

半剛接合を有する木質ラーメンにおける地震時特性に関する研究

(その2) 門型ラーメンの仮動的水平加力実験と地震応答解析

正負繰返し実験 応答変位 ヒステリシス
非線形解析 降伏耐力 終局耐力

正会員 ○ 内場美生*1
正会員 安村 基*2
正会員 鈴木徹也*3

1. 緒言

本報では、前報¹⁾で報告した柱・梁接合部(試験体F)および柱脚接合部(試験体D)の仕様を用いた門型架構について、正負繰返し水平加力実験、仮動的水平加力実験および地震応答解析を行い、解析モデルの妥当性を検討した。

2. 試験体

試験体は、図1に示すような高さ2805mm、幅3640mmの門型ラーメンでスプルー集成材(JAS異等級構造用集成材E120-F330)の柱、梁を梁受金物で接合したものである。梁の断面寸法は120×450mm、柱の断面寸法は120×300mmで、含水率は12%前後であった。図2に示すように、柱と梁受金物はM12ボルト14本を用いて、梁受金物と梁はドリフトピン(直径12mm、長さ118mm)14本を用いて接合し、柱材に挿入したM12ボルト4本をエポキシ樹脂(オーシカダインTE-134)でグラウトした。柱脚は、柱材をドリフトピン14本で柱脚金物と接合した。

3. 実験方法

3.1 正負繰返し水平加力実験

試験体は図1に示すように柱脚金物をM16ハイテンションボルト4本を用いて取付治具と基礎フレームに緊結した。梁の両側に設けた125×65×6mmの溝型鋼を中央部でφ30のピンとベアリングを用いて梁と緊結し、溝型鋼を油圧式アクチュエータ(島津製作所製:±150kN, ±200mm)に接続した。試験体2体について正負繰返し水平加力実験を行った。繰返し履歴はせん断変形角が1/600, 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/30, 1/20, 1/15の正負変形時とし、同一変形段階で3回の繰返し加力を行った。荷重はロードセルにより測定し、加力点の水平変位は巻込型変位計、各接合部の変位は変位計で測定をした。

3.2 仮動的水平加力実験

門型ラーメンについて、仮動的水平加力実験を二種類行った。入力地震波は1940年El Centro NSおよび1995年JMA KOBE NSとし、最大加速度はそれぞれ550galおよび500galとなるように規準化した。慣性質量を仮定するにあたって、前報における接合部実験の結果および門型ラーメンの正負繰返し実験の結果をもとにした。接合部試験の結果より、接合部Dにおける降伏モーメントの5%下限値は15.7kN・mであり、脚部が降伏モーメントに達した時の水平荷重(Pa)は21.1kNである。これより、慣性質量mはPa=0.2mgよりm=10.7tと算出される。また、門型ラーメンの正負繰返し実験の結果から、終局耐力(Pu)は58.7kN、Ds=0.573であり、Pu=mg×Dsよりm=10.5tと算出される。これより、仮動的実験に用いる慣性質量を10tと仮定した。また、減衰定数は2%と仮定した。

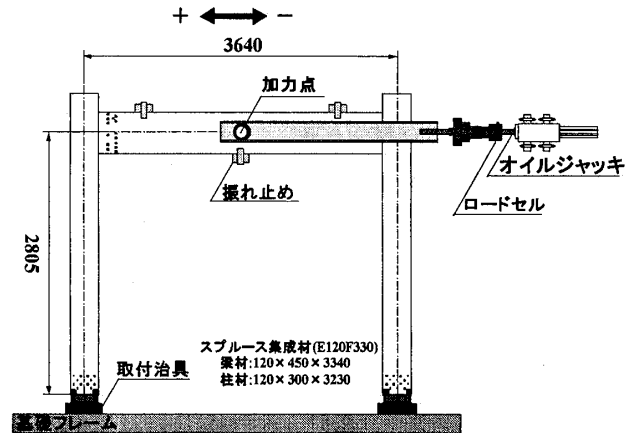


図1. 試験体および試験装置

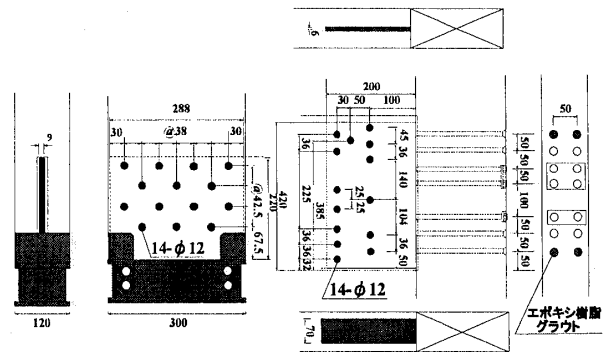


図2. 柱脚および柱-梁接合部の詳細

4. 解析モデル

時刻歴応答解析に用いた包絡線モデルおよびヒステリシスモデル²⁾を図4に示す。包絡線モデルをFoschi³⁾の提案する(1)式で表し、最大荷重点以降を(2)式の直線で表す。原点とピーク(Xm, Ym)を結ぶ直線の傾き(k)に対する除荷時の直線の傾き(k1)の比を(3)式で表わす。再加力時の曲線をSoft springとHard springの二つの直線で表し、Soft springの直線の傾きをk2、荷重変位曲線がX軸と交わる点X0とピークを点を結ぶ直線の傾きをk0とし、k2とk0の比を(4)式で表した。Hard springの直線の傾きk3とk0の比を(5)式で表した。門型ラーメンの正負繰返し実験より得られた荷重-変位関係の履歴を(1)~(5)式を用いて近似し、解析モデルを作成した。(1)~(5)の近似式を用いて、1自由度1質点モデルについて時刻歴非線形地震応答解析を行った。

Seismic performance of timber frames with semi-rigid joints

Part 2 Pseudo-dynamic lateral loading test and time history earthquake response analysis

UCHIBA Mio, YASUMURA Motoi and SUZUKI Tetsuya

5. 実験結果および考察

破壊性状は、柱脚接合部のドリフトピン付近の割裂が見られ、最終破壊は柱梁接合部付近の柱の曲げによる折損によるものであった。正負繰返し試験の荷重-変位関係を図3に示す。第一サイクルの頂点を結び包絡線を描き各耐力の算出を行った。フレームの耐力を表2に示す。門型ラーメンの脚部が前報の柱脚接合部Dの降伏モーメントの5%下限値(15.7kN・m)に達した時の水平荷重(Pa=21.1kN)は、1/120rad時の荷重23.1kNとほぼ近い値を示した。また、Paは門型ラーメンの終局耐力(Pu)の約36%であり、十分な安全率を有している事が分かった。

仮動的試験における時刻歴応答変位を図5に、荷重と変位の関係を図6に示す。実験値を実線、解析値を点線で表す。実験よりEl Centro NS 550gal入力時の最大応答変位130mm(1/20rad)、JMA KOBE NS 500gal入力時の最大応答変位は115mm(1/25rad)で、どちらの地震波を用いても実験を行っても柱材が曲げ破壊し注意を要することがわかった。表1に最大応答変位の実験値と解析値の比較を示す。JMA KOBE NS 500galについては+側の変位で解析値が実験値の約1.27倍とやや大きな値を示したが、El Centro NS 550galについては解析値は実験値の約0.89~0.95倍とほぼ一致しており、この解析モデルの妥当性が検証された。

【参考文献】

- 鈴木徹也、内場美生、安村基：半剛接合を有する木質ラーメンにおける地震時特性の評価(その1)接合部の正負繰返し水平加力試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(福岡), 2007. 8
- Motoi Yasumura, Shinpei Yasui "Pseudodynamic tests and earthquake response analysis of timber structures I: plywood-sheathed conventional wooden walls with opening" J wood Sci 52:63-68. 2006
- Foschi, R. O., "Load-Slip Characteristics of Nails" Wood Sci., 7(1), pp69-76. 1974

表1. 実験値と解析値の比較

入力地震波	実験値	解析値	解析値/実験値	
El Centro NS 550gal	+	117.5	111.5	0.888
	-	-147.0	-130.5	0.948
JMA KOBE NS 500gal	+	115.9	146.7	1.266
	-	-88.1	-74.6	0.846

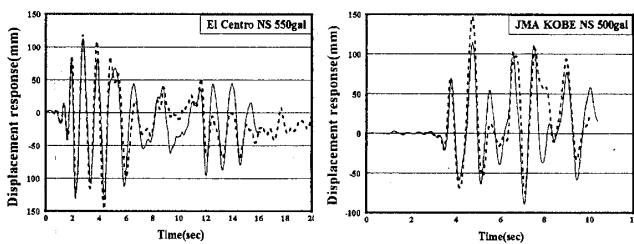


図5. 時刻歴応答変位

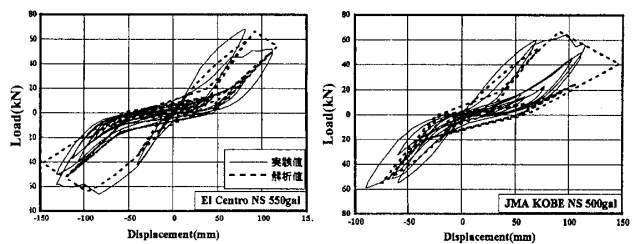


図6. 仮動的実験における荷重-変位関係

表2. 門型ラーメンの耐力

試験体		初期剛性	降伏耐力	降伏変位	最大耐力	最大変位	終局耐力	終局変位	1/120(rad)	塑性率
		K (kN/mm)	Py (kN)	Dy (mm)	Pmax (kN)	Dmax (mm)	Pu (kN)	Du (mm)	時のP (kN)	
FR-1	+	0.924	44.1	48.9	67.6	93.0	61.8	132.8	22.3	1.94
	-	1.049	41.5	40.9	62.4	85.8	56.7	113.9	24.9	2.04
FR-2	+	1.020	40.6	42.4	67.2	93.2	60.3	147.5	23.9	2.34
	-	0.931	45.2	50.1	61.7	87.6	56.2	111.2	21.3	1.78
平均		0.981	42.9	45.6	67.4	93.1	58.7	126.3	23.1	2.02

*1 静岡大学大学院農学研究科 大学院生
 *2 静岡大学農学部環境森林科学科 教授・農博
 *3 日東木材産業

Graduate student, Graduate school of Agriculture, Shizuoka Univ.
 Prof., Faculty of Agriculture, Shizuoka Univ., Dr. Agr.
 Nittoh Wood Supply Co., Ltd.

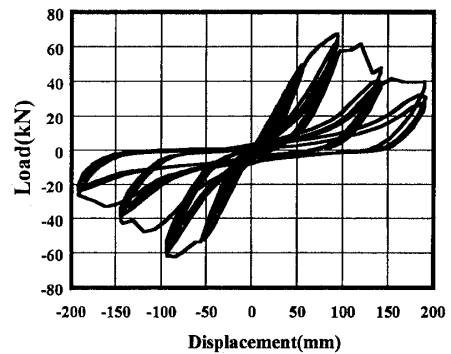


図3. 正負繰返し実験の荷重-変位関係

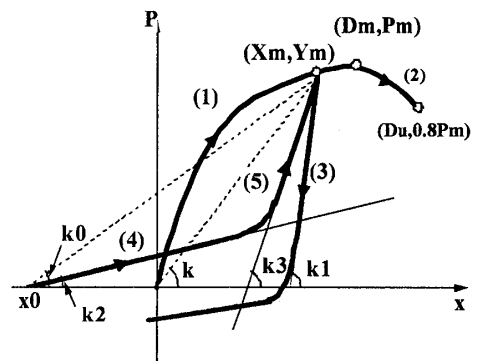


図4. 包絡線モデルおよびヒステリシスモデル

$$P=(P_0+C_2x)(1-e^{-C_1x/P_0}) \quad (1)$$

$$P=P_m-C_3|x \cdot D_m| \quad (2)$$

$$k_1/k=C_4X_m^{C_5+1} \quad (3)$$

$$k_2/k_0=1-C_6|X_m-X_0|^{C_7} \quad (4)$$

$$k_3/k=C_8X_m^{C_9+1} \quad (5)$$