

## 空隙率の変動がアスファルト舗装の疲労寿命に及ぼす影響について

鹿島道路 管理本部 企画部 正会員 金井利浩  
 鹿島道路 技術研究所 正会員 横田慎也  
 東京電機大学 理工学部 フェロー会員 松井邦人

### 1.はじめに

アスファルト舗装の品質および出来形の仕様は、アスファルト混合物（アスコン）の製造や舗設の技術などを勘案しつつ、舗装の供用性との関連性に基づいて設定されるべきものであり、米国では供用性と関連づけた仕様（PRS：Performance-Related Specification）の確立を目的として大規模な試験施工による検証<sup>1)</sup>が現在も行われている。本検討では、アスコン特性のうち空隙率に注目し、その変動が舗装寿命に及ぼす影響を多層弾性解析によりシミュレートした結果、PRSの設定に関連して2, 3の知見を得たので報告する。

### 2. アスファルト舗装の寿命に関するシミュレーション方法

舗装寿命に関するシミュレーションは以下の手順で実施した。

#### (1) 舗装モデルと荷重条件の設定

舗装設計施工指針における、理論的設計法（多層弾性理論）によるアスファルト舗装の設計例<sup>2)</sup>を参考に図-1のとおりとした。

#### (2) アスコンの空隙率の設定

表-1に示すとおり、空隙率の平均値：5、6、7、8、9%（5水準）のそれぞれについて標準偏差が0、0.3、0.6、0.9、1.2%（5水準）であるとして、各条件につき1000個の正規乱数（空隙率）を発生させた。なお、乱数の生成にあたっては、著者の一人である松井が開発したプログラムNEMLを使用した。

#### (3) アスコンの弾性係数、舗装応答ならびに破壊回数の算出

弾性係数：表-1に示す諸条件に基づきShellの方法<sup>3)</sup>によりアスコンの弾性係数を求めた。なお、温度は20で一定とした。  
 舗装応答：多層弾性解析プログラムGAMES（開発者：松井）により、図-1の舗装モデルにおいて $a_s$ （アスコン下面の引張りひずみ）と $a_g$ （路床上面の圧縮ひずみ）を計算した。

破壊回数： $a_s$ と $a_g$ を米国アスファルト協会の疲労破壊規準式<sup>2)</sup>に代入し、アスコン層と路床について許容49kN輪数（ $N_{as}$ ：アスコン層（ひび割れ率20%）、 $N_{sg}$ ：路床（わだち掘れ量15mm））を求めた。空隙率の分布に付随して許容49kN輪数も変動することから、信頼性90%を担保できる許容49kN輪数をもって破壊回数（ $N_{fas}$ ：アスコン層、 $N_{fsg}$ ：路床）とした。

#### (4) 力学的安全性の評価（設計期間中の累積49kN輪数との比較）

設計期間中の累積49kN輪数を250万輪と設定し、これにより(3)において求めた破壊回数を除いたものを舗装寿命の評価指標とした。この指標が1.0以上であれば構造上力学的に安全であると判定する。

### 3. シミュレーション結果

#### (1) 破壊回数の計算結果

正規乱数として発生させた空隙率と表-1の条件からアスコンの弾性

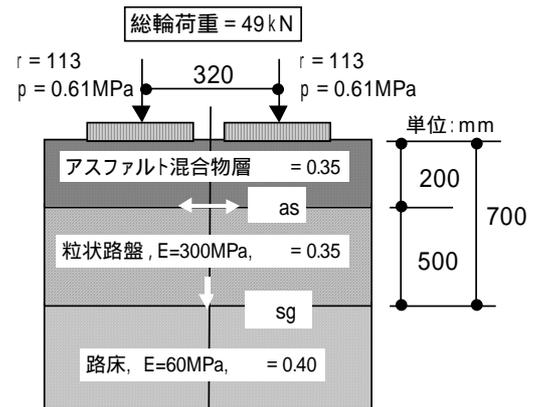


図-1 舗装モデルと荷重条件

表-1 アスコンの弾性係数計算条件

| 項目                             | 設定値                      |
|--------------------------------|--------------------------|
| 針入度 (1/10mm)                   | 41                       |
| 軟化点 (°C)                       | 55                       |
| アスファルト量 (%)                    | 6.0                      |
| アスファルトの密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.030                    |
| 空隙率                            | 平均値(%) 5.0~9.0(1.0ピッチ5点) |
|                                | 標準偏差 0.0~1.2(0.3ピッチ5点)   |
| 基準密度 (g/cm <sup>3</sup> )      | 2.375(空隙率5.0%)           |
| 理論最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )    | 2.500                    |
| 荷重時間 (s)                       | 0.02                     |
| 舗装体温度 (°C)                     | 20                       |

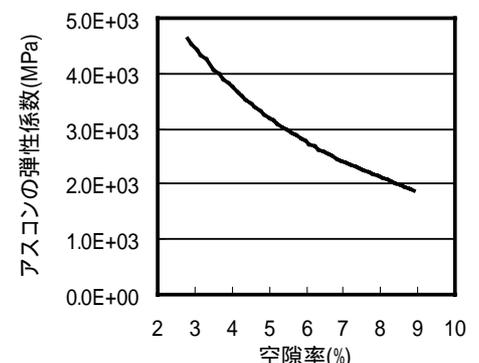


図-2 空隙率とアスコンの弾性係数の関係

Keywords：アスファルト混合物、多層弾性解析、舗装寿命、空隙率、PRS

連絡先：〒112-8566 東京都文京区後楽 1-7-27 TEL:03-5802-8003, FAX: 03-5802-8017

係数を求めた結果、図-2 のとおり空隙率の増加にともない、弾性係数は漸減することが判明した。空隙率に対応するアスコンの弾性係数を図-1 のモデルに当てはめ、舗装応答から許容 49kN 輪数を算出したところ、 $N_{as}$ 、 $N_{sg}$  とともに概ね対数正規分布に従うことがわかった。一例として図-3 に、空隙率が平均値 7.0%、変動係数 1.2% で正規分布するときの  $N_{as}$  の分布を示す。この場合の破壊回数  $N_{fas}$  は信頼性（上側確率）90% で 2,233,482 (  $e^{14.619}$  ) 回となる。

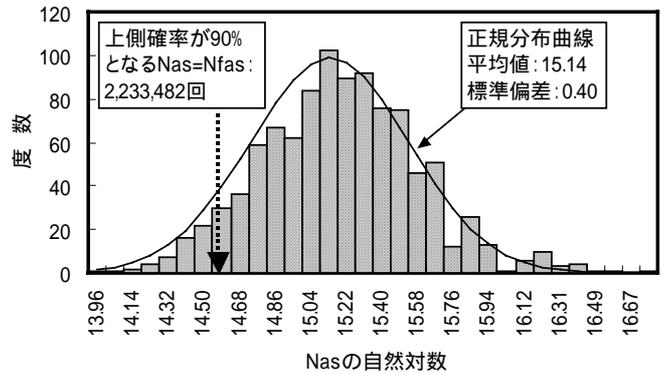


図-3  $N_{as}$  の分布（平均空隙率 7.0%、変動係数 1.2%）

同様の処理を空隙率の全条件について行い、空隙率（平均値、標準偏差）と破壊回数の関係を整理したものが図-4 である。これを見ると、空隙率の平均値が増加するにつれ  $N_{fsg}$ 、 $N_{fas}$  とともに減少し、標準偏差が大きくなるほど両破壊回数とも小さくなっている。また、 $N_{fas}$  の方が  $N_{fsg}$  よりも 1 オーダー小さく設計上クリティカルになることが見て取れる。

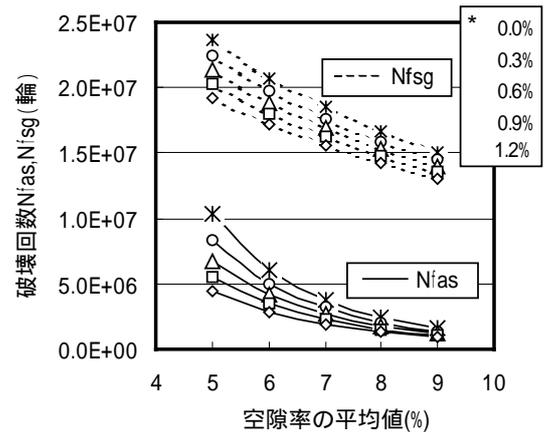


図-4 空隙率と破壊回数の関係

**(2) 力学的な安全性からみた空隙率の仕様設定など**

そこで、 $N_{fas}$  について舗装寿命の評価指標を計算した。結果を図-5 に示す。図-5 において評価指標が 1.0 となる空隙率の平均値を標準偏差毎に読み取り、標準偏差を横軸に、平均値を縦軸にとったグラフ上に打点して線で結んだものが図-6 である。

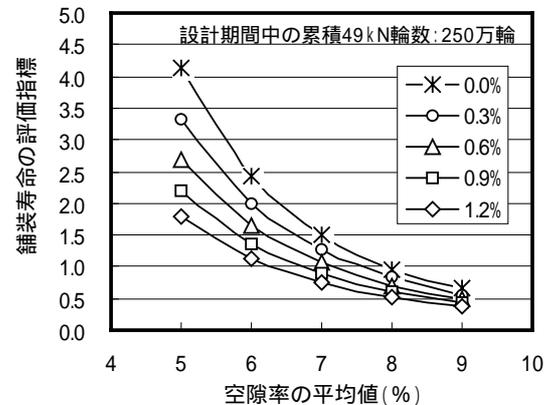


図-5 空隙率と舗装寿命の評価指標 ( $N_{fas}$ )

施工管理で得られる空隙率の平均値と標準偏差を図-6 上にプロットしたとき、図中の線分よりも上側にあれば寿命の評価指標は 1.0 未満となり、「当該舗装は力学的な安全性の面で設計条件を満足していない」と評価される。したがって、空隙率については、平均値と標準偏差の組合せが線分上または線分よりも下側に位置するよう仕様（PRS）を定める必要があると言える。また、舗装寿命の定量的評価に基づき、それが 1.0 未満の場合には設計期間中に付加的に発生する補修費用からペナルティを、反対に 1.0 以上ならば補修費用の削減に応じてボーナスを合理的・客観的に算定できる可能性がある点にも注目したい。

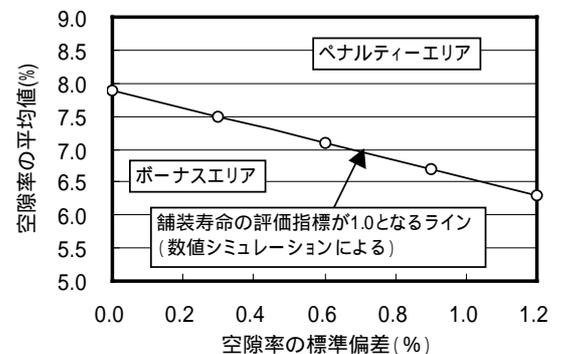


図-6 舗装寿命からみた空隙率の区分（数値シミュレーションによる）

**4. おわりに**

以上のように、アスコン性状と舗装のパフォーマンスを定量的に関連付けられれば、アスコン性状の仕様や、施工の出来映えに見合った支払い金額の設定が合理的・客観的に行えるようになるものと期待される。

今回はアスコン性状のうち、空隙率のみを取り上げその変動などの影響についてシミュレーションを試みた。今後は、空隙率のみならず、アスファルト量や厚さなど様々な因子が、舗装寿命に及ぼす複合的な影響について検討したいと考えている。

**【参考文献】** 1) 例えば、Todd V. Scholz et al. : Development of a Prototype Performance-Related Specification for Hot-Mix Asphalt Pavement Construction, AAPT, pp.837-869, 2001、 2) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針、pp.197-203、平成 13 年 12 月、 3) A.I.M.Claessen et al. : Asphalt pavement design-shell method,4th ISAP, pp.39-74,1977