

1. はじめに

1995 年 12 月の「建築物の耐震改修の促進に関する法律」施行後、全国で公共建築物を中心とした耐震診断及び耐震改修が実施されている。

本研究では、1996 年 9 月から 2015 年 12 月までに、(社)北海道建築士事務所協会の耐震診断判定委員会において第 2 診断（一部第 3 次診断を含む）が行われた RC 造建築物 2421 棟、SRC 造建築物 74 棟、S 造建築物 120 棟、屋内運動場 560 棟の結果を用いて北海道の建築物の耐震性能評価を行う。

2. 耐震診断基準の概要

建築物の耐震性能の判定は、構造種別ごとの耐震診断基準¹⁾²⁾³⁾⁴⁾を基に行われている。基準では、構造耐震指標 I_s 値と累積強度に関わる指標 $C_{TV} \cdot S_D$ 値または、保有水平体力に関わる指標 q 値が規定されている。耐震性能の判定は、RC 造及び SRC 造建築物では(1)式、S 造建築物及び屋内運動場では(3)式を満足する場合に「安全」とし、そうでなければ「耐震性に問題あり」とされる。

$$I_s \geq I_{SO} \text{ かつ、} C_{TV} \cdot S_D \geq 0.3 \times Z \times G \times U \quad (1)$$

$$I_{SO} = E_s \times Z \times G \times U \quad (2)$$

$$I_s \geq I_{SO} \text{ かつ、} q \geq 1.0 \quad (3)$$

ここで、 C_{TV} は終局時累積強度指標、 S_D は形状指標、 Z は地域指標、 G は地盤指標、 U は用途指標、 E_s は耐震判定基本指標を表す。 I_{SO} は構造耐震判定指標であり、S 造建築物で $I_{SO}=0.6$ 、屋内運動場で $I_{SO}=0.7$ である。

I_s 値は建築物の各階、各方向それぞれについて算定されるが、本論文では、それらのうち最小のものを建築物の最小 I_s 値として議論する。

3. 北海道の耐震診断状況

図 1 に耐震診断棟数の年度推移を、構造種別ごとに示す。判定棟数は法律やそれに伴って都道府県が制定する促進計画の影響を受け、北海道では多数利用建築物を対象とした「北海道耐震改修促進計画」が施行された 2006 年から 10 年間で 2465 棟（全棟数の 77.6%）が診断された。こ

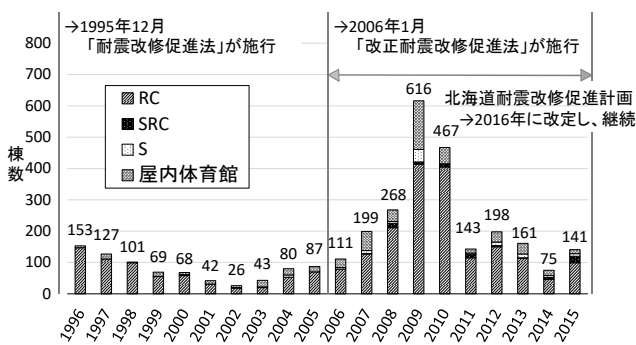


図 1. 年度別判定棟数の推移

の計画は 2016 年 5 月に多数利用建築物の耐震化率 95% となるように改定され、さらに耐震診断が実施される建築物が増えていくことが期待される。2013 年 11 月には耐震改修促進法の改正が行われ、大規模建築物の耐震診断実施及び所管行政庁への結果報告が義務付けられた。それに伴い北海道では、それ以前まで学校建築や庁舎が診断を中心に診断が行われていたが、2014 年には耐震診断実施棟数のうち学校や官庁関係以外の用途の建築物の割合が 42.7%、2015 年では 54.6% となった。その結果、2008 年までは皆無だった SRC 造建築物の判定棟数も増えてきている。

4. 耐震診断結果

耐震診断の結果から補強が必要と判定され、耐震改修（補強計画も含む）が行われた建築物は、RC 造建築物 750 棟、SRC 造建築物 5 棟、S 造建築物 8 棟、屋内運動場 67 棟であった。これらの建築物について、耐震改修前後の最小 I_s 値の統計値を表 1 に示す。耐震改修によって最小 I_s 値のばらつきは低減し、どの構造種別においても平均 0.7 以上となり、十分な耐震性能を得る。

表 1. 耐震改修前後の I_s 値の統計値

RC: 750 棟			S: 8 棟		
改修前	平均	標準偏差	改修前	平均	標準偏差
改修後	0.43	0.15	改修後	0.54	0.67
	0.72	0.12		1.02	0.40
SRC: 5 棟			屋内運動場 67 棟		
改修前	平均	標準偏差	改修前	平均	標準偏差
改修後	0.41	0.21	改修後	0.59	0.70
	0.72	0.13		1.07	0.42

図 2 に、耐震診断が行われた RC 造建築物 2421 棟の最小 I_s 値分布を示す。棒グラフは相対頻度を表し、曲線はその頻度分布を対数正規分布で近似したものを表す。耐震改修後の最小 I_s 値分布は(3)式で近似したものを点線で示す。また、耐震改修が行われた 750 棟の改修前後について、相対頻度及び、対数正規分布で近似した頻度分布を 750/2421 倍して示している。

$$P_{RS}(x) = P_{IS}(x) - R_S \times P_{BS}(x) + R_S \times P_{AS}(x) \quad (3)$$

ここで、 $P_{IS}(x)$ 、 $P_{BS}(x)$ 、 $P_{AS}(x)$ はそれぞれ未改修時の全建

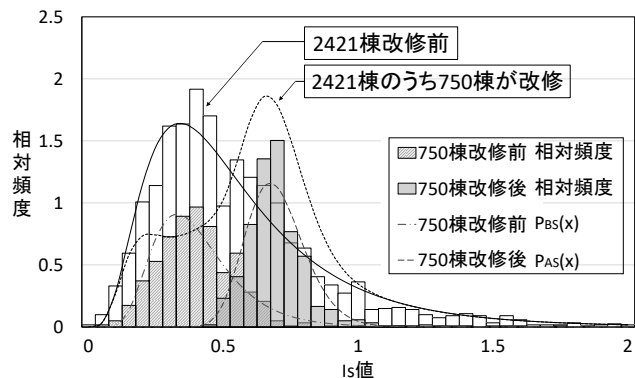


図 2. RC 造建築物の I_s 値分布

築物の最小 I_s 値分布、改修対象建築物の改修前の最小 I_s 値分布、改修対象建築物の改修後最小 I_s 値分布を対数正規分布近似したものを、 R_s は改修率(耐震改修が行われた棟数/全棟数)、 x は I_s 値を表している。

RC 造建築物の最小 I_s 値は、0.4 から 0.5 にピークをもつ対数正規分布で近似でき、かなりばらつきが大きい。その内、耐震改修が行われた 750 棟についてのみに着目すると、耐震改修前後の最小 I_s 値はそれぞれ、0.4 から 0.5、0.7 から 0.8 にピークをもつ対数正規分布に近似でき、耐震改修によって最小 I_s 値分布は右に平行移動する。

図 3 に、全棟数 2421 棟のうち 750 棟(31%)、525 棟(22%)、292 棟(12%)、の耐震改修が行われたとき、及び未改修時の最小 I_s 値分布を示す。曲線はそれぞれ(3)式による相対頻度の近似曲線を表す。改修率が高くなる、すなわち耐震改修が行われた建築棟数が増えるに従い、 I_s 値が 0.65 から 0.7 の相対頻度が大きくなっていく。

図 4 に耐震診断の実施棟数を地域ごとに示す。石狩地域が判定棟数 764 棟で最多、留萌地域が 30 棟で最少となっている。 I_s 値不足棟数の割合が最も高い地域は根室地域で 50.0%、最も低い地域は石狩地域で 31.3%である。判定棟数に地域差があるものの、不足棟数割合はどの地域でも 30～50%程度であった。

5. RC 造建築物の地震被害予測

RC 造建築物 2421 棟を対して、中埜、岡田⁵⁾らの方法を適用して地震被害率を予測する。文献⁵⁾によると建物群の I_s 値の確率密度関数を P_{RS} 、入力地動のばらつきを考慮した荷重効果 E_T の確率密度関数を P_{ET} とし、「全建物に対する被害建物数の割合」を「被害率 V 」と定義すると、被害率 V 及び被害建築物の I_s 値分布 $v(x)$ はそれぞれ次式で表せる。ただし x は I_s 値、 r は E_T 値を表す。

$$V = \int_0^{\infty} v(x) dx \quad (4)$$

$$v(x) = P_{RS} \cdot \left[1 - \int_0^x P_{ET}(r) dr \right] \quad (5)$$

1968 年十勝沖・1978 年宮城県沖地震(旧震度 V 相当)、1995 年兵庫県南部地震(旧震度 VI 相当)、2011 年東北地方太平洋沖地震(震度 5 強、6 弱、6 強)で中破以上の被害を受けた建物の I_s 値分布はそれぞれ文献⁵⁾⁶⁾⁷⁾で算出されており、それらを用いて予測地震被害率を算定する。

図 3 に示した最小 I_s 値分布を確率密度関数として、算出した予測地震被害率を図 5 に示す。予測される地震被害率は震度階別で見ると、改修率によらず旧震度 V、震度 5 強、震度 6 弱、震度 6 強と旧震度 VI という順に大きく

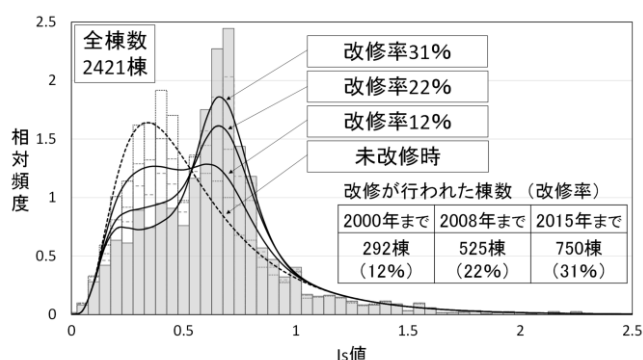


図 3.改修率ごとの RC 造建築物の I_s 値分布

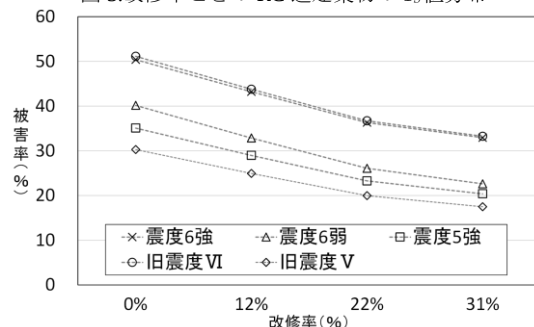


図 5.改修率と予測地震被害率の変化

なっている。改修が進んでいくことで地震被害率は減少し、改修率が 30%程度になると、どの震度階でも改修前より 15%程度低減されている。

6. まとめ

北海道の耐震診断結果に基づき、北海道の建築物の耐震性能を分析し、以下の知見を得た。

- ①耐震診断の実施棟数は法律や促進計画に影響を受け、2008 年以降は、用途としては学校や官庁関係以外、構造種別としては SRC 造建築物の耐震診断が増えている。
- ②耐震改修によって最小 I_s 値が、RC 造建築物で平均 0.43 から 0.72 に、SRC 造建築物で平均 0.41 から 0.72 に、S 造建築物で平均 0.54 から 1.02 に、屋内運動場で平均 0.59 から 1.07 に向上した。
- ③RC 造建築物の I_s 値は、耐震改修前は 0.4 から 0.5 にピークをもつ対数正規分布で近似でき、耐震改修後は分布のピークが 0.7 付近になった。
- ④RC 造建築物 2421 棟のうち、750 棟の耐震改修が行われた 2015 年 12 月までの時点で、旧震度 VI レベルおよび旧震度 V レベルの地震動によって中破以上の被害を受けると予測される地震被害率はそれぞれ 33%、18%である。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会:2001 年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説
- 2) 日本建築防災協会:2009 年改定版 既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説
- 3) 日本建築防災協会:2011 年改訂版 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
- 4) 文部科学省:屋内運動場等の耐震性能診断基準(平成 18 年版)、2006 年 7 月
- 5) 中埜良昭、岡田恒夫:信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集第 406 号、PP.37-43、1989 年 12 月
- 6) 斎藤陽子、澤木美穂ほか:北海道における既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能 その 2 過去の地震データを用いた被害率の推定、日本建築学会大会学術講演梗概集(構造 IV)、PP.865-866
- 7) 長谷川修一、緑川光正ほか:耐震診断結果に基づく北海道の RC 造建築物と S 造屋内運動場の耐震性能と地震被害予測、日本建築学会大会学術講演梗概集(構造 IV)、PP.229-230

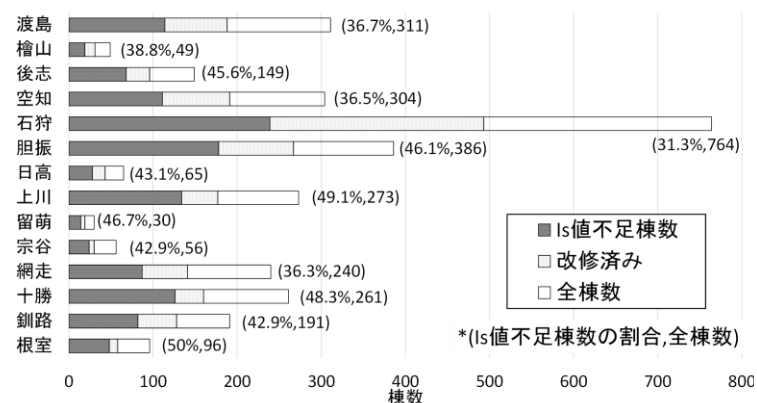


図 4.地域ごとの判定棟数