

土木における新構造形式

— 総 論 —

池田尚治*

1. はじめに

われわれの住んでいる空間は力学の法則によって支配されている。われわれが利用している人工物である構造物を支配している力学は、主として構造力学あるいは材料力学である。一方、空間は力学以外の種々の法則にも影響されるが、中でもコンクリート構造物にとっては水和反応やアルカリ骨材反応といった化学の法則が重要である。構造物の築造や存在について環境問題と関連付けるならば生物学の法則も大きな意味を持つてくる。

土木の分野における新構造形式について考える場合、上述の基本的な制約条件をまず念頭に置かなければならない。さらにこれらのハードウェア的なもののほかに景観や経済性といったソフトウェアや、構造物に本来要求される機能性、供用性、安全性といった力学の法則に従った性能が構造物を支配することになる。

近代文明における力学が発達するまでは、新形式の構造物の誕生には長年月の経験を要してきたが、今や古典力学は完成された論理体系に達しているので、新構造形式の登場はきわめて容易であるといえる。

新構造形式が登場するには第一に着想が大切であり、その着想が種々の上述の条件を満足することによる裏付けによって実現することとなる。新しい材料の登場や材料の改良、社会の価値観や経済の変動に対応して常に新しい構造形式の実現の可能性が生まれてくるのである。

本特集号では、土木分野に関連するテーマとして、PC斜張橋、吊床版橋、円筒形波浪制御構造物、および免震・制振構造が新構造形式の例として取り上げられている。本文では、これらの新構造形式には必ずしもとらわれずに現時点での土木における現実的な新構造形式について概観することを試みる。

* いけだ・しょうじ／横浜国立大学教授 工学部 建設学科 (正会員)

2. 完成系での新構造形式

2.1 鋼コンクリート複合構造

従来から鋼とコンクリートとの複合構造は種々の構造物に採用されてきたが、近年になって過去に例の見られない構造形式が橋りょうの分野で登場してきた。すなわち、ウェブはけた断面の曲げ剛性にほとんど寄与しないことから、これを自重の小さい鋼板とし、上フランジは道路橋としての床版を兼ねることから鉄筋コンクリートとし、さらに下フランジは鋼管の内にコンクリートを充填した断面構成とした7径間連続プレストレストコンクリート構造のマウプレ橋 (Maupré Bridge, 1987年完成、フランス)の登場である。この橋りょうのこれら以外の特徴としては、ウェブの鋼板にプレストレス力による軸力が移行しないように折板(あるいは波板)構造が採用されたこと、プレストレス力は三角形断面の内側の空間に外ケーブルを配置して導入したこと、架設は架設用の外ケーブルによるプレストレス力を活用した押し出し工法によったこと、完成した橋りょうは下フランジ部分が黄緑色でウェブ部分が青色に塗装され、周囲の景観とよく適合していること、などである。中規模の橋りょうとして現時点でこれ以上に革新的な橋りょう形式は見当たらない。この種の橋りょうのように断面のウェブを鋼折板とした橋りょうはCognac橋(1986年)その他があるが、支間212mのCaracas橋のような大支間の橋りょうへも適用が提案されている。この種の構造のように、材料や工法は従来からあるものを新しい着想によって組み合わせることによりきわめて革新的な構造形式が誕生することが可能なのである。

1991年に完成した本州四国連絡橋の生口橋は、中央支間490mのわが国最大の斜張橋であるが、7径間連続構造のうちの中央径間のみが鋼げたで他の6径間はプレストレストコンクリートげたであって、その2基の塔

が鋼構造とされた複合構造である。側径間にプレストレストコンクリートが用いられたのは、中央径間の長さ比べて側径間の長さが短いために自重のバランス上から重量の大きなコンクリート構造とされたのである。この種の構造はきわめて合理的なものであって、すでに支間367 mで単塔構造のFlehe橋が1979年にドイツに完成している。

現在工事中のフランスのNormandie橋は、この形式でその中央支間を856 mとする複合斜張橋であって世界の注目を集めている。

長大PC斜張橋で、その自重を短くするために、けたの横ばりに鋼ばりをういたアメリカのEast Huntington橋（支間274 m, 単塔）も複合構造を活用した独特の例である。

現在建設中で完成の時点ではわが国最大支間の斜張橋となる首都高速鶴見航路橋（中央径間510 mの鋼斜張橋）の2基の塔は、塔本体は鋼構造があるが、その基部は鉄骨鉄筋コンクリート構造を介して鉄筋コンクリート構造へと変化している。これによって基礎のコンクリートケーソン構造からスムーズに鋼製の塔へと力の伝達が行われる。

土木の分野における鉄骨鉄筋コンクリートの活用も独特の形式のものが見られる。鉄骨鉄筋コンクリートは古くから建築の分野で多用されてきたが、土木の分野でも都市内の高架橋の橋脚に建築と類似の使われ方がされてきた。しかしながら大規模な橋脚や高い橋脚の建設には従来と異なった鉄骨の活用が要望されるようになってきた。土木学会のコンクリート標準示方書は1986年版で土木の分野における鉄骨鉄筋コンクリートの適用が合理的に行えるように、鉄骨鉄筋コンクリートの形式を、累加構造、鉄筋鉄骨併用構造、および架設主体構造の3形式に明確に分類した。この分類により、多様な構造物への鉄骨鉄筋コンクリートの活用が合理的に行えるようになったものと思われる。

昔から「木に竹を接ぐ」といった表現で不自然なつながりのことを表したが、コンクリート構造と鋼構造の接合は、力学にのっとったものであると両者の特徴をそれぞれに発揮させることによって新しい構造形式が誕生し、経済的にも有利となる場合が多いのである。

プレフレックス工法（プレビーム工法）を連続げたに適用することも合成構造の新しい展開といえよう。

H形鋼のフランジに凸部を付けてコンクリートとの付着を改善したり、直径64 mmの極太径異形鉄筋が登場したりして、材料的にも新しい複合構造の可能性が広がってきているものと思われる。

補修や補強設計に複合構造の利点を生かす着想も重要である。

2.2 長大構造物

PC斜張橋は長大橋りょうの新しい形式としてすでに定着しており、ノルウェーのSkarnsundet橋では中央支間が530 mに達して世界最長の斜張橋となり、鋼斜張橋を後駕する規模となっている。この橋りょうでのコンクリートはとくに超高強度のものではないので、今後1 000 kgf/cm²以上のコンクリートを適用すればより長支間のPC斜張橋の建設が可能になると思われる。

わが国では見られないが長大構造物にはコンクリート浮橋がある。アメリカのワシントン州には全長が2 kmにも及ぶHood Canal Bridgeが干満差の大きい海洋に架けられている。この浮橋は暴風時に一部が水没したこともあるが、今後はわが国でもこの種の浮橋の建設を検討するとよいと思われる。

現在ノルウェーでは圧縮強度が900~1 000 kgf/cm²のコンクリートを使うBergsoy Sound浮橋が計画中であり、また、潜水式のHogsfjord水中橋りょうの建設計画も練られている。わが国における東京港沈埋トンネルや現在工事中の羽田および多摩川沈埋トンネルの施工経験から考えてもコンクリート構造による浮橋や水中橋の建設は大きな目標になり得ると思われる。

現在工事中の東京湾横断道路プロジェクトでは海底部約9.5 kmをシールド工法による直径約14 mのコンクリートチューブで2本のトンネルを建設中である。このコンクリートチューブはプレキャストコンクリートセグメントを接合するものであり、軟弱地盤中への大断面長大コンクリートチューブ構造は世界最大規模のものである。

2.3 容器構造物

コンクリート製の容器構造物としては、水道用のPCタンク、原子力発電用のPC格納容器・PC压力容器、下水処理用の卵形消化槽、海底石油掘削貯蔵用コンクリートプラットフォーム、など種々のものがある。これらの構造物はそれぞれが独特の構造形式であり時代に応じた進歩が図られている。

浮構造物としてはLPG採掘貯蔵浮上施設、コンクリートプラント船、などのほかにドライドックで築造後に現地まで曳航して設置した下水処理施設などもある。また、都市内のごみ処理場の設置難から浮体として建設した後に海岸近傍に設置するコンクリート製ごみ処理施設の計画も検討されている。

コンクリートダムに関しては従来より重力式ダムとアーチダムとが主なものであるが、近年その築造方法としてRCC工法が採用されはじめた。RCCD (Roller Compacted Concrete Dam) は本来ロックフィルダムとコンクリートダムとの中間的な構造を狙っており、構造的にも新形式の構造となり得るものである。

2.4 特色ある橋りょう構造

近年、外観的に際立った特徴を持ったコンクリート橋りょうがいくつか造られている。有名なスイスの Gatter 橋は PC 斜張橋ではあるが斜材部分がコンクリートで補剛された独特のデザインでスイスのアルプス地方の景観とよく適合しており、見る人に強い印象を与える橋りょうである。

吊橋のケーブル部分をコンクリートの壁に埋め込んだような外観のフィンタイプの PC 橋も独特のデザインである。スイスの Riddes 橋では中央支間 143 m のこのタイプの橋りょうを張出し工法によって施工した。この形式の構造では PC ケーブルの偏心量を大きくとれるので力学的に有利である。

PC 斜張橋は、張出し架設を行う場合、架設時の構造系と完成時の構造系とで力の作用状態がほぼ類似であるので有利である。また、斜材張力は軸方向のプレストレスとして有効に作用し、コンクリート断面は厚肉であるので座屈のおそれが少ない。一方、PC 吊橋の場合にはけた重量が大きいためケーブルのアンカレッジが相当に大きくなって不利となるため実績も少ない。そこで、このケーブルをけた両端に自作させればアンカレッジは不要となり、かつ、けた全長にプレストレス力が作用することとなってきわめて有利である。以上のことから、PC 斜張橋として張出し架設を行いながら最終的には自作式の吊橋の構造も併用する新しい長大コンクリート橋の建設の可能性も検討に値すると思われる。

3. 架設における新構造形式

橋りょうの建設に際しては架設方法の検討が第一に重要である。完成系での構造形式は従来と同じでも、架設方法には多くの新しい方法が考えられるのである。ここでは特徴のある架設における新構造形式をいくつか例として掲げてみたい。

ベルギーの Ben-Ahin 橋は最大支間 168 m の単塔の PC 斜張橋であってミューズ川とそれに平行な鉄道との上に架けられている。この橋りょうはまず河川敷において河川に平行に支保工を設置してその上に上部工本体を築造した後に一気に塔を含む上部工を塔基部で水平に 70° 回転させて河川と鉄道との上に架けたのである。このように大規模な橋りょうを回転工法によって架設した例はなく、きわめて画期的なことである。

完成系では固定コンクリートアーチ橋であるが、架設に際しては鋼中空断面アーチリブを両アバット部に組み上げた後にロアリング工法によって閉合してその断面内にコンクリートを打ち込んで強固な合成アーチリブとし、さらにその周囲にコンクリートを巻いてコンクリートアーチリブとした城址橋（支間 82 m、佐渡島）はき

わめて優れた新構造形式である。

わが国最大のコンクリートアーチ橋である別府明ばん橋は、架設時にはトラス構造による張出し工法とし、その中央部分には鋼げたを渡して閉合し、これにコンクリートを巻いてアーチリブとした新構造形式の固定アーチ橋である。この橋りょうに対しては 1990 年の FIP Special Mention 賞が授与された。

吊床版橋は架設の比較的容易な構造であるが、これを支保工兼用としてその上にウェブと上フランジを造り、吊材の張力を自作させることによって自立したプレストレスコンクリート橋りょうとする工法が考案され、検討が進められている。これも架設方法が独特なものであるが完成系は通常の橋りょうとほとんど変わらないものである。

4. 新材料、新工法の適用

炭素繊維やアラミド繊維を緊張材や補強材とした構造物が開発的な観点から登場してきた。かぶりの制約をほとんど受けないことから今後は超高度コンクリートと組み合わせた新しい構造形式が登場するものと思われる。

圧縮強度が 1 500 kgf/cm² 以上のコンクリートが実用化されれば軽量の薄肉コンクリート構造が大いに発展し、新しい構造形式が種々誕生するものと思われる。

省力化、高品質化の観点からは、従来とは異なった視点からプレハブ化が大いに進むものと思われる。工場での自動化や超流動コンクリートによる施工の合理化も新しい構造形式の着想に結び付くはずである。

JIS 製品も、PC げたに新しくボンドコントロール方式が全面的に採り入れられ、構造の合理化が大いに図られた。

PC げたの圧縮側に負のプレストレスを導入するパイプレストレス工法も自重の軽量化やクリープ変形の低減に有利であるので超強度コンクリートと結び付ければその適用範囲が相当に拡大するものと思われる。

5. おわりに

設計法の観点から考えると、パーシャルプレストレス工法も新構造形式と呼び得るものであり、広い意味での新構造形式を考えれば枚挙にいとまがないといえる。橋りょうの耐久性や維持管理の容易さを第一義的に考えた多径間連続コンクリートラーメン橋および多径間連続コンクリートアーチ橋も、多年の経験を積み重ねて登場した価値ある新構造形式であるといえよう。

構造力学や構造設計法の論理を基本として、経済性や景観への適合性を考えた新しいコンクリート構造形式は、時代が要求するものであり、そのためには豊かな発想が必要である。