東北地方太平洋沖地震および余震による学校体育館の構造被害

STRUCTURAL DAMAGE ON SCHOOL GYMNASIUMS DUE TO THE 2011 TOHOKU EARTHQUAKE

山田 哲 ——— * 1 伊山 潤 ——— * 2
島田侑子 ——— * 3 松本由香 ——— * 4
長谷川 隆 ——— * 5 清家 剛 ——— * 6
中野達也 ——— * 7 吉敷祥一 ——— * 8

Satoshi YAMADA ——— * 1 Jun IYAMA ——— * 2
Yuko SHIMADA ——— * 3 Yuka MATSUMOTO — * 4
Takashi HASEGAWA ——— * 5 Tsuyoshi SEIKE ——— * 6
Tatsuya NAKANO ——— * 7 Shoichi KISHIKI ——— * 8

キーワード：
2011 年東北地方太平洋沖地震、震動被害、体育館

Keywords:
2011 Tohoku earthquake, Damage due to earthquake, Gymnasium

In order to clarify structural damage on school gymnasiums due to the 2011 Tohoku Earthquake, total 1611 of school gymnasiums in Iwate Prefecture, Miyagi Prefecture, Fukushima Prefecture, Ibaraki Prefecture, and Tochigi Prefecture were investigated. More than 70% of investigated school gymnasium were slightly damaged or not damaged. On the other hand, about 6% of school gymnasium built in or after 1982 were seriously damaged. Moreover, in this paper, structural elements damaged seriously in the school gymnasiums built in 1982 or afterwards were examined.

1. はじめに

既報¹⁾では、設置者である自治体等から「顕著な被害が見られたことで、改築するかあるいは補修するかの判断に迷う建物」として文部科学省を通じて調査依頼のあった文教施設のうち、日本建築学会 耐震性能等小委員会 S-WG で調査を行った、147 棟の体育館・格技場を含む 216 棟の鉄骨造文教施設に関する被害調査結果の概要を報告した。しかしながら、この調査は要請を受けて調査を行った被災建物に限定されることから、調査結果が被災地に建てられていた鉄骨造文教施設の被害状況を包括するものではない。そこで、震動被害を受けた学校体育館を対象を絞ったうえで、東北地方太平洋沖地震及び余震による震動被害の全貌を把握するために、設置者である自治体から文部科学省へ提出された学校施設の災害復旧資料のうち、東北地方太平洋沖地震で多くの建物が震動被害を受けた岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の学校体育館について、被害の有無・程度、建築年、耐震診断・補強の実施状況、Is 値等を取りまとめた。併せて、2011 年度に行われた国土技術政策総合研究所と建築研究所(以下「国総研・建研」と記載)による学校体育館の被害調査結果^{2),3),4)}も取り込み、上記 5 県における学校体育館の震動被害を分析した。本報では、構造被害に関する調査結果を報告する。

2. 調査・分析の対象と被害の評価

本報告において調査・分析の対象としたのは、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の公立小学校、公立中学校および公立高等学校の体育館 1611 棟であり、2011 年度に文部科学省からの委託により耐震性能等小委員会 S-WG で調査を行った鉄骨造文教施設のうち震動被害を受けた学校体育館 111 棟と、2012 年度に文部科学省の災害復旧資料を調査した 1473 棟、ならびに国総研・建研によって被害調査が行われた学校体育館のうち前述の調査と重複していない 27 棟である。調査・分析の対象とした 5 県の公立小学校、公立中学校および公立高等学校は、2012 年現在 3654 校(文部科学省：平成 24 年学校基本調査による)である。1 校に 2 棟以上体育館がある学校もあるが、本報告のデータベースには 4 割近くの学校体育館が含まれていると思われる。なお、本報告では学校体育館の震動被害を調査分析の対象としており、津波被害については対象としていない。

災害復旧資料に基づく調査では、被災状況に関する記述、被災状況の写真、図面および施設台帳の写しにより構造部材、接合部、非構造材等の被災状況、建物の建築年、耐震診断・補強の実施状況を確認し、「震災建築物の被災度区分判定基準」⁵⁾に拠り被災度の判定を行った。国総研・建研による調査結果についても同様に、被災状況等の情報を抽出するとともに、被災度の判定を行った。また、2011 年度に調査を行った学校体育館についても、その後の詳細調査等で新たな事実が判明したものについては被災度の見直しを行った。

¹⁾ 東京工業大学建築物理研究センター 准教授・博士(工学)
(〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259)

²⁾ 東京大学建築学専攻 准教授・博士(工学)

³⁾ 千葉大学建築・都市科学専攻 助教・博士(工学)

⁴⁾ 横浜国立大学都市イノベーション研究院 准教授・博士(工学)

⁵⁾ 建築研究所構造研究グループ 主任研究員・博士(工学)

⁶⁾ 東京大学社会文化環境学専攻 准教授・博士(工学)

⁷⁾ 宇都宮大学地球環境デザイン学専攻 准教授・博士(工学)

⁸⁾ 大阪工業大学建築学科 講師・博士(工学)

¹⁾ Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

²⁾ Assoc. Prof., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

³⁾ Assist. Prof., Chiba Univ., Dr. Eng.

⁴⁾ Assoc. Prof., Yokohama National Univ., Dr. Eng.

⁵⁾ Senior Researcher, Building Research Institute, Dr. Eng.

⁶⁾ Assoc. Prof., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

⁷⁾ Assoc. Prof., Utsunomiya Univ., Dr. Eng.

⁸⁾ Lecturer, Osaka Institute of Technology, Dr. Eng.

3. 調査・分析結果

3.1 対象地域における震動被害の分布

東北地方太平洋沖地震等による学校体育館の震動被害を分析するにあたり、まず調査・分析の対象とした岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県において学校体育館の震動被害がどのように分布していたかを把握するため、地図上に各施設の被災度をプロットし図1に示す。図中●, ●, ○はそれぞれ大破, 中破, 小破に区分される被害を受けた学校体育館を表し、・は軽微に区分される被害を受けた学校体育館あるいは被害が報告されていない学校体育館を表す。この図から、大破・中破に区分される大きな被害を受けた学校体育館が広範囲に分布しており、今回の震災で広い地域で大きな震動被害が発生していたことがわかる。

3.2 調査・分析対象の属性

本報告における調査・分析の対象とした学校体育館の建築年代を図2に示す。1981年以前に建てられたものと1982年以降に建てら

図1 調査対象とした学校体育館の被災度分布

図3 建築年代ならびに耐震診断・補強の実施状況で分類したグループごとの学校体育館の被災状況

れたものがほぼ半数ずつであり、1971年から1981年の間に建てられたものが最も多い。

調査・分析の対象とした学校体育館を、建築年代および耐震診断・補強の有無で分類し、①新耐震基準で建てられた学校体育館(これ以降「新耐震の体育館」と呼ぶ)、②耐震補強工事が施されている学校体育館(これ以降「補強済の体育館」と呼ぶ)、③耐震診断の結果Is値が0.7以上であると判定された学校体育館(これ以降「補強不要の体育館」と呼ぶ)、④耐震診断が実施されていない、あるいは耐震診断の結果Is値が0.7を下回っているが耐震補強工事が実施されていない学校体育館(これ以降「未対応の体育館」と呼ぶ)、⑤建築年代や耐震診断・補強の実施状況あるいは耐震診断は行われているものの診断値が不明である学校体育館の5つのグループに分類した。各グループに属する学校体育館はそれぞれ764棟、274棟、70棟、445棟、58棟である。

3.3 学校体育館の建築年代、診断・補強の有無と被災度の関係

①～④の各グループについて、被災度の頻度分布を図3に示す。まず、軽微に区分される震動被害を受けたあるいは無被害であった学校体育館の割合であるが、新耐震の体育館では77%、補強済の体育館では77%、補強不要の体育館では70%、未対応の体育館でも70%と、最も耐震性能が劣るとされる未対応の体育館でも7割程度、新耐震や補強済の体育館では8割程度が軽微な被害以下であった。本報告における調査・分析の対象外である災害復旧資料が出されていない施設の多くは、顕著な被害を受けていないと考えられることから、調査対象とした5県の学校全体(3654校)において、8割以上の学校体育館では震動被害の程度が軽微あるいは無被害であったと考えられる。

図2 調査対象とした学校体育館の建築年代

また、グループごとに大破・中破に区分される大きな被害を受けた建物の割合を比較し図 4 に示す。新耐震の体育館においては 6% 程度が大破・中破に区分される大きな被害を受けたのに対し、補強済あるいは補強不要の体育館で 4% 程度と、大きな被害を受けた建物の割合は低くなっている。特に補強済の体育館では大破に区分される被害を受けた建物の割合が低い。一方、未対応の体育館では 13% 程度で大破・中破に区分される大きな被害を受けている。

なお、グループ⑤建築年代や耐震診断・補強の実施状況あるいは耐震診断は行われているものの診断値が不明である学校体育館の被災度は小破以下であり、8 割以上が軽微・無被害であった。

3.4 大きな被害を受けた構造要素

①～④のグループごとに、被災度区分判定においてⅣ s・Ⅴ s に区分される大きな被害を受けた構造要素を図 5 にまとめる。新耐震の体育館において柱脚あるいは定着部の被害が多く、未対応の体育館において鉛直ブレースの被害が多いことは、学校体育館以外の文教施設も含む 2011 年度の調査結果¹⁾とも対応するが、新耐震の体育館においてⅣ s・Ⅴ s に区分される大きな被害を受けた鉛直ブレースが多くなっている。柱脚および鉛直ブレースなど構造要素の被害については、2011 年度の調査結果を分析し報告しているが^{1),6),7)}、調査数が増えたことから、グループごとの被害の特徴について改めて報告する。

①新耐震の体育館

新耐震の建物においてⅣ s・Ⅴ s に区分される大きな被害を受けた鉛直ブレースの内訳であるが、14 件中 2 件が丸鋼であり、内 1 件が既報¹⁾写真 1(2)に示したターンバックル胴での破断、もう 1 件がねじ部での破断である。胴で破断したターンバックルブレースが使われていた体育館の建築年は建築用 JIS ターンバックルが指定建築材料になった 2000 年より前の 1991 年であり、建築用 JIS ターンバ

ックルが使用されていなかったことが原因であると考えられる。一方、ねじ部での破断が報告されていた体育館の建築年は 2001 年であるが、建築用 JIS ターンバックルが指定建築材料となる前に確認申請が行われたことで、建築用 JIS ターンバックルが使用されていなかった可能性が考えられる。

また、14 件中 9 件は円形鋼管を軸材に用いた鉛直ブレースの破断である。9 件で見られた破断位置を図 6 に示す。新耐震の体育館における円形鋼管ブレース端接合部の破断は 2011 年の調査では 1 例しか見つからなかったが、今回多くの被害例が見つかった。図中では破断位置の合計が 11 となっているが、1 件で 2 つ以上の位置での破断が見られた例があったことによる。端部に板を割り込んで接合部を作った円形鋼管ブレースが座屈すると、図 7 に示すように割り込まれた鋼板と円形鋼管の境に塑性ヒンジができ、この部分に変形が集中する。また、一枚のガセットプレートで一面せん断により接合されていると、接合部自体に偏心曲げが生じることから座屈しやすい。写真 1(1)に例示する割り込みプレートの破断は、座屈により大きく曲げられた箇所が引っ張られ、破断したと考えられる。このよ

図4 大破・中破に区分される被害を受けた学校体育館の割合

図5 大破あるいは中破に区分される被害を受けた学校体育館でⅣ sあるいはⅤ sの被害を受けた構造要素

図6 円形鋼管ブレースにおける破断位置

図7 円形鋼管ブレースの座屈変形

うなモードでの座屈に関する研究は比較的新しく^{8),9),10)}など、最近まで接合部に変形が集中して座屈することは意識されてこなかった。今後の設計でも注意が必要な点である。このほか、接合部を組み立てる溶接が破断している例も見られた。

残る 3 件は山形鋼ボルト孔位置での有効断面破断である。いずれも山形鋼はシングルで用いられており、ペイントのはがれ具合から軸降伏する前に接合部で破断していたと判断した。また、補強済で鉛直ブレースの破断が見られた 2 件もシングルで用いられた山形鋼の破断であり、同様に軸部降伏前に接合部で破断していたと判断した。写真 1(2)に、山形鋼ブレースの有効断面破断の例を示す。また、これら 5 件の断面とファスナーを表 1 に示す。t は板厚が読み取れなかったもの、HTB は強度種別が読み取れなかったものである。表中には断面寸法とボルト径がわかったものについて、ボルト孔による断面欠損と突出脚の無効領域を引いた有効断面積 A_e の母材断面積 A に対する比率 A_e/A と、山形鋼の有効断面破断で決まるとして計算した接合部係数の値を示している。 A_e/A の値は 0.71 ~ 0.74 となっているが、鋼材の降伏比が A_e/A より高ければ、ボルト孔位置における破断が軸部の降伏に先行する。断面寸法とボルト径のわかっていないものの接合部係数は、いずれも建築基準法における保有耐力接合の条件¹¹⁾である 1.2 を満足しており、中には鋼材の強度のばらつきも考慮して設定されている鋼構造接合部設計指針¹²⁾の接合部係数 1.25 を満足しているものもあるが、比較的降伏比が高い材が使用されていたことによって、軸降伏前に接合部で破断したものと考えられる。山形鋼は降伏比が保証されていない鋼種が使われることが多く、また SN 材であっても降伏比の上限は 80%であることから、ボルト孔による断面欠損と突出脚の無効領域を引いた有効断面積 A_e の母材断面積 A に対する比率 A_e/A が 0.8 を下回るような小さな断面の材では軸降伏を保証することはできない。軸降伏が保証されている建築用 JIS ターンバックルが使用できる場合には、建築用 JIS タ

ーンバックルを使用するのが確実である。

一方、柱脚・定着部の被害であるが、23 件中 4 件が純鉄骨造である S タイプの体育館における柱脚アンカーボルトの破断、4 件がギャラリー下までが RC 構造で、ギャラリーより上が鉄骨造となっている RS タイプの体育館における柱脚アンカーボルトの破断、残る 15 件が RC 構造の上に鉄骨の屋根架構がある R タイプの体育館における定着部アンカーボルトの破断である。S タイプと RS タイプの 8 件はいずれも 2000 年以前に建てられた体育館であり、桁構面の鉛直ブレースからの引張りと梁間方向の曲げを受けた柱脚において、切削ねじが早期に破断したものである。R タイプの 15 件についても、最も建築年の新しいものでも 2002 年であり、ABR・ABM といった伸び能力の保証されたアンカーボルトが使用されていなかったと考えられる。また、15 件のうち 4 件ではコンクリートの側方破壊も見られた。

定着部が受ける変形や応力と被害の関係において特徴的な例として、R タイプでアンカーボルトが破断した 15 件のうち 5 件では、写真 1(3)に例示するようにルーズホールルの可動限界を超えて変形して、アンカーボルトが破断していた。これらの例では、屋根架構と下部 RC 構造間に設計上の想定を超える相対変形が発生したことで、定着部に被害が発生している。また他の 1 件では、写真 1(4)に示すように、キールトラスの定着部においてアンカーボルトが破断してい

表1 破断した山形鋼の断面とファスナー

グループ	部材断面	ファスナー	A_e/A	接合部係数※
新耐震	L-75×75×9	5-HTB		
新耐震	L-75×75×9	5-M16,HTB	0.74	1.26
新耐震	L-65×65×6	5-M16,F10T	0.73	1.24
補強済	L-75×75×6	4-M16,F10T	0.71	1.20
補強済	L-65×65×t	5-M16,HTB		

※母材の有効断面破断で決まるとして計算した値

(1) 円形鋼管ブレース端部での破断(新耐震)

(3) 可動部を超えた変形(新耐震・定着部)

(2) 山形鋼ブレースの有効断面破断(補強済)

(4) キールトラス定着部におけるアンカーボルト破断(新耐震)

写真1 構造要素の被害例

図8 構造概要

た。図8に構造の概要と破断箇所を示す。このような構造形式では、桁面に耐震要素を配置する架構形式と異なり、桁行方向に水平力が作用するとキールトラスに応力が集中する。写真1(4)の例では、定着部に作用する応力が設計時の想定を上回っていたと考えられる。定着部に作用する応力は、屋根の架構形式や架構形状、RC構造との強度・剛性バランスなどによって変化することから、これらの要因を考慮して設計を行う必要があるが、異なる構造種別間の応力伝達および変形適合に関わる問題であり、適切に評価することは非常に難しい。特に特殊な架構形式を採用する場合には、応力の流れや振動特性がより複雑になることから、慎重に作用応力を評価し、状況に応じて十分な余力を見込んでおく必要がある。

その他の部材の5件は、トラス梁の斜材座屈が1件、屋根架構を構成する立体トラスの軸材の座屈が4件である。立体トラスで軸材が座屈した4件の内3件では、定着部のアンカーボルトも破断していたが、いずれもルーズホールの可動限界を超えており、屋根架構と下部構造の間に設計時の想定を上回る大きな相対変位が生じたことで、定着部に想定外の反力が生じ、定着部・トラス双方に被害が発生したと考えられる。

②補強済の体育館

鉛直ブレースの2件は、新耐震の体育館のところで述べたように、シングルで用いられた山形鋼のボルト孔位置での有効断面破断である。また柱脚・定着部の2件は、いずれもSタイプの体育館における柱脚アンカーボルトの破断であるが、補強対象となっておらず補強前のまま使われていた柱脚でアンカーボルトが破断したものである。これらの被害は新耐震の体育館と共通の被害とも言える。また、その他の部材の2件は、1件が既報¹⁾写真2(1)に示した屋根構面トラスの弦材が座屈したものであり、もう1件は、屋根構面トラスの接合ボルトが破断したものである。

③補強不要の体育館

耐震診断で補強不要と判定された体育館では、2件で鉛直ブレースが破断していたが、1件は山形鋼が非構造材取り付け部との干渉位置で切り欠かれていたことによる破断、もう1件は丸鋼軸部における圧接位置での破断である。前者は壁体に隠れていたことから、診断時の調査で発見できなかったと考えられる。一方後者は、診断時の調査で見落とされた可能性がある。現地調査の重要性が改めて確認できる。

④未対応の体育館

鉛直ブレースの破断が44件であるが、いずれも既報^{1),6)}に報告したものと同様の破断形態であり、保有耐力接合されていない接合部、

あるいは材質等に問題のある部材が破断したものである。柱脚・定着部の被害が10件あるが、このうち7件はSタイプもしくはRSタイプの柱脚において、切削ねじが早期に破断したものである。定着部の被害3件は、1件がアンカーボルトの破断、2件がコンクリートの破壊である。また、その他の部材の2件は、いずれもラチス柱における斜材の座屈・破断である。耐震診断が実施されていないあるいは耐震補強が未対応となっている学校体育館においては、耐震要素の性能が不十分であった場合に大きな被害が発生しており、部材ならびに接合部の耐力・変形能力を踏まえ耐震診断・補強を行うことの必要性が改めて確認できる。

3.5 Isと震動被害の関係

補強済の体育館と、未対応の体育館のうち耐震診断が行われていた体育館では、施設台帳にIs値が記載されている。調査対象とした学校体育館において、Is値がわかっているものについて、度数分布を図9に示す。今回の分析ではIs < 0.7のものを「未対応の体育館」と整理しているが、Is値が0.2～0.4のものが多い。また、補強済あるいは補強不要の体育館では、Is値が0.7～0.9のものが6割を占めている。

次にIs値と被災度との関係について、大破、中破、小破、軽微あるいは無被害の被災度ごとに、学校所在地における最大震度との関係で図10に示す。ここで最大震度は、3月11日の本震および4月7日、4月11日の余震のうちの最大値である。

図9 調査対象とした学校体育館のIs値

図10 被災度ごとのIs値と震度の関係

大破に区分される被害を受けた学校体育館では、Is 値が 0.7 を下回るものが多く、最大震度が 6 弱あるいは 6 強となった地域に多いが、Is 値が低いものでは最大震度が 5 強の地域で大破に区分される被害を受けたものもある。また、補強済あるいは補強不要で大破に区分される被害を受けたものの Is 値は 0.7 を若干上回る程度である。また、中破に区分される被害を受けた学校体育館でも、大破に区分される被害を受けた学校体育館同様、Is 値が 0.7 を下回るものが多く最大震度が 6 弱あるいは 6 強となった地域に多いが、大破に区分される被害を受けた学校体育館よりも Is 値が高いものが含まれている。Is 値が高いことで、被害の程度が低く抑えられる傾向と捉えることができる。

Is 値が 0.7 を超える補強済あるいは補強不要の体育館では、最大震度が 6 強となった地域においても小破以下の被害に留まったものが多い。一方、Is 値が 0.7 を下回る未対応の体育館においても、最大震度が 6 強となった地域において小破以下の被害に留まったものもあるが、補強済あるいは補強不要の体育館に比べると、小破以下の被害に留まる率は低くなっている。

4. まとめ

平成 23 年東北地方太平洋沖地震および余震による、岩手、宮城、福島、茨城、栃木の 5 県における学校体育館の震動被害について、2011 年度に設置者である自治体からの依頼により行った現地調査結果に加え、自治体から文部科学省に提出された学校施設の災害復旧資料を調査し、また、2011 年度に国総研・建研が踏査を行った学校体育館に関する情報も取り込み、構造が受けた震動被害について整理分析を行った。調査対象とした学校体育館の棟数は 1611 棟であり、調査対象地域である 5 県の学校体育館のうち、4 割近くが含まれていると思われる。調査で得られた主な知見を以下にまとめる。

- 1) 調査対象とした学校体育館のうち、新耐震の体育館で 77%、補強済の体育館で 77%、補強不要の体育館で 70%、未対応の体育館でも 70%が、軽微な震動被害に留まったか無被害であった。また、大破・中破に区分される大きな被害を受けた学校体育館の割合は、新耐震の体育館で 6%程度、補強済あるいは補強不要の体育館で 4%程度、未対応の体育館では 13%程度であった。
- 2) 新耐震の体育館で大きな被害を受けた鉛直ブレースの大部分は、円形鋼管に鋼板を割り込んで接合部をつくるタイプのブレースであり、座屈により大きく曲げられた接合部が引っ張られたことで破断したものが多い。また、新耐震の体育館と補強済の体育館では、保有耐力接合されていた山形鋼による鉛直ブレースにおいて、山形鋼のボルト孔による断面欠損位置で破断していたものもあった。同様の被害が生じないよう、今後の設計で注意が必要である。
- 3) 新耐震の体育館で大きな被害を受けた柱脚では、ねじを切削加工されたアンカーボルトがねじ部で破断していた。また、定着部ではコンクリートの側方破壊やルーズホールの可動限界を超えた変形によるアンカーボルトの破断が生じていた。定着部の破壊については、地震時における定着部の応力状態、変形状態を検証し、合理的な設計法を検討する必要がある。

- 4) Is 値と被災度の関係では、Is 値が高い方が被害の程度が低く抑えられる傾向があり、Is 値が 0.7 を超える補強済あるいは補強不要の体育館では、最大震度が 6 強となった地域においても小破以下の被害に留まったものが多い。

謝辞

2012 年度に行った災害復旧資料の調査は、文部科学省に設置された学校施設における非構造部材の耐震対策の推進に関する調査研究・天井落下防止等検討 WG(主査：清家 剛)において行ったものである。調査にあたっては、文部科学省防災推進室ならびに万建築設計事務所梅園雅一氏のご協力を得た。また、国土技術政策総合研究所と建築研究所による被害調査は長谷川隆氏、石原直氏、森田高市氏、岩田善裕氏、脇山善夫氏によって行われた。本報告は、これらの結果を日本建築学会 耐震性能等 WG S+非構造 S-WG(主査：山田 哲)において整理・分析したものである。また、本稿に用いた写真の一部は、2011 年度における調査のものである。2011 年度の調査には東北大学植松 康先生、五十子幸樹先生、池永昌容先生、東京大学小山 毅先生、神戸大学浅田勇人先生はじめ、多くの方々のご協力を得た。ここに記し謝意を表す。

参考文献

- 1) 山田 哲, 松本由香, 伊山 潤, 五十子幸樹, 吉敷祥一, 池永昌容, 島田侑子, 小山 毅, 見波 進, 浅田勇人: 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.941-946, 2012.10
- 2) 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震調査研究(速報), 国土技術政策総合研究所資料 No.636, 建築研究資料 No132, 国土交通省国土技術政策総合研究所, (独)建築研究所, 2011.5
- 3) 長谷川隆, 石原直, 岩田善裕, 森田高市, 脇山善夫: 2011 年東北地方太平洋沖地震における茨城県内の学校体育館の地震被害調査, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集 I, pp.305-308, 2012.3
- 4) 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告, 国土技術政策総合研究所資料 No.674, 建築研究資料 No136, 国土交通省国土技術政策総合研究所, (独)建築研究所, 2012.3
- 5) 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
- 6) 伊山 潤, 山田 哲, 松本由香, 吉敷祥一, 小山 毅, 島田侑子: 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, 日本建築学会技術報告集 第 41 号, pp.147-152, 2013 年 2 月
- 7) 吉敷祥一, 山田 哲, 松本由香, 浅田勇人, 小山 毅, 島田侑子: 東北地方太平洋沖地震等による鉄骨造文教施設の柱脚・定着部被害, 日本建築学会技術報告集 第 42 号, pp.585-590, 2013 年 6 月
- 8) 多田元英, 西 豊, 井上一朗: 管通し平板ガセット形式接合部を有する軸力材の弾性座屈挙動, 日本建築学会構造系論文集, 第 503 号, pp.131-137, 1998.1
- 9) 多田元英, 山田能功: 管通し平板ガセット形式接合部を有する軸力材の非弾性座屈荷重の算定, 日本建築学会構造系論文集, 第 530 号, pp.163-170, 2000.4
- 10) 多田元英, 笠原健志: 管通し平板ガセット形式で一面摩擦接合された軸力材の座屈荷重, 日本建築学会構造系論文集, 第 556 号, pp.181-188, 2002.6
- 11) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会: 2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書, 全国官報販売協同組合
- 12) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針 第 3 版, 2012.3

[2013 年 6 月 15 日原稿受理 2013 年 8 月 21 日採用決定]