

高速道路における高機能舗装の構造評価

神谷 恵三¹・山本 忠守²

¹正会員 日本道路公団試験研究所 舗装研究室長（〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1）

²日本道路公団中国支社 広島技術事務所長（〒731-0103 広島市安佐南区緑井 2-26-1）

高機能舗装の基層以下の混合物が剥離することにより、局部的な流動わだちが発生することや、基層材料の微粉末が噴出するというポンピング現象が高速道路において確認されている。効率的な維持管理を実施して行く上で、高機能舗装の破壊特性を把握しておくことは重要である。高機能舗装と近隣の密粒度舗装の構造調査を実施した結果、高機能舗装は、下層の損傷が表面に顕在化し難いことや、剥離を受けた場合には FWD たわみ形状が不連続となること等が判明した。今後は、FWD によるモニタリングを実施すると共に、健全度評価手法の早期確立等を目指すこととしたい。

Key Word : porous asphalt pavement, evaluation of structure, stripping ,underlying layer, monitoring

1. はじめに

平成 15 年度末現在、日本道路公団（以下「JH」という。）が管理する高速道路の車線面積の 4 割以上が高機能（排水性）舗装となっている。高機能舗装には排水機能や騒音低減のほか、雨天時の水はねやスモーキングを小さくするという優れた機能も有しているが、高機能舗装の軌道部において局部的な流動わだちが発生することや、写真-1 に示すように、基層材料の微粉末が噴出するというポンピング現象が一部において確認されている。これらは、長時間にわたって基層上面が滞水状態に置かれることから、基層混合物が剥離し易いことに起因している。



写真-1 ポンピングの発生事例

JH における高機能舗装の管理ストックは増大しつつあるが、今後これの維持管理をどのように実施

して行くかは大きな課題である。補修に先立ち、既設の基層混合物の健全度を的確に評価し、必要があれば水密性の高い混合物で基層から置き換えるという補修方法の確立は重要課題の 1 つである。しかし、高機能舗装はこれまでの密粒度舗装とは破壊形態が異なると思われるので、その破壊特性を把握しておくことも重要である。これは、道路の種別を問わず、一般の道路においても重要な課題である。

このような観点から、今回 JH の高速道路において数年間の供用実績のある高機能舗装と密粒度舗装の構造調査を実施した。両舗装の対比を行った結果、一連の考察が得られたので、以下に報告するものである。

2. 調査方法

今回の調査の目的は、密粒度舗装との比較を行うことにより、高機能舗装に関する以下の傾向を把握するものである。

- ① 舗装構造と損傷、及び累積交通量の関係
- ② 下層混合物の剥離の影響
- ③ 下層構造の評価

これらの目的を達成するために、密粒度舗装及び高機能舗装の調査箇所を選定するに当たり、以下の条件を付した。

- ・両舗装の舗装構成が大きく異なる区間とすること。
- ・両舗装ごとにクラックの形態が異なる数種類の箇所を有していること。

- ・供用以来の補修履歴と累積交通量が明確であること。

これより、平成2年に開通した山陽自動車道の広島地区を対象とし、密粒度舗装セクションA（以下「密粒セクションA」という。）と高機能舗装セクション（以下「高機能セクション」という。）を選定した。また、セクションAを補完する目的で損傷形態がAとは異なる密粒セクションBを、中国自動車道の小郡地区から選定することとした。各セクションは舗装構成が異なるので、表-1に示すように調査ブロックに区分して解析に備えた。

表-1 セクションの舗装構成と調査ブロック

セクション	舗装厚	As層	下層路盤	調査ブロック
密粒セクションA (広島)	45cm	18cm	27cm(セメント)	①③④⑥⑨⑩⑪
		22cm	23cm(セメント)	⑤
高機能セクション (広島)	45cm	18cm	27cm(セメント)	⑦⑧
			27cm(粒状)	②⑫
密粒セクションB (小郡)	45cm	25cm	20cm(セメント)	⑬⑮⑯⑰⑱
	50cm	25cm	25cm(セメント)	⑭

上記の目的を達成するために、表-2に示す調査内容を実施した。コア採取に当たっては調査ブロック毎にクラックの形態が異なる箇所を対象とし、図-1に示すFWDのD0センサー位置付近からコアを数本採取することとした。

表-2 調査内容

調査目的(方法)	測定方法等
舗装構造の評価 (FWDによるたわみ測定)	各調査ブロックにつき、たわみ測定位置は、基本的に路肩レーンマーク内側から75cmのOWPの位置を測定線とし、10m～20m間隔で測定する。
路面損傷の評価 (ランク法)	FWDのD0センサー位置付近の路面につき、クラックの程度に応じて損傷ランク1～3を付する。
下層の状態評価 (採取コア)	各調査ブロックにおいて、損傷ランクが異なる数箇所を選定し、路面の写真撮影の後コア採取を行う。クラックの進行深さのほか、剥離などの状態観察を行う。

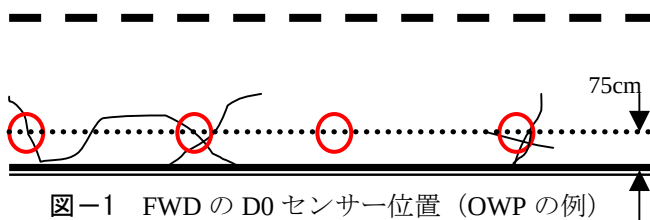


図-1 FWDのD0センサー位置（OWPの例）

累積交通量については、舗装に与える影響を考慮して、IC間毎に中型以上の車種（中型、大型、特大）を集計することとした。

3. 調査結果

(1) 路面の損傷とたわみ量

FWDたわみ測定のD0センサー位置周辺の損傷ランクとD0たわみ量との関係を調べた。損傷ランクは1～3という番号を与えており、数字が大きくなるほどクラックが進行することを示している。図-2は、密粒セクションA及びBの損傷ランクとD0たわみ量の関係を示したものである。

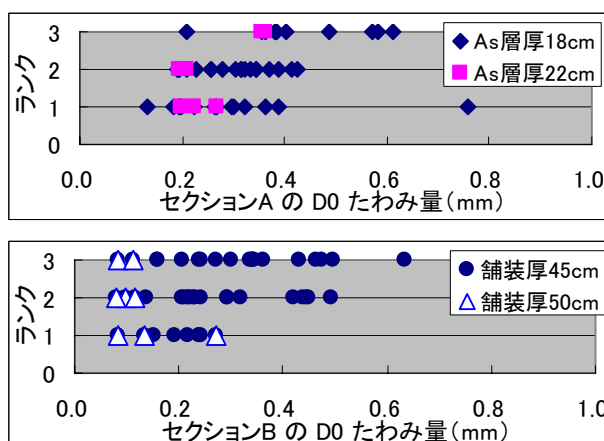


図-2 損傷ランクとたわみ量（密粒）

密粒セクションAにおいて、D0たわみ量の増加に対して損傷ランクが大きくなる傾向が見られる。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（以下「As層厚」という。）22cmの場合は18cmに比べると、同一損傷ランクの中ではD0たわみ量は小さいことがうかがえる。

密粒セクションBにおいては、Aほどの傾向が見られない。全体的に損傷ランクが高いが、Aよりも小さなD0たわみ量が目立つ。D0センサー位置付近から採取したコアによると、D0たわみ量が0.4未満の箇所では、写真-2に示すようにクラックは表層で止まっているものが大半であった。セクションBのクラックは表層のアスファルトが劣化を起こしたことによるものと推察される。



写真-2 密粒セクションBのクラック

高機能セクションにおいては、図-3 に示すように損傷ランクの大半が1であるが、たわみ量は密粒セクション A 及び B に比べて大きな箇所が目立つ。損傷ランクが小さいにも拘わらず、たわみ量が多いので、密粒セクションとは傾向が大きく異なる。

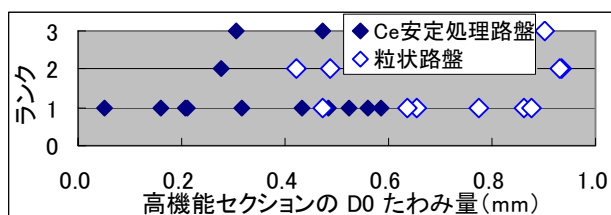


図-3 損傷ランクとたわみ量（高機能）

これより、高機能舗装の場合、表面から健全度を推測するのは困難であることが分る。また、既往の報告¹⁾のとおり、セメント安定処理路盤部のたわみ量は粒状路盤部よりも小さく、前者の有効性が確認された。

高機能舗装は、サグや反交点において特に滞水が懸念されることから、このような箇所では、FWD によるモニタリングを実施することにより、健全度の把握に努めることが重要である。健全度の評価については、たわみ量から簡易に評価できる手法を現在開発中である。

(2) たわみ量と累積交通量

図-4 は密粒セクション A 及び B においてたわみ量と累積交通量を対比させたものであるが、両者に正の相関は認められない。A においては、交通量が 15,000 千台以降たわみ量に大きな変動が見られない。As 層厚が 22cm である箇所は、18cm である箇所に比べてたわみ量はやや小さいことがうかがえる。

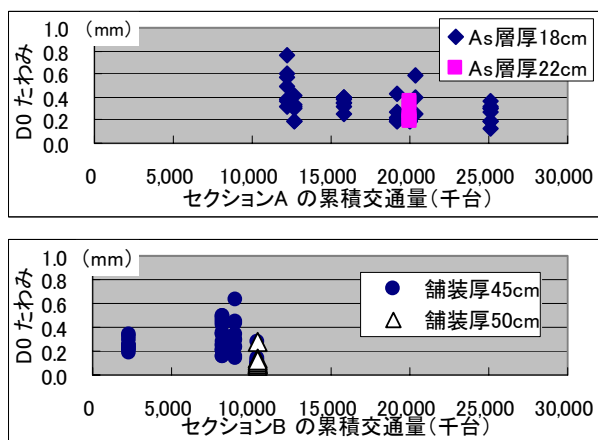


図-4 たわみ量と累積交通量（密粒）

密粒セクション B は A よりも累積交通量は小さいが、たわみ量の範囲は概ね A と同程度であること、

また舗装厚 45cm よりも 50cm の方がたわみ量は小さくなるという傾向が見られる。

このように、今回の密粒セクションにおいては累積交通量の増加によりたわみ量が増大せず、推移している傾向が認められた。これは、英国において As 層厚がある厚さを超える場合には、交通量の増加と共に構造強度は低下するものではないという既往の報告^{2),3)}と一致するものである。

図-5 は、高機能セクションについて D0 たわみ量と累積交通量の関係を示したものである。

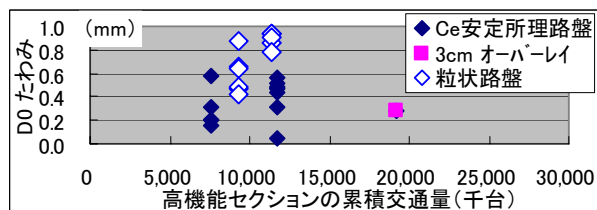


図-5 たわみ量と累積交通量（高機能）

粒状路盤部の D0 たわみ量は、累積交通量と共に増加する傾向が見られ、10,000 千台を超えるとたわみ量は 0.6mm を超えている。一方、セメント安定処理路盤部では 0.6mm が上限となっている。これは密粒セクション B と同等であるが、高機能舗装は長時間にわたって基層上面が滞水状態に置かれることから、密粒セクションとは条件が異なる。

3cm の高機能オーバーレイについては、累積交通量が大きかったにも拘わらずたわみ量を抑制していることがうかがえる。

(3) たわみ量とクラック深さ

図-6 は、密粒セクション A 及び B において、D0 センサー位置付近から採取したコアのクラック深さ（以下「Cr 深さ」という。）と D0 たわみ量の関係を示したものである。

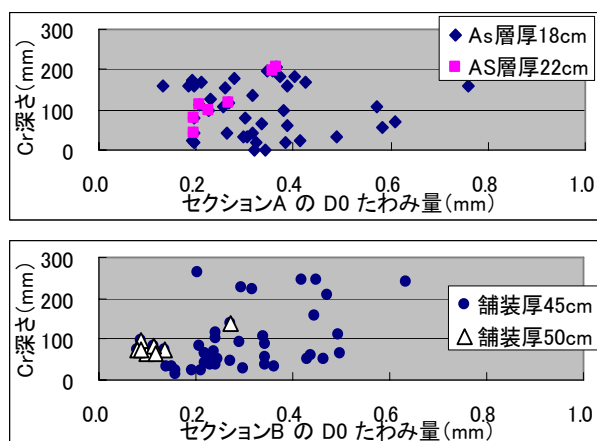


図-6 クラック深さとたわみ量（密粒）

セクション A 及び B において両者に相関は認められなかったが、これは Cr 深さが一様に発生するものではないことや、Cr 深さが混合物の劣化状態やクラックの幅までを説明できないことによるものと思われる。

ここでは、たわみ量及び Cr 深さが共に小さい舗装厚 50cm の箇所の有効性が確認された。

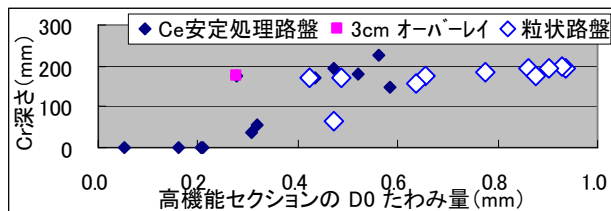


図-7 クラック深さとたわみ量（高機能）

高機能セクションにおいては、図-7 より、セメント安定処理路盤部のたわみ量は粒状路盤部よりも小さいことが分る。密粒セクション A, B ではたわみ量とクラック深さに相関はなかったが、高機能セクションでは相関が認められる。相関係数は下層路盤ごとに分けてみると、粒状路盤部で 0.651、セメント安定処理路盤部で 0.856 である。

密粒セクションよりも高機能セクションにおいて高い相関が見られるのは、舗装の構造的な違いによるとものと推察される。この推察については、以下に述べる。

(4) 下層混合物の剥離

採取したコアを観察して、クラックが到達した層と剥離状態の関係を調べた。密粒セクション及び高機能セクションについてコアの比率をそれぞれ整理したものが、図-8 及び図-9 である。

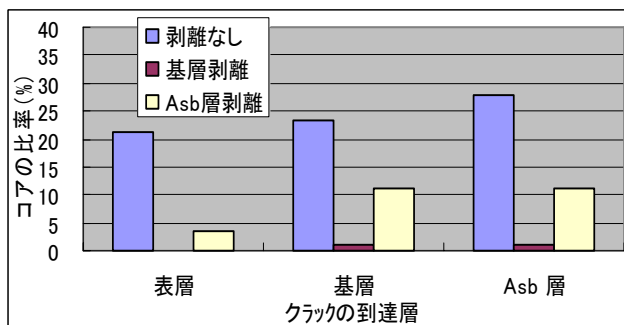


図-8 混合物の剥離とクラック（密粒 A, B）

密粒セクション A 及び B と高機能セクションは、交通履歴及び供用年数はいずれも異なるが、2 つの図から顕著な傾向が読みとれる。密粒セクションでは、クラックの到達層に拘わらず、剥離なしの比率が高く、下層混合物の剥離に至る比率が小さい。

一方、高機能セクションでは、クラックの到達に伴って下層の剥離に至る比率が高くなっている。これは、高機能舗装の場合、基層上面の滞水が下層へ面的に進行して混合物の剥離を誘発させ易いが、密粒度舗装の場合はクラックが局所的に進行しても下層混合物の剥離に至るまでにはタイムラグがあることによるものと思われる。

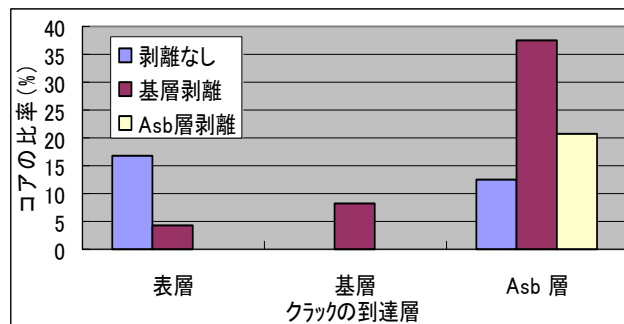


図-9 混合物の剥離とクラック（高機能）

前段の高機能セクションにおいて Cr 深さと D0 たわみ量に相関が見られたのは、両者の間に混合物の剥離という要因が介在しているためと思われる。

(5) 下層構造の評価

密粒セクションと高機能セクションの構造比較を行うために、舗装構成が同じで供用履歴がほぼ等しい近接箇所を抽出することとした。密粒混合物と高機能舗装混合物を同時期に施工した調査ブロックを選定した結果、舗装構成については As 層厚 18cm、セメント安定処理下層路盤厚 27cm、補修後の累積交通量は約 12,000 千台の箇所として、表-1 中の⑨と⑧が該当した。両ブロック共に、下層が損傷していると判断される場合、事前に部分的な打換え処理が施されている。

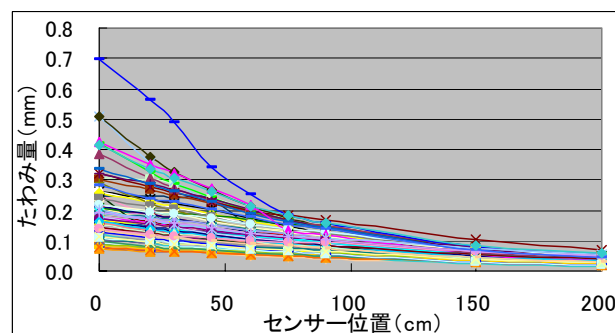


図-10 たわみ形状（⑨密粒度舗装）

図-10 から、当該密粒度舗装の D0 たわみ量は 0.075～0.695mm の範囲にあり、平均値は 0.204 であった。これまでに高速道路で得られた既往の報告⁴⁾と比較すると、これは比較的大きなたわみ量である。

しかし、採取コアによると、クラックは表面部分のものが大半であった。採取したコアの中で唯一クラックがアスファルト安定処理上層路盤（以下「Asb」という。）層まで達していた箇所を写真-3に示す。この箇所の D0 たわみ量は 0.305 であった。

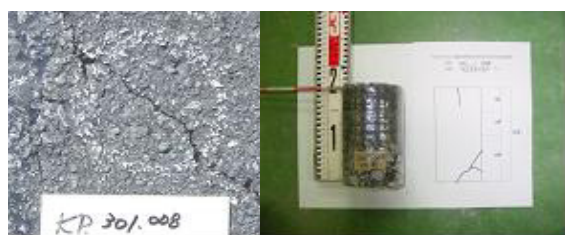


写真-3 ⑨密粒度舗装のクラック

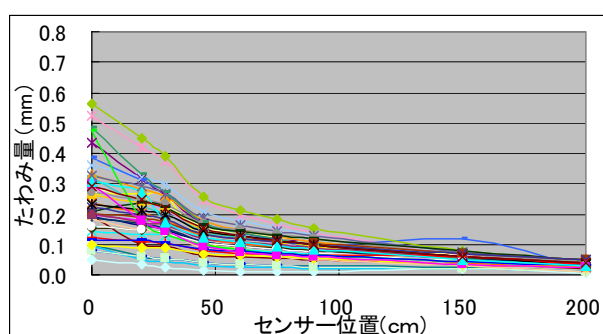


図-11 たわみ形状 (⑧高機能舗装)

図-11 は当該高機能舗装箇所のたわみ形状である。D0 たわみ量は 0.051～0.561mm の範囲にあり、平均値は 0.247 であった。D0 たわみ量については⑨密粒度舗装と概ね同等の値であるが、たわみ形状は大きく異なる。特に、D0～D90 の部分が不連続である。既往の調査⁵⁾によると、この部分は、高速道路において As 層の弾性係数の変化に対する影響を受ける部分であるので、As 層部分に問題があり当該たわみ形状が不連続になるものと推察される。

採取コアによると、基層及び Asb 層において剥離が発生しているものが半数を占めた。コアの中で代表的な箇所の状況を写真-4に示す。この箇所の D0 たわみ量は 0.485 であったが、路面に顕著なクラックは見られない。これは、高粘度改質アスファルトを使用した高機能舗装混合物の耐久性を示すものであるが、その反面で下層の構造評価の困難さを示すものである。



写真-4 ⑧高機能舗装のクラック

高機能舗装箇所の As 層のたわみが不連続を示しているのは、基層及び Asb 層が剥離を受けていることによるものと推察される。

このように、高機能舗装と密粒舗装では損傷過程が大きく異なるので、表面の損傷状態から健全度を推察する場合には注意を要する。

(6) 今後の構造評価

(2)で示したように、累積交通量とたわみ量には相関が見られなかった。累積交通量が 10,000 千台で補修を実施した密粒度舗装もあれば、25,000 千台を超えても D0 たわみ量が 0.4 以下で供用以来未補修の区間も存在している。このように、今回の調査では供用開始から未補修の調査ブロックがいくつか存在するので、今後の構造評価の参考とするべく、それらのたわみ形状を示しておく。

図-12 は、As 層厚 18cm、セメント安定処理下層路盤厚 27cm という舗装構成の各調査ブロックにつき、平均たわみ量を示したものである。対象としたのは、先ほどの密粒及び高機能の対比区間 (⑨, ⑧), 供用以来未補修である密粒度舗装区間 (①, ⑥, ⑩, ⑪), さらに高機能の 3cm オーバーレイ区間 (⑥) である。

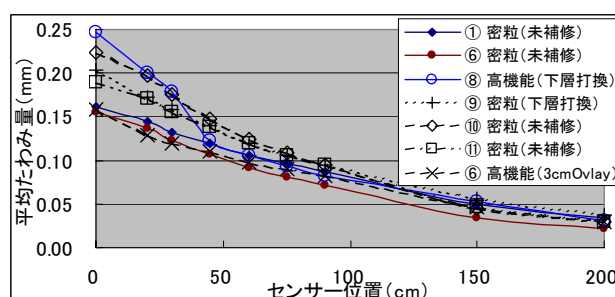


図-12 近隣調査ブロックの平均たわみ量

未補修の密粒度舗装区間の D0 たわみ量は、⑩の 0.223 が最大であり、それ以外は 0.2 を下回っていた。D90 たわみ量については、全てが 0.1 を下回っていた。下層の打換えを経た⑨密粒は、⑪未補修と酷似したたわみ形状を示している。⑨において、今後共に同様な形状が得られて良好な供用性が確認されれば、このたわみ形状はこの区間における大まかな健全度指標とすることができる。

⑧高機能については、累積交通量が最も小さいにも拘わらず、D0 たわみ量が最も大きい。さらに特筆すべきことは、平均値であってもたわみ形状が D0～D90 において不連続を示しているということである。コア採取箇所のみならず、この調査ブロック全体において基層及び Asb 層が剥離を受けている可能性があるため、要注意である。

⑥高機能 (3cm オーバーレイ) は D0 たわみ量が最も小さく、たわみ形状も未補修の密粒区間と同様

であるので、構造的な安定性が期待される。

4. まとめ

今回の調査で得られた高機能舗装に関する考察を以下に示す。

- ① 高機能舗装は、たわみ量が大きい場合でも表面損傷として顕在化し難いので、表面から健全度を推測するのは困難である。したがって、特にサグや反交点などの排水が困難な箇所では、FWDによるモニタリングを実施することにより健全度の把握に努めることが重要である。
- ② たわみ量と累積交通量の間に正の相関は見られなかった。セメント安定処理路盤の採用箇所ではD0 たわみ量が密粒度舗装と同等であるが、高機能舗装は長時間にわたって基層上面が滞水状態に置かれるので、密粒度舗装とは損傷条件が大きく異なる。粒状下層路盤の採用箇所は、たわみ量が増大する傾向が得られた。
- ③ 密粒度舗装よりも高機能舗装において、クラック深さとたわみ量の間に高い相関が確認された。これは舗装の構造的な違いによるとものと推察される。
- ④ 高機能舗装は、クラックの到達深さに伴って下層の剥離に至る比率が高くなるが、これは基層上面の滞水が下層へ面的に進行して混合物の剥離を誘発させ易いことによるものと思われる。
- ⑤ 高機能舗装の基層及びAsb層が剥離を受けている場合には、D0～D90までのAs層部分のたわみ形状が不連続になるものと推察される。
- ⑥ 舗装構成が同一の区間で密粒度舗装と比較した結果、累積交通量が最も小さいにも拘わらず、D0たわみ量が最も大きい高機能舗装が確認された。ここでは、平均値であつてもたわみ形状がD0～D90において不連続を示した。

5. おわりに

高機能舗装は長時間にわたって基層上面が滞水状態に置かれるので、早期のうちに基層及びAsb層が剥離に至る可能性がある。したがって、今後はFWDによるモニタリングを実施することにより健全度の把握に努めることが重要であると考えられる。健全度の評価については、逆解析等の操作を要せずにたわみ量から簡易に評価できる手法を現在開発中である。

また、高機能舗装を舗設する際、既設下層混合物の剥離抵抗性を的確に評価する手法の確立も急務であり、これに取り組んでいる。さらに、下層が剥離を受けている場合に備えて、水密性に優れる舗装混合物の配合設計及び施工方法についても開発を進めているところである。

参考文献

- 1) 川村和将, 七五三野茂, 小松原昭典: 高速道路の舗装構造の調査解析, 日本道路公団試験研究所報告 vol.36, p.15, 1999
- 2) Michael Nunn: Long-Life Flexible Roads, Proceedings Eighth International Conference on Asphalt Pavement, p.1, 1997
- 3) David E. Newcomb, Ira J. Huddleston, Mark Buncher: U.S. perspective on design and construction of perpetual asphalt pavements, Proceedings Ninth International Conference on Asphalt Pavement, Fig.3, 2002
- 4) 川村和将, 七五三野茂, 小松原昭典: 高速道路の舗装構造の調査解析, 日本道路公団試験研究所報告 vol.36, p.16, 1999
- 5) 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

STRUCTURAL EVALUATION OF POROUS ASPHALT PAVEMENT IN THE JAPANESE EXPRESSWAYS

Keizo KAMIYA and Tadamori YAMAMOTO

Partial plastic flow of porous asphalt surface course and particles of binder course mixture blowing up from its porous, due to stripping of the underlying mixture have been observed in the Japanese expressways. Judging from structural surveys of porous asphalt and neighboring dense graded asphalt pavements, it was found that deterioration of underlying layers of porous asphalt is difficult to outlook, and that deflection curve of the pavement is shown unnatural in case where stripping of the underlying mixture takes place. Therefore monitoring using FWD measurement is to be conducted, mainly in the sections where drainage of road surface takes time, such as sags and inflections.