

ウォータージェット工法を用いた国道トンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗回復工事とその効果

※日進機工株式会社 市場開発推進本部 丹羽 宏

The Effect of Improvement of The Surface Friction for Concrete Pavement with Water-Jet Application on a National Road Tunnel.

Key word; Water-Jet, Surface Treatment, surface Friction, Concrete Pavement.

1. はじめに

一般国道 25 号（名阪国道）下り線の関トンネル内では、大型車をはじめとした重交通の影響により、コンクリート舗装の表面が研磨された状態（ポリッシング）になってすべり抵抗値の低下と合わせ、高速道路並みの走行実態であることから雨天時のスリップ事故が多発している。今回事故対策として、要因の一つであるすべり抵抗値の回復を行うこととした。

対策工法としては、グルーピング等の各種表面処理工法、ショットブラスト工法等が知られているが、これらの工法に比して、最近多くの建設現場で用いられるようになってきたウォータージェット工法（以下、W J 工法）は、コンクリート表面にマイクロクラックを生じない表面処理が可能な工法として、日欧でも、広く用いられてきている。

このようなことから、ここではW J 工法を適用した粗面処理にて新たな凹凸面を作ることがすべり抵抗値の回復手段として有効な工法と考え、トンネル入り口 300m 区間にテスト施工し、すべり抵抗値と事故発生率の関係について検証することとした。

改良対象である関トンネル下り線における概観を写真－1、写真－2 に示す。



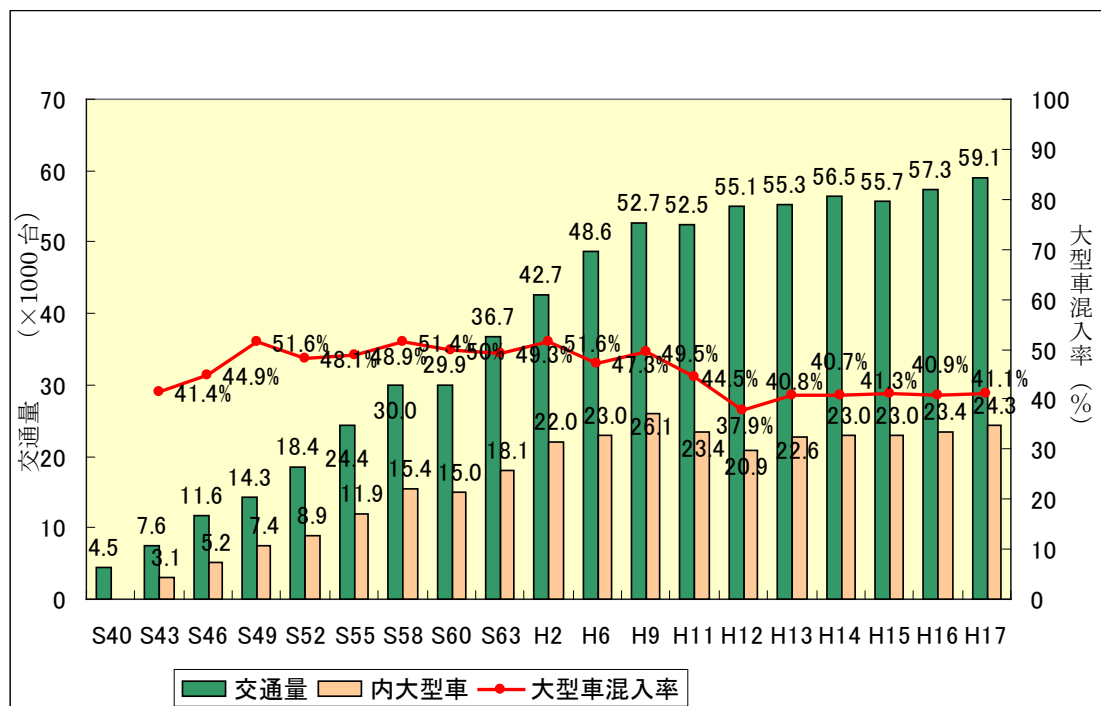
写真－1 坑口手前の状況



写真－2 坑口付近

2. 一般国道 25 号線（自動車専用道路）関トンネル付近の概要

名阪国道は自動車専用道路であり、この路線は名古屋～大阪をつなぐ物流の動脈として交通量が年々増加しており、図－1 に示すように、昭和 40 年 4.5×10^3 台であった交通量が平成 17 年では 59.1×10^3 台と約 13 倍になっており、特に大型車両の通行が約 4 割を占める過酷な交通実態となっている。



図－１ 国道２５号線の交通量（亀山～天理）

名古屋から亀山間と天理から松原間までは、東名阪・西名阪自動車道の高速道路であるが、これらを接続する亀山～天理間は一般国道の自動車専用道路となる特殊な通行形態である。このため、他の一般国道と比較して走行速度が速く、大型車（積載車両）と普通車との速度差が登坂車線になるとより顕著となる特性を有している。特にこの区間に位置する関トンネル下り線（全長 1,110m）の手前では、上り勾配（5%）が長く続くために大型車両の多くは制限速度以下で走行するが、トンネル内（上り勾配 0.5%）に入ると大型車も速度を上げて追い抜く事が多い。また、この付近は冬季には雪害（積雪・路面凍結）対策として凍結防止材を使用することが多く、トンネル入り口付近の路面は、その影響で研磨作用（ポリッシング）が促進される環境にある。

以上のような条件に置かれている関トンネルは、基幹路線としての重交通を支えるとともに、ドライバーの安全を確保する上で、極めて重要な役割を担っているが、事故発生率低減のための維持管理対策の実施に向けては解決すべき課題も多い。

一般に、高速道路の舗装では表面状態の管理基準としてすべり抵抗値が用いられており、規定値以下になるとすべり抵抗性回復処理を行うことになっている。しかし、一般国道では管理基準が明確になっていないため、その対策の実施に向けては供用条件や立地環境、路線の管理条件等を踏まえて個々に検討、実施されているのが実状である。

この様な状況から、車両のスリップ対策として WJ 工法によるすべり抵抗性回復処理を行い、その効果を確認することとした。

3. ジェットスワイパ工法の概要

この工法は、超高圧水をコンクリート表面に回転噴射し、そのエネルギーで粗面に仕上げると同時に、処理水を強力吸引車でバキューム吸引することで隣接車線等への流出を防止するもので、対象物や目的に応じた施工が可能である。

本工法に使用する超高圧水噴射装置（ジェットスワイパ）の概観を写真－3に、処理を行ったコンクリート舗装表面の状況を写真－4および写真－5に示す。また、主な機械の仕様は表－1のとおりである。



写真－3 ジェットスワイパ装置の概観



写真－4 処理後のコンクリート舗装面



写真－5 処理後のコンクリート舗装面

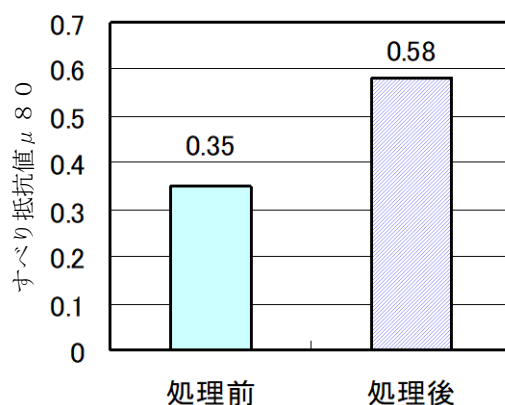
表－1 ジェットスワイパ工法における機械の仕様

機械	仕様（能力）	備考
超高圧水発生装置	最高吐出圧力：245Mpa 吐出水量：51ℓ／min	
ジェットスワイパ	走行方法：自走クローラ式 走行速度：3～9m／min 処理幅：1000mm ノズル方式：2分割回転式 ノズル个数：4～8個 ノズル回転数：30～600rpm	500mm×2 電動インバーターモータ
パワープロベッサ	吸引風量：40 m ³ ／min 以上 真空圧：MAX－93.3kPa	
給水車	4000～10000ℓ	

ジェットスリーパ工法によって処理したコンクリート表面のすべり抵抗値（ μ ）を試験施工で確認した結果、図－2に示すように処理前後で μ は66%も改善されることがわかった。ここに示した数値は、これまでに実施した施工実績（3万 m^2 以上の試験施行と実施行）で得られたデータを平均したものである。

ジェットスリーパ工法の使用条件（仕様）とすべり抵抗の関係を、これまでに実施した実績と調査データをもとに要約すると以下のとおりである。

- ① ノズル回転数を多くすると凹凸ピッチが細くなり、 μ （すべり抵抗値）は大きくなる。
- ② 走行速度を早くすると μ が小さくなるが、その傾向は僅かである。
- ③ 吐出水量を多くすると μ が大きくなるが、その傾向は僅かである。
- ④ ノズル本数を多くすると、有る程度までは μ が大きくなるが、ある本数からは大きな差が生じない。
- ⑤ BPN では、すべり抵抗値の回復度合の判断が困難である。
- ⑥ これらの傾向は骨材の種類、セメント量等のコンクリートの配合の違い等により処理レベルに差が生じる。



図－2 ジェットスリーパ工法によるすべり抵抗値の改善

4. すべり抵抗性回復工事（本施工）

（1） 施工内容

関トンネルではトンネル入り口付近での事故が多いことから、平成 17 年度 25 号管内整備工事で関トンネル東坑口から走行車線、追い越し車線 L＝300m 区間を施工することとした。

施工は、ジェットスリーパ工法を用いて施工幅 1m の範囲で車輪の通行する部分周辺（わだち掘れを生じるような位置）を表面処理することとした。従って走行車線、追越車線各 2 ラインの合計 300m を施工するため、全施工数量は 300m×2 車線×2 ライン＝1200 m^2 とした。

ジェットスリーパの使用条件（仕様）とすべり抵抗値との関係から、本施工での WJ の仕様は表－2 に示す条件とした。

表－２ 今回適用したジェットスローパの仕様

機械	仕様（能力）
超高压水発生装置	最高吐出圧力：240Mpa 吐出水量：50ℓ／min
ジェットスローパ	走行速度：3m／min ノズル個数：4 個 ノズル回転数：100rpm

（２） 施工能力

ここで適用したジェットスローパ工法の施工能力は、WJ 工法計画・施工の手引き（日本 WJ 施工協会編集著書）により算出すると、約 400~600 m²／日の施工量となる。

今回の施工では、長年の使用によりモルタル部分が除去され骨材の露出も多いことから走行速度を 3m／min の仕様とした。その結果、600 m²／日を施工するのに実施工時間は約 10 時間となり、全 1200m²の施工は 2 日間で終了できた。

（３） 施工品質管理

施工前の路面状況（すべり抵抗値）については、BPN の測定データは 44.875 で DF テスターによると $\mu 80=0.295$ 、 $\mu 60=0.306$ と開通時の出来形基準を大きく下回る値を示した。

参考までに、旧日本道路公団舗装管理要綱の出来形基準を表－３に示す。この基準に照らし合わせてみると、すべり抵抗値（ $\mu 80$ ）の 0.35 に対して、かなり抵抗値が小さくなっており、車両がすべりやすい状況になっていることが推定される。

表－３ 品質管理基準（旧日本道路公団）

工種	項目	基準値	備考
コンクリート舗装版	すべり抵抗値	BPN 60 以上（暫定運用）1 車線 200m 間隔	試験用式－222 223 224
		DF テスター $\mu 80 : 0.35$ 以上（暫定運用）（JHS222）5 点/km	監督員が測定する。

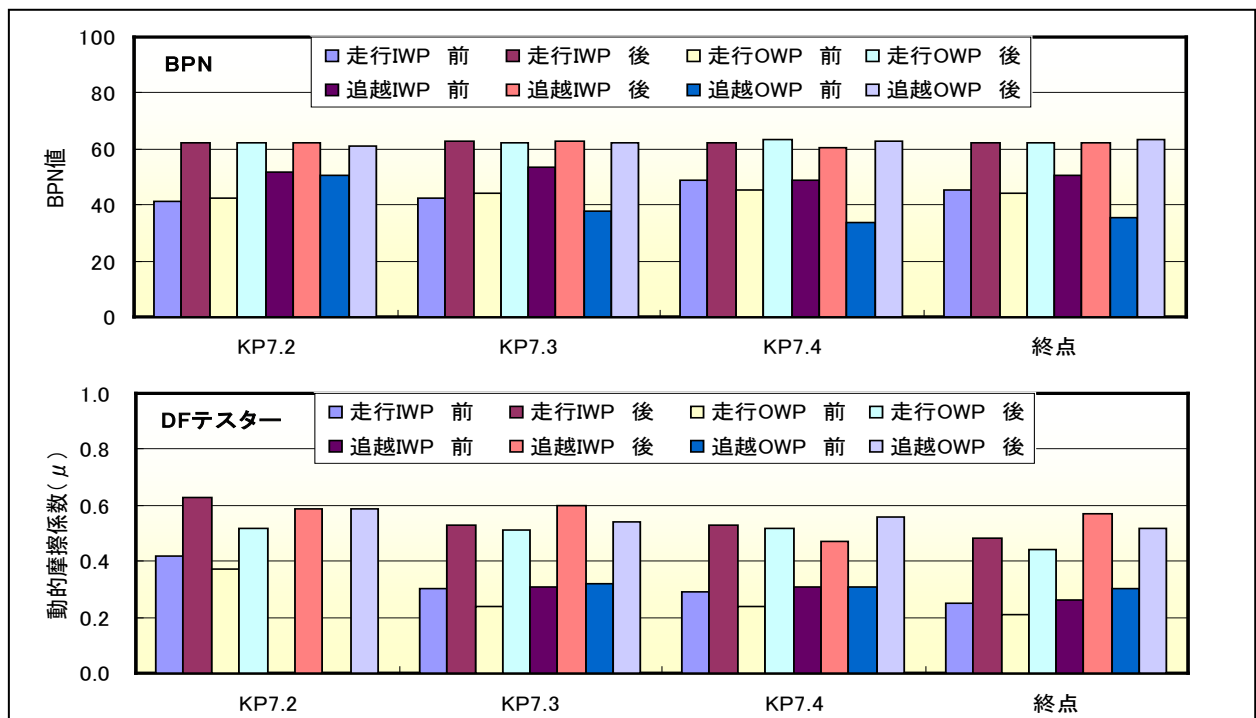
５．改良効果の評価

WJ 工法（ジェットスローパ工法）を適用してコンクリート舗装表面の性状を改善したことの効果を確認するため、施工の前後で BPN および DF テスター値（ $\mu 80$ 、 $\mu 60$ ）を測定した。追越車線および走行車線の全長 300m（1200 m²）の施工前後のデータを数カ所で測定し、その測定結果を表－４、図－３に示す。なお、測定データから明らかなように、ジェットスローパ工法による表面処理によって、路面のすべり抵抗値は、BPN で 17.4 ポイント、 $\mu 80$ で 0.243 ポイント、 $\mu 60$ では 0.285 ポイントと大幅に回復する結果が得られた。参考までに、表面処理前のコンクリート路面の $\mu 80$ は、碎石コンクリートで 0.1、砂利コンクリートで 0.2 程度であると言われている。

このことから、コンクリート舗装表面のすべり抵抗は、WJ 工法の適用によって管理基準を大きく上回るまでに回復し、走行車両の安全性を高める上で極めて有効な手段となることが確認できた。

表－４ 施工前後の路面すべり測定結果一覧表

車線区分	測点 No.	測定位置	BPN		DF テスター (80km/h)		DF テスター (60km/h)	
			施工前	施工後	施工前	施工後	施工前	施工後
走行車線	KP7.2	IWP	41	62	0.42	0.63	0.43	0.69
		OWP	43	62	0.37	0.52	0.39	0.55
	KP7.3	IWP	42	63	0.30	0.53	0.30	0.61
		OWP	44	62	0.24	0.51	0.24	0.56
	KP7.4	IWP	49	62	0.29	0.53	0.29	0.58
		OWP	46	63	0.24	0.52	0.24	0.56
	終点	IWP	45	62	0.25	0.48	0.25	0.53
		OWP	44	62	0.21	0.44	0.20	0.45
追越車線	KP7.2	IWP	52	62	－	0.59	－	0.66
		OWP	51	61	－	0.59	－	0.67
	KP7.3	IWP	53	63	0.31	0.60	0.33	0.67
		OWP	38	62	0.32	0.54	0.36	0.58
	KP7.4	IWP	49	61	0.31	0.47	0.33	0.51
		OWP	34	63	0.31	0.56	0.33	0.63
	終点	IWP	51	62	0.26	0.57	0.28	0.66
		OWP	36	63	0.30	0.52	0.32	0.55
	合計		718	996	4.13	8.6	4.29	9.46
	平均値		44.851	62.229	0.295	0.538	0.306	0.591



図－３ 施工前後の路面のすべり抵抗値測定結果

6. 表面処理後の車両事故発生件数の軽減効果

WJ 工法によるすべり抵抗値回復工事後の施工箇所における平均事故発生件数との関係については、平成 17 年 11 月に施工して約 1 年が経過したが、この間の事故発生件数は、施工前の 8 ヶ月に 8 件発生していたのに対し、施工後 11 ヶ月で 1 件と激減している。この状況は表－5 に示す施工前、ならびに表－6 に示す施工後の事故発生件数からも明らかになる。トンネル坑口付近ではドライバーの視覚的、心理的な影響でブレーキをかけるなどの挙動には広く知られていることではあるが、このような箇所では交通事故の発生率も必然的に高くなっている。

すなわち、このような箇所で車両のブレーキングによる制動効率を高め、供用下における交通の安全性を確保することは道路の維持管理上重要なことであり、本工法の適用はその目的に沿う効果を得ることができる有効な手段になり得るものと考ええる。

表－5 施工前の関トンネル下り線キロポスト (kp) 別の事故発生件数 (H17)

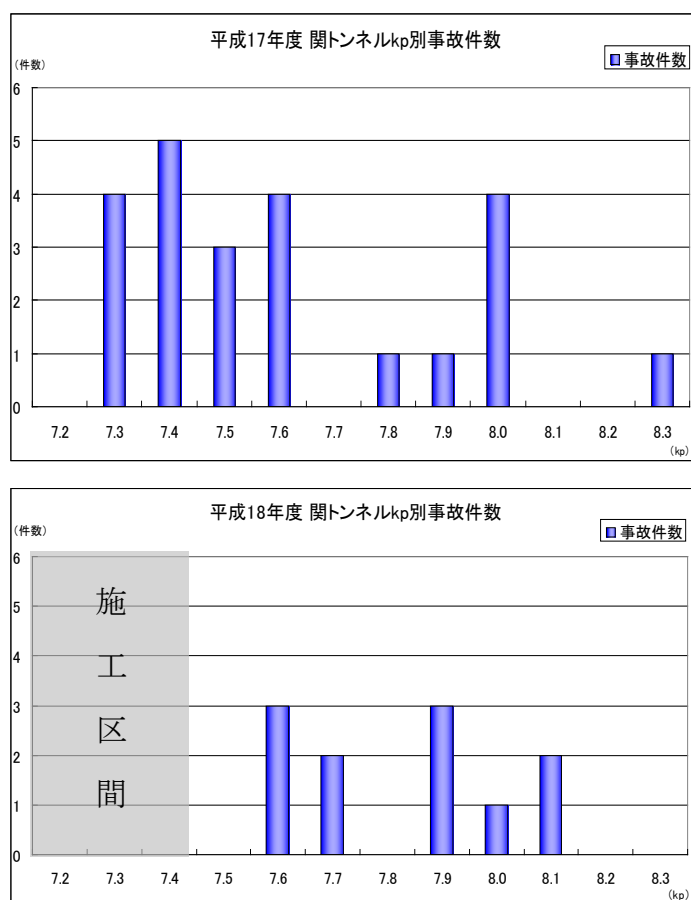
kp	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	事故件数
7.2									0
7.3					2	2			4
7.4				1		1	1	1	4
7.5				1		1			3
7.6				2			2		4
7.7									0
7.8						1			1
7.9						1			1
8.0				2					4
8.1									0
8.2									0
8.3				1					1
合計	0	0	0	7	2	6		3	23

平成 17 年 11 月 8 日、9 日すべり抵抗回復施工（路面の表面処理）

表－6 施工後の関トンネル下り線キロポスト (kp) 別の事故発生件数 (H17～H18)

表面処理	kp	H17	H18										事故件数
		12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	
施工区間	7.2												0
	7.3												0
	7.4				※1								1
施工区間	7.5				1								1
	7.6						1	1	1				3
	7.7					1		1					2
	7.8												0
	7.9										1	2	3
	8.0				2							1	3
	8.1							2					2
	8.2												0
	8.3												0
	合計	0	0	0	4	1	1	4	1	0	1	3	15

※処理後対策箇所での発生事故



図－４ 施工前後の交通事故発生件数の推移

6. おわりに

今回の WJ 工法による国道（自動車専用道路）への“すべり抵抗値回復工事”は、管理基準による数値的な管理値を満足するだけでなく、事故率低減と言う人命に係わる安全率を向上させることのできる工法であることを確認できたことが最大の成果ではないかと考える。本論文で述べたような実測データと合わせて事故発生件数の低減効果まで実施した事例報告は少なく、その意味でも非常に有意義な施工と調査実績が得られたと思われる。

さらに昨今も発展しつつある大量の物流社会において、トラック輸送がその要となる現状を勘案すると、全国のコンクリート舗装のトンネルにおいても、今後安全性の向上を目的として本工法と同様の施工を行うことは、重要かつ効果的な対策になるものと思われる。

今回、本工法の適用により、迅速で安全な施工とその効果が確認されたことから、平成18年度においても、25号管内整備工事において同トンネル下り線の未施工部約800mを施工することとなった。

なお、本論文の作成にあたっては、中部地方整備局 北勢工事事務所 上野維持出張所 作田豊彦所長に監修をお願いしたことを付記しておく。

<参考文献>

- 1) 新留，金子，丹羽：コンクリート舗装すべり抵抗値の回復（試験施工），第9回 北陸道路舗装会議 技術報文集 2003
- 2) (社) 日本道路協会：舗装試験法便覧（1988）
- 3) (社) 日本道路協会：舗装試験法便覧別冊（1986）
- 4) (社) 日本 WJ 施工協会（JACON）：WJ 工法計画・施工の手引き（2004.3）
- 5) (社) 施工技術総合研究所：欧州土木構造物補修・補強調査報告書，1998～2004