

第7回講義内容

1. 生体組織の機能的適応（リモデリング）
 - 1.1 植物，血管のリモデリング（復習）
 - 1.2 出席点の問題（樹木の断面形状）
 - 1.3 骨のリモデリング（復習）
 - 1.4 その他の生体組織のリモデリング
2. 骨のリモデリングにヒントを得た設計手法
（構造物を構築するセル・オートマトンモデルの紹介）

生体工学第一講義内容

生物を機械工学的観点からながめ，生物の仕組みを理解する．

生物を特徴づける要素

- ・ 生物の基本的なデザイン：生物の大きさと代謝エネルギー
- ・ 生物の形と機能：法則性，最適性，環境適応性
- ・ 生物の感覚器官：仕組みと性能
- ・ 生物の運動と移動：運動様式と移動効率
- ・ 生体システム：群行動，個体数の増減
- ・ 生物の形づくり：遺伝情報，パターン形成

枝の2.5乗則

$$W \propto d^{2.5}$$

$$d_0^{2.5} = d_1^{2.5} + d_2^{2.5}$$

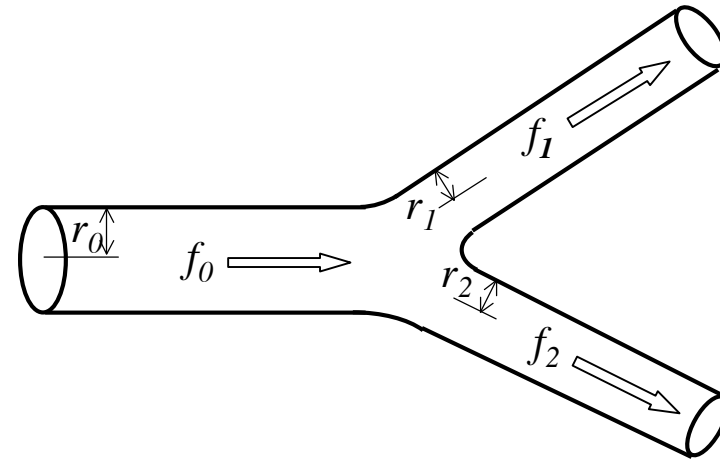
曲げ応力に起因

Murray による植物の枝の周径と重量の関係：両対数軸上できれいな直線間系がある。

C.D.Murray: Journal of General Physiology, vol.10, pp.725-729, 1927

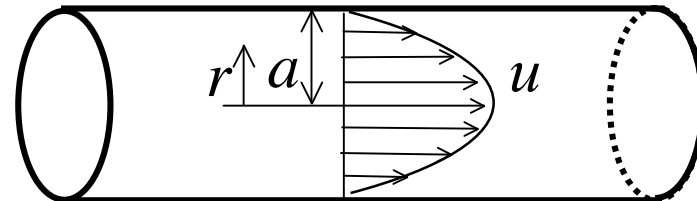
血管の分岐法則

$$r_0^3 = r_1^3 + r_2^3$$



血管壁のずり応力に起因

$$\tau = -\mu \left. \frac{du}{dr} \right|_{r=a} = \mu \frac{4f}{\pi a^3}$$



あて材

斜面に生えた樹木は曲げモーメントを支持するように組織が変化する.

広葉樹: 引っ張り側が強化: セルロース成分が増加

針葉樹: 圧縮側が強化: リグニン成分が増加

「木材の組織」 島地讓, 須藤彰司, 原田浩 著

森北出版株式会社

植物の根

"Design in Nature" by C.Mattheck
Springer-Verlag

Culmann's crane

"Biomechanics Motion, Flow, Stress, and Growth"
by Y.C.Fung, Springer-Verlag, pp.501

骨のバイオメカニクスの草分け的研究

Wolffは、骨梁構造が力学的に意味があることを指摘.

Rouxは、Wolffの考えを発展させ、Functional Adaptation (機能的適応)の概念を提唱し、骨の最小材料最大強度説 (maximum-minimum law)を唱えた.

関連文献:

Biomechanics, edited by Y.C.Fung, N.Perrone and M.Anliker,
PRENTICE-HALL, INC.

<http://herkules.oulu.fi/isbn9514271246/html/c217.html>

骨の形状

わずか3ヶ月の間に骨の断面積
は劇的に変化する.

A.E.Goodship et al., Journal of Bone
and Joint Surgery (1979)

骨のリモデリング

配付資料

骨密度の変化の仕方は、フィードバック機構の
原理で説明可能.

BIOMECHANICS Its Foundations and
Objectives, edited by Y.C.Fung,
Prentice-Hall, Inc.

筋組織

動物実験で血流量を増減させる施術を行うと心臓の筋肉に肥大と萎縮が起こる.

"Biomechanics Motion, Flow, Stress, and Growth"
by Y.C.Fung, Springer-Verlag, pp.512

まとめ

生体組織の適応性

	血管	骨	筋	樹木
機能目的	血流の供給	荷重の支持	張力の発生	荷重の支持
構造の特徴	血流に見合う管径	荷重に見合う断面積	張力に見合う断面積	荷重に見合う断面積
適応性	血流変化に対する 管径変化	荷重増減に対する 断面変化	張力増減に対する 組織変化	荷重増加に対する 断面拡大
検出量	ずり応力	ひずみ？ (応力？)	張力？	ひずみ？
検出機構	Ca 透過性変化？	圧電性？ (疲労損傷？)	？	？
反応の可逆性	可逆的	可逆的	可逆的	非可逆的

「自律適応する素材」オーム社, 戸川著の表1を改変

生体組織は環境に自律的かつ分散的に適応する能力がある。(自律分散システム)

骨のリモデリングにヒントを得た設計手法 (構造物を構築するセル・オートマトンモデル)

以下は関連文献

生長変形法による構造材の適応的最適形状の決定, 日本機械学会論文集, Vol. 42, pp. 3754-3762, 1972 (梅谷, 平井)

力学構造物を自己組織化するセル・オートマトン (ローカルルールによって生じるシステム全体の挙動), 日本機械学会論文集 (A編), Vol. 61, No. 586, pp. 1416-1422, 1995 (伊能, 下平, 小林)

力学構造物を自己組織化するセル・オートマトン (さまざまな位相構造の生成とその形態比較), 日本機械学会論文集 (A編), Vol. 61, No. 585, pp. 1109-1114, 1995 (伊能, 上杉)

第7回講義おわり