

先進複合材料の港湾構造物への適用に関する検討

(独) 港湾空港技術研究所 フェロー ○横田 弘
東レ (株) 近藤富士夫
(株) 日本港湾コンサルタント 山内 浩
清水建設 (株) 正会員 稲田 裕

1. はじめに

CFRP（炭素繊維強化プラスチック）は、軽量・高強度等の特性を生かして、航空機部材等に広く利用されている。しかし、社会基盤構造物に対しては要求性能やコストの制約から採用された事例は限られている。今後、構造物の長寿命化や効率的な維持管理を目的として、CFRPの活用は増えてくるものと思われる。特に、港湾構造物に適用した場合には、高い耐久性や軽量性に基づく優れた性能が期待できる。しかし、米国ではCFRP部材を利用した港湾構造物の開発¹⁾が積極的に行われているのに対して、日本国内での検討事例はほとんどない。そこで、CFRP材を矢板状に加工して土留め壁とした、いわゆる矢板式岸壁の試設計を行い、主に強度特性に着目してその適用性を検討した。

2. CFRP材を用いた矢板式岸壁の試設計

2. 1 CFRP物性の検討

矢板代替製品のCFRPはPAN系の炭素繊維をエポキシ樹脂で固めたもので、ハンドレイアップなどにより成形される。港湾用矢板では、主に軸方向の曲げモーメントが作用するため、繊維方向は矢板軸方向が主となるが、座屈や土圧による外力に対して横方向にも繊維を配向する。今回設定した炭素繊維の物性は、複合則により算定した。その結果設定されたCFRPの物性を表1に示す。ここで、繊維配向は軸方向：横方向＝3:1、体積繊維含有率は40%、繊維の剛性利用率95%、繊維の強度利用率80%としている。

2. 2 検討対象構造

検討の対象とした岸壁の基本諸元は、港湾構造物設計事例集²⁾を参考に設定した。図1に示す標準断面（従来の鋼管矢板SKY490を使用）に対して、CFRP材のU型矢板およびパイプ矢板に置き換えた断面を検討した。CFRP材は曲げ強度が高い特性を有しているため、矢板の板厚を低減することができる。ここでは、CFRPのU型矢板は鋼矢板FSP-IV（幅400mm、高さ170mm、板厚15.5mm）と同一断面に、また、パイプ矢板は鋼管矢板に対して直径を1100mmと変更せず、板厚を6mmに半減させた。このようにして設定した各矢板の諸元を表2にまとめる。剛性が低いことから矢板の根入れ長を小さくできることに加え、軽量であるため、工期の縮減や施工費用の低減も可能となることが期待できる。

2. 3 試設計による検討結果

設計に用いる外力条件は、前述の港湾構造物設計事例集²⁾のとおりである。また、設計震度は0.19としている。設計の対象は前面の土留め矢板のみとし、タイ材および控え工は検討していない。

表1 炭素繊維およびCFRPの物性一覧（軸方向）

炭素繊維物性		CFRP物性	
ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
235	4900	67.0	1176

キーワード 先進複合材料，CFRP，矢板式岸壁，強度

連絡先 〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 （独）港湾空港技術研究所 構造強度研究室 Tel 046-844-5059

表 2 使用矢板の諸元

諸 元	U 型矢板		パイプ矢板	
材 料	鋼材 (SKY490)	CFRP	鋼材 (SKY490)	CFRP
板 厚 (mm)	15.5	15.5	12.0	6.0
断面積 (cm ²)	96.99	96.99	410.2	205.1
質 量 (kg/m ²)	190.0	34.1	273.3	24.5
断面二次モーメント (cm ⁴ /m)	3.86×10^4	3.86×10^4	5.15×10^5	2.58×10^5
断面係数 (cm ³ /m)	2 270	2 270	9 340	4 670

仮想ばり法により算定した矢板の断面力をロウの方法による簡便法で補正した結果、常時および地震時の最大曲げモーメントは、それぞれ 1060.7 kN・m/m および 2155.2 kN・m/m と計算された。採用する矢板断面は、この最大曲げモーメントによる応力度が許容値を超えないように決定した。なお、矢板の材料が鋼材（鋼矢板、鋼管矢板）の場合には、矢板の腐食を考慮し、腐食後の断面性能により照査を行う。検討結果を表 3 に示す。ここで、常時の許容応力度は、CFRP の引張強度の 1/3 とした。

矢板の根入れ長は、鋼材が DL-27.0 m に対して CFRP 材では断面剛性が小さいことから、DL-25.5 m で満足することになった。したがって、矢板長は 1.5 m 程度低減することができる結果となった。また、いずれの矢板を用いても応力度は許容値以下となり、所要の根入れ長を満足すれば断面は成立する結果となった。その結果、表 2 に示したように、矢板壁 1 m 当たりの矢板質量は U 型矢板については 18% に、パイプ矢板では 9% となっており、大幅な軽量化が実現された。

3. まとめと今後の課題

矢板式岸壁を対象として CFRP 材の適用性を検討した結果、鋼矢板および鋼管矢板を CFRP で代替した部材は強度上の要求性能を満足し、軽量化や高強度化などの効果が十分期待できることが明らかとなった。矢板式岸壁で鋼材を CFRP に置換するという試みは数値的には十分可能性があり、今後詳細な検討の場に取り上げる契機となれば幸いである。ただし、本検討は矢板の基本的な特性評価として軸方向の曲げ強度にのみ注目したものであり、座屈や層間剥離に対する挙動、衝撃力に対する安定性の評価等が課題として残されている。また設計条件の確立や耐久性の確認、ライフサイクルコストの評価も重要な課題であり、今後検討を進めていく予定である。なお、本論文は、土木学会技術推進機構・革新的構造材料の活用検討委員会における調査研究活動の一部をとりまとめたものである。委員会委員および関係各位のご協力に対してここに謝意を表します。

参考文献

1) Lampo, R., et. al.: Development and Demonstration of FRP Composite Fender, Loadbearing, and Sheet Pile Systems, USACEAL Technical Report 98/123, US Army Corps of Engineers, 1998.9., 82p.

2) 沿岸開発技術研究センター：港湾構造物設計事例集，1999.4

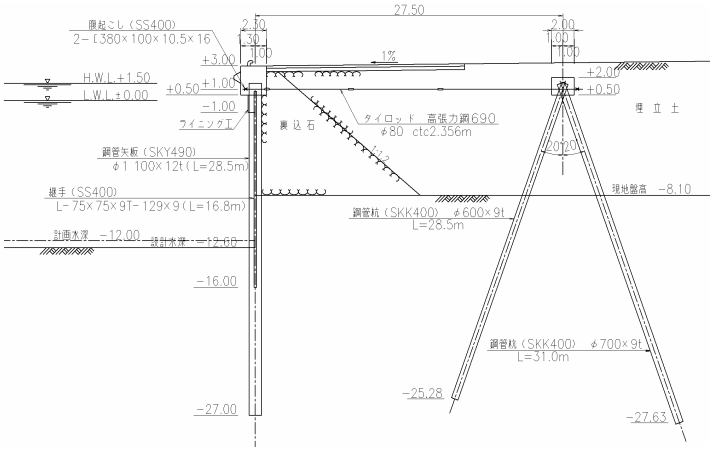


図 2 矢板岸壁の標準断面図

表 3 検討結果一覧

材料	根入れ下端 (m)	応力（発生，許容） N/mm ²	
		常時	地震時
鋼管矢板	DL-27.0	120.8 < 185.0	245.5 < 278.0
CFRP-U 型	DL-25.5	276.8 < 392.0	522.6 < 588.0
CFRP-Pipe	DL-25.5	177.2 < 392.0	349.6 < 588.0