

信頼性を考慮した舗装設計法に関する研究

道路研究室 宮田俊介

指導教官 丸山暉彦

高橋 修

1. はじめに

わが国の舗装設計法において、構造設計での設計寿命年数と実際の寿命年数には大きな差がある。このため、早期破壊等の問題がみられる。これは現行の設計法では、入力条件である材料条件や交通条件などのばらつき(変動)を考慮していないためである。こうした現状を打開すべく、本研究では、現行舗装設計法に入力条件のばらつきを考慮できる信頼性設計法構築し、構造設計を合理的に行なえるようにした。

本研究では、信頼性設計法を構築するにあたり、以下のような検討を行なった。

1. 入力条件のばらつきが舗装の破壊年数に及ぼす影響について、数値シミュレーションにより比較検討した。
2. 1の結果から得られた舗装の破壊年数に大きな影響を及ぼす入力条件のもと、Rosenbluethによる方法を用いて舗装の破壊年数の確率変動を求めた。
3. 遺伝的アルゴリズム(以後GA)を用いることにより、局所解に陥らずに最適な構造設計を行なった。
4. 2の破壊年数の確率変動予測を3の最適設計に組み込み、信頼性設計法を提案した。

なお、本研究では多層弾性理論を用いて舗装構造設計を行なった。舗装の破壊には、アスファルト混合物層の疲労破壊によるひび割れと路床の永久変形によるわだち掘れを採用した。アスファルト混合物層の疲労破壊と路床の永久変形に対する破壊基準式は、AASHO道路試験結果等に基づくAIの破壊基準式¹⁾を用いた。

2. 信頼性の概念

本研究における信頼性とは、設計寿命期間の交通及び環境条件のもとで設計された舗装がその寿命を満足する確率である。例えば、設計寿命が10年で、信頼性が90%の舗装とは、設計した舗装構造が10年間破壊しない確率が90%ということである。

3. 入力の変動が破壊年数に及ぼす影響

入力条件のばらつきが破壊年数に及ぼす影響を明らかにすることは、信頼性設計法を構築する上で重要なことである。

弾性係数、層厚、交通量といった入力条件の変動は正規分布に近いばらつきを示す。そこで、ダイレクトモンテカルロ法を用い、乱数により正規分布を発生させ、その都度それに対応する関数値を求め、頻度分布を作成した。頻度分布は正規分布を示さず、評価が困難であるため、破壊年数の自然対数を取り、正規分布に近づけて、その変動率により影響の比較を行った。

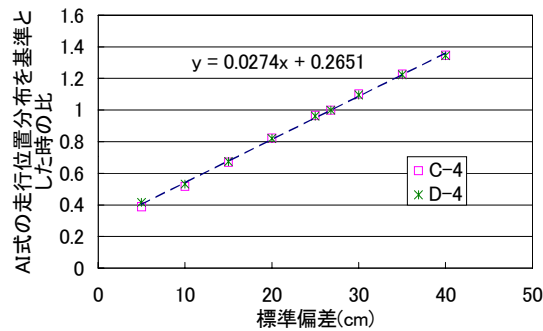
表3-1に弾性係数、層厚、交通量がばらついた場合の影響の比較を示す。表より、下層路盤の弾性係数のばらつきは舗装の破壊年数にあまり影響を及ぼさないことが明らかとなった。本研究においては、下層路盤の弾性係数のばらつきは、考慮しないものとした。

走行位置分布に関しては、ばらつきのある場合とない場合を計算し、走行位置分布の標準偏差と舗装の破壊年数の関係式を作成した。(図3-1)その結果、わが国における標準的な走行位置分布から得られる標準偏差を考慮すると、アスファルトの破壊

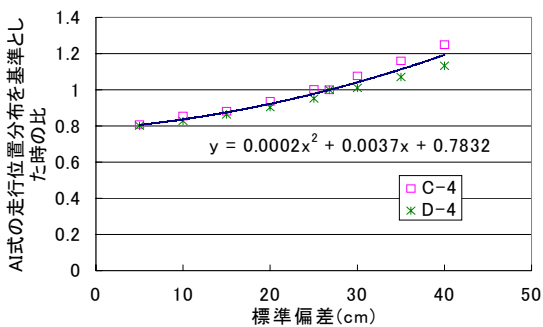
年数への影響は 0.8 - 1.2 倍，路床の破壊年数への影響は 0.9 - 1.1 倍となった。

表 3 1 入力変動が破壊年数に及ぼす影響

		破壊年数の変動率 (%)	
		アスファルト	路床
弾性係数	アスファルト	10.8	8.3
	上層路盤	17.0	8.3
	下層路盤	3.2	5.2
	CBR	2.1	15.3
層厚	アスファルト	22.2	12.7
	上層路盤	7.8	9.9
	下層路盤	0.9	9.5
交通量		10.4	7.0



アスファルト混合物層の破壊



路床の破壊

図 3 1 走行位置の標準偏差と破壊年数

アスファルト混合物層の温度のばらつきは，正規分布を示さない．アスファルト混合物層の温度は，各月毎の許容輪数を求め，(3 1)式より，舗装の破壊回数を求めた．東京の平均気温を用いて検討した結果，温度条件を考慮した場合とそうでない場合では約 10%程度の差が見られた．

$$N_{fd} = \frac{1}{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{1}{N_{fi}} \right)} \dots\dots\dots(3 1)$$

N_{fd} : 破壊回数

N_{fi} : 温度条件 i における許容輪数

4 . 道路破壊の確率変動の予測

3 で得られた結果より，舗装の破壊年数に大きな影響を及ぼす入力条件のもと，舗装の破壊年数の確率変動を予測した．

直接的な破壊年数の確率変動予測の手法としては，ダイレクトモンテカルロ法がある．しかしながら，この手法は，計算回数が非常に多く非実用的である．そこで，本研究では，比較的少ない計算回数で舗装の破壊年数の確率変動を予測できる Rosenblueth による方法（平均値±標準偏差の値の関数値を求める計算のみで，確率分布を近似することができる手法²⁾）を用いた．

Rosenblueth による方法の推定精度は図 4 1 のとおりである．このように，ダイレクトモンテカルロ法と比較して，Rosenblueth による方法は，舗装の破壊年数の確率年数予測が可能であることが明らかとなった．

比較的少ない計算回数で舗装の破壊年数の確率変動を予測できる Rosenblueth による方法を用いれば，プログラムに組み込む際，非常に有効である．

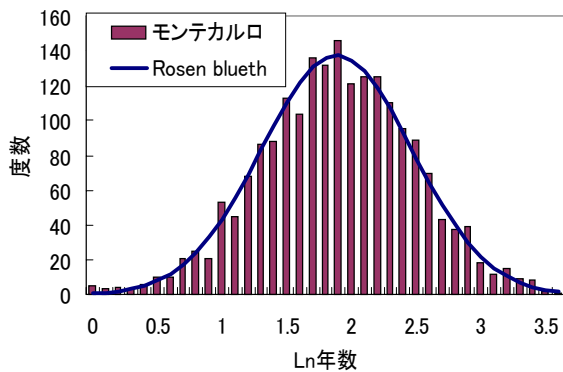


図 4 1 破壊年数の確率変動予測

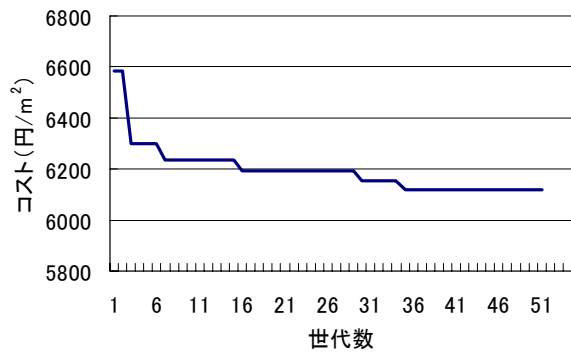


図 5 1 GA による最適設計

5. 遺伝的アルゴリズムを用いた最適設計

舗装構造設計を行なう際、コストという重要な要素を考慮し、より低コストとなる舗装構造を見つけ出さなければならない。その際、最適な舗装を設計するには繰り返し計算が必要となる。そこで、本研究では、GA³⁾により局所解に陥ることなく最適な設計を行なえるようにした。

GA とは、ランダムに生成した仮想生物を交叉、突然変異などの遺伝子オペレータを作用させ、次世代の集団を形成させるという過程を繰り返すものである。本研究で用いた GA の流れを図 5 1 に示す。

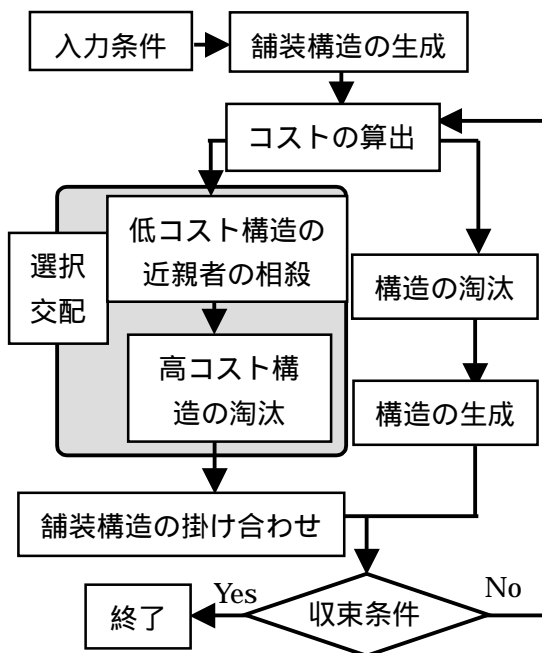


図 5 1 遺伝的アルゴリズムの流れ

6. 信頼性設計法の提案

4 の破壊年数の確率変動予測を 5 の最適設計に組み込み、信頼性設計法を構築した。図 6 1 に信頼性設計法の流れを示す。図の黒く塗りつぶされた部分において繰り返し計算を行なうことによって、最適な舗装構造を導いた。最適設計には GA を用いた。

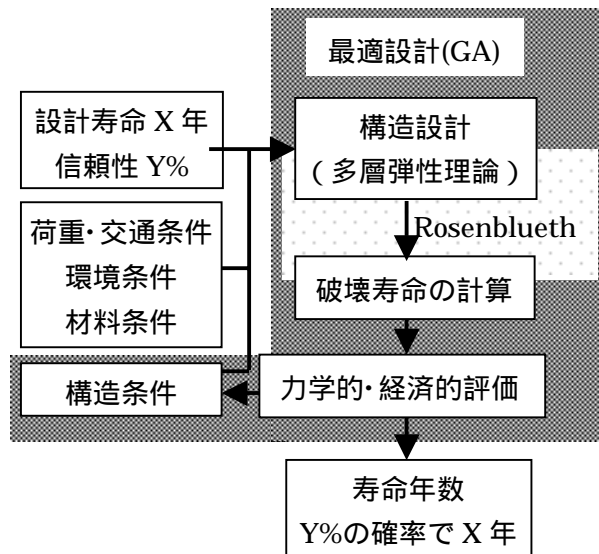


図 6 1 信頼性設計の流れ

以下に信頼性設計法を用いた設計例を示す。

<設計例>

東京に舗装を新設する場合を考えた。入力条件を表 6 1, 6 2, 6 3 に示す。

表 6 1 構造条件

	弾性係数 (kgf/cm ²)	弾性係数 の変動率 (%)	層厚の 変動率 (%)
アスコン層	65000	20	10
上層路盤	6000	30	20
下層路盤	1500		20
路床	600	20	

表 6 2 交通条件, 設計条件

1日あたりの交通量	1900
交通量の変動率(%)	20
走行位置の標準偏差(cm)	25
アスファルトの設計年数(年)	10
路床の設計年数(年)	30
信頼性(%)	90

表 6 3 温度条件(東京の平均気温(°C))

1月	2月	3月	4月	5月	6月
5.2	5.6	8.5	14.1	18.6	21.7
7月	8月	9月	10月	11月	12月
25.2	27.1	23.2	17.6	12.6	7.9

信頼性設計法により設計した舗装構造のアスファルト混合物層の破壊年数と確率密度の関係を図 6 1 に示す。図より、信頼性設計法は、設計年数を満足するとともに、より低コストな舗装構造を設計していることが確認できた。

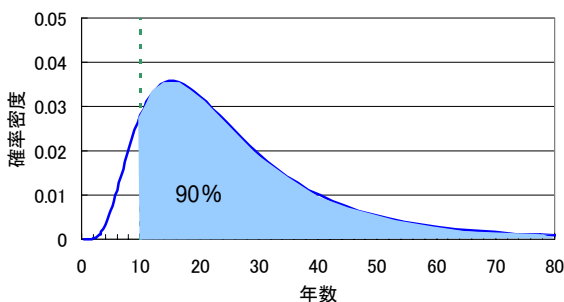


図 6 1 信頼性設計(破壊年数 コスト)

7. 結論

本研究で得られた結論は、以下の通りである。

- ・ 入力条件のばらつきが舗装の破壊年数に与える影響を検討した結果、下層路盤のばらつきは舗装の破壊年数にあまり大きな影響を与えていないことが明らかとなった。
- ・ 走行位置分布、アスファルト混合物層内の平均温度のばらつきによる舗装の破壊年数への影響は、無視できないものである。
- ・ Rosenblueth による方法を用いることでダイレクトモンテカルロ法と同程度の舗装の破壊年数予測が可能となった。
- ・ また、ダイレクトモンテカルロ法と比較して、計算回数が格段に少なく実用的である。
- ・ 遺伝的アルゴリズムを用いることにより、局地に陥ることがなく最適な設計が行なわれる。
- ・ 信頼性設計法の構築により、入力条件のばらつきを考慮した最も低コストな設計が可能となった。
- ・ 信頼性設計法の構築により、早期破壊といった問題を確率的に予測することが可能となった。

<参考文献>

- 1) (社) 日本道路協会: 「アスファルト舗装要綱」, pp.305 ~ 307
- 2) 土質学会: 「土質基礎の信頼性設計」, pp.25 ~ 30
- 3) 亀山修一ほか: 「遺伝的アルゴリズムを用いた舗装体の弾性係数の逆解析」, 土木学会論文集 V 33 No.550, 1996, pp.195 ~ 204