

PC ラーメンの隅角部応力について

加 藤 六 美*
中 野 清 司**
本 岡 順 二 郎***
戸 塚 学****

1. ま え が き

PC ラーメンの隅角部は種々の方法で施工されており、いずれも完成後は剛接であり、材が破壊する前に隅角部が破壊することはないとみなしている。しかしながらこの隅角部内にひびわれが発生したり、はなはだしい場合には材の曲げ破壊に先行して隅角部が破壊することが従来の実験で認められている¹⁾。したがって、この部分の実用的な設法計を樹立しておくことが今後のPC ラーメンの安全性にとって必要なこととなる。

さらにPC ラーメンに対して将来行なわれるであろう極限設計にとっても隅角部の性状が問題となる。PC 不静定ラーメンに厳密な極限解析が適用できるかどうかは今後に残された課題であるが、実用上は適用できる見とおし²⁾があるので、塑性ヒンジ発生に先行して隅角部破壊を起さないことを保証する設計法、あるいは隅角部のひびわれ発生以後の性状を研究しておくことは、今後の極限設計法にとっても必要なことである。

そこでまずL型隅角部内の応力性状をエポキシ樹脂模型による光弾性実験で求め、将来の実用設計のための資料とした。

2. 模型および装置

PC 部材の応力分布を光弾性実験で求める場合には、緊張材が存在するのでなるべく大型の模型とするのが望ましい。そこで 図-1、写真-1 のような寸法の試験体を製作し、径 4mm の銅線を用いてプレストレスを与え、支圧板上にナットで定着した。模型が大型であるため、最初から試験体の寸法をもった型わくを使用すると、焼なましによっても取除くことのできない程度の残留応力が生ずる。そこで大きめの型わくを使用し、フライス盤で所定の大きさに整形した試験体を、大型加熱炉で注意して焼なましして良好な試験体をうることができた。

図-1

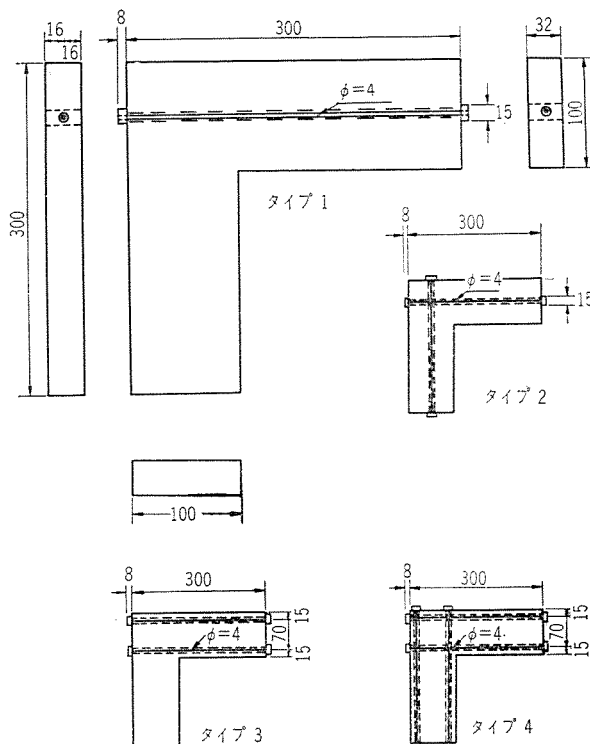
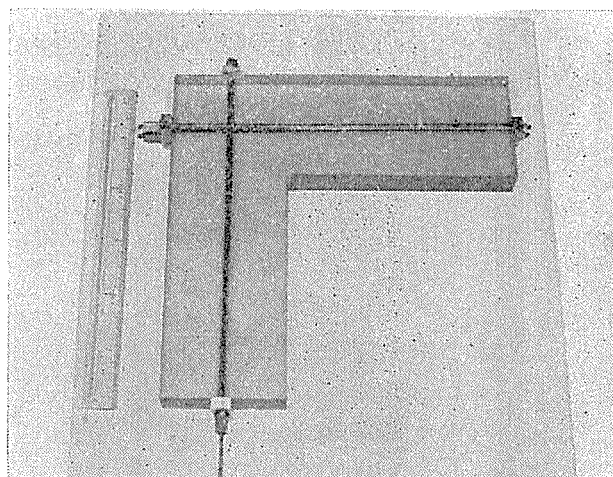


写真-1



加力は 図-2 に示すごとき方法で行ない、加力点を移動させることにより種々の曲げモーメントとせん断力を与えた。

* 工博 東京工業大学教授、建築学科
** 工博 建設省建築研究所主任研究員
** 日本大学助教授、理工学部建築科
*** 神奈川県工業試験所主査

図-2

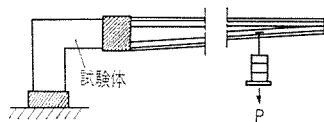


写真-2

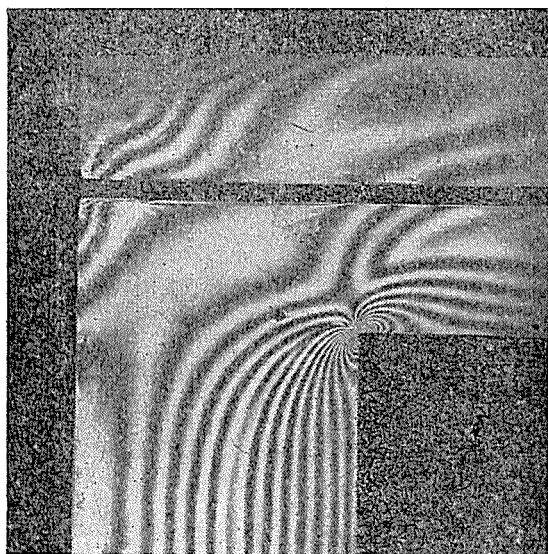
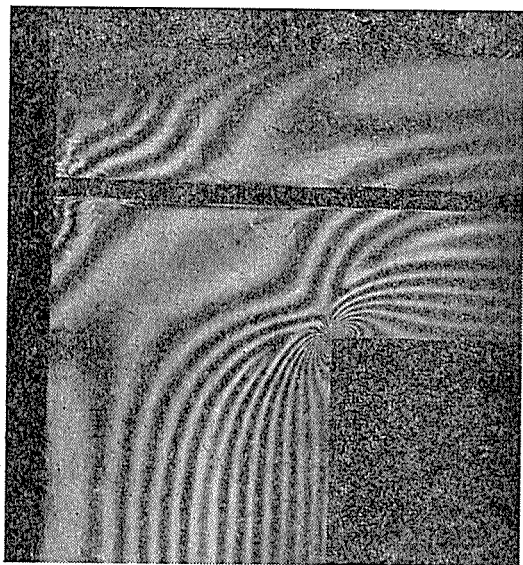


写真-3



2. 実験結果とその考察

実験は4個の試験体の各緊張材を緊張した場合と、しない場合について、曲げモーメントとせん断力の組合わせ8種類を与え、60例の結果のうち主要なものについて仕口内の主応力線図、縁応力度および仕口端、仕口内対角線の応力分布などを解析した。これらのデータを検討して得られる結果を次に示す。

(1) 仕口内応力度分布と外力モーメント、せん断力

写真-2 はモーメント $M=480 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ 、せん断力 $Q=16 \text{ kg}$ のときの等色線写真、写真-3 は同じ試験体に対する $M=480 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ 、 $Q=4 \text{ kg}$ のときの等色線写真であ

る。モーメントは同じ値でせん断力が4倍異なっているが、写真に示されるように両者にはほとんど差がなく、したがって仕口内の応力の大きさと分布は実用上等しいとみてよい。もちろん、この影響は部材のせいとせん断スパンとの組合わせに左右されるであろうが、この試験はほぼ実際の場合に比例して行なわれているので、仕口の応力計算に関してせん断力を省略しても実用上さしつかえないことになる。

(2) 仕口対角線上の応力——(入隅圧縮)

従来のコンクリート試験体による実験で、隅角部の入隅が圧縮となる場合には入隅一出隅方向のひびわれが発生している。そこでこの対角線に関する応力分布を解析した。図-3 は種々のモーメントに対する応力図で、対角線上は対称であるから $\tau=0$ で主応力となる。なお、仕口内の主応力線図を図-4 に示した。この図に見られるように入隅圧縮の場合は引張応力 σ_y の最大値がひびわれを発生させるから、この値と外力との関係を考えてみる。

図-5 で AO 間の引張合力と OB 間の圧縮合力とは等しく、その隅力が外力のモーメントに等しい。いま AO 間の σ_y の分布を放物線に、OB 間を三角分布に仮定し

図-3

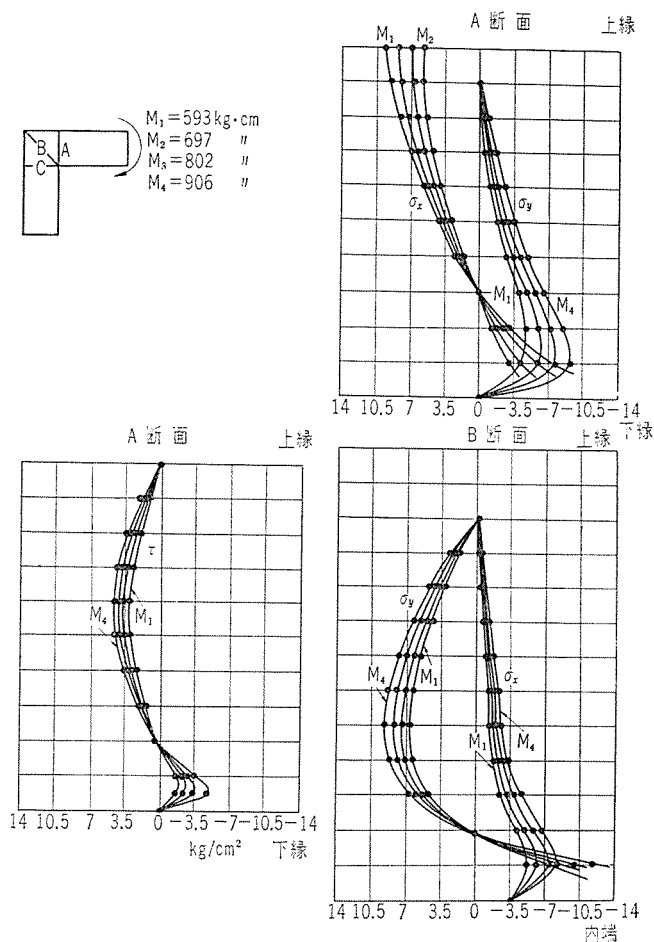


図-4

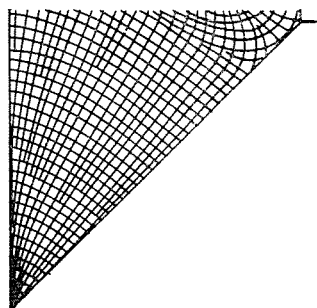


図-5

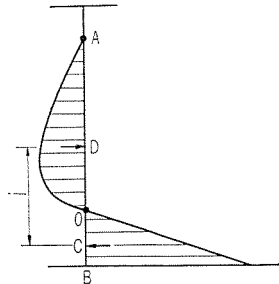


表-1

モーメント M^* (kg·cm)	引張合力 T (kg)	応力中心距離 j (cm)	$\sigma_{y \max}$ (kg/cm ²)
568.5	134	4.24	6.5
664.5	153	4.34	7.4
763.5	176	4.34	8.3
863.0	186	4.64	9.0

* 入隅-出隅対角線上で引張応力が0の点に関するモーメントで実測値により点Oに関する釣合を考えれば表-1のようになる。

そこで $j_1 = j/D = 0.42 \sim 0.46 \div 0.44$ とすれば

$T = M/j = M/0.44 D$, したがって放物線分布の引張主応力の最大値は

$$\sigma_{\max} = \frac{3T}{2bh}$$

で与えられる。ここに b は仕口厚さである。

h は実験からほとんどせい D に等しいので結局

$$\sigma_{\max} = 1.5 \frac{M}{j_1 b D^2} = \alpha \frac{M}{b D^2}, \alpha = 3.41$$

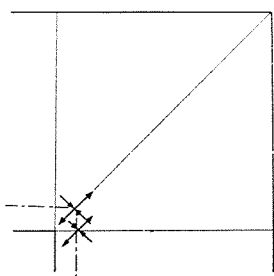
上式から求めた $\sigma_{\max}$ と表-1の実測値とは93~102%の間でばらつくが、実用上は満足してよい。また、 M は材軸の値を採用すれば安全側となる。

(3) 仕口対角線上の応力——(入隅引張)

入隅が引張となるような曲げモーメントが与えられるとき、等色線は(2)の場合と同じものが得られるから、応力図は図-2の符号を逆に読み変えればよい。この場合の最大引張応力は入隅の σ_y であるが、これはひびわれが発生しても伸展しないので設計の対象からはずしてさしつかえない。問題となるのは図-2における σ_x で、

図-6に示すように入隅近傍に沿って最大引張応力が存在し、したがってひびわれもこれによって発生することになる。コンクリート試験による実験でもひびわれはこれと一致して発生しており、設計はこの位置の最大引張応力を目標とす

図-6



ればよいことになる。

σ_x に関しては(2)で行なったような外力のモーメントとの釣合式が困難なので、最大引張応力と対角線上の $\sigma_{y \max}$ との関係を直接用いる。仕口内の最大引張応力は仕口端の $\sigma_x = \sigma_y$ の位置に生じ、この位置では τ が最大となっている。このときの主引張応力は $\sigma_{1,2} = \sigma_x \pm \tau$ で、最大主引張応力の値は対角線上の最大主引張応力の1.5倍となっている。したがって引張主応力の最大値 $\sigma_{\max}$ は

$$\sigma_{\max} = \alpha \frac{M}{b D^2}, \alpha = 3.41 \times 1.5 = 5.11$$

で与えられる。

(4) 部材せいが異なる場合

通常はりと柱はせいが異なるので、両部材のせいの比が0.5および0.3の場合について実験を行った。等色線を写真-4,5に示すが、この場合の仕口内の応力は両部材のせいの差に相当するハンチが存在する場合と類似している。結果的にみると、せいの比が0.5以下では仕口内の応力が問題となることはないと考えてよい。

(5) 部材の厚さが異なる場合

両部材の厚さが異なる場合に仕口内応力の分布は三次元となるので三次元光弾性の実験を計画しているが、現在のところ資料がない。厚さの差が小さいときには、仕口の不連続端からわずかに離れた部分では二次元応力と

図-7 タイプ1、応力度分布図

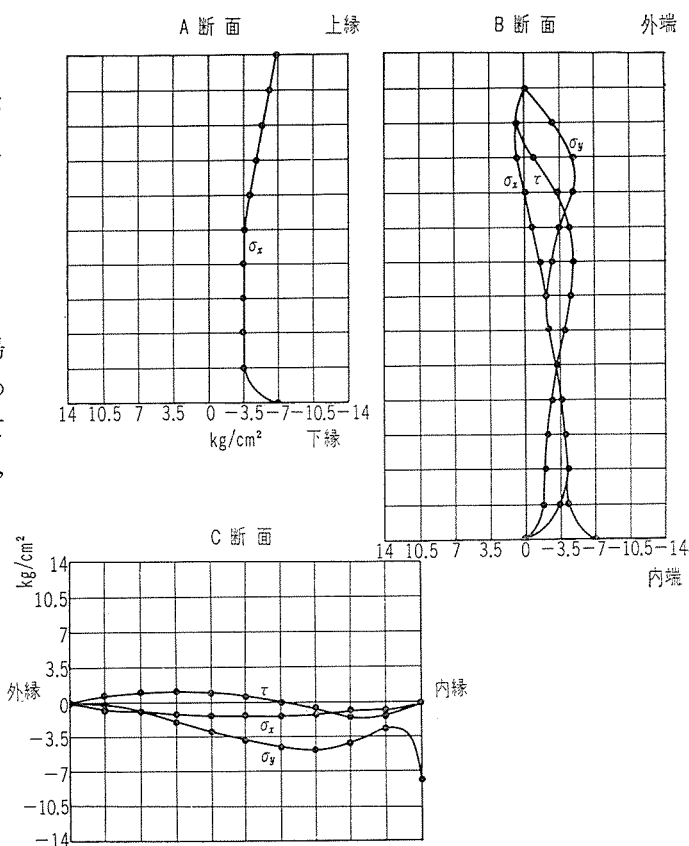


図-8 タイプ 2, 応力度分布図

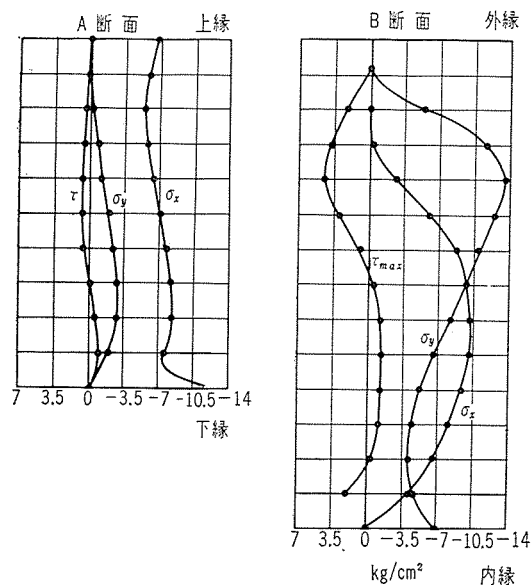


図-10 タイプ 4, 応力度分布図

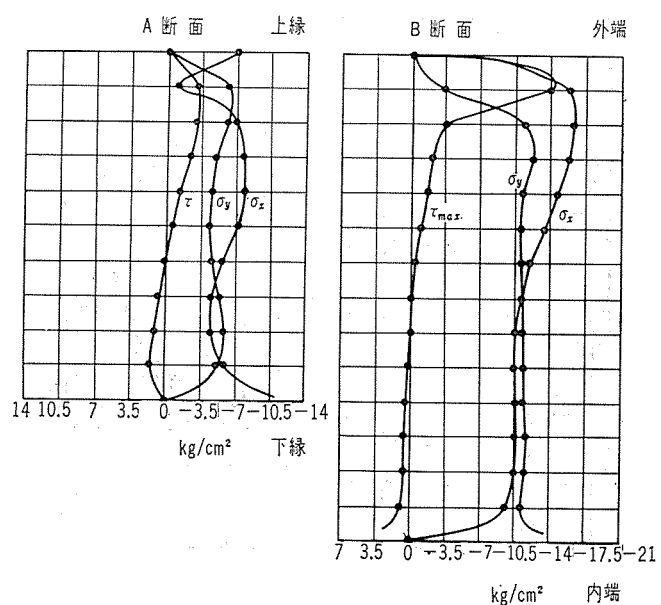


図-9 タイプ 3, 応力度分布図

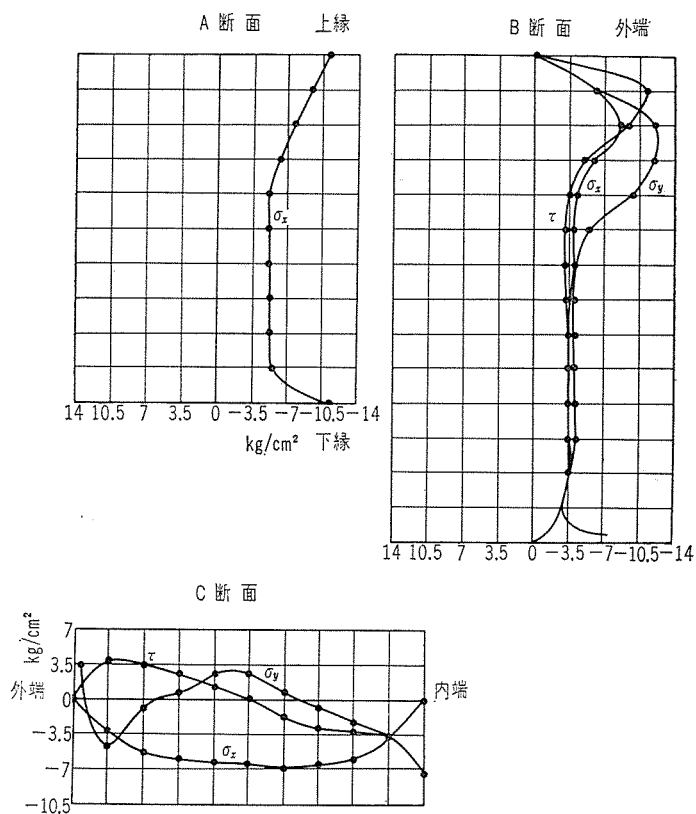


写真-4

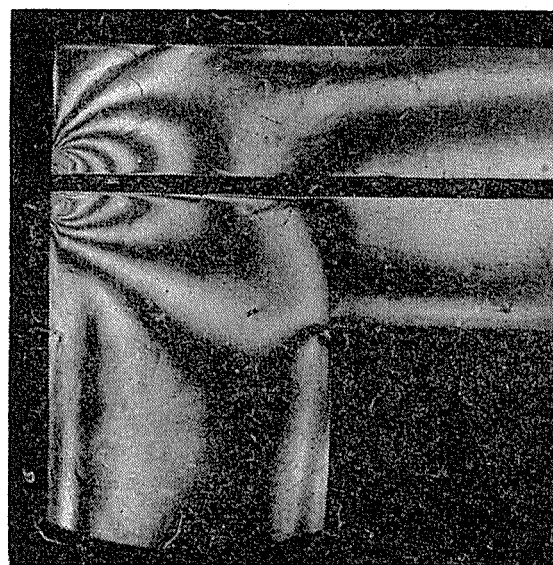
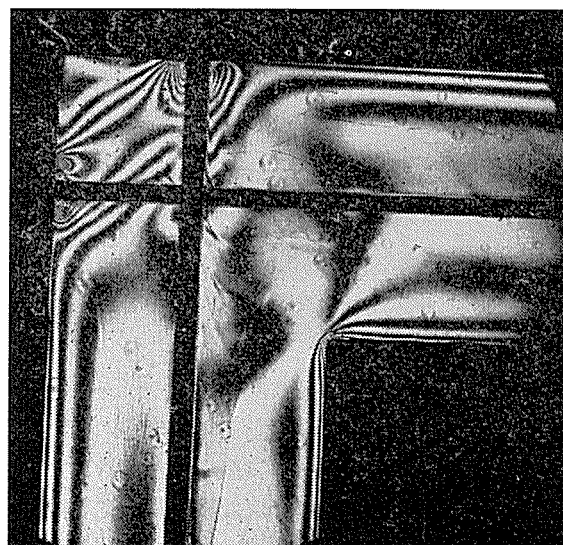


写真-5



みなしうることが予想される。

(6) プレストレスの効果

仕口対角線上にはプレストレスによって圧縮応力が生じ、これによって外力による引張応力が打消される。図-6~9 にプレストレスを与えたときの応力図を、図-7~10, 写真-4~7 に等色線を示す。外力とプレストレスが同時に与えられたとき、仕口内の主応力とその方向は外力とプレストレス力との比で変るが、設計を必要と

写真-6

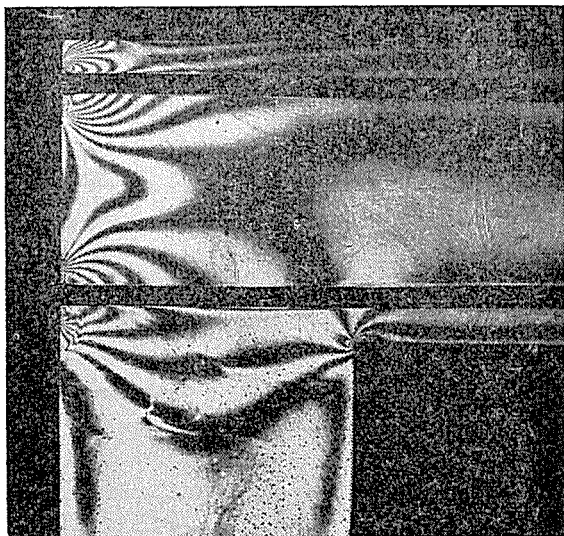
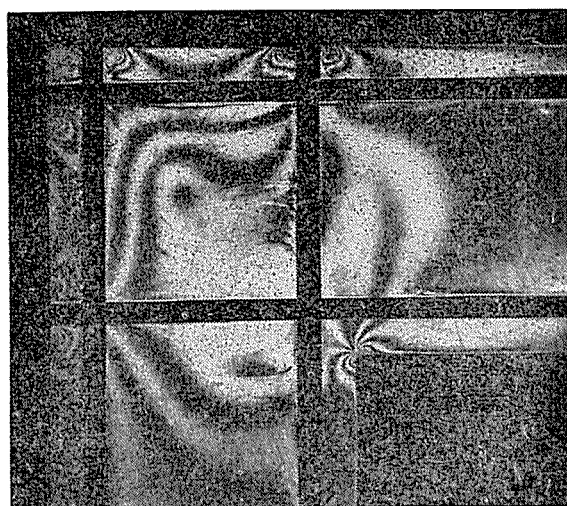


写真-7



するのは外力による引張応力が大きい場合である。したがって外力によって最大引張りを生ずる位置がプレストレスを与えた場合にも危険点であると仮定して、この位置のプレストレスの効果を考える。平均プレストレスとプレストレスによる対角線上の危険点の応力との比—有効率 α を各場合についてとれば、一方向中心緊張のタイプ1では $\alpha=60\%$ 、両部材を緊張したタイプ2では両部材の平均プレストレスの和に対して 49% 、一方向2段緊張のタイプ3では 54% 、二方向2段緊張のタイプ4では 45% となっている。タイプ1~4を総合すれば、各材の平均プレストレスのほぼ $1/2$ が対角線上に発生するひびわれを打消すように作用する。なおこれらの値には支圧板の大きさが影響するはずであるが支圧板/材端巾比を 0.1 と 0.2 について 45° 方向の応力を求めた実験結果(図-10)によれば、 σ_y の値に関してはほとんど差がないので、通常の場合には支圧板の大きさを考慮する必

要はないようである。

4. 結 論

隅角部応力は形と外力が単純な場合には理論的解法も可能であるが、PC部材では支圧板の応力が加わるなど理論式を導くのは困難となる。したがって実際設計としては実験にもとづく実験式や計算外の規定で安全性を確保する方法をとらざるを得ない。60例の光弾性試験から仕口応力に関する多くの資料を得たが、定性的な性状の一部を得たのみでまだ妥当な設計式を提案するには至らない。しかしながら本実験の結果つぎの諸点を明らかにすることができた。

1. 仕口内応力の検討を必要とするのは、はりせいと柱せいがほぼ等しい場合である。
2. 仕口内応力の計算には外力の曲げモーメントのみを考えればよい。
3. 仕口内の最大引張応力 $\sigma_{\max}$ は下式で求められる。

$$\sigma_{\max} = \alpha \frac{M}{bD^2} - \frac{1}{2} \sigma_p$$

ここに M : 外力のモーメント

b : 仕口厚さ

D : はりせい

σ_p : はりと柱の平均プレストレスの和

入隅圧縮のとき: $\alpha=3.41$

入隅引張のとき: $\alpha=5.11$

4. 支圧板と材端巾との比は通常の場合、最大引張応力には影響しない。
5. はりせいと柱せいが異なる場合の仕口応力分布ハッチを有する場合と類似している。

5. あとがき

以上の実験結果は仕口内のひびわれ発生以前の応力に関するものであって、破壊を対象とする隅角部の性状はふくまれていない。そこで今後は光弾性による弾性範囲の性状のデータをうる実験とともに、コンクリート試験体による実験を行なう予定である。

最後に御協力を頂いたプレストレストコンクリート工業協会、日本セメント技術協会、住友電工、神鋼鋼線鋼索KK、鈴木金属工業KKの各社に深謝する。

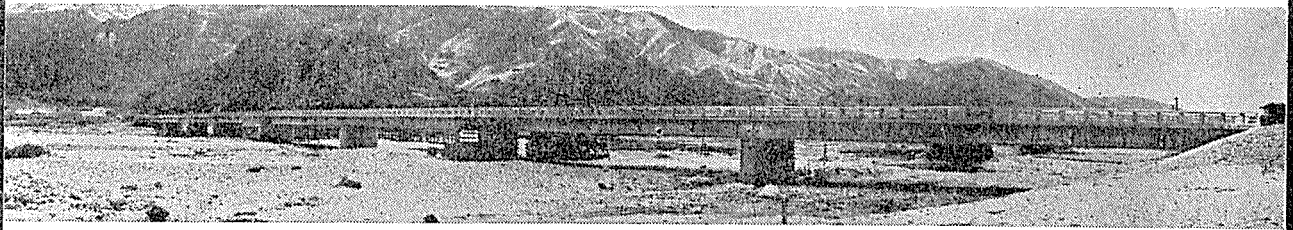
参 考 文 献

- 1) 中野清司: PC架構隅角部耐力について、協会誌 Vol. 4, No. 5, 1962. 10.
- 2) 六車 照: 建築構造物のリミットアナリシス8章, 建築学会

1963.10.28・受付

NPS

武田橋(山梨県)

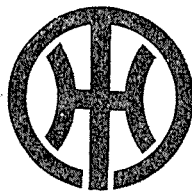


$L=337.0\text{ m}$ $W=4.5\sim 5.5\text{ m}$ $TL=20\text{ t}$

ピーエスコンクリート設計施工並に製作 日本ピー・エス・コンクリート株式会社

顧問 加賀山之雄 顧問 稲浦鹿蔵 取締役社長 有馬義夫

東京営業所 東京都千代田区大手町1丁目4番地 (大手町ビル3階362号室)
電話東京 201-8651 (代)
大阪営業所 大阪市北区堂島上2丁目39番地 (毎日産業ビル別館5階)
電話大阪 361-7797
名古屋営業所 名古屋市中村区広井町2丁目54番地 (交通ビル5階52号室)
電話名古屋 54-6536
福岡営業所 福岡市天神町3番地の1 (福岡三和ビル6階)
電話福岡 74-9426



水道管の革命!!

安く強い“プレストレストコンクリート管”

- 特長
1. 設計水圧に応じた合理的な管が製造出来る。
 2. 同じ水圧または口径に対して鉄管類より遥かに安い。
 3. 高圧に堪えて破壊することなく特殊な複元性がある。
 4. 内面が平滑で永久に変化しない為流量が減少しない。

本社 東京都中央区日本橋本石町3-6
電話 (241) 2111 (代表)

工場 横浜・名古屋

帝国ヒューム管株式会社