

積載物の偏在を考慮した積載荷重評価

—非日常状態を想定したシミュレーション—

EVALUATION OF LIVE LOAD CONSIDERING EFFECTS
OF UNEVENLY DISTRIBUTED LOAD

—Simulation assuming structural design for undaily situation—

久木章江**, 石川孝重*

Akie HISAGI and Takashige ISHIKAWA

This study was carried out to clarify the effects to floor slabs carrying unevenly distributed load and to define design live load tolerance level. Load effect due to unevenly distributed load is expressed by a coefficient of maldistribution. A value was calculated for floor slabs for a long side to short side ratio of one to four. The coefficient is affected by floor slab shape, level of maldistribution, floor slab area, and so on.

Moreover, the state of the live load on the floor slab was defined for an extreme or emergency situation. The coefficient of maldistribution under these states was calculated and clarified for various positions.

The effects of unevenly distributed load will clarify the design live load's tolerance level, and will be felt by the building user.

Keywords: Live load, Unevenly distributed load, furniture load, human load, design load, undaily situation

積載荷重, 偏在, 物品重量, 人間荷重, 設計荷重, 非日常状態

§ 1 はじめに

現在, 設計用の積載荷重値は等分布荷重として評価されている。この値の設定にあたっては, 1993年に改訂された当学会の建築物荷重指針・同解説¹⁾において初めて確率論をともなう荷重の評価方法を取り入れた。それ以前は調査結果における平均重量に集中係数を乗じる方法が用いられていたが, 設定根拠が明らかでないことと, 設定当時(昭和12年)と近年では家具等の種類も重量も異なっていること²⁾などから, 根拠を明らかにした新しい評価が求められたという背景もあった。また, 現在約50年ぶりに実施されている建築基準法の改正に伴い, 施行令においても同方法による評価結果が取り入れられる見込みである。

この設計用積載荷重値は, 実態調査の結果における荷重効果を算定し, その結果を統計処理して定めた値であり, 近年の積載荷重評価³⁾において用いられている方法でもある。これは, 一例としての調査データに対して確率・統計的な処理を行うことで荷重のばらつきが評価でき, 建物使用期間中に想定される短期的な偏在等を包含する値が設定できることになる。

これまでに実態調査⁴⁾⁵⁾を実施した床板に対して, 荷重効果の最大値を算定した結果, ほとんど全ての床板が設計値による荷重効果を下回る結果⁶⁾となっている。しかし, この値が実際には物品等の

どの程度の偏在状態や非日常の状況が包含できるのかという点については明らかにされていない。

今後の性能型設計において, 設計者が適切な荷重値を定めるためにも, 設計用積載荷重値が許容できる偏在の範囲などを明らかにしておくことが必要であると考え, これを本論文の目的とした。

§ 2 積載物の偏在が床板に与える影響

積載荷重は建物の使用期間中では常時床板に載荷されているが, その値は時間の経過や使用者, 用途変更などの諸要因によって容易に変化する。作用期間の分類では長期荷重となっているが, 建物の供用期間中には一時的に非常時の状態が起こる可能性がある。具体的には, 引越の際に一時的に物品が積み上がった状態や緊急避難時における人間の一時的な密集状態などが想定できる¹¹⁾¹⁰⁾。これらは物理的にも時間的にも積載物の偏在として考えることができる。

設計用の積載荷重値を算出する際にはこれらを考慮して統計的手法を用いているが, この値がどの程度の偏在状態を包含しているのかを把握し, 安全性を確認することは性能型の設計体系においても重要になる。

そこで, 本章では積載物の偏在が床板に与える影響について分析する。通常使用の範囲としての偏在状態から, 非日常時における偏

* 日本女子大学住居学科 教授・工博
** 文化女子大学生生活造形学科 専任講師・修士(家政学)

Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Dr. Eng.
Lecturer, Dept. of Living Arts, Bunka Women's Univ., M. H. E.

在状態までを対象として、この影響を明らかにしたい。荷重の偏在は偏在の程度と載荷位置、床形状に影響される。そこで、床スラブ上に存在する積載荷重の総重量が一定として荷重を偏在載荷させた。設計時の仮定と同様、等分布に載荷されている状態の最大応力を基本とした場合、偏在時の最大応力が何倍となるかを表した偏在影響係数を算定し、偏在の程度とその影響度合を把握する。

2.1 偏在の程度による影響

載荷する積載荷重の位置と偏在の程度を様々に変化させ、その際の応力が等分布載荷時の何倍程度の影響となるのかについて算定する。解析対象は矩形の4辺固定、辺長比1から4のRC造床スラブとし、対象応力は短辺、長辺両方向に対する正曲げモーメントおよび負曲げモーメントとする。応力算定時にはFEM解析を行った。

積載荷重の中でも物品荷重と人間荷重は性質が異なる。物品荷重は家具などの長方形荷重として面的に作用する。人間荷重は少人数の場合は集中荷重、大人数になると物品と同様、面的荷重と考えられる。ここでは偏在の影響を分析するため、長方形荷重が面的に載荷される場合のシミュレーション解析を行い、集中荷重は大きさの非常に小さい長方形荷重が載荷された場合と同等であると考えた。

偏在荷重は短辺・長辺の大きさ(K_x, K_y)および重心の位置(G_x, G_y)の4つのパラメータにより決定できる。ここで、積載物の偏在程度をどの程度まで考慮するかは議論となるところである。本論では第一段階としてシミュレーション解析により偏在荷重の影響を算定し、第二段階として実状との整合について述べる。

なお、偏在影響係数の算定は床スラブ1枚中の最大値で評価する場合と、床全体の値を算定する場合の2方法が考えられる。前者は設計値を評価する場合に用いるが、後者は床板の各所の影響度合および発生頻度などを評価する場合に適する。ここでは、基本的に後者を用いる。具体的には、床スラブの短辺・長辺両方向をそれぞれ分割し、全交点における偏在影響係数を算定した。これを統計処理して評価する。なお、分割数は影響を算定する偏在荷重の大きさのバリエーションに揃えて、10分割とした。

まず、長方形荷重が床板上を移動する場合の床板の影響を算定する。実際には、家具を想定すると荷重は壁付きの場合が多いため、①壁付きで1方向に偏在する場合、②壁付きで2方向に偏在する場合、③自由移動する場合の3方法に分化する。偏在シミュレーションの概念図を図1に示す。

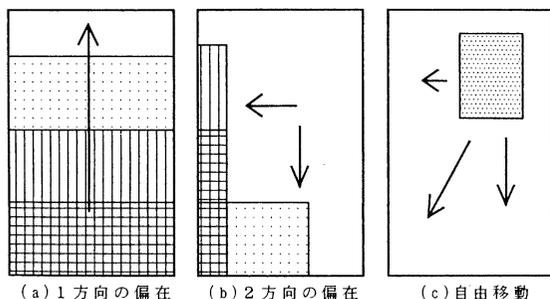


図1 偏在シミュレーションの概要

載荷する長方形荷重の大きさと位置は、床板の短辺・長辺長さの10分の1から1倍までの10段階の組み合わせを基本とする。

2.1.1 壁付き荷重が1方向に偏在する場合

まず、壁付きの荷重が1方向に偏在する場合の影響について解析した。これは図1(a)に示すように、1方向への荷重の偏在であり、載荷面積が床面積の10分の1から1倍までの10段階に変化させた際の影響を算定する。結果を表1および図2に示す。

載荷している壁付き荷重が1方向に偏在する状況とは、学校の教室やオフィス、会議室などにおいて掃除する際や催し物の練習時などに一時的に机や椅子等の家具を壁方向に寄せる場合が想定できる。

偏在影響係数は床板全体におけるばらつきとしては平均値が0.4程度で大部分が1以下となるが、床板ごとの最大値は辺長比によって異なる。4倍程度となる床もあり、部分的には10倍以上となる床板も存在する。変動係数も100%以上と大きく、非超過確率99%の値は短辺端部の負曲げモーメントで1.3~2.4倍程度となった。

辺長比が大きくなると偏在影響係数の最大値も変動係数も大きくなり、その影響は大きい。なお、かなり偏在した状態を想定しても、辺長比が1.0の場合の偏在影響係数は2倍を超えない結果となった。辺長比は偏在影響係数に大きく影響する可能性があるため、対象床によっては設計値の割増を必要とする場合も考えられる。

2.1.2 壁付き荷重が2方向に偏在する場合

次に、積載物が隣接する2方向の壁方向に偏在した場合の影響を算出する。具体的には図1(b)のような部屋隅部への偏在で、短・長辺両方向への偏在が5分の1から1倍までの5段階(載荷面積が25分の1から1倍まで)の組合せで解析した。これらは引越時などに物品を寄せて積み上げた状態や、人間が避難する時に部屋隅部の出口に集中する場合などに該当する。結果を表2および図3に示す。

1方向の偏在と比較すると平均値はあまり変わらないが、全体的に係数が大きくなる。辺長比や対象応力によっても異なるが、辺長比2.0の場合でも偏在影響係数が7倍程度のデータも存在する。また、長辺方向における変動係数も大きくなっている。なお、非超過確率99%の値は2~5倍程度である。

なお、偏在の程度は物品の専有面積にも影響される。住宅の調査結果⁹⁾において物品占有面積が床面積に占める割合を算出した結果、15%~45%の範囲内であった。同様に事務所の調査結果¹⁵⁾¹⁶⁾を調べた結果、物品専有面積の割合は10~50%程度であった。よって、評価の際にはこれらを鑑みて床面積の10%以上を偏在荷重の面積範囲と考えた。

また、ここで示した偏在影響係数は床の最大値ではなく、床全体のばらつきを考慮したものである。よって、この統計量から発生頻度を評価できると考えることもできる。辺長比1の場合、偏在影響係数2以上となる発生確率は、1方向偏在時は0%、2方向偏在時は0.3%となり、辺長比2の場合は1方向偏在時で3%、2方向偏在時で5%程度であった。

なお、偏在方法が1方向の場合も2方向の場合も辺長比による影響は大きい。特に辺長比が3以上になると、偏在影響係数が10を超える床スラブも発生するため、安全性の確認が必要になる。

2.1.3 偏在荷重が自由に移動する場合

さらに偏在荷重が壁付きとは限定せず、図1(c)に示すように床板上を自由に移動する場合について解析を行った。まず、載荷荷重を正方形とし、その一辺が短辺長さの10分の1から1倍という10段階(載荷面積が100分の1から1倍まで)を組み合わせで解析を行

表1 積載物が1方向に偏在した場合の偏在影響係数

対象応力	辺長比1.0		辺長比2.0				辺長比3.0				辺長比4.0			
	負	正	短辺負	短辺正	長辺負	長辺正	短辺負	短辺正	長辺負	長辺正	短辺負	短辺正	長辺負	長辺正
データ数	923	1057	930	951	758	1123	954	934	666	1215	950	941	782	1099
平均値	0.225	0.410	0.348	0.426	0.300	0.581	0.396	0.506	0.351	0.567	0.434	0.551	0.306	0.389
変動係数(%)	126.9	105.8	115.4	86.3	167.8	136.2	117.6	86.1	183.0	193.5	119.7	89.9	223.2	223.4
最大値	1.225	1.935	1.702	1.411	2.876	5.793	2.545	2.045	4.080	11.291	3.026	2.675	5.482	9.742
最適分布99%	1.329	1.999	1.858	1.580	2.404	3.698	2.155	1.871	3.095	4.744	2.405	2.106	3.360	3.577

注1) 短辺負、短辺正、長辺負、長辺正はそれぞれ短辺負曲げ、短辺正曲げ、長辺負曲げ、長辺正曲げの略である
 注2) 最適分布は正規分布、対数正規分布、第1種極値分布、ガンマ分布のうち、最も適合する分布形の結果である

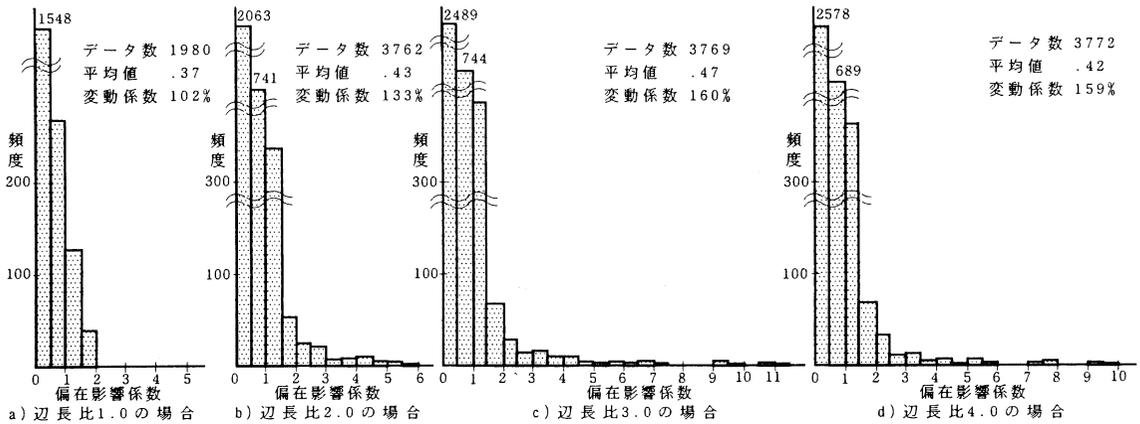


図2 積載物が1方向に偏在した場合の偏在影響係数の分布

表2 積載物が2方向に偏在した場合の偏在影響係数

対象応力	辺長比1.0		辺長比2.0				辺長比3.0				辺長比4.0			
	負	正	短辺負	短辺正	長辺負	長辺正	短辺負	短辺正	長辺負	長辺正	短辺負	短辺正	長辺負	長辺正
データ数	953	1438	796	1248	767	1324	832	1254	664	1494	818	1294	811	1329
平均値	0.294	0.466	0.437	0.420	0.297	0.724	0.515	0.487	0.357	0.668	0.588	0.520	0.361	0.440
変動係数(%)	152.5	93.6	116.6	101.5	205.5	142.7	118.9	109.2	225.7	199.1	118.9	119.3	232.5	225.2
最大値	2.178	2.145	2.548	1.901	3.953	6.735	3.641	2.585	5.323	12.069	4.855	3.571	5.959	8.979
最適分布99%	2.120	1.834	2.357	1.757	2.975	4.848	2.835	2.156	3.969	6.476	3.236	2.870	4.143	4.880

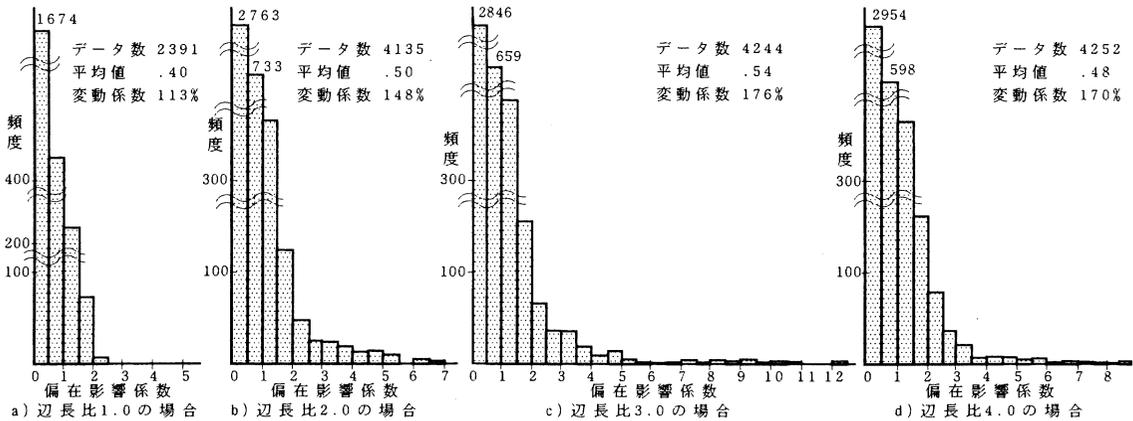


図3 積載物が2方向に偏在した場合の偏在影響係数の分布

った。さらに正方形荷重のみではなく、辺長比が1.5, 2.0倍の長方形荷重として偏在させた場合についても算定した。これらの結果からわかった点を以下に纏め、説明の一部を図4に示す。

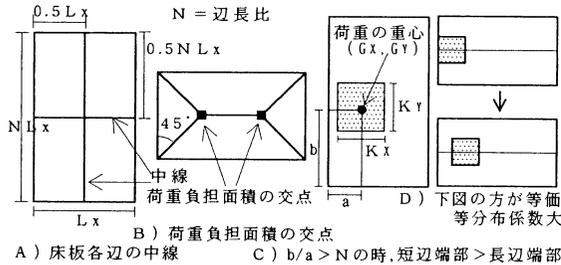


図4 自由に偏在した場合の偏在影響係数

- f) 大きさの等しい荷重が床板上を自由に移動する場合、偏在影響係数の最大値は各辺の中線上に存在する。〔図4 (A) 参照〕
- g) 長辺方向正曲げモーメントに対する偏在影響係数は、偏在荷重の重心が各梁の荷重負担面積の交点上に存在した際に最大値となる。〔図4 (B) 参照〕
- h) 負曲げモーメントに対する偏在影響係数の最大値は、各辺の端部に存在する。なお、荷重の重心からの距離が辺長以上に近い方が最大値をとる。〔図4 (C) 参照〕
- i) 負曲げモーメントに対する偏在影響係数は、偏在荷重が各辺に接しているときよりも、少しだけ離れた所に存在する場合が最大値となる。〔図4 (D) 参照〕
- j) 負曲げモーメントに対する偏在影響係数の値は、長辺方向で最大値となることが多いが、値のばらつきも大きいため、これら最大値は発生確率も小さい。しかし、短辺方向の場合はほぼ一定値となるため、これらの値は発生確率が大きいと考えられる。よって、基本的には短辺方向の負曲げモーメントの最大値を包含できる偏在影響係数を考慮することが望ましい。

h) 長辺方向端部曲げモーメントに対する等価等分布荷重では、長方形荷重を床の辺長比方向と平行に載荷した場合の影響が大きく、その他の対象応力に対しては、垂直方向に載荷した場合の影響が大きくなった。

h) 載荷面積が小さくなるほど偏在影響係数の値は大きくなる。

また、長方形荷重のような1型配置の荷重以外にもL型、平行型、コ型、ロ型、ヨ型、等分布(倉庫)型などの配置に対する解析を行ったが、結果として長方形荷重の場合よりも偏在影響係数は小さく、安全側の値となった。載荷面積が広がると荷重の集中効果は緩和されるため、偏在影響係数に影響を与えるのは、一部に集中する長方形(正方形を含む)荷重での載荷であることがわかる。

偏在荷重による影響は、条件次第で等分布荷重時の10倍以上になる可能性があることがわかる。しかし、これはあくまで解析上のシミュレーションであり、これが実際の床スラブでどこまで起こりうる範囲であり、どこまで起こる可能性の少ない範囲であるかが明確でない。また、その状況も用途や想定する状況によって異なると考えられる。

2.2 評価方法の違いによる影響

前項において、辺長比の違いによる影響について述べたが、辺長比の違いにより対象応力の違いも顕著になる。そこで、対象応力別の偏在影響係数を算定した。辺長比4.0の場合の結果を図5に示す。

短辺方向の応力の方が全体的な値も平均値も大きい結果となった。ばらつきは長辺方向の結果が大きいため、統計処理を行うと値がさらに大きくなる。なお、辺長比が大きくなるほど変動係数の値も大きくなる傾向がある。

これまで示した偏在影響係数は床板の最大値ではなく、部屋の一边を10分割した際の交点である一床板121点の値を評価対象とした結果である。この結果からは発生頻度を評価することも可能となるが、設計用の値を評価する際には床板ごとの最大値を統計処理する方法が適切である。そこで2方向の偏在シミュレーション結果を床板ごとの最大値で評価した。結果を図6に示す。

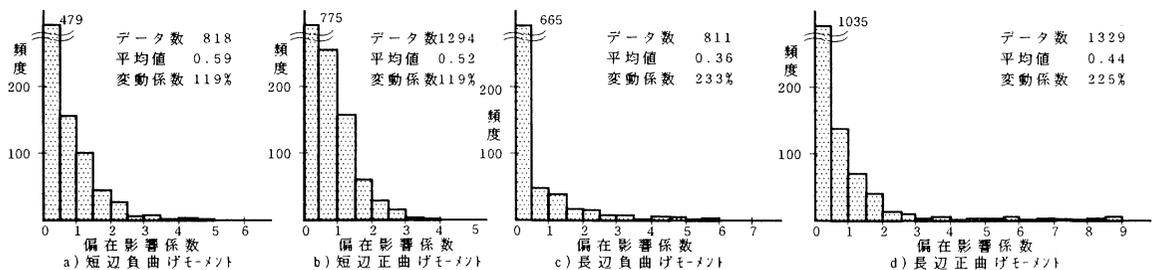


図5 対象応力の違いによる偏在影響係数の分布(辺長比4.0の場合)

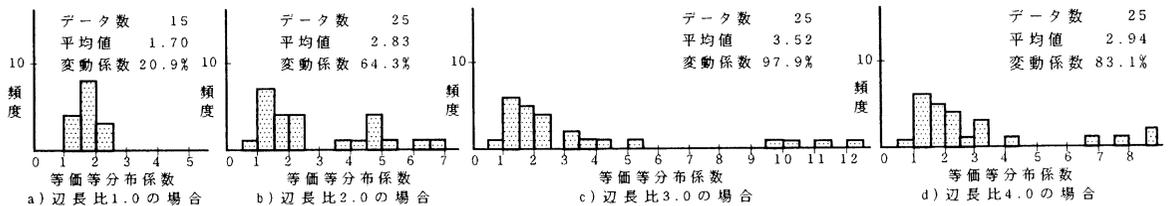


図6 床板最大値で評価した場合における2方向偏在時の偏在影響係数の分布

図3と比較すると平均値は大きく、変動係数は小さくなっている。また、対象応力ごとに偏在影響係数の値は異なるが、辺長比が大きくなるとその違いは顕著となった。なお、偏在影響係数の最大値は長辺方向正曲げモーメントで発生する。発生頻度を考慮すると床板の1ヶ所がひび割れる程度と考えられるため、設計時にはこのような発生頻度の小さい最大値を包含する必要性は少ないと考えられる。

なおこれらの結果は偏在荷重の大きさに影響しないが、偏在荷重が大きくなると対象応力による差は小さくなる。結果を図7に示す。

辺長比が大きくなると偏在影響係数が大きくなり、これらの影響は無視できない。配筋次第で部分的に亀裂などが多発する床も存在する可能性があるが、特に影響が大きいのは長辺方向であり、力の分散によっては影響は小さくなる。

2.3 載荷面積の違いによる影響

偏在の度合と荷重の載荷面積の影響は大きく、これが偏在影響係数の最大値を決定する要因ともなる。特に、床板上を自由移動する偏在荷重の影響を調査した結果では、偏在荷重の面積が小さくなるほど、等価等分布荷重の値は大きくなった。載荷面積と偏在影響係数との関係をプロットしたのが図8である。

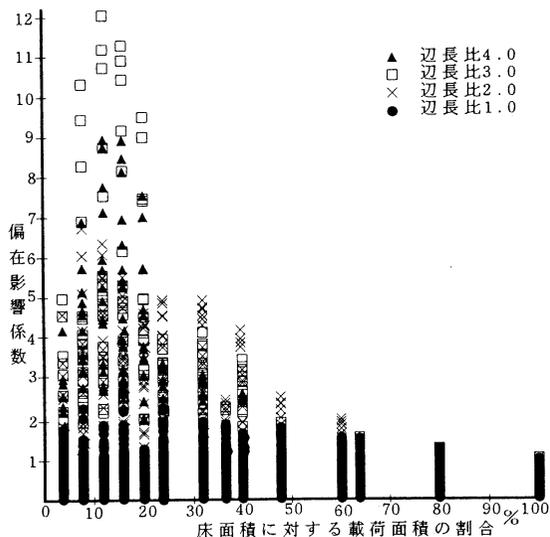


図8 積載物の載荷面積と偏在影響係数との関係

載荷面積が床面積の50%以下の場合、偏在影響係数に与える影響が大きいことがわかる。また、最大値は載荷面積が小さい場合に

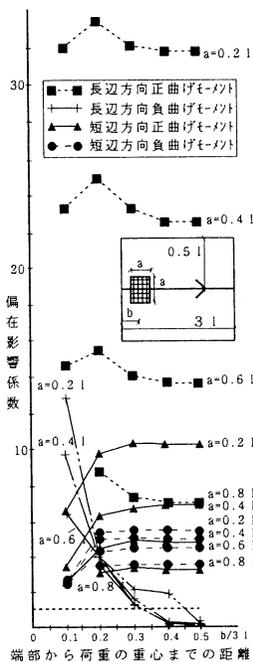


図7 床板中央を移動する偏在荷重の偏在影響係数最大値(辺長比3.0の場合)

発生するが、偏在荷重が壁付載荷の場合は、載荷面積が床面積の10%~20%程度の時に最大値となった。人間荷重のように載荷面積が小さい場合は、積載物の総重量が小さいため、実際に床板に与える影響は小さい。なお、載荷面積が50%以上になると、どの辺長比でも、偏在影響係数の値が2倍を超えないことがわかる。

§3 偏在状態の実状

前章ではシミュレーションによる偏在荷重で床スラブへの影響を明らかにした。本章では各偏在状態と実態との関係を分析し、設計時に簡易な判断が可能となるよう、荷重値の包含できる偏在状態など、位置づけを明確にした。

常時の設計時には等分布で評価している積載荷重であるが、実状では形状・重量の異なる荷重が様々な位置に載荷され、様々な程度に偏在している。偏在状態には、積載物が少々ばらついて載荷されている程度の軽度な偏在から、ある一カ所に集中載荷されるような重度の偏在など広範囲の状態が考えられる。しかし、偏在状態の発生頻度や偏在時間も含め、用途や状況、ユーザーなどによって使用状態も積載量も異なるため、一定値には定まらない。またどこまでが日常の範囲で、どこからが非日常の範囲の偏在状態であるかについても定めにくい。したがって、設計時に使用した設計値がどの程度の状態までを包含するのかについてを明らかにし、設計者はもちろん、ユーザーにも明示することが今後は必要となる。

そこで、まず積載荷重の状態と偏在の度合について考えられる状態について整理した。床に対する影響を荷重効果として算定し、各々の偏在状態がどのような荷重効果の位置づけになりうるかの範囲を図示し、本論文における各種状態の定義を表3のように考えた。

前論文¹⁹およびこれまでの一連の積載荷重評価⁷⁻¹⁰は、「日常使用状態」を評価したものである。「非日常状態」の検討の必要性は以前から考えられ、シミュレーション結果から統計処理を行う研究などは行われていた¹¹⁻¹⁶が、偏在状態の度合とその影響を明確にした研究はない。その結果は設計時の判断資料としても役立つものと考えられ、本論文で明らかにしたい。

なお、用途変更する場合や重量の特殊な家具を使用する場合などは評価対象外とした。これらについては、その際に設計者が安全性の確認を行う必要がある。また施工時荷重などでスラブ断面が決定する場合は設計値が竣工後の用途に対するものより大きくなる場合もあるが、この場合は「その他」に分類し、評価対象から除いた。

次に、表3で整理した非日常状態について偏在の度合とその影響の関係を明らかにする。まず具体的な非日常の状態について偏在の度合も含め、用途ごとに想定した。詳細を表4に示す。

各状態ごとの積載荷重値は、実態調査結果をもとにした資料を使用するため、建築物荷重指針・同解説¹¹および文献¹²の値を使用している。なおこれらは辺長比1~2程度を対象としており、辺長比が大きい場合にはさらに辺長比の影響を考慮する必要がある。

表4で想定した非日常状態における床板の影響を荷重値として評価した。結果を図9に示す。

設計用積載荷重値を算定する際には、物品荷重と人間荷重の両者を考慮する必要がある。これらは時間的変動が異なる確率量であるため、偏在する時間も偏在の度合もそれぞれ独立して考えることとしたが、Turkstraの考え方¹³を考慮しても両者が同時に非日常の偏

表3 積載荷重の載荷状況に対する状態の位置づけ

状態の分類	← 日常生活状態 (通常使用時) →		← 非日常生活状態 (非常時) →		← 確認必要【評価対象外】 (危険発生の可能性が有る) →		その他	
	① 通常使用範囲 (軽偏在を含む)	② 特異使用範囲 (軽偏在を含む)	③ 通常使用範囲 (大きな偏在)	④ 特異使用範囲 (大きな偏在)	⑤ 多量重載荷 (床一枚に対し)	用途変更		超特殊量の家具使用
積載荷重による実状の荷重効果 (等価等分布荷重)	↑ ↓		↑ ↓		↑ ↓		↑ ↓	
指針値	↑ ↓		↑ ↓		↑ ↓		↑ ↓	
実設計値	↑ ↓		↑ ↓		↑ ↓		↑ ↓	
崩壊荷重	↑ ↓		↑ ↓		↑ ↓		↑ ↓	
状態の説明 および具体例	・通常に使用している状態であり、日常の使用状態について実態調査を行った結果の大部分はこの状態に相当する	・実際に使用されている状態であるが、実態調査結果からは特異値と異なるような重量の積載荷重が載荷されている状態	・引越時に室内の物品のみを荷造りした状態・模様替えのため、一時的に物品を寄せ集めた状態・ある商品の前に人だかりが発生した状態	・引越時に別室の物品を含めて荷造りした状態・バーゲン会場などで多数の人間がひしめき合っている状態・ウオーターベッドなどの重量家具を使用した場合	・部屋におけるこの多量な荷物を積み上げた状態・避難時に人が一方所に押し寄せた状態・立見もいる会場場で全員がジャンプした状態	・持ち主変更、その他の事情により室内用途を変更した場合。たとえば事務室を事務目的で使用する場合でも書庫、倉庫、電算室などの性質で使用する場合に相当する	・建設時には存在していなかった新たな荷重やこれまで以上に重量の家具等を使用する場合	・構造種別によって、使用中の積載荷重値より施工時の機械重量などの方が重い場合もある

注1：指針値と実設計値は一致する。あるいは実設計値の方が小さくなる場合もある。
 注2：短期と長期は材料安全率に含まれること、時間の概念が定まらないことにより、ここでは分化しない

表4 非日常を想定した荷重状態 (辺長比1~2を想定)

番号	種類 (数値は状態の定義)	用途	対象荷重	通常使用範囲 平均荷重 (kgf/m ²)	通常使用範囲の等価等分布荷重 最大値 (kgf/m ²)	非日常生活の等価等分布荷重 [偏在影響係数]	状態の詳細
a	引越時④	住宅	物品	0~90	160(180)	350	引越のダンボール(1個25kg、45×32×H31)が2個積み上がった状態
b	模様替え③					180[2]	模様替えて一時的に家具が偏在
c	重量家具④					180[2]	寝室(8畳)でウオーターベッド(400kgf)を2台使用
d	引越時⑤	事務所	物品	0~160	240(260)	560	引越のダンボール(1個20kg、45×32×H31)が4段積み上がった状態
e	模様替え③					320[2]	模様替えて一時的に家具が偏在
f	重量家具④					320[2]	可動式書架(300kgf)を15列使用(6mスパンとして)
g	イベント③	教室	物品	15~20	30(290)	120[6]	教室の隅に机と椅子を積み上げた状態(1方向壁付き偏在、10分の1)
h	災害時倉庫⑤					700	避難所の倉庫として使用(救護物資の箱1個20kgが5段積み上げ)
i	多量家具④					160[4]	文化祭等で他教室の物品が搬入
j	イベント④	教室	人間	50~90	100(290)	300(5人/m ²)	文化祭などで多人数が入場、エレベータの定員程度
k	災害避難所③					180(3人/m ²)	災害時避難所として他人数が使用。床座のため立位より密度が低い
l	緊急避難⑤					600(10人/m ²)	災害発生時の緊急避難で人が集中。慣れた場所でパニックは発生しない
m	コンサート観客④	劇場	人間	70~100	300(290) 消防法により最大で5人/m ²	600(衝撃力2倍)	コンサート会場で客が観客のりぞんがしている状態。衝撃荷重が体重の約2倍
n	緊急避難⑤					600(10人/m ²)	災害発生時の緊急避難で人が押し合いながらも徐々に退出する状態
o	パニック時⑤					900(15人/m ²)	避難時のパニックで人が殺到し、うめき声なども発生した状態

注：通常使用範囲の数値は全て文献¹⁾による。なお、等価等分布荷重最大値の欄の()内は積載荷重の設計用略算値である。

在状態となる可能性は低いため、積載荷重値の算定時には下記(1, 2)のように影響の大きい積載物における非日常の偏在状態と、影響の小さい積載物の通常使用状態を考慮すればよいと考えた。
 物品荷重主体の用途 = 平均物品重量 × 偏在係数 (非日常生活状態)
 + 平均人間重量 × 偏在係数 (通常使用状態) …(1)
 人間荷重主体の用途 = 平均物品重量 × 偏在係数 (通常使用状態)
 + 平均人間重量 × 偏在係数 (非日常生活状態) …(2)

図9は平均重量を最大値で計算しているため、平均的な荷重載荷の床スラブではより安全側になる。結果より、模様替えなどの室内家具移動や平均重量が通常使用範囲内となる場合の重量家具使用については、現行の設計値がほぼ包含していることがわかり、これらが現行の設計用積載荷重値の許容範囲となっていることがわかる。
 一方、通常使用時の室内の積載物に関係なく段ボールなどが積み上げられたり、人間の密な集中や衝撃力については包含できない可

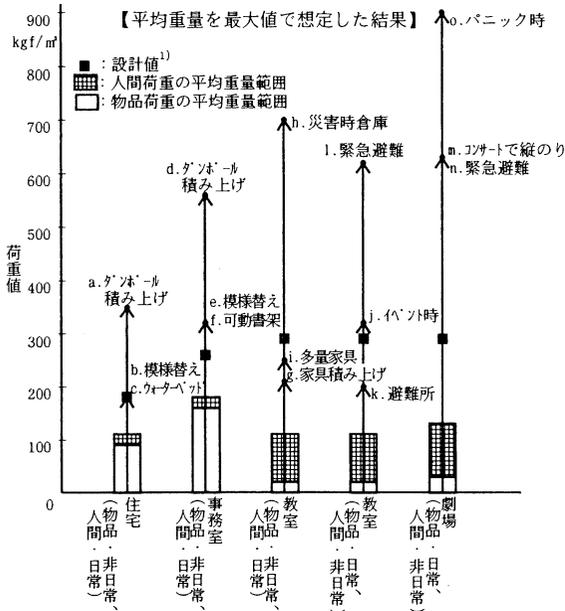


図9 非日常状態における積載荷重値

能性もあることがわかる。これらの状態があらかじめ想定できる場合には設計値を割増す必要があるが、それ以外の場合にはこれらの使用許容範囲について設計者が把握することはもちろん、ユーザーにも表示することが必要になる。

なお、大きく偏在する室は平均重量が少ないことから結果的には安全側になり、平均重量が多い場合は物品専有面積が50%以上になる可能性が高く、その場合の偏在影響係数は辺長比が4以下の場合では2倍を超えなかった。通常使用状態における平均重量の最大値の2倍程度が、大部分の非日常状態を包含する値となる。

5.4 結論

設計用積載荷重値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¹⁾等において用途別の荷重値が掲載されており、この数値が慣用的に用いられる場合が少なくない。この数値自体は実態調査結果をもとに統計的評価を行ったものであるが、その値の包含する偏在状態などの範囲は明確でない。今後は性能型設計など設計の多様化に向けて設計判断用の各種資料が必要になると考えられるが、現段階では設計用積載荷重値を増減する判断材料についても不足している。

本論文では、2章においてシミュレーションによって荷重の偏在による影響を明らかにし、3章においては想定できる非日常状態に対する設計用の積載荷重値を検証した。これらの資料を用いて性能型設計を行う場合は、偏在荷重そのものの影響を鑑みて算定することも可能であり、試算結果と経験的判断により適切な設計値を定めることも可能である。なお、得られた結果を纏めると以下のようである。

- ①床スラブの偏在荷重による影響は偏在の度合、偏在荷重の位置や載荷面積、辺長比などの床形状により影響され、辺長比が3以上の場合は安全の確認が必要になる。
- ②偏在の載荷面積が小さいほど偏在の影響は大きい、その発生

確率および平均重量は小さい。

- ③偏在の載荷面積が、床面積の50%を越える場合、その影響は平均重量の2倍を超えない。
- ④設計値が包含している偏在状態とは、引越等一時的に家具を寄せる程度である。なお、重量家具の使用にあたっては、実態調査結果における平均重量の最大値程度となる増加については包含している結果となった。
- ⑤非日常状態における影響が設計値を上回るのは、用途内の積載物に関係なく、段ボールを積み上げた場合や、人間が集中した場合である。これらの状態の程度次第では設計値を大きく上回る場合もあるので、安全に対する確認をすると共に、ユーザーに対してもこれらの情報を示す必要があろう。

積載荷重値が床スラブに与える影響は、荷重自体の変動のみでなく、偏在状態および床形状によって異なる。今後の設計者はこれらを把握し、必要に応じてユーザーへ許容積載重量や許容使用人数などを説明することなどが、今後求められることになると考えている。

【引用文献】

- 1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，1993年6月20日
- 2) 石川孝重，久木章江：現行設計用積載荷重値の設定方法の検証，日本建築学会関東支部研究報告集（構造），pp.1~4，1990年度
- 3) 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（北陸），pp.2449~2450，昭和58年9月
- 4) 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（北海道），pp.37~38，昭和61年8月
- 5) 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（関東），pp.55~56，昭和63年10月
- 6) 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（九州），pp.41~42，1989年10月
- 7) 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
- 8) 石川孝重，田中美知：住宅の積載荷重に関する研究-その1 1000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（近畿），pp.1393~1396，昭和62年10月
- 9) 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（構造），pp.5~8，1989年度
- 10) 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（近畿），pp.1399~1400，昭和62年10月
- 11) 神田順，木下一也：事務所用積載荷重の物品偏在荷重モデル，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.1021~1022，昭和59年10月
- 12) 久木章江，石川孝重：実態調査に基づく人間荷重の評価について，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.947~948，1993年9月
- 13) 石川孝重，久木章江：積載荷重の偏在が評価値に及ぼす影響に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp.217~218，1992年8月
- 14) 石川孝重，久木章江，他：設計における積載荷重の評価に関する研究-その1 偏在荷重の床スラブに対する影響-；-その2 スラブの辺長比および荷重の載荷面積による影響-；-その3 積載荷重の評価方法に対する提案-，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.25~30，1996年9月
- 15) 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，日本建築学会論文報告集，第165号，pp.41~51，昭和44年11月
- 16) 久木章江，石川孝重：積載物に対する用途別荷重強さモデルの評価，日本建築学会構造系論文集，第516号，pp.45~50，1999年2月
- 17) 日本建築学会：建築資料集4 単位空間II，丸善，昭和55年10月10日
- 18) Turkstra, c. j.: Theory of structural Design Decisions, Solid Mechanics Study No.2, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 1972

(1998年12月8日原稿受理，1999年2月26日採用決定)