

電源開発(株) 正員 石井 好正
 埼玉大学工学部 正員 秋山 茂興
 埼玉大学工学部 正員 奥村 敏恵

1. はじめに 本州四国連絡橋には鉄道と道路の併用橋が計画されているが、ここでは車両の走行中に橋梁が水平方向に振動した場合を想定し、水平方向に振動する軌道上を走行する車両の動的挙動とその安全性について報告する。本研究は国鉄仕様の1/5模型車両を用いた模型実験と、実験に用いた模型車両を力学的モデルにおまかえて電算機で解析するモデル解析からなっている。対象とした車両はワラ1形2軸貨車とホキ300形2軸ボギー貨車である。模型車両の相似律を表-1に示す。車両の積載状態は荷重満載状態(積車)と車両の右半分に荷重を偏載した状態(片積)の2つを考えて実験及びモデル解析を行なった。

表-1

長さ	質量	時間	慣性モーメント	速度	加速度	振動数	ばね定数	減衰定数	力
1/5	1/25	1/15	1/3125	1/15	1/1	15/1	1/25	1/2515	1/125

2. モデル解析 次にモデル解析について述べる。計算順序としては、独立変数でばね力等の運動方程式をたてるうえで必要力を計算し、輪重は車輪軸の釣合条件から求め、横圧はクリープカとレール小返りの和として求めた。クリープは線型クリープ理論に従った。また計算途中で車体の動揺が大きくなると輪重が負(レールと車輪が引張り)という状態が生じることがある。このときは負になった車輪の輪重を0とし、もう一方の車輪に半車体分の重量が作用するものとして、車輪軸の釣合条件からバネ力を計算しなおすことにした。それと車体の大きな動揺を考慮するために、車体のローリングやヨーイングの運動方程式をたてる際に、ばね力によるモーメントのうで長さを車体の回転角の関数と考えた。この点とばねの非線型特性を取り入れるために、計算法としてはRunge-Kutta-Gill法を用いて、電算機によって数値解析を行なった。モデルの自由度のうち、本解析では水平に振動する車両の解析を行なうため、車体、車輪軸及びボギー貨車の台車の前後動、上下動、ピッチングの自由度は省略した。さらに車輪はレールから浮き上がることもその量はわずかととて車輪軸のローリング動も省略した。

図-1 ワラ1型貨車走行モデル

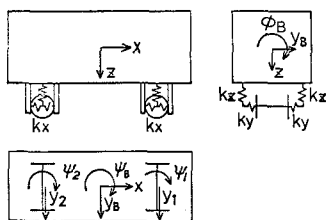


図-2 ホキ300型貨車走行モデル

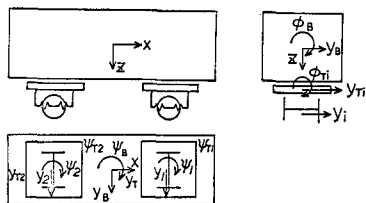


図-3 履歴曲線

(a) 枕バネ

$K_1 = 40.0 \text{ kg/cm}$
 $K_2 = 32.0 \text{ kg/cm}$
 $K_3 = 130.0 \text{ kg/cm}$
 $K_4 = (K_1 + K_2) / 2 = 36.0 \text{ kg/cm}$

(b) リンクの横力

$K_1 = 26.0 \text{ kg/cm}$
 $K_2 = 613.0 \text{ kg/cm}$
 (積車)

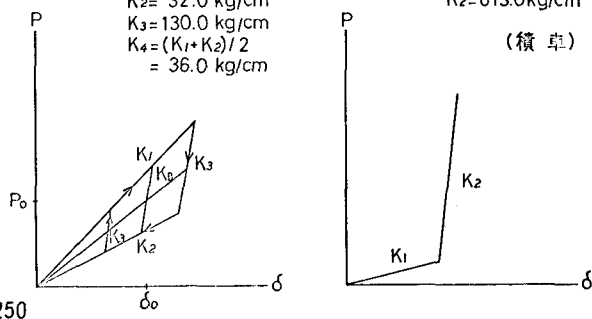


図-1にワラ1形貨車の力学モデルを示す。モデルの自由度は車体の横動、ローリング、ヨーイング(y_B, ϕ_B, ψ_B)と前後の車輪軸の横動とヨーイング($y_{i1}, \psi_{i1} (i=1,2)$)の7自由度を仮定し、車体と車輪軸は線形ばねとダンパーで結合させた。

図-2にホキ300形貨車のモデルを示した。台車は2つの車輪軸を有するが、本モデルでは自由度の省略のために、台車には1組の車輪軸を仮定したの

で、モデルの自由度は車体の横動、ローリング、ヨーイング (y_B, φ_B, ψ_B) と前後の台車の横動、ローリング、ヨーイング ($y_{Ti}, \varphi_{Ti}, \psi_{Ti}, i=1, 2$) 及び車輪軸の横動、ヨーイング ($y_{wi}, \psi_{wi}, i=1, 2$) の13自由度である。車体-台車間の鉛直方向 (Z方向) のばね (枕ばね) は、その静的な荷重-たわみ曲線をもとに図-3の(a)のように三角形のループを仮定した。また車体と台車間にはリンクを介しているので、リンクの横変位とリンクの横力の間の関係も静的試験から図-3の(b)のような2つのばね定数をもつばねとダンパーの組合わせと仮定した。

3. 実験及び結果 模型実験は埼玉大学工学部所有の軌道振動台を用い、模型車両の走行速度を1.5, 3.0, 4.5 m/sec (実車換算12, 24, 36 km/h) の3種類として実験を行なった。加振条件は振動台(入力)の加速度を一定とし、振動数を1.0~4.5 Hzまで変化させて測定を行った。設定の入力加速度は0.05gと0.10gの2通りとした。測定項目は車体の重心位置での水平及び鉛直加速度と車輪の輪重・横圧である。

測定結果は次のように整理した。車体の中央の側面の水平及び鉛直加速度はその平均パワー α_{BH}, α_{BV} を振動台の加速度の平均パワーで除した値の $\alpha_{BH}/\alpha_T, \alpha_{BV}/\alpha_T$ で整理し、輪重は平均の輪重 P_{mean} と最小輪重との差 ΔP を平均の輪重で除した値 $\Delta P/P_{mean}$ でまとめ、その結果の一例をモデル解析の結果とともに図-4~6に示した。図中に示した実線が走行速度3.0 m/secの計算結果である。図-4にはワラ形貨車の荷重偏載の場合の加振0.05gの加速度応答を、図-5にはホキ形貨車の積車の加振0.05gの加速度応答を示した。また、ホキ形貨車の荷重偏載の場合の加振0.10gの左輪の輪重の応答を図-6に示した。加速度応答のピークは、ワラ形貨車の積車で2.5 Hz、荷重偏載の場合で2.5~3.0 Hzに生じ、ホキ形貨車では積車で1.5 Hz、荷重偏載の場合で2.0 Hzであった。これらの振動数はそれぞれの下心ローリングの固有振動数であり、輪重・横圧の応答も大きくなった。また、これらの振動数付近で、振動台の変位振幅が大きくなると、積車の場合には左右の車輪が交互に浮き上がりながら走行し、荷重偏載の場合には荷重の偏載をしていない車輪(車体の右半分には荷重を偏載した場合の左車輪)が周期的に浮き上がりながら走行していったことが観察された。

4. 結論 水平に振動する軌道上を走行する車両はその下心ローリングの固有振動数付近で動揺が激しくなり、走行性がよくなることを確認された。実験結果の傾向は今回のモデル解析で把握できたと思われるが、今後モデル化について検討を加えてモデル解析の精度をあげていきたい。

参考文献：本州山国連絡橋の列車走行に関する研究

昭和47年度, 昭和50年度, 昭和51年度中間報告
日本鉄道施設協会

図-4 加速度応答

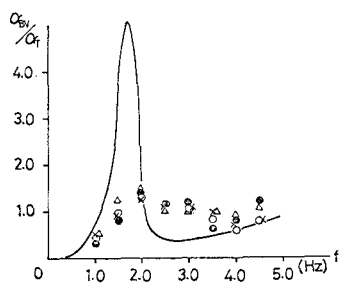
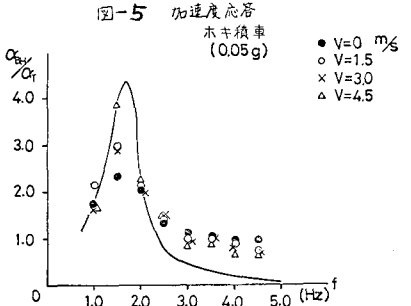
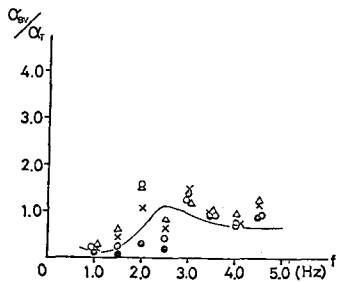
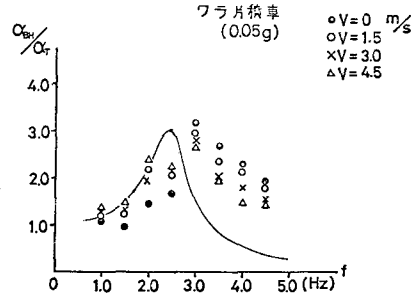


図-6

