

サンフランシスコ・オークランド・ベイ橋建設とチーフ・エンジニア、パーセルの研究

A Study on San Francisco Oakland Bay Bridge Construction and Chief Engineer Purcell

中川良隆

By Yoshitaka Nakagawa

筆者は第 24 回土木史研究発表会で、「ゴールデンゲート橋建設とチーフ・エンジニア、シュトラウスの研究」を発表した。ゴールデンゲート橋と同時期に建設された、サンフランシスコ・オークランド・ベイ橋は瀬戸大橋のお手本と言われた 2 連の吊橋で構成される全長 6.7km の有料道路橋（当初は道路鉄道併用橋）である。ゴールデンゲート橋とは異なり、連邦政府、州の合作事業である。多数の -50m を越す大水深下部工基礎があるにもかかわらず、わずか 3 年半の工期で完成させた。

この事業の中心人物、チャールス・H・パーセルは橋梁・道路技術者として、ベイ橋建設のみならず、アメリカの高速道路網整備に貢献した。ゴールデンゲート橋、瀬戸大橋との対比をまじえて、大規模橋梁プロジェクトのマネジメントのあるべき姿を述べる。

1. はじめに

サンフランシスコ湾を跨ぎ、サンフランシスコとオークランドを結ぶサンフランシスコ・オークランド・ベイ橋（以下ベイ橋と称する）はその歴史、規模、技術的難易度、連邦・州の合作事業の割に目立たない橋である。ベイ橋の西わずか 8km の位置に同時期に建設された、優美なゴールデンゲート橋が一手に注目を集めているためである（図-1 参照）。

ゴールデンゲート橋建設は前著¹⁾に述べているように、当時、技術的に不可能と言われていた。後にチーフ・エンジニアとなるシュトラウスの熱烈な促進運動により、周辺住民の賛意を得て資金的問題を克服し、さらに技術的困難を乗り越え短期間に完成した。

したがって、ゴールデンゲート架橋とシュトラウスについて記した資料は沢山あるが、ベイ橋とチーフ・エンジニアのチャールス・H・パーセルについての纏った文献はない。資料としては、技術的には参考文献に示すベイ橋のアンニアル・リポート、エンジニアリング・ニュース・レコード誌（以下 ENR と称する）、パーセルについては新聞やネブラスカ大学校誌等である。

本論文はこれらを取り纏め、カリフォルニア州有料橋公社が初めて建設した有料橋のベイ橋建設来歴（主に有料道路橋として）、チーフ・エンジニアのパーセルの働き、超急速施工を可能にしたマネジメントについて紹介し、大型橋梁プロジェクトのマネジメントのあるべき姿を述べる。

2. ベイ橋の概要

ベイ橋はサンフランシスコとオークランドを結ぶ道路鉄道併用橋（当初：普通車両用 6 車線、重車両用 3 車線、都市間鉄道複線：図-2 参照：1958 年の BART 開通により鉄道は撤去され、往復 10 車線に変更）である。サンフランシスコより 2 連の吊橋（中央径間 704m）でイエルバ・ブエナ島に渡る西橋は、全長 3,141m ある。イエルバ・ブ

エナ島は延長 162m の 2 階建てのトンネルで通過する。同島からオークランドは中央径間 426m のカンチレバー・トラス橋を含む全長 3,113m の東橋で構成されている（図-3 参照）。

事業および技術の特徴は以下の通りである。

（1）事業の特徴

ベイ橋は連邦復興資金と一部州ガス税債権を使用して、州有料橋公社が建設した。一方、ゴールデンゲート橋はデストリクト（特別行政区域）に参加を表明した郡の住民の責任（計画費用として、当初の一人当たり 5 ドルの徴税。事業がうまくいかない場合、課税されることがある）で建設された。

（2）技術的特徴

- ①瀬戸大橋の南北備讃瀬戸大橋の手本といわれる 2 連の吊橋（ただしベイ橋はケーブル非交差アンカレッジ。南北備讃瀬戸大橋はケーブル交差アンカレッジ）。
- ②水面下 60m 以上の大水深基礎が 3 基あり、オープンケーソン工法で掘り下げた。基礎工事には潜水夫が活躍し、底面清掃等の大深度潜水を数多く行った。
- ③道路部分は 1933 年 4 月 28 日契約、1936 年 11 月 12 日開通の工期 3 年 6 か月間の急速施工であった。また鉄道部分は遅れて、1936 年 2 月に鉄道会社と州有料橋公社が建設契約を締結し、1936 年 12 月建設請負契約が結ばれた経緯があり、1939 年 1 月 15 日の開業であった。

3. 架橋計画の歴史

（1）架橋計画の歴史

以下に架橋計画の推移を述べる。

- ①ベイ橋の建設計画の歴史は 1848 年の金発見によるゴールドラッシュの時代に遡る。1851 年サンフランシスコ・ヘラルド紙の編集者ウィリアム・ウオーカー^{2a)}がポンツーンをアンカーした浮橋を提案し、サンフランシスコ市長が支援したのが架橋計画の嚆矢である。この年にサンフラ

*Keyword: サンフランシスコ・オークランド・ベイ橋、パーセル、建設記録、人物史

**正会員 工博 東洋大学工学部環境建設学科（〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100）

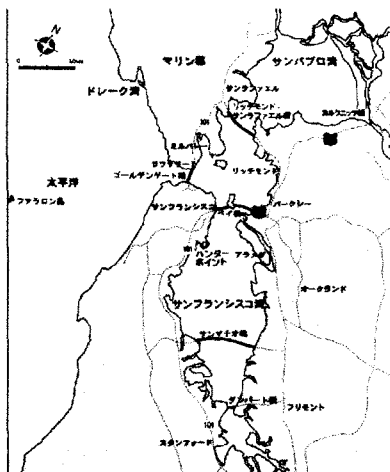


図-1 サンフランシスコ湾の橋梁

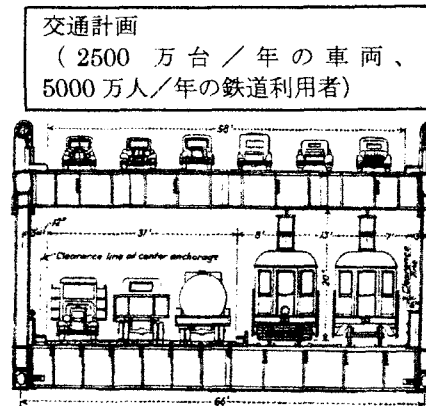


図-2 橋桁断面図(当初)

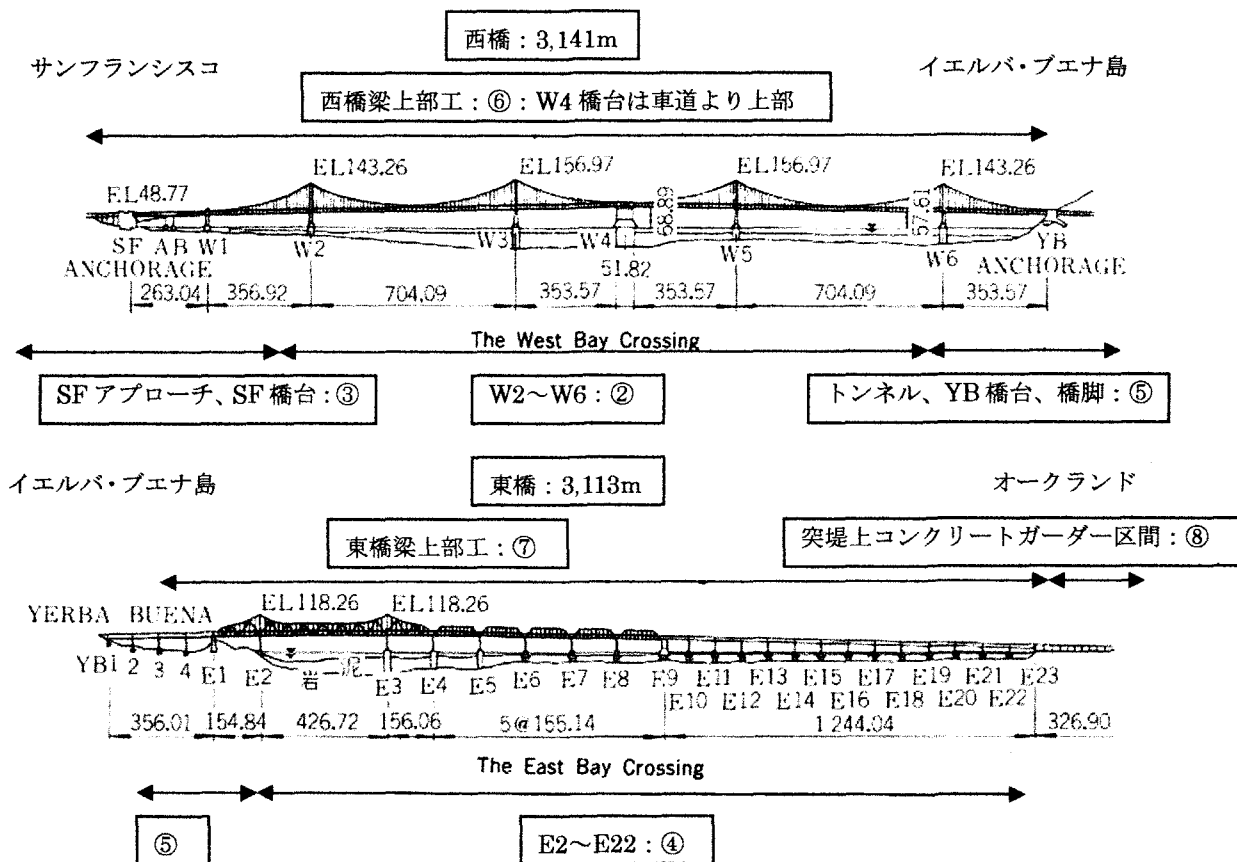


図-3 ベイ橋側面図と主要工事区分(注: ②~⑧は契約番号, ②、④は5社JV他は単独会社。⑥・⑦は同一会社)

ンシスコ・オークランド間にフェリーが開業した。

②最初の大陸横断鉄道がオークランドに到達したのは1869年である。それに触発され、同年8月18日、自称アメリカ合衆国皇帝ノートンI世^{2a)}がオークランド・デイリー・ニュース紙へ架橋命令を掲載した。

③1871年サンフランシスコ郡スーパーバイザー委員会がベイ橋の調査をきめた。この後、大きな動きはなかったが、サンフランシスコ湾周辺の経済活動が盛んになった^{2d)}。

④1916年、連邦軍事局がベイ橋の架橋申請の公聴会を開催した^{16a)}。この時代は民間資金で架橋が行なわれており、サンフランシスコ周辺の橋梁はサンフランシスコ郡のスーパーバイザー委員会がフランチャイズ権を与えていた。

⑤1920年のサンフランシスコ・オークランドのフェリーによる輸送は車両77万台、乗客4226万人であった^{16b)}。ちなみに本四連絡橋・大鳴門橋開通前の1984年の本四間輸送人員は2884万人である⁴⁾。

⑥1920年代初頭、軍事局からの15万ドルの援助で、ビヴォンド・デービスとラルフ・モジェスキが湾岸の連絡橋計画を行った⁵⁾。

⑦1921年10月7日、軍事局のデキーネ大佐が主催する公聴会で13案のベイ連絡路計画の審査が行われた。モジェスキの外にリデンタール等の著名なエンジニアが参画し、トンネル4案、コンクリート高架橋5案、コンクリート浮体1案、鋼製カンチレバー橋2案、コンクリート・ア

一チ橋 1 案があったが、結論は棚上げ⁶⁾された。

⑧1924 年 5 月、軍事局のゴールデンゲート架橋の公聴会が同じ、デキーネ大佐の主催であり、同年 12 月 20 日、軍事局長官が建設同意を与えた^{1a)}。

⑨1925 年 11 月、サンフランシスコのスーパーバイザー委員会の要請で軍事局のシュルツ少佐を委員長とする公聴会が行われた。13 案の提案があり、多くの著名エンジニアが参加した。鋼製トラス案が 9 案、トンネル或いは併用案 3 案、吊橋案 1 案であった。結論は棚上げ⁸⁾された。

⑩1926 年 9 月から 10 月にかけて、サンフランシスコのスーパーバイザー委員会は民間資金による公募を行い、17 の申請に対しての公聴会を実施した。鋼製トラス案が主流でトンネル 2 案及び吊橋案が 3 案あった⁹⁾。

⑪1927 年 2 月スーパーバイザー委員会は提案の整理と条件の確定のため、3 人の著名エンジニアを選定し、エンジニアリング委員会を組織した。5 月、同委員会は 3 つの路線を選定した。これらは後に述べる軍事局の規定するハンター・ポイント以北である。さらに海底ボーリングをすることを提言した¹⁰⁾。

⑫1928 年 8 月のサンフランシスコ・スーパーバイザー委員会に 38 の架橋申請があった^{16c)}。

⑬1929 年 6 月州有料橋公社が設立され、ベイ橋の建設は公社で行われることになった^{16c)}。

⑭1929 年から 1930 年のフーバー・ヤング委員会で橋梁計画のうち西橋は（6 径間トラス橋 2 案、中央支間 1250m の 3 径間吊橋案、4 径間吊橋案、5 径間吊橋案、6 径間吊橋案）の 6 案、東橋は（3 径間トラス橋案 3 案、吊橋案、アーチ橋案）の 5 案が検討された^{16d)}。

⑮1930 年にフェリーで 463 万台の車両および 4499 万人の乗客を運んでいた^{16b)}。

以上記述したように需要の多さから、多数の提案がなされた。これがゴールデンゲート橋と大きく違うところである。また従来の民間資金による建設から、州公社が連邦復興資金および州ガス税債権を使用した建設となった。ゴールデンゲート橋との比較をまとめたのが、表-1 である。

表-1 ベイ橋とゴールデンゲート橋の公聴会提案件数

	ベイ橋梁	ゴールデンゲート橋
規模	延長 6.4 km	延長 2.8km
用途	道路鉄道併用	道路
建設期間	1933.4～1936.11	1932. 11～1937. 5
公聴会への提案件数	1921 年 13 件 1925 年 13 件 1926 年 17 件 1928 年 38 件	1924 年 1 件
事業主体	州有料橋公社	デストリクト

(2) 連邦軍事局の判断

サンフランシスコ湾岸には多くの陸海軍の基地がありまた、重要商業港湾として、多数の船舶が航行していた。連邦軍事局（1947 年に陸軍に統合）は船の航行や軍の兵站到に影響を与える可能性のある、構造物建設の許認可権を持っていた。前記したように、1916, 1921, 1925 年に軍事局

は架橋の公聴会を開催したが認可をしなかった。

軍事局は 1921 年 12 月にサンフランシスコ湾岸の架橋計画に以下のような制約条件を決定した⁷⁾。

①サンフランシスコのダウン・タウン南方約 6 km のハンター・ポイントより北の橋梁建設は認めない。

②サンマテオより北に桁下空間の低い橋梁は認めない。

③水面下 15m 以深ならトンネルはどこでも可能である。

④トンネルと橋の複合構造物は 900m 以上の航路がサンフランシスコ側に確保され、トンネルが水面下 15m 以深なら可能である。

⑤サンマテオ以北に 2 つ目の横断路は認めない。

これらの条件がベイ橋建設の大きな障害となり、架橋のためには変更が必要条件であった。このため 1927 年 7 月、ラルフ・サンフランシスコ市長がワシントンで、陸海軍に軍事局が決めた架橋制限の緩和を求めたが、10 月拒否された経緯がある^{16c)}。しかし後に述べるフーバー・ヤング協定の後押しで、1932 年 1 月、ベイ橋架橋計画を許可した^{16e)}。

(3) カリフォルニア有料橋公社設立

サンフランシスコ湾・サンパブロ湾を横断するサンマテオ・エイワード橋、カルクニッツ橋、ダンバートン橋は民営の有料道路橋であった。これらは、州あるいは郡等の地元自治体がフランチャイズを許可して、民間が経営していた。“その建設費は公共事業で実施したよりも高く、株主配当金は、公的借入金の利率よりも異常に高い。その結果、通行利用者にしわ寄せがきている。さらに州のハイウエー網の計画に合致しておらず不便さをもたらしている”との批判があった¹¹⁾。このため民営の見直しが図られた。

1928 年カリフォルニア州のハイウエー・エンジニアとなったパーセルは 1927 年より継続しているカリフォルニア州・ハイウエー委員会の一員として、有料橋公社法制定の検討を行った。その内容は以下の通りで、ニューヨーク市港湾公社の方式を導入したものである。

①既設の民営有料道路橋の買い取り。

②新設の有料道路橋の建設。

③これらの費用に充当するリベニューボンドの発行。

④ボンドの償還に通行料金を当てる。

⑤公社は州公共事業局の管轄に置く。

これが、カリフォルニア州有料橋公社法として、1929 年 6 月州知事の署名で発効し、ベイ橋が州有料橋公社により建設されることとなった¹²⁾。

(4) フーバー・ヤング協定^{16c)}

1929 年 10 月に、スタンフォード大学出身でカリフォルニア州に馴染みのある共和党のフーバー大統領と、同じく共和党のヤング州知事が、カリフォルニア州の公共事業推進のための“フーバー・ヤング協定”を結んだ。同協定では、水資源開発やベイ橋建設を検討した。連邦政府、州の合作の事業である。これにより、ベイ橋に対する軍事局の制約が緩和された。

同協定でフーバー・ヤング委員会が設立され、事務局長にパーセルを指名し、ベイ橋の事業計画を検討した。1930

年 8 月²⁶⁾、委員会はベイ橋建設事業の経済性・技術的可能性について有望と答申した。この時の事業費は 7500 万 \$ であった。

(5) ベイ橋建設法案

1931 年ベイ橋建設法案が議会で成立した。その内容は以下の通りである¹⁹⁾。

①65 万ドルの州貸付のローンによる地質調査等の予備調査の実施。

②ベイ橋は州ハイウエー網の一環とする。

1932 年 12 月連邦復興資金は道路橋部分の 6140 万 \$ の支出に合意¹⁶⁾した。なお公的資金の導入は大恐慌のため金利の安い民間資金を得ることが困難になったためである。ちなみにゴールデングート橋は民間金融機関からの調達であった。連邦復興資金は 1932 年 12 月に道路橋部分と鉄道部分に 7140 万 \$ の融資に合意。さらに両側接続道路部分に 660 万 \$ の州ガス税債権を可決した²⁷⁾。

4. チーフ・エンジニア、パーセル^{22) 23)}

ベイ橋のチーフ・エンジニアとなったチャールス・ヘンリー・パーセルは、1883 年 1 月ネブラスカ州ノースベントに生まれた。穀物商と銀行を営んでいたジョン・パーセルの長男で 3 歳のときにジョンが死んだ。

1900 年に地元のネブラスカ大学に入学し、1 年間教養課程の科目を学んだ。しかし将来のコースを決めかねて大学を中退し、シカゴに行き 1 年間働いた。1902 年秋、構造工学を学ぶためスタンフォード大学に入学し、1 セメスター構造工学を学んだ。しかし 1903 年 1 月、母のマリー・パーセルが死に、学費が続かなくなってスタンフォード大学を退学し、同年 2 月ネブラスカ大に再入学した。在学中は週末とか長期休暇の間、バーリントン鉄道会社のドラフトマンとして働き、学費を稼いだ。そして 1906 年ネブラスカ大学のシビル・エンジニアリング学士として卒業した。

卒業後ただちに、ワイオミング州のユニオン・パシフィック鉄道会社で橋梁建設の現場のエンジニアとして働いた。その後、設計技師としてネバダ・コンソリデーション・コッパー社に入社し、1907 年より 2 年半プリンシパル・アシスタント・チーフ・エンジニアとしてペルーの鉱山で働いた。さらに短期間カリフォルニア州とワシントン州で働いた後、1911 年オレゴン州ポートランドに移り、コロンビア川森林鉄道のチーフ・エンジニアとして多くの橋梁を建設した。

1913 年、オレゴン州ハイウエー・デパートメントの初代のブリッジ・エンジニアとなる。この後、38 年間官僚生活を送った。ブリッジ・エンジニアから、州ハイウエー・アシスタント・エンジニアとなり、オレゴン州で最初の舗装道路をジャクソン郡に建設した。

しかし 1915 年、橋梁建設費が高すぎることで解雇されたが (オレゴン・ディリー・ジャーナル紙はパーセルの行動は高潔であると賞賛)、すぐにマルチノマ郡のブリッジ・エンジニアとなりコロンビア川ハイウエー・プロジェクトを指揮した。ここで、中央径間 51m のモフェット川の

名瀑の上に架かる優美なコンクリート・アーチ橋を建設して橋梁技術者として注目を浴びた²⁴⁾。

1918 年、連邦公共道路省のブリッジ・エンジニアになる。1920 年、同省の地域担当エンジニアになり、ポートランド事務所を基地として、オレゴン・ワシントン・モンタナ・ノースダコタ・アラスカ州の国有林とパーク・ハイウエーの連邦基金の支出の監督を行った。

1928 年 2 月、カリフォルニア州知事ヤングからの要請によりハイウエー・エンジニアになる。ここで彼は前記したように州有料橋公社設立とベイ橋建設の計画担当となり、さらにベイ橋建設委員会の事務局長に指名され、計画と設計の中心的役割を果たした。その結果、1931 年 7 月チーフ・エンジニアになり、鉄道開業後の 1939 年 7 月まで指揮を執った。なおチーフ・エンジニア就任時の年俸は 1 万ドルであった。

この間の 1932 年、州ブリッジ・エンジニアの F. ハンホーストとともに州道 1 号線のモンテレーから南方 24km のビッグバイ・クリークにかかる主径間 110m のコンクリート・アーチ橋 (図 4) を完成させた。さらにこのルートで多くの優美な橋を架け、橋梁技術者としての名声を高めた¹⁴⁾。

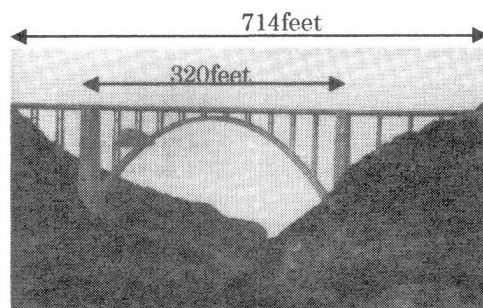


図-4 ビッグバイ・クリーク橋

ベイ橋の鉄道開業後、サンフランシスコ市長ロッシより交通問題対策コンサルタントとして、年棒 2 万ドルで 5 年契約の条件で招聘されるが、健康問題から辞退した³³⁾。その後、1943 年州公共事業局長、州ハイウエー委員会議長となる。そして 1928 年に 4800 マイルであったカリフォルニア州のハイウエー網を、1950 年には 14000 マイルに作り上げた。

連邦での彼の仕事は、1937 年に農業省長官ウオーレスによる「連邦のハイウエーの安全と有効利用の 12 人委員会」のメンバーに選ばれ、国家のハイウエー計画に寄与した。さらに 1941 年にルーズベルト大統領指名の「国家地域間ハイウエー 7 人委員会」のメンバーに指名され、いわゆる全米 4.2 万マイルのアイゼンハワー・インターステート網の答申をした。この間の 1928 年から 1951 年まで AASHO (American Association of State Highway Official) の理事会のメンバーであり、米国の道路技術、行政の中心的位置を占めていた。

彼の技術的貢献に対して、1935 年ネブラスカ大学が名誉工学博士号を授与。さらに 1937 年彼のハイウエー行政に対してカリフォルニア大学が名誉法学博士号を授与した。

また 1946 年ハイウエー事業の推進に最も貢献した人を讃えるパートレット賞を授与された。
パーセルは最晩年、神経衰弱と心臓病にかかり、1951 年 9 月の心臓発作での死去 5 週間前まで現役として働いていた。68 歳であった。

5. ベイ橋の架橋技術と建設費、資金調達

ベイ橋の架橋技術のポイントは大深度橋梁基礎の構築と急速施工である。

(1) 架橋技術

a) ベイ橋建設のための技術チーム

① ハイウエー・デビジョン

前記したようにチーフ・エンジニアのパーセルは 1928 年 3 月の州ハイウエー・エンジニアの就任とともに、ベイ橋建設事業の計画・設計を指揮し、1931 年 8 月チーフ・エンジニアに就任した。ハイウエー・デビジョンからチャールス・アンドリュースがブリッジ・エンジニアにデザイン・エンジニアとしてグレン・ウッドロフが参加。この 3 人が工事完成の 1939 年 7 月まで指揮を執った¹⁵⁾。

② コンサルタント委員会¹⁶⁾

1931 年 8 月、チーフ・エンジニアの指名と同時期、コンサルタント委員会が結成された。委員長はベイ橋の建設計画に 1910 年代後半から関わっていた、カムデン橋のチーフ・エンジニア、ラルフ・モジェスキー。委員は、同じく架橋計画を提出していたカリフォルニア大学バークレー校のエンジニアリング部長で、カーキネス橋のチーフ・

エンジニア、ゴールドゲート橋のコンサルタントのチャールス・ダウレス教授。吊橋の設計理論の大家でジョージ・ワシントン橋、ゴールドゲート橋のコンサルタント、崩壊したタコマ橋の設計者のレオン・モイセイエフ。ニューマチック・ケーソン等基礎建設分野で多くの実績と特許を持ち、カムデン橋、ジョージワシントン橋のコンサルタントも勤めたダニエル・モーラン。サンフランシスコの超高層ビルを数多く設計した建築家ブルニールである。

コンサルチング・アーキテクトはアーサー・ブラウン、T. プリュウガー、ジョン・ドノバンが指名された。

またサンフランシスコ大地震の震源となったサンアンドレアス断層の発見者でカリフォルニア大学バークレー校教授のアンドリュー・ローソンが地質コンサルタントとなった。

b) 大深度橋梁基礎の構築

① W4 基礎と中央橋台¹⁷⁾

西橋の中央アンカレッジ基礎 W4 (平面寸法 60m×28m) 位置は潮流速 3 ノット、水深 24m で海底は軟弱層が厚く、水面下 67m までオープンケーソンを掘り下げた。なお西橋でもっとも深い基礎は W3 の -68m (平面寸法 39m×22m) である。基礎構築にはモーラン発案のドーム・ケーソン工法を使用した。この構築物は当時モーラン・アイランドと称されていた。しかしモーランの工法は 1873 : デービッド・カニングハム (1873) 等の特許に抵触し、特許にはならなかった。

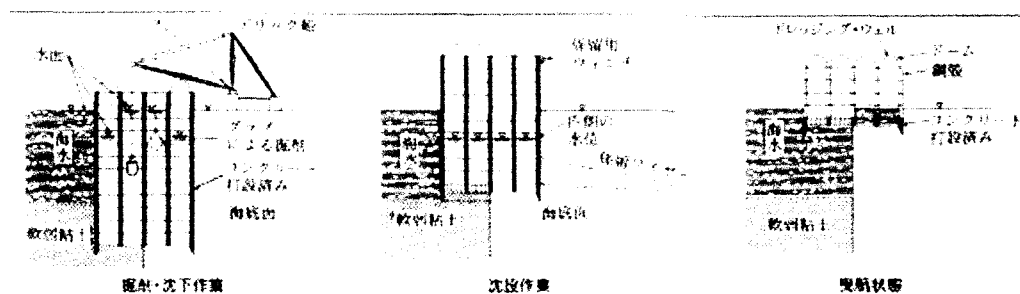


図-5 ドーム・ケーソンの施工法

アラメダの造船所で建造した鋼製ケーソンは図-5 に示すように、上部に鋼製蓋を取付け、ドレッシング・ウエル内部を圧気し、1933 年 11 月 8 日に現地まで浮上曳航し、現地でコンクリートを打ち足し、12 月 22 日着底させた。上部蓋を撤去し、隔壁コンクリートを打ち足しながらグラブ掘削を行い、ケーソンを沈下させた。この際、上部蓋を利用し圧気により、ケーソンの姿勢制御をした。ケーソンの沈降完了は 1934 年 6 月 17 日、2 か月間底面清掃の後、8 月 22 日シールコンクリートを打設し、9 月 9 日には +7.6m の頂版コンクリートを完了した。

中央橋台は高さ 86m で、2 層の中間床を持つ中空鉄筋コンクリート構造で、1935 年 2 月 13 日には 71.2m の頂上部までコンクリートを打設した。ちなみに南北備讃瀬戸大橋の最大の海中基礎は 7 A (75m×59m、基礎高 -50m) で、3 つのアンカレッジで最も高さの高い 4 A アンカ

レッジは水面上 87m (7 A は 76m) である。これらは中実構造である。

② E 3¹⁸⁾

ベイ橋東橋で最も地盤の悪い橋脚 E 3 (41m×24m) は水面下 69m まで掘り下げた。ここで用いた工法はフォールス・ボトム工法で、底蓋付のケーソンを現地に浮上曳航し、底蓋を撤去の後、掘削・沈降させ。海底地盤に着底後、約 6 か月で沈降完了した。

③ 大深度潜水

着底したケーソンの底面の清掃等は潜水夫で行った。この大深度潜水の潜水主任の給料は 1.5 万ドル/年 + 潜水深度の歩合給と大変高かった²⁰⁾。ちなみにパーセルの年棒は前記したように 1 万ドルであった。

④ 急速施工

急速施工のため下部工の鋼製ケーソン工法、吊橋補剛桁

の直下吊工法（最大 183 トン、146 ユニットを 1935 年 12 月 18 日～1936 年 4 月 30 日までに完了させた）等を採用した。またケーソン沈降、ケーブル架設工事は昼夜作業をした。上部工については、タワー、ケーブル、補剛桁、舗装を 1 工区とし、各工種をラップさせ、工程短縮を図った。

図 3 に示すように大ロット発注で、主要土木工事は、西橋・イエルバ・プエナ島トンネルで下部工 3 件、上部工 1 件。東橋は下部工 1 件、上部工 1 件。合計で 6 件の発注であった。その内 JV は西橋、東橋の下部工 2 件だけである。有料道路部分の契約件数は総計 22 件であるが、その中には維持管理用機械や交通標識等の小型工事も含まれている。以下に述べる瀬戸大橋と同じ規模（1 件当り発注金額／建設事業費：3 億円／8230 億円）で換算すると、15 件となる。

ちなみに瀬戸大橋の海峡部 9.4 k m の土木工事（8230 億円^{19a)}）のうち、3 億円以上の発注件数は 148 件である。そのうち 118 件は JV であり、30 件が単独会社への発注であった²⁰⁾（表－3）。橋梁規模の違いがあるが、ベイ橋の発注のシンプルさが分かる。

（2）建設費

主要工事の発注は 1933 年 2 月末から 3 月にかけて実施し、4 月 28 日に契約した。1932 年時点の建設事業費の予算（7760 万ドル）と実施（78530 万ドル）の内訳を表－2 に示す。

表－2 建設費の内訳^{16b)、31)}

	建設事業費〔単位：万 \$〕			
	有料道路部分		鉄道施設部分	
	予算	実施	予算	実施
建設	4860	4908	480	1363
用地	360	216	480	344
エンジニアリング、管理	320	132	60	93
予備費、保険等	50	162	機材	19
			450	
金利	600	565	100	51
計	6190	5983	1570	1870

（3）資金調達^{16b)}

1934 年時点の資金調達計画を以下に示す。

連邦復興資金：6140 万 \$（有料道路橋部分）

連邦復興資金：1000 万 \$（鉄道施設用）

州ガス税債権：660 万 \$（接続道路）

計 7800 万 \$

（4）返済計画^{16b)}

借入金 7100 万 \$、5 % の金利で、1937 年計画交通量 600 万台（1937 年 800 万台の計画。その他の 200 万台はフェリー利用）より、1937 年 800 万台、1943 年 1000 万台、1950 年 1260 万台の予測を立てている。都市間鉄道乗客は 3564 万人としている。車両 75 セント、電車乗客 2 セントとし、25 年で償還できると仮定したが、償還は 1955 年に当初より 8 年早く完了した²¹⁾。

6. 建設

1930～31 年に 65 万 \$ の資金を使い予備設計と地質調査を実施した。有料道路橋部分の工事は 1933 年 4 月 28 日に契約した。有料道路部分の完成は 1936 年 11 月 12 日である。工期は 3 年 6 か月。延べ労働時間 5485 万時間で死亡事故 24 人であった^{2b)}。この安全成績は瀬戸大橋の 7004 万時間に対して死亡者は 18 人には劣るが、しまなみ海道の 2833 時間に対して 13 人の死亡者に勝る結果である^{18b)}。

起工式のときパーセルは 1937 年 1 月の完成を宣言³⁾したが、それを約 2 か月短縮した。

7. 結果と考察

（1）急速施工

①驚くほどの大ロット発注により、発注者は請負工事の管理がしやすかった。また請負業者は、異工種をラップさせ施工することにより、工程短縮を図った。

②チーフ・エンジニアのパーセルはブリッジ・エンジニアのアンドリュー等とともに、1928 年の計画段階から主要メンバーとして架橋計画に参加し、都市間鉄道開業後の 1939 年 7 月まで直接指揮をした。したがってマネジメントの継続性が保たれ、有料道路開通を予定より 2 か月短縮を可能とした。

③急速施工ではあるが、現在に比べ安全設備や安全教育が不十分ではある 1930 年代としては立派な安全成績を収めている。

（2）予算の保持

①1934 年 3 月の ENR でパーセルは「独立採算方式のプロジェクトであるので、7500 万 \$ の予算の超過は許されない」^{16e)}と記述している。パーセルは事業の全期間に中心人物として関わり、この精神がプロジェクト遂行に浸透した。

②当初に主要工事を発注し、全体事業費を早く確定した（有料道路橋部分では建設請負金 4908 万ドルのうち約 80 % の金額の契約を当初の 2 か月で発注している。一方、瀬戸大橋の海峡部では 80 % に達するのは 7 年目²⁰⁾であった：表－3）。これにより予算管理が容易であった。

表－3 ベイ橋と瀬戸大橋の発注状況

	ベイ橋梁	瀬戸大橋海峡部
規模	6.4 k m	9.4 k m
工事費	5983 万ドル	8230 億円
発注件数	22 件 (内 JV2 件)	148 件（3 億円以上：内 JV118 件）
累計発注金額が総発注金額の 80 % に達した時期	2 か月目	7 年目

（3）事業記録の公開

パーセル、アンドリュー、ウッドロフの 3 人の連名で、ENR に、1934 年 3 月に事業の歴史・計画の報告を初めと

して、1937年5月の鉄道施システムまで、計画・設計・工事の状況を14編、総計A4で70ページにのぼる報告を提出し、事業内容を逐次詳細に伝えた。

またアニュアル・レポートとして、1934年7月の1巻から1939年7月の6巻まで各々約100ページの枚数で建設状況、事業の収支状況、道路開通後は運営維持管理状況も含めて、文章・図面・写真で分かりやすく進捗状況を説明している。

これはオーレスン・リンク建設で、発注者出版の工事誌の前文に「大規模インフラプロジェクトの経験を、次のプロジェクトに伝えるには、発注者がプロジェクトの設計プロセスから、工事完成までの実際の物語を、出版することが大切である」³²⁾と述べている。まさに64年前にそれをリアルタイムに実践している。

以上の結果から以下の考察を得た。

日米の風土の違いはあるが、大ロット発注(少数発注件数)と責任技術者の長期在籍、責任技術者の明快な工費・工期の宣言が重要である。

8. 参考文献

参考文献の、本文での表記は「文献名と参照頁の組み合わせ」としている。例えば、文献1)のpp.223は、a:pp.223より、1a)と表示する。

1)中川良隆:「ゴールデンゲート橋建設とチーフ・エンジニア、シュトラウスの研究」, 土木史研究講演集Vol24, pp219-230/a:pp.223, 2004

2) Richard Dillon etc: 『HIGH STEEL. BUILDING THE BRIDGES ACROSS SAN FRANCISCO BAY』, Celestial Arts, a:pp.8/b:pp.24/c:pp.16/d:pp.9, 1979

3) Henry Petroski: 『Engineers of Dreams』, Vintage Books, pp.340, 1996

4) 藤川寛之:『本州四国連絡橋のはなし』, 成山堂書店, p.152, 平成14年8月

5) ENR: Feature of San Francisco Bay Bridge Report, pp.268, 1921年8月18日

6) ENR: Thirteen Projects Submitted for San Francisco Bay Bridge, pp.739, 1921年11月3日

7) ENR: The San Francisco Bay Bridge Situation, pp.178-179, 1925年7月30日

8) ENR: Hearing on San Francisco Bay Bridge Project, pp.1086-1087, 1925年12月31日

9) ENR: San Francisco Bay Bridge Projects Total 17, pp.720, 1926年10月28日

10) ENR: Downtown Location Recommended for San Francisco Bay Bridge, pp.820-821, 1927年5月19日

11) ENR: Private Toll Bridges in Disfavor in California, pp.606, 1929年4月11日

12) ENR: State Ownership of Toll Bridges, New California Policy, pp.1048, 1929年6月27日

13) ENR: San Francisco -Oakland Bridge Project Speeded by Legislation, pp.227, 1931年8月6日

14) ENR: A 320-Ft. Concrete Arch on Scenic Route Along California Coast, pp.467-pp.470, 1932年4月13日

15) ENR: The San Francisco -Oakland Bay Bridge, pp.460, 1932年10月20日

16) ENR: San Francisco Bay Bridge, A REVIEW OF PRELIMINARIES Report, a:pp.371/b:pp.376/c:pp.372/d:pp.374-375/e:pp.377/f:pp.373, 1934年3月22日

17) ENR: Bay Bridge Foundations Built With Unique Domed Caissons, pp.431-pp.436, 1934年4月5日

18) ENR: Deep Open Caissons for Bay Bridge, pp.227-pp.233, 1934年8月23日

19) 本四公団:『本州四国連絡橋公団30年誌』 a:pp.674/b:pp.720, 平成12年10月

20) 本四公団:『瀬戸大橋工事誌』, pp.573-pp.591, 昭和63年10月

21) Social News:Nebraska Native Chief Engineer of San Francisco -Oakland Bay Bridge, The Wilder Republican, 1999年6月2日

22) The Nebraska Alumnus, Nebraskan Builds Bridge, pp.4, pp.19, 1934年9月

23) American National Biography, PURCELL, Oxford University Press, pp.493-494, 2002

24) http://trips.stateoforegon.com/multnomah_falls/highway.htm

25) San Francisco Oakland Bay Bridge, Report to the California Toll Bridge Authority, 1932年8月

26) First Annual Report San Francisco Oakland Bay Bridge, pp.12, 1934年7月

27) Second Annual Report San Francisco Oakland Bay Bridge, pp.58-57, 1935年7月

28) Third Annual Report San Francisco Oakland Bay Bridge, 1936年7月

29) Fourth Annual Report San Francisco Oakland Bay Bridge, 1937年7月

30) Fifth Annual Report San Francisco Oakland Bay Bridge, 1938年7月

31) Sixth Annual Report San Francisco Oakland Bay Bridge, pp.72-74, 1939年7月

32) Oresundsbro Konsortiet:『THE ORESUND TECHNICAL PUBLICATIONS - THE BRIDGE』, Oresundsbro Konsortiet, pp.5, 2000年7月

33) Allen's PRESS CLIPPING BUREAU 1939.2.7