

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 2 4 年 5 月 1 5 日現在

機関番号：3 4 4 1 9  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2 0 1 1 ~ 2 0 1 1  
 課題番号：2 3 6 5 6 3 4 4  
 研究課題名（和文） 新型引張り筋違装置の開発

研究課題名（英文） Development of the New Tensile Bracing System

研究代表者

平松 晃（HIRAMATSU AKIRA）

近畿大学・産業理工学部・教授

研究者番号：2 0 0 8 8 6 3 6

研究成果の概要（和文）：新しく開発した新型の引張り筋違装置(チャックバックルと命名)の試作品について高い耐震性能を有することを繰り返し加力実験によって確認し、また、その実験で得られた復元力特性を簡単なモデルで表し、これを組み込んだ建築物を計算モデルとした地震応答計算を行い、チャックバックルを組み込むことで地震時挙動を改善することができ、大きな余震に効果を発揮することが期待できる筋違材であるといことを確認した。

研究成果の概要（英文）：It is concluded that the newly developed tensile bracing system (named Chuck Buckle) can actualize spindle-shaped restoring force characteristics by the experimental tests in this research program. And also by the calculations of earthquake response, it is proved that Chuck Buckle is more effective than ordinary slender (small diameter) steel bar bracings as earthquake resistance building members.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：鋼構造、引張り筋違、細径鋼棒、復元力特性、偏心輪、地震応答解析、残留歪

#### 1. 研究開始当初の背景

(1) 従来から小規模鉄骨建築物の耐震部材として一般的に使われている細径鋼棒の筋違材は、力学機構が単純で施工・維持管理も容易で安価な優れた耐震部材である。しかし、この耐震部材には、大きい揺れを経験すると材長が伸びて、圧縮時には座屈して構造面から大きくハミ出し、また引張り時には伸びた部材がピンと張るまでは地震力に抵抗できないという弱点がある。このため、強い地震動を受けた後の大きい余震に対しては耐震性能が期待できないという懸念が残る。

(2) この弱点を補うために新型の筋違装置を考案し、平成 1 6 年から少しずつではあるが研究を続けてきた。

ここで開発した新型の筋違装置の基本構造は、2 個の偏心輪で筋違鋼棒を挟む機構である。2 個の偏心輪が筋違鋼棒を挟むとき偏

心輪が鋼棒を軽く押付ける構造としているため、鋼棒に引張軸力が生じると摩擦により偏心輪が僅かに回転し、この回転の結果 2 個の偏心輪間距離が縮まろうとして鋼棒を強く挟むことになり、引いては筋違鋼棒が軸力に抵抗できることになる。

他方、鋼棒に圧縮軸力が生じようとする場合は、摩擦により偏心輪が僅かに回転し、この回転の結果 2 個の偏心輪間距離が広まることになり、鋼棒は偏心輪との接触面で滑るため、筋違鋼棒には圧縮軸力が生じないことになって、また筋違材は座屈も免れることになる。

ここでは、この装置にチャックバックルと命名している。

チャックバックルの特徴は復元力特性(軸力-軸方向変形関係)が紡錘型履歴曲線を示すことである。

(3)これまでの研究結果は、以下の諸点としてまとめることができる。

筋違用細径鋼棒の径を13としたとき偏芯輪の径を140mm、ピン径を45mmとすれば期待される力学性能に近い結果が得られる。すなわち、引張り過程に移ると直ちに引張り軸力を生じ、地震力に抵抗することができ、さらに引張り過程が続いても鋼棒が降伏点に達し、その後の歪硬化域に及んでも軸力を保持できる。他方、圧縮過程でも座屈を生ずることなく、常に筋違鋼棒を直線状に保つことができる。

偏芯輪と筋違鋼棒の接触点に作用する接線方向力(摩擦力)Nと法線方向力(支圧力)Pの比、これを支圧力比と呼ぶことにしているが( $\mu = P/N'$ )、支圧力比を $\mu = 1.5 \sim 2.5$ 程度とすれば期待した挙動を示す。

地震応答計算によって、地震動が小さい場合よりも大きい場合の方が新型筋違による応答の抑制効果が大きい。

(4)ただし、以下に列挙する諸点が解決すべき課題として挙げられる。

偏芯輪と筋違鋼棒の接触点における法線方向力Pによって筋違鋼棒が押しつぶされ、筋違鋼棒に「くびれ」が生じるので、地震力が小振幅で引張り過程と圧縮過程が交番で繰り返されたとき、圧縮過程から引張り過程に移行する時点における「くびれ」と偏芯輪の相対的な位置によって、偏芯輪が筋違鋼棒を掴む効果に差が生じ、復元力特性にスリップ域を形成することになる。つまり、地震力に抵抗すべき軸力の発揮が遅れることになる。

「くびれ」が生じると、そこでは引張り破断が生じやすくなる。このことと前期のため、「くびれ」の発生状況をより詳しく調査する必要がある。

試作品のチャックバックルは、重すぎる。試作品は1個の重量が約15.5kgであって、これに対し、一般の筋違鋼棒材に使われているM14用(13相当)のターンバックルは約0.6kgであり、その差はあまりにも大きい。

## 2. 研究の目的

本研究では、次の5項目を研究目標とした。

(1) 支圧力比や偏芯輪の直径等の基本特性をこれまでの実験で用いたチャックバックルと同じとしながら各部の鋼材量をこれまでに比べ低減させ、軽量化したチャックバックルを試作し、これを組み込んだ場合にも鋼製架構が水平変位角6%以上の変位域まで安定した紡錘型の復元力特性を示すことを確認する。

(2) 支圧力比はこれまでと同じとしながら、偏

芯輪の直径を大きくし、かつ形状を真円から切り取った三日月形とする。このことにより、さらに軽量化を図ったチャックバックルが可能となり、この試作品を組み込んだ場合の鋼製架構が示す復元力特性を求める。

(3) 繰返し荷重を受ける際の復元力特性(荷重-水平変位履歴曲線)に見られる載荷過程(立ち上がり部)の履歴曲線・剛性に及ぼす既存の「くびれ」の影響を確認する。

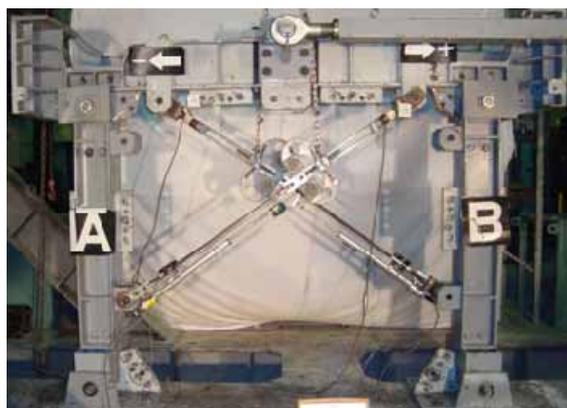
(4) 細径鋼棒が軸方向引張り力と繰返しの材軸直交圧縮荷重(側圧)を同時に受ける際に側圧加力点に生ずる「くびれ」の深さに及ぼす諸因子を検討する。

(5) チャックバックルを組み込んだ鉄骨建築物の強震動に対する振動応答をシミュレーション計算で求めて地震応答性状を把握し、さらに地震応答終了時における耐震要素(鉄骨架構や筋違用鋼棒)の残留応力、残留歪を検討する。

## 3. 研究の方法

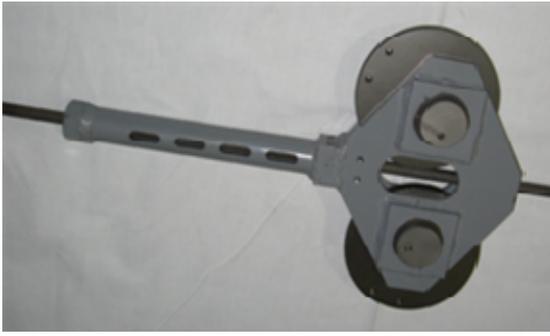
上記の研究目標を達成するため、3種の繰返し加力実験と低層鉄骨建築物を計算モデルとする地震応答計算を行なった。

(1) 実験1-1 チャックバックルを組み込んだ鋼製架構の繰返し水平加力実験 実大の約1/3のスケールをもつ門形鋼製架構にチャックバックル試作品と細径鋼棒を引張り筋違いとしてX字型に配置して供試体とした(下の写真)。この門形架構は、柱・梁を強剛な断面とし、さらに左右の柱脚をピン支持とし、かつ柱・梁の接合部もピン節点としたため、架構の力学特性には筋違材の特性のみが反映する構造である。



この架構の梁に油圧サーボ制御方式で制御された繰返し返し水平荷重を加える実験である。

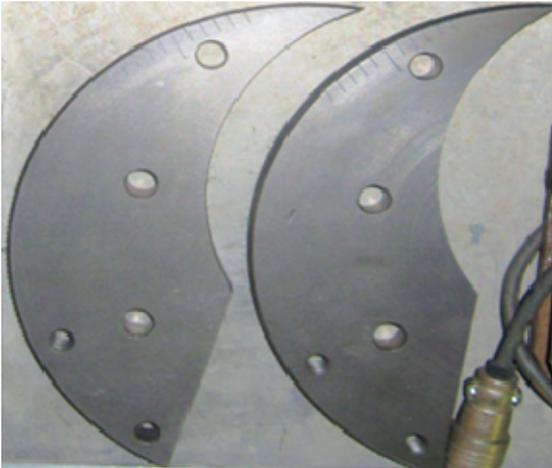
ここで用いるチャックバックルは支圧力比を $\mu = 2.0$ 、偏芯輪の直径を140mmとする試作品である。



上の写真は、試作品のチャックバックルである。この研究では、さらに軽量化することを目的に、下の写真に示すように、偏心輪に大きな穴を開けたり、偏心輪を支える周辺部の鋼板厚を9mmから6mmへと薄くした。この結果チャックバックルの重量を15.5kgから11.5kgへと4kg低減させることができた。



(2)実験2-2 大径偏心輪実験 支圧力比を  $\lambda = 2.0$  とし、偏心輪には直径を200mmの真円から切り取った三日月形とするチャックバックルを試作し(下の写真) これを前述と同じ鋼製架構に組み込んだ場合の復元力特性を求め。



(3)実験2 くびれ位置の影響確認実験 前記までの実験で筋違材として用いた鋼棒と同じ径(13φ)・材料(SS400)の鋼棒を試験片とし、この一端を  $\lambda = 2.0$ 、直径を140mmとする偏心輪のチャックバックルで掴み、他

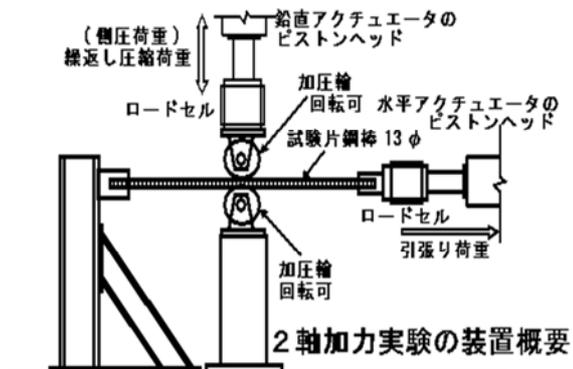
端を手動ポンプによる油圧ジャッキで引張る実験をおこなった(右の写真)。

手動ポンプを用いた理由は、加力の途中段階で経過に応じて荷重の増減を調整させるためである。この実験装置の特徴は、鋼棒試験片にあらかじめ「くびれ」を作っておき、この「くびれ」の位置に対する加力開始時の偏心輪の相対的な位置を適時選択設定できることである(右の写真)。



(4)実験3 長鋼棒2軸加力実験 前述の実験1で筋違材として用いた鋼棒と同じ径・材質で長さ約2mとした鋼棒を試験片とする。

この試験片の一方の端部をピン支持とし、他端に水平アクチュエータによる引張り荷重を加える実験である。

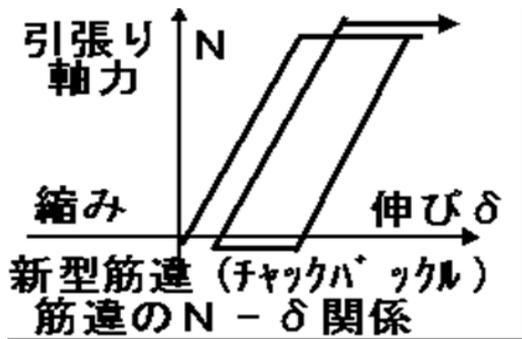


実験装置の概要を上を示す。

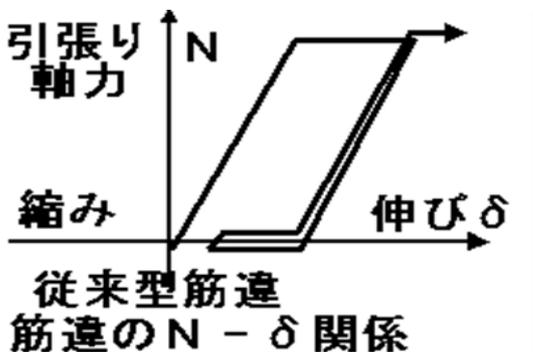
さらに、この実験では、偏心輪と同じ材質でできた2枚の円形加圧輪で試験片材長の中央部を挟み、引張り荷重と同時にこの加圧輪で試験片に材軸直交方向の繰返し圧縮を加えるものとした。この加圧輪は円の中心

に設けたピンで支持されており加圧輪は抵抗なく回転できるため、鋼棒試験片が伸びることへの拘束は小さい。

(5)地震応答計算 3階建て鉄骨造建築物を3質点系剪断バネモデル(串団子モデル)で表し、各階の復元力は5種の耐震要素の負担力の和として表す計算方法を採用した。各質点の重量は階の床面積が約400m<sup>2</sup>である一般的な事務所建築を想定して定め、柱・梁の断面は現行の耐震規定を満たすよう定めたものである。5種の耐震要素は、柱・梁からなるフレーム要素、右下がりの新型筋違装置(チャックバックル)、左下がりの新型筋違装置、右下がりの従来型の筋違、左下がりの従来型の筋違である。フレームの復元力特性は完全弾塑性型とし、剛性はD値法で、また保有体力は節点振分け法で算定した。新型筋違装置と従来型筋違の軸力-軸変形関係では、どちらも圧縮域では軸力は0とし、また引張り域のスケルトンカーブを完全弾塑性型とした。しかし、繰り返し挙動はそれぞれの特徴を踏まえて定めた。新型筋違装置の軸力-軸変形関係モデルを下の図に示す。



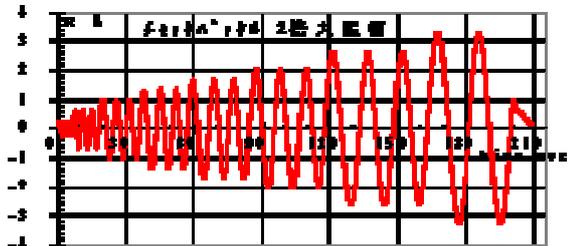
他方、従来型の筋違の繰り返し挙動では、圧縮過程で軸力を0とし、引張り過程では引張り域の経験最大変位点を目指すスリップ型の完全弾塑性モデルで表すものとした(下図)。



#### 4. 研究成果

##### (1)実験 1 - 1 チャックバックルを組み込んだ鋼製架構の繰返し水平加力実験

水平変位角 R が下の図に示すように振幅を漸増させ、各変位振幅段階で3サイクルずつ繰返すよう制御して実験をおこなった。



その結果、水平荷重 P と R の関係が下の図に示す通り描かれた。

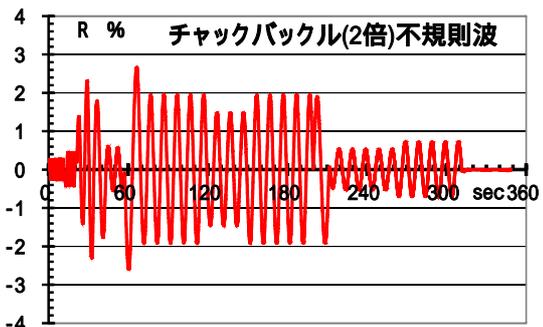


この実験では、R が 3 % の第 1 サイクルを経験したところで筋違鋼棒が左下がりと右下がりの両方で破断し、P が急激に低下していた。つまり、目標としていた R = 6 % に達することはできなかったが、しかし破断するまでは、P - R 曲線に見るとおり、紡錘型の履歴ループを描いていることが分かる。最大荷重が 40kN となっているが、これは筋違鋼棒の引張り降伏点に対応する水平荷重値である。

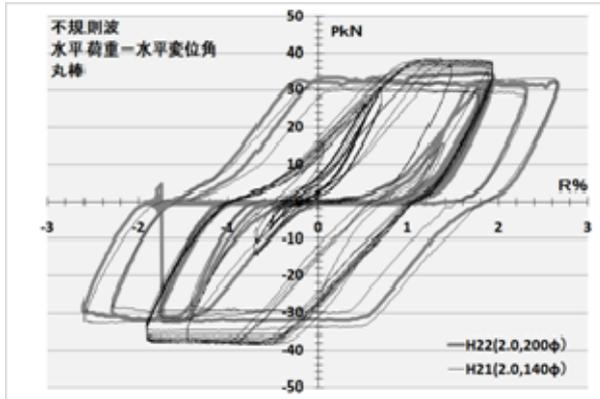
この結果は、軽量化したチャックバックルによって、R = 3 % までは紡錘型ループを描き、履歴減衰が期待できることを示している。

##### (2)実験 2 - 2 大径偏心輪実験

地震動時の不規則振動を想定した変位過程で制御した場合の実験結果一例として示す。下の図は、ここで用いた水平変位角 R の時刻歴である。



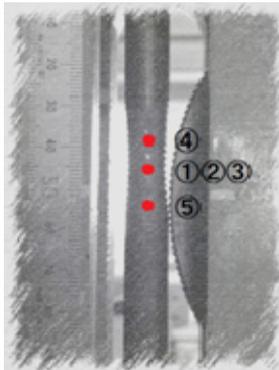
下に示す荷重P 変位角R曲線は、支圧力比を  $= 2.0$  とした場合で偏芯輪の直径が140mm とした場合と200mm とした場合の結果を重ねて描いた図である。



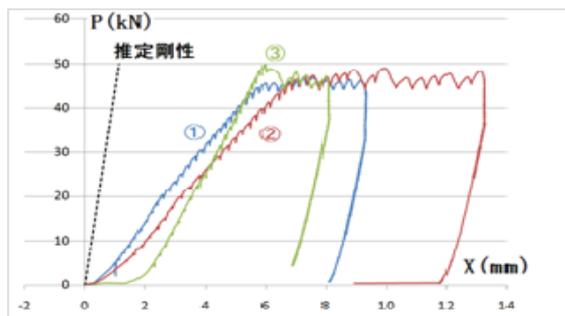
この図をみると、最大水平荷重が多少異なるが履歴曲線の全体としての傾向や剛性はほぼ等しく、偏芯輪の直径が140mm と200mm と異なっても復元力特性に大きな違いが見られないことがわかる。

### (3) 実験2 くびれ位置の影響確認実験

あらかじめ「くびれ」が出来ている鋼棒にチャックバックルを噛ませて引張り荷重を加え、鋼棒を下方に引っ張る実験では、引張り荷重を加え始める時の偏芯輪の位置を右の写真のように5箇所として、それぞれで描かれる引張り荷重Pと油圧ジャッキのピストンヘッドの移動距離Xは下の図のように得られた。このXは、もしも偏芯輪がしっかりと鋼棒と一体となっているならば鋼棒の伸び量であると考えられるものである。

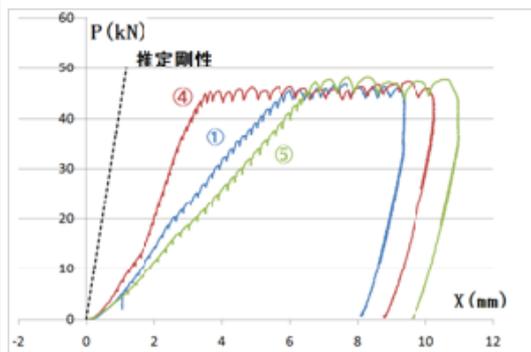


まず「くびれ」のない状態で の位置から始め「くびれ」を作り、次にその「くびれ」の中央 から加える実験を行い「くびれ」を進行させ、さらにその同じ「くびれ」位置からは として実験をした。つまり、「くびれ」



の深さを少しずつ進ませた場合の実験である。その結果はこの図に見る通り、若干ではあるが に比べ の立ち上がり剛性が低下しており、さらに になると最初スリップしてから立ち上がることがわかる。但し、スリップ後に立ち上がった位置での の剛性は他に比べ大きくなっている特徴がある。推定剛性は、チャックバックルが鋼棒を掴む位置で鋼棒と偏芯輪が完全に固着しているとみなした場合の弾性剛性である。推定剛性に比べ の剛性が小さい値を示しているが、これは、引張り荷重Pが鋼棒の降伏荷重に達するまでの間に偏芯輪が回転するためである。すなわち、ピストンヘッドの移動距離Xが鋼棒の伸び量とはならないことを示すものである。

次に、 の位置に「くびれ」があるときにあるいは の位置から掴み始める場合の実験をした。その結果は下の図に見る通り、 から始めた場合は剛性が大きいことがわかる。これは、 から始めた場合は、偏芯輪が鋼棒を加え始めたときに「くびれ」がストッパーとして働くためと考えられ、逆に の場合は、くびれが偏芯輪を滑らせることになるためであろう。

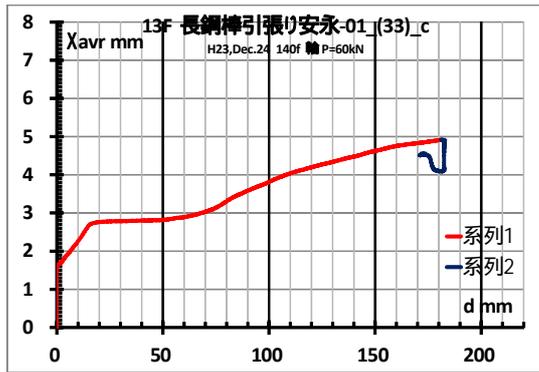


この実験により、偏芯輪が鋼棒を掴み始める時の位置が「くびれ」の位置とどのような関係にあるかによって、立ち上がり部の剛性に違いのことが確認された。

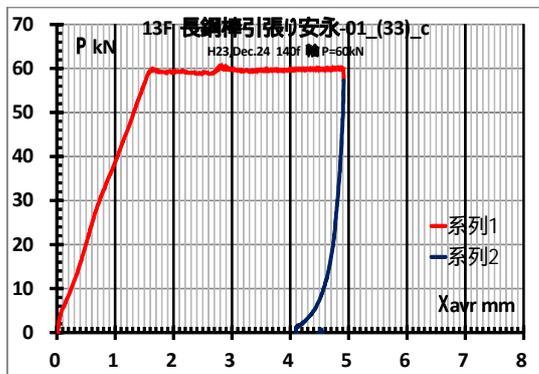
### (4) 実験3 長鋼棒2軸加力実験

鋼棒材軸方向に引張り荷重を加えるアクチュエータのピストンヘッドを等速で移動させながら側圧として作用させる鉛直荷重Pの加え方を3種変えた場合に鋼棒に生ずる「くびれ」の深さを計測した。ここで、くびれの深さは、上下の加圧輪間の距離の変動量Xとに等しいとみなすこととしている。

側圧Pが一定の値60kNを保つとした場合の「くびれ」による鋼棒径の減少量Xが下の図のように得られた。この図の横軸は水平アクチュエータのピストンヘッドの移動距離であり、ほぼ鋼棒試験片の軸方向伸び量に対応するものであり、縦軸がXである。が0から15mmでは引張り荷重が増加して



ゆき降伏荷重に達するまでに相当する。この間に鋼棒径は約 1.8mm から 2.7mm へと縮みが進行することがわかる。続く 15 mm から 55 mm の間は X の値に変化がみられないのは、引っ張り荷重が降伏荷重を保ったまま鋼棒が伸びていることに相当する。その後の進展に伴い X が増加し、つまり鋼棒径の縮が

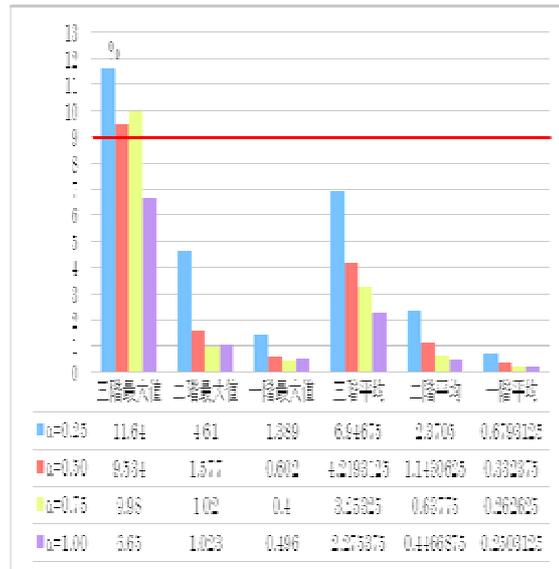


進行し、180 mm に達し、X が 5 mm となったところで鋼棒試験体が破断した。この間の P と X の関係を上の図に示す。

上の図では、縦軸が鉛直荷重 P であり、横軸が X である。P の増加に伴い直線的に X が増加し、その後 P の値が定値の 60 kN を保つ間も X は増加し続け、X が 5 mm に達したところで試験体の破断したことが示されている。

この実験結果から、例えば側圧が一定値を保っている場合でも、軸方向力が加わり、軸方向伸びが進行すると、側圧による「くびれ」は進行することがわかる。

(5) 地震応答計算 各階ごとの筋違用鋼棒の総断面積を  $A_0$  とし、チャックバックルの筋違用鋼棒面積を  $A_c$ 、従来型筋違の面積を  $A_t$  としたとき、 $A_0 = A_c + A_t$  である。また、 $A_0$  に対する  $A_c$  の比を  $\alpha = A_c / A_0$ 、チャックバックル率) とする。ここで、各階ごとの筋違用鋼棒の総断面積  $A_0$  を一定に保むものとし、 $\alpha$  をパラメタにして多数の強震記録に対する地震応答を求めた。強震記録は全て最大加速度が 500gal となるよう拡大・縮小している。



上の図は、縦軸に地震振動後のチャックバックル筋違鋼棒の残留歪度の最大値と平均値を各階毎に示したものである。最大や平均は計算に用いた多数の地震動について、および各階に配置された筋違について求めたものである。

上の図から、3階の筋違で残留歪が特に大きい結果となっていること、 $\alpha$  が大きくなり、チャックバックルの割合が多いほど残留歪が小さくなることがわか。これより、 $\alpha=0.5 \sim 0.75$  とすることで残留歪を減らすことが期待できると言える。筋違鋼棒が引張り破断をするかしないかの判断基準として歪 9% を一つの目安としているが、上の図によれば、3階の筋違で  $\alpha$  が 0.75 以下の一部で 9% の歪みを超えていること、2階、1階では 9% までかなりゆとりがあり、余震に対する高い耐震性能も期待できることがわかる。

以前の研究で、小さい地震動の場合には小さい方が地震応答量は小さいとの結果を得ているので、これを考慮すると、 $\alpha=0.5 \sim 0.75$  程度が耐震上有利になると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平松 晃 (HIRAMATSU AKIRA)

近畿大学・産業理工学部・教授

研究者番号：20088636