

I - B 444

山梨リニア実験線標準桁橋の動的応答に関する研究

鉄道総合技術研究所 正会員 四十九勇治
 鉄道総合技術研究所 正会員 曾我部正道
 東海旅客鉄道株式会社 正会員 堀田 学
 鉄道総合技術研究所 正会員 松本 信之
 東海旅客鉄道株式会社 正会員 青木 成生

1. 研究の目的 山梨リニア実験線では、1997年12月にMLX01形超電導磁気浮上列車第1編成を用いて、トンネル区間で時速550km/hを達成している。本研究では、1998年度実施予定の橋梁区間での速度向上試験に先立ち、既測定データ分析と構造解析を行い、550km/hまでの超高速領域における桁の動的挙動を予測、その安全性を検証することを研究の目的とする。

2. 対象橋梁 対象橋梁の一般図を図1に示す。本橋梁はスパン36.5m、橋長37.8mのP R C 2室ボックスの単純複線桁橋で、山梨リニア実験線において「標準桁」として最も多用されている桁である。表1に標準桁の主な構造諸元を示す。

超高速鉄道橋梁において、動的応答を最小とするスパンは式(1)で表される¹⁾。

$$L_b/L_v = k + 0.5 \quad (k=1, 2, 3, \dots) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 L_b ：橋梁スパン L_v ：台車中心間隔（連接台車方式：21.6m）

式に従えば、ある台車と次台車は常に逆位相で橋梁に進入するため、連行荷重による繰り返し効果が消失する。つまり共振現象が消滅する特異点としてスパン長と台車間隔の關係が上式のように定義できる訳である。本橋梁では、地上コイル間隔の制約を受けつつも、 L_b/L_v ができるだけ1.5に近づくよう橋梁スパンを選択している（ $L_b/L_v=1.69$ ）。また、第2編成の中間長尺車では、 L_v が24.3mであり、その場合 $L_b/L_v=1.50$ となる。

3. 検討方法 走行試験は、図2に示すようなMLX01形超電導磁気浮上列車第1編成を用いて、北線側単線載荷にて実施した。列車は連接台車方式（車体の連結部に台車を配置する方式）3両編成4台車で編成されている。列車速度は200km/hから400km/hまでの50km/h間隔とし、17走行試番について測定を行った。測定は図1に示したようにスパン中央部の変位について着目した。

構造解析には、線路構造物の汎用構造解析プログラム DIARIST（Dynamic and Impact Analysis for

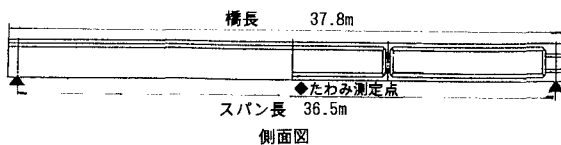


図1 橋梁一般図

表1 標準桁橋の主要諸元

項 目	単位	諸元
桁断面積	m ²	9.074
断面2次モーメント	m ⁴	8.306
単位桁重量	tf/m	22.040
単位版上死荷重	tf/m	13.230
ヤング係数	tf/m ²	3.1E+06
P.C鋼より線 SWPR7B	12T12.7	22本
鉄筋	SD345 D19	100本

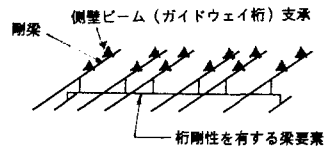


図3 橋梁の解析モデル

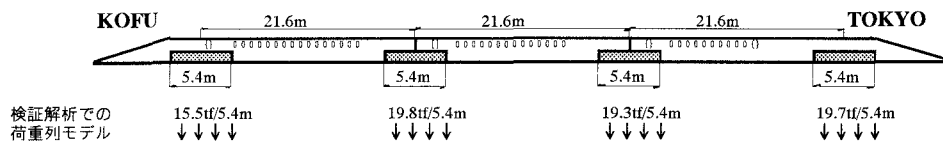


図2 山梨リニア実験線試験列車 第1編成

Railway Structure)を用いた。解析モデルを図3に示す。桁は1本の梁と見なし45節点44梁要素でモデル化した。列車荷重は、側壁ビームと呼ばれるガイドウェイ桁を介してP R C桁に作用するため、この荷重分配を考慮できるモデルとした。また、単線載荷によるねじりの影響を考慮できるように、ガイドウェイ桁支承節点まで剛梁をもうけた。解析に用いる桁剛性としては設計及び実測(設計1.5倍と仮定)の2種類を用いた。

列車は、図2に示す荷重列による移動荷重として取り扱った。列車荷重は、時々刻々と変化する荷重位置に応じて近傍のガイドウェイ桁支承節点に割り振られる。コイル狂いや桁たわみに起因する車両動揺が桁のたわみに及ぼす影響については、別途詳細な列車と構造物の動的相互作用解析²⁾により、その度合いが非常に少ないことを確認したため、本検討では考慮しなかった。

4. 検討結果 スパン中央の載荷側、非載荷側のたわみ差は0.1~0.2mm程度の値であった。本検討では両者の差が少ないことから載荷側について着目して整理する。

(1)静的応答 静的解析(設計剛性)と静的載荷(20km/h 走行)のスパン中央部のたわみはそれぞれ、1.13mm, 0.80mmで実桁は設計の1.4倍の剛性を有していると考えられる。これは、走行路や桁上のガイドウェイ側壁等の寄与によると考えられる。

(2)固有振動数・減衰定数 スパン中央部たわみ測定波形をF F Tにより処理し、固有振動数を求めたものを図4に示す。桁の1次固有振動数が3.9Hzであること、スパン中央でのたわみが1次モードのみに支配されていること等が分かる。設計剛性により算定される固有振動数は3.1Hzであり、実桁は1.6倍程度の剛性を有していることになる。静的たわみの桁剛性分析との差異は、設計質量と実質量の違い、静的と動的のヤング係数の違い等によると考えられる。

スパン中央部たわみ測定波形の残留波形より、対数減衰率 δ を求めた結果を図5に示す。 $\delta=2\pi h$ とすれば、減衰定数 $h=1.2\%$ が得られる。このスパンのコンクリート桁としては比較的低い値となった。

(3)動的応答

スパン中央部たわみにおける時系列波形(速度 300km/h)を図6に示す。シミュレーション解析は実測の特徴を非常に良く捉えていることが分かる。

列車速度がスパン中央部たわみに及ぼす影響を図7に示す。共振点が300km/h近辺にあり、以後600km/hまでは顕著な共振現象が現れないことが確認できる。1次共振点速度を $V=$ 桁固有振動数 $\times$ 台車間隔で略算すると303km/hとなり、測定値のピークを説明できる。

実測における最大動的たわみは静的たわみの1.6倍程度であった。列車による加振周波数と橋梁一次固有振動数とが一致する1次共振点を供用速度内に有する橋梁ではあるが、(1)式の適用により、結果として橋梁の動的応答をこの程度に押さえることができた。

以上の検討より桁の動的応答は、550km/h領域においても、設計で想定した値よりも小さくなると予測される。

5. まとめ 高速連行荷重による桁の共振応答を実測により明らかにすることができた。その結果、標準桁は超高速領域においても十分な安全度を有していることが確認できた。今後は、更に高速域での測定を継続するとともに、他のガイドウェイ構造物についても動的挙動を実証的見地から検討していく。また、桁たわみと乗心地の関係についても評価を行っていく。

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, No12, pp.4~13, 1990.12.

2) 曾我部正道，古川敦，松本信之，涌井一：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，第50回土木学会年次講演概要集第1部B, pp.990~991, 1995

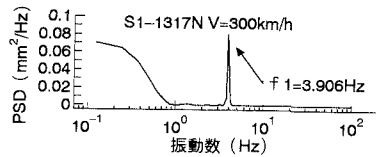


図4 固有振動数の測定結果

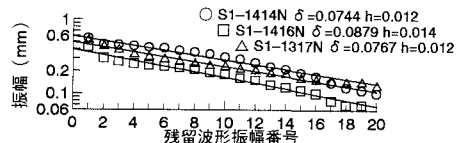


図5 減衰定数の測定結果

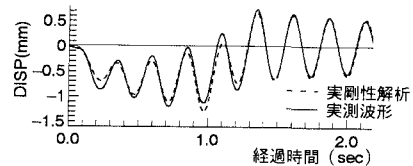


図6 スパン中央たわみの時系列波形(速度300km/h)

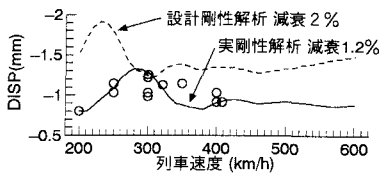


図7 列車速度とスパン中央たわみの関係