

## ヴロツワフに架かるレンジンスキー橋；ポーランド最大の斜張橋 Redzinski Bridge in Wroclaw – The Largest Concrete Cable-Stayed Bridge in Poland

著：Jan Biliszczuk, Wojciech Barcik, Jerzy Onysyk, Robert Toczkiwicz, Artur Tukendorf, Kamil Tukendorf  
訳：会誌編集委員会海外部会\*

本稿は、ヴロツワフ（ポーランド）の環状高速道路における最大の構造物であるレンジン堰近くのオドラ川に架かる斜張橋について述べる。オドラ川は、主流となるオドラ川とレンジン水路に分かれている。新しい橋梁の主塔は、川と水路の間にある島に位置している。橋梁全体の長さは1742mで、2橋の多径間高架橋と高さ122mの主塔から吊り下げられた分離した主桁をもつ長さ612mの斜張橋から構成されている。上部工は、2つのPC箱桁で構成されており、それぞれの箱桁が高速道路の上下線となっている。斜張橋の主桁は、80組の斜材ケーブルによって鉄筋コンクリートの主塔から吊り下げられている。約65000m<sup>2</sup>の床版面積をもつ橋梁は、36ヵ月に満たない期間で建設された。

キーワード：コンクリート橋，斜張橋，押出し架設，プレキャスト部材，載荷試験

### 1. はじめに

外環の輸送ルートになっている環状高速道路は、密集したヴロツワフの都市交通網にとって重要である（ヴロツワフはポーランド第4の都市）。長さ27kmの環状道路は市街地の境界に沿って、街の西部と北部を通っている（図-1）。環状道路には本線や跨道橋として40橋の橋梁が計画された。高速道路橋と高架橋の総延長は6kmを超え、その路線全体の長さの22%を構成している。

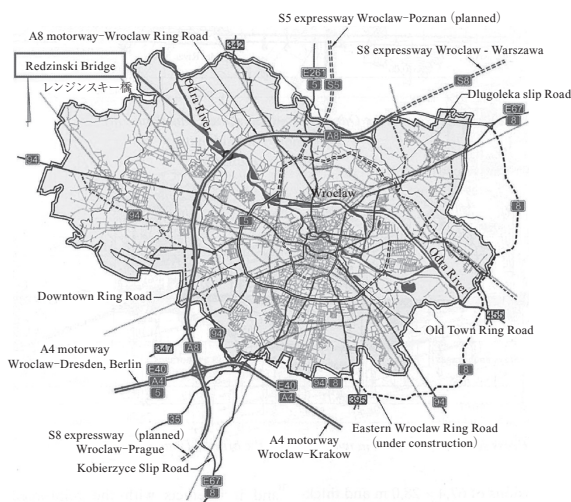


図-1 ヴロツワフの主要道路網とレンジンスキー橋の架橋位置

環状道路に沿った最大の橋梁は、レンジン堰近くのオドラ川を渡るレンジンスキー橋である。この地域を通る高速道路のルートは、代替の解決案に対する社会的な抗議の結果として選択された。長支間の橋梁は、レンジン堰と二つの水門の将来的な更新に制約をもたせないために必要であった。

レンジンスキー橋は以下の3橋で構成されている（図

-2）。

- E1 南高架橋：アプローチ高架部  
橋 長：610 m  
構造形式：11 径間連続 PC 箱桁  
支 間：40 m + 2 × 52 m + 56 m + 6 × 60 m + 50 m
  - E2 主橋梁：斜張橋  
橋 長：612 m, 主塔高：122 m  
構造形式：PC 斜張橋（上下線で分離した PC 箱桁を 1 本の主塔で支持）  
支 間：50 m + 2 × 256 m + 50 m
  - E3 北高架橋：アプローチ高架部  
橋 長：520 m  
構造形式：9 径間連続 PC 箱桁  
支 間：50 m + 7 × 60 m + 50 m
- E2 主橋梁の上部工を図-3に示す。主橋梁は、上下線2橋のPC箱桁（コンクリート強度クラスC50/60）で構成されており、H型コンクリート主塔（C50/60）に吊り下げられている。主桁側面の斜めウェブはRCプレキャスト板で作られている。

### 2. 主 塔

主塔の基礎は幅67.4×28.0m、高さ2.5～6.5mからなるマスコンクリートスラブであり、径1.5m、長さ18.0mの場所打ち杭160本によって支持されている。主塔は高さによって形状が変化する長方形断面であり、主要位置での形状は基礎上6.0×7.0m、上段横梁付近4.0×4.0m、頂上4.0×6.0mである。また、図-4に示される主塔の構成は、下記に示すような複合構造である。

- 主塔脚部と主塔下部：鉄筋コンクリート構造
- 主塔上部：中空断面を有する鋼・コンクリート複合構造
- 下段横梁：プレストレストコンクリート部材（ポスト

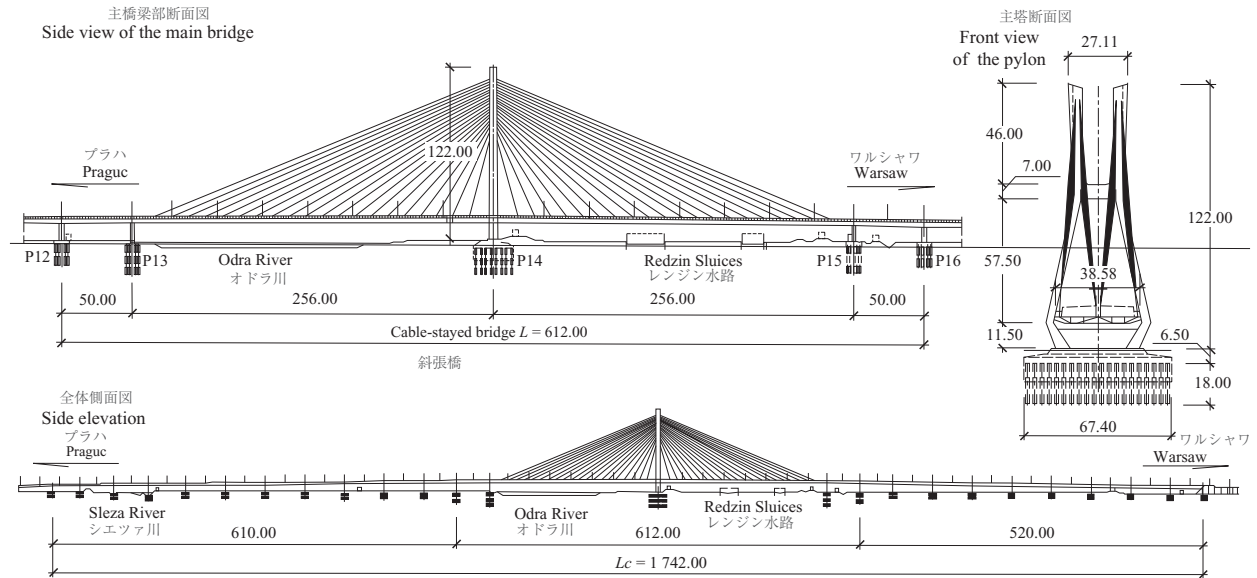


図 - 2 レンジンスキー橋の主要な構造寸法

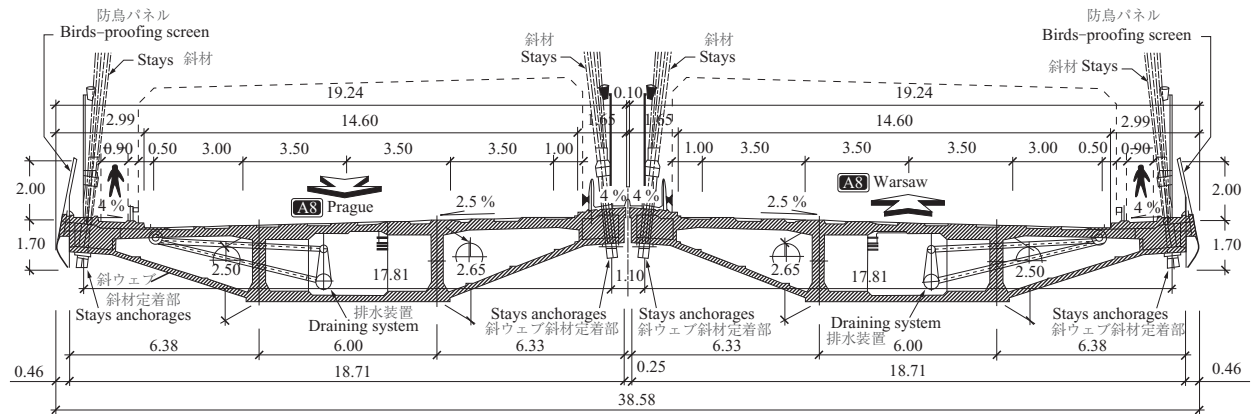


図 - 3 主橋梁部の主桁断面図

テンション方式)

- 上段横梁：ポストテンション鋼・コンクリート複合ボックス構造

主塔内部には図 - 4 に示される鋼殻が配置される。これは主塔構築時に内型枠として利用でき、鉛直力と曲げモーメントをコンクリートとの間で互いに伝達し合う機能をもつ。斜材定着域においては、斜材定着部から主塔コンクリートに伝達される水平力をこの鋼殻が負担する。鋼殻の側面に配置されたせん断スタッドによって、鋼殻とコンクリートが一体化した複合構造となる。主塔において荷重を負担する重要部材である上段横梁は、多量の鉄筋により補強され、鉛直方向および水平方向にプレストレスが導入される。

主塔脚部と主塔は 34 リフトに分割され打設された。最初の 3 リフトでは、外側に傾斜した主塔脚部および 30 本のケーブル (31 × φ15.7) によって 4 段階に分けてプレストレスが導入された下部横梁が施工される。以降、主塔はセルフライミングフォームを使用して構築された。1 リフトあたりの高さは 2.68 ~ 3.70 m である。主塔

が傾きを有することから、主塔間に 3 本の仮設ストラットを設置する必要があった (図 - 5)。

鋼殻セグメントの高さはコンクリート打設作業床の高さに応じて調整された。セグメント間の継手は溶接として設計された。鋼殻セグメント組立は大型クレーンを使ってコンクリート打設に先立って行われ、鋼殻セグメント組立後さらに鉄筋を先組みした後、一括して建て込まれる (図 - 6)。鋼殻セグメントの中では上段横梁のものがもっとも大きく、その重量は 87t であった。この先組み一括建て込みは作業性向上に大いに寄与し、これによりセグメントあたりの作業日数は 6 ~ 8 日短縮された。

### 3. 上部構造

上部構造は、アプローチ高架部および主橋部とも同様の断面形状で構成されていることから、全体に仮支柱を用いた押し出し架設工法によって施工することと仮定して検討が行われた。工程が厳しいため、E1 高架橋では二組の鋼製の移動支保工を用いたスパンバイスパン架設への変更が検討され、承認された (上下線を並行して施

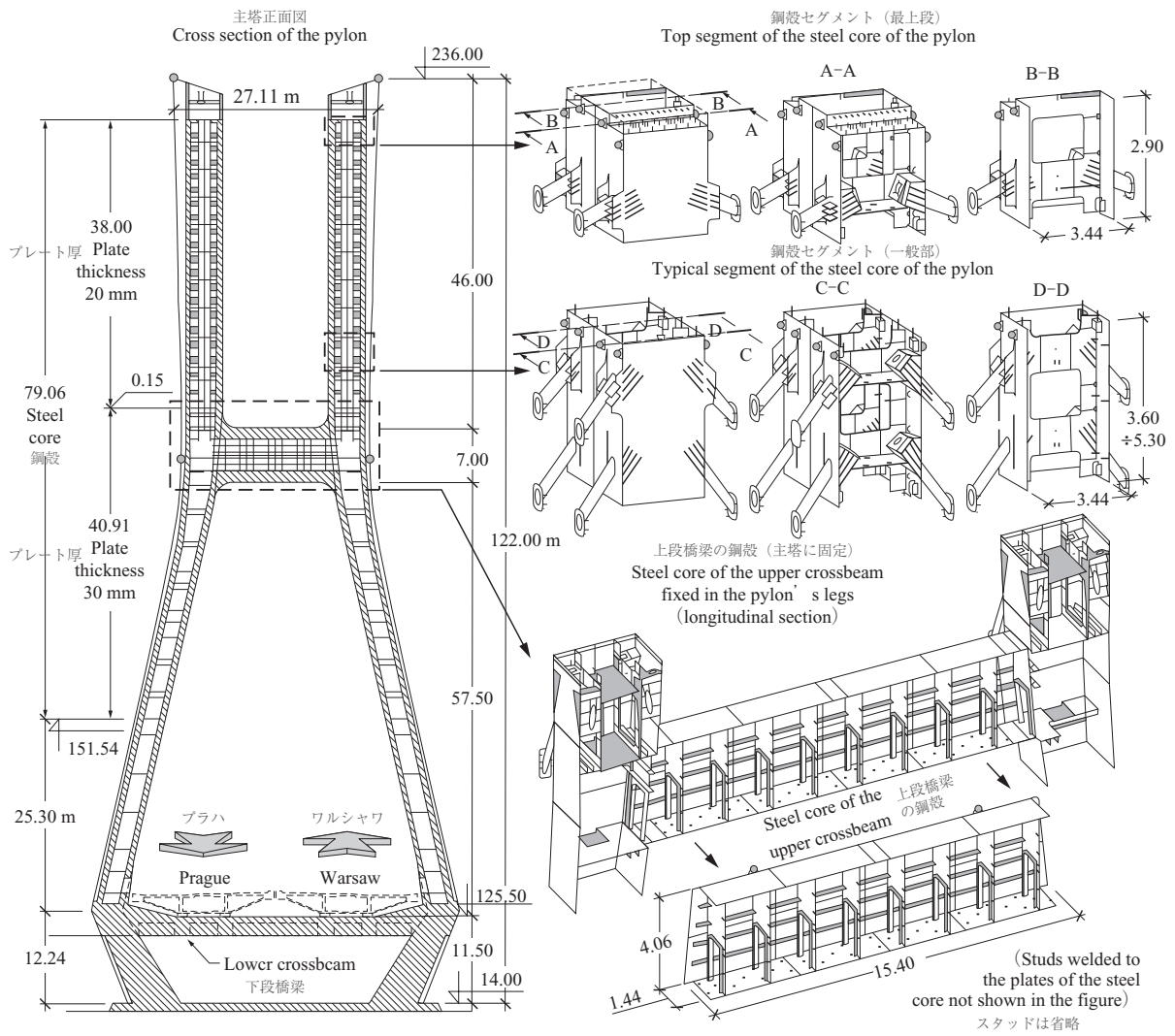


図 - 4 主塔構造図

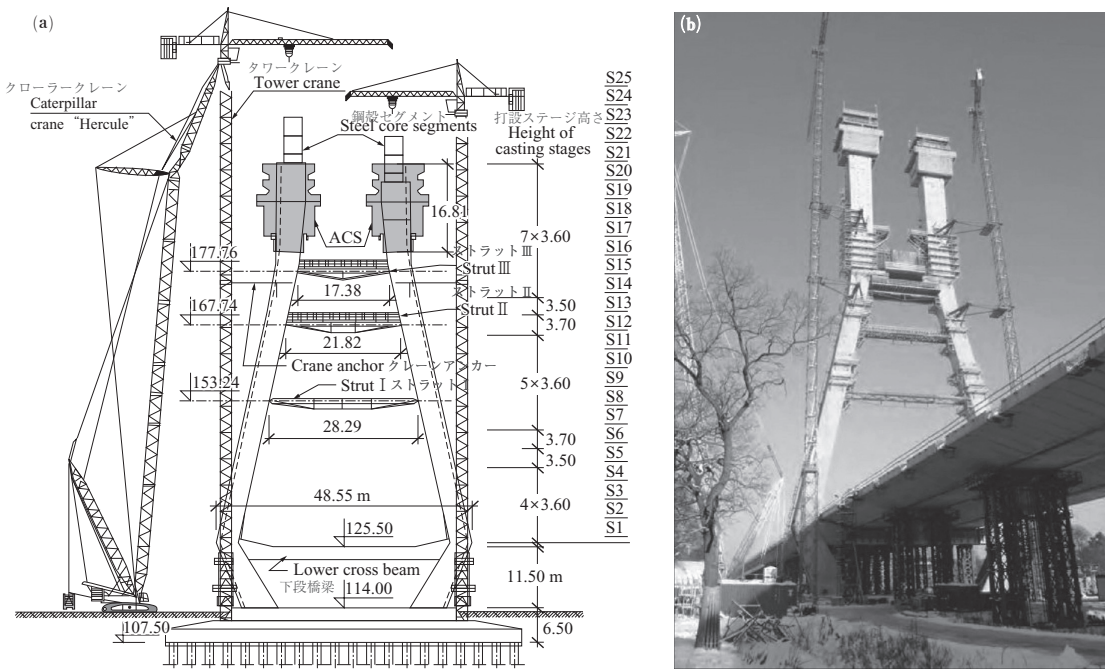


図 - 5 主塔施工の手順と概要図





図 - 6 斜材定着部に設置される鋼殻セグメント (鉄筋の先組み完了後)

工)。上部構造の計画を図 - 7 に、主橋梁の施工法の詳細を図 - 9 に示す。

押出し架設をするため、製作ヤードは3ヵ所設けられた。

1) E3 高架橋は、P 20 近くに位置する ST1 製作ヤードから押出し架設された(図 - 7)。上部構造の北側は、P 25 橋台に向けて最初に押し出した(Stage I)。その反対側の部分は、Stage I の後、主塔方向に押し出し架設された(Stage III)。

右側車線の上部構造の施工完了後、桁製作ヤードを橋軸直角方向に移動し、左側車線の上部構造も同様に施工された(Stage IV, V)。

2) ST2 および ST3 の二つの製作ヤードは、P 11 および P 12 の間に位置し(図 - 7)、主橋梁の両方の主桁を押し出し施工するために用いられた。河川上の押し出し施工は、鋼製の仮支柱(図 - 8 (a))を使って行われた。水路部では、仮支柱の基礎を既設の古い水門の石積み壁の近くに配置することができなかった。このため、従来の支柱を用いる場合では押し出し施工における適用支間長を超えていた。したがって、橋軸方向への張出し部を有する大規模なトラス形式の特殊支保工を設計し、押し出し施工のための支点を設けることとした(図 - 8 (b)) (Stage II)。

上部工の桁製作は、4段階で実施した(図 - 10)。

- 側面プレキャスト部材(斜ウェブ)の配置
- 下床版・ウェブからなるU形断面および隔壁の施工
- 床版の打設
- 桁断面中心部のPC鋼材(内ケーブル)に緊張力を導入した後に押し出し施工

主桁の斜材ケーブル定着部は、押し出し施工段階では未施工として、押し出し架設完了後に施工した。主橋梁の主桁の詳細を図 - 11 に示す。

1セグメント(セグメント長: 14 ~ 24 m)の製作日数は、9 ~ 14 日であった。主橋梁の全27セグメントを押し出した後に、以下の作業が行われた。

- 支点部の下床版の増厚
  - 床版両端の斜材定着部の位置決めとコンクリート打設
- 両車線の橋梁の上部工の施工は、並行して行われた。

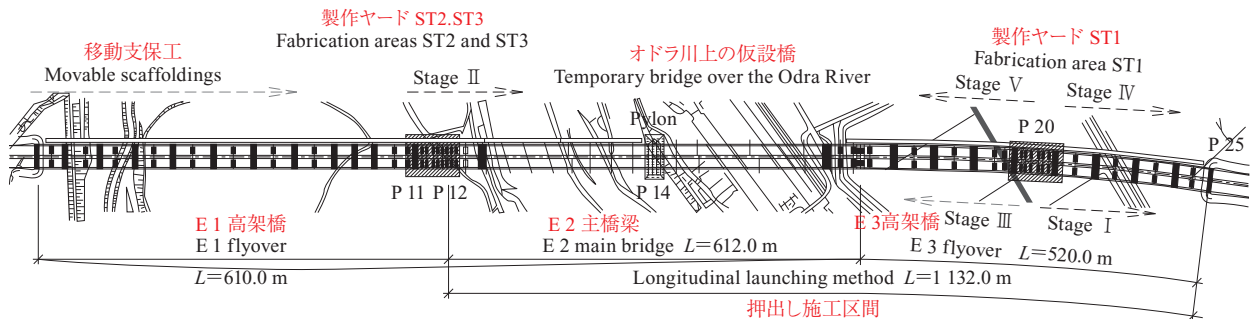


図 - 7 主橋梁およびアプローチ高架の施工計画平面図



図 - 8 主橋梁の押し出し施工 : (a) 仮支柱で支持された主桁, (b) トラス支保工併用の水路上の押し出し施工

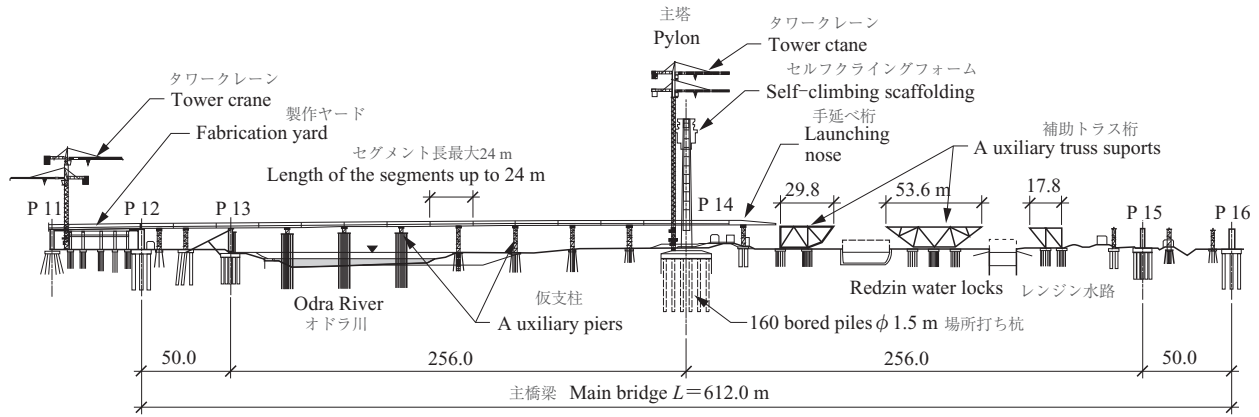


図 - 9 主橋梁の施工法 (単位 : m)



図 - 10 主橋梁部の主桁製作状況

主橋梁では、以下のポストテンション方式が採用された。

- 押し出し架設時 (この段階の最大支間長は 33.35 m) に対応するための緊張。箱桁のウェブと上下床版に配置された内ケーブルにより緊張力を導入
  - 側径間と支点上の負曲げモーメントに対する緊張。主桁押し出し後、斜材架設前に外ケーブルにより緊張力を導入
  - 床版両端の定着部の打設後、斜材ケーブル 19 × φ 15.7 のケーブルにより緊張力を導入
- 橋梁の構造部材は、以下の 2 つの方法でつくられた。
- 工場で製作されたプレキャスト部材：桁の斜ウェブのプレキャストコンクリートパネル
  - 認定プラントより供給された、現場打ちの鉄筋コンクリート部材またはプレストレストコンクリート部材

#### 4. 斜材システム

主橋梁の両側の上部工は合計 160 本の斜材で支持されている。斜材は床版両端の定着部が 12.0 m 間隔で、主塔の定着部が 1.8 m 間隔で配置されている。主塔側がパッシブ制振、床版側がアクティブ制振である。斜材長は 67 m から 265 m にまで及ぶ。また、斜材の対数減衰率は 3 % 以上が要求されたため、内部ダンパーが使用された。

マルチストランドケーブルは、7 本よりの PC 鋼より線 (φ 15.7 mm) で構成され、1 860 MPa の引張強度がある。各 PC 鋼より線は、亜鉛メッキ鋼より線と HDPE (高密度ポリエチレン性) の間をワックスで充填することにより防食されている。風と雨による振動防止用のらせん状リブ付きの高密度ポリエチレン被覆外套管 (白色) にこの PC 鋼より線が入る (斜材 1 本あたり 24 ~ 48 本)。

押し出し架設、プレストレス導入後、斜材架設前に仮支持部材により床版の高さ調整を行った。

#### 5. 載荷試験

重荷重試験は設計精度と建設工事の質の評価のために、供用前に行われる。現場の静的および動的試験により計測される変位、ひずみ、そして加速度を数値解析結果と比較した。

レンジンスキー橋の構造部材の変位は LVDT (線形可変差動変圧器) ゲージと正確な測量技術により計測された。動的荷重試験の間、加速度は支間内の 8 点で計測された。静的荷重試験は主橋梁にて 40 t トラックを使用し 4 パターン行われた。

- S 1a : 12 台のトラックを、上り方面の主桁 1 支間に配置
- S 1b : 12 台のトラックを、下り方面の主桁 1 支間に配置
- S 2 (図 - 12) : 40 台のトラックを、主塔の片側支間、上下線両方の主桁に配置
- S 3 (図 - 13(a)) : 40 台のトラックを、主塔を軸に対角となる主桁に配置

数値解析は 3 つの異なる FEM モデルを使用し実施され、異なったソフトウェアを使用し作りあげられた。そのモデルは橋梁の構造をモデル化する要素の種類により変れた。Ia と Ib のモデルは、主塔と斜材ケーブルで異なる種類の 1 次元要素によりモデル化し、一方、上部構造はシェル要素によりモデル化した。モデル II は、1 次元の梁要素のみで構成されている。数値解析を使用し決定し選ばれた静的荷重ケース S 3 での支間と主塔の変位は、現場での実測値と一致した (図 - 13)。もっとも近い値がモデル Ib と II を使用することで得られた。測定された



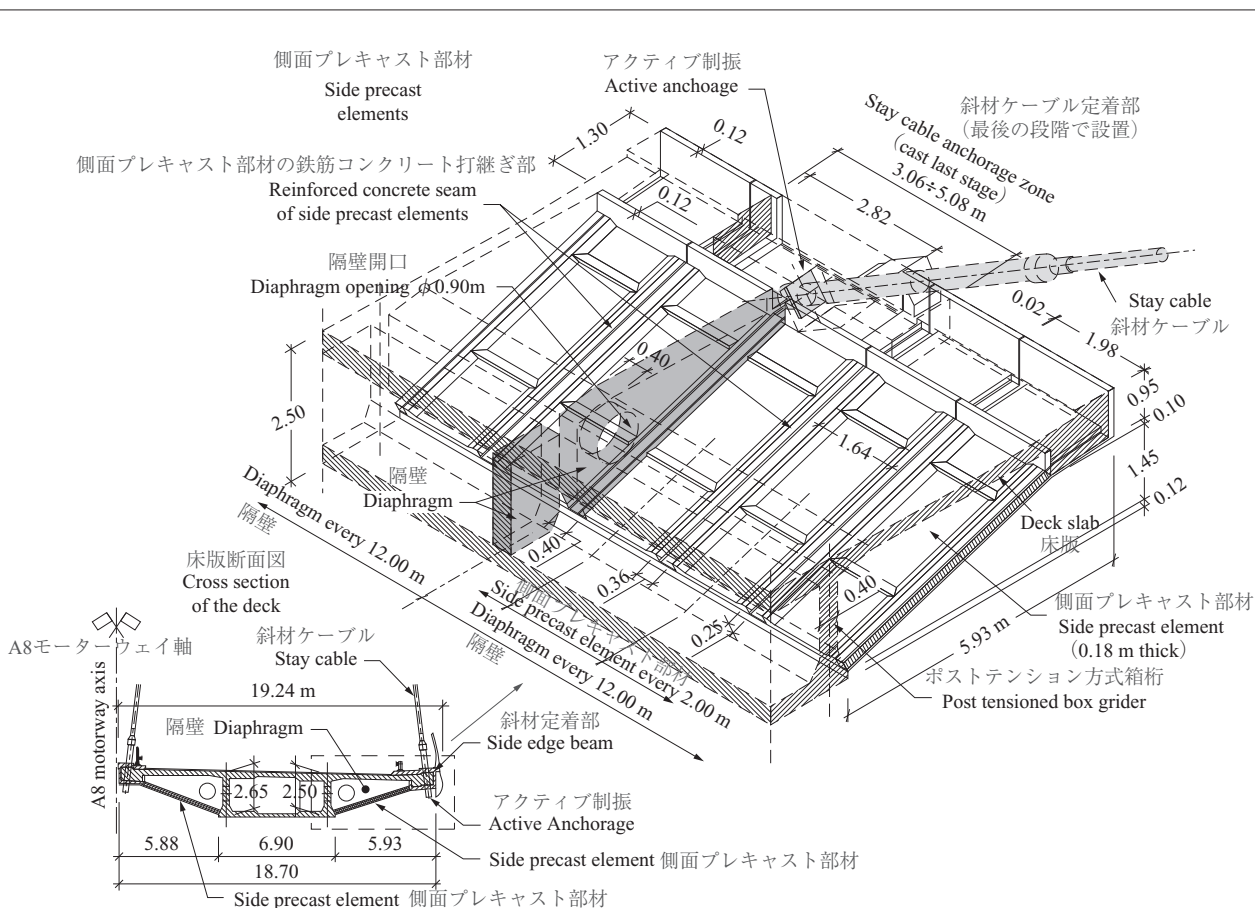


図 - 11 斜材定着部の側面プレキャスト部材



図 - 12 静的荷重試験—荷重ケース S2  
(写真：M. Kuzawa)

支間の主桁たわみの最大値は 466.6 mm で、主塔の最大水平変位は 150.0 mm であった (荷重ケース S2)。

動的荷重試験は 5, 20, 40, 60, 80 km/h の速度でそれぞれの橋梁の主桁に 40 t トラックを 4 台 3 組配列した。また、支間の測定位置に置かれた 30 mm 段差を通過する車両の通行試験も行われた。実験的に求められた 1 次モードから 6 次モードの固有振動数は、それぞれ 0.25 Hz, 0.31 Hz, 0.48 Hz, 0.62 Hz, 0.65 Hz, 0.71 Hz であった。橋梁のモード特性は、FEM を使って計算した理論値と同値である。

載荷試験の結果において承認され、橋梁の開通許可が

下りた。載荷試験により得られた静的、動的な構造特性は橋梁のモニタリング、管理に利用されている。

## 6. モニタリングシステム

構造の複雑さにより、電子モニタリングシステムが導入されることとなった (図 - 14)。主塔や主桁に斜材ケーブルの張力と加速度を測定するセンサー、風速や風向きを測定するセンサー、温度センサー、ひずみゲージが備えられている。そのデータは、管理センターに自動送信され、継続的に分析されている。

## 7. 結 論

紹介した橋は複雑な構造である。最も目立った構造の特徴は以下のとおりである。

- 本橋は、単一の主塔、4 面の斜材ケーブル、上下線分離したコンクリート主桁から構成される独特の構造を有している。
- 単一の主塔のコンクリート斜張橋の中では、かなりの長支間長 (256 m) である。
- 鋼殻を先組み補強するとともに主塔の内型枠やセグメントの組立として使われている。
- 上部工施工 (斜めウェブ) に RC プレキャスト板が使用されている。

載荷試験完了後、レンジンスキー橋は 2011 年 8 月 31 日に開通した。本橋は 1 日 3 万台以上の交通量があり、

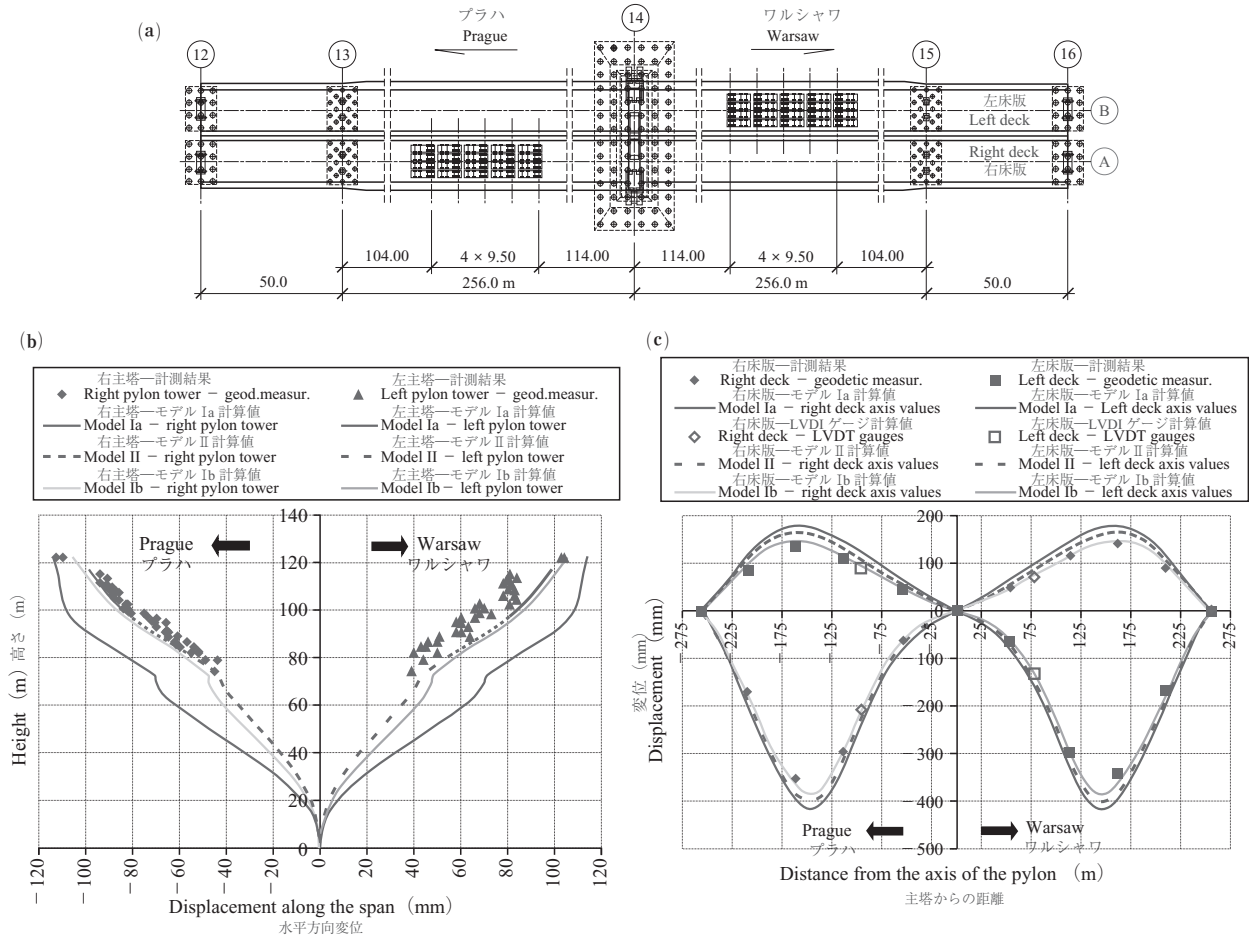
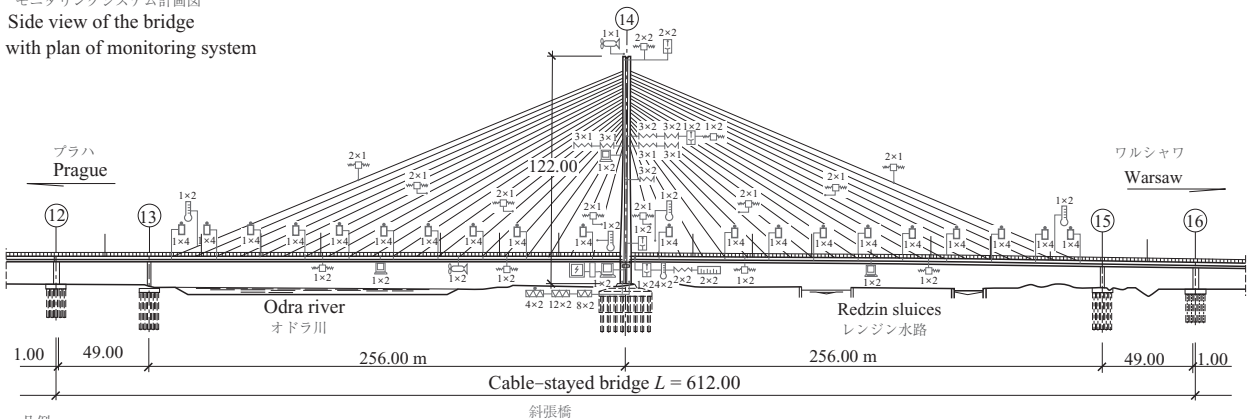


図 - 13 载荷ケース S3 : (a) 各支間のトラックの配置, (b) 主塔の水平変位, (c) 各支間の垂直変位

モニタリングシステム計画図  
Side view of the bridge  
with plan of monitoring system



凡例:

- Legend:
- A×B - A : number of sensors at the measurement point
  - B : number of measurement point
  - F : load cell (80 sensors)
  - Sc : external strain gauge for measuring the strain of concrete (16 sensors)
  - Sc1 : internal strain gauge for measuring the strain of concrete (24 sensors)
  - Sc2 : internal strain gauge for measuring the strain of concrete (8 sensors)
  - Si : external strain gauge for measuring the strain of steel (18 sensors)
  - Si1 : internal strain gauge for measuring the strain of reinforcement bars (16 sensors)
  - 加速度計 - A : Accelerometer (30 sensors)
  - 傾斜計 - Tt : Inclinator (10 sensors)
  - 変換計 - Tt : Translation gauge (4 sensors)
  - 風速計・風向計 - w : Anemometers and wind vane (2 sensors)
  - 構造温度ゲージ - Te : Structure temperature gauge (16 sensors)
  - データ取得ローカル装置 - SAD : Local unit of data acquisition
  - データ取得用メイン装置 - CGD : Main unit of data acquisition
  - 補助ネットワーク - EN : Supply network

図 - 14 レンジンスキー橋に取り付けたモニタリングシステムの計画

年間 1000 万台以上に相当する。軽快さと優雅さのおかげで、完成した橋梁（図 - 15）は、ヴロットワフの市民から良好な評価を受けている。



図 - 15 橋梁完成写真

*This article was first issued in SEI (Structural Engineering International), February 2014, page285-292*

\*：会誌編集委員会海外部会委員

秋山 博 (株) 錢高組  
 田中 慎也 (株) IHI インフラ建設  
 田原 徹也 (首都高速道路 株)  
 三浦 廣高 (鹿島建設 株)  
 横田 剛 (株) ビーエス三菱

【2014 年 7 月 31 日受付】



図書案内

## National Report of Japan on Prestressed Concrete Structures

— The Fourth International *fib* Congress 2014, Mumbai, India —

2014 年 1 月

頒布価格：定 価 6,000 円／送料 300 円 (CD版含む)

：会員特価 5,000 円／送料 300 円 (CD版含む)

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会