

オープンキャンパス 2017

(ホームページ公開版)

2017/8/10

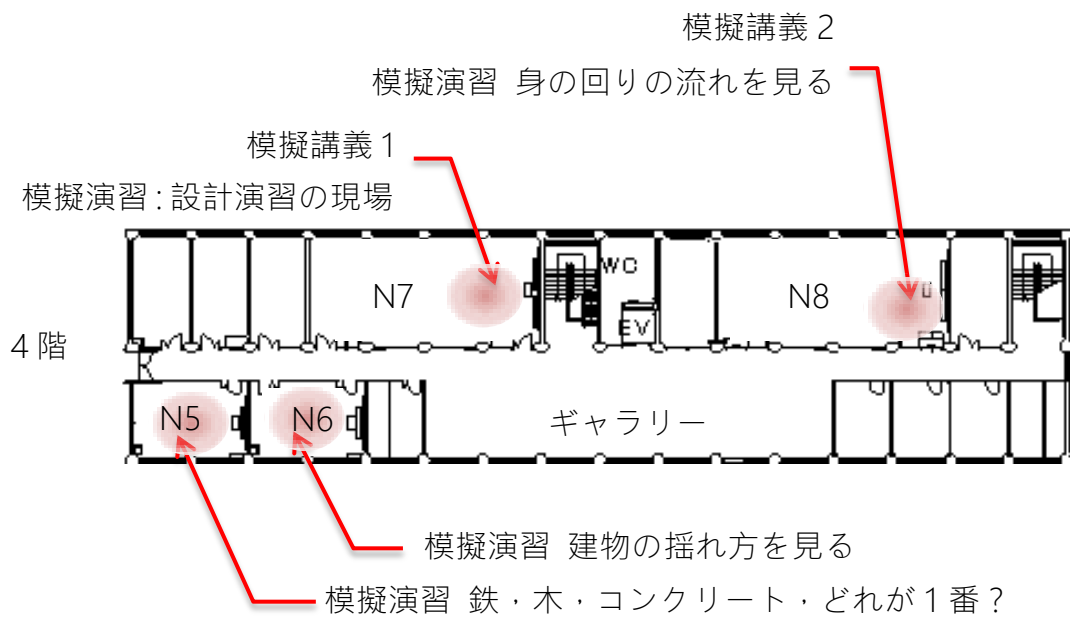
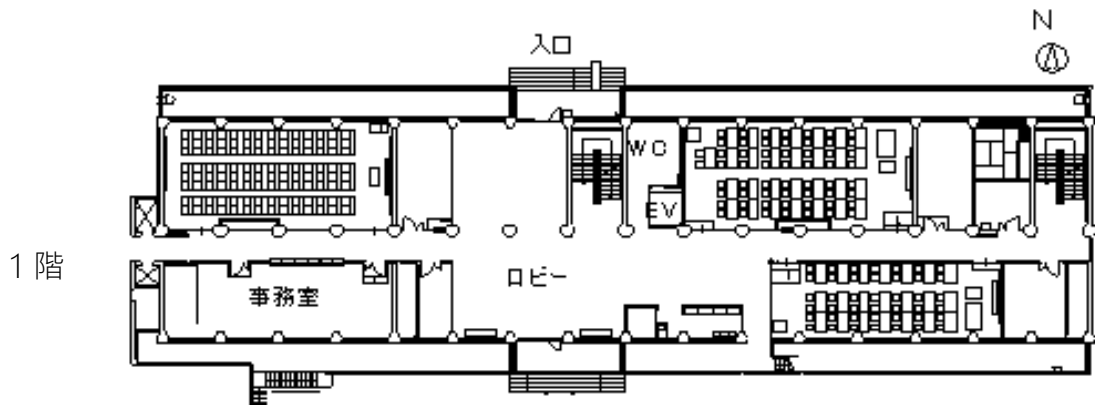
京都大学工学部建築学科

■ プログラム

12時30分	1階 ロビー	受付
	4階 N7・N8室	講義室へ入室
12時50分		挨拶 学科長 竹山 聖教授
		学科の紹介とオリエンテーション
13時00分	4階 N7室 模擬講義1	三浦 研 教授, 大崎 純 教授
	4階 N8室 模擬講義2	平田 晃久 准教授, 大谷 真 准教授
14時20分頃～	4階 N5, N6, N7, N8室	模擬演習(1回目)
		(指定された部屋で受講してください)
14時40分頃～	アンケート記入	
14時55分頃～	N5, N6, N7, N8室	模擬演習(2回目)
		(自由に選んで受講してください)
	ギャラリー	在校生との交流会
		パネル展示(研究室紹介, 学内施設案内)
16時30分		終了

■ 案内図

総合研究9号館 北棟



目 次

歓迎挨拶

ようこそ京都大学建築学科へ	学科長 竹山 聖 教授	1
---------------	-------------	---

模擬講義 1 (N7 講義室)

行動の分析から建築を計画する—高齢者居住施設を事例として—	三浦 研 教授	3
建築構造学 —建物を支えるしくみ—	大崎 純 教授	11

模擬講義 2 (N8 講義室)

生きている建築をつくる	平田 晃久 准教授	25
建築環境工学 —快適な暮らしを支える—	大谷 真 准教授	29

模擬演習

設計演習の現場 (N7 講義室)	平田 晃久 准教授	41
鉄, 木, コンクリート, どれが 1 番?— 建築構造材料を比べて知る — (N5 講義室)	西山 峰広 教授	45
建物の揺れ方を見る (N6 講義室)	辻 聖晃 准教授	49
身の回りの流れを見る (N8 講義室)	仁井 大策 助教	53

ようこそ京都大学建築学科へ

建築学科長 竹山聖

オープンキャンパスに参加された高校生のみなさん、ようこそ京都大学工学部建築学科へ。

本日この建築学科の会場にいらっしゃるみなさんは、さまざまな期待に胸を膨らませて来られたことでしょうか。あるいは不安もあるかもしれません。建築というのはとても面白そうな気がするのだが、いったいどのような分野なのか、どんな勉強が必要なのか、果たして自分に向いているのか、など。

実は建築はとても多くの側面が総合されてできている分野です。なにしろわれわれの生活を取り巻くあらゆる環境を問題とするのですから。そして家具的なスケールから都市的なスケール、さらには地球環境の問題まで広い視野を持つことが期待されているのですから。数学や物理学など理科系の知識が必要とされるかと思えば、歴史学や芸術学など文科系的な側面もあります。物を扱うと同時に人間の心も扱うので、心理学や社会学的な側面もあります。理論的な側面もあり実践的な側面もあります。実はそのどちらもが必要とされるのです。こうしたことがらを面白いと思う人にはこれ以上ないほどのやりがいのある、創造的な分野だと言えるでしょう。

とはいえ、将来自分の進むべき道をそんなに簡単に見つけたり、決めることなどできないと思います。迷い、ためらうことはとても大切です。しかしやがていざという時に決断しなければならない。そういう時が人生に何度も訪れます。ただしいまは、安心して、迷いながら、会場を見て回ってください。疑問があったら、会場にいる学生や教員に遠慮なく尋ねてください。少しばかりの気おくれがあっても、ここはぜひ、勇気を持って尋ねてください。それが、このオープンキャンパスに来られた一番大きな勉強だと思います。

この会場で本日は、模擬講義として建築学科の異なる専門分野から最先端の研究や作品を紹介していただきます。また、演習・実演・パネル展示などを通して、インタラクティブな教育の現場を体験してもらいます。そして、建築学科の教員のみならず、みなさんと世代の近い若い学生たちも参加して、みなさんの質問に答える場を用意しています。この機会に、建築の世界の広さと深さ、理論と実践、深い学識に支えられたクリエイティブな世界を体感してください。建築は世界を改変する試みです。そこにいけば何かが出来そうだ、という雰囲気を感じ取ってください。

私たち建築学科の学生、教員は、近い将来、みなさんと再会し、ともに学び研究することを楽しみにしています。

模 擬 講 義 1

行動の分析から建築を計画する

—高齢者居住施設を事例として—

総合研究9号館 N7講義室

担当 三浦 研（教授）

■はじめに

建築学は、「計画系」「構造系」「環境系」という大きく3つの系から構成されている。「計画系」には、みなさんが一番に思い浮かべるだろう設計分野も含まれるが、設計に至る前段階として、どのような建物を作るべきか、設計の方向性を明らかにする建築計画学も含まれる。ここでは、建築の研究と設計がどのような応答的關係で実践されていくのか、高齢期の居住施設者を事例として建築計画学を紹介したい。

■時代の変化と建築

人口構成はこの半世紀、大きく変化していく。人口ピラミッドは戦前の富士山型から釣鐘型を経て、2050年には高齢者が多数を占める逆三角形に近づく(図1)。高齢者はマイノリティーではなく既にマジョリティーになる。必然的に“老い”と共生する社会への転換が求められる。同時に、これまで否定的な意味で語られた“障害”という言葉もその見方を修正しなければならない時期にさしかかりつつある。“障害”という言葉そのものの定義も見直されはじめた(表1)。

さらに、女性の社会進出に伴う晩婚化、非婚化、少子化の進行も都市のあり方に影響を及ぼしている。子育てを女性に任せきりにする社会が通用しなくなり、専業主婦による子育てを前提とした郊外のニュータウンに若い世帯が集まらず、高齢化に拍車をかけている。

現在、駅などのバリアフリー工事がいたるところで取り込まれ、かつて健常者を基準に作られた都市が、新しい時代に合わせて作り変えられている。景気の波は経済学者でも予測が難しいが、人口動態の変化は大きく外れることはない。今は当たり前に思われている建築も、否応がなく時代や社会の変化に応じなければならない。以下、社会の変化に応じて、建築の計画がどのように変化したのか、紹介する。

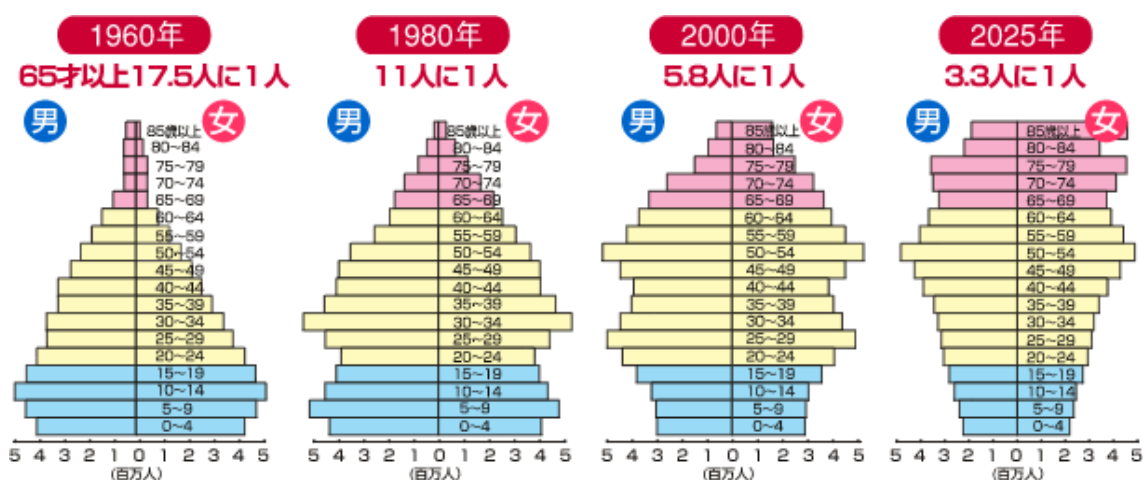


図1 わが国の人口ピラミッドの変化

出典：一般財団法人国づくり人づくり財団のホームページ
http://www.cmf-world.jp/web/koso8/koso8_column_aging_society1.html (2016.7)

表 1：各団体等における「障害」の表記の運用状況

<p>(地方公共団体：岩手県)</p> <p>平成 20 年 4 月以降、県が新たに作成する行政文書等において、「障害」の表記を「障がい」に原則変更することとした。その例外として、ひらがな表記とすることにより、その言葉の持つ意味が失われたり誤解されたりする恐れがある言葉、具体的には、①条例、規則及び例規において使用する場合の人の状態を表す言葉、②人の状態を表すものでない言葉（例：青少年の健全な育成に障害を及ぼす行為、電波の障害、障害物）については適用除外とした。</p> <p>(企業：ソニー株式会社)</p> <p>前後の文脈から人や人の状態を表す場合にはひらがな表記（障がい）とし、法令や条例等に基づく制度や行政宛の公式文書、専門用語として漢字が適当な場合には漢字表記（障害）としている。</p> <p>(企業：第一生命保険株式会社)</p> <p>社内外に発信するものすべてにおいて、「障害（者）」を「障がい（者）」と表記している。法令や固有名詞は、原則そのままの表記としているが、一部ひらがな表記（障がい者手帳等）に変更しているものもある。また、保険会社として障害特約等、約款上使用している「障害」の表記については漢字表記を使用している。なお、「チャレンジド」については、現在、特例子会社の名称のみに使用している。</p> <p>(マスメディア：朝日新聞)</p> <p>固有名詞を除き、「障害」の表記については、「障害」としている。新聞における漢字表記については、常用漢字表を基本的に順守することとしているが、その上で新聞読者にとって分かりやすく読みやすい表記、義務教育を終えた人が無理なく読める表記を心がけている。今般の改定常用漢字表（文化審議会答申）の対応について、追加された 196 の字種のうち、読みが難しい 51 字は原則使用を避け、使用する場合には読み仮名（ルビ）をつけることとしている。</p>

引用：障がい者制度改革推進会議 第 26 回(H22.11.22)「障害」の表記に関する検討結果について

■初期の高齢者施設

わが国の高齢者施設が当初どのように計画されたのか、初期の特別養護老人ホームの平面図を見てみよう（図 2）。老人福祉法が制定された直後の 1973 年に建設された特別養護老人ホームでは、入居者の見守りや職員の効率的な移動といった管理者側の発想による長い直線廊下と廊下から居室を覗けるガラス窓、カーテンのみで仕切られた身の回りの品をほとんど置くことのできない狭いベッド周り、キッチンがなく食事の場としての雰囲気欠いた広い食堂、カートで運ばれてくる食事など、病院と同様であった。これは初期の高齢者施設に共通する、寝たきりを想定した計画であった。

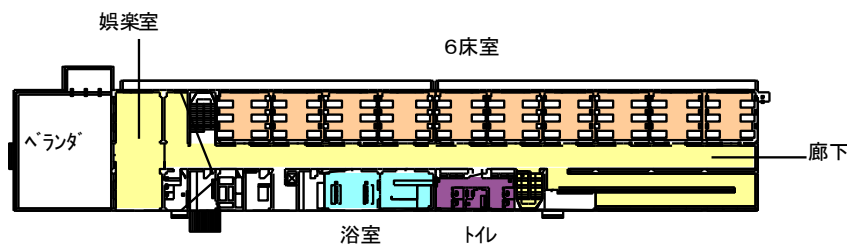


図 2 1970 年代に計画された特別養護老人ホームの 2 階平面図

こうした施設に認知症の高齢者が入所すると、予想しない問題が起きた。当時は在宅介護の基盤が整っておらず、在宅で看切れなくなった認知症の高齢者を専門の病院や施設で受け入れたものの、認知症の高齢者が引き起こす様々な生活上の障害やいわゆる問題行動にどう対処してよいか分からず、結局、薬物や物理的拘束などの対症療法的方法で対応せざるを得なかったからだ。服を脱ぐ高齢者には「つなぎ服」を着せる。異食する危険のある高齢者からはモノを取り上げる。問題行動をいち早く把握できるように、ナースステーションを見通しの良い場所に設置して、行動を見守る。徘徊する高齢者対策として、回廊式廊下が推奨された。問題行動に対処すればするほど、認知症の高齢者のための施設は、自宅からかけはなれた空間になり、認知症の高齢者の混乱に拍車がかかり、更なる徘徊や問題行動を引き起す、という悪循環が起こった。

■認知症の問題行動を緩和する環境デザイン

このように、わが国の病院や施設が手探りでとりあえず目の前の問題行動を押さえ込もうとしていたとき、全く新しいコンセプトを掲げて北欧に登場したのがグループホームである。わが国と同様に長期療養病棟や大規模施設において薬物投与で認知症に対処したスウェーデンでは、1970年代に入り、幾つかの先駆的事例において、小規模で家庭に近い雰囲気の中で顔なじみのスタッフに見守られながら生活するグループホームを試行した（写真1）。

90年代になると、わが国においてもグループホームの先駆けとなる先駆的な小規模ケアが全国で試み始められた。少人数の入居者とスタッフで構成されるグループホームでは、たとえ認知症の高齢者が相手の名前は覚えられなくても、高齢者やスタッフとの間に顔なじみの関係を形成しやすい。専門のスタッフに見守られ、家庭に近い雰囲気の中で一人ひとりに個別的なケアが取り組まれることで、認知症の症状そのものは治らないとしても、その進行を遅らせ、問題行動とされる行為を著しく減少させる。こうした成果は、介護学よりもむしろ建築計画学による行動分析によって実証され、1996年の厚生労働省による「認知症老人のためのグループホームの運営事業」、2000年の認知症高齢者グループホームの制度化につながった（図3）。

医療や看護が解決の難しい認知症の問題行動に対して、適切な環境デザインが大きな効果をもたらす事実がグループホームの制度化に大きな貢献をしている。



写真1 1990年代に計画された認知症グループホーム「炉端の家」（岡山県笠岡市）

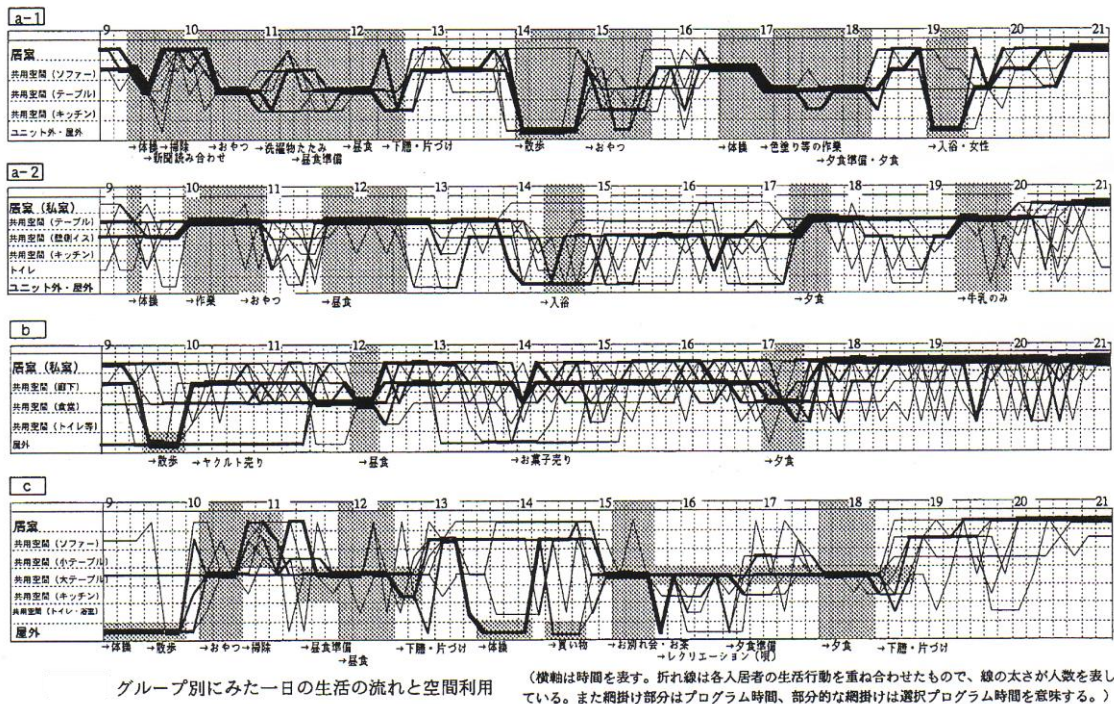


図3 認知症グループホームにおける行動観察調査の事例

出典：石井敏、外山義、長澤泰：グループホームにおける生活構成と空間利用の特性-痴呆性老人の環境構築に関する研究、日本建築学会計画系論文集、NO.502、p103、1997.12

■大規模施設への波及

小規模で家庭的な環境は認知症の高齢者に限らず、全ての尊厳ある高齢期には等しく求められるのではないかと考え、こうした考えに立ち、大規模施設においても、グループホームで試みられた小規模ケアを目指す動きが1990年代後半に見られるようになる。大規模施設をいくつかのユニット（生活単位）に分け、10人程度をひとつのグループとしてケアを提供する、いわゆるユニットケアである。

こうした先駆的試みの効果を検証した研究を紹介したい。ユニットケアの導入前は、3度の食事時間を除くと、8割近い高齢者がベッド上で過ごし、4割以上の入居者がベッド上で食事を摂る単調な生活を送り、6人部屋では他人に干渉しないため、互いに背を向けて生活している実態が行動調査から浮かび上がった（図4）。一方、建て替えによって、ユニットケアを導入してから、滞在場所、行為、姿勢などに改善が見られた（図5）。これらの効果を反映するかたちで、2002年度から個室・ユニットケアを基本とした新しい施設基準（通称、新型特養）が制度化された。現在の特別養護老人ホームは、建築計画学による検証によって導かれた。

■認知症の人に分かりやすい空間

このように、建築計画学はさまざまな角度からあるべき建築の姿を探求する分野といえる。その成果を応用して設計された建築の事例を紹介したい。認知症の高齢者の分かりやすさに配慮して兵庫県加古川市に計画した認知症グループホーム「てとて加古川」である。

このグループホームは明治から対象にかけて開発された社宅が工場の海外への移転に十分に活

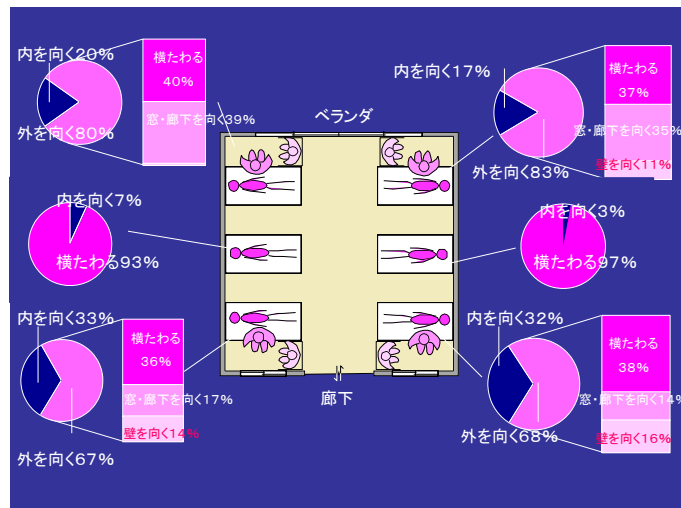


図4 6床室における入居者の過ごし方の実態

出典：石田妙・外山義・三浦研：空間の使われ方と会話特性から見た特別養護老人ホームにおける六床室の生活実態、日本建築学会学術講演梗概集 E-1、pp.215-216、2001.7

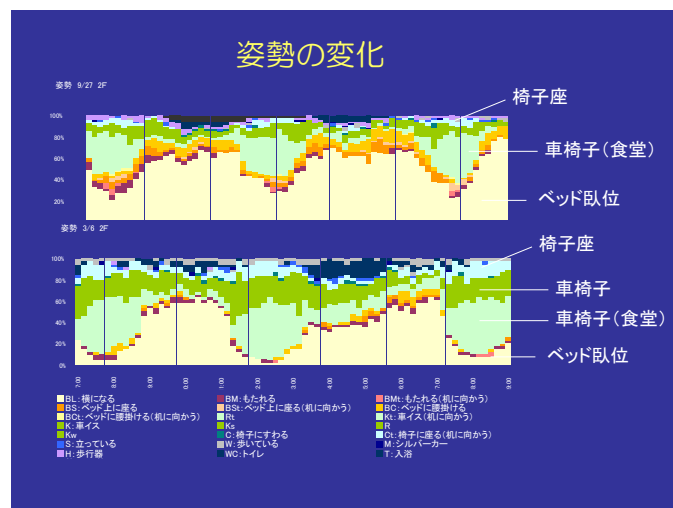


図5 ユニット型施設への建て替えに伴う姿勢の変化

出典：高橋誠一・三浦 研・柴崎祐美 編著『個室・ユニットケアで介護が変わる』(中央法規出版)、2003.9

用されなくなった歴史的社宅群の一角に誕生した。周辺の歴史的な社宅群の景観を損なわないように、木造平屋を選択し、外観も周囲の木造の社宅群に合わせた色調としている。

認知症高齢者は、視覚的情報の手助けがあれば、状況を判断して行為を織りなすことができる場合がある。そこで、自立した行為をサポートするため、視覚的な情報提示を適切に行う必要があった。内部空間の計画では、認知症に配慮した工夫を施している。例えば、どの居室から出ても、視野にトイレが入るような居室とトイレの配置、また、各居室の入り口にガイドとなる飾り付けを促す仕掛けなどである。また、これからの団塊世代の入居を考えると、福祉的な色の強い場所は必ずしも好まれない。軸を振ることで、整形でありながら空間にメリハリを付け、2ユニットで500㎡と一般的なグループホームとしては面積を抑えながら、広がりのある空間とした。



図6 認知症グループホーム「ととて加古川」平面図（兵庫県加古川市）

設計：三浦 研＋三浦慎建築設計室



写真2 認知症グループホーム「ととて加古川」外観（兵庫県加古川市）

■今後の課題

これからの建築は、Iot と呼ばれる高度な情報社会も射程に入れて発展するはずである。建築学の大きな特色は、人間を含むシステムを対象としていること、しかもその設計、計画は、行動、情報、社会システムなど様々な知見を総合する作業である点にある。豊かさを実感できる社会の実現には、建築、地域のあり方に、効率性や機能性の視点にくわえて、人の well-being を向上させるためのデザインや計画が求められる。建築、地域、景観を、効率性や機能性のみならず、多様なユーザーの心理・行動、関係性の視点から解析・評価し、その成果を、計画、デザイン、実践、政策に活かす必要がある。そのためには、理系の範囲に留まらない幅広い知識が求められる。人間環境系の視点にもとづく計画学の面白さ、魅力をぜひ追求してほしい。

模 擬 講 義 2

建築構造学

—建物を支えるしくみ—

総合研究9号館 N7講義室

担当 大崎 純 (教授)

1. 建築構造学

建築学は「計画系」「構造系」「環境系」という3つの系で構成されており、本講では「建物を支えるしくみ」と題して構造系が担う分野について講述する。人の身体に骨格や筋肉があるように、建物にもこれを支える部分が必要である。世の中には様々な形の建物があるが、どのような形でも好きなように作れるわけではなく、構造体がしっかりと支えることができ始めてそれを実現することができ、安心して建物を使うことができるようになる。

建物の構造には次の様な性能が要求される。

- ・ 機能性 人が歩くことで床が揺れる、風で揺れて気分が悪くなる、などの支障が無く快適に日常の使用に供すること。時々起こる地震や台風に対しては無傷で耐えられること。
- ・ 安全性 滅多に起こらないような大きな地震や台風などの外乱に対して倒壊するなどの重大な損傷が生じることなく、人命や財産を守ること。
- ・ 耐久性 長期の使用においても著しい劣化や腐食などを生じることなく長持ちすること。また、適切なメンテナンスの方法が用意されていること。

これらの性能を満足させながら、意匠・計画や環境工学から求められる形や機能を持たせることによりひとつの建物が完成する。これを実現するための構造技術は建築にとって欠かすことのできない重要な技術のひとつである。

京都大学の建築学科では表1に示す構造系の講義・演習科目が用意されていて、建物の構造を成立させるために必要な理論・原理と設計法などに関する教育が行われている。建物を支えるにはそれに適した材料が必要であり、古くは自然から手に入る石・木・土が使われ、現代では鉄・コンクリートなども使われている。材料の性質を理解し、適材適所で建物の構造に相応しい材料を選択する技術は「建築材料」で講述される。建物を支えるしくみを作るための技術は力学や材料学の理論に基づいて構築される。その技術を発展させて、超高層ビルや大空間を覆うホールなどが実現されている。これは「建築構造力学」、「構造解析学」で講述される。構造材料の特徴に応じて構造骨組の設計や施工法は異なる。代表的な構造として「鉄筋コンクリート構造」、「鉄骨構造」が講述される。日本の建物にとって最も過酷な条件は地震である。伝統的な木造建築から現代の高層ビルまで、如何にして地震から私達の身や財産を守るか、その技術を「耐震構造」で学ぶ。本講では、これらの講義で学ぶことの一端を説明し、またそれぞれの分野で新しく開発されている技術や、大学で行われている最先端の研究についても紹介する。

表1 構造系の講義科目

第1学年	建築工学概論
第2学年	建築材料, 建築構造力学Ⅰ, Ⅱ
第3学年	建築構造力学Ⅲ, 建築構造解析, 耐震構造 鉄筋コンクリート構造Ⅰ, Ⅱ, 鉄骨構造Ⅰ, Ⅱ
第4学年	建築基礎構造, 耐風構造, 構造設計演習, 構造・材料実験

2. 構造の考え方

建物に作用する外乱とそれに抵抗する仕組み

建物は地球上に存在しているので、重力の作用を受ける。そのため、図2.1（中央）に示すような鉛直力の作用を常時受けている。これに加えて、台風や地震が発生した場合には、図2.1（右）に示すような付加的な力を受ける。この付加的な力は、建築物の形態により変化する。例えば、図2.1のようなビル建物では、主として水平方向の力を受けるが、後述する大スパン構造では主として上下方向の力を受けることになる。このような外力に対して抵抗する仕組みとして、圧縮を受ける部材から構成される「アーチ構造」、引張を受ける部材から主として構成される「吊り構造」、引張りと圧縮（図2.2）を受ける部材から構成される「トラス構造」、梁と柱から構成される部材の曲げ（図2.2）により抵抗する「ラーメン構造」などがある。

構造設計が目指す性能

常時あるいは小さな外乱のもとでの使用性能（使用性という）や安全性に対する要求を満足するように建築物の各部材の種類やサイズを選定する過程を構造設計と呼ぶ。構造設計では、常時あるいは小さな外乱に対して十分な「剛性」が期待され、大きな外乱に対しては倒壊や崩壊をしない十分な「耐力」と「ねばり」を有することが要求される。最近では、建物のオーナーと性能について協議した上で構造設計を行う場合も増えている。構造設計を行う技術者の中には、建築家と協働して建物を設計する「構造家」と呼ばれる技術者も存在する。

構造設計で必要となる理論

高校の物理では、主として質点や剛体の力の釣り合いや運動について学んだが、大学の建築構造では、力を受けたときの建物や建築物の変形や内部に生じる応力（単位面積あたりの力）を求め、それが上記の使用性や安全性を満たすかどうかを検討することになる。このことを学ぶための科目として建築構造力学が存在する。構造力学は16世紀のガリレオ・ガリレイにその端を見出すことが多いが、その後多くの研究者・技術者によって大きく発展させられてきた。建築物を構成する主たる材料は、鋼、コンクリート、木材、ガラス等である。これらの材料は、小さな力が作用する範囲では、力と変形の間には線形の関係が存在するが、ある程度大きな力が作用すると限界に達する。1方向の力だけでなく、2方向や3方向の力を受けた場合の材料の挙動を解明することも必要となる場合もある。また、細長い部材では、材料としては限界に達していなくても、外部からの力に耐えられなくなる現象も存在する。18世紀にオイラーによって明らかにされた座屈と呼ばれる現象である。

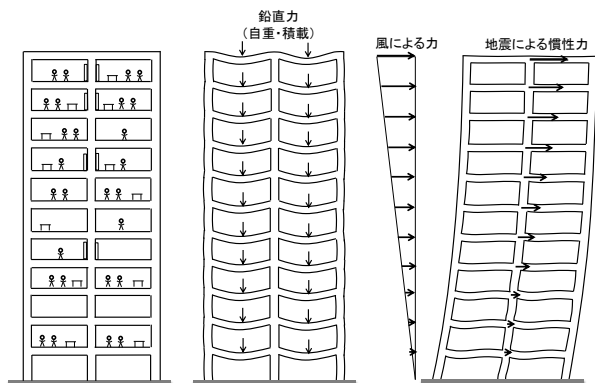


図2.1 建物に作用する種々の外力とそれに対する抵抗

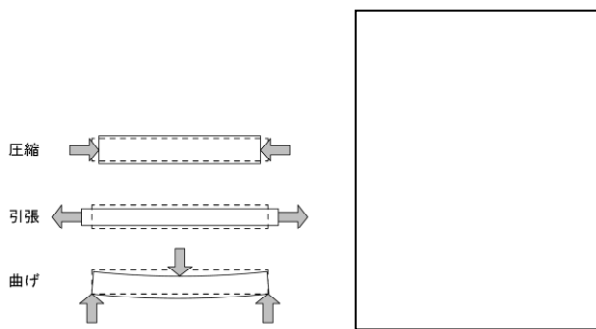


図2.2 部材としての抵抗 図2.3 高さへの挑戦 (Wikipedia)

比較的低層でスパン長さが短い建物では、外力を静的なものに見なして解析を行う場合が多いが、高層建物や大スパン建築物などでは、振動解析による性能の検討が必要となる。

高さへの挑戦

建築物の設計では、高さや広がりへの限界に対する挑戦が行われることも少なくない。それが技術の進歩に貢献したともいえる。2012年に竣工した東京スカイツリー（634m、図2.3）や、あべのハルカス（300m）などの超高層ビルは高さへの挑戦であるともいえる。高さへの挑戦では、低層部の柱に大きな圧縮力が作用するとともに、地震や強風により建物を転倒させようとする大きなモーメントが作用する。これらの力やモーメントに耐えるには、使用する材料として軽量で高強度のものが望まれる。地震による力は慣性力であるため、軽量であることが有利となるからである。東京スカイツリーでは、上部構造には主として鋼材トラスが使用され、軟弱な地盤に対しては鋼材やコンクリートを用いた頑強な基礎構造が採用されている。日本の建物で最も高いものは阿倍野ハルカスや横浜ランドマークタワー（297m）であるが、このクラスになると設計時の地震荷重と風荷重がほぼ同じオーダーのものとなる。

広がりに対する挑戦

大スパン構造は広がりに対する挑戦ともいえる。大スパン構造では、自重や積載荷重などの鉛直荷重に対して、どのようなシステムを採用するかが構造設計者の腕の見せどころとなる。通常、屋根面が平面となった大スパン構造では、中央付近には大きな曲げモーメントと呼ばれる作用が発生する。このとき、中央付近の下側には大きな引張り力が生じ、上側には大きな圧縮力が生じる。一方、図2.4に示す名古屋ドームや福岡ドームなどで採用されているラチス構造では、屋根面を上を凸の曲面とすることにより、主として部材の圧縮力により鉛直荷重に抵抗している。このような構造では、上記の座屈という現象が生じないような工夫が必要となる。一方、東京ドームなどの空気膜構造では内部に圧力をかけることにより膜材を膨らませ、それを引張り力が作用するワイヤーで押さえる構造となっている。また、ケーブル構造や吊り構造は、主材に作用する引張り力を支柱と呼ばれる大きな柱により支える構造である。引張り力に対しては座屈という現象は生じないため、材料の有効利用が可能となる。

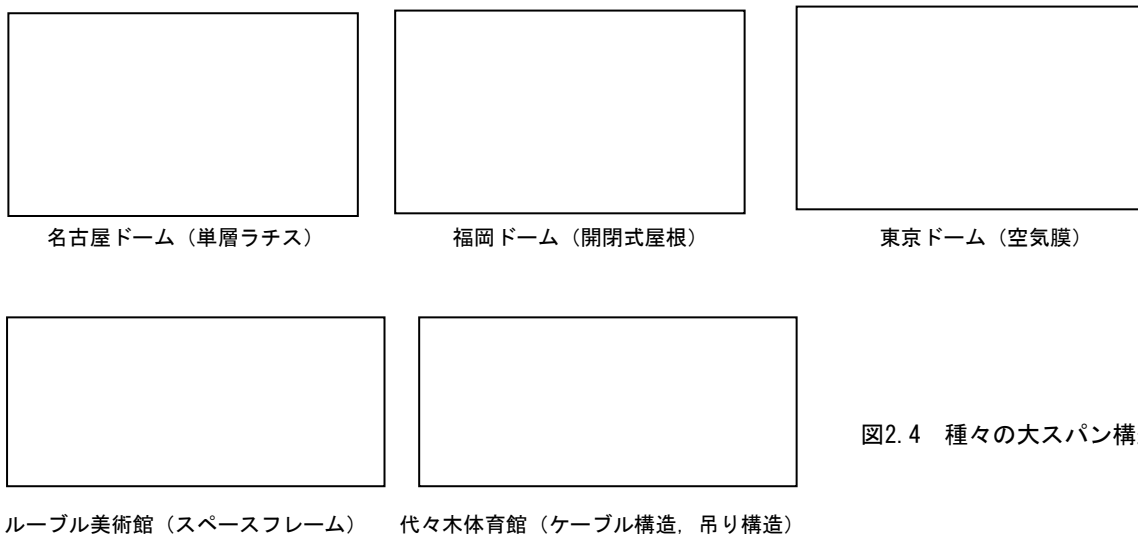


図2.4 種々の大スパン構造

3. 構造材料

はじめに

建築材料のうち、建築における主体構造及び基礎に用いられる種々の荷重に耐える材料を構造材料と呼ぶ。セメント、コンクリート、鋼、木材、石材などがあり、通常は建築構造設計において、その特性を評価して寸法などの仕様が決定される。そのため、構造材料の特性、特に力学特性は建築構造設計において重要となる。

力と変形

構造材料の力学特性を理解するためには、力と変形の問題を理解する必要がある。変形には引張、圧縮、せん断、ねじれなどがある。力（荷重）は構造部材を通して伝達され、その力は等しい大きさで逆方向に作用する反力と常に釣り合っている。この釣り合い条件が満足される範囲内では、引張、圧縮、せん断、ねじれの変形は全ての箇所において連続し、適合条件を満たしていることになる。

全ての材料は、力の作用を受けて変形するが、変形の原因である力の作用を取り去ると、多少の差はあるが多くの場合、原形に戻ろうとする。このように、材料が力の作用を受けて変形したものが元に戻る性質を弾性（elasticity）という。特に、引張・圧縮の力を受けて伸び縮みするときの固さを表す縦弾性係数はヤング係数と呼ばれる。ヤング係数の差異が与える構造性能の違いを理解するため、代表的な構造材料である鋼、コンクリート、木材を例にあげることとする。同じ形状・寸法の断面をもつ部材に一樣に力を加えた場合のおおよその変形量は、鋼を1とすると、コンクリートは10、木材（杉）は30の比率である。

それ以外の重要な材料特性として強度や比重などがあげられる。強度について材料ごとの特徴を見ると、コンクリートや石材は圧縮力に強いが引張力に弱く、鋼はどちらにも強いという違いがある。また、木材は比重が小さいので、同じ強度の部材を作ると他の材料よりも重量が小さいものを作ることができる。また、コンクリートは火や水に強いが、中性化すると性能が落ちる。鋼は高温に晒されると強度や剛性が低下し、湿気のあるところでは錆が生じて腐食しやすいという弱点がある。木材も環境によって腐食や虫食いが起こって弱くなる。破壊するまでの粘りで比較すると、コンクリートや石材は脆いが、鋼や木材は粘り強く、破壊までの変形が大きいという違いがある。これらの様々な構造的特徴を踏まえ、またコストや生産性を考慮して構造材料が選択され、様々な種類の構造が作られてきた。

設計実例からみる構造材料の適用法

(1) 建築構造物にみる構造材料のあゆみ

構造材料がどのように発展し、その結果としてさまざまな形態を持つ構造物を実現してきたかを、鋼構造、鉄筋コンクリート構造、木質構造の実例を取り上げながら概観する。まず、鉄は紀元前より使用されてきたが、15世紀に高炉法の発明により銑鉄がつくられ、18世紀初頭にはコークスによる製鉄が行われて鋳鉄が、また後半にはパドル法の発明により錬鉄が、さらに19世紀中でベッセマー（Henry Bessemer）の転炉により鋼がつくられるようになった。そして、鋳鉄、錬鉄、鋼といった材料の発展に伴って、鋼構造物の発展が実現している（例えば図3.1）。さらに近年では、種々の新しい鋼材が開発されて新しい建築形態を実現している。

同様の発展が鉄筋コンクリート構造や木質構造にも見られる。コンクリートは、1824年のアスペディン(Joseph Aspdin)による人工のセメント製造技術の確立から、種々の改良や材料開発により、その力学特性が大きく向上してきた。鋼材の発展とともに複合構造として大空間化や高層化を可能にし、連続した一体構造として造形性に優れたさまざまな建築形態を実現している(例えば図3.2)。また、木材は、木造伝統構法から発展し、木造在来構法、枠組壁構造、丸太組構造、さらには集成材構造へと発展し、鋼構造と同様の構成でありながら、木材という自然素材の豊かさとあいまって、独自の空間表現を可能にしている(例えば図3.3)。

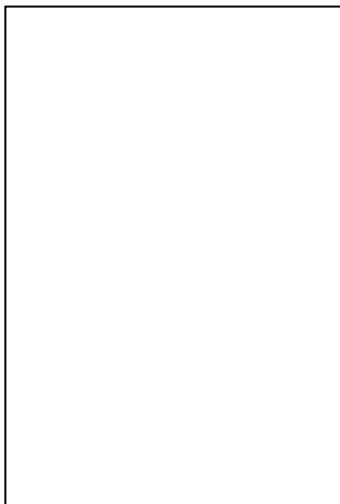


図3.1 錬鉄を使った構造

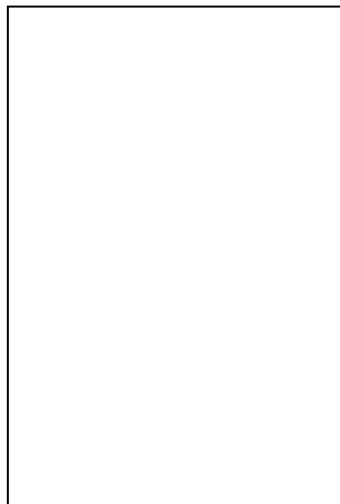


図3.2 プレキャストPCを用いた構造



図3.3 木組を用いた構造

エッフェル塔(1889年) 仏国 シドニーのオペラハウス(1973年) 豪州 法隆寺五重塔・奈良市

(2) 材料の破壊と建物の崩壊

予想をはるかに上回る自然環境の力により被害を受けた事例として、風により橋の周りに渦が生じ、その渦からの周期的な力と橋のねじれ振動(渦励振)により落下した米国のタコマ・ナローズ橋や、兵庫県南部地震において構造部材断面や層剛性の各層間バランスにより中間層が完全に崩壊した神戸市役所などがある。これらの被害事例から我々が学ばなければならないことは、全ての設計上の問題点を科学だけで解決するのではなく、自然の節理に適った耐力、靱性、バランスのよい剛性分布を確保するという観点である。

新しい建築の創生：材料・構法創生

最後に、新しい構造材料の開発と将来の方向性を示す。その一例として、繊維補強セメント系複合材料、超弾性合金、さらに、高性能要素技術としてTRIP(Transformation Induced Plasticity)鋼や繊維強化金属があげられる。

このような新しい材料を使って建築物を創生するためには、材料と構造の協調(Collaboration)が必要となる。即ち、材料レベルの力学特性に基づいて構造システムを構築するという、数値解析的かつ実験的な性能評価を行うことにより、より現実的で、定量的な性能設計(Performance Based Design)が実現できる。

4. コンクリート系の構造

建築構造材料としてコンクリートはよく利用される。コンクリートは、 1m^3 あたり1万円程度であり、重さ 1kg あたりにすると5円程度と安価である。コンクリートは、セメント、水、砂利それに砂を練り混ぜて作られる。軟らかい状態のコンクリートを型枠に流し込み、しばらくすると石のように固くなる。図4.1に、コンクリートの圧縮試験の様子を示す。通常コンクリートの圧縮試験には、直径 100mm 、高さ 200mm の円柱が利用される。このような円柱を押しつぶすには、一般の建物に利用されているコンクリートに対しては、約 165kN の力が必要となる。これは、乗用車約10台を載せることに相当する。

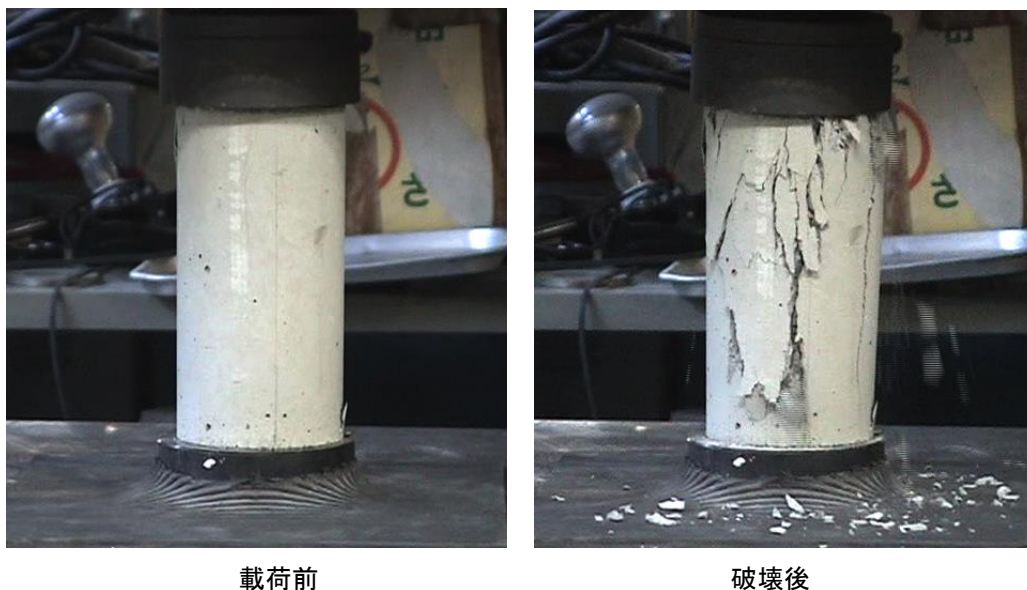


図4.1 コンクリートの圧縮試験

鉄筋コンクリートという構造は、コンクリートを鉄筋により補強している。コンクリートは十分固いから補強なんか必要ないのではと考えるかもしれない。ところが、コンクリートは圧縮される場合には強いのだが、引っ張られると簡単に割れてしまう材料である。引張に対しては圧縮の $1/10$ くらいの強さしかない。図4.2のように梁を作って上から力を加えると、下側がひび割れて折れてしまう。そのため、コンクリートが引っ張られる部分に鉄筋を入れて補強する。これが鉄筋コンクリート構造の原理である。

コンクリートの性質

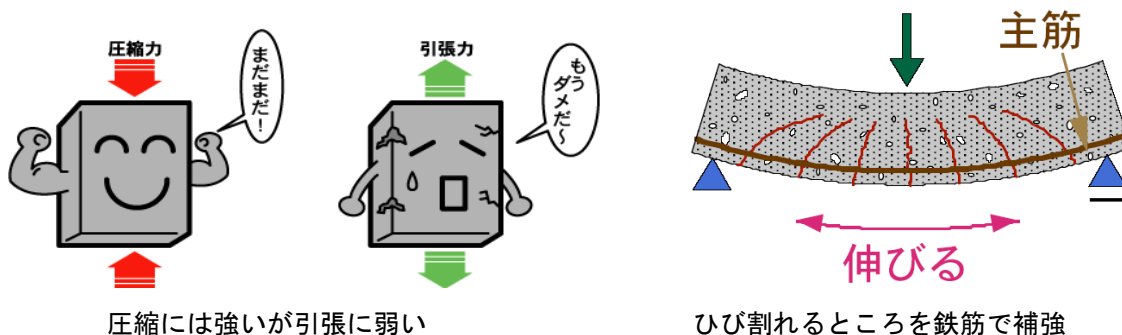


図4.2 コンクリートの特性と鉄筋コンクリート梁

鉄筋の引張強度はコンクリートの10倍以上大きく、コンクリートがひび割れるところに鉄筋を入れると、鉄筋が引張力を肩代わりし、大きな力に耐えることができる。

では、なぜ鉄筋をコンクリートの中に埋め込むのか？最初から鉄骨構造にすればよいのではないか？それはコンクリートによって鉄筋を守るためである。鉄筋は錆びて朽ちる。また、熱にも弱い。これをコンクリートで包み込むことにより錆びずに長持ちし、火事の高温にも耐えられる建築物を造ることができる。鉄筋コンクリートは鉄筋とコンクリートそれぞれの長所を活かし、欠点を補い合う構造である。

鉄筋コンクリート構造は住宅から超高層ビル、空港や学校などいろいろな建築物に利用されている。鉄骨構造の建物でも基礎は鉄筋コンクリートとなっている。超高層マンションはすべて鉄筋コンクリート構造である。振動、音など居住環境に関する他構造に対する優位性から、マンションには鉄筋コンクリート構造が選ばれる。

図4.3に、大阪市中央体育館を示す。地中に埋まっているため、外から見ると古墳のように見える。直径110mのアリーナ大空間の屋根上に、1m²あたり6ton（車4台分）の土を載せるため、シェル構造というお皿を伏せたような構造が採用されている。さらに、コンクリートにひび割れが生じないように、高強度の鋼材を用いてコンクリートを締め付けている。

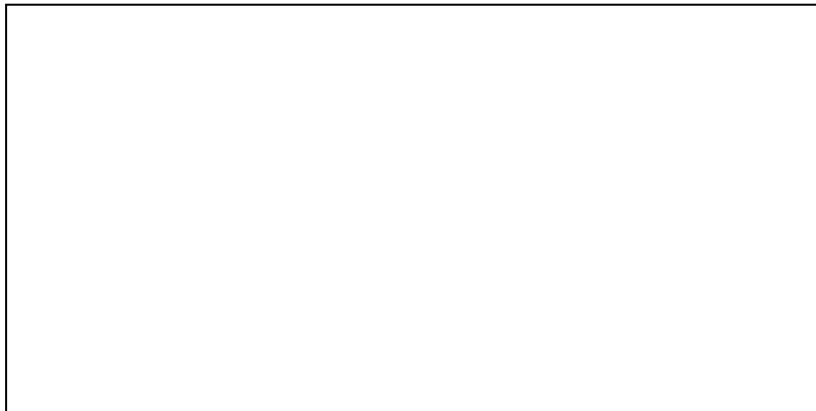


図4.3 大阪市中央体育館

図4.4には、崖の上に建つレストランを示す。鉄筋コンクリートの棒状部材を組み立てたトラス構造でできた外殻が、2層となっている内部を支え、崖から突き出す形状となっている。海辺に建つため、特に耐久性の高い鉄筋コンクリート構造が利用されている。

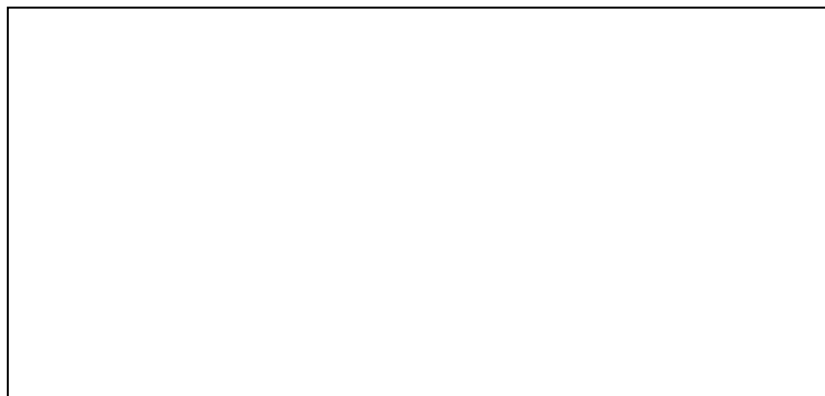


図4.4 崖の上に立つレストラン

5. 鉄鋼系の構造

構造の特徴・部材と接合

建築に用いられる鋼材は、粘り強く、よく延びて、しかも溶接や曲げ加工に適したものが選ばれ、引張強度400～500N/mm²程度の軟鋼と呼ばれる種類がよく使われる。特に1994年にJISで制定された建築構造用鋼材（SN鋼と呼ぶ）がよく使われる。鋼材は硬くて強いが1kgあたり100円前後と高価であるから、使用量を少なくしてコストダウンを図るために塊として使わずに、図5.1に示すような中空のパイプや様々な断面の形鋼が使われる。

鉄骨は、鋼材を所定の寸法に切断し、溶接またはボルトにより接合して作られる。溶接（図5.2）は、局部的に鋼を溶融して一体化させるため、大きな温度変化を受けても性質が著しく変わったり割れたりしない、溶接に適した鋼材でなければならない。ボルト接合には、強度の高い特殊な高力ボルト（図5.3）が使われる。1本あたり200kN前後の大きな力で締め付けることにより、鋼材の間に生じる摩擦力で接合することができる。また、鉄骨は形鋼や細い棒状の部材で構成されるので、引張力を受けたときには断面全体で効率よく力に抵抗できるが、曲げや圧縮を受けたときには図4に示すような座屈と呼ばれる現象が生じて、鋼材の素材としての本来の強度よりも小さい力で脆く壊れてしまうことがある。そのために板は薄過ぎず、棒は細過ぎず、適度な寸法に設計する必要がある。

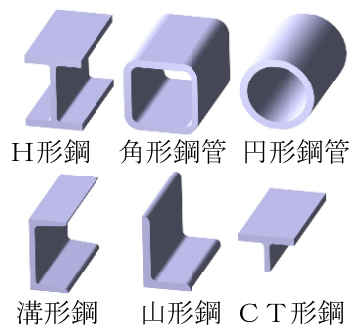


図5.1 形鋼の種類



図5.2 溶接接合

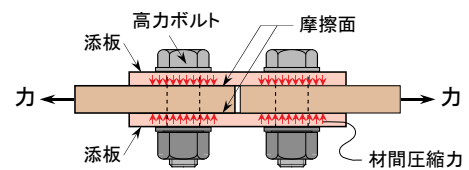


図5.3 高力ボルト摩擦接合

鉄骨構造の構成と施工法

鉄骨構造はオフィスビルによく用いられる。その場合は、柱に角形鋼管、梁にH形鋼を使い、溶接で堅固に接合して骨組を作るのが一般的である。また、地震による大きな水平方向の力に抵抗するために筋違いと呼ぶ斜めの部材を設けることもある。鉄骨の骨組の上にコンクリート製の床や壁を取り付けて建物の形が作られる。外壁のパネルやガラスを骨組に取り付ける部分では、建物が地震で大きく揺れても取付部分がスライドすることにより壁の破損や落下を防止する仕掛けが設けられている。また、体育館や工場のように広い空間を大きな屋根で覆う建物にも鉄骨構造がよく用いられる。この場合は、大きな屋根を支えるために効率のよいトラスと呼ばれる構造が使われる。これは細い棒材を三角形に組んだ形を基本要素とし、これを連続して並べて建物の形状を作る構造形式である。

鉄骨は予め工場で作製され、工場での接合には溶接が用いられ、効率化と品質安定のため最近ではロボット溶接機がよく使われる。しかし、建築は単品生産で形や大きさが異なるため大量生産はできない。複雑な形状のものは熟練した溶接工が手で組み立てる。できあがった鉄骨は工事現場へ運搬されるが、トレーラーに積める大きさに制限があるので、いくつかの

部品に分けて運ばれ、工事現場ではボルトや溶接で接合しながら組み立てられる。

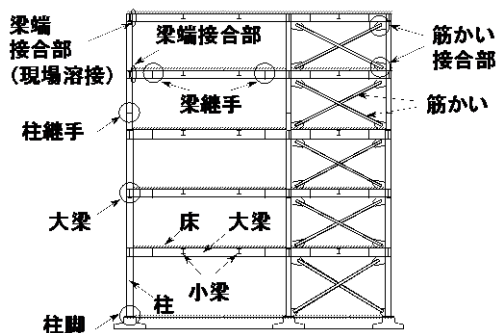


図5.4 一般的な鉄骨の骨組



図5.5 トラス構造の例

鉄骨構造の実例

日本初の超高層「霞ヶ関ビル」(1968年, 145m) が建設されて以来, 多くの超高層ビルが鉄骨構造で建てられ, 東京タワー (1958年, 333m) や東京スカイツリー (2012年, 634m) などのタワーも多くは鉄骨構造である。空間の広さが日本一大きいのはナゴヤドーム (1997年) で, 直径230mの柱のない空間が屋根で覆われており, この様な大空間にも鉄骨構造が適している。地震国の日本でこのような高さ・広さの建物を実現できるのは, 鋼材の性質を生かした構造設計と施工の技術の賜である。最近ではデザインを重視して個性的な形を持つ建物や, 異なる機能を取り込むために特別な工夫が凝らされた建物もある。一例として「中之島フェスティバルタワー」の場合は, 音楽ホールの上に超高層オフィスビルが載っている。オフィス部分の大きな重量を, 内部に柱のない音楽ホールで支えるのは簡単ではないが, その境目に大きな鉄骨トラスを組み込むことによって上からの力を下のホールの外周部へ迂回させて伝え, さらにその間に免震構造を挟んだ構成になっている。

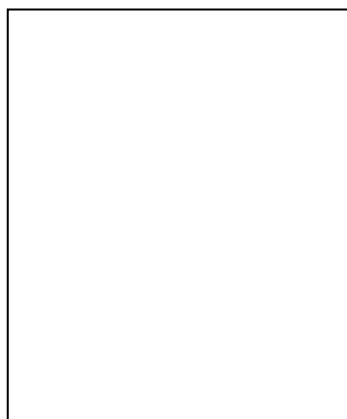


図5.6 霞ヶ関ビル

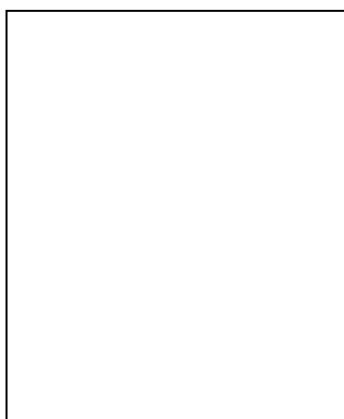


図5.7 ナゴヤドーム



図5.8 中之島フェスティバルタワー

鉄骨構造の将来・新しい課題

建築の構造のために, 従来にない新しい鋼材が開発されている。例えば, 鋼材の弱点である錆の進行を防ぐ耐候性鋼, 高温でも強度が低下しにくい耐火鋼などが実用化されており, 鉄骨構造の可能性が広がっている。また最近, 従来の鋼材の2倍以上の強度を持つ高強度鋼が開発されている。大学では, これを活用して南海トラフ地震などの巨大地震に対してより高い安全性を持つ建物を実現する構造技術や設計法が研究されている。

6. 耐震構造

われわれの生活空間を脅かす地震には、図6.1に示すように、太平洋側のプレートが陸側のプレートの下に潜りこむことで、その境界にひずみのエネルギーがたまり、限界に達した時にプレートが戻ろうとして跳ね上がる際に発生する海溝型（プレート境界型）の地震や、陸域の地下の岩盤に圧縮力や引張力などが加わる事で、内部に歪みがたまり、限界に達したときにある面（断層面）を境に急速にずれ動き発生する活断層による内陸直下の地震がある。前者の代表例が2011年東北地方太平洋沖地震や発生が確実視されている南海トラフの巨大地震で、地震の規模が大きく、極めて広域で被害が発生することが特徴である。また、後者の代表例が1995年に発生した兵庫県南部地震で、大都市の直下で発生すると多数の死者や都市、ひいては日本全体の機能麻痺に繋がる。建物の構造設計においては、将来発生するかもしれない地震に対して人命を守るだけでなく、建物の被害を所有者や使用者が許容できる範囲に抑え、地震後の機能維持や生活復旧を迅速に行う事ができる様に建物の耐震性能を決定する必要がある。

一方、建物は多種・多数の部材で構成され、地震時に複雑な挙動を示す。そこで、建物の耐震性能を調べるには実験が不可欠となる。実験の種類には、ジャッキやアクチュエータと呼ばれる機械で静的（ゆっくり）あるいは動的に（地震時と同じ速度で）試験体に力を加える載荷実験（図6.2）や、地震時の揺れを再現する振動台上に試験体を設置して揺らす振動台実験などがある。また、建物や地盤の揺れ方を調べる振動計測や地震時の揺れを直接観測する地震観測も有効である。兵庫県南部地震では多くの建物が倒壊したり大きな損傷を被ったため、実際の建物をそのままE-ディフェンスと呼ばれる世界最大の震動台上に設置して、建物が実際に倒壊する挙動を調べる実験も行われるようになってきている。

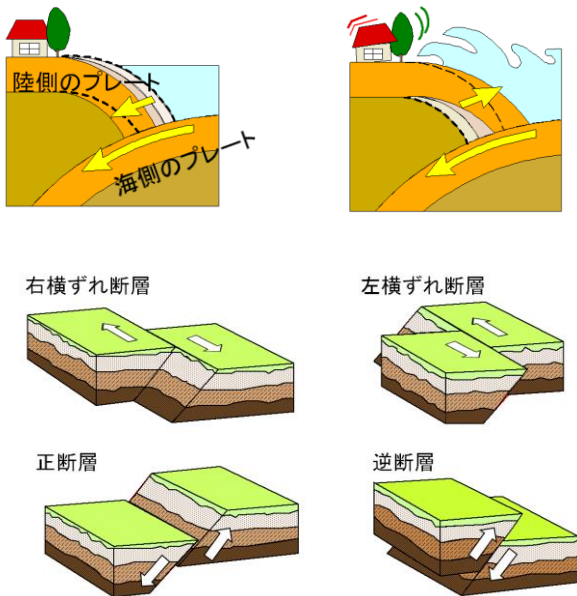


図6.1 海溝型の地震(上)と活断層による地震(下)

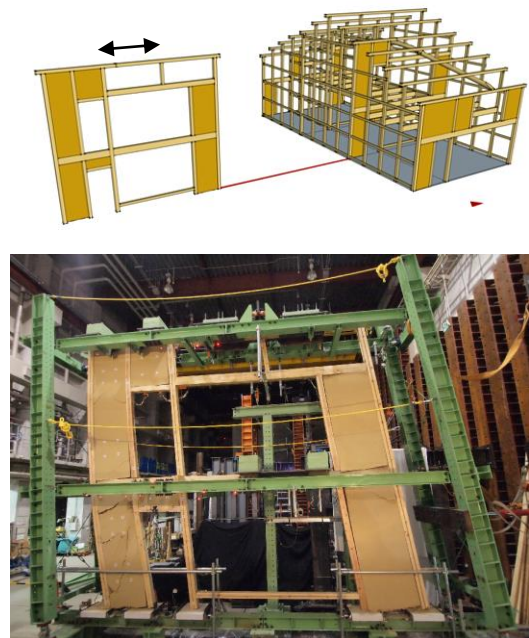


図6.2 京町家を想定した平面架構の静的加力実験

また、建物が実際の大地震の際にどのような挙動を呈するのかをコンピュータを使って計算し、建物の地震被害を、解析を通じて予測しようとする研究も行われている。例えば、発生が確実視

されている東南海・南海地震の際には、どんな揺れが建物を襲うのかを考えて建物の安全性を検討する必要がある。近年、震源で地震が発生した際の地震動生成過程、震源から建設サイトまでの地盤内の地震動の伝播していく過程での減衰や増幅（図6.3）、砂地盤が液体のようになる液状化（liquefaction）現象などの建物周辺地盤での非線形性なども考慮して地面の揺れを予測する技術が高精度化してきている。予測された揺れを用いて、建物の地震応答解析（建物の揺れや変形などを計算する解析）を実施すれば、建物の構造安全性や建物内外で生ずる防災上の課題などについて具体的に検討でき、実効性の高い対策を立案することが可能となる。

さらに、建物の地震時の安全性を向上する技術も開発されている。免震構造は、アイソレータ（Isolator）という装置で地盤の振動（揺れ）から建物を絶縁するため、建物はゆっくりと振動して

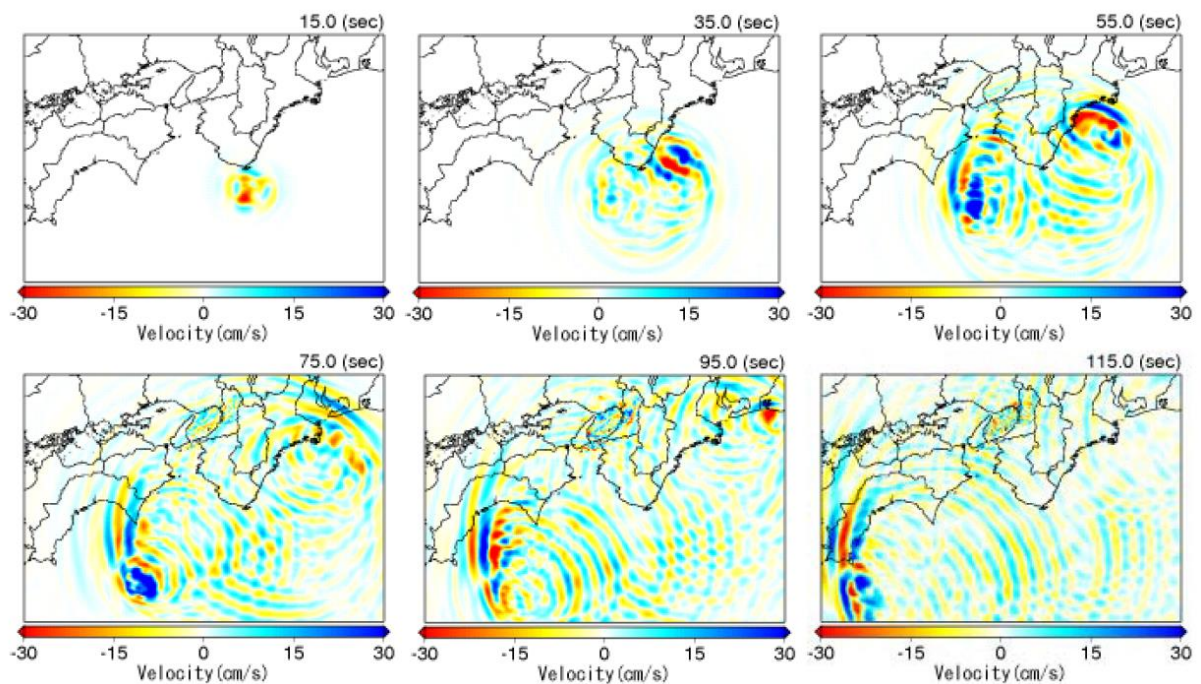


図6.3 想定東南海・南海地震の地震動予測（20秒間隔で地震動が伝播していく様子）

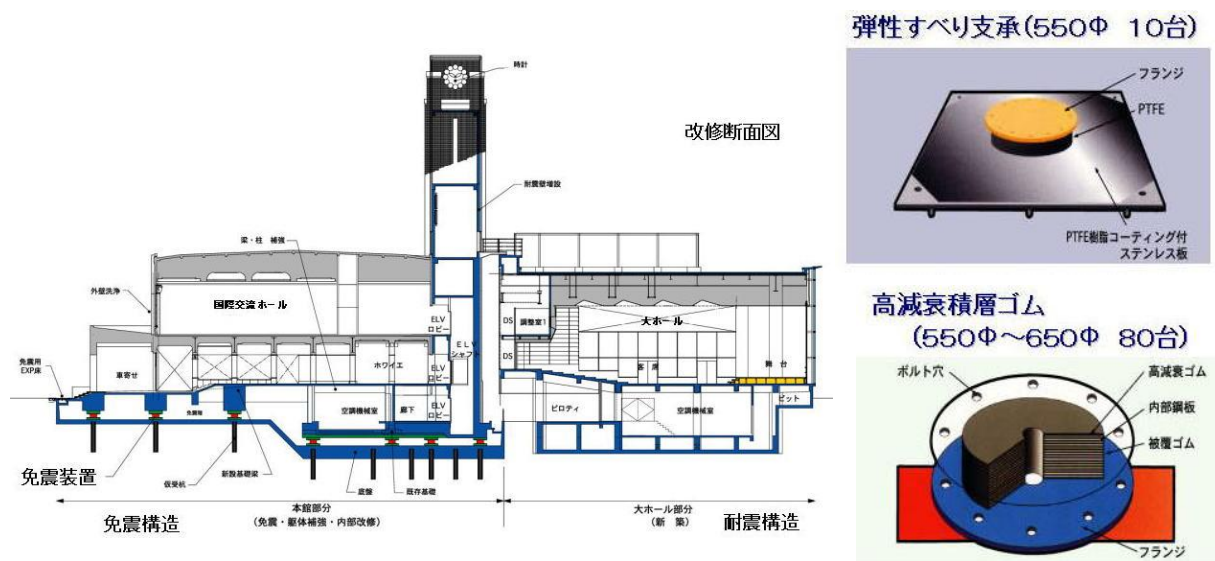


図6.4 免震化された京都大学時計台

建物に力が加わりにくくしている。しかし、アイソレータだけを取り付けた場合、建物と地盤の相対変形が大きくなり過ぎてしまうので、変形を抑えるためのダンパー(Damper)が必要になる。免震構造の採用によって、建物や室内空間の安全性が向上するだけでなく、建物のデザインの可能性を大きく広げる事が可能となる。また、京都大学の時計台(図6.4)の様に、歴史的価値は高いけれども、耐震性の乏しい建物の安全性を向上させるレトロフィットや地震後にも機能維持が必要な病院などにも利用されている。

一方、制振構造は、建物に装置を取り付けて地震や風などによる建物の振動(揺れ)を吸収しようとする技術で、大きく「パッシブ制振」と「アクティブ制振」に分かれ、様々に利用されている。パッシブ制振は、一般的に建物の振動エネルギーを吸収するためのダンパー装置を取り付けるものである。これに対して、アクティブ制振は、油圧や電気等で駆動するアクチュエータをコンピュータ制御することで、高い制振性能を実現している。例えば、超高層建物の強風時居住性の向上を目的とした「TMD(Tuned Mass Damper)」はパッシブ制振の例で、建物の固有周期(建物の揺れやすい周期)と同調させて揺れる振り子を、建物が揺れやすい場所に設置し、建物の振動エネルギーを振り子の振動エネルギー(揺れ)に変換して揺れを低減する。また、振り子の錘をアクチュエータで動かし、その反力で建物の揺れを吸収しようとするアクティブ制振システムは、「AMD(Active Mass Damper)」と呼ばれている。AMDは、強風や中小地震までの揺れを低減するには効果的である。しかし、大地震時の被害を低減するためには、建物内にダンパーを配置したり、ブレース等の軸力をコンピュータ制御するABS(Active Brace System)を設置して、建物の変形を抑制する。つまり、設置される建物の特性、制御したい振動(地震、風、微振動)、設置スペース、コストを総合的に判断して適用する制振構造や装置を適切に選択・開発・設計する必要がある。

以上のような新技術を駆使していくことで、生活空間を地震や風から守るとともに、建物のデザインの可能性を広げていけるのである。

7. その他の講義・演習科目

上記以外に、建築学科で次の科目が用意されている。**建築基礎構造**では、建物を支えるための杭などの基礎構造とその下の地盤について知るために、土の力学的挙動の基本的性質や、粘性土の圧密沈下、砂地盤の液状化などの挙動、直接基礎や杭基礎の支持機構について講述する。**耐風構造**では、風の発生に関わる気象現象、台風や竜巻などの強い風により建築物が受ける風圧力の特性と評価法、強風に対して安全な建物の設計法について講述する。

また、**構造設計演習**では、実務設計に携わるエンジニアの講演も交えながら構造設計の具体的な方法について説明を受け、鉄骨構造による7階建の塔状トラスの構造設計、2階建の鉄筋コンクリート構造による建物の構造設計などの課題を通じて設計法を学ぶ。**構造・材料実験**では、様々な材料試験を通じてセメント、コンクリート、鋼の力学的性質を理解し、また木材の圧縮・曲げ実験、コンクリートの鉄筋による横拘束実験、H形鋼梁の曲げ実験、鉄筋コンクリート梁の曲げせん断実験、高力ボルト接合部の引張実験など5種類の構造実験を通じて各種材料による構造部材の力学挙動と破壊現象を体験的に学ぶ。

模 擬 講 義 2

生きている建築をつくる

総合研究9号館 N8講義室

担当 平田晃久（准教授）

生きている建築をつくる

建築をつくるという行為は、多種多様な人々を巻き込んだ社会的出来事である。例えば一つの公共建築をつくる時、そこには発注者である自治体や、直接その建築を施工する施工者がいる。しかしそれだけではない。自治体の背後には、その建築が建つ必要を認め、その場所を実際に利用することになる無数の市民がおり、施工者は多数の専門業者に分かれ、実際の作業を担当するのはそれぞれの職人たちである。建築の設計は、そうした沢山の人々の思いを束ねるような考え方を提示することにはほかならない。それはある意味で、映画をつくるのに似ている。映画の最後に流れる無数の人々の名前を思い浮かべるなら、一つの建築に携わる人々の感じを思い浮かべやすいだろう。建築家の役割はそこで、映画監督のようなものである。

しかし建築と人々との関わりは、建築をつくる局面だけにとどまらない。建築は、人々の生活の場をつくる行為だからである。その場所は人々によって実際に使われ、維持され、あるいは発展させられることによって、初めて生きた場所になるのである。

太田市美術館・図書館

このような建築設計の役割と、実際にそれをつくる現場について、筆者が設計し、完成したばかりの「太田市美術館・図書館」をケーススタディーにして、話したいと思う。太田市美術館図書館は、群馬県太田市の玄関口である東武伊勢崎線太田駅前に建つ。太田市はかつての中島飛行機の後身である富士重工の工場があることで知られる、人口22万の豊かな街である。しかしながら車中心の生活から、駅前は閑散としていた。駅前にかつての賑わいを取り戻し、歩いて楽しい街を蘇らせる拠点をつくること。建設の目的は多くの市民に共有される、明確なものであった。



Photo: Daici Ano

街のような、丘のような

私たちはそれに応えるべく、街がそのまま内部まで連続したような建築を提案した。周辺の建物のような「ボックス」の周りに、道のような「リム」がからんだ、現代のさざえ堂のような建築である。入口は3つあり、歩く人々が気軽に立ち寄り、街へと出て行くことができるようにした。人々は街を歩くようにスロープを上り、自然に上階へと導かれる。内部空間はボックス毎にそれぞれ異なる雰囲気を持たせており、多種多様なバックグラウンドや年齢層の人々がそれぞれ自分の好きな場所を見つけることができる。外部でも、多様な過ごし方ができる。回遊可能な外部の「リム」は

デッキを配したテラスにし、たくさんの椅子やテーブル/照明を兼ねたキューブをちりばめて、各所でゆっくり時間を過ごせるようになっている。また、ボックスの上部にはたっぷり土を入れ、緑化された庭をつくっている。5つのボックス全体が集まって丸い丘のような形をしている。この高低差のある庭もまた、本を片手にくつろぐことのできる場所である。

白い建物と緑が混然一体となった外観は全体として、自然と人工が入り混じる丘のような様相を呈している。天神山古墳のような丘が点在する関東平野の拡がりの中に、現代的なもう1つの丘を加えることを意図した。

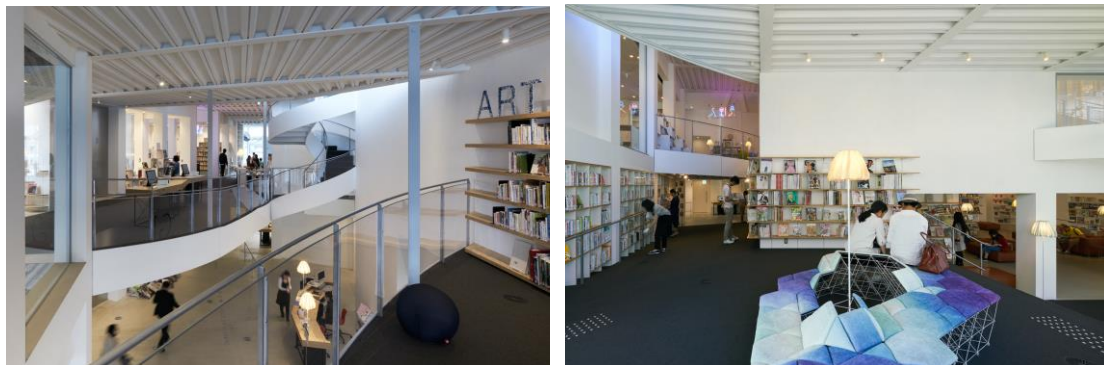


Photo: Daici Ano

生態系としての公共

街づくりの拠点を具体的に設計するにあたって、たくさんの太田の人々の協力を仰いだ。中でも、設計上の重要な決定を下す議論を、市民の有志や各種専門家、行政の担当者を巻き込んだ場で行えたことは大きかった。設計を始めた頃の若木のような案は、こうした多数の人々を巻き込んだプロセスを経て、多様に「侵食」され、あるいは「発酵」し、巨樹のような野太くておおらかなものに変化した。



この美術館・図書館が、正式にオープンしてから数ヶ月がたった。平日も休日も沢山人々がここを訪れ、それぞれの時間を過ごしてくれているようである。この建築をきっかけにして、駅前に新しい人の流れができ、街にかつてのにぎわいが取り戻されていくことを願っている。

模 擬 講 義 2

建築環境工学

—快適な暮らしを支える—

総合研究9号館 N8講義室

担当 大谷 真（准教授）

建築環境工学 —快適な暮らしを支える—

我々の日常生活は、住宅や学校などの建物の中を中心に営まれている。自分の家の中を見回すと、テレビ、オーディオ機器などの家電機器、エアコン、照明器具、冷蔵庫、洗濯機などがすぐ目に付く。普段あまり意識することはないが、我々の身の回りには数多くの住宅設備が存在している。照明器具は家の中を明るくするためのもの、エアコンは夏の暑さ、冬の寒さをしのぎやすくしようというもの、洗濯機や台所・風呂のように洗濯や食事のサービスを提供するものなど、これらがあってはじめて我々の生活は成り立っている。

言うまでも無くこれらの機械に頼る前に、建物を適切につくる必要がある。明るさを得るために常に照明を使用するのはエネルギーの浪費であり、窓からの太陽光がうまく利用できるはずである。窓をペアガラスにし室外に逃げる熱を減らすことにより、エアコンやストーブの使用を減らすことができる。つまり、設備のみならず建物そのものを最適に設計することにより、省エネルギーで快適な室内環境を形成することができる。

これらの我々の日常生活を支えているインフラを扱うのが、建築環境工学という分野であり、デザイン、構造などとともに建築にとって欠かせない分野を形成している。上で述べた例は環境工学分野のほんの一部分に過ぎず、騒音の低減、火災などからの安全性の確保、シックハウスに代表される室内空気汚染の排除などもこの分野に含まれるし、更に建物の中に留まらず建物の周辺環境、都市環境、地球環境も環境工学分野がカバーしている。また、最終目的は、家、学校などの建物の中で生活・活動する人々が健康で快適な生活を営めることであり、そのためには人間の生理・心理を適切に考慮することが不可欠なため、それらも必要に応じて環境工学領域で扱われている。

現在の講義内容

以上のような観点より、京都大学・工学部・建築学科においては、以下のような環境工学分野の科目を開講している。

■建築環境工学Ⅰ：第2学年

快適かつ安全な環境を構築するため、**放射・日射、熱、湿気、空気**の建物内外における物理性状とそれらの解析法、予測計算法について講述する。また、それら環境要素の生理的・心理的影響を考慮した評価法についても講述する。

項目：建築と気候、熱環境、建築伝熱、空気環境・換気、放射熱伝達・日射

■建築環境工学Ⅱ：第2学年

快適かつ安全な環境を構築するため、**照明、色彩、音響**などの建物内外における物理性状、解析法、予測計算法を講述する。またそれらの環境要素に対する心理的・生理的影響および評価法についても講述する。

項目：光環境と視覚、照度計算と建築照明、日照、表色系の基礎と活用、音の性質とその生理・心理的效果、振動と音の物理、音響材料

■建築設備システム：第3学年

建築に設備される**空気調和設備・給排水設備**を中心にシステムの原理や基礎を講述し、省エネルギー計画法、地球環境問題、建築物と融合した建築設備計画などとの関連において、建築設備システムの設計方法を示す。

項目：建築と設備システムの融合、空調プロセス、空調設備機器、給排水システム、照明設備、電気設備、設計事例

■都市環境工学：第3学年

都市には建築が集約的に存在し、人間活動の大半は建築内でなされる。都市が地球へ与える**環境負荷**の軽減と、都市環境保全を両立する**省エネルギー手法**、**ヒートアイランド**等の軽減、**環境と共生**する都市や建築に関して講述する。

項目：地球環境と持続的発展、都市の成長と環境負荷、省エネルギー、環境負荷の少ない都市・建築、屋外気象、都市の日照・採光

■建築光・音環境学：第3学年

快適かつ安全な環境を構築するため、**音響**、**光**、**色彩**についての理論と関連技術及び、実務設計への応用などについて講述する。

項目：音の測定と評価、騒音防止計画、室内音響計画、明視環境と視覚特性、建築照明の設計と評価、表色系の応用と照明工学、建築色彩

■建築温熱環境設計：第3学年

住宅に代表される日常生活空間の**温熱環境制御技術**に関する基礎を概説し、パッシブ住宅の計画法について触れる。

項目：概論-気象と建物、熱容量の利用、水分の功罪、人体の温熱生理、断熱計画、日射制御、通風・換気計画、室内空気質汚染

■建築安全設計：第4学年

人々の生活空間である建築物および都市には、様々な**火災安全対策**が施されている。この講義においては、建築火災の実態と**メカニズム**を踏まえた上で、火災に対して安全な建築物を合理的に計画・設計するための発想法を習得させる。

項目：建築火災のメカニズム、避難と煙制御、消防活動、防火区画、構造耐火性、性能に基づく火災安全設計

■建築設備計画法：第4学年

建築物には、空気調和設備・給排水設備・照明設備・音響設備・防災設備・情報通信設備等の様々な設備がある。この講義では、これら各種設備の概要を紹介し、建築設備の設計および維持管理などを含めた設備の計画法を講義する。

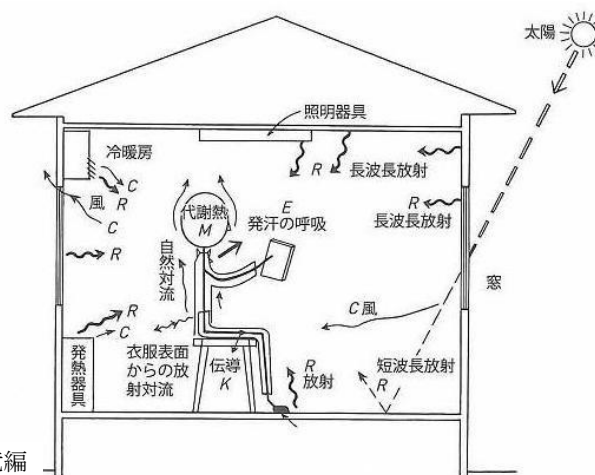
項目：概論、照明設備の計画法、電気設備の計画法、情報通信設備の計画法、防災設備の計画法、建築設備の耐震設計、音響設備の計画法、空気調和設備の計画法、維持管理と最適運転、事例紹介

建築環境工学 I の講義内容より 第2学年

快適かつ安全な環境を構築するため、建築計画上考慮すべき基本的な環境要素のうち、放射・日射、熱、湿気、空気の建物内外における性状とそれらの解析法、予測計算法について講述する。また、それら環境要素の生理的・心理的影響を考慮した評価法についても講述する。これにより、環境工学的観点より建物を評価し、その結果を建築設計に反映させる能力を習得させることを目指す。

■ 建築と気候：

- ・ 建築環境工学の役割
- ・ 気象と室内環境との関係
- ・ 熱環境の4要素と空気質



引用 建築環境工学用教材・環境編
(日本建築学会、1995)

■ 熱環境

- ・ 人体の熱発生と放散のメカニズム
- ・ 熱的快適性
- ・ 体感温度指標と建物設計

■ 空気環境・換気

- ・ 室内空気汚染と必要な換気量
- ・ 換気のみカニズム、計算法
- ・ 換気・通風の計画法



歩行時の生理量測定

■ 建築伝熱

- ・ 壁体の熱特性、非定常熱伝導
- ・ 供給熱量と室温
- ・ 室内湿度と結露



床、壁の結露

建築環境工学Ⅱ(第2学年)および建築光・音環境学(第3学年)の講義内容より

■建築学科における音環境の講義について

音は常に我々の周囲に存在しており、建築空間・都市空間において快適で安全に過ごす上で、音環境は非常に重要な役割を果たしている。例えば、居住空間において、自動車・電車・航空機などによる交通騒音、あるいは集合住宅などで隣接する部屋からの騒音に悩まされる人は多く、騒音を原因とした対人関係のトラブルは後を絶たない。また、オフィスや学校といった音声によるコミュニケーションを行う場では不適切な音響設計により音声情報を適切に伝えることができず、円滑なコミュニケーションに支障を来すことが少なくない。さらに、コンサートホールや劇場などにおいては、演奏や歌唱の芸術性を損なわず、また、高めるための音響設計が求められる。このように、人が心身両面において健康的・文化的で快適な生活を送るためには、音環境に関する諸問題を解決していく必要がある。本講義では、様々な状況を想定しながら、建築・都市空間における適切な音環境を設計するための方法論を学ぶ。

■コンサートホールの音響設計

コンサートホールという空間で、聴衆は演奏家が表現する音楽を感じ取り、芸術的な体験を享受する。コンサートホールの音響設計は、演奏家が意図する音楽を聴衆に的確に伝えることができるかどうかに関わる。

ある程度の規模の客席数が備えられたコンサートホールでは、ステージで演奏された音が可能な限り多くの客席に届くようにステージの形状を設計し、また、演奏された音がコンサートホールの中で響きを残すように、音が反射する壁面材料を選ぶ必要がある。壁面での音の反射が大きすぎると、音の方向感がなくなったり、楽器の音質が大きく変化したりと、音響障害が生じる。音響障害を無くすには、適切な壁面形状と材料を設計する必要がある。これらの一つ一つの要素技術は最終的には総合的に評価されなければならないため、音響模型実験やコンピュータシミュレーションなどを用いて、音響設計の適切さは評価される。このように、ステージや壁面の形、材料の決定方法、模型実験や数値シミュレーションによる評価方法、についての理論と実践について学ぶ。こういったコンサートホールの音響設計の方法論は、コンサートホール以外の音響空間(演劇を目的とする劇場空間、講義室や教室などの教育施設、会議室やオフィス空間などの産業施設など)を設計するための重要な基礎知識となる。



コンサートホールの音響

■騒音対策

騒音問題は都市生活においてトラブルを生じさせやすい社会的な問題である。交通騒音をはじめとして、マンションやアパートなどの集合住宅における騒音、繁華街における商業施設による騒音など、生活の多くの部分に影響する。そのような騒音問題をどのように取り扱えばよいか、聴覚機能の生理・心理的側面、騒音の物理的な評価方法、遮音や吸音による騒音対策の方法などについて学ぶ。



床衝撃音の測定

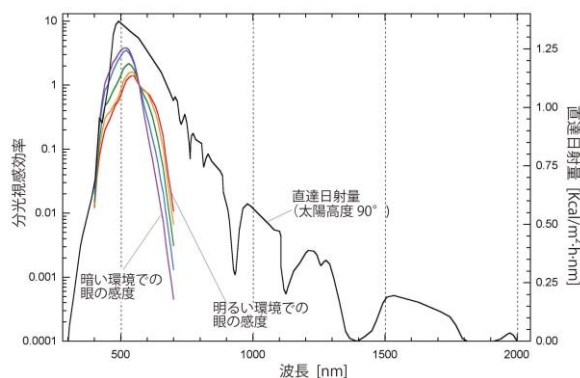
建築空間の環境要素のうち、光と音の物理性状と解析法及びそれらの心理的・生理的影響と評価について解説する科目。今回は光環境に関する項目から紹介する。

■光と視覚

眼の感度→可視光領域

物理的な放射エネルギーの波長毎に眼の感度を掛けて、明るさに対応する光の量（心理物理量）に変換する。

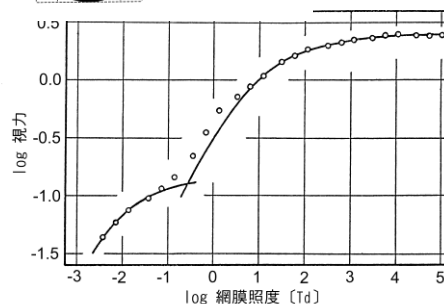
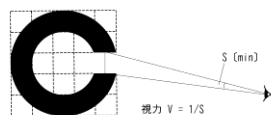
国際標準としての眼の分光感度→照明の基盤技術



■光を測る

光のエネルギー量 光束 F [lm]

単位面積当たりの入射光束 照度 E [lx]



視対象の明るさと視力の関係

■ものが見やすい光環境

照明の機能 → 対象が見やすい（明視性）

光の量によって眼の特性が変化する。

まぶしさ（グレア）、色の見え方

照明計画→光の量と質のバランス

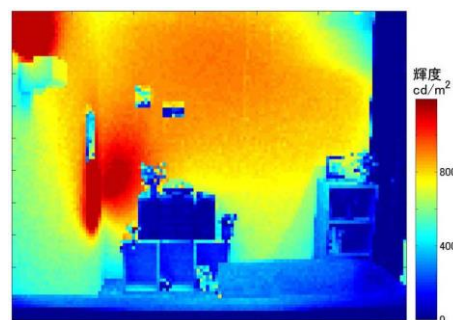
■光環境のデザイン（発展）

光環境の心理評価

新しい光源の出現 白色 LED

効率的なエネルギー利用，自然光利用

光と人間の生理機能，生体リズム



室内の輝度分布と明るさ感の分析

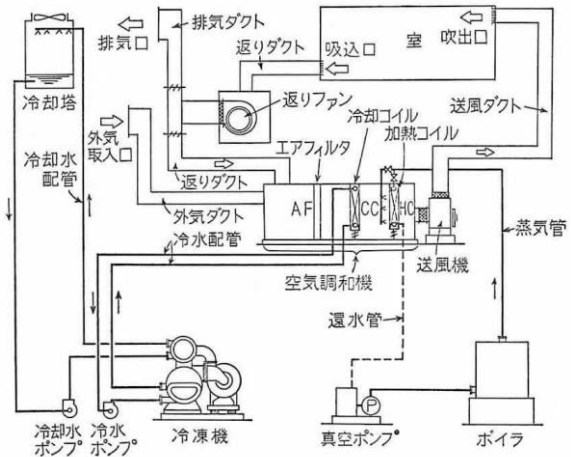


建築設備システムの講義内容より 第3学年

建築に設備される空調・給排水・照明設備の基礎、省エネルギー計画法、建築物と融合した建築設備計画

■ 空気調和設備

- ・ 空調設備の構成
- ・ 熱源と冷源：冷凍機、ヒートポンプ
- ・ 室内条件：温度、湿度、空気質
- ・ 空気解析：湿り空気、空気線図
- ・ 熱負荷：気象データ、熱負荷計算
- ・ 空気調和計画法
- ・ 空調システム：単一ダクトシステム
二重ダクトシステム
ファンコイルシステム



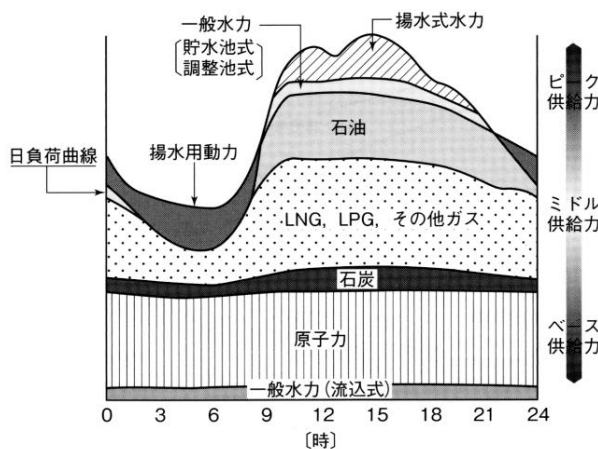
空気調和設備 (井上: 空気調和ハンドブックより)



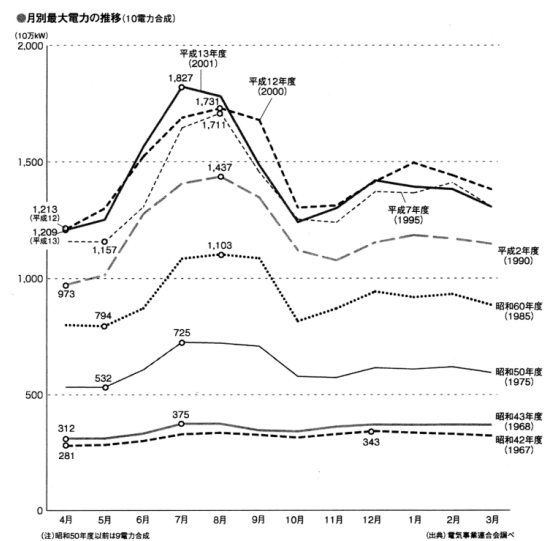
ターボ冷凍機 (大阪、グリーンゼタワー)

■ 照明・電気設備

- ・ 照明設備：照明方式、照明器具、照度計算
- ・ 電気設備：電力設備、直流と交流、通信情報設備



夏期ピーク日の時間帯別の電源構成



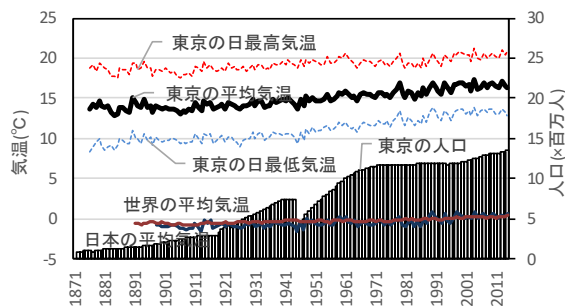
1年間の電気の使われ方の推移

都市環境工学の講義内容より 第3学年

都市には建築が集約的に存在し、人間活動の多くは建築とその周辺でなされる。建築による都市環境負荷、都市による地球環境負荷の実態を踏まえて、都市環境を改善し地球温暖化を抑制するための都市環境のありかた、環境と共生する建築、省エネやエコマテリアルによる環境負荷低減の方法を講義する。

■ 地球温暖化と都市の暑熱化

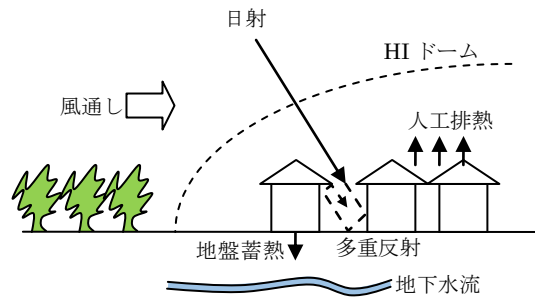
地球温暖化によって世界の平均気温は過去100年で約0.7℃上昇したが、同じ時期に東京などの大都市の気温は2～3℃上昇しました。都市の暑熱化は、都市人口の増加とともに起こる。特に、日最低気温の上昇が顕著です。



■ ヒートアイランドのメカニズム

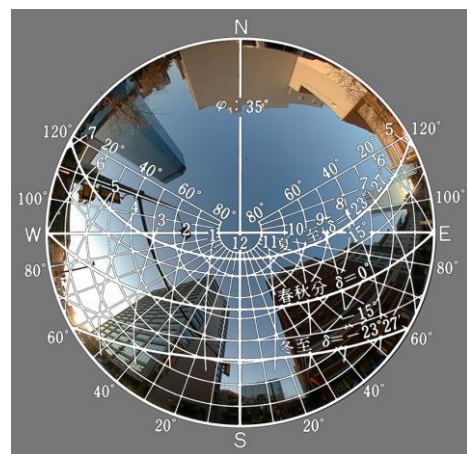
都市が郊外よりも暑くなる現象はヒートアイランドと呼ばれている。ヒートアイランドの原因としては、緑地や水面等の自然被覆の減少により日射吸収率が増加することや、建物や交通機関からの人工排熱が都市の気温を上昇させることとされています。

その結果、都市部には、ヒートアイランドドームと呼ばれる温度の高い空気塊が付着する。さらに、建物等が過度に集積すると都市の風通しが悪くなるので、発生した熱を都市外に放出できなくなることも一因です。また、水面や緑地の減少により地表面の乾燥化が進み、地盤から地下水流への熱の放出も難しくなります。



■ 日照計画

太陽からの直射光は、街路や建物へ光を取り入れることにより自然エネルギー利用や紫外線等による衛生面の効果がある。天空における太陽の位置は季節と時刻により様々に変化するので、適切な日照を取り入れるためには、魚眼レンズを用いて街路から天空を撮影し、太陽の軌跡(太陽位置図)と重ね合わせて検討が行われます。中高層ビルが密集した地域では天空率(全天空に占める天空の割合)が小さく、夜間の放射冷却が低下して気温が下がり難い傾向があります。

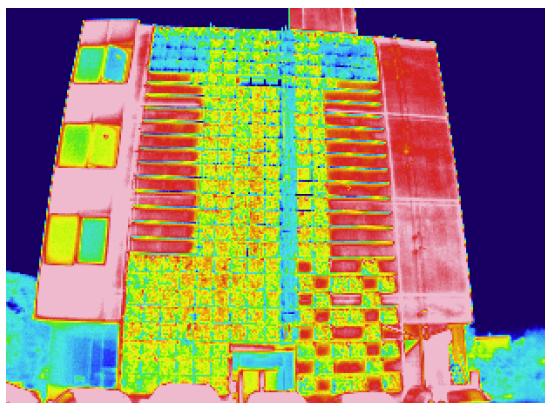


建築温熱環境設計の講義内容より 第3学年

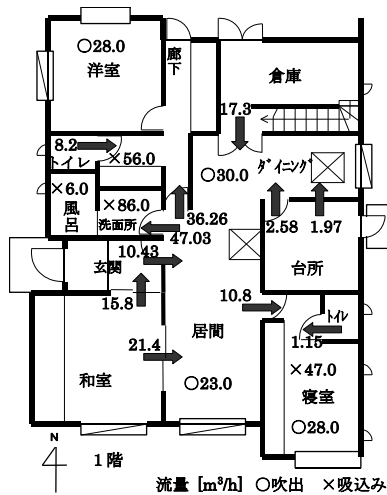
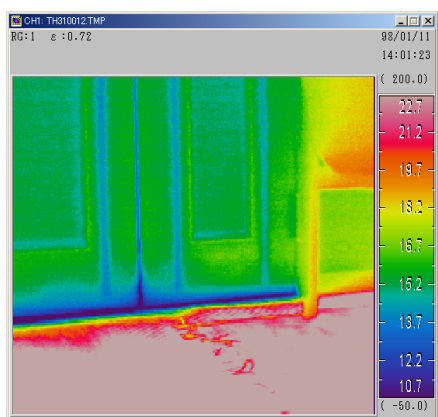
日常生活空間の温熱環境制御技術の基礎、パッシブ住宅の計画法

項目：気象と建物、熱容量の利用、水分の功罪、人体の温熱生理

■ 壁面緑化パネル



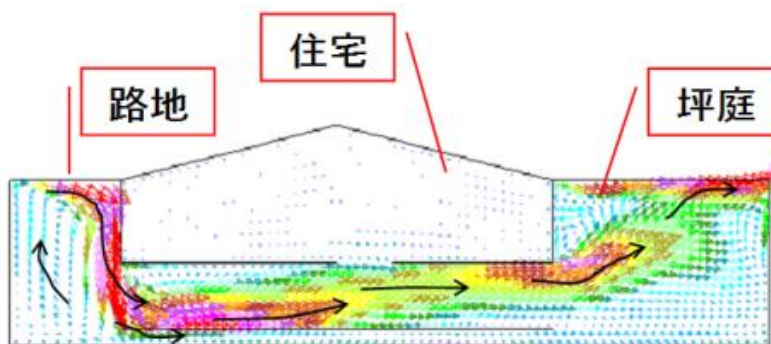
■ 住宅の検証 (コミッションング) : すきま風



■ 町 ドアの間隙からの冷気

家における通風時の気流

- ・ 路地から坪庭に向かう気流



夏季の町屋の通風時の
気流解析

建築安全設計の講義内容より 第4学年

建築空間で起こる火災性状の予測法、避難計画、消防計画、耐火計画、性能に基づく火災安全設計

■ 建築火災のメカニズム

建築物内の火災は、着火、初期拡大、フラッシュオーバーを経て、火盛りに至ります。この講義の前半では、小さな火災が大きくなっていく様子を解説し、拡大を遅くするためにはどのような対策が有効なのかを考えます。そのため、個々の材料の燃焼性、燃焼物から生じる火炎柱の性状等の燃焼に関する物理・化学現象を理解し、ソファの燃焼などの現実の火災の姿を観察し、身近な物が燃えると何が起こるかを理解する必要があります。



スギ集成材の燃焼性試験



火炎の揺らぎ



ソファの燃焼性状（点火後3分）

■ 火災安全設計

どんなに気をつけても火災は起こります。人々が暮らし、火や電気などのエネルギーを使えば、ある頻度で火災が起こることは避けられません。建築物で大事なことは、火災がなるべく起こらないことと、もし起こっても安心して逃げられること、逃げた後に消防隊が消火活動を安全に行えることです。その結果、人命を守り、大切な財産を守ることができます。

写真は、火炎の拡大を防ぐための防火扉と、煙の十萬を防ぐための排煙口です。いずれも、火災安全に必要な設備です。この講義の後半では、必要な対策を合理的に行うための方法を論じます。



延焼防止のための防火扉



煙拡散防止のための排煙口

模 擬 演 習

設計演習の現場

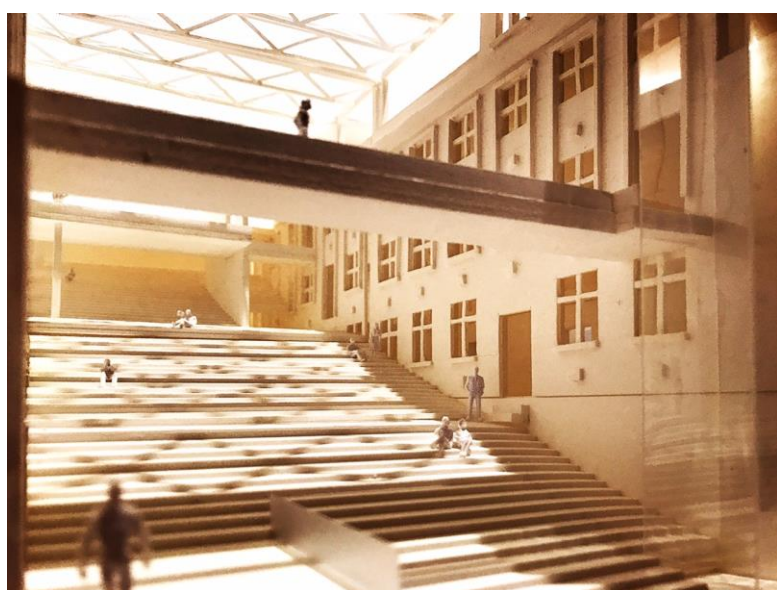
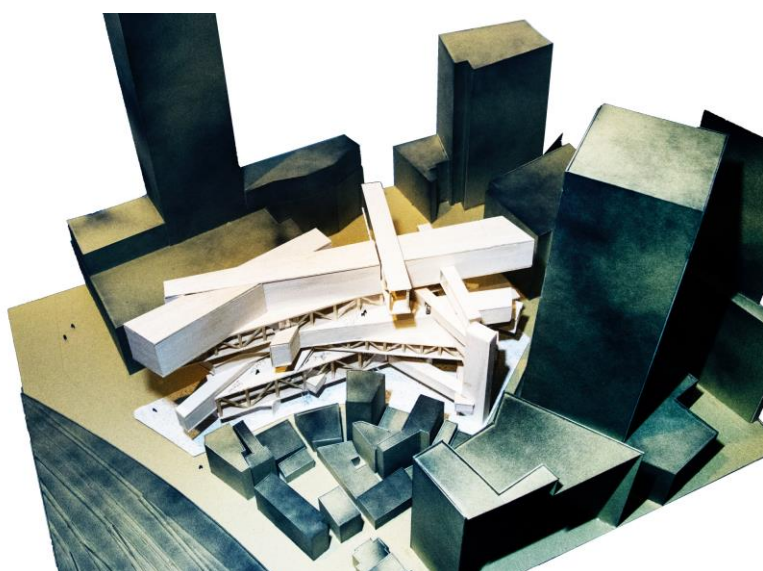
総合研究9号館 N7講義室

担当 平田晃久（准教授）

建築学科では、実際の敷地や機能、あるいはテーマ設定を前提とした設計演習を行っています。設計演習では、それぞれの学生が自分の設計案を構想し、図面や文章、模型を使ったプレゼンテーションを行います。

ここでは、設計演習における優秀作品を集め、実際にそれを設計した学生が、自身の案を説明します。実際の作者との生の対話を通して、建築学科における設計演習の雰囲気を感じ取ることができます。

作品例



模 擬 演 習

鉄，木，コンクリート，どれが1番？

－ 建築構造材料を比べて知る －

総合研究9号館 N5講義室

担当

西山 峰広（教授）

野村 昌弘（技術職員）

渡辺 瞭（M2），塩谷 咲恵（B4）

建築を支える構造材料と技術

現在、建築物で使用されている主要な構造材料は、鉄、木、コンクリートです。新しい材料も開発されており、部分的に利用されてはいますが、ずっと昔からこれら3種類の材料が、建築物の主要な部材である柱、梁、壁、床、屋根などに使われてきました。これらの材料にはどのような特徴があるのでしょうか？どのように使い分けられているのでしょうか？



よい建物を建設するためには、それぞれの材料の特徴を知ることがとても重要です。特徴と一口に言っても、物理的、感覚的、いろいろな面があります。クイズや実験を交えながら、構造材料の特徴を学んでみましょう。

それぞれの材料に対して皆さんが持つイメージはどのようなもののでしょうか？

【鉄】：強い、硬い、…

【木】：ぬくもり、自然、燃える、…

【コンクリート】：重い、…

どのような建物（超高層ビル、住宅、マンション、工場、倉庫、学校など）でこれらの材料をよく見かけるのでしょうか？

【鉄】：

【木】：

【コンクリート】：

では、クイズです。

【Q1】 どの材料が1番重いでしょうか？どれが1番軽いでしょうか？

【Q2】 水に浮く材料はどれでしょうか？

【Q3】 どれが1番硬いでしょうか？どれが1番柔らかいでしょうか？

【Q4】 どの材料が、1番値段が高いでしょうか？どれが1番安いでしょうか？

【Q5】 100gあたりの値段が牛肉（松阪牛）よりも高いのはどれでしょうか？

【Q6】 どの材料が1番強いでしょうか？どれが1番弱いでしょうか？

【Q7】 どの材料でできた家に1番住みたいでしょうか？どれに1番住みたくないでしょうか？

【模擬演習では、さらにクイズが続きます。】

模 擬 演 習

建物の揺れ方を見る

総合研究 9 号館 N 6 講義室

担当 辻 聖晃（准教授）

1. はじめに

地震や風などの時間的に変化する外乱が建物に作用すると、建物は変形し、その大きさは時間的に変化します。このような現象を「振動」といいます。本模擬演習では、建物が地震や風などによってどのように振動するのか（揺れるのか）、また、その振動をどのような工夫で小さくし、建物の安全性や居住性を高めることができるのかを、模型を使って皆さんに体験してもらいます。本模擬演習を通じて、「建築構造」への興味が高まることを期待しています。

2. 模擬演習の内容

(1) 建物はどのように揺れるのか

例えば、以下のような問いかけに対して、皆さんは答えられるでしょうか？

- ・ 建物が重くなると、揺れの速さは早くなるのか遅くなるのか？
- ・ 建物の柱の数が増えると、揺れの速さは早くなるのか遅くなるのか？
- ・ 2階建ての建物が揺れるとき、1階の揺れと2階の揺れはどちらが大きいのか？
- ・ 建物の揺れの大きさは、外乱の大きさだけによって決まるのか？

上記の問いに対する答を、建物の揺れを模擬することのできる模型（図1）によって、皆さんに直接確認してもらいます。

(2) 建物の揺れはどのような工夫によって小さくすることができるのか

外乱に対する建物の揺れをゼロにすることはできませんが、建物の安全性と居住性を確保できるレベルに小さくすることは可能です。そのための工夫の一つに「制震（制振）構造」（図2）と「免震構造」（写真1）があります。(1)で用いた模型に、ある部品（デバイス）を取り付けることにより、外乱に対する揺れが小さくなるとともに、揺れがすみやかに減少することを示して、「制震（制振）構造」と「免震構造」のしくみを説明するとともに、その有効性を皆さんに直接確認してもらいます。

3. 模擬演習にあたって

実演によりどのような現象が生じるのかを見る前に、どのような現象が生じるのかをまずは想像して下さい。「想像とおりの現象が生じた」と感じた方も、「想像もしていなかった現象が生じた」と感じた方も、大学での学びにより、その現象の原理を理解し、建築構造を一層深く知ることができるようになります。

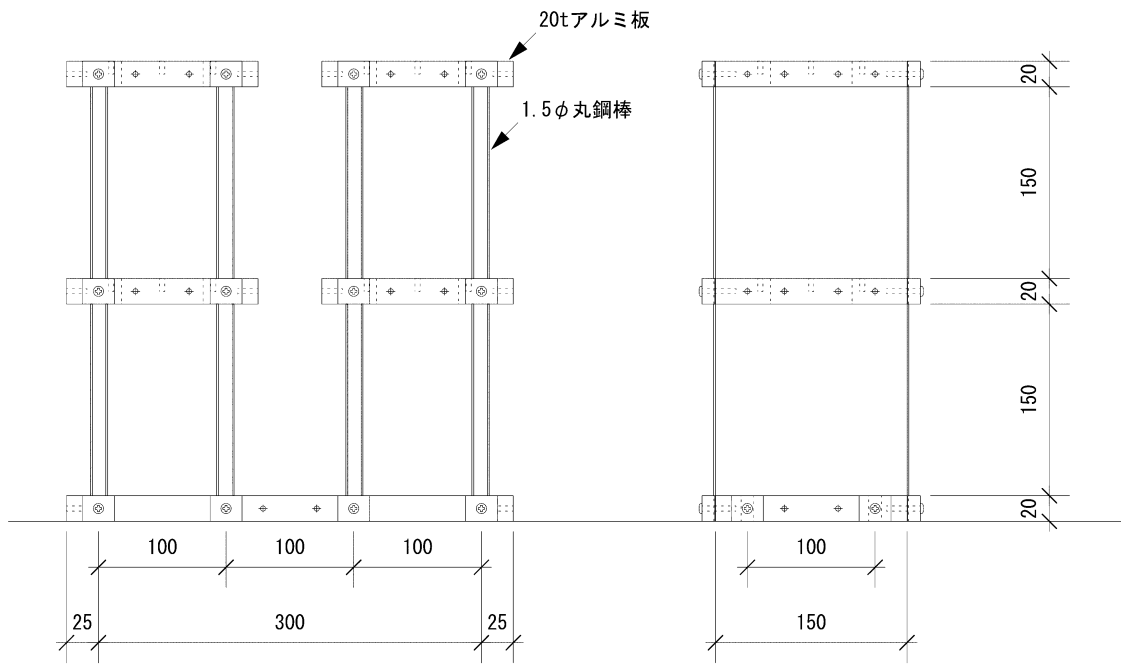


図1 実演に用いる模型の立面図（数字の単位は mm）

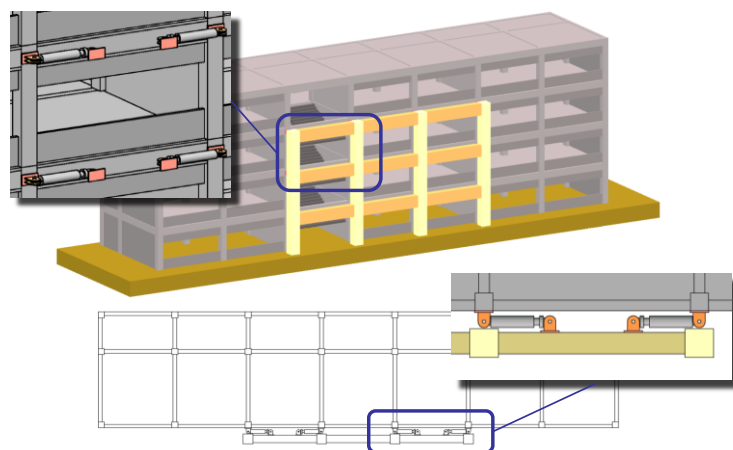


図2 制震（制振）構造の例（アウトフレーム連結制震）



写真1 免震構造の例（大阪中央公会堂，1918年竣工，2002年に免震レトロフィット）

模 擬 演 習

身の回りの流れを見る

総合研究 9 号館 N8 教室

担当 仁井大策（助教）

1. 健康で快適な生活空間とは

健康で快適な生活空間を作り出すには、熱、音、光、空気の環境を整えることが不可欠です。そのため、室内環境を温度、湿度、気流、日射、放射、光束、色彩、音圧、汚染物濃度など様々な指標で捉え、制御することで消費エネルギーの削減や地球環境負荷の低減を達成し、建築空間に多様な価値観を実現することが建築環境工学の大きな目的となります。

2. 身の回りの気流

生活空間には空気は必ず存在し、身体や建物は絶えず気流の影響を受けていると言えます。そのため、気流制御は快適な空間を作り出すための大きな手段の一つで、次のような方法が実際の建築に取り入れられています。

通風：自然の風を室内に取り込み、身体の温冷感を制御する

換気：自然エネルギーや機械力を用いて、室内の熱や汚染物質を室外に排出・新鮮空気を供給する

空調：空調設備を通じて、室内の熱や水蒸気を制御し、快適な温熱空間を作る

その他：火災時の煙制御、ビル風対策など

3. 気流の測定方法

通風や換気の効果を知るためには、気流の様子を知る必要があります。目に見えない気流を測定することは、実は簡単ではなく様々な工夫がなされています。

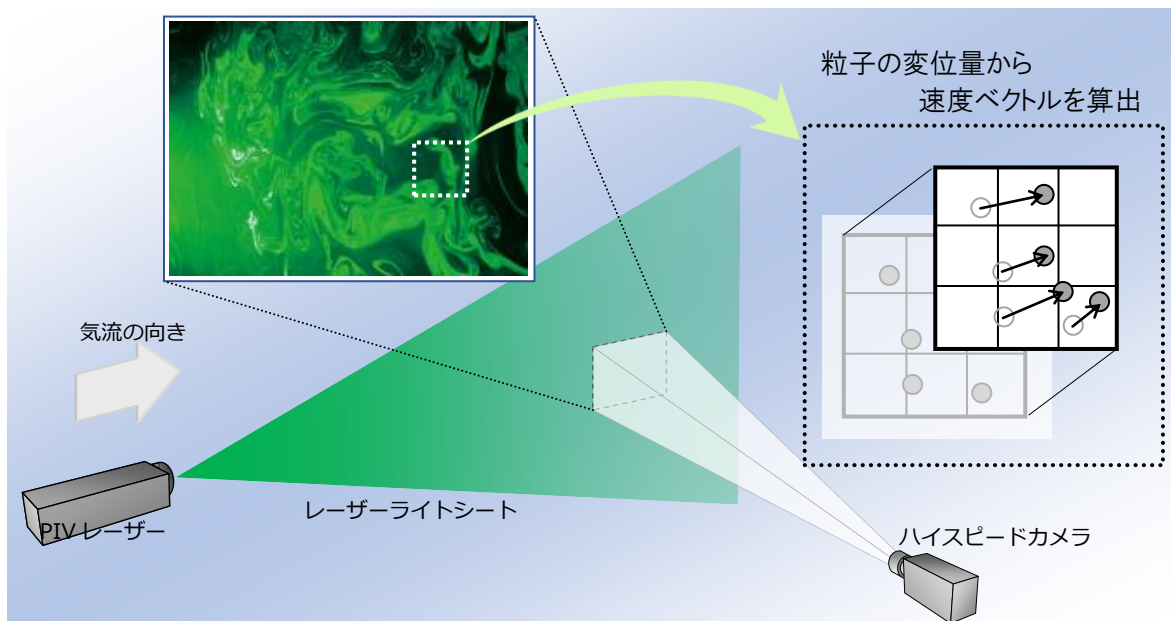
一般的な測定方法

- ・ 温湿度センサーや風速計を用いた空間の代表的な「点」での物理量測定
- ・ 着色した気流の目視観察
 - 局所的な点での測定では流れの向きや拡がりをもっとも捉えることが困難
 - 着色した気流の内部の様子がわからない

今回の測定方法 PIV (Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速測定法)

- ・ 着色した気流をシート状のレーザー光で可視化
- ・ 画像を撮影し、粒子の変位量から流速ベクトルや乱れの強さを算出する
 - 流れの「断面図」が測定できる

PIV システムは非接触型の測定方法であり応用性も高く、建築空間での気流測定だけでなく、流水路や精密機器周辺、飛行機の翼周辺の流れなど近年幅広く活用されています。



PIV システムのイメージ図

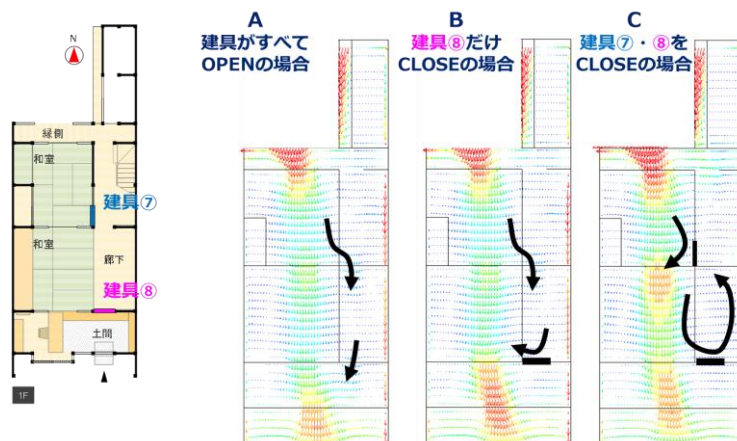
4. 実際に測ってみる

PIV システムを使って、身体の周りや建物の中の流れを見てみましょう。
建物内の換気効率が上がるような対策を考え、その効果を測ってみましょう。

5. 気流測定を活用

建築物は様々な部品（建材、設備）で構成されています。その中で、窓の通気特性や空調吹き出しの分布、換気扇の集塵効果など部品ごとの詳細な性能が明らかであれば、組み立て後の建築物としての性能を予測しやすくなります。

また、近年はパソコンの性能が向上し、詳細な流体解析が容易になりました。流体解析の予測精度を確認したり、解析時の境界条件として、気流の測定結果が活用されています。



京町屋における通風時の流体解析事例

オープンキャンパス 2017 (ホームページ 公開版)
2017年8月10日
京都大学工学部建築学科

Open Campus 2017 (Web version)
Undergraduate School of Architecture,
Faculty of Engineering,
Kyoto University
Aug., 10th, 2017
<http://www.s-ar.t.kyoto-u.ac.jp>

許可無く複製を禁じます。