

ハイブリッドPC斜張橋とその適用 (なぎさ・ブリッジの設計・施工)

(株) ピーエス三菱 正会員 ○鈴木 宣政

(株) ピーエス三菱 正会員 武村 浩志

ピーエス三菱・三井造船 特定建設工事共同企業体 正会員 佐々木真一

青森県西地方農林水産事務所 西北地方漁港漁場整備事務所

佐藤 譲

1. はじめに

近年、多数の長大支間橋梁が建設され、明石海峡大橋(支間1991m)に見られるように鋼吊橋では支間2000mクラスまで達している。また、多々羅大橋(支間890m)やノルマンディー橋(支間856m)に代表されるPC・鋼複合斜張橋は、これまで一般に鋼吊橋が用いられていた支間900m程度の橋梁にも採用されだしている。現在、長大支間橋梁に対してはこれら2種類の形式で計画されるのが一般的であるが、一方では構造的、経済的にこれらと競合できる橋梁形式の登場も期待されている。そこで、PC斜張橋と鋼吊橋を径間内で連続させ、両者の長所を取り入れたハイブリッドPC斜張橋(本文での呼称)の検討を進めてきた。

ここでは、ハイブリッドPC斜張橋の概要と本橋梁形式を世界で初めて適用した“なぎさ・ブリッジ”の設計・施工について述べると共に、長大支間橋梁への適用性の検討を行ったので、その結果についても報告する。

2. ハイブリッドPC斜張橋の概要

2.1 概要

ハイブリッドPC斜張橋の概念図を図-1に示す。ハイブリッドPC斜張橋は、斜張橋と吊橋が主塔を共有した複合橋であり、主塔付近の斜張構造部はPC桁、支間中央部および側径間端部の吊り構造部は鋼桁で構成された構造である。吊り構造と斜張構造を径間内で連続させる考えは古くから存在し、実橋としては鋼トラス補剛桁を用いたフランスのサン・イルピース橋¹⁾(1879年/写真-1)がある。また、実現には至っていないが、1938年にDischinger(独)が提案した形式²⁾(図-2)やIzumit 湾横断道で提案された形式³⁾(図-3)などがある。

2.2 特長

ハイブリッドPC斜張橋は、構造的には斜張橋と吊橋の長所を持ち、材料的には剛性が大きく圧縮力に対し有利なコンクリートと軽量で引張力に対し有利な鋼を組み合わせた橋梁形式である。従来の斜張橋や吊橋に対して以下に示す長所を有しており、長大橋に適した構造だと考えられる。図-1には比較のために吊橋および斜張橋の概念図も合わせて示している。

(斜張橋に対して)

①斜材が少ないため、主桁軸力が減少し座屈

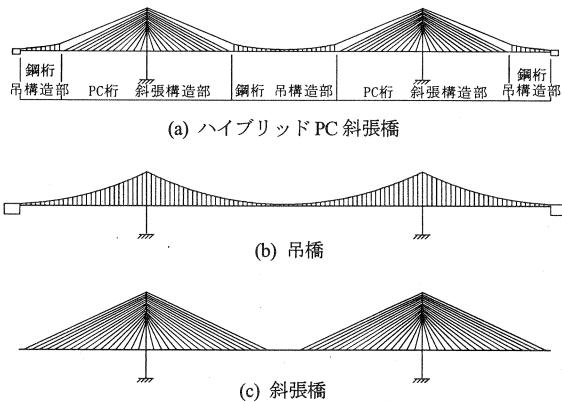


図-1 各橋梁形式の比較

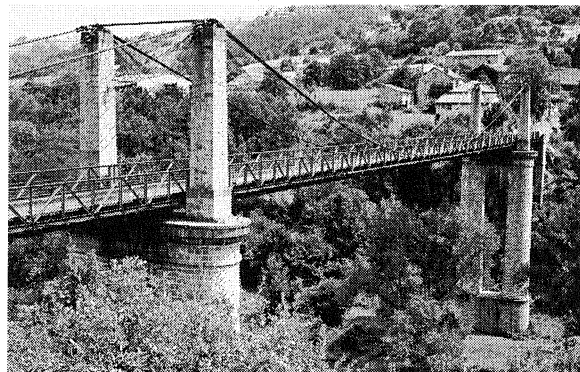


写真-1 サン・イルピース橋

安定性の向上、支間の長大化が可能である。

- ②斜材長が短くなるため、ケーブル架設や振動に対して有利である。
- ③斜張構造部が短いため斜材が少なく、主塔高を低くできる。

(吊橋に対して)

- ①斜材があるため、たわみ剛性が大きくなり耐風安定性が向上する。
- ②吊りケーブルが負担する荷重が小さくなるため、ケーブル径および重量が低減される。
- ③アンカレイジを小規模とすることができる。

また、中央径間と側径間の支間割がアンバランスな場合でも、側径間端部の吊り構造部を省略することや中央部の吊り区間長を変更することにより対応可能で、支間割に対する自由度が広いことも長所の1つと考えられる。

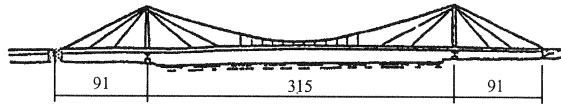


図-2 Dischinger タイプ

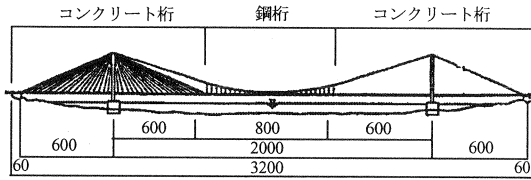


図-3 Izumit 湾横断面

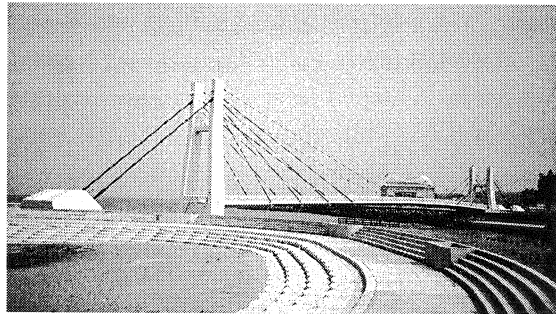


写真-2 なぎさ・ブリッジ全景

3. 実橋への適用

(なぎさ・ブリッジの設計・施工)

なぎさ・ブリッジは、青森県鯉ヶ沢町の海浜公園内を流れる中村川に架橋された歩道橋で、平成14年12月に竣工している(写真-2)。本橋は、ハイブリッドPC斜張橋形式を適用した橋梁としては世界で初の事例である。諸施設や自然との調和、シンボル性、河川への影響に配慮して、長支間化が可能で景観的特色のある本橋梁形式が採用された。本橋の構造概要を図-4 および図-5 に示す。以下には、設計・施工および橋体完成後に実施した実橋載荷試験の概要について述べる。

3.1 計画および設計

主塔および斜材配置は、シンボル性を強調して左右非対称とした。桁高は、側面からの景観性と斜張橋の特性を考慮して、鋼桁の製作が可能な範囲で低くした(H=70cm、桁高：主塔間隔=1：157)。また、フェアリング形状は、3次元風洞試験の結果と景観性から決定した。

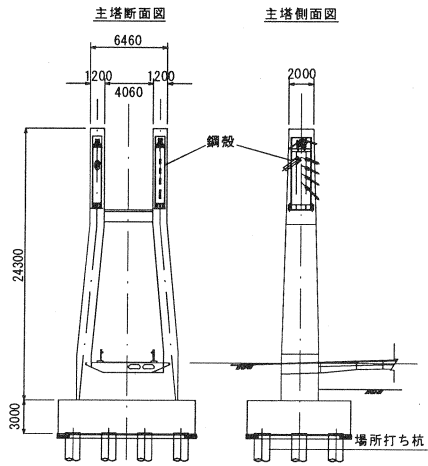


図-5 主塔形状図

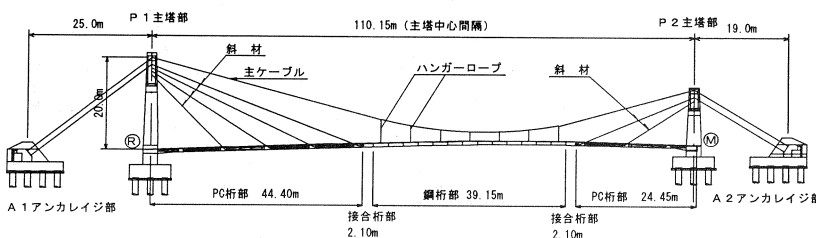
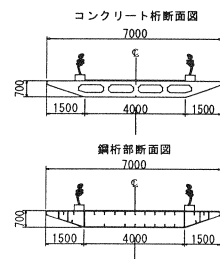


図-4 構造概要図



断面力の算出には、平面骨組みモデルを用いた。PC 桁部架設時は純粋な斜張構造であり、鋼桁架設以降は斜張構造と吊構造が合成した構造となる。また、クリープ部材と非クリープ部材が混在している。そのため、微小変形理論と有限変形理論を用い、架設ステップに応じて断面力の算出を行った。

PC 桁と鋼桁との接合は、力の伝達性、鋼桁の製作性、コンクリートの施工性を考慮して、道路橋で実績のある前後プレート方式を採用した (図-6)。また、主塔部の斜材定着部や主ケーブルサドル部には、鋼殻構造を採用した。

本橋の架設地点は強風寒冷地かつ海岸線であるため、耐久性向上対策を実施した。PC 桁は、桁内への外来塩分侵入を防止するため工場製作のプレキャストセグメントとした。コンクリートの水セメント比は、PC 桁 36%以下、主塔・アンカレイジ 43%以下とした。かぶり厚を 50~70mm とし、鉄筋はエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。また、主桁、主塔およびアンカレイジに塗装を施した。

3.2 施工

本橋の施工概要を図-7に示す。主桁の製作は、PC 桁では形状管理を容易なものとするため、側型枠のみを転用するロングラインマッチキャスト方式を採用した。鋼桁は、パネル状態で組立・溶接を行う工法とし、溶接時の作業性や品質の向上を図った。接合桁は、鋼桁 (セル) を製作し、セル内に高流動コンクリートを充填した後、マッチキャスト方式によりコンクリート桁部を製作した。

セグメントの張出し架設は、経済性、施工性、周辺環境への影響を考慮して、450t 吊りクローラークレーンにより行った。斜材は4セグメント毎に設置されるため、主桁の応力改善を目的に仮斜材を併用した。張出し架設終了後、ワイヤブリッジを設置し、主ケーブルを張り渡した。鋼桁架設は、ハンガーケーブルおよび仮ハンガーを使用し、450t 吊りクローラークレーンにより中央部から左右対称に行った。

3.3 実橋載荷試験

橋体完成後に静的載荷実験および振動実験を行った。静的載荷実験では、重量 42kN/台の試験車両を使用し、橋軸方向に2台縦列載荷した。振動実験では、試験車両の段差落下による衝撃加振実験を実施した。静的載荷実験の結果を図-8 に、振動実験

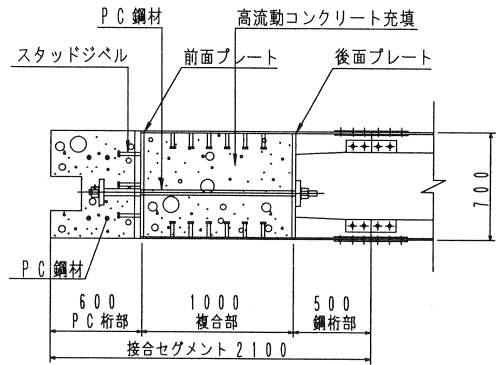


図-6 接合桁

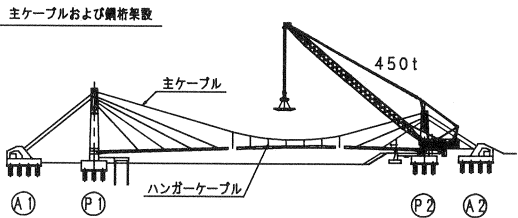
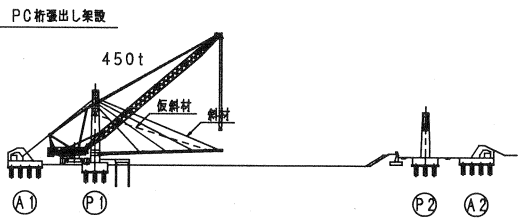


図-7 施工概要図

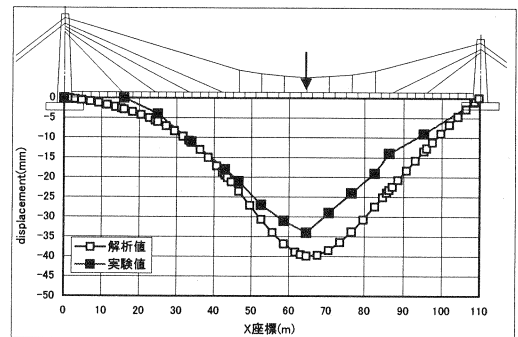


図-8 静的載荷実験結果

表-1 固有振動特性

	固有振動数 (Hz)		減衰定数 (%)
	解析値	実験値	
面内1次	0.85	0.92	3.51
面内2次	1.25	1.34	2.60
面内3次	1.92	1.95	2.19
面内4次	2.64	2.69~2.75	1.80
面内5次	3.81	3.78~3.85	1.23

により得られた固有振動特性を表-1 に示す。両実験ともに実験値と解析値は同様の傾向を示しており、解析手法の妥当性が示されたものと考えられる。

4. 長支間への適用

ハイブリッド PC 斜張橋の長支間橋梁に対する適用性を経済性の面から検討した。支間 720m の実橋鋼吊橋を対象モデルとして試設計を行った。また、比較のために同支間を有する PC 鋼複合斜張橋についても試設計を行った。対象橋梁の基本形状を図-9 に示す。

試設計の結果から得られたハイブリッド PC 斜張橋およびPC 鋼複合斜張橋の概算数量を表-2 に示す。なお、表中には鋼吊橋の実績も合わせて示している。鋼吊橋と比較すると、主ケーブルに作用する張力の減少から主ケーブル重量は鋼吊橋の 45% となった。また、斜材ケーブルを含めたケーブル総重量を比較すると、鋼吊橋の 84% であった。一方、PC 鋼複合斜張橋との比較では、主ケーブルがあるためケーブル総重量は PC 鋼複合斜張橋の 1.5 倍となった。しかしながら、主塔高さが低くなるため、主塔コンクリート体積は PC 鋼複合斜張橋の 60% 程度であった。

概算数量から工費を算出し 3 形式の比較をした。鋼吊橋の工費を 100% とすると、ハイブリッド PC 斜張橋は 93%、PC 鋼複合斜張橋は 92% となった。以上から、今回検討した 700m 程度の支間領域では、ハイブリッド PC 斜張橋は他の 2 形式と十分競合できる形式であることが確認された。

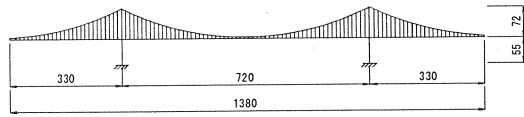
5. まとめ

長支間橋梁に対する新しい橋梁形式として、PC 斜張橋と鋼吊橋を組み合わせたハイブリッド PC 斜張橋を提案した。本橋梁形式には多くの優位性があることは明らかであり、特に斜張橋に比べ主桁軸力が小さいことや、吊橋に比べ主ケーブル重量が大幅に減少することは大きな利点だといえる。また、アンバランスな支間割に対しても適用の幅が広いと考えられ、他の橋梁形式に十分対抗できる形式になると予想される。今回、なぎさ・ブリッジに適用されたことで、その実現性が示され、そして基本的特性や解析手法の妥当性が確認された。また振動に関しては、実際日本海沿岸の季節風を一冬越したが、ほとんど振動を感じなかった。今後、長支間橋梁への実用化を目指し、さらに検討を進めていきたいと考えている。

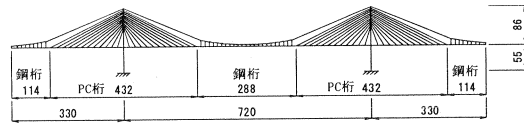
最後に、なぎさ・ブリッジの設計・施工にあたり、多大なご指導、ご尽力いただいた「鮭ヶ沢人道橋(仮称)技術検討会」の委員の皆様ならびに関係各位に感謝の意を表す次第である。

【参考文献】

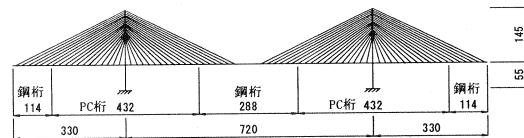
- 1) Marcel PRADE : "PONTS et VIADUCS au XIX^e SIECLE.", ERRANCE, BRISSAUD, pp.112-113, 1988
- 2) N.J.Gimsing : 吊形式橋梁—計画と設計—, 建設図書, 1994
- 3) R.Walther , D.Amsler : Hybrid Suspension Systems for Very Long Span Bridges, Aerodynamic Analysis and Cost Estimates, International Conference A.I.P.C.-F.I.P, 1994
- 4) 武村 他 : 吊り区間を含む PC 斜張橋「ハイブリッド斜張橋」の検討, 第 10 回 PC シンポジウム論文集, 2000.10
- 5) 佐藤 他 : ハイブリッド PC 斜張橋「なぎさ・ブリッジ」の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol.45, No.3, 2003
- 6) 佐藤 他 : なぎさ・ブリッジの施工と実橋載荷試験, 橋梁と基礎, 2003.7



(a) 鋼吊橋 (実績)



(b) ハイブリッド PC 斜張橋



(c) PC 鋼複合斜張橋

図-9 対象モデルの基本形状

表-2 概算数量と工費の比較

		単位	鋼吊橋 (実績)	PC鋼複合 斜張橋 (試設計)	ハイブリッド PC斜張橋 (試設計)
主桁	PC桁	m ³	—	17,200	17,200
	鋼桁	ton	11,130	3,740	3,740
ケーブル	主ケーブル	ton	3,560	—	1,610
	ハンガーケーブル	ton	240	—	10
	斜材ケーブル	ton	—	2,070	1,580
主塔	コンクリート	m ³	—	14,360	8,860
	鋼	ton	5,310	—	—
工費		%	100	92	93