

2020年 日本鋼構造協会業績表彰

■ 論文賞 (所属先、社名等は論文発表時現在)

論文名	受賞者
局部座屈を伴う角形鋼管柱の一般化塑性ヒンジ法による弾塑性解析プログラム 鋼構造論文集 VOL.26 No.102 (p69-79), 2019.06	佐熊 海 ^{*1} 、多田 元英 ^{*2} 、安井 佑里花 ^{*1} 、向出 静司 ^{*3} ^{*1} 大阪大学大学院 ^{*2} 大阪大学大学院 教授 ^{*3} 大阪工業大学 准教授
火災を想定した加熱冷却履歴を受けた橋梁用高降伏点鋼の機械的性質 鋼構造論文集 VOL.26 No.101 (p79-86), 2019.03	廣畑 幹人 ^{*1} 、寺口 大輝 ^{*2} 、北根 安雄 ^{*3} ^{*1} 大阪大学大学院 准教授 ^{*2} 名古屋大学大学院 ^{*3} 名古屋大学大学院 准教授
サブマージアーク溶接による先組みビルト H 梁端接合部の塑性変形能力 鋼構造論文集 VOL.26 No.101 (p1-14,15-30,31-42), 2019.03	田淵 基嗣 ^{*1} 、中野 達也 ^{*2} 、浅田 勇人 ^{*3} 、高塚 康平 ^{*4} 、 田中 剛 ^{*5} 、志村 竜一 ^{*6} 、福元 孝男 ^{*7} 、遠山 和裕 ^{*8} 、鎌倉 和彦 ^{*9} 、 藤沢 清二 ^{*10} 、板谷 俊臣 ^{*11} 、島野 幸弘 ^{*12} 、大塚 英郎 ^{*13} 、一戸 康生 ^{*14} ^{*1} 神戸大学 名誉教授 ^{*8} 藤木鉄工(株) ^{*2} 宇都宮大学 准教授 ^{*9} ヤマネ鉄工建設(株) ^{*3} 神戸大学 助教 ^{*10} JFE スチール(株) ^{*4} 京都大学 助教 ^{*11} (株)永井製作所 ^{*5} 神戸大学 教授 ^{*12} (株)竹中工務店 ^{*6} 日鐵住金溶接工業(株) ^{*13} (株)大林組 ^{*7} (株)JKW ^{*14} 新日鐵住金(株)
低層ブレース構造の被災後補修に関する一連の研究 鋼構造年次論文報告集 第26巻 (p220-225), 2018.11 鋼構造年次論文報告集 第27巻 (p203-210), 2019.11	仲田 章太郎 ^{*1} 、吉敷 祥一 ^{*2} ^{*1} 東京工業大学大学院 ^{*2} 東京工業大学 准教授

■ 業績賞

業績名	受賞者
愛知県国際展示場 (Aichi Sky Expo) の設計と施工	株式会社竹中工務店
The Okura Tokyo の設計と施工	大成建設株式会社
ダイヤゲート池袋の設計と施工	株式会社日建設計 小坂橋 裕一、木村 征也、高田 好秀、渡辺 守、 早坂 聡紘、中溝 大機 大林・西武建設工事共同企業体

日本鋼構造協会論文賞

■ 論 文 名

局部座屈を伴う角形鋼管柱の一般化塑性ヒンジ法による弾塑性解析プログラム

■ 受 賞 者

佐熊 海*、多田 元英**、安井 佑里花*、向出 静司***

■ 選 考 理 由

本論文は、軸力と 2 軸曲げを受ける角形鋼管柱を対象とし、局部座屈後に耐力劣化する繰返し荷重変形挙動を解析するための力学モデルの改良と、それを実装した鋼構造骨組の数値解析プログラムの開発・改良について述べたものである。改良した一般化塑性ヒンジモデルでは、断面の塑性化や局部座屈の発生を多重の降伏曲面で判定し、塑性化後の歪硬化や局部座屈による耐力劣化を、降伏曲面を移動・膨張(収縮)・変形させることで表している。

本論文の優れた点として特筆すべきは以下である。

本論文は単に局部座屈による耐力劣化を的確に表現可能な力学モデルを提案したに留まらず、角形鋼管柱を有する 3 層 3 × 3 スパン鋼構造建物に水平 2 方向地震動が入力したときの立体挙動を解析可能な数値解析プログラムを完成させている点である。南海・東南海・東海の海洋型地震や都市直下型大地震の発生が危惧されるなか、今後このプログラムの整備・普及が進めば、建築基準法の想定を超えた大地震に対しても人命・構造安全性が、耐倒壊性能の観点から担保される可能性もあり、このような解析ツールを完備させたという点で、高い完成度と将来に対する発展性を備えた論文と評価できる。

このように、本論文は新規性・実用性・応用性の高い論文であり、今後の建築鋼構造分野の発展普及にも貢献できる論文である。

よって、本論文は日本鋼構造協会論文賞の授賞に値する。

*		大阪大学大学院	博士前期課程
**	博士(工学)	大阪大学大学院	教授
***	博士(工学)	大阪工業大学	准教授

局部座屈を伴う角形鋼管柱の一般化塑性ヒンジ法による 弾塑性解析プログラム ～劣化履歴則の改良と塑性剛性の逐次更新～

ELASTO-PLASTIC ANALYTICAL PROGRAM WITH GENERALIZED PLASTIC HINGE FOR STEEL SQUARE TUBE COLUMN WITH LOCAL BUCKLING ～IMPROVEMENT ON DETERIORATING HYSTERICAL RULE AND STEP BY STEP UPDATE OF PLASTIC STIFFNESS～

佐熊 海* 多田 元英** 安井 佑里花* 向出 静司***
Kai SAKUMA* Motohide TADA** Yurika YASUI* Seiji MUKAIDE***

ABSTRACT This paper deals with the improvement of program that was developed to analyze elasto-plastic behavior of steel square tube columns with local buckling. The improvements are the suggestion of new deteriorating hysterical rule and step by step update of plastic stiffness which can consider the effect of axial force ratio and the direction of member-end-rotation. The operation of program has been checked by the analytical examples of single column member and three dimensional building frame.

Keywords:一般化塑性ヒンジモデル, 局部座屈, 数値解析, 角形鋼管柱, 2軸曲げ
Generalized Plastic Hinge, Local Buckling, Numerical Analysis, Steel Square Tube, Biaxial Bending

1. 序

軸力と2軸曲げを受ける角形鋼管柱を対象に、局部座屈後の荷重-変形挙動を解析するためのプログラム(COLUMNS)を筆者らは文献[1]で示した。そのプログラムでは塑性化後の負荷挙動を表現するための力学モデルとして一般化塑性ヒンジ[2]を利用しており、塑性化後の歪硬化や局部座屈による耐力劣化を、降伏曲面を移動・膨張(収縮)させることで表している。

本論は文献[1]で不十分だった事項について、考察・改良を加えるものである。すなわち、

1) 文献[1]では、一般に用いられる移動硬化則と等方硬化則、およびそれらを組み合わせた複合硬化則を用いたため、圧縮軸力下でも引張軸力下でも降伏曲面を等方的に収縮させて劣化挙動を表現していた。局部座屈による耐力劣化は圧縮軸力

下で顕著だが引張軸力下では緩慢なため、本論では降伏曲面の形状変化において、軸力の正負に対応する異方性を考慮可能なプログラムに改良する。
2) 塑性化後の硬化剛性は軸力比の影響を受け、局部座屈後の劣化剛性は軸力比と変形方向の影響を受ける。しかし、文献[1]では解析に先立って設定した代表的な軸力比と変形方向を用いて、硬化剛性や劣化剛性を決定していた。軸力比と変形方向は一般に時々刻々変化することから、本論ではそのような変化に対応可能なプログラムに改良する。

局部座屈の進行状況に応じて降伏曲線を変形させる他の提案としては、軸力と1軸曲げを受けるH形鋼梁を対象に、局部座屈するフランジに対応する降伏曲線の一部を収縮・復元させる方法が、元結・大塚らによって示されている[3]。

局部座屈挙動などの複雑な挙動解析には、処理能力が高い計算機の使用を前提として、シェル要素やソリッド要素を利用した方法に頼るのが長期的な趨勢であるとも考えられる。しかし、モデルの作成手間や計算機の負荷、複雑な操作に起因するミスなどを考えると、ハンドリングの良い単純な力学モデルへの要望は依然として高いといえる。また、簡易な力学モデルを構築し活用することが、

* 大阪大学大学院工学研究科 博士前期課程
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

** 第2種正会員
博士(工学) 大阪大学大学院工学研究科 教授
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

*** 第2種正会員
博士(工学) 大阪工業大学 建築学科 准教授
(〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

(次頁以降省略)

日本鋼構造協会論文賞

■ 論 文 名

火災を想定した加熱冷却履歴を受けた橋梁用高降伏点鋼の機械的性質

■ 受 賞 者

廣畑、幹人*、寺口、大輝**、北根、安雄***

■ 選 考 理 由

本論文は、新たに開発された鋼材である橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）を対象として、鋼橋の火災を想定した熱履歴を付与した場合の機械的性質の変状について詳細な実験的検討を行い、材質変化の機構解明と構造物への影響までを考察したものである。対象とする鋼材の機能的特徴に加え、鋼橋の火災を想定した熱履歴付与実験の方法と条件の提案がなされている点にも新規性と実用性が認められる。本論文では加熱状態からの自然冷却条件に加え、消火活動を想定した水冷条件での検討がなされ、冷却条件の違いが鋼材の機械的性質に及ぼす影響まで検討しており、貴重な知見を示しているものと評価される。橋梁用高降伏点鋼板の微細組織が熱履歴によって変化するプロセスが実験結果に基づき詳細に説明されており、橋梁用高降伏点鋼板を用いた構造物の耐火性評価ならびに火災後の供用可否判定に応用できる結果が提示されている。これら一連の結果は、鋼構造の発展普及における重要課題の一つである橋梁用高降伏点鋼板の適用拡大に資するところが大きい。

また、本論文では基本的な一連の材料試験の手法と条件、結果が丁寧に記述されており、実験結果に対する詳細な考察が述べられている。さらに、鋼材の機械的性質の変状が火災後の構造物の使用性や安全性に及ぼす影響まで言及されており、論文としての完成度も高い。参考文献として挙げられている著者らが実施した異なる鋼材に対する実験結果（溶接継手、経年鋼材、鋳鋼）との条件の統一性から、鋼種の相違による機械的性質変状の傾向を把握できる点も本論文の有用性と言える。

以上の観点から、本論文は鋼構造に関する学術、技術の進歩発展に大いに貢献するものである。

よって、本論文は日本鋼構造協会論文賞の授賞に値する。

*	博士(工学)	大阪大学大学院	准教授
**		名古屋大学大学院	博士前期課程
***	Ph. D.	名古屋大学大学院	准教授

火災を想定した加熱冷却履歴を受けた橋梁用高降伏点鋼の機械的性質

MECHANICAL PROPERTIES OF STEELS FOR BRIDGE HIGH PERFORMANCE STRUCTURE SUBJECTED TO HEATING AND COOLING PROCESS SIMULATING FIRE

廣畑 幹人^{*1}

寺口 大輝^{*2}

北根 安雄^{*3}

Mikihito HIROHATA^{*1}

Daiki TERAGUCHI^{*2}

Yasuo KITANE^{*3}

ABSTRACT For investigating effect of heating and cooling process simulating fire on mechanical properties of Steels for Bridge High Performance Structure (SBHS), a series of experiment was carried out. The heating of 600°C did not change the mechanical properties of SBHS from those without heating and cooling. The heating of 900°C and air cooling decreased the mechanical properties of SBHS due to softening. The heating of 900°C and water cooling increased the ultimate strength due to hardening; however, it decreased the yield stress and elongation of SBHS to the level below that required by JIS.

Keywords: 火災, 橋梁, 橋梁用高降伏点鋼, 機械的性質

Fire, Bridge, Steels for bridge high performance structure, Mechanical properties

1. 緒言

車両事故や失火を原因とした火災による橋梁の損傷事例が国内外において報告されている[1～5]。社会インフラである橋梁の供用が火災により停止された場合、交通網、物流が遮断されるため、迅速な供用再開が重要である。

橋梁が火災を受けた場合、供用再開までに必要なプロセスをまとめた「火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン」が2015年に土木学会から提示された[6]。このガイドラインによれば、火災を受けた橋梁の被災部の損傷状況と変状の調査においては、たわみや変形など外観上の変状に対する点検だけでなく、部材の受熱温度の推定が重要となる。鋼部材については、塗膜の損傷状況から受熱温度を推定することが多く、受熱温度が所定の温度を越えたと判断された場合、被災部位から

サンプルを採取し、引張試験など材料試験を行い機械的性質の変化を直接的に調査することもある。このガイドラインでは、SS400, SM490, SM570などの構造用鋼材および高力ボルトを加熱後冷却した場合における機械的性質の変化に関する調査事例[7, 8]をもとに、火災後に機械的性質の変状が生じる受熱温度の基準を設定している。すなわち、上述の圧延鋼材は600°Cまでの加熱であれば加熱冷却後の機械的性質に変化が生じないことが報告されており、これに対し安全側の余裕を考え、詳細調査を必要とせず供用再開可能と判断する受熱温度の基準を400°Cと定めている[6]。

しかし、鋼橋を構成する部材の中には既往の研究では対象とされていない材料も存在することから、著者らは、経年鋼材や溶接継手部に火災を想定した加熱冷却履歴を与えた際の機械的性質の変化に対する調査を実施している[9～12]。種々の鋼材に対し、火災による加熱冷却履歴を受けた後の機械的性質の変状に関するデータが蓄積されつつあるが、近年開発され、2008年以降にJIS規格化された橋梁用高降伏点鋼(SBHS: Steels for Bridge High Performance Structure)については、この種のデータが未だ提示されていない。TMCP(Thermo-Mechanical Control Process: 熱加工制御)により降伏応力や靱性、溶接性などの優れた性能を付与した鋼材であるSBHSが、火災や消火など

^{*1} 第2種正会員

博(工) 大阪大学 大学院工学研究科
地球総合工学専攻 准教授

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

^{*2} 名古屋大学 大学院工学研究科

土木工学専攻 博士前期課程

(〒464-0844 名古屋市中区千種区不老町)

^{*3} 第2種正会員

Ph.D. 名古屋大学 大学院工学研究科
土木工学専攻 准教授

(〒464-0844 名古屋市中区千種区不老町)

〔次頁以降省略〕

日本鋼構造協会論文賞

■ 論 文 名

サブマージアーク溶接による先組みビルト H 梁端接合部の塑性変形能力

■ 受 賞 者

田淵 基嗣^{*1}、中野 達也^{*2}、浅田 勇人^{*3}、高塚 康平^{*4}、田中 剛^{*5}、志村 竜一^{*6}、福元 孝男^{*7}、遠山 和裕^{*8}、鎌倉 和彦^{*9}、藤沢 清二^{*10}、板谷 俊臣^{*11}、島野 幸弘^{*12}、大塚 英郎^{*13}、一戸康生^{*14}

■ 選 考 理 由

本論文は、サブマージアーク溶接による先組み BH 梁を対象とし、サブマージアーク溶接金属の靱性と梁の塑性変形能力の関係を明らかにすることを目的とした 3 編の論文から構成されている。まず多くの溶接施工試験によってサブマージ溶接部における 3 水準の靱性の再現を試み、続く載荷実験によってサブマージアーク溶接の靱性と梁の塑性変形能力の関係を示すとともに、既往の実験結果との比較分析からロール H 形鋼と同程度の塑性変形能力を確保するための条件を提示している。研究成果の一部は日本建築学会「鉄骨工事技術指針・工場製作編（2019 年版）」に取り入れられ、また、日本鉄鋼連盟「先組みビルト H 梁のサブマージアーク溶接施工ガイドブック（2019 年）」として成果の普及にも精力的に取り組んでいる。本論文は新規性、実用性、応用性の高い論文であり、高層建物を中心とし、今後の建築鋼構造の発展普及に貢献できる論文として高く評価される。

よって、本論文は日本鋼構造協会論文賞の授賞に値する。

*1	工学博士	神戸大学	名誉教授
*2	博士(工学)	宇都宮大学	准教授
*3	博士(工学)	神戸大学	助教
*4	博士(工学)	京都大学	助教
*5	博士(工学)	神戸大学	教授
*6		日鐵住金溶接工業(株)	
*7		(株) J K W	
*8		藤木鉄工(株)	
*9		ヤマネ鉄工建設(株)	
*10		J F E スチール(株)	
*11	博士(工学)	(株)永井製作所	
*12		(株)竹中工務店	
*13		(株)大林組	
*14	博士(工学)	新日鐵住金(株)	

サブマージアーク溶接による先組みビルト H 梁端接合部の塑性変形能力 (1 パス施工によるサブマージアーク溶接金属の機械的性質)

PLASTIC DEFORMATION CAPACITY OF PRE-ASSEMBLED TYPE BUILT-UP H-SHAPED BEAM BY SUBMERGED ARC WELDING (Mechanical properties of the fillet weld metal by one pass the submerged arc welding)

中野 達也 *1	田渕 基嗣 *2	志村 竜一 *3	福元 孝男 *4
遠山 和裕 *5	鎌倉 和彦 *6	藤沢 清二 *7	板谷 俊臣 *8
島野 幸弘 *9	大塚 英郎 *10		

Tatsuya NAKANO*1	Mototsugu TABUCHI*2	Ryuichi SHIMURA*3	Takao FUKUMOTO*4
Kazuhiro TOYAMA*5	Kazuhiko KAMAKURA*6	Seiji FUJISAWA*7	Toshiomi ITATANI*8
Yukihiro SHIMANO*9	Hideo OTSUKA*10		

ABSTRACT In this paper, the mechanical properties such as the toughness and the strength of the submerged arc weld (SAW) metal are investigated. Main target is the fillet weld metal by one pass SAW used for the built-up H-shaped beam. For comparison, the JIS deposited metal is also prepared. Charpy absorbed energy νE_0 of the JIS deposited metal was higher than the specified value of JIS. On the other hand, νE_0 of the fillet weld metal was lower than the JIS deposited metal, and some of the fillet weld metal was lower than the specified value of JIS.

Keywords : サブマージアーク溶接, 靱性, 溶接施工条件, 先組みビルト H 梁
submerged arc welding, toughness, welding condition, pre-assembled type built-up H-shaped beam

1. 序論

1.1 研究の背景

建築鉄骨では, サブマージアーク溶接 (以下, SAW と表記) により H 形断面部材を製作した後, に切断・スカラップ・開先加工を行う, いわゆる先組みビルト H 梁 [1] を使用する場合があります. この先組みビルト H 梁に複合円型スカラップを設けると, スカラップ底近傍には SAW 金属と不溶着部が存在し, 材質的・形状的な不連続が同時

に形成されることになる.

最近になって, SAW 金属の低靱性に起因してスカラップ底を延性き裂の発生起点とする脆性破壊が生じることが指摘されている [2~4]. しかし, 先組みビルト H 梁の塑性変形能力を評価するための実験データは少なく, 一般性のある結論が得られていないのが現状である.

本研究は, SAW による先組みビルト H 梁と角形鋼管柱で構成される通しダイアフラム形式

*1 第 2 種正会員 博士 (工学) 宇都宮大学
(〒 321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)
*2 第 2 種正会員 工学博士 神戸大学
(〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台 1-1)
*3 第 1 種正会員 日鐵住金溶接工業
(〒 135-0016 東京都江東区東陽 2-4-2)
*4 第 1 種正会員 JKW
(〒 111-0051 東京都台東区蔵前 2-17-4)
*5 藤木鉄工
(〒 957-0101 新潟県聖籠町東港 3-2265-6)

*6 ヤマネ鉄工建設
(〒 759-4401 山口県長門市日置上 885)
*7 第 1 種正会員 JFE スチール
(〒 100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-3)
*8 博士 (工学) 永井製作所
(〒 869-0524 熊本県宇城市松橋町豊福 2700)
*9 第 1 種正会員 竹中工務店
(〒 541-0053 大阪市中央区本町 4-1-13)
*10 第 1 種正会員 大林組
(〒 108-8502 東京都港区港南 2-15-2)

サブマージアーク溶接による先組みビルト H 梁端接合部の塑性変形能力 (実大部分架構実験)

PLASTIC DEFORMATION CAPACITY OF PRE-ASSEMBLED TYPE BUILT-UP H-SHAPED BEAM BY SUBMERGED ARC WELDING (Full-scale sub-assembly tests)

浅田 勇人 * 中野 達也 ** 高塚 康平 ***
Hayato ASADA Tatsuya NAKANO Kohei TAKATSUKA
田中 剛 * 田渕 基嗣 ****
Tsuyoshi TANAKA Mototsugu TABUCHI

ABSTRACT This paper investigates on the plastic deformation capacity of built-up H-shaped beam connected with RHS column. A total of sixteen specimens was tested under cyclic loading, with beam size, notch toughness and depth of penetration of submerged arc weld (SAW) as primary test variables. Test results showed that the increase in notch toughness of SAW lead to improvement of plastic deformation capacity, while the decrease in weld penetration did not correlate to decrease in plastic deformation capacity. FEA were also performed to provide insight into the impact of the beam size and the penetration of SAW on the plastic deformation capacity of the specimens.

Keywords: ビルト H 梁, 梁端接合部, 塑性変形能力, 部分架構実験, 有限要素解析

Built-up H-beam, beam-to-column connection, plastic deformation capacity, sub-assembly test, FEA

1. 序論

フランジとウェブをサブマージアーク溶接 (以下, SAW) によって組立てた後に, 切断・スカラップ・開先加工を施す先組み溶接組立 H 形断面梁 (以下, 先組みビルト H 梁) では, 応力・歪集中部であるスカラップ底に SAW 金属と不溶着部が存在する。既往の研究 [1~4] によれば, このうち SAW 金属の靱性が低いことが主な要因となっており, スカラップ底を起点とした脆性破壊が生じる可能性が指摘されている。しかし, 先組みビルト H 梁の繰返し塑性変形能力を評価するための実験データは少なく, 一般性のある結論は得られていない現状にある。

本論では, 柱梁部分架構試験体を用いた実大載荷実験の結果を示し, 主として梁サイズ, SAW

金属の靱性および不溶着の有無が, 梁端接合部の破壊性状および繰返し塑性変形能力に与える影響を検討する。また, 実験では把握しきれない破壊起点位置における応力および歪性状を有限要素解析によって求め, 梁サイズ, 不溶着の有無および SAW 部の形状による応力・歪性状の差異が実験結果に及ぼした影響を考察する。

2. 実験計画

試験体一覧を表 1 に, 試験体形状の一例を図 1 に示す。試験体は冷間成形角形鋼管柱に通しダイアフラム形式でビルト H 梁が取り付け T 字形部分架構である。梁端接合部は工場溶接接合形式, スカラップ形状は図 2 に示す 35R+10R の複合円型とした。スカラップの加工においては, フランジ母材を削り込まないために, JIS G 3136 のフランジの折れに関する許容差を考慮して, いずれも 2mm の削り残しを設けた。主要な実験因子は梁サイズ, SAW 金属の靱性および不溶着幅の有無である。梁サイズについては梁せいを 800, 600 および 500mm(L, M および S シリーズ) の 3 種類を設定した。各シリーズのフランジ幅およびフランジとウェブの板厚は, 塑性変形能力に影響を

(次頁以降省略)

* 第 2 種正会員 博士 (工学) 神戸大学

(〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

** 第 2 種正会員 博士 (工学) 宇都宮大学

(〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

*** 準会員 博士 (工学) 京都大学

(〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂 C2-311)

**** 第 2 種正会員 工学博士 神戸大学

(〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

サブマージアーク溶接による先組みビルト H 梁端接合部の塑性変形能力 (梁端接合部の塑性変形能力とサブマージアーク溶接金属の靱性の関係)

PLASTIC DEFORMATION CAPACITY OF PRE-ASSEMBLED TYPE BUILT-UP H-SHAPED BEAM BY SUBMERGED ARC WELDING (Relationship Between Plastic Deformation Capacity and Toughness of Submerged Arc Weld Metal)

高塚 康平^{*1}
田中 剛^{*3}

中野 達也^{*2}
一戸 康生^{*4}

浅田 勇人^{*3}
田渕 基嗣^{*5}

Kouhei TAKATSUKA^{*1}
Tsuyoshi TANAKA^{*3}

Tatsuya NAKANO^{*2}
Yasuo ICHINOHE^{*4}

Hayato ASADA^{*3}
Mototsugu TABUCHI^{*5}

ABSTRACT This paper investigates the toughness of submerged arc weld metal included in pre-assembled type built-up H-shaped beam which prevent the premature brittle fracture of moment connection. Deformation capacities before fracture of many kind of moment connections containing rolled H-shaped section beam are analyzed statistically and the indices of the deformation capacity are defined to evaluate the toughness. The relationship between the deformation capacity of the moment connection containing pre-assembled type built-up H-shaped beam and the toughness are investigated considering with the destruction property and the effect of loading protocol using the indices, which reveals the necessary value of the toughness to prevent the premature brittle fracture.

Keywords: サブマージアーク溶接, 先組みビルト H 梁, 柱梁溶接接合部, 靱性, 塑性変形能力
submerged arc welding, pre-assembled type built-up H-shaped beam, beam-to-column connection,
toughness, plastic deformation capacity

1. 序

1.1 研究の背景

建築鉄骨に H 形断面を使用する際, フランジとウェブをサブマージアーク溶接 (以下, SAW) により組み立てた後に切断やスカラップ・開先加工などを行う先組み型の溶接組立 H 形断面 (以下, 先組みビルト H) が用いられる場合がある. この先組みビルト H 材を梁材に使用するスカラップ形式梁端接合部では, SAW による溶接金属と不溶着部がスカラップ底に位置することになる. そ

のため, スカラップ形状が JASS 6 [1] に示されている複合円型であっても, スカラップ底を起点として早期に脆性破断する場合がある. こうした早期の脆性破断を防止するためには SAW 金属が十分な靱性を有する必要があるが, その SAW 金属に必要な靱性は十分に検討されていない.

1.2 本論文の研究目的

本論文では, 先組みビルト H 梁を用いたスカラップ形式梁端接合部の早期の脆性破断を防止するために必要となる SAW 金属の靱性について検討する. ただし, こうした靱性を検討するためには, 早期と判定する変形能力の目安を具体的に定義し比較する必要がある.

そこで, スカラップ形式梁端接合部を対象に繰返し載荷実験を実施している既往の実験研究を調査し, 各実験の変形能力を統計的に分析する. これにより, 多数回の繰返し塑性変形の後に破断したスカラップ形式梁端接合部の保有変形能力を明らかにする. この保有変形能力を指標として, 先組みビルト H 梁を用いた梁端接合部の変形能力と SAW 金属の靱性の関係を検討する.

^{*1} 準会員 博士(工学) 京都大学

(〒 615-8540 京都市西京区京都大学桂)

^{*2} 第 2 種正会員 博士(工学) 宇都宮大学

(〒 321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2)

^{*3} 第 2 種正会員 博士(工学) 神戸大学

(〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

^{*4} 第 1 種正会員 博士(工学) 新日鐵住金

(〒 100-8071 東京都千代田区丸の内 2-6-1)

^{*5} 第 2 種正会員 工学博士 神戸大学

(〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

【次頁以降省略】

日本鋼構造協会論文賞

■ 論 文 名

低層ブレース構造の被災後補修に関する一連の研究

■ 受 賞 者

仲田 章太郎*、吉敷 祥一**

■ 選 考 理 由

本論文は、震災時に避難所として利用される屋内運動場を対象とし、地震被害が発生することの多い桁行ブレース構面について、余震に対する安全性確保を検討した一連の論文である。地震応答解析により、余震による最大変位の増加傾向やターンバックルブレースの締め直しによる補修を想定した場合の余震に対する補修効果を把握するとともに、構造実験により、ターンバックルの締め直しによる補修効果、多数回の補修における施工性、ブレース変形時の付加応力について検討を行っている。

地震応答解析の結果から、本震の大きさの 25%程度の余震であれば最大層間変形の増加は生じないこと、ブレースが損傷した場合でもターンバックルの締め直し補修を施すことで余震を受けても本震時より最大変形が大きくなることはないこと等を明らかにした。また、地震調査の結果から、実際に頻発している余震の多くは本震の大きさの 20%以下であることを提示した。更に、構造実験から、接合部の種類や呼び径などによらず、損傷したターンバックルブレースは締め直しによって剛性と耐力が概ね元通りに回復すること、損傷の程度によって締め直し補修の施工性は変わらないこと等を確認した。これらの知見は、震災で損傷を受けた屋内運動場が継続使用できるか否かを判断する上で有用であり、また、補修方法としてはターンバックルを締め直すことという簡易的な方法で問題ないことを示しており、防災対策上の非常に実用的な研究成果であるといえる。

このように、本論文は新規性、実用性、応用性の高い論文であり、今後の建築鋼構造の発展普及にも貢献できる論文であると判断する。

よって、本論文は日本鋼構造協会論文賞の授賞に値する。

*	修士(工学)	東京工業大学大学院	博士後期課程
**	博士(工学)	東京工業大学	准教授

被災した低層ブレース構造の余震に対する安全検証に関する検討 Safety Verification on Braced-Frame Structures Subjected to Aftershocks

○ 仲田 章太郎* 吉敷 祥一**
Shotaro NAKADA Shoichi KISHIKI

ABSTRACT This paper discusses safety verification on braced-frame structures subjected to aftershocks. In this paper, seismic analysis were conducted in order to investigate the maximum deformation tendency and effect of repairment on reducing it. The findings obtained from the analysis are summarized as follows; (1) the maximum deformation due to the repeated aftershocks converges to constant value and its deformation depends on PGV of aftershocks; (2) the damaged building can be used continuously if magnitude of the aftershock is less than 25% of the main earthquake; (3) the maximum deformation increase due to the most of aftershocks will be avoided by seismic repair for half of the total number of the damaged braces.

Keywords : 被災後補修法, ブレース構造, 余震, 体育館
Repairment, Braced-frame structures, Aftershocks, Gymnasium

1. はじめに

体育館は災害時の避難施設として利用されることが多く、その耐震性能の確保は防災対策上において重要な課題である。2016年熊本地震では震度6弱以上の地震が多数観測されるなど、余震の影響により避難所の不足といった問題が注目された¹⁾。

余震を含めた安全検証と被災後補修の効果について図1に示す。従来の耐震設計では本震に対する安全検証が対象であり、余震によって使用限界などの各限界状態を上回る変形が生じる可能性については検討されていない。これに対し、本震直後に適切な被災後補修を施せば、余震に対しても継続して使用できる可能性がある(図1(b))。著者らはこれまでに被災状況に基づき損傷を定量的に評価する方法^{2)~4)}を検討している。また、鋼柱に対しては被災後補修⁵⁾の方法と具体的設計方法を提案しており、現在も様々な部材を対象に継続使用できる補修法を提案することを目標として研究を推進している。

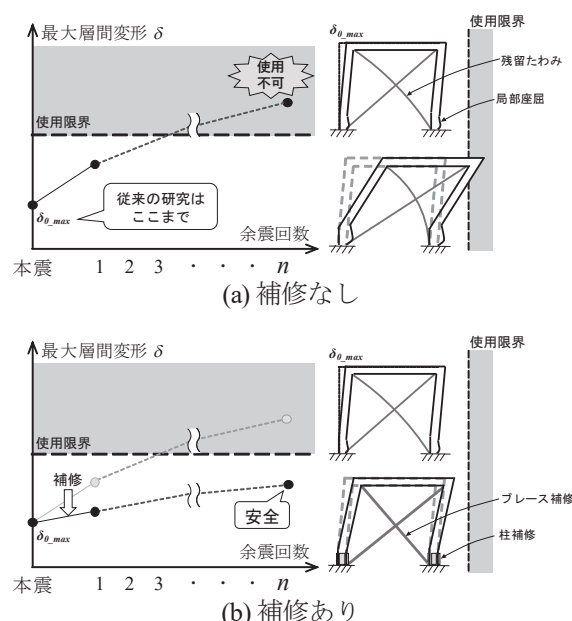


図1 余震に対する被災後補修の効果

本報では、これらの研究の一環とし、体育館の桁行方向のブレース構造を対象に、余震による最大変形の増加傾向およびターンバックルの締め直しによる効果を把握する。

* 東京工業大学大学院 修士課程

(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259) 準会員(学生)

** 博士(工学) 東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所 准教授

(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259) 第2種正会員

(次頁以降省略)

損傷したターンバックルブレースの締め直しによる性能回復

Performance Recovery by Retightening Damaged Turnbuckle Brace

○ 仲田 章太郎^{*1}

Shotaro NAKADA

吉敷 祥一^{*2}

Shoichi KISHIKI

ABSTRACT This paper focuses on the restoration of brace performance by re-tightening turnbuckle. In order to investigate performance recovery, added stress and workability when the turnbuckle is retightened, loading tests were performed. The findings obtained from the tests are summarized as follows: (1) Even though the turnbuckle is repeated many times, the brace performance is restored. In addition, the workability does not decrease. (2) The added stress at the end of the brace can be grasped by using the dynamic model proposed in this paper.

Keywords : 被災後補修, ターンバックルブレース, ガセットプレート, 付加応力, 接合部偏心
Seismic repair, Turnbuckle brace, Gusset plate, Additional stress, Connection eccentricity

1.はじめに

屋内運動場は災害時の避難施設として利用されることが多く、その耐震性能の確保は防災対策上において重要な課題である。一方、現行の建築基準法における耐震設計の最低目標は人命の保護であるため、建築物に損傷を許容している。その結果、近年の大地震時において、多くの屋内運動場の防災拠点としての機能が失われ、復旧活動に遅れが生じたことが指摘されている。このような問題に対して、本震直後に適切な被災後補修を施せば、屋内運動場を継続して使用できる可能性がある。

著者らはこれまでに被災状況に基づき損傷を定量的に評価する方法^[1~3]を検討している。また、鋼柱に対しては被災後補修法^[4]を提案しており、最終的には様々な鋼部材を対象に継続して使用できる被災後補修法を提案することを目標としている。

本報ではこれらの研究の一環とし、ターンバックルの締め直しによるブレースの性能回復やブレースの変形時に生じる付加応力を構造実

験により把握する。

2.実験計画

2.1 試験体

試験体の概要と緒元を図1、表1に示す。試験体は羽子板、丸鋼、ターンバックルで構成されたターンバックルブレースである。試験体の詳細寸法は、「建築用ターンバックル筋かい設計施工指針」^[5]に則り、屋内運動場で使用される標準な引張ブレースを想定した実大サイズを設定する。ターンバックルブレースの鋼種をSNR400Bとし、ねじ部はすべて転造加工とした試験体を用意した。パラメータとして、丸鋼の断面積、接合方法による偏心距離、溶接部とボルト孔の距離とし、ターンバックルの締め直しによる性能回復および施工性の違いについて確認する。また、ガセットプレート(以下、G.PL)の厚さを変化させた試験体を用意し、ブレースの変形時に生じる付加応力の影響を把握する。

2.2 載荷計画と載荷履歴

セットアップを図2に示す。試験体は、一端を反力治具に固定し、他端をアクチュエータに可動治具を介して設置する。G.PLと羽子板部はレンチ(約100Nm)を用いて高力ボルトの締め付けを行った。ブレースの導入張力は丸鋼の降伏耐力の10~15%となるように管理した。実験は、アクチュエータを用い、軸方向に強制変位を与えることで載荷を行った。

載荷履歴の概要を図3に示す。図の縦軸は試験

^{*1}準会員

修士(工学) 東京工業大学 博士後期課程
(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

^{*2}第2種正会員

博士(工学) 東京工業大学 科学技術創成研究院
未来産業技術研究所 准教授
(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

〔次頁以降省略〕

日本鋼構造協会業績賞

■ 業 績 名

愛知県国際展示場（Aichi Sky Expo）の設計と施工

■ 受 賞 者

株式会社竹中工務店

■ 選 考 理 由

本計画は、国際空港に直結した展示場施設であり県が整備し民間事者が運営するもので6万㎡という国内最大級の規模を有している。縦横100m高さ20mの無柱空間となる展示ホールAは、2方向トラスを採用することで十分なボリュームを確保しており、上下振動対策にはオイルダンパーを、長時間地震動対策には新たに開発された制振ダンパーを採用することで、安全性と耐久性に優れた展示空間を実現している。また展示ホールB～Fにおいては、既成H型鋼梁に方杖柱を組み合わせるなどコストの最適化にも十分配慮がされている。

制振ダンパーに用いられた耐疲労鋼であるFe-Mn-Si系合金は、従来の低降伏点鋼などの材料に比べて約10倍の疲労耐久性を有する。開発にあたっては、基礎的な材料実験に始まりその製造方法、溶接技術開発、ダンパー構法など広範囲にわたる検証が必要で、これを研究機関や材料メーカーとの共同開発により行われた。実用化された本件構造方法はもとより、この開発を通じて得られた知見は今後の鋼構造発展に貢献することが期待される。

さらには積極的に省エネ技術を取り込むことで、CASBEEのSランク（BEE=4.7）並びにZEB Ready（BEI=0.45）を達成するとともに、メインアプローチに鉛直緑化ポールを象徴的に設けるなど、卓越した構造安全性に加えて環境配慮型国際展示場としての性能・機能・デザインを実現している。

よって、本業績は日本鋼構造協会業績賞の授賞に値する。

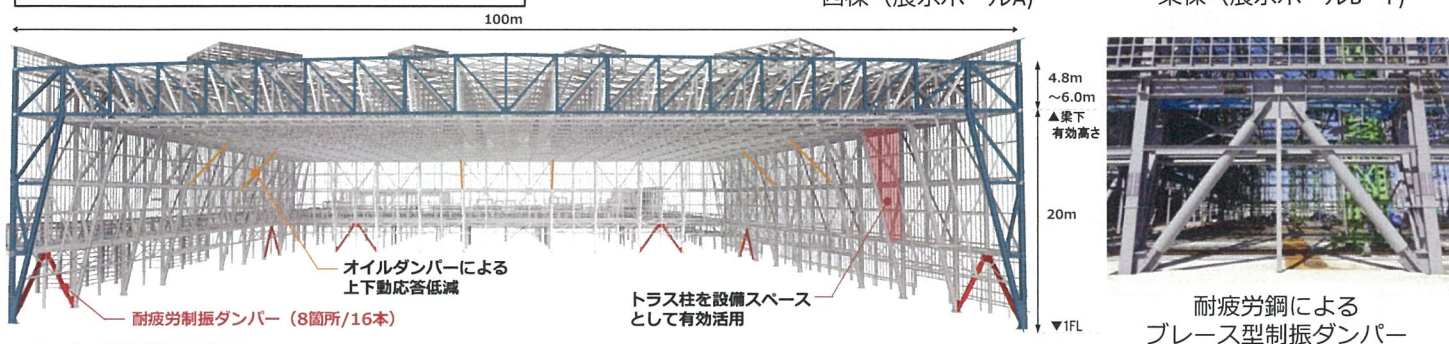
1. 愛知県国際展示場の特徴

(1) 本建物は、愛知県が整備し、国内初の国際空港直結型の展示場である。展示面積は、国内最大級60,000㎡を有し、展示ホールAは、展示面積10,000㎡・100m×100m×高さ20mの無柱大空間で、音楽コンサートも対応可能である。展示ホールB～Fの5つのホールは、最大50,000㎡まで一体利用可能な高さ14mの大空間としている。

(2) 長さ200mのエントランス大庇には垂直型壁面緑化「パーティカルフォレスト」を設け、展示場として初めてCASBEE SランクとZEB Ready※を実現した。

※自主算定による

2. 愛知県国際展示場の構造設計概要



西棟（展示ホールA）

東棟（展示ホールB～F）

(1) 構造計画概要

約100m×100mが無柱空間である展示ホールAを含む西棟は、2方向トラス構造を採用し、トラスピッチ、トラスせいは、部材の最適化検討を踏まえ設定している。内部空間の有効活用と、トラス柱内の設備利用を両立するトラス柱形状とともに、ブレースのないトラス下弦材のみの構成とすることで、重さを感じさせないスマートなトラス架構を実現している。

ホールB～Fの東棟は、梁下14mの10,000㎡の5つの展示ホール内にはそれぞれ6本の柱を設け、30m～36mの張間方向はに方杖付きの柱とすることで、単材のH形鋼の梁で構成される機能に応じた合理的な架構を実現した。

(2) 制振構造概要

- 上下動の低減を目的としてオイルダンパーを設置することで、上下動の応答加速度を20～30%程度低減を実現し、展示ホールのイベント用の吊物の落下・大空間構造に対する安全性を高めた。
- 建設地が南海トラフの震源域にも近いため、大振幅の長時間地震動に対する余力を確保するために、従来鋼材の10倍の疲労耐久性を有する合金を用いたブレース型制振ダンパーを初採用し、地震後の事業継続性に加え、安全・安心を確保している。

3. 業績概要 ①新規性、②技術的向上、③創意工夫、④鋼構造の発展普及、⑤地球環境への配慮

①新規性 ・従来鋼材と比べ疲労耐久性を約10倍に高めた耐疲労鋼であるFe-Mn-Si系合金を用いて、ブレース型制振ダンパーを開発し、プロジェクトに適用した。

②技術的向上 ・耐疲労鋼専用の新たな溶接材料を開発し、圧延材の大型化を実現することで、溶接接合したブレース型FMS合金制振ダンパーを開発した。実大性能実験により、従来鋼材を大きく超える耐疲労性能（約6倍）を検証し、プロジェクト適用した。

③創意工夫 ・西棟の100m×100mの無柱空間は、高い制約条件に最適化した2方向トラス構造として設計するとともに、内部空間の有効活用と、トラス柱内の設備利用を両立するトラス架構を実現。

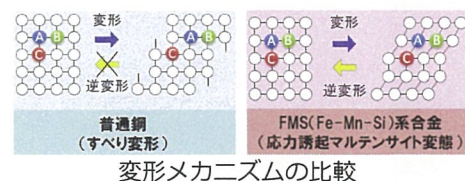
・30～36mスパンとなる東棟では、方杖柱を用いて既成H形鋼の大梁を用いた合理的な大スパン架構を実現。

・パーティカルフォレスト（45本の垂直緑化ポール）は、空港島ということから耐風圧性能と耐塩害性能が求められたため、SUS316鋼を採用した。建設工期の初期に部分的に先行施工し、有効性確認を実施した。本システムの採用によりエントランス空間にふさわしい開放的かつ象徴的なデザインを実現した。

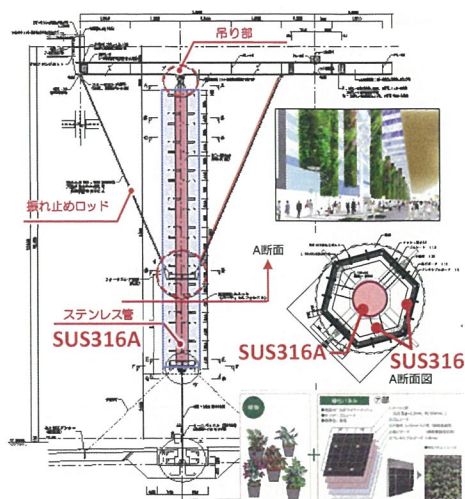
④鋼構造の発展普及 ・Fe-Mn-Si系合金を用いた制振ダンパーについて、産官学連携による継続的な開発を行い、超高層建物から一般耐震建物まで適用できる技術として発展させた。この技術の幅広い分野での利用のために技術情報を公開し、普及に貢献。

⑤環境への配慮 ・新しい垂直緑化（パーティカルフォレスト）の構造システムを実現した。

・自然エネルギーを利用した環境技術によりCASBEE：Sランク（BEE値4.7）、「国内初のZEB ready展示場」を実現。



変形メカニズムの比較



SUS316Aを用いた垂直緑化の構造システム

日本鋼構造協会業績賞

■ 業 績 名

The Okura Tokyo の設計と施工

■ 受 賞 者

大成建設株式会社

■ 選 考 理 由

本建物は 1962 年の開業以来、永年にわたり多くの人々に親しまれてきたホテルオークラ東京本館の、建替えに伴って計画されたホテルとオフィスの複合用途建物である。計画当初に掲げられた「メインロビーの完全再現」と「安心安全に過ごすことのできるホテルとオフィス」の 2 つの命題実現のため、様々な工夫が施された建物である。

まず、第 1 の命題である、世界中から高い評価を得ていた「オークラロビーの完全再現」という課題に対しては、設計開始当時は国内でまだ実績の少なかった引張強度 780N/mm^2 の鋼材と Fc150 のコンクリートを組み合わせた超高強度 CFT 柱を採用することにより課題の解決を図っている。また第 2 の命題である「安心安全のホテルとオフィスの実現」については、下層部へオイルダンパーを集中配置することにより、ホテルとオフィスともに高い耐震性能を確保することに成功している。

ホテルとオフィスで異なる用途を上下に重ねた、柱割の異なる建築計画については、客室の眺望や面積の最大化を実現しつつ、構造的合理性を目指したブレースチューブ構造を採用し、課題の克服を目指している。

これらの先進的な架構や 780N/mm^2 鋼材適用等の最新技術の採用に当たっては、各種試験の実施および、各部についての詳細検討を行う等、設計から施工に至るまでの緻密な検証が行われており、これらの内容は鋼構造の技術発展に多大に寄与するものである。

よって、本業績は日本鋼構造協会業績賞の授賞に値する。

The Okura Tokyo の設計と施工

本建物は 1962 年に開業したホテルオークラ東京本館の建替えに伴って計画されたホテルとオフィスの複合施設である。本館は開業当初から館内各所に散りばめられた日本美、全ての人々に開放されていたメインロビー（オークラロビー）、そして最高のおもてなし、それら全てが世界中の人々から親しまれていたホテルであった。その本館も 50 年以上が経過し、耐震性能の面も検討した結果、開業当初の「創造的挑戦」の精神を受け継ぎ、新たな複合施設としてのホテルに生まれ変わる事となった。

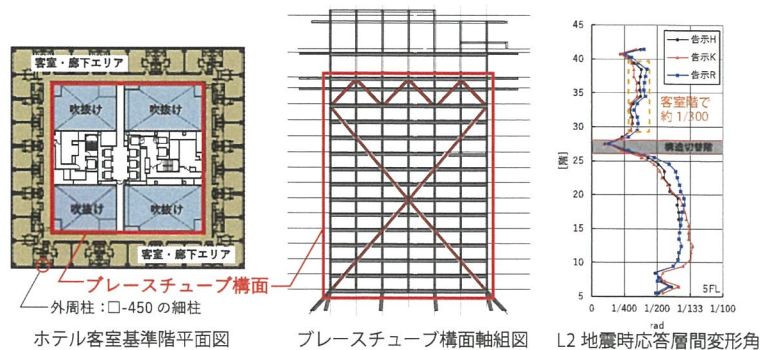
建替えに際して、命題となったことは「メインロビーの完全再現」と「安心安全に過ごせるホテルとオフィス」の実現であった。この命題に対し、以下に示す架構計画で解決を図るとともに、鋼構造の発展に寄与する各種検証を行いながら設計施工を進めた。

- ① 高層棟は用途を切替える 26 ～ 27 階に構造切替階を設け、切替階より下部は**オイルダンパーによる制振構造**、切替階より上は吹き抜け空間に面した内部構面に 12 層にわたる大きな X 型ブレースを配した剛性の高い**ブレースチューブ構造**とした。
- ② 構造切替階では内部のブレースチューブ構面から下層オフィスの外周部柱に軸力を流すため**斜め柱**を配置し、スムーズな軸力伝達を実現するため複雑な斜め柱端部には**鋳鋼接合部**を採用した。
- ③ 中層棟は外周の細柱による柔らかなフレームとし、コア部に配置した**オイルダンパー**に**エネルギー吸収を集中**させる計画とした。
- ④ **世界中の人々から愛された解体前の本館ロビーを完全再現するため**、高層直下の柱を 600mm 角とする必要があり、**引張強度 780N/mm² 鋼材と Fc150 のコンクリートを組み合わせた超高強度 CFT 柱**を採用した。

ホテル客室階のブレースチューブ構造

上部のホテル客室階は、外周に面して口の字状に客室が配置され、コア部分との間は吹き抜けのボイド空間となった。客室の内側とボイドの境界である壁位置に多層を拘束する X 型ブレースを配置した「**ブレースチューブ構造**」を採用し、客室階全体の水平剛性を高めた。その結果、外周部の柱は水平荷重の負担が小さく、断面が細くなり、客室のレイアウトや眺望などに配慮できた。

レベル 2 (L2) 地震時においても客室階の層間変形角は 1/300 程度に抑えることができています。層間変形角を小さくできていることは約 370 室にも上る客室の高級仕上げ材や建具等の損傷を軽減することにも貢献している。



構造切替階のスムーズな軸力伝達

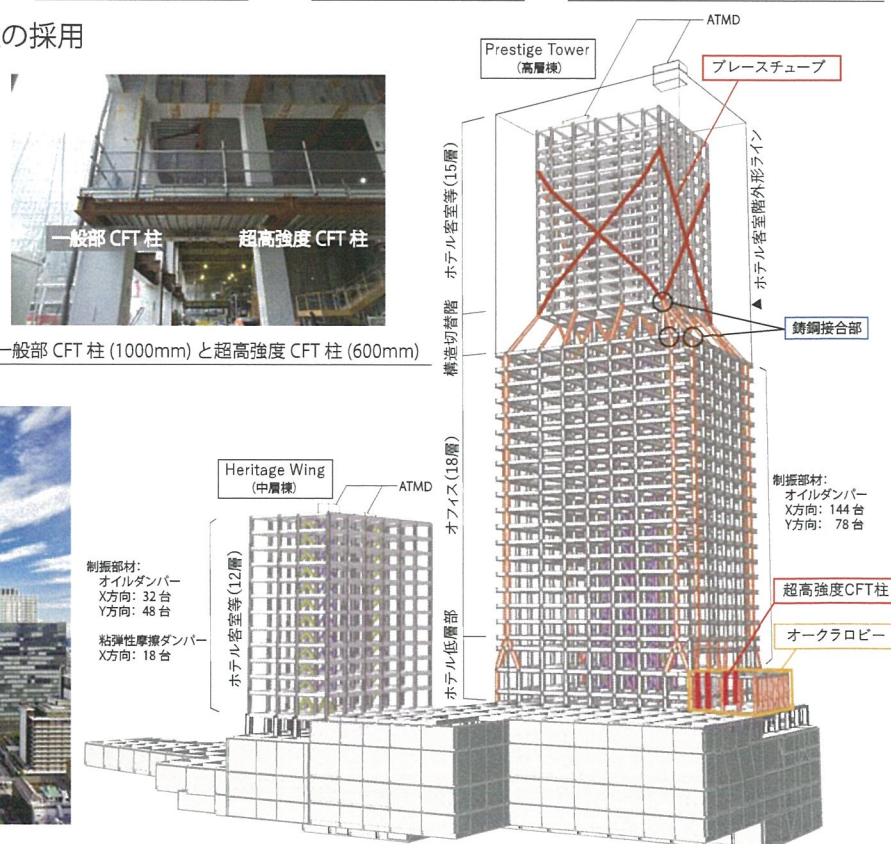
上部のホテル客室階と下部のオフィス階の柱割が異なるため、その間には 2 層にまたがる構造切替階を設けた。ブレースチューブの脚部からオフィス外周部の柱に軸力を流すため、平面的にも傾斜を持った斜め柱を配置した。3 次元的に複雑に柱梁が集まる斜め柱端部の接合部の品質確保とトータルのコストを考慮し**鋳鋼接合部**を採用し、**スムーズな軸力の連続性を確保**した。



メインロビー再現のための超高強度 CFT 柱の採用

メインロビーを忠実に再現することは、計画当初からの命題であった。解体前の本館では 10 階建ての 5 階に位置していたロビーを本建物では 41 階建ての 5 階に再現することになるが、4.3m の柱スパンおよび柱外形 (800mm 角) も本館の通りに指定されており、仕上げを除いた**構造柱の外形は 600mm 角に制限**された。

5 階位置での**柱軸力は長期で約 25,000kN** となるため、**細径の柱には 780N/mm² 級鋼材 (BT-HT630C) と Fc150 のコンクリートを組み合わせた超高強度 CFT 柱**を採用した。



建物概要

所在地: 東京都港区虎ノ門 2-10-4
建築主: ホテルオークラ
建築面積: 13,262.54 m²
延床面積: 180,905.72 m²
最高高さ: 188.60 m
階数: 地下 1 階、地上 41 階、塔屋 2 階
用途: ホテル、事務所、店舗、駐車場
工事期間: 2016 年 6 月～2019 年 7 月
基礎種別: 直接基礎+杭基礎
構造種別: 地下: 鉄筋コンクリート造
一部鉄骨鉄筋コンクリート造
地上: 鉄骨造一部 CFT 柱
制振部材: オイルダンパー
粘弾性摩擦ダンパー
ATMD
設計者: 虎ノ門 2-10 計画設計共同体
建築: 谷口建築設計研究所
大成建設一級建築士事務所
観光企画設計社、日本設計
構造: 大成建設一級建築士事務所
設備: 大成建設一級建築士事務所
森村設計、NTT ファシリティーズ
監理者: 三菱地所設計
施工者: 大成建設東京支店



建物外観

日本鋼構造協会業績賞

■ 業 績 名

ダイヤゲート池袋の設計と施工

■ 受 賞 者

株式会社日建設計

小坂橋 裕一、木村 征也、高田 好秀、渡辺 守、早坂 聡紘、中澤 大幾
大林・西武建設工事共同企業体

■ 選 考 理 由

本計画は、鉄道軌道を跨ぐ敷地に、整形な平面形状として面積を最大化し、競争力の高いオフィスの実現、および首都圏直下レベルの大地震に対して建物機能を維持できる高い耐震性の確保、さらに池袋のランドマークとなる外観を有する視認性の高い建築物の実現を計画条件としている。これらの条件を実現するにあたり、中間層免震構造を採用し、免震層下部構造は斜め柱とすることで、水平剛性を少ない柱で高めることが可能となる大架構高剛性架構とし、免震層上部構造は外壁面に剛性の高いブレースを配置した計画としている。

外壁面に設置されたブレースはメンテナンス性向上のために溶融亜鉛メッキとし、さらに接合部においては積雪に配慮しフランジで力が伝達するディテールを採用している。この接合部においては、模型検証をはじめ実大試作品、めっき施工試験、力学試験等による検証を実施している。その他、免震部材直上の CFT 柱における施工プロセスの影響を受けないディテール、高剛性架構の接合部ブロックの模型確認など様々な検証を実施している。

設計・監理者と施工者が一体となり鉄道軌道を跨ぐ難易度の高い工事を経て、大地震時の層間変形角が 1/800 以下となる高い耐震性能を確保しつつ、視認性の高い外観デザインを有するオフィスを実現させている。

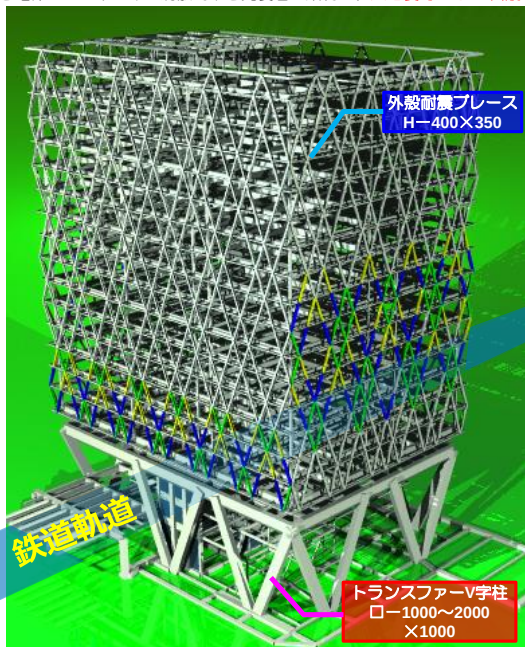
よって、本業績は日本鋼構造協会業績賞の授賞に値する。

構造計画概要／本プロジェクトにおける鋼構造建築としての主な取組み

上下層とも高剛性中間層免震構造システム

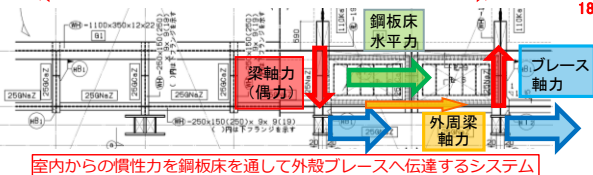
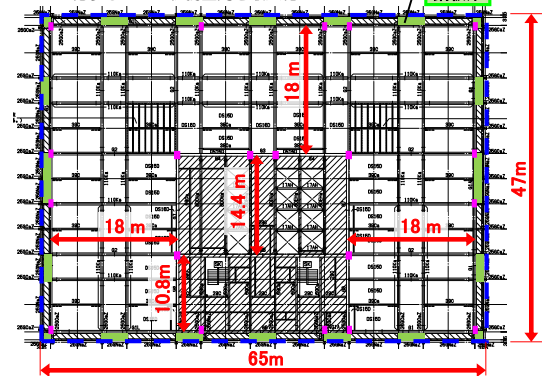
高効率な中間層免震システムを採用し高い耐震性能を実現

■免震層上層の外殻耐震ブレース、下層のトランスファーV字柱により高い水平剛性を確保してエネルギー消散効果を免震層に集約し、**大地震時にも主架構弾性を実現**



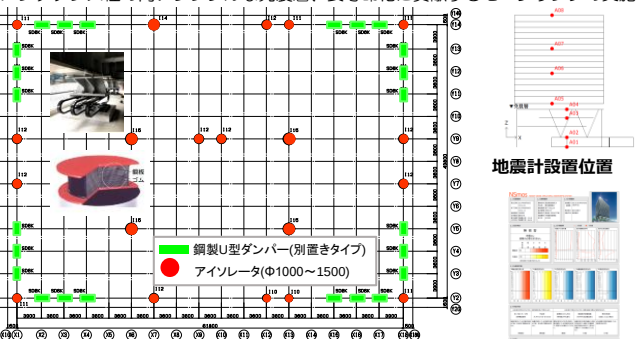
基準階床梁伏図

外殻ブレースで全地震力を負担、内部柱を400角の細柱にかつロングスパン化することで執務空間を最大化

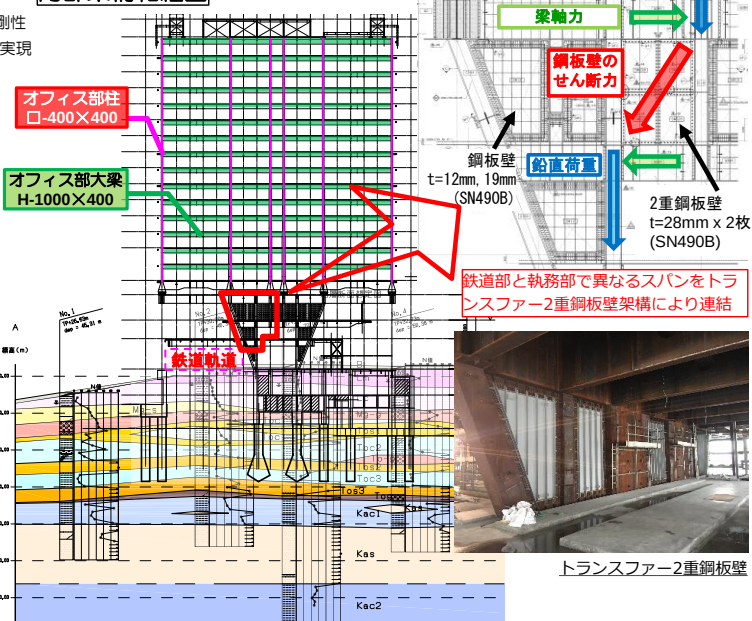


■保全に資するメンテナンス容易性、長寿命化

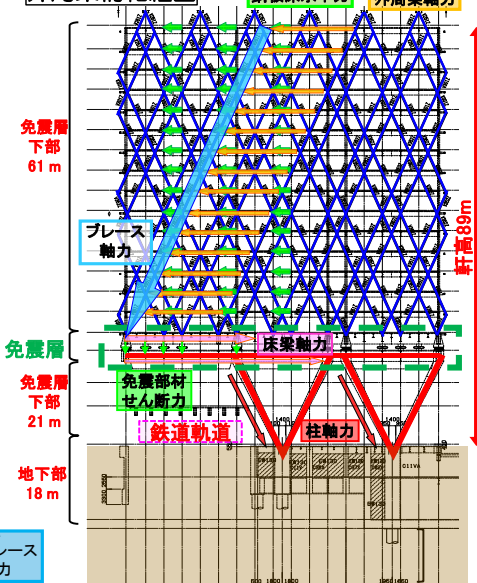
メンテナンス性の高いシンプルな免震層、長寿命化に貢献するモニタリングの実施



内部架構軸組図

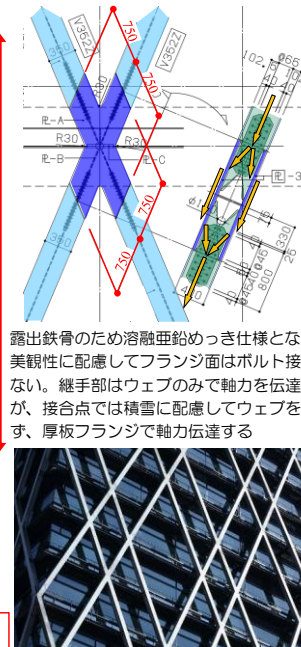


外周架構軸組図



各階慣性力を外殻ブレースに伝達し、免震層上下階の床スラブを介して、下層のメガ架構に力を伝達する

■外殻耐震ブレース



外殻耐震ブレースの外観

■振動応答解析による応答性状の検証

免震層上下層で極めて高い層剛性(最大層間変形角1/800)を確保し、免震層直上のベースシア0.1以下、免震層上部の執務階で床応答加速度約200gal以下を実現

