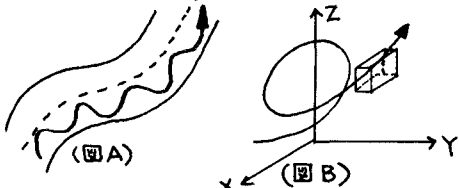


1. はじめに — 本論文は、新交通システムに共通する性質を述べ、新交通システムの軌道が車輪から受ける外力を「準動的」すなわち、車輪に附属する Spring 系を無視して算定し、次の動的解析への基礎とすることが目的である。

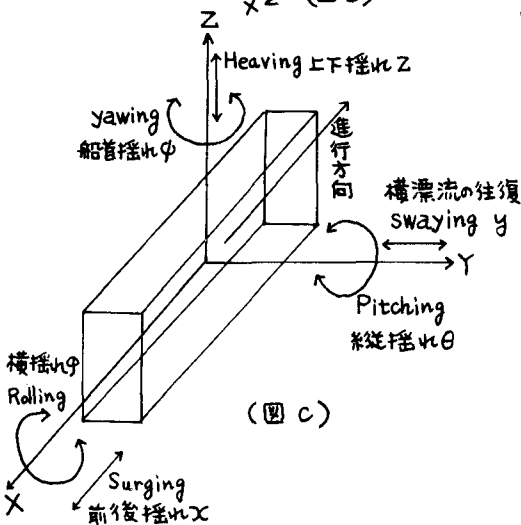
2. 剛体軌道の束縛を受けながら走行する物体の準動的解析法

走行する物体は、大別すると次の2種類になる。(1) 軌道の束縛を受けて走行するもの。(2) 束縛をほとんど受けないものである。(1)には、モノレール、リニアモーターカー、ジェットコースター があり、(2)には、ロケット、飛行機、自動車がある。道路上を例に採ると、自動車はセンターラインを越えない限りにおいて、任意の軌道を選んで走行することかできる。(図A)。



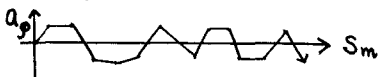
これに対して、(1)の新交通システムの車輪は(2)の様な自由な運動は許されず、三次元空間内に敷設された軌道に完全に束縛されて運動する宿命を負っている。すなわち「束縛運動」を行うのである。このために車輪は軌道からの「束縛力」を受け、軌道はその反作用を受けることになる。この反作用の力こそ、軌道桁の設計外力とすべきである。

束縛運動をするということは、どういう事であるのか？ これは、surging, swaying, heaving, rolling, Pitching, yawing の6自由度を軌道に強制されることを意味する。(図C)



$$\left. \begin{array}{l} \text{(a) Surging に対して } M \frac{d^2 x}{dt^2} = F_x \\ \text{(b) Swaying に対して } M \frac{d^2 y}{dt^2} = F_y \\ \text{(c) Heaving に対して } M \frac{d^2 z}{dt^2} = F_z \\ \text{(d) Rolling に対して } J_R \frac{d^2 \phi}{dt^2} = M_\phi \\ \text{(e) Pitching に対して } J_P \frac{d^2 \theta}{dt^2} = M_\theta \\ \text{(f) Yawing に対して } J_Y \frac{d^2 \psi}{dt^2} = M_\psi \end{array} \right\}$$

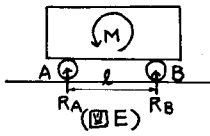
だけの力を車輪に与える代わりに軌道桁は $-F_x, -F_y, -F_z, -M_\phi, -M_\theta, -M_\psi$ の力を受けることになるのである。ここに M は質量、 J_R, J_P, J_Y は X, Y, Z 軸に関する回転慣性である。また、車輪やモーター、減速機の回転する部分は、ジャイロ効果も考慮しておかなければならない。これらの諸力を軌道の全体に渡って算出してやるためには、次のような図表を用いてやる。Yawing を例にとると、先か



[Yawing Angle Acceleration Diagram]
[Yawing 角加速度図] (図D)

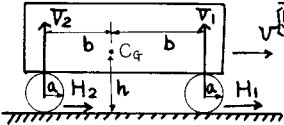
運行曲線図と Yawing Angle 図を作り、これから Yawing Angle 速度図と角加速度図を作成し、 M_ψ を算出してやるが良い。ジャイロ効果は、力の方向を良く考えておく。以上のようにして求めた力を各車輪に分配することは簡単である。

すなわち(図E)のようにモーメントMが作用するときには、車輪A, Bには、おのおの $R_A = \frac{M}{l}$, $R_B = -\frac{M}{l}$



か作用することになる。以上述べてきたように、軌道桁に作用する外力を求めるには次のような手順を踏めば良い。1. 車輪及び台車の3次元空間内の重心位置の測定。2. 車輪の質量及びX, Y, Z軸に関する回転慣性の測定。(M, JR, JP, JYの測定) 3. 走行軌道の3次元空間内の座標X, Y, Zの測量及びCant角φの仮定。

4. 走行速度を仮定し、運行曲線表を作成する。5. 制動、駆動性能を仮定する。(モーター、減速器、車輪等の回転慣性を決定する。) 6. 軌道桁と一体とした空気力学諸定数を仮定する。7. 車輪の6自由度の速度図及び加速度図を求める。8. $F_x, F_y, F_z, M_\phi, M_\theta, M_\psi$ を求める。(ジャイロ効果も入れる。) 9. 車輪構造を考慮して、各力を各車輪に分配する。10. 分配された荷重を合計して軸重とする。



【駆動制動荷重の概算法】いま、左図のような4車輪の車輪が、走行している。駆動力は後輪から丁なるトルクが、制動は、前後の両車輪に T_1, T_2 が与えられる。各車輪の角速度 ω , 半径 a , 回転慣性モーメント I とし、滑動しない。

$M\dot{v} = 2(H_1 + H_2) + Mg = 2(V_1 + V_2)$, $(H_1 + H_2)h + (V_1 - V_2)b = 0$ の3式が成立する。

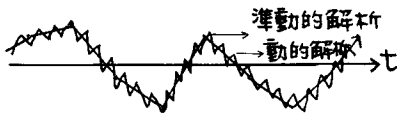
(イ) 駆動時 — 車輪の回転運動方程式は $I\dot{\omega} = -Hra = T/2 - H_2 \cdot a$ なお滑動しないので $a\dot{\omega} = \dot{v}$ 以上の式より $H_1 = -\frac{2IT}{a^3M'}$, $H_2 = \frac{T}{2a} - \frac{2IT}{a^3M'}$, $V_1 = \frac{Mg}{4} - \frac{Th}{4ab} + \frac{ITh}{a^3bM'}$, $V_2 = \frac{Mg}{4} + \frac{Th}{4ab} - \frac{ITh}{a^3bM'}$

(ロ) 制動時 — 車輪の回転運動方程式は $I\dot{\omega} = -T_1 - H_1 \cdot a = -T_2 - H_2 \cdot a$ であるから同様にして

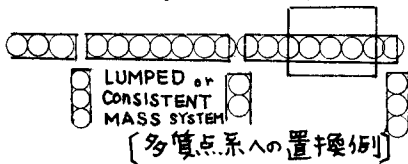
$$H_1 = -\frac{T_1}{a} + \frac{2I(T_1 + T_2)}{a^3M'}, H_2 = -\frac{T_2}{a} + \frac{2I(T_1 + T_2)}{a^3M'}, V_1 = \frac{Mg}{4} + \frac{(T_1 + T_2)h}{4ab} - \frac{I(T_1 + T_2)h}{a^3bM'}$$

$$V_2 = \frac{Mg}{4} - \frac{(T_1 + T_2)h}{4ab} - \frac{I(T_1 + T_2)h}{a^3bM'}, (M' \equiv M + \frac{4I}{a^2}) \quad M \text{ は全質量である。}$$

3. 動的解析への発展 — いままで解析において、車輪のバネ系を考慮していないことは前述のとおりである。しかし、実際にはタイヤ懸架装置等々非常に多くのバネ系が存在するので、これらを行き



だけ正確に体系化して、運動方程式を連立させて解く必要があることは言うまでもない。左に示した様に、準動的解析と動的解析は一体のものであり、どちらか欠けても完全ではない。



また、モデル化の問題点も、数多くある。例えば、空気バネの使用である。この非線形バネの取り扱いもやっぱりである。空気力学的なものも振動には影響を及ぼすので、注意したい。

4. 結論 — 新交通システムの用に供される軌道は、直接に車輪を支持するので、走行車輪の物理特性、速度、加速度、軌道の幾何学的形状、等の影響を非常に厳しく受けることになる。従って、軌道設計を行う者と車輪の設計に当るものとは、十分に連絡をとっておく必要がある。新交通システムは、華やかに過ぎて、基礎的研究の蓄積が貧弱すぎる様に思われる。

(筆で足りない部分は、当日、舌とスライドで補います。)

- (参考文献) 1. Schwingungsdynamik des schnellen Strassenfahrzeug S. E. Margurd
2. 理論自動車工学 平尾、近藤、巨理、山本、山海堂 3. 基礎自動車工学 近藤政市 養賢堂
4. 力学概論 守屋、鷺澤、培風館 5. モノレール協会設計示方書、(案)、モノレール協会
6. 力学Ⅱ 国井、千田、丸善 7. Vibration of Solids and Structures under Moving loads, Ladislav Fryba
8. Gyrodynamics and its Engineering Applications, Ronald N. Arnold, Leonard Maunder, Academic Press