

人が集団で建物に加える力を把握するための実験研究 (その3)

正会員 ○ 世古 佳史<sup>1</sup>  
同 岩井 今朝典<sup>2</sup>  
同 直井 英雄<sup>3</sup>

■研究目的■

壁や手摺などの各部構造の設計に用いることを目的として、建物に加えられる人の力を測定し、荷重値の提案を行った研究は、過去に何編か発表されている(文献1~4)。しかし、複数の人間が同時に加力した場合の力、特にばらつきの把握については、必ずしも十分ではなかった。このため、工学的な扱い、特に安全率の設定などの妥当性には若干疑問を残すものであったといえる。そこで本研究では、昨年度までの研究(文献5、6)に引き続き、集団になった時の人の力をより精度高く把握するため、「縦に並んで加力した場合」「横に並んで加力した場合」の二種類について、回数を十分に増やした実験を行い、それぞれの場合の人の力とそのばらつきをより厳密に把握した。さらに、この2通りの加力方法における荷重の増加傾向を捉えることにより、集団でのあらゆる加力条件の場合における予測荷重値の算定方法を得ることを目的とした。

■実験方法■

(1) 実験装置; 実験装置を図1に示す。加力部に丈夫な平面板を用い、床は合板敷きとした。

(2) 測定方法; 加えられた力はロードセルによって感知し、動歪測定器を通してデータアナライザーにより記録した。なお、過去のデータと同一の条件で照合できるように、体を接した状態からの瞬間最大力を測定値とした。

(3) 測定項目; 加力方法は、前(加力方向)のみ壁とした片側開放状態で、縦に並んだ場合と横に並んだ場合について加力した。(図2-1.2)加力人数は、人体に危険の及ばない範囲とし、1人~4人までとした。

■実験結果及び考察■

(1) 実験結果一覧; 図3に実験結果の一覧を示す。

(2) 縦にならんで加力した場合の荷重値の予測; 図3を見ると加力人数が増えても、一人当たりの負担する力は減少していくことがわかる。集団での一人当たりの荷重値を推定してみると、1番後ろの人は一人で加力した時と同じ力で押せるものと思われる。二人で押す場合、先頭の人は一人で加力する時よりも後ろからの加力により上体がつぶれて押しづらくなり、このため、一人の時のおよそ0.38倍の力となる。三人で押す場合、先頭の人は真ん中の人より更に押しづらくなり、一人の時のおよそ0.27倍の力となる。同様に四人で加力した場合、先頭の人はおよそ0.27倍の力となる。このデータを用い、かつ後ろから3番目以降の人の荷重

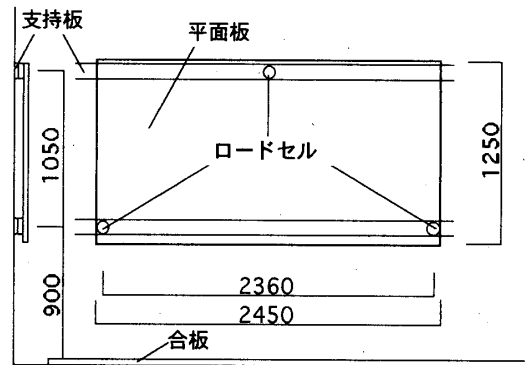


図1 実験装置

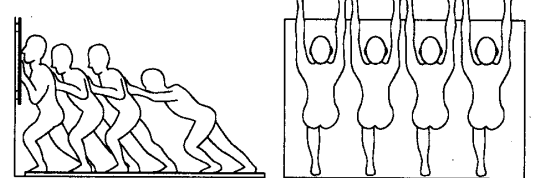


図2-1 加力方法 (縦に並んだ場合)

図2-2 加力方法 (横に並んだ場合)

加力項目	被験者	測定値 (kgf)			
		100	200	300	400
個人加力 (開放状態で)	A	→	→	→	→
	B	→	→	→	→
	C	→	→	→	→
	D	→	→	→	→
	E	→	→	→	→
	F	→	→	→	→
	G	→	→	→	→
	H	→	→	→	→
	I	→	→	→	→
	J	→	→	→	→
	K	→	→	→	→
集団加力 (縦に並んで加力)	A+B	→	→	→	→
	E+F	→	→	→	→
	E+G	→	→	→	→
	F+G	→	→	→	→
	E+H	→	→	→	→
	F+H	→	→	→	→
	G+H	→	→	→	→
	A+B+C	→	→	→	→
	E+F+G	→	→	→	→
	E+F+H	→	→	→	→
	E+G+H	→	→	→	→
	F+G+H	→	→	→	→
A+B+C+D	→	→	→	→	
E+F+G+H	→	→	→	→	
集団加力 (横に並んで加力)	A+B	→	→	→	→
	A+C	→	→	→	→
	A+D	→	→	→	→
	B+D	→	→	→	→
	C+D	→	→	→	→
	I+J	→	→	→	→
	I+K	→	→	→	→
	I+L	→	→	→	→
	J+K	→	→	→	→
	J+L	→	→	→	→
	K+L	→	→	→	→
	A+B+C	→	→	→	→
A+B+D	→	→	→	→	
A+C+D	→	→	→	→	
B+C+D	→	→	→	→	
I+J+K	→	→	→	→	
I+J+L	→	→	→	→	
J+L+K	→	→	→	→	
I+K+L	→	→	→	→	
個人加力 (閉鎖状態で)	A+B+C+D	→	→	→	→
	I+J+K+L	→	→	→	→
凡例		→	→	→	→
		→	→	→	→

図3 実験結果一覧

値の低減率を一定と勘案すると、その低減率は0.87と予測できる。すなわち、後ろから2番目以降の人（ $n$ 番目の人）の荷重値は、一人で加力した場合のおよそ $0.38 \times 0.87^{n-2}$ と予測できる。

また、標準偏差を平均値に対する比で見ると、 $\sigma/N \approx 0.08$ となっているので、標準偏差は平均値 $\times 0.08$ と、とることにした。以上の考えで、予測値を表示したものが図4である。これを見ると、実測平均値は予測平均値にほぼのっており、測定値の幅も予測平均値 $\pm$ 標準偏差 $\times 3$ の中に含まれているので、この予測値を用いて検討することに問題がないと思われる。

(3) 横にならんで加力した場合の荷重値の予測；図3を見ると、荷重値は人数の増加に従って直線的に増加していくと予想できる。そこで、荷重の平均値については、実験データの回帰直線( $Y=79.4X+26.0$ )によって予測することにした。

標準偏差については、縦にならんで加力した場合同様、平均値に対する比で検討すると、 $\sigma/N \approx 0.07$ であるが、4人で加力した場合の $\sigma/N$ を見るとかけ離れたものとなっているため、安全を見て最大の比をとり、 $\sigma = N \times 0.11$ とした。以上の考えで、予測値を表示したものが図5である。この場合も、縦の場合と同様、実測値が予測値の幅にほぼ納まっている。

(4) 縦・横に並んで加力した場合の荷重値の予測；縦に並んだ場合と横に並んだ場合の合成方法として、文献6と同様の方法をとることとするが、数値などのデータは今回の報告の結果を用いる。ばらつきについては、文献5でこれまでの測定値がほぼ正規分布に従うことが実証されているので、正規分布の加法性ののっとり、合成値は次の式によった。

$$(\sigma/N)^2 = (\sigma_{\text{縦}}/N_{\text{縦}})^2 + (\sigma_{\text{横}}/N_{\text{横}})^2 = (0.08)^2 + (0.11)^2 = (0.14)^2$$

図6は、5人で加力した場合の考えうる組み合わせに対して、平均値と標準偏差を算出したものである。なお、文献2における実験データの値( $N=335\text{kgf}$ )と、今回の研究における予測値( $N=453\text{kgf}$ ,  $\sigma=63\text{kgf}$ )を比較してみると、実験データは、今回の予測値の $-1.9 \times$ 標準偏差あたりの値となるが、これは、今回の実験において、集団加力の際に力になるべく逃げないよう実験の条件を整えたことが大きく効いた結果と思われる。

■まとめと今後の課題■

以上より、考えられるあらゆる並び方の集団加力について、ばらつきを含めた荷重値の予測方法が得られた。今後は、更に広く過去の実験データとの照合を行い、妥当性について検証する必要がある。なお、本研究は平成6年度東京理科大修論生関谷知之氏と卒研生横瀬宏氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

- 参考文献—
- (1) 松下清夫・和泉正哲；建築物に加わる外力及び荷重に関する資料その6 (日本建築学会論文報告集第56号・昭和32年6月)
  - (2) 松下清夫・和泉正哲；建築物に加わる外力及び荷重に関する資料その7 (日本建築学会論文報告集第57号・昭和32年7月)
  - (3) 宇野英隆・直井英雄他；人間が建物におよぼす諸力に関する実験的研究—手すりの場合— (日本建築学会大会学術講演梗概集1977年)
  - (4) 遠藤佳宏・直井英雄・宇野英隆；建物に作用するヒトの力に関する研究その1 (日本建築学会論文報告集第298号・昭和55年12月)
  - (5) 田中研・岩井今朝典・直井英雄；建物に作用する人のばらつきを把握するための実験 (日本建築学会大会学術講演梗概集・1992年)
  - (6) 関谷知之・岩井今朝典・直井英雄；人が集団で建物に加える力を把握するための実験研究 (日本建築学会大会学術講演梗概集・1993年)

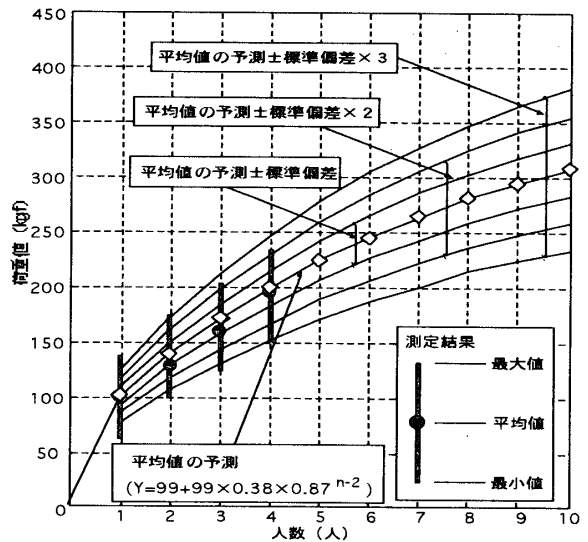


図4 荷重値の予測 (縦に並んだ場合)

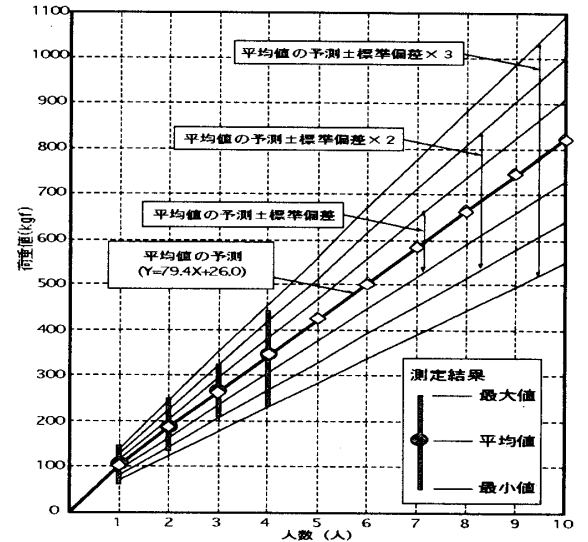


図5 荷重値の予測 (横に並んだ場合)

5人で加力した場合の組合せ	平均値と標準偏差
	$N=223(\text{kgf})$ $\sigma=223 \times 0.08=18(\text{kgf})$
	$N=423(\text{kgf})$ $\sigma=423 \times 0.11=47(\text{kgf})$
	$N=(137+99+99) \times 0.79$ $=343(\text{kgf})$ $\sigma=343 \times 0.14=48(\text{kgf})$
	$N=(137+137+99) \times 0.79$ $=295(\text{kgf})$ $\sigma=295 \times 0.14=41(\text{kgf})$
	$N=(169+137) \times 0.79$ $=242(\text{kgf})$ $\sigma=242 \times 0.14=34(\text{kgf})$
	$N=(198+99) \times 0.79$ $=235(\text{kgf})$ $\sigma=235 \times 0.14=33(\text{kgf})$

図6 五人で加力した場合の予測荷重値の算定例

\* 1 東京理科大学大学院 Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Eng. Science Univ. of Tokyo.  
 \* 2 東京理科大学助手 Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Eng. Science Univ. of Tokyo.  
 \* 3 東京理科大学教授・工博 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng. Science Univ. of Tokyo, Dr.Eng.