

論文

[2080] 鉄筋コンクリート造学校建築の簡易耐震性能評価方法

正会員 ○清水 泰 (東京都立大学)

正会員 広沢 雅也 (建設省建築研究所)

正会員 大久保全陸 (九州芸術工科大学)

正会員 秋山 友昭 (東京ソイルリサーチ)

1. はじめに

現在までに、学校校舎建物の耐震性能に関して多数の検討が行なわれて来ているが、その結果を見ると「耐震性能上に問題点があるとと思われる」と判定された校舎建物は決して少なくない。耐震診断結果を基にして耐震補強工事が行なわれた校舎建物も多く、また、近年の地震被害の状況を見てもその判定結果がある程度裏付けられている。

学校校舎建物の公共性を考えると、特に、多数の児童が長時間建物を使用しており、さらに、災害時には救急避難所として利用される事が多く、校舎建物に多大の被害を受ける事は市民の心理的側面に与える影響が大きいと言った事等を考え合わせると、頻度の小さい大地震時に於いても校舎建物の被害は極力最小限に留めるように最大限の努力をするべきであろうと思われる。

そのためには、まず既存の学校校舎建物の耐震性能を出来るかぎり正確に把握する必要が有ると思われるが、現在、日本の校舎建物の数は鉄筋コンクリート造の小・中・高等学校に限っても数万棟有り、これら多数の校舎建物の耐震性能を検討するためには、比較的簡便で出来るだけ精度良く評価する方法の開発が望まれる。

本報告は以上の事項を考慮して、鉄筋コンクリート造学校校舎建物の耐震性能の評価とその判定方法に関し、建物の特殊性をある程度考慮に入れた簡便な評価方法を、既往の代表的な耐震診断方法[1]を参考としてこれを簡略化した形で提案し、その方法による耐震診断結果と上記の既往の耐震診断方法を適用した結果との比較検討を行ない、それらの資料を基にして簡易耐震診断方法の可能性に付いて述べるものである。

2. 検討対象とした学校建築の概要

Y市に建つ17棟の学校校舎建物を任意に選出し、それらの耐震性能の検討を行なった。ここで採用した建物は一般によく見られる鉄筋コンクリート造4階建ての小・中学校とした。平面型は東西方向に長い一文字型校舎で、長辺方向はほぼ4.5mの均等スパン、短辺方向は2スパン毎に耐震壁を有するいわゆるB型校舎がほとんどである。建物の1階床面積は247~1117 m^2 (平均値768 m^2)で、コンクリート設計規準強度は120~210 kg/cm^2 (平均値178 kg/cm^2)、建設年次は昭和36年から45年までの10年間である。

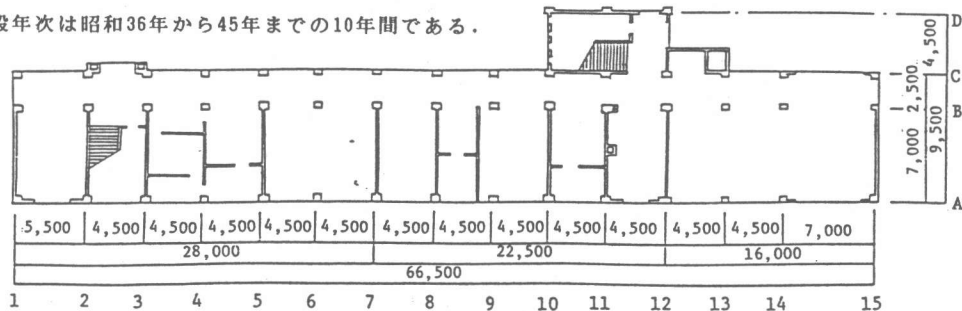


図1. B小学校1階平面図

なお、ここでは校舎建物の長辺方向（桁行方向）のみに着目して検討を行なっている。

ここで検討を行なった校舎建物の代表的建物（B小学校）1階平面図を図1に示す。

何れの建物も用途が同一の公共建物であるために、平面形は標準化されており、また、建物の性格上同一形状の部屋が連続する平面形となり易く、細部の設計は共通の仕様により一律に設計されている事が多い、この一様性、規則性を考慮して代表的な部材を数種類選定し、それにより建物をモデル化する事は比較的容易であると考えられる。

建物の耐震性能の検討方法としては日本建築防災協会の「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断規準」[1]を基準に考えて、これら17棟の1次から3次までの耐震診断を行なった。その結果、構造耐震指標値（Is値）を見ると資料数は68で、耐震1次診断では0.20～1.33（平均値0.46）、耐震2次診断では0.34～2.00（平均値0.60）、また、耐震3次診断では0.29～1.86（平均値0.66）であった。どの建物も耐震壁が比較的少ないために、耐震1次診断結果が他の2つの診断結果に比較して小さな値となっている。

3. 簡易診断方法

既存鉄筋コンクリート造校舎建物長辺方向の耐震性能の評価に関し、建物の特殊性をある程度考慮に入れ、既往の耐震診断方法を簡略化した形の簡易診断方法を考案した。（以下、文献[1]の診断方法を耐震診断、本報告で提案している方法を簡易診断と言い、各次診断もこれに準じた呼び方をする。例、耐震3次診断、簡易3次診断）ここでは、この簡易診断方法に関してその主要な影響因子を検討するために、更に3種類の方法に分類しているが以下にその概要を述べる。

ここで提案している簡易3次診断は、耐震3次診断を簡略化した耐震診断方法で、建物の鉛直部材を単位柱骨組みモデルと単位袖壁付き柱骨組みモデル、単位壁骨組みモデルの3種類に分類し、実際の建物を簡略化された骨組みモデルの集合体として取り扱う。次いで、夫々に分類したモデルの代表部材を選出してこれらの強度指標と靱性指標とを算定し、その値を基にして、保有性能基本指標（Eo値）の算出を行なうものである。

この際に、単位柱モデルに関しては当該建物にある全ての柱を数種類にグルーピングして、代表柱のみの算定を耐震3次診断に準じて行ない、それをそのグループに所属している柱の本数倍して柱の強度と靱性能を決定する。壁に関しては1つの分類に対して1つの代表部材を選出し夫々の代表部材をそれを取り囲む周辺部材と一緒に採り出して、やはり耐震3次診断と同様な方法で強度と靱性能を算出する。

代表部材の選出方法としては、基本的には建物1階部分に主眼を置いて、平均的な部材の選出を行なう事とする。選出の際には、各部材を断面と内法高さが共に等しいもの毎に分類し、同種類の最も数の多いものを代表部材とする。

同種類の部材が同数であった場合には、柱では内法高さの最小のものを並び、袖壁付き柱では全幅が丁度中間値となる部材を選出して代表部材を決定する他、代表部材に接合する直交部材に関しては、これが無い部材を代表とし、代表部材に取り付くはりの種類については最も平均的な断面とスパン長を有するはりが付いている部材を代表とする。

また、主要な影響因子を検討するために、選出する部材の選び方と保有性能基本指標の算出方法に着目して、簡易診断方法をCASE1)からCASE2D)の3種類の方法に分けて検討を行なった。

CASE1) この方法では、代表単位柱骨組みモデルを建物全体で1本としてこれに柱全本数を掛けて計算しており、また、保有性能基本指標を算定する際には、靱性指標によるグループ分けを最大の3種類にする事としており、これが不可能な場合には出来るだけ多くのグループに分ける

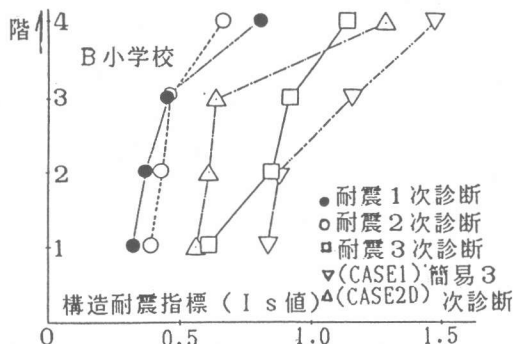


図2. 耐震診断結果と簡易診断結果との比較

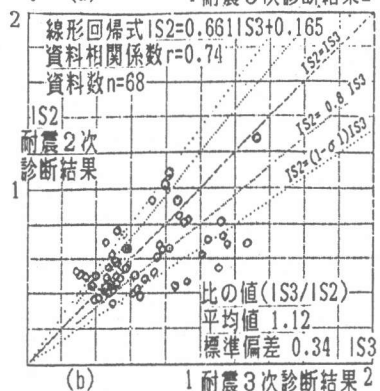
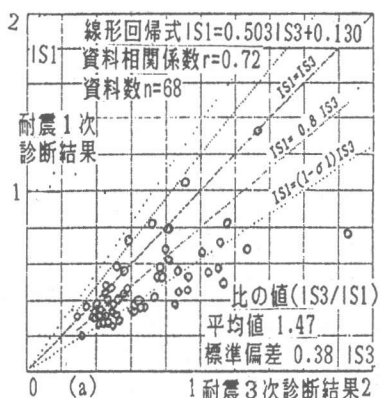


図3. 耐震診断結果の比較

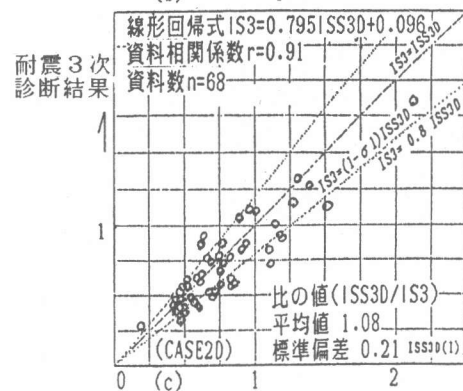
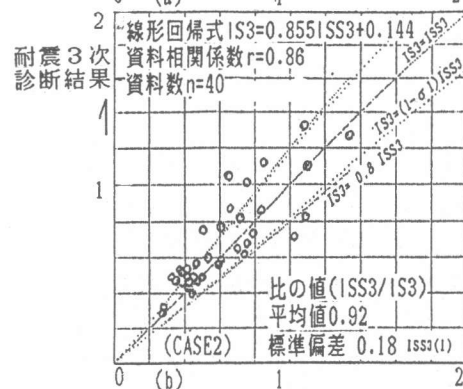
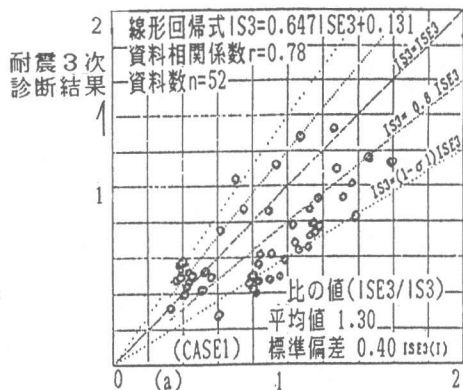


図4. 耐震3次診断結果と簡易診断結果との比較

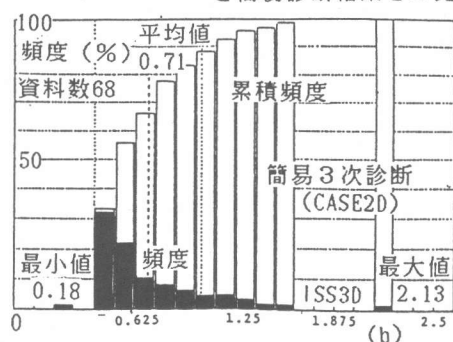
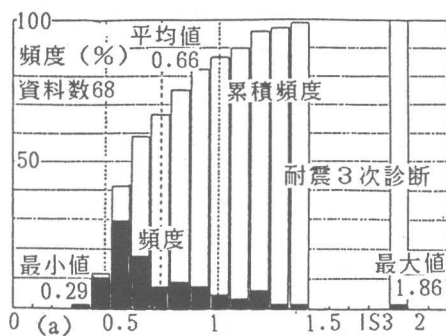


図5. 診断結果の頻度分布

ようにして算出している。

CASE2) CASE1 と基本的には同じ方法であるが、代表単位柱骨組みモデルの選出を各構面毎に1本と多少多くしてその影響を検討した。

CASE2D) CASE2 に対して、保有性能基本指標を算定する際に、最も大きな値が得られるグループ（但し、3種類以下）を採用し、必ずしも3種類のグループに分ける事とはしていない。

形状指標SDは建物の辺長比とエキスパンションジョイントのみを考慮して求め、経年指標Tに関しては建物の仕上げの有無のみを考慮して決定する事とした。

上記以外の点では耐震3次診断とほぼ同様な計算を行なう。

なお、既往の耐震診断方法では多数の建物を対象とする時には簡単な耐震1次診断から繁雑な計算を要する耐震3次診断迄の方法を段階的に適用して、順次安全性の劣る建物をふるい分けて行く様になっているが、ある都市に在る学校建物全てを対象として耐震診断を行なう様な場合には、建物数が多く、しかも耐震安全性に疑問の残る建物の割合が少ない事から、耐震3次診断の正確さを損なう事無しに簡易化する事が必要となる分けである。

4. 各診断結果の比較

図1に平面図を示したB小学校に簡易診断を適用した結果を耐震診断結果と比較して図2に示す。また、対象とした17棟の学校建築に関して、耐震1次診断と耐震2次診断を適用した結果を耐震3次診断結果と比較して図3(a),(b)に示し、各簡易診断を適用した結果と耐震3次診断結果とを比較して図4(a)から(c)に示す。耐震3次診断結果と簡易3次診断(CASE2D)結果の頻度分布を図5(a),(b)に示す。これらの図から次の事項が指摘できる。

B小学校に関する診断結果を表わした図2を見ると、各次診断結果は耐震3次診断を中心に考えると簡易診断法の方が耐震2次診断や1次診断よりもより近い値を示している事が分かる。

耐震3次診断結果(IS3)と耐震1次診断(IS1)、2次診断結果(IS2)とを比較した図3を見ると、耐震1次診断結果では8資料(12%)が耐震3次診断より大きな値となり、比の値(IS3/IS1)の平均値は1.47、標準偏差(σ)は0.38、 $IS1=IS3(1\pm\sigma)$ の間に入る資料数は43(63%)となり、耐震2次診断では24資料(35%)が耐震3次診断より大きな値となり、比の値(IS3/IS2)の平均値は1.12で、標準偏差は0.34、 $IS2=IS3(1\pm\sigma)$ の間に入る資料数は54(79%)となっている。また、両者の資料相関係数(r)は夫々0.72、0.74と比較的小きな値に止っている。

なお、耐震2次診断結果は耐震3次診断結果が0.6を下回る所で、耐震3次診断結果と比較して大きな値となっている資料が多く、耐震2次診断結果のみで建物の耐震性能の判定を行なう際にはこの点に十分に注意を払う必要があると思われる。

簡易3次診断結果と耐震3次診断結果を比較した図4では、(c)のCASE2Dに主眼を置いて検討しており、他の2つの資料は全棟に対する検討は行なわなかったが、これらの図を見るとCASE1(ISE3)では耐震3次診断結果と比較して危険側の判定となっているものが多く、資料相関係数は0.78で比の値(ISE3/IS3)の平均値は1.30、標準偏差は0.40で、 $IS3=ISE3(1\pm\sigma)$ の間に入る資料数は37(71%)とバラツキの大きな結果となっている。

しかしながら、CASE2D(ISS3D)では危険側の評価になっている資料が62%とやや多いものの、比の値(ISS3D/IS3)の平均値は1.08、標準偏差も0.21と小さくなっており、46資料68%の資料がISS3D($1\pm\sigma$)の間に入っている。また、資料相関係数も0.91と大きな値となっている。

図5の診断結果の頻度分布を比較した図を見ると、診断結果が0.5以下の値となっているものが34%から42%と両者共に多く、0.6を超える範囲では共に似通った傾向を示している。

5. 各次診断に於ける柱の耐力と靱性能の評価

図6に〇中学校4階全柱の耐震3次診断に於ける強度と靱性能指標の算定結果を示す。同図中には簡易3次診断（CASE2D）で選出した柱に*記号を付けこれを識別して示した。また、図7には同中学校4階A構面の代表的鉛直部材を5種類選び、耐震1次診断から耐震3次診断及び簡易3次診断迄でその評価がどのように変化するかを図示した。

これらの図をみると、耐震診断では柱の強度や靱性能指標の評価はある程度変化に富んだものとなっており、簡易診断ではこれを大きく取りまとめているため両者の算定結果にかなり

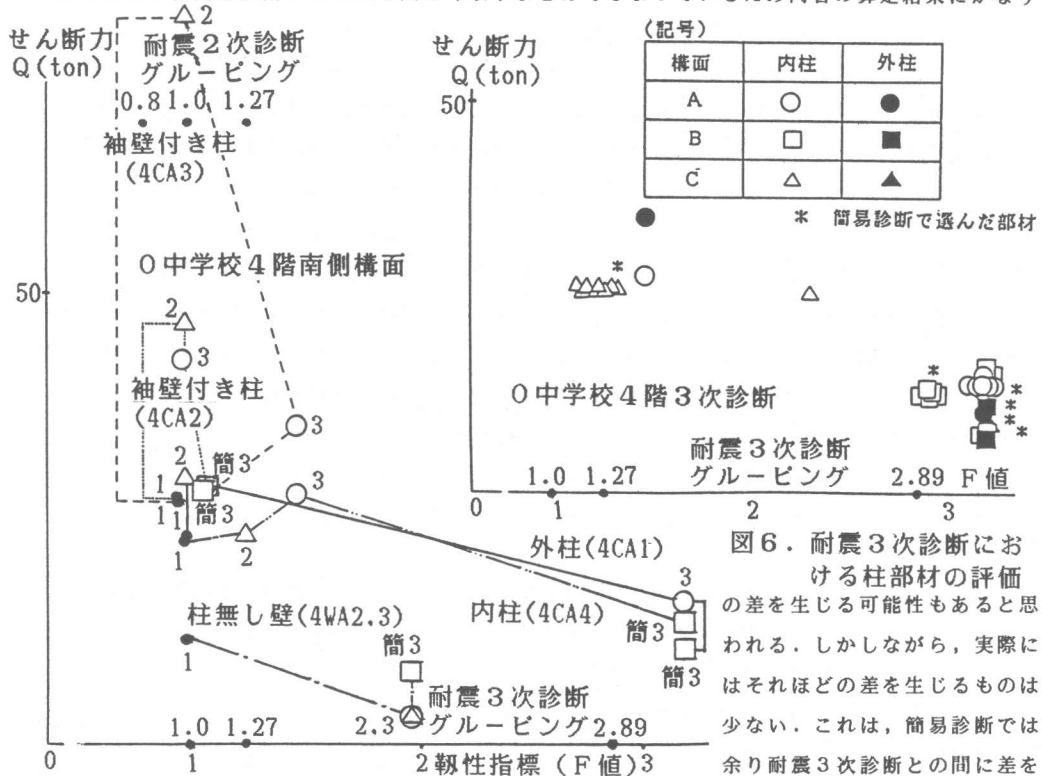


図6. 耐震3次診断における柱部材の評価

の差を生じる可能性もあると思われる。しかしながら、実際にはそれほど差を生じるものは少ない。これは、簡易診断では余り耐震3次診断との間に差を生じないように平均的な部材を代表部材に選んでおり、また、靱性能指標に関しては結局最後には3グループ以下にまとめている事や、強度に関してはそれほど耐力に大きな差のある柱が含まれる事は少ない事情等によるものと考えられる。同一柱に関して言えば、その評価は各次診断方法で相当に異なる場合が多いが、耐震3次診断と簡易3次診断とを比較して見るとそれほど問題になる部材は少ないと思

図7. 耐震1次、2次、3次及び簡易3次診断に於ける個々の鉛直部材の評価

表1. 耐震性能の判定に用いたランクとモード

ランク	耐震診断結果	簡易診断結果	判定
I	$IS3 > 0.6$	$\alpha > 1.0$	補強の対象としない
II	$0.6 > IS3 > 0.4$	$1.0 > \alpha > 0.6$	原則として補強の対象としない。ただし、想定した地震力に対して被害が生じる可能性もあるので直上階に第2種構造要素となる脆弱性柱があるか調査し、もし該当柱があれば補強する。
III	$0.4 > IS3 > 0.3$	$0.6 > \alpha > 0.3$	原則として補強の対象とする。ただし、より精密な診断（耐震3次診断、地震応答解析、等）により、崩壊の危険性が無いと予想される場合には、補強の対象としない。
IV	$0.3 > IS3$	$0.3 > \alpha$, または $0.3 > ISS3D$	補強または改築の対象とする。

ただし、 $\alpha = ISS3D/El'$ 、 $El' = 1.252 Es Cg Cl$ とするが、ここでは $Z=1, Es=1, Cg=1, Cl=1$ とした。
Z: 地域係数, Es: 耐震判定基本指標, Cg: Esの割増係数, Cl: 建物被害の許容による係数

以上の事項から、本簡易診断方法で提案している代表柱の選出は、余り無理の無い形で行なう事が可能であると考えられる。

7. 耐震性能の判定

簡易診断法による耐震判定の信頼性に関して、耐震3次診断による耐震判定との比較検討を行なう。耐震3次診断を用いた耐震判定方法としては、村上等が提案した「鉄筋コンクリート造学校校舎耐震診断および耐震判定指針（案）」[2]があるが、ここでは、比較のために耐震診断結果のみを用いて耐震判定を行なう事として、さらに上記の判定方法を多少変更し、表1に示すランクと、別に定めたモードとにより耐震判定を行ない比較検討した。

なお、ここで定めたモードとはランクの次に位置する判定基準として、主要な鉛直部材の計算上の破壊モードがどの様になっているかを耐震判定に盛り込む事を意図したものであり、ここでは、判定に用いる鉛直部材を、荷重負担面積の大きな南側構面と中通り構面とに着目して、夫々の構面にせん断破壊先行型の柱が1本でもある場合にはその危険性を重視して、xと決定して、ない場合には○として、南側構面、中通り構面の順に示し、判定することとした。

各建物の判定結果の内、実際に問題となる結果となり易い1, 2階の資料を比較して図8に示す。同図には判定結果が一致しなかった校舎に建物番号を付記したが、この図を見るとNo.3の2階とNo.7の1階の判定が簡易診断でかなり危険側の判定となっている。これは、No.3では判定基準のボーダーライン上に α の値が来たためであり、また、No.7では建物規模が小さい（1階床面積 421m^2 ）ために簡易診断で十分にその耐震性能を評価しきれなかったためであろうと思われる。

しかしながら、他の建物に関しては比較的良好な相関性が見られており、これらの結果を全体的に眺めれば、簡易3次診断でも耐震3次診断に近い判定が十分に可能であろうと思われる。

8. まとめ

本報告で提案している簡易診断と耐震3次診断とを比較すると、資料間の相関性は比較的良好なものが見られており、耐震壁が少なく、均一の柱からなり、スパン等もあまり変化しない学校建

築長辺方向の耐震性能判定には簡易診断で十分に精度の良い判定をする事が可能であろうと思われる。しかしながら、判定のボーダーライン上に来る建物や、小規模建築で特殊教室等が多い建物に対しては多少問題がある事もあり、この点に関しては十分に注意する必要があると思われる。

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，1977 2)村上雅也，岡田恒男：鉄筋コンクリート造学校校舎耐震診断および耐震判定指針（案）日本建築防災協会，1981 3)静岡県都市住宅部：鉄筋コンクリート造建築物の耐震性と耐震診断，1979

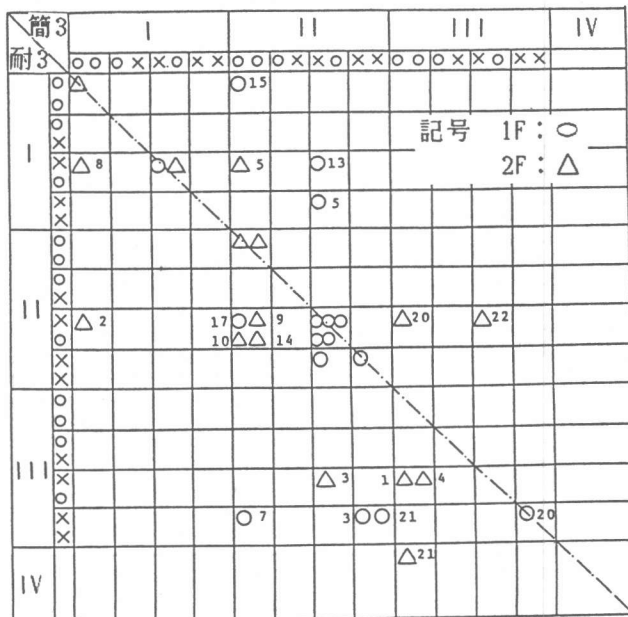


図8. 耐震性判定結果の比較