

モルタル充填 GFRP 梁曲げ耐力の実用的算定法の一考察

(株)富士ピー・エス 徳光 卓

(株)富士ピー・エス 福田 昌明

独立行政法人 土木研究所 木嶋 健

(社)強化プラスチック協会 田澤 仁

1. はじめに

FRP(Fiber Reinforced Plastics)は軽い、錆びない、引張強度が大きいなどの特徴を有する材料として知られている。しかし、筆者らの実験によれば、FRPはせん断強度が小さく集中荷重に対して弱いため、梁理論計算で得られる曲げ耐荷力に比べて低い荷重で破壊した。同時に、中空 GFRP矩形梁の内部にモルタルを充填することで曲げ耐力が飛躍的に向上し [1]、ファイバーモデルによる非線形計算結果と実験結果がほぼ一致することを明らかにしたが [2]、実設計への適用には課題が多いと考えられる。そこで、これまでの実験結果をとりまとめ、実際の設計における曲げ耐力の算定法について考察を加えた。

2. 載荷試験方法

中空GFRP矩形梁には KP40(H40*B25*t3*L500mm)、SP50(H50*B50*t4.3*L400mm)、SP100(H100*B100* t5.6*L1,500mm)を用いた。さらに、SP100の積層構成は、通常品(記号SP100N)に加え、バイアスニットファブリックによりせん断補強した製品(記号SP100KF)の2種類とした。載荷方法は KP40、SP100を静的4点曲げ、SP50は中央一点載荷とした。KP40の支間は450mm・載荷点間隔は75mm、SP100の支間は1,300mm・載荷点間隔は150mm、SP50の支間は350mmとした。モルタルにはいずれも早強セメントを用い、普通モルタル、軽量モルタル、超軽量モルタルの3種類を練り混ぜ、充填した。供試体の作成手順は、まずFRP梁内部をワイヤーブラシで面荒らしし、アセトンで拭いたのち、コンクリート打継用のエポキシ樹脂接着剤を塗布した直後にモルタルを打設する方法とした。

3. 曲げ耐荷力と破壊形態

各供試体の最大荷重と破壊形態を表-1に示す。表中、モルタルを充填していない供試体の計算値は梁理論、モルタル充填供試体の計算値はファイバーモデルによる非線形計算とした。なお、計算ではFRPのコンファインド効果が不明のため、これを無視した。モルタルを充填しない場合の破壊荷重は計算値の40%から50%程度となり、梁理論による計算結果は危険側となった。モルタル充填供試体について、破壊形態別に計算値との差を見ると、水平せん断破

表 - 1 GFRPとモルタルの材料特性

		KP40	SP50	SP100N	SP100KF	
モルタル 充填なし	実験値	破壊荷重(kN)	11.1	11.8	20.3	20.3
		破壊形態	ウェブ圧壊	ウェブ圧壊	圧縮破壊	圧縮破壊
	計算値	破壊荷重(kN)	23.1	30.3	51.4	51.8
		破壊形態	圧縮破壊	圧縮破壊	圧縮破壊	圧縮破壊
実験値/計算値(%)		48.1%	38.8%	39.5%	39.2%	
普通モルタル 充填	実験値	破壊荷重(kN)	28.2	32.6	71.9	85.2
		破壊形態	水平せん断	水平せん断	圧縮破壊 ²	引張破壊
	計算値	破壊荷重(kN)	28.2	42.6	78.8	83.9
		破壊形態	圧縮破壊	圧縮破壊	引張破壊	圧縮破壊
実験値/計算値(%)		100.0%	76.4%	91.2%	101.5%	
軽量モルタル 充填	実験値	破壊荷重(kN)	25.6	-	71.2	79.8
		破壊形態	圧縮破壊 ¹	-	圧縮破壊	圧縮破壊
	計算値	破壊荷重(kN)	27.1	-	79.2	84.3
		破壊形態	圧縮破壊	-	引張破壊	圧縮破壊
実験値/計算値(%)		94.5%	-	89.9%	94.7%	
超軽量モルタル 充填	実験値	破壊荷重(kN)	26.0	37.0	78.2	86.8
		破壊形態	水平せん断	水平せん断	圧縮破壊	引張破壊
	計算値	破壊荷重(kN)	26.8	40.2	75.7	76.3
		破壊形態	圧縮破壊	圧縮破壊	圧縮破壊	圧縮破壊
実験値/計算値(%)		97.0%	92.1%	103.3%	113.8%	

[破壊形態の説明] ウェブ圧壊: ウェブの鉛直方向破壊、圧縮破壊: FRPフランジ部の軸方向圧縮破壊、引張破壊: FRPフランジ部の軸方向引張破壊、水平せん断: FRPウェブの水平せん断破壊
[注] 1: 3体中1体は水平せん断破壊、2: 3体中1体は上フランジ隅角部水平せん断破壊

キーワード : FRP梁、局部応力、モルタル、梁理論、曲げ耐力

連絡先 : 〒105-0004 東京都港区新橋4-24-8 Tel. 03-3432-0836 Fax. 092-3438-0677

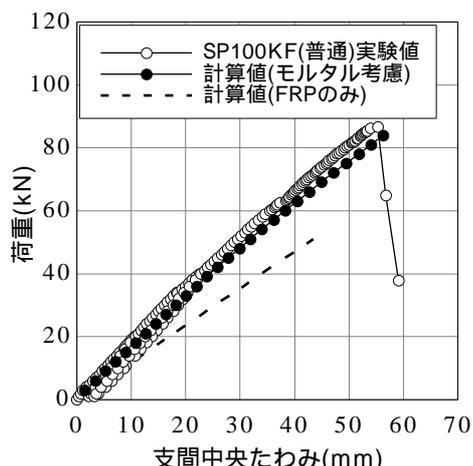


図 - 1 荷重～たわみ曲線の例

壊の場合は計算値の 76% から 100% と危険側に、圧縮破壊では計算値の 91% から 103% とほぼ一致、引張破壊では計算値の 102% から 114% と若干安全側に評価された。この内、水平せん断破壊は脆性的であり好ましい破壊形態ではないことから、FRPには水平せん断を生じないように十分なせん断補強を施した材料を用いるのが良いと考えられる。

4. 曲げ耐力算定法に関する考察

考察はせん断補強した SP100KF 供試体について行う。

図 - 1 に普通モルタルを充填した供試体の荷重～たわみ曲線の例を示す。荷重に対するたわみの増分は荷重増加と共に大きくなるが、非線形性はそれほど強く表れていない。

表 - 2 に SP100KF 供試体に使用した材料の強度特性値を示す。FRP の弾性係数は充填モルタルの 1.2 ～ 0.7 倍程度と大差ないが、圧縮強度は 3.8 ～ 5.3 倍、最大ひずみは 2.5 ～ 3.5 倍と大きな差がある。図 - 2 に荷重に対する、供試体支間中央での普通モルタルのひびわれ高さや圧縮応力の関係の非線形計算結果を示す。計算上、充填モルタルは載荷初期よりひびわれを生じ、荷重 10kN でひびわれ高さは 70mm に達し、荷重 40kN でモルタルの圧縮応力は圧縮強度に到達することになる。図 - 2 に示した普通モルタルは使用したモルタルの中で圧縮強度が最も大きいから、他の供試体ではさらに早くモルタルが破壊することになる。そこで内部モルタルの耐荷力を無視し、モルタルを充填しない梁の耐力計算値を基準に考えると、表 - 1 に示した全ての供試体で破壊荷重は安全側となり、SP100KF 供試体での安全率は 1.5 ～ 1.7 程度になる。しかし、FRP は弾性係数が小さく、たわみが問題となりやすいため、図 - 1 で示したように、充填モルタルを無視するとたわみ制限がある場合は不経済になりやすい。FRP は降伏点を有しないため、終局荷重に対する設計荷重の安全率は明確でないが、設計荷重を適切に設定するならば、図 - 2 で示したように載荷初期のモルタル圧縮応力の変化はほぼ線形となっているから、設計荷重到達前のたわみの計算においては鉄筋コンクリートと同様な理論が適用可能と考えられる。

5. まとめ

本検討によりモルタル充填 FRP 梁の曲げ耐力は、梁理論を用い FRP のみを考慮することにより安全側に評価できることが明らかになった。なお、本研究は建設省公募型共同研究「繊維強化プラスチックの土木構造材料への適用に関する共同研究」の一環として行われたものである。関係者各位に深謝の意を表す。

[参考文献] 1. 徳光卓・篠原貴・木嶋健・小山達夫：モルタル充填 GFRP 梁の静的曲げ耐荷性状、土木学会年次学術講演会、I、A-206、2. 徳光卓・篠原貴・木嶋健・小宮巖・田澤仁：モルタル充填 FRP 部材の曲げ強度特性、第 1 回 FRP 橋梁に関するシンポジウム論文集、pp.51～58

表 - 2 使用材料の強度特性値(SP100KF 供試体)

		FRP	モルタル		
			普通	軽量	超軽量
比重		-	2.25	1.86	1.49
圧縮方向	強度(N/mm ²)	235	61.8	65.2	44.2
	弾性係数(N/mm ²)	22,400	26,700	18,500	15,200
	最大ひずみ(μm/m)	10,490	3,118	4,152	2,990
引張方向	強度(N/mm ²)	376	-	-	-
	弾性係数(N/mm ²)	22,000	-	-	-
	最大ひずみ(μm/m)	17,091	-	-	-

上表中、FRP の最大ひずみは弾性係数を線形と仮定して求めた計算値。モルタルの弾性係数は弾性域での値

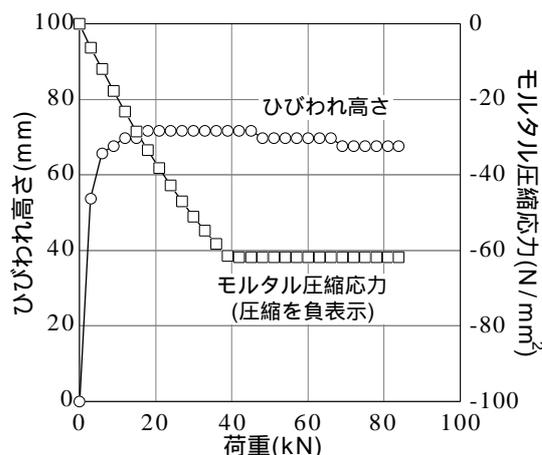


図 - 2 荷重に対する普通モルタルのひびわれ高さや圧縮応力の関係(計算値)