

# 積載物に対する用途別荷重強さモデルの評価

## EVALUATION OF LIVE LOAD INTENSITY MODEL ACCORDING TO STRUCTURE USE

久木章江\*\*, 石川孝重\*  
*Akie HISAGI and Takashige ISHIKAWA*

This study evaluates live load intensity that is independent of structure type. Live load intensity was calculated for six uses: dwelling, hotel room, classroom, office, theater with fixed seats and library stack room. A model was investigated for each. The room areas were divided into similar units, and the live load was calculated for each unit.

These models are classified into types on the basis of their use. For example, in dwellings, most furniture is concentrated along walls while in classrooms and theaters it is distributed uniformly over the whole area. Thus, the live load intensity model varies depending on the type of use.

In conclusion, it is possible to estimate live load intensity with these models, and the result can be applied in the analysis of large span structures and in checking for cracks.

**Keywords:** Live load, load intensity, load model, furniture load, uses, design load  
積載荷重, 荷重強さ, 荷重モデル, 物品重量, 用途, 設計荷重

### §1 はじめに

我が国における積載荷重の実態調査は比較的少なく、現在用いられている建築基準法施行令の値は昭和6年実施の北澤、福井らによる調査<sup>1)</sup>をもとに設定されたものである<sup>2)</sup>。当時も、データ数が少なく、他に調査結果がないことが問題点として指摘されていた。<sup>3)</sup>

その後、事務所ビル、住宅をはじめとするいくつかの実測調査結果が報告され<sup>4-11)</sup>、徐々にデータの蓄積が行われてきた。筆者らの調査結果の一部も報告している<sup>12,13)</sup>が、建物の用途種類は多く、各調査の対象用途もそれぞれ異なるため、一用途ごとの調査数は限定され、実測調査のない用途も少なくない。

また、神田ら<sup>14)</sup>は、通常使用状態における積載荷重の基本統計量を分析すると同時に、供用期間内に想定される非常時の偏在状態を解析するシミュレーションおよび空間における積載量を把握する空間相関などの分析も行っているが、大部分の積載荷重に関する調査は、荷重強さの評価について、床面積当たりの積載荷重の平均重量を算出するにとどまっている。

近年、確率論を取り入れた荷重評価が行われるようになり<sup>15,16,17)</sup>、1993年に改訂された当学会の「建築物荷重指針・同解説」<sup>18)</sup>では、確率論による積載荷重の評価方法が提示された。

しかし、近年の研究は基本的に荷重効果を視点とした解析を行い、

その結果を統計的に評価するものが大部分であり、荷重強さそのものを評価する研究はほとんど行われていない。特に、荷重効果による評価結果は構造種別や床の形状などによって影響を受ける。また、積載荷重が各種構造に及ぼす影響度合も異なることから、ここでは荷重強さに着目し、汎用的な荷重モデルを追求する。

本論文では、積載荷重に関する実態調査の結果について分析するとともに、用途別の荷重強さを評価する。特に、物品荷重とその配置に着目し、荷重モデルの提示を試みる。

### §2 積載荷重に関する実態調査

本論文では住宅、ホテル、教室、事務所、劇場、書庫の6用途における積載物の荷重強さモデルを分析する。本章では、積載荷重の実状についてまとめる。

調査は、室の形状および室内の物品形状、内容物を含む重量、荷重の位置について行ったものであり、同時に通常使用人数、最大使用人数など、人間荷重の実態についても調査した。なお、本論文で荷重強さを分析する際には、位置を特定しにくい人間荷重は評価対象から除き、物品荷重のみを対象としている。住宅<sup>12)</sup>、ホテル<sup>13)</sup>、教室<sup>6)</sup>については上記詳細データの全てがそろっている。事務所、劇場、書庫については調査データに不足があり、物品重量の補足と

\* 日本女子大学住居学科 教授・工博

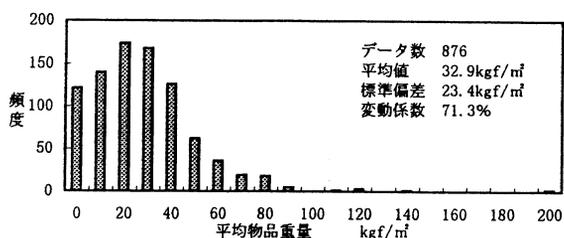
\*\* 活水女子短期大学生活学科 助教授・修士(家政学)

Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Dr. Eng.  
Assoc. Prof., Dept. of Human Life Science Kwassui Women's Junior College,  
M. H. E.

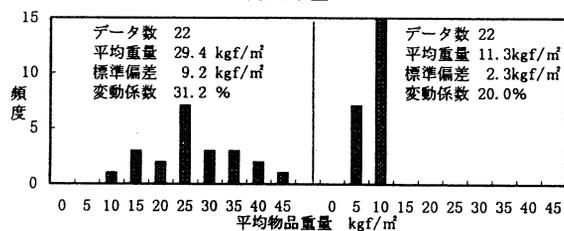
表1 データの概要

用途	住宅	ホテル	学校	事務室	書庫	劇場
建物データ数	100戸	37建物	3校12建物	10建物	15建物	8建物
室データ数	居室1131室	客室76室	教室99室	24室	15室	8室
調査対象の室	住宅の全室	ホテルの居室	一般教室	一般事務室	図書館の書庫・書架	劇場の観客席
平均床面積 $m^2$	8.0	25.1	77.1	25.6	55.2	61.4
平均物品重量 $kgf/m^2$	33.8	28.3	12.8	50.2	269.0	69.6
平均人間密度 人/ $m^2$	0.23	0.07	0.99	-	-	-
室種類	戸建住宅 84戸 集合住宅 16戸	シングル 19室 ツイン 34室 ダブル 16室 スイート 7室	大学1校 26室 高校2校 73室	事務所専用ビルの 一般フロア 22室 マンション等の一室 2室	学校図書館 6室 公共図書館 9室	

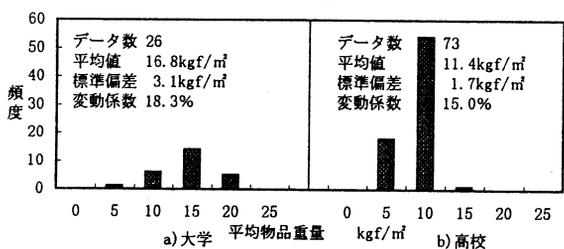
して文献<sup>4,17)</sup>およびカタログ等の値を用いた。全用途のデータの概要を表1に示す。さらに、住宅居室<sup>2)</sup>、ホテル客室<sup>3)</sup>、教室<sup>6)</sup>における床単位面積当たりの平均物品重量を図1に示す。



a) 住宅居室



b) ホテル客室



c) 教室

図1 平均物品重量の頻度分布

住宅の平均物品重量は、納戸・押入および固定荷重と積載荷重の範疇が明確でない浴室・便所・洗面所等を除いた結果を示している。また、ホテル客室ではユニットバスを積載荷重とするか否かの判断が難しいためそれぞれで解析した結果を示し、位置データおよび重量データの信頼度が低いデータを除いた結果で示している。なお、ユニットバスを含めた場合でも、水の重量は含めていない。

住宅における単位面積当たりの物品重量の平均値は32.9kgf/m<sup>2</sup>であり、大部分のデータは50kgf/m<sup>2</sup>以内であるが、100kgf/m<sup>2</sup>以上のデータも存在する結果となっている。

また、ホテル客室の平均値はユニットバスを積載荷重に含める場合は29.4kgf/m<sup>2</sup>、含めない場合は11.3kgf/m<sup>2</sup>となった。ユニットバスを含めるか否かで平均重量は大きく異なるため、本論文における荷重強さモデルを算定する際には、ユニットバスは固定荷重と見なし、ユニットバスを積載荷重に含めない場合の解析結果とした。

さらに、教室は大学と高校で傾向が異なるため分けて解析した結果、平均値は大学が16.8kgf/m<sup>2</sup>、高校が11.4kgf/m<sup>2</sup>となり、大学の積載荷重の方がやや大きい値となっている。

また、これらは全て物品荷重のみの結果で人間荷重を含めていないが、教室などの大人数を収容する人間荷重が主体となる用途の積載荷重値はさらに大きい値となる。<sup>14,15)</sup>

### 5.3 住宅の積載物に対する荷重強さ

#### 3.1 荷重強さの算出方法

ここでは住宅の調査結果に着目し、積載物に対する荷重強さについて室種類ごとの分析を行う。各室の各辺を等分割し、室形状と相似形のユニットに分割し、各ユニットごとの荷重強さを算定する。ユニット分割の概念図を図2に示す。分割したユニット内に存在する荷重値からユニットの面積当たりの平均重量を算定し、これをユニットごとの荷重強さとして分析を行う。さらにモデル化を行う際には縦列ユニットおよび横列ユニットごとの荷重強さを算定し、これらの結果を用いた。

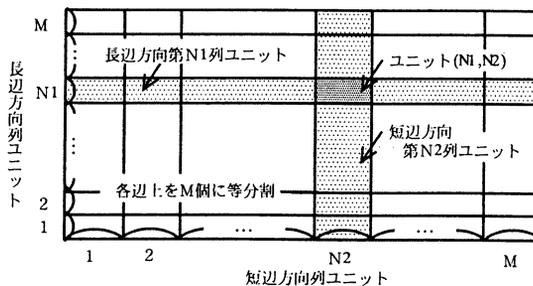


図2 ユニット分割の概念図

このとき、各室の縦横をどのように定義するかは、ドア、窓位置等から考える場合や、辺長比で考える場合が考えられるが、試算の結果、辺長比による影響の方が大きいことが分かったため、ここでは辺長比による整理を行い、図2のように横軸を短辺方向、縦軸を長辺方向として解析を行った。なお、基本的にユニット分割の始点方向がドア等入口であり、終点方向が窓位置に相当する。また、ユ

ニット分割は等分割のみでなく、絶対距離による分割も考えられるが、ここでは汎用的なモデル化を目的としていること、同じ用途内では床形状に大きな違いのあるものが少ないこと、試算の結果大きな違いはみられなかったことから、等分割で解析した。

本論文で分析する項目の定義および算出方法を以下に示す。

- ①分割数M：荷重強さモデルを分析する際における一辺の分割数
- ②面積A：各ユニットの面積  $A = \text{床面積} / M^2 \dots (1)$
- ③荷重強さ  $L_{(a1, a2)}$ ：ユニット(A<sub>n1</sub>, B<sub>n2</sub>)内に存在する荷重強さの平均物品重量に対する割合（倍率）

$L_{(a1, a2)} = \text{ユニット}(A_{n1}, B_{n2}) \text{の平均物品重量} / \text{室の平均物品重量} \dots (2)$   
 分割数Mは1～36で試算した結果、12×12分割程度が比較的データの性状を把握しやすく、傾向が落ちつくため、本論文では12分割の結果を示す。なお、ここでは無次元化による結果を比較するため、床面積を1として算定し、短辺長さを1x、長辺長さを1yとした。

### 3.2 各室の荷重強さ

住宅の部屋種類別に荷重強さを算定した。結果の一部を図3に示す。また、これらを短辺方向、長辺方向におけるそれぞれの列ユニットとして集計した荷重強さの結果を図4に示す。

縦軸は各ユニットの荷重強さが室の平均物品重量の何倍かを示したもので、積載荷重値を評価する場合には、対象室の平均物品重量

を乗じた値が床単位面積当たりの物品用積載荷重値となる。またこれらは対象となる用途の全データを集計した結果である。

なお、図4では、室種類をある特定の人が使用する個人使用の居室と、家族等で使用する共通使用の居室、その他で分類した。

荷重強さはどの居室も壁際に大部分の荷重が載荷されている結果となるが、書斎など物品重量が大きい用途ではその影響が顕著になった。また、短辺方向より長辺方向の方が壁際と中央部の重量差が大きい。なお、入り口近くと室の奥における荷重強さの影響は、室ごとに違いはみられるものの、あまり顕著ではなく、荷重強さはほぼ中心線に対して対称に分布していることが分かる。

### §4 各種用途における

#### 積載物の荷重強さモデル

本章では用途別における積載物の荷重強さモデルを評価する。列ユニットの荷重強さは多項式による近似が可能であり、各ユニットの荷重強さは、所属する縦横ユニットの値を乗じた結果で表現できる。試算の結果、4次多項式による

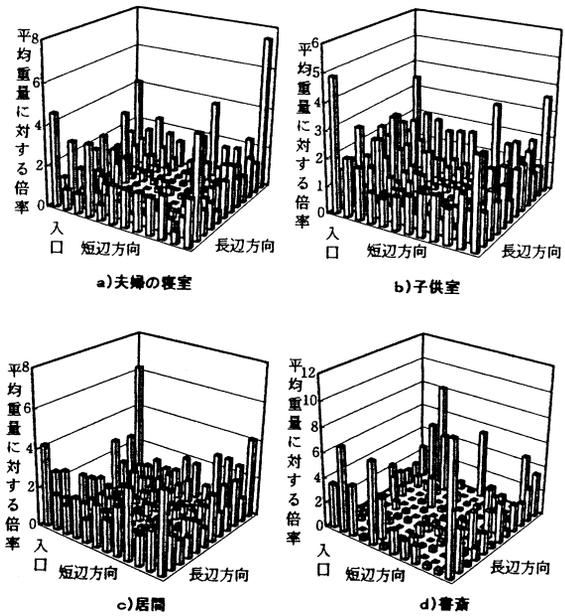


図3 居室における荷重強さの分布

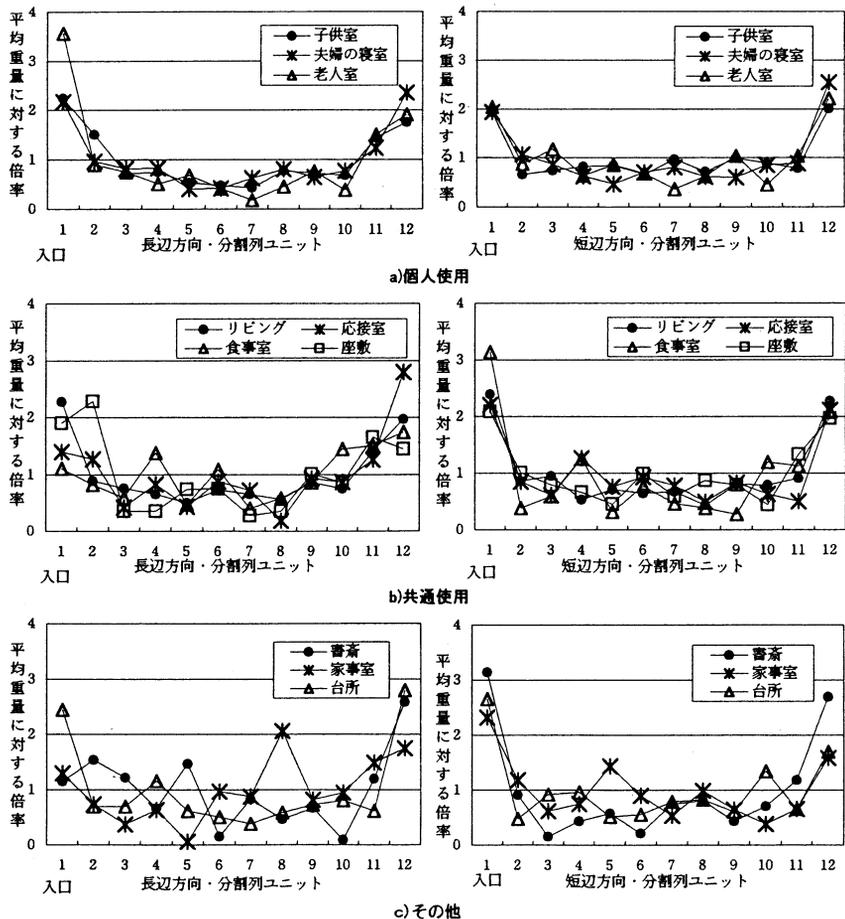


図4 居室における各列ユニットごとの荷重強さ

る回帰曲線は比較的誤差が少ないことから、列ユニットの荷重強さを式(3)に示す4次多項式で近似した。

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e \quad \dots(3)$$

ここで、 $X$ はスパン(1 $x$ または1 $y$ )を1としたときの分割ユニットの位置を示している。

各用途別の荷重強さおよび列ユニットの結果を図5に示す。なお、列ユニットの結果には、近似式による回帰曲線も併記した。

モデル化した荷重強さの結果をみると、短辺方向と長辺方向で傾向の異なる用途、入口や窓位置の影響により、列ユニットが線対称の用途とそうでない用途など様々であることが分かる。

住宅は、短辺・長辺方向とも大きな違いはなく、入口と窓位置の影響も小さいため、左右対象になる。モデルの形状としては壁際に大半の積載量が集中し、中央部は比較的少ない結果となった。

ホテルおよび事務室の結果は、入口や窓により積載物の配置が影響し、短辺方向と長辺方向の違いも大きい。短辺方向の結果では、ホテル客室は部屋の奥に、事務室は入口近くに積載重量が多い。また、長辺方向は壁際に積載重量が多く、中央部が比較的少ない結果となっているが、住宅と比較するとモデルは非対称性が強い。

さらに、教室、書庫、劇場は通路等の影響で回帰すると不均一になるが、ほぼ同じ重量の家具が均一に載荷されているため、大枠として等分布モデルになる。このように、用途別の荷重強さモデルにはそれぞれの特徴がみられた。

これらから、モデルの回帰曲線の係数および特徴等を比較し、まとめた結果を表2に示す。

なお、これらは通常使用状態における物品荷重の評価モデルであり、物品の偏在状態などを考慮していないため、設計に用いる場合には、非常時の偏在状態等を別途考慮する必要がある。

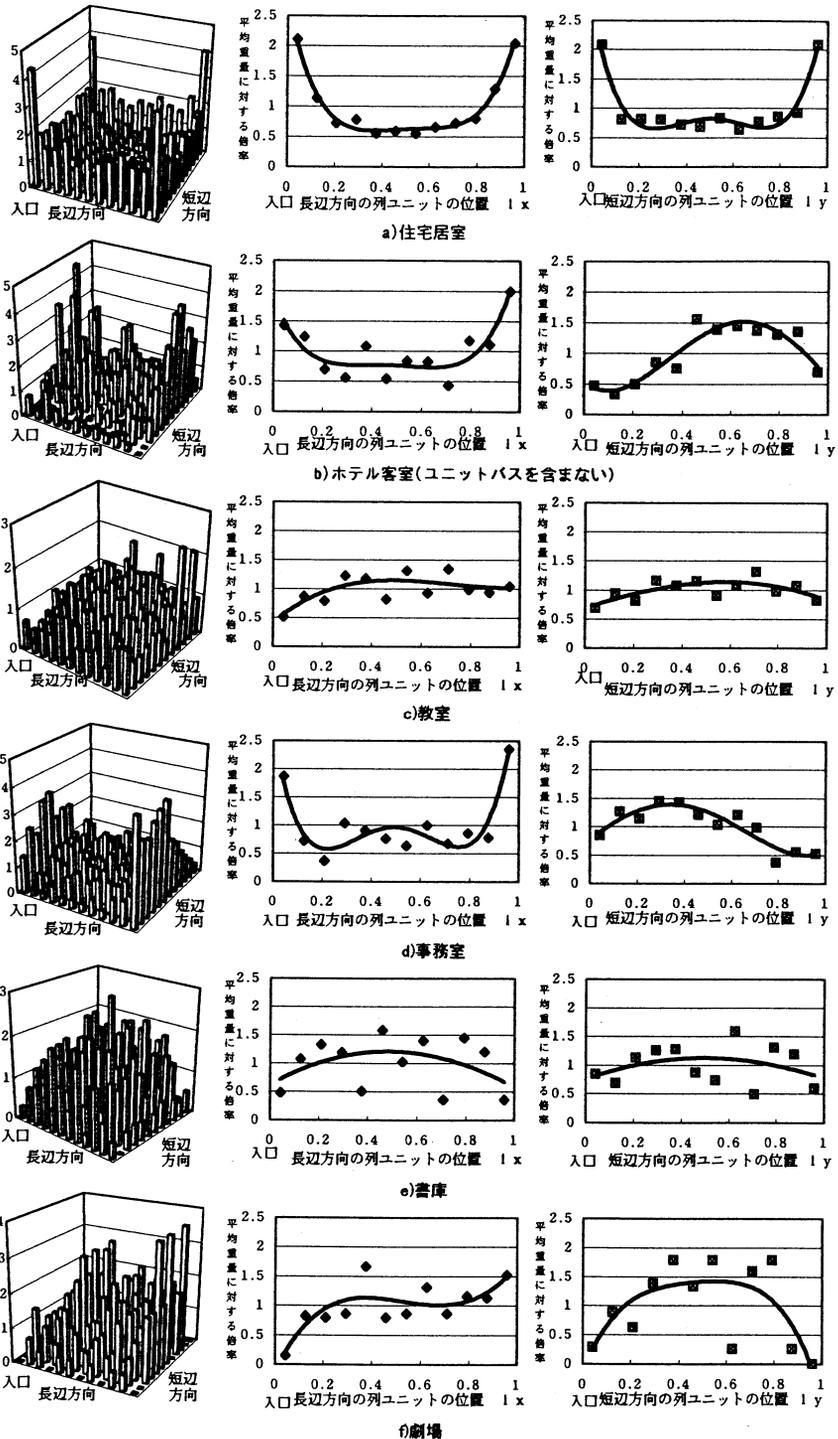


図5 用途別荷重強さ

### 5.5 積載強さモデルを用いた物品用積載荷重値の試算例

前章では、用途ごとの調査データを用いて荷重強さモデルを算出した。そこでこれらの荷重強さモデルから、積載荷重値を試算する。これまでに算出した荷重強さモデルはそれぞれ短辺・長辺方向の

表2 用途別荷重強さモデルの比較一覧

	住宅	ホテル客室	教室	事務室	書庫	劇場	
長辺方向の 近似曲線							
短辺方向の 近似曲線							
対象性 長辺 短辺	対称 対称	やや対称 非対称	やや対称 やや対称	やや対称 非対称	対称 対称	やや対称 対称	
入口・窓位置の影響	影響なし	影響有り	やや影響あり	影響有り	影響なし	やや影響あり	
データ数	800	22	99	24	15	8	
近似 曲線 の 係数	方向 長辺方向 ; 短辺方向	長辺方向 ; 短辺方向	長辺方向 ; 短辺方向	長辺方向 ; 短辺方向	長辺方向 ; 短辺方向	長辺方向 ; 短辺方向	
	a	36.7 ; 55.8	27.8 ; 9.9	0 ; 0	73.8 ; 6.99	0 ; 0	-1.8 ; -21.2
	b	-74.4 ; -111.3	-52.2 ; -28.1	2.62 ; -0.36	-144.5 ; -8.41	0.18 ; 0.19	13.3 ; 39.8
	c	55.8 ; 77.3	35.5 ; 21.8	-5.63 ; -0.92	95.7 ; -1.97	-2.71 ; -1.75	-18.0 ; -29.8
	d	-18.1 ; -21.7	-10.4 ; -3.5	3.62 ; 1.43	-24.3 ; 3.19	2.49 ; 1.58	8.3 ; 10.7
e	2.7 ; 2.8	1.9 ; 0.5	0.41 ; 0.68	2.7 ; 0.77	0.61 ; 0.74	-0.1 ; -0.2	

列に沿って等分割した場合の物品荷重強さ $s$ が平均物品重量の何倍になるかを算定したものである。よって、積載荷重値を評価する場合には物品の配置や室形状を考慮して、適当な分割数を設定し、平均物品重量を乗じて分割ゾーンごとの荷重強さの値を算定すればよい。なお、評価した積載荷重値を設計などに用いる場合には、この平均重量に確率的な考慮を必要とする必要がある。

そこで、住宅、ホテル客室、事務室を例として物品に対する積載荷重モデルを用いた積載荷重値を算定した。結果を図6に示す。

ここでは、建築物荷重指針・同解説<sup>10)</sup>における18㎡あたりの用途別平均重量を確率的に評価した非超過確率99%の値(図中、太い直線:平均物品重量の99%値)を平均重量として荷重強さを算定した(図中、太い曲線)。なお、用途別平均物品重量の平均値で算定した近似曲線(図中、細線)も同時に記載した。また、建築物荷重指針・同解説<sup>10)</sup>で提案されている設計値の根拠となっている解析の物品重量のみによる評価値(図中、点線:設計用積載荷重値〔物品〕)も記載して検討した。

設計用積載荷重値(物品)は、実測調査の荷重効果を算定した結果に、ばらつきを考慮して非超過確率99%で評価した値である。荷重強さの99%点の値で算定した今回の結果と比較すると、ホテル客室については荷重強さの分布状況よりも設計用の値が上まわる結果となっている。住宅および事務所では、端部の荷重強さが設計値を上回る場合もあるが、大枠として設計値の範囲内になった。

なお、この荷重モデルを使用して設計用の値を算出する際には、平均物品重量の値として、日常における偏在状態はもちろん、非日常なども考慮した上で算定する必要がある。

さらに、荷重モデルを検証するため、実態調査で得られている物品の配置状況における荷重効果と提案した荷重モデルにより算定した荷重効果を比較する。建築物荷重指針<sup>10)</sup>の評価と同様の解析条件を用いてFEM解析を行い、床板の応力・変位等を比較した。最大

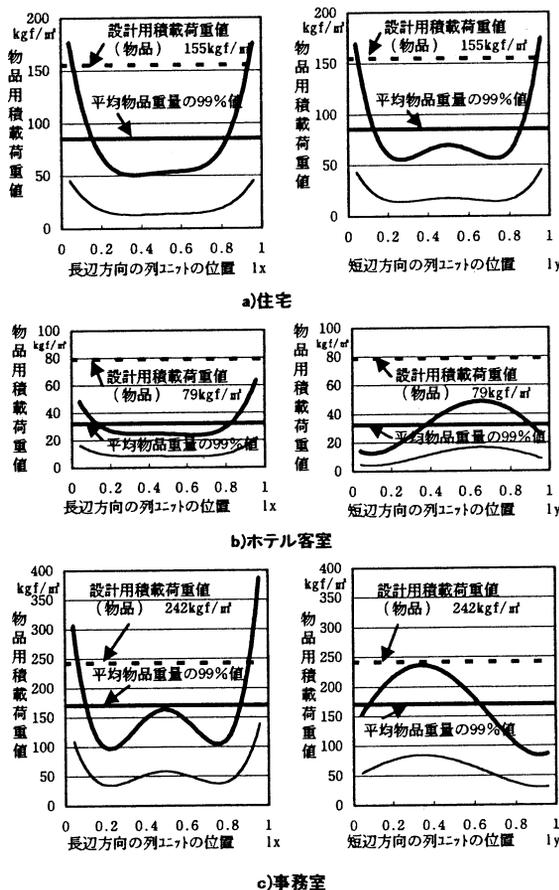


図6 用途別における荷重強さの計算例  
(実線は荷重強さの99%点, 点線は平均値による評価)

応力から換算した等価等分布荷重値を算定し、荷重モデルによる結果の実態調査結果に対する割合を算出した。結果の一部を図7に示す。

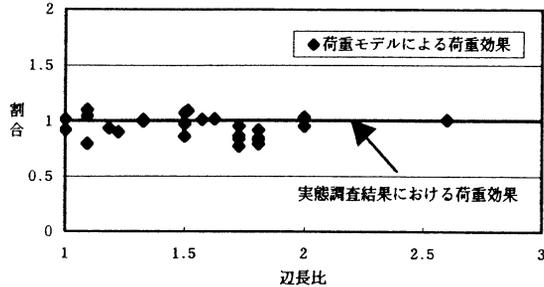


図7 実態調査結果と荷重モデルによる結果の比較(事務室の場合)

荷重モデルを用いて算定した最大応力による荷重効果は実態調査結果の0.8~1.2程度の値となっており、両者の整合性が見いだせる。なお、荷重効果の小さい中央部では多少誤差がみられるが、床板の端部における誤差はほとんどなく、比較的整合性が高い結果が得られた。

本研究では、各用途における物品重量を対象とした荷重強さのモデル化とその評価を試みた。その結果、用途ごとの荷重強さモデルと、対象室の実状に即した平均重量を把握することによって、各位置における積載物の荷重強さを算出することが可能となった。また、この方法で床スラブに対する設計用積載荷重値を算出することもできる。なお、この結果は大スパンの構造物を精度よく解析する際や、性能型設計におけるひび割れの確認時など、床の性能を評価する場合に広く使用することが可能である。

## 5.6 結論

設計用積載荷重値の設定は、基本的には実況に応じることとなっているが、建築基準法施行令第85条および日本建築学会の建築物荷重指針<sup>9)</sup>をはじめとする指針類において、この数値を使用してよいという用途別の荷重値が掲載されており、これらの数値が慣用的に用いられる場合が少なくない。これは、煩雑さを避けたいことや変化しうる可能性のある積載荷重の実状を設計時に想定するのが困難なことが理由の一端と考えられる。また、実際に各室に置かれる物品の総重量程度は想定できたとしても、その荷重効果を算定するための荷重強さが等分布以外で評価することが難しかったことも要因の一つとしてあげられよう。

本研究では、構造種別等で結果が異なる荷重効果の評価よりも汎用的な評価を求めて、物品荷重に対する荷重強さの分析を行い、そのモデル化を試みた。その結果をまとめると以下のようである。

- ①荷重強さの分布は用途ごとに異なる。特に住宅などの中央部に物品が少なく、壁際に大部分のものが置かれている用途と、教室や劇場など部屋全体に物品が配置され、比較的壁際のもが少い用途では荷重強さの分布傾向が大きく異なる。
- ②住宅における室種類ごとの荷重強さと住宅、事務室、書庫などにみられるように用途別の荷重強さを比較すると、用途による影響の方が明らかに大きな違いを生じる。
- ③入口や窓位置などの配置が荷重強さに影響する場合は用途によ

って異なり、本論文で対象とした用途の中では、事務室およびホテル客室が比較的影響を受けやすい結果となった。

- ④荷重強さモデルに確率的に評価した平均重量を乗することで、設計対象用途の荷重強さを想定することが可能となり、具体的な荷重分布を算定し、各用途の実状を考慮した設計を行うことが可能である。

これらの荷重強さモデルは、大スパンの構造物の解析やひび割れの確認を行う際に使用できることはもちろん、今後の性能設計、あるいは使用限界状態設計等において設計者が床の性能レベルを評価する場合にも有効であろう。

## 【謝辞】

本論文の分析に用いたホテル調査は日本建築学会積載荷重小委員会によるものである。また、教室の調査資料は東京理科大学平野道勝教授に提供していただいた。深謝する次第である。

## 【引用文献】

- 1) 北澤五郎, 福井武繼: 建物の動荷重の實測に就いて, 建築雑誌, pp. 91~104, 昭和7年9月
- 2) 田中美知, 石川孝重, 久木章江: 現行設計用積載荷重値の設根拠を探る—その1 歴史の変遷および平均重量—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 143~144, 1990年10月
- 3) 竹山謙三郎: 床の積載荷重に就て, 日本建築学会論文集, 第37号, pp. 12~16, 1948年4月
- 4) 杉山英男, 田中欣章: 最近の事務所建築における積載荷重についての調査研究, 日本建築学会論文集, 第165号, pp. 41~51, 昭和44年11月
- 5) 福知保長, 土井康生: 共同住宅における積載荷重の調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1161~1162, 昭和57年10月
- 6) 平野道勝: 教室の積載荷重調査例の報告, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1399~1400, 昭和62年10月。
- 7) 木下一也, 神田順: 事務所建築用積載荷重の確率・統計的分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 2449~2450, 昭和58年9月
- 8) 神田順, 木下一也: 事務室用積載荷重の空間相関, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 657~658, 昭和60年10月
- 9) 山村一繁, 神田順: 集合住宅用積載荷重の確率・統計的分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 37~38, 昭和61年8月
- 10) 山村一繁, 神田順: 商業施設用積載荷重の人間偏在荷重モデル 床版用等価等分布荷重について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 55~56, 昭和63年10月
- 11) 山村一繁, 神田順: 電算室積載荷重の確率・統計的分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 41~42, 1989年10月
- 12) 石川孝重, 田中美知: 住宅の積載荷重に関する研究—その1 100住戸に対する調査—; —その2 調査結果の分析並びに設計用基準値算定に対する試案—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1393~1396, 昭和62年10月
- 13) 石川孝重, 久木章江: ホテル客室の積載荷重に関する調査研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 5~8, 1989年度
- 14) 石川孝重, 久木章江: 積載荷重の評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 38B, pp. 31~38, 1992年3月
- 15) 久木章江, 石川孝重: 統計的手法による積載荷重の評価に関する研究—その1 等価等分布荷重の算定—; —その2 対象面積の違いによる効果—; —その3 人間荷重の解析ならびに総合評価—, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 1~12, 1991年度
- 16) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 1993年6月20日
- 17) 日本建築学会: 建築資料集成4 単位空間Ⅱ, 九善, 昭和55年10月10日

(1998年3月10日原稿受理, 1998年9月14日採用決定)