高速道路舗装の補修設計に関する研究

風戸 崇之¹ · 神谷 恵三²

¹正会員 (㈱高速道路総合技術研究所 舗装研究室(〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1) E-mail:t.kazato.aa@ri-nexco.co.jp ²正会員 (㈱高速道路総合技術研究所 舗装研究部長(〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

高速道路舗装の補修設計の開発に向けて,現場でコア採取を要さない効率的な損傷評価方法の開発を試 みた.全国の高速道路におけるFWDデータを分析したうえで,たわみ差(D₀-D₉₀)をアスファルト層の 厚さで除した指標と荷重載荷位置の直下から採取したコアの材料強度との関係を求めた.その結果,たわ み量の増加に伴い,基層混合物のレジリエントモデュラスおよび圧裂強度が低下する傾向を確認した.こ れらの結果をもとに,補修が必要となる層を判定する方法を提案することができた.

Key Word : repair design, porous asphalt pavement, damage, resilient modulus, stripping resistance, falling weight deflectometer, evaluation of structure

1.はじめに

都市間を結ぶ高速道路は,東日本高速道路㈱,中 日本高速道路㈱,西日本高速道路㈱(以下「NEXCO」 という)により運営管理されており,平成10年以来 標準的な舗装路面として,高機能(ポーラスアスフ ァルト)舗装が採用されている.NEXCOにおける これまでの高機能舗装のシェアは全車線面積の約7 割を超えているが,一部においては写真-1に示すポ ンピングや局部流動といった高機能舗装特有の損傷 形態が見られている.高機能舗装については,基層 上面に滞留した雨水等の影響により,基層以深の混 合物の剥離を誘発させるので,損傷の進行過程およ び形態がこれまでの密粒度舗装とは大きく異なる¹⁾.



写真-1 高機能舗装の損傷事例

前述のように,路面外観で変状が確認された箇所で 採取したコアでは,写真-2に示すように,既に舗装 内部に損傷が進行している場合が多く,アスファル ト層全層の補修を余儀なくされる.このため,的確 な補修を実施するためには,現行の路面外観調査だ けではなく,舗装内部の損傷状態を把握することが 重要となっている.

このような背景から, (㈱高速道路総合技術研究所 (以下「NEXCO総研」という)では, NEXCOから の依頼に応じて FWD を活用した舗装健全度診断を 全国的に実施している.この全国測定により,現場 において損傷が懸念される箇所から膨大なたわみ量 データを蓄積している.また,特に損傷が顕著な箇 所においては,FWD 測定に併せてコア採取も行って おり,層内の状態観察の他,混合物の物理性状の評 価に役立てている.



写真-2 舗装内部の損傷事例



図-1 車両軌道部と非軌道部の平均たわみ曲線

本文は,上記の FWD 測定データと共に,供用路線の補修現場にて採取したコアから得られたデータ を解析することにより,FWD測定データから高機 能舗装特有の損傷形態に対して的確に対処できる損 傷評価方法を見出せたことから,これらの検討結果 について以下に報告するものである.

2.調査の方法

高速道路舗装の補修設計方法の確立に向けて,補 修区間の効率的な損傷評価方法の開発を目的として, 以下の検討を行った.

全国の補修区間のFWD測定データ分析 現場採取コアの目視判定による損傷評価 舗装の構造強度と材料強度の関係 舗装構造の損傷評価方法の提案

現場調査に先立ち FWD の測定位置の違いによる たわみ曲線の差を確認した結果を図-1に示す.測定 データは,複数の供用路線において,同一車線の車 輪通過位置と非車輪通過位置にて測定した各センサ 一位置のたわみ量を平均して比較したものである。 測定値は, 車輪通過位置の方が非車輪通過位置に比 較して大きいたわみ量を示すことを確認した.この ことから、舗装の構造評価は、より構造強度の低下 が生じやすい車輪通過位置における測定データによ り評価することが適切であると考えた.また供用路 線での FWD 測定は,車線規制内での測定となるこ とから, FWD 測定位置は,図-2 に示すように測定 時の安全性を考慮して、走行車線では通行車両の左 側,追越し車線では通行車両の右側の車輪通過位置 にて測定することとした . FWD の測定に際しては, 荷重載荷位置周辺の路面の損傷形態を目視により観 測した.表層からアスファルト安定処理上層路盤ま でを含めたアスファルト層のコア採取(図-3)に際 しては、FWD 測定時に荷重載荷位置の直下からサン





図-4 新規区間および補修区間の平均たわみ曲線

プリングすることを原則とした.これは,位置条件 の差により分析データへの影響が生じないように配 慮したためである.その後,採取したアスファルト コアの損傷状態を観察すると共に,全センサに対し て,荷重を49kNに補正したうえで,アスファルト 層の平均温度と各たわみセンサのたわみ量の関連付 けから得られる温度補正式を用いて20 に補正を 施したたわみ量を用いることにより ~ の検討を 行った.

3.FWD 測定データの全国分析

(1) たわみ曲線の性状把握

FWD 測定データを用いた舗装構造の評価を行う うえで,舗装構成や測定時期などの条件によるたわ み曲線の性状について分析した.図-4 に複数の供用 前の高速道路で測定した新規区間のFWD測定デー タおよび複数の供用路線の補修区間で測定した補修 直前の FWD 測定データを示す.たわみ曲線は,過 去の研究²⁾から路盤の種別により分類したうえで平 均した値を示している.新規区間に比較して補修区 間のたわみ量の方が増加していることを確認できる。 また,路盤種別により新規区間および補修区間にお けるたわみ量の水準が異なることが分かる.次に, 図-5 および図-6 に,供用路線において,アスファル ト層を対象とした複数の補修区間で測定した補修直 前の FWD 測定データを示す. 図中のデータは,表 層および下層路盤の種別ならびにアスファルト層の 厚さごとに分類したうえで平均したたわみ曲線を示 している.補修時点におけるたわみ量は,高機能舗 装の方が,密粒度舗装よりも大きい値を示している. また表層が同様な場合,下層路盤が粒状路盤である 方が,セメント安定処理路盤よりも大きい値を示し ている.補修区間では,このような傾向が見受けら れたため,舗装構成の影響を踏まえた分析をするこ ととした.

(2) たわみ差による全国分析

高速道路舗装の構造評価に関するこれまでの研究 から,各層の構造強度は図-7に示すたわみ差との関 連付けが報告³⁾⁴⁾されている.高速道路ではアスファ ルト層の厚さを 18cm 以上に規定していることや, 下層路盤の種別が粒状路盤とセメント安定処理路盤 のみという特有の設計条件に注視すれば,たわみ差 による構造評価が可能であると考えられる.このこ とから,アスファルト層の強度を示すたわみ差 D₀-D₉₀,下層路盤の強度を示すたわみ差 D₉₀-D₁₅₀およ び路床の強度を示す D150 を用いて,全国の補修区間 で調査した FWD 測定データ(N=23848)を分析した. 図-8 には,全国の高速道路で測定した FWD 測定デ ータを表層および下層路盤の種別ならびにアスファ ルト層の厚さにより分類したたわみ量(平均値)を 示す .たわみ差 D₀-D₉₀ に比較して ,たわみ差 D₉₀-D₁₅₀ および D150 の変動は小さいことから,たわみ量の変 化は,図-7に示したアスファルト層の強度が低下し たことに起因するものであると考えられる.これは, 高速道路における舗装補修の大半がアスファルト層 までの補修であることに符合する.また,たわみ差 D₀-D₉₀の水準は,アスファルト層の厚さによって異 なっている.図-8に示すデータは,大半がアスファ



図-5 補修区間の平均たわみ曲線(高機能)



図-6 補修区間の平均たわみ曲線(密粒度)



図-7 たわみ曲線と舗装各層の強度との関連³⁾⁴⁾

ルト層を対象にした補修区間のデータであり,アス ファルト層の強度低下により,たわみ量が増加した 状態を反映していると考えると,補修時におけるた わみ量の水準は,アスファルト層の厚さに応じて設 定することが望ましいと考えられる.以上の全国分 析結果より,たわみ差によるアスファルト層の構造 評価が可能なことを確認した.また,補修時におけ



図-8 全国の補修区間の舗装構成ごとの平均たわみ量

るたわみ量の水準は,前項および図-8から,同様な アスファルト層の厚さにおいても,表層種別や下層 路盤の種別の違いによって異なる傾向となっている ことを確認した.このことから,舗装の構造評価は, 表層種別と下層路盤種別の組合せごとに,アスファ ルト層の厚さに応じて評価する必要があることを確 認した.

4.たわみ指標による損傷評価方法

(1) アスファルト層の損傷評価指標

アスファルト層の損傷をたわみ差で評価する場合, たわみ差の変化が,当該舗装厚さによる影響か,あ るいは層内の損傷によるものかを識別することが重 要であると考える.アスファルト層の損傷を評価す る指標としては,式-1に示すたわみ差 D₀-D₉₀をアス ファルト層の厚さで除した指標(以下「アスファル ト層の損傷指標」という)を用いることにより,ア スファルト層の厚さの影響を的確に評価するうえで 有効であることが報告⁵⁾されている.このことから, アスファルト層の損傷指標を用いて損傷評価方法を 検討するものとした.

アスファルト層の損傷指標 = D₀-D₉₀ / t・・・式-1 ここに, D₀-D₉₀:たわみ差 (mm) t:アスファルト層の厚さ(mm)

(2) 目視判定による損傷評価区分





補修現場の FWD 測定時に荷重載荷位置の直下か らサンプリングした現場コアを用いて,目視により 損傷程度を判定した.コアの損傷判定は,各層ごと のひび割れの発生状態,アスファルト混合物のはく 離の有無,層間のはがれの有無について,コアの状 態を確認することで補修が必要な層を判定した.図 -9 に現場採取コアを用いた目視判定によるアスフ ァルト層の損傷評価区分図を示す.図中の凡例は, 目視により写真-2 を例としたアスファルト安定処 理上層路盤を含む補修が必要と判断された場合を3 層損傷,写真-3を例とした基層を含む補修が必要と 判定された場合を2 層損傷,それ以外は構造的には 健全であるとした,それぞれの区分を示している. 図中の回帰曲線は,上側が3 層損傷のデータを,下 側が健全のデータを各々回帰した曲線を示している.

この図を用いた損傷評価方法としては,現場測定デ ータが,上側の回帰曲線よりも上方に位置する場合, 3層の損傷が推定されることから,アスファルト層 全層の補修の計画が必要と判定する.双方の回帰曲 線に挟まれるに範囲に位置する場合、表層および基 層の補修の計画が必要と判定する.下側の回帰曲線 よりも下方に位置する場合,構造的には健全である と判定するものである.しかし,図表の上方に健全 のデータが分布するケース,あるいはその逆のケー スも確認されるなど損傷区分が混在している状況で あった.これは目視ではコア内部の潜在的な損傷を 判定することは困難であること,また,コアの外観 からの損傷判定は,判定者の主観による評価となる ことから,写真-3に見られるように,層の境目付近 に損傷がある場合、どこまでの層を補修すべきか等、 |判定結果に個人差が生じるためと考えられる.この ことから,コア内部の潜在的な損傷を的確に把握す ると共に、より定量的に判定することで判定結果に 客観性を持たせるために物理試験による現場コアの 内部評価を行うこととした.

(3) 構造強度と材料強度の関係

舗装の損傷程度に対して客観的な判定を行うため に,アスファルト混合物の強度試験による判定が有 効であると考えた.そこで,FWD測定位置で採取し た現場コアを各層に分割して,当該試験に供して得 られた物理試験値と舗装の構造強度を示すアスファ ルト層の損傷指標との関連性について分析すること とした.なお,物理試験は,現在の状態と潜在的な 劣化状態を把握するために加圧はく離促進試験機⁽⁶⁾ により促進作用を与えない標準のコアと,促進作用 を与えたコアに対して圧裂試験およびレジリエント モデュラス試験を適用した.

現場採取コアを用いたレジリエントモデュラス (以下「MR」という)試験結果の一例を図-10に示 す.データは,粒状路盤を有する高機能舗装の区間 で採取した基層混合物の試験結果である.図中の凡 例には,コアを採取した箇所のアスファルト層の厚 さおよび物理試験に供したコアの条件を示す.アス ファルト層の損傷指標の増加に伴い,MR が低下す る傾向が確認できる.またアスファルト層の損傷指 標が高い箇所で採取したコアについては,試験中に 供試体へ微細なひび割れ等が進行するなど,途中で 試験が実施できないケースがあった.この場合,図 中には MR を 0 として表記している.

次に,同様の区間で採取した基層混合物のコアに よる圧裂強度試験結果を図-11 に示す。アスファル ト層の損傷指標の増加に伴い,圧裂強度が低下する 傾向が確認できる.また,設計アスファルト層が薄



写真-3 基層付近が損傷している現場コアの例



 R² = 0.4406
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0



い区間で採取したコアの方が低い試験値を示す傾向 が確認できる.分析の結果,圧裂強度の方がMRよ リもアスファルト層の損傷指標との相関が高く,材 料強度の低下による構造強度への影響をより的確に 評価できると考えた.このことから,アスファルト 層の損傷評価区分における現場コアの材料強度の判 定には,圧裂強度を用いることとした.なお,表層





とアスファルト安定処理上層路盤についても,同様の評価を試みたが,高い相関は得られなかった.これは,高機能舗装における基層混合物では,表層から浸透する雨水等により水浸状態で交通荷重を受ける状況となることから,写真-3に示す損傷状態に見られるように,材料強度の低下が,アスファルト安定処理上層路盤に比べて現れやすくなっていることが,ひとつの要因として推定される.

次に,評価基準の設定にあたり,以下の場合を「補 修が必要な層」として判定することとした。

- 各層のコアが自立できない場合,または試験 が不可能な場合
- 各層の圧裂強度が,平均値より1 下回る場合(平均値は,表層と下層路盤の組合せごとに集計した圧裂強度の試験値から算定)

(4) 損傷評価方法の提案

物理試験値による現場採取コアの判定結果を用い たアスファルト層の損傷評価区分図を図-12 に示す. ここでは,粒状路盤を有する高機能舗装の損傷評価 区分を示している.なお,図中の凡例は,前項に示 す材料強度の判定方法と共に,補修工事の運用面か ら,アスファルト安定処理上層路盤の強度低下が含 まれる場合を3層損傷,基層のみ,または表基層の 強度が低下している場合を2層損傷,表層のみ,ま たは全層の強度が低下していない場合は,構造的に は健全として補修が必要な層の範囲を区分した.図 中の回帰曲線は,図-9と同様の方法により示してい る.目視による判定に比較すると,各層の損傷をよ り明確に区分することができたと考えられる.また 現場での判定の利便性のために回帰曲線を基準とし たうえで,図中に示す階段状の破線によりアスファ ルト層の損傷領域を区分した.損傷領域は,軽・中・ 重の交通量区分に対応したアスファルト層の厚さに



図-13 アスファルト層の損傷評価区分図 (高機能舗装・セメント安定処理路盤)

区分したうえで,各アスファルト層の厚さ区分にお ける損傷状態を示す凡例の分布から,補修が必要な アスファルト層の損傷指標の水準を推定している. この評価方法により現場での FWD 測定データに応 じて補修が必要な層を推定して,補修厚さを設計す ることが可能となる.図-13 にセメント安定処理路 盤を有する高機能舗装の損傷評価区分図を示す. 図-12 に示した下層路盤が粒状路盤の場合と比較す ると,損傷を区分するアスファルト層の損傷指標の 水準が低くなっている.このことは,図-4 で示した 路盤種別により補修区間におけるたわみ量の水準が 異なることと符合している.また.図-12 よりも相 関が劣るのは,調査対象となった区間におけるアス ファルト層のコア厚が,200mm~240mmに多く集中 していることが,要因として考えられる.

このような傾向を踏まえ同様な手法により,他の 舗装構成についても評価区分図の作成が可能と考え られる.

5.まとめ

今回の研究で得られた考察を以下に示す. 供用路線のたわみ量は、より交通荷重の影響を 受けやすい車輪通過位置の方が、非車輪通過位 置よりも大きいたわみ量を示すことを確認した. このことから、現場での舗装の構造評価は、車 両軌道部にて測定したデータにより評価するこ とが適切であることを確認した. 新規区間および補修区間における FWD 測定デ ータは、共に舗装構成によりたわみ量の水準が

補修時点におけるたわみ量は,高機能舗装の方が,密粒度舗装の場合よりもたわみ量が大きい 傾向であることを確認した.また下層路盤が粒

異なることを確認した.

状路盤である方が,セメント安定処理路盤の場合よりもたわみ量が大きい傾向であることを確認した.このことから,舗装の構造評価は,表層種別および下層種別の組合せに応じて評価する必要があることを確認した.

アスファルト層の損傷によるたわみ量の変化は, たわみ差 D₀-D₉₀により把握することができるこ とを確認した.これを踏まえ,たわみ差 D₀-D₉₀ をアスファルト層の厚さで除した,アスファル ト層の損傷指標を用いることにより,アスファ ルト層の厚さの影響を考慮した.

FWD 測定データを用いたアスファルト層の損 傷指標の増加にともない,現場から採取した基 層コアを用いた材料強度が低下することを確認 した.また,設計アスファルト層の薄い区間で 採取したコアの方が低い試験値を示しているこ とを確認した.

材料強度により補修が必要な層の範囲を区分し たうえで,アスファルト層の損傷指標とアスフ ァルト層の厚さの関係から,FWDの測定値に よりアスファルト層の補修が必要な層を推定す る方法を提案した.

6.今後の課題

NEXCO総研では,FWDの全国測定と共に,舗装構造別に代表的な現場から採取したコアを用いて, 混合物の性状把握を継続している.

今回の研究では,FWD 測定データを用いたアスフ ァルト層の損傷指標による損傷評価方法を提案した. 引続きデータを補完することで,損傷評価方法の現 場での適用性を確認していきたい. また,補修に適用する混合物種別に応じた舗装の 構造強度の改善効果を評価する手法について検討を 進める予定である.

参考文献

- 神谷恵三,山本忠守:高速道路における高機能舗装の 構造評価,土木学会舗装工学論文集第九巻,pp.171-176, 2004.12
- 2) 神谷恵三,田中敏弘,風戸崇之:高速道路舗装の補修設 計手法に関する一考察,土木学会舗装工学論文集第十 二巻,pp.1-7, 2007.12
- 阿部勝義,神谷恵三,佐藤正和:高速道路舗装の構造的 損傷に関する一考察,土木学会舗装工学論文集第九巻, pp.179-180, 2004.12
- 阿部勝義,神谷恵三,佐藤正和:FWDのたわみ曲線を 用いた健全度評価,第 25 回日本道路会議論文 集,CD-ROM 論文番号 09P09, 2003
- 5) 神谷恵三,風戸崇之:高速道路舗装の損傷評価方法に 関する研究,土木学会舗装工学論文集第十三 巻,pp.171-178,2008.12
- 本松資朗,神谷恵三,松本大二郎,山田優:既設基層混合物のはく離抵抗性の評価方法に関する研究,土木学会舗装工学論文集第九巻,pp.73-79,2004.12

A STUDY ON REPAIR DESIGN METHOD OF ASPHALT PAVEMENTS FOR THE JAPANESE EXPRESSWAYS

Takayuki KAZATO and Keizo KAMIYA

For the purpose of establishing a repair design method of asphalt pavements for the Japanese expressways, an efficient method of damage evaluation that does not need core sampling was studied for development. Following the analysis of FWD data from all over NEXCO, a relationship between a deflection basin index (D_0 - D_{900}) divided by bituminous layer's thickness and each core layer's mix strength was studied. As a result, it was found that increase of the former index goes with the decrease of binder core's resilient modulus and indirect tensile strength. Based on this finding, a method of estimating which layers to repair was introduced.