

モデナ高架橋

著者：Marco Rosignoli

訳：プレストレストコンクリート海外部会

1. 工事概要

1991年、ミラノ－ナポリ間イタリア高速鉄道のための基盤整備と施設建設の設計・施工業務が発注された。この工事には、ミラノ－ボローニャ間の182 km区間の設計・施工が含まれていた。また、48億9千万ユーロの一括契約の中には、請負業者による工期・予算・品質の保証が含まれていた。

本プロジェクトは、19の工区（13の土木工事、3つの鉄道施設、3つの技術関連施設）に分割されており、それぞれの工区の設計・施工は共同企業体に参加した企業に割り当てられた。本論文は、142 + 685キロ程から182 + 148キロ程間の39.5 kmの内、8.0 kmのモデナ－マントヴァ線の建設およびモデナとソリエーラの新駅の建設からなる土木工事を割り当てられた企業体の一つの工事に基づくものである。

この工事は、24.8 kmのモデナ高架橋、モデナ東部とラヴィーノ間の相互接続のための9.2 kmの橋梁、4つの川と6つの線路と交差する1.8 kmの橋梁、0.4 kmの開削工法によるトンネル、10箇所のボックスカルバートからなる。また、この工事には25.0 kmの盛土工事も含まれる。

モデナ高架橋の建設は30ヵ月の工期で行われた。

2. モデナ高架橋

鉄道の路線はモデナの東部農業地帯にあるミラノ－ナポリ間のA1高速道路から遠く離れている。この工事では、新しい高速鉄道の景観と騒音を軽減することが最大の関心事であった。交差する地方道路、農道、河川や用水路の数と軟弱な地盤特性が盛土の代わりに長大橋梁を採用する理由となった。橋梁はまた、ポー川の洪水時に水の流れを容易にし、多くの地下道の水没の問題を回避する。

モデナ高架橋工事には5つの主な構造物が含まれる。2.1 kmのブレンナー高架橋は、A22高速道路を跨ぐ2つの隣接する橋梁である。7.1 kmのモデナ高架橋は、モデナ西部と接続する新しい線路とセッキア川を跨ぐ2つの隣接する橋梁である。2.4 kmのセッキア高架橋は、セッキア川、モデナ北部の工業地区、モデナ西部の線路を跨ぐ橋梁である。1.5 kmのパナロ高架橋は、パナロ川を跨ぐ2つの隣接した橋梁で、モデナ西部を接続する2つの橋は、川や地方道路を跨ぎ合計1.0 kmの長さがある。

橋長が非常に長く、かつ桁下高さが低い橋梁を設計・

施工する事は、景観と騒音の点で革新的な挑戦であった。それらの橋梁は、採用された独特な断面形状からオメガ高架橋という愛称が付けられた。3.5 mの高さのオメガ型断面は、電車下部の騒音を発生させる部分を覆い隠し、防音壁として機能する。従来の防音壁や床版を有する箱桁は、7.5 m程度の高さになるが、オメガ型断面は橋梁の外観をもまた劇的に改善させた。

さらなる改善点は、異なった角度で太陽光を反射する広い波が刻まれた楕円形の側面形状にしたこと、および支点部分を脚頭部と対称になっている丸みを帯びた形状としたことである（図 - 9）。橋脚は優雅でシンプルな印象で荒々しさを感じさせない。

モデナ高架橋は、755 径間のプレキャスト単純 PC 桁と 9 つの場所打ち 3 径間連続 PC 桁で構成されている。プレキャスト桁は桁長 31.5 m が 713 径間、29.0 m が 28 径間、24.0 m が 14 径間ある。連続桁は、支間長 40.0 m + 56.0 m + 40.0 m の計 136.0 m である。

プレキャスト桁区間の基礎は、直径 1.5 m で長さが 35.0 m から 50.0 m の杭基礎によって支持されている。連続桁区間の基礎は、壁厚が 1.2 m のケーソンによって支持されている。

橋脚は、プレキャスト桁区間では直径 3.5 m の充実断面であり、連続桁区間では直径 4.5 m の中空断面である。脚頭部は、支承・落橋防止システム・排水装置で構成され、それらは容易に点検が可能である。

3. プレキャスト桁製作工場

すべてのプレキャスト桁を架設済の橋梁に沿って移動させるので、最初の課題は 3 径間連続桁の建設工程に関連する、プレキャスト桁製作工場の建設にもっとも適した用地を選定することであった。モデナ高架橋に隣接した 30 000 m² の用地を選定し、ゼロから最新で高度なプレキャスト桁製作工場の設計を始めた。

本工場内の施設を以下に示す。

- 鉄筋やばら積み材（野積み材）の保管場所
- 鉄筋かご製作のための広さ 11 000 m² の建屋
- 桁製作のための広さ 6 000 m² の建屋
- 製作済プレキャスト桁（16 径間）の保管場所
- 2 基のミキサーを備え、3 つの供給ラインを有するバッチャープラント
- 6 種類の細骨材と粗骨材を保管できる広さ 3 500 m² の用地
- 材料荷降ろし用の物流区画

- 別工区の橋梁に用いるプレキャスト 2 重箱桁を製作するための広さ 2 300 m² の建屋
工場の航空写真を図 - 1 に示す。



図 - 1 プレキャスト桁製作工場

4. プレキャスト桁製作工程

桁製作は 147.5 × 46.9 m の建屋での鉄筋かごの製作から始められた。それぞれが桁全体の長さを有する 8 個の鉄筋かごのテンプレート吊能力 125 kN のガントリークレーン 4 機で支えた。鉄筋かごの地組作業内容を以下に示す。

- 端枠の設置と位置調整
- PC 定着具の固定
- 鉄筋の組立て
- 20 本のプラスチック製ダクトの製作とシーリング
- 12S15.2 mm のケーブル挿入
- すべての埋設物の設置

習熟度が上がったことで、標準桁に配置される重量 330 kN の鉄筋かごの製作には、11 人の鉄筋工で平均 4 日を有し、毎日 2 個の鉄筋かごの製作を完了した。

当初、鉄筋かごをテンプレートから型枠に移動するためにプレキャスト桁運搬装置を用いた（図 - 2）。しかし結局は、運搬時間の短縮のため、プレキャスト桁の運搬には特殊運搬車両を用いた。

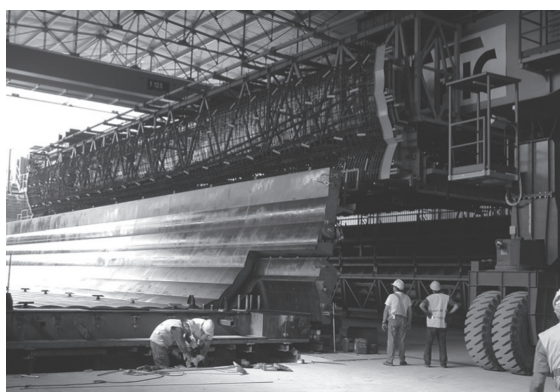


図 - 2 型枠内への鉄筋かごの建込み

133.5 × 37.2 m の建屋には、オメガ型断面の型枠装置を格納した。2 つの並行したプレキャスト桁製作ラインは、3 つの固定された外枠とレール上を走行するための

車輪を搭載した内型枠で構成されていた（図 - 3）。

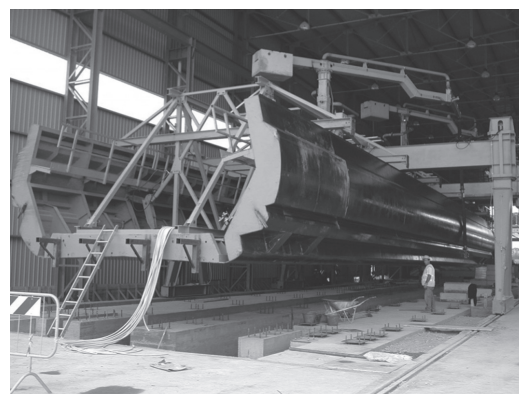


図 - 3 コンクリート圧送アーム付移動式内型枠

それぞれの製作ラインは吊能力 125 kN のガントリークレーンによって支えられていた。外型枠には水圧と圧縮空気を用いた型枠着脱装置が備えられ、内型枠にはコンクリート供給のための 2 基の油圧式圧送アームが備えられていた。外型枠に地組した鉄筋かごを設置した後、内型枠を建て込んだ。

コンクリートは図 - 4 に示すバッチャープラントのミキシングタワーから地下配管網を通り、6 つの型枠まで届く耐摩耗性を有するパイプラインを通して内型枠の油圧式圧送アームに供給された。それぞれの供給ラインの設備を以下に示す。

- 容量 3.2 m³ の水平式ターボミキサー
- 容量 7.0 m³ の油圧式攪拌機
- コンクリートポンプ
- パイプライン網の接続点に据えられた油圧式偏向弁
- 40 m³/h の性能を有するバッチャープラントに備え付けられた圧送アーム



図 - 4 バッチャープラント

コンクリートの打設が完了すると、配管内に残留したコンクリートと配管用洗浄水は油圧式偏向弁によって 2 つの洗浄タンクに送られる。電子制御式の攪拌機を用いることで、コンクリートの凝結を防ぎ、粗骨材と細骨材を回収した。そして残った練混ぜ水はアジテータラッ

○ 海外文献 ○

クの洗浄場に送水されるか、次のコンクリートの練混ぜに用いられた。

練混ぜ工程は完全自動化されており、配合調整を攪拌機内とコンクリートポンプ内に装備された測定器にて制御した。パッチャープラントには、本プロジェクトの他の構造物用のアジテータトラックへのコンクリート供給ポイントとパッチャープラントが故障した場合の緊急用製造ラインが備えられていた。

外型枠に取り付けられた76基の周期可変式の電動バイブレーターと内型枠に取り付けられた28基のバイブレーターで振動締固めを行い、気泡を除去した。標準支間部(31.5 m)では、呼び強度45 MPaの276 m³のコンクリートを4時間で打設した。プレキャスト工場は1日あたり2基(2径間分)のペースで製作できるように設計された。

内型枠は、12-18時間の通常養生の後に撤去され、次の製作ヤードに移動して端枠は鉄筋組立て用のテンプレートに移動された。PC鋼材の最終張力の38%(7000 kN)を導入して外型枠から浮き上がらせ、製作された主桁を保管場所に運搬した(図-5)。



図-5 脱枠状況

本設支承は、主桁を降下させる前に保管場所の支点ブロックの上に設置された。PC鋼材の緊張、グラウト、PC鋼材定着具周りのシール、支承のアンカーボルトのグラウト、検査および仕上げ工に2-5日の保管場所での存置が必要であった。また、この期間中に数多くの運搬前の品質検査を行った(図-6)。



図-6 保管状況

5. 主桁架設工

特注の門型の桁移動用車両が、型枠から保管場所、そして最終位置までのプレキャスト桁の移動に用いられた。高さ10.5 m×長さ57.9 mの桁移動車両は、ダブルタイヤの2列車両が、主桁を吊込むウインチを取り付けた鋼製の箱桁で繋がれた構造となっている(図-7)。車両の移動と操舵は、ディーゼルエンジンを動力とする油圧モーターにより制御された。



図-7 保管場所からの運搬

後側車両(主軸)と前側車両(従軸)との軸間距離は45.0 mであった。前側車両のホイストウインチは固定であるが、後側車両のホイストウインチは可変式で任意の吊点まで移動させ、異なるタイプの桁に対応させることができる。

プレキャスト桁を型枠や保管場所から移動させる作業は複雑な手順の操作を必要とする。桁移動車両は、橋軸方向移動し、車輪部分は中央の油圧支持材周りに90°旋回することが可能である。このため、桁移動車両は桁上空で橋軸直角方向にも移動できる(図-5, 7, 8)。桁を吊り上げた後、桁移動車両は、車輪を90°回転させて橋軸方向に移動することができる。

高架橋への乗り入れ部に達した後、超音波センサーにより制御された自動運転装置によりオメガ型断面の中の桁移動車両を操作した(図-8)。自動運転での運転速度は、最大荷重時で3.0 km/h、無載荷時で6.0 km/hである。



図-8 主桁上での移動

本橋の前方側の端部では、前側車両が長さ78 mの下方架設桁の後方の端部まで届く。下方架設桁の上で自走する台車を、プレキャスト桁を受け替えるために前側車両の位置まで移動させ、扛上することにより車輪から荷

重を開放した。そして、前側車両の台車および後側車両を前方の桁降下位置まで移動させた（図 - 9）。後側車両は固定され、下側架設桁は桁降下空間を設けるために前方に押し出された（図 - 10）。



図 - 9 下側架設桁上での移動



図 - 10 下側架設桁の押し出し

桁を沓座面に設置された4つのロードセル上に一旦降下した。支点反力と可動支承のステンレス鋼のワッシャを設計誤差に調整した後、桁はロードセルを撤去するために扛上され、最終位置に据えられた（図 - 11）。



図 - 11 桁の最終設置

6. 連続桁

プレキャストコンクリート桁は、A22 高速道路やセッキア・パナロ川、モデナ西 IC を横断するのには桁長が短すぎた。よって、9 連の3 径間連続桁橋（136 m）が場所打ちにて施工された。これらの橋梁はまた、スパン 40.0 m, 56.0 m, 40.0 m から生じる負の曲げモーメントに対して、橋脚上でより部材高の高いウェブが必要とされたが、景観の配慮によってオメガ型断面を採用した。

2 本の移動架設桁が、1 310 m³ の連続桁を 53.1 m, 57.4 m, 25.5 m の3 区画に分割して打設するのに使用された。各上部工には 160 kN の鉄筋および 110 kN の PC 鋼材が配置された。

13 000 kN の移動架設桁は、外型枠を支える2 本のトラスで構成されている（図 - 12）。3 区画に分割された上部工を打設するのに要した時間は、約4 ヶ月であった。移動架設桁のトラスは長さ 110 m を有し、鉄筋および内部型枠を配置するための門形クレーンが設置されている。架設桁中央部は、型枠吊材のアンカーを設置するため、トラスが2 重構造となっている。2 重構造のうち、内側のトラスは型枠吊り領域のみであるのに対し、外側のトラスは両側まで延長されている（図 - 12）。図 - 13 に移動架設桁による施工状況を示す。



図 - 12 移動架設桁

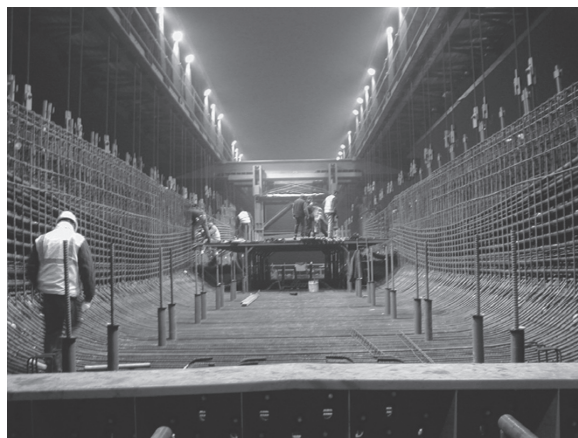


図 - 13 移動架設桁による施工状況

○ 海外文献 ○

外型枠の組立てが終了した段階で、型枠のキャンバー調整を実施した。形状誤差の厳格な品質管理仕様を満足するように、上げ越し計算はとくに正確に行われた。コンクリート打設時やプレストレス導入時および移動架設桁の降下時に、構造・機材の相互作用が計算に考慮された。トラスや型枠のたわみは、使用前に全荷重状態で測定された。

第一および第二の区画は3つのコンクリートポンプを用いて打設された。1つ目は起点側橋脚の支間中央から起点側橋脚側へ、2つ目は終点側橋脚の支間中央から終点側橋脚側へ、3つ目は終点側の片持ち梁用である。施工順序は、コンクリートが硬化する前に型枠のたわみが大きく、より変形しやすい箇所から施工を進めていき、5～7時間を要した。両側のウェブの打設中のコンクリート高さの差は、内部で生じる横方向の不均衡な荷重を制御するために500 mmより小さく保った。3つの区画を打設後、第二の区画の打設場所に移動架設桁を戻し、横に隣接する橋の支柱に向かって横方向に移動させた。

7. 品質管理

工場と製造方法の品質管理は複雑である。バッチャープラント、オメガ桁のプレキャストプラント、プレキャスト桁運搬装置、連続桁の現場打ちのための2つの移動架設桁は、すべて特注であった。多くの新しく採り入れたものの相互作用が、懸念の理由でもあった。

品質管理は、後述する3つのポイントに基づいて行われた。それぞれの作業ごとに詳細を記述すること、機械の主要素ごとの要求性能と技術仕様を確認すること、初めて使用する機械と作業工程を検査することである。

作業ごとに詳細を記述することで、作業手順、並行する作業の干渉、予期しない事象や改善の可能性、幾何学的な公差、作業実行時のチェック項目や不適切事項に対応する人員を明確にすることができた。

特別な橋の建設機械の要求性能と技術仕様を確認する事で、操作上の必要条件、設計基準、解析方法、細目の水準、製作から現場組立てまでの材料に対するチェック項目を明確にすることができた。主要な建設機械は、第三者による設計照査と現場組立て後の荷重試験を受けた。作業の検査には、すべての材料と作業手順の事前審査およびオメガ桁の実物大施工試験が含まれている。

8. 結 論

755 径間のプレキャスト桁と9つの3径間連続桁の現場打設は、工期・費用・品質の保証の下、30 ヶ月でプレストレストコンクリート橋 25.4 km の建設を可能にした。このような延長の長い高速鉄道橋の景観および騒音は、異なる角度で太陽光を反射するために広い波を刻んだ楕円形状のオメガ型断面によって軽減された。支点部分の丸みを帯びた形状は優雅さとシンプルな印象のため脚頭部と対称になっている。図 - 14 に完成後の全景を示す。



図 - 14 完成後全景

原典

Marco Rosignoli, Modena viaducts for Milan - Naples high - speed railway in Italy, PCI Journal, pp.50 - 60, Fall 2012, Volume57, Number4

著者の近著

Bridge Construction Equipment

詳細は以下 URL 参照

http://www.icebookshop.com/bookshop_main.asp

?ISBN = 9780727758088

【2013 年 10 月 4 日受付】