

# 高機能舗装の下層損傷に関する一考察

神谷 恵三<sup>1</sup>・内藤 政男<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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)

<sup>2</sup>日本道路公団東京管理局 御殿場管理事務所改良助役 (〒412-0026 御殿場市東田中 1140)

高機能舗装の基層以下の混合物が剥離することにより、局所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確認されている。高速道路の重交通区間における供用性を調査した結果、高機能舗装は年降水量が大きく日照時間が短い山岳区間において下層の損傷を受けやすいこと、また下層の損傷を受けたと想定される箇所ではアスファルト層の強度が小さくなっている可能性が所見された。

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

## 1. はじめに

高機能（排水性）舗装には排水機能や騒音低減のほか、雨天時における視認性を向上させる機能を有していることから、その施工実績は著しく増加している。平成16年度末には、日本道路公団が管理する高速道路の車線面積の5割以上が高機能舗装となっている。しかしながら、軌道部において局所的な流動わだちの発生や、写真-1に示すような、下層の脆弱化に伴うポンピング現象の発生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

高機能舗装は特に重交通路線で積極的に採用されているので、長期的な耐久性の確保はますます求め

られているところである。前回の報告<sup>1)</sup>では、下層への雨水の浸透により構造強度が著しく低下する場合のメカニズムについて述べた。しかし、長期間にわたる高機能舗装構造の評価や、補修に至るまでの供用性、並びに事前にこれを予測する方法等については未報告である。

このような観点から、今回は数年の供用実績を有する重交通区間の高機能舗装に着目し、FWD測定による供用性調査を実施した。その結果得られた知見を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、高機能舗装に関する以下の検討を行うものである。

- ① 供用年数を踏まえたTA法の適用性
- ② 気象条件とたわみ量の関係
- ③ 高機能舗装の補修分析
- ④ 層間剥離の評価

このために、高機能舗装を全面的に採用している東名高速道路の横浜、御殿場、富士、静岡、浜松における下り走行車線において、各々の土工区間を約100m間隔でFWD測定を実施した。FWDの測定点は、図-1に示すように走行車線においてレーンマークから75cmとなる車両の外側軌道位置（以下「OWP」という）とした。使用したFWDは単錘式で、荷重は49kNとした。たわみセンサの配置を図-2に示す。解析に際しては、荷重及び温度補正を施したたわみ量を使用した。

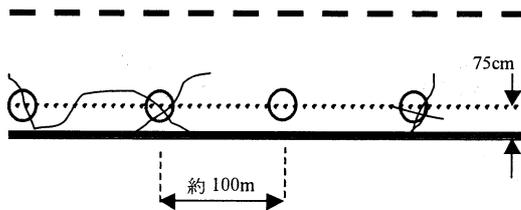


図-1 FWDの測定点

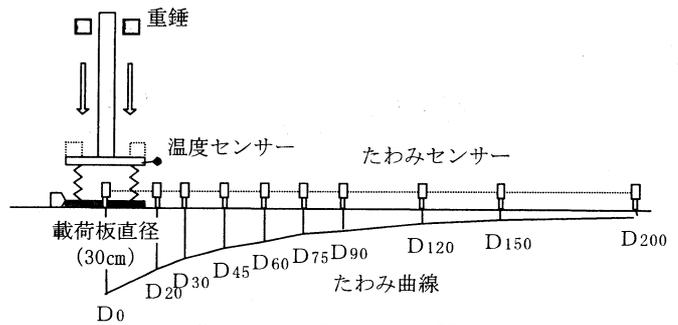


図-2 たわみセンサの配置

表-1 各区間の代表的な舗装構成

対象区間	横浜	御殿場	富士	静岡	浜松
インターチェンジ間	横浜-厚木	大井松田-御殿場	富士-清水	清水-静岡	浜松西-三ヶ日
表層	4cm	4cm	4cm	4cm	4cm
基層	6cm	9cm	17cm	17cm	9cm
上層路盤	18cm アス安定	15cm アス安定	20cm 粒度調整	20cm 粒度調整	15cm アス安定
下層路盤	17cm セメント安定	17cm セメント安定	17cm セメント安定	17cm セメント安定	17cm セメント安定
TA	34cm	32cm	30cm	30cm	35cm
路床 CBR(推定)	10	10	10	10	10
2003年 大型車交通量	17,769 台/日	14,643 台/日	12,706 台/日	13,855 台/日	13,362 台/日

表-1には解析に使用した対象区間の代表的な舗装構成を示すが、各インターチェンジ間の舗装厚はこれまでに部分的なオーバーレイを施してきたために基層上面が一定厚さとはなっていない。

### 3. 調査結果

#### (1) 全区間における測定結果

気象条件とたわみ量を対比させるために、気象データは各区間最寄りの気象観測所の公開値を使用し、たわみ量は当該観測所から10km圏内のデータを対象とした。表-2はこれらを整理したものである。

表-2 全区間の測定結果と気象データ

対象区間	IC間	D0 たわみ量 平均(mm)	D0 たわみ量 $\sigma$ (mm)	D0 たわみ量 平均 + 1 $\sigma$	D150 たわみ 量平均(mm)	D150 たわみ 量 $\sigma$ (mm)	2003年降水 量(mm)	2003年日照 時間(hr)	
横浜	横浜-厚木	0.144	0.035	0.179	0.060	0.016	2164	1607	
御殿場	大井松田-御殿場	0.249	0.121	0.370	0.055	0.026	3433	1360	
富士	富士-清水	0.237	0.092	0.329	0.035	0.014	2677	1476	
静岡	清水-静岡	0.292	0.058	0.350	0.035	0.008	3311	1821	
浜松	浜松西-三ヶ日	0.083	0.022	0.104	0.029	0.009	2008	1980	
							平均	2718	1649
							標準偏差	647	252
							変動係数	24%	15%

表-3 舗装構造と外的要因の相関分析

相関項目	(相関係数 $r$ )				
	D150 たわみ 量平均	TA	2003年 大型車	2003年 降水量	2003年 日照時間
D0 たわみ量平均	0.052	-0.928	-0.248	0.917	-0.479
D150 たわみ量平均	*****	0.196	0.849	0.133	-0.637
TA	*****	*****	0.446	-0.736	0.396
2003年大型車	*****	*****	*****	-0.236	-0.178
2003年降水量	*****	*****	*****	*****	-0.474

最大たわみ量  $D_0$  の平均値は静岡が最大で、浜松が最小という結果であった。一方、 $D_0$  の標準偏差  $\sigma$  は年降水量や地域条件により大きく異なっており、山岳区間である御殿場と富士が大きな値を示した。年降水量の変動係数は日照時間のものよりも大きいことが分かる。

表-3は上記に得られたデータの間で相関分析を行ったものである。アスファルト舗装換算厚さTAと年降水量の間には負の相関が得られたが、年降水量の増加に伴ってTAが減少することは現実的ではないと判断される。たわみ量と年降水量、及びTAとたわみ量の間には、それぞれ高い相関が得られた。たわみ量と降水量については後に考察する。

図-3はたわみ量  $D_0$  とTAの関係を示したものである。上層路盤に粒状路盤工を採用している富士と静岡ではたわみ量  $D_0$  は大きくなる一方で、アスファルト層厚が大きな横浜と浜松ではたわみ量が小さくなる傾向を説明していることが分かる。これより、既往のTA法でも概ね妥当な舗装構造を提供することを示唆している。しかしながら、今回は舗装断面数が少ないので、TA法の説明力については今後データを増やして検証を重ねる必要がある。

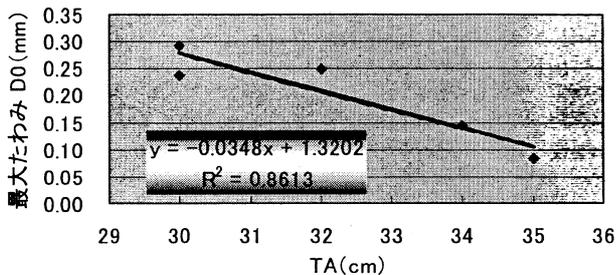


図-3 最大たわみ量と TA

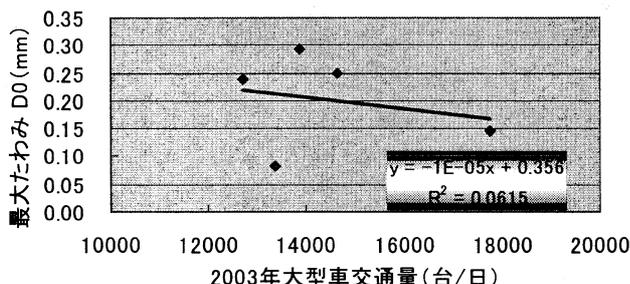


図-4 最大たわみ量と交通量

図-4 は舗装全体の強度を示す最大たわみ量と大型車交通量の関係を示したものである。累積交通量ではなく単年度の大型車交通量を使用したのは、年度ごとに交通量の比率は大きく変わらないことから、両者の相対的な関係を概ね把握する上では支障がないと判断した。ここでは、大型車交通量とたわみ量の間には比例関係は見られなかった。これは、東名が供用 35 年を経過しているにも関わらず大きな構造的損傷を経験していないということと符合すると共に、アスファルト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<sup>2),3)</sup>と一致するものである。

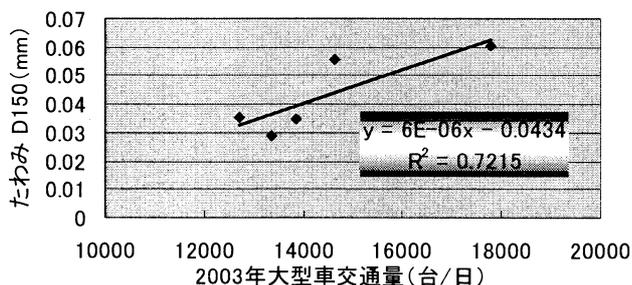


図-5 たわみ量 D150 と交通量

一方、路床以下の強度を示すたわみ量 D150 については、図-5 のように大型車交通量との間に相関が見られた。しかし、東名建設時の舗装工事記録<sup>4)</sup>によると、横浜工区では路床材に山ずりが使用されており、プルーフローリングの目標値は他の工区に比べてやや高めであったようである。このため、横浜の D150 が最大値を示したことにより、高い相関

が得られたものと推察される。

たわみ量  $D_0$  および  $D_{150}$  については、共に定期的な FWD 観測を実施することにより、構造の安定性を評価して行く必要がある。

## (2) 気象条件の影響

図-6 は気象条件が与える構造強度への影響を見るために、舗装構成が同一である連続インターチェンジ区間（富士、静岡）について、たわみ量と気象条件の関係を示したものである。2003 年における年降水量と日照時間に比例してたわみ量  $D_0$  はやや大きくなる傾向を示している。

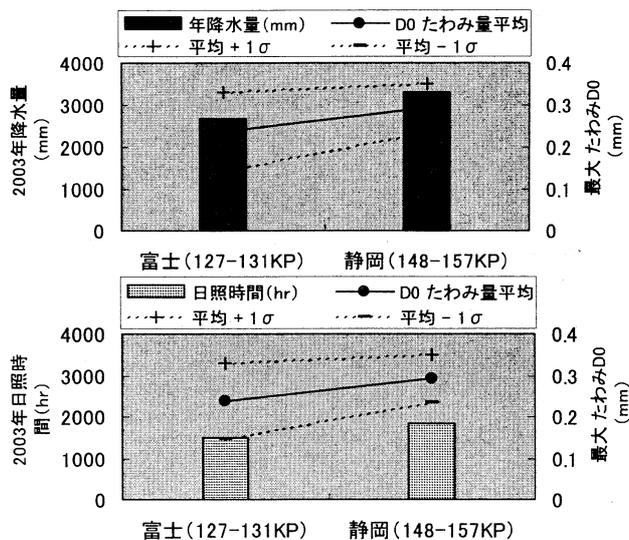


図-6 たわみ量と気象条件

しかし、静岡において密粒度舗装の際に調査した 97 年と比較すると、図-7 に示すように、たわみ量は変動せずに定常的に推移している可能性も見られる。この区間では上層路盤に粒状材を使用していることにより、比較的大きなたわみ量を示す傾向にあるが、この状態で推移するのであれば降水量に対する特段の対策を講じる必要はないと考える。これについても、今後の定期観測によりの確に評価して行く必要がある。

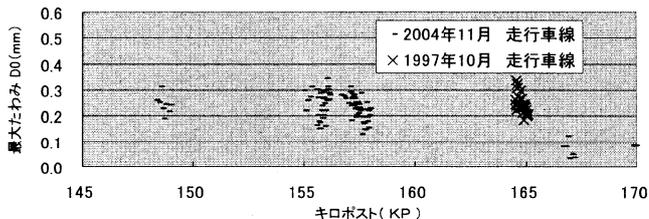


図-7 たわみ量の比較（静岡 下り線）

図-6 におけるたわみ量  $D_0$  の標準偏差については、山岳区間である富士の方が静岡よりも大きく、平均

+1σは同等の値を示している。これは、山岳区間特有の道路条件に起因するものと推察される。山岳区間では道路の縦横断勾配の変化が大きいため、場所によって降雨の滯水量が変化しやすいこと、また日照状態も変化に富んでいるため、雨水の蒸発量にも差が生じやすいこと等により、舗装構造の耐力に差が生じやすいものと推察される。この推察は、表-2に示すように、富士よりも標高の高い御殿場においてより大きな  $D_0$  たわみ量の標準偏差を示すことからもうかがえる。

したがって、舗装構造のモニタリングは、年降水量が大きく日照時間が短い山岳区間においてより注視すべきであるといえる。以下には、御殿場における舗装構造を考察する。

### (3) 御殿場の補修履歴

図-8は、大井松田～御殿場を含む30km区間の土工区間(下り走行車線)について、約100m毎にたわみ量  $D_0$  を示したものである。この区間の93%の表層は高機能舗装混合物が使用されている。母数は異なるが、若干ながら高機能区間のたわみ量が大きな値を示している。また、場所によって高機能のたわみ量は大きく変動していることも分かる。

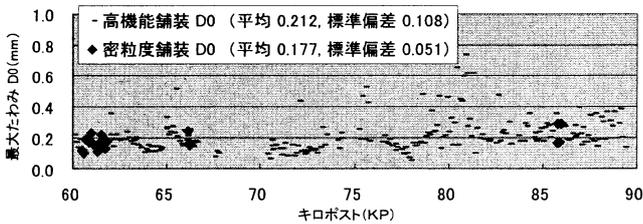


図-8 たわみ量の分布(御殿場 下り線)

高機能舗装化した区間では概ね良好な状態を保持しているが、全体の約5%にあたる1574mが再補修に至っている。補修の原因が滯水に起因していると考え、これの内訳を見たものが図-9及び図-10である。

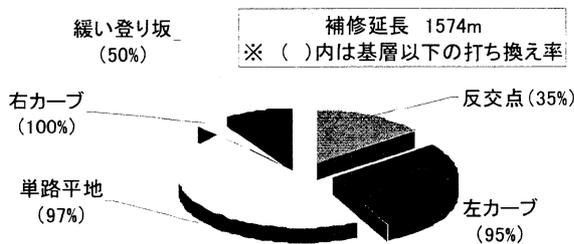


図-9 再補修箇所の内訳

平面線形の変化点である反交点に加えて、下り走行車線の場合は、左カーブにおいて雨水の集中が考えられるが、これらの箇所以上に単路平地の再補修が多いこと(図-9)、しかも補修後の舗装が再補修

に至るまでの平均の供用日数が短いこと(図-10)は特筆すべきである。単路平地及び緩い登り箇所は長い直線軌道が続いているために、基層上面の滯水時間は縦横断勾配が急となる左カーブよりも長くなることが短命の一要因として推察される。また、単路平地及び緩い登り坂の下層打換え率は反交点よりも高いので、今後注視すべきである。

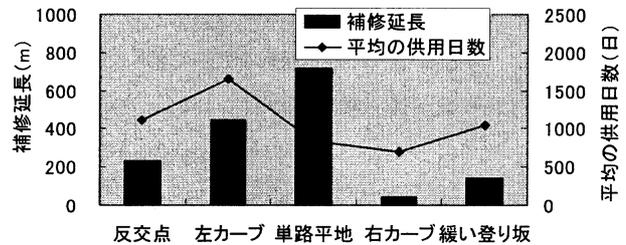


図-10 再補修の延長と供用日数

### (4) 層間剥離の評価

図-8において大きなたわみ量  $D_0$  を示した箇所について、たわみ曲線を整理したものが図-11である。選定した箇所は緩い登り坂と単路平地であり、 $D_0$  のバラツキが非常に大きい。

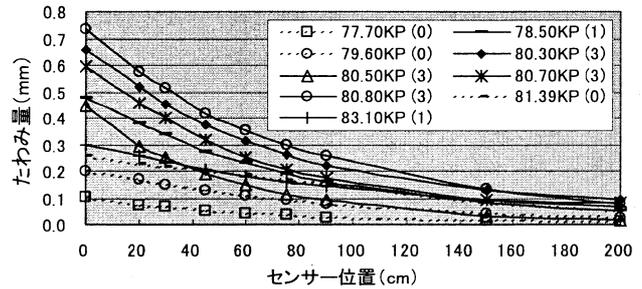


図-11 再補修の延長と供用日数

前述のとおり、高機能舗装の損傷として、基層上面に滞留した雨水が下層に進行することが原因の一つに上げられる。この場合、滞留した雨水は表層と基層の接着を阻害し、徐々に基層以下へ浸透して行きやがて下層混合物の剥離へと進行するものと推察される。この仮定を検証するために、層間すべり率の設定が可能な舗装解析ソフト GAMES<sup>5)</sup>を使用することとした。即ち、各層の弾性係数及びポアソン比と共に層間の接着状態を与える時、順解析によって得られるたわみが図-9の実測たわみに近似する状態を求めた。最終的に仮定した各層の弾性係数とポアソン比を表-4に、層間の接着状態を表-5に示す。なお、山岳区間であることから、舗装路面から6mの位置に弾性係数350MPaとなる岩盤層を仮定した。また、図-11の凡例には上層から非接着を仮定した層の数を括弧内に示している。

表-4 GAMES 順解析の入力条件

(単位: Mpa)

KP	表層 4cm	基層 9cm	Asb 15cm	セメント安定 路盤 20cm	路床 552cm	岩盤
77.7	5000	5000	3000	700	700	350
78.5	6000	6000	800	180	90	350
79.6	10000	10000	800	300	220	350
80.3	2500	2500	2000	1800	60	350
80.5	5000	5000	400	230	230	350
80.7	1000	1000	2000	3000	70	350
80.8	1000	1000	8000	60	50	350
81.39	9000	9000	4000	100	100	350
83.1	7000	7000	7000	100	80	350
ポアソン比	0.35	0.35	0.35	0.35	0.4	0.4

表-5 層間の接着状態

(完全接着:0, 非接着:0.99)

KP	表・基層	基層・Asb	Asb ・セメント安定	セメント安定 ・路床	路床 ・岩盤
77.7	0	0	0	0	0
78.5	0.99	0	0	0	0
79.6	0	0	0	0	0
80.3	0.99	0.99	0.99	0	0
80.5	0.99	0.99	0.99	0	0
80.7	0.99	0.99	0.99	0	0
80.8	0.99	0.99	0.99	0	0
81.39	0	0	0	0	0
83.1	0.99	0	0	0	0

曲率が大きくなるたわみの場合には、完全接着の状態を実測値への近似を行うことは不可能であった。表-5 に示すように、ここでは完全接着と非接着のケースしか試算していないが、適切な層間すべり率の設定は今後の課題としたい。図-11 から、非接着層の数はたわみ量の増大と共に増える傾向にあることが分かる。最大たわみ量  $D_0$  が 0.3mm を超えると、表層と基層の間で非接着状態を仮定するようになり、0.6mm 付近ではアスファルト安定処理路盤（以下「Asb」という）の下面においても非接着状態を仮定している。表-4 によると、たわみ量  $D_0$  が 0.3mm 以下の場合までは表層から下層路盤までの弾性係数に特異は見られないが、これよりたわみ量が大きくなる場合には、表層・基層及び Asb の強度が極端に小さくなるという不自然な多層弾性を仮定することとなる。この不自然な仮定は 80.3~80.8KP まで連続しているが、当該区間は日常点検の結果から既に Asb までの打換えを計画している。したがって、この仮定は問題箇所を事前に抽出するという実用的な構造の評価に際しては有効な方法になり得るものと判断される。

写真-2 は、Asb 層の下面まで層間すべりを仮定した区間につき、雨天の翌日に撮影した路面写真と共に赤外線写真にて舗装体内の温度を示したものである。楕円で囲んだ箇所の周辺にはポットホールやクラックが発生しており、赤外線写真における当該箇所は周囲よりも路温が低いことがうかがえる。これは当該箇所が滞水していることを示すと共に、下層方向に層間剥離や混合物剥離等の損傷が進行して

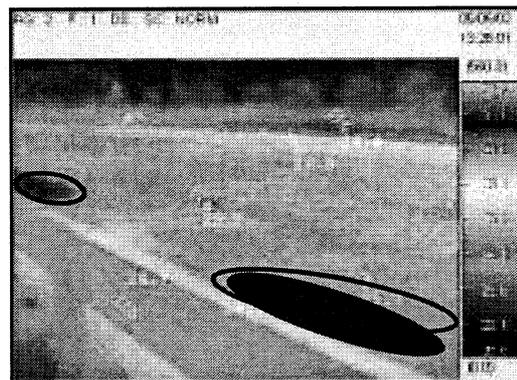
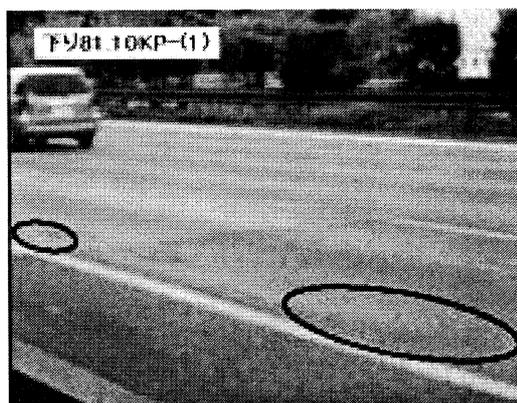


写真-2 路面滞水の状況

いる可能性を示唆するものである。

#### 4. まとめ

今回の調査で得られた考察を以下に示す。

- ① FWD たわみ量とアスファルト換算舗装厚さ TA の間には相関が見られた。これは、既往の TA 法でも概ね妥当な舗装構造を提供することを示唆している。
- ② 路床以下の強度を示すたわみ量  $D_{150}$  と大型車交通量との間に相関が見られたが、最大たわみ量  $D_0$  と共に定期的な FWD 観測を実施することにより構造の安定性を評価して行く必要がある。
- ③ たわみ量  $D_0$  は、山岳区間のように道路構造に起因する路面の排水条件により大きく変動するものと推察される。したがって、舗装構造のモニタリングは、年降水量が大きく日照時間が短い山岳区間においてより注視するべきである。
- ④ 御殿場において短命であった高機能舗装の施工箇所は、雨水が基層上面に滞留し易い単路平地と緩い登り坂であることが判明した。
- ⑤ 御殿場において曲率が大きくなるたわみの場合には、層間すべりのない完全接着の条件で順解析による実測値への近似を行うことは不可能であった。また、たわみ量が大きな箇所では表層・基層及び Asb の強度が極端に小さくなっている可能性が見られた。

## 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、下層の打換えを伴う損傷の増加が懸念される。今回の調査では、反交点や左カーブ等、下り走行車線では損傷を受けやすいと思われていた箇所よりも単路平地と緩い登り坂の方が下層の損傷を受けやすいという意外な結果であった。これは滞水時間が長いことによるものと考察したが、今後はこの滞水状態を事前に察知できる手法に関する研究開発を進めて参りたい。

## 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 第九巻, pp.171-176, 2004. 12
- 2) Michael Nunn: Long-Life Flexible Roads, Proceedings Eighth International Conference on Asphalt Pavement, pp.10-11, 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, p.4, 2002
- 4) 日本道路公団: 東名高速道路工事資料集〔土工・舗装編〕, pp.468-470, 1971
- 5) 土木学会: 多層弾性理論による舗装構造解析入門, 舗装工学ライブラリー 3, 2005

## A STUDY ON UNDERLYING LAYERS' DAMAGE OF POROUS ASPHALT

Keizo KAMIYA and Masao NAITO

Partial plastic flow of porous asphalt surface course and particles of binder course mixture blowing up from its porosity, due to stripping of the underlying mixture have been observed. Judging from serviceability surveys of porous asphalt in heavy traffic sections of a Japanese expressway, it was found that its underlying layers are more likely to be damaged in mountainous sections with higher annual rainfall and shorter annual daylight time. Asphalt layers in such problematic sections would be damaged in strength of stiffness.