

3. 系統的教育に対する現状の反省と提案

--構造工学における位置付け--

以上の考察から、コンクリート構造の教育体系について議論する上で、次のような2点に分けて再考すべきであると考えた。すなわち、

- (1) 構造工学という大きな枠組みの中で、コンクリート構造工学を再度見直し、他学科目との関連性と役割分担を考える。
- (2) 次に、コンクリート構造工学そのものの系統的教育とその内容について再考するものである。

前述のように、コンクリート構造は構造工学の中に位置するが、今度は、在るべき姿をコンクリート構造を中心にして想定し、これを図 - 4 に示した。これは、前段となる基礎力学科目、同時進行する並行科目(これは2種類考えている) およびこれらの後に控える応用構造科目とによって構成され、コンクリート構造から見た理想的周辺環境である。このような提案は、現行のカリキュラムの基本形に近い形ではあるが、図 - 4 の科目群をフルメニューとして揃えている学科/大学院は限られていると考える。むしろ、その内容と相互の結びつき、あるいは教育側の連携と認識に問題はないか考えてみたい。

例えば、並行科目で中心となる土質力学や鋼構造工学(これをとくに特定材料並行科目と呼ぶ) および鉄筋コンクリート工学では、応力やひずみは同じ共通概念であるが、記号の統一にはほど遠く、ましてや圧縮と引張に対する正負の符号が異なることは、系統的教育に逆行するものである。鋼構造では引張は+、コンクリートでは圧縮を+とした講義が同時進行しては、学生は面食らうばかりである。もっとも、20数年前の自分自身を顧みて、このような矛盾に疑問を抱いた記憶が何等ないことも、また不思議な話である。すくなくとも、「本来の定義はこうであるが、コンクリート構造では のためこのようにし、土質の場合はこうする。」といった関連並行課目をまったく整然とした説明が不可欠である。

“引張”で思い出したが、これをコンクリートでは通例“いんちょう”と呼ぶが、鋼構造では“ひきはり”と称するのも何かチグハグな状況を象徴しているようである。すなわち、構造工学全体の中で、各担当教官が連携プレーに消極的であることは否めない。

さて、図 - 4 に戻るが、基礎力学科目については材料力学や応用力学が相当するが、とくに次のようなことが配慮されるべきである。

まず、材料力学はそれ自身のためにあるのではなく、そのあとのアプリケーションともいべき土質力学やコンクリート構造などの特定材料科目のためにあるということを強調したい。例えば、演習例題などでは、鋼だとかコンクリートだとか使用材料を特定して出題した方がよいと思う。例をあげれば、梁に負荷す

する等分布荷重を単に $q = 25\text{kN/m}$ として与えるのではなく、コンクリート橋もしくは鋼桁と特定し、その自重(死荷重)として等分布荷重を算出させた方が良く、学生も具体的なイメージを描きつつ問題に対処するであろう。反面、一つの材料に片寄って引き合いに出すと、弊害も起きる。例えば、I型断面は鋼材だけにあり、モールの応力円やモールクローン則は土質力学のためだけにあると思込んでしまう。

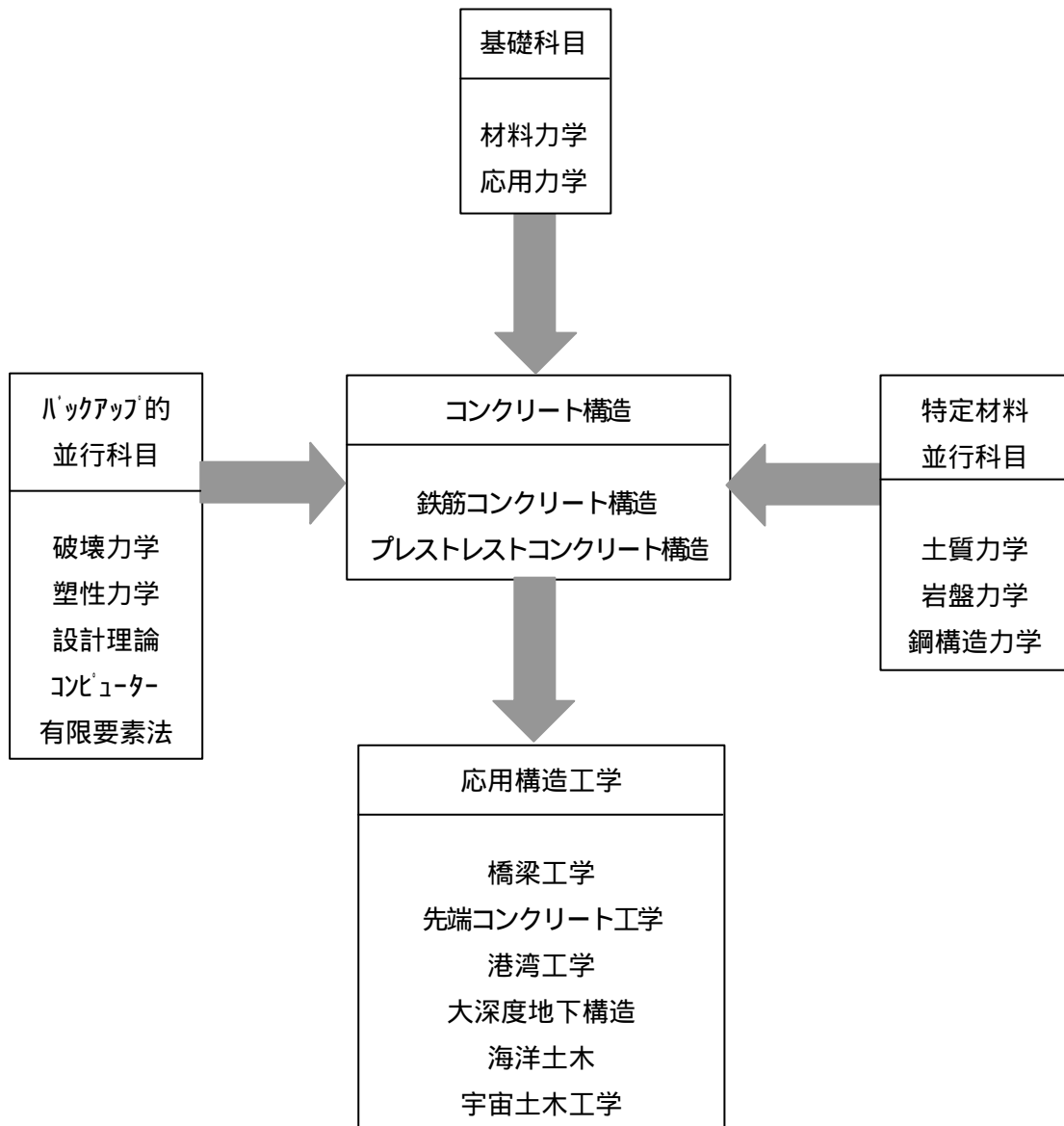


図4 - コンクリート構造を中心に考えた構造工学の教育体系

さらに加えるのであれば、中心圧縮力を受ける鉄筋コンクリート柱の応力分担(弾性問題)は、複合材料論の格好の入門版ともなるもので、材料力学もしくは応用力学のレベルで是非取り入れてもらいたい(事実、そのような記述のある大学向け力学書を知っている)言い換えると、図 - 4の流れの中では、下流側の科目への連続性および並行科目の連携を大切にしたいということで、系統的体系が絵空事に終始しないための重要な配慮である。

しかし、一方では、鉄筋コンクリートで換算断面2次モーメントを学習する際、以前習った断面2次モーメントの定義を再認識したり、土質力学で出てくるモーメントからモーメントの応力円を理解することも、学生からよく耳にすることである。すなわち、図 - 4の逆方向にも学習の流れ(理解の流れ)があることも事実で、反復学習法(ここでは基本 応用の反復)の大切さを再認識したい。

もっとも、このような提言(ある意味では当たり前な)は、応力の概念や断面2次モーメントを専門課程で何度も教えたくない、という教官側の本音でもある。

次に、並行科目については、考えられる科目数と内容にバラエティーに富み、各大学の持ち味を出し得る反面、カリキュラム上負担が大きく、系統的教育の立場からの理想像を実現するには困難を伴うであろう。

ここでも強調したいのは、「岩盤力学、コンクリート構造、鋼構造等は、本質的に同じ力学体系から派生し、使用材料が異なるだけ」という点から出発すべきであるということである。もちろん、それぞれの材料の「使われ方の特徴」は異なる訳であるが、このことについては、例えば、「岩盤や土構造は三次元 solid の形態をとることが多く、鉄筋コンクリートは梁や柱、壁部材として比較的スレンダーな部材として使用される」という説明が次に来るわけである。また、鋼材(例えば軟鋼)は“典型的な完全弾塑性材料であり、圧縮と引張に対して同じ挙動を示すが、構造上圧縮に対して座屈がクリティカルとなる”のに対して、コンクリートは“明確な降伏点を持たない高圧縮強度低引張強度材料(non-yielding and low-tensile strength material)”と説明してはどうか。これまでは、原材料・練混ぜ方法および強度・弾性係数の説明が主体で、力学的な特徴と違いをより高所からきちんと説明することが十分でなかったような気がする。もっとも、このようなことについては、土木材料論のような科目が担うべき役割で、コンクリート構造とその並行科目を横断する横糸が是非とも必要である。

加えて、塑性力学、破壊力学、設計理論(もしくは信頼性理論)、コンピュータ、有限要素法(マトリックス構造解析)などを並行科目として完備・充実させ、これらをオプション的に用いることが肝要である(これらをここでは、バックアップ的並行科目と呼ぶ)これによって、例えば、塑性力学 鉄筋コンクリート平板の終局耐力、設計理論 限界状態設計法、破壊力学 コンクリートのひび割れ進展 などの理解に役立ち、そのバックアップ的機能により、コンクリート構造の教育効果を著しく向上させることが期待できる。上記の矢印は、また逆向き(左向き)にも考えることができ、両者の相乗効果によって、コンクリート構造はもち

造はもちろんのこと、破壊力学や塑性理論といった高度な非線形分野についても、学部段階で十分履修し得ることが期待できる。

また、有限要素法を離散化近似手法と見るのではなく、数値実験をしてくれる tool として用いること（この場合、ブラックボックスでもかまわない）も一案である。効果的なグラフィック機能を援用すれば、構造解析や応力の流れを知るためのパワフルな教育手段となる。

このような並行科目（特定材料並行科目とバックアップ的並行科目）の充実は、コンクリート構造から見た手前勝手な提言ではあるが、図 - 4 の主座である「鉄筋コンクリート」のところに、「岩盤力学」と入れ替えても、大きな修正なしに同様の議論が展開できよう。一方、このような体系化の実施に際しては、カリキュラム編成上の問題点や履修者の消化不良、担当教員の不足といったネガティブな要素が予想され、とりあえずは（達成することは不可能ではないが）理想論として提言したい。

しかし、新しい理論や構造形式の出現に対しては、これらの並行科目（バックアップ科目）による補完が必須であり、系統的教育の観点からはなおさら重要となる。コンクリート構造の守備範囲だけでは、今後とも増えるであろう新しい分野に追従し得ないことは明らかである。

最後に、応用構造工学が締めくくることがになるが、これは、従来の橋梁工学や港湾工学に加えて、コンクリート製格納容器、PC斜張橋などを取り扱う先端的なコンクリート構造工学や、さらに、大深度地下構造、海洋構造、宇宙構造なども登場することになる。本学武蔵工業大学で、5年程以前から開設されている、極地構造工学特論（大学院）も応用構造学の一例である。