

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	性能評価シートに基づく既存高層鋼構造建物の柱梁接合部の調査
Title(English)	A STATISTICAL STUDY BEAM-COLUMN JOINTS OF EXISTING HIGH-RISE STEEL BUILDINGS BASED ON THE BUILDING LETTER
著者(和文)	中川真里奈, 佐藤大樹, 北村春幸, 長江拓也, 佐野剛志
Authors(English)	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 19, No. 42,
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 19, No. 42,
発行日 / Pub. date	2013, 6
権利情報	日本建築学会
Relation	https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/19/42/19_579/_article/-char/ja/
Note	本文データは学協会の許諾に基づきJ-STAGEから複製したものである

性能評価シートに基づく既存高層鋼構造建物の柱梁接合部の調査

A STATISTICAL STUDY BEAM-COLUMN JOINTS OF EXISTING HIGH-RISE STEEL BUILDINGS BASED ON THE BUILDING LETTER

中川真里奈 — * 1 佐藤大樹 — * 2
長江拓也 — * 3 北村春幸 — * 4
佐野剛志 — * 5

Marina NAKAGAWA — * 1 Daiki SATO — * 2
Takuya NAGAE — * 3 Haruyuki KITAMURA — * 4
Takeshi SANO — * 5

キーワード：
高層建物, 鋼構造, 長周期地震動, 性能評価シート, 現場溶接

Keywords:
High-rise building, Steel buildings, Long-period ground motion,
The building letter, On site welding

According to the past researches, the structural damage of high-rise steel building when subjected to long-period ground motions is characterized by the concentration of deformation to beam-column connections. In addition, it is known the field weld connection details tend to have poor deformation capacity. So far, there is no comprehensive data base about beam-column connection details of existing high-rise buildings. This study provides a data base of high-rise steel buildings, focusing on the beam-column connection details.

1. はじめに

近年, 東海・東南海・南海地震等に代表される海溝型巨大地震に伴う長周期地震動の発生が高い確率で予測されている^{1), 2)}。太平洋側の都市を中心に高層建物が数多く建設されており, 長周期地震動を受けた場合の既存高層建物の損傷が危惧される。こうした状況下で, 予測される長周期地震動に対する既存高層建物の各都市における被害様相を総合的に評価する研究活動が続けられている³⁾。

長周期地震動を受ける高層鋼構造建物の耐震性に関しては, 地震応答解析^{4), 5)}, 柱梁接合部実験⁶⁾⁻⁹⁾などにより検討がなされてきた。2008年には1980年代以前に建設された初期の高層鋼構造建物の柱梁接合部条件を模擬した骨組実験がE-ディフェンスにおいて実施され¹⁰⁾, 長周期地震動によって多数回の繰り返し変形を受ける柱梁接合部に破断が生じる様子が確認された。既往の柱梁接合部実験に対する統計分析では, 現場溶接接合と工場溶接接合の変形能力について, 現場溶接接合の破壊までの累積塑性変形倍率が工場溶接接合のその約0.6倍と評価されている¹¹⁾。他方で, 現場溶接柱梁接合部は施工・管理の課題が多いものの¹²⁾⁻¹⁵⁾, 工期短縮やコスト面の利点¹⁶⁾により, 初期の建設¹⁷⁾から現在に至るまで採用されている。

既存高層鋼構造建物の耐震性能に関わる基礎統計資料として, ビルディングレター(日本建築センター)の性能評価シートをもとに, 東京理科大学の寺本研究室が作成したデータベース(例えば18)-20)が参照されるが, 鋼構造骨組の柱梁接合部に関する調査^{21), 22)}は少ない。例えば現場溶接柱梁接合部をもつ既存高層鋼構造建物の棟数は把握されていない。本報告では, 既存高層鋼構造建物の構造骨組に関わる情報の充実を目的とし, 柱梁接合部等に関する資料を収集する。具体的には, 上記の性能評価シートを再検証し, 既存高層鋼構造建物に用いられる柱部材および梁部材の種別を整理するとともに, 柱梁接合部の接合形式²³⁾について年代・地区毎に分布状況を分析する。

性能評価シートに記載された設計内容は, 実際の工事において施工時に変更されることもある。本報告は, あくまでも性能評価シートに記載された情報を示しており, 評定取得後の設計変更は反映されていない。

2. 性能評価シートに掲載されている建物の柱梁接合部調査方法

2.1 対象建物

本報では, 日本建築センターにおいて1966年から2001年5月の間に評定を取得した建物のうち, 建物高さ60m以上の鋼構造建物について調査を行った。複数の構造種別を含む建物の場合, 鋼構造に関する記載部分のみを対象とした。また低層階, 展望階, 鉄塔部の柱梁接合部に関する記載は本調査で除外した(2.2節後述)。

本報では, 年代ごとに代表的な建物カテゴリを選別するため, 1981年の新耐震設計法の施行, 1995年の兵庫県南部地震, 2001年の建築基準法の改正の時代背景に着目し, 年代1~4を決定した。表1に年代別対象建物棟数を示す。

表1 対象建物棟数

	年代-1	年代-2	年代-3	年代-4
評定年代	1966年1月	1981年6月	1990年1月	1995年1月
	1981年5月	1989年12月	1994年12月	2001年5月
高層建物(棟)	153	109	293	205

2.2 調査方法

調査項目は, 柱梁接合部に用いられる柱及び梁部材(以降, 使用部材と略す)の部材断面形状と製造方法, 使用部材の接合形式である。表2に, 使用部材の断面形状及び製造方法による分類を示す。表2に示す記載名には, 性能評価シートで実際に記載されている部材の名称を例示している。図1(a),(b)に, 接合形式の分類を示す。本報

¹⁾ 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻 大学院生 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²⁾ 東京理科大学理工学建築学科 助教・博士(工学)

³⁾ 防災科学技術研究所 主任研究員・博士(工学)

⁴⁾ 東京理科大学理工学建築学科 教授・博士(工学)

⁵⁾ 榎大林組技術研究所 主任研究員

¹⁾ Graduate Student, Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science

²⁾ Assist. Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

³⁾ Senior Researcher, EERC, NIED, Dr. Eng.

⁴⁾ Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

⁵⁾ Senior Researcher, Technical Research Institute, Obayashi Corporation

では、図1に示す▲の柱と梁の接合箇所を梁端接合部、△の梁と梁の接合箇所を継手と呼ぶ²⁵⁾。梁端接合部の接合をフランジ、ウェブともに工場で溶接接合を行う場合を工場溶接形式(図1(a))、現場でフランジを溶接接合、ウェブをボルト接合する場合を現場溶接形式(図1(b))に分類した²⁶⁾。

図2(a)~(d)に、性能評価シートの構造概要に関する記載を一部抜粋したものを示す。図2(a)~(d)で示すように、記載方法は建物により様々である。そこで以下に、性能評価シートから調査項目を読み取る際の手順を、対象建物の条件を踏まえながら具体的に説明する。

図2(a)の場合

- 「骨組形式種別」に着目すると、地上階が純鉄骨造、地下階が鉄骨鉄筋コンクリート造である。よって、地上階が調査の対象となり、地下部分の記載は調査の対象から省いた。
- 「柱・梁断面材料」の「地上階鉄骨断面」を対象とする。「柱 箱型タイプ」より、柱部材の断面形状は箱形であるが、製造方法については記載されていない。「梁 H型鋼(3スパン方向)」と「ハニカムH型鋼(4スパン方向)」より、梁部材の断面形状はH形である。製造方法は前者が記載されておらず、後者はハニカムであった。

- 「柱梁接合部」において、梁端接合部の接合形式は記載されていないが、「梁現場接手 フランジノーガス半自動溶接 ウェブ高張力ボルト摩擦接合」より現場溶接形式と判断した(4.1節後述)。

図2(b)の場合

- 「骨組形式種別」に着目すると、高層部は鉄骨造、低層部は鉄骨鉄筋コンクリート造である。よって、高層部が調査の対象となる。しかし、「柱・梁断面材料」と「柱梁接合部」において、図2(a)と異なり使用箇所の記載がないため、記載の全てを鉄骨造と見なした。但し、十字柱については、SRC造で使用されることが多いため²⁷⁾、3.2節にてさらに分類する。

- 「柱・梁断面材料」の「柱 ボックス柱」と「十字柱」より、柱部材の断面形状は箱形と十字形であり、製造方法については記載がないものと判断した。「大梁 H型鋼」より、梁部材の断面形状はH型で、製造方法は記載がないものと判断した。

- 「柱梁接合部」の「柱と梁 全断面工場溶接」と「梁と梁 フランジ・ウェブ高力ボルト」より、接合形式は工場溶接形式と判断した。

図2(c)の場合

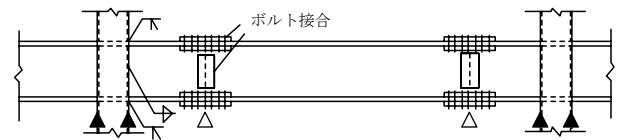
- 「骨組形式種別」に着目すると、地上部が鉄骨造、地下1階が鉄骨鉄筋コンクリート造、地下2階が鉄筋コンクリートである。よって、地上部が調査の対象となる。しかし、「柱・はり断面材料」と「柱はり接合部」において、使用箇所の記載がないため、図2(b)と同様に記載されている全てを鉄骨造と見なした。

- 「柱・はり断面材料」の「柱 溶接箱形断面」と「既製角形鋼管」、「溶接H型鋼」より、柱部材の断面形状は箱形とH形である。箱形の製造方法については、「柱 溶接箱形断面」より、溶接組立とわかる。一方、「既製角形鋼管」は箱形の製造方法を圧延と判断した(3.1節後述)。H形は、溶接組立であった。「大はり H型鋼、溶接H型鋼」より、梁部材の断面形状はH形のみで、製造方法は「H型鋼」が記載なしで、「溶接H型鋼」が溶

表2 部材断面形状及び製造方法の分類²⁴⁾

(a) 柱部材		
断面形状	製造方法	記載名
箱形	溶接組立	溶接箱形断面、溶接組立□型、溶接BOX型、溶接加工ボックス形、プレート溶接組立のボックス柱、等
	熱間圧延	熱間成形角形コラム、ユニバーサルボックス、等
	冷間圧延	冷間成形角形鋼管
	圧延	既成□型、既製角形断面、既製角形鋼管、圧延形鋼箱形断面
記載なし	ボックス柱、BOX型、□型、箱形、箱型タイプ、角形鋼管、BOX、BOX形柱、ボックス形断面、ボックス型、等	
H形	溶接組立	溶接H型、ビルトアップH、溶接H型断面、H形(組立)、溶接組立H形鋼、溶接構造用圧延鋼材組立H形鋼、等
	熱間圧延	ロールH形鋼、極厚ロールH形断面、H形鋼(ロール)、圧延H形断面、一般構造用圧延鋼材H形鋼、等
	記載なし	H形鋼、広幅H型、H形断面、H型柱、溶接構造用圧延鋼材H形鋼、I型柱、厚肉のH形鋼、極厚H型断面、等
円形	冷間圧延	冷間成形円形鋼管
	铸造	遠心力鋳鋼管円形断面、遠心力鋳鋼管(Gコラム)、遠心力鋳鋼管、高張力遠心鋳鋼管、溶接○形断面、等
記載なし	○断面、○形断面、既製円形鋼管、円形、○-750×40~○750×19、円形鋼管、円形断面、等	
その他	—	十字形断面、十型、組立十字形、組立十形断面、組立十柱、溶接組立クロスH形断面、組立T形、等

(b) 梁部材		
断面形状	製造方法	記載名
箱形	溶接組立	ボックス型ビルトアップ、組立箱形、溶接組立箱形鋼、溶接組立ボックス形、溶接箱形断面、等
	記載なし	箱形断面
H形	溶接組立	溶接H型、溶接H形断面、溶接組立H形、WH形断面、Built-H、PL加工H形断面、I型ビルトアップ、組立I型、等
	熱間圧延	既成H形、既成H形鋼、既製H形断面、圧延H形鋼、圧延H形断面、圧延H形鋼材、ロールH形断面、ロールH、ロールH形断面、等
	ハニカム	ハニカム、ハニカム成形、ハニカムH鋼梁、ハニカムビーム、ハニカムH、ハニカムH型鋼、等
	記載なし	H型、H型梁、鉄骨H断面、一般構造用圧延鋼材H形鋼、I型断面、等
その他	—	鋼管、T形鋼組立梁、CT型鋼プレートビルトアップ、L型充腹材の溶接組立、PL加工M形



(a) 工場溶接接合



(b) 現場溶接接合

図1 接合形式の分類^{25),26)}

接組立であった。

- 「柱・はり接合部」において、梁端接合部の接合形式は記載されていないが、「大はり：フランジ 現場溶接、ウェブ高力ボルト摩擦接合」より、図2(a)と同様に現場溶接形式と判断した。

図2(d)の場合

- 「骨組形式種別」に着目すると、1階以上は鉄骨造、地下1、2階は鉄骨鉄筋コンクリート造である。よって、1階以上が調査の対象となり、地下の記載は調査の対象から省いた。
- 「柱・はり断面材料」の「柱：組立箱形断面」と「組立H形断面」、「ロールH形断面」、「組立十字形断面」より、柱部材の断面形状は箱形、H形、十字形である。製造方法は箱形が溶接組

立、H形が溶接組立と熱間圧延、十字形は溶接組立によるものであった。また、「地下SRC柱のみ角形鋼管」より、角形鋼管は除外した。「はり：組立H形断面」より、梁部材の断面形状はH形で、製造方法は溶接組立であった。

- 「柱・はり接合部」の「柱はり仕口部：工場溶接接合」と「はり継手フランジ現場溶接接合 ウェブ高力ボルト接合」より、接合形式は工場溶接形式と判断した。

3. 使用部材に関する考察

3.1 記載状況及び分類方法

年代-1から年代-4を通して、対象建物760棟の柱梁接合部に関する調査を行った。760棟のうち、柱部材の断面形状と製造方法について性能評価シートに記載がある建物は744棟であった。一方、梁部材については760棟のうち743棟であった。3章では、使用部材に関する情報が性能評価シートに記載されていない建物を除外し、柱部材は744棟、梁部材は743棟について考察を行う。

3.2節では、性能評価シートに記載される使用部材について、表2に示す断面形状の分類で考察を行う。3.3節では、表2に示す製造方

法の分類で考察を行う。性能評価シートにおける柱部材及び梁部材の断面形状と製造方法に関する記載状況を図3に示す。部材断面形状と製造方法がともに記載されているもの（例えば図2(d)）は、柱部材で69%、梁部材で84%であった。部材断面形状のみ記載されているもの（例えば図2(b)）は、柱部材で31%、梁部材で16%であった。

なお、図2(c)に示すように、性能評価シートにて、製造方法が「既製」と記されているものがある。この製造方法の場合は、以下に示す通りに分類した。

- ・箱形の場合は、熱間圧延と冷間圧延の区別ができないため「圧延」に分類する。
- ・H形の場合は、「熱間圧延」に分類する。
- ・円形の場合は、「冷間圧延」、「鋳造」とともに既製品に該当し、どちらに該当するか判別できないため「記載なし」に分類する。

骨組形式種別	地上階：純鉄骨造、純ラーメン形式 地下階：鉄骨鉄筋コンクリート造
耐力壁・その他	地下階外周には壁厚25.0cmの耐力壁を配置した。一部排煙ダクト部分には鉄骨鉄筋コンクリートプレースを配置して剛性の不均合を補っている。
柱・梁断面材料	地上階鉄骨断面 柱 箱型タイプ D=500mm t=36~16mm SM50A 梁 H型鋼(3スパン方向) (D=600mm) SM50A ハニカムH形鋼(4スパン方向) (D=600mm) SM50A 地下階使用鉄筋およびコンクリート 柱梁主筋 SD30 ft=3000kg/cm2 コンクリート F=210kg/cm2
柱梁接合部	梁現場接合 フランジ ノーガス半自動溶接 ウェブ 高張力ボルト摩擦接合 (F11T μ=0.46) 柱現場継手 地上階 ノーガス半自動溶接 地下階 メタルタッチおよび 高張力ボルト摩擦接合

(a) 年代-1の高層建物①

骨組形式種別	高層部 鉄骨造(2階柱マデ) 低層部 鉄骨鉄筋コンクリート造(一部鉄筋コンクリート造)
耐力壁・その他	スパン方向 高層部 可撓耐震壁(TAC壁) 地下階 RC耐震壁
柱・梁断面材料	鉄骨 柱 ボックス柱 SM50A 十字柱 SS41 大梁 H型鋼 SM50A、SS41 小梁 " SS41 鉄筋 柱・梁 SD35、SD30 コンクリート 柱・梁 Fc=210kg/cm2 (SRC部)
柱梁接合部	柱と梁 全断面工場溶接 小梁 ウェブ高力ボルト 梁と梁 フランジ・ウェブ高力ボルト 柱と柱 全断面溶接

(b) 年代-1の高層建物②

骨組形式種別	地上部：鉄骨造 純ラーメン構造 地下1階：鉄骨鉄筋コンクリート造 耐力壁付きラーメン構造 地下2階：鉄筋コンクリート造 耐力壁付きラーメン構造
耐力壁・その他	地下1、2階：鉄筋コンクリート造耐力壁
柱・はり断面材料(鉄骨の最大板厚)	鉄骨：柱 溶接箱形断面(最大板厚65mm) SM490A(t<40)、SM490B(t>40, TMCP鋼) 既製角形鋼管(最大板厚25mm) SM490A(STKC-P鋼)、SS400 溶接H形鋼 SM490A 大ばり H形鋼、溶接H形鋼(最大板厚36mm) SM490A、SS400 小ばり H形鋼、溶接H形鋼 SS400 鉄筋：D19以上、SD345、D16以下：SD295A コンクリート： 普通 Fc=270kg/cm2 1階床以下 軽量1種 Fc=210kg/cm2 2階床以下
柱・はり接合部	柱：現場溶接 大ばり：フランジ 現場溶接 ウェブ 高力ボルト摩擦接合

(c) 年代-3の高層建物①

骨組形式種別	1階以上：鉄骨(XY方向共) 間柱型鋼材ダンパー及び粘性体制震壁付 ラーメン構造 地下1、2階：鉄骨鉄筋コンクリート造 耐震壁付ラーメン構造
耐力壁・その他	地上：間柱型鋼材ダンパー 地下：鉄筋コンクリート構造耐震壁
柱・はり断面材料(鉄骨の最大板厚)	柱：組立箱形断面 SN490C(t=65) 組立H形断面 SN490C(t=70) t>40の鋼板はTMCP鋼(大臣認定品) ロールH形断面 SN490C(t=70) 組立十字形断面 SN490B(t=32) 地下SRC柱のみ 角形鋼管 SN490B(t=36)地下SRC柱のみ はり：組立H形断面 SN490B、SN490C(t=40) 鋼材ダンパー：極低降伏点鋼 (t=6) (F値=1.2t/cm2・今回評定対象) コンクリート：軽量コンクリート1種 Fc=21N/mm2 地上 普通コンクリート Fc=24N/mm2 地下 鉄筋：SD295A(D10~D16)、SD345(D19~D32)
柱・はり接合部	柱継手：現場溶接接合 はり継手：フランジ 現場溶接接合 ウェブ 高力ボルト接合 柱はり仕口部：工場溶接接合(ノンスクラップ工法)

(d) 年代-4の高層建物①

図2 性能評価シート例

3.2 部材断面形状

本節は、図 3 にて示した対象建物を分類方法 (3.1 節前述) に従い、使用部材の断面形状の集計を行う。ここでは、建物 1 棟あたりに使用部材が複数種類用いられている場合でも、記載される全ての種類を集計した。図 4(a)に、柱部材の断面形状の割合を示す。図 4(a)より、箱形は各年代で 50%以上を占め、すべての年代で最も多いことがわかる。円形は年代-1 の 8%から年代-4 では 16%となり、2 倍に増えている。H 形は年代-1 から年代-2 で 13%減少し、年代-2 以降もわずかながら減少している。H 形のうち、柱部材の断面形状が H 形のみで記載されている建物は、年代-1 で 18 棟、年代-2 で 1 棟、年代-3 で 3 棟、年代-4 で 1 棟あり、これらの建物では、極厚の H 形が用いられていた。柱部材に H 形を用いる場合、広幅系列と呼ばれるせいと幅の比が 1:1 となる断面、または極厚 H 形鋼と呼ばれるフランジやウェブの板厚を大きくした断面が用いられ、とくに高層建物では後者が採用されていることが多い²⁷⁾ことが理由として考えられる。

柱部材のその他に着目すると (図 4(a)), 年代-1 から年代-4 を通して十字形が最も多く 68 棟見られた。十字形は、SRC 造では中柱などによく使用される断面である²⁷⁾。本調査において十字形を用いた建物の多くは、高層階に S 造、低層階に SRC 造で構成されていた。その中で、使用箇所が明確に S 造と記載されているもの (例えば図 2(d)) は、68 棟中 11 棟であった。

図 4(b)に、梁部材の断面形状の割合を示す。図 4(b)より、H 形がすべての年代で 90%以上を占め、最も多いことがわかる。箱形は各年代で 1%ずつ見られた。箱形の梁部材を使用した建物は、年代-1 から年代-4 を通して全 10 棟であり、この内の 5 棟が大阪または神戸の建物であった。

梁部材のその他に着目すると (図 4(b)), 鋼管、T 形、L 形、C 形断面などが見られた。鋼管は、年代-2、年代-3 にそれぞれ 1 棟ずつあり、年代-2 の建物では下弦材、ラチス材、束材、年代-3 の建物ではアトリウム部分において用いられていた。また、T 形、L 形の製造方法は溶接組立材であった。T 形、L 形の溶接組立材は、年代-1 で 25 棟、年代-2 で 3 棟、年代-3 で 2 棟、年代-4 で 2 棟あり、年代-1 に集中している。

3.3 部材の製造方法

図 5(a)に、柱部材の製造方法の割合を示す。図 5(a)の箱形を見ると、「溶接組立」はすべての年代で 52%以上を占め、最も多い。これは、角形鋼管が量産されるようになってからも、角形鋼管で製造されていない大きな外径、板厚や、高強度のものが必要とされる大型・高層の構造物に限り、「溶接組立」が使用されている²⁷⁾ためである。それ以外には、「熱間圧延」が年代-1 で 2.7%、年代-2 で 2.4%、年代-3 で 0.6%、年代-4 で 1.5%であった。「冷間圧延」は、年代-3 で 1%、年代-4 で 5%であった。この内、「冷間圧延」の規格について、記載があるものは年代-1 から年代-4 で 18 棟あり、BCP (冷間プレス成形) が 17 棟、BCR (冷間ロール成形) が 1 棟であった。

柱部材の H 形に着目すると (図 5(a)), 「溶接組立」が最も多く、年代-1 から年代-4 を通して 50%以上を占める。「熱間圧延」は、年代-1 で 26.3%、年代-2 で 4.8%、年代-3 で 15.7%、年代-4 で 27.8%あり、年代-2 以降で徐々に増加している。

柱部材の円形に着目すると (図 5(a)), 製造方法は主に「鋳造」で

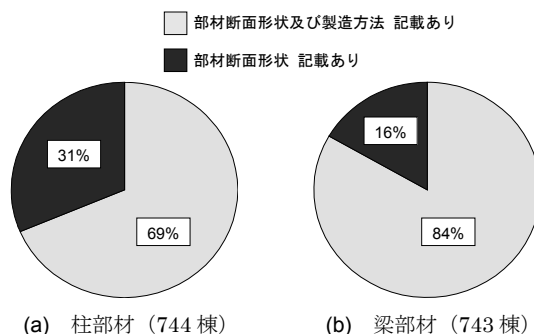


図 3 性能評価シートにおける使用部材の記載状況

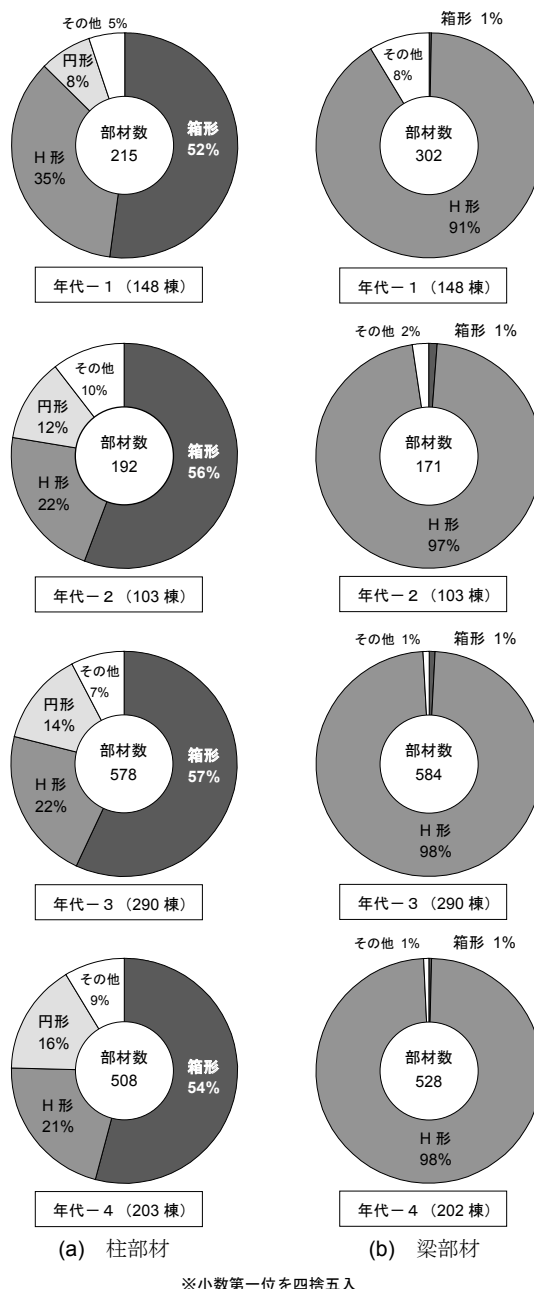


図 4 使用部材断面形状の割合

あり、年代-1 で 87.5%、年代-2 で 47.8%、年代-3 で 47.4%、年代-4 で 14.8%であった。「冷間圧延」は年代-3 で 1%見られた。円形の「冷間圧延」を柱部材に用いた建物は 1 棟のみで、箱形の「熱

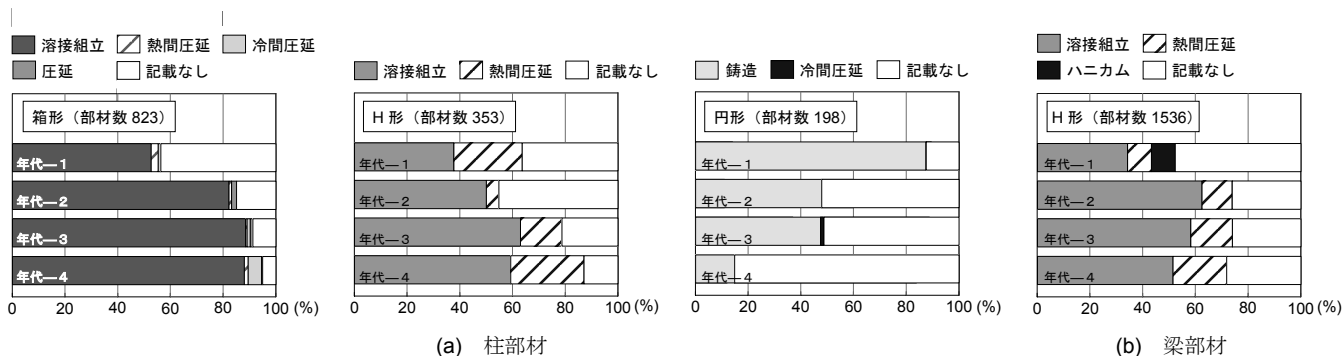


図5 部材断面形状別製造方法の割合

間圧延」及び「冷間圧延」の柱部材と併用して用いられていた。規格では、STK（一般構造用炭素鋼管）が年代-2で4棟、年代-3で15棟、年代-4で5棟見られた。一方、1994年にSM材からSN材の移行により、円形でもSTKに代わる新たな規格として溶接性や冷間加工性に配慮したSTKN（建築構造用炭素鋼管）がJIS認定され²⁷⁾、年代-4でのみ23棟見られた。

図5(b)に、梁部材の製造方法の割合を示す。ここでは、梁部材の90%以上を占める（図4(b)) H形のみを示している。図5(b)より、年代-1は、「記載なし」が約50%を占め、「溶接組立」は34%であった。年代-2以降では、「溶接組立」が約50%~60%を占め、最も多い。「熱間圧延」は、年代-2の12%から年代-4で21%となり、約2倍に増えている。「ハニカム」は年代-1に8%確認できた。これらは、年代-1のなかでも1967年~1970年中盤までの期間のみで見られた。「ハニカム」は、H形の「熱間圧延」又は「溶接組立」の梁部材と併用して用いられている。使用箇所については、記載されているものが3棟あり、そのうち桁行方向に用いられているものが2棟(例えば図2(a))、梁間方向が1棟であった。ちなみに、前述した図4(b)の梁部材の箱形については、10棟のうち9棟は「溶接組立」により製造され、1棟は「記載なし」であった。

4. 接合形式に関する考察

4.1 記載状況及び分類方法

対象建物760棟のうち、柱梁接合部の接合形式について性能評価シートに記載がある建物は738棟であった。次節では、柱梁接合部の接合形式に関する情報が性能評価シートに記載されている738棟について考察を行う。738棟のうち、性能評価シートにおける接合形式に関する記載状況を図6に示す。梁端接合部と継手の接合がともに記載されているもの（例えば図2(b), (d))は、57%であった。継手のみの接合が記載されているもの（例えば図2(a), (c))は、43%であった。継手のみの接合が記載されている場合が多いため、下記の2条件でさらに分類を行った。2条件に該当しないものは、不明とする。

- ・継手のフランジが溶接接合、ウェブがボルト接合の場合、接合形式を現場溶接形式に分類する。(図2(a),(c))
- ・継手のフランジ、ウェブともにボルト接合の場合、接合形式を工場溶接形式に分類する。

4.2 接合形式

本節は、図6にて示した対象建物を分類方法(4.1節前述)に従い、接合形式の集計を行う。ここでは、建物1棟あたり、接合形式が複数

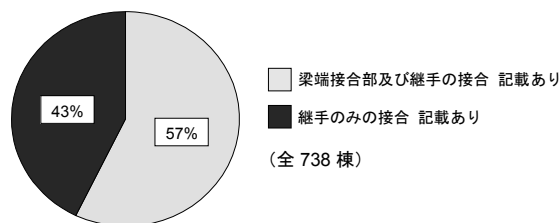


図6 性能評価シートにおける接合形式の記載状況

種類用いられている場合でも、記載される全ての種類を集計した。図7に、接合形式の割合を年代・地区別に示す。上段に建物棟数及び接合部数、下段に接合部数に対する接合形式の割合をそれぞれ示す。地区の分類については、対象建物の分布が集中する東京地区（東京、神奈川、千葉、埼玉）の422棟（全体の56%）、大阪地区（大阪、兵庫）の148棟（19%）、名古屋地区（愛知、岐阜、三重）の35棟（5%）に分類し、3地区の計605棟（80%）で考察を行う。

図7の全国における接合形式の推移に着目すると、現場溶接形式が年代-1で38%、年代-2で50%、年代-3で53%、年代-4で44%であり、年代-1から年代-4を通して全体の約40%~50%を占めた。工場溶接は、年代-1で60%、年代-2で47%、年代-3で40%、年代-4で54%であり、年代-1から年代-3にかけて20%減少しているが、年代-4で増加する。年代-2と年代-3においては、現場溶接形式が工場溶接形式を上回った。

図7の東京地区に着目すると、現場溶接形式が年代-1から年代-4でそれぞれ約40%~55%を占め、工場溶接形式は、約40%~60%を占めた。年代-2と年代-3では、現場溶接形式が工場溶接形式を10%程度上回った。大阪地区に着目すると、現場溶接形式が年代-1で32%、年代-2で57%、年代-3で53%、年代-4で42%であった。東京地区と同様に、年代-2と年代-3において現場溶接形式が工場溶接形式を13%程度上回った。名古屋地区に着目すると、現場溶接形式が年代-1で13%、年代-2で33%、年代-3で62%、年代-4で56%であった。名古屋地区は東京地区、大阪地区に比べて対象建物の棟数が少ないため、1棟あたりに占める接合形式の割合が大きい。したがって年代の傾向を捉えることは難しいと考える。

5. まとめ

本報告では、既存高層鋼構建造物の構造骨組に関わる情報の充実を目的とし、日本建築センターにおいて1966年~2001年5月の間に評定を取得した建物高さ60m以上の鋼構建造物の柱梁接合部に関する調査を行った。得られた知見を以下に示す。

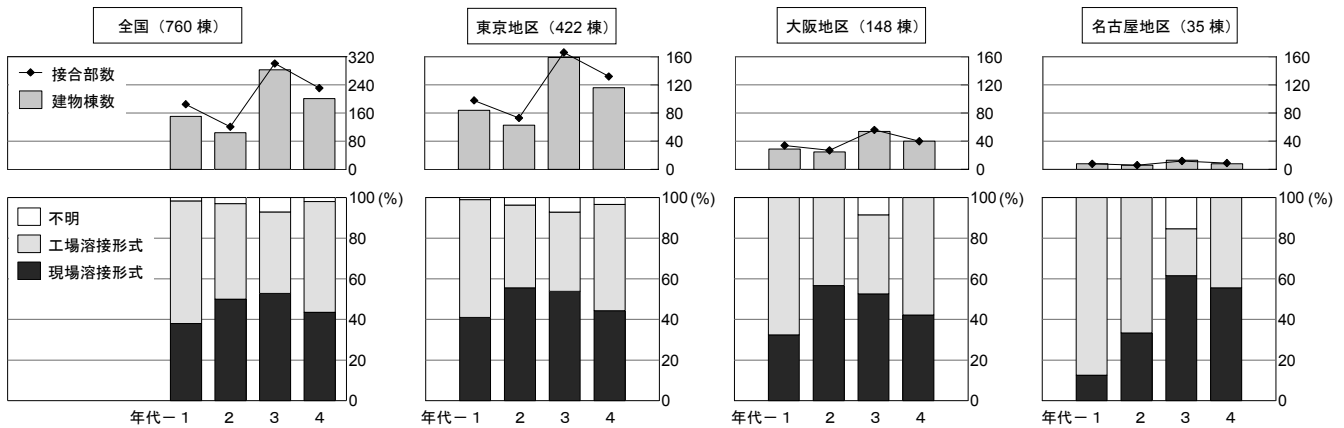


図7 柱梁接合部の接合形式

- (1) 柱部材及び梁部材の断面形状について、対象建物の柱部材は55%が箱形、梁部材は97%がH形を使用していた。柱部材は、1980年代に入るとH形が減少し、箱形及び円形が増加した。
- (2) 部材の製造方法について、柱部材によく用いられる箱形の製造方法では、溶接組立が最も多かった。特に、1980年代以降では箱形柱の約80%が溶接組立によって製造されている。また、梁部材のH形でも同様に、溶接組立が最も多かった。ハニカムは、1960年中盤～1970年中盤までの期間でのみ見られた。熱間圧延は1980年代から徐々に増加し、約2倍となった。
- (3) 対象とした738棟の建物の柱梁接合部のうち、現場溶接形式が全体の47%、工場溶接形式が50%の割合で採用されていた。1980年代～1990年代中盤においては、現場溶接形式が工場溶接形式を上回り、その後再び工場溶接形式が増加した。この傾向は、東京地区と大阪地区で同様であった。

既存高層鋼構建造物の耐震性能に影響を与える柱梁接合部の累積塑性変形能力は、性能評価シートには記載されていない開先からスカラップ底までの距離などの詳細事項やウェブボルト接合部の曲げ負担割合、さらに施工条件によっても異なる。こうした現状を念頭に個々の建物に対する耐震性能の調査と評価が望まれる。

謝辞

本研究は文部科学省による「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の一環として実施されました。また、本報告で用いた既存建物データベースは東京理科大学寺本研究室から提供して頂いたものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会, 日本建築学会: 海溝形巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言, 2006.11
- 2) 日本建築学会: 長周期地震動と建築物の耐震性, 2007.12
- 3) 日本建築学会長周期建物地震対応委員会: 長周期地震動対策に関する公開研究集会, 2011.3
- 4) 北村春幸, 馬谷原伴恵, 川崎恵: 時刻歴応答解析結果をもとにエネルギーの釣合に基づく耐震設計法を適用した建築物の耐震性評価法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第73巻, 第632号, pp.1755-1763, 2008.10
- 5) 吹田啓一郎, 北村有希子, 後藤友規, 岩田知孝, 釜江克宏: 高度成長期に建設された超高層建物の超周期地震動に対する応答特性—想定南海トラフ地震の関西地区における予測波を用いた検討—, 日本建築学会構造系論文集, 第611号, pp.55-61, 2007.1
- 6) 山田洋平, 吹田啓一郎, 北村有希子, 中島正愛: 初期超高層ビル柱梁接合部の実大実験による耐震性能の検証, 日本建築学会構造系論文集, 第73巻, 第623号,

- pp.119-128, 2008.1
- 7) 白井嘉行, 中込忠男, 村上武夫, 青木博文, 的場耕, 宿野部勇祐, 高橋英二: 通シダイヤモンドが柱梁溶接接合部の変形能力に及ぼす影響に関する実験的研究第2報現場溶接接合形式, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.525-526, 1999.9
- 8) 川端洋介, 中込忠男, 崎野良比呂, 服部和徳, 戸塚一真: 端部溶接欠陥を有する工場溶接型・現場溶接型柱梁溶接接合部の変形能力に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 第661号, pp.659-666, 2011.3
- 9) 秋山宏, 山田哲, 松本由香, 松岡三郎, 小倉桂治, 北村春幸: 実大振動台実験による柱梁接合部の破壊性状に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第512号, pp.165-172, 1998.10
- 10) 長江拓也, 鐘育霖, 島田佑, 福山國夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛, 齊藤大樹, 北村春幸, 福和伸夫, 日高桃子: 超高層建物の耐震性能を検証する大規模実験システムの構築—E-ディフェンス震動台実験—, 日本建築学会構造系論文集, 第640号, pp.1163-1171, 2009.6
- 11) 北村春幸, 宮内洋二, 浦本弥樹: 性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究—JSCA耐震性能メニューの安全限界値と余裕度レベルの検討—, 日本建築学会構造系論文集, 第604号, pp.183-191, 2006.6
- 12) 日本建築学会: 溶接接合設計施工ガイドブック, 2008.11
- 13) 藤森紀明, 中込照幸: 鉄骨造の精度のばらつき, 建築雑誌, vol.97, No.1194, 1992.6
- 14) 護雅典: 鉄骨造建物の耐震安全性を確保するための構造品質を考える, JSSC, No.62, pp.16, 2006.10
- 15) 日本建築学会: 梁端現場溶接接合が抱える課題, 材料施工部門パネルディスカッション資料, 2009.8
- 16) 石原清孝, 加賀美安男, 村山敬司, 橋本一彦, 加藤征宏, 小野徹郎: 建築鉄骨現場溶接の実態調査と現状分析(3)現場溶接管理の実態と問題点, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.925-926, 2004.8
- 17) 鶴田明: 溶接構造物の巨大化特集 わが国の超高層建物とその溶接, 溶接学会誌, pp.6-20, 1972.8
- 18) 福島東陽, 市村将太, 寺本隆幸: 超高層建物の基本的特性の時系列変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.307-308, 1999.9
- 19) 木村麗, 市村将太, 福島東陽, 寺本隆幸: 超高層建物の力学特性の調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.865-866, 2000.9
- 20) 木村麗, 寺本隆幸: 超高層鋼構造物の「主体構造」に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.471-472, 2001.9
- 21) 内本英雄, 加賀美安男, 橋本一彦, 中込忠男, 加藤征宏, 小野徹郎: 建築鉄骨現場溶接の実態調査と現状分析(1)調査方法と現場溶接採用状況, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.921-922, 2004.8
- 22) 加賀美安男, 佐藤篤司, 杉浦盛基, 橋本一彦, 加藤征宏, 小野徹郎: 建築鉄骨現場溶接の実態調査と現状分析(2)現場溶接施工の実態, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.923-924, 2004.8
- 23) 鈴木孝彦, 石井匠, 森田孝次: 特集 鋼構造耐震設計の原点を考える, 建築技術, No.619, pp.141-145, 2001.9
- 24) 井上一朗, 吹田啓一郎: 建築鋼構造—その理論と設計—, 鹿島出版会, 2007.12
- 25) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2002.1
- 26) 佐藤邦昭: [新編] 鋼構造の設計, 鹿島出版会, 2002.7
- 27) 甲津功夫, 吹田啓一郎: これからの鉄骨構造, 学芸出版社, 2001.6

[2012年6月20日原稿受理 2012年11月7日採用決定]