

## 論文 既存 RC 造学校校舎の耐震性能評価に関する一考察

根口 百世<sup>\*1</sup>・南 宏一<sup>\*2</sup>

**要旨**：文部科学省から、第 1 次診断法によって既存学校校舎の耐震性能を評価することが各都道府県の教育委員会に指示されたが、第 1 次診断法が既存学校校舎の耐震性能を評価する手法として妥当な評価法であるかを検討するものである。その結果、少なくとも桁行方向の耐震性能の評価に対しては、高次の耐震診断結果に比して性能を非常に小さく評価することが示され、性能評価の手法としては妥当でないことを示した。

**キーワード**：第 1 次診断法、簡易診断、耐震性能評価、Is 値、学校校舎

## 1. はじめに

2002 年 8 月 15 日付 YOMIURI ON-LINE には、「文科省、公立学校に『3 年以内に耐震診断を』と通知」という見出しで、文部科学省が現行の耐震診断基準施行以前の建物で耐震診断が行われていない約 6 万 600 棟 [施行前建物の 7 割] について、3 年以内に全ての診断を行うよう要請する通知が初めて出されたと報道された。さらに、この通知の中で、詳細な耐震診断にかかる高額な費用の自治体負担を軽減するため、柱や壁の断面状態から診断する「簡易診断」を積極的に取り入れるように指導すると報じられている。

従来、四国耐震診断評定委員会では、既存学校校舎の耐震性能の評価は、第 2 次あるいは第 3 次診断法による結果に基づいて行われ、第 1 次診断法を含めた、柱、壁の断面性状から耐震性能を判断する「簡易診断」による結果については参考値とし、重要視していなかった。

そこで、文部科学省が指導される「簡易診断」の結果が、上位の診断法である「第 2 次診断法」および「第 3 次診断法」の結果とどのような対応関係にあるのかを検討するとともに、兵庫県南部地震で被災した学校校舎の被災状況と耐震診断結果との関連について考察し、「簡易診断」としての第 1 次診断法の意義について考察する。

## 2. 検討の方法

四国耐震診断評定委員会に提出された高知、愛媛および香川の資料より、耐震性能の評価の指標値として

$$1) \text{ 柱・壁率 } C_{cw} = \frac{25\sum A_w + 7\sum A_c}{A_i \cdot W_i \cdot Z}$$

2) 第 1 次診断法 構造耐震指標  $_1I_s$

3) 第 2 次診断法 構造耐震指標  $_2I_s$

4) 第 3 次診断法 構造耐震指標  $_3I_s$

の 4 つを抽出して、それぞれの指標値のもつ相関性について検討する。なお、階数のいかんに関わらず、1 層における指標値を、その建物の代表指標値として用いることにする。

## 3. 高知、愛媛、香川のデータに基づく検討結果

高知、愛媛、香川の各県のそれぞれのデータは、統計処理を行うのにはデータ数が少なく、かつ、3 県のデータには、特に異なった特性が見られないので、3 県のデータをまとめた総数 46 棟に対して行った分析結果について考察する。また、有効データ数は、1 次診断で 44 棟、2 次診断で 46 棟、3 次診断で 33 棟となっている。

(1) 柱・壁率  $C_{cw}$  の相対頻度分布

図-1 に X, Y 方向の柱・壁率  $C_{cw}$  の度数分布および相対頻度分布を示す。縦左軸は  $C_{cw}$  の

\*1 福山大学大学院 工学研究科地域空間工学専攻、宿毛工業高等学校 建築工学科教諭 修士 (工学) (正会員)

\*2 福山大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

度数を、縦右軸は相対頻度分布を、横上軸および横下軸は Ccw の値を表す。図中の  $\mu$ 、 $\sigma$  はそれぞれ Ccw の平均値および標準偏差を表し、 $\lambda$ 、 $\zeta$  は Ccw の分布を

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\zeta} \cdot x} \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(x-\lambda)}{\zeta} \right\}^2\right] \quad (1)$$

ここに、 $x = Ccw$

$\lambda$  は Ccw の自然対数  $\ln(Ccw)$  の平均値

$\zeta$  は  $\ln(Ccw)$  の標準偏差

の対数正規分布と仮定した場合の  $\lambda$ 、 $\zeta$  を表す。

Ccw の分布は、ほぼ対数正規分布として評価することができ、Ccw の平均値は X 方向では 0.64 で 0.3 から 0.6 に分布するが、Y 方向では平均値は 1.37 で 0.8 から 1.6 と高い値の範囲で分布することが特色である。

## (2) ${}_1I_s$ 、 ${}_2I_s$ 、 ${}_3I_s$ の相対頻度分布

図-2 に X、Y 方向の各診断次数の  $I_s$  値の相対頻度分布を示す。図中の  $\mu$ 、 $\sigma$  は  $I_s$  値の平均値および標準偏差を表し、 $\lambda$ 、 $\zeta$  は  $I_s$  値の分布を

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\zeta} \cdot x} \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(x-\lambda)}{\zeta} \right\}^2\right] \quad (2)$$

ここに、 $x = I_s$

$\lambda$  は  $I_s$  の自然対数  $\ln(I_s)$  の平均値

$\zeta$  は  $\ln(I_s)$  の標準偏差

の対数正規分布と仮定した場合の  $\lambda$ 、 $\zeta$  を表す。

X 方向では  ${}_1I_s$  値の分布がシャープなピーク値を持つことに対して、 ${}_2I_s$  値、 ${}_3I_s$  値については、 ${}_1I_s$  値に比して緩慢で、ほぼ同じ傾向の分布形を示すことが認められる。それに比して、Y 方向では各診断次数に関わらず、ほぼ同じ分布形を示していることが特色の一つとして指摘できる。

また、図中の  $I_{s0}$  は、各診断次数に対する構造耐震判定指標値を  ${}_1I_{s0} = 0.8$ 、 ${}_2I_{s0} = {}_3I_{s0} = 0.6$  とした場合の値を示している。診断次数に関わらず、X 方向の  $I_s$  値は、Y 方向に比べて小さく、特に第 1 次診断法では、X 方向の  $I_s$  値として  $I_{s0} = 0.8$  を満足するものは 44 棟中 2 棟しかなく、第 1 次

診断法で耐震性能を判定した場合、ほとんどの建物が耐震性能を満足しない結果になっていることを示している。それに比べて、高次の第 2 次診断法では、 $I_{s0} = 0.6$  を満足するものは、46 棟中 9 棟で、約 20% の建物が耐震性能を満たす結果となり、第 3 次診断法では、 $I_{s0} = 0.6$  を満足するものが 33 棟中 10 棟と、約 30% の建物が耐震性能を満たす結果となるが、第 2 次、第 3 次診断法を適用した場合、既存学校校舎の 70~80% が耐震性能を満足しないことに留意すべきである。

また、Y 方向では、第 1 次診断法で  $I_{s0} = 0.8$  を満足するものは 44 棟中 15 棟で 35% の建物が耐震性能を満足し、第 2 次診断法では、 $I_{s0} = 0.6$  を満足するものは、46 棟中 32 棟、第 3 次診断法では 33 棟中 23 棟となり、第 2 次診断法および第 3 次診断法によれば 70% の建物が耐震性能を満足する結果となっている。しかしながら、比較的壁量の多い Y 方向でも 30% の建物が耐震性

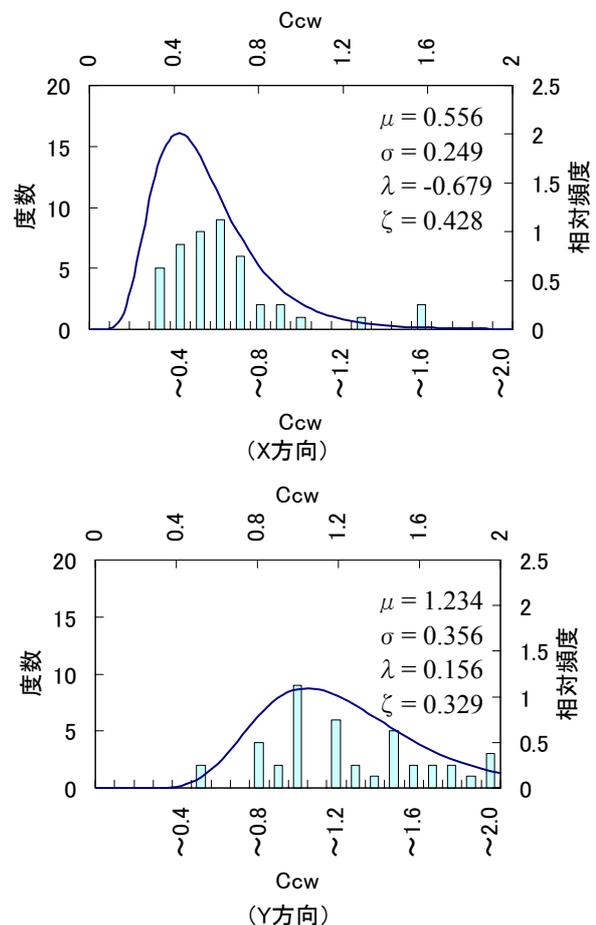


図-1 Ccw の度数分布と相対頻度分布

能を満足しない結果となっていることに留意すべきである。

なお、 $I_s$  値の相対頻度分布は、診断次数および X, Y の方向のいずれに関わらず、対数正規分布形を示すことが認められるが、**図-1** の  $C_{cw}$  値と **図-2** の  ${}_1I_s$  値の相対頻度分布を比較した結果によると  $C_{cw}$  値の分布形に比して  ${}_1I_s$  値の分布形の方がシャープなピーク値を持つことが認められる。

### (3) 各診断次数による $I_s$ 値の総合的な比較検討

前述の考察で第 1 次診断法による  $I_s$  値は、第 2 次および第 3 次診断法による  $I_s$  値に比して小さい値を示すことが認められたが、各診断値の間にどのような関係があるのかを検討した結果を **図-3** に示す。同図には、 ${}_2I_s/{}_1I_s$ ,  ${}_3I_s/{}_2I_s$ ,  ${}_3I_s/{}_1I_s$  を直線近似したものをそれぞれ示している。

${}_2I_s/{}_1I_s$  値は、X, Y 方向のいずれに対しても個々の近似直線に対するばらつきは大きいですが、あえて第 1 次診断法による  ${}_1I_s$  値より第 2 次診断法に

よる  ${}_2I_s$  値を簡易的に評価すると

$$\left. \begin{array}{l} \text{X 方向で } {}_2I_s = 1.312 {}_1I_s \\ \text{Y 方向で } {}_2I_s = 1.033 {}_1I_s \end{array} \right\} \quad (3)$$

の関係が得られるが、 $I_s$  値のみからは、係数の持つ明かな根拠を示すことはできなかった。

一方、 ${}_3I_s/{}_1I_s$  値については、

$$\left. \begin{array}{l} \text{X 方向で } {}_3I_s = 1.703 {}_1I_s \\ \text{Y 方向で } {}_3I_s = 1.031 {}_1I_s \end{array} \right\} \quad (4)$$

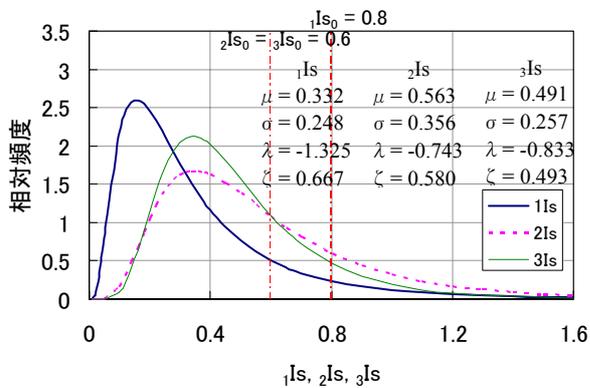
となることが示される。

さらに  ${}_3I_s/{}_2I_s$  値は、

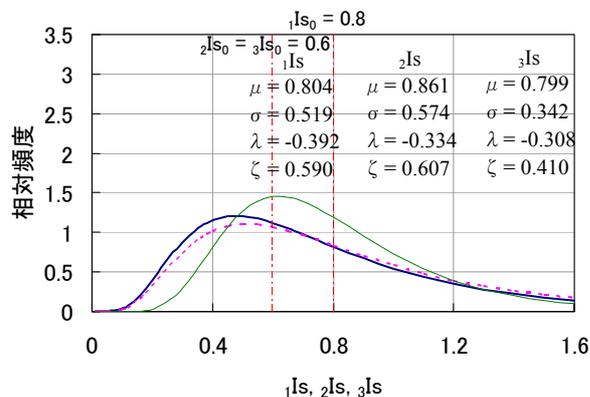
$$\left. \begin{array}{l} \text{X 方向で } {}_3I_s = 1.026 {}_2I_s \\ \text{Y 方向で } {}_3I_s = 1.017 {}_2I_s \end{array} \right\} \quad (5)$$

の関係が示され、X および Y 方向のいずれに対しても近似直線とほぼ同程度の 1.0 に近い値を示し、第 2 次診断法と第 3 次診断法の  $I_s$  値においては、比較的相関性があることが認められる。

前述のように、第 1 次診断法による  ${}_1I_s$  値より、第 2 次および第 3 次診断法による  $I_s$  値を評価す

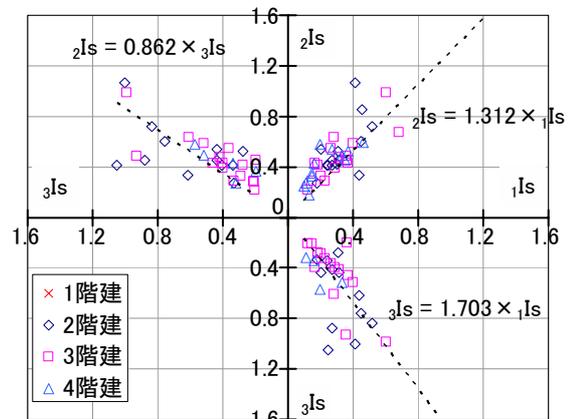


(X方向)

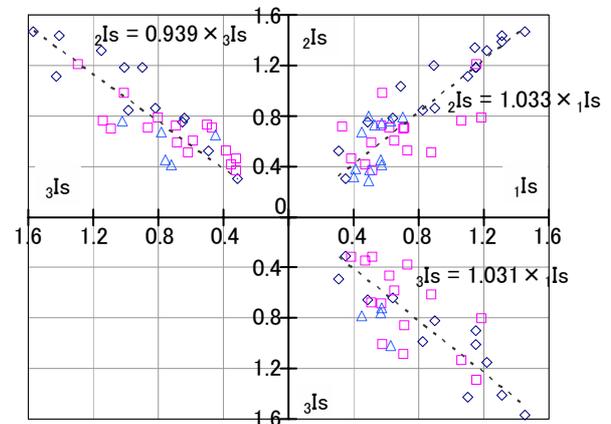


(Y方向)

図-2 各診断次数の  $I_s$  値の相対頻度分布



(X方向)



(Y方向)

図-3  ${}_1I_s - {}_2I_s - {}_3I_s$  の関係

ることはある程度可能である。第2次診断法による ${}_2I_s$ については式(3)で、第3次診断法による ${}_3I_s$ については式(4)で平均値としての評価ができることが示されるが、ばらつきが大きいことには留意する必要がある。

#### (4) 延床面積壁率と平均せん断応力度 $\alpha$ の関係

図-4は延床面積壁率 $\Sigma A_w / \Sigma A_f$ と平均せん断応力度 $\Sigma W / (\Sigma A_c + \Sigma A_w)$ の明らかな26棟の延床面積壁率と平均せん断応力度の関係を示したものである。さらに、同図には $\Sigma A_w / \Sigma A_f$ および $\Sigma W / (\Sigma A_c + \Sigma A_w)$ の相対頻度分布形を合わせて示している。

同図の縦軸は、 $y = \Sigma W / (\Sigma A_c + \Sigma A_w)$  (ただし、 $W = w \cdot \Sigma A_f$  とし、 $w$ は単位面積当たりの重量、 $\Sigma A_f$ は延床面積を示す)を、横軸は、 $x = \Sigma A_w / \Sigma A_f$ をそれぞれ表す。また、縦軸、横軸のそれぞれの項目に関する相対頻度分布を併せて示している。さらに、同図には、第1次診断法における保有性能基本指標 ${}_1E_0$ として、柱と壁が混在する場合の $E_{01}$ と柱のみの場合の $E_{02}$ を

$$\left. \begin{aligned} E_{01} &= 20 \frac{A_w}{w \Sigma A_f} + 7 \frac{A_c}{w \Sigma A_f} \\ E_{02} &= 10 \frac{A_c}{\Sigma A_f} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

とした場合のいずれか大きい方を用いることによって評価した値を破線で示している。また、 ${}_1E_0$ に交差する実線は $A_c / W \Sigma A_f$ で求められる延床面積柱率を表している。

これらの図より、X方向では、十勝沖地震で中破以上の被害を生じた

$$\frac{\Sigma W}{\Sigma A_c + \Sigma A_w} \geq 12 \text{ kgf/m}^2 \quad \text{かつ} \quad \frac{\Sigma A_w}{\Sigma A_f} \leq 30 \text{ cm}^2/\text{m}^2 \quad (6)$$

の範囲にほとんどの値が含まれ、かつ、その範囲の下限は ${}_1E_0 = 0.8$ と一致し、第1次診断法の構造耐震指標 $I_{s0} = 0.8$ と対応していることが示される。すなわち、X方向の耐震性能を延床面積壁率、および平均せん断応力度で判断した場合、大半のものは必要な性能を満たしていないことが認められる。

なお、延床面積壁率の平均値はX方向では7

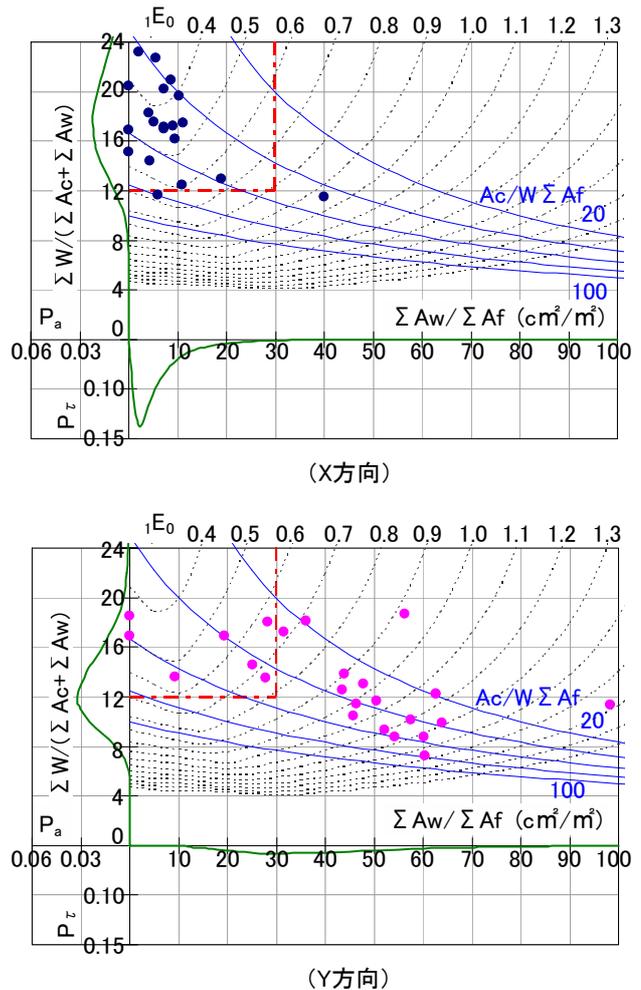


図-4 延床面積壁率と平均せん断応力度の関係

$\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、かつ分布する範囲も $0 \sim 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と極めて狭い値を示しているが、Y方向では梁間方向の耐震壁が多く、延床面積壁率の平均値は $43 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ になっているが、その分布する範囲は $15 \sim 60 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と広い値を示していることが特色である。一方、平均せん断応力度は、X方向の平均値は $19 \text{ kg/cm}^2$ で、Y方向の $13 \text{ kg/cm}^2$ よりも大きい値を示していることが注目される。

#### 4. 兵庫県南部地震で被災した兵庫県の公立学校

簡易診断としての第1次診断法による桁行方向の $I_s$ 値は、高次の第2次および第3次診断法による $I_s$ 値に比して、小さい値を示すことが明らかにされたが、高次の第2次および第3次の診断結果が、地震によって被災した建物の耐震性能をよりの確に把握できているのかどうかについて、兵庫県南部地震において被災した公立

学校の被災例を用いて検討する。兵庫県南部地震によって被災した小中高の 104 棟について、第 1 次および第 2 次診断法による構造耐震指標  ${}_1I_s$ ,  ${}_2I_s$  および被災度 D 値との関係が文献 1 に検討されている。本論では、報告される 104 棟の中から、1981 年以前に竣工している 77 棟について分析した。なお、有効データ数は、第 1 次診断では X 方向が 77 棟、Y 方向が 76 棟、第 2 次診断では X 方向が 58 棟、Y 方向が 54 棟、第 1 次と第 2 次の X および Y 方向ともにデータの揃っているものは 54 棟である。

図-5 に X, Y 方向の第 1 次および第 2 次診断法による  $I_s$  値の相対頻度分布を示す。X 方向では  ${}_1I_s$  値の分布がシャープなピーク値を持つことに対して、 ${}_2I_s$  値については、 ${}_1I_s$  値に比して緩慢で、ほぼ同じ傾向の分布形を示すことが認められる。それに比して、Y 方向では各診断回数に関わらず、ほぼ同じ分布形を示していることがいえる。この結果は、前述の四国 3 県の診断結果とほぼ一致した傾向を示している。

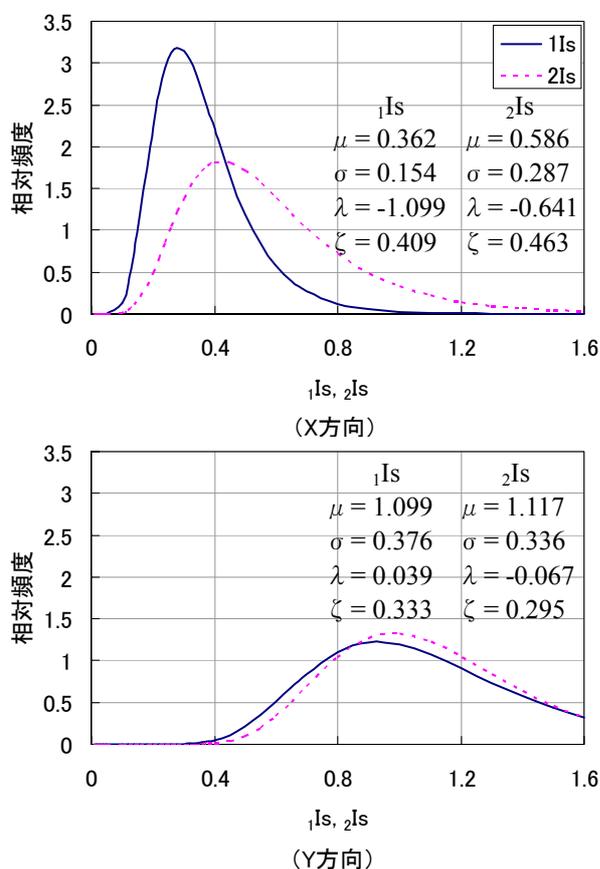


図-5  $I_s$  値の相対頻度分布

X および Y 方向における第 1 次診断法による  ${}_1I_s$  と第 2 次診断法による  ${}_2I_s$  の関係および被災度区分判定によって被災度を判定された建物被害を図-6 に示す。図中には、第 1 次診断法の構造耐震判定指標  ${}_1I_{s0}$  を 0.80, 第 2 次診断法の構造耐震判定指標  ${}_2I_{s0}$  を 0.60 とした場合の

$${}_2I_s = \frac{{}_2I_{s0}}{{}_1I_{s0}} \cdot {}_1I_s = \frac{0.60}{0.80} \cdot {}_1I_s = 0.75 {}_1I_s \quad (7)$$

と、 ${}_2I_s/{}_1I_s$  を近似直線で表した

$$\left. \begin{array}{l} \text{X 方向で } {}_2I_s = 1.592 {}_1I_s \\ \text{Y 方向で } {}_2I_s = 1.030 {}_1I_s \end{array} \right\} \quad (8)$$

を示している。

同図より、第 1 次診断法による  ${}_1I_s$  値と第 2 次

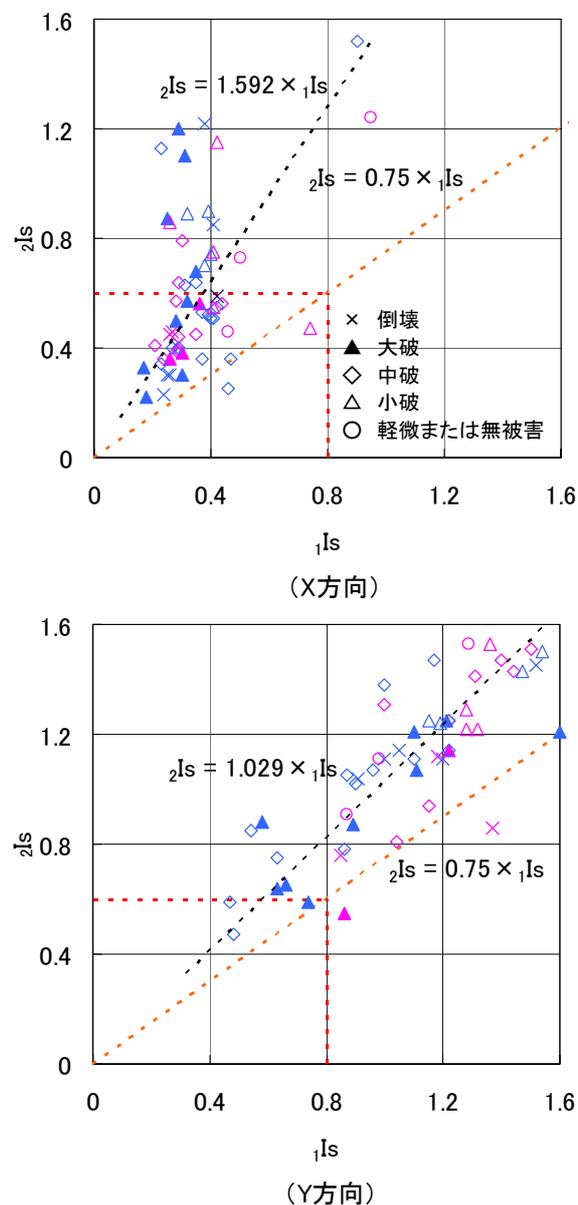


図-6  ${}_1I_s$  と  ${}_2I_s$  の関係と地震被害

診断法による ${}_2I_s$ 値の建物被害を見てみると、いくつかの例外はあるものの、第1次診断法による耐震判定指標は大破、倒壊を判定する指標値としては適切ではなく、第2次診断法による耐震判定指標の方がよりの確に評価していると判断される。なお、この例外については、単に $I_s$ 値の大きさのみの問題ではないと推測されるが、文献1では、 $I_s$ 値等の指標値しか分からず、個々の具体的な被災状態が分からないため、その原因については言及できていない。

兵庫県の場合も、第1次診断法による ${}_1I_s$ 値より、第2次診断法による ${}_2I_s$ 値を評価することはある程度可能であり、第2次診断法による ${}_2I_s$ については式(8)で平均値としての評価ができることが示されるが、特にX方向に関して、ばらつきが大きいことには注意する必要がある。また、Y方向に関しては、X方向よりも精度の高い評価ができていているといえる。

## 5. まとめ

高知、愛媛、香川の3県の46棟の学校校舎の第1次、第2次および第3次のそれぞれの診断法による構造耐震指標 $I_s$ について分析し、次の結果が得られた。

- (1) 第1次診断法による ${}_1I_s$ の結果では、X方向ではほとんどの校舎では必要な構造耐震判定指標 $I_{s0} = 0.8$ を満足していない。また、Y方向についても、約20~30%の建物は $I_{s0} = 0.8$ を満足していない。したがって、第1次診断法を適用して既存学校校舎の耐震性能を評価した場合、ほとんどの校舎では、耐震補強が必要となる結果が得られる。
- (2) 第2次診断法による ${}_2I_s$ による耐震性能評価では、X方向では、第1次診断法よりも若干、必要な耐震性能を満足するものが増加するが、80%の校舎は必要な性能を満たさない結果となっている。一方、Y方向では、30%の建物が満足しない結果となっている。
- (3) 第3次診断法による ${}_3I_s$ の耐震性能評価では、X方向およびY方向のいずれに対しても、第2

次診断法の ${}_2I_s$ の評価とほぼ同じ結果を与える。

(4) 各診断次数による $I_s$ 値のそれぞれの間には、大略的には相関性が認められ、第1次診断法による ${}_1I_s$ と第2次診断法による ${}_2I_s$ の間には、平均値としてはX方向については、 ${}_2I_s = 1.30 {}_1I_s$ 、Y方向については、 ${}_2I_s = 1.0 {}_1I_s$ の関係が認められる。また、 ${}_2I_s$ と ${}_3I_s$ の間には、X方向およびY方向のいずれについても、 ${}_3I_s = 1.0 {}_2I_s$ の関係が認められる。

(5) 兵庫県南部地震における兵庫県の学校校舎の被害状況から判断すると、第1次診断法による耐震判定指標は大破、倒壊を判定する指標値としては適切ではなく、第2次診断法による耐震判定指標の方がよりの確に評価していると判断される。

(6) 柱・壁率 $C_{cw}$ および延床面積壁率は、簡易診断としては第1次診断法の ${}_1I_s$ と大略的には相関性が認められるが、X方向については、柱・壁率 $C_{cw}$ および延床面積壁率では、第1次診断法と同様にほとんどの校舎では、耐震改修が必要である結果を示している。

## 6. 謝辞

貴重な耐震診断結果の資料を御提供いただいた、高知、愛媛、香川の建築士事務所協会の各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：文教施設の耐震性能等に関する調査研究報告書，pp.74-78，pp.133-136，1996.8
- 2) 池辺祐介ほか：大分県における既存RC造建築物の耐震性能に関する調査研究（その2，3），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.797-800，2001.9
- 3) 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1），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.863-864，2002.8
- 4) 大嶋茂ほか：東京都の既存RC造校舎の耐震診断・補強に関する調査研究（その2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.869-870，2002.8
- 5) 田中睦，崎野健治：福岡県・佐賀県における既存建築物の耐震診断および補強法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.883-884，2002.8
- 6) 李瑩ほか：関東地方KS市における耐震診断・補強設計の調査，研究（その1,2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.873-874，2002.8