

(21) 主桁に高強度・軽量骨材コンクリートを使用したU形コンボ橋の試設計

(株)ピー・エス 土木技術部 正会員 ○石川 和浩
同 上 正会員 櫻田 道博
同 上 正会員 渡辺 浩良
同 上 正会員 大浦 隆

1. はじめに

これからの橋梁に対して求められる要求性能に対するキーワードとして、強度、耐久性、安全性(第三者傷害を生じないなど)、維持管理の容易さ、コスト、環境問題、省力化、施工性、走行性がある。現在これらの要求性能に対してバランスの取れた橋梁形式が望まれており、それに対して様々な提案がなされている。著者らは、その一つとしてU形コンボ橋に着目して試設計を行った。U形コンボ橋とは、主桁にU形断面PC桁を用いたPC合成桁橋(PC合成床版タイプ)である。

U形断面のPC桁は、スペインやトルコなど主にヨーロッパで使用されているが、運搬の制限等が異なるため支間40m程度までプレテンション方式で製作され、運搬・架設される。国内では、現在建設が進められている常磐新線において、主桁に桁長約20mのプレテンションプレキャスト桁を用いた単純構造のU形コンボ橋が建設中である。

今回の試設計では、主桁コンクリートとして近年開発された石炭灰を原料とした高強度人工軽量骨材(比重 $\rho=1.3$)を想定した。また、施工法や構造細目は国内の事情を考慮した。適用支間は従来のPC橋が経済性において鋼橋に対して比較的劣っていた40m~60mを対象としている。



写真-1 スペインの高架橋

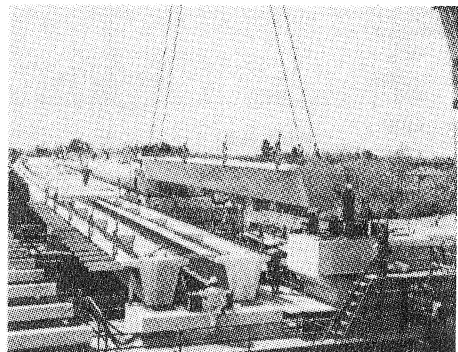


写真-2 常磐新線のU形プレキャスト桁

2. U形コンボ橋の概要

主桁は、運搬可能な大きさになるようにセグメント化し、工場で製作する。セグメントは、架設現場まで運搬後架設する。セグメント間には長さ1mの場所打ち目地部を設け、場所打ち目地コンクリートが硬化した後、内ケーブルを緊張して接合する。プレキャスト部分は高強度・軽量骨材コンクリート、場所打ち部は普通コンクリートとした。断面構造は、主桁の効率的な利用が可能な2主桁断面とし、床版は耐久性のあるPC合成床版である。中間横桁は現場作業を縮減するために配置していない。PC鋼材は内・外ケーブル併用としている。橋梁構造はノージョイント化を考慮して連結構造を想定している。桁内の外ケーブルは多径間にわたり配置されており、単なる連結桁構造から連続桁構造に近い構造としている。本構造の特徴を表-1に示す。

表-1 U形コンボ橋の特徴

強度	・60N/mm ² の高強度コンクリートを使用
耐久性	・主桁に水セメント比が低い高強度コンクリートを使用することにより、密実なコンクリートを打設することができる ・床版にPC板を使用したPC合成床版構造としたことで、床版の耐久性が向上する
安全性	・主桁断面をU形としたことにより、架設時の安定性が向上する
維持管理の容易さ	・表面積を少なくすることができる ・桁内に配置する外ケーブルを2本とし、点検通路を確保
施工性	・床版施工時にPC板が型枠・足場代わりとなるため、吊り足場や型枠作業が縮減できる
コスト	・主桁の少数化(基本的には2主桁)により主桁を効率的に使用できる ・高強度・軽量骨材コンクリートの使用により自重を軽減でき、運搬・架設費などを低減できる
環境問題	・軽量骨材の原材料に火力発電所から発生する石炭灰を用いる ・プレキャスト部材を多用することにより木製型枠を縮減できる
省力化	・主桁、PC板にプレキャスト部材を用いるので、現場作業が減少し、工期の短縮が可能となる
走行性	・桁内に外ケーブルを多径間にわたり配置することにより、単なる連結構造から連続桁構造に近い構造となり、ノージョイント化が図れる

高強度・軽量骨材コンクリートを用いた支間 50m のU形コンボ橋の側面図、断面図、主桁断面図および設計条件をそれぞれ図-1、図-2、図-3 および表-2 に示す。

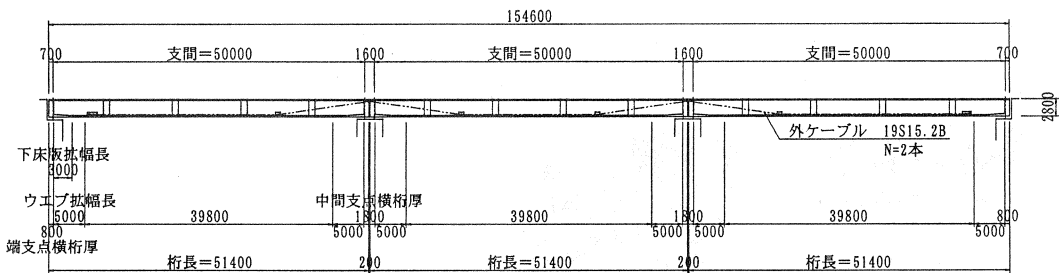


図-1 側面図

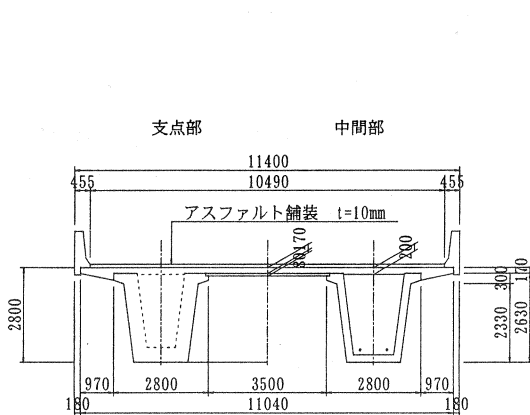


図-2 断面図

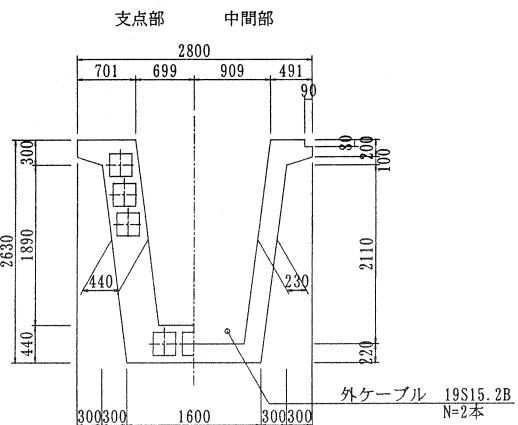


図-3 主桁断面図

表-2 設計条件

構造形式	3径間連結PCU型断面2主桁橋	活荷重	B活荷重
橋長	124.6m, 154.6m, 185.2m	コンクリート	主桁 $\sigma_{ck}=60\text{N/mm}^2$ 場所打ち床版 $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$
支間	3@40m, 3@50m, 3@60m		
幅員	全幅=11.40m 有効幅員=10.49m	PC鋼材	内ケーブル 12S15.2B 外ケーブル 19S15.2B

3. 高強度人工軽量骨材の物性

従来の軽量骨材は吸水率が高く、低強度であったため、強度、耐久性、施工性などに問題があった。近年開発された高強度人工骨材は、軽量、高強度、低吸水性であり、これをPC部材に用いることにより構造物の軽量化、高強度化および耐久性の向上を図ることができる。また、この軽量骨材は石炭火力発電所から発生する石炭灰を主原料としており、産業廃棄物の再利用にもつながる。さらに、この骨材を用いることにより近年における良質な天然骨材の入手難が改善されると考えられる。主桁コンクリートに用いた高強度人工軽量骨材の物性および硬化後のコンクリートの物性をそれぞれ表-3、表-4に示す。

表-3 骨材の物性

		普通砕石	軽量骨材
骨材絶対比重	kN/m^3	25.8	12.8
吸水率	%	0.72	0.81
耐凍結融解抵抗性	-	良	良
アルカリ骨材反応性	-	無害	無害

表-4 硬化後のコンクリートの物性

		普通砕石	軽量骨材
コンクリート単位容積質量	kN/m^3	22.6	17.7
弾性係数 ($\sigma_c=60\text{N/mm}^2$)	kN/mm^2	35	24
引張強度 ($\sigma_c=60\text{N/mm}^2$)	N/mm^2	3.5	3.0

4. 設計

セグメントをマッチキャスト工法により接合した場合、継目部をフルプレストレスとして設計しなければならない。今回行った試設計では目地部を場所打ち目地としたため、引張応力を許容できる設計としている。必要PC鋼材のすべてを内ケーブルとした場合、導入時の圧縮応力度が大きくなり下床版厚を増す必要がある。このため、一部の鋼材は外ケーブルとして床版の合成後緊張力を導入することとした。外ケーブルは、桁内を点検できる空間を残して配置できる量として2本/桁配置している。U形桁は床版支間を減じることができるため、鋼2主桁橋やPC2主桁橋に比べて床版厚を減らすことができる。また、PC板と場所打ち床版を合成したPC合成床版を採用しており、施工性と耐久性の改善を図っている。今回試設計を行った支間50mの場合の応力度を表-5に示す。

表-5 計算結果 (単位: N/mm^2)

	中間支点上			支間中央		
	床版上縁	主桁上縁	主桁下縁	床版上縁	主桁上縁	主桁下縁
内ケーブル導入時	-	8.06	5.15	-	1.72	18.45
場所打ち時	-	7.21	4.60	-	15.23	4.08
外ケーブル導入時	3.76	7.70	3.68	4.50	10.12	6.89
設計荷重時	0.59	4.69	8.51	9.14	15.64	-0.10

5. 施工方法

架設は鋼2主桁橋と同じベント工法を用いる。その際、内ケーブルの緊張作業を行いやすく、また架設設備を少なくするために、仮受けベントは桁間中央に1組設置し、主桁を接合後に横取りする。プレキャストPC板を敷設した後に床版の鉄筋を組立て、合成床版を完成させる。場所打ち床版の施工において省力化を図るために、かご鉄筋を用い、図-4に示すような新構造のずれ止めを用いるといった施工方法も考えられ

る。これは、主桁に埋め込んでおいた鋼板に鉄筋組立後、ジベルを打ち込むもので、かご鉄筋配置時の施工性が向上する。本橋の施工手順を以下に示す。

- ①工場にてプレキャストセグメント、プレキャストP C板を製作し、養生後現場に搬入する。
- ②橋脚間にセグメント仮受ベントを設置し、搬入したセグメント桁をクレーンにてベント上に架設する。
- ③セグメント目地部を打設後、内ケーブル(12S15.2B)を緊張し、主桁を接合する。
- ④主桁を所定の位置に横取りする。
- ⑤プレキャストP C板をクレーンにて順次敷設する。
- ⑥支点横桁の施工を行う。
- ⑦床版鉄筋の組立完了後、場所打ち床版部のコンクリートを打設する。
- ⑧外ケーブル(19S15.2B)を緊張し、連続化を行う。
- ⑨橋面工を施工する。

PC版切り欠き部およびジベル筋配置図

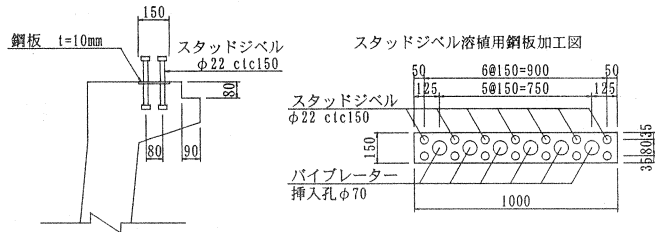


図-4 新ずれ止め構造概略図

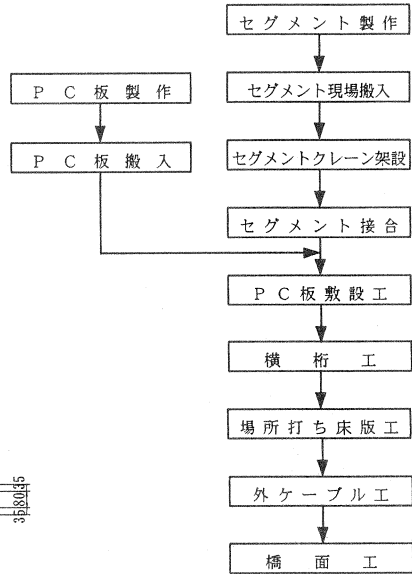


図-5 施工フロー図

6. 高強度・軽量骨材コンクリートと普通砕石コンクリートの比較

今回比較を行うにあたって、桁高以外の寸法を一定とし、主桁に生じる合成応力度がほぼ等しくなるようにした。主桁に高強度・軽量骨材コンクリートと普通砕石コンクリートを用いた場合の桁高の比較、主桁自重、端支点反力および中間支点反力をそれぞれ、図-6、図-7、図-8 および図-9 に示す。ここでは普通砕石コンクリートを使用した場合を 1.0 とし、それに対する高強度・軽量骨材コンクリートを使用した場合の比率を示す。

桁高は、支間が短い場合大きな差は生じないが、長大化するにつれてその差は顕著となってくる。桁高一支間比はおおよそ 1/18 である。支間 60m の場合は桁高 3.3m (U桁高 3.13m) となり、セグメントの運搬が困難となる。主桁自重は、普通砕石コンクリートに対して 22%程度軽くなっている。しかし、全反力に対する主桁自重の割合は約 30%程度しかないため端支点反力および中間支点反力はそれぞれ 6~9%程度しか減しなかった。

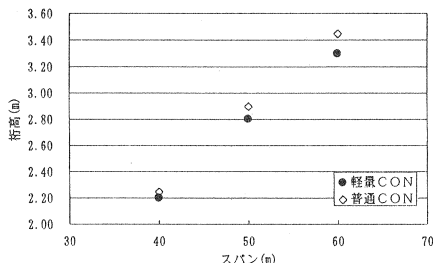


図-6 桁高の比較

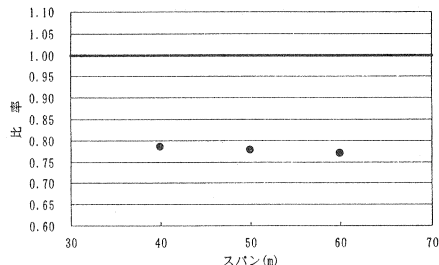


図-7 主桁自重の比較

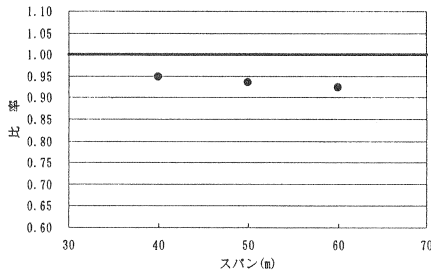


図-8 端支点反力の比較

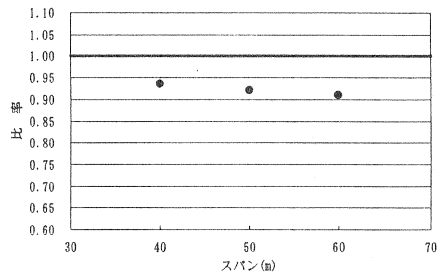


図-9 中間支点反力の比較

7. コストの比較

U形コンボ橋で、普通砕石コンクリートと軽量骨材コンクリートを比較した場合、主桁自重は、普通砕石コンクリートに対して大幅に軽くなっているため主桁の運搬費および架設費を大幅に低減することが可能となった。しかし、全反力は約6~9%しか低減しなかったため支承や下部工に関する費用の大幅な低減は望めなかった。一方、軽量骨材コンクリートの単価は、普通骨材コンクリートに比べておよそ1.4倍のため全体の工事費はほとんど変わらなかった。

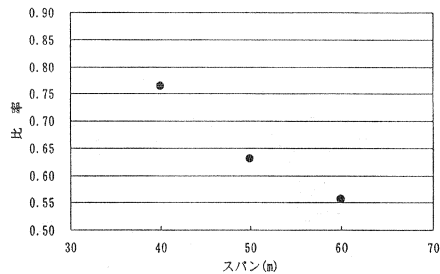


図-10 橋面積当たり施工費の比較

従来の場所打ち箱桁橋とU形コンボ橋との橋面積当たりの施工費の比較を図-10に示す。従来の場所打ち箱桁橋の橋面積当たりの施工費を1.0としている。これより支間が大きくなるほどコスト縮減効果が大きく最大で45%のコスト縮減が可能となった。

8. まとめ

主桁に高強度・軽量骨材コンクリートを用いることにより主桁自重を軽減することができ、運搬および架設費用を大幅に低減することができた。しかし、全体重量としての軽量化がそれほど進まなかったため大幅なコスト改善は見られなかった。今後の課題として、場所打ちコンクリートに関しても高強度・軽量骨材コンクリートを用いることにより全反力を低減し、沓や下部工に関する費用の低減を図るなどの検討が必要である。また、日本の橋梁は線形が複雑な場所に架橋されることが多いため、幅員などの調整しろとしての張出し床版部が必要になる。しかし、張出し床版を場所打ちとした場合、型枠作業や足場などが必要となり施工上の大きな制約になる。そこで、張出し床版にプレキャスト床版を用いるなど張出し床版構造に対する検討が必要である。

従来の場所打ち箱桁橋とU形コンボ橋のコスト比較では、コストを大幅に削減することが可能となった。これは、今回提案したU形コンボ橋が構造的に優れていることを示しており、鋼橋と比較した場合でも十分競争力があるものと考えている。今後は、製作設備や構造細目などについて検討を加え、実用化に向けた研究を進めていきたい。

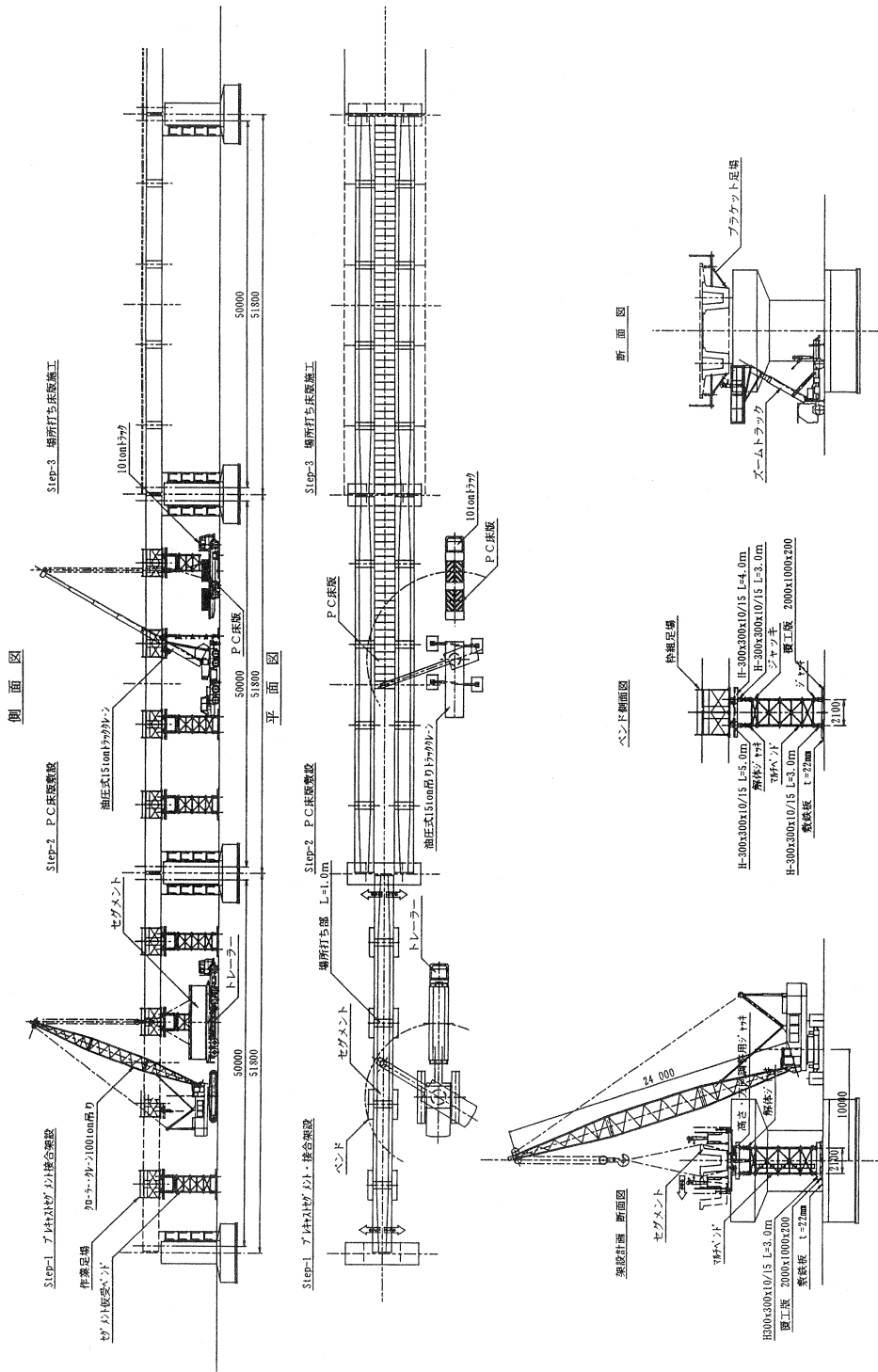


図-11 U形コンボ橋 施工図