部位性能の耐久性と材料の耐久性の考察とそれを基とした性能耐久性評価法の事例研究

DISCUSSION OF PERFORMANCE DURABILITY OF BUILDING ELEMENTS AND DURABILITY OF MATERIALS, AND CASE STUDIES ON ESTIMATION PROCEDURES OF PERFORMANCE DURABILITY

田中享二 — *1 興石直幸 — *2
山宮輝夫 — *3 清水市郎 — *4

Kyoji TANAKA — *1 Naoyuki KOSHISHI — *2
Teruo YAMAMIYA — *3 Ichiro SHIMIZU — *4

キーワード：
評価方法, 性能耐久性, 劣化, 部位, 材料

Keywords:
Estimation procedure, Durability in performance, Degradation, Building element, Building material

A matter of concern on durability for users is not durability of individual material but of performance of building elements. As tests using building elements however require large-scale work, therefore small-scale ones are desirable and practicable for estimating durability. The frame for estimating durability in performance, which has hierarchy from building elements to materials, was proposed. The case studies on estimation procedures were carried out for some actual building elements, and it was made clear that durability tests are able to do at various levels. The possibility of durability estimation by a lower-level test depends on an item of performance, the construction of a building element, and particularly the existence of a reasonable method to convert the levels.

1. はじめに

環境問題への関心の高まりとともに、建築物の耐久性の重要性が改めて指摘されている。これに対して、建築物の耐久性を高めようという基本合意は得られているものの、耐久性という用語は、専門家によってもその意味する内容が微妙に異なり、その齟齬が耐久性の議論を全体として見えにくくしている。

建築物は物理的存在であり、作る側は作り上げたものの耐久性に関心が向きがちであるが、使う側は作られた結果具現化された性能を利用するため、その人達にとっての耐久性は、性能の耐久性（当初の性能が、どの程度の期間確保されるのかということ）となる。実際、ISO¹⁾規格でも、耐久性は要求機能を所定の期間果たしうる能力であると定義されており、耐久性を単純に材料や部材の固有の性質であると誤って使われることがあるが、そうではないと注を付けてまで強調している。ところで材料が組み合わされて建築は作られ、所定の性能を発揮するのであるから、性能の耐久性と材料の耐久性は密接な関係があるはずである。従来は耐久性の観点からこの関係が明らかに示されていなかった。しかし現実には試験等を行い性能耐久性を評価してしようとすると、この部分の論理的な説明が不可欠であると思われる。

ただし性能といっても漠然とし過ぎる。一般の使用者が理解しやすい水準までかみくだく必要がある。そして使用者にとっての理解は、性能を床、壁、天井、屋根といった「部位の性能」とすると比較的容易になる。本研究ではこれを規準に考える。

すなわち本研究では部位性能に着目しその耐久性評価の考え方を示そうとしたものである。特に部位性能の耐久性から材料の耐久性

に至るまでの関係を明らかにすること、それを基に評価試験の基本的な骨組みを構築することを目的とした。さらに、この考えを基にケーススタディを行い、具体的にその説明を試みたものである。

2. 性能耐久性評価のフレーム

2.1 性能評価の基本フレーム

部位を床、壁、天井、屋根と固定したとしても、各部位ごとに性能項目はひとつではなく、複数存在する。また性能を低下させる劣化要因も複数存在する。従って特定の部位を対象としたとしても、原理的には性能項目と劣化因子のコンビネーションの数だけの耐久性試験がなされることになる。すなわち、性能の耐久性評価の基本フレームは、部位レベルでの性能を各種劣化を施しながら調べるこ

図1 部位レベルで評価する場合の耐久性試験の基本フレーム

*1 東京工業大学建築物理研究センター 教授・工博
(〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259)

*2 早稲田大学理工学部 助教授・工博

*3 大成建設㈱建設本部 次長

*4 ㈱建材試験センター 上級専門職

*1 Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*2 Assoc. Prof., School of Science and Engineering, Waseda University, Dr. Eng.

*3 Building Construction Div., Taisei Corporation

*4 Japan Testing Center for Construction Materials

とを前提とした、図1で表すことができる。ただ実際の建築物では劣化の軽微なうちに補修が行なわれることが多い。この場合はその行為により性能の回復が図られることになる。従ってその時は、途中でまで低下した性能が元の水準の方に再度引き上げられる図2のように表すことができる。当然、時間軸のなかで全体としての延命化が図られることになる。

2. 2 部位から材料までのヒエラルキーを考慮した性能耐久性評価の総合フレーム

耐久性評価は部位レベルで行うのが望ましいが、このレベルの試験の実施は、作業が大がかりであり、実行は大変なことが多い。一方「部位性能の耐久性」を担保するのは、下位レベルの「部材・部品の耐久性」であり、さらには個々の「材料の耐久性」である。そのため部位レベルの耐久性はより下位レベルの耐久性試験で判断できる場合もある。試験作業の簡略化の観点からは、下位レベルでの試験が圧倒的に楽である。性能耐久性を「部材レベル」でおこなった場合と「材料レベル」で行った場合の特徴を比較し、表1に示す。

これらのことを考慮して、下位レベルでの試験も視野に入れた性能耐久性試験の総合フレームを図3に示す。この場合も基本は「部位レベル」での耐久性試験である。しかしこのレベルでの耐久性試験は前述のとおり、非常に大掛りになることが予想され、少し細分化された「部材・部品レベル」での試験が可能ならば、作業の簡素化を図るため代替すると実行が容易になる。ただしここで大事なことは、部位から部品・部材への変換プロセスである。あくまでも変換が可能である場合にのみ、すなわち部材・部品の情報から部位性能を推量できる場合にのみ「部材・部品レベル」での耐久性試験をおこなっても良いのであり、この変換ができない場合は、下位レベルの耐久性試験は意味を持たず、置換することができない。その時は上位レベルの「部位レベル」での耐久性試験を行わなければならないのは云うまでもない。

さらにそれが、もう一段下位のレベルに変換できる場合は「材料レベル」での耐久性試験を行っても良い。変換を逆にたどることにより、最終的に「劣化後の部位の性能」を知ることができるからである。

従来は「部位性能の耐久性」と「材料の耐久性」とがどのような関係があるかが、明らかではなかった。せっかく得られた「材料レベル」での多くの耐久性データが「部位性能の耐久性」評価に活用されにくかったのは、この変換方法が示されないままに耐久性試験がなされていたことに起因する。また専門家同士でも耐久性に関して、その理解が異なることがあったのはここに原因があると推定される。現実的な耐久性試験を行うためには、下位レベルでの耐久性和上位レベルでの耐久性間の変換方法の存在が不可欠である。

図2 補修を施した時の効果

3 劣化因子

3. 1 劣化因子

次に劣化過程であるが、建築で想定される劣化因子を部位との関係で整理し、表2に示す。劣化因子の分類はいろいろ提案されているが、ここでは ISO6241²⁾ の分類が比較的バランス良く整理されているので、これを利用した。

表1 部材レベルと材料レベルでの耐久性試験の特徴

部材レベル	材料レベル
<ul style="list-style-type: none"> ・実際に近い ・最近の多種材料、部品が複合化される傾向の中では、小さな要素での試験は難しく、今後はこのレベルでの評価が必要とされる。 ・試験が大掛りとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験が容易 ・試験体が小型となるため、試験が安価となる。 ・従来は素材そのものが部材、部位を形成していたが、最近の材料複合化傾向のなかでは、素材数が多くなり、試験項目が多くなる。

図3 性能耐久性試験の総合フレーム

この中で劣化因子は大きく機械的因子、電気・磁氣的因子、熱的因子、化学的因子の5カテゴリーに分類される。それらはさらに再分類され、最終的には具体的劣化因子が提示されている。しかしこれら劣化因子はすべての部位に対して作用するわけではなく、部位によっては不必要と考えられるものもある。そのため各部位ごとに強く関与すると思われる劣化因子だけを抽出し、同表右側に丸印で示した。

3. 2 劣化試験を実施する際の考え方

(1) 劣化因子について

各部位について強い関連があると思われる劣化因子数は複数列举される。実務での試験実施では作業を軽減するために項目の吟味が重要である。そのためには、劣化因子に影響度に応じた順位を定め、プライオリティの高い劣化因子を中心に負荷することが実際のである。

表2 劣化因子とそれに係る部位
(ISO6241の分類を基に作成、○は強く関わることを意味する。)

因子の分類・種類			部位				
			屋根	外壁	内壁	床	天井
1. 機械的因子	①自重	外部因子	積雪荷重	○	○		
			雨水	○			
			土圧		○		
			水圧		○		
		内部因子	積雪荷重			○	
			自重			○	
	②作用力と強制力	外部因子	氷結	○	○		
			熱伸縮	○	○		
			湿潤伸縮	○	○		○
		内部因子	使用時の力			○	○
			収縮とクリープで作用する力				
	③運動エネルギー	外部因子	風	○	○		
			ひょう	○	○		
			降雪	○	○		
		内部因子	磨耗				○
	④振動と騒音	外部因子	風	○	○		
			交通	○	○		
		内部因子	設備機器				
			太陽放射	○	○		
2. 電気・磁氣的因子	①放射線	外部因子	放射線物質				
		内部因子	ランプ(紫外線等)			○	○
	②電気	外部因子	電食				
		内部因子	静電気(汚染)				
3. 熱的因子		外部因子	熱	○	○		○
			凍結	○	○		
			熱衝撃	○	○		
		内部因子	たばこ				○
			加熱			○	○
						○	○
4. 化学的因子	①水	外部因子	湿気	○	○	○	○
			結露	○	○		
			降水	○	○		
		内部因子	水しぶき			○	○
			結露			○	○
						○	○
	②溶剤	外部因子	有機溶剤				
		内部因子	有機溶剤			○	○
	③酸、酸化因子	外部因子	酸素	○	○	○	○
			オゾン	○	○		
			酸性雨	○	○		
			炭酸、炭酸ガス	○	○	○	○
			腐食有機物	○	○		
		内部因子	酸、酸化因子				
	④塩、塩基	外部因子	塩分	○	○		
			塩基				
	内部因子	塩、塩基				○	○
	⑤その他	外部因子	油脂				
		内部因子	油脂			○	○
5. 生物的因子	①植物と微生物	外部因子	腐朽菌	○	○	○	○
			植物根	○			
		内部因子	腐朽菌				
	②動物	外部因子	白蟻				○
		内部因子	ベント				○

(2) 劣化因子の複合性について

実際の使用環境では、劣化因子が単独で作用することはまれであり、必ず複数の因子が同時に作用する。この場合は複合劣化となり、一般に単独因子による劣化を加算した場合より厳しい劣化となることが多い。この組み合わせも事前に検討しておく必要がある。

(3) 劣化負荷について

劣化負荷とは劣化外力の大きさと、それを継続させる劣化時間よりなる。耐久性試験はできるだけ短時間で長期性能を評価できることが望ましく、一般には現実の劣化外力より強い外力を作用させることにより促進化を図られる。

しかし注意しなければならないのは、過度な劣化負荷は実現象と異なる劣化を引き起こす危険性がある点である。実際の劣化現象との相似性、相関性を確保しつつ、促進効率のよい試験条件を定める必要がある。従来、促進試験がうまく機能しなかったことがあったのは、このことに対する配慮が不足していたためである。これにはかなりの研究が必要であり、本論文では劣化負荷条件の具体的な提案をするまでには至っていないので、その劣化因子を羅列するに留めている。

図4 RC+断熱材+石膏ボードの構成をもつ壁の断熱性

4. 適用事例

前述の耐久性試験フレームを活用して性能評価項目のいくつか例とし、できるだけ現存する試験方法を活用しつつ、部材の耐久性評価の方法について考察する。

(1) 材料レベルでの評価が可能な事例：壁の断熱性の耐久性（RC+断熱材+石膏ボードの構成をもつ壁）

この場合の耐久性評価の流れを図4に示す。壁部位の断熱性能は、面積的拡大を施すことで、小面積の壁試験体を用いた「部材レベル」での評価が可能である。従って判断はYesとなる。さらにこの場合はその断熱性を、個々の材料の熱貫流率の重ね合せによる断熱計算により求めることが可能である。従ってこの判断もYesとなり、さらに「材料レベル」での評価が可能となる。

具体的作業としては、まず個々の材料の熱貫流率の測定を行う。これについては、JIS A 1420³⁾が利用できる。劣化因子としてRC部分に対しては凍結融解作用、断熱材、石膏ボード部分に対しては、湿気等が関与するため、これらを負荷する。その後再度熱貫流率の測定を行い、＜材料一部材・部品変換＞、さらに＜部材・部品一部位変換＞の二段階の逆変換を施し、劣化後の部位の性能を評価する。

(2) 部材レベルでの評価が可能な事例：壁の遮音性能（ALC外壁）

この場合の耐久性評価の流れを図5に示す。この場合は目地部分を含む単位部材で試験をすれば、これに面的拡大を施すことにより部位性能の推定が可能である。従ってここでの判断はYesとなる。すなわち＜部位から部材＞への変換が可能である。さらに「材料レベル」への変換についてであるが、目地部分はシーリング材とALCパネルとの界面も含むため、材料に分解しての評価は難しい。従ってここでの判断はNoとなり、「部材・部品レベル」以上の試験でしか評価できない。

具体的作業は、まず遮音性能を測定する。これについてはJIS A 1416⁴⁾が整備されている。劣化負荷はALCとシーリング材を劣化させる水分、凍結作用、紫外線、熱、温度変化等について行う。その後再度、遮音性能を測定し、劣化後の値を得る。これに面的拡大を施す逆変換＜部材・部品一部位変換＞を行い、劣化後の部位の性能を評価する。

(3) 部位レベルでの評価しかできない事例：床の遮音性能（中間階木造床）

この場合の耐久性評価の流れを図6に示す。まず「下位レベルでの試験」での評価が可能であるかどうかについて検討する。遮音性能の観点から

図5 ALCパネル外壁の遮音性

図6 中間階木造床の遮音性

は床構造と下階の天井構造が組み合わされており、「部材レベル」への単純な変換は難しい。従ってこの場合の判断はNoとなり、部位レベルで試験をせざるを得ない。

具体的作業は、まず床・天井構成の部位レベルの遮音性を測定する。これにはJIS A 1416⁴⁾、JIS A 1418⁵⁾、JIS A 1419⁶⁾が利用できる。劣化は繰り返し荷重、温冷繰り返し、水分、腐朽菌等について行う。ただし、これらの劣化負荷は非常に大がかりな作業になることが予想される。これらの劣化作業終了後、再度、遮音性の測定を行う。これが劣化後の値となる。この場合は部位レベルの試験が最初からなされており、直接この結果で評価される。

5. 結論

本研究は性能の立場から部材から材料に至るまでの耐久性を、どのように考えればよいのかについてに考察したものであり、得られた結論は以下のとおりである。

(1) 建築部位の耐久性は材料の耐久性の結果と考え、そのことを基とした部位から材料に至るまでの性能耐久性評価の筋道を検討し、その基本フレームを試案として提案した。

(2) このフレームを用いて具体的な事例について検討した。その結果、どこまで低位のレベルでの耐久性試験で代替できるかは、性能項目及び部位構成に強く依存すること、またその前提として下位レベルへの変換手法の存在が極めて重要であることを明らかにした。

(3) また部位の構成によっては現状でも、低位のレベルの耐久性試験、特に材料レベルの耐久性試験に落としにくいものが多い。最近では部位を構成する材料の数が多くなっており、その傾向が強まることが予想される。従ってある程度上位レベルでの実用的な耐久性試験方法の開発、あるいはレベル間の変換方法の研究が今後必要となると思われる。

謝辞

本研究は、平成12年度通商産業省工業技術院委託「建築材料の用途別性能の標準化に関する調査研究」の一部として行われたものであり、関係各位、特に中心的に委員会を指導された調査部会長小野英哲博士（当時東京工業大学、現東北工業大学教授）に幸甚の謝意を表すものである。

参考文献

- 1) ISO15686-1:Buildings and constructed assets-service life planning-Part 1 General principles; First edition, 2000.9.1
- 2) ISO 6241 Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered, : First edition, 1984.5.1
- 3) JIS A 1420:99 建築用構成材の断熱性測定方法—校正熟箱法及び保護熟箱法
- 4) JIS A 1416:00 実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法
- 5) JIS A 1418:00 建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法
- 6) JIS A 1419:00 建築物及び建築部材の遮音性能の評価方法

[2001年10月19日原稿受理 2002年2月18日採用決定]