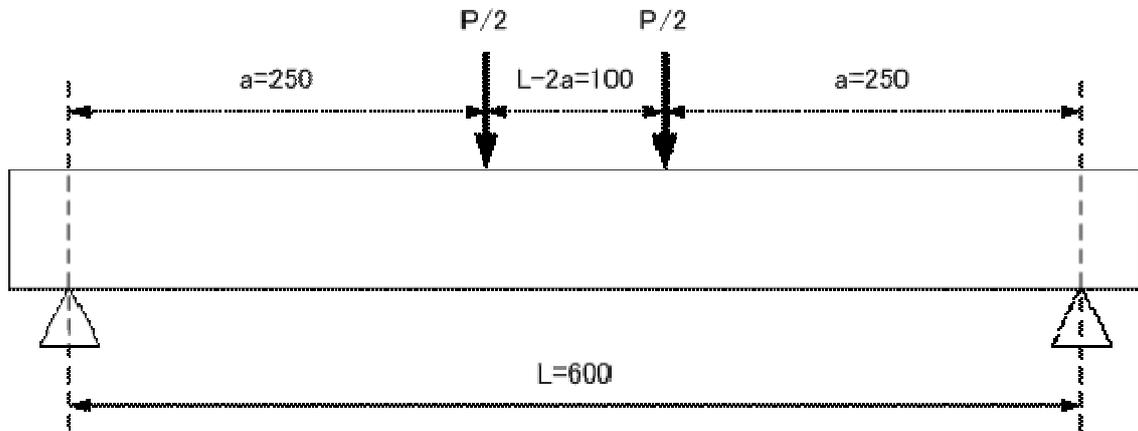


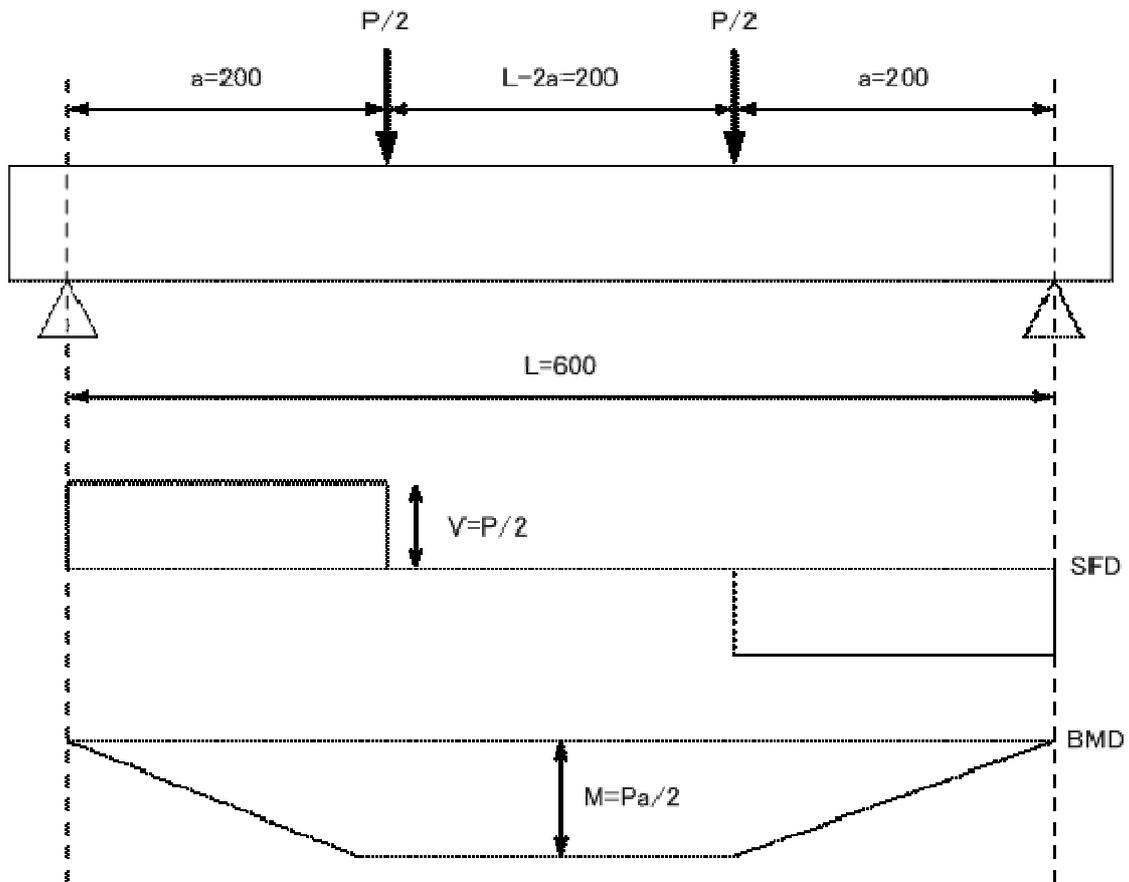
小型 RC はりの載荷実験

相原啓仁、石井輝尚、吉川弘道

1、実験概要



(a) 試験体 A (曲げ破壊型)



(b) 試験体 B (せん断破壊型)

図1 構造形式と載荷条件

表 1 試験体諸元のまとめ

			試験体 A	試験体 B
破壊モード			曲げ破壊	せん断破壊
コンクリート	圧縮強度	$f_c(N/mm^2)$	30	
試験体寸法	断面幅	$b(mm)$	70	
	断面高さ	$h(mm)$	100	
	有効高さ	$d(mm)$	80	
	スパン長	$L(mm)$	600	
載荷条件	せん断スパン	$a(mm)$	250	200
	純曲げスパン	$L-2a(mm)$	100	200
主鉄筋	公称直径、本数	$D(mm)$	圧縮 $D4 \times 2$ 本 引張 $D6 \times 2$ 本	圧縮 $D4 \times 2$ 本 引張 $D10 \times 2$ 本
	降伏強度	$f_y(N/m^2)$	圧縮 375 引張 416	圧縮 375 引張 410
せん断補強筋 (スターラップ)	公称直径	$D(mm)$	4	4
	降伏強度	$f_{wy}(N/m^2)$	375	375
	間隔	$s(mm)$	100	120
鉄筋比	主鉄筋比 p		0.0113	0.0255
	主鉄筋の力学的鉄筋比 ϕ		0.157	0.348
	せん断補強筋比 p_w		0.00359	0.00299
	せん断補強筋の力学的鉄筋比 ϕ_w		0.0449	0.0374

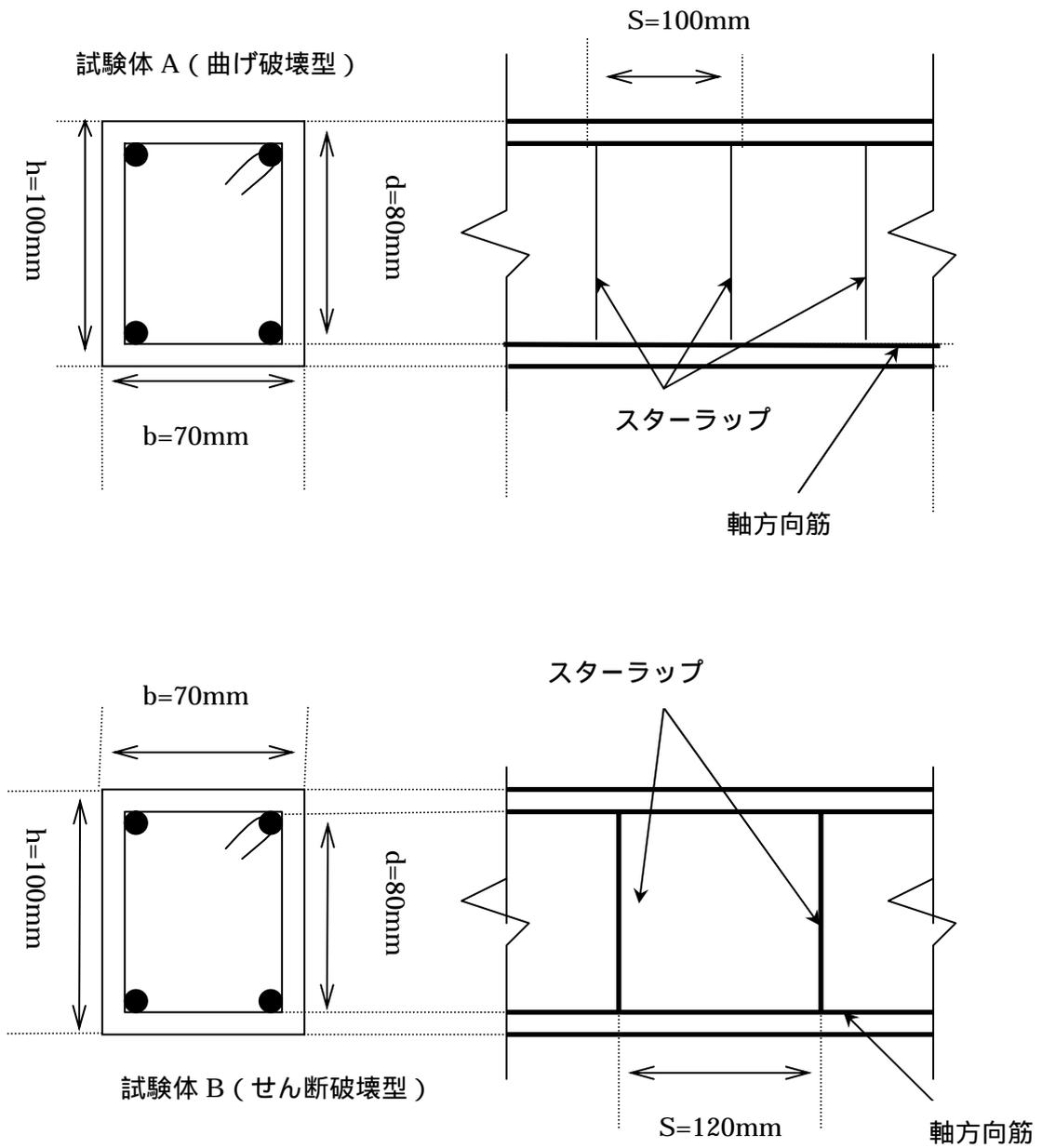


図2 断面諸元と配筋 (複鉄筋長方形断面)

2、断面耐力 / 諸強度の算定

2.1 試験体 A (曲げ破壊型)

(1) 曲げひび割れ発生強度

$$W = b \cdot h^2 / 6 = 70 \times 80^2 / 6 = 7.467 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$f_b = 0.42 \times f'_c{}^{(2/3)} = 4.055 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{曲げひび割れ発生モーメント : } M_{cr} = W \times f_b = 0.303 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{ひび割れ発生荷重 : } P_{cr} = \frac{2M}{a} = \frac{2 \times 0.303 \text{ kN} \cdot \text{m}}{0.25 \text{ m}} = 2.42 \text{ kN}$$

(2) 斜めひび割れ発生荷重

$$\text{コンクリート負担分せん断耐力 : } P_{cr} = 2 \times V_c = 10.9 \text{ kN}$$

$$\text{斜めひび割れ発生強度 : } V_c = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vc} \cdot b \cdot d = 5.43 \text{ kN}$$

ここで、

$$f_{vc} = 0.2 \times f'_c{}^{(1/3)} = 0.6214$$

$$\beta_d = (1/d)^{(1/4)} = 1.88 \rightarrow 1.50$$

$$\beta_p = (100 \times p)^{(1/3)} = 1.041$$

$$p = A_s / (b \times d) = 0.0113$$

$$\beta_n = 1 (\text{軸力0のため})$$

(3) 主鉄筋降伏強度

$$\text{中立軸比 : } k = -np + \sqrt{((np)^2 + 2np)} = 0.437 \quad (n = 15 \text{ とする})$$

$$\text{中立軸位置 : } x = k \times d = 0.437 \times 80 = 35.0 \text{ mm}$$

$$\text{降伏曲げモーメント : } M_y = A_s \cdot f_{sy} \cdot (d - x/3) = 1.80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(4) 曲げ終局強度

$$\text{曲げ終局耐力 : } M_u = pf_{sy} \cdot \left(1 - \frac{pf_{sy}}{1.7 \cdot f'_c} \right) \cdot bd^2 = 1.91 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{曲げ終局強度 : } P_u = \frac{2 \cdot M_u}{a}$$

$$a = 250 \text{ mm のとき、 } P_u = 15.3 \text{ kN}$$

(5) せん断強度

断面耐力： $V_y = V_c + V_s$

コンクリート負担分： $V_c = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vc} b d = 5.43 kN$

せん断補強筋負担分： $V_s = \frac{A_w f_{wy} z}{s}$

$$A_w = D4 \times 2 \text{本} = 25.1 \text{mm}^2$$

$$z = d / 1.15 = 69.6$$

$$\therefore V_s = 6.56 kN$$

$$\therefore V_y = V_c + V_s = 5.43 + 6.56 = 12.0 kN$$

せん断強度： $P_s = 2V_y = 24.0 kN$

2.2 試験体 B (せん断破壊型)

(1) 曲げひび割れ発生強度

$$W = b \cdot h^2 / 6 = 70 \times 80^2 / 6 = 7.467 \times 10^4 \text{mm}^3$$

$$f_b = 0.42 \times f'_c{}^{(2/3)} = 4.055 \text{N/mm}^2$$

曲げひび割れ発生モーメント： $M_{cr} = W \times f_b = 0.303 kN \cdot m$

ひび割れ発生荷重： $P_{cr} = \frac{2M}{a} = \frac{2 \times 0.303 kN \cdot m}{0.20 m} = 3.03 kN$

(2) 斜めひび割れ発生荷重

コンクリート負担分せん断耐力： $P_{cr} = 2 \times V_c = 1.085 \times 10^4 kN \cdot m$

斜めひび割れ発生強度： $V_c = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vc} \cdot b \cdot d = 7.13 kN$

ここで、

$$f_{vc} = 0.2 \times f'_c{}^{(1/3)} = 0.6214$$

$$\beta_d = (1/d)^{(1/4)} = 1.88 \rightarrow 1.50$$

$$\beta_p = (100 \times p)^{(1/3)} = 1.36$$

$$p = A_s / (b \times d) = 0.0255$$

$$\beta_n = 1 (\text{軸力0のため})$$

(3) 主鉄筋降伏強度

$$\text{中立軸比} : k = -np + \sqrt{((np)^2 + 2np)} = 0.572 \quad (n = 15 \text{とする})$$

$$\text{中立軸位置} : x = k \times d = 45.8 \text{mm}$$

$$\text{降伏曲げモーメント} : M_y = A_s \cdot f_{sy} \cdot (d - x/3) = 3.80 \text{kN} \cdot \text{m}$$

(4) 曲げ終局強度

$$\text{曲げ終局耐力} : M_u = pf_{sy} \cdot \left(1 - \frac{pf_{sy}}{1.7 \cdot f'_c}\right) \cdot bd^2 = 3.70 \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{曲げ終局強度} : P_u = \frac{2 \cdot M_u}{a}$$

$$a = 200 \text{mm} \text{のとき、} P_u = 37.0 \text{kN}$$

(5) せん断強度

$$\text{断面耐力} : V_y = V_c + V_s$$

$$\text{コンクリート負担分} : V_c = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vc} bd = 7.13 \text{kN}$$

$$\text{せん断補強筋負担分} : V_s = \frac{A_w f_{wy} z}{s}$$

$$A_w = D4 \times 2 \text{本} = 25.1 \text{mm}^2$$

$$s = 120 \text{mm}$$

$$z = d / 1.15 = 69.6 \text{mm}$$

$$\therefore V_s = 5.46 \text{kN}$$

$$\therefore V_y = V_c + V_s = 7.13 + 5.46 = 12.6 \text{kN}$$

$$\text{せん断強度} : P_s = 2V_y = 25.2 \text{kN}$$

表 2 破壊モードと最大荷重

	断面耐力		終局強度 (荷重 P による表示)	
	試験体 A	試験体 B	断面 A	断面 B
曲げ系	1.91kN・m (Mu)	3.70kN・m (My)	Pu=15.3kN	Pu=37.0kN
せん断系	12.0kN (Vy)	12.6kN (Vy)	Ps=24.0kN	Ps=25.2kN
破壊形式	-	-	曲げ破壊	せん断破壊
最大荷重	-	-	Pmax=15.3kN	Pmax=25.2kN

表 3 構造計算書まとめ

	試験体 A	試験体 B	備考
曲げひび割れ発生時			
ひび割れ発生モーメント: M _{cr}	0.303kN・m	0.303kN・m	
ひび割れ発生荷重: P _{cr}	2.42kN	3.03kN	
斜めひび割れ発生時			
ひび割れ発生強度: V _c	5.43kN	7.13kN	
主鉄筋降伏時			
降伏モーメント: M _y	1.80kN・m	3.80kN・m	n=15 で算出
降伏荷重: P _y	14.4kN	38.0kN	
曲げ終局耐力			
曲げ終局耐力: M _u	1.91kN・m	3.70kN・m	
曲げ終局荷重: P _u	15.3kN	37.0kN	
せん断耐力			
せん断強度: V _s	11.9kN	12.6kN	
せん断破壊荷重: P _s	23.8kN	25.2kN	
破壊形式	曲げ破壊	せん断破壊	
最大荷重	15.3kN	25.2kN	
実験値			
初期ひび割れ発生荷重	5.00kN	7.50kN	
軸方向鉄筋降伏荷重	13.9kN	-	
破壊形式	曲げ破壊	せん断破壊	
最大荷重	15.5kN	26.0kN	

付録 : 材料レベル / 断面レベル / 部材レベルの考え方

材料強度

鉄筋：降伏強度 f_y

コンクリート：圧縮強度 f'_c

断面耐力

(材料 + 断面寸法 (b, d))

降伏モーメント M_y

曲げ耐力 (曲げ終局モーメント M_u)

せん断耐力 V_y

部材強度

断面耐力 + 部材寸法 (L, a)

曲げ降伏強度 P_y

曲げ強度 P_u

せん断破壊荷重 P_s

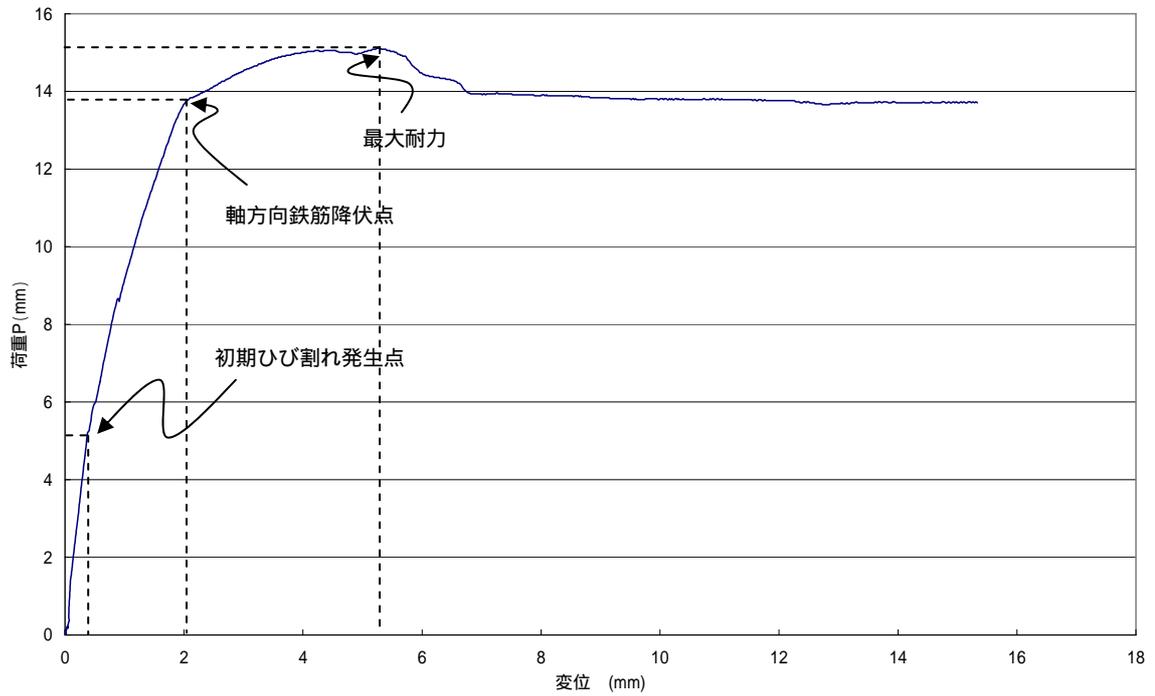
構造耐力

ラーメン橋、門型橋脚

構造系の耐力

4、荷重 - 変位関係

【供試体 A (曲げ破壊)】



【供試体 B (せん断破壊)】

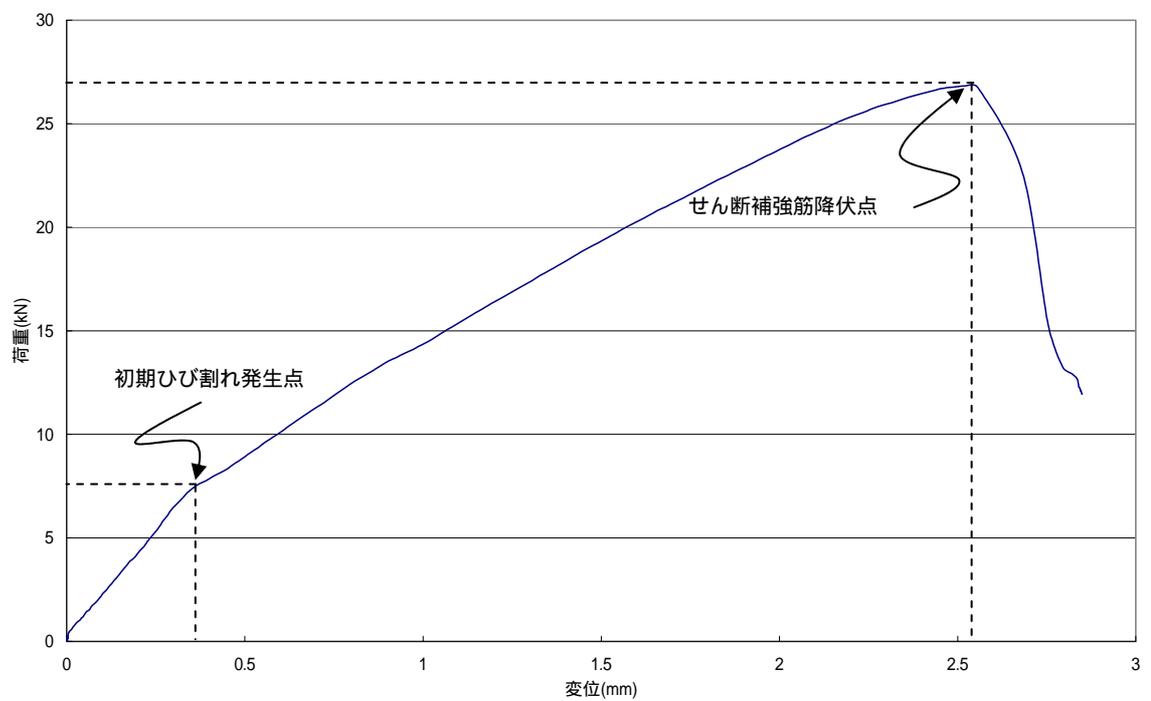


図3 荷重 - 変位曲線

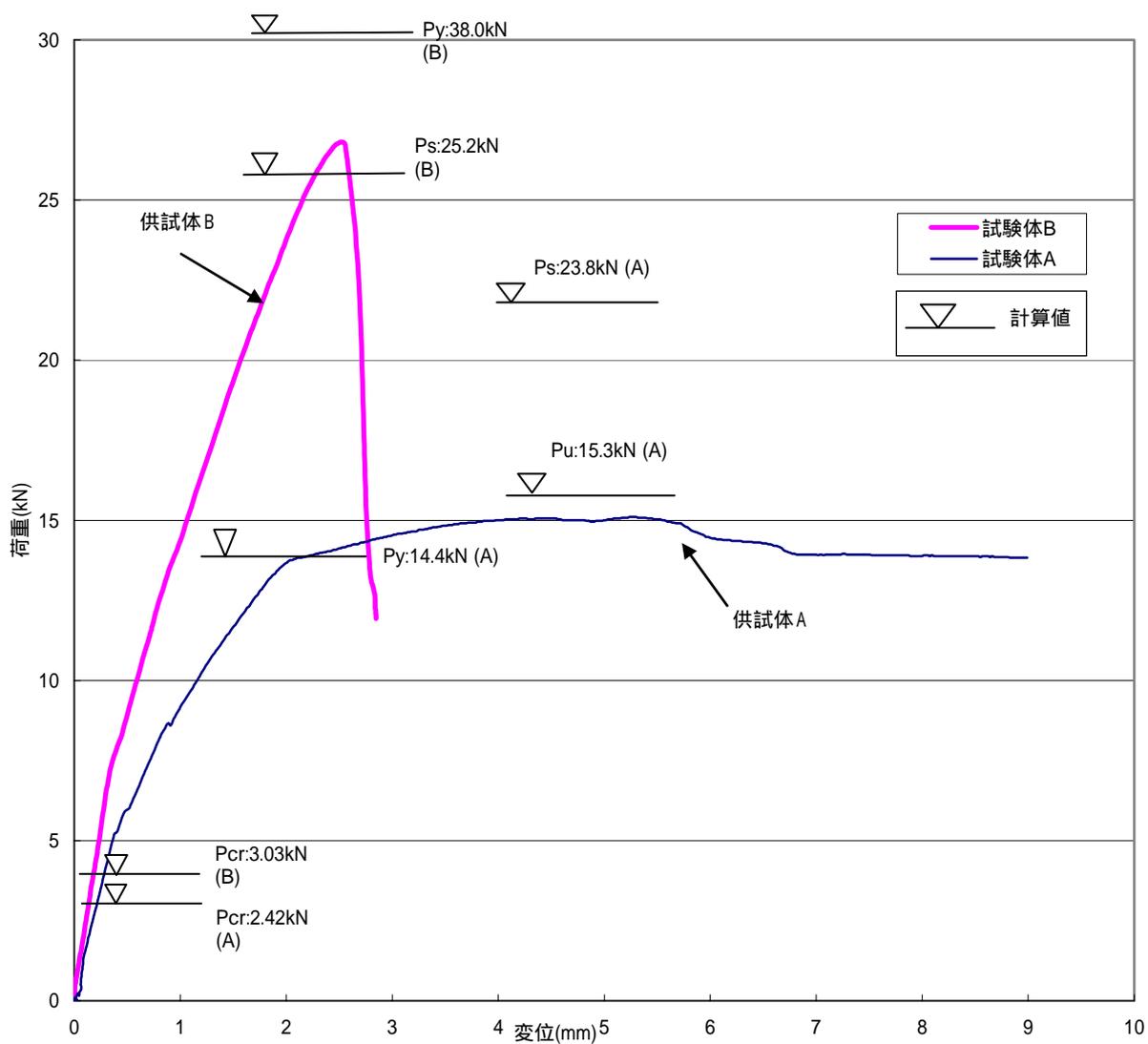


図4 荷重 - 変位関係 (供試体AとBの比較)

<参考文献>

[1] 吉川弘道：鉄筋コンクリートの設計・限界状態設計法と許容応力度設計法、丸善株式会社、2004.6

付録 : 弾性解の算定

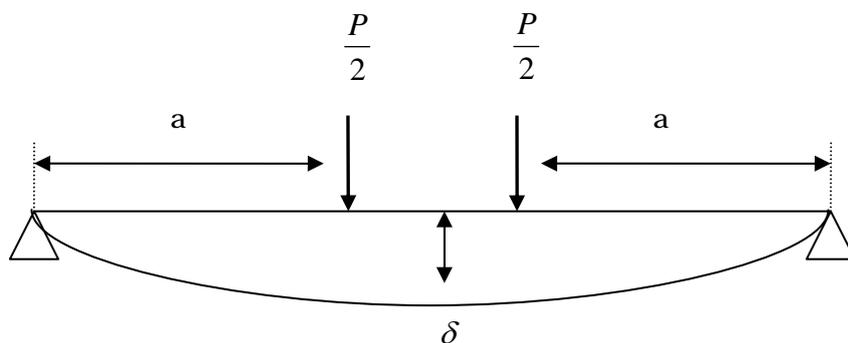


図5 荷荷条件

上記の際の \$\delta\$ は,

$$\delta = \frac{aPL^2}{48EI} \cdot \left(3 - \frac{a^2}{L^2}\right) \text{となる。} \quad \dots (*)$$

\$P = k \cdot \delta\$ とおくと,

$$k = \frac{48EI}{aL^2} \cdot \frac{1}{3 - \frac{a^2}{L^2}}$$

今回の実験では、コンクリート強度 : \$f'_c\$ (弾性係数 : \$E\$) 断面 2 次モーメント : \$I\$ は同じである。

$$f'_c = 30 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow E = 28 \text{ kN/mm}^2$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{70 \times 100^3}{12} = 5.83 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

表 1 , B 班のせん断スパン

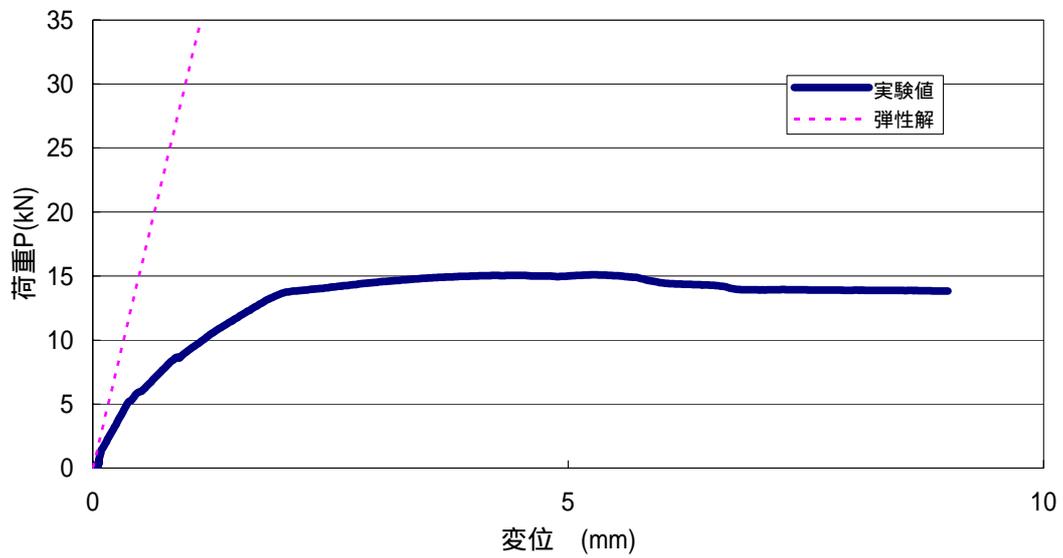
		供試体 A (曲げ破壊)	供試体 B (せん断破壊)
せん断スパン a	B 班	250mm	200mm

表 2 , B 班の弾性解

		供試体 A (曲げ破壊)	供試体 B (せん断破壊)
弾性解 k	B 班	30.8kN/mm	37.7kN/mm

以上のことを(＊)の式に当てはめたものが、次にまとめた図である。

【供試体 A (曲げ破壊)】



【供試体 B (せん断破壊)】

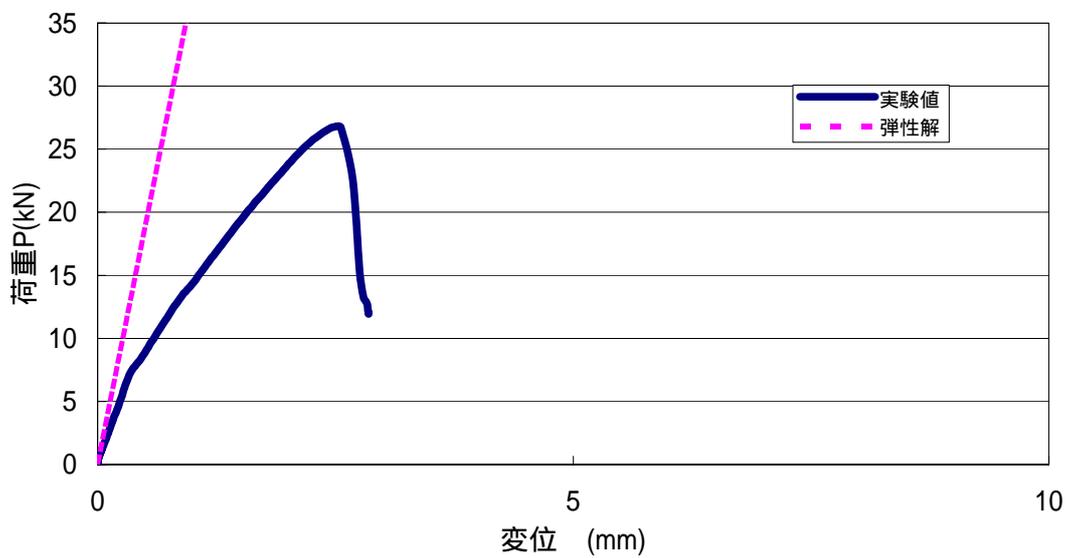


図6 荷重 - 変位関係 (弾性解)