力学教育 — 大学で何をどう教えるべきか

— 研究討論会資料 —

構造工学委員会
力学教育研究に関する小委員会

1993 年 9 月 土木学会全国大会

目次

これまで，大学学部・大学院での構造力学関連教育については，筑波大学の西岡教授による科学研究費による研究報告書「構造力学理論の体系的見直しと大学学部・大学院教育」にも調査・研究の成果が発表されています．この成果の一部は， 1988 年の土木学会誌第 73 巻 11 月号にも報告されました．

また非線形数値解析との関連で構造力学教育の在り方を，アンケートをもとに調査・研究した成果も，構造工学委員会の東京工業大学の吉田教授を委員長とする非線形解析小委員会による委員会報告として，土木学会論文集第 410 号に報告されました．

また，もっと一般的な土木教育に関する特集も 1991 年の土木学会誌第 76 巻 3 月号で取り上げられ，多くの意見が集約されています．

ここではその後の，情報科学の重視や大学院重点化等の大学改組の波の中で，多分ひとつの検討対象となるであろう力学教育の在り方について意見交換してみたいと考えています．

1　はじめに

社会の安定や構造の変化に伴って人々の生活に対する姿勢が少し前に比べて大きく変化してきている昨今，社会基盤施設に対する人々の要求も変わりつつあるようです．例えば，豊かさや住みやすさといった形而上学的概念を構造物や施設・環境に要求するようになっており，構造デザイン (学会誌でも 1992 年 77 巻 3 月号に特集が組まれたことがあります) や景観設計に対する関心が高まってきています．社会の変化に一番敏感な学生さん達の嗜好も，ソフト分野の方へ傾いているように見えます．

このような状況の中で，大学は種々の目標を持って改組を行なってきましたが，組織や授業科目等の改組とは裏腹に，実際の講義内容についての，特に基礎的な力学に関しての改革はあまり行なわれていないように思われます．また出版される構造力学の教科書類の内容についても，数学の道具を必ずしもうまく使えていない事も有って，十分な近代化が行われていない状況にあります．

現在教えられている構造力学は、手計算に頼って構造設計を行っていた時代には有用であった種々の手法を網羅する形は取っていますが，これは計算機の発達に伴って一般解法の利用が可能になった今日、はたして十分近代化されたものと言えるでしょうか。講義においても一般論を平易かつ自己完結的に展開する為に必要な数学を使わず、かつての図式解法を取り上げたり、説明・証明 (らしきもの) は連続体で抽象的に済ませ，具体的な問題の解法は梁で示すといった首尾一貫しない教育が行われてはいないでしょうか．また，公務員試験等を意識して，本質ではない解法に時間をかけすぎてはいないでしょうか．

あるいは逆に応用数学の例題として流体力学や構造力学を教えることの方が，ことの本質を理解する上で有効でしょうか．

つまり，基礎学問としての，例えば構造力学教育は，このままでよいでしょうか?　これが疑問です．この研究討論会の動機でもあります．標題にもありますように，「力学」という観点から見れば，流体力学をも同じ土俵で講義する必要があると長年言われ続けていますが，果たしてそういった改善はなされているでしょうか．

2　カリキュラムの改訂 — 岩熊

ひとつ，机上のシミュレーションとして，ある典型的と考えられる大学カリキュラムをほんの少しだけ改訂してみることを考えてみました．

改訂のベクトルとしては，現状の構造・材料力学基礎を減らす方向です．巻末**表–1** に，いくつかの大学での実際の講義内容例を示しておきましたが，構造・材料関連ではない教官による，構造・材料系講義内容への平均的な印象は，「盛り沢山」，「消化不良」といったところです．授業科目数を減ずることによって，内容の精選が行なわれることを前提にしたシミュレーションが**表–2** です．この表を参考に，いくつかの問題提起だけを行なってみたいと思います．

種々の問題提起

意匠的なものに関心が必要か？

例えば，建築学科が併設されているか建築と同居しているような場合，その組織の特徴を生かして，いわゆる「意匠」のようなものの教育を取り入れていく必要はないでしょうか．この場合，土木構造

物は公共空間内の比較的大きな施設ですから，景観もこの「意匠」に含めています．もともと建築では，いわゆる土木の「景観」のような広い空間でのデザインはあまり重視されていなかったかもしれず，そういった点を教育することによって，お互いの分野での将来に夢が出るのではないでしょうか.

構造より材料あるいは連続体を重視したら？

「構造力学」，それは連続体力学の近似理論ですが，今，多くの大学で行なわれている構造力学教育は，「問題を解く」ことに重点が置かれ過ぎていないでしょうか．多くの大学で演習付きの必修といった設定が見受けられます．「なぜその方法で解けるのか」といったことは講義では紹介されますが，それを叩きこむことはあまりされていないような印象です．あるいは，証明や説明は非常に抽象的な連続体を用いたもので，どうして梁でも同じことが成立するのか，等が丁寧に扱われていないような印象があります．ですから，問題に対面した途端に，不静定力を与えてモーメント図を計算，その面積計算を始めてしまう，といった傾向は無いでしょうか．梁や板を主部材とする橋梁でも，最終的な細部構造については連続体的な「拡りのある空間の力学」のセンスが問われる部分なはずなんですが.

水理学との連携は？

このように，解法としての構造力学演習の重点化によって，同じ「力学」である水理学等との関連や，土質工学と構造力学との差異といった点についての概念は，学生さんの頭の中ではあまり明確にされていないのではないでしょうか．例えば，連続体力学や振動・波動といった科目を，流体をも含んだ形で教育することによるメリットというのは，お互いの分野でたくさんあり得るのではないでしょうか.

というわけで構造基礎は減らすべき？

ですから， Castigliano の定理や単位荷重法の積分を朝から晩まで解いては一点のたわみを求め，疲労困憊して倒れる，単位が取れない，といった演習で，頭はまさに硬化していくのではないでしょうか．あるいは，そういった定理や方法がいい加減な説明や抽象論で教えられているのではないでしょうか．大学院の学生が，ある種の新しい力学問題の基礎式定式化において，微分方程式を誘導できないことがある，あるいは微分方程式そのものを知らない，あるいは微分方程式の解法を知らないという事態は果たして正常でしょうか.

では構造力学は要らないか？

では，極端な言い方をすれば，構造力学は応用数学として教えればいいのでしょうか．影響線や Impulse 応答より自己随伴系の Green 関数，それで相反定理も明確になります．単位荷重法と関数解析における内積と超関数．有限要素法の基礎としての Galerkin 法．その変分法的解釈による Euler 方程式と近似解法．剛性方程式の部分方程式としての３連モーメントの定理やたわみ角法．すべて論理的で明解になるのかもしれません．これについては第 12 頁のような面白い意見もあります.

いかがでしょう．学部前半での数学・物理等の講義にスムーズにつながる講義が期待できそうではないですか．しかも，『構造力学は構造屋さんだけの学問ではない』ことがよく理解できるのではないでしょうか．いわゆる「科学する」方法論の最も分かりやすい例が「構造力学」という学問なので

すが，それが社会基盤整備に身を捧げるすべての学生さんに受け入れられ易い方法ではないでしょうか．

いや，本当にそうでしょうか？

構造力学にどうやって目を向けてもらうか？

内容のこと以外に，もうひとつ大きな問題があります．それは，どうやって学生さんの目をお堅い学問「力学」に引き付けるかということです．**一体，どうしたら学生さんの目を引き付けることができるのでしょう．** 基礎的な学問としての力学を，構造関係者以外にも重要なものだとして教育しなければならないとしたら，どのような形態・方法が適しているのでしょう．

3　力学の近代化への道 — 田村先生

構造力学の意義

土木工学の意義

それは構造物の構築によって可能となるサービスを，広く一般社会に提供すること，およびその下地を創造することです．

その中における「力学」

その社会基盤施設の実現に当たっては，もちろんソフト的な仕事無しでは考えられませんが，同じ比重で不可欠でかつ重要な仕事はハードの創造です．この部分を抜きにして，計画段階からの総合評価は不可能です．

土木技術者の常識

ともいうべき，すべての技術者が身に付けておかねばならない知識とは何でしょう．どんな分野の仕事をするにしても，「構造力学」，「水理学」，「土質力学」の基礎は最低条件ではないでしょうか．たとえソフトを担当している人でも「おれは力学なんて知らねえよ」と豪語しないで下さい．仕事が来なくなりますよ．本当は，「力学はもう飽きた」という人にこそソフトをして欲しいものです．

その中での「構造力学」の位置付け

では，例えば構造力学でモールの定理がバリバリ使えればそれで十分でしょうか．不静定ばりのたわみを短時間で計算できるという特技は，いまの世の中でそれほど評価されません．むしろ，それを解くために何をすればいいかを理解しておくことの方がはるかに有用です．つまり，力学の大筋を知っておけば，あとは計算機なり友達なりにさせればいいのです．ただし，結果について評価するセンスは必要です．圧縮応力が出るべきところに引っ張り応力があるとか，対称性がある問題の答に対称性がないとか，文句だけは一人前に言える自信を持ちましょう．土質力学や水理学では実験データに裏打ちされた理論が構築されていることと対比して，もともと簡単な仮定のうえに成り立つ「構造力学」は理論体系が最も明快な力学のひとつです．力学の基礎やセンスを身に付ける訓練には一番ふさわしい科目ではないでしょうか．

何を学ぶか

積分の仕方ですか．せん断力の分布ですか．もちろん，それは「構造力学」の各論的な部分です．しかし，「構造力学」にはもうひとつの面があると思われます．そうです，それは『力学の構造』を学ぶにふさわしい科目ということです．

何に応用ができるか

ですから，構造物を設計するためだけの学問ではなく，「力学」一般の理解，さらには「力学以外」の広範な分野の学習・研究の基礎となり得ると考えます．土木工学の分野で構造力学は，「自然科学」の基礎としての常識を身に付ける場であるかもしれません．

構造力学の教育

解法技術の伝授？

これまでは，ある成果を具体化する「工学」の目的に則し，職業教育としての技術の伝承が必要とされてきました．したがって，従来の教育方針には解法技術の修得に大きなウェイトが置かれており，現在，多く大学でのカリキュラムにも見られるような演習付きの教育が盛んでした．果たして，これからもそうすべきでしょうか．社内の実務において設計部の作業は，ややもすると汎用プログラムのためのデータ作成がメインで，直接，解法技術は必要ありません．それより，どういった有限要素がふさわしいかという点を「力学的センス」で判断していくことが重要視されています．こういった点に，今の教育は対処しているでしょうか．

力学のからくり

よく「解法」よりも「からくり」が重要と言われます．力学の基礎として，解法の背後に潜む理屈がまず重要ではないでしょうか．複雑な構造計算の前に，何故その解法が成立するのか，そのための仮定は何であり，これまで工学でその解法が支持され続けてきた技術的な判断基準は何だったのか．そういったことが重要視されつつあるのではないでしょうか．

現在の「構造力学教育」で軽視されているもの

構造力学で「つりあい式をたてる」ことが基礎中の基礎であることは間違いありません．しかし，これは構造力学の半分 (以下) にすぎません．つりあい式だけで力学諸量が求めらる静定構造でも，変形諸量を知るためには「幾何学」を用いなければなりません．実は，この構造物の変形の幾何学があまりに軽視されています．たしかに，つりあいの概念は質点力学と共通であり，長年，親しんできた実績があります．ところが，変形の幾何学にはどうも苦手意識を持ちます．そこらを曖昧にしながら逃避する手段として天下り式の「エネルギー原理」が信仰されたり，「共役ばり一本勝負」が横行するのではないでしょうか．

数学と「構造力学」

学生さんは，学部前半の 2 年の間に微分積分学や線形代数学の基礎を学びます．それが消化不良になっていることも事実ですが，土木の専門の講義をする教官の方でも，図式解法とまでは行かなくて

も，数学をなるだけ使わない方法を駆使 (?) しながら教えている場合があります．それが高じると，せん断応力の対称性をモールの応力円を用いて説明する学生さんも出てきます． 1, 2 年で習う数学の有効性や有用性を構造力学の例を通して示してやる工夫こそ必要ではないでしょうか．そうでないなら，何のために数学を履修させるのでしょう．単なるイヤガラセとして，砂を噛ませているとしか思えません．数学は力学を理解する道具であり，また，知的訓練の教材であるかも知れませんが，一方では「手抜き」や「サボリ」の味方だと教えることもわれわれの使命だと考えます．

易しく教える

数学というと難解な高等数学を想像しがちです．これには理学部出身の数学教師の責任が問われるところです．しかし，高校までの数学だけで構造力学を講義することは反対です．実際にそれは可能かもしれませんが，一般論から遠くなります．例題として極めて簡単な構造を用いることには賛成ですが，そこから力学の一般的ルールを引き出すことが重要です．そのためには簡単な微分積分学や線形代数学が望まれます．これらは「力学を語る言語」として必要です．易しく教えることはレベルを下げることではありません．筋を通して説明することだと思います．

土木教育の近代化

将来の科学技術と教育体系

もともと Civil Engineering であった工学が，対象物で分類され，それに伴って産業界も分類され続け，今日にような機械・材料・土木等の分化が進んできたのは周知の事実でしょう．しかし，このように細分化してきた学問も，近年，材料を開発する機械工学，生物を対象とする材料科学，宇宙構造を対象とする化学工学といったような，現時点の分類で言えば学際的な分野が作り出されてき始めました．このような新しい科学技術の発展の時代に，従来のままの教育体系で土木工学分野はどのような進展があるのでしょうか．

各論と一般論

とくに力学教育では個別的各論重視 (?) の方法はもはや混乱を招くだけです．構造力学，水理学，土質力学の各論だけでなく，それらに跨るような力学全体を見渡せる一般論としての力学教育体系が，今後の科学技術の発展に必要となってきます．また，ソフト中心の分野の理解にも重要となるのではないでしょうか．

土木工学の近代化

ここでは「力学教育」という限定された枠内で議論していますが，もっと大切なことは土木工学全体の近代化を図る努力だと思います．土木技術の過去の伝統には誇りを持ちながらも，新しいより良い伝統を育てる芽は大事にしたいものです．

4　現実問題としての力学教育 — 井浦先生

学生の能力について

理想的な教育とは，学生個人のレベルに合った教育方法が一番良いのでしょうが，それでは先生の数が足りず，多くの学生の平均又はそれより若干上もしくは下のレベルにあわせた講義を進めるのが一般的かと思います．そうしますと，大学間でのレベルの差が出てきて，教え方も変わって当然でしょう．私立大学の一部に見られるように，入学試験で物理を選択しない学生や，一般教養として学ぶ数学・物理がそれほど高度ではなく，試験を終わってしまえば何を学んだかを忘れてしまうような学生に対して，高度な数学・物理の知識を前提とした教え方は非常に危険なように思えます．不静定構造物で，不静定力がすぐ選べるのはましで，釣合式だけで反力をだしてしまう不思議な学生はいませんか？

一方で，演習において数十分で与えられた問題を全て解いてしまうような能力のある学生には，現在の易し過ぎる講義は退屈で，もっと高度な数学を援用した講義の方が魅力がある筈です．もう少し学生の能力に沿った講義をすべきなのかもしれません．

学生の意見

つまり，教える方が汗をかいていないということですか？

就職試験について

1993 年度の地方公務員試験のテストで，指定された方法で問題を解けという出題がなされました．この方法とは本委員会で教える必要が全くないといわれたものです．しかし，多くの教科書にのっており，又多くの大学で教えている方法かと思います．この様に，現実として公務員テストでこのような問題が出題されると，教える側としても今後何年間は，本委員会で無意味と指定された方法を説明せざるをえません．

また，数分間で問題を解かねばならないような試験においては，代表的な問題の解を暗記することが多いようです．このようなことは決して奨励されることではありませんが，合格するためには必要なことなのです．現在の教育が全て就職試験用とは言いませんが，ここの範囲は某社の就職試験に出たから教えておかねばという理由で教える場合もあります．その時，その方法や考え方が重要な場合もありますがそうでない場合もあります．やはり，大学と社会との会話はもっと密接に行うべきだと痛感します．

近代化は必要か

何をもって近代化かと言うのは難しいが，少なくとも図解法などは今後不必要という結論に異論はないと思います．しかし，高度な数学を採用した力学が，近代化された力学となると，やや異論も出てくるかと思います．力学とは (力の釣合 $(+\alpha)$) という立場を取れば，むしろ難しい数学を使わずに，簡単に説明した方が，非力学系の人々にはとっつき易いのではないでしょうか．グリーン関数云々と言った途端に拒否反応を示す学生が出てくるような気がします．

確かに，学際的な分野がどんどん作り出されており，そこに土木技術者も参加している現在，従来の教育体系で良いのかと問われると返答に困ります．しかし，依然として土木本来の仕事が多くあるわけで，それに従事するための基礎知識を身につけてほしいという教育が現在のものであり，それ以外のいわゆる先端分野については各自が勉強して下さいというのが現状のような気がします．

構造力学，流体力学，土質力学

我々は (本委員会のメンバー) ，これらの科目を別々に習い，現在でも別々に教えています．大学院にいくと，連続体の力学等において，質量保存則や運動方程式などが，これらの力学の基礎になっていることを知ります．これでいけないでしょうか？学部においては，構造系における力とは何か，流体系における力とは何か，土質系における力とは何か等の他にその分野特有なものを教えるだけで時間は一杯のような気がします．力学共通の基礎が重要なことはいうまでもありませんが，それぞれの分野について別々に学び，次に，実はそれらの底を流れているのは共通な考え方なのだということを学ぶという順序で如何でしょうか．これまでも，１次元理論 → ２次元理論 → ３次元理論 → という順序よりも，その逆の方がスッキリしていて良いという意見があるように，まだまだ議論の余地はあるようです．ただ，構造力学の中で，折りにふれて，他の力学との関係に触れることは重要なことと思います．

手を動かすこと

大学を卒業して社会に出た時，例えば，連続梁のモーメント分布が書けないと，「お前の大学では何を教えていたのか」等と言われそうなので，手を動かし実際にたくさんの問題を解かせているのかもしれません．しかし，実際に手を動かすことによって，力の流れがわかってくるのではないでしょうか．ここで，「力学のからくり」を教えることの重要性を否定するつもりは全然ありません．例えば，Castigliano の定理を誘導できることも重要ですが，それを使って正しい答を出すことも重要であるということです．さらに「力学的センス」を身につけるためには，やはり多くの問題を手を動かして解くのが早道のような気がします．又，多くの大学で構造実験が縮小する傾向にあるようですが，実際に歪ゲージを貼り，変形を観察することは重要なような気がします．いや，それは時間の無駄だと言われる方には，是非「力学的センス」を身につけるための教育方法を公開して頂き，それを実践していきたいと思います．

再び「構造力学の教育」

他の領域を眺めつつ，「自然科学」の基礎としての常識を教え，さらに社会に出た時，「お前の大学ではこんなことも教えないのか」と言われずにすむ程度の構造系特有のことを教え，さらにこれに時短化が要求され，我々はどの様にしたらよいのでしょうか．また，教育ばかりでなく，研究成果を出せなどと言われ，さらに新たな委員会のメンバーに指名され益々時間もなくなり，どうしたらいいのでしょうか・・・という愚痴は聞こえてきませんか．まだまだ努力が足らんという声も外から時々耳にします．

教える立場から言えば，いろいろな公式を覚えるよりは，力の流れ方がわかり，さらに学ぶことの楽しさや科学する方法を身につけてくれれば最高です．そのための教育方法を探しています．我々は，

教育を決しておろそかにしているつもりはありません.

5　１学期だけでやめる構造力学

そこで，当小委員会メンバーの数名で，１学期分だけ構造力学教育をすべての土木の学生 (非力学分野にのみ興味を持っている人もすべて) へ聞かせたいとすると，どういう内容にするか，ということについて案を出し合ってみたのが**表–3** です．結果的には十人十色ですが，それぞれに何等かの主張が見え隠れします.

6　梁に対する境界値問題の定式化 — 堀井先生

この問題に対する諸説明等の中には，棒軸線の曲率に比例した曲げモーメントが発生する理由について明確ではなかったり，なぜ直ひずみが曲率に比例した三角形分布になるのか等について正確でないまま，「弾性曲線の方程式」を誘導しているものがあります．これに対し，次のようなアプローチ (堀井先生のメモを岩熊が勝手に改竄したもの) はどうでしょう.

自然科学の方法と構造力学

現象	$\xrightarrow{\text{モデル化}}$	数理問題	$\xrightarrow{\text{解析}}$	解	$\xrightarrow{\text{応用}}$	工学的問題の解決
棒材の変形		境界値問題		$w(x)$, $M(x)$, $V(x)$		設計

棒材等の構造部材に力が作用したときの力学現象，すなわち，変形・断面力の発生を予測・再現することが構造力学の目標である．現象を支配しているメカニズムをモデル化反映することにより，物理的問題が数理問題に置き換えられる．その数理問題を解くことによって，現象の予測・再現が行なわれる．その結果を利用することにより，例えば設計や安全性の照査といった工学的問題の解決が果たされる．このような工学的問題を解決するための自然科学の一般的な方法において，モデル化の果たす役割は大きい.

写真 に示すような棒材の変形という現象において，支配的なメカニズムは何なのであろうか? 現象を予測・再現するためには，どのような数理問題を解けばよいのだろうか?

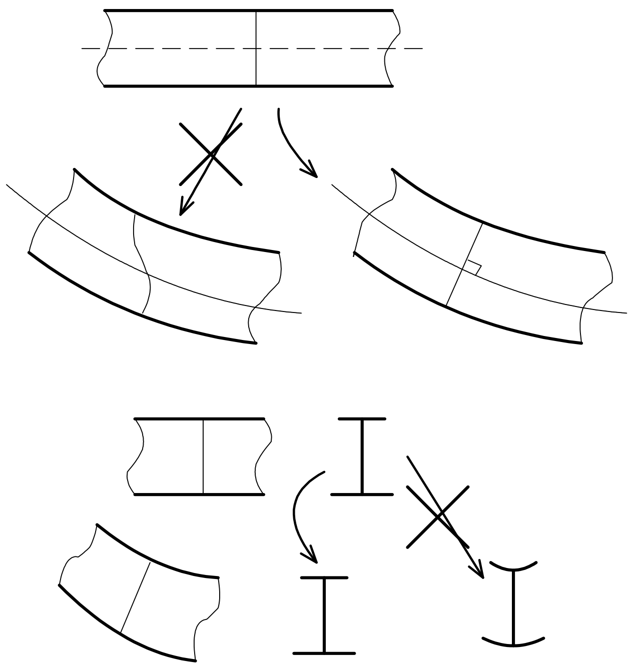
モデル化： 3D $\longrightarrow$ 1D

棒材の変形を支配しているのは材料の軸方向への伸び縮みである.
このメカニズムを反映して，以下の運動場の仮定を設ける.

1. 「部材軸に直角な平面は，変形後も軸線に直角で平面を保つ」 ＝ 「梁のせん断変形は無視できる」
   Bernoulli-Euler の仮定 (平面直角保持の仮定)

2. 「断面形状は変化しない」

3. 「変位は微小とする」



これらの仮定に基づけば，3 次元の物体の変形という 3 次元問題が，1 次元の問題，すなわち，曲げの問題に関してはたわみ $w(x)$ に関する 4 階の常微分方程式と境界条件とからなる境界値問題に，軸力の問題に関しては軸方向変位 $u(x)$ に関する 2 階の常微分方程式と境界条件とからなる境界値問題に帰着される．

変位場の仮定を設け低い次元の支配方程式を導くことが，構造力学の本質である．

以下では実際に上記の運動場の仮定により，棒材の任意の点における変位，ひずみ，応力が軸線上の変位によって表されることを示す．その応力を断面上で積分すれば断面力と軸線上での変位との関係が得られ，その関係式を断面力が満足すべき支配方程式であるつり合い方程式に代入すれば，軸線上の変位で表して支配方程式が導かれる．

以下省略

7　トラスの仮想仕事の原理 — 西村先生

これについても多くの教え方があるようですが，中には，原理そのものを連続体の抽象論，あるいは影響係数だけを用いた「代数梁」で概説した上で，エネルギー表現を梁やトラスのそれを代入することにより例題を解いているようなものもありそうです．特にエネルギーや仕事の形式にすると，スカラー量であるために計算は簡単に見えますが，力学としての理解が果たしてどこまで達成されているか，非常に問題になる代表的な問題が，仮想仕事の原理ではないでしょうか．正しく，しかし簡単な数学で説明すべきではないでしょうか．

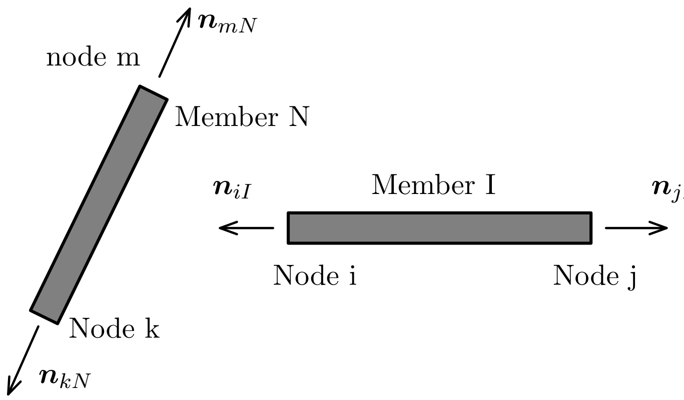
直線梁の場合は，Gauss の発散定理で比較的簡単に示すことができますから，ここではトラスの仮想仕事の原理について，西村先生のメモを再度岩熊が改竄したものを次に示します．

トラスの仮想仕事の原理

まず，トラスの全節点に番号を打ち，「節点 i」のように小文字のアルファベットで示します．また，全部材には大文字のアルファベットで「部材 I」のように名前を付けます．

ここで，次のようなベクトルを定義します．

$$\boldsymbol{n}_{iI} \equiv \begin{cases} \text{unit vector as in } \textbf{Figure} & (\text{if i = the end point of member I}) \\ \vec{\boldsymbol{0}} & (\text{if i} \neq \text{the end point of member I}) \end{cases} \tag{1}$$



釣合い系

$\boldsymbol{F}_i$ を節点 i に作用する外力 (反力，荷重など) の合力とし， N_I を部材 I の部材力とします．このとき，

$$\boldsymbol{F}_i = \sum_I \boldsymbol{n}_{iI}\, N_I \tag{2}$$

である $(\boldsymbol{F}_i,\, N_I)$ の組を釣合い系と呼びます．

適合系

$\boldsymbol{u}_i$ を節点 i の変位， δ_I を部材 I の伸びとし，

$$\delta_I = \sum_i \boldsymbol{u}_i \cdot \boldsymbol{n}_{iI} \tag{3}$$

となる $(\boldsymbol{u}_i,\, \delta_I)$ の組を適合系と言うことにします．

仮想仕事の原理

あるトラスの任意の釣合い系 $(\boldsymbol{F}_i^*,\, N_I^*)$ と，任意の適合系 $(\boldsymbol{u}_i,\, \delta_I)$ について

$$\sum_i \boldsymbol{u}_i \cdot \boldsymbol{F}_i^* = \sum_I \delta_I\, N_I^* \tag{4}$$

が成り立つというのが「仮想仕事の原理」になります．

（証明）

$$\sum_i \boldsymbol{u}_i \cdot \boldsymbol{F}_i^* = \sum_i \boldsymbol{u}_i \cdot \left(\sum_I \boldsymbol{n}_{iI} \, N_I^* \right)$$

ですから,

$$\text{Right-hand side} = \sum_I N_I^* \left(\sum_i \boldsymbol{u}_i \cdot \boldsymbol{n}_{iI} \right) = \sum_I N_I^* \, \delta_I$$

となり，証明終わりです.

8　こういった境界値問題と物理との関係

このアプローチはかなり数理に近いものとして構造力学を捉えています．そういった，モデル化以後の扱いとしての力学教育を考えたとき，従来のカリキュラム内容等とこの境界値問題的取り扱いとを比較して，極端な意見にまとめてもらったのが次の文章です．この文章は，堀先生に書いていただいたオリジナルのメモを岩熊が勝手に改竄したものです.

構造力学の近代化に関する意見 — 堀先生

議論を明確にするため，四捨五入した極論を試みます.

物理的な意味はさており，梁や柱に関する構造力学は，上のアプローチにあるように，数学的には常微分方程式境界値問題に過ぎません．では，3 連モーメント法やモールの定理といった構造力学の手法はどういった位置付けのものだと考えられるでしょうか?

極論すれば，数理的アプローチとこのような構造力学の手法の関係は，代数に対する鶴亀算や植木算に対応していないでしょうか?勿論，鶴亀算や植木算も，問題によっては非常に巧妙な方法で，数学的本質も含まれているでしょう．しかし，やはり，鶴亀算や植木算は代数方程式の特殊な解き方に過ぎず，本質的にそれ以上でもそれ以下でもないのではないでしょうか.

鶴亀算や植木算も非常に力を入れて教育された時代もあったのでしょう．しかし，2 次方程式や 3 次方程式，さらには，三角関数等の高級な問題をより若い時から学ばなければならない現代では，1 次方程式の特殊な解法に時間は割けなくなっているようです.

同じことが構造力学にも当てはまらないでしょうか？

近年，鶴亀算が教育されなくなった理由は，いろいろあるのでしょうが，1 次方程式より高級な問題に取り組む必要があることが主要なものでしょう．では，土木技術者が構造力学より高級な問題に取り組む必要があるのでしょうか?連続体力学へ進む，自然科学のアプローチの方法を学ぶ，土木で対象とする物理問題の領域を広げる，などいろいろ答えがあるようです．あるいは，常微分方程式境界値問題から偏微分方程への移行と言い換えてもいいかもしれません.

最後に付け加えますが，このように数学に重点を置くような話になると決まって，「構造物の力学挙動を観るセンス」ということが取沙汰されます．一方，鶴亀算にも鶴亀センス，植木算にも植木センスというべきものがあって，数学的本質らしきもののようにも匂います．しかし，1 次方程式がしっかり解ければ，それで十分だと考えるのが現実的ではないでしょうか.

少し極論過ぎましたが，鶴亀算の比喩を用い，『構造力学の次の問題』に焦点を当て，そういった側面からの考え方を示してみました.

表 –1 ： 大学での科目内容例

国立大学

A大学

構造力学 I　1. 構造材料の力学的性質

2. 引張・圧縮・せん断
3. 一般応力状態
4. 断面諸量
5. 静定ばり
6. はりの応力
7. 直線ばりの弾性変形
8. 平面トラス

構造力学 II　1. 骨組部材の弾性座屈

2. 初期不整を有する圧縮部材の強度
3. 棒のねじり
4. エネルギー諸定理
5. 不静定骨組構造物の解析

連続体力学　1. 弾性基礎理論

2. 平面応力・平面ひずみ問題
3. 平板理論
4. 薄肉構造理論

マトリックス構造解析学　1. マトリックス変位法による平面トラスの解析

2. マトリックス変位法による平面ラーメンの解析
3. 伝達マトリックス法
4. 有限要素法概説
5. 計算機による演習を含めて行う.

B大学

構造力学第１　1. 序論・力学の基礎：　構造力学とは；構造物の種類；構造力学の役割；基本仮定；力とモーメント；力の釣合；自由物体図；変位，変形

2. 応力：　応力の概念；応力テンソル；主応力; モールの応力円；釣合式
3. 変形と歪：　運動と変形；歪テンソル；歪の性質；適合条件
4. 材料の力学的性質：　応力ー歪関係； Hooke 則；熱膨張

5. 構造に作用する力の解析：　荷重と境界条件；静定と不静定；断面力；断面力の釣合式；断面力の影響線；トラスの部材力；トラスの影響線
6. 断面内の応力分布：　棒の応力；梁の曲げ応力；断面の諸量；曲げに伴うせん断力
7. 変形の解析：　棒の伸び；梁のたわみの方程式と境界条件；モールの定理；共役梁法；たわみの影響線；弾性床上の梁
8. 仮想仕事の原理・補仮想仕事の原理：　単位荷重法；単位変位法；相反定理；Müller-Breslau の原理
9. エネルギー原理：　（補）歪エネルギー；全（補）ポテンシャルエネルギー最小の原理；Castigliano の定理；最小仕事の原理；弾性（不）安定性
10. 座屈：　座屈の例；柱の弾性安定；梁ー柱の安定性；弾性拘束された柱の座屈
11. 行列を用いた解析：　行列表現；構造要素の性質；剛性行列とたわみ性行列；剛性行列の変換；３，４連モーメントの定理；たわみ角法；モーメント分配法
12. 数値解析法：　差分法；有限要素法；重み付き残差法；その他

構造力学第２

C大学

構造の力学 I　1. 構造とは何か

2. 静定骨組構造物
   (a) 骨組構造
   (b) 構造物の支持
   (c) 安定・静定・不静定
   (d) 静定トラス
   (e) 静定梁
   (f) 影響線
3. 弾性体の力学の基礎
   (a) 応力
   (b) ひずみ
   (c) 構成方程式
   (d) 弾性問題
4. 棒材の力学の基礎
   (a) 棒材の支配方程式
   (b) 棒材の境界値問題

構造の力学 II　1. 棒材の力学の基礎

   (a) 棒材に対する境界値問題
   (b) 超関数とグリーン関数法

2. 棒の内部の応用
   (a) 運動場の仮定から求める応力
   (b) つり合い条件を満たすせん断応力
   (c) 薄肉開断面に生ずるせん断応力
   (d) せん断中心
3. 骨組構造物の解析法
   (a) 部材要素の剛性方程式
   (b) 全体座標での要素剛性方程式
   (c) 節点におけるつり合い式と変位の適合条件
   (d) 全体構造に対する剛性方程式
   (e) 剛性方程式の解法
   (f) 構造解析プログラム
4. エネルギー定理
   (a) 仮想仕事の定理・補仮想仕事の定理
   (b) 棒材に対する仮想仕事と補仮想仕事の定理
   (c) 一般化された力，ひずみ，変位
   (d) 単位荷重の定理
   (e) 不静定力法
   (f) ポテンシャル・エネルギーの停留定理
   (g) 相反作用の定理とミューラー・ブレスロウの定理

設計のための力学　1. 構造力学の基礎
   (a) 棒材の力学
   (b) エネルギー定理
   (c) 骨組構造解析法
2. 弾性安定問題と柱および梁ー柱
   (a) 安定と不安定
   (b) 梁ー柱
   (c) 柱の曲げ座屈
   (d) 柱の非弾性座屈
3. 塑性解析の基礎
   (a) 単純塑性の前提条件
   (b) 塑性崩壊の条件と上下界定理
   (c) 単純塑性解析の手法
4. 棒材のねじれの力学
   (a) ねじれモーメントと変位の関係

(b) つり合い式と境界条件
(c) 薄肉断面材のねじれの理論の一般化
(d) ねじれをともなう棒材の座屈

5. 板の力学

構造解析の基礎　1. 破壊力学

(a) 破壊力学とは何か
(b) 線形破壊力学概略
(c) 応力拡大係数
(d) エネルギー解放率と破壊基準
(e) コンプライアンスとエネルギー解放率
(f) コンクリート・岩石の破壊力学

2. 弾性論

(a) 弾性問題・境界値問題
(b) 二次元弾性問題
(c) Airy の応力関数
(d) 複素数応力関数
(e) クラック問題の解

3. 塑性論概略

4. グリーン関数法と境界要素法

(a) 境界値問題
(b) 超関数
(c) グリーン関数
(d) 固有関数法
(e) 境界積分方程式
(f) 境界要素法

D大学

材料の力学　1. 力とモーメント：　力とモーメントの表現，力の合成と分解

2. 静定構造物における荷重と反力：　荷重と支点反力，静定梁の反力，静定トラスの反力，静定ラーメンと静定アーチ

3. 静定トラスの部材力：　静定トラスの定義，引張材と圧縮材，節点法と断面法

4. 応力：　応力の概念，応力の表現，応力テンソルの性質，モールの円（，応力の平衡方程式）

5. ひずみ：　ひずみの定義，ひずみテンソルの性質（，ひずみ楕円，ひずみの適合条件）

6. 材料の力学的性質：　応力ひずみ曲線，Hooke の法則，弾性エネルギー，材料の降伏（，材料の疲労）

構造力学Ａ　1. 安定，不安定，静定，不静定

2. 静定構造：　反力，断面力，はり，ゲルバー，間接荷重，トラス等
3. 影響線とその応用：　はり，ゲルバー，間接荷重，トラス等，連行荷重
4. 材料の性質：　Hooke の法則，ヤング率，鋼やコンクリートの応力－ひずみ関係
5. 断面諸量：　図心，断面１次・２次モーメント，モールの慣性円等
6. はりの曲げ応力，たわみ曲線
7. 軸力と曲げを受ける断面
8. 断面の核

構造力学Ｂ　1. はりの弾性曲線方程式

2. 弾性荷重法
3. エネルギー法：　重ね合わせの原理，外力仕事，ひずみエネルギー，仮想仕事の原理，ポテンシャルエネルギー最小の原理，補ポテンシャルエネルギー最小の原理，カスティリアノの定理，最小仕事の原理，単位荷重法，相反定理
4. 弾性方程式，静定基本系
5. 不静定構造の影響線： Müller-Breslau の定理
6. ３連モーメントの定理
7. モーメント分配法
8. たわみ角法

弾性体力学　1. 概説：　連続体，テンソル場

2. 変形：　変形の表現，ひずみの適合条件
3. 応力：　応力の表現，応力の平衡方程式
4. 構成モデル：　弾性，粘弾性，熱弾性
5. 線形弾性体：　基礎方程式系，エネルギ原理，簡単な境界値問題の例
6. ２次元問題：　応力関数，重調和方程式と例題，応力集中，亀裂の力学

振動解析学　1. １自由度系の振動：　運動方程式誘導と解法，エネルギー法則，減衰振動，正弦波強制振動・強制変位応答と共振，単位衝撃応答と Green 関数， Duhamel 積分による強制振動応答解析，複素応答と周波数応答関数， Fourier 解析・スペクトル解析の基礎と不規則振動

2. 多自由度系の振動：　２自由度系の運動方程式誘導と解法，自由・強制振動と動的増幅率，多自由度系への一般化，モードの定義と直交性，モード解析法，減衰の取り扱い
3. 分布質量系の振動：　弦の振動と波動方程式，梁の運動方程式の誘導と初期値境界値問題，変数分離による解法，モード解析法（，単位衝撃応答 (Fourier 解析＋ Green 関数)）， Duhamel 積分による外力応答解析とモード解析法
4. 梁の振動の近似解法：　古典的 Ritz 法， Galerkin 法概説，近代的 Galerkin 法と有限要素法

構造力学C　1. 柱の剛性方程式：　支配方程式から仮想仕事式の誘導，近代的 Galerkin 法としての剛性方程式の誘導，厳密な剛性方程式との比較，解の収束，直接剛性法，トラスの例題，内力の求め方

2. 梁の剛性方程式：　支配方程式と仮想仕事式，剛性方程式の誘導，厳密なものとの比較，内力（モーメント分布）の求め方，３連モーメント・たわみ角公式の誘導と意味
3. 平面骨組の剛性方程式：　柱と梁の合体，座標変換，解法
4. 平面問題への有限要素法の適応：　支配方程式と仮想仕事式，定ひずみ三角形要素の誘導，適用例
5. 場合によっては梁ー柱理論，つまり座屈を教える場合もある

E大学

構造力学１　1. 静力学の基礎

2. 静定ばり
3. 平面図形
4. 静定トラス
5. 構造物の弾性変形

構造力学２　1. 不静定トラス

2. 不定静ばり
3. モーメント
4. たわみ角法
5. moment 分配法

構造力学演習　1. 静力学の基礎

2. 静定ばり
3. 平面図形
4. 静定トラス
5. 構造物の弾性変形
6. 不静定トラス
7. 不静定ばり
8. moment

橋梁力学　1. 基礎理論

2. matrix 構造解析

私立大学

F大学

科目名は，材料力学 I，材料力学 II，構造力学 I，構造力学 II，構造工学設計・演習

1. 静定ばりの反力：支点，はりの種類，荷重
2. 静定ばりの断面力：せん断力と曲げモーメント，せん断力図と曲げモーメント図，荷重，せん断力と曲げモーメントの関係，影響線
3. はりの応力：曲げ応力，せん断応力，許容応力を考慮したはりの設計
4. 静定はりのたわみ：荷重，せん断力，曲げモーメント，たわみとたわみ角の関係，微分方程式による解法
5. 不静定ばり：静定基本系による解法，３連モーメントの定理，微分方程式による解法
6. 柱：柱の応力，許容応力を考慮した柱の設計，核とミドルサード，座屈
7. ひずみエネルギー：ひずみエネルギー，仮想仕事の原理，カステリアーノの定理，最小仕事の原理
8. 静定トラス：節点法，断面法，変形法
9. 不静定トラス：静定基本系による解法，変形法
10. ラーメン：たわみ角法
11. 塑性解析：不静定トラスの弾性限度荷重と塑性限度荷重
12. アーチ，ねじり，弾性床上のはり，板，有限要素法，振動は概略のみ

G大学

力学
1. 質点の力学
2. 質点系と剛体の力学
3. 力の置き換え

応用力学
1. トラスの解析
2. 梁の解析
3. 曲がり梁の解析
4. 梁とトラスの影響線
5. 断面諸量
6. モールの応力円
7. 梁内の応力
8. 梁のたわみ

9. 不静定梁

10. エネルギー法の応用

建設構造学 1. 構造物の力学モデル

2. 静定構造物の応力解析

3. 静定構造物の変形計算法

建設構造学２ 1. 不静定梁の応力

2. 不静定ラーメンの応力

3. 不静定トラスの応力

4. 不静定構造物の変形

5. ３連モーメントの定理

6. マトリックス変位法

建設構造学３ 1. 設計荷重

2. 影響線

3. 構造設計法

建設振動学 1. １自由度系の振動

2. 多自由度系の振動

3. 連続体の振動

表 –2 ： あるカリキュラムの改訂案

省略 (LaTeX 版をご覧ください)

表 –3 ： １学期で教える構造力学

α **先生**

1. 構造力学概説 はり，柱，骨組み，板の名称の理解，外力と内力，部材力と応力のイメージ

2. はりの種類と反力 支点の種類，はりの種類，荷重の種類，力のつり合いによる反力の計算 (静定構造物)

3. はりの部材力 せん断力，曲げモーメント，軸力の理解，せん断力図，曲げモーメント図，軸力図の理解

4. はりの変形 弾性変形，荷重・部材力・変形の関係

5. はりの応力 曲げ応力，せん断応力

6. 柱の応力，座屈

7. **骨組み解析** トラスの種類と断面法による部材力計算，ラーメン概説とたわみ角法，剛性マトリックス

8. **有限要素法概説** OHP やスライドあるいはビデオ

9. **その他の概説** 塑性解析，振動

β **先生**

1. **トラスの断面力**
2. **トラスの断面力 (断面法)**
3. **梁の断面力**
4. **梁の断面力 (ゲルバ梁)**
5. **曲がり梁 (アーチを含む) の断面力**
6. **梁の影響線**
7. **断面諸量 (図心，断面１・２次モーメント)**
8. **梁の支配方程式**
9. **梁の支配方程式 (計算例を主体)**
10. **一次不静定梁の解析**
11. **部材内の応力 (モールの円)**
12. **部材内の応力 (モールの円)**
13. **梁内のせん断応力分布**

γ **先生**

1. **構造力学とは何か**
   - 力学とは何か
   - 自然科学の方法：現象，モデル化，数理的問題，解析・現象の予測再現，工学的問題の解決
   - 設計と力学
   - 構造力学の全体像

2. **静定骨組構造物に作用する断面力**
   1. 基礎知識： 構造物，骨組構造物，棒部材，トラス構造，支持，支点反力，安定不安定，静定不静定
   2. 静定トラス： 各部材の軸力を求める，外力と内力，節点法 (切断法)
   3. 静定梁： 曲げモーメントとせん断力の分布を求める
      (a) 静定梁

(b) 支点反力：　全体のつり合いから支点反力を求める
(c) 断面力：　切断の概念，断面力の定義と求め方
(d) 断面力の分布：　曲げモーメント図，せん断力図を描く
(e) 荷重と断面力の関係：　断面力が満たすべき関係
- つり合い方程式
- 境界条件
- 曲げモーメントに関する境界値問題
- 集中荷重と集中モーメント：　超関数として取り扱う
- 断面力の分布の簡単な求め方：　分布形，連続性，端部での条件などを使う

3. 弾性体の力学の基礎　1. 応力

(a) トラクションベクトルと応力テンソル：　力の状態を表す物理量は何か
(b) つり合い方程式：　応力成分が満たすべき方程式

2. ひずみ

(a) ひずみテンソル：　変形の状態を表す物理量は何か
(b) ひずみ成分の物理的意味

3. 構成方程式

4. 弾性問題：　弾性体に対する境界値問題

4. 棒材の力学の基礎　1. 棒材の支配方程式

(a) モデル化：　3D $\longrightarrow$ 1D　構造力学の本質，運動場の仮定，変位場の表示
(b) 棒材の力学挙動を記述するための物理量
(c) 場の支配方程式：　変形と変位の関係，断面力と変形の関係，つり合い方程式，支配方程式の変位表示
(d) 境界条件

2. 棒材の境界値問題

5. まとめ

<u>δ **先生**</u>

1. オリエンテーション 構造物の種類，構造物の設計手順，構造物のモデル化，力の単位

2. 力のつり合い 力の３要素，力の性質と法則，モーメントの性質と法則，つり合い条件，自由物体，支点反力，部材に働く力

3. 構造物の基本的要件 構造物の支持の仕方 (ローラー支点，ヒンジ支点，固定支点，中間ヒンジ)，安定・不安定，静定・不静定，構造物の種類，支点反力，構造物内に働く力 (応力度と断面力)

4. 静定トラスの解法 節点法，断面法による解法

5. **静定はりの解法** 集中荷重，等分布荷重，モーメント荷重を受ける単純はりおよび片持ちはり，ゲルバーはりの N– 図， Q– 図， M– 図

6. **静定ラーメンの解法** N– 図， Q– 図， M– 図

7. **影響線** 定義と目的，はりの影響線，トラスの影響線，影響線の使い方

8. **材料の力学的性質** 弾性と塑性， $\sigma \sim \epsilon$ 曲線， $\tau \sim \gamma$ 曲線

9. **断面内の応力分布** 応力と断面力，軸力を受けるはり，曲げを受けるはり，曲げと軸力を受けるはり，断面の諸量，曲げに伴うせん断応力，モールの応力円

ϵ 先生

1. **内力と外力** 剛棒とバネの比較で内力の概念を，「てこ」と梁の比較で変形の概念を説明などする．どうにかして (?)，直応力 (変形できる物体の抵抗力) と伸びひずみ (変形) だけは教える．

2. **柱** 一本の柱の境界値問題の定式化．軸力を直応力で定義．軸力表示のつり合い式，軸力と伸び，伸びと変位を誘導．境界条件を誘導．弦や拡散等と同じであることを示す．

3. **柱の境界値問題** 簡単な柱を解き，微分方程式を境界条件のもとで解く常套手段を教える．可能なら固有関数法による解法で，固有値・固有関数と境界条件の関係を教えられたらいい (縦波伝播でもするか？) と思う．

4. **柱の仮想仕事式と近似解法** 前回の境界値問題に等価な仮想仕事式の誘導と，その近代的 Galerkin 法 (weak form) による近似解法を変断面柱で紹介する．

5. **柱の有限要素** Galerkin 法のひとつの応用としての有限要素定式化．剛性行列の特異性と解の存在．厳密解との比較．

6. **梁** 一本の梁の境界値問題の定式化．繊維や薄い板 (柱) を重ねたものとして，直応力の断面方向への線形分布を説明し，その合力としての曲げモーメントを定義する．曲率の説明．つり合い式と境界条件の誘導．

7. **梁の境界値問題** 分布荷重が作用した状態の簡単な問題を解く．また重ね合わせによって (不静定モーメントを用いて)，簡単な不静定問題を解く．静定と不静定の違いを 3 本足， 4 本足の椅子の問題で概説する．

8. **任意外力と影響線** 分布荷重が任意関数で与えられる場合，ある集中荷重による解で解くことができることを示す (Green 関数 = 影響線)．集中荷重点で分離して解く方法と， Dirac の delta 関数を用いる場合とを概説する．設計で最大曲げモーメントを求める必要性と，その影響線との関係について説明する．

9. **梁の仮想仕事式** 境界値問題と等価な仮想仕事式を誘導し，任意外力に対するの解を Galerkin 法で近似的に解く．

10. **梁の有限要素** 梁の有限要素を誘導する．

11. 梁中の応力状態 元にもどって，軸力・曲げモーメントと内部に発生する直応力の関係を示す．応力のつり合い式を誘導し，矩形断面梁中のみのせん断応力 (放物線) 分布を誘導する．

ζ 先生

構造力学の中での線形弾性体力学の基礎概念の紹介
特徴

1. 仕事・エネルギーの概念による整理
2. ２つの発展の系譜
   - 質点ー剛体ー連続体： *statics*
   - バネー連結バネ群ー弾性体： *kinematics & elasticity*

０．線形弾性体力学の準備

- 質点力学の復習（力と力の平衡）
- バネの力学の復習（力と変形の関係）

１．質点と剛体の静力学： *statics*

- 質点の平衡式：（任意の剛体変位に対して力が質点になす仕事）＝０から導く
- 剛体の定義：質点は回転によっても形が変わらないのに対し，剛体は回転によって形が変わって見える
- 剛体の力の平衡式：（任意の剛体変位に対して力が質点になす仕事）＝０から導く
- 剛体のモーメントの平衡式：（任意の剛体回転に対して力が剛体になす仕事）＝０から導く

２．材料の変形とエネルギー： *kinematics & elasticity*

- バネのエネルギー：（バネのエネルギー）はバネの変形である伸びの２乗に比例する
- 連結された１次元バネ群：任意の剛体変位に対してバネ群のエネルギーは不変：（バネ群のエネルギー）は変位の差の２乗の和として与えられる
- 連結された２次元バネ群：任意の剛体回転に対してバネ群のエネルギーは不変：（バネ群のエネルギー）は変位の差の対称部分として与えられるバネの伸びの２乗から決定される．変位の差は剛体回転によって変わるが，差の対称部で与えられるバネの伸びは変わらない

３．連続体力学の導入

- 連続体：場所毎に変形する物体．連続体の一部を切り出し，内力に関する仕事を考えると
  - トラクション：切り出した部分の大きさを０にする極限で，（内力のなす仕事）＝０から導く

  - 平衡：同じ極限で，（内力のなす仕事）／（剛体部分サイズ）＝０から導く
- 弾性体：バネのサイズが０になる極限の連結バネ．弾性体の一部を切り出し，エネルギーと変形の関係を考えると
  - 歪エネルギー：バネエネルギーの極限
  - 歪：変位差対称部分の極限として，変位の微分の対称部として与えられる
- 整理：テンソルによる整理
- 剛体変位・回転の一解釈：座標系によって不変な量の表現の方法．応力や変位を１点を中心にテーラー展開し，１次の項までテンソル表記する場合
  - 応力：０次の項がトラクションを，１次の項が平衡を与える
  - 変位：１次の項が剛体変位によらない量を，その対称部分が剛体回転によらない量を与える

9 構造工学委員会：力学教育研究に関する小委員会

最後に，この小委員会の設置目的を簡単に次に紹介しておきます．

背景： 高度成長期の終焉，社会構造の変化に伴って土木技術者の役割も変わりつつあり，土木教育全体に変革が必要になってきている．例えば，教育現場では，計画・景観などのいわゆるソフト系の講義の充実が課題となっており，それに伴った力学などのハード系の講義内容及びその体系の見直しが必要になってきている．また，産業界での人手不足，特に土木分野ではハード系技術者の不足が問題となっている．今後，国際競争力を保っていくためには，数は少なくとも，高度でオールラウンドな能力を持った技術者を育成することが急務となっており，社会人再教育が大学の今後の課題の一つとなると思われる．この他にも国際化の要請や大学院重点化の流れもあり，学部教育と大学院教育とを合わせた総合的な高等教育カリキュラムの検討が求められている．

一方，高度成長期における研究成果の蓄積・産業構造の変化・企業の研究体制の充実に伴って，大学に期待される研究分野・内容が変化しており，今後の力学関連の研究分野を模索している大学研究者が多い．これに加え，米国からの，「基礎研究の不足・Center of Excellence の欠如」などといった指摘をも考慮し，現実的に大学での後継者の育成を顧みると，新しい研究テーマの模索・大学での研究形態の変更・教育内容の変革がさらに必要となってきていると考えられる．

以上のような状況のもとで，土木工学における力学分野において，今までとは異なる新しい教育思想・研究思想が必要となる．

目的： 上記の背景を踏まえて，大学の果たすべき役割，大学で何を教えるべきか，大学で何を研究すべきか，等を力学関連の教育・研究を対象として議論し，提言を行う．

活動内容・期間： 主な活動目標は，背景にも記したような状況のもとで大学では力学教育をどのような形態・内容で行なうべきかを議論し，現状の問題点と課題を整理した上，新しい教育理念とカリキュラムの提案を行なうことがひとつである．さらに，今の実務に役立つ知識だけではなく，将来の土木を担う若者を育てるためには，どのような指導をする必要があり，またそのためにはどのような研究を大学で行うべきかを議論し，ひとつの方針を打ち立てる．教育・研究のあるべき姿は１つでは

なく，いろいろな考え方が並立しうるはずである．活動の方針としては，考えを１つにまとめるのではなく，ありうる考え方を数多く引出し，土木学会会員の間に活発な議論を誘起する事を目指す．

このような活動で委員間の考えが収束した暁には，例えば教科書シリーズの目次の提案かあるいは具体的な執筆作業の開始の可能性は高い．また，大学での力学教育・研究のあるべき姿などについては，全国大会時の研究討論会の開催や学会誌への提言の投稿としてとりまとめていく積もりである．

委員構成： 井浦 (東京電機大)，石川 (防衛大校)，大谷 (神戸大)，杉山 (山梨大)，高橋 (長崎大)，竹内 (明星大)，田村 (京大)，西村 (京大)，長谷川 (八戸工大)，藤井 (岐阜大)，堀 (東大)，堀井 (東大：幹事)，水野 (名大)，森 (法政大)，山口 (東大)，岩熊 (東北大：小委員長)

アンケート

省略 (LaTeX 版をご覧ください)