

### 水平加振される浮上車両の動的挙動

鉄道総研 正 上野 眞      鉄道総研 正 曾我部正道      JR東海 正 宮本 雅章  
鉄道総研 正 松本 信之      鉄道総研 正 涌井 一

1. はじめに JR方式超電導磁気浮上式鉄道は、図-1に示すような側壁浮上方式を採用している。このため車両は常にガイドウェイにより堅固に案内されており、大地震などの強い水平振動を受けた場合でも車両の転倒などの心配は極めて小さい。また超電導磁気浮上式鉄道は常電導方式に比べガイドウェイと磁石との離隔も大きく、ガイドウェイと車体や超電導磁石（以下SCMと略す）との接触の点でも安全性は高いと言える。以上のような理由から、定性的に浮上式鉄道は地震時の走行安全性に優れていると言われてきたが、大規模地震に対する詳細な検討例は少ない。そこで本研究ではこうした場合の浮上車両の動的な挙動について、数値解析により検討することとした。

2. 解析手法 数値解析は、まず構造物の非線形応答解析を実施してガイドウェイ面での応答値を算出し、その解析結果をガイドウェイに入力して車両側の応答を計算する手法を用いた。従って本検討には、車両と構造物の動的相互作用力については考慮されていない。構造物と列車の振動には位相差があり、浮上車両の質量は構造物に減衰を負荷すると同等の効果があると思われるが、この効果については、今後、別途報告したいと考えている。

図-2に橋脚の配筋図及び解析モデルを示す。構造物の解析には鉄道構造物のための耐震照査プログラムASCARSを用いた。構造物は降伏耐力の高い壁式橋脚を対象とした。橋脚躯体にはM-杭にはM-を用いた履歴モデルをそれぞれ用いている。地盤はG3地盤（普通）とし、同一構造が連続しているものとし各橋脚の位相が全て等しいと仮定し解析を行った。

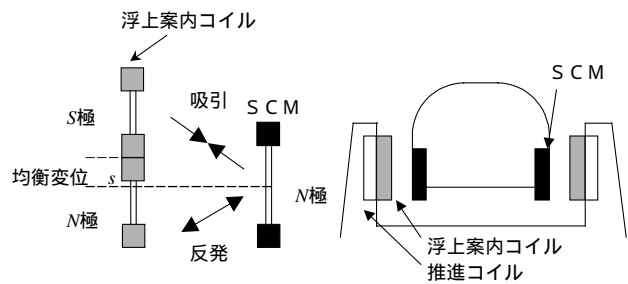
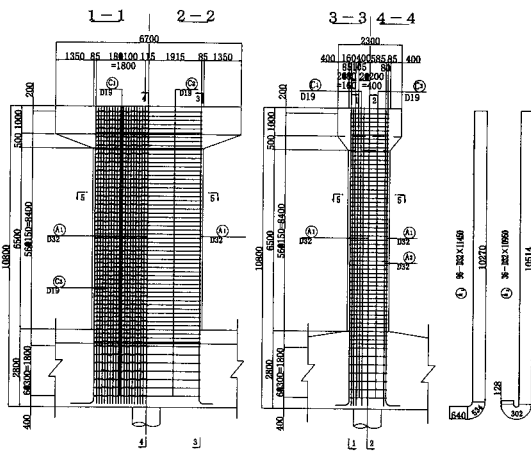
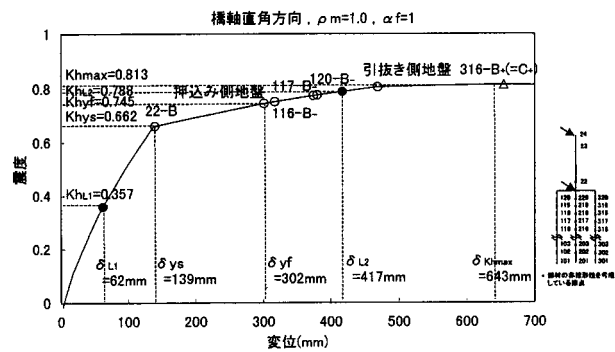


図-1 側壁浮上方式



(a) 解析対象橋脚の配筋図



(b) 橋脚の骨格曲線

図-2 橋脚の配筋図及び解析モデル

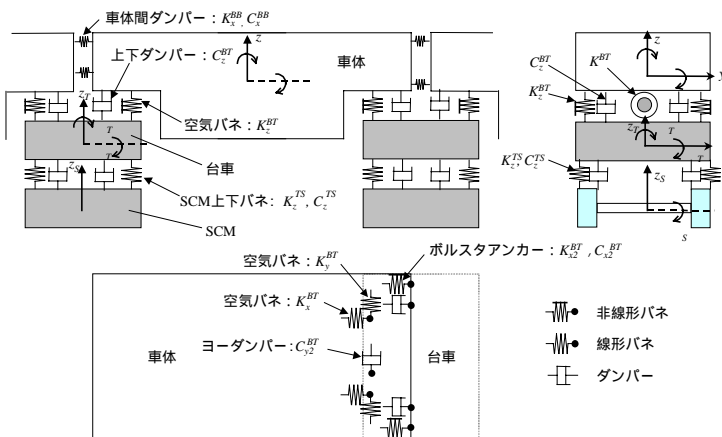
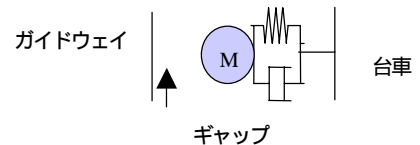


図-3 解析に用いた車両モデル



接触時には接触パネを適用

図-4 ストップ車輪モデル

Keyword: 浮上式鉄道, 地震時列車走行性, ガイドウェイ,  
連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel.042-573-7281 Fax.042-573-7282

図-3に浮上列車の解析モデルを示す。車体・台車・超電導磁石（以下、SCMと呼ぶ）を剛体質点と仮定し、これをバネ（非線形）とダンパで結合したリンクモデルである。また台車には図-4に示すストッパ輪を設けた。ストッパ輪はガイドウェイとの非接触を保つために設けられた鋼製車輪で、ここでは質点としての車輪と、その軸バネ、ダンパから構成した。ストッパ車輪とガイドウェイとの接触時には接触バネを用いて評価した。なお解析は3両編成4台車で実施した。

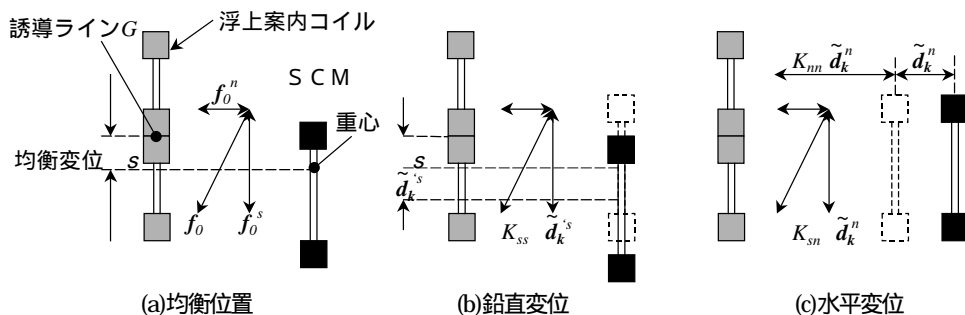


図-5 SCM と浮上・案内コイルとの動的相互作用力

図-5にSCMとガイドウェイのコイルの間に働く相互作用力の概念図を示す。ガイドウェイと構造物の間の磁気力はコイル法面外と面内のそれぞれ $n,s$ 座標系を用いて式(1)、(2)のように表せる。

$$f_k^n = K_{mn} \tilde{d}_k^n + f_0^n \tag{1}$$

$$f_k^s = K_{ss} \tilde{d}_k^s + K_{sn} \tilde{d}_k^n + f_0^s \tag{2}$$

ここで、 $k(k=1, \dots, 8)$ は剛体質点で評価している各SCMに含まれる磁石の番号、 $f_0$ は均衡変位における釣合力、 $d, k$ はそれぞれ添え字で説明される方向の変位、及び磁気バネ定数である。位置での各SCMは、片側4枚、合計8の磁石から構成されている。 $\tilde{d}_k^s$ は均衡変位を  $s$ を差引いて求める。

3 解析結果 解析入力加速度にはL2地震動スペクトル2(内陸直下型)を用いた。図-6に入力加速度、ガイドウェイの応答加速度、車両の応答加速度を示す。応答加速度は、構造物でやや増幅され、車体には1.6Gの絶対加速度が生じている。

SCMとガイドウェイの相対変位は70mmで、接触限界よりも小さく、かなりの大規模地震時においても平滑な走行が確保できることが分かった。

ガイドウェイへの作用力については、案内ストッパ車輪によるガイドウェイ接触荷重およびSCMから地上コイルへの作用する電磁力とともに設計荷重にほぼ等しい。設計荷重は片側4個のSCMを同時に消磁し、車体を極端に片側に寄せた場合の荷重である。よって側壁のガイドウェイ機能は大規模地震時にも保持され安全な走行が可能であると考えられる。また案内ストッパ車輪の接触荷重はストッパ車輪の強度以下であり、車輪の強度も充分であると判断できる。

案内ストッパ車輪とガイドウェイのコンクリート面の間の接触バネ定数を変化させた場合を検討した結果、このバネ定数を変化しても解析結果には殆ど影響しないことが分かった。

4 まとめ 大規模地震に対する超電導磁気浮上式車両の動的挙動について数値解析を実施した。今後は、残留変位や位相差の影響などについても検討を進めていく予定である。本研究は国庫補助を受けて実施された。

【参考文献】 曾我部正道, 古川敦, 松本信之, 涌井一, 田辺誠: 超電導磁気浮上列車とガイドウェイ構造物との動的相互作用解析, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.175-180, 1994.12

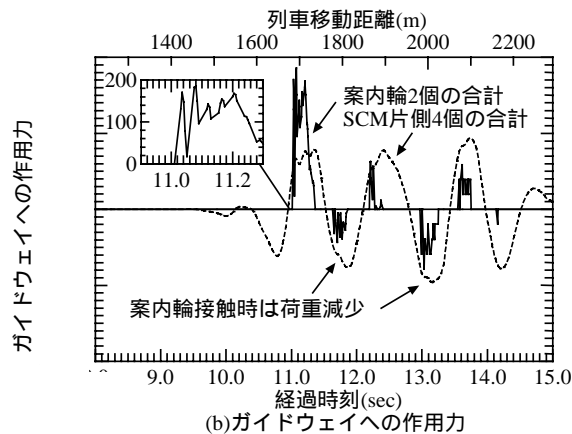
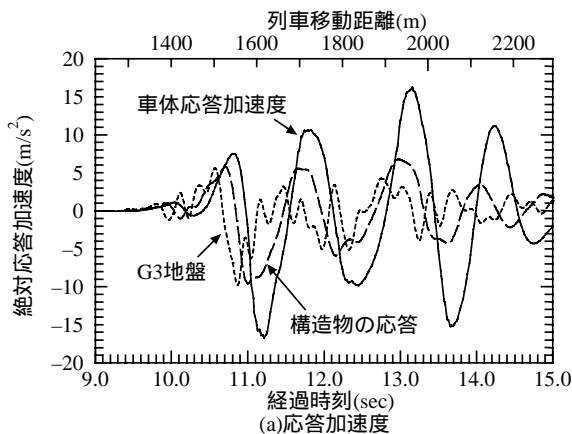


図-6 動的応答の時系列波形