

浮上列車とガイドウェイ構造物との動的相互作用シミュレーション

鉄道総研 曾我部正道 鉄道総研 古川 敦
 鉄道総研 松本 信之 鉄道総研 涌井 一

1. はじめに 超高速都市間輸送の実現を目指し、超電導磁気浮上式鉄道の開発が鋭意進められている。近い将来の実車走行に対応し、ガイドウェイ構造物の定量的評価を行うためには、列車走行と土木構造物の動的挙動を、数値解析によりできるだけ忠実に再現できる必要がある。

本研究は、既に開発した「浮上列車とガイドウェイ構造物との動的相互作用プログラム」を用い、シミュレーション解析により、ガイドウェイ構造物の評価を行うことを研究の目的とする。

2. 解析モデル (1)浮上列車 連接台車形式に対応した列車モデルとして、図1に示すような、車体・台車・超電導磁石(SCM)を質点(剛体)とし、これを3次元的に結合したモデルを考えた。車体・台車は、上下・左右・ロール・ピッチ・ヨーの5自由度を、SCMは、上下・ピッチの2自由度を考慮した。5両編成の列車モデルは、合計67自由度を持つ。

(2)ガイドウェイ構造物 図2に側壁ビーム方式ガイドウェイ概念図を示す。この構造形式の基本単位は、PC中空桁(長さ12.6m、高さ1.3m、幅0.65m)の表面に地上コイルを精度よく組み込んだモジュール(以下、側壁ビームと呼ぶ)である。実際には、これを高架橋上やトンネル路盤上に「両端支持のり(両端支承部の間隔9.9m)」として、架設機械を用いて敷設する¹⁾。

長大なガイドウェイ構造物に対して定量的な評価を行うために、図3に示すように、3次元はり要素モデルを用いて延長1kmの数値実験線を構築した。この場合、長さ37.8mの連続するPC桁上に、長さ12.6mの側壁ビームを連ねて敷設する構造を想定している。

各側壁ビームモデルには、測量誤差・製作施工誤差を設定し、その上に各浮上・案内コイルの製作誤差を重ねて、SCMの誘導面を定義した。各誤差は、表1に示す狂いA、B、Cの標準偏差を持つ標準正規分布と仮定し、計算機で乱数を発生させた(図3参照)²⁾。

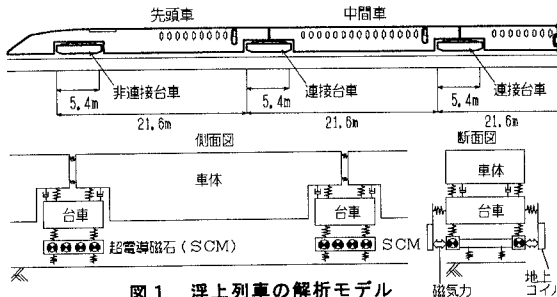


図1 浮上列車の解析モデル

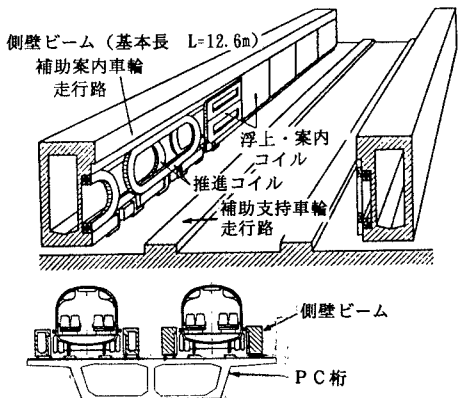


図2 側壁ビーム方式ガイドウェイの概念図

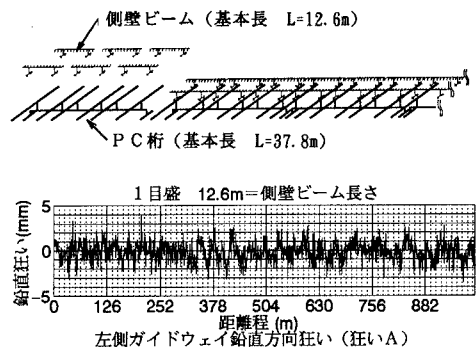


図3 解析モデルの概念図

表1 ガイドウェイ構造物の測量誤差・製作施工誤差の標準偏差

発生要因		基本長	許容誤差の標準偏差		
		(m)	狂いA	狂いB	狂いC
測量（測角）	基準点A	302.4	1秒	1秒	1秒
	基準点B	100.8	1秒	1秒	1秒
	基準点C	12.6	1秒	1秒	1秒
基準点設置精度		基準点C	0.2mm	0.2mm	0.2mm
側壁ビーム	架設	12.6	2/3mm	4/3mm	2/3mm
	製作		1mm	1mm	1mm
側壁ビーム支承		仕上り高さ	2/3mm	2/3mm	2/3mm
浮上案内コイル		製作	2/3mm	2/3mm	4/3mm

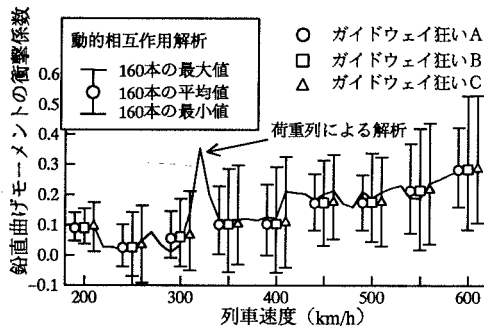


図4 側壁ビーム（延長：1km、ビーム数：160本）鉛直曲げモーメントの衝撃係数

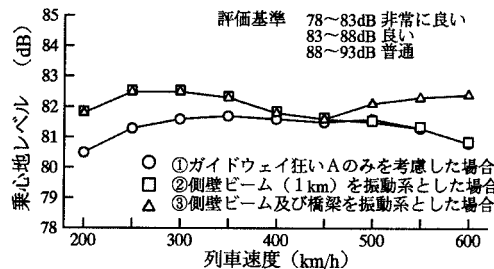


図5 ガイドウェイ構造物の振動が乗心地に及ぼす影響

3. 数値計算法 SCMとガイドウェイとの間に働く磁気力、即ち動的相互作用力を外力項とし、浮上列車系及びガイドウェイ構造物系の運動方程式を立て、これを連立させて数値計算により解く。具体的な数値計算法としては、両者の運動方程式をニューマークの平均加速度法を用いて整理し、最終的に両者に未知量として残る動的相互作用力の項を、 Δt 毎にSCM変位、ガイドウェイ変位の代入計算により解く手法を用いた³⁾。

4. 衝撃係数 一般に、鉄道土木構造物の設計においては、衝撃係数は一定周期で構造物が加振される影響、即ち連行荷重による速度効果と、軌道及び列車の不整に伴う列車動揺の効果の和として定義される。図4に、側壁ビームの鉛直曲げモーメントの衝撃係数を示す。速度効果のみの影響を求めるため、別途行った荷重列解析の結果も合わせて示す。側壁ビームの鉛直曲げモーメントの衝撃係数は、速度効果によるものが最大0.36、列車動揺によるものがガイドウェイの狂いの程度により最大0.14～0.24であった。また、橋梁の鉛直曲げモーメントの衝撃係数は、速度効果によるものが550km/hで0.63、車両動揺によるものは、狂いAで0.04であった。従って、超高速列車荷重下においても、これらの構造物は、安定した挙動を示すと考えられる。

5. 列車走行性 列車走行性については、乗心地により評価した。側壁ビームの振動及び橋梁の振動が、浮上列車に及ぼす影響を評価するため、以下の3ケースについて解析を行った。

- ① ガイドウェイ狂い：A 側壁ビーム：剛体（剛性無限大） 橋梁：剛体（剛性無限大）
- ② ガイドウェイ狂い：A 側壁ビーム：振動体 橋梁：剛体（剛性無限大）
- ③ ガイドウェイ狂い：A 側壁ビーム：振動体 橋梁：振動体

図5に解析結果を示す。①、②より側壁ビームの変形は、250km/h付近で最も乗心地に影響を及ぼすが、実際に連続して高速走行する400km/h以上の領域では、ほとんど影響しないことが分かる。また、②、③より橋梁の振動が全体の乗心地に及ぼす影響は、列車速度550km/hで1.0dBであった。なお、構造物スパンと車体応答加速度の共振速度は、車体加速度の周波数応答のピーク（6.0Hz）より推定できる。従ってスパン長12.6mでは、270km/h以降は次第に影響が薄れ、スパン長37.8mでは、820km/hまで影響が増大することとなる。

6. まとめ ①側壁ビーム及び橋梁の衝撃係数について、速度効果及び列車動揺の影響を定量的に評価した。②側壁ビーム及び橋梁の振動が乗心地に及ぼす影響を評価し、走行性上問題のない値であることを確認した。③本解析手法により、列車走行とガイドウェイ構造物の挙動を、長区間に渡り、時系列的に解析できることを確認した。

なお、本研究は運輸省の補助を受けて行われたものである。

参考文献 1) 涌井一：超電導磁気浮上式鉄道のガイドウェイ構造、コンクリート工学、Vol. 28, No. 12, pp. 4～12, 1990 2) 古川教、橋本渉一：ガイドウェイ狂いのパースペクトル密度と乗心地レベル、鉄道総研報告、Vol. 7, No. 2, pp. 11～18, 1993 3) 曾我部正道、松本信之、涌井一、田辺誠：浮上列車とガイドウェイ構造物との動的相互作用解析法に関する研究、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第1部、pp. 1146～1147, 1994