写真提供：首都高速道路（株）

高速湾岸線の整備
長大橋と沈埋トンネル
～巨大構造物への挑戦～

1．はじめに
2．高速湾岸線の事業経緯
3．長大橋
4．沈埋トンネル
5．これまでのあゆみと今後の展望

講演者

安藤 憲一
元首都高速道路（株）
代表取締役
専務執行役員

寺山 徹
首都高速道路（株）
代表取締役
専務執行役員

和田 克哉
元首都高速道路公団
神奈川建設局
特殊設計課長

松本 修一
元（株）オリエンタル
コンサルタンツ

長谷川 和夫
元首都高速道路公団
湾岸線建設局
設計課長

写真提供：首都高速道路（株）

1．はじめに

東京湾岸道路の一翼を担う高速湾岸線は、東京外かく環状道路、東京湾アクアラインなどと接続する64.0kmの路線であり、首都高速道路網の骨格として首都圏の交通の重要な役割を果たしている。

その整備は1970（昭和45）年に最初の都市計画決定がなされてから、2001（平成13）年に全線開通を果たすまで、約30年をかけた一大事業であり、段階的な開通を行いながら、湾岸地域における物流施設・空港・娯楽施設等の利便性向上、内陸部からの交通分散による都市内交通の円滑化等に大きく寄与してきた。

高速湾岸線の整備のなかでも、特に、2つの長大橋（横浜ベイブリッジ・鶴見つばさ橋）と、3つの沈埋トンネル（東京港トンネル・多摩川トンネル・川崎航路トンネル）の巨大構造物の建設は、前例のない技術的挑戦の連続であった。

本稿では、高速湾岸線の計画や整備効果、巨大構造物の設計・施工などについて、紹介する。

2．高速湾岸線の事業経緯

（1）東京湾岸道路

東京湾岸道路は東京湾周辺の横須賀、横浜、川崎、東京、千葉、木更津、富津等の諸都市を連結する延長約160kmの幹線道路（高速道路及び国道）であり、東京湾横断道路（東京湾アクアライン）、湾口部横断道路（東京湾口道路）とあわせて、「東京湾環状道路」と総称される（図1）。

東京湾環状道路の構想は1940（昭和15）年に内務省において提案されているが、当時は経済性も伴わず具体性がないものであった。これが、昭和30年代になると、種々の東京湾開発構想が提案され、これらの構想を背景に首都圏整備委員会では1958（昭和33）年「首都圏における重要幹線道路整備計画」を改定、東京湾環状道路の整備構想が明らかになった。建設省においては1962（昭和37）年から東京湾環状道路の各種調査研究を開始、1967（昭和42）年には関東地方建設局に首都道路調査出張所を設置し、1970（昭和45）年からは東京湾岸道路調査事務所を新設し、本格的な調査が開始された。

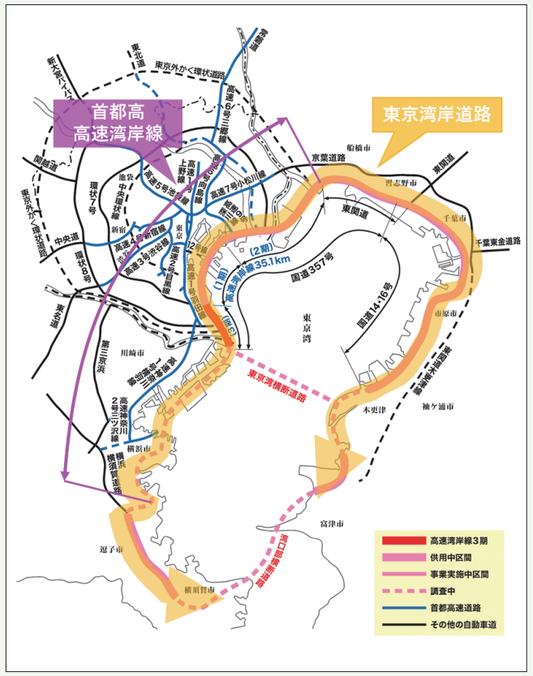

図1　東京湾環状道路

（2）高速湾岸線の計画

東京湾岸道路のうち東京都内は、東京港港湾計画に基づいて造成された埋立て地内を縦走する総幅員100mの合計14車線の道路が計画された。千葉県、神奈川県内も原則として、総幅員50 ～ 100m、合計10 ～ 14車線の道路が計画された（図2）。

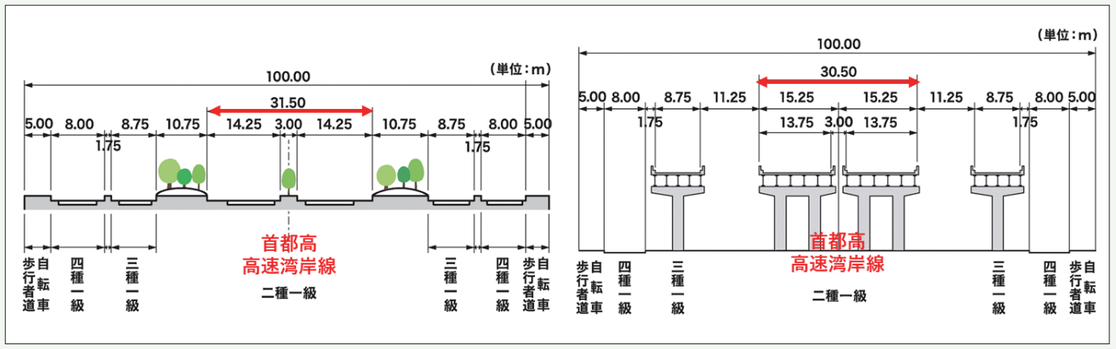

図2　東京湾岸道路の計画断面

そのうち、中央部の二種一級の自動車専用道路の神奈川県横浜市金沢区並木～千葉県市川市高谷までの延長64.0kmの区間を首都高速道路公団（当時）が高速湾岸線として建設することとなった。

最初に建設に着手したのは1970（昭和45）年5月28日、大田区昭和島から江東区有明までの延長9.7kmであり、それ以降、約30年の月日をかけ、64.0kmの整備を行っている。なお、東京湾岸道路の他の区間は、日本道路公団（当時）が東関東自動車道、横浜横須賀道路として整備している。

（3）湾岸線の役割・整備効果

高速湾岸線の役割は、以下の通りである。

①湾岸道路沿線における都市･港湾機能を相互に連絡する。
②東京外かく環状道路、東関東自動車道、横浜横須賀道路等と連絡するとともに、首都高速道路の一環として組み込まれることにより、首都圏の道路網の中核となり、臨海部と内陸部との交流に対する集散機能を果たす。
③東京湾周辺機能の交通混雑の緩和、とくに都市内交通の円滑化に貢献する。
④流通業務施設や都市内の工業の分散立地など都市再開発促進の基盤となる。
⑤成田空港と都心および羽田空港とを連絡する。

（4）開通と整備延長

高速湾岸線は、表1の通り、大きく1期整備区間から5期整備区間と、横浜高速湾岸線の計6区間に分かれており、総延長64.0km、総事業費は15,714億円である。

（5）交通量

交通量については、2015（平成27）年度全国道路・街路交通情勢調査によると、表2に示す通り、新木場出入口付近が全国1、2位の交通量となっており、高速湾岸線が多くの交通を支える重要な路線となっていることが分かる。

3. 長大橋

高速湾岸線は、大型河川の河口部や港湾部、埋立地等を通る路線であることから大規模な交差物件が多く、長大橋や沈埋トンネル等の技術の粋を集めた構造物が機能的に位置している。主な特徴的な構造物を図3に示す。

図3　高速湾岸線の特徴的な構造物

表1　高速湾岸線の整備延長と事業費

路線名	延長距離	総事業費	区間
高速湾岸線（1期）	9.7 km	1,112億円	大田区昭和島～江東区有明
高速湾岸線（2期）	16.3 km	1,363億円	江東区有明～市川市高谷
高速湾岸線（3期）	9.1 km	3,112億円	川崎区浮島～大田区東海
高速湾岸線（4期）	11.5 km	4,131億円	鶴見区大黒ふ頭～川崎区浮島
高速湾岸線（5期）	14.6 km	4,444億円	金沢区並木～中区本牧ふ頭
横浜高速湾岸線	2.8 km	1,552億円	中区本牧ふ頭～鶴見区大黒ふ頭
高速湾岸線　計	**64.0 km**	**15,714億円**	

表2　2015（平成27）年度全国道路・街路交通情勢調査（平日昼間12時間）交通量上位路線

順位	交通量(台/12h)	観測地点名	路線名
1	**109,651**	**辰巳JCT~新木場出入口**	**首都高速　高速湾岸線**
2	**108,332**	**新木場出入口~葛西ＪＣＴ**	**首都高速　高速湾岸線**
3	103,633	横浜市旭区桐が作1776(左近山)	国道16号(保土ヶ谷ＢＰ)

（1）横浜ベイブリッジ

1）横浜ベイブリッジの概要

横浜ベイブリッジは、横浜国際航路を本牧ふ頭から大黒ふ頭へ横断する全長860mの3径間連続斜張橋である（写真1）。本橋は上下2層の道路橋で、上層は高速湾岸線が、下層は国道357号が通っている。

本橋は、2層の路面を形成するためトラス形式となっており、横浜港に入港する大型客船の航路限界から海面上55mを確保した構造となっている。この時考慮した大型客船はクイーン・エリザベス2世号であり、52.2mの高さであった。

また、本橋の特徴として、遊歩道（スカイウォーク）と外形32mのスカイラウンジが取り付けられている。下層デッキに設けられた遊歩道までは大黒ふ頭に設置されているエレベータータワーで上り、海上約45mの遊歩道を散策しながら展望ラウンジに達することができる。2022（令和4）年6月25日には新たに新本牧ふ頭整備事業の役割や海洋工事の建設技術、環境への取組などを紹介する資料を取り揃え、スカイラウンジがリニューアルされている。近傍を訪れた際はぜひお立ち寄りいただきたい（図4）。

2）横浜ベイブリッジの構造形式

横浜ベイブリッジの橋梁形式の決定においては、鋼重比較、吊り橋の場合のアンカレッジの設置可否、景観上の理由等により斜張橋が決定された（図5）。

基礎構造は支持層が起伏をしているという現場条件より、多柱式基礎を採用している。また、国際航路上という立地条件より、海上での作業区域の縮小及び工期短縮を図るためフーチング部にはPCバージ工法を採用し、多柱式基礎を構成するケーソンについては、起重機船の能力に応じたL=27m分にプレキャストケーソン部材を採用するなど、プレキャスト化による施工の効率化を図った。

3）横浜ベイブリッジの景観設計

本橋の景観設計にあたっては、設計当初より斜張橋のケーブルの傾斜をはじめ、色彩についても模型等を用いて検討を重ね決定した。一例を挙げると、主塔は直線を生かしたH型を採用しているが、上部に向かって断面を絞っていくことで安定感のある自然な形状となるよう配慮をしている。また、主構造のみならず附属施設物等においても煩雑さを低減するよう細部構造を検討した。

4）横浜ベイブリッジの施工

斜張橋の特徴としてケーブル架設後においては張力によって主塔が安定するものの、主塔の架設中においては耐震・耐風対策が必要であった。そこで、ダイナミックダンパー方式制振装置を上部に設置し、架設が進み主塔

写真1　横浜ベイブリッジ

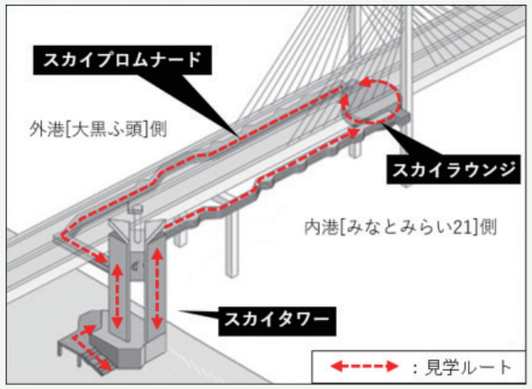

図4　スカイラウンジ

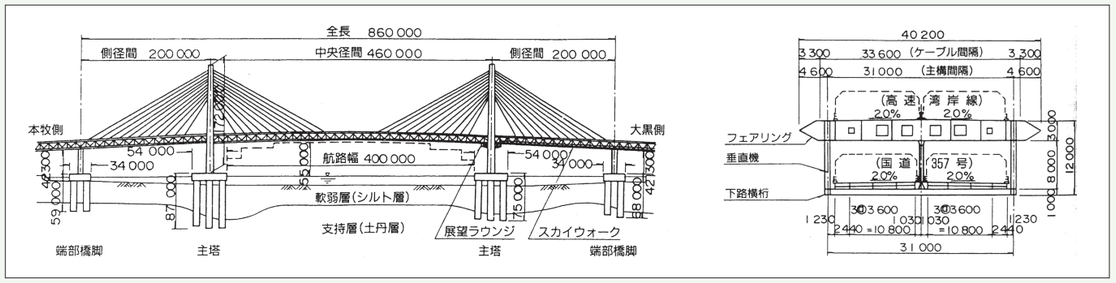

図5　横浜ベイブリッジ側面図、断面図

が立ち上がるに従って上部に移設を繰り返し、施工中の耐震・耐風対策を行った。

主桁の架設においては、側径間をカウンターウェイトにした張り出し架設を行い、航路への影響を極力小さくした（図6）。

また、ケーブル架設において、本橋のケーブルには工場にてポリエチレン被覆を施した被覆ケーブルを採用した。これにより、現場での作業時間を大きく短縮した一方、よじれを防ぐために施工管理を徹底した。

（2）鶴見つばさ橋

1）鶴見つばさ橋の概要

鶴見つばさ橋は、大黒ふ頭から扇島へ鶴見航路を横断する全長1,020mの3径間連続斜張橋で、一面吊りの斜張橋としては世界最長の中央径間（510m）を有する（写真2）。この中央径間は、鶴見航路における主航路幅450m、高さ49mの空間を確保する構造となっている。

横浜ベイブリッジにおける国道357号との2層構造とは異なり、鶴見航路では、国道357号は本橋と並行して建設される計画となっており、鶴見つばさ橋は、将来は双子の並列斜張橋となることを前提に建設されていることも特徴の一つである。

2）鶴見つばさ橋の構造形式

本橋は往復6車線の広幅員の長大斜張橋であるため、二面吊りとするのが定石であった。しかしながら、将来の国道357号との並列状態を考慮すると、二面吊りとした場合ケーブルは将来4面となり、非常に煩雑な印象を与えるものであった。そこで、有識者とも十分な議論を重ねたうえで、耐風安定性といった乗り越えるべき課題はあるものの、一面吊りを採用した。

また、一般的に一面吊りの斜張橋の主塔は中央分離帯に単独柱として設けられるが、本橋の中央分離帯の幅では単独柱が成立せず、逆Y型の主塔を採用した（図7）。

本橋を支える4基の基礎は、海面下約30 ～ 40mに分布する下部洪積層を支持地盤とするケーソン基礎を採用した。なお、構造上有効根入長Dfに対して基礎短辺幅Bが大きいため、設計上は直接基礎としても設計計算を実施し構造を決定した（図8）。

写真2　鶴見つばさ橋

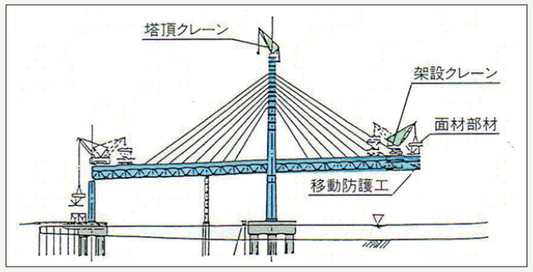

図6　主桁架設図

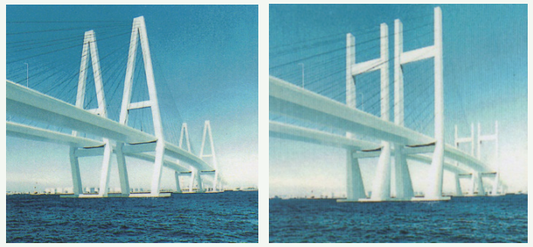

図7　将来国道357号を加えた鶴見つばさ橋のイメージ（景観検討段階）

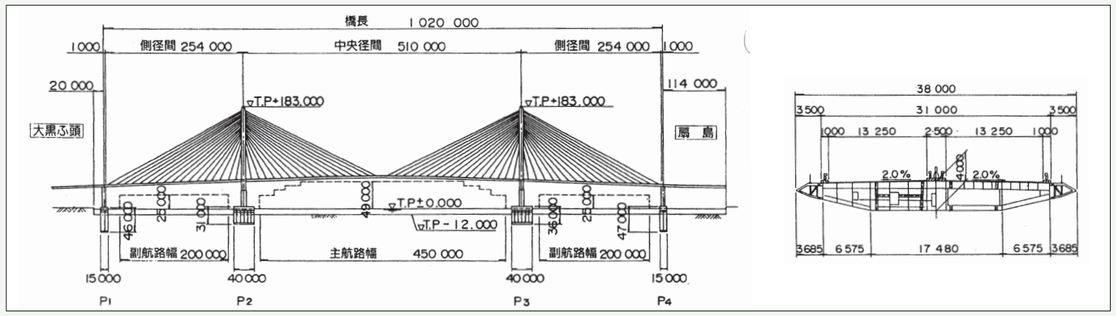

図8　鶴見つばさ橋側面図、断面図

写真3　鶴見つばさ橋架設状況

3）鶴見つばさ橋の耐震設計

鶴見つばさ橋と先に紹介した横浜ベイブリッジでは、耐震設計上の構造に大きな違いがある。

横浜ベイブリッジは主塔と主桁の連結部が、2mの短リンクで連結された、遊動円木構造を採用しており、モデルとしてはピン構造である。

一方、鶴見つばさ橋はPCケーブルで連結したばね連結構造で、構造全体に減衰機能を付加するため、ベーン型オイルダンパーを設置した。

なお、どちらの橋梁についても、供用後に兵庫県南部地震や新潟県中越地震クラスの大地震を踏まえた耐震補強を実施済みであり、落橋防止システム等の設置により、隣接橋を含めた落橋防止対策が完了している。

4）鶴見つばさ橋の施工

本橋のケーソン基礎の施工においては、施工用桟橋を設置したうえで、鋼製ケーソンを工場制作し、現地まで曳航し沈設した。なお、沈設のための掘削作業においては高気圧下での作業を避けるため、頂版にレールを引いてのロボット掘削が用いられた。

また、主桁の架設においては、側径間は3,500t級の起重機船を用いた大ブロック架設にて実施され、主径間については、横浜ベイブリッジの横浜国際航路と比較して鶴見航路は航路規制を取りやすい条件であったことから、直下吊り工法を採用し、1ブロックずつ架設を繰り返し閉合させた（写真3）。

4. 沈埋トンネル

首都高速道路には1964（昭和39）年に開通した1号羽田線の羽田トンネルと高速湾岸線に位置する東京港トンネル、多摩川トンネル、川崎航路トンネルの4本の沈埋トンネルが整備されており、設計・施工において先導的な役割を果たしてきた。

（1）3つの沈埋トンネルの概要

1）東京港トンネルの概要

東京港トンネルは東京港第一航路を横断する約1kmの区間に建設された沈埋トンネルであり、1976（昭和51）年に高速湾岸線の最初の開通区間として供用した。

本トンネルは、1函あたり幅37.4m、高さ8.95m、長さ115m、重さ38,000tもあるエレメント9函をドライドックで構築し、これを水上に浮かべ1函ずつトンネル沈設現場まで曳航した後、所定の場所、深さに沈め、水中で接続した後、埋め戻すことで構築した（図9）。

2）多摩川トンネル・川崎航路トンネルの概要

多摩川トンネルは、その名の通り多摩川河口部を横断し羽田沖埋立地と浮島埋立地を結ぶ1,545.5mの沈埋トンネル部と、その両端の換気塔及び陸上トンネル部で構成されている。

一方、川崎航路トンネルは、川崎港の出入路を横断し浮島埋立地と東扇島を結ぶトンネルで、延長1,187.4mの沈埋トンネル部とその両端の換気塔及び陸上トンネル部で構成されている。

2つのトンネルは往復6車線の車道部と、管理・避難用通路及び企業者占用物用の空間により構成されており、沈埋トンネルとして世界最大規模の断面を有している。

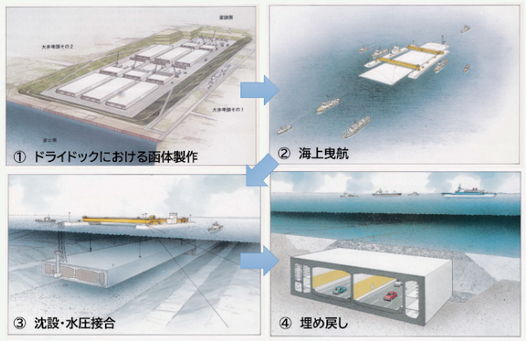

図9　沈埋トンネルの施工手順

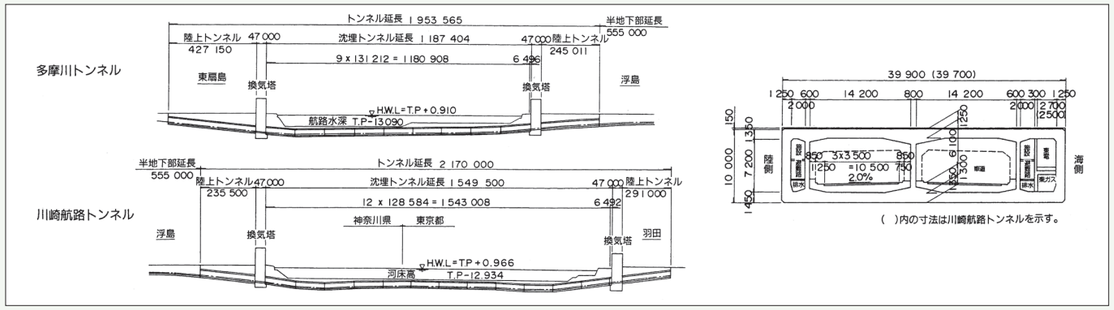

図10　多摩川トンネル・川崎航路トンネルの側面図、断面図

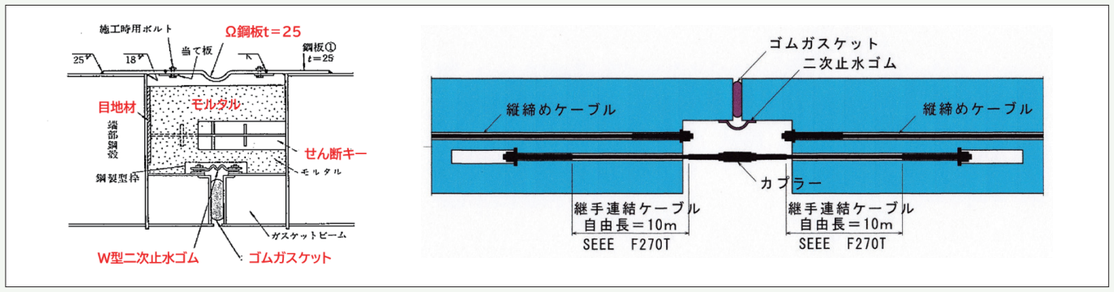

図11　東京港トンネル（左）と多摩川・川崎航路トンネル（右）の継手構造

沈埋函の大きさは両トンネルとも、1函あたり幅40m、高さ10m、長さ130m、重さ52,000tもあり、多摩川トンネルでは12函、川崎航路トンネルでは9函を接合している（図10）。

（2）沈埋トンネルの設計

1）函体断面の設計

沈埋工法は水の力を最大限利用する工法であるといえる。函体は、曳航のために浮く構造とすることにより大型機材を不要とすることが可能で、沈設は、バラスト水を用いて浮力を調整することで実施される。また、沈埋函同士の接合は水圧接合で行い、大型ジャッキ等は不要となる。

その点、函体の設計には浮体としての絶妙な重量バランスが要求され、例えば多摩川トンネル・川崎航路トンネルにおいては、その断面は以下の①～③を満足するように設計した。

①曳航時には函が浮く構造とし、乾舷は10cm以上を確保。

②沈設時には函体の浮き上がりに対する安全率を1.03以上確保するよう、バラスト水を注入。

③完成時には路床コンクリート等による死荷重増分にて函体の浮き上がりについて1.1以上の安全率を確保、この時上載荷重は考慮しない。

なお、設計を成立させるために太径鉄筋（D51、D41、D38、D35）の使用や、主鉄筋の2段配筋、せん断補強筋においてもD22の使用など断面決定においては様々な組み合わせにてトライアンドエラーが繰り返された。施工業者が配筋作業に随分と苦労したことも印象的である。

2）可撓性継手の設計

函体を連結する継ぎ手は、不等沈下や地震の影響による函体断面力を軽減させる目的で、地盤の変形に追随する可撓性の高い構造とする必要がある。

東京港トンネルと多摩川・川崎航路トンネルの継手構造を図11に示す。

東京港トンネルにおいては、ゴムガスケット（圧縮材）とΩ鋼板（引張材）で可撓性継手を構成しており、水密性はゴムガスケット（一次止水）と二次止水ゴムで確保している。また、二次止水ゴムのバックアップとしてモルタルを充填しており、可動域を確保するために、目地材を設けた構造としている。

多摩川・川崎航路トンネルにおいては、ゴムガスケット（圧縮材）と継手連結ケーブル（引張材）で可撓性継手を構成している。また、水密性はゴムガスケット（一次止水）と二次止水ゴムで確保している。継手連結ケーブルは函体に予め格納しておき、水圧接合の後に引き出して連結を実施した。このケーブルにはプレストレスは導入しておらず、ケーブルの自由長で継手のばね値を調整できる構造とした。

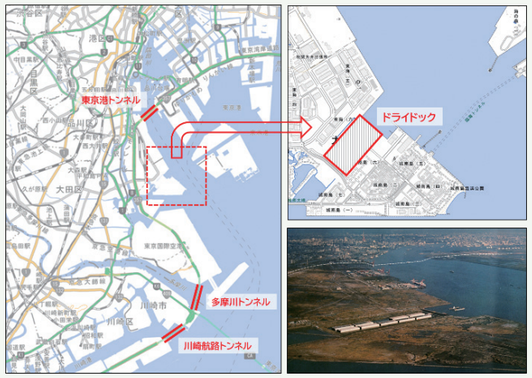

図12　ドライドックの位置図、写真

（3）沈埋トンネルの施工

1）ドライドックの築造

沈埋トンネルの施工にはドライドックが欠かせない。最初の東京港トンネル施工においてドライドックの候補地は以下の条件を満たす必要があり、大井ふ頭埋立地の水路予定地を東京都から借用することで対応した（図12）。

・115m（長さ）、37.4m（幅）、8.9m（高さ）の沈埋函9基を同時に製作できる広さ。

・水深10m越の水圧に耐えられる締め切りが設置可能。

・水深10m以上の主航路に近接している。

この時築造したドライドックは、現在までに4度沈埋函製作ヤードとして使用されている。東京港トンネルの後には、多摩川・川崎航路トンネルでも使用し、また、東京都施工の東京港第二航路海底トンネルや東京港臨海トンネルでも、当該ドライドックが使用された。

2）最終継手（ターミナルブロック）の施工

東京港トンネルでは、最終継手は仮締切工法にて施工された。水圧接合の圧縮力が解放しないよう反力受梁を設置した後、仮止水壁を設置しドライアップ、最終継手部を構築した。水圧接合はできないため、ゴムガスケットは設けずに止水ゴムのみを設置し、継手連結ケーブルにて連結した。

一方、多摩川・川崎航路トンネルでは、沈埋函と同じ断面の短いターミナルブロックを、予め立坑のスリーブ内に収めておき、最終函沈設後に引き出して水圧接合する方法を取り、仮締切を不要にし、現場作業の省力化を可能とした。

5. これまでのあゆみと今後の展望

冒頭でも述べた通り、高速湾岸線は首都高速道路網の骨格となっており、首都圏の交通の重要な役割を果たしている。首都高速道路は1962（昭和37）年に京橋芝浦間の4.5kmが開通したことを皮切りに、順次ネットワーク整備を進め、現在では路線延長327.4km、1日約100万台の交通量を支えるまでになっている。

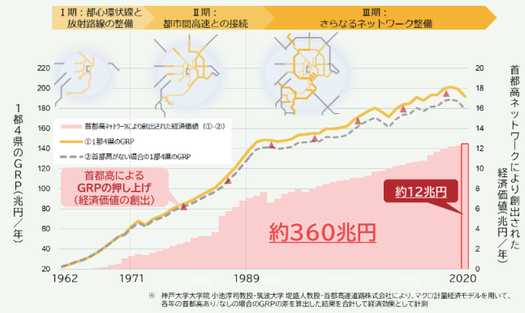

図13　首都高速道路の経済効果

首都高が生んだ経済効果については、開通から60年の累計で約360兆円、直近の1年間においては約12兆円、GRP（1都4県の域内総生産）を押し上げたと試算結果（図13）があり、まさに首都圏の重要な役割を担っていることがみてとれる。

そんな首都高も、高齢化や過酷な使用状況による重大な損傷が確認され、2014（平成26）年には首都高ネットワークを将来にわたって健全に保つための抜本的な対応を行うため、リニューアルプロジェクトに着手し、東品川桟橋・鮫洲埋立部、高速大師橋、日本橋区間などで更新工事を進めている。

一方、これまで点検が困難であった箇所で新たに重大な損傷も発見されている。これらへの抜本的な対策として新たな更新事業も必要な状況にもあり、引き続き関係機関と連携し、お客さまの理解を得ながら対応していく必要がある。

最後になるが、これまでネットワークを築いてきた技術者に深く敬意を表するとともに、これまで培われてきた技術力や前例のないことへも果敢に挑むチャレンジ精神を引き継ぎ、首都高を後世にわたって守り、進化させていきたい。

＜出典＞

図1　1986 高速湾岸線 3 期パンフレット（一部加筆）

＜図表・写真の提供＞

図1～3、5～11、13、
写真1～3　首都高速道路（株）
図4　横浜市ホームページ
図12　（地図）国土地理院
（写真）首都高速道路（株）