

建築確認申請図書における保有水平耐力の余裕度

— 指定確認検査機関へのアンケート調査 —

石川孝重 — *1 平田京子 — *2
 太田博章 — *3 片桐靖夫 — *4
 菊池正彦 — *5 坂本成弘 — *6
 戸澤正美 — *7

キーワード：
 保有水平耐力, 建築確認申請, アンケート調査, 確認検査機関, 余裕度

Keywords:
 Building ultimate lateral strength, Application for building confirmation, Questionnaire, Inspection agency, Safety margin

SAFETY MARGIN OF ULTIMATE LATERAL STRENGTH OF BUILDINGS BASED ON CALCULATION SHEETS

— Questionnaire survey to inspection agencies —

Takashige ISHIKAWA — *1 Kyoko HIRATA — *2
 Hiroaki OHTA — *3 Yasuo KATAGIRI — *4
 Masahiko KIKUCHI — *5 Shigehiro SAKAMOTO — *6
 Masami TOZAWA — *7

Ultimate lateral strengths of 208 buildings, designed after 2007, were obtained by the questionnaire survey to inspection agencies. The building strength is represented by the safety margin index which is the strength divided by the required strength of the Building Standard Law of Japan.

The safety margin is clarified to fit a log-normal distribution with considerable accuracy regardless of structural types and systems. The distribution for all structural types and systems has the mode of 1.05 and the average of 1.34. The average for RC moment framed structures is 1.16, while that for Steel moment framed structures is 1.60.

1. はじめに

構造設計者には建築主やユーザーに構造設計や建物性能をわかりやすく伝え、社会に対しても説明責任を果たすことが求められるようになった。建築主等と構造性能水準の意思決定・合意形成を図るうえで、特に耐震性能の設定に関して、通常的设计における耐震安全性能の設定状況を調査し、定量化して把握しておく必要がある。本研究は実際の建築確認申請を完了した建物の計算書を広く調査し、保有水平耐力の余裕度の実態を統計的にまとめたものである。

2. アンケート調査の方法と調査対象建物

2.1 調査方法

指定確認検査機関の協力を得て、確認申請完了案件のうち保有水平耐力を確認するルートの建物について、必要保有水平耐力(Qun)に対する保有水平耐力(Qu)の比を「余裕度」として調査した。

建物用途、延べ面積、地上階数、構造種別、長辺短辺各方向の架構形式(純ラーメン、耐震要素併用、耐震要素のみ)、保有水平耐力余裕度(各階 Qu/Qun の最小値)、必要保有耐力の割増率(例えば×1.25 などの係数)をセットで1データとして回答するものである。

大臣指定機関など 25 の指定確認検査機関にアンケート協力を依頼し、15 の機関からデータ提供を受けた。各機関から、最少 4 件、最多 30 件、平均約 14 件の建物データの提供を受け、総数 208 件のデータが収集できた。なお、基準法改正の混乱期を避ける理由から比較的最近のデータ提供を希望し、過去案件の場合でも 2007 年 10 月以降の受付案件に限るものとした。

2.2 調査対象建物の概要

データ提供を受けた建物全 208 件の概要を図 1 に示す。

建物用途は集合住宅(分譲、賃貸、寮、社宅も含む)が 112 件と過半数を占め、次いで事務所(31 件)、工場(15 件)と続く。階数は平屋~18 階まで、延べ面積は 100~15000m² まで広く分布したが、5 階以下、3000m² 未満の建物が概ね半数を占めた。構造種別は RC 系(RC 造 134 件, SRC 造 2 件)が 65% を占め、S 系(純 S 造 65 件, CFT-S, SRC-S, RC-S など梁が S 造のもの 7 件)は 35% であった。

短辺長辺の各方向を独立と数え、そのうちいずれかが保有水平耐力を検討しないルートである場合を除くと、全部で 401 件のデータが有効となるが、そのうち 72% の架構形式は純ラーメンであった。各調査項目相互の関係について、次節で若干の分析を行う。

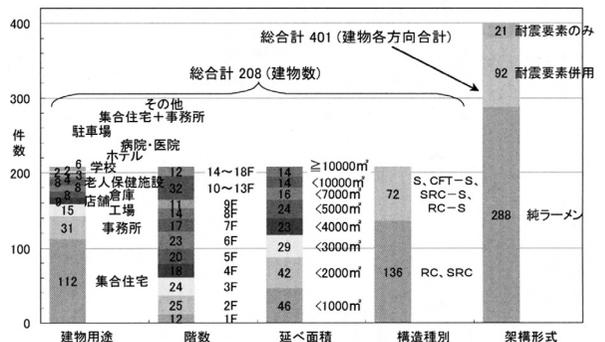


図 1 調査建物の概要

*1 日本女子大学住居学科 教授・工博 (〒112-8681 文京区目白台 2-8-1)
 *2 日本女子大学住居学科 准教授・博士(工学)
 *3 ㈱竹中工務店東京本店設計部 構造副部長
 *4 ㈱三菱地所設計住環境設計部 主幹
 *5 ㈱大林組東京本社設計本部構造設計部 部長
 *6 大成建設㈱技術センター 主席研究員・博士(工学)
 *7 清水建設㈱設計本部構造設計部 3 部 グループ長

*1 Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Dr. Eng.
 *2 Assoc. Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Ph.D.
 *3 Deputy General Manager, Design Dept., Takenaka Corporation
 *4 Senior Manager, Residential & Living Env. Design Dept., Mitsubishi Jisho Sekkei Inc.
 *5 General Manager, Structural Design Dept., Obayashi Corporation
 *6 Chief Research Engineer, Technology Center, Taisei Corporation, Dr. Eng.
 *7 Manager, Design Division, Shimizu Corporation

2. 3 調査対象建物に関する分析

(1) 用途と階数の関係 (図2参照)

- ・集合住宅では、3~15階建まで各々5件以上と広く分布するが、最も多いのは6階7階建で各々10数件、最高は18階建であった。
- ・事務所については2~9階建が多く、工場は全てが1~2階建、店舗と倉庫の多くは1~3階建であった。
- ・老人保健施設は4階建、学校は5階建に集中する傾向が見られた。

(2) 用途と延べ面積の関係 (図3参照)

- ・集合住宅では、延べ面積が1000㎡未満から5000㎡まで広く分布する。2000㎡未満の小規模な建物が占める割合は、事務所、工場、倉庫では50~60%程度、店舗では80%近くに達する。

(3) 用途と構造種別の関係 (図4参照)

- ・集合住宅でRC系の構造が92%を占めるほか、老人保健施設、学校、ホテルについても75~100%がRC系であった。逆に、事務所、工場、店舗、倉庫、駐車場ではS系の構造が75~100%を占めた。

(4) 用途と架構形式の関係 (図5参照)

- ・全体では72%が純ラーメン架構を採用していたが、用途別では倉庫が88%、老人保健施設、病院・医院、集合住宅と事務所の複合施設については100%、店舗や事務所も純ラーメンの割合が高かった。
- ・逆に、学校と駐車場では純ラーメンの比率は45~50%と少なく、耐震要素を有効利用できる用途であることを示している。

(5) 構造種別と架構形式の関係 (図6参照)

- ・全体では72%が純ラーメンだったが、構造種別ではRC系で66%とやや少なくなり、S系で82%と純ラーメンの比率が高かった。

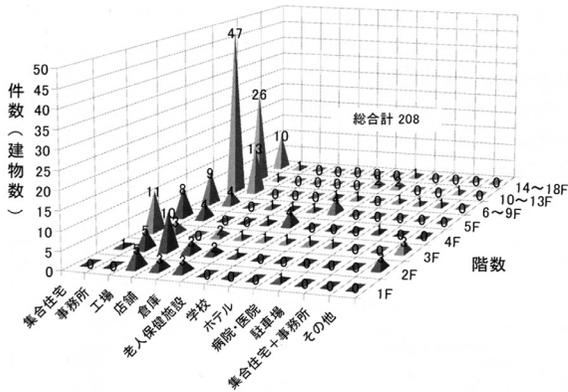


図2 調査建物の用途と階数の関係

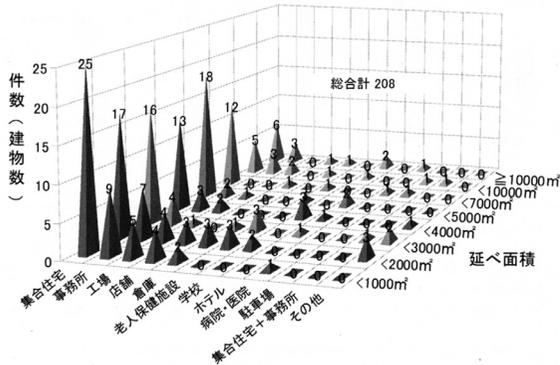


図3 調査建物の用途と延べ面積の関係

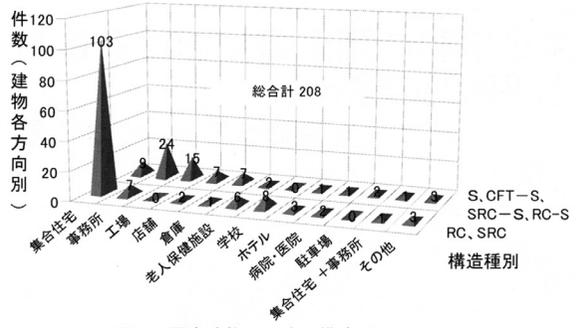


図4 調査建物の用途と構造種別の関係

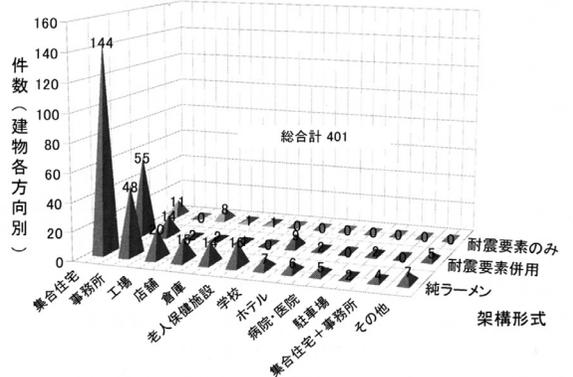


図5 調査建物の用途と架構形式の関係

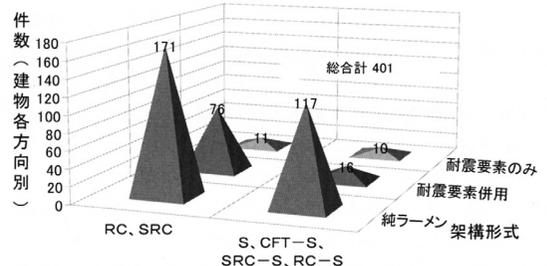


図6 調査建物の構造種別と架構形式の関係

3. 保有水平耐力余裕度の分布

3.1 各グループの統計量

調査建物の長辺短辺各方向全401件に関する、保有水平耐力余裕度(各階 Q_u/Q_{un} の最小値)について、いくつかのグループに分けて集計した結果を表1に示す。以下、3.2節では各グループの平均値と標準偏差、3.3節では分布形状に関して詳しく考察を加える。

表1 各グループの保有耐力余裕度の統計量

グループ	標本数	平均値	最小値	最大値	中央値	最頻値	標準偏差	変動係数	歪度	尖度
全体	401	1.34	1.00	4.06	1.19	1.05	0.413	0.308	2.53	8.55
RC系	258	1.22	1.00	4.06	1.11	1.05	0.292	0.240	4.71	36.5
S系	143	1.57	1.02	3.38	1.39	1.27	0.498	0.318	1.42	1.79
純ラーメン	288	1.34	1.00	3.38	1.18	1.05	0.416	0.311	2.25	5.63
耐震要素併用	92	1.32	1.01	2.45	1.22	1.05	0.320	0.242	1.74	3.33
耐震要素のみ	21	1.47	1.03	4.06	1.25	1.11	0.670	0.456	3.19	11.8

3.2 保有耐力余裕度の平均値と標準偏差

(1) 構造種別と架構形式による影響

RC系とS系の各々について、3種類の架構形式に分類して集計した保有耐力余裕度の平均値と標準偏差を図7に比較して示す。RC系の純ラーメンは平均値1.16、標準偏差0.162と共に小さいが、S系では純ラーメンが平均値1.60、標準偏差0.520と共にやや大きくなる傾向が見られる。データ数の多いこれら純ラーメンの傾向を反映して、全体としてRC系の余裕度が平均値・ばらつき共にS系より小さくなった。これは目標耐力に対して鉄筋本数を微妙に調整できるRC系（特にラーメン架構）と、部材断面が層間変形角や床たわみ・振動数制限等でも決定することがあり、結果的に耐力に余裕が出やすいS系の違いとして説明できる。

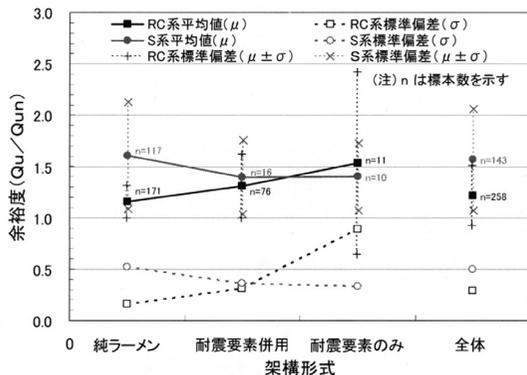


図7 余裕度に及ぼす架構形式の影響

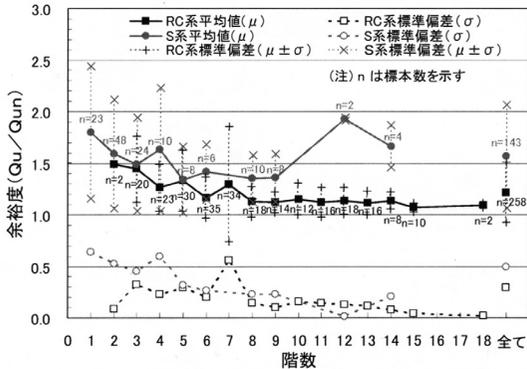


図8 余裕度に及ぼす階数の影響

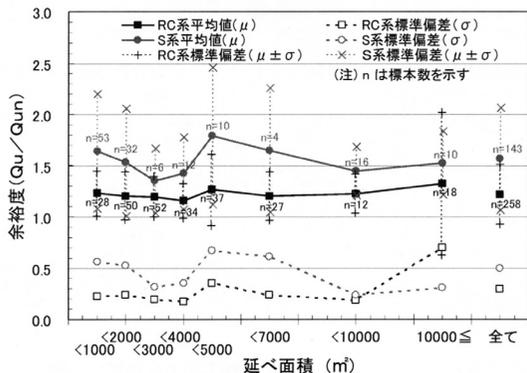


図9 余裕度に及ぼす延べ面積の影響

(2) 建物規模による影響

同様に図8で階数による影響を比較した。RC系・S系共通で8階建までは階数の少ないほど余裕度は大きく、それより階数の多い範囲ではRC系の場合にほぼ一定の傾向が見られる。図中に示した「平均値±標準偏差」の範囲も含めて比較すれば、2～5階の余裕度はRC系とS系で全体平均ほどの差は出ておらず、むしろS造全体の余裕度の高さは工場・店舗等の平屋と8階以上特に12階以上のホテル・事務所における余裕度の高さ ($Qu/Qu_n=1.5\sim 2.5$) に影響されているように思われる。

一方、延べ面積による影響を比較した図9では、あまり明確な傾向は見られなかった。ただしほぼ全ての延べ面積において、RC系よりS系の方が余裕度もばらつきも大きい傾向は示されている。

3.3 保有耐力余裕度の分布形状

(1) 一般的な分布形状

調査建物の長辺短辺各方向のデータ全401件に関する、保有水平耐力余裕度（各階 Qu/Qu_n の最小値）の頻度分布を図10aに示す。同図には累積頻度と4章の考察結果に基づいて当てはめた確率分布曲線も比較のためプロットしている。

余裕度の値は1.00から4.06に分布し、平均値は1.34、最頻値1.05、中央値1.19と平均値以下の頻度が高く、右に歪んだ分布である。平均値まわりの3次モーメントで定義される歪度は $2.53 > 0$ で正(右)の歪み、4次モーメントで定義される尖度は $8.55 > 0$ で鋭く尖ると同時に裾の広がりも正規分布より厚いことを示している。

(2) 構造種別による影響

RC系のデータ全258件の保有耐力余裕度の分布を図11aに示す。全体データと同じく1.00から4.06に分布するが、平均値は1.22、最頻値1.05、中央値1.11と、全体データと比較して最頻値は同じだが、平均値、中央値とも0.1程度小さくなり、標準偏差も0.12小さくなった。また、全体に比べて歪度は4.71と大きく(右への歪みが増大)、尖度も36.5と大きく(尖りと裾の広がりも増大)、分布のピーク形状がより高く左側に移動したことを示している。

一方、S系のデータ全143件の保有耐力余裕度分布を図12aに示す。データは1.02から3.38に分布し、平均値1.57、最頻値1.27、中央値1.39と、全体データより平均値、最頻値、中央値とも0.2程度大きく、標準偏差も0.09増加した。また全体データに比べて歪度は1.42と小さく(右への歪みも緩和)、尖度も1.79と小さく(尖りと裾の広がりも厚さも緩和)、分布のピーク形状がより低く(ばらつき多く)右側に移動したことを示している。

(3) ピーク位置におよぼす構造種別の影響

余裕度 (Qu/Qu_n) から1を減じて自然対数を取った値、すなわち $\ln((Qu/Qu_n)-1)$ を用いて再整理したのが図10b～12bである。対応する元の図10a～12aと比較して、頻度の高くなる範囲が明瞭になる。

図11b, 12bのようにRC系・S系に共通して、 $Qu/Qu_n=1.05$ に対応する $\ln((Qu/Qu_n)-1)=-3.0$ 付近と $Qu/Qu_n=1.27$ 前後に対応する $\ln((Qu/Qu_n)-1)=-1.3$ 付近で頻度が高い。特にRCでは前者、Sでは後者が最頻値となる。さらにS系の分布を示す図12bでは、 $Qu/Qu_n=1.6\sim 2.5$ に対応する $\ln((Qu/Qu_n)-1)=-0.5\sim 0.4$ 付近にも比較的頻度の高い部分がある。RC系とS系共通の余裕度のピーク値1.05は、複数の審査機関における保有耐力余裕度の指導値として説明できるが、S系の最頻値1.27については明確には説明できない。

全体の分布に関しては以上のような特徴のある2つの分布、すなわち余裕度1.05付近に明瞭なピークのある、高く尖った分布であるRC系と、主なピークは1.27付近にあるものの、あまり尖らない(ばらつきの大きな)分布であるS系とが、標本数にして約2:1の割合で混じり合ったものとして説明できる。

(4) 架構形式による影響

同様に図13a~15bに、純ラーメン(288件)、耐震要素併用(92件)、耐震要素のみ(21件)に分離した場合の耐力余裕度の分布を示す。標本数の小さなデータもあり、ばらつきを含めて一概には判断できないが、これら3者の間には、RC系とS系との間に見られたような有為な差は見られないように思われる。

4. 保有水平耐力余裕度の確率分布曲線近似

4.1 確率分布曲線による近似

横軸に余裕度 Q_u/Q_{un} をとった頻度分布(図10a~15a)が歪んだ分布であるのに対し、横軸に $\ln((Q_u/Q_{un})-1)$ をとった頻度分布(図10b~15b)は、3.3節で述べた Q_u/Q_{un} の頻度の高い範囲(1.05, 1.27, 1.6~2.5)に対応する $\ln((Q_u/Q_{un})-1)$ の範囲(-2.996, -1.3, -0.5~0.4)を除き、同図にプロットした正規分布曲線に近く、 $Q_u/Q_{un}-1$ が対数正規分布に近い分布であることが判る。

X が対数正規分布の場合、分布形は $\ln(X)$ の平均値(μ)と標準偏差(σ)で決定できる。今回は $X=(Q_u/Q_{un})-1$ として、 μ と σ は $\ln((Q_u/Q_{un})-1)$ の平均値と標準偏差として得られる値を用いて近似した。

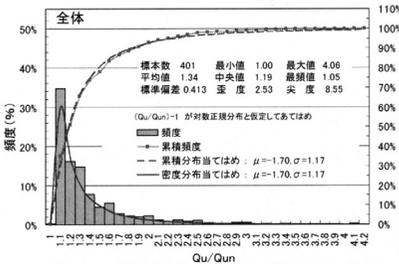


図10a 保有耐力余裕度の分布(全体)

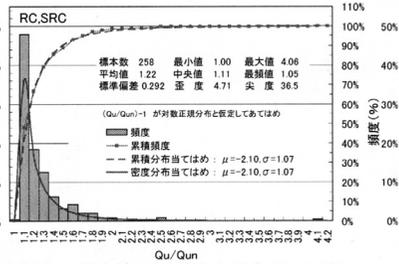


図11a 保有耐力余裕度の分布(RC系)

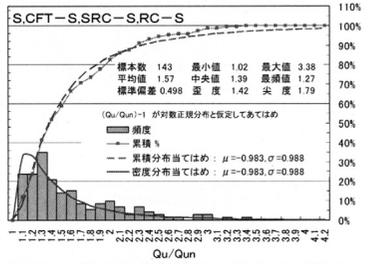


図12a 保有耐力余裕度の分布(S系)

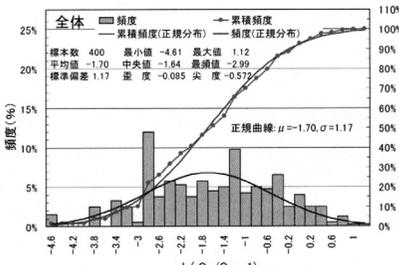


図10b 保有耐力余裕度の分布(1を引き自然対数軸, 全体)

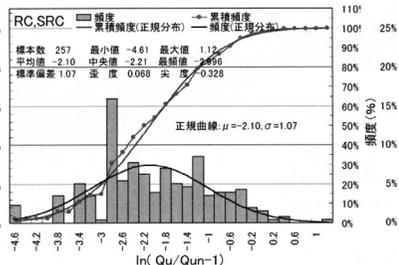


図11b 保有耐力余裕度の分布(1を引き自然対数軸, RC系)

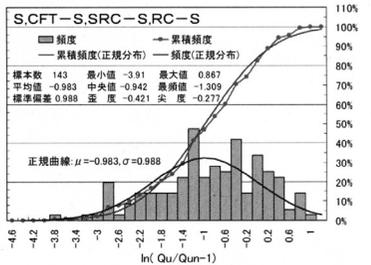


図12b 保有耐力余裕度の分布(1を引き自然対数軸, S系)

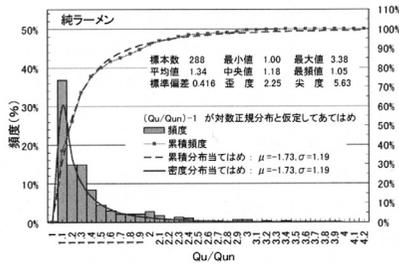


図13a 保有耐力余裕度の分布(純ラーメン)

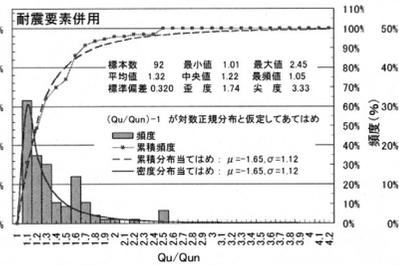


図14a 保有耐力余裕度の分布(耐震要素併用)

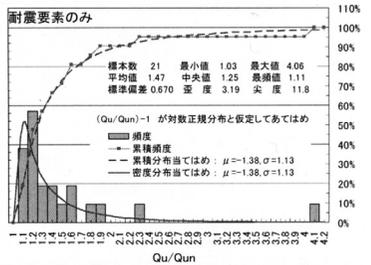


図15a 保有耐力余裕度の分布(耐震要素のみ)

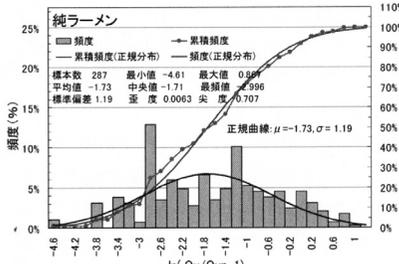


図13b 保有耐力余裕度の分布(1を引き自然対数軸, 純ラーメン)

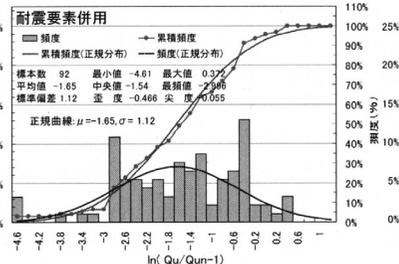


図14b 保有耐力余裕度の分布(1を引き自然対数軸, 耐震要素併用)

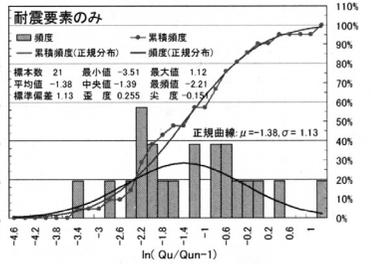


図15b 保有耐力余裕度の分布(1を引き自然対数軸, 耐震要素のみ)

4.2 仮定した分布曲線の検定

前節の「 Qu/Qu_n-1 が対数正規分布に従う」という仮定に関し、コルモゴロフスミルノフ検定 (K-S 検定) を実施した。K-S 検定では、仮定した理論分布 $F(X)$ と階段状の実データ分布 $Sn(x)$ との隔たり $Dn(X)$ の最大値で定義される指標 Dn を求め、有為水準 α に対して定まる隔たり (誤差) の限界値 Dn^α と Dn とを比較し、 $Dn \leq Dn^\alpha$ のとき分布形の仮定は合格とする。各グループに対しての検定結果を表 2 に示す。全てのグループについて、上記の仮定は「有意水準 10% 以上で合格」となった。また誤差の分布 $Dn(X)$ 等と最大値 Dn の生じる位置を図 16~21 に示す。誤差の最大値 Dn で評価する K-S 検定では、標本数の関係上 S 系データへの適合性が最も良い評価となったが、余裕度 (Qu/Qu_n) の広い範囲で誤差が残った。逆に RC 系のグループでは余裕度が 1.5 程度以下の範囲で誤差が出るもの、それを超える領域での誤差は小さくなり、RC 系の建物比率が大きな全体データでも同様の傾向が見られた。

表 2 各グループのコルモゴロフスミルノフ (K-S) 検定結果

	標本数 n	有意水準 (α) と標本数 (n) とで 決定される限界値 Dn^α				Dn	評価
		$\alpha=20\%$	$\alpha=10\%$	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$		
全体	400	0.054	0.061	0.068	0.082	0.058	有意水準 10% 超 で合格
RC 系	257	0.067	0.076	0.085	0.102	0.068	有意水準 10% 超 で合格
S 系	143	0.090	0.102	0.114	0.136	0.052	有意水準 20% 超 で合格
純ラーメン	287	0.063	0.072	0.080	0.096	0.071	有意水準 10% 超 で合格
耐震要素併用	92	0.112	0.127	0.142	0.170	0.076	有意水準 20% 超 で合格
耐震要素のみ	21	0.226	0.256	0.286	0.352	0.125	有意水準 20% 超 で合格

5. おわりに

確認申請図書の調査から保有水平耐力余裕度 (各階必要保有水平耐力に対する保有水平耐力の比の最小値) の実態が明確になった。

- 1) 全データに対する余裕度の分布は、平均値 1.34、中央値 1.19、最頻値 1.05 の「正の歪み」を持つ分布形状であった。
- 2) 全体の余裕度分布と比べ、RC 系のそれは 0.1 程度小さく、より尖った分布、S 系は 0.2 程度大きく、よりなだらかな分布である。
- 3) 余裕度は RC 系純ラーメンが平均 1.16、標準偏差 0.162 と小さく、S 系純ラーメンは平均値 1.60、標準偏差 0.520 と大きい。
- 4) 仮定した分布曲線の適合性検定結果から「余裕度から 1 を減じた値」は有意水準 10% 以上で対数正規分布に従うと見せる。

謝辞

本研究は「本会荷重運営委員会・リスクコミュニケーションに基づく設計手法 WG」によるアンケート調査結果をまとめた。データは以下の指定確認検査機関より提供いただいた。記して謝辞を表す。

(株)東日本住宅評価センター、(財)日本建築センター、ビューローベリタスジャパン(株)、(株)ジェイ・イー・サポート、(財)東京都防災・建築まちづくりセンター、(株)都市居住評価センター、住宅金融普及協会、(財)日本建築設備・昇降機センター、(株)国際確認検査センター、(株)確認サービス、(財)神戸市防災安全公社、日本 ERI(株)、(財)ベタリービング、日本建築検査協会(株)、アウェイ建築評価ネット(株) (受付順)

参考文献

- 1) 伊藤学, 亀田弘行, 阿部雅人, 能島暢呂: 改訂 土木・建築のための確率・統計の基礎, 丸善, 2007. 1

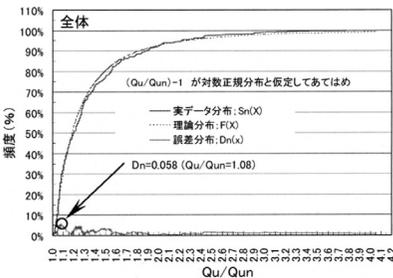


図 16 仮定した余裕度の分布に対する K-S 検定 (全体)

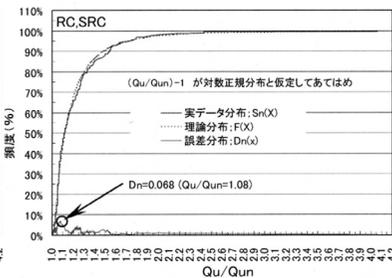


図 17 仮定した余裕度の分布に対する K-S 検定 (RC 系)

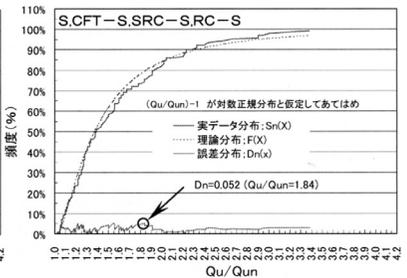


図 18 仮定した余裕度の分布に対する K-S 検定 (S 系)

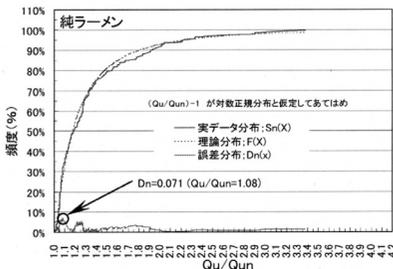


図 19 仮定した余裕度の分布に対する K-S 検定 (純ラーメン)

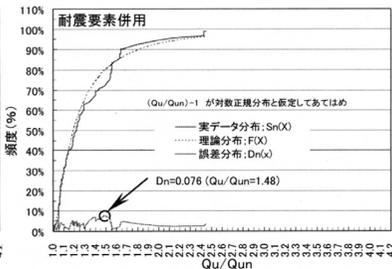


図 20 仮定した余裕度の分布に対する K-S 検定 (耐震要素併用)

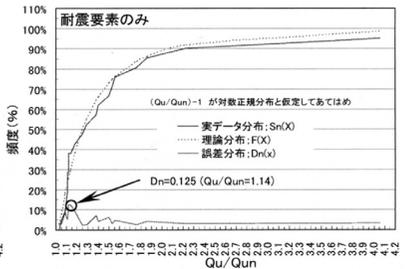


図 21 仮定した余裕度の分布に対する K-S 検定 (耐震要素のみ)

[2009 年 10 月 20 日原稿受理 2010 年 1 月 8 日採用決定]