弾性係数のバラつきがアスファルト舗装の信頼性に与える影響に関する検討

国立研究開発法人土木研究所　正会員　○岩永 真和，寺田 剛，藪 雅行
東京農業大学　川名 太

1．はじめに

平成 14 年「土木・建築にかかる設計の基本[1)]」の策定に伴い，舗装の構造設計に信頼度が導入され[2)]，信頼性を考慮した設計（安全係数を用いた設計法：信頼性設計法レベル 1 に相当[3)]）が可能となった．しかし，現行の設計法は簡便ではあるものの，材料や構造等の設計変数のバラつきを考慮できないという課題があり，信頼性設計法に関する検討が進められている[4)]．そこで本研究では，設計変数のバラつきを考慮した信頼性設計法として，理論的設計手法に対しモンテカルロシミュレーションを用いて舗装の構造的信頼性を算定する手法を考案した．本報は，本手法を用いて材料条件である弾性係数のバラつきがアスファルト舗装の信頼性に与える影響について検討した結果を報告する．

2．設計条件の確率分布を考慮した理論的設計手法の概要

本手法の計算フローを**図-1** に示す．本手法は，モンテカルロシミュレーションによって，設定した舗装断面の許容 49kN 輪数の分布を予測し（**図-2** 参照），設計輪数を上回る確率を計算することで舗装の構造的信頼性を算定するもの（信頼性設計法レベル 3 に相当[3)]）である．また，設計変数（各層の弾性係数，各層の厚さ，載荷荷重）を互いに独立な正規確率変量として計算し，各設計変数の分布が信頼度 R_m に与える影響を評価することが可能である．

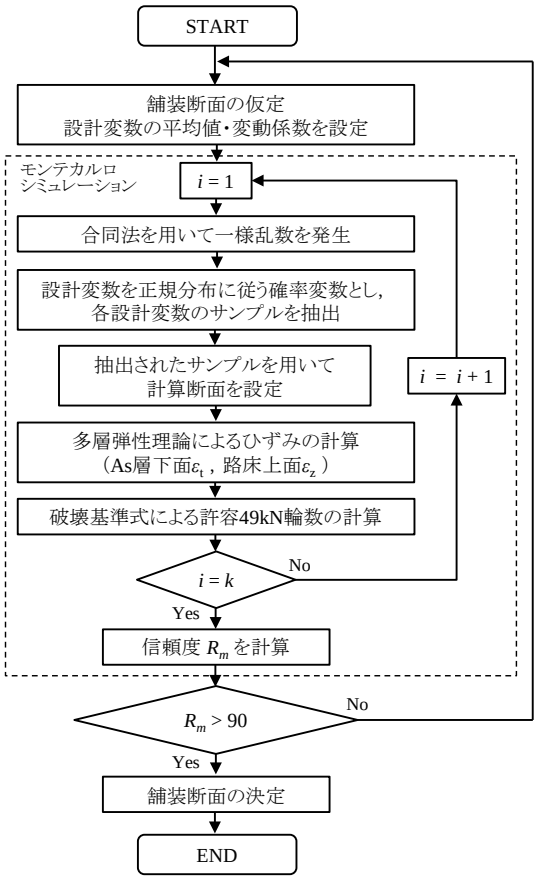

図-1　本手法の計算フロー

3．検討断面および計算条件

検討断面の概要を**表-1** に示す．設計条件として，高規格幹線道路（交通量区分 N7）における設計盛土上の舗装を想定し，地盤条件（路床 CBR）が異なる 3 水準を設定した．また，各層の厚さは，経験的設計法（以下，T_A 法という）を参考に設定した．なお，検討断面 No3 は，盛土施工時に良質な材料が使用されたことを想定し路床 CBR30%とした．このような場合，T_A 法では設計 CBR20 以上として扱うため検討断面 No2 と同一断面となる．次に，各層の弾性係数の計算条件を**表-2** に示す．弾性係数のバラつきの設定として，路床・路盤の変動係数を 2 水準（*CV*0.2，*CV*0.1）設定した．また，表基層とアスファルト安定処理路盤については，アスファルト混合物の温度依存性を考慮し変動係数を 0.2 に固定した．なお，本検討では，弾性係数のバラつきが信頼性に与える影響のみを評価するため，各層の厚さおよび載荷荷重（単輪荷重 49kN，接地圧 0.59MPa）に関してはバラつきを考慮しないこととした．

4．検討結果

4.1　繰り返し計算回数の検討

モンテカルロシミュレーションを用いる場合，精度の良い結果を得るためには多くの試行回数が必要となる．そこで，本検討における最適な繰り返し計算回数 k を決定することを目的に，検討断面 No2（変動係数 *CV*0.2）について繰り返し計算回数と信頼度 R_m の推定精度の関係を整理した．その結果を**図-3** に示す．

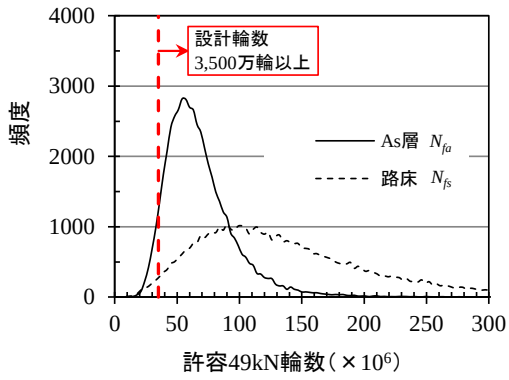

図-2　許容 49kN 輪数の分布予測結果の一例

キーワード：信頼性設計法，アスファルト舗装，モンテカルロシミュレーション，信頼度，弾性係数
連絡先：茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム

図-3 より，繰り返し計算回数が 1 万回以上であれば，信頼度 R_m の値が概ね収束することがわかった．この結果より，本検討における繰り返し計算回数は 5 万回とした．

4.2　弾性係数のバラつきが信頼性に与える影響に関する検討

今回検討した 6 ケース（断面 3 水準×変動係数 2 水準）について本手法より得られたアスファルト層の許容 49kN 輪数 N_{fa} の予測分布を設計輪数 3,500 万輪で除した結果を図-4 に示す．図-4 より，アスファルト層の許容 49kN 輪数 N_{fa} の予測分布（10～90%）は，T_A 法で設計した全ての検討断面において設計輪数を上回る結果を得た．また，図-4 の結果を整理し，信頼度 R_m および耐用年数を算定した結果を表-3 に示す．信頼度 R_m は，許容 49kN 輪数の予測分布から設計輪数を上回る確率を算出した．また，耐用年数は，次式より算出した．

$$\text{耐用年数} = \frac{\text{許容49kN輪数予測分布の下から10\%の輪数}}{\text{設計輪数}} \times 10\text{年} \quad (1)$$

表-3 より，検討断面ごとの比較を行うと，検討断面 No1 は，検討断面 No2 に比べ信頼度 R_m，耐用年数ともに高い数値を示している．また，検討断面 No3 は検討断面 No2 と同一舗装断面であるが検討断面 No2 よりも路床の弾性係数が高い分，長期供用性に期待できることがわかった．次に，変動係数ごとの比較を行うと，路床・路盤の弾性係数の変動係数を小さく設定すれば，全ての検討断面において許容 49kN 輪数の予測分布のバラつきが小さくなり，信頼度 R_m，耐用年数ともに高い数値を示すことがわかった．このことより，路床・路盤の弾性係数のバラつきが舗装や路床の信頼性に大きく影響することがわかった．

5．まとめ

本検討より得られた知見を以下に示す．

- 路床・路盤の弾性係数のバラつきが舗装や路床の信頼性に大きく影響することがわかった．
- 本手法により，許容 49kN 輪数の予測分布や信頼度 R_m，耐用年数を確認することで，舗装断面決定の際の経済性評価や設計期間の設定がより合理的に行える可能性があることがわかった．
- 本手法により，従来の T_A 法では考慮できなかった CBR20 以上の路床土に対する設計手法の構築の可能性を見出した．

6．おわりに

今回の検討においては，舗装設計便覧に示されている値を参考にして，弾性係数の分布性状を仮定して検討を行った．今後は，各材料の弾性係数の分布性状を明らかにすることを目的とした室内試験，現場試験の評価手法について検討を進め，路床・路体の品質管理の状況を舗装の設計に反映できるようにしたいと考える．

表-1　検討断面の概要（交通量区分 N7）

検討断面 No	路床 CBR (%)	各層の厚さ(cm) 表層基層	As 安定処理路盤	上層路盤 M-30	下層路盤 C-40
1	8	15	8	20	25
2	20	15	8	-	20
3	30	15	8	-	20

表-2　各層の弾性係数の計算条件

	平均値 (MPa)	変動係数 *CV*0.2	*CV*0.1
表層基層	5,000	0.2	0.2
As 安定処理路盤	3,500	0.2	0.2
上層路盤 M-30	400	0.2	0.1
下層路盤 C-40	250	0.2	0.1
路床	10×CBR	0.2	0.1

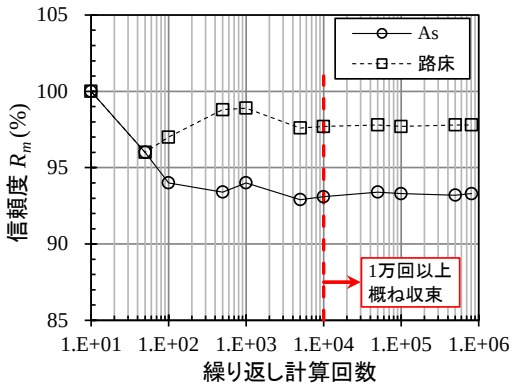

図-3　繰り返し計算回数の検討結果

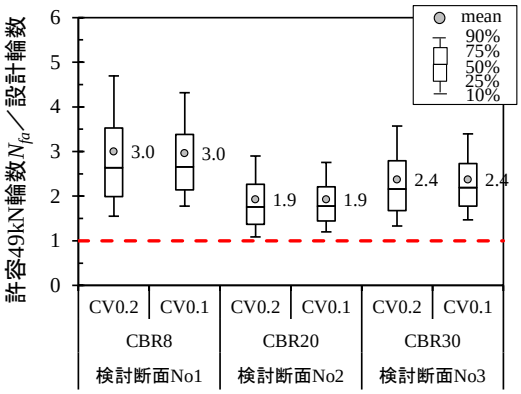

図-4　許容 49kN 輪数 N_{fa}／設計輪数

表-3　信頼度 R_m および耐用年数の算定結果

検討断面 No	路床 CBR (%)	変動係数 *CV*	信頼度 R_m (%) As	信頼度 R_m (%) 路床	耐用年数 (年) As	耐用年数 (年) 路床
1	8	0.2	99.0	99.5	15.5	20.7
		0.1	99.9	100	17.7	26.1
2	20	0.2	93.4	97.8	10.9	16.6
		0.1	96.8	99.9	12.0	21.7
3	30	0.2	97.8	99.9	13.3	42.5
		0.1	99.2	100	14.7	58.7

【参考文献】

1)　国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本，平成 14 年 10 月　　2)　(社)日本道路協会：舗装設計便覧，pp19-21，2006.
3)　星谷 勝，石井 清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.
4)　西澤 辰男：T_A 法によるアスファルト舗装の信頼性評価，土木学会論文集 No.781／V-66，2005.6