

半剛接架構の地震時挙動に及ぼす耐震要素による付加軸力変動の影響

Effects of Axial Force Generated by Earthquake Resisting Elements on Seismic Behavior of Semi-Rigid Frames

大井 謙一*・林 暁光*・嶋 脇 興 助*・扶 正 宇*

Kenichi OHI, Xiaoguang LIN, Yosuke SHIMAWAKI and Zhengyu FU

1. はじめに

鉄骨構造の柱梁接合部において、溶接接合などによる剛接合の替わりにアングルなどの金物とファスナーを介して接合するディテール、いわゆる半剛接合がある。日本では鉄骨構造の設計におけるこの種のディテールは一部の工業化システム住宅を除いては、ほとんど用いられていない。しかし、半剛接合は骨組みの柔性を増加させることによって変形が大きくなりやすいというデメリットの反面、施工及び品質管理が比較的容易で溶接剛接合で問題となっているひずみ集中による破断現象の懸念も少ない。また、変形が大きくなりやすい半剛接骨組に対して、ブレースやダンパーなどの耐震要素と組み合わせることによって、地震入力エネルギーを吸収し、変位応答の増大を押さえることができると考えられる。この場合、耐震要素のない半剛接骨組に比べ、梁の軸力が大きい値となり、接合部の復元力履歴に与える影響を検討する必要がある。

著者らは半剛接合された鉄骨架構の耐震性能に関する研究を継続的に実施している¹⁾²⁾。本論文では前回の実験結果を踏まえ、単純化された剛柱門型ラーメンを実験モデルとして選び、耐震要素として仮想ブレースを加え、スプリットティー接合とアングル接合の2種類半剛接合部に対する梁の変動軸力の影響を調べた。地震応答実験に先立ち、静的実験を用いて半剛接合部の復元力履歴に対する一定軸力の影響を調べた。それから部分構造法を用いたハイブリッド地震応答実験手法を1層門型ラーメンモデルに適用し、オンライン地震応答実験を実行した。本報では一定軸力場合の静的実験結果および1層門型ラーメンモデルの地震応答実験結果について報告する。

2. 実験の概要

載荷実験装置を図1で示す。半剛接合の載荷試験体は載荷端を含む梁部分とその下端の接合部部分で構成されている。梁の下端をアングルなどを介して床の上のベースブロックに接合する。上部の載荷端は十分な強度を持つボルト接合部を通じて梁本体と接合された上、繰返し載荷できるように横および縦方向のアクチュエータとピン接合されている。半剛接合部としての梁下端の接合部は図3および図4のディテールを用いている。(a)アングル接合：トップ・シートアングルおよびサイドアングルはSS400鋼L-75×75×9×8.5から制作され、長さがそれぞれ13cmと20cmとしている。(b)スプリットティー接合：スプリットティーはSS400鋼H-150×150×7×10より切断して制作した(長さが13cm)。ボルト(F10T)締め付けトルクは3000kgcmを目標値としており、ボルト穴とのクリアランスを2mmとしている。

上記試験体は単調載荷、繰返し載荷の試験体およびオンライン地震応答実験の部分構造試験体として使用される。実施した静的載荷実験およびオンライン地震応答

表1：実験ケースの一覧

載荷の種類	接合の種類	コード名	軸力 (ton)
単調載荷	Angle	LM-T5	+5.0
		LM-T15	+15.0
		LM-P5	-5.0
		LM-P15	-15.0
	Split-tee	TM-T15	+15.0
		TM-P5	-5.0
TM-P15		-15.0	
繰返し載荷	Angle	LC-0	0
		LC-T5	+15.0
		LC-P5	-5.0
		LC-P15	-15.0
	Split-tee	TC-0	0
		TC-T5	+5.0
TC-P15		-15.0	
オンライン	Angle	LO-N	変動軸力
		LO-0	軸力無視
	Split-tee	TO-N	変動軸力
		TO-0	軸力無視

*東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報

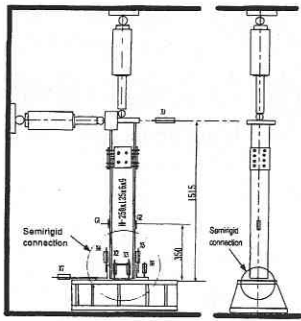


図 1 : 載荷装置

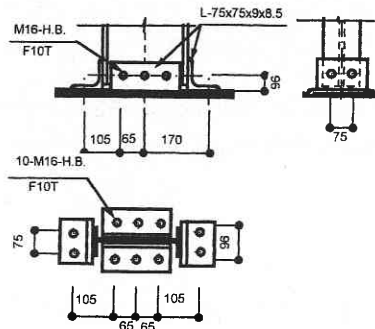


図 2 : アングル金物による半剛接合

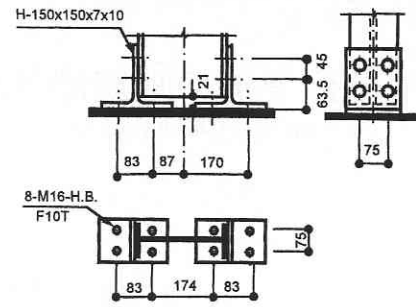


図 3 : スプリットティー接合

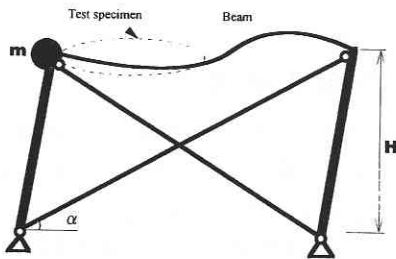
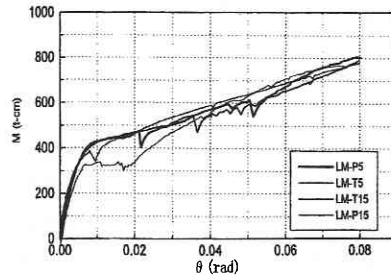
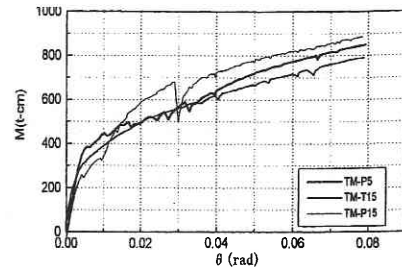


図 4 : オンライン実験における解析モデル



a) アングル



b) スプリットティー

図 5 : 定軸力下での単調載荷曲線

実験の詳細は表 1 で示しており、それぞれ 14 ケースと 4 ケースの計 18 ケースである。

部分構造オンライン地震応答実験のモデルは図 4 に示している。ここでは、柱を剛柱と設定し、質量を集中質量として片側（左側の接合部）に配置する。柱梁の接合部はスプリットティー接合およびアングル接合の 2 種類とする。地震応答実験では梁の半分と片側の接合部のみを選び実載荷の試験体として載荷実験を行い、ブレースを含む残りの部分はすべて仮想構造としてコンピュータ内でシミュレートするので、地震応答実験のセットアップは図 1 で示している静的載荷の場合と同じである。実験は変動軸力を考慮するケースのほか、比較するために強制的に軸力をゼロとするケースも実施し、表 1 で示しているように合計 4 ケースとなる。

また X 型仮想ブレースについては、スリップモデルを用いてシミュレートする。断面積を 4.0 cm と設定することによって、耐力 $F_y = 13.6 \text{ ton}$ 、剛性 $k = 23.14 \text{ ton/cm}$ となる。質量 $m = 46.0 \text{ ton}$ を設定し、周期 T は両タイプとも約 0.3 秒となる。上記地震応答実験モデルは 1 自由度系となるので、振動方程式は次式で表すことができる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + \frac{2M_c}{H} + R \cos(\alpha) - \frac{mg}{H}x = -m\ddot{y} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 m は質量、 c は減衰係数、 R はスリップモデル

による X 型仮想ブレースの復元力である。実験ではシステムの安定性を考慮し、ゼロに近い僅かな減衰を与えている。上記モデルの応答計算の数値積分に中央差分法を使用し、剛柱の仮定によって部分構造実験システムにおける復元力の予測を行う必要がなく、直接測定値を使用することができる。なお、入力地震波として、ELCEN-TRO NS 1940 の主要動を含む 10 秒間を使用している。入力レベルを 500 gal、時間刻みを 0.01 秒としている。

3. 静的載荷の実験結果

図 5 はスプリットティー接合およびアングル接合の単調載荷実験の結果を示している。縦軸は梁端のモーメントである。横軸は接合部の回転を含む梁の部材回転角である。圧縮軸力が 15.0 ton の場合を除いて、両タイプとも塑性化してからほぼ一定の勾配を保っており、バイリニアに近い性状を示している。また同図より軸力が ± 5.0 ton の範囲内であるときの復元力履歴の差が割合に小さい。15.0 ton の圧縮軸力を受けているアングル接合の場合では、軸力の影響で少し低い曲げ荷重レベルでボルトのすべりが生じ、ほかの実験ケースに比べ顕著なスリップ区間が形成されている。このスリップ区間は主にトップ・シートアングルおよびサイドアングルの両方の接合ボルトのすべりによって形成されているものである。

図 6 は繰返し載荷実験の結果から得られた復元履歴特

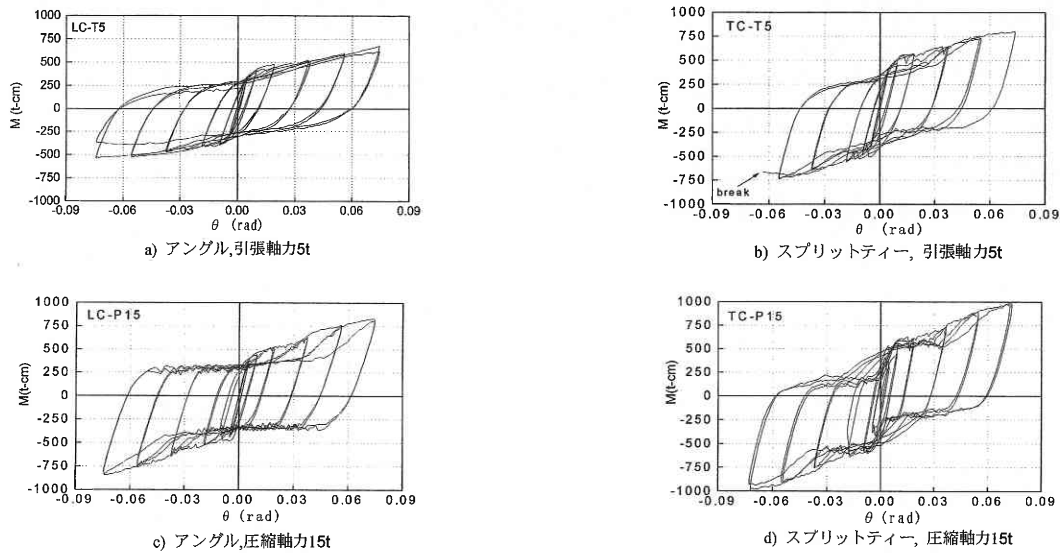


図 6：定軸力下での繰返し載荷曲線

性の中の、代表的なものを示している。載荷方法は変位制御を用いて弾性限界回転角を基準として、その±1倍、±2倍、±4倍、±8倍、±10倍、±12倍で2サイクルずつ繰返し載荷を行う加力履歴を設定した。

ここでは両タイプの接合とも試験体の梁部分が塑性化せず、変形が接合部に集中している。アングル接合の場合では、圧縮軸力が大きいほど、接合ボルトのすべりによるスリップ区間が顕著となり、軸力が-15.0 ton の場合では履歴特性として最大点指向の傾向が見られる。また実施した実験の軸力範囲内では、復元力履歴に対する軸力の影響はそれほど大きくない。一方、スプリットティー接合の場合では、軸力の大きさにかかわらず、最大点指向の履歴曲線となっている。軸力が-15.0 ton の場合では、梁の両フランジ側の接合ボルトのすべりが梁軸力の影響を受け、それぞれ異なる曲げモーメントレベルと対応しているため、2段のスリップ区間が形成されており、軸力がない場合の復元力履歴と大きく異なっている。軸力が小さい+5.0 ton の場合ではこの二つの段の区別がはっきりしない。ここで段差（接合部の曲げモーメント）は $N \times h$ によって算出できる。ここに、 N は梁の軸力、 h は梁断面の高さである。

4. 地震応答実験の結果

図 7 は変位応答を示している。図の中では軸力変動を考慮した場合と無視した場合の結果を合わせて示している。図 8 は軸力の変動を示している。図から分かるようにこのモデルの軸力はほとんど圧縮力で、ブレースという耐震要素の特性により、高軸力状態のピークは持続時間が短い。アングル接合の場合では変位応答の差がほと

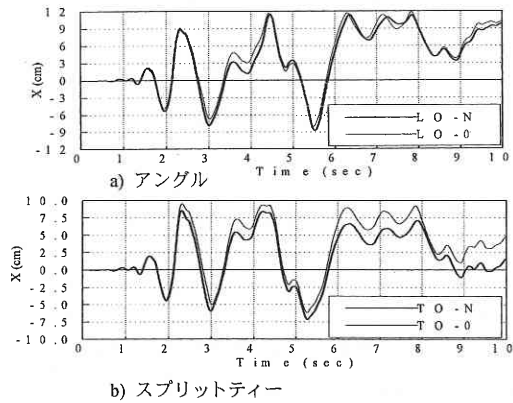


図 7：変位応答時刻歴

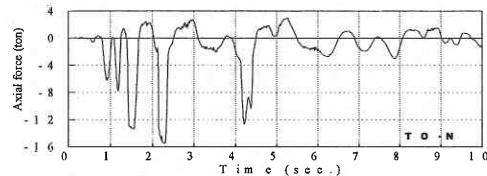


図 8：接合部に作用する軸力の変動

んど認められない。スプリットティー接合の場合では少し変位応答の差が生じているが、最大変位応答の差が約 10% にとどまっている。また、2種類接合の応答を比べると、アングル接合場合の最大変位応答は 2 割ぐらいい大きくなっている。

図 9 は梁の変形を含めた接合部の復元力履歴を示している。接合ボルトのすべりは頻繁に生じ、スリップ型のループを形成している。地震エネルギー入力のはこの接合部の塑性変形およびボルトのすべりによって吸収

研究速報

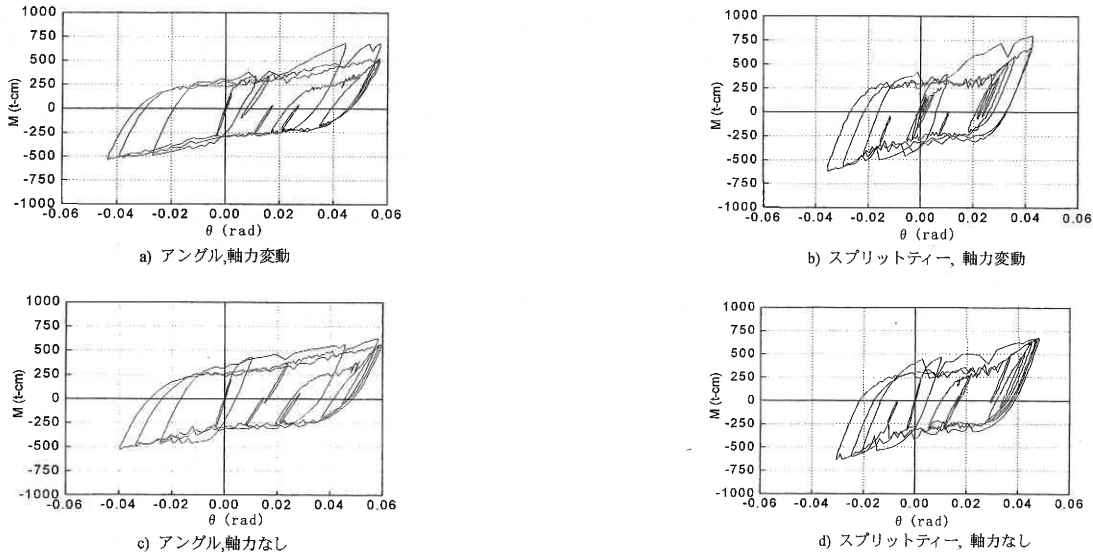


図9：履歴曲線(オンライン実験)



図10：仮想筋交いの履歴曲線とエネルギー吸収の時刻歴

されている。アングル接合の場合では復元力履歴の差がほとんど生じておらず、軸力の影響はほとんど認められない。一方、スプリットティー接合の場合では復元力履歴における pinching (逆S字形のスリップ現象) の度合いが若干異なるように見えるが、応答結果に大差がない。図10はブレースの復元力履歴の代表的な結果、およびそのエネルギー吸収量の時刻歴を示している。時刻歴の前半において、最大変位応答の更新に対応してブレースによるエネルギー吸収が増加し、全入力エネルギーの半分以上を占めている。

5. ま と め

本論文ではまず一定軸力荷重を受ける場合のスプリットティーおよびアングルによる半剛接合の復元力履歴特性を静的載荷実験で調べた。限られた数の実験ではあるが、この種の半剛接合部の復元力特性に対する軸力の影響の把握ができたと言える。それから単純化された門形ラーメンモデルに部分構造ハイブリッド地震応答システムを適用し、地震応答に対する梁の変動軸力の影響を検

討した。耐震要素のブレースによって生じる梁軸力について、高軸力レベル状態の時間軸上のピークは持続時間が短く、骨組の地震応答に対する影響はほとんど無視できるという結果が得られた。

謝 辞

本研究の一部には平成9年度文部省科学研究費補助金基盤研究B(2)「耐震要素と半剛接合とを併用したロバスト鉄骨架構の地震応答実験」(No.09450200, 研究代表者大井謙一)ならびに(社)日本鋼構造協会鋼構造新設計法研究委員会の研究費を使用した。

(1997年8月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 林暁光, 大井謙一ら: 部分構造法による半剛接鉄骨骨組の地震応答実験, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 3, 1995年11月.
- 2) 大井謙一, 近藤日出夫ら: 半剛接合部を有する鋼構造骨組の地震応答実験, 構造工学論文集, Vol.39 B, 1993年3月.