

重荷重の低速走行を考慮したアスファルト舗装の粘弾性解析

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○桃谷尚嗣 関根悦夫

1. はじめに： 近年、鉄道貨物駅のコンテナヤードでは環境対策の一環であるモーダルシフトを背景としたコンテナの大型化と荷役作業の増加に伴い、大型荷役機械の導入が進んでいる。貨物コンテナヤードでは輪荷重の最大値が 400kN～500kN に達する荷役機械（フォークリフト）が低速で走行するが、アスファルト舗装は粘弾性的な性質を持つため、その変形特性は载荷速度の影響を強く受けると考えられる。これまで、静的な多層弾性解析を用いて低速走行の影響を考慮した評価方法が提案されているが¹⁾、実現現象をより定量的に再現するためには、粘弾性を考慮した三次元有限要素解析が適していると考えられる。そこで、本研究では重荷重の荷役機械が低速で走行する場合を対象として、LS-DYNA を用いて粘弾性を考慮した三次元有限要素解析を行った。

2. 解析方法： はじめに解析モデルの妥当性を検証するため、図 1 に示すモデルによる解析を行い、荷役機械タイヤの接地面積に相当する 500mm×500mm の矩形ゴム載荷板を用いた定点繰返し载荷試験¹⁾との比較を行った。解析ではアスファルト混合物層を粘弾性体とし、路盤、路床および基盤は材料の速度依存性が小さいと考えられることから弾性体とした。また、ゴム載荷板には速度依存性があると考えられるが、本解析ではアスファルト混合物層の速度依存性を明確にするため弾性体とした。

アスファルト混合物層に適用した粘弾性モデルを図 2 に示す。また、解析に用いた物性値を表 1 および表 2 に示す。本解析で使ったモデルでは粘弾性による時間効果は緩和弾性率 $G(t)$ として式(1)のように示される。なお、 τ は緩和時間であり式(2)で表される。

$$G(t) = G_e + G_i e^{-(t/\tau)} \quad (1)$$

$$\tau = \eta / G_i \quad (2)$$

アスファルト混合物層と粒度調整碎石層の間は摩擦係数を与えて、 $\mu = 0.5$ とし、その他の層間は連続とした。

さらに、車両が走行する場合の変形特性を検討するため、図 3 のようにトラックタイヤのモデルを走行させた解析を行い、走行速度の影響を検討するとともに、実測値と比較を行った。なお、タイヤの空気圧および剛性は実測の接地圧分布¹⁾と合うように設定した。

3. 解析結果： 定点载荷の解析により得られたアスファルト混合物層下面のひずみ波形の例を図 4 に示す。なお、ここでは実測においてひずみゲージを設置した深さ（下面から 39mm）で比較することとし、図中に示すように、定常状態となったときの全振幅量につい

キーワード：アスファルト、粘弾性、解析

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 軌道・路盤 Tel 042-573-7276

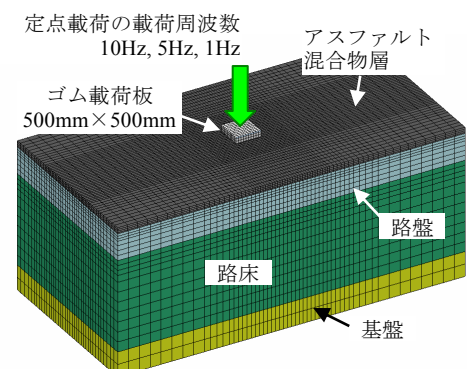


図 1 LS-DYNA の解析モデル(定点载荷の場合)

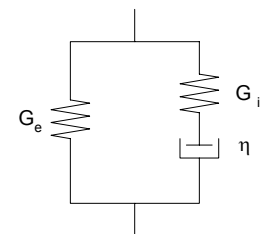


図 2 アスファルト混合物の粘弾性モデル

表 1 解析に用いたアスファルト混合物の物性値

G_i (MN/m ²)	G_e (MN/m ²)	β^{*1}	ポアソン比
7770	2230	60.0	0.35

*1 解析では $\beta = 1/\tau$ を入力。

表 2 解析に用いた物性値

要素	弾性係数 (MN/m ²)	ポアソン比	密度 (t/m ³)	厚さ (mm)
ゴム載荷板	10	0.49	1.14	100
アスファルト 混合物	粘弾性	0.35	2.3	125
路盤 (粒度調整碎石)	280	0.4	2.3	539
路床 (礫質砂)	70	0.45	1.8	1836
基盤 (コンクリート)	25,000	0.2	2.3	500

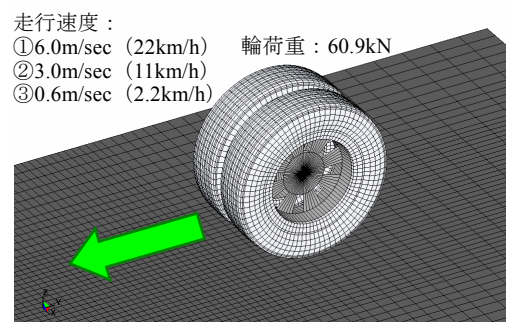


図 3 タイヤ走行の解析モデル

て評価を行った。実測と解析の比較を図5に示す。実測と解析の結果は概ね一致しており、载荷周波数が小さくなるとアスファルト層下面のひずみが大きくなる結果が得られた。このときのアスファルト舗装表面の変位分布を図6に示す。アスファルト舗装表面の変位については実測、解析ともに载荷周波数の影響が比較的小さい結果が得られた。なお、実測ではアスファルト混合物のひずみとは反対に10Hzの場合に変位が大きくなったが、解析においてもその傾向が再現されていることがわかる。

一方、タイヤを走行させた解析におけるアスファルト舗装表面の変位分布(タイヤが位置0mmにあるとき)を図7に示す。タイヤ走行の解析においても変位に対する走行速度の影響は比較的小さかったが、定点载荷の場合の変位振幅量とは傾向が異なり、走行速度が小さい場合に变位が大きくなった。タイヤ走行時のアスファルト混合物下面のひずみ波形を図8に示す。走行速度が遅くなるとひずみは大きくなり、走行速度が6m/sから0.6m/sに低下すると、ひずみが2倍程度に増加することがわかった。走行速度0.6m/sの場合のひずみ波形の実測値を図9に示す。実測のひずみはややばらつきがあるが、 $150 \sim 200 \times 10^{-6}$ 程度であり、実測の方がやや大きい傾向であるものの、解析と概ね一致していることが確認できた。

4. おわりに： LS-DYNAを用いて粘弾性を考慮した三次元有限要素解析を行うことにより、アスファルト混合物層の速度依存性を定量的に推定できることを確認した。しかしながら図10に示すように、本解析で使用した粘弾性モデルとパラメータでは、静的に荷重を与えると比較的早い段階でひずみの増加が収束するため、長時間载荷された場合のアスファルト舗装のクリープを表現することは難しい。そこで、今後は停車時のクリープを考慮できるよう、広い時間領域を表現できる粘弾性モデルの適用を検討する予定である。

謝辞： 動的解析におけるパラメータの設定の考え方について東京電機大学の松井邦人教授に御指導をいただいた。ここに感謝の意を表する。

<参考文献> 1) 桃谷尚嗣, 関根悦夫, 真鍋和則, 中菌裕: 重荷重の低速走行によるアスファルト混合物層のひずみ推定方法, 土木学会舗装工学論文集 第11巻, 2006.12

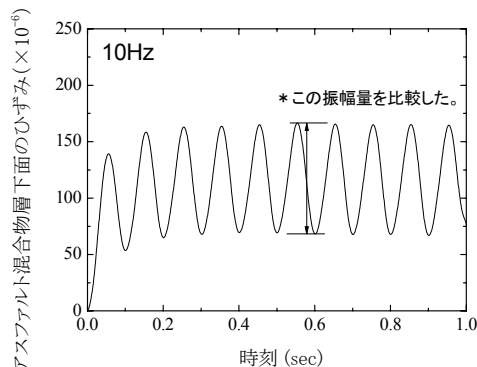


図4 アスファルト混合物層下面のひずみ波形

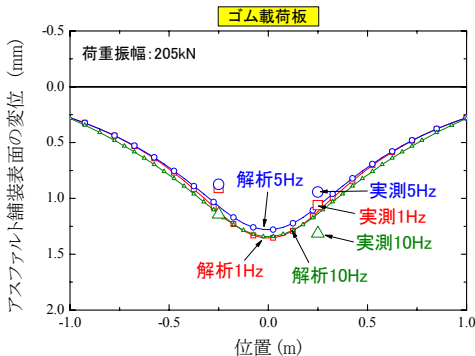


図6 アスファルト舗装表面の変位分布

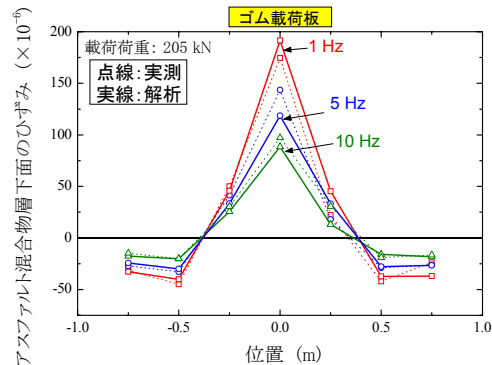


図5 アスファルト混合物層下面のひずみ分布

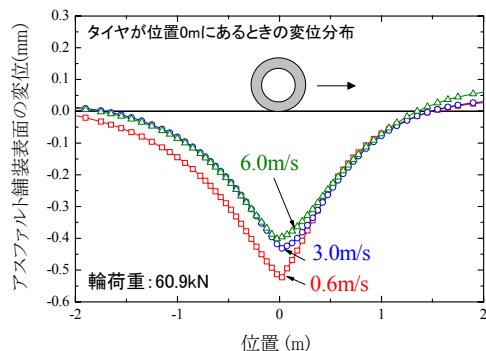


図7 タイヤ走行時の変位分布

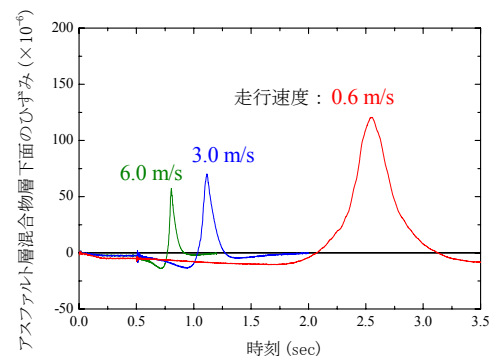


図8 アスファルト混合物層下面のひずみ波形

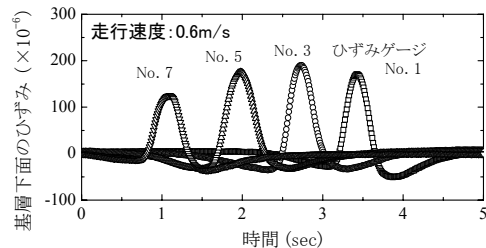


図9 トラック走行時のひずみ波形の実測値¹⁾

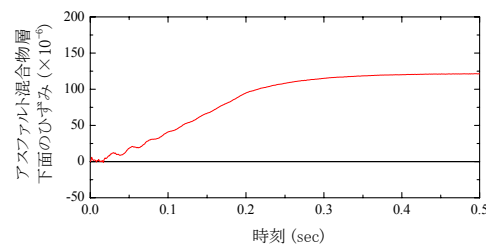


図10 静的载荷時のひずみ