2003/4/11

基礎工学講座 後藤班の卒論テーマ（2003 年度用）

目次

1. はじめに

1.1 ゼミやパソコンの使用など

前期は、毎週 決まった時間に（2 階の学生室または私の部屋？で）英語文献講読とパソコンゼミを行う（何曜日の何時にどの部屋で行うかは、4 年生と院生とパソコンの都合で決める）。パソコンゼミでは、フォートランの簡単なプログラムの作り方や実行方法、お絵描きソフトの使い方、TEX で数式や文章や OHP シートを書く方法などを学ぶ（ちなみにこのプリントも TEX で書いている。あと、もし更に余裕があったりしたら、HTML の書き方なんかも教えて、学生に後藤班のホームページを作ってもらったりなんてのも悪くないかとは思ってるけど……）。ゼミには院生（約三人と研究生一人）も参加し、特にパソコンゼミでは院生が TA のように指導してくれる（はず）。私の部屋には、学生用の勉強机４つと（学生室のものよりは性能のいい）パソコンを置いておくので、後藤班の学生は平日の日中ならいつでも私の部屋に自由に出入りして机やパソコンを利用して構わない。尚、私は 12:40 頃に U 先生と生協に昼飯を食べに行くが、気が向いた時は学生室に立ちよって学生を誘ったりするかも知れない。

1.2 卒業研究の進め方

4 〜 5 月は、関連する文献などを読み、研究の背景と目的、手法を大雑把に把握する。6 〜 7 月は、パソコンゼミで習得した知識をもとに、実際にプログラムを使って数値計算を行い、得られたデータをグラフなどに可視化するなどの作業に馴れる。夏休み期間中はゼミは休みとするので帰省したり旅行したりは自由（勿論、研究や勉強も大いに結構）。実験やアンケート調査をする人は、夏休み頃から構想を練っておく。夏休みが明けたら、研究方針、数値計算の方法、実験方法、調査方法などを私と随時 打ち合わせをして、試行錯誤しながら研究を進めていく。研究テーマは、できるだけ１人で１テーマを担当してほしい。２人で１つのテーマを担当した場合、２人で作業を均等に分担・連携し続けることはなかなか難しく、一般に、一方が中心的に作業に従事するようになり、もう一方は取り残されて怠けるようになる。私も、ついつい話の通じやすい方に助言を与えるようになるので、取り残された方の世話がおざなりになってしまい、ますます、２人の格差が広がっていく（そんな場合でも、卒論の成績評価は２人の平均評価である）。そういう状況にならない自信がある２人に限り、２人で１つのテーマを担当することを認める。

2. テーマ A: せん断補正係数 k の数値的・実験的考察

構造力学で習った片持ち梁の先端のたわみは、

$$\delta = \frac{P\ell^3}{3EI} \tag{1}$$

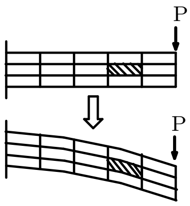
だったと思うけど、この式が成り立つのは、せん断変形を無視できる初等梁の場合で、木材のようにせん断変形の無視できない梁では、たわみは

$$\delta = \frac{P\ell^3}{3EI} + \frac{P\ell}{kGA} \tag{2}$$

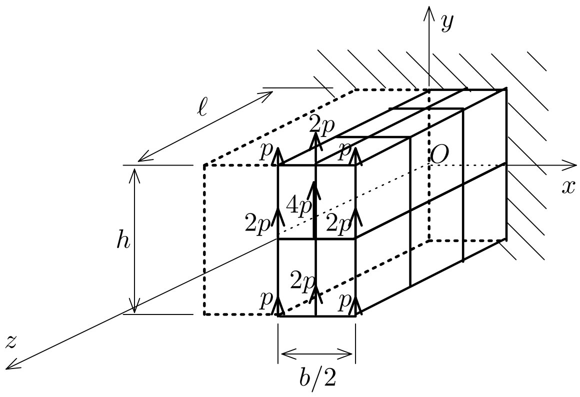
のように書ける。この第二項がせん断変形によるたわみの項で、 k が**せん断補正係数**、 G がせん断弾性係数、 A が断面積である。さて、このせん断補正係数 k は、等方性材料（材料の力学的性質が材料の方向によって変わらない）の長方形断面の梁であれば、

$$k = \frac{10(1+\nu)}{12+11\nu} \tag{3}$$

のようにポアソン比 ν だけの関数として与えられる。因みに、 $\nu = 0$ とすると $k = \frac{5}{6}$ となる。で、多くの場合、 $k = \frac{5}{6}$ が木材などのせん断補正係数として使われている。 ASTM （アメリカ材料試験協会）でも、せん断補正係数 G を推定する際に、 $k = \frac{5}{6}$ を用いてよいとしている。しかし、木材（や集成材）は等方性材料ではなく、実際には、直交異方性材料である（例えば繊維方向と繊維直角方向では力学的性質が違う）。だから、 $k = \frac{5}{6}$ を使うのは厳密ではない。そこで、木材（や集成材）の k を、（梁モデルを使わない）直方体要素の有限要素法解析や、あるいは実際に実験して推定できないだろうかという研究。去年は、アクリル板で実験してみたが、精度が今ひとつ悪かった。工夫すれば、もう少し精度のよい実験ができるかも。実験については、 M1 の K さんが助言してくれるかも。有限要素法のプログラムの使用法については、 M1 の T さんが少し知ってるかも。

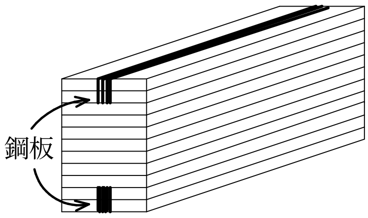


図–1 せん断変形



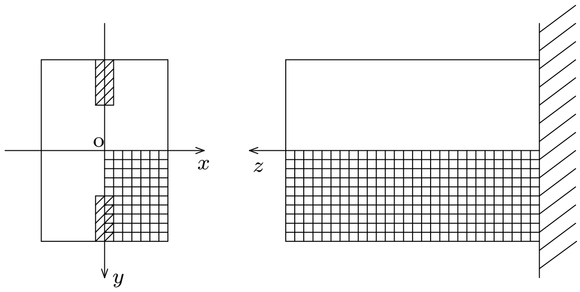
図–2 直方体要素

3.　テーマ B: 鋼板挿入集成材梁の温湿度変動



図–3　鋼板挿入集成材梁

図–3 のように、集成材梁の上下に鉛直に鋼板を挿入して補強して、林道橋などにも集成材が利用されるようになってきている。しかし、木材と鋼材とでは、熱膨張率が大きく違い、更に木材は乾燥収縮の影響を受けるため、自然環境下での温度や湿度の変化により、木材と鋼材との接着面付近に応力が発生したり、そのことで接着面にずれや剥離が生じる可能性もあるが、こうした影響については、まだじゅうぶんな研究がなされていない。 そこで、テーマ A



図–4　解析モデル

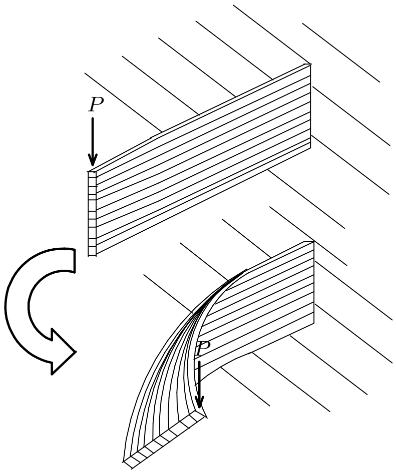
でも用いている直方体要素で**図–4** のようにモデル化して、温湿度変化を受けたときの挙動を有限要素解析する。尚、対称条件から、片持ち支持された梁の右下 1/4 の部分だけを取り出して解析する。温度変化と含水率変化によって発生する歪を、垂直歪成分で、次式のように与える。

$$\epsilon_i = \alpha_i \Delta T + \beta_i \Delta H \tag{4}$$

ここに、 α_i と β_i はそれぞれ x, y, z 方向の線膨張係数と、含水率 1% 当たり収縮率で、 ΔT は温度変化、 ΔH は含水率変化を表す。但し、温度変化はすべての要素で一様に、含水率変化はすべての集成材要素で一様に与える。式 (1) の歪に、応力 - ひずみ行列と節点力 - 応力行列をかけて節点荷重としたものを外力として与え、節点変位を算出する。要素の応力を求める際には、求められた節点変位にひずみ - 変位行列と応力 - ひずみ行列をかけて求める。

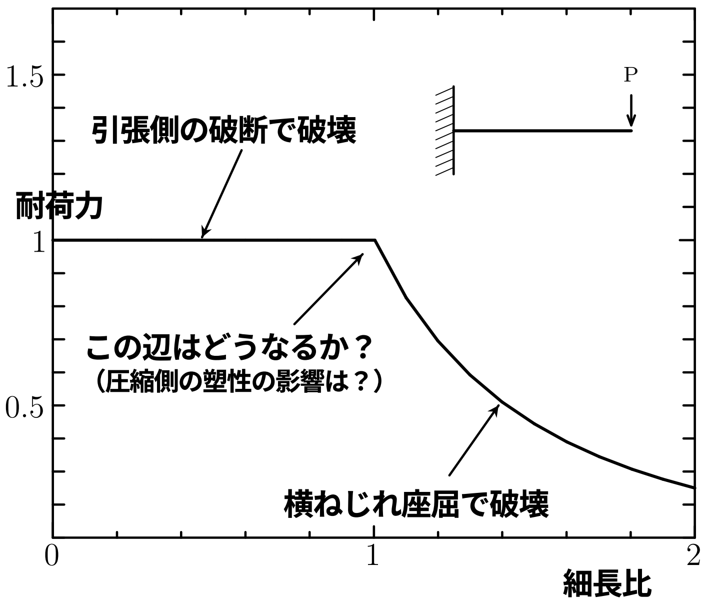
時間と金に余裕があれば実験もやりたい。実験するとすれば、能代の木材加工研究所でやることになる。 M1 の T さん（や研究生の T さん）が助言してくれるかも。

4.　テーマ C: 集成材梁の曲げ耐荷力



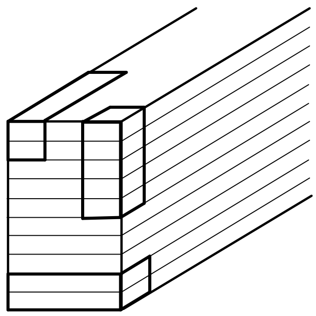
図–5　横ねじれ座屈

桁高に対して幅の薄い集成材梁に曲げを与えた場合（単純支持または片持ち梁で）、梁長がじゅうぶんに短い場合は、圧縮側に塑性が生じ、引張側の破断で破壊するが、梁長がある程度 長い場合は**横ねじれ座屈**（**図–5**）によって破壊する。つまり、梁の長さによって破壊のメカニズムが違うので、梁の**耐荷力**を梁長に対して一般的に求めるためには、弾塑性有限変位解析を行う必要がある。こうした計算は座屈を計算するために幾何学非線形を、塑性や破断を計算するために材料非線形を考慮する必要があり、極めて高次の非線形解析になってしまうので、テーマ A やB のような直方体要素で解析するのはかなりしんどい。そこで、（テーマ A で述べたように）木材の力学的特徴であるせん断変形の影響を考慮した梁要素を用いた有限変位・有限要素法の定式化を用いて解析する。そして、**図–6** のような耐荷力曲線を求めれば、集成材梁の設計に役に立つかな？　M1 の K さんがプログラムの使い方や横ねじれ座屈のことなどについて助言してくれるかも？

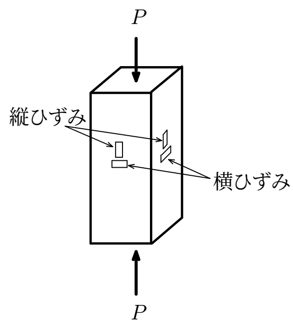


図–6　横ねじれ座屈

5.　テーマ D: 集成材の材料定数の測定（A か B に抱き合わせ可能）



図–7　集成材



図–8　圧縮試験

例えば、テーマ A, B の研究では、集成材を直交異方性材料の直方体要素でモデル化しているが（因みに、テーマ C の研究では、集成材梁をせん断変形を考慮した梁要素でモデル化している）、いずれにせよ、こうした数値シミュレーションを行うには、まず、集成材の材料定数がきちんと測定されて分かっていなければならない。しかし、集成材の材料定数を直交異方性材料として測定することは難しく（めんどくさく）、そのような測定方法や測定値を示している文献は非常に少ない。テーマ A, B の研究では仕方なく、木材工業ハンドブックに載っている木材の材料定数の（繊維方向、半径方向、周方向の極座標における直交異方性材料としての）測定値（どうやって測定したのかは不明）から集成材の材料定数の参考値を推測して用いているが、やはり、今後も数値シミュレーションによる研究を続けていく上では、ちゃんと集成材の材料定数を直交異方性材料として測定すること（測定する方法を示すこと）が重要である。そこで、**図–7** のように集成材から、梁軸方向、桁幅方向、桁高方向に３種類の試験体を切り出し、これらを**図–8** のように圧縮試験して得られる６組の横ひずみと縦ひずみの関係から、式 (5) のような応力 - ひずみ関係を与える行列の中身（材料定数）を求めたい。x, y, z 方向の垂直ひずみ成分と，xy 面，xz 面，yz 面のせん断ひずみ成分をそれぞれ，$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$, それに対応する応力成分をそれぞれ，$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$, とおくと，直交異方性材料のひずみー応力関係は次式で与えられる．

$$
\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix}
=
\begin{bmatrix}
\frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & -\frac{\nu_{xz}}{E_x} & 0 & 0 & 0 \\
-\frac{\nu_{yx}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{yz}}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\
-\frac{\nu_{zx}}{E_z} & -\frac{\nu_{zy}}{E_z} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}}
\end{bmatrix}
\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \end{pmatrix}
\tag{5}
$$

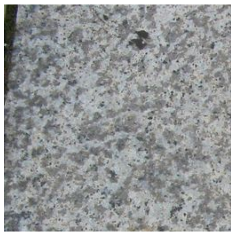
ここに，E_x, E_y, E_z は，それぞれ x, y, z 方向の圧縮・引張に対するヤング率，G_{xy}, G_{xz}, G_{yz} は，それぞれ xy 面，xz 面，yz 面のせん断変形に対するせん断弾性係数，ν_{zx}, ν_{yx} は，x 方向の単軸圧縮・引張に対し，それぞれ $-\frac{E_z\varepsilon_z}{E_x\varepsilon_x}$, $-\frac{E_y\varepsilon_y}{E_x\varepsilon_x}$ で定義されるポアソン比，ν_{xy}, ν_{zy} は，y 方向の単軸圧縮・引張に対し，それぞれ $-\frac{E_x\varepsilon_x}{E_y\varepsilon_y}$, $-\frac{E_z\varepsilon_z}{E_y\varepsilon_y}$ で定義されるポアソン比，ν_{xz}, ν_{yz} は，z 方向の単軸圧縮・引張に対し，それぞれ $-\frac{E_x\varepsilon_x}{E_z\varepsilon_z}$, $-\frac{E_y\varepsilon_y}{E_z\varepsilon_z}$ で定義されるポアソン比である．もし、材料定数の測定が割とうまくいったら、これらの材料定数をテーマ A,B で用いている有限要素法に代入して、曲げ試験の数値シミュレーションを行い、数値的に推定される曲げヤング率やせん断弾性係数と、実際の曲げ試験から測定される曲げヤング率やせん断弾性係数とを比較してみる。

6. テーマ E: 木製部材の木質感の定量化

図–9 画像例 1

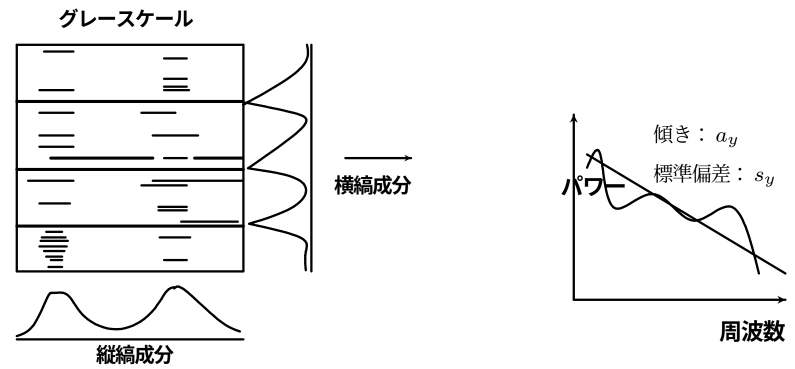
図–10 画像例 2

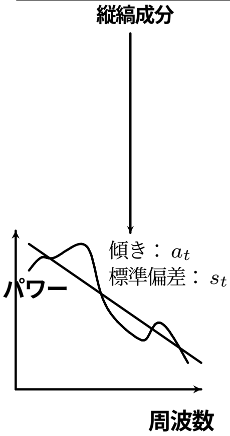
図–11 画像例 3



図–12 画像例 4

景観への配慮から、公園内の歩道橋や山間部の林道橋などに木材や集成材が用いられることは多いが、木材・集成材は風雨に曝された環境では腐食しやすいため、防腐のための薬液注入や塗装を施されて利用されるのが一般的である。このように薬液注入などの防腐加工をした木材・集成材は、一般に色が濃くなり、木目も見えにくくなるため、多かれ少なかれ防腐加工を徹底するほど木材が持つせっかくの質感が失われるような関係がある。そこで、そのような木質感を定量的な数値で表し、また、人が「木らしい」と感じる敷居の数値をアンケートなどから抽出できれば、木構造の景観設計に利用できるかも知れないと考え、その基礎研究として、部材表面を撮影した二次元画像の定量化を試みる。また、同じ画像に対してどのくらい「木らしい」と感じるかのアンケート調査を行い、各数値指標とアンケート結果との相関を考察する。解析対象は**図–9**～**図–12** に示すような木材や非木材からなる様々な構造・建築部材の部材表面を撮影した画像である。まず、色に関する数値指標として、全ピクセルのR値、G値、B値（つまり、赤、緑、青の強さ）の平均を求める。木目に関する数値指標として、画像の縞成分を抽出するため、画像をグレースケール（白黒画像）に変換し、その各列の平均を 1 本の波形データにしたものを縦縞成分、各行の平均を 1 本の波形データにしたものを横縞成分とする。この縦縞成分と横縞成分をそれぞれ 1 次元フーリエ解析し、得られるパワースペクトルの分布の傾きやばらつきなどから木目の特徴を表す数値指標を求める。**図–9**～**図–12** に示すような 100 枚ぐらいの画像に対して、「木らしさ」を「まるで木に見えない」 (1 点)～「木に見える」 (5 点) の 5 段階で問うアンケート調査を行う。アンケートは、情報端末室の端末に表示させたウェブページ上で行う。で、被験者が画像に与えた点数と各数値指標とに相関があるかどうかなどを考察する。





・縦横傾き平均
$a = \frac{a_t + a_y}{2}$
・縦横傾き差
$b = |a_t - a_y|$
・縦横標準偏差平均
$s = \frac{s_t + s_y}{2}$

7.　テーマ F: 都市景観の定量化（もし景観に興味のある人がいたら）

テーマ E と同じことを都市景観に対してやってみる。対象とする画像は、都市景観（著作権の関係で省略）の写真 100 枚ぐらいで、定量化の方法も、テーマ E と同じような方法でやってみる。但し、テーマ E では、「木らしさ」を「まるで木に見えない」 (1 点)～「木に見える」 (5 点) の 5 段階で問うアンケート調査を行うのに対し、本テーマでは、都市景観の「美しさ」を「汚い」（1 点）～「美しい」（5 点）の 5 段階で問うアンケートとする（あるいは「気に入らない」～「気に入った」の 5 段階の方が穏当かな）。そして、テーマ E と同様に、画像の定量化指標とアンケート点数との相関があるかどうかを考察する。