

北米， 北欧に見る木造建築物の高層化技術

菊 地 伸 一

キーワード：木造建築物， 耐火性能， 耐火建築物， 遮熱性能

はじめに

1950年に建築基準法が制定されて以降，市街地の木造建築物は防火上の観点から一貫して厳しく規制されてきましたが，1987年，準防火地域内に3階建て木造住宅の建設が可能となってからそのような状況が変わり続けています。2000年には防耐火構造の評価方法が大きく変更され，4階建て以上の中層木造建築物の建設につながる木造耐火構造や木造と鉄筋コンクリート造を組み合わせた木質ハイブリッド構造などのような新しい建築物が法規上可能となりました(表1)。また，地球温暖化に関わる温室効果ガスの排出量6%削減を達成するため，木造建築物には二酸化炭素を固定する“都市の森”としての役割が期待されるようになり^{1,2)}，これまでとは異なる木造建築物が発展する環境が生まれています。しかし，木造建築物の上限が3階建てまでであったことから，新しい木造建築物が伸びていくために必要な建築技術，特に防火安全性に関する技術が蓄積されていません。

一方，海外に目を向けると，カナダやアメリカ合衆国では1980年代以降木質ハイブリッド構造による中層木造建築物が活発に建設され，多くの実績を積み重ねています。また，北欧諸国でも1990年代以降中高層木造建築物を可能とする建築基準の改正が行われ，4～5階建て木造建築物が建設され始めています。今後，中層木造建築物を発展させていくためには，これら先進地の技術基盤が参考になると考えられます。特に，北海道の高断熱建築物には寒冷地に適した耐火設計技術の開発が欠か

せず，これには北米・北欧の防火安全技術が手がかりになると期待されます。

2002年，海外技術導入促進事業において，北米・北欧諸国の防火設計技術を調査・収集する機会(高断熱木造建築物の防耐火設計技術に関する調査)に恵まれました。ここでは，カナダおよび北欧における中層建築物に対する防火安全上の取り扱いについて，カナダ国立建築研究所(IRC)，フォーリンテックカナダ(株)(Forintek)およびスウェーデン林産研究所(Trätekt)でのヒアリングおよび提供された資料をもとに紹介します。

カナダにおける中層木造建築物

カナダの建築基準法(NBCC:National Building Code of Canada)によると，中層木造建築物の基準は次のようになっています。

- ・スプリンクラーのある住宅は1時間耐火構造で4階，1,800m²/階まで可能(表2)。
- ・スプリンクラーのない住宅は1時間耐火構造で3道路に面すると3階，1,200m²/階まで可能(表2)。
- ・地下駐車場と1階の住宅との床を2時間耐火構造で区画すると4階まで可能(地下1階，地上4階)。
- ・隣棟との界壁を2時間耐火構造の防火壁で区画すると別棟として取り扱うことができる。

CWC(Canada Wood Council)の資料³⁾によると，戸

表1 木造建築物に対する建築基準の緩和状況

年	木造建築物に対する規制の変遷
1987	準防火地域内での3階建て木造建築物の建設が可能
	構造用集成材で建設される木造建築物の高さ制限が緩和
1992	防火・準防火地域以外での木造3階建て共同住宅の建設が可能
	準耐火建築物の新設
1997	準防火地域内での木造3階建て共同住宅の建設が可能
2003	木造耐火構造の認定

表2 カナダで建設可能な木造建築物の最大床面積

耐火時間(h) ¹⁾	階数	最大床面積/階(m ²)			
		スプリンクラーあり	スプリンクラーなし		
			1道路 ²⁾	2道路 ²⁾	3道路 ²⁾
1	1	7,200	2,400	3,000	3,600
	2	3,600	1,200	1,500	1,800
	3	2,400	800	1,000	1,200
	4	1,800	—	—	—
0.75	1	5,400	1,800	2,250	2,700
0.75	2	2,700	900	1,125	1,350
0.75	3	1,800	600	750	900

1) 床，耐力壁，柱に必要な耐火性能

2) 接する道路数

建て住宅の建築コストは鉄骨造よりも木造のほうが約17%安く、保険料率が高くて（鉄骨造の5倍）、トータルでは木造が安くなるようです。IRCのLatour氏によると、バンクーバー周辺のように土地価格が高い地域では4階建てに必要なスプリンクラー設置によるコストアップは床面積を大きくすることで吸収できる、とのことでした。写真1に枠組壁工法で建設中の4階建て木造建築物の一例を示します。このような木造建築物が広く普及しているようです。



写真1 カナダの中層木造建築物の一例
(Forintek, Mehaffey 博士 提供)

表2に示すように4階建て建築物の壁や床には1時間の耐火性能が求められます。また、共同住宅では住居間の遮音性が重視されることから、IRCでは床-天井構造について詳細な遮音試験および耐火試験を実施していました。それらの結果は、NBCCに「床、天井、屋根の耐火・遮音構造」として示されています。また、IRCとForintekとは、枠組壁工法の構造体内部に充てんした断熱材の影響を明らかにするための耐火試験を共同で行っていました。現在までに、

- ・断熱材を充てんした場合、加熱側石こうボードの温度上昇が促進され、石こうボードの収縮・亀裂が無断熱よりも早く生じる、
- ・断熱材がグラスウールの場合、熔融し構造材を保

護する作用が失われ、耐火時間が短くなる、
 ・断熱材がロックウールまたはセルローズファイバーの場合は、火炎に暴露されても断熱効果を維持するので耐火時間は長くなる、
 などの結果が得られていました。例えば、断熱材を充てんしない構造の耐火時間が45分であるのに対し、グラスウール充てんが36分、ロックウール充てんが60分、そしてセルローズファイバー吹き付けが59分となっています。

コラム

カナダ国立建築研究所(IRC) 防火研究部

IRCはカナダの国立研究機関の集合組織であるカナダ国立研究院(NRC)に属する建築・土木に関する研究機関で、防火研究部はIRCの一部門となります。防火研究部の研究施設は、オタワ市郊外のNRC敷地内にある防耐火試験棟と約70km離れたカールトンプラザにある大型実験棟とに分かれています。カールトンプラザには10階建ての煙流動実験棟と外壁の火炎伝播性試験装置等を納めている実大実験棟があり、木質系材料の火炎伝播性についても調べていました。



縮小規模での上方火炎伝播性実験
(カールトンプラザでの実験棟)
実大装置は3階建て外壁の火炎伝播性を評価する

IRCが行う壁、床構造の耐火試験は研究目的に限られており、認定取得のための性能評価業務はアンダーライターズカナダ社(ULC)が担っています。国立の研究機関であることと性能評価業務を民間に委ねていることが、EU域内の建築系研究機関と大きく異なっています。



床の耐火性能を調べる水平炉
載荷用の治具が床一面に取り付けられる

民間企業との共同研究は積極的に行っており、例えば中層木造住宅の床の遮熱・遮音性能についての研究は、木材関係の民間研究機関であるForintekと協力して進めているとのことでした。

木造共同住宅では、床の遮音性が居住者の快適性に大きく影響することから耐火性能と同時に遮音性能の評価を行っていました。

これら天井の耐火性能は実大载荷加熱炉で荷重をかけながら評価しますが、遮熱性については加熱面が1×2m程度の小型耐火炉(写真2)でも評価しているとのことでした。

このような耐火試験による検証とともに、Forintekでは熱伝導に基づく構造体の温度上昇、炭化進行シミュレーションソフト(WALL2D)の開発を行っていました。これは、木材の樹種や石こうボードの厚さ、積層枚数、断熱材の種類等表3に示す計算オプションを指定すると、非加熱面温度、石こうボードの脱落時間、スタッドの炭化深さが計算され、構造体の耐火時間を推定することができます。開発を進めているMehaffey博士によると、WALL2Dの現行バージョンでは、载荷加熱における荷重支持力の低下、部材収縮の影響、石こうボード以外(OSBや合板)の壁仕上げ等には対応しておらず、今後の改良を待つ部分が大いようです。特に、日本の防耐火規格では荷重支持力を評価するので、部分的に炭化した木材の強度性能評価方法の開発を期待したいと思いました。

北欧における中層木造建築物

北欧の中層木造建築物の概要についてはTrättekのKönig博士、Östman博士から説明を受けました。

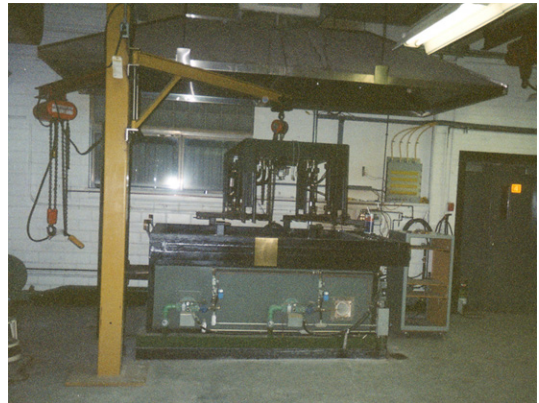


写真2 床の遮熱性を調べる小型耐火炉 (IRC)

表3 石こうボード張り木造非耐力壁の耐火性能予測モデル(WALL2D)

計算オプション		予測項目
スタッド	樹種	1) 温度変化 2) 目地開きの大きさ 3) 石こうボードの脱落時間 4) グラスウール断熱材の溶融・収縮状態 5) 断熱材の脱落時間 6) スタッドの炭化深さ
	サイズ	
	間隔	
石こうボード	ボード種類	
	ボード厚さ	
断熱材	ボード積層数	
	種類	
	密度	

コラム

スウェーデンの木材研究を担う Trättek

Trättekは「Trätteknisk Forskning」の略称で、「スウェーデン林産研究所」と訳されます。主な研究分野は製材、乾燥、接着、環境、耐久性、火災、構造、製品流通で、事務部門を含めて約75名、年間予算7,540万クローネ(1クローネ14円として約10億円)、ストックホルムと2か所に支所を持つ研究機関です。Trättekの本館はストックホルム中心街から北に地下鉄で10分ほどにある広大な王立工科大学の一角に位置しています。

Trättekは国立の機関ではなく、組織の60%を約600の企業で構成する組合が、残り40%を政府が設立した持ち株会社が保有する財団方式の研究機関で、日本の独立行政法人よりもさらに民営化が進められているようです。この運営資金は、スウェーデン木材研究組合などの木材団体、国内およびEUの各種の研究基金団体からの助成、大学などとの共同研究、公募型研究事業、手数料などから得ています。正面入り口には性能評価機関であることを示すラベルが表示されていましたが、性能評価業務のウェイトはそれほど高くなく、それらの業務はスウェーデン試験研究所が主に担っているとの説明でした。

スウェーデンの豊富な森林資源を背景として設立されたこと、広範な木材利用分野を対象としていること、大学との共同による基礎研究から企業の依頼による実用化研究まで行っていること、さらに森林や林業に関する研究は別機関で行われていることなど、研究者がやや少ないこと以外は林産試験場と良く似た性格の研究機関のように感じられました。



Trättekの外観

北欧4か国では、建築物に木材を安全に使うための情報を提供する「Nordic Wood Project」(Fire safe wooden buildings)が1990年代半ばにスタートし、軽量木材建築物に対する新しい設計ガイドが1999年に出版されています(Brandsäkra trähus(木造建築物の火災安全))。木造建築物の火災安全性を確保するための新しい火災設計技術が開発されてきたことから、認められる木造建築物の最高階数は徐々に変わりつつあり、現在では階数制限がなくなっています(表4)。

スウェーデンでは、4階建て木造建築物の壁・天井には60分間の耐火性能(図1)が、5～8階建て木造建築物の壁・天井には90分間の耐火性能が必要とされます。一般に建築されているのは4～6階建てまでですが、現在8階建てが計画されている、とのことでした。また、スプリンクラーを設けると外装に木材を使用することが認められています(写真3)。

実大サイズの耐火試験は多額の費用を要することから、耐火時間を推定するための「Addition Method」と

名づけられた計算式が開発されていました。これは構成部材各層の耐火性能を総和する方法で、ロックウールを充てんした間仕切り壁の計算例を表5に示します。「Addition Method」によって計算された耐火時間は、60分までの範囲でスウェーデン建設省から認定されており、同様な手法は、デンマーク、イギリスでも検討されているとのことでした。しかし、「Addition Method」で計算されるのはWALL2Dと同様に、構造の遮熱性能にとどまることから、部分的に燃焼している壁構造等の強度性能を調べることがこれからの大きな研究課題であることを改めて実感しました。

表4 北欧4か国で認められる木造建築物の最高階数

	1994	1997	1999	2003
スウェーデン	∞	∞	∞	∞
ノルウェー	3	∞	∞	∞
フィンランド	2	4	4	∞
デンマーク	2	2	4	∞

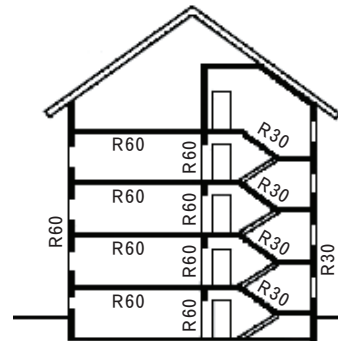


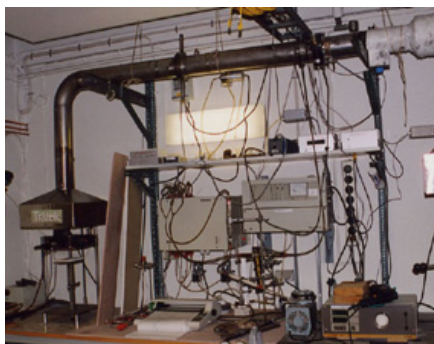
図1 4階建て木造建築物の耐火時間(スウェーデン)

注) R30: 30分耐火構造
R60: 60分耐火構造

コラム

Östman 博士

今回訪ねた Östman 博士とは、5年ほど前につくば市で開催された発熱性シンポジウム以来の懐かしい再会となりました。20年ほど前に来場されていますが、そのとき既に Träteks の防火部門のリーダーでした。博士は2001年にエジンバラで開催された第9回国際火災科学学会で、木構造の耐火性能に関する研究業績などにより「The Spade」



Träteks のコーンカロリメーター試験機

Träteks のコーンカロリメーターは日本で市販されている既製品に比べ甚だスマートさに欠けるが、研究を効率良く進めるための工夫が随所に凝らされている。

賞を受賞されています。Spade は“刃の広い刀”の意味で、その名のとおりの大きさ1m近い受賞トロフィーが研究室に飾ってあり、受賞式後に持ち帰るのが一苦労だったようです。

木構造に関する耐火性能評価と並ぶ博士の代表的な業績は、コーンカロリメーターを用いて行われた木材の発熱性に関する一連の研究です。我が国で防火材料の性能評価に用いられているコーンカロリメーター試験は、1980年代後半にアメリカで開発され、1990年代初頭にはEUの共通規格(EN)とするためにいくつかのプロジェクト研究が実施されています。北欧の国々はそれらプロジェクト研究の中心にあり、博士も多くの研究成果を発表されています。結局、コーンカロリメーター試験は防火材料のENとはなりませんが、それがEU各国の利害調整、政治的な妥協の結果であることを説明する博士は非常に残念そうでした。



写真3 北欧の中層木造建築物
(Trätek, Östman博士 提供)

上:外装に木材を取り入れた例
下:4階建て(手前), 5階建て(後方)の木造共同住宅

表5 「Addition Method」による耐火時間の推定例

構成材料	部材耐火時間 (分)	位置係数
12mm パーティクルボード(加熱側)	13.6	0.78
95mm ロックウール(26kg/m ³)	19	1
15mm 木材(非加熱側)	7.7	2.5

構造体の耐火時間=13.6×0.78+19×1+7.7×2.5=48.9分

おわりに

木造建築物に対する日本の耐火性能評価方法は北欧およびカナダのそれとは異なり、加熱終了後も崩壊しないことの確認を必要としています。そのため、WALL2Dや「Addition Method」で遮熱性能を評価するだけでは不十分です。しかし、これらのツールは新しい木造耐火構造の開発や断熱壁体の耐火性能を評価するにあたり、スクリーニングの手段としては簡易で優れた方法だと感じました。

ともあれ、Östman博士から8階建て木造建築物の計画を聞いたときには彼我の差を強く感じました。しかし、我が国でも高層木造建築物が現実のプランとして議論されるようになってきており、木造建築物のこれからは大いに期待したいと思います。

参考資料

- 1) 高層木造研究会:住宅と木材, 4月号, 14-27(2003).
- 2) 五十田博ほか:新建築, 2月号, 150-155(2003).
- 3) CWC:Fire Safety and Insurance in Commercial Buildings(2002).

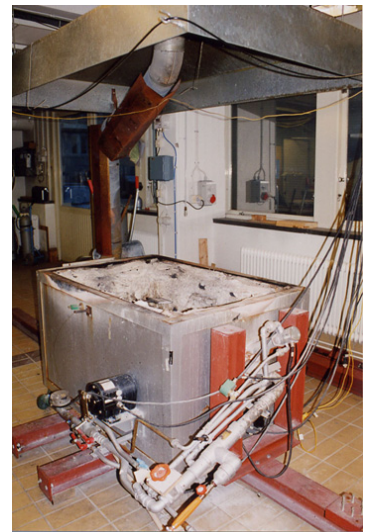
(林産試験場 企画課)

コラム

はり 梁や床などを加熱する水平炉

1999年に出版された「Brandsäkra trähus」は、北欧4か国の建築家向けの light timber frame 建築物に対する設計ガイドブックです。light timber frameの適当な訳語が見あたりませんが、大断面集成材を用いた heavy timber 建築物に対し、2×4のような製材で建てられた建築物を意味しています。

このガイドブックで扱っている中層木造建築物を実現するため、60分間の耐火時間を持つ壁、床構造などが実大燃焼試験に基づいて開発されています。そして、開発の負担を軽くするため、計算による構造体の耐火時間の推定も行われています。この耐火時間を計算するために必要な木材の炭化速度や木構造の遮熱性に関する多くの研究報告がTrätekの水平加熱炉から生みだされています。加熱炉は高さ1m、加熱面0.5×1m程度の大きさで、実大構造体の性能評価に用いられている一般的な水平炉に比べるとかなり小型です。しかし、Östman博士によると構造材に載荷できるような工夫がされており、詳細な実験を繰り返す行うためには適した装置とのことでした。訪問したときには、木材に多数の熱電対を取り付けて、内部温度変化を調べるための試験を行っているところでした。



木造床や梁の耐火性能を調べる
小型水平炉