

横浜市・姫路市の耐震診断結果に基づく木造建物耐震性能指標の地域性分析
 ANALYSIS ON REGIONAL CHARACTERISTICS OF SEISMIC PERFORMANCE INDICES
 OF WOOD-FRAME BUILDINGS BASED ON THE RESULTS
 OF SEISMIC CAPACITY EVALUATION IN YOKOHAMA AND HIMEJI

石原祐紀¹，小檜山雅之²，山崎文雄³

¹ 東京大学大学院，社会基盤工学専攻

Yuuki Ishihara, Dept. of Civil Engineering, The University of Tokyo, isihara@rattle.iis.u-tokyo.ac.jp

² 東京大学生産技術研究所，助手 博士（情報学）

Masayuki Kohiyama, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, kohiyama@iis.u-tokyo.ac.jp

³ アジア工科大学院，教授 工博

Fumio Yamazaki, Asian Institute of Technology, yamazaki@ait.ac.th

SUMMARY

In the present methods to estimate buildings' damage due to an earthquake, empirical fragility curves based on damage statistics are mostly employed. The structural type and construction period were considered in developing them, but regional characteristics were not considered well. The objective of this study is to analyze the results of seismic capacity evaluation conducted in two cities, Yokohama and Himeji, for more accurate damage estimation. From the analysis of the data, it is observed that there are significant differences in the seismic performance of the buildings in the two cities even though they have the similar structural type and construction period.

キーワード：耐震診断，木造軸組構法，耐震性能指標，横浜市，姫路市

Key words: Seismic Capacity Evaluation, Wood-Frame Building, Seismic Performance Index, Yokohama, Himeji

1 はじめに

現状の建物地震被害推定手法では，地震動分布と，過去の被害データから評価された経験式である建物被害関数から，ある地域における建物被害率を算出するという方法が多く提案されている^{例えは，1),2),3),4)}。しかし，ここで用いられる建物被害関数は構造種別や建築年代については考慮されてはいるが，建物の地域特性についてはいまだ詳細には検討されていない。2000年鳥取県西部地震では，防災情報システムの推定した被害と実被害との乖離が問題として指摘されたが，実際には地域性による住宅の耐震性能の違いは小さくないと考えられる。したがって，建物の地域性を加味し，より推定精度を高める必要がある。また，阪神・淡路大震災では，6400人を超える死者の約8割が住宅の倒壊・損壊によるものであり，中でも在来軸組構法の木造家屋が多く倒壊し，多数の人が圧死した。したがって，現在多く存在する在来木造住宅について地域ごとの耐震性能の分布を把握し，効果的な策をとることが重要であると考えられる。

一方，阪神・淡路大震災以降，木造建物の耐震性を高める目的で耐震診断の助成制度を設ける自治体が増えてきており，既に多数の建物について診断を実施した例もある。そこで本論では，今後の建物被害推定精度の向上に向け，横浜市と姫路市によって提供された在来木造住宅の耐震診断データを整理・分析し，その地域的相違を調べることを目的とする。

2 木造建物の耐震性能指標について

木造建物の耐震性能を簡易に評価する方法としては，旧建設省住宅局が監修した一般向けの「わが家の耐震診断と補強方法」⁵⁾がある。なお，この耐震診断法では在来軸組構法の建物を対象としており，ツーバイフォー構法（枠組壁工法）やプレファブ（木質パネル構法）の建物は対象としてない。

この診断法では，耐震性能指標は，指標A（地盤・基礎），指標B（建物の形），指標C（壁の配置），指標D（筋かい），指標E（壁の割合），指標F（老朽度）までの6つの評点の

積により算出され、その値は最低点 0.0672 から最高点 2.25 までの評点が付けられる。Fig.1 に各指標の評点と算出方法を、Table 1 に算出された総合評点による耐震判定結果を示す。

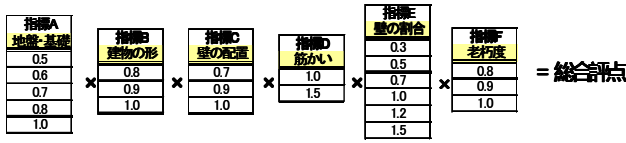


Fig.1 Scores of each index and the calculation of the total score of the seismic performance index

Table 1 Interpretation of the seismic performance index

総合評点	判定	今後の対策
1.5以上	安全です	—
1.0以上1.5未満	一応安全です	専門家の精密診断を受ければ、なお安心です
0.7以上1.0未満	やや危険です	専門家の精密診断を受けてください
0.7未満	倒壊または大破壊の危険があります	ぜひ専門家と補強について相談してください

3 用いた耐震診断データ

横浜市では平成7年度以降、在来構法木造住宅に対する耐震診断士派遣制度を設け、これまでに7千棟を超える耐震診断が実施されている。また、兵庫県においても平成12年度より、無料の住宅耐震診断員派遣制度が設けられている。そこで、関東・関西の地域的な差異を明らかにするため、阪神・淡路大震災の被害が小さかった姫路市について耐震診断データの調査を実施した。姫路市から得られたデータ数は412棟である。横浜市のデータについては、梅村・山崎⁹⁾の調査によって得られたもののうち、平成7年度～平成10年度に診断されたデータ(鶴見区:280棟、港南区:678棟、青葉区:455棟、中区:189棟、西区:136棟、合計1738棟)を用いる。調査した項目を以下に示す。

建物の所在地(郵便番号)、建築確認年月、宅地造成年月、階数、ガレージの有無、用途、屋根葺材の種類、2階床面積、1階床面積、地階床面積、延べ面積、建築面積、増改築の有無、指標A(地盤・基礎)、指標B(建物形状)、指標C(壁の配置)、指標D(筋交いの有無)、指標E(壁の割合)、指標F(老朽度)、総合評点。

4 横浜市と姫路市の木造住宅耐震性能の比較

横浜市と姫路市の木造住宅耐震診断データについて、建築年、建物用途・階数、木造建物の耐震性能を表す総合評点と各指標A～Fの値の分布について分析した。

4.1 建築年の比較

まず、横浜市と姫路市に実際に存在する建物の割合と、

耐震診断を受けた建物の建築確認年別割合が果たしてどれほど一致しているかを調べた(Table 2)。表に示す「統計」は、横浜市については「横浜市企画局政策部統計解析課」⁷⁾より、姫路市については総務庁統計局「平成10年住宅・土地統計調査報告」⁸⁾から得たものである。

どちらの市についても、得られたデータは統計のデータよりも幾分か新しい建物の占める割合が高くなっているが、その差はいずれも全体の10%未満である(横浜市は建築年不明を除いた比と比較)。取得データの建築年に大きな偏りがないため、本研究では得られたデータは建築年的にはランダムサンプリングできているものと仮定し、分析を進めた。

Table 3に、取得データについて建築基準法の改正年に基づいて各地域の建築年の構成比を求めたものを示す。横浜市5区の中だけでも建築確認年にかかりのばらつきがあり、鶴見区では建築年の古い建物が多く、1971年以前の建物が約5割を占めている。港南・青葉区では比較的新しい建物の割合が大きい。また、姫路市については、取得したデータの半分以上が1971年以前に建てられたものであり、1961年以前の建物の割合が24%と横浜市(5区合計)の7%と比べてかなり大きい。

Table 2 Ratios of acquired and existing buildings according to the construction period

	姫路市		横浜市	
	取得データ	統計	取得データ	統計
建築年不明	0%	0%	16%	0%
-1944	13%	14%	1%(1.3%)*	1%
1945-1970	38%	46%	27%(32.3%)*	39%
1971-1980	49%	40%	56%(66.3%)*	60%

*: 建築年不明を除いた構成比

Table 3 Ratios of acquired buildings according to the construction period

	姫路市	鶴見区	港南区	青葉区	中区	西区	横浜市(5区合計)
不明	0%	20%	11%	13%	24%	27%	16%
-1961	24%	19%	2%	0%	11%	18%	7%
1962-1971	30%	33%	24%	22%	27%	26%	25%
1972-1981	47%	29%	61%	63%	35%	29%	51%
1982-	0%	0%	2%	1%	4%	1%	1%

4.2 建物用途・階数の分析

取得データについて、Fig.2に建物用途別割合、Fig.3に建物階数別割合をそれぞれ示す。建物用途別割合から、両市ともほとんどの建物が専用住宅であることがわかる。店舗併用住宅の割合は、横浜市で比較的大きい中区、西区において約10%、姫路市では3%程度である。

また、建物の階数についてもほとんどが2階建ての建物である。平屋の割合は、姫路市ならびに、横浜市で比較的大きい鶴見区、中区において約10%、西区では約5%、港南区、青葉区では約2%である。3階建ては、姫路市で0.5%、横浜市では0%である。

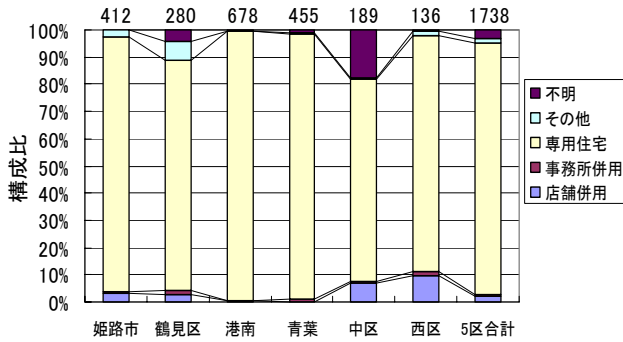


Fig.2 Percentage of building use of two cities

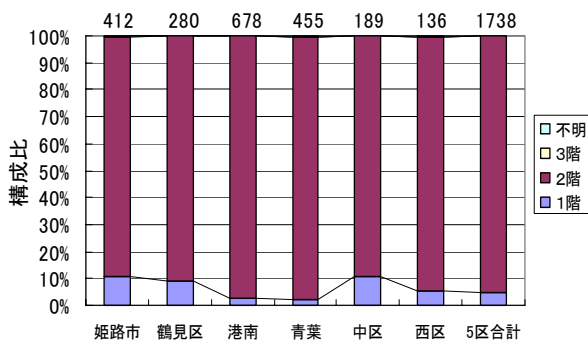


Fig.3 Percentage of floor numbers of two cities

4.3 木造建物耐震性能指標（総合評点）の分析

Fig.4 に総合指標のヒストグラムを示す。横浜市について、ここでは鶴見区(都市近郊で地盤条件の悪い区の代表)、港南区(郊外の区で、地盤条件の良い区の代表)、青葉区(青葉区と鶴見区の間存在的存在、都市から若干離れたベットタウン的役割を果たす区の代表)の3区のみを表示した。このグラフから、姫路市では総合指標が0.4未満の、耐震性能の低い建物が横浜市の3区に比べてかなり多いことがわかる。

Fig.5 に総合評点の累積分布を示す。姫路市と、横浜市の中でも比較的総合評点の低い建物が多い鶴見区を比べてもその差は大きい。また横浜市については、同一市内でも地域によってかなりばらつきがあることがわかる。

姫路市では、耐震性能が低いと判定された建物の割合が横浜市より大きい、これは姫路市において古い建物の占める割合が大きいことが影響していると考えられることから、次に姫路市だけについて、建築確認年別に総合指標の分布を調べた(Fig.6)。このグラフから、やはり総合指標の低い建物の殆どが1971年以前に建てられた建物であることが確認できる。

そこで、建築確認年1971年以前の建物だけについて、その総合評点の累積分布をFig.7に比較した。これより、総合評点が0.6未満の範囲で、横浜市と姫路市の差がより顕著に表れていることがわかる。

更に、耐震性の低い建物について、総合評点を構成する各指標のどれが大きく影響しているかを知るために、Fig.8のようなレーダチャートをつくり2つの市を比較した。図

では、建築確認年1971年以前かつ総合評点が0.6未満の建物の、各指標AからFの平均値をプロットしている。指標A, B, C, E, Fには殆ど差はみられないが、指標Dに大きな差があり(指標Dの平均値は横浜市で1.43, 姫路市で1.08), 1971年以前かつ総合評点が0.6未満の建物については、横浜市には筋交いが入っている建物が多いのに対し、姫路市の建物にはほとんど筋交いが入っていないことがわかる(指標Dは、筋交いあり:1.5, なし:1.0)。このことから、在来軸組構法において重要な耐震要素である筋交いが不足している建物が多いということが累積分布の違いに強く影響しているといえる。

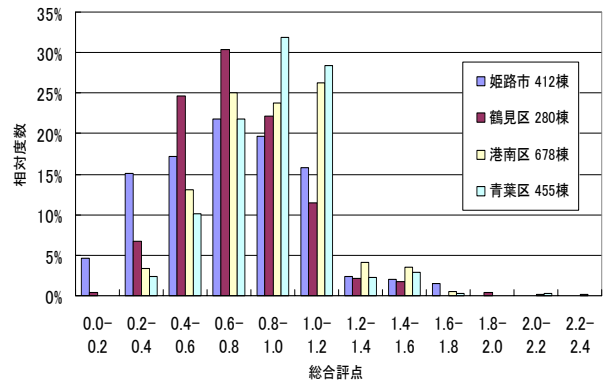


Fig.4 Histogram of the total score of two cities

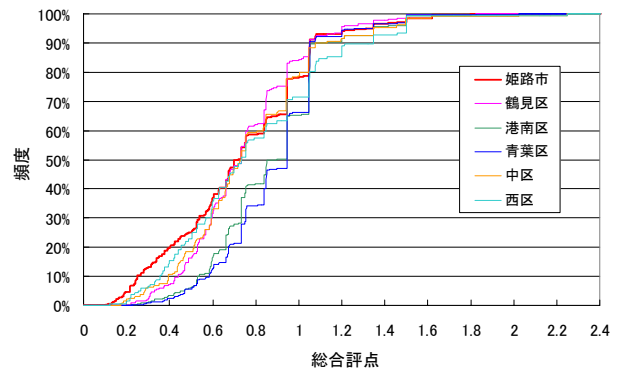


Fig.5 Cumulative distribution of the total score

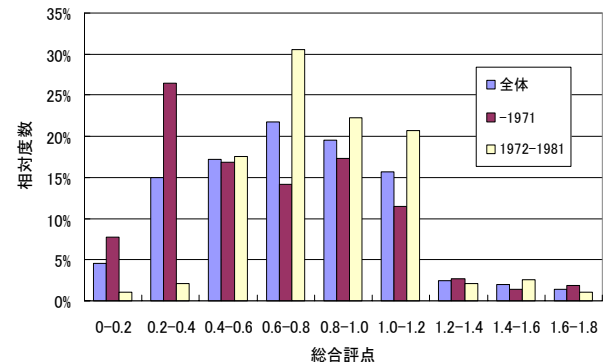


Fig.6 Histogram of the total score of Himeji according to the construction period

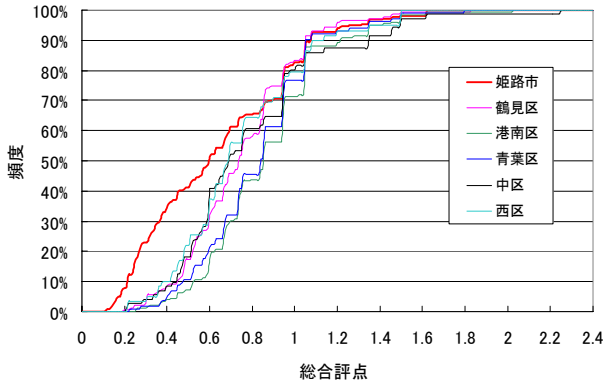


Fig.7 Cumulative distribution of the total score of the buildings constructed before 1972

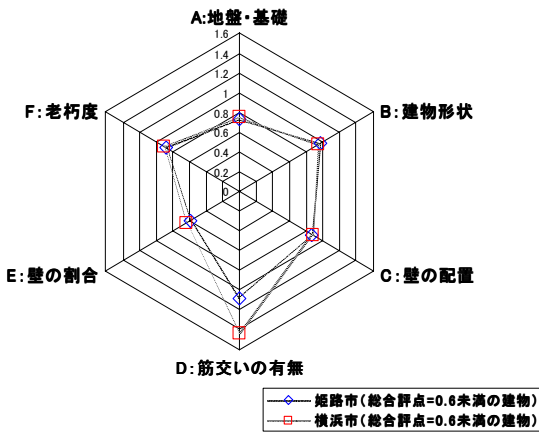


Fig.8 Radar chart for the mean value of each index of the buildings constructed before 1972 with the total score less than 0.6

4.4 各指標に関する分析

総合評点は Fig.1 で表されるように指標 A から F の積により算出される。そこで、各指標の評点構成について地域ごとに分析を行い、それぞれの地域に存在する木造住宅の特性を明らかにする。指標 A から F の各評点の構成比を Fig.9 から Fig.14 にそれぞれ示す。これらの図より次のことがわかる。

- ・指標 A の地盤・基礎 (Fig.9) については、臨海部にある鶴見区、中区、西区は、低い評点の割合が他の 2 区に比べてかなり大きい。地盤が悪いことに加え、建築年が古い建物が多く (Table 4)、鉄筋コンクリート造布基礎の割合が小さいことにも起因していると考えられる。
- ・指標 B の建物形状 (Fig.10) については、横浜市鶴見区、中区、西区では、平面的もしくは立体的に不整形な建物の割合が大きくなっている。姫路市では、横浜市に比べ、建物形状の整っている建物の割合が大きい。
- ・指標 C の壁の配置 (Fig.11) については、鶴見区において、外壁の一面に壁がないもしくは不足している建物の割合が特に大きい。姫路市では、鶴見区よりもさらにその割合が大きい。横浜市の他の 4 区に関しては大きな差

はみられない。

- ・指標 D の筋交いの有無 (Fig.12) については、姫路市において 30%以上の建物に筋交いが入っていないことがわかる。横浜市の中でも、中区と西区では筋交いのない建物の割合が 20%強と比較的大きい。前述のように、中区、西区では建築年が古い建物が多いことと相関があると考えられる。

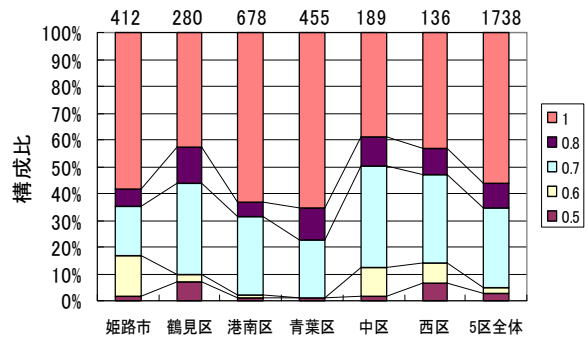


Fig.9 Percentage of Index A of the two cities

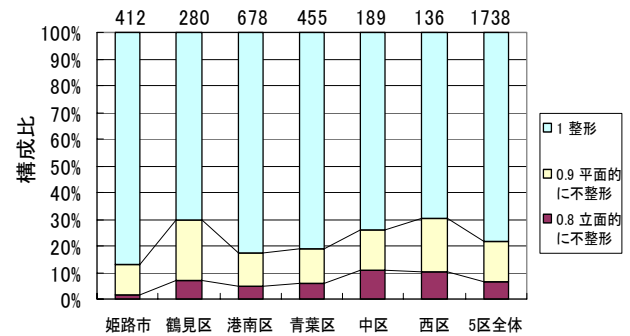


Fig.10 Percentage of Index B of the two cities

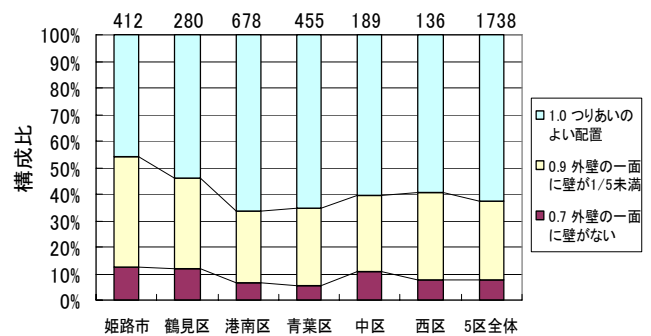


Fig.11 Percentage of Index C of the two cities

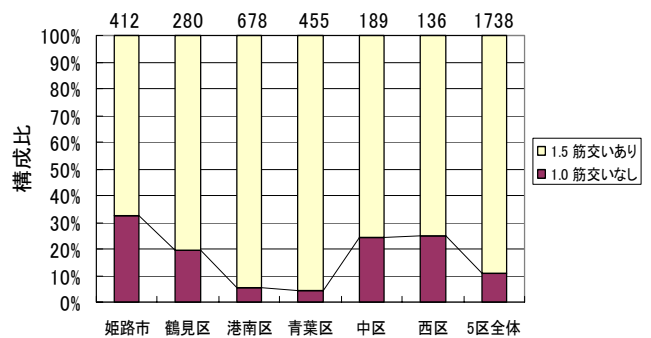


Fig.12 Percentage of Index D of the two cities

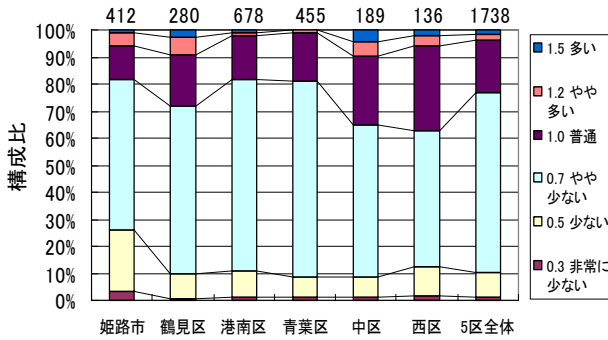


Fig.13 Percentage of Index E of the two cities

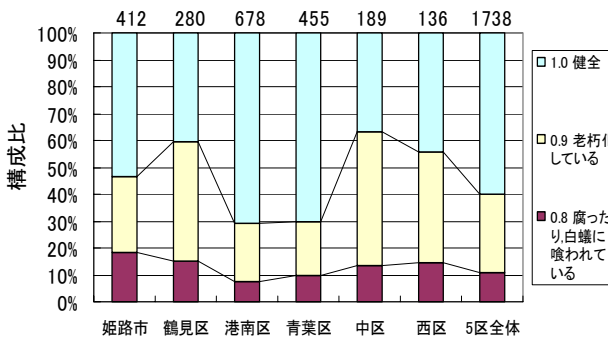


Fig.14 Percentage of Index F of the two cities

- ・指標 E の壁の割合 (Fig.13) について、横浜市 5 区の中では、評点が 0.5 以下の壁の少ない建物の割合に違いはみられないが、姫路市においてはこの建物の割合が、横浜市 5 区の 2 倍以上の 28% となっている。また 鶴見区、中区においては評点が 1.2 以上の、壁の割合が多い・やや多い建物の割合が、他の地域に比して大きい。
- ・指標 F の老朽度 (Fig.14) について、鶴見区、中区、西区では約 60% の建物が老朽化もしくは腐ったり白蟻に喰われていると判定されている。これは、建築年が古い建物が多いことと対応している。また、港南・青葉の 2 区では約 30% と低い。一方、姫路市では、50% 弱がそのような建物となっている。

4.4.1 指標 A (地盤・基礎) の詳細分析

指標 A は、建物が建っている敷地の地盤と基礎の状況によってその評点が求まる (Table 4)。今回得られたデータのうち、指標 A について診断適用外 (地盤条件が悪く、基礎にひび割れ等が生じている) の建物が姫路市にのみ、全体の約 10% 含まれていた (Fig.15, 16)。そこで、姫路市について分析を行った結果を示す。

Table 5 は、診断適用外の建物の建築確認年別割合を示したものである。この表より、1961 年以前の建物と 1972 ~ 1981 年の建物の占める割合はほぼ等しいが、前者の 8 割の基礎は玉石、石積、ブロック積等の基礎で、後者については 9 割以上の基礎がひび割れのあるコンクリート造布基礎でかつ地盤条件の悪いものであった。「住宅金融公庫融資住宅工事共通仕様書 (木造住宅)」では、昭和 48

Table 4 Evaluation of the score of Index A

診断項目	地盤		
	良い・普通 (1)	やや悪い (2)	非常に悪い (3)
鉄筋コンクリート造布基礎 (1)	1	0.8	0.7
無筋コンクリート造布基礎 (2)	1	0.7	0.5
ひびわれのあるコンクリート造布基礎 (3)	0.7	診断適用外	
その他の基礎 (玉石、石積、ブロック積) (4)	0.6		

Table 5 Number of inapplicable buildings with respect to Index A according to the construction period (for the data in Himeji)

建築確認年	棟数	構成比
- 1961	15	4.2%
1962-1971	6	1.7%
1972-1981	15	4.2%

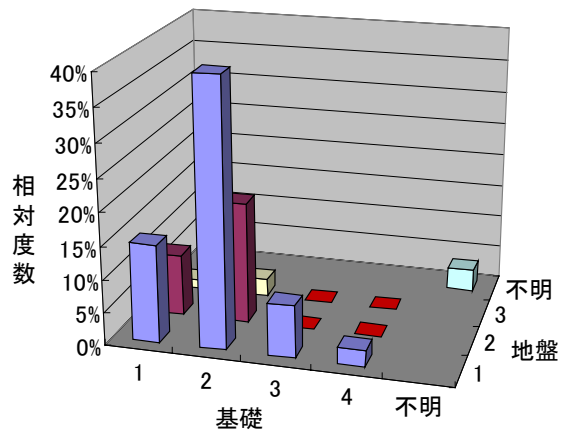


Fig.15 Distribution of the scores of foundation and soil (for the data in Yokohama)

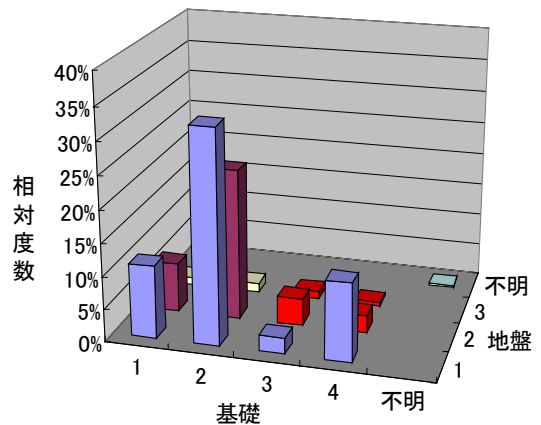
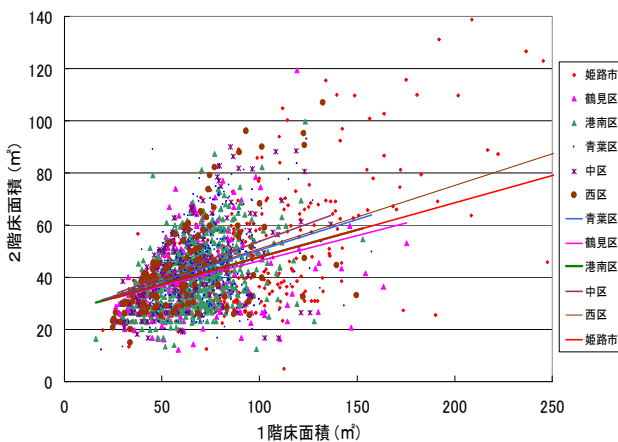


Fig.16 Distribution of the scores of foundation and soil (for the data in Himeji)

年 (1973) には石積およびコンクリートブロック積の布基礎の仕様を廃止していることなどから、基礎形式が変遷していったと考えられる。しかし、1972 ~ 1981 年の建物にも依然として 1961 年以前の建物とほぼ同数の診断適用外の建物があることから、地盤条件の悪い地域での住宅建設が続けられていたことが示唆される。

4.4.2 指標 B (建物形状) の詳細分析

Fig.10 より、横浜市では姫路市に比べて立面的に不整形な建物の割合が大きいことがわかる。立面的に不整形である原因としては、建物の1階に駐車場やピロティ等壁のない空間があること、あるいは2階の床面積が大きく、1階よりはり出していること等が考えられる。そこで、2階建ての建物について、横軸に1階床面積、縦軸に2階床面積をとり地域ごとにその分布を調べた (Fig.17)。図中の直線はそれぞれ地域の回帰直線である。これより、横浜市は鶴見区を除き、姫路市よりも2階の床面積が大きい傾向があることがわかる。しかし、横浜市、姫路市ともほとんどの建物で2階に比べて1階の床面積が大きいため、横浜市の立面的不整形は駐車場・ピロティに起因すると考えられる。

Fig.17 Relationship between 1st and 2nd floor areas

5 まとめ

姫路市と横浜市では建築確認年 1971 年以前の建物でも総合評点が顕著に異なることが明らかとなった。横浜市内では同一市内でも地域により建物の耐震性は大きく異なることが確認された。また、各指標についても詳細な分析を行った結果、姫路市で外壁のつりあい比較的悪い、横浜市内で立面的不整形の割合が大きいなど、各地域の特性を把握することができた。

以上のことから、構造種別や建築年代が同じであっても地域によって住宅の耐震性能は異なり、建物被害推定には耐震診断データ等で、地域の耐震性能分布を把握することが不可欠であると考えられる。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- ・横浜市・姫路市の耐震診断データについて、様々な組合わせのクロス集計分析など、より詳細な分析を行う。
- ・今回の横浜市と姫路市のように、地域によって耐震性能が大きく異なる場合、なぜ異なるのか、歴史や風土などその背景となる事柄についての調査を行う。
- ・他の地域についても、耐震診断データを収集・分析を行い、これらに基づく被害予測手法を提案する。

謝辞

耐震診断データを提供していただいた横浜市、姫路市に記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 長谷川浩一, 翠川三郎, 松岡昌志: 地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測 - その2 建築年代別木造建築物の被害関数の作成と震害予測例 -, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 505 号, pp.53-59, 1998.3.
- 2) Miyakoshi, J., Hayashi, Y., Tamura, K., and Fukuwa, N.: Damage Ratio Functions of Building using Damage Data of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake, Proceedings of the 7th International Conference on the Structural Safety and Reliability (ICOSSAR), pp.349-354, 1998.
- 3) 村尾修, 山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, 第 527 号, pp.189-196, 2000.1.
- 4) 山口直也, 山崎文雄: 西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築, 地域安全学会論文集, No.2, pp.129-138, 2000.11.
- 5) 建設省住宅局監修, (財)日本建築防災協会・(社)日本建築士会連合会編: わが家の耐震診断と補強方法, 1985.11.
- 6) 梅村幸一郎, 山崎文雄: 横浜市の耐震診断結果に基づく木造建物被害関数の構築, 日本建築学会構造系論文集, No. 556, 2002.6.
- 7) 横浜市企画局政策部統計解析課: 統計横浜, No.465, 1999.2.
- 8) 総務庁統計局: 平成 10 年住宅・土地統計調査報告, 第 5 巻, 都道府県編, その 28, 兵庫県, 1998.