建築鋼構造のリユースシステムに関する研究

－サステナブルビル構造の試施工によるリユースの検証－

REUSE SYSTEM OF BUILDING STEEL STRUCTURES

－ Reuse verification of sustainable building structure through trial construction －

藤田正則*, 村井正敏**, 前田親範***, 岩田 衛****

*Masanori FUJITA, Masatoshi MURAI, Chikanori MAEDA
and Mamoru IWATA*

The reuse system mentioned in this paper is an overall system for realizing a reuse business in a cyclic process of design, fabrication, construction, maintenance, dismantling, and storage. The reuse system mainly aims at reusing building steel structures that have already constructed. On the other hand, the sustainable building structure aims at reusing new building steel structures in the future. This structure is one form of a damage-controlled structure. Clearly separating the main structure from seismic energy absorption members keeps the main frame within the elastic range, and the seismic energy absorption members can collectively absorb the seismic energy force. The continued use of the main structure is possible by replacing only earthquake-damaged braces where necessary; reusing structural members is also possible. In this paper, the authors verify that the sustainable building structure is suitable for reusing structural members through trial construction. Then, easiness of erection and dismantling of sustainable building structure is evaluated.

Keywords : *Building steel structure, Reuse, Damage-controlled structure, Sustainable building structure, Beam-to-column connection, Trial construction*

建築鋼構造, リユース, 損傷制御構造, サステナブルビル構造, 柱梁接合部, 試施工

1. 序論

IPCC第4次評価報告書¹⁾の警告を受けて、2050年までに温室効果ガス排出を現状から半減させることが、地球温暖化対策の長期目標となりつつある。建築分野においても地球環境問題への対応が求められる中、日本建築学会では様々な取り組み^{2)~8)}を行っており、その一環としてカーボンニュートラル化を目指した建築関連分野の地球温暖化対策ビジョン2050を提言している⁹⁾。著者らも、環境負荷削減を目指して建築鋼構造分野においてリユースシステムに関する研究を行っている。鋼材のリユースが既存の流通と同様に循環するため、従来の生産・製品の供給という「動脈産業」に対して、その処理、再生、再利用を行う「静脈産業」の確立を目指している^{10)~13)}。既報においては、基本検討項目である1)リユースビジネス調査^{14)~17)}、2)データベースの構築方法^{18)~19)}、3)ストックヤードの設置方法²⁰⁾、4)リユース材の加工方法²¹⁾、5)リユース材の性能評価^{22)~24)}、6)丁寧な解体方法²⁵⁾等とこれらを総括したリユース材に関するガイドライン²⁶⁾を提案している。これらの研究は主に既存ストックを対象としてリユースシステムの構築を目指したものであるが、一方では、今後の新規の構造物のリユースに関する研究も並行して進める必要がある。

建築物の長寿命化は今後のサステナブル社会の実現のために環境負荷削減に大きな役割を担うものであり、構法・材料・設計法など

に関する研究開発が報告されている^{27)~28)}。わが国における中高層建築物では、地震荷重が構造骨組を決める支配的な要因となっており、建築物の耐震性の確保は安全性と同時に地球環境との関係から重要な課題である。これに対応する方法として地震・台風時に柱・梁を弾性歪内に抑え、制振部材のみに塑性化を認め、エネルギー吸収を図ることで、その被害を最小限に留めようとする制振構法や損傷制御構法が実用化されている²⁹⁾。著者らは建築鋼構造の長寿命化の観点から損傷制御構法の一つであるサステナブルビル構造を研究開発している^{30)~33)}。

本論文では、リユースを想定した新規の構造物の構法例としてサステナブルビル構造を取り上げ、リユースとしての適用の可能性を試施工により検証するものである。まず、リユースにあたっての構法に対する要求性能を示し、その例としてサステナブルビル構造との関連性を示す。次に、サステナブルビル構造の組立・解体の容易性を試施工により検討する。さらに、サステナブルビル構造の張力導入実験により組立時の張力導入方法について考察する。

2. リユースシステムと構法

2.1 リユースシステム

建築鋼構造のリユースシステムとは、リユースフローにおいて、設計・加工・施工・維持管理・解体・保管の一連のサイクルを推進する

* 山口大学大学院理工学研究科 教授・博士(工学)

** 神奈川大学工学部建築学科 主任技術員

*** 前田親範一級建築事務所 代表

**** 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

Prof., Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, Dr. Eng. Technician, Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University Maeda Office

Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University, Dr. Eng.

ための仕組みであり、リユースマネジメントモデルを実現するための全体のシステムである。リユース材はデータベースを介して、一連のサイクルで循環する。著者らが提案しているリユース材(将来、リユースされる予定の部材を以降、リユース用部材という)に関するガイドライン²⁶⁾においては、リユース用部材の採取の対象建築物は、主に鉄鋼メーカーによりプレハブ化された無耐火被覆の工場や作業場、倉庫等としている。また、リユース用部材の対象部材は、日本工業規格(以降、JIS規格という)により部材サイズが体系化され、製造された圧延H形鋼としている。リユース用部材を使用する対象建築物は用途や期限付き建築物、短期間使用建築物、恒久建築物などの期間によっても異なるが、耐火被覆の有無に着目すると図1に示すように分類できる。

工場・作業場などの構造物は無耐火被覆であるため、採取されたリユース用部材の無耐火被覆の構造物または耐火被覆の構造物への適用がある。前者の場合、工場・作業場など構造物より得られたリユース用部材の同じ用途への適用であり、リユース用部材の性能が確保されていれば、リユースしやすい。後者の場合、図2に示すような工場・作業場などから事務所などの他用途への適用である¹⁹⁾。既存ストックの耐火被覆の構造物より得られた解体材は主にリサイクルの対象としているが、乾式の耐火被覆が開発されており、湿式の耐火被覆の構造物でもアスベスト対策などの技術開発が進めば、将来的にリユースが可能となろう。

2.2 構法に対するリユースの要求性能

建築鋼構造をリユースするにあたっての構法の要求性能として下記のことが挙げられる。

1)リユース用部材の性能が明確になっていること。

リユース用部材の性能評価方法に基づき、その性能が新材の鋼材規格証明書と同様に性能評価シートなどにより明確になっている必要がある。

2)リユース用部材を使用した設計法が確立されていること。

リユース用部材の性能が明確になっていれば、部材の設計法が検討しやすい。例えば、損傷制御設計を使用すれば、損傷をエネルギー

図1 リユース用部材を使用する構造物

図2 リユース用部材の適用シミュレーションのモデル

ー吸収部材に限定することができるため、主要構造部材は弾性設計が可能となる。

3)構造物の組立・解体が容易であること。

柱・梁・床などが従来構法と同様に組立、かつ解体時に容易に分離・回収できれば、リユース用部材として適用しやすい。また、解体時に部材の損傷が無いあるいは軽微であることが必要である。

4)リユース用部材が新材と同様に安定して供給できること。

既存建築物や建設中・予定の建築物から採取予定のリユース用部材はデータベースとして登録され、その流通システムが確立している必要がある。

上記に示した要求性能に関して、さまざまな部材・部品から構成される建築物をヒエラルキー構成の観点から捉える¹²⁾(図3)。

2.3 リユースと損傷制御構造

長期に渡って構造物を使用するためには、メンテナンスしやすい構造設計、経年劣化する部位については、劣化した部材が容易に取替え可能な設計が必要である。損傷制御構造は常時荷重時の支持と地震時の弾性挙動を行う主要構造部材と地震時のエネルギー吸収として制振部材に分離する考えである²⁹⁾(図4)。これによると、大地震に遭遇しても地震エネルギーを制振部材で吸収するため、主要構造部材を弾性範囲に留めることができる。以降、損傷し性能が劣化した制振部材のみを交換、修復して建築物の持続性を図ることができる。すなわち、大地震後に残留変形を残し、産業廃棄物とする従来構法に対して地球環境に配慮した設計法である。柱・梁の主要構造部材は損傷が無く、材料の劣化が無ければ、リユースに適していると言える。

前述したリユースの要求性能のうち、ここでは、新規の構造物のリユースにあたって、1), 2), 4)は既に確立されているとし、以降、3)の構造物の組立・解体の容易性に着目する。

図3 鉄骨構造からなる建築物のヒエラルキー

図4 損傷制御構造

3. サステナブルビル構造の試施工によるリユース評価

リユースを想定した新規の構造物の構法例として損傷制御構造の一つであるサステナブルビル構造を取り上げ、試施工により組立・解体の容易性について考察する。

3.1 サステナブルビル構造

サステナブルビル構造は、主要構造部材と制振部材を分離する損傷制御構造²⁹⁾の考え方を採用している。構造物の長寿命化を第一の目標とし、社会的ニーズの変化などによりやむなく解体しなければならない場合、部材・部品レベルのリユースを想定している。この構造は、鋼棒・アンカープレート・エンドプレートから成る接合部(以降、SB接合部という)、座屈拘束部材、柱・梁部材より構成される(図5)。アンカープレートとエンドプレートが端部に溶接されたSB接合部では、柱フランジ部に通した鋼棒に初期張力を導入する。制振部材には方杖状に配置した座屈拘束部材を用いる。サブシステムレベルとしてサステナブルビル構造への適用を図った床部材は、梁フランジの下にボルトのナット部分を露出させ、床とボルト接合とする(図6)。SB接合部では、生じる曲げモーメントの大きさに応じて、接合部の剛性が段階的に変化する。鋼棒に導入した初期張力が解消し、SB接合部が柱から離間を開始するまでが剛接合、SB接

図5 サステナブルビル構造に関する構法の模式図

図8 試施工用試験体

合部内の全ての鋼棒が完全に塑性化するまでが半剛接合、さらに鋼棒の塑性化が進むとピン接合となる(図7)。この特徴により、使用時に要求される剛性と大地震時に要求される変形性能を両立している。また、SB接合部の剛性が低下するため、座屈拘束部材による効率の良いエネルギー吸収が可能となる。著者らは、実験結果から得られた知見を基にサステナブルビル構造の設計法を提案しており、SB接合部のメカニズムと座屈拘束部材のエネルギー吸収により、主架構を塑性化させないことを示している³⁹⁾。

3.2 対象モデル

サステナブルビル構造の試施工にあたって対象としたモデルは5スパン10層のチューブ構造¹⁹⁾で、その縮尺は1/5である。サステナブルビル構造の1ユニット(コーナー部)を代表として取り出している。床材は縮尺を考慮してキーストンプレートを使用し、梁フランジの下にボルトのナット部分を露出させて梁と接合する。試験体の伏図・軸組図、SB接合部のディテールを各々図8に示す。座屈拘束部材はガセットプレートにより梁および柱と接合する。また、鋼棒はM12で、SS400の全ネジを使用する。

図6 サステナブルビル構造に適した床構法の模式図

図7 曲げモーメントと回転角

図9 組立フロー

(a) 梁の取付け

(b) 座屈拘束部材の取付け

(c) 床部材の取付け

(d) 最終状況

図10 サステナブルビル構造の組立

3.3 組立

サステナブルビル構造の組立は従来のラーメン構造と概ね同じであり、図9に示す組立フローに基づき主要構造部材である柱・梁を取り付け後、座屈拘束部材・小梁・床材の順とする(図10)。柱の倒れ、梁の水平は下げ振り、オートレベルなどを用いて計測する。梁の組立にあたっては、柱に取り付けたシートアングル(組立の際、梁を仮置きするために柱にあらかじめ取り付けしたエレクトロニクス)に据えて梁の位置決めを行い、鋼棒で仮固定する。鋼棒の張力導入の詳細は後述するが、SB接合部の4本の鋼棒には13.7kN/本の張力を導入する。張力導入後、柱の倒れ・梁の水平度などを計測し、最終的には張力管理の主な指標となる下記に示す許容値^{(34),(35)}を満たすことができた。

柱の倒れの管理許容差： $e \leq H/1000$ かつ $e \leq 2\text{mm}$

限界許容差： $e \leq H/700$ かつ $e \leq 3\text{mm}$

これらのことから、柱・梁、SB接合部、座屈拘束部材、床部材で構成されるサステナブルビル構造は柱の倒れなどの許容値を満たす組立が可能であると考ええる。

3.4 解体

サステナブルビル構造の解体は、図11に示すように床材、小梁、座屈拘束部材、梁・柱の順に新築の建方と逆の工程で行う。ここで、リユース解体とは、建築物の解体時に得られる解体材をリユース用部材とするために、損傷をできるだけ与えない工法である⁽²⁵⁾。解体状況を図12に示す。まず、床材を接合した高力ボルトを梁側の一方から順次、インパクトレンチにより高力ボルトを逆回しで切除する。ボルト接合のため梁に損傷を与えず、床材と梁を容易に分離できた。次に、小梁・座屈拘束部材の接合部の高力ボルトを同様に切除する。続いて、SB接合部の鋼棒をインパクトレンチによる逆回しまたはガス切断機により切除する。この際、鋼棒のうちの2本は、荷降し段階まで仮ボルトとして使用する。リユース解体の結果、柱・梁、小梁には損傷は見られなかった。なお、解体材に取り付くガセットプレートなどはストックヤードにて切除する。

これらのことからサステナブルビル構造の柱・梁においては、解体時にSB接合部の鋼棒、床構造のボルトを切除することで、容易に分離でき、損傷の軽微な部材を採取できると考える。

3.5 リユース加工

リユース解体により採取した解体材をリユース用部材とするため、SB接合部を含む梁と小梁の2種類をリユース加工する。なお、ここでは新材を使用しているため、解体後の部材は機械的性質試験、材質試験、劣化検査による性能を既に満たしているため、解体後の部材の寸法検査^{(21),(34),(35)}により損傷が軽微であることを確認した。まず、SB接合部を有する梁はアンカープレート近傍の端部を帯鋸により切除する。小梁は端部のボルト孔を含む近傍を同様に切除する。また、梁・小梁のガセットプレートはガス切断機により切除後、切除部分をグラインダー処理する。次に、同じサイズの梁と小梁を部材継溶接し、所定の部材長さとする(図13(a))。リユース加工された部材は従来と同様に製品検査を行い、性能評価シートを作成する。

3.6 組立・解体・リユース加工における考察

サステナブルビル構造の組立にあたって、1/5縮尺を考慮してSB接合部において梁の部材長さを2mm短くした。この場合、SB接合部のクリアランス0とするために、部材長さ調整用のシムプレートを用い

ることで、組立精度を確保することができた。このことは従来の梁の部材継手のクリアランスが10mmであることから、実大のSB接合部の部材継手にも適用できると考える。サステナブルビル構造の組立効率にはシートアングルの有りの方が無しの場合より高く、安全性を考慮してもシートアングルを用いた方が好ましいと言える。また、サステナブルビル構造の解体にあたっては、シートアングルの有りの方が無しに比べて効率が高く、部材の落下防止を考慮してもシートアングルを用いた方が好ましいと言える。

リユース加工にあたっては、情報管理の一例としてICタグを使用する⁽¹⁶⁾。ただし、部材の性能に関する情報など、様々な情報が全てデータベースに登録されていれば、これに限るものではない。ICタグによる管理データは部材の属性情報、部材記号、部材長さ、部材継溶接の位置情報とする。部材の機械的性質、化学成分、寸法形状などの性能情報と基本情報は属性情報と対応させ、全てデータベースに登録する。また、リユース加工の工程ごとにICタグへのデータ登録を行うとアイドルタイムが生じることから、ICタグへのデータの登録作業はリユース加工終了時に行う(図13(b))。

3.1節～3.6節よりサステナブルビル構造は組立・解体が容易であり、リユースが可能であると考ええる。

図11 解体フロー

(a) 部材継溶接

(b) ICタグのデータ読み込み
図13 リユース加工

(a) 座屈拘束部材の切除

(b) 鋼棒の切除(逆回し)

(c) 鋼棒の切除(ガス切断)

(d) 解体材

図12 サステナブルビル構造の解体

4. サステナブルビル構造の張力導入実験

3章で示したサステナブルビル構造の組立の容易性を詳細に検討するために、張力導入実験により組立時の張力導入方法について考察する。

4.1 実験概要

サステナブルビル構造の張力導入実験に使用した試験体は3章と同様である。SB接合部における鋼棒の初期張力は引張強さの1/3の目標値(13.7kN)に対して下限と上限の管理許容値を設定する。ただし、サステナブルビル構造の鋼棒の必要張力である設計値は、目標値の90%を下限値、目標値の120%を上限値とする。張力導入にあたってのSB接合部の記号を図14に示す。ここで、X1通りの構面を代表としてSB接合部の張力導入部位をAn~Dn(n=1~3:層数)とする。張力導入順序として、SB接合部の1箇所あたりの鋼棒に同時に張力を導入するものとし、次のケースを設定する。

- (a)ケース1:中央柱から側柱かつ1層から3層へ(B→C→A→D)
- (b)ケース2:側柱から中央柱かつ1層から3層へ(A→B→C→D)

なお、初期張力は1次締め(下限値の85%)と本締めの2段階としてトルクレンチにより導入する(図15)。

張力管理においては、鋼棒に貼付した歪ゲージより計測する。歪ゲージは各SB接合部の上部の鋼棒(2箇所/本)に貼付し、平均値を使用する。張力導入に伴う柱の倒れは、柱の上部に下げ振りを付け、直角定規で基準点から計測するものとし、A柱、BC柱、D柱の各層梁の上端位置で計測する。また、本実験における柱の倒れの許容値は3.と同様である。

4.2 実験結果

各ケースにおける導入張力の推移、1次締め時におけるY軸方向の柱の倒れを各々図16、図17に示す。なお、本締め時の柱の倒れは1次締め時以降ほとんど変わっていない。各ケースともに張力の上下限の管理許容値を満たしている。また、各ケースともにX軸方向の倒れはほとんど生じていないものの、Y軸方向では差異が生じている。ケース1に関して、柱の倒れはX軸方向、Y軸方向ともに管理許容値を満たしている。これは中央柱から対称に張力を導入したことで比較的釣り合いが維持され、構面のねじれが小さかったことによると考える。ケース2に関して、柱の倒れはX軸方向において

図14 張力導入実験におけるSB接合部の記号

図15 トルクレンチによる張力導入

ほとんど生じていないものの、D1のY軸方向において許容値を超えていた。これは張力導入に伴う不釣り合いにより部分的に構面がねじれたことによると考える。

4.3 考察

各ケースにおける導入時に対する損失張力の最大値の割合を表1に示す。ここで、張力損失の最大値とは各ステップ時に導入した初期張力に対して以降、損失した張力のうち、最大のものである。SB接合部の損失張力の最大値の割合はケース1、ケース2において、各々6.6%、13.7%であり、各ケースともに1層~3層においてばらつく傾向にある。また、ケース2の損失張力の最大値はケース1より全体的に大きい傾向にある。これはケース2の柱の倒れがケース1に比べてやや大きいためと考える。すなわち、サステナブルビル構造のSB接合部においては、中間柱から対称に順次側柱へ向かって張力導入する場合、損失張力を抑えることができると言える。サステナブルビル構造の組立にあたって各ケースとも梁をやや短くし、シムプレートを含み込んでクリアランスを0としている。鋼棒の初期張力により安定するSB接合部では僅かのクリアランスも柱の倒れの起因となるため、SB接合部のクリアランスをできる限り小さくする必要があると考える。

これらのことから、サステナブルビル構造の張力導入実験により組立フローに基づき、所定の張力を得ることができる。この場合、SB接合部の張力導入順序として中間柱から側柱の順とする方が望ましいと考える。

(a) A柱 (b) D柱
図16 各ケースの張力の推移

(a) A柱 (b) D柱
図17 1次締め時における柱の倒れ(Y軸方向)

表1 損失張力の最大値の割合*1

測定箇所	ケース1 %	ケース2 %	測定箇所	ケース1 %	ケース2 %	測定箇所	ケース1 %	ケース2 %	測定箇所	ケース1 %	ケース2 %
A3	0.9	2.9	B3	0.1	11.6	C3	6.6	4.0	D3	1.5	13.7
A2	3.3	2.3	B2	0.2	8.4	C2	5.1	8.4	D2	4.7	6.8
A1	2.0	6.6	B1	2.0	5.3	C1	3.4	10.4	D1	6.1	8.1

注*1 各ステップ時に導入した初期張力に対する損失した張力のうちの最大値の割合。

5. 結論

本論では、新規の構造物のリユースにあたって構法例としてサステナブルビル構造に関する試施工を行った結果、下記のことが明らかになった。

- 1) サステナブルビル構造は組立・解体が容易であり、リユースが可能であることを試施工により検証した。
- 2) 柱・梁、SB接合部、座屈拘束部材、床部材で構成されるサステナブルビル構造は柱の倒れなどの許容値を満たす組立が可能である。
- 3) サステナブルビル構造の柱・梁においては、解体時においてSB接合部の鋼棒、床構造のボルトを切除することで、容易に分離でき、損傷の軽微な部材を採取できる。
- 4) サステナブルビル構造において組立フローに基づき、所定の張力を得ることができる。この場合、SB接合部の張力導入順序として中間柱から側柱の順とする方が望ましい。

本論では、リユースシステムのビジネス構築を成功させるためのコスト・インセンティブに関しては触れていないものの、既往の研究¹⁶⁾においてはリユースビジネスとして成立する領域をリユース用部材の使用割合との関係にて示している。現時点では、その領域は大きくないものの、二酸化炭素の排出権取引制度などの導入などに伴い、今後の可能性が広がることも予想される。

謝辞

本研究は、平成19～21年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(B)）の助成を受けました。本研究にあたり、神奈川大学工学部学生(当時)山本廣貴氏、澤田葉月氏の協力を得ました。記して深く感謝致します。

参考文献

- 1) 環境省：IPCC 第4次評価報告書概要，2007.12
- 2) 日本建築学会編：地球環境建築のすすめ 第二版，彰国社，2009.9
- 3) 秋山宏，伊香賀俊治，木俣信行：地球環境問題への建築学会としての取り組みと展望，建築雑誌 Vol. 114, No. 1445, 日本建築学会，1999.10
- 4) 日本建築学会構造委員会 鋼構造運営委員会：建築鋼構造における環境性とは何か，日本建築学会大会 構造部門パネルディスカッション，2002.8
- 5) 日本建築学会 地球環境委員会：2050 年に向けた建築の地球温暖化対策，日本建築学会大会（東北）パネルディスカッション，2009.8
- 6) 伊香賀俊治，村上周三，加藤信介，白石靖幸：我が国の建築関連 CO₂ 排出量の 2050 年までの予測 建築・都市の環境負荷評価に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第 535 号，pp.53-58，2000.9
- 7) 日本建築学会：建物の LCA 指針 温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール，2006.11
- 8) 日本建築学会：「建築部材のリユースマニュアル・同解説」，2009.10
- 9) 日本建築学会：建築関連分野の地球温暖化対策ビジョン 2050，カーボンニュートラル化を目指して，2009.12
- 10) 岩田衛，堂野前等，久松雄治：建築鉄骨構造のライフサイクルにおける環境負荷削減のシナリオとその評価，日本建築学会構造系論文集，第 533 号，pp.167-173，2000.7
- 11) 山田哲，黒川礼子，會澤貴浩，岩田衛：廃棄物量と LCCO₂ 量に着目した鉄骨造建物における環境負荷の評価，日本建築学会構造系論文集，第 554 号，pp.131-137，2002.4
- 12) 岩田衛，竹内徹，藤田正則：建築鋼構造のシステム化，鋼構造出版，2001.2
- 13) Masanori FUJITA, Mamoru IWATA: Reuse System of Building Steel Structures, STRUCTURE & INFRASTRUCTURE ENGINEERING, Vol. 4, No. 3, Taylor & Francis, pp.207-220, 2008.6

- 14) 岩田衛，藤田正則，前田親範：情報技術を利用した建築鋼構造のリユースマネジメントモデルの提案，総合論文誌第1号「地球環境建築のフロンティア」学術論文，日本建築学会，pp.81-86，2003.2
- 15) 藤田正則，文蔵亮介，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -リユース材のストック-，日本建築学会環境系論文集，第 618 号，pp.95-101，2007.7
- 16) 藤田正則，岡本康司，中村裕幸，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -IC タグを利用したリユースビジネスモデルの提案-，日本建築学会環境系論文集，Vol. 74 第 638 号，pp.531-537，2009.4
- 17) 岡本康司，藤田正則，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -二酸化炭素排出量の推定-，日本建築学会環境系論文集，第 652 号，Vol. 75, pp. pp.535-542，2010.6
- 18) 藤田正則，前田親範，小河利行，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -データベースの構築方法の提案-，日本建築学会環境系論文集，第 587 号，pp.93-98，2005.1
- 19) 藤田正則，山下拓三，関戸宏幸，小河利行，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -リユース材の適用シミュレーション-，日本建築学会環境系論文集，第 612 号，pp.111-116，2007.2
- 20) 藤田正則，前田親範，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -ストックヤードの設置方法の提案-，日本建築学会環境系論文集，第 579 号，pp.105-110，2004.5
- 21) 藤田正則，文蔵亮介，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -リユース材の加工とその性能評価-，日本建築学会環境系論文集，第 620 号，pp.97-102，2007.10
- 22) Masanori FUJITA, Mamoru IWATA: Reuse dismantling and structural performance of reusable members, Structural Engineering International SEI Vol.18, pp.230-237, 2008.8
- 23) 藤田正則，前田親範，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -リユース材の構造性能-，日本建築学会環境系論文集，第 600 号，pp.83-89，2006.2
- 24) 藤田正則，村井正敏，文蔵亮介，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -リユース材のストック診断-，日本建築学会環境系論文集，Vol. 73 第 630 号，pp.1061-1067，2008.8
- 25) 藤田正則，田中繁樹，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -低層鉄骨造の丁寧な解体方法-，日本建築学会環境系論文集，第 604 号，pp.109-114，2006.6
- 26) 藤田正則，岡本康司，村井正敏，岩田衛：建築鋼構造のリユースシステムに関する研究 -リユース材に関するガイドラインの提案とその検証実験-，日本建築学会環境系論文集，第 643 号 Vol. 74, pp.1107-1114，2009.9
- 27) 日本建築学会構造委員会 鋼構造運営委員会：鋼構造による新構造システム開発の現状と今後の展望，日本建築学会大会（東北）パネルディスカッション，2009.8
- 28) 日本建築学会 長寿命建築構造特別研究委員会，地球環境委員会：建築物長寿命化のための課題と提案，日本建築学会大会（東北）パネルディスカッション，2009.8
- 29) 和田章，岩田衛，清水敬三，安部重孝，川合廣樹：建築物の損傷制御設計，丸善，1998.9
- 30) 會澤貴浩，山田哲，岩田衛：サステナブルビル構造システムの提案とその基本特性，日本建築学会環境系論文集，第 581 号，pp.109-116，2004.7
- 31) 岡田健，山本重治，山田哲，岩田衛：サステナブルビル構造システムの柱梁接合部に関する実験，日本建築学会構造系論文集，第 591 号，pp.145-152，2005.5
- 32) 岩田衛，平田倫央，山本重治，長尾真奈：サステナブルビル構造システムの柱梁接合部の力学モデルとその検証，日本建築学会構造系論文集，第 606 号，pp.187-193，2006.8
- 33) 島有希子，古川純也，加藤貴志，前田親範，岩田衛：サステナブルビル構造システムの設計法の提案，日本建築学会構造系論文集，第 640 号，Vol. 74, pp.1179-1185，2009.6
- 34) 日本建築学会：建築工事標準仕様書 JASS 6 鉄骨工事，2008.4
- 35) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工場製作編，2008.3

(2010年3月7日原稿受理，2010年6月25日採用決定)