

(23) ダブルT型プレキャストPC板のためのビーム型
試験体のせん断補強に関する実験的研究

ドービー建設工業(株) 技術部 ○田村 聖
シーアール(株) 正会員 岡部 一宏
北海道職業能力開発短期大学校 和田 俊良
北海道大学・工学部 正会員 上田 正生
北海道大学・工学部 内山 武司

表-1 試験体記号と鉄筋比一覧

試験体 種類	試験体 記号	剪断補強筋比%		端部曲げ補強筋比%	
		断面②	断面③	下端	上端
PCI型	PCI-S-B-No.1	5.08	2.72	3.16	1.77
	" -No.2	5.08	2.72	3.16	1.77
	" -No.3	5.08	2.72	3.16	1.77
せん断 補強無 し型	UNR-S-B-No.1	—	0.427	3.16	—
	" -No.2	—	0.427	3.16	—
	" -No.3	—	0.427	3.16	—
波直型	PWA-S-B-No.1	4.47	2.72	3.16	0.89
	" -No.2	4.47	2.72	3.16	0.89
	" -No.3	4.47	2.72	3.16	0.89
波平型	CWA-S-B-No.1	5.35	2.72	3.16	0.89
	" -No.2	5.35	2.72	3.16	0.89
	" -No.3	5.35	2.72	3.16	0.89
スパイ ラル型	SPI-S-B-No.1	5.15	2.72	3.16	1.77
	" -No.2	5.15	2.72	3.16	1.77
	" -No.3	5.15	2.72	3.16	1.77
変形ヘ アピン 型	DHP-S-B-No.1	2.82	1.24	3.16	0.89
	" -No.2	2.82	1.24	3.16	0.89
	" -No.3	2.82	1.24	3.16	0.89

1. はじめに

ダブルT型プレキャストPC板は、建築床スラブを構築する際の有用な埋設型枠の一種として多用されているが、部材端部のせん断補強の方法については不明な点が多く、建築学会の規準等も未整備な状態にあるのが現状のようである。このため、この種PC板の端部せん断補強の設計には、屢々米国のPCIの方法が借用されている。しかし、この米国PCI方式によって設計されたせん断補強を一見して感ずるのは「如何にも頑丈そうであるが、配筋施工が複雑で面倒そうである」と言うことである。

本論文は、ダブルT型プレキャストPC板の部材端部における、有効で施工性に優れたせん断補強のタイプを明らかにすることを目的として行なった実験的研究についての報告である。

即ち、この種PC板のウェブ部のみを取り出したビーム状の部材を対象にして、6種類のタイプの異なる端部せん断補強を施したビーム型試験体を設定・製作してせん断破壊実験を行ない、その結果について若干の検討・考察を加え報告するものである。

2. 実験の概要

2.1 試験体

本研究の結果を踏まえて、最終的に検討の対象とされるダブルT型プレキャストPC板は、スパン長5~8mを想定している。本実験ではこの種PC板の支承部近傍のせん断耐力を調べる目的で、ビーム型試験体を製作して実験を行なうこととした。図-1に、せん断補強のタイプの異なる6種の試験体、即ち、(a) 米国PCI型PCI-試験体、(b) せん断補強無し型UNR-試験体、(c) 波直型PWA-試験体、(d) 波平型CWA-試験体、

表-2 使用コンクリートの材料性状

試験日 材令 (日)	圧縮強度 f_c (kgf/cm ²)	割裂強度 f_t (kgf/cm ²)	ヤング係数 E_c (kgf/cm ²)
14	774.6	47.3	401,600
15	800.4	44.2	394,500
17	795.8	42.2	401,600
18	773.7	43.3	401,800
平均	786.1	44.2	399,900

表-3 使用鉄筋の材料性状

呼び名	材質	降伏点 σ_y (kgf/cm ²)	引張強度 $\sigma_{m\%}$ (kgf/cm ²)	ヤング係数 E_s (kgf/cm ²)
D6	SD30A	3,100.0	4,600.0	2,100,000
D10	SD30A	3,733.0	5,233.0	2,100,000
D13	SD30A	3,577.0	4,958.0	2,100,000

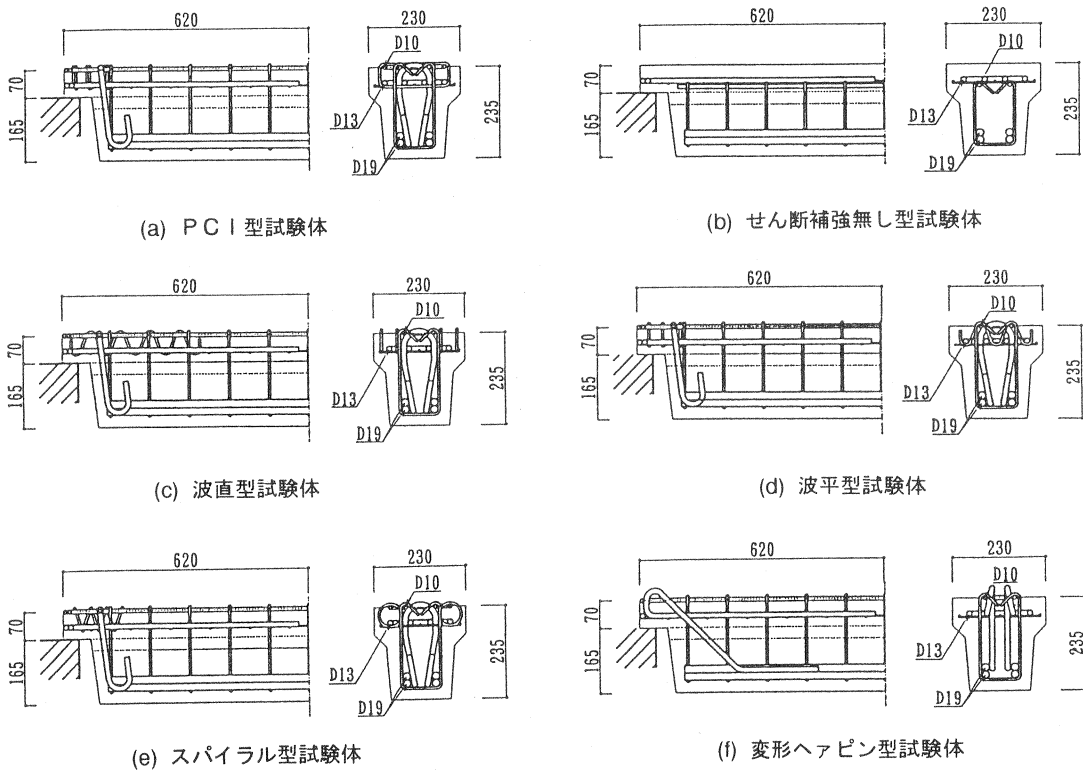


図-1 各せん断補強タイプの部材形状と配筋詳細

(e) スパイラル型 SPI- 試験体、(f) 変形ヘアピン型 DHP- 試験体の概要を、表-1には、各せん断補強タイプごとの試験体(同一試験体各3体)の記号と鉄筋比を一覧して示す。これらのタイプのうち(a)の米国PCI

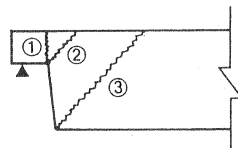


図-2 仮定亀裂クリティカル断面

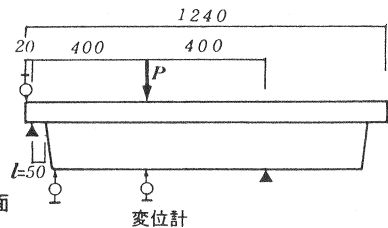


図-3 荷重要領と変位測定位置

型は、言うまでもなく米国PCIのDesign Handbook²⁾に準拠して設計されたせん断補強を有しており、(b)のせん断補強無し型は、文字どおり

「端部薄肉部にせん断補強を施さない場合」の曲げ補強筋のみによるせん断耐力を調べるために選定したものである。また、(c)～(f)の各タイプは、工場におけるせん断補強筋の加工と配筋作業の効率を勘案し、出来得る限り高効率な配筋施工性を得ることを念頭において設定したもので、これらのうちの(c)と(d)の波直型と波平型タイプは、端部薄肉部における配筋施工の面倒なスターラップ配筋の代わりに波型に加工された補強筋を採用しており、(c)の波直型はこの波型補強筋を部材支持辺に垂直に、(d)の波平型は同補強筋を部材支持辺に平行になるように、それぞれ配置したものである。また、(e)のスパイラル型と(f)の変形ヘアピン型は、やはり端部薄肉部のスターラップ筋の代わりに、それぞれ螺旋状に加工されたスパイラル筋とヘアピン形の鉄筋を変形加工した変形ヘアピン型の補強筋を選定し採用したものである。特に後者の変形ヘアピン型補強は、この種の部材に特徴的とされる図-2に示すせん断破壊に対するクリティカル断面②と③の両者に、同時に対処することを意図して選定されたもので、せん断補強を有する本シリーズのうちでは、配筋施工の最も容易なものである。

前述したように、これらの試験体は全て部材端部のせん断破壊性状を調べることを目的としているため、部材長を1.24mと短く設定し、曲げによる試験体の先行破壊が生じぬように、ウェブ部に相当するはりの下端にはD19を4本配置しており、P C鋼線は使用していない。尚、ここで設定した(a)～(f)の各補強タイプは、せん断補強筋の配筋方式のみが異なっており、薄肉部下端の曲げ補強筋は、すべて同一(同上端配筋は幾分異なっている)である。表-2に、試験実施日の材令(試験体は全て同一バッチで打設した)毎のコンクリートの材料性状を、また、表-3には、使用した鉄筋の材料性状を掲げた。

2. 2 載荷方と測定項目

試験体のせん断破壊性状を調べるための載荷方法と変位測定位置を、図-3に示す。本実験の主たる目的は、各試験体のせん断耐力と荷重-変形性状の把握にあるが、コンクリートの亀裂の進展状況も併せて観察し、また、参考のため各タイプの代表的な試験体については、端部主要点の鉄筋の歪の計測も行なった。

3. 実験結果と考察

本シリーズの破壊実験によれば、全ての試験体のせん断破壊が、図-2に例示した部材端部のクリティカル断面②の近傍で生じており、ウェブ端の下端から斜め上方に走る断面③における破壊は殆ど認められなかった。

表-4は、全試験体の端部せん断破壊実験によって得られた初亀裂荷重 P_{CE} と最大荷重 P_{ME} 、及びこれらをせん断力に変換した場合の初亀裂せん断力 Q_{CE} と最大せん断耐力 Q_{ME} 、更には、これらの実験値に対応する各計算値 P_{CC} 、 Q_{CC} 、 Q_{MC} を併記し比較して一覧したもので、同表には参考のため、全試験体の初亀裂荷重、初亀裂せん断力、および最大せん断耐力の実験値と計算値の比をも掲げてある。表中の全ての試験体に関する添字LとRの付いた2種のデータは、同一試験体の左・右両側の各々から得られた実験値であることを意味している。尚、これらの計算値は、建築学会プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説³⁾に従って求めたものであるが、これらのうち、初亀裂時の計算値 P_{CC} と Q_{CC} は、実験において観測された初亀裂を、それぞれ、クリティカル断面①(図-2参照)に生ずる曲げ亀裂、および断面②に関するせん断亀裂と見なした場合の各計算値である。表の結果からも知りうるように、初亀裂荷重の実験値には、せん断補強のタイプの違いによる明確な差異は認められないが、初亀裂時の計算値については、表中の比 P_{CE}/P_{CC} と Q_{CE}/Q_{CC} とを対比して比較すると明らかなように、断面①の曲げ亀裂として計算した値 P_{CC} の方が、断面②の Q_{CC} よりも対応する実験値 P_{CE} に近く、本実験シリーズの試験体のせん断破壊が、「断面①の曲げ亀裂が先行し次いで断面②のせん断亀裂に移行するタイプの破壊であった」ことを、数値データの上からも伺い知ることができる。この事柄は実験時に観測された亀裂の発生・進展傾向とも一致するものである。次に、最大せん断耐力の実験値 Q_{ME} に着目し、変形ヘアピン型のDHPタイプの平均耐力を基準値1.0として、各タイプの平均耐力を比較すると、PCIタイプ、UNRタイプ、PWAタイプ、CWAタイプ、SPIタイプの順にその比率は、1.15, 0.41, 1.0, 1.12, 0.97となり、耐力の格段に劣るせん断補強無し型のUNRタイプ(この場合の同比率は0.41となる)を除くと、PCIタイプの耐力が最も大きいものの、その差は僅かであり、せん断補強のタイプの違いによる顕著な優劣は認められないことを知る。また、各タイプ毎の最大せん断耐力の実験値と計算値の比 Q_{ME}/Q_{MC} の平均値を相互に比較してみると、表中の掲示の縦並び(PCI-, PWA-, CWA-, SPI-, DHP-タイプ)順に、それぞれ0.75, 0.72, 0.70, 0.63, 1.03となっており、このシリーズの実験では、計算値が実験値を最も適格に評価しているのは、変形ヘアピン型のDHPタイプであることが分かる。

図-4には、参考のため、各せん断補強タイプの代表的な試験体の実験終了後における亀裂図を例示して掲げたが、せん断補強筋なしのUNRタイプが曲げ下端筋に沿って裂けるような亀裂パターンを示して特徴的である以外、その他のタイプ間の亀裂パターンに際立った相違を見いだすことはできぬようである。

図-5の(a)～(f)は、実験によって得られた全ての試験体の載荷点位置における荷重-変位曲線を、各せん断補強タイプ別に図示したものである。これらの各図(a)～(f)は、言うまでもなく、それぞれ全く同一のせん断補強を有しており、本来的に同一の曲線を描くべき性質のものである。しかしながら実際には、型枠、配筋加工をふ

表-4 全試験体の初亀裂せん断力および最大せん断力の実験値と計算値の比較一覧

試験体種類	試験体記号	実験値		計算値		実験値		計算値		実験値/計算値			試験日 材令
		初亀裂時荷重 P_{cr} tf	最大荷重 P_{max} tf	曲げ初亀裂荷重* (断面①) P_{cc} tf	初亀裂時 剪断力 ($P_{cr}/2$) Q_{cr} tf	最大剪断 耐力 ($P_{max}/2$) Q_{max} tf	初亀裂時 剪断力◆ (断面②) Q_{cc} tf	最大剪断 耐力● (断面③) Q_{mc} tf	P_{cr}/P_{cc}	Q_{cr}/Q_{cc}	Q_{max}/Q_{mc}		
PCI型	PCI-S-B-No. 1 _L		12.8	3.55		6.40	5.08	10.17			0.62	14	
	" -No. 2 _L		14.3	3.17		7.15	4.53	10.20			0.70	17	
	" -No. 3 _L		18.7	3.32		9.35	4.74	10.21			0.91	15	
	" -No. 1 _R	2.7	14.8	3.17	1.35	7.40	4.53	10.17	0.85	0.30	0.72	17	
	" -No. 2 _R	2.2	15.3	3.24	1.10	7.65	4.63	10.16	0.68	0.24	0.75	18	
	" -No. 3 _R	3.4	16.0	3.24	1.70	8.00	4.63	10.16	1.06	0.37	0.78	18	
	平均	2.8	15.3	3.28	1.40	7.66	4.69	10.18	0.86	0.30	0.75	-	
せん断補強無し型	UNR-S-B-No. 1 _L		5.3	3.55		2.65	5.08	—			—	14	
	" -No. 2 _L		4.9	3.32		2.45	4.74	—			—	15	
	" -No. 3 _L		5.7	3.17		2.85	4.53	—			—	17	
	" -No. 1 _R	2.2	5.6	3.17	1.10	2.80	4.53	—	0.69	0.24	—	17	
	" -No. 2 _R	2.3	5.5	3.24	1.15	2.75	4.63	—	0.71	0.25	—	18	
	" -No. 3 _R	1.5	5.1	3.24	0.75	2.60	4.63	—	0.46	0.16	—	18	
	平均	2.0	5.4	3.28	1.00	2.68	4.69	—	0.62	0.22	—	-	
波直型	PWA-S-B-No. 1 _L	3.4	11.8	3.55	1.70	5.90	5.74	9.15	0.96	0.33	0.64	14	
	" -No. 2 _L		15.2	3.32		7.60	4.74	9.19			0.82	15	
	" -No. 3 _L		12.9	3.17		6.45	4.53	9.19			0.70	17	
	" -No. 1 _R	2.9	10.9	3.17	1.45	5.45	4.53	9.15	0.91	0.32	0.59	17	
	" -No. 2 _R	2.7	14.0	3.24	1.35	7.00	4.63	9.15	0.83	0.29	0.76	18	
	" -No. 3 _R	2.3	15.2	3.24	1.15	7.60	4.63	9.19	0.71	0.25	0.82	18	
	平均	2.8	13.3	3.28	1.40	6.67	4.69	9.17	0.85	0.30	0.72	-	
波平型	CWA-S-B-No. 1 _L		18.1	3.32		9.05	4.74	10.66			0.84	15	
	" -No. 2 _L		12.2	3.55		6.10	5.08	10.61			0.57	14	
	" -No. 3 _L		12.4	3.17		6.20	4.53	10.65			0.58	17	
	" -No. 1 _R	2.7	17.9	3.24	1.35	8.95	4.63	10.61	0.83	0.29	0.84	18	
	" -No. 2 _R	2.9	15.8	3.17	1.45	7.90	4.53	10.65	0.91	0.32	0.74	17	
	" -No. 3 _R	2.0	13.0	3.24	1.00	6.50	4.63	10.61	0.62	0.22	0.61	18	
	平均	2.5	14.9	3.28	1.25	7.45	4.69	10.63	0.79	0.28	0.70	-	
スパイラル型	SPI-S-B-No. 1 _L		14.0	3.32		7.00	4.74	10.32			0.67	15	
	" -No. 2 _L		9.1	3.55		4.55	5.08	10.28			0.44	14	
	" -No. 3 _L		10.9	3.17		5.45	4.53	10.32			0.52	17	
	" -No. 1 _R	2.2	14.8	3.24	1.10	7.40	4.63	10.28	0.68	0.24	0.71	18	
	" -No. 2 _R	2.4	14.2	3.17	1.20	7.10	4.53	10.32	0.76	0.27	0.69	17	
	" -No. 3 _R	2.7	14.3	3.24	1.35	7.15	4.63	10.28	0.83	0.29	0.70	18	
	平均	2.4	12.9	3.28	1.20	6.45	4.69	10.30	0.76	0.27	0.63	-	
変形ヘアピン型	DIP-S-B-No. 1 _L		14.3	3.32		7.15	4.74	6.45			1.10	15	
	" -No. 2 _L		12.9	3.55		6.45	5.08	6.41			1.00	14	
	" -No. 3 _L		13.4	3.17		6.70	4.53	6.44			1.03	17	
	" -No. 1 _R	2.7	14.6	3.24	1.35	7.30	4.63	6.40	0.88	0.29	1.13	18	
	" -No. 2 _R	3.0	12.3	3.17	1.50	6.15	4.53	6.44	0.95	0.33	0.95	17	
	" -No. 3 _R	2.4	12.0	3.24	1.20	6.00	4.63	6.40	0.74	0.26	0.93	18	
	平均	2.7	13.3	3.28	1.35	6.65	4.69	6.42	0.86	0.29	1.03	-	

注) * $P_{cc} = (2 f_t Z_2) / l$, ◆ $Q_{cc} = (f_t b_0 l) / S_0$, ● $Q_{mc} = \{ \alpha f_s + 0.5 w f_s (p_w - 0.002) \} b_0 j$

くめた各試験体製作時の施工精度と使用材料の力学性状のバラつき等に起因して、同一タイプの試験体であっても、破壊に至る曲線経路にバラティエーが生じる得ることになるが、ここで注目すべきは、各タイプの曲線のバラ

つきの程度である。勿論、数少ない本シリーズの実験結果のみからは、断言することはできぬが、少なくとも、「同一試験体間で、実験データにバラつきの少ないタイプは、構造的に安定した特性を有している」と解釈しても間違いでは無いであろう。このような観点からすると、図-5の(a)~(f)のなかでは、変形ヘアピン型のDHP-タイプにおける曲線間のバラつきが少なく、構造的に最も安

定している(UNR-タイプもバラつきが少なく安定しているが、せん断耐力が低過ぎて対象外である)とすることができる。

4. 結論

本報告では、ダブルT型プレキャストPC板の部材端部の「施工が容易で力学的にも有効なせん断補強の方法」を探るべく、この種のPC板のウェブ部のみを抽出した、せん断補強方法の異なる6種類のビーム型試験体の端部せん断破壊実験を行ない、若干の検討・考察を試みた。本実験によって得られた結論を要約すると、以下のようになる。

(1) 本シリーズの実験では、せん断補強無し型のUNR-タイプを例外として、他の全てのせん断補強タイプについて、端部の薄肉部と厚肉部の境界の曲げ亀裂に端を発した後、せん断破壊に至る経路の破壊であった。

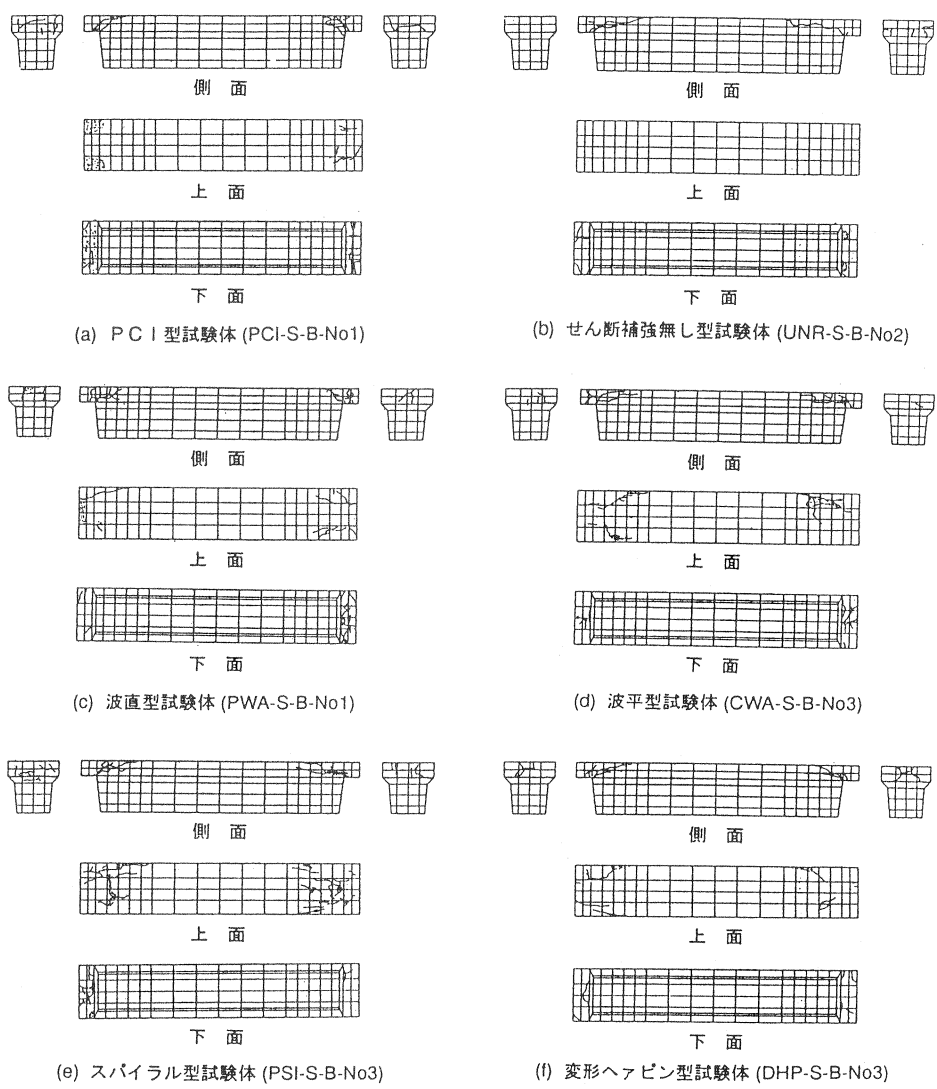
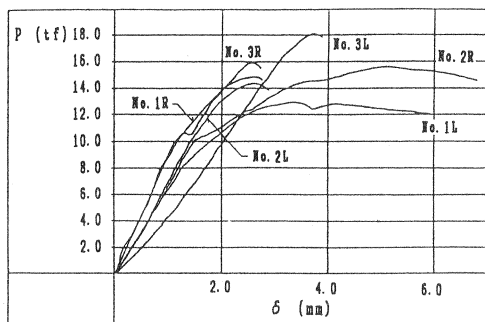
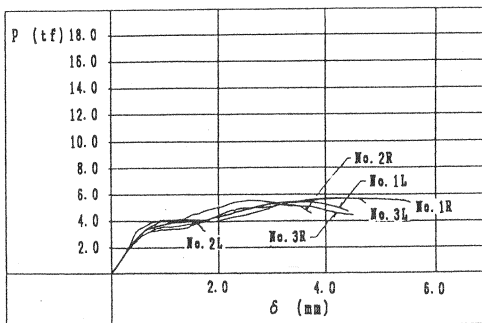


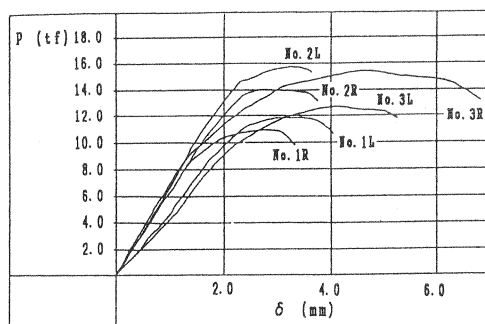
図-4 各タイプの代表的な試験体の亀裂図



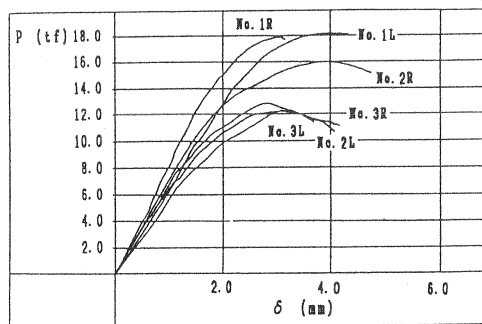
(a) PCI型試験体



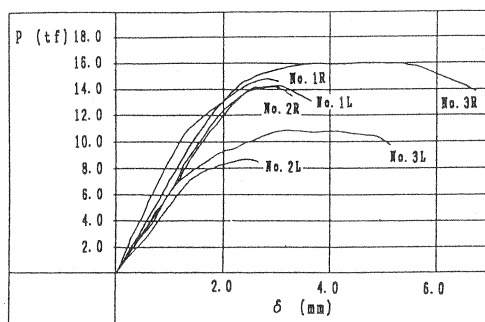
(b) せん断補強無し型試験体



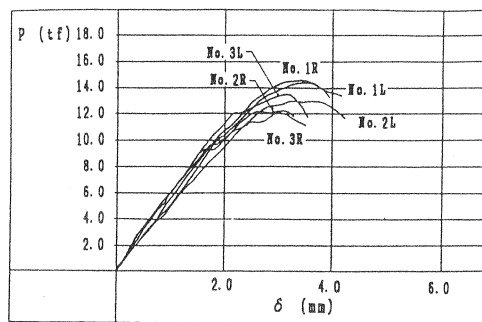
(c) 波直型試験体



(d) 波平型試験体



(e) スパイラル型試験体



(f) 変形ヘアピン型試験体

図-5 各タイプ毎の試験体の載荷点位置における荷重-変位曲線の比較

(2) せん断補強を有する5種のタイプの最大せん断耐力については、補強タイプの違いによる大きな差異は認められなかった。

(3) 本シリーズの中では、配筋加工性と施工性、最大せん断耐力、および破壊に荷重-変形性状の安定性等から判断して、変形ヘアピン型が最も優れている。

【参考文献】

- (1) 池田永治、林 三雄、浜戸 昇：プレストレストコンクリート合成床版(GS版)の開発試験と設計・施工について、プレストレストコンクリート、Vol.29, No.3, May, 1987.
- (2) PCI design handbook, precast prestressed concrete - SECOND EDITION.
- (3) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説、1987.