報告　既存建物の持つ耐震性能の傾向に関する研究

今井　小夜[*1]・香取　慶一[*2]・藤村　勝[*3]

要旨：一定の既存建物に耐震診断が義務化されたことに伴い，既存建物の耐震診断は新たな時代を迎えた。著者らは以前に，地域を限定せず公共建物など 245 棟の耐震診断結果の分析を行ったが，今回は東京都に建つ主として民間建物 1,000 棟の耐震診断結果の分析を行い，構造種別や建物階数などによる既存建物の耐震性能の傾向に関して検討を行った。主な対象は RC 系建物であるが，これ以外の構造も含んでいる。

キーワード：耐震診断，Is 指標，第 2 次診断，第 3 次診断，耐震性の判定

1. はじめに

昨年 5 月に公布された「建築物の耐震改修の促進に関する法律の一部を改正する法律」により，床面積が 5,000m^2 を超える建築物などの所有者に耐震診断の義務が課され，既存建物の耐震対策は民間建物を対象とした新しい時代を迎えたと言える。本研究は，前回の研究 [1)] に加え，既存建物の耐震化対策の一環として行われた耐震診断結果を分析することで既存建物の持つ耐震性能の傾向を把握し，今後の地震対策に寄与することを目的とする。

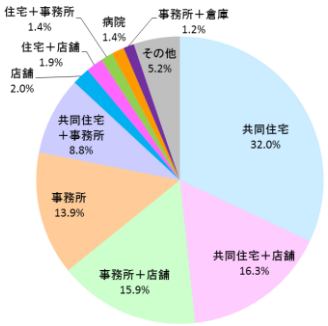
今回の調査対象とした耐震診断結果は，東京都の施策に基づき民間の設計事務所などが実施したもので，日本防災協会の RC 診断基準 [2)] などに準拠した 3 団体の耐震診断マニュアル [3)] による耐震診断方針に基づき診断が行われ，かつ，第三者の評定機関において内容が確認されている。従って，診断者が設定する診断方針の差異による診断結果への影響が少ないものであり，これらの分析により既存建物の持つ耐震性能の傾向だけでなく，耐震診断手法の問題点なども把握できる可能性があると考えている。

2. 診断対象建物

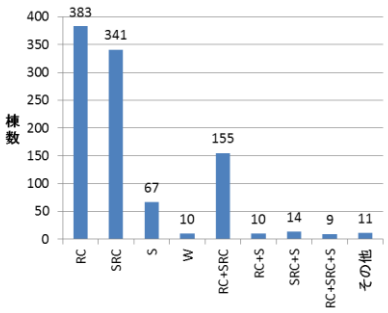
調査対象は，2012 年 1 月から 2013 年 3 月の間に都内に本部を置く民間の第三者評価機関により耐震診断確認が行われた 1,000 棟である。建物規模や構造種別などについて特定のものを選定しておらず，耐震診断確認が行われたものから連続して 1,000 棟を抽出した。調査対象建物の建設地は東京都内のほぼ全地域に分布している。分析は，今回の診断で作成が義務付けられている耐震診断結果概要書での記載内容について行った。

図－1 に診断対象建物の用途の構成比をまとめる。建物用途の集計にあたっては，主用途と判断した 2 種についてまとめた。この結果では共同住宅が 32.0%と最も多く，共同住宅と店舗の複合用途が 16.3%，事務所と店舗の複合用途が 15.9%，事務所が 13.9%，共同住宅と事務所の複合用途が 8.8%などであった。

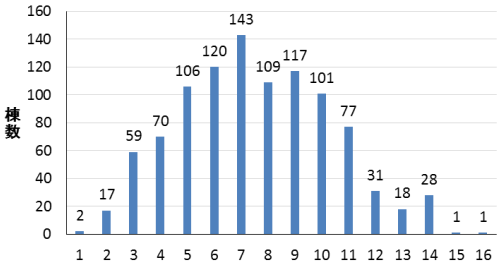
診断対象建物の構造種別の構成比を**図－2** にまとめる。構造種別は地上階を対象とし，同一階で複数の構造種別が存在する場合には，主たる構造種別をその階の構造種



図－1　診断対象建物の用途



図－2　診断対象建物の構造種別



図－3　診断対象建物の地上階の階数

*1 東洋大学　大学院工学研究科環境・デザイン専攻　(学生会員)
*2 東洋大学　理工学部建築学科　准教授　工博　(正会員)
*3 一般社団法人　東京都建築安全支援協会

別としている。また，柱が SRC 造，梁が S 造のような複合構造の場合は，柱の構造種別を構造種別として分類している。この結果では，RC 造が 38.3%（383 棟）と最も多く，SRC 造が 34.1%，S 造が 6.7%，木造（W 造）が 1.0%であった。また，RC 造と SRC 造の混構造も 15.5%と多く，RC 造と S 造の混構造は 1.0%，SRC 造と S 造の混構造は 1.4%であった。その他の構造として軽量鉄骨造，補強コンクリートブロック造，鉄骨プレキャストコンクリート造（HPC 造）などもあった。

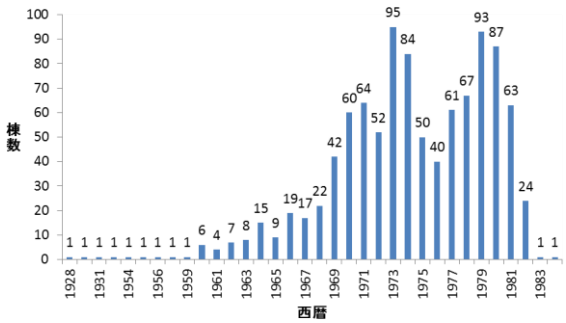
診断対象建物の地上階の階数ごとの棟数を**図－3** にまとめる。調査結果では，地上 5 階から 10 階建ての建物が多く，7 階建ての建物が最多で 143 棟であった。地上階数が 10 階以上の建物は 257 棟あり，全体の 25.7%を占めている。15 階建て，16 階建ての建物も各 1 棟ある。

診断対象建物の建設年ごとの棟数を**図－4** にまとめる。耐震性能の傾向を把握するには，本来は設計年で区分すべきであるが，設計年の詳細な把握ができなかったため，建設年で区分した。調査結果では 1928 年の建物が最も古く 1 棟あった。1961 年以前の建物は極めて少なく，1973 年建設の建物が 95 棟と最も多かった。設計年と建設年にはタイムラグがあるので，いわゆる新耐震設計の時代の 1982 年以降に建設された建物が 26 棟含まれている。1971 年以前の建物は 282 棟で 28.2%と比較的少ない。

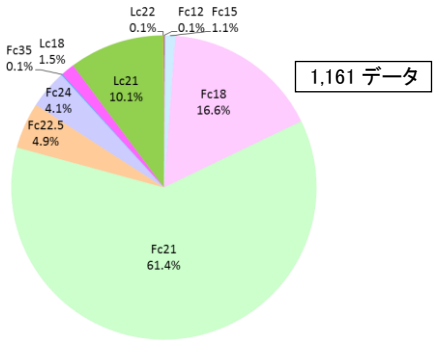
3. 使用コンクリート

コンクリートの仕様が記載されているすべての構造種別を対象に設計基準強度の構成比を**図－5** に示す。1 つの建物で複数の設計基準強度が用いられている場合には，強度が大きい方から 2 種を抽出した。また，建物によっては設計基準強度が不明な場合があるが，報告書に記載されている推定設計基準強度を設計基準強度とみなして集計した。この結果では，Fc（普通コンクリート）21 が全体の 61.4%と最も多く，Lc（軽量コンクリート）21 は 10.1%であった。Fc15 や Fc12 などの強度の低いコンクリートは 1.2%と少なかった。

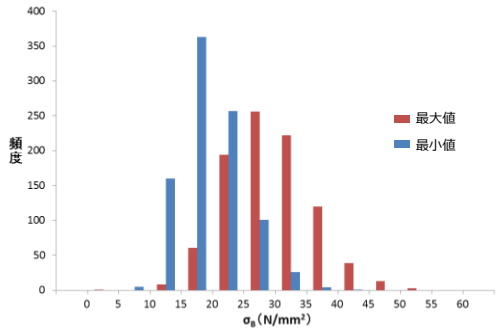
圧縮強度試験結果（σ_B）の頻度分布を**図－6** にまとめる。同図に示している圧縮強度（σ_B）は調査結果で得られた各階 3 本の供試体の圧縮強度の平均値で，建物全体における最小値と最大値をプロットしている。なお，今回の調査対象では小規模の建物では各階 1 本のコア採取としている場合もあった。圧縮強度試験結果の最小値は 15.0～20.0N/mm^2 の範囲となる建物が多く，10.0N/mm^2 以下と強度が小さい建物の棟数は 5 棟であり，全体の 5.5%と比較的少なかった。これは今回の調査対象物の民間検査機関における審査条件が，建物全体でのコンクリート圧縮強度の平均値を 13.5N/mm^2 以上としていることに影響されている可能性がある。



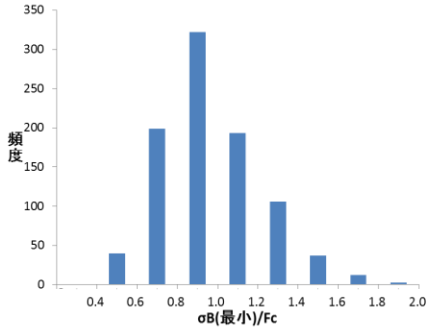
図－4　診断対象建物の建設年



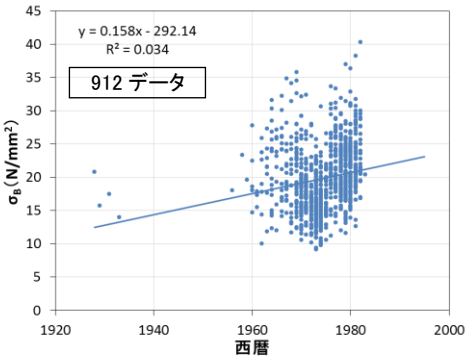
図－5　コンクリートの設計基準強度の割合



図－6　圧縮強度試験結果（σ_B）



図－7　圧縮強度の最小値と設計基準強度の比



図－8　圧縮強度(σ_B)の最小値の経年変化

図－7 では上記の圧縮試験結果（σ_B）の最小値を設計基準強度（Fc）で除した値の頻度を示す。この結果では，圧縮強度（σ_B）の最小値が設計基準強度の 0.8～1.0 となる建物が最も多く 35.3%であった。全体の 61.5%の建物で圧縮強度（σ_B）の最小値が設計基準強度以下となり，圧縮強度（σ_B）の最小値が設計基準強度の 0.6 倍以下と特に小さな値となった建物は 40 棟で全体の 4.4%であった。

図－8 に圧縮強度（σ_B）の最小値の経年変化を示す。図中の直線は回帰分析結果である。年代が新しくなるに伴って強度が増大している傾向がわずかながら認められ，1970 年前半の建物のコンクリート強度が低い傾向も指摘できる。

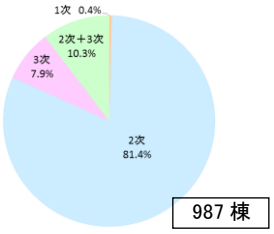
4. 耐震診断方針

木造を除く建物を対象に地上階の耐震診断に用いられている診断次数を調査した。診断には判定に用いる診断と，参考として行う診断の 2 種があるが，ここでは両者ともカウントの対象とした。また，S 造には診断次数は無いが，S 造の診断は第 3 次診断とみなして集計した。診断次数の構成比を**図－9** に示す。一部の建物には診断次数の明記が無かった。この結果では，第 2 次診断が 81.4%と最も多く，第3次診断は7.9%，第1次診断は0.4%であった。また，第 2 次診断と第 3 次診断を併用している診断も 10.3%存在した。

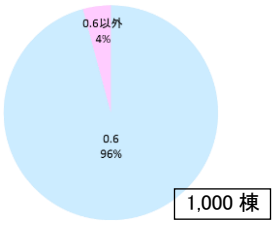
図－10 では，耐震診断結果の判定に用いる判定値（Iso）を調査した。この結果では，判定値を 0.6 としている診断が 96%で，判定値を 0.6 以外としている診断は 4%であった。判定値を 0.6 以外としている診断には，判定値に振動特性係数（Rt）を考慮している診断と，第 1 次診断を採用している診断がある。

木造および S 造を除く建物を対象に経年指標（T）の頻度を**図－11** に示す。調査結果では，経年指標を 0.98～1.0 の範囲に設定している建物が 396 棟で 43.1%と最も多く，経年指標を 0.84～0.86 と今回の調査で最も小さく設定している診断は 8 棟で 0.9%であった。

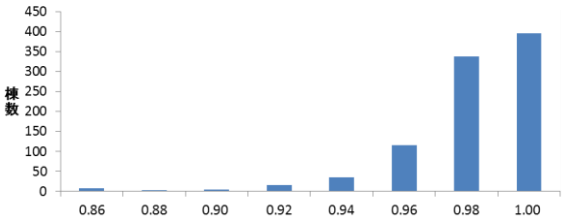
木造を除く建物を対象に，長辺方向，短辺方向別に各階における形状指標（S_D）の最小値の頻度を**図－12** にまとめる。同図では，S 造建物などで形状指標を現行の建築基準法に準じて形状係数（Fes）で算定している場合には，S_D 値を 1／Fes とみなして集計している。調査結果では両方向とも S_D が 0.9～1.0 の範囲となっている建物が多く，S_D が 0.70 未満と形状の悪い建物は長辺方向で 19.2%，短辺方向で 27.1%であった。S_D が 0.6 未満で特に悪い建物は長辺方向で 1.8%，短辺方向で 3.6%と，短辺方向の S_D が悪い傾向が認められる。



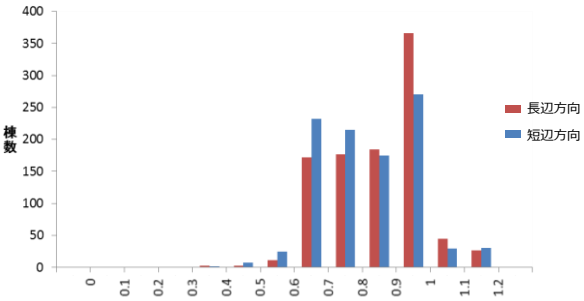
図－9　耐震診断次数



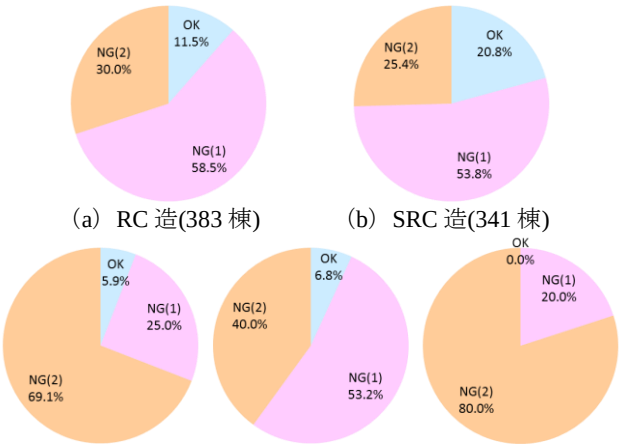
図－10　判定値（Iso）



図－11　経年指標（T）



図－12　形状指標（S_D）



（a）RC 造(383 棟)　（b）SRC 造(341 棟)

（c）S 造(67 棟)　（d）混構造(190 棟)　（e）木造(10 棟)

図－13　構造種別ごとの耐震性能の判定結果

5. 耐震診断結果

すべての構造種別を対象に耐震性能の判定結果を分析した。耐震性能の判定の分析は，地上階のみを対象とし，長辺，短辺方向を合わせて最も耐震性能が小さい階を対象に，構造種別に応じて以下の分類を行った。

(1)非木造

OK　：構造耐震指標(Is)≧Iso かつ累積強度指標(C_{TU}・S_D)が規定値(0.3～0.25)を満たす建物(S 造では保有耐力に係わる係数(q)≧1.0 となる建物)

NG(1)　：Iso＞Is≧0.5 Iso となる建物

NG(2)　：Is＜0.5 Iso となる建物

(2)木造

OK　　：構造耐震指標(Iw)≧1.0 となる建物

NG(1)　：1.0＞Iw≧0.5 となる建物

NG(2)　：Iw＜0.5 となる建物

耐震性能の判定結果を構造種別ごとに**図－13** にまとめる。RC 造の診断結果では OK と判定された建物は 11.5%，NG(1)と判定された建物は 58.5%，判定値の 1/2 未満の性能となり NG(2)と判定された建物は 30.0%となった。SRC 造の診断結果は RC 造よりやや良好な傾向となり，S 造の診断結果は RC 造および SRC 造よりも耐震性能が悪い傾向となった。

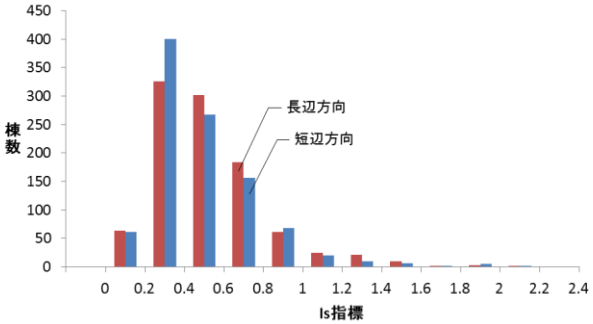
木造の耐震性能は構造種別の中で最も悪く，OK と判定された建物は 0%で，すべてが NG(1)もしくは NG(2)と判定された。

長辺方向，短辺方向別に最小 Is 指標の頻度分布を**図－14** に示す。ここでの Is 指標は参考で行った診断を除き判定に用いた耐震診断結果のみを対象としている。従って，大半が第 2 次診断結果であるが，一部に第 3 次診断の結果も含まれている。診断結果は同図に示すように今回の分析では長辺方向と短辺方向で耐震性能の大きな傾向差は認められなかった。長辺方向，短辺方向とも最小の Is 指標が 0.2～0.4 の範囲の建物が最も多く，この範囲の建物は長辺方向で 32.6%，短辺方向で 40.1%であった。また，最小の Is 指標が 0.2 以下となる建物は長辺方向で 6.4%，短辺方向で 6.1%であった。

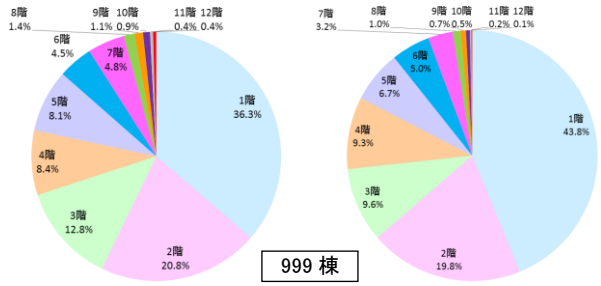
図－15 には長辺方向，短辺方向別に最小 Is 指標が生じた階の構成比をまとめる。最小 Is 指標が生じる階は 1 階が最も多く，下階ほど耐震性能が小さい傾向が見られるが，10 階を超える中高層階にも最小 Is 指標を生じる階があるなど，最小 Is 指標となる階は広範囲に渡っている。

図－16 には，建設年と最小 Is 指標の関係を構造種別ごとにまとめる。図中の直線と数値は平均値である。RC 造では，1971 年以前の建物の Is 指標がやや小さい傾向が認められるものの，新しい年代に伴って Is 指標が増大する傾向は明瞭には認められなかった。SRC 造では，1975 年以前の建物の耐震性能が小さい傾向が認められ，新しい年代に伴って Is 指標が増大している傾向が認められる。S 造では Is 指標のばらつきが大きく，年代に伴う耐震性能の増大は認められない。S 造の Is 指標の平均値は 0.26 であり，他の構造よりも小さい値となった。混構造建物では Is 指標のばらつきが大きいものの，年代に伴い Is 指標が増大する傾向が認められる。

図－17 では木造を除く構造種別ごとに階方向の Is 指標の分布を検討した。抽出した建物は比較的高層でかつデータ量が多い規模として，RC 造では 7 階建て，SRC

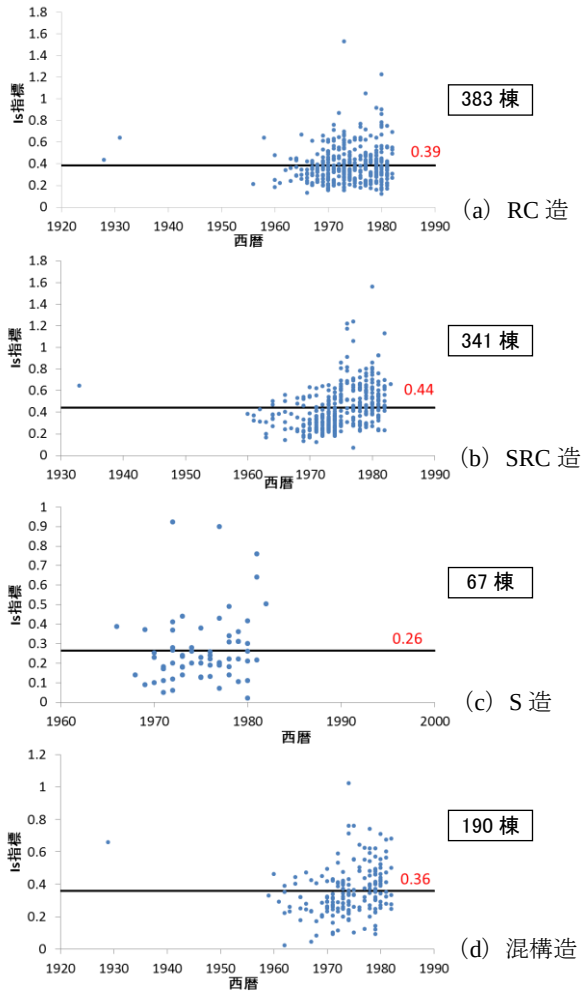


図－14　最小 Is 指標の頻度分布



(a) 長辺方向　　(b) 短辺方向

図－15　最小 Is 指標が生じる階

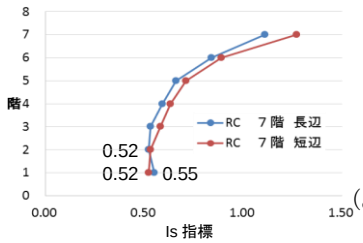


図－16　建物の建設年と最小 Is 指標の関係

造では 10 階建て，S 造では 8，9 階建て，混構造は 10 階建てとし，該当する建物の階ごとの Is 指標を平均して示した。検討結果ではすべての構造種別とも方向による性能には大差が無かった。RC 造および SRC 造の性能は 1 階がほぼ最小値となるが，S 造や混構造では上層階の性能が最小値となる傾向が認められる。

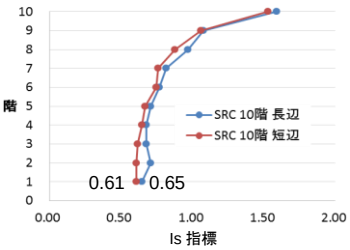
図－18 では RC 造，SRC 造，混構造で，第 2 次診断および第 3 次診断が実施されている建物について，第 2 次診断による最小 Is 指標と第 3 次診断による最小 Is 指標を比較した。この結果では，大半の建物において第 3 次診断結果は第 2 次診断結果よりも小さく，第 3 次診断による最小 Is 指標は第 2 次診断による最小 Is 指標の 1/2 程度となる建物が多く認められる。

図－19 では規模が 14 階建てと大きい建物について第 2 次診断と第 3 次診断の階ごとの Is 指標を平均して比較した。この結果では，第 2 次診断と第 3 次診断による Is 指標の階方向の分布は比較して似た傾向となるものの，第 3 次診断結果は全階において第 2 次診断結果よりも小さく，また階による Is 指標の変動が小さい傾向となった。



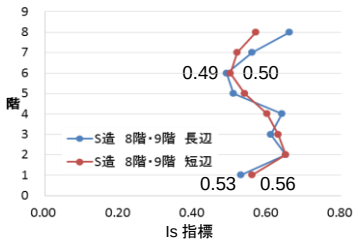
87 棟

(a) RC 造 7 階



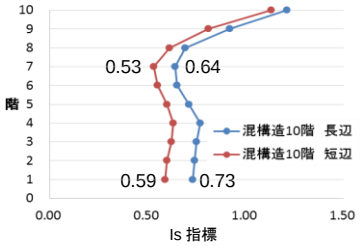
57 棟

(b) SRC 造 10 階



10 棟

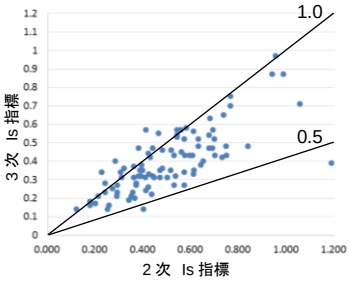
(c) S 造 8 階・9 階



24 棟

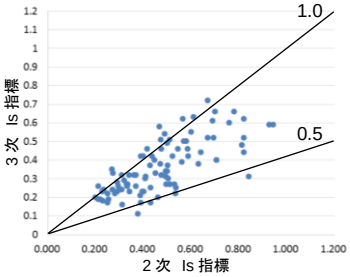
(d) 混構造 10 階

図－17　中高層建物の各階の Is 指標



94 棟

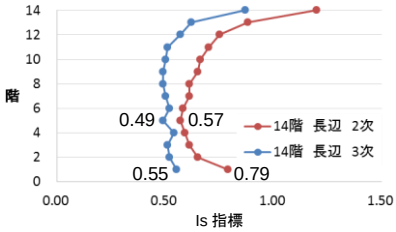
(a) 最小 Is　長辺方向



94 棟

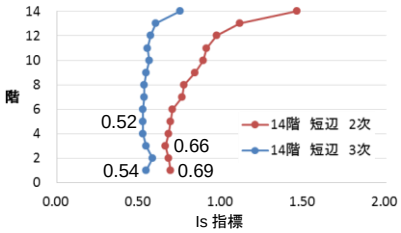
(b) 最小 Is　短辺方向

図－18　第 2 次診断と第 3 次診断



12 棟

(a) 14 階長辺方向



12 棟

(b) 14 階短辺方向

図－19　14 階建物の診断結果の比較

6. 耐震性能の傾向の考察

6.1 構造種別と耐震性能

耐震診断による構造種別ごとの判定結果を**表－1** に再整理する。耐震診断結果による耐震性能（Is または Iw）が判定値未満となった建物（NG(1)＋NG(2)）は木造で 100%，S 造で 94.1%，混構造で 93.2%，RC 造で 88.5%であり，最も耐震性能が大きい傾向にあった SRC 造でも 79.2%であった。これは既往の研究 [4]における既存建物の耐震性能の傾向よりも悪い。また判定値は過去の大地震で中破しない性能として設定された経緯 [2]があるものの，大地震で最も大きな被害が生じた地域のひとつと言われている 1995 年兵庫県南部地震で被災した神戸三宮地域の中破以上の被害率 [5]（**表－1** の右欄）に比較しても，この判定結果はかなり厳しいものとなっている。構造種別ごとの最小 Is 指標は，**図－17** にまとめたように最小 Is 指標の平均は S 造で 0.26 と最も小さい。S 造の Is 指標が小さい理由としては，柱・梁接合部の状態が良好

でない建物が多いこと，および上階における設計用地震力の割増しが無いことなどにより上階の形鋼サイズが小さいことなどが考えられる。一方，最小 Is 指標の平均値は SRC 造で 0.44 と最も大きく，柱・梁への鉄骨の配置により耐力および靭性が増大する効果が表れているものと思われる。

6.2 建物規模と耐震性能

建物階数による耐震性能の傾向を見るために，5 階建て以下の低層建物, 6～9 階建ての中層建物, および 10 階建て以上の中高層建物に分類して耐震性能の判定結果を**表－2** にまとめる。この結果では，判定が OK となる建物は低層で 17.5%, 中高層で 16.3%であり, 中層が 10.8%と最も耐震性能が小さい傾向にあった。高さ 31m を超える中高層建物では上層部の設計用地震力が割り増しされていたことなどが，中層よりも中高層の耐震性能が大きいことに影響していると考えられる。

6.3 階と耐震性能

Is 指標が最小となり，最も耐震性能が小さいと診断された階の比率（%）を**表－3** に示す。下層階の性能が悪いが，5 階以上の階の性能が最小となる建物の比率も長辺方向で 21.7%，短辺方向で 17.5%と比較的多い。この要因としては，旧基準設計建物では一般建物において上階の設計用地震力が割増しされていない建物が多いため上階の部材断面が小さいこと，および上階において SRC 造から RC 造に構造種別が変わる建物があること，などによると思われる。**図－17** で分析したように特に S 造や混構造では，中高層階における耐震性能の不足が顕著に認められる。

6.4 方向と耐震性能

診断結果による Is 指標が 0.6 未満と判定された建物の比率を**表－4** に示す。長辺と短辺の差が小さく，文献 [1] で示されている長辺方向の耐震性能が短辺方向に比較して小さい，との知見と異なる傾向となった。これは，今回の調査対象建物は幹線道路沿いに建つ民間建物であり, 文献 [1]の調査対象建物に多く含まれている学校建物などと異なり間口が小さい建物が多く，短辺方向に壁が少なく長辺方向に壁が多い建物が含まれていることなどに起因するものと考えられる。

7. まとめ

今回の分析では，木造や S 造および混構造建物の耐震性能が小さいこと，および中層建物の耐震性能が中高層建物や低層建物よりも悪い傾向にあることなどが判明した。また，耐震性能が悪い建物の比率は従来の研究での結果よりも多い傾向にあり，かつ，耐震性能が悪い階は低層階にとどまらず, 広範囲にわたることなどが解った。NG 判定された建物が極めて多く，これらすべての建物の耐震性能を改善することは現実的に困難な可能性があり，今後の地震対策を効果的に推進するためには，補強目標の見直しも含めた抜本的な検討が必要であると思われる。

表－1　構造種別と耐震判定結果

構造種別	耐震判定			**既往の被害率 [5]
	OK	NG(1)+NG(2)	NG(2)	
RC 造	11.5%	88.5%	30.0%	20.9%
SRC 造	20.8%	79.2%	25.4%	43.8%
S 造	5.9%	94.1%	69.1%	41.0%
混構造	6.8%	93.2%	40.0%	－
木造	0%	100%	80.0%	－

＊NG(2)　：判定値の 1/2 未満
＊＊　　：1981 年以前建物の中破以上の被害率

表－2　建物階数と判定結果

建物階数	耐震判定		
	OK	NG(1)+NG(2)	NG(2)
低層	17.5%	82.5%	31.3%
中層	10.8%	89.2%	32.0%
中高層	16.3%	83.7%	35.4%

＊NG(2)　：判定値の 1/2 未満

表－3　最小 Is 指標が生じる階の比率（%）

	長辺方向	短辺方向
1 階	36.3	43.8
2～4 階	42.0	38.7
5 階以上の階	21.7	17.5

表－4　最小 Is 指標が 0.6 未満の比率（%）

方向	Is 指標が 0.6 未満の建物
長辺方向	69.3
短辺方向	73.1

謝辞

最後に今回の分析にあたり多大な協力を頂いた東洋大学の宇都木明さん，保田拓哉さんに謝意を表します。

参考文献

1) 今井小夜，香取慶一，藤村勝：既存建築物の耐震診断における最近の傾向についての調査研究，日本建築学会大会梗概集，PP.219－220，2013 年 8 月
2) 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説，（一般社団法人）日本建築防災協会，初版 1977 年，最新版 2001 年版
3) 東京における緊急輸送道路沿道建築物の耐震化推進に係わる「耐震診断マニュアル」，社団法人 日本建築構造技術者協会，NPO 法人 耐震総合安全機構，一般社団法人 東京都建築士事務所協会，2011 年 9 月 1 日
4) 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，　第 406 号，1989 年 12 月
5) 平成 7 年阪神・淡路大震災中間報告，建築震災調査委員会，平成 7 年 8 月