

# 橋梁技術の将来展望

春日 昭夫\*

## 1. まえがき

20世紀は技術革新の時代であった。自動車・コンピュータなど100年前は一部のSF作家を除き、誰が今の技術を想像したであろう。橋に関しても、吊橋の長大化、斜張橋、プレストレストコンクリート技術等々、設計・材料・施工法とも優れた技術の発展があった。果たして21世紀はわれわれ橋梁技術者にとってどのような世紀になるであろう。人類が重力を克服し、そもそも橋梁という単語が死語になってしまう可能性もある。ここでは、過去100年を振り返り、来る100年は予測することが困難なので、せめて20年後くらいの近い将来の橋梁技術を考えてみる。

## 2. 20世紀の橋梁技術

図-1に斜張橋の最大支間の推移<sup>1)</sup>を、図-2に吊橋の最大支間の推移<sup>2)</sup>を示す。また、表-1には、20世紀における主な橋梁技術に関する歴史をまとめた。橋の支間長から言えば20世紀には驚異的な発展を遂げたと言えよう。とくに、この50年の進歩は目覚ましいものがある。これには材料では鋼鉄やプレストレストコンクリート用の高張力鋼の発達が大いに寄与し、解析では何とんでもたわみ理論が、ジョージ・ワシントン橋にて吊橋の支間長を一気に1000mの大台にのせた。

プレストレストコンクリートでは、1928年のフレッシュナーやフィンスタバルダーのPCの原理から、1936年の世界初のPC橋であるアウエ橋や1950年の最初の張出し施工バルドインシュタイン橋、そして、それから約50年を経た支間長530mの斜張橋、スカルンズンド橋へと繋がる。日本では、1951年に初のPC橋である長生橋が施工され、最初の張出し架設である嵐山橋が1958年、アーチ橋の草分けとなった外津橋が1974年に建設された。そして1988年の斜張橋の本格的な張出し施工である新綾部大橋から世界初のエクストラード橋である小田原ブルーウェイブリッジ(1994年)と、10年~15年くらいの周期で大きなブレイクスルーが訪れているようである。しかしながら、エクストラード橋を除

けば、いずれの橋梁形式も海外に対して10年~20年の遅れがある。

解析技術については、20年前の浜名大橋では柱頭部の解析をアクリル版を用いた光弾性モデルで行っていた。しかし、FEM解析の汎用ソフトであるNASTRANの出現とコンピュータの飛躍的な発展によって、現在ではソリッド要素の3次元モデルによるFEM解析が机上のパソコンで行えるところまできている。

## 3. これからの橋梁技術

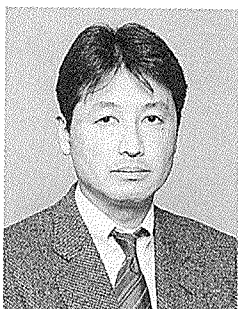
さて、これからの橋梁技術はどうであろうか。それには、いくつかのキーワードが考えられる。それらは、材料や構造のハイパフォーマンス化、環境に配慮した橋梁技術、長大化などが主なものになるであろう。また、設計においてはコンピュータのますますの発展に伴い、非線形の解析技術が進み、コンクリート構造物の鉄筋まで考えた、ひび割れ発生から終局までの非線形解析が手軽に、それも正確にできるようになるであろう。そうなると設計は梁理論ではなく直接主応力で行うようになるのであろうか。解析技術の進歩によってわれわれは便利になる半面、エンジニアの勤が鈍ることになる。そして、われわれはツールの進歩に人間がついていけないという皮肉な現象に直面することになるかもしれない。

以下、キーワードに従って考察してみる。

### 3.1 材料や構造のハイパフォーマンス化

過去の歴史を見ても分かるように、新材料の発見や強度の向上が間違いなく橋梁技術の発展に大きく関与している。コンクリートや鋼材は更なる高強度化に向かい、ハイパフォーマンス化は強度だけでなく、耐久性の向上という側面ももたらすであろう。200MPaのコンクリートを用いた歩道橋<sup>3)</sup>や新素材を用いた斜張橋<sup>4)</sup>などはすでに実現している。また、コンクリートの高強度化と並んで軽量化も永遠のテーマである。今やコンクリートはその目的に応じて多種多様になってきており、欧州ではコンクリートを複数形にした“Concretes”とさえ呼んでいるそうである。このような多様化はますます進むであろう。

PC鋼材の強度は、加工硬化によって得られる限界に近いと言われるが、大きなブレイクスルーがあるかもしれないし、まったく他の材料にとって変わることも考えられる。さらには、構造のハイパフォーマンス化とも言えなくはない複合構造の更なる進化に言及しておかなければならない。複合構造は、過去100年から見れば歴史的に新しいが、文献<sup>5)</sup>にある概念図(図-3)のように、従来のコンクリートウェブを鋼に置き換えた複合構



\* Akio KASUGA

住友建設(株)  
土木本部PC設計部 次長

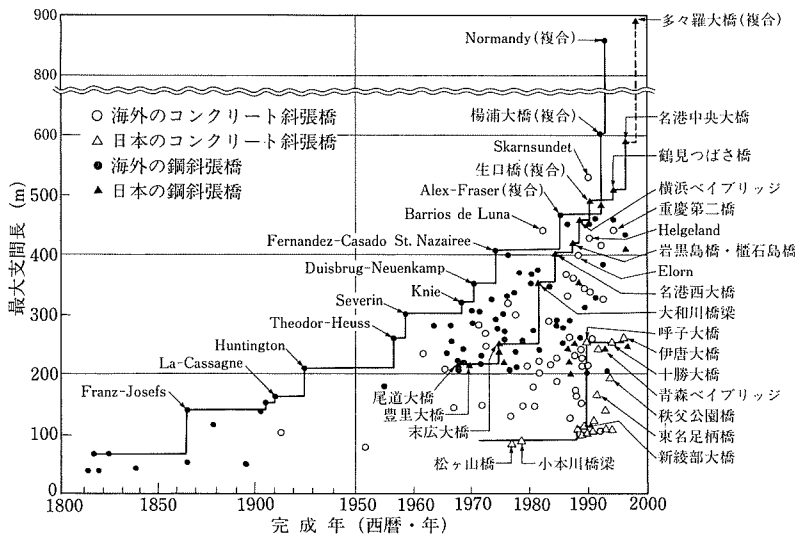


図-1 斜張橋の最大支間の推移<sup>1)</sup>

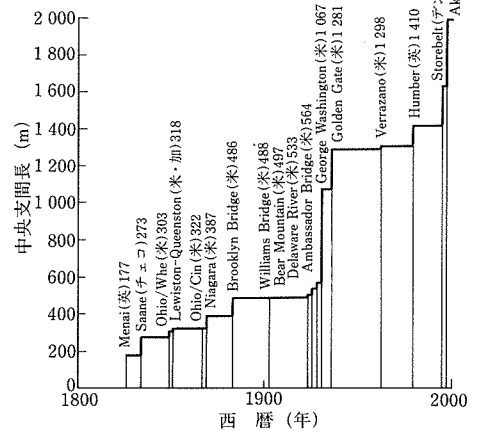


図-2 吊橋の最大支間の推移<sup>2)</sup>

表-1 20世紀における主な橋梁技術

国 外	年代	国 内
<ul style="list-style-type: none"> <li>・世界初のコンクリート斜張橋(水管橋) テンプル橋 (1925年)</li> <li>・プレストレストコンクリートの原理 (1928年)</li> <li>・たわみ理論による支間1000mを超えたジョージ・ワシントン橋 (1931年)</li> <li>・世界初のプレストレストコンクリート橋 アウエ橋 (1936年)</li> <li>・フレッシュナーのマルヌ5橋 (1947年～1950年)</li> <li>・最初の張出し架設バルドインシュタイン橋 (1950年)</li> <li>・世界初のマッチキャストセグメント工法 シェルトン橋 (1952年)</li> <li>・世界初の鋼斜張橋 ストルムズンド橋 (1955年)</li> <li>・世界初のコンクリート斜張橋(道路橋) ベントンシティー橋 (1957年)</li> <li>・世界最大を誇ったコンクリートアーチ橋 クルク橋 (1964年)</li> <li>・長大PC斜張橋の草分けとなったプロトヌ橋 (1977年)</li> <li>・世界初の波形ウェブ橋 コニャック橋 (1986年)</li> <li>・斜張橋の超長大化の幕開けとなったノルマンディー橋 (1994年)</li> </ul>	<p>1900</p> <p>1950</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日本初のプレテン橋 長生橋 (1951年)</li> <li>・日本初のポステン橋 東十郷橋 (1953年)</li> <li>・日本初の張出し架設 嵐山橋 (1958年)</li> <li>・日本初の鋼斜張橋 勝瀬橋 (1960年)</li> <li>・日本初の本格的な吊橋 若戸大橋 (1962年)</li> <li>・日本初のコンクリート斜張橋 島田橋 (1963年)</li> <li>・日本初の本格的な張出し施工によるアーチ橋 外津橋 (1974年)</li> <li>・日本初の本格的な張出し施工による斜張橋 新設部大橋 (1988年)</li> <li>・世界初のエクストラロード橋 小田原ブルーウェイブリッジ (1994年)</li> <li>・世界最大の吊橋 明石海峡大橋 (1998年)</li> <li>・世界最大の斜張橋 多々羅大橋 (1999年)</li> <li>・世界初の複合エクストラロード橋 揖斐川橋・木曾川橋 (2001年)</li> </ul> <p>2000</p>	

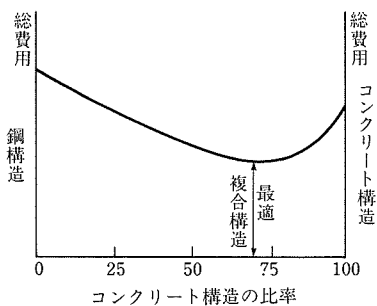


図-3 複合構造が有利な場合の概念図<sup>5)</sup>

造だけでなく、最適な複合比率を追求することが必要になると思われる。たとえば、表-2に示すように、鋼トラス部の高さを工場からそのまま運べる高さ(2.5m～3m)に限定してコストを低減するとともに、コンクリートとの接合部の力を、斜材で吊ったりコンクリート桁部により多くせん断力を分担させることで小さく抑える。そして、接合部の構造を簡素にして40mの高架橋から400mまでの斜張橋を同じ接合ディテールで設計できるような、任意の複合比率をもつ複合トラスなどが考えられる。これは、PCとRCを繋いだPPCや、桁橋と斜張橋を繋いだエクストラド

表-2 任意の複合比率をもつ複合トラス

断面	40m	60m	100m	適用支間長	200m	250m
中規模高架橋 コンクリート床版 鋼トラス	40m, 60m					
複合桁橋 コンクリート桁 鋼トラス		60m	150m			
エクストラードード橋, 斜張橋 コンクリート床版 鋼トラス	60m	120m	250m~400m	エクストラードード橋	斜張橋	
エクストラードード橋 (長支間) コンクリート桁 鋼トラス		120m	250m			

ズド橋などと同じ概念であると言える。

### 3.2 環境に配慮した橋

今後、建設産業において環境に配慮するのは、今以上に重要な課題となるのは間違いない。それは、施工法のみならず構造や材料にまで及ぶであろう。

施工法においては、とくに山間部における下部工の周辺環境に与える影響が重要である。アメリカのリン・コーブ高架橋は国立公園の中という事情もあるが、周囲への影響を最小限に抑えた施工法として知られている。下部工の施工法は主

桁の先端から行い、主桁も片側から順次施工している(写真-1)。また、写真-2に示す第二東名で施工中の芝川高架橋は、まず上部工で張出し床版をストラットで支持して、広幅員にもかかわらず箱桁のボックス幅を小さく抑えている。その結果、橋脚の橋軸直角方向の寸法を低減でき、ひいては基礎工の施工をリングビームという山を切らないで杭を掘る工法で行うことが最小断面で可能になった(写真-3)。このことは、構造も環境に対して大きな要因となり得ることを示唆している。ストラット構造はリブ構造と並んで海外で用いられてきたが(写真-4)、わが国でもますますの採用が期待される。さらには、深いV字溪谷に架ける橋梁は、斜面を切る量が多いアーチ形式ではなく、トンネルからトンネルを直接結ぶ吊り構造が考えられる。現在、メインケーブルのアンカーを山の斜面にとった、支間560mの吊橋がギリシャで進行中である<sup>6)</sup>。

材料では、環境に与える負荷が小さなものの採用が進むであろう。文献<sup>7)</sup>には鋼とコンクリートのスパンによる環境負荷が示されているが(図-4, 5)、建設業界のみならず他



写真-1 リン・コーブ高架橋  
(写真提供: Figg Bridge Engineers, Inc.)

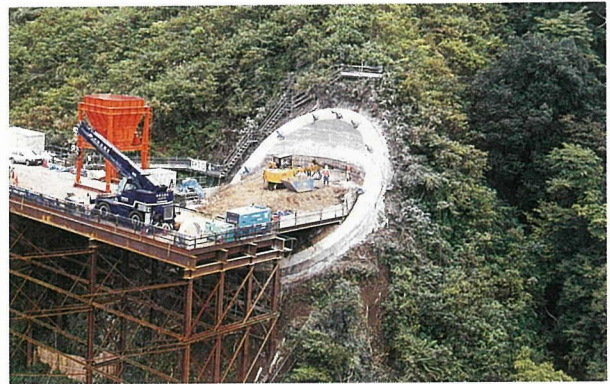


写真-3 芝川高架橋の基礎工事状況  
(写真提供: 日本道路公団)

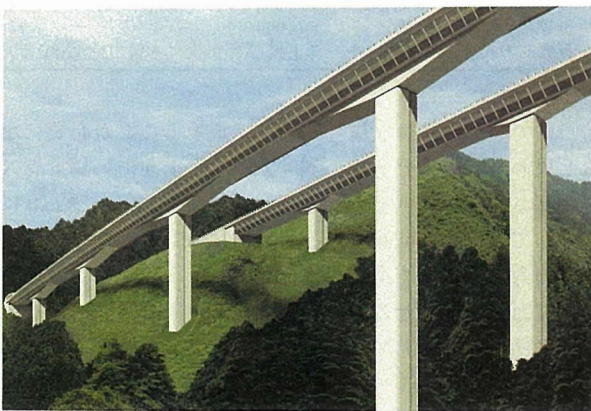


写真-2 芝川高架橋の完成パース  
(写真提供: 日本道路公団)

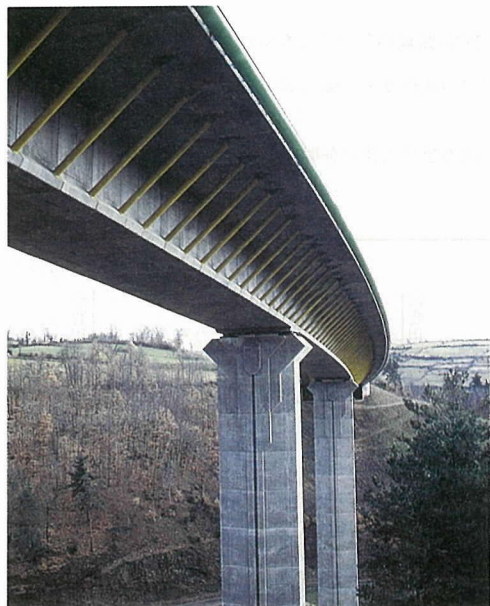


写真-4 リオロン高架橋(フランス)

産業でもこの問題はこれからの大きな課題となっている。しかしながら、正確な評価方法は今後の更なる研究を待たなければならないと思われる。

### 3.3 長大化

支間の長大化は、エンジニアが人間である以上終わることのない欲求である。21世紀早々には香港で支間長が1 018 mの斜張橋が実現しそうである<sup>8)</sup>。明石海峡大橋を超える橋

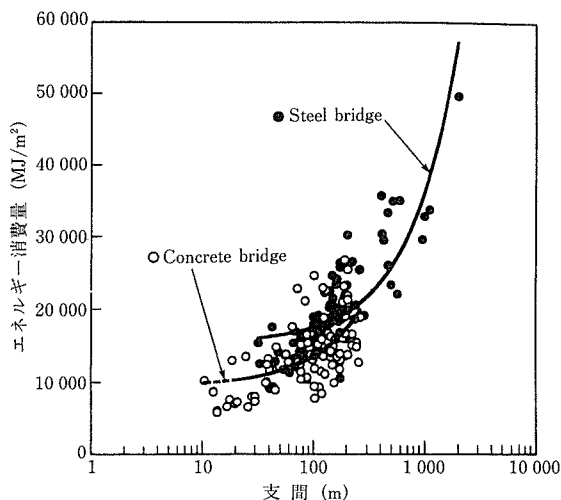


図-4 橋面積あたりエネルギー消費量と支間<sup>7)</sup>

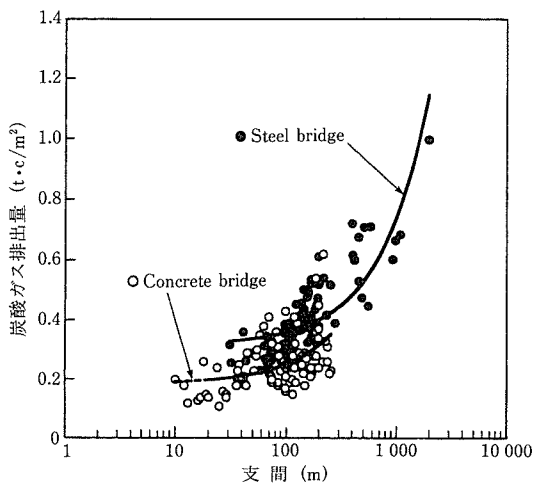


図-5 橋面積あたり炭酸ガス排出量と支間<sup>7)</sup>

梁形式は図-6, 7に示すように、T. Y. Lin<sup>9)</sup>やBillington<sup>2)</sup>によって示されている。また、支間長とは別に、多径間化による長大化も20世紀の終わり頃に建設が実現化してきた。現在も、ミヨ高架橋<sup>10)</sup> (フランス、図-8) やリオン・アンティリオン橋<sup>10)</sup> (ギリシャ、図-9) が施工中であり、斜張橋の多径間化は今後も続くのではないと思われる。

### 4. あとがき

近い将来、日本の建設投資が欧米並みに半減する時代が来ることは確実である。そのとき、われわれ日本の橋梁技術者の半分は海外で仕事をするか、維持補修に携わることになるであろう。新しい世紀の橋梁を展望することも大切であるが、その前にもっと切実な現実がわれわれの前にあることを認識しなければならない。

本稿では維持補修以外の技術について述べたが、メンテナンスも建設と同様、将来の重要な技術となる。また、最近の海外の大きな橋では、エンジニアとアーキテクトがチームを組んでコンペに参加するという傾向が強いようである。橋梁の建設が多い今のうちに、創造性に富んだ21世紀の橋梁技術を担える技術力と、「エレガント」な橋を造るデザイン力を蓄積しておくことが当面のわれわれの重要課題と考える。

筆者の独断と偏見で橋梁技術の将来展望を述べたが、いくらかでもこれからのヒントになれば幸いである。最後

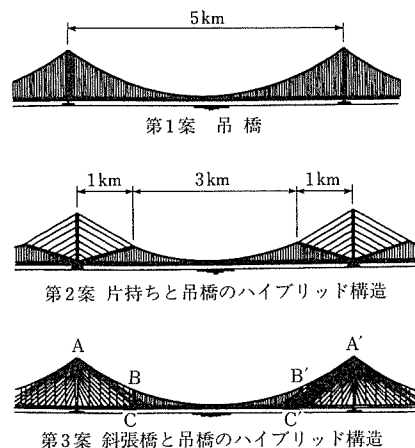


図-6 スパン5 kmの橋梁案<sup>9)</sup>

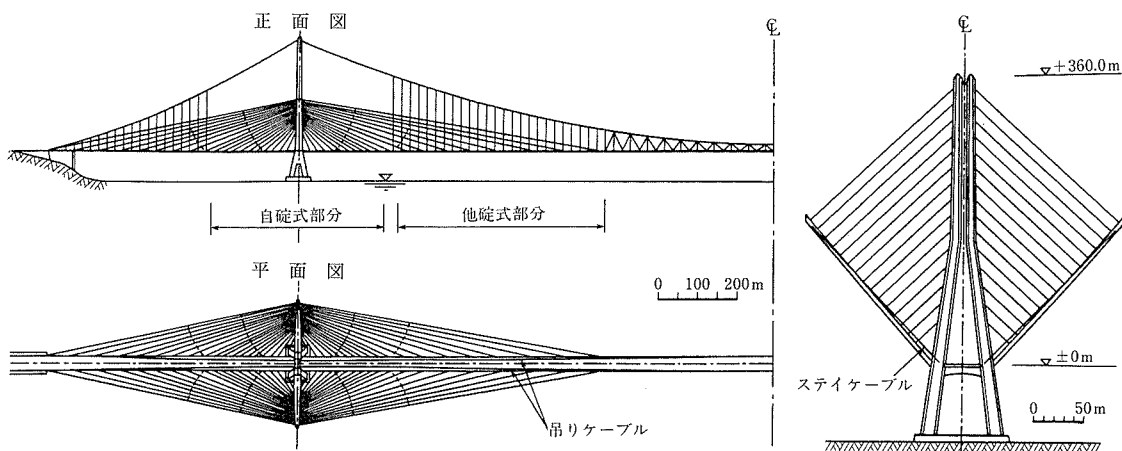


図-7 吊りケーブルと傾斜ステイケーブルの併用案<sup>2)</sup>



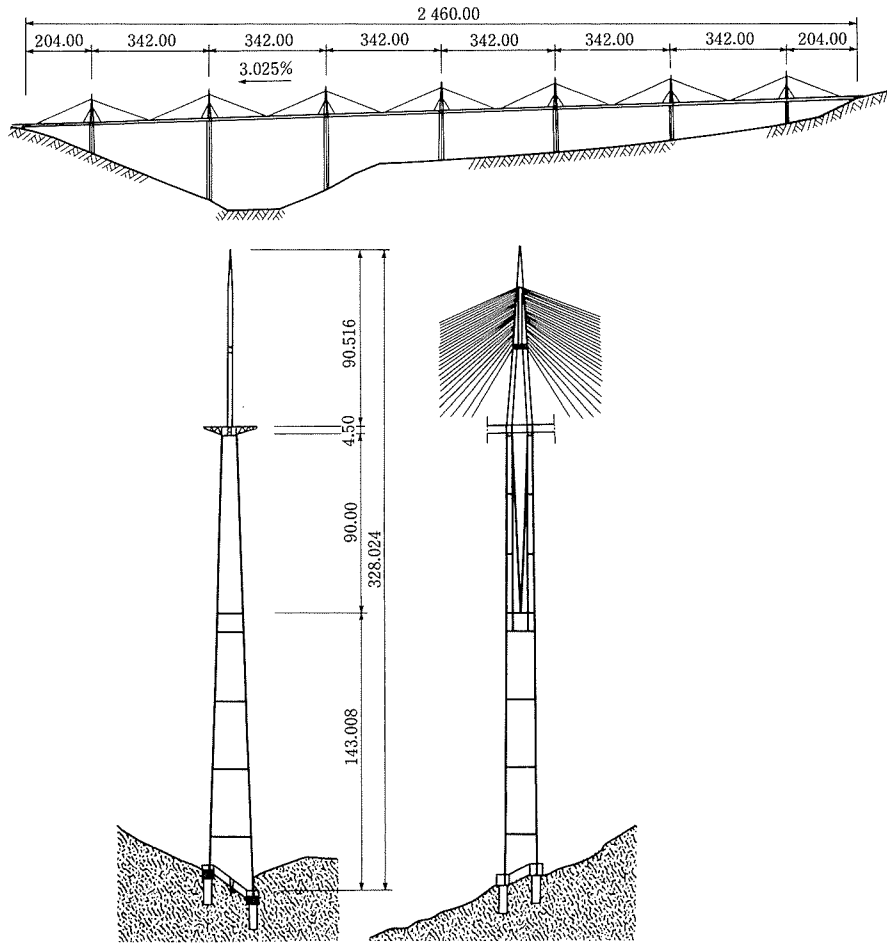


図-8 ミヨ高架橋<sup>10)</sup>

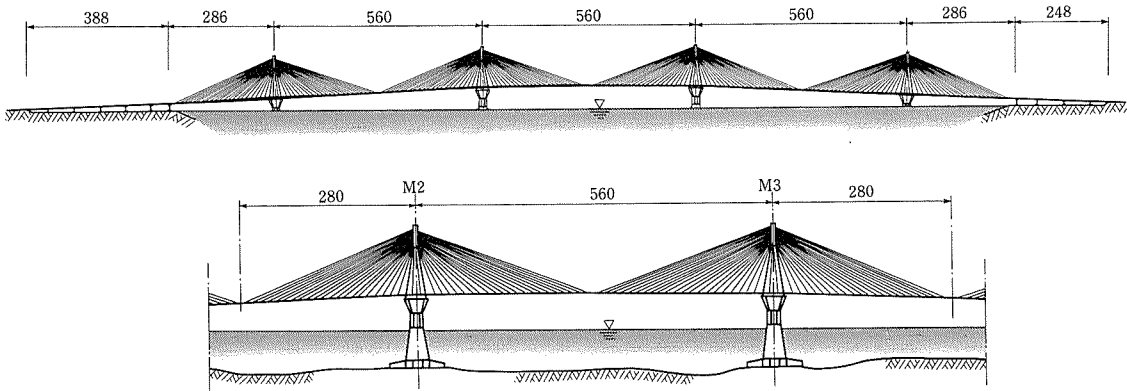


図-9 リオン・アンティリオン橋<sup>10)</sup>

に、貴重な写真を提供していただいた、日本道路公団 静岡建設局 富士工事事務所の高橋昭一工事長と、Figg Bridge Engineers, Inc.のAlan Moreton氏に誌上を借りて感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 菅原：プレストレストコンクリート，土木学会誌，1996.10
- 2) Menn, Billington：Breaking Barriers of Scale, Structural Engineering International, 1995.1
- 3) Behloul, Cheyrezy：The Sherbrooke Footbridge, pp.711～714, fib 1999
- 4) Seible, Burgueno：The I-5/Gilman Advanced Technology Bridge, pp.715～720, fib 1999
- 5) 池田：土木分野における複合構造の発展，コンクリート工学，pp.3～8, 1998.10
- 6) ENR McGraw Hill, 2000.2.7
- 7) 泉：橋梁建設における環境問題，プレストレストコンクリート，Vol.41, No.6, pp.31～33, 1999
- 8) World Highways, IRF, 2000.10
- 9) Lin：Gibraltar Strait Crossing - A Challenge to Bridge and Structural Engineers, Structural Engineering International, 1991.2
- 10) Virlogeux：Bridges with Multiple Cable-Stayed Spans, IABSE, 1999

【2000年12月21日受付】