

既存鉄筋コンクリート造学校建築の耐震性能と耐震補強費用効果

The Seismic Performance and the Effect of Seismic Strengthening Cost
of Existing Reinforced Concrete School Buildings

高橋 純一・上野 真宏*

Junichi TAKAHASHI, Masahiro UENO

1. はじめに

地震国である日本において、耐震設計法が強化改訂された昭和56年以前の不適格既存建物の耐震改修を進めることは地震被害低減のために重要である。なかでも、学校施設は、児童生徒等が一日の大半を過ごす活動の場であるとともに、地域の防災拠点に指定されている公共建築の約60%を占めており、地震等の災害発生時には地域住民の応急的な避難場所としての役割を果たすことが求められ、その耐震診断・耐震補強の重要性は高い。

しかし、文部科学省が平成19年4月に行った公立学校施設の耐震改修状況調査¹⁾によると、小中高等学校の半数程度のみ耐震性の確保がなされているのが現状である。これらは昭和56年の新耐震設計法導入以前に竣工された建物が全体の約60%を占めていることが原因で、そのうち約20%が耐震診断さえ行われていない。

本研究では、栃木県建築士事務所協会耐震診断・補強計画判定会²⁾に提出された栃木県内の鉄筋コンクリート造学校建築を採り挙げ、耐震診断が行われた建物と耐震診断後その結果を基に耐震補強計画が行われた建物(自治体予算計上済み建物)について、耐震性能の現状を把握し、再建築費に対する耐震補強費用効果についての検討を行い、この検討結果に基づき概算耐震補強費用算定式の提案を行っている。

2. 耐震診断

構造耐震指標 I_s の算定式を表1に示す。耐震診断は、日本建築防災協会の既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準³⁾で行われている。診断方法には、1次、2次、3次の診断方法があり、次

表1 構造耐震指標 I_s と耐震判定指標 I_{so}

$$I_s = C \times F \times S_D \times T \geq I_{so} = 0.7$$

I_s : 構造耐震指標 I_{so} : 構造耐震判定指標
 C : 強度係数 F : 靱性係数
 S_D : 建物形状による耐震強度低減係数
 T : 経年劣化による低減係数

表2 公立学校建物の耐震化率(文科省H19.4)

学校種別	小学校	中学校	高等学校	合計
施設数	22,607	10,190	4,045	36,842
棟数 (A)	129,559	31,087	160,646	
建築年				
S56年以前(B)	80,762	18,877	99,639	
S57年以降(C)	48,797	12,210	60,007	
耐震診断実施済棟数(D)	72,167	16,650	88,817	
(耐震診断実施率 (D/B))	(89%)	(88%)	(89%)	
耐震補強済棟数(E)	27,126	6,714	33,840	
(耐震化率 (E+C/A))	(59%)	(61%)	(58%)	

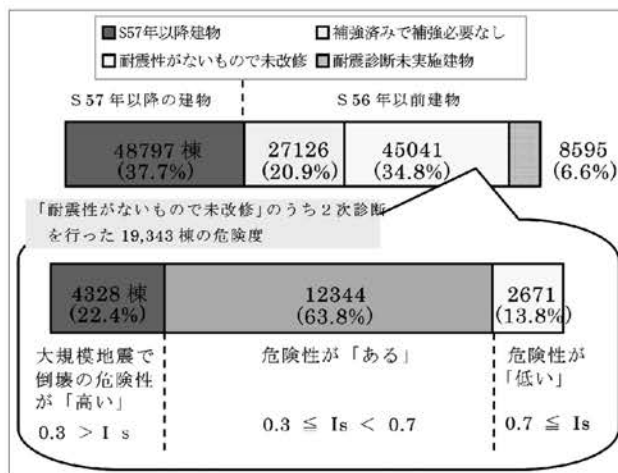


図1 公立小中学校倒壊の危険性(文科省H19.4)

表3 栃木県内公立学校建物の耐震化率

学校種別	小学校	中学校	高等学校	合計
施設数	419	170	74	663
棟数 (A)	1,802	605	2,407	
建築年				
S56年以前(B)	1,009	386	1,395	
S57年以降(C)	793	219	1,012	
耐震診断実施済棟数(D)	943	142	1,085	
(耐震診断実施率 (D/B))	(94%)	(37%)	(79%)	
耐震補強済棟数(E)	146	88	234	
(耐震化率 (E+C/A))	(52%)	(51%)	(52%)	

※ 小山高専専攻科・建築学専攻2年(平成19年度)

数が上がるほど診断精度は高くなる。

診断は構造耐震指標 I_s を求め、判定値 I_{s0} との比較により判定される。ここで、 I_s 指標は、建物の部材から求められる強度指標 C と靱性指標 F に、建物形状や部材配置などの耐震的なバランスの良否による形状指標 S_D および構造の経年劣化を評価する経年指標 T を考慮して算出される。なお、栃木県内小学校建築の診断の構造耐震判定指標 I_{s0} は0.7が定められている。

また、栃木県での耐震診断は、平成7年度から15年度までは3次診断が行われていたが、平成16年度より文部科学省の耐震診断助成が2次診断のみの指定となったため、この年度より以降すべて2次診断で行われている。

3. 栃木県内学校施設の耐震診断・補強の現状

文部科学省が調査を行った公立学校施設の耐震診断実施率・耐震化率の現状を、全国及び栃木県の結果について、それぞれ表2、表3に示す。全国の耐震診断実施率は89%、耐震化率は58%となっている。栃木県内の建物棟数は小中学校1,802棟、高等学校605棟で、計2,407棟となっている。昭和56年以前に竣工された棟数は1,395棟であり、約60%を占めている。そのうち、耐震診断実施済の棟数は1,085棟であり、耐震診断実施率は79%となっている。また、耐震性あり及び既に耐震補強済の棟数は234棟であり、耐震化率は52%となっている。表2中の高等学校を除く全国小中学校についての耐震性の詳細を図1に示す。簡易耐震診断を行い耐震性が低いと判断された、45,041棟の2次診断結果は“危険性あり”、“倒壊までの危険性あり”がそれぞれ約64%、約22%を示している。

文部科学省が公立学校施設の耐震改修状況を公開した平成17年度以降の栃木県の耐震診断実施率、耐震化率の推移を図2に示す。耐震診断実施率は平成17年度の38%から79%へ大幅な伸びが確認できるが、耐震化率については平成17年度の47%から平成19年度の52%とそれほど改善されていないことが確認できる。

4. 検討対象建物

本研究では、栃木県建築士事務所協会耐震診断・補強計画判定会²⁾に提出された3次診断205棟(H

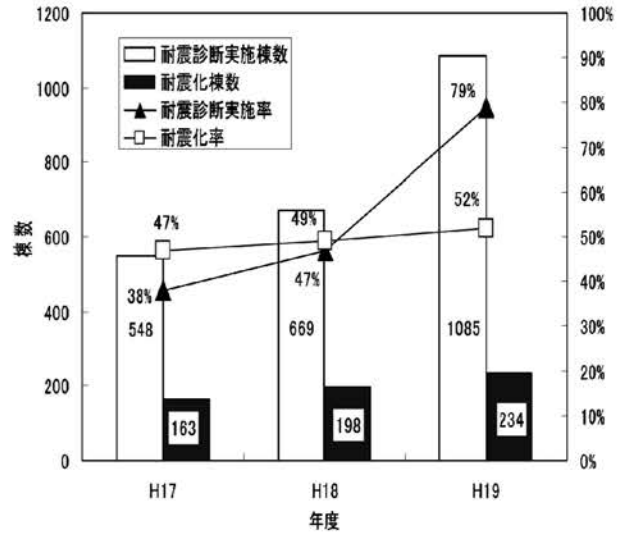


図2 栃木県内耐震診断実施率、耐震化率の推移

表4 栃木県の耐震診断・耐震補強棟数(診断次数別)

学校種別	小学校	中学校	高等学校	合計
3次診断(H7-15)	47 (16)	11 (3)	147 (44)	205 (63)
2次診断(H16-19)	114 (37)	49 (20)	30 (13)	193 (70)
合計	161 (53)	60 (23)	177 (57)	398 (133)

注：括弧内は耐震補強計画が判定会に提出された棟数

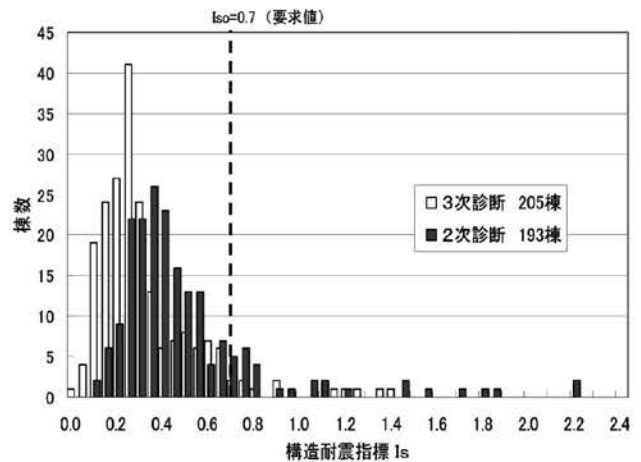
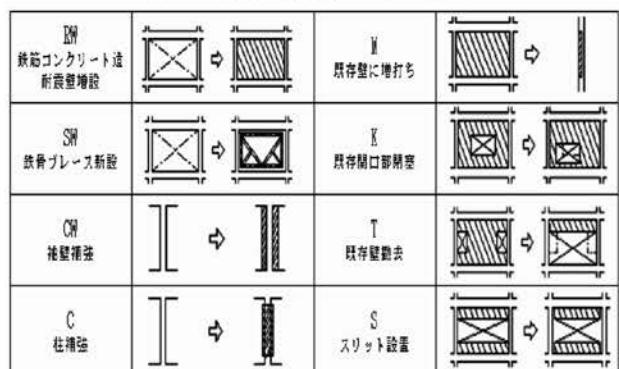


図3 構造耐震指標 I_s の分布(桁行方向)

図4 耐震補強工法の概要



7-15)と、2次診断193棟(H16-19)、計398棟を対象とし、主に2次診断が行われた193棟について検討を行っている。これらの判定会に提出された棟数を表4に示す。括弧内は耐震診断後に耐震補強が行われた棟数で、平成20年1月現在133棟が耐震補強済みである。

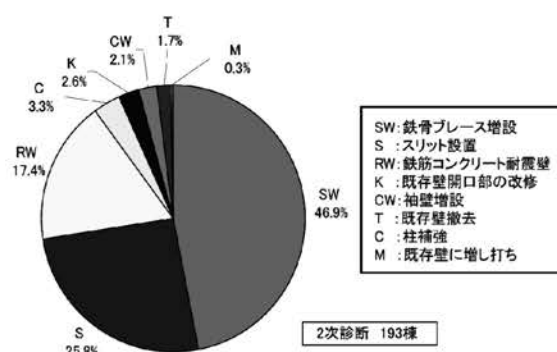


図5 補強方法の工法別割合

5. 補強以前の耐震性能

耐震性が低い値を示す桁行方向の耐震補強前のIsの分布を2次診断、3次診断結果を併せて図2に示す。Isの分布は3次診断で0.35、2次診断で0.45前後の値が最も多い。また、約80%の建物がIso=0.7を下回っており、耐震補強を必要としている。

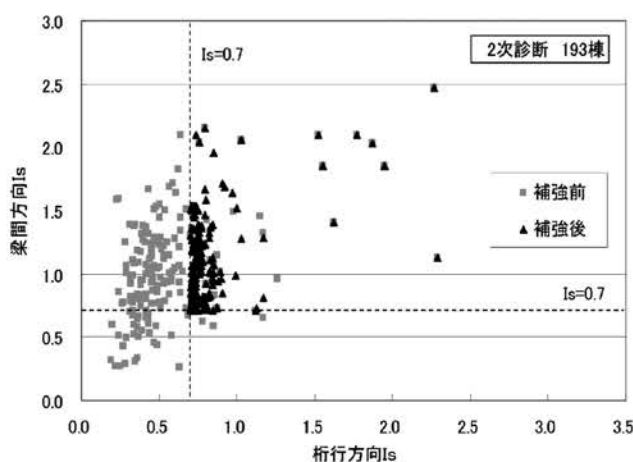


図6 耐震補強前後の構造耐震指標Is

6. 耐震補強工法と補強後の耐震性能

栃木県内で実際に採用されている耐震補強工法の概要図を図4に、工法別割合を図5に示す。補強工法としては、鉄骨ブレース増設(SW)、鉄筋コンクリート耐震壁(RW)、腰壁付き柱へのスリット設置(S)、既存壁開口部の改修(K)、袖壁増設(CW)、既存壁に増打ち(M)、既存壁撤去(T)、柱補強(C)が採用されている。2次診断193棟の耐震補強に採用されている補強種別の割合(補強種別毎の総箇所/全建物の補強総箇所)は、鉄骨ブレース増設(SW)が46.9%と約半数を占め、次にスリット設置(S)が25.8%、RC造耐震壁増設(RW)が17.4%となっている。

耐震補強前後のIsの関係を図6に示す。耐震補強後のIsは0.7付近に分布しており、過剰な補強はほとんど無く、補強が適当であることを示している。

表5 耐震補強費用の概算値(千円)

補強方法	補強費	備考
RC造増設壁	1500	壁寸法 H3150×W7210
鉄骨ブレース増設壁	3500	壁寸法 H3150×W7210
袖壁増設	300	袖壁寸法 H3150×W1000
増打壁	1500	壁寸法 H3150×W7210
柱補強	400	一本(鋼板、炭素繊維巻)
既存開放部の改修	200	開放寸法 H1500×W2000
既存壁撤去	60	5㎡程度の既存壁撤去
スリット設置	25	スリット高さ H1500

7. 耐震補強費用効果

耐震補強費用を栃木県内の耐震補強計画案概算費用算出に用いられる積算資料⁴⁾によって求めた。工法別の耐震補強費用を表5に示す。補強工法当たりの単価は、標準的なスパン7210mm、階高3150mmの鉄骨ブレース増設で350万円、鉄筋コンクリート造耐震壁増設で150万円となっている。

高橋等^{5,6)}が提案する耐震補強費用効果指標Scを表6に示す。建物の耐用年数は、既存建物で60年、新築建物で47年とし、残余年数は60年-

表6 耐震補強費用効果指標Sc

$Sc = \gamma \times \frac{\text{補強費用}}{\text{残余年数}} \times \frac{\text{再建築費用} \times \text{躯体係数}}{\text{耐用年数}}$
<p>Sc: 耐震補強費用効果指標、γ: 補正係数(=1.0) 耐用年数: 既存建物(60年) 新築建物(47年) 残余年数: 60年-経過年数 躯体係数: 施工費の構造躯体が占める割合(25%) 再建築費用: 80万円/坪</p>

建物の経過年数として求めた。また、再建築費用は、栃木県の建物を参考に坪当たり80万円とした。躯体係数は施工費の構造躯体が占める割合として25%とした。以上の条件により耐震補強費用効果指標 Sc の算出を行い、表7に示す判定基準によって検討を行った。

Sc の値が1.0より大きい場合は、単位年数当たりの補強費用が再建築費用を上回ることを示している。ここでは、 $Sc < 0.3$ の場合、補強効果が大きく、 $0.3 \leq Sc < 0.7$ の場合、補強効果が適正、 $0.7 \leq Sc < 1.0$ の場合、補強効果が少なく、 $1.0 \leq Sc$ の場合、補強計画に疑問がある、と判定している。

2次診断結果193棟の、構造耐震指標 Is と耐震補強費用効果指標 Sc の関係を図7に示す。 Sc が1.0を越える建物が1%、1.0を下回り0.7を越えるものが8%、0.7を下回り0.3を越えるものが32%、0.3を下回るものが59%となっている。大部分の建物が、 $Sc=0.7$ を下回っており、補強効果が適正であると判断できる。また、全建物の Sc の平均値は0.28となっている。

この耐震補強費用効果指標 Sc の判定基準については、さらに検討を行う必要があると考えている。

桁行方向における構造耐震指標 Is と単位床面積当りの補強費用の関係を図8に示す。梁間方向については、教室を区画するために耐震壁が配置されており、耐震補強を行わなくてもよい場合が多く、耐震補強を行う場合も僅かであるので検討結果を割愛する。ここでは、一般的な学校建築である一文字型の校舎160棟の桁行方向について検討を行っている。図中に示す近似直線は、構造耐震指標 Is が0.3以下になった場合、耐震補強を行わずに取り壊しの対象となるため、 Is の範囲を $0.3 \leq Is \leq 0.7$ としている。同図には、2次診断が行われた全193棟についての近似直線も波線で併記して示す。一文字校舎に比べて僅かに低い値を示している。

ここで、一文字校舎160棟で求められた近似直線を概算耐震補強費用算定式として提案する。この概算費用算定式を表8に示す。この範囲内での近似直線の単位床面積当りの補強費用は、 $-38.2Is + 26.8$ (千円/㎡)となる。これは、構造耐震指標 Is が0.3の場合、0.7へ改善するために単

表7 耐震補強費用効果指標 Sc の判定基準

Sc	判定
$1.0 \leq Sc$	補強計画に疑問
$0.7 \leq Sc < 1.0$	補強効果が少ない
$0.3 \leq Sc < 0.7$	補強効果が適正
$Sc < 0.3$	補強効果が大きい

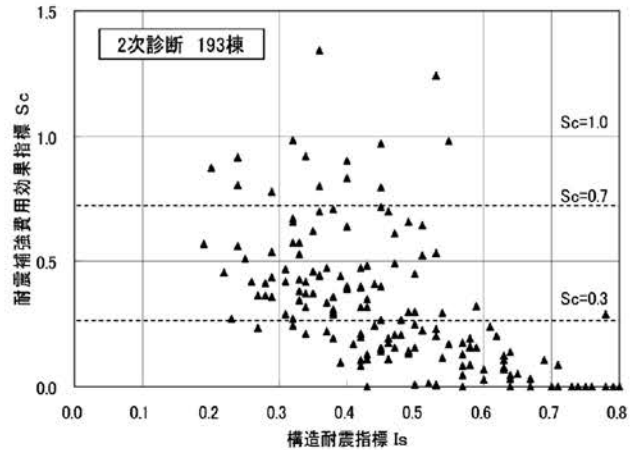


図7 構造耐震指標 Is と耐震補強費用効果指標 Sc

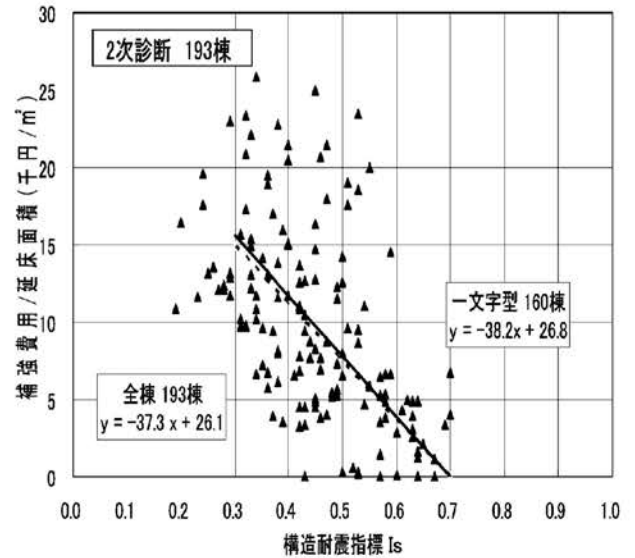


図8 構造耐震指標 Is と耐震補強費用(桁行方向)

表8 概算耐震補強費用算定式

概算耐震補強費用算定式 SSC SSC (千円/㎡) = $-38.2 Is + 26.8$ ここで、 Is は構造耐震指標 ただし、 $0.3 \leq Is \leq 0.7$

位床面積当り15.3(千円)を必要とすることを示している。さらに、 $0.3 \leq I_s \leq 0.7$ の範囲内であれば、 $I_s=0.3$ の補強費用15.3(千円)より診断 I_s 値と0.7の差に3.8(千円)を乗じた値を軽減した補強費用を必要とすることを示している。

8. おわりに

栃木県内における既存鉄筋コンクリート造学校建築の2次耐震診断及び耐震補強が行われた193棟の資料より、これらの耐震性能の現状とその構造耐震指標 I_s と耐震補強費用効果指標 Sc との関係を検討することができた。

栃木県内の学校建物は構造耐震指標 I_s が要求値である0.7を下回るものが約80%を占めている。耐震診断実施率、耐震化率の現況としては、全国平均に比べ下回った結果となっている。近年、耐震診断実施率はこれまでに比べて大幅に改善されており、さらなる耐震化率の改善が望まれる。

ここで示した概算耐震補強費用算出式によって簡易的ではあるが、耐震診断によって求められた構造耐震指標 I_s から耐震補強概算費用を求めることが可能である。耐震化が進まない大きな原因に、費用の問題が挙げられる。この提案式により各学校の耐震補強費用のみでなく、県や市町村等の各自治体が所有するすべての学校の耐震補強費用を求めることが可能であり、各々の自治体の施設整備に関する予算の算出に利用できるものと考ええる。

また、耐震補強費用効果指標 Sc は耐震補強を行う優先順位の設定や、耐震補強を行うか、行わずに建替えるかを決定する際の一つの判断基準として有用な指標と考える。

最後に、行政の最も新しい学校建物の耐震化措置について述べておく。文科省⁷⁾は、2008年中国四川大地震の被害に鑑み、平成20年より地震防災特別措置法を改正して、学校設置者である市町村の財政負担軽減のため地震防災緊急事業5箇年計画に基づいて実施される事業のうち、地震の際に倒壊等の危険性の高い公立小中学校等の建物 (I_s 値0.3未満) について、1)地震補助事業については補助率を1/2から2/3に、2)コンクリート強度等の問題により、やむをえず行う改築事業については補助率を現行1/3から1/2に改善し、さらに市町村の取組促進策として、公

立小中学校の建物については、市町村に対し耐震診断の実施と耐震診断結果 (各建物毎の I_s 値等の耐震性能) の公表を義務づける等の措置を行った。

また、東京都⁸⁾は、 I_s 値が0.3未満の建物は2010年度までに、 I_s 値が0.3~0.7までの建物は2012年度までに耐震化を行う目標を掲げ、それぞれに、国の補助の他の残り3.3%と上限1万4千円/m²までと、国の補助の他起積が37.5%可能なため、残り12.5%を補助することとしている。

これらの措置が海外の地震被害により行われたことは残念であるが、これらの措置により、学校建物の耐震改修が促進されることは喜ばしいことといえる。

謝辞

耐震診断判定会資料を提供頂いた栃木県建築士事務所協会耐震診断・補強計画判定会(委員長田中淳夫宇都宮大学名誉教授)に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省HP：公立学校施設の耐震改修状況調査、http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/06/08061608.htm、2008.6査結果について、文部科学省HP、2007.4
- 2) 栃木県耐震診断判定会資料：平成7-19年度
- 3) 日本建築防災協会：改訂版、既存鉄筋コンクリート造学校建築の耐震診断基準、2001.10
- 4) 全国ビルリフォーム協同組合連合会九州地区協議会：平成10年度版建築改修工事共通仕様標準抛積算資料、2001.2
- 5) 高橋純一、岡田裕：鉄筋コンクリート造学校建築の耐震性能と耐震補強費用効果、小山高専研究紀要36号、2004.3
- 6) 岡田裕、高橋純一：鉄筋コンクリート造学校建築の耐震性能と耐震補強効果-栃木県内高等学校、小中学校建物について、日本建築学会大会学術講演梗概集、2004.8
- 7) 文部科学省HP：地震防災対策特別措置法改正の要旨、http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/20/06/08061228/002.htm、2008.6

- 8) KEN-Platz : 倒壊の危険がある小中学校400棟を耐震化、東京都が助成、<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/building/news/20080922.htm>、2008.9

e-mail 高橋純一 : takajun@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 2008年9月26日」