

鋼・硬質ウレタン複合板の弾性衝撃挙動

ELASTIC IMPULSIVE BEHAVIOR OF COMPOSITE PLATES OF STEEL AND RIGID URETHANE

岡村美好*, 深沢泰晴**

Miyoshi OKAMURA and Yasuharu FUKASAWA

* 工博 山梨大学助手 工学部土木環境工学科 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

** 工博 山梨大学教授 工学部土木環境工学科 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

キーワード：複合板，鋼板，硬質ウレタン，衝撃挙動

(composite plate, steel plate, rigid urethane, impulsive behavior)

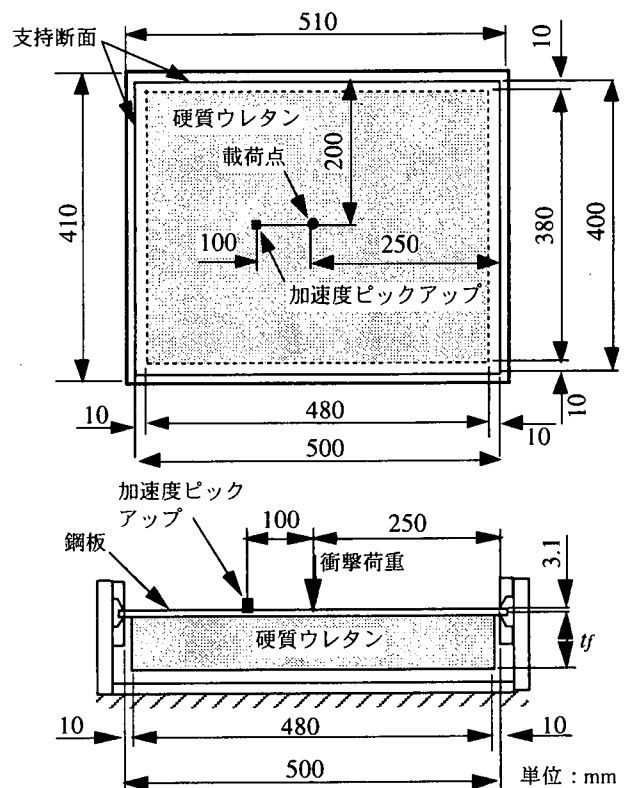
1. はじめに

走行車両による鋼鉄道路橋の振動問題においては、継手部分の段差によって生じる衝撃的な荷重の影響が大きいことが明らかにされている。このような振動に対する制振方法の一つとして、鋼桁と硬質ウレタンの複合化¹⁾を挙げることができる。

このような鋼桁と硬質ウレタンの複合部材については、その制振効果を実験的に把握する^{1), 2)}とともに、数値解析により振動低減メカニズムを解明することが試みられてきている^{3), 4)}。しかしながら、解析結果と実験結果の比較についての報告はほとんどなく、このような複合部材における解析手法の有効性や解析結果の妥当性については議論されていない。

そこで、本研究では、鋼板と硬質ウレタンの複合板の弾性衝撃挙動について、実験的に把握するとともにこれまでに行われている解析手法の有効性について検討することを目的として、衝撃実験および衝撃応答解析を行った。衝撃実験では、硬質ウレタンの厚さによる制振効果の違いを明らかにするとともに、硬質ウレタンの減衰定数の推定を行った。弾性衝撃応答解析は有限帯板法と有限プリズム法を併用した離散化モデルを適用し、実験で得られた荷重および減衰定数を用いて行った。

辺の中側5mmの断面をナイフエッジで挟んで単純支持とし、支持台は床にボルトで固定した。実験は、鋼板spと、硬質ウレタンの厚さによる影響を把握するために硬質ウレタンの厚さを2, 4, 6cmと変化させ



2. 実験の概要

実験供試体を図-1に示す。供試体は鋼板の片面に硬質ウレタンを吹き付けて作成したもので、鋼板各

供試体名	sp	cp2	cp4	cp6
ウレタン厚(mm)	0	20	40	60

図-1 実験供試体

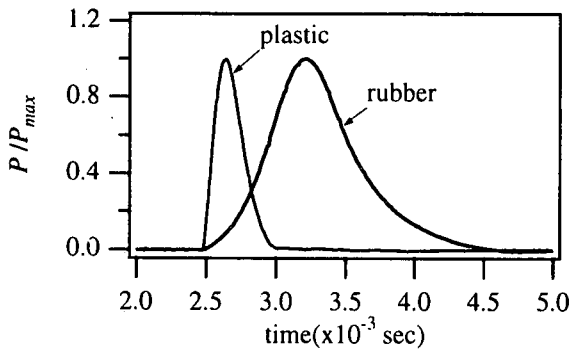


図-2 衝撃荷重

た鋼・硬質ウレタン複合板 cp2, cp4, cp6 の3種類、合計4種類について行った。

衝撃荷重は、鋼板面の中央点をインパルスハンマーで叩くことにより与え、インパルスハンマーのチップはゴムチップとプラスチックチップを使用した。これによって生じた鋼板の鉛直方向応答を載荷点から10cm離れた位置に設置した加速度ピックアップで受信し、汎用振動計の積分回路を用いて振動速度応答として測定した。測定データは、ゴムチップ、プラスチックチップを使用した場合のサンプル周波数をそれぞれ100kHz, 200kHzとして、データ数8192個で取り出した。

3. 実験結果

実験で得られた衝撃荷重の波形を図-2に示す。縦軸は、荷重の大きさを各荷重の最大値で無次元化して表している。

図-3は、ゴムチップを使用した時の硬質ウレタンの厚さによる複合板の振動速度応答の違いを示したものである。なお、図には鋼板 sp の振動速度応答も示している。縦軸は荷重の最大値に対する振動速度の比であり、横軸は時間で表している。実線が複合板、点線が鋼板の振動速度を表している。

鋼板と複合板の応答波形を比較すると、いずれの複合板でも荷重直後の振幅から差が生じ、時間が経過するのに伴って振幅の差は大きくなっている。そして、硬質ウレタンが厚いほど減衰が大きく、鋼板 sp の応答波形との位相差も大きくなっている。

図-3に示した振動速度応答曲線に200Hz (50 μ s @ 100) の矩形ウィンドウをかけて平滑化を行い、第1次振動の波形を分離することにより、各供試体の減衰定数を求めた。その結果を図-4に示す。縦軸は減衰定数、横軸は複合板のウレタン厚であり、■印は鋼板、●印は複合板を表す。また、図中の数字は、各

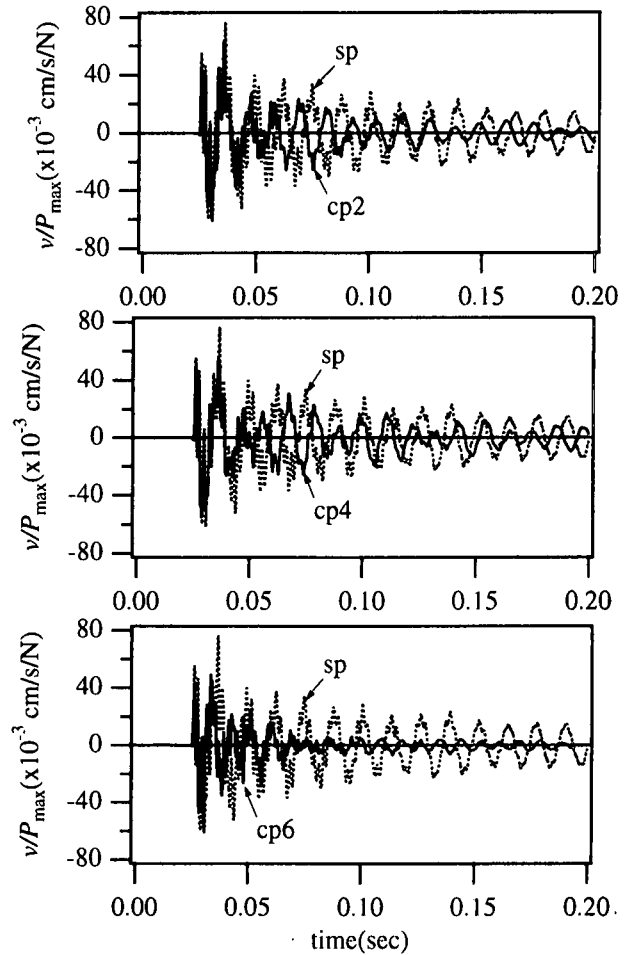


図-3 ウレタン厚による振動速度応答の比較 (ゴムチップ使用)

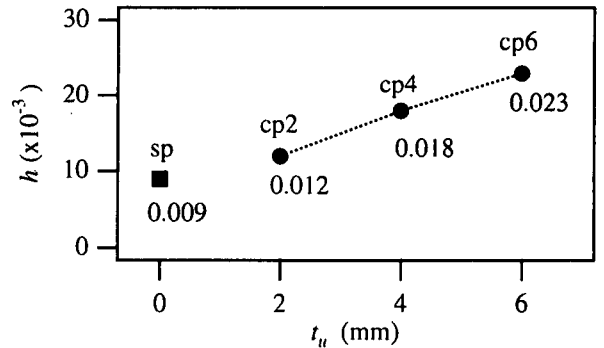


図-4 ウレタン厚による減衰定数の比較

供試体の減衰定数である。硬質ウレタンの厚さが増加するのに伴って複合板の減衰定数は大きくなり、ウレタン厚と複合板の減衰定数はほぼ線形関係にあることがわかる。なお、これらの複合板の減衰定数を合成減衰定数⁵⁾として硬質ウレタンの減衰定数を逆算したところ、0.05となった。

図-5は、プラスチックチップを使用した時の振動速度応答のフーリエスペクトルについて、ウレタン厚による比較を示したものである。実線が複合板、

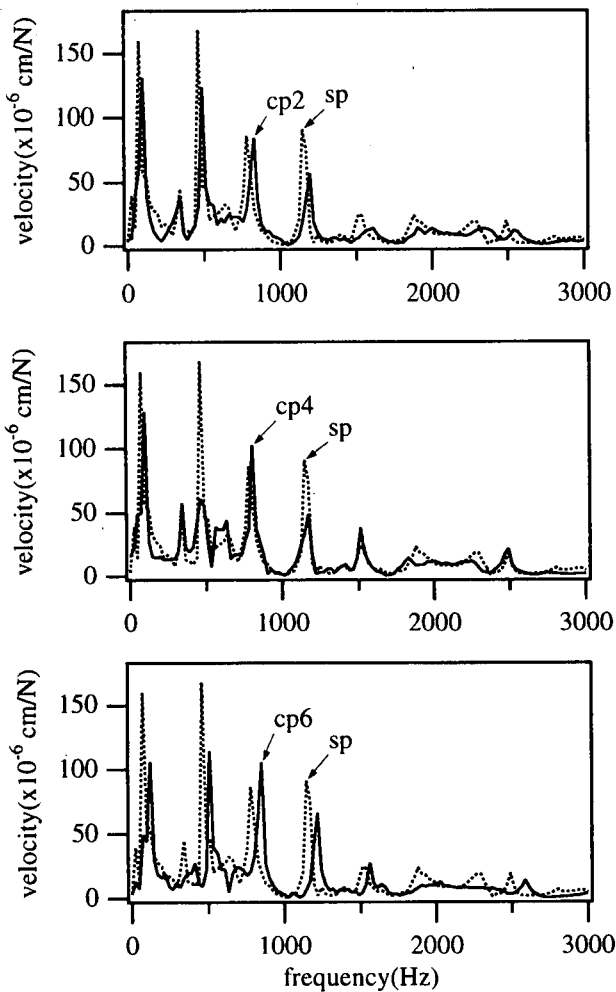


図-5 ウレタン厚による振動速度応答のフーリエスペクトルの比較（プラスチックチップ使用）

点線が鋼板のフーリエスペクトルを表している。

いずれの複合板においても各卓越振動数は鋼板よりも大きく、その差は硬質ウレタンが厚くなるほど大きくなっている。複合板におけるピーク時のスペクトル振幅は、最小卓越振動数においてはウレタンが厚くなるほど小さくなる傾向を示しているが、その他の卓越振動数では鋼板のスペクトル振幅よりも大きい場合も生じている。また、複合板の2000Hz前後のスペクトルにおいては明確なピークが現れておらず、特にcp6では滑らかなものとなっている。これらは、解析的に明らかになっている硬質ウレタン変形が卓越した振動モードが生じたことによる制振効果⁴⁾が現れたものと考えられる。

4. 解析の概要

実験で得られた鋼板および硬質ウレタンの減衰定数を用いて、有限帯板法と有限プリズム法を併用した離散化モデルを適用した数値解析³⁾を行い、実験結

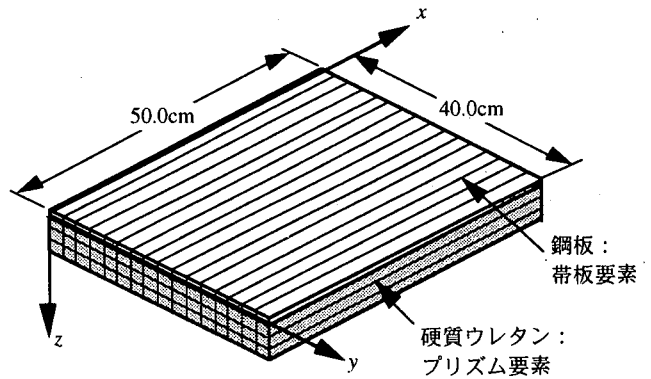


図-6 解析モデル

果との比較を行った。

図-6に鋼・硬質ウレタン複合板の解析モデルを示す。境界条件は、実験では鋼板の4辺だけを単純支持としていたが、解析においては、有限帯板法および有限プリズム法の変位場の仮定により、支持断面の硬質ウレタンは断面変形が拘束されたものとなっている。また、荷重は実験で得られた値を集中荷重として作用させた。

材料定数については、硬質ウレタンは等方弾性体で鋼板の片面全体に完全に付着しているものと仮定し、以下の値を使用した。

鋼板：ヤング係数 $E_s = 2.06 \times 10^{11} \text{Pa}$
 ポアソン比 $\nu_s = 0.3$
 単位体積質量 $\rho_s = 7850 \text{kg/m}^3$
 減衰定数 $h_s = 0.01$

硬質ウレタン：
 ヤング係数 $E_u = 1.03 \times 10^7 \text{Pa}$
 ポアソン比 $\nu_u = 0.0$
 単位体積質量 $\rho_u = 31.4 \text{kg/m}^3$
 減衰定数 $h_u = 0.05$

ここで、鋼板および硬質ウレタンの減衰定数はすべてのモードについて一定であると仮定した。

要素分割は、鋼板を帯板要素32分割とし、ウレタン部分はウレタン厚6cmの場合でプリズム要素16×3分割とし、その他のウレタン厚の複合板についてはウレタン厚に応じて分割数を減少させた。モード解析に用いるモード次数は、振動速度応答の収束性について検討した結果、4000Hz以下のすべてのモードを用いた。

5. 実験結果と解析結果の比較

ゴムチップを使用した時のcp6の振動速度応答について実験結果と解析結果で比較したものを図-7に

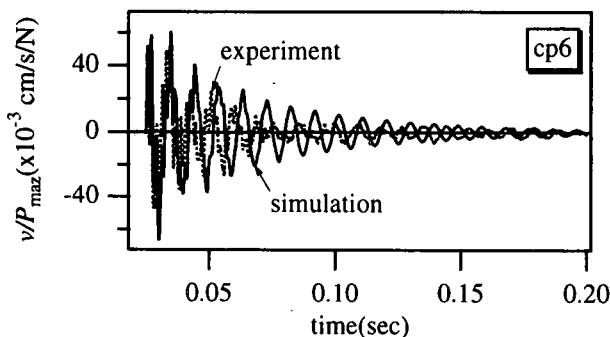


図-7 実験結果と解析結果の比較 I
(cp6, ゴムチップ使用)

示す。実線が解析結果を、点線が実験結果を表している。

解析結果と実験結果の応答波形には位相差が生じており、0.08sec前後においては振幅の差も大きなものとなっている。しかし、時間が経過して低次の振動モードに移行していくと解析結果と実験結果の振幅と周期はほぼ一致しており、実験と解析で境界条件の違いはあるものの本解析方法により妥当な解析結果が得られることがわかる。

図-8は、プラスチックチップを使用した時の cp6 の振動速度応答とそのフーリエスペクトルを実験結果と解析結果で比較したものである。

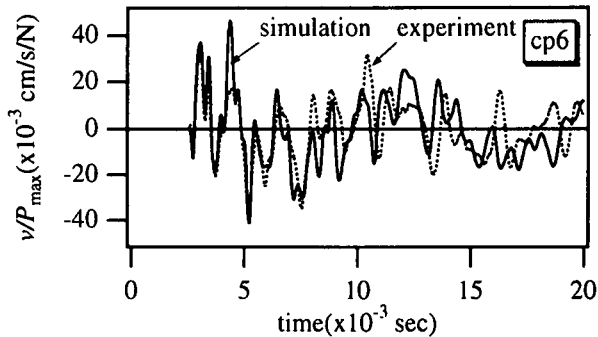
初期の応答波形は実験結果と解析結果でよく一致している。フーリエスペクトルは、実験結果と解析結果のスペクトル振幅に差があるが、卓越振動数はほぼ一致しており、本解析方法の有効性を確認することができる。

6. まとめ

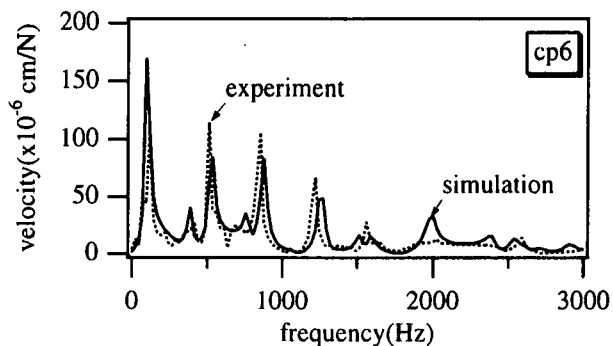
鋼・硬質ウレタン複合板について衝撃実験を行い、硬質ウレタンの厚さによる制振効果の違いを明らかにするとともに硬質ウレタンの減衰定数の推定を行った。さらに、有限帯板法と有限プリズム法を適用した離散化モデルを用いて弾性衝撃応答解析を行い、実験結果との比較により解析方法の有効性について検討した。

その成果をまとめると以下のようになる。

- (1) 鋼・硬質ウレタン複合板の卓越振動数は鋼板よりも大きくなり、その差はウレタンが厚くなるのに伴って大きくなる。
- (2) 鋼・硬質ウレタン複合板の第1次振動に対する減衰定数は硬質ウレタンの厚さにほぼ比例する。合成減衰定数から硬質ウレタンの減衰定数を求めたところ、本研究で用いた硬質ウレタンの減衰定数は



(a) 振動速度応答



(b) 振動速度応答のフーリエスペクトル

図-8 実験結果と解析結果の比較 II
(cp6, プラスチックチップ使用)

0.05 となった。

(3) 鋼板部分を帯板要素で、ウレタン部分をプリズム要素で離散化したモデルを用いた動的応答解析方法の有効性を確認した。

参考文献

- 1) 太田貞次, 深沢泰晴, 桧貝勇: 硬質ウレタンを充填した合成型枠橋の開発研究, 構造工学論文集, Vol.39A, pp.1279-1288, 1993.
- 2) 太田貞次, 深沢泰晴, 小川夏樹: 硬質ウレタン添加によるプレートガーダーの制振・消音, 第21回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-29, 1994.
- 3) 岡村美好, 深沢泰晴, 太田貞次: 軽量充填材・プレートガーダー複合桁の弾性衝撃応答解析, 第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム論文集, pp.289-294, 1996.
- 4) 岡村美好, 深沢泰晴: 鋼・硬質ウレタンにおける振動・放射音の低減特性, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.683-691, 1999.
- 5) 大崎順彦: 建築振動理論, 彰国社, pp.299-316, 1996.
- 6) 日清紡: Airliteform Technical Bulletin, 1995.