

(I - 44) 移動荷重による鋼箱桁の局部振動について

山梨大学工学部 正員 岡村 美好
山梨大学工学部 正員 深澤 泰晴

1. はじめに 鋼鉄道橋においては、列車走行によって構成板要素に面外方向の曲げ振動が生じ、疲労亀裂や騒音放射の要因になることが知られている。本研究では、鋼箱桁および硬質ウレタンを充填した複合桁¹⁾について、移動荷重が作用する場合の動的応答解析を行い、移動荷重による鋼鉄道橋の局部振動特性を明らかにするとともに、硬質ウレタンの影響について検討した。

2. 解析の概要 図-1、図-2に示すような両端が単純支持された鋼箱桁および複合桁について、1点集中荷重が上フランジ中央部を移動する場合の動的応答解析を行った。解析には、有限帯板法と有限ブリズム法を併用した離散化モデル²⁾を適用し、応答計算はモード解析法とニューマークの β 法を用いて行った。要素分割は、対称条件を考慮した半分の断面について、鋼箱桁部分を帯板要素28分割、硬質ウレタン部分を8節線ブリズム要素24分割とした。また、モード解析における採用モード次数は、変位応答の収束性について検討を行い、部材軸方向モード次数は100、各部材軸方向モード次数あたりの断面変形モード次数は、鋼箱桁では10次まで、複合桁では20次までを用いることとした。また、時間積分法の刻み Δt は、採用したモードの最小固有周期の1/20とした。

材料定数は、鋼箱桁のヤング係数 $E_p=2.06 \times 10^{11}$ Pa、ポアソン比 $\nu_p=0.3$ 、密度 $\rho_p=7.85 \times 10^3$ kg/m³、減衰定数 $h_p=0.01$ 、硬質ウレタンのヤング係数 $E_u=1.03 \times 10^7$ Pa、ポアソン比 $\nu_u=0.0$ 、密度 $\rho_u=31.4$ kg/m³、減衰定数 $h_u=0.03$ を用いた。

3. 解析結果と考察

鋼箱桁と複合桁の鉛直曲げ波動と縦波動の第1次位相速度分散曲線および群速度分散曲線^{2), 3)}を図-3に示す。縦軸は鋼のせん断波速度 c_s (≈ 3176 m/s)に対する位相速度 c_p および群速度 c_g の比、横軸は波長 λ に対する桁高 h の比の α である。

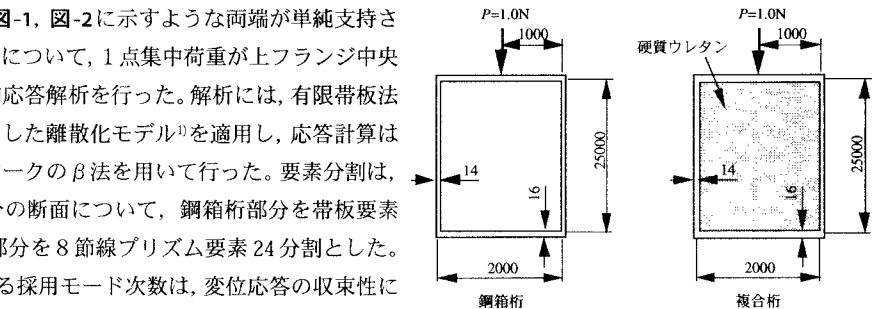


図-1 解析断面

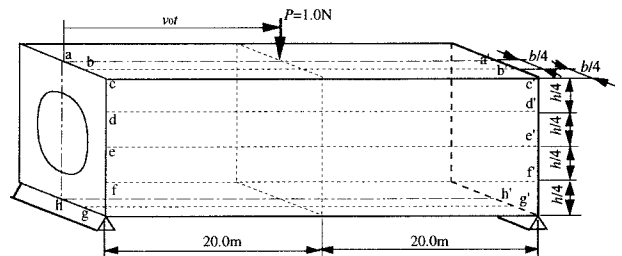


図-2 解析モデルと応答着目断面

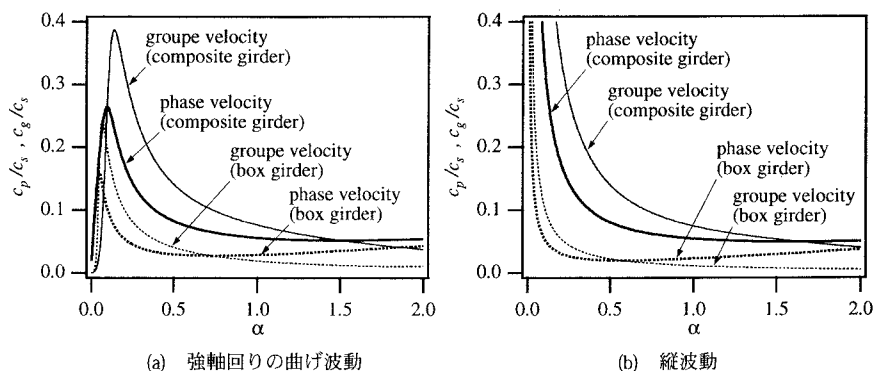


図-3 波動伝播特性

位相速度分散曲線は、強軸回りの曲げ波動において、はりの曲げ波動に支配される波長が長い領域では複合桁と鋼箱桁ではほぼ一致しているが、その他の板要素の曲げ波動に支配される領域では鋼箱桁よりも複合桁の方が大きくなる。

キーワード：鋼箱桁、移動荷重、局部振動、硬質ウレタン、制振効果

連絡先：〒400-8511 山梨県甲府市武田四丁目3-11 TEL 055-220-8520 FAX 055-220-8773

また、位相速度分散曲線と群速度分散曲線は板要素の曲げ波動に支配される領域において交差するが、この点は位相速度の極小点でもあり、これより α が大きい領域では位相速度の方が大きくなる。なお、複合化によって極小位相速度は大きくなり、強軸回りの曲げ波動における極小位相速度は、鋼箱桁で309.9km/h、複合桁で590.0km/h、縦波動においては、鋼箱桁で221.8km/h、複合桁で561.4km/hとなった。

動的応答解析では、荷重がスパン中央断面を通過した際の各応答着目断面における面外変形に着目し、移動荷重の速度を変えて応答の違いについて検討した。

断面a-a'における鉛直たわみの分布の一例を図-4に示す。縦軸ははり理論で求めた鋼箱桁の静的たわみ量 d_s に対する応答変位 d の比(=応答倍率)である。 $v_0=100\text{km/h}$ では、載荷点付近に顕著なたわみが生じ、複合桁の最大応答倍率は鋼箱桁の1/3以下である。複合桁の分布は荷重速度が変化してもほとんど変化しないが、鋼箱桁の最大応答倍率は荷重速度の増大とともに大きくなり、 $v_0=300\text{km/h}$ では荷重の前後におけるたわみの分布が非対称となっている。これは、荷重速度が、先に述べた極小位相速度より大きくなったことにより、荷重の前方には波の群は伝播されずに正弦波のみが伝播し、荷重の近傍と後方にだけに波の群が伝播するためだと考えられる。

荷重速度と最大応答倍率の関係を図-5に示す。最大応答倍率は、複合桁ではほぼ一定であるが、鋼箱桁では200km/h付近と300~350km/hでピークを示し、300km/hでは複合桁の約10倍となっている。これらのピークにおける荷重速度は、図-3で得られた縦波動と鉛直曲げ波動の極小位相速度221.8km/h、309.9km/hに対応している。なお、荷重速度が極小位相速度に近づくと最大応答倍率が増大することは、複合桁についても確認している。

図-6は、鋼箱桁について、荷重速度300km/hのときの各応答着目断面における面外方向の変位の分布を示したものである。ウェブや下フランジにおいても面外変形が生じ、荷重速度が極小位相速度を越えたことによる変形分布の非対称性が現れている。

4. まとめ 鋼箱桁および硬質ウレタンを充填した複合桁について、波動伝播特性を明らかにするとともに、移動荷重が作用する場合の局部振動について検討を行った。その成果をまとめると以下になる。(1)硬質ウレタンとの複合化により、極小位相速度が大きくなり、通常の車両速度の範囲における最大応答倍率の増大を抑制することができる。(2)移動荷重によって生じる局部たわみ量は、硬質ウレタンとの複合化により大きく低減され、本解析で用いた複合桁の最大応答倍率は鋼箱桁の約1/3~1/10になる。

【参考文献】1) 岡村美好, 深澤泰晴: 鋼・硬質ウレタン複合部材の局部振動特性, 応用力学論文集, Vol.1, pp.345-353, 1998. 2) Y. C. ファン: 固体の力学/理論, pp.335-338, 培風館, 1981. 3) 岸徳光: 薄肉断面ばりの応力波の位相速度分散曲線とその応用に関する研究, 北海道大学提出学位論文, 1977.

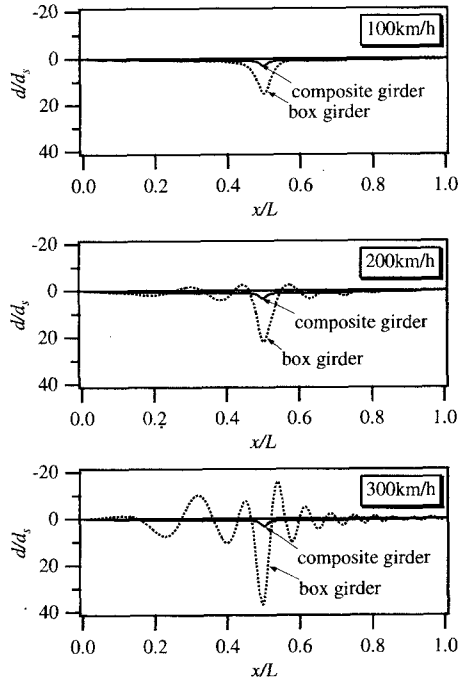


図-4 荷重速度による鉛直たわみ分布の比較

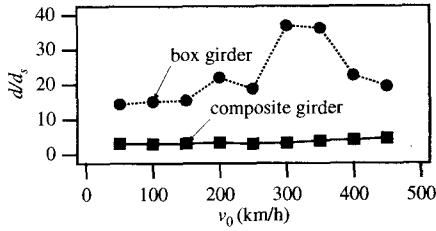


図-5 荷重速度と最大応答倍率の関係

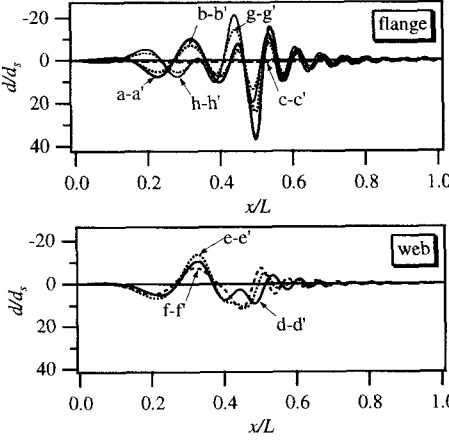


図-6 鋼箱桁の面外変形の分布 ($v_0=300\text{km/h}$)