

# 論文 重ね継手を用いたハーフプレキャスト梁の耐震性能に関する研究

今井 弘\*<sup>1</sup>・斉藤 潔\*<sup>2</sup>・山口 輝彰\*<sup>3</sup>

要旨:重ね継ぎ手を用いたハーフプレキャスト梁の曲げせん断実験が行われた。梁に逆対称曲げモーメントが作用するように、せん断力を正負交番で繰り返し加力した。せん断破壊から曲げ破壊に移る過程を調べるために、主な変動因子をせん断余裕度と横補強筋量とした。実験結果から、せん断余裕度が1.2以上の時、曲げ破壊になり、1.2より小さいとき、水平打ち継ぎ面の滑りを伴うせん断破壊、または付着割裂破壊となった。また、せん断余裕度が1.2以下、かつ付着余裕度がほぼ1.2以上の時、曲げ降伏後に水平打ち継ぎ面の滑りを伴うせん断破壊となった。

キーワード:プレキャスト梁、重ね継手、水平打ち継ぎ面、せん断、付着

## 1. はじめに

プレキャストコンクリート(以下、PCa)工法において、経済的で作業効率が良く、かつ構造的に合理的な工法の1つとして、主筋後挿入方式が提案され、その耐震性能が研究されている[1][2]。これは、主筋の代わりにシース管及び添え筋を予め配し、部材を製作後、現場で部材を組み立て、部材の両端から主筋を挿入する方法である。本工法の利点は、PCa部材が柱や梁の単材として製作できるため、製作、運搬、及び架設等の作業が容易である。また、現場でPCa部材の両端から主筋を挿入するため、主筋とPCa部材の各接合位置を一致させる必要がなく、主筋の継手を応力の小さいところに設けることができる。本研究では、この工法を用いたハーフPCa梁の曲げせん断実験を行った。せん断余裕度と横補強筋量を変動因子として、梁の破壊がせん断破壊から曲げ破壊に移り変わる過程での破壊性状を調査することを主目的とした。

## 2. 試験体

試験体数は7体であり、表-1と図-1にその概要を示す。試験体は、中高層建物の下層部分を想定した、2/3縮尺モデルである。試験体の梁せい、梁幅、内法長さは、それぞれ50cm、34cm及び200cmである。梁下部の35cmがPCaで、梁上部15cmが場所打ちであり、水平打ち継ぎ面は締め固め直後に全てワイヤーブラシによって粗面仕上げをした。変動因子は、主筋径と強度及び横補強筋の量を調節し、せん断余裕度と横補強筋量とした。

表-1 試験体一覧

試験体	主筋 (pw %)	横補強筋 4-D10 SD295A (pw %)	設計せん断余裕度 (注)
B21	8-D22 SD685	@100mm(0.84)	0.75
B22	(2.19)	@150mm(0.59)	0.57
B23	8-D22 SD390	@90mm(0.93)	1.45
B24	(2.19)	@110mm(0.76)	1.26
B25		@150mm(0.56)	1.02
B26	8-D22 SD390	@110mm(0.76)	1.70
B27	(1.63)	@140mm(0.60)	1.44

(注) 設計せん断余裕度 =  $\frac{\text{せん断強度 A 法}}{\text{曲げ強度略算式}}$   
 曲げ強度略算式 =  $0.9 \text{ at } \sigma_y d$

\*1 筑波大学 助教授 構造工学系、工博(正会員)

\*2 (財)電力中央研究所構造部、工修(正会員)

\*3 株木建設(株)技術研究所、(正会員)

表-1の設計せん断余裕度は、コンクリートでは $F_c=300\text{kgf/cm}^2$ を、鉄筋では、規格降伏強度を用いて一体打ちと仮定して算出してある。試験体は、全て主筋後挿入方式のPCa梁であり、主筋は梁中央部に全て重ね継手を持ち、重ね長さは主筋径の30倍(30d)の66cmであり、添筋長さはその2倍の132cmである。2段主筋のうち、外側の主筋にのみ主筋と同径、同材質の添え筋を1本配し、内側の主筋は梁の中央部でカットオフされたものと考え、梁の中央部で突き合わせただけである。

試験体の製作は、次の手順で行った。まず、梁下端主筋の位置にシース管を配し、横補強筋と下端の添え筋とともに梁のPCa部分を打設する。次に、下端主筋をシース管に挿入し、両端口をシールし、上端主筋と上端添え筋を配筋した後、左右の柱とともに梁上部の場所打ちコンクリートを打設する。最後に、梁上部から管を用いて、下端のシース管内に高強度モルタルを充填し、主筋とシースを一体化させる。

表-2に材料の試験結果を示す。コンクリートとグラウトモルタルの設計圧縮強度は、それぞれ $300\text{kgf/cm}^2$ と $600\text{kgf/cm}^2$ である。

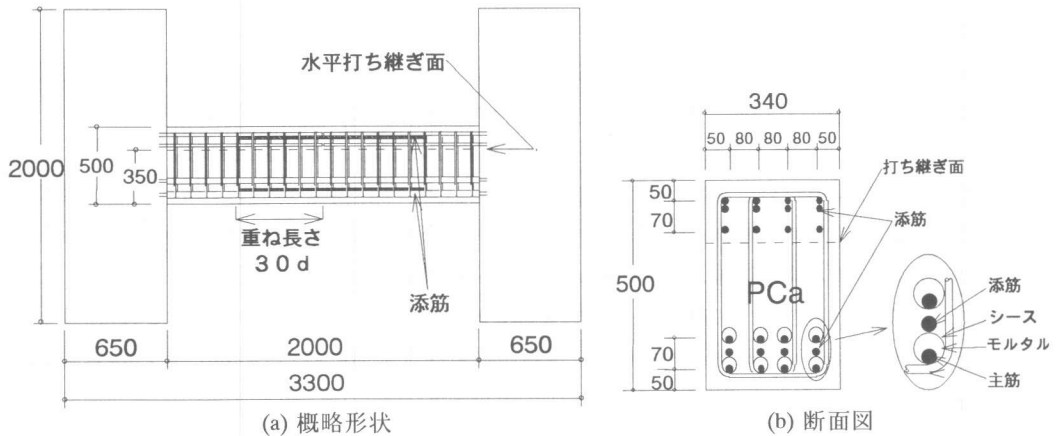


図-1 PCa試験体

### 3. 実験方法

加力装置を図-2に示す。加力は、梁に逆対称曲げモーメントが作用するようにせん断力 $Q$ を与えて、正負交番繰り返し加力を行った。せん断スパン比は2.0である。加力履歴は、部材変形角（以下 $R$ ）で、 $1/800$ を正負各1回、 $1/400$ 、 $1/200$ 、 $1/100$ 、 $1/50$ を正負各2回、 $1/25$ を正負各1回とした。部材

表-2 材料試験結果

試験体		B21	B22	B23	B24	B25	B27	B27	
鉄筋	主筋	降伏強度	6420(D22)		4570 (D22)		4560(D19)		
		引張降伏	8460(D22)		625 (D22)		6310(D19)		
	横補強筋	降伏強度	3890 (D10)						
		引張降伏	5780 (D10)						
コンクリート	圧縮強度		336	333	334	360	362	353	358
			315	314	309	318	318	297	297
	割裂強度		29.8	33.4	32.9	35.8	35.7	32.6	33.3
グラウト	圧縮強度(材令)		29.3	29.3	30.6	30.6	30.6	29.2	29.2
			397(28日)、793 (35日)						
(注) PCa : プレキャスト部分、RC : 場所打ち部分 各値は3つの平均									

変形角 $R$ は、両柱の相対変位 $\delta$ を梁の内法長さ200cmで除して得た。測定は、図-3に示すように、梁の全体変形、水平打ち継ぎ面の滑り（梁両端と梁中央の3点）、及び主筋と横補強筋のひずみ

について行った。また、梁を11の部分に分けて、各部分でのせん断変形と曲げ変形を測定した。加力履歴のピークにおいてひび割れの観察も行った。

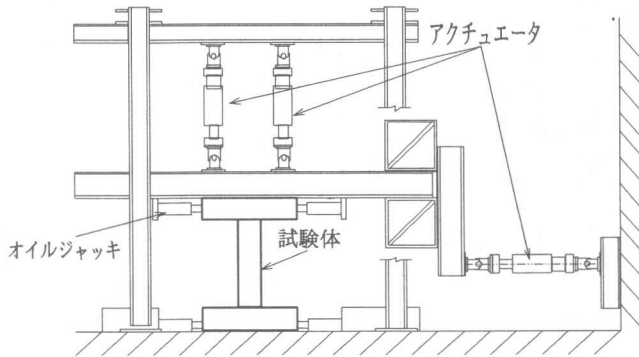


図-2 加力装置

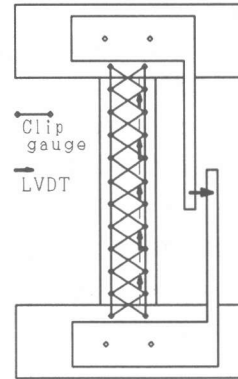


図-3 測定装置

#### 4. 荷重変形曲線とひび割れ状況

図-4に破壊様式の異なる試験体のせん断力 $Q$ と全体変形 $\delta$ の典型的な関係を、図-5に $R=1/25$ におけるひび割れ状況を示す。

B22は、主筋が曲げ降伏する前に、水平打ち継ぎ面の滑りを伴い、せん断破壊した。最大耐力後には、逆S字型の荷重変形曲線となっている。梁側面のひび割れは、梁全体に広がり、コンクリートが剥離している。

B25は、主筋が曲げ降伏した後に、せん断に至り、水平打ち継ぎ面が滑った。荷重変形曲線では、 $R=1/50$ の2回目の繰返しで、打ち継ぎ面が滑ることにより、耐力が急激に低下している。細かいひび割れが、梁端部と水平打ち継ぎ面に集中している。

B26の荷重変形曲線は、良好な履歴性能を示しており、 $R=1/25$ で最大耐力となっている。ひび割れは、梁両端部に集中し、最終的に曲げ破壊に至り、打ち継ぎ面は滑らなかった。

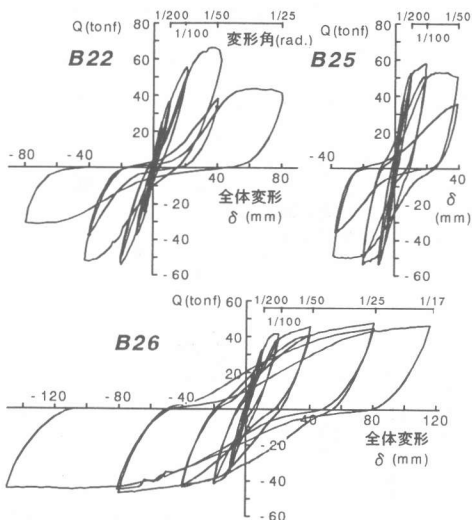
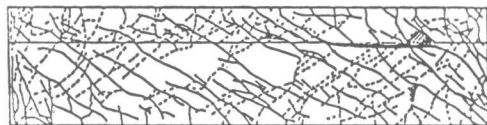


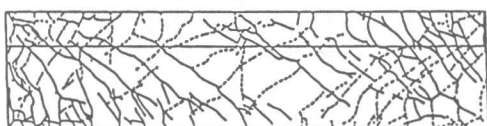
図-4 荷重変形曲線



(a) B22 水平打ち継ぎ面の滑りを伴うせん断破壊



(b) B25 曲げ変形後滑りを伴うせん断破壊



(c) B26 曲げ破壊

図-5 ひび割れ状況 ( $R=1/25$ )

### 5. 最大耐力

表-3で、最大耐力の実験値と計算値を比較する。各耐力は、表-2に示した材料試験結果を用いて梁が一体であると仮定して算出した。最終的な破壊形式は滑りを伴うせん断破壊と曲げ破壊に分けられた。

図-6のせん断余裕度と、最大耐力 $eQ_{max}$ （実験値）と曲げ強度（計算値）の比との関係から曲げ破壊とその

他の破壊形式を明確に分けることができる。図-6以降には、昨年度に発表した実験[4]の結果も含まれている。せん断破壊型では、主筋降伏前に水平打ち継ぎ面の滑りを伴うせん断破壊した。また、主筋降伏後に滑りを伴うせん断破壊形式も見られた。曲げ破壊する試験体の最大耐力は、曲げ強度計算値を10~20%上回っている。一方、せん断と付着割裂で破壊した試験体の最大耐力は、日本建築学会終局強度型設計指針のせん断耐力式A法で良く評価できる。

### 6. 付着余裕度

図-7に、せん断余裕度と、上下主筋の付着余裕度との関係を示す。ここで付着余裕度には、梁の両端が各々引張及び圧縮で降伏していると仮定し、かつ引張側の梁端1D区間（D:梁せい）が付着を喪失すると仮定した平均付着応力度 $\tau_{ave}$ 、及び藤井森田式による付着割裂強度 $\tau_{bm}$ を用いた。曲げ破壊とその他の破壊形式はせん断余裕度、及び付着余裕度によって、明確に分け

表-3 最大耐力

試験体	方向	実験値		計算値		実験値/計算値		余裕度	破壊形式 *1
		変形角 R(rad)	$eQ_{max}$ (tonf)	$cQ_{mue}$ (tonf)	$cQ_{suA}$ (tonf)	$eQ_{max}/cQ_{mue}$	$eQ_{max}/cQ_{suA}$		
B21	+	1/55	72.5	71.1	74.8	1.02	0.97	1.05	SL
	-	1/50	73.2			1.03	0.98		
B22	+	1/54	66.4	71.1	56.0	0.93	1.18	0.79	SL
	-	1/100	54.5			0.77	0.97		
B23	+	1/25	59.7	52.8	80.4	1.13	0.74	1.52	F→FC
	-	1/25	58.8			1.12	0.73		
B24	+	1/25	60.6	53.2	70.6	1.14	0.86	1.33	F→FC
	-	1/25	59.2			1.11	0.84		
B25	+	1/50	58.0	53.2	57.1	1.09	1.02	1.07	F→SL
	-	1/100	53.9			1.01	0.94		
B26	+	1/25	47.9	40.5	70.4	1.18	0.68	1.74	F→FC
	-	1/25	46.8			1.16	0.67		
B27	+	1/25	47.9	40.6	59.6	1.18	0.80	1.47	F→FC
	-	1/25	46.3			1.14	0.78		

\*1 F:曲げ降伏、FC:曲げ破壊、SL:滑りを伴うせん断破壊  
 $cQ_{mue}$ : e関数法による終局曲げ耐力時のせん断力  
 $cQ_{suA}$ : 日本建築学会A法による終局せん断力

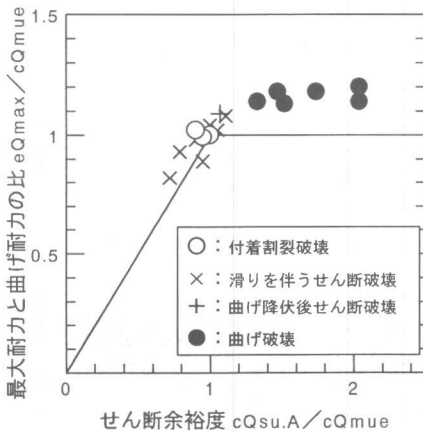


図-6 せん断余裕度と最大耐力の関係

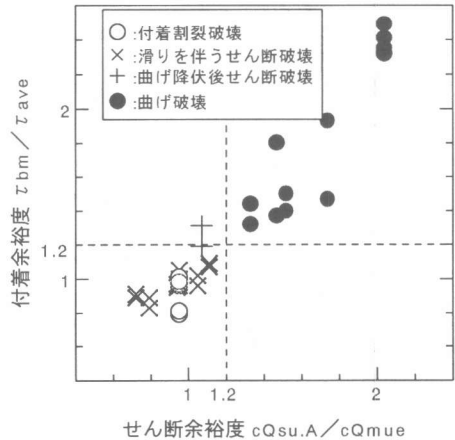


図-7 せん断余裕度と付着余裕度の関係

ることができる。つまり、せん断余裕度、及び付着余裕度が各々1.2以上であると曲げ破壊となる。また、せん断余裕度が1.2より小さく、付着余裕度がほぼ1.2以上の場合、主筋降伏後打ち継ぎ面の滑りを伴うせん断破壊となった。しかし、ここでは、せん断破壊と付着割裂破壊を明確に区別することができなかった。

### 7. 変形割合

図-8に、せん断余裕度と、梁の全体変形に占める曲げ変形の割合との関係を、各変形角毎に示す。曲げ変形は11等分された各部分で実測された曲率より算出した。変形角Rが1/200までは、どの試験体も曲げ変形が全体変形の80%程度を占め、残りをせん断変形が占めている。せん断余裕度が1.2より大きい場合には、さらに変形が進んでも、変形の割合はほぼ一定を保っている。一方、せん断余裕度が1.2より小さいと、変形が進むに従って、曲げ変形の割合が低下し、せん断余裕度が小さいほど、その低下が激しい。

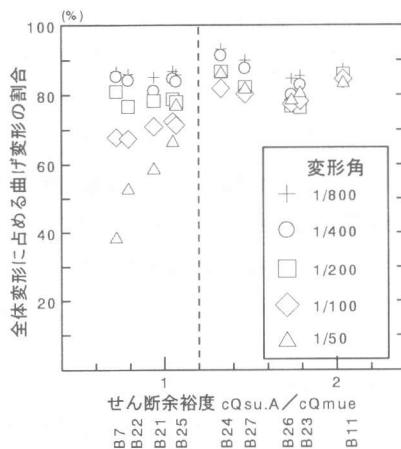


図-8 せん断余裕度と曲げ変形割合の関係

### 8. 水平打ち継ぎ面の滑り

図-9に、せん断余裕度と、梁スパン中央の水平打ち継ぎ面の滑りとの関係を、 $R=1/100$ 以降、各変形角毎に示す。 $R=1/50$ と $1/25$ については、繰り返しの1回目と2回目を示した。

せん断余裕度が1.2より大きいと、打ち継ぎ面はほとんど滑らない。これは、試験体が滑ることなく、曲げ破壊することと対応する。しかし、せん断余裕度が1.2以下になると、せん断破壊し、 $R=1/50$ を過ぎてから滑り始めている。

試験体B25は、 $R=1/25$  1回目(▽)ではほとんど滑っていないが、 $R=1/25$  2回目(▼)になって大きく滑っている。これは、主筋が曲げ降伏した後、変形が進んでから水平打ち継ぎ面で滑っていることと対応している。

最もせん断余裕度の小さい試験体B22では、 $R=1/50$  1回目(△)と $R=1/50$  2回目(▲)を比べると、梁全体の変形の滑りの関係が進んでいないにも関わらず、水平打ち継ぎ面が大きく滑っている。

これは、最大せん断耐力を過ぎて、打ち継ぎ面が一度滑り始めると、打ち継ぎ面でのコンクリートの付着が断たれ、かつ、打ち継ぎ面付近の横補強筋が降伏しているために、滑りが激しくなると考えられる。

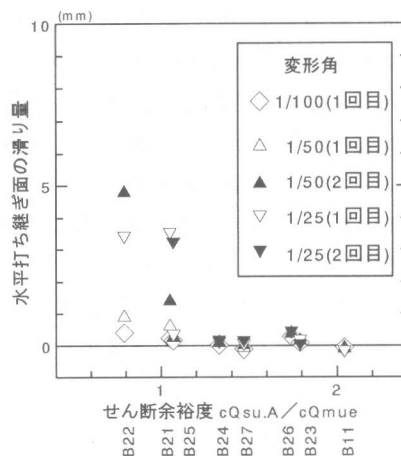


図-9 せん断余裕度と水平打ち継ぎ面の滑り関係

### 9. 水平打ち継ぎ位置での横補強筋のひずみ

図-10に、せん断余裕度と、水平打ち継ぎ面位置での横補強筋のひずみとの関係を、各変形角毎に示す。水平打ち継ぎ面での横補強筋のひずみは、打ち継ぎ面から約10mm下の位置で測定し

た。打ち継ぎ面を横切る横補強筋のひずみはこの位置で最大となることが、[5]に報告されている。

せん断余裕度が1.2以上では、横補強筋は弾性域にあり、水平打ち継ぎ面が滑らないことと対応している。一方、せん断余裕度が1.2より小さく、かつ変形角が1/50を越えると、梁の中央部で引張降伏が生じている。しかし、せん断余裕度の値に関わらず、梁の端部では、横補強筋は最後まで弾性域範囲内にある。これは、梁の両端に剛な柱があり、水平打ち継ぎ面が拘束されているためであると考えられる。

### 10. まとめ

主筋後挿入方式のハーフPCa梁の曲げせん断実験より、次の結論が得られた。

- 1)破壊形式は曲げ破壊、水平打ち継ぎ面の滑りを伴うせん断破壊、及び付着破壊等に分けられる。
- 2)曲げ破壊したものの耐力は、一体打ちと仮定した曲げ計算強度を10~20%上回る。
- 3)水平打ち継ぎ面の滑りを伴うせん断破壊の耐力は、一体打ちのせん断耐力式でよく評価できる。
- 4)せん断余裕度が1.2より小さく、付着余裕度がほぼ1.2以上であると、曲げ降伏後にせん断破壊し、水平打ち継ぎ面が滑る。
- 5)せん断余裕度が1.2を境界にして、変形の割合、水平打ち継ぎ面の滑り及びその位置での横補強筋のひずみに変化が見られた。それぞれの性状は、破壊形式や破壊性状と対応する。
- 6)滑りを伴うせん断破壊と付着割裂破壊は、せん断余裕度や付着余裕度を用いて、現段階では明確に区別することができなかった。

### 参考文献

- 1) J. J. Castro, T. Yamaguchi, H. Imai, "Seismic Performance of Precast Concrete Beam-Column Joints", Journal of Structural and Construction Engineering of AIJ, No. 455, January 1994, pp. 113-126.
- 2) R. Yanez, J. J. Castro, T. Yamaguchi, H. Imai, "An Experimental Study on Joint Strength of Spliced Bars Using Spiral Sheaths For Precast Concrete Structures", Journal of Structural and Construction Engineering of AIJ, No. 469, March 1995, pp. 91-104.
- 3) 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、日本建築学会、1990
- 4) 斉藤潔、山口輝彰、今井弘：重ね継ぎ手を用いたハーフプレキャスト梁の耐震性能に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集Vol. 16, No.2, pp.625-628、1994
- 5) 小沢健一他：PCa部材接合部のせん断抵抗に関する研究—その1。単調加力とダウエル効果、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造Ⅱ）、pp.753-754、1992.8

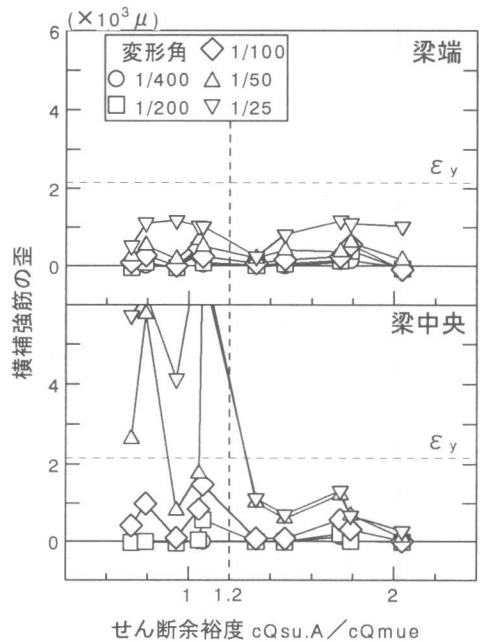


図-10 せん断余裕度と水平打ち継ぎ面で横補強筋のひずみの関係