

1. 耐火設計の源流

建築物の火災安全設計の中で、耐火設計が担当する範囲は何処までと意識されているのであろう。火災による建築物の崩壊防止は主目的として当然含まれるが、その他にも建物内あるいは都市内の延焼防止、更には避難安全にも関係する。

このように耐火設計は火災安全設計の基盤とも言えるので、基盤の確りした体系の構築が必要である。現在、建築基準法の施行令第 107 条にしる、耐火性能検証法にしる、耐火設計に不可欠な基盤になっているのは主要構造部の耐火試験データである。今後耐火設計をどう発展させて行くべきかは関係者の間で大いに議論すべきことであるが、耐火設計が現在のようになった歴史について知っておくことは、望ましい形の耐火性能検証法を構築して行く上で参考になると考えられる。

1.1. 米国の大火

米国はかつては都市大火が頻発する国であった。特に有名なものを幾つか挙げて見るだけでもニューヨーク大火(1835)、シカゴ大火(1871)、ボストン大火(1872)、ボルチモア大火(1904)などが起っている。多くの不燃建築物もこれらの大火に巻き込まれて無残に破壊され被災跡に残る焼けビルとなった。

この頃、米国では多くの保険会社が火災保険を引き受けていたが、あまりにも大火が頻発することから多くの保険会社が倒産することになった。そこで建物の質を上げない限り、保険業務の運営は不可能だとして、ニューヨークの保険業者が共同で作り始めた建築基準 (Building Code Recommended by National Board of Fire Underwriters) が後に米国のモデル建築コード(National Building Code)の基となった。この 1900 年の初頭ころは、NFPA (National Fire Protection Association) もモデル建築コードを作成するなど、米国で建築基準の作成活動が盛んに行われた時期であった。

ASTM (American Society for Testing and Materials) が、耐火試験法の開発に乗り出したのは、この建築基準作成の動きと関係している。



図 1.1 ボルチモア火災(1904)⁴⁾

1.2. Ingberg (NBS) の実大火災実験と ASTM の耐火試験温度

ASTM は 1905 年、標準耐火試験法を開発するための委員会を組織した。これは主として床構造の耐火試験を行う目的だったようである。当時の不燃建物はヨーロッパと同様に、壁は石造やレンガ造であっても床は木造や鉄骨造が多かったのではないかと思われる。

なお、試験法はガス炉が使って部材を加熱するものだったので、加熱温度は現在の耐火試験の加熱温度曲線と類似であったが、実際の建物火災の温度との関係は不明であった。そのため、実際の火災における評価法として妥当か否かについて多くの議論があった。この段階では、実火災との関係は不明であるが、どのような部材の耐火性が高いかどうかについて、ランキングすることは可能だろうとの意見に押されて採用されたようである。

一方、1914 年、NBS (National Bureau of Standards)において Simon H. Ingberg(Chief, Fire Resistance Section, U.S. Bureau of Standards) を長として火災研究が始められるようになった。Ingberg は実大の建築物の火災実験に情熱に注いだ人である。彼は、事務所、住宅、資料室などを想定し、異なる可燃物を設定して多くの火災実験を行い、火災温度を測定したが、その情熱は NBS 退職後も衰え

ず、自宅のガレージを使って火災実験を続けたと言われている。

下図 1.2 は彼が実施した多くの実大火災における可燃物の設置の例である。

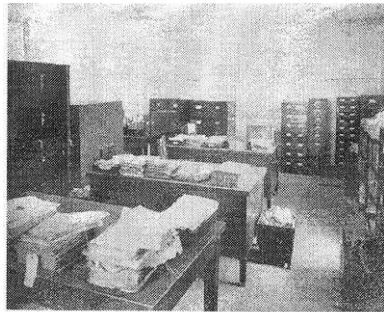


Fig. 1. The interior of the small test building arranged to represent a typical office with meta furniture on a cement floor. (Used with permission of NFPA.)

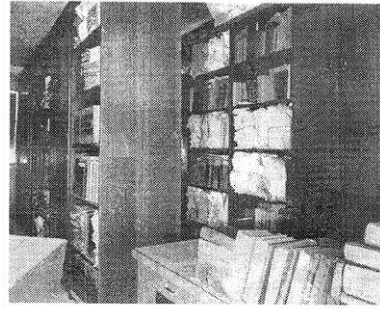


Fig. 2. Steel shelving in the small fire test building arranged to represent a records room (Used with permission of NFPA.)

図 1.2 Ingberg の実大火災実験における可燃物のレイアウト (左：事務室、右：資料室) 2)

下図のグラフで ASTM の記号は Ingberg が ASTM の標準耐火試験法作成のために選定して渡した測定データと言われる。90 分までのデータであるが、温度の時間履歴は標準耐火試験温度とは大きな差がある。ASTM の温度曲線はそれぞれの火災条件での温度のピークをカバーするように連ねたものかも知れない。

唯一、例外として NO.8 の資料室だけは ASTM の耐火試験温度に近いが、図 1.2 (右) の可燃物レイアウトを見ても、図 1.3 のように火災が初期から急速に拡大するためには余程特殊な着火条件を設定しなければ不可能なように感じられる。

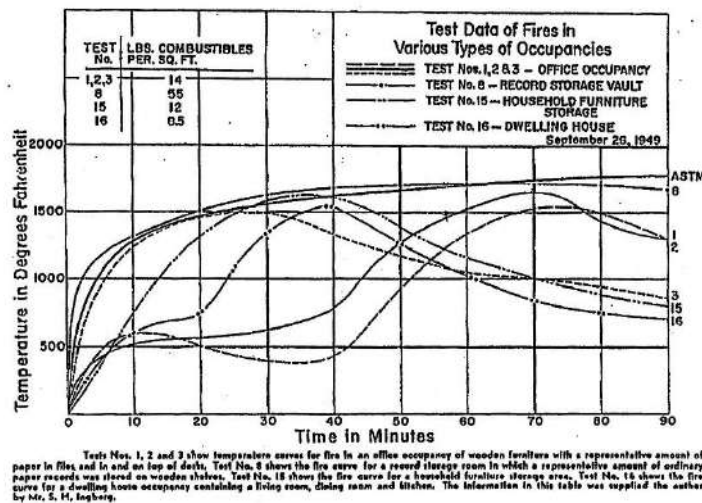


図 1.3 ASTM の標準耐火試験温度 (E119) の元になった Ingberg のデータ 9)

1.3. 耐火試験の導入と世界的広がり

ASTM は 1900 年代初頭に、耐火試験の温度・時間曲線 E119 を作成したが、欧州では同時期に英国の BFPC (the British Fire Prevention Committee) が 1903 年、幾分同様な耐火試験法の提案を行っているようである。ただ、英国なりの必要が有ったのか、米国との研究交流の結果なのかは不明である。

E119 に倣った耐火試験法は第 II 次世界大戦の後、欧州を中心とする各国に急速に広まっていった。これらは単に新規な技術に知的好奇心を刺激されたからという理由ではなく、戦後復興のための建築技術開発の一環であったと考えられる。大戦によって夥しい建築物が失われた欧州各国は、戦後復興における建設に、従来の伝統的工法でのんびりと時間を掛けていることは出来ず、住宅を始めとする大量の建築物を安価に短期間で生産する必要があった。このため大戦後には、我が国の建設省建築研究所と似たような、建設技術開発を目的とする研究所が多くに設立され、建築物の耐火性の研究もこれらの研究所で実施された。

急いで成果を出すためには先行する米国の方法を参考にするのが効率的である。下図は各国の標準耐火試験温度であるが、概していえばこれらの国々の温度・時間曲線に大差はない。微妙に異なっている国々があるのは、耐火炉の炉材の種類や厚さなどの仕様が幾分異なっているのか、あるいは、それぞれの国で研究の結果を考慮して独自の変更が加えられたのか、どちらかであろう。

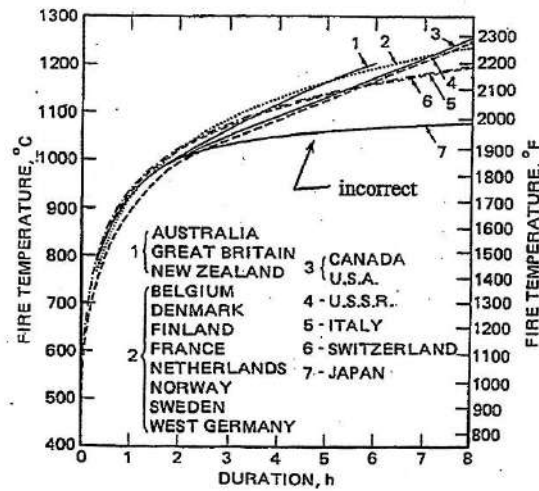


図 1.4 各国の標準耐火試験温度・時間曲線⁵⁾

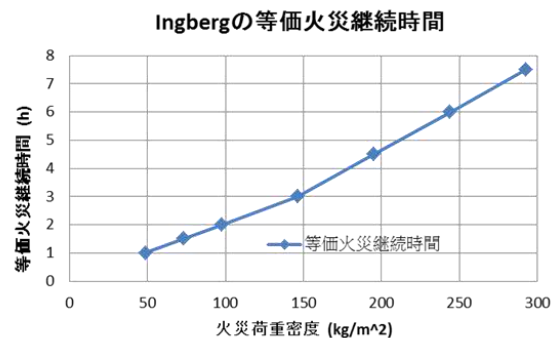
各国の標準耐火試験・温度曲線は ASTM E119 と同じく、加熱時間が 8 時間までと言う非常に長い時間まで定められていることである。

実は ASTM は耐火温度・時間曲線は作成したが、耐火時間の基準、すなわち建築部材が耐火試験での加熱に何時間耐える必要があるかのクライテリアは決めなかった。一方、Ingberg は火災の厳しさ (Fire severity) は火災荷重に比例すると考えており、下表のように 7.5 時間までの火災荷重密度との関係を示していた。この火災荷重密度は積載火災荷重だけ考えれば非常に大きな値であるが、固定火災荷重も含めた値とすれば妥当な値だったのかも知れない。

あるいは、Ingberg に時代の建築物の床が木材等で構成され、火災で燃え抜け易かったとすれば、上階の積載火災荷重が出火区画に落下することによって長時間火災が継続するという事も実際に在って、そのような火災経験が反映されたのかも知れない。

表 1.1 Ingberg の火災荷重密度と等価火災継続時間⁹⁾

Fire Load		Assumed Combustible Load		Equivalent Fire Duration
(lb/ft ²)	(kg/m ²)	(Btu/ft ²)	MJ/m ²	
10	48.8	80,000	907.9	1 h 00 min
15	73.2	120,000	1361.9	1 h 30 min
20	97.6	160,000	1815.8	2 h 00 min
30	146.5	240,000	2723.7	3 h 00 min
40	195.3	320,000	3631.7	4 h 30 min
50	244.1	380,000	4312.6	6 h 00 min
60	292.9	432,000	4902.7	7 h 30 min



1.4. 日本における耐火設計の経緯

日本は、都市を木造建物で造って来たこともあって、昔から頻繁に市街地大火による膨大な被害に悩まされてきた国である。明治時代になって、西洋に倣った不燃建築の建設を進めてきたが、東京の丸の内、銀座界限をはじめ不燃化が進んだ地域であっても、関東大震災では多くの不燃建築が延焼を受けて焼け落ちている。

第 II 次世界大戦における空襲では、欧州各国も甚大な火災被害を受けた国であるが、最大の被害を受けたのは日本である。被害は全国主要都市の殆どに及んだが、関東大震災から復興して間もない東京も再び焼け野原となってしまった。

日本の耐火研究はこの空襲の焼け跡に残った焼けビルの再利用可能性の診断が目的であったと聞いているが、そのためには先ず建築物における区画火災の性状を明らかにすることが必要であった。

この研究は、戦地から復員してきた川越邦雄を中心として、関根孝など建築研究所のメンバーによって実施され多くの成果をあげた。特に川越・関根による区画火災における可燃物の質量燃焼速度と換気因子の関係の発見は、画期的の成果であり、区画火災の発熱速度や継続時間の予測を可能にし、世界の火災研究に非常に大きな転機をもたらした。

この川越・関根の研究が BRI Research Paper No.27 に発表されたのは 1958 年であるが、これ以後各国で関係する多くの研究が行われている。下図はその 1 例に過ぎないが、火災荷重と開口の大きさ変えた場合の火災継続時間と区画火災温度の関係について調べた実験結果である。なお図中の 60(1/2)などの記号は、可燃物密度=60kg/m² (開口面積/側壁面積=1/2) のように読む。

開口が小さい方が火災継続時間が長くなるのは、燃焼速度が開口因子に比例するとする川越・関根の結果に一致する傾向である。ただし、図は文献 5.からの引用であり、温度も同時に高くなる理由については基の論文を調べていないので不明である。

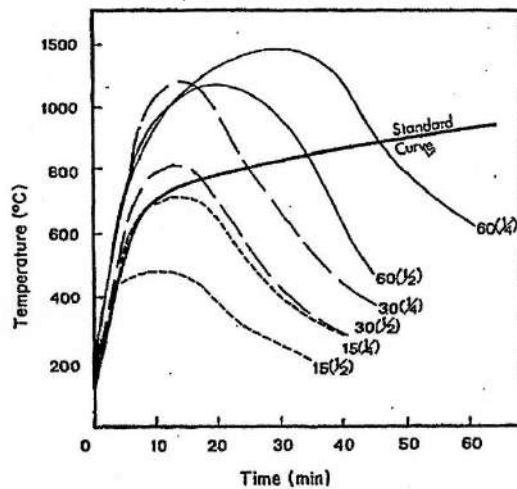


図 1.5 火災荷重道度および開口面積と火災温度および火災継続時間⁸⁾

まとめ

歴史的に見れば、建築物の耐火性の評価の必要性は、いずれの国でも市街地火災との関連で起きたものと言えるであろう。しかし市街地火災は着火源であって、建築物を破壊するエネルギー源は建物内部の火災荷重であろう。

耐火試験の標準加熱温度は耐火炉の温度上昇特性を反映したものであって、実際の建築物の火災性状に基づいてはいない。その点を十分認識した上で、実務的に上手く利用する工夫が必要と考えられる。

[参考文献]

1. D. Gross: Fire Research at NBS: The First 75 Years, Invited Lecture, Fire Safety Science, The 3rd International Symposium
2. D. Evance, D. Gross and R. Wright: Test of the Severity of Building Fires, <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/sp958-lide/028-032.pdf>
3. J. R. Lawson: A History of Fire Testing, NIST Technical Note 1628, 2009
4. J. L. Gross, Fire-Structure Interaction: U.S. Perspective, Operation Tomodachi – Fire Research, NIST, 2015.3
5. L.Y. Cooper, K.D. Steckler: Methodology for developing and implementing alternative temperature curves for testing the fire resistance of barriers for nuclear power plant application, NUREG-1547, NBSTIR 5842.

6. ASTM E119; American Society for Testing and Materials: Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Materials, Philadelphia, 1918.
7. Kunio Kawagoe: Fire behavior in rooms, Report of the building research institute No.27 1985.
8. Butcher, E.G, Chitty, T.B., and Ashton, L.A.;; The Temperature Attained by Steel in Building Fires, Fire Research Technical Paper No. 15, H.M. Stationery Office, London, 1966.
9. S. H. Ingberg, Tests of the Severity of Building Fires, Q. Natl. Fire Prot. Assoc. 22, 43-61, 1928.