

地震荷重を受けるPCはり・柱接合部の変形状に関する研究

京都大学 六車 照¹⁾ 同富 永 恵²⁾
後藤 英 遠³⁾ 同佐野 善志夫⁴⁾

1. はじめに コンクリート系剛接ラーメンに地震力のような水平力が作用すると、上、下の柱または左右のはりの曲げモーメントの作用方向とその大きさが柱・はり接合部で急変する。通し鉄筋がこのような状態の接合部に配置されていると短かい接合部柱文の間に一本の鉄筋の応力が引張から圧縮へ急変するため、通し鉄筋と接合部コンクリート間に大きな付着応力が働かねばならない。用いる鉄筋の付着耐力が大きければ、通し鉄筋に沿って接合部に大きな付着せん断力が作用し、接合部コンクリートにせん断ひびわれが発生してその剛性が急激に低下する。一方、鉄筋の付着特性が適当であるか、或いは接合部コンクリートのせん断補強が充分であれば、通し鉄筋はかなりの付着耐力を発揮しつつ、コンクリートとの間に相対滑りを生じ、その間にエネルギー吸収能力を期待できる。鉄筋の付着耐力が極端に小さければ通し鉄筋は簡単に相対滑りを生じ、応力が平均化される結果、接合部に隣接する部材耐力の低下を招くことになる。いずれにしろ、鉄筋の相対滑りにより接合部から鉄筋が抜け出したり、また、接合部コンクリートにひびわれが生じて接合部にせん断ひびわれが生じると、隣接部材の接合部端に付加回転角を与えることになる。

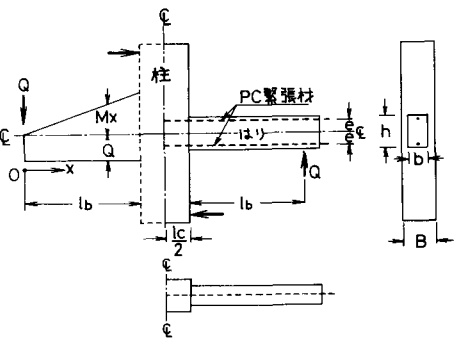
柱とプレストレストコンクリート（以下PCと略記）はりとは共通緊張材でポストテンションおよびグラウト施工した場合、コンクリートに埋込んだ普通鉄筋の場合と比較してグラウトの付着特性が劣るものと考えられ、特に繰返し交番的な激烈な地震力をうける接合部で付着の殆どない状態になると考えられる。ある場合には付着なしPC部材の施工性が良いことに注目して、特殊な表面処理を行ったPC緊張材を用いて、最初からボンドなしとしたPC構造物も実際に作られている。

本研究は地震荷重をうける、このような付着の完全でないPCはり・柱接合部の耐力や剛性評価に不明の点が多いことを考慮して、完全に付着のない場合や多少劣化している場合、緊張材の相対すべりが耐力や剛性評価におよぼす影響について理論的および実験的に明らかにすることを目的としている。

2. 付着のないPCはり・柱接合部の耐力と変形状

PCはり中の緊張材全長にわたりコンクリートとの間の付着がない、オノ図に示すようなPCはり、柱接合部が逆対称荷重をうける場合について、その耐力と変形状を下記の仮定のもとに求める。

- 緊張材はその全長にわたりグラウト等による付着がなく、かつ、部材変形後シース周壁との接触による摩擦をも無視する。
- PCはりの破壊はその固定端の圧縮側コンクリートの圧壊によって生じるが、破壊に対するせん断耐力の影響を無視する。



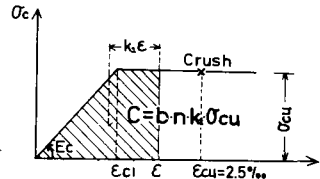
オノ図 逆対称荷重をうける柱・はり接合部

- 工学部教授
- 同助教授
- 同学生
- 同大学院生

(iii) コンクリートはオ2図に示す圧縮応力-ひずみ特性 $\sigma = f(\epsilon_c)$ を有するものとし、引張に対し抵抗しない。

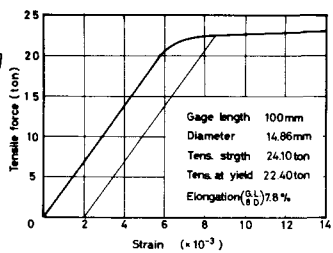
(iv) 緊張材はオ3図に示す緊張力-ひずみ特性 $P = g(\epsilon_s)$ を有する。

(v) ある変形状態における緊張材全長の伸び変化量と緊張材位置コンクリートの全伸び変化量は等しく、せん断ひずみは無視する。



オ2図 コンクリートの応力-ひずみ曲線

仮定(i)より緊張材緊張力はその長さ方向との位置でも同じ緊張力となる。仮定(ii)はシャースパン比 l_b/h がある程度大きい、または、約1以下小さい値であれば認め得る。仮定(v)の中で柱状部のコンクリートひずみ分布を如何にとるか疑問のあるところであるが、後述のようにこのひずみ分布の影響は小さいことが判った。



オ3図 PC鋼材の引張力-ひずみ曲線

2-1. オ1図に示したはり載荷端($x=0$)から柱取付部固定端($x=l_b$)

間の終局時各断面応力、ひずみ分布はオ4図に示す段階に大別でき

る。対称性と仮定(i)とから上下緊張材存在力は等しく、有効緊張力 P_0 および終局時存在力 P_u とすると、 $P_{0c} = P_{0t} = P_0$, $P_{uc} = P_{ut} = P_u$ となる。終局時の固定端曲げモーメントを M_u で表わす。以下、緊張材位置コンクリートひずみ互対照して、各段階毎に伸び変化量を求める。

(i) ひびわれ未発生域 ($0 \leq x \leq x_1$)

$$\text{ひびわれ発生位置 } x_1, \quad x_1 = \frac{4 l_b I_c}{A_c h j}, \quad j = \frac{M_u}{P_u} \quad (M_{x=l_b} = M_u) \quad (1)$$

$$\text{有効緊張力による圧縮ひずみ } \epsilon_{0\epsilon} = \frac{2 P_0}{E_c A_c}, \quad (\epsilon \text{ は各々上下緊張材位置ひずみ}) \quad (2)$$

$$\text{終局時圧縮ひずみ } \epsilon_{u\epsilon} = \pm \frac{M_x \cdot e}{E_c I_c} + \frac{2 P_u}{E_c A_c} \quad (3)$$

$$\text{ひずみ変化量 (2)式-(3)式 } \Delta \epsilon_{1\epsilon} = \frac{2(P_0 - P_u)}{E_c A_c} \mp \frac{M_x \cdot e}{E_c I_c} \quad (4)$$

緊張材位置コンクリート伸び変化量を求めるため(4)式 $\Delta \epsilon_{1\epsilon}$ を $x=0$ から x_1 まで積分すると

$$\Delta \epsilon_{1\epsilon} = \int_0^{x_1} \Delta \epsilon_{1\epsilon} \cdot dx = \frac{2(P_0 - P_u)}{E_c A_c} \cdot x_1 \mp \frac{M_u e x_1^2}{2 l_b E_c I_c} \quad (5)$$

(ii) ひびわれが発生し、かつコンクリート圧縮応力は弾性限以下 ($x_1 \leq x \leq x_2$)

コンクリート圧縮へり応力が弾性限 σ_{cx} になる位置 x_2 は、軸力およびモーメントの釣合より求まる。

$$\text{軸力の釣合 } P_u = \frac{1}{2} \int_0^{x_2} b f \left(\frac{\sigma_{cx}}{n_x} \cdot z \right) dz = \frac{b E_c \sigma_{cx} \cdot n_x}{4} \quad (6)$$

$$\text{モーメントの釣合 } M_x = P_u \left(\frac{h}{2} + e - n_x \right) - P_u \left(n_x - \frac{h}{2} + e \right) + \int_0^{x_2} b f \left(\frac{\sigma_{cx}}{n_x} z \right) z dz = P_u \left(h - \frac{2}{3} n_x \right) \quad (7)$$

$$\text{オ1図より } M_x = \frac{x}{l_b} M_u \text{ であるから、(7)式より } n_x = \frac{3}{2} \left(h - \frac{x}{l_b} \cdot j \right) \text{ となる。} \quad (8)$$

(8)式で $x = x_2$ とするとき、(6)式で $\sigma_{cx} = \sigma_{c1}$ とする。

(8)、(6)式から

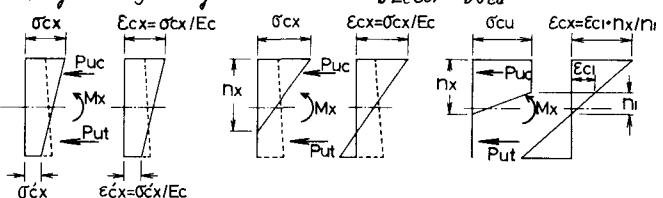
$$\text{終局時圧縮ひずみ } x_2 = \left(\frac{-8 P_u}{3 b E_c \sigma_{c1}} + h \right) \cdot \frac{l_b}{j} = \left(h - \frac{8}{3} m \right) \cdot \frac{l_b}{j}, \quad \text{ここで } m = \frac{P_u}{b E_c \sigma_{c1}} = \frac{P_u}{b \sigma_{cu}} \quad (9)$$

$$\epsilon_{u\epsilon} = \frac{\sigma_{cx}}{n_x} \left\{ n_x - \left(\frac{h}{2} + e \right) \right\} \quad (10)$$

ひずみ変化量 (2)式-(10)式

$$\Delta \epsilon_{2\epsilon} = \frac{2 P_0}{E_c A_c} - \frac{\sigma_{cx}}{n_x} \left(n_x - \frac{h}{2} + e \right) \quad (11)$$

緊張材位置コンクリート伸び変化量



を求めるため、(11)式 $\Delta \epsilon_{2\epsilon}$ を $x = x_1$ (i) $0 \leq x \leq x_1$

(ii) $x_1 \leq x \leq x_2$

(iii) $x_2 \leq x \leq l_b$

式から $x = x_2$ (9)式まで積分する。

オ4図 PCはり軸方向の断面応力、ひずみ分布の3段階

$$\Delta l_{\frac{1}{2}} = \int_{x_1}^{x_2} \Delta \epsilon_s dx = \frac{2P_0(x_2-x_1)}{E_c A_c} + \frac{16P_0}{9bE_c} \left\{ \frac{3lb}{2j} \log \left(\frac{h-\frac{x_2}{lb}j}{h-\frac{x_1}{lb}j} \right) + \frac{(e-\frac{h}{2})(x_2-x_1)}{(h-\frac{x_2}{lb}j)(h-\frac{x_1}{lb}j)} \right\} \quad (12)$$

(iii) ひびわれが発生し、かつ、コンクリート圧縮へり応力が降伏している範囲($x_1 \leq x \leq x_2$)

PCはり固定端のコンクリート圧縮へりひずみがオ2図の ϵ_{cu} に達するときを終局とすると、 $\epsilon_{cx} = \epsilon_{cu}$ であり、オ4図(c)を参照して前項と同様に釣合式が成立つ。

$$\text{軸力の釣合} \quad P_u = b\sigma_{cu}(2N_x - N_1)/4 \quad (13)$$

$$\text{モーメントの釣合} \quad M_x = \frac{x}{lb} M_u = P_u(h - 2N_x) + \frac{2P_u}{3(2N_x - N_1)}(3N_x^2 - N_1^2) \quad (14)$$

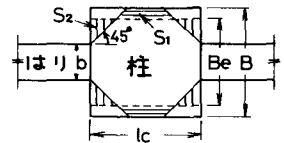
$$(13), (14) \text{式および } \epsilon_{cx} = \frac{\sigma_{cu}}{E_c} \cdot \frac{N_x}{N_1} \text{ とから } N_1 \text{ を消去すると } N_x \text{ が求まる。 } N_x = 2m + \sqrt{6m} \sqrt{2m + h - \frac{x}{lb}j} \quad (15)$$

緊張鉄位置ひずみ変化量は前項と同様に(11)式で与えられ、これを $x = x_2$ (9)式から $x = lb$ まで積分すると

$$\Delta l_{\frac{3}{2}} = \frac{2P_0}{E_c A_c} (lb - x_2) - \frac{\epsilon_{c1}}{2} (lb - x_2) + \frac{\epsilon_{c1} lb (2m - \frac{h}{2} \pm e)}{\sqrt{6m} \cdot j} (\sqrt{2m + h - \frac{x}{lb}j} - \sqrt{2m + h - \frac{x_2}{lb}j}) \quad (16)$$

(iv) 柱・はり接合部 ($lb \leq x \leq lb + lc$)

接合部の緊張鉄位置におけるコンクリートの伸びひずみ変化量 $\Delta l_{4\frac{1}{2}}$ は、はり・柱断面の大きさとその相対的關係、接合部コンクリートのひびわれの有無とせん断補強の程度、柱軸圧力とモーメントの大きさなどによりオ5図 柱・はり接合部の応力分布の仮定変化する。ここでは次の様に柱中方向への応力分散のみを考慮した3種の簡単ひずみ分布を仮定して、その影響を調べた。



オ1表 柱部ひずみの影響

	$lc = 70 \text{ cm}$			$lc = 30 \text{ cm}$		
	a	b	c	a	b	c
$P_u \text{ (t)}$	15.95	15.13	15.65	15.60	15.16	15.45
$M_u \text{ (t}\cdot\text{m)}$	2.09	2.04	2.07	2.07	2.04	2.06
$Q_u \text{ (t)}$	2.99	2.91	2.96	2.95	2.91	2.94
はり部 $\Delta l_{\frac{1}{2}}(10^{-3})$	34.6	76.4	42.1	54.2	74.6	56.2
柱部 $\Delta l_{\frac{1}{2}}(10^{-3})$	498.0	0	332.5	332.5	0	152.2

(a) 左右はり固定端緊張鉄位置コンクリート圧縮、引張ひずみを境界値として、柱丈方向にひずみ分布が直線的に変化する場合。

(b) 接合部コンクリートひずみ分布を無視する場合。

(c) (a)の場合のひずみがオ5図で決まる柱有効巾 Be で平均化されて分布する場合。ここで

$$Be = \frac{Z(lc+b)B - b^2 - B^2}{2lc}, \quad B \leq lc + b$$

$$Be = \frac{lc + Zb}{2}, \quad B \geq lc + b$$

2-1. 終局耐力の計算方法

終局状態における緊張鉄伸びひずみは(17)式で与えられる。

$$\epsilon_s = \sum \Delta l_{\frac{1}{2}} = \epsilon_{0\frac{1}{2}} + \frac{\sum \Delta l_{\frac{1}{2}}}{(2lb + lc)} \quad (17)$$

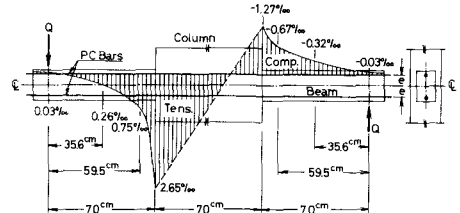
これは緊張鉄緊張力 P_u の函数であるが、同時に緊張鉄の引張力-ひずみ曲線 $P = g(\epsilon_s)$ を満足していないといけない。(17)式と $P = g(\epsilon_s)$ 関係から P_u を直接求めることができないので、Try and error的に、緊張鉄緊張力 P_u を求め、(13)式(14)式から固定端終局曲げモーメント M_u を計算する。

2-3. 数値計算と結果

次のような仕様のはり・柱接合部について数値計算を行なった。

有効緊張力 $P_u = 15000 \text{ kg}$ 、偏心距離 $e = 7.0 \text{ cm}$ 、柱巾 $B = 20 \text{ cm}$ 、はり巾 $b = 12 \text{ cm}$ 、はり丈 $h = 20 \text{ cm}$ 。

はり長さ $lb = 70 \text{ cm}$ 、柱巾 $lc = \begin{cases} 70 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$ 、コンクリート圧縮強度 $\sigma_{cu} = 400 \text{ kg/cm}^2$ 、同ひずみ $\epsilon_{c1} = 1.3\%$ 、 $\epsilon_{cu} = 2.5\%$ 。オ1表はその結果を示したもので、柱接合部のひずみ分布の影響を(a)~(c)まで各種考



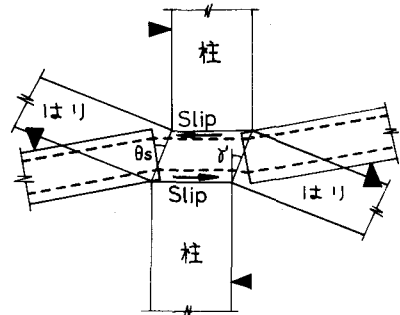
オ6図 緊張鉄位置におけるコンクリートのひずみ分布例 ($lb = lc = 70 \text{ cm}$, $P_u = 15950 \text{ kg}$)

慮してもあまり差がないことが判った。

緊張材とコンクリートとの間の付着が完全で、断面の平面保形が成立つとして求めた終局曲げモーメントは $M_u = 2.94 \text{ t}\cdot\text{m}$ であり、付着のないオノ表の場合のそれと比べて $M_u/M_u \leq 7\%$ となり、付着のない場合の耐力低下が著しいことが明らかである。

3. 付着のあるPCはりの変形と耐力

付着が完全にある場合、接合部に隣接する部材には接合部のせん断変形角のみが付加回転角として生じる。しかしグラウト等により付着があっても、付着せん断耐力がある限度を超過すると緊張材とコンクリートとの間に相対すべりが生じ、オク図に示すような隣接部材との境界で付加回転角 θ_s が生じる。付加回転角 θ_s の大きさは緊張材鉄筋比、緊張材の付着特性、柱軸圧、柱丈などに



オク7図 接合部変形状態

関係し、一概に評価することが難しい。ここでは θ_s に対する柱丈の影響を実験によって明らかにする。

4. PCはり・柱接合部の逆対称載荷試験

はり・柱接合部の種々の力学性状のうち、特に緊張材の応力分布とそのコンクリートとの相対すべり量について知見を得ることを当面の課題とする。

オク2表 試験計画表

試験体名	緊張材の断面形状と寸法 (mm)	導入圧入深さ (mm)	緊張材の断面形状と寸法 (mm)	柱の寸法 (mm)	備考
JAPN-C300				300	緊張材導入時の圧入深さは77%
JAPN-C500				500	
JAPG-C300				300	試験体12連
JAPG-C500				500	

4-1. 実験計画

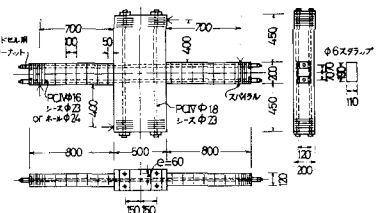
実験に用いた試験体はオノ表に示す4種で、その寸法詳細をオク8図に示す。下記の条件設定を行なった。

- 接合部の鋼とコンクリートとの付着せん断力分布と柱断面丈との関係を明らかにするための、柱丈を300mmと500mmとした。
- 柱軸圧力は接合部の付着性状に大きな影響を及ぼすと思われる。ここではPC鋼棒によって $70\text{kg}/\text{cm}^2$ の柱軸圧力を導入したが実験中の調整は行われなかった。
- はりが終局状態に達しても柱にはほとんど損傷が生じないように柱とはりの寸法比を求めた。接合部自体の変形状態については将来の課題とするためである。
- 交番繰返し載荷による付着の劣化性状については主な目的としない。ここではその極端な場合として付着なしPCはり・柱接合部の載荷試験を行なう。

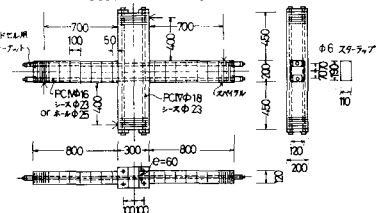
(V) PCはりが比震荷重をうける直前にその断面に生じている有効導入応力分布は、PC構造特有の緊張力導入順序と施工法によって変る。今回は常時荷重状態で導入圧縮力中心が断面重心にあるものとし、かつ、柱の左右PCはりの正負両方向荷重に対する断面性能を同一とした。

(VI) 通常、PC部材の平均導入応力は約 $F_{0.6}$ となる。はりの曲げ抵抗モーメントを大きくとれば、接合部の付着性状に厳しい条件を設けることになるので、大口径PC鋼棒を採用した。その引張鉄筋係数は0.41である。

JAPN-C500とJAPG-C500



JAPN-C300とJAPG-C300



オク8図 試験体形状寸法および詳細

4-2. 材料 本研究に用いた実験材料は下記の各項のとおりである。

(ii) 骨材 細骨材：野洲川産，最大粒径 5mm，粗粒率 F.M.=2.42。粗骨材：大阪セメント KK 製ライオンait，最大粒径 20mm，FM=6.78。

(iv) 鋼材緊張材：PCはり緊張力導入用として高周波熱線KK製TV種丸鋼棒φ16mmを用い、両端ネジナット定着方式とした。PC鋼棒の応力-ひずみ曲線はオス図に示すものと同じである。普通鉄筋：

(V) シース, $\phi 23\text{mm}$ 鉄板製ワインディングシース。

(vi) グラウト、ポンプ注入の容易さを考慮してその水セメント比を45%とした。

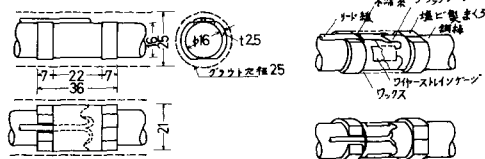
4-3. 載荷方法 地震荷重を模した逆対称載荷を行なった。すなわち、第9図に示す鋼製ロ型フレームを反力受けとして、油圧ジャッキによって載荷した。ばり自由端載荷点では10 ton ジャッキと5 ton ロードセルとを1対として、Yoke 固定位置を変えることによって常にロードセルに圧縮力を作用させて、上下両方向に載荷できるようにになっている。柱の水平反力はローラを通して上下対称位置に作用するが、柱の垂直姿勢制御のため油圧ジャッキを用いた。載荷試験直前に柱内のシースに

4-φ18mm PC 鋼棒を挿入して、柱軸圧力が 70 kg/cm^2 となるように緊張した水試験中の調節は行われなかった。

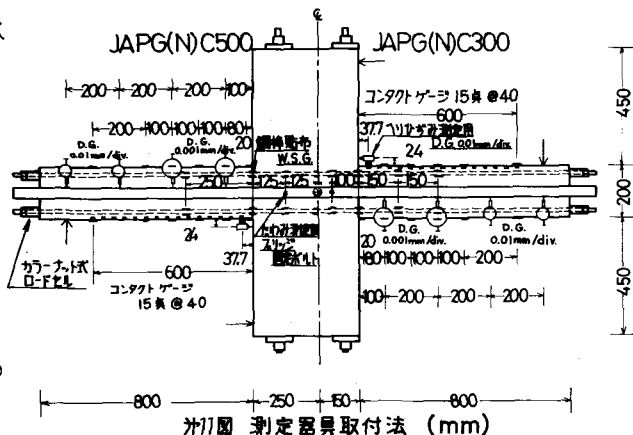
4-4. 測定方法 実験に用いた測定方法を項目別に記す。

(i) 載荷によるはり緊張用PC鋼棒存在力
変化量の測定は下記の方法によった。

(2) 定着端部においては定着板と定着テープ間に表面に電気抵抗線ひずみゲージ(以下W. S. G. と略記)を貼付した外径30 mm、肉厚6 mm、長さ60 mmのSCM 2鋼シ



外10図 PC鋼棒ひずみ測定用W.S.G.貼付方法(mm)



リングを挿入し、緊張刀導入時および載入時および載荷試験中の緊張材存在力検出用ロードセルとして用いた。

(b) 定着端以外の緊張材存在力の変化はつぎのような方法によって求めた。グラウト注入をしない場合はシースと緊張材との間の摩擦が無視せうとして、定着端ロードセルより求めた緊張材存在力がその全長にわたって生じているとした。グラウトを注入する場合には緊張材の長さ方向所定の位置で、その表面にW.S.G.を貼付して存在力変化量を実測した。載荷中に試験体に変形して緊張材とシース間に相対滑りや側圧が生じW.S.G.が損傷しないようにオ10図に示すような塩ビ製枕の間にW.S.G.を貼付し、防湿と緩衝材をかためワックス処理した。グラウト注入試験体の場合は鉄板製シースを用いないで試験体製作時にφ25mm磨き鋼管を緊張材位置に配置し、コンクリート硬化後鋼管を引き抜いてできた孔へ緊張材を挿入した。W.S.G.リード線は緊張材に沿って定着端から引き出した。

(ii) PC はりコンクリートひずみの測定は次のような方法を併用した。

(a) はりの上下面中央のへりひずみをW.S.G. (G.L.=32mm) で測定した。

(b) はりの面上下へりから5mm位置のひずみを検長40mmのコンタクトゲージで測定した。

(c) はり固定端引張へりひずみをDial gage (0.01mm/div) で測定した。

(iii) PC はりのたわみ曲線の測定

接合部にはせん断ひびわれなどが生ぜず大変形がないので、接合部に埋め込んだボルトにアルミ製測定棒を固定し、それとPC はりとの相対たわみを所定の位置でDial gage (0.001mm & 0.01mm/div.) により測定した。

以上の各測定方法の詳細はオ11図に示した。

4-5 PC はりの緊張力導入

PC はりに対する緊張力の導入はコンクリート収縮が約2ヶ月のときに行なった。導入時コンクリートの弾性係数とPC はりに生じたひずみから求めた導入緊張力と

定着端カラーナット式ロードセルから求めたそれとの平均値をもって導入緊張力とした。グラウト注入試験体の場合、シースの代りに明けた緊張材挿入孔のかぶりコンクリートが小さくなりすぎ、定着端でコンクリートに割裂きの危険が生じ、導入緊張力を約2/3とした。

4-6. 載荷試験結果 載荷試験は収縮約3ヶ月のとき行なったオ4表に載荷試験時試験体性質と結果の一部を示す。以下項目別に述べる。

(i) PC はりの軸方向相対たわみ分布はいづれも滑らかな曲線であるが、その勾配の変化から固定端の曲率を求めることはできなかった。また、載荷荷重が増しPC はり固定端にヒンジが生じるにつれ相対たわみ分布曲線の形が変化するという事は殆ど認められなかった。(図略)

(ii) コンタクトゲージで測定した

はり上下へりひずみ分布より、左箱側へりひずみ分布は終局に至るまで滑らかで、その最大値は約3.5~4.0%となっている。(図略)

オ3表 導入時コンクリート性状と導入緊張力

試験体 名称	コンクリート 材料 (B)	圧縮強度 (f_{cu})	弾性係数 (E_c)	弾性係数 (E_s)	導入緊張力 (ton)					
					位置	計算値	測定値	平均	標準偏差	係数
JAPN -C300	56	4.45	$\times 10^5$	2.18	P ₁	169	170	156	155	163
JAPN -C500	56	4.45	$\times 10^5$	2.18	P ₁	170	166	154	154	162
JAPG -C300	65	3.22	2.10×10^5	1.18	P ₁	11.8	11.6	10.3	10.1	11.0
JAPG -C500	61	3.51	2.11×10^5	1.16	P ₁	10.8	9.6	9.9	11.0	10.4

オ4表 試験時試験体諸性状

試験体 名称	コンクリート 材料 (B)	圧縮強度 (f_{cu})	弾性係数 (E_c)	弾性係数 (E_s)	有効緊張力 (TON)	位置	終局時性状					
							荷重	変位	変位	変位	変位	変位
JAPN -C300	91	4.25	3.4	$\times 10^5$	15.7	15.5	2.07	2.27	3.69	17.2	15.9	3.01
JAPN -C500	98	4.25	3.4	2.23	15.3	15.0	2.06	2.20	3.65	17.2	15.7	3.01
JAPG -C300	101	3.30	2.7	1.97×10^5	10.3	10.1	1.75	1.61	3.82	12.7	14.9	3.79
JAPG -C500	88	3.79	3.8	2.10×10^5	10.5	9.9	1.75	1.65	3.74	14.2	12.5	3.79

(iii)へりひず

みより計算した曲率分布をオ12図に示す。付着のある方が、又、柱丈の大きい方が曲率の降伏長さが長い傾向にある。

(iv)載荷点の荷重とたわみ関係は実験から得られた

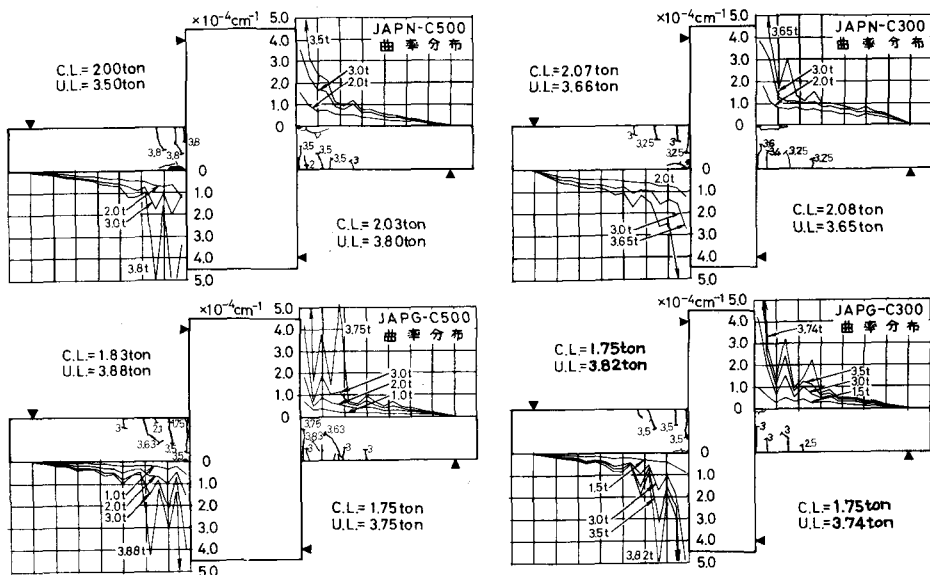
はりの曲率分布の積分値とよく一致し、この場合、接合部

やはりのせん断変形の影響は無視できることが判った。

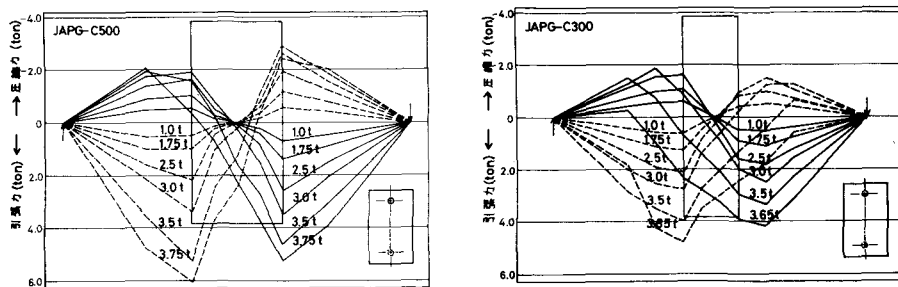
(v)オ13図はグラウト注

入試験体の

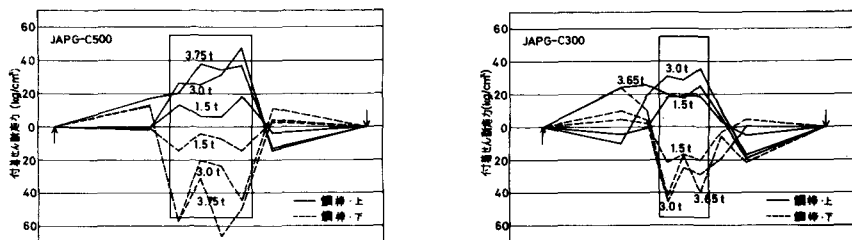
緊張筋存在力の載荷による変化量 $P(x)$ 分布を示す。PCはりには曲げひびわれが発生するまでその分布は殆ど対称的に変化する。引張側柱面より柱の内側に緊張筋の存在力変化量が引張である範囲を定着長さと呼ぶれば、ひびわれ発生後急激に定着長さが長くなり、終局時にはその影響が柱の反対側のはり部にまで及ぶ。JAPG-C300の場合では引張側緊張筋の変化量最大値が柱面より少し離れ



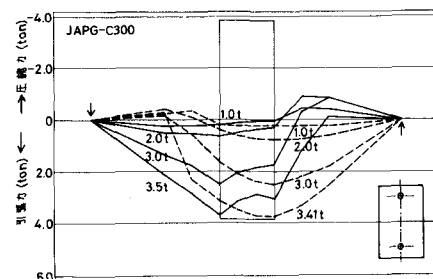
オ12図 ひびわれ図と曲率分布



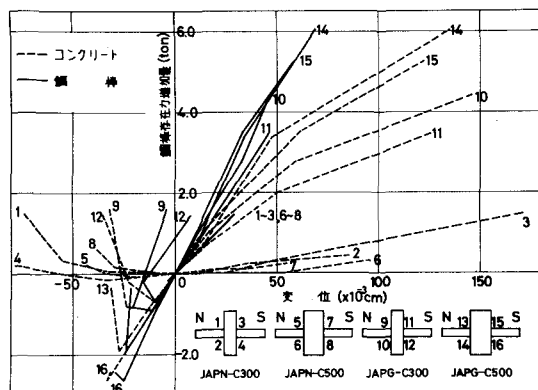
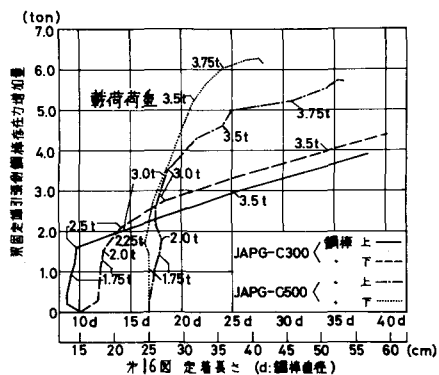
オ13図 PC鋼棒存在力増加量分布



オ14図 PC鋼棒付着せん断応力分布



オ15図 PC鋼棒存在力増加量分布



オ17図 は1)固定端の鋼線位置のコンクリートおよび鋼線の変位

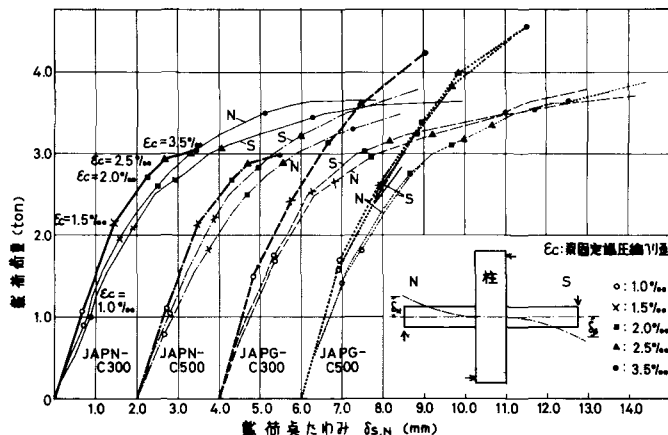
たところに生じ、柱丈が小さく定着が不完全で

あるとすべりを起して緊張筋存在力の緩和が生じるものと考えられる。オ16図は定着長さとはり固定端引張側緊張筋の載荷による変化量との関係を示したもので、柱丈が500mmの場合にはびわれ荷重以上で定着長さがあまり増加しないのに対し300mmの場合は急激に増加することは明らかである。オ15図は柱丈が300mmの場合に終局時まで載荷した後、次に逆方向に載荷したときの $P(X)$ 分布を示したもので、処女載荷のときに比し、引張力支配域が格段に長くなっていることが判る。

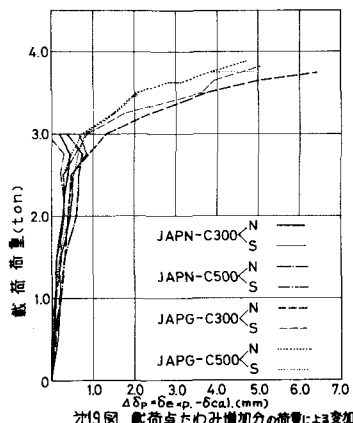
(vi) オ15図の $P(x)$ 分布から求めた付着せん断応力 $\tau(x) = \frac{\Delta P(x)}{\psi \Delta x}$ (ψ : 緊張筋周長)の分布をオ14図に示す。 Δx はW.S. 4貼付長36mmを差引いたもので相隣るW.S. 4貼付位置間中央で $\tau(x)$ を示した。柱丈が500mmの場合にはびわれ荷重以下では二つの頂をもつ対称分布であるが300mmの場合ではこの頂が接する。載荷荷重が大きくなると柱丈の大きい方が τ_{max} は大きくなり、かつ、分布が平坦な頂きをもつようになる。図中下側緊張筋中央で τ 分布に谷が生じるのは、その位置でグラウトに少し空隙が生じていたためである。

(vii) 緊張筋とコンクリートのひずみ分布から、はり固定端の両者の初めの位置からの変位を求めその位置の $P(x)$ との関係を求めるとオ16図のようになる。両材料の変位の差は緊張筋の接合部からの抜け出し量に関係があるものと考えられる。付着のある場合平面保持をオ13図の応力-ひずみ曲線を仮定し、付着のない場合は2節の計算方法を用いて求めた載荷端たわみとその実験値に対する荷重との関係をオ18図に示す。付着のある場合、オ19図のようにその差は荷重がある限度以上になると、柱丈の大小に逆比例しており、あたかもPCはりがある固定端で剛体回転角 θ_s を生じるように考えられる。

(viii) 付着のある場合でも、このような緊張筋の滑動によってオ14表の終局荷重は平面保持を仮定した計算耐力に達せず、また、グラウト注入をしない場合でもシーと緊張筋との摩擦が多少あるため計算耐力を超過し、結果的には同様の耐力を発揮するものと考えられる。



オ18図 載荷たわみ実験値 δ_{s-N} と計算値 δ_{cal} の比較



オ19図 載荷たわみ増加分の荷重による変化