



# 快適で長持ちする建物を建てる

—— 田中研究室～応用セラミックス研究所 ——



田中 亨二 教授

私たちは基本的に建物の中で生活している。建物は、衣、食と並んで人間生活になくてはならないものである。

建物は、そこに生活空間を作り上げる。その建物に要求される役割は様々である。もちろん、地震などで壊れない、丈夫だということも重要だ。だが他にも、雨や風、陽射しから中の人を守ったり、壁で部屋を区切ることでプライバシーを保護するといった役割もある。田中研究室では、このように周りのものから“守る、さえぎる”屋根や壁に注目している。



## 建物と長くつきあうために

ビルなどの建築物の場合、普通は屋根にコンクリートを使用する。しかしコンクリートの防水性は低いのでこのままでは水が漏ってしまう。そのため、何らかの処理を表面に施すことが普通である。これを防水という。そこで用いられるのが高分子材料である。高分子材料は防水性に優れており、それをコンクリートに重ねることで水を防ぐことができる。

しかし高分子材料にもいくつかの欠点がある。それは、ライフ(寿命)が一般的に低いこと、そして比較的新しい材料であるため正確なライフがわからないことである。建築物は一度作ったら、長い年月にわたってその機能を保持し続けることが望ましい。つまり建築材料には高い耐久性が求められるのである。そこで建築物に高分子材料のように新しい材料を採用するときには、耐久性を綿密に調査することが必要となる。

しかし、実際に長い年月をかけてその耐久性を調べるというのは、現実的ではない。なぜなら何十年もかけて劣化していく様子を調べていたら、結果がわかる頃には、もっとよい材料が開発されて、その材料が使われなくなってしまっている可

能性があるからだ。そこで材料の耐久性を短期間で調べる為に、材料に強い負荷をかけて材料の劣化を調べるのである。

高分子材料の場合は、水分・紫外線・熱・オゾンといったものが劣化の原因となる。そこで、人工的に高温多湿で紫外線が強く、オゾン濃度も高い環境を作り出し、そこでどのように材料が劣化するのかを調べることで長期間にわたる実験に代えるのである。しかしこのような実験だけでは相対的な耐久性がわかっても、実際にどの程度の期間実用に耐えるのかはつかめない。そこで実験室でのデータをもとに劣化モデルを作り、実際にその材料を屋外にさらしてどのように劣化するのかを調べることで実際の耐久性との対応を調べるのである。

また、当然のことだが建築材料というものはある特定の地域でのみ使われるのではなくさまざまの場所で使われるものである。そして場所によって当然のことながら、気温や降水量等は異なる。そのため実験室のデータとある一ヶ所だけとの対応を調べてもあまり意味がない。そこで先生の研究室では、まず研究室のある横浜の他、札幌と沖

縄で材料を外にさらしてみて、どの程度劣化するのかを気象条件と関連づけて調べた。これらの実験で得られたデータによって、ある気象条件における材料の劣化の仕方がある程度予想できる。

図1を見てもらいたい。これは先生がある防水材料がどの程度劣化するのかを、今までの研究成果と気象情報をもとに世界規模で試算した結果を示した地図である。これはあくまで試算であるためあまり正確なデータとはいがたいとのことである。しかし先生は世界各国の研究者と協力をして、いろいろな地域でデータをとることでより正確なものにしようとしている。ここでは防水用の

高分子材料について書いてきた。しかし他にも塗装などについても同様の研究がなされている。

このような地図をより正確に作ることができるようになれば、あらかじめその材料のある気候における耐用年数がわかるようになる。そして建築物を使っていくときに材料の交換時期があらかじめわかっていてれば、トラブルが起こる前に取り替えることができる。また建築物を設計するときにあらかじめ寿命の短い部分を容易に交換できるようにするなどの工夫もこらせるようになる。このようにして建築物全体としての寿命をバランスよく延ばすことが可能となるのである。

## 強いだけが取り柄じゃないコンクリート

ところで、これまで述べてきた防水用の高分子材料などはコンクリートの上に重ねるように施工されるものである。このようにコンクリートの上に重ねられるものを仕上げ材と呼ぶ。その役割は防水のようにコンクリートの性能を補うことや、タイルや塗装などのように外観を変えることにある。この仕上げ材がよくないと建築物そのものの仕上がりが悪くなるので大変重要なものである。そこで高分子材料などの仕上げ材、そのものの研究をしていることは先に書いた通りである。しかしそうい仕上げ材の開発だけではよい仕上がりの建築物を作ることはできない。なぜなら下地となるコンクリートも含めた総合的な性能こそが建築物にとって重要だからだ。

今、総合的な性能と書いたがコンクリートに求められる性能とはどのようなものだろうか。コンクリートには複数の役割があるため多機能材料といわれる。その役割は大きく分けて二つある。すなわち構造材としての役割とエンベロープとしての役割である。

構造材とは、建築物の骨組みとなり、建築物が崩れないように支える役割をなす材料のことである。ここで材料に求められるのは建築物を支える為の強さである。それに対してエンベロープとは、建築物を包み込み、中で生活する人々を騒音や雨・寒さ等から守る部分、具体的には壁や屋根である。

このうち構造材としてのコンクリート、つまり

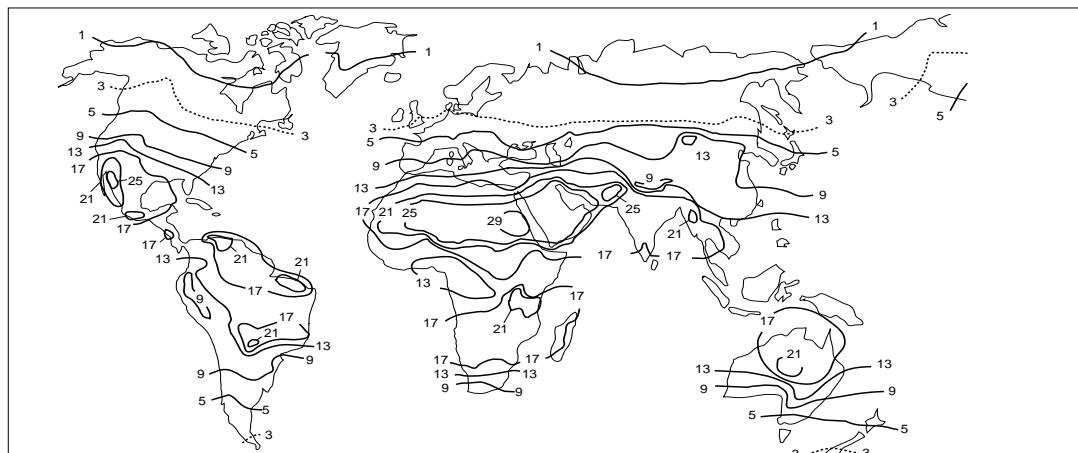


図1・屋根防水層の世界劣化荷重地図

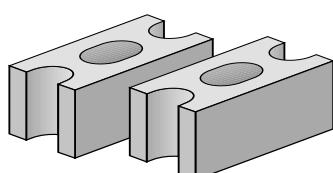
コンクリートの強度に関しては、以前から他の研究施設でも研究されてきた。しかし先生は建築物の役割のうち“守る・さえぎる”というところに注目している。そこでエンベロープとしてのコンクリートに重点を置いて研究をしている。

基本的には、エンベロープとしても優れたコンクリートをつくらなければいけない。しかし、いくら改良を加えてもコンクリート単体では、優れたエンベロープとはならない。そこでコンクリートの上に仕上げ材を重ねるのが一般的である。したがって、仕上げ材を使用することを前提としたコンクリートの研究が必要となる。エンベロープとして優れた、仕上げ材との相性がよいコンクリートを作るためには強度以外の性質についても知る必要がある。そういう観点から田中研究室で研究されているのが、コンクリートの透気性、透水性、そして半透過性という三つの性質である。

まず、透気性はコンクリートの耐久性に影響を及ぼす。なぜなら、コンクリートはもともとアルカリ性であり、そのため酸によって腐食しやすい鉄筋を保護する役割も果たしている。ところがそこに空気中の二酸化炭素が浸入するとアルカリが中和され、鉄筋コンクリートの劣化を早めてしまう。それだけではない。透気性があると仕上げ材の裏面に空気が入りこむため、仕上げ材の耐久性にも影響を及ぼすことになる。

透水性とは、水をどれだけ通すかということである。これは建築物の防水性をそこなうため、コンクリートを屋根材料として使用した場合大きな欠点になる。しかもコンクリートにはひびが入る性質があるためさらに防水性が損なわれることになる。そこで屋根の材料をコンクリートにするときには、高分子材料などを使うことで防水することになる。

しかしコンクリートの透水性が関係することは屋根の防水だけではない。最近よく地下室が作られているが、土中には水分が含まれているため、水を防ぐことを考えなくてはならない。しかし地



下では屋根のような防水加工の施工が難しいために、防水性はコンクリートそのものの透水性にかなり依存することになる。そのため地下空間ではコンクリートの透水性ということがよりいっそう重要なことになるのだ。

それでは、最後の半透過性というのはいったいどういう性質なのだろうか。これはコンクリートの持っている半透膜としての性質である。コンクリートは半透膜、すなわち溶媒だけを通して溶質を通さないという性質をもつのだ。これは次のような時に問題になる。

屋根や床のコンクリートの上には、先にも述べたように、床材などの仕上げ材を施工することが多い。ところが、その仕上げ材が下地のコンクリートから離れてしまい、膨れあがってしまうことがある。床材が膨れてしまうと、外観を損ね、歩きづらくなる。そこでその原因を調べる研究をしていた。

同じような現象は屋上でも起こる。これは日射を受けて温度が上がるためコンクリート中に含まれる水分が膨張してふくれるのだろうと容易に予想できる。だが、床でも同じような現象が起こるというのだ。調べていくと床の中でも地面に接しているところで起こることが多いことがわかつてきた。それをなぜかと調べていくうちに、コンクリートが半透過的性質をもつことを前提にしなければ説明がつかないということになった。コンクリートは半透膜としての性質をもち、浸透圧を発生させるのである。

仕上げ材が膨れてしまうメカニズムを説明しよう。答えはコンクリートと仕上げ材との間に水分が集まつてくるからである。では、なぜ水分が集まつくるのだろう。コンクリートの上に仕上げ材を重ねるときに接着剤を使用したとする。本来なら接着剤は固まりきるはずである。しかし実際には接着剤の一部が固まらないためそれが溶けだし、コンクリートと仕上げ材の間には濃度の濃い溶液が挟まったような状態となる。ここで半透過膜の性質を思い出してほしい。半透過膜の両側で水溶液の濃度に差があると、濃度の差を減らそうと濃度の薄い側の水分が濃い側に移動するのだ。すなわち濃度の薄い土中の水分が濃度の濃いコンクリートと仕上げ材の間に移動する。そのため、コンクリートと仕上げ材の間には水分が溜まってく

るのである（図2）。

そこでどのような条件でコンクリートの浸透圧が大きくなるかの研究を始めた。調べてみると

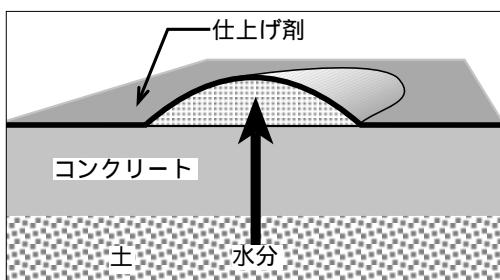


図2・仕上げ材が膨れる仕組み

## 茅葺き屋根～その隠された知恵

高層ビルのように、優れた近代建築がある。一方で古来の作り方で作られた建築物にも素晴らしいものもある。例えば、古い木造建築に使われてきた屋根が茅葺き屋根である。普通私たちが水を防ぐ構造を考えるとき、それはビニールシートのようにぴっちりとした文字どおり水も漏らさない緻密な構造を考えるのではないだろうか。ところが茅葺き屋根は、茅(ススキ)を積んだだけで隙間だらけにもかかわらず雨を防ぐことができる。

では、なぜ茅を積んだだけで、隙間だらけの屋根が雨を防ぐことができるのだろうか。これを不思議に思われた先生は茅葺き屋根の研究も始められた。

この屋根の雨を防ぐしくみは二つある。一つめの理由は材料に濡れる性質があることである。つまり水は材料の周りにまとわりつこうとする性質を持っているのだ。そのため水は下に落ちることなく茅にまとわりつき、茅すなわち屋根に沿って流れ落ちるのである。

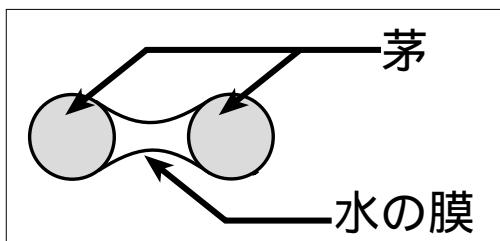


図3・茅葺き屋根

コンクリートによる浸透圧は実に1cm<sup>2</sup>あたり数kgにも上るのである。これは水道の圧力が1cm<sup>2</sup>あたり2kg程度であることを考えればいかに高い圧力が仕上げ材にかかるかがわかつていただけるのではないだろうか。無論、実際には仕上げ材がコンクリートからはがれてしまうため1kg以下の圧力しかないが、それでもすごい圧力である。

現在浸透圧を下げる方法として緻密な組織を持つコンクリートを使えばよいことがわかってきていている。他の性質についても、その対策についていろいろのことがわかってきてている。そしてその研究結果をコンクリートの改良に生かすために今日も研究し続けられているのである。

二つめの理由は表面張力の働きで隣りあった茅の間に張られる水の膜だ。この膜が防水膜の役割をはたす構造になっているのだ。（図3）上から落ちてきた水滴は、この膜に吸収され、下に落ちることなく屋根にそって流れ落ちることになる。

さらに茅葺き屋根には他にもコンクリートはない優れた点もあるのだ。まず耐久性、近代建築の寿命は20年程度といわれるが茅葺き屋根は良質のものでは、意外にも60年位も持つという。さらに、材料がススキであるため廃材の処分も簡単である。またこの屋根は空気を多く含むため断熱性にも優れた性質を発揮する。先人達の残した屋根はじつに優れたものだったのだ。一見すると隙間だらけで単純な構造を持つ茅葺き屋根が近代建築によって作られた屋根にも負けない性能を持つのに先生は驚かれたそうだ。

しかし、こんなにも優れた茅葺き屋根にも欠点がある。それは火災に弱いことである。当然のことだが茅でできている茅葺き屋根はいとも簡単に燃えてしまう。この欠点のため、茅葺き屋根は廃れていくことになった。

昔ながらの味のある建築物と現在の技術を使った優れた建築物のよいところだけを取り入れた建築物。それができれば最高なのではないかと素人ながら、考えさせていただいた。いつの日かそのような快適な建築物で生活できる日が来ることを願ってやまない。

（大坪誠・高橋瑞稀）