

I - B 76

鉄道構造物の免震・制振で考慮すべき特殊条件の検証

鉄道総研 正員 富田 健 司
芝浦工大 正員 松浦 章 夫

1. 鉄道構造物への導入のネック

構造物の免震・制振技術は、建築物をはじめ、道路橋など広く一般に導入されるようになった。しかしながら、道路+自動車からなるシステムと比較しても決して地震に強いとはいえない鉄道の構造物には、免震・制振技術を積極的に導入したものが少ないのが現状である。この背景には、鉄道固有の現象である「脱線」を含む走行列車の安全性の問題が少なからず影響していると考えられる。いま、ある鉄道構造物に何らかの免震・制振技術の導入によって、地震時の応答が小さくなったということを考えよう。この場合、振動の振幅が小さくなくても、変化した振動数によっては走行列車の脱線に対する安全性を低下させている可能性がある。また、隣接構造物との境界に発生する角折れ・目違いが導入以前より大きくなる場合には、軌道に発生した角折れが走行列車の脱線の危険性を増大させていることも考えられる。ここでは、詳細な車両モデルを用いての数値解析による走行安定性シミュレーションを通して、鉄道構造物への免震・制振技術の導入の際に考慮すべき特殊条件のうち、構造物(軌道)の横振動と角折れの限界値について検証する。

2. 振動する構造物(軌道)上を走行する車両の安定性

ここでは、横振動する軌道上を 200km/h で走行する新幹線車両(100系)の走行安定性について論ずる。使用した車両モデルは、車体、台車枠、車輪軸を非線形のばね、ダンパで結合した 31 自由度 3 次元 1 車両モデルである。軌道の振動波形は正弦波 5 周期とし、全体に半周期の正弦波ウィンドウを掛けたものである。「横圧」,「脱線係数」,「車輪飛び上がり量」と軌道の横振動の振動数, 振幅の関係を求めた。

横圧は、軌道の横振動の振幅の増加に対して大きくなるが、振動数の大きい方が小さい場合に比べてその増加の割合が大きいことが分かる(図 1)。いま仮に、横圧の限度値を 100kN とすると、表 1 に示した振幅限界値が得られる。

脱線係数は、軌道の横振動の振幅の増加に対して大きくなるが、全体的には振動数の大きい方が小さい場合に比べてその増加の割合が小さくなる傾向がある(図 2)。いま仮に、脱線係数の限度値を 2.0 とすると、表 1 に示した振幅限界値が得られる。

車輪飛び上がり量は、軌道の横振動の振幅の増加に対して、ある値を境にして急激に大きくなる(図 3)。

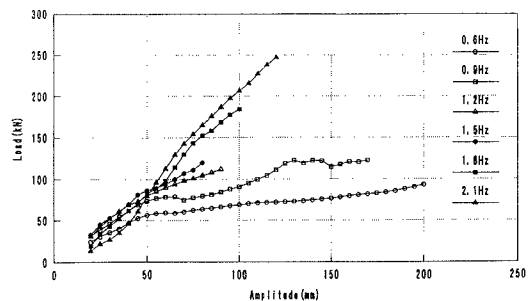


図 1 横圧と軌道の横振動の関係

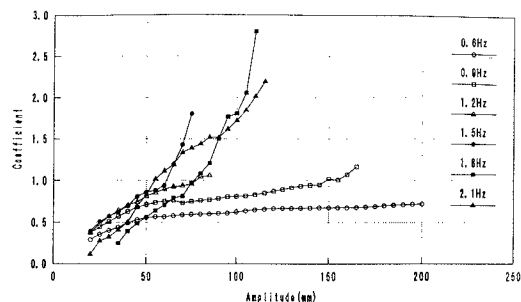


図 2 脱線係数と軌道の横振動の関係

キーワード：鉄道構造物, 免震, 制振, 脱線, 角折れ

連絡先：〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 鉄道総研 地震防災 TEL(042)573-7273 FAX(042)573-7421

しかし、いずれの場合も車輪のフランジはレール側面に接触しておらず、落下時に車輪の位置がレールを外れることはない。したがって、車輪飛び上がり量の限度値としてフランジ高さに近い値を考え、仮に 25mm とすると、表 1 に示した振幅限界値が得られる。

表 1 の各振動数における振幅限界値を横断的にみたときの最小値が、この 3 つの限度値を満たす振幅限界値を与えることになる（表 1 の太字表記の振幅限界値がこれに相当）。これを越える振幅は許容されない。

3. 構造物変位区間を走行する車両の安定性

ここでは、2. と同じ車両モデルを用いて、隣接構造物との境界に水平方向と鉛直方向に角折れが生じた構造物上を、さまざまな速度で走行する場合の走行安全性に関する限界値について論ずる。

まず、簡易な平面モデルで規定された現行の角折れ部走行時の安全限界をチェックしたところ、限界値に問題のないことを確認した。

水平方向と鉛直方向の角折れが競合する場合の数値解析の結果を、横軸に水平方向、縦軸に鉛直方向の角折れ量をとったグラフに表すと、図 4 に示すような各速度ごとの限界曲線が得られる。競合するそれぞれの方向の角折れ量の限界値は、ほぼ 1 次結合の関係にあると考えて差し支えないことが分かった。

いずれにしても、現行規準を越える角折れは許容されないことを確認した。

4. まとめ

本研究は、横振動する構造物（軌道）上を高速走行する列車、隣接構造物との境界に発生した角折れ部を高速走行する列車の脱線に対する安全性確保の面からアプローチしたものである。振動数ごとの振幅限界値、現行規準以上の角折れは許容されないで、鉄道構造物に免震・制振技術を導入する際には留意しなければならない。さらに、異なった車種、速度領域での検証も必要である。他の分野と比較して、鉄道構造物への免震・制振技術導入のハードルは高いようであるが、構造物に発生する地震被害軽減、あるいは回避の観点に立てば、鉄道構造物への免震・制振技術の導入は重要な選択肢のひとつである。地震後の早期復旧に寄与できる優れた鉄道構造物とするためにも、導入できる環境（脱線回避の対策法など）をあわせて整えていきたい。

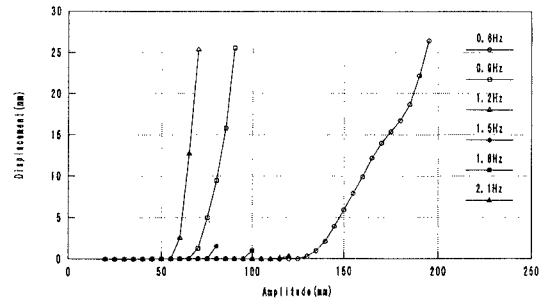


図 3 車輪飛び上がり量と軌道の横振動の関係

表 1 振動数と振幅限界値の総括表

振動数	横 圧 100kN	脱線係数 2.0	車輪飛び上がり 25mm
(Hz)	(mm)	(mm)	(mm)
0.6	≥ 200	≥ 200	190
0.9	110	165	85
1.2	70	85	65
1.5	65	75	≥ 80
1.8	60	100	≥ 100
2.1	55	105	≥ 120

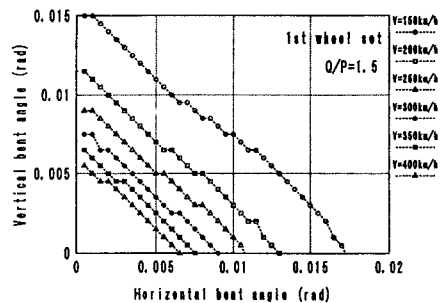


図 4 角折れ限界曲線（脱線係数 1.5）