

特集：熊本地震

鋼構造建築物の耐震診断と熊本地震

崇城大学
東 康 二

1. はじめに

日本では大きな地震被害を受けるたびに、建物の耐震基準が見直されてきた。特に1981年の建築基準法改正によって、中程度の地震までは軽度の損傷に抑えること、大地震では倒壊しないことを基本方針として構造計算法の大幅な改訂が行われた。この1981年に改訂された基準のことを一般に「新耐震基準」と呼んでいる。しかし1995年の兵庫県南部地震において、上記の法改正以前に建てられた建物（既存不適格建築物）の耐震性の低さが露呈した。そのため、建物が現行の耐震基準に則った耐震性能を持つよう耐震診断と耐震改修を促進することを目的として、同年12月に「建築物の耐震改修の促進に関する法律」が施行された。それに併せて、1996年に「耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針」（日本建築防災協会）が刊行された。図1はその指針で示されている耐震診断のフロー図である。耐震改修促進法では、「特定建築物」（不特定多数の人が使用するある程度以上の規模をもつ建築物）の診断・改修が努力義務とされ、それに伴い文教施設の耐震化が進んだ。その後、様々な知見を踏まえ2011年の東北地方太平洋沖地震を機に改訂され、現在に至っている¹⁾。ここでは、構造耐震指標(I_s)および保有水平耐力に係わる指標(q)による耐震性の評価、および、熊本地震における被災状況について紹介する。

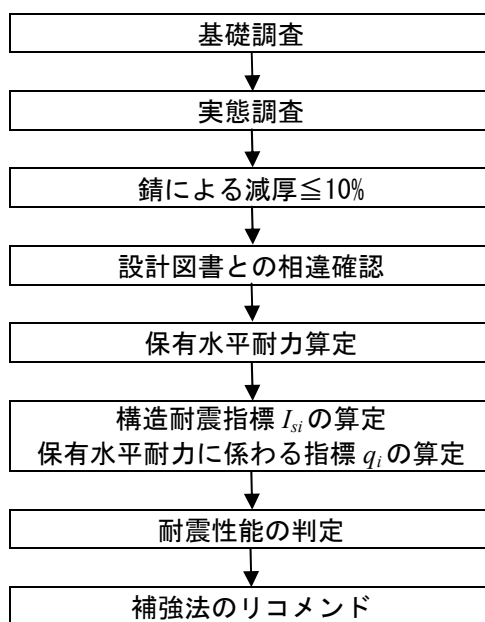


図1 耐震診断フロー¹⁾

2. 耐震性の評価および耐震改修

耐震診断は、建物各層の構造耐震指標 I_{si} と保有水平耐力に係わる指標 q_i により判定される（添字の i は i 層を示し、 i 層の I_s 値を I_{si} 、 i 層の q 値を q_i と記す）。ここで、構造耐震指標 I_{si} は、保有水平耐力 Q_{ui} と靱性指標 F_i を用いて、以下の式で表される。

$$I_{si} = \frac{\text{対象建物が完全弾塑性応答する場合と等価な弾性応答層せん断力}(Q_{ui} \cdot F_i)}{2 \text{ 次設計時の地震荷重による弾性応答せん断力}(F_{esi} \cdot W_i \cdot Z \cdot R_t \cdot A_i)}$$

ここで、 F_{esi} は i 層の剛性率および偏心率によって決まる係数、 W_i は i 層よりも上の重量、 Z は地震地域係数、 R_t は振動特性係数、 A_i は地震層せん断力の高さ方向の分布係数であり、いずれも建築基準法施行令に準ずる。また、保有水平耐力 Q_{ui} は骨組みが崩壊機構を形成し不安定となる時の i 層の層せん断力であり、靱性指標 F_i は、柱・梁接合部、柱・梁部材、パネルゾーン、柱脚、筋違、梁あるいは柱のボルト継手などで定められた靱性指標の各層の最小値を用いて算出する。

また保有水平耐力に係わる指標 q_i は、次式で表される。

$$q_i = \frac{\text{当該建物の保有水平耐力}(Q_{ui})}{\text{純ラーメン構造のような大きな変形性能を持つ骨組みの必要保有水平耐力}(0.25 \cdot F_{esi} \cdot W_i \cdot Z \cdot R_t \cdot A_i)}$$

これらの指標を用いて以下のように判定する。

(1) $I_{si} < 0.3$ または $q_i < 0.5$ の場合

地震の振動および衝撃に対して倒壊し、又は崩壊する危険性が高い。

(2) $0.3 \leq I_{si} < 0.6$ または $0.5 \leq q_i < 1.0$ の場合

地震の振動および衝撃に対して倒壊し、又は崩壊する危険性がある。

(3) $I_{si} \geq 0.6$ かつ $q_i \geq 1.0$ の場合

地震の振動および衝撃に対して倒壊し、又は崩壊する危険性が低い。

この判定により、(3)以外の場合は、改修を行うか建替を行うかを建物の所有者と協議することになる。ただし、建物用途の重要度などにより判定指標値が厳しくなる。例えば、文教施設では「公立学校施設に係る大規模地震対策関係法令および地震防災対策関係法令の運用細目」（文科省）において、補強後の建物に必要な指標を「 $I_{si} \geq 0.7$ かつ $q_i \geq 1.0$ 」としている。

既存建物の改修は、上記の指標について目標値を設定し、それを達成するよう部材の増設、補強、あるいは屋根や床等の質量を低減するものである。部材増設の具体例として、筋違や耐震壁の設置、耐震間柱の設置がある。また、部材自体の補強としては、カバープレートを用いて溶接し断面積を確保することにより、部材の全塑性モーメントを増大させるだけでなく、板要素の幅厚比を小さくすることにより早期の局部座屈を抑制する。また、梁端接合部では、カバープレートやハンチ（梁フランジ端部を拡幅するための鋼板）を用いて溶接することにより耐力不足を補う。パネルゾーンではダブルプレートを用いて溶接することにより座屈を防止し、骨組みの塑性変形能力を上げる。

3. 熊本地震における被害と耐震改修の状況

熊本地震では地震動だけでなく地盤変状により甚大な被害が報告されているが、倒壊に至った多くは伝統工法の木造住宅である。鉄骨造建物のうち、耐震診断および耐震改修されたものは、熊本県内では主に文教施設に限られており、民間の建物の診断・改修状況は把握できていない部分もあるが、新耐震基準に対応した建物の倒壊事例の報告は無い。ここでは熊本市が公開している耐震指標が確認できる建物²⁾について、日本建築学会の緊急報告会資料³⁾と併せて、その被害状況の一部を示す。

熊本市では平成25年度までに全ての小中学校の耐震化を完了している。図2は小破以上の被害を受けた体育館の改修前と改修後の I_{si} 値、 q_i 値を示している。なお、改修前の値が不明の建物があるため、改修前のプロット数が少ない。バラツキはあるが、改修後の保有水平耐力の指標 q_i の多くは、要求値($q_i \geq 1.0$)と比較してかなり安全側、すなわち1.0よりもはるかに大きい値を取っている。しかし、今回の地震ではそのうち24施設(図2中、橙で表示)で避難所として使用できなかった。その主な理由は、桁行面の大部分の鉛直ブレースが引張力により塑性化し座屈していたこと(図3)、天井ブレースの一部が破断し部材が落下したこと(図4)、柱脚あるいは置屋根形式の支承部が側方破壊していたこと(図5,6)により、被災度区分の中破・大破に相当する構造材の被害が出ていたためであった。ただし、これらの建築年は1960~70年代であり、改修前の値から類推すると、耐震改修がなされていなければ倒壊に到っていた可能性がある。その他、構造的には損傷は軽微であっても、非構造材(内外装材など)の大規模なひび割れ、剥離・剥落(図7)により避難所としての使用を控えた施設がある。なお、天井材については平成25年の国土交通省の告示⁴⁾により天井脱落対策に係る一連の技術基準が示されたことで、ほとんどの体育館で耐震改修工事時に天井板が撤去されていたため、被害は殆ど見られなかった。

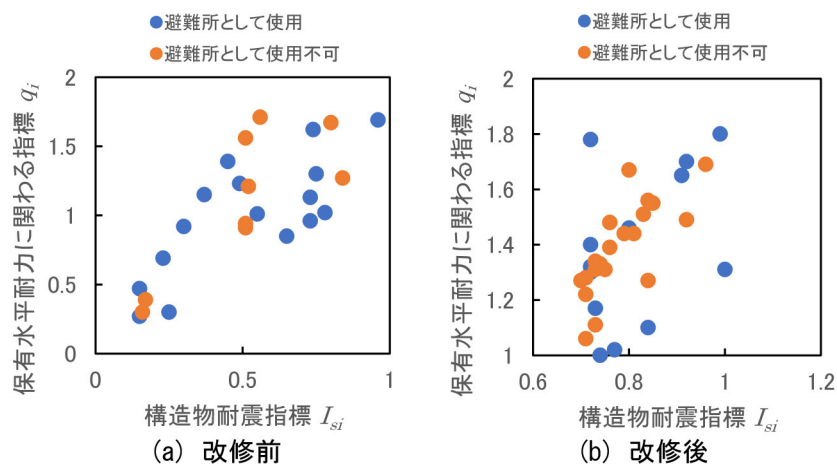


図2 改修前と改修後の耐震性の比較



図3 鉛直ブレースの座屈



図4 天井ブレースの破断



図5 柱脚の側方破壊



図6 置屋根形式支承部の側方破壊



図7 外装材のひび割れと剥離・剥落

4. まとめ

熊本地震では、ほぼ2日の間に最大震度7を2度記録するという前例のない経験をし、自然の猛威を改めて思い知らされた。これまでの一般論として、大規模な地震は数百年に1度のことで、その後は余震が続くがその規模は徐々に小さくなると考えられており、殆どの住民は1度目の地震が本震と捉えていた。現行の耐震基準は数百年周期の大規模地震も想定し、そのような場合でも「国民の生命、身体及び財産の保護」を目的としているが、そこには1度発生したら次は数百年後との認識もある。耐震診断基準も1度目の地震までの診断であり、経年劣化及び施工不良と共に、建物が「罹災、火災の履歴を持ち、その状況が構造強度への影響が大きいと判断されるもの」は適用範囲から除外している。前震により損傷を受けていた建物は、その後の本震で致命的なダメージを受け、多くが倒壊した。ただし、1981年以降の新耐震基準で建てられた建物では、震源となった益城町を除いて倒壊を免れており、新耐震基準に一定の効果があつたことを窺わせる。しかし、阪神大震災以降、問題視され続けてきている既存不適格建築の耐震化の対応を急ぐ必要があることが改めて示されることになった。また、2次部材についても防災計画上の避難所となる学校・体育館については、今後、非構造材を含めた耐震性の強化が望まれる。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会：耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説 2011年改訂版，2011
- 2) 熊本市：熊本市の小中学校の耐震化状況等について 熊本市立学校・幼稚園の耐震診断等実施状況一覧，熊本市教育委員会事務局教育総務部施設課，2014
- 3) 日本建築学会：2016年熊本地震 災害調査報告会，2016年度日本建築学会大会（九州）災害部門 緊急報告会資料，pp.52-54，2016
- 4) 国土交通省：告示第771号，特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件，2013

<略歴>

東 康 二（あずま こうじ）

1999年 熊本大学 大学院 自然科学研究科 環境科学専攻 修了

1999年 熊本大学 大学院 博士（工学）学位取得

1999年 熊本工業大学 助手

2001年 崇城大学 講師

2009年 崇城大学 准教授

2013年 崇城大学 教授

現在に至る