

全天候型路面標示の材料評価に関する研究

大西 隆信¹・清水 亮作²

¹非会員 株式会社高速道路総合技術研究所（〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1）

E-mail:t.onishi.ae@ri-nexco.co.jp

²非会員 一般財団法人日本塗料検査協会 東支部（〒251-0014 神奈川県藤沢市宮前636-3）

E-mail:shimizu@jpia.or.jp

路面標示（レーンマーク）は、安全かつ円滑な交通を確保するための安全施設であり、昼夜を問わず視認性を確保することが最も重要である。しかし、夜間雨天時には路面標示の視認性が低下し、更に突発的なゲリラ豪雨が発生すると、路面標示の視認性は著しく悪化する。路面標示の視認性が低下すると、車線逸脱による他車両への接触事故や前方の道路線形の見通しの悪さが道路付属物への接触事故を引き起こす要因となりうることから、特に夜間雨天時の視認性を確保する必要がある。路面標示の夜間雨天時の視認性を向上させる全天候型路面標示に着目し、全天候型路面標示に含まれる材料（塗料、ガラスビーズ、特殊反射エレメント）の特性や夜間雨天時の視認性（再帰反射輝度）及びすべり抵抗性を評価した。

Key Words : road marking materials, all weather thermoplastic, retro-reflection, particular reflector element, skid resistance

1. はじめに

路面標示（レーンマーク）は、車両の通行区分を明確にし、交通の流れを誘導するものである。安全かつ円滑な交通を確保するための安全施設であり、昼夜を問わず視認性を確保することが最も重要である。しかし、路面標示の視認性は、昼間と夜間では見え方が異なる。昼間の視認性は塗料の残存状況に左右され、夜間の視認性はガラスビーズの再帰反射状況に左右される。特に夜間は、前照灯（ヘッドライト）による限られた道路空間内での走行となり、視線誘導として路面標示が果たす役割は非常に大きいことから、視認性の確保が必要不可欠となる。

前照灯の光が入射すると、ガラスビーズの背面で反射され、ドライバーの目に戻る。つまり、夜間の視認性はガラスビーズの再帰反射性能に左右される。夜間の視認性は、測定点における入射光の照度と反射光の輝度を測定し、再帰反射輝度を算出することで評価できる（式-1）。

$$Q_d = L / E \text{ (mcd/lx} \cdot \text{m}^2) \dots \text{(式-1)}$$

Q_d ; 再帰反射輝度(mcd/lx・m²) , L ; 反射光の輝度(mcd/m²) , E ; 入射光の照度 (lx)

2. これまでの路面標示材料の評価

(1) 各材料の特性と評価

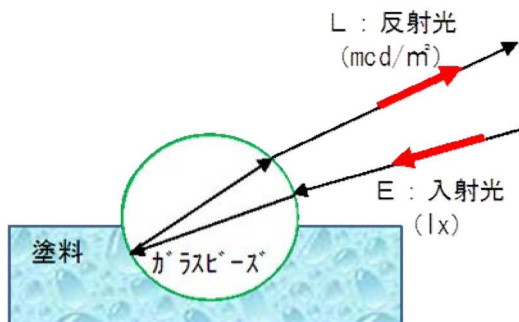


図-1 路面標示の再帰反射輝度

図-1 に路面標示における夜間の再帰反射状況を示す。



写真-1 耐摩耗性（回転タイヤ式ラベリング）試験

写真-1に示す耐摩耗性（回転タイヤ式ラベリング）試験器を用いて、各種路面標示材料である溶剤（加熱）

型・水性型・溶融型（噴射方式）・溶融型（フローコーター方式）の試験時間と再帰反射輝度の関係を図-2に示す。耐摩耗性試験における合格基準としては、試験時間180分後（5年間相当）の再帰反射輝度が65mcd/lx・m²以上としている。溶剤（加熱）型や水性型は基準を満足していないのに対し、溶融型（噴射方式）や溶融型（フローコーター方式）は基準を満足しているため、溶融型がNEXCO管轄の高速道路で主流となっている。

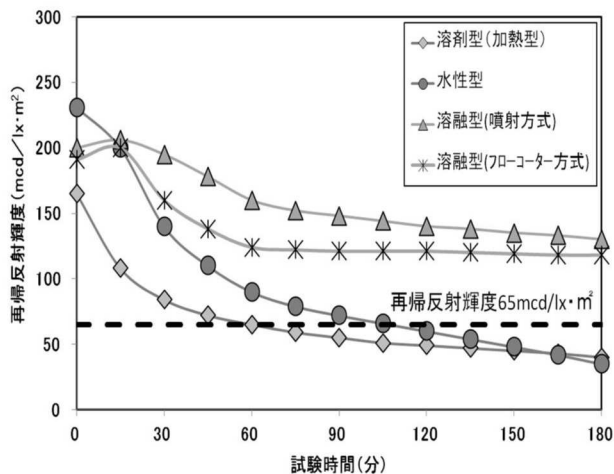


図-2 路面標示材別耐摩耗性試験

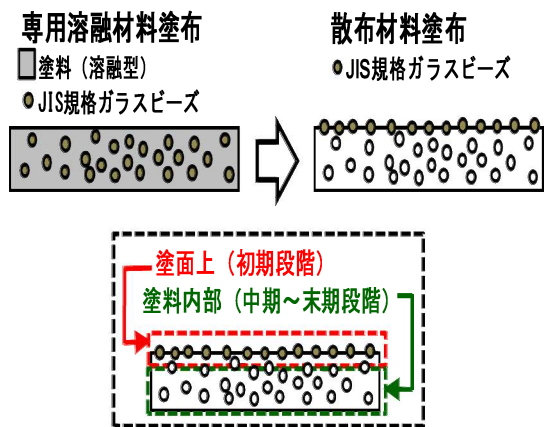


図-3 溶融型の現地施工工程

溶剤（加熱）型や水性型は、膜厚が0.2～0.3mm程度と薄く、塗料散布後すぐにガラスビーズを塗面上に散布する手順で施工されている。溶融型は膜厚が1.5mm程度（密粒度舗装の場合）と非常に厚く、図-3に示すように事前に塗料内にガラスビーズを混入した状態で散布し、更にガラスビーズを塗面上に散布することで、ガラスビーズを塗膜全体に混入している。これにより、膜厚が減少し塗面上のガラスビーズが塗料から離脱しても、塗料内部に含まれるガラスビーズが表面上に現れることで、耐摩耗性試験における再帰反射輝度が高い傾向を示す。

つまり溶融型の再帰反射輝度は、塗面上に散布したもので初期値を向上させ、中期～末期段階は塗料内部に混入したもので維持でき、長期の視認性を確保する。また溶融型は、180～200℃に加熱・溶融して液状にし、塗膜形成は冷却固化により1分程度で硬化できるため、養生時間は3分と路面標示材料中、最短の養生時間で済み、施工後早期の交通開放が可能になる。しかし溶融型は、膜厚が厚いことから耐摩耗性には強いが、熱可塑性の石油樹脂を使用していることから紫外線の影響を受け易く、耐候劣化によりひび割れや塗膜厚の減少等耐候性には弱い材料であることが近年の研究で明らかになった。

3. 全天候型路面標示材料の評価

(1) 全天候型路面標示材の特性評価

路面標示は、特に夜間雨天時に大きく視認性が低下する。更に突発的なゲリラ豪雨が発生すると、路面標示の視認性は著しく悪化する。路面標示の視認性が低下すると、車線逸脱による他車両への接触事故や前方の道路線形の見通しの悪さが道路付属物への接触事故を引き起こす要因となりうることから、夜間雨天時の視認性を確保する必要がある。夜間の視認性は、路面湿潤時はガラスビーズの表面に水膜ができ、図-4に示すように屈折率が変化して、車両の前照灯の光が運転者に戻らないので、路面標示が黒く見え視認性が低下する。

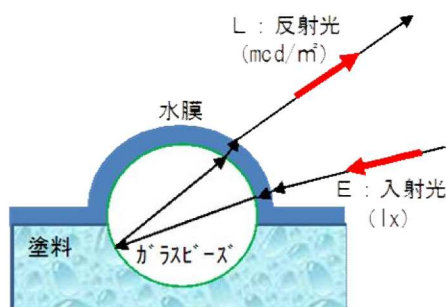


図-4 湿潤時の再帰反射輝度

近年、路面標示の夜間視認性が雨天時にも確保できる材料として全天候型路面標示材が開発された。全天候型路面標示材には2種類のタイプがある。散布材料に、平均粒径0.4mmと小さいJIS規格1号標準品（JIS R 3301）ガラスビーズを使用する全天候型路面標示材（以下『全天候型』と略す。）と平均粒径が1.0mmと大きい大粒径ガラスビーズを使用する全天候型溶融式路面標示材AWT（All Weather Thermoplastic）（以下『AWT』と略す。）がある。



写真-2 乾燥・湿潤時の溶融型と全天候型の視認性状況

写真-2は、実線に溶融型を用い、破線に AWT を用いて試験施工し、路面乾燥時及び湿潤時における視認状況を比較した。溶融型の湿潤時は視認性が悪いのに対し、AWT は乾燥・湿潤時ともに同等の視認性を確保している。AWT には、夜間雨天時の路面標示の視認性を向上させる白色の特殊反射エレメント (写真-3) が用いられている。



写真-3 ガラスビーズと特殊反射エレメント

特殊反射エレメントとは、大粒径のコア (砂) 周辺に多数の高屈折率の高強度セラミックガラスビーズを固着させたものであり、降雨により塗面に水膜ができた場合に運転者へ最適な光が帰るような再帰反射性能を有するように設計されている (図-5)。特殊反射エレメントの雨天時の屈折率とガラスビーズの晴天時の屈率をほぼ同等とすることで、晴天・雨天を問わず視認性を常時良好に保つことができる。

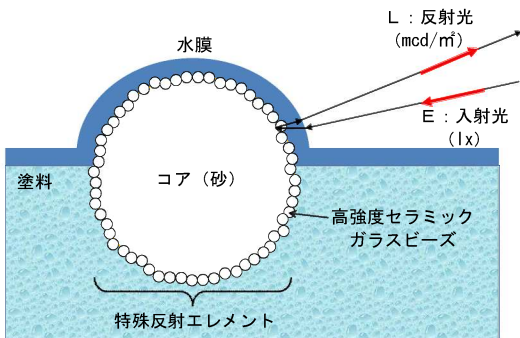


図-5 特殊反射エレメント湿潤時再帰反射



専用溶融材料 (20 kg/袋) 散布材料 (20 kg/袋)

写真-4 AWT の材料市販品

市販されている AWT を使用する場合、写真-4 に示す専用溶融材料 (溶融型塗料と JIS 規格 1 号ガラスビーズ及び特殊反射エレメントで構成) と散布材料 (大粒径ガラスビーズと特殊反射エレメントで構成) の 2 種類を用いて施工する。AWT の施工単価 (材料費込み) は、溶融型 (中央破線 15cm 幅 : 250 円/m) に比べ約 2~2.5 倍相当 (中央破線 15cm 幅 : 約 500~600 円/m) の費用がかかるが、夜間雨天時の視認性を飛躍的に向上させることができることから車線逸脱防止対策として有効である。

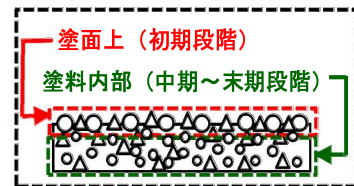
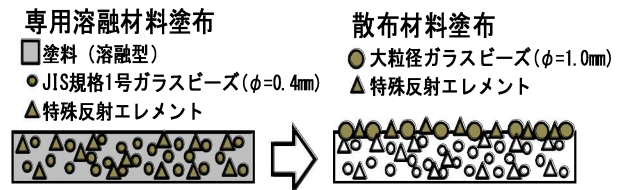


図-6 AWT の現地施工工程

図-6 に示す AWT の現地施工工程は、溶融型と同様に、専用溶融材料を専用釜で加熱・溶融して液状にした状態で路面に塗布し、直後に散布材料を塗面上に塗布する。塗膜形成は冷却固化により 1 分程度で硬化し、養生時間が 3 分で済むことから早期の交通開放が可能になる。AWT で溶融型塗料を使用するのは、膜厚が厚いことで粒径の大きい特殊反射エレメントを固着することができ、塗料が粉体状で塗料中にガラスビーズや特殊反射エレメントを事前に混入することも可能になり、仮に塗面上に散布したガラスビーズや特殊反射エレメントが塗料から離脱しても塗料内部に含まれるガラスビーズや特殊反射エレメントが新たに表面上に現れる構造になるからである。初期段階の夜間視認性は、晴天時は塗面上に塗布した大粒径ガラスビーズにより、雨天時は塗面上に塗布した特殊反射エレメントにより確保する。中期~末期段階

の夜間視認性は、晴天時は塗料内部に混入した JIS 規格 1 号ガラスビーズにより、雨天時は塗料内部に混入した特殊反射エレメントにより確保する。この構造が、天候を問わず夜間視認性を長期間確保し易くしている。

AWTでガラスビーズに大粒径を使用するのは、JIS規格品（平均粒径0.4mm程度）と特殊反射エレメント（平均粒径1.0mm程度）とでは粒度分布にかなりの開きがあり、散布材料を混合した際に材料分離が生じ、均等に混ざらないので、粒度分布が近似している大粒径ガラスビーズ（平均粒径1.0mm程度）を用いることで材料分離を防ぐためである。散布材料のガラスビーズにJIS規格品を用いる場合、材料分離を防ぐため、ガラスビーズ専用散布口と特殊反射エレメント専用散布口各々の散布吹き口が設ける必要があり、現存のシングルドロップ（吹き口1個）をダブルドロップ（吹き口2個）に施工機械を改良する必要がある。しかし、大粒径ガラスビーズを用いることにより、現存のシングルドロップを改良する必要がなくなる。大粒径ガラスビーズは、粒径が大きいことで降雨時のガラスビーズの完全水没を防ぎ、湿潤時の再帰反射性能を向上させることができるが、高価なため散布量がJIS規格品に比べ1/3とかなり減少する。また、大粒径ガラスビーズを塗料に固着するためには塗膜の厚さを常に維持することが今後の課題になる。

(2) 各路面標示材の降雨開始後夜間視認性評価

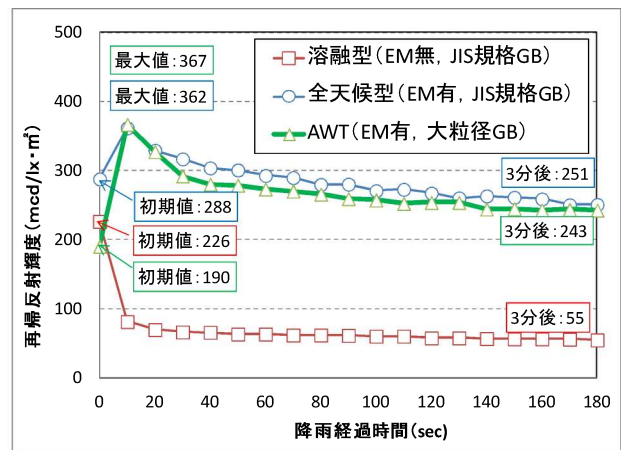
塗料に含むガラスビーズや特殊反射エレメントの再帰反射性能を検証するため、LTL 装置（写真-5）を用いて、連続湿潤条件（路面標示材に水を連続的にスプレーし、均一に濡れた状況）を再現し、降雨開始後の再帰反射輝度の変化を測定した。



写真-5 LTL装置での測定状況

降雨開始後の夜間視認性評価試験評価には、溶融型・全天候型・AWTの3種類の路面標示材を用いる。溶融型とは、塗料にJIS規格1号タイプ（粒径106~850 μm 、屈折率1.50~1.64）のガラスビーズ（GB）のみ混入したものである。全天候型とは、塗料にJIS規格品ガラスビーズと特殊反射エレメント（EM）（粒径850~1,700 μm 、屈折率2.2程度）を混入したものである。AWTとは、塗料に大粒径ガラスビーズと特殊反射エレメントを混入したものである。

図-7に、LTL装置を用いた降雨開始後の経過時間に対する再帰反射輝度の測定結果を示す。溶融型の再帰反射輝度は、初期値（乾燥時）は226 $\text{mcd}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$ と高い値を示したが、降雨開始10秒後には100 $\text{mcd}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$ 程度まで減少し、3分後には55 $\text{mcd}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$ と初期値の1/4まで低下した。全天候型やAWTの再帰反射輝度は、降雨開始直後（10秒後）に最大値360 $\text{mcd}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$ 程度となり、3分後にも250 $\text{mcd}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$ 程度と高い値を示した。降雨開始と同時にガラスビーズの再帰反射輝度はかなり低下するのに対し、特殊反射エレメントの再帰反射輝度は高くなることを確認できた。また、特殊反射エレメントは雨量50 mm/h という突発的なゲリラ豪雨にも視認性を確保することができる。



※GB：ガラスビーズ，EM：特殊反射エレメント

図-7 降雨開始後の再帰反射変動状況（雨量50 mm/h ）

(3) AWTの湿潤時夜間視認性評価

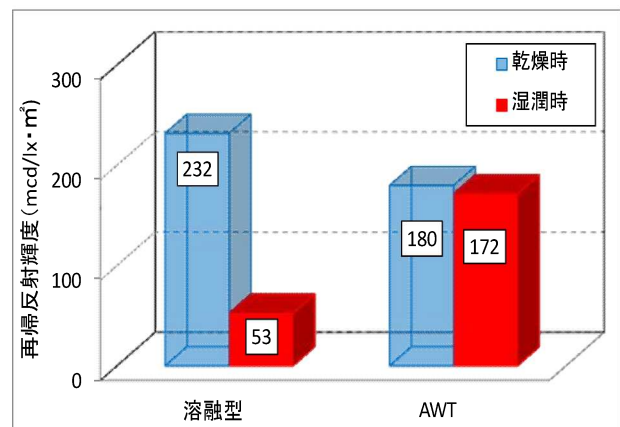


図-8 施工直後の乾燥・湿潤時の再帰反射状況

図-8に、溶融型とAWTを用いて、施工直後の路面乾燥時と湿潤時の再帰反射輝度の測定結果を示す。乾燥時の再帰反射輝度は、溶融型が232 $\text{mcd}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$ と高い値を示すのに対し、AWTが180 $\text{mcd}/\text{lx}\cdot\text{m}^2$ と低い値であった。

しかし、湿潤時の溶融型は $53\text{mcd/lx}\cdot\text{m}^2$ と乾燥時の約 1/4 まで低下するのに対し、湿潤時の AWT は、 $172\text{mcd/lx}\cdot\text{m}^2$ とほぼ乾燥時とほぼ同等の値であった。乾燥時の溶融型は、ガラスビーズの再帰反射性能が機能し高い値を示すが、湿潤時にはガラスビーズの再帰反射機能は低下する。しかし AWT の再帰反射輝度は、乾燥時はガラスビーズが確保し、湿潤時は特殊反射エレメントが保持するので、天候を問わず夜間視認性を常時確保することができる。

(4) AWTのすべり抵抗評価

AWTのすべり抵抗性を検証するため、溶融型とAWTを用いて、NEXCO試験方法807英国式ポータブル・スキッドレジスタンステストによる路面標示用塗料のすべり抵抗値 (BPN) 測定方法 (写真-6) で実施した。

図-9に耐摩耗性試験前 (施工直後) と耐摩耗性試験後 (14時間後: 23年間相当) の溶融型とAWTのすべり抵抗値 (BPN) を測定した結果を示す。AWTのすべり抵抗は、耐摩耗性試験後も69を示し、溶融型の耐摩耗性試験前の65より高い値を示した。溶融型は膜厚が厚く、高機能舗装の凹凸を平坦化し易く、塗料中に含まれる石油樹脂は熱可塑性樹脂で、タイヤの摩擦熱により軟化し易い特性があり、すべり抵抗を低下させるが、AWTは特殊反射エレメントを混入することですべり抵抗を高めることができる。特殊反射エレメントは、粒径が大きいコア (砂) の周辺に粒径の小さい多数の高強度セラミックガラスビーズを固着している構造上、摩擦抵抗を発生させ、すべり抵抗を増加させていると考えられる。



写真-6 すべり抵抗測定状況

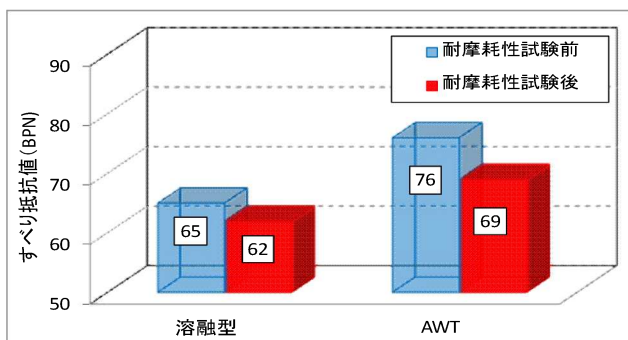


図-9 耐摩耗性試験前後のすべり抵抗測定結果 (室内試験)

(5) AWTの施工性評価

写真-7 に示すように AWT の施工は、溶融型の施工と同様の手押式 (人力施工) が主流になる。これは AWT に含まれる大粒径ガラスビーズや特殊反射エレメントを塗料に固着するためには、膜厚の薄い (0.2~0.3mm 程度) 溶剤 (加熱) 型や水性型塗料を用いることができず、膜厚の厚い (1.0mm) 溶融型塗料を用いることになり、施工は溶融型と同様の機械を用いることになる。

路面標示の施工は、車線 (固定) 規制を行って実施することが一般的であることから、中央破線の施工時は作業員の真横が一般車が通過するため、手押式では最悪の場合人身事故が懸念される。そのため写真-8 に示す溶融型の車載式 (機械施工) が一部の現場で施工されているが、車両側面に散布機を装着する必要があり、装着したままの回送が道路交通法に抵触するため、散布機の脱着作業を現場で行う必要がある。事前準備に時間を要することから、車載式でも手押式の施工時間と変わらない。従って溶融型は手押式が主流になっている。AWT も機械施工ができるよう、写真-9 に示す溶剤 (加熱) 型や水性型用の散布機と同様に現場で取り付け作業を要しないよう自動で散布機を出し入れできる車載式 (機械施工) への改良を検討している。



中央破線の施工時
作業員の人身事故が懸念
(上写真は外側線施工状況)

写真-7 AWT手押式
(人力施工)



機械の取付が現場作業
(回送時に取り外す必要有)

写真-8 溶融型車載式
(機械施工)



機械の出入れが自動
(回送時に取り外す必要無)

写真-9 加熱型・水性型用車載式

(6) AWTの活用例

夜間雨天時の事故多発箇所における速度低減・注意喚起対策として、写真-10～写真-12 に示す車線全幅に大きなシェブロン路面標示材料に AWT を活用した事例がある。

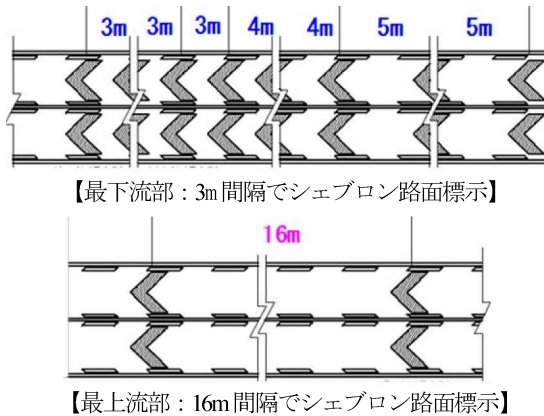


写真-10 AWTを用いたシェブロン路面標示施工状況



写真-11 AWTを用いたシェブロン路面標示昼間視認状況



写真-12 AWTを用いたシェブロン路面標示夜間視認状況

シェブロン路面標示パターンとして、最上流部で 16m の設置間隔から開始し、徐々に設置間隔を縮め、最下流部では 3m の設置間隔と、間隔を変化させることで、夜間雨天時でも運転者の視覚にインパクトを与え、同一速度で走行しても速度が速く感じるような錯覚を与え、特に夜間雨天時の速度超過による事故を速度低下により削

減する狙いがある。図-10 に示す現地測定結果より、高機能舗装 I 型の BPN69 に対し、AWT は BPN87 と約 3 割程度向上し、AWT を使用することで、熔融型で問題視されるすべり抵抗の低下を抑えることができ、路面湿潤時のスリップ防止対策に用いる材料としても有効である。

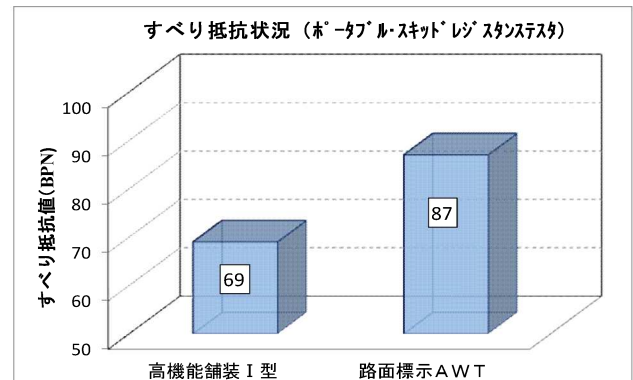


図-10 すべり抵抗測定結果 (現地測定)

4 まとめ

AWT は、室内試験や現場試験施工を通じて、特殊反射エレメントを使用することで、熔融型で懸念されている夜間雨天時の視認性低下やすべり抵抗低下を解決できる。しかし、AWT の施工は、熔融型の施工と同様の手押式 (人力施工) が主流となっていることで、作業時の安全性が懸念されるため、車載式 (機械施工) の活用を検討している。また、AWT の塗料に熔融型を使用することで耐候劣化を受け易く、AWT に混入する大粒径ガラスビーズや特殊反射エレメントは、粒径が大きいため膜厚が薄くなると塗料から離脱する恐れがあり、耐久性についても今後検証していく必要がある。今後 AWT を本線上で実施した箇所の追跡調査を通じて、耐久性を確認するとともに、材料メーカーとともに長期耐久性のある材料開発を進めていきたい。また、AWT の活用に向け、夜間雨天時に視認性を確保すべき施工箇所の検討や夜間雨天時の速度超過箇所における抑制対策としての活用を検討していきたい。

参考文献

- 1) 松下剛, 吉川貴信, 大西隆信, 今代稔: 視覚に訴えた事故対策設備の速度抑制効果, 第 33 回交通工学研究発表会, 2013.
- 2) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社: レーンマーク施工管理要領, 2012.
- 3) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社: NEXCO 試験方法 (第 8 編交通関係試験方法), 2010.

(2014. ?? . ?? 受付)