

引き抜き成形材を用いた床版橋形式 GFRP 歩道橋の振動特性

首都大学東京大学院 学生員 崔 賢・学生員 高橋 建  
首都大学東京 フェロー 前田研一\*・正会員 中村一史  
IHI 正会員 北山暢彦・旭硝子マテックス 正会員 林耕四郎・渡邊哲也

1. まえがき

著者らは、軽量、耐食性、耐候性などの特長を有するガラス繊維強化プラスチック (GFRP; Glass Fiber Reinforced Plastic) の引き抜き成形材を用いて、床版橋形式歩道橋を開発し<sup>1)</sup>、その実現性を確かめてきたが、適用可能支間長はたわみ制限または振動使用性で決定された。本研究では、提案した床版橋形式GFRP歩道橋の振動特性を把握するために、実大模型を用いた振動試験を実施するとともに、試設計されたモデルを対象に固有振動特性について解析的な検討を行った。

2. 実大模型試験体の振動特性

床版橋形式GFRP歩道橋の桁断面の一部分を対象として、既製品の引き抜き成形材であるシート材 (F1000×2 層) とI 形材 (I300) をマットイン接着で貼り合わせて、実大模型試験体 (図-1, 2) を製作した。この試験体を用いて、L/2 点およびL/4 点に加速度センサーを設置し、人の飛び跳ねによる振動試験を行った。材料物性値を表-1 に示す。これらは、JIS に準拠した物性試験を行って求められた値であり、試験が実施できなかった部位については表中に仮定値として示している。解析には、3 つの解析手法を適用した。すなわち、直行異方性を考慮したソリッド要素による 3 次元FEM解析 (MARC 2001)、せん断変形に伴うたわみを考慮したTimoshenkoはり理論に基づく骨組構造解析 (Y-FIBER 3D<sup>2)</sup>)、および、Bernoulli-Eulerはり理論に基づく解析である。

まず、測定された加速度波形とそのスペクトル解析結果を図-3, 4 に示す。その結果、卓越する固有振動数は 27.34Hz であった。また、3D FEM 解析、Timoshenko はり理論および Bernoulli-Euler はり理論に基づく解析により、算定された 1 次の固有振動数 (面内対称一次モード) は、それぞれ 28.67, 27.19, 28.28 (Hz) であり、実験結果と良い一致を示した。

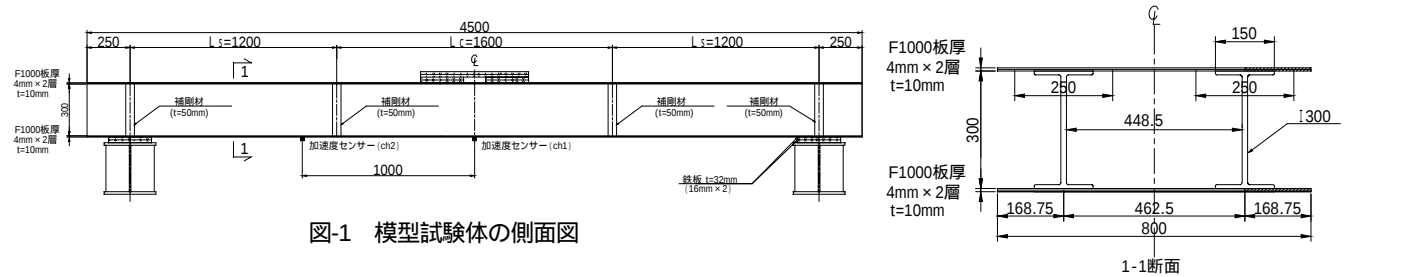


図-1 模型試験体の側面図

図-2 模型試験体の断面図

|                         |                 | F1000  | I300   |        | マットイン  |
|-------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| ヤング係数 (GPa)             | E <sub>x</sub>  | 29.1   | 34.2   | 25.4   | 9.1    |
|                         | E <sub>y</sub>  | (3.0)  | (3.0)  | 11.4   |        |
|                         | E <sub>z</sub>  | 10.3   | 15.1   | (3.0)  |        |
| ポアソン比                   | ν <sub>xy</sub> | (0.30) | (0.30) | 0.44   | (0.30) |
|                         | ν <sub>yz</sub> | (0.30) | (0.30) | (0.30) |        |
|                         | ν <sub>zx</sub> | (0.30) | 0.35   | (0.30) |        |
| せん断弾性係数 (GPa)           | G <sub>xy</sub> | (2.0)  | (2.0)  | 4.1    | (3.5)  |
|                         | G <sub>yz</sub> | (2.0)  | (2.0)  | (2.0)  |        |
|                         | G <sub>zx</sub> | 4.5    | (4.0)  | (2.0)  |        |
| 密度 (kN/m <sup>3</sup> ) |                 | 17.99  | 17.55  | 17.55  | 13.01  |

X: 橋軸方向, Y: 鉛直方向, Z: 橋軸直角方向, ( ) 内は仮定値

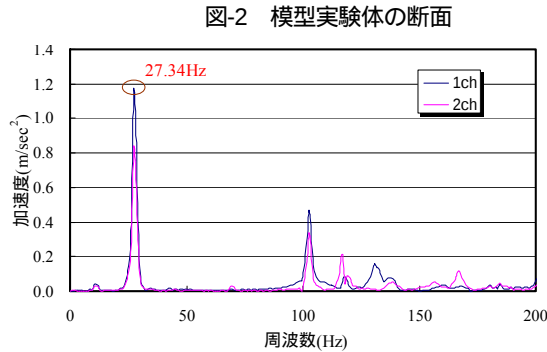
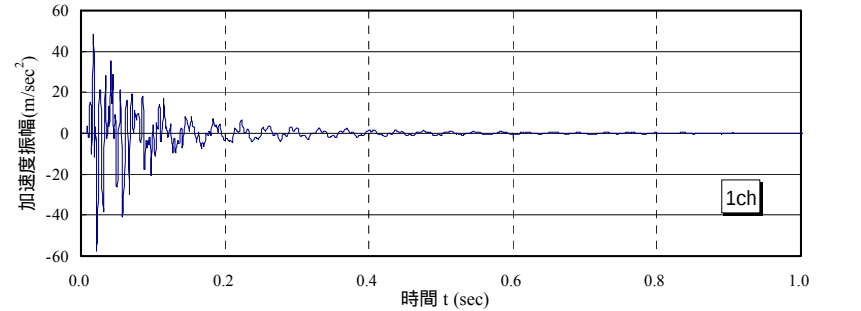


図-4 スペクトル解析結果

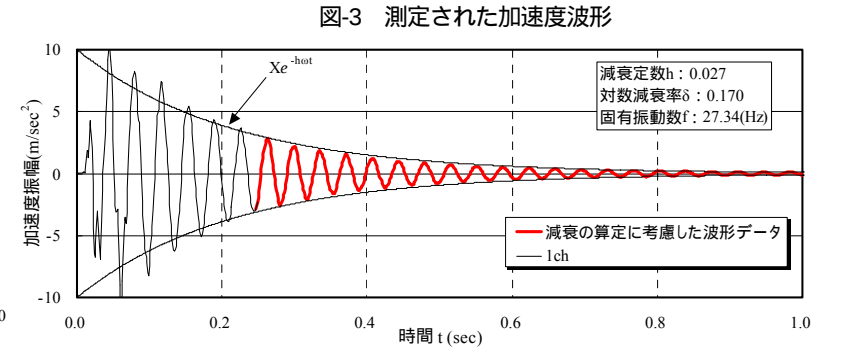


図-5 バンドパスフィルタ (20-30Hz) で調整後の加速度波形

Key Words : GFRP, 引き抜き成形材, 固有振動数, 減衰係数, 歩道橋  
連絡先\*: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 0426-77-1111 FAX. 0426-77-2772

また、減衰特性を把握するために、バンドパスフィルタ（20-30Hz）で調整後の加速度波形を図-5 に示す．図より、減衰定数は2.7%となり、大きな減衰が得られることが解った．これは、FRP 部材の高いエネルギー吸収性が寄与したものと考えられる．

3. 床版橋形式 GFRP 歩道橋の固有振動特性

試設計された床版橋形式GFRP歩道橋（図-6，7）を対象に、固有振動特性について解析的な検討を行った．試設計では、道路橋示方書・同解説、立体横断施設技術基準・同解説に準拠した．地覆は、GFRP部材としたが、断面剛性には寄与しないものとした．支持条件は、たわみを低減するために、アンカーボルトによる擬似両端固定支持とした．中央支間長Lについては、Bernoulli-Eulerはり理論に基づいてたわみを算定し、中央支間Lに対するたわみ制限がL/600 を満足するものとして、 $L_{max}=16(m)$ と決定した．地覆、高欄、および、モルタル舗装の死荷重はそれぞれ、0.126，0.560 および 1.202（kN/m）とした．

各解析方法による固有振動解析結果を表-2 に、3D FEM 解析で求められた固有振動モード図を図-8 にそれぞれ示す．まず、最低次の固有振動数は、3D FEM によるものが最も低くなることが解った．これは、材料の異方性の性質や、橋軸直角方向の局部的なたわみ振動の影響などが考えられるが、回避すべき共振振動数領域（1.5～2.3Hz）よりも高い固有振動数が得られており、設計上、問題ないことが確かめられた．また、ねじり対称一次モードが低次で現れることから、幅員がより広くなる場合には、ねじり振動にも留意する必要があるといえた．

最後に、構造形式別の Timoshenko はり理論に基づく固有振動解析結果を表-3 に示す．擬似両端固定支持とした試設計モデルは、両端固定モデルとほぼ同程度の固有振動数が得られたが、単純支持モデルでは、たわみ制限も満たしていないが、振動使用性の観点からも実現は難しいといえる．

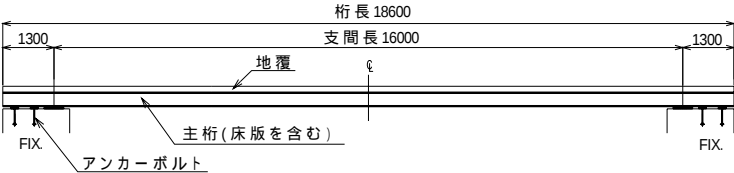


図-6 試設計モデルの側面図

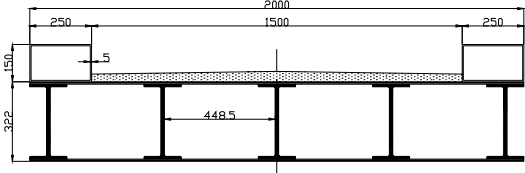


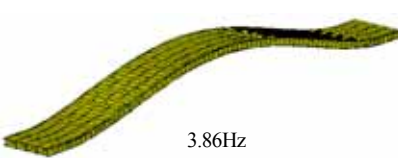
図-7 試設計モデルの断面図

表-2 固有振動解析結果

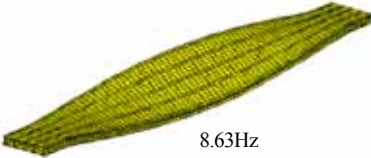
| 解析方法                        | 振動モード      | 固有振動数(Hz) |
|-----------------------------|------------|-----------|
| 直交異方性を考慮したソリッド要素による3次元FEM解析 | 面内対称一次モード  | 3.86      |
|                             | ねじり対称一次モード | 8.63      |
|                             | 面内逆対称一次モード | 10.31     |
|                             | 面内対称二次モード  | 19.58     |
|                             | ねじり対称二次モード | 25.02     |
|                             | 面内逆対称二次モード | 30.73     |
| Timoshenkoはり理論に基づく骨組構造解析    | 面内対称一次モード  | 4.28      |
|                             | 面内逆対称一次モード | 11.70     |
|                             | 面内対称二次モード  | 22.61     |
|                             | 面内逆対称二次モード | 36.66     |
| Bernoulli-Eulerはり理論による解法    | 面内対称一次モード  | 4.63      |
|                             | 面内逆対称一次モード | 12.78     |
|                             | 面内対称二次モード  | 25.08     |
|                             | 面内逆対称二次モード | 41.49     |

表-3 構造形式別の固有振動解析結果（Timoshenko はり理論）

| 構造形式    | 振動モード      | 固有振動数(Hz) |
|---------|------------|-----------|
| 試設計モデル  | 面内対称一次モード  | 4.28      |
|         | 面内逆対称一次モード | 11.70     |
|         | 面内対称二次モード  | 22.61     |
|         | 面内逆対称二次モード | 36.66     |
|         | ねじり対称一次モード | 8.63      |
| 両端固定モデル | 面内対称一次モード  | 4.72      |
|         | 面内逆対称一次モード | 12.74     |
|         | 面内対称二次モード  | 24.34     |
|         | 面内逆対称二次モード | 39.04     |
|         | ねじり対称一次モード | 8.63      |
| 単純支持モデル | 面内対称一次モード  | 2.11      |
|         | 面内逆対称一次モード | 8.35      |
|         | 面内対称二次モード  | 18.47     |
|         | 面内逆対称二次モード | 32.10     |
|         | ねじり対称一次モード | 8.63      |



(a)面内対称一次モード



(b)ねじり対称一次モード



(c)面内逆対称一次モード

図-8 3D FEM 解析による固有振動モード図

4. あとがき

以上のことから、実大模型試験体の振動試験結果より、FRPの特徴の一つでもある大きな減衰効果を期待できることが解った．また、試設計された床版橋形式GFRP歩道橋を対象に、固有振動特性について解析的に検討した結果、振動使用性の観点からも問題はなく、実現可能であるといえた．なお、曲げ変形特性については別項<sup>3)</sup>を参照されたい．

参考文献

1) 前田研一，北山暢彦，中村一史，林耕四郎，梶川康男：GFRP 引き抜き成型材を用いた歩道橋の開発と使用性，構造工学論文集，土木学会，Vol.50A，pp.375-382，2004.3.  
2) ヤマト設計：3次元ファイバーモデルによる鋼構造物の耐震解析システム Y-FIBER3D，2001.11.  
3) 高橋 建，崔 賢，前田研一，中村一史，北山暢彦，林耕四郎，渡邊哲也：引き抜き成型材を用いた床版橋形式 GFRP 歩道橋の曲げ変形特性，土木学会年次学術講演会講演概要集，第 60 回，第 1 部，2005.9.（投稿中）