

新技術, 新構造の導入についての私見

小宮 正久*

新技術, 新構造の導入が盛んに行われているが, 単に新技術, 新構造を採り入れているような無意味な計画が散見される。このようなことが起こらぬよう, 新しいことを試みるにあたって考慮すべきコンセプトについての私見をプレキャストセグメント工法と複合構造(鋼部材とコンクリート部材を組み合わせて, 相互の利点が発揮されるようにした構造)を例にとり示すこととする。

1. まえがき

第二東名神, 名阪の橋梁建設を目的として, 主として日本道路公団を中心に橋梁の技術革新が急ピッチで進行している。さらには, 公共事業費縮減のための一つの方策として, この技術革新に拍車が掛かっているように感じられる。特にコンクリートの分野においては, 主にヨーロッパにおいて開発された新しい技術や構造を大胆に採り入れ, さらには発祥の地においても試みられていないような大規模な構造を実現しようとしている。

かつて, 今では極めて一般的なコンクリート橋の形式になった連続ラーメン構造ですら, 採用されるまでにはかなりの時間と労力が必要であったことと比較すれば, はるかに大胆な新技術, 新構造を積極的に採り入れ, より合理的な橋梁を建設しようとする体制が(特に官側に)確立されようとしていることは誠に望ましいことである。

一方, 当然のことながら新しいことを試みるにあたっては, コンセプトがなくてはならない。しかしながら, 中には世界初あるいはわが国初といっただけの単なる新規な構造を実現するために新技術を導入するといった例や, 必要もないのに新技術や新構造を採用するといったことも多々あるように思われる。バブルの時, 必然性のよく理解できないPC斜張橋がいたる所に建設されたのと同じようなことが起きてはならないと考える。

新技術, 新構造の導入には, 少なくとも技術的必然性がなくてはならないし, 建設された構造物は普遍的な合理性を備えていなければならない。一回の試みで終わってしまうようなものであってはならず, 普遍的な技術に発展し, 定着するものであらねばならない。このような趣旨ののっとり新技術, 新構造に対する個人的な見解をプレキャストセグメント工法と複合構造について示すこととしたい。

2. プレキャストセグメント工法

2.1 利点と問題点

新技術, 新構造を採用するにあたっては, その利点や問題点を十分理解することが必要である。一般にプレキャストセグメント工法は, 省力化, 施工の急速化(工期短縮),

施工の確実性(この結果としての高品質化), 部材自重の軽量化等の利点があるが, 経済性において一般の場所打ち工法を超えるのは容易ではない。

プレキャストセグメント工法の利点が発揮されるためには, セグメントの製法, 運搬, 架設等を効率的に行い得る設備や機械が必要である。所要の技術や機械を整えるためには, 相応の費用が必要であり, このため場所打ち工法に対し, 経済的に不利となる。

これらの費用の償却は, 工事規模が大きいかほど有利であるから, 同一形式の部材を大量生産できる幅員や支間長が一定の橋長の長い高架橋等の場合には, 場所打ち工法よりも経済的になる。しかしながら, このような条件を備えた橋梁はまれであるから, プレキャストセグメント工法の適用分野は主に経済性の面で制限され, 場所打ち工法のような普遍性を持つのは難しいといえる。

一方, プレキャストセグメント工法の経済性は, この工法の利点である部材自重の軽減化, 省力化, 施工の急速化によって改善できる。

プレキャストセグメント工法の場合, 場所打ち工法では, 施工不可能な寸法の小さい部材(たとえば, 内型枠の組立・解体が困難な桁高の低い箱桁, 外ケーブル採用におけるウェブ厚の減少等)の製造が可能になるので部材自重の軽減化を図ることができる。コンクリート橋における部材自重の軽減は, 上下部工の工費節減に直接的に結びつく。省力化は労務費を, また急速化は諸経費, 機械損料等を節減できる。これらの工費の節減が, 所要の諸設備, 機材費等の費用増を打ち消し得ればプレキャストセグメント工法は, 場所打ち工法よりも経済的になる。この好例が阿嘉橋である(図-1, 表-1および表-2)。

阿嘉橋は離島に架かる橋であるため建設資材材のすべてを沖縄本島より搬入する必要があるが, プレキャストセグメント工法が場所打ち工法よりも経済的になった。また島民の現場作業へのさまざまな要求を満たし得る工法としてもプレキャストセグメント工法が優位となったものである。

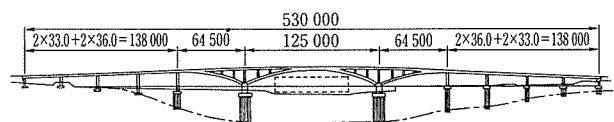


図-1 阿嘉橋全体一般図

プレキャストセグメント工法の採用に関しては, この工法の持つ利点と問題点を十分に吟味しなければならない。この工法の掛け値なしの利点は, 次の2点であると考えられる。

* Masahisa KOMIYA : (株)日本構造橋梁研究所

表-1 阿嘉橋におけるプレキャストセグメント工法による軽量化

	箱桁断面 (プレキャストセグメント工法)		ホーロー断面 (場所打ち工法)	
	形状	断面積	形状	断面積
アーチリブ		4.512m ²		6.442m ²
補剛桁		4.976m ²		6.437m ²
結合		6.948m ²		9.582m ²
取付橋		5.634m ²		6.554m ²
コンクリート体積：3 775m ³ (0.781)		コンクリート体積：4 834m ³ (1.000)		

表-2 阿嘉橋においてプレキャストセグメント工法の採用により得られた利点

項目	場所打ち工法	プレキャスト工法
工期	現場施工 橋体 40.5月, 橋面4.0月 支保工存置期間 35.0月 全体工期 48.0月	現場施工 橋体 29.0月, 橋面4.0月 支保工存置期間 29.0月 全体工期 40.0月 (ブロック製作 29.0月)
工費	上部工 0.758 下部工 0.242 合計 1.000	上部工 0.647 下部工 0.214 合計 0.861
施工性	海上施工は気象状況に左右されやすく, 工程管理が困難である。	現場施工が短く, 気象状況に工程が左右されにくいいため, 工程管理は現場打ち方式より容易である。
品質管理	除塩設備が必要となる等, 品質管理は困難である。	打設部を集中管理できるため高度な品質管理が可能である。
コンクリート供給	新プラントの建設が必要である。	在来のプラントの補強で供給可能である。
労務管理	労務が長時間, 多数必要であり, 労務時間は困難である。	製作と架設が別工程で行えるため労務が分散でき, 労務管理が容易である。
実績	河川, 陸上部での実績は多いが, 海上部での長期支保工施工は少ない。	瀬戸大橋, 池間大橋, 新山下橋, 東名足柄橋等, 実績が伸びつつある。
評価	プレキャスト工法は, 海上施工の期間を大幅に短縮することができるため, 気象の工程に対する影響を最小限にとどめることが可能である。部材製作は製作ヤードで行うため, 集中管理が可能である。部材の軽量化により経済性の面でも場所打ち方式より優れており, プレキャスト工法が最も適した工法である。	

- 部材自重の軽量化
- 上下部同時施工による工期の短縮

2.2 プレキャストセグメント工法における

概念としての最適化

プレキャストセグメント工法を一般化するための1つの方法として, 複数の橋梁をまとめて工事規模を大きくし, 経済化を図る方法が考えられる。

この場合, できる限り構造形式, 支間長, 断面形状を統一し, 標準化を図る必要がある。一方, 架橋位置が相違するために生ずる橋梁緒元の変動 (主に支間長) に対しても柔軟に対応し得る標準化を行う必要がある。この標準化に際し, 以下に示すような条件を満たすことができれば, プレキャストセグメント工法は経済性において場所打ち工法と

競合できるようになり, その適用分野は拡大されるものといえる。もとより, この条件は, プレキャストセグメント工法が有利となる場合にも当てはまる。

- (i) 施工 (製作) が容易で軽量の断面形状であること。
- (ii) 製作, 運搬, 架設において分割可能な断面形状であること。
- (iii) 幅員の変化, 道路の平面線形に柔軟に適合できること。
- (iv) 同一桁高で支間の変化に柔軟に適合できること。
- (v) 任意の構造形式, 架設法を選択できること。

これらの条件に最も適合する構造の例として, 図-2に示す外ケーブル方式の2主桁橋が考えられる。

- (i) 断面形状は, ウェブ厚, 下フランジ厚の変化のない

T形断面であり最も単純な形状である。また、図-2に示す断面の単位面積あたりの自重はそれぞれ1.28tf/m²、1.45tf/m²であり、鋼2主桁橋とほとんど変わらない軽量の断面である。このように軽量の開断面であるために、支点部のセグメント化も容易である。

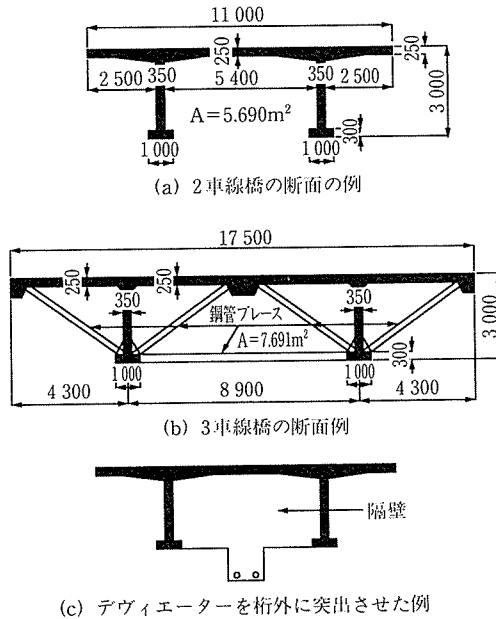


図-2 プレキャストセグメント工法における最適断面

(ii) 左右対称断面とすれば一体施工、分割施工いずれも可能である(表-3)。

表-3 施工法の組合せ

組合せケース	製作	運搬	架設	一体化
I	分割	分割	分割	架設後
II	分割	分割	一体	架設前
III	分割	一体	一体	運搬前
IV	一体	一体	一体	製作時

(iii) 2m程度の幅員変化には、上フランジを場所打ちコンクリートにより拡幅する方法により、また2m以上の大きな幅員変化にはブレースにより補強する。3主桁構造とする等の方法により対処する。また、曲線橋の場合には、両下フランジ間を横構により剛に結合することで対応可能である。

(iv) 支間長の変化に対しては外ケーブルの容量、本数、偏心量(開断面であるため、デヴィエーターを桁の下側に突出することにより任意の偏心量を選定できる)を変化させ適合させる。この組合せにより、3mの桁高で30m~70m程度の支間長に対応できる(図-2, (c))。

(v) 開断面であるため橋脚との剛結も容易に行える。正の曲げモーメントに有利な断面性能であるため固定支保工または移動支保工によるスパンバイスパン架設工法が最も有利であるが、押出し工法も可能である。片持架設は架設用の斜吊り材を用いれば可能である。この段面形状は箱桁断面への変更も製作台

を大幅に改造せずに容易に行える。したがって、負のモーメント区間を箱形断面、正のモーメント区間を2主T形断面とすることも可能である。

以上に示すように、外ケーブル方式の2主桁橋は、各種の条件変化に柔軟に対応可能であり、プレキャストセグメント工法には最も適合する構造であるといえる。

3. 複合橋

RCとPC間のギャップを埋める構造としてPPC (PRC) がある。また、桁橋と斜張橋のギャップを補完する構造形式としてエクストラード橋がある。これらと同様、複合橋(鋼とコンクリートを組合せ、一体化した橋梁をいう)は、鋼およびコンクリート橋のギャップを補完する構造である。

したがって、複合橋には鋼構造の不十分な点の改善策としての複合橋と、コンクリート橋の弱点の解決策としての複合橋の2つのケースがある。これらの複合橋は、特に新しい構造を用いなくとも、従来の汎用的な構造を応用することで十分構成することができる。以下に、これらの2つのケースの複合橋について述べることにする。

3.1 鋼橋の改善策としての複合橋

鋼には、錆びるという問題はあるが、強度、重量、品質の安定性、施工性等の点においてコンクリートよりも優れており、ほぼ理想的な橋梁の材料である。

一般に複合橋は、鋼橋より重くなり、品質的にもよりファジーになるので、鋼橋を複合橋に転換する意義を見出すのは、困難である。複合橋とすることによって改善が期待される鋼橋の形式として、非合成桁橋がある。この形式のコンクリート床版は、主として道路面を構成する部材である。鋼桁からみれば鋼重を増加させる要因であり構造部材としての役割は小さい。また、支間が70mを超えると主に経済的な理由でコンクリート床版から鋼床版に変更されるのが普通である。

この非合成桁橋を合成桁橋(鋼主桁とコンクリート床版が一体となって荷重を支持する桁橋)とすることでコンクリート床版鋼桁橋の適用支間が伸び、コンクリート床版を構造部材として活用することにより経済化を図ることができれば、鋼橋を複合橋に転換する意義が生ずる。一方、合成桁橋には解決しなければならない問題がある。第1の問題は、連続合成桁橋の場合、負モーメント発生領域の床版には供用状態において耐久性を損ねるようなひびわれを発生させないようにすることであり、第2の問題は、鋼床版よりも重量が増加することである。第1の問題は、負モーメント発生領域の床版に内ケーブルを配置する、中間支点をジャッキダウンする等の方法で解決できるが、これらの方法では、第2の問題を解決できない。この2つの問題の最も有効な解決策は、負モーメント発生領域にキャップ形外ケーブルを配置することである。

すなわち、負モーメントによりコンクリート床版に発生する引張応力度は、外ケーブル力の水平分力による圧縮応力度により、またコンクリート床版による重力の増加は、外ケーブル引張力の鉛直分力によって打ち消すことができ

る。このキャップ形外ケーブルは、中規模支間に対しては、橋面より下側に配置し、長支間に対しては、橋面より上側に配置したエクストラード橋とする。このように、キャップ形外ケーブルを支間長に応じて配置すれば、連続合成桁橋は、中規模支間から長支間まで適用することができる。また全橋長を等桁高とすることも可能になる。主桁は、T形またはU形断面の少数合理化桁とし、床版は、PPC (PRC) 床版あるいは、H版鋼を補強リブとし、床版支間を軸方向にとった合成床版とする。

この合成構造は、トラス橋にもそのまま応用できる。この場合の引張弦材となるコンクリート床版には内ケーブルによりプレストレスを導入する。ここに示した合成桁や合成トラス橋の概念図を図-3に示す。これらの合成桁や合成トラス橋の自重は、従来の非合成桁およびトラス橋と変わらない。また、上下フランジがコンクリートである波形鋼板ウェブ橋や複合トラス橋よりも軽量であり、これらと十分競合し得る橋梁形式であるといえる。

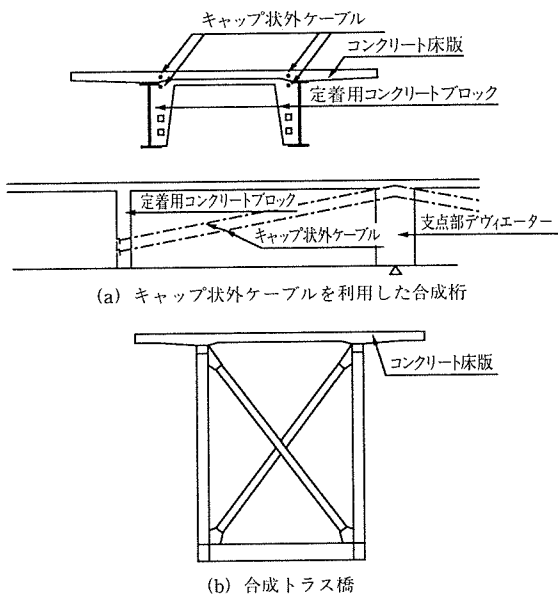


図-3 鋼橋の改善策としての複合橋

3.2 コンクリート橋の改善策としての複合橋

(1) 現実的改善策

コンクリート橋の最大の欠点は自重が重いということであり、自重の全設計荷重に占める割合は50%から70%に達する。複合橋は、間違いなくコンクリート橋よりも軽くなるのでコンクリート橋の欠点を改善することができる。

複合橋には、コンクリートウェブを鋼部材で置換えた波形鋼板ウェブPC橋、トラスウェブPC橋、コンクリート桁と鋼桁を接続した混合橋等がある。ここでは負のモーメント発生領域をコンクリート桁、正のモーメント発生領域を先に述べた合成桁とした混合橋を推奨する。この形式は、既存の汎用的な鋼単純合成桁橋とコンクリート橋を組み合わせた構造であり、新しい形式である波形鋼板ウェブPC橋やトラスウェブPC橋に比べはるかに問題点は少ない。また、圧縮に強いコンクリートを断面の圧縮フランジに全面的に用いており、非常に合理的な構造であるといえる。

表-4は中央支間100mの3径間の混合橋、波形鋼板ウェブ橋およびPPC (PRC) ラーメン橋についての自重の概算結果であるが、混合橋の自重は波形鋼板ウェブ橋とほとんど等しく、波形鋼板ウェブ橋に匹敵する自重を軽減する効果のあることが明らかである。

表-4 自重の概算結果

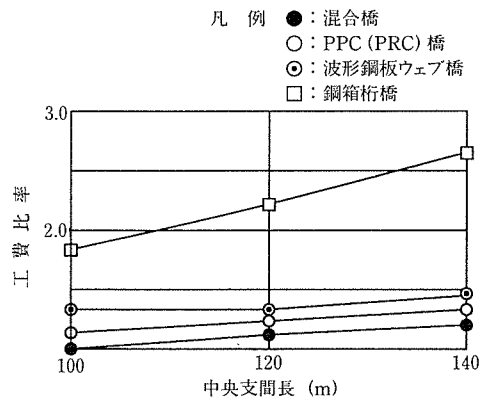
中央径間30mを合成桁とした混合	波形鋼板ウェブラーメン橋*1	PPC (またはPRC) ラーメン橋*3
1.537tf/m ²	1.552tf/m ² (1.895tf/m ²)*2	1.804tf/m ²

*1. $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$
 *2. ()内数値は、本谷橋のパフレットから求めた自重
 *3. $\sigma_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$

また、図-4は、中央支間長が100m、120m および140mの3径間連続ラーメン橋における上部工の概算工事費の比率であるが、混合橋は、他の形式 (PPC (PRC) 橋、波形鋼板ウェブ橋、鋼箱桁橋) よりも経済的であることを示している。さらにこの形式には次のような利点もあり、十分検討に値する形式であるといえる。

- コンクリート橋よりも20%~25%桁高を低くできる。
- ラーメン構造等任意の支承構造を自由に選択できる。
- 連続ケーブルが不要であり、これによる不静定力が発生しない。
- 工期が短い。
- 床版は全橋長を通じ一体であるため鋼とコンクリートの結合に対する安全性が高い。

図-5は、中央支間長300mのエクストラード混合橋の試設計結果であるが、この形式の合理性をよく表している。以上に述べたように混合橋は、複合橋としての良い特性を数多く備えており、鋼およびコンクリート橋と同様の普遍的な橋種として定着することが期待される。



注) 1. 混合橋のコンクリート部は全てPPC (PRC) である。
 2. 波形鋼板ウェブ橋の床版はPPC (PRC) である。

図-4 上部工概算工事費の比較

(2) 鋼桁部分の防錆

混合橋は、再塗装が不要なコンクリート桁と必要な鋼桁より成っているため、維持管理の面からは、中途半端な構造である。したがって、もしも鋼の防錆問題が解決できれば、非常に有用な構造となる。再塗装を必要としない鋼桁

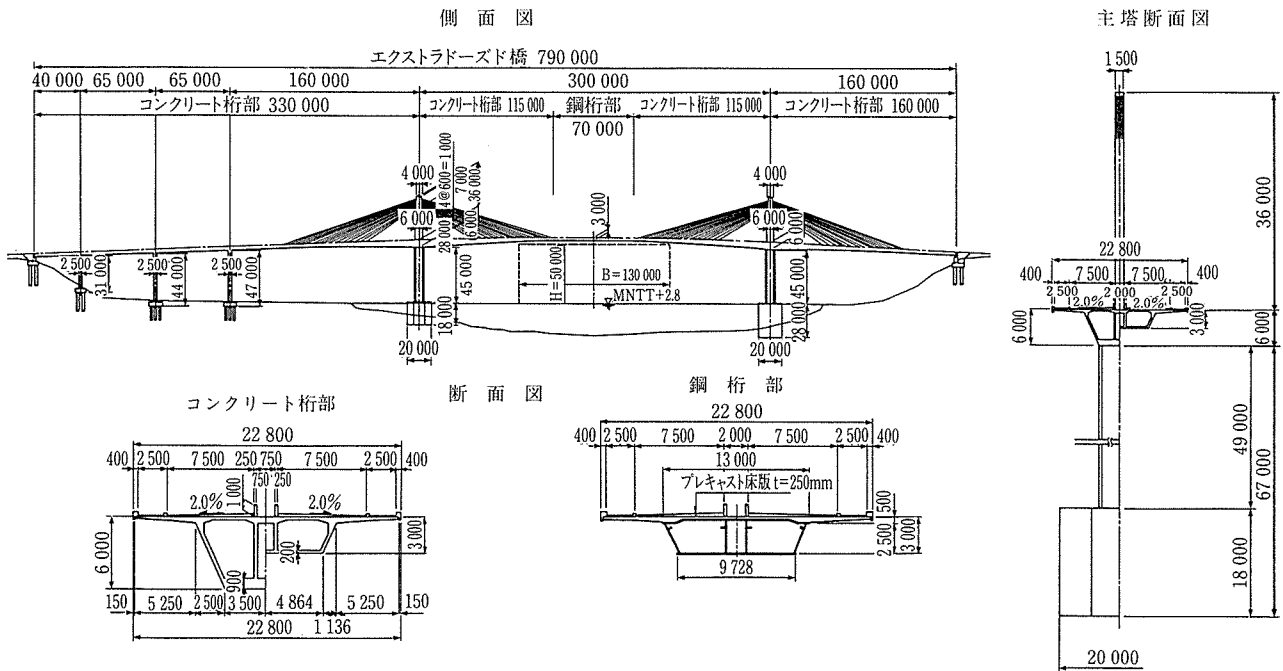


図-5 中央支間長300mを有する混合エクストラードス橋

の防錆方法としては、① 耐候性鋼材の適用 ② 溶融亜鉛めっき ③ ポリマーセメントの吹付け塗装等の方法がある。①、②は立地条件や色彩的な問題があり、普遍的な防錆方法とは言えない。③は、通常の塗装に比べ現在のところ高価であり、比重が大きいという欠点はあるが、十分耐久であり塗替えの不要なこと、そのまま用いた場合、色、肌合いともコンクリートによく似ていること、彩色も可能なこと等、混合橋には最も適した防錆法であると言える。

(3) 将来のコンクリート橋の改善策

波形鋼板ウェブ橋や複合トラス橋は、コンクリートのウェブを鋼部材に置換えて軽量化を図った構造であるが、コンクリート橋の自重の50%以上は、断面の上フランジである床版が占めており、この部分を軽量化するのが最も効果的な軽量化の方策である。

床版には、コンクリート床版と鋼床版があるが、究極的な耐久性とか破壊耐力を比較すれば鋼床版の方が優れていると思われる。現在の鋼床版は高価である。舗装の耐久性が低下する、冬期路面が凍結しやすいといった欠点があるが100年、200年という耐久性のある橋梁を建設しようとする場合、コンクリート床版よりも鋼床版の方が適当であると思われる。今までのところ鋼床版の経済化への取組みが本格的に行われたとは見受けられないので将来より合理的でより経済的な鋼床版が開発される可能性は十分にある。また経済性は、コンクリート床版の1/5程度の重量であるという軽量化によって補うことも可能である。このような鋼床版の持つ可能性を考えると先に述べた合成桁とまったく逆の組合せである鋼床版とコンクリート桁の合成構造は検討する価値が十分にあるといえる。

鋼床版とU形断面のコンクリート桁の合成桁は、剛なコンクリートウェブによって鋼床版の変形が拘束され、見か

げ上、鋼床版の剛性が高くなるため舗装の耐久性が増し、比熱の大きいコンクリート桁によって、ある程度凍結の問題も緩和されると考えられる。

施工法としては、場所打ち方式、プレキャスト方式いずれも可能であるが、軽量化のメリットはプレキャスト方式においてよりいっそう発揮される。

鋼床版とコンクリート桁との結合方法は、この構造の最も重要な問題点で図-6に示すようなボルト結合も有効な解決策の一つといえる。

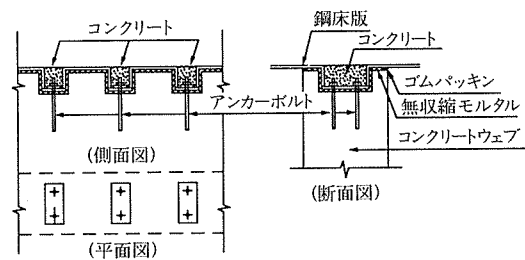


図-6 鋼床版とコンクリート桁結合部概念図

4. あとがき

今、橋梁の分野ではさまざまな新構造新技術の導入が盛んである。新構造、新技術のうち、いずれ一般化と思われるプレキャストセグメント工法と複合橋についてその適用にあたっての個人的な見解を示した。橋梁計画に際し、いささかなりとも役立てば幸甚である。新構造、新技術が正しく採り入れられ、良い橋が数多く架けられることを心底願するものである。

【1997年12月17日受付】