

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	梁端部を半剛接合とした制振構造建物の応答評価
Title	
著者(和文)	有間雄太, 脇田直弥, 山口路夫, 綿貫雄太, 渋谷政斗, 佐藤大樹, 北村春幸
Authors	Naoya WAKITA, Michio Yamaguchi, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2015, 3
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110009947872

梁端部を半剛接合とした制振構造建物の応答評価

構造一振動	正会員	○有間雄太 ^{*1}	同	脇田直弥 ^{*2}	同	山口路夫 ^{*2}
		綿貫雄太 ^{*2}	同	佐藤利昭 ^{*1}	同	渋谷政斗 ^{*1}
鋼構造物 半剛接合 履歴型制振ダンパー	同	佐藤大樹 ^{*3}	同	北村春幸 ^{*1}		
静的増分解析 時刻歴応答解析 残留変形角						

1. はじめに

近年、大型物流施設の需要が拡大する中、高い耐震性を有する物流施設が注目されはじめ、制振構造を採用する事例も増加傾向にある¹⁾。そのため、物流施設に適した制振構造システムの開発が望まれている。

物流施設は、積載荷重が大きく柱スパンが長いと長期荷重が支配的となる。地震時に水平力が加わることで片方の梁端部に大きな応力が作用するため、他方の梁端部が余力を残したまま降伏に至ることになる。

本研究は、これらを背景に、梁を均一断面とした上で、梁端部の固定度を下げ、主架構の剛性を低くすることで合理的な制振構造の架構を計画する方法を試案したものである。この方法は、梁端部を半剛接合として梁端部の長期応力を小さくすることで全断面を有効に利用する他、弾性限変位の拡大が見込めるため、ダンパーの応答低減効果を最大限発揮することが期待される。既報^{2),3)}では、剛接合と半剛接合を組み合わせることにより、剛接合箇所に対する応力集中や反曲点位置が変化し、1階柱脚の降伏が早まるなどの問題を明らかにした。本報では、既報の問題を踏まえ、ダンパー設置箇所における梁端部の接合方法に着目し、静的解析と時刻歴応答解析の両面から梁端部の半剛接合が全体架構に与える影響を報告する。

2. 検討対象建物の概要

2.1 検討対象建物および制振構造の概要

検討対象建物は、物流施設を想定した地上4階、階高6.7m、高さ26.8m、長辺方向11.0m×8スパン=88.0m、短辺方向10.0m×3スパン=30.0mの鋼構造物とする。本論文の解析は長辺方向を対象とし、構造減衰は、主架構の1次固有周期 fT_1 に対して減衰定数 $h=0.02$ となる剛性比例型とした。

制振構造には、履歴型の制振ブレースを用い、Y1・Y4通りのX2からX4とX6からX8間に1層当たり16本配置する。1層のダンパー降伏層せん断力係数 α_{y1} が与えられた場合、1層のダンパー降伏せん断力 Q_{y1} は、以下の式で求める。

$$Q_{y1} = \alpha_{y1} \cdot W \quad (1)$$

ここに、 W : 建物の総重量である。 i 層のダンパー降伏層せん断力 Q_{yi} は、1層の降伏層せん断力に最適降伏層せん断力分布に基づく設計用せん断力比を乗じることで設計した⁴⁾。以降、 α_{y1} をダンパー量と呼ぶ。ダンパーの降伏水平変位は全層で9.4mmとする。

2.2 半剛接合の概要

図1, 2に建物伏図および軸組図を示す。半剛接合は、ダンパー非設置箇所の全ての梁端部とする。また、梁端部が先行降伏するものとし、半剛接合部は弾性とする。回転剛性は、図3に示すように、長期荷重による梁端部と梁中央の曲げ応力の比率(M_e/M_c)に着目して決定する。検討対象建物は、剛接合時は、6.3:3.7程度になるのに対して5:5, 4:6, 2:8となる回転剛性を採用する。各モデルにおける梁端の回転剛性を表1に示す。

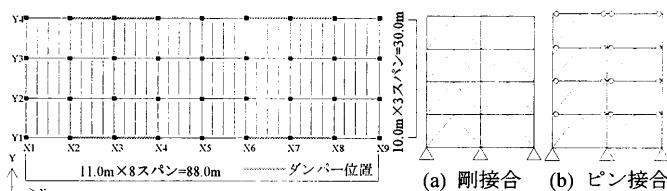


図1 建物伏図

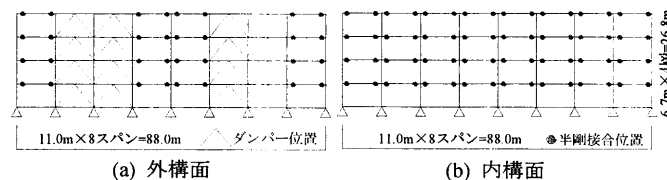


図2 軸組図

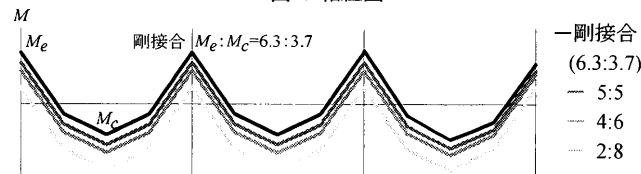


図3 長期曲げ応力図

2.3 ダンパー設置箇所における梁端部の接合方法

ダンパー設置箇所(Y1, Y4通りのX2-4間とX6-8間)の梁端部の接合方法を図4に示す。本報では、剛接合とピン接合の2パターンを考える。

2.4 柱脚の概要

1層柱脚は、半剛接合となる露出柱脚を想定する。表2に露出柱脚の詳細を示す。また、回転剛性 K_{BS} は下式より算出した⁵⁾。

$$K_{BS} = \frac{E \cdot n_t \cdot A_b \cdot (dt + dc)^2}{2l_b} \quad (2)$$

ここに、 E : 鋼材のヤング係数、 n_t : 引張側アンカーボルトの数、 l_b : アンカーボルトの長さ、 A_b : アンカーボルト1本当た

りの軸断面積, d_t : 柱断面図心より引張側ボルト群図心までの距離, d_c : 柱断面図心より圧縮側の柱フランジ外縁までの距離である。以上より, 本報における採用パラメータと各モデルの呼称を表3に示す。

長期応力	2-4F	RF
5:5	670000	400000
4:6	290000	180000
2:8	55000	35000

K_{BS}	253000 (kN・m/rad)
nt	3 (本)
A_b	2460(mm ²)
d_t	365(mm)
d_c	275(mm)
l_b	1225(mm)

表3 採用モデルと呼称

	剛接合	ダンパー設置箇所	
		剛接合	ピン接合
梁端剛性	5:5	rig	-
	4:6	55-r	55-p
	4:6	46-r	46-p
	2:8	-	28-p

2.5 建物剛性と固有周期

図5に各モデルの主架構における層剛性 f_k の高さ方向分布を, 表4に主架構の1次固有周期 fT_1 を示す。図5より, 2, 3層と比べ1, 4層の方が剛性の低下率が小さいことがわかる。これは, R階の梁断面が他の層と比較して小さいことや基礎梁の剛性は全モデル共通であり, 変化がないためである。

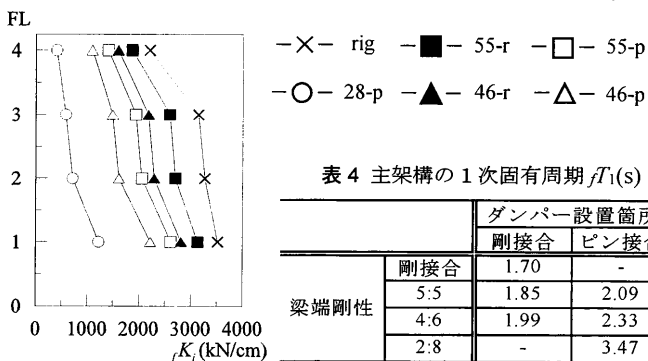


図5 主架構の層剛性

3. 静的増分解析による変形性能の検討

図6に各モデルにおける1層および2層の静的増分解析によるせん断力 Q と層間変形角 R の関係を示す。はじめに図6(a)のダンパー設置構面が剛接合のモデルに着目すると, rigモデルと比較して55-rモデルと46-rモデルは梁端部の回転剛性が低下し, ヒンジ形成までの変形が増加していることがわかる。しかし, 46-rモデルの方が55-rモデルより塑性ヒンジ形成までの変形が小さい。これは, ダンパー設置箇所を剛接合としており, 他の半剛接合の梁端に対して剛性が相対的に大きくなり, 応力集中が発生したためである。一方, 図6(b)のダンパー設置箇所をピンとしたモデルでは, 55-pモデルよりも46-pモデルの方が塑性ヒンジ形成までの変形が大きくなる結果となった。これは, ダンパー設置箇所をピンとしたことにより応力集中が緩和されたためであると考えられる。また, 28-pモデルの変形性能は大きく上昇するが, 1階柱脚の

降伏が先行してしまう。2層においても1層と同様の傾向が確認できる。

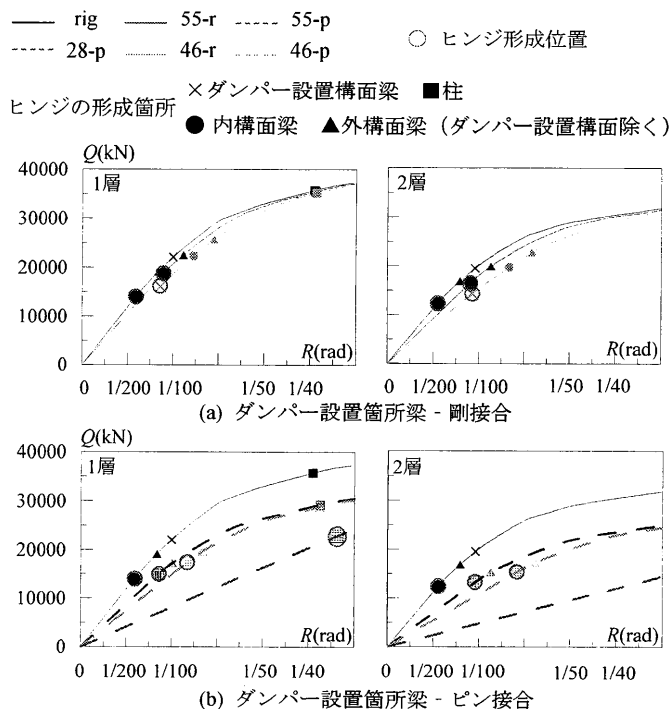


図6 主架構に対する静的増分解析

4. 最適ダンパー量の検討

4.1 入力地震動概要

解析に用いる入力地震動は, コーナー周期 $T_c = 0.64$ (s)以降の領域で, 擬似速度応答スペクトルが $\rho S_v = 100$ (cm/s) ($h=0.05$) で一定となる, 位相特性が HACHINOHE 1968 EW と JMA KOBE 1995 NS の模擬地震動を2波用いる。以降, それぞれを ARTHACHI, ARTKOBE と呼ぶ。図7(a,b)に地震波の加速度時刻歴波形を, 図8(a,b)に擬似速度応答スペクトル ρS_v とエネルギースペクトル V_E をそれぞれ示す。

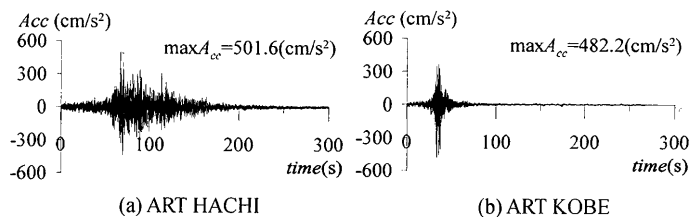


図7 地震波の加速度時刻歴波形

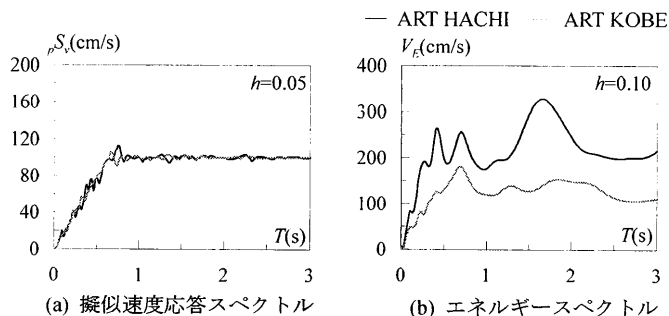


図8 擬似速度応答スペクトルとエネルギースペクトル

4.2 ダンパー量と最大応答およびエネルギーの関係

各地震動における各ダンパー量に対する最大加速度 Acc_{max} を図 9(i)に、最大せん断力 Q_{max} を図 9(ii)に、最大層間変形角 R_{max} を図 9(iii)に示す。入力エネルギー E に対する主架構の塑性歪エネルギー吸収率 W_p/E を図 10(i)にダンパーのエネルギー吸収率 sW_p/E を図 10(ii)に示す。はじめに図 9 より、せん断力および加速度に着目すると主架構の剛性の低下に伴い、せん断力および加速度が低下していることがわかる。層間変形角に着目するとダンパー量が少ない範囲では、剛性の低下に伴い層間変形角は大きくなってしまふ。しかし、ダンパーを付与することで剛性低下に伴う層間変形角の増大が抑えられることがわかる。これらは、ダンパー設置箇所が剛・ピン接合に関わらず主架構の層剛性に大きく起因する結果となった。よって図 6 より弾性限変位の向上が確認できており、rig モデルに比べて半剛接合のモデルは、ヒンジ形成の可能性を低減できるため主架構の損傷も低減できると考えられる。

続いて図 10 より入力エネルギーの分配に着目すると、主架構の剛性の低下に伴ってダンパーのエネルギー吸収率が上昇し、主架構のエネルギー吸収率が低減できていることがわかる。このことから主架構の損傷が低減できていることが確認できる。

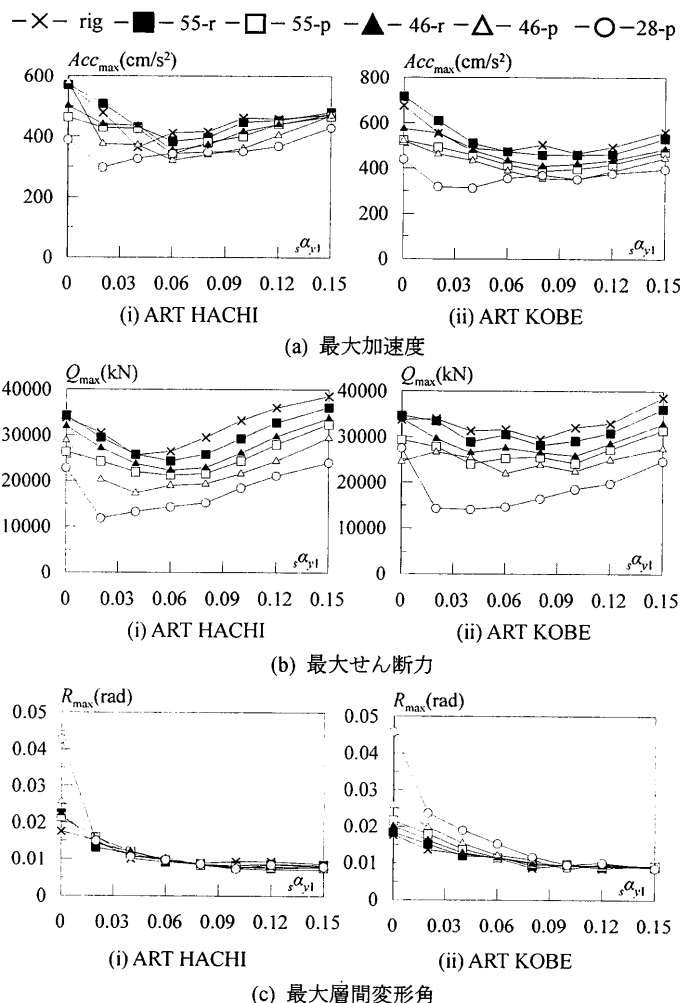


図 9 建物の最大応答

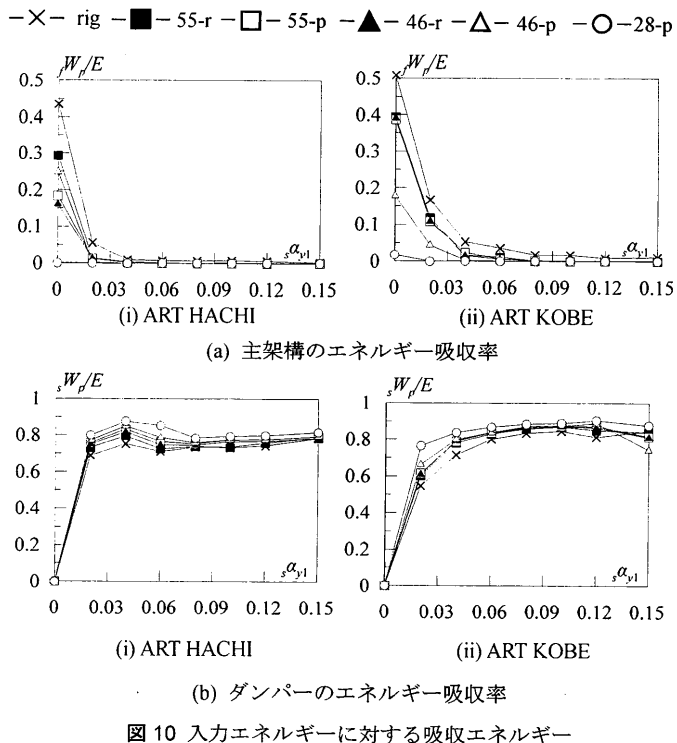


図 10 入力エネルギーに対する吸収エネルギー

4.3 各モデルにおける最適ダンパー量の決定

以上の応答を基に各モデルの最適ダンパー量を決定する。本報では、各地震動において最大層間変形角が 1/100 以下となる最少のダンパー量を最適ダンパー量とする。表 5 に各モデルの最適ダンパー量を示す。

表 5 最適ダンパー量

モデル名	ダンパー量 $s\alpha_{y1}$	
	ART HACHI	ART KOBE
rig	0.06	0.08
55-r	0.06	0.08
55-p	0.06	0.10
46-r	0.06	0.08
46-p	0.08	0.10
28-p	0.06	0.10

5. 最適ダンパー量における損傷の比較

本章では、各モデルに最適ダンパー量を投入した場合における各損傷を比較する。

5.1 梁端部の吸収エネルギーに関する検討

本研究では、剛接合、半剛接合、ピン接合を併用しているため平面内で剛性が大きく変化する。よって、梁端部の吸収エネルギー G から平面内の損傷の偏りを検討する。図 11 に梁端部のエネルギー吸収量を示す。なお、検討は応力が大きくなると考えられる、2 階の梁に着目して行う。図 11 より、rig モデルでは、内構面にて梁端部が損傷しエネルギー吸収しているのに対して他のモデルは、エネルギー吸収が少なく損傷を低減できている。55-r および 46-r モデルにおいて、X2-3 間や X6-7 間で梁端部がエネルギー吸収しているのは、ダンパー設置箇所の剛接合箇所に応力が集中したためと考えられる。

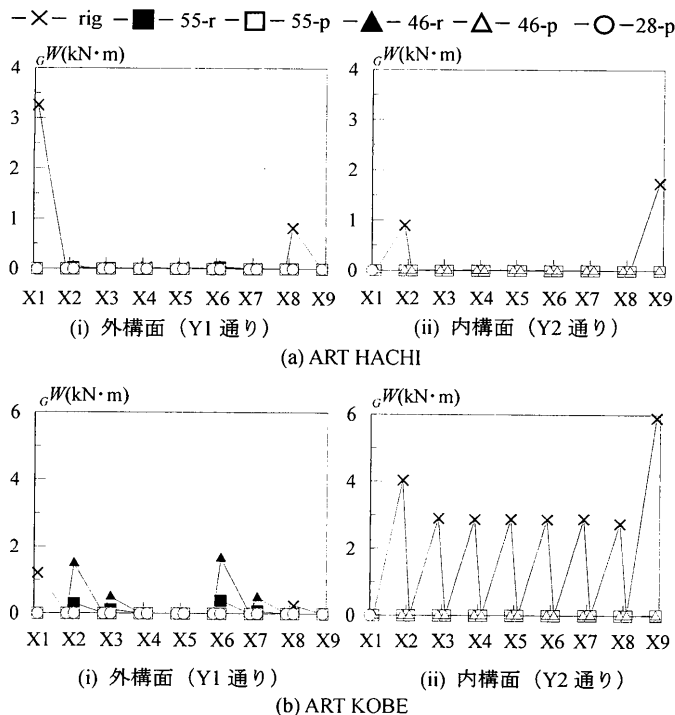


図 11 梁端部の吸収エネルギー

5.2 残留変形角に関する検討

本研究では、半剛接合により主架構の剛性が低下しているため剛接合時に比べて残留変形角 R_{res} が增大することが懸念される。よって、本節では、各モデルにおける残留変形角を検討する。図 12 に残留変形角の高さ方向分布を示す。図 12 より、ART HACHI では、残留変形角にモデル間の差は見られないが、ART KOBE では、28-p モデルなどの上層で残留変形角が大きくなっている。これは、パルス性の地震動に加えて主架構とダンパーの剛性比が過大となり、ダンパー塑性時に剛性が大きく低下するためだと考えられる。よって、28-p モデルのように主架構の剛性が著しく低く、対してダンパーの剛性が高い場合では、残留変形角が増大することが示唆される。このことから、主架構の剛性を著しく低くすることは、注意が必要であると考えられる。

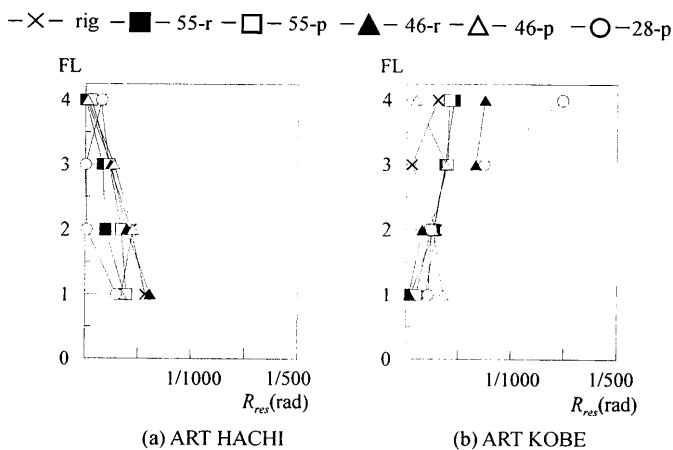


図 12 残留変形角

6. まとめ

梁端部の半剛接合が制振構造建物に与える影響を静的増分解析および時刻歴応答解析から検討した。静的増分解析より建物の変形性能を確認した。擬似速度応答スペクトルが一定となる模擬地震動を用いて時刻歴応答解析より最大応答、エネルギー分配、残留変形の検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) 静的増分解析よりダンパー設置箇所における梁端部の接合を剛接合とした場合、応力集中によりヒンジ形成までの変形が小さくなっていたが、梁端部の接合をピン接合とすることでヒンジ形成までの変形が大きくなる結果となった。そのため、主架構の損傷を低減できると考えられる。
- 2) 時刻歴応答解析より、ダンパー設置箇所が剛・ピン接合に関わらず、既往の研究²⁾と同様に主架構の剛性を低くすることでせん断力を低減できることがわかった。ダンパー量の少ない範囲では、最大変形が大きくなってしまいうが、ダンパーを付与することで半剛接合よる変形の増大が抑えられることがわかった。
- 3) 最適ダンパー量における梁端部の吸収エネルギーより、剛接合と比較して半剛接合時は、梁端部の損傷を低減できた。しかし、ダンパー設置箇所を剛接合とした場合では、ダンパー設置箇所に応力が集中し、梁端部が損傷することがわかった。
- 4) 残留変形角の検討より、パルス性の地震動を入力した時、主架構の剛性が著しく低い場合では、ダンパー塑性時に剛性が大きく低下するため残留変形角が増大することが示唆される。

謝辞

本研究は、新日鉄住金エンジニアリング株式会社・東京理科大学北村研究室・東京工業大学佐藤研究室によるエネルギー法研究会の成果の一部である。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 脇田直弥, 松蔭知明, 樋口公平, 中村秀司: エネルギー法による建物の構造設計～優れた耐震性と経済性を両立した設計手法の確立～, 新日鉄エンジニアリング技報, 第3号, pp.48+・56, 2012.1
- 2) 有間雄太, 脇田直弥, 山口路夫, 綿貫雄太, 佐藤利昭, 佐藤大輔, 渋谷政斗, 北村春幸: 端部を半剛接合とする梁部材を併用した制振構造の応答評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関西), 2014.9
- 3) 有間雄太, 脇田直弥, 山口路夫, 綿貫雄太, 佐藤利昭, 佐藤大輔, 渋谷政斗, 北村春幸: 半剛接合架構における建物性能と制振効果の検証, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2014.2
- 4) 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技法堂出版, 1999.11
- 5) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, p218, 2002.4

*1 東京理科大学
 *2 新日鉄住金エンジニアリング株式会社
 *3 東京工業大学