

報告 新潟県における学校建築物の耐震補強に関する検討

中村 友紀子^{*1}・加藤 大介^{*2}・篠田 悟^{*3}

要旨:1995 年兵庫県南部地震を契機に耐震改修促進法が制定され、全国各地で公共建物の耐震診断・耐震改修が行われている。新潟県においても公立学校建築物の耐震診断が行われており、耐震診断が行われたもののうち耐震判定指標に満たない場合には耐震補強計画、補強を行っている。本報告では、新潟県での学校建築物の耐震性能の分析を行った。また、新潟県の学校建物の Is 値頻度分布を推定し、被害率を算定した。耐震補強を進めることによって被害率がどのように変化するのか検討を行った。

キーワード:耐震診断、耐震補強、学校建築物、被害率

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震を契機に耐震改修促進法が制定され、全国各地で公共建物の耐震診断・耐震改修が行われている。新潟県においても平成9年より公立学校建築物を中心に耐震診断が行われている。耐震性能指標 Is 値¹⁾が耐震判定指標に満たない場合には耐震補強計画、補強工事を行っている。しかし、学校建築物の耐震補強工事には、予算の問題のほか、夏休み期間の短期間しか工事が出来ないこと、この時期に工事が集中するため施工技術者が不足する。などの問題点もあり実際に耐震補強が行われた建物は非常に少ない。本報告では、新潟での学校建築物の耐震性能の分析を行い、さらに新潟県の学校建物全体の Is 値頻度分布を推定し、兵庫県南部地震により被災した鉄筋コンクリート造建物の被害調査結果を基にした Is 値と被災度の関係²⁾を用いて被害率を推定した。これにより耐震補強を進めることによって被害率がどのように変化するのか検討を行う。

2. 新潟県における学校建築物の耐震性

新潟県では平成 8 年から 1981 年以前に建てられた公立学校建築物を対象に耐震診断が行われ

ている。平成 11 年度までに新潟県設計協同組合で耐震診断が行われた公共建築物は 54 棟である。新潟県学校総数を表 1 に示す。全学校施設数 1174 校の内、現在までに耐震診断が行われているのは 36 校足らずである。

表 1 新潟県学校総数および耐震診断実施状況

施設名	全施設数	耐震診断調査済み
全教育機関	1174	36 (54)
高等学校	111	25 (29)
小・中学校	909	11 (25)
その他の機関	154	0 (0)

() は施設棟数

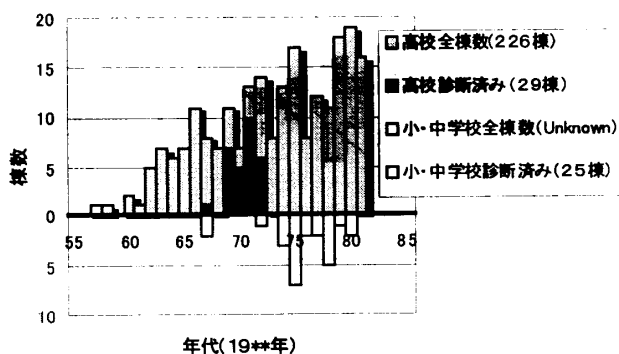


図 1 新潟県の年代別の診断対象建物数と診断終了数

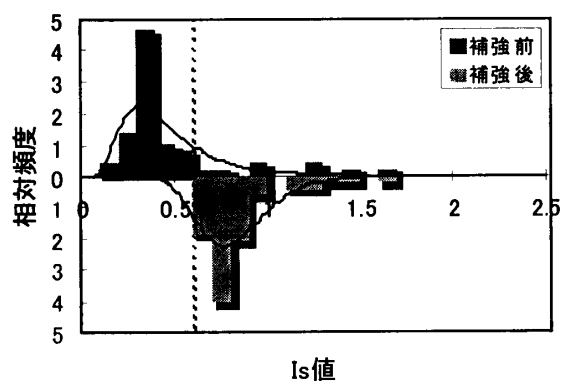
*1 新潟大学助手 工学部建設学科 博士(工) (正会員)

*2 新潟大学教授 工学部建設学科 工博 (正会員)

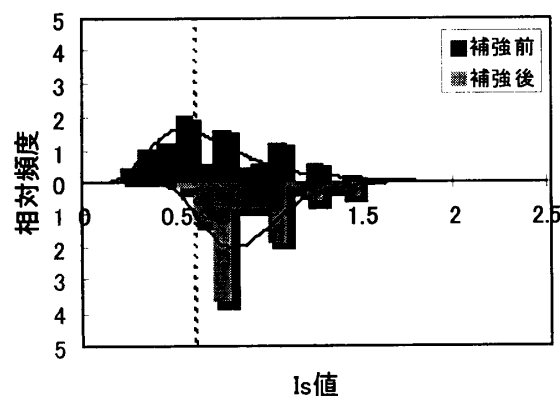
*3 東京工業大学 大学院

これらの中で診断がおこなわれているのは、主に県立高校が中心であり、延べ床面積が 1000 m²以上で3階建て以上の建物が対象となっている。図1に対象全建物数と耐震診断が終了した建物数を示す。耐震診断の対象となっている建物は1981年以前建築の建物である。例えば高等学校の場合、現在までに診断された建物は全対象棟数 226 棟の約 10%に過ぎず、全体を把握するには至っていない。

また新潟県では、昭和 58 年から築後 25 年が経過したものを対象に大規模改修工事(化粧直しのみの工事)を行っており、すでに改修工事が終了してしまったものは診断対象外とされている。このためこれらの古い建物(全棟数の約 24%)が未補強で残ることになっている。



(a) 桁行き方向



(b) 張間方向

図2 診断方向別に見た補強前後の Is 値分布

構造耐震指標 Is 値分布を桁行き、張間方向別に図2に示す。本論で対象とした建物は Is 値が不明なものや体育館・室内運動場等や Is ≥ 2.5 といったデータを除いた 49 棟とした。これらの桁行き方向ではほとんどが、張間方向でも半数近くが構造耐震判定指標 Is₀(0.6 又は 0.7)を下回っている。図中の実線は、Is 値分布を(1)式の対数正規分布³⁾で近似したものである。

$$P_k(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y x} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(\ln(x) - \bar{y})^2}{\sigma_y^2}\right] \quad (1)$$

x: Is 値、y: ln(x)、 $\bar{y}$: yの平均値、 σ_y : yの標準偏差

補強前・後での桁行き、張間方向のIs値の相関について図3に示す。ほとんどが桁行き方向の補強を行ったものであるが、桁行き、張間方向ともに低い Is 値である建物も多いことが分かる。

3 章の被害率の推定では各建物について Is 値が小さい値をその建物の Is 値であるとみなして用いた。この Is 値分布を図4に示す。

耐震診断・補強が行われた建物の建設年代(～1971 年、1972～1981 年)、階数ごとの補強前・後の Is 値分布(a)と自治体の建物被害想定で用いられることの多い年代別、階数別の Is 値分布(b)⁴⁾を比較して図5に示す。また、耐震診断・補強が行われた建物の Is 値分布を対数正規分布に近似した平均・標準偏差を表2に、建物被害想定で用いられることの多い年代別、階数別の Is 値分布の平均・標準偏差を表3に示す。

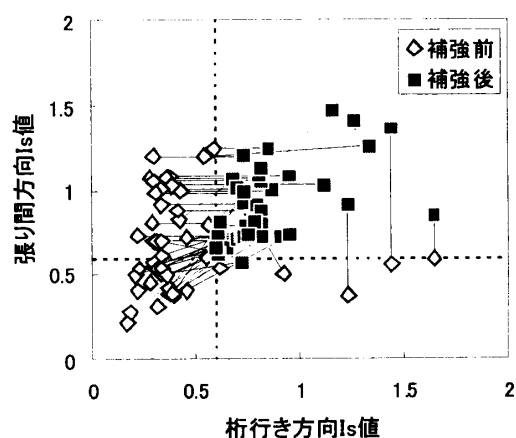
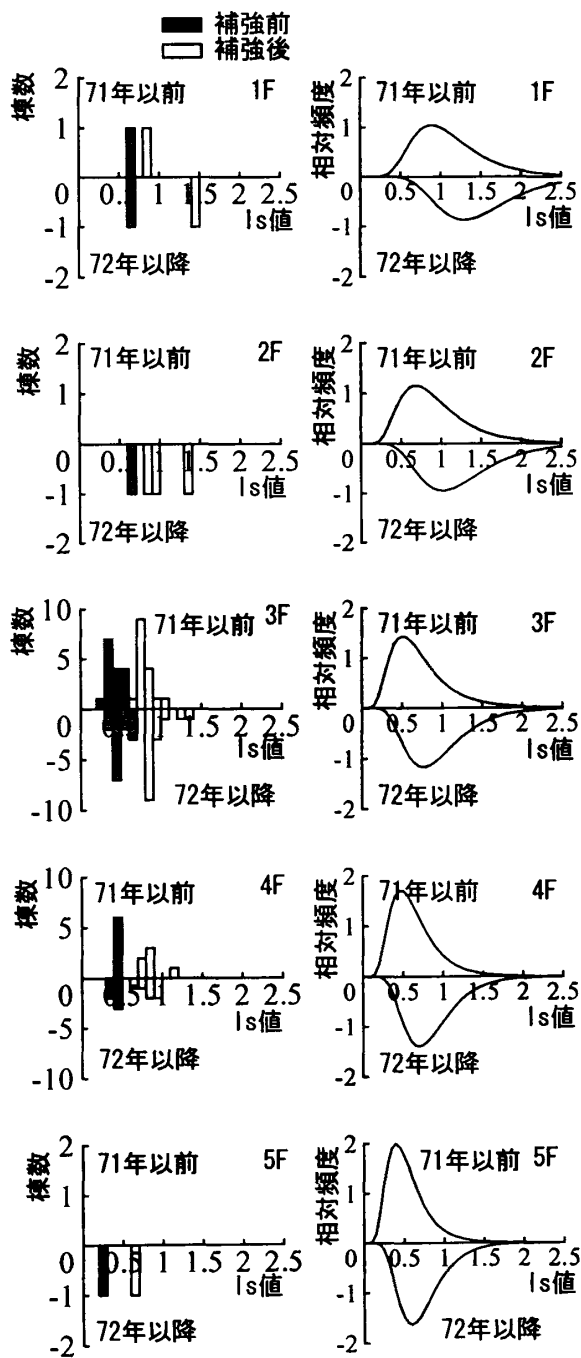


図3 耐震補強前後での各方向の相関関係



(a) 新潟県 (b) 静岡県

図5 補強前後の建設年代別 Is 値分布

この 1971 年以前・1972 年～1981 年の値は、静岡県における RC 造公共建築物の耐震診断結果をもとにした値³⁾である。

新潟県のデータの方が小さくなっているのは、桁行きと張間両方向を別々のサンプルとして扱って

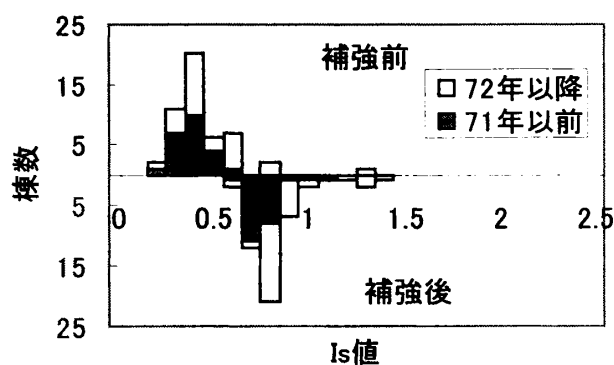


図4 年代別の補強前後の Is 値分布

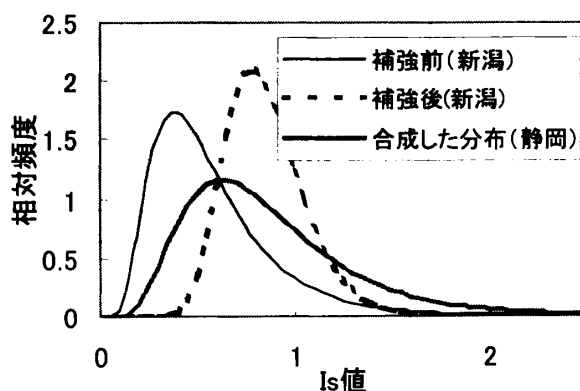


図6 補強前後の Is 値分布と合成した分布

ることや、新潟県では大規模改修工事が終了した建物を除いて建設年の古い建物、つまり耐震性能が低いであろう建物から耐震診断を行っているためであり、そのまま比較することが出来ない。そこで、新潟のデータも両方向ともサンプルとして対数正規分布に近似したものと、表 3 のデータをサンプルの階数年代分布が一致するよう重み付けをして足しあわせることにより比較する。すなわち、それぞれの年代・階数区分ごとの頻度に対して、新潟県の診断済み建物数に対するその区分の建物数の比率を掛けて、全ての区分での頻度を足し合わせる事により Is 値分布曲線を求めた。図 6 にこの合成した Is 値分布と、新潟県の補強前、補強後の分布曲線とを比較して示す。

新潟における Is 値分布は、低い値に分布のピークがあり、地震地域係数 Z が 0.9 である事を考慮しても、耐震性能が低いことが分かる。

表2 新潟県で耐震診断が行われた学校建物の I_s 値の平均値・標準偏差・棟数

	階数	1	2	3	4	5
～71年	棟数	1	0	16	6	0
補強前	平均値	0.550	—	0.319	0.336	—
	標準偏差	—	—	0.088	0.029	—
補強後	平均値	0.760	—	0.694	0.753	—
	標準偏差	—	—	0.091	0.125	—
72年～81年	棟数	1	3	15	6	1
補強前	平均値	0.555	0.856	0.416	0.369	0.170
	標準偏差	—	0.281	0.121	0.103	—
補強後	平均値	1.360	0.941	0.839	0.728	0.720
	標準偏差	—	0.224	0.138	0.075	—

表3 静岡県における年代別 I_s 値の平均値・標準偏差^{3), 4)}

	階数	1	2	3	4	5
～71年	平均値	1.126	0.935	0.723	0.638	0.543
	標準偏差	0.464	0.448	0.370	0.299	0.259
72年～81年	平均値	1.531	1.272	0.983	0.868	0.739
	標準偏差	0.528	0.510	0.421	0.341	0.295
81年～	平均値	1.864	1.549	1.197	1.057	0.900
	標準偏差	0.528	0.510	0.421	0.341	0.295

3. 被害率の推定

3.1 I_s 値分布

前節の結果をもとに新潟県における被害率の予測を行う。耐震診断の対象となっている建物は、すべて1981年以前の建物であり、この分布は全体の建物のものではない。このため、まず I_s 値の分布を推定する。推定するにあたり、以下のような仮定を行った。

・建物棟数

小中学校の建物数は未知であり、建物数と学校数は異なる。このため、小中学校の建物数は、生徒数に比例するものとして、既知の高等学校の延べ床面積 1000m² 以上の棟数 476 に対する生徒数の割合より算定した^{5), 6)}。

・建物の年代区分

すべての建物の建設年代区分割合は、高等学校建物の建設年代比率(1971年以前:1972年～1981年:1981年以降=137:203:136)とその割合が等しいものとした。

・建物階数

耐震診断が行われた建物の階数の割合に比例しているとした。

・ I_s 値の平均値、標準偏差

表2に示した平均値は建設年代・階数別にわけると対象となるサンプル数が少なくなるためにばらついているが、図6に示すように全体として低い値であり、表3の値に対して0.2～0.8倍程度なので、一律に表3の値の0.5倍とした。1981年以降の建物についても同様に0.5倍とした。補強後については、既に補強計画が行われた建物の分布と等しいものとした。

標準偏差は、表3における標準偏差と平均値の関係からこれらが比例しているとして近似式を求めてそれに従うものとした。

以上のようにして I_s 値分布曲線を仮定して図8にそれぞれ補強前、現在までに耐震診断が行われて補強又は補強計画が行われた49棟を考慮したものの、1971年以前の建物が耐震補強されたと仮定し

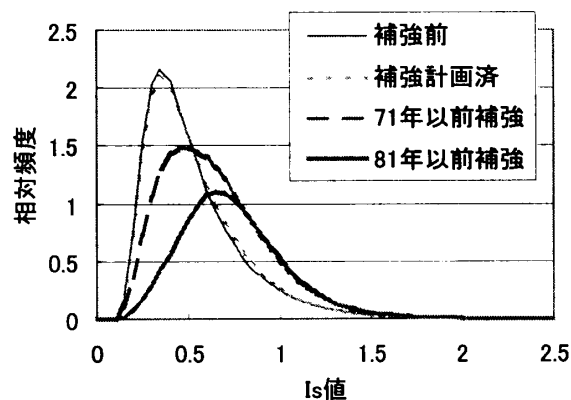


図8 推定した I_s 値分布

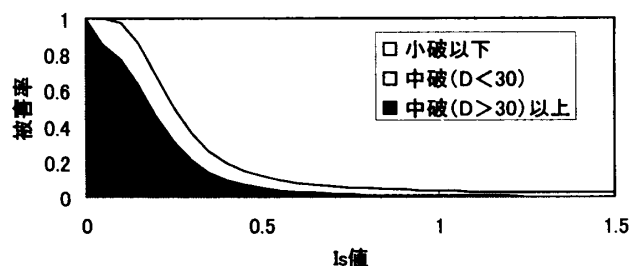


図9 震度6以下地域の被害率¹⁾

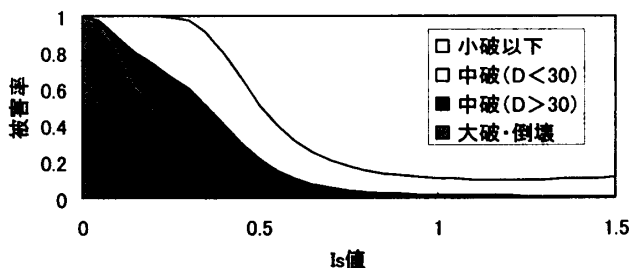


図10 震度7地域の被害率¹⁾

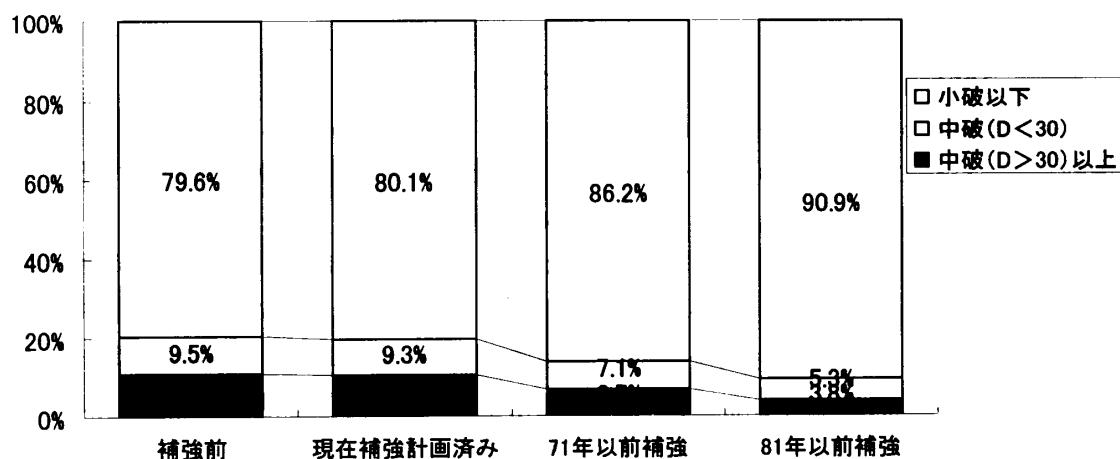


図11 震度6以下地域の推定被害率

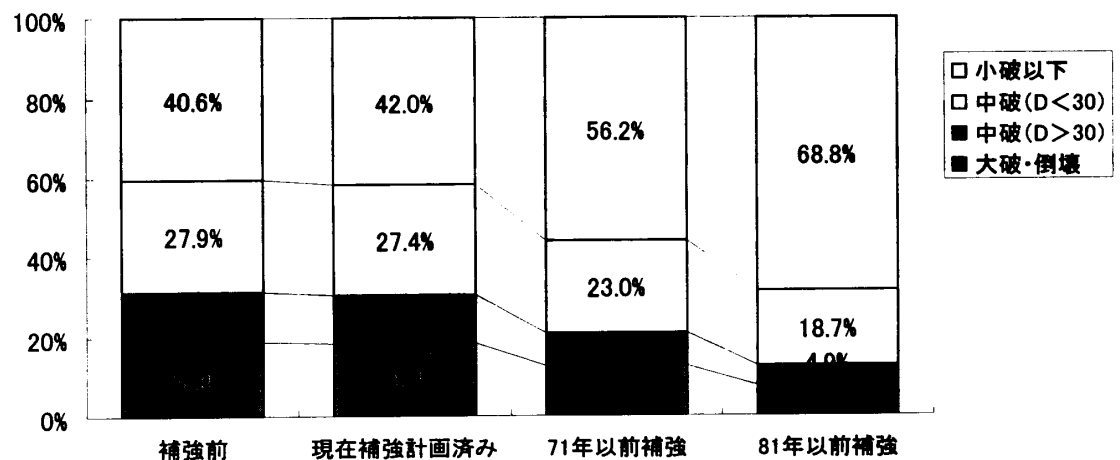


図12 震度7地域の推定被害率

たもの、1981 年以前の建物すべてに耐震補強が行われたと仮定したものの、の 4 種について I_s 値分布曲線を示す。現在、補強計画が行われている建物は、49 棟だけであるので、これらの補強工事が完了したと仮定した段階では、補強前の場合と極僅かしか変らない事が分かる。

3.2 被害率の推定

図8に示した I_s 値分布を用いて被害率を予想する。 I_s 値と被災度の関係は、兵庫県南部地震により被災した建物の被害調査結果を基にした被害率²⁾を用いた。この被害率を図9、10に示す。

新潟においても被害率は、これと等しいとして I_s 値分布を掛け合わせることで計算した。図11、12に各被災度の割合を示す。現状では、補強建物数が大変少なく被害率の低減効果はほとんど現れていない。しかし、1971 年以前、または、新耐震以前に建設された建物について補強を行う事は、大幅な被害減少につながる事がはっきりと分かり、耐震診断補強が進められる事が望まれる。

また、全体的に被害率が非常に大きくなっているが、これは県下全域が震度7、震度6としているためであると考えられる。また、実際の被害想定とするためには、地震動強さの分布、地盤の分布など考慮する必要がある。

4. まとめ

新潟県で行われている鉄筋コンクリート造学校建築物の耐震診断、および耐震補強計画をもとに検討を行い得られた結果は以下の通りである。

・新潟における耐震性能指標 I_s 値の分布は、地域係数 Z が 0.9であることを考慮しても小さく、被害想定などに使われている I_s 値分布とは対応しないことが分かった。

・1995 年兵庫県南部地震で被災した鉄筋コンクリート造学校建築物の被害調査結果を基にして推定されている I_s 値と被災度区分ごとの被害率の関係を用いて、建設年代、階数ごとの I_s 値分布の平均値、標準偏差を仮定して被害率を算定した。補強前、現在までに耐震診断が行われた建物について

の補強が終了した時、71 年以前の建物に対しての補強が終了した時、81 年以前の建物に対しての補強が終了した時のそれぞれの被害率を求め比較した。

・その結果、現段階では、被害率の変化が明確に現れるほど補強が進んでいないが、1971 年以前や新耐震以前に建築された建物の補強を行っていくことは、被害率の低減に重要であることが示すことが出来た。

謝辞：本報告は新潟県設計協同組合によって耐震診断が行われた耐震診断結果、補強計画のデータを利用させて頂きました。ここに深く感謝いたします。

<参考文献>

- 1) 日本建築防災協会：改訂版・既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説
- 2) 前田匡樹、堀伸輔、横松竜司：1995 年兵庫県南部地震により被災した RC 造学校建築物の構造耐震指標 I_s 値と被害の関係に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、1997.9、pp.511-512
- 3) 中埜良昭：信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の対震安全性に関する研究、東京大学学位論文、1988
- 4) 林康裕：耐震診断結果を利用した地震リスクの表示の試み、耐震診断・耐震補強の現状と今後の課題、日本建築学会関東支部構造委員会、2000
- 5) 文部省：平成 11 年度学校基本調査報告書、大蔵省印刷局、1999
- 6) 新潟県教育委員会：学校要覧