サステナブルビル構造システムの提案とその基本特性

ONE PROPOSAL FOR A SUSTAINABLE BUILDING STRUCTURE SYSTEM AND ITS BASIC PROPERTIES

會澤 貴浩*, 山田 哲**, 岩田 衛***

Takahiro AIZAWA, Satoshi YAMADA and Mamoru IWATA

Long service life, reuse and recycling and three primary measures for reducing environmental burden in building field. A sustainable building structure system enables the environmental burden to reduce. This structural system, which is a kind of damage-controlled structure, consists of columns, beams like knee brace. Since the connections are semi-rigid, there is no large bending moment occurring in earthquake, and the columns and beams suffer no damage. The buckling-restrained knee braces only absorb seismic energy. The columns and beams are connected with special long bolts alone, facilitating demolition of the structure and able to be reused the members. In this study, full-scale experiments of the connection were carried out. Based on these results, structural models, which modeled the connection, were analyzed, and the structural system was verified.

Keywords : Environmental burden, Reuse, Damage-controlled structure,
Full-scale experiment, Seismic response analysis

環境負荷、リユース、損傷制御構造、実大実験、地震応答解析

1. 序論

著者らは、鉄骨造中層集合住宅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を、廃棄物量とLCCO₂に着目して定量的に分析した¹⁾²⁾。この研究結果から、建築構造の耐用年数を100～150年程度に上げると大幅な環境負荷削減ができること、それが叶わない場合には、CO₂排出量の観点からして、鉄骨部材をリサイクルではなく、リユースするべきであることを明らかにしてきた。リユースは、最近ニーズが出てきている期限付き建築物や短寿命建築物にとっても有効であるが、現在までに市場が成立していない。そこで、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を提案し³⁾、経済的に成立する可能性も示した。

以上の研究成果を踏まえ、構造全体の長寿命化を第一に、それが叶わない時には、部材のリユースを可能とする「サステナブルビル構造システム」の実現を図ることを考えた⁴⁾。この構造システムは、損傷した各部材、部品を取替えることにより、構造全体の持続性を図り、必要に際しては解体が容易でリユースができる部材によって構成される、損傷制御構造⁵⁾の一つの形式とする。すなわち、重力を支持する柱梁からなる主架構を、たとえ大地震を受けても弾性域に留め、地震力を負担する制振部材のみに損傷を集約する。着想した構造システムの柱梁接合部には、大きな曲げモーメントが生じな

い新接合方法を採用し、柱と梁に制振部材としての座屈拘束ブレースを方杖のように設置し、座屈拘束ニーブレース（以下、ブレース）とする。

本論文では、先ず着想した構造システムとその接合方法の概要を述べる。この種の柱梁接合方法に関しては、最近、幾つかの研究⁶⁾⁷⁾⁸⁾が報告されている。しかし、次節で述べるように、着想した接合方法は全く新しい特徴と応力伝達機構を有するものである。次に、

図1 サステナブルビル構造システム

* 藤沢市役所 修士(工学)
(当時 神奈川大学 大学院生)

** 東京工業大学建築物理研究センター 助教授・博士(工学)

*** 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

Fujisawa City Office, M. Eng.
(Former Graduate Student, Kanagawa Univ.)
Assoc. Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Kanagawa Univ., Dr. Eng.

図2 曲げモーメント-回転角関係

図4 実験装置

図5 接合部詳細

図3 新接合方法

この新柱梁接合方法の性能確認実験を行い、構造特性を把握する。それらの実験結果を踏まえ、接合部の力学モデルを検討する。更に、既往の研究で性能が明らかにされている座屈拘束ブレース⁹⁾と、新接合方法が組み合わされた時の基本的挙動を確認するために、部分架構実験を行う。最後に、接合部力学モデルを用いた全体構造モデルの解析を行い、サステナブルビル構造システムの成立について検証を行う。本研究は、新接合方法の力学的特性のディテールを解明することを目的とするのではなく、地球環境問題に対して、構造からの新しいアプローチを提案することを目的としている。

2. 構造システムの提案

2.1 構造システムの概要

本構造システムは、図2に示すように接合部に曲げモーメントが作用する時、接合部が離間するまでは第1段階として、剛接合とほぼ同様の剛性を有する。小規模の地震時はこの剛性によって、建物の使用性を満足させる。さらに曲げモーメントが作用すると、接合部の離間後から全ての鋼棒が塑性化する直前までの第2段階に進み、第1段階よりも剛性が低下する。中・大規模の地震時は接合部の剛性が小さくなることで、いわゆる半剛接合状態となり、主架構に損傷を与えず、ブレースによる効率のよいエネルギー吸収を行うことができる。そして、巨大地震時に大きな曲げモーメントが作用すると、鋼棒の塑性化が進み、第3段階となり、ほぼピン接合と同様の性能を示す。万が一、数箇所の柱梁接合部がこの段階に至っても、そ

他の柱梁接合部が第2段階であればそれらの剛性は元に戻るため、建物全体として残留変形はあまり生じることがない。

2.2 構造システムにおける接合方法

新接合方法の概要図を図3に示す。新接合方法は、梁端部にブロック状の接合部ユニットを溶接する。接合部ユニットはブロック状の形状をしたものであればよく、例えばH形鋼、鋼管、平鋼を溶接したものが考えられる。必要に応じてリブプレート等を設ける。接合部ユニットには、本体部分の両端部にプレートを設置する。このプレートには長い接合用の鋼棒(以下、鋼棒)が貫通する穴を設ける。柱部材と接触する側のプレートには、円形断面としたナットがぎりぎり入る穴をあけることで、ナットをシアキーとして鋼棒の塑性後でもせん断力を伝達できるようにした。また、柱部材の接合部ユニットと接触するフランジにも鋼棒の貫通する穴を設け、その穴に鋼棒を通し、初期張力を入れて締め付けるものである。鋼棒の種類は首下の長い高力ボルト、ワンサイドボルト、両端部をねじ切りした鋼棒等が挙げられる。スプリットティー等の従来の半剛接合は、T字断面の接合要素や接合部に用いるボルト等の設計を個々に行う必要がある。この接合方法は、接合部性能を決定する部材が鋼棒のみであるため、鋼棒の設計が接合部の設計となり、設計が極めて容易になる。また、一般的なボルトは首下部分が短いために変形能力を期待することはできないが、この接合方法に用いる鋼棒は、従来のボルトよりも長い鋼棒を使用するので、歪が小さく、変形能力に優れているため、巨大地震時にも破断等が生じることなく、接合部が安

表1 試験体一覧

	名称	主架構		鋼棒				
		柱部材	梁部材	n(本)	L(mm)	dt(mm)	T ₀	A(mm ²)
接合部実験 試験体	1B	H-594×302×14×23	H-440×300×11×18	4	400	75	84.5	330
	2B	H-582×300×12×17	H-300×300×10×15	6				
	2C	H-582×300×12×17	H-300×300×10×15	6				
	3A	H-482×300×11×15	H-250×250×9×14	4	200			

※n:本数 l:長さ dt:梁芯-鋼棒間距 T₀:初期張力 A:断面積

表2 試験体の機械的性質

	素材	降伏耐力(N/mm ²)	引張耐力(N/mm ²)	伸び(%)
鋼棒	S45C	475.3	768.3	
主架構	SS400	304.0	451.5	30.8

※鋼棒は引張試験結果 主架構はミルシートの値

定した回転性能を確保することができる。現場へは、工場で生産した接合部ユニットを、梁端部と溶接した後に搬入することで、現場では柱と梁を鋼棒でつなぐだけになり、作業性も向上する。さらに鋼棒接合のため、解体することが容易であり、部材のリユースが行いやすい。リユースする際は接合部ユニットと鋼棒を変更するだけで、さまざまな接合部性能に対応できる。

尚、一般的に使用されるボルトよりも、長い接合部材を適用する接合方法は、他¹⁰⁾も研究されているが、柱梁接合部にエネルギー吸収を期待しているため、損傷制御構造という観点からは異なるものである。

3. 接合部実験

3.1 試験体および載荷計画

実験は図4に示すような柱梁接合部を取り出した実大T字型で行う。柱と梁は90度回転させている。柱両端部をピン支持とし、梁端に取り付けられたアクチュエータを用いて載荷する。図5に示すように鋼棒は両端部を柱フランジ、梁リブプレートを挟むように取付け、鋼棒1本に対して4つのナットを用いる。柱梁接合部に大きな回転角が生じた場合、鋼棒は引張力によって塑性化し、残留変形が生じる。これにより接合部が不安定になる。内側に取り付けられたナットは引張力による塑性化後も圧縮力に抵抗できるようにしている。試験体として、柱と梁材のサイズの組み合わせ、鋼棒の本数及び長さを変化させた1B、2B、2C、3Aの4体を使用する。図2に示す第一段階の最大となる離間モーメントM_sについて、鋼棒が4本の場合と6本の場合を式(1)、(2)から求める。試験体一覧を表1に示す。鋼棒の配置は、1B、2B、3Aは梁フランジ中心間距離の中心位置より75mm離れた位置とし、2Cはその位置のほかに梁フランジ中心間距離の中心位置にも配置する。接合部ユニットは梁部材と同様のH鋼を用い、ボルトとの貫通するプレートは十分に厚いプレートを溶接し、補強リブを中心に溶接する。また、柱フランジ部にも

鋼棒が4本

$$M_s = 2T_0(d_c - d_t) + 2T_0(d_t + d_c) = 4T_0d_c \quad \text{式(1)}$$

M_s: 離間モーメント T₀: 初期張力

d_c: 梁芯-梁フランジ間距離

d_t: 梁芯-鋼棒間距離

鋼棒が6本

$$M_s = 2T_0(d_c - d_t) + 2T_0(d_t + d_c) + 2T_0 \cdot d_c = 6T_0d_c \quad \text{式(2)}$$

図6 載荷履歴

十分に厚い補強プレートを設けた。試験体の機械的性質を表2に示す。鋼棒の降伏耐力については、引張試験における比例限界である、歪が0.25%に達した時点における応力度とする。

鋼棒を締め付ける時の初期張力は、鋼棒の降伏耐力の1/3とする。初期張力は、鋼棒中央部に取り付けた歪ゲージにより確認する。

載荷はアクチュエータの水平変位を層間変形角と対応させ、水平変位を漸増させ正負交番繰返し載荷で行う。載荷履歴は、図6に示すように層間変形角に対応した水平変位を各振幅2回ずつとする。

3.2 実験結果

図7に各試験体の梁部材の回転支点の曲げモーメントと柱梁接合部の回転角の関係を示す。層間変形角1/200相当の水平変位まではすべての試験体において弾性域であった。鋼棒の塑性化は回転角0.005～0.01radの間で生じた。その際、鋼棒の塑性化直後に初期張力による材間圧縮力が0になるのではなく、塑性化の進展により、初期張力が解放されると材間圧縮力が0となる。そのため材間圧縮力が0になるまでは回転角0から1次勾配で荷重が増加し、初期張力が解放された分に比例して、半剛の状態に移行する離間荷重が低下する。最大回転角0.01radに達して以降は、スリップモデルに近い傾向を示した。これは塑性化した鋼棒の圧縮耐力が梁自重による圧縮力よりも大きいために変形が残ってしまい、梁が浮いた状態になったためである。2C以外の試験体は、柱フランジ及び接合部ユニット面外変形は生じなかった。

3.3 考察

鋼棒の引張試験の結果を図8に示す。これに基づき、降伏耐力後、剛性が低下し実験結果の最大耐力点と交わる、降伏後の歪を考慮したモデル1と、降伏耐力後も最大耐力まで剛性の低下がなく、最大

図7 接合部M-θ図

図8 接合鋼棒のモデル化

耐力後は剛性が0となる、降伏後の荷重を考慮したモデル2を設定し、非線形プログラム¹¹⁾により離間後の挙動を確認した。

図7に示すように全ての試験体において、離間後の剛性は実験値が解析値より低い結果となっている。また、モデル2による解析結果の最大耐力は、実験値を上回る値となっている。離間後の剛性が低くなった原因は、鋼棒に軸力だけでなく曲げが作用し曲げ変形が

生じた事による。耐力の低下についても鋼棒に作用した曲げモーメントの影響と考えられる。また、2C試験体はモデル1、モデル2ともに2次勾配以降の曲げモーメントが解析値より実験値が低い値を示している。これは鋼棒と接合されている柱フランジが湾曲し、塑性化した影響により最大値が解析値よりも低い値となったためである。

3.4 接合部のモデル化

1B試験体の荷重-変形関係から柱及び梁の弾性変形(計算値)を差し引き、接合部の荷重-変形関係を抽出する。抽出した荷重-変形関係から離間モーメント M_s 、半剛限界モーメント M_{SEM} 、 θ_s 及び θ_{SEM} を求め、各勾配時の剛性を求める。その結果を用いて図9に示すようなトリリニアスリップ型モデルとする。 θ_s に達するまでは、図に示される番号で1の直線上で荷重が上昇し、同様に低下する。初めて荷重が θ_s を超えると、 θ_{SEM} に達するまでは、1, 2の順で荷重が上昇し、3, 4の剛性で荷重が低下する。2回目以降は、4, 5の順に荷重が上昇する。更に変形が進行し、 θ_{SEM} を初めて超えると、6の剛性となり、変形が進む。荷重が低下する際は、7, 8の剛性で低下する。2回目以降は、9, 10, 11の順に

図9 接合部の履歴モデル

写真1 実験装置 (BW 試験体)

図10 実験装置 (BW 試験体)

表3 試験体一覧

	名称	主架構		鋼棒					ブレース
		柱部材	梁部材	n(本)	L(mm)	dt(mm)	T_0	A(mm ²)	
部分架構実験 試験体	BW BS	H-488×300×11×18	H-294×302×12×12	4	400	75	84.5	330	2本 1本
ブレース	材質	断面形状	エネルギー吸収部長さ(mm)	円形鋼管形状					
	SN400B	PL-22×80	800	101.6×3.2 L=1100					

※n:本数 l:長さ dt:梁芯-鋼棒間距 T_0 :初期張力 A:断面積

表4 試験体の機械的性質

	素材	降伏耐力(N/mm ²)	引張耐力(N/mm ²)	伸び(%)
鋼棒	S45C	475.3	768.3	30.8
主架構	SS400	304.0	451.5	
ブレース	SN400B	263.4	448.1	

※鋼棒は引張試験結果 主架構はミルシートの値

ブレースは素材引張試験(5号)の結果

荷重が上昇する。2次勾配の剛性低減率は実験値より0.041とし、3次勾配の剛性低減率は、実験における層間変形角1/50以降の2回目の履歴結果では剛性がほぼ0のため、0.001とする。また、軸方向に関しては接合部にモーメントが生じると鋼棒に引張力が生じ、引張耐力が減少する。そのため引張側の降伏耐力を1/10とする。せん断については、鋼棒の、柱フランジ側のナットに挟まれた部分がせん断力を負担するため、鋼棒の機械的性質により、モデル化する。このモデルは、5章における骨組の解析に用いる。

4. 部分架構実験

4.1 試験体および載荷計画

新接合方法とブレースを方杖状に設置した場合の基本的挙動を確認するために部分架構実験を行った。本実験の目的は、ブレースが安定したエネルギー吸収が行えるか、接合部ブレースを設置した場合でも、鋼棒の破断等がなく変位に追従できるかを確認することである。ブレースが組み込まれる以外は接合部実験と同様である。試験体として、ブレースが2本のものをBW、1本のものをBSとする。写真1と図10はBW試験体を示す。BW試験体は既報の構造システム⁴⁾と同様にブレースを設置し、柱梁接合部を提案する接合方法とするものであり、BS試験体は梁上部のブレースを取り除き、使用鋼材量の軽減と施工性、意匠性の向上を図る構造システムを想定するのである。本実験では、円形鋼管により芯材を座屈拘束し、ガセッ

図11 荷重点P-θ図

図12 鋼棒の変化

トを一体としたブレースを用いる。試験体一覧を表3、試験体の機械的性質を表4に示す。

4.2 実験結果

ブレース付試験体では、接合部実験同様、図6に示す荷重履歴で荷重した後、変形角1/25に相当する振幅で耐力低下がみられるまで荷重を行った。各試験体の荷重点の水平荷重Pと回転角θの関係を図11に示す。BW試験体では変形角1/25相当9回目で片側のブレースが破断し、実験を終了した。BS試験体では1/25相当7回目にブレースが破断し実験を終了した。ブレースなしの試験体と同様に梁が浮いてしまう現象はみられたが、BW試験体では安定した性状を示した。BS試験体ではブレース引張側で水平変位0付近で荷重の低下があるが、これはブレースと離れた方の鋼棒2本が大きく変形していたことから、図12に示すとおり、この鋼棒に座屈が生じ、剛性が低下したと考える。そのため水平変位0からマイナスに移行すると鋼棒が引張側となるために、耐力が安定する。しかし、ブレース圧縮時の吸収エネルギーの総和と引張時の総和はほぼ同等なことから安定したエネルギー吸収が行われているといえる。

5. 構造モデルの検証

5.1 解析モデル

接合部実験における接合部性能、部分架構実験におけるブレースの安定した挙動の確認を踏まえ、構造モデルの検証を行う。地上7階建ての中規模鉄骨造集合住宅¹⁾を想定する。階高2.75mの7層、6m×6mスパンである。既往の研究¹⁾で用いられた純ラーメン構造の建物を基本モデルとする。梁上下部にブレースを組み込んだ建物を4ブレース構造モデル(以下、4モデル)とする。4モデルを図13

に示す。また、4モデルの梁上部のブレースを取り除いた建物を2ブレース構造モデル(以下、2モデル)とする。2モデルを図14に示す。上記の3つの解析モデルの解析を行い、性能比較と構造システム成立の検証を行う。各モデルの主要部材一覧を表5に示す。

ブレースを設置するモデルでは、ブレースの梁に対する角度は30度、長さは柱と梁の芯々から2.4mである。また、ブレースはガセット部分とエネルギー吸収部分を区別し、3分割する。柱材は梁接合部とブレース接合部とで3分割し、梁材も同様に3分割する。柱梁接合部はモデル化した接合部を3章の4で記述している性能を有する回転バネ、水平バネ、せん断バネで置換する。設計条件は、1次設計で層間変形角1/200以内、ブレースは弾性域であることとする。2次設計では、1次設計の2倍の水平力に対しても主架構は曲げ、軸力、せん断ともに弾性域であることとする。

予備解析を行った結果、鋼棒の素材がS45Cでは常時荷重時に接合部が離間してしまったため、機械的性質からステンレス鋼のSUS630を採用することとし、ヤング率、剛性について接合部モデルを補正して解析する。

5.2 解析条件

解析の条件は、既往の研究⁹⁾を参考に、以下のように定める。

- ①鋼材のヤング率Eは205kN/mm²とし、ヤング率に対する塑性勾配Epを主架構は1/100、ブレースは1/50とする。
- ②減衰は、剛性比例型減衰とし、1次固有周期に対する減衰定数を2%とする。
- ③採用する地震動は観測地震動としてEl centro NS、神戸海洋気象台 NS、Taft EW、八戸 EW、および日本建築センター作成による模擬地震動(センター波)を用いる。

図13 4ブレース構造モデル

図14 2ブレース構造モデル

表5 主要部材一覧

階	基本モデル		ブレース	
	梁部材	柱部材	断面積 (mm ²)	素材
部材断面	素材	部材断面	素材	
8 H-440×300×11×18	SS400	H-594×302×14×23	SS400	
7 H-440×300×11×18	SS400	H-594×302×14×23	SS400	
6 H-440×300×11×18	SS400	H-594×302×14×23	SS400	
5 H-440×300×11×18	SS400	H-594×302×14×23	SS400	
4 H-440×300×12×22	SS400	H-594×302×14×23	SS400	
3 H-440×300×12×22	SS400	H-594×302×16×25	SM490	
2 H-440×300×12×22	SM490	H-594×302×16×25	SM490	
1 H-440×300×12×22	SM490	H-594×302×16×25	SM490	
4ブレース構造モデル				
8 H-250×125×6×9	SN400	H-150×150×7×10	SN400	1050
7 H-346×174×6×9	SN400	H-150×150×7×10	SN400	1000
6 H-396×199×7×11	SN400	H-175×175×7.5×11	SN400	1000
5 H-400×200×8×13	SN400	H-250×250×9×14	SN400	950
4 H-450×200×9×17	SN400	H-250×250×9×14	SN400	900
3 H-450×200×9×17	SN400	H-300×300×10×15	SN400	800
2 H-450×200×9×17	SN400	H-300×300×10×15	SN400	700
1 H-400×200×8×13	SN400	H-300×300×10×15	SN400	700
2ブレース構造モデル				
8 H-250×125×6×9	SN400	H-250×250×9×14	SN400	1700
7 H-350×175×6.5×9	SN400	H-250×250×9×14	SN400	1650
6 H-446×199×8×12	SN400	H-300×300×10×15	SN400	1550
5 H-446×199×8×12	SN400	H-390×300×10×16	SN400	1400
4 H-450×200×9×14	SN400	H-390×300×10×16	SN400	1200
3 H-496×199×9×14	SN400	H-390×300×10×16	SN400	1050
2 H-596×199×10×15	SN400	H-440×300×11×18	SN400	750
1 H-596×199×10×15	SN400	H-440×300×11×18	SN400

基本モデル

4ブレース構造モデル

2ブレース構造モデル

図15 最大層間変形角

④観測地震動について、地動最大速度で2つのレベル (0.25、0.5m/s) に基準化し、模擬地震動についてはレベル1の加速度の地震波を1倍、2倍したものを用いる。

⑤地震継続時間は、残留変形を確認するために日本建築センターで配布している地震波の継続時間に5秒以上の自由振動をさせる時間

を付加したものとする。

⑥非線形解析は逐次積分法、時刻歴応答解析手法は、Newmark β 法 ($\beta = 1/4$) を用い、弾塑性解析プログラム (SNAP Ver. 2) を使用する。

図16 時刻歴応答

5.3 解析結果

レベル2時の最大層間変形角を図15に示す。いずれのモデルも純ラーメン構造である基本モデルとほぼ同等の性能を有している。最大層間変形角は、基本モデルは神戸 NS 波で1/54、4モデルでは神戸 NS 波で1/59、2モデルではセンター波で1/58である。接合部の最大回転角は2モデルの神戸EW波レベル2時で0.017radであり、2章で述べた第2段階であり、半剛域内である。

最大残留変形は、基本モデルでは神戸 NS 波で1/436、4モデルではセンター波で1/1227、2モデルではEl centro NS 波で1/1203である。全モデルで比較的大きな応答を示したレベル2時の神戸 NS 波の時刻歴応答を図16に示す。この図からも分かるように基本モデルでは残留変形が大きく残っているが、ブレースの設置された4モデルと2モデルではほとんど残留変形が見られない。

表6に主架構の最大塑性率、表7に4モデルと2モデル、およびBW試験体とBS試験体のブレースの最大塑性率および等価累積塑性変形倍率を示す。基本モデルでは主架構が塑性化しているのに対し、4モデルおよび2モデルともにレベル2時でも主架構は弾性域であり、大地震後も主架構をリユースすることが可能である。また、ブレースを実験値と比較した場合、十分な余裕度があり、破断等が生じることなく安定したエネルギー吸収をすることが可能である。

6. 結論

環境負荷削減を目指したサステナブルビル構造システムを着想し、その力学性能を把握するために、接合部実験と部分架構実験を行い、想定する構造システムの基本的挙動を確認した。更に、接合部の力学モデルを用いた全体構造モデルを用いて解析を行い、その考察をした。以下の結論を得た。

- (1) 建築構造の長寿命化と部材のリユースを考慮したサステナブルビル構造システムの基本的性質を確認した。
- (2) 実験により、座屈拘束ニーブレースは安定したエネルギー吸収を行うことができることを確認した。
- (3) 本構造システムは損傷制御構造であり、従来型の純ラーメン構造と同等以上の構造性能を有する。

表6 主架構の最大塑性率

主架構	基本モデル	地震波	最大塑性率
		神戸 NS	3.35
			0.99
	2モデル		0.94

表7 ブレースの最大塑性率および等価累積塑性変形倍率

ブレース		地震波	最大塑性率	等価累積塑性変形倍率
		4モデル 神戸 NS	16.8	64
		2モデル センター波	13.7	254
		BW試験体	23.2	862
		BS試験体	32.6	759

(4) 本構造システムの柱梁接合方法は、第1段階から第3段階の剛性変化がある力学特性を有する。

本論文は、地球環境問題に対して、構造的にアプローチすることを目的とし、そのための構造システムをトータル的に提案するものである。今後、本構造システムのディテールについて探求していく予定である。

謝辞

本研究は、平成14年度(社)日本鉄鋼連盟 建築鋼構造研究助成金・奨励金、および平成13、14年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(B):課題番号13450229)の助成を受けた。付記して謝意を表する。

[参考文献]

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 岩田 衛:地球環境のための鋼構造技術①、建築鋼構造の環境性とその対応、建築雑誌(技術ノート)、vol. 118、No. 1499、pp. 58-59、2003. 1
- 4) 會澤貴浩、黒川礼子、山田 哲、岩田 衛:サステナブル中層ビル構造システムの提案と検証:日本建築学会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ、pp. 943-944、2002. 8
- 5) 和田 章、岩田 衛、清水敏三、安部重孝、川合廣樹:建築物の損傷制御設計、丸善株式会社、1998. 9
- 6) 竹内一郎、岡田忠義、井上一朗、吹田敬一郎、張シユン、宇野暢芳:高力ボルト接合を用いたH形鋼柱梁制振システムの力学的挙動、日本建築学会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ、pp. 841-844、2001. 9
- 7) 岩崎晃久、竹内一郎、井上一朗、吹田敬一郎、髙高裕治、宇野暢芳:エネルギー吸収要素を組み込んだH形鋼柱梁接合部に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 639-640、2002. 8
- 8) 前田泰史、吉敷祥一、岡田 健、鈴木一弁、竹内 徹、竹内一郎、山田 哲、和田 章:塑性化スプリットティーを用いたドライフレームに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 653-660、2002. 8
- 9) 加藤貴志、岩田 衛、和田 章:損傷制御構造における座屈拘束ブレースの性能評価、日本建築学会構造系論文集、第552号、pp. 101-108、2002. 2
- 10) 山田大彦、田辺恵三:弾性間接接合を用いた鋼構造骨組とその動的特性、日本建築学会大会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ、pp. 825-826、2001. 9
- 11) 藤本盛久、和田章、岩田衛、松本芳紀、滝口克己:一次元部材論、実教出版株式会社、1981

(2003年9月5日原稿受理、2004年3月29日採用決定)