

# 期限付き建築物の設計荷重と期限の延長・更新

名古屋大学大学院教授（環境学研究科 都市環境学専攻） 森 保 宏

## 1. はじめに

近年，持続的な循環型・節約型社会を構築していくための一つ的手段として，100年建築<sup>1)</sup>や200年住宅<sup>2, 3)</sup>などといった建築物の長寿命化が提言されている。長寿命化により，建物が使用に供される期間（供用期間）が長くなると大きな地震や台風に遭遇する可能性は高くなるので，例えば，設計用荷重を割り増すなど，一般建築物の性能水準よりも高くする必要があろう。参考文献<sup>2)</sup>には荷重の割り増しについては明確には書かれていないが，「耐震性に優れた200年住宅は，大地震に耐え，その後も数世代に亘って供用可能である」とあることから，現行基準以上の設計荷重を用いて耐震性を高めることが示唆されている。同様に考えれば，供用期間の短い「期限付き建築物」は，一般建築物よりも大きな地震や台風に遭遇する可能性は「低くなる」ので，設計荷重を低減しても良いのではないかという考え方もあろう。

また，「期限付き」建築物では，建てるときに「供用を止める年限を限る」のであるが，何事も無くこの供用年限を過ぎ，劣化も無く「無傷」のままであるならば，資源の有効活用のためにも，期限を延長しても良いという考えもありうる。しかし，期限を限ることで設計荷重を低減することを許された場合でも，結果として一般建築物と同じ期間使用に供することができるということになれば，建設費を抑えるために一般建築物を期限付きと偽るモラルハザードを引き起こしてしまう懸念が生じる。

本節では，期限付き建築物について，上に述べた設計荷重の低減，期限の延長・更新の是非について，設計荷重の低減に伴うリスクや便益，建物が損傷を受けたり倒壊する可能性といった観点から検討する。

## 2. 設計荷重

### 1) 一般建築物の供用期間と設計荷重

建築物の設計荷重については，本来，用途や建築物の価値，所有者・使用者の価値観さらには設計供用期間など建築物個別の事情を考慮しながら付与すべき構造性能水準を検討すべきである。しかし，ここでは，期限付き建築物の設計荷重を低減しても良いか，すなわち，守るべき最低限の性能水準についての議論しているもので，一般建築物の最低の性能水準を規定する建築基準法を基に考えを進めるべきではあろう<sup>注1)</sup>。

期限付き建築物との比較検討のため，まず，一般建築物の供用期間を把握しなければならないが，建築基準法には明確な記述はなく，また，これまでの一般建築物の構造設計においても，供用期間を明確に念頭においていたわけではない。しかしながら，わが国における建築物の寿命が平均で30年～40年程度<sup>4)</sup>であり，また，「建築物の限界状態設計指針<sup>5)</sup>」においても，安全性を対象とした終局限界状態設計を行う際の「基準期間」を50年としていることから，一般建築物の供用期間の設計供用期間は50年程度とすることが妥当であろう。なお，建物の耐久性については，

2000年に施行された「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(品確法)では、住宅性能表示制度が設けられ、9項目について性能表示基準が設定されており<sup>注2</sup>、その中の「劣化対策等級」(構造躯体)の項目にて、法律として初めて住宅の耐用年数(ここでは設計用供用期間に相当)が明記されたが、これらは、設計荷重や構造性能水準と関連づけられてはいない。

一般建築物の設計荷重については、1998年の基準法改正以前は、安全性については「我が国で過去に起こった最大級の事象」に基づいて定められていたが、それが、今後どの程度の可能性で起こる事象なのかについては不明確である。新耐震設計では、2段階設計が採用され、一次設計では「比較的頻度の高い中地震動に対して、建築物にほとんど被害が生じないこと<sup>6)</sup>」、二次設計では「関東大震災級の極めてまれにしか起こらない大地震に対して、建築物に重大な損傷が無く崩壊しないこと<sup>6)</sup>」とやや具体的な表現とはなったが、可能性については、定性的な表現にとどまっていた。性能規定化を目標に1998年に改正された建築基準法において新たに導入された限界耐力計算<sup>5)</sup>では、建築物の使用性、安全性について、それぞれ

- ・「建築物の存在期間中に1回以上遭遇する可能性の高い事象」に対し損傷しないこと
- ・「極めて稀な事象」に対して倒壊、崩壊しないこと

とされ、可能性については解説書<sup>7)</sup>に、使用性については「再現期間<sup>注3</sup>数十年の事象(風、雪については再現期間50年)」、安全性については「再現期間数百年の事象(同500年)」に基づくというように、定量的に示されるようになった。

## 2) 期限付き建築物の設計荷重

限界耐力計算に示される最低限の構造性能水準に従うならば、使用性については、「建築物の存在期間」、すなわち、供用期間を考慮することが明記されており、また、一般建築物の設計用供用期間が再現期間と一致していることから、供用期限は再現期間と読み替えて(たとえば供用期限が10年ならば再現期間10年の事象)設計荷重を定めればよからう。なお、これは、あくまでも、最低水準としての議論であり、それが経済的に見合うかどうかは、別途検討が必要である。

一方、安全性については、基準法は特に供用期間との関係付けておらず、「極めて稀な事象」、具体的には再現期間数百年の事象に基づいて設計荷重を定めなければならない。ただし、節に述べるような安全性を担保するシステムとその運用が確実であるならば、経済性や資源の節約の観点からも「倒壊、崩壊」に対する設計荷重の低減について検討することにも意味があろう。この点において、簡単な例を挙げてリスクの視点から、特に、経済的損失と生命の損失に分けて検討してみよう。

リスクの定義は分野によって多少異なるが、ここでは、建築分野でもしばしば用いられる、「望ましくない事象の大きさとそれが起こる可能性の組み合わせ」とし、特にその期待値でもってリスクの大きさを表すこととする<sup>7)</sup>。

### 例 1) 経済的リスク

経済的損失は、もちろん取り返しがつかないほど大きいものもありえるが、それでも、損失が生じた後でも努力すれば取り返すことは(可能性は小さいかもしれないが)可能である。そ

った意味で、5カ年計画や10カ年計画と同様に5年や10年程度のスパンで考え、判断することにも意味があろう。ここでは、ある建築物を設計するとして、下記の2つの非常に単純化されたケースを想定して経済的リスクについて考えてみる。

Case 1：通常の設計荷重で設計

- ・初期建設費は10億円
- ・大破、倒壊の可能性 = 1/1000 / 年，大破，倒壊した場合の損失額 = 10億円
- ・小破，中破の可能性 = 1/200 / 年，小破，中破した場合の損失額 = 1億円

Case 2：低減した設計荷重で設計

- ・初期建設費は9.2億円，被害を受ける可能性はCase 1の5倍
- ・大破，倒壊の可能性 = 5 / 1000 / 年，大破，倒壊した場合の損失額 = 9.2億円
- ・小破，中破の可能性 = 5 / 200 / 年，小破，中破した場合の損失額 = 0.92億円

図1は、この建築物の初期建設費と期待損失額との和で表される「期待総費用」を供用期間の関数として示したものである<sup>注4</sup>。通常の設計荷重を用いた場合（点線）よりも，設計荷重を低減した場合（実線）の方の傾き方が大きく，より大きな損害を被る可能性が高い。すなわち，リスクが大きいことを示している。しかしながら，初期建設費が抑えられることから，供用期間10年の時点では，設計荷重を低減した場合の方が期待値ベースで約2400万円の費用を節約でき，供用期間15年で漸く2つの場合の期待総費用が同額となる。さらに，初期建設費として8000万円節約できるということは，その分の利子も無視できない金額（年利3%として，元利均等返済で10年間で完済するとして約1270万円）となる。

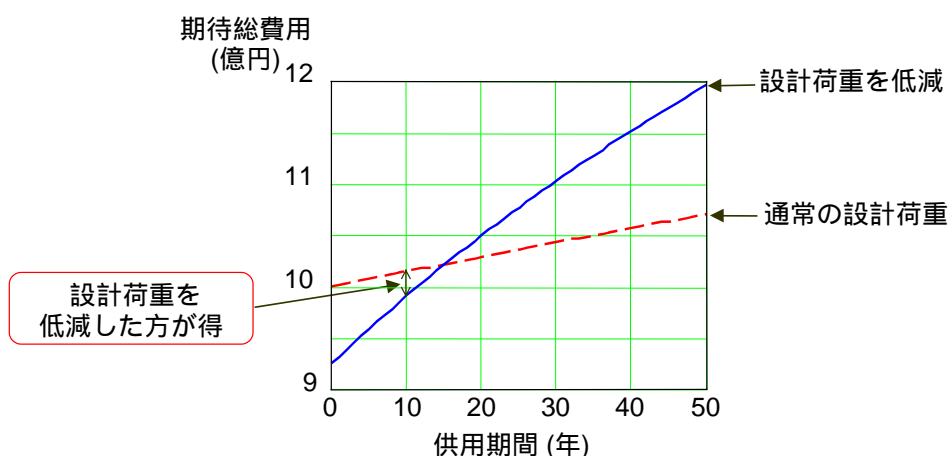


図1 供用期間中の総期待費用

図1では、建築物が損害を被った場合は、自前で資金を調達して対応することを前提としているが、金額が大きくまた可能性も小さいので、保険でまかなう（リスクの移転<sup>8)</sup>）ことも一般的にありえよう。このような場合は、毎年支払う保険料と設計荷重を低減することで節約できる費

用とを比較することになる。年間の期待損失額は、通常の設計荷重を用いた場合は、 $10 \times 1/1000 + 1 \times 1/200 = 0.015$  億円 = 150 万円。同様に、設計荷重を低減した場合は 694 万円でその差は 544 万円である。設計荷重を低減した方がリスクが大きいため保険料は当然高くなり、その差額は、期待損失額の差以上となる。年当りの保険料の差額が 927 万円（建設費の差額 8000 万円と 10 年間の利子の差額 1270 万円との和の 1/10）以内であるならば、期限を 10 年間とした場合は、荷重を低減した方が期待値で判断する限り経済的である。

## 例 2) 生命のリスク

生命のリスクについても、経済的リスクと同様に簡単なモデルを用いて考えてみよう。ここでは、建物内には常時 100 人が滞在し、建物が大破、倒壊した場合には 100 人に 1 人の割合で死亡すると仮定すると、

### Case 1：通常の設計荷重で設計

- ・大破，倒壊の可能性 =  $1 / 1000 / \text{年}$
- ・50 年間の供用期間中の期待死者数 = 0.05 人

### Case 2：低減した設計荷重で設計

- ・大破，倒壊の可能性 =  $5 / 1000 / \text{年}$
- ・10 年間の供用期間中の期待死者数 = 0.05 人

Case 1 と Case 2 では、共に供用期間中の期待死者数は 0.05 人となっているが、Case 2 の供用期間は Case 1 の供用期間の 1/5 であり、年あたりで考えれば、利用者にとっては、設計荷重を低減した場合は、生命を失うリスクが 5 倍高いことになる。経済的損失が回復可能（可能性が残されている）であるのに対し、生命は一度失うと取り返しがつかないものであり、期限をつけて供用期間を短くするので、生命のリスクを高くしたと説明しても、一般市民は納得しないであろう。また、設計荷重を低減して設計したことを情報公開すべきであるが、これを知った一般市民はよほどのメリットが無い限り、このような建物を使用しないであろう。現行基準に「極めて稀な事象に対して倒壊，崩壊しないこと」とあると述べたが、供用期間が短かくても生命にとって「極めてまれ」な荷重・外力の大きさは変わらないと判断すべきであろう<sup>注5</sup>。

## 3. 期限の延長・更新

「期限付き建築物」の期限の延長・更新については、確率論の授業で最初に学ぶ「積事象の確率」と「条件付確率」との区別を正しく行い、時間軸上で事象の生起を考えることが重要である。「積事象の確率」と「条件付確率」は、それぞれ下記のように表現・定義される。

積事象の確率： $P[A \cap B]$ ，事象 A と事象 B が共にに生起（必ずしも時間的に「同時」である必要は無い）する確率

条件付確率： $P[B|A]$ ，事象 A が生起したという条件の下で，事象 B が生起する確率

積事象の確率では，事象 A は（もちろん事象 B も）まだ起こるか起こらないかわからない未来の

出来事であるのに対し、条件付確率では、事象 A は既に起こってしまったこととしている。すなわち、条件付確率では、事象 A が起こらないという可能性を排除していることになる。

「期限付き建築物」の期限の延長・更新問題においては、「何事も無く期限が過ぎ建築物は無傷のままである」ことが事象 A であり、「次の期限を何事も無く過ぎ建築物は無傷（健全）のままである」ことが事象 B となる。設計時において建築物にどの程度の性能水準を付与すべきか（設計荷重）を決める際には、供用開始後に起こりうる可能性のある事象を（できうる限り）全て考慮すべきである。すなわち、事象 A が生起する（もちろん生起しない可能性も）可能性も事象 B が生起する可能性も考慮すべきであり、これは「積事象の確率」である。一方、「期限が過ぎた時点で健全であれば期限を延長する」とは、言い換えれば「期限が過ぎた時点で健全であるという条件の下では、期限を延長しても良い」ということになり、これは、条件付確率である。

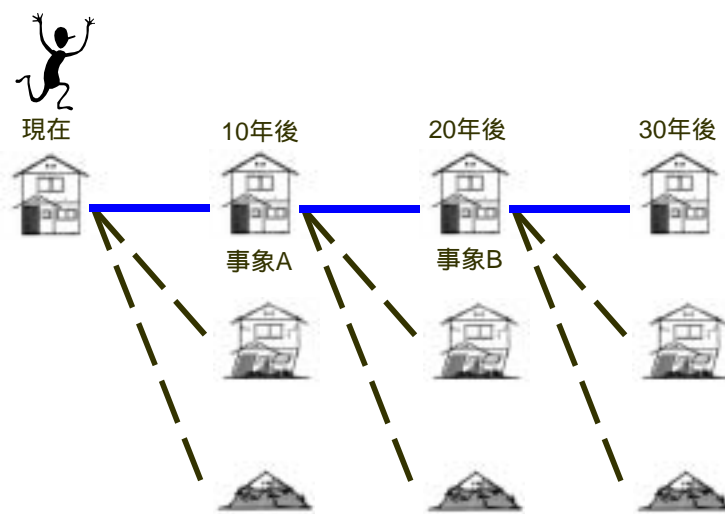


図2 建物の「状態」の樹系図

これを理解するために建築物の供用開始時を時間  $t=0$  として、その後の状態を追ってみたい。以下では、議論を単純化するために、供用期限を 10 年、延長期も 1 回につき 10 年とし、また、建築物の状態としては「健全」、「損傷あり」、「倒壊」に分類でき、「健全」な場合に限り期限を延長するとする。最初の 10 年を「健全」のまま終える場合（事象 A、図 2 の実線の経路）のほか、当然ながら、「健全」のまま終えることができず、損傷を被ったり倒壊する（事象 A の排反事象、図 2 の点線の経路）可能性もある。設計では、このような事象を考慮して、すなわち、 $t=0$  の時点で立ち続けて将来を評価し、付与すべき構造性能水準を定めるべきである。

「期限を一応 10 年としておいて、健全ならばもう 10 年使おう」という考え方は、一見お得なようであるが、このような「条件付」の考え方では、最初の 10 年間に損傷を被ったり、倒壊したりする可能性を（そうならないことへの期待もあって）無視してしまっており、それは、立つ位置（評価する時点）が  $t=10$  年後、20 年後へと知らぬ間に移動してしまっていることを意味する。設計時点 ( $t=0$ ) から将来を見れば、最初の 10 年間に損傷を被ったり、倒壊したりする可能性もあるので、図 1（この図では、築後 15 年）にも示すとおり、荷重を低減した場合と低減しない場合の総期待費用の逆転が早晩に起こりうる。当初から 20 年使う予定ならば、それに見合う設計荷

重を考慮しなければ、結局は損をする可能性が高くなるのである。

一方、実際に 10 年経過した後、検査を行い「健全」であることが判明すれば、(耐久性は別として)それは、確かに新築の建物と「同じ」状態であるから、その時点では期限の延長・更新もありえよう。しかし、これはあくまでも「結果論」である。設計時において、「期限が過ぎた時点で問題が無ければ期限を延長して使えばよいのでお得である / 環境にも優しい」といったことを持ち出して、判断材料にすることは、まやかしいわざを得ない。未来の一つの可能性だけを想定して(すなわち条件をつけて)、現時点で意思決定を行うことが問題なのである。

#### 4. まとめ

構造設計の目的は、構造物の安全性・機能性を確保することである。構造物に加わる荷重・外力や材料強度などが確定的にわかっているならば、構造物の安全性・機能性は確実に確保することができるが、「未来」は不確定、すなわち、絶対安全は不可能であり、構造設計とは、このような不確定性の下で、構造物に付与すべき性能水準を定める意思決定であるといえる。しかしながら、これまでは、特別な場合を除いて建築物の最低の性能水準を要求する建築基準法を満足するように設計がなされており、性能水準について明確な意識があったわけではない。そこでは、経済性を考慮しながら、経験と工学的判断に基づいた「安全率」や、安全側の評価によって構造物の安全性や機能性を確保してきており、達成される性能水準については議論がなされてこなかった。期限付き建築物、長寿命建築物に付与すべき構造性能水準の議論を通して、建築物の性能水準のあり方や、その基礎となる考え方が普及していくことが望まれる。

---

注 1: 現実には、様々な安全側の評価によって、基準法に最低限と掲げられている構造性能水準と、地震被害調査などで示される建築物の実性能水準とは必ずしも対応しないが、ここでは、「基準法の規定を満足することで達成される実性能水準を社会は許容(あるいは受忍)している」ことを前提としている。

注 2: 「品確法」における劣化対策等級

構造躯体等に使用する材料の交換等大規模な改修工事を必要とする期間を伸長するための必要な対策の程度

等級 3: 通常想定される自然条件および維持管理の条件の下で 3 世代(おおむね 75 ~ 90 年)まで、大規模な改修工事を必要とする期間を伸長するための必要な対策が講じられている。

等級 2: 通常想定される自然条件および維持管理の条件の下で 2 世代(おおむね 50 ~ 60 年)まで、大規模な改修工事を必要とする期間を伸長するための必要な対策が講じられている。

等級 1: 建築基準法に定める対策が講じられている。

注 3: (平均)再現期間: ある現象がある値を超過して、次に超過するまでの時間間隔の平均値。ある年に再現期間  $p$  年の値を超過する確率は  $1/p$ 、また、 $p$  が十分大きな値のとき  $p$  年間に再現期間  $p$  年の値を少なくとも 1 回超過する確率は約 0.63。例えば、再現期間 50 年の事象

がある年に起きる確率 ,および 50 年間に少なくとも 1 回起きる確率は ,それぞれ 1/50 ,0.63。供用期間 , 基準期間との区別については , 参考文献 8) に詳しい記述がある。

注 4 : 建築物を使用していく上では , 初期建設費や損失のほか , 空調や定常的な維持管理などのランニングコストが必要であるが , ここでは , このような費用を考慮していない。これらが設計荷重にかかわらず同額であるとするれば , 図 1 に示される 2 つのケースの差異は , これらの影響を受けないのは明らかである。

注 5 : 長寿命建築物についてもこの基本は同じであると考ええる。ただし , 長寿命建築物については , 極めて稀な事象に遭遇する可能性は一般建築物よりも高いので , そのような事象に遭遇した後も機能上問題の無いように設計すべきであり , 結果として安全性も高まると考える。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会 : 地球環境・建築憲章 , 2000 年 6 月
- 2) 自由民主党政務調査会 : 200 年住宅ビジョン より長く胎児に , より豊かに , より優しく - 住宅政策・ゆとりある住生活を目指して - , 2007 年 5 月
- 3) 200 年住宅の認定基準がまとまる , 日経アーキテクチャー , p.11 , 2009 年 1 月
- 4) 青木健 , 高津尚悟 , 桑原豊 : 建物の長寿命化 , 日経アーキテクチャ , pp.52-67 , 2000 年 1 月
- 5) 日本建築学会 : 建築物の限界状態設計指針 , 2000 年 6 月
- 6) 梅村 魁 他 : 新版 新しい耐震設計 - 建築基準法新耐震設計基準 - , 日本建築センター , 1981 年 7 月
- 7) 国土交通省住宅局建築指導課 , 日本建築主事会議 , 日本建築センター編 : 2001 年度版 建築物の構造関係技術基準解説書 , 2001 年
- 8) 日本建築学会編 : 事例に学ぶ 建築リスク入門 , 技報堂出版 , 2007 年 8 月