

道路トンネルのコンクリート舗装における 路面の滑りについての維持管理計画の作成

(株)長大 阿部 一馬

論文要旨

現在の「道路トンネル定期点検要領(H31.3)」におけるトンネル内の路面の変状確認は、「ひび割れ」、「段差」、「盤ぶくれ」、「沈下」、「変形」、「滞水」、「氷盤」の路面本体に対しての健全性の評価である。トンネル内の舗装については「舗装点検要領(H29.3)」に基づき「ひび割れ」、「わだち掘れ」、「IRI」の健全性評価を行っているのみである。現在、トンネル内の舗装に対して、上記の2つの要領に基づく点検ではスリップ事故の要因となる「路面の滑り」に対する評価方法は含まれていない。

本維持管理計画はトンネル内の路面において、スリップしやすいと考えられる「コンクリート舗装」を対象に、事故対策の観点から「すべり抵抗値」に対して測定・判定を行い、補修手順等を計画することで道路利用者に対して安全な道路空間を提供することを目的として作成した。

キーワード： トンネル維持管理、すべり抵抗値、スリップ事故、コンクリート舗装

背景

近年、紀勢国道事務所管内の自動車専用道路で事故が多発しており、そのうちの7割の事故がトンネル内で発生している。事故の要因の1つが「すべり抵抗値の低下」によるスリップ事故とされており、実際に「すべり抵抗値」を測定した箇所では、基準値を下回っている箇所があり、スリップが発生しやすい状況にある。

1. 課題

道路維持管理は、直轄で管理する一般国道、高速自動車国道及び自動車専用道路（以下、「高速道路」）を常時良好な状態に保ち、一般の交通に支障を及ぼさないことを目的として実施するものとされている。このため、トンネル内の舗装においては「道路トンネル定期点検要領 平成31年3月」（以下、「定期点検要領」）及び「舗装点検要領 平成29年3月」（以下、「舗装点検要領」）に基づき、点検・診断・措置・記録を行い、舗装を良好な状態に保持するための対策を行っている。

しかし、定期点検要領における路面の変状確認は、「ひび割れ」、「段差」、「盤ぶくれ」、「沈下」、「変形」、「滞水」、「氷盤」の路面本体の健全性評価であり、トンネル舗装面は別途、舗装定期点検に基づき、「ひび割れ」、「わだち掘れ」、「IRI」の健全性評価のみとしており、交通事故の要因となる「路面のすべり（スリップ）」に対する評価項目が含まれていない。

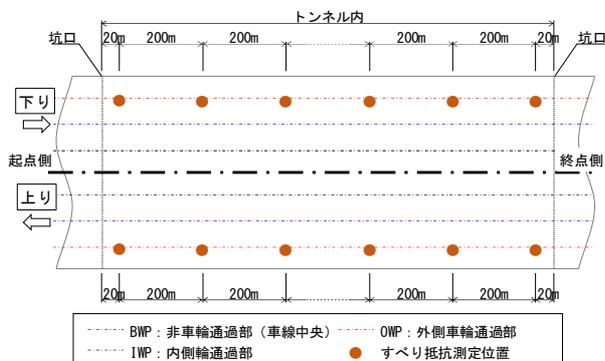
本維持管理計画ではトンネル内の路面において、スリップしやすいと考えられる「コンクリート舗装」を対象に、舗装定期点検における点検項目とは別に、事故対策の視点から「すべり抵抗値」に対して点検・診断を行い、道路利用者に対して安全な道路空間を提供するものである。

2. 点検内容と測定方法及び頻度

2. 1. 実施方針

- (1) トンネル内のコンクリート舗装における路面のすべりの測定については、2. 2. 測定方法の選定より、スキッドレジスタンスにより得られる「すべり抵抗値 (BPN)」を用いる。
- (2) 測定箇所及び間隔は、縦断方向では、舗装施工管理要領 (R2.7) に基づき、すべり抵抗値は、1車線 200m 間隔で測定を行うものとする。横断方向の測定位置は、舗装試験法便覧に基づき、原則としてOWP（外側車輪通過位置）とする（図-1参照）。なお、事故が多く発生している箇所や急挙動などの情報に基づき、適切な箇所を選定して測定を行うものとする。また、測定値は全て路面が湿潤時のものとする。
- (3) 具体的な測定方法は、「スキッドレジスタンスによる測定」を行うものとし、具体的な測定内容は後述する測定方法に準ずるものとする。
- (4) 定期点検要領及び舗装点検要領では、5年間で管内の施設の点検を実施する計画となっている。路面の

すべりについても、路上工事縮減や経済損失の抑制等の観点から同様に点検頻度は5年に1回とし、道路トンネルの定期点検(5年毎)に合わせて実施することを基本とする。ただし、事故発生の頻度が高い等の現地状況に応じて、適宜調査を実施する。



図一 トンネル内におけるすべり抵抗測定位置

2. 2. 測定方法の選定

路面のすべりを測定する方法は、国土技術政策総合研究所が所有するすべり抵抗測定車または当該車両との相関が確認されているすべり抵抗測定車により行う方法とスキッドレジスタンステスト、DFテストがある。しかし、すべり抵抗測定車は、大型車両で台数も少なく高価であるため初期投資が大きく、維持管理を行う上では実用には向かない。また、DFテストは、わだち掘れ等より路面が平坦でない場合測定を行えない。そのため、本計画では測定方法は表一に示す「スキッドレジスタンス」によるすべり抵抗の測定を行うこととする。

表一 路面のすべりに関する測定方法

測定方法	特徴	日作業量	評価
すべり抵抗測定車	<ul style="list-style-type: none"> 車両制動時のすべり抵抗を直接測定するため、長距離の連続測定は困難。 車両台数が少なく、費用も高いため実用性が低い。 	—	△
スキッドレジスタンステスト	<ul style="list-style-type: none"> 振り子式測定器であり測定が容易で、路面の凡の状況把握に利用可能。 他と比べ費用が安価。 	16	◎
DFテスト	<ul style="list-style-type: none"> 動摩擦係数が把握できる 国際的な指標として実績。 わだち掘れ等がある場合、測定が困難。 振り子式と比べて高価。 	16	○

2. 3. 測定方法

2. 3. 1. 測定面の準備

測定面は、ごみや砂を除去するためブラシと清浄な水を用いて十分洗浄する。

測定位置は車輪の通過頻度の最も大きい部分(外側車輪通過位置)とする。

2. 3. 2. 測定器の準備

(1) 水平調整

水平調整ねじのみを用いて、気泡が水準器の中心に位置するように水平に設置する。

ただし、スイングの方向と垂直方向の測定面の傾きとテストの傾きが大きく異なると、スライダーをスイングさせたとき、スライダー以外の箇所が測定面に接触することがあるため、スイングの方向と垂直な方向は測定面の勾配と並行になるよう設置してもよい。

(2) ゼロ点調整

振り子がドラッグポインターをゼロ点に運ぶように摩擦リングを下記方法で調整する。

- ① 締付けノブをゆるめ、垂直高さ調整ノブを回し、振り子をあげ、試験面上をスライダーが自由にスイングできるようにし、締付けノブを固定する。
- ② 振り子をリリース位置におきドラッグポインターを振り子アーム上に留まるまで左回りに回転させる。
- ③ リリースボタンを押し、振り子をはなす。
- ④ ドラッグポインターの指す目盛を記録する。
- ⑤ 目盛がゼロでないならば締付けリングをゆるめ、わずかに支持軸上の摩擦リングを適当に回転させ、再び締める。
- ⑥ 以上の調整を繰り返し、ゼロ点に運ぶように摩擦リングを調整する。

(3) 接地高さの調整

接地長が124~127mmの間になるように下記方法で調整する。

- ① 振り子をフリーに下げたおきスペーサーをリフティングハンドルの調整スクリューの下にはめる。
- ② スライダーの端が丁度試験面に接するように振り子を下げ、締付けノブを固定しリフティングハンドルを上げスペーサーをはずす。
- ③ リフティングハンドルによってスライダーをあげ、振り子を右に動かし、スライダーを下げる。
- ④ 振り子のスライダーの端が試験面に接するまで徐々に左に動かし、接地長さを測るためにスライダーの向きにスイングの方向と平行に定規をおく。
- ⑤ スライダーを上げリフティングハンドルを用い、振り子を左に動かす。

- ⑥スライダーが再び試験面に接するまで徐々に下げる。
- ⑦接地長が 124～127 mmの間にはいらないときは、垂直高さ調整ノブで振り子を上下して調整する。

(4) 測定手順

- ①測定に先立って測定面に十分に散水する。
- ②振り子をリリース位置におき、ドラッグポインターを振り子アーム上にとどまるまでドラッグポインターを左回りに回転させる。
- ③リリースボタンを押し、振り子をはなす。
- ④振り子が路面を通過した後、振り子の逆ぶれがあるのでスライダーが路面に再接触する前に振り子を手で止め、目盛を 1BPN 単位で読み取る。
- ⑤リフティングハンドルでスライダーをあげ、スライダーと測定面が接触しないように、振り子をスタートの位置に戻す。ドラッグポインターもその都度元の位置に戻す。

- ⑥測定は 4 回繰り返し行い、1 回目を除いた 3 回の目盛の読みを BPN 単位で記録する。

- 注 1) 測定面は毎回散水する。
- 注 2) BPN とは British Pendulum (Tester) Number の略である。
- 注 3) 路面温度を路面温度計により記録しておく。
- 注 4) 測定値が大きく変動する場合、変動が小さくなるまで繰り返し測定を行い、変動が小さくなった後に 3 回の測定値の読みを記録する。
- 注 5) 1 回目の測定は使用しないため、目盛の読みを記録しなくてもよい。

3. 結果の記録

すべり抵抗値 (BPN) は 4 回測定を行った内、1 回目を除いた 3 回の測定値を算術平均し、整数に丸めた値を用いる。

路面温度が 1～35℃の範囲にある場合、20℃の時の BPN への換算式は、下記式による。

$$C_{20} = -0.0071t^2 + 0.9301t - 15.79 + Ct$$

C₂₀ : 20℃に補正した BPN
C_t : 路面の表面温度 t℃の時の BPN
t : 路面の表面温度 (°C)

S021-I	振り子式スキッドレジスタンステスタによるすべり抵抗測定 (BPN)	試験報告 用紙							
調査名 _____		試験年月日 _____							
測定箇所 _____		試験者 _____							
		検 査 者 _____							
測定車線	測 点	BPN 測定値					補正係数	路面温度	舗装種類
		1	2	3	4	5			
備 考 温度補正式 $C_{20} = -0.0071t^2 + 0.9301t - 15.79 + Ct$ ここに、 C ₂₀ : 20℃に補正したBPN C _t : 路面の表面温度t℃の時のBPN t : 路面の表面温度 (°C)									

図-2 試験結果データシート

4. 維持管理 (修繕) 基準と対応内容

4. 1. 維持管理 (修繕) 基準の設定

振り子式スキッドレジスタンステスタの測定結果から得られる「すべり抵抗値 (BPN)」について、維持修繕の基準値は表-2 に示す。

下表に示すすべり抵抗値 (BPN) の基準値はそれぞれ修繕の目安とし、一般に事故率が上がるとされている値を記載している。対策区分が IIa 以上となる値が測定された場合には、応急対策を実施し、早急に恒久対策を実施することが望ましい。

表-2 路面のすべりに関する測定方法

維持管理 (修繕) 基準判定区分		対策の内容	すべり抵抗値 (BPN)
出来形基準			60 以上
対策不要	I	なし	58 以上
継続監視	IIb	継続監視	58 未満
応急対策	IIa	応急対策後、計画的に恒久対策を検討する (5 年以内)	45 未満
	III~IV	応急対策後、早急に恒久対策を検討する (5 年以内)	29 未満

4. 2. 補修優先度の設定

紀勢国道事務所管理の道路トンネルについて、すべり抵抗値の測定及び補修作業の実施についてのフローを図-3に示す。

また、補修の優先度については、表-3に示すすべり抵抗値(BPN)、累計事故件数、道路線形(曲線半径、縦断勾配)の条件から0~100までの数値で優先度を示す指標を用い、補修優先度が高い施設から補修を実施する方針とする。設定条件については次頁に記載する。

基本は5年毎に実施する定期点検時にすべり抵抗値を測定し、補修優先度評価指標に応じて補修対策を実施する。

定期点検前にスリップ等のすべり抵抗が関与すると想定される事故が発生した場合には、早急にすべり抵抗値を測定し、補修優先度評価指標に応じて補修対策を実施する。

トンネル内の補修範囲については、すべり抵抗測定値や事故発生位置等の現地状況を考慮して設定する。

- ※1 W1: 項目間の重み
- ※2 W2: 項目内の重み
- ※3 すべり抵抗値(BPN): 測定値(最小値)
- ※4 累計事故発生件数(過去10年間)
- ※5 道路線形(条件A: 曲線半径1000m以下、
条件B: 縦断勾配2.0%以上)

[設定条件]

- ・評価項目は条件①, ②, ③の順で優先度が高く設定。
- ・条件①で設定した項目間の優先度(重み)は条件②, ③での評価により逆転しないよう設定。
- ・条件②で設定した項目間の優先度(重み)は条件③での評価により逆転しないよう設定。
- ・合計点数の高いものほど優先度が高くなる。

4. 3. 対策方針

すべり抵抗値に応じて、以下の「応急対策(恒久対策実施までの当座の対策)」及び「恒久対策」に示す対策等を実施する。

(1) 応急対策

大規模な交通規制を必要としない以下の速度抑制及び視線誘導の対策を行うものとし、下表の対策事例を参考に適切な箇所における応急対策を検討する。

表-4 トンネルの応急対策(事例)

対策種別	実施場所	応急対応(事例)
速度抑制	トンネル入口 非常駐車帯部	SL看板「トンネル内事故多発」2枚 SL看板「速度注意」2枚
視線誘導	トンネル内	視線誘導標の設置 (路肩縁石側面/監査路防護柵/監査路側面)

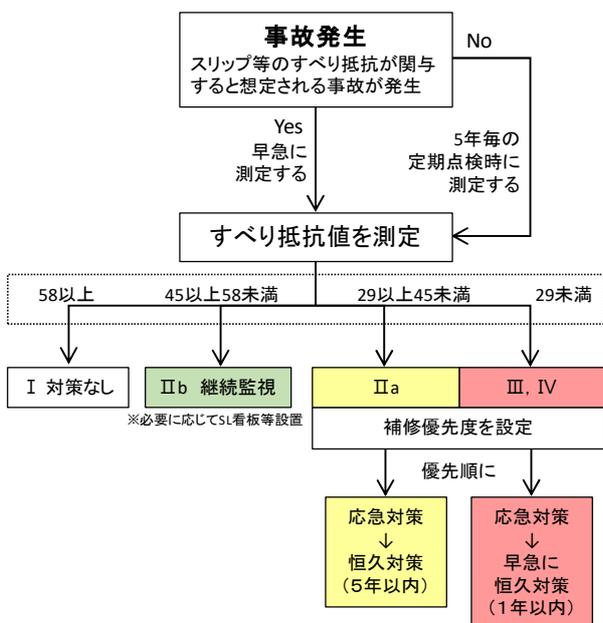


図-3 路面のすべり抵抗値測定・補修フロー

表-3 補修優先度評価指標の算出表

評価項目	重み付け				
	W1※1	W2※2			
条件①※3	51	分類 x < 29 III, IV	29 ≤ x < 45 IIa	45 ≤ x IIb, I	補修対象外
条件②※4	33	分類 3 ≤ y	1 ≤ y ≤ 2	y = 0	
条件③※5	16	分類 AかつB	AまたはB	該当無	
合計	100				

表-5 応急対策案

SL看板	視線誘導材 路肩縁石側面	視線誘導材 監査路防護柵	視線誘導材 監査路側面

(2) 恒久対策

せなどで実施可能な「速度抑制」、「すべり止め」、「はみ出し防止」等の対策を行うものとする。

路面のすべり抵抗を回復するための恒久的な措置としては、トンネル断面の建築限界を考慮して粗面処理工

法を基本とする。粗面処理工法には、切削歯の付いた円筒ドラムを高速回転させるダイヤモンドグラインディング工法(DG工法)、鉄球を連続で舗装面に打ち付けるショットブラスト工法(SB工法)、超高压水を舗装面に回転噴射するウォータージェット工法(WJ工法)がある。施工後の耐久性の観点からSB工法(3~4年)やWJ工法(3~4年)と比較して、DG工法(10年程度)が優れるため本計画ではDG工法を恒久対策工法として提案した。

表-6 トンネルの恒久対策(事例)

対策種別	実施場所	恒久対策(事例)
すべり止め	TN内	舗装粗面処理工法(SB工法、WJ工法、DG工法)
その他	速度抑制	TN入口 注意喚起看板(連続看板)、段差舗装
	はみ出し防止	TN内 ドットライ、視線誘導路面標示(矢印)
	視線誘導標	TN内 視線誘導標(ビームリ)

表-7 恒久対策案(その他)

注意喚起看板 ※連続看板	パノミックアロー ※矢印を文字に変更	段差舗装	ドットライ、 視線誘導 路面標示
			

あ と が き

本研究の遂行にあたり、貴重なご助言を賜りました紀勢国道事務所職員の皆様に深く感謝申し上げます。また、実地調査やデータ収集にご協力いただいた株式会社土木管理総合試験所の皆様に心より感謝いたします。

本研究の成果をもとに、将来的にはトンネル内路面のすべり抵抗測定方法の標準化と、そのデータを活用した予防措置や事故防止策の開発を目指しております。また、今後は異なる舗装材や地域特性に応じた調整も行い、より汎用的かつ実用的な対策を構築することを目指して参ります。結果として、道路利用者に対する安全性の向上と、交通事故の更なる低減に貢献できるよう、持続的な研究活動に努めてまいります。

参 考 文 献 (または 引 用 文 献)

- 1) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社,舗装施工管理要領, R.2.7,p.

II-37

- 2) 舗装試験法便覧
- 3) 市原薫・小野田光之,新訂版 路面のすべり一道路・滑走路・床面一,技術書院,S.61.11,pp.115~119
- 4) 基礎地盤コンサルタント(株)半澤孝樹・萩原協仁,トンネル業務における「すべり抵抗値」測定を用いた評価事例,「技術フォーラム 2016」熊本,一般社団法人全国地質調査業協会連合会
- 5) 大堀太千男,イタルダ・インフォメーション2007 No.67,(財)交通事故総合分析センター,2007.4,pp.4~5
- 6) 技術支援課 狭間博・峰岸順一, 3. トンネル内コンクリート舗装路面におけるすべり抵抗性の評価検討,都土木技術支援・人材育成センター年報,H29,pp.27~36