

## 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。

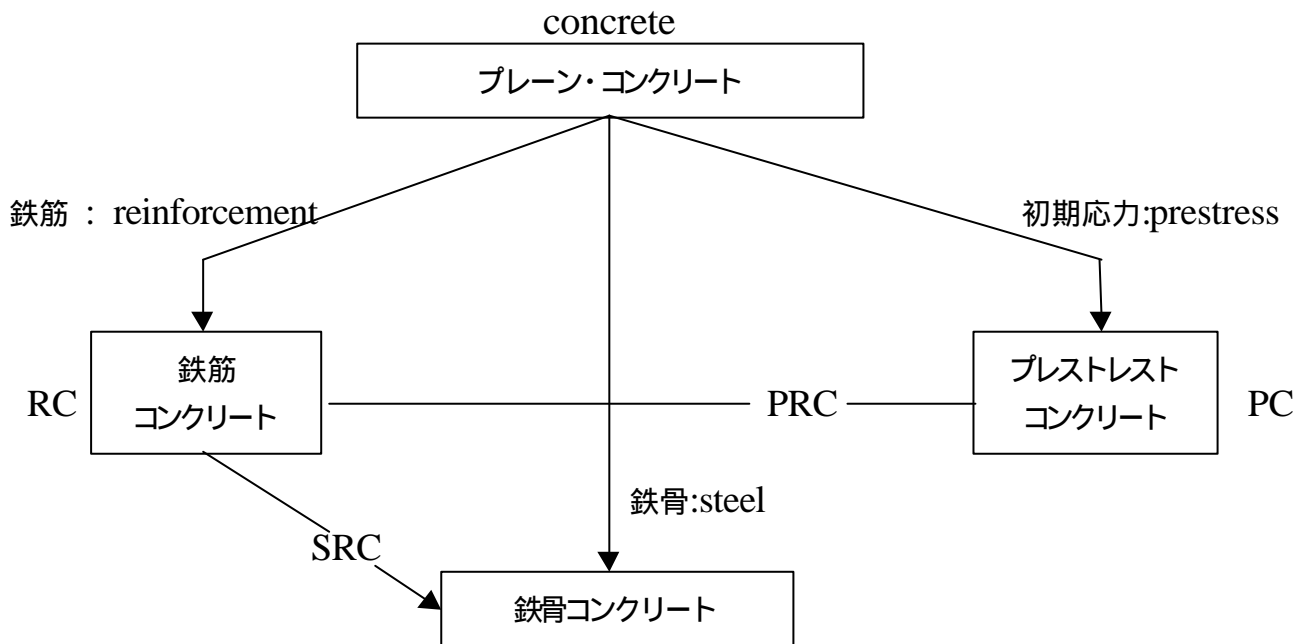


図 3 コンクリート系部材の断面形式

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