

(39) スプライスPCホロー構造の特性について

ドーピー建設工業(株) 本社設計部 正会員 今村 晃久
 同 上 正会員 ○毛利 忠弘
 同 上 正会員 石戸 良平
 同 上 正会員 加地 久

1. はじめに

近年の公共事業におけるコスト縮減は最重要命題であり、当然橋梁も例外ではない。特に支間長 40m~60m の構造に対しては、PC 橋の不経済性が際立ち、採用実績の上では空白地帯と呼んでも過言ではない状況にある。その空白地帯を埋める構造を考える上で、我々は採用実績も多く、経済性に優れた中空床版橋に着目した。その中空床版橋が経済的である主な理由は、横締め鋼材が不要な上に、廉価な埋め殺し円筒型枠を採用している点があげられる。これらは共に省力化にも結び付くことから、これらの特徴を継承しつつ、先の支間長に対応する構造を模索した結果が今回提案する「スプライスPCホロー構造」である。スプライス桁とは、50m クラスのプレテンション桁の搬送が可能な欧米で実績のあるプレテンション、ポストテンション併用のプレキャスト桁のことで、本構造では工場製プレキャスト桁と場所打ちコンクリート部の接合および後荷重に対するプレストレス導入のためにポストテンションケーブルを用いている。本文では、構造的特徴と経済性を示すことで、コスト縮減に対する一つの解答を提示する。

2. スプライスPCホロー構造の概要

本構造の基本コンセプトは、径間長 30m 以下の橋梁において、一般的に経済的構造として採用実績の多い PRC 連続中空床版橋の適用支間を伸ばすことにある。さらに、固定式支保工という施工条件の制約もできる限り軽減することを念頭においた。スプライスPCホロー構造は、図-1の側面図に示すように中間部をプレテン合成桁構造(図-2)とし、端部および中間支点付近を場所打ちによる構造とするものである。場所打ち部の断面形状としては、箱桁断面(図-3)と中空床版断面(図-5)の2種類のタイプを用意した。

本構造におけるポイントを要約すれば次のとおりである。

- ① 上縁圧縮域の中間部に工場製プレテン桁を使用し、現場での省力化および工期短縮を図る。また、固定式支保工区間を少なくし、経済性の向上と河川などの交差条件に適合しやすい構造とする。
- ② 中間支点付近は、桁高変化に対応しやすい場所打ち施工とし、中間支点上のPC鋼材の偏心量を稼ぎPC鋼材量を減らす。
- ③ プレキャスト部材と場所打ち部材は、打ち継目と同様に鉄筋継ぎ手によるウェット接合とし、経済性に優れたPRC構造とする。
- ④ 中間部のプレテン桁区間は合成桁構造とし、正の曲げモーメントに対しては、プレテン鋼材とポステン鋼材を併用して効果的なプレストレス導入を図る。

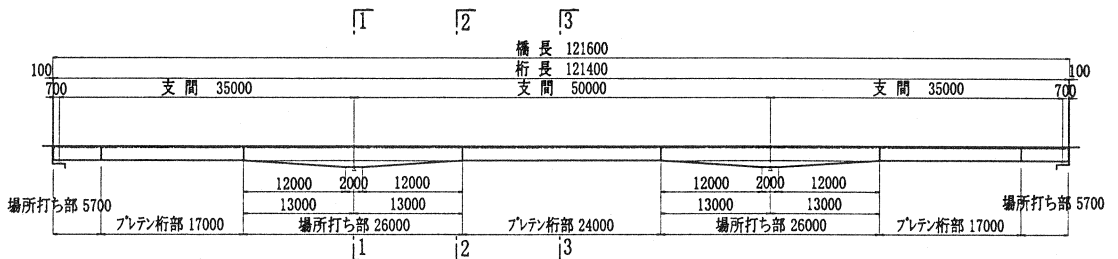


図-1 側面図

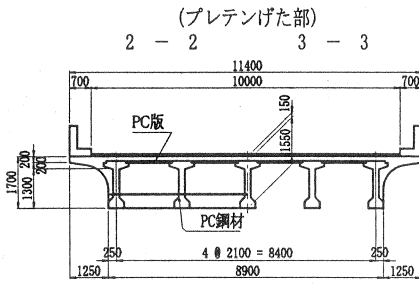


図-2 中間部断面図(箱桁タイプ)

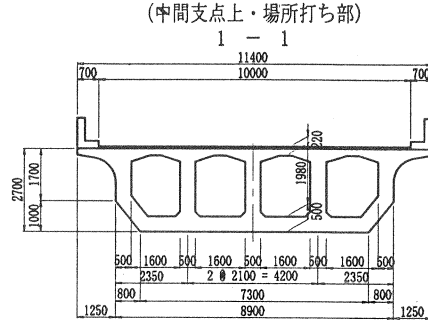


図-3 中間支点部断面図(箱桁タイプ)

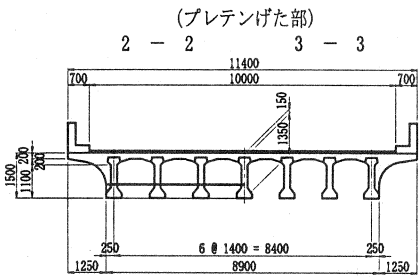


図-4 中間部断面図(中空床版タイプ)

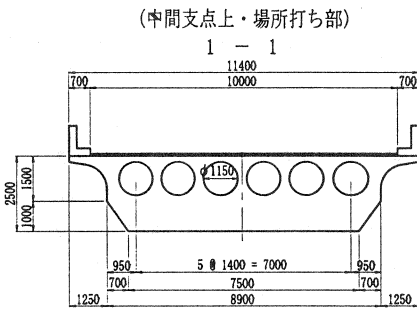


図-5 中間支点部断面図(中空床版タイプ)

3. モデル検討

スプライス PC ホロー構造の特性を把握するため、表-1 に示す設計条件を設定してモデル検討を行った。検討に用いた断面は、箱桁タイプ(図-2,図-3)とし、プレテン桁の配置および断面はそれぞれ図-1・図-6 のとおりとした。設計断面力は、図-9 の施工手順に従い構造系の変化を考慮して平面フレーム解析により算出した。また、プレテン桁区間の合成構造のモデル化は、主桁と床版を分離しその間を剛部材で結んだラーメンモデル[1]で行った。本構造は PRC 構造のため鉄筋拘束の影響を考慮したが、ひび割れ発生による剛性低下の影響については無視した。また、打ち継目についても、PRC 構造として設計を行った。

3.1 スプライス PC ホロー構造の特性および箱桁橋との比較

モデル検討の計算結果からスプライス PC ホロー構造の特性を以下にまとめる。

- ① 中間部の桁高は 1.700m であり、箱桁橋の桁高 2.500m と比較するとかなりスレンダーな印象を与える。(H/L=1/29.4)
- ② プレテン桁のそりは、約 16mm(桁長 24m)であり、長いプレテン部材特有のそり問題は、プレテンションとポストテンションを併用した PRC 構造の採用により解決される。また、プレテン桁上

表-1 設計一般条件

上部構造	3 径間連続けた構造
橋長	121.600m
支間	35.000m+50.000m+35.000m
幅員	11.400m(全幅員), 10.000m(有効幅員)
斜角	90°
活荷重	B活荷重

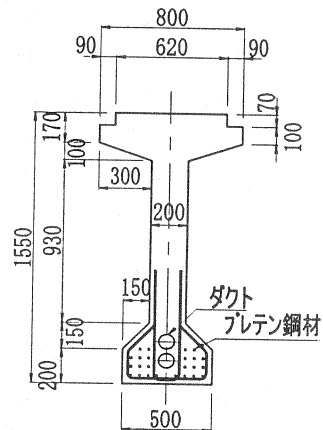


図-6 プレテン桁断面図

には上床版を打設するため、たわみ補正は比較的容易である。

- ③ 付着特性のよいプレテンションケーブルを使用するため、曲げひび割れ幅の計算において、プレテン端部以外のプレテンションケーブルは引張鋼材とみなすことができる。その結果、ひび割れ制御の異形鉄筋はD13を100mm間隔の配置で済み、プレテン桁の施工性・経済性の改善が図れる。
- ④ 打ち継目の斜引張応力度は、設計荷重時において -27kgf/cm^2 であり、通常の補強方法で十分であるが、重ね継ぎ手となり付着性能を確保する上で、横拘束鉄筋の配置や端部フックなどの配慮が必要となる。
- ⑤ 主桁間隔は2.100m程度であり、床版はRC構造としても対応可能であるが、合成桁区間は開断面となり中間横桁を省略する構造のため、耐久性を確保する上でPC板の使用を考えた。場所打ち部の多重箱桁の採用は内型枠の施工性の改善が課題であり、発泡スチロールの使用などによる施工性・経済性の改善が必要である。

表-2 スプライスPCホロー構造の計算結果と箱桁橋の比較

概略図	スプライスPCホロー(場所打ち部箱けたタイプ)				箱けた橋											
	3径間連続PRCプレキャスト場所打ち併用スプライス構造				3径間連続PRC箱けた構造(内外ケーブル併用・固定式支保工)											
	① 中間支点上	プレテン部(中央径間)			① 中間支点上	③ 中央径間中央										
		② 継目部	③ 支間中央													
けた高 (m)	2.700	1.700	1.700		2.500		2.500									
PC鋼材	SWPR7B S15.2mm	-	-	80本/5主桁	-	-	-	-								
	SWPR7B 12S15.2mm	10本	10本	10本	4本(内ケーブル)	4本(内ケーブル)	4本(内ケーブル)	4本(内ケーブル)								
	SWPR7B 19S15.2mm	-	-	-	10本(外ケーブル)	10本(外ケーブル)	10本(外ケーブル)	10本(外ケーブル)								
合成応力度		床版	主桁	床版	主桁	主桁	主桁									
		上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁							
	プレテン架設時	-	-	0.8	-0.8	-	-3.3	111.4	-							
	死荷重作用時	-16.0	36.2	29.9	25.9	33.0	2.7	48.2	43.2	91.7	18.8	29.4	34.8	68.5	-0.5	
	設計荷重時	max	-12.3	32.5	45.2	37.1	49.4	-31.4	72.4	60.8	122.9	-37.4	31.3	31.8	85.1	-29.3
		min	-32.6	52.5	15.7	16.4	12.0	38.9	39.4	36.9	80.0	39.4	15.7	55.4	64.9	5.8
	温度荷重時	max (min)	-32.6	52.5	15.7	16.4	75.5	-47.0	39.4	36.9	148.9	-52.5	15.7	55.4	92.9	-39.7
曲げひびわれ	鉄筋量 (cm ³)	326.61 (D25ctc125)		38.01 (D13ctc100)		38.01 (D13ctc100)								202.68 (D25ctc125)		
	鉄筋応力度 (kgf/cm ²)	1328		948		886								1250		
	ひびわれ幅 (cm)	0.0173		0.0114		0.0107								0.0163		
	許容ひびわれ幅 (cm)	0.0179 (0.0035c)		0.0190 (0.005c)		0.0190 (0.005c)								0.0255 (0.005c)		

3.2 プレテン桁の最適長

プレテン桁の長さは、下記に示す事項により決定される。

- ① 場所打ち部の支保工費用から決まる経済的なプレテン桁長
- ② プレテン桁の運搬に関して、桁重量および桁長の制約(L≤25m)
- ③ プレテン合成桁構造における上床版の応力状態
- ④ 端部定着に要するPC鋼材の曲げ上げ区間の確保(側径間端部)

図-8に示すように直接工事費に占める支保工費の割合が大きく、一般的には、プレテン桁の長さを伸ばして場所打ち部の支保工体積を減らした方が、工事費・工期の上では有利となる。また、構造物の耐久性の観点からは、プレテン合成桁の上床版が橋軸方向においてRC構造となるため、圧縮力が作用する正の曲げモーメント区間をプレテン桁長とすることが望ましい。そこで、モデル検討において、橋面荷重と床版打設

後のクリープ・収縮による不静定力による曲げモーメントが0となるインフレーションポイントを調べた(図-7)。これによると、プレテン桁長は約35m、支間比で0.68L(L:支間長)程度となり、運搬時の制約から決まるプレテン桁の長さ24mから比較するとかなり大きい。また、活荷重M-min作用時の打ち継ぎ部の上床版の応力度は15kgf/cm²程度であった。検討結果から支間40m~60mを対象とするスプライスPC構造のプレテン桁長は、ほぼ運搬時の制約から決定される。

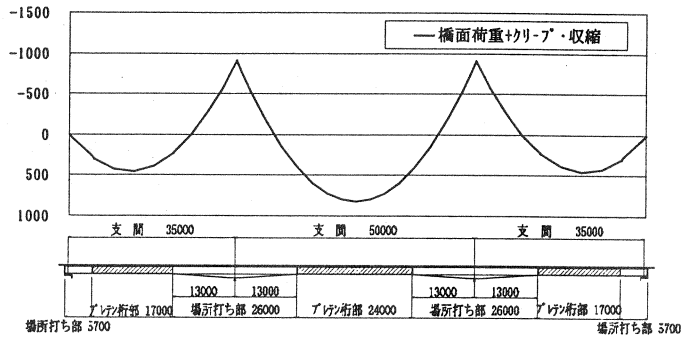


図-7 完成後荷重による曲げモーメント

3.3 スプライスPCホロー構造の経済性

モデル検討におけるスプライスPCホロー構造と箱桁橋の反力・工事費・工期についての比較を表-3に示す。スプライスPC構造は、プレキャスト桁架設後に場所打ち施工により連続桁を形成するために構造系が変化し、クリープによる不静定反力は橋台にシフトするものの、場所打ち部の桁高を変化させるため、反力の橋脚と橋台との比は等断面の箱桁橋の反力比に比べて大きい。橋脚の死荷重反力は箱桁橋に比較すると約18%の増加となり、橋脚の耐震性には不利な結果となった。全体死荷重反力としては8%程度の増加であるため、側径間と中央径間との比を再考し、現在の0.7Lよりも大きく設定する必要がある。

表-3 反力および工事費・工期の比較

		スプライスPC構造 (箱桁タイプ)		箱桁橋	
		橋台	橋脚	橋台	橋脚
反力 (tf)	死荷重	337	1305	414	1103
	活荷重	134	271	140	262
	合計	471	1576	554	1365
工事費		174 千円/m ² (82%)		211 千円/m ² (100%)	
工期		6ヶ月		9ヶ月	

直接工事費比較

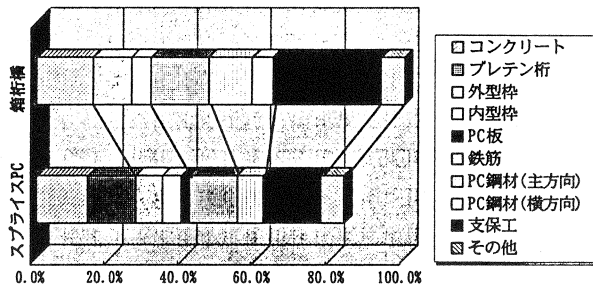


図-8 直接工事費の比較

工事費については、施工条件の制約により左右されるが、支保工高が10m程度でトラッククレーンによるプレテン桁架設が可能なモデルケースでは、約18%のコスト縮減となった。図-8の直接工事費の比較に示すように、プレテン桁の製作・運搬・架設の費用がコスト増加要因となっているが、PC鋼材と特に支保工費にコスト縮減効果が高いことがわかる。工期については、プレテン桁の製作が現場作業と併行して設定でき、支保工の組立・解体の日程短縮およびPC板による床版型枠の解体作業の省力化などにより、固定式支保工による箱桁橋に比較して約3ヶ月程度の工期短縮が可能となる。

4. 施工手順

本構造の施工手順を図-9に示す。プレテン桁を支持する鋼製ベントと場所打ち部の支保工を組立てた後、トラッククレーンによりプレテン桁を架設する。次に、端部および中間支点を施工し、PC鋼材を挿入してポストテンション導入を行う。最後にプレテン桁区間の上床版を施工し橋体完成となる。

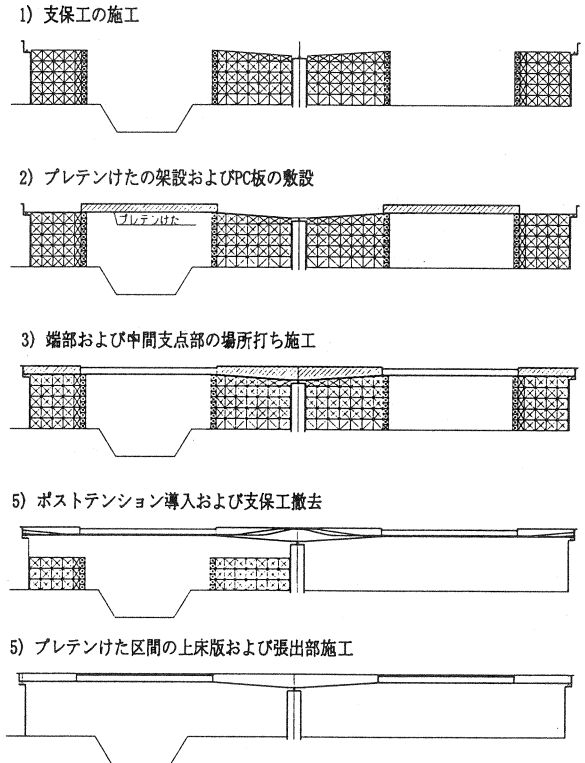
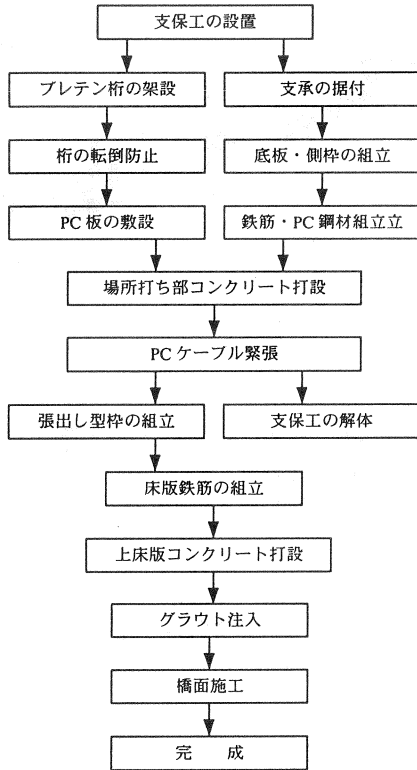


図-9 スプライス PC ホロー構造の施工順序

5. 3次元ソリッドモデルによるFEM解析

上記設計計算の妥当性の確認と下記事項の照査を目的として、3次元ソリッド要素を用いたFEM弾性解析を実施した。

- ① 中間横桁を省略した合成桁構造の床版横方向の挙動確認(荷重分配・応力・変形)
- ② 橋軸方向の打ち継ぎ目部における不連続性の影響

モデル化での留意点として、実構造物の挙動に出来るだけ合致するように橋梁上部構造全体を3次元ソリッド要素とし、特にPC板のモデル化は橋軸方向に継ぎ目があるため、その不連続性を考慮した。解析に用いたメッシュ図を次頁の図-10に示す。本解析により、下記のような結果を得ることが出来た。

- ① 現状の床版厚では、荷重分配としての機能は期待できないが、活荷重の偏載による主桁変位および床版の応力度については、十分な安全性を確保している。
- ② 外桁の荷重負担が、一般的な桁構造のそれよりも大きいため、張出し形状の変更、あるいはPC鋼材量の追加などの配慮が必要となる。
- ③ 本モデルでは、プレテン桁部の中間横桁は不要であるが、広幅員あるいは斜角が小さく振りモーメントが卓越する場合は、中間横桁が必要となる可能性が高い。

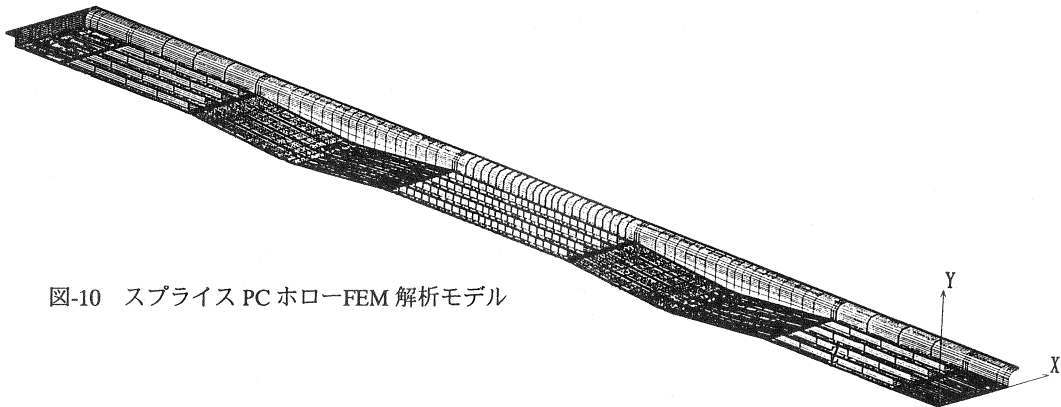


図-10 スプライス PC ホロー-FEM 解析モデル

6. おわりに

本構造は実績もなく机上の構造に過ぎないが、検討の結果、十分に実現可能であることが確認出来た。最後に本構造の長所と短所ならびに、実現に向けての課題をまとめることとする。

【長所】

- ① 工期短縮と工費節減が同時に実現出来る。
- ② 桁端部と中間支点部が場所打ちであり中間部が合成構造のため、斜角・曲線などの線形順応性が高い。
- ③ 場所打ち部でケーブル接続が出来るため、多径間への対応が容易である。
- ④ 全体のほぼ50%がプレテンション桁であるために、クリープ・収縮による移動量が小さい。

【短所】

- ① 適用範囲が40m～60mと狭く、また単純構造では経済的優位性が失われてしまう。
- ② 桁高は低く押さえられているが、全体反力は微増しており、橋脚の負担する割合も若干大きくなる。
- ③ 側面形状に起因する荷重と張出床版の影響で、外桁の荷重負担が大きい。

【課題】

- ① 本構造は打ち継ぎ目をPRCとして設計しているが、断面形状が不連続であり、PRCとしてのひび割れ分散性が確保出来るか否か検討を行って行く必要がある。
- ② 上記①と合わせて、接合部の疲労耐力に対する検証を行う必要がある。
- ③ 振りが卓越するような構造の場合、プレキャスト桁部(開き断面のため)の安全性の検証が必要である。
- ④ プレテンション桁部における張出床版の省力化施工方法の開発。

今回、新しい構造として「スプライス PC ホロー構造」を提案したが、BOX断面を有しているにも関わらずホローという名称を用いたのは、先に説明した中空床版橋の特徴である横締め鋼材が無いことと、発泡スチロール製埋め殺し型枠の使用を念頭に置いているためである。(積算は通常の内型枠で行った。)本文中では、中空床版タイプの検討は紙面の関係で載せることは出来なかったが、ウェブ数が多いため当然 PC 鋼材量が増加し、積算値の悪化が懸念されたにも関わらず、若干 BOX タイプより良好な結果を得ることが出来た。これは、PC 鋼材費の増加よりも内枠関連のコスト縮減効果が大きいことによる。これらの検討結果から確認できたことは、当初着目した中空床版橋の持つメリットが、本構造にも活かされたということである。今後は、先の課題の解決は勿論のこと、更なる経済性・信頼性追求のため、努力を惜しまない所存である。

参考文献

- [1] 小宮・酒井・前田：PC合成桁のクリープ解析,プレストレストコンクリート,Vol.32,No.2,1990.3
- [2] 田牧・西山・三好・山崎：PC合成床版を用いた箱桁橋の設計・施工,第7回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集,pp489～494,1997.10