

荷役機械の低速走行時におけるアスファルト舗装踏切の粘弾性解析

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○伊藤孝記 桃谷尚嗣 関根悦夫

1. はじめに：貨物のコンテナヤードにおいて、近年コンテナの大型化に伴い輪荷重の大きな荷役機械が導入され、アスファルト混合物層（以下、アスコン層）に作用する荷重が増大したことにより、図 1 に示す貨物ホームのアスファルト舗装踏切において、輪荷重の大きな荷役機械を考慮した設計方法の開発が必要とされている。これまで、LS-DYNA による粘弾性解析でアスコン層の速度依存性を考慮した解析方法が提案してきたが¹⁾、実際の設計では簡易な静的線形弾性解析を適用するのが合理的であると考えられる。そこで、本研究ではアスファルト舗装踏切の実物大試験（定点繰返し載荷）を行い、粘弾性解析および静的線形弾性解析に用いるアスコン層の粘弾性のパラメータおよび速度依存性を考慮した弾性係数を同定した。この結果を踏まえて粘弾性解析によるタイヤの走行解析を行い、静的線形弾性解析で得られたひずみと比較した。

2. 実物大試験と解析の比較：実物大試験では、大型荷役機械タイヤの接地面を模擬した500mm×500mmのゴム載荷板を用いて繰返し載荷試験²⁾（正弦波：1Hz, 5Hz, 10Hz）を行った。

粘弾性解析にはLS-DYNAを用いた。アスコン層は速度依存性を有するため粘弾性体とし、その他は弾性体とした。アスコン層の粘弾性モデルは、図2示すMaxwellモデルを6個並列に結合した一般化Maxwellモデルを用いた。粘弾性による緩和弾性率は、 $g(t)$ として式 (1) に表される。なお、 τ_i は緩和時間であり式 (2) に表される。

$$g(t) = \sum_{i=1}^6 G_i e^{-\beta_i t} \tag{1}$$

$$\tau_i = \eta_i / G_i \tag{2} \quad \text{※解析では } \beta_i = 1/\tau_i \text{ を入力}$$

アスコン層とバラスト間、アスコン層とまくらぎ間、まくらぎとバラスト間の摩擦係数を 0.5 と設定し、アスコン層上面とゴム載荷板間の摩擦係数を 0.4 と設定した。

このモデルを用いて実物大試験で得られたひずみと合うようにアスコン層の粘弾性のパラメータを同定した。表 1 に同定した粘弾性のパラメータを示し、表 2 にアスコン層以外の物性値を示す。

図 3 に示すとおり荷重振幅 200kN 時のアスコン層の引張ひずみについて実物大試験から同定した G_i と η_i を用いた粘弾性解析により得られた引張ひずみは、載荷周波数 1Hz, 10Hz については実物大試験結果と概ね一致したが、5Hz では実物大試験結果の方が大きい結果となった。

静的線形弾性解析にはNastranを用いた。解析に用いた物性値は、アスコン層以外は粘弾性解析と同じ値とした。載荷周波数を考慮してアスコン層の弾性係数を適切に設定することで、実験結果と概ね一致することわかった²⁾。

3. 粘弾性解析による走行解析：実物大試験から同定した粘弾性のパラメータを用いて荷役機械の走行時における

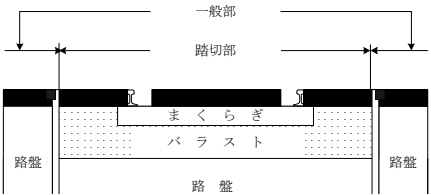


図 1 アスファルト舗装踏切構造

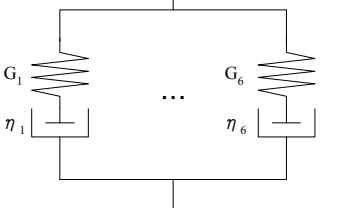


図 2 アスコン層の粘弾性モデル

表 1 アスコン層のパラメータ

	せん断係数 Gi[N/mm ²]	せん断減衰定数 βi	ポアソン比ν	密度 (g/cm ³)
1	6667	19	0.35	2.3
2	2222	15		
3	1667	1		
4	1296	0.1		
5	1111	0.01		
6	926	0		

表 2 解析に用いた物性値

項目	弾性係数E (MN/m ²)	ポアソン比ν	密度 (g/cm ³)
レール	210000	0.3	7.85
まくらぎ	10000	0.3	1.0
バラスト	200	0.3	1.5
路盤 (セメント安定処理)	3000	0.25	2.3
路床	67	0.35	1.8

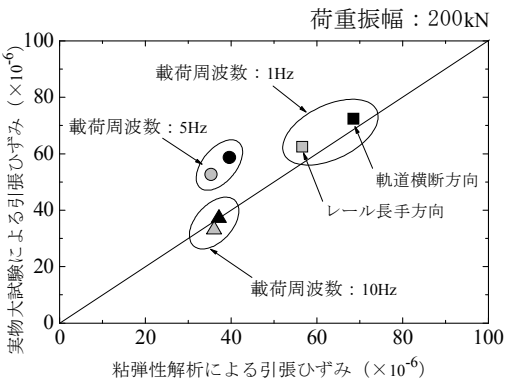


図 3 アスコン層の引張ひずみ
(粘弾性解析と実物大試験結果の比較)

アスコン層のひずみを推定するため、代表的な荷役機械種別(12ft, 20ftフォークリフトおよびトップリフター40ft) についてタイヤを走行させた粘弾性解析を行うこととした。

図4に解析モデルを示す。モデルの物性値および境界条件は実物大試験を考慮して設定し、またアスコン層とタイヤの摩擦係数は0.4とした。タイヤの走行速度は0.4m/secおよび4.0m/secの二通りとした。

図5に走行方向(軌道横断方向)のアスコン層のひずみを示す。走行速度が遅くなるにつれアスコン層のひずみは大きくなることわかった。この結果から、載荷周波数の波長が広くなることにより引張ひずみは大きくなることが確認された。

4. 粘弾性解析と静的線形弾性解析との比較：一般的に荷役機械をはじめとする車両の踏切横断時は低速走行であることから、設計においても低速走行時を想定する必要がある。そこで、静的線形弾性解析におけるアスコン層の速度依存性を考慮した弾性係数の同定方法を検討することとした。実物大試験の載荷周波数を考慮して同定したアスコン層の弾性係数を用いて荷役機械別のタイヤ幅で載荷した静的線形弾性解析と、実物大試験から同定した粘弾性のパラメータを用いて行った低速走行時の粘弾性解析の比較を行った。比較は走行速度0.4m/secおよび4.0m/secの粘弾性解析の結果と、載荷周波数1Hzおよび5Hzに相当するアスコン層の弾性係数を用いた静的線形弾性解析の結果とした。

走行速度0.4m/secの場合、図6 (a) に示すとおり12ftと20ftは粘弾性解析の結果が静的線形弾性解析よりもやや大きく、40ftでは1.5倍程度に大きくなった。これについて、粘弾性解析のひずみの波長に着目すると12ftおよび20ftのひずみの波長は概ね0.7Hzに相当するため、載荷周波数1Hzに相当する弾性係数を用いた静的線形弾性解析の結果よりもやや大きくなったと考えられる。また、40ftのタイヤ走行時のひずみの波長は0.5Hz程度に相当することから、載荷周波数1Hzに相当する弾性係数を用いた静的線形弾性解析の結果よりも大きくなったと考えられる。

走行速度4.0m/secの場合、図6 (b) に示すとおり12ftと20ftおよび40ftは、粘弾性解析の結果が静的線形弾性解析よりも若干大きくなる結果となったが、粘弾性解析のひずみの波長に着目すると5Hz程度に相当することから、載荷周波数5Hzに相当する弾性解析を用いた静的線形弾性解析の結果よりも若干大きくなるものの、概ね一致していると考えられる。

5. おわりに：以上の結果から、荷役機械別のタイヤ幅(載荷幅)および載荷周波数(載荷時間)を考慮したアスコン層の弾性係数を設定することにより、アスコン層の粘弾性を考慮したタイヤ走行時のひずみを静的線形弾性解析により概ね正しく推定できると考えられる。

謝辞：粘弾性解析について東京電機大学の松井邦人教授にご指導をいただいた。ここに感謝の意を表する。

《参考文献》

- 1) 桃谷尚嗣, 関根悦夫: 重荷重の低走行を考慮したアスファルト舗装の粘弾性解析, 土木学会第 63 回年次各術講演会, 2008.9
- 2) 伊藤孝記, 桃谷尚嗣, 関根悦夫: 列車と荷役機械の荷重を受ける軌道・路盤の設計方法の検討, 第 44 回地盤工学会研究発表会, 2009.8

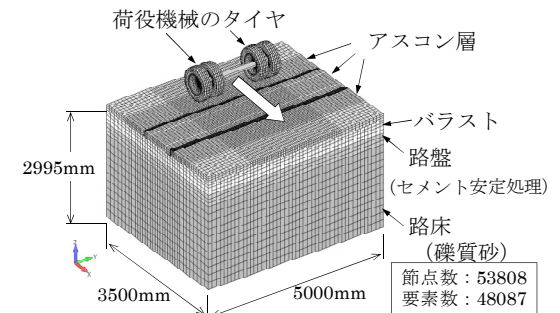


図4 粘弾性解析の解析モデル

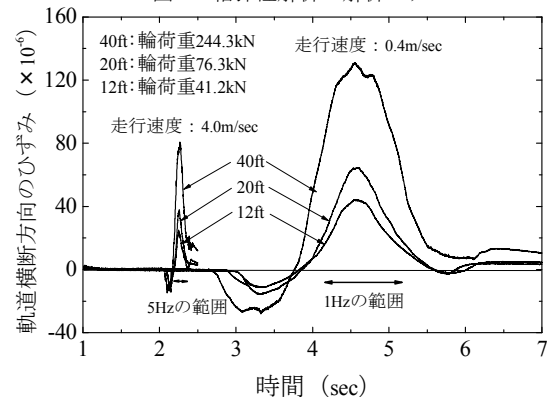
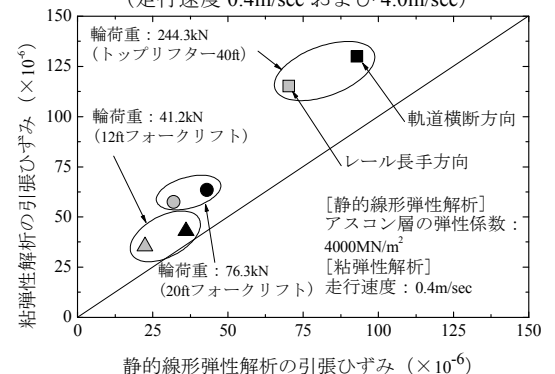
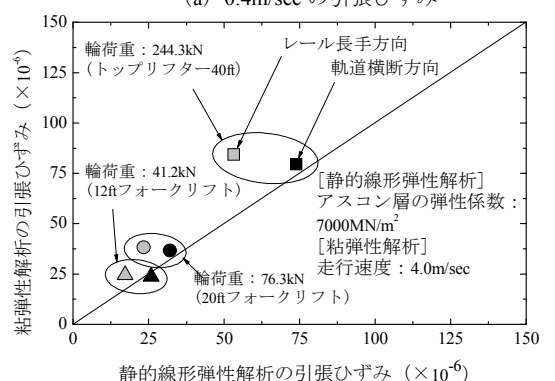


図5 軌道横断方向のひずみと時間の関係
(走行速度 0.4m/sec および 4.0m/sec)



(a) 0.4m/sec の引張ひずみ



(b) 4.0m/sec の引張ひずみ

図6 粘弾性解析と静的線形弾性解析の比較