

1981年以前に建設された北海道の建築物の耐震性能評価

Performance Assessment of Existing Buildings in Hokkaido Constructed Prior to 1981

建築都市空間デザイン専攻 空間防災講座 建築構造工学研究室 大川原巧

Abstract

The seismic performance of buildings in Hokkaido constructed before 1981 was evaluated based on seismic diagnosis reports on 3,348 buildings. The database based on reports collected since 1996 was updated by a questionnaire survey to recognize the current status of each building. The progress of seismic diagnosis and trend of upgrade schemes were analyzed. Damage ratios of R/C school buildings was computed based on earthquake response analysis using simplistic models automatically constructed from seismic performance indices.

Keywords: Seismic diagnosis; Hokkaido; Seismic performance assessment; Damage ratio

1. はじめに

1995年12月に「建築物の耐震改修の促進に関する法律」が施行されて以来、全国で公共建築物を中心に、耐震診断と耐震改修が実施されている。耐震診断は、既存の建築物が1981年に施行された新耐震設計の要求を満足するかどうかを検定する手法だが、耐震性能を定量化する手段としても有効でもあり、優先して補強すべき建築物の選定など、効果的な地震対策にも役立てられる。

そこで本論は、1981年以前に北海道で建設された建築物の、現状の耐震性能を把握することを目的に、耐震診断と耐震改修に関する情報を分析した。対象とする建築物はRC造、SRC造およびS造であり、木造住宅等は含まない。また、耐震診断の実施から年月を経た建築物も多く、その結果が必ずしも現状を表さないことを念頭に、アンケート調査を実施してデータベースを修正した。さらに、比較的事例が多いRC造の公立学校校舎を対象に、類型化した解析モデルによる地震応答解析を行い、その耐震性能を評価した。

2. 北海道における耐震診断と耐震改修

耐震診断は、各構造種別で定められた基準¹⁾⁴⁾に基づいて、構造耐震指標 I_s 値と累積強度指標 C_{TUS_D} 値(S造の場合は q 値)を判定し、その値が基準値を満たせば「安全」、満たさない場合は「耐震性に疑問あり」と判定する方法である。

北海道では、主に、(一社)北海道建築士事務所協会(以下、事務所協会)、(一財)北海道建築指導センター、(株)札幌工業検査の3つの機関が、北海道の建築物を対象に、耐震診断結果の「判定」および耐震改修計画の「評定」を実施している。図1に、各判定機関の判定および評定の実施棟数の推移を、関連法律の施行年とともに示す。2006年の地震特措法の改正によって、学校施設に対する耐震診断と耐震補強の補助率が拡充されたこと、同年の耐震改修促進法が改正され、北海道耐震改修促進計画が策定されたことを契機に、判定棟数が増加し、2009年にピークを迎えた。それ以降は減少傾向にある。2017年末までの累計実施棟数は、事務所協会が3,461棟で、全体の74%を占めている。よって、事務所協会が判定された建築物が、北海道で耐震診断が実施された建築物を凡そ代表するものと仮定して、差し支えない。

3. データベース

筆者らは、事務所協会が1996年から2017年までに判定または評定を実施した建築物のうち、累計3,348棟の建築物の情報を集積し、構造種別や延床面積、設計年、耐震診断結果、耐震改修方法などの情報を分析して、1981年以前に建設された北海道の建築物の耐震性能を考察してきた⁵⁾。図2に、建物用途ごとの棟数

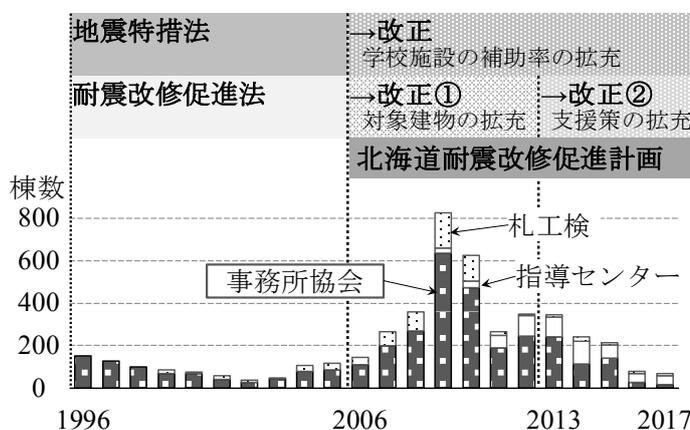


図1 北海道の判定棟数の推移

を、構造種別に分類して示す。RC造が2,256棟と、全体の65%を占めており、次いで屋内運動場が767棟だった。建物用途では、学校校舎が最も多く、それに庁舎や消防署、警察署、公営住宅を含めた公共建築物が3,153棟と94%を占めている。しかし、耐震診断が実施された当時の情報は、必ずしもその建築物の現状を表さない。例えば、耐震診断実施後に取り壊しや用途変更が行われた建築物や、経年劣化により評価が「耐震性に疑問あり」と変わった建築物などが含まれる可能性が高かった。

そこで、建築物群の現状を正確に把握することを目的に、該当する建築物を保有する、北海道内の166自治体に調査票を配布した。調査対象は、2015年末までに耐震診断が実施された2,995棟の公共建築物とした。表1に示すように、調査内容は、①建築物の概要、②耐震改修前の診断結果、③耐震改修の有無、④耐震改修後の診断結果、⑤建築物の現状、の5項目で構成した。

2017年12月中旬に依頼し、2018年3月末までに、114自治体（113市町村と北海道）から2,157棟（回答率72%）について回答を得た。所在不明と回答された155棟を除いた2,002棟を有効回答と見なした。表2に、データベース更新前後における、診断結果の内訳を示す。「耐震診断結果を把握することができた建築物のうち、安全と判断された建築物の割合」と定義した耐震化率をみると、

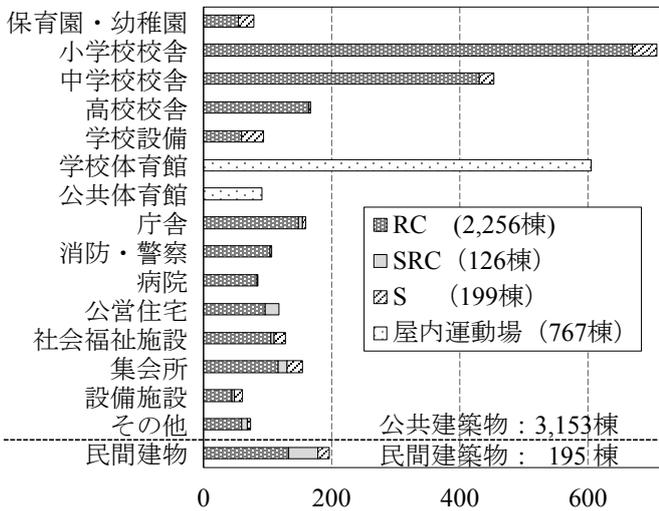


図2 用途ごとの建物数

更新前は58%だったが、2018年末時点で82%、予定されている耐震改修や取り壊し工事がすべて完了した時点で84%となる。総務省⁶⁾によれば、1981年以前に設計された防災拠点となる北海道の公共施設等の耐震化率は、2018年3月末時点で83.4%と、更新後のデータベースで算定した耐震化率とはほぼ等しい。したがって、更新後のデータベースは、北海道の公共建築物の耐震性能を、かなり正確に代表していると言える。

4. 耐震診断結果の分析

2018年3月末までに耐震改修計画が立てられたRC造学校校舎622棟を例に、建築物の耐震診断結果を分析する。

図3に、耐震改修前の最小 I_s 値の分布を、その建築物に採用された改修方法に分類して示す。最小 I_s 値は、建築物の各層、各方向で複数算出される I_s 値のうちの最小のものと定義した。「壁」および「ブレース」は、それぞれ耐震壁と鉄骨ブレースの増設による補強方法を、「壁とブレース」はその両方が用いられたもの、「その他」は、構造スリットの設置や柱補強などである。耐震改修計画

表1 アンケート調査内容

① 建築物概要	建物名/判定年/構造種別 設計年/延床面積/層数	
②耐震改修前の診断結果	共通事項	Z: 地域指標 G: 地盤指標 U: 用途指標
	判定指標	I_{so} , q_0 , 0.3ZGU
	耐震性能	I_s 値 C_{TUSd} 値または q 値
③耐震改修の有無	有無, 改修実施年	
④耐震改修後の診断結果	共通事項	Z: 地域指標 G: 地盤指標 U: 用途指標
	判定指標	I_{so} , q_0 , 0.3ZGU
	耐震性能	I_s 値 C_{TUSd} 値または q 値
	改修方法	補強方法, 設置数
⑤建築物の現況に関する質問	現存確認	現存しているか 解体年
	用途変更の有無	変更後の新たな用途 用途変更年
		変更後の管理者

表2 有効回答の耐震診断結果の内訳

集計結果	棟数	耐震性能			対象外	耐震化率
		安全	疑問あり	不明		
データベース更新前	2,002	1,046	771	106	79	58%
2018年末現在	現存	1,769	1,383	313	26	47
	取り壊し	169	28	102	7	
	用途廃止	64	30	32	2	
予定の工事が完了した時点	1,722	1,408	259	22	33	84%

の対象は、最小 I_S 値が 0.3 から 0.45 までの建築物に多い。 I_S 値に関わらず、耐震壁が半数近くを占め、耐震壁との併用を含めると、鉄骨ブレースも半数近くを占めるなど、強度補強型の改修が多く行われていた。

図 4 に、最小 I_S 値を必要値で除した I_S/I_{SO} を、耐震改修前後で比較する。耐震改修前は、梁間方向よりも桁行方向で I_S/I_{SO} が 1.0 未満（耐震性に疑問あり）の建築物が多く確認された。補強後の耐震性能は、 I_S/I_{SO} が 1.0 を辛うじて越えるところに集中し、その傾向は桁行方向でより顕著である。

図 5 に、各方向について、累積強度指標と形状指標の積である $C_{TU}S_D$ 値と、見かけの靱性指標 F' 値⁷⁾ の関係を示す。 F' 値は(1)式で与えられ、建築物の靱性を評価する上で目安となる。

$$F' = I_S / (C_{TU}S_D \cdot T) \quad (1)$$

多くの建築物で経年指標 T を把握できなかったため、本論では $T=1.0$ とした。図中に、地域係数 $Z=1.0$ の場合の診断基準 $I_S=0.6$ および $Z=0.8$ の場合（北海道における最小値）の診断基準 $I_S=0.48$ における $C_{TU}S_D$ 値と F' 値の関係を示す。 I_S 値が基準値未満であれば、耐力または靱性の不足により

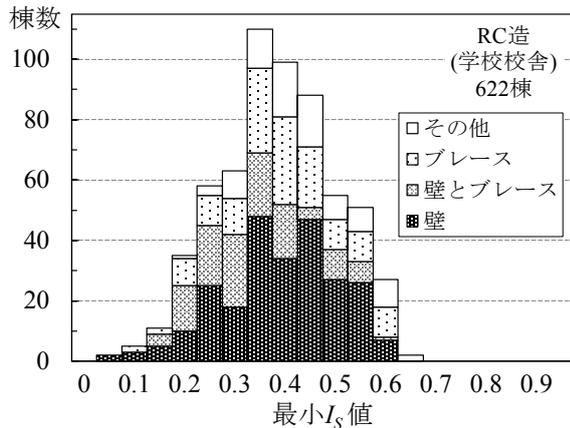
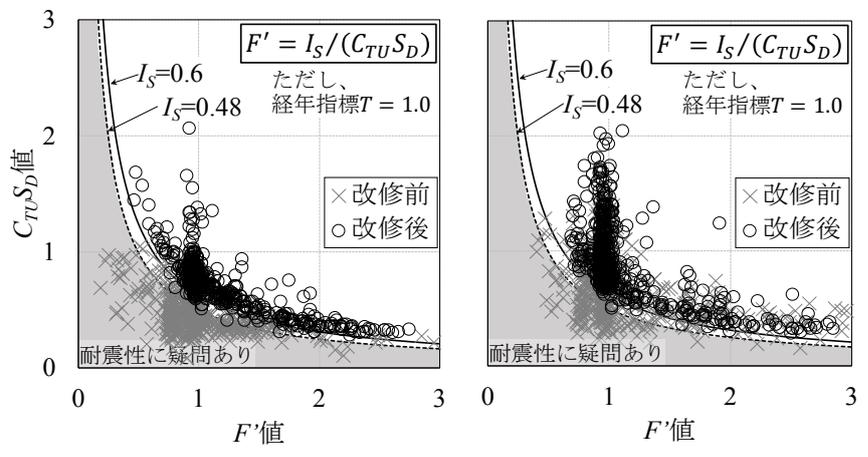
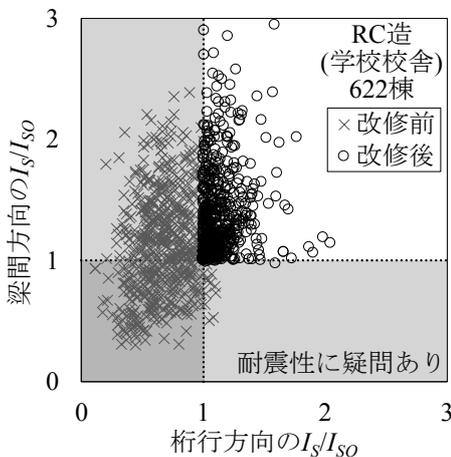


図 3 改修前の最小 I_S 値の分布と改修方法



(a) 桁行方向

(b) 梁間方向

図 4 基準化 I_S 値の改修前後比較

図 5 改修前後の $C_{TU}S_D$ 値と F' 値の関係

耐震性に疑問ありと判断される。桁行方向では、改修前は F' 値が 0.8 から 2.0 の間に広く分布したものが、改修後は 1.0 付近に集中するのに対し、梁間方向では、改修前後どちらも $F' = 1.0$ 近傍に集中する。耐震改修の傾向として、 F' 値はあまり変わらないが、 $C_{TU}S_D$ 値を大きく向上する機会が多い。つまり、強度を重視した耐震補強が主流と言える。

5. 応答解析による地震被害予測

白瀬ら⁸⁾は、典型的な RC 造学校校舎について、静的弾塑性解析に基づいて、各層を一自由度に置換した等価せん断型モデルを作成し、次いで地震応答解析を実施して、地震被害を予測する方法を示した。同じ方法を、北海道の RC 造公立学校校舎で、2017 年末までに耐震診断が実施された 1,388 棟に適用した。このうちの 1,099 棟は、アンケート調査で現存することが確認できた。

各階面積は、延床面積を階数で除して算出し、白瀬ら⁸⁾が提示する積載荷重を考慮した各階重量を設定した。なお、北海道では積雪荷重を考慮して I_S 値が算出されている事情に合わせて、建築基準法施行令および北海道条例に基づいて積雪重量を算定し、屋上階に付加した。各階高さは、白瀬らにしたがって、1 階のみ 3,850 mm、他階は 3,650 mm とした。1 次固有周期は、飛田ら⁹⁾を参考に、建物高さから予測した。復元力特性は、耐力低下を考慮したトリリニア型とし、初期剛性は各階重量と 1 次固有周期から算定し、白瀬ら⁸⁾を参考に、2 次および 3 次勾配と、 I_S 値に基づいた各階の終局耐力を設定した。履歴特性は、桁行方向は武田モデル、梁間方向は、壁架構の場合は原点指向モデル、ラーメン架構の場合は武田モデルとした。減衰は、初期剛性比例型で、減衰比を 0.03 とした。

入力地震動は、1968年十勝沖地震（八戸港湾）、1978年宮城沖地震（東北大）、1995年兵庫県南部地震（JR 鷹取駅および大阪ガス葺合供給所）、2003年十勝沖地震（K-net 苫小牧）、2016年4月16日熊本地震（KiK-NET 益城）、2018年胆振東部地震（JMA 厚真町鹿沼）の7つの地震記録とし、桁行方向にEW成分を、梁間方向にNS成分を用いた。ただし、大阪ガス葺合供給所の記録（最大速度PGVは、EW成分で130 cm/s、NS成分で63 cm/s）については、最大速度を80から150 cm/sまで10 cm/s刻みに基準化したものも解析した。

解析結果から、「全棟数のうち、最大層間変形角 θ が被害の基準値を超えた建築物の割合」と定義した被害率を算定した。大破以上と判断される場合に着目し、既往の研究^{8),10)}を参考に、被害の基準を以下のように設定した。

$$\text{桁行方向：} \quad 0.0333 < \theta \quad (2)$$

$$\text{梁間方向(壁架構)：} \quad 0.0167 < \theta \quad (3a)$$

$$\text{梁間方向(ラーメン架構)：} \quad 0.0333 < \theta \quad (3b)$$

図6に、算定した被害率を、方向別に示す。「旧耐震」は、耐震改修や取り壊し、用途廃止が行われる前の、「現状」は、2018年末時点での建築物群を意味する。どちらの場合でも、耐震性能が十分で、耐震補強を必要としないと判断された建築物を含む。

桁行方向、梁間方向ともにPGV=150 cm/sまでの領域で、旧耐震に比べて現状の被害率が半分程度に低減され、耐震改修、取り壊しおよび用途廃止の効果を定量化することができた。旧耐震では、梁間方向は桁行方向に比べて被害率が、同じPGVに対して倍だったが、現状では、桁行方向での被害率が大きく低減され、方向による違いはほとんどなくなった。

6. まとめ

北海道で実施された耐震診断と耐震改修のデータベースを構築し、時刻歴応答解析と合わせた分析から、以下の知見を得た。

- 1) 耐震診断結果データベースは、1981年以前に建設された北海道の公共建築物の情報を、かなりよく代表している。
- 2) RC造学校校舎では、耐震改修前の耐震性能は、梁間方向より桁行方向で低く、耐震改修後も、辛うじて基準値を満たすものが多い。
- 3) 耐震診断結果に基づいた地震応答解析によって、耐震改修等を進めた結果、大破以上の被害率を半分以下に低減できたことを、定量的に示すことができた。

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)
- 5) 大川原巧ら：耐震診断結果に基づく北海道の建築物の耐震性能評価、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造IV）, pp.209-210, 2017年7月
- 6) 総務省消防庁：「防災拠点となる公共施設等の耐震化推進状況調査結果(平成30年11月27日)」
- 7) 竹生修治, 白瀬陽一, 宮腰淳一, 福和伸夫, 飛田潤：既存RC造学校建築の耐震性能(その1：耐震診断結果の分析), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.719-720, 2004.8
- 8) 白瀬陽一, 竹生修治, 平松悠, 福和伸夫, 宮腰淳一：耐震診断結果に基づく低層鉄筋コンクリート造学校建物の地震被害率の予測に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 第607号, pp.63-71, 2006.9
- 9) 飛田潤, 八木茂治, 福和伸夫, 西阪理永：常時微動計測による低層RC造建物の振動性状と耐震指標に関する考察, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1671-1676, 1998.11
- 10) 増田有周, 長戸健一郎, 川瀬博：RC造建物の地震応答解析に基づく被害関数構築に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 第558号, pp.101-107, 2002.8

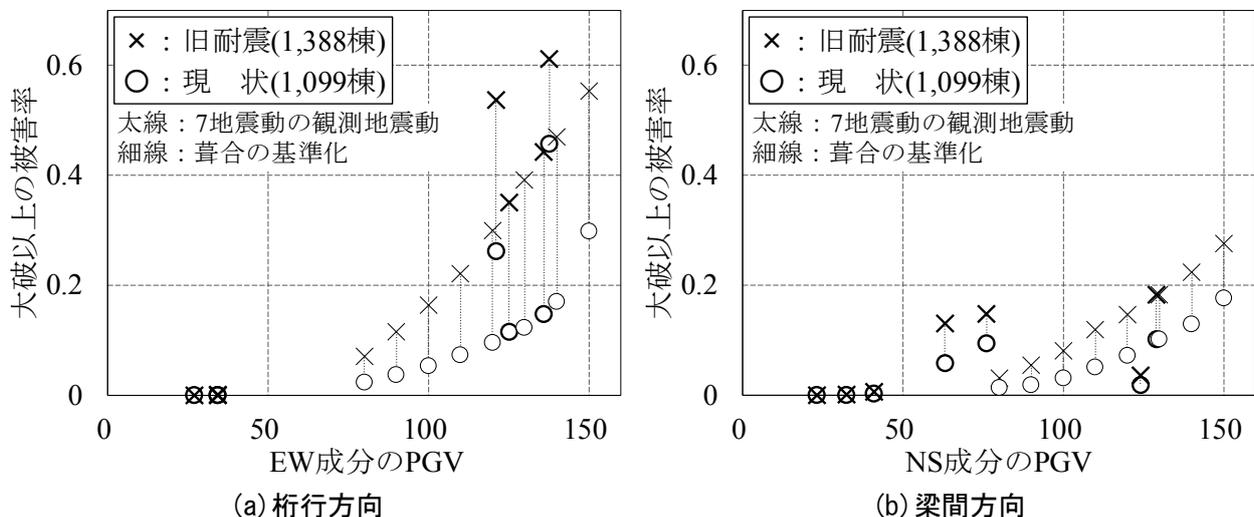


図6 1981年以前に建設された北海道のRC造学校校舎における現状の被害率