

複合構造シリーズ04 FRP歩道橋設計・施工指針(案)への質問および回答

質問番号	該当章・節	質問	回答
1		FRP材料を廃棄する場合はどうするのでしょうか?再利用は可能ですか?	現状では焼却や埋め立て処分などが主です。一部についてはセメントの原料としての活用や、繊維を取り出しての有効な再利用の検討が、FRP関連業界により推進されている様です。
2		FRPの性能に対して、樹脂の機能はどれくらい貢献していると考えられているのでしょうか?例えばエポキシ樹脂といっても硬化剤の組み合わせを変えたりして性能を持たせるといふ要求は出ていないのでしょうか?	繊維方向の力学物性への寄与は、樹脂よりも繊維の方が大きいですが、他の方向や、長期的な特性などの場合には樹脂の性能も重要と考えられます。今後、FRP歩道橋の利用が進むにつれて、樹脂に対しても様々な要求が出てくるものと思われます。
3		橋梁として使用される場合、不燃認定は必要ではないのでしょうか?JIS認定が必要になってくるのではないのでしょうか?	橋梁の場合には不燃認定、JIS認定等は通常必要ありません。
4	第5章	摩擦接合について 接合方法のひとつに摩擦接合が挙げられていたが、実績はあるのでしょうか?ボルトのトルク方向(板厚方向)にFRP板は耐えられるのでしょうか?	摩擦接合ではありませんが、ボルトにトルクを導入した事例(片平橋:福岡県大牟田市)はあります。トルクは、FRP板が耐えられる範囲内の大きさで導入されているようです。
5	第10章	FRPに対する塗装について 光や水に対する保護として塗装が挙げられているが、鋼橋塗装と同様な仕様で問題ないのか?塗り替え等を考えると鋼橋の場合よりもコスト高にはならないのか?	鋼橋塗装の中塗り以下は不要で、上塗りのみで通常は問題ありません。上塗り塗料自体は、鋼橋塗装用(ふっ素樹脂塗料上塗りなど)のものと同様に問題ありません。表面状態に応じた素地調整(目荒らし、脱脂など)が必要な場合があります。基材の腐食がないことから塗り替え周期が鋼に比べ長く設定可能と予測されており、塗り替えによりコスト高にはつながらないものと考えられています。
6	付属資料B p.209	Mud, Vudは間違いでは? p.207, p.208と合致しない。	p..208のせん断座屈係数 k_{xy} の計算に誤りがあり、現状 $k_{xy}=0.552$ とあるのは $k_{xy}=10.910$ です。この修正によりせん断座屈強度 $\tau_{cr}=25\text{N/mm}^2 \rightarrow 500\text{N/mm}^2$, せん断座屈耐力 $V_{ud}=1336.0\text{kN} \rightarrow 26719.5\text{kN}$ となり、設計せん断耐力は $V_{ud}=1336.0\text{kN} \rightarrow 2084.1\text{kN}$ となります。 またP.209, 4.5安全性の照査で、Mudの記載に誤りがあります。Mud=1336.0 $\rightarrow$ 3042.5kN $\cdot$ mであり、照査値は0.54 $\rightarrow$ 0.24です。
7	付属資料B P196上から3 行目	「想定使用材料のカタログ寸法」とありますが、具体的な何のカタログなのか提示願います。	国内で入手可能な一般的なハンドレイアップ成形GFRP材のカタログを事例としています。

8	付属資料B P197付属B表 2.2.4	「使用材料の力学物性試験結果」とありますが、それらの値の根拠となる資料の提示をお願いいたします。	ハンドレイアップ成形GFRPの一般的な力学物性値を得るために実施された試験から得られた実測値を示しています。
9	付属資料B P197下から8 行目	単位体積重量の値の根拠となるものを提示願います。	ハンドレイアップ成形GFRPの一般的な単位体積重量の値を得るために実施された試験から得られた実測値を示しています。
10	付属資料B P198	「FRP歩道橋の部分係数の採用値」の表内、安全性(断面破壊)における $\gamma_a=1.0$ および $\gamma_i=1.0$ 、ならびに、復旧性における $\gamma_a=1.0$ にした根拠を提示願います(1.0～1.2という幅の中でなぜ1.0を採用したのか)。また、※1における、曲げ＝1.3、せん断＝1.1にした根拠も提示願います。	構造解析係数 γ_a は応答値算定時の構造解析の不確実性を考慮して定めますが、照査例のように線形解析で通常のモデル化によって応答値を算定する場合は一般に1.0とします。 構造物係数 γ_i は構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的影響等を考慮して定めます。照査例の橋梁は車道橋に併設された跨線歩道橋のため構造物の重要度や第三者への影響度は高いと考えられますが、照査例では一般的な値の1.0としています。適用においてはこれらの影響を検討の上設定する必要があります。 また、照査例では復旧性の構造物係数が1.0となっていますが、指針(案)解説表2.3.3に示されるように1.2の誤りです。 【※1における、曲げ＝1、3、せん断＝1.1にした根拠】FRPの曲げによる破壊は急速に進展することから部材係数は1.3を標準とします(指針(案)P.90)。またせん断による破壊は微視的に進展することから部材係数を1.1とします(指針(案)P.92)。
11	付属資料B P199上から4 行目	$\rho_f=1.00$ (使用性)の値の根拠を提示願います(指針では明確な記述がなかった)。	安全性の照査における作用修正係数1.65は、群集荷重自体が許容応力度設計法によるものであり、作用の特性値と規格値の相違の影響が限界状態に及ぼす影響が大きいことから、限界状態設計法に移行するにあたっての当面の便法として設定しています(指針(案)P.31)。これに対し使用性の照査における活荷重は、照査例では自転車の群集状態を想定した活荷重として 1.0kN/m^2 を設定しており、通常の状態の活荷重を特性値と考え作用修正係数を1.0としています(指針(案)P.241)。
12	付属資料B P199	作用係数の表において、安全性における付加死荷重ならびに活荷重での値、1.1にした根拠を提示願います(前者は1.0～1.2・後者は1.1～1.2という幅の中でなぜそれぞれの値を採用したのか)。	付加死荷重はばらつきも大きく、将来その大きさが変動する可能性も大きいと考えられるため指針(案)P.29では安全性の照査において $\gamma_f=1.1\sim 1.2$ としており、照査例ではそのうちの最小値1.1を選定しています。 活荷重についても同様に主たる変動作用の最小値1.1を選定しています。
13	付属資料B P201付属B図 3.2.1	$1.827\text{kN/m}^2 \cdot 0.089\text{ kN/m} \cdot 0.600\text{ kN/m}^2$ それぞれの値の根拠を提示願います。	算出根拠はP.202に示しています。このうち、舗装については構造や材質は仮定値とし、照査例では厚さ30mm、単位重量は 20kN/m^3 で仮定しています。

14	付属資料B P202上から3 行目	0.291の値の根拠を提示願います。	P.196にあります使用断面にはFRP材の断面積が記載されていないので、下記のように算定しています。 使用材料 FI-380(380×200×26×18) 断面積 (380-18×2)×26+200×18×2=16144mm ² 単位体積重量 18.0kN/m ³ (P.197) 単位重量 16144×10 ⁻⁶ ×18.0=0.291kN/m
15	付属資料B P202上から7 行目	0.081の値の根拠を提示願います。	P.196にあります使用断面にはFRP材の断面積が記載されていないので、下記のように算定しています。 使用材料 FCH-250(250×90×9×14) 断面積 (250-14×2)×9+90×14×2=4518mm ² 単位体積重量 18.0kN/m ³ (P.197) 単位重量 4518×10 ⁻⁶ ×18.0=0.081kN/m
16	付属資料B P203上から9 行目	死荷重で1.65を掛けているのはなぜでしょうか(作用修正係数1.65かと思ったのですがそれは活荷重のみ明記してあります)。	ご指摘の通り本指針(案)では安全性の照査における作用修正係数は活荷重に対し1.65を設定するため、死荷重に対しては1.0となり誤りです。
17	付属資料B P207下から5 行目	「床版橋に近似した構造から省略」とありますが、どういうことなのでしょう。	照査例の橋梁構造は、複数配置したI形材を上下から平板材ではさみ一体化した構造のため、床版橋に類似した断面と考えられます。したがってI形材の横ねじれ座屈は平板材により抑制されるため、断面耐力として部材のねじり座屈曲げ耐力は考慮する必要はありません。
18	付属資料B P208下から13 行目	D11以降の各式・値の根拠を提示願います。	D11、D22、D12は板の曲げ剛性、D66は板のねじり剛性で、指針(案)P.89に記載されています。G _{xy} は弾性定数で、指針(案)P.77に記載されています。 ν _{xy} 、ν _{yx} 、ν ₄₅ はそれぞれ軸方向、軸直角方向、45°方向のポアソン比で、使用する材料固有のものであり、照査例ではP.197の付属B表2.2.4に示すポアソン比を使用しています。 E _x 、E _y 、E ₄₅ は軸方向、軸直角方向、45°方向の弾性係数で、同表に示しています。
19	付属資料B P211上から8 行目	P.211でせん断変形による付加たわみ δ _{shear} 式にκを考慮していますが、指針(案)P.101、式(解8.2.6)のδ _{shear} 式にはκが含まれていません。	式(解8.2.6)では、ウェブの断面積 A _w とウェブ面内のせん断弾性係数 G _{xy} の積で表されるせん断剛性(A _w ×G _{xy})を使用しており、簡易式となっています。一般的なI形断面部材では、ウェブのせん断変形が支配的であり、せん断補正係数を、κ≒A/A _w としても実用上十分な精度が得られます。
20	付属資料B P211上から15 行目	κ=2.91の根拠を提示願います。	せん断補正係数κは指針(案)P.101のように、一般に全断面積Aと腹板断面積A _w の比A/A _w で与えられます。照査例ではP.207に示す主桁断面諸量より、全断面積A=171135mm ² 、腹板断面積A _w =58783mm ² から、κ=171135/58783=2.91としました。

21	付属資料B P211下から14 行目	$E=28000\text{N/mm}^2$ の根拠を提示願います。	P.207主桁断面諸量において、全断面の断面諸量はフランジの弾性係数を基準にしたことから、P.197付属B表2.2.4のフランジの軸方向引張弾性係数 28.0kN/mm^2 を使用しています。
22	付属資料B P214上から7 行目	「支圧強度は降伏強度の1.5倍とした」とありますが、そのようにした根拠を提示願います。	指針(案)には接合材料(鋼材)の強度について具体的な数値が示されていませんので、P.53の4.4.3その他の材料にあるように複合構造標準設計方書(2009)を参照します。同示方書5.4.2構造用鋼材の強度の特性値において、支圧強度の特性値は引張降伏強度の特性値の1.5倍となります。ただし、支圧強度の特性値の上限は引張降伏強度の特性値のため、照査例の支圧強度の特性値は 990N/mm^2 ではなく 830N/mm^2 (強度区分8.8)が正しい値です。
23	付属資料B P216上から9 行目	$\gamma_b=1.10$ の根拠を提示願います(P198では曲げ・せん断の値が記載されていますが支圧については記載されていません)。	指針(案)ではFRPの曲げ破壊については急激な破壊の進展を考慮して部材係数を大きめにとり、1.3としています。接合用鋼材およびFRPの設計支圧強度を算定するときの部材係数は、支圧による断面破壊をせん断による断面破壊と同様に考え1.1とします。
24	付属資料B P216上から12 行目	$f_{vd}=39$ の根拠を提示願います。	FRP材料の設計せん断強度で、P.206より 39N/mm^2 としています。
25	付属資料B P216下から11 行目	$A_f=1800.0\text{mm}^2$ (FLGの縁端せん断抵抗面積)とありますが、その値の根拠を提示願います。	フランジのボルト中心から縁端までのせん断抵抗面積で、ボルト1本あたりせん断破壊面を2面考慮し、 $2\text{面} \times 50\text{mm}$ (縁端距離で付属B図7.2.2参照) $\times 18\text{mm}$ (フランジ厚)= 1800mm^2 としています。
26	付属資料B P217上から3 行目	γ_b の値を提示願います。	P.206より $f'_{ud}=218\text{N/mm}^2$ 、部材係数はFRPの曲げの値の $\gamma_b=1.3$ とし、 $P(S)=3200 \times 218/1.3=536615\text{N}$ となります。
27	付属資料B P218下から4 行目	$A_{I1}=2988\text{mm}^2$ の根拠を提示願います。	下フランジの有効断面積はボルト孔($\phi 17\text{mm} \times 2$ 本)を控除し、 $A_{I1}=(200\text{mm}-2 \times 17\text{mm}) \times 18\text{mm}=2988\text{mm}^2$ となります。
28	付属資料B P219上から3 行目	f_{ud} の値を提示願います。	下フランジのため引張側となり、連結板耐力はP.206より $f_{ud}=184\text{N/mm}^2$ 、 $\gamma_b=1.3$ から、 $P_u=2656 \times 184/1.3=375926\text{N}$ となります。
29	付属資料B P219下から6 行目	$b=166$ (孔引き考慮)とありますが、その値の根拠を提示願います。	200mm (下フランジ幅)- 17mm (ボルト孔) $\times 2$ (ボルト本数)= 166mm となります。

30	付属資料B P220下から8 行目	$w = 2600.0\text{mm}^2$ (WEBと添接板で縁端せん断抵抗面積の小さい方)とありますが、その値の根拠を提示願います。	腹板の縁端距離=50mm、板厚=26mmから、縁端せん断抵抗面積はせん断破壊面を2面とし、 $A_{w1} = 2 \times 50 \times 26 = 2600\text{mm}^2$ 連結板の縁端距離=40mm(図には明記していません)、板厚=2×22=44mmから、縁端せん断抵抗面積は $A_{w2} = 2 \times 40 \times 44 = 3520\text{mm}^2$ となり、腹板のせん断抵抗面積を使用しています。
----	-------------------------	---	--