

I-A10

繊維強化プラスチック引抜成形材の橋梁構造材料としての安全率に関する考察

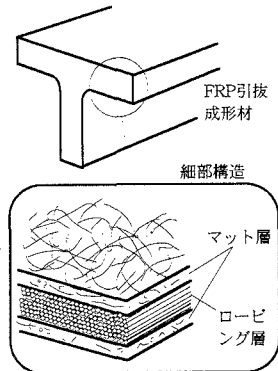
建設省土木研究所 正会員 西崎 到
建設省土木研究所 正会員 明嵐 政司
建設省土木研究所 正会員 木嶋 健
建設省土木研究所 正会員 佐々木 厳

1. はじめに

繊維強化プラスチック（FRP）は近年土木用の構造材料として注目されているが、橋梁用の構造材料としての安全率については特に定まった基準類がないのが現状である。FRPケーブルのプレストレストコンクリート緊張材としての安全率は、すでに基準⁽¹⁾に定められている他、土木用途以外では、水槽などの用途で安全率の考え方^{(2),(3)}がある。しかし、橋梁構造部材としての用途の場合とは材料・使用条件が異なるため、これらの安全率をそのまま適用するのは不適切と考えられる。橋梁構造材料として適していると考えられるFRPとしては、等断面長尺部材を得るのが容易な引抜成型材があげられるので、本報では、引抜成形FRP材について、土木以外の分野やFRP材料としての一般的な安全率を調べ、FRPの橋梁構造材料としての安全率を検討した結果を報告する。

2. FRPの種類と主要物性

FRP引抜成型材は、I型やT型、L型など、様々な断面の型材を得ることができるが、その板の部分、通常3層から5層の積層構造になっている。外層（マット層）は通常チョップドストランドマットと呼ばれる繊維方向不定の織布が用いられる。中間層はロービング層と呼ばれ、一方向に束ねられた繊維が用いられる。マット層とロービング層の間に織布をもちいたクロス層があることもある。マット層には異方性はないが、ロービング層は一方向のみに大きな強度を持つ。引抜成型材はこれらの組み合わせによって、各方向の強度や弾性率を調整することができる。



3. 土木以外の分野における安全率の考え方

(1) 水槽の例

「FRP水槽構造設計計算法」では安全率を表-1のように設定している。これらの安全率はFRPの信頼度に基づいたものであり、基本的には土木構造物についても準用できると考えられる。表-1の安全率には、外力に関する項目については別途基準で定めており、その分の安全率は1.0となっている。このため、土木構造材料としての外力基準を安全率を見込んで設定する必要がある。

図-1 引抜成型材の構造

表-1 FRP水槽構造設計計算法における安全率⁽²⁾

安全率 $F = F_0 \times L_1 \times \dots \times L_n$		
F_0 : 基本的安全率	材料の破壊強さが基準となる場合	$F_0=1.3$
	部材の剛性が基準となる場合	$F_0=1.2$
L_1 : 材料特性値の信頼度係数（試験条件と実用条件との差）		$L_1=1.1$
L_2 : 用途・重要度係数（雪・風・地震荷重などに対する係数）		$L_2=1.0$ （外力基準で考慮しておく）
L_3 : 外力荷重の推定不確定係数 $L_3=1.0$ （外力基準にオーソライズされたものを採用する）		
L_4 : 構造計算での精度係数	$L_4=1.0$ （有限要素法等の精度の良い方法を採用する）	
	$L_4=1.2$ （等方性材料力学で検討する場合）	
L_5 : 材料特性のパラッキ係数	$L_5=1/[1-kp(\sigma/\bar{\sigma})]$ （材料試験の平均値 $\bar{\sigma}$ と標準偏差 σ から計算） （kpは信頼度から設定する。99.9%の場合でkp=3.09） （「FRP水槽構造設計計算法」強化プラスチック協会、(H8)より）	

(2) 一般的な構造用FRPの安全率

「繊維強化プラスチック引抜材技術マニュアル」（H8, 強化プラスチック協会）では安全率を表-2のように設定している。この安全率は表-1の材料特性の信頼度に関する安全率のみで

表-2 FRP引抜成型材の安全率⁽³⁾

・静的な短期荷重（風荷重、地震荷重等）	2～4
・静的な長期荷重（固定力、載荷荷重、積雪荷重等）	3～6
・繰り返し荷重	6～12
・衝撃荷重	12～20
・環境条件	温度・薬品共に別途設定が必要

キーワード：FRP構造材料、橋梁、安全率

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市旭1 電話:0298(64)4892 FAX:0298(64)4464

なく、長期的要素も含んだ経験的安全率と考えられる。FRP引抜材の長期的要素も含んだおおよその安全率の参考値と考えることができる。

4. 橋梁構造部材としての安全率の検討

(1) 安全率の考え方

土木構造部材として用いる場合の安全率は、表-1のような材料の「信頼性に基づく安全率」の他に、疲労特性や経年変化による強度の減衰率などの、「長期的な安全率」を検討する必要がある。最終的な安全率はこれらをかけ合わせたものと考えられる。

(2) 長期的な安全率

長期的な安全率について、文献により調べた結果を表-3に示す。引抜材に関する資料は少なかったため、別途行った試験^⑥の結果も記した。

①疲労特性

FRP橋の場合には鋼橋に比べて軽量であるため、死荷重に比べて活荷重の割合が大きくなりがちである。このため、疲労特性に対する安全率を適切に設定することが必要である。10⁷回疲労限度は、GFRPで0.22～0.41程度、CFRPで0.4～0.8であった。疲労特性はFRPの種類や载荷条件により異なるので、最適な設計のためには実際のFRP橋設計条件にあわせて疲労試験を行い、10⁷回疲労限度を求めるのが望ましい。疲労に対する安全率は、表-3のデータからGFRPで2.5～5、CFRPで1.25～2.5程度と見込まれる。

②クリープ特性

クリープ破断は通常鋼材では問題とならないが、GFRPの場合には1000時間破断応力が曲げで0.25程度との報告^④があるため、検討を必要とする。とはいえ、FRPは弾性率が低いため、多くの場合、構造設計の際に強度に余裕を持たせた設計となるため、大きな弱点となりにくいと考えられる。FRPのクリープ破壊は材料の構成によって変化すると考えられるので、使用する材料と供用予定年数に応じた、安全率の設定が必要である。

③経年変化による減衰率

FRPの経年変化による強度低下は、環境条件によって異なる。表-3は常時気中にある場合に限って調査した。

GFRPの場合には屋外暴露5年程度で、曲げ強度が0.8くらいまで低下するとの報告^④があるが、塗装によって強度低下を抑制できることが分かっている。このため、塗装等の実条件を考慮した上で、供用予定年数に応じた安全率の設定が必要である。

5. まとめ

鋼材やコンクリートと比較してFRPは比較的高価であるため、その利点を生かすには、効率的な設計が必要となる。このため、部材に適した物性をもつFRPを選択する材料設計技術と、適切な安全率の設定が必要である。また、材料物性や外力のばらつきの他、経年変化による物性低下なども考慮する必要がある。

参考文献

- (1)「連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案）」コンクリートライブラリ-88, 土木学会, 平成8年
- (2)「FRP水槽構造設計計算法」(社)強化プラスチック協会, 平成8年
- (3)「繊維強化プラスチック引抜材技術マニュアル」(社)強化プラスチック協会, 平成8年
- (4)「FRP構造設計便覧」(社)強化プラスチック協会, 平成6年
- (5)佐々木、西崎「FRP引抜成形材の疲労・クリープ特性」(未発表)
- (6)「建設用鋼材」日本鋼構造協会編、(昭和52年、コロナ社)

表-3 長期的な安全率

	GFRP	CFRP	鋼材（参考）
疲労特性 (10 ⁷ 回疲労強度/静的強度)	0.22～0.41 ^④ 0.2～0.3（曲げ） ^⑤	0.4～0.6（両振） ^④ 0.6～0.8（片振） ^④	0.45～0.55（引張） ^⑥
クリープ特性 (1000時間破断強度/静的強度)	0.7（引張） ^④ 0.25（曲げ） ^④ 0.64（曲げ） ^⑤	0.9（引張） ^④ 0.7（曲げ） ^④	常温域では問題とならない ^⑥
経年変化による強度減衰 (暴露試験後の強度低下率)	0.8（曲げ,5年） ^④ 0.9（曲げ,2年） ^④ 1.0（塗装品,曲げ,2年） ^④	0.85（引張,せん断,5年） ^④	