

【展 望】

コンクリート橋を振り返って見て

Progress of Concrete Bridge

川田建設(株)専務取締役
Managing Director

木 村 康 宏
Yasuhiro KIMURA



1. まえがき

PC橋が、新設される橋数の中で比較的大きなシェアを占めるに至った昭和30年以前は、戦前の名残もあり、設計面においては官庁主導型であったと云えよう。その頃の鋼橋とコンクリート橋の競合は、官庁主導型とコンクリート橋の橋長への弾力性の低さと相まってそれぞれが納まった位置にあり、鋼橋は中・長大橋と、コンクリート橋は小・中橋となり、あまり競合はなかったと云える。PC橋がその長所を生かし、鋼橋の分野に入り込み、容易に30mを越える領域に迫るところから両者の競争は始ったと云えよう。しかし、日本経済の高度成長に支えられ、道路事業は大きく進展し、鋼橋・PC橋とも30年以降大きくその事業量をのばした。経済の伸展と共に、各種企業はいわゆる集積の利を追い求めて、各種生産施設を都市及びその周辺に林立させ、特に人口の都市集中にはすさまじいものがあった。それと共に、空気汚染、工場廃水、騒音・振動等の各種公害がクローズアップされ、所得の向上・生活レベルの向上はこれら公害のあるものに対しては、人々をして過剰に反応せしめるようになった。特に騒音公害は直接に人々に影響することから、空港は論外として、都市内道路、特に新幹線の建設においてその影響は頂点に達した。東海道新幹線の経験から、山陽・東北・上越新幹線においては非常に多くの鉄筋コンクリート橋とPC橋が、コスト並びに騒音対策の面から採用されたわけである。

この東北新幹線が開通した前後の頃であったと思うが、PCを含むコンクリート橋に各種の新たな問題がクローズアップして来た。すなわち日本海沿岸の国道筋に発見された塩害によるコンクリート橋損傷の問題、海砂使用によると疑いを持たれた山陽新幹線に係る同種の問題、並びに1940年に外国で発見され、我が国ではその例がほとんど見られなかった、アルカリ骨材反応によるコンクリート部材の破壊である。これらの問題がほとんど同時期に現れたのであった。

鉄筋コンクリート橋あるいはPC橋を振り返って見て、今後ますます増大して行く社会資本・インフラストラクチャーの中で重要な部分を占める橋、特に上記のような

大きな問題を抱えているコンクリート橋を、如何に進めて行くべきか、鋼橋と対比しながら多少私見を混えて考えてみたいと思う

2. 戦前、戦後のコンクリート橋

私は大学で、コンクリート工学を、コンクリートの草分け的存在で大きな足跡を残された吉田徳次郎教授に教わった。単純T桁で当時のコンクリート許容応力度、鋼材強度(SS41)を用いて、何メートルが限界となるか試してみたが50mが限界であったと話されたことが記憶に残っている。しかし、実用段階では15mが精々であって、中央にサスペンドビームを用いたゲルバー桁で25m~30mが限度であった。これ以上になると、コンクリートの圧縮に強い特性を生かしたアーチ橋がそのほとんどを占めていたと云える。私が学校を出て勤めた静岡県においてもこの例に洩れず、浜名湖を通過するの国道一号は、2カ所でコンクリートアーチを用いていた。その一つ、西浜名橋は昭和3年ごろの施工であり、27年ごろアーチリングの下面が長年、海水のしぶきを被り、損傷甚しく大修繕を行った。10cm程度、ハンマーで削り取ることも容易であった。この削り取った状態で、土木研究所に依頼して強度の調査を行った。当時の橋梁研究室長・田原保二技官が来られ、ストレングージを用いて、そのころの設計荷重である13tトラックで応力測定を行った。しかし、自重の重いフィルスパンドレルアーチであったためか、走行しても計器はほとんど感知することが出来ず、10cmの飛込台をつくって衝撃を与えて実験した。これで初めて計器の針が振れる程度で、充分安全であることが確かめられた。化学的な試験が行われたか否か覚えていないが、かなりの深さまで中性化していたのではないと思う。結局15cm程度は取り鉄筋を添えて、モルタルガンで吹きつけて修理したが、爾来30年経過したこの橋をつい最近見る機会を得たが、そばに新しいPC橋が大体同スパンで架けられていた。旧コンクリート橋は、吹きつけモルタルも外見では健在で未だに橋として使用出来ると見えた。しかし機能的の面もあったと思うが、一応使用中止の状態となっていたこ

とにはいささか淋しさを感じた。

戦後、村上社長が辻木研究所に居られた時、ストラスナーの「弾性拱橋の理論と計算」を翻訳され出版された。丁度学校を出たてで、仕事の暇な時を見つけて読了し、コンクリートアーチの橋が、いとも簡単に設計出来ることが分かった。計算がすべて数表化され、一週間もあれば計算が終り図面にかかれるような便利なものであった。5橋程設計もし、また前述の西浜名橋の事前のチェックも簡単にすることが出来た。5橋とも健在で本と共に懐しき思い出である。

PC橋の進出と同時に、アーチの橋が激減していったように思われるが、やはり足場・型枠の問題からコスト高になった事と思う。しかし、小さいアーチの橋の利点は補強補修が容易な事ではなかろうか。有楽町附近の国鉄の高架部分には、コンクリート、あるいは煉瓦造りのアーチが用いられ内部を見るとIビーム等で大部分が補強されている。

既に60年以上は優に経過しているものである。傷んでも補強のし易さを考えると、適当な場所(高さ、径間、径間数)を得れば一考に値するのではないかと思う。特に新幹線においては採用の余地はあったのではないかと思っている。

戦前、故 中島武氏が長野県で多数のコンクリートローゼ桁を、非常な努力で計算され、今もなお健在の橋が数々あるが30m前後の橋長と思う。マトリックス計算が行われていなかった時であるからその努力は大変なものであったと思う。

3. コンクリート橋被害の調査

先に述べた3つの問題の1つ、アルカリ骨材反応の実例及び対応策については、外国雑誌にはしばしば見るが、我が国ではほとんど見ていない。阪神公団においてほんの数例と云う程度を聞いているが、詳しくは報告されていないようである。原因はかなり複雑で確実に究明された状態であるとは思えない。また、原因は骨材・セメントの両方にあるようである。更に水セメント比、施工の良否による透水性、透気性の大小もアルカリ骨材反応促進に影響するようで、我が国では更に今後の調査・研究が必要な段階と見ている。最近の英国雑誌では、或る橋梁工事で現場に運搬される各バッチのコンクリートすべてに対して、現場でアルカリ量のチェックをして施工するような記事がのっていたが、事態は深刻と受けとめるべきであろうか。これは、アルカリ骨材反応は、米国では骨材規制によって対応出来るという前提で対策を進めているのに対し、英国の進め方は、不良骨材を排除すると云うことは不可能、従ってセメントのアルカリ量規制によるべきだという前提に立って考えている証左であろうか。

第2及び第3の問題、すなわち、塩害については、建設省では、昭和57年に海岸部におけるコンクリート橋の全国調査を実施している。また、PC建設業協会も56年、独自に特別委員会を設置して、実態調査を行い共に報告書が提出された。建設省調査で調査対象となったのは、一般国道に架設されている橋梁のうち、1)架設地点が海岸から約500m以内、2)橋長15m以上、3)昭和50年以前に竣工、の条件を満たす橋梁である。調査結果によれば、920橋の調査橋梁(RC:300橋、PC:620橋)のうち、約21%に当たる1961橋に塩害による損傷またはその徴候が認められ、北は北海道から北陸地方にかけての日本海沿岸及び沖縄に集中している。プレテン方式のPC橋を除く海岸から150m以内の橋梁の大部分に何らかの塩害が認められ、海岸に近づくに従って発生割合と程度が大きくなること、早いものでは7年で発生していることが分かった。橋種と損傷発生率の関係を示した図表によると、プレテン方式のPC桁が他種のものに比較してかなり程度のよいことが分かる。これはやはり工場製品であるため施工管理が行き届いていると解釈してよいであろう。いずれにしても、RC部材に比べて、高強度かつ高配合で密実なコンクリートであり、しかもひびわれを許さない高級部材と思われたPC部材が塩害に対しては意外に弱いことが、関係者に大きな衝撃を与えた。

これらの現象に対して、生産技術研究所、東大教授、小林一輔氏は、塩分の外部からの浸透のみでなく、内部からの原因発生に言及して居られる。すなわち、日本コンクリート工学協会内に海砂に関する調査委員会が設置され、検討の結果、塩分の許容値として砂の絶対乾燥重量の0.1%という値が提案されたのは昭和49年であった。このように厳しく規制された塩分に対して、従来使用されて来たコンクリート硬化促進剤である塩化カルシウムも、使用量は、全く洗浄してない海砂の塩分含有量を大きく上回っていること(現在は既に使用禁止となっている)、また、一般減水剤(そのままで使用するとコンクリートの凝結を著しく遅延させるので、塩化カルシウムが添加される)に添加される塩化カルシウムも、固形成分の75~95%にも達し、それらの使用により、前記の0.1%を優に上回ったこと、これらの事実が昭和25年頃より約25年間は続いたと推定される、と報告している。

以上のように早期劣化の直接原因は、塩分による鋼材腐蝕によるものと断定しているものの、構造物そのもののでき具合が当初からお粗末であったことも指摘されている。従来、土木用のコンクリート構造物の中性化速度は、20年で5mmとされて来たものが、現在関西地区で海砂等を使用して鋼材の塩分腐蝕を起こしている新幹線等の

高架橋では、上記の約10倍の速度で中性化が進行しているものもあるとし、その原因が施工不良（鉄筋配置の不適正並びに水セメント比70%を越えるもの）によるものと推定して居られる。

PC建協の調査では、当然、被害状況の調査は大同小異であるが、興味深いのはその補修の調査までしていることである。それらのいくつかをかがげると、橋梁建設後補修に至った年数では、RC橋の中央値が約22年、PC橋の中央値が約15年である。これに対して、1)海上または汀線上の補修橋の分布を見るとPC橋はその中の約60%、RC橋はその中の30%であり、PC橋の架橋位置の方が厳しい環境にあった、2)PC橋の方が設計的に厳しい面（例えば部材厚）を持って居り、同程度の損傷に対して早期の対応を管理者が迫られ、管理者の意思が反映している、と説明を加えている。更に部分的に補修すること、すなわち損傷している部分を的確に判断して補修することは難しく、非補修部分が重度に損傷甚しくなっていることをあげ、補修するに当たって、現在補修が急務とみなされる部分を重点的にとらえた補修は必ずしも十分とは言い難く、可能な限り全面補修を採用することが望ましいとしている。更に補修材料別損傷度の関係は、適切な補修材料の今後の方向をつかみとるには未だ不十分であるとしている。

更に前記の小林教授によると、コンクリート中の鋼材の腐蝕の研究は、土木分野のコンクリート構造物が建築のものとは比べて格段にすぐれているとの雰囲気から、土木分野では同教授が約10年前に研究を開始するまで全く行われていなかったようである。その遅れをとった理由として、1)研究内容がコンクリート工学、腐蝕・防蝕工学、金属学およびセメント化学の境界に属しており、研究者のいなかったこと、更に鋼材の腐蝕・防蝕の分野において高アルカリ環境下における腐蝕の問題などのテーマはきわめて特異なものであったこと、2)土木技術者全般にわたってコンクリート構造物の化学的耐久性についての関心が稀薄であったこと、3)構造物に何か変状を生じた時の発生者の徹底した秘密主義、即ち施工のミスによるものか、これまでに全く経験したことのないタイプの変状であるかをあいまいにして対応を誤らせたこと、等を挙げている。

4. コンクリートの品質管理

鉄筋コンクリート橋並びにPC橋を考える時、コンクリートの品質管理は、そのもの及びコンクリート打設の施工管理を含むこととなる。前記の施工不良を考える時、小林教授によると、最近、早期劣化現象を起こしているコンクリート構造物は、大体において昭和30年代の後半から40年代のいわゆる高度成長期に施工されたものが多

く、この時期に我が国はヨーロッパが100年以上もかかって造り上げたコンクリート構造物を造りあげてしまったとしている。同様のことを首都公団参与の津野氏も言っている。最近、PIARC橋梁技術委員会が東京で開催されたが、話題は維持補修に集中し、どの国でも20～30年経過した橋梁がもっとも損傷が多く、それらは工事量の多かった時代に架設されたものという。デンマークでは当初コンクリート斜張橋が計画されたが、今後の維持補修を考えて鋼斜張橋に切り換えて架設した、と従来の考え方が逆転されたことを報じている。要するに、コンクリートの多量の打設体制は出来ても、密実なコンクリートを打設することの間には、大きなギャップが出来て構造物全体を考えた時、高品質のコンクリートが打てなかったことを意味するのではなからうか。コンクリート構造物製作の全工程にわたって、バランスのとれた綿密な施工が行われるべきものが、作業がそれぞれに分業化されたため、発注システム、請負方式等々諸般の条件がからんで、良好な工事が行われなかったのだと云えよう。

また、コンクリート構造物が、鋼構造物と大きく違う点は完成後にその品質を確かめる方法が現在の所ないと云うことである。欠陥が現われるのは5年ないし10年後である。ここに大きな問題があるように思われる。PCコンクリート構造物がコンピュータにより複雑になればなる程、これは鋼構造物に対してもいえることであるが、一般的に設計と実態（完成物）との乖離は大きくなる。

PC構造物において、種々問題点は克服されて来ているが、一番の問題点は、今まで述べて来た高品質のコンクリート打設もさることながら、グラウトの確実な注入と、その結果を確かめる技術の開発にあるように思われる。緊張PC鋼線に沿ってのクラック、これはグラウトが完全に出来なかったことを意味する。私が39年前に関与した30mクラスの単純T桁において、数は誠に僅少であるが、これが見られた。最近、ヨーロッパ橋梁維持修繕視察団に加わった当社のI君の話によると、さすがフランスはPCの先進国で、既に強いエネルギーを持ったコバルトの放射線照射により、欠陥部の映像をブラウン管の上に連続的に撮る技術開発に成功したことを報せてくれた。以前からこの事には関心をもっていた所であったが、先を越されたことを強烈に感じたものである。

5. ハイテクノロジー応用と技術の向上

上記のコバルト放射線の透過限度は40cmと聞かされた。従ってフランスでは極力PC部材厚をそれ以下に抑える方向に進んでいるとも聞かされたが、更に透過の

能力は改善されるであろう。

どうも今迄記述して来たことを考えると、当然のことながら、PC技術もストレス・ストレインに重点をおいた時代を終り、安定成長時期を迎えて、ハイテクの時代、高度な品質管理の時代に突入した感がある。化学的な品質の管理、ハイテクに基づく物理的な構造物の検査・管理が、社会資本充実の観点で構造物を長くもたせる武器となる時代がやって来たのである。鋼橋が十分な管理の行き届く工場で製作され、現場で単一部材の組立ての時代から、ブロック架設の時代、更には一括架設の時代までになって来た。PCコンクリート橋も、足場架設から、押し出し工法、移動足場工法と次第に工場製作に近付いて来ている。半ば工場製作化したブロック工法も今後は非とも発展させなければならない工法であろう。これらはいずれも先人の製作コスト低減への大きな努力によって開発された工法であるが、PC橋に関係する材料の複雑さに対する品質の総合的な管理、製品（構造物）の検査器械、非破壊検査器械等に考え及ぶと、鋼橋製作と比較して、いずれの工法においても今一步の感を持たざるを得ない。

一方、PCの設計技術の進歩は誠に激しい。RC構造物、或はPC構造物の修繕工事から端を発したと思われるアウトケーブル工法の発展は素晴らしい。アウトケーブルの場合、先に述べたグラウト注入も比較にならぬ程容易となり、グラウト工事に関する問題点も激減する。あるいは緊張材を外に出すことにより、シースの配置・鉄筋の配置も容易となり、断面の縮小も可能となり密実なコンクリート打ちも容易となる。また緊張材を断面の外に出すことで、緊張材配置形状も良くなり、摩擦損失を小さく出来る等々数々の利点がある。更に技術的利点からコスト低減にまでつながって行く。もちろん解決すべき問題も多くあるが、立体トラスと、アウトケーブルで構成したクエートのプビアン橋等も今後の方向を示しているものと云える。更にコンクリートと鋼材の合成構造も将来の方向であろう。しかし、これら構造物の耐久性に関しては、前記の品質管理、並びに維持補修を念頭におくことは従来にも増して必要となってくるであろう。コンクリートの表面の化学的処理も場所によっては当然考えなければならない問題である。

6. 結 び

コンクリートは現在の社会生活を営む上で極めて重要な材料である。その原材料である骨材も、つい最近まで無尽蔵と思われたが、特に細骨材は前述のように海砂使用に到るまで来ているし、セメントの主原料である石灰岩も、環境破壊の問題から一説には、我が国においても現在の使用状況のもとでは、あと50年と聞いている。

更にセメントのアルミナ分とか、シリカ分を一定値にするための主要添加物である粘土も、アルカリ含有量の少ない粘土、換言すれば風化の良く進んだ易焼性の良質の粘土は枯渇しつつあると聞いている。従って、良いコンクリートをつくる条件は次第に悪くなって行くと考えて良いであろう。

従って、良いコンクリート構造物、なかんずくPCコンクリート橋をつくる材料の環境も悪くなって行くことが考えられる。このような時、鋼橋を良きライバルとして発展して来たPC橋も、工学的に、また経済的の面も含め、構造物の質を高めて、鋼橋と同一レベルに到達せしめるのがPC技術者、関係者のつとめであろう。鋼橋といえども床版はコンクリートが主体である。また最近、鋼橋の損傷した床版を、プレキャストPC床版で置きかえて再生をはかっている例も欧米諸国では現れて来ている。その意味では爾々相まって橋梁の耐久性を延ばすことが必要となってくる。交通手段の基本的な社会施設である道路、鉄道が高度化し、橋梁並びに高架橋が非常に多くなって来た。“荒廃するアメリカ”の道路施設の二の舞を演じないためにはこれからもおこの社会資本の拡充投資は必要なことであるから、欠陥のない耐久性のあるコンクリート橋をつくることは喫緊事である。それには、前述の如きハイテクノロジーを用いた構造物の開発及びその施工管理技術の開発が極めて重要なこととなってきていると思われる。