

2. 耐火基準により確保される安全性のレベル

2.1. 建築基準法の耐火規定

周知のように建築基準法では施行令第 107 条により下図 2.1 のように、最上階から数えた階数によって 1, 2, 3 時間の耐火時間を要求している。

	非損傷性		遮熱性	遮炎性	
	柱・はり	床・耐力壁	壁、床	外壁	屋根
最上階	1時間	1時間	(ただし非耐力壁の外壁で延焼のおそれのある部分以外の部分は30分間)	1時間	30分
4					
14	2時間	2時間			
GL			3時間	3時間	

図 2.1 施行令第 107 条の耐火規定 4)

施行令第 107 条は昭和 36 年 (1961) に規定されたものである。それ以前にも耐火構造の建築物は多少存在したが、耐火性能は規定されておらず、西洋式の様式で造ったレンガ造建物あるいは RC 造建物が耐火造として慣習的に理解されていたに過ぎなかった。

耐火時間のような幾分性能的指標の導入が必要となったのは、耐火規定が導入される前年に、それまで定められていた建築物の高さ 31m (≒100 尺) の制限が撤廃されたことによる。それ以降は経験の無い高さの建築物が続々と建設されていくことが予想される中で、それらの建築物にどんなレベルの耐火性を求めるべきかの検討が行われた。その過程で着目されたのが当時存在していた 2 種類の耐火造建物、すなわち高さ制限の中で建てられていた RC 造建物、および大戦後の都市不燃化の中で全国的に建設が進められていた RC 造の公営共同住宅であった。

前者は 31m の高さ制限によって実質 9 階建が限度であったが、これに関しては 1950 年 (昭和 25 年) に制定された建築基準法施行令第 107 条に鉄筋のかぶり厚さが規定されており、これが 90 分の火災に耐えるものとされていた。また後者は戦後 GHQ の軍事物資の中からセメントなどの資材の提供を受けて、高輪に建設された 2 棟の 4 階建共同住宅を始まりとするが、こちらは 1 時間の火災に耐えるものと判断された。この 4 階で 1 時間、9 階で 1.5 時間を基に外挿すれば 14 階で 2 時間となるので、15 階以上は 3 時間ということになった。

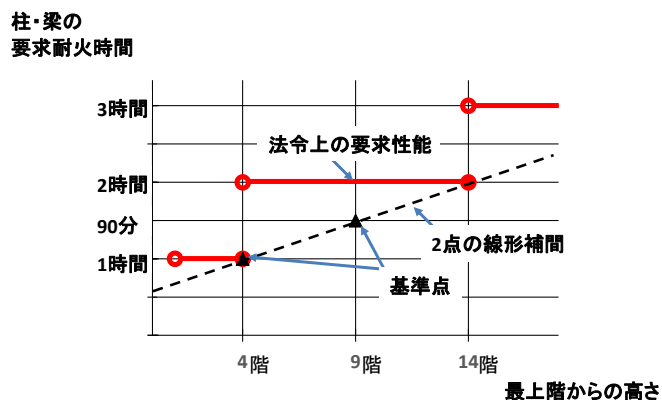


図 2.2 建基法施行令第 107 条の耐火規定の根拠と見られる考え方

こうして導入された耐火規定は 4-5 階、14-15 階の間で要求耐火時間が突如 1 時間も増加する、そもそも耐火 2 時間なら 14 階建てであっても許されるものが 5 階建てにまで要求される、また元々 3 階以下の建築物では防火上の地域や建物規模によって耐火構造としなくて良いが、この規定だと全て 1 時間の耐火構造とする必要があるように思える、などの疑問点は多々ある。想像するに、図 2 の耐火規定は飽くまで高層建築物を適用対象とした規定であって、低層の建築物へも適用されることは考えられていないものと思われる。

このように、施行令第 107 条の要求耐火時間の規定には不合理な点は少なくないが、崩壊した場合に及ぼす影響が大きい高層の建築物ほど崩壊確率を小さくする、という観点で見れば、階数が大きいほど大きい耐火時間を要求することは基本的方向として正しいと考えられる。

2.2. 耐火性能検証法

耐火性能検証法では仕様のな要求耐火時間の代わりに室の用途に応じた設計火災荷重密度を規定して、空間の面積に応じた積載火災荷重と固定火災荷重の下で火災性状予測を行い、主要構造部の耐火上の安全性、つまり耐火性能を検証する。

火災性状は出火空間の開口条件、周壁の吸熱特性等の特徴によって大きく異なるので、これらの特徴を考慮して合理的、かつ自由な耐火設計[耐火性能検証]が可能なのは、建築物の階数のみで一律に要求耐火時間を規定する令第 107 条と比較すれば大きな利点と言える。

しかし、設計火災荷重密度を室の用途のみで一律に定めることは、仮に 2~3 階程度の小規模な建築物でも、100 階建ての大規模建築であっても主要構造部の耐火性能は基本的に同じで良いとしていることと同義である。しかし、積載火災荷重密度は空間用途が同じであっても、下図の例のように確率的にかなり広く分布するので、設計火災荷重密度として或る 1 つの値をとれば実際の火災荷重密度が設計値を超過する確率が残る。このような設計火源の設定は、その残存確率を許容可能であると判断することに他ならない。

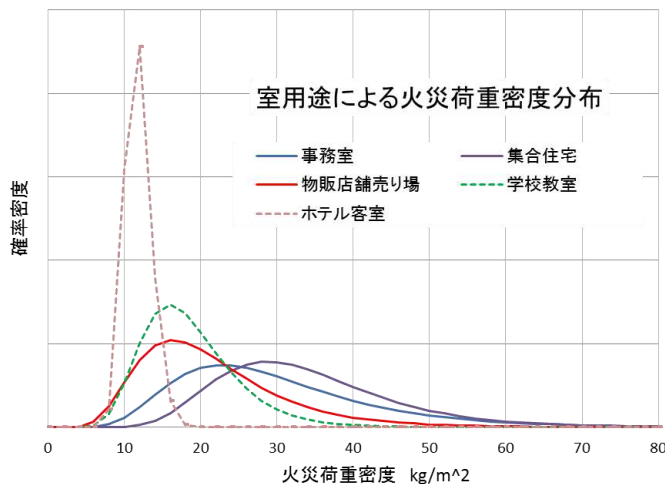


図 2.3 可燃物調査データに基づく空間用途による火災荷重密度の確率密度分布

[参考文献]

1. 建築基準法施行令第 107 条
2. 水上点睛：Q.390 耐火性能、規基準の数値は「何でなの」を探る 第 3 巻、建築技術、2015.11
3. 鈴木貴良：Q.391 高層区画、規基準の数値は「何でなの」を探る 第 3 巻、建築技術、2015.11
4. 日本建築学会：建築火災安全設計の考え方と基礎知識、丸善、2019（共著）

2.3. 耐火試験と区画火災

(1) 耐火試験の温度と区画火災温度（詳細については **Annex 5** 参照）

耐火試験における加熱温度時間曲線は、建築基準法において‘通常の火災’の温度と呼ばれることもあるが、時間毎の温度の値が数値、あるいはその近似式で規定されているだけで、建物内で発生した火災現象における物理的意味は説明されていない。しかし、MQH 区画火災モデルを換気支配火災に適用してみれば、

$$\frac{\Delta T}{T_{\infty}} = 6.0 \left(\frac{\Phi}{I_B} \right)^{1/3} \tau^{1/6} \quad (2.1)$$

ただし $\Phi = A_w \sqrt{H_w} / A_T$, $I_B = \sqrt{k\rho c}$, τ =加熱時間(min.)

この式で $\Phi / I_B = 0.0175$ とすると ISO834-1 の温度曲線と殆ど等しいことが分る。

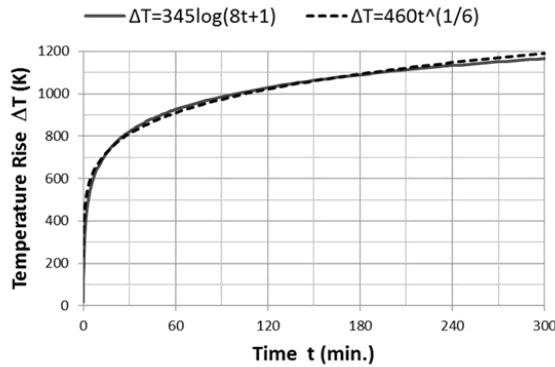


図 2.4 式 2.1 と ISO834 の温度時間曲線の比較

(2) 標準火災区画(Benchmark fire compartment)

耐火試験の装置と加熱温度曲線からは具体的な火災区画を想像することは難しいが、式(2.1)で $\Phi / I_B = 0.0175$ の条件に対応する火災区画を特定することは容易なので、これを仮に標準火災区画（Benchmark fire compartment, 規模を問わず存在する）と定義すれば、ISO834 シリーズの耐火試験で加熱を受ける部材は、標準火災区画において同じ温度に曝される部材と見做すことが出来、また、任意の火災区画と耐火試験における建築部材の加熱条件の差は、標準区画の Φ / I_B との差によって評価が可能になる。

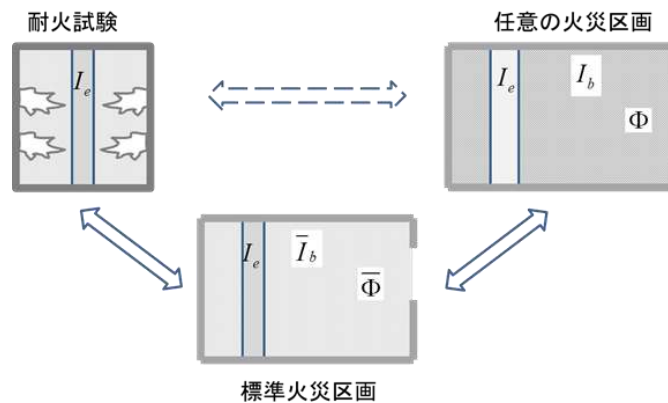


図 2.5 耐火試験と標準火災区画（Annex A7 参照）

(3) 耐火試験における耐火時間と区画火災の火災継続時間

区画火災では室内の火災の継続に伴って火災荷重が減少する。その質量燃焼速度 m_b が火災中一定であれば火災荷重が燃え尽きる時間が火災継続時間 τ_D である。この火災継続時間 τ_D と耐火試験における耐火時間とはどんな関係にあるのだろうか？

耐火試験からは火災継続時間の情報は勿論得られないが、標準火災区画を想定すれば、良く知られた川越・関根による可燃物の質量減少速度、 m_b 、の関係が使えるから

$$m_b = \frac{wA_{FLR}}{\tau_D} \approx 6A_w\sqrt{H_w} \quad (2.2)$$

ここに、 w = 火災荷重密度 (kg/m²)、 A_{FLR} = 火災区画の床面積(m²)、 τ_D = 火災継続時間(min.)

従って、火災継続時間 τ_D に対応する火災荷重密度 w は

$$w = \frac{6A_w\sqrt{H_w}}{A_{FLR}}\tau_D = 6\left(\frac{A_w\sqrt{H_w}}{A_T}\right)\left(\frac{A_T}{A_{FLR}}\right)\tau_D = 6\left(\frac{\Phi}{I_B}\right)\left(\frac{A_T}{A_{FLR}}\right)I_B\tau_D \quad (2.3)$$

ここで、標準火災区画では上記のように火災区画の規模に関わらず $\Phi/I_B = 0.0175$ であるが、 (A_T/A_{FLR}) は規模によるので、事務所と共同住宅の平均的形状の区画の面積がそれぞれ 1500m² と 72m² の場合の例について概算すると次のようになる。(Annex A10 参照)

$$\frac{A_T}{A_{FLR}} = \begin{cases} 2.43 & (H = 4m: \text{事務所}) \\ 3.5 & (H = 3m: \text{住宅}) \end{cases} \quad (2.4)$$

これらの値を用いて標準火災区画の火災荷重密度 w の減少量の計算結果を表 2.2 に示している。

事務所では1時間当たりの減少量は区画壁が普通コンクリートの場合 26.2kg/m²、軽量コンクリートの場合 16.4kg/m²となる。また共同住宅では、普通コンクリートの場合 37.7 kg/m²、および軽量コンクリートの場合 23.6 kg/m²となる。

表 2.1 中の構造部材の崩壊確率の値は、時間 τ_D 迄の燃焼によって消費されないで積載火災荷重が残っている確率を計算して構造部材の崩壊確率としたものである。例えば、耐火試験で1時間の加熱に耐えた建築部材は、標準区画の事務室の区画壁が普通コンクリートであれば、積載火災荷重密度が 26.2kg/m²消費されるまでの加熱に耐えたに過ぎないので、火災荷重密度がこれを超える確率、すなわち構造部材の崩壊確率は 54.4%になり、軽量コンクリートであれば 16.4 kg/m²消費されるまでの加熱に耐えたに過ぎないので、崩壊確率は 88.6%となる。

但し、この結果はあくまで標準火災区画での議論である。実際の空間では $A_w\sqrt{H_w}$ の値によって、式(2.3)の Φ/I_B 値が大きくなり、積載火災荷重密度の消費速度が増える場合が多い。また、構造部材に作用する荷重は、耐火試験時と同様に長期に許容される最大の荷重が作用しているとの前提に基づいている。一般に、耐震設計された建築物においては、建築物の柱の長期荷重に対する作用荷重の比は低層階ほど大きく、梁では小さくなる。鉄骨造の柱、梁の長期許容荷重に対する作用荷重の比(荷重比)は、90%タイル値で概ね 50%程度であり、実際の構造体は耐火試験時に比べて余裕がある。

表 2.1 標準区画火災における火災継続時間に対する積載火災荷重密度の減少量と構造部材の崩壊確率

耐火時間 h	普通コンクリート				軽量コンクリート			
	事務所		共同住宅		事務所		共同住宅	
	火災荷重密度	崩壊確率(%)	火災荷重密度	崩壊確率(%)	火災荷重密度	崩壊確率(%)	火災荷重密度	崩壊確率(%)
0	0	100	0	100	0	100	0	100
1	26.2	54.4	37.7	31.7	16.4	88.6	23.6	82.2
1.5	39.3	20.1	56.6	4.5	24.6	60.2	35.3	39
2	52.4	6.6	75.4	1.7	32.8	33.9	47.1	12.7
3	78.6	0.7	113.1	0	49.2	8.7	70.7	9

表 2.2 収納可燃物調査データによる火災荷重密度の平均と標準偏差

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

表 2.3 鉄骨造建物の構造部材の長期許容荷重に対する作用荷重の比(90%タイル値)

	柱の荷重比	梁中央部の荷重比
1 時間耐火構造	0.3	0.5
2 時間耐火構造	0.4	0.4
3 時間耐火構造	0.5	0.3

[参考文献]

1. B.J. McCaffrey, J.G. Quintiere, M.F. Harkleroad: Estimating room fire temperature and the likelihood of flashover using fire test data correlations, *Fire Technology*, 17,2, pp98-119, 1981
2. 田中哮義：第3版 建築火災安全工学入門、日本建築センター、令和2年3月
3. 大内富夫ら：建築構造物の長期設計荷重時応力 その1～4、日本建築学会大会梗概集、1997