

## 永久ひずみが弾性ひずみに比例すると仮定したわだち掘れ量の算定法

石川工業高等専門学校 正会員 西澤 辰男

### 1. はじめに

アスファルト舗装のわだち掘れ量を推定する 1 つの方法として米国の力学的経験的設計法(ME-PDG)において採用されているやり方がある<sup>1)</sup>。それはわだち掘れの原因となる交通荷重による永久ひずみは、弾性ひずみに比例するという考え方である。本研究では、その考え方に基づいて、3DFEM によってわだち掘れ量を算定する方法を提案する。

### 2. 永久ひずみの算定法

ME-PDG では、以下のような永久ひずみ $\epsilon_p$ と弾性ひずみ $\epsilon_e$ の関係を仮定している<sup>1,2)</sup>。

$$\epsilon_p = a \cdot \epsilon_e \quad (1)$$

この式において、係数 $a$ はアスファルト混合物の場合： $a = \alpha_1 T^{\alpha_2} N^{\alpha_3}$ 、粒状材料や土質材料の場合： $a = \beta_1 N^{\beta_2}$ と表わされる。ここに、 $T$ は温度(華氏)、 $N$ は荷重の繰返し数、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2$ は、表 1 に示すような材料ごとに求まる実験定数である。

表 1 係数 $a$ のパラメータ値

アスファルト混合物			粒状材料		土質材料	
$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_1$	$\beta_2$
0.0007	1.734	0.40	0.581	0.284	2.35	0.17

ひずみは弾性成分と永久成分からなるので、 $\{\epsilon\} = \{\epsilon_e\} + \{\epsilon_p\} = \{\epsilon_e\} + a\{\epsilon_e\} = (1+a)\{\epsilon_e\}$  (2)

したがって、応力は以下ようになる。

$$\{\sigma\} = [D_e]\{\epsilon_e\} = [D_e]\{\epsilon\}/(1+a) \quad (3)$$

この関係に基づいて、FEM による定式化を行うと、剛性方程式は以下ようになる。

$$\left(\sum_i \frac{1}{1+a_i} [k_i]\right) \{d\} = \{f\} \quad (4)$$

ここに、 $[k_i]$ は要素 $i$ の剛性マトリックス、 $\{d\}$ は節点変位ベクトル、 $\{f\}$ は荷重ベクトルである。境界条件を考慮してこの式を解くと $\{d\}$ が求まる。ただし、 $\{d\}$ には弾性変形 $\{d_e\}$ が含まれているので、永久変形 $\{d_p\}$ は、 $\{d_p\} = \{d\} - \{d_e\}$ として計算する。弾性変形 $\{d_e\}$ は $a = 0$ として式を解いて求める。

### 3. 計算条件

表 2 に示す 2 つのアスファルト舗装について、前述した方法で永久変形を計算した。アスファルト層の厚さは、S1 断面は 5cm、S2 断面は 15cm であり、

舗装厚は両断面とも 45cm となっている。アスファルト層の平均温度は 20°C とし、荷重時間を 0.01 秒として弾性係数を設定した。表 1 のパラメータ値を使い、係数 $1/(1+a)$ を荷重繰返し数ごとに計算した結果を表 3 に示す。 $N$ が増えるに従って、係数は小さくなる。これは各層の弾性係数が小さくなることに相当する。図 1 に計算に用いた 3DFEM モデルを示す<sup>3)</sup>。

表 2 計算に用いた舗装構造と材料定数

	層厚(cm)		弾性係数 MPa	ポアソン比
	S1	S2		
アスファルト層	5	15	2179	0.35
粒状路盤	40	30	500	0.35
路床	500	500	80	0.35

表 3 荷重繰返し数ごとの係数 $1/(1+a)$ の値

荷重作用数	0	2.5E+05	5.E+05	1.E+06
アスファルト層	1.0	2.64E-03	2.00E-03	1.52E-03
粒状路盤	1.0	2.56E-02	2.11E-02	1.74E-02
路床	1.0	3.36E-02	3.00E-02	2.67E-02

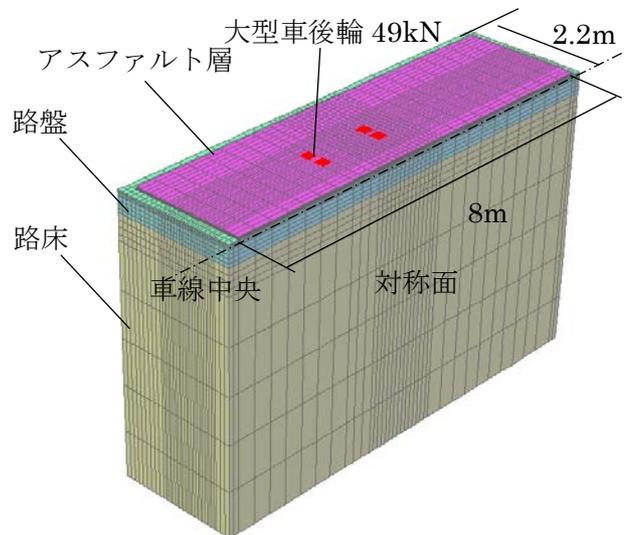


図 1 アスファルト舗装の 3DFEM モデル

### 4. 計算結果

$N$ が 0 (弾性たわみ)、1000、および 1,000,000 のときの断面方向の各層上面での永久たわみの形状を図 2 に示す。これらの曲線の差が各層の永久変形量になる。全体の永久たわみの約半分は路床の沈下になっている。永久たわみの最大値は S1 で 39mm、S2 で

キーワード：アスファルト舗装，わだち掘れ量予測，弾性ひずみ比例型，ME-PDG，3DFEM

連絡先：929-0392 河北郡津幡町北中条 石川工業高等専門学校 環境都市工学科，TEL:076-288-8167

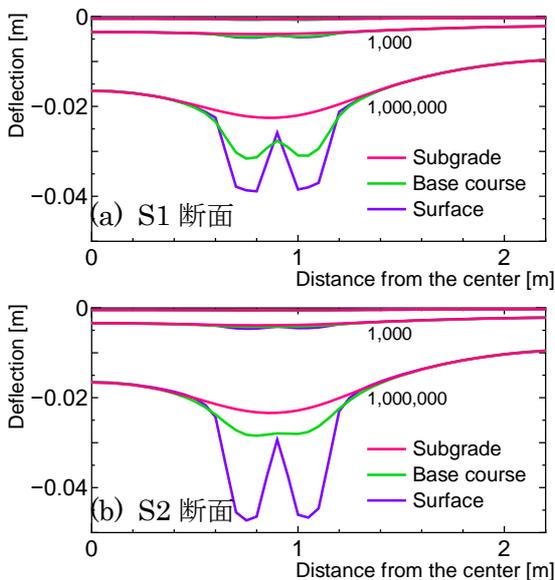


図2 計算された横断方向の永久たわみ形状

47mm であり, アスファルト層の厚いほうが大きい. S1 においては, アスファルト層と路盤層の永久変形はほぼ等しいが, S2 ではアスファルト層の変形が路盤のおおよそ4倍になる.

図3 はたわみ形状の最大値と最小値の差, すなわち, わだち掘れ量の荷重繰返し数による変化を示している. 初期に大きく変形し, 500,000 回以降後は一定の割合で増加していく. やはり, S2 においてはアスファルト層の変形が顕著であり, わだち掘れ量はアスファルト層が厚いほうが大きくなる.

車輪走行位置のばらつきを考慮するために, 通過回数の1/2が平均走行位置を, 1/4がその両側0.2mずつずらした走行位置を仮定して計算した. その際, 最初に平均走行位置に500,000回通過させ, 永久たわみ形状を求める. その後, 250,000回ずつ左右に0.2mずらした位置に走行させる. その永久たわみは, 図3の後半のNと永久たわみが比例する部分の増分を, 図4に示すような増分たわみ形状として単純に加えることとした. その結果を図5に示す. 破線が走行位置一定とした場合の永久たわみ形状であり, 実線がずらした場合のものである. 走行位置をずらした場合の永久たわみは小さくなり, 凹む部分は広がる.

4. まとめ

舗装体内の永久ひずみが弾性ひずみに比例するという考え方に基づいたわだち掘れ算定法を提案した. その結果, 永久たわみの半分は路床で発生するが, わだち掘れ量としては, アスファルト層と路盤層のそれが支配的である. 特にアスファルト層が厚いとわだち掘れ量は大きくなる. 今後, 実際の舗装の永久たわみやわだち掘れ量による検証を行いたい.

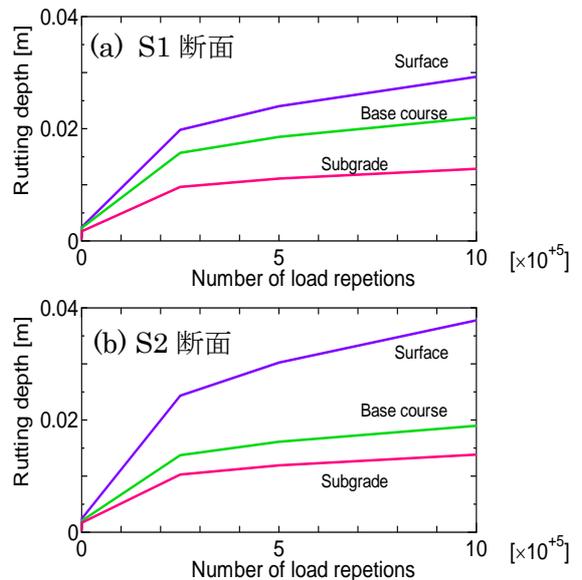


図3 荷重繰返しによるわだち掘れ量の進行過程

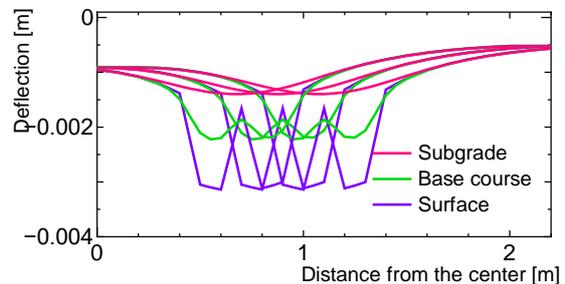


図4 走行位置をずらした場合の永久たわみ増分

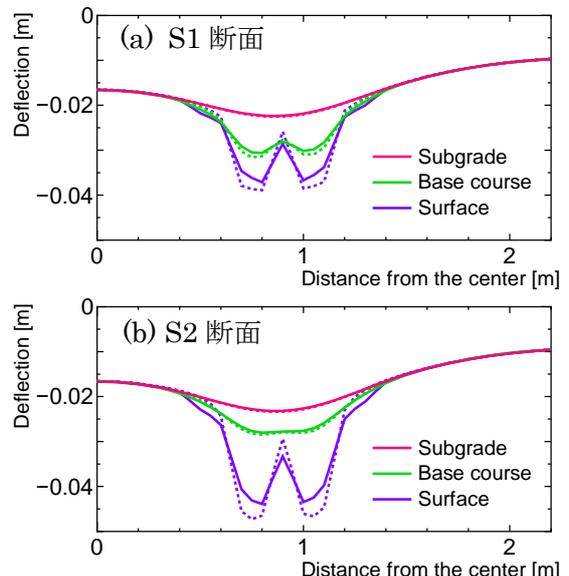


図5 走行位置をずらした場合の永久たわみ形状

参考文献

- 1) ARA, Inc, ERES Consultants Division, Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, National Cooperative Highway Research Program Project 1-37A, 2004.
- 2) 土木学会舗装工学委員会舗装教育小委員会, 舗装工学ライブラリー7 舗装工学の基礎, 土木学会2012.
- 3) 西澤辰男, 3次元FEMに基づいたコンクリート舗装構造解析パッケージの開発, 土木学会舗装工学論文集, Vol.5, pp.112-121, 2000.