

耐震診断より得られた実在建物の コンクリート強度分布

九日 亮* 中原 浩之** 松村 和雄**

THE DISTRIBUTION OF CONCRETE STRENGTH OBTAINED
BY THE SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF RC BUILDINGS

Ryo KUNICHI, Hiroyuki NAKAHARA and Kazuo MATSUMURA

Concrete strength is one of the most effective factor in the seismic performance evaluations of existing RC buildings. It is commonly known that the concrete strength has large deviations especially in buildings existing for a long period. However, in the current standard of the seismic evaluation, the strength of the RC members are calculated using the nominal concrete strength. In this paper, the distribution of the concrete strength is investigated based on the core tests obtained by the seismic performance evaluations in Kagoshima prefecture.

Keywords: concrete strength, seismic performance evaluation, RC building, Kagoshima prefecture

1. はじめに

「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・耐震改修設計指針」^[1](以下、耐震診断基準と呼ぶ)が刊行された1977年以来、東海地方を中心に多くのRC造建物の耐震診断・改修が実施されてきた。特に、1995年の阪神淡路大震災以降は、建築物の耐震改修の促進に関する法律が施行され、全国的にこれらの事業が増

えている。耐震診断基準は扱いやすい内容となっているため、広く普及したが、実在する建物の強度に関係する数々の不確定要因の影響については詳しく調べられてはおらず、確定的な手法により診断が行われる。しかし、RC造建物の耐震性能を支配する、部材強度は大きなばらつきを持つと考えられるコンクリート強度に依存している。

本研究では、鹿児島県において行われた、耐震診断時のデータを収集して、建物の耐震性能の分布と、コンクリートコア供試体の強度試験より得られたコンクリート強度の分布を調べ、その確率モデルについて検討を行った。

2001年8月31日受理

* 大東建宅(2000年度卒業生)

** 建築学科

表1 収集した資料の建物の用途

| 建築名称／年度(平成) | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 合計 |
|-------------|---|----|-----|----|----|----|-----|
| 合同庁舎等 | | 11 | 9 | 3 | | | 23 |
| 警察庁舎等 | | 6 | 10 | 1 | | | 17 |
| 共同住宅 | 1 | | 2 | | | | 3 |
| 特殊建築物 | | 1 | 8 | 5 | | | 14 |
| 病院・保健所 | | 4 | 4 | 1 | | | 9 |
| 消防施設等 | | 1 | 2 | | | | 3 |
| 学校施設 | 1 | 11 | 37 | 3 | | 19 | 71 |
| 特殊教育諸学校 | | 23 | 42 | | | | 65 |
| 合計 | 2 | 57 | 114 | 13 | | 19 | 205 |

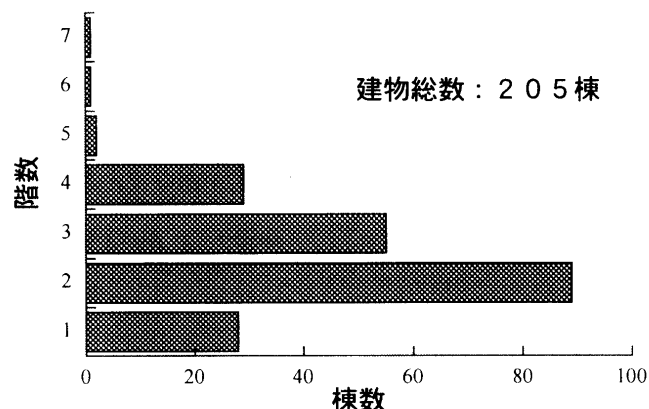


図1 建物の階数別のヒストグラム

2. 鹿児島県の耐震診断事業の概要

鹿児島県では、平成7年度より診断事業が始まり、平成12年度までに435棟の診断が実施されている。本報告では、そのうちの205棟のRC造建物についての資料を分析した。その用途を表1に示す。学校施設が全体の半分以上を占めていることが分かる。表には、平成11年度分の耐震診断結果が欠如しているが、これは診断事業が行われていないためではなく、11年度分が別の場所に保管されており資料収集できなかったことによる。この件に関しては、今後も調査を続行して、より多くのデータについて分析を行う予定である。図1に205棟の階数のヒストグラムを示す。診断が行われた建物は、1階建てから7階建てまでとなっており、

2階建てが最も多く40%以上を占めている。また、2階建てと3階建てで全体の70%以上となっている。耐震診断基準では、建物の耐震性能を各階ごとの構造耐震指標(Is値)によって評価している。各階のX方向のIs値の分布を図2に、Y方向を図3に示す。通常の診断では、X方向は建物の長手方向となっている。両者の分布はおおよそ対数正規分布の形状となっている。その平均はX方向の値が0.95で、Y方向の値1.28よりも小さい。この理由は、標本の大部分を占める学校建築では、X方向は採光のため開口部が多く、Y方向に教室を仕切る耐震壁が配置されるためである。図2において、1階のみのIs値の平均は0.87で、全体の平均0.95よりも小さい。このことは、本研究で収集した鹿児島県の建物は、1階部分の耐震性能が相対的に小さいこ

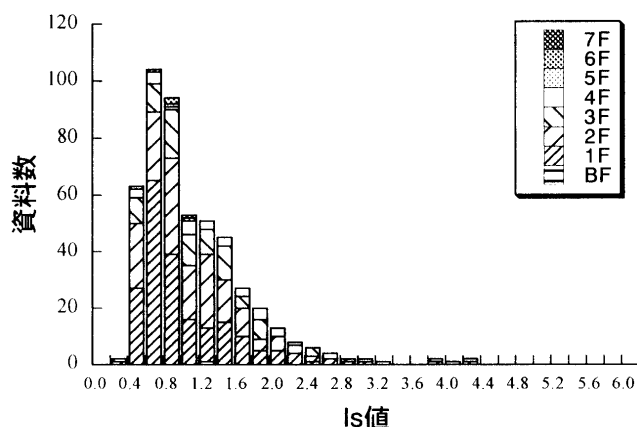


図2 X方向の階別のIs値

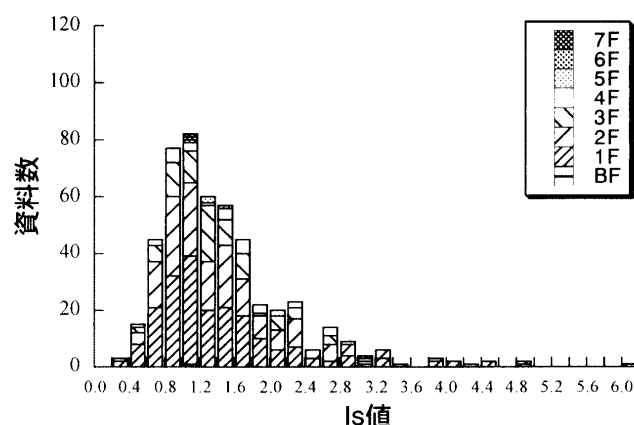


図3 Y方向の階別のIs値

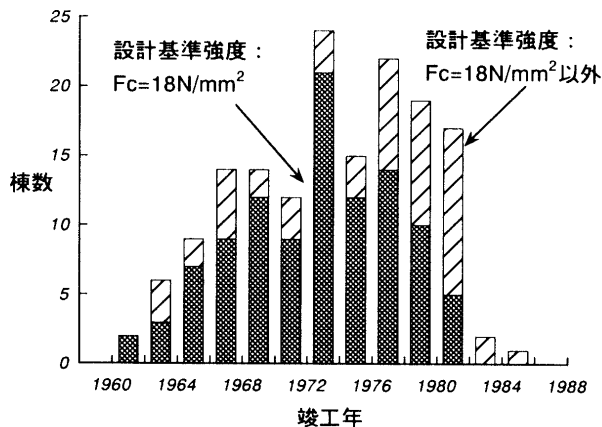


図4 診断が行われた建物の
竣工年と設計基準強度

とを示している。1997年の鹿児島県北西部地震の被害調査を行った文献[2][3]によると、実際の地震被害も1階部分に損傷が集中する傾向が見られる。このことは、今後の耐震改修のみならず、地域防災についても十分留意すべき点と思われる。一方、図3については、1階のみの I_s 値の平均は1.25で、全体の平均1.28とほぼ同じ値となっている。同じ建物でも方向によってかなり I_s 値の分布が異なる場合があることが分かる。

3. 鹿児島県の耐震診断事業より得られたコンクリート強度の分布

RC部材は、鉄筋とコンクリートで成り立っているが、両者の強度の分布を比較するとコンクリートの方がより大きくばらついている。実構造物のコンクリート強度の分布を知るため、表1の205棟の建物の内、設計基準強度 F_c が明示してあった157棟のコンクリートの強度試験結果を収集し、データベースを作成した。157棟の建物を竣工年別のヒストグラムにして図4に示す。 F_c が 18N/mm^2 (180kg/cm^2)のコンクリートが多く、の建物に用いられていることが分かる。鹿児島県の診断事業においては、建物より直接コアを採取して強度試験が行われている。本研究では、合計1615体の供試体の強度を収集した。このなかで、一番資料が多い

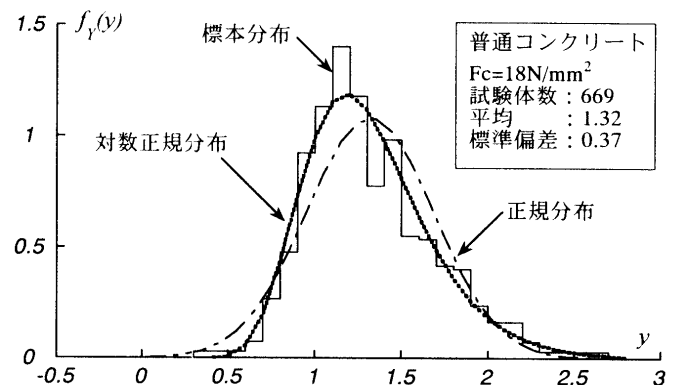


図5 コンクリート強度比の
標本分布と推定した確率分布

$F_c=18\text{N/mm}^2$ の普通コンクリートについて、強度分布を調べる。1615の供試体の内、上の条件を満足する供試体は669体ある。測定された強度を F_c で除した強度比 Y の相対度数分布を図5に実線で示す。 Y の平均 m は1.32で、標準偏差 σ は0.367である。 m と σ からなる正規分布を一点鎖線で、対数正規分布を点線で示している。正規分布に比べ、対数正規分布の方が標本分布を良く近似していることが分かる。これより、鹿児島県の実在建物における F_c が 18N/mm^2 のコンクリート強度の確率分布は、強度比の平均が1.32、標準偏差が0.367(変動係数28%)の対数正規分布でモデル化が可能であると考えられる。

本研究においては、コンクリート強度に及ぼす材令と中性化深さの影響について調査している。 F_c が明示してあった1615の供試体の内、材令と中性化深さについてもデータが得られた供試体は1070である。

これら1070体の内、109体が軽量コンクリートであり、残りの961体が普通コンクリートである。これら3種類について、コア試験によって計測された強度 X と、 X を設計基準強度 F_c で除した Y と、 Y の自然対数である Z の分布を図6,7,8に示す。これらの図には、相対度数分布を実線で示し、平均と標準偏差から推定した正規分布の確率密度関数を点線で示し、比較している。標本の平均と標準偏差の値の一覧を表2に纏めて

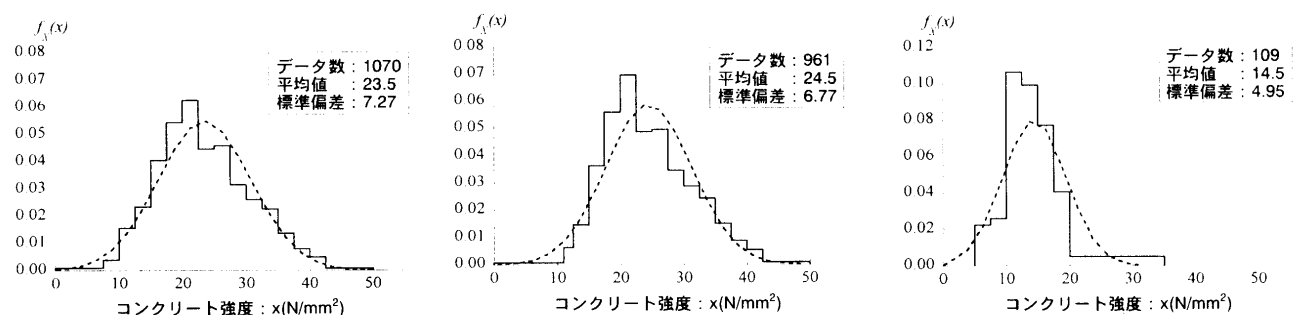


図6 コンクリート強度Xの分布

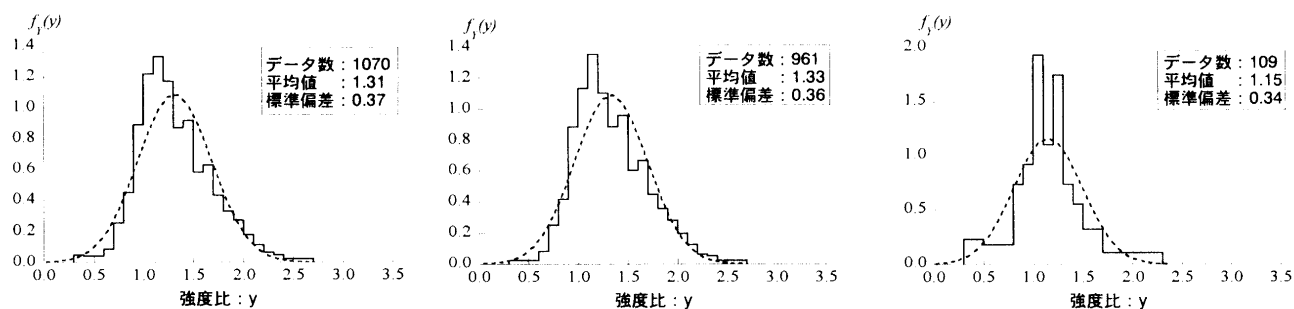


図7 強度比Yの分布

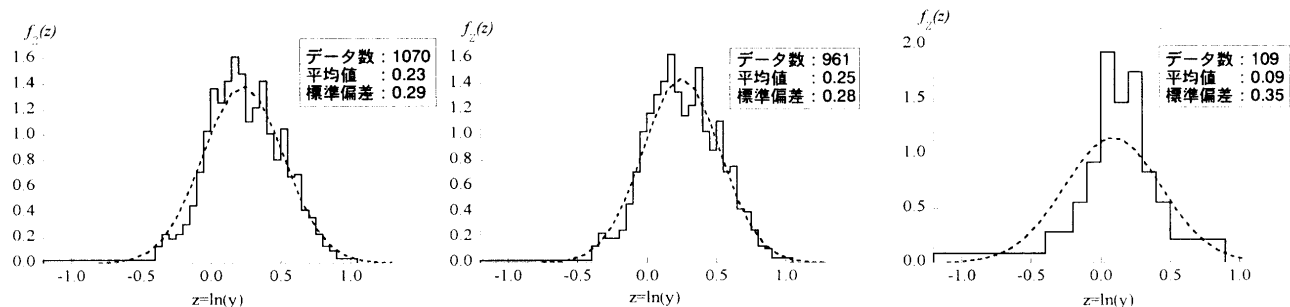


図8 $Z=\ln(Y)$ の分布

表2 各確率変数のパラメーターと適合度検定

| 確率変数 | パラメーター | | | カイ2乗検定 | | | | | |
|------------|--------|------|----------|--------|------------|-------|-------|--------|--------|
| | 試験体数 | 平均 | 標準偏差 | 自由度 | 偏差 | 限界値 | | 正規性の仮説 | |
| | n | m | σ | K | χ^2_0 | c(1%) | c(5%) | 有意水準1% | 有意水準5% |
| コンクリート強度：X | 1070 | 23.5 | 7.27 | 13 | 47.2 | 27.7 | 22.4 | 棄却 | 棄却 |
| | 961 | 24.5 | 6.77 | 12 | 73.1 | 26.2 | 21.0 | 棄却 | 棄却 |
| | 109 | 14.5 | 4.95 | 4 | 15.0 | 13.3 | 9.5 | 棄却 | 棄却 |
| 強度比：Y | 1070 | 1.31 | 0.37 | 18 | 103 | 34.8 | 28.9 | 棄却 | 棄却 |
| | 961 | 1.33 | 0.36 | 17 | 97.0 | 33.4 | 27.6 | 棄却 | 棄却 |
| | 109 | 1.15 | 0.34 | 8 | 18.8 | 20.1 | 15.5 | 棄却せず | 棄却 |
| $Z=\ln(Y)$ | 1070 | 0.23 | 0.29 | 25 | 40.0 | 44.3 | 37.7 | 棄却せず | 棄却 |
| | 961 | 0.25 | 0.28 | 25 | 32.2 | 44.3 | 37.7 | 棄却せず | 棄却せず |
| | 109 | 0.09 | 0.35 | 7 | 20.2 | 18.5 | 14.1 | 棄却 | 棄却 |

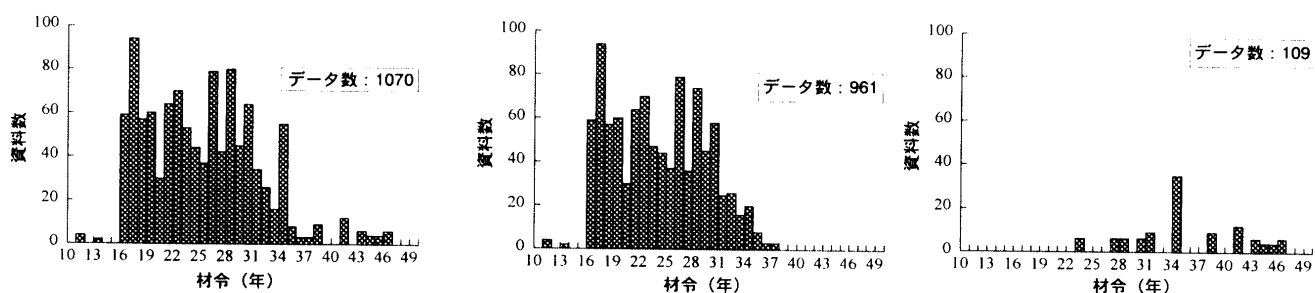


図9 材令の分布

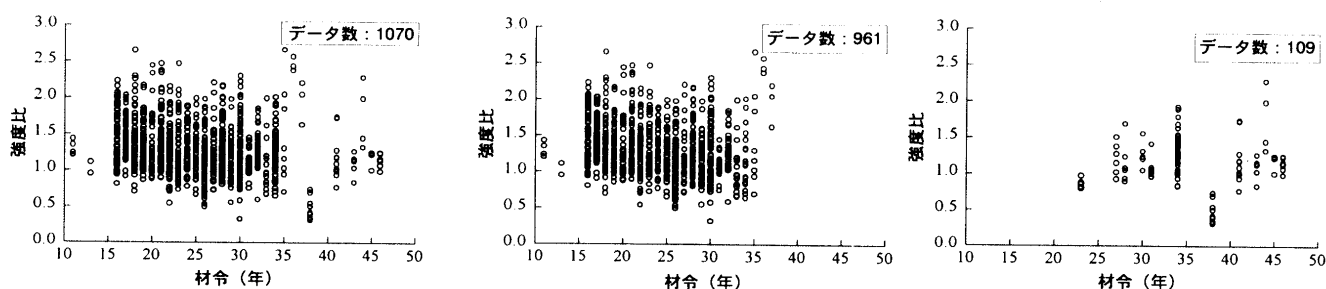


図10 強度比と材令の関係

いる。表2では、標本分布と正規分布との適合度をカイ2乗検定により調べている。表中の χ_0^2 は、各区間の標本数と仮定した正規分布より期待される標本数との偏差の2乗の総和である。ここでは、有意水準を1%と5%に対応する限界値 c と χ_0^2 との大小関係を比較することによって適合度を調べている。供試体数が1070体の場合でも、 $F_c=18\text{N/mm}^2$ と限定して場合の分布である図5の結果とさほどの違いは見られない。一方、軽量コンクリートの分布は、961体の普通コンクリートの分布と比べると平均においても分布形状においても違いが見られる。しかしながら、軽量コンクリートは供試体数が109と少なく、この結果が一般的であるかどうかについては、更なるデータを蓄積して、検討を行う必要があると考えられる。

普通コンクリートと軽量コンクリートおよびそれらの全体について材令の分布を図9に示す。これより、材令が37年以上の供試体は全て軽量コンクリートであることが分かる。また、材令が20年までの供試体には軽量コンクリートは使用されていないことが分かる。図10は、材令がコンクリート強度に及ぼす影響を見たもので、縦軸は、コア試験によって計測された

強度を設計基準強度で除した値(前述の強度比 Y)である。この図からは、材令とコンクリート強度の相関は非常に小さい。十分な水分が与えられている場合、強度は材令によって高くなると考えられている。これは、コンクリートの水和反応に時間がかかるためと説明され、標準養生のコンクリートシリンダーの強度にはこの現象が見られる。しかしながら、実存の建物は逆に劣化を促進させる要因もあり、当然、理想状態とは異なった結果が得られた。このコンクリートの劣化を示す指標として、中性化深さが挙げられる。中性化自体はコンクリート強度を直接低下させる原因とはならないが、建物の使用状態や仕上げ等の不良の影響が現れると考えられる。そこで、図11に全体、普通コンクリート、軽量コンクリートについて中性化深さの分布を示す。ここで、中性化深さは、フェノールフタレイン溶液により変色が見られなかった部分をコア供試体の両端から測り、それらを足しあわせた値を用いている。コア供試体は全て材長が10cmであるので、図の横軸の値が10cmを示す場合、コア供試体のアルカリ分は全く観測できなかったことになる。図12は、中性化深さと強度比の関係について調べたものであ

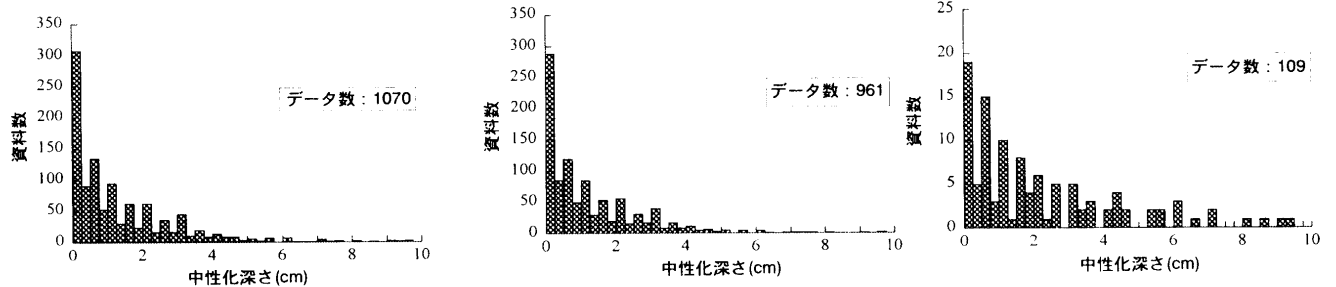


図 1.1 中性化深さの分布

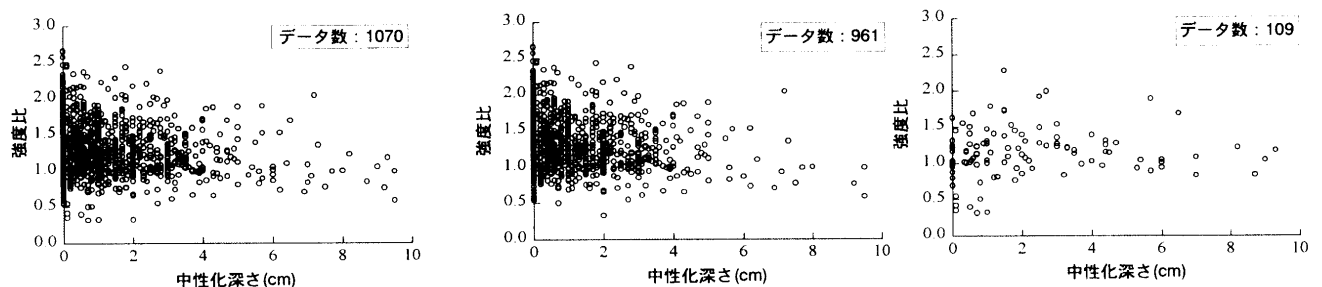


図 1.2 強度比と中性化深さの関係

る。これについても、材令と同様に、中性化深さとコンクリート強度との相関はほとんどない。

4. まとめ

鹿児島県で行われた、205棟のRC建物の耐震診断結果を用いて、耐震診断の構造耐震指標の分布とコンクリート強度の分布について考察を行った。建物の耐震性能を示す各階ごとの構造耐震指標（ I_s 値）の統計から、その平均はX方向の値が0.95で、Y方向の値1.28よりも小さい結果となった。さらに、X方向については、1階のみの I_s 値の平均は0.87で、全体の平均0.95よりも小さいことが分かった。従って、今後の耐震補強計画では、一般的に長手方向となるX方向の1階に特に留意する必要があることが分かった。また、コンクリート強度のばらつきは、コア供試体の強度を設計基準強度で除した強度比は、平均が1.32、標準偏差が0.367（変動係数28%）の対数正規分布で近似が可能であることが分かった。また、材令と中性化深さとのコ

ンクリート強度に及ぼす影響を検討したが、明瞭な関係を観察することはできなかった。

＜謝辞＞ 本研究は、2000年度日本建築学会九州支部研究補助費の助成を受けて行ったものであります。また、コンクリート強度のデータベースの作成に関しては、鹿児島県建築士事務所協会の御協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

＜参考文献＞

- [1] 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・耐震改修設計指針，1977
- [2] 徳広育夫，塩屋晋一，黒木康博：1997年鹿児島県北西部地震による文教施設の被災状況（その1・宮之城農業高校）鹿児島大学工学部研究報告，pp.107-134，第40号，平成10年9月
- [3] 徳広育夫，塩屋晋一，黒木康博：1997年鹿児島県北西部地震による文教施設の被災状況（その2・宮之城高校）鹿児島大学工学部研究報告，pp.135-150，第40号，平成10年9月