

I - B 454

新型新幹線車両と橋桁のたわみ限度に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 曾我部正道^{*1}
 鉄道総合技術研究所 正会員 松本信之^{*1}
 鉄道総合技術研究所 正会員 涌井 一^{*1}

1. はじめに 我国の鉄道設計標準では、列車の乗心地と走行安全性を確保するためにその速度が 260km/h の範囲に対して橋桁のたわみ量の制限値を示している^{1),2)}。列車速度が高くなると一般にこの制限値は厳しくなるため、近年の高速化に対応すべく筆者らは従来型の車重の大きい車両モデルを安全側の判断として基準モデルとして解析に用い、列車速度が 450km/h の範囲に至るまでの橋桁のたわみ量の制限値について検討してきた³⁾。一方、近年、軽量高性能の新型車両が開発されており、これらを考慮して合理的な制限値を設けることも重要であるため、本報告では、これら車両モデルの違いが橋桁のたわみ量の制限値に与える影響について解析的に検討を行ったので、その結果について示す。

2. 解析方法 解析には、新幹線車両と線路構造物との動的相互作用解析プログラム「DIASTARS (Dynamic Interaction Analysis for Shinkansen Train And Railway Structures)」⁴⁾を用いた。

(1) 車両モデル 図 1 に車両モデルを示す。ここでは車体・台車・輪軸をそれぞれ剛体と仮定し、それら相互をバネとダンパで結合した力学モデルを用いている。車体および台車は、それぞれの重心位置で、左右、上下、ローリング、ピッチング、ヨーイングの 5 自由度を有する。各輪軸は、これらからピッチングを除く 4 自由度を有する。ただし、本検討では上下方向の運動のみ着目した。

表 1 に検討に用いた 4 種類の車両モデルの主な諸元を示す。車体重量については全て定員乗車時のものを用いた。車両の編成両数は 1 両とし、列車速度 V は 350km/h とした。表 1 に示されている A 系車両は軸重 16tf の従来車両モデル（基準車両モデル）であり、B～D 系は近年実用化された新型車両モデルである。

(2) 橋桁モデル 橋桁モデルは、図 2 に示すように既往の調査と同様のスパン長 L_b を半波長とし、くぼみ量 y を片振幅とする半正弦波くぼみを用いた。ただし、桁端部にはレール曲げ剛性を考慮した緩和区間を設けた²⁾。スパンが複数連続の場合は、図 2 に示した半正弦波くぼみをスパン数だけ繰り返して用いている。ここでは、スパンが 1 連と 5 連の場合について結果を示す。

3. 評価基準 解析結果は乗心地と走行安全性の観点から評価した。乗心地については車体加速度に着目し、図 3 に示す Janeway の乗心地基準（乗心地係数 1.5）に照らした。また、走行安全性については、各車輪の輪重減少率（動的輪重減少量／静的輪重）に着目し、A 限度（減少率 28.1%）⁵⁾に照らした。

4. 車両の振動モード 表 2 に車両モデルの振動モードと固有振動数を示す。上下方向の車両振動を支配する主な振動モードは、車体上下、車体ピッチング、車体上下＋台車上下、車体ピッチング＋台車ピッチングの 4 種類である。

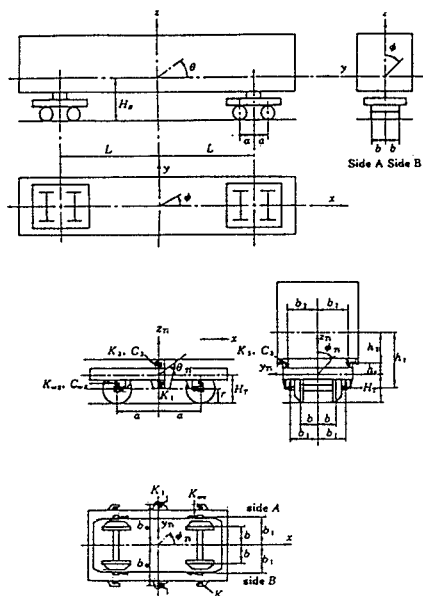


図 1 車両の力学モデル

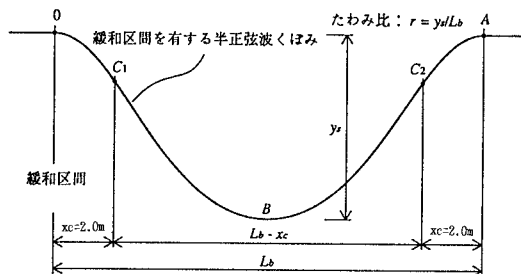


図 2 半正弦波くぼみモデル

表 1 解析に用いた車両の主要諸元

名 称	記号	単位	A系	B系	C系	D系
半車体質量	m	$t \cdot s^2/m$	2.039	1.631	1.525	1.969
台車枠質量	mT	$t \cdot s^2/m$	0.605	0.310	0.290	0.310
輪軸質量	mW	$t \cdot s^2/m$	0.255	0.182	0.173	0.182
上下空気バネ定数	$K3$	t/m	57.3	27.0	25.0	48.8
同減衰定数	$C3$	$t \cdot s/m$	4.9	4.6	4.3	5.3
軸バネ定数	Kwz	t/m	115.0	120.0	96.0	113.3
同減衰定数	Cwz	$t \cdot s/m$	4.0	4.0	4.0	4.0
静軸重	Ps	tf	15.5	11.3	10.6	13.0

キーワード 高速鉄道 乗心地 走行安全性 たわみ制限

*1 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7279 FAX 042-573-7472

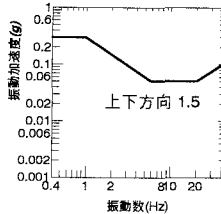


図3 JANEWAY乗心地基準

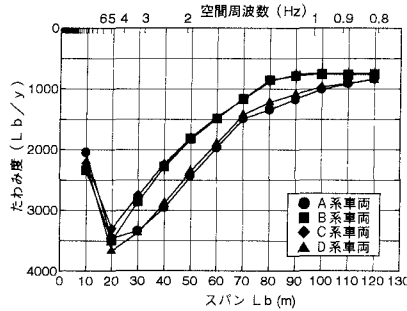


図4 (a)乗心地によるたわみ制限（1連）

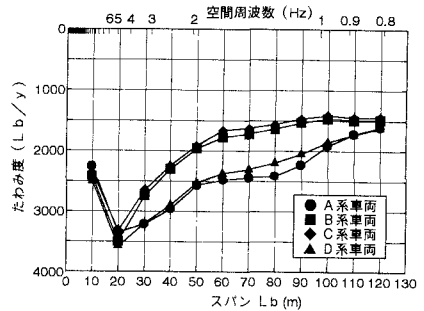


図4 (b)乗心地によるたわみ制限（5連）

表2 車両の振動モード及び固有振動数(Hz)

A系	B系	C系	D系
車体上下			
1.1	0.9	0.9	1.0
車体と"ツチク"			
1.3	1.0	1.0	1.3
車体上下+台車上下			
4.9	6.6	6.2	6.6
車体と"ツチク"+台車上下			
4.9	6.6	6.2	6.6

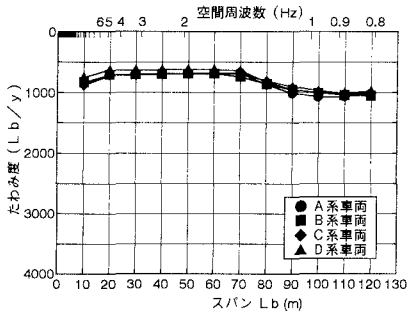


図5 (a)走行性によるたわみ制限（1連）

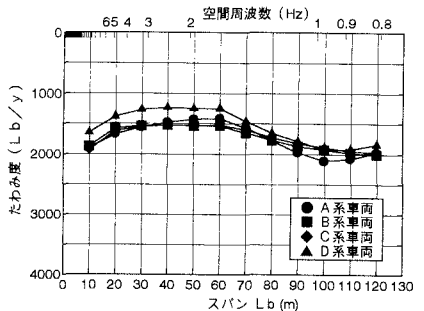


図5 (b)走行性によるたわみ制限（5連）

5. 解析結果 乗心地および走行安全性により定まるたわみ量の制限値（ここでは L_b/y ）とスパン長との関係をそれぞれ図4および5に示す。同図には $f=L_b/V$ により計算される空間周波数も横軸に同時に示した。

図4に示した乗心地から定まるたわみ量の制限値からは、 L_b が20m付近（空間周波数で5Hz付近）で厳しくなり、 L_b が長くなるに応じて徐々に緩和されているのが分かる。これはJanewayの乗心地基準の値が1Hzから6Hzに向けて小さくなっていることに呼応する。また、スパンが1連と5連の場合とでは、 L_b が50m以上となると違いが生じてくるのが分かる。これは空間周波数 f が車両の上下方向の固有振動数に近くなり、繰り返しの影響が生じてくるためと考えられる。

車両モデルの違いによる影響については、B、C系とA、D系がそれぞれ近い値であり、主として空気バネ定数の影響であると考えられる。B～D系の解析結果は、A系のそれにより安全側に包絡できるものの、多少の開きがあることが分かる。

図5に示した走行安全性から定まるたわみ量の制限値に関しては、 L_b に対して大きなピークを生じることがないことが分かる。輪重減少は、桁端の角折れ通過時に生じる輪軸の慣性力に起因するものと、くぼみ通過時に生じる車体加速度に起因するものとに分かれ、一般には前者が支配的である。 L_b/y が同じであれば桁端の折れ角も θ 同値となり、輪重減少はほぼ一定となる。従って図中に示したようにたわみ量の制限もほぼ一定となる。また、 L_b が100m付近（空間周波数で1Hz付近）で若干厳しくなる傾向にあるのは、車体加速度の影響である考えられる。スパンが5連の場合は1連に比べてたわみ量の制限値 L_b/y が概ね2倍となっているが（厳しくなっている）、これはスパンが連続する場合には相対的な折れ角が2倍となることによる。

車両モデルの違いによる影響については、A～D系ともほぼ同一の値であった。前述したように輪重減少量は、輪軸の慣性力に起因しており、従って輪軸質量が支配的要因となる。表1に示したA系とB～D系の輪軸質量には差が見られるが、4本の輪軸が全車質量に占める割合は14～16%とほぼ一定であり、動的輪重減少量/静的輪重で定義される輪重減少率としては、結果的に同一の値となった。

さらに、図4および図5の両者から、 L_b が100m以上の長スパンを除き、橋桁のたわみ量の制限値は乗心地により定まることが分かる。

当然のことではあるが、ある特定の橋梁を軸重の異なる車両が通過する場合、そのたわみ量は軸重に比例する。仮に本検討の輪重変動率のように、一定たわみ量に対する各車両モデルの応答が差がないのだとすれば、軽量車両の走行性は、重軸重車両に比較して線形に軸重比方向向上することを付記しておく。

6. まとめ 近年実用化されている新型車両と従来車両との車両モデルの違いが橋桁のたわみ量の制限値に与える影響について解析的に検討を行った。その結果、従来車両モデルによる制限値は、新型車両によるそれを概ね包絡できることが得られた。今後は、橋桁を振動系として取扱った場合について検討を行う予定としている。

文献 1)鉄道総合技術研究所：鉄道橋造物設計標準・同解説 コンクリート橋造物、丸善、1992.11 2)松浦章夫：新幹線橋梁における橋桁の鉛直たわみの許容限度、鉄道技術研究報告、No.894、1974.3 3)松本信之、涌井一：高速新幹線走行に対する桁のたわみ限度に関する検討、橋梁交通振動に関するコロキウム論文集 PART B 1995、1995 4)涌井一、松本信之、松浦章夫、田辺誠：鉄道車両と線路橋造物の連成応答解析法に関する研究、土木学会論文集 No.513/1-31、129-138、1995.4 5)佐藤吉彦、三浦重：走行安全ならびに乗心地を考慮した線路橋造物の折れ角限度、鉄道技術研究報告、No.1086、1978.7