

# PC 架構隅角部耐力について

中 野 清 司\*

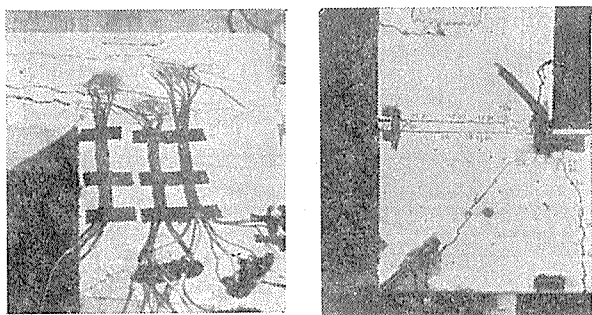
## 1. ま え が き

PC部材相互、あるいはRC部材とPC部材とが互いに直交する仕口パネル内には部材の曲げ破壊に先立ってせん断きれつが生じることがあることは、すでに種々の実験によって実例が紹介されている<sup>1)4)</sup>。このせん断きれつは場合によっては架構の耐力・じん性に大きな影響をおよぼすことがあり<sup>1)4)</sup>、これに関する設計法の樹立が望まれる。本文はこの設計法に関する若干の考察と実験を述べたものである。もとよりこの問題の根本的解決にはさらに多くの実験・研究が必要であるが、本文が不完全ながら何らかの寄与を行なえば幸いである。

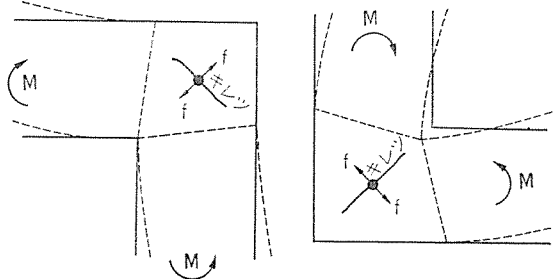
## 2. 隅角部せん断きれつの実態

図-1 に典型的な場合をあげてある。同図からわかるとおり、この種きれつをA型とB型との2つに分けて考えるのが便利である。図-1 の左側はA型を右側はB型を表わしている。B型はきれつが圧縮域を貫ぬいて発達しようとするため、その発達は一般に急速ではない。実験の結果をみても、きれつ発生後なお若干の荷重上昇があったのち始めて耐力に達する<sup>1),2),4)</sup>。A型ではきれつは圧縮域と引張域との境界面に沿って発達するため、肉

図-1 隅角部せん断きれつの実態 (A-1) (B-1)



(A-2) (B-2)

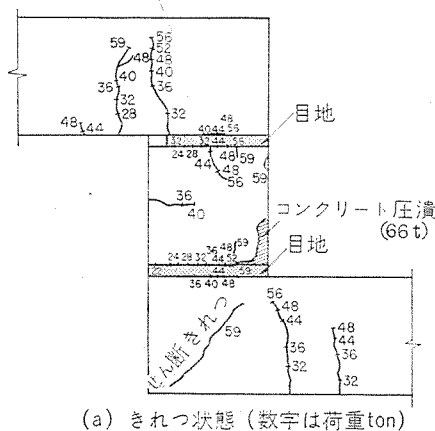


\* 建設省 建築研究所研究員

眼的きれつ発生と同時に耐力に達する。以下には若干の実例を示す。

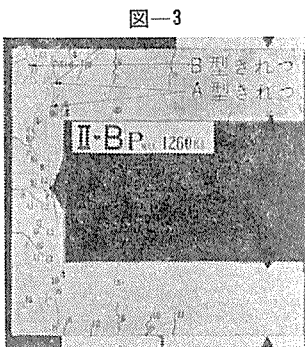
例 1 図-2 は筆者が OKK の依頼によって耐力試験<sup>2)</sup>を行なったPCばりである。破壊は鉛直部材の圧縮側の圧潰によって起ったが、破壊の生ずるやや前に図の下部に示す仕口内せん断きれつが生じている。実験の際の観察によると、このきれつが発生するのは瞬間であり一種の澁音をともなった。

図-2 B型きれつの実例



(b) 加力方法

例 2 図-3 は筆者がかって行なった実験<sup>1)</sup>の際に観測されたきれつの一例である。本例ではきれつ発生



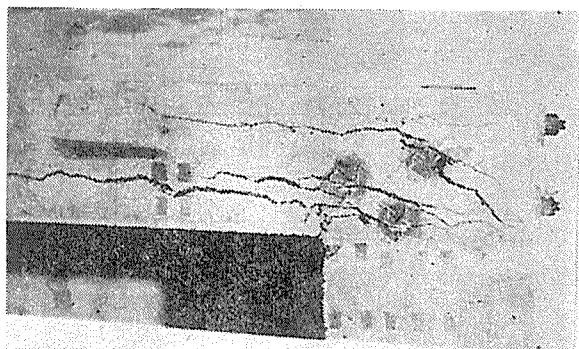
が例 1 の場合ほど突発的でなかったが、A型きれつのはかなり急速であった。この実験では隅角の内側引張りになるよう荷重した場合にきれつのは発生がいちじるしく(A型)、実際にはきれつ発生直後に除荷したので供試体はこのせん断

きれつで破壊に至っていないが、なお荷重を続けた場合はこのきれつが直接の破壊誘因となつたと考えられる。

例 3 前例とほぼ同じ供試体を A 型きれつで破壊

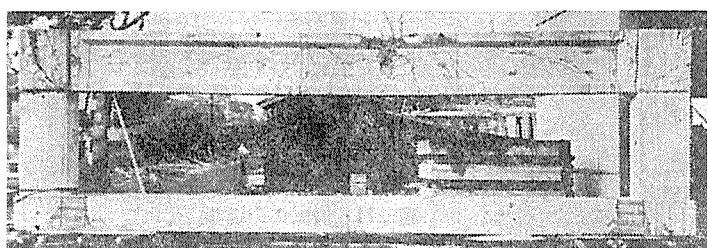
に至らしめたのが図-4である。きれつ発生と同時に荷重上昇が停止する。

図-4 A型きれつの例



例 4 図-5 は日建設計 川村氏の行なった実験の供試体およびきれつの模様である。同氏の報告によれば隅角部の仕口内きれつによって節点剛度が低下しPC部スパン中央の曲げモーメントが予期以上に早く増大し、かつ架構としての終局耐力も計算値を下まわっている。

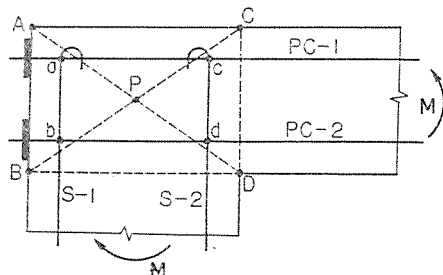
図-5 日建設計 川村氏の実験



### 3. 仕口内せん断応力の略算法

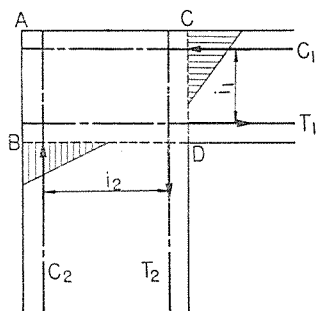
図-6 に示す隅角について考える。同図では横材は2

図-6



本のPC鋼材 PC-1, PC-2, 鉛直材には2本の軟鋼鉄筋 S-1, S-2 が配置されている。図に示すモーメントが加わると、PC-2, S-2 が引張鋼材、PC-1, S-2 が圧縮鋼材となり、これらをふくむコンクリートの圧縮域内を

図-7

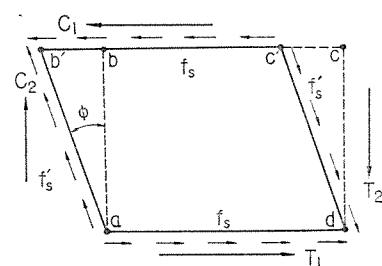


圧縮力が伝達してゆく。図-7 は曲げきれつ発生直後の断面 BD, CD の力の釣合いを示したものであるが、モーメントの釣合いから

$$M = C_1 j_1 = T_1 j_1 = C_2 j_2 = T_2 j_2 \dots\dots\dots (1)$$

上式で一般に  $j_1 \neq j_2$  であるから、 $C_1 \neq C_2, T_1 \neq T_2$  となる。一方圧縮力の流れる経路に直角な断面においては、断面の左右の圧縮力は釣合いを保つべきである。言い換えると仕口内でこれら一対の力  $C_1 C_2, T_1 T_2$  が一つの連続した力の流れとなるための結合の機構が存在しなければならない。そこで2組の力  $C_1 \sim T_1, C_2 \sim T_2$  は仕口を同一量だけせん断変形させる

図-8



ことによって相互に連結されるものとする。例えば図-8において仕口内にとった一定域 abcd は力  $C_1 T_1, C_2 T_2$  の合成効果によって  $\phi$  なるせん断ひずみ度を生じ  $ab'c'd$  のように変形するとすれば、せん断応力度は  $f_s = f_s'$  である。四周に働くせん断合力が  $C, T$  等と釣合うものと考えれば

$$C_1 = f_s \overline{bc} = T_1 = f_s \overline{ad}, C_2 = f_s \overline{ab} = T_2 = f_s \overline{cd}$$

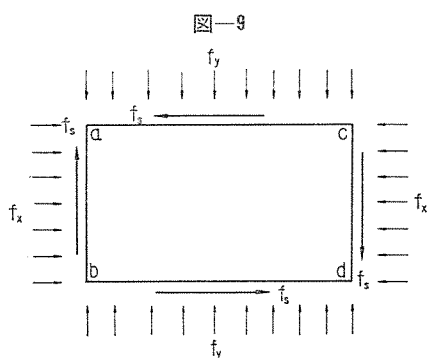
$$\therefore f_s = \frac{C_1}{bc} = \frac{C_2}{ab} = \frac{C_1 + C_2}{ab + bc} \dots\dots\dots (2)$$

上式で  $\overline{ab} = j_1, \overline{bc} = j_2$  とおき (1) の関係を代入すると

$$f_s = \frac{M}{j_1 j_2} \dots\dots\dots (3)$$

(3) 式で求めた  $f_s$  と荷重およびプレストレス力による  $x$  方向,  $y$  方向の軸方向力の存在する場合の仕口の主応力度を求めて仕口のきれつ耐力の目安とすることにする。

図-9 で  $x$  方向応力度を  $f_x$ ,  $y$  方向応力度を  $f_y$  とする。荷重は引張を正とする。  $f_s$  は (3)



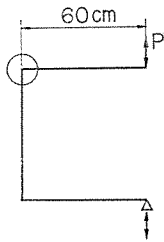
式のせん断応力度とする。ここで  $f_x, f_y$  はプレストレスをふくむ。  $f_x, f_y, f_s$  による主応力度  $f_{I, II}$ , 主応力面の方向  $\theta$  は次式のとおりとなる。

$$f_{I, II} = \frac{f_x + f_y}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4}(f_x - f_y)^2 + f_s^2}$$

$$\tan 2\theta = \frac{2f_s}{f_x - f_y} \dots\dots\dots (4)$$

上式で求めた主応力度によって仕口のきれつ耐力を計算するに際して、(3) 式中の  $j_1, j_2$  の値,  $f_x, f_y$  にふ

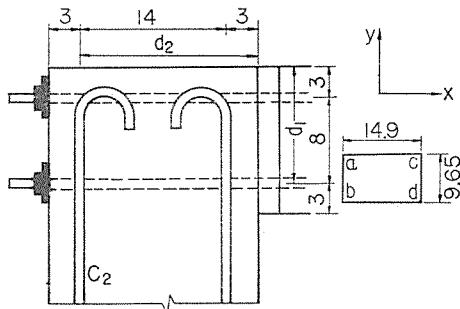
図-10 (a)



くまれる prestress の値を知る必要がある。

例題 図-10 (a) に示すように  $P$  なる荷重をうける □型わくの上隅角の仕口 (図-10 (b)) のせん断耐力を求め

図-10 (b)



$$j_1 = \frac{7}{8} d_1 = \frac{7}{8} (14 - 3) \approx 9.65 \text{ cm},$$

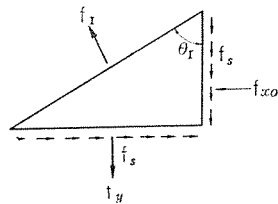
$$j_2 = \frac{7}{8} d_2 = \frac{7}{8} (20 - 3) = 14.9 \text{ cm}$$

と仮定する。また  $M=60P$ 。仕口厚さ  $t=7 \text{ cm}$  とする。式 (3) より

$$f_s = \frac{M}{j_1 j_2 t} = \frac{60P}{j_1 j_2 t} = 0.0596 P$$

鉛直方向の軸方向力  $f_x$  は

$$f_x = \frac{P}{20 \times 7} = 0.00715 P$$



押し広げる場合

$$f_s = 0.0596 P \quad f_y = 0.00715 P$$

式 (4) より

$$f_I = \frac{f_y}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} f_y^2 + f_s^2} \approx 0.063 P$$

引張強度を  $\sigma_t = 40 \text{ kg/cm}^2$  とすれば、きれつ耐力  $P_R$  は

$$P_R = \frac{f_I}{0.063} = \frac{40}{0.063} = 635 \text{ kg}$$

きれつの方向は

$$\tan \theta_I = \frac{f_s}{f_I} = \frac{0.0596 P}{0.063 P} \approx 0.94, \quad \theta_I \approx 43^\circ 20'$$

また、上記に prestress  $f_{x_0} = -50 \text{ kg/cm}^2$  が作用すると、

$$f_s = 0.0596 P, \quad f_y = 0.00715 P, \quad f_{x_0} = -50 \text{ kg/cm}^2$$

(4) 式から

$$f_I = \frac{f_x + f_y}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} (f_x - f_y)^2 + f_s^2}$$

$$= \frac{-50 + 0.00715 P}{2}$$

$$+ \sqrt{\frac{1}{4} (-50 - 0.00715 P)^2 + (0.0596 P)^2}$$

$\sigma_t = 40 \text{ kg/cm}^2$  とすると

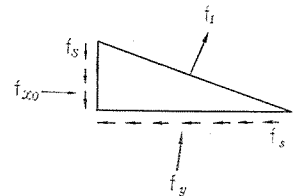
$$P_R \approx 910 \text{ kg}, \quad f_I \approx 39.3 \text{ kg/cm}^2$$

となって、きれつの方向は

$$\tan \theta_I = \frac{f_I + f_x}{f_s} \approx 1.65, \quad \theta_I = 59^\circ 50'$$

$P$  が押しちぢめる方向に作用するときも同様な計算によ

って prestress が作用しない



とき

$$P_R = 0.712 t, \quad \theta_I = 38^\circ 10'$$

prestress  $f_{x_0} = -50 \text{ kg/cm}^2$  が作用するとき

$$P_R = 1100 \text{ kg}, \quad \theta_I = 56^\circ 30'$$

となる。

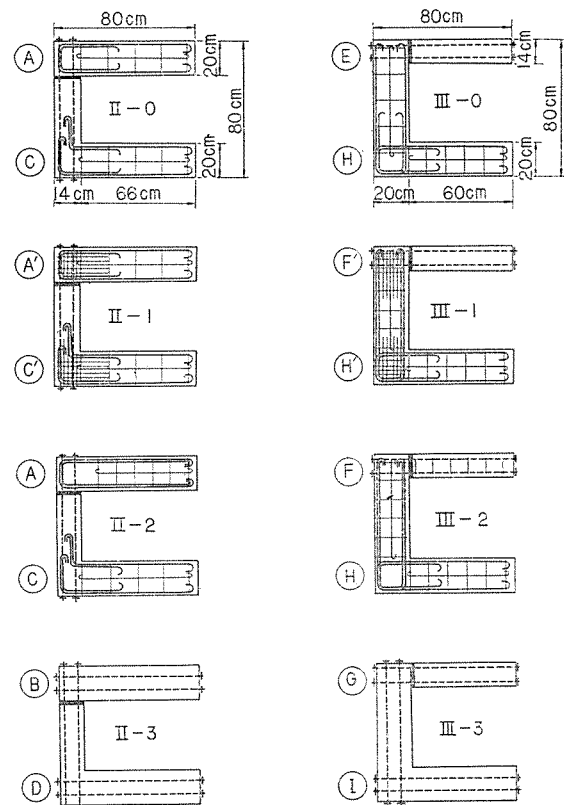
### 3. 仕口のせん断耐力・補強に関する若干の実験

前節までにのべた仕口せん断耐力の略算法の適用性をみるため、および若干の補強法の効果をくらべるために行ったのが以下の実験である。

#### (1) 供試体の概要

a) 種類：表-1 および 図-11 に示すとおりである。

図-11 供試体の種類



備考：実線……普通鋼材  
点線……P C 鋼材

b) 形状・寸法：図-11 に示すとおり。

表-1 供試体の種類

記号	摘 要
II-0	目地 1:1 モルタル グラウトなし。
III-0	"
II-1	" 補強 1. 隅角部を $\phi 6$ の格子にて補強
III-1	" " " "
II-2	目地 1:1 モルタル グラウトあり。
III-2	目地 1:1 モルタル グラウトなし。 補強 2. 横材 (PC材) に肋筋を密に入れる
II-3	" " 3. 直交して $P=45t$ のプレストレを入れる
III-3	" " "

c) 使用材料：

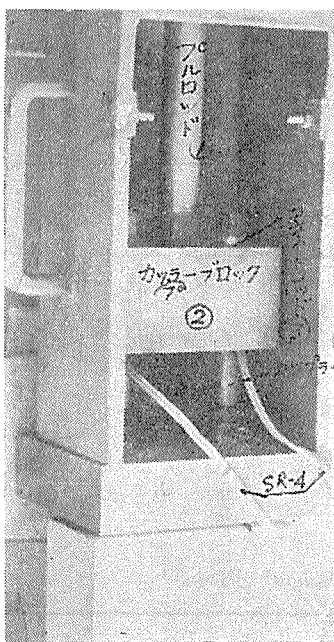
① コンクリート 調合は  $1m^3$  あたりアサノベロセメント 437 kg, 川砂 652 kg, 砂利 (10 mm 以下) 1110 kg,  $w/c$  比 38%, 材料試験の結果は表-2 に示す。

表-2 コンクリートの材料試験結果 (試験時材令)

対供試体	材令	圧縮強度 $kg/cm^2$	弾性係数 $kg/cm^2$	割裂強さ $kg/cm^2$
II-0	20	533	384 000	45.8
III-0	16	505	325 000	31.5
II-1	12	450	—	38.0
III-1	13	515	—	26.2
II-2	19	546	425 000	45.0
III-2	19	531	425 000	34.3
II-3	13	420	415 000	33.0
III-3	12	455	415 000	32.0

備考： $\phi 10 \times 20$  cm 弾性係数は検長 70 mm とし、10 t 時の second modulus.

図-12 鋼材緊張方法



- ② 目地モルタル 調合はアサノベロセメント 1, 川砂 1 (重量比),  $w/c=34\%$
  - ③ グラウト  $w/c=42.88\%$  の純セメントペースト, 練りまぜ方式は 2000 rpm; 5分, 600 rpm; 5~30分, 流動性は貫入計 20~22 秒。
  - ④ 普通鋼材  $\phi 6, \phi 9$  mm
  - ⑤ PC鋼材 住友電工製  $\phi 10$  mm 鋼棒。
- (2) 供試体の製作・養生  
コンクリートは木製型わく使用, 振動打ちと

し, 養生は7日間湿布養生, 以後空中に放置した。

プレストレスの導入は図-12のカプラーブロックを用いて2本のPC鋼棒を同時に緊張した。緊張力は同図の2本のコネクトロッドにはりつけたSR-4をあらかじめ校正しておき, 鋼棒1本あたり4.5tの緊張力を与えた。

(3) 測定および加力の方法

測定は仕口のひずみ度のSR-4による測定, 加力点間の変位の1/100 mmダイヤルゲージによる計測を行なった。加力方法は図-13に示すように油圧ジャッキにて押し広げる方向に加力した。

図-13 供試体 III-0 の加力の状況

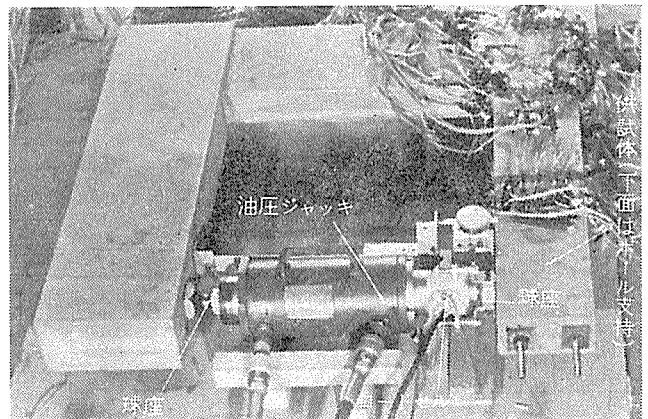
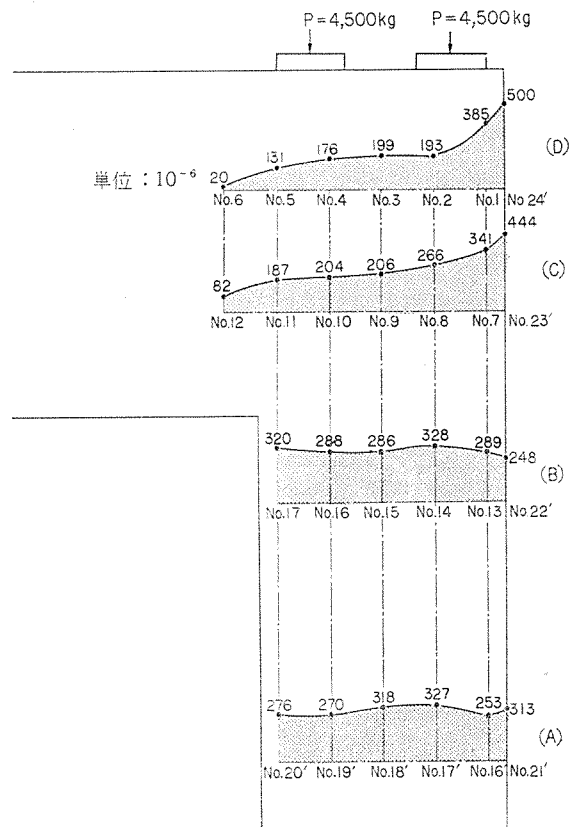


図-14 プレストレス力による軸方向ひずみ度



(4) 測定の結果および考察

a) 仕口内のプレストレス分布 数式(4)を用いる場合、仕口内のプレストレスの大きさを知る必要がある。本実験のように仕口に近接して定着板がある場合は特に応力の分布が複雑になり、かなり思いきった仮定を設けないと式(4)のような単一の表現で仕口耐力を判定することはできない。供試体 III-0 について PC 鋼材の軸の方向のひずみ度を測った結果を示すと 図-14 に示すようになる。これは  $P=4500\text{ kg}$  の緊張力を与えた場合であるから平均プレストレスは

$$f_0 = \frac{4500 \times 2}{7 \times 14} = 92\text{ kg/cm}^2$$

$E=325000\text{ kg/cm}^2$  とすると

$$\epsilon_0 = \frac{92}{0.325} \times 10^{-6} = 282 \times 10^{-6}$$

(A), (B) 位置での平均ひずみ度  $293 \times 10^{-6}$ ,  $300 \times 10^{-6}$  とほぼ一致する。仕口内部ではかなり軸方向ひずみ度が減少しており、No. 5 位置では  $131 \times 10^{-6}$  すなわち平均ひずみ度の約 44% となる。(4) 式に代入すべきプレストレスは以下の計算では平均有効プレストレスの 40~50% ととっている。

b) 応力中心距離  $j$  式(3)から  $f_s$  を求めるには  $f_1, j_2$  等を知る必要がある。前例では  $j = \frac{7}{8}d$  として  $f_s$  を求めた。供試体 III-0 の (B) 位置 (図-14) で実測した結果によると  $P=0.8\text{ t}$  のとき  $j = \frac{7}{9}d$  程度である。

c) 各供試体のきれつ・破壊耐力 各供試体についての実測・計算の結果は 表-3 に示すとおりである。

表-3 の結果から次の諸点が推論できる。

図-15

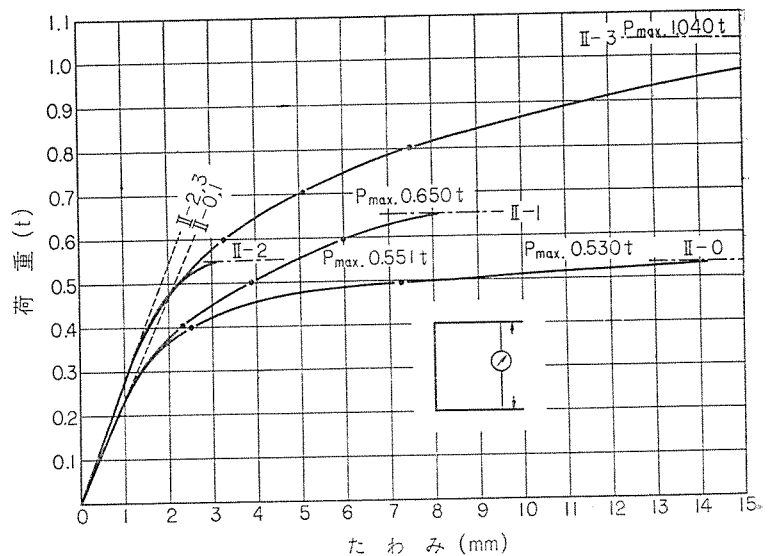


図-16

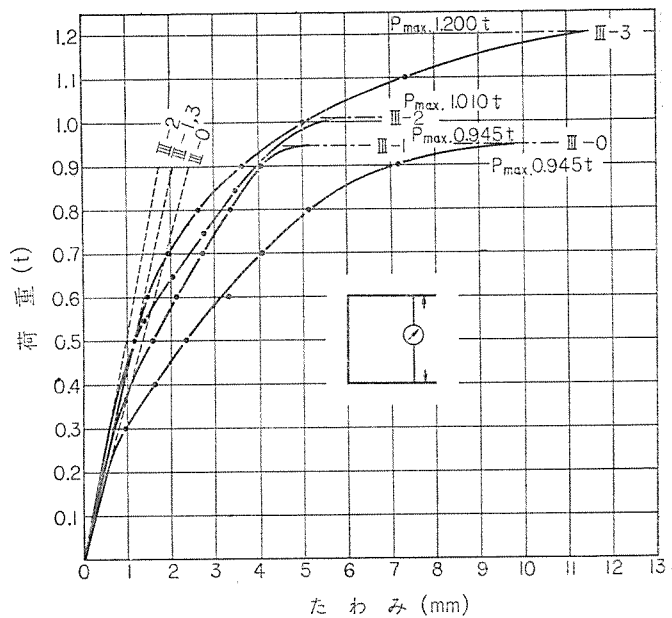


表-3

供試体	破壊荷重 (t)		計算上の仮定
	実測	計算	
II-0	0.53 (1.18)*	0.69 (0.76)	$f_{y0} = -33\text{ kg/cm}^2, \sigma_t = 35\text{ kg/cm}^2$ とする。
II-1	0.65		
II-2	0.55		
II-3	1.04* (1.20)*	0.86 (0.97)	$\sigma_{x0} = -29\text{ kg/cm}^2, \sigma_{y0} = -42\text{ kg/cm}^2, \sigma_t = 35\text{ kg/cm}^2$ とする。
III-0	0.95 (1.34)	0.8 (0.96)	$f_{x0} = -42\text{ kg/cm}^2, \sigma_t = 35\text{ kg}$ とする。
III-1	0.95		
III-2	1.01		
III-3	1.20* (1.48)*	0.91 (1.01)	$f_{x0} = -42\text{ kg/cm}^2, f_{y0} = -29\text{ kg/cm}^2, \sigma_t = 35\text{ kg/cm}^2$ とする。

備考：\* 曲げ破壊 ( ) 内は B 型加力の場合の参考値<sup>1)</sup>

① (3),(4) 式による判定は実測値に対して 20% 程度のくい違いに止まっている。

② (B) 型きれつは直接は耐力を支配しない。

③ 仕口補強法としてはプレストレスによるのが最も効果的であり、他の方法はあまり効果がない。

d) 隅角部変形 各供試体について加力点間の変位と荷重との関係の実測値を示したのが 図-15,16 である。これらの図からわかるとおりプレストレス以外による補強は、耐力的にはあまり効果はないが、剛性を高める効果は多少期待できるようである。

#### 4. 結 論

上記各節における検討の結果をとりまとめると次のとおりである。

(1) 仕口せん断耐力の検討はA型きれつを予想される架構に対してはもちろん必要であるが、B型の場合であっても必要である(2. 例 4, 文献 4) 参照)。

(2) 仕口きれつ耐力は(3),(4) 式によって略算する。上記の結果、きれつ耐力が曲げ耐力を下まわる場合


は、プレストレスによる補強を行なうか、断面を変更する。

(3) きれつ耐力  $P_R$  はコンクリートの引張強度によって支配されるので、本質的にバラツキが多い。また計算上の  $P_R$  の値は  $f_{x_0}, f_{y_0}$  の変動よりも  $\sigma_t$  の変動に敏感である。したがって  $\sigma_t$  の選定いかんによって  $P_R$  の値のかなりの変動があることを承知しておく必要がある。

(4) 仕口内のプレストレス分布はなるべく簡単な方がその耐力判定上望ましい。設計上可能な場合は仕口に近接して定着部を設けぬことが望ましい。

#### 参 考 文 献

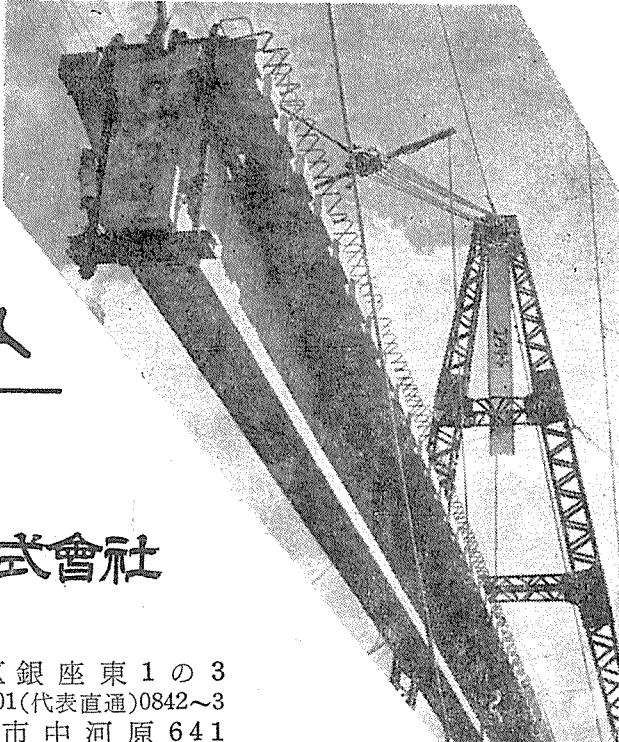
- 1) 中野清司：協会誌 Vol. 3, No. 4, Aug. 1961
- 2) 中野清司：実大Z型 PC 供試体の耐力試験に関する報告書 1960-6
- 3) Maldague. M : Étude des Cadres en béton précontraint. Annales de ITBTB, 1961-10 (抄録：協会誌, Vol. 4, No. 2, April 1962)
- 4) 塚本・海上・川村：協会誌 Vol. 3, No. 3, June 1961  
1962. 9. 14・受付



# —N.P.C.K.—

## プレストレス

## コンクリート



### 日本鋼弦コンクリート株式会社

本社・営業所	東京都中央区銀座東1の3 電話 京橋(561)9301(代表直通)0842~3
多摩工場	東京都府中市中河原641 電話 武蔵府中(0236)2681~2(代表)
天竜工場	静岡県磐田郡豊田村700 電話 磐田 1 5 1 4