

## プレストレスト コンクリート鉄道橋の設計上の問題点

宮 田 尚 彦\*

### 1. ま え が き

昭和 45 年 5 月に成立した全国新幹線鉄道整備法による東北・上越・成田の三新幹線の 46 年度からの着工、さらにその次に建設を開始すべき新幹線の基本計画も近く決定されようとする情勢と、これら新幹線を軸とする在来線の近代化に基づいた建設工事は全国的な規模にわたるものがあり、この建設に占めるコンクリート工事は年々ぼう大な量に達しつつある。それは路線計画上、長大な河川、あるいは幅員の大きな道路との立体交差をよぎなくされ、しかも列車通過時の振動・騒音の影響が比較的少ない構造物としてのコンクリート構造物の建設に対する地域社会の環境保全の見知からの要求によるものである。プレストレスト コンクリート鉄道橋（以下 P C 鉄道橋とよぶ）の鉄道土木構造物に占める割合は、このような情勢下において、ますます増加の一途をたどっており、最近における電子計算機を大幅に、しかも効果的に利用した設計とか、優れた機械を駆使した施工を見れば、昭和 29 年に始めて本格的な P C 鉄道橋として建設された国鉄信楽線大戸川橋梁以来 P C 鉄道橋の技術は着実な進歩を遂げてきたといえよう。

以下に、P C 鉄道橋の設計における最近の問題点について述べることにする。

### 2. 橋梁計画上の諸条件

橋梁計画に際して考慮すべき種々の要素には、いうまでもなく、架橋地点の自然条件（気象作用、地質の良否、河川の水位などの条件、地域社会の環境保全、橋梁それ自体の維持・管理に伴う作業および橋梁上に敷設される軌道の保守作業の軽減（これらはともにメンテナンスフリーとしての条件とされる）、施工の難易および安全性、急速施工性、工事費および美観などがある。これらの要素のうちもっとも重要な要素の一つは、工事費である。橋梁の工事費を上部構、下部構に分類して考えれば、前者はあらかじめ予想した構造形式あるいは、種類に応じ、その実績により、ある程度正確にその規模を

推定することが可能であるが、後者は、架橋地点における地質条件などの自然条件に左右されるのが通常であり、その正確な把握は比較的困難な場合が多い、したがって、事前における十分な地質調査にもとづいた下部構造の形式選定とその施工実績とから、下部構に要する費用をある程度正確に算定して、橋梁の工事費を的確に把握するよう努めて行くことが、今後の重要な課題の一つであろう。

最近、鉄道橋の橋種あるいは構造形式を定めるにあたってさらに重要な要素として考えられてきているものに、地域社会の環境保全の問題（列車による騒音・振動の影響を少なくするように努める問題）、軌道保守作業の軽減のために採用される直結軌道としてのスラブ軌道の適用の問題がある。

列車による騒音は、コンクリート橋の場合その特性上鋼橋に比して比較的その影響が少なく、むしろ、列車による振動の影響について改善すべきであるとの意見もあるが、橋梁の構造形式、断面形状・寸法によってもこれは異なるものであるから、今後ともいっそう、これらの点については前向きな姿勢で取組み、検討を続けて行く必要がある。しかし、このような地域社会の環境保全に対する要求は、ますます増加しつつあり、自然条件の如何を問わずコンクリート橋を採用せざるを得なくなっていることは反面事実であり、橋梁の形式選定の際には、高度な技術的判断が必要とされてきている。

近年、軌道保守に要する労働力の減少、人件費の高騰、列車の高速運転化に伴う保守間合の短縮、などのためにメンテナンスフリー化としての直結軌道（スラブ軌道）が採用、強力に推進されているが、直結軌道の構造は、有道床の軌道構造に比して、その性質上、構造物の変位、変形に対する制約がきびしく、橋梁の構造形式、種類の選定にはその架橋地点の地質の条件が大きく影響するので十分な地質の調査が必要となる。また、この場合、P C 鉄道橋のクリープ、乾燥収縮、P C 鋼材のレラクセーションなどによる変形についても十分な検討が必要とされるために、あらかじめ予想した施工方法に応じ、橋梁の変形量を設計の段階で算定しておく必要が

\* 国鉄 構造物設計事務所 主任技師

あり、乾燥収縮、クリープ、P C鋼材のレラクセーション、などに関する既往の資料、文献、示方書に基づく十分な調査、検討を行わなければならないという問題も生じてきている。

橋梁形式、橋種の選定には、工事費、社会環境の保全、メンテナンスフリーの3つの要素がもっとも重要な要素ではあるが、これらの他、最近では、施工の難易および安全性、急速施工性、美観なども加え、橋梁の構造形式、橋種を総合的見知から決定する場合が非常に多くなってきている。

コンクリート橋の建設費は材料の所要数量がもっとも少ない場合がもっとも経済的であるとは必ずしもいえない。というのが労働力に不足をきたし、労務賃金の高騰している今日の実情であり、建設費を安くするためには、施工の省力化、急速化を計るのが急務であるとされているために、これらが行ないやすいように設計の段階において配慮する必要にも迫られている。

上記のほかに、橋梁の設計計画に際する他の制約条件として、河川の維持・管理上、計画道路の線形上から、これらと立体交差をよぎなくされる鉄道橋には、かなりきびしすぎると思われるほどの要求がなされてきている。

すなわち、河川の治水上の制約条件によって橋梁のスパン割が大きく左右され、そのスパンも約5年前と比較すると20m前後と大きく、P C鉄道橋としては100m前後が要求されており、また、計画道路の線形上からの制約によって斜橋が要求され、長大なスパンで複雑な橋梁の設計を止むを得ず行なわなければならない事情を強いられている。

### 3. 電子計算機の利用の功罪

橋梁の設計業務に電子計算機を導入することによって、その煩雑な業務の一部を設計者から機械に置き換えて省力化に結びついたり、また従来、手計算では解析が不可能であった複雑な断面形状を有する橋梁の設計が可能となってきたのも、ハードウェア、およびソフトウェアの進歩からすれば当然であろう。

しかしながら、設計業務に電子計算機を導入することによって、新たにその実務上の諸問題が堆積しつつあるのもまた事実である。これらの諸問題には、大略次のようなものがある。すなわち、完成されたプログラムの適用範囲を逸脱した計算を往々にして行なう危険性、構造解析に用いるモデル化の誤り、物性を正しく把握することの困難さ、計算誤差、インプットデータの誤り、機械のオペレーションの誤り、などが不明確であるために計算機を用いて迅速に、しかも複雑な計算を遂行したにもかかわらず、得られた計算の結果が適当であるとい切

れない場合が少なくない。しかし、設計者の中には、計算機を用いて計算した結果を無批判に、盲信する人が増えつつある。この事実は、設計者の質的向上に関する教育の問題とも密接な関連がある。在来の手計算による手法を用いて設計を行なって行く過程には、その思考過程において、トライアル・アンド・エラーがくり返えされ、その間、設計者はその計算結果に対して批判する余地があったが、計算機を用いる設計の過程には設計者の思考が入る余地がないために得られた結果に対する充足感、満足感がない。また、設計計算に対する豊富な経験と知識が設計者に不足している場合には、その計算結果を十分に批判することも不可能となる。したがって、設計者が十分に計算機を使いこなし、得られた計算結果を的確に判断できるようにする教育上の問題と完成されたプログラムのチェックに基づく登録制度の確立の問題がある。

これらの問題のほか、解析手法（たとえば変位法による構造解析法の確立）の発達によって、従来の簡略計算では明らかとされなかった部分の応力度も解析されるようになり、その結果いままでもその応力度を無視し、安全であるとしていた許容応力度を超過することになったり、また経験的には理解し得ない鉄筋の配置が必要となるなど（たとえばねじりせん断応力の取り扱い方など）橋梁の安全性に関連した新しい問題も生じてきている。

### 4. 設計の標準化

国鉄では、昭和40年4月に発足した第三次長期計画の推進に伴う大規模な工事量の迅速な消化のためにコンクリート構造物の設計の標準化を行なって以来、今日まで、業務の簡素化、近代化を目的として使用頻度の多い形式の橋梁の標準化を進めており、昭和44年構造物設計事務所によって在来線向きのポストテンション方式P C I形単純桁橋の設計、製図用電算プログラムが開発され、現在まで改良を加えて特殊設計の場合にも使用されてきている。

また、昭和46年度には山陽新幹線（岡山以西）に用いるポストテンション方式P C I形単純桁橋の設計プログラムも開発され、現在は東北、上越、成田新幹線用の標準設計の推進のために改良中である。

ちなみに目下標準設計として整備されているものをあげれば大略次のようである。

#### (1) 在来線用標準桁

列車荷重 KS 18, KS 16, ポストテンション方式

形式 単線単純I形桁,

スパン  $\begin{cases} 15.8, 19.0, 22.1, 25.2, 28.0, \\ 31.3, 35.0 \text{ m} \end{cases}$

単線単純箱形桁, スパン 40.0, 45.0 m

## 問題点シリーズ・2

単線単純下路桁，  
スパン 15.8, 19.0, 22.1, 25.2, 31.30 m  
単線単純 I 形合成桁，  
スパン 40.0, 45.0 m

### (2) 山陽新幹線用標準桁(岡山以西)

列車荷重 N-19, P-19, ポストテンション方式(スラブ軌道用)

形式 単線単純 I 形桁，  
スパン 15.4, 25.2, 27.2, 30.2, 45.2 m  
複線単純 I 形桁，  
スパン  $\left\{ \begin{array}{l} 15.4, 17.4, 20.4, 22.2, 25.2, \\ 27.2, 30.2, 32.2, 35.2, 37.2, \\ 40.2, 42.2, 45.2, 50.2 \text{ m} \end{array} \right.$

複線単純 1 室箱形桁，  
スパン 34.71, 39.71, 44.71 m

## 5. 新材料

P C 鉄道橋を軽量化し、長大化したいという要望に沿って、国鉄では昭和 39 年東北本線荒川橋梁の計画に際し、人工軽量骨材コンクリートを P C 鉄道橋に利用しようとする気運が高まり、昭和 39 年には人工軽量骨材コンクリート設計施工基準(案)を制定するまでに至り、この設計施工基準(案)に基づき、東北本線金山架道橋が設計施工されたのを始めとし、昭和 42 年には、軟弱地盤地帯の高架橋として総武本線荒川東西高架橋の設計施工に採用されている。以来、今日では列車騒音、振動の影響が比較的少ないという特長をも考慮に入れ P C 鉄道橋の材料としてさらに積極的に取り入れようとする動きもある。

しかしながら、このような人工軽量骨材コンクリートのクリープ係数、乾燥収縮などについては、天然骨材を用いた普通コンクリートほど長期間にわたって実測されたデータは少なく、プレストレスの減少、あるいは橋の変形の計算において、従来からの天然骨材を使用した普通コンクリートと同じ程度の諸数値を用いてよいかどうかを検討するためさらに資料の蓄積に対する努力が必要であろう。

また、ここ 2, 3 年来、コンクリートの圧縮強度を在来のそれにくらべて約 2 倍程度に高め、断面を縮小あるいは橋梁形式をかえて P C 鉄道橋を軽量化、長大化しようという研究も進められてきており、その成果が期待されているが、高強度コンクリートの 1 種類として、周知のごとく、すでにオートクレーブ養生したコンクリートを P C 杭に利用したものもある。

一方、P C 鋼材についても非常に強度の高いものが製造されるようになってきており、高強度コンクリートと

の適当な組み合わせ使用によっては、かなり経済的で安全な橋梁の設計施工が可能になりつつあるものと考えられる。一般に、P C 鋼材の価格は、P C 鋼材の強度に比例して高くなるものではないために、強度の高いものを使用するほど工事費は安くなるといわれる。しかし、非常に高い応力度を受けた状態での P C 鋼材の腐食については未解決の問題もあり、熱処理によって高強度とした P C 鋼棒の中には、おくれ破断耐力がかなり低いものもあるとの報告もある。

さらに、最近においては 200°C 程度の高温においても従来の P C スtrand に比してレラクセーションの少ないものが実用化されている。これらの P C 鋼より線の効果的利用について、たとえば、プレストレス コンクリートの耐火性を向上させるためにこの鋼材の機能を改良するなど、さらに研究する余地があると思われる。

以上のほか、川砂産出量の減少に代る海砂の利用と P C 鋼材の耐食性を向上させるための新材料の開発実用化に関する新しい問題もある。

## 6. 軽量化

橋梁のスパンを長大化し、その耐震性を向上させようとの努力は、軽量化と密接な関係があり、この軽量化を目標に材料、構造形式、設計理論は進歩発展を遂げてきたものと考えられる。先に述べた普通コンクリートに代る人工軽量骨材コンクリートの使用、あるいは高強度コンクリートの開発は、P C 鉄道橋の軽量化、長大化に大いに貢献することは明らかであろう。

P C 鉄道橋の永久荷重と、変動積載荷重との比はスパンが 80 m 以上に及ぶと 7:3 程度以上になるのが一般であり、材料により、あるいは断面形状、寸法、構造形式の改善により、永久荷重を軽減しようとの努力が行なわれてきている。ちなみに、人工軽量骨材コンクリート、高強度コンクリートなどの上記材料の使用のほか、複線 1 室箱形桁形式を橋梁構造として採用し、腹部には、鉛直あるいは斜めの P C 鋼棒を配置しプレストレスを与えることによってせん断耐力を増加させ、その厚さを合理的に定めていることは、長大 P C 鉄道橋に用いられている最近の一例である。

このほか、最近の電子計算機による解析手法の発達(変位法など)によって在来手計算にもとづく簡略計算法では明らかではなかった構造系全体としての、あるいは局部的な部分の応力状態がしだいに明らかとなりつつあり、その結果も部材の軽量化をうながすようになってきている。

しかしながら、これらの方法にもとづく P C 鉄道橋の軽量化、長大化は、コンクリート橋の上部構重量が鋼橋

のそれと比較して大きく、下部構の工事費がかさむという欠点をやや改善した程度にすぎない。したがって、今後は、軽量化、長大化というPC鉄道橋の要請に応じた合理的、経済的な構造形式の橋梁、たとえば高強度コンクリートを材料とするPCトラス橋、PCアーチ橋、PC斜張橋などの研究・開発に努力を傾注すべきであると考えられる。

### 7. 長大スパン橋梁

スパン 30 m の本格的なPC鉄道橋が昭和 29 年に信楽線大戸川橋梁に登場して以来今日までの 18 年間、その橋梁数は約数千連に達している。長大スパンのPC鉄道橋は、その死荷重が大きく、地震が多いわが国においては、最大スパンも 55 m 程度が限度であろうと考えられていたが、昭和 42 年に建設された東海道本線瀬田川橋梁には、長大スパン橋梁の耐震性を向上し、経済的なものを得るための試みとして、特殊な耐震装置（図-1）が開発採用された。この耐震装置は、仮固定式ストッパー、可動式ストッパーに分けられ、通常の荷重状態における水平力（制動、始動荷重、温度変化による影響、クリープ、乾燥収縮、などの橋梁に作用する水平力）は、この仮固定式ストッパーで受け、橋梁が設計震度程度の地震の影響を受ける場合には、仮固定のPC鋼棒が破断してすべてのストッパーが作動し、この場合、橋梁に生ずる全水平力は各橋脚、橋台に分散して作用するように考えられている。以後、この基本概念をもとに長大スパンのPC鉄道橋の設計がなされ、その過程において新構造形式の箱形桁、あるいは耐震装置も開発された（図-2）。これらPC長大橋への努力は、昭和 43 年に建設された武蔵野線多摩川橋梁（最大スパン 80 m）をはじめ、奥羽本線米代川橋梁（最大スパン 56.3 m）、山陽新幹線加古川橋梁（最大スパン 55.6 m）、吉井川橋梁（最大スパン 74.3 m）、旭川橋梁（最大スパン 55.2 m）、ごく最近に完成予定の中央本線第 2、第 3 木曾川橋梁（最大スパン 80 m）などを産んだ。これらのPC橋梁は、鉄道橋としていずれも世界最大級の規模であり、このほかにも現在計画中の鉄道橋で最大スパン 100 m を越える規模のものがある。

このように世界における長大スパンのPC鉄道橋の大部分は道路橋におけると同様、その大部分がわが国において建設されているといっても過言ではなく、地震が多いというわが国の悪条件を思えば、斯界の技術水準はきわめて高いことがうかがわれる。

これらのPC鉄道橋は、片持式工法あるいは支保工上で場所打ちされて河川上に架設されたものであり、工法に応じて、2 径間、3 径間、5 径間箱形形式の連続桁が

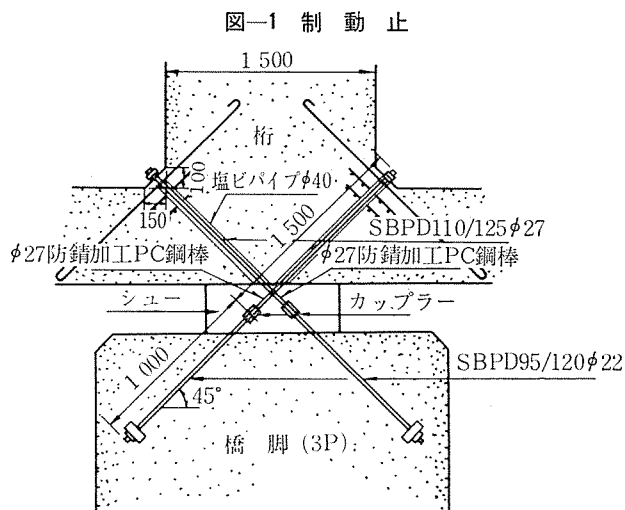


図-1 制動止

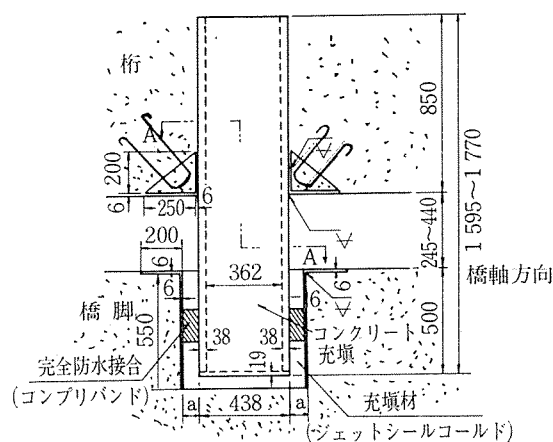


図-2 ストッパーの例

採用され、最近計画され施工中の橋梁には山陽新幹線太田川橋梁のごとく 7 径間連続桁形式の橋梁もある。

自重の大きいコンクリート橋ではそのスパンを大きくするためには、適切な力学系を選定することが必要となる。PC道路橋では桁と橋脚躯体を剛結し、主径間のスパン中央には鉛直力のみを伝え水平方向の移動を拘束しないヒンジを設けたラーメン構造が採用されているが、この種の構造系では、完成後のクリープ変形が当初予想した以上に進み、中央ヒンジ位置でたれ下ったり、あるいは日射の影響で橋の変形が大きくなりすぎたりするなど、軌道保守上の制約を受けるPC鉄道橋では採用しにくい面がある。また、中央に吊り桁をもつゲルバー桁形式の橋梁は、ゲルバーヒンジ部が列車荷重の繰り返しの影響により弱点となりやすいものとされており、PC鉄道橋としては採用しにくい面もある。

また一方、河川上に架設される橋梁計画上の最近の制約条件には、河川法にもとづく等級のほかに、流量障害率（一般に障害物の幅は堤内川幅の約数 % 以内とされている）があり、鉄道計画上斜橋とならざるを得ないことが多いためにスパンの長大化とともに、橋脚躯体幅も自

## 問題点シリーズ・2

ずと制約を受けることになる。しかしながら、長大スパンのPC鉄道橋にはPC道路橋で採用されている構造系が、上記の理由から、採用しにくい面もあり、前述のように多径間連続桁形式がとられてはいるものの、さらに長大なスパンが要求される場合には、流量阻害率とその耐震設計上の障害とならないよう、鉄道橋の構造形式もその要求にかなうものとして検討する必要があると考えられる。今日までに建設されたPC鉄道橋に使用されているPC鋼材の最大径は、鋼棒の場合φ27mm、PC鋼より線の場合12-φ12.4mmであるが、最大スパンが100mを越える規模のPC鉄道橋の設計では、さらに太径のPC鋼材、たとえばφ33mmのPC鋼棒、あるいは12-φ15.2mmのPC鋼より線などを用い、その数を減らすように心がけ、施工性を向上させるように努める必要があると思われる。また、先に述べたごとく、PC鉄道橋はその性質上スパンの長大化に応じてシュー、ストッパーも大形化するために、特殊な材料、あるいは新たな機構を開発し、実施することも目下急務となりつつある。

### 8. PC 鉄道橋の設計基準

PC鉄道橋の設計基準としては現在、建造物設計標準(プレストレスト コンクリート鉄道橋)として昭和45年3月に制定されたものが使用されている。それまでの設計は土木学会制定プレストレスト コンクリート設計施工指針をもとにして作成されたプレストレスト コンクリート鉄道橋設計施工基準(案)設計編(昭和40年3月)によっていた。

この設計標準は基本的には従前の基準(案)と変わるものではないが、鉄筋コンクリートおよび無筋コンクリートの設計標準の制定とあいまって、一部内容を再検討し、在来線と新幹線の統合が行なわれている。

また、昭和47年3月には、本標準の主旨を明らかにし、適用に誤りのないようとの主旨から解説が一部準備され、工法の改訂、PC鋼材のJIS規格改制定ともなう改訂などをおこなっている。しかし、最近制定された全国新幹線網設計標準(東北、上越、成田新幹線用)の内容はこの標準の解説には含まれていないが、主な改訂には列車荷重のうち、 $P$ 荷重についての軸重の追加および軸距の変更がある。

以下、PC標準の適用の誤りやすい点につき逐条的に述べることにする。

#### 1 編 総 則

#### 1 章 総 則

##### 1. 適用の範囲

ここでいう“特別の検討を行なう場合のほか、この標準によるものとする”という意味は、この設計標準は、

国鉄におけるPC鉄道橋の設計に対する一般の標準を示すもので、科学的な方法(たとえば、模型実験、高度な解析など)で安全性を確かめた場合は、この設計標準によらなくてもよいが、この設計標準の主旨はあくまでも尊重されなければならないということである。

#### 2. 関連規程類

国鉄関連規程類のおもなものには、建造物基本構造基準規程(昭和40年9月)、東海道新幹線 鉄道構造規則(昭和39年9月)、新幹線建造物基本構造基準規程(昭和41年9月)があるが、このほか、土木学会において定められたコンクリート標準示方書(昭和42年度)、プレストレスト コンクリート設計施工指針(昭和36年度)、各PC工法設計施工指針(案)が参考になる。また、PC鉄道橋の設計にあたっては、RC設計標準と共通する部分が多いので引用しているものが多い。したがって、設計にあたっては、RC設計標準を参考にするのがよいのである。

#### 3 章 材料および材料試験

##### 15 コンクリートの品質

PC鉄道橋に用いるコンクリートの品質は、RC設計標準に定めている品質とはやや異なっており、土木工事標準示方書4-2-(2)で次のように定めている。すなわち、プレストレスト コンクリート用のコンクリートの品質は、現場におけるコンクリートの圧縮強度の試験値が次の条件を満足するものでなければならない。

- 試験値は設計基準強度 $\sigma_{ck}$ の90%を1/20以上の確率で下らないこと。
- 連続3個の試験値の平均値は、設計基準強度 $\sigma_{ck}$ を1/20以上の確率で下らないこと。

とされている。PC鉄道橋の設計の際に用いる本標準に定められているコンクリートの基準の許容応力度は、したがってこのコンクリートの品質を前提としたものであり、RC標準に定められているコンクリートの品質を用いる場合にはPC標準に定められている基準の許容応力度は一般に用いてはならない。

#### 4 章 設計計算における基礎事項

##### 30 安全度の検討

本文には“プレストレスト コンクリート部材の設計では、終局状態について安全度を検討しなければならない”とされている。これは次のような意味であると解釈してよい。すなわち、構造物またはその構成部材がある特別な状態に達したとき、それが設計された目的に適さなくなるか、目的を達成することが不可能となるような状態(一般には、今日、前者を使用限界状態、後者を終局限界状態と呼んでいる)に対する安全性は、許容応力度法を用い、その許容応力度の値を適当に定めれば十分

に確保することができる。しかしながら、プレストレスト コンクリート構造物またはその構成部材では、プレストレスが与えられているために荷重と応力度とは比例しない。したがって、許容応力度法で設計して十分安全であっても、破壊に近い状態での安全度を、この方法で検討することによってただちに推定することはできないので、終局状態に対する安全度の検討が必要とされる。

### 32. 曲げ破壊モーメント計算上の仮定

この本文は昭和 36 年 4 月土木学会制定、プレストレスト コンクリート設計施工指針第 56 条によるものであり、RC 標準 38(2) に定める曲げと圧縮の場合とはやや異なっており、注意が必要である。後者は主として 1970 年に制定された FIP-CEB 国際基準に準じて定められたものである。

## 5 章 1 節 許容応力度

### 43. 普通コンクリートを用いた場合の基準の許容応力度

#### (3) コンクリートの基準の許容曲げ引張応力度

この項で示す本文の表—8 の値は列車荷重による繰返しの影響が 200 万回程度の場合であって、200 万回程度以上の繰返しの影響が予想される場合には、設計荷重が作用する際、コンクリート断面に引張応力が生じないように設計することが安全であるとされ、この場合でも 41(1) に規定する引張鉄筋を配置することが大切である。また、曲線軌道を支持する直角桁、あるいは曲線桁の場合には、主荷重としては、死荷重、列車荷重、衝撃、遠心荷重の組合せ荷重を設計に考慮することを忘れないようにすることが大切である。

## 2 編 構造物の設計

### 1 章 構造物一般

#### 50. たわみ

本文に“列車荷重(衝撃を含まない)によるたわみは、特別の場合を除き、スパンの 1/1000 以下としなければならない”と規定されているのは、在来線の有道床軌道用に設計される PC 桁の鉛直たわみに対する限度を示すものであり、山陽新幹線岡山以西、東北、上越、成田の各新幹線に用いられる PC 桁の水平鉛直たわみの限度は、それぞれに応じて定められている。また、スラブ軌道式直結軌道の場合、このたわみの限度のほかに折れ角の限度も定められているので注意が必要である。

## 9. 施工の省力化に伴う設計上の問題

省力化については設計と施工の両面について考えられるが、設計に関する省力化には先に述べたごとく、標準設計の推進、電子計算機の効果的利用に基づく設計、製図の自動化などがある。ここでは施工の省力化に伴う

PC 鉄道橋の設計上の問題について述べる。

PC 鉄道橋の最近における省力化の傾向は、プレキャスト部材の使用とすぐれた機械力の駆使において特に顕著である。

橋梁をプレファブ化することの利点は 1) 工期の短縮、2) 品質管理の容易性、3) 現場作業の機械化、単純化が容易であるために熟練した労働者の数を減らすことができる。4) 大量生産の場合には工事単価を下げうる可能性がある、5) クリープ、乾燥収縮を小さくしうる。などが考えられ、プレファブ化に対する施工者の要望は急速に増えつつある。

PC 鉄道橋のプレファブ化の典型は、プレキャストの I 形主ばりを並列に架設した後、横ばり、または主ばり間のコンクリート上突縁間を場所打ちし、横締めして完成する I 形桁に見られる。

この形式の桁は、プレテンション方式、ポストテンション方式のいずれの場合でも基本的な施工法である。この構造形式は、PC 鉄道橋の初期からその施工に適用され、現在まで一般化されており、この意味でプレファブ化の歴史は PC 鉄道橋の歴史とほとんど同じといえる。

プレファブ化による PC 鉄道橋の施工は上記の典型的なもの以外に、種々の顕著な施工例があり、年代的に記せばその主なものは山手線大崎架道橋(昭和 38 年 4 複線単線単純下路格子桁、山陰本線日野川橋梁(昭和 42 年、単純 I 形合成桁)、紀勢本線有田川橋梁(昭和 42 年、3 径間連続桁:単純 I 形桁を架設し、橋脚上で連続桁を形成)、北陸本線名立川橋梁(昭和 43 年、単純箱形桁:軌道直角方向に分割したセグメントを樹脂で接着一体化した)、総武本線中川放水路橋(昭和 43 年、3 径間連続下路桁:側径間箱形の主ばりを I 形 2 つに分割してゲルバー形式となるように架設し、下スラブを吊り形わくにより打ち込んで側径間を完成後、中央径間吊り桁部分も同様に施工し、最後に側径間と中央径間を結合し、連続桁とした)、奥羽本線米代川橋梁(昭和 43 年、3 径間連続曲線箱形桁:主ばりを軌道直角方向に分割したセグメントとし、支保工上で目地部を場所打ちして連続桁とした)、山陽新幹線加古川橋梁(昭和 44 年、3 径間連続箱形桁:主ばりを軌道直角方向に分割したセグメントとし、片持式架設を行なって連続桁とした)、とプレファブの方式が異なる多数の橋梁がある。このほか先に述べたように、人工軽量骨材コンクリートを用いて橋梁上部、下部構ともプレファブ化した総武本線荒川東高架橋の例もある。

PC 鉄道橋の最近におけるプレファブ化としては、そのスパンの長大化につれて、軌道直角方向に分割した箱

## 問題点シリーズ・2

形のブロック，すなわちセグメントを利用してつくるいわゆるブロック工法が脚光をあびてきている。

このブロック工法には3種類の方法がある。その1つはプレキャスト ブロックとブロックとの間に20~50cmの目地間隔をとり，この部分で双方のブロックから突き出した鉄筋を重ね継手として目地コンクリートを打込み，ブロックを結合する方法（奥羽本線米代川橋梁），また1つは接合する双方のブロック間に適当な厚さのモルタル目地を設けプレストレスを与えることによって結合する方法（荒川東高架橋），他の1つは接合するブロックとブロックの端面にエポキシ系の樹脂を塗布し，プレストレスを与えることによって結合する方法（北陸本線名立川橋梁，山陽新幹線加古川橋梁）がある。

このうち，第3番目の方法ではブロックの製作には非常な精度が要求され，現場において相互のブロックが密着するように，すでに造られているブロックの端面にはく離剤を塗布し，これを型わくがわりとして新たにブロックを製作して行くという方法がとられる。

プレキャスト ブロック1個あたりの重量は，P C鉄道橋の場合12tおよび40t程度のものが用いられている。

このようなプレキャスト ブロックを用いる場合，橋梁延長がかなり長く，しかもブロックの製作が大量生産と結びつく場合は，その工事の経済性に及ぼす効果はきわめて大きいと考えられる。しかしながら，今日までのP C鉄道橋におけるブロック工法の実績は残念なことに橋梁延長はさほど長くなく，その経済効果をあげるために複線橋梁であっても単線ごとのブロック工法をとらざるを得ないのが実情のようである。

プレキャスト ブロックを使用する場合の設計上の問題点はブロック間の継目の強度である。

プレキャスト I形桁の場合のプレキャスト間，あるいはプレキャスト ブロック間にブロック相互から鉄筋を突き出し，重ね継手とし，コンクリートを打つ場合の継目の強度については，かなり以前から試験も行なわれ実施されており，施工を入念に行なえば本体強度に比べ劣るものではないと考えられている。

しかし，プレキャスト ブロック相互の間のセメントモルタルあるいはエポキシ系の樹脂とプレストレスによって結合するという場合には，この継目には一般に鉄筋を配置することは困難である。

P C鉄道橋の場合，単純桁の場合は，主として設計荷重が作用した状態でスパンの中央の断面に正の曲げモーメントがまた，連続桁の場合にはスパン中央の断面および支点付近の断面に大きな曲げモーメントあるいは負の曲げモーメントとせん断力が同時に作用することになる

ために列車荷重の繰り返しの影響によって継目部に曲げひびわれが生じたり，継目部が開口，あるいは，ずれることのないようにこの継目部には $5\text{ kg/cm}^2$ 程度以上の圧縮応力度を残すように設計しなければならない。

このようなプレキャスト ブロック工法は，長大なP C鉄道橋の急速施工法，あるいは省力化の工法としてきわめて有力な手段であるために，国鉄においては過去数年間にわたって研究が続けられ，その設計方法，構造細目について体系化されつつある。

これらブロック工法のほかに，施工の省力化として考えられるものには，移動式支保工による施工がある。

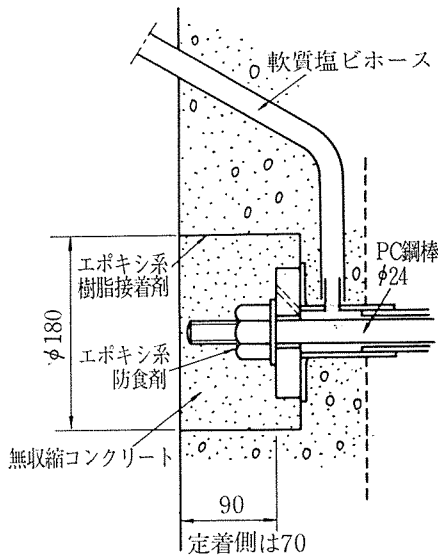
移動式支保工には，ディビダーク工法，あるいはフレシネー工法などの場合で，片持式で場所打ちコンクリートを施工するとき用いられるフォルパウワージェン，またはエキパージュモビールがP C鉄道橋の場合は一般的である。この種の移動式支保工は3~5mを1ブロックとして施工でき，単純な繰り返し作業が可能となり能率的である。また，最近数年の間に盛んに使用されてきている移動式支保工に1径間あるいはブロック全部を一度に施工しうる大形のゲリュストワーゲンといわれるものもあるが，この移動式支保工はすでに鉄道橋としてのRCラーメン高架橋の施工に使用されている。これには，地上から支持されているものと，橋脚間に架設されるスティールガーダーに支持される形式のものがあり，双方とも型わくの建込み，配筋，コンクリート打ち，養生，脱型，あるいはガーダーの移動，と単純な作業で橋梁を施工することができ能率的である。一般にこの支保工を使用して橋梁の施工が経済的となるブロックの長さは30m前後程度といわれているが，橋梁の総延長が比較的長い場合は非常に有力な施工法であると考えられるので，P C鉄道橋の省力化，急速化の工法としては，今後，是非とも考えて行きたい工法であり，本工法の採用に際しては最適なP C鉄道橋の構造形式を検討する必要があると思われる。

## 10. 設計と施工および保守との関連

P C鉄道橋の建設計画，施工の数は先に述べた事由により近年急激に増加しつつあり，しかも限られた施工体制の範囲内で推進しなければならない現状では，設計と施工および保守との関連における問題がきわめて重要である。このような観点から，施工上，保守上の問題を少なくするための設計面における配慮について，特に重要と思われる点について以下に触れることとする。

P C鉄道橋の設計において施工上もっとも重要と思われる事項に定着具の保護，シューおよびストッパーがある。

図-3 PC鋼棒切欠部



定着具の保護は、あと埋めコンクリートの目地切れ、ひびわれ、などによって定着具に腐食が生じないように施工方法を考へて、定着部切欠きの形状、かぶり、などを定めなければならないが、この場合、定着部のあと埋めコンクリートに膨張性混和剤を配合したコンクリートを用いて、ひびわれ、目地切れなどが生じないようにすると同時に、たとえ雨水が浸入しても定着部および、この付近のPC鋼材を腐食から防護するため、エポキシ樹脂を塗布する、などの配慮が必要である（図-3）。

シューは桁に作用する荷重を確実に下部構造に伝える構造としなければならないことはもちろんのこと、コンクリートの温度変化、乾燥収縮などによる桁の伸縮および荷重による桁の変形（桁端の角変化）により、桁および下部構造に有害な影響を与えない構造でなければならない。したがって、設計で適当な構造が選ばれてあったとしても、シューの据え付け位置が不適當であったり、上シュー、下シューの据え付け角度が不完全であるために1組のシューの作動が設計に近い状態とならない場合は、桁および下部構造に有害な影響を与えることがあり十分な注意が必要である。また、桁におけるシューを固定シュー、可動シューの区別をしない場合には、とくに、コンクリートの温度変化、乾燥収縮、などにおける桁の伸縮および荷重における桁の変形のほか、橋梁の動的性状について検討し、各シューが分担する荷重の大きさが定められている。この場合には、一般に、地震時の桁の落下防止および水平力をストッパーで受ける構造とする工法がとられ、長径間の連続桁では、地震時の水平力を各橋脚に分散させ、水平力の軽減をはかるためにストッパーが用いられるが、ストッパーの据え付け位置および組立てなどもシューと同様、設計で考えられている働きが十分可能となるように注意しなければならない。

これらの施工時における配慮は後日の保守の容易さにもつながるものとなる。

また一方、PC鉄道橋の維持、管理上の問題としては、KS-14で設計された橋梁にシキ700などのかつ大貨車の通過申請が出される場合の問題がある。

鋼橋の場合には、設計荷重以上の軸重の車両に対しても、これによって生ずる応力度が、鋼材の降伏点応力度あるいは座屈応力度以下の値であれば、橋梁は弾性的な挙動を示し、その車両の荷重の前後においても橋梁には何らの性状の変化も生じないといわれる。しかしながら、PC橋梁の場合、設計荷重以上の列車荷重が作用すると、その通過の前後で、ひびわれの発生、残留変形を生ずるとかの性状を示すのが一般であると考えられる。

したがってPC橋梁では、上記鋼橋と異なり、コンクリートの引張応力度の値を十分検討する必要があり、衝撃による影響を小さく安全とするために、一般に、勾配に問題がなければ列車には最徐行などの処置がとられる。この場合特に重要なことには、当該橋梁の建設時における設計図書、施工の記録の保管（情報検索の完備）実態率の算定法、などがある。このためPC鉄道橋の維持、管理上の問題とあわせてこの基準を制定するための前向きな姿勢が現在取られている。

上記PC鉄道橋の設計と施工および保守との関連における問題はPC鉄道橋の工事数量がますます増加している現状を考えれば、新しいPC鉄道橋の設計の際には常に念頭に置く必要があると考えられる。

## 11. PC 鉄道橋の設計における将来の展望

PC鉄道橋の設計は、周知のごとく、現在は使用材料の降伏点強度、破壊強度、疲労強度、などをもととしたいわゆる許容応力度法によっている。

これに対し、1964年以來ヨーロッパコンクリート委員会を中心として検討が続けられ、1970年ヨーロッパコンクリート委員会、プレストレストコンクリート国際会議の共同提案として発表された限界状態設計法がある。

構造物またはその構成部材がある特別な状態に達したとき、それが設計された目的に適さなくなるか、目的を達成することが不可能となるような状態を限界状態と呼ぶが、この限界状態には、正常な使用と耐久性とに関係する条件を満足できなくなり、使用に適さなくなる使用限界状態と、最大耐荷力に相応した条件が満足できなくなり使用不可能となる終局限界状態とがある。限界状態設計法は、構造物が受ける荷重強度の分布から定まる荷重係数を乗じて得られた計算用荷重と、材料強度の分布をもととし、ある低減係数を乗じて得られる計算用材料



## 問題点シリーズ・2

強度とを用い、構造物がある限界状態に達する確率を所定の値以下にする設計方法である。したがって、この設計法によれば安全度の概念はより明確にされと考えられる。たとえば、プレストレスト コンクリートの場合には、プレストレスがあるために構造物あるいは部材に作用する荷重と応力度とは比例しない。したがって、許容応力度法で設計されて十分安全であっても破壊に近い状態における安全度を推定することはできないので、終局限界状態を検討することによって安全度を明確にすることができる。などの利点がある。

諸外国における限界状態設計法の採用の動きは、近年、ますます高まっており、すでにコンクリート部材については、先に述べた FIP-CEB が、あるいは ACI-ASCE がその基準に取り入れており、また鋼橋においては AASHO (1971 年中間示方書) において採用されてきている。

また、この限界状態設計法には、最近の諸外国におけるせん断に関する研究をもととした設計方法も規定されており、現行の許容応力度設計法にかわって将来の鉄道土木構造物の設計の基本概念となるものと思われる。したがって、これからはその設計法の確立に必要なとされる統計的資料、材料特性などに関する資料、などを調査、収集し検討することが必要となろう。

## 12. あとがき

PC 鉄道橋の設計に際しての最近の問題点と思われるものについて述べてきたが、これらの問題には現在調査研究中で未解決のものもあり、その意味において問題点を取り上げたにとどまり、中途半端となったことは筆者としても遺憾である。ここでおことわりしておく。

1972.10.6・受付

---

## 講演概要集販布について

協会では毎年行なっております講演会の概要集の残部がありますのでご入用の方は代金を添えて、協会へお申し込み下さい。

○ 5 回, 6 回, 7 回, 8 回, 9 回 (各 250 円 ㊦ 100 円)

---

## PC 構造物設計図集発売について

当協会では、先に「PC 構造物設計図集」の出版を企画し、本会編集、(株)技報堂発行の形で出版致しておりますのでお知らせします。

本書は、本協会誌「プレストレスト コンクリート」の末尾に掲載致しております折込付図を、協会誌編集委員会の手により、PC の設計・施工に携わるの方々のご使用に便利なように、土木編 (32 編)・建築編 (28 編)・その他 4 編の三部門にわけ、それぞれに写真・説明等を入れ、わかりやすく編集したものです。皆様のお手元にぜひお備え下さいませよう、おすすめ申し上げます。

体 裁 : B 4 判 138 ページ 活版印刷

定 価 : 1500 円 会員特価 : 1200 円

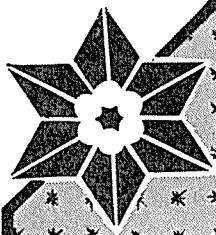
送 料 : 250 円

申 込 先 : 東京都中央区銀座 2 の 12 の 4 銀鹿ビル 3 階

プレストレスト コンクリート技術協会

TEL (541) 3595 振替 東京 62774 番 ㊦ 104

東京製網製品



# PPC

## JIS G 3536

鋼線・鋼より線  
BBR工法鋼線  
多層鋼より線 (19~127本より)

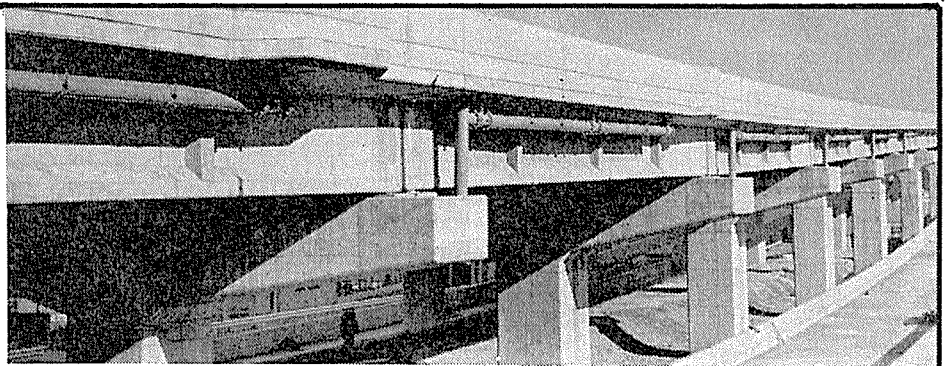
製造元 東京製網  
発売元

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階  
電話 (211) 2851 (大代表)



### 鋼弦コンクリート

設計  
施工  
製造



首都高速道路4号線

## 富士ピー・エス・コンクリート株式会社

(旧社名 九州鋼弦コンクリート株式会社)

取締役社長 山崎 剡 秋

本社	福岡市中央区天神二丁目12番1号	天神ビル(〒810)
	電話 福岡(092)72-3471~3・72-3468~9	
福岡支店	福岡市中央区天神二丁目14番2号	福岡証券ビル(〒810)
	電話 福岡(092)72-3475~6・72-3481~3	
建築事業部	福岡市中央区天神二丁目14番2号	福岡証券ビル(〒810)
	電話 福岡(092)72-3485~7	
大阪支店	大阪市北区芝田町9-7	新梅田ビル(〒530)
	電話 大阪(06)372-0382~0384	
東京支店	東京都港区新橋四丁目24番8号	第二東洋海事ビル(〒105)
	電話 東京(03)432-6877~6878	
営業所	大分営業所・宮崎営業所・広島営業所	
工場	山家工場・大東工場・関東工場・下淵作業所・筑豊工場・甘木工場・夜須分工場・大村分工場	