

「鉄筋コンクリート」の力学的特徴と系統的教育

- 構造工学での位置付け -
- 学部 / 大学院一貫教育シラバス -

武蔵工業大学

土木工学科 / 土木工学専攻

吉川 弘道

目 次

1 . 構造工学とコンクリート構造	1
2 . コンクリート構造の工学的・力学的な特徴と最近の傾向	4
2.1 コンクリート系部材の特徴	
2.2 コンクリート構造物の最近の特徴	
3 . 系統的教育に対する現状の反省と提案	9
-- 構造工学における位置付け--	
4 . 系統的教育に対する現状の反省と提案	13
-- 鉄筋コンクリートの系統的教育--	
5 . 学部 / 大学院の教育シラバス	16
6 . あとがき	22

1. 構造工学とコンクリート構造

教育体系の観点から構造工学を考えると、これは、材料力学・応用力学などと呼ばれる基礎的力学科目、土質力学のような特定材料を取り扱う力学分野、および特定構造物を対象とする応用科目(例えば、橋梁工学)の3領域で構成されると考えられる。図-1は、これらを模式的に表したものであり、呼称方法やその内容について、多少異論もあろうが、我国の大学課程(土木工学)における構造工学教育は、概ねこのような体系に従っていると言ってよい。そして、基礎的力学科目 特定材料分野 特定構造分野 の順で履修するのが一般的であろう。

コンクリート構造工学は、特定材料分野の代表選手の一つであり、土木工学の範疇では、鋼構造学、土質力学などと同じレベルに位置し、これらは、教育課程の中で学生が最も興味を示す課目群ではないか。従って、コンクリート構造の履修内容は、基礎力学科目の修得を前提とし、コンクリート材料の特徴や鋼との複合性を説明することから出発し、断面強度の算定へ移るのが、一般的な道筋となるであろう(図-2)

しかし、このような位置付けを正しく認識し、これをコンクリート構造の教育課程に反映させていたであらうか。鉄筋コンクリート部材は、ひび割れを許容する特殊な構造部材であることを強調し過ぎ、その結果、他の構造材料とは全く異次元にいるような感じを学生に与えてはいなかったか。また、伝統的に部材断面の強度計算が偏重されて、部材の変形、構造物全体の構造解析にどこまで話が進んでいたであらうか。

土木学会コンクリート標準示方書では、許容応力度設計法から限界状態設計への移行から約10年経過し、十分定着期間が完了しているように思われる。しかし、現在なお両設計法が併用となっている現実から、「設計法の教育法」にも何らかの工夫が必要である。

また、近年、コンクリート構造物の多様化・大型化(例えば、原子力格納容器、PC卵型消化槽、新構造形式のPC橋梁)が著しいが、昨今の教育内容はこれらに話が及んでいたであらうか、また、どこまでを扱い、その守備範囲とするかについても再考する時期であろう。

以降、本稿ではコンクリート構造工学のうち、とくに鉄筋コンクリートについてその位置づけと特徴を再認識するとともに、あるべき系統的教育内容について考え、その試案について述べてみたい。

なお、コンクリート構造工学では、現在、耐震(靱性)設計、耐久性設計、性能照査型設計が新しい概念として検討されているが、これについては別の機会にて報告したい。

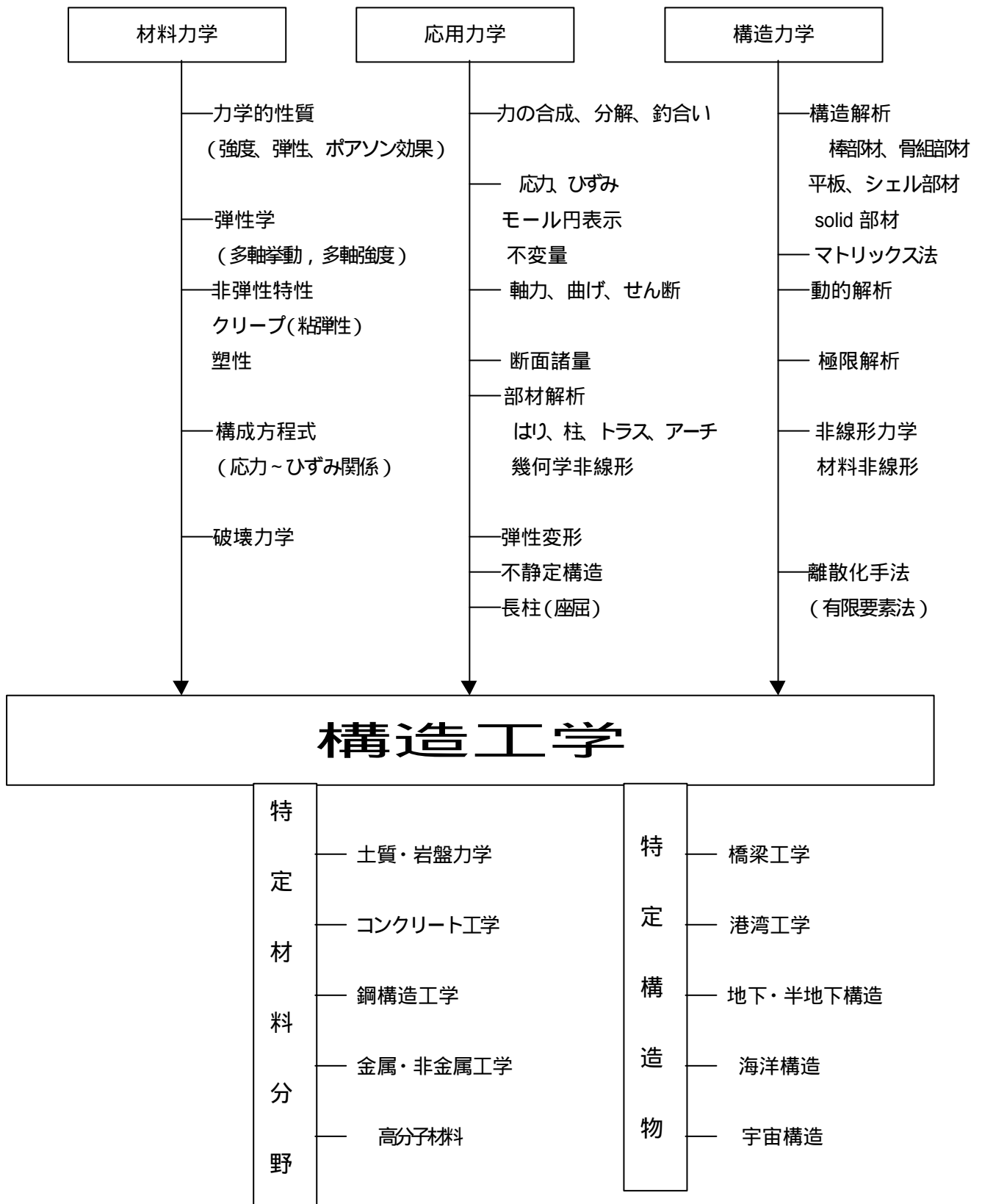


図 1 構造工学課程の体系

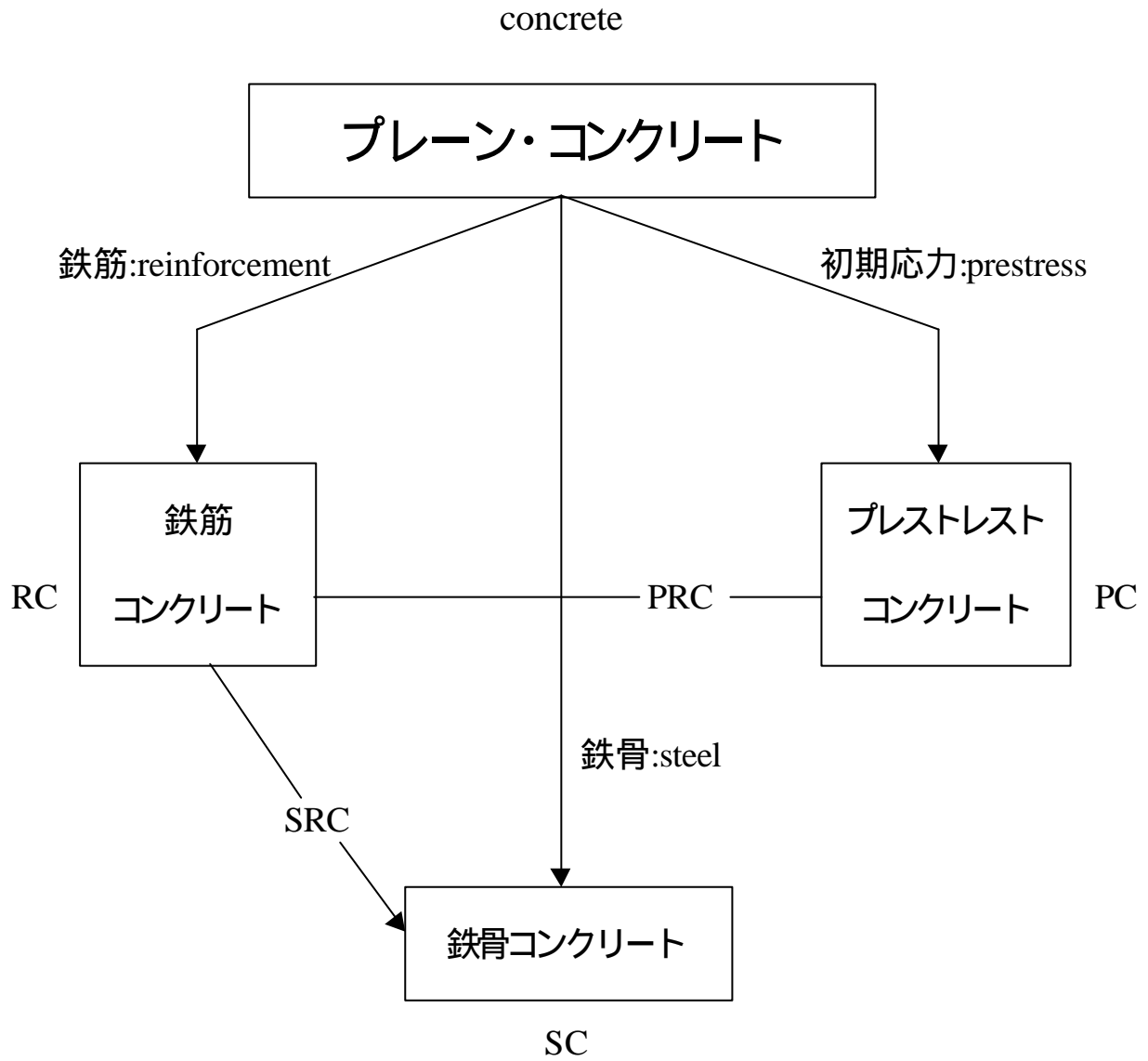


図 3 コンクリート系部材の断面形式

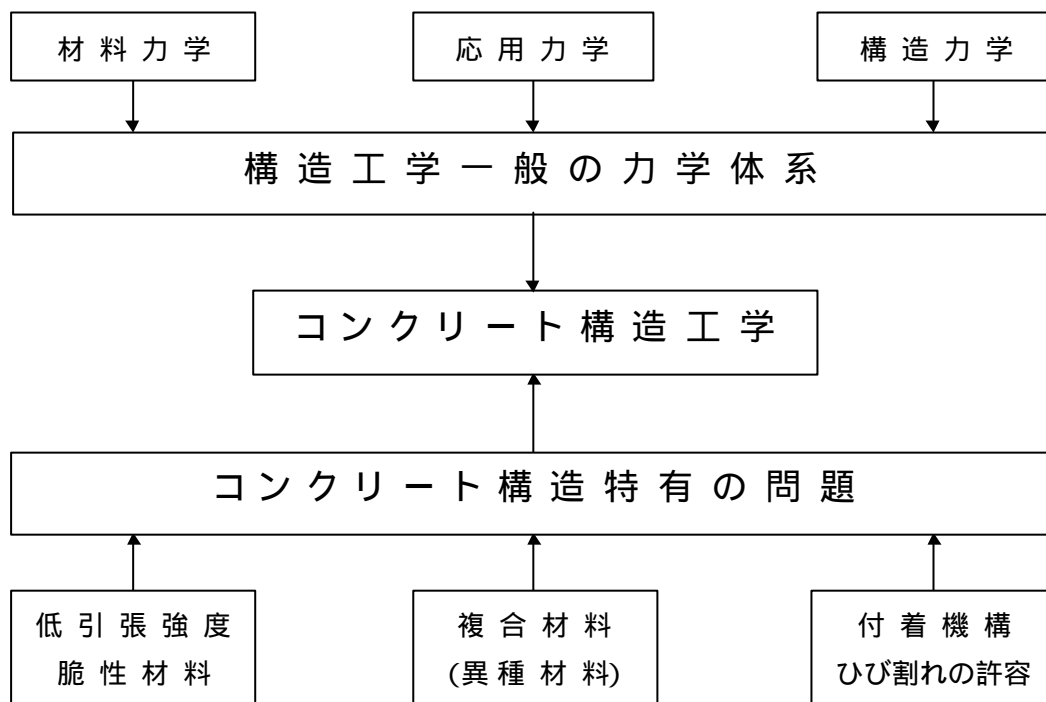


図 - 2 コンクリート構造工学の位置付け

2. コンクリート構造の工学的・力学的な特徴と最近の傾向

2.1 コンクリート系部材の特徴

コンクリート系部材は、よく知られるように、コンクリート材料に、ある補強材(reinforcement)、もしくは初期応力(prestress)を施すことにより、構造部材として機能する(図-3) これらは、一般に、鉄筋コンクリート(reinforced concrete) プレストレストコンクリート(prestressed concrete) 鉄骨コンクリート(steel-framed concrete) の3者に大別することができる。また、これらの中間的部材(特に、PRC, SRC)についても古くから研究され、実用にも供されている。このような、コンクリートおよび異種補強材料との複合性およびひび割れの許容は、コンクリート系部材が他の材料と区別される identity であり、経済的に優れた部材形式として長く多用されてきた由縁でもある。しかし、反面、その耐荷メカニズムは必ずしも単純ではなく、その解明はもとより、どのように教えたらわかりやすいかというのも、教育現場での長年の悩みでもあった。

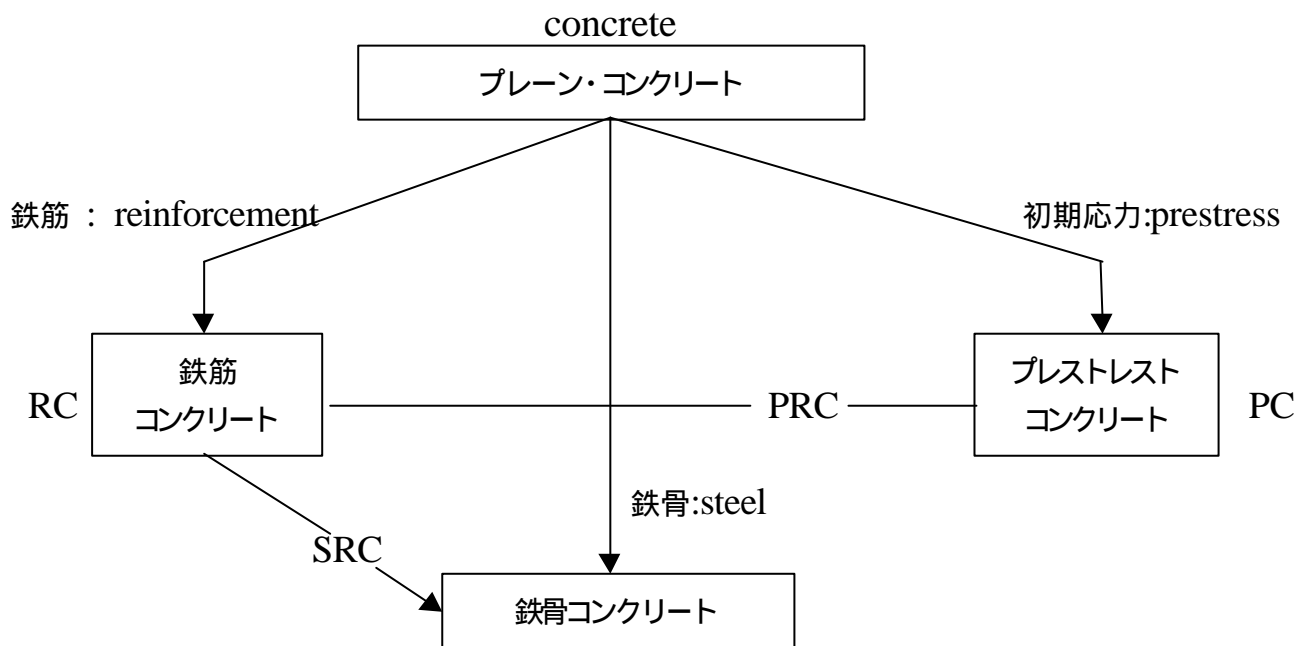


図 3 コンクリート系部材の断面形式

このようなコンクリート構造の特徴を列挙し、整理すると、表-1のようにまとめられよう。これらは古くから議論されてきたことであるが、教育体系の見直しの上でポイントとなるいくつかの項目について考えてみたい。

表 - 1 コンクリート構造特有の問題

コンクリート材料の特性

- ⇒
- ・ 高圧縮強度: 低引張強度(10:1)
 - ・ ぜい性破壊・ 複合材料(骨材+セメント・ペースト)

鋼とコンクリートの複合性

- ⇒
- ・ コンクリートの引張ぜい性破壊の防止
ひびわれ制御
 - ・ 鉄筋の拘束(confinement)による圧縮挙動の改善
柱, 梁
 - ・ 鋼とコンクリートの応力伝達
ひびわれの許容, 付着メカニズム

鋼とコンクリートの類似性・異種性

類似性

- ・ 化学的に互いに反応しない 化学的安定
 - ・ 熱膨張がほぼ等しい 温度変化に対する安定性
 - ・ 限界ひずみ能がほぼ等しい 塑性挙動
- (ただし, コンクリートの引張ひずみは除く)

異種性

- ・ 強度・剛性が異なる(とくに, 引張強度は, 100~200倍異なる)
- ・ 時間依存性(クリープ, 乾燥収縮)が異なる
- ・ 製作, 施工方法が異なる

鋼	工場製品+現場加工・組立
コンクリート	材料(生コン)購入+現場打設・養生

コンクリートの特徴としてまず挙げられるのは高圧縮強度・低引張強度の準脆性材料であることで、単一で機能することは少ない。一方、鉄筋棒鋼は比較的高強度の延性材料であるが、それのみで部材を形成することは必ずしも得策でなく、座屈や腐食の心配がある。そこで鉄筋コンクリートの登場となるが、これは鋼材(鉄筋棒鋼)+コンクリートの共同体であるが、両者の単なる重ね合せではなく、それ以上の相乗効果を発揮することを強調したい。

これはコンクリートの立場からみれば 圧縮域における靱性と強度の改善、引張脆性破壊の防止とひび割れ制御であり、鋼材から見れば 棒状鉄筋の座屈回避、腐食防止などが主なものとして挙げられる。

については、閉合した鉄筋からの拘束によって、コンクリートの急激な破壊を防ぎ、曲げ部材の圧縮域や柱では重要な特徴である。では、曲げ引張域やせん断ゾーンなどで過大な引張主応力が生じると間違いなく引張ひび割れ(引張破壊)が先行するが、鉄筋がコンクリートの引張力を肩代わりすると同時にその開口幅を制御している。すなわち鉄筋の配置によって、ひび割れ発生そのものを防ぐことはできないが、発生後の開口増幅を抑えている。ひび割れ幅制御は機能保持(使用限界状態)の立場からの設計要件であり、他の要件に先行してクリティカルとなることが少なくない。

とは、鉄筋コンクリート部材の耐力・耐久の立場から極めて重要であるが、震災に見られる柱主筋のはらみ出し、あるいは過度なひび割れや海砂の使用による鉄筋発錆は、残念ながらその効果が発揮し得なかった例である。

鉄筋コンクリートの特徴を、例えば鋼構造と比較してみると、次のことがいえるであろう。鉄筋コンクリートは、破壊力学が対象とするひび割れ先端からの脆性破壊、あるいは鋼部材では必ず問題となる座屈崩壊についてはほとんど触れずにすんだというありがたい利点を享受してきたが、一方では、複合性に起因する解析モデル構築の困難さや構造細目と施工管理の煩雑さなどが負荷としてのしかかっている。

また、これを設計上の立場から考えれば、鉄筋コンクリート構造は次のような特徴をもつ。第一に、変形・ひび割れ照査(使用限界状態)と断面耐力算定(終局限界状態)では異なる立場をとること。すなわち、耐力算定ではコンクリートを non-tension 材料として取り扱い、変形・ひび割れの計算では残存引張応力を直接的もしくは間接的に考慮する必要がある。第二に、終局限界状態における耐荷力算定では、破壊モードが単一でなく複数(通例、鉄筋降伏およびコンクリート圧壊)存在する。このような事実は他の材料系ではあまり見られない特性である。

以上までの指摘は、教育体系の系統的組立の問題点と言うよりむしろ、その教育内容や教え方の問題と言うべきことかも知れないが、少なくとも、教育体系の見直し作業の前にまず再認識すべき力学上の特質であると考えられる。

2.2 コンクリート構造物の最近の特徴

コンクリート構造物は、その造形が比較的自由であることから、多くの構造形式が誕生し、近年その多様化は著しい。これらの構造形式をまとめると表 - 2 のように示すことができる。これらは、従来からある柱・梁部材の単軸棒部材から始まり、スラブ・平板などの平面部材、さらに、平面部材または曲面部材で構成される立体折板構造もしくは曲面シェル構造、および重力式ダムで代表される3次元の中実構造(マスコンクリート)など多岐にわたり、その適用範囲も広い。また、構造物の大型化ということも近年の特徴である。

同表のうち、伝統的な柱・梁部材(棒部材)と3次元中実構造(これは無筋コンクリートであることが多い)を除くと、多くの構造部材は、薄肉平面部材もしくは薄肉曲面部材およびその集合体と見ることができ、近年種々の形式が開発され、あるいは海外から導入されていることはよく知られているとおりである。

なかんずく、コンクリート製LNGタンク、原子力格納容器(PCCV)、PC卵形消化槽の計画・建設は記憶に新しく、特筆すべきエポックメイキングであるとともに、表現は悪いが、コンクリート教育者にとってはビジネスチャンスでもあったはずだ。

しかし、現行の教育内容は、依然として棒部材を対象とした曲げ、せん断、ねじりの世界であり、このような新しい構造部材についてはほとんど無防備であると言わざるを得ない。もっとも、非対称荷重を受けるコンクリート円筒シェルの構造解析と設計法を、現体系にあるコンクリート構造での科目内で賄うのは到底無理な話であり、そのようにすべきかどうかという議論も出よう。むしろ、このような、言わば巨大なハイテック技術に対しては、どのようなイントロダクションを学生に与えたらよいか、また、どのような構造工学系科目と連携したらよいかということが、当面の検討すべき問題点であると考える。

表 - 2 コンクリート構造部材の構造形式と適用例

分類	構造形式	適用例
棒部材	梁, 柱, ラーメン	桁橋, 建屋の大梁・小梁, ラーメン構造, RC 短柱・長柱, 箱桁橋
平面部材	スラブ, 平板, 壁, ディープ・ビーム	床スラブ, 耐震壁(壁式構造), 連続地中壁
立体折板構造	ボックス壁	原子炉建屋, 海上プラットフォーム基礎
立体曲面構造	シェル, 中空円筒	RC シェル, アーチダム, HP 冷却塔, 原子力格納容器, PC 水槽, サイロ, LNG タンク
3次元中実構造	マス・コンクリート	重力式ダム, 基礎フーチング, アンカレイジ

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っ込んでしまう。

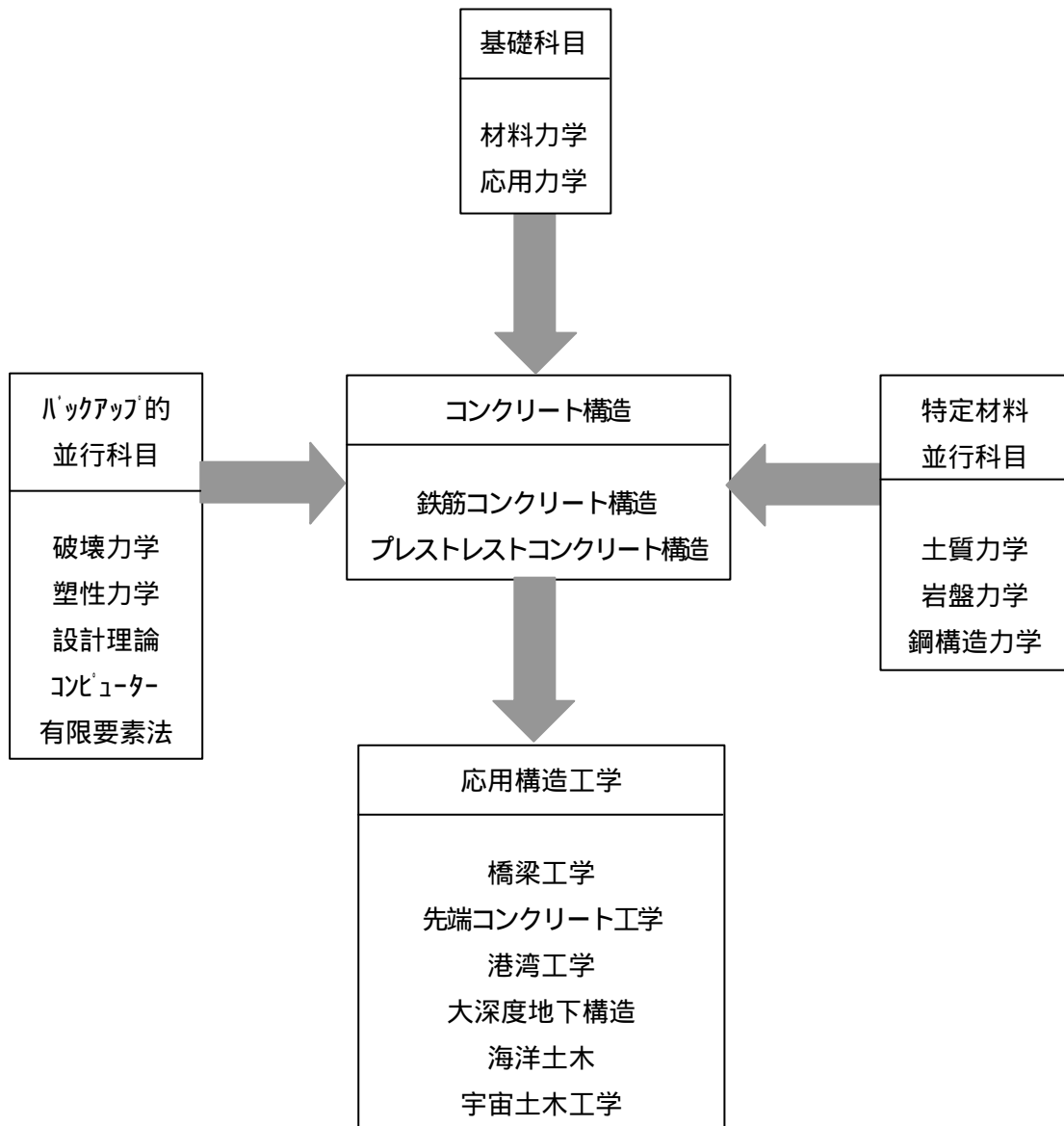


図4 - コンクリート構造を中心に考えた構造工学の教育体系

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ル則からモール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。

4. 系統的教育に対する現状の反省と提案

--鉄筋コンクリートの系統的教育--

最後にコンクリート構造工学そのものの教育内容とその系統的な体系について考察し、具体的な教育シラバスを提示したい。

鉄筋コンクリートの教育上の問題としてよく話題になるのは、耐荷メカニズムの解明や部材解析の理解に重きを置くか、それとも、具体的な設計手法を優先させるか、ということがある。しかし、これらは全く相反するものではなく、表裏一体のものであることをまず認識すべきではないか。

そこで、これら両者の関連性を含めて体系的な教育体系の図化を試み、これを図 - 5 に示した。この体系図は、**序論** **部材解析** のブロックがコンクリート構造のメカニズムの把握やその解析・算定手法の記述などで構成されているのに対して、**設計概論** **設計手法** では設計理論と限界状態設計法の適用について触れる。ここで特に大切なことは、**設計概論** と **設計手法** が相互に関連を持ち、図中に示した破線のような関係にあるということである。

また、先の 2.2 で指摘した大型のハイテック構造については、図中 - 5 に示した先端構造にてその基本概念を学び、**構造設計例**において具体的な構造物(例えば、LNG タンク)を取り扱うものとする。この場合、弾性問題に限定しても相当高度なものになり、教授法や時間配分について容易ならざるものがあり、並行科目群との連携プレーが必要不可欠となる。

同図はまた、これだけのボリュームを例えば学部 3 年生の一年間 2 コマで消化し得るかどうかは別問題と考えている。また、各ブロックに割り当てる時間はもちろん同一ではなく、おそらく、**部材解析**のうち 1. 断面解析、2. 変形解析・ひび割れ挙動 で全体の 50%を費やしてしまうであろう。

ここで最も重要かつ授業の大半を占めるであろう、**設計概論** - 1,2 およびこれに対応する **設計手法** - 1,2 についてさらに考えてみたい。

- 1 は、曲げモーメントやせん断力などが作用したときの梁部材の耐荷機構や耐荷力の算定式を学ぶところである。鉄筋コンクリートと言えばまず思いつく代表的な領域である。この中で最大耐荷力に着目して、これを安全係数というフィルターを通して考えると、これは **設計概論** - 1 の終局限界状態での設計に該当する。終局限界状態では、材料強度 最大耐荷力という図式であり、設計断面力 材料の応答力のような逆方向を辿ると今度は許容応力度設計法となる。このようなことも、**設計概論** - 1 と **設計手法** - 1 の関係から読み取ることができる。

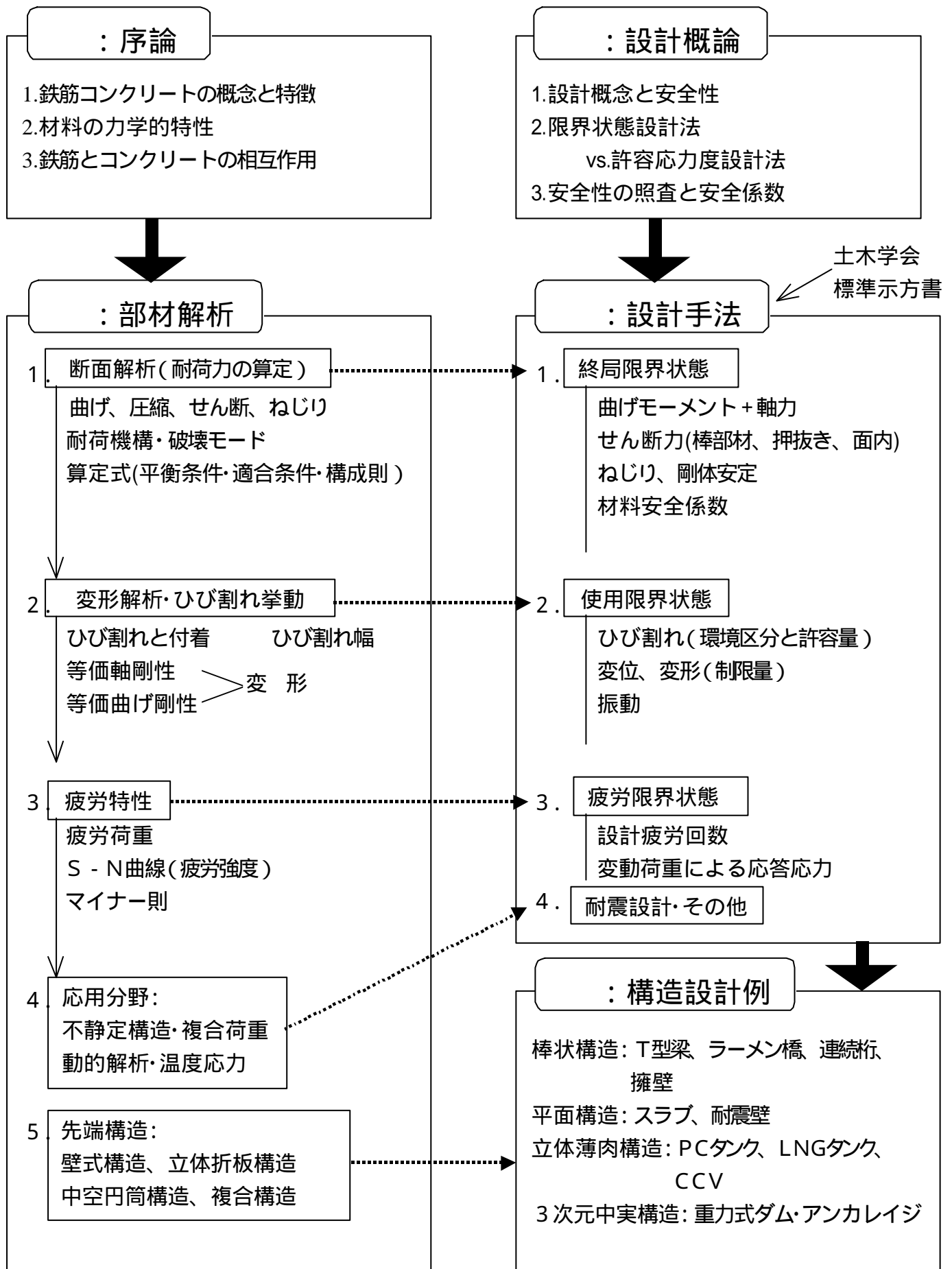


図 - 5 コンクリート構造の系統的教育に関する全体像

また、付け加えるのであれば、曲げ耐力の算定については、断面内のひずみの直線仮定や等価応力ブロックの採用により、きわめて整然と導出されるのに対して、せん断耐力のそれについては、何かはっきりせず、どうも教えにくいというのは多くの教員が感じていることであろう。

同じく、 - 2 では、変形とひび割れを対象とし、その具体的な量を解析モデルにて算定することを目的とする。一方、これらを制限値(許容値)という観点からみると、これは - 2 の使用限界状態の設計照査となる。

ここでは、終局限界状態と使用限界状態での仮定上の違いをきちんと説明することが大切であり、曲げ部材を例にとると、両限界状態が $M \sim$ 関係図のどこに位置するかを理解させることが肝要である。すなわち、終局限界状態では、圧縮コンクリートと鉄筋は極限状態(圧壊と降伏)を考え、引張コンクリートは全く無視される。これに対して、使用限界状態では、材料応力は線形領域でよいが、引張側コンクリートはひび割れ発生後を考え、適切な残存応力状態(ここでは、軟化と除荷が混在している)を考慮しなければならないことが最も難しいところである。すなわち、使用限界状態では、non-tension 仮定が、設計上必ずしも安全側にならないということである。

このような、いわゆる状態 と状態 の中間に位置する中途半端なところを考えなければならないのは、最もコンクリート構造らしい一面ではあるが、付着機構を含めた引張硬化(tension -stiffening) の概念とメカニズムをわかりやすく伝えるのは容易でない。ひび割れと付着機構を理論的に取扱いにくいことは、ひび割れ幅や等価剛性(Branson の曲げ剛性など)が、ほとんど実験式で記述されている事実から伺い知ることができ、曲げ理論やせん断理論に比べて見劣りがすると言わざるを得ない。使用限界状態や変形解析の重要性が見直されている昨今、教育現場からのニーズとしても早急に改善したいところである。

一方、疲労問題(- 3)および疲労限界状態(- 3)は、上記の終局強度、変形解析とは趣を異にし、その教え方に工夫が必要であることが、これまでの体験的実感である。すなわち、疲労限界状態の照査を、断面力(振幅)または疲労強度(応力振幅)で行うのか、繰り返し回数で行うのか、受講学生にはなかなか理解し難い。ここでは、適切な例題の出題が不可欠である(疲労だけに限らないが)。

5．学部 / 大学院の教育シラバス

次に、図 - 5 の内容を全て網羅して取り扱うかどうかは別として、どのような順序で教えたなら最も効果的であろうか。時間が十分にあれば、鉄筋コンクリート構造の基本である と を完了させてから、設計法に関する および に進み、最後に として設計例を取り扱いたいところである。しかし、時間的な制約やその関連性から、：部材設計と：設計手法を交互に往復するのが効率的であろう。事実、多くの大学向けの教科書は、曲げ、せん断、軸力(柱)といった順序になっており、それぞれの項目の中にメカニズムと設計とが同居している。

結論としては、図 - 5 のような教育体系を基本とし、遂行上の制約(配当時間や受講学生の人数とレベル) を勘案してその内容と順序を決めることになると考えられる。

ここで、シラバスの具体例として、武蔵工業大学土木工学科での実施例を提示したい(図 - 6(a)~(d))。これらは、鉄筋コンクリート(1)(学部2年後期)と鉄筋コンクリート(2)(学部3年前期) ならびに鉄筋コンクリート特論(大学院研究科の前期と後期) の教育課程の授業要目(シラバス) を示したものである。これらは大学学部2 コマ(図 - 6(a),(b)) および大学院2 コマ(図 - 6(c),(d)) から構成され、本年平成9 年度に初めて全4 コマを完了することになる。

同図からわかるように、学部段階では鉄筋コンクリートの紹介と材料の説明から入り、曲げとせん断についての考え方と計算法および限界状態設計法(許容応力度法も一部含む) を学習することになる。さらに、大学院では、これらの未消化部分を復習・強化するとともに、ねじり部材や平面部材(面内力、面外力を受ける部材) を加えている。最後に、RC 構造の耐震設計特論を本年度より開講し、図 - 6 (d)のような内容で実施している(ただし、この科目に限っては、適当な教科書がないこともあり、受講学生の分担によるレポート作成/発表形式として現在試行している)

これら一連のシラバスは、必ずしも学部 / 大学院一貫教育体系とは言い難いが、限られた受講時間と大人数教育(学部 100 人、大学院 25 人程度) の中での実施例である。

一方、講義および演習用のテキストとしては、筆者による出版図書(鉄筋コンクリートの解析と設計- 限界状態設計法の考え方と設計- : 丸善(株)) を用いているが、その目次を図 7 に示した。併せて、参考にしていきたい。

以上のようなシラバスおよびテキストによる講義を試みてから、3 年間程度経過したが、現在なお試行錯誤が続いている。

鉄筋コンクリート --- 授業内容と履修の要点

(2年後期分の授業計画)

授業計画

回数: 月日	授業内容	参照箇所
1:	鉄筋コンクリートの特徴と種類	1章: 部材の種類、3要素、etc. [O.P.アドバイス]
2:	材料(鉄筋、コンクリート)の応力とひずみ、変形、強度	2章: 2-1、2-2 [例題 2.1、2.3]
3:	鉄筋とコンクリートの複合構造 (単軸圧縮部材)	2章: 2-3-1 [O.P.アドバイス]
4:	鉄筋とコンクリートの複合構造 (乾燥収縮を受ける部材)	2章: 2-3-2
5:	曲げ部材の解析と材料応力 (許容応力度設計法)	4章: 4-1、4-2、4-3 [例題 4.2] [O.P.アドバイス]
6:	曲げ部材の耐荷機構と終局耐力 (等価応力ブロック法による算定)	4章: 4-4 [例題 4.3]
7:	曲げ部材の限界状態設計法 (終局強度の算定)	4章: 4-5 [例題 4.4]
8:	復習と演習	配布プリント
9:	せん断部材の特徴と耐荷機構 (曲げ補強とせん断補強)	6章: 6-1、6-2 [例題 6.1]
10:	せん断部材の設計法 (修正トラス理論による算定法)	6章: 6-3-1、6-3-2、6-3-3 [O.P.アドバイス]
11:	せん断部材の限界状態設計法 (終局強度の算定)	6章: 6-4-1、6-4-3 [例題 6.3]
12:	柱部材の特徴 帯鉄筋柱とらせん鉄筋柱 (終局強度設計法)	5章: 5-1、5-2 [例題 5.1]
13:	復習と演習	スライド: コンクリート構造物の種類
14:	期末テスト	全学習範囲

図-6(a) 学部における教育シラバス(武蔵工業大学土木工学科の例)

鉄筋コンクリート 授業内容と履修の要点

(3年前期分の授業計画)

授業計画

回数: 月日	授業内容	参照箇所
1:	鉄筋コンクリートの 許容応力度設計法	1章: 部材の種類、3要素、etc. [O.P.アドバイス]
2:	鉄筋コンクリートの 限界状態設計法	2章: 2-1、2-2 [例題 2.1、2.3]
3:	曲げ部材の 使用限界状態とひび割れ幅	2章: 2-3-1 [O.P.アドバイス]
4:	ひび割れ幅に関する安全照査 (ひび割れ幅算定と許容ひび割れ幅-例題)	2章: 2-3-2 スライド-コンクリート構造物の種類
5:	曲げ部材のひび割れと変形挙動 (等価曲げ剛性の算定)	4章: 4-1、4-2、4-3 [例題 4.2] [O.P.アドバイス]
6:	曲げ部材の等価剛性と変形解析 (演習例題)	4章: 4-4 [例題 4.3]
7:	疲労限界状態と材料の疲労設計	4章: 4-5 [例題 4.4]
8:	復習と演習 (または中間テスト)	1～7回の学習範囲
9:	曲げ部材の疲労設計 (演習例題)	6章: 6-1、6-2 [例題 6.1]
10:	せん断部材の疲労設計 (演習例題)	6章: 6-3-1、6-3-2、6-3-3 [O.P.アドバイス]
11:	軸力と曲げを受ける部材の 耐荷機構と破壊包絡線	6章: 6-4-1、6-4-3 [例題 6.3]
12:	鉄筋コンクリート構造 -耐震構造と震災例(スライド)-	5章: 5-1、5-2 [例題 5.1]
13:	軸力と曲げを受ける部材の終局強度設計法	9～12回の学習範囲
14:	復習と演習	全学習範囲

図-6(b) 学部における教育シラバス(武蔵工業大学土木工学科の例)

鉄筋コンクリート特論 授業内容と履修の要点

(大学院講義その1)

授業計画

回数: 月日	授業内容	参照箇所
1:	RC 部材の各種設計法---考え方と照査の方法 許容応力度法、限界状態設計法、荷重強度係数法、	3章: 3-1、3-2、3-3(一部省略) [O.P.アドバイス]
2:	信頼設計法の学習と練習問題による各種設計法の比較	レポート提出[例題 pp.59-63]
3:	曲げを受ける部材の終局耐力 -各自学部の学習箇所を復習-	4章: 4-4 曲げ部材の終局耐力 演習問題[例題 4.3、4.4] オプション
4:	軸力と曲げを受ける部材の耐荷機構 (M N e の関係、偏心軸圧縮、弾性解析)	5章: 5-3 弾性解析 1軸曲げ、2軸曲げ、コア、断面係数、縁応力
5:	軸力と曲げを受ける部材の終局耐力 (コン圧縮破壊型、鉄筋降伏先行型、耐力式の導入)	5章: 破壊包絡線---見方、考え方 [O.P.アドバイス] レポート提出[例題 5.2] またはパソコンによる M-N 包絡線の作画
6:	せん断部材の解析---梁部材	6章: 6-1 ~ 6-4
7:	(耐荷機構、トラス理論、せん断設計)	例題演習[例題 6.2、6.3](復習)
8:	せん断部材の解析---柱部材 (柱部材(片持ち梁形式)の特徴と耐震性)	配布プリントによる学習 土木学会、建築学会、その他のせん断設計法、 地震時の挙動とせん断耐震設計法
9:	ねじり部材の解析 (耐荷機構と耐力の算定法、立体トラス理論)	7章: 7-1 ~ 7-4 [O.P.アドバイス] 例題演習[例題 7.1] オプション
10:	スラブの解析---曲げ解析 (1方向/2方向スラブ、有効幅、耐力)	8章: 8-2、8-3 レポート提出[例題 8.1]
11:	スラブの解析---押し抜きせん断 (終局耐力の算定法)	8章: 8-4 レポート提出[例題 8.2] オプション
12:	面内力を受ける部材---面内せん断耐力	9章: 9-1 ~ 9-4(一部省略)
13:	(塑性理論、土方書の方法)	レポート提出[例題 9.1]
14:	全体のまとめと復習 テスト範囲	今期に講義にて学習した範囲

[O.P.アドバイス] --- 各章にある One Point アドバイス(ページ)

図-6(c) 大学院における教育シラバス(武蔵工業大学土木工学科の例)

鉄筋コンクリート特論 鉄筋コンクリートの非線形挙動と耐震設計

- 授業内容と履修の要点 -

授業計画

項 目	内 容
0:振動理論の基礎	耐震工学入門(平井、水田著) 「振動」を各自熟読のこと
1:コンクリート構造物の震害例	阪神大震災の被害記録の整理 RC 橋脚の破壊モードと震害区分
2:RC 柱の非線形挙動と破壊モード	模型/実大実験のとりまとめ P- 曲線、繰り返し挙動、変形能(靱性率) 破壊形式(曲げ/せん断) 耐震補強
3:RC 柱の繰り返し挙動と 復元力特性のモデル化	応答解析に用いる非線形モデル バイリニア-、トライリニア-、竹田モデル、 復元力、粘性減衰、等価線形化法
4: 拘束コンクリートの特性 (Confined Concrete の特徴)	横拘束を受けるコンクリートの挙動 帯鉄筋柱とらせん鉄筋柱の特徴 コンクリートの多軸挙動
5:RC 柱の非線形動的応答	規則波、不規則波(実地震記録) 非線形システムの応答 時刻歴応答、応答スペクトル
6:RC 柱の耐震設計	震度法、修正震度法、応答スペクトル法 コンクリート標準土方書、道路橋土方書 海外での設計法
7:設計細目と耐震補強	構造細目:配筋 耐震補強:鋼板、新素材 設計仕方書での記述
8:その他	

図-6(d) 大学院における教育シラバス(武蔵工業大学土木工学科の例)

鉄筋コンクリートの解析と設計

限界状態設計法の考え方と適用

吉川弘道 著

目次

- I. 鉄筋コンクリートの基礎と設計法
 - 1. 鉄筋コンクリートの特徴と構造
 - 2. 鉄筋とコンクリートの材料力学
 - 3. 鉄筋コンクリート部材の設計法
- II. 梁・柱部材の断面解析と終局限界
 - 4. 曲げモーメントを受ける部材
 - 5. 軸力と曲げを受ける部材
 - 6. せん断力を受ける部材
 - 7. ねじりモーメントを受ける部材
- III. 平面部材の終局限界
 - 8. 面外力を受ける平面部材
 - 9. 面内力を受ける平面部材
- IV. 使用限界・疲労限界に対する検討
 - 10. ひび割れと変形
 - 11. 疲労荷重を受ける部材

丸善株式会社

定価 4,429円 (本体 4,300円・税 129円)

ISBN4-621-04061-8 C3051 P4429E

図-7 大学用テキスト「鉄筋コンクリートの解析と設計」の目次

6. あとがき

本論にて提案する系統的教育への改善には、専門とする大学関係者の努力もさることながら、外的な環境も同時に見直されなければならない。抜本的な教育体系の改訂には、現行の単位制度が必ずしも機能的ではないことは明らかである。

大綱化のもと平成3年6月に大学設置基準が改正されたが、これは各大学の自由裁量を認めようとするものであり、一方では、大学自身はその教育活動を厳しく自己点検することを骨子としている。従って、カリキュラム上の自由度が著しく増し、大学や専門教員の強い個性を発揮する土壌が整うチャンスとなっているが、同時に、確固たる教育理念と独自性が問われることにもなる。

例えば、学部課程でコース制を実施することも可能になり、さらには、従来の土木工学、機械工学といった区分けがなくなることも十分考えられる。本文で提言したような構造工学全体の枠組みの中で、あるいはもっと高所から(例えば、structural mechanics, material science の立場から)再考することがますます重要となろう。その際は、コンクリート構造の系統的教育体系に関する明確なコンセプト(+アイデア)を持ち、その具体的効果的な青写真を用意していなければならない。