

いろは坂における多機能型排水性舗装について

○小島 壘・高橋 成男

栃木県 日光土木事務所 (〒321-1414 栃木県日光市萩垣面2390-7)

一般国道120号いろは坂は、急な勾配とカーブが連続しており、冬季には降雪の影響で交通事故が多発している。これまでも、凍結防止剤の散布や薄層すべり止め舗装等の対策を講じてきたが、思うような効果は得られなかった。そこで事故対策として実績があった多機能型排水性舗装(FFP)を舗装修繕工事で採用し、耐久性や事故件数低減効果を検証した。その結果、耐久性において大幅な低下は見られず、凍結抑制効果等から事故件数も減少した。

キーワード FFP, 多機能型舗装, 凍結抑制, 事故対策

1. はじめに

一般国道120号は、世界遺産にも認定されている東照宮などが立ち並ぶ栃木県日光市山内を起点とし、いろは坂、中禅寺湖、金精道路を經由し、群馬県沼田市へ至る幹線道路である。そのなかでもいろは坂においては、令和2年度に土木遺産にも認定され、春夏には新緑、秋には紅葉、冬には雪景色が堪能できる観光においても重要な路線である。

この国道120号のいろは坂は、急な勾配（縦断勾配11%以上）とヘアピンカーブ（最小4.5R）が連続しており（Fig.1）、冬季には降雪や路面の凍結が多く、その影響で交通事故が多発している。また、冬季には群馬県へと抜ける金精道路が通行止めになることから、いろは坂のみが中禅寺湖（中宮祠）と日光市街地を繋ぐ唯一の道路であり、事故等でいろは坂を長時間通行止めにできない状況である。これまでも事故防止対策として凍結防止剤の散布や交通標識・路面注意喚起標示、薄層すべり止め舗装を採用するなどの対策を講じてきたが、思うような効果が得られずに耐久性等にも課題があった。このような背景から、他の自動車道で事故対策舗装として実績のあった多機能型排水性舗装フル・ファンクション・ペーパ（以下、FFP）をいろは坂での舗装修繕工事に導入し、事故低減への効果と耐久性について検証した。

FFPとは、舗装耐久性の向上、凍結抑制効果の向上、騒音低減効果の保持を目的に開発された多機能型排水性舗装であり、専用のアスファルトフィニッシャーを用いる施工により縦溝粗面を形成し（Fig.2）、すべり抵抗や運転手の視認性向上も期待できるものである。専用のアス

phaltフィニッシャーを使用して混合物の敷均しを行うが、転圧作業は一般的な舗装工事で使用されるタイヤローラーやマカダムローラーで施工でき、特別な作業工程もないので施工性は一般的な舗装工事で同等である。

また、同様に溝が形成されるグルーピング舗装は縦断方向に溝を切ると二輪車の走行安全性に懸念があるが、FFPはタイヤ幅の狭い競技用自転車による大会でも縦溝が影響したハンドル操作の不具合や転倒事故は見られず、二輪車の走行における支障はない。



Fig.1 カーブが連続するいろは坂



Fig.2 専用アスファルトフィニッシャーによる敷均し例

本報告は、FFP工法の技術概要を紹介するとともに、舗装修繕工事にFFPを採用したことによる事故件数低減効果や路面性状を含めた耐久性を検証した結果について報告するものである。

2. FFPの概要

(1) 従来の排水性舗装の課題

排水性舗装は、従来の舗装（密粒度As等）に比べ、水跳ね、ハイドロプレーニング現象、視認性、すべり抵抗の低下による事故発生、に効果・メリットがある反面、耐久性低下（骨材飛散）や空隙詰まりによる排水機能低下、浸透水による下部舗装構造の品質低下（砂利化）、寒冷地における凍結膨張破壊等のデメリットが課題になっていた。表層だけに留まらない損傷は、基層も同様に損傷しているため、表層と基層の補修が必要であり補修費の増大が見込まれる。

(2) FFPの特徴

上記の課題に対してFFPは、混合物一層の施工により、降水の影響で溜まった表面水を滞留させにくくする機能を持つ縦溝粗面仕上げと、下部に砕石マスタックアスファルト混合物と同等の防水性機能とを併せ持つことができる舗装である。

FFPには以下の特徴がある。

- a) 一層で排水性機能と防水性機能の2つを併せ持つ (Fig.3)
- b) 専用のアスファルトフィニッシュ施工により、路面が縦溝粗面に仕上がる (Fig.4)
- c) 縦溝粗面効果により、昼夜における走行時の視認性が向上する
- d) 縦溝粗面効果により、密粒度タイプの舗装に比べて路面騒音が低減する
- e) 防水機能を有するため、散布された凍結防止剤が外部へ流出しにくく、また、縦溝粗面に凍結防止剤が留まるため、凍結抑制機能の持続性が高い
- f) 防水機能により、積雪寒冷地域における排水性舗装で起きているような空隙内の水分が凍結することによる破損を抑制できる
- g) 縦溝粗面仕上げにより浮き水が発生しにくくなり、ブラックアイスバーンが抑制できる
- h) 排水性機能によるハイドロプレーニング等の抑制により、走行時の安全性向上が図れる
- i) 高性能改質アスファルトや層構造の効果により、耐流動性と骨材飛散抵抗性に優れる (Table 1)

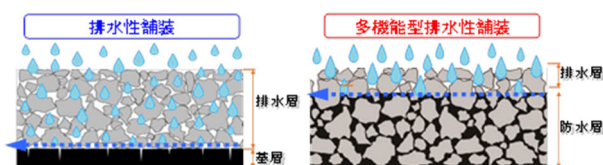


Fig.3 排水性舗装と多機能型排水性舗装のイメージ図



Fig.4 縦溝粗面仕上げ例

Table 1 各種仕様

項目	排水性舗装	多機能型排水性舗装
マーシャル突固め回数(回)	両面 50 回	両面 50 回
マーシャル安定度 (kN)	3.34 以上	5.0 以上
残留安定度 (%)	75 以上	75 以上
カンタプロ損失量 (%)	20 以下	12 以下
動的安定度(DS) (回/mm)	3000 以上	6000 以上
路面のキメ深さ(MPD) (mm)	-	1.2 以上
浸透水量 (ml/15sec)	1000 以上	800 以上
すべり抵抗値(BPN)	60 以上	60 以上

3. いろは坂でのFFP施工事例

(1) 施工概要

国道120号のいろは坂ではFig.5のようなスリップ事故が多発しており、また、冬季には積雪や路面凍結が起これ、事故が発生しやすい環境になっている、この対策として舗装の表面に樹脂骨材を擦り込む薄層すべり止め舗装が採用されてきた (Fig.6)。

従来の対策では、表層施工後にすべり止め施工を行うことから施工日数も延長を強いられ、規制日数も延ばさなければならなくなり、カーブの連続するいろは坂では事故の危険性から規制日数が延長されることは好ましくない。また、この対策において、施工直後は事故件数の減少は見られるもののその効果は持続せず、さらに、耐久性の面や気象条件による施工性においても難が見られた。このため、事故件数の減少と耐久性の向上を目的とした薄層すべり止め舗装の代替となる事故防止対策が望まれていた。

そこで、他の自動車道で事故件数減少の実績があり、施工の規制が複数回必要な薄層すべり止め舗装に対して、施工時の1回のみで対応できるFFPを、いろは坂の舗装修繕工事に導入することとした。

いろは坂におけるFFPの施工箇所をFig.7に示す。路面の損傷や老朽化が著しく、事故件数が多い箇所や凍結防止剤の効果が高めるために凍結防止剤自動散布装置設置箇所を選定した。



Fig5 スリップ事故の例



Fig7 いろは坂におけるFFPの施工箇所



Fig6 薄層すべり止め舗装の施工例



Fig8 FFP施工直後路面状況

それぞれの施工概要を以下に示す。

- a) 第一いろは坂45カーブ、47カーブ
 施工日：2017年4月25日
 施工面積：2236m²
 施工厚さ：t=50mm (切削オーバーレイ)
- b) 第一いろは坂21カーブ、22カーブ
 施工日：2019年8月26日
 施工面積：1697m²
 施工厚さ：t=50mm (切削オーバーレイ)
- c) 第一いろは坂44カーブ
 施工日：2019年11月27日
 施工面積：858m²
 施工厚さ：t=50mm (切削オーバーレイ)
- d) 第二いろは坂明智第二トンネル出口
 施工日：2020年8月4日
 施工面積：1418m²
 施工厚さ：t=50mm (切削オーバーレイ)
- e) 第一いろは坂23カーブ
 施工日：2020年9月8日
 施工面積：1420m²
 施工厚さ：t=50mm (切削オーバーレイ)
- f) 第二いろは坂18カーブ、19カーブ
 施工日：2020年12月1日
 施工面積：1471m²
 施工厚さ：t=50mm (切削オーバーレイ)

上記の中で、施工後の路面性状などの追跡調査を行ったのは22カーブ、23カーブ、47カーブである。Fig8に示すとおり、施工直後の路面はFFPの特徴である縦溝粗面で作られており、施工は良好であった。

(2) 路面性状

いろは坂22カーブ、23カーブ、47カーブのFFP施工直後とそれぞれ8ヵ月～4年後の路面性状試験の結果をTable 2に示す。浸透水量とすべり抵抗値は規格値を下回ることで事故が発生する確率が高くなる。BPNは一般的な指標であるが動摩擦係数の計測値はよりすべり抵抗値の信頼度が高い。

施工直後はどの箇所でもFFPの品質基準値を満たしていた。また、追跡調査の結果では施工後の経過期間が最長の47カーブにおいても大幅な低下は見られず、すべて

Table 2 施工直後と追跡調査後の路面性状試験結果

第一いろは坂	測定日	現場試験結果			
		①路面のキメ深さ MPD (mm)	②現場透水試験 浸透水量 (ml/15s)	③BPN BPN ₂₀	④DFTIによる動摩擦 すべり抵抗試験 μ ₄₀ μ ₆₀
(47) カーブ 4年3か月経過	2017.04.28	1.66	1,047	79	0.38 0.35
	2021.07.26	1.82	1,134	91	0.56 0.57
(22) カーブ 1年10か月経過	2019.08.26	1.50	1,055	93	0.44 0.40
	2021.07.26	1.63	919	89	0.53 0.52
(23) カーブ 8か月経過	2020.09.10	2.02	1,168	85	0.42 0.40
	2021.07.26	1.67	1,113	86	0.51 0.52
	平均	1.73	1,090	86	0.41 0.38
		1.71	1,055	89	0.53 0.53
	社内基準値	1.2以上	800以上	60以上	μ 0.25以上

の箇所では基準値（寒冷地の排水性舗装と同等の浸透水量）を満たしており、耐久性が高いことが確認された。すべり抵抗値が施工直後より高くなっているのは舗設直後のアスファルトの被膜が無くなり、砕石の表面のすべり抵抗に移行するためと考えられる。

(3) 凍結抑制効果

いろは坂は降雪や氷点下になる日が多く、冬季の事故発生の原因の多くが積雪や路面凍結によるものである。FFPは凍結防止剤が縦溝粗面に滞留することによって凍結抑制機能の持続性を高める効果があるとされているので、ここでは管内のFFPを施工した路面に定点カメラを設置し、降雪時のFFPの凍結抑制効果を検証した。

Fig.9はFFP施工路面を定点カメラで撮影したものであり、手前がFFP施工の舗装で奥が密粒度As舗装である。この路線は凍結防止剤を散布している路線であり、その効果の持続性の高さの違いが密粒度As舗装とFFPで顕著に表れた。Fig.9から判断すると、比較舗装には積雪があることに対し、FFPの路面がはっきり露出していることがわかり、凍結防止剤の効果を持続させていることが確認できた。

また、Fig.10のように凍結防止剤を滞留させたFFPの路面上を車が通過することにより引きずり効果で密粒度As舗装にも凍結抑制の効果が表れるということも確認できた。粗面系凍結抑制舗装は路面の凹凸を確保してすべり抵抗の改善を図る工法であることから、FFPは粗面系凍結抑制効果を発揮しているといえる。



Fig.9 路面状況（国道122号・2021年2月施工）



Fig.10 路面状況（第二いろは坂
明智第二TN出口・2020年8月施工）

(4) 事故発生件数

いろは坂における冬季事故発生件数をTable 3に示す。ここでは第二いろは坂のFFP施工区間内における2019年11月1日～2020年4月30日と2020年11月1日～2021年4月30日の事故発生件数を表している。工事区間内においては前年比81%（30件）の減少となった。また、この中でも二輪車の事故件数も減少していた。

前述の凍結抑制機能持続効果などから事故件数低減に寄与しており、走行時の安全性が向上していると考えられる。

Table 3 工事区間内の事故件数

	2019年11月1日 ～2020年4月30日	2020年11月1日 ～2021年4月30日	差
18C～19C	28	2	-26
TN出口	9	5	-4
合計	37	7	-30

4. おわりに

いろは坂の事故多発区間において、FFP施工後、事故発生件数を81%低減させたという結果が得られ、事故抑制に有効な工法であることが言える。また、前述の薄層すべり止め舗装は表層舗設後に表面処理の工程が必要であり、表層一回施工のFFPは規制回数減少によるコスト低減や施工性の面でも有利である。

そして、1年程度ですべり止めの効果が減少する薄層すべり止め舗装に対して、FFP舗装は4年の期間を経てすべり抵抗などの品質低下もなく、耐久性が高いことが確認できた。これは修繕回数の削減にも繋がり、ランニングコスト低減の観点からも有効である。

凍結抑制効果については、一般的な密粒度As舗装に比べてFFP施工の舗装では散布された凍結防止剤が外部へ流出しにくく、縦溝粗面に凍結防止剤が留まるため路面上の積雪は見られず、凍結抑制機能の持続性が高いことが確認できた。

最後に、日光土木事務所管内では他にも降雪や路面凍結が多く、事故が発生しやすい箇所も多数存在しているので今後も現場条件を判断しながら多機能型排水性舗装（FFP）を採用し、事故件数減少の効果や耐久性について検証していきたい。

謝辞：FFPを導入した舗裝修繕工事にあたって、FFPの施工から調査まで約4年間、ご協力いただいた株式会社ガイアートの皆様や、事故なく工事を完成させていただいた施工者の皆様、事業にご協力いただいた関係者の皆様に深く感謝するとともに、今後とも栃木県の取り組みへのご理解ご協力をお願い致します。