

3. 耐火設計[耐火性能検証]におけるリスク基盤の設計火災荷重密度の設定方法

リスクという言葉は日常生活や色々な分野で頻りに読み聞きする言葉である。それだけ多義的に使われる用語なのであろう。最も多くの場合に意味されるのは、何かしら危険なこと、損失、失敗などネガティブなことが起る可能性のことではなかろうか。このような不都合なことが起る可能性が危惧される場合でも、それに対して何ら具体的な行動を起こすことなく心配するだけで済まされるものも多い。

一方で、何等かの対応策を講じるかどうかの意思決定が必要なときには、その不都合なことが発生する可能性の高さ、発生した場合の結果の深刻さの度合い、発生を防ぐための対応策やそのコストの現実性などが総合的に検討されるであろう。

前者の場合のリスクは不都合なことが起る確率を意味し、後者の場合のリスクは不都合なことが起る確率と同時に起きた時の結果の重大性を合わせ考えていることになるであろう。この意味でのリスク評価を考える場合、一般には確率と結果の大きさの両方とも利用可能なデータを得られない困難が伴う場合が多いと思われる。しかし、建築火災のリスクについては十分ではないにしても、ある程度の統計データは存在するし、損失規模の最大も建築物の規模のオーダーであり、また損失防止対策についての技術的・経済的対応についても殆ど困難は無いレベルにある点で有利性があると考えられる。

3.1. リスクの定義

ここで用いるリスクは損失の規模とその発生確率の積、すなわち損失の期待値の意味で使う。これは数式では次式で明快に表される

$$R=PC \quad (3.1)$$

ここに R : 損失リスク
 P : 損失の発生が生起する確率
 C : 損失の規模

病気、事故、自然災害など、どんな種類のリスクもゼロには出来ないから、リスクへの対応策とは、リスクを許容可能レベル以下に抑制することに他ならない。耐火設計[耐火性能検証]も同様であり、火災に因る建物崩壊のリスクを許容可能レベル以下に抑制するための対応策である。式で表現すれば

$$R(=PC) \leq R_a \quad (3.2)$$

ここに R_a : 許容リスク

これから分るように、リスク R を許容値以下に抑制するには確率 P あるいは損失の規模 C のいずれか、または両方、を必要なだけ小さくすれば良い。

3.2. 建築物の崩壊リスク

建物構造は多数の構造部材で構成されるので、一部の構造部材が火災加熱で崩壊しても建築物が崩壊しない場合も十分考えられるが、簡単のため耐火性能検証法に倣って、構造部材の崩壊をもって建物崩壊と見做す。従って、建物崩壊リスク R は式(3.1)に当てはめて次のように定義する。

$$R = (\text{構造部材の崩壊確率}) \times (\text{建物崩壊による損害規模})$$

(1) 構造部材の崩壊確率

火災による構造部材の崩壊は、

通常時→出火→初期消火の失敗→室火災へ成長→室火災の抑制失敗→火災加熱による温度上昇により構造部材が崩壊

という一連のステージを経て生起するものであり、各ステージの移行にはそれぞれ確率が生じる。構造部材の崩壊確率はこれらのステージ移行確率の積となる。

(2) 建物崩壊による損害規模

崩壊によって発生する損害には、当該建物の人的・経済的損害、建物倒壊が周辺に及ぼす損害、当該建物が社会的に対して果たしていた機能の喪失など、色々なものが考えられるが、いずれもその損害規模は

概ね建築物の階数×床面積に比例する程度になると考えられる。

(3) 火災による建築物の崩壊リスク

以上を考慮すれば確率 P と損害 C の部分はそれぞれ次のようになる。

$$P = (p_f A_f^{1/2}) Y_L P_{FO} P_{n-sup} P_{fail}, \quad C = N \cdot A_{FLR} \quad (3.3)$$

ここに p_f : 単位面積当たりの成長火災（小火は除く）の1年当たりの発生確率

A_f : 火災区画（防火区画）の床面積（ m^2 ）

Y_L : 建築物の耐用年数

P_{FO} : 出火した火災が区画火災に成長する確率

P_{n-sup} : 消火活動による室火災の制圧が失敗する確率

P_{fail} : 構造部材が区画火災の加熱による温度上昇により崩壊する確率

A_{FLR} : 階の床面積

N : 構造部材の崩壊で支持を失う階の数（最上階から火災階までの階数）

従って、建物崩壊リスク R は次のように書ける。

$$R(= PC) = (p_f A_f^{1/2}) Y_L P_{FO} P_{n-sup} P_{fail} (N \cdot A_{FLR}) \quad (3.4)$$

なお、 $(p_f A_f^{1/2})$ は出火区画での出火率であるが、単純に面積 A_f に比例するというより、 A_f が大きくなるに従い出火率の増加が鈍る傾向にあることを考慮した（Annex 11 参照）

3.3. 建築物の許容崩壊リスクと構造部材の許容崩壊確率

式(3.2)により、如何なる建築物も崩壊リスク R の値は、許容リスク R_a 以下でなくてはならない。許容リスク R_a の値は、火災による崩壊リスクが許容レベルにあると認められる建築物を選定して標準建物（Benchmark building）とできれば、その条件を式(3.4)に代入して下式のように求められる。

$$R_a = (\bar{p}_f \bar{A}_f^{1/2}) \bar{Y}_L \bar{P}_{FO} \bar{P}_{n-sup} \bar{P}_{fail} (\bar{N} \cdot \bar{A}_{FLR}) \quad (3.5)$$

なお、この式中の変数の頂部アクセントは標準建物の値であることを示す。すると、 $R \leq R_a$ の条件から任意の建築物について

$$(p_f A_f^{1/2}) Y_L P_{FO} P_{n-sup} P_{fail} (N \cdot A_{FLR}) \leq (\bar{p}_f \bar{A}_f^{1/2}) \bar{Y}_L \bar{P}_{FO} \bar{P}_{n-sup} \bar{P}_{fail} (\bar{N} \cdot \bar{A}_{FLR}) \quad (3.6)$$

これから任意の建築物の構造部材の許容崩壊確率を $P_{a,fail}$ とすると

$$P_{a,fail} = \bar{P}_{fail} \left(\frac{\bar{p}_f}{p_f} \right) \left(\frac{\bar{A}_f}{A_f} \right)^{1/2} \left(\frac{\bar{Y}_L}{Y_L} \right) \left(\frac{\bar{P}_{FO}}{P_{FO}} \right) \left(\frac{\bar{P}_{n-sup}}{P_{n-sup}} \right) \left(\frac{\bar{N} \cdot \bar{A}_{FLR}}{N \cdot A_{FLR}} \right) \quad (3.7)$$

すなわち、任意の建築物の許容崩壊リスクがその構造部材の許容崩壊確率に帰着される。

3.4. 設計火災荷重密度

許容崩壊リスクを与える標準建物の条件が特定出来れば、式(3.7)によって任意の建築構造部材の許容崩壊確率 $P_{a,fail}$ が決定できる。次の課題は、この $P_{a,fail}$ を耐火設計[耐火性能検証]においてどう反映させるかである。

性能的耐火設計[耐火性能検証]では、設計火災荷重密度 w_D を設定し、その下で構造部材の崩壊が起らないことを工学的に検証する。この w_D は実際には確率分布する火災荷重密度 w の中から1つの値を選んで定めたものであるから、 $w > w_D$ となる確率は存在する。耐火設計[耐火性能検証]では、その場合の安全性は保証しないのであるから、設計火災荷重密度 w_D を設定することは、構造部材が火災で崩壊する確率が

一定程度残ることを許容することでもある。下図 3.1 に示す $1 - F(w_D)$ がその確率である。式で表せば

$$P_{a,fail} = \int_{w_D}^{\infty} f(w)dx = 1 - \int_0^{w_D} f(w)dx = 1 - F(w_D) \quad (3.8)$$

そこで、 $F(w_D) = P_{a,fail}$ (許容崩壊確率) とすれば、それに対応する設計火災荷重密度 w_D が逆算して求められる。この w_D の計算は、確率密度関数 $f(x)$ を対数正規分布とすれば、

$$w_D = \ln^{-1}(1 - F(w_D), \mu_{\ln w}, \sigma_{\ln w})$$

として求めることができる。(Annex 3, 4 参照)

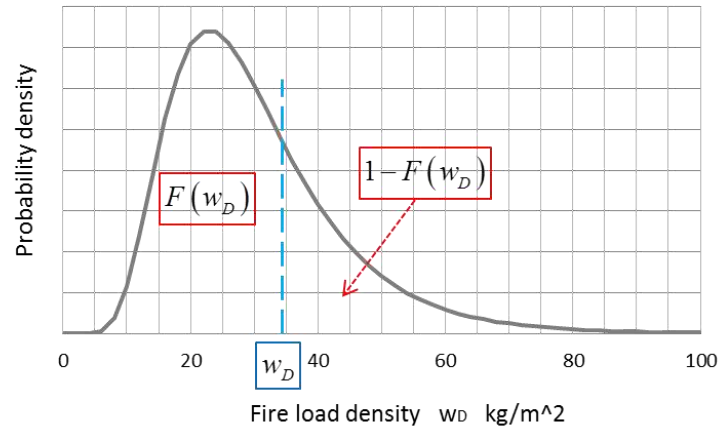


図 3.1 許容崩壊確率と設計火災荷重密度

3.5. 標準建物 (Benchmark building) と構造部材の許容崩壊確率式のパラメタ値

許容崩壊リスク R_a は数値で定義することも不可能ではないが、それだと抽象的で許容されている崩壊リスクとはどの程度ものなのかが直観的に捉えにくい。一方、その許容崩壊リスク R_a を代表する建築物が具体像として示されれば、その建築物が火災で崩壊する可能性や生ずる損害の規模がイメージでき、耐火設計[耐火性能検証]の目標が把握し易くなる。このような建築物を標準建物あるいは **Benchmark building** と言うことにする。言わば標準建物は許容崩壊リスクという抽象的な基準を具体的に可視化するような建築物である。

標準建物は、多くの人にイメージし易い一般的な建築物で、火災による崩壊で重大な損害を生じる可能性が十分小さいが経験的に知られているものを選ぶようにする。

(1) 建基法施行令第 107 条による耐火規定による場合

建基法 107 条の耐火規定は昭和 36 年 (1961) に制定されたが、2.1 で記述したように、ベースになったのは 1 時間耐火構造とされた 4 階建ての RC 共同住宅と 1.5 時間耐火構造とされた 9 階建て RC 造建物 (おそらく大半は事務所などの用途) であった。これらは標準建物の有力候補となるが、令第 107 条の耐火規定は階数のみによる規定なので、許容崩壊確率の式(3.7)は次のような簡単な式となる。

$$P_{a,fail} = \overline{P_{fail}} \frac{\bar{N}}{N} \quad (3.9)$$

先の標準建物の 2 つの候補について、 $\overline{P_{fail}}$ には先の表 2.2 に示した崩壊率の値を使えば、

$$P_{a,fail} = \begin{cases} 0.2 \left(\frac{9}{N} \right) & \text{(基準: 9 階、火災区画 = 事務所)} \\ 0.32 \left(\frac{4}{N} \right) & \text{(基準: 4 階、火災区画 = 共住)} \end{cases} \quad (3.10)$$

下図 3.2 は式(3.10)の 2 つの式で許容崩壊確率が建築物の階数によってどう変わるかを比較したものである。9 階事務所を基準にした方が全体的に緩めになるが、大局的にはどちらでも大差は無いと言えるで

あろう。

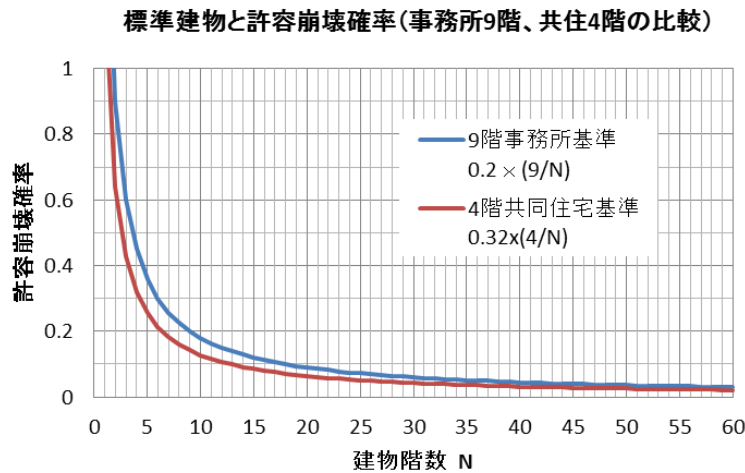


図 3.2 許容崩壊率の比較（4 階共住と 9 階事務所を標準建物とした場合）

(2) 崩壊リスクに関わる因子を組み込んだ場合

(2-1) 許容崩壊率の基準

施行令第 107 条の耐火規定のように階数だけで構造部材の許容崩壊確率が決まるシステムだと、構造物を火災から護るための様々な因子が評価に反映されないので、設計する建築物の特徴を生かして、より合理的・効果的な耐火設計[耐火性能検証]を工夫するインセンティブが損なわれることになる。

建築物は構造骨組みだけで出来ているのではなく、骨組みに支えられた多くの空間と一体となって建築物の耐火性を性格づけている、実際、表 2.2 の崩壊確率を計算するにも、火災区画の形状を仮定する必要があった。それらの空間の性格が構造骨組みに火災危険をもたらす原因ともなり、逆に保護する役目を担っているのである。

構造的観点だけで言えば、標準建物として一応 4 階建ての共同住宅と 9 階建て事務所建築が候補になるが、50 階規模の建築物は普通に見られ、更に高層の建築物も増加して行く潮流にある状況の中では、4 階の小規模な共同住宅を標準建物とするのは余りにかけ離れて過ぎている感がある。また共同住宅は用途の性格から空間構成的にも画一性が高いので、耐火設計[耐火性能検証]における選択肢の幅も狭い。

一方、事務所は共同住宅より歴史が古く、明治時代初期から存在しており、高さはほぼ 31m に制限されて来たものの、多様な用途に使われて来た実績があるので、9 階建て事務所用途ビルを標準建物に選ぶ方が適切であろう。そこで、式(3.7)に 1.5 時間耐火性能の崩壊確率を用い $\overline{P}_{fail}=0.2$ とすれば

$$P_{a, fail} = 0.2 \left(\frac{\overline{p}_f}{p_f} \right) \left(\frac{\overline{A}_f}{A_f} \right)^{1/2} \left(\frac{\overline{Y}_L}{Y_L} \right) \left(\frac{\overline{P}_{FO}}{P_{FO}} \right) \left(\frac{\overline{P}_{n-sup}}{P_{n-sup}} \right) \left(\frac{\overline{N} \cdot \overline{A}_{FLR}}{N \cdot A_{FLR}} \right) \quad (3.7')$$

(2-2) 許容崩壊率式の各パラメタの値

式(3.7') の右辺の各パラメタにおいて分子は標準建物に対する値、分母は任意の建築物に対する値であるが、式(3.7') の許容崩壊確率はそれらの比で与える形を取っている。

分子の値は標準建物を特定すれば具体的な値を代入することが可能である。しかし、式中のパラメタはこのまま比の形にしておく方が、設計対象の建築物が標準建物と比較して、どの面で、どのくらい有利なのか不利なのか解り易い点で便利である（比の値が大きいくほど有利、小さいほど不利）。また、例えば建物崩壊による被害規模など、正確に見積ることが実際には困難なパラメタでも比を取れば見積もりに共通する因子は相殺されて単純化されることも利点である。

(\bar{p}_f/p_f) : 単位床面積当たりの空間用途別年間出火率比

このパラメタの p_f は空間の単位床面積当たりの年間出火率である。実際の数値を見せられてもイメージがわからない位に小さい値になるが、対象建物と標準建物とで比をとることで親しみやすい範囲の数値になる。

建築空間の用途には出火が起り易い用途と起り難い用途がある。単位床面積当たりの出火率は、出火の起り易さに関する空間用途の特性を建物崩壊リスクに反映させるためのものである。

出火率が火気を使用する空間は高く、火気を使用しない空間は低いなどは容易に推察されるが、その他にも様々な要因が関係すると思われるので、火災統計に基づいて定める。空間用途別の出火率比は池島、野竹等により火災統計の分析を基に、戸建住宅を基準として求められているが、下表 3.1 はその値を事務所を基準として書き直したものである。

因みに、小火は構造耐火の問題には影響しないので、ここでの出火は、成長火災のみを対象とする。但し、いずれの用途でも概ね‘成長火災数 \propto 全出火火災数’と考えれば、このパラメタを比の形で扱う以上、総出火数を対象として算出した値としても大きな誤差は生じないと思われる。

表 3.1 事務所を基準とした代表的空間用途での面積当たり出火率比

	集合住宅	飲食店	物販店舗	事務所	ホテル	病院	学校	劇場
(\bar{p}_f/p_f)	0.37	0.12	1.75	1	0.75	2.2	2.4	0.3

(\bar{A}_f/A_f) : 防火区画の床面積比

出火率は空間用途の特性に加えて空間の面積に依存する。ここでは出火空間の面積 A_f は防火区画の面積とし、防火区画の面積はわが国では従来 1500m² を最大としてきたので標準建物では $\bar{A}_f = 1500 \text{ m}^2$ とする。防火区画内には普段の使用上色々な間仕切りも出来るが、それらの延焼防止性能は一般に高くはないし、また随時の変更も有り得るためである。

出火空間の出火率は床面積の 1/2 乗に比例するものとする。もし、出火源となる様々な火気やエネルギー源が空間規模とともに増えるのであれば出火率は面積に比例すると考えられる。しかし、例えば住宅のようにキッチンのように、特定の火源の出火の影響が圧倒的な空間であれば出火率は面積に関わらず一定に近いであろう。統計的に表れる出火率はこれらの 2 タイプの出火源の影響が混在していると考えられる。(Annex A11 参照)

(\bar{Y}_L/Y_L) : 建築物の耐用年数の比

建築物が使用される年数が実際何年になるかは良く分らない。時々修理や改修を繰り返しながら百年を超えて使い続けられる建築物もあれば、新築後さほど年月は経っていても機能の陳腐化や経済環境の変化によって短時間で解体・除却されてしまう建築物もある。

耐用年数の統計データを見つけることは難しいが、税法上の減価償却に関して構造別に法定耐用年限が定められており、経済的、技術的な状況を考慮して時々見直しが行われている。これは建築物の物理的耐用年限とも実際に使用されている年数とも異なるが、経済的な状況の変化なども考慮されている点で、より現実性がある。税法上の耐用年数なので実際の使用年数とは組織的誤差が存在すると思われるが、ここで使うのが標準建物との比なので、実際との誤差は酷く大きくならないと思われる。

(\bar{P}_{FO}/P_{FO}) : 成長火災が区画盛期火災となる確率の比

発生した火災は全て成長して区画盛期火災となる訳ではない。成長の途中で自然鎮火したり、人によって消火されるものもあり、またスプリンクラー (SP) が設置されていればその効果で鎮火したり火勢が抑制される場合もある。山口、池島など^[4]によれば SP が有効に火災の制御に成功する確率は 80% とされ、

またカナダ国立研究所 (NRCC) による北米の火災調査⁴⁾によれば、スプリンクラーが設置された室では設置されない室に比較してフラッシュオーバーの発生確率が 1/5~1/3 くらいに低減するようである。これらを考慮して、ここでは成長火災が区画盛期火災となる確率の比を下記のように定める。

$$\left(\frac{\bar{P}_{FO}}{P_{FO}}\right) = \begin{cases} 1 & (\text{Sprinkler 有り}) \\ 4 & (\text{Sprinkler 無し}) \end{cases}$$

$(\bar{P}_{n-sup}/P_{n-sup})$: 消防隊による火災抑制失敗確率の比

建築物に備えられた各種防火設備は作動失敗の可能性を無視できないが、消防隊の出動が盛期火災段階になっても無いということはある得ない。しかし、盛期火災を有効に抑制できるか否かは、火災規模と消火力との力関係次第である。

火盛り期の区画火災の規模は火災区画の大きさ程度と考えると、しごく合理的であろう。一方で消火力は公設消防の有する人員・装備の量が最大値となるが、それが全て有効に機能するとは限らない。

①低層の建築物、あるいは建築物の低層部の火災であれば建物周囲の地上から放水可能なので持てる消火力を有効に発揮できる可能性が高い。しかし、これが可能なのは精々3階くらい迄ではなかろうか。

②出火階がそれ以上の高さになれば梯子車からの放水に依るか建築物に進入しての放水になるので、消火力は格段に落ちてくる。更に

③出火階が梯子車の届かない高さになると建物内部に進入しての放水のみになるので消火力は極めて限定されることになる。

しかも、これらは楽観的な評価である。建築物が密集した市街地に立つ状況を考量すれば、

① 出火室が公道など消防隊が放水可能な空地に面していない可能性も大きい。

② 地上からの高さだけ見れば梯子車が架梯可能な高さであっても、実際に架梯可能な室は限られており。建物内部に進入して放水するしかない室が多い。

③出火室が梯子車の架梯高さを越えた階にある場合は建物内部からの放水のみになるが、大きな区画でも火災時に放水ポイントとなる開口はごく限定されている。

以上のように、このパラメタについては検討すべきことが結構多いので今後の課題として、今回は評価方法を保留しておく。但し、消防隊による消火に関する因子は非常に重要と考えられる。

$(\bar{N} \cdot \bar{A}_{FLR} / N \cdot A_{FLR})$: 建築物の階の総床面積 (出火階以上の階)

建築物が崩壊した場合の被害は、人命、財産、社会的影響など多岐に亘るが、具体的にそれがどれだけの値になるかの算出は難しい。しかし、大まかには崩壊した建築物の規模に比例すると考えることには合理性があるであろう。すると算出方法が具体的に決まらなくても、比をとれば建築物の規模だけの関係となる。標準建物の階床面積は、階の床面積=防火区画面積(1.500m²) + 共用部分と考えて、その共用部分を500m²とした。すなわち $\bar{N} \cdot \bar{A}_{FLR} = 9 \times 2000$ である。

近年は階の床面積が4000~6000m²にもなる大規模な高層建物も多く出現しているが、それでも高層建物全体の中では稀であろうし、まして現在の耐火基準が出来た1961年以前の建築物の中では大きい部類に属する床面積と考えられる。

因みに対象建物の床面積が階によって異なるときは、 A_{FLR} を平均しても良いし、合計 $\sum_{i=1}^N A_{FLR}(i)$ を取っても良い。

(2-3) 階数以外のパラメタ値が標準建物と同じ建築物の階数と許容崩壊確率と設計火災荷重密度

設計の対象建物で式(3.10)のパラメタ値が標準建物と同じと言うことは普通はないが、仮に建物階数(N)以外のパラメタ値が全て同じならば、構造部材の許容崩壊確率 $P_{a,fail}$ は式(3.9)の上の式

$$P_{a,fail} = 0.2 \left(\frac{9}{N} \right) \quad (3.10')$$

に帰する。

この場合の $P_{a,fail}$ と建物階数(N)との関係を示す下図 3.3 のようになる。なお表中の破線は耐火性能検証法における許容崩壊確率であるが、設計火災荷重密度 w_D を階数に依らず一律に 35kg/m^2 としているため、高層の建築物でも大きな崩壊確率が許容され、反面で低層の建築物でも小さな崩壊確率しか許されない構造となっている。(参照 Annex A1、Annex A2)

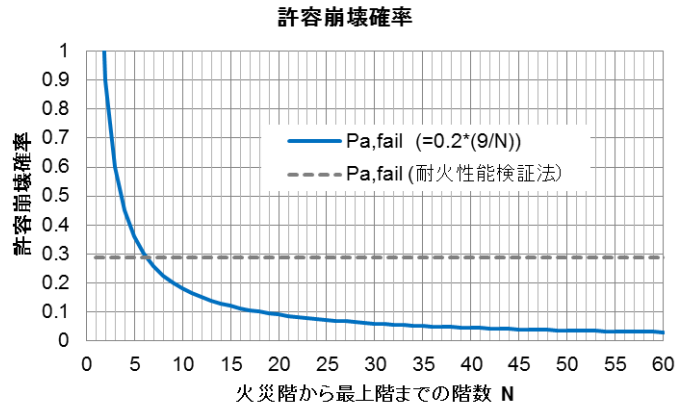


図 3.3 建物階数 N と構造部材の許容崩壊確率 (階数以外は標準建物と同じ場合)

上図 3.3 の許容崩壊確率に対応する設計火災荷重密度 w_D を示せば下図 3.4 のようになる。)破線は上述した耐火性能検証法の設計火災荷重密度である。

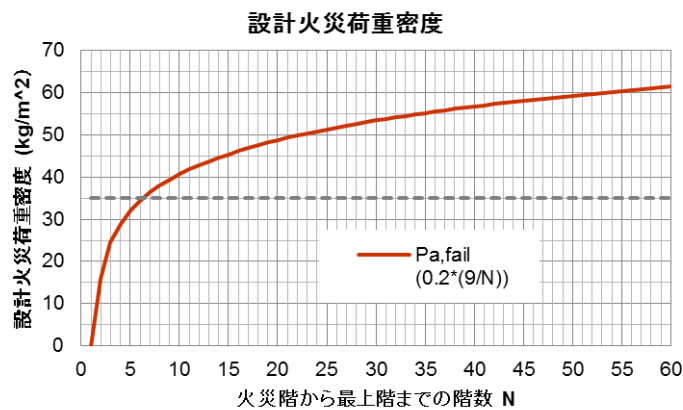


図 3.4 建物階数 N と設計火災荷重密度 (階数以外は標準建物と同じ場合)

3.6. 設計火災荷重密度の計算手順

今回の手法の目的は、建築物の規模、火災抑制機能、空間用途に依る出火率を考慮した建築物の崩壊リスクに基づいて、耐火設計[耐火性能検証]に求められる設計火災荷重密度を決めることであり、その手続きは下記に示すような(1)~(3)の非常に簡単な手順のみである。

(1) 構造部材の許容崩壊確率 $P_{a,fail}$ の計算

耐火設計[耐火性能検証]の対象となる建築物の条件に依るパラメタの値を下式に代入して構造部材の許容崩壊確率を計算する。

$$P_{a,fail} = 0.2 \left(\frac{\bar{p}_f}{p_f} \right) \left(\frac{\bar{A}_f}{A_f} \right)^{1/2} \left(\frac{\bar{Y}_L}{Y_L} \right) \left(\frac{\bar{P}_{FO}}{P_{FO}} \right) \left(\frac{\bar{P}_{n-sup}}{P_{n-sup}} \right) \left(\frac{\bar{N} \cdot \bar{A}_{FLR}}{N \cdot A_{FLR}} \right) \quad (3.7'再掲)$$

(2) 設計火災荷重 w_D の計算

積載火災荷重密度 w の確率密度関数を対数正規分布として、許容崩壊確率 $P_{a,fail}$ から設計火災荷重密度 w_D を次式により逆算する。エクセルでは下記に依れば計算出来る。

$$w_D = \text{LOGNORM.INV} (1 - P_{a,fail}, \mu_{\ln,w}, \sigma_{\ln,w})$$

表 3.2 建物空間用途による火災荷重密度のデータ

建物用途 室用途	事務所 事務室	集合住宅 居室	物販店舗 売り場	学校 教室	ホテル 客室
火災荷重密度 平均 μ_w	30.1	34.0	21.5	18.6	11.8
標準偏差 σ_w	13.5	11.7	9.6	6.2	1.7
対数正規分布 平均 $\mu_{\ln,w}$	3.3129	3.4704	2.9772	2.8705	2.4578
標準偏差 $\sigma_{\ln,w}$	0.4281	0.3345	0.4264	0.3246	0.1433

(3) 設計火災荷重 w_D の下で耐火性検証

設計火災荷重 w_D の下で通常行われている耐火性能検証を行う。

(今回の手法では手順(3)以降の手順は対象としない。従って、実質的に手順は(1)、(2)のみが対象)

[参考文献]

1. J. L. Gross, Fire-Structure Interaction: U.S. Perspective, Operation Tomodachi – Fire Research, NIST, 2015.3
2. 国土交通省住宅局建築指導課等編集：2001年版 耐火性能検証法の開設及び計算例とその解説、井上書院、平成13年3月
3. 野竹宏彰、池畠由華、山口純一、田中哮義：住宅・共同住宅火災の統計的分析に基づく設計避難リスクの算出—火災安全設計における設計避難リスクに関する研究—、日本火災学会論文集、Vol.61、No.2、pp1-12、2011
4. 池畠由華、野竹宏彰、山口純一、田中哮義：統計データに基づく用途別の避難リスクの算出—火災安全設計における設計避難リスクに関する研究—、日本火災学会論文集、Vol.61、No.2、pp37-46、2011
5. J. Gaskin and D. Yung: Canadian and U.S.A. Statistics for Use in the Risk-Cost Assessment Model, Internal Report (NRCC, Institute for Research in Construction), 1993-01