設計用風荷重の決め方について

田中　尚・花井　正実

風害による家の損失をなるべく少なくするためには，どのような設計荷重をえらぶのがよいか，壺と玉のゲームを用いてやさしく解説している．

1. は じ め に

日本は地震，火災，風水害と三者ともに世界でも有数の災害国といわれている．その中でもことに風水害の占める割合は非常に大きく，家屋の損害では全災害の 60〜70%に及んでいる．これらの被害高の見積りは大変困難なことであるが，1950 年現在に直して風水害被害高は大体年平均にして 2000 億円に上るといわれている[1]．

さて，このような災害国日本にあって，なるべくお金をかけないで災害を防ぐことは，そう簡単な話ではない．ここでは特に風による家の被害を少なくするには，どのような設計荷重をえらんで設計すべきであるかについて考えてみることにする．

まず，現在の設計はどのように行なわれているかというと，設計荷重として，過去に観測された最大風速による風圧力をとり，この圧力がかかったとき，家の構造の各部が弾性的に挙動するものとして，その際生じた応力度が許容応力度内におさまるように，部材の大きさを決めるといった方法――これを弾性設計法と呼ぶ――である．しかしながら，この設計法には二つの面で難点がある．その一つは，設計荷重として，過去の記録の最大値をとるという方法のもつ矛盾であり，他の一つは，弾性設計法の内蔵する矛盾である．

現在の設計用風荷重は，昭和 9 年 9 月の室戸台風のとき，大阪の気象台で観測された，瞬間最大風速 60 m/sec という値に基礎を置いている．ところがその後の伊勢湾台風，第 2 室戸台風では，数地点においてこれを超える値が記録されており，ことに室戸岬では風速 85 m/sec にも達している．したがって，過去に起こった風速の最大値を設計荷重にとるのでは，風が吹くたびに設計荷重を更新しなければならない．つまり，このような設計荷重の決め方には，あまり本質的な意味はないことがわかる．

一方，弾性設計法は必ずしも強度を明確にしない設計法である．すでに指摘されているように，その使用法をあやまると，“補強したら弱くなったり，弱い材料を使えば強くなったりする”[2] といった奇妙な結果になることがある．このような，欠点を除くために，最近では構造物の設計は塑性設計法にとってかわられようとしている．この塑性設計法というのは，弾性設計法における材料安全率のかわりに，安全率として荷重係数というものを用いる．つまり，材料の応力度は強度一ぱいまでとり，設計する家の強さを使用荷重の何倍かにしておく（この倍数を荷重係数と呼んでいる）という方法である．この方法によると家の強さはたいへん明確になる．構造の各部の応力度から家の強さを論ずるかわりに，家の強さそのものを直接にとりあげようという，たいへん素直な考えである．

ところが，もう少し深く考えてみると，この方法にもまだまだ問題がありそうである．設計の目的は決して家の強さそのものではなく，最終の目標は，家が風に対していかに安全であるかということである．風によって家が倒れるのは，風の強さが家の強さをこえたとき起こる．たとえば，いま基準風荷重 $w=100\,\mathrm{kg/m^2}$ に対して，荷重係数 λ を 2 と 1.5 にとり，それぞれ $w_o=200\,\mathrm{kg/m^2}$ と $150\,\mathrm{kg/m^2}$ で倒壊するような二通りの設計をしたとする．もし，たまたま $170\,\mathrm{kg/m^2}$ の強さの風が起こったとすれば，$\lambda=2.0$ のものは安全であり，$\lambda=1.5$ のものは倒壊する．荷重係数の比にしては $\dfrac{2}{1.5}=1.33$ であるが，安全性が 1.33 倍あるのではなく，片や安全，片や倒壊であって，安全性としてはその差は両極端である．したがって荷重係数は，家の強さの尺度としては合理的であるが，安全性を示す尺度ではない．

では一体，

2. 家の安全性はなんで計ればよいか？

設計は現在行ない，家は将来使われる．したがって，設計は現在までに得られた資料から，将来のことを予測しながら行なわれる．よく，来年のことをいうと鬼が笑うといわれるが，設計家は宿命的に鬼に笑われる仕事をしなければならないわけである．

設計された家が果たして安全かどうかは，使用年数が終わってみないことにはわからない．したがって家を設計しているときには，その家が安全であるかどうかは確率的に予測することしかできない．暴風にはこれ以上の風速にはなりえないという限界があるので（気象庁の高橋博士の理論的推定値は陸上 92 m/sec である[3]），この限界値に耐え得る家を作っておけば安全であるはずであるが，すべての家を絶対安全に設計することは，現在建っている家を数倍の強さにしなければならないので，とても経済的に許されそうもない．したがって避難所のような特別な目的をもつ家以外は経済的条件のためにある程度危険をおかさなければならない運命にある．

さて，家の安全性をどのように計るかについて，壺の中に入っている玉のモデルで考えてみることにしよう．

いま，壺の中の玉は，番号がつけてあるが，どの番号のものがどういう割合ではいっているかまったくわかっていないとする．この壺から玉を一つ取り出して記録して，またもとにもどすということを100回繰り返して，次表のような結果を得た．

番号	①	③	⑤	⑦
個数	80	16	3	1

この壺の中からさらに3回玉をとり出したりもどしたりしたとき，とり出した玉の番号が3回とも④よりも小さい番号である確率はどのようになるかを考えよう．まず壺の中の玉の分布について考えると，これに関する資料としては上表の一組だけであり，上表の分布をもって一応壺の中の玉の番号の分布をもっともよく表わしているものと考えるのが適当である．したがって，上表の分布を壺の中の玉の分布に等しいと仮定すれば，壺から取り出す玉の番号が3回とも④よりも小さい確率は各回の与事象の起こる確率の積として $\left(1-\frac{4}{100}\right)^3=0.8847$ になる．これはつまり，番号の多い方を勝とするゲームで，味方の番号が④の場合に，3回続けて勝つ確率である．

味方の番号が②，④，⑥，⑧と大きくなるにつれて，もちろん，ゲームに勝つ確率は大きくなるわけであるが，いまこれを後の必要のために表にすれば下記のようになる．

回数n ＼ 番号	②	④	⑥	⑧
1	0.8	0.96	0.99	1
3	0.512	0.8847	0.9703	1
5	0.3277	0.8154	0.9510	1
10	0.1074	0.6649	0.9044	1
30	0.1238×10^{-2}	0.2939	0.7397	1
50	0.1427×10^{-4}	0.1299	0.6051	1
100	0.2037×10^{-9}	0.0169	0.3661	1

上述のゲームは，壺の中の玉の番号を風の強さ，味方の玉の番号を家の強さとし，風が一日に一度起こるとしたときのn日後の家の安全の確率であると考えることができる．このような考え方で，家の安全の確率を，もっと一般的な形で表わしてみると次のようになる．

まず荷重の起こり方は，時間に独立であると仮定する．つまり，互にかさなりあっていない任意の時間 $(t_1,\ t_2)$ と $(t_3,\ t_4)$ を考えたとき，$(t_1,\ t_2)$ に起こる荷重と $(t_3,\ t_4)$ に起こる荷重とは無関係であると仮定する．

いま，$F(x)$ を荷重強度 x (Load Intensity) がT年間に家の強さ X を超える回数の期待値を示す度数分布函数，δt を，T 年を N 区分した時間とし，δt 年中に荷重は一度しか起こらないと仮定すれば，強さXの家が δt 年中に倒壊する確率 $\delta P_r(x>X)$ は

$$\delta P_r(x>X)=\frac{F(X)}{N}=\frac{F(X)}{T}\delta t=\Phi(X)\delta t$$

時刻 t での家の安全の確率を $P_r(x<X,t)$ とすれば，時刻 $(t+\delta t)$ での家の安全の確率 $P_r(x<X,\ t+\delta t)$ は次のようにかける．

$$P_r(x<X,\ t+\delta t)=P_r(x<X,\ t)\{1-\delta P_r(x>X)\}$$
$$=P_r(x<X,\ t)\{1-\Phi(X)\delta t\}$$

上式は次のように導かれる．

$$\frac{P_r(x<X,\ t+\delta t)-P_r(x<X,\ t)}{P_r(x<X,\ t)}=-\Phi(X)\delta t$$

δt を t に較べて非常に小さくすることができれば上式は

$$P_r(x<X,\ t)=e^{-\Phi(X)t}$$

になる．

上述のδ_t年中に荷重が一度しか起こらないという仮定は δ_t が十分に短く，$\frac{F(X)}{T}\delta t\ll1$ であれば，δt 年内に荷重が一度起こる確率に較べて，二度以上起こる確率が小さいので成り立つと考えられる．荷重の起こり方が時間に対して独立であるという仮定は，これまでの資料では厳密にこれを証明することはできないが，現時点で設計を遂行しようとするかぎり，このような仮定を必要とする．風荷重の季節的周期性は長年月の寿命をもつ家の安全性を論じるかぎり，荷重の起こり方が時間に独立であると仮定した結果に，ほとんど影響しない．

次に，もう一度玉と壺のゲームにもどって考えてみよう．

今度は，前に考えた敵の壺のほかに，味方も壺を持たされたとしよう．いま，味方の壺の中味は，②と⑥の玉が半々に入っていることがたしかめられたとすれば，その壺から最初に取り出した玉で続けて3回とも勝負に勝つ確率は，

$$\frac{1}{2}\times\left(1-\frac{20}{100}\right)^3+\frac{1}{2}\left(1-\frac{1}{100}\right)^3=0.7412$$

になる．これを前に行なった，番号④についての3回勝負の結果の 0.8847 と較べてみると，ゲームに勝つ確率が違ってきている．つまり，味方のもつ玉の番号が平均値としては同じであっても，一種類の玉をもっているのと二種類の玉をもっているのとでは勝負の結果が違ってくることがわかる．

上述のゲームにおける味方の壺の中味の番号の分布は家の強さの分布に対応している．すなわち④の強さの家を設計したのに②ができたり⑥ができたりすることをあらわしている．

一般に家の施工管理が悪ければ，強度のバラツキが大きくなって，家の安全性は下がるものと信じられている．確かに，上述のゲームの結果はバラツキのある方が，ないものより安全性が下がるということを示しているかにみえる．ではもう一度ゲームをしてみよう．今度は，3回勝負ではなくて，30回勝負でやってみることにする．結果は，

i)　④の場合は $\left(1-\frac{4}{100}\right)^{30}=0.2939$

ii)　②と⑥の壺から取り出す場合は

$$\frac{1}{2}\times\left(1-\frac{20}{100}\right)^{30}+\frac{1}{2}\times\left(1-\frac{1}{100}\right)^{30}=0.3705$$

となり，バラツキがある方が安全性が高いという結果になる．したがってバラツキが少ないことからは，必ずしも安全性が高まっているとは結論できないわけである．（このことは強度にバラツキのある乱暴な施工を推奨しているのでないことは，次項で明らかにする）．

前記のバラツキのない場合の結果と比較するために，バラツキのある場合の結果を表にすれば下記のようになる．

回数＼番号	②　と　⑥	④　と　⑧
1	0.895	0.98
3	0.7412	0.9424
5	0.6393	0.9077
10	0.5059	0.8324
30	0.3705	0.6470
50	0.3025	0.5650
100	0.1831	0.5084

さて，ここでもう一度理論式にもどって，家の強さに変動がある場合にも成り立つようにしておく必要がある．いま，家の強さの確率密度分布を $g(X)$ とおけば，家の強さが X と $X+dX$ の間にある確率は $g(X)dX$ であり，X と $X+dX$ の間にあって t 年後まで安全である確率は $e^{-\Phi(X)t}g(X)dX$ である．家の強さは零から無限大のどれかになっているはずであるから，強度にバラツキのある場合の家の安全の確率 $P_r(x<X,g,t)$ は

$$P_r(x<X,g,t)=\int_0^\infty e^{-\Phi(X)t}g(X)dX \qquad (2)$$

になる．

では上式を使って，東京と大阪における家の安全の確率を計算してみよう．

まず，$\Phi(x)$，つまり壺の中の玉の分布を推定しなければならないわけであるが，これは気象庁統計課の書庫にもぐって気象観測台帳から，過去にどんな風が吹いたかを調べることから始められる．なにしろ永い期間（1941～1958）の観測結果であるから，その間に観測器の位置が変わったりしているので，これを標準点（海岸，高さ10m）の値に補正しておく．補正は，

高さに関しては，$v_0=v\left(\frac{h_0}{h}\right)^{\frac{1}{7}}$ を，

ただし v_0 は高さ h_0 の標準点の風速

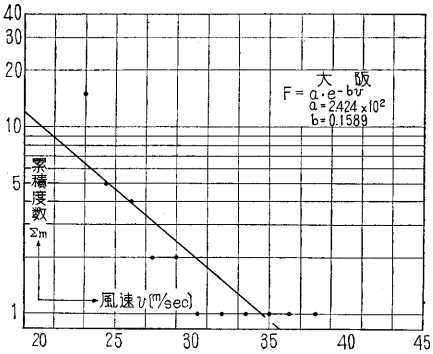
v は高さ h の観測点の風速

海岸からの距離に関しては，高橋博士の提出した次表の実験値によった[4]．

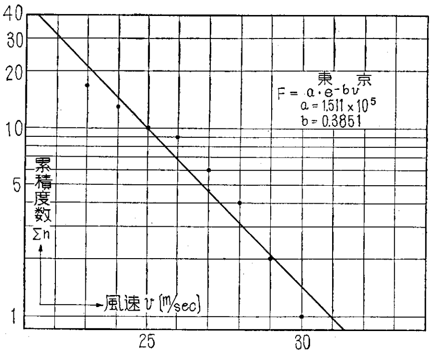
第1～第2図は，こうしてえられた 10 分間平均最大風速 v の累積度数分布である．この分布に対して，もっとも適当な分布函数 F をあてはめるのであるが，あてはめにあたって，この分布が指数分布函数 ae^{-bv} に従うものと仮定して，最小2乗法によって係数 a, b を決定した．この仮定の妥当性は E. J. Gumbel 氏[5]，高橋博士[6] らによって支持されている．結果は第1および2図にみられるとおりである．

第1表　風速と海岸までの距離

海岸までの距離	0	0.2	0.4	0.6	1	2	4	6	8	km 10
海上との風速比	100	93	90	88	84	77	72	68	65	% 64



第１図　10分間平均最大風速 v の累積度数分布



第２図　10分間平均最大風速 v の累積度数分布

10 分間平均最大風速 v と瞬間最大風速 V の，同時観測値の統計結果から，$V=1.4v$ という関係が相当よい精度で成り立つことがわかったので[7]，瞬間最大風速による速度圧 q の，単位時間に対する度数分布函数 $\Phi(q)$ は，

$$q=\frac{1}{2}\rho V^2$$

ただし ρ は空気の密度，工学的には

$\rho=\frac{1}{8}$〔$\mathrm{kg\cdot sec^2/m^4}$〕として用いられることが多い．

の関係から，

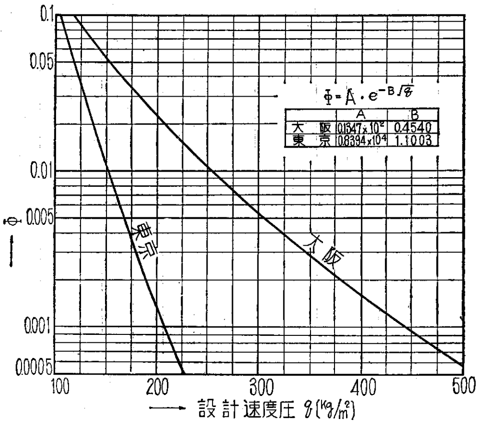
$$\Phi(q)=\frac{a}{T}e^{-\frac{b}{1.4}\sqrt{\frac{2\rho}{q}}}=Ae^{-B\sqrt{q}} \qquad (3)$$

とかける．結果は第3図のようになる．$\Phi(q)$ の度数分

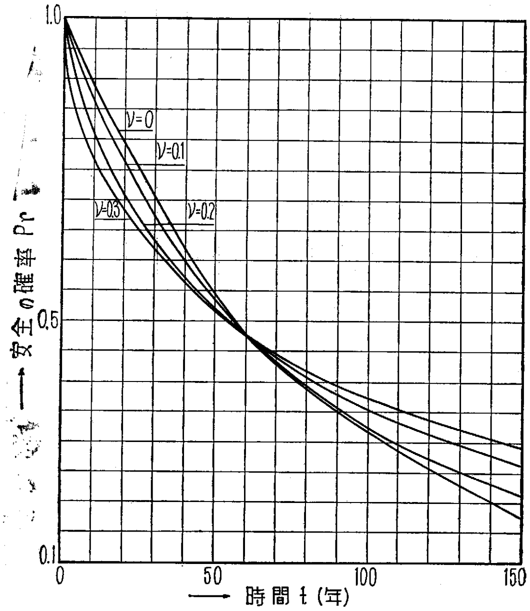
布を直接に瞬間最大風速の資料から求めなかったのは，観測装置の mechanism の関係から記録がしばしば欠けているためである．

この $\Phi(q)$ を使って，家の強さの分布が正規分布に従うとしたときの，各設計速度圧に対する安全の確率を，東京では，強さの平均値 $m=150$ および $200\ \mathrm{kg/m^2}$ について，大阪では $m=250$ および $350\ \mathrm{kg/m^2}$ について，それぞれ変動係数 $\nu=0,\ 0.1,\ 0.2,\ 0.3$ として，（2）式によって計算してみると第 4〜7 図のようになる．ここに変動係数 ν というのは標準偏差 σ と平均値 m との比 $\dfrac{\sigma}{m}$ で表わされる値である．この結果からも，家の強さの変動が大きくなるにつれて，期待年限に対する安全の確率の減少のしかたは急激であるが，一定年限以上になると，逆に変動が大きい方が安全の確率が高まる傾向があることがよくわかる．

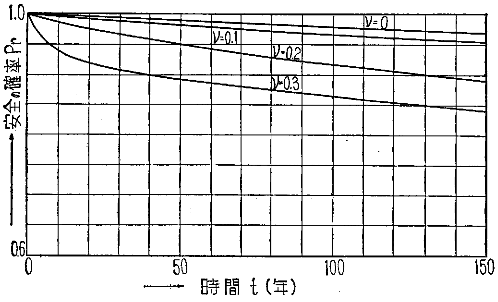
さて，こうして将来の家の安全性が推定できたわけであるが，この安全の確率だけでは，適当な設計荷重を求めることはできない．というのは，安全の確率を80%にするのがよいのか，90%にするのがよいのか，あるい



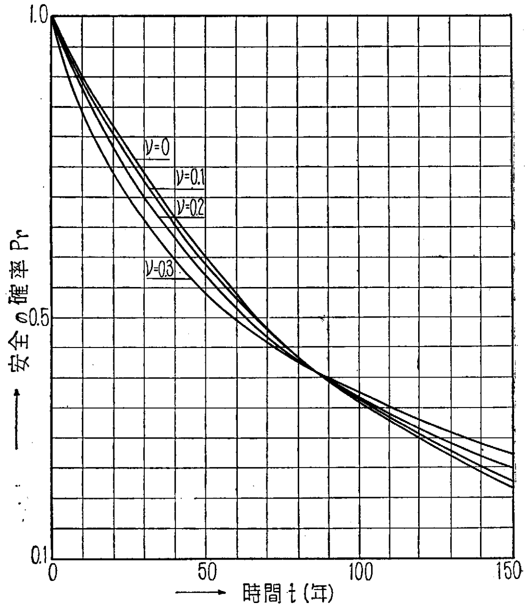
第 3 図 設計速度圧 q と Φ の関係



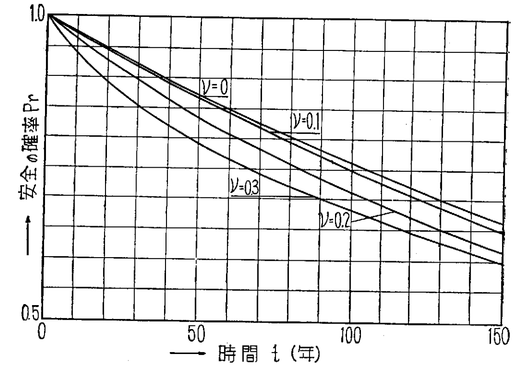
第 4 図 家の強さの平均値 $m=150\ \mathrm{kg/m^2}$ のときの種々の変動係数に対する安全の確率（東京）



第 5 図 家の強さの平均値 $m=250\ \mathrm{kg/m^2}$ のときの種々の変動係数に対する安全の確率（東京）



第 6 図 家の強さの平均値 $m=250\ \mathrm{kg/m^2}$ のときの種々の変動係数に対する安全の確率（大阪）



第 7 図 家の強さの平均値 $m=350\ \mathrm{kg/m^2}$ のときの種々の変動係数に対する安全の確率（大阪）

は 99.99 % にするのがよいか，判断のしようがないからである．

それでは

3. 設計荷重はいかにえらべばよいか？

もう一度，前の玉と壺を取り出すことにしよう．賭金のないゲームは，どうもいい加減な作戦をしがちであるから，今度は賭金1万円をいかに損失少なくとりもどすかというゲームを考える．

勝負は一年に一度，連続して5年間行なわれ，負けるまではゲームを続ける義務があり，負けたときに賭金1万円は奪われる．ただし賭金1万円はゲームで失われるまでは毎年2割の利益をあげ，これは手もとにもどってくるものと考える．また，味方の玉は，偶数番号の玉ならば，どれをえらんでもよいが，玉をえらぶにあたってはその玉の番号に 1000 円をかけた金額を別に支払わなければならないものとする．

いま，④を選んだ場合について考えてみると，初回で負ける確率は $\frac{4}{100}$ である．

2回目に負ける確率は1回目に勝ち，2回目に負ける確率の積として，$\frac{96}{100}\times\frac{4}{100}$

同様にして，3回目に負ける確率は $\left(\frac{96}{100}\right)^2\times\frac{4}{100}$

4回目に　〃　$\left(\frac{96}{100}\right)^3\times\frac{4}{100}$

5回目に　〃　$\left(\frac{96}{100}\right)^4\times\frac{4}{100}$

である．

次に各回で負けたときの損害を計算してみると，初回は 10,000 円，1年後の2回目の勝負で負けたときの，損害の現在価値は，賭金 10,000 円から，1年の利益の現在価値 $\frac{10,000(1+0.2)-10,000}{1+0.2}$ をひいた値 $\frac{10,000}{1+0.2}$ 円である．ただし，現在価値というのは，現在ここに y 円があり，年利率 r の利益をあげるとすれば，t 年後には複利で計算すれば $y(1+r)^t$ になるから，逆に t 年後の y 円の現在での価値を $\frac{y}{(1+r)^t}$ と考えることをいう．

同様にして，2年後の3回目の勝負で負けたときの，損害の現在価値は，$\frac{10000}{(1+0.2)^2}$ であり，

4回目で負ければ，$\frac{10000}{(1+0.2)^3}$

5回目　〃　$\frac{10000}{(1+0.2)^4}$

の損害になる．各回の損害の期待値は，各回の損害とそれが起こる確率との積で表わせるから，

初回の損害の期待値は，

$$10000\times\frac{4}{100}=400\text{円}$$

2回目　〃　$\frac{10000}{1+0.2}\times\frac{96}{100}\times\frac{4}{100}=349.1$

3回目　〃　$\frac{10000}{(1+0.2)^2}\times\left(\frac{96}{100}\right)^2\times\frac{4}{100}=304.6$

4回目　〃　$\frac{10000}{(1+0.2)^3}\times\left(\frac{96}{100}\right)^3\times\frac{4}{100}=265.9$

5回目　〃　$\frac{10000}{(1+0.2)^4}\times\left(\frac{96}{100}\right)^4\times\frac{4}{100}=232.0$

5回とも勝てば損害は0．

このうちのどれかが起こるのであるから，このゲームによる損害の期待値は，上記の損害の期待値の総和の，1551.6円になる．同様にして，②の番号をえらんだ場合は，5841.2円に，⑥の番号をえらべば，409.5円になる．損失としてはこれに，番号をえらんだときの費用が加わるので，下表のような値になる．

	②	④	⑥	⑧
賭金損失の期待値	5841.2円	1551.6円	409.5円	0 円
玉をえらぶ費用	2000.0	4000.0	6000.0	8000.0
全損失の期待値	7841.2円	5551.6円	6409.5円	8000.0円

したがって，損失をもっとも少なくするために，④をえらべばよいことがわかる．

では次に，玉をえらぶかわりに，壺をえらび，それから取り出した最初の玉で勝負をするゲームについて考えることにしよう．賭金は同じであり，壺の費用は中に入っている玉の番号の平均値に前と同様，1000円をかけた金額とする．

では，②と⑥が半々に入っている壺をえらんだ場合について考えてみよう．この場合は，壺から②および⑥を取り出す確率はそれぞれ $\frac{1}{2}$ であり，②および⑥を取り出したときの損害の期待値は前表から，それぞれ5841.2円および 409.5 円であるから，損害の期待値の総和は $\frac{1}{2}\times5841.2\text{円}+\frac{1}{2}\times409.5\text{円}=3125.4$ 円になる．同様にして，④と⑧の壺をえらんだ場合は775.8円に，⑥と⑩の壺をえらべば，204.8 円になる．これを前のゲームと比較するために表にして全損失を求めてみると次のようになる．

番　号	②と⑥	④と⑧	⑥と⑩
賭金の損失の期待値	3125.4円	775.8円	204.8円
玉をえらぶ費用	4000.0	6000.0	8000.0
全　損　失	7125.4円	6775.8円	8204.8

これを前表と較べてみると，バラツキのある方が損失が大きいという結果になっている（精度のよい施工をする方が経済的である）．前と同様に，このゲームを風と家との問題に対応させてみると，玉についての対応は前と同じであり，賭金およびそれによって年々えられる利益は，それぞれ財貨など家が保護すべき価値およびそれによってえられる利益，賭金の損失の期待値は家の倒壊によって受ける損失の期待値，玉をえらぶ費用は家を強く

するための経費，えらばれた玉の番号は最適設計荷重に相当する．

損失の期待値 E_l を，もう少し一般的な形で考えてみることにしよう．いま W を家が保護すべき価値，r を年利益率とすれば，t 年後に家が倒壊したときの損失は前述のとおり $\frac{W}{(1+r)^t}$ であるが，これを1年 M 期で複利計算すると $\frac{W}{\left(1+\frac{r}{M}\right)^{Mt}}$ になり，$M\to\infty$ にすれば，We^{-rt} になる．理論式では，この方法が取扱いが簡単になるという唯一の理由から，これが用いられる．

t 年後の dt 年内の，災害による損失の期待値は，安全の確率 P_r の家が，その期間中に倒れる確率 $\left(-\frac{dP_r}{dt}\right)dt$ と，被害高 We^{-rt} の積で表わされるから，家の使用年限を t_u とすれば，災害による損失の期待値 E_d は

$$E_d=\int_0^{t_u}We^{-rt}\left(-\frac{dP_r}{dt}\right)dt \qquad (4)$$

とかける．これに，家を強くするために使った費用 C を加えれば，全損失の期待値 E_l がえられる．すなわち

$$\begin{aligned}E_l&=E_d+C\\&=W\{1-e^{-rt_u}P_r(t_u)\}-rW\int_0^{t_u}e^{-rt}P_r(t)dt+C\end{aligned} \qquad (5)$$

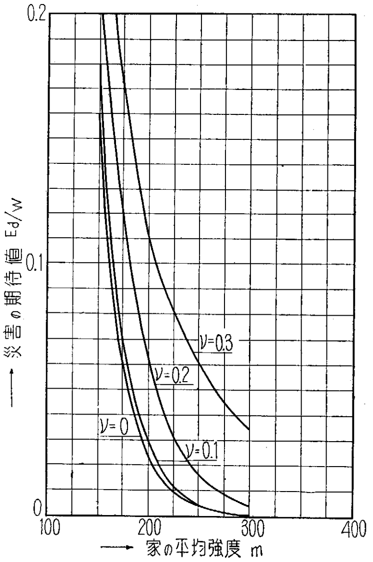
(1)式から，$P_r=e^{-\Phi t}$ とおけば

(5)式は $E_{l,1}=\frac{\Phi W}{r+\Phi}(1-e^{-(r+\Phi)t_u})+C \qquad (6)$

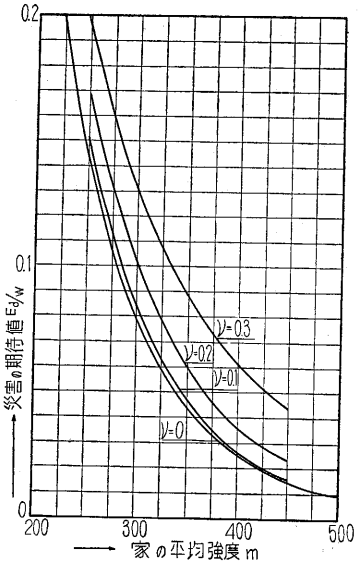
使用期間に特別に制限がなければ，$t_u\to\infty$ として，

$$\underset{t_u\to\infty}{E_{l,1}}=\frac{\Phi W}{r+\Phi}+C \qquad (7)$$

になり，上式を最少にする設計荷重が，現在選びうる．もっとも損失の少ない設計荷重であると考えられる．



第8図 災害の期待値 E_d/W,
東京 $r=0,06$ W(万円/m²)



第9図 災害の期待値 Ed/W,
大阪 $r=0,06$ W(万円/m²)

r の値は，最低に，つまり最も保守的にみる場合は銀行の利率の $r=0.06$，普通企業では，0.10～0.15 が用いられる[8]．

$r=0.06, t_u\to\infty$ として，E_d/W を，東京と大阪について (2) 式と (4) 式から求めてみると，第8および9図のようになる．

災害による損失の期待値 E_d/W を求めたので，E_l を計算するためには，C について調べることだけが残されているわけである．最適設計荷重が，現行の設計荷重とはなはだしく異なることがないと仮定すれば，C は Taylor 展開して，

$$C=C_{300}+(Q-300)\left(\frac{dC}{dQ}\right)_{Q=300}$$

ただし C_{300} は高さ 10m における速度圧が 300 kg/m² の設計用風荷重に対する構造経費

$\left(\frac{dC}{dQ}\right)_{Q=300}$ は同上経費の増加率

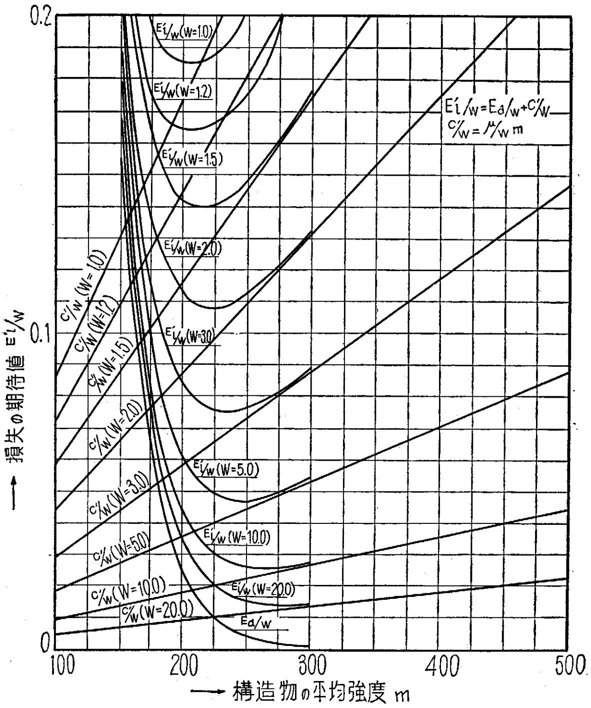
と近似的におくことができる．(4)式を最少にする最適設計荷重を求めるためには，$\left(\frac{dC}{dQ}\right)_{Q=300}$ を知ることだけで十分である．

簡単のために，$\left(\frac{dC}{dQ}\right)_{Q=300}=\mu$ とおけば，μ は個々の家の条件によって異なると考えられるので，一例として日本建築学会発行，鋼構造計算規準の例題1の構造について計算した結果

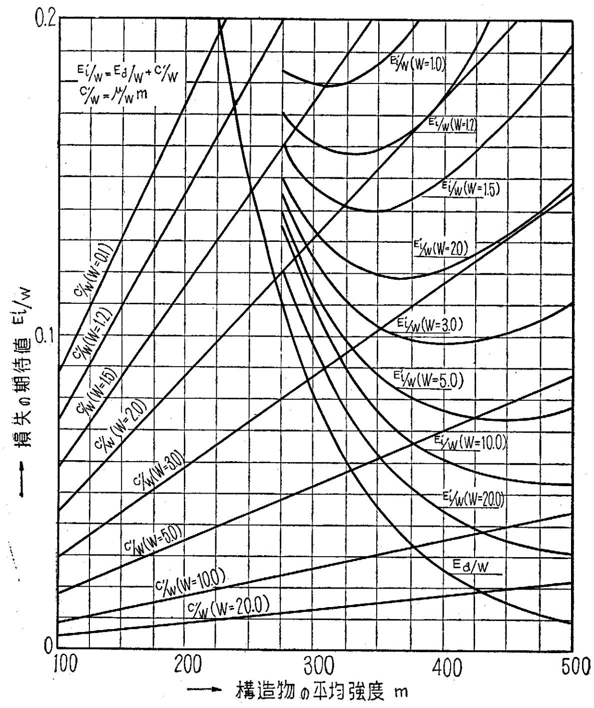
$$\mu=9.0\,\frac{円}{m^2}\Big/\frac{kg}{m^2}$$

ただし，鋼材の平均強度 $m_s=3.0t/cm^2$，

$\underset{h=10m}{q=60\sqrt{h}}$ とし，原設計では母屋および胴縁は木材になっているのを等辺山形鋼とした．



第 10 図　損失の期待値の変化曲線，$E_l'/W(\nu=0)$
東京 $r=0.06$，W(万円/m²)



第 11 図　損失の期待値の変化曲線，$E_l'/W(\nu=0)$
大阪 $r=0.06$ W(万円/m)²

をえた[9]．

$r=0.06$，$\nu=0$ として，東京と大阪について，種々の W に対する損失の期待値の変化 E_l'/W を調べてみると，第 10 および 11 図のようになり，この曲線の最小値の Q_0 は（4）式の最小値のそれと一致する．また曲線の変化の模様をみると，0 から最小値までの変化は，最小値をすぎてからあとの変化に較べて急激である．このことは設計荷重をいくぶん保守的に決めることは，そんなに損なことではないということを示している．

家の設計用風荷重として現在普通に用いられている．速度圧 $60\sqrt{h}$ kg/m² で，海岸からの距離 5 km の位置にたつ家を設計すれば，前記の高橋博士の補正係数を用いることによって，海岸，高さ 10m の速度圧 Q_s は

$$Q_s=60\sqrt{h}\left(\frac{1}{0.70}\right)^2_{h=10\mathrm{m}}=390\ \mathrm{kg/m^2}$$

になる．この $Q_s=390$ kg/m² の速度圧のおこり方は，第 3 図から，大阪で再来年数 $T_r=\dfrac{1}{\Phi}=\dfrac{1}{0.0017}\fallingdotseq600$年，使用予定年数 50 年に対する安全の確率 $P_{r,s_{t=50}}=92\%$，また前述の例と同様な家であれば，$W=3.0$万/m²（家の強さに変動がないとして）に相当する計算結果になる．

設計荷重をいかにえらべばよいかについて述べたが，これまでに人命に関するものについてぜんぜんふれなかった．人命の問題は数理的に計量することが困難であるばかりでなく，強いてこれを行なおうとすれば非人情ではあるが，結局経済的問題と同様に考えざるを得なくなるだろうということと，もう一つは十分安全な避難所を設置しておいて台風の予報と同時に人間は家を捨てて避難することにすれば人命の救済は十分行ない得ると考えるからである．

(1962 年 3 月 22 日受理)

〔註〕

1) 安芸皎一：水害の日本，岩波新書，1952.
2) 小野薫，田中尚：建築物のリミットデザイン，理工図書，1956.
3) 高橋浩一郎：伊勢湾台風報告，気象彙報.
4) 高橋浩一郎災害に関するオペレーションズ，リサーチ，気象庁研究時報，9 巻 1 号，1957.3.
5) E. Gumbel: The Return Period of Flood Flows, Ann. Math. Statistics, **12**, No. 2, 163. 1941.
6) 高橋浩一郎：気象統計，地人書館，1956.6.
7) 田中尚，花井正実：構造設計とゲームの理論，日本建築学会論文報告集，第 66 号，昭和 35 年 10 月.
8) 村川武雄：設備投資の経済計算とその理論，日本科学技術連盟，昭和 36 年 2 月.
9) 材料および工賃に関しては，経済調査会出版部発行，積算資料，1961.11. の東京の価格によった.