

## モンテカルロシミュレーションを用いた舗装表面たわみのばらつきの評価

東京農業大学 正会員 川名 太, 竹内 康, 小梁川 雅

### 1. はじめに

舗装の構造解析では、舗装各層の弾性係数やポアソン比、層厚等が必要となる。今後、より合理的な舗装の修繕計画を策定していくためには、既設舗装におけるそれらのパラメータを適切に評価することが求められる。舗装の健全性を評価する指標の一つに、FWD 試験により得られる舗装表面のたわみがある。一般に、舗装材料の物性値にはばらつきがあるため、健全な舗装であっても舗装表面のたわみは変動する。竹内ら<sup>1)</sup>は、層厚やポアソン比等のばらつきの影響を弾性係数を変動させることと等価であると考え、既往の研究で得られている舗装各層の弾性係数の変動係数を用いて、設計変数のばらつきを考慮した断面を設定し、数値解析結果に基づいて、現場で測定したたわみから舗装の健全部と非健全部の閾値を設定する方法を提案している。本研究では、モンテカルロシミュレーションを用いて、舗装各層の層厚、弾性係数およびポアソン比のばらつきが舗装表面のたわみのばらつきに与える影響を直接的に評価することを試みた。

### 2. モンテカルロシミュレーション

本検討では、 $T_A$ 法により設計されたアスファルト舗装を対象とし、アスファルト舗装要綱に示されている  $N_4 \sim N_7$  交通量のカタログ断面を用いた。舗装各層の物性値のばらつきは、正規分布に従うものとし、平均値および変動係数は舗装設計便覧<sup>2)</sup>に基づいて設定した。なお、アスファルト混合物層の弾性係数は、温度の影響を受けるため、平均値を 2000MPa、5000MPa および 10000MPa の 3 ケースを設定した。また、粒度調整碎石およびクラッシュランの弾性係数は、それぞれ 600MPa および 300MPa とし、路床の弾性係数は、 $10 \times$  設計 CBR [MPa] とした。舗装表面の半径 15cm の円形領域に 49kN の鉛直荷重を作用させ、載荷点の中央に生じるたわみを算定した。

モンテカルロシミュレーションでは、精度の良い結果を得るために、適切な繰り返し計算回数の設定が必要となる。図-1 は、 $N_4$  交通量の断面を対象にたわみを求め、繰り返し計算回数ごとにたわみの平均値および標準偏差を求めた結果を示している。図より、繰り返し計算回数

が多くなると、概ね計算結果が収束していくことが確認できる。また、繰り返し計算回数の 1,000 回おきにたわみの平均値および標準偏差の変化量を計算した結果、15,000 回程度の繰り返し計算を行うと変化率が 0.5% 以下になることが確認された。よって、本研究では舗装構造の差異等を考慮して、計算回数を 30,000 回とすることにした。

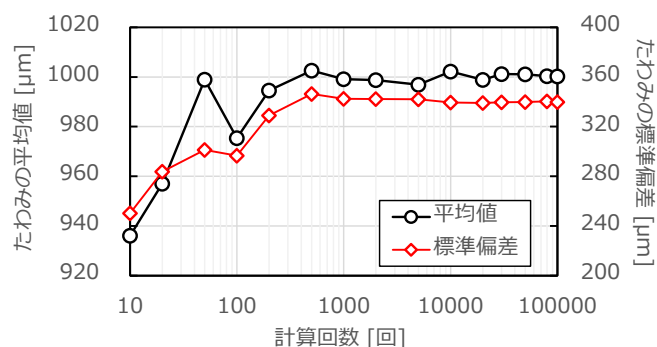


図-1 計算回数とたわみの平均値、標準偏差の関係

### 3. 舗装表面のたわみのばらつきの評価

まず、各設計パラメータのばらつきが舗装表面のたわみのばらつきに与える影響を評価するために、舗装各層の弾性係数、ポアソン比および層厚を個別に変動させたときの舗装表面におけるたわみの変動係数を求めた。なお、ここでは、物性値の変動係数をそれぞれ 0.10 として計算した。図-2 に、一例として、 $N_5$  交通量の断面を対象とした計算結果を示す。図より、舗装表面のたわみの変動係数は 0.10 よりも小さく、4 層目の弾性係数および 1 層目の層厚のばらつきの影響を比較的大きく受けていることが確認できる。また、ポアソン比のばらつきの影響は小さく、平均値を変化させてもその傾向は同様であった。図-3 は、層厚および 4 層目の弾性係数について、平均値が変化した場合にたわみの変動係数に与える影響を評価したものである。この結果より、層厚が厚くなるほど、また、弾性係数が小さくなるほどたわみのばらつきが大きくなることが確認できる。

次に、全ての層の物性値が変動するものとして舗装表面のたわみを求め、その平均値及び変動係数を算定した。図-4 は、等値換算厚  $T_A$  とたわみの平均値および変動係

キーワード モンテカルロシミュレーション、舗装の健全性評価、たわみの変動係数

連絡先 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科 TEL 03-5477-2342

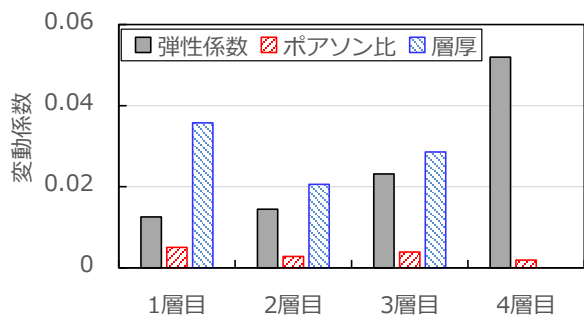
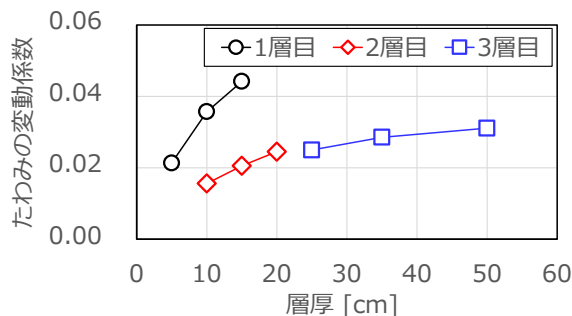
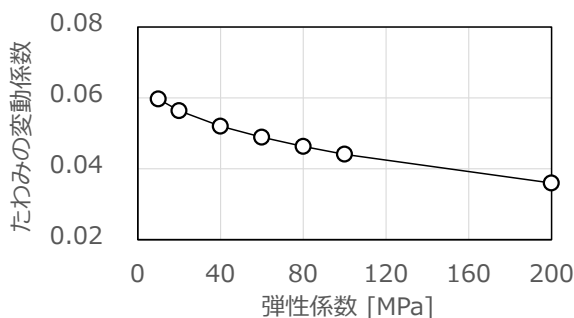


図-2 物性値を個別に変動させたときのたわみのばらつき



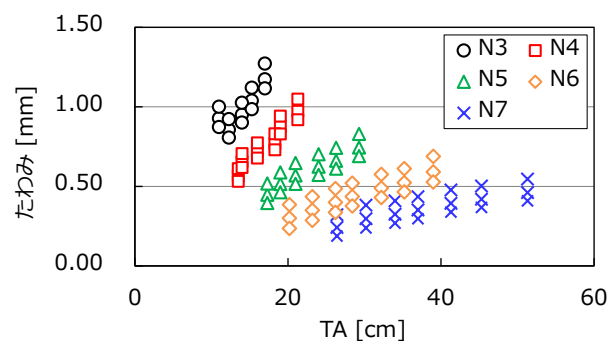
(a) 層厚



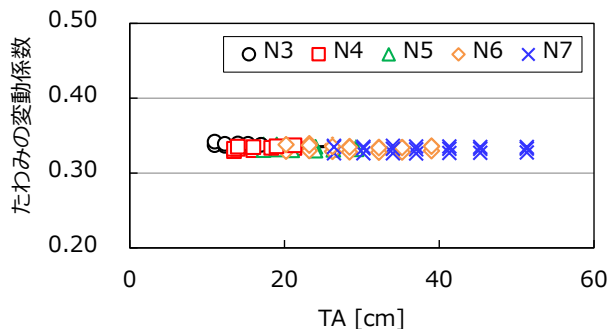
(b) 4層目の弾性係数

図-3 各層の物性値とたわみの変動係数の関係

数の関係を示している。たわみの平均値は、計算条件によって変動しており、同じ交通量区分であってもたわみの平均値には大きな差があることがわかる。一方で、たわみの変動係数は、舗装構造や弾性係数によらず一定の値となっている。竹内ら<sup>1)</sup>は、弾性係数のばらつきを考慮して求めたたわみと平均値を用いて求めたたわみの比（以下、たわみ比という）に注目し、たわみ比は $T_A$ によらずほぼ一定となり、その値は1.2～1.4の範囲に分布することを示している。本研究でも同様に、たわみ比を算定した結果を図-5に示す。この図より、たわみ比は、舗装構造や弾性係数によらずほぼ一定の値になることがわかる。なお、たわみ比の平均値は1.027であった。図-5には、竹内らの提案する舗装表面のたわみに基づく舗装の健全部と非健全部の閾値を併記している。これによると、竹内らが提案している閾値は、健全な舗装のたわみ比の17%～33%程度の超過確率（健全であっても非健全と判断される確率）に相当していることがわかる。

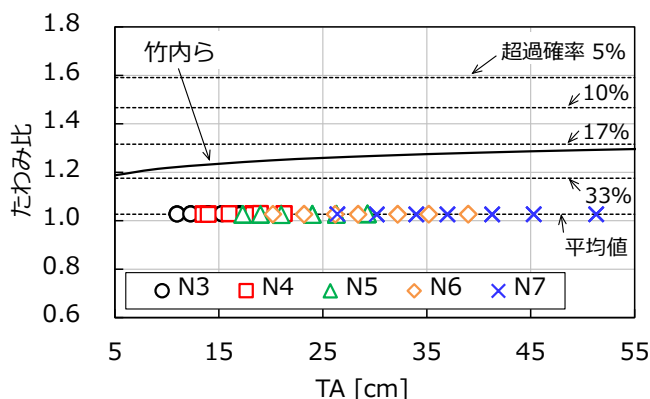


(a) 平均値



(b) 変動係数

図-4 たわみの平均値と変動係数

図-5 たわみ比と $T_A$ の関係

#### 4. まとめ

本研究では、モンテカルロシミュレーションを用いて、舗装各層の層厚、弾性係数およびポアソン比が舗装表面のたわみに与える影響を評価した。その結果、路床の弾性係数および層厚のばらつきが舗装表面のたわみのばらつきに与える影響が大きいこと、各層の物性値の変動係数を変化させなければ、たわみの変動係数は、舗装構造や弾性係数によらず一定の値になることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 竹内ら：たわみのバラツキを考慮したアスファルト舗装の健全度評価法の検討，土木学会第 69 回年次学術講演会概要集，v-556，平成 26 年。
- 2) 日本道路協会：舗装設計便覧，pp.268，平成 18 年 2 月，ISBN978-4-88950-324-1。