

## 繰り返し超過荷重をうける PC 単純ばりの 曲げ性質に関する基礎的研究

六 車 熙\*  
富 永 恵\*\*

### 梗 概

超過曲げ荷重を繰り返して受ける PC 単純ばりの特性に関して実験的に基礎的性質を調べた結果を述べる。ここで対象とする繰り返し超過荷重とは、荷重最高限が PC 単純ばりの終局耐力に近く、その最低限が 0 である定常片振荷重振幅で、比較的低速度の載荷を行なうものである。その結果、動的載荷をうける PC ばりの安全性に対する評価や、Grouted Beam と Non-grouted Beam との差および振動減衰性に対する鉄骨造との相異が明らかにされた。

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート・プレストレスト コンクリート部材の材料力学的性質に関する近年の研究対象は、準静的一方向載荷下での変形や耐力に関するものや、比較的小さい荷重が数百万回という非常に高頻度の繰り返し載荷される場合の疲労に関係あるものが主として取り扱われてきた。しかし、他方、地震や台風の襲来時に構造物に働くごとき、部材の終局耐力に対して比較的大きな荷重が低速度で繰り返して作用するといった、載荷荷重下でのコンクリート構造物の力学的性質に関する研究はその緒についたばかりであるといえよう。この種の荷重はその最高限が部材の終局耐力の約 8 割以上の大きさで、せいぜい約 100 回の繰り返し載荷で部材の完全崩壊に至るような低速繰り返し載荷荷重であると考えられ、一般に繰り返し超過荷重 (Repeated Over-load) と呼ばれている。PC 部材の破壊安全度検査用荷重係数の値は、このような荷重の繰り返し作用による影響を経験的に安全側になるように見積って決められている。しかし建築構造物が巨大化高層化し、経済上から構造物ができるかぎり最少の材料でもって安価に設計される必要が生じたことにより、安全率の過大評価が許されなくなった。このような理由とともに、コンクリート系構造物の動的設計を

行なうための基礎的資料を得る必要からも、低速繰り返し超過荷重下でのコンクリートおよび RC, PC 部材の力学的性質を研究することが非常に重要となってきた。

繰り返し超過荷重下の鉄筋コンクリートばりの荷重-変形関係に関しては K.H. Gerstle<sup>1)</sup> 等の実験的解析的研究がある。しかし、PC 部材に関しては同種の研究成果が全くないので、この報告では繰り返し超過荷重をうける PC 部材の力学的性質を総合的に知ることを目的として、片振曲げ超過荷重をうける PC 部材の実験的研究結果をのべる。

### 2. 実験計画

#### (1) 材 料

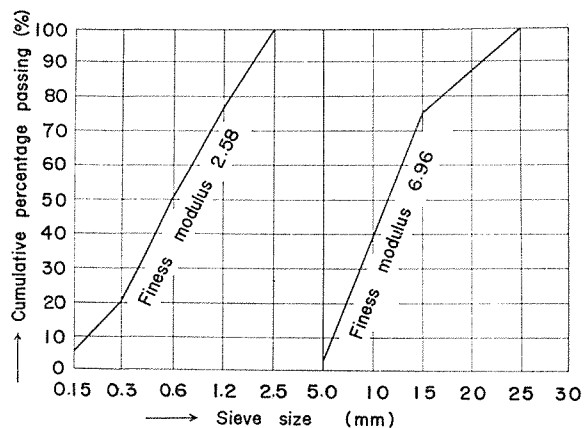
試験体の製作に用いた材料は下記のとおりである。

セメント：宇部普通ポルトランドセメント、JIS 規格によるモルタル試験結果は材令 3, 7 および 28 日でおのおの圧縮強度が 122, 225 および 413 kg/cm<sup>2</sup> であった。

骨 材：細粗骨材とも野州川産で、細骨材の粗粒率 2.58, 粗骨材の粒径は 5~25 mm で粗粒率 6.96 であった。

図-1 に粒度分布を示す。

図-1 骨材の粒度曲線



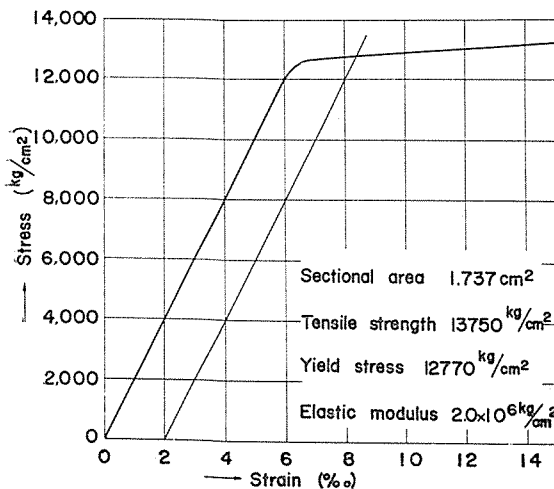
\* 工博 京都大学教授 工学部

\*\* 京都大学助教授 Engineer, Stanford University

コンクリート：極端に貧配合の場合のような骨材集合体と、極端に富配合の場合の代表である硬化セメントペーストとの間で、PC構造にもっとも一般的に使われる中程度配合とするために、コンクリート重量配合比を1:1.5:3.0とした。また、28日公称圧縮強度300 kg/cm<sup>2</sup>を与える水セメント比を50%とした。

緊張用PC鋼棒：高周波熱練(株)製φ16高周波焼入丸鋼棒を使用した。許容応力および降伏点応力はおの8940および12770 kg/cm<sup>2</sup>である。図-2に他の諸定数とともにその応力-ひずみ曲線を示す。鋼棒の定着端は図-3左上に示すようなリベットヘッドをコンクリート中に埋め込むことにより定着され、緊張端はナットとアンカープレートにより定着した。

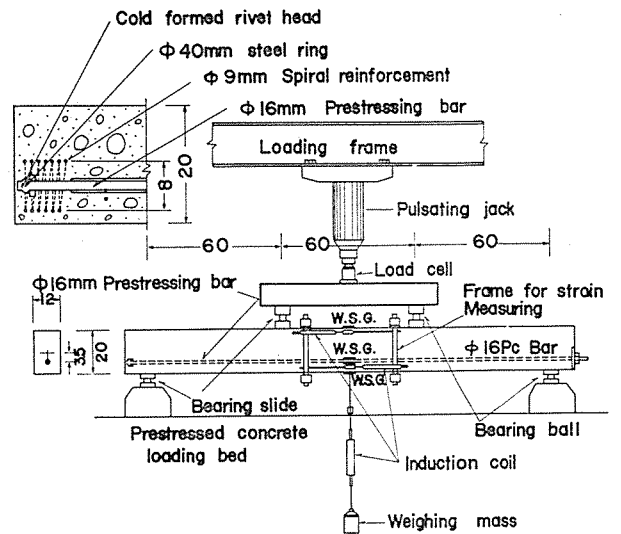
図-2 緊張用PC鋼棒の力学的性質



## (2) 試験体

試験体は図-3に示すような断面12 cm × 20 cm、全長200 cmの大きさで、一様偏心距離3.5 cmにPC鋼棒を配し、グラウトのため径22 mmのシースに収められている。プレストレス導入および載荷試験時に鋼棒の伸びひずみを測定するため、ゲージ長15 mmのフォイルゲージを鋼棒に貼付し、防湿処理を行なった。はり試験体はふたつずつ同じバッチコンクリートで打設し、φ10 × 20 cmテストシリンダーを製作した。はり試験体およびテストシリンダーは室内湿布養生をプレストレス導入時まで行なった。緊張力の導入はコンクリート材令28日で行なった。導入緊張力は12.5 tで、これによりはり試験体上へに2.7 kg/cm<sup>2</sup>の引張応力を下へに107 kg/cm<sup>2</sup>の圧縮応力を生じさせる計画であった。初導入緊張力の大きさはPC鋼棒に貼付したストレングージの値、緊張端の鋼棒抜け出し長さおよび試験体上下へりひずみの値より求めて平均した。緊張力導入後に一對のはりのうち一本に対して水セメント比45%のグラウト注入を行なった。その後、試験体は実験室内空中で養生さ

図-3 試験体および載荷装置と測定器の取付け方法



れ、材令約70~80日で繰り返し試験に供された。有効プレストレスは試験体上下へりに貼付したcontact typeストレングージで測定したコンクリートのクリープひずみから計算した。

## (3) 載荷装置

載荷装置を図-3に示す。試験体は剛強な反力用PC試験ベッド上に設けた支点機構上にのせた。著者等の経験によると、試験体の大変形を生じるRepeated Overload下の実験では、単純支持機能を円滑に発揮するために有効な支点機構を設けることが必要で、図-3に示すような一端球座、他端ローラーを介して反力が伝わるようにした。

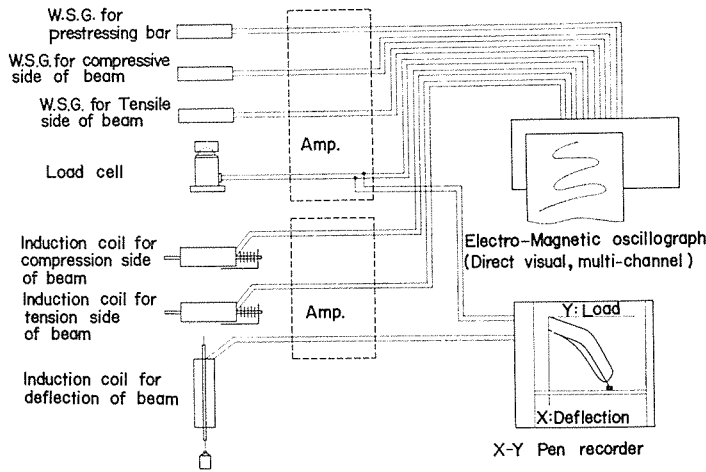
反力用PC試験ベッドに取り付けた載荷配力用鉄骨フレームからDynamic Jackを吊り下げ、これを10 t Amsler Type脈動発生機によって動作させることにより、正弦波的繰り返し荷重が試験体に加えられた。試験体は支点間距離180 cmで、その3等分点に集中荷重をかけ、中央60 cm区間にくり返し曲げが作用するようにした。

## (4) 測定方法

実験に使用した測定機器の取り付け、およびブロックダイアグラムをおのおの図-3と図-4に示す。載荷荷重は通常の静的試験時よりもかなり早い速度で変化し、かつ、多数点の変形測定を同時に測定する必要があるため、電気的測定器と記録器とを採用した。載荷荷重の大きさを測定するために、ジャッキと配力ビームとの間にロードセルをそう入した。試験体支点間中央のたわみは、伸縮の非常に少ない、柔らかいナイロン糸の動きに変えて差動トランスに導いて測定した。

荷重-たわみ曲線はX-Yレコーダーで記録した。試験体中央の上下へりひずみは、ゲージ長60 mmの電気

図-4 測定器および記録計のブロックダイヤグラム



抵抗線ひずみ計と検長 400 mm の差動トランスとの両方の測定器により測定した。繰り返し荷重試験中の PC 鋼棒のひずみは、はり中央部 PC 鋼棒に貼りつけたフォイルゲージで測定した。これらすべての測定データは直立式電磁オシログラフで記録した。使用した X-Y レコーダーと電磁オシログラフとも荷重くり返し載荷速度に対して十分な応答速度を持っていた。

PC 鋼棒のリベットヘッドのめり込み量は、試験中 1/1000 mm ダイヤルゲージにより、リベットヘッドの滑動を直接測定した。

(5) 試験プログラム

同時にコンクリート打設を行なって製作した一対の Grouted beam (PG) と Non-grouted beam (PN) とは同じ荷重条件で試験した。試験はコンクリート材令 70~85 日で行なった。荷重条件は 2 種とした。1) 一様漸増載荷、2) 初回載荷時試験体上へりひずみ ( $\epsilon_{ci}$ ) を指標として、そのひずみを生じさせる荷重の定常繰り返し載荷。 $\epsilon_{ci}$  の大きさは 1.3% から 3.0% までいろいろ変化させた。繰り返し載荷の 1 サイクルに要する周期は、最高荷重に無関係に約 2.5 分であった。もし試験体はその繰り返し載荷で定常的変形を示すようになると、その周期を 2 秒に短縮した。付属テストシリンダーの繰り返し載荷試験も同様に行なった。

3. 実験結果

(1) 荷重-変形関係

繰り返し載荷荷重下の PC はりの荷重-たわみ関係を 図-5~7 に示す。図-5 は PG-5 試験体の荷重-たわみ関係の変化を示したものである

が、かなり多数回の繰り返し載荷に耐えている。この試験体は初回載荷時のはり上へりひずみ  $\epsilon_{ci} = 2.10\%$  での荷重荷重を最高荷重として、定常片振り繰り返し載荷したものであるが、繰り返し載荷中に次第に剛性を喪失しつつ破壊に到っている。 $\epsilon_{ci}$  をさらに大きくとって静的-一様漸増載荷時のはり上へり終局ひずみ  $\epsilon_{cu} \approx 3.00\%$  に近い値である  $\epsilon_{ci} = 2.7 \sim 2.8\%$  になる荷重を定常振幅にとった場合の試験結果が 図-6, 7 で、図-6 は Grouted beam の、また、図-7 は Non-grouted beam の荷重-たわみ関係の推移である。図-6 から認められるように、この場合も繰り返し載荷中に試験体の付着が喪失し、漸次的に剛性が低下しているが、繰り返し回数が少ないのでその低下率

図-5 グラウトを行なった PC はりの代表的荷重-たわみ関係

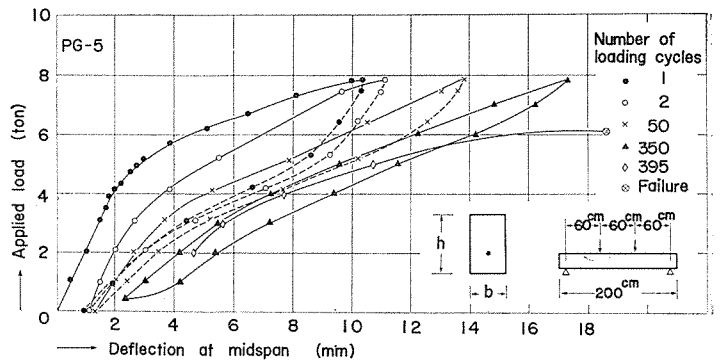


図-6 グラウトを行なった PC はりの代表的荷重-たわみ関係

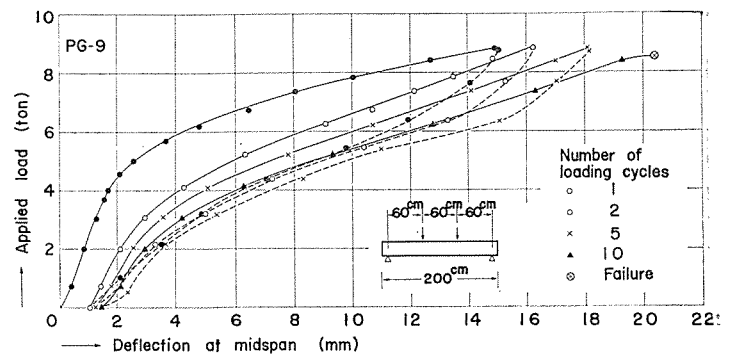
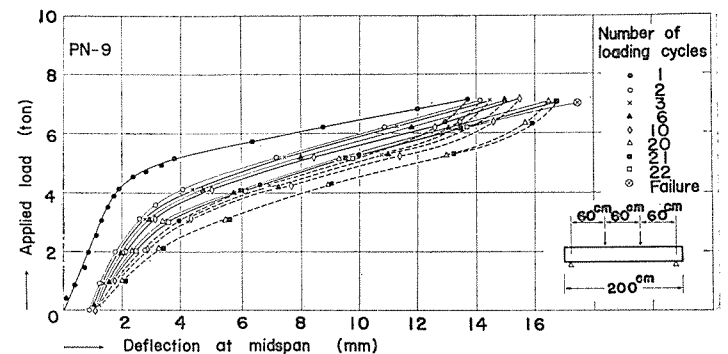


図-7 グラウトを行なわない PC はりの代表的荷重-たわみ関係



はPG-5より大きくない。これに対して図-7に示される Non-grouted beam のPN-9は初めから鋼棒に付着を与えていないために、付着の喪失による剛性の低下が少ない。グラウトのあるPG-9は最初剛性が大きいために、 $\epsilon_{ci}$ が2.7~2.8%になる荷重がPN-9よりも大きくなる。ところが繰り返し载荷のうちにグラウトの効果がなくなり、PN-9の性質に近づくため、荷重振幅は相対的に大きくなるので、PN-9に比べて少数回の繰り返し载荷で破壊するものと思われる。

図-8, 9は、試験体上下へりひずみと荷重との関係を表わしたものであるが、両グラフを比較してみるとグラウトの漸次的喪失によるひずみの漸次的増加の有様が認められる。試験体にはひびわれを分散させる働きをなす引張無応力補強筋が入っておらず、そのためにひびわれ間隔が大きくなり、60 cmの曲げスパンに対してせいぜい3本のひびわれしか生じなかった。そのため試験体上下へりひずみ測定器の検長外で生じるひびわれによる断面の集中的回転は往々にして測定不能となることがあった。このような場合の実験結果を取りのぞいて、繰り返し载荷中の試験体上へりひずみが最初の $\epsilon_{ci}$ よりどのように変化するかを図示したものが図-10である。約50~100回の定常繰り返しに耐えるには、最初のコンクリート上へりひずみ $\epsilon_{ci}$ がおよそ2.25%を越えない荷重の繰り返し载荷でなければならないことを示している。図-5~7に示したようにPCはりではひびわれ発生前後でその剛性が急変する。荷重履歴のある場合でもその特徴が認められ、Bi-linearな関係とみることができる。この場合、2直線の交点のはりのひびわれが開きまたは閉じる荷重を与えるものと考えてよいであろう。この方法によって各試験体について初回、およびそれに続く各再载荷時のひびわれ荷重 $P_{cra.i}$ 、 $P_{cra}$ を求めて、その比 $P_{cra}/P_{cra.i}$ が繰り返し回数が多くなるにつれてどのように低下するかを図示したのが図-11である。これによると $P_{cra}/P_{cra.i}$ の低下は初回载荷直後の再载荷時に著るしいが、その後引き続き再载荷時には次第に低下しながらもその度合が少なくなる。また、図-11上図の Non-grouted beam の場合では、初期はり上へりひずみ $\epsilon_{ci}$ の大きさに対して逆比例的に $P_{cra}/P_{cra.i}$ の低下が生じるのに対して、図-11下図の Grouted beam に対しては $\epsilon_{ci}$ に比例して $P_{cra}/P_{cra.i}$ の低下が生じる傾向がある。

(2) 曲げ剛性

図-12および図-13は曲げモーメントを繰り返して

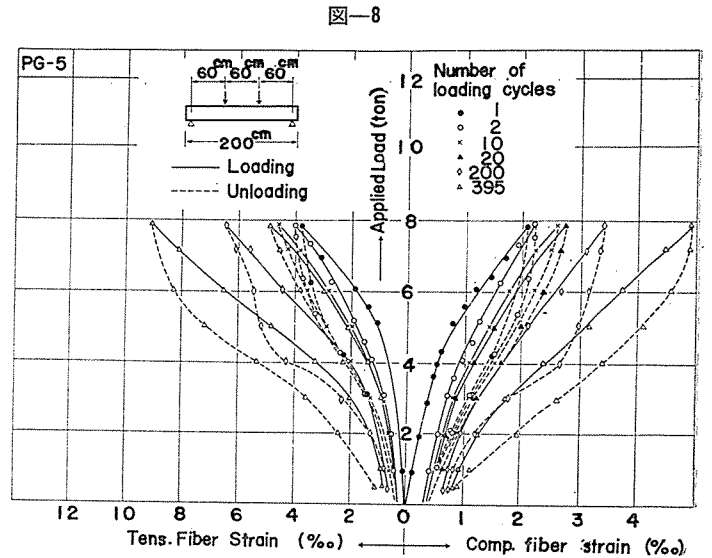


図-9

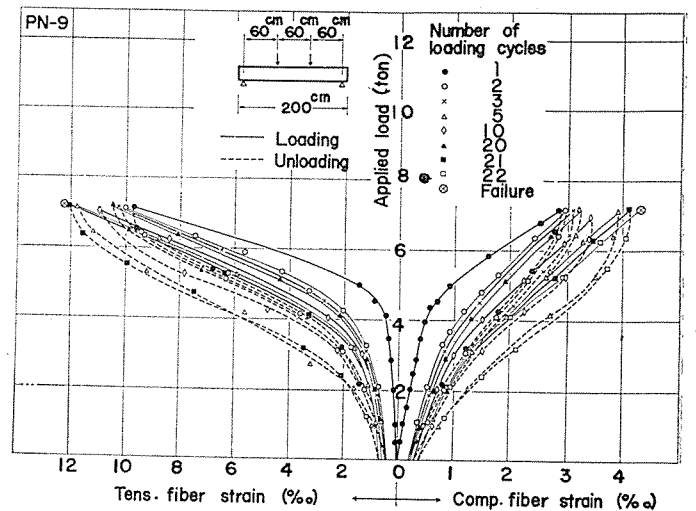
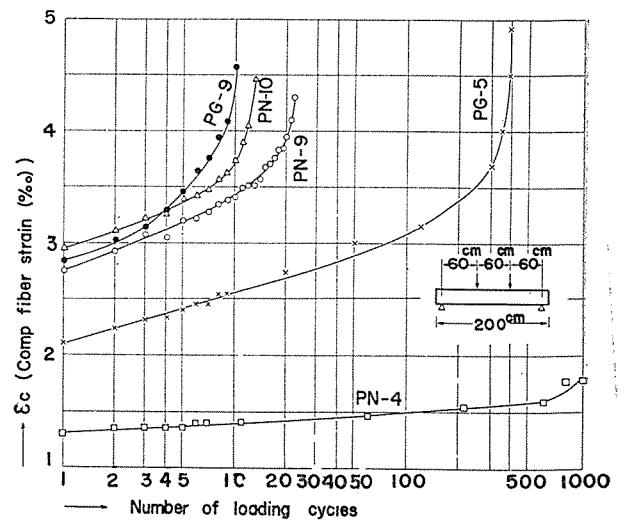
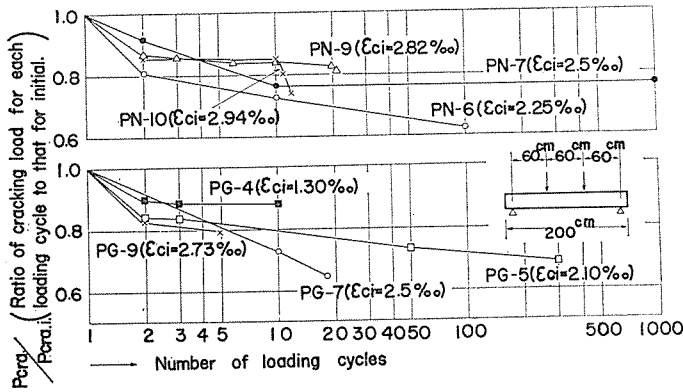


図-10



载荷する間に曲げ剛性が失なわれていく有様を例示したものである。この場合、除荷過程においては曲げモーメント、断面回転角を原座標軸の正方向を反対にとった座

図-11 剛性急変点変化



標系を使い、その原点を除荷開始点とした。また再載荷時においては、原座標軸系についての  $M-\phi$  曲線のタンジェントを用いた。初回載荷時とそれに引き続く載荷時との間での曲げ剛性の低下は非常に大きい。また Non grouted beam では除荷時の曲げ剛性がはじめから低下して以後はあまり変わらないのに反して、Grouted beam の場合では grout による付着の漸次的喪失により、次第に曲げ剛性が低下していく有様がよく分かる。

図-14 は初回載荷時の初期剛性  $K_i$  と再載荷時の初期剛性  $K_i^*$  との比  $K_i^*/K_i$  が繰り返し載荷過程のなかでどのように低下していくかを示したもので、繰り返し回数を横軸の対数軸上にとったものである。これによると PC はりに grout して付着を与えることは初めの剛性を確保するうえで有効であるが、繰り返し載荷中に付着

図-12 繰り返し載荷中の曲げモーメントと曲げ剛性の関係 (Non-Grouted Beam の場合)

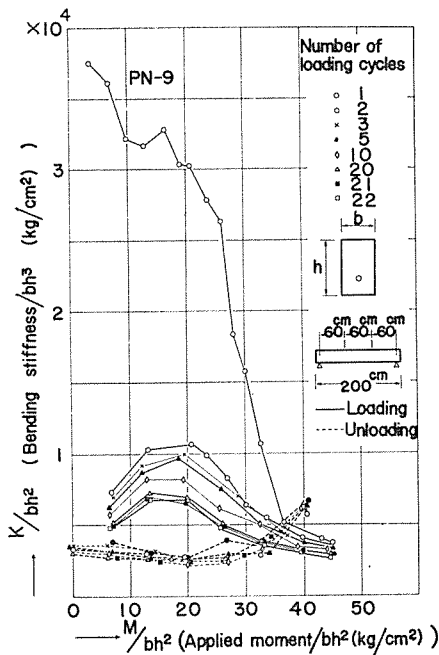
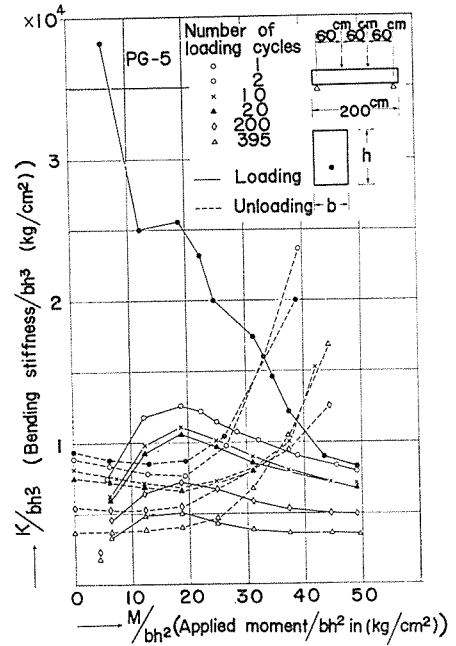


図-13 繰り返し載荷中の曲げモーメントと曲げ剛性の関係 (Grouted Beam の場合)



が破壊されて急速に剛性を失う傾向がある。これに対して Non-grouted beam の場合は初めに剛性を失うが、その後の繰り返し載荷ではあまり剛性の変化はない。

(3) 破壊荷重

定荷重振幅繰り返し試験の上限荷重  $P$  と同様漸増載荷試験下での破壊荷重  $P_v$  との比  $(P/P_v)$  を縦軸に、また、繰り返し試験初回除荷開始時より上へりコンクリートひずみ  $\epsilon_{ci}$  を横軸にとって実験結果を図示したのが図-15である。これによると定荷重振幅上限を破壊荷重に近づけ、コンクリートひずみ  $\epsilon_{ci}$  を大きく与えるほど荷重比  $(P/P_v)$  は1に近づき、かつ、groutの有無による差が大きくなる。図中、▲印はここでのべている試験シリーズと全く同じ仕様の試験体を後日製作して、同様の試験を行なった結果を示している。これらの傾向から

図-14 繰り返し回数に対する立上り曲げ剛性低下の傾向

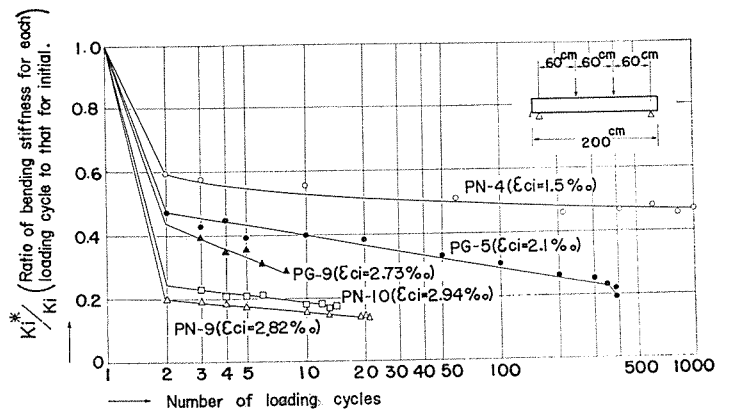
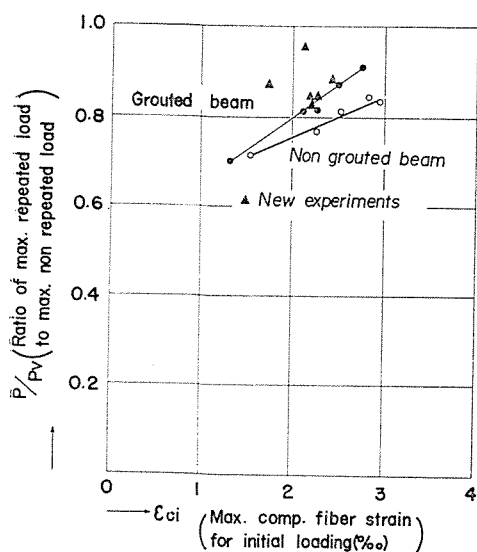


図-15 上限荷重  $P/P_v$  と除荷開始時コンクリートひずみ  $\epsilon_{ci}$  との関係



定荷重繰り返し試験をうけるこのようなPCはりでは、groutの有無にかかわらず一様漸増載荷下の破壊荷重の70%の荷重を上限荷重とすれば、 $\epsilon_{ci}=1.5\%$ 前後となることが分かる。

図-16は $\epsilon_{ci}$ を縦軸にとり、破壊までの繰り返し回数を横軸にとって、どのくらいの大きさの $\epsilon_{ci}$ を与えれば何回の繰り返し載荷で破壊するかを示したものである。図中▲印は既述の別シリーズ試験結果から併記したものである。

本報告の試験体の実験結果によると、 $\epsilon_{ci}$ が2%以上になるような高荷重繰り返し載荷では、同じ $\epsilon_{ci}$ に対してNon-groued beamの方がGroued beamより多数回の荷重繰り返しに耐えることが分かる。これは3.(1)に述べたように繰り返し載荷中にボンドが次第に失われてゆくために起る現象である。また本報告の試験体と別シリーズの試験体(▲印)実験結果とに大きな相違が認められるが、その原因は不明である。ただ、このようなOver-load域での繰り返し載荷試験は非常に実験結果のばらつきが大きいものであることが筆者の経験であることを付け加えておきたい。

日本建築学会の現行PC規準には破壊モーメントに対してつぎの3つの制限がある。

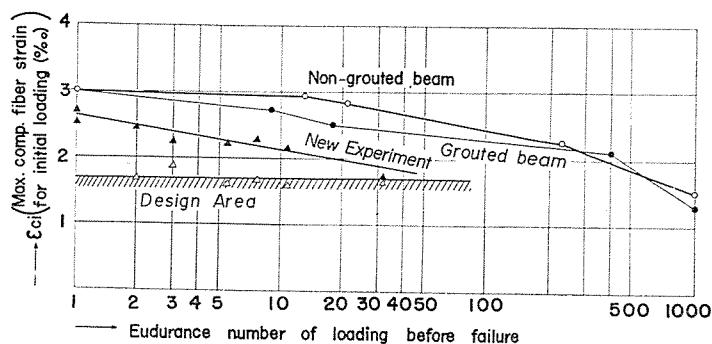
$$1.2 M_D + 2.4 M_L \leq M_B$$

$$2(M_D + M_L) \leq M_B$$

$$1.2 M_D + 1.2 M_L + 1.5 M_K \leq M_B$$

この3つの制限のうち、どれが破壊モーメントのチェックに直接関与するかは構造形式や規模によるが、地震力によるモーメント $M_K$ が断面決定に関与する場合を考えてみる。地震時の安全に対する目安として地震設計

図-16 破壊までの繰り返し回数と初回除荷開始時より圧縮はりひずみと $\epsilon_{ci}$ の関係



荷重比、

$$\alpha = (M_D + M_L + M_K) / (1.2 M_D + 1.2 M_L + 1.5 M_K)$$

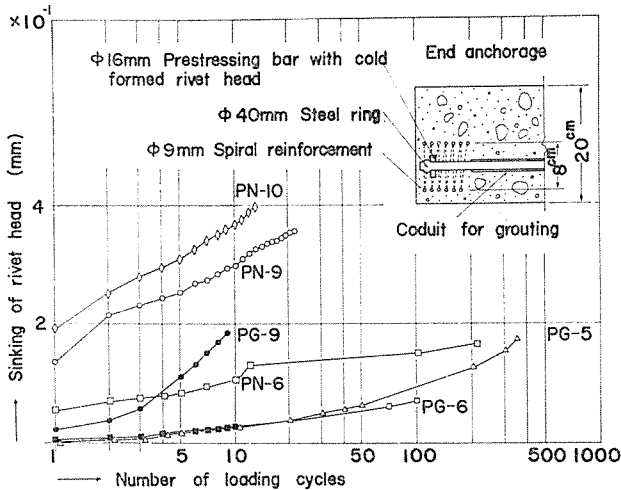
をとる。

坂・六車両博士は、 $\alpha$ の値がどのような場合でも0.766~0.75であることを明らかにした<sup>3)</sup>。すなわち通常の設計計算を行なう場合、地震による設計モーメントは破壊モーメントのせいぜい77%程度をとるものと考えればよい。破壊モーメントの77%のモーメントが載荷されたとき、はりの上へりに生じるコンクリートひずみは、コンクリートの応力-ひずみ曲線を仮定して求めることができる。ここでは圧縮ひずみが0~1.5%間は弾性的で、その後終局ひずみ3%まで圧縮応力(=圧縮強度)一定となる応力-ひずみ曲線を仮定する。他に鋼棒の応力-ひずみ曲線を用いて断面のつり合いと平面保持の仮定とから、破壊モーメントの77%のモーメントをうけるはりの上へりひずみを計算した。その結果、より危険側の別シリーズの試験体についてみるとそのときのコンクリートへり応力は0.88~0.91 $\sigma_{CB}$ 、へりひずみは0.61~0.72 $\epsilon_{cu}$ で約1.75%であることが分かる。図-16に斜線で囲った範囲が設計範囲を示す。この図から、この試験体については、建築学会設計規準にのった地震荷重が、50回程度繰り返されると破壊することがあると想定される。もちろん、これは比較的ductileといわれる曲げ荷重の場合で、せん断荷重の影響下にあるようなmechanismの変化を伴う場合はなおいっそうの急速な破壊を生じるであろう。図-15を参照すると $\epsilon_{ci}=1.75\%$ の場合には $(P/P_v)$ が概略0.75であり、上記 $\alpha=0.77$ と一致している。

#### (4) リベットヘッドのめり込み

図-17はPC鋼棒のリベットヘッドが、繰り返し載荷中にめり込んでゆく有様を示したものである。Groued beamの場合はNon-groued beamに比べて、最初のめり込み量は小さい。しかし、はり上へり初期ひずみ $\epsilon_{ci}$ が概略同じ(2.8%)で、高荷重履歴のあるPG-9とPN-9とを比べてみると、ボンドのあるPG-9の方

図-17 繰り返し載荷によるリベットヘッド  
めり込み量増加の傾向



が、そのない PN-9 より相対的に大きい割合で、めり込み量が増加している。これは先述のようなボンドの損失によるものである。

(5) 荷重変形曲線の唯一性

この報告で用いられている試験体は、grout の有無と試験体品質管理上から生じる避け得ない品質のばらつきを除いて皆同じ仕様で作られている。このような PC ばかりが繰り返し載荷を受けるとき、それが示す荷重-変形曲線の除荷あるいは再載荷曲線が、それ以前の荷重履歴により著しく影響を被むるものかどうかという問題は興味のあることである。これは換言すれば、荷重-変形曲線を描いてある座標平面上の 1 点を通過する載荷時 vector あるいは除荷時 vector が、その点について唯一性が成立させ得るものかどうかということの意味している。この問題を調べるためには、いろいろな履歴を有するはりの荷重-変形曲線を重ね合わせてみれば分かることであるが、非常に錯綜して見づらいものとなる。そのため、ここではつぎのような方法によって判定の一助とすることにしたい。まえにのべた試験体の一様性と定荷重振幅試験の結果をとり上げていることから、荷重-変形曲線の荷重軸よりも変形軸のみに対して荷重履歴の影響を図示すれば十分ではなからうか？。PC はりの荷重-たわみ曲線についていえば、繰り返し載荷中の各回ごとの最大たわみ (Total) を横座標に、また、残留たわみを左縦座標に (最大たわみ-残留たわみ)=各回ごとの回復たわみを右縦座標にとり、繰り返し回ごとにその値を図示すれば図-18, 19 のようになる。図中、それぞれの値は、それぞれのはり試験体初ひびわれ開口時たわみで除してある。図-18 は Grouted

beam に対して、また 図-19 は Non-grouted beam に対するものである。図-18, 19 を一覽すると、それぞれ試験体に載荷する繰り返し荷重レベルによって始点、終点は異なるが、概略ひとつの曲線上にあることははっきりしている。たとえば、図-18 で最初にひびわれ時たわみ  $\delta_{cra.i}$  の 8 倍になるたわみまで載荷してから除荷すれば約  $7 \times \delta_{cra.i}$  の回復たわみを生じて約  $0.5 \times \delta_{cra.i}$  の残留たわみを生じることになる。これは除荷が完全に行なわれて荷重が 0 のときの場合の変形についてのみ図示しただけで、除荷・再載荷過程の中間については何等の意味もないわけであるが、荷重-たわみ曲線全体の傾向からみて、その唯一性はおよそ成立しているものと考えてよい。

(6) 吸収エネルギー

図-20 は繰り返し載荷 1 回ごとの吸収エネルギー  $E_a$  を縦軸にとり、荷重繰り返し数を横軸にとって PC はりのエネルギー吸収性能が変化していく有様を図示したものである。図-21 は同様に縦軸に等価粘性減衰定数  $h_e$

図-18 荷重-たわみ曲線の性質  
(Grouted Beam の場合)

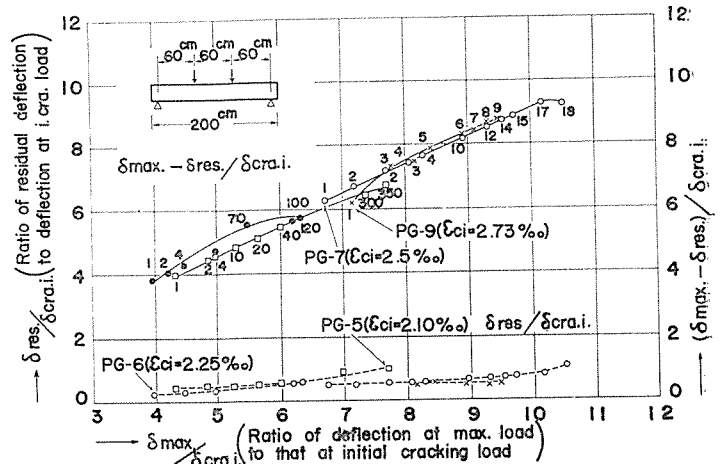
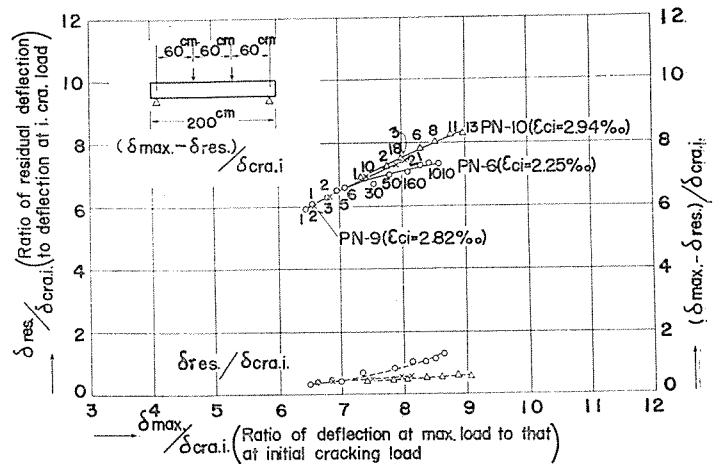


図-19 荷重-たわみ曲線の性質  
(Non-Grouted Beam の場合)



をとったものである。一般に Grouted beam は Non-grouted beam よりも大きな  $E_d$  や  $h_e$  を示すが、これは上限荷重が大きいためである。

また、 $E_d$  も  $h_e$  上に凹の傾向を示し、これは鉄骨構造などと基本的に異なる点である<sup>5)</sup>。

図-22 は繰り返し載荷中の各回ごとの最大たわみに対して、吸収エネルギーがどのように変化するかを示した。ここで個々の試験体品質のばらつきを打消すために、初ひびわれ開口時蓄積エネルギーで  $E_d$  を除した値を縦座標に、また横座標は繰り返し各回ごとの最大たわみを初ひびわれ開口時たわみで除してある。各回ごとの吸収エネルギーはたわみが大きくなるにつれ上に凹型に変化し、かつ、グラウトの有無による差も明らかである。

#### 4. 結 論

本報告にのべた実験結果より、繰り返し超過荷重をうけるPC単純ばりの力学的性質について次のような事柄が明らかにされた。

(1) 破壊荷重とほとんど同じくらいの極端に大きな荷重載荷により、繰り返し載荷中上限荷重近くで部材の著るしいフローが生じる場合を除いて、繰り返し荷重を受けるPCはりの荷重-変形曲線は、荷重履歴に関係なく Unique vector を有するといつてよい。Grouted beam と Non-grouted beam との間には繰り返し載荷の初期には著るしい性状の差を認めることができるが、繰り返し載荷の回数が数回を越えないうちにグラウトの効果が失われ、Grouted beam は Non-grouted beam の状態に近づいてくる。Grouted beam はその設計時にグラウトの効果を考慮して剛性を高く期待しているの、大きな設計荷重を負担させているが、荷重繰り返し作用後グラウトの効果が低減している限りでは、この最初の設計荷重は相対的に過重となる。

(2) 50~100 回の繰り返し載荷で部材が破壊する定常繰り返し荷重の上限荷重は、Grouted beam の場合、初回載荷時はり上へり最大ひずみ  $\epsilon_{ci}$  が 2.3% (別シリーズの場合 1.75%) となるような荷重であり、Non-grouted beam の場合、 $\epsilon_{ci}$  が 2.5% となるような荷重である。

(3) 繰り返し載荷各回の最大たわみに対する吸収エネルギーの変化はU型をなし、比較的たわみが小さい範囲で急激に低下し、初ひびわれ開口時たわみの 7~8 倍の最大たわみのときもっとも小さく、その後、次第

図-20 繰り返し載荷各回ごとの吸収エネルギー  $E_d$  の変化

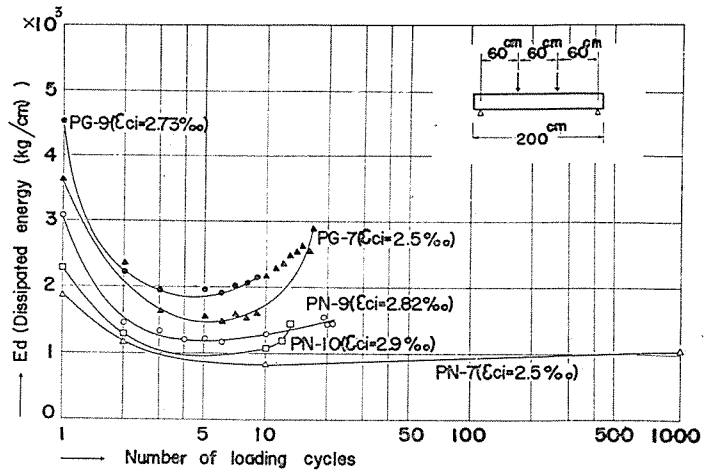


図-21 繰り返し載荷各回ごとの等価粘性減衰定数  $h_e$  の変化

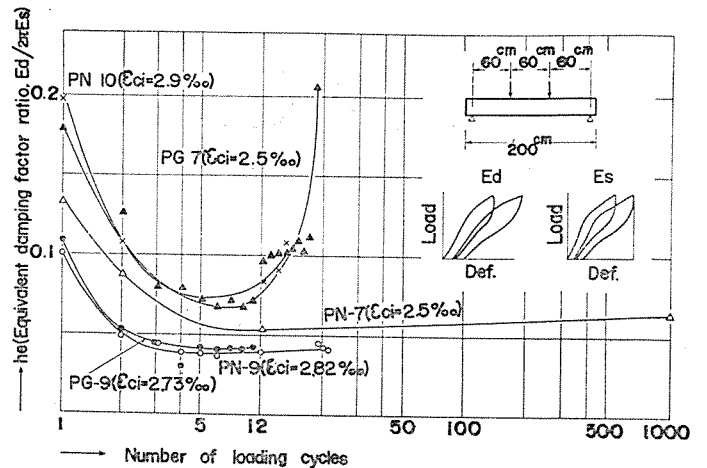
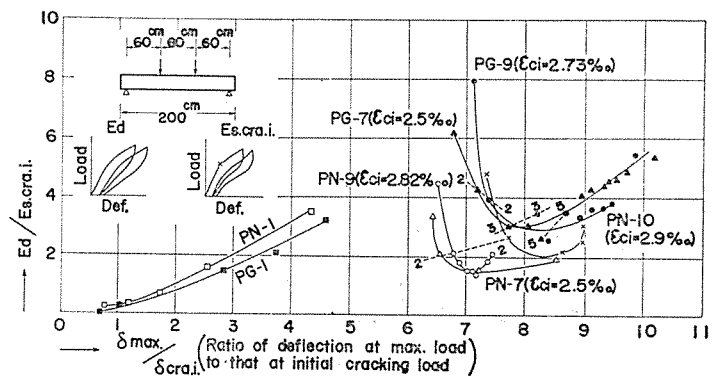


図-22 繰り返し載荷中の最大たわみと吸収エネルギーとの関係



に増大していく。繰り返し上限荷重が大きければ大きいほど、この吸収エネルギー変化は狭いU字型を示すことになる。

謝 辞 この研究を行なうにあたっては岡本 伸氏(現建設省建築研究所所属)の御協力に負うところが大きかったことを付記し謝意を表す。

なお、この研究のあと、繰り返し載荷を受けるPCは



報 告

りにつき、有効緊張力の大きさによる影響については文献 6)、上限荷重レベルの大きさによる影響については文献 7)、また補強鉄筋の効果については文献 8) による研究報告を筆者などにより行なっている。

参 考 文 献

- 1) B.P. Sinha, K.H. Gerstle and L.G. Tulin: "Response of Singly Reinforced Beams to Cyclic Loading", J. Amer. Concr. Inst., Proceedings Vol. 61, No. 8, pp. 1021~1038 (1964)
- 2) G.L. Agrawal, L.G. Tulin and K.H. Gerstle: "Response of Doubly Reinforced Concrete Beams to Cyclic Loading", J. Amer. Concr. Inst., Proceedings Vol. 62, No. 7, pp. 823~835 (1965)
- 3) 坂・六車: P C断面の耐震設計について, プレストレス

ト コンクリート, Vol. 4, No. 4, pp. 42~48

- 4) 六車・富永・岡本: 低速繰り返し高荷重をうけるP C単純はりの力学的性質 [II], 建築学会近畿支部研究報告集, 昭和 42 年 4 月
- 5) 坂本 順: 鋼構造節点の履歴特性並びに構造減衰性に関する実験的研究, 建築学会論文報告集 75 号, 昭和 37 年 8 月
- 6) 六車・富永・岸本: P C単純はり荷重変形履歴に対する有効緊張力の影響, セメント技術年報 XXII, p. 537~542, 昭和 43 年
- 7) 六車・富永・高矢・岸本: 高荷重履歴をうける軽量P Cはりの変形と耐力, 材料, Vol. 18, No. 185, pp. 163~169, Feb. (1969).
- 8) 六車・富永・高矢: 高荷重履歴をうける軽量P Cはりの変形と耐力 (補強鉄筋の効果について), セメント技術年報 XXIII, (in prep.) 1969.5.7・受付

お 知 ら せ

当協会の住所が住居表示の実施により、昭和 44 年 4 月 1 日より下記のとおり変更となりましたので、お知らせいたします。今後協会への連絡は表示によりお願い致します。

旧住所 東京都中央区銀座東 2 丁目 1 番地

新表示 東京都中央区銀座 2 丁目 12 番 4 号 (郵便番号 104)

電 話 (541) 3 5 9 5 (従来通り)



プレストレスト・コンクリート

○各種構造物の設計・施工

BBRV, フレシネー, MDC, SEEE 工法

○セメント二次製品の製造・販売

P C 製品 (桁, ハリ, 版類, マクラギ)  
ポ ー ル  
バ イ ル (P C, R C)  
ブ ロ ッ ク 類

帝都高速度交通営団 5 号線長島町工区  
延長 643 m 複線



北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

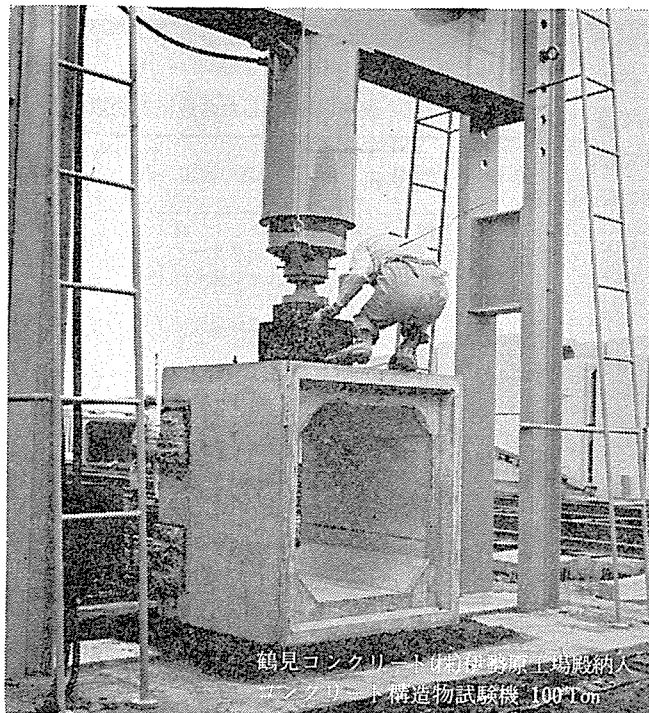
本社・東京営業所	東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)	電話 東 京(918)6171(代)
札幌営業所	札幌市北三条西4丁目(第一生命ビル)	電話 札 幌(24)5 1 2 1
大阪営業所	大阪市北区万才町43番地(浪速ビル東館)	電話 大 阪(361)0995~6
福岡営業所	福岡市大名1丁目1番3号(石井ビル)	電話 福 岡(75)3 6 4 6
仙台事務所	仙台市元寺小路172番地(日本オフィスビル)	電話 仙 台(25)4 7 5 6
名古屋事務所	名古屋市中区錦3丁目23番31号(栄町ビル)	電話 名 古 屋(961)8 7 8 0
美唄工場	美唄市字美唄1453の65	電話 美 唄 4 3 0 5 ~ 6
幌別工場	北海道幌別郡登別町字千歳	電話 幌 別 2 2 2 1
掛川工場	静岡県掛川市富部	電話 掛 川(2)7171(代)

丸東リーレ式

# コンクリート構造物試験機

梁・カルバート・プレハブ材・プレキャスト製品など大型のコンクリート構造物の圧縮・曲げ試験がクローズ・アップされています。これらの試験機は、被試験供試体の形体に最も適した負荷部と、正確で操作の簡単な計測部との組み合わせが性能のきめ手となります。

当社のコンクリート構造物試験機は、ワンタッチ方式としてご好評を博している丸東リーレ式計測部を備え、多数の製作実績と共に必ずご満足頂ける試験機であります。



鶴見コンクリート(株) 鶴見工場納入  
コンクリート構造物試験機 100Ton

## 計測部の特長

- 1). 振子無交換式容量変換装置付  
容量変換 5段式
- 2). 容量と面盤の連動同時変換式
- 3). 過負荷防止装置付
- 4). 大型目盛盤(最小目盛1/500~1/600)付
- 5). オイル・バス式多連アクシアル・ポンプ付

## 負荷部の特長

- 1). 簡単かつ操作便利なフレーム構造
- 2). 加圧頭の高精度な平衡装置付

詳細資料をお送りいたします。  
誌名ご記入の上お申込下さい。



## 株式会社 丸東製作所

〒135-91  
コンクリート実験室  
京都出張所  
北海道出張所

東京都江東区深川白河町2-7 電話(03)642-5121(代)  
東京都江東区深川白河町2-9 電話(03)642-5121(代)  
京都市中京区壬生西土居の内町3-1 電話(311)7992  
札幌市南十条西十三丁目 電話(56)1409