

# プレキャストプレストレストコンクリート造 有孔梁の力学的挙動に関する実験的研究

浜原 正行\*1・斎藤 こずえ\*2・辻 英一\*3・森高 英夫\*4

## 1. はじめに

「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」<sup>1)</sup>(以下、RC終局指針)では、部材のせん断耐力をトラス、アーチ両機構による負担せん断力の和で評価している。この指針では有孔梁についても、このせん断理論の枠組みの中で論じているが、無開口梁との相違は母材の耐力をトラス機構のみで評価し、アーチ機構を無視している点にある。換言すれば、有孔梁については、母材が本来保有している耐力を低減していることになる。

プレストレストコンクリート(以後、PC)建物については、有孔梁に関する実験例が極めて少なかったこともあり、開口を設置することが許容されていなかった。近年、このような問題の打開を図るために、PC有孔梁に関する体系的な実験が行われるようになり、その挙動もかなり明らかにされつつある<sup>2)~7)</sup>。このような研究を背景に、1998年改訂版のPC規準では、開口部の設計法が新たに提案された<sup>8)</sup>。この設計法では、通常のPC部材が曲げ卓越型であることを勘案し、母材の耐力を曲げ終局強度で評価している。しかし、圧着接合を採用した組立て工法によるプレキャストプレストレストコンクリート(以後、PCa PC)建物の桁方向に多く見られるように、スパンがかなり短いものもある。このような部材では、せん断強度が曲げ強度を下回るものもあり、母材の耐力をRC終局指針のように、せん断理論の枠組みの中で論じなくてはならないことになる。

圧着接合されたPCa PC部材は付着抵抗の大きい普通鉄筋が目地部で切れているため、母材せん断力のほとんどはアーチ作用によって負担されると考えられる。したがって、PCa PC有孔梁の設計に母材アーチ作用を許容しないRC終局指針の考えを適用すると、その設計はほとんど不可能となる。

本報告は、せん断スパン比、プレストレストレベル、開口の有無、開口の位置、および開口部弦材のあばら筋比を要因とする圧着型のPCa PC梁に対して載荷実験を行い、母材終局強度の算定に際してアーチ作用は無視すべきか否かの問題に対する回答を与えようとするものである。

## 2. 記号

- $a_o$ : 母材の反曲点から開口部中心までの距離 (mm)
- $b, D$ : 母材の幅 (mm), 母材のせい (mm)
- $d_o$ : 圧縮弦材から引張弦材までの重心間距離 (mm)

- $d_p$ : PC鋼棒に関する有効せい (mm)
- $h_c, h_t$ : 圧縮弦材と引張弦材のせい (mm)
- $j_c$ : 圧縮弦材での上端筋～下端筋までの距離 (mm)
- $j_t$ : 引張弦材での上端筋～下端筋までの距離 (mm)
- $L$ : 試験体の内法スパン (mm)
- $L_o$ : 開口の長さ (mm)
- $p_w, w f_y$ : あばら筋比, あばら筋の降伏強度 (Mpa)
- $Q_{max}$ : 最大荷重の実験値 (kN)
- $Q_{su}$ : 母材の終局強度の計算値 (kN)
- $Q_{ou}$ : 開口部の終局強度の計算値 (kN)
- $T_{py}, T_{ry}$ : PC鋼棒と軸筋の降伏荷重 (kN)
- $\nu$ : コンクリートの有効係数
- $\sigma_B$ : コンクリートの圧縮強度 (Mpa)
- $\sigma_g$ : 平均プレストレスト (Mpa)

## 3. 実験概要

### 3.1 試験体概要

本実験で採用した実験要因は1章でも述べたように、せん断スパン比、プレストレストレベル、開口の有無、開口の位置、および開口部弦材のあばら筋比の5因子である。

試験体は実部材の約1/2モデルを想定し、幅200mm、せい450mmとした。開口はPC規準<sup>8)</sup>で規定されている許容最大寸法、すなわち、圧縮弦材と引張弦材のせいを梁せいの1/3 (=150mm)、開口長さを梁せいの2/3 (=300mm)とした。梁と両側のスタブは厚さ20mmの無収縮モルタル目地を介し、断面上下に1本ずつ対称配置したPC鋼棒を用いて圧着した。梁の上端筋と下端筋には、それぞれ2-D16が用いられているが、これらの鉄筋は、通常のPCa PC梁同様、目地部で切れており、スタブにはアンカーされていない。

試験体の具体的な諸元を表-1に示す。図-1に試験体の配筋詳細の一例を示す。

### 3.2 実験方法

加力は図-2に示す逆対称載荷装置を用い、正負繰返し載荷とした。繰返し載荷を行う前に、梁の半スパン分の重量を50t串形ジャッキで吊り上げておき、自由端側に設置した50t圧縮ジャッキを用いて試験体先端側のスタブと加力用の鉄骨治具の重量を支えた。繰返し載荷は、この状態から開始した。なお、自由端側のジャッキは試験体自重による梁両端の曲げモーメントがゼロとなる位置に設置し、繰返し載荷中は、この圧縮ジャッキを用いて左右のスタブの

\*1 Masayuki HAMAHARA: 日本大学 理工学部 海洋建築工学科 助教授 工博

\*2 Kozue SAITOH: 日本大学 理工学部 建築学科 大学院生

\*3 Hideich TSUJI: 安井建築設計事務所 構造部 取締役部長 工博

\*4 Hideo MORITAKA: 安井建築設計事務所 構造部 副部長

表-1 試験体の諸元

No.	試験体名	a/D	a <sub>o</sub> mm	PC鋼棒 (B種1号)				開口部弦材のあばら筋		
				径 mm	P <sub>pyn</sub> kN	ΣP <sub>e</sub> No	ΣP <sub>e</sub> kN	P <sub>e</sub> /P <sub>yn</sub>	P <sub>w</sub> (%)	配筋
1	S01-A15-C	1.5	0	23	387.1	0.1	441	0.57	0.6	□D6-@50
2	S02-A15-C	1.5	0	32	749.3	0.2	883	0.59	0.6	□D6-@50
3	S01-A30-C	3.0	0	23	387.1	0.1	441	0.57	0.6	□D6-@50
4	S02-A30-C	3.0	0	32	749.3	0.2	883	0.59	0.6	□D6-@50
5	S01-A15-NOP	1.5	0	23	387.1	0.1	441	0.57	0.6	—
6	S02-A15-NOP	1.5	0	32	749.3	0.2	883	0.59	0.6	—
7	S01-A30-NOP	3.0	0	23	387.1	0.1	441	0.57	0.6	—
8	S02-A30-NOP	3.0	0	32	749.3	0.2	883	0.59	0.6	—
9	S02-A15-E	1.5	355	32	749.3	0.2	883	0.59	0.6	□D6-@50
10	S02-A30-E	3.0	810	32	749.3	0.2	883	0.59	0.6	□D6-@50
11	S02-A15-C-PWO	1.5	0	32	749.3	0.2	883	0.59	0.0	—
12	S02-A30-C-PWO	3.0	0	32	749.3	0.2	883	0.59	0.0	—

[共通因子] 断面: b=200mm, D=450mm, d<sub>p</sub>=375mm, d<sub>r</sub>=415mm

開口寸法: h<sub>c</sub>=h<sub>t</sub>=h<sub>o</sub>=150mm, L<sub>o</sub>=300mm

コンクリート圧縮強度: σ<sub>B</sub>=50Mpa

圧縮筋, 引張筋: 2-D16(SD295), 開口部軸方向補強筋: 2-D13(SD295)

母材のあばら筋: □D6-@50(P<sub>w</sub>=0.6%), 開口部両側のあばら筋: 3□D10

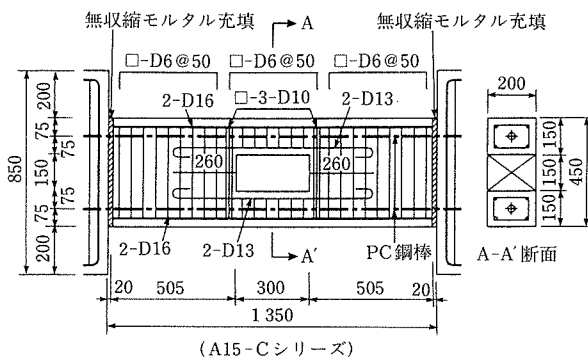


図-1 試験体配筋詳細図

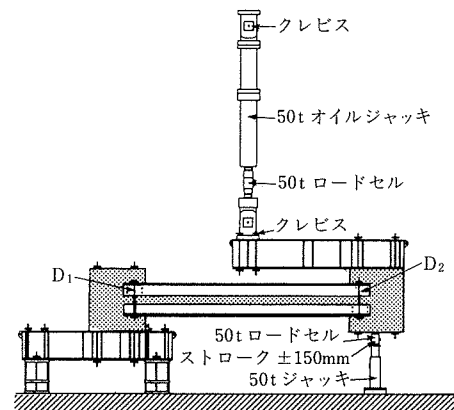


図-2 加力装置と相対変位の測定装置

回転角が等しくなるように(すなわち, 図-2中D<sub>1</sub>=D<sub>2</sub>)制御した。

### 3.3 材料試験結果

表-2にコンクリートの調合表を, 表-3にコンクリートと無収縮目地モルタルの材料試験結果を示す。表-4にPC鋼棒と鉄筋の材料試験結果を示す。

## 4. 実験結果

### 4.1 破壊モードと荷重一部材角関係

図-3に本実験より得られた破壊モードと荷重一部材角関係を示す。各破壊モードの特徴は以下に示すとおりである。

#### (1) 曲げ降伏後の圧壊(FC)

この破壊はプレストレスレベル0.1の試験体4体に見られた。これらの試験体は曲げ降伏後, 母材端部が圧壊し, じん性に富んだ性状を示した。

表-2 コンクリートの調合表

W/C (%)	S/G (%)	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )					
		W	C	S	G	混和剤	
						減水剤	AE剤
46	42	153	333	763	1061	9.32	0.067

F<sub>c</sub>=50Mpa, 粗骨材最大寸法=20mm

表-3 コンクリート, 目地モルタルの材料試験結果

試験体No.	コンクリート			目地無収縮モルタル		
	σ <sub>B</sub> Mpa	E <sub>c</sub> ×10 <sup>4</sup> Mpa	σ <sub>t</sub> Mpa	σ <sub>B</sub> Mpa	E <sub>c</sub> ×10 <sup>4</sup> Mpa	σ <sub>t</sub> Mpa
1, 3	45.1	3.40	3.30	57.6	2.53	3.91
2, 4	52.7	3.37	4.17	54.4	2.64	3.64
5, 7	48.9	3.73	4.14	52.8	2.78	2.95
6, 8	54.8	3.77	3.63	55.1	2.40	3.50
9, 10	49.9	3.73	4.02	49.6	2.68	3.12
11, 12	58.0	3.62	4.00	52.2	2.31	3.74

表-4 PC鋼棒と鉄筋の材料試験結果

	PC鋼棒 (B種1号)		鉄筋 (SD295)			
	φ23	φ32	D6	D10	D13	D16
σ <sub>y</sub> (Mpa)	1022	996	337	372	388	342
σ <sub>u</sub> (Mpa)	1121	1127	518	518	535	485
E (×10 <sup>6</sup> Mpa)	2.01	2.00	1.95	1.98	1.96	1.99
伸び率 (%)	13.0	11.0	16.7	18.8	26.0	22.0

#### (2) 曲げ降伏前の圧縮破壊(C)

この破壊はプレストレスレベル0.2の試験体のうち, せん断スパン比3の有開口, 無開口試験体4体, およびせん断ス

パン比1.5の無開口試験体1体の総計5体に見られた。これらの試験体は曲げ降伏前に母材端部の圧壊によって破壊した。圧壊は曲げ降伏が先行した試験体より顕著であり、じん性も若干乏しかった。

(3) 開口部弦材の対角線状せん断引張破壊(DT)

この破壊はプレストレスレベル0.2, せん断スパン比1.5で開口位置がスパン中央の試験体2体に見られた。これらの試験体は曲げ降伏前に上下弦材に発生した対角線状せん断ひ

び割れの進展, 拡幅によって急激な耐力低下を起こした。

(4) 開口部弦材の対角線状せん断圧縮破壊(DC)

この破壊はプレストレスレベル0.2, せん断スパン比1.5で開口が梁の両端部に設置されている試験体1体に見られた。この試験体には, まず開口部の束材にせん断ひび割れが発生した。次に圧縮弦材の対角線状ひび割れと母材端部側のコンクリート圧壊, 引張弦材の母材端部側せん断ひび割れがほぼ同時に発生し, 最終的には引張弦材に対角線状せん

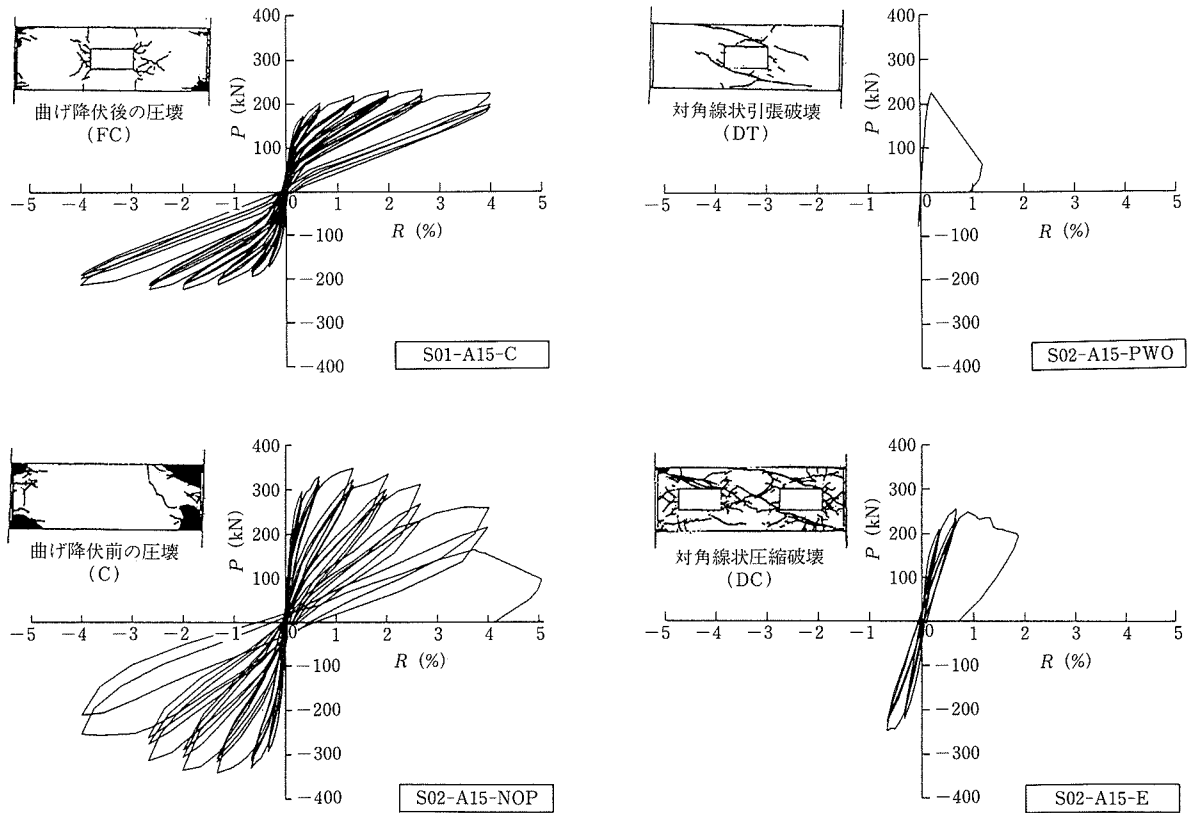


図-3 破壊モードと荷重一部材角関係

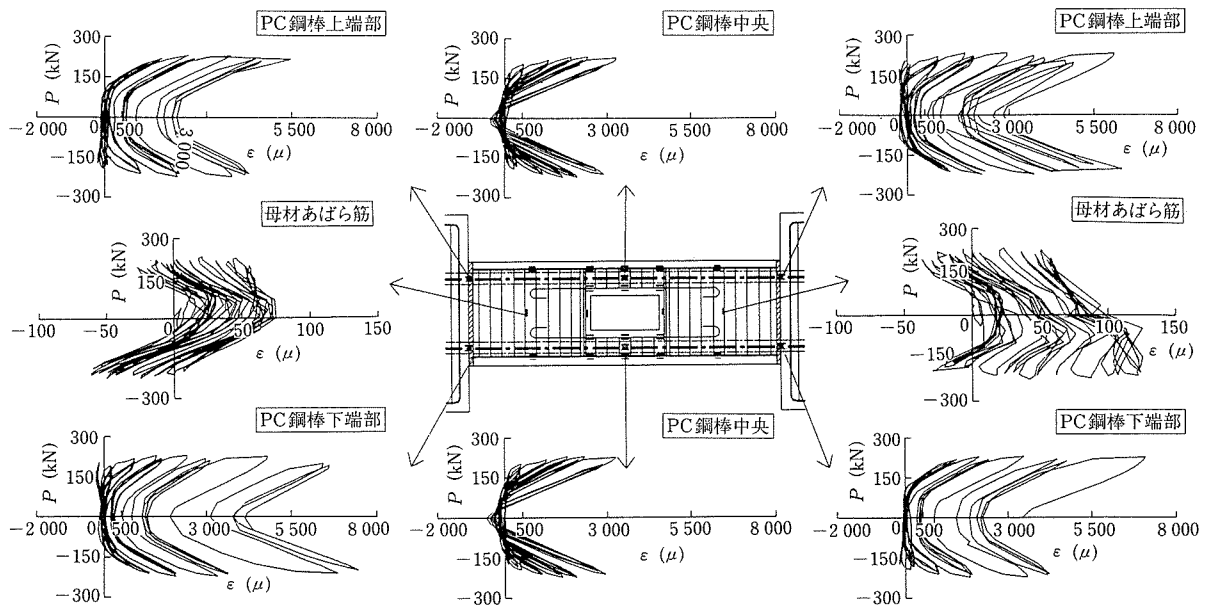


図-4 鋼材の荷重-ひずみ分布 (試験体名:S01-A15-C)

断ひび割れが発生した時点で急激な耐力低下を起こした。

#### 4.2 PC鋼材，鉄筋の荷重－ひずみ関係

図-4はPC鋼材と鉄筋の荷重－ひずみ関係を示したものである。この図より，PC鋼材はかなり早い段階から付着を喪失し，母材のあばら筋にはほとんどひずみが生じていないことが分かる。この結果と母材には斜めひび割れが見られなかったこと(図-3)を併せて考えると，母材のせん断伝達は，ほとんどがアーチ作用によるものであると言える。

### 5. 終局強度と破壊モードに対する検討

#### 5.1 終局強度の計算方針

試験体の終局強度は，それぞれ独立に求めた母材終局強度と開口部終局強度のうち，小さい方の値で評価した。材料強度は表-3，表-4に示した材料試験結果を用いた。

#### 5.2 母材の終局強度

試験体母材のせん断伝達は，ほとんどアーチ作用によるものであることを4.2項で示した。この結果を踏まえ，母材の終局強度は式(1)に示すPC鋼棒の降伏を考慮したアーチ作用の終局強度によって評価した。

$$Q_{su} = C_m \left[ \sqrt{2 \cdot (C/C_m) + (L/D)^2 - (C/C_m)^2} - (L/D) \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

ここに， $C = 2 \cdot T_{py}$  ただし， $C \leq C_m$

$C_m$ は式(1)に極値を与えるアーチ斜材の圧縮力の水平成分であり，次式で与えられる。

$$C_m = \nu \cdot \sigma_B \cdot b \cdot D / 2 \quad \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

ここに， $\nu$ はコンクリート有効係数であり，次式に示すPC規準式<sup>8)</sup>によって評価した。

$$\nu = \{L/(4D)\} \cdot \{1 + (\sigma_g / \sigma_B)\} \quad \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

ただし， $0.65 \leq \nu \leq 1$

#### 5.3 開口部の終局強度

開口部終局強度の計算には文献<sup>7)</sup>での解析法を用いた。この解析法の概要は以下に示すとおりである。

##### (1) 計算上の仮定

- ① 開口部の終局強度は開口の上下にある圧縮弦材と引張弦材の終局強度の和として評価する。
- ② 圧縮弦材と引張弦材はフィレンデル部材としてモデル化し，その反曲点位置は弦材の中央に設定する。
- ③ 圧縮弦材と引張弦材の終局強度は，それぞれ45度トラス機構(図-5)とアーチ機構(図-6)による負担せん断力の和として評価する。

##### (2) トラス作用による負担せん断力

圧縮弦材と引張弦材のトラス作用によるせん断力は式(4a)，式(4b)による。

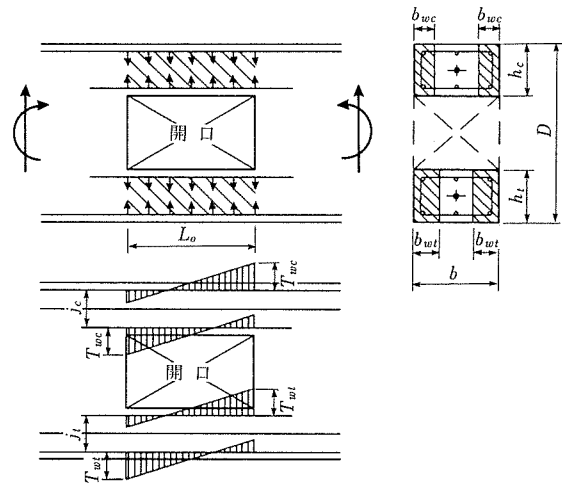


図-5 トラス機構

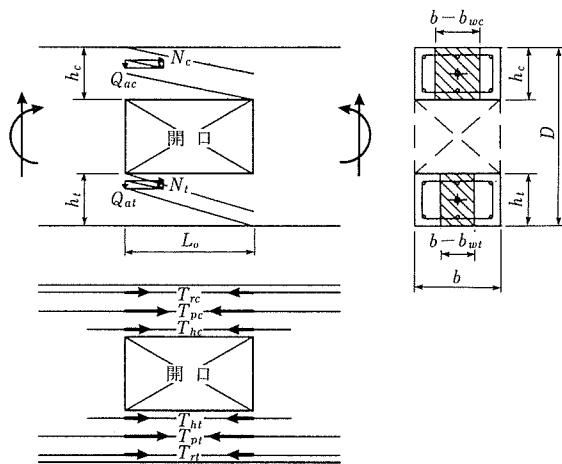


図-6 アーチ機構

$$Q_{wc} = p_w \cdot w f_y \cdot b \cdot j_c \quad \dots\dots\dots \text{式(4a)}$$

$$Q_{wt} = p_w \cdot w f_y \cdot b \cdot j_t \quad \dots\dots\dots \text{式(4b)}$$

ただし， $Q_{wc} \leq Q_{wcu} = 2 \cdot T_{yc} \cdot j_c / (L_o + j_c)$   
 $Q_{wt} \leq Q_{wtu} = 2 \cdot T_{yt} \cdot j_t / (L_o + j_t)$

ここに， $T_{yc}$ と $T_{yt}$ は，それぞれ圧縮弦材と引張弦材の上端筋と下端筋の降伏荷重のうち小さい方の値とする。

圧縮弦材と引張弦材の軸筋と開口部軸筋には，それぞれ式(5a)，式(5b)に示す引張力が生じることになる。

$$T_{wc} = (Q_{wc}/2) \cdot \{1 + (L_o / j_c)\} \quad \dots\dots\dots \text{式(5a)}$$

$$T_{wt} = (Q_{wt}/2) \cdot \{1 + (L_o / j_t)\} \quad \dots\dots\dots \text{式(5b)}$$

トラス作用による引張弦材と圧縮弦材の負担幅は，それぞれ式(6a)，式(6b)で与えられる。

$$b_{wc} = 2Q_{wc} / (\nu \cdot \sigma_B \cdot j_c) \quad \dots\dots\dots \text{式(6a)}$$

$$b_{wt} = 2Q_{wt} / (\nu \cdot \sigma_B \cdot j_t) \quad \dots\dots\dots \text{式(6b)}$$

##### (3) アーチ作用による負担せん断力

圧縮弦材のアーチ作用によるせん断力は式(7a)～式

(7c) で与えられる。

$$N_{1c} \leq N_c \leq N_{2c} \text{ の場合: } Q_{ac} = C_{mc} \left\{ \sqrt{1+r_c^2} - r_c \right\} \quad \dots\dots\dots \text{式(7a)}$$

$$N_c < N_{1c} \text{ の場合: } Q_{ac} = C_{mc} \left\{ \sqrt{2(N_c+S_{1c})/C_{mc} - \{(N_c+S_{1c})/C_{mc}\}^2 + r_c^2} - r_c \right\} \quad \dots\dots\dots \text{式(7b)}$$

$$N_c < N_{2c} \text{ の場合: } Q_{ac} = C_{mc} \left\{ \sqrt{2(N_c+S_{2c})/C_{mc} - \{(N_c+S_{2c})/C_{mc}\}^2 + r_c^2} - r_c \right\} \quad \dots\dots\dots \text{式(7c)}$$

ここに,

$$N_{1c} = C_{mc} - S_{1c}, \quad N_{2c} = C_{mc} - S_{2c},$$

$N_c$ : 圧縮弦材に作用する圧縮力,

$$S_{1c} = T_{pyc} + T_{ryc} + T_{hyc} - 2T_{wc},$$

$$S_{2c} = -(T_{ryc} + T_{hyc} - 2T_{wc} + Q_{wc}),$$

$$C_{mc} = \{1 - (b_{wc}/b)\} \nu_c \cdot \sigma_B \cdot b \cdot h_c / 2,$$

$$r_c = L_o / h_c, \quad \nu_c = L_o / (4h_c)$$

引張弦材のアーチ作用によるせん断力は式(8a), 式(8b)で与えられる。

$$N_{1t} \leq N_t \leq N_{2t} \text{ の場合: } Q_{at} = C_{mt} \left\{ \sqrt{1+r_t^2} - r_t \right\} \quad \dots\dots\dots \text{式(8a)}$$

$$N_t < N_{1t} \text{ の場合: } Q_{at} = C_{mt} \left\{ \sqrt{2(N_t+S_{1t})/C_{mt} - \{(N_t+S_{1t})/C_{mt}\}^2 + r_t^2} - r_t \right\} \quad \dots\dots\dots \text{式(8b)}$$

ここに,

$$N_{1t} = C_{mt} - S_{1t}, \quad N_{2t} = C_{mt} - S_{2t},$$

$N_t$ : 引張弦材に作用する引張力,

$$S_{1t} = T_{pyt} + T_{ryt} + T_{hyt} - 2T_{wt},$$

$$S_{2t} = -(T_{ryt} + T_{hyt} - 2T_{wt} + Q_{wt}),$$

$$C_{mt} = \{1 - (b_{wt}/b)\} \nu_t \cdot \sigma_B \cdot b \cdot h_t / 2,$$

$$r_t = L_o / h_t, \quad \nu_t = L_o / (4h_t)$$

(4) 開口部の終局強度

圧縮弦材と引張弦材の終局強度は、それぞれのトラス作用とアーチ作用による負担せん断力の和が最大となったときの値で評価する。開口部の終局強度  $Q_{ou}$  はこのようにして求められた圧縮弦材と引張弦材の終局強度の和で与えられる。

一方、開口部には母材としての曲げモーメントが作用している。開口部弦材には、この曲げモーメントによる偶力が軸力として作用している。本実験においては、この軸力は式(9)によって与えられる。

$$N_c = -N_t = a_o Q_{ou} / d_o \quad \dots\dots\dots \text{式(9)}$$

開口部の終局強度は式(9)を満たす解として評価される。

5.4 実験結果との比較検討

表-5は最大荷重の実験値  $Q_{max}$  と式(1)~式(3)による母材終局強度  $Q_{su}$ , および式(4)~式(9)による開口部終局強度  $Q_{ou}$  を比較したものである。図-7は、母材終局強度  $Q_{su}$  と開口部終局強度  $Q_{ou}$  の小さい方の値として評価される試験体の終局強度  $Q_u$  の計算精度について検討したものである。表-5と図-7より、(実験値)/(計算値)は平均値0.983, 変動係数7.5%であり、計算精度はかなり高いことが分かる。また、破壊モードによるばらつきの変異も見られない。

図-8は縦軸に  $Q_{max}/Q_{su}$  を、横軸に  $Q_{ou}/Q_{su}$  をとり、こ

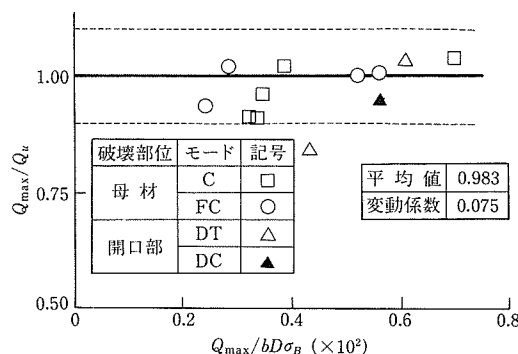


図-7 終局強度の実験値と計算値の比較

表-5 終局強度の実験値と計算値の比較

No.	試験体名	終局強度実験値 $Q_{max}$ (kN)			終局強度計算値 (kN)			$Q_{max}/Q_u^*$	破壊モード
		正	負	平均	$Q_{mu}^{**}$	$Q_{su}$ 式(1)	$Q_{ou}$ 5-3節		
1	SO1-A15-C	231.1	224.0	227.5	226.3	207.0	243.3	1.099	FC
2	SO2-A15-C	297.3	276.6	287.0	399.9	325.2	277.8	1.033	DT
3	SO1-A30-C	112.3	118.0	115.2	113.2	111.4	243.0	1.034	FC
4	SO2-A30-C	149.0	169.7	159.4	199.9	175.7	277.8	0.902	C
5	SO1-A15-NOP	229.9	228.5	229.2	229.5	212.8	-	1.007	FC
6	SO2-A15-NOP	348.1	340.8	344.5	401.7	333.0	-	1.034	C
7	SO1-A30-NOP	107.1	106.9	107.0	114.7	113.8	-	0.941	FC
8	SO2-A30-NOP	170.7	171.6	171.2	200.8	179.2	-	0.955	C
9	SO2-A15-E	256.0	248.6	252.3	397.4	314.3	265.2	0.952	DC
10	SO2-A30-E	175.1	172.5	173.8	198.7	170.7	243.5	1.018	C
11	SO2-A15-PWO	225.6	-	225.6	404.3	343.4	266.8	0.846	DT
12	SO2-A30-PWO	165.6	169.7	167.7	202.2	183.9	266.8	0.912	C

\*  $Q_u = \min(Q_{su}, Q_{ou})$ : 灰色部の数値 \*\* 下界定理による曲げ終局強度

の平面に有開口試験体8体についての実験結果をプロットしたものである。この図より、 $Q_{ou}/Q_{su} \geq 1$ の試験体、すなわち開口部終局強度の計算値  $Q_{ou}$  が母材終局強度の計算値  $Q_{su}$  を上回っている試験体の破壊モードはすべて母材破壊先行型 (図中、○、□) となっていることが分かる。一方、 $Q_{ou}/Q_{su} < 1$ の試験体、すなわち開口部終局強度の計算値  $Q_{ou}$  が母材終局強度の計算値  $Q_{su}$  を下回っている試験体の破壊モードはすべて開口部破壊先行型 (図中、△、▲) となっている。以上より、本章で用いた解析手法は終局強度だけでなく、破壊の先行部位が母材であるか開口部であるかについても予測できることが分かった。

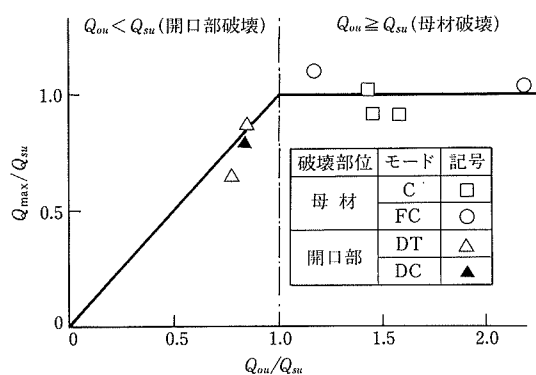


図-8  $(Q_{max}/Q_{su})-(Q_{ou}/Q_{su})$ 平面上での破壊モードの判別

## 6. ま と め

せん断スパン比、プレストレスレベル、開口の有無、開口位置、および開口部弦材のあばら筋比を実験要因とした圧着型のPCa PC有孔梁に対して正負繰返し実験を実施し、限られた実験範囲ではあるが以下に示す知見を得た。

- ① 母材のせん断伝達は、ほとんどアーチ作用によるものであった。
- ② 母材のアーチ作用が卓越する有孔梁でも、その終局強度は曲げが卓越する場合同様、それぞれ独立に算定した母材と開口部の終局強度のうち小さい方の値で決

まり、実際の破壊も母材または開口部のうち、終局強度の小さい部位で起こった。

- ③ せん断卓越型の通常の圧着接合されたPCa PC有孔梁の設計には、母材のアーチ作用を無視したRC終局指針を適用できなかった。

## 謝 辞

鈴木 計夫 大阪大学名誉教授 (現 福井工業大学教授・工学博士), ならびに本岡 順二郎 日本大学教授 (工学博士) からは、終始変わらぬ温かいご指導をいただき、ここに深い感謝の意を表する次第である。

本研究は「PC有開口梁研究会」のもとで実施されたものである。同委員会の構成メンバーは、以下に示すとおりである (敬称略)。

鈴木 計夫 (大阪大学名誉教授 [現 福井工業大学教授]), 辻 英一・森高 英夫・津田 和征 (㈱安井建築設計事務所 (幹事)), 土居 健二・坂田 博史・小林 寛治 (フドウ建研(株)), 多賀 秀俊 (オリエンタル建設(株)), 戸澗 隆・寒川 勝彦 (㈱ピー・エス), 浜原 正行 (日本大学理工学部)

## 参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：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, pp.106~146, 1990.10
- 2) 土居ほか：多数の大型貫通孔を有するPC小梁の載荷実験(その1~2), 日本建築学会大会梗概集, pp.993~996, 1989
- 3) 土居ほか：多数の大型貫通孔を有するPC小梁の載荷実験(その3~5), 日本建築学会大会梗概集, pp.39~44, 1990
- 4) 森高ほか：プレストレスコンクリート造有開口梁の耐震性能に関する実験的研究(その1~2), 日本建築学会大会梗概集, pp.1017~1020, 1994
- 5) 森高ほか：プレストレスコンクリート造有開口梁の耐震性能に関する実験的研究(その3), 日本建築学会大会梗概集, pp.969~970, 1995
- 6) 本岡ほか：実大プレストレスコンクリート有孔梁の耐力と破壊性状に関する実験的研究(その1~2), 日本建築学会大会梗概集, pp.971~974, 1995
- 7) 浜原ほか：プレストレスコンクリート有孔梁の終局強度設計法, 日本建築学会構造系論文報告集, No.442, pp.133~139, 1992.12
- 8) 日本建築学会：プレストレスコンクリート設計施工規準・同解説, pp.240~251, 1998.11

【1998年12月10日受付】