

鉄骨造体育館の耐震診断法の改善について

An Improvement on Seismic Diagnosis Method of Steel Gymnasiums

大 井 謙 一*・高 梨 晃 一*・張 旋*

Kenichi OHI, Koichi TAKANASHI and Xuan ZHANG

1. はじめに

日本建築学会の学校建築委員会では阪神・淡路大震災直後、耐震性能小委員会（主査：岡田恒男 本学名誉教授）を組織して、被災した文教施設の調査と復旧のための助言活動を行うとともに、被災例資料の収集を行った¹⁾。鉄筋コンクリート造校舎に比べて数は少ないものの、鉄骨造文教施設、主として体育館についても若干の資料が蓄積されている²⁾。

一方、大震災前から体育館の耐震診断法については、官庁や地方自治体が独自の診断基準を準備している^{3),4)}。しかしながら、鉄骨造の被災例自体が大震災前は十分ではなかったため、これらの診断法と実被災例との整合性等については十分検討されていないのが実状である。本稿では、観察された鉄骨造文教施設の被害像と耐震診断結果とを整合させるための耐震診断法の改善、特に建物のエネルギー吸収能力を表現するじん性指標F値の改善について試案を述べる。

2. 調査方法の概要

今回調査の対象とした鉄骨造文教施設の一覧を表1に示している。調査方法、調査内容は次の通りである。

- (1) 現地調査に基づく被災度調査および被災度の判定。
- (2) 現在文教施設に対して用いられている1995年版屋内運動場等の耐震性能診断基準³⁾による全物件の被災する前の状態に対する耐震性能診断の実施。
- (3) (1)の被災度判定結果と(2)の1995年版診断規準による診断結果との相互比較による診断方法の改善の検討。
- (4) 改善された診断法による全物件に対する耐震性能診断の実施。

本稿で調査の対象とする物件および診断件数は、22棟34方向である。耐震性能診断は原則として各方向別に対して行うが、一つの棟で明らかに一方の耐震性能指標が低いと判断される場合は、一方向のみの診断作業を行った。表1には、1995年版診断基準³⁾による診断結果、後述する改善案による診断結果もあわせて示している。

3. 診断法の改善

観察された鉄骨造文教施設の被害像と耐震診断結果とを整合させるための診断法の改善案について考察する。

被害像と耐震診断結果の整合性に係わる事項として、

- (1) 被災度の定義。
- (2) 耐震性能の指標値の算定・評価方法。
- (3) 耐震性能指標値に対する倒壊の危険性についての判定基準。がある。

建物のある被害状態に対して(1)により被災度が定義される。ほぼ同一レベルの地震荷重効果に対して、建物が被る実際の被災度と、その建物を(2)で耐震診断した結果得られる耐震性能の指標値との間には、できるだけ高い負の相関が存在するのが理想的である。

もし相関の高い、あるいは整合性の高い(1)と(2)の組が得られるとする。そうすれば、(2)の方法で評価した指標値がある値以上になると、小破以下ないし軽微・無被害以下の被災度となる公算が高い、したがって倒壊の危険性が低い、といった判定をすることができ、現実の被害に裏付けされた(3)の判定基準も自動的に設定できることになる。

本稿で用いる被災度データがほぼ同一レベルの地震荷重効果を受けているかどうかについては、定かではない。地震は同一の1995年兵庫県南部地震であるが、収集したデータの所在地は阪神地区、淡路地区の広い範囲にわたっている。地域による地震動強さの相違が上記の整合性に影響を

*東京大学生産技術研究所 第5部

表1 調査物件の概要

| 番号 | 名称 | 方向 | タイプ | 被災度 | q・St | 旧Is | 旧F | 改訂Is | 改訂F |
|----|-------------|------|-------------|--------|------|------|------|------|------|
| 01 | 東地区体育館 | 張間方向 | R1 | 無被害・軽微 | 0.48 | 1.20 | 2.5 | 0.81 | 1.69 |
| 02 | 南甲子園小学校体育館 | 張間方向 | R1 | 無被害・軽微 | 1.12 | 2.80 | 2.5 | 2.24 | 2.00 |
| 03 | S大学体育館 | 張間方向 | S1 | 下部大破 | 1.15 | 2.46 | 2.13 | 2.29 | 1.99 |
| | | 桁行方向 | B1 | 下部大破 | 0.42 | 0.83 | 2.00 | 0.92 | 2.20 |
| 04 | 園田学園女子大学清明寮 | 張間方向 | S4 | 大破 | 0.28 | 0.51 | 1.82 | 0.36 | 1.30 |
| | | 桁行方向 | S4 | 大破 | 0.18 | 0.33 | 1.82 | 0.23 | 1.30 |
| 05 | 東灘区民センター | 張間方向 | B9(マガストラッチ) | 無被害・軽微 | 0.39 | 0.86 | 2.22 | 0.85 | 2.20 |
| | | 桁行方向 | B9(マガストラッチ) | 無被害・軽微 | 0.55 | 1.22 | 2.22 | 1.21 | 2.20 |
| 06 | 西地区体育館 | 張間方向 | S1 | 無被害・軽微 | 0.47 | 1.56 | 3.33 | 1.36 | 2.90 |
| | | 桁行方向 | S1 | 無被害・軽微 | 1.51 | 5.02 | 3.33 | 5.07 | 3.36 |
| 07 | 伊川谷高等学校 | 張間方向 | RS1b | 中破 | 0.26 | 0.52 | 2.00 | 0.57 | 2.20 |
| | | 桁行方向 | B2(RS2) | 中破 | 0.18 | 0.35 | 2.00 | 0.40 | 2.20 |
| 08 | 舞子高等学校 | 張間方向 | RS1b | 中破 | 0.26 | 0.52 | 2.00 | 0.57 | 2.20 |
| | | 桁行方向 | B2(RS2) | 中破 | 0.18 | 0.35 | 2.00 | 0.40 | 2.20 |
| 09 | 須磨友が丘高等学校 | 張間方向 | RS2b | 無被害・軽微 | 0.27 | 0.54 | 2.00 | 0.59 | 2.20 |
| | | 桁行方向 | B2(RS2) | 無被害・軽微 | 0.28 | 0.55 | 2.00 | 0.62 | 2.20 |
| 10 | 近代美術館本館 | 張間方向 | RS2a | 大破 | 0.22 | 0.55 | 2.55 | 0.54 | 2.43 |
| 11 | 明石南高等学校 | 張間方向 | R1 | 中破 | 0.50 | 0.91 | 1.82 | 0.65 | 1.30 |
| 12 | 淡路農高一宮分校体育館 | 張間方向 | RS1c | 中破 | 0.24 | 0.58 | 2.50 | 0.44 | 1.85 |
| | | 桁行方向 | B2(RS2) | 中破 | 0.54 | 1.08 | 2.00 | 1.19 | 2.20 |
| 13 | 須磨高校体育館 | 張間方向 | R2 | 中破 | 0.23 | 0.49 | 2.17 | 0.48 | 2.10 |
| 14 | 北淡西中学校体育館 | 張間方向 | R1 | 中破 | 0.38 | 0.94 | 2.50 | 0.60 | 1.59 |
| 15 | 北淡東中学校体育館 | 張間方向 | R1 | 中破 | 0.33 | 0.79 | 2.41 | 0.50 | 1.55 |
| 16 | 愛徳学園体育館 | 張間方向 | S1 | 大破 | 0.43 | 0.91 | 2.11 | 0.84 | 1.96 |
| | | 桁行方向 | B2(S2) | 大破 | 0.54 | 0.98 | 1.82 | 0.70 | 1.3 |
| 17 | 身障者体育館 | 張間方向 | RS1 | 無被害・軽微 | 0.50 | 0.91 | 1.82 | 0.65 | 1.30 |
| 18 | 伊丹朝鮮幼稚園舎棟 | 桁行方向 | S2 | 小破 | 0.71 | 2.20 | 3.10 | 2.05 | 2.89 |
| 19 | 宝塚第一中学校技術棟 | 張間方向 | S1 | 中破 | 0.35 | 0.64 | 1.82 | 0.46 | 1.30 |
| | | 桁行方向 | B1 | 中破 | 0.43 | 0.78 | 1.82 | 0.56 | 1.30 |
| 20 | 津名中学校体育館 | 張間方向 | R1 | 小破 | 0.18 | 0.40 | 2.18 | 0.38 | 2.11 |
| 21 | 北淡東中学校特別教室棟 | 張間方向 | B1 | 中破 | 0.17 | 0.34 | 2.0 | 0.38 | 2.20 |
| | | 桁行方向 | B1 | 中破 | 0.32 | 0.64 | 2.0 | 0.70 | 2.20 |
| 22 | 北淡西中学校特別教室棟 | 張間方向 | B1 | 中破 | 0.20 | 0.40 | 2.0 | 0.44 | 2.20 |
| | | 桁行方向 | B1 | 中破 | 0.37 | 0.75 | 2.0 | 0.82 | 2.20 |

与えることが考えられるが、被災を受けた鉄骨造文教施設の数そのものがRC造にくらべて10分の1以下の数であり、同地区に広く存在する数多くの同種の鉄骨造施設が軽微・無被害であった²⁾ことを考えると、ここで用いる被災度の高いデータは、地震動強さの所在地による変動があったとしても、比較的高いレベルに属する地震動強さを受けた場合のデータである公算が高い。

ここでは、(1)と(3)については、現行の被災度判定や現行の判定基準の枠組をそのまま用いることにして、(2)の改善による整合性の増大を図ることとする。

耐震性能指標の評価は、(イ)保有水平耐力の評価、(ロ)じん性指標F値の評価に分かれるが、(イ)の耐力評

価については、構造力学、弾塑性学の現在まで蓄積された知見から評価を行うものであり、余り改善する余地はない。一方、じん性ないし変形能力・エネルギー吸収能力の評価については、現技術段階では未知の部分が多く、その妥当性に不確定な要因が残されている。したがって、ここでは特にじん性指標Fの設定値を改善することによって、診断結果と被災度の整合性を高めることを試みた。

(1) 被災度の定義

表1では個々の被災例に対して大破・中破・小破・軽微などの被災度呼称を用いるが、調査の際に用いた判定基準による呼称を用いている。判定のための詳細な調査票が準備されているが、その概要を要約して表2に示している。

表2 被災度の定義の概要

| 被災度 | 残留変形角 | 観察された損傷 |
|-----|----------|---------------------------------------|
| 倒壊 | —— | 重力に対して抵抗できない |
| 大破 | 1/30 以上 | 筋かい50%以上破断 柱梁接合部20%以上破断 顕著な局部座屈 |
| 中破 | 1/100 以上 | 筋かい一部破断 柱梁接合部一部破断 局部座屈 |
| 小破 | 1/150 以上 | 降伏 軽微な筋かいの座屈 ボルトの滑り |
| 軽微 | なし | 構造体無被害 |

表3 じん性指標F値の比較

| 保有水平耐力を 限界づける部位 | 旧F値 (1995年版) | 新F値 (改善案) |
|------------------------|-------------------|----------------------|
| 鉄骨フルウェブ材 | 幅厚比により 4.0~2.5 | 同左 |
| 鉄骨トラス材 | 2.22 | 2.2 (弦材) 1.5 (斜材) |
| 鉄骨軸組筋かい (引張筋かい軸部降伏) | 2.0 | 2.2 |
| 鉄骨接合部 | 1.82 | 1.3 |
| 鉄骨のRCへの定着部 柱脚 | 1.82 | 1.3 |
| 基礎フーチングの転倒 | 3.0 | 1.8 |

(2) 体育館の耐震診断法の概要

体育館等で層を成していない場合は次式による。

構造耐震指標 I_s : $I_s = E_o / (Z \cdot R_t)$

ここで、 $(Z \cdot R_t)$ は現行耐震規定 (建築基準法施行令) における地域係数と振動特性係数の積であり、

$E_o = Q_u \cdot F / W$

Q_u : 建物の振動特性を考慮した外力パターンのもとの保有水平耐力 (終局耐力)、

F : じん性指標値、

W : 建物重量、である。

保有水平耐力に係わる指標 q :

$q = Q_u / (S_T \cdot W \cdot Z \cdot R_t)$ ただし $S_T = 0.25$

(イ) 保有水平耐力 Q_u の評価

1995年版, 改善案ともに, Q_u の評価にあたっては, 塑性解析を許容し (対象骨組の不静定次数が小さいため), また接合部が保有耐力接合を満足しない場合には, 接合部の最大耐力を接合係数で除した値を接合部の等価な塑性抵抗力として, 保有水平耐力の算定に取り込んでいる。

(ロ) じん性指標 F の評価

1995年版では, じん性指標 F 値を現行耐震規定 (建築基準法施行令及び関連告示) で用いられている構造特性係数 D_s の逆数と概ね位置づけており, 接合部が保有耐力接合を満足していない場合には, 特別に $F = 1.82$ ($=1/0.55$) としている。細長比の大きい引張筋かいで水平力の大部分を負担する場合には軸部降伏する場合でも $F = 2.0$ ($=1/0.5$) としている。

これに対して改善案では, 接合部が保有耐力接合を満足

していない場合には, さらに厳しい値 $F = 1.3$ を仮定し, 軸部の降伏する引張筋かいでは緩和した値 $F = 2.2$ を仮定している。両者の値を表3に比較している。

(3) 判定基準

判定基準は, 1995年版では I_s 値のみで0.7と0.3が判定の境界値になっているが, 昨年12月から施行された建築物の耐震改修の促進に関する法律にて指定される関連告示では, I_s 値に加えて保有耐力に係わる q 指標を用いるので, 改善案では, $I_s \geq 0.7$ かつ $q \geq 1.0$ を倒壊の危険性が低い, $I_s < 0.3$ または $q < 0.5$ を倒壊の危険性が高い, としている。

4. ま と め

1995年版の F 値と改善 F 値案に基づく耐震診断結果を被災度とともにプロットしたものが図1から図4である。従前の F 値では1.8未満の小さな値が設定されていないため, 仮定した判定基準と実際の被災度との整合性が悪いが,

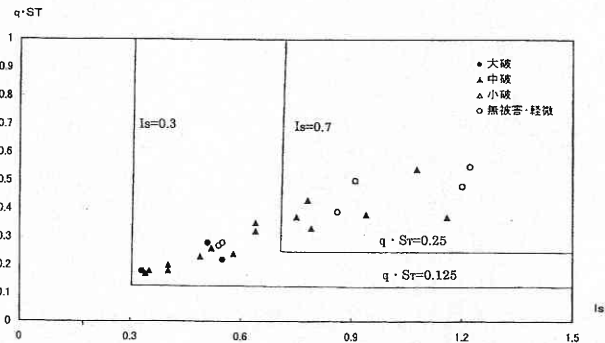


図1 被災度と耐震性能指標値 (1995年版)

研 究 速 報

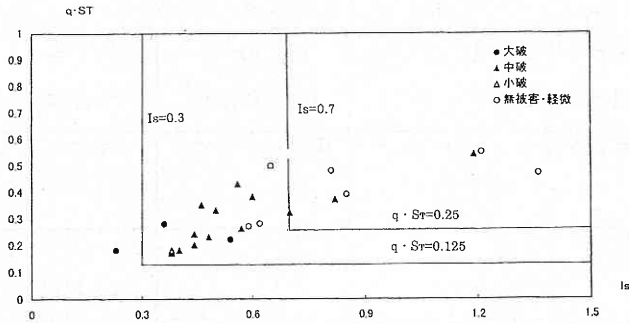


図 2 被災度と耐震性能指標値 (改善案)

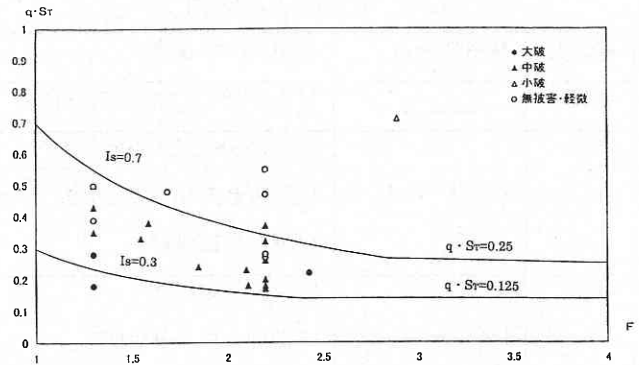


図 4 被災度とじん性指標値 (改善案)

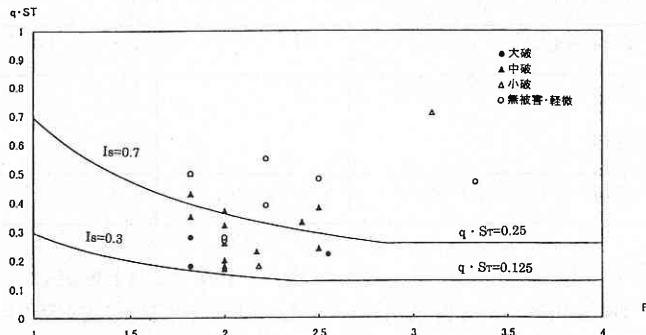


図 3 被災度とじん性指標値 (1995年版)

耐震診断を実施し、その耐震性能が不十分であるものについては、耐震補強・改修の設計を行うが、現段階の診断技術は必ずしも完全なものではないことを念頭におき、構造特性の不可避の変動や局所的な地震入力が増幅の可能性がある場合には、十分に余裕をもった目標補強レベルを設定すべきである。
(1996年 8月 26日 受理)

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：文教施設の耐震性能に関する調査研究，平成 7 年 3 月。
- 2) 大井ほか：「阪神淡路大震災における鉄骨造文教施設の被害と復旧」，生産研究，平成 7 年 11 月。
- 3) 文部省：屋内運動場等の耐震性能診断基準（1995年版），平成 7 年 2 月。
- 4) 静岡県建築士事務所協会：鉄骨体育館の耐震診断法，平成 4 年 4 月。

改定F値案では判定基準との整合性がよくなっている。

(1) 被災度の定義，(2) 診断法におけるF値の設定値，(3) 判定基準，の3者は互に関連するが、F値のみを改善するとすれば、非保有水平耐力の接合部に対して従前より小さく、保有耐力接合された筋かいに対して従前の値より大きく設定することが考えられる。