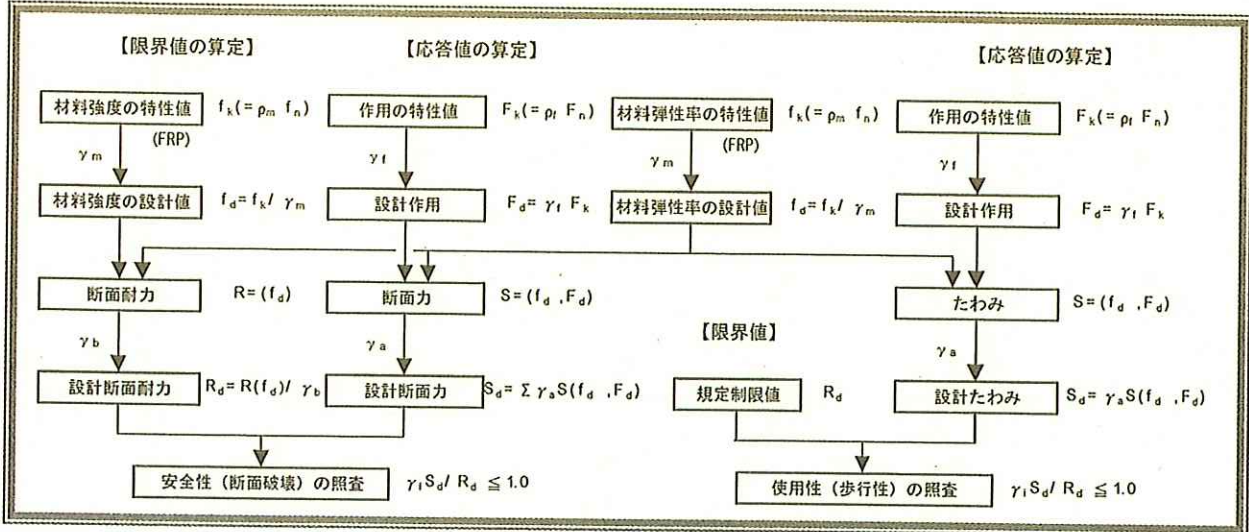


2.3 性能照査の手法

2.3.1 設計の流れおよび安全係数

○設計の流れ



○部分係数

解説 表2.3.3 FRP歩道橋の設計における標準的な部分係数の値

部分係数	材料係数 (FRP) γ_m		部材係数 γ_b	作用係数 γ_l	構造解析係数 γ_a	構造物係数 γ_i
	強度	弾性率				
要求性能(限界状態)						
安全性(断面破壊)	1.15~1.3	1.0	1.1~1.3	1.0~1.2	1.0~1.2	1.0~1.2
使用性(歩行性)	—	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
復旧性	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0~1.2	±0 1.2

【FRP歩道橋設計・施工指針(案) 2.3.5】



採用値

FRP歩道橋の部分係数の採用値

部分係数	材料係数 (FRP) γ_m		部材係数 γ_b	作用係数 γ_l	構造解析係数 γ_a	構造物係数 γ_i
	強度	弾性率				
要求性能(限界状態)						
安全性(断面破壊)	1.3	1.0	1.1~1.3 ^{※1}	1.0~1.2 ^{※2}	1.0	1.0
使用性(歩行性)	—	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
復旧性	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	±0 1.2

※1 曲げ=1.3, せん断=1.1

※2 作用係数は別項参照

4.2 設計断面力

1) 端支点部の作用の特性値

D1 : 固定死荷重

$$MD1 = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SD1 = \quad D1 (Fk) / 2 \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 56.82 \text{ kN}$$

D2 : 付加死荷重

$$MD2 = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SD2 = \quad D2 (Fk) / 2 \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 16.70 \text{ kN}$$

L : 活荷重 (群集荷重)

$$ML = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SL = \quad L (Fk) / 2 \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 79.70 \text{ kN}$$

2) 支間中央部の作用の特性値

D1 : 固定死荷重

$$MD1 = \quad D1' (Fk) \cdot \ell^2 / 8 \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 250.29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SD1 = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 0.00 \text{ kN}$$

D2 : 付加死荷重

$$MD2 = \quad D2' (Fk) \cdot \ell^2 / 8 \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 73.71 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SD2 = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 0.00 \text{ kN}$$

L : 活荷重 (群集荷重)

$$ML = \quad L' (Fk) \cdot \ell^2 / 8 \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 350.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SL = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 0.00 \text{ kN}$$

3) 添接部の作用の特性値 (端支点からの距離 $x=6.0\text{m}$)

D1 : 固定死荷重

$$MD1 = \quad D1' (Fk) \cdot \ell^2 / 2 \cdot (x/\ell - x^2/\ell^2) \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 222.48 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SD1 = \quad D1' (Fk) \cdot \frac{1}{2} \cdot (1 - 2x/\ell) \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 18.54 \text{ kN}$$

D2 : 付加死荷重

$$MD2 = \quad D2' (Fk) \cdot \ell^2 / 2 \cdot (x/\ell - x^2/\ell^2) \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 65.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SD2 = \quad D2' (Fk) \cdot \frac{1}{2} \cdot (1 - 2x/\ell) \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 5.46 \text{ kN}$$

D3 : 活荷重 (群集荷重)

$$MD3 = \quad L' (Fk) \cdot \ell^2 / 2 \cdot (x/\ell - x^2/\ell^2) \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 311.76 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$SD3 = \quad L' (Fk) \cdot \frac{1}{2} \cdot (1 - 2x/\ell) \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = \quad 25.98 \text{ kN}$$

(3) せん断に対する設計断面力

【FRP歩道橋設計・施工指針(案) 7.2.4】

①腹板のせん断耐力

$$\begin{aligned}
 V_{ud} &= A_v \cdot f_{ud} / \gamma_b \\
 &= 58783 \times 39 \times 10^{-3} / 1.10 \\
 &= 2084.1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

②腹板のせん断座屈耐力

$$\begin{aligned}
 V_{ud} &= A_v \cdot \tau_{cr} / \gamma_b \\
 &= 58783 \times 25 \times 10^{-3} / 1.10 \\
 &= \mathbf{1336.0} \text{ kN} \\
 &\quad \mathbf{26719.5}
 \end{aligned}$$

ここに,

$$\text{せん断面積}(A_v) : 58783 \text{ mm}^2$$

$$\text{せん断座屈強度}(\tau_{cr}) : \mathbf{500} 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{cr} = (4k_{xy} \cdot \sqrt{D_{11} \cdot D_{22}^3}) / (t_w \cdot d_w^2)$$

$$\text{腹板の板厚}(t_w) : 26 \text{ mm}$$

$$\text{腹板の高さ}(d_w) : 344 \text{ mm}$$

$$\text{せん断に対する照査に用いる部材係数}(\gamma_b) : 1.10$$

せん断座屈係数(k_{xy}) :

$$\begin{aligned}
 k_{xy} &= 8.125 + 5.045K &= \mathbf{0.552} \quad \mathbf{10.9/0} \\
 K &= (2D_{66} + D_{12}) / \sqrt{D_{11} \cdot D_{22}} &= 0.552 \text{ (ただし, } K \leq 1) \\
 D_{11} &= E_x \cdot t_w^3 / (12 \cdot (1 - \nu_{xy} \cdot \nu_{yx})) &= 34815351 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 D_{22} &= E_y \cdot t_w^3 / (12 \cdot (1 - \nu_{xy} \cdot \nu_{yx})) &= 35420835 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 D_{12} &= \nu_{xy} \cdot D_{22} = \nu_{yx} \cdot D_{11} &= 6375750 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 D_{66} &= G_{xy} \cdot t_w^3 / 12 &= 6504276 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 G_{xy} &= E_{45} / (2(1 + \nu_{45})) &= 4440.789 \text{ N/mm}^2 \\
 \nu_{xy} &= &= 0.18 \\
 \nu_{yx} &= &= 0.18 \\
 \nu_{45} &= &= 0.52 \\
 E_x &= &= 23000 \text{ N/mm}^2 \\
 E_y &= &= 23400 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{45} &= &= 13500 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

以上から, (① > ②)

$$\begin{aligned}
 V_{ud} &= \mathbf{1336.0} \text{ kN} \\
 &\quad \mathbf{2084.1}
 \end{aligned}$$

4.5 安全性の照査

(1) 曲げモーメントに対する照査 : 支間中央

$$\begin{aligned} & \gamma_i \cdot M(Sd) / M_{ud} \leq 1.0 \\ = & 1.0 \times 717.17 / \cancel{1336.0} \text{ } 3042.5 \\ = & \cancel{0.54} \leq 1.0 \quad \text{-----} \quad \text{OK} \\ & 0.24 \end{aligned}$$

(2) せん断に対する照査 : 端支点部

$$\begin{aligned} & \gamma_i \cdot S(Sd) / V_{ud} \leq 1.0 \\ = & 1.0 \times 162.86 / 2084.1 \\ = & 0.08 \leq 1.0 \quad \text{-----} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

7. 添接部の照査

7.1 材料強度

BOLT: 普通ボルト(強度区分: 8.8) M16

$$\begin{aligned} \text{せん断強度} &: f = 380.0 \text{ N/mm}^2 \\ \text{せん断強度の特性値} &: fvk = \rho_m \cdot f = 1.00 \times 380.0 = 380.0 \text{ N/mm}^2 \\ \text{設計せん断強度} &: fvd = fvk / \gamma_m = 380 / 1.05 = 362 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{支圧強度} &: f = \overset{830.0}{\cancel{990.0}} \text{ N/mm}^2 \quad (\text{支圧強度は降伏強度の1.5倍とした}) \quad \text{引張強度を上限とする} \\ \text{支圧強度の特性値} &: fbk = \rho_m \cdot f = 1.00 \times \overset{830.0}{\cancel{990.0}} = \overset{830.0}{\cancel{990.0}} \text{ N/mm}^2 \\ \text{設計支圧強度} &: fbd = fbk / \gamma_m = \overset{830.0}{\cancel{990.0}} / 1.05 = \overset{790}{\cancel{943}} \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

FRP (WEB)

$$\begin{aligned} \text{支圧強度} &: f = \overset{304.8}{\cancel{305.0}} \text{ N/mm}^2 \\ \text{支圧強度の特性値} &: fbk = \rho_m \cdot f = 1.00 \times \overset{304.8}{\cancel{305.0}} = \overset{304.8}{\cancel{305.0}} \text{ N/mm}^2 \\ \text{設計支圧強度} &: fbd = fbk / \gamma_m = \overset{304.8}{\cancel{305.0}} / 1.30 = \overset{234}{\cancel{235}} \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

FRP (FLG)

$$\begin{aligned} \text{支圧強度} &: f = 284.0 \text{ N/mm}^2 \\ \text{支圧強度の特性値} &: fbk = \rho_m \cdot f = 1.00 \times 284.0 = 284.0 \text{ N/mm}^2 \\ \text{設計支圧強度} &: fbd = fbk / \gamma_m = 284 / 1.30 = 218 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

7.2 継手位置の作用力

主桁断面

		Λ (mm ²)	y (mm)	Ay (mm ³)	I_0 (mm ⁴)
1 -FLG, PL	200 × 18	3600	-181	-651600	118036800
1 -WEB, PL	344 × 21.36 ※1	7348			72459500
1 -FLG, PL	166 × 18	2988	181	540828	97970544
		13936		-110772	288466844

※1はFLGの引張弾性係数比により換算した値

$$t_e = 26 \text{ mm} \times 23.0 \text{ kN/mm}^2 / 28.0 \text{ kN/mm}^2 = 21.36 \text{ mm}$$

$$e = Ay / \Lambda = -7.9 \text{ mm}$$

$$I = I_0 - \Lambda \cdot e^2 = 287597098 \text{ mm}^4$$

$$Y_u = -182.1 \text{ mm}, \quad Y_l = 197.9 \text{ mm}$$

$$W_c = -1584112 \text{ mm}^3, \quad W_t = 1457639 \text{ mm}^3$$

$$Y_{wu} = -164.1 \text{ mm}, \quad Y_{wl} = 179.9 \text{ mm}$$

本例では添接部の作用力をI形材のみで抵抗するものとして検討を行う。

7.3 U-FLGの照査

(1) 必要ボルト本数

ボルト値：支圧接合のボルト値は、ボルトおよびFRPのせん断および支圧強度のうち最も小さい値を用いる。

ボルト材料

せん断の場合（単せん断）

$$\rho s1 = fvd \cdot A_b / \gamma b = 362 \times 156.7 / 1.10 = 51569 \text{ N}$$

支圧の場合（板厚 t はFLG, 添接板で薄い方とする）

$$\rho b1 = fbd \cdot t \cdot d / \gamma b = \frac{943}{790} \times 16.0 \times 16.0 / 1.10 = \frac{219462}{183855} \text{ N}$$

FRP材料

せん断の場合

$$\rho s2 = fvd \cdot A_f / \gamma b = 39 \times 1800.0 / 1.10 = 63818 \text{ N}$$

支圧の場合（板厚 t はFLG, 添接板で薄い方とする）

$$\rho b2 = fbd \cdot t \cdot d / \gamma b = 218.0 \times 16.0 \times 16.0 / 1.10 = 50735 \text{ N}$$

ボルト値

$$\rho = \min(\rho s1, \rho b1, \rho s2, \rho b2) \\ = 50735 \text{ N}$$

ここに,

使用ボルト : $d = \text{M16}$

ボルトの有効断面積 : $A_b = 156.7 \text{ mm}^2$

せん断の全有効断面積 : $A_f = 1800.0 \text{ mm}^2$ (FLGの縁端せん断抵抗面積)

FLGの板厚 : $t_1 = 18.0 \text{ mm}$

添接板の板厚 : $t_2 = 16.0 \text{ mm}$

設計断面力

$$\text{MRd} = \sigma_u \cdot A_{fu} \\ = 181656 \text{ N}$$

ここに,

U-FLGの有効断面積 : $A_{fu} = 3600 \text{ mm}^2$

必要ボルト本数

$$n = \gamma_i \cdot \text{MRd} / \rho \\ = 3.6 \rightarrow 4 \text{ 本以上}$$

7.4 L-FLGの照査

(1) 必要ボルト本数

ボルト値：支圧接合のボルト値は、ボルトおよびFRPのせん断および支圧強度のうち最も小さい値を用いる。

ボルト材料

せん断の場合 (単せん断)

$$\rho s1 = fvd \cdot Ab / \gamma b = 362 \times 156.7 / 1.10 = 51569 \text{ N}$$

支圧の場合 (板厚tはFLG, 添接板で薄い方とする)

$$\rho b1 = fbd \cdot t \cdot d / \gamma b = \frac{943.0}{790} \times 16.0 \times 16.0 / 1.10 = \frac{219462}{183855} \text{ N}$$

FRP材料

せん断の場合 (単せん断)

$$\rho s2 = fvd \cdot Af / \gamma b = 39 \times 1800.0 / 1.10 = 63818 \text{ N}$$

支圧の場合 (板厚tはFLG, 添接板で薄い方とする)

$$\rho b2 = fbd \cdot t \cdot d / \gamma b = 218.0 \times 16.0 \times 16.0 / 1.10 = 50735 \text{ N}$$

ボルト値

$$\begin{aligned} \rho &= \min(\rho s1, \rho b1, \rho s2, \rho b2) \\ &= 50735 \text{ N} \end{aligned}$$

ここに,

使用ボルト	:	d =	M16
ボルトの有効断面積	:	Ab =	156.7 mm ²
せん断の有効面積	:	Af =	1800.0 mm ² (FLGの縁端せん断抵抗面積)
FLGの板厚	:	t1 =	18.0 mm
添接板の板厚	:	t2 =	16.0 mm

設計断面力

$$\begin{aligned} MRd &= \sigma l \cdot Af1 \\ &= 163862 \text{ N} \end{aligned}$$

ここに,

$$\text{L-FLGの有効断面積} : A11 = 2988 \text{ mm}^2$$

必要ボルト本数

$$\begin{aligned} n &= \gamma i \cdot MRd / \rho \\ &= 3.2 \rightarrow 4 \text{ 本以上} \end{aligned}$$

7.5 WEBの照査

(1) 必要ボルト本数

ボルト値：支圧接合のボルト値は、ボルトおよびFRPのせん断および支圧強度のうち最も小さい値を用いる。

ボルト材料

せん断の場合 (複せん断)

$$\rho s1 = 2 \cdot fvd \cdot Ab / \gamma b = 2 \times 362 \times 156.7 / 1.10 = 103137 \text{ N}$$

支圧の場合 (板厚 t_e はWEB, 添接板で薄い方とする)

$$\rho b1 = fbd \cdot t_e \cdot d / \gamma b = \frac{943}{790} \times 26.0 \times 16.0 / 1.10 = \frac{356625}{298764} \text{ N}$$

FRP材料

せん断の場合

$$\rho s2 = fvd \cdot A_w / \gamma b = 39 \times 2600.0 / 1.10 = 92182 \text{ N}$$

支圧の場合 (板厚 t_e はWEB, 添接板で薄い方とする)

$$\rho b2 = fbd \cdot t_e \cdot d / \gamma b = \frac{235}{234} \times 26.0 \times 16.0 / 1.10 = \frac{88873}{88495} \text{ N}$$

ボルト値

$$\rho = \min(\rho s1, \rho b1, \rho s2, \rho b2) = 88873 \text{ N}$$

ここに,

使用ボルト： $d = M16$

ボルトの有効断面積： $Ab = 156.7 \text{ mm}^2$

せん断の有効面積： $A_w = 2600.0 \text{ mm}^2$ (WEBと添接板で縁端せん断抵抗面積の小さい方)

WEBの板厚： $t_w = 26.0 \text{ mm}$

連結板の板厚： $2 \cdot t = 44.0 \text{ mm}$

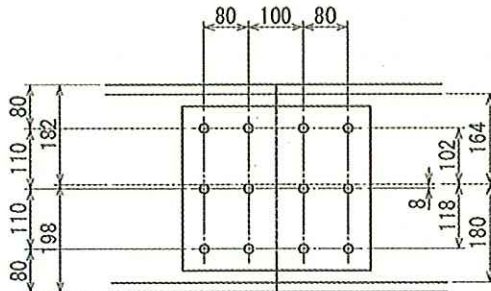
(2) 曲げモーメントに対する照査

作用曲げモーメント

$$M = MJ1(S) = 79.69 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

腹板に作用する曲げモーメント

$$M_w = M \cdot I_w / I = 79.69 \times 72459500 / 287597098 = 20.08 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



n	y_i	y_i^2	Σy_i^2
2	-102	10404	20808
2	8	64	128
2	118	13924	27848
			48784

付属B図7.5.1 継手部概略図1

ボルト1本に作用する力

$$\rho = M \cdot y_i / \sum y_i^2 = 20.08 \times 10^6 \times 118 / 48784 = 48570 \text{ N}$$

ボルト1本あたりの許容力

$$\rho_{ai} = \rho_a \cdot y_i / y_n = \frac{88873}{88495} \times 118 / 198 = \frac{52965}{52739} \text{ N}$$

ここに,

ボルトから中立軸までの距離 : $y_i = 118 \text{ mm}$

中立軸からフランジ縁までの距離 : $y_n = 198 \text{ mm}$

照査

$$\gamma_i \cdot \rho / \rho_{ai} = 1.0 \times 48570 / \frac{52965}{52739} = 0.92 < 1.00 \text{ ----- OK}$$

(3) 曲げとせん断に対する照査

作用せん断力

$$S = S_{J1}(S) = 6.64 \text{ kN}$$

片側あたりのボルト本数

$$\sum n = 6 \text{ 本}$$

曲げモーメントによるボルト1本あたりの作用力

$$\rho_m = 48570 \text{ N}$$

せん断力によるボルト1本あたりの作用力

$$\rho_s = S / \sum n = 6.64 \times 10^3 / 6 = 1107 \text{ N}$$

ボルト1本に作用する力

$$\rho = \sqrt{(\rho_m^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{(48570^2 + 1107^2)} = 48583 \text{ N}$$

ボルト1本あたりの許容力

$$\rho_a = \frac{88873}{88495} \text{ N}$$

照査

$$\gamma_i \cdot \rho / \rho_a = 1.0 \times 48583 / \frac{88873}{88495} = 0.55 < 1.00 \text{ ----- OK}$$