

鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能の分布に関する調査研究 —構造耐震指標の分布について—

1. はじめに
2. 対象建物
3. 構造耐震指標の分布
4. 既往のIs値分布との比較
5. まとめ

栗山利男*
望月利男**
荻本孝久***

要 約

1995年兵庫県南部地震以降、全国各地で既存建築物の耐震診断が数多く実施されるようになった。耐震診断の結果として得られる構造耐震指標は、地域の地震被害想定調査などにおける建物の被害を予測するための基礎資料となっている。しかしながら、この種の資料は静岡県における学校建築主体のデータ以外には整備されていないのが現状である。都市に存在する様々な建物の耐震性能を把握しそれを体系的に整理することは、都市の地震被害想定調査などにおける建物被害予測の精度向上のために重要な課題である。

このような背景において、本研究では全国で実施されている耐震診断データを収集し、鉄筋コンクリート造建築物の構造耐震指標を体系的に整理した。その結果、建物の耐震性能は、建物の建設年代、高さ（階数）、建物用途毎に様々な分布となることを示した。また、都市の地震被害想定調査などにおいて多くの自治体で普遍的に用いられている鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能分布との比較を行った結果、本研究による結果は、従来のものよりも低い耐震性を示しており、現在用いられている耐震性能分布を見直す必要性のあることを示した。

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以後、全国各地で既存建築物の耐震診断が数多く実施されるようになって

た。耐震診断により得られる構造耐震指標（Is値）は、個々にはその建物の耐震性能評価や補強計画に用いられるが、それらを統計処理したIs値の分布は、地震被害想定調査などにおける建物の被害予測を行う際の基礎データともなっている。

*株式会社構造計画研究所・東京都立大学大学院都市科学研究科研究生

**東京都立大学都市研究所・大学院都市科学研究科

***神奈川大学工学部・東京都立大学都市研究所非常勤研究員

様々な種類の建築構造物が多数混在する都市の地震被害想定調査や地域危険度測定において、その精度を向上させるためには、それぞれの構造物が有する耐震性能を構造形態・建設年代・用途・規模別等体系的に把握することが重要となってくる。この種の資料としては、現状では主に中埜ら(1989)による鉄筋コンクリート構造物の調査結果が普遍的に用いられているが、そのデータは静岡県における学校等の公共建物主体の資料であり、データの偏りは避けられないと考えられる。また、都市に数多く建設されている事務所建築や共同住宅などの構造物の資料は整理されていないのが現状であり、様々な建築物の耐震性を体系的に整理することは急務であるといえる。

筆者らは、公文書(実施責任者 望月)により1995年阪神淡路大震災以降、全国各地で実施されている様々な建物の耐震診断データの収集を行ってきた。本研究では、収集した耐震診断結果を基に、鉄筋コンクリート構造物について、建設年代・建物高さ(階数)・建物用途別に構造耐震指標の分布を整理するとともに、地震被害想定調査などにおける鉄筋コンクリート造建築物の地震被害予測を行うための基礎資料として従来から多くの自治体において普遍的に用いられてきた構造耐震指標の分布との比較を行った。

2. 対象建物

収集した耐震診断データは1674棟であり、そのうち1294棟が鉄筋コンクリート造建物である。残りは鉄骨鉄筋コンクリート造建物や鉄骨造建物および複合構造の建物となっている。また、データの収集先は30の都道府県や市区町村、ゼネコン11社、設計事務所7社であり、収集した建物棟数は地方自治体と民間とで約半数ずつとなっている。

図1に本研究で用いた鉄筋コンクリート造建物1294棟について棟数分布を建設年代別に示し、図2に建物高さ(階数)および建物用途別の棟数分布を示す。

本研究で対象とした建物は、鉄筋コンクリート構造物の帯筋が強化された1971年の旧基準改定前

後に建設された建物を中心となっており、1981年以降の新耐震設計法によるものも若干ではあるが含まれている。

また、建物の高さ別ではそのほとんどが5階建て以下の3、4階建てを中心とした建物となっている。建物用途別では学校建築が全体の約半数近くで最も多く、続いて事務所、共同住宅となっており、数としては少ないが防災上重要な拠点となる庁舎、警察署・消防署、病院等も含まれており、その用途は多岐にわたっている。

3. 構造耐震指標の分布

耐震診断の結果として得られる構造耐震指標(Is値)は建物の各階別および方向(はり間方向、桁行方向)別にそれぞれ求まるが、ここでは、建物の階数や方向に関係なく最も小さい値をその建

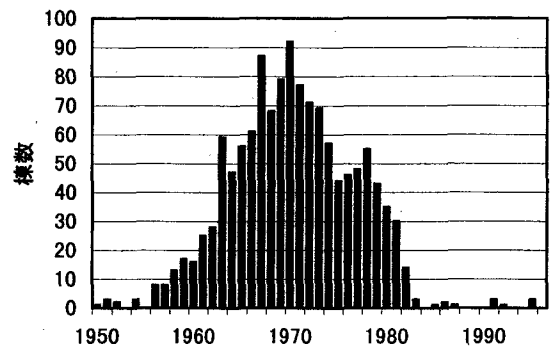


図1 対象建物の建設年代別棟数

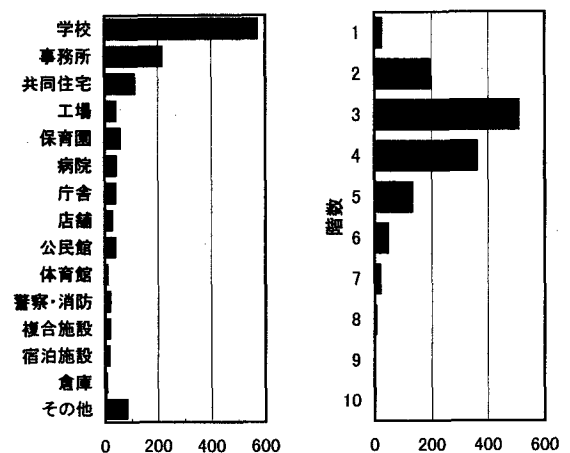


図2 対象建物の用途別、高さ(階数)別棟数

物のIs値として採用した。図3に本研究で対象とした1924棟の鉄筋コンクリート造建物についてのIs値分布と、その分布を対数正規分布曲線式で近似した結果を示す。

図3に示されるように、Is値の頻度分布は一般的に言われている対数正規分布により近似できることが確認できた。また、図3よりIs値の頻度分布は0.3～0.5程度が最も多いことがわかる。全体的には0.2～1.0の範囲に分布しており、建物の耐震性能にはかなりの幅があることが確認できる。

以下、診断次数・建設年代・建物高さ（階数）・建物用途別にIs値の分布について述べる。

1) 診断次数

RC造建築物の耐震診断は、一般には1次から3次診断までがあり、診断次数が高いほどより精度の高い診断となっている。図4に診断次数別のIs値の相対頻度分布を対数正規分布で近似した結果を示す。図4より、診断次数が高くなるとそのIs値の頻度分布は、より低い値で比較的鋭いピークを示していることがわかる。特に3次診断によるIs値の分布は、そのほとんどが一般的な構造耐震判定指標である0.6を下回っている。これは一般に3次診断は、2次診断の結果からその耐震性に疑いのある建物についてのみ実施されることによる結果である。なお、各診断次数毎のサンプル数は、1次診断のみのデータが624棟、2次診断での

データが454棟、3次診断でのデータが188棟となっており、3次診断のデータは少なくなっている。

2) 建設年代

RC構造計算基準が改定された1971年および新耐震設計法が施行された1981年を境として、建物の建設年代を1971年以前、1972年～1981年、1982年以降の3時代に区分してIs値の分布を整理した。なお、Is値は2次診断の結果を用いた。

図5に建設年代別のIs値の分布を示す。1971年以前に建設された建物ではIs = 0.3付近の頻度が最も高い。Is値が2次診断の一般的な構造耐震判定指標 (Iso) である0.6以上を示す建物は20%弱しかなく、ほとんどの建物が低い耐震性能となっている。1972年～1981年に建設された建物では、Is = 0.4～0.5付近の頻度がもっとも大きく1971年以前に建設された建物より0.1程度大きくなってお

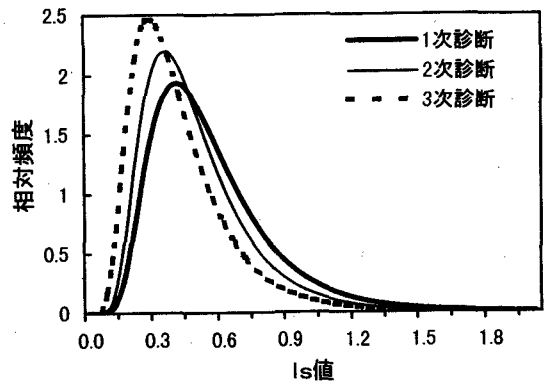


図4 診断次数別のIs値分布

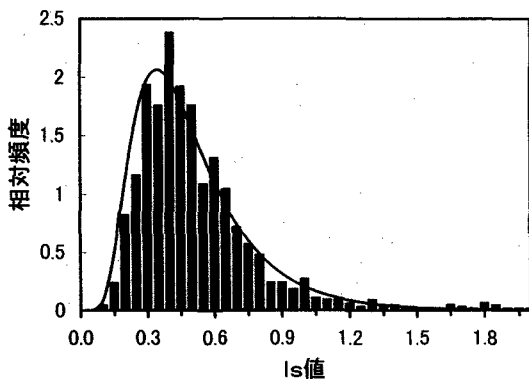


図3 鉄筋コンクリート造建物1294棟のIs値分布

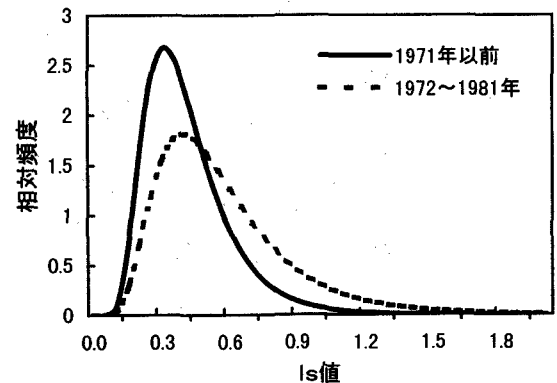


図5 建設年代別のIs値の分布

り、0.6以上を示す建物は約 1/3 となる。このことは、1971年の基準改訂により耐震性能が向上したことを示している。なお、新耐震以降の建物についてはそのデータが少なく、対数正規分布では近似できないが、今回の調査範囲ではIs値が0.3を下回る建物は存在しない。逆に、0.6以上となる建物がほとんどであり、新耐震設計法により建物の耐震性能は大きく向上したといえる。しかし、Is値が0.6未満の建物もいくつか存在しており、このことは新耐震設計法による建物においても、何らかの理由により耐震性の低い建物がいくつかは存在することを示している。

3) 建物高さ (階数)

図6に建物高さ (階数) 別に、Is値が0.6以上、0.6~0.4および0.4未満となる比率を示す。図より、1, 2階建ての低層建物については、約半数の建物のIs値が0.6を越えているが、3階建て以上の建物については、20~10%程度と極端に少なくなっている。本データは6階建て以上の建物のデータ数が少ないので一般的には言えないが、本調査範囲の鉄筋コンクリート造建物では、建物高さが高くなるほど耐震性は低く、逆に1, 2階建ての低層建物は比較的耐震性が高いと評価できる。図7に比較的データ数の多い2~5階建てのIs値について、対数正規分布で近似した結果を示す。図より2階建てと3階建て以上の建物とでは、その耐震性能の分布が大きく異なり、耐震性能を評価する際に

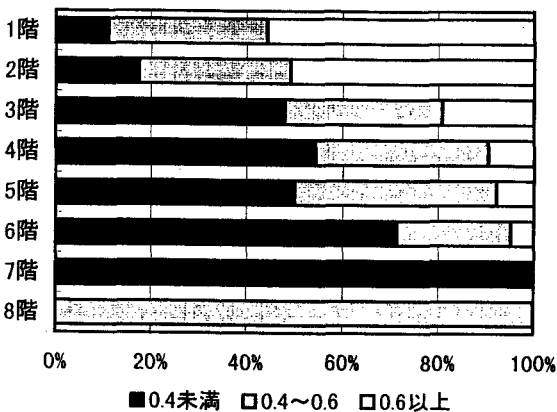


図6 建物高さ (階数) 別のIs値

は、2階建て迄の低層建物と3階建て以上の建物とを分けて考える必要があることを示している。

4) 建物用途

図8に建物用途別のIs値の平均値とIs値が0.6未満および0.4未満となる比率を示す。学校、事務所、共同住宅を除いては図2に示したようにデータ数が少ないが、本研究の調査範囲に限ってみれば、Is値が0.4に満たない建物、すなわちその耐震性が低いとされる建物の比率が最も高いのは庁舎、病院、警察・消防署、学校の順になっている。サンプル数が少なくデータに偏りがあるとしても、これらの防災上重要な拠点となる施設において、耐震性の低い建物が存在している事実は、都

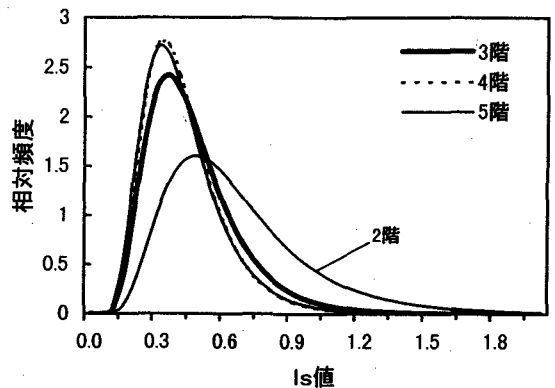


図7 建物高さ (階数) 別のIs値の分布

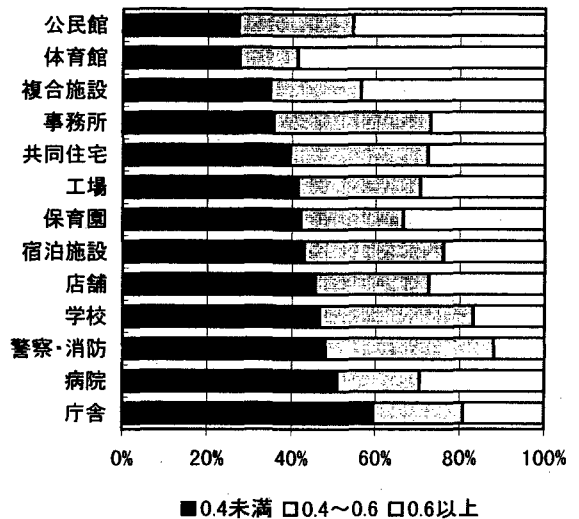


図8 建物用途別のIs値

市の防災対策上問題であり早急に耐震性の向上を計る必要があるといえる。

4. 既往のIs値分布との比較

地域における地震被害想定調査などにおいて、鉄筋コンクリート造建物の被害予測を行う際の基礎データとして従来からよく用いられている中埜ら(1989)のIs値分布(以下、既往データと称す)と本研究で収集したIs値分布との比較を行った。

既往データは、静岡県の学校建築が主体の1615棟のデータであり、採用しているIs値は、第2次診断による1階部分の値(Is<2.5のみ)である。また、はり間方向、桁行方向のIs値を別々のサンプルとして扱っており、サンプル数としては建物棟数の約2倍となっている。この既往データと本研究によるIs値分布とを比較した結果を図9に示す。なお、ここでは既往データとの比較を行うため、本研究によるデータも既往のデータと同様に2次診断による1階のIs値を採用し、はり間・桁行方向のデータを別々のサンプルとして扱った。

図9より、本研究により収集した建物の耐震性能は、既往の結果よりも低いことがいえ、Is値の相対頻度分布のピークでみると、既往データによるIs値分布のピークよりも概ね0.1程度低い値を示している。

1) 建設年代別による既往のIs値分布との比較

建物の建設年代を1971年以前、1972年～1981年

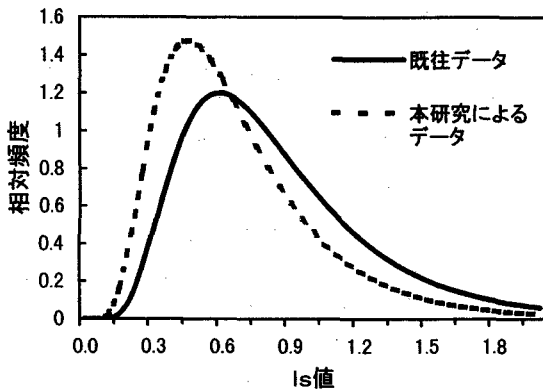


図9 既往のIs値分布との比較

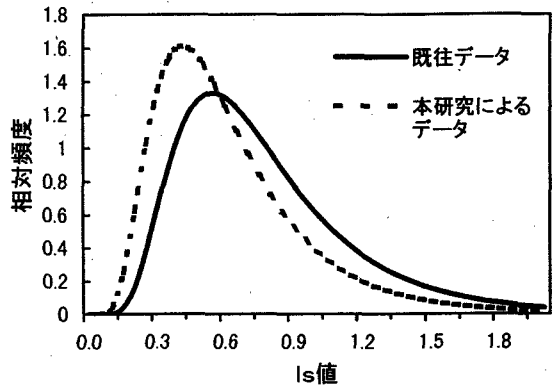


図10 既往のIs値分布との比較(1971年以前)

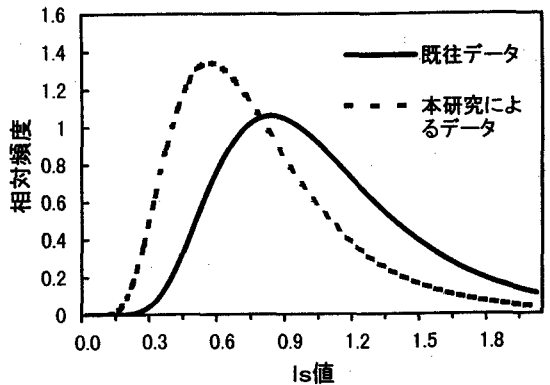


図11 既往のIs値分布との比較(1972年～1981年)

に区分して、既往データとの比較を行った。図10および図11に結果を示す。年代別に比較すると、既往のデータ、本研究によるデータともに1972年～1981年に建設された建物の方が1971年以前に建設された建物よりも高い耐震性を示している。

各年代における既往のIs値分布と本研究によるIs値分布との比較においては、両年代ともに本調査によるIs値よりも、既往のIs値分布の方が大きくなっており、本研究の対象となった建物の耐震性能は年代に関わらず低いといえる。特に1972年～1981年に建設された建物のIs値分布は、1971年以前に建設された建物のIs値分布よりも既往の結果との隔たりが大きい。

2) 建物用途による既往のIs値との比較

本研究で収集したデータのうち、用途が学校、

事務所、共同住宅となっている建物について、既往のデータと同条件となるように、第2次診断の1階部分のIs値をはり間、桁行方向それぞれ別々のサンプルとして扱い、各Is値分布を対数正規分布

で近似した結果を図12に示す。図より用途別の耐震性能は、事務所、学校、共同住宅の順に低くなっており、建物用途によってIs値の分布に若干の違いのあることが認められる。なお、他の用途についてはデータ数が少ない所以对数正規分布による近似はしていない。

既往データは前述したように静岡県における学校建築が主体のデータである。従って、既往データと本研究による学校建築のIs値分布を建設年代別に比較した。結果を図13および図14に示す。全体的な傾向は、図10および図11に示した結果と変わらないが、学校のみを取り出して比較した方が若干ではあるが、既往の結果に近くなっている。しかし、その隔たりはIs値にして0.1程度あり、今回収集した建物の耐震性能は、既往の結果よりも低いことを示している。

この要因としては、既往のデータが静岡県の学校建築主体のデータであることのみ起因しているのではなく、他の要因にもよると考えられる。例えば、既往の耐震診断から10年以上経過しており、経年変化により耐震性能そのものが低下している可能性がある。また、今回収集した耐震診断結果は、1995年阪神淡路大震災以降に実施されたものが主体であり、社会的背景から耐震診断そのものが当時よりかなり厳密に行われていることによとも考えられる。

5. まとめ

主に、阪神淡路大震災以降に全国各地で実施されてきた耐震診断結果から構造耐震指標を整理した結果、建設年代・建物高さ（階数）などにより建物の耐震性能は様々な分布を示しており、その分布形状は対数正規分布で表せることを確認した。建設年代別では、従来から言われているように、建設年代が古い建物においては、その耐震性能は低く、1971年の基準の改訂により建物の耐震性能が向上していることがIs値の分布から認められた。しかしながら、Is値が0.6を越える建物は基準改訂後においても約1/3程度しかなく、従来から指摘されているように新耐震以前の古い建物

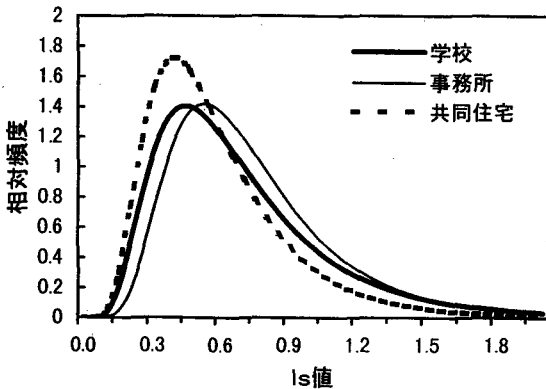


図12 建物用途別のIs値の分布

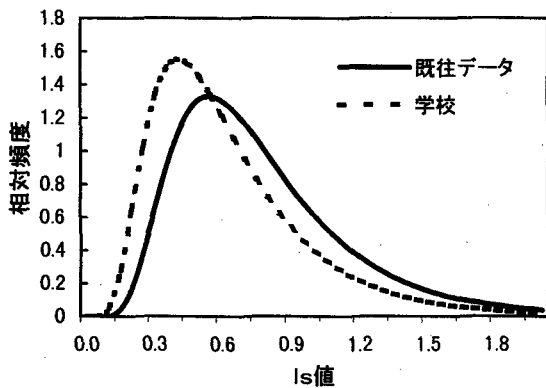


図13 既往のIs値分布との比較
(学校建築、1971年以前)

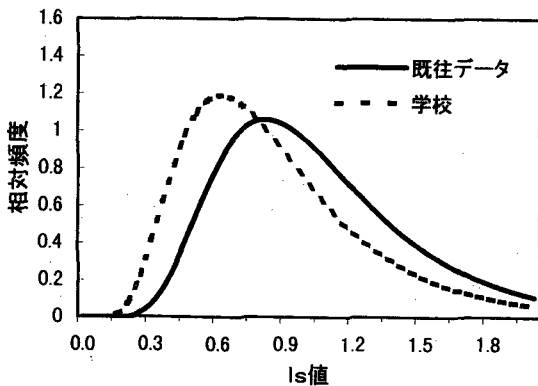


図14 既往のIs値分布との比較
(学校建築、1972年～1981年)

は、その耐震性に問題があることが本調査からも確認された。

建物高さ別では、1, 2 階建ての低層建物と3階建て以上の建物とではIs値の分布は大きく異なっており、建物高さ別に耐震性能を評価する必要性を確認した。

地域の地震被害想定調査などにおいて、建物の被害予測を行うための基礎資料として、東京都をはじめとする多くの自治体などで普遍的に用いられてきたIs値分布との比較を行った結果、今回調査した建物のIs値分布は、全体的に低い耐震性を示した。

以上の結果から、地震時の鉄筋コンクリート造建築物の被害率を予測するための基礎資料となる既存建物の耐震性能分布は、建物の建設年代、高さ（階数）、用途別など体系的に整理するとともに、これまでに多くの自治体で用いてきた既存建物の耐震性能分布（Is値分布）を見直していく必要があることを示した。

筆者らは今後、鉄骨造なども含めてデータを詳細に分析し、都市の地震被害想定調査などにおける非木造建築物の被害予測を行うための基礎資料を整備し活用していく予定である。

最後に貴重な耐震診断データをご提供いただきました諸機関に心より感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 栗山利男・望月利男・荏本孝久「既存非木造建築物の耐震性能の分布に関する調査研究その1：構造耐震指標（Is値）の建設年代・階数・用途別分布」,『日本建築学会大会（関東）学術講演梗概集』B-2, p.7-8, 1997.
- 2) 栗山利男・望月利男・三上純一郎・荏本孝久「既存RC造建物の構造耐震指標の分布に関する調査研究」,『第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集』p. 303-306, 1998.
- 3) 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』p.191-197, 1989.

Key Words (キー・ワード)

Structural Seismic Index (構造耐震指標), RC-building (RC構造物), Earthquake Damage Estimation (地震被害想定), Seismic Diagnosis (耐震診断)

Study on Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings : The Distribution of Structural Seismic Index

Toshio Kuriyama*, Toshio Mochizuki** and Takahisa Enomoto***

*Kozo Keikaku Engineering Inc.

**Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

***Faculty of Engineering, Kanagawa University

Comprehensive Urban Studies, No.68, 1999, pp.5 - 12

After the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Seismic diagnosis were carried out at every place of the country. It is very important that we understand the seismic performance of the existent buildings for estimation of building damage by earthquake.

This paper describes structural seismic index (Is-value) of reinforced concrete buildings based on the seismic diagnosis. We collected the data of buildings for seismic diagnosis and analyzed the Is-values. These Is-values were various distributions at every construction generation, stories high and use of building. We compared between the Is-values by our study and the usual Is-values. The seismic performance of comparison in this paper and the other differs clearly.

These results show that it must to be reconsidered the seismic performance of the reinforced concrete buildings into the earthquake damage estimation.