが、工法毎に分けるとそれぞれに明らかな傾向があることがわかる。すなわち、工法Aは各材齢とも、SMTDが増加しても付着強度が増加しないが、工法BはSMTDが増加すると付着強度も増加する傾向にある。このように、表面処理の工法により、SMTDと付着強度の関係が異なることがわかる。

写真-1および写真-2は、工法Aおよび工法Bの代表的な処理表面である。工法Aは高水圧、大水量でアスファルト混合物のアスモルや骨材全体をはつり飛ばし、全体的に荒々しい表面に仕上がっている。工法Bは超高圧、小水量で、アスファルト混合物の被膜アスファルトや骨材間のアスモルのみを除去するようであり、均一な

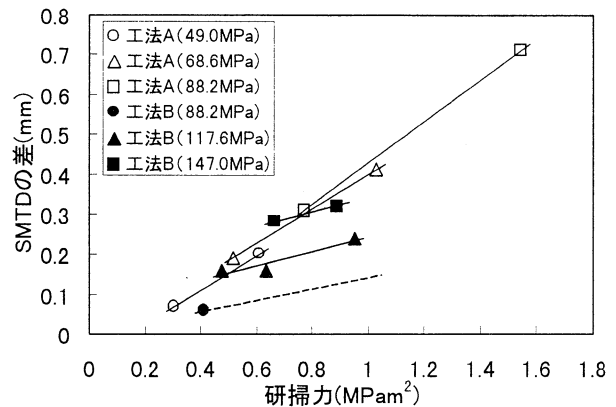


図-9 研掃力とSMTD差の関係

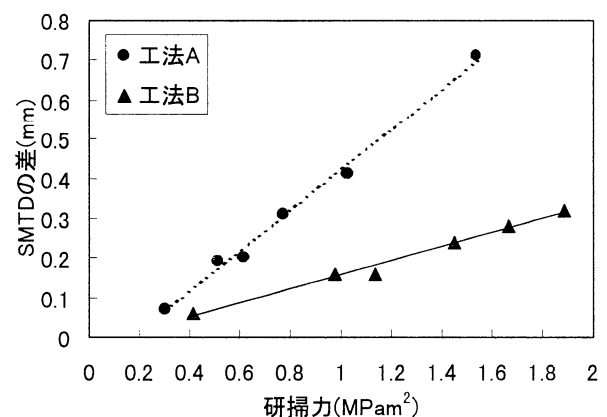


図-10 (修正) 研掃力とSMTD差の関係

凹凸と、きれいな骨材表面を創り出している。このことから、コンクリート版とアスファルト路面の付着を考える場合、路面の粗度だけでなく表面の清浄程度も考慮すると、より明確に付着強度の変化傾向がわかるものと考えられる。

4. 表面粗度と清浄度を考慮した付着強度

（1）ウォータージェットの研掃力

前章で示した SMTD は、路面の粗度を表す指標であり、清浄程度は考慮できない。そこで、ウォータージェットの施工条件に着目して考えると、水圧、水量、速度を変化させることによって、粗度を変化させるのと同時に、清浄度にも影響を及ぼすと考えられるから、ウォータージェットの研掃力そのものを、付着強度の評価指標とすれば十分であると考えられる。また、このようにすれば、良好な付着力を得る施工条件が、直接的に把握できることになる。今、研掃力を以下に示すことにする。

$$\text{研掃力} = PW/V \quad (1)$$

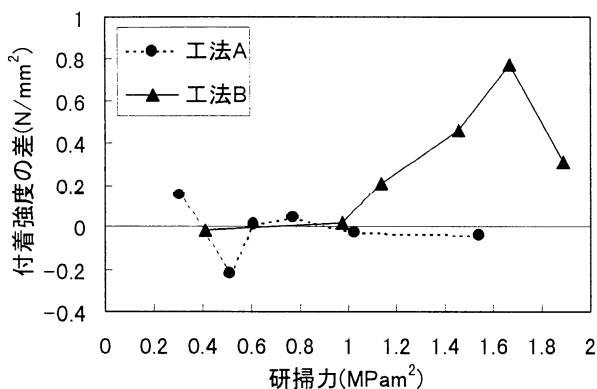


図-11 研掃力と付着強度差の関係 (材齢7日)

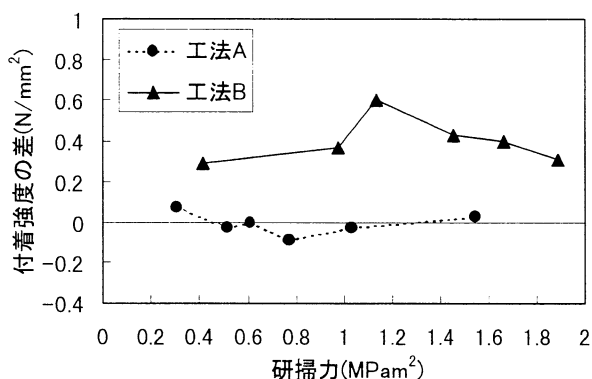


図-12 研掃力と付着強度差の関係 (材齢1か月)

ここで、P：ウォータージェットの水圧 (MPa)
W：ウォータージェットの水量 (m³/min)
V：ウォータージェットの数 (m/min)

研掃力と、表面処理前後の SMTD の差との関係を図-9 に示す。工法 A は研掃力と表面処理前後の SMTD の差の間にはほぼ線形の関係があるが、工法 B は同じ式を用いても水圧による影響が大きく、水圧が大きい方が粗度も大きくなる。しかし、図を見ると、工法 B の研掃力と SMTD の差の関係は同じ傾向を有しており、SMTD を媒介にして水圧による補正をすれば、ほぼ1つの直線で近似できるものと考えられる。そこで、水圧 88.2MPa を基準として、(1) 式を修正すると以下のようになる。

$$\text{修正研掃力} = PW/V + 0.5(P - 88.2) / 29.4 \quad (2)$$

修正した研掃力と SMTD の差の関係を図-10 に示す。図から、研掃力と SMTD の差との線形関係が明らかである。したがって、工法 A では式(1)を、工法 B では式(2)を用いることによって、路面に与える粗度を推測することができる。

(2) 研掃力と付着強度の関係

未処理工区と各工区の付着強度の差と、研掃力との関

係を材齢毎に図-11 および 12 に示す。図より、工法 A は研掃力による付着強度差の変化はほとんどなく、工法 B は研掃力の変化に伴い付着強度差も変化し、付着強度差が最大になる研掃力が存在することがわかる。これは、工法 B は超高压・小水量とするために、高压の噴射水の径が小さく、骨材間のアスモルの除去と骨材に被膜したアスファルトの除去が、効率よく出来たのに対し、工法 A では、高压・大水量としたために噴射水の径が大きくなっているものと思われ、骨材とアスモルを含めてはつきり取ってしまい、また、被膜アスファルトの除去には圧が小さすぎる結果であると思われる。また、工法 B で研掃力が大きくなると付着強度差が減少していくのは、骨材間のアスモルの除去が多くなりすぎると、骨材に緩みを生じて、アスコン層表面での引張破壊が起こっているためであると考えられる。工法 B において、材齢が7日より1か月の方が、小さい研掃力で付着強度差が最大となっているが、コンクリートの強度がまだ大きくないときは、アスコン層の骨材間に枝分かれして流れ込んだコンクリートの方が破壊し、コンクリートの強度が大きくなるにしたがって、アスコン層の表面が引張破壊を起こしているからであると考えられる。

以上より、付着力を向上させるには工法 B を使い、研掃力を 1.2MPa·m² (117.6MPa, 0.0162m³/min, 3.0m/min) 程度とするのが良いと思われる。

5. まとめ

本研究では、ホワイトトッピングされた舗装のアスコン層の表面性状と、コンクリート版とアスコン層の付着強度の関係を調べた、また、路面性状に影響を及ぼすウォータージェットの研掃力と付着強度の関係も調べた。本研究によって明らかになったことをまとめると以下の通りである。

- 1) 高压・大水量で表面処理した方が、超高压・小水量で表面処理するよりも SMTD は大きい。
- 2) 超高压・小水量で表面処理した方が、高压・大水量で表面処理するよりも付着強度は大きい。
- 3) 材齢の進行と共に付着強度も増加する。
- 4) 高压・大水量のウォータージェットで表面処理をした工区の付着強度は、SMTD の大きさに関係なくほぼ一定で未処理工区と差がなく、超高压・小水量で表面処理した工区は未処理工区よりも付着強度は大きく、SMTD の大きさにより付着強度も変化する。
- 5) 付着力に影響を及ぼすのは、表面の粗度と清浄程度である。
- 6) ウォータージェットの圧力、速度、水量によって

定義された研掃力は、工法毎に SMTD の差と線形関係がある。

- 7) 超高圧・小水量の工法の場合、付着強度の差が最大となる研掃力が存在する。

参考文献

- 1) 野田悦郎：ホワイトトッピングについて，道路建設，NO.576, 1996.1
- 2) R.J.Risser, S.P.LaHue, G.F.Voigt, J.W.Mack: Ultra-Thin Concrete Overlays on Existing Asphalt Pavement, *5th International Conference on Concrete Pavement Design & Rehabilitation*, Vol.2, pp.247-254, 1993
- 3) J.Silfwerbrand, O.Petersson, Thin Concrete Overlays on Old Flexible Pavement, *7th International Symposium on Concrete Roads*, Session 2, pp.41-46, 1994
- 4) J.H.Silfwerbrand : Whitetoppings-Swedish Field Test and Recommendations, *6th International Purdue Conference on Concrete Pavement Design and Materials for High Performance*, Vol.2, pp.231-244, 1997
- 5) 七五三野茂, 小川澄, 川村和将: 高速道路におけるアスファルト舗装のテクスチャーの特徴とすべり摩擦への影響, 舗装 Vol.32, No.6, pp.9-14, 1997.6

A BOND STRENGTH OF WHITETOPPING

Takashi TOMOTO, Tsutomu FUKUTE, Tatsuo NISHIZAWA,
Shuichi KOKUBUN and Hidenori HAMADA

In composite pavements, such as whitetopping and overlay, it is important to ensure the bond between asphalt layer and concrete layer for long-term performance of the pavements. The bond strength is expected to be influenced by characteristics or texture in the interface between asphalt layer and concrete layer. So, we have been searching a method to make the optimistic interface characteristics. In this study, we have tried two types of method for surface treatment using water jet: one with high pressure and large amount of water and another with super high pressure and small amount of water. We investigated the relationship between the interface texture and bond strength, varying operational parameters including water pressure, operation speed and amount of water. As the results, it was found that there is an optimum value of a parameter, which was introduced to express the energy of water and is a function of the operational parameters, to obtain high bond strength