

港湾用 P C 矢板技術

Prestressed concrete sheet pile technology for port structures

佐藤祐輔*

SATOU, Yuusuke

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 主任研究員

The prestressed concrete sheet pile prevents cracking in it by prestressing high-strength. This provides the concrete structures with superior durability in marine environments. The present report introduces the “Port-Use Prestressed Concrete Sheet-Pile Manual” for port structures.

Key Words: PC sheet-pile, high-strength concrete

1. はじめに

プレストレストコンクリート矢板（P C 矢板）は、我が国では昭和 40 年に日本工業規格（JIS）により標準化され、以後、様々な改良がなされ現在に至っており、河川護岸や土留め擁壁として数々の施工例がある。一方、港湾における P C 矢板は我が国ではこれまで使用実績が少ない（18 例）。その主な理由は、我が国の港湾基準では鋼矢板を対象に規定されており、港湾構造物としての P C 矢板の設計・施工基準がなかったためである。

港湾環境下という厳しい条件で使用される矢板は、海水に対する高い耐久性が求められる。P C 矢板は鋼矢板と比較して、海水に対する耐久性、メンテナンスに優れており、港湾環境下という厳しい条件でも十分にその性能を発揮できるものと考えられる。

本報告は（財）沿岸開発技術研究センターで刊行した「港湾用 P C 矢板技術マニュアル」について紹介をするものである。

2. 港湾用 P C 矢板技術マニュアルの主な課題

2.1 引張応力発生限界状態の適用

港湾環境下におけるコンクリート構造物は海水の影響による劣化の可能性があるが、また、コンクリート構造物にひび割れが生じると塩害による劣化が促進される。

通常、P C 矢板の断面の照査は、限界状態設計法にて行い、使用限界状態、終局限界状態を照査する。使用限界状態を曲げひび割れ幅限界状態として検討して、設計荷重により発生するひび割れが耐久性上問題にならないように制限されている。しかしながら、今回標準化をおこなった港湾用 P C 矢板は、主として港湾環境下という厳しい条件で使用されることから、使用限界状態を、引張応力発生限界状態として検討することにした。このことにより、使用時でもひび割れの発生しない構造物となり、高い耐久性を実現できるものとした。

2.2 適切なかぶり厚さ

我が国の港湾の施設の技術基準では、鉄筋コンクリート部材の鉄筋かぶりの値は、海水に直接接する部分、海水で洗われる部分、及び激しい潮風を受ける部分では 7 cm 以上かぶりをとることを標準としている。今回提案している港湾用 P C 矢板は設備の整った工場にて製造されること、工場製品であるため蒸気養生を行うこと、また、高強度のコンクリート（70MPa）が使用される P C 部材であることより、実験によって適切なかぶりを検証した。

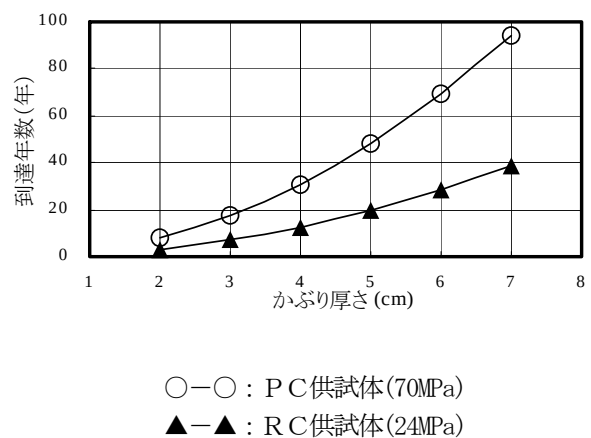


図-1 塩分濃度の制限値に達する年数とかぶりの関係

結果、図-1 に示すように、鋼材腐食を引き起こす限界塩化物イオン濃度（0.4%）に達した時の年数とかぶりの関係を試算すると、通常の R C 構造物に用いる設計基準強度 $f'_{ck}=24\text{MPa}$ のコンクリートかぶり 7cm 位置の到達年数が $f'_{ck}=70\text{MPa}$ のコンクリートかぶり 5cm 位置の年数にほぼ相当するのがわかる。また、港湾での P C 製品は従来より工場製品であるため、2cm 程度のかぶりの低減を行っている例が多く、これらの構造が耐久性で問題となっていないことも踏まえ、港湾用 P C 矢板のかぶりは 5cm を標準とした。

2.3 断面力の算出方法

(1) 控え式PC矢板壁

我が国の港湾基準では、鋼矢板を対象とし、断面力の算出にはロウの方法を使用することとしている。PC矢板は断面の剛性が大きいので、ロウの方法を適用できるか検証を行った。そこで弾塑性法によるPC矢板の試設計を実施し、ロウによる方法との比較検討を行った。その結果、弾塑性法およびロウの方法による解はほぼ同様な傾向を示し、港湾用PC矢板試設計範囲でもおおそ同様な結果が得られた。このことから、港湾用PC矢板についてもロウの方法を適用することとした。

また、PC矢板に作用する最大せん断力については、港湾基準で、ロウの方法による算出方法が示されていない。そこで、仮想梁法及び弾塑性法による試算を行い、仮想梁法で求まる値に対して、同程度または小さいことが確認された。したがって、矢板に作用する最大せん断力は、仮想梁法を用いた海底面反力を用いてもよいこととした。

なお、ロウによる方法は砂質土地盤を対象としているので、粘性土地盤について設計する場合には、剛性の大きい港湾用PC矢板は軟弱地盤上に打込まれた矢板として総合的に比較検討し、設計するものとした。

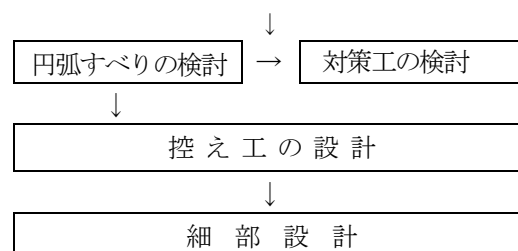
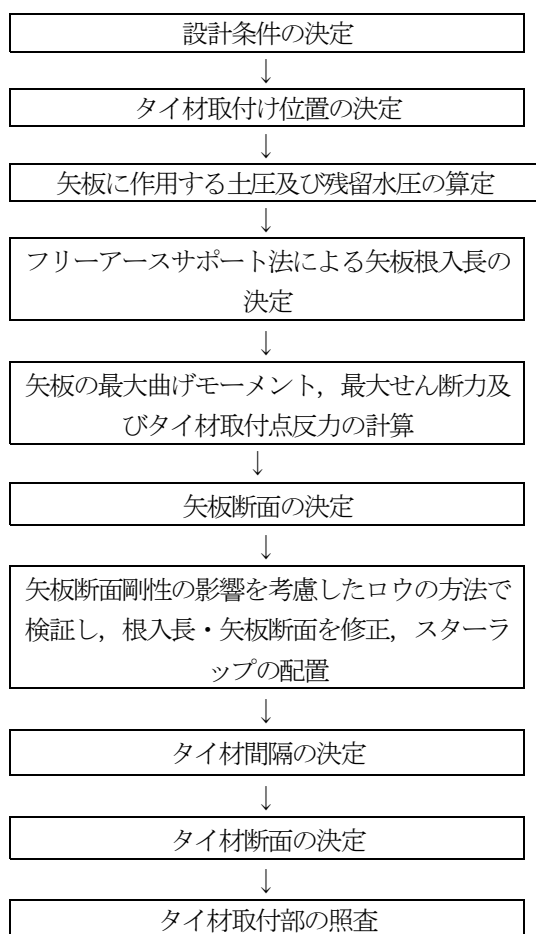


図-2 控え式PC矢板壁の設計順序

設計は図-2に示す順序で行う。なお、PC矢板1枚につきタイ材は1本取り付けするため、腹起しは設計上必要とならない。

港湾用PC矢板の設計は、まず、フリーアースサポート法により根入れ長の計算を行い、矢板断面を決定する。次

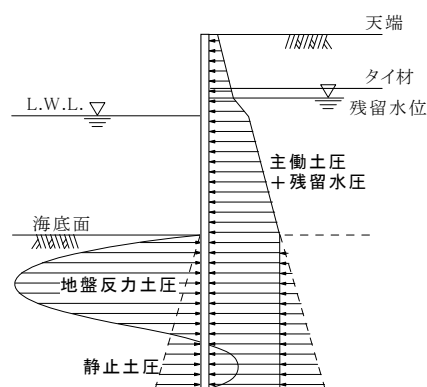


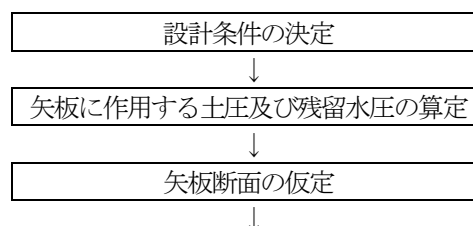
図-3 矢板壁に考慮する土圧及び残留水圧
(ロウの方法による場合)

に断面剛性の影響を考慮したロウの方法により断面力を算出し、仮想梁法で決定した曲げモーメントを修正する。この修正値を用いて矢板断面および根入れ長を修正する。

矢板の安定計算にロウの方法を用いる場合は、土圧及び残留水圧は図-3のように作用するとし、矢板前面には地盤反力係数に対応した反力土圧と静止土圧が作用するとすればよい。

(2) 自立式PC矢板壁の設計

設計は図-4に示す順序で行う。自立式PC矢板壁の設計は、砂質土地盤を前提としており、粘性土地盤には適用しない。粘性土地盤については、コンクリートのクリープ等の影響が考えられ、好ましくないので、できるだけ避ける。



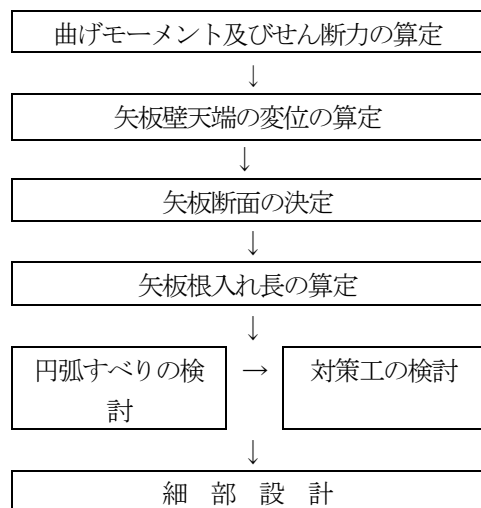


図-4 自立PC矢板壁の設計順序

PC矢板壁に作用する外力としては、控え式矢板と同様のものを考慮する。自立式PC矢板壁に作用する土圧及び残留水圧は図-5に示すように主動土圧と残留水圧の和が受動土圧と等しい点を仮想海底面とし、これより上に作用するものとした。

矢板根入れ長は、自立式PC矢板壁は杭と同じ機構で背後の土砂を支えているため、杭の根入れ長と同様に算定する。また、矢板壁天端の変位量については、使用上支障のない程度とし、緩く詰まった飽和砂質土等は地震により液状化し構造物に被害を及ぼすことがあるため、液状化の判定を行い、必要に応じて液状化対策を行う。また、自立式構造のため、施工中に裏込め土のない状態について、十分な安全性を有する構造とする。

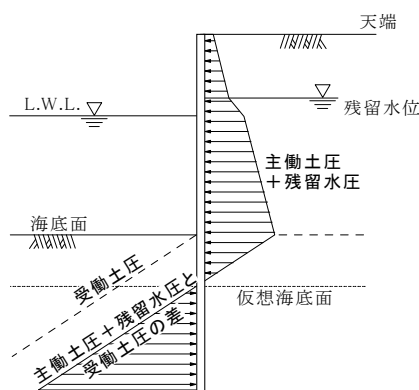


図-5 仮想海底面の位置

2.4 断面の照査方法

港湾用PC矢板部材の安定性の検討は、限界状態設計法により行い、使用限界状態及び終局限界状態に関して検討することとする。

また、各限界状態で考慮する荷重の一覧を表-1に示す。

表-1 荷重一覧

	使用限界状態		終局限界状態
	引張応力発生限界状態	ひび割れ発生限界状態	
自重	○	○	○
土圧	○	○	○
残留水圧	○	○	○
地震力			○
牽引力及び防衝工反力		○	(○)
上載荷重	○	(○)	

(1) 使用限界状態の検討

使用限界状態の検討は、港湾用PC矢板に常時作用する荷重に対して行うこととする。

曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討では、コンクリートに引張応力を発生させない引張応力限界状態にて行うものとした。引張応力限界状態の検討は、作用する曲げモーメントおよび軸方向力に対して、コンクリート全断面を有効として求め、引張応力が発生しないことを確認する。

せん断力に対する検討は、コンクリートの斜め引張応力度がコンクリートの引張強度の設計用値の35%以下であることを確かめることによって行うこととする。しかし、PC矢板部材の場合、曲げモーメントおよび軸方向力に対して引張応力発生限界状態またはひび割れ発生限界状態を適用する場合は、せん断力に対しては十分安全であるので、この検討は省略してもよい。

(2) 終局限界状態の検討

終局荷重状態の検討は、最大荷重により破壊が生じる終局限界について行うこととし、地震時に作用する荷重に対して破壊に対する安全度の検討を行う。曲げモーメント及び軸方向力に対する検討は、設計曲げモーメント M_d と設計軸方向力 $N'd$ が図-6の $Mud-N'ud$ 曲線の内側、すなわち原点側に入っていることを確認することによっておこなうものとする。図-6に軸方向力と曲げ耐力の関係を示す。

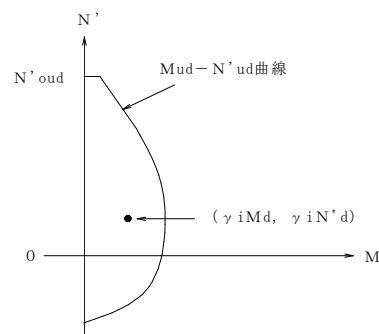


図-6 軸方向力と曲げ耐力の関係

せん断力に対する検討は、設計せん断力に対して、P C 矢板を棒部材とみなしてせん断耐力を算出し、安全性を確認することによって行うものとする。

3. 標準断面

以上の結果を基に、港湾におけるP C矢板の標準断面を提案した。標準化した港湾用P C矢板の断面形状を図-7に示す。

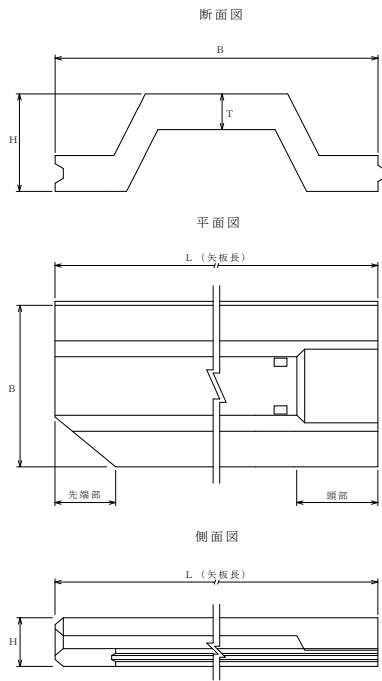


図-7 港湾用P C矢板の標準形状

矢板断面の決定は、矢板壁に生じる曲げモーメントを算出し、作用する最大曲げモーメントが断面耐力を越えない断面および鋼材配置を表-2 から選定すればよい。

4. まとめ

本報告は、港湾施設の高度化のために、河川護岸用あるいは土留め擁壁用として使用されているP C矢板を港湾用に適用し、これまでの実績及び有識者による多くの知見をもとに検討を加え標準化したものを紹介したものである。港湾用P C矢板技術マニュアルは設計手法はもとより、製作・施工にかかわる留意点・注意事項・事例等を詳述したものである。また、具体的な内容の補足あるいは事例を資料編に収め、設計実務者にも理解し易いマニュアルとなっており、港湾域におけるP C矢板工法の適用には、このマニュアルが有効に活用されることを願っている。

参考文献

沿岸開発技術研究センター：港湾用P C矢板技術マニュアル／2000.

表-2 港湾用P C矢板の標準断面性能

記 号	幅	高さ	部材厚	断面寸法			断面積	断面二次	断面係数	P C 鋼材		有 効 応力度	断面耐力（曲げモーメント）				
								モーメント		配置本数			使用限界状態		終局限界状態		
				<i>B</i>	<i>H</i>	<i>T</i>				<i>a</i>	<i>b</i>		<i>c</i>	<i>A</i>		<i>I</i>	<i>Z</i>
				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	径	× 本	N/mm ²	kN・m/m
H- 350	1246	350	130	143	205	410	1930	214300	12250	φ 15.2	× 16	10.0	99	133	245		
H- 400		400		150	198	396	2033	313400	15670	φ 15.2	× 18	10.7	135	179	323		
H- 450		450		155	193	386	2142	435500	19360	φ 15.2	× 20	11.3	176	230	406		
H- 500		500		159	189	378	2254	582200	23290	φ 15.2	× 22	11.8	221	287	495		
H- 550		550		162	186	372	2369	754900	27450	φ 15.2	× 22	11.2	248	325	581		
H- 600		600		165	183	366	2486	955300	31840	φ 15.2	× 24	11.7	299	389	679		
H- 650		650		168	180	360	2604	1184800	36460	φ 15.2	× 24	11.2	326	430	772		
H- 700		700		170	178	356	2724	1445100	41290	φ 15.2	× 26	11.6	383	500	880		
H- 750		750		172	176	352	2846	1737700	46340	φ 15.2	× 26	11.1	411	543	980		
H- 800		800		174	174	348	2968	2064200	51610	φ 15.2	× 28	11.4	473	619	1097		
H- 850		850		175	173	346	3091	2426300	57090	φ 15.2	× 28	11.0	502	664	1203		
H- 900		900		177	171	342	3215	2825500	62790	φ 15.2	× 30	11.3	569	747	1331		
H- 950		950		178	170	340	3339	3263500	68710	φ 15.2	× 30	10.9	600	794	1443		
H-1000		1000		179	169	338	3464	3741900	74840	φ 15.2	× 32	11.2	672	884	1583		
H-1050		1050		180	168	336	3589	4262200	81180	φ 15.2	× 32	10.8	703	933	1700		
H-1100		1100		181	167	334	3715	4826200	87750	φ 15.2	× 34	11.1	780	1029	1852		
H-1150	1150	182	166	332	3841	5435400	94530	φ 15.2	× 34	10.7	813	1081	1975				
H-1200	1200	183	165	330	3967	6091400	101520	φ 15.2	× 36	11.0	895	1183	2137				