

FWD検定方法とねじり骨材飛散値の性能評価法の提案

寺田 剛* 加納孝志** 久保和幸***

1. はじめに

平成13年7月に性能規定化を指向した「舗装の構造に関する技術基準」(道路局長通達)が出され、舗装の性能指標として疲労破壊輪数、塑性変形輪数、平坦性、透水量等が規定された。それを受けて、平成17年度に「舗装性能評価法¹⁾」が発行され、疲労破壊輪数、塑性変形輪数、平坦性、透水量、騒音値およびすべり抵抗値の6指標について性能評価法が示された。

土木研究所では、性能規定発注を実施しやすい環境を整えることを目的に、6指標の中で課題のある疲労破壊輪数、騒音値およびすべり抵抗値について検討を行うとともに、今後道路管理者や道路利用者が必要とする新たな舗装性能指標とその評価法を提案する研究を行っている。

本報告では、その中から衝撃式たわみ測定装置(以下、FWDという)のキャリブレーション方法の検討及びねじり骨材飛散値の性能評価法について検討を行った結果を報告するものである。

2. FWDの検定方法の検討

舗装の疲労破壊輪数の評価の試験装置としてFWDを使用するが、機種間に個体差があるため、検定及びキャリブレーション(校正係数の付与)を行う必要がある。また、現在FWDの校正は荷重計と変位計のみを製造者が実施しているが、それらを組み込んだ測定装置としての校正については、その方法が確立されておらず、産学が参加するNPO法人「舗装診断研究会」で議論を行った結果、検定施設の建設が強く望まれていた。そこで、土木研究所に設置したキャリブレーション施設「FWD検定施設」を用いた検定及びキャリブレーション(校正係数の付与)方法について検討を行った。キャリブレーション方法の検討は、(独)土木研究所と舗装診断研究会との共同研究

「舗装および舗装用バインダの性能評価法に関する共同研究」の一環で行ったものである。

2.1 FWDの概要

FWDは図-1に示すような舗装路面に衝撃荷重を与える重錘とその時舗装がたわむ量を測定する複数個の変位計(たわみセンサー)等が装備され、路面のたわみ量を測定することによって舗装全体としての支持力だけでなく、舗装を構成する各層の強度も推定できる車載型の測定装置(写真-1)である。舗装の構造的強度が評価できることから、舗装の性能指標の一つである疲労破壊輪数の評価(施工直後の舗装のたわみ量を測定することによって舗装がどの程度の交通量で壊れるか)に使用されている。

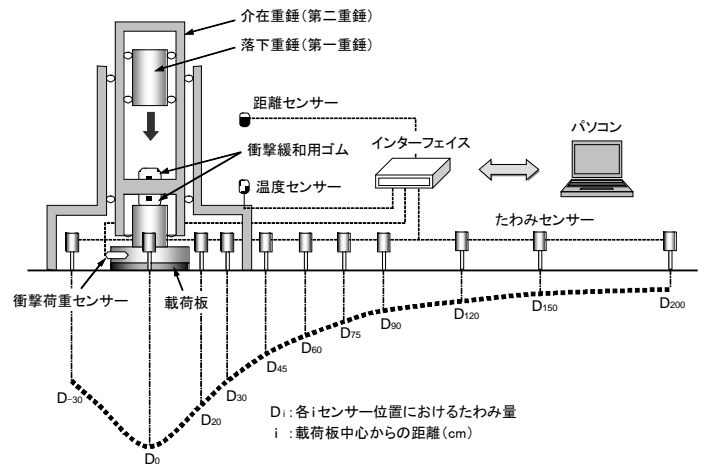


図-1 FWDの構成例(土木研究所所有FWDの例)



写真-1 土木研究所所有FWD

Proposal of performance evaluation method of FWD (Falling Weight Deflect meter) assay method and twist aggregate dispersion value

2.2 FWD検定施設の概要

FWD検定施設（写真-2）は、たわみ検定用にたわみ量が違うアスファルト舗装とコンクリート舗装を有し（表-1、図-2、写真-3）、両舗装の中央部にトレンチ（溝）を設け、そこに設置したカーボンより線にたわみ検定装置（ギャップセンサ）を取り付け、検定用舗装のたわみ量を計測する構造となっている。



写真-2 土木研究所に設置した「FWD検定施設」

表-1 舗装断面（単位：mm）

舗装構成	アスファルト舗装	コンクリート舗装
コンクリート版	—	180
表層	50	—
基層	50	—
粒調碎石	150	—
切込碎石	250	220
砂層	700	600

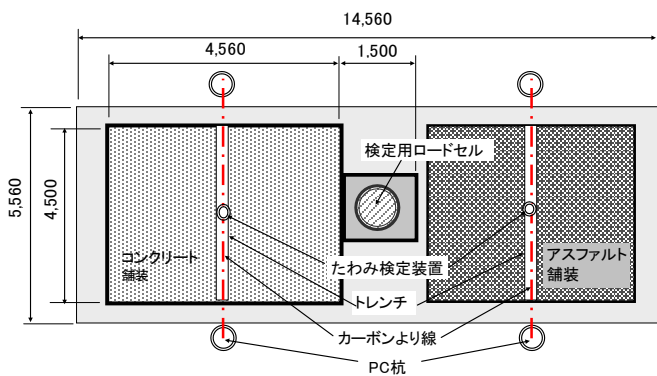


図-2 FWD検定施設概要図



写真-3 FWD検定施設の内部

FWDの変位計の検定は、図-3に示すようにギャップセンサの上にFWDの各変位計を合わせ、FWDで衝撃を加えた時に発生する舗装のたわみ量をギャップセンサと比較して検定を行う。

ギャップセンサは、図-4に示すように屋外の地中に打ち込んだ支持杭で両端を固定したPC鋼棒に取り付けたカーボンより線を不動点として、そこに取り付けているのでFWDの衝撃荷重でも振動しないためFWDの変位計の検定が可能となる。

また荷重検定は、施設に設置した検定用ロードセルで計測を行う。

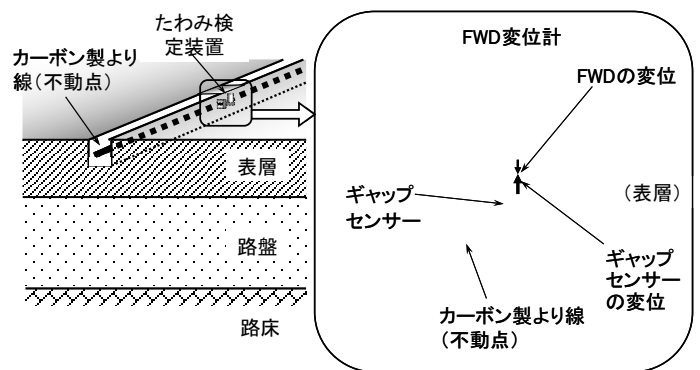


図-3 たわみ検定装置の構造

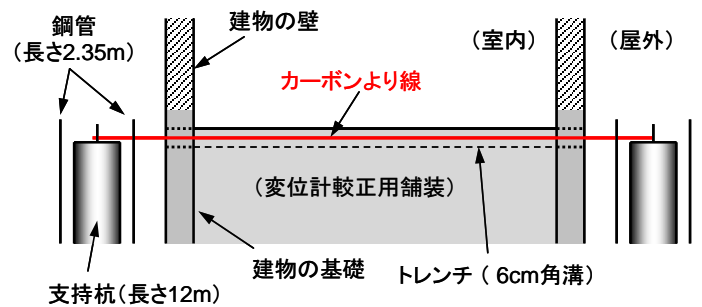


図-4 カーボンより線の固定方法

2.3 キャリブレーション方法の検討

FWDの検定時にFWDの各変位計の値と検定用ギャップセンサの値との間に誤差が確認された場合の補正方法として、測定値に対して補正係数を乗じる方法が考えられる。この補正方法の補正効果を確認するため補正前後の測定値を比較した。

比較はコンクリート舗装とアスファルト舗装で行っているが、ここでは、アスファルト舗装を比較した結果を示す。各たわみセンサごとに4段階に測定荷重を変化させて収集したFWDの測定値と検定施設のギャップセンサの測定値の関係を図-5に示す。

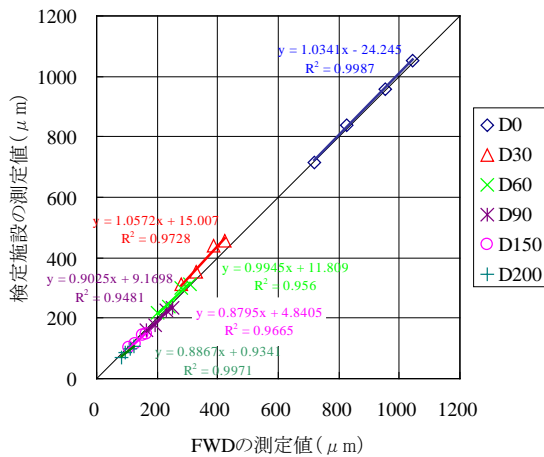


図-5 FWDと検定施設の測定値

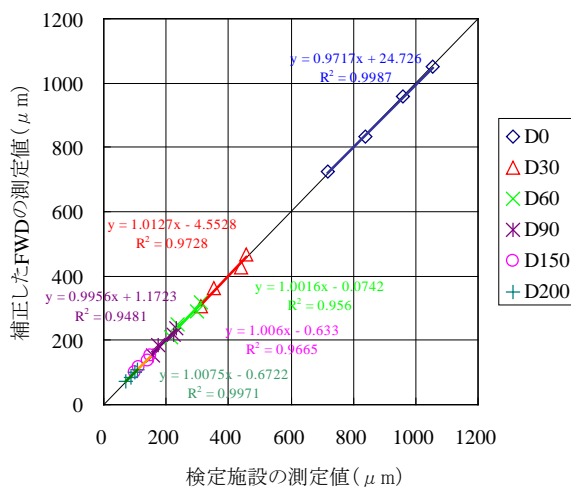


図-6 補正したFWDの値と検定施設の値

図中には各センサに対して行った一時近似の結果を示している。各近似線の傾きはどのセンサも1に近く1:1の対角線とほぼ平行になっていることから、補正係数による補正でも実用上十分であると考えられた。そこで補正係数はセンサごとに4段階の測定荷重を変化させ行った測定結果についてFWDの測定値と検定施設の測定値の比から4つの補正係数の平均を補正值とした。この補正係数を用いて測定値を補正したものを図-6に示す。補正したFWDの値は、最大で5.2%の差でほぼ検定施設の値と同じ値となった。このことから、FWDのキャリブレーション方法は上述のとおり補正係数で算出する方法が適当であると考えられた。ここではアスファルト舗装の結果について述べたが、コンクリート舗装の結果はアスファルト舗装より誤差が少なく、補正係数でキャリブレーションができることが分かった。

2.4 検定方法(案)の提案

以上の結果から、検定方法(案)の概略のフローを図-7に示す。仕様認定として測定機器の検定を行った後、検定施設を利用した荷重とたわみの性能検定を行い、合格した測定機器に補正係数を付与し認定を行う。

2.5 まとめ及び今後の予定

今回、FWD検定施設を用いた検定方法(案)及びキャリブレーション方法を提案することができた。今後は、この方法に従って機種が異なるFWD 5台程度による模擬検定を行い、問題なければ、今年の秋から正式検定を実施する予定である。

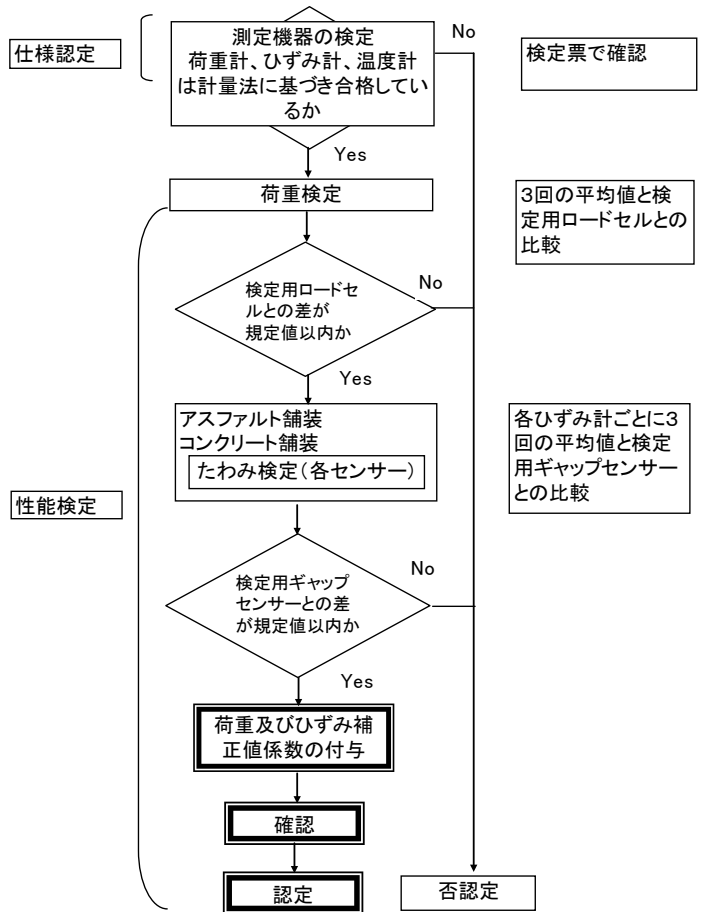


図-7 検定方法(案)の概略のフロー

3. ねじり骨材飛散値の性能評価法に関する検討

現在、直轄国道の舗装工事で性能規定工事が行われているが、今後更に多くの性能規定工事の発注を行うには、新しい性能評価法の提案が期待されている。そこで、新たな性能指標として「ねじり骨材飛散値」について評価法の検討を行った。

近年、雨天時の走行安全性の向上やタイヤ/路面騒音を低減させる目的で排水性舗装や低騒音舗装が施工されているが、交差点では大型車が左折や右折時に低速でハンドルをきるため、タイヤのねじりによる骨材飛散が問題になっている。この骨材飛散の抵抗性を評価するには、現地で施工直後にタイヤのねじりによる骨材飛散の度合いを直接測定できる方法が望ましいが、現時点では適当な測定方法がない。このため、ねじり骨材飛散試験機によりタイヤのねじりによる骨材飛散抵抗性を評価（骨材が飛散する量を骨材飛散率で評価）する方法が提案されている。現状において、ねじり骨材飛散試験機は、表-2に示すように、タイヤ旋回タイプA、Bの2種類および供試体スライドタイプ1種類、すえぎり試験装置1種類の計4種類に大別される。各試験機を写真-4～7に示すが、試験機ごとに機構、形状および試験条件が異なっている。このため、同一の混合物を用いて同等の値が測定できるかどうかを確認する目的で、ねじり骨材飛散試験を実施した。なお、表中のすえぎり試験装置は他の試験機と異なり、車両が停止した状態での骨材飛散の評価を目的としていること、試験輪にトレッドパターンの無いソリッドタイヤを使用している等の理由から、今回の試験対象からは除外することとした。



写真-4 タイヤ旋回タイプA



写真-5 タイヤ旋回タイプB



写真-6 供試体スライドタイプ



写真-7 すえぎり試験装置

表-2 ねじり骨材飛散試験機

項目	タイヤ旋回タイプ		供試体 スライドタイプ	すえぎり 試験装置	
	A	B			
試験輪	型式	小型トラック用タイヤ	ハンドカートタイヤ	ソリッドタイヤ	
	寸法	5.00-10	直径200mm × 幅65mm	直径410mm × 幅111mm	直径200mm × 幅50mm
	トレッドパターン	リブラグパターン			無し
載荷荷重 (接地圧)	200N (0.15MPa)	490N (0.53MPa)	883N (0.30MPa)	686N (0.64MPa)	
テーブル回転数	5回/分	10.5回/分	—	—	
タイヤ回転数	10回/分	—	650回/時間	1080回/時間	
走行半径	10cm	7.5cm	—	—	
試験温度	50±2℃				
試験時間	120分		60分		
供試体寸法	40×40×5cm	30×30×5cm			

3.1 締固め度とねじり骨材飛散率の関係

わだち掘れ量は現地のアスファルト混合物の締固め度によって差があることが分かっている。よって、タイヤのねじりによるねじり骨材飛散率もわだち掘れ量と同様に、アスファルト混合物の締固め度の影響を受ける可能性があることから、アスファルト混合物の締固め度が変わった場合、ねじり骨材飛散率（タイヤがねじれる時に骨材が飛散する量）がどのくらい影響するか確認した。

3.2 試験方法

3.2.1 試験供試体

試験供試体は、以下に示す2種類とした。

- 1) ポリマー改質アスファルトH型を使用した最大粒径13mmのポーラスアスファルト混合物(空隙率20%、アスファルト量5.2%) (以下、改質H型供試体)
- 2) 上記1) の混合物に表面強化工法を施した供試体 (以下、トップコート供試体)

3.2.2 試験供試体の作製方法

試験供試体は、目標とする締固め度になる質量の混合物を型枠に充填し、最適締固め温度で転圧して供試体を作製した。

目標とする締固め度は、**塑性変形輪数の評価法**¹⁾を参考に、96%、98%、100%の3水準とした。

3.2.3 ねじり骨材飛散試験

ねじり骨材飛散試験は、供試体養生温度50±2℃、試験温度50±2℃、試験時間はタイヤ旋回タイプA,Bは120分、供試体スライドタイプは60分とした。試験終了後、ねじり骨材飛散率(式-1)により評価した。

ねじり骨材飛散率 (%) = 120分試験後もしくは60分試験後の累積骨材飛散質量 / 試験前の供試体質量 × 100・・・(式-1)

3.3 検討結果

3.3.1 ねじり骨材飛散試験機に関する検討

締固め度100%の改質H型及びトップコート供試体でのねじり骨材飛散試験結果を図-8と図-9に示す。試験結果より、改質H型供試体を用いた場合のねじり骨材飛散率は、タイヤ旋回タイプA、Bおよび供試体スライドタイプの試験機ともに、14%程度の値を示した。トップコート供試体についても、3種類の試験機ともに、ねじれ骨材飛散率が0.1~0.2%と同様の結果を示している。このことから、タイヤ旋回タイプA,Bおよび供試体スライドタイプの3種類のねじり骨材飛散試験機を使用することで、タイヤのねじりによって路面の骨材が飛散する程度を評価することが可能で、かつ、ねじれ骨材飛散率が同程度の値となることが確認できた。

3.3.2 締固め度とねじり骨材飛散率の関係

締固め度を3水準変化させた供試体のねじり骨材飛散試験結果の一例として、タイヤ旋回

タイプAを用いた場合の結果を図-10に示す。

試験結果より、締固め度が低下することにより、ねじれ骨材飛散率は大きくなる傾向にあることが確認できた。このことから、タイヤのねじりによる骨材飛散抵抗性の評価に関しても、**塑性変形輪数の評価法**¹⁾と同様に締固め度とねじれ骨材飛散率の関係から、締固め度を用いて骨材飛散抵抗性の評価を行うことが可能と考える。

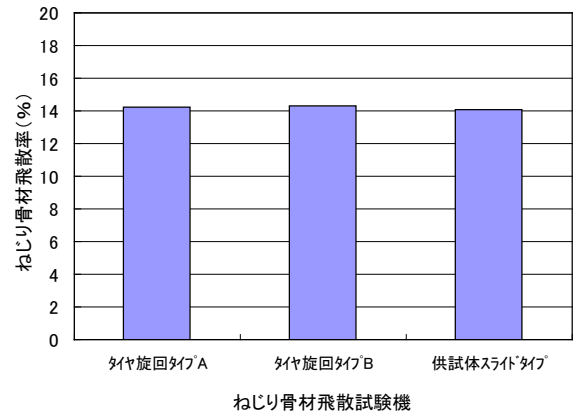


図-8 試験機ごとのねじり骨材飛散試験結果(改質H型供試体)

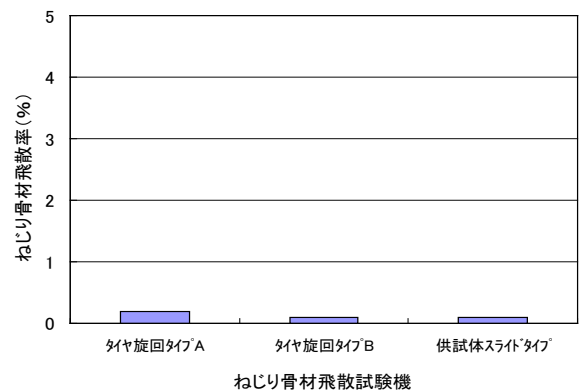


図-9 試験機ごとのねじり骨材飛散試験結果(トップコート供試体)

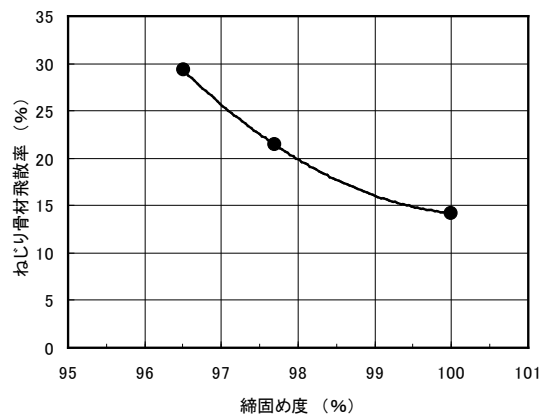


図-10 締固め度とねじれ骨材飛散率の関係

※土木用語解説：塑性変形輪数の評価法

3.4 性能評価法の提案

以上の結果からねじり骨材飛散値を評価する方法を提案すると以下のとおりである。図-11に概略の評価手順を示す。

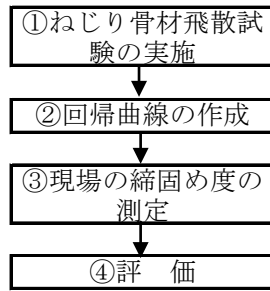


図-11 ねじり骨材飛散値の評価手順

- ①プラントで練り落とした直後の混合物で締固め度96,98,100%を目標として供試体を3枚ずつ作製し、供試体の締固め度を求めてからねじり骨材飛散試験を実施し、締固め毎のねじり骨材飛散率を求める。
- ②締固め度とねじり骨材飛散率の回帰曲線を作成する(図-12)。
- ③現場の切取りコアから平均の締固め度を算出する。
- ④現場切取りコアの締固め度を回帰曲線上にプロットし、その締固め度におけるねじり骨材飛散率を読みとって「ねじり骨材飛散値」(図-12)とし、基準値と比較して評価する。

3.5 まとめ

ねじり骨材飛散試験の結果、締固め度とねじり骨材飛散率に関係があることが分かったため、締固め度とねじり骨材飛散率の回帰曲線から、ねじり骨材飛散値を評価する評価法を提案することができた。これらの評価法は、新たな性能指標の評価法として「性能評価法 別冊」²⁾に反映されている。

4. おわりに

今回、舗装性能評価法として疲労破壊輪数の評価に使用するFWD検定施設を用いた検定方法(案)とキャリブレーション方法及びねじり骨材飛散値の性能評価法を提案することができた。舗装の性能規定化の目的は、技術革新に柔軟に対応できる仕組みの構築とそれによる品質の向上及びコスト削減である。この仕組みには、舗装の性能評価の指標とその基準値および評価方法の明示が不可欠であり、今後更に性能規定化を推進するためには、その地域での道路への要件や道路利用者や沿道住民等のニーズ等にあった新たな性能指標が必要である。土木研究所では、既存性能評価法の補完や新たな性能評価法の検討を行っている。今後まとめ次第公表するので舗装の性能を評価する際の参考資料としてご活用頂ければ幸いである。

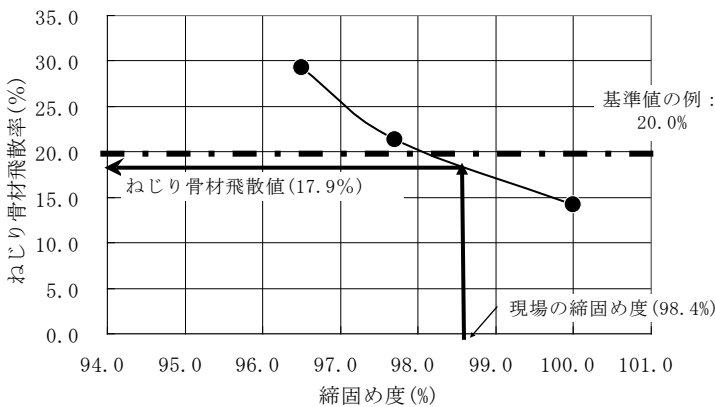


図-12 回帰曲線からねじり骨材飛散値を読みとる一例

参考文献

- 1) 舗装性能評価法－必須及び主要な性能指標の評価法編－：(社)日本道路協会、平成18年1月発刊
- 2) 舗装性能評価法別冊－必要に応じて定める性能指標の評価法編－：(社)日本道路協会、平成20年3月発刊

寺田 剛*



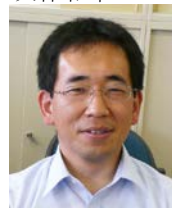
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術
研究グループ舗装チーム
主任研究員
Masaru TERADA

加納孝志**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術
研究グループ舗装チーム
主任研究員
Takashi KANOU

久保和幸***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所道路技術
研究グループ舗装チーム
上席研究員
Kazuyuki KUBO