

R C柱・はり接合部補強法に関する研究 (その 1)

—薄鉄板補強体を用いた組立鉄筋工法, 柱・はり接合部の実験—

多田 利正 竹本 靖
武田 寿一

Research on Reinforcement of Beam-Column Joint Panel for Seismic Resistant Reinforced Concrete Frame (Part 1)

—Experiment on Beam-Column Joint Panel
Confined by Steel Plate Box—

Toshimasa Tada Yasushi Takemoto
Toshikazu Takeda

Abstract

A model test of a reinforced concrete beam-column joint confined by a steel plate box was conducted under repeated reversible loading to evaluate its seismic resistance capacity. The following items were mainly investigated: 1) ductility and energy absorption capacity of the frame and individual deflection characteristics of beam, column and panel zone, 2) shear strength of the panel zone, and 3) bond characteristics of reinforcing bars in the joint region. From the test results, the contribution of the steel plate provided at the panel zone to increase shear strength was clarified and although the restoring force-deflection curve as a whole showed sufficient ductility, inverse S-shape loops were indicated due to bond deterioration of beam reinforcement in the joint region.

概 要

組立鉄筋工法による12階建RC建物を対象として採用された薄鉄板による接合部補強体の構造性能評価を目的として, 柱・はり接合部十字型試験体の逆対称繰返し加力実験を行なった。実験においては, 柱, はり, 接合部, 各々の復元力特性, 接合部のせん断耐力, 柱・はり主筋の付着性状等の解明を主眼とした。実験結果より, この鉄板補強体は, 接合部のせん断耐力の増加に十分な効果を示した。一方, 全体の復元力特性は, 大きな変形能を示したものの, はり主筋の接合部内での付着の劣化に伴うスリップに起因して, 逆S型の履歴ループを描き, エネルギー吸収能の面で欠陥が見られ, これを改善するには接合部内での主筋の定着を確保する必要があることが判明した。

1. 序

地震時に大きなせん断力を受ける柱・はり接合部は繰返し加力に対して十分な一体性を保持することが要求され, 接合部のせん断耐力, せん断剛性低下等の性能の良否は, そのまま架構の復元力特性, エネルギー吸収能の良否を決定づける。従来接合部の性能改善を目的として, 鉄骨構造の手法を併用したり, 種々の補強法を試みた試験体の実験が行なわれている。また接合部せん断ひびわれ, せん断耐力の推定, 接合部のせん断変形と架構の変形との関連等の問題に関して, 多くの研究が行なわれている。

接合部に要求される構造性能としては, はり (又は柱) の曲げ降伏耐力を上まわるせん断耐力の確保。主筋定着の確保の2事項が, たとえばはり降伏型の架構

において, 強震時にはり端プラスチックヒンズに十分のエネルギー吸収を分担させる前提として掲げられよう。

ここでは, 組立て鉄筋工法による12階建RC構造建物の計画において採用された, 薄鉄板による接合部補強体の構造性能評価を目的として行なわれた, 柱・はり接合部十字型試験体の逆対称繰返し加力実験について述べる。

当実験においては次の点の把握を主目標とした。

- 1) 骨組の復元力特性, エネルギー吸収能を評価するとともに, 柱・はり・パネルゾーン各骨組構成要素の変形特性を分離測定して, 骨組の復元力特性を特徴づける性格を, 各要素の変形特性に基いて明確にする。
- 2) 接合部補強体の補強効果すなわち接合部のせん断耐力, 柱・はり間の応力伝達機構, 補強鉄板と接合部内

のコンクリートの挙動。

3) 接合部域のはりと、柱主筋の付着性状とひずみ履歴。

2. 実験方法

2.1. 試験体および使用材料

試験体の寸法・形状を図一1に示す。はりは大、柱は接合部に加わるせん断応力を大きくするため柱幅を実際よりも狭く計画している。はり・柱とも主筋はD29 (SD35) が用いられており、載荷端で鉄板に溶接して定着を完全にしている。

接合部には計画下の薄鉄板補強体が用いられている。その詳細は図二に示す如く4角形の筒形の4隅に、鋼管が溶接されており、柱通し主筋をグリップジョイントで固定する。また側面には、はり主筋を通す貫通孔が穿っており、はり上下端筋の外側4本の補強体隣接部には、鉄筋組立て時の位置保持の目的で、小さな定着板が溶接される。

使用材料の一覧を表一1に、また配筋、補強量の一覧を表二に示す。写真一1は鉄筋組立ての状況を示したものである。また、コンクリート打設は縦打ちとし、打設後試験体は室内に放置した。

2.2. 加力方法

写真一2に実験時の加力状況を示す。反力床、反力壁に鋼製ブロックをPC鋼棒で緊結固定し、載荷反力を取っている。柱及びはりの中間位置を自在ローラ上に受けて試験体を水平に設置したのち、柱上下端をピン、ローラー支持とし、はり載荷点に50tonサーボバルサを用いて逆対称荷重を加えた。柱軸力は油圧ジャッキを用いて、150ton (1/4FcbD) を加え、実験中ほぼ一定に保持した。

載荷履歴は、一応、降伏変位の整数倍で、各2回繰返す変位振幅漸増形式とした。

2.3. ひずみおよび変形測定

ひずみの測定は、はり・柱主筋にW. S. G、補強鉄板にロゼットタイプのW. S. Gを貼付し、また接合部の中心部分のコンクリートにもロゼットタイプのモールドゲージを設置して行なった。

変形測定については、全体変形を測定すると同時に柱、はり、パネルゾーン、それぞれの変形を測定するため、図一3に示すような測定を行なった。ここで○で囲んだ数字を実験時測定量とすれば、

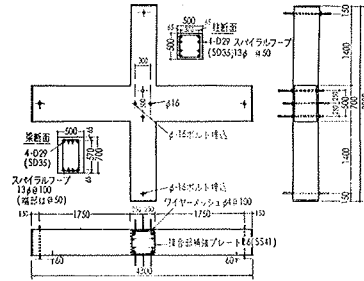
$$\text{全体変形 } \delta_T = \textcircled{1} + \textcircled{1}'$$

$$\text{層間変位 } \delta_t = H/L (\textcircled{1} + \textcircled{1}')$$

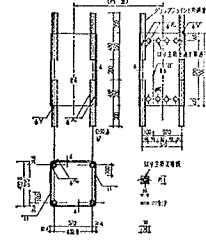
$$\text{パネルせん断変形 } \gamma = (\textcircled{4} + \textcircled{4}')/l$$

$$\text{はりの変形 } d_{\text{Beam}} = \textcircled{2} + \textcircled{2}' - \gamma(L-b)$$

$$\text{柱の変形 } d_{\text{Column}} = H/h (\textcircled{3} + \textcircled{3}') - \gamma(H-a)$$



図一1 試験体形状



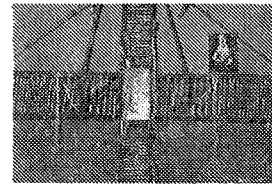
図二 接合部補強体

材 料	仕 仕
コンクリート	普通コンクリート FC ₂₈ =240kg/cm ² 、骨材最大寸法25mm
鉄 筋	柱・はり主筋 SD35 D29 せん断補強筋 (角スバイラル) SR24 φ13
パネル補強体	SS11、P-6
グリップジョイント用鋼管	STKM 13A

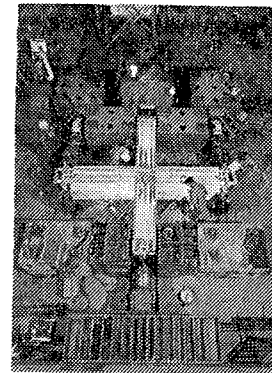
表一1 使用材料一覧

	配筋	P _s , P _c (%)	角
柱 主 筋	8-D29	1.027	角スバイラル
ワ ー プ	2-13φ @ 50	1.06	
梁 上 端 筋	4-D29	0.734	端部はφ50
下 端 筋	4-D29	0.734	
スタラップ	2-13φ @ 100	0.53	
接合部補強鉄板	2-2φ6	2.40	

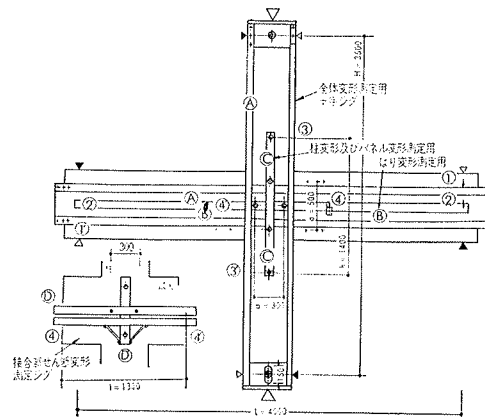
表二 配筋補強量一覧



写真一1 鉄筋組立て後の試験体



写真二 実験状況



図一3 変形測定方法

となる。なお、各測定器具共、一端ピン、一端ローラーの支持条件で、試験体コンクリートへの埋込ボルトに取付けられている。

3. 実験結果とその考察

3.1. 全体の復元力特性及びはり、柱、パネルゾーンの変型特性

①全体の復元力特性

荷重・全変形曲線は図-4に示す如く。かなりの変形能を示しているものの、降伏変位の2倍の振幅から幾分逆S型の履歴ループを描き、以後の振幅ではその傾向と低荷重での剛性低下が次第に著しくなる。

②はりの変形特性

図-5に示す如く、はりの変形曲線は典型的なスリップ型のループになっている。これは、柱幅が狭いためはり主筋の接合部域での付着力が喪失し、スリップを生じていることによる。さらにひびわれがはり端の補強鉄板界面に集中していることも（後掲写真-3参照）その傾向を助長するものと思われる。

③柱の変形特性

図-6に柱の変形曲線を示す。柱はループ面積の余り大きくない紡錘型の履歴特性を示している。これは、はりの変形特性と比べて好対照であるが、軸力の存在の他に柱主筋の一部がグリッジョイントで補強鉄板

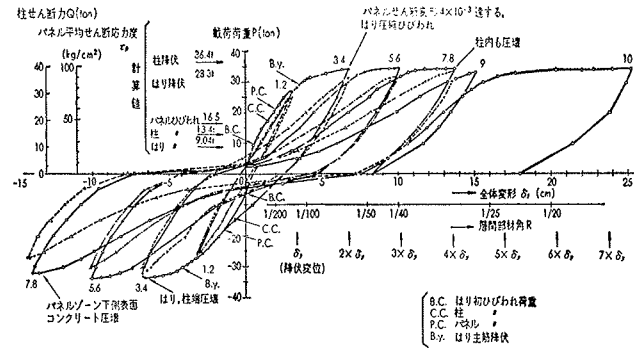


図-4 全変形曲線

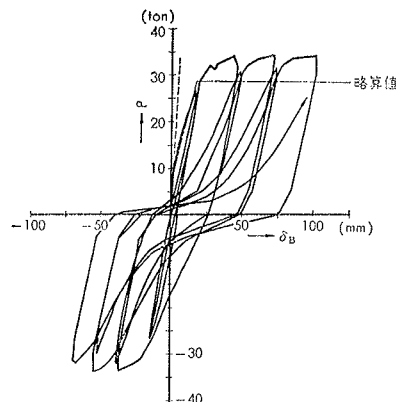


図-5 はり変形曲線

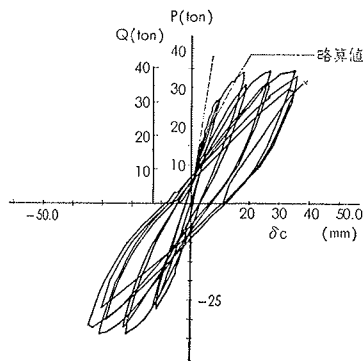


図-6 柱変形曲線

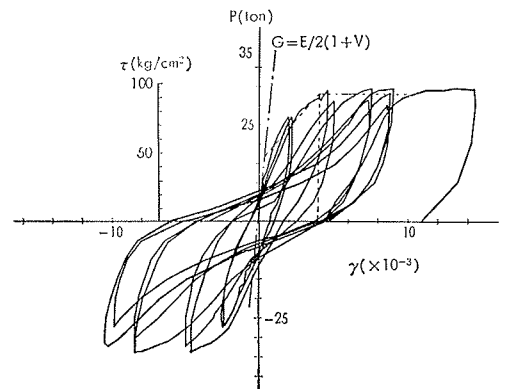


図-7 パネルゾーン変形曲線

に緊結されていることが原因であろう。また繰返しにより、漸次剛性が低下し、降伏荷重計算値以下で最大耐力を示しているが、これは柱耐力が柱独自では決まらずはりのコンクリート圧壊域が柱幅内に進展していることによるものであり柱耐力はかぶりコンクリートを無視した計算値に近い値となっている。

④パネルゾーンの変形特性

図-7はパネルゾーンに加わる平均せん断応力—平均せん断変形角曲線である。パネルゾーンはエネルギー吸収も少なくないハードスプリング型の履歴特性を示し大変形での耐力低下もなく、鉄板補強体の効果が十分うかがえる。

以上の結果から、全体の復元力特性を特徴づけるループの逆S性は、はりの変形特性、すなわち接合部域でのはり主筋のスリップ現象に主要な原因のあることが分かる。

⑤実験包絡線と略算スケルトンカーブの比較

試験体を図-8のようにモデル化する。柱の剛域は、グリッジョイント用鋼管と鉄板補強体の配置を考慮してはり丈70cmとした。パネルゾーンは応力中心間距離(7/8d)とした。各部材の弾塑性性状は、次の如くTri-Linearにモデル化する。

a) 柱・はり

初期剛性 $M/\theta = 6EK/(1+2\gamma')$ $\gamma' = 6EI_0K/(GA_0l^2)$

ひびわれモーメント $M_c = (f_r + N/A_e)Z_0$

$$f_r = 2\sqrt{c\sigma_B}$$

降伏モーメント $M_y = \{g_1 P_t s \sigma_y / c \sigma_B + 0.5 \eta_0$

$$(1 - \eta_0)\} c \sigma_B b D^2$$

降伏時の剛性低下率 $\alpha_y = (0.043 + 1.64 n P_t$

$$+ 0.043 a/D + 0.33 \eta_0) (d/D)^2$$

b) パネルゾーン

初期剛性 $G = E/2(1+\nu)$

ひび割れせん断応力度 $\tau_{pe} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_c \cdot \sigma_n}$

$$\sigma_t = 1.8\sqrt{c\sigma_B}$$

さらに、終局せん断応力に τ_{py} ついては2.3の実験

式が提案されているが

一応実験で得られた $\tau-\gamma$ 関係より

$$\begin{cases} \tau_{PY} = 95 \text{ kg/cm}^2 \\ \gamma_y = 4.0 \times 10^{-3} \end{cases} \text{ とした。}$$

以上の仮定に基いて計算した、略算線は図一5, 6, 7中に示す。また略算によるスケルトンカーブと実験包絡線の比較を図一9に示す。

なお、計算に用いたコンクリートの材料定数は $E_C = 2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ $F_C = 240 \text{ kg/cm}^2$ である。

3.2. 接合部のせん断耐力および補強鉄板と接合部コンクリートの挙動

①接合部のせん断耐力

接合部のせん断耐力については、次の様な実験式が提案されている。

- a) $\tau_{PY} = (0.65 - 0.0014c\sigma_B) c\sigma_B \leq 75 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
- b) $= (0.5 - 0.001c\sigma_B) c\sigma_B + 2.7\sqrt{P_{ws}\sigma_y}$
- c) $= (0.5 - 0.001c\sigma_B) c\sigma_B + 0.8P_w s\sigma_y$

また、鋼管コンクリート構造計算規準同解説には次式が与えられている。

- d) $Q_A = sfs/2 \cdot sA + 0.2F_C \cdot cA$
(ただし $sfs = S\sigma_y/\sqrt{3}$ $\tau_{PY} = Q_A/(sA + cA)$ とする)

これらによる計算値は

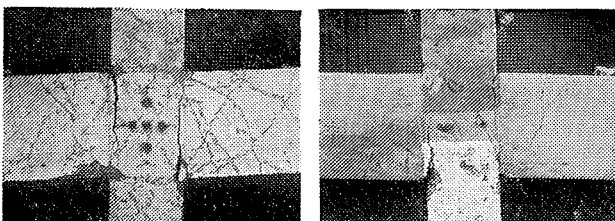
- a) 75 kg/cm^2 b) 83 kg/cm^2 c) 103 kg/cm^2
- d) 55 kg/cm^2

である。前述の初期剛性、引張主応力説に基くひびわれ強度、最大せん断変形角は実験結果と良く一致している。一方せん断耐力については不明の点が多く、はり主筋の降伏域の接合部内への進展、コンクリート圧縮ブロックの狭小化等複雑に現象が錯そうし接合部の耐力が接合部のみでは明確に定まらないといった傾向もあろう。

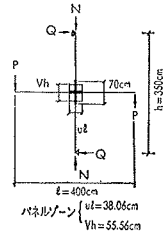
②補強鉄板各点およびコンクリートのひずみ挙動

図一10, 図一11にそれぞれパネルゾーン中央部 45°方向の補強鉄板およびコンクリートのひずみ履歴を示す。両者は幾分異なった動きを示し鉄板は第3サイクルで引張降伏し、コンクリートにもかなりの圧縮ひずみが表われている。

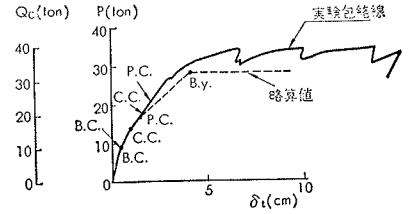
図一12は補強鉄板中央点のせん断ひずみを $\gamma = \epsilon_1 - \epsilon_2$ と仮定して、その履歴を示したものである。これを図



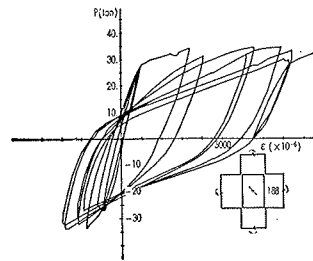
写真一3 接合部周辺の破壊状況



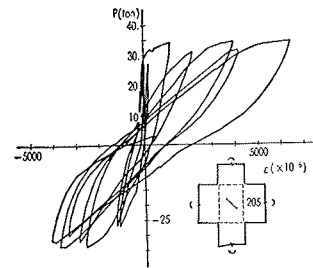
図一8 試験体のモデル化



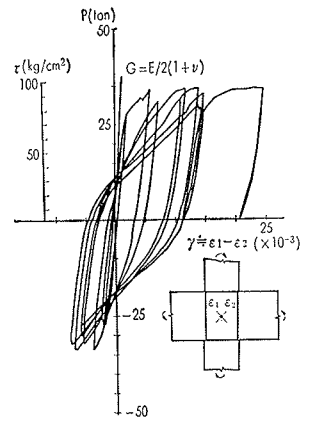
図一9 実験包絡線と略算値の比較



図一10 補強鉄板中央部ひずみの履歴



図一11 パネルゾーン中央部コンクリートひずみの履歴



図一12 補強鉄板中央点のせん断ひずみの履歴

一7の接合部の平均せん断変形角の履歴と比較すると、最大変形量、ループ形状とも、ある程度の差異が存在することが分る。

なお写真一3に接合部周辺の破壊状況を示す。

3.3. 接合部域のはり及び柱主筋の付着性状とひずみ履歴

①接合部域の主筋のひずみ分布と付着性状

はり上端筋のひずみ分布を正加力時および負加力時について、図一13に示す。この図から明らかなことは、最初の荷重サイクルから圧縮側端部に引張りひずみが表われていること、主筋降伏域が接合部内まで進展すること、一度引張降伏ひずみを経験すると、次の逆加力時に圧縮側にも、大きな引張りひずみが残存するということである。次にはり主筋とコンクリート間の付着応力度分布をひずみ分布から計算したのが図一14である。付着応力度の大きさは大体 50 kg/cm^2 前後、また柱曲げ圧縮ゾーンからの抱束力を受ける側の付着応力の方がかなり大きくなっている。この傾向は柱主筋につい

でも同様であった。なお、柱主筋のひずみ分布を、グリップジョイントで固定した、外側主筋について図-15に示す。

②はり・柱主筋のひずみ履歴

図-16, 図-17に、はり柱・主筋代表点の荷重～ひずみ量関係を示す。はり端の鉄筋ひずみの履歴を見ると、圧縮力が増加すべき加力途中であるにもかかわらず引張側へのひずみ増加が生じている。これは柱端鉄筋ひずみの履歴と比較して特徴的である。試みにはり端鉄筋ひずみの履歴を、鉄筋の応力・ひずみ関係を完全弾塑性と仮定して、 $\sigma \sim \epsilon$ 平面上で追跡して見ると図-18の如くなる。すなわち圧縮降伏後の道程が短い。極端な場合には圧縮降伏を示さないということになり、一度引張降伏した後の繰返しループにはエネルギー吸収を期待出来ないという欠陥が生じていることが分る。このスリップ現象を検討するための比較基準として、はり端断面のモーメント・曲率関係を平面保持の仮定のもとで、コンクリートと鉄筋の応力・ひずみ関係を定めて、適当な曲率履歴で計算すると図-19の $M-\phi$ 関係と図-20の鉄筋の応力・ひずみ履歴が得られる。 $M-\phi$ ループ形状を図-5のはりの変形曲線と比較すると最大耐力及び除荷時曲線については近似しているが、計算値には再載荷時のスリップ現象は当然表われてこない。また計算では対称配置鉄筋の隅力で大部分の履歴が定まり、コンクリートは最大荷重時付近でわずかに圧縮力を分担するのみであるが、実験ではかなりの圧壊が見られる。また鉄筋の $\sigma \sim \epsilon$ 履歴を比較すれば両者はループ面積において大きな差異を生じている。

以上のことから、架構の復元力特性を評価するに当たって接合部域の付着特性が重要であること、また接合部の補強体に有効にスリップを防止する機能を持たせることが、はり端ヒンジのエネルギー吸収能を向上させる上で重要であることが判る。

4. 参考文献

- 1) 東・大和田, S 40~45年大会号他
- 2) 梅村・青山・遠藤, S 40年 関東支部
- 3) 森田・角, S 47年 近畿支部他
- 4) 中田他, S 48年関東支部
- 5) N. W. Hanson, IV. W. C. E. E.
- 6) H. Umemura, H. Aoyama, IV. W. C. E. E.
- 7) 六車・富永・渡辺, S 49年 大会号

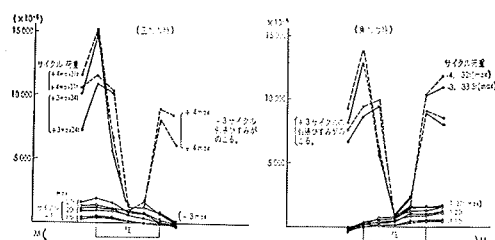


図-13 はり主筋ひずみ分布図(上端筋)

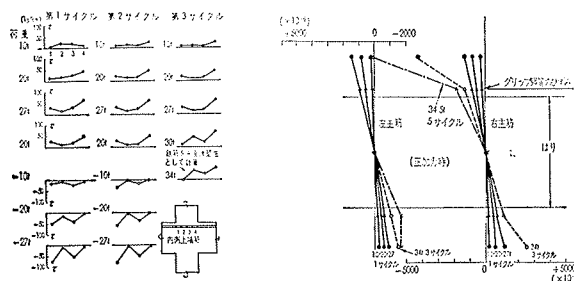


図-14 はり主筋付着応力
度分布

図-15 柱主筋ひずみ分布図

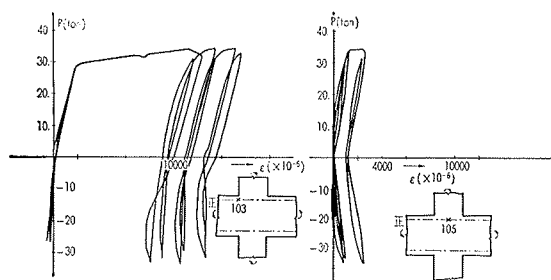


図-16 荷重-はり主筋ひずみ量関係

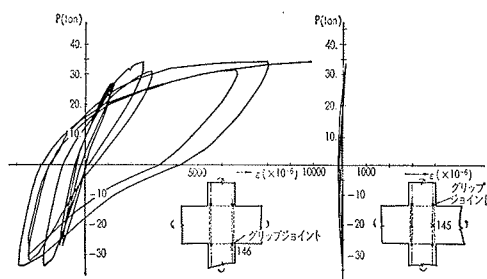


図-17 荷重-柱主筋ひずみ量関係

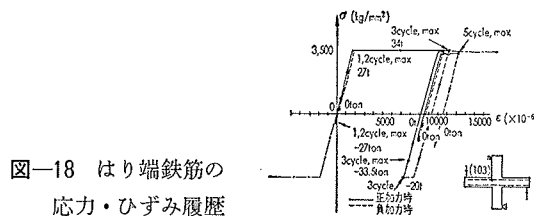


図-18 はり端鉄筋の
応力・ひずみ履歴

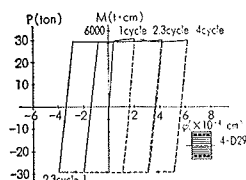


図-19 計算M-φ関係

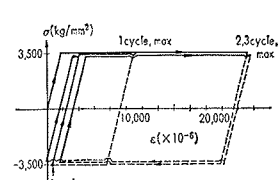


図-20 計算応力・ひずみ履歴