

1. まえがき

浮上式鉄道用のガイドウェイ桁の断面形状は、その車両構成にしたがって種々のタイプのものが考えられるが、図-1のような断面もそのうちのひとつである。この断面に対しては、実物大の供試体の動的応答試験が大型試験機によって進められているが、設計条件を定めるにあたっては車両の形式がまったく新しいものであり、速度も未経験の領域であることから、走行車両とガイドウェイ桁との動的相互作用を十分に解明しておくことが必要とされている。そこでここでは、現在考えられている逆丁断面を有する浮上式鉄道用ガイドウェイ桁の合理的な支向割の問題に関連して、車両の走行速度が桁の支向と剛性にしたがって衝撃率にどのような影響をもたらし、また主に理論的に検討した結果について報告する。

2. 浮上式車両とガイドウェイ桁との動的相互作用に関する運動方程式

理論解析で扱う浮上式車両のモデルを図-2に示す。ここで車体と台車とを結ぶばねは機械的なものであるが、台車を支えるばねは磁気浮上力を代表させたものである。ガイドウェイ桁のモデルは断面一定とし図-3に示すような単純桁あるいは連続桁である。ここにおける理論解析では、車両の連結数、桁の振動モード数、同形状、路面の凹凸などを任意に選ぶことを可能としている。図に示す記号を用いた運動方程式を組み立てると以下ようになる。

$$\ddot{z}_{s, is} = \{-C_s(\dot{g}_{s, iu} + \dot{g}_{s, iu+1}) - k_s(g_{s, iu} + g_{s, iu+1})\} / 2m_s$$

$$\ddot{\theta}_{s, is} = \{-C_s(\dot{g}_{s, iu} - \dot{g}_{s, iu+1}) - k_s(g_{s, iu} - g_{s, iu+1})\} / 2J_s$$

$$\ddot{z}_{u, iu} = \{C_s \dot{g}_{s, iu} + k_s g_{s, iu} - C_{uw} \sum_{i=1}^{N_w} \dot{g}_{u, iu} - k_{uw} \sum_{i=1}^{N_w} g_{u, iu}\} / m_u$$

$$\ddot{\theta}_{u, iu} = \{-C_{uw} \sum_{i=1}^{N_w} \{1 - \ln w(i n_w - 1) / l_w\} \dot{g}_{u, iu} - k_{uw} \sum_{i=1}^{N_w} \{1 - \ln w(i n_w - 1) l_w\} g_{u, iu}\} / J_u$$

$$\ddot{f}_{ib} = \{-C_{b, ib} \dot{f}_{ib} - k_{b, ib} f_{ib} + \sum_{i=1}^{N_w} P_{iwb} h_{ib, x=x_{iwb}}\} / m_{b, ib}$$

なお、ここで g_s , g_u は各ばね、ダンパーの縮み量であり、 N_s , N_u , N_{wv} はそれぞれ車両の数、台車の総数、浮上ばねの本数であり、 $\ln w$ などは l_w / N_w なる量をあらわす。また P_{iwb} は動的な軸重で、

$$P_{iwb} = P_{s, iwb} + C_{uw} \dot{g}_{u, iu} + k_{uw} g_{u, iu}$$

であり、 h_{ib} は ib 次の振動モード形状で、 f_{ib} はそれに対する係数である。 x_p 点の桁の動的圧力はこれらの結果を用いて、以下のようにになる。

$$y(x_p) = \sum_{ib=1}^{n_b} \{f_{ib} - f_{s, ib}\} h_{ib, x=x_p} + y_s(x_p) \approx \sum_{ib=1}^{n_b} f_{ib} \cdot h_{ib, x=x_p}, \quad (n_b \text{ は桁の振動次数})$$

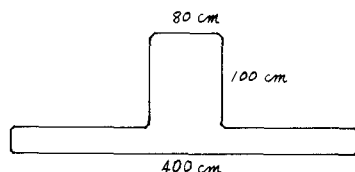


図-1 逆丁断面

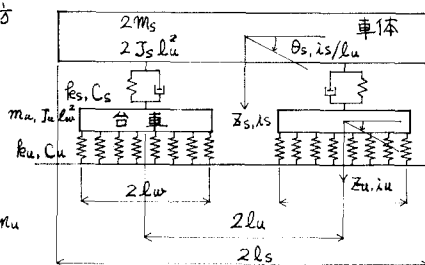


図-2 車両モデル

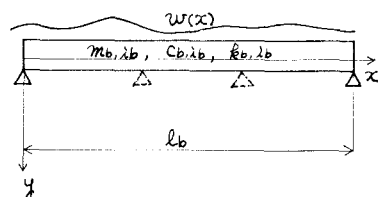


図-3 桁モデル

3. 磁気浮上車両の走行による逆T断面ガイドウェイ桁の動特性

図-1の断面を有する支間10mの実物大PC桁の周波数応答試験の結果を、計算結果とともに図-4に示す。このような試験結果と同様な特性を有する同断面10m、15m、20m、30mスパンの単純支持桁の動的応答に対して検討する。磁気浮上車両の諸元としては実験採用として考えられている車体重量8トン、台車重量2トンのもので、1次円固有振動数8.22ラジアン/sec、2次円固有振動数12.3ラジアン/secのものである。図-5には、2、で述べた解析による数値解の結果を示したものであるが、1部近似計算も行なっている。この図で認められるように、速度が速度パラメータに換算して0.3から0.4に増加するにしたがって、桁の動的応答が急激に増大する。ここにおける計算では車両の初期振動や路面の凹凸を無視している

ので、それらを考慮すれば、さらには大きな衝撃が生じるはずである。このような事も含めて考えると、速度パラメータが0.3以下の領域とそれ以上の領域とは一応別々に扱った方がよさそうである。

図-6には速度パラメータ $\alpha < 0.3$ を低 α 領域、それ以上を高 α 領域として、ここで考えた10~30mの逆T断面と新幹線における実測桁を例にとり、 α の領域と速度との関連を示した。このように、同一断面で設計された桁に対しては支間が長ければ、高 α 領域に突入する速度が低くなる傾向が認められる。この図において、若宮架道橋が200km/hを超す矢で高 α 領域に入っているが、実験においてもその時点で大きな衝撃が測定されている。

4. 単純モデルによる考察

上記の特性を概略的に検討するために、1集中荷重の走行による桁の応答について考えた。図-7上図には速度パラメータに対するたわみの応答を示したが、これによれば、走行荷重が桁を去った後もなお残っている残留たわみが急激に増大するのは、3、で述べたように $\alpha > 0.3$ であることが認められる。車両あるいは列車荷重に対してはこのような残留たわみの大きさが、衝撃率に大きな影響をもたらすのであろう。また、図-7下図には1集中荷重が $\alpha = 1.0$ で走行した場合の曲げモーメント分布図を示したものであるが、このような高速においては特異な現象が見られるので、高 α 領域に実際を利用する場合にはこのような現象が強度などに与える影響を十分に検討しておくかなければならないものと思われる。

参考文献 松浦、「高速鉄道における車両とガイドウェイ構造物の動的相互作用」鉄研報告No870

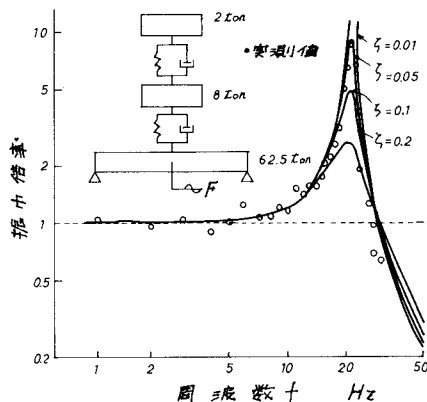


図-4 逆T断面桁の実験結果

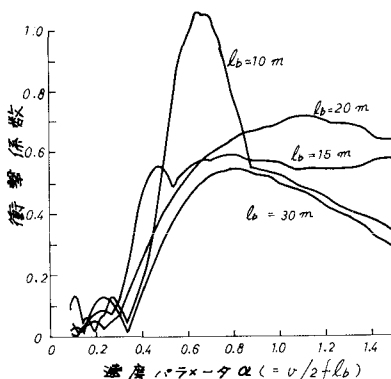


図-5 速度に対する衝撃係数

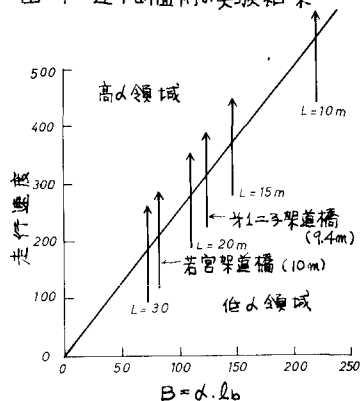


図-6 α 領域と速度

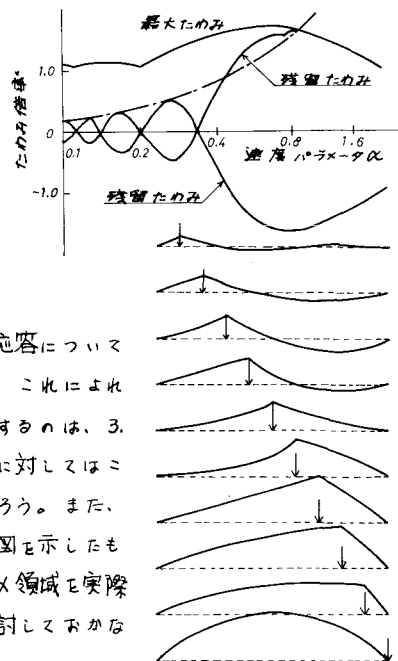


図-7 高速における応答