

ヨーロッパの最新プロジェクト

角田 隆洋*

1. はじめに

筆者は、2001年から2002年にかけて約1年間、フランスの建設グループVINCIの大型物件を専門的に扱うVINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETSに企業研修生として派遣され、アプローチ橋ではあるがギリシアのプロジェクトRION-ANTIRION橋の設計に携わった。この橋梁を含め、現在ヨーロッパで注目されている2つの橋梁を紹介する。

2. RION-ANTIRION 橋 (リオン-アンティリオン橋)

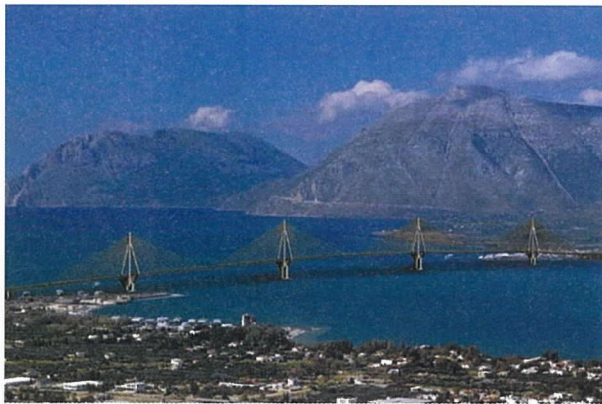


図-1 RION-ANTIRION 橋完成予想図

2.1 概要

本橋は、ギリシア、コリンス湾に位置し、北側のバルカン半島ANTIRION(アンティリオン)と南側ペロポネソス半島の都市PATRAS(パトラス)の東部に位置するRION(リオン)を繋ぐ全長約3kmの橋梁である。現在は、フェリーが頻繁に両岸を往復し人や車、物資を運んでいる。橋梁完成によって、この時間が45分から5分に短縮される。以下にメインブリッジの諸元を記す。

形式：5径間連続複合斜張橋

桁長：2252m(連続桁として世界最長)

支間：286m + 3@560m + 286m

上部工：鋼2主桁(桁高2.2m) + RC床版(床版厚25cm)

斜張橋を挟み、アプローチ橋として、RION側はRC床版鋼2主桁合成桁橋が、ANTIRION側はプレキャストPC合成桁橋が接続する。メインブリッジは完成時には橋長で世界一の斜張橋となる。

プロジェクト計画初期においては、3径間の長支間吊り橋案や支間1kmを超える斜張橋案なども提案されたが、非常に軟弱な地盤のため、海峡を一気に跨ぐこれらの長大3径間案は橋脚部に負担がかかり不経済なものになった。最終的には5径間連続斜張橋案が採用され、フランスの建設グループGTM(現VINCI)を筆頭に他ギリシア6社の建設企業より構成されるこのプロジェクトを対象として設立された事業体「GEFYRA S.A.」とギリシア共和国との間で、1996年、設計、建設、財政、維持、運営等に関するコンセッション(事業権)契約が結ばれた。

このプロジェクトはギリシアで初めてのBOT契約方式であり、トータルコストは7.5億ユーロで、財源の内訳は株式資本10%、ギリシア政府の負担40%、多くの市中銀行によりプールされたヨーロッパ投資銀行(EIB)からのローン50%となっている。

工期は、2年の設計工期を含めて7年(2004年12月24日まで)であり、事業の運営期間は42年(2039年12月24日まで)で、その後の運営はギリシア政府に引き継がれる。2004年夏に開催されるアテネオリンピックの聖火ランナーが橋梁を渡る予定であるが、その時点までに両岸が接続するかは微妙である。

2.2 下部構造

本橋の最大の特徴は基礎工にある。最大水深65mに設置される直径90mの中空円盤状のRCケーソン構造で、その上に、円筒柱のRCシェル構造の橋脚が設置される。

架橋地点の地盤は軟弱で、シルトと粘性土の互層になっており、強固な基礎は海底から800m以深となっている。架橋地点は大地震の危険地帯であり、設計においては、基礎地盤面で最大加速度0.48G、上部工位置において1.2Gの地震動を考慮する。海峡には断層が存在し、半島と本島は年間数ミリずつ離れていっており、それぞれの橋脚間で鉛直、水平それぞれ2mの地盤の断層のずれを考慮しなければならない。

このため、鋼管杭(長さ25m、直径2m)を各橋脚あたり150-200本打ち込み、その上に3m厚のバラストを敷き均しており、地殻変動時には構造が地盤上を滑る設計になっている。鋼管杭とフーチング間は結合されておらず、一



* Takahiro KAKUTA

(株)ピーエス三菱 技術本部
土木技術第一部

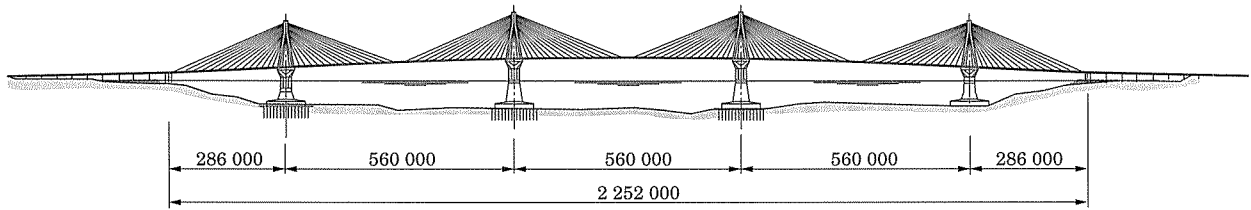


図 - 2 側面図

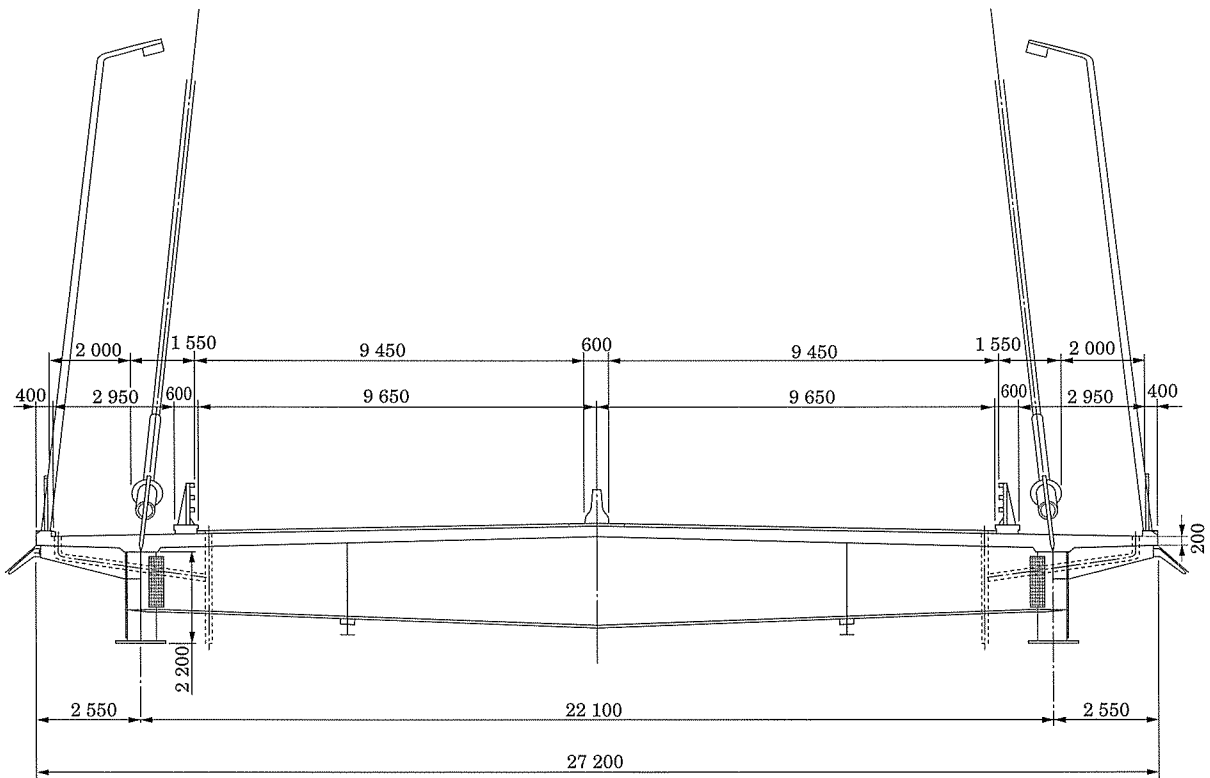


図 - 3 主桁断面図

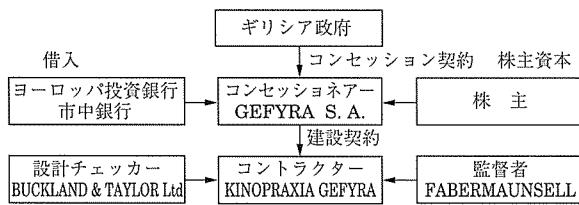


図 - 4 プロジェクトの組織

一般的な杭基礎とは異なり、杭は地震時のせん断抵抗のために配置される。このようなアイデアを橋梁に採用するのは初めてである。

橋脚は約 60 m 程度立ち上がり、28m 高の八角形のピアシャフトの上に 16 m 高の逆ピラミッド形のピアヘッドが続く。斜めに配置されるパイロンレッグによる外方向の力に抵抗するため 40 m 辺の四角形パイロンベースは各辺 21 本のポストテンション鋼材で補強される。

施工は、円盤状のフーチングを橋梁近くの港に設置した長さ 200 m 幅 100 m のドライドックで製作後、ウェットドックへタグボートにより移動、橋脚円筒部が水面に浮いた状態で施工される。海面から 3 m 程度の位置で施工が行わ

れ、施工が進むに従いフーチング下面是海底方向に下がっていく。ウェットドックでの施工終了後、橋脚は 3 隻のタグボートにより架橋地点まで運ばれ、最終位置に沈設される。橋脚のセットはつねに海流がある中での非常に難しい作業であるが、設置誤差は、軸方向に 15 mm、横方向に 40 mm 程度と、当初の予想より小さく抑えられた。セット後橋脚内に海水を引き込み地盤の沈下を促進させる。

2.3 主塔構造

橋脚が最終的な位置にセットされた後、各辺 4 m の正方形断面をもつパイロンレッグが移動型枠を用いて海上で施工されていく。パイロンレッグの上にはパイロンヘッドが接続する。35 m 高のパイロンヘッド部には 130 m ブームをもつクレーン船で直接設置される高さ 31 m の斜材定着鋼ボックス部材が含まれており、その周辺は鉛直方向に配置される PC 鋼材によって補強される。

パイロンレッグの施工が進むにつれて橋脚内部に蓄えられていた海水がポンプアップされ取り除かれる。最終的な上部工重量は取り除かれる海水の重量とほぼ等しくなる。

2.4 上部構造

主桁は、温度荷重による主桁の伸縮や地殻変動に追従で

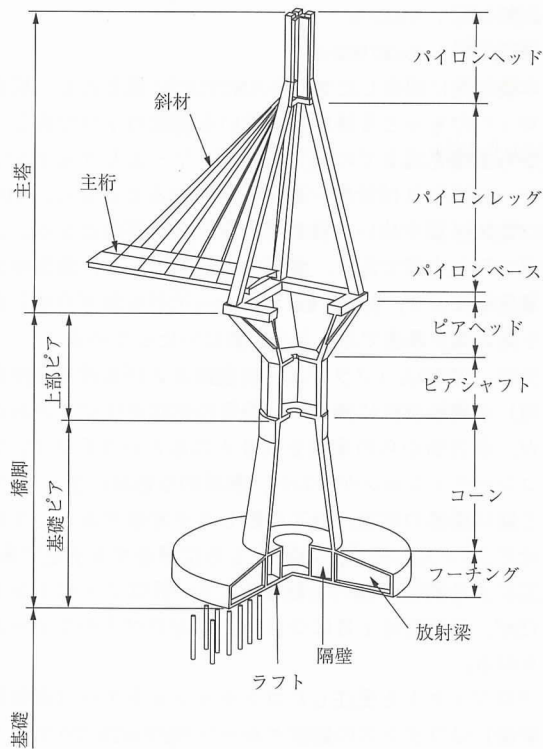


図-5 橋脚-主塔概要図

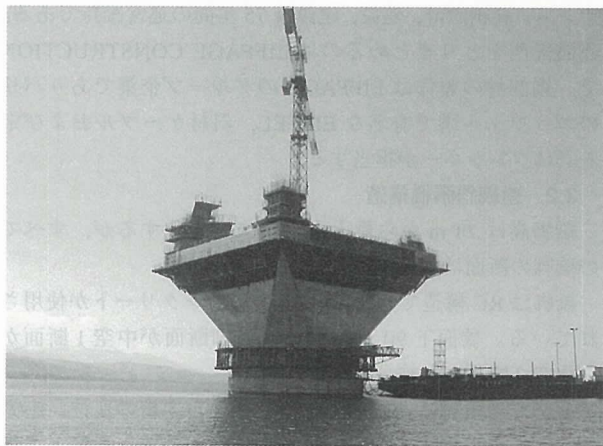


写真-1 パイロンレッグ施工状況

きるように、支承を設けず、全長に渡って各主塔に定着される斜材により完全に吊られる形になっており、桁端部のみで支持される。橋脚部では、変位制限装置が主桁と各橋脚を結び風荷重による横方向変位を制限する。大地震時にはこの部材は破壊し、同じく主桁と各橋脚パイロンベースを結ぶダンパーが過度の揺れを制限する。

主桁端部においては、使用荷重時で2.5 m、地震時には5 mの橋軸方向の変位が生じる。このため、接続部をヒンジ構造とした14 m高の鉛直フレームを介して上部工と下部工が接続する。横方向には橋脚部と同様にダンパーが設置される。

イギリスから地中海を渡ってヤードに搬入される主桁鋼部材にRC床版を合成したセグメントがクレーン船で順次架設される。各セグメントは、幅27 m、長さ12 mで4 m

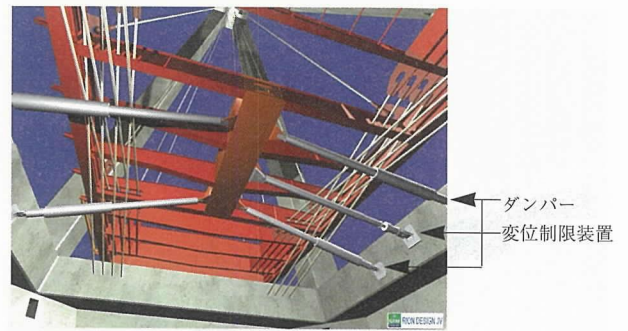


図-6 橋脚部の変位制限装置およびダンパー（主桁鋼部材とパイロンベースを結ぶケーブルは仮設鋼材）



図-7 主桁端部の構造

間隔に配置される横桁を3部材含む。主桁間隔は22m、各セグメントは12 m 間隔で配置される斜材定着部を左右1カ所ずつ含む。斜材定着鋼部材は主桁上フランジに溶接される。主桁最大セグメントは床版を含めて350 tである。斜材ケーブル、定着装置はフレシナーより供給され、最大で73T15が使用される。

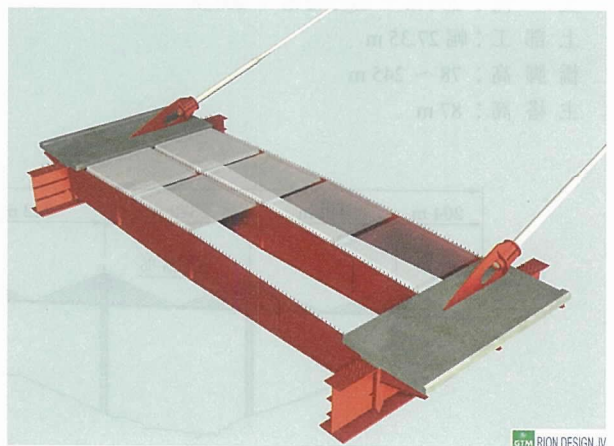


図-8 主桁セグメント

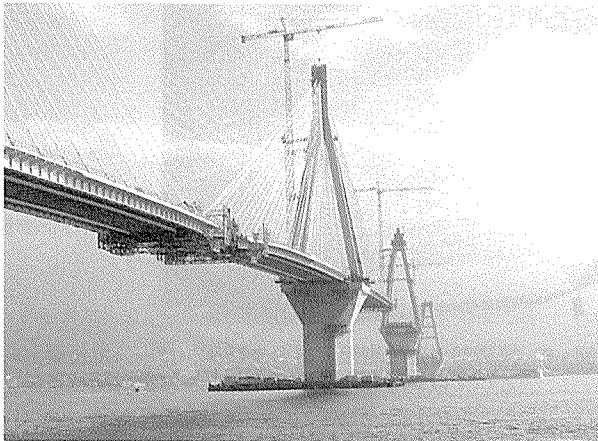


写真 - 2 施工進捗状況 (2003 年 12 月)

3. MILLAU VIADUCT (ミヨー橋)



図 - 9 MILLAU 橋完成予想図

3.1 概要

本橋はフランス中南部クレルモンフェラン～ペジエ間を結ぶ高速道路 A 75 の最後の施工箇所であり、最終的にはフランスのパリとスペインのバルセロナを結ぶ高速道路の一部となる。以下に橋梁の諸元を記す。

- 形式：8 径間連続鋼斜張橋 (一面吊り)
- 橋長：2 460 m
- 支間：204 m + 6@342 m + 204 m
- 上部工：幅 27.35 m
- 橋脚高：78 ~ 245 m
- 主塔高：87 m

縦断勾配：3.035 %

平面線形：R=20 000 m

本橋は先に紹介した RION-ANTIRION 橋とともに現在ヨーロッパでもっとも注目されている橋梁の 1 つである。地表から主塔先端までの高さは東京タワーより 3 m 高い 336 m で、完成すれば世界一高い橋梁となるとともに、RION-ANTIRION 橋を抜いて橋長で世界一の斜張橋となる。この地域は死火山帯であり、地形の高低の厳しさ、景観や住民の意見等により、約 2.5 km にわたって谷を跨ぎ台地と台地とを結ぶ案が最適であるとの結論にいたっている。

当初、SETRA (フランス一般道路および高速道路技術研究所) が概略設計に携わり、橋梁の形状がほぼできあがったが、多方面からの意見を取り入れるという目的で、2 回のコンペティションが行われ、最終的な形状に至っている。

工期は橋梁の規模、施工の難しさを考慮すると上下部合わせて 39 ヶ月と短く、2005 年 1 月に開通する予定である。施工により開通が遅れた場合は、3 ヶ月はノーペナルティーだが、その後は 1 日につき \$ 22 000 のペナルティーが課せられる。

プロジェクトを受注したコンセッショナー (事業権利所有者) はフランスの建設グループ EIFFAGE TP で、このプロジェクトのために LA COMPANIE EIFFAGE DU VIADUC DE MILLAU を設立した。主な契約内容はファイナンス、詳細設計、建設、建設後 75 年間の運営維持である。建設部門をとりまとめるのは EIFFAGE CONSTRUCTION で、鋼部材の製作は EIFFAGE のグループ企業でありパリのエッフェル塔で有名な EIFFEL、斜材ケーブルおよび定着具はフレシネーが担当する。

3.2 連続斜張橋構造

橋脚高は 78 m から最大 245 m まで変化するが、すべての橋脚の断面は同高度において等しくなる。

橋脚は RC 構造で、50 MPa 強度のコンクリートが使用されている。橋面下 90 m の位置で橋脚断面が中空 1 断面から中空 2 断面へと枝分かれする。

多径間斜張橋はその構造上の特性から主桁の変位、応力変動が非常に大きくなる。これを抑えるため、主桁と主塔を剛結合としている。設計初期段階では主桁と橋脚も剛結合だったが、温度変化や乾燥収縮による 1 m を超える主桁の伸縮によって非常に大きな応力が生じるのが問題となった。そのため、橋脚部に主桁の伸縮に対応するフレキシビリティが求められたが、一方では高橋脚であることから谷を吹き抜ける風に抵抗できる剛度も必要であり、この矛

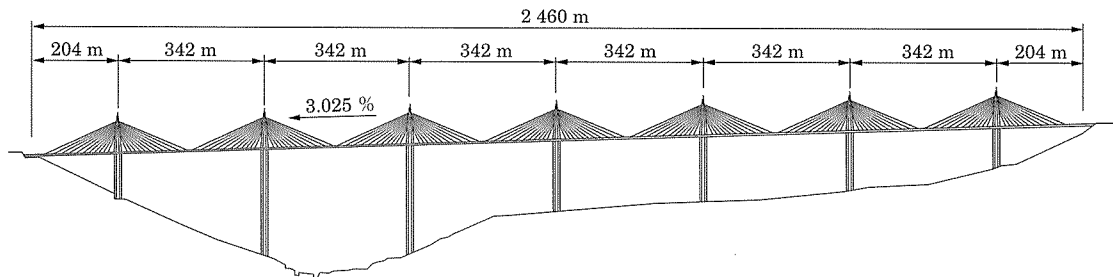


図 - 10 側面図

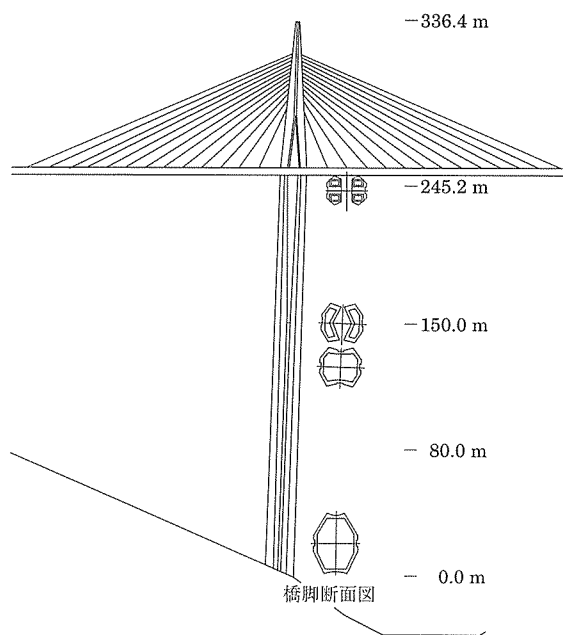


図 - 11 橋脚断面図

盾する2つの要求を満たすため、橋脚は橋面下90 m位置で橋軸方向に並ぶ2つの脚（ダブルシャフト構造）に分かれ、主桁はその枝分かれしたそれぞれの橋脚上の支承で支えられる構造が採用された。橋台近くの橋脚は、比較的高さが低いいためその全長においてダブルシャフト構造となっている。すべての橋脚の施工は、2003年11月終了している。

3.3 上部構造

設計段階で最後まで残された最大の関心はこの橋梁の上部工が鋼桁になるのかPC桁になるのかということであっ

た。主桁形状はPC桁案も鋼桁案もほとんど変わらないが、鋼桁の桁高が4.2 mであるのに対して、PC桁は4.6 m必要となったこと等により、最終的には鋼桁が採用された。

主桁断面形状は当初は逆三角形だったが、耐風安定性から台形型に変更された。主桁は、反力分散方式の押し出し工法により架設される。河川を跨ぐP2-P3径間以外の支間中間に最大163.7 m高さの仮設鋼製橋脚を設置し、両サイドから押し出されてきた主桁がP2-P3径間中央で連結される。

押し出し長は南側が1743 mで、北側が717 mであり、最大押し出し重量は5280 tとなる。押し出し時、主桁先端部の剛性が必要になるため、さらには工期を短縮する目的で、P2、P3部のA形の鋼製主塔が最終的な位置に取り付けられた状態で押し出される。押し出し時には仮設ケーブルが斜材として使用されるが、最終的には、斜材は主桁中央4.45 m幅



写真 - 3 橋脚施工状況（手前は仮設鋼製橋脚）

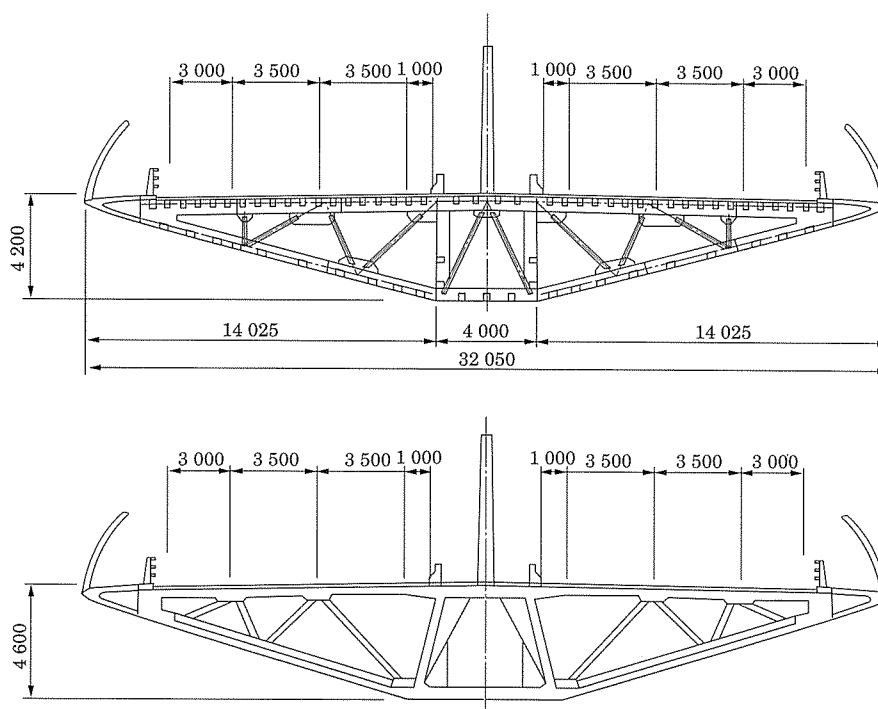


図 - 12 主桁断面図（鋼桁案とPC桁案）

の広い分離帯において12.5 m 間隔で主桁に定着される。

各橋脚および仮設橋脚上で油圧ジャッキにより主桁を持ち上げ、スケート状の部材で前方にスケート状の部材ごと送り出した後、主桁を支持装置に預けるという置き換え作業を繰り返すことで主桁を1 サイクル4 分の作業で600 mm ずつ前方に進めていく。

2003 年3 月押出しが開始され、2004 年6 月閉合予定である。閉合後主桁を4.5 m ジャッキダウンし最終的な位置にセットした後、残りの主塔および最終的な斜材の取り付けが行われる。

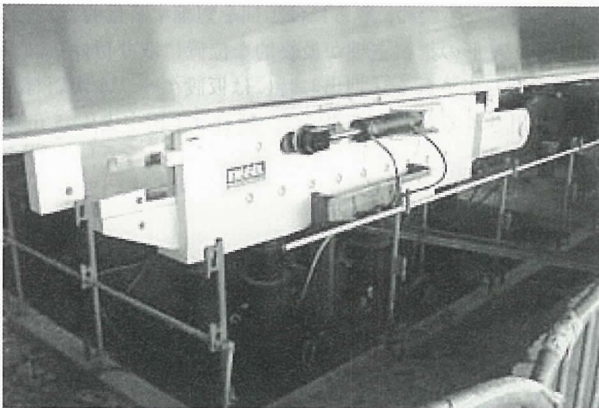


写真 - 4 押出し装置

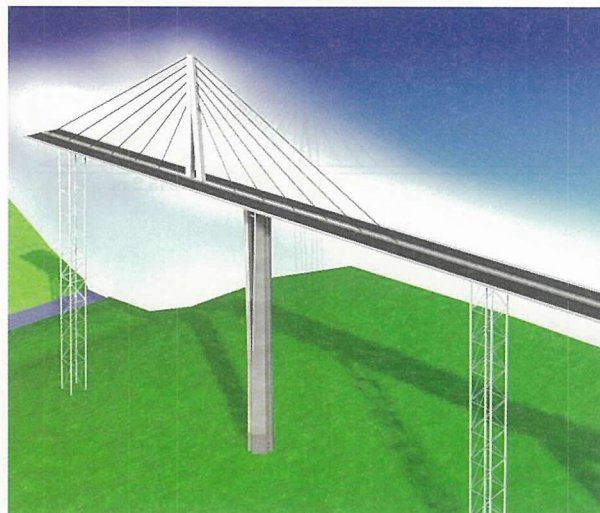


図 - 13 押しイメージ図

参考文献

- 1) Rion rising in Bridge Design & Engineering, 1st Quarter 2003 n.30 v.9
- 2) Russell,Helena : Millau on the move in Bridge Design & Engineering, 2nd Quarter 2003 n.31 v.9
- 3) Russell,Helena : Tall story in Bridge Design & Engineering, 1st Quarter 2002 n.26 v.8

【2003 年 11 月 6 日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリート技術の 適用拡大と世界の動向

第 31 回 PC 技術講習会

(平成 15 年 2 月)

頒布価格 会員特価：5 000 円 (送料 500 円)

非会員価格：6 000 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