

1 はじめに

建築でも表1に示されるように多量の高分子材料が使用されるようになってきている。もともとは塗料、床材、断熱材として、どちらかというとな仕上げ材として利用が多かったが、最近ではメンブレンストラクチャーの材料、建物免震のためのアイソレーター、制振のための粘弾性ダンパー等、いわゆる構造用材料としての利用へも広がっている。

表1 高分子材料は建築のどこに使われているか

部位	部材	使用される高分子材料
屋根	・ 屋根防水	合成ゴム、EPDM ゴム、ポリ塩化ビニル
	・ 防湿シート	アスファルト、アクリル樹脂
	・ 各種プラスチック板（平板、波板）	ポリエチレン、アスファルト ポリ塩化ビニル、ポリエステル（ガラス繊維強化）
壁	・ カーテンウォールのシーリング材	シリコン、ポリサルファイド、ウレタン 合成ゴム
	・ シーリング目地	
	・ オープンジョイント目地	アクリル、ウレタン 油、塩化ビニル、エポキシ、アルキドフェノール ポリウレタン、合成ゴム
	・ 外壁防水	
・ 塗料		
床	各種仕上げ材	
	・ 塗床	エポキシ樹脂、ウレタン樹脂
	・ シート床材	合成ゴム、ポリ塩化ビニル
構造体	・ ウール	ウール、アクリル、ポリエステル
	・ カーペット	ポリプロピレン、ナイロン
	・ メンブレンストラクチャー	四フッ化エチレン樹脂（テフロン）、ポリ塩化ビニル
接着剤	・ 免震アイソレータ	合成ゴム
	・ 粘弾性ダンパー	アクリル
断熱材		合成ゴム、エポキシ樹脂、酢酸ビニルエマルジョン ポリスチレン、ポリエチレン、ポリウレタン

当然のことであるが、建築物は他の工業製品に比べて期待耐用年数は長い。そのためもともと耐久性への関心は高かった。最近ではそれにさらに拍車がかかっている。なぜならば建築は巨大な構築物であり、量としての材料の使用も多く、環境負荷低減のためは、建築物の耐久性を飛躍的に向上させることが不可欠だからである。

さらにこれも建築物の特徴であるが、建築に期待される性能も非常に多岐にわたる。もともと建築物は、ひとびとの生活を支えるものであるもので、そうならざるを得ない。しかも要求の水準は高度化している。そのため以前のように単一の素材だけではそれらの要求を満足させることができず、多くの材料を組み合わせることで所定の性能を作り上げるようになって来ている。そのため、素材の耐久性を明らかにすれば、そのまま建築物の耐久性となるという、かつての図式は、現在の建築にはほとんど存在しない。

そうすると、ひとびとが要求するのは建築としての耐久性、正確には建築の性能の耐久性ということになる。建築材料を供給する側は、相変わらず素材の耐久性だけしか情報を発信しないので（多分難しいので）、両者間の意思の疎通を欠いているのが現状である。

しかし材料が組み合わせられ建築が作られ、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と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ようとすると、この部分の論理的説明は不可欠である。

特に建築材料のなかで高分子材料は、コンクリート、鉄、木といった構造材料と呼ばれる材料とは異なり、必ず他の材料と組み合わせられて、部位や部材を形成する。そのためこの問題が顕在化する。ここでは建築における部位性能の耐久性と材料の耐久性をいかに関連づけて理解すべきかを、いくつかの事例をひきながら説明する。

2 性能耐久性評価のフレーム

単純に建築の性能といっても漠然としすぎる。まず一般の利用者が理解しやすい水準までかみくだく必要がある。そして利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。ここではこれを基準に考える。

さて、部位を床、壁、天井、屋根と固定したとしても、各部位ごとの性能項目は単独ではなく、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。そのため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とを前提とした図1で表すことができる。

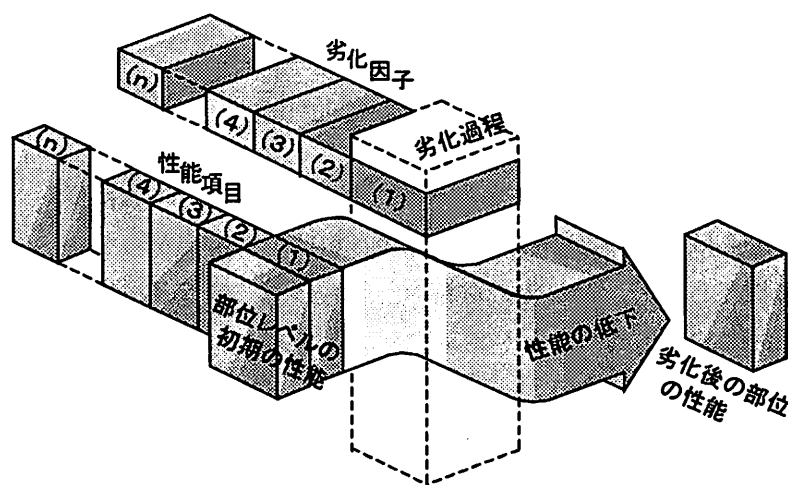


図1 部位レベルで評価する場合の耐久性試験の基本フレーム

ただ実際の建築物では補修が劣化の軽微なうちになされる。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、途中まで低下した性能が元の水準に再度引き上げられ、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。

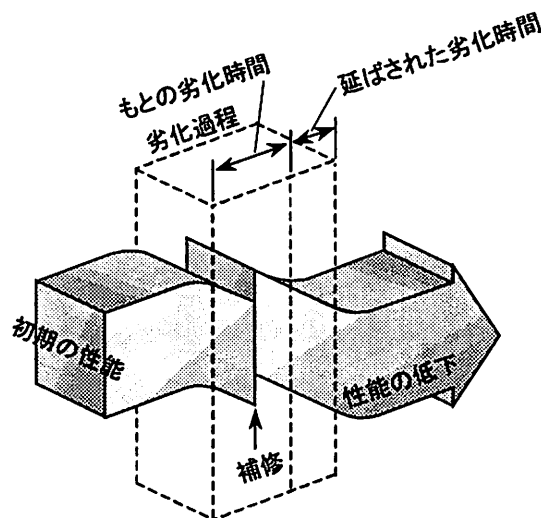


図2 補修を施した時の効果

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、このレベルでの試験の実施は、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。性能耐久性を「部材レベル」で行った場合と「材料レベル」で行った場合の特徴を比較し、表2に示す。試験作業の簡素化の観点からは、下位レベルでの試験が圧倒的に楽である。

表2 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。 ・ 試験が大掛かりとなる。 	<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。

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、非常に大掛かりになることが予想され、今少し細分化された「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ことが出来、これで、実行が容易になる。ただしここで大事なことは、部位から部材・部品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・部品の性能から、部位性能を推量できる場合にのみ「部材・部品レベル」での耐久性試験を行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

換することはできない。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。

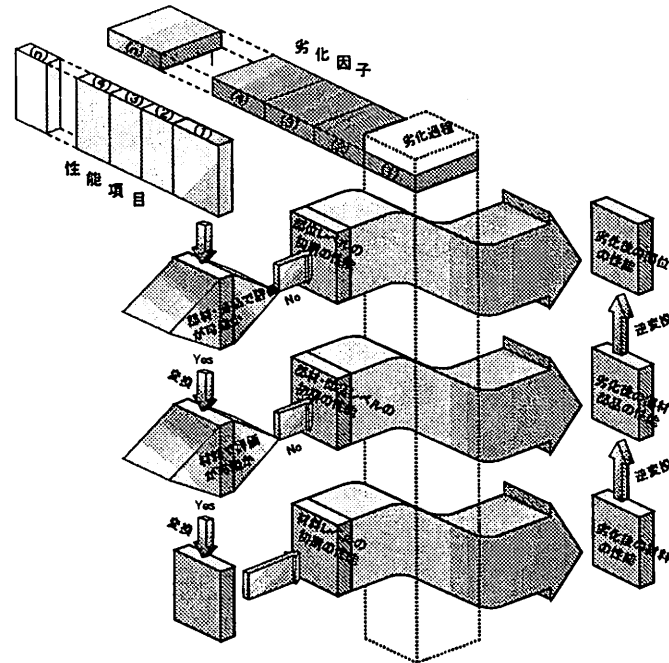


図3 性能耐久性試験評価の総合フレーム

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、どのような関係にあるか明らかではなかった。そのためせっかく得られた「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のあったのは、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と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。

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3に示す。劣化因子の分類はいろいろ提案されているが、ISO6241¹⁾の分類が比較的バランス良く整理されているので、これを利用して作成したものである。

表3 劣化因子とそれにかかわる部位
(IS06241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	○	○			
			滑雪	○	○			
		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						
2. 電気・磁氣的因子	①放射線	外部因子	太陽放射	○	○			
			放射線物質					
	内部因子	ランプ(紫外線等)			○	○	○	
②電気	外部因子	雷食						
	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					
			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	ペット				○	

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時の考え方

(1) 劣化因子について

各部位について、強く関与すると思われる劣化因子は、複数列挙される。実務での試験実施に際しては作業軽減のため、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的である。

(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

劣化負荷は、劣化外力の大きさとそれを継続させる劣化時間とよりなる。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が図られる。

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、促進効率の良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、ここでは劣化因子を羅列するに留めている。

4 高分子材料が使用されている建築部位への適用事例

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を、できるだけ現存する試験方法を活用しつつ、耐久性評価の方法を検討する。

(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、材料個々の熱貫流率の重ね合わ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。

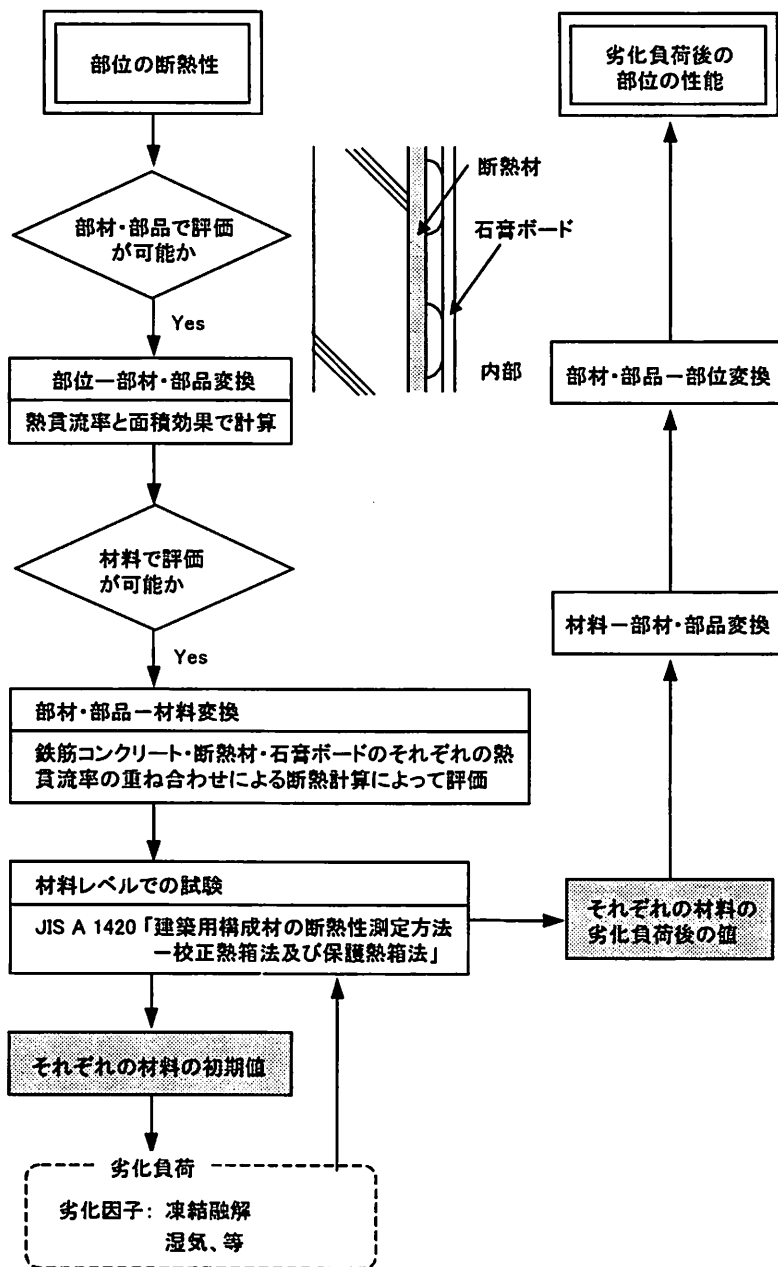


図4 RC+断熱材+石膏ボードの構成をもつ壁の断熱性

具体的作業としては、まず材料個々の熱貫流率の測定を行う。これについては、JIS A 1420²⁾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、湿気に関与するため、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-部材・部品変換＞、さらに＜部材・部品-部品変換＞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：防水層の耐風性（RCスラブ上に施工された防水層）

この場合の耐久性評価の流れを図5に示す。この場合はある程度の面積をもつ単位部材で試験をすれば、これに風力係数を考慮した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。

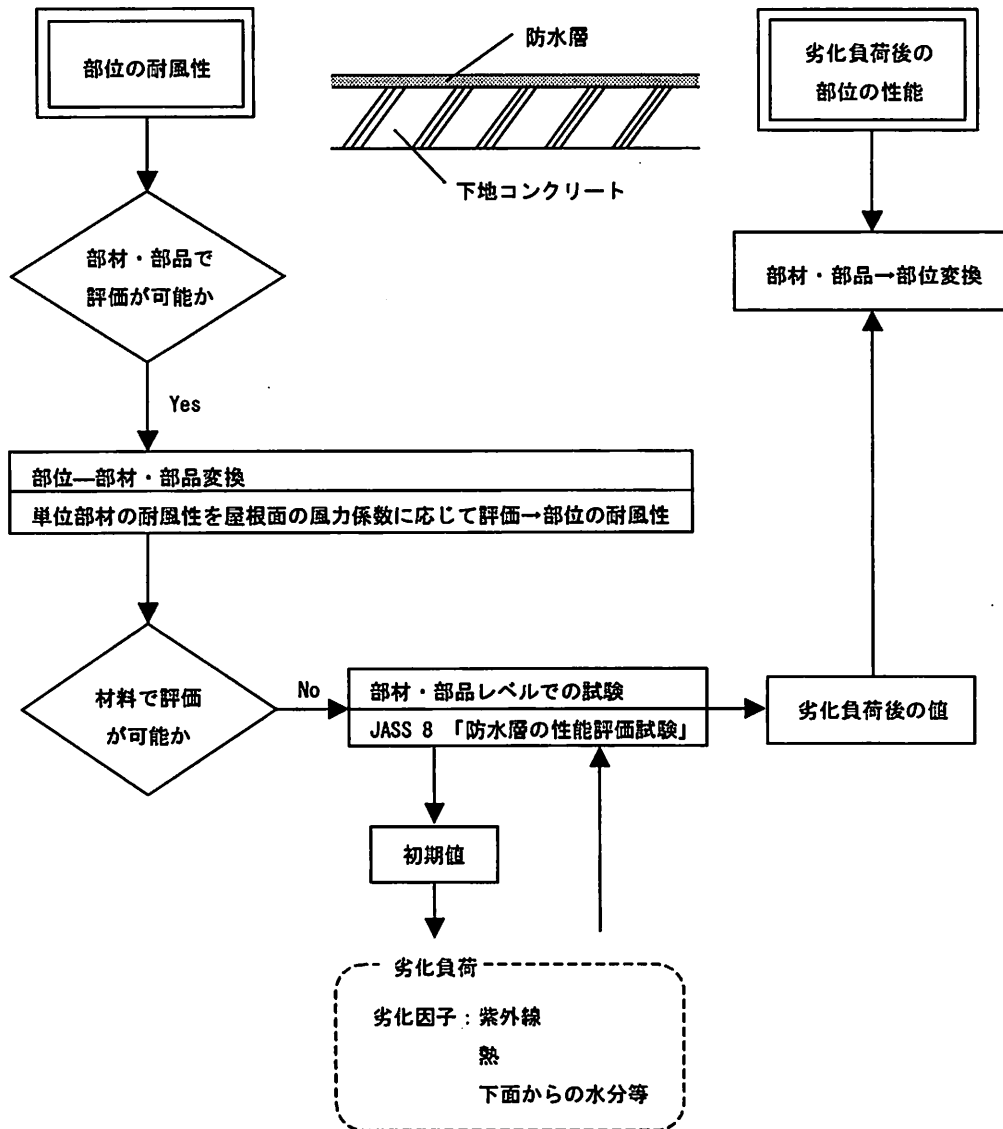


図5 防水層の耐風性

さらに「材料レベル」への変換であるが、耐風抵抗性は下地との接着の状況が大きな影響を及ぼす。従って、防水層単体の試験ではその点の評価が難しい。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、まず健全状態での耐風性能を測定する。これについては日本建築学会 JASS 8³⁾ に性能評価試験方法が整備されている。劣化負荷は、防水層を劣化させる紫外線、熱に加えて、接着劣化を引き起こす水分等について行う。その後再度、耐風性能を測定し、

劣化後の値を得る。これを面的拡大を拡大を施す逆変換<部材・部品→部位変換>を行い、劣化後の部位の性能を判断する。

(3) 部位レベルでしか評価できない事例：床の遮音性能（中間階木造床カーペット仕上げ）

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。

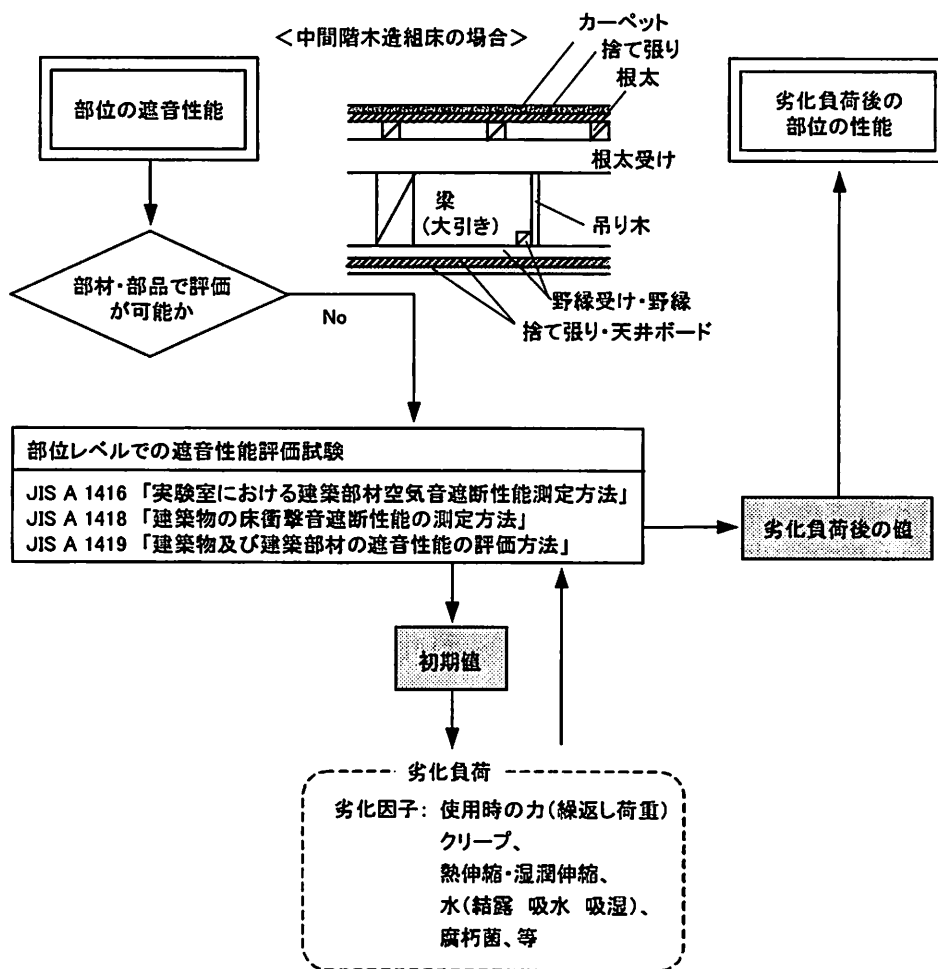


図6 中間階木造床の遮音性

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。劣化は繰返し荷重、熱、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 おわりに

建築では耐久性の重要性を、材料供給者側も使用者側も十分認識している。ただ現実には耐久性試験が多量の時間とコストを要するため、供給者側は素材だけの耐久性の情報しか提供していないことが多い。しかし建築の使用者は、それらが組み合わされて作り上げられた建築スケール、最低でも部位の性能としてしか理解できないし、その耐久性を知りたがっている。従来そこに大きな乖離があった。この間を接続するのが、ここで使用した言葉でいえば<変換>のプロセスである。そして残念なことに現状でこの変換マシンは十分に整備されているとはいえない。

また部位の構成によっては、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。そして最近では部位を構成する材料の数が多くなっており、その傾向は強まる。今後はある程度上位レベルでの実用的な試験が増えてゆくことが想定される。部位性能の耐久性と材料と耐久性を考える必要があるのはこのためである。

参考文献

- 1) ISO 6241 Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered: First edition, 1984.5.1
- 2) JIS A 1420:99 建築用構成材の断熱性測定方法—校正熱箱法及び保護熱箱法
- 3) JASS 8 日本建築学会標準仕様書・防水工事 防水層性能評価試験法
- 4) JIS A 1416:00 実験室における建築部材の空気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