

改良復元力特性を有する軸組筋違に関する研究

高松 隆夫*・玉井 宏章**・小持 明宏***

(平成14年9月12日受理)

A Study on Framing Braces with Improved Restoring Force Characteristics

Takao TAKAMATSU, Hiroyuki TAMAI and Akihiro KOMOCHI

(Received Sep. 12, 2002)

Abstract

The experiment of framing braces using the device proposed in order to improve restoring force characteristics was carried out. The restoring force characteristics of framing braces of z type became perfectly elastic-plastic because they didn't resist against compression at all and could resist against without slipping. It was concluded that the device set at the end of the brace provided the same function of the brace as expected.

Key Words: framing braces, restoring force characteristics, elastic-plastic, slipping

1. はじめに

2000年鳥取県西部地震そして2001年芸予地震において、鉄骨造建物の被害は地盤液状化を主原因とするものを除いて軽微なものであった。その中で顕著な被害として軸組筋違の破断や座屈が挙げられる¹⁾。

筋違の保有水平耐力の算定に当たって、圧縮筋違材には座屈後安定耐力が用いられ座屈は許容されている²⁾。1981年(新耐震設計法施行)以降の建物においても筋違の座屈が起こっていた。設計としては地震時に筋違の座屈が起こることは想定されているために建物被害としては軽微・小破として判定される³⁾が、体育館のように公共性の高いものにおいては余震に対する安全性の面から筋違の塑性座屈変形は建物の管理者からは大きな被害を受けた建物との判断が下され、立ち入り禁止や使用中止の措置が講じられることが多い。そのために、建物としては安全と評価できるものが、筋違の座屈変形のために危険として取り扱われる場合もある。また、座屈を生じる場合には筋違材の復元力特性は大変複雑になり非線形数値解析によらなければ正確に求めることはできない⁴⁾。

そこで、本報告においては、筋違材の復元力特性において問題となる、1) 圧縮力を受ける場合に座屈を起こすこと、2) 引張力を受ける場合にスリップ現象を起こすこと、の2点を解決できる改良復元力特性を有する筋違材の開発として、著者等⁵⁾⁶⁾が考案した露出型柱脚のスリップ型復元力特性を改善するデバイスを筋違材に適用して、その性能を確認するための実験を行う。実験を行うにあたって変位、荷重を計測するための治具の作製を行い、それらの値から期待通りの復元力特性が得られることを確認する。また、筋違の性能を確認するための実験として、今回はZ形筋違について実験を行っている。

2. 改良復元力特性を有する筋違

2.1 機構について

従来の筋違材は端部がガセットプレートにボルト接合されたもので引張と圧縮に抵抗するものである。今回提案する筋違材はその端部にデバイスを設置した引張力のみが作用する部材である。これらのZ形筋違架構を Fig. 1 に示す。Fig. 2 は繰返し軸方向力を受ける筋違材の挙動を模式的に示したものである。両端ピン支持の筋違材に圧縮力と

* 広島工業大学工学部建設工学科

** 広島大学大学院

*** 広島工業大学大学院工学研究科土木工学専攻

引張力が交互に作用する場合の軸方向力・軸方向変位関係である。一般的な筋違材の挙動は Fig. 2 (a) のようになり大変複雑である。一方、筋違材に圧縮力が作用せず引張力のみ作用する場合には Fig. 2 (b) のような非常に単純な履歴曲線になる。

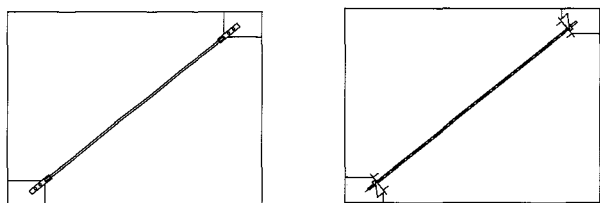


Fig. 1. Ordinary and Proposed framing braces

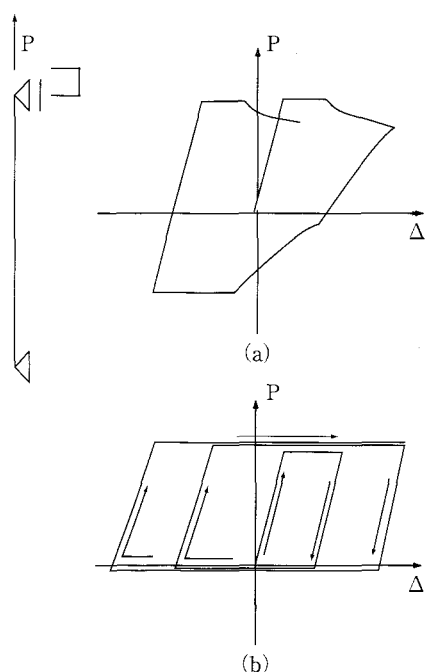


Fig. 2. Restoring force characteristics of ordinary and proposed framing braces

2.2 筋違端部の楔について

楔装置の概要を Fig. 3 に示す。楔装置とは、ナットと wedge stand との間のできる隙間に楔を滑り込ませることによって遊びを埋め、引張力の伝達役を果たすものとする。楔は圧縮コイルバネ（唱和発条製作所）により滑り込ませるものである。圧縮コイルバネを支える壁としてアンクル材（SS400）を架構上梁の下フランジに万力で固定する。

3. 繰返し載荷実験の概要

3.1 試験体

○ 筋違付架構

本実験で使用する Z 形軸組筋違付架構、および筋違材、を Fig. 4 に示す。

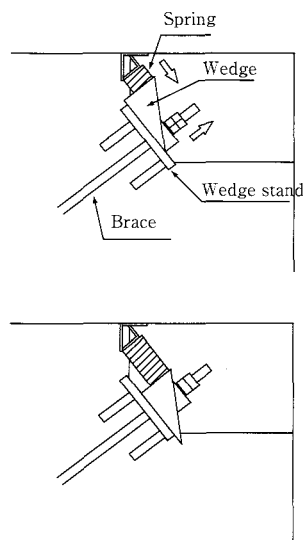


Fig. 3. Device at the end of brace

筋違付架構において柱には、H-100×100×6×8、(SS400) 梁には H-150×100×6×9 (SS400) の H 形鋼を使用する。筋違は SS400 丸鋼の両端をネジ加工したものである。径 16mm の丸鋼棒から両端 75mm をボルト加工した全長 2000mm のものを手前と奥に 2 本取り付ける。筋違材の使用鋼材の機械的性質を Table. 1 に示す。

○ 楔受けと楔の形状

Fig. 5 に楔受けと楔の形状を示す。これらは SS400 鋼板を機械加工したものである。また、楔と楔受けは、摩擦

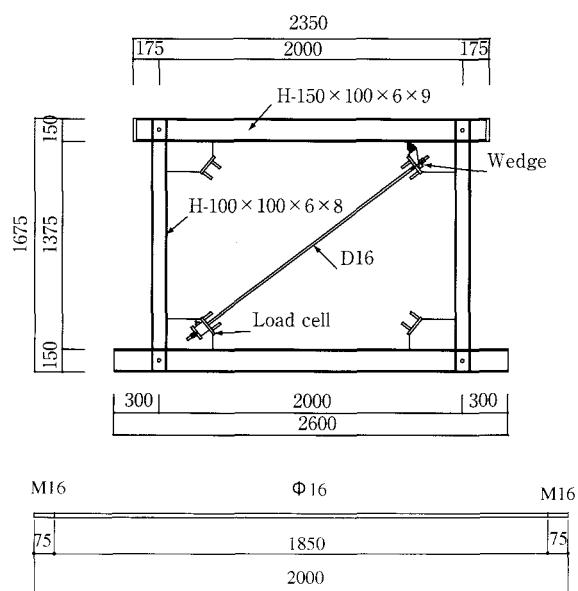


Fig. 4. Test specimen and detail of brace member

Table. 1 Mecanical properties of materials

Portion of material	E (N/mm^2)	σ_y (N/mm^2)	σ_u (N/mm^2)	σ_y/σ_u (%)	ϵ_f (%)
Brace	205000	318	453	68	26

係数を増すためにショットブラスト加工を施す。それらの板間の摩擦係数（実験前および実験後）を Table. 2 に示す。

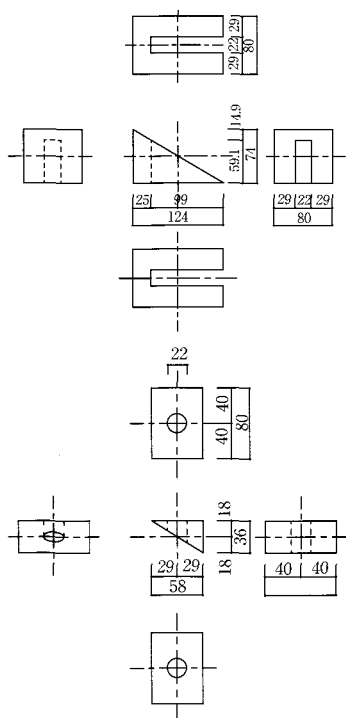


Fig. 5. Detail of wedge

Table. 2 Surface coarseness

	実験前	実験後
摩擦係数	①	0.607
	②	0.637
		0.684 (注1)
		0.216

注1：実験中のさびにより摩擦係数が大きくなった。

3.2 荷重装置

本実験では Fig. 6 に示すデジタルアクチュエーターを使用する。2つのアクチュエーターにより、片振り繰返し水平荷重、両振り繰返し水平荷重を行う。荷重の制御方法は、層間変位： Δ_s を制御する変位制御とし、荷重および変位の大きさの計測は両方ともコンピューター制御によるものとする。

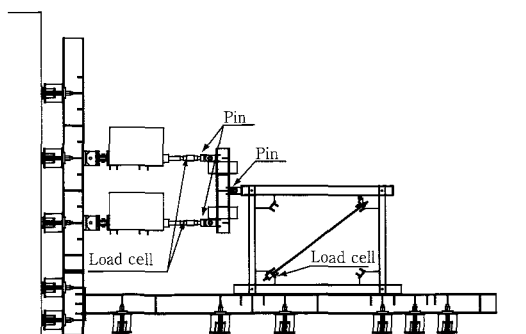


Fig. 6. Test apparatus

3.3 計測方法

○ 変位計測方法

変位計の測定治具を Fig. 7 に示す。

層間変形角を求めるための層間変位の測定は架構上梁中心点の水平変位： Δ 、筋違の伸びを求めるとのフレーム対角変位： δ_L 、 δ_R 、楔の滑り込み変位： δ_s 、CE-2 について行う。それぞれの変位については試験体の裏表2本の変位計で測定した値を平均して求める。尚、すべての変位計は、架構 Bar に固定した計測治具によって支持している。

軸方向力の計測は、筋違下部に取り付けたロードセルにより、軸力 TL を測定する。

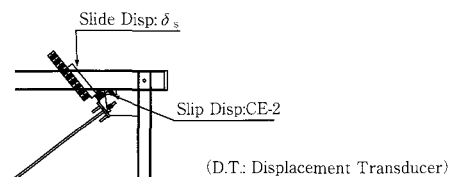
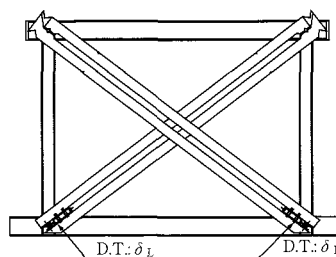
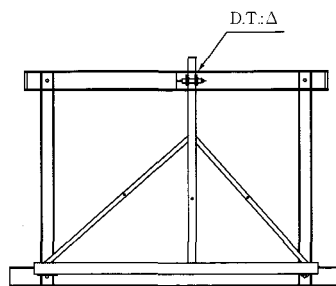


Fig. 7. Locations of displacement measurement instruments

○ 荷重、応力計測方法

柱のゲージ貼付位置を Fig. 8 に示す。Fig. 9 に示す試験体のゲージひずみ値からの N, M, Q の算定方法を示す。

$$N = E \cdot A \cdot \left(\frac{\varepsilon_T + \varepsilon_B}{2} \right)$$

ここに、E：柱のヤング係数

A：柱の断面積

ε_T 、 ε_B ：柱のフランジに貼付けたゲージから読み取ったひずみ

$$\kappa = \frac{\varepsilon_T - \varepsilon_B}{D}$$

ここに、 κ ：曲率

D ：柱のせい

$$M = -E \cdot I \cdot \kappa$$

ここに、 I ：柱の断面2次モーメント

$$Q = \frac{dM}{dx} = \frac{M_a - M_b}{2\ell}$$

ここに、 M_a, M_b ：柱のゲージ位置での曲げモーメント

ℓ ：柱の中央からゲージまでの距離

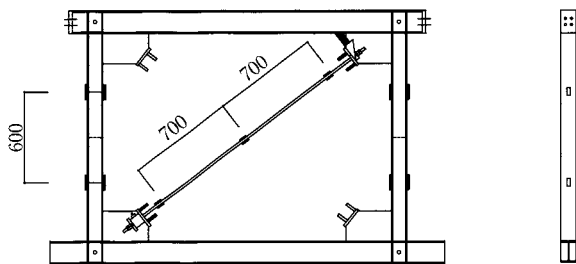


Fig. 8. Location of strain gage

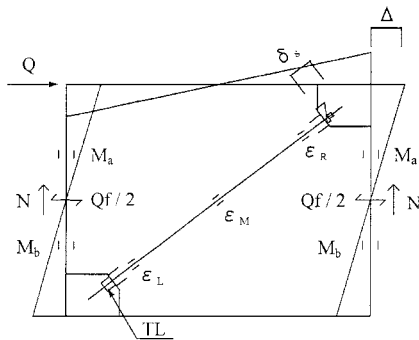


Fig. 9. Schematic illustration of measured values

3.4 载荷プログラム

弾性片振り繰返し载荷試験では層間変形角1/1000, 1/750, で初期張力 9kN の定振幅繰返し実験, 弾性両振り繰返し载荷試験では層間変形角1/1000で初期張力が 9kN, 4.5kN, 0kN の定振幅繰返し実験, 弾塑性両振り繰返し载荷試験では層間変形角1/150で初期張力 9kN の定振幅繰返し実験を行う。

4. 実験結果と考察

4.1 楔の貫入量について

Fig. 10 は楔の弾性片振り実験における貫入量を楔の最大貫入量で無次元化したもの： δ_s/D_w と最大振幅の測定回数： n の関係を示したものである。この結果から弾性範囲内において片振りの場合楔の変位がないことがわかる。

ブレースが引張力を受ける際に楔が押し戻されずに引張力を伝達している。

Fig. 11 は弾性両振り実験 (a) と弾塑性両振り実験 (b) における試験体にかかる水平荷重を筋違降伏時荷重で無次元化したもの： Q/Q_y と楔の貫入量を楔の最大貫入量で無次元化したもの： δ_s/D_w の関係を示したものである。Fig. 11- (b) の履歴経路は荷重が何も作用していない場合は①, 引張力が作用し始め層間変形角1/150に達すると②, 除荷によりブレースに荷重が作用しなくなると遊びができ楔が入り込み③から④へ, 再び引張力が作用し始めると⑤に向かってゆく。この結果から, 弾性試験では筋違の圧縮時に遊びができるとすぐに楔が滑り込むことがわかる。ま

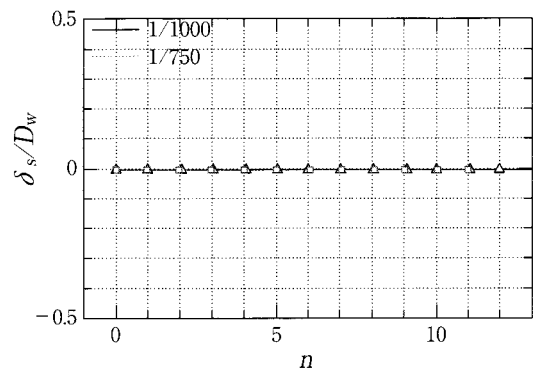


Fig. 10. δ_s/D_w -n relation

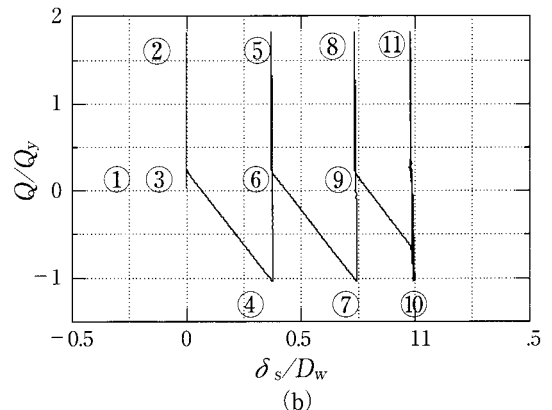
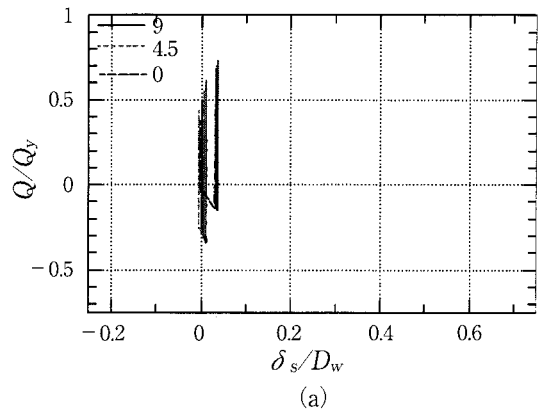
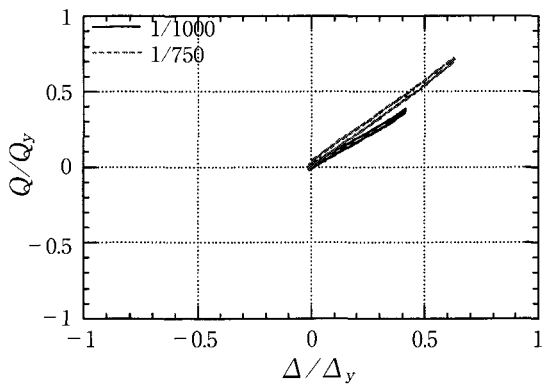
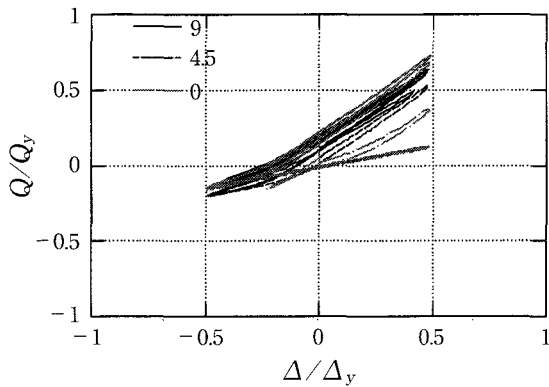


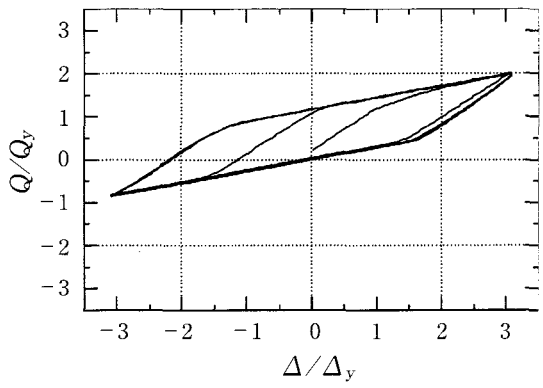
Fig. 11. Q/Q_y - δ_s/D_w relation



(a)



(b)



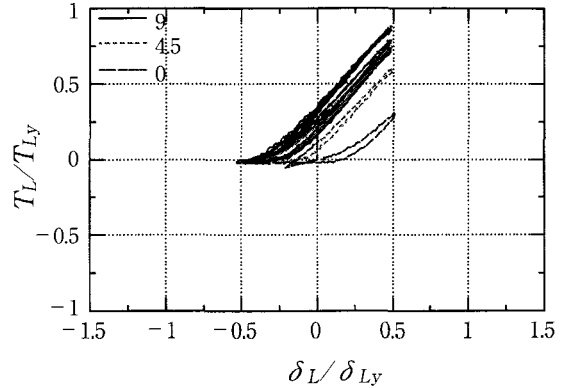
(c)

Fig. 12. Q/Q_y - Δ/Δ_y relation

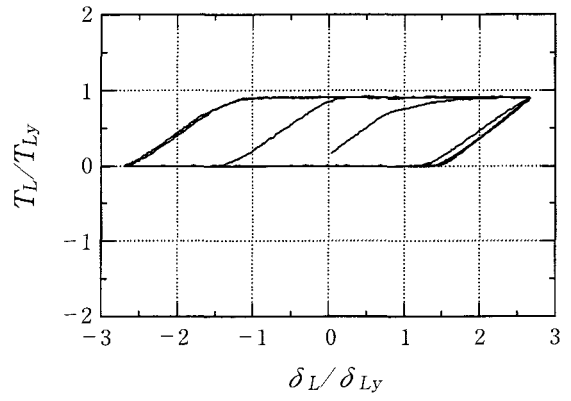
た筋違の塑性後も同じように楔が滑り込むことがわかる。

4.2 荷重変位関係について

Fig. 12 は弾性片振り実験 (a)、弾性両振り実験 (b)、弾塑性両振り実験 (c) における試験体にかかる水平荷重をブレース降伏時の水平荷重で無次元化したもの： Q/Q_y と層間変位をブレース降伏時の層間変位で無次元化したもの Δ/Δ_y の関係を示したものである。Fig. 12- (b) については縦軸に柱のせん断力 Q_f も併せて示す。この結果から弾性片振り試験においては繰返し荷重を受けた場合に同



(a)



(b)

Fig. 13. TL/TL_y - δ/δ_y relation

じ剛性を保っていることがわかる。

弾性両振り繰返し試験では、初期張力を加えた場合は筋違に引張力が作用するとすぐに楔が引張力を伝達しているので原点から荷重が作用する履歴曲線となっている。しかし、初期張力なしの場合は、原点からの履歴の勾配が緩やかになっている。これは初期張力なしの場合、引張力が筋違に作用しても楔が引張力を伝達し始めるまでに緩みがあると考えられる。

弾塑性両振り繰返し実験では、弾性実験から楔の貫入量を考慮して 9kN の初期張力をあたえることにより原点から荷重が作用する履歴曲線を描いた。また、圧縮から引張へ作用する際にすぐに荷重が作用していることから、スリップ型の履歴が改善されたといえる。圧縮時にはブレースに荷重が作用していないことから座屈を起こさない。また、初期降伏値はネジ部による降伏によるが、繰返し時における降伏は軸部によるものと考えられる。

Fig. 13 は弾性両振り実験 (a) と弾塑性両振り実験 (b) における筋違に作用する荷重を筋違降伏荷重で無次元化したもの TL/TL_y と筋違の伸び量を筋違降伏時の伸び量で無次元化したもの δ_L/δ_{Ly} の関係を示したものである。弾性両振り繰返し試験では、初期張力の違いが現れている。初期張力がある場合には初期剛性が上がっているのがわか

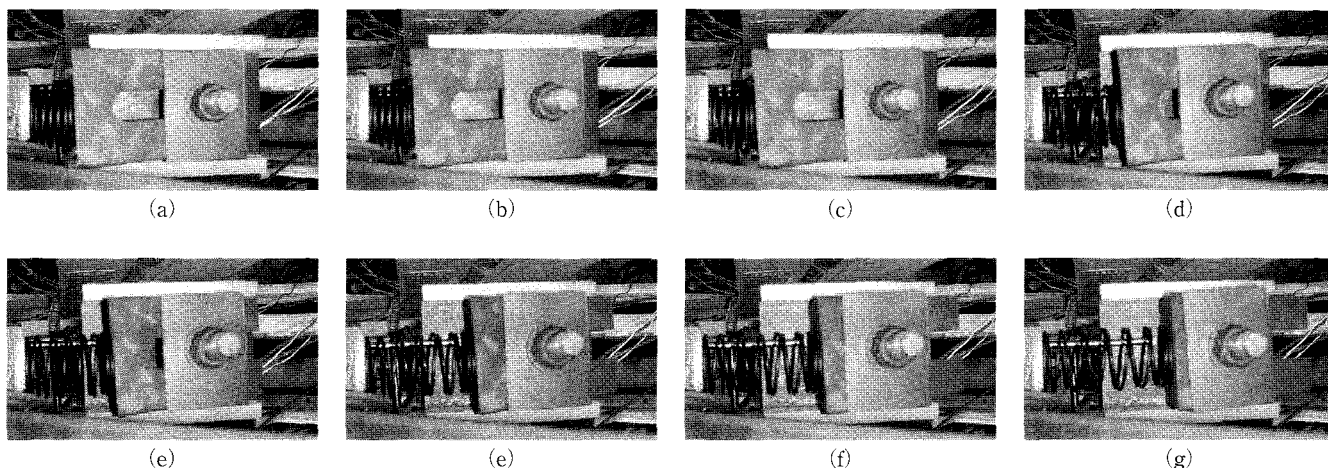


Fig. 14. Appearance of the wedge

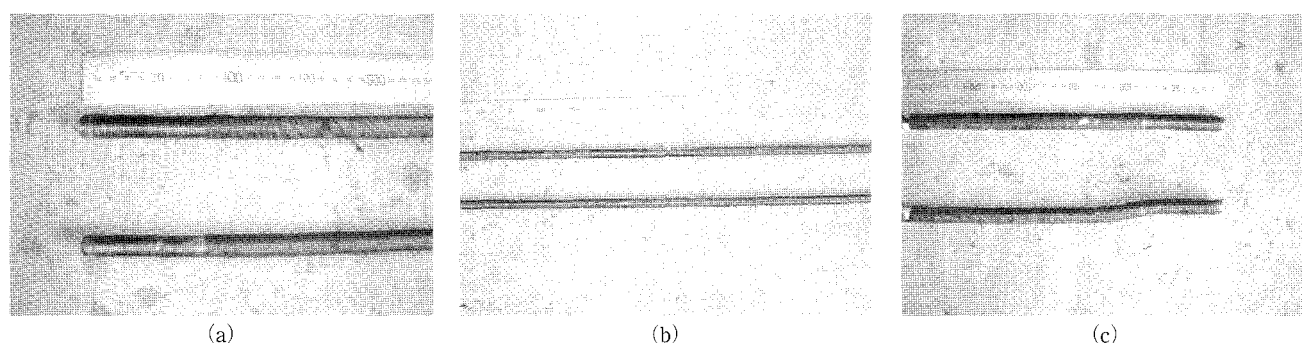


Fig. 15. Braces after test

る。また圧縮時には荷重が作用していないことがわかる。弾塑性両振り繰返し載荷試験では、圧縮から引張に変わる際にすぐに荷重が作用していることから、スリップ現象を起していないことがわかる。

Fig. 14 に弾塑性両振り実験での楔の半サイクルごとの変位を示す。Fig. 15 には実験後の筋違両端部と中央部の変形を示す。(c) より筋違端部が局部的に変形していることがわかったとともに (b) より両端部は塑性化により黒皮がはがれているのに対し中央部は黒皮が残っていた。これは両端部が大きく変形することを示していると考えられる。

5. ま と め

以上のことより、次のようなことが言える。

1. 楔に取り付けた変位計や、写真から楔がスムーズに滑り込むことが確認できた。
2. 筋違の伸びによる遊びに楔が滑り込んだことによりスリップ型の復元力特性を示さなかった。
3. 筋違が引張力だけ作用し、圧縮力には作用しないため座屈が起こらなかった。
4. 楔を設置することにより水平変位が小さくてもエネルギー吸収能力があるといえる。

5. 今後、X形筋違での性能を確認することが必要である。

文 献

- 1) 鳥取県西部地震, および芸予地震鋼構造建築物調査会 2002年鳥取県西部地震および2001年芸予地震鋼構造被害調査報告書 社団法人日本鋼構造協会, 日本鋼構造連盟 (2002)
- 2) 日本建築学会 鋼構造限界状態設計指針・同解説 丸善株式会社 (1998)
- 3) 建設省住宅局建築指導課監修 震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針 (鉄骨構造編) 財団法人日本建築防災協会 (1991)
- 4) 日本建築学会 鋼構造座屈設計指針 丸善株式会社 1996
- 5) 高松隆夫, 銅木弘和, 中村慎太郎, 改良復元力特性を有する露出柱脚に関する研究 (その1, その2, その3) 日本建築学会学術講演梗概集 (北陸) pp. 783-788 (2002)
- 6) 高松隆夫, 玉井宏章, 小持明宏 軸組み筋違の復元力特性について 日本建築学会学術講演梗概集 (北陸) pp. 581-582 (2002)