

特別講演Ⅲ

日本道路公団におけるPC橋の技術開発

日本道路公団 名古屋建設局長 平野 實

1. はじめに

我が国におけるPC橋は、1951年に長生橋(石川県七尾市)が架設されて以来45年間で急速な進歩を遂げている。長生橋は、支間3.6mの工場製作のプレテン桁を人力と馬車で架設し、横締めをして一体化したものであるが、現在では支間260mの斜張橋が完成し、支間275mのPC・鋼複合連続エクストラード橋や大規模なプレキャストセグメント工法(Precast Segmental Construction)による箱桁橋などが計画されている。

しかしPC橋の建設にあたっては、鋼橋と比較して現場作業期間を長く必要とすること、場所打ちの場合には現場において鉄筋工及び型枠工等の熟練工を多く必要とすること、高度な品質管理を必要とすること等の課題があり、これらを早急に解決することが極めて重要である。さらに、低経済成長時代で、しかも高齢化社会を迎えようとしている我が国においては、社会資本の一つとして位置づけられる橋梁を、メンテナンスコストも含めて如何に経済的なものとするかが重要な課題となっている。

これらの課題を解決するため、設計・施工・材料等の開発が行われ、PRC構造の採用・外ケーブルの使用・高強度材料の使用・プレキャストセグメント工法の採用等の新たな取り組みが行われている。

本文は、これまでのJH日本道路公団のPC橋の紹介をするとともに、夢のスーパーハイウェイである第二東名・名神高速道路をはじめとする今後の高速道路建設に向けたPC橋の開発方針と、新たな取り組みのうちのいくつかの計画事例について述べるものである。

2. 日本道路公団におけるPC橋の現況

2-1. 高速道路で一般的に用いられているPC橋

日本道路公団において標準的に用いられているPC橋の形式は、図-1に示すとおりである。また、その適用は、以下に述べるとおりである。

(1) 中空床版橋

径間長30m以下の橋梁においては、その経済性及び曲線への適用が容易であること等から、特殊な架設条件を除いて、一般的に中空床版橋が広く用いられている。

(2) 2主版桁橋

2主版桁橋は、中空床版橋と同程度の径間長で用いられる。中空床版橋と比較して底面の型枠は複雑であるが、円筒型枠がなく、鉄筋及びシースの配置が容易となり、大型移動支保工では工期の短縮が可能で経済的となることから、札幌自動車道で広く用いられた。また、一般の固定式支保工施工においても省力化となるので、適用径間長の増大も含めて、今後の適用範囲の拡大が期待される。

(3) 箱桁橋

箱桁橋は、曲線への適用が容易であり、中規模径間長から大規模径間長まで広く用いられる。大規模径間長の代表的な橋梁としては、径間長240mの浜名大橋が1976年に完成している。固定式支保工施工では、一般に径間長60m程度まで用いられ、大型移動支保工による径間長40m程度までの施工事例も増大している。また、径間長60m程度以上は、移動作業車を用いた張出し架設工法が用いられている。最近では、あらかじめ現場ヤードで分割されて製作されたセグメントを、架橋位置でプレストレスを与えて一体化するプレキャストセグメント工法による施工も計画されており、松山自動車道の重信川高架橋等で現在施工中である。

(4) プレテン桁橋

プレテン桁橋は、適用径間長が短く、平面曲線及び縦断曲線への適用が困難であることから、最近の高速道路での採用は少なくなっている。

(5) ポステンT桁橋

ポステンT桁橋は、一般的に中規模径間で架設位置付近に桁製作ヤードが確保できる場合に採用されているが、平面曲線半径が小さい場合に適用が困難である。また、床版間詰め部が耐久性上の弱点となることから、最近の高速道路での採用は少なくなっている。

(6) ポステン合成I桁橋

ポステン合成I桁橋は、場所打ちの床版とポステンI桁を合成構造とするので、連続桁が比較的容易となり、縦断曲線との適応性もポステンT桁橋と比較して良好であること等から、高速道路においては比較的多く用いられている。

(7) 斜張橋

斜張橋は、大規模径間において事例があり、東名足柄橋 (最大径間長185m) や碓氷橋 (最大径間長110.2m) が完成している。

(8) エクストラードロード橋

エクストラードロード橋は、桁外に大偏心させたケーブルと桁内のケーブルによりプレストレスを与える構造で、斜張橋と比較して斜ケーブルの水平分力が大きいので斜ケーブルの疲労の影響が少なくなること及び主塔高が低くなること等から、経済的な設計が可能となる。エクストラードロード橋の実績としては、小田原ブルーウェイブリッジ (最大径間長122.3m、1994年完成) や衝原橋 (最大径間長180m、施工中) がある。

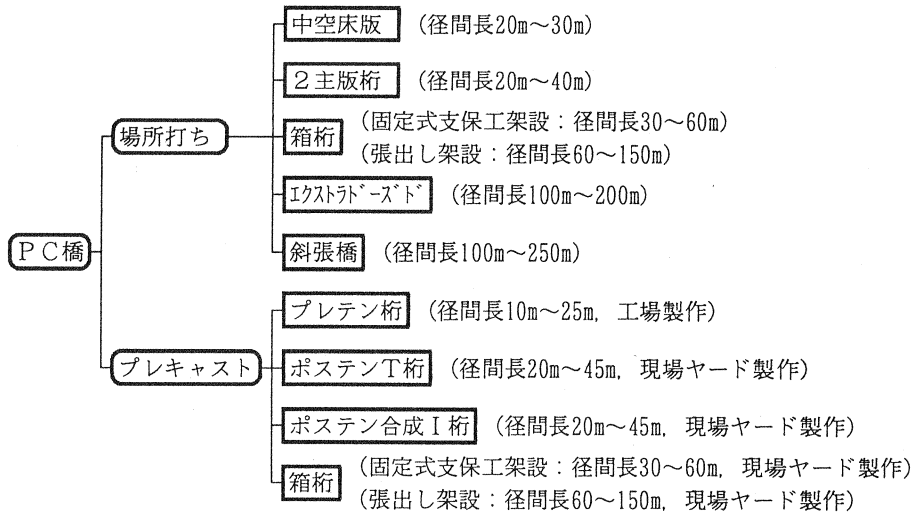


図-1 PC橋の標準的な形式

2-2. PC橋における課題

PC橋における現況の課題は、以下に述べるとおりである。

(1) 施工における課題

- ① 場所打ちにおいては、現場で熟練工を多く必要とする。
- ② 現場で高度な品質管理を必要とする。(コンクリート打設、PC鋼材緊張、グラウト等)
- ③ 現場での工期が長くなる。

(2) 設計における課題

- ① 施工方法を十分に考慮した設計とする必要がある。
- ② 現場条件・施工計画・架設機材・使用材料・設計方法等を総合的に検討し、経済的で合理的な橋梁計画とする必要がある。
- ③ PC橋の欠点である自重を低減する必要がある。

(3) 使用材料における課題

- ① PC鋼材の防錆方法を改善する必要がある。
- ② 経済的な高強度鋼材及びコンクリートの使用を促進する。
- ③ 新素材緊張材 (炭素繊維、アラミド樹脂等)

3. 第二東名・名神高速道路のPC橋の計画

3-1. 第二東名・名神高速道路の計画

現在の東名・名神高速道路は、昭和44年5月の全線開通以来、我が国の基幹交通を担う大動脈として産業、文化、経済に非常に大きな貢献を果たしてきた。しかし、近年の経済の急激な発展に伴う自動車交通の増大により、東名・名神高速道路のほぼ全線にわたり混雑が著しく、本来の高速性、定時制が低下してきており、このままでは将来の交通需要に対応することは困難であると予想される。

第二東名・名神高速道路は、これらの問題点に対応し、東名・名神高速道路と一体となって、第四次全国総合開発計画で提唱されている交流ネットワーク構想を推進するための高規格幹線道路網の根幹として、将来における一層の高速交通機能を確保するとともに、東名・名神高速道路との適切な交通機能の分担と高い信頼性を確保し、我が国の産業、文化、社会経済活動の振興に寄与しようとするものである。

第二東名・名神高速道路の計画路線を図-2に示す。

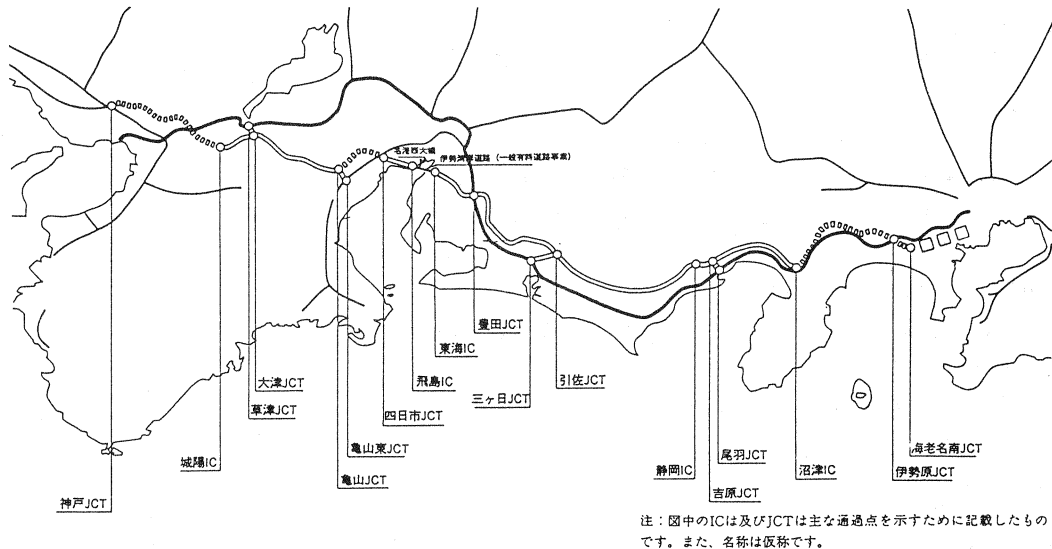


図-2 第二東名・名神高速道路の路線概要

3-2. PC橋の技術開発に必要な条件

前述のとおり第二東名・名神高速道路は、今後の我が国の道路網の根幹をなす夢のスーパーハイウェイである。本高速道路に構築されるPC橋は、新技術・新工法を導入し、種々の課題を解決するとともに、有料道路事業としての採算性確保のため、事業費の削減が可能となるものとする必要がある。本高速道路のPC橋の技術開発に必要な条件は、以下に示すとおりである。

- ①橋梁に作用する各荷重状態に対して安全であること。
- ②腐食や疲労などに対する長期的な耐久性を確保すること。
- ③現在の橋梁よりもトータルコストで経済的となること。
- ④現場作業の省力化及び軽減が図れること。

3-3. 第二東名・名神高速道路のPC橋の取り組み

前述のとおり我が国のPC橋においては、現場の省力化や工事費の低減を初めとして解決すべきいくつかの課題が残されており、これらの課題をどのように解決していくかが、今後のPC橋の発展に不可欠であると考えられる。したがって、日本道路公団においても、特に現場の省力化や工事費の低減を目的として、以下に示す項目について検討を行っている。また、次節以降に具体的な検討事例を述べる。

(1)施工方法

①プレキャストセグメント工法の採用

省力化、高品質化、工事費の削減が可能となるプレキャストセグメント工法(現場ヤード製作)のPC箱桁橋への採用に関する検討

②張出し架設工法の合理化

広幅員(片側3車線)PC箱桁橋の張出し架設工法の合理化及び工期の短縮に関する検討

(2)設計方法

①PRC構造の設計方法の確立

構造物の特性に合わせて、PCとRCの長所を有効に利用でき、工事費の削減が可能なPRC構造の設計方法に関する検討

②外ケーブル構造の設計方法の確立

部材の軽量化が可能で、メンテナンスも容易な外ケーブル構造の設計方法に関する検討

③合成構造の計画及び設計方法の確立

省力化及び工事費の削減が可能となるコンクリートと鋼との合成構造の計画及び設計方法に関する検討

④合理的で経済的な橋梁計画の検討

現場条件・施工計画・架設機材・使用材料・設計方法等を十分に調査し、橋梁の初期計画段階からこれらの調査結果が反映できる経済的で合理的な橋梁計画の検討

(3)使用材料等

①高強度コンクリートの採用

部材の軽量化及び工事費の削減が可能となる高強度コンクリートの採用に関する検討

②高強度PC鋼材の採用

PC鋼材の減少による工事費の削減が可能となる高強度で疲労に対して安全なPC鋼材の採用に関する検討

③PC鋼材の新しい防錆方法の検討

3-4. プレキャストセグメント工法の採用

第二名神高速道路が通過する木曾三川部(木曾川・長良川・揖斐川)付近の干拓地において、下記の理由により、プレキャストセグメント工法による箱桁橋及びエクストラロード橋を約10kmの区間で採用している。

- ①プレキャストセグメント製作ヤードが架橋地点近傍で確保できる。(PC箱桁の本線橋延長1.5kmで約3~4万 m^2)このため、他の形式(鋼板桁橋・鋼箱桁橋等)と比較して経済的となる。
- ②架橋位置での作業が軽減され、大幅な架設工期の短縮となる。

③セグメント製作ヤードで集中的に管理するため、品質管理が容易となる。
 当該区間のうち川越高架橋(径間長40~70m)の横断面図を図-3に示す。また、本橋の特徴を以下に述べる。

①セグメントの製作は、ショートラインマッチキャスト方式とし、省力化、高品質化及び工事費の削減を図る。(同規模の場所打ちのPC箱桁橋と比較して20%以上経済的となる。)

②外ケーブルと内ケーブルを併用し、部材厚の減少による軽量化及び工事費の削減を図る。

③床版横締めケーブルは、プレテンション方式とし、省力化及び工事費の削減を図る。

④高強度コンクリート(50N/mm²)の使用による軽量化及び工事費の削減を図る。

⑤高強度PC鋼材(B種)の使用による工事費の削減を図る。

⑥外ケーブルの防錆は、経済的でメンテナンスが容易なエポキシ樹脂塗装をしたPC鋼材をそのまま使用する方法を検討している。

3-5. PC・鋼複合連続エクストラードード箱桁橋の採用

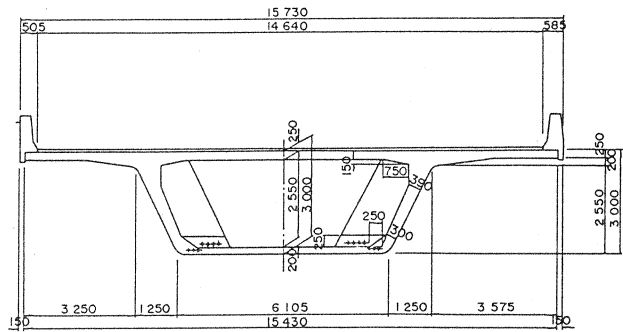
第二名神高速道路のうち三重県内の木曾川及び揖斐川を横過する箇所は、河口部付近となるため、それぞれの河川を横過する橋梁は、1kmを超える橋長となり、特に堤体を横過する箇所が河川管理条件等から160m以上の径間長となることから長大橋として計画する必要がある。この場合、当該河川の架設条件からは、鋼箱桁橋、鋼トラス橋、鋼斜張橋、PC斜張橋、PCエクストラードード橋、PC箱桁橋等の採用が考えられるが、本区間では下記の理由により、世界で初めてのPC・鋼複合連続エクストラードード箱桁橋を採用する計画である。

①エクストラードード構造は、比較的長径間の橋梁において、外力を主桁と斜ケーブルで適切に分担しているため、外力のほとんどを斜ケーブルで分担している斜張橋と比較して、建設コストの低減を図ることが可能となる。

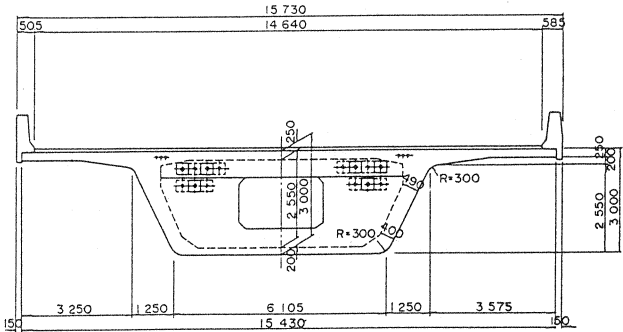
②斜ケーブルに作用する応力変動を低減できるので、斜ケーブルの引張応力度の許容値を増大させ斜ケーブル量を低減することが可能となるとともに、より安価な定着構造を有する斜ケーブルの採用が可能となり、建設コストが低減される。

③端径間部を除いた径間中央部を鋼箱桁、中間支点付近をPC箱桁とした複合構造により、死荷重が減少し、径間長の増大が可能となり、下部工と上部工のトータルコストが最も少ないバランスのとれた設計が可能となる。

④PC箱桁部に外ケーブルと内ケーブルを併用すること及びプレキャストセグメント工法とすることにより、鋼連続箱桁橋と比較して安価となる。



(a) 支間中央



(b) 中間支点上

図-3 川越高架橋横断面図

木曾川橋 (最大径間長275m) の概略図を図-4に、横断面図を図-5に示す。また、現在計画中の本橋の特徴を以下に述べる。

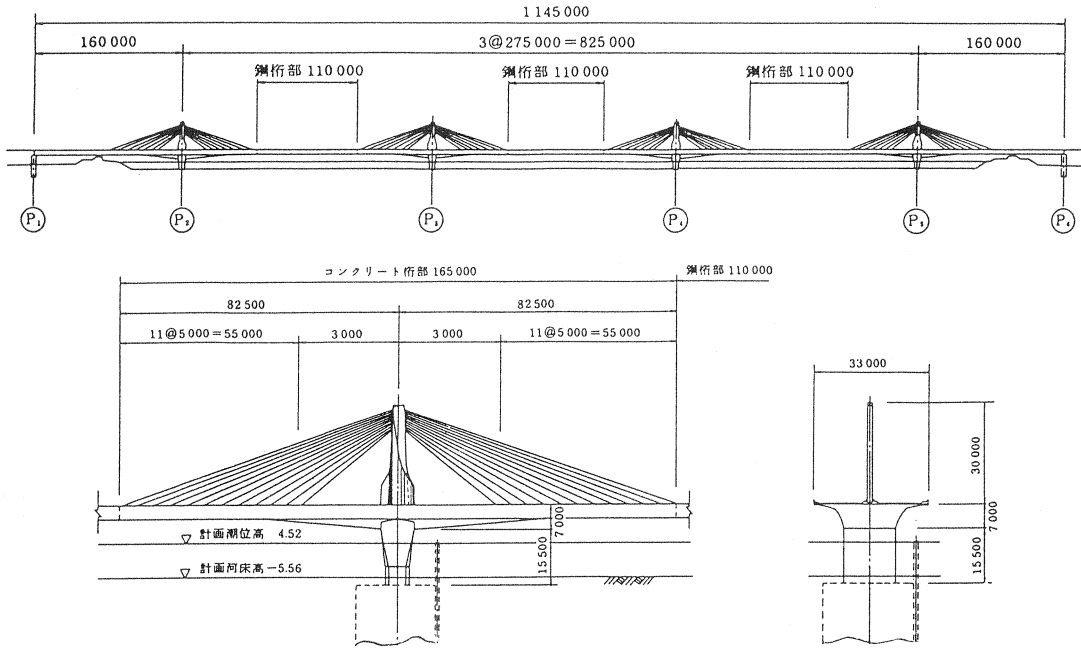
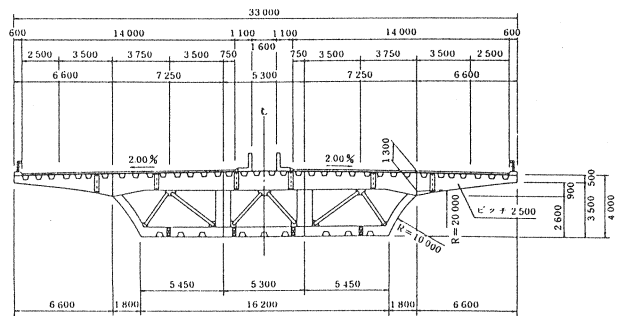
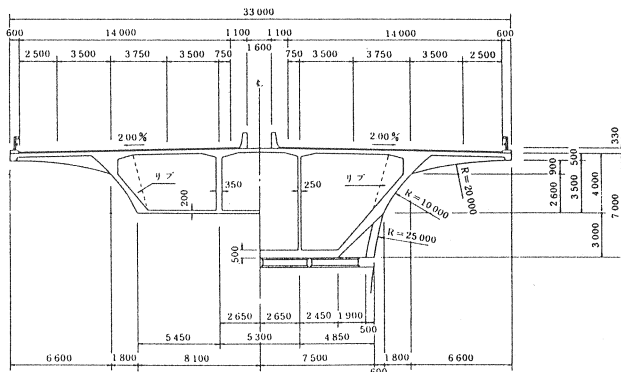


図-4 木曾川橋概略図

- ①斜ケーブルの主げた定着部付近まではPC箱桁とし、径間中央部は死荷重低減のため鋼床版箱桁(約100m)とすることにより、全体の低コスト化を図る。
- ②PC箱桁と鋼箱桁との接合部は剛結構造としPC鋼材で補強するとともに、鋼箱桁内部にもPC箱桁と連続して外ケーブルを配置することにより、鋼重の減少及び接合部の安全性の向上を図る。
- ③斜ケーブルは一面吊りとし、中央分離帯側に設置することにより、低コスト化を図る。
- ④主塔高さは、斜張橋の1/2以下(30m)とし斜ケーブルの応力変動の低減を図る。
- ⑤斜ケーブルは、応力変動が小さいので現場製作ケーブルを基本とする。
- ⑥外ケーブル及び内ケーブルを併用することにより、PC箱桁部の軽量化を図るとともに低コスト化も図る。



(a) 鋼桁部



(b) PC桁部

図-5 木曾川橋横断面図

⑦高強度コンクリート（60N/mm²）の使用による軽量化及び工事費の削減を図る。

⑧PC箱桁部はプレキャストセグメント工法とし、架設はヤードで製作されたセグメントを台船で運搬しエレクションノーズによるキャンチレバー架設とする。

⑨鋼箱桁部は、台船による一括つり上げ架設とする。

3-6. PRC連続2主版桁橋の計画

一般の都市内高架橋においては、大規模道路等の交差箇所や基礎が特に深くなる場合を除いて、その径間長が20m~40m程度となる事例が多い。このような中小径間長においては、従来はPC中空床版やポステン合成I桁橋等が採用されてきた。しかし、今後は、工事費の削減や省力化を図る必要があるため、下記の理由によりPRC連続2主版桁橋を計画している。

現在計画しているPRC連続2主版桁橋の標準的な横断面図を図-6に示す。

①PRC構造は、PCとRCの両者の特長を兼ね備えているため、構造物の特性に合わせて、PCとRCの長所を有効に利用できる合理的な構造とすることができる。

②PRC構造とすることにより、PC構造と比較して工事費の削減が図れるとともに、シースの配置本数が減少するため省力化となる。

③2主版桁構造とすることにより、径間長20m~40mの範囲において、中空床版橋やポステンT桁橋よりも経済的となる。

④大型移動支保工が可能な場合は、工期の短縮が可能となる。

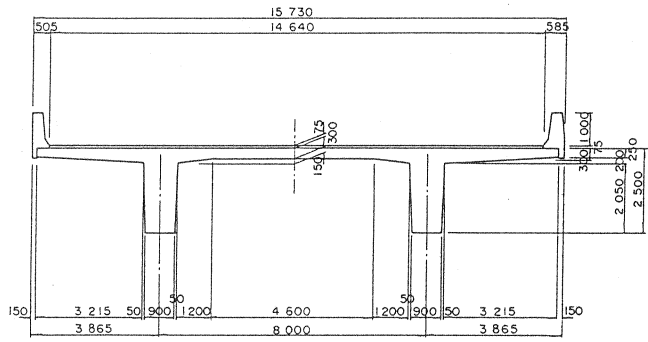


図-6 PRC連続2主版桁橋の横断面図

3-7. 鋼橋のPCプレキャスト床版の採用

鋼橋のうち鋼箱桁橋や鋼鈹桁橋は、一般的に床版支間が3m程度以下のRC床版として設計を行っている。この場合は、主桁本数が多くなるため鋼重が増大するとともに、床版が場所打ちRC床版となるため現場工期が増大するという課題がある。これらの課題を解決するため、下記の理由により鋼箱桁及び鋼鈹桁橋にPCプレキャスト床版を採用している。

PCプレキャスト床版を採用している東海大府高架橋（鋼連続鈹桁橋、最大径間長71m）の横断面図を図-7に、現在計画中の員弁川橋（鋼連続箱桁橋、最大径間長97.5m）の横断面図を図-8に示す。

①床版をPC構造（床版支間6m程度）とすることにより、主桁本数が減少し、鋼重が少なくなり経済的となる。

②PC床版を工場製作のプレテンション方式のプレキャスト床版とすることにより、工事費の削減、工期の短縮及び省力化を図ることができる。

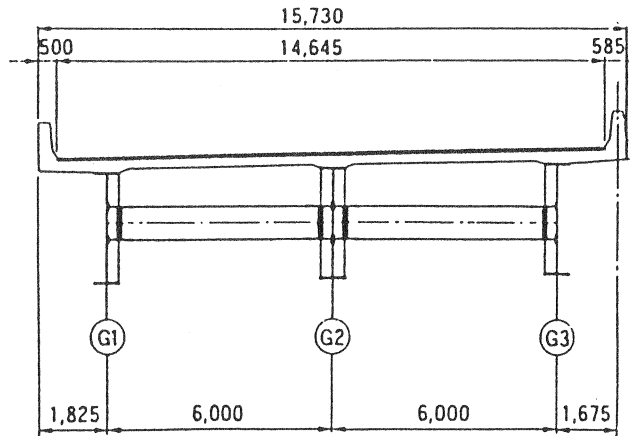


図-7 東海大府高架橋横断面図

③工場製作となるので十分な品質管理が可能となり、耐久性のある部材とすることができる。

④高所作業が減少するので、工事の安全性が向上する。

4. おわりに

わが国におけるPC橋の技術は、昭和30年代から50年代にかけて、ヨーロッパからの新技術・新工法を積極的に導入し急速に進歩した。しかし、昭和60年代以降は、新素材緊張材の開発や斜張橋の採用等がみ

られるものそれ以前に比較すると、その進歩の度合いは鈍化してきたように見受けられる。その間に例えば米国においては、昭和50年代以前は建設される橋梁の半数以上が鋼橋であったものが、今日では新技術・新工法の積極的な導入により、その半数以上が鋼橋よりも経済的なPC橋となっている。一方わが国においては、最近になってプレキャストセグメント工法等の新技術・新工法への試みがなされているが、未だに一般化するには至っていない。

したがって、今後特にPC技術者に求められることは、新技術・新工法を積極的に導入し、PC橋及び鋼橋の区別なく合理的でかつ経済的な橋梁を建設することではないかと考えられる。そのためには、前述の複合エクストラード橋をはじめとして、従来の枠組みや手法にとらわれることなく、新たな発想のもとで、事業者や受注者の区別なく不断の努力をし、更なる技術開発を行うことが重要ではないかと思われる。

最後に、日本道路公団のPC橋の技術開発に対して、今後ともPC技術協会の会員の皆様のご支援とご協力を賜りますことをお願い申し上げます。

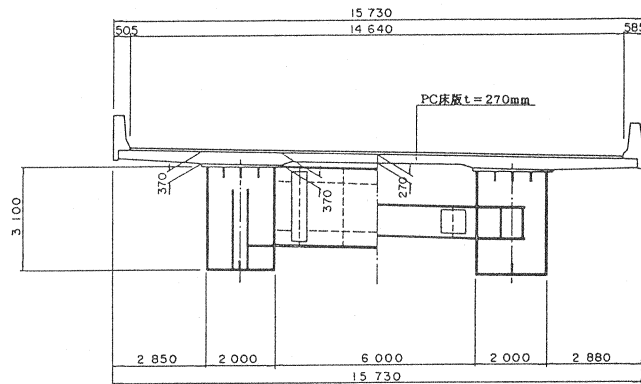


図-8 員弁川橋横断面図