

高速道路舗装の非破壊構造診断に関する研究

神谷 恵三

高速道路舗装の補修設計の開発に向けて、コア採取を要さない効率的な損傷評価方法に関する研究を実施している。本文は装置の概要と共に研究成果の一部を紹介するものである。FWD データと現場コアを分析した結果、たわみ差 (D0-D90) をアスファルト層厚さで除した指標により、舗装内の剥離有無を識別できる可能性を確認した。今後は本指標の精度向上を図ると共に、長期的なライフサイクルコスト管理の視野から、戦略的なモニタリングも実施して行く所存である。

キーワード：repair design, asphalt pavement, damage, evaluation of structure, resilient modulus

1. はじめに

高速道路において、常に安全で快適な舗装の路面と共に耐久的な構造を提供して行くことは、極めて重要なテーマである。写真-1 に示す高機能（排水性）舗装は東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)（以下「NEXCO」という）が管理する路面の標準工種となっており、お客様からも好評を得ている。しかし、路面下の基層上面に雨水が長い時間滞留することになるので、基層以下のアスファルト混合物が剥離するといった内部的な損傷が一部の箇所を確認されている（写真-2 参照）。

この問題処理を困難にしているのは、表面から目視で損傷を予兆することができないということである。このような内部損傷は、補修の際に費用と時間の両方が増大することとなるので、効率的かつ精度の高い構造の診断方法が求められる。また、供用年数が長い路線も増えてきているので、高機能舗装に限らず密粒度



写真-1 雨天時の高機能舗装



写真-2 内部損傷の例（ボンピング）

舗装を採用している区間においても同様な舗装構造の診断方法が求められる。

舗装の構造調査に際しては、問題の箇所からコアを採取することや、開削をするという部分的な破壊手法が採られてきた。これらの破壊方式は数量を増やせないという問題のほか、客観的な指標が存在しないために、経験的判断に頼らざるを得ないという評価方法に問題を広げている。

このような背景から、高速道路舗装の構造的な診断を的確に行える方法として、FWD (Falling Weight Deflectometer) を使用した非破壊による構造の診断方法の開発に取り組んできた。この装置は弊社が保有するすべり測定車に搭載（写真-3）しており、NEXCO からの要請に応じて暫定的な構造診断のために役立てると共に、より精度の高い診断方法の開発を目指している。

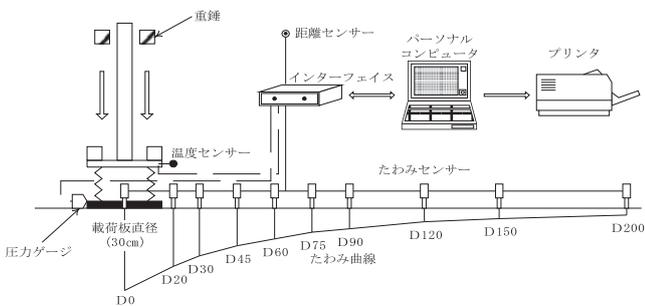
以下には、装置の概要と共に研究成果の一部を紹介する。



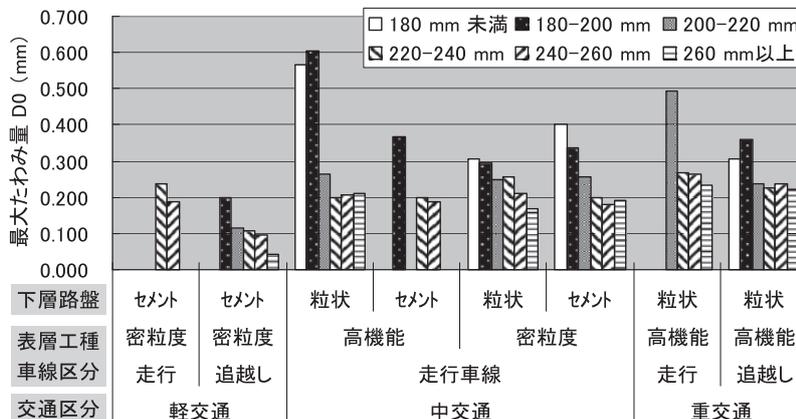
写真—3 高速道路における測定状況

2. FWD たわみ測定装置

FWDとは、Falling Weight Deflectometerの頭文字をとったもので、舗装路面に動的な衝撃荷重を与えることにより、瞬時に発生する路面のたわみ量を測定する装置である。たわみにより舗装構造を評価するという考え方は古くからあったが、荷重配備や調整が困難であるとの問題があった。FWDは載荷荷重を制御できるシステムを有すると共に、所定間隔のたわみセンサを搭載したビームを路面に自動的に設置できることから、試験調整には殆ど時間を要さない。



図—1 FWDの機構



図—2 構造分類別の最大たわみ量

図—1はFWDの機構を示している。測定されたたわみデータは自動的にパソコン内に入力されるようになっている。仮に異常値が検出された場合には、エラー表示が出るようになっているので、任意の測定点ごとに再測定のは非を判断することができる。その後、たわみデータは荷重補正並びに温度補正を経て、構造解析に供することができるが、この作業は測定後の内業で対応可能であると判断される。

以上により、膨大な管理ストックを有する高速道路舗装の構造診断を行う上で、FWDは有効な非破壊管理手法を可能にする装置であると判断した¹⁾。

3. 舗装構造の実態調査

(1) 路面及び層内損傷の把握²⁾

舗装の損傷過程とたわみ量との関係を詳細に究明するためには、FWD荷重載荷位置の直近から採取したコアの状態観察や強度試験等が必要である。

図—2はサンプル数が多かった代表的な構造分類の最大たわみ量（以下「D0」という）を対比させたものである。ここでは、表層からアスファルト安定処理上層路盤までのアスファルト層厚さが構造評価では重要であることから、当該層厚を凡例に付した。アスファルト層厚が200 mm未満では、最大たわみ量が全体的に増大する傾向を示した。

図—3は高機能舗装と密粒度舗装について、FWD測定の際に実施した目視観察による路面損傷の有無、並びに採取したコアの剥離と最大たわみ量との関係を示したものである。層内剥離「有」とは、コアの何れかの層において剥離が確認された場合を指す。高機能舗装については、路面損傷「有」の数は「無」に比して希少である。また、層内損傷「有」については、舗装厚200 mm未満のD0が突出して大きいことが分か

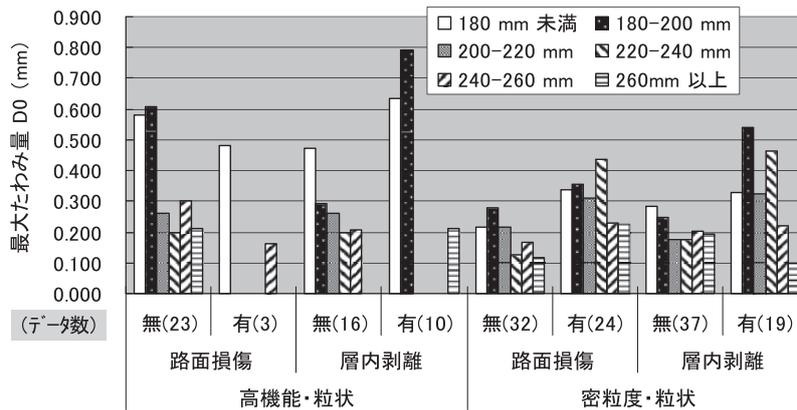


図-3 最大たわみ量と損傷の関係

る。これらは、高機能舗装の損傷過程を外観から把握することの困難さを示すものである。

一方、密粒度舗装については厚さごとに比較すると、路面損傷並びに層内剥離共に、「無」よりも「有」のD0の方がそれぞれ大きくなる傾向を示している。また、路面損傷「有」よりも層内剥離「有」の方が概ね大きな値を示しているのは、路面に発生したひび割れから雨水が浸入し、混合物の剥離を誘発すること等によるものと思われる。

このように、層内の剥離状態を適正に評価することは極めて重要であることが再確認された。

(2) たわみ差の評価²⁾

高速道路舗装の構造評価に関するこれまでの研究によると、たわみ差 D0-D20 がアスファルト層の特性を示すとされている。この知見が高速道路においても当てはまるか否かを見るために、構造強度とたわみ差の関係を考察する。

図-4 はアスファルト層厚 25 cm の舗装構造について、表層から下層路盤までに適当な弾性係数を与え、FWD 測定を仮定した GAMES による順解析を実施した結果である。たわみ曲線は下層路盤の強度差により大きく区分される傾向にあること、またアスファルト

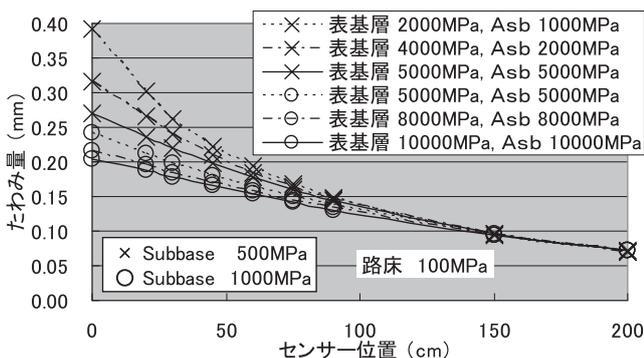


図-4 順解析で得られるたわみ曲線

層の強度差はセンサー位置 90 cm の辺りから顕著になる傾向にあることが分かる。

図-5 は図-4 を比較する目的で、アスファルト層厚が同等でかつ同一路線の高機能舗装区間のたわみ曲線を示したものである。図-4 に比べると、曲線の分布幅は広いものの、センサー位置 75 cm ~ 90 cm 辺りで変局点を確認される。センサー位置 20 cm 付近については、図-7 及び図-8 において変局点は確認されない。

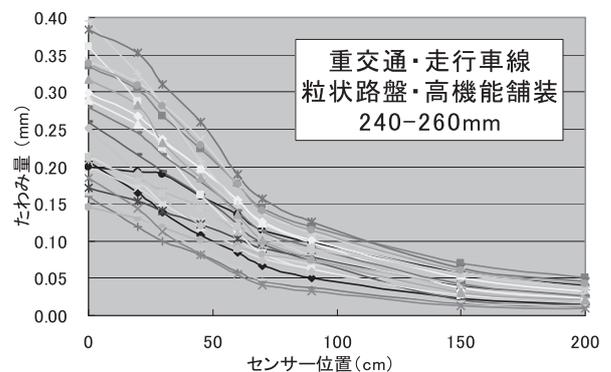


図-5 実路で得られたたわみ曲線

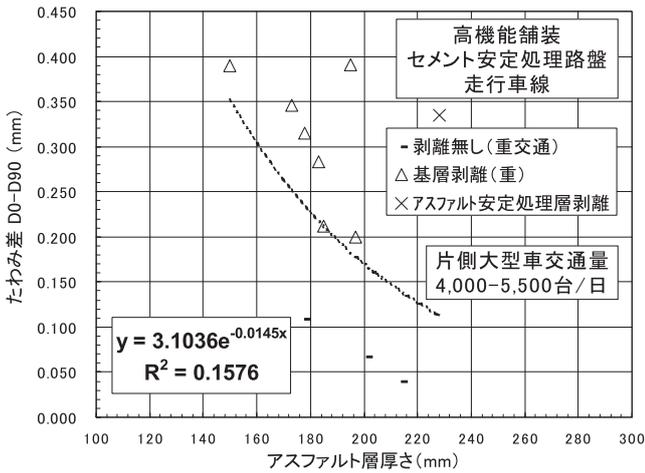
以上から、以降の構造評価ではたわみ差 D0-D90 を採用することとした。

(3) 損傷評価指標²⁾

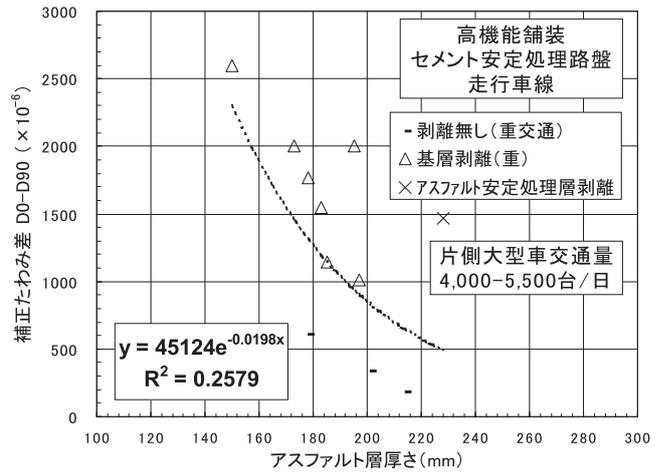
たわみ差が大きい場合、それが当該層厚さによるものか、または層内の損傷によるものかを識別することが重要であると考えられる。

図-6 はセメント安定処理下層路盤を有する高機能舗装について、コア層さとたわみ差 D0-D90 との関係を示したものである。両者には右下がりの傾向が認められ、剥離無しの凡例が層厚に対して下方に位置することから、層内の剥離有無を区分できそうである。

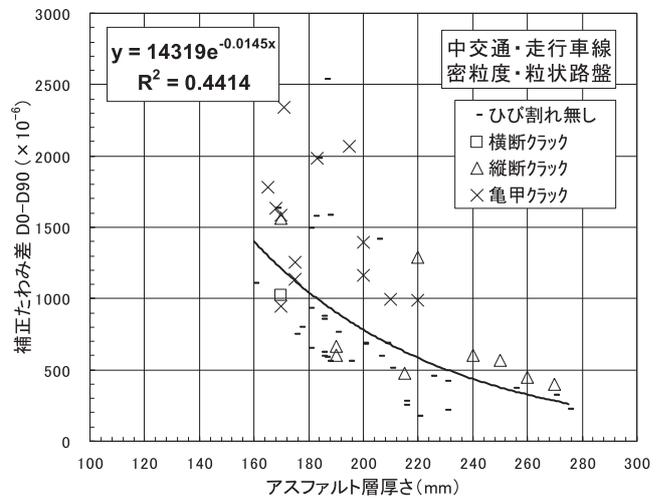
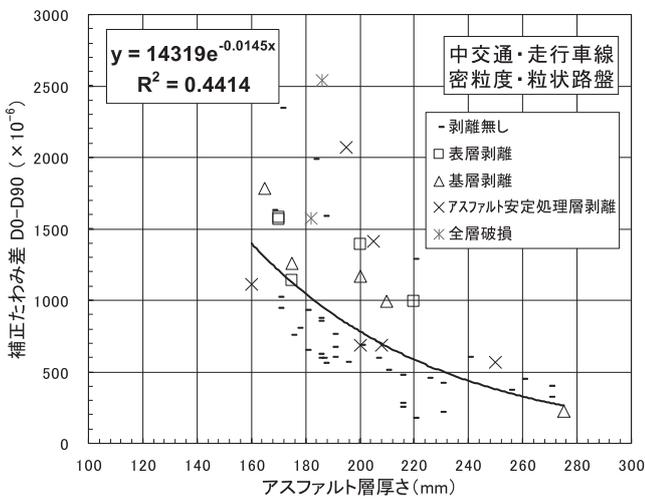
図-7 は、たわみ差 D0-D90 をアスファルト層の厚



図一六 たわみ差とアスファルト層厚さの関係



図一七 補正たわみ差とアスファルト層厚さの関係



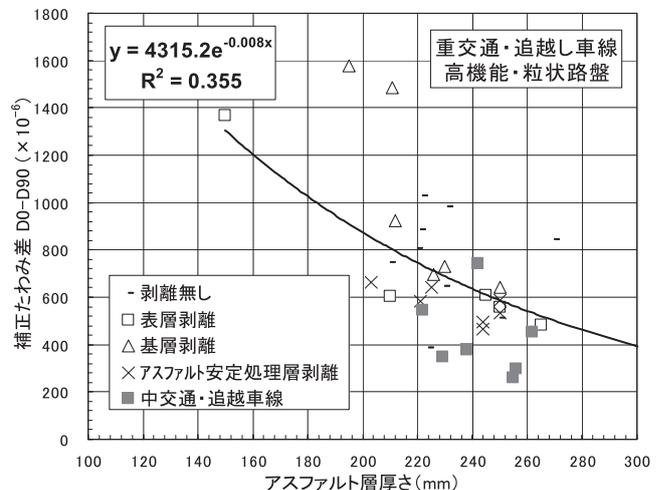
図一八 補正たわみ差と層内剥離及び路面損傷の関係 (中交通・密粒度舗装)

さで除したものを縦軸に示したものである。この無次元の指標はアスファルト層の単位厚さ当りの構造強度に補正すると考え、ここでは補正たわみ差 D0-D90 と定義した。図一六と同様の傾向を示しているものの、層厚さとの相関は向上している。これは、層厚さの影響を縦軸に取り入れたことで、たわみ差の説明力を向上させたものと考えられる。層厚さの影響を的確に評価することは重要であるので、以降では当該指標を使用し、層内の剥離有無を区分できるか否かを考察する。

図一八は、粒状路盤を有する密粒度舗装につき、補正たわみ差 D0-D90 と層内剥離 (左図)、及び表面損傷 (右図) との関係を示したものである。両方の損傷の凡例は、層厚に対して共に上方に散布する傾向を示している。しかし、層内剥離の凡例の殆どが回帰曲線の上方に位置しているのに対して、路面損傷の点数は下方に位置している。これは、図一三で述べたように、路面損傷「有」に比して層内剥離「有」の方が大きな最大たわみ量を与えることに符号するものである。こ

れより、図一八においては、補正たわみ差によって層内剥離を推定できる可能性がうかがえる。

図一九は、重交通下の高機能舗装について、補正たわみ差 (D0-D90) と層内剥離の関係を示したもの



図一九 補正たわみ差と層内剥離の関係 (重交通・高機能舗装)

である。ここでは、剥離無しが回帰曲線の上方に散布し、層内剥離の凡例が回帰曲線の下方面で散布しているので、層内の損傷有無を区分仕切れていない。当該調査現場では全体的に損傷が進んでいたもので、図中には中交通の追越し車線のデータを付した。このデータの殆どが回帰曲線の下方に位置したことから、また層内剥離が無かったことから、交通履歴の途中過程として推察される。この意味では、今後のモニタリングにより、補正たわみ差による説明が可能な供用条件を研究して行くこととしたい。

4. おわりに

高速道路本線における FWD の測定間隔は約 50 m を基本としており、所要時間は調査延長が 3 km の場合で約 2 時間程度である。

現在のところ NEXCO からの依頼により、現場で問題視される箇所を中心に FWD 測定を行っている。測定した結果は直ちに NEXCO の道路管理者に報告しており、補修計画の優先順位を行う際の資料として役立てられている。

今後はこのような損傷箇所の把握だけではなく、長期的なライフサイクルコスト管理の視野に立った戦略的な測定も実施して行く所存である。

最後に、舗装はお客様との接点であることから、常に効率的でお客様の視点に立った路面管理手法を目指して行く必要があると考えている。FWD は 1 つの非破壊手法であるが、測定時に車線規制を要するという意味ではさらなる改善が必要といえる。このような視点で、今後の路面管理手法を捉えて参りたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 神谷恵三：FWD による高速道路舗装の非破壊構造診断，基礎工，2006 年 8 月号
- 2) 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 13 巻，pp. 171-178, 2008. 12

〔筆者紹介〕

神谷 恵三（かみや けいぞう）
 ㈱高速道路総合技術研究所
 道路研究部 舗装研究室
 担当部長



平成 21 年度版 建設機械等損料表

■内 容

- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- ・損料積算例や損料表の構成等をわかりやすく解説
- ・機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- ・各機械の燃料（電力）消費量を掲載
- ・主な機械の概要と特徴を写真・図入りで解説
- ・主な機械には「日本建設機械要覧（当協会発行）」の関連ページを掲載

■ B5 判 約 730 ページ

■ 一般価格
7,700 円（本体 7,334 円）

■ 会員価格（官公庁・学校関係含）
6,600 円（本体 6,286 円）

■ 送料 沖縄県以外 600 円
 沖縄県 450 円（但し県内に限る）
 （複数お申込みの場合の送料は別途考慮）

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>