

Epistula

えびすとら

建設省建築研究所
Building Research Institute

Vol.24

発行：1999. 4

建築部材の劣化を代表するひび割れ

建築部材の劣化にはさまざまな形態がありますが、その中でも良く目に留まるものの一つにひび割れがあります。土壁、モルタルや木材のひび割れは、その代表的なものです（写真1）。

ひび割れは劣化ではないという考え方もあります。例えば、荒壁、中塗り、上塗りと塗り重ねる土壁は、ひび割れを防止するのではなく、むしろその過程でひび割れを生じさせながら次の工程に進みます。最終的にひびは目立たなくなっていますが、部材内部にはかなり大きなひび割れが隠されています。このひび割れを劣化とすると土壁は

竣工する前から劣化していることとなります。木材においてもある程度でひび割れの進行が止まるものであれば許容し、それを初期状態とすべきであるという考え方が主流になっています。

劣化の定義は多様ですが、期待されていた性能が発揮できない状態に至ることは、劣化と呼ぶことができます。建築部材に期待される性能（機能）は実に多様です。土壁にひび割れが生ずれば、遮音性が低下しますし、構造的な強度特性も変化します。地震のような外力が加わった際にはそこが弱点となって破壊を促します。また、ひび割れは水を良く通すので、雨漏りの原因ともなります。これらの現象は期待されている性能の低下を促進する要因となります

で、その制御は建築物の耐久性を向上させる上で重要な課題となっています。

モルタル仕上げなどでは、全体にひび割れが生まれないようにひび割れ誘発目を設けますし、木材でも、意匠に支障の出るひび割れを嫌って、予め背割りを入れるなどはひび割れを制御する技術の例です。

ひび割れそのものを防止する努力も無論行われており、土壁に藁などの繊維を混ぜる技術は、コンクリートにも応用され、繊維補強コンクリートとなっています。鉄筋コンクリートの鉄筋もひび割れ防止の機能を有しています。材料の選定や調合の多くは、このひび割れ発生を少なくすることを第一の目的として検討されて来たものです。

特集 建築部材のひび割れ機構とその制御

Deterioration

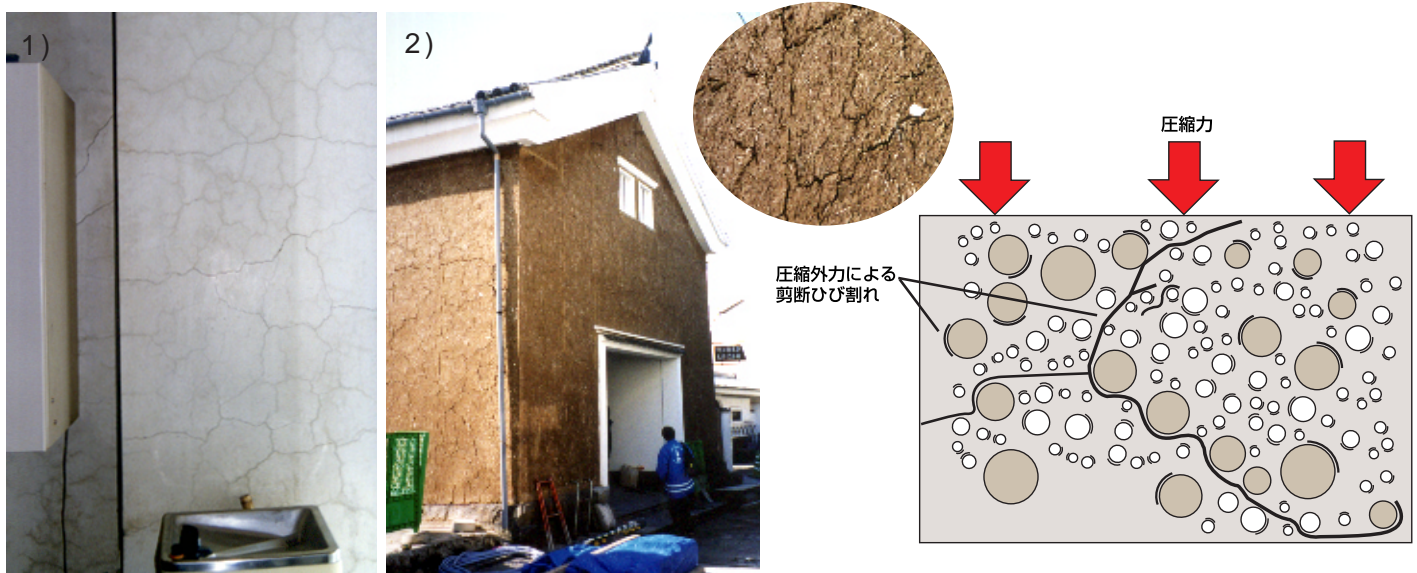


写真1：1)モルタルのひび割れ 2)土壁のひび割れ

図1：圧縮外力による剪断応力の発生

水分による建築部材の劣化とは？

建築物の耐久性向上のために、「ひび割れを防止するには」という古くて新しい課題の解明を目指しました。

ひび割れ発生のメカニズム

力学的な外力によって生まれるひび割れは、構造安全性を左右する現象であり、ひび割れの発生限界がいわば弾性限界とも考えられています。この外力によるひび割れは、外力が引張力、剪断力、圧縮力の何れでも発生します。引張によるひび割れは、物質と物質が結合して出来ている材料を引っ張ることによって物質相互の結合が外されると考えれば理解し易いでしょう。物質と物質の間には化学結合や分子間力など各種の力が作用するので、このような引張破壊には、かなり大きな力を要します。剪断によるひび割れは、物質と物質の横ずれによるもので、材料破壊の基本です。引張や圧縮に強い材料でも剪断には弱いのが一般的です。また、圧縮によって分子が壊れるということは一般には考え難いので、圧縮によるひび割れの多くは、材料の不均一性から生まれる剪断応力ないし引張応力により生じます(図1)。

土壁やコンクリート、モルタルなどではそもそも材料を単一素材でなく複数の素材を複合することによってひび割れを発生させ難くしていますが、その不均一性がひび割れの原因となるという矛盾した関係を有していますので、問題はかなり複雑です。

ひび割れ発生のモデル化：日仏共同研究の目標

このように、ひび割れ現象は日頃良く目にしており、対策も経験的につくり出されています。問題はそれを定量的に予測出来ず、例えば利用する場所の気象条件の違い等に合わせた具体的な対策が立てられないことです。

定量的な予測のためには材料の不均一性を予測することが重要ですが、材料内部の各種物質の関係を定量的に把握する技術は、十分実用化されているとは言えません。今日、含水率並びに温度分布の予測は可能であり、これにより乾燥収縮によるひび割れを予測することはできます。ひび割れを予測できれば、それを制御する技術的な指針も見出され得ると考えられます。このような見通しのもとで、平成7年から平成9年まで「日仏共同：材料・耐久性向上のための材料・部材設計法の開発」が行われました。

熱水分同時移動計算モデル

複雑な材料構成を示す建築部材中の含水率並びに温度の分布を予測するために、熱並びに水分の移動係数からそれらの移動を予測することができると考えられましたが、水分の

移動には熱の移動が常に伴います。すなわち、熱と水分の同時移動モデルが必要となったわけですが、そのモデル化の障害となったのが水分移動メカニズムの複雑さでした。その複雑さとは具体的には、

- 1)水分移動係数が実は含水率の関数である(図3)。
- 2)含水率は材料の接する空気相の相対湿度と温度に関係し、その関係は材料固有の特性曲線を示す(図4)。
- 3)水分は含水率勾配並びに水蒸気圧勾配によって移動すると共に温度勾配によっても移動する。
- 4)建築部材の置かれる環境は温度も湿度も常に変動する非定常条件である。
- 5)各種の関係が曲線的である。
 - a) 飽和水蒸気圧 - 温度曲線 (図2)
 - b) 水分移動係数 - 含水率関係 (図3)
 - c) 平衡含水率 - 相対湿度関係 (図4)

結局、水分移動を支配しているのは基本的にはギブスの熱力学平衡に規定される水分の化学ポテンシャル勾配であるとするることによってモデルの簡略化が可能となり(図5)、温度も湿度も常に変動する条件に置かれた多層構成の建築部材中の含水率並びに温度分布を予測する2次元熱水分同時移動計算プログラム(HMTRANS)が開発されました。この

プログラムは、計算用入力データ作成プログラムを添えてHMSIMと名称を変えて次のURLでダウンロード可能となっています。
URL: <http://brisoft.kenken.go.jp>

含水率分布予測精度の検定

この2次元熱水分同時移動計算プログラムを使えば、日々変動する温湿度条件下に置かれ、特性の異なる複数の材料から構成された建築部材の含水率並びに温度分布を予測できます。

このプログラムによって含水率分布の予測を行った一例として、モルタル部材の乾燥過程について見てみたいと思います。

実験で最も問題となるのは、試験体の含水率測定です。内部に相対湿度センサーを埋め込むことは出来ませんが、含水率センサーには適当なものが存在しません。特にモルタルのように素材を液体状にしてから成形し、乾燥させる材料では、内部にこれらのセンサーを埋めることは困難です。従って、モルタルの乾燥過程における含水率変化を予測し、実測した総重量と比較する単純なシミュレーションを行いました。モルタルは打設当初において極めて高い含水率を示しますので、このような高含水域における予測精度を確認することを目的としています。

予測した含水率分布の例を図6に示します。このような予測結果から推定された総重量と実測結果は図7に示すようにかなり良い一致を示しています。直接的な比較ではないので断定はできませんが、このプログラムはかなり高含水域でも大きな誤差を生まないことを示している

と言えます。

水分移動関連の材料特性の測定：迅速測定法確立の必要性

プログラムが出来ても、建築部材中の含水率並びに温度分布を予測するためには、計算対象となる部材の材料物性を把握することが必要です。各種の材料物性の中で、水分移動関連の材料物性の測定が、古典的な方法では極めて長い時間を要する点が問題でした。すなわち、迅速な測定法の開発が課題として挙がってきました。

共同研究相手であるフランスCSTB(建築科学技術センター)では含水率測定にガンマ線透過減衰を用いています。この方法は、既にヨーロッパ全体で広く使われるようになっていますが、わが国では放射線取り扱い規定が障害となっていて一般化していません。ヨーロッパにおいてガンマ線以外の方法で良く使われているのは核磁気共鳴法ですが、装置が高価であり、磁性体を含む試験体には適用できないという欠点を有しています(写真2)。

これらの方法を諦めざるを得ない建築研究所では、以下のように、古典的な測定法と近似予測法を併用して迅速測定を実現しようとしています。

- 1)乾燥空気と飽和湿潤空気の混合によって高精度相対湿度を無段階に作り出す。
- 2)含水率分布は計算により、重量総和のみを実測する。
- 3)含水率が一樣になるのを待たずに水分移動係

- 数並びに平衡含水率を予測する。
- 4)水分移動係数測定と平衡含水率曲線測定を同時に行う。
- 5)減圧置換法を用いて試験体の初期条件の設定を迅速化する。
- 6)3)、4)を同時に含水寸法変化率を測定し、測定された係数の補正と共にひび割れ発生予測に必要な物性データを補う。

このような検討に基づき、図8のような装置を現在製作中です。これによって従来の測定法では数ヶ月を要した水分特性の測定が1週間程度に短縮されるものと期待されています。

今後の課題

含水率勾配は既にひび割れ発生危険度を示す指標となることは確かとなっていますが、ひび割れ予測という意味ではその準備が整ってきたという段階です。今後、材料の強度特性と含水率の関係、部材・材料の不均一性や部材・材料の拘束条件の表現方法など、明確にしなければならない事項は多くあります。

これまでもマクロな材料物性と微細構造の関係の分析などの基礎的な研究作業が重要であったように今後もこのような基礎作業が数学や熱力学などの基礎知識と共に大変重要です。このためには多様な分野が共同する研究体制の確立が重要であり、国際共同研究は大変有効な手段であることを付言しておきたいと思ひます。

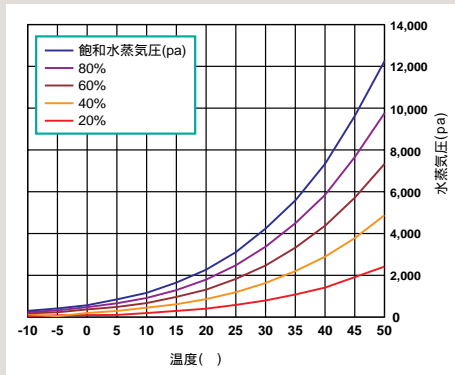


図2：飽和水蒸気圧 - 温度曲線

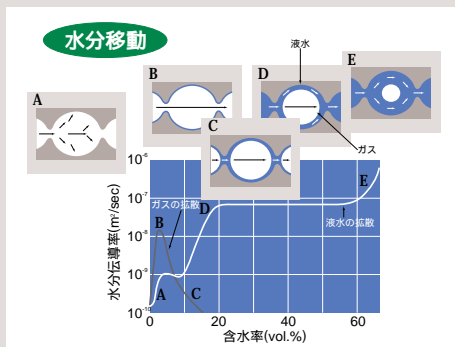


図3：水分移動係数 - 含水率関係

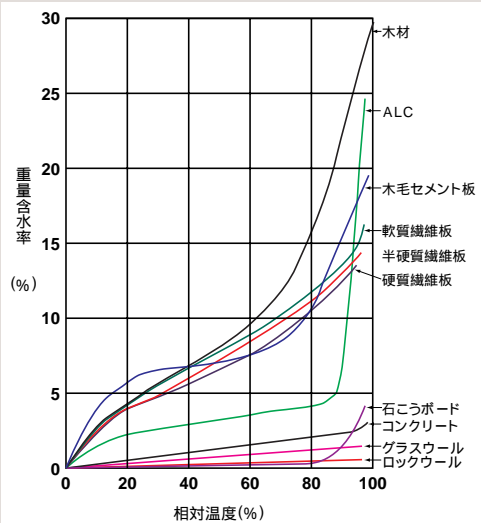


図4：種々の建築材料における相対湿度と平衡含水率

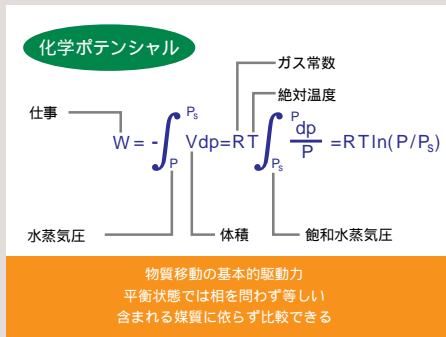


図5：水の化学ポテンシャル

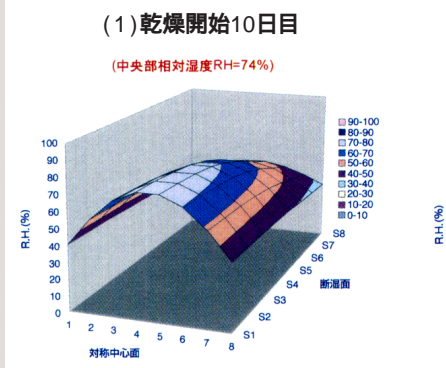


図6：含水率分布予測図

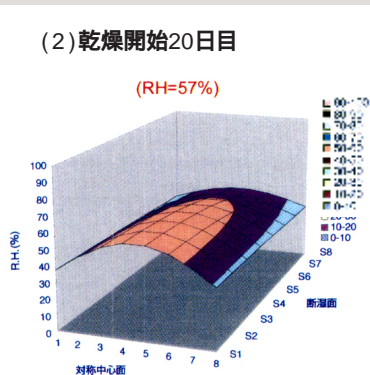


図7：総重量の計算と実測の比較

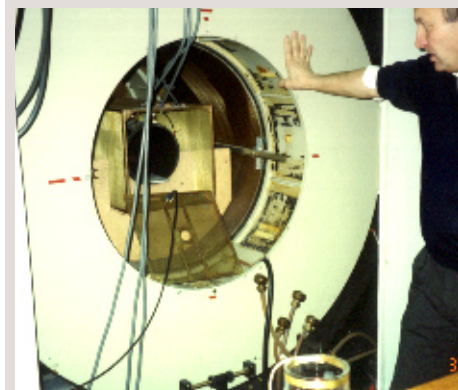


写真2：フランスリヨン大学の核磁気共鳴装置

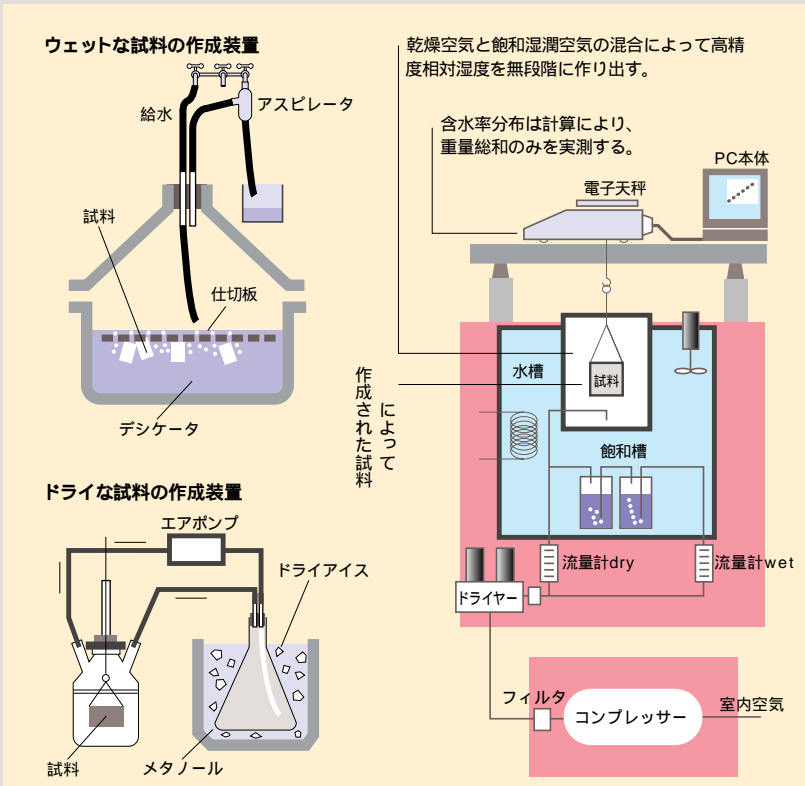


図8：製作中の水分特性迅速測定装置

第六研究部

第六研究部は、都市計画分野を担当する部として、都市計画・都市施設・都市防災構造・都市防災情報・都市開発の5つの研究室により構成されています。都市計画の目的は、都市空間を安全、衛生、利便、快適等に構成することです。少子高齢化、環境共生化、高度情報化等の経済社会情勢の変化により、都市計画に求められる課題は高度多様化しており、研究課題もそれに対応する必要があります。近年の研究の特徴をあげると、平成7年1月の兵庫県南部地震の大都市直下型地震による大規模な被害発生により、安全な都市、市街地形成の重要性がより強く認識され、都市防災のウェットが大きくなっています。GIS等の高度情報処理技術を活用した被災情報把握・提供・活用システムの開発等を行ってきましたが、平成10年度より、建設省総合技術開発プロジェクト「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」を立ち上げ、第五研究部、土木研究所をは

じめ、関係各界と協力して取り組んでいます。研究の概要は以下のとおりです。

- I. 地区の防災要素の影響評価手法の開発
市街地に地区施設等（耐火性を有する建築物、道路（街路）空地、緑被地、河川等）が立地した際の防災性（火災、救出・救護問題、避難問題など）の評価手法の開発
- II. 地区の防災対策技術の開発
市街地整備方策と防災との関わり方を吟味し、新しい計画技法の展開やゾーニングのあり方を検討するとともに、個々の地区施設等について、その防災的効果を実験・調査等を通じて解明し、被害低減のための効果的な技術開発
- III. 計画支援技術・防災対策推進方策の開発
住民側及び行政側から、防災まちづくりを支える意識形成・合意形成を図る方策を検討し、これらを支援するツールを、I、IIの成果を応用して開発

国際地震工学部

毎年のように世界のどこかで大きな地震が発生して尊い人命や財産が失われています。地球表面を覆うプレートの移動を引き起こす活動を地球が続けている限り、地震の発生をくい止めることは不可能です。したがって、人が知恵を働かせて地震という自然現象から人命、財産を守ることが必要になります。我が国では、これまでの地震で多くの犠牲をはらいながらもその経験を通して地震現象を解明するための地震学、地震被害を軽減するための地震工学を発展させてきており、この分野での国際協力が強く期待されています。このため、建築研究所において1962年に国際地震工学部を設置し、毎年世界の地震国から研究者、技術者を招いて地震学、地震工学の研修を実施しています。現在この研修を終了した卒業生は、78カ国、1,028名を数え、各国での地震防災活動の

重要な人的基盤となっています。都市への人口集中、被害を受けやすい人工物・システムの増加などによって地震が発生した場合の被災規模が拡大しつつある現状において、このような人材育成は今後も継続、充実していく必要があります。当研修に対する皆様の御支援をお願いいたします。この研修を紹介したホームページ（<http://iisee.kenken.go.jp/>）を開設していますので、興味のある方は御覧下さい。



編集後記

3代目の編集委員長として、えびすとら20号から24号までの1年間、おつきあいただきました。創刊当時の基本理念「研究対象としている建築、住宅、都市のいずれもが人間の日々の活動の場であることから、私たちの研究は活きた社会との交わりの中でこそ育つものであり、また研究の成果は常に社会への還元がはからねばならない」をベースに、わかりやすく伝えて、興味を持ってもらうことをねらったつもりです。小生が委員長としてまとめたことは、編集のかけられる時間の都合で原稿がズタズタになることに配慮して

編集責任を明記したこと、執筆要項をまとめたことぐらいですが、今後に望むらくは「手紙」の返信が、編集委員会へうまく届く仕組みです。この4月から大学へ戻りますが、礼儀知らずで大声の小生に暖かく接していただいた筆者、編集委員、事務局の方々に深く感謝いたします。（M.T.）

PCa壁板圧着による耐震補強工法の実験

1月8日、当研究所の実大構造物実験棟において、標記の公開実験を実施しました。これは、既存RC造柱梁フレームにプレキャスト壁板を圧着し補強した架構試験体に水平力を加える実験で、既存RC造建築物の外構面に高強度コンクリートとPC鋼棒を使ったプレキャスト壁板を付加する補強方法の効果（耐力と変形能の向上）を把握するものです。



平成11年度春季研究発表会開催

| 日 | 時 | | |
|---------|-----------|----------------|-----------------|
| | | 午前(9:00~12:00) | 午後(13:00~17:00) |
| 5/17(月) | 火災部門 | | 建築材料・部材部門 |
| 18(火) | 基準認証部門 | | 構造部門 |
| | | | 構造部門 |
| 19(水) | 建築計画部門 | 住宅・建設経済部門 | |
| | 建築環境・設備部門 | 都市部門 | |
| 20(木) | 地震工学部門 | 生産技術部門 | |
| 21(金) | 総プロ・先導・官民 | 総プロ・先導・官民 | |

場 所：都市防災研究センター棟（建築研究所内）
問 合 先：企画部情報管理官付情報管理係
(tel 0298-79-0642)
そ の 他：聴講自由。事前申込不要。

出版のご案内（近刊）

建築研究資料No.93

「市街地における木造3階建共同住宅の延焼性状に関する実大火災実験」

（林吉彦、吉田正志、茂木武、萩原一郎、山名俊男、五頭辰紀、増田秀昭、長谷見雄二、北後明彦、安村基、中村賢一、三村由夫、阿部市郎、泉潤一、福本雅嗣、斎藤一、山田誠）



建研裏庭・桜の頃
Photo K. Bogaki

Epistula

第24号 平成11年4月発行
編集：えびすとら編集委員会

発行：建設省建築研究所(企画部)
〒305-0802 茨城県つくば市立原1
Tel.0298-79-0642 Fax.0298-64-2989

えびすとらに関するご意見、ご質問をお寄せください。また、バックナンバーは、ホームページでご覧になれます。（<http://www.kenken.go.jp/epistula.html>）