

| 科 目  |                                | 必・選  | 担 当 教 員 | 学年・学科        |  | 単位数       | 授 業 形 態      |     |  |  |
|--|--------------------------------|--|---------|--------------|--|-----------|--------------|-----|--|--|
| 数値計算・解析法<br>(Numerical Methods of Computation) |                                | 選  | 山 東 篤   | 1年生<br>専攻科共通 |  | 学修単位<br>2 | 半期<br>週 2 時間 |     |  |  |
| 授業概要   |                                | 近年, PCの高性能化や低価格化に伴い, PCを用いた数値解析は実務設計にも広く利用されている。本講義ではPCを用いた数値計算を学習することを目的として, (1)剛体運動の計算 (2)有限要素法を用いた構造計算について解説する。 |         |              |  |           |              |     |  |  |
| 到達目標   |                                | PCを用いた数値計算の基礎を理解する。有限要素法の概念を理解する。数値計算手法の簡単なプログラミングができる。  |         |              |  |           |              |     |  |  |
| 評価方法   |                                | 筆記試験40%, プログラミング・ソフトウェア課題40%, 演習20%  |         |              |  |           |              |     |  |  |
| 教科書等   |                                | プリント配布<br>参考図書 : 計算力学ハンドブック I 有限要素法構造編, 日本機械学会 編   |         |              |  |           |              |     |  |  |
| 内 容  |                                | (110分授業を15回実施する。なお、1回の自宅演習は240分を目処にする。)  |         |              |  |           | 学習・教育目標      |     |  |  |
| 第 1 回  | PC を用いた数値計算について (FEM, CAE, CG) |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第 2 回  | 剛体運動 剛体運動の基礎                   |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第 3 回  | Visula C++ の操作解説, 練習           |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第 4 回  | プログラミング演習 (1)                  |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第 5 回  | 有限要素法 有限要素法の概論, 材料力学           |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第 6 回  | 境界条件式, 平衡方程式, 適合条件式, 構成方程式     |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第 7 回  | 離散化: トラス要素の剛性マトリックス            |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第 8 回  | 座標変換と重ね合わせ                     |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第 9 回  | 連立方程式の解法 (直接法と反復法)             |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第10回   | プログラミング演習 (2)                  |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第11回   | ソフトウェア演習 (1)                   |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第12回   | ソフトウェア演習 (2)                   |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第13回   | 数値積分 (台形則, ガウス積分)              |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第14回   | プログラミング演習 (3)                  |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
| 第15回   | 筆記試験, まとめ                      |  |         |              |  |           | (自宅演習)       | C-1 |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |
|  |                                |  |         |              |  |           |              |     |  |  |

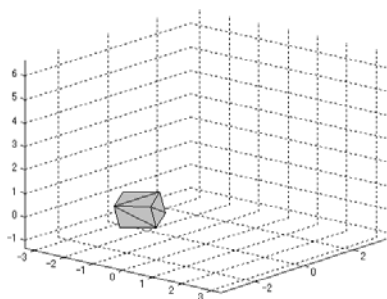
1. 合格ラインについて、特に記載の無いものは、60点以上を合格とします。

2. 定期試験について、特に記載の無いものは、評価配分を均等とします。(【例】年4回定期試験を実施した場合の各定期試験の評価配分は、特に記載の無いものは、25%ずつとなります。)

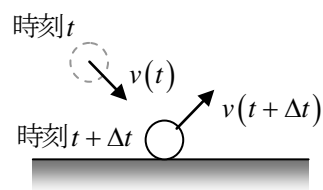
## 第2週～第4週

ある物理量を持った剛体の時間変化に伴う運動は高校物理ですでに学習している。各時刻での物理量と物体の状態をPCで計算すればCGアニメーションを作成することができ、日本機械学会計算力学部門では物理ベースCGアニメーションの出来を競う「ビジュアライゼーションコンテスト」を毎年開催している。本講義ではPCによる数値計算の概念を学習することを目的として質点・剛体の運動を計算、表現するための方法について紹介する。

1. 変位 $x(t)$ 、速度 $v(t)$ 、加速度 $a(t)$ と運動量 $p(t)$ の関係について
2. 時間積分について（オイラー法： $x(t + \Delta t) = x(t) + v(t) \cdot \Delta t$ ）
3. 質点と床の衝突判定について



サイコロのCGアニメーション

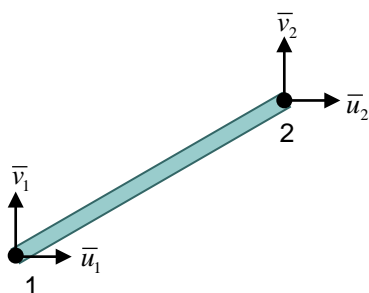


質点と床の衝突

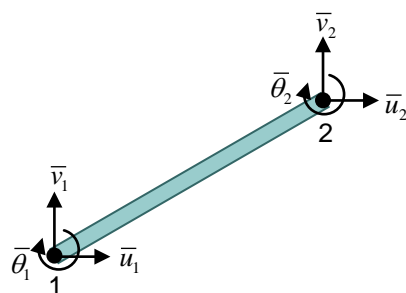
## 第5週～第14週

近年、工学分野において計算機を用いた構造解析が一般化されており、有限要素法をベースとした汎用コードが数多く開発されている。ただし、有限要素法は近似解法であるがゆえに、その解析精度はモデルと仮定の整合性やモデリングに依存する。本講義では有限要素法の歴史、固体力学における有限要素法の定式化、PCで計算するための流れについて学習する。平面トラス要素の有限要素法プログラムを用いて解析モデルの作成から構造物の節点変位、ひずみ、応力を計算するまでの流れを体験し、ある制約下で最も合理的な構造物を考案する演習を行う。

1. 剛性方程式  $\mathbf{F} = \mathbf{KU}$  について
2. 変位、ひずみ、応力
3. トラス要素の剛性マトリックスの定式化（平衡方程式、適合条件式、構成方程式、離散化）
4. 要素剛性マトリックスの座標変換と重ね合わせ
5. 数値積分（台形則、ガウス積分）
6. 連立方程式（直接法、反復法）



平面トラス要素



平面はり要素