

## Analysis of Southern Crossing Cable-Stayed Girder (湾南横断斜張橋の解析)

著 者	誌 名							ページ	図 数	表 数	抄 録	査 読	
C. Seim, S. Larsen, A. Dang	ASCE National Structural Engineering Meeting Preprint, 1971, 4.								3	2	原 田 康 夫		
											横 河 橋 梁		
分 類	1	2	③	④	⑤	6	7	8	9	10	11	12	備 考
	一 般	計 画	設 計	解 析	構 造	製 作	材 料	ケーブル	架 設	実 験	耐 風	その他	
	関連ある番号に○印を、特に詳細なものに◎印を付けた。												

### 1. 序 論

サンフランシスコ湾を横断する新しい橋梁が現在設計段階に入っている。この橋梁は、湾内にある他の主要な橋梁、すなわちゴールデンゲート橋、サンフランシスコ・オークランドベイ橋、新しくはサンマテオ・ヘイワード橋などの規模に相当するものである。設計はThe State Division of Bay Toll Crossingsの監督によるものであるが、ここでは施工管理や有料橋の運營業務も行っている。

この橋梁は San Francisco の南部を Alameda, Oakland, San Leandro などと結ぶものである(図 2 9.1)。架橋位置はサンフランシスコ・オークランドベイ橋の約 8 km 南方、サンマテオ・ヘイワード橋の約 16 km 北方である。

西岸の取付部は Hunters Point 付近から出て 8 車線 7.2 km の主橋梁に通じているが、主橋梁のうち 4 km は桁下高の大きい構造となっている。東岸の近くで 2 本の 6 車線取付部に南北へ分岐している。桁下高の大きい部分は、San Francisco 側の海岸線から 2.4 km 東側の主航路にあたる部分であり、航路幅 366 m、桁下高 (MHHW 上) 6.7 m となっている。主径間 396 m という現在 (1971 年) では世界最大の斜張橋がこの地にかけられることになろう。主橋梁の設計概念については文献(1)で議論してある。

### 2. 主構造

主桁は 3 径間連続の台形 2 箱桁であり、ケーブル定着点で矩形の横断方向固定梁と交差している(図 2 9.2)。主桁は 5.5 m の一定桁高を有し、そのスパン桁高比は中央径間で 1/7.2、中央のケーブル固定点間の支間に対して、1/2.5 である。デッキの総幅は 35.7 m であり、中央分離帯で 2

方向の 4 車線路面に分割されている。

主桁の上フランジは閉断面ミゾ形リブで補剛された鋼床版となっており、このデッキプレートは横断方向のケーブル固定梁の上フランジを兼ね、5 cm 厚の滑り止め舗装をしてある。

2 つのダイヤモンド形タワーはセル構造であり、主桁を支持するための水平材が入っている。東側タワーで主桁をピン支持しており、西側タワーにはロッカー支承と緩衝装置がついている。この装置はゆるやかな温度変化のもとでは緩衝効果を有するが、風荷重や地震荷重に対してはロックされ、支承として働く。

2 つのアンカーピラーには、ケーブルからのアップリフトに対して側径間を固定するためのタイダウン装置がついているが、温度変化による移動は可能となるようにしてある。

1 タワーにつき 4 本のケーブルがあり、これらは 2 つの面内で放射状に配置してある。ケーブルはタワー上で連続しており、タワーおよび主桁に固定されている。

おのおののケーブルは 19 本のストランドでできており、それらの最低弾性係数が  $1.54 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  となるようにプレストレスしてある。

### 3. 解 析

本橋は不静定立体骨組構造物として解析しているが、解析にあたっては、主桁をケーブル取付点で弾性支持された連続桁と考え、タワーはその基部で固定されているものとして、ICBS システムの STRUDL による。

斜張橋は、ケーブルが作用荷重に対して非線形な伸びを示すと同時に、タワーと桁が曲げと軸圧縮力を受ける梁-柱系となるので、非線形構造物である。しかし、このような非線形性は主として架設時に限定される。全死荷重状態での

ケーブルは緊張しており、それ以後の荷重に対するサグ変化は小さいので、活荷重に対する挙動は通常の場合きわめて線形性を保つ。主桁の活荷重たわみに対する二次的な影響をいくつかの条件のもとでチェックしたが、この橋梁については重要でないことが明らかになった。

架設時および死荷重に対する解析では、ケーブルの見かけの弾性係数を修正することによって、ケーブルのサグ変化にともなう非線形性を考慮に入れている。TungとKudderは、ケーブルを等価な2力部材として取扱うことにより簡易計算法を提案しており<sup>2)</sup>、STRUDLにも組込まれている。したがって、線形プログラムを利用して構造物の非線形解析を行うことができる。

死荷重たわみに対するキャンパーは、各架設段階のたわみを重ね合わせることで求められる(図2.9.3)。このようにして計算したキャンパーを、閉合状態確認のため2次理論を用いた電子計算機プログラムでチェックした。

構造物を質点と部材のつながりにモデル化することによって、STRUDLの平面および立体解析プログラムの両方で解析した。そのときの仮定は次のとおりである。

- 1) 鋼床版は主桁作用を行なう。
- 2) 主桁の中立軸はフランジ厚の変化に伴って、格点間で変化する。
- 3) St. Venant 純ねじりを用いる。

死荷重状態の解析に加えて、設計に用いる断面力の影響線を出している。

最終的なチェックは特別な2次理論プログラムを用いて行ったが、このプログラムでは、ケーブルをその張渡し曲線に沿ったチェーンとして扱い、実際の弾性係数を用いている。

#### 4. 主 桁

主桁の設計は繰返し手法によっている。仮定断面を最大組合せ応力に対しチェックし、それに伴って断面変更を行う。

2つの台形箱桁およびデッキプレートは、ケーブル取付点でケーブルから主桁に入る曲げと軸力に抵抗する断面として働く。架設時の張出し部分に残留する応力は、組合せ応力の計算を行う際に考慮してあり、これより張出し長の制限を2.5mとした。

主桁の板要素はBleichの方法<sup>3)</sup>によって以下のように座屈解析を行っている。

##### a 下フランジ

主桁の大部分は負のモーメントを受けており、下フランジは座屈で決定される。フランジとリブの局部座屈ならびに全体座屈のチェックをしている。

##### b 腹 板

長大スパン箱桁の背の高い腹板の設計については、実務的な手法がまだ確立されていないので、以下のような方法によった。

箱桁はダイヤフラムでソリに対して補強されており、腹板には縦リブがついている。したがって、腹板はダイヤフラムと縦リブで小さなパネルに分割される。

このパネルの座屈安全率は、圧縮応力とせん断応力の両者に対して1.5、圧縮応力かせん断応力のいずれかが単独に作用したときに1.85とした。

リブの設計は、補剛パネルの境界線で節ができるような力に対して十分な断面2次モーメントをもつようにしている。リブに腹板の有効幅を考慮した柱について、Euler式を用いて安定性のチェックをしている。

##### c デッキプレート

デッキプレートの最小厚を11mmとした。

610mm間隔の閉断面リブにより、デッキプレートの剛性は舗装を考慮しない場合に約1/640、5cm厚の舗装を考慮した場合に約1/800となる。重交通がこの橋梁に計画されていることから、上記のたわみ剛性を最小値として選んだ。最小板厚6mm、高さ300mmのリブを用いることによって、主桁の上フランジ作用をするデッキプレートは、橋のほぼ全長にわたって十分に主桁応力を伝達する。

ただし、ケーブル定着点付近では板厚を増す必要があった。6.1mという比較的大きな横桁間隔は、横断方向の溶接量を減少させるために選ばれたものであり、デッキプレートのスパンとしても問題ない。

##### d ケーブルアンカー用ビーム

ケーブルアンカー用ビームは主桁と同じ方法で設計している。さらに、板の降伏に関して、せん断力と組合さった2軸圧縮および引張の影響をチェックするために、Plate 2に示すHuber-Misesの式を用いている。

ケーブルのストランド定着点からの力の分布は、STRUDLの有限要素法プログラムによって解析している。

#### 5. タワー

塔柱の断面形状はやや六角形をしており、基部の7.3m

× 7.6 m 断面から頂部の 3.7 m × 3.8 m 断面へと一様に変化している。各塔柱は 4 室に分割されており、縦リブと高さ方向に 3 m 間隔のダイアフラムで、補剛されている。

タワーの解析は自立状態と全体構造の中の一部としての両者について行っている。設計方法は主桁の場合と同じである。

## 6. 模型実験

数値計算を補うために、1/40 000 の模型がカリフォルニア大学の W. G. Godden 教授のもとでつくられた。模型実験は完了しているが、その報告は出されていない。模型実験の目的は、静荷重、動的振動ならびにある程度まで架設中の挙動に対する数値計算結果を確認することである。

構造物の線形挙動に関する実験は、プログラムを始める前に独立して行った。ケーブル張力や主桁のたわみについての実測値によれば、完成構造物は静荷重に対して線形挙動を示した。

静荷重載荷による測定値は、主桁変位とケーブル張力の 2 つである。

節点荷重を主桁方向に移動載荷することによって、ケーブル張力の影響線計算結果を確認した。動的実験によって振動モードと自由振動数を得た。架設時の非線形性についても観察したが、この部分についてはさらに研究が必要であろう。

## 参考文献

- 1.) Seim, C., Larsen, S., and Dang, A., "Design of the Southern Crossing Cable Stayed Girder", Meeting Preprint 1352, ASCE National Water Resources Engineering, Meeting, Phoenix, Arizona, 1971
- 2.) Tung, H., and Kudder, R.J., "Analysis of Cables as Equivalent Two-Force Members" AISC Engineering Journal, Jan. 1968 Vol. 5, No. 1, pp. 12
- 3.) Bleich, F., "Buckling Strength of Metal Structures", McGraw-Hill
- 4.) The American Institute of Steel Construction, "Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges"

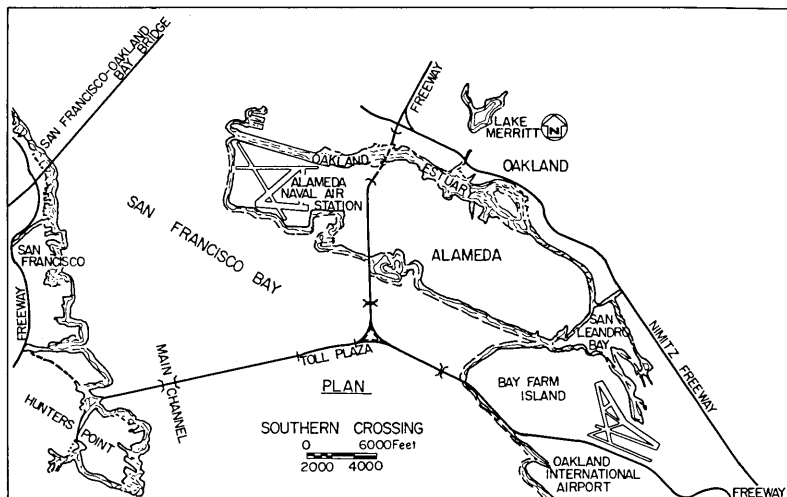


図 2.9.1 位置図

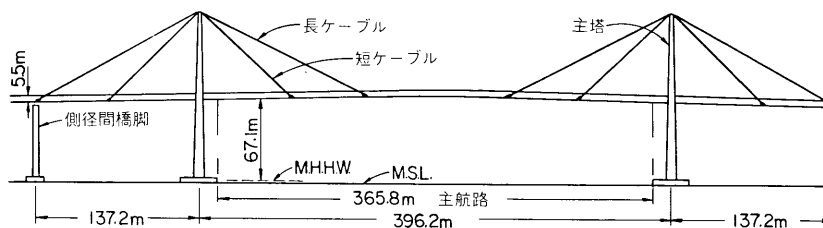


図 2.9.2 主構造断面図

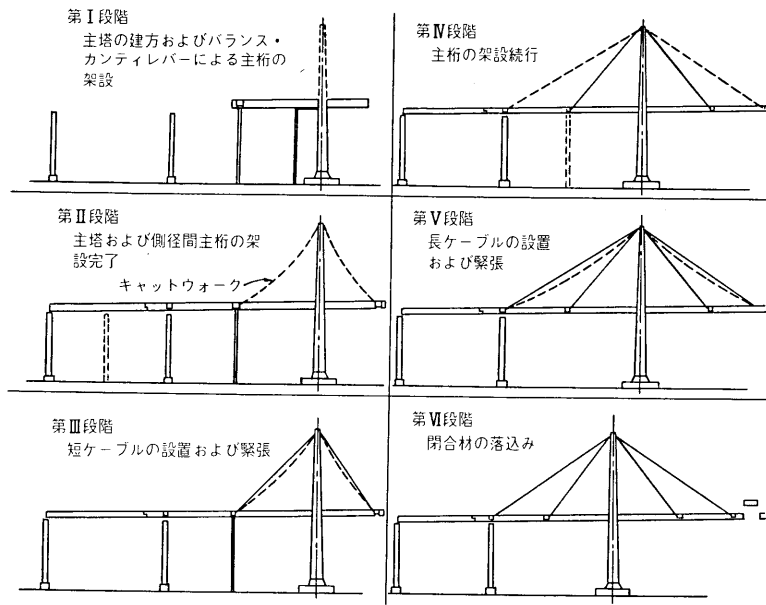


図 2 9.3 架設段階図