

## 東北地方太平洋沖地震を受けた学校建物被害調査に基づく 既往の耐震診断の妥当性と問題点に関する考察

仙台高専専攻科生 鈴木敦詞      東北工業大学大学院生 畑中友

仙台高専 藤田智己      東北工業大学 船木尚己

仙台高専 飯藤將之      東北工業大学名誉教授 田中礼治

### 1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、東日本の広範囲にわたって非常に大きな揺れを観測した。地震動により建物の倒壊などに至る大規模被害は免れた一方、設備の落下や外装材のひび割れなどの軽微な被害は多数みられた<sup>1)</sup>。学校建築においては、建物に被害を受けたために仮設校舎で授業を行っている、もしくは校舎の一部が使用不可能になっているなどのケースが確認された。

(社)建築研究振興協会東北分室(室長:田中礼治 東北工業大学名誉教授)では、東北地方の建築物の耐震診断および耐震改修の促進をはかり、地域の安全性向上に貢献すべく、平成9年に東北耐震診断改修委員会(委員長:柴田明德 東北大学名誉教授)を設置し、東北地方の学校建物の耐震改修を主導的に行ってきた。しかし、耐震診断・耐震改修された建物が大地震を受けた事例が少なく、既往の報告例もほとんど見られない。本調査は、耐震診断・耐震改修を集中的に行ってきた地域における、最大震度7クラスの地震に対する学校被害調査であり、既往の耐震診断の妥当性、耐震改修の有効性および問題点を確認し、今後大地震の発生が懸念されている東海・東南海地域などといった、耐震診断・耐震改修の促進が図られる地域での評定指標の一助となることを目的としている。

本論では、宮城県仙台市、名取市、石巻市および岩手県陸前高田市に所在する53校の学校建物86棟を対象に行った被害調査の結果を示す。そして、建物被害と構造耐震指標(以下  $I_s$  値)との比較・検討を行い、既往の耐震判定指標(以下  $I_{s0}$ )が、安全性確保に対して果たした役割について検証する。さらに建物が使用不可能となった事例を取り上げ、学校建物の使用継続性について考察する。

### 2. 被害対象物件

調査対象物件は、東北耐震診断改修委員会によって1996年から2011年の間に耐震診断の評定を受けた、宮城県仙台市、名取市、石巻市および岩手県陸前高田市の4市に存するRC造学校建物である。調査総数は53校の86棟で、その内訳および調査期間を表1に記す。

今回調査した53校86棟の校舎は、以下の4ケースに大別される。なお、耐震診断は、2次診断を採用し、東北耐震診断改修委員会では、 $I_{s0} = 0.7$ を採用している。また、 $C_{TU} \cdot S_D \geq 0.3$ となることも前提条件となる。

- (A) 耐震診断によって  $I_s < I_{s0}$  となり、未改修のもの
- (B) 耐震診断によって  $I_s < I_{s0}$  となり、耐震改修を行ったもの
- (C) 耐震診断によって  $I_s > I_{s0}$  となり、耐震改修を行う必要のなかったもの
- (D) 耐震診断についてのデータがそろっていないもの

表1 調査対象物件の内訳

市町村名	学校数	建物棟数	調査期間
仙台市	24	39	2011/12/13 ~2012/2/23
名取市	8	14	2012/5/21 ~2012/6/18
石巻市	15	27	2012/8/27 ~2012/8/30
陸前高田市	5	6	2011/9/20 ~2011/9/21
合計	53	86	

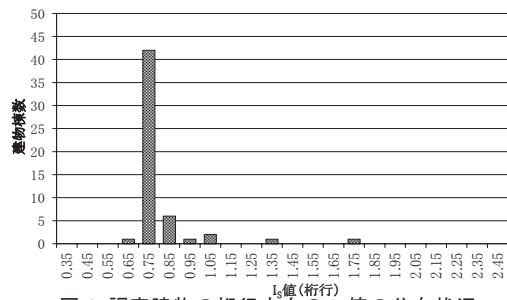


図 1 調査建物の桁行方向の  $I_s$  値の分布状況

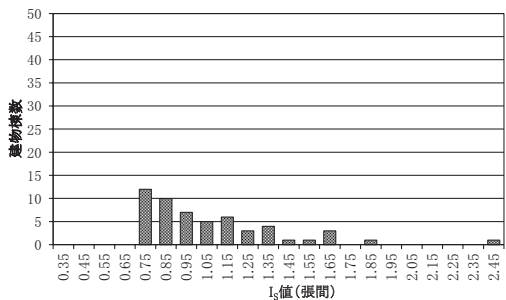


図 2 調査建物の張間方向の  $I_s$  値の分布状況

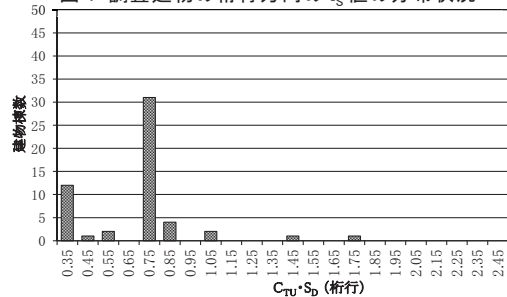


図 3 調査建物の桁行方向の  $C_{TU} \cdot S_D$  の分布状況

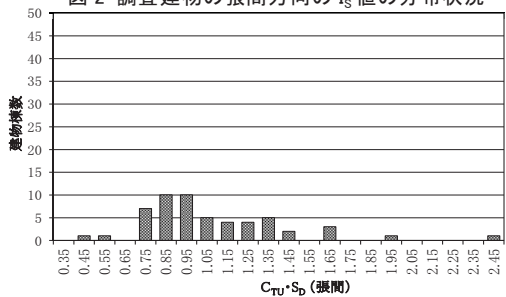


図 4 調査建物の張間方向の  $C_{TU} \cdot S_D$  の分布状況

表 2 本調査における DL の判断基準

無被害	D0	 被害なし	  
	D1	 仕上げ材ひび割れ	  
	D2	 仕上げ材剥落	  
半壊	D3	 剪断ひび割れ 構造被害	  

(A)、(B)、(C)について、耐震診断評定資料をもとに  $I_s$  値と  $C_{TU} \cdot S_D$  の値の間隔を 0.1 ずつとして、棟数を桁行、張間について整理したものを図 1 から図 4 に示す。(D) については  $I_s$  値のデータが存在しないため除外し、全体の建物棟数は 54 棟となっている。 $I_s$  値については、すべての建物において、梁間方向で 0.7 以上となっており、桁行方向では 0.7 未満の建物もあるが 1 棟のみである。また、張間方向では  $I_s$  値が 0.7~1.7 で偏差が大きい分布となっているのに対して、桁行方向では 8 割近くが 0.7~0.8 となっている。張間方向の  $C_{TU} \cdot S_D$  は、 $I_s$  値と同様に値が高い反面、ばらつきが大きい分布となっており、張間方向の F 値には建物ごとに大きな違いがないことを反映している。一方、桁行方向では  $C_{TU} \cdot S_D$  の値が大きく二つに割れており、 $I_s$  値が 0.7~0.8 に集中している傾向と全く異なる。

図示の対象外となった(D)に関しては、ヒアリングの際に、全建物が耐震改修済みであることを確認しているため、(D)の建物においても  $I_s$  値は  $I_{s0}$  を満たしていると考えられる。

### 3. 調査方法

調査は、了承を得た対象物件の耐震診断の評定資料から、耐震改修状況および  $I_s$  値などの基本的状況を確認した後、建物内に立ち入ることで行った。加えて、すべての調査建物の学校関係者にヒアリングを行い、地震発生当時の状況や、学校周辺の地盤の状況などの情報収集を行った。調査方法はすべて目視によるものとし、柱、梁、壁などのひび割れ、建物周辺の地盤沈下の様子、エキスパンションジョイントのずれなどに特に注目して行った。

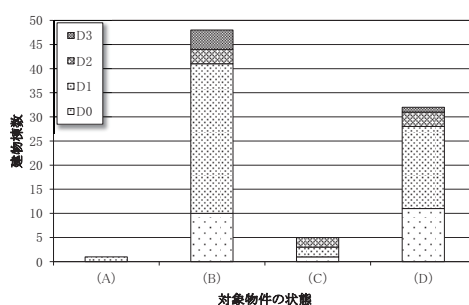


図 5 各ケースの DL の分布状況

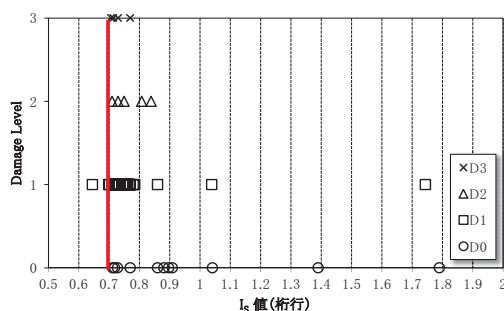


図 6  $I_s$  値(桁行)と DL の関係

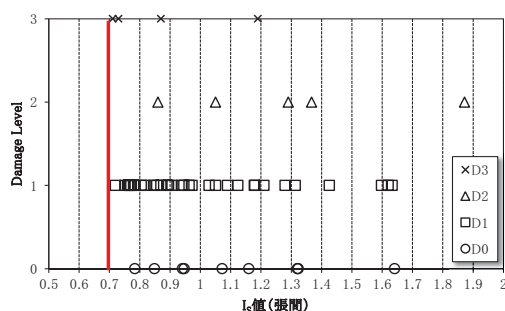


図 7  $I_s$  値(張間)と DL の関係

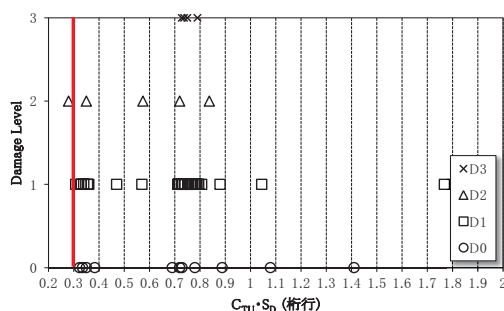


図 8  $C_{TU} \cdot S_D$  (桁行)と DL の関係

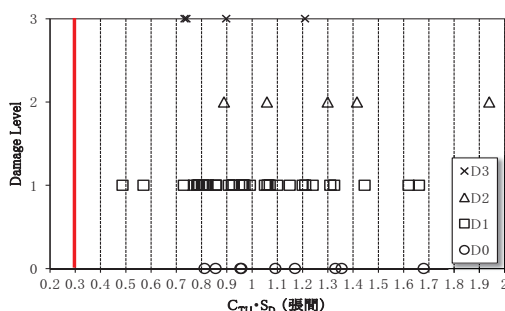


図 9  $C_{TU} \cdot S_D$  (張間)と DL の関係

調査の後、86棟の建物を岡田・高井のDL(Damage Level)をもとにランク付けし<sup>2)</sup>、被害程度の確認を行った。本調査におけるDLの判断基準を表2に示す。

#### 4. 建物被害と $I_s$ 値との関係および $I_{s0}$ の妥当性に関する検証

本調査におけるDLの分布を図5に示す。今回の調査で(A)に該当するのは、陸前高田市に存する1校で、被害の程度はD1であった。ただし、既往の調査において、耐震改修を行っていない建物に甚大な構造被害が生じている事例があることが報告されており<sup>3)</sup>、その被害は(B)、(C)、(D)に比べて、大きなものであると推測される。(B)、(C)、(D)については、大部分がD0、D1に留まっており、耐震診断の評定として設定している $I_{s0} = 0.7$ が妥当なものであったことを示唆している。ただし、ごく少数であるがD3の被害も見られ、これは、基礎の形式、地盤や入力地震動の違いなどによるものと考えられる。なお、(D)においては、より詳細な検討を行うために、今後評定資料を入手して継続した調査を行う予定である。

次に、(A)、(B)、(C)について、 $I_s$ 値および $C_{TU} \cdot S_D$ とDLの関係を図6から図9に示す。図6より、 $I_s$ 値とDLに負の相関は顕著でなく、 $I_s$ 値を増加させることによって、倒壊などの被害は免れる一方、その被害程度の低減には繋がらないことが分かる。図6において、D2、D3となった建物は、54棟中7棟であった。それはいずれも $I_s$ 値が0.7を満たしており、被害を増大させた別の要因が存在すると考えられる。

D2、D3となった学校建物の大部分では、基礎形式が直接基礎であったことから、基礎の違いに着目し、基礎形式を直接基礎と杭基礎に大きく分け、DLの分布を整理したものを図10に示す。なお、基礎形式のデータがないものに関しては除外したため、全体の建物棟数は70棟となっている。図10より、杭基礎の建物は被害の程度が小さく、直接基礎の建物は被害のばらつきが大きいことが分かる。直接基礎について、地盤沈下が少ない敷地の建物については、D0やD1に留まっていた一方、地盤沈下が大きい敷地の建物は被害が大きい傾向があることが調査の中で確認されている。学校によっては、エキスパンションジョイント(EJ)が最大で10cm程度ずれたものも見られ、周辺地盤および基礎の形式を詳細に検討し、耐震診断・耐震改修に活かしていく必要があると考えられる。

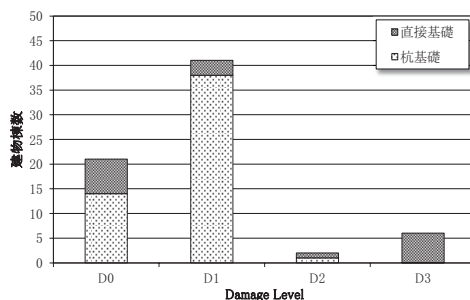


図10 基礎形式によるDLの分類



図11 直接基礎の建物のEJのずれ



## 5. 使用不可能と判断された建物に関する考察と学校建物の使用継続性

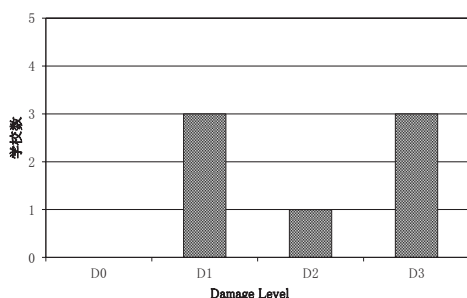


図 12 使用不可能建物の DL の分布状況

本調査では、学校建物に構造躯体的な被害が生じていない一方、使用不可能となっている事例も確認されている。宮城県によると、仮設もしくは他校を間借りしている学校は、最も多い時で、仙台市で 16 校、名取市で 2 校、石巻市で 14 校であった<sup>4)</sup>。その内、津波の被害によるものは 4 割程度で、残り 6 割の中には、構造被害、非構造部材・設備機器の被害、連続した他の棟が使用不可能となったなどといった理由が見られた。本調査内において、地震による建物被害により

使用不可能となっていた学校、校舎はそれぞれ 7 校、12 棟存在し、その全てが耐震改修されていた。使用不可能と判断された建物の DL の分布状況を図 12 に示す。その内、学校としての被害は D1 のものも多く、構造上問題が無くても、使用不可能と判断された他の理由が存在すると考えられる。学校関係者とのヒアリングなどをまとめると、その理由として、1)建物周辺の地盤の沈下、2)照明などの建築設備の被害、3)建物使用者の人命に対する配慮、が挙げられる。特に 3)については、児童・生徒の安全



図 13 使用不可能となった建物の地盤沈下



図 14 使用不可能となった建物の建築設備の被害



図 15 使用不可能となった建物の使用者に心理的抵抗を与えるひび割れ

を最優先する学校特有の事情によるものであると考えられる。使用不可能となった建物の、上記判断事由に該当する写真を図 13、図 14、図 15 に示す。学校建物は多くの児童・生徒が地震後も継続して授業が行われなければならない場所であるため、建物の耐震性のみならず、設備機器、非構造部材および周辺地盤などの条件を考慮した、きめ細やかな耐震診断・耐震改修が必要であるといえる。

## 6. まとめ

本論では、東北地方太平洋沖地震を受けた、宮城県仙台市、名取市、石巻市および岩手県陸前高田市に存在する 53 校の RC 造学校建物 86 棟について被害調査を行った結果を示した。その結果、 $I_s$  値が  $I_{s0}$  を満たす校舎では、倒壊に至るような甚大な構造被害が生じていないことを確認した。また、耐震改修前に  $I_s$  値が  $I_{s0}$  を満たしていない場合も、その後耐震改修を行い  $I_s$  値が  $I_{s0}$  を満足するようになった場合、同様に甚大な構造被害が生じていないことが分かり、耐震改修の有効性および  $I_{s0} = 0.7$  の妥当性を確認することが出来た。

しかし、 $I_s$  値と D3 以下の被害の程度に負の相関は顕著でなく、 $I_s$  値が  $I_{s0}$  を満たしていた場合でも、D3 相当の被害が生じている事例が確認された。被害が大きくなった建物の大部分に確認された点として、立地地盤の変状と直接基礎が挙げられ、周辺地盤や基礎の形式といった観点を今後の耐震診断・耐震改修に考慮する必要性が見られた。

一方、学校建物としての機能維持を考えた場合の使用継続性に関しては、構造安全性に加えて、設備機器や非構造部材および周辺地盤といった観点が判断を分けることが明らかとなった。この観点の中には、学校特有の事情によるものが含まれ、より詳細な耐震診断・耐震改修の必要性を示した。

今後は、調査建物の棟数の拡大、耐震診断の評定資料の入手に加え、地盤や入力地震動の観点からの被害状況の確認を行い、被害状況との対応を詳細に検討する予定である。

## 謝辞

本調査は、(財)国土技術研究センターの研究開発助成(平成 24 年度)「東北地方太平洋沖地震で被災した文教施設の被害調査に基づいた建物の機能維持に着目した安全性評価手法の提案」(研究代表者:船木尚己)を受けて実施したものです。ここに謝意を表します。

また、本論文は、(財)建築研究振興協会東北分室の調査活動に基づいてまとめたものであり、調査に御協力頂いた宮城県仙台市・名取市・石巻市、岩手県陸前高田市の教育委員会の方々をはじめ学校関係者各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会:2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報, 丸善出版株式会社, 2011.7
- 2) 岡田成幸、高井伸雄:地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, pp.65-72, 1999.10
- 3) 楠浩一、壁谷澤寿海ほか:学校の被害, 東日本大震災における鉄筋コンクリート建物の被害と分析, pp.1-10, 2012.9
- 4) 宮城県教育委員会ホームページ:<http://www.pref.miyagi.jp/kyouiku/>
- 5) 日本建築学会東北支部:既存 RC 造建築物の耐震補強の設計と施工 -東北の現状-, 相模書房, 2000.11
- 6) 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, サンパートナーズ株式会社, 2002.8.