

[79] PC水平梁のねじり強度に関する実験検討

正会員 ○ 加島 豊 (本州四国連絡橋公団 第二建設局)
 田中 美字 (本州四国連絡橋公団 第二建設局)
 大江 真一 (本州四国連絡橋公団 第二建設局)
 正会員 松岡 康訓 (大成建設 技術研究所)

1. まえがき

本州四国連絡橋 児島～坂出ルートの海峡部は、上層が道路(4車線)、下層が鉄道(複々線)のダブルデッキ構造である。そのため、島しょ部高架橋では、上部工の道路PC箱桁と下部工のラーメン橋脚水平梁とが剛結構造となっており、死荷重・活荷重・地震荷重等により水平梁にはねじりモーメントが作用し、またねじりスパンの短い構造となる。ねじりに関しては、これまでにも多くの研究がなされているが主に細ねじりを受ける部材に関するものであり、ねじりスパン比の小さい部材に関してはほとんど行なわれていないのが現状である。そこで本検討は、ねじりスパンの小さいコンクリート構造の性状を把握することを目的とし、次の2項目について実験を行なった。(Ⅰ)基礎実験;ねじりスパン比、プレストレス量および鉄筋比がねじり特性に及ぼす影響を正方形断面の基本的供試体を用いて検討する。(Ⅱ)確認実験;実構造物の1/8の縮尺の模型により、プレストレス量および鉄筋比の影響を、より実際に近い状態に再現して検討する。

2. 基礎実験

2-1 供試体

基礎実験は、表-1に示す19種類のRCおよびPC部材について実施した。供試体は全て同一形状とし、ねじりスパン(ℓ_t)が30cmから240cmまで変化する。供試体形状は図-1に示す通りである。鉄筋比(P_t)は軸方向も横方向も同一とした。コンクリートは、最大粗骨材寸法10mm、設計基準強度400kg/cm²であり、鉄筋はSD35の異形棒鋼を使用した。

2-2 載荷方法

図-1に示すように、供試体は実橋と同様に両端をそり拘束した状態で、ねじり荷重のみを載荷した。載荷は、弾性範囲内の荷重、ひびわれ発生荷重、降伏荷重の各荷重をめどにして2回くり返し、その後破壊まで載荷した。

2-3 実験結果

実験結果を表-2に示す。ねじりスパン比、導入プレストレス量および鉄筋比と、ひびわれ発生ねじりモーメントとの関係を図-2～4に示す。尚、縦軸には各供試体の引張強度の相違の影響をなくするために $30/\sigma_t$ を掛けて、コンクリート引張強度30kg/cm²の場合に換算した。図-2に示すように、ねじりスパンが小さくなるとひびわれ発生ねじりモーメントは若干増大する。導入プレストレスの効果に関しては、図-3よりわかるように、いずれの供試体もプレストレスを導入することによりひびわれ発生荷重が増大している。図-4はすべての供試

表-1 基礎実験供試体一覧

導入プレストレス量 σ_{cp} (kg/cm ²)	鉄筋比 P_t (%)	ねじりスパン ℓ_t (mm)				備考
		8a $\ell_t=240$	4a 1200	2a 600	a 300	
0	0.2	○	○	○	○	a:30cm ○印:実験ケース 供試体記号 E X
	1.0	○	○	○	○	
	2.0	○	○	○	○	
25	0.2	○	○	○	○	I-25-0.2 I I I ℓ_t σ_{cp} P_t
	1.0	○	○	○	○	
	2.0	○	○	○	○	
50	0.2	○	○	○	○	
	1.0	○	○	○	○	
	2.0	○	○	○	○	

試験梁配筋状況

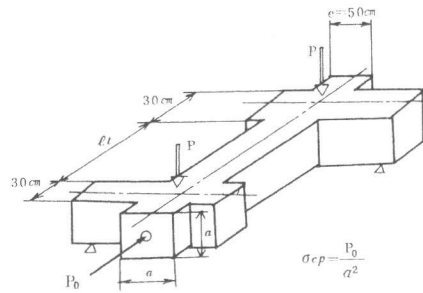
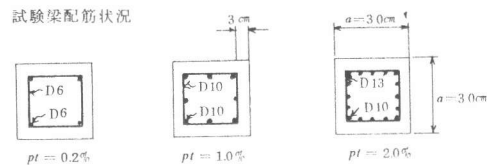


図-1 基礎実験供試体

体の横方向鉄筋比とひびわれ発生ねじりモーメントの関係を示した図であるが、この結果からは鉄筋量の影響はほとんどないものと考えられる。コンクリートの主引張応力度がコンクリート引張強度 ($\sigma_t = 3.0 \text{ kg/cm}^2$) に達したときひびわれ発生を生じるとして計算した値は、図-2, 3 に示す如く実験値とよい一致を示している。

図-5 ~ 7 には、鉄筋の降伏ねじりモーメントに及ぼすねじりスパン比の影響、導入プレストレス量の影響および鉄筋比の影響を示す。ねじりスパン比の影響は、図-5

に示すようにねじりスパン比 1.0 の場合が最大で、以下ねじりスパンが大きくなるに従い低下している。又、鉄筋の降伏ねじりモーメントは導入プレストレス量および鉄筋量が大きい程大きくなっている。導入プレストレスの影響は、鉄筋比 2% の場合ほとんど効果ない(図-6)。鉄筋比の影響については図-7 に示すように鉄筋比の増大に伴って降伏ねじりモーメントは増大している。

部材の最大強度に及ぼすねじりスパン、プレストレスおよび鉄筋比の影響を図-8 ~ 10 に示す。図-8 に示すように、ねじりスパンが小さい程部材の最終強度は大きくなっている。

表-2 実験結果(基礎実験)

供試体	コンクリート 圧縮強度 kg/cm ²	コンクリート 引張強度 kg/cm ²	ひびわれ発生荷重 CONCRETE発生ねじり モーメントton.m	鉄筋降伏荷重 ton (降伏鉄筋種別)	終局荷重ton
I-0-0.2	394	2.80	3.5(1.75)	4.0(軸方向筋)	5.15
I-0-1.0	394	2.80	3.5(1.75)	9.0(〃)	9.5
I-2.5-0.2	425	2.66	5.5(2.75)	6.5(〃)	7.6
I-2.5-1.0	427	2.73	5.5(2.75)	11.5(〃)	11.85
II-0-0.2	396	2.91	3.0(1.5)	4.0(軸方向筋)	4.95
II-0-1.0	392	2.61	3.5(1.75)	7.5(〃)	8.7
II-2.5-0.2	427	2.73	5.0(2.5)	5.0(〃)	5.25
II-2.5-1.0	431	2.81	5.0(2.5)	9.0(〃)	9.1
IV-0-0.2	432	2.88	2.8(1.4)	2.8(〃)	3.25
IV-0-1.0	432	2.88	3.5(1.75)	4.5(〃)	7.75
IV-0-2.0	377	2.62	3.0(1.5)	3.0(〃)	9.35
IV-2.5-0.2	433	3.05	4.5(2.25)	4.5(〃)	4.5
IV-2.5-1.0	453	2.79	5.0(2.5)	6.9(〃)	9.2
IV-2.5-2.0	377	2.62	5.0(2.5)	10.0(〃)	10.0
IV-5.0-0.2	453	2.79	6.5(3.25)	6.5(〃)	6.5
IV-5.0-1.0	469	3.01	7.0(3.5)	9.3(〃)	10.25
IV-5.0-2.0	385	2.62	6.0(3.0)	10.0(〃)	10.75
VII-0-1.0	385	2.65	2.5(1.25)	5.8(〃)	6.45
VII-2.5-1.0	382	2.62	4.5(2.25)	7.5(〃)	7.65

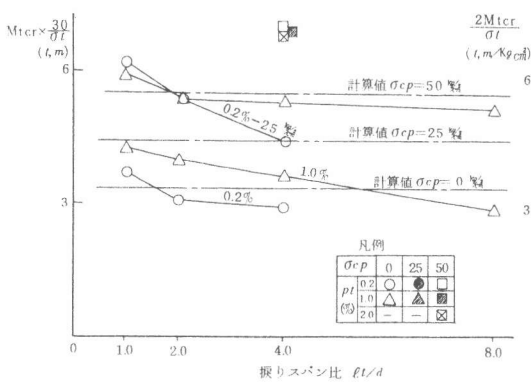


図-2 ねじりスパン比とひびわれ発生ねじりモーメントの関係

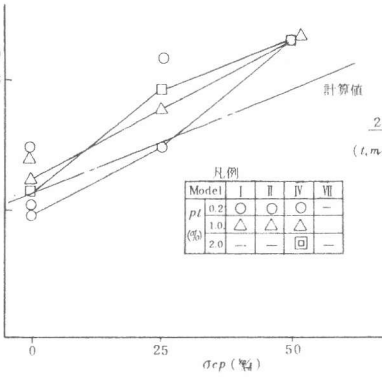


図-3 導入プレストレス量とひびわれ発生ねじりモーメントの関係

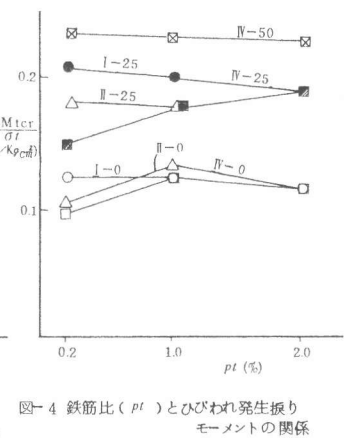


図-4 鉄筋比 (pt) とひびわれ発生ねじりモーメントの関係

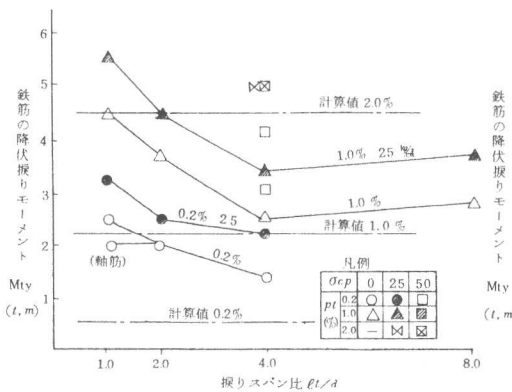


図-5 ねじりスパン比と鉄筋の降伏ねじりモーメントの関係

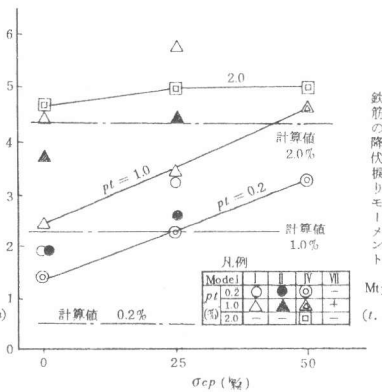


図-6 導入プレストレス量と鉄筋の降伏ねじりモーメントの関係

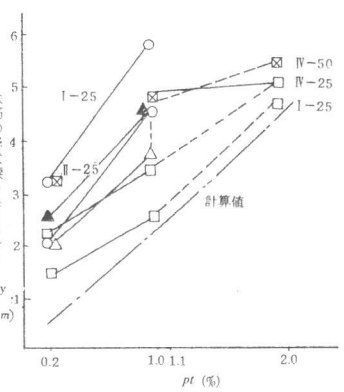


図-7 鉄筋比 (pt) と鉄筋の降伏ねじりモーメントの関係

又、図-9に示すように導入プレストレス量が大きい程終局強度は大きくなる。鉄筋比増加の影響はプレストレス量と関連しており、プレストレスが小さい場合には、鉄筋比を大きくすることにより耐力向上の割合が大きくなる。一方、プレストレス量が大きい場合には、耐力向上の割合が低い。また、図-5, 6, 7には「道路橋示方書、コンクリート橋」に規定している終局ねじりモーメントの計算値も示しているが、ねじりスパンの短い場合プレストレス量の大きい場合、そして鉄筋量の少ない場合には実験値の方が大きくなった。

3. 確認実験

確認実験は、図-11に示すようにラーメン構造の半分だけを取り上げ、水平梁に正負のねじりモーメントを生じさせるための載荷用梁を上下にもうけた。試験の関係上、載荷は図-12に示す形で行なった(写真-2参照)。これらの供試体の断率は1/8で、ねじりスパン l_t は110cmである。供試体補強状態は表-3に示す通りであり、供試体Aは実建造物の補強状態を比較的忠実に再現したモデルである。供試体BおよびCは供試体Aと形状寸法は全く同一とし、補強状態を変えたものである。

3-2 載荷方法

載荷は、原則としてひびわれ発生荷重、鉄筋の降伏荷重直前の正負のくり返し2回を行ない、その後破壊まで単調増加とした。ただし、供試体B, Cに関しては弾性範囲内のくり返しを2回行なった。

表-3 確認実験供試体

種類	水平梁のプレストレス量 σ_{cp} (kg/cm ²)		水平梁の鉄筋量 F_t (%)
	支点断面	標準断面	
A	30.3	19.3	0.65
	10.6	33.8	
B	〃	〃	0.32 (Aの1/2)
	(Aと同一)	(Aと同一)	
C	15.1	9.6	0.32 (Aの1/2)
	5.3 (Aの1/2)	16.9 (Aの1/2)	

注) 上段：上縁応力
下段：下縁応力

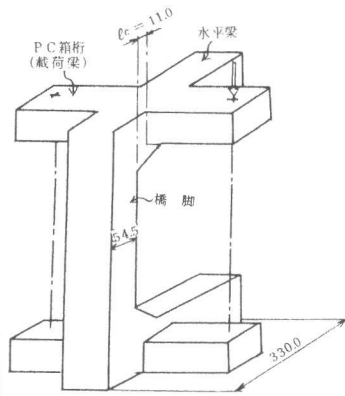


図-11 供試体概念図 (単位：cm)

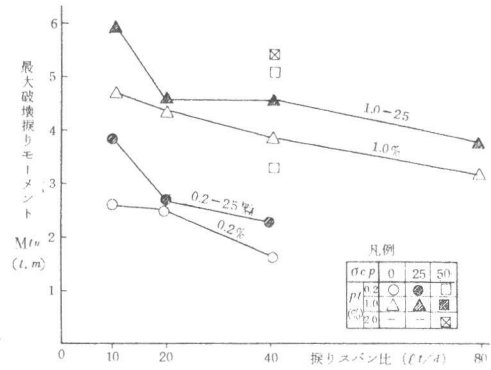


図-8 換りスパン比と最大破壊モーメントの関係

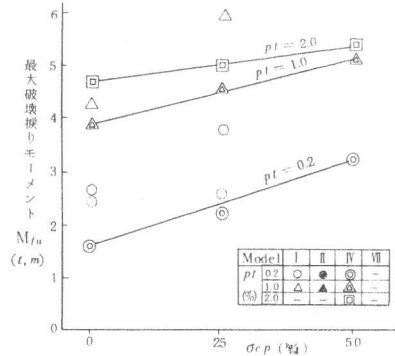


図-9 導入プレストレス量と最大破壊モーメントの関係

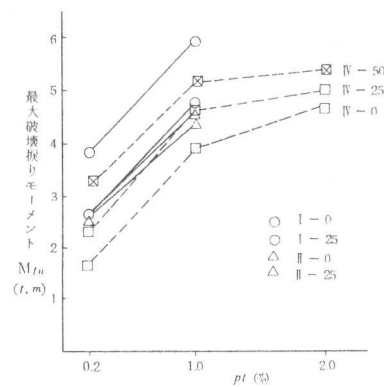


図-10 鉄筋比 (ρ_t) と最大破壊モーメントの関係

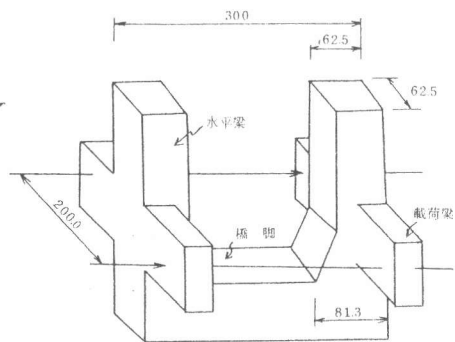
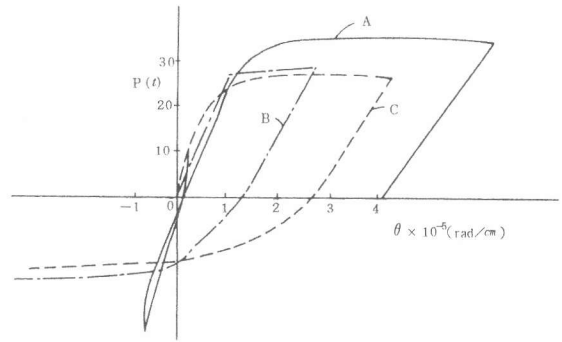


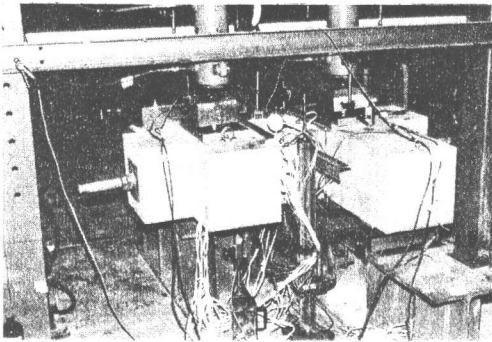
図-12 載荷方法 (単位：cm)

表一4 実験結果(確認実験)

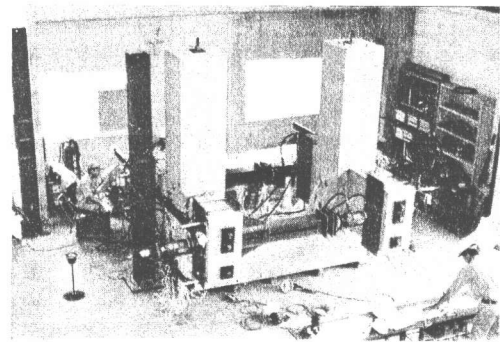
項目		A	B	C
設計荷重(t)	常時	3.05	3.05	3.05
	地震時動的	10.91	10.91	10.91
ひびわれ発生荷重 P_{cr} (t)		10	9	9
	(同ねじりモーメント M_{cr} (t.m))	(20)	(18)	(18)
ひびわれ発生位置	ハンチ中央 およびハンチ付根	ハンチ付根	ハンチ付根	ハンチ付根
鉄筋の降伏荷重 $P_{y.p.}$ (同ねじりモーメント $M_{y.p.}$)		25.0 (50.0)	20.4 (40.8)	17.0 (34.0)
	部材の降伏荷重 $P_{y.p.}$ (同ねじりモーメント $M_{y.p.}$)	33.0 (66.0)	26.0 (52.0)	25.0 (50.0)
終局荷重 P_{max} (同ねじりモーメント M_{max})		34.4 (68.8)	27.3 (54.6)	26.0 (52.0)
	道示による終局 ねじりモーメント M_{oad}	標準部 19.3 支点部 29.4	9.51 14.5	9.51 14.5
破壊状況	ハンチ部の軸方 向筋横方向筋 の降伏破壊	"	"	



図一13 荷重と振れ角の関係



写真一1 基礎実験



写真一2 確認実験

3-3 実験結果

実験結果を表一4に、又、各供試体水平梁の荷重とねじれ角の関係を図一13に示す。実構造物の縮小模型である供試体Aのひびわれ発生ねじりモーメントは、地震時の設計計算値とはほぼ一致している。このひびわれは極めて小さく、部材の剛性を変えるものではない。供試体B、Cについてもひびわれ発生荷重は変わらず、鉄筋量、プレストレス量も1/2に低減してもひびわれ発生に及ぼす影響はほとんどなかった。鉄筋の降伏荷重終局荷重に関しては、鉄筋量の減少、導入プレストレス量の減少により荷重の低下が見受けられた。終局耐力については、鉄筋量の減少(1/2)により20%、さらに導入プレストレス量の減少(1/2)により5%低下した。しかしながら、終局耐力はひびわれ発生荷重の約3倍であり、また、鉄筋降伏時のねじりモーメントを道示構示方書の計算値と比較すると、いずれも2倍近い値を示している。特に、鉄筋量が少ない場合、道示の設計値は極めて安全側の設計式となっている。鉄筋降伏時のくり返し載荷において、荷重0では残留ひびわれ幅が0.05mm以下となり、プレストレス導入の効果が認められた。

4. まとめ

以上説明した基礎実験、確認実験を総合的に判断すると以下のことが言える。

- 1) ひびわれ発生ねじりモーメントは、若干実験値が高い程度で計算値とよい一致を示しており、コンクリート引張強度、プレストレス量が支配的要因となる。
- 2) 鉄筋降伏および終局ねじりモーメントは、ねじりスパン比、鉄筋量、プレスト量に影響し、特にねじりスパン比の短い場合、および鉄筋量の少ない場合($P_t \leq 1.0\%$)、プレストレスの大きい場合は、道示の終局ねじりモーメントより実験値の方が大幅に大きくなった。

しかしながら、実際の構造物においては施工上の不確実な要素が存在すること、曲げせん断とねじりとの複合応力状態になること等が考えられるので、今後の設計施工に当ってはこれらの事を十分に考慮して行なうべきであろう。