総説

木造建築物の耐久設計

中 島 史 郎*

1. はじめに

木造建築物の耐久性の評価に関しては、これまでに多くの研究が実施されている。過去に実施された木造建築物の耐久性に関する研究の中でも、昭和55年度から5カ年にわたって産・学・官が協同して実施した建設省総合技術開発プロジェクト「建築物の耐久性向上技術の開発」(以下、「耐久性総プロ」と呼ぶ)は特筆すべきものである。同プロジェクトにおいて得られた知見は、現在我が国で、広く用いられている木造建築物の耐久設計法の根幹を成すものであり、例えば、日本住宅性能表示基準(平成13年国土交通省告示第1346号)に従って表示すべき住宅の性能に関する評価の方法の基準¹⁾を検討する際にも参考とされている。

耐久性総プロの成果は、図書「木造建築物の耐久性向上技術」²⁾として取りまとめられているが、同図書が取りまとめられてから30年以上の歳月が過ぎ、木造建築物の工法や仕様も当時とは大きく異なってきている。また、この間に木造建築物の耐久性に関する多くの研究と技術開発が行われるとともに、耐久性向上のための制度が整備され、木造建築物の耐久性は30年前とは比べものにならないほど高くなっている。

2. 建設省総合技術開発プロジェクト「建築物の耐久性向上技術の開発」

建設省総合技術開発プロジェクト「建築物の耐久性向上技術の開発」(耐久性総プロ)は昭和55年度から昭和59年度にかけて実施された研究プロ

ジェクトである。同プロジェクトでは、木造建築物、鉄筋コンクリート造建築物、鉄骨造建築物、外装仕上げ材、建築防水、建築設備を対象として、耐久性に関する幅広い研究が行われた。プロジェクトの成果は、7分冊からなる「建築物の耐久性向上技術シリーズ」として出版されたが、現在その多くは入手することが難しい。7分冊の構成は以下に示す通りである。

建築構造編Ⅰ(鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術の開発)

建築構造編Ⅱ(鉄骨造建築物の耐久性向上技術の開発)

建築構造編Ⅲ(木造建築物の耐久性向上技術の開発)

建築仕上げ編Ⅰ(外装仕上げの耐久性向上技術の開発)

建築仕上げ編Ⅱ(建築防水の耐久性向上技術の開発)

建築設備編

建築経済編

耐久性総プロは産・学・官が協同して実施したものであり、その成果は現在の建築物の耐久性評価や実務に関する礎となっている。また、同総プロによって得られた成果の多くは、その後の建築物の耐久性に関わる制度や基準を検討する際に参考とされている。

3. 木造建築物の耐久性向上技術

耐久性総プロの成果のうち木造に関する部分

* 国立大学法人宇都宮大学 地域連携教育研究センター
Corresponding author: Shiro Nakajima (s-nakajima@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

は、前述の図書「木造建築物の耐久性向上技術」(図1参照)として取りまとめられ、昭和61年9月に出版されている。同図書は5章から構成されており、章立ては以下の通りとなっている。

- 第1章 木造建築物の劣化診断指針・同解説
- 第2章 木造建築物の補修・交換指針・同解説
- 第3章 木造建築物の施工管理指針・同解説
- 第4章 木造建築物の維持保全指針・同解説
- 第5章 木造建築物の耐久設計指針・同解説

第1章は、劣化診断に関するものであり、軸組等の構造躯体、基礎、床組、外壁、小屋組、木材・木質材料(主に生物劣化)、接合金物について、その劣化の程度を3段階からなる診断法を用いて診断しようとするものである。3段階の診断法は診断方法が簡易なものから順に1次、2次、3次診断法となっている。1次診断法は目視観察によって劣化程度を判定する手法であり、2次診断法は簡単な工具・測定器具によって劣化程度を判定する手法、3次診断法は専用の測定器を用いて判定する手法である。

第2章は、補修・交換に関するものであり、軸組のうち腐朽した部分を交換する方法や、劣化したモルタル外壁の補修方法などが記載されている。

第3章は、施工管理に関するものであり、耐久性について配慮して設計された木造建築物を施工段階で着実に実現する上で必要な施工管理上の留意点が示されている。土工事から雑工事・外構工事までの全施工工程において行うべき施工検査項目と内容が記述されている。

第4章は、維持保全に関するものであり、建物各部の点検方法が記述されている。

第5章は、耐久設計に関する部分となっており、建物の工法や仕様、維持管理方法などをもとに建物の耐用年数を推計する手法が示されている。言い換えれば、目標とする耐用年数を実現するために必要な工法や仕様、維持管理方法など、建物の耐久設計に関わる具体的な内容を検討するための手法が示されている。同章では、建物の立地条件、建物のプラン、建物に使用する材料の耐久性能、建物の工法上の対策、建物の施工管理水準、建物

図1 木造建築物の耐久性向上技術の開発
(ISBN4-7655-2377-2 C3052)

の維持管理水準などをもとに、建物の部位と建物全体の耐用年数を算定するための手法が示されている。

4. ファクターメソッド

耐久性総プロにおいて開発された建物の耐用年数を、耐久性を決定する因子を数値化して、数値の剰加算等によって計算する方法は一般にファクターメソッドと呼ばれる。ファクターメソッドは、耐久性総プロにおいてその実用的な手法が開発され、現在、建築物の耐用年数の推定方法に関する国際規格 ISO Standard 15686-1: Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 2, Service life prediction procedures (ISO, 2008)³⁾に採用されている。また、同方法は日本建築学会においても採用されている⁴⁾。

5. 木造建築物の耐久設計

5.1 概要

前述のように木造建築物の耐久設計の方法は、「木造建築物の耐久性向上技術」の「第5章 木造建築物の耐久設計指針・同解説」に示されている。同方法はファクターメソッドにより建物の耐用年数を推定し、推定した耐用年数が目標とする耐用年数よりも高くなるよう、建物を設計するというものである。

耐用年数には、維持保全が行われないという前

提で求める1次推定耐用年数と、維持保全が行われるという前提で求める2次推定耐用年数の2つの耐用年数が定められている。建築物の耐用年数は、建物に対する維持保全の方法によって大きく左右されるので、1次推定耐用年数は建物のもとの耐用年数を示し、2次推定耐用年数は維持保全による延命効果も含めた建物の耐用年数を示すことになる。

各推定耐用年数を求めるにあたっては、式1と式2によって表される1次推定耐久性能値と2次推定耐久性能値を求めることとしている。

$$1\text{次推定耐久性能値} = (D_1 \times D_2) \times P \times B \times C$$

…式1

$$2\text{次推定耐久性能値} = (D_1 \times D_2) \times P \times B \times C + M$$

…式2

ここで、

D_1 ：シロアリ分布・腐朽菌の分布を考慮した係数

D_2 ：部位別の劣化外力を考慮した係数

P ：木材・木質材料の耐久性能を考慮した係数

B ：工法上の対策を考慮した係数

C ：施工検査の水準を考慮した係数

M ：維持管理の水準を考慮した係数

式1と式2によって求められる推定耐久性能値に応じて、表1に示すように推定耐用年数が定められている。

なお、耐久性総プロで提案している耐久設計法では、建物を構成する個々の構造部材について目標耐用年数を設定し、個々の構造部材に対して設定された目標耐用年数を実現することができるように材料や工法を設計者が選択するという方法を採用している。前述の推定耐用年数は、選択した材料や工法が妥当であるかどうかを確認するため

表1 推定耐久性能値の推定耐用年数への換算

推定耐久性能値	推定耐用年数
0.3～0.7	10年～20年
0.8～1.2	25年～35年
1.3～1.7	40年～50年
1.8～2.2	55年～65年
2.3～2.7	70年～80年
2.8～3.2	85年～95年
3.3～	約100年～

表2 耐用年数に影響を及ぼす因子

① 劣化外力の程度
1) シロアリの生息の有無
2) 腐朽菌の生育の程度
3) 建物の部位に及ぼす水分の作用と影響
② 使用材料の耐久性の程度
1) 製材・木質材料の耐久性
2) 製材・木質材料の断面寸法
3) 保存薬剤処理の程度
③ 構法上の対策
1) 水分・湿分の侵入を低減する対策
2) 水分・湿分を屋外に排出する対策
3) 侵入した水分・湿分の作用を低減する対策
④ 施工検査の程度
⑤ 維持保全の程度
1) 点検箇所数
2) 点検周期
3) 保存薬剤処理の間隔

の指標となる。

5.2 耐用年数に影響を及ぼす因子

(1) 影響因子

「木造建築物の耐久設計指針・同解説」では、木造建築物を構成する構造部材の推定耐用年数を推定するにあたって表2に示す各項目について考慮することとしている。

(2) 劣化外力の程度

劣化外力の程度は、劣化外力係数 D によって示されている。また、劣化外力係数 D は式3によることとされている。

$$D = D_1 \times D_2 \quad \dots \text{式3}$$

ここで、

$$D_1 : (D_{11} + D_{12}) / 2$$

D_{11} ：シロアリの分布・地域区分係数

D_{12} ：腐朽菌の生育係数

D_2 ：部位劣化外力係数

D_{11} のシロアリの分布・地域区分係数については、ヤマトシロアリのみが分布する地域の係数値を1.0、イエシロアリも分布する地域の係数を0.8として、係数に0.2の差異を設けている。一方、 D_{12} の腐朽菌の生育係数については、気温が15℃以上となる累積時間に応じて0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2の5つの係数値が示されている。係数値0.8は

累積時間が7050時間をこえる地域としており、係数値1.2は累積時間が3520時間未満の地域としており、暖かい地域ほど腐朽菌が生育しやすいという考えに基づく係数の設定となっている。

D_2 の部位劣化外力係数については、耐用年数を求めようとしている建物の部位に作用する劣化外力を以下の視点から係数化している。

- ① 壁、床、屋根のいずれの部位か
- ② 壁の場合、外壁か内壁か
- ③ 外壁の場合、北面の壁かそれ以外の壁か
- ④ 外壁の場合、室内の水まわりがあるか
- ⑤ 外壁の場合、雨樋が90cm 以内にあるか
- ⑥ 内壁の場合、水まわりに面しているか
- ⑦ 床の場合、下面が地面に面しているか
- ⑧ 床の場合、下面が水まわりに面しているか
- ⑨ 床の場合、上面が水まわりに面しているか
- ⑩ 屋根の場合、下に水まわり室があるか

係数値は0.4から2.0の範囲にあり、最も低い係数値0.4は室内側に水まわりがあり、かつ90cm 以内に雨樋がある外壁に対して与えられている。また、最も高い係数値2.0は水まわりに面さない内壁に対して与えられている。部位劣化外力係数は実建物の劣化調査の結果をもとに求めた部位別の劣化発生倍率を勘案して定めたものである。

(3) 使用材料の耐久性の程度

使用材料の耐久性の程度は、耐久性能値 P によって示されている。また、耐久性能値 P は式4によることとされている。

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad \cdots \text{式4}$$

ここで、

P_1 ：製材品および木質製品の耐久性能値

P_2 ：断面寸法別の割増係数

P_3 ：保存薬剤処理による割増係数

表3に製材品および木質製品の耐久性能値 P_1 を示す。製材品および木質製品の耐久性能値は、製材と木質面材の耐腐朽性を示したものとなっており、製材についてはスギ辺材を標準として、その係数を1.0としている。スギ辺材よりも耐腐朽性が高いと当時考えられていた樹種については係数を最大1.4まで高く設定しており、例えばスギ心材やヒノキ辺材は1.2、ヒノキ心材は1.3、ヒバは1.4としている。また、スギ辺材よりも耐腐朽

表3 製材品および木質製品の耐久性能値

耐久性能値	製材品および木質製品の名称
1.4	ヒバ、ベイヒバ、コウヤマキ、クリ、ケヤキ
1.3	ヒノキ心材、台湾ヒノキ心材
1.2	ヒノキ辺材、スギ心材、ベイマツ、アカマツ、クロマツ、カラマツ、ベイヒノキ、ソ連カラマツ
1.0	スギ辺材
0.7	ベイツガ、スプルース、ラワン
0.8	硬質木片セメント板（凍害を除く）
0.7	構造用合板（JAS 特類）
0.5	構造用合板（JAS 1 類）、ハードボード、インシュレーションボード（外装用シージング）、パーティクルボード

性が低いと当時考えられていた樹種については、係数を0.7としている。製材の耐久性能の区分は現在、一般的に知られているもの⁵⁾とは異なる。

一方、木質ボード類については、種類や規格によって耐腐朽性が異なると判断し、種類に応じて0.8～0.5の係数が与えられている。当時の日本農林規格に定める構造用合板（特類）の係数は0.7と定められており、製材に対して与えられている最も低い係数と同じ値となっている。

なお、表3に示すように、現在木造住宅の柱材や梁材に使用されている集成材に対する耐久性能値は与えられていない。

式4に示すように耐久性能値 P は、上述の製材品および木質製品の耐久性能値 P_1 に使用材料の断面寸法と保存薬剤処理を考慮した割増を行うこととしている。

断面寸法については、柱の断面が大きいほど木造建築物の耐用年数が長くなるという知見に基づき、105mm 角を標準として、柱に120mm 角を用いている場合0.15、135mm 角の場合0.30、150mm 角の場合0.45、151mm 角以上場合0.60の加算を行うこととしている。

保存薬剤処理を行っている場合については、処理方法によって加算値が定められている。表4に保存薬剤処理に対する割増係数を示す。加算値は、現場塗布と加圧処理（製材の日本農林規格による防腐・防蟻第3種）が0.3、加圧処理（製材の日本農林規格による防腐・防蟻第2種）が0.7、加

表4 保存薬剤処理に対する割増係数

割増係数 (加算値)	保存薬剤処理の種別
0.3	現場処理(クレオソート 2回塗布)
0.3	加圧処理 JAS 第3種
0.7	加圧処理 JAS 第2種
(1.5)	加圧処理 JAS 第1種

(注) 保存処理に対する規格は、現在の製材の日本農林規格とは異なる。

圧処理（製材の日本農林規格による防腐・防蟻第1種）が1.5となっている。なお、第1種については実績が少ないため加算値は括弧書きとなっている。

(4) 構法上の対策

構法上の対策は、構法級別係数 B によって表されている。同係数は建物に用いられる構造材（製材や木質材料）に対する劣化外力が、構造材の位置や周囲の構法によって大きく異なることを勘案して定められたものである。基本的には、①構造材の地上からの距離が十分か、②構造材が仮に濡れた場合すぐに乾燥する状況にあるか、③構造材に水分が作用しない対策が取られているか、の3つの視点から係数が定められている。

構造材の地上からの距離については、例えば構造材の地上からの距離などに応じて係数が定められている。また、構造材の乾燥の可能性については、外壁の通気構法の有無や床下や小屋の換気の程度などに応じて係数が定められている。さらに、構造材の水分作用回避の可能性については、屋根の勾配、軒の出の大きさ、防水材の種類に応じて係数が定められている。

構法級別係数に対しては1.5から0.6の係数が与えられている。

(5) 施工検査の程度

施工検査の程度は、施工検査級別係数 C によって表されている。施工検査級別係数は施工の良否を係数化したものである。施工不良には、例えば防水紙の重ねや水切り端部の取り付けミスなどがあるが、このような施工ミスは雨水浸入の原因となり、竣工後比較的初期の段階で構造材を劣化させる要因となる。施工検査級別係数に対しては、検査項目の数と検査対象の数に応じて、0.6から1.2の係数が与えられている。

(6) 維持保全の程度

維持保全の程度は、維持保全係数 M によって表されている。維持保全については、①点検が十分に行われているか、②保存薬剤の再処理が適切な間隔で行われているか、③保存薬剤の再処理が行いやすい構法になっているか、の3つの視点から係数が定められている。したがって、維持保全係数 M は3つの係数、保守点検係数（ M_{11} ）、再処理係数（ M_{21} ）、維持難易係数（ M_{22} ）を用いて式5によって求めることとしている。

$$M = M_1 + M_2 \quad \cdots \text{式5}$$

ここで、

$$M_1 : \{ (1 \text{ 次推定耐久性能値}) - 0.3 \} \times M_{11}$$

$$M_2 : P_3 \times M_{21} \times M_{22}$$

P_3 : 保存薬剤処理による割増係数

M_{11} : 保守点検係数

M_{21} : 再処理係数

M_{22} : 維持難易係数

保守点検に係る係数 M_1 は、竣工後10年くらいまでは維持保全の良否の影響を受けないという考えに基づいて、1次推定耐久性能値から10年に相当する0.3を減じた値に維持保全の良否を考慮した-0.5から+0.3の係数を乗じた値としている。

一方、再処理係数と維持難易係数では、保存薬剤の再処理の頻度と再処理のしやすさを係数化している。前者については現場塗布薬剤の有効期間を8年として、標準係数値1.0を与え、8年よりも再処理間隔が長い場合、係数を低減する措置がとられている。また、後者については、壁、床、小屋を構成する構造材の露出面が何面あるかによって係数が定められており、4面の場合1.0、3面の場合0.9、2面の場合0.8、1面の場合0.7の係数が各々与えられている。

6. 耐久設計に関する制度等

制度面では、新築住宅を対象として定めた「評価方法基準」（平成13年国土交通省告示第1347号）の中で、劣化の軽減に関することとして、劣化対策等級（構造躯体等）に関する評価方法基準¹⁾が整備された。劣化対策等級において評価する中身は、「住宅の構造躯体等を構成する部材の劣化の

しにくさ」であり、通常想定される自然条件及び維持管理条件下において、構造躯体等について見た場合に、住宅が限界状態に至るまでの期間が3世代以上となるための必要な対策が講じられている場合を「等級3」、2世代以上となるための必要な対策が講じられている場合を「等級2」、建築基準法に定める対策が講じられている場合を「等級1」と定めている。ここで、「世代」は「一般に一の世帯主が一の住宅を所有する期間」と定義されており、1世代は概ね25年から30年程度と定めている。

劣化対策等級において評価する項目は、等級3と等級2が「外壁の軸組等」「土台」「浴室及び脱衣室」「地盤」「基礎」「床下」「小屋裏」「構造部材等」であり、等級1が「構造部材等」である。例えば、等級3を満たす「外壁の軸組等」の条件として以下のいずれかを満たすことが規定されている。

- ① 「通気層を設けた構造」又は「軒の出が90cm以上ある真壁構造」とした上で、「軸組材等に有効な防腐・防蟻処理を施す」、「軸組等の小径を13.5cm以上とする」、「軸組に構造用製材の日本農林規格等に規定する耐久性区分D₁の樹種を用いる」のいずれかの耐久性を高めるための措置が施されていること。
- ② 構造用製材の日本農林規格等に規定する保存処理の性能区分のうちK3以上の保存処理及び防蟻処理が施されていること。
- ③ 上記①又は②と同等の劣化の軽減に有効な措置が講じられていること。

一方、「長期使用構造等とするための措置及び維持保全の方法の基準」(平成21年国土交通省告示第209)(国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp/common/001032010.pdf>)の中の第3「長期使用構造等とするための措置」の中で、新築住宅を対象として「構造躯体等の劣化対策」に関する基準が示されている。木造については、劣化対策等級3を満たした上で、①床下及び小屋裏に点検口を設置することと、②点検のために床下空間の一定の高さを確保することが基準として定められている。

以上のように、劣化対策等級では、構造躯体の劣化軽減につながる具体的な措置が基準として定

められており、長期優良住宅建築等計画の認定基準では点検のし易さに対する措置が基準として定められている。

7. おわりに

耐久性総プロの実施以降、約30年の歳月が経ち、木造建築物の耐久性に関する技術は当時に比べて著しく発展している。例えば、建物の劣化状態を調査する方法は、現在ではホームインスペクションなどの普及により合理的かつ実用的な方法が採用されている。また、劣化した部位の補修方法に対しても新しい技術や手法が開発されている。さらに、建物に使用する材料、建物の工法上の対策などはこの30年間で大きく異なってきている。また、建物の設計・施工管理⁶⁾や維持管理に対する考え方も格段に進歩している。また、技術的な知見も蓄積されてきている。そのような中で、木造建築物の構造材を接合する金物についても、研究^{7, 8)}が蓄積されてきており、防錆処理に対する新しい規格^{9, 10)}などが整備されてきている。このように木造建築物の耐久性に関する状況は、耐久性総プロ当時と大きく異なってきており、耐久性総プロによって得られた成果の見直しを行うべき時期にあると言える。

文献

- 1) 日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説(新築住宅)編集委員会編：“日本住宅性能表示基準・評価方法基準技術解説(新築住宅)2015”，工学図書，2015。
- 2) 国土開発技術研究センター建築物耐久性向上技術普及委員会編：“建築物の耐久性向上技術シリーズ 建築構造編Ⅲ 木造建築物の耐久性向上技術”，技法堂出版，1986。
- 3) ISO Standard 15686-1: Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 2, Service life prediction procedures (ISO, 2008)。
- 4) 日本建築学会編：“建築物の耐久計画に関する考え方”，丸善，1988。
- 5) 「製材の日本農林規格」，平成19年農林水産省告示第1083号。
- 6) 例えば，住宅瑕疵担保責任保険法人 住宅保証機構：まもりすまい保険 設計施工基準・同解説，2012。
- 7) 石山央樹，腰原幹雄：釘接合部の劣化時せん

- 断性能に関する実験的研究 木造住宅の劣化時
構造性能に関する研究 (その1), 日本建築学
会構造系論文集, **74** (646), 2281-2289 (2009).
- 8) Nakajima S, Tsujimura Y, Murakami T,
Matsumoto H, Seino A and Nakajima M : Du-
rability of Materials used in the Two-by-Four
Residential Buildings, Proceedings of 12th In-
ternational Conference on Durability of Build-
ing Materials and Components, Porto, Portu-
gal, 2011.
- 9) 接合金物規格 (Z マーク表示金物), HW 金
物002(1)-2015, 日本住宅・木材技術センター,
2015.
- 10) 日本工業規格 A5508 : 2009, くぎ.
(2015.8.17受付)
(2015.8.27受理)