

路面への雨水浸入が舗装の構造的健全度の低下に与える影響

渡邊一弘・堀内智司・久保和幸

1. はじめに

既設舗装を効率的に維持管理していくためには、適切な時期に適切な手法で管理行為を行うことが必要である。「適切な時期に」「適切な手法で」補修・再建設を実施するためには、舗装の構造的健全度を指標としたパフォーマンスカーブが求められる。路面の性能（ひび割れ率等）を指標としたパフォーマンスカーブの設定は古くから取り組まれている¹⁾が、構造的健全度という指標に関しては、供用とともにFWDたわみ量は小さくなるがひび割れ率が20%以上に達すると逆に大きくなるという報告²⁾等はあるものの、パフォーマンスカーブが設定されるには至っていない。

土木研究所では、実大舗装供試体を対象とした繰返し載荷試験施設を有しており、載荷条件や環境条件を制御しながら同一地点における繰返し載荷に伴う舗装の挙動を確実に追跡することができる。本稿は、本施設において同一舗装断面に対して路面への雨水の浸入の有無等の試験条件を相違させて繰返し載荷試験を行い、その間に構造的健全度がどのように低下するのか各層の土圧やFWDたわみ量の推移等から観察し、それら試験条件の相違が舗装の構造的健全度の低下に与える影響に関して考察を加えるものである。

2. 実験概要

2.1 実験施設

舗装の繰返し載荷試験施設の外觀を写真-1に示す。これは、写真-1に示す下半分のピット（幅4m×奥行き16m×深さ2m）に実物大の舗装供試体を構築し、実際の車道で舗装が受けるものと同様な荷重を繰返し載荷できる施設である。荷重は加振機により一点載荷にて実大供試体



写真-1 繰返し載荷試験施設

に与え、荷重の大きさや周波数、波形などは制御可能である。

2.2 実大供試体

ピット内には設計CBR=4にてN5断面とN6断面の2種類を構築し、それぞれ工区を4つずつ設定した。本稿での報告対象はN5断面であり、その平面図と断面図を図-1に示す。供試体には、上層路盤上面と路床上面に土圧計を埋設している。

2.3 載荷条件・実験方法

図-1における載荷点No.1とNo.3において表-1に示す条件で繰返し載荷試験を行った。繰返し載荷にあたっては、過大な接地圧を与えることによる実道における破壊形態との乖離を避けるため、池田らが提案した接地圧の算出式³⁾をもとに載荷板の接地圧として49kNの輪荷重における接地圧0.59MPaを採用した。なお、載荷点No.3では試験期間を短縮する目的で接地圧を同一としつつ最大荷重を増加させている。

表-1に示すとおり、載荷点No.1は雨水の浸入を許す条件である。これは、写真-1に示すとおりピット全体はテントで覆われており路面へ雨水が当たるものではないが、ピットの出入り面（写真

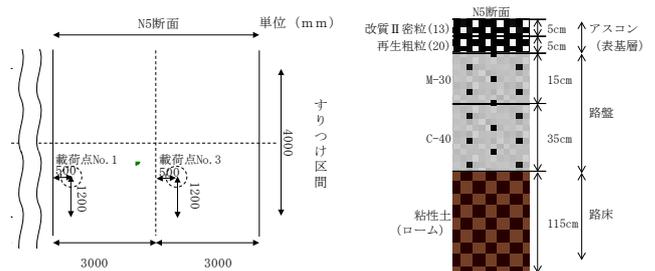


図-1 実物供試体平面、断面図

表-1 繰返し載荷試験条件

| 項目 | 載荷点No.1 | 載荷点No.3 | 備考 |
|----------|----------------|----------------|--------------------------------|
| 載荷板φ | 30.0cm | 32.5cm | 路面とはゴム載荷板で接地（ゴム厚10mm） |
| 載荷板接地圧 | 0.59MPa | | 49kN輪荷重相当の接地圧 |
| 載荷荷重 | 1~42kN | 1~49kN | 接地圧および載荷板面積より算出 |
| 載荷波形 | 正弦波 | | 定点載荷 |
| 載荷周波数 | 2Hz | | — |
| 載荷時期 | H24. 2~H24. 10 | H24. 11~H25. 5 | — |
| 載荷回数 | 約1,760万回 | 約2,740万回 | 載荷点No.1は押し抜きせん断状に破壊、No.3は試験継続中 |
| 載荷路面への雨水 | 浸入する | 浸入しない | 載荷点No.1は路面湛水・自然乾燥の繰返し |

-1の手前側、図-1で示すすりつけ区間) から雨水が路面を伝って載荷点No.1まわりに湛水する条件である。一方、載荷点No.3はピットの出入りに雨水浸入防止壁を設置し、路面への雨水の浸入を許さない条件である。

計測・調査に関しては、繰返し載荷試験中の定期的な土圧計測、一定回数の繰返し載荷試験後の路面の変状把握(横断プロフィールメータ等による凹凸形状把握)と目視での路面観察、及びFWDたわみ量調査を行った。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

載荷点における約1,700万回載荷時点の路面の状況を図-2に示す。載荷点No.1は路盤の細粒分やはく離によるアスコンのフィラー分などによるものと想定される噴出跡が確認でき、また載荷板に沿って押し抜きせん断状に破壊した(路面沈下量50mm以上)。一方、載荷点No.3は5~6mm程度の路面沈下は認められるがひび割れ発生はなく、その後2,740万回載荷時点でも急激な沈下の拡大は見受けられなかった。なお、載荷点No.1にて上記の噴出跡を明確に確認したのは、1,250万回載荷終了時であった。

3.2 土圧の推移

載荷点直下の上層路盤上面と路床上面での土圧の推移を図-3に示す。図中の「ピーク」とは、土圧計埋設前の無負荷の状態を初期値とし繰返し載荷試験中のピーク土圧を表したもので、「最大-最小」とは、繰返し載荷試験中の土圧の振幅を表したものである。載荷点No.1は、載荷とともに上層路盤上面及び路床上面で受ける土圧が上昇する一方、載荷点No.3では1,500万回載荷付近から土圧が緩やかに上昇する。

繰返し載荷時の最大荷重は載荷点No.1が42kN、載荷点No.3が49kNにも関わらず、載荷荷重の小さい載荷点No.1ではアスコン層(表基層)において載荷初期段階から構造的健全度が低下して荷重分散効果が失われる一方、載荷点No.3ではその現象が1,500万回載荷時付近から徐々に現れていると言える。同じ断面でも構造的健全度の低下傾向に相違があり、これは載荷路面への雨水の浸入の有無が大きく影響しているものと考えられる。載荷路面へ雨水が浸入する場合、雨水により路面

からアスコン層のはく離が進行し、アスコン層の健全度が早期の繰返し載荷時から低下していることが想定

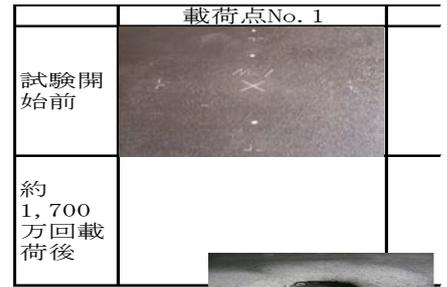


図-2 試験前後の載荷点状況

されるためである。さらにアスコン層のはく離が進行すると路面から路盤以下に雨水が浸入し、その後の路盤の細粒分やはく離によるアスコンのフィラー分などによるものと想定される噴出跡の確認につながったものと考えている。なお、路面の目視観察では、両方の載荷点ともに乾燥路面状態においてはひび割れを確認できなかったが、載荷点No.1においては360万回前後の繰返し載荷時(雨水浸入による湿潤状態)で、乾燥路面状態では目視で確認できない程の微細なひび割れが、載荷板に対して放射状に発生していた(微細なひび割れへの水の出入りの形で目視で確認)。

3.3 FWDたわみ量D₀の推移

FWDたわみ量D₀の推移を図-4に示す。なお、「舗装性能評価法-必須および主要な性能指標編-」⁴⁾に示されている手法に従い、荷重補正及び温度補正(路面温度等から舗装体温度を推定する方法⁵⁾を行っている。たわみ量の増加傾向は載荷点No.1、No.3ともに図-3に示す土圧に類似しており、特に路床上面の土圧の推移の傾向とよく一致する。これは、FWDたわみ量D₀が路床と舗装を含めた全体の支持力を表す⁶⁾ことによるものと考えられる。

3.4 各層弾性係数の推移

FWDたわみ量をもとに、多層弾性理論に基づく静的逆解析プログラム(BALM)より舗装各層の弾性係数を求めた。各層のポアソン比は、解析等で一般的に用いられている数値(アスコン層:0.35、路盤:0.35、路床:0.4)としている。その結果を図-5に示す。アスコン層弾性係数は丸山らの手法⁷⁾にて20℃温度補正を行ったものである。載荷点No.1では、アスコン層及び路盤の弾性係数は初期の繰返し載荷に伴い低下している。載荷点No.3では、アスコン層の弾性係数は載荷点No.1と同様に初期の繰返し載荷に伴い低下しているが、路盤の弾性係数は約1,500万回の繰返し

載荷まではほぼ一定で、その後低下して行く傾向があることが分かる。試験開始前のFWDたわみ量 D_0 や各層弾性係数から、載荷点No.1とNo.3で供試体の締固め度の差異等による初期性能の差も確認されるが、これらの結果より、本供試体の舗装断面(図-1のN5断面)では、アスコン層が20℃温度補正後弾性係数で6,000MPa程度以上の構造的健全度を有している場合は、その低下は主にアスコン層内にとどまり粒状路盤層以下に影響を与えないものの、それが6,000MPa程度未満になると粒状路盤層以下に影響を与えうると考えることができる。

なお、路床の弾性係数は上昇しているが、これはピット内でコンクリート壁面・底面に路床が囲まれて拘束を受けており、長期間の繰返し載荷によって徐々に圧密が進行している結果と考えられる。また、載荷点No.1については、1,400万回載荷を超えたあたりから特に路盤以下の弾性係数の逆解析結果の変動が大きくなっている。これは、載荷板に沿った路面沈下が著しく、載荷点とFWD載荷板(半径は同一の30cm)のずれや、アスコン層が押し抜きせん断状の破壊形態であるため層状の弾性体という逆解析の仮定に不整合が生じていることによるものと考えている。

3.5 載荷点路面沈下量の推移

それぞれの載荷点における路面沈下量を図-6に示す。載荷点No.1は載荷と共に載荷点の沈下が着実に進行して1,700万回載荷時では50mmを超える一方、載荷点No.3は100~200万回載荷時までに初期沈下が3~4mm程度進行したがその後の沈下は極めて緩やかで、1,700万回載荷時でも5~6mm程度である。

図-5に示したアスコン層及び路盤層弾性係数の推移の結果とも併せると、載荷点No.1では弾性係数の低下と路面の継続的沈下が確認される一方、

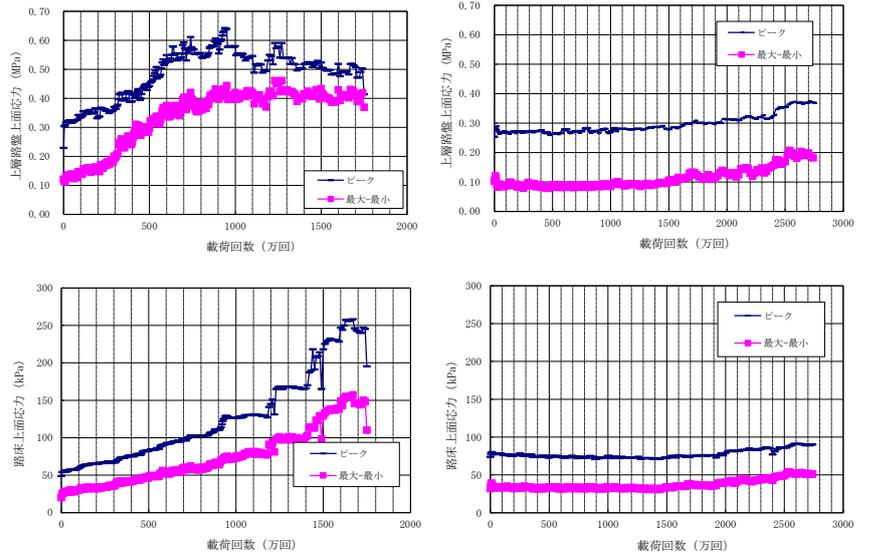


図-3 土圧の推移 (左: 載荷点No.1、右: 載荷点No.3)

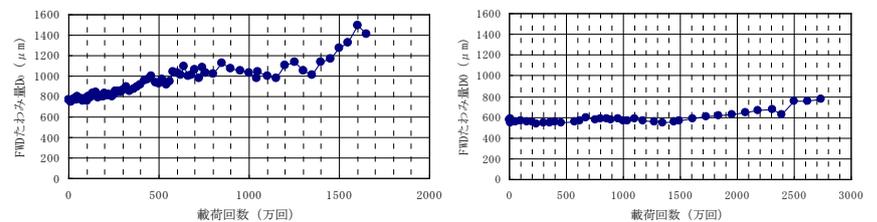


図-4 FWDたわみ量 D_0 の推移 (左: 載荷点No.1、右: 載荷点No.3)

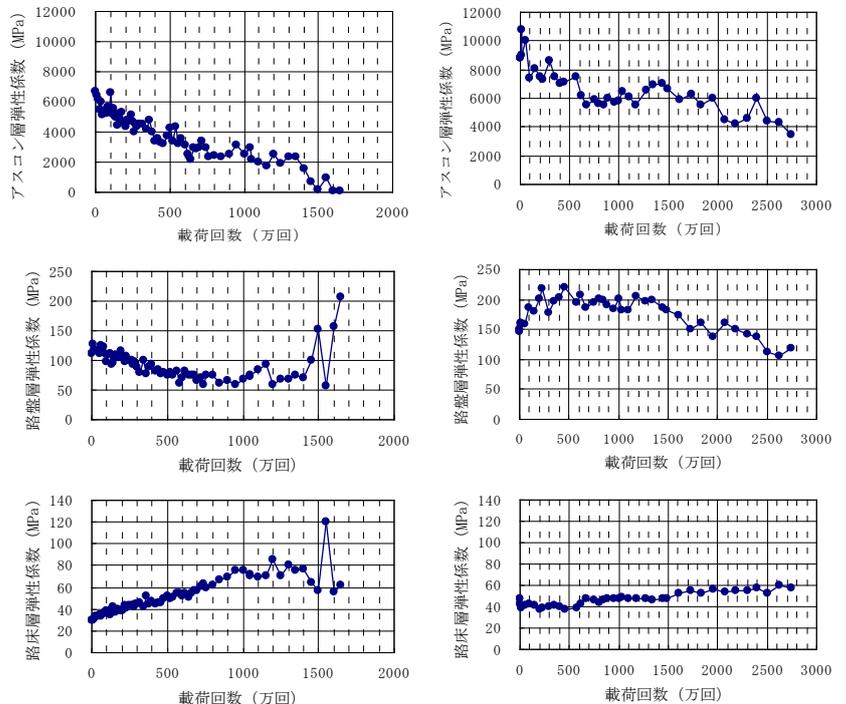


図-5 各層弾性係数の推移 (左: 載荷点No.1、右: 載荷点No.3)

載荷点No.3では路盤の弾性係数が低下傾向を示し始める1,500万回載荷時付近から初期わだち掘れに相当する4~5mmの安定したそれまでの沈下量から若干ながら増加傾向が観察される。既往の研究⁸⁾によると、舗装の構造的健全度との関連が

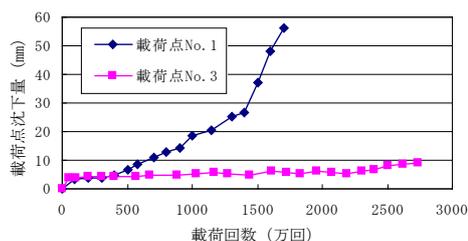


図-6 載荷点の沈下量の推移

あるとされているが、本研究ではわだち掘れ量にも着目する必要性が示唆された。つまり、初期わだちに相当する沈下量を超える辺りから（ここでは載荷点No.1においてはほとんど繰返し載荷開始直後から、載荷点No.3においては1,500万回載荷時点を越える辺りから）アスコン層のみならず路盤層にも構造的健全度の低下が始まることを示唆するものである。

4. まとめ

実道での供用状態に対し、載荷状態（定点載荷等）、路面排水状態、日照暴露等条件に差はあるが、実大舗装供試体に対して、同じN5断面の舗装構成を有する2つの工区で繰返し載荷試験を実施した。その結果は以下のとおりである。

- (1) 舗装の構造的健全度は繰返し載荷とともに低下するが、条件によってその傾向は異なる。特に、路面の雨水の浸入の有無は大きな影響を与えうる。
- (2) 繰返し載荷によって、表面のアスコン層から構造的健全度が低下し、その後路盤以下に影響を及ぼす。本試験条件下では、20℃温度補正後アスコン層弾性係数が6,000MPaより低下すると路盤以下の構造的健全度が低下し始める傾向がある。

大きいのは、わだち掘れ量、ひび割れ率、平坦性の中ではひび割れ率で

(3) 構造的健全度の低下傾向は、継続的なFWDたわみ量調査や路面の沈下（実道で言えばわだち掘れ）の状況を把握することで把握しうる。実用的な把握手法としては路面の沈下量の把握である。

これらの結論は、2つの工区での試験結果であり、更に検討を続けていく必要がある。今後、その他の工区でも載荷条件を変えて実験を行い、より適切な時期に適切な補修工法の選定が可能となるよう、舗装の構造的健全度がどのように低下していくのか、またそれを把握する手法について検討を続けていくこととしている。

参考文献

- 1) 例えば、小長井彰祐、伊藤正秀、新田弘之：コストパフォーマンスを考慮した排水性機能回復手法の検討、土木学会舗装工学論文集、Vol.10、pp.205～212、2005.12
- 2) 寺田剛、吉村啓之、坂本康文、伊藤正秀：FWDによるアスファルト舗装の疲労破壊輪数の評価に関する検討、土木学会舗装工学論文集、Vol.10、pp.69～76、2005.12
- 3) 池田拓哉、伊藤正秀：大型車のタイヤ接地圧評価式の検討、第40回土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.465～466、1985.10
- 4) 公益社団法人日本道路協会：舗装性能評価法—必須および主要な性能指標編—（平成25年版）、丸善、2013
- 5) 林信也、東滋夫、金井利浩、岡部俊幸：FWD試験における測定たわみの温度補正システムの開発、土木学会舗装工学講演会論文集、Vol.2、pp.95～104、1997.12
- 6) 財団法人道路保全技術センター：活用しよう！FWD、2005.3
- 7) 丸山暉彦、阿部長門、雑賀義夫、姫野賢治：FWDによる舗装の構造評価および補修設計システムの開発、土木学会論文集、No.484、V-22、pp.61～68、1994.2
- 8) 渡邊一弘、井谷雅司、久保和幸：アスファルト舗装のひび割れに関する新たな評価指標の提案、第12会北陸道路舗装会議、No.1-4、2012.6

渡邊一弘



(独)土木研究所つくば中央
研究所道路技術研究グループ
舗装チーム 主任研究員
Kazuhiro WATANABE

堀内智司



(独)土木研究所つくば中央
研究所道路技術研究グループ
舗装チーム 研究員
Satoshi HORIOCHI

久保和幸



(独)土木研究所つくば中央
研究所道路技術研究グループ
舗装チーム 上席研究員
Kazuyuki KUBO