

海外調査報告：

# 第11回日中建築構造技術交流会に参加して



EHS&S 研究センター上級研究員 兼 構造コンサルティング部長 中野 時衛

Keyword：日中の超高層建物の構造計画の相違，日中の免制震構造の設計方法の相違，連結免震，武漢緑地センタービル

## 1. はじめに

日本と中国の建築構造技術者の交流会である「第11回日中建築構造技術交流会」は、中国湖北省武漢市にある華中科技大学で2015年10月24日と25日の2日間、開催された。この交流会は1993年より、日本と中国の技術者が2年に1回、一堂に会してさまざまな主題テーマについて発表と討論を行う、建築構造技術全般について横断的な交流会として定着・発展してきた。第1回から第8回は北京、上海、西安、重慶など中国の主要都市で開催されている。第9回交流会から日本と中国の双方で開催することになり、第9回は2010年9月に東京の日本大学駿河台キャンパスで、第10回の交流会は2013年11月に、交流会創立20周年記念として南京の東南大学で開催されている。また2015年3月21日には、2015年が阪神・淡路大震災から20年目であることを踏まえ、東京理科大学の神楽坂キャンパスにて建築構造日中国際ワークショップを開催し、阪神・淡路大震災あるいは汶川・四川大地震以降の日中双方の耐震設計・耐震技術の発展に関する討論会を行っている。

著者はすでに2004年杭州市で開催された第6回交流会、2006年重慶市で開催された第7回交流会、2010年東京で開催された第9回交流会および2013年南京市で開催された第10回交流会にも参加している。今回もNTTファシリティーズの発表論文共著者として本交流会に参加するとともに、会議の前後に行われた見学会を通して中国の設計・建設業界の最新情報の収集を図った。

## 2. 会議の参加者、発表論文数および会議プログラム<sup>1)</sup>

第11回交流会の参加者は日本側50名、中国側は香港5名、台湾13名を合わせた328名、全体で378名である。図1に今回を含むこれまでの交流会の日中両国を合わせた参加人数を示す。今回の参加人数のうち、中国本土からの人数は前回よりもやや減っているものの、第9回以前に比べれば依然として多く、超高層建物や免制震建物など、

高度で新しい構造技術に対する関心の高さを反映しているといえる。

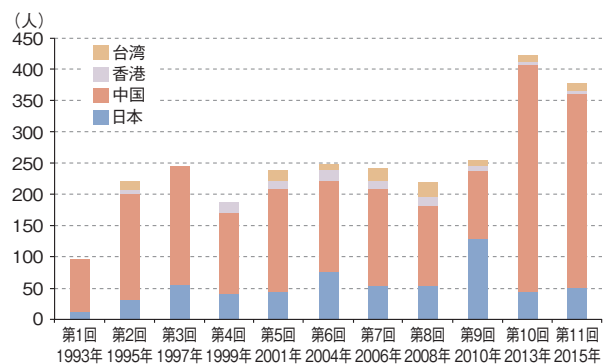
交流会当日に配布された論文集に掲載された論文総数は93編、うち日本側は32編である。このうち基調講演を含む口頭発表は日中それぞれ32題であった。

第11回交流会のプログラムを表1に示す。また、恒例の全体記念撮影を写真1に示す。

## 3. 基調講演

会議に先立ち、日本と中国の大学教授、研究者各2名が基調講演を行った。ここでは日本側の吹田啓一郎京大教授と向井昭義建築研究所研究専門役の基調講演の内容を紹介する。

吹田教授からは、「18層鋼構造建物の振動台実験による倒壊挙動」のタイトルで、文部科学省のプロジェクトの一貫として防災科学技術研究所の実大三次元震動破壊実験施設（E-DEFENCE、兵庫県三木市）を用いて実施した鋼構造物の倒壊実験の概要が紹介された。この実



開催年	開催地	開催大学	
第1回	1993年	北京	精華大学
第2回	1995年	上海	同済大学
第3回	1997年	深圳	深圳大学
第4回	1999年	大連	大連理工大学
第5回	2001年	西安	西安建築科技大学
第6回	2004年	杭州	浙江大学
第7回	2006年	重慶	重慶大学
第8回	2008年	北京	北京工業大学
第9回	2010年	東京	日本大学
第10回	2013年	南京	東南大学
第11回	2015年	武漢	華中科技大学

図1 交流会の参加人数と開催地

験計画については、第10回の交流会の基調講演で中島京大教授から紹介されている。

建築研究所の向井専門役からは、「長周期長時間地震動に対する検討」と題して、南海トラフ沿いにおける巨大地震による長周期長時間地震動の可能性と超高層建物および免震建物の耐震安全性評価に関する検討について、実大3層骨組試験体や縮小20層RC造建物試験体の震動実験および数値解析との比較、免震材料の性能実験なども踏まえて詳細に報告された。

#### 4. 学術発表および討論会<sup>1)</sup>

今回の交流会で取り上げた論文および討論のテーマは、下記の8項目である。

- ①構造技術者の役割とあり方—建築、安全、経済、地球環境問題。
- ②日中両国における設計新基準の実施状況およびその後の動向。
- ③巨大地震動と建築物の終局耐震性。

—最近の世界的に多発する巨大地震後の耐震基準  
—長周期地震動等の巨大地震動に対する建築物の終局耐震性

- ④暴風・竜巻の影響と建築物の耐風設計。
- ⑤免震・制震構造および既存建物に対する耐震改修・補強技術の設計・研究。
- ⑥新しい材料・システムを用いた超高層建築、大空間建築および基礎構造の開発・設計・施工など。
- ⑦鋼・コンクリート他各種の構造および非構造部材の耐震性能に関する研究および応用。
- ⑧共通建物の試設計を通して、両国の設計法や基準等の比較研究。

交流会ではこれらのテーマを4つの大括りのテーマに分類して4つの会場に振り分け、会場ごとに学術発表とテーマごとの討論会が25日の午後に行われた。

#### 4.1 第1会場の学術発表および討論会内容

第1会場の学術発表のテーマは、技術者の役割・地球

表1 第11回日中建築構造技術交流会プログラム

2015年10月23日(金)	10月24日(土)	10月25日(日)
<p>◆見学会（武漢市内） 午前 ・武漢緑地センタービル（地上高さ636mの超高層ビル） 午後 ・湖北省博物館 ・黄鹤楼</p> <p>◆日中合同幹事会</p>	<p>◆開会式 司会：北村春幸，紫慶治，郁銀泉，朱宏平 1. 開会の辞：任慶英第11回交流会会長 2. 日本側代表挨拶：秋山宏名誉会長 3. 中国側代表挨拶：駱清銘華中科技大学副学長 張柏青中南建築設計院股份有限公司董事長 4. 記念誌紹介：崔鴻超名誉会長，安部重孝名誉会長 5. 贈呈式：任慶英会長，北村春幸副会長</p> <p>◆基調講演 1. 18層鋼構造建物の振動台実験による倒壊挙動：吹田啓一郎（京都大学） 2. 構造物の振動制御に関する新たな進展と展望：欧進萍（大連理工大学） 3. 長周期長時間地震動に対する検討：向井昭義（建築研究所） 4. 中国の新しい地震区画図および災害を引き起こす地震の予防：高孟潭（中国地震局）</p> <p>◆学術報告 第1会場：技術者の役割・地球環境，設計新基準，台風・竜巻，日中試設計関連 第2会場：巨大地震，超高層・大空間・基礎構造 第3会場：免震・耐震改修 第4会場：鋼・コンクリート他各種構造</p> <p>◆ポスターセッション ◆日中共催宴会 司会：以萌秀司，李霆 ◆日中合同役員会</p>	<p>◆学術報告 第1会場：技術者の役割・地球環境，設計新基準，台風・竜巻，日中試設計関連 第2会場：巨大地震，超高層・大空間・基礎構造 第3会場：免震・耐震改修 第4会場：鋼・コンクリート他各種構造</p> <p>◆ポスターセッション</p> <p>◆討論会 第1会場：免震構造・制震構造 第2会場：大空間構造 第3会場：超高層建物 第4会場：プレキャストコンクリート構造</p> <p>◆全体委員会（覚書の調印） 司会：小川一郎，李振宝 中国側調印者：崔鴻超名誉会長，任慶英会長 日本側調印者：細澤治副会長（JSCA会長代理），北村春幸副会長</p> <p>◆閉会式 司会：小川一郎，李振宝 1. 日本側代表挨拶：和田章名誉会長 2. 中国側代表挨拶：任慶英会長 3. 第11回交流会代表挨拶：李霆副会長 4. 第12回交流会代表挨拶：安部重孝名誉会長</p> <p>◆中国側招待宴会</p>



写真1 恒例の全体記念撮影

環境，設計新基準，台風・竜巻，日中試設計関連である。討論会での主題は免震構造・制震構造であり，以下の①～④について討議が行われた。

- ①中国では，免震構造を採用しても規定された烈度に従って設計する必要があるため，経済的恩恵がない。日中で耐震設計に対する考え方が異なり，特に免制震構造に関する考え方の違いは大きい。
- ②中国では，超高層建物に免震構造を採用する動きは少ない。超高層はもともと固有周期が長いのに有効か？
- ③中国の制震構造では，座屈拘束ブレース以外のダンパーの採用は限られており，これからである。
- ④日本の免震構造は性能設計が主流であり，地震時のパルス波や長周期長時間地震動に対する設計が現在の課題である。

#### 4.2 第2会場の学術発表および討論会内容

第2会場の学術発表のテーマは，巨大地震，超高層・大空間・基礎構造である。討論会の主題は大空間構造であり，2020年東京オリンピックの会場となる，武蔵野の森総合スポーツ施設（東京都調布市）のメインアリーナ棟について説明の後，下記の7つのポイントについて議論を進めた。

- ①接合方式については中国はボルト接合が多いが，その理由は？
- ②日本では東日本大震災の時に大スパン構造は多少の被害を受けたが，崩落することはなかった。理由は屋根部分に発生する加速度を減じるために免制震構造を採用する事例が多いためと思われる。風荷重，雪荷重による被害が最近増えている。中国では主要構造部の風荷重は再現期間500年を採用していないようだが，被害はないのか？
- ③大スパン構造の変形制限については，日本には鉛直変形に対する制限はない。中国は変形角1/300以下の規定はあるが，変位量に対する規定はない。
- ④日本では大スパン構造でスパン長による大臣認定はない。中国では120mを超えると審査会にかける。
- ⑤東南アジアではRC造のシェル構造が増えているが，

日本では地震力が大きいのでRC造シェル構造は少ない。

- ⑥空間構造におけるBIMの現状。中国ではBIMが一番ホットな話題である。政府主導型の設計では設計から施工までFull BIMを求められることがある。日本では政府からの指定はない。コストアップにつながる？

#### 4.3 第3会場の学術発表および討論会内容

第3会場の学術発表のテーマは，免制震，耐震改修である。討論会の主題は超高層建物であり，以下のような討議が行われた。

- ①日本の超高層は高さが200m程度，中国は500～600mと高さが大きく異なる。構造計画，構造的評価項目が大きく異なる。中国は地震時も弾性状態でひび割れを生じさせない。3倍も建物が高いので重量の影響が最も大きい。
- ②中国の諸基準では，250m以上の建物では構造躯体が弾性状態を保つために風荷重時，地震荷重時に層間変形角を1/500以内とする必要がある。しかるに日本では風荷重時は弾性状態，地震荷重時は極大地震時に弾塑性状態も許し，中地震時に1/200以内としている。
- ③中国と日本では損傷限界の定義が異なる。中国の弾性はコンクリートのひび割れ以前，日本は鉄筋が降伏する以前。弾性を維持するコンクリート・コアを壊さない設計が中国の基本にある。層間変形角が1/500以内の条件では，そもそも変形によって機能するダンパーに付加価値を見いだすことが難しい。両国では材料強度の安全率も異なっている。

学術発表において，共著者のNTTファシリティーズ片山貴裕氏の発表が10月25日（日）の午前に第3会場で行われた。論文名は「連結免震建物の地震応答性状と連結制振を採用した既存-新設連結建物の設計例」<sup>2)</sup>である（写真2）。この論文は，複数棟の建物を構造的連結して免震構造化する場合の一般的な傾向を検討したもので，特に最下層連結免震建物で上部構造を1～15階建てとした多質点モデルを用いて，上部を連結した場合（図2）の応答低減効果について興味深い結果を得ているので紹



写真2 片山貴裕氏の発表の様子

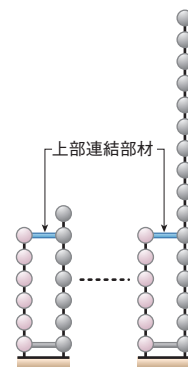


図2 上部多質点モデル（上部連結時）

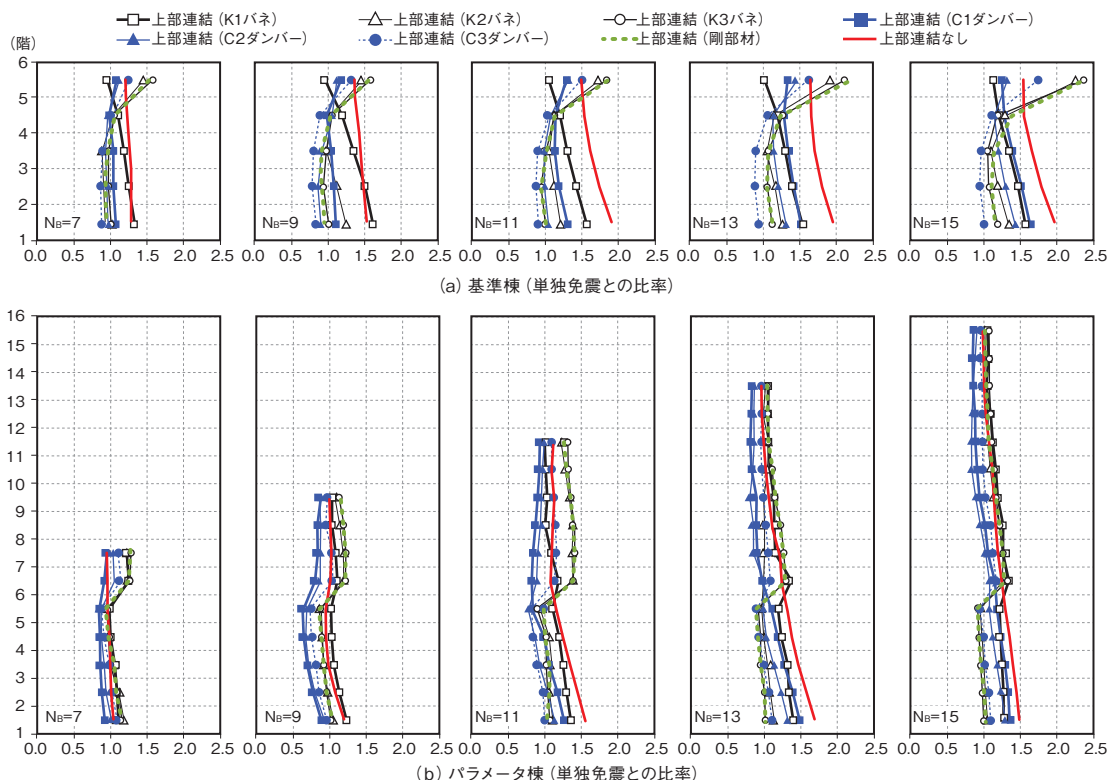


図3 上部連結時の最大応答層せん断力（入力地震動6波平均値）

介する。連結部材としては、RCスラブを想定した剛部材、鉄骨ブレースを想定した弾性部材（Kバネ）および粘性ダンパー（Cダンパー）の3種類を用いている。

弾性部材による連結では、連結部より下部では大きな応答低減がみられるが、上部では非連結時よりも応答が大きくなる。また、低層棟の連結部付近には非常に大きな層せん断力が生じる（図3）。

粘性ダンパーによる連結では、両棟とも非連結時より応答が大きくなるケースは少ない。特に、低層棟と高層棟の階数比が2程度の場合に大きな効果がみられる（図3）。

また、NTTファシリティーズの元樋敏也氏の学術発表も10月24日（土）の午後に第3会場であった。論文名は「制振技術による低層鉄骨造建物の地震応答制御効果に関する一検討」<sup>3)</sup>で、新築された自社研究開発部門の制振デバイス（増幅機構付き減衰装置）を備えた低層鉄骨制振建物（写真3）を対象に、設置済みの構造モニタリ



写真3 低層鉄骨制振建物の制振デバイス

ングシステムにより測定した実地震動記録の結果と解析結果との比較を行いよく一致していることを確認している。また、想定される首都直下型地震に対して模擬地震動を作成し、制振ビルの応答低減効果の検証を行っている。

#### 4.4 第4会場の学術発表および討論会内容

第4会場の学術発表のテーマは、鋼・コンクリート他各種構造である。討論会の主題はプレキャスト構造であり、話題提供として細澤治氏（大成建設）から、みなとみらいセンタービル（21階建免震+制震構造、外周PCa壁柱、柱ジョイントはグラウト方式の継手、壁柱間の極低降伏点鋼梁でエネルギー吸収、床小梁はPCa、スラブはハーフPCa）と京橋MIDビル（21階建免震構造、外柱・外梁ともにPCa、梁のスパン中央を場所打ちコンクリートでジョイント、柱は主筋挿入孔を設けたPCa柱を落とし込みグラウトでジョイント）の紹介があった。中国では一時期PCa構造は減少したが、最近では環境保護、資源の減少、人手不足を背景に国策として採用を図っており技術的な関心が高い。日本でのPCa構造の技術者の育成方法などについても質問があった。

### 5. 武漢緑地センタービルについて（見学施設の紹介）<sup>4)</sup>

会議に先立ち、10月23日（金）の午前中に武漢市内にて、施工途上の竣工時高さ636mの武漢緑地センタービル（写真4）を見学する機会があったので、概要を述べる。



写真4 武漢緑地センタービルのパース  
(塔体隅角部に風穴があることがわかる)

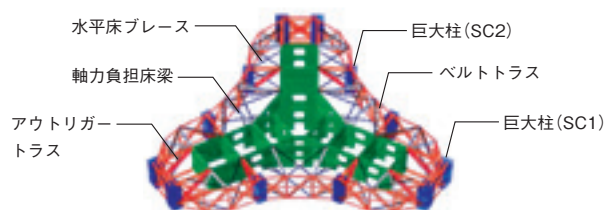


図4 コアと外周フレームの部材配置図

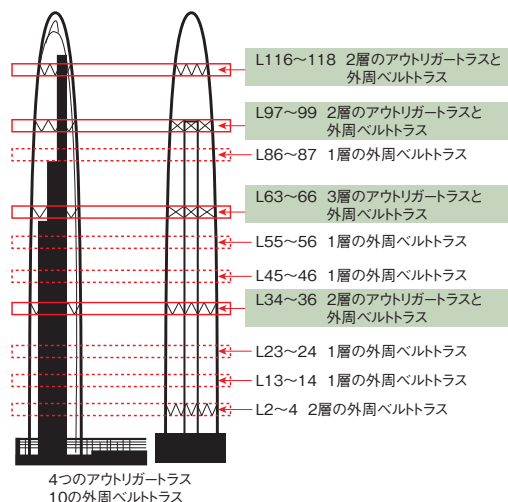


図5 立面方向の耐震架構軸組図

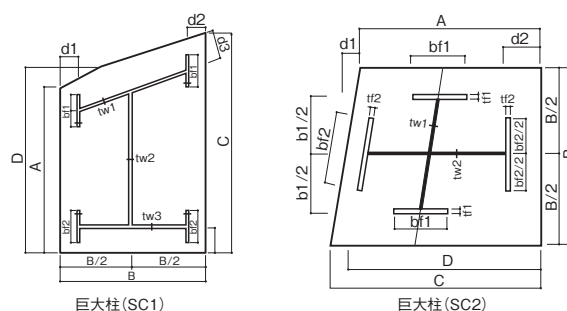


図6 巨大メガ柱

## 5.1 建物概要

地上高：636m (中国第1位, 世界第2位の高さ)

RC構造高さ：586m, 階数：地上125階+地下6階

建築面積：304,000m<sup>2</sup>, 延床面積：710,000m<sup>2</sup>

工期：2011年8月~2017年12月 (6年4カ月間, 施工中)

地盤：風化泥岩

用途：事務室, 住宅, ホテル, 高層展望台など

エレベータ：84台

建築主：武漢緑地滨江置业有限公司

施工会社：中建三局集团有限公司

意匠設計事務所：Adrin Smith+Gorden Gill Architecture  
(米国)

構造設計事務所：Thornton Tomasetti (基本設計, 米国),  
華東建築設計研究院 (実施設計)

## 5.2 水平荷重に対する構造計画

水平荷重に対する抵抗機構を図4, 5に示す。高層建築に適したコア+アウトリガー+外周メガフレームで計画している。

- SRC造のコア壁：三脚平面の基準階平面形でコア形状も三脚平面である。高強度コンクリート造壁の中に鋼板壁・S柱・S梁を内蔵する。
- 外周メガフレームのスーパー柱：12本のスーパーSRC柱 (巨大メガ柱, 図6), 大きさ9.0m×9.0mで, 中に巨大なH形および十字形のS柱が内蔵されていて, S造外周大梁と剛接されている。
- ベルトトラス付き外周メガフレーム：1層, 2層および3層の外周ベルトトラスは, 約10層ごとに設けられている。2層と3層の外周ベルトトラスはコアからのアウトリガーが取り付く層に設けられ, これにより外周メガフレームに横力を負担させている。
- アウトリガー トラス：約30層ごとに2層もしくは3

層を使って, コアと外周架構と連結している。建物高さの半分のところに3層のアウトリガー トラスを設けている。

- 風荷重に対しては, 三脚平面の3つの隅角部の風穴と頂部の吹抜け孔により風荷重の低減と渦の発生を抑制し, 風荷重時の変形低減を図っている。隅角部の風穴は外装清掃用装置の出し入れ口, 空調機械室の吸排気口にも利用されている。

## 5.3 基礎構造

マットスラブの厚さは5m, φ1.4m (タワー部) とφ0.7m (周辺部) の場所打ちコンクリート杭を, 長さL=64m, 3,300本を打設している。地中連続壁は, 厚さ1.0mを地下外周に設けて掘削時の安全性確保を図っている。

## 5.4 構造解析結果

解析による1次固有周期はX方向8.34秒, Y方向8.27

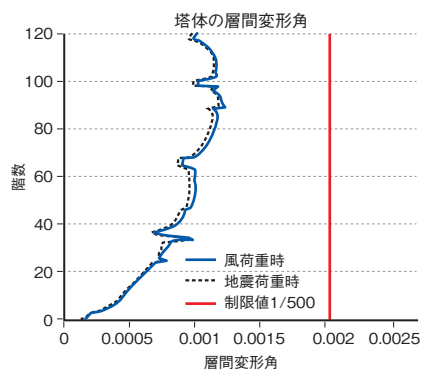


図7 風荷重時と地震荷重時の最大層間変形角

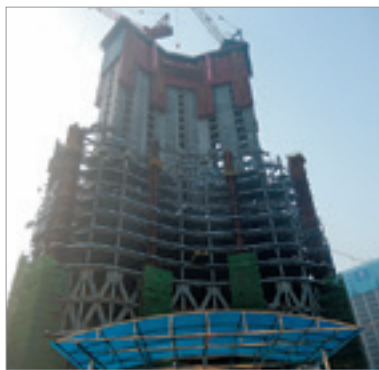


写真5 現場見学・全体架構



写真6 現場見学・鋼板壁の建て込み

秒、振れ方向4.43秒である。図7より風荷重時と地震荷重時の最大層間変形角は1/500よりも非常に小さい。

### 5.5 現場見学 (写真5, 6)

現場見学は、コア部のスリップフォーム工法用の頂部プラットフォームが地上120mにある時に行われた。タワークレーンによる鋼板耐震壁の揚重・設置と高所までのコンクリートの圧送が行われていた。コンクリートの圧送は、高さ1,000mまで試験済みであった。

## 6. おわりに

まだまだ日本と中国の耐震設計の方法、特に免震構造・制震構造については考え方が大きく異なっている。中国で使っている設計基準、仕様規定が日本の耐震設計の方法とは異なるためである。何が真実なのかを考え採用するようにしないと差はなかなか縮まらないと思われる。しかし、千葉工大の田村和夫教授が第1会場の討論

会を締めるにあたって述べたように、「日本と中国とでは地震環境、制度・基準は異なるが、技術者としての考え方は同じであると感じた」とのことに賛同する。

次回の交流会は、交互に開催するとの方針で2017年9月16日(土)から日本の関西で行うことが決定された。

### 〔参考文献〕

- 1) 柴慶治, 小川一郎:「第十一回日中建築構造技術交流会」の開催報告, structure, No.137, pp.90~95, 2016.1
- 2) 片山貴裕ほか2名: 連結免震建物の地震応答性状と連結制振を採用した既存-新設連結建物の設計例, 第11回日中建築構造技術交流会論文集, pp.196~205, 2015.10
- 3) 元樋敏也ほか3名: 制振技術による低層鉄骨造建物の地震応答制御効果に関する一検討, 第11回日中建築構造技術交流会論文集, pp.13~22, 2015.10
- 4) 中建三局武漢緑地中心項目パンフレット, 中建三局武漢緑地中心項目, 2015