耐震診断結果に基づく北海道の既存 RC 造建築物の実測コンクリート強度及び地震被害予測

ACTUAL CONCRETE STRENGTH AND SEISMIC DAMAGE PREDICTION OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS IN HOKKAIDO BASED ON SEISMIC DIAGNOSIS

山崎僚平 — *1 麻里哲広 — *2
緑川光正 — *3 井上圭一 — *4
石山祐二 — *5

Ryohei YAMAZAKI — *1 Tetsuhiro ASARI — *2
Mitsumasa MIDORIKAWA — *3 Keiichi INOUE — *4
Yuji ISHIYAMA — *5

キーワード：
鉄筋コンクリート造建築物, 耐震診断結果, コンクリート実測強度, 地震被害予測

Keywords:
Reinforced concrete building, Seismic diagnosis, Actual concrete strength, Seismic damage prediction

In this paper, we investigate the seismic performance of existing reinforced concrete buildings, the damage prediction and the actual concrete strength based on the seismic diagnosis results from 1996 to 2006 in Hokkaido. The following conclusions are obtained: (1) 79% of buildings built before 1971 do not satisfy the seismic capacity index $I_s \geq 0.6$; (2) The average ratio of actual concrete strength by core tests to design basis one is 1.39; (3) The seismic retrofit of buildings reduces the predicted seismic damage ratio over moderate damage rank to approximately one fourth as compared to the non-retrofit buildings under the earthquake ground motion level of JMA seismic intensity of 6.

1. はじめに

1995 年に発生した兵庫県南部地震により多くの建築物に被害が生じた。被害状況をみると 1981 年に建築基準法施行令が改定される以前の耐震設計法で設計され、現行の耐震基準を満たさない建築物の被害が相当顕著であった。このことから、旧基準法令で設計された一定規模以上の建築物について、耐震診断・耐震改修を義務付けた「建築物の耐震改修の促進に関する法律」が 1995 年 12 月 25 日に施行され、全国的に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。

筆者らはこれまで、北海道内で行われた鉄筋コンクリート造（以下、RC 造）建築物の耐震診断結果を収集するとともに、北海道内の RC 造建築物の耐震性能等について検討を行ってきた（例えば 1), 2)）。

本研究では、これまで行われた耐震診断結果を用い、北海道の既存 RC 造建築物の耐震性能や地震時にどの程度の被害が生じると推定されるか、補強により被害率がどの程度軽減されるか、等について検討を行う。

また、耐震診断の際に採取したコンクリートコア供試体の圧縮試験より得られた推定強度と設計基準強度や竣工年との関係、および実測コンクリート強度が地震被害率にどの程度影響を与えるかについても検討を行う。

2. RC 造建築物の耐震診断基準の概要

本研究では、日本建築防災協会の耐震診断基準³⁾を基に検討を行う。耐震診断基準では、構造耐震指標 I_s 値と構造耐震判定指標 I_{s0}

値を用いる。 I_s 値及び I_{s0} 値は建築物各階の梁間及び桁行方向それぞれについて算定され、 $I_s \geq I_{s0}$ ならば「安全」とし、そうでなければ構造体の耐震性に「疑問あり」とする。

I_s 値判断の目安として、0.4 未満であると大地震時に大破・倒壊などの被害を受ける可能性が高く、0.6 未満であると大地震時に何らかの被害を受ける可能性が高いとされている^{3), 4)}。

各指標は次式で表される。

$$I_s = E_o \times S_D \times T \quad (1)$$

E_o : 保有性能指標、 S_D : 形状指標、 T : 経年指標

$$I_{s0} = E_s \times Z \times G \times U \quad (2)$$

E_s : 耐震判定基本指標、 Z : 地域指標、 G : 地盤指標、 U : 用途指標

3. 北海道の RC 造建築物の耐震診断結果

(1) 対象建築物

1996 年 9 月から 2006 年 12 月までに、(社)北海道建築設計事務所協会および(財)北海道建築指導センターの耐震診断委員会において第 2 次診断が行われた 7 層以下の RC 造建築物 698 棟を対象とする。診断結果の内訳を表 1 に、用途別の内訳を表 2 に示す。表 1 では建設年代を、1971 年の建築基準法改定が行われる以前、1972 年から 1981 年の新耐震設計基準導入まで、それ以後の三期に区分している。

表 1 建設年代別の対象建築物（計 698 棟）

建設年代	棟数	I_s 値不足棟数	不足棟数割合	平均 I_s 値	平均 $C_{tu} \cdot S_o$ 値
～1971	206	163	79.1%	0.47	0.44
1972～1981	469	307	65.5%	0.63	0.58
1982～	23	11	47.8%	0.98	0.73

^{*1} 北海道大学大学院工学研究科 修士課程
(〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

^{*2} 北海道大学大学院工学研究科 助教・博士（工学）

^{*3} 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博

^{*4} 福井大学大学院工学研究科 講師・博士（工学）

^{*5} 北海道大学 名誉教授・工博

^{*1} Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

^{*2} Asst. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

^{*3} Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

^{*4} Lecturer, Graduate School of Eng., Univ. of Fukui, Dr. Eng.

^{*5} Prof. Emeritus, Hokkaido Univ., Dr. Eng.

表 1 より、1971 年以前に建設された建築物の 79%が $I_s \geq I_{s0}$ を満たしておらず、1971 年以降の建築物についても $I_s \geq I_{s0}$ を満たしていないものが多くみられる。

表 2 用途別対象建築物棟数 (計 698 棟)

用途	校舎	集合住宅	市庁舎	病院	警察・消防	社会福祉施設	その他
棟数	432	37	27	17	55	42	88
棟数割合	62%	5%	4%	2%	8%	6%	13%

表 2 より、耐震診断が実施された建築物のうち校舎が約 6 割を占めている。これは、過去の地震において校舎の被害率が高い事、および校舎が災害時に地域の防災拠点（主に避難収容施設）となるケースが想定され、地震後も建物本来の機能維持が求められている事が要因の 1 つと考えられる。

(2) 北海道の RC 造建築物の構造耐震指標 I_s

対象とする 698 棟の建築物のうち耐震診断の結果から補強が必要と判定され、かつ補強計画・耐震改修が行われた 407 棟の桁行・梁間方向の補強前、補強後の I_s 値の分布を図 1 に示す。

なお、ここでは建築物の長辺方向を桁行、短辺方向を梁間とし、また階、方向に関わらず建築物の I_s 値の最小値をその建築物の I_s 値としている。

図 1 中に示した曲線は I_s 値の分布を頻度分布曲線として一般に用いられる対数正規分布で近似したものである。対数正規分布は、次式の確率密度関数 P_{IS} で表される。

$$P_{IS} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y \cdot x} \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(y - \bar{y})^2}{\sigma_y^2} \right] \tag{3}$$

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

図 1 から、補強前は大地震動時に大破、倒壊等の被害を受ける危険性が高いとされる I_s 値が 0.4 未満のものが 43%あり、被害の大小に関わらず大地震動により損傷を受ける可能性があると考えられる I_s 値が 0.6 未満のものが 90%ある。

図 2 に各建築物の梁間方向と桁行方向における補強前の構造耐震指標 I_s の最小値を示す。なお、 I_s 値は構造耐震判定指標 I_{s0} で除して基準化した。図 2 より、梁間方向の I_s 値の 38%、桁行方向の I_s 値の 90%が I_{s0} 値を下回っている。

(3) 終局限界時の累積強度指標 C_{TV} と形状指標 S_D

第 2 次診断、第 3 次診断の構造耐震判定指標 I_{s0} のレベルは、靱性指標値が大きい範囲で、現行の建築基準法令のレベルより低くなる可能性があり、これを避け必要保有水平耐力に対応する構造特性係数を満足するために構造物の終局限界における累積強度指標 C_{TV} と形状指標 S_D による判定が用いられている。

$C_{TV} \cdot S_D \geq 0.3 \cdot Z \cdot G \cdot U$ であれば「安全」とし新耐震設計法で設計される建物とほぼ同程度の耐震性能を持つと考え、そうでなければ構造体の耐震性能が「不足」となる。

$C_{TV} \cdot S_D$ は次式で表される。

$$C_{TV} \cdot S_D = (n+1)/(n+i) \times C \times S_D \tag{4}$$

C_{TV} : 終局限界時の累積強度指標、 C : 強度指標、 S_D : 形状指標
 n : 総層数、 i : 検討する層

図 3 に各建築物の補強前の梁間方向と桁行方向における $C_{TV} \cdot S_D$ の最小値を示す。 $C_{TV} \cdot S_D$ 値は、安全性判定の指標となる $0.3 \cdot Z \cdot G \cdot U$ で除して基準化した。図 3 より、梁間方向の $C_{TV} \cdot S_D$ 値の 9%、桁行方向の $C_{TV} \cdot S_D$ 値の 20%が $0.3 \cdot Z \cdot G \cdot U$ を下回っている。

(4) 見かけの靱性指標 F'

見かけの靱性指標 F' は、下式によって算定する。

$$F' = \frac{I_s}{C_{TV} \cdot S_D \cdot T} \tag{5}$$

見かけの靱性指標 F' は建物の真の靱性指標と必ずしも対応しているものではないが、その建築物の靱性を評価する上の目安となる。

図 4 に、 $C_{TV} \cdot S_D$ 値と F' の関係を示す。図中の曲線は、 I_s 値判断の目安となる $I_s=0.6$ 及び $T=0.97$ （経年指標の平均値）とした時の見かけの靱性指標 F' を表している

図 4 より、補強前はほとんどが曲線よりも下に分布しているが、補強計画後は F' はあまり増加せず、 $C_{TV} \cdot S_D$ が増加することによって、分布が曲線よりも上へ移動している。このことより、耐震補強の際に強度抵抗型の補強が多いことがわかる。

図 1 対象建築物の I_s 値分布

図 2 基準化 I_s 値 (補強前)

図 3 基準化 $C_{TV} \cdot S_D$ 値 (補強前)

図4 $C_{TU} \cdot S_D$ 値と見かけの靱性指標 F'

図6 (b) 基準化 $I_s, C_{TU} \cdot S_D$ (補強後)

4. 補強前後の耐震診断結果の比較

(1) 耐震補強方法

図5は3.(2)で対象とした407棟の建築物における補強方法の内訳を示したものである。建築物1棟に対して複数の方法を採用している場合もあるため、合計棟数は407棟よりも多くなっている。補強方法としては、耐震壁の増設が最も多く、次に柱とそれに接合されている壁との間を構造的に切り離すスリットが採用されている。スリットが採用されていた建物のうち、約半数の113棟は耐震壁の増設も同時に行われていた。ブレース補強は鉄骨ブレースが、柱補強では鋼板巻きと炭素繊維シート巻きが多い。

図5 耐震補強種別建築物棟数

(2) 補強前後の構造耐震指標 I_s と終局限界時の累積強度指標 C_{TU}

図6(a), (b)に、対象建物の補強前後の最小 I_s 値とそれに対応する $C_{TU} \cdot S_D$ 値の関係を示す。 I_s 値を I_{s0} で、 $C_{TU} \cdot S_D$ 値を $0.3 \cdot Z \cdot G \cdot U$ でそれぞれ除して基準化している。ここでは、桁行・梁間方向の I_s 値、 $C_{TU} \cdot S_D$ 値の最小値を、それぞれその建築物の I_s 値、 $C_{TU} \cdot S_D$ 値とした。

図6 (a) 基準化 $I_s, C_{TU} \cdot S_D$ (補強前)

図6(a)より、補強前には、基準化 I_s 値の96%が、基準化 $C_{TU} \cdot S_D$ 値の26%が1を下回っている。図6(b)より、補強によってほとんどの建築物において基準化 I_s 値、基準化 $C_{TU} \cdot S_D$ 値ともに1を上回るようになっているが、1を下回るものも、基準化 I_s 値、基準化 $C_{TU} \cdot S_D$ 値ともに約10%存在している。

5. コンクリートコアより得られた実測コンクリート推定強度

(1) 実測コンクリート推定強度

耐震診断が実施される際に、対象となる建築物において各層1～3本のコンクリートコアが採取されており、JIS A-1107 に準拠した方法によりコアによる圧縮強度試験が行われ、コンクリートの圧縮強度が推定されている。本研究では、耐震診断基準³⁾に基づき各階のコアの平均値(X_{mean})から標準偏差(σ)の1/2を差し引いた値を各階の推定強度(σ_B)として算定し、それを実測コンクリート推定強度として用いる。

(2) 対象データ

698棟のうち、コンクリートコアによる圧縮試験が行われた313棟の建築物を対象とする。図7に対象建築物の竣工年別の棟数を示す。

図7 竣工年別の棟数

(3) 竣工年による圧縮強度の推移

各建築物毎の実測コンクリート推定強度と竣工年の関係を図8に、実測コンクリート推定強度を設計基準強度で除した圧縮強度比と竣工年の関係を図9に示す。

図8より実測コンクリート推定強度と竣工年との関係は、右上がりの傾向を示しており、設計基準強度の増加に伴って、コンクリート強度が上昇してきている傾向が見られる。文献5)による関東地方A県の推定強度の回帰直線と今回算出した実測コンクリート推定強度の回帰直線を比較すると、両者はほぼ合致している。設計基準強度を下回るものは全体の約5%存在する。

図8 竣工年別の実測コンクリート推定強度

図9より圧縮強度比の平均は1.39であり、これは東北地方における値1.28⁶⁾や関東A県下における値1.27⁵⁾を上回っている。[平均値-標準偏差]の値が1.0を下回っているものも年代によらずみられる。

図9 竣工年別の圧縮強度比の平均値と標準偏差

6. 北海道のRC造建築物の地震被害予測

(1) 予測方法

中埜、岡田⁷⁾は地震後のRC造建築物の被害状況と耐震診断結果を基に、信頼性理論により被害率を算定し、地震被害予測を行った。本研究では、この方法に準じて被害率を予測する。

(2) 使用データ

1968年十勝沖地震レベルおよび1978年宮城県沖地震レベルの被害率の推定にあたっては、文献7)で算出された被害率(中破以上の被害率11%)を用いる。

1995年兵庫県南部地震レベルの被害率算定にあたっては、日本建築学会構造委員会の1995年兵庫県南部地震鉄筋コンクリート造建築物の被害調査報告書⁸⁾による中破以上の被害を受けた46棟の建築物の診断結果の分布(最小 I_s 値)と兵庫県南部地震で中破以上の被害率が29%であったことにより求めている⁹⁾。なお、この調査は、被災した全ての地区で全数調査が行われたわけではなく、全数調査が行われたのは西宮市、神戸市灘区・東灘区・中央区・兵庫区であった。

(3) 被害確率分布の算定

文献7)によると入力地動のばらつきによる荷重効果 E_T 値の分布を P_{ET} とすると、実被害データを用いて P_{ET} は次式で表される。

$$P_{ET} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x} \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x - \bar{x})^2}{\sigma_x^2} \right] \quad (6)$$

x : E_T 値, $\bar{x}$: x の平均値, σ_x : x の標準偏差

「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 および被害建築物の I_s 値分布 $v(x)$ はそれぞれ次式で表せる。

$$V = \int_0^\infty v(x) dx, \quad v(x) = P_{IS} \cdot \left[1 - \int_0^x P_{ET}(r) dr \right] \quad (7), (8)$$

x : I_s 値, r : E_T 値

P_{ET} は、建築物の位置する地盤により入力地震動が異なるために、建築物の応答がばらつき、従って建築物が安全であるために必要な I_s 値(すなわち E_T 値)があるばらつきをもった確率量になることを表した E_T 値の確率密度関数である。

また、 $1 - \int_0^\infty P_{ET}(r) dr$ は $I_s \geq x$ の建築物の被害率を、 E_T は被害建築物の I_s 値の分布を示す(図10参照)。

図10 被害率計算の概要

図11(a)に示す曲線は、文献7)で求められた1968年十勝沖・1978年宮城県沖地震の実被害データに基づく荷重効果 E_T 値の分布 P_{ET} である。図11(b)は、同様の手法を用い、1995年兵庫県南部地震の実被害データに基づく E_T 値分布と $v(x)$ 分布を求めたものである⁹⁾。

図11 E_T 値の分布

(4) 予測被害率

予測被害率の算定にあたり、補強前は全データ698棟、補強後は3.(2)で用いた407棟を対象とする。1968年十勝沖・1978年宮城県沖地震・震度Vレベル、および1995年兵庫県南部地震・震度VIレベルの地震動が起こったと仮定した場合の、中破以上の被害を受けると予測される建築物の割合を図12に示す。各建物の I_s 値の梁間方向、桁行方向及び最小値について示す。

震度Vレベルの地震動に対して、補強により中破以上の被害建物棟数は大幅に減少しほぼ0に近くなる。また、震度VIレベルの地震動に対しては、補強により中破以上の被害率は約1/4に低減する。

図 12 RC 造建築物の中破以上の予測被害率 (%)

(5) 建物用途別による予測被害率

震度VIレベルでの中破以上の被害率を建物用途別に図 13 に示す。補強前は 698 棟のうち、その他を除いた 610 棟、補強後は 370 棟を対象とし、各建築物の最小 I_s 値を用いて予測を行った。

図 13 用途別の中破以上の予測被害率 (%) (震度VIレベル)

図 13 より、集合住宅が他と比べて被害率が大きくなっている。これは集合住宅が他と比べて階数が多い（7 層程度）ものが多く、階数が多いほど I_s 値が小さくなるためと考えられる。

(6) 地域指標 Z 別による予測被害率

北海道には地域指標 Z が 0.8、0.9、1.0 の 3 つの地域がある。補強前は 698 棟のうち地域指標 Z の記載のあった 686 棟、補強後は 385 棟を対象とする。地域指標 Z 別（補強前の内訳は 0.8 が 69 棟、0.9 が 501 棟、1.0 が 116 棟（図 14））の最小 I_s 値相対頻度分布、平均最小 I_s 値および中破以上の被害率について検討した。以下にその結果を示す。

図 14 地域指標 Z 毎の割合 (補強前)

図 15 地域指標 Z 毎の平均 I_s 値

図 15、図 16 より地域指標 Z が大きい地域ほど I_s が大きく、従って被害率が小さくなる傾向があることが分かる。これは Z が大きい地域ほど、設計用地震力及び構造耐震判定指標 I_{SO} 値が大きくなるため、その結果 I_s 値も大きくなるためである。

図 16 地域指標 Z 毎の RC 造建築物の中破以上の予測被害率 (%)

(7) 実測コンクリート強度を考慮した場合の建築物の被害予測

耐震診断基準³⁾による I_s 値の算定では、大半の建築物においてコンクリート強度として設計図書に記載されている設計基準強度が用いられている。ここでは、コンクリート強度の記載のあった 313 棟を対象とし、実測コンクリート強度の影響を考慮するために文献 10)の方法に倣い、構造耐震指標 I_s 値の補正を行う。なお、コンクリート強度を変えても靱性指標 F 値は変化しないと仮定し、強度指標 C のみにより I_s 値を補正し、実測コンクリート強度を考慮した構造耐震指標 I'_s を算定している。

$$I'_s = I_s \times \beta \quad (9)$$

$$\text{ただし、} \beta = \frac{\sigma_B}{F_C} (\sigma_B \leq F_C), \quad \beta = \sqrt{\frac{\sigma_B}{F_C}} (\sigma_B > F_C) \quad (10), (11)$$

β : 実測コンクリート強度による補正係数、 σ_B : 実測コンクリート強度
 F_C : 設計基準強度

図 17 に設計基準強度を用いた場合、および実測コンクリート強度を用いた場合の I_s 値の頻度分布を示す。実測コンクリート強度を用いた場合には、設計基準強度を用いた場合と比べて、頻度分布の極値が減少するとともに、 I_s 値が増加したことにより分布が全体的に右側に移動している。

実測コンクリート強度を用いた場合の地震被害率は表 3 のようになり、設計基準強度を用いた場合に比べて震度 V レベル、震度 VI レベルともに約 4/5 に低下する。

図 17 実測コンクリート強度考慮有無の I_s 値分布

表 3 実測強度を考慮した場合の被害率の変化		
	設計基準強度	実測強度
震度 V レベル	33%	26%
震度 VI レベル	53%	44%

8. まとめ

本研究では、耐震診断結果を用い、北海道の既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能や地震時の補強前後の耐震性能および地震被害率を検討した。また、耐震診断の際に採取したコンクリートコア供試体の圧縮試験より得られた推定強度と設計基準強度・竣工年との関係、及び実測コンクリート強度が地震被害率にどの程度影響を与えるかについても検討を行った。

以下に得られた知見を要約して示す。

- (1) 1971 年以前に建設された建築物の 79%が $I_s \geq I_{s0}$ を満たしておらず、1971 年以降の建築物についても $I_s \geq I_{s0}$ を満たしていないものが多くみられる。
- (2) 耐震診断が実施された建築物のうち校舎が約6割を占めている。
- (3) 耐震補強方法としては、耐震壁の増設が最も多く、次に柱とそれに接合されている壁との間を構造的に切り離すスリットが採用されている。
- (4) 耐震補強（計画を含む）を行ったほとんどの建築物において、基準化 I_s 値、基準化 $C_{TV} \cdot S_D$ 値ともに 1 を上回るようになっているが、基準化 I_s 値、基準化 $C_{TV} \cdot S_D$ 値ともに 1 を下回るものが約 10%存在している。
- (5) 北海道の RC 造建築物の実測コンクリート推定強度を設計基準強度で除した圧縮強度比の平均は 1.39 であり、設計基準強度を下回るものは全体の約 5%である。
- (6) 地震被害予測の結果、中破以上の被害を受ける建築物の割合は、震度 VI レベルで補強前 51%、補強後 13%、震度 V レベルで補強前 28%、補強後 0.4%であり、耐震補強を行うことによって、中破以上の被害率は、震度 V レベルの地震動に対しては大幅に減少し、震度 VI レベルの地震動に対しては約 1/4 に低減する。
- (7) 地域指標 Z が大きい地域ほど I_s 値が大きく、予測地震被害率が小さくなる。

- (8) 実測コンクリート強度を考慮した予測地震被害率は、設計基準強度を用いた場合に比べて震度 V レベル、震度 VI レベルともに約 4/5 に低下する。

・参考文献

- 1) 楊妹麗, 麻里哲広, 石山祐二, デ・グズマン フィリップ: 耐震診断データを用いた簡易 RC 造建物モデルの時刻歴解析に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 51B, pp. 207-213, 2005. 3
- 2) 楊妹麗, デ・グズマン フィリップ, 麻里哲広, 緑川光正, 石山祐二: 耐震診断結果を用いた北海道の既存 RC 造建物の耐震性能に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号, pp. 205-210, 2005. 12
- 3) 日本建築防災協会: 2001 年改訂版 既存鉄筋コンクリート建築物の耐震診断基準, 2001
- 4) 鈴木貴博, 原健二, 大網浩一, 村上雅也: 1987 年千葉県東方沖地震による被災鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断 その 2 構造耐震指標値と被災程度、日本建築学会学術講演梗概集(九州)、pp. 869-870、1989 年 10 月
- 5) 周建東, 広沢雅也, 清水泰: 関東地方 A 県下における学校校舎の耐震性能(その 4) コンクリート強度および鉄筋種別、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp. 619-620、1998 年 9 月
- 6) 工藤仁, 最知正芳, 伊藤敬一, 三橋博三, 田中礼治, 柴田明德: 東北地方の既存 RC 造建物の耐震診断および耐震補強に関する調査研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、pp. 297-298、2000 年 9 月
- 7) 中埜良昭, 岡田恒男: 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
- 8) 日本建築学会構造委員会: 1995 年兵庫県南部地震鉄筋コンクリート造建築物の被害調査報告書 第 II 編学校建築、1997 年 3 月
- 9) 齋藤陽子, 澤木美穂, 植松武是, 麻里哲広, 石山祐二: 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. 過去の地震被害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(北陸)、2002 年 8 月
- 10) 高橋仁, 広沢雅也, 秋山友昭, 田中恵司: 鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究(その 11) せん断ひびわれ強度について、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp. 1609-1610、1976 年 10 月

[2008 年 6 月 20 日原稿受理 2008 年 11 月 5 日採用決定]