



名港トリトン
写真提供：NEXCO中日本

1. 計画・建設の経緯
2. 名港トリトン
3. 豊田アローズブリッジ
4. トゥインクル
5. 他の主な橋梁
6. 整備効果
7. 開通後の課題と対応

トゥインクル

伊勢湾岸自動車道の建設 - 新たな橋梁技術を駆使して 名古屋港を横断し新東名と新名神を連結する -

講演者



川人 達男
元日本道路公団
静岡建設局長



上東 泰
中日本高速道路(株)
高度技術推進部
専門主幹



池田 博之
元日本道路公団
中部支社
構造技術課長



田中 健治
元(株)IHI設計
部長



池田 光次
中日本高速道路(株)
執行役員
名古屋支社長

コーディネーター



前川 利聡
中日本高速道路(株)
経営企画部長



鈴木 辰夫
鉄建建設(株)
常務執行役員

伊勢湾岸自動車道は、豊田東ジャンクション（以後JCT）から四日市JCT間の56.4kmの高速道路で、新東名と新名神を連結して東西交通をつなぎ、我が国にとって重要な路線であるとともに、東海環状道路や名古屋二環の一部をなし、中京圏の重要な高速道路ネットワークになっている。延長の約9割が橋梁で、大きな支間を要求される名古屋港や木曾三川・矢作川という大河川を横断する橋梁は、景観と合理性を追求し、前例のない橋梁形式に挑戦した技術の結晶と言える。

周辺に大型集客施設が造られるなど開通後の整備効果や課題も併せ、特徴ある橋梁にスポットを当てて紹介する。

1. 計画・建設の経緯

1967（昭和42）年の中部圏基本開発整備計画の中で、名古屋市から四日市に至る伊勢湾岸工業地帯の背骨である名四国道のバイパスとして第二名四国道が計画され、1969（昭和44）年から建設省により海上区間の調査が開始された。

1973（昭和48）年以降は、伊勢湾全体を環状に連結する伊勢湾岸道路の一部と位置付けられ、1979（昭和54）年に海上部が都市計画決定された。同年、先行して名港西大橋の事業許可が日本道路公団に下り、当時世界最大級のスパンのマルチケーブル斜張橋として建設されることとなった。名港西大橋は、翌年着工され、1985（昭和60）年3月に暫定二車線で開通した。

1987（昭和62）年には、東海～金城ふ頭間の事業許可が下り、名港西大橋と同形式の名港中央大橋と名港東大橋の建設が始まり、1993（平成5）年には、名港西大橋の暫定解除（二期線による6車線化）の事業許可が下りて、この区間は全面着手となった。

1998（平成10）年3月には、名港中央大橋、名港東大橋、名港西大橋Ⅱ期線が完成し、名古屋南IC～名港中央IC～飛島IC間で6車線が開通した。これら3橋は、名港トリトンと命名された。

これと並行して、第二東名（現新東名）と第二名神（現新名神）が1987（昭和62）年の第四次全国総合開発計画に盛り込まれ、1989（平成元）年基本計画が策定された。これに対応して、新東名と新名神の整備を早めるため、先行整備されていた名古屋南IC～飛島IC間を含む豊田東JCT～四日市JCT間が、伊勢湾岸自動車道として、新東名と新名神を結ぶ役割を果たすこととなった。

1993（平成5）年には、名古屋南IC～飛島IC間の前後の区間に施行命令が出された。この区間には、木曾三川の河口部を横断する世界初のPC・鋼複合エクストラード橋の湾岸木曾川橋・湾岸揖斐川橋（併せてトゥインクルと呼ばれる）及び、矢作川を横断する世界初の波形鋼板ウェブPC鋼複合斜張橋の豊田アローズブリッジが計画された。



図1 位置図

建設は、2005（平成17）年3月開催の「愛・地球博」に間に合うよう促進がかり、1998（平成10）年3月の名古屋南IC～飛島IC間をはじめとして順次開通し、2005（平成17）年3月に豊田東JCT～豊田東IC間が開通して豊田東JCT～四日市JCT間56.4km全線が完成した。

2. 名港トリトン

名港西大橋、名港中央大橋、名港東大橋を総称して名港トリトンと呼ぶ。いずれも3径間連続2面吊りマルチケーブル斜張橋である。先行着手された名港西大橋は、建設当時この形式では世界最大級の橋長で、当初暫定施工されたため、世界的にも珍しく、上りと下り2橋が並列する形となった。

名港西大橋：橋長：758m、最大支間長：405m
主塔高さ：122m

名港中央大橋：橋長：1170m、最大支間長：590m
主塔高さ：190m

名港東大橋：橋長：700m、最大支間長：410m
主塔高さ：125m

名港西大橋

(1) 設計

通過する船舶の大きさを考慮し、橋長758m、最大支間長405m、桁下高さ約30mのマルチケーブルの斜張橋形式が採用された。斜張橋は、長スパンでも斜材ケーブルによる応力調整で主桁を経済的に設計でき、他の吊り橋と比較して橋全体の剛性も高い。また、耐風安定性のため2面吊りとした。



写真1 名港トリトン

世界でも例がない規模のため、多くの外部専門家が参加する名港西大橋調査特別委員会（委員長：乙藤憲一）を設け、設計から施工完了まで、課題が生じる都度議論をして解決していった。

基礎は、海面から45m下の砂層とし、ケーソン基礎とした。

耐震設計は、100年に一度の地震にも耐えられるよう過去の日向灘地震を参考に、地盤応答解析、地盤のFEM解析、ケーソン基礎の時刻歴応答解析等を行い、加速度応答スペクトル法で実施した。

耐風設計は、60m/秒の一樣流と現地の特性を考慮した乱流を想定し、将来の二期線との並列状態や施工中の主塔の自立時を含めて風洞実験で安定性を確認した。

主桁は、重量を軽減し、耐風安定性を増すため、鋼床版、薄型扁平六角形の3室鋼箱桁とし、両端にフェアリングをつけて、全体的に風がスムーズに流れる形にした。ケーブル定着部は、外側ウェブに割り込ませるように配置し、この箇所は三次元FEM解析で安全性を検討した。

主塔は、高さ122mあり、安定したA型の形状とした。施工中の単独自立時に最も不安定になるため、高層ビルで使われている、揺れに同調する錘で揺れを制御する装置（TMD）を取り付けた。ケーブル取り付け部やTMD定着箇所は、局部応力が発生するので、立体FEM解析を実施した。

主塔と主桁は地震時等の主桁の動きが主塔に与える影響を緩和するため、弾性ケーブルで連結している。これはゴム支承がない時代の工夫だった。

ケーブルは、桁の安定性を考慮して桁の両端にケーブ



写真2 名港西大橋



写真3 主塔の架設



写真4 主桁の大ブロック架設

ルを設置する二面吊りで12段とした。ケーブル自体は、直径5mmの亜鉛めっき鋼線を平行に束ねたストランド（PWS）をポリエステル樹脂で被覆してポリエチレン管の中を通し、管内にセメントペーストを注入した構造とした。二期線の施工では、その後開発されたグラウトを必要としないケーブルを使用し、7mmの亜鉛めっき鋼線を平行に束ねたPWSをフィラメントテープと高密度ポリエチレンで被覆した。

(2) 施工

ケーソン基礎は、鋼製函体を地上で製作し、設置場所まで海上を浮かせて運搬した。掘削は、函体中に圧縮空気を入れて止水するニューマチックケーソン工法とディープウェル工法を併用して実施し、支持地盤まで沈下させた。二期線では、一期線への影響がないようディープウェルは併用せず、より高圧な圧縮空気です止水するニューマチックケーソン工法を採用し、ヘリウム混合ガスを呼気とするシステムを併用した無人ケーソン工法を日本で初めて導入した。

主塔と主桁は、航行船舶への影響を少なくするため、大ブロック架設とした。

主塔は、3ブロックに分け、2ブロック架設後に上部A型の超大ブロックを一括架設した。工場内で製作されたブロックを、近隣の湾岸地帯のヤードで横に並べて溶接し、重さ1,350t、長さ109mという前例のない大ブロックを、完成したての3,000t級のフローティングクレーン「武蔵」で一括架設した。

先行して据え付けられたブロックと上部の大ブロック

の連結部には、100tジャッキを取り付け、仕口合わせの迅速化を図った。

主桁は、側径間に2基、中央径間の主塔部側に1基ずつステージングを設置し、約50mの大ブロックで、800tフローティングクレーンで架設した。中央径間の併合部は小ブロックをデリッククレーンで吊り上げて閉合した。ケーブルは、架設ごとに張力を導入。張力導入時にケーブル角度が変化するため、主桁との定着部は球面加工した。主塔の傾き、主桁の浮き上がりを計測しながら、また、設置済みのケーブルにはテンションメーターを設置して、ケーブル張力を導入・管理した。

ケーブル架設が完了する頃、降雨時にケーブルが上下に大きく振動する想定外の現象が生じた。海外でも前例がないこの現象（レインパイブレーション現象）に対処するため、振幅の大きなところでケーブル同士を繋ぐワイヤーを設けたが耐久性に課題があり、現在ではケーブル基部に制振装置を取り付けている。

前例のない構造形式であったため、点検やメンテナンスに役立つよう維持管理の手引きを作成した。その後、名港トリトン全体の維持管理要領となり、NEXCO中日本の斜張橋・エクストラロード橋維持管理指針へと発展してゆくことになる。

この工事を工事長として担当した川人達男は、次のように語っている。「世界的に有名なドイツの橋梁技術者フリッツ・レオンハルトが視察に来た際に、『この橋はマルチケーブル斜張橋の特性を生かした世界的にも素晴らしい橋だ。』と言われたことが強く印象に残っている。日本初の本格的マルチケーブル斜張橋だったので、多く



写真5 豊田アローズブリッジ

の計測機器で膨大なデータを蓄積でき、その後につながった。無事故・無災害で労働大臣賞を受賞し、土木学会の田中賞も受賞した。多くの設計検討や夜を徹してのケーブル緊張管理が続き大変だったが、頑張り甲斐があった。」

3. 豊田アローズブリッジ

矢作川に架かる橋長820m、最大支間長235mの4径間連続PC・鋼複合斜張橋で、上下一体8車線の広幅員の波形鋼板ウェブPC箱桁を一面吊りする世界初の形式であり、多くの実験と解析が行われた。また、「矢作川橋の設計・施工に関する技術検討委員会」（委員長；池田尚治）を設置して技術的課題を適宜検討した。

(1) 設計

耐震設計は、道路橋示方書の地震動に加え、架橋地点付近の活断層から想定される地震動を使い、非線形動的解析で実施した。

耐風設計は、架橋地点の風況観測データを参考に、風洞実験を行うとともに、施工中と完成時の耐風安定性を検討した。

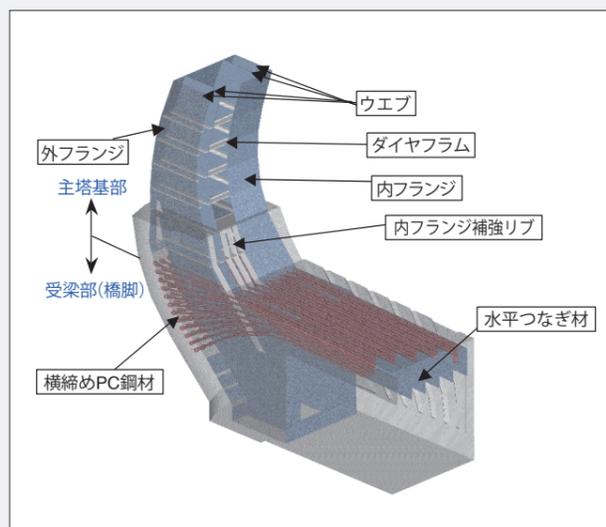


図2 主塔湾曲部鋼殻構造



写真6 クライミング足場

主桁のケーブル定着部は、鋼製横桁と鋼製定着梁を用いてユニット化し、三次元FEM解析、耐荷力確認実験、疲労実験を行い、安全性を確認した。これにより省力化と工程短縮が可能となった。

PC桁と鋼桁の接合構造は、応力伝達が円滑に行えるよう両桁端にプレートを取り付け、PC桁に補強横桁を追加、プレート間にコンクリートを打ちせん断力を伝達させることとし、三次元FEM解析で検証した。

主塔は、交差条件の制約により基部を絞り込み、水滴をイメージした優美な曲線で主桁を包み込むような形状をしている。この湾曲した部分に高断面力が作用するため、鋼殻構造により終局耐力を保持、併せて横梁をPC鋼材で横占めることでひび割れを制御した。この構造は、世界でも類を見ないため、耐荷力確認試験、非線形FEM解析等で安全性を確認した。

(2) 施工

主塔は三次元的に変化する断面形状を持つコンクリート構造で、鉄筋をプレハブユニット化し、型枠も大型パネルとし、複雑な形状に対応したクライミング足場を開発して施工の迅速化を図った。コンクリートには、耐久性の確保を目的に、低熱セメント、高強度コンクリート、高流動コンクリートを使用し、材料選定には細心の注意を払った。

主桁は、主塔部分から張出し架設をしたが、張出しブロック長を8mとする超大型移動作業車の開発や、外側と中央の箱部分の鋼部材・鉄筋・型枠を桁下ヤードで組み立てるプレハブユニット化で大幅な工期短縮を図った。

本橋は、世界初の構造であり、様々な新技術を導入しているため、維持管理マニュアルを作成し重要点検ポイントを明示した。

4. トウインクル

木曾三川の河口部を横過する湾岸木曾川橋と湾岸揖斐川橋を総称してトウインクルと呼ぶ。前者は5径間連続、後者は6径間連続で、共に支間中央部の約100mを死荷重軽減のため鋼床版箱桁としたPC・鋼複合の一面吊りエクストラドーズド橋とした。これも世界初の形式であり、「木曾三川橋の設計・施工に関する技術検討委員会」（委員長；池田尚治）を設置して技術的課題の検討を行った。

湾岸木曾川橋：橋長：1145m、最大支間長：275m

湾岸揖斐川橋：橋長：1397m、最大支間長：271.5m

(1) 設計

基礎については、支持層が深いので、施工性と経済性から鋼管矢板基礎とした。

耐震設計は、活断層や過去の地震を特定して動的解析等を実施して安全性を確保した。

主桁のPC部は、高速道路で初めて高強度コンクリート（60N/mm²）を採用して軽量化を図り、鋼桁部は鋼



写真7 湾岸揖斐川橋



写真8 セグメント製作ヤード



写真9 張り出し架設

床版とし、幅440mmの大型Uリブを使って耐久性と施工性を向上させた。

PC桁と鋼桁部の接合部は、両端に鋼板パネルを設置し、間に中詰めコンクリートを打って接合する方式とし、輪荷重載荷試験により疲労安全性を確認している。

(2) 施工

PC桁は、伊勢湾内に約80,000m²（東京ドーム2個分）の広い製作ヤードを確保して、幅33m（上下線一体6車線）、長さ5m、高さ4～7mで最大重量400tという大規模なセグメントを4～5日サイクルで製作した。4つの製作ラインを作り、計375個のセグメントを製作した。仮置き中の変形を心配したが、CCDカメラで3次元的に把握した結果、問題なかった。

架設は、支点部を3分割したセグメントを600t吊りフローティングクレーンで橋脚上に架設して一体化し、セグメント内部の横桁を後打ちした。その後、主塔を立ち上げ、PC桁を張り出し架設した。海上輸送されたセグメントを420t吊りのクレーンで吊り上げ、PC鋼材で緊張し、順次ケーブルで吊っていった。中央径間の鋼桁部は、長さ約100m、重量約2,000tになり、大ブロックに組み立てたものを台船で運搬し、PC桁の張り出し部先端に設置した吊り上げ設備で一括架設した。



写真10 弥富高架橋

5. 他の主な橋梁

(1) 弥富高架橋

建設個所近傍に製作ヤードが確保でき、専用トレーラー運搬が可能のため、プレキャストセグメント工法を採用した。弥富高架橋は全長1.5kmのPC箱桁橋で、1,300個のセグメントを使用した。架設桁でセグメント1径間分を吊り上げて一括して緊張した。

(2) 古川高架橋

PC箱桁橋であるが、近隣に製作ヤードがないため、既存のPC工場でセグメントを製作し、現場まで公道を運搬し架設桁により架設した。これは世界でも例がない。



写真11 古川高架橋

(3) その他の新たな取り組み

外部専門家を入れた委員会をそれぞれ設置し、次のような取り組みを行った。

- ・プレキャスト床版を用いた鋼少数主桁橋を本格採用した
- ・疲労き裂を防止するため、デッキプレートの増し厚、U型縦リブの大型化、横リブ廃止等を実施し、耐久性に優れた合理化鋼床版構造を標準化した

6. 整備効果

1998（平成10）年に名港トリトンが完成し、2005（平成17）年に伊勢湾岸自動車道全線が開通したが、ネットワークの拡充とともに交通量は増え続け、現在では、1998（平成10）年の約7倍、2005（平成17）年の約4倍の10万台/日になっている。

所要時間短縮効果が生産・消費活動に波及する経済効果を算定すると、1998（平成10）年から現在まで累計約9兆円と推計されている。

名古屋港では、コンテナ貨物量が、1998（平成10）年と比べ、輸入で約2.3倍、輸出で約1.6倍と増加し、名古屋港は、20年連続輸出額日本一となっている。

沿線には工業団地や大型集客施設が立地し、特に、ナガシマリゾートと刈谷ハイウェイオアシスは、年間入場者数が、東京ディズニーランド・ディズニーシーに次ぎ全国で第2位と第3位になっている。

この他、東海3県で唯一の小児救命救急センターが沿

線にでき、伊勢湾岸自動車道は、医療面でも大きな役割を果たしている。

7. 開通後の課題と対応

大型車の交通量が想定よりも多かったことに起因して、構造面と利用面に課題が生じた。

構造面では、区間全体にわたり橋梁かけ違い部の伸縮装置に亀裂や破断等の損傷が多発し、より耐久性のある鋼製フィンガージョイントに取り換える工事を実施中である。

また、名港トリトンを中心に、鋼床版に亀裂が生じ、舗装にも面的な影響が出ており、現在対策を検討中で、今後数年かけて補修を進める予定である。

利用面では、法律上貨物輸送ドライバーの定期的な休憩が義務付けられたこともあり、休憩施設の大型車駐車マスが不足するという事態が生じた。緊急に対応するため、駐車場の面積を拡大することなく、用地内で駐車マスの配置を全面的に変更して駐車マスを増やしている。

前例のない橋梁群に対し、美しさと合理性を追求し、多くの実験や解析を重ね、新たな材料や施工方法を導入して実現した先人たちの努力に敬意を払いつつ、今後とも、高速道路ネットワークの重要な幹線としての役割を担っていけるよう、老朽化を抑制し利用状況に対応した適切な補修・改良を継続的に進めていく。

<図表・写真の提供>

図、写真 中日本高速道路（株）