アスファルト混合物層の粘弾性変形

東北大学工学部　学生員○福田　雅旨
〃　　　　正　員　福田　　正
〃　　　　正　員　村井　貞規

1．はじめに

アスファルト舗装構造の力学的挙動を解析する際，通常弾性理論に基づいて検討がなされているが，わだちぼれ，走行速度の増加によるたわみ変形の減少といった時間を伴う現象は弾性理論では説明することができない。このような挙動に対しては，応力とひずみの関係に時間の影響を考慮に入れることが必要である。本研究では，アスファルト混合物を粘弾性体と考えて，２層構造に停止荷重，走行荷重がかかる場合の舗装表面におけるたわみ変形を理論的に解析し，さらに実験から得られた粘弾性定数値による数値解析結果を示し，若干の考察を加えた。

2．解析方法

本研究では図１に示すような第１層が粘弾性体，第2層が弾性体の２層構造に，円形等分布荷重が載荷される場合を考える。この場合の応力とひずみの関係式は“弾性－粘弾性対応の原理”により求められる。この関係式は応力とひずみの関係を線形微分演算子を用いて，偏差応力と偏差ひずみの関係および平均応力と体積ひずみの関係として一般に表わされる。ただし，ここでは後者の関係については舗装材料のポアソン比νを 0.5 すなわち体積弾性係数Kを無限大に仮定する。

この場合の粘弾性体の挙動は次の式で表わされる。

$$P(t)\,S_{ij} = Q(t)\,e_{ij} \qquad (1)$$

ここで

S_{ij} = 偏差応力 $= \sigma_{ij} - (\frac{1}{3})\delta_{ij}\sigma_{kk}$

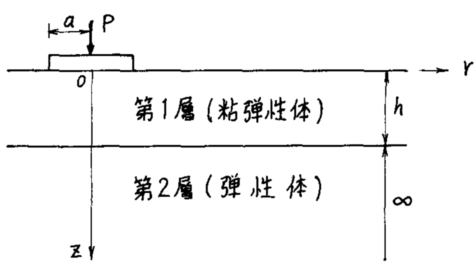
e_{ij} = 偏差ひずみ $= \varepsilon_{ij} - (\frac{1}{3})\delta_{ij}\varepsilon_{kk}$

σ_{ij} = 応力成分

ε_{ij} = ひずみ成分

δ_{ij} = クロネッカーのデルタ

$$P(t) = \sum_{r=0}^{m} a_r \frac{\partial^r}{\partial t^r}\ , \qquad Q(t) = \sum_{r=0}^{n} b_r \frac{\partial^r}{\partial t^r}$$



$P = 8\ \mathrm{ton}$, $a = 20\ \mathrm{cm}$, $h = 15\ \mathrm{cm}$

図 1

である。弾性体においてこれに対応する式は

$$S_{ij} = 2G\,e_{ij} \qquad (2)$$

で，Gはせん断弾性係数である。式(1)と(2)を比較すると

$$2G = \frac{Q(t)}{P(t)} = \sum_{r=0}^{n} b_r \frac{\partial^r}{\partial t^r} \Big/ \sum_{r=0}^{m} a_r \frac{\partial^r}{\partial t^r} \qquad (3)$$

となる。ヤング係数Eとポアソン比νは先の非圧縮性材料の仮定によりGとKによって次のように表わされる。

$$E = 9KG/(3K+G) = 3G \qquad (4a)$$

$$\nu = (3K-2G)/(6K+2G) = 0.5 \qquad (4b)$$

ここで式(1)にラプラス変換をほどこすと，時間tに関してラプラス変換された変数を，対応する変数の上に＊印をつけて表わすとすれば次のようになる。

$$P(S)\,S_{ij}^{*} = Q(S)\,e_{ij}^{*}$$

ここで

$$P(S) = \sum_{r=0}^{m} a_r S^r, \qquad Q(S) = \sum_{r=0}^{n} b_r S^r$$

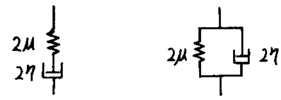
である。これにより変換されたせん断弾性係数 G^* は次のように定義される。

$$G^* = \frac{1}{2}\,\frac{S_{ij}^{*}}{e_{ij}^{*}} = \frac{1}{2}\,\frac{Q(S)}{P(S)} \tag{6}$$

すなわち，線形弾性理論における応力とひずみの関係式の G を G^* で対応させ，さらに荷重関数 q をラプラス変換後の荷重関数 q^* で対応させることにより変換領域での式が得られる。

ここで偏差応力に対する材料の挙動が図2(a)に示すようなMaxwellモデルで仮定されるとすれば，せん断弾性係数 G の変換値 G^* は次のようになる。

$$G^* = \frac{1}{2}\,\frac{2\eta S}{1+\eta/\mu \cdot S} = \frac{\eta S}{1+\tau S} \tag{7}$$



(a)　(b)

図 2

ここで τ はリラクセーションタイムを表わしている。

式(4a)と(7)からヤング係数 E の変換値 E^* は次のようになる。

$$E^* = \frac{3\eta S}{1+\tau S} \tag{8}$$

本研究では2層構造に関するBurmister弾性理論解をもとに，これに前述の“対応の原理”を適用し，弾性解の中の E，q を E^*，q^* で置きかえ，それにラプラス逆変換をほどこすことにより粘弾性2層構造の理論解を得た。アスファルト混合物の停止荷重に対する挙動を図2(a)のMaxwellモデルで，走行荷重に対する挙動を図2(b)のVoigtモデルで仮定することにより舗装表面のたわみ変形挙動を解析した。さらにアスファルト混合物の一軸圧縮クリープ試験より，Maxwellモデルで表わした際のモデル定数値を温度毎に求め，その値を用いて舗装表面の残留変形量の数値解析を行なった。その結果を示すと図3のようになる。

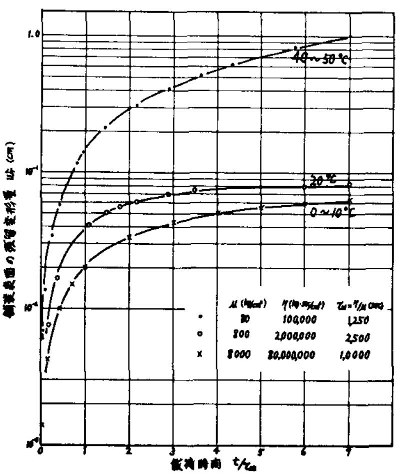


図 3

3．結論

以上の検討の結果，次のように結論される。

アスファルト混合物の粘弾性をMaxwellモデルあるいはVoigtモデルで仮定することにより，舗装の時間に依存する変形挙動が説明される。わだちぼれに対してはMaxwellモデルが，走行荷重による変形挙動に対してはVoigtモデルがそれぞれ考えられる。