

## ■ サンフランシスコ - オークランドベイブリッジ架け替えプロジェクト

国建協情報 2013年5月号(No.836)掲載 【要約版】

サンフランシスコ湾を挟んでサンフランシスコと対岸のオークランドを結ぶサンフランシスコ - オークランドベイブリッジ（通称、ベイブリッジ）は、サンフランシスコ湾入り口に架かる金門橋（The Golden Gate Bridge）とともに、1930年代の不況対策の一環として架けられた。

1936年に開通したベイブリッジは、海軍基地のあるエルバ・ブエナ島を挟んでサンフランシスコ側（西側）の双子の吊橋、オークランド側（東側）のカンチレバートラスとトラス構造の高架橋などの橋梁群からなっており、島のトンネルを含む全長7.2kmの構造物群はサンフランシスコ湾のランドマークとなっている。

往復10車線の有料高速道路であるベイブリッジは、供用以来、地域の大動脈として活用されてきたが、1989年のロマ・プリータ地震で東側区間のトラス式高架橋が損傷を受け、1カ月にわたる交通止めを余儀なくされたため、耐震補強対策が必要となった。10年近い技術的検討を経て、西側の双子の吊橋区間は現橋の補強、東側区間は全面的な架け替えで対応することになった。西側吊橋区間の工事は2004年までに完成しているが、東側区間については2002年に着工し、紆余曲折を経て2013年の秋に供用を迎えようとしている。東側区間については世界でもあまり例を見ない単柱の自定（自碇）式吊橋（SAS: Self-Anchored Suspension Span）を含んでいるので、東側部分の架け替え工事を中心にプロジェクトを紹介したい。



ベイブリッジ位置図

## 事業の経緯

ベイブリッジは、州際道路 80 号 (I80) の一部として、サンフランシスコと対岸のオークランドの間 7.2km を結んでいる。道路は方向別に上下に分離されており、上層デッキは西行き 5 車線、下層デッキは東行き 5 車線で運用されており、約 28 万台/日 (2011 年末現在) の交通量をさばっている。道路インフラはカリフォルニア州交通局 (Caltrans) によって維持・管理されているが、有料道路の運用は 1970 年に設立されたサンフランシスコ湾岸の 9 つの郡 (county) からなる組織「メトロポリタン交通委員会」(MTC) が受け持っている。

既存のベイブリッジは、1933 年 7 月着工、1936 年 11 月に完成している。ベイブリッジにかかわる構造物群の構成は、エルバ・ブエナ島の西側 (サンフランシスコ側) 3.1km は中央のアンカレッジで結ばれた 2 本の吊橋 (中央スパン 704m)、東側 (オークランド側) 3.1km は、中央径間 430m のカンチレバートラス橋、5 径間の中路トラス橋および 14 径間の上路トラス高架橋で構成される橋梁群、中間部のエルバ・ブエナ島上 851m は、西側 (吊橋側) から 98m のコンクリート高架橋、160m の 2 層式トンネル、241m のコンクリート高架橋、356m の鋼トラス高架橋からなっている。西側区間の中央部の巨大な人工島を共通のアンカレッジとした双子の吊橋は、日本の南北備讃瀬戸大橋のモデルとなっている。

供用当初は、上層デッキは往復 6 車線の自動車道、下層デッキはトラック交通と郊外電管用として運用されたが、予想以上の自動車交通の激増に対処するため、1958 年に 4,900 万ドルを投じて交通を通しながら改装し、上層はトラックを含む西向きの 5 車線、下層は東向きの 5 車線に分離され、鉄道路線は廃止された。

1989 年に発生したロマ・プリータ地震 (リヒタースケール M6.9) により、東部区間の中路トラス橋と高架橋の端部が乗る支柱の上の長さ 15m の上層デッキが下層デッキの上に落下し、1 カ月の交通止めと 1 名の死者を出した。

この事故をきっかけとして何らかの耐震補強工事が必要と認識され、1990 年代に入って現橋の補強、架け替えなどの案が検討された。西側の吊橋区間については、リベット締めからボルト締めに変えてのボックスビームなど構造部材への取り替え、96 個のダンパーの設置などによる補強工事が 2004 年までに終了している。落橋した東側区間については、既存橋梁の補強、全面的な架け替えなどの案が検討されたが、1996 年の経済・技術調査報告書で、架け替えは、初期投資は大きい橋梁の寿命が大幅に伸びること (30 年→75~100 年)、また、毎年かかる維持管理費が少なくて済むことから、架け替え案が望ましいと結論付けられた。

この時点で提案された橋梁の構造は、比較的支間の短い PC 高架橋であった。しかし、この案は「竹馬高速道路」(freeway on stilts) と住民や政治家に酷評され、美観上から受け入れられなかった。そこで、メトロポリタン交通委員会 (MTC) に「技術・設計顧問パネル」(the Engineering and Design Advisory Panel) を設置し、設計コンペを行った。その結果、現在工事が進められている案が選ばれ、既存の橋梁の北側に建設されることになった。

東部スパン架け替え工事は、20 の契約に分割して発注され、2002 年 1 月から順次着工された。1.9km と延長の長い PC 高架橋の部分は Kiewit-FCI-Manson (KFM) の JV が受注し、2007 年には概成している。

しかし、プロジェクトの中心となる SAS の上部工については紆余曲折があった。2002 年に行われた SAS 上部工（主塔、ケーブル、桁およびデッキ）の最初の入札には一社だけが参加、発注者の推定額 7.8 億ドルに対して 14 億ドルの札が入り、関係者はショックを受けた。当時、世界のセメントの 40%を消費する中国国内の建設ブームで、コンクリートや鋼材の世界的な急速な値上がりを受けたことによる。

2004 年、カリフォルニア州のアーノルド・シュワルツネッガー知事は予算不足を宣言、通行料金の値上げによる財政措置や建設費削減のため、より一般的な斜張橋あるいはより安価な高架橋案などの検討を求めた。しかし、構造物の変更は再設計にさらに 2~3 年かかるうえ、径間を短くすると航路を利用する沿岸警備隊（Coast Guard）など関係者との調整の見通しも立たないなどの理由で、構造案の見直しは見送られた。

2006 年、シュワルツネッガー知事は SAS 主要部の製作を中国など外国に外注して建設費を低く抑えるため、“Buy America” 政策を押し付けられる可能性のある連邦政府補助をあきらめることを決定、さらなる料金値上げによる財源確保を前提に、同年 3 月に再入札を行った。その結果、既存のベイブリッジを建設した American Bridge とテキサス州ダラス近郊に拠点を置く世界規模のエンジニアリング会社 Fluor Enterprises からなる JV が落札し、2006 年 5 月に着工した。

ベイブリッジを含む湾岸地域の有料橋の通行料金（週日、ピーク時間外の普通車）は、ロマ・プリータ地震直前の 1988 年は 1 ドルであったが、震災後の 1998 年、2004 年、2007 年にそれぞれ 1 ドルずつ値上げされ、その値上げ分の 3 ドルが、湾岸地域の 7 橋の有料橋のうちの 5 橋の耐震補強工事に充当され、ベイブリッジを除くほかの橋梁は、2013 年 3 月までにすべて完了している。

## 事業の概要

事業名を Seismic Safety Projects と銘打っているように、州交通局（Caltrans）は事業の目的を「1500 年に一度起こるような大地震にも耐えて、150 年のライフスパンを持つ橋梁を目指す」こととした。

東部スパン架け替え工事の対象区間 3.5km は、4 つの構造物のコンポーネント、すなわちエルバ・ブエナ島側からトンネル（二層式）から自定式吊橋（平面式）に至る移行区間（YBI Transition）0.8km、世界でも類を見ない単柱の自定式吊橋（SAS）0.624km、PC 高架橋（Skyway）1.92km およびオークランド着岸区間（Oakland Touchdown）0.2km で構成されている。既存の橋梁群は方向別に上下に分離された二層式であったが、新しい東側区間は平面で往復分離された 10 車線の高速道路となるので、二層で運用されている西側区間の吊橋とトンネルに接続するには平面から二層への移行が必要となる。



ベイブリッジ一般横断面図

（出典：Fact Sheet / Seismic Innovations & Enhancements / CALTRANS）

SAS と PC 高架橋 (Skyway) の東行き (南側) デッキには、オークランドとエルバ・ブエナ島を結ぶ幅 4.6m の自転車・歩行者道が設置され、さらに高架橋に 5 カ所、SAS に 2 カ所の展望台が設置される。

デッキの下部には 4 つの可動足場 (Travelers) を設置し、定期的な塗装の塗り替え、維持作業、監視活動に用い、目標とする 150 年のライフスパン確保に努める。また、維持作業で出るゴミを湾内に落とさないようにする配慮もなされている。

自定式吊橋は、19 世紀の中頃にオーストラリアで開発された技術で、斜張橋が開発される第二次大戦のころまでは、アンカレッジを取るのが困難な場所の中規模スパンの橋に多用された。特にドイツでは 20 世紀前半にライン川で多用されている。日本でも、1990 年 (平成 2 年) に全長 540m、センタースパン 300m の 3 径間連続自定式吊橋「此花 (このはな) 大橋」が大阪港に架けられている。

自定式吊橋は、橋床をすべて設置して初めて自立するので、長期間の架設工事が必要となるが、巨大なアンカレッジが不要のため、サンフランシスコ湾のように軟弱な海底では自定式吊橋の方が耐震性に優れていると判断された。しかし、普通の吊橋は主ケーブルのアンカーを取ってあるので吊りケーブルを介してデッキを吊っていくことができるが、自定式の場合は道路床を最初に設置しておく必要があるため、大規模な仮設工 (支保工) が必要となる。SAS の場合、35,200 トンのデッキを支えるため、20,000 トンの支保工が必要となった。また、支保工からケーブルへの荷重の移動は人海戦術で行われ、SAS では 200 本の吊りロープのうち 104 本のロープに荷重がかかったところでデッキは支保工から離れ出し、残りの 96 本は荷重の配分が均等になるように調整するために用いられた。

自定式吊橋 (SAS) の主な仕様は以下のとおりである。

東側の主径間が 385m、西側の側径間が 180m で、60m 幅、往復 10 車線の道路デッキを 127 本のワイヤを束ねたプレハブ・平行線ストランド 137 本で構成された全長 1,400m、直径 80cm の主ケーブルで吊っている。

主塔の高さは海面上 160m で、五角形断面の独立した 4 本の柱は主塔の内部にも光が当たるように細く、かつテーパがついており、地震時のエネルギーの分散・吸収の機能を持たせるために独立して動くせん断連結ビーム (Shear Link Beams) で連結して主塔の機能を持たせている。一定以上のせん断力がかかると、ビームが壊れて 4 本の柱が別々に動き、地震動に耐える構造となっており、壊れたビームだけを交換すればよいとしている。また、地震時に主塔とデッキが接触しないよう十分なスペースが確保されている。

プレハブ・ストランドは、まず西行きデッキの東端に固定され主塔頂部のサドルを通し、西側デッキ端部を回して東行きデッキから主頭頂部にあげ、最後に東行きデッキの東端に固定される。したがって、メインケーブルは SAS の東側だけで固定されることになる。

SAS は 2006 年 5 月に着工された。米国は、長い間、大型橋梁部材の製作能力を無視し続けていたのに対し、中国は将来の国内、海外の需要を見越して大型の橋梁製作工場を整備し、安価な労働力を使って大型の橋慮部材を製作できることから、ケーブル、主塔、デッキなど SAS の主要部分は中国の上海振華重工 (集団) (Shanghai Zenhua Heavy Industries) に外注しており、その他日本、英国 (主塔上のサドル)、ドイツなどからも資材を調達している。製作の最盛期には、

州交通局 (Caltrans) や受注した業者から約 200 名の技術者が上海に派遣され、製作の監督、指導に当たった。

現場では 2009 年 8 月に支保工が完成、2011 年 11 月、中国から運び込まれたデッキが支保工の上に設置され、2007 年までに出来上がっていた PC 高架橋 (Skyway) と連結されたことにより、オークランドから SAS までは物理的につながった。しかし、この時点ではまだ吊橋になっていない。

主塔は 2010 年 7 月に中国からバージで運ばれ、据え付けられた。2011 年 5 月に主塔天端にサドルが取り付けられ、主ケーブルが架設された。全ての荷重が支保工からケーブルに移され、完全な自定式吊橋の構造となったのは 2012 年 11 月 20 日である。

橋梁製作の外注に当たっては、「Made in China に米国人の仕事が奪われた」などの厳しい批判が出たが、発注者の Caltrans は、外注により 4 億ドルが節約できたこと、米国はもともとこれほど大規模な橋梁を製作する能力を持っていないこと、架け替え工事の資材全体で見ると中国、日本、英国、ドイツへの外注分は 25%に過ぎず、75%は米国产であることを理由に、外注の正当性を主張している。

最終的には 72 億ドルにも上ると見込まれる大事業は、2013 年の労働祭 (9 月 2 日) の供用を目指している。

#### [参考資料]

- ・ 国際建設情報／2013 年 2 月 「サンフランシスコ・ベイブリッジ架替プロジェクト」
- ・ The San Francisco-Oakland Bay Bridge Seismic Safety Projects  
CALTRANS, Bay Area Toll Authority, California Transportation Commission
- ・ Eastern span replacement of the San Francisco-Oakland Bay Bridge - Wikipedia