

# [169] 海洋構造物の各種接合部の載荷実験

横井 聰之 (運輸省港湾技術研究所 構造部)

正会員 ○ 清宮 理 (運輸省港湾技術研究所 構造部)

正会員 横田 弘 (運輸省港湾技術研究所 構造部)

正会員 大越 康史 (運輸省港湾技術研究所 構造部)

## 1. まえがき

海洋空間あるいは資源を有効に利用するため、ジャケット式海洋構造物、スリット式海洋構造物<sup>1)</sup>等の新しい形式のコンクリート製海洋構造物の建設が積極的に計画・実施されている。海洋環境下では、施工の方法がかなり限定されることから、PCプレキャスト部材の採用が考えられる。プレキャスト部材同志の接合方法に関しては、陸上の構造物を対象として既に研究が実施されている。<sup>2)</sup>しかし、強大な波力を正負両方向から繰返し受け、耐久性や安全性の観点からひびわれ幅を制限しなければならない海洋構造物では、接合方法の選定及び接合部の設計法の確立が重要な項目となる。このようなことから、海洋環境下で施工が可能な接合様式を選定し、それらの構造の強度・変形性状、ひびわれ性状、疲労性状等を把握する必要がある。本報告では、この内、5種類のPCによる接合構造を対象に静的載荷実験を行い、接合面を設ける構造と設けない構造とで強度・変形性状、ひびわれ性状がどのように異なるかを比較し、海洋環境下で採用可能なプレキャスト部材同志の接合方法の検討を行った結果について述べる。

## 2. 実験の概要

### 2.1 供試体の種類

実験の対象とした接合構造は、海洋構造物でのプレキャスト部材の接合方法として採用が考えられるもののうち、表-1に示すような、PCによる5種類のT型接合部である。載荷実験は、これらの接合構造の模型供試体を作製して実施した。供試体は断面30×30cm、高さ140cmの柱部材と断面50×30cm長さ200cmのはり部材をそれぞれ所定の方法で接合したものである。また、J-2での場所打部の高さは30cm、J-4でのハンチ部の寸法は30×60cm、J-5での版部材の寸法は90×80×150cmで差込深さは60cmである。

供試体の基本的な配筋図を図-1に示す。図-1ではJ-1の例が示されているが、他の構造でもほぼ同様の配筋状況である。柱部材の主筋はD10が4本、帯筋はD6を15cmピッチで各々使用している。部材の接合には、φ17のPC鋼棒2本が用いられ、コンクリート応力で約20kgf/cm<sup>2</sup>のPCが導入されている。ただし、J-4ではφ23のPC鋼棒が2本用いられ、J-5では接合のみの目的でのPCは導入されていない。

### 2.2 使用材料

コンクリートの配合を表-2に示す。粗骨材は、最大寸法10mmの砕石を用いた。鉄筋及びPC鋼棒の機械的性質を表-3に示す。

表-1 接合方法の概要 (T型接合部)

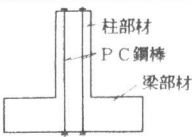
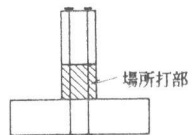
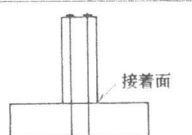
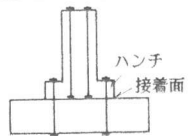
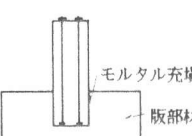
記号	構造の特徴	供試体の概要
J-1	一体構造 接合面を設けないPC一体構造	
J-2	場所打接合構造 2つの部材を鉄筋の重ね継手、場所打コンクリートにより接合。硬化後PCを導入。	
J-3	接着剤接合構造 2つの部材の接合面に接着剤を塗布し、PCの導入で接合。接合面を貫通する鉄筋はなし。	
J-4	ハンチ接合構造 J-3と同様であるが、ハンチを設けることにより接着面を広くしたものの。	
J-5	差込み式接合構造 版部材に穴をあけ、柱部材を差込んだ後、膨張モルタル等で充填したもの。構造物の床版等での採用が考えられる。	

表-2 コンクリートの配合

\* 混和剤の単位は (ℓ/cm<sup>3</sup>)

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kgf/cm <sup>3</sup> )				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤*
8±2.5	5±1	6.0	5.0	17.0	28.3	9.00	9.16	2.83

表-3 鋼材の機械的性質

種類	規格	降伏点	引張強さ	伸び	ヤング率	
		(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(%)	(×10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	
鉄筋	D6	SD35	3750	5420	2.63	2.10
	D10	SD35	3950	5560	2.32	2.10
PC鋼棒	φ17	SBPR80/95	9100	10000	11	2.04
	φ23	SBPR80/95	8700	9600	9	2.04

2.3 載荷方法

載荷は、柱部材上端から約20cm下の箇所、油圧ジャッキ(容量50tf)を用いて水平方向に行った。この際、はり部材は、4本のPC鋼棒により床に固定した。主鉄筋が降伏するまでは0.5tfあるいは1.0tf刻みの荷重制御で、降伏以後は変位制御で繰り返し載荷を行った。荷重としては波力を想定しているが、今回の実験では、波の周期特性を特に考慮していない。また上部工の自重に対応する鉛直方向の荷重の載荷は行っていない。

2.4 測定項目

載荷荷重は、油圧ジャッキの先端に取付けたロードセルにより計測を行った。柱部材の変形は、5台の変位計により計測を行った。ひびわれ幅は、コンタクトポイントを10cm間隔に供試体表面に接着させ、コンタクトゲージで計測を行った。また、主筋、PC鋼棒、帯筋および供試体表面にひずみゲージを貼付し、鋼材およびコンクリート表面に生ずるひずみ量の計測を行った。

3. 実験結果

載荷実験により得られた実験結果の概要を表-4に示す。表中の破壊曲げモーメントの計算値は、コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)(土木学会<sup>3)</sup>に示される方法で求めた。この際、コンクリート等の材料強度については実測値を用い、材料係数等の各係数は乗じていない。またじん性率は、破壊荷重時の載荷点における水平変位と鉄筋降伏時の水平変位との比によって求めた。

3.1 破壊(終局)曲げモーメント

図-2に荷重-変位曲線の一例として、J-2の場合を示す。破壊曲げモーメントに関しては、一体構造と接合面を有する構造とでは、大きな差は見受けられなかった。J-1とJ-2とを比較すれば、破壊曲げモーメントは若干J-2の方が大きかった。これは、J-2の場所打部で、主鉄筋の重ね継手による鉄筋量の増加等が原因となって、J-2の破壊曲げモーメントがJ-1より若干上回ったと考えられる。J-4供試体では、ハンチ内及び柱~梁部材の接合面の耐力が、ハンチ上部位置の耐力よりも大きいため、J-4の破壊箇所はハンチの上部位置であった。また、J-3の破壊曲げモーメントは、他の供試

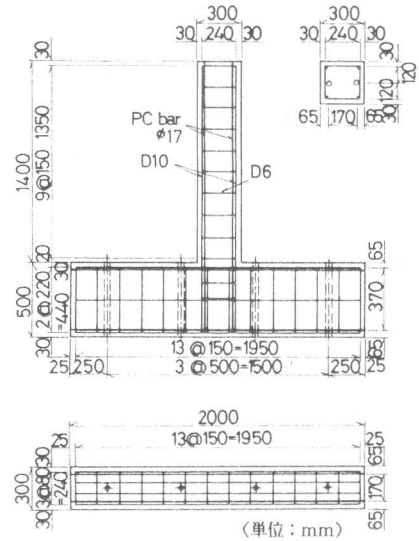


図-1 供試体の配筋 (J-1)

表-4 実験結果一覧

\*)鉄筋降伏せず

供試体	コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊曲げモーメント (tf・m)		鉄筋降伏 曲げモー メント (tf・m)	じん性率	ひびわれ 発生曲げ モーメント (tf・m)
		実験値	計算値			
J-1	375	5.91	6.57	4.30	3.20	2.95
J-2	340	7.09	6.45	4.81	4.46	1.77
J-3	367	4.13	5.23	—*)	—*)	2.36
J-4	367	6.61	6.55	4.69	2.53	2.64
J-5	363	6.96	6.54	4.22	7.47	3.08

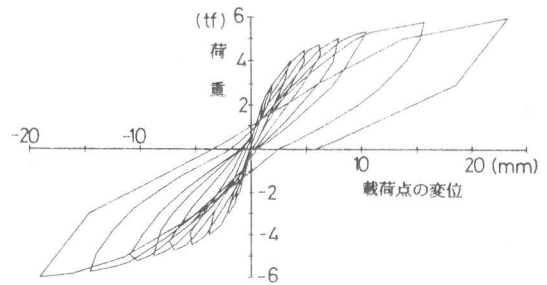


図-2 荷重-変位曲線

体と比べてかなり小さかった。

### 3.2 ひびわれ性状

図-3に各供試体のひびわれ状況を示す。図中の数字は、載荷荷重 (tf)である。J-1 供試体では、柱~梁の接合部に曲げひびわれが集中的に発生していた。J-2 供試体でも曲げひびわれが卓越していたが、ひびわれは、2箇所の打継目に集中して発生した。J-1 および J-2 供試体では、ひびわれが貫通後他の場所に曲げひびわれが発生した。J-3 供試体では、接合面のみにひびわれが集中しており、他の場所では、ひびわれの発生はほとんど見受けられなかった。J-4 供試体では、ハンチの上部に曲げひびわれが発生し、曲げひびわれが部材を貫通した後、ハンチ内にせん断ひびわれが進展した。ただし、ハンチ下部の接合面でのひびわれの発生は見られなかった。図-4に各供試体での最大ひびわれ幅と曲げモーメントとの関係を示す。最大ひびわれ幅と曲げモーメントの関係では、J-3 は他の供試体よりひびわれ幅が大きくなる傾向があった。しかし、その他の供試体ではほぼ同じ状況であり、接合面の有無がひびわれ幅に及ぼす影響は小さいと言える。海洋構造物で許容されるひびわれ幅の日安とされているひびわれ幅 0.2mm に達する曲げモーメントの実験値と計算値を表-5に示す。ここで計算値とは、CEB-FIP (1978年)の式で求めた結果である。最大ひびわれ幅が 0.2mm に達する曲げモーメントは、終局曲げモーメントの 50~70% であった。実験値と計算値を比較すると、各供試体とも 0.2mm ひびわれ発生モーメントは、実験値の方が大きかった。同式は、曲げひびわれの算定式であるが、今回の構造のように、曲げ及び曲げせん断ひびわれが一断面にかなり集中するような場合のひびわれ幅の算定にも、一応安全側の日安を与えようと考えられる。

### 3.3 変形能力

図-5に供試体の変形 (水平変位) 状況の例を示す。柱部材の変形の分布形状は、各荷重段階に対してほぼ直線状である。各供試体とも柱部材のつけ根での水平移動及び柱部材のはり部材への貫入等の現象は見られなかった。ハンチ接合構造 (J-4) では、ハンチ上部の柱部材でのみ変形を生じ、ハンチ内での変形はほとんど発生していなかった。

図-6に曲げ剛性 (EI) と塑性率との関係を示す。曲げ剛性は、破壊面に作用する曲げモーメント ( $M_i$ ) とその位置での曲率 ( $\phi_i$ ) により、 $EI = M_i / \phi_i$  で求めた。また曲率は、接合断面での主鉄筋及びPC鋼棒に貼付したひずみゲージにより求めた。塑性率は、載荷点の変位と鉄筋降伏時の変位との比である。曲げ剛性は、塑性率の増加とともに減少し、塑性率が

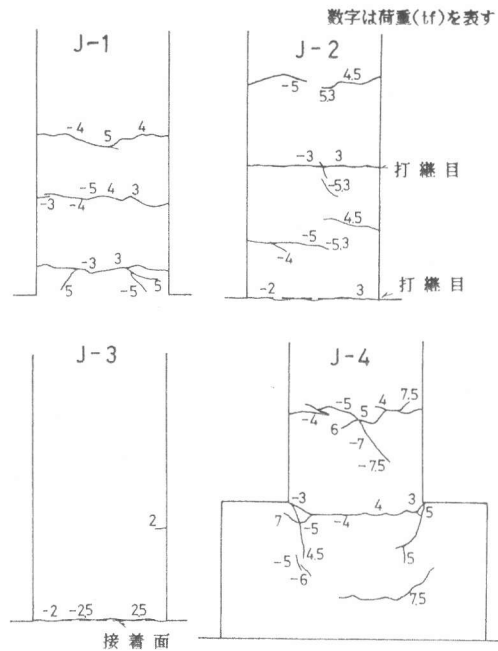


図-3 ひびわれの状況

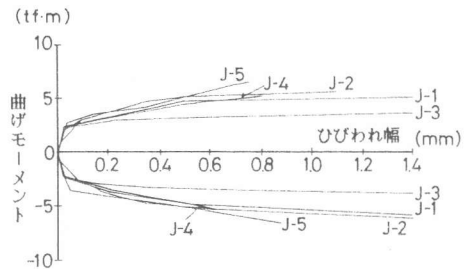


図-4 最大ひびわれ幅

表-5 ひびわれ幅の実験値と計算値

供試体	ひびわれ幅が 0.2 mm に達するモーメント (tf-m)		
	実験値	計算値	実験値 / 計算値
J-1	3.54	2.95	1.20
J-2	3.78	2.95	1.28
J-3	2.95	1.89	1.56
J-4	3.44	2.91	1.18
J-5	4.76	2.91	1.64

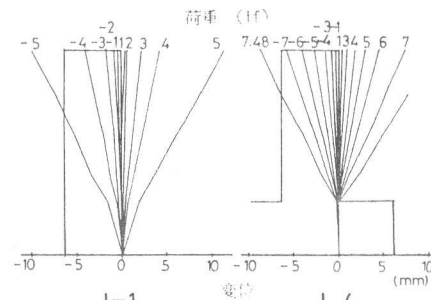


図-5 供試体の水平変位

1に達した時(鉄筋降伏時)の曲げ剛性は、初期の曲げ剛性の2~3割まで低下した。図-7に等価粘性減衰率と塑性率との関係を示す。ここで等価粘性減衰率とは、各載荷ループで消費されるエネルギーと外力によるエネルギーとの比である。各供試体とも塑性率が1程度の時に等価粘性減衰率は5~7%となり、繰返し回数が多くなるにつれ、等価粘性減衰率の値は上昇した。曲げ剛性の低下の性質及び供試体の消費エネルギーの性質は、各供試体で大きな差

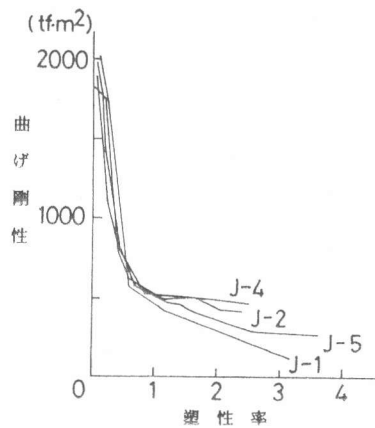


図-6 曲げ剛性と塑性率

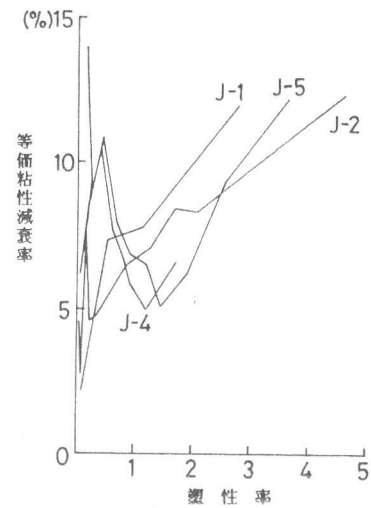


図-7 等価粘性減衰率と塑性率

はなかった。ただし、J-3供試体では鉄筋及びPC鋼棒とも降伏しなかったため、結果の整理から除外してある。

#### 4. 結論

今回検討の対象とした5種類の接合構造の静的繰返し載荷実験により得られた主要な結論は、以下のとおりである。

- (1) 終局曲げモーメントは、一体構造と接合構造とは大きな差はなかった。ただし、接着剤接合構造の終局曲げモーメントは、他の供試体よりも下回った。
- (2) ひびわれの性状は、各供試体とも柱部材のつけ根において曲げひびわれが卓越していた。ただし、場所打接合では、母材と場所打部との打継目に、また接着剤接合では接着部にひびわれが集中した。ハンチ接合では、ハンチ内にせん断ひびわれが認められた。
- (3) ひびわれ幅に関しては、いずれの供試体でもCEB-FIP(1978年)の式による計算値よりも小さく、同式によりひびわれ幅は安全側に算定できた。
- (4) 接着剤接合構造は、他の構造と比較して、同一曲げモーメントに対するひびわれ幅が大きかった。したがって、ひびわれ幅の観点から、この接合様式の海洋構造物への採用には注意を要する。
- (5) プレキャスト部材同志の接合構造での強度-変形性状、ひびわれ性状等は一体構造と大差なかった。静的載荷実験の範囲では、海洋構造物にプレキャスト部材を用い、接合面を設ける構造様式を採用することは可能であると考えられる。

#### 5. あとがき

本研究は、科学技術庁の科学技術振興調整費による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」の一環として、港湾技術研究所と(社)プレストレストコンクリート技術協会とが共同で実施した。研究は57年度より実施されている。今回は、主に各種接合部の基本的な力学性状についてのみ検討を行っており、接合部の力学性状について十分把握されていない面もある。他種類の接合方法、波浪・地震荷重による疲労特性、有限要素法による接合部の解析等についても検討を進めており、今後発表する予定にしている。

#### 参考文献

- 1) 例えば 谷本勝利, 吉本靖俊, 和泉田芳和: 立体骨組構造防波堤の透過率の推定について, 港湾技研資料 No.394, Sept.1981
- 2) 下伊豆隆三: PC構造のジョイント, PC建築の話, 建築技術選書15
- 3) 土木学会: コンクリート構造の限界状態設計法指針(案), 昭和58年