

報告

超速硬高靱性繊維補強コンクリートを用いた 橋面コンクリート舗装の供用性評価

岩本泰徳^{*}，橋本雅行^{**}，岸良竜^{***}，橋吉宏^{****}，高橋光彦^{*****}，湯野和樹^{*****}

^{*} (株) トクヤマ セメント開発グループ (〒299-0268 千葉県袖ケ浦市南袖 10)

^{**} (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 (〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154)

^{***} 博 (工)，太平洋セメント (株) 中央研究所 (〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

^{****} 博 (工)，(株) フルテック (〒939-0125 富山県高岡市福岡町矢部 601)

^{*****} 大成ロテック (株) 南関東支社 (〒135-0043 東京都江東区塩浜 2-7-201)

^{*****} 富山市 建設部 道路構造保全対策課 (〒930-8510 富山市新桜町 7-38)

橋面コンクリート舗装は、道路橋床版の耐荷性・疲労耐久性および物質浸透抵抗性の向上が期待できる工法である。本報告では、富山市内の新屋橋に施工した超速硬高靱性繊維補強コンクリートを用いた橋面コンクリート舗装について、供用 4 年目における調査結果を報告する。調査の結果、浮きやはく離は見られず一体性は確保できており、すべり抵抗性や乗り心地などの走行性能についても適正な値が維持されていることを確認した。

キーワード：超速硬高靱性繊維補強コンクリート，橋面コンクリート舗装，一体性，走行性能

1. はじめに

我が国において社会インフラの維持管理費用の縮減は喫緊の課題である。コンクリート舗装は、アスファルト舗装に比べて施工費が割高であるものの、高耐久で LCC の観点で優位であると共に、道路橋床版の耐荷性・疲労耐久性の向上による長寿命化が見込まれる。土木学会鋼構造委員会「道路橋床版の点検診断の高度化と長寿命化技術に関する小委員会」(以下、前期委員会)では、特に地方部の中小橋梁への橋面コンクリート舗装の適用を検討し、2019 年に富山市建設部橋りょう保全対策課の協力のもと、供用中の新屋橋において超速硬高靱性繊維補強コンクリートを用いた橋面コンクリート舗装の試験施工を実施した。その結果、床版の剛性が向上しているとともに、走行性能の指標であるすべり抵抗性は実用上問題ない値であることを確認した¹⁾。

本報告は、新屋橋で試験施工を行った橋面コンクリート舗装について、供用 4 年時点における路面性状を調査し、一体化性や走行性能などの供用性評価を行った結果について報告する。

2. 施工概要

2.1 対象橋梁と補強方針¹⁾

新屋橋は、富山市内を流れる神通川近傍の牛ヶ首用水

に架橋する橋長 18.0m、幅員 6.1m、床版支間 2.15m、床版厚 17cm の単純活荷重合成 H 桁橋で 1968 年に建設された橋梁である。施工前の状況を確認すると、既設コンクリート舗装面が周辺土間部の舗装よりも低くなっており、橋梁前後のアスファルトによる擦付け舗装が施されていた。事前調査の結果、既設 RC 床版は概ね健全であることが確認されたため、アスファルトの擦付け舗装撤去後、増厚オーバーレイ工法による橋面コンクリート舗装を適用することとした。施工厚は、復元設計に基づく橋面コンクリート舗装の施工厚を検討した結果²⁾から、死荷重の増加が実用上問題にならない範囲として 30mm 厚に決定した。

2.2 超速硬高靱性繊維補強コンクリート¹⁾

適用するコンクリートとして、前期委員会において検討した各種の橋面コンクリート舗装³⁾の中から、超速硬高靱性繊維補強コンクリートを選定した。超速硬高靱性繊維補強コンクリートは、曲げたわみ硬化特性を有する繊維補強コンクリート (DFRCC) で、3 時間で 24N/mm² 以上の圧縮強度を発現する早期開放性や、乾燥収縮が小さく既設 RC 床版との長期的な一体化性が期待できることなどを特長とする。合成短繊維を使用することから、鋼繊維と異なり点錆やタイヤパンクの懸念がないため、橋面コンクリート舗装に適していると考えられる。

表-1 超速硬高靱性繊維補強コンクリートの配合

W/B (%)	最大骨材径 (mm)	繊維混入率 (vol%)	配合 (kg/m ³)			
			A 材 (モルタル)	B 材 (粗骨材)	PP 繊維	水
35.9	13	2.5	1,430	759	22.7	189



写真-1 敷き均し状況 1)



写真-2 仕上げ状況 1)



写真-3 供試体の暴露状況

表-2 調査項目

調査項目		調査方法	調査位置	調査日
ひび割れ・路面状況		目視	路面全体	施工前調査
はく離・浮き		打音, コンクリートテスト	路面全体	2019年10月1日
平坦性		マルチロードプロファイラ	測線 N, S	施工直後調査
横断勾配・わだち掘れ		マルチロードプロファイラ	測線 W, C, E	2019年10月20日
表面粗さ		サンドパッチング法	測点 1~6	供用1年後調査
すべり 抵抗	BPN	振り子式スキッドレジスタンステスト	測点 1~6	2020年9月14日
	動的摩擦係数	DF テスタ	測点 1~6	供用4年後調査
				2023年10月17日

2.3 施工 1)

既設 RC 床版に目立った劣化が確認されなかったことから、アスファルトによる擦付け舗装の撤去後、既設コンクリート舗装の切削は行わず、床版上に投射密度 150 kg/m² でスチールショットブラストを行うことで下地処理とした。超速硬高靱性繊維補強コンクリートは、施工時点では物質浸透抵抗性が十分に確認できていなかったことから、接着材により防水性や物質浸透抵抗性が確保できるよう床版上に接着材を全面塗布した。

超速硬高靱性繊維補強コンクリートの製造は材料ホップ、搬送装置、計量器付ミキサを車載した小型現場練り製造装置を使用した。製造したコンクリートは一輪車で打設箇所へ搬送し、人力で粗く均したあと、移動式締固め装置で敷き均しおよび締固めを行った(写真-1)。その後、被膜養生剤を散布しながらコテ、トロウエル、トンボを用いて押え、箒目を付けて表面を仕上げた(写真-2)。

2.4 供試体の作製

製造した超速硬高靱性繊維補強コンクリートの強度発現性の確認を目的として、橋面コンクリート舗装の打設と並行して、各種供試体の作製を実施した。供試体は、圧縮強度および静弾性係数用として円柱供試体(φ100



図-1 調査位置図

×200mm)を、接着強度用として平板供試体(400×400×130mm)をそれぞれ作製した。平板供試体については、模擬コンクリート床版として、NEXCO 試験法 439(床版上面における断面修復用補修材の試験方法)に規定される下地材B(400×400×100mm)を使用した。当該下地材Bの型枠面について、新屋橋における橋面コンクリート舗装の施工仕様と同様に、スチールショットブラストで下地処理した後に接着材を全面塗布し、コンクリートを30mm厚で打設した後、被膜養生剤を噴霧してから金鍍仕上げとした。作製した供試体は、翌日まで新屋橋で保管した後、新屋橋と同一町内である株式会社婦中興業(富山市婦中町速星478番地)の雨掛かりのある敷地内に屋外暴露した(写真-3)。供試体は4章に示す所定の材齢・方法において評価試験を実施した。



a) 全景

b) 舗装路面

写真-5 コンクリートテストによる調査状況

写真-4 供用中の新屋橋

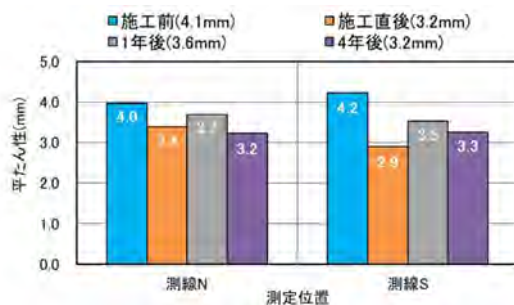


図-2 平たん性の測定結果

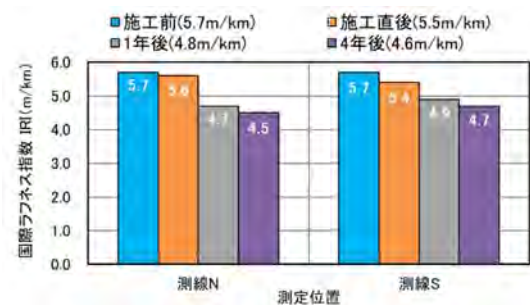


図-3 IRI の測定結果

表-3 国際ラフネス指数 (IRI) の限界値⁴⁾

検討する舗装	ヤード 市内道路	一般道路	自動車専用道路	高速自動車国道	空港滑走路
標準速度 (km/h)	40	60	80	100	250
IRI の限界値	11.0	7.0	5.0	3.5	1.5

3. 路面調査

3.1 評価概要

所定の一体性・走行性能を確保していることの確認、また施工直後から供用による変化の確認を目的に路面調査を実施した。調査位置を図-1に示す。新屋橋は、片側1車線の比較的幅員の狭い橋梁であり、通行車両は中央ライン付近を走行すると予想されたため、幅員の中央付近に調査位置を設けた。調査項目を表-2に示す。全面における目視によるひび割れ・路面状況、同じく全面における打音およびコンクリートテストによるはく離・浮きの有無の確認、測線NおよびSにおけるマルチロードプロファイラ (MRP) による平たん性・国際ラフネス指数 (IRI)、測線W、CおよびEのMRPによる横断勾配・わだち掘れ、測点1～6におけるサンドパッチング法による表面粗さ、同じく測点1～6における振り子式スキッドレジスタンステストおよび回転式すべり抵抗測定器 (DF テスタ) によるすべり抵抗の6項目とした。

3.2 評価結果

(1) ひび割れ・路面状況

供用中の新屋橋の全景および舗装路面を写真-4に示す。目視による調査の結果、供用4年後において橋梁全体を通してひび割れや舗装表面の変状は確認されなかった。

(2) はく離・浮き

打音検査による調査の結果、はく離・浮きは認められなかった。また、打音と併せてコンクリートテストを用いて、はく離・浮きの可能性を調査した (写真-5)。本コンクリートテストは、加速度センサを内蔵したハンマーでコンクリートを打撃した際の、衝突時の時間あたりの加速度の変化から打撃力波形を算出し、コンクリート表面近傍の劣化状況を検査するものである。調査の結果、はく離・浮きの可能性があると判断される箇所はなかった。これらの結果から、施工した橋面コンクリート舗装は良好な一体性を確保していることが確認された。

(3) 平たん性・国際ラフネス指数 (IRI)

マルチロードプロファイラ (MRP) による平たん性の評価結果を図-2に示す。測定延長が短いため、平たん

性の測定結果は参考値として扱う。施工前の既設コンクリート舗装の平坦性に比べて、橋面コンクリート舗装の施工直後および供用1年後、4年後のそれは小さく、平坦性が改善すると共に供用4年での変化は大きくない。

MRPによって得られた縦断プロファイルから算出した国際ラフネス指数(IRI)を図-3に示す。IRIは舗装表面の凹凸に関する評価指標であり、乗り心地と相関があるとされている。表-3に舗装標準示方書⁴⁾で示されるIRIの限界値を示す。IRI限界値は、標準速度40km/hのヤードおよび市内道路では11.0、標準速度60km/hの一般道路では7.0とされており、これに対して新屋橋に施工した橋面コンクリート舗装はIRIが4~6であることから、乗り心地に関して問題ない状態であると考えられる。また供用における悪化も見られなかった。

(4) 横断勾配・わだち掘れ

側線Cにおける施工前後および供用1年後、4年後の横断プロファイルを図-4に示す。既設コンクリート舗装面の横断勾配の約2%に対し、施工後の橋面コンクリート舗装面のそれはほぼ同じ勾配であり、供用による変化も確認されなかった。また横断プロファイルを見る限り、施工前から通じて明確なわだち掘れは生じていなかった。コンクリート舗装はアスファルト舗装と比較して、わだち掘れが生じにくいことは一般に知られることだが、新屋橋はこれに加えて有効幅員が5.5mと狭く明確な二車線道路とは言い難いため、対向車が来ない際はほぼ道路の中央付近を走行するものと想定され、走行位置が不明瞭であること、また大型車両の走行が少ないことが理由として考えられる。

(5) 表面粗さ

サンドパッチング法による表面粗さの測定結果を図-5に示す。側点ごとに変動はあるものの、表面粗さは施工前より施工後のほうが低い値となっており、比較的凹凸の少ない路面に仕上がっていることが確認できる。供用による変動に着目すると、No.1~No.5の変動はほとんど見られないのに対し、No.6のそれは徐々に低下している。No.6は他の点と比較して施工直後の値が大きいことから、比較的表面粗さの大きい状態から凸部のモルタルがすり減ることで凹凸が減少し表面粗さが低下したと推察される。

(6) すべり抵抗

振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗値(BPN)の測定結果を図-6に示す。BPNは、舗装調査・試験法便覧における補正式⁵⁾を用いて温度補正を行った結果である。舗装設計施工指針では、BPNによる評価適用例として、「舗装材料のすべり抵抗性に関して湿潤路面で歩行者や自転車がすべりやすさを感じない抵抗値の目標としてBPN値で40以上とすることがある。」とされており⁶⁾、地方自治体などで準用されている。車道部のすべり抵抗値は、NEXCO規格においてBPN値

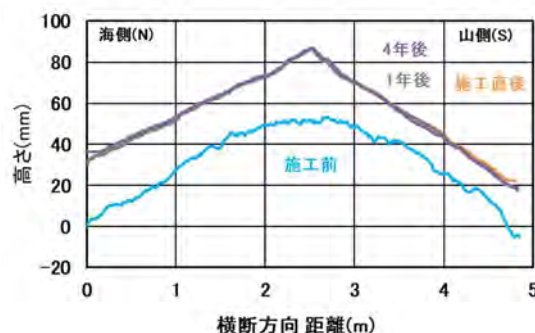


図-4 測線Cにおける横断プロファイル

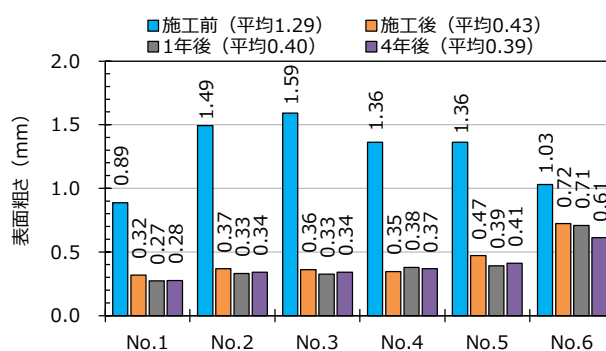


図-5 表面粗さの測定結果

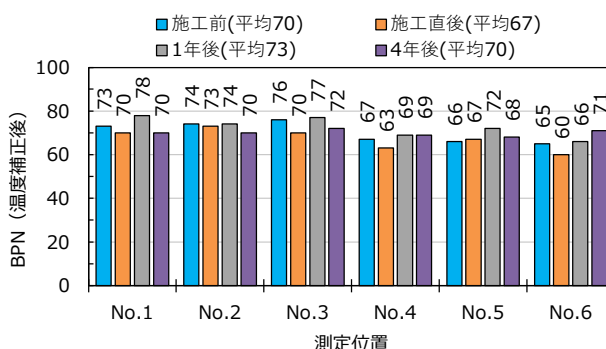


図-6 すべり抵抗値(BPN)の測定結果

で60以上(暫定運用値)とされており⁷⁾、維持修繕で舗装を切削オーバーレイした後の管理に準用されている。新屋橋に適用した橋面コンクリート舗装面のBPNは、いずれの測点においても60以上であり、歩道および車道として必要とされるすべり抵抗が確保されている。また施工直後から供用4年後にかけて大きな変化はなく、車両走行によるすべり抵抗性の低下は確認されなかった。

DFテストによる動的摩擦係数の測定結果を図-7に示す。橋面コンクリート舗装面の動的摩擦係数は、施工直後は0.29~0.32であったが、供用1年後は0.43~0.49、供用4年後は0.48~0.52とすべり抵抗が向上していることが確認された。これは、コンクリートの打ち込み時に散布した被膜養生剤(エチレン酢酸ビニルエマルジョン)や仕上げ面に露出した補強繊維(ポリプロピレン繊維)が施工直後のすべり抵抗性を低下させたものと推察さ

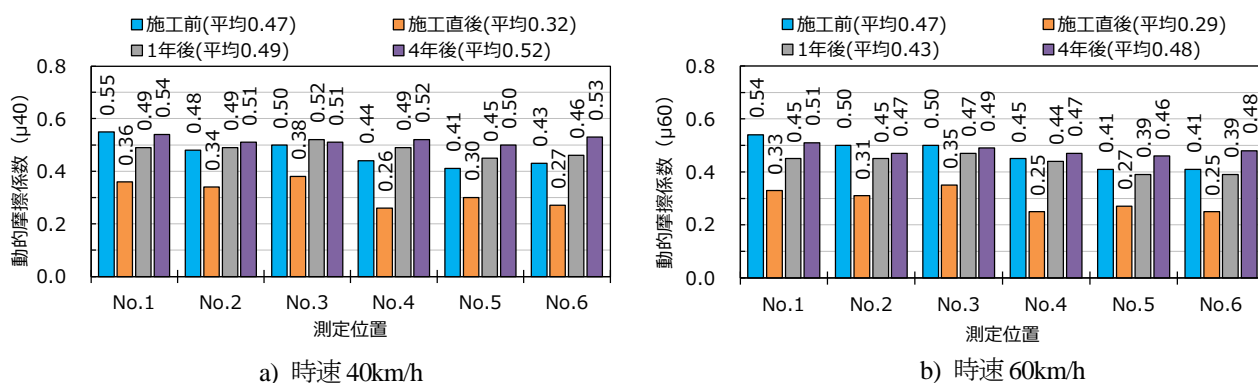


図-7 動的摩擦係数の測定結果

表-4 すべり摩擦係数

	速度 40km/h		速度 60km/h	
	動的摩擦係数 μ_{40}	すべり摩擦係数	動的摩擦係数 μ_{60}	すべり摩擦係数
施工前	0.47	0.52	0.47	0.65
施工直後	0.32	0.39	0.29	0.45
1年後	0.48	0.53	0.43	0.61
4年後	0.52	0.56	0.48	0.66

表-5 試験方法および各材齢における試験結果

項目	測定材齢					試験方法
	3時間	2日	29日	359日(1年)	1501日(4年)	
圧縮強度	34.3N/mm ²	—	61.1N/mm ²	83.4N/mm ²	92.2N/mm ²	JIS A 1108
静弾性係数	—	—	38.2kN/mm ²	41.2kN/mm ²	43.9kN/mm ²	JIS A 1149
接着強度	—	2.7N/mm ²	—	3.5N/mm ²	4.5N/mm ²	建研式

れ、車両の走行や雨水が路面を流れることなどにより除去されてきたことが影響しているものと考えられる。NEXCO 規格では、動的摩擦係数による評価適用例として、アスファルト混合物の種類で異なるものの、新設の管理基準値は80km/hの条件で0.25以上もしくは0.35以上が設定されている⁷⁾。また、道路維持修繕要綱によると、アスファルト舗装およびコンクリート舗装に対する維持修繕要否判断の目標値の一つとして、すべり抵抗測定車によるすべり摩擦係数0.25を示している⁸⁾。この目標値の条件は、自動車専用道路では80km/h、一般道路では60km/h、路面は湿潤状態である。すべり摩擦係数と動的摩擦係数の相関性については、舗装調査・試験法便覧に速度が40km/hおよび60km/hでは相関性が認められており、式(1)および式(2)に示す関係式が示されている。

$$\mu_{DFT}=1.143 \mu_{FMV}-0.124 \quad [\text{速度 } 40\text{km/h}] \quad (1)$$

$$\mu_{DFT}=0.878 \mu_{FMV}-0.101 \quad [\text{速度 } 60\text{km/h}] \quad (2)$$

ここに、 μ_{DFT} : DF テスタによる動的摩擦係数

μ_{FMV} : すべり抵抗測定車によるすべり摩擦係数

式(1)および式(2)を用いて動的摩擦係数から換算したすべり摩擦係数を表-4に示す。施工直後から供用4

年後にかけて、すべり摩擦係数0.25を超えていることから、新屋橋に適用した橋面コンクリート舗装は、適切なすべり抵抗が確保されていると判断できる。

4. 供試体による評価試験

2.4節にて作製した供試体について、所定の材齢において強度試験を実施した。試験方法および試験結果を表-5に示す。

(1) 圧縮強度・静弾性係数

材齢3時間における圧縮強度は34.3N/mm²と管理基準である24N/mm²を上回っていた。また、コンクリートで標準的な材齢28日(29日)における圧縮強度および静弾性係数は、おおむね予定通りの値となった。その後、路面調査と同時期の材齢359日(1年)および材齢1501日(4年)に測定した結果、いずれも強度が増加していることが確認された。

(2) 接着強度

接着強度については、コアドリルを用いて下地コンクリートまで切れ込みを入れた後、 $\phi 75\text{mm}$ の接着治具を取り付け、建研式引張試験器にて強度の測定を行った。

材齢 2 日における接着強度は 2.7N/mm^2 であり、一般に求められる 1.0N/mm^2 を十分に超えていた。材齢 359 日および材齢 1501 日における接着強度は、圧縮強度と同様に材齢とともに強度が増進していることが確認された。接着試験における破断状況を写真-6 に示す。材齢 359 日の接着強度は 3.5N/mm^2 と十分な強度である一方、超速硬高靱性繊維補強コンクリートの凝集破壊により破断していた。それに対し、材齢 1501 日では接着強度は 4.5N/mm^2 となり、さらに下地コンクリートで破断していることから、材齢の経過による超速硬高靱性繊維補強コンクリートの直接引張強度の向上が確認された。また、いずれの材齢においても界面による破断がないことから、超速硬高靱性繊維補強コンクリートと下地コンクリートは良好な一体性を有していると判断できる。本結果は供試体によるものであり、実際に交通荷重を受けたものではないものの、実橋の打音検査にて浮き・はく離は確認されなかったことから、施工された橋面コンクリート舗装についても良好な付着特性を有しており、一体性が保持されていることが期待される。

5. まとめ

道路橋床版の長寿命化を目的とした橋面コンクリート舗装の適用性を検討することを目的に、富山市内の新屋橋を対象として、超速硬型繊維補強コンクリートを用いた橋面コンクリート舗装の試験施工を実施した。今回、供用 4 年後の路面調査を行い、供用性を評価した結果を以下に示す。

- (1) ひび割れや舗装の変状は確認されなかった。また、打音およびコンクリートテストによる調査の結果、はく離・浮きは認められず、良好な一体性を確保していることが確認された。
- (2) MRP による評価の結果、平坦性について供用による悪化は見られなかった。また、IRI は舗装標準示方書に示される限界値未満であり、良好な乗り心地であることが確認された。
- (3) 振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗値 (BPN)、DF テスタによる動的摩擦係数およびすべり摩擦係数はいずれも適正な値を維持していることが確認された。
- (4) 施工と同時に作製した供試体による強度試験の結果、材齢 4 年においても強度が増進していることが確認された。接着強度は 4.5N/mm^2 と十分な値であり、また界面破断は見られなかった。

以上より、新屋橋に試験施工した超速硬型高靱性繊維補強コンクリートを用いた橋面コンクリート舗装は、既設 RC 床版との一体性を確保できており、走行性能についても良好な状態を維持していることが確認された。



a) 材齢 359 日 (1 年)



b) 材齢 1501 日 (4 年)

写真-6 接着強度試験における破断部位

参考文献

- 1) 渡邊宗幸, 古城誠, 植野芳彦, 橋本雅行, 梶尾聡, 橋吉宏: 超速硬高靱性繊維補強コンクリートを用いた増厚オーバーレイによる橋面コンクリート舗装の適用事例, 土木学会鋼構造委員会, 第 11 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 2020.10
- 2) 安井亨, 植野芳彦, 橋本雅行, 梶尾 聡, 佐藤貢一, 橋吉宏: 橋面コンクリート舗装の増厚オーバーレイ工法における耐力検討事例, 土木学会鋼構造委員会, 第 11 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 2020.10
- 3) 橋本雅行, 山本誠, 渡邊宗幸, 岸良竜, 小森篤也, 三田村浩: 道路橋床版の長寿命化を目的とした橋面コンクリート舗装に関する検討, 土木学会鋼構造委員会, 第 11 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 2020.10
- 4) 土木学会: 2023 年制定 舗装標準示方書, 第 II 編 p.92, 2023.10
- 5) 日本道路協会: 舗装調査 試験法便覧, 2019.3
- 6) 日本道路協会: 舗装設計施工指針, 2006.2
- 7) 東日本高速道路 (株)・中日本高速道路 (株)・西日本高速道路 (株): 舗装施工管理要領, 2017.7
- 8) 日本道路協会: 道路維持修繕要綱, 1978.7

(2024 年 7 月 12 日受付)