

I-578

走行路形状変化による車両の
動的応答解析法の検討

住友金属工業(株) 正会員 岡本 政 信

1. はじめに

図-1に示すように、車両が走行路の段差部や角折れ部などの形状変化部を通過する時、一般に動的荷重が発生する。これは、走行路の損傷、交通振動、騒音などの原因となっており、効果的な対策のためには的確な車両の動的応答特性を把握する必要がある。従来より段差部通過時の自動車の動的応答特性に関する実験的研究¹⁾は見られるが、ここではより一般的な走行路形状での車両の動的応答特性を求めるための解析法を検討したので報告する。

2. 走行車両の運動の定式化

まず、車両の本体を剛体梁かつその両端はタイヤ中心とし、またタイヤを質量の無いバネでモデル化する。このとき、図-2に示す一般的な運動は微小変位論の範囲で次式で定式化できる。ただし、減衰は無視する。

$$M \ddot{u} + K u = f \quad \dots\dots(1)$$

通常の構造体と同様、 u は変位ベクトル、 f は外力ベクトル、 M は質量マトリックス、 K は剛性マトリックスである。ただし、仮定より上式は重心 G のみに関するものとなり、例えば $u^T = [u_x, u_y, \theta]$ となる。

次に、 u を剛体変位 a と弾性変位 v に分解する。

$$u = a + v \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 a と v の成分表示を次のように定める。

$$a^T = [\bar{u}_x, \bar{u}_y, \bar{\theta}], \quad v^T = [v_x, v_y, \eta] \quad \dots\dots(3)$$

剛体変位が生ずれば、 M と K を剛体変位後の空間位置で考えることも可能であり、それらは a の成分 $\bar{\theta}$ の関数となる。よって、式(1)は次式に書換えられる。

$$M(\bar{\theta}) \ddot{u} + K(\bar{\theta}) u = f \quad \dots\dots(1')$$

ところで、 u は図-3のように時間の経過とともに大きくなると考えられ、式(1)'の左辺第2項はもはや微小変位論で扱えない。ただし、その物理的意味は構造体の変形による力であり、次のように書ける。

$$K(\bar{\theta}) u = K(\bar{\theta}) v \quad \dots\dots(4)$$

v は微小変位と考えられ、結局、微小変位論での定式化手法により式(1)'は式(2)を用いて次のようになる。

$$M(\bar{\theta}) \ddot{v} + K(\bar{\theta}) v = -M(\bar{\theta}) \ddot{a} + f \quad \dots\dots(5)$$

なお、式(5)は全体座標系 xy での表示であるがこれを図-4に示すような a とともに移動する局所座標系 $x'y'$ で表すと M と K は回転 $\bar{\theta}$ を表す変換マトリックス L により一定値 M' と K' に変換できる。

$$M' = L^T M L, \quad K' = L^T K L, \quad L L^T = I \quad \dots\dots(6)$$

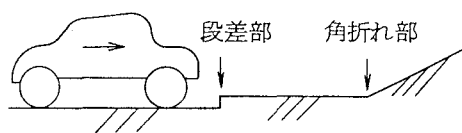


図-1 路面形状変化部通過車両

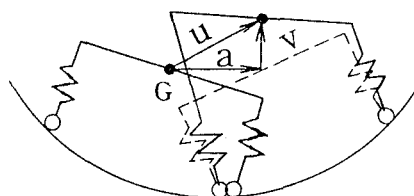


図-2 車両の微小変位

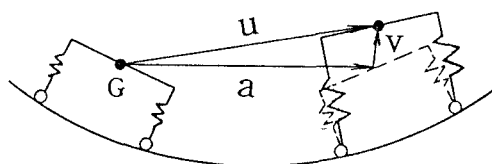


図-3 車両の大変位

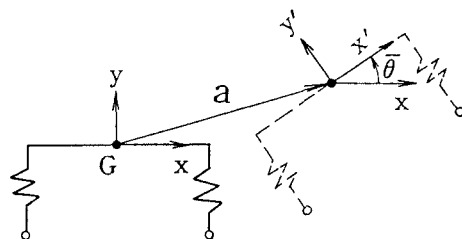


図-4 局所座標系

この関係を用いると、式(5) は次のように書き直せる。

$$\mathbf{M}' \mathbf{L}'^T \ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{K}' \mathbf{L}'^T \mathbf{v} = -\mathbf{M}' \mathbf{L}'^T \ddot{\mathbf{a}} + \mathbf{L}'^T \mathbf{f} \quad \cdots \cdots (5)'$$

ここに、例えば $\mathbf{L}'^T \mathbf{v}$ は、全体座標系での値 $\mathbf{v}$ を局所座標系に変換したものであり次のように表記する。

$$\mathbf{v}' = \mathbf{L}'^T \mathbf{v}; \mathbf{v}'^T = [v'_x, v'_y, \eta'] \quad \cdots \cdots (7)$$

式(5)'は次に書換えて数値積分により解ける。

$$\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{L} \mathbf{M}'^{-1} \mathbf{K}' \mathbf{L}'^T \mathbf{v} = -\ddot{\mathbf{a}} + \mathbf{L} \mathbf{M}'^{-1} \mathbf{L}'^T \mathbf{f} \quad \cdots \cdots (8)$$

ここで、 $\mathbf{a}$, $\dot{\mathbf{a}}$, $\ddot{\mathbf{a}}$ は走行路の幾何学形状より決まる。

3. 路面段差部走行への適用

本解析モデルを路面段差部走行に適用し、前輪が段差部進入直後の車両の動的応答をシミュレートした。

まず、車両諸元を表-1とし、式(8) における $\mathbf{f}$ を無視する。また、 $\mathbf{a}$ を求めるにあたりタイヤの剛体変位を図-5により考える。タイヤの接地点は点Aから点Bに移り、その中心Oの軌跡が求まる。このとき、重心Gの軌跡すなわち $\mathbf{a}$ も図-6から求まる。ただし、 $\ddot{\mathbf{a}}$ には不連続点が存在し、その位置では $\ddot{\mathbf{a}}$ はデルタ関数の δ 関数を用いて次式で表す値となる。

$$\ddot{\mathbf{a}}(t) = \delta(t) \cdot (\dot{\mathbf{a}}(t_0) - \dot{\mathbf{a}}(t_{-0})) \quad \cdots \cdots (9)$$

ここで、局所座標系での車両の弾性変位 $\mathbf{v}'$ の凡例 ($C=10.0\text{m/s}$, $\omega=5\text{mm}$) を図-7に示す。主に v'_y, η' 方向の振動モードが励起されている。また、図-8には発生衝撃力 P と車速 C の関係を示す ($\omega=5\text{mm}$)。 C の増大により P は $P_{\max}$ に収束するがこれはタイヤバネに段差量 ω を強制変位として与えた時の力に等しい。

以上のように本解析モデルにより段差路面走行時の車両の動的応答を求める事が可能である。

表-1 車両諸元

ホイールベース	L	2.5 m
質量	M	1,000 kg
慣性質量	M_z	53 kg·m ²
タイヤバネ値	K	50,000 kgf/m
タイヤ半径	R	0.15 m
車両速度	C	一定値

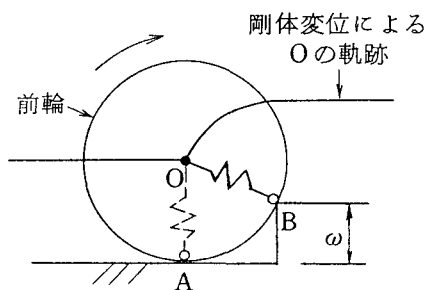


図-5 段差でのタイヤの軌跡

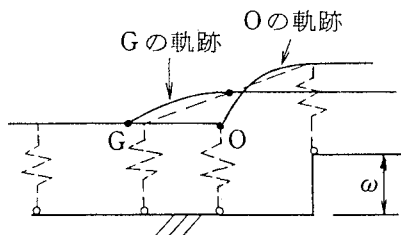


図-6 段差での重心の軌跡

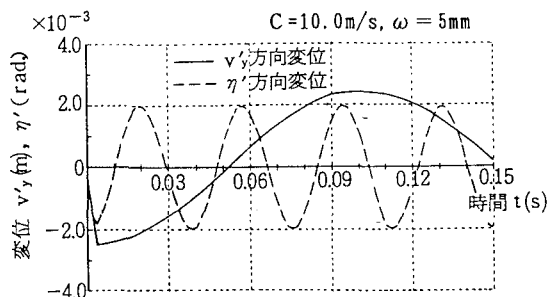


図-7 局所座標系での車両変位

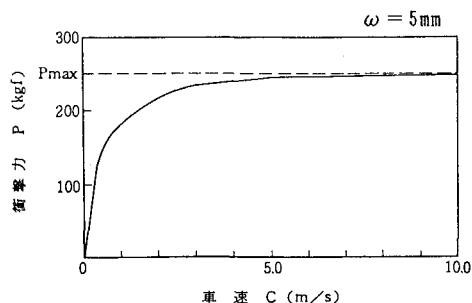


図-8 車速と衝撃力

4. おわりに

走行路形状変化による車両の動的応答を検討するための手段として車両を従来の構造力学モデルでモデル化すると共に、その運動を剛体運動と弾性運動に分解して定式化した。さらに、これを路面段差部走行に適用しその動的特性が求まることを示した。

参考文献 1) 横山他:路面段差部に作用する自動車衝撃荷重の特性, 構造工学論文集Vol. 35A, P757 (1989, 3)