東北地方太平洋沖地震等による鉄骨造文教施設鉛直ブレースの震動被害

SEISMIC DAMAGE TO VERTICAL BRACES IN STEEL SCHOOL BUILDINGS DUE TO THE 2011 TOHOKU EARTHQUAKE

伊山 潤 — * 1 山田 哲 — * 2
松本由香 — * 3 吉敷祥一 — * 4
小山 毅 — * 5 島田侑子 — * 6

Jun IYAMA — * 1 Satoshi YAMADA — * 2
Yuka MATSUMOTO — * 3 Shoichi KISHIKI — * 4
Tsuyoshi KOYAMA — * 5 Yuko SHIMADA — * 6

キーワード:

2011年東北地方太平洋沖地震, 被害調査, 鉄骨造建物, 体育館, ブレース

Keywords:

2011 Tohoku Earthquake, Reconnaissance, Steel Building, Gymnasium, Brace

A reconnaissance of steel school buildings damaged by the 2011 Tohoku earthquake has been conducted by the Architectural Institute of Japan. This paper discusses the various types of seismic damage to vertical braces observed in 129 school buildings. The braces of pre-1982 buildings which were either unretrofitted or not seismically evaluated suffered more damage, compared to either pre-1982 retrofitted or post-1982 buildings. Most of the damage to connections in older buildings are caused by either old design practice, where the connection strength does not exceed the brace strength, or improper construction.

1. はじめに

日本建築学会文教施設委員会耐震性能等小委員会 S-WG が行った、2011年東北地方太平洋沖地震およびその余震による被害の調査¹⁾においては多数の被害建物が報告されたが、被害構造要素のなかで最も多数を占めたものが鉛直ブレースであった。

鉛直ブレースは、重要かつ効果的な耐震要素であり、その損傷は即座に耐震性能の低下・喪失をもたらす危険なものであるが、今回の調査においても多くの、さまざまな種類の鉛直ブレース被害が観察された。このような被害を生じた多くの建物は新耐震以前に建設され、耐震補強が行われていないものであった。このような古い建物は、今回の地震地域以外にも多く残っており、将来の地震時には同様の被害をもたらす可能性がある。今回の被害を教訓とし、将来の被害を最小限にいとめるためにも、多種多様なブレース被害事例を整理し、耐震診断技術、補修技術の向上につなげてゆく必要がある。

また、被害を受けてしまった建物については、早期に診断を行い、可能ならば速やかに復旧することが次の課題となる。被害事例を参考にして診断技術・復旧技術を向上させておくことは、復旧・継続的使用および震災後復興の観点からみても重要である。特に鉛直ブレースの被害は比較的早期に復旧が可能のため、これをさらに迅速化できるものと期待される。

本報では、このような目的に資することを念頭に、同 WG が調査した被害のうち、鉛直ブレースの被害に着目して報告する。

図1 調査建物のブレース種別および用途種別

2. 調査建物の鉛直ブレースの概要

2.1 対象とする建物

本報では、S-WG が調査を行った 216 棟¹⁾のうち、梁間・桁行のいずれかの方向に鉛直ブレースを有し、震動被害のみを受けた 127 棟の建物を対象とする。このうち、桁行方向のみに鉛直ブレースが用いられていたのが 113 棟、梁間方向のみに用いられていたのが 2 棟、両方向に用いられていたのが 12 棟であった。

2.2 調査建物のブレース種別と用途種別

今回調査した建物に用いられていた鉛直ブレースは、山形鋼、ターンバックル(丸鋼)ブレース、円形鋼管、平鋼であった。調査した棟

¹⁾ 東京大学大学院工学系研究科 准教授・博士 (工学)
(〒113-8656 文京区本郷7-3-1)

²⁾ 東京工業大学建築物理研究センター 准教授・博士 (工学)

³⁾ 横浜国立大学建築学コース 准教授・博士 (工学)

⁴⁾ 大阪工業大学工学部建築学科 講師・博士 (工学)

⁵⁾ 東京大学大学院工学系研究科 助教・Ph. D.

⁶⁾ 千葉大学建築・都市科学専攻 助教・博士 (工学)

¹⁾ Assoc. Prof., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

²⁾ Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

³⁾ Assoc. Prof., Yokohama National Univ., Dr. Eng.

⁴⁾ Lecturer, Osaka Institute of Technology, Dr. Eng.

⁵⁾ Assist. Prof., The Univ. of Tokyo, Ph. D.

⁶⁾ Assist. Prof., Chiba Univ., Dr. Eng.

数を、ブレース種別ごと、用途種別ごとにわかるように示したものが図1である。なお、一棟に複数の種類のブレースが用いられている場合には、両方の種別でカウントしている。

最も多く用いられていたのは山形鋼であり、ターンバックルブレース、円形鋼管と続く。「屋内運動場・格技場」に分類される建物では、桁行方向に山形鋼ブレースが用いられ、梁間方向はラーメン構造としているものが典型的であった。一方、「屋内運動場・格技場」以外の建物については、ターンバックルブレースが用いられるケースが相対的に多かった。

2.3 調査建物の建設年代とブレース種別

建設年代については既報¹⁾と同様、対象とする建物を、(a) 1981 年以前建設で未診断あるいは未補強の建物、(b) 1981 年以前建設で補強済あるいは診断の結果補強不要とされた建物、および (c) 1982 年以降建設の建物、の3種類に分類した。この年代分類ごと、各ブレース種別ごとの棟数を示したものが図2である。図2には塗り分けにより被害の状況も示してあるが、それについては3.2 節で説明する。

今回調査した建物で、(a)未診断あるいは未補強の建物 においては、ターンバックルを用いたものが最も多く、これに山形鋼が続いている。一方、(b)補強済み・補強不要、あるいは(c)1982 年以降建設の建物においては、山形鋼を用いた建物が大部分を占めている。

3. 鉛直ブレース被害の被害レベル

本章では、ブレース種別ごと、建物ごとについて、鉛直ブレース被害程度の全体概要を述べる。まず3.1 節では被害レベルの定義を示し、これにもとづいて分類整理した結果を3.2 節で報告する。

3.1 被害レベルの定義

鉄骨造建築物の被災度区分判定調査表²⁾から、鉛直ブレースの被災度判定区分に関する部分を表1に示す。本報でも基本的にこれに基づいて分類を行うが、より損傷の程度を適切に評価することを目的として、同等と考えられる被害を付け加えた部分がある。追加した部分を含め、以下に分類基準を示す。

被災度区分 0s

被災度区分 0s は、鉛直ブレースおよび接合部分について、座屈、降伏、ボルト滑り、破断等の被害がまったく観察されなかったものとした。ただし、ターンバックルにおいては、たわみが観察されていたとしても、降伏が目視で確認できなかった場合には「無被害」と判断し、0s に分類した。

被災度区分 Is

座屈によるわずかなたわみが観察されるが、明確に降伏現象が目視により観察されないものを被災度区分 Is に分類した。Is に分類された例を図3(a)に示す。表1に示したように、被災度区分の Is に該当する被害は「圧縮筋かい」のわずかな座屈変形と定義されている。しかし本報では IIIs に該当するような明らかな軸降伏は観察されないものの、局所的な塑性化を伴うわずかなたわみが観察された場合には、そのブレースが損傷を受けていることから、被災度区分 Is として分類した。

被災度区分 IIs

被災度区分 IIs は、「ボルト滑り」あるいは「降伏」が観察されたものとした。ここで「ボルト滑り」とは、ボルトの周辺や接合板の境界の塗料の剥れ等により、明らかにボルト接合部が滑ったことが観察でき

(a) 未診断、または未補強の建物

(b) 補強済み、または補強不要の建物

(c) 1982年以降建設の建物

図2 ブレース種別ごと棟数および被災度区分

表1 被災度区分²⁾

筋かい構造の被災度区分	筋かい構造の被害
0s	(以下に該当無し)
Is	圧縮筋かいのわずかな座屈変形
IIs	高力ボルトの滑り、引張筋かいの降伏
IIIs	筋かい破断 20%以下
IVs	筋かい破断 20%～50%
Vs	筋かい破断 50%超
VIIs	倒壊

るもの、およびボルトが明らかに緩んでいるものと定義した。この例を図3(b)に示す。

また「降伏」とは、大きな残留変形や塗料の剥れなどにより、目視で降伏が観察されたものと定義した。この例を図3(c)に示す。表1の定義においては、「引張筋かいの降伏」と限定されているが、本報ではブレース本体やターンバックル接合部の羽子板、ガセットプレートなどの部分が座屈により曲げ降伏したものについても「降伏」とであると判断し、IIs に分類している。他の例としては、枠式ターンバックル胴の伸び変形や有効断面部分の降伏が代表的なものである。

被災度区分 IIIIs ～ Vs

完全に破断しているもの、あるいは断面に絞りやき裂が観察され、耐力が低下していると考えられるものは「破断」と判断した上で、表1に示された破断ブレース数の割合に基づき、IIIs ～ Vs に区分した。「破断」が観察された箇所の具体例を図3(d)に示す。ボルト破断、ボルト接合部破断(有効断面破断、縁端部破壊)、ターンバックル破断、ガセット溶接部破断(柱との接合部および鋼管との接合部)、ねじ部破断(ターンバックルや鋼管のねじ部)などがある。なお、軽量形鋼による構造で、ブレース端部のフック状になっている接合部が外れて脱落した被害についても、ブレース耐力が完全に失われているという点で「破断」に分類した。

図3 被害の分類例

3.2 ブレース種別ごとの各被害レベル建物数およびその推移

前出図2には、各ブレース種別ごとの棟数に加え、色分けにより被災度区分をあわせて示している。各色分けは、棒グラフの根元から、「Vs」～「0s」としている。

図2(a)に示した未診断あるいは未補強の建物については、調査数全体に比して破断(IIIs～Vs)の数が多い。特にターンバックルブレースの破断数は全ブレース種別の中で最も多く、調査した建物の7割以上で破断が観察されている。円形鋼管および平鋼ブレースについては調査数が少ないが、用いられていた全建物で破断している。一方、図2(b)および(c)は、補強済・補強不要、および1982年以降建設の建物の被害を示している。図2(a)と比較すると、破断被害が著しく減少するとともに無被害の事例が増加しており、耐震補強および新耐震設計法によって、一定の耐震性能が確保されていることがわかる。

4. 鉛直ブレースの被害事例

鉛直ブレースの被害事例は、ブレース種別ごと特有のものもあるがブレース種別にかかわらず共通のものも多い。そこで本節でまずブレース種別ごとの被害箇所を概観し、次節でそれぞれの被害事例について説明を行うこととする。

4.1 ブレース種別ごとの被害箇所

観察された被害箇所をブレース種別ごとにまとめて示したものが図4である。今回観察された被害のうち、破断に至った被害はすべて接合部付近で生じたものである。全てのブレース種別に共通する被害としては、端部のボルト接合部付近における有効断面破断・ボルトせん断破壊、ガセットプレート溶接部破断等が挙げられる。

また、破断に至らない被害としては、引張力により伸び変形が生じたのち圧縮力を受けたことによるたわみや曲げ座屈による降伏が多く

図4 ブレース種別ごと被害箇所

観察された。特に円形鋼管や山形鋼ブレースでは、ブレース本体の曲げ剛性が比較的高いため、座屈による曲げ変形がガセットプレート部分に集中している例が観察される。

これらの被害箇所および形態はいずれも過去の地震被害^{例えば3)4)}で観察されたものであり、特に新しい被害形態は見られなかった。

なお、ターンバックルブレースにおいては、棒式ターンバックルの胴およびねじ部の引張破断が8棟で観察された。このうち7棟は1981年以前の未補強建物であった。建築用ターンバックルのJIS規格に、ねじ製法を転造法に限定したり、胴の品質規定の強化するなどの変形能力確保の規定が追加されたのは1982年であり⁵⁾、これが指定建築材料となったのは2000年のことであるから¹⁾、この7棟の被害は古い規格のターンバックル、または建築用JIS規格材でないターンバックルによるものである。残りの1棟は図2(c)に現われている1982年建設の建物であるが、これについても古い規格のもの、またはJIS規格材でないものの被害であると考えられる。

4.2 被害事例

①たわみ、座屈およびこれに伴う曲げ変形

すでに図3(a)および(c)に示したように、山形鋼ブレースやターンバックルブレースおよび平鋼ブレースは通常、圧縮力への抵抗を期待せずに設計されるため、断面が小さく、圧縮力を受けると即座に座屈を生じる。今回の被害調査においても、これらのブレースが曲がっているものが多数観察された。図5(a)は、より変形が進んで、局部座屈を生じたもの、図5(b)はターンバックルブレースのたわみの例である。

このような変形が生じた際の伸び変形量がどの程度であるかを考えてみる。図6には、参考文献6)に従って計算した、伸びと中央部たわみの関係を示す。横軸が塑性率あるいは伸び、縦軸が中央部のたわみを表す。右軸および上軸には、ブレース長さ $L=5000\text{ mm}$ 、降伏伸び変形 $\delta_y=10\text{ mm}$ の場合を例として具体的な変形量を示している。この例からわかるように、中央部のたわみは 100 mm (ブレース全長の2%)に達する大きなものであったとしても、引張塑性変形量は 5 mm (降伏変形量の半分)程度という小さなものである。今回の調査でも、 $100\sim 200\text{ mm}$ 程度のたわみは多く観察されているが、それでも塑性率では $2\sim 3$ 程度であり、伸びとしては大きなものではないと言える。

②ガセットプレートの曲げ変形

山形鋼ブレースや円形鋼管ブレースが圧縮力を受けると、ブレース本体にはある程度の曲げ剛性がある一方、ガセットプレートは曲げ剛性が小さいため、座屈による曲げ変形がガセットプレートに集中することがある。この例を図7に示す。この例では、ガセットプレートの塗装が折れ曲がりに沿って剥離しており、この部分に大きな塑性変形が加えられたことがわかる。

③山形鋼ブレースの破断

引張力による山形鋼ブレース本体の破断被害は、全てボルト孔周辺の有効断面破断や縁端部破壊によるものである。これらの被害事例のなかには、山形鋼ブレースのたわみが観察されており、山形鋼ブレースが多少伸びた後に接合部が破断したことが推定されるものもある。しかし、塗装の剥れ等の降伏の痕跡は破断箇所や折れ曲がり箇所周辺に限定されており、接合部が破断する以前に、山形鋼ブレース本体が全長にわたって十分な塑性変形をしたと認められる例は観察されなかった。図2に示したように、山形鋼ブレースで破断を生じたものは、すべて建設年が1981年以前であり、保有耐力接合にはなっていない。

前出図3(d)および図8(a)は有効断面破断の例である。図8(a)に示した山形鋼ブレース端部被害を見ると、塗装の剥離はボルト孔周辺に集中しており、塑性変形がこの部分に集中したことを示している。また、第二ボルト孔周辺部も若干のくびれが観察される。設計図書には、鋼材の材質はSS41相当品、特記なき高力ボルトはF10Tとの記述が見られ、これに基づいて計算すると、このブレース軸部の降伏耐力はおよそ 180 kN 、山形鋼の有効断面破断で決まる接合部の最大耐力⁷⁾はおよそ 140 kN と算出される。このように、ブレース本体の降伏耐力の8割程度しかなく、ブレース本体が塑性変形する以前に接合部が破断に至ったことが説明される。

一方、図8(b)は片側のへりあき部分が破断してボルトが抜けだしたものである。このブレースは山形鋼 $L-50\times 50\times 6$ であるのに対し、ボルトが $M20$ であるため、最小縁端距離⁸⁾である 26 mm が確保できておらず、この部分が早期に破壊したものである。

図8(c)は第一ボルト孔で有効断面破断したものであるが、破断面をあわせてみると、 30 mm 弱ほど伸びていることがわかる。このブレースの全長は 4350 mm であったことを考えれば、全長に対しておよそ 0.7% 程度の伸び変形の後に破断したことになり、破断までの伸び量は小さい。

④ガセットプレートおよび羽子板の破壊

図9(a)は鉛直ブレースを止めていたボルトが板から抜けだした、は

(a) 局部座屈 (b) ターンバックルブレースのたわみ

図5 たわみ・座屈

図6 平均伸び変形量と中央部たわみの関係⁴⁾に基づき作成

(a) ガセットプレートの折れ曲がり (b) (a)を上からみたところ

図7 ガセットプレートの曲げ変形

(a) 有効断面破断

(b) へりあき不足による破断 (c) 破断伸び量

図8 ブレース本体の破断

しあき破壊の例である。この箇所は、当初の設計ではブレースが付くところではなかったが、利便のために隣接構面に設置予定だった鉛直ブレースを移動してこの箇所に設置したものである。既存のガセットプレートを利用してボルト孔を設けたために、十分なしあきが取れずに、破壊したものと考えられる。

また、図9(b)はターンバックルブレースの羽子板のしあき破断の例である。ガセットプレートや羽子板が小さく、しあきも小さかったために軸部降伏に先行して破断したものである。

⑤接合部ボルト破断

山形鋼ブレース、ターンバックルブレースおよび円形鋼管ブレースについて、端部ボルト接合部のボルトが破断しているものが観察された。一例として、ターンバックルブレース端部の破壊例を図10に示す。これは前述図8(a)の被害建物に設置されていたターンバックルブレース端部の被害である。ブレース軸部は $\phi 22$ の丸鋼、端部接合部は1-M22、PL-9となっている。接合部ボルトが設計図書どおりF10Tだったとすると、1面せん断の最大耐力は228kNである⁹⁾。一方、丸鋼軸部の最大耐力は152kNと計算される。このように高力ボルトであれば、接合部ボルトの最大耐力は軸部最大耐力よりも5割程度大きく、ボルト破断は起こらないが、中ボルトが使われていたため、ボルトが破断したものである。

⑥ガセット接合部破断

図11(a)はH形鋼柱のウェブに隅肉溶接されていた、山形鋼ブレース端部のガセットプレートが抜けだして破壊した例である。図11(b)は同じ箇所を柱H形鋼ウェブの反対側から撮影したものであるが、ガセットプレート側からの亀裂が柱H形鋼ウェブを貫通して手前に現れている。

設計図面および現場での観察によれば、少なく見積もっても、有効溶接長さは片側でおよそ200mm程度である。降伏応力度を235N/mm²、隅肉サイズ6mmとすると隅肉溶接部の降伏耐力はおよそ220kN程度と推定される。一方、山形鋼ブレース(L-75x75x6(SS400))端部の有効断面破断で決まる最大耐力⁷⁾は205kN程度であり、この溶接部分の耐力はある程度確保されているものと推定される。したがって、この破壊は隅肉溶接が不適切だったのではなく、柱ウェブに直接溶接されるディテールだったために、ウェブが局所的に著しい面外曲げ変形を受けてこの部分が破断したものと考えられる。

⑦ターンバックルの降伏・破断

調査した建物に用いられていたターンバックルは、枠式とパイプ式の2種類であったが、ターンバックル胴が破断しているものはすべて枠式のものである。図12(a)および(b)は、枠式ターンバックル本体が破断している例を示す。図12(a)は、枠の一方が破断したものであるが、丸鋼ブレース軸部の塗装は健全であり、破断箇所以外には降伏の形跡は観察されない。また図12(b)は完全に破断した例であるが、枠の端部とねじ部の塗装がはがれており、この部分に塑性変形が集中した結果、最終的に枠が破断していることがわかる。前述したように、いずれも古い規格のターンバックルであり、十分な耐力と変形能力を有しなかったため破断に至ったものである。

⑧ターンバックルねじ部の破断

図13はねじ部破断の状況を示す。(a)はパイプ式ターンバックルのねじ部での破断である。前出図12(b)でも見たように、ターンバックルねじ部ではかなりの伸び変形が生じ、限界に達するところで破断する。

(a) ガセットプレートの破壊

(b) 羽子板の破壊

図9 ガセットプレートのはしあき破壊

図10 ターンバックルブレース端部のボルト破断

(a) 柱ウェブからの抜け出し

(b) (a)のウェブ反対側

図11 ガセット接合部破断

(a)

(b)

図12 ターンバックルの破断

(a) ねじ部破断

(b) ねじ抜け

図13 ターンバックルねじ部破断

また、図13(b)は、ターンバックル上側のねじ部が大きく伸びてしまい、ターンバックルから抜け出してしまったものである。破断したものはいずれも切削ねじであり、ペイントの剥離がねじ部のみに集中していることから、ねじ部に塑性変形が集中していることがわかる。

⑨ターンバックル丸鋼圧接部の破断

図14(a), (b) は、ターンバックルブレースの丸鋼圧接部の破断の例である。この部分は径の異なる丸鋼を圧接したものであるが、いずれも十分な伸び変形をせずに破断している。破断面はほぼ平らで一部錆びている箇所があることから、断面の周囲のみが圧接されていて十分な伸び変形をせずに破断してしまった可能性がある。

⑩ターンバックルブレース端部接合部の破断および外れ

簡易な鉄骨構造物では、丸鋼の端部を曲げて、ボルトの頭や孔に引っ掛けるようにして接合されたブレースが見られ、これらにも被害が観察された。図15(a)は、ターンバックルブレースの端部をボルトの頭に引っ掛ける形の接合部であるが、引張力により曲げた部分が開きかけている。図15(b)は、ターンバックルブレース端部を曲げてねじを切り、孔を通して反対側でボルトで止めているディテールであるが、ブレースを曲げた部分で破断している例等が観察された。

⑪円形鋼管端部接合部の破断

図16(a)は、円形鋼管ブレースの端部接合部が割り込んで溶接してあるところで破断している例である。破断の要因としては、溶接部の設計・施工に問題があった可能性のほか、接合しているガセットプレートも大きく面外に曲がっており、ブレースが圧縮力を受けた際に座屈によりガセットプレートに過度な曲げ変形が生じ、これが破壊を導いた可能性も考えられる。また図16(b) は、鋼管に直接ねじを設けた接合部において、ねじ部が破断した例である。ねじ部の欠損断面積のため、この部分から早期に破断したと考えられる。

5. まとめ

本報では、前報¹⁾でその概要を報告した鉄骨造文教施設被害のうち、鉛直ブレース被害について詳細に報告した。調査対象とした建物のうち、1981年以前建設かつ未補強の建物において鉛直ブレース破断の被害が多い一方、補強済み・補強不要、または1982年以降建設の建物では破断被害が少なくなっていることがわかった。

個別の破断被害としては、有効断面破断、縁端部破壊、ねじ部破断、溶接部破断など、様々な様態が観察されたが、いずれにも共通しているのは、ブレース本体が十分な塑性変形能力を発揮しないまま破断している点である。破断までの伸び変形量は、計測できたもので20～30mm程度、ブレース全長に比して1%程度以下であった。他の多くのブレースについても、観察された破断後の変形状態から、破断までの伸び変形はおおよ同程度以下であったと推測される。一方、1982年以降建設あるいは補強済み・補強不要の建物では破断の被害が少なかったことから、鉛直ブレースを保有耐力接合となるように設計しブレースの伸び変形能力を向上させることが鉛直ブレース破断被害の低減に有効である、ということが再確認された。

はしき・へりあき不足、面外曲げ拘束のためのスチフナ欠損、中ボルトの利用、ブレース軸部に切り欠きを設けてしまったものなど、明らかに不適切な設計・施工による被害もあった。このような不適切な設計・施工は最近では減少してきていると思われるが、被害の発生を防ぐために今後も継続して注意を喚起してゆくことが重要である。

(a) (b)

図14 丸鋼圧接部破断

(a) (b)

図15 ターンバックルブレース各種端部接合部の破断

(a) 割り込み継手の破断

(b) ねじ込み継手の破断

図16 円形鋼管接合部の破断

謝辞

本報告で取りまとめた調査にあたっては、植松 康先生(東北大学)、五十子幸樹先生(東北大学)、ガヴァンスキ江梨先生(東北大学)、見波 進先生(東京電機大学)、池永昌容先生(東北大学)、伊藤拓海先生(東京理科大学)、田中剛先生(神戸大学)、浅田勇人先生(神戸大学)をはじめ、耐震性能等小委員会委員各位のご協力を得た。また、調査対象となった施設では、施設関係職員の方々の多大なるご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 山田 哲 他：東北地方太平洋沖地震等で被災した鉄骨造文教施設の調査-調査の概要-、日本建築学会技術報告集、第40号、pp. 935-940、2012.10
- 2) 日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 第2版、2002.8
- 3) 日本建築学会 学校建築委員会 耐震性能小委員会：文教施設の耐震性能等に関する調査研究報告書、1996.3
- 4) 日本建築学会 文教施設委員会 耐震性能小委員会：文教施設の耐震性能等に関する調査研究報告書、2005.3
- 5) 日本鋼構造協会：建築用ターンバックル設計施工指針・同解説、JSS IV 01-2005、p.v、2005.
- 6) 齊藤諭、吉敷祥一、浅田勇人、山田哲：接合部を含む引張ブレース部材の面外変形と損傷の関係、2011年度日本建築学会関東支部研究報告集Ⅰ、pp. 565-568 (No.2094)、2012.3
- 7) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、6.1.2節、pp. 263-264、2012
- 8) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、2.1.2節、p.45、2012
- 9) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針、付2、p. 371、2012

[2012年6月20日原稿受理 2012年8月7日採用決定]