

# 既存鉄筋コンクリート造建物の耐震性能に関する研究

A Study on Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Buildings

李 康 碩\*・中 埜 良 昭\*

Kang-Seok LEE and Yoshiaki NAKANO

## 1. はじめに

本報告はある地域の168棟の既存鉄筋コンクリート造(以下、RC造)公共建物についての耐震診断基準<sup>1)</sup>による耐震診断結果を用いて、その耐震性能を分析するとともに、文献<sup>2)</sup>と同様の手法を用いて本調査地域および他地域の既存建物の構造耐震指標(以下、 $I_s$ 値)分布と地震被害率との関係について検討を行ったものである。

## 2. 既存建物の耐震性能の分析

### 2.1 対象建物および調査項目

対象建物はある地域の地震経験のないRC造公共建物168棟で、調査項目は、建物用途、層数、建設年度、構造形式、耐震診断結果等である。なお、本調査で対象とした建物の中には昭和56年以降のいわゆる新耐震設計法によるものが6棟含まれるが、これらは新耐震以前に建設された建物の増築部分であり、増築部との間にはエキスパンションジョイントが設けられていることから本調査では別建物として耐震診断を行ったものである。

### 2.2 耐震性能の検討

#### 1) 用途、層数および建設年度

図1、2に対象とする建物168棟の用途、層数と建設年度の頻度分布を示す。全体の80%が2~4階建てで、警察・消防署52棟、学校および学校体育館56棟、住宅26棟、事務所20棟等であり、全体の42%が昭和46年の建築基準法施行令改正前に建設されたものである。

#### 2) 対象建物の構造形式

図3に、対象建物の1階の延床面積壁率と平均せん断応力度の関係を示す。いわゆる志賀マップに対象建物のデータをプロットしたものを示す<sup>3)</sup>。構造形式としては、純ラーメン、あるいはそれに近いものから壁のみで構成され

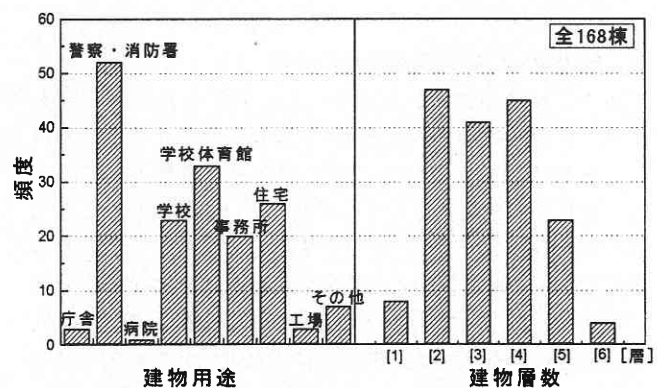


図1 対象建物の用途と層数の分布

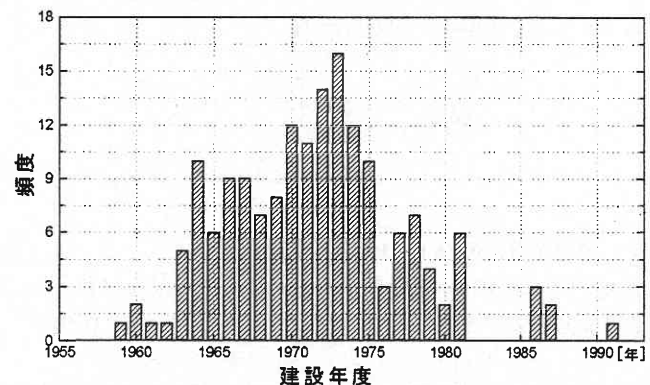


図2 対象建物の建設年度の分布

るものまで、幅広く分布しているのが分かる。図中の一点鎖線は、 $A_w/\sum A_f < 30 (cm^2/cm^2)$ かつ $1000\sum A_f/(A_c + A_w) > 12 (kg/cm^2)$ のゾーン(十勝沖地震、宮城県沖地震で被害の生じた建物が含まれているいわゆる危険ゾーン)を、破線は単位床面積当りの重量を $1.3t/m^2$ とした場合の1次診断による $E_0$ 値と志賀マップの関係を示す。危険ゾーンに含まれる建物は全体の約18%であった。

\*東京大学生産技術研究所 第1部

研 究 速 報

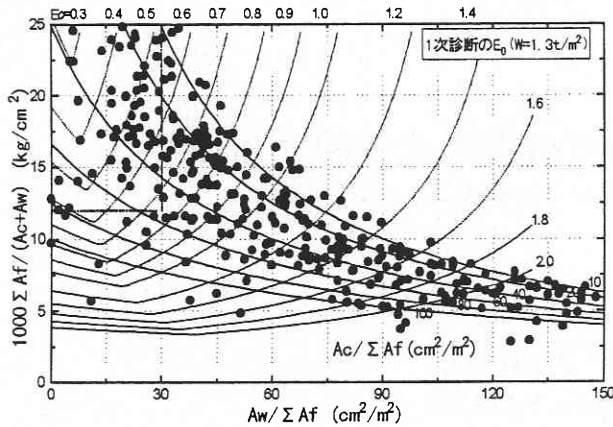


図3 延床面積壁率と平均せん断応力度の関係

3) 対象建物の構造耐震指標の分布

図4に対象建物の2次診断による1階のIs値の分布を示す。ここではIs値<2.5のみについて示したが、これは(1) Is値の極端に高いものは後で検討する被害率の推定などを行うとき被害を生じる可能性がほとんどないこと、(2) 2.5未満に全データの約95%が含まれていることを考慮して、主観的に決定したものである。後述のデータ分析においても主としてIs値<2.5のみを取り扱っている。同図の曲線は分布を対数正規分布により近似したものであるが、そのIs値の分布は0.7付近にピークを持つ式(1)のような対数正規分布で近似でき、その耐震性能は建物によって大きく差があるのが分かる。

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

x: Is値    y: ln(x)     $\bar{y}$ : -0.129     $\sigma_y$ : 0.512

4) 設計年度別のIs値の分布

図5に、昭和46年の建築基準法施行令改正前後における2次診断1階のIs値分布の変化を示す。改正前はIs値が

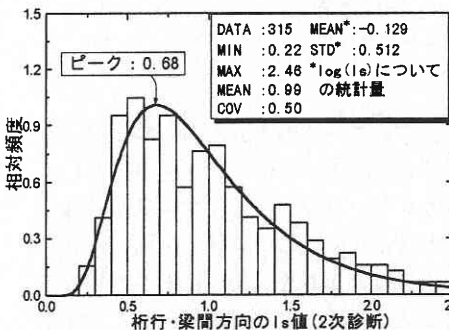


図4 対象建物のIs値の分布

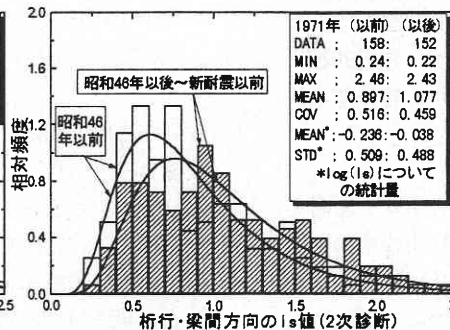


図5 設計年度別のIs値の分布

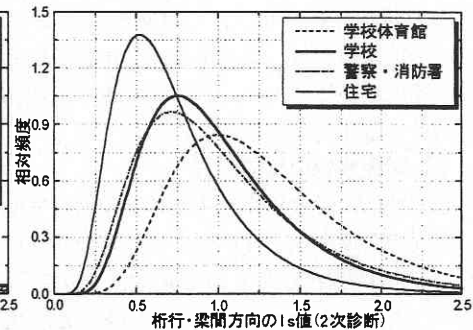


図6 代表的な用途別のIs値分布

表1 代表的な用途別のIs値の統計値\*

建物	学校 体育館	学校	警察 消防署	住宅	
建設 年度	1971 以前	1.29 <sup>(*)</sup> <1>	0.95(0.50) 0.53<18>	1.04(0.56) 0.54<29>	0.75(0.42) 0.56<44>
	1971 以後	1.31(0.52) 0.40<53>	1.06(0.37) 0.35<23>	1.05(0.50) 0.48<72>	0.75(0.21) 0.28<8>
層 数	1	なし	1.20(0.52) 0.43<7>	0.98(0.26) 0.27<2>	1.78(0.40) 0.22<2>
	2	1.69(0.47) 0.28<14>	1.08(0.54) 0.5<6>	1.23(0.52) 0.42<44>	なし
	3	1.64(0.49) 0.30<4>	1.09(0.38) 0.35<18>	1.03(0.53) 0.51<29>	0.90(0.21) 0.23<4>
	4	1.12(0.44) 0.39<36>	なし	0.77(0.44) 0.57<10>	0.73(0.31) 0.42<22>
	5	なし	0.71(0.22) 0.31<10>	0.76(0.34) 0.45<14>	0.61(0.33) 0.54<20>
	6	なし	なし	0.65(0.1) 0.15<2>	0.90(0.49) 0.54<4>
破 壊 形 式	極短柱	1.23(0.55) 0.45<25>	0.65(0.17) 0.26<10>	1.01(0.53) 0.52<53>	0.69(0.38) 0.55<28>
	せん断	1.51 <sup>(**)</sup> (1)	1.07(0.59) 0.55<6>	1.12(0.64) 0.57<14>	0.86(0.36) 0.42<7>
	曲げ せん断	1.33(0.45) 0.34<27>	1.11(0.36) 0.32<23>	1.07(0.45) 0.42<32>	0.79(0.43) 0.54<17>
	曲げ	2.37 <sup>(**)</sup> <1>	1.57(0.39) 0.25<2>	1.29(0.57) 0.44<2>	なし

注\*) 上段: 平均値, (標準偏差)  
下段: 変動係数, <データ数>  
\*\*) 上段は平均値, 下段<>の中はデータ数。

0.4~0.6程度の建物が最も多いのに対し、改正後は0.4以下の建物は少ない。第3章で述べるように、Is値<0.4の建物には1968年・十勝沖地震、1978年・宮城県沖地震で大被害が生じているが、基準の強化(せん断設計の強化)により、この程度の地震動に対して被害が生じる可能性のある建物の割合が減少していることが分かる。

5) 用途別のIs値分布

図6には対象建物の代表的な用途別の1階Is値分布の対数正規分布による近似曲線を比較したものであり、表1にはそれら用途別の建物の統計値を示す。

Is値の最も高い学校体育館は昭和46年の建築基準法施行令改正以前より以後に建設された建物が多い。最も低いものである住宅建物は改正以前に建設された建物が多く、

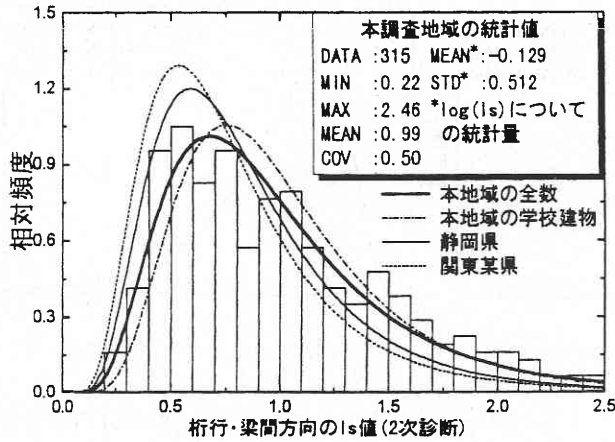


図7 他地域の Is 値分布との比較

極短柱せん断破壊型建物の割合が全体の50%を上回っている。また、学校建物は1階建ての割合が他の建物に比べて高く、極短柱せん断破壊型建物の割合が低く、曲げせん断破壊型建物の割合が高い。

6) 他地域の Is 値分布との比較

図7には静岡県<sup>2)</sup>、関東某県<sup>4)</sup>および本調査地域における既存 RC 造建物の2次診断の1階 Is 値分布をそれぞれ比較したものである。なお、同図には本調査地域における学校建物の1階 Is 値分布もあわせて示してある。

その結果を比較すると、静岡県および関東某県に比べて、本調査地域の全体建物および学校建物ともに Is 値分布が多少高めである。これは本矯で対象としたデータについては、昭和46年の建築基準法施行令改正後の建物の比率は用途により異なるものの全体としては改正後のものが約50% (Is 値<2.5) を占めるのに対し、静岡県におけるデータを用いた分析結果<sup>2)</sup>では30%程度であり、本調査では比較的新しい建物の割合が高いことが主要因と考えられる

3. 信頼性理論による地震被害率の推定

文献2)では静岡県における既存 RC 造建物の Is 値分布を用いて信頼性理論による地震被害率を検討している。本章では文献2)と同手法を用いて、本調査地域および他地域の既存建物の Is 値分布と地震被害率との関係について検討を行った。

3.1 地震被害率の推定方法<sup>2)</sup>

建物群の Is 値の確率密度関数を  $P_{I_s}(x)$ 、荷重効果 (以下  $E_T$  値と呼ぶ) の確率密度関数を  $P_{E_T}(x)$  とする。  $E_T$  値は、入力地動レベルを Is 値に換算したものの、すなわちある加速度レベルの地震動に対して安全であるために必要な Is 値で、入力地動のばらつきによりこの  $E_T$  が確率量となるとする。「全建物数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」は (2) 式で表せる。

$$V = \int_0^{\infty} P_{I_s}(x) \cdot \left[ 1 - \int_0^x P_{E_T}(r) dr \right] dx \quad (2)$$

$$v(x) = P_{I_s}(x) \cdot \left[ 1 - \int_0^x P_{E_T}(r) dr \right] \quad (3)$$

$x$ : Is 値 (or  $E_T$  値)

(2) 式の [ ] 項は  $\text{Prob}[E_T > x]$ 、すなわち  $I_s = x$  の建物の被害確率を表し、また (3) 式に示すように、(2) 式の被積分項  $v(x)$  は被害建物の Is 値分布を表す。したがって、 $P_{I_s}(x)$ 、 $P_{E_T}(x)$  から (2) 式、(3) 式を用いて、被害率 V 及び被害建物の Is 値分布  $v(x)$  が推定できる。なお、本検討における荷重効果の分布  $P_{E_T}(x)$  は静岡県における被害想定時に用いた分布を用いた。

3.2 地震被害率の推定

本調査地域における被害建物の Is 値と地震被害率との関係を図8に、関東某県における被害建物の Is 値と地震被害率との関係を図9に、文献2)の静岡県における被害建物の Is 値と地震被害率との関係を図10にそれぞれ示す。なお文献5)に示すように、1968年・十勝沖地震、1978年・宮城県沖地震による卓越周期0.4秒の地盤における建物に入力される入力地震加速度レベルを0.23gと設定しているが、さらに同図には入力地動加速度レベルが0.36g、0.45gと変化した場合についての被害率 V 及び被害建物の Is 値分布  $v(x)$  の推定もあわせて示してある。ここでは系の許容塑性率と要求耐力比 (応答量と許容塑性率に収めるために必要な耐力と入力レベル比) を決めれば、必要 Is 値が入力地動加速度に比例して定まる関係にある<sup>5)</sup>ことから、 $E_T$  値の確率密度関数<sup>2)</sup>を変動係数一定で平均値のみをそれぞれ0.36/0.23倍、0.45/0.23倍して被害率 V 及び被害建物の Is 値分布  $v(x)$  を求めた。本矯で対象とした地域における Is 値分布は他の地域に比べて高いため、被害率は低い結果となっている。

図11には本調査地域、静岡県および関東某県における特定地震 (十勝沖地震、宮城県沖地震) の入力レベル、すなわち0.23g に対する地震被害上昇率をあわせて示す。入力地動が0.36g、0.45g になると、被害率が本地域の場合は約3.7倍、5.7倍に、関東某県の場合は約2.7倍、3.8倍に、静岡県<sup>2)</sup>の場合は約3.1倍、4.6倍になることが分かる。これから他地域に比べて本調査地域の入力レベルに対する被害率は低いものの、その上昇率はより高くなることが分かる。すなわち、本矯で対象とした地域では入力レベルの増大に伴い被害がより急激に拡大する可能性をがあることを示唆していると考えられる。

研究速報

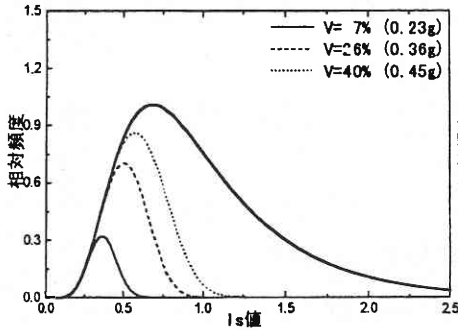


図8 地震被害率 (本調査地域)

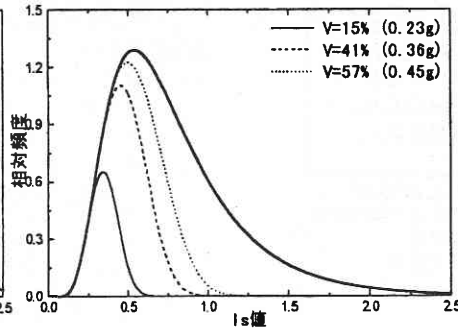


図9 地震被害率 (関東某県)

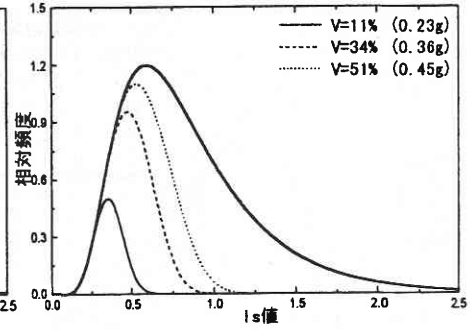


図10 地震被害率 (静岡県)

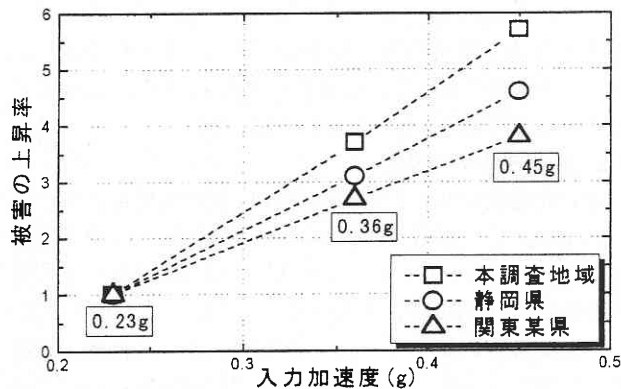


図11 入力加速度と被害の上昇率

4. ま と め

ある地域の168棟の既存RC造公共建物についての耐震診断結果を用いて、その耐震性能を統計分析し、既存建物のIs値分布と地震被害率の関係について検討を行った。以上、結果をまとめると次のようになる。

(1) 本調査地域における耐震性能

- ① 建物の構造形式および耐震性能は建物により大きな差があり、そのIs値分布(建物全数)は0.7付近にピークを持つ対数正規分布で近似できるものの、他地域すなわち、静岡県および関東某県に比べて、本調査地域のIs値分布が多少高めである。これは本矯で対象としたデータについては、昭和46年の建築基準法施工令改正前後の建物の比率は用途により異なるものの全体としては改正後のものが約50%(Is値<2.5)を占めるのに対し、静岡県におけるデータを用いた分析では30%程度であり、本調査では比較的新しい建物の割合が高いことが主要因と考えられる。
- ② 昭和46年の建築基準法施行令改正前後では耐震性能の変化が認められ、建設年度によるIs値分布の差があることが分かる。改正前はIs値が0.4~0.6程度の建物が最も多いのに対し、改正後は0.4以下の建物の割合が減

少しており、基準法改正によってせん断設計の強化の影響が認められる。

- ③ 建物の用途別の1階Is値分布の変化を見ると、Is値の最も高い建物が学校体育館に対して、最も低いものは住宅建物という傾向が見られた。これはIs値の最も高い学校体育館は昭和46年の建築基準法施工令改正以前より以後に建設された建物が多いのに対して、最も低いものである住宅建物は改正以前に建設された建物が多く、極短往せん断壊型建物の割合が全体の50%を上回っているためであると考えられる。

(2) 他地域における地震被害率との比較

- ① 特定地震(十勝沖地震、宮城県沖地震)の入力レベル、すなわち0.23gに対する地震被害率の上昇率を見ると、入力地動加速度レベルが0.36g、0.45gになると、被害上昇率が本調査地域の場合では約3.7倍、5.7倍に、他の2地域に比べて被害率は低いものの、その上昇率がより高い。これは本矯で対象とした地域では入力レベルの増大に伴い被害がより急激に拡大する可能性があることを示唆していると考えられる。

(1996年8月23日受理)

参 考 文 献

- 1) 財団法人建築防災協会「既存コンクリート造建物の耐震診断基準・付解説」1977年(1990年改訂)。
- 2) 中埜良昭「信頼性理論による鉄筋コンクリート建築物の耐震安全性に関する研究」東京大学建築学科学位論文、昭和63年。
- 3) 志賀敏男、柴田明徳他「鉄筋コンクリート造建物の震害と壁率」日本建築学会東北支部研究報告集 12号、1968年10月。
- 4) 村上雅也ら「1987年千葉県東北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、1980年10月。
- 5) 村上雅也ら「耐震性能の評価法と判定値の設定」建築雑誌、Vol. 95, No. 1170, pp. 32-39, 1980年9月。