

論文

[2100] 壁式プレキャスト構造の鉛直接合部のせん断破壊に及ぼす
床スラブの効果
正会員 ○望月 重 (武蔵工業大学工学部)

正会員 ○望月 重 (武蔵工業大学工学部)

正会員 山口 雄二 (武蔵工業大学大学院)

1. はじめに

本研究は、壁式プレキャスト構造の鉛直接合部がせん断力をうけた時の床スラブの影響を実験的に解明しようとするものである。鉛直接合部のずれ変位による頭つなぎ筋および床スラブ筋の引張力が摩擦耐力となって、鉛直接合部のせん断耐力を増す事は既に発表した¹⁾。今回の実験は床スラブ筋の有無、床スラブの有無および床スラブ有効幅をパラメータとし、床スラブが鉛直接合部のせん断耐力に及ぼす影響をより一層解明するために計画された3体の片持ちばり型実験である。なお、既発表の実験結果¹⁾のうち床スラブに関連する試験体との比較検討をした。

2. 実験計画

試験体は、既発表¹⁾のものと全く同じで、厚さ12.5cm、高さ92.8cm、幅40.0cmの2枚の壁パネルと、厚さ10.0cmの床スラブを鉛直接合部と水平接合部で合成した、「片持ちばり型」の3体の試験体である。その場合、鉛直接合部は通し配筋で、水平接合部はスプライススリーブによるモルタル充填継手である。試験体の諸元の一覧は表-1に示し、標準の試験体WPCIV-6の配筋図を図-1に示す。なお、既発表のうちスラブ効果の比較検討に必要なWPCIV-1とWPCIV-4の試験体諸元も併せ表-1にのせた。WPCIV-6とWPCIV-7はスラブの有無、WPCIV-1とWPCIV-6は床スラブ筋の有無、WPCIV-4とWPCIV-8は床スラブ幅の差の効果を検討するものとする。使用材料の性質は表-2に示す通りである。加力方法は、部材角 $R=1, 2, 4, 6, \dots, 25 (\times 10^{-3} \text{ rad})$ の正負交番水平方向加力と、軸方向応力 $\sigma_a = 22.0 \text{ kg/cm}^2$ の一定鉛直方向加力である。

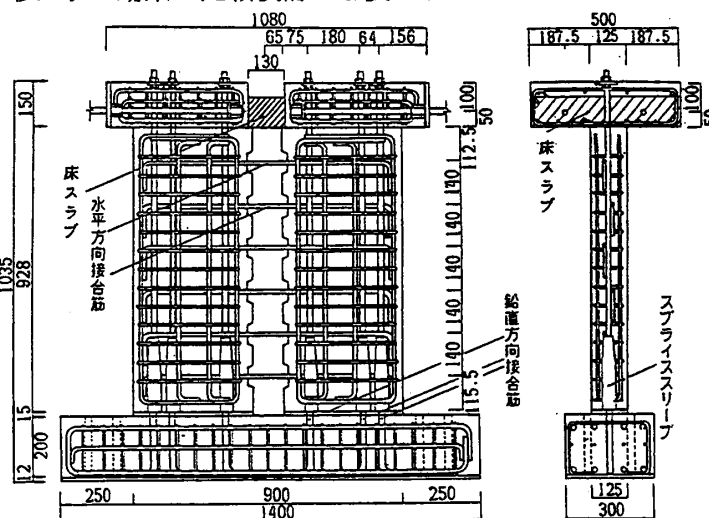


表-1 試驗體構造諸元

図-1 試験体配筋図 (WPCIV-6)

試験体名	コッター		水平方向接合筋		水平つなぎ筋 (cm ²)		スラブ巾 (cm)	鉛直方向接合筋	
	断面積 (cm ²)	面積比	断面積 (cm ²)	接合筋比 (%)	頭つなぎ筋断面積	床スラブ筋断面積		断面積 (cm ²)	接合筋比 (%)
WPCV-6	(7.0×7.5)×6 315.0	0.272	(6-D10) 4.28	0.369	—	—	50	(6-D16) 11.94	1.06
WPCV-7	(7.0×7.5)×6 315.0	0.272	(6-D10) 4.28	0.369	—	—	0		
WPCV-8	—	—	—	—	(2-D16) 3.98	(16-D6) 5.12	40		
(WPCV-1)	(7.0×7.5)×6 315.0	0.272	(6-D10) 4.28	0.369	—	(16-D6) 5.12	50		
(WPCV-4)	—	—	—	—	(2-D16) 3.98	(16-D6) 5.12			

() 内の試験体は既発表のもの

なお、水平力は加力スラブ部の左右の同時押し引きとした。加力装置は既発表¹⁾のものと全く同じである。

3. 実験結果

3.1 破壊経過

各種強度結果を表-3に、荷重-部材角曲線を図-3に示す。全試験体とも、まずはじめに水平接合部の接合面に沿ったひび割れが発生し、 $R=1.0 \times 10^{-3}$ radに至るまでに接合面全体に貫通した。その後、 $R=2.0 \times 10^{-3}$ radで壁パネルの中央部やや下側の端部に曲げひび割れが、 $R=2.0 \sim 4.0 \times 10^{-3}$ rad 付近で壁パネルの中央部付近にせん断ひび割れが発生した。同じ頃、鉛直接合部の壁パネルとの接合面に沿ったひび割れと接合コンクリートのせん断ひび割れがほぼ同時に発生し、発生とともにつながった。各試験体のスラブ及び鉛直接合部の破壊状況図を図-2に示す。床スラブの破壊は、水平つなぎ筋のないWPCIV-6では曲げひび割れ破壊であるのに対して、水平つなぎ筋のあるWPCIV-8ではせん断破壊であった。水平方向接合筋のないWPCIV-8では鉛直接合部の接合コンクリートにはせん断ひび割れは見られなかった。以後、各パラメーターについての破壊経過の比較を行う。その場合、各種荷重は正側加力時とする。

床スラブの有無による違いについて、WPCIV-6とWPCIV-7を比較する。鉛直接合部のせん断ひび割れ荷重が床スラブを有さないWPCIV-7で18.6~19.3tに対し、床スラブを有する

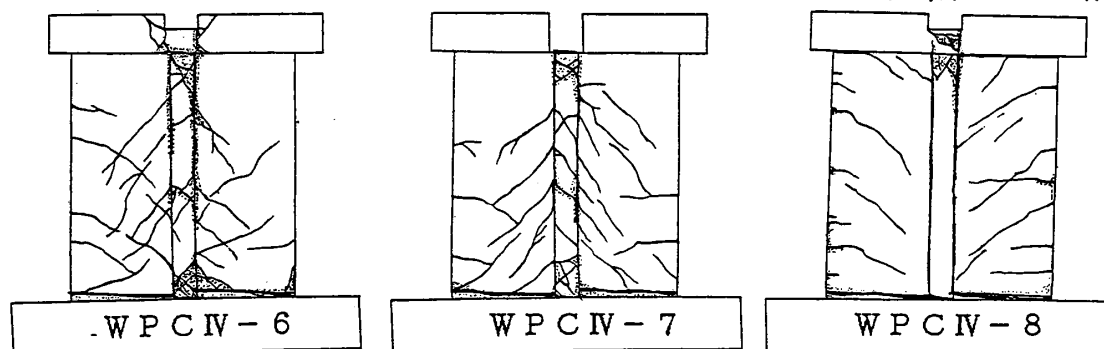


表-2 使用材料の性質

図-2 最終破壊状況図

コンクリート				
試験体名	打設箇所	圧縮強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	ヤング率 ×10 ⁵ kg/cm ²
WPCIV-6	基礎、壁パネル	359	31.4	2.35
	VJ、床スラブ	347	30.4	2.06
	敷モルタル	356	31.6	2.12
	グラウト材	1006	-	3.06
WPCIV-7	基礎、壁パネル	360	31.2	2.29
	VJ、床スラブ	341	30.9	1.92
	敷モルタル	347	30.9	2.08
	グラウト材	1006	-	3.06
WPCIV-8	基礎、壁パネル	437	35.8	2.45
	VJ、床スラブ	342	32.4	2.02
	敷モルタル	370	30.1	2.10
	グラウト材	1006	-	3.06
鉄筋				
使用材料		降伏点強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	
A	D6	3757	5408	
	D10	3747	5033	
	D13	3581	5146	
	D16	3467	5009	
B	D6	3990	5646	
	D10	3713	5197	
	D13	4212	5735	
	D16	3769	5578	

VJは、鉛直接合部

鉄筋 A: WPCIV-1~5、および8の基礎、壁パネルの鉄筋

鉄筋 B: WPCIV-6・7、および8の床スラブの鉄筋

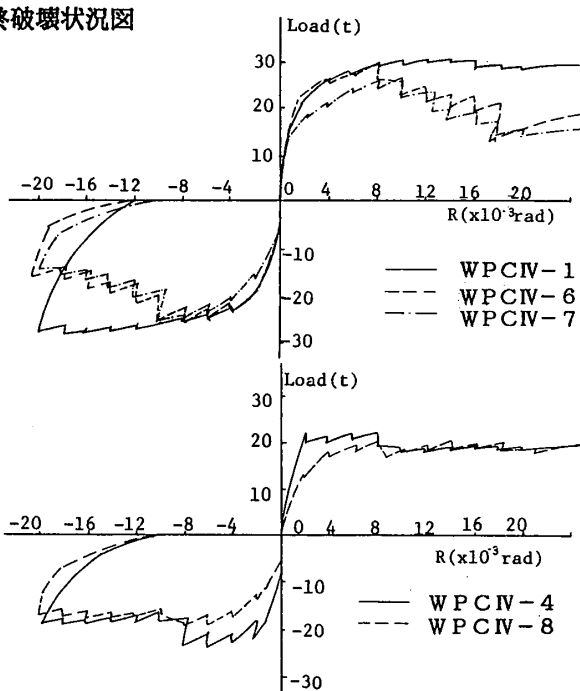


図-3 荷重-部材角曲線

表-3 各種強度結果

試験体名		ひび割れ荷重 (t)								最大荷重 (t) ($\epsilon \tau_{MAX}$)
		接 合 部			プレキャスト壁			床スラブ		
					曲 げ	曲げせん断	せん断			
		$E Q_{JH}$ ($\epsilon \tau_{JH}$)	$E Q_{JV}$ ($\epsilon \tau_{JV}$)	$E Q_{JS}$ ($\epsilon \tau_{JS}$)	$E Q_{PB}$ ($\epsilon \tau_{PB}$)	$E Q_{PBS}$ ($\epsilon \tau_{PBS}$)	$E Q_{PS}$ ($\epsilon \tau_{PS}$)	$E Q_{SB}$	$E Q_{SS}$	
WPCN-6	正	7.5 (6.7)	25.2 (22.4)	25.0 (22.2)	15.6 (13.9)	19.0 (16.9)	19.1 (17.0)	25.2	27.4	29.8 (26.5)
	負	6.5 (5.8)	17.3 (15.4)	18.0 (16.0)	16.6 (14.8)	22.0 (19.6)	22.5 (20.0)	19.4	19.5	26.1 (23.2)
WPCN-7	正	7.7 (6.8)	19.3 (17.2)	18.6 (16.5)	19.1 (17.6)	15.0 (13.3)	18.6 (16.5)	—	—	26.2 (23.3)
	負	6.0 (5.3)	13.5 (12.0)	18.5 (16.4)	16.2 (14.4)	18.0 (16.0)	17.9 (15.9)	—	—	25.8 (22.9)
WPCN-8	正	5.8 (5.2)	9.5 (8.4)	10.0 (8.9)	9.0 (8.0)	17.2 (15.3)	18.4 (16.4)	12.9	17.0	20.3 (18.1)
	負	5.0 (4.4)	10.9 (9.7)	13.0 (11.6)	9.4 (8.4)	17.4 (15.5)	17.4 (15.5)	15.0	15.0	19.5 (17.4)

Q_{JH} : 水平接合部の水平接合面に沿ったひび割れ発生時荷重 Q_{PS} : PC板のせん断ひび割れ発生時荷重
 Q_{JV} : 鉛直接合部の鉛直接合面に沿ったひび割れ発生時荷重 Q_{PBS} : PC板の曲げせん断ひび割れ発生時荷重
 Q_{JS} : 鉛直接合部せん断ひび割れ発生時荷重 Q_{SS} : 床スラブのせん断ひび割れ発生時荷重
 Q_{PB} : PC板の曲げひび割れ発生時荷重 Q_{SSB} : 床スラブの曲げひび割れ発生時荷重
() 内は、平均せん断応力度 (kg/cm^2)

WPCIV-6では、25.0tであった。また最大耐力についても2体の試験体を比較してみると、 $R=8.0 \sim 10.0 \times 10^{-3} rad$ 時に両者は鉛直接合部にせん断破壊をおこしたが、床スラブを有するWPCIV-6は29.8tで最大耐力に達したのに対し、床スラブを有さないWPCIV-7では26.2tと3.6tの差が生じた。最大耐力以後、床スラブを有するWPCIV-6は3.0t程度の耐力低下を示し、床スラブを有さないWPCIV-7に関しては2.2tの耐力低下を示し、その後、両試験体とも徐々に耐力が低下し終局時(以後終局時は $R=25.0 \times 10^{-3} rad$ とする)では、16.7tと16.0tとほぼ同じ耐力となった。

床スラブ筋の有無による影響について、試験体WPCIV-1とWPCIV-6を比較する。荷重-部材角曲線よりわかるごとく、床スラブ筋の有無にかかわらず正側、負側載荷ともに $R=6.0 \times 10^{-3} rad$ まで同じ様な包絡線を示し、鉛直接合部のひび割れ荷重もWPCIV-1で24.7~24.9tであったのに対し、WPCIV-6は25.0~25.2tとほとんど違いはなかった。しかし、床スラブ筋を有さないWPCIV-6は $R=6.0 \times 10^{-3} rad$ で床スラブに曲げひび割れを生じ、さらに $R=8.0 \times 10^{-3} rad$ で鉛直接合部がせん断破壊し、その時点で最大耐力に達し、その後の耐力は徐々に低下した。一方、床スラブ筋を有するWPCIV-1は鉛直接合部がせん断破壊をせず $R=16.0 \times 10^{-3} rad$ で最大耐力に達し、その後 $R=25.0 \times 10^{-3} rad$ までほとんど耐力の低下はみられず、左右のプレキャスト壁パネルが一体となって曲げ降伏した。

床スラブの幅が異なるWPCIV-4とWPCIV-8を比較すると、WPCIV-8の壁パネルに収縮ひび割れが数本発生していたため初期の剛性に多少の差がみられた。両者は共に $R=8.0 \times 10^{-3} rad$ で鉛直接合部がせん断破壊をおこし、その後床スラブ幅が50cmのWPCIV-4ではその時点で最大耐力となり、次のサイクルの耐力との差は正側で3.6t、負側で5.1tと大きく耐力低下を示したのに対し、床スラブ幅が40cmのWPCIV-8では鉛直接合部のせん断破壊以後も、最大耐力が20.3tで、その後も耐力が低下することなく終局時まで耐力を保ち続けた。両者の $R=8.0 \sim 10.0 \times 10^{-3} rad$ 以後の耐力は差がない。

3.2 ひずみと変位

3.2.1 鉛直方向接合筋のひずみ分布

図-4に各試験体の正側加力時における $R=1.0, 4.0, 10.0, 16.0, 20.0 \times 10^{-3} rad$ 時のスプラインスリーブ直上の水平接合部鉛直方向接合筋のひずみ分布図を示す。各試験体とも $R=1.0 \times 10^{-3} rad$ まで

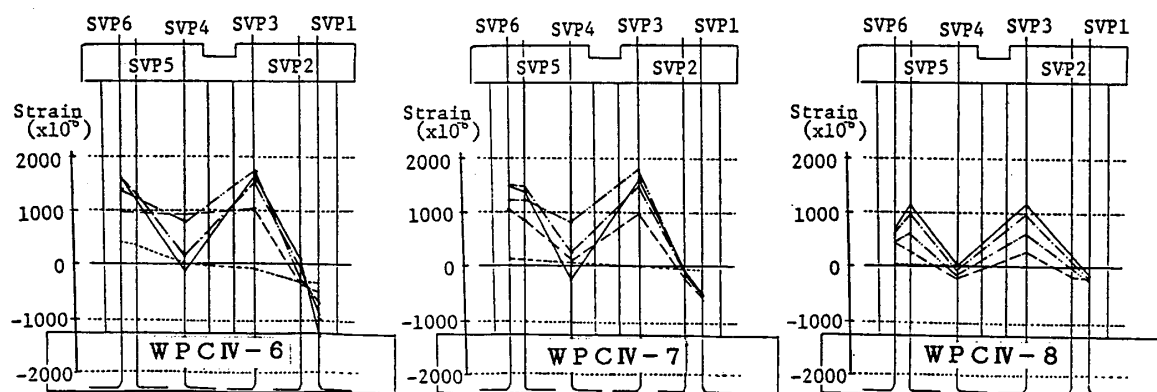


図-4 鉛直方向接合筋のひずみ分布図

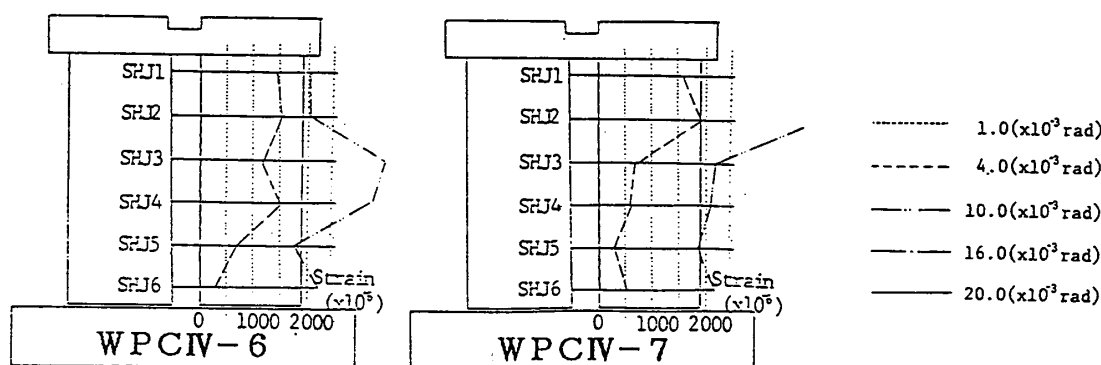


図-5 水平方向接合筋のひずみ分布図

は中立軸が鉛直接合部内にあるひずみ分布を示した。その後、鉛直接合部にせん断ひび割れが発生した $R=4.0 \times 10^{-3}$ rad時に、床スラブを有さないWPCIV-7とコッターおよび水平方向接合筋を有さないWPCIV-8では、SVP3がSVP4のひずみよりも大きい値を示し、鉛直接合部をはさむ左右の壁パネルは別々な2枚の壁パネルとしての挙動を表すひずみ性状を示したが、床スラブ幅が50cmのWPCIV-6は最大耐力以後の $R=10.0 \times 10^{-3}$ rad時に同様な性状を示した。なお、既発表¹⁾のコッター、水平方向接合筋と床スラブ筋を有するWPCIV-1は終局時まで1枚の壁パネルとしての挙動を示した。

3.2.2 水平方向接合筋のひずみ分布

図-5にWPCIV-6, 7の正側加力時における $R=1.0, 4.0, 10.0 \times 10^{-3}$ rad時の鉛直接合部の水平方向接合筋のひずみ分布図を示す。既発表¹⁾のWPCIV-1では鉛直接合部上部2本の水平方向接合筋は終局時まで降伏しなかったのに対し、WPCIV-6, 7ではWPCIV-6のSHJ5を除き、全ての接合筋が鉛直接合部のせん断破壊以後の $R=10.0 \times 10^{-3}$ radまでに降伏した。床スラブの有無の違いによる影響としてWPCIV-6とWPCIV-7を比較してみると、鉛直接合部にせん断ひび割れが発生した $R=4.0 \times 10^{-3}$ rad時に、水平方向接合筋のひずみが共通して急増し、特に床スラブのないWPCIV-7のSHJ1, SHJ2の水平方向接合筋のひずみ値は $1600 \sim 1900 \times 10^{-6}$ で、鉛直接合部にせん断ひび割れが発生すると降伏ひずみに近い値を示した。

3.2.3 プレキャスト壁パネル相互の変位

各試験体最大耐力時および終局耐力時の壁パネル相互のずれ変位分布を図-6(a), (b)に示す。図-6より、鉛直接合部がせん断破壊しなかったWPCIV-1が最もずれ変位が小さいことがわかる。床スラブの有無および床スラブ幅の差については、WPCIV-6とWPCIV-7およびWPCIV-4とWPCIV-8を各々比較して、ほとんど差がないといえる。これは各試験体が

ともに鉛直接合部のせん断破壊と同時に床スラブが破壊したことから当然といえる。床スラブ筋の有無はWPCIV-1とWPCIV-6との比較で鉛直接合部の頂部のずれ変位がWPCIV-6のほうがWPCIV-1より大きいことから、床スラブ筋が頂部のずれ変位を拘束しているといえる。次に、最大耐力時及び終局時の壁パネル相互の目開き分布を図-7(a), (b)に示す。図-7より目開き量は絶対量が比較的小さい鉛直接合部の下部については不明確であるが、鉛直接合部の頂部についてみると、ずれ変位について述べたことが目開きについてもいえる。

4. 最大耐力と終局耐力

以上の実験結果より、最大耐力を以下の仮定に基づいて算定する。水平力を受けると、図-8(a)の様に鉛直接合部のせん断耐力 Q_{vs} 、水平接合部のせん断耐力 Q_{hs} 、壁パネルの曲げ降伏耐力 M_{pb} のうち最小の値で最大耐力に達すると考えられる。その際、鉛直接合部のせん断耐力 Q_{vs} は既発表のコッターと水平接合筋、更に水平つなぎ筋の引張力による摩擦耐力($\mu \cdot C_s \cdot s A_s \cdot s f_y$)をいれた鉛直接合部せん断耐力式 Q_{js} にスラブのせん断耐力 Q_{ss} （曲げ破壊時およびせん断破壊時のせん断耐力、すなわち Q_{ss1} 、 Q_{ss2} の小さい方の値）を加えるものとする。

また、終局耐力は以下の仮定により算定する。最大耐力の破壊形式が鉛直接合部のせん断破壊以外の場合は最大耐力が終局耐力となるが鉛直接合部のせん断破壊の場合は終局耐力は2枚の壁パネルが別々の挙動を示すことを考慮する。すなわち、図-8(b)の様に、左右壁パネルのせん断耐力(LQ_{ps} 、 RQ_{ps})、左右の水平接合部せん断耐力(LQ_{hs} 、 RQ_{hs})、左右壁パネルの曲げ

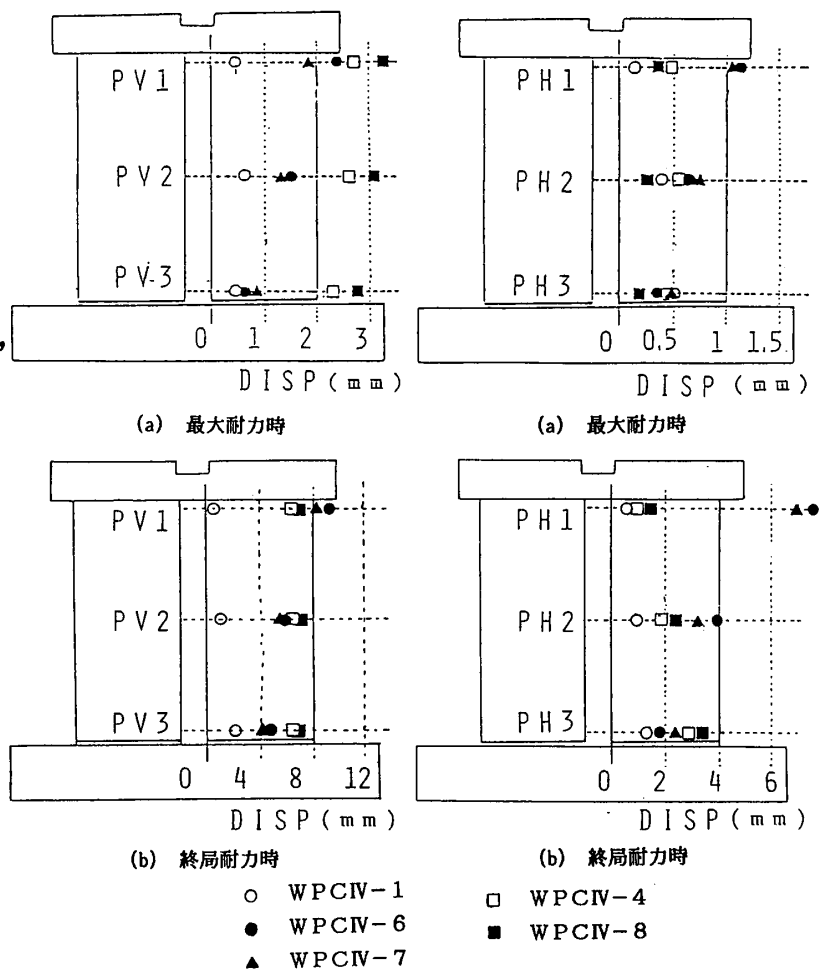


図-6 ずれ変位分布図

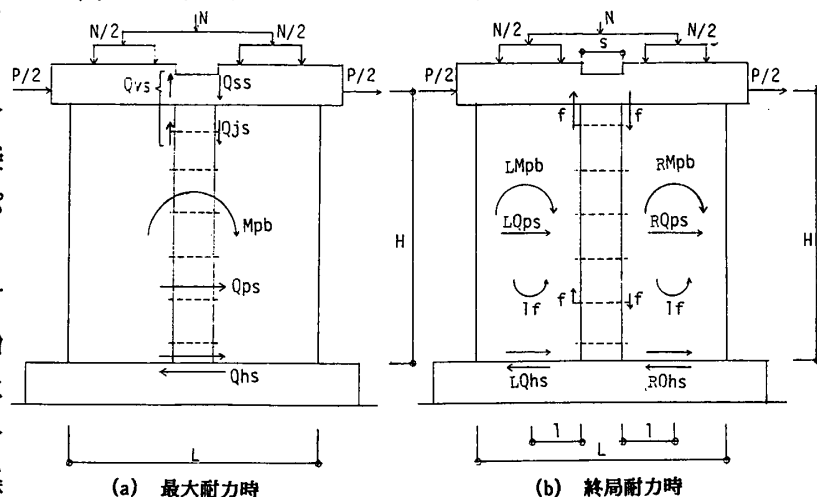


図-8 各耐力のモデル

降伏モーメント ($L M_{pb}$, $R M_{pb}$) に、水平つなぎ筋及び水平方向接合筋の摩擦抵抗による曲げ戻しモーメント ($l f$) を加えた時のせん断耐力 ($L Q_{ult}$, $R Q_{ult}$) の3つの水平耐力のうち、最小の値によって終局耐力が決まる。以上の各抵抗機構による算定結果を表-4, 5に示す。理論値と実験値は比較的良好に一致しているといえる。

表-4 最大耐力算定結果

試験体名	理論 値						実 験 値			
	壁パネル曲げ 降伏耐力・1				鉛直接合部最大せん断耐力				壁パネル・6 せん断耐力	
	接合部耐力・2	スラブ耐力	合計・5							
WPCN-6	32.55	25.57	4.30・4	27.07	49.36	48.33	29.76	1.10		
WPCN-7	32.56	25.34	-	22.97	49.41	48.33	26.20	1.14		
WPCN-8	30.92	14.88	9.33・3	21.95	52.88	46.31	20.31	0.93		

表-5 終局耐力算定結果

試験体名	理論値			実験値		破壊モード
	壁パネル曲げ降伏耐力・8	壁パネル・6せん断耐力	水平接合部・7せん断耐力			
WPCN-6	16.89	24.64	46.90	16.67	0.99	鉛直接合部せん断破壊後2枚のパネルの曲げ降伏
WPCN-7	16.89	24.66	46.90	15.98	0.95	
WPCN-8	22.95	27.10	44.38	20.31	0.88	

- *1 $Q_{pb} = M_{pb} / H$, $M_{pb} = \{0.8 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot L + 0.5 \cdot N \cdot L (1 - N / (b \cdot L \cdot F_c))\}$
 a_t : 引張鉛直鉄筋の断面積 σ_y : 引張鉄筋の材料強度 N : 軸方向力
 b : 断面の幅 F_c : コンクリート圧縮強度
- *2 $Q_{js} = 0.09 \cdot f_c \cdot A_{sc} + 1.48 \cdot A_s \cdot \sqrt{f_y \cdot f_c} + \mu (C_e \cdot A_s \cdot f_y + C_s \cdot A_s \cdot s f_y)$
 μ : 摩擦係数 ($\mu = 0.84$) C_e : 低減係数 ($C_e = 0.64$) C_s : 低減係数 ($C_s = 0.50$)
 A_{sc} : コッター断面積 A_s : 水平方向接合筋の断面積
 f_c : ジョイントコンクリートの圧縮強度 $s A_s$: 水平つなぎ筋の断面積
 f_y : 水平方向接合筋の降伏強度 $s f_y$: 水平つなぎ筋の降伏強度
- *3 $Q_{ss1} = \left\{ \frac{0.0679 \cdot P_t^{0.23} \cdot (F_c + 180)}{\sqrt{M/QD + 0.12}} + 2.7 \sqrt{P_{wh} \cdot \sigma_{wh} + 0.1 \sigma_0} \right\} \cdot b \cdot j$; $P_{wh} = 0$, $\sigma_0 = 0$, $M/QD = 1.3$
 P_t : 引張鉄筋比 P_{wh} : せん断補強筋比 σ_{wh} : せん断補強筋の材料強度
 σ_0 : 平均軸方向応力度 $j = (7/8) \cdot d$; $d = 0.95D$ D : 断面の成 M/QD : シャースパン比
- *4 $Q_{ss2} = 1.8 \sqrt{F_c \cdot Z_e \cdot 2 / s}$ ($s = 13.0 \text{ cm}$)
- *5 $H Q_{max} = \nu Q_{max} \cdot L / H$; $\nu Q_{max} = Q_{js} + Q_{ss}$ ($L = 90$, $H = 99.3$)
(水平力に換算)
- *6 $Q_{ps} = \left\{ \frac{0.0679 \cdot P_t^{0.23} \cdot (F_c + 180)}{\sqrt{M/QD + 0.12}} + 2.7 \sqrt{P_{wh} \cdot \sigma_{wh} + 0.1 \sigma_0} \right\} \cdot b \cdot j$; $P_{wh} = 0.016$, $\sigma_0 = 22.0 \text{ kg/cm}^2$, 最大時 $M/QD = 1.0$; 終局時 $M/QD = 2.25$
- *7 $Q_{hs} = 0.7 (\sigma_y \cdot \Sigma a_h + N_h)$
 σ_y : 鉛直接合筋の材料強度 Σa_h : 鉛直接合筋の有効断面積の和
 N_h : 軸方向力 (圧縮を正, 引張を0とする)
- *8 $Q_{ult} = L Q_{ult} + R Q_{ult}$
 $L Q_{ult} = (L M_{pb} + l \cdot f) / H$ $R Q_{ult} = (R M_{pb} + l \cdot f) / H$
 $f = \mu (C_e \cdot A_s \cdot f_y + C_s \cdot A_s \cdot s f_y)$
 $l = 20 \text{ cm}$ μ : 摩擦係数 ($\mu = 0.84$) C_e : C_s : 低減係数 ($C_e = C_s = 1.0$)

5. 結論

- (1) 床スラブがせん断力を負担する結果、床スラブを有することにより鉛直接合部充填コンクリートのせん断ひび割れ強度及び鉛直接合部のせん断耐力が上昇する。
- (2) 壁パネルの相対すべり及び相対目開きを床スラブ筋が拘束しているといえる。しかしその効果は壁パネル頂部であって、下部ではその効果はあまり期待できないといえる。
- (3) 鉛直接合部の最大せん断耐力はS型加力による拘束のないせん断耐力と、水平つなぎ筋(頭つなぎ筋と床スラブ筋の和)の拘束によるせん断耐力の和とした式(表-4の*2式)に床スラブの耐力を加えることにより算定できる。

(謝辞) 試験体作製にあたり御協力頂きました日本スプライススリーブ株式会社に感謝致します。

参考文献 *1) 望月 重: 水平つなぎ筋の拘束を考慮した壁式プレキャスト構面実験

1988年 コンクリート工学年次論文報告集 第10巻 第3号 P427~P432