

# 高速道路舗装の損傷評価方法に関する研究

神谷 恵三<sup>1</sup>・風戸 崇之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 (株)高速道路総合技術研究所 舗装研究室長 (〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1)

<sup>2</sup>(株)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)

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の開発を試みた。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の可能性が確認された。また、当該指標とコアの物理試験の分析結果から、高機能舗装の基層にはレジリエントモデュラスと共に圧裂強度が大きくする等の混合物要件が得られた。

*Key Word* : repair design, asphalt pavement, damage, evaluation of structure, resilient modulus

## 1. はじめに

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) では、平成 10 年以来標準的な舗装路面として、高機能 (排水性) 舗装を採用している。NEXCO における高機能舗装の中には 10 年を越えるストックも増えつつあるが、その一方で老朽化した密粒度舗装も存在しているので、費用対効果に優れた舗装を実現できる補修設計手法を開発することは急務な課題である。高機能舗装については、基層上面に滞留した雨水が混合物の剥離を誘発させるので、損傷の進行過程及び形態がこれまでの密粒度舗装とは大きく異なる<sup>1)</sup>。写真-1 は基層以下の損傷が著しい高機能舗装の路面とコアを示したものであるが、外観だけでは路面下の損傷評価が困難であることがうかがえる。補修設計の一

環として、損傷評価方法の開発を進める必要があることは言うまでもない。一方、長期間供用中の密粒度舗装については、クラックが発生した後、路面下はどのような損傷状態にあるのかについて把握しておく必要がある。

(株)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。

本文は、これまでの FWD データと共に採取コアから得られたデータを解析することにより、コア採取を要さない損傷評価方法の開発と共に、補修設計における混合物の性能検討を試みたものである。



写真-1 高機能舗装の層内損傷例

## 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、効率的な損傷評価方法を提案すると共に、高機能舗装の基層混合物の要件を考察することを目的として、以下の検討を行った。

路面及び層内損傷の把握

たわみ差による構造評価

路面評価に捕われない新たな損傷評価指標の提案

高機能舗装対応の基層混合物の耐久性評価

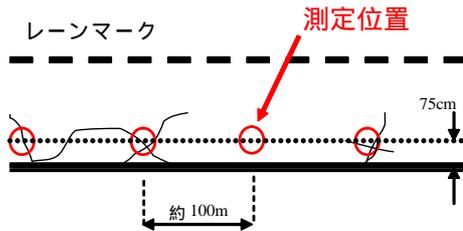


図-1 FWDの測定位置（外側軌道部の例）

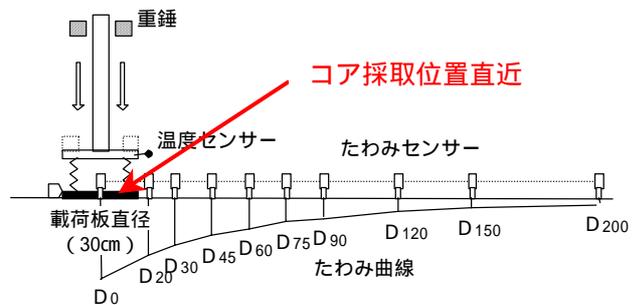


図-2 コア採取位置

表-1 FWD測定及びコア採取の属性

交通量区分	車線区分	FWD測定位置	表層工種	下層路盤	コア採取位置	コアの個数
重・中・軽	走行車線	外側軌道部	高機能	粒状	荷重載荷位置直近	90
中・軽			高機能	セメント安定		28
中・軽			密粒度	粒状		73
中・軽			密粒度	セメント安定		76
重交通	追越し車線	内側軌道部	高機能	粒状		39
中交通			密粒度	セメント安定		42

軽交通は大型車交通量1,500(台/日/方向)未満, 中交通は1,500台以上5,000台未満, 重交通は5,000台以上

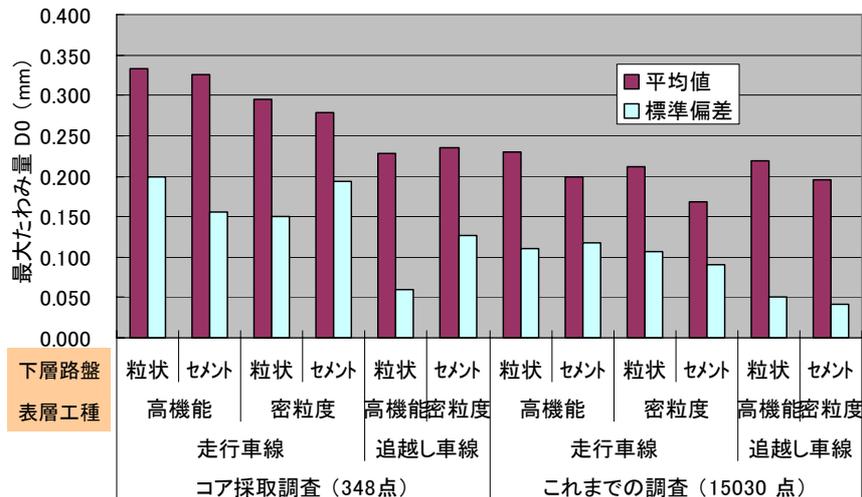


図-3 最大たわみ量の比較

図-1 に示すように、FWD の測定位置は走行車線では外側軌道部、追越し車線では内側軌道部とした。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-2）に際しては、荷重載荷位置周辺から当該コアを採取することとした。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、荷重 49kN 及び温度 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。の実施方法については、以後の章で述べる。

### 3. アスファルト層内の損傷評価指標

#### (1) 路面及び層内損傷の把握

舗装の損傷過程とたわみ量の関係を詳細に究明するためには、FWD 測定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。表-1 はFWD 測定後に荷重載荷位置の直近から採取したコアの一覧を示している。ここでは、たわみ量に影響を与える主な要因として、交通量及び車線区分の他、表層工種と下層路盤の種別を付した。

図-3 は今回のコア採取調査に先立って得られた最大たわみ量と、これまで高速道路本線から得られた値を対比させたものである。今回調査の最大たわみ量の平均値と標準偏差は、全ての構造においてこれまでの調査の値を上回るものであった。これより、今回の調査箇所は損傷が進行した箇所を多く含んでいると共に、損傷形態も多様であることが推察され

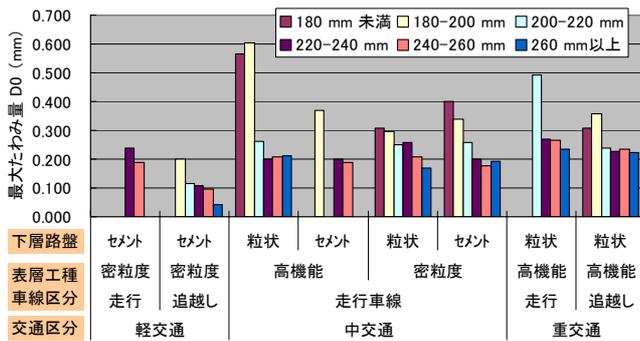


図-4 構造分類別の最大たわみ量

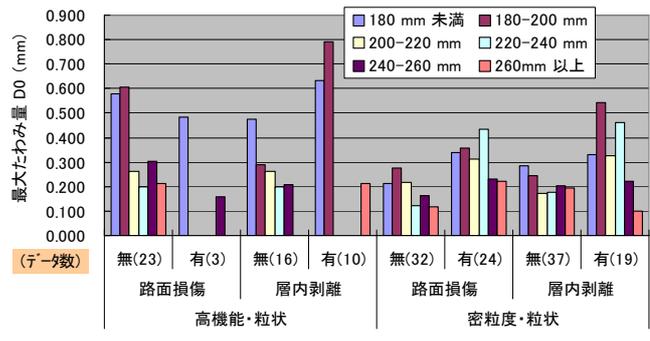


図-5 最大たわみ量と損傷の関係

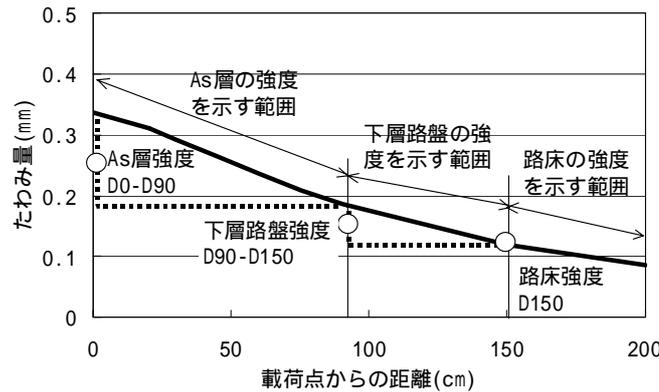


図-6 たわみ曲線と舗装各層の強度との関連<sup>6)7)</sup>

ることから、損傷過程とたわみ量の関係を論じるのに適していると判断された。

図-4 はコア採取に先立って得られたサンプル数が多かった代表的な区分の最大たわみ量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<sup>2)3)</sup>ことから、当該層を付したアスファルト層厚が 200mm 未満では、最大たわみ量（以下「D0」という）が全体的に増大する傾向を示した。

重交通において粒状路盤を採用した高機能舗装の D0 は中交通のものよりも大きな傾向を示したので、大型車の交通荷重が構造に与える影響が窺い知れる。また、重交通の高機能舗装において、走行車線の D0 は追越し車線よりも大きかった。大型車の車線分担比率が交通量によらず概ね 7:3 であるという報告<sup>3)</sup>を踏まえると、これについても交通荷重による影響であるものと思われる。

図-5 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 200mm 未満の D0 が突出して大きいことが分かる。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。目視による損傷の健全化以外に有効な損傷評価方法は未だないことから、表面損傷だけに捕らわれない新たな評価方法が必要である。これは高速道路を管理する現場から切望されている課題であり、コア採取を要さない FWD 測定だけによる効率的な損傷評価指標を開発することとした。

## (2) たわみ差の評価

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-6 に示したたわみ差との関連付けが報告<sup>3)4)</sup>されている。これは、たわみ差 D0-D20 がアスファルト層の特性を示すという既往の報告<sup>5)6)</sup>と乖離するものである。そこで、以降の構

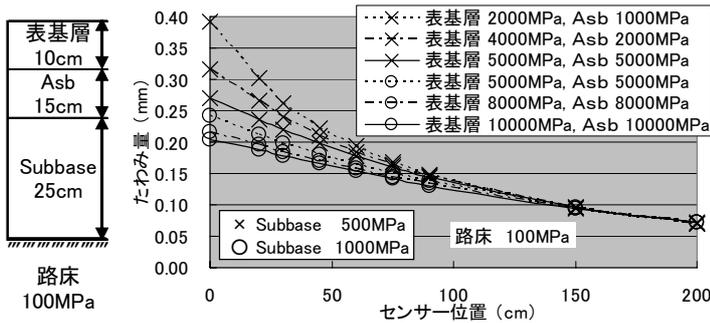


図-7 順解析で得られるたわみ曲線

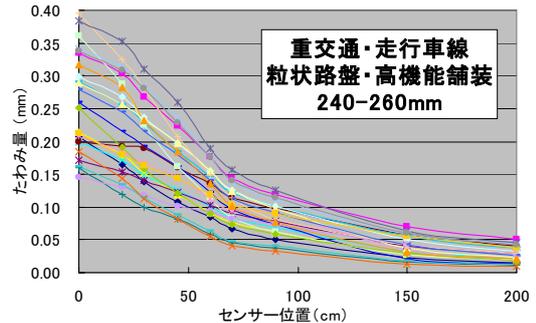


図-8 実路で得られたたわみ曲線

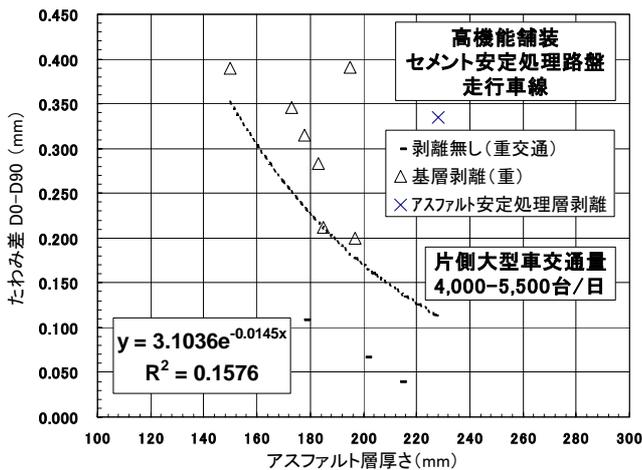


図-9 たわみ差とアスファルト層厚さの関係

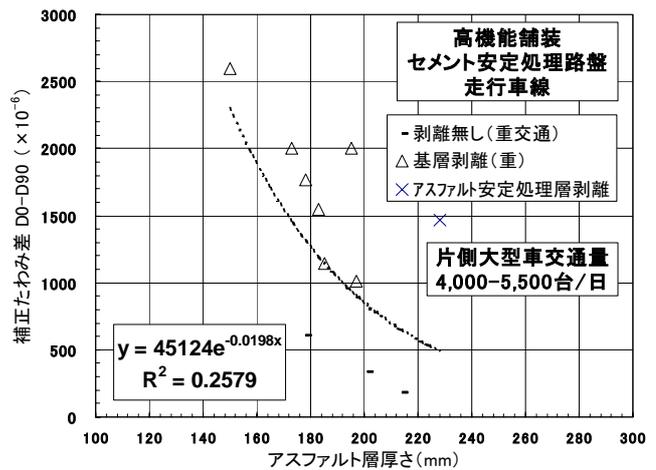


図-10 補正たわみ差とアスファルト層厚さの関係

造評価に先立ち、構造強度とたわみ差の関係を考察する。図-7 はアスファルト層厚 25cm 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、またアスファルト層の強度差はセンサー位置 90cm の辺りから顕著になる傾向にあることが分かる。

図-8 は今回の調査区間と図-7 を比較する目的で、アスファルト層厚が同等でかつデータ数が多かった同一路線における高性能舗装区間のたわみ曲線を示したものである。図-7 に比べると、曲線の分布幅は広いものの、センサー位置 75cm ~ 90cm 辺りで変局点が確認される。センサー位置 20cm 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。これは、高速道路ではアスファルト層厚を 18cm 以上に規定していることや、下層路盤の種別がセメント安定と粒状のみという特有の設計条件によるものと思われる。たわみ差 D0-D20 とアスファルト層の関連を調査した報告<sup>5)</sup>では、一般道を対象としていたので、アスファルト層厚 20cm 未満が大多数であることや、上下層路盤の種別が異なっていること等が設計条件の差に上げられる。

アスファルト層厚を変えた場合についても調べたが、図-7 及び図-8 と同様の傾向が確認された。

以上から、図-6 に仮定したたわみ差が高速道路の構造評価に適しているものと判断した。

### (3) 損傷評価指標

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-9 はセメント安定処理下層路盤を採用した高性能舗装について、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、剥離無しの場合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-10 は、たわみ差 D0-D90 をアスファルト層の厚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-9 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

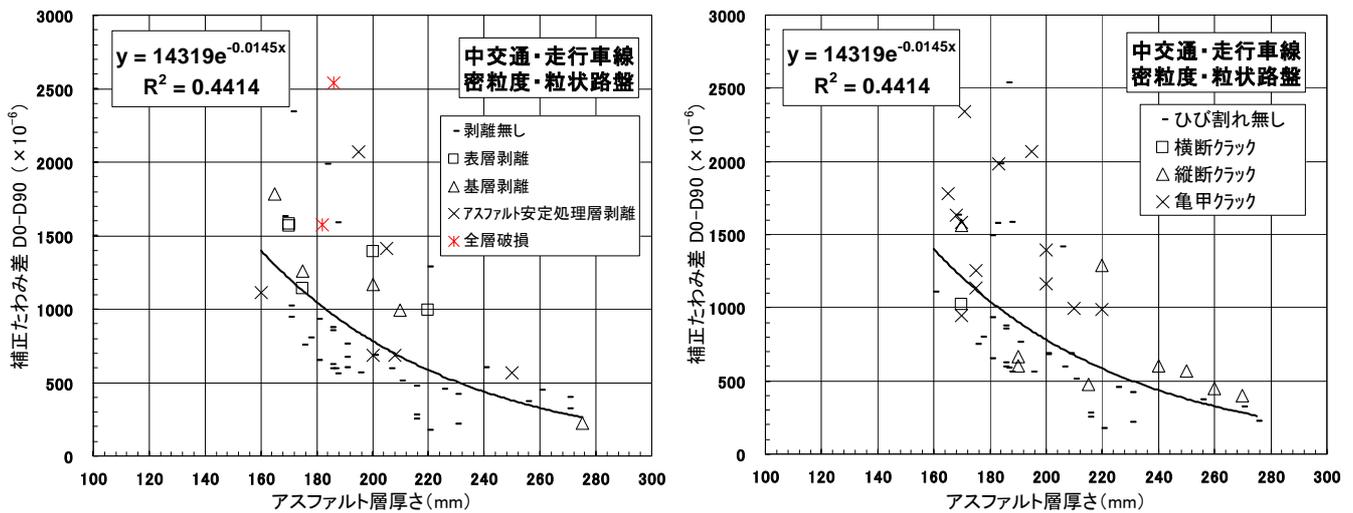


図-11 補正たわみ差と層内剥離及び路面損傷の関係（中交通・密粒度舗装）

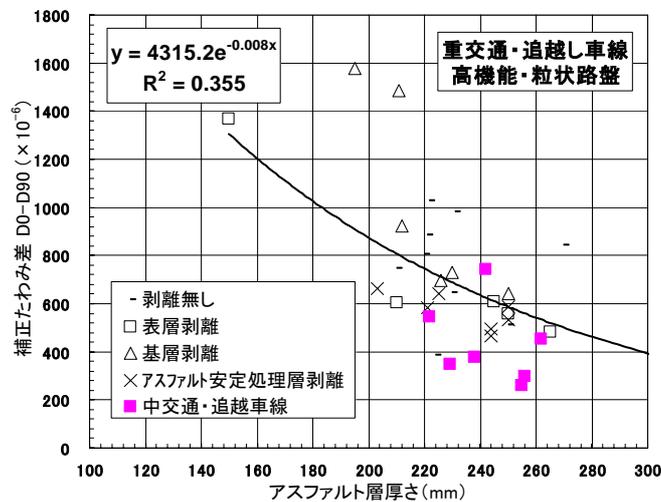


図-12 補正たわみ差と層内剥離の関係（重交通・高機能舗装）

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て、層内の剥離有無を区分できるか否かを考察する。

図-11は、粒状路盤を採用した密粒度舗装につき、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、路面損傷の数点は下方に位置している。これは、図-5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-11において、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-12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の

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まで散布しているため、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ため、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、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。

補正たわみ差 D0-D90 と損傷との関係については、この他の交通量及び車線区分、表層工種と下層路盤の種別毎に調査したが、サンプル数が少ないことや、混合物層が劣化していること等により、層内剥離の有無を明確に区分できない場合もあった。また、剥離がどの層にまで達しているかについても、剥離の位置を区分できるように解明して行く必要がある。

これらについては、今後の課題としたい。

#### 4. 基層混合物の耐久性評価

補修設計における高機能舗装対応の基層混合物の性能を検討することを目的として、1箇所当り採取した6個のコアを各層に切り出した後、表-2に示すように2区分のうえ、試験に供した。

粒状路盤を採用した高機能舗装が最も損傷し易いこと、また採取したコア数が最も多かったことから、以下には当該コアの試験結果を示す。損傷が顕著であったコアは採取時点で破損する場合や、試験の過程で自立できなくなる場合等に遭遇したので、室内試験の評価に当たっては、現場の供用性を踏まえるように留意した。

レジリエントモデュラス(以下「MR」という)の試験条件と加圧促進試験条件を表-3と表-4にそれぞれ示す。加圧促進試験の条件<sup>7)</sup>は、現場から採取した基層コアの水密性を評価できるように開発されたものである。

##### (1) レジリエントモデュラス

図-13は基層の損傷状態が構造強度に影響を与えるという視点から、アスファルト層厚さが同程度である現場から採取した基層コアのMRと、コア採取前の補正たわみ差を対比したものである。A路線の一部ではコアを採取したものの、MR試験が実施で

きず補正たわみ差しか表記できない箇所が多かった。これらの中には、特に補正たわみ差が著しく大きな箇所もあったが、補正たわみ差と基層MRとの間に負の相関は確認されなかった。この負の相関はB路線においても確認されなかった。

また、B路線の採取コアから剥離は全く確認されなかったが、A路線の採取コアの大半から何れかの層において剥離が確認された。これは、B路線の補正たわみ差がA路線に比べてやや小さい値であったと共に、全てのコアからMRを得ることができたという事象に符合するものである。

何れにしても、基層のMRのみで構造強度を捉えるのは困難であるので、アスファルト全層でこれを捉える必要があると判断した。

図-14は、昨年の研究<sup>3)</sup>を踏まえて、MRに各層の厚さを乗じたものの総和(以下「 $(MR \times \text{層厚})$ 」という)と補正たわみ差の関係を示したものである。ここでは、A路線において、第三層目のコアが破損していた場合、当該MRを0と見なした。当該コアの $(MR \times \text{層厚})$ はB路線に比べて小さな値を示したが、その一方で補正たわみ差はやや大きな値を示した。これらの結果として、右下がりの傾向が得られたものであるが、この傾向はMRの大きな材料の使用またはアスファルト層厚さの増大により構造の強化を示すものである。

これより、アスファルト層厚さを変えない場合の補修設計では、剥離等の損傷によりMRが低下した

表-2 現場コアの物理試験(高機能舗装・粒状路盤)

試験項目	試験目的	コアの対象試験		対象コア
レジリエントモデュラス	FWD 構造評価との相関評価			表・基・アス処理
標準圧裂試験	疲労耐力の評価		-	基層
最大密度試験	空隙率の推定		-	
加圧促進後の圧裂試験	加圧促進後の疲労耐力の評価	-	加圧促進後	基層
最大密度試験	加圧促進後の空隙率推定	-	加圧促進後	

表-3 MR試験の条件

試験温度	25
載荷周波数	1Hz
波形	ハーバースサイン
載荷時間	0.1秒
繰り返し荷重	735N

表-4 加圧促進試験の条件<sup>4)</sup>

項目	設定値	備考
透水圧	100, 250kPa	1サイクル各5分
側圧	375kPa	最大透水圧の1.5倍
水温	60	透水・側圧水
試験時間	4時間	10分×24サイクル

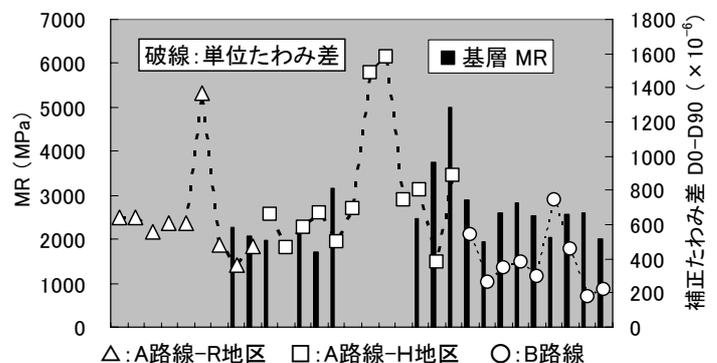


図-13 基層のMRと補正たわみ差

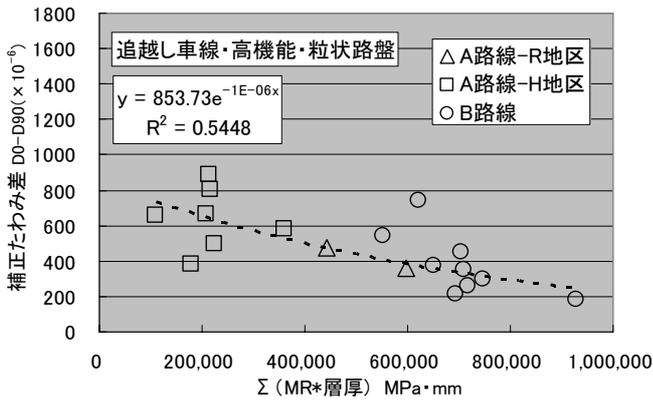


図-14 FWD 構造評価と MR との関係

材料をより高い MR を有する材料で置き換えることにより、構造改善を図り得るものと推察される。

### (2) 圧裂強度

図-15 は基層コアの MR と標準圧裂強度の関係を示したものである。B 路線のコアは、A 路線に比べて大きな圧裂強度を示したので、当該基層はより耐久であることが推察される。これは、図-13 において、B 路線の補正たわみ差が低い値を示していることに符号するものである。

これより、補修設計に際しては、MR に加えて圧裂強度の高い材料を採用すべきであるという方向性が確認された。今後はデータ数を増やすことにより、規定値の設定を検討して行くこととしたい。

### (3) 空隙率

図-16 は基層コアの圧裂強度と空隙率の関係を示したものである。H 地区のコアに着目すると、加圧促進後の圧裂強度が標準圧裂強度よりも低下する傾向を示している。試験のばらつきを考えると、これが加圧促進に伴う空隙率の増大であるとは断定できない。促進前後の空隙率と共に損傷過程の把握については、今後の課題としたい。

今後は、現場データを蓄積すると共に、混合物の劣化性状も加味した検討を加えることにより、補修設計における材料と混合物の性能検討を進めて行くこととしたい。

## 5. まとめ

今回の研究で得られた考察を以下に示す。

大型車交通量、車線区分、下層路盤、表層工種別に分類した場合、アスファルト層厚が 200mm 未満の構造では、最大たわみ量が全体的に増大する傾向が確認された。また、大型車の交通荷重が最大たわみ量に与える影響も確認された。高機能舗装、密粒度舗装共に、路面損傷「有」

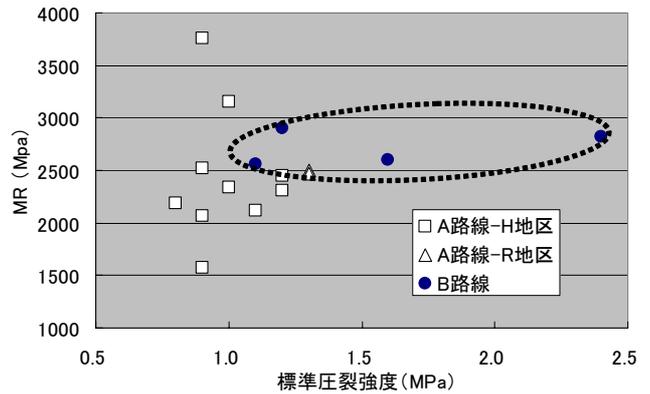


図-15 MR と圧裂強度の関係 (基層コア)

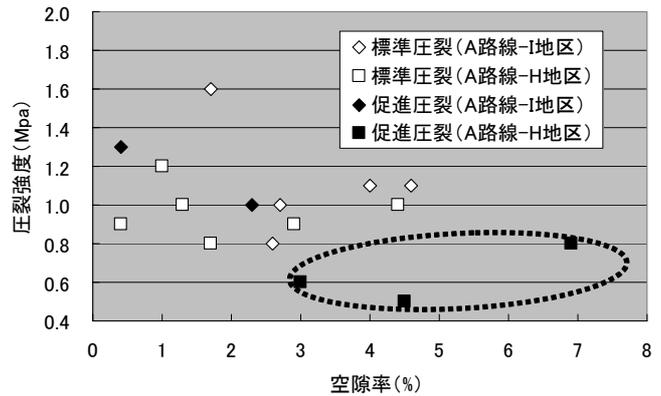


図-16 圧裂強度と空隙率の関係 (基層コア)

よりも層内剥離「有」の方が大きな最大たわみ量を示した。これより、層内の損傷状態を適正に評価することは極めて重要であることが確認された。

調査区間では、最大たわみ量は主たる損傷層であるアスファルト層の構造強度と高い相関を有しているものと考え、当該層の構造強度を仮定した数種類のたわみ差と最大たわみ量との相関分析を実施した。その結果、たわみ差 D0-D90 が最も高い相関を示した。

たわみ差 D0-D90 をアスファルト層厚さで除した無次元の指標をここでは補正たわみ差 D0-D90 と定義した。この指標により、アスファルト層内剥離の有無を推定できる可能性が確認された。

粒状路盤を採用した高機能舗装において、MR に各層の厚さを乗じたものの総和と補正たわみ差の間に相関を確認した。これより、補修設計では、より高い MR を有する材料で置き換えることにより、構造改善を図り得るものと推察される。

補正たわみ差が小さな現場の基層コアは、より大きな圧裂強度を示した。これより、補修設計に際しては、MR に加えて圧裂強度の高い材料

を採用すべきであるという方向性が得られた。

## 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、補正たわみ差 D0-D90 によって層内剥離の有無を確認できた現場もあったが、粒状路盤を採用した高機能舗装のように、損傷が顕著な区間では、当該損傷指標では説明できない現場も確認した。このような現場では、コア採取を要さない手段として、基層の供用年数を考察する等の判定方法も考慮する必要がある。これは、劣化を受けた場合、補正たわみ差は大きくなるもの、混合物としては脆弱化して剥離に至り易くなるという可能性が推察されるからである。

また、本質的なニーズとして、剥離の発生位置を推定できるように解明して行く必要がある。これについては、採取コアの詳細な状態観察と共に、混合物の劣化性状の把握に努めることにより、対応して参りたい。

## 参考文献

- 1) 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
- 3) 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
- 4) 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) 阿部長門他：たわみ評価指標に基づく舗装の構造評価,土木学会論文集 No.460 / V-18, pp.41-48, 1993. 2
- 6) 道路保全技術センター：FWD 運用マニュアル,平成 8 年 3 月
- 7) 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 DAMAGE EVALUATION OF ASPHALT PAVEMENT IN THE JAPANESE EXPRESSWAYS

Keizo KAMIYA and Takayuki KAZATO

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. According to analyzing FWD data and sampled cores near the falling point, deflection difference (D0-D90) divided by asphalt layers' thickness was found practically distinguishable from safe layers to those damaged. From materials testing of the cores, it was also found binder course mix for porous asphalt is to be with higher resilient modulus and splitting resistance.