

FRP 歩道橋の主桁部材設計法に関する検討

三菱重工業(株) 正会員 ○上林 正和 (独)土木研究所 正会員 西崎 到
 石川島播磨重工業(株) 正会員 小川潤一郎 旭硝子マテックス(株) 渡邊 哲也
 日東紡績(株) 平山 紀夫 新日本石油(株) 小林 智和
 (財)土木研究センター 正会員 佐伯 彰一

1. はじめに

従来の土木構造材料に比べて、軽量化と耐食性に優れた FRP 橋梁（歩道橋）は、国内ではその設計法が確立されていない。強度照査では、鋼材は降伏点が基準強度となるが FRP は引張強度（材料強度）であるため、安全率や座屈の考え方が異なる。また鋼材に比べて変形し易いことから、たわみ決定型の断面となる等の課題がある。

そこで効率的な FRP 歩道橋設計法を目的に、主桁部材に対して、歩道橋のたわみ制限の緩和や、FRP 座屈強度を用いた強度照査法を検討した。なお本研究は、土木研究所公募型共同研究「FRP を用いた橋梁の設計技術に関する共同研究」の一環として行われたものである。

2. 橋梁形式および主桁断面

従来構造での問題点抽出を目的に、橋梁構造は図 1 に示す標準的な鉸桁構造とし、主桁は I 型断面として検討した。材料は実用性（コスト）を考慮して GFRP とした。

3. 主桁部材設計法の考え方

FRP による主桁設計法は図 2 に示すように、主にたわみ照査と座屈照査から成り立つ手法とした。

FRP 積層材料の断面係数と、群集荷重（外力）により活荷重たわみを求める。たわみ許容値は、後述する振動応答解析により緩和を検討した。応力照査では、FRP 板の座屈理論から求まる座屈強度（圧縮、せん断）または材料実験値による照査を行う手法とした。

4. 許容活荷重たわみの緩和に関する検討

たわみ許容値は「主桁支間長 L の $1/600$ 」とされ「利用者への影響に配慮を加えた場合は支間長の $1/400$ で良い」^(*)より、歩行者通行時の振動解析を行った。

(1) 検討モデル

桁高 1m と 1.2m を想定し応力決定型のケース、活荷重たわみ（ $L/600$ ）決定型のケース、たわみ制限を $L/400$ または $L/300$ に緩和したケース（断面 2 次モーメントのみ設定）とした。断面試算結果を表 1 に示す。

(2) 歩行条件による活荷重の設定

活荷重は、幅員 3.5m 内に 5 人が平行して同調で歩く条件とした。（体重：70 kg，占有幅：0.75 m^(*)，同時歩行人数 = $3.5 / 0.75 = 4.67 \rightarrow 5$ 人と設定，歩調：約 2Hz で 5 人が同調，歩行速度：1.3m/s^(*)）

振動照査は、歩行者の歩行周波数 1.5～2.3Hz^(*)範囲内での最大応答値とした。

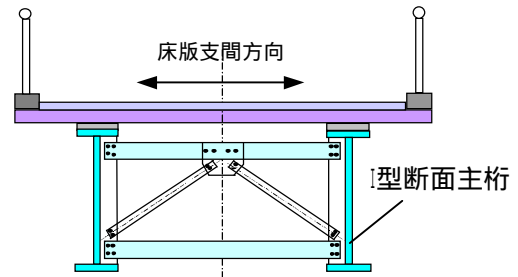


図 1. FRP 歩道橋構築形式の想定

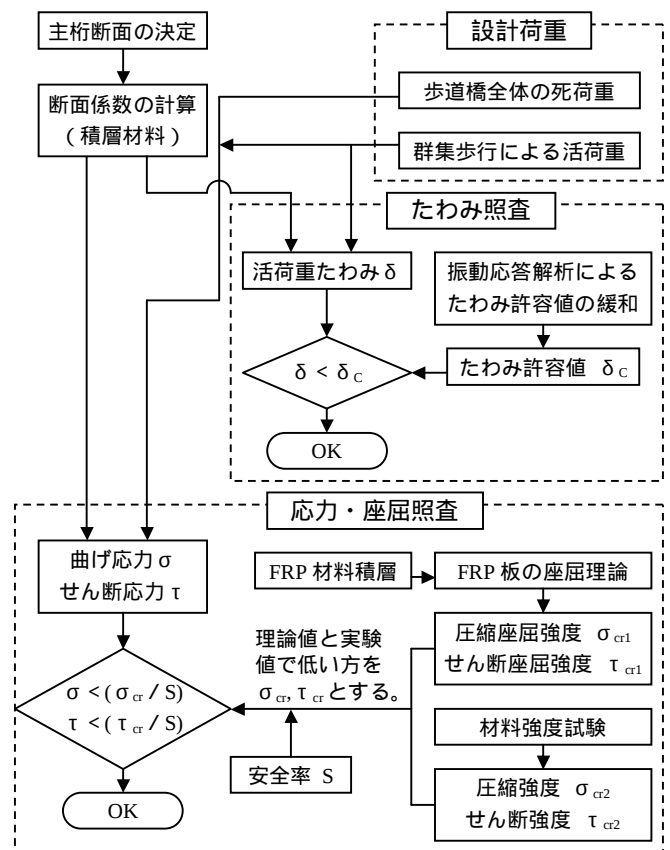


図 2. FRP 主桁設計フロー

キーワード FRP 歩道橋，FRP，主桁，設計，座屈，たわみ

連絡先：〒231-8715 神奈川県横浜市中区錦町 12 三菱重工業(株)横浜研究所 TEL 045-629-1483, FAX 045-629-1487

(3) 振動計算条件

減衰は、1.5%（沖縄 FRP 歩道橋実測値）及び 0.75%とした。死荷重は、8.127 [kN/m]（全ケース共通固定）とした。加振力は、歩行時における片足の載荷重 $F_0 = 0.4F$ （ F ：静荷重 $5 \times 70 = 350\text{kg}$ ）とした。

(4) 振動解析結果

加速度応答解析結果を図 3 に示す。各基準の振動許容値（ $0.1G$ 以下^{(*)1}， $0.5\sqrt{f}$ 以下^{(*)2}）も併記する。応力制限ケース（1-1,2-1）は固有振動数が 1.5～2.3Hz 範囲にあり許容値以上となったが、たわみ制限 L/300，L/400 では許容値以下であった。また使用性（歩行者の振動感覚）に関するじょ限度を実効値 1.7 [cm/s]とすると、たわみ制限 L/400（ケース 3）では 1.5 [cm/s]であり許容値以下であった（歩行者数や負荷状態は安全側評価）。以上からたわみ制限は L/400 を基準とした。

5．座屈強度の考え方および主桁部材の照査

(1) 座屈強度の考え方

FRP 板の座屈強度は、直交異方性積層理論による曲げ剛性（ $D_{11}, D_{12}, D_{22}, D_{66}$ ）を用いて、圧縮・せん断の座屈理論式(1), (2)を適用した。

$$\sigma_{cr} = 2\pi^2 / (t \cdot b^2) \cdot \{ \sqrt{D_{11} \cdot D_{22} + D_{12}^2} + 2D_{66} \} \cdots (1)$$

$$\tau_{cr} = C_a \cdot \sqrt[4]{D_{11} \cdot D_{22}^3} / \{ (b/2)^2 \cdot t \} \cdots (2)$$

$b = b_0 / f$ ， b_0 ：部材幅（ウェブ高，フランジ突出幅）

f ：応力勾配補正係数， C_a ：係数^{(*)3}

(2) 主桁部材の設計照査法

図 4 の I 型主桁構造におけるウェブはとフランジの強度照査は、(3)式, (4)式とした。

ウェブ照査： $\{ (\sigma / \sigma_{cr}) + (\tau / \tau_{cr})^2 \} \cdot S < 1 \cdots (3)$

フランジ照査： $(\tau / \tau_{cr}) \cdot S < 1 \cdots (4)$ （ S ：安全率）

(3) 主桁部材の試設計結果

実験用 3m、実橋想定 10m スパンの試設計を行い、表 2 の結果となった。主桁剛性を増加させるため、フランジは CFRP を重ね合せる構造とした。また、ここでの安全率は 3.2 と仮定して^{(*)4}試算した。

6．まとめ及び今後の課題

効率的な FRP 歩道橋設計法の構築を目的に、主桁部材のたわみ制限の緩和検討、FRP 座屈強度を用いた強度照査法を検討し、試設計を行った。今後の課題として、床版を含む橋梁全体の振動検討による精査や、設計法における安全率の策定、継手強度の照査法、二次部材の構成・設計法などの整理が必要と考えられる。

謝辞 座屈設計法に関して、豊橋技術科学大学 山田聖志教授に御指導を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献 *1：立体横断施設技術基準・同解説，*2：BS5400，*3：FRP 構造設計便覧，

*4：建設省土木研究所共同研究報告書第 252 号

表 1．振動計算の主桁断面ケース（単位：mm）

case	1-1	1-2	2-1	2-2	3	4
桁高 [m]	1	1	1.2	1.2	-	-
断面決定	応力	たわみ L/600	応力	たわみ L/600	たわみ L/400	たわみ L/300
主桁本数	2	5	2	3	-	-
Web 桁高 H/板厚 t	H960 / t12	H1000 / t15	H1200 / t9	H1200 / t15	-	-
Flg 幅 B/板厚 t	B320 / t12	B350 / t35	B260 / t11	B350 / t40	-	-
合計 I [mm ⁴]	5.40E+09	3.91E+10	6.79E+09	3.88E+10	2.55E+10	1.91E+10

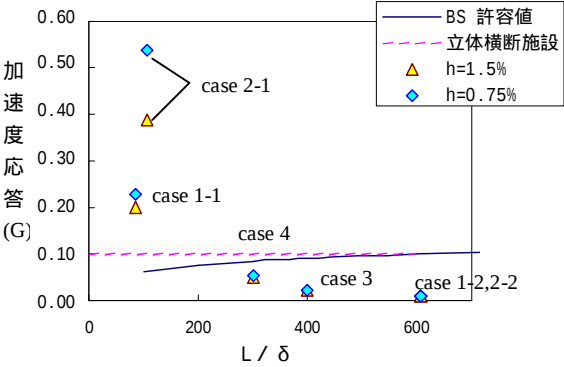


図 3．たわみ許容値と振動許容値の関係

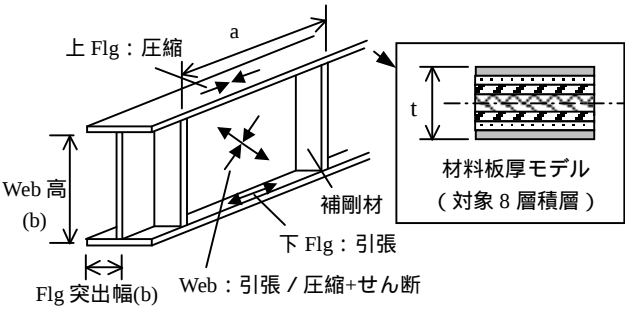


図 4．I 型主桁の構造モデル

表 2．FRP 主桁の試設計例

スパン [m]	3(実験用)	3(実験用)	10
幅員[m]	1	1	3.5
補剛材間隔 [m]	1	1	3
主桁部材の構成および寸法			
活荷重たわみ / 許容値(L/400)	0.38 / 7.5	5.28 / 7.5	21.52 / 25
設計応力 [N/mm ²]			
曲げ応力	9.8	51.3	48.7
せん断応力	3.5	10.4	6.22
座屈照査*			
ウェブ	1.30(NG)	0.51	0.68
フランジ	0.075	0.39	0.37

* 安全率(3.2)を考慮した照査値であり、1 以下で OK と判定する。