

TA 法によるアスファルト舗装の信頼性の算定

石川工業高等専門学校 正会員 西澤辰男

まえがき

舗装の構造設計には信頼性の考え方が必要である。わが国の舗装の設計基準にも信頼性を評価することが求められているが、その具体的な方法としては交通量を信頼性ごとに規定している¹⁾。本来の信頼性設計法は、交通量、材料、構造などの設計変数のばらつきを考慮し、設計期間内に舗装が破壊する確率を算定する必要がある。本研究では、わが国のアスファルト舗装の構造設計に用いられているTA法に対し、2モーメント法およびモンテカルロ法によって、舗装の信頼性を算定する手法を提案する。

TA法による信頼性

TA法によれば、舗装の換算厚 TA と49kN換算輪数 N および路床 CBR の間には平均的に以下の関係があるとされている。

$$TA = \frac{3.07N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \quad (1)$$

ここに、 $T_A = a_1H_1 + a_2H_2 + a_3H_3 + a_4H_4$ 、 a_i ：等値換算厚、 H_i ：層厚である。この式を N について整理すると、ある舗装構造に対する寿命を N によって表現することができる。そこで、舗装の破壊確率を以下のように定義する。

$$p_f = \Pr(N - N_0 < 0) \quad (2)$$

ここに、 N_0 は設計計画交通量から算定される設計期間内の49kN換算輪数である。 $Z = N - N_0$ は状態関数と呼ばれ、 TA 、 CBR 、 N_0 の関数である。すなわち、TA法による状態関数は式(1)より以下のように表せる。

$$Z = g(N_0, T_A, CBR) = N - N_0 = 0.00090237 \times m \times CBR^{1.88} \times T_A^{6.25} - N_0 \quad (3)$$

ここに、 m は式(1)自体の精度を表現する構造解析係数である。 p_f が求めれば、舗装の信頼性 R は次式で評価できる。

$$R = \Pr(N - N_0 \geq 0) = 1 - p_f \quad (4)$$

2次モーメント法による信頼性の算定

設計変数 $\mathbf{x} = \{x_j\} = \{m, CBR, N_0, a_i\}$ を互いに独立な正規確率変量とすれば、次に示すような条件を満たす信頼性指標 β を計算することができる²⁾。

$$g(\mathbf{x}^*) = 0, \quad x_j^* = \mu_{x_j} - \alpha_j \beta \sigma_{x_j}, \quad \beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}, \quad \alpha_j = \left(\frac{\partial g}{\partial x_j} \right)_{\mathbf{x}^*} \sigma_{x_j} / \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial g}{\partial x_j} \right)_{\mathbf{x}^*}^2 \sigma_{x_j}^2} \quad (5)$$

図-1に示すように、 \mathbf{x}^* は舗装が最も破壊しやすい点における設計変数の値であり、設計点あるいは安全照査点と呼ばれる。この値と、設計において用いた値(平均値、あるいは公称値)との比が、その破壊確率における部分安全係数となる。

このとき、 $g(\mathbf{x})$ が正規確率分布に従うとすれば、2次モーメント法による信頼性 R_g は次式によって計算できる。

$$R_g = \Pr(Z > 0) = 1 - \Phi(-\beta) = \Phi(\beta) \quad (6)$$

ここに Φ は標準正規確率分布関数である。

モンテカルロシミュレーションによる信頼性の算定

設計変数を互いに独立な正規確率変量として、乱数から各設計パラメータの値を発生させ、その値を式(3)に代入して、安全 $Z > 0$ と破壊 $Z < 0$ を判定する。このような試行を繰り返し、安全と判定された試行回数を全体の試行回数で割った値が信頼性 R_m となる。

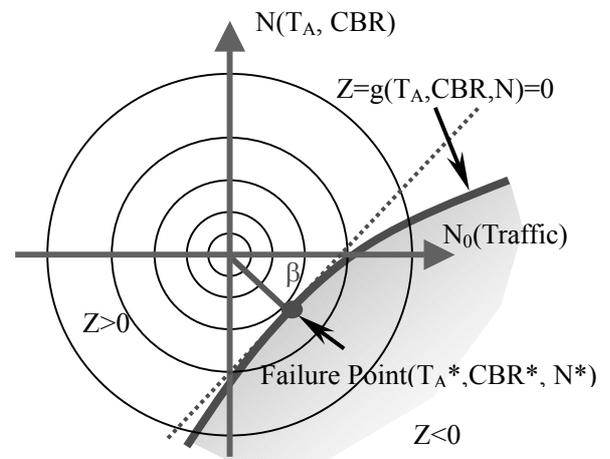


図-1 2次モーメント法による信頼性

キーワード TA法、アスファルト舗装、2次モーメント法、モンテカルロシミュレーション、信頼性
西澤辰男 (920-0392 河北郡津幡町、TEL/FAX:076-288-8167、nishi@ishikawa-nct.ac.jp)

計算例

計算例として、舗装設計施工指針に信頼性ごとに挙げられているアスファルト舗装断面例（設計期間10年）の89断面を取り上げ³⁾、2次モーメント法とモンテカルロ法によってそれぞれの断面の信頼性を算定した。その際、各設計パラメータの平均値および変動係数を表-1のように設定した。

まず、2次モーメント法によって算定した信頼性 R_g と指針で設定している信頼性 R_a を比較したものが図-2である。 R_g は R_a を上回っている。 R_a が50%の断面であっても、 R_g は50%から80%までの幅がある。このような幅は信頼性が高くなるにしたがって狭くなる。

同様の断面に対し、モンテカルロ法によって信頼性 R_m を算定した。試行回数は10000回とした。 R_m と R_a を比較したものが図-3である。 R_a が75%の断面の中にそれを下回ったものがあり、 R_g とやや異なる結果となった。そこで、 R_g と R_m を比較した結果が図-4である。 R_g は R_m よりもやや高めになることから、2次モーメント法によれば信頼性はやや評価される。図-5はある断面のモンテカルロ法による Z の分布であるが、明らかに正規分布になっていない。このことが R_g と R_m の差として現れているのである。しかしその差は数%である。

あとがき

今回提案したTA法によるアスファルト舗装の信頼性の算定法を用いることによって、厳密な信頼性評価が可能となる。この方法を用いれば、各設計変数の持つ変動を直接信頼性評価に結びつけて、設計や施工における品質管理の状況を設計に反映できる。

参考文献：1)日本道路協会、舗装の構造に関する技術基準・同解説、2002。2)星谷勝、石井清、構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、1986。3)日本道路協会、舗装設計施工指針、2002。

表-1 設計変数の平均値と変動係数

設計変数	平均値	変動係数
換算輪数： N_0	設計交通量	0.35
路床： CBR	設計CBR	0.2
アスファルト混合物： a_1	1.0	0.1
アスファルト安定処理： a_2	0.8	0.1
粒調碎石： a_3	0.35	0.2
クラッシャーラン： a_4	0.25	0.2
モデル係数： m	1.0	0.4

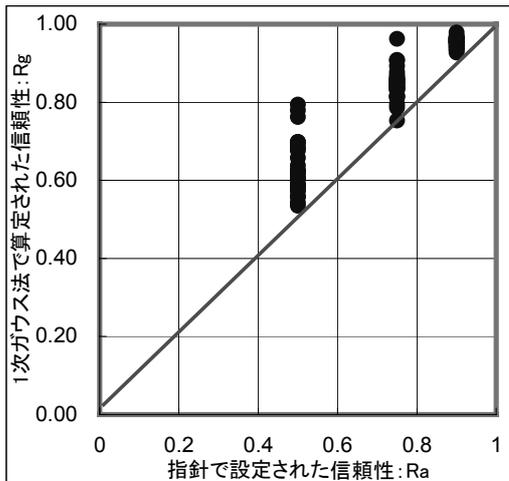


図-2 R_a と R_g の比較

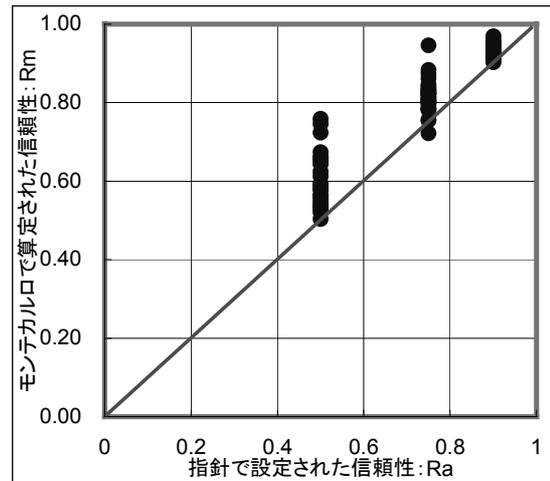


図-3 R_a と R_m の比較

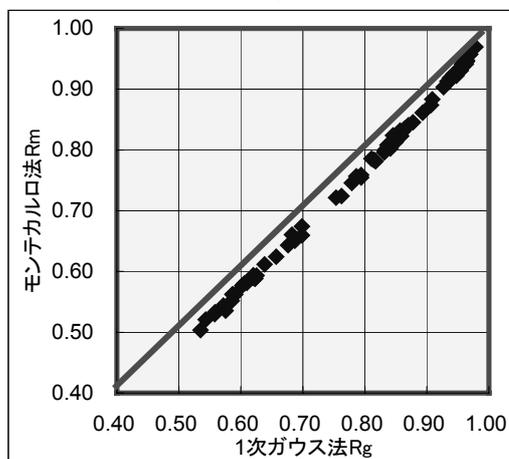


図-4 R_g と R_m の比較

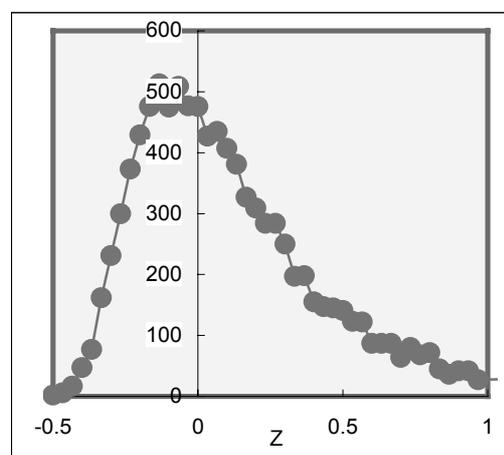


図-5 TA法に基づいた Z の頻度分布