

高速道路舗装の補修設計手法に関する一考察

神谷 恵三¹・田中 敏弘²・風戸 崇之³

¹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)

²(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)

³(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手法の開発を目的として、FWD を使用して NEXCO が管理する道路の舗装構造調査を全国的に実施した結果、アスファルト層の構造強度がたわみ量の低減に重要であることが確認された。また、FWD の荷重載荷位置から採取したコアのレジリエントモデュラス値に各層のコア厚さを乗じたものの総和と、たわみ量 (D0-D90) との間に少しの関連性が見出された。

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

1. はじめに

都市間を結ぶ高速道路は、東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)という3つの高速道路株式会社(以下「NEXCO」という)により運営管理されており、標準的な舗装路面として、高機能(排水性)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6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に特有な損傷形態が見られている。

一方、東北道から九州道までをつなぐ縦貫道をはじめとして供用年数が30年以上を越える路線も増えつつあることから、長年供用してきた密粒度舗装も含めて、舗装構造としての健全度を的確に評価し



写真-1 ポンピングの発生事例

て行く時期に達している。そして、この評価を基に費用対効果に優れた補修設計を施していくことがNEXCO の大きな課題となっている。

(株)高速道路総合技術研究所(以下「NEXCO 総研」という)は、FWD を保有しており、NEXCO からの依頼に応じてこれを使用した舗装健全度診断を全国的に実施している。昨年度は全国測定により、10000点以上のFWD データを得ることができた。昨年の観測箇所は、各現場において損傷が懸念される箇所が多かったため、比較的補修間近のたわみデータを多数得ることができたと考える。しかしながら、これらは定点観測を対象とするものではないこと、また交通及び気象条件、並びに供用履歴等も異なるので、構造評価には大きなバラツキが想定される。しかしながら、このような条件下においてもある程度の汎用的な傾向を見出すことが出来れば、実務的な補修設計の開発に向けた考察には役立つものと判断した。

本文は、昨年度の FWD データから高速道路舗装の構造評価を行うと共に、レジリエントモデュラス試験値を強度指標とした高速道路の補修設計手法の一考察を試みたものである。

2. 調査の目的

高速道路舗装の補修設計手法の開発を目的として、以下の検討を行った。

- ① 損傷箇所及び補修直前箇所の構造評価
- ② 補修設計の対象層の把握

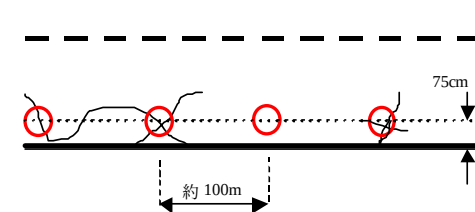


図-1 走行車線のデータ採取例

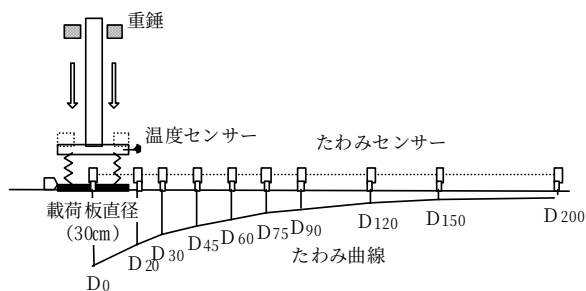


図-2 たわみセンサの配置

③ 補修設計におけるレジリエントモデュラス値の適用性評価

①と②は図-1に示すFWDデータ採取によるものである。FWDの各測定箇所において、荷重載荷位置周辺の路面損傷形態を目視により観測した。たわみセンサの配置は、図-2に示すように路床強度を評価できるようにD200までとした。また、解析に際しては、荷重49kN及び温度20℃に補正を施したたわみ量を使用した。

③の実施方法については、以後の章で述べる。

3. 高速道路の舗装構造評価

(1) 評価箇所の抽出

図-3は、今回の全測定箇所の内訳を示したものである。このうち、走行車線は全測定点数の約7割とデータ数が最も多かったこと、また大型車両の载荷を受けやすいことから、本調査の評価では走行車線を対象とした。さらに、表-1に示す舗装工種の中から、高機能舗装と密粒度舗装を抽出すると共に、特

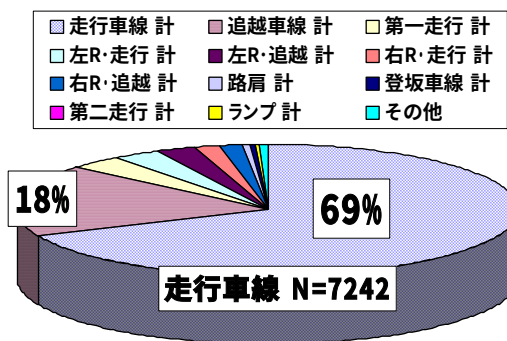


図-3 測定箇所の内訳(全国調査 N=10597)

表-1 走行車線の内訳 (N=7242)

舗装種別	データ数	特異箇所	一般土工部
高機能舗装	5087	781	4306
密粒度舗装	2050	103	1947
ギャップ舗装	105	-	-

殊な打換えを施した箇所や、下層の影響を受けないようにボックスカルバート等の特異箇所を除外した一般土工部を最終的な調査対象データとした。

(2) 損傷箇所の構造評価

図-4は、走行車線の左側軌道部(OWP)の損傷と最大たわみ量(以下「D0」という)を整理したものである。損傷分類は、高速道路3社試験方法¹⁾に従った。この図から得られた考察を以下に示す。

- ・ 高機能舗装及び密粒度舗装共に、ほぼ同様の路面損傷順位を与えた。
- ・ 地域の交通及び気象条件、並びに舗装の供用履歴が異なるものの、全損傷項目において、高機能舗装の方が密粒度舗装よりも大きな最大たわみ量を与える傾向を示した。これより、高機能舗装のモニタリング及び供用性予測には注意を要することが判明した。
- ・ 高機能舗装において、亀甲状クラック(図中では「Cr」と表記)と線状クラックは同等の値を与えているが、これは密粒度舗装と異なり、両クラックにおいては雨水の浸透が基層以下の下

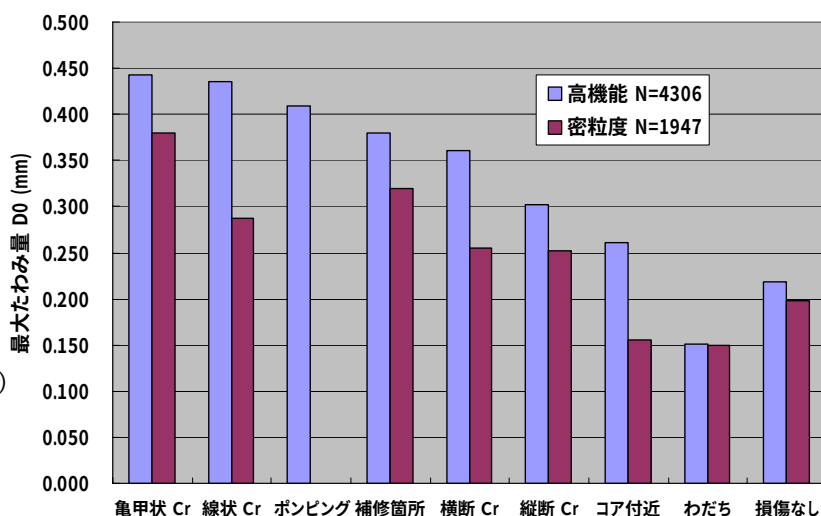


図-4 損傷項目別の最大たわみ量(走行車線・全国調査)

層に与える影響に大差がないことを示しているものと思われる。これより、高機能舗装の線状クラックは亀甲状と同様に要注意と捕らえるべきである。

- ・「わだち」については、構造的に影響を与えるものではないため、密粒度及び高機能共に D0 は小さな値を示した。また、標準偏差は両舗装共に 0.07mm を下回った。
- ・舗装構造に影響を与えると考えられる「わだち」以外の損傷項目の標準偏差については、両舗装共に 0.1～0.2mm 程度であり、大きなバラツキを示した。
- ・両舗装において、「損傷なし」がデータ量の大半を占めている。この区分は、高機能では約 9 割、密粒度では約 7 割であった。「損傷なし」については、両舗装共に D0 が 0.2mm 程度であることから、過去的高速道路調査結果³⁾によれば、健全状態の臨界域を含んでいるものと判断される。

図-5 は、図-4 から主な損傷項目を抽出し、表層～アスファルト安定処理上層路盤までの層（以下「アスファルト層」という）の設計時の等値換算厚（以下「設計 T_A」という）ごとに D0 とその標準偏差を示したものである。損傷項目は、亀甲状クラック、線状クラック、横断クラック、縦断クラックの 4 項目とした。なお、データ数が希少である箇所は特異であると判断して除外した。図-5 の考察を以下に示す。

- ・全て損傷を受けた箇所であることから、一般的に D0 は大きな値を示した。標準偏差については、高機能及び密粒度舗装共に 0.05～0.20mm 程度を示している。これは、一部において凍上を起こした可能性があるなど、損傷の原因が地域の条件により様々であることに起因している。
- ・バラツキは大きいものの、T_A の増加に対して、D0 は概ね減少する傾向が確認された。これより、損傷箇所であってもアスファルト層の構造強度が重要であるので、当該層の厚さが大きくない

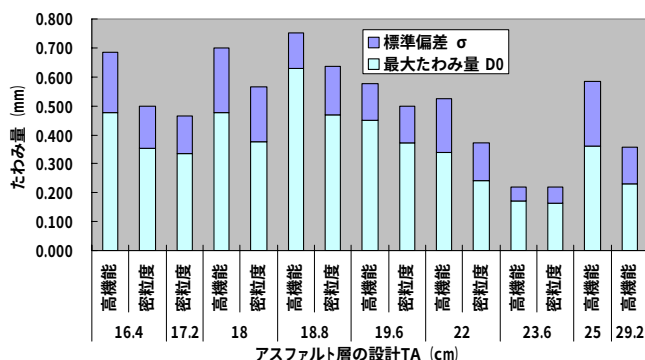


図-5 損傷区間のたわみ量と構造強度

区間のモニタリングには特に注意を要すると考える。T_A が 25cm の箇所においてたわみ量の増加が見られたのは、当該現場は舗装構造ではなく拡幅工事の制約に起因した特異な損傷であると思われる。T_A が 19cm 未満の区間におけるたわみ量の減少については、今後データ数を補完することにより再考する必要がある。

(3) 補修直前箇所の構造評価

図-6 は、図-4 の「損傷なし」のデータ区分を補修直前箇所と見なし、舗装種別と下層路盤種別にアスファルト層の設計 T_A と平均のたわみ量を整理したものである。ここでは、凍上を起こした可能性のある区間やデータ数が希少である区間は除外した。なお、たわみ量は、舗装全体の強度を示す D0 とアスファルト層の構造強度に相関がある D0-D90 を表記した¹⁾。図-6 の考察を以下に示す。

- ・D0 が 0.1～0.3mm の範囲において、設計 T_A の増加に伴って D0 及び (D0-D90) が低下する傾向が確認された。これより、補修直前の箇所においてもアスファルト層の構造強度が、最大たわみ量の低減に重要であることが判明した。
- ・設計 T_A とたわみ量の間に高い相関は確認されなかった。これは調査区間において、交通及び気象条件、並びに舗装の供用履歴が大きく異なることによるものと思われる。
- ・過去の調査と同様に、セメント安定処理路盤を採用した区間の D0 は、粒状路盤を採用した区間

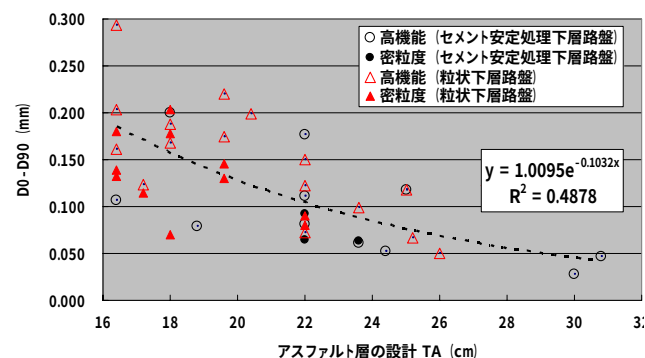
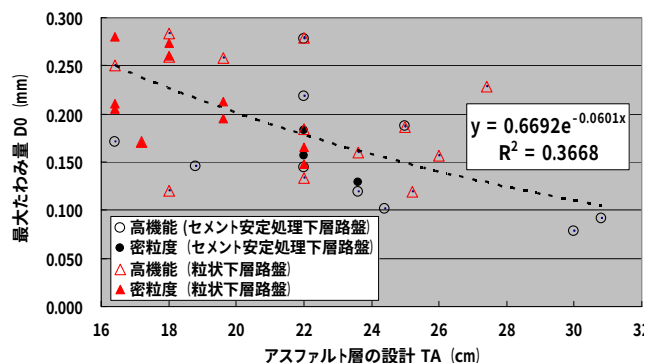


図-6 たわみ量とアス層の構造強度

よりも小さな値を与える傾向にあることが確認された^{3,4)}。

(4) 補修設計の対象層

図-6において、 T_A が16から25cmまでの箇所では舗装種別と下層路盤種別が様に散布しているの、層の構造強度を評価するために、この区間から得られた平均のたわみ曲線を図-7に示した。

密粒度舗装では、下層路盤の種別によらずたわみ曲線に大きな差異は認められないが、粒状路盤を採用した高機能舗装区間のたわみ量は、他の場合よりも大きく散布していることが確認された。これより、粒状路盤を採用した高機能舗装区間のモニタリングには、特に注意を要することが判明した。これについても、過去の調査⁴⁾と同様に確認されたものである。

一般に、路床の構造強度は(D150)の大きさと相関があり、下層路盤の強度は(D90-D150)、アスファルト層の強度は(D0-D90)と相関があるとされている¹⁾。図-8は図-7から得られた各層のたわみ差の平均値と標準偏差を示したものである。図-8から以下の考察が得られた。

- ・ (D150-D200)については、舗装種別と下層路盤種別によらず平均値と標準偏差はほぼ同等の大きさであることから、路床の支持力強度が全て減少しているとは考え難い。
- ・ (D90-D150)については、粒状路盤を採用した高機能舗装の場合がやや大きいものの、平均値と標準偏差は概ね同等の大きさである。これより、下層路盤についても支持力強度が全て減少しているとは考え難い。
- ・ (D0-D90)は上記2層よりも平均値と標準偏差がそれぞれ大きいことが判明した。また、図-7からD90、D150、D200のたわみ量が概ね同等であることもうかがえる。

以上の考察は、下層路盤以下の層に大きな構造変化が見られないことを示しており、高速道路の舗装改良工事において一般的にアスファルト層が補修の対象となることを裏付けるものである。また、損傷を受けた箇所及び補修直前箇所の両方においても、アスファルト層の厚さがたわみ量の低減に寄与していることが確認された。

以上により、高速道路の一般的な補修範囲としてアスファルト層に焦点を置き、この層の構造強化に重点を置いた補修設計方法を考察する。

4. 高速道路の補修設計手法

4.1 補修設計の要件

高速道路の一部箇所では、舗装を厚層で補修する

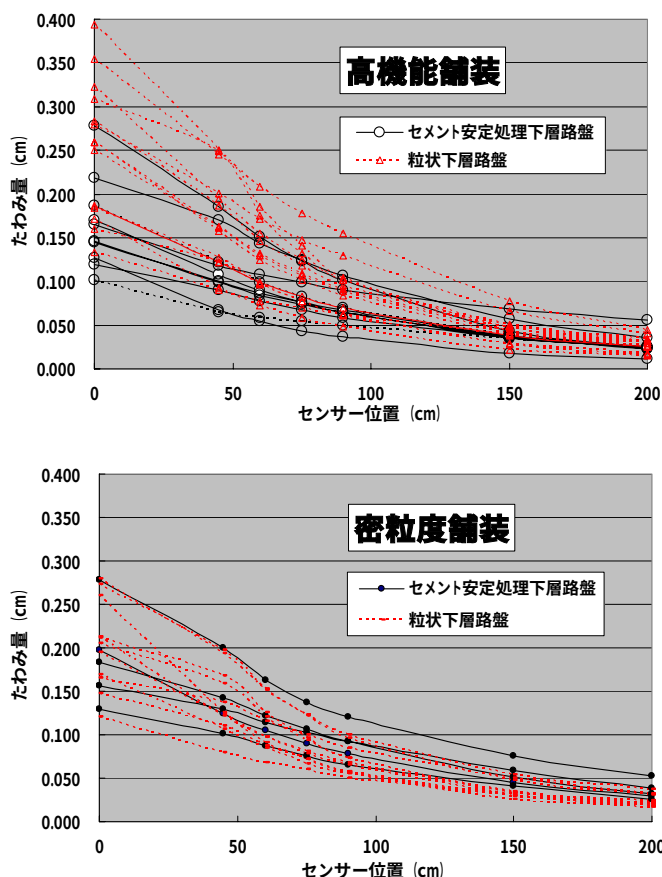


図-7 たわみ曲線 (アス層の T_A 16cm~25cm)

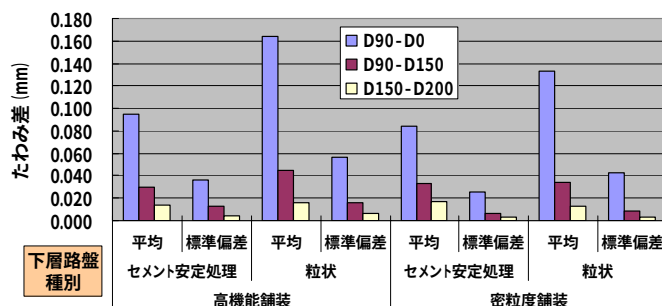


図-8 たわみ曲線の変動

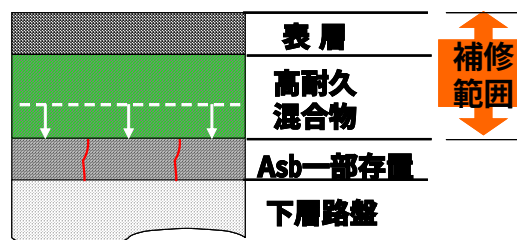


図-9 要望される補修設計の一例

事が増えており、当該箇所ではコスト縮減と工事時間の短縮を図ることのできる補修設計手法の開発が切望されている。例えば、図-9のようにアスファ

ルト層全体にひび割れが入っている場合、下層にひび割れを残しつつも基層とアスファルト安定処理路盤層（図中では「Asb」と表記）の一部を高耐久な材料層で置換できる層構成が望まれているが、このような層構成の構造強度評価方法は現行の T_A 法では不可能である。

図-10 は、4 路線の現場から得られたたわみ曲線を示すものである。ここでは、最大たわみ量 D_0 が 0.1 から 0.6mm 程度まで及んでおり、損傷及び構造強度が大きく異なっている。補修設計では、損傷の大きな区間のたわみ量を健全なレベルまで改善する必要があるので、図-10 の損傷レベルに応じて、例えばどのような強度指標でどの程度の強度レベルを有する材料を規定するかが補修設計のポイントであると考ええる。

4.2 強度指標の適用条件

図-10 の 4 現場で、は FWD の荷重載荷位置からアスファルト層のコアを採取しており、各層ごとにコアの厚さを測定した。この結果をもとに、当該層の T_A を計算し、たわみ差との相関を調査したものが図-11 である。

T_A の計算では、表・基層の等値換算係数を 1.0、アスファルト安定処理層を 0.8 とした。

図-11 から、4 現場のたわみ量とアスファルト層の T_A との間に相関が確認された。これは、既往の報告⁵⁾のとおり、 T_A 法の妥当性を示すものであると考える。また、ここではたわみ量が大きく損傷が進んでいると判断される 2 つの現場（路線 AB）と比較的健全であると判断される 2 つの現場（路線 CD）を概ね区分している。コアの測定厚は設計厚と等しくなかったため、補修設計においては正確な層厚を得ることが極めて重要であるといえる。これより、図-6 において高い相関が得られなかったのは、設計厚を使用したことも一因に上げられる。この関係は今後データ数を増やすことにより汎用的な相関が確認されれば、 T_A 法をベースとする実務的な補修設計方法として採用できるものと考ええる。

しかしながら、補修設計において既設材料と同等のものを使用する際には、この関係を用いることができるが、特に高機能舗装に対応した基層よりも水密性の高い新たな材料を使用する際には、等値換算係数に替わる新たな強度指標が必要である。そして、この新たな強度指標の適用条件として、既設材料を採用する際には図-11 のような説明能力を確保する必要があると考える。

4.3 レジリエントモデュラスの適用性

新たな強度指標として、レジリエントモデュラス試験の適用性を検討した。上述の各層で得られたコ

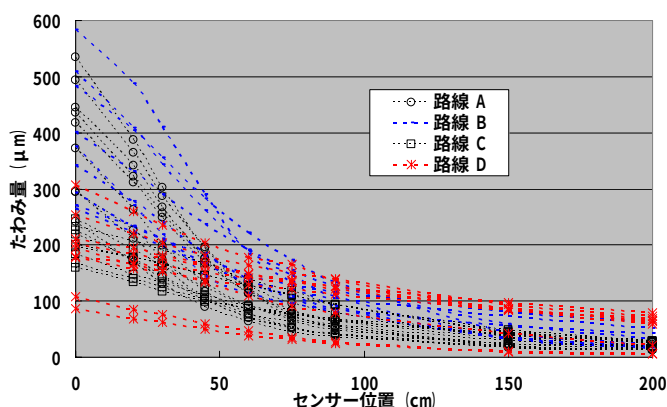


図-10 損傷レベルの異なるたわみ曲線（4 路線）

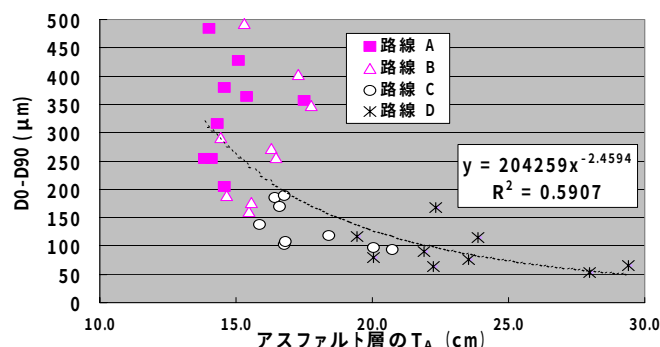


図-11 たわみ差とアスファルト層の T_A （4 路線）

表-2 試験条件

試験温度	5°C、25°C、40°C
載荷周波数	1Hz
波形	ハーバーサイン波
載荷時間	0.1s
繰返し荷重	1470 N (5°C)
	735 N (25°C)
	390 N (40°C)

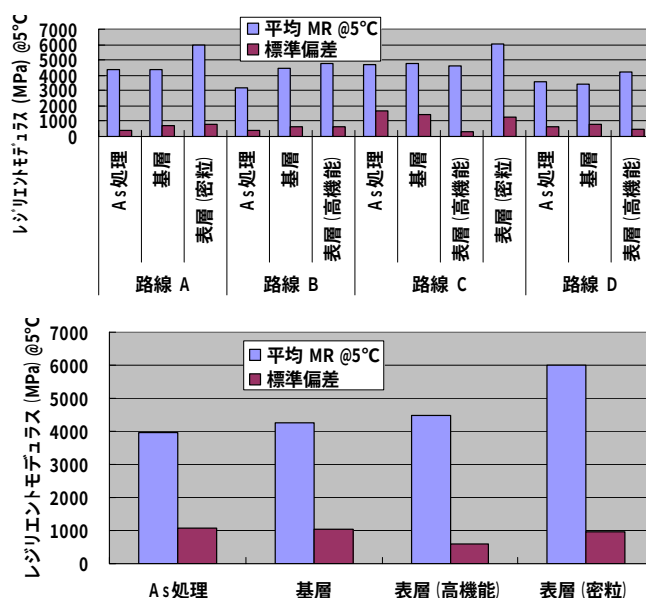


図-12 レジリエントモデュラス試験の結果（@5°C）

アを使用して、表-2 に示す条件で試験を実施した。これは試験法便覧に記載されている一般的なものである。

荷重の載荷温度は、3 水準（5℃、25℃、40℃）を採用したが、このうち 5℃を採用した時の試験結果を図-12 に示す。

図-12 の上段は、現場ごとに得られたレジリエントモデュラス値（以下「MR」という）の平均を示しており、下段は 4 現場の平均値を示している。4 現場を通して各層の MR は下層から表層に向けてやや増大する傾向を示した。しかし、標準偏差を考慮すると、表層（密粒）以外は明確な差を示すものではないと判断される。他の温度レベルにおいても、同様の関係を調べたが、層の間で大きな差は確認されなかった。

図-13 は MR を補修設計における強度指標として使用する際の適用性を評価するために、図-11 のようにたわみ差との相関を調べたものである。図-13 の横軸は、採取コアの各層厚さに MR を乗じたものの総和である。この総和は、過去の報告⁹を参考にして、アスファルト層としての構造強度に相関があるのではないかと考えたものである。図-11 までの相関は得られなかったが、両者の間には右下がりの傾向が確認され、前述した 2 つのたわみグループを概ね区分する結果が得られた。

今後は、レジリエントモデュラスの載荷時間など、試験条件を見直すと共に、データ量を増やした更なる検証が必要と考える。図-13 の汎用性が確認されれば、補修設計段階で使用するべき材料の MR と計画した層厚さから、アスファルト層のたわみ量を推定できることとなる。しかし、MR はあくまで 1 つの設計指標であるので、他の耐久性評価試験も併せることにより、使用材料の強度指標を総合的に考えて行くこととしたい。

5. まとめ

今回の調査で得られた考察を以下に示す。

- ① 損傷を受けた区間では、アスファルト層の設計 T_A の増加に対して、概ね D_0 は減少する傾向が確認された。これより、損傷区間であってもアスファルト層の構造強度が重要である。また、当該層の厚さが大きくない区間のモニタリングには特に注意を要する。
- ② 補修直前箇所においても、当該設計 T_A の増加に伴って D_0 及び（ D_0-D_{90} ）が低下する傾向が確認された。これより、アスファルト層の構造強度が、たわみ量の低減に重要である。
- ③ セメント安定処理路盤を採用した区間の D_0 は、粒状路盤を採用した区間よりも小さな値を与え

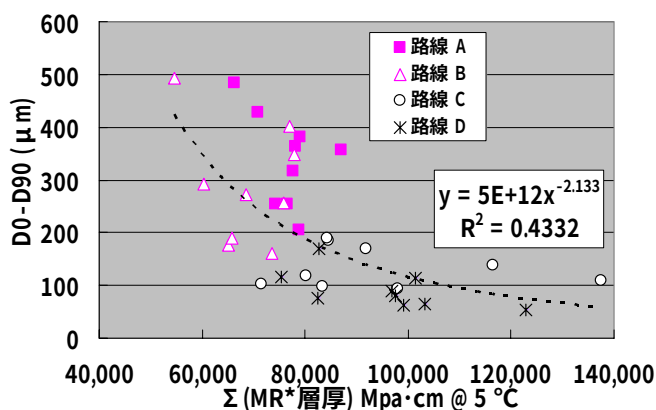


図-13 レジリエントモデュラス指標の適用性

る傾向にあることが確認された。

- ④ 舗装種別と下層路盤種別にたわみ曲線を分析した結果、下層路盤以下の層に大きな構造変化が見られないことが確認された。以上より、高速道路の一般的な補修範囲としてアスファルト層に焦点を置き、この層の構造強化に重点を置いた補修設計の重要性が確認された。
- ⑤ FWD の荷重載荷位置から採取したアスファルト層のコア厚さから計算した当該層の T_A は、たわみ量（ D_0-D_{90} ）との間に相関が確認された。この関係は等値換算係数が不明な新たな材料を使用する場合、補修設計には使用できないが、新たな強度指標の適用条件として使用できる。
- ⑥ 当該コアを用いてレジリエントモデュラス試験を各層ごとに実施したが、表層（密粒）以外の MR は明確な差を示すものではなかった。
- ⑦ 各層のコア厚さに MR を乗じたものの総和と、たわみ量（ D_0-D_{90} ）との間に少しの関連性が見出された。今後は、データ量を増やした更なる検証が必要である。

6. 今後の課題

NEXCO 総研では、昨年度に引き続き FWD の全国測定を実施しているので、今年度も現場から貴重なデータを収集しつつある。今回の調査から、既設の舗装厚の精度が補修設計には極めて重要であることが分かったので、代表的な損傷レベル区間からコアを採取することにより、舗装構造評価の精度を高めて行く予定である。

一方、今回のレジリエントモデュラス試験では、載荷時間として車両の走行速度 40km/h に対応した 0.1 秒としたが、高速走行に対応した速度を検討することにより、混合物の評価精度を向上させる予定である。また、アスファルト層を一体とした評価試験も検討する予定である。

参考文献

- 1) 高速道路 3 社：試験方法,第 2 編アスファルト舗装関係試験方法,路面のひび割れ測定方法,2006.10
- 2) 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 第九巻, pp.179-180, 2004. 12
- 3) 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
- 4) 川村和将,七五三野茂,小松原昭則：高速道路における舗装構造の実態調査および分析,日本道路公団試験研究所報告 第 36 巻, pp.14-15, 1999. 11
- 5) 神谷恵三,内藤政男：高機能舗装の下層損傷に関する一考察,土木学会舗装工学論文 第十巻,pp.18-19, 2005. 12
- 6) 阿部長門：舗装の非破壊検査方法に関する研究, pp.32-36

A STUDY ON REPAIR DESIGN METHOD OF ASPHALT PAVEMENT IN THE JAPANESE EXPRESSWAYS

Keizo KAMIYA, Toshihiro TANAKA and Takayuki KAZATO

For the purpose of establishing a repair design method of asphalt pavements for the Japanese expressways, the nationwide research of pavement structure using FWD was conducted there. As a result, it was considered that strength of asphalt layers' structure contribute reduction of deflection. It was also found that there is a slight relation between deflection difference (D0-D90) and summation of layer's thickness to multiply resilient modulus of the asphalt cores sampled from the loading point in the field..