

東北地方における既存不適格鉄骨造屋内運動場の耐震性能および 耐震改修に関する調査報告*

東北大学大学院工学研究科 今野 大輔, 渡部 慶, 植松 康

1. はじめに

1995 年の耐震改修促進法の策定により、1981 年に施行された新耐震基準策定以前に建設された既存建築物に対して耐震診断、および耐震改修が徐々に行われてきた。特に、学校施設のような多数の者が利用し、災害発生時には避難所としても用いられるような一定規模以上の建物の中で既存不適格建築物(特定建築物)には、現行の耐震基準に準ずる耐震性能を確保するよう耐震診断、および耐震改修を行うよう強く求められている。文部科学省が発表した全国の公立学校施設の耐震化率¹⁾によると、全国の公立小中学校で 95.6%，高等学校においては 93% の耐震化が完了している。今回調査対象とする東北地方においても表 1 に示すように、一部を除きほとんどの県で全国平均と同等かそれ以上の耐震化率となっている。これまで、膨大な量に及ぶ診断・改修がなされているが、そのデータに対して系統的な整理は行われてはいない。それらのデータを整理することで、耐震診断・改修に関する傾向を明らかにし、地域性等の特徴を見出すことができると考えられる。特に、東北地方においては東日本大震災により学校施設多くの被害を受けており、被害調査結果と耐震診断・改修により示される耐震性能の関係を検討することで、耐震改修の効果を検証できる。

筆者らは、上述した課題に寄与することを目的とし、災害時には避難所としても活用されることから安全性の重要度の高い鉄骨造屋内運動場を対象として、これまで東北地方 3 県(岩手県・宮城県・福島県)における建物の耐震診断傾向分析やその改修方法についての調査研究、データベースの作成を行ってきた^{2),3),4)}。また、既往の研究⁵⁾においては秋田県における 113 件の耐震診断事例について同様の検討が行われている。そこで、本研究においては作成された 3 県のデータベースおよび秋田県の事例に基づき、耐震診断結果や改修方法に関する傾向分析や、その地域性について考察を行う。

表 1 東北地方の学校施設の耐震化率
(平成 27 年 4 月)

| | 小・中学校 | 高等学校 |
|------|-------|-------|
| 青森県 | 96.4% | 98.2% |
| 岩手県 | 92.6% | 84.9% |
| 宮城県 | 99.8% | 96.7% |
| 秋田県 | 97.1% | 91.7% |
| 山形県 | 96.0% | 90.6% |
| 福島県 | 84.9% | 87.6% |
| 全国平均 | 95.6% | 93.7% |

* Study on seismic evaluation and retrofitting of steel gymnasiums in Tohoku region.
by Daisuke Konno, Kei Watanabe, Yasushi Uematsu

2. 調査概要

本研究で調査対象とした耐震診断データは、耐震診断もしくは耐震改修の概要書より取得した。データベースに入力した項目は、表2に示す通りである。データベースに入力した物件数は、岩手県198棟、宮城県164棟、福島県237棟である。これらのデータベースに加えて、既往研究で示される秋田県における113件の耐震診断事例を用いて調査を行った。

表2 データベース入力項目

| | |
|--------------|---|
| 建物概要 | 建物名称、棟名、屋根架構種類、竣工年、延床面積、架構形式(梁間、桁行)、基礎、所在地(住所・緯度経度)、構造材料強度の採用値、ボルト寸法・強度、屋根荷重、積雪深、桁行・梁間スパン長、軒高、棟高、構面数、プレース構面数、プレース断面寸法、 |
| 診断概要 | 診断年月、診断者、診断方法、計算方法、計算ソフト |
| 桁行方向 診断結果 | 固有周期 T 、桁行構造耐震指標 I_s 値、保有水平耐力に関する指標 q 値、保有性能基本指標 E_0 、保有水平耐力 Q_u 、韌性指標 F 、層せん断力の高さ方向分布係数 A_i 、建物重量 W 、形状係数 F_{es} 、プレース接合部の破断形式、プレース接合部の保有・非保有耐力接合の判定 |
| 梁間方向 診断結果 | 固有周期 T 、梁間構造耐震指標 I_s 値、保有水平耐力に関する指標 q 値、保有性能基本指標 E_0 、保有水平耐力 Q_u 、韌性指標 F 、層せん断力の高さ方向分布係数 A_i 、建物重量採用値、形状係数 F_{es} 、各部の要素耐力、塑性ヒンジ発生位置 |
| 改修計画 (結果) | 耐震改修後の I_s 値、 q 値、 F 値改修方法、交換・補強した部材断面寸法 |

3. 耐震性能に関する指標

本研究で調査対象とした屋内運動場のほとんどが、「屋内運動場等の耐震性能診断基準⁶⁾」(以下、屋体基準)に準じて耐震診断が行われていた。屋体基準においては、屋内運動場の耐震性能を構造耐震指標 I_s 値および保有水平耐力に関する指標 q 値を用いて示している。それぞれの値は、次式により求められる。

$$I_{si} = \frac{E_{0i}}{F_{esi} \cdot Z \cdot R_t} \quad (1)$$

$$q_i = \frac{Q_{ui}}{0.25F_{esi} \cdot W_i \cdot Z \cdot R_t \cdot A_i} \quad (2)$$

$$E_{0i} = \frac{Q_{ui} \cdot F_i}{W_i \cdot A_i} \quad (3)$$

ここで、 E_{0i} は i 層の耐震性能を表す指標、 F_{esi} は i 層の形状係数、 Z は地域係数、 R_t は振動特性係数、 Q_{ui} は i 層の保有水平耐力、 W_i は建物重量、 F_i は i 層の韌性指標、 A_i は層せん断力係数の高さ方向分布係数を示す。

耐震改修促進法においては、構造耐震指標 I_s 値が 0.6 より大きくかつ保有水平耐力に関する指標 q 値が 1.0 より大きいことを安全性

表3 屋体基準による安全性判定基準

| | 耐震性能の判定 | 倒壊の危険性 |
|-------|--------------------------------|--------|
| Case1 | $I_s < 0.3$ または $q < 0.5$ | 高い |
| Case2 | Case1,2 以外 | ある |
| Case3 | $I_s \geq 0.7$ かつ $q \geq 1.0$ | 低い |

の判定基準としている。しかし文部科学省は、学校施設等の構造耐震指標 I_s 値は概ね 0.7 を超えることを求めており、屋体基準における安全性の判定基準は表 3 のようになっており、倒壊危険性の程度で評価される。

4. 屋体基準による安全性の判定

調査対象とした秋田県・岩手県・宮城県・福島県の 4 県における耐震診断時の安全性判定基準の割合を梁間・桁行方向別に表 4 に示す。調査対象 4 県において共通して見られる傾向としては、梁間方向に比べて桁行方向の倒壊危険度が高い。その理由として、調査対象建物のほとんどが梁間方向にラーメン構造、桁行方向にブレース構造を採用していることが挙げられる。次に、各県の違いに着目すると、梁間方向に関しては、宮城県、岩手県、秋田県では Case3 に多く該当しているが、福島県では Case1, 2 が多い。桁行方向では、福島県と秋田県において倒壊危険性の高い Case1 の割合が比較的高い。このような差は、地域性によるものと考えられる。

特に東北地方においては設計積雪深などの影響があるものと推察される。以上のような、耐震性能の傾向や地域性について、以下で検討を行う。

表 4 各県の安全性判定結果割合の比較

| 安全性判定基準 | 梁間方向 | | | | 桁行方向 | | | |
|------------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | 福島 | 宮城 | 岩手 | 秋田 | 福島 | 宮城 | 岩手 | 秋田 |
| Case1(危険高) | 33% | 2% | 3% | 12% | 65% | 29% | 19% | 52% |
| Case2 | 53% | 18% | 12% | 22% | 27% | 47% | 70% | 39% |
| Case3(危険低) | 14% | 80% | 85% | 66% | 8% | 24% | 11% | 9% |

5. 桁行方向の耐震性能に関する検討

表 4 に示されるように、調査対象建物のほとんどにおいて、梁間方向より桁行方向の耐震性能が劣っていた。その理由としては、桁行方向に用いられているブレースの断面や接合方法が十分な耐震性能を満たすよう設計されていないことが挙げられる。図 1 は、宮城県を例として、桁行方向 I_s 値と竣工年の関係をブレースの接合方法別に示す。丸印は保有耐力接合、ひし形印は非保有耐力接合を示している。非保有耐力接合では、接合部の破断耐力が母材の降伏耐力よりも低く設計されており、母材の耐力が十分に発揮される前に接合部が破断する為に、耐震性能が低下する。図を見ると、竣工年が後になるほど保有耐力接合での設計が増加していることが分かるが、ほとんどの建物でブレース接合部が非保有耐力接合となっており、それが原因で I_s 値が 0.7 に満たないものが多いと考えられる。つまり、旧耐震設計においては、このようなブレースの耐力が不足しているものや接合方法が保有耐力接合になっていないものが多く、それが耐震性能の低下をもたらし

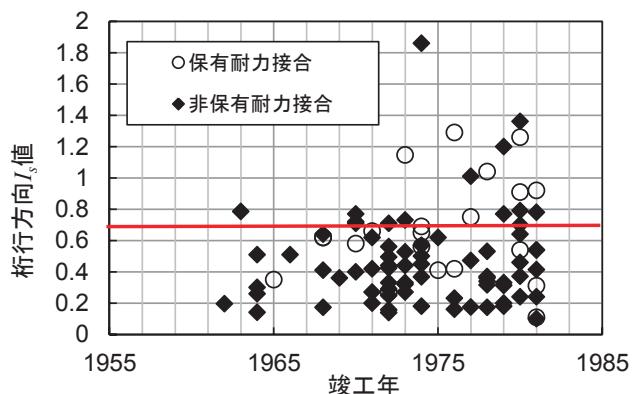


図 1 別 接合方法別 竣工年- I_s 値関係

ているといえる。

次に、 I_s 値と q 値の相関関係を図 2 に示す。それぞれの値は、梁間・桁行方向の I_s 値、 q 値の中で最小値を示している。図中の直線は韌性指標 F の値を示しており、 F 値が 1.3 の場合は非保有耐力接合であることを示している。この図を見ると、前述のように多くの建物において F 値 1.3 の直線に集中しており、倒壊危険性のあるエリアに多く分布していることが分かる。これらのことから、接合部を保有耐力接合としているか否かが、建物の耐震性を大きく左右しているといえる。また、非保有耐力接合とした場合でも I_s 値が 0.7 を超えている例がいくつかあるが、それらは接合部耐力が軸降伏耐力より大きい、建物の規模そのものが小さい、またはプレース構面数が多いことによるものである。

図 3 には耐震改修もしくは耐震補強計画において記載のあった建物における I_s 値と q 値の相関関係を示す。この図を見ると、診断時に比べて F 値が 2.2 に近い値になっているものが多く、倒壊危険性が低いエリアに収まっている。これは、改修によってプレース接合部を保有耐力接合としたケースが多いことを示している。また、改修方法に着目すると、保有水平耐力上昇の為にプレースを新設している場合も多く見られた。その一方で、改修後においても F 値が 1.3 のまま、つまり接合部が非保有耐力接合の状態である例も多いが、これは計算の結果、軸降伏力よりも接合部耐力が大きいために性状として悪くはないという結論に至ったことによる。

これまで宮城県を例に耐震性能の傾向を示してきたが、以上のような耐震性能、改修方法に関する傾向は、今回調査対象とした 4 県でほぼ共通しており、大きな差は無い。

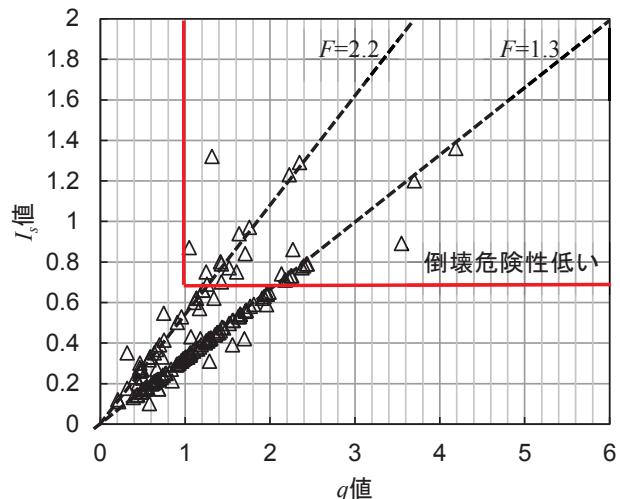


図 2 診断時 q 値- I_s 値関係(宮城県)

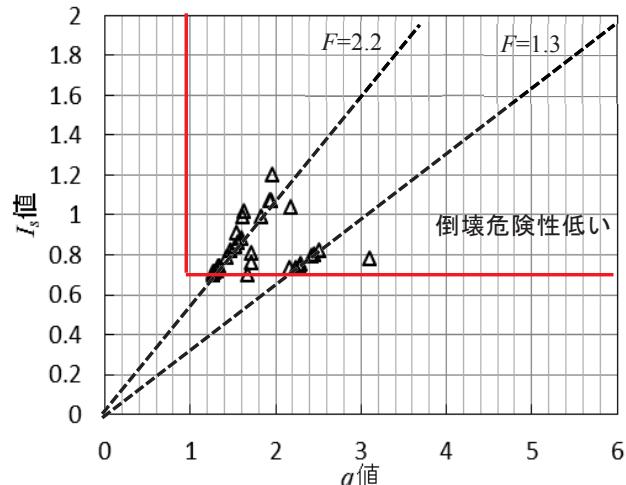


図 3 改修後 q 値- I_s 値関係(宮城県)

6. 耐震性能の地域性に関する検討

表4によって示唆された耐震性能の地域性に関する検討を、データベース入力項目の中で、その値に地域差のあった診断時の想定積雪深について行った。表5は、調査対象建物で想定されている積雪深を深さ毎に割合で示しており、最も高い割合を示す範囲を網掛けしている。表5によれば、福島県、秋田県では、他県よりも想定積雪深が大きいものが比較的多いことが分かる。しかし、表4から見られる傾向としては、福島県と秋田県において倒壊危険性の高いCase1の割合が比較的高いという結果であった。また、図4には福島県における桁行方向 I_s 値と想定積雪深の関係を示す。この図を見ると、高い想定積雪深においても I_s 値が低く、耐震性能が上昇しておらず、比較的積雪深が大きい場合に耐震性能が低くなっている傾向が見られる。つまり、表4、表5、図4からは、「想定積雪深が大きい程、倒壊危険性が高い傾向にある」ということが言える。設計時に大きな積雪深を見込んで設計しているならば、耐震性能は比較的高くなるのではないかと考えられるが、今回示された結果はそれとは逆の傾向を示した。その理由としては、診断時に大きな積雪深さを見積もったことにより、計算された耐震性能が低くなったものと考えられる。逆に言えば、設計時の積雪深が診断時の積雪深より小さかったため、診断時の耐震性能が低く評価されたものと推察され、規定の変遷などに着目する必要が示唆された。

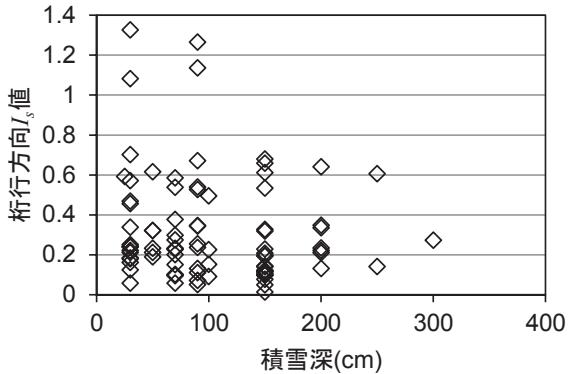


図5 想定積雪深—桁行方向 I_s 値関係(福島県)

表5 調査対象4県における診断時の想定積雪深の割合比較

| 積雪深 x(cm) | 福島県 | 宮城県 | 岩手県 | 秋田沿岸 | 秋田内陸 |
|--------------------|-----|-----|-----|------|------|
| $x \leq 50$ | 26% | 75% | 4% | 0% | 0% |
| $50 < x \leq 100$ | 32% | 19% | 88% | 72% | 8% |
| $100 < x \leq 150$ | 31% | 3% | 7% | 26% | 20% |
| $150 < x \leq 200$ | 7% | 3% | 1% | 0% | 62% |
| $200 < x$ | 4% | 1% | 1% | 2% | 10% |

7. 結論と今後の展望

東北4県における鉄骨造屋内運動場を対象として、耐震診断・改修事例の調査を行い、以下のような知見を得た。

- (1)調査対象の屋内運動場は、ほとんどが梁間方向に比べて桁行方向の耐震性能が劣っていた。
- (2)桁行方向がプレース架構である屋内運動場では、ほとんどの場合プレースが非保有耐力接合で接合されており、その為に建物全体の韌性性能が低くなっていた。

- (3) 耐震診断時に倒壊危険性が高いと診断された建物の改修方法としては、プレースの交換や新設により、建物の保有水平耐力を上昇させている事例が多く見られた。
- (4) 調査対象 4 県間の比較により、既存不適格鉄骨造屋内運動場の耐震性能には、明確な地域差は確認されなかった。
- (5) 耐震性能の傾向は 4 県で同様であったが、今回の検討範囲からは耐震性能の地域性として設計時の想定積雪深が関与している可能性が推察され、積雪深においては規定の変遷等にも着目する必要性が示唆された。

今後は、調査対象を地域別・市町村別にするなど、さらなる詳細な傾向分析を行い、安全性判定に影響を及ぼす因子の模索、地域による差異についての考察を行う。

謝辞

本研究は、社団法人日本鉄鋼連盟の建築鋼構造研究ネットワーク東北地区活動の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 文部科学省：「公立学校施設の耐震改修状況調査の結果について」, 2015
- 2) 今野大輔, 植松康 : 宮城県における鉄骨造屋内運動場の耐震診断事例に関する調査研究. 日本建築学会東北支部研究報告集, 2014
- 3) 今野大輔, 植松康 : 岩手県における鉄骨造屋内運動場の耐震診断事例及び改修方法に関する調査研究 日本建築学会東北支部研究報告集, 2013
- 4) 渡部慶, 今野大輔, 植松康 : 福島県における鉄骨造屋内運動場の耐震診断事例に関する調査報告. 日本建築学会東北支部研究報告, 2015.
- 5) 小幡昭彦, 高橋なつ美, 西田哲也, 菅野秀人, 小林淳, 三浦伸 : 秋田県における屋内運動場の耐震性能診断事例に関する研究 その 1 耐震診断事例の傾向と考察 日本建築学会東北支部研究報告集, 2011
- 6) 文部科学省大臣官房文教施設企画部 : 「屋内運動場の耐震性能診断基準（平成 18 年版）」, 第 2 刷, 2008