

3DFEM によるアスファルト舗装のわだち掘れ解析

石川工業高等専門学校 正会員 西澤辰男
 石川工業高等専門学校 山田英雄
 石川工業高等専門学校 学生員 横川尚佳

1. まえがき

アスファルト舗装のわだち掘れは舗装の主要な破損であることから、わだち掘れの予測方法が数多く提案されている。本研究では、舗装の構造解析に基づいたわだち掘れの予測法の確立を目的としている。本研究が目指すわだち掘れ予測システムは、3DFEM による構造解析に基づいたもので、アスファルト混合物の粘弾性的な性状を直接モデルの中に組み込む。アスファルト混合物の粘弾性的な性状はホイールトラッキング試験結果から求める。このようなシステムによって、ホイールトラッキング試験結果を直接わだち掘れ予測に使用することができる。ここでは、中心となる構造解析システムについて述べる。

2. 3DEFEM モデル

アスファルト舗装の構造解析には pave3D を用いる¹⁾。pave3D は図-1 に示すようなモデル化を行う。アスファルト混合物の粘弾性的な性状は 4 要素の Burger モデルで表現した。このようなアスファルト混合物の粘弾性的な性状ならびに走行荷重を扱うために、以下のような中心差分形式の運動方程式を用いた。

$$\left([\mathbf{K}_e] + \frac{[\mathbf{M}]}{\Delta t^2} \right) \{\Delta \mathbf{d}\}_n = \{\mathbf{f}\}_{n+1} - \{\mathbf{f}_e\}_n - [\mathbf{K}_v]_n \{\mathbf{d}\}_n \Delta t + \{\mathbf{f}_p\}_n \Delta t + \frac{[\mathbf{M}]}{\Delta t^2} \{\Delta \mathbf{d}\}_{n-1} \quad (1)$$

ここに、 \mathbf{K}_e : 剛性マトリックス、 \mathbf{M} : 質量マトリックス、 \mathbf{K}_v : 粘性項マトリックス、 \mathbf{d} : 変位ベクトル、 \mathbf{f} : 外力ベクトル、 \mathbf{f}_e : 前ステップの釣り合い力ベクトル、 \mathbf{f}_p : 粘性項ベクトル、 Δt : 時間増分である。

また、山田によれば、応力増分は以下のように計算できる。

$$\{\Delta \sigma\} = \{\dot{\sigma}\} dt = [\mathbf{D}_e] \{\dot{\varepsilon}\} dt + [\mathbf{D}_v] \{\varepsilon\} dt - [\mathbf{P}] \{\sigma\} dt \quad (2)$$

ここに、 $\{\sigma\}$: 応力ベクトル、 $\{\varepsilon\}$: ひずみベクトル、 \mathbf{D}_e : 弾性マトリックス、 \mathbf{D}_v 、 \mathbf{P} : 粘性マトリックスである。これらの式を pave3D に導入し、動的粘弾性解析プログラムを作成した。

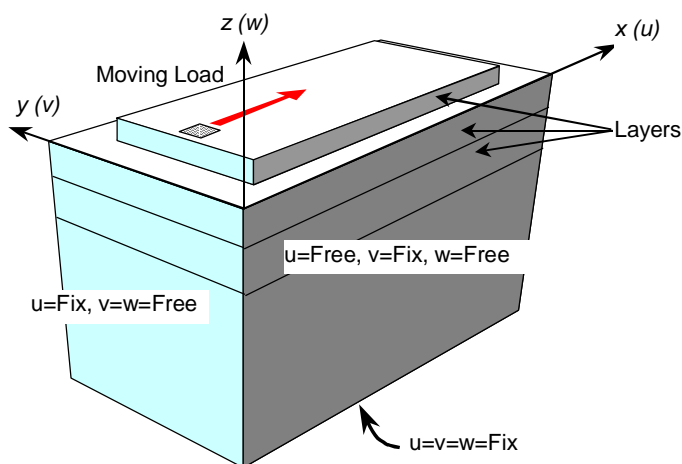


図-1 舗装構造の 3DFEM モデル

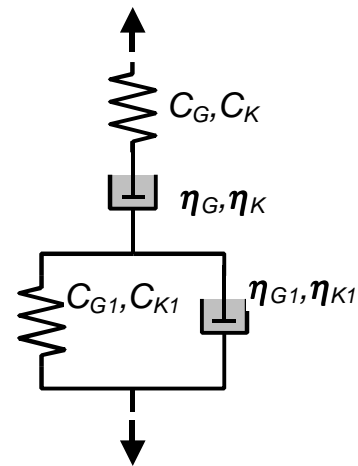


図-2 Burger モデル

走行荷重をモデル化するためには、以下のような単純な方法を採用した。すなわち、路面に接するタイヤ荷重を長方形等分布荷重で置き換える。時間とともにこの荷重は移動するので、タイヤが接する要素の表面も移動することになる。図-3 に示すように時間ごとに移動する接地面がかかるすべての要素の表面に等分布荷重を作用させる。ただし、その荷重強度は、要素の受け持つ荷重に対応させる。たとえば図-3 において、荷重強度 p の長方形荷重が 1 つの要素に面積 a だけ重なるとする。その要素の面積が b であれば、その要素が受け持つ荷重を $a \cdot p$ をその要素全体に荷重強度 $a \cdot p / b$ の等分布荷重作用させる。時間ステップごとに、荷重接地面の位置を計算し、接地面にかかる要素の表面とその荷重の受け持ち量を計算して、対応する荷重ベクトルを作成していくのである。

3. 解析条件

図-4 に示すような要素分割を用いた。大型車後軸のタンデム軸(軸重 98 kN)を車線中央に走行させた。構造及び荷重の対称性を考慮し、車線中央を対称面として半分のみを要素分割した。層構成、アスファルト混合物以外の材

料性状に関する計算条件を表-1 に示す．表-2 にアスファルト混合物のレオロジーパラメータを示す．粘性項についてはせん断，体積両成分で同じとし，大小2種類を設定した．速度は20km/h と60km/h の2種類とし，合計8ケースの材料モデルを想定した．

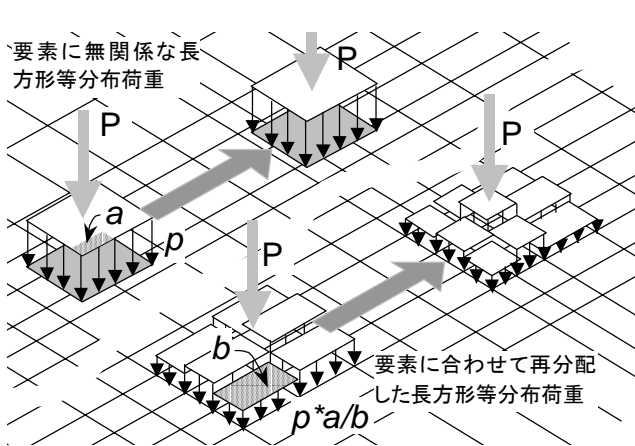


図-3 移動荷重のモデル化

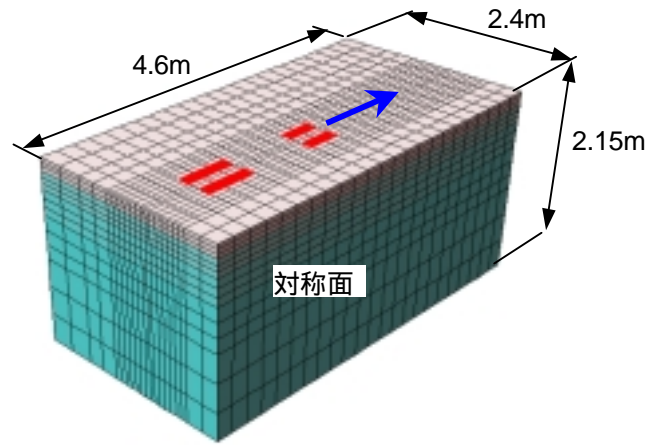


図-4 要素分割

表-1 計算条件

アスファルト層の厚さ	15 cm
アスファルト混合物のポアソン比	0.35
路盤の厚さ	20 cm
路盤の弾性係数	980 MPa
路盤のポアソン比	0.35
路床の厚さ	180 cm
路床の弾性係数	49 MPa
路床のポアソン比	0.45

表-2 アスファルト混合物のレオロジーパラメータ

Case	$1/C_G$ [MPa]	$1/C_{G1}$ [MPa]	$\eta_G = \eta_K$ [MPa*s]	$\eta_{G1} = \eta_{K1}$ [MPa*s]	V [km/h]
1	1815	36.3	9.8	9.8	20
2	1815	36.3	980	980	20
3	182	36.3	9.8	9.8	20
4	182	36.3	980	980	20
5	1815	36.3	9.8	9.8	60
6	1815	36.3	980	980	60
7	182	36.3	9.8	9.8	60
8表	182	36.3	980	980	60

4. 解析結果

図-5 は荷重が解析領域を通り過ぎたあとに残留した変形を示している．タイヤの走行位置にわだち掘れが生じていることが分かる．図-6 はタイヤ走行直下の表面たわみの時間変化を示している．2つのピークはタンデム軸が通過したときのたわみである．走行速度が小さい場合，粘性係数が小さいと粘性項が力を受け持たないので，Maxwellの弾性項の値の大小にかかわらず同じような挙動を示す．粘性係数が大きいとたわみはMaxwellの弾性係数に影響を受ける．残留たわみは，粘性係数の大きい方がやや大きくなっている．走行速度が大きい場合，たわみは走行速度が小さい場合に比べ減少する．特に粘性係数が小さいと減少の度合いは大きい．やはり，粘性係数が小さいとMaxwellの弾性係数の影響は小さく，全体的にたわみは大きくなる．粘性係数が大きいと，Maxwellの弾性係数が大きいほどピークのたわみは小さい．残留変形は走行速度の大きいほど大きい．

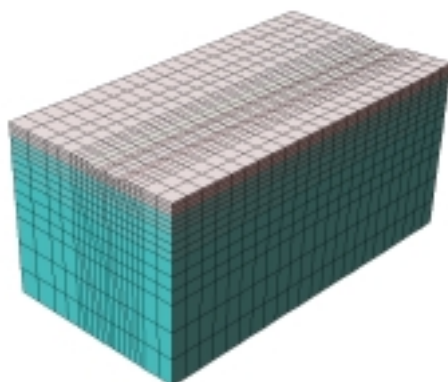


図-5 わだち掘れの状況

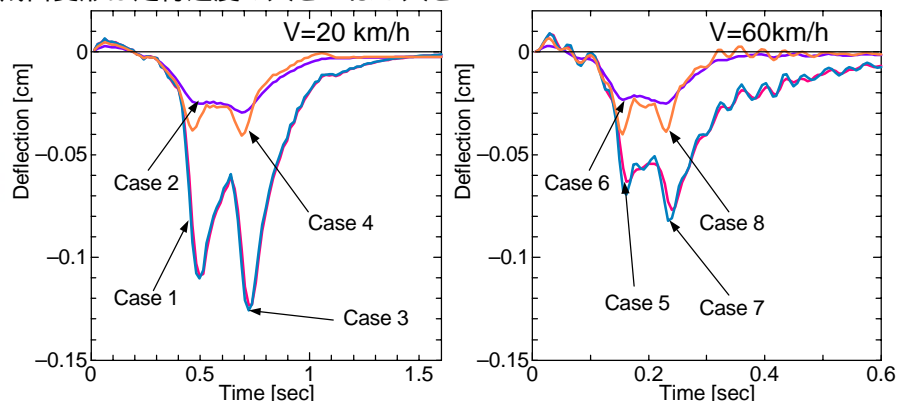


図-6 タイヤ走行位置のたわみの時間変化

5. まとめ

3DFEM による動的粘弾性解析によってアスファルト舗装のわだち掘れシミュレーションを試みた．粘性係数や速度の影響が大きいことが確認できた．アスファルト混合物のレオロジーパラメータの決定が今後の課題である．

参考文献

1)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, 2000.