

# 思い出の構造物 呼子大橋・リオン・アンティリオン橋

## — 21世紀の橋梁イノベーション —

森元 峯夫\*

### 1. まえがき

私が専門としてきたPC構造物、とくに数多くの橋梁の中にあつて特別な思いで表題の2橋を選んだ。この他にもたとえばカナダのコンフェデレーション橋のようにまったく独創的な基礎工法で設計・施工されたイノバティブな橋梁も数多くみられる。

しかしこの2橋は国・内外で建設された最初の独創的な橋であり、著者自身が設計コンセプトと設計手法に新しい方法を取り入れ、手探りで技術の裏付けを行った呼子大橋と、21世紀の代表的なイノバティブ橋梁は設計段階から施工の各段階まで、現地にたびたび足を運んで細部にわたり建設総責任者や設計者から直接技術情報を得ていたため、それらの核心について述べてみたい。

独創性すなわちオリジナルコンセプトにしたがって、経済性を追求しながらその裏付けとなる技術の内容について記述できればと思う。

### 2. 呼子大橋

#### 2.1 計画の概要と設計の基本的な考え方

呼子大橋は、日本最初の本格的長大PC斜張橋であり、中央スパン250mは当時世界第6位のPC斜張橋であった。

1982年6月にスウェーデンのストックホルムで開催された第8回FIP国際会議に出席して、帰路、フランスの技術提携先であるSEEE社(現Ingerop社)で社長Mr. Germain、技師長Prof. CourbonとMr. Schmittと共に本橋の設計・コンセプト・設計手法と架設などを議論、打合せて帰国した。

架設地点は歴史的遺跡が点在するうえ、加部島へ渡る海上橋であり、台風の多い地域で、地形と気象条件の厳しい環境であった。とくに“海の水平線と斜張橋上部工のプロファイルとの調和”などのほか、平面線型は遺跡をさけて、本土側取付部はPC曲線連続箱桁橋として斜張部との連続性の景観とした。

設計風速は  $V_{10} = 42 \text{ m/sec}$  (高度10m, 10分間の平均風

速・再現期待値100年)であり、設計水平震度  $k_h = 0.13$  であった。斜材の配置をマルチケーブル、フローティング・タイプとすることで主塔および橋軸方向の橋脚基礎を小さくし、さらに巾員 ( $B = 10 \text{ m}$ ) が狭くスパンが250mのため主桁のねじり剛性を高めるために、2面吊りのPC2室箱桁断面とした。当時ヨーロッパでは1面吊りのPC斜張橋は建設されていた。

#### 2.2 技術委員会での検討事項とイノバティブ技術

日本最初の本格的な長大PC斜張橋であり、玄海国立公園内にあつて、台風通過頻度の高い架設地点などの理由で「加部島架橋技術検討委員会」(委員長:渡辺 明 九州工業大学教授)が設けられ諸々の技術問題が検討された。

主なものは以下のようである。

- 1) 斜材の型式 (ハープ・タイプ)
- 2) 主桁支承条件 (マルチ斜材・フローティングタイプ・一次モード3.17 sec)
- 3) 主桁断面 (耐風安定性、ねじり剛性、経済性、ウインドノーズ) : 数多くの議論の後、桁高の低い、耐風安定性のよい傾斜ウェブの2室箱型断面とし、ねじり剛性が大きく、自重の軽減による斜材の経済性が計られた。
- 4) 斜材定着間隔と張出し架設の関係: 鋼とPC斜張橋では、主桁架設工法が異なることと、その時点まで片持ち梁施工による長大PC斜張橋の事例がわが国で最初であったので、斜材間隔は、鋼斜張橋にならって、20~30m間隔とするなどの意見も出されたが架設機のキャパシティーと経済性から1ブロックの長さを4.0mとして2ブロックごとに斜材配置する8m間隔とされた。
- 5) 主塔の設計法と基礎の検討 (RC主塔の設計基準の問題) : 高さ100m級のRC主塔の設計・施工の実例がないため、フランスのANNALE D'E.T.B.T.PによるTancarville吊橋の主塔の設計・施工編を徹底的に研究し、さらにBrotonne橋の設計編や主塔の軸方向鉄筋によるコンクリートのクリープ拘束の影響などの研究論文も参考とした。さらに主塔の施工誤差による傾斜と湾曲の偏心の影響と、斜材・主桁と主塔の温度差、温度変化の影響のほか、座屈の検討も行って、合理的と思われる設計手法を創り出した。これらは今から25年前の設計の状況であり今日ではごく当たり前のことである。一方基礎の大きさが橋軸方向で15mとなり通常基礎の大きさの大略半分位の大きさのため、架設時と供用時地震の影響の転倒が心配となりコンピューターのアウト・プットの間違ひではないかと、何回も手計算を繰り返してチェックしたがしばらくの間心配でよく眠れなかったことを思い出す。常識と新しいものとの感覚の違いである。



\* Mineo MORIMOTO

(株)エスイー (株)アンジェロセック  
代表取締役社長 工学博士

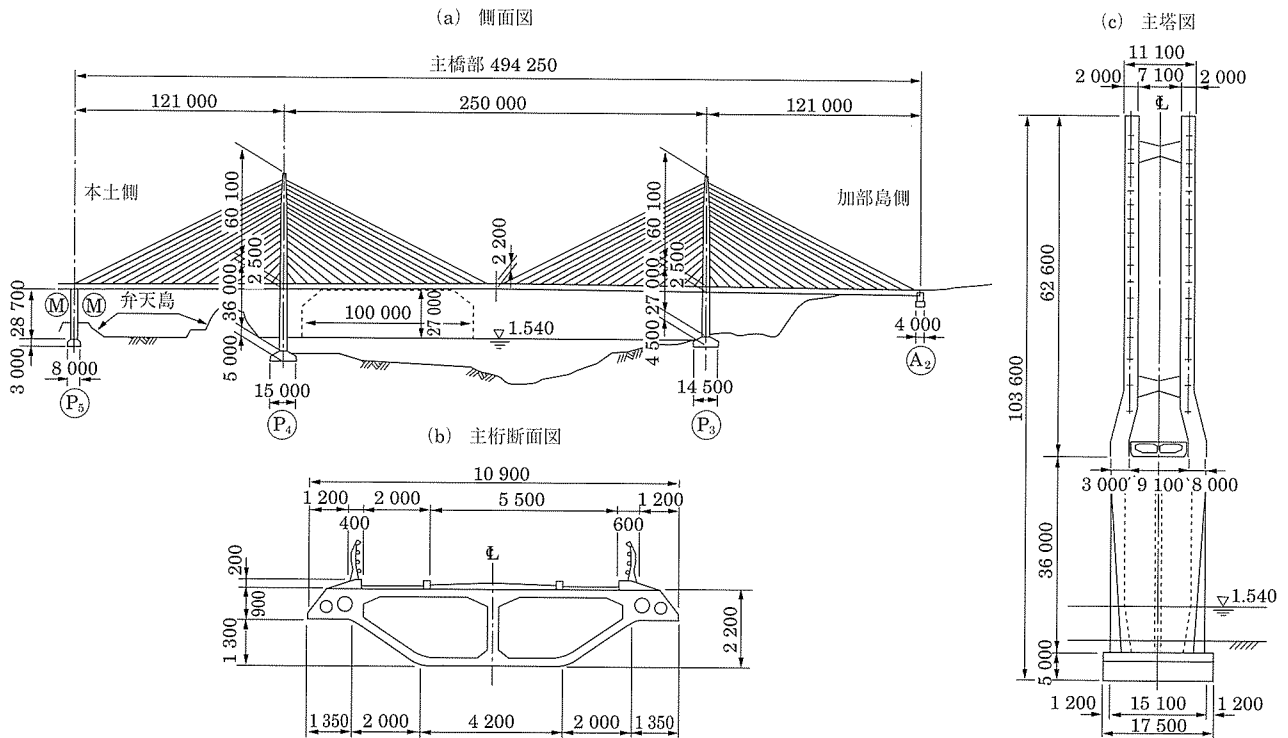


図 - 1 呼子大橋全体一般図

6) 斜材の構造と架設法：斜材の構造は、PC ストランドを基本として現場でセメント・グラウト（クラックの発生、ダクトの強度とコスト・グラウト作業の有無）しない、亜鉛メッキされたPC ストランドに防錆用アンダーコート・HDP.E 被覆で定着具が高疲労強度のネジ式定着具で引張力調整の容易な SEEE・F-PH 斜材を開発し、工場でのプレパブ方式で架設が行われた。1988年9月のフランス・Versailleでの国際会議でフランス語で発表したことも思い出の1つであり、後述談として、唐津焼の第十二代人間国宝・中里太郎右衛門さんの実弟の中里重利さんとの対談で、“あの大自然のキャンパスに最初に筆を入れた時は大変だったでしょう、私の茶碗の大宇宙感と同じでしょう”と言われたときハッとしてフランス語の l'ouvrage d'art（芸術的構造物）の言葉を思い出した。“古津江なる、永遠に凛々しく 美しく あらむとぞ思う呼子架け橋”短歌の碑を建てさせていただき謝辞とした。

### 3. リオン・アンティリオン橋のイノベーション技術

#### 3.1 リオン・アンティリオン橋の概要

2004年8月13日のギリシャのオリンピック開催日の前日に開通式を迎えた本橋は、当時世界一困難なプロジェクトとして注目されてきた。

本橋はギリシャ北西部のペロポネソス半島の最北端、パトラスのリオンと対岸の本土側、テッサリアのアンティリオンを結ぶ海洋架橋であり、橋長は約3kmで海峡部はスパン560m 3径間と、両側286mの5径間連続複合斜張橋で、全長は2.25kmである。本橋の架橋地点は、水深65m、

海底地盤は沖積層のシルト、粘土の互層であり、海底から基盤まで800mの地質条件で設計で考慮された地震応答加速度は明石海峡大橋より大きく、橋面で1.2g、海底で0.48gであった。

主橋部主桁はスパン560m、巾員27.2mに対し、鋼2主桁とRC床版からなる総高2.70mの合成構造である。この主桁は陸上でブロック長18mのプレキャスト・セグメントとして製作されバージで海上輸送されて片持ち梁架設されたが、全橋長2.25kmが連続構造であり、伸縮継手は橋台部分の地震時対応ダンパーと併設されており、地震時±1.60mの橋軸方向移動が考慮されている。この解決策はProf. VIRLOGEUXによって地震時、主桁が塑性化しないことや、断層移動2.0mの想定時の全体構造系の耐震安定性からも決められている。また基礎工は、沖積層にφ2m長さ25mの鋼管を7m間隔で海底に打込み補強土として、その上に砂と礫層の均しを設けて、常時10t/m<sup>2</sup>程度の設置圧で直径90mのRC中空円錐台の基礎が設置され、その上に中空のRC円筒橋脚が打ち足された。上部工より上層部はRC構造の4柱からなる主塔構造となっていて、塔頂部は斜材定着の鋼製ブロックとPCの合成構造となっている。基礎底面から主塔頂上までの総高は227mにも及ぶ超高層構造物である。

#### 3.2 イノベーションと感想

明石の1.5倍の地震強度で世界第一級の強震地帯、水深65m、海底は沖積層800mのシルト粘土層に鋼管を打込んだインクリュージョン（補強度）の基礎で、杭基礎でなく、岩着のできない海底、断層移動2mの条件で、基礎工と橋脚のプレハブ化、ウェット・ドック（水深60mでのアンカー碇泊）での海中施工など基礎工と耐震設計は世界で初

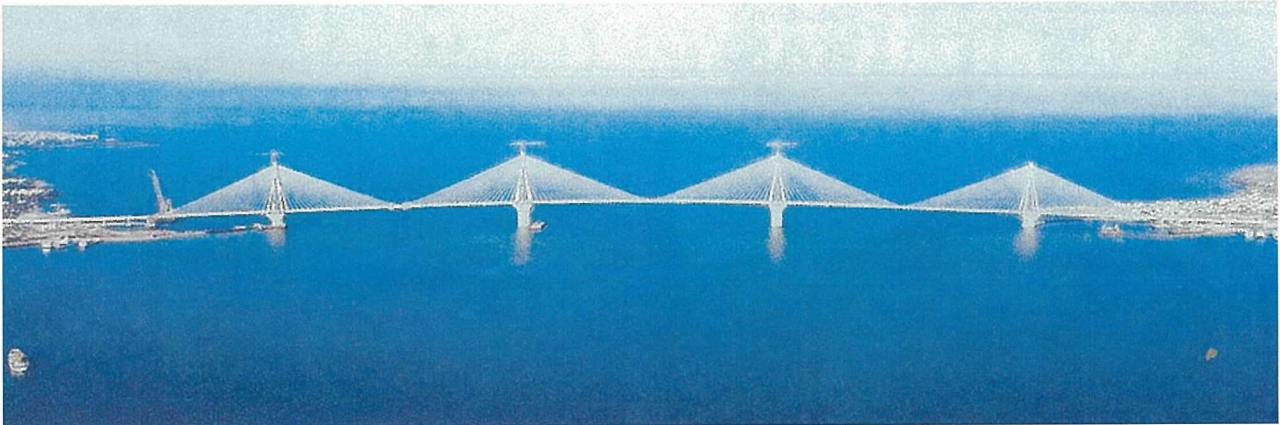


図-2 完成直前のリオン・アンティリオン橋



図-3 ドライドックからファンデーシンの曳航状況

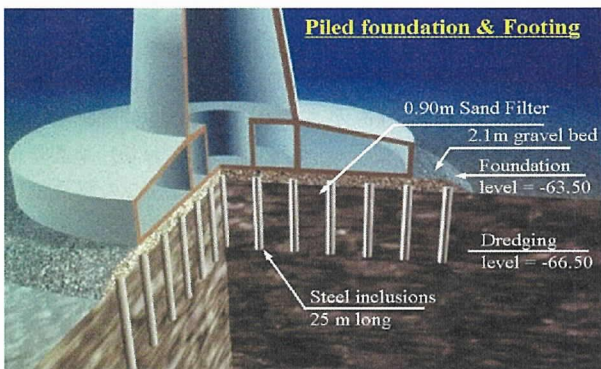


図-4 鋼管・インクリュージョン・補強土と基礎



図-5 上部工 片持ち梁架設状況 (2003/10/13)

めのコンセプトであり日本での Mr. de Maublanc (建設総責任者) の講演会の通訳で“支持力はいくらか”“転倒モーメントとスライドについて”などの質問に対してコンセプトがまったく異なる接地圧や地震時の若干の滑動変位などの説明に大変困った思い出がある。

一方 2.25 km 全長での鋼 2 主桁と RC 床版による合成桁でノージョイントの構造も世界最初であり、橋台部の橋軸方向と直角方向のダンパーの開発などはすべてが世界最初の構造技術であって、解析力と各部門の世界的な専門家の知識を総合化したまさしくオール・イノバティブ・ブリッジとして永遠に歴史に記録される感銘を世界に与えた橋梁

である。

追記として、この橋は総額約 1 000 億円で建設され工期は設計から完成まで、6 年 8 箇月であった。また本橋のプロジェクト総責任者 Mr. J.P. Teysstandier と施工の総責任者 Mr. de Maublanc は古くからの大変親しい友人であり、この橋の建設によって、フランス共和国よりレジオンドヌール勲章シュバリエを授与され、また 2006 年のフランス技術者のグランプリ賞も授与された、真の技術立国である。

#### 4. む す び

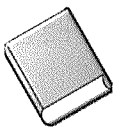
品確法に基づく橋梁の品質確保をどのようにすればいいのか、種々なやるべきことが議論され試行されている。コンセプト・クオリティ（計画時のコンセプトの品質）の考え方が今までわが国では議論されてなくて、ほとんど発注者と建設コンサルタントの2者間で、コンセプト、設計案が決められてきた。コンセプトの品質の視点に欠けたため、〇〇ありきのものも経済性や、構造合理性が十分検討されなかったのではないかという事例も見られた。

第三者（優れたエンジニア・グループ）による客観的な評価を通じて、発注者・建設コンサルタント（受注者）のコンセプトを評価し、議論して1つの合理的（経済性、構造合理性、景観、耐久性なども含めた最適化）な案にしほることが、コンセプト・クオリティと位置付けられているフランスなどのシステムを応用する時期にきていると思われる。品確法の裏付けと国際競争力の技術開発にはこの

コンセプト・クオリティを高める過程での重要な技術課題のイノベーションが大切で、これによって技術進歩が得られる。リオン・アンティリオン橋は、大変大きな目標をわれわれ日本の技術者に与えてくれている。この客観的評価法のシステム創りと、深い理論的裏付けで、真に独創的な構造物を建設しなければならない時期にきているし、優れた技術者が重要なプロジェクトに参加できる市場環境ができて欲しいと思う。フランスのコピーのPC構造物でなく、コンセプト・設計の履歴の明確なプロセスを公表することも重要であり、技術力競争ができて初めて魅力のある産業となるのであろう。

いきなり、コンピューターにまず頼らない手書きのデッサンと、構造力学に基づいた手計算のプロセスを経て、できるだけ長い期間の構造型式決定のプロセスが大切な時期にきていると思われる。

【2006年9月7日受付】



新刊図書案内

PC技術規準シリーズ

## 貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

頒布価格：会員特価 3 500 円（送料 500 円）

：非会員価格 4 200 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版