

# ゲイトウェイ橋の概要

## —FCCによる中央スパン 260 m の PC 橋—

木 村 康 宏\*  
得 能 達 雄\*\*  
坂 巻 明 人\*\*\*

### 1. はじめに

FCC は、Free Cantilever erection with Cables の頭文字をとったもので、PC 橋のカンチレバー架設を、プレストレスシステムとして PC ケーブルを用いて行う工法である。

工法の計画、設計、施工等に関する技術の向上を図る目的で、FCC 協会が、昨年 10 月設立された。

現在、オーストラリアで施工中のゲイトウェイ橋は、中央スパン 260 m であり、カンチレバー工法による PC 橋として世界最大級のものである(図-1)。同橋は、PC 工法として VSL 工法を採用しており、ケーブルシステムとしての利点を最大限に発揮したものとなっている。

FCC 協会では、協会設立に伴い、同橋の現場視察および調査を行った。ここに、ゲイトウェイ橋の概要を紹介する。

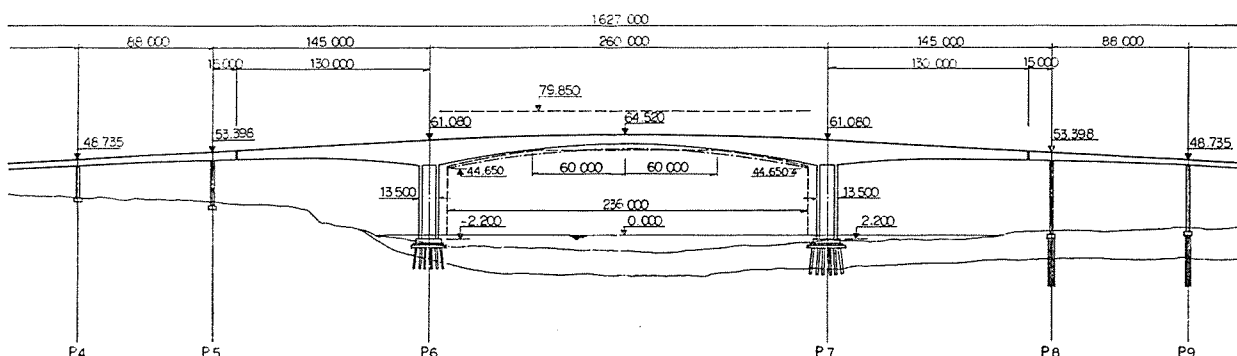


図-1 ゲイトウェイ橋一般図



図-2

### 2. プロジェクトの概要

ゲイトウェイ橋は、オーストラリアのクィーンズランド州の州都であるブリスベン市に架設される(図-2)。ブリスベン市は、人口百万を越えるオーストラリア第3の都市であり、市の中心部はブリスベン川により2分されている。市の発展に伴い、河口に建設される港湾施設に至る幹線道路として、また市のバイパスとして、ゲイトウェイ橋の架設が決定された。架橋位置は、河口より約 2 km、河口と市の中心部とのほぼ中間である(図-3)。

入札は財政的な事情から、設計、施工、および 30 年間の有料道路の管理運営まで含むターンキイという珍しい方式で行われた。架橋位置の北側に空港が近接することから、上方に空域制限、下方に航路制限をうけ(図-4)、橋梁形式の選定に大きな制約があり、このため、1979 年の入札時に州道路局より提示された橋梁案は、図-5 に示すようなものであった。橋脚の両側 100 m

\* 川田建設(株)専務取締役営業本部長  
\*\* 川田建設(株)工務二部工務二課課長  
\*\*\* 大成建設(株)土木本部設計部設計課係長

報 告

は PC 構造で、図に示されるように PC の箱形断面が三角形の PC パネルを背負った構造であり、ガンター橋（スイス）で採用されたようなステイパネル構造の一種

と考えられる。主径間の中央部および側径間の 60 m は、鋼の吊桁構造となっており、上記のような空間的な制約の克服に苦勞したあとがうかがえる。

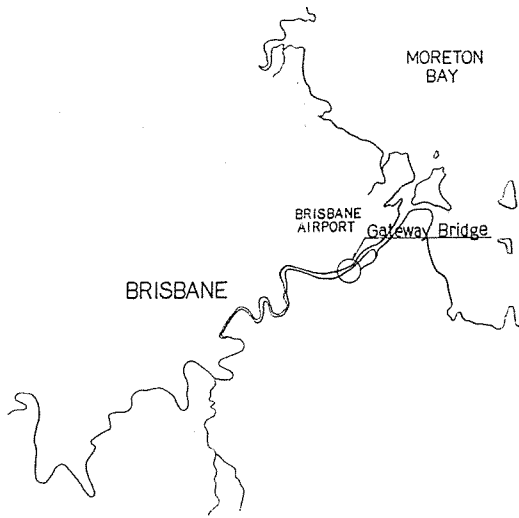


図-3 架橋位置

現在のような橋梁形式（図-1）は、代案として VSL オーストラリア社およびロージンガー社（スイス）によって、応札したコントラクターのトランスフィールド社に提案され、この代案をもとにトランスフィールド社が落札した。

設計は、ジョイントベンチャーのパートナーであるマクドナルドワグナー & プリドル (MWP) 社によって行われたが、MWP 社の依頼により、スイスのロージンガー社が、主径間部の上部構造およびメインピアの設計を担当している。

入札後、州道路局、トランスフィールド社、MWP 社により会社 (Gateway Bridge Company) が設立され、同社がゲイトウェイ橋のオーナーとなっている。

現在、P6 橋脚よりの張出し架設中であり、これを完了後、P7 橋脚よりの張出し施工がされる。竣工予定は 1986 年である。

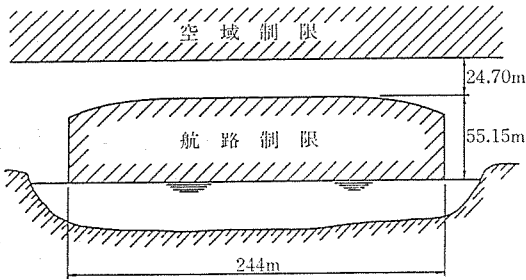


図-4 架橋位置での制限

3. 構造概要

ゲイトウェイ橋の全体図を図-6 に示す。

橋長 1627 m のうち、主径間部 520 m、南側アプローチ 376 m、北側アプローチ 731 m となっており、南北のアプローチ部とは、それぞれ、径間内のヒンジにより連結されている。

図-7 に断面図を示す。23 m と広い幅員に対し、1

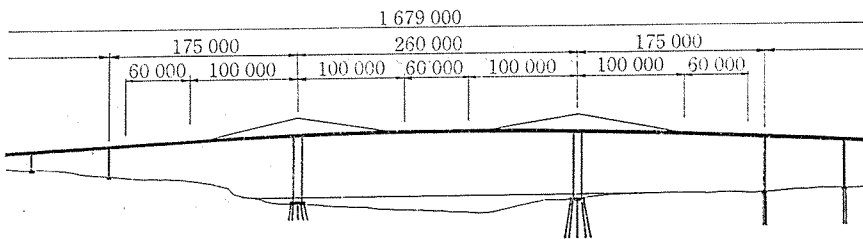


図-5 ゲイトウェイ橋基本設計

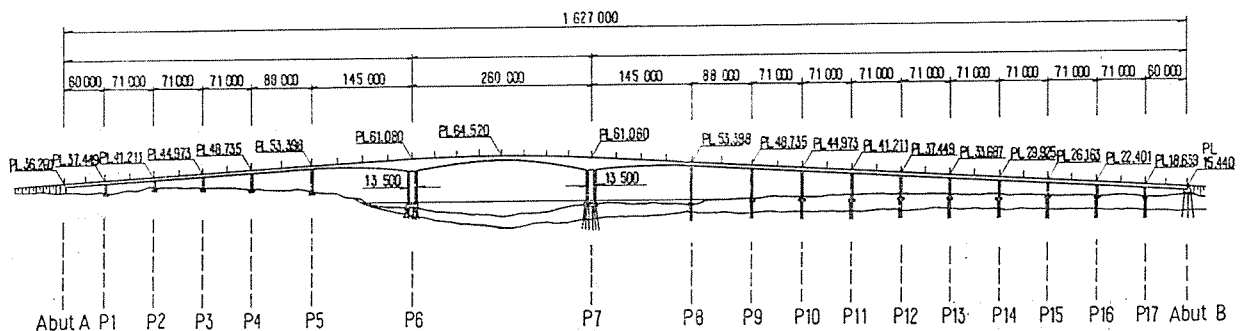
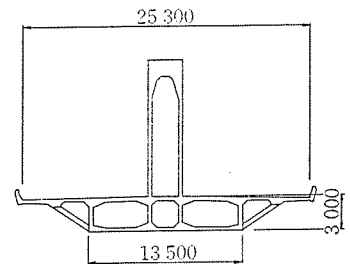
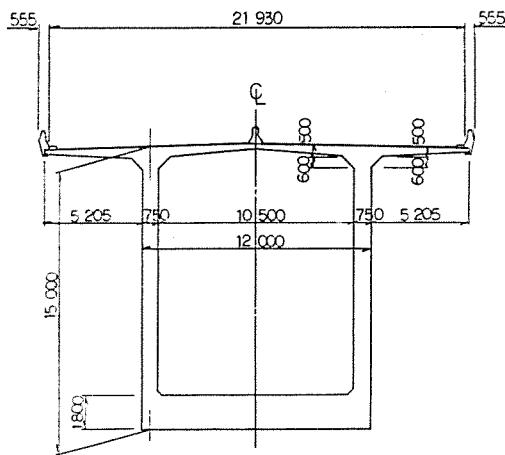


図-6 全体図

支承上断面図



径間中央断面図

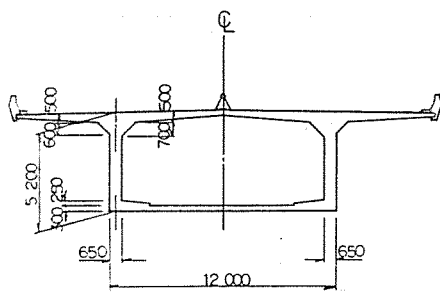


図-7 メインスパン断面図

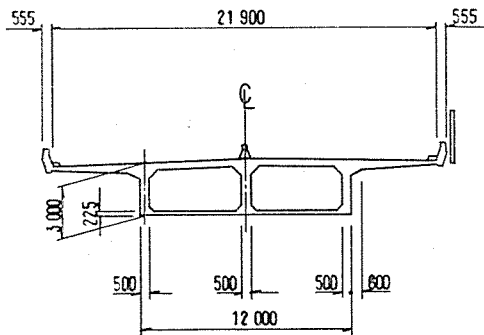


図-8 アプローチ部断面図

Box 断面を採用していること、10.5 m の広いウェブ間隔に対して 250 mm~500 mm と薄い上床版厚となっていることが断面的な特徴である。桁高は、中間支承上で 15.79 m、径間中央で 5.20 m、桁高スパン比は、それぞれ、1/16.5、1/50 となっている。

アプローチ部の構造は、PC 2 Box 断面の連続桁形式である(図-8)。南側は、60 m+3×71 m+88 m の5径間連続桁、北側は、60 m+8×71 m+88 m の10径間連続桁となっている。両側とも、固定は端部の橋台でっており、主径間部との継手部分の移動量は、北側アプローチで 900 mm に達する。施工は、ウエットジョイン

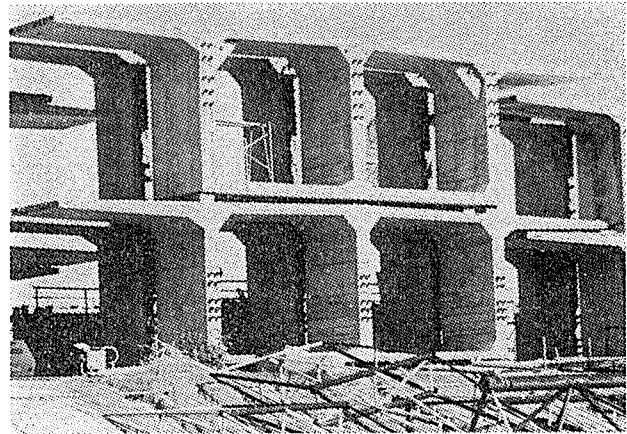


写真-1 プレキャストブロック

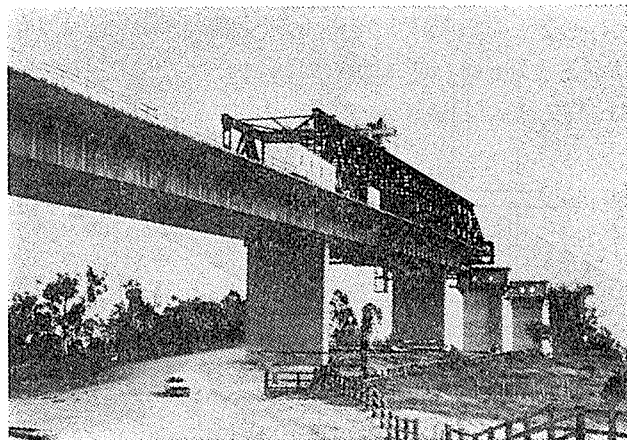


写真-2 アプローチ部架設トラス

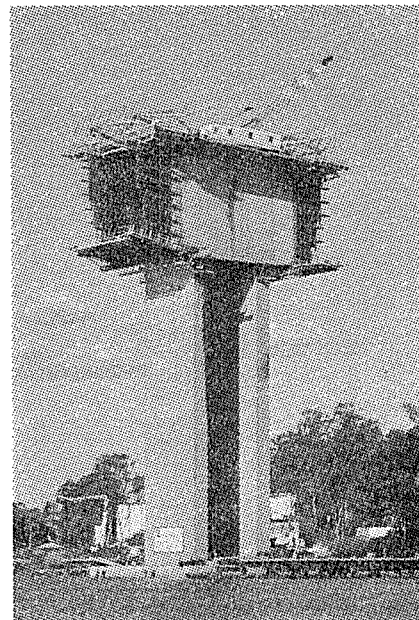


写真-3 柱頭部および橋脚

トによるプレキャストブロック工法によっている(写真-1)。架設方法は、写真-2 に示すように、大型のトラス(総重量約 800 t) から1スパン分のブロックを吊り下げ、ジョイントを施工する方法をとっている。

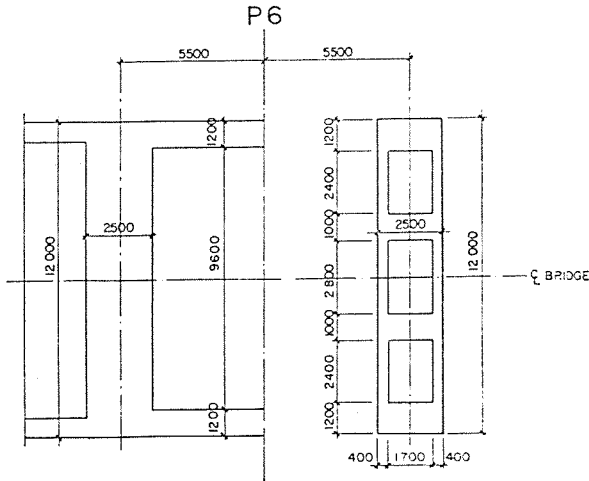


図-9 橋脚断面図

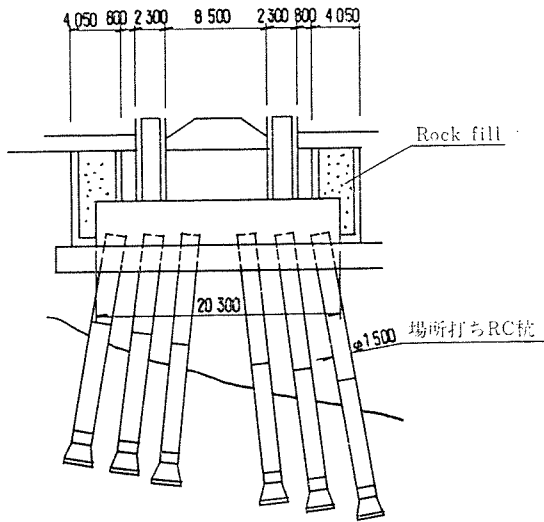


図-10 基 礎

橋脚は、Twin Pier と呼ばれる形式（写真-3）で、2本のスレンダーな柱よりなっている。断面は、図-9に示されるように、それぞれが内空を持つ Box 断面となっている。ピア部分の高さが 47.5m、フーチング上面より橋面までの高さは 63.3m である。

基礎を 図-10 に示す。φ1500mm の場所打ち杭 48本が用いられている。鋼製のケーシングを基盤層に打ち込み、所要の根入れ長まで掘削したのち、内部をドライアップし、コンクリートを打設するものである。摩擦力は、基盤層への根入れ部分のみが、支持力に考慮されている。また、基盤層の状況は、ドライアップした時点で、目視により確認されている。

杭の平均長は、P6 で約 22m、P7 で約 36m となっている。フーチングの大きさは、20.3m×20.7m×3.6m で、図-10 に示されるように、船舶の衝突に対する防護工が施されている。

#### 4. 設計条件

主な設計条件について、以下に述べる。

##### 4.1 準拠示方書

基本的な基準として、オーストラリアの Australian Standard (AS), NAASRA 橋梁設計基準を用いているが、これに加えて、設計者がスイスのロージンガー社であること、パーシャルプレストレスの現在の設計概念によっていることから、SIA (スイス基準) が用いられている。また、BS 5400, CEB-FIP Model Code も参考にされている。

##### 4.2 使用材料

FCC 部分に使用されている材料を次に示す。

##### (1) コンクリート

コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

材 料	数 量
セメント	460 kg
粗骨材 20 mm	825 "
粗骨材 10 mm	250 "
粗砂	475 "
細砂	200 "
混和剤 ポゾリス	セメント 350 m <sup>3</sup> /100 kg
水セメント比	0.37
スランブ	90 mm

強度は、円筒供試体で、2日強度で 250 kg/cm<sup>2</sup>、28日強度で 400 kg/cm<sup>2</sup> である。2日強度は、プレストレス導入時に対して規定されている。

AS 基準では円筒供試体強度、SIA では立方供試体強度を用いていること、また、それぞれの規定内容が異なることから、図-11 に示すように、基準間での強度の関係を調べている。

また、たわみ管理に使用される弾性係数は、実験により求められており、 $E_{ct} = 5000 \sqrt{F_{ct}'}$  (単位: Mpa) の式を用いている。

##### (2) 鉄 筋

AUSTRALIAN STANDARD

SWISS STANDARD

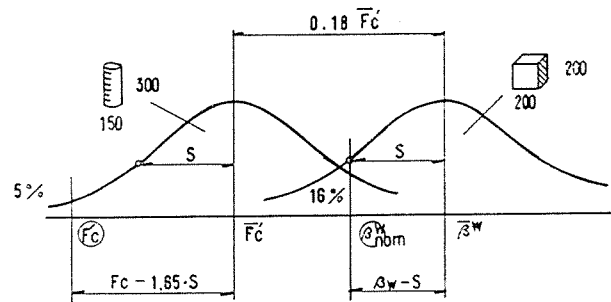


図-11 コンクリートの強度比較

AS 1302 に規定される降伏強度 410 N/mm を使用している。

(3) PC 鋼材

主ケーブルおよび横締めケーブルに用いられている PC ストランド、および、鉛直締め用いられている PC 鋼棒の材質を表-2 に示す。

表-2 鋼材の材質

	7 本より ストランド	鋼 棒
公称直径 mm	12.7	35
公称断面積 mm <sup>2</sup>	101.2	962
引張強度 N/mm <sup>2</sup>	1820	1080
降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	1640	970
レラクセーション	<2.5	<4

主ケーブルは、VSL E5-31 が用いられている。1 ケーブルあたり、φ12.7 mm のストランドが 31 本、破断強度は、約 580 t である。初期導入力は、破断強度の 80% としている。ケーブルの角変化量が小さく摩擦損失が小さいため、長さ 100 m までのケーブルは片引き緊張、100 m 以上のケーブルは両引き緊張としている。

横締めケーブルとしては、VSL E5-4 が 500 mm ピッチで配置されている。1 ケーブルあたり、φ12.7 mm のストランド 4 本、破断強度は約 75 t である。

4.3 荷 重

荷重のうち、特徴的なものを次に挙げる。

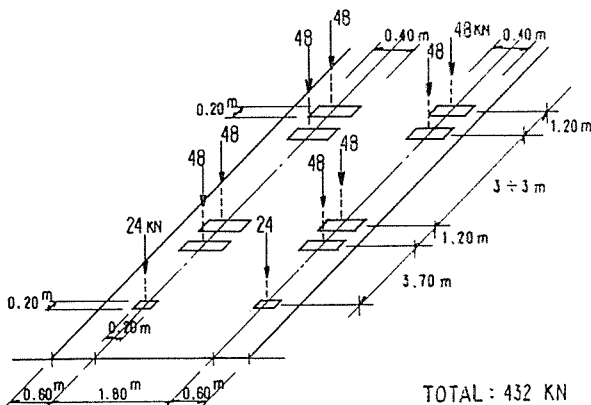


図-12 トラック荷重

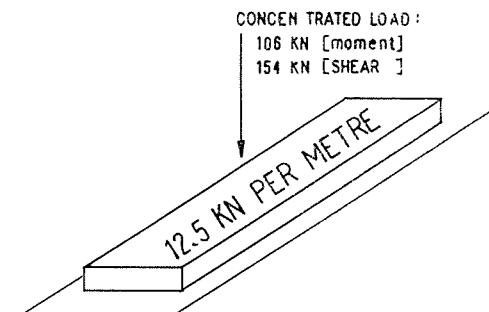


図-13 車線荷重

(1) 活 荷 重

標準活荷重は、NAASRA 橋梁設計基準によっており、図-12 に示す 44 t のトラック荷重、および図-13 に示す車線荷重よりなっている。図-12 の分布荷重は、スイス基準と BS 5400 のほぼ中間の値となっている。

また、制動荷重として、軸方向に 700 kN の荷重を考えている。

(2) 風 荷 重

地震がないため、水平力としては風荷重がクリティカルになる。

架設時、設計時それぞれの限界状態に対する風荷重を表-3 に示す。設計時の使用限界状態に対しては、近接するブリスベン空港で測定された過去 27 年間の最大風速により定めている。その他については、AS 1170 による。

また、抗力係数は、風洞実験により定めている。

表-3 風 荷 重

	限界状態	再帰年 (年)	風 速 (m/s)	風圧力 (kN/m <sup>2</sup> )	係数
施工時	使用状態	5	39.4	0.351	1.0
	終局状態	20	52.7	1.70	1.4
設計時	使用状態	27	48.7	1.45	1.0
	終局状態	100	66.1	2.68	1.4

(3) 衝突荷重

船舶の衝突に対しては、図-10 に示されるような防護工を行っているが、荷重としては、20 000 kN の水平力を考慮している。荷重は図-14 に示すような時間の関数として与えられ、これに対して、動的解析を行って断面力の最大値を求めている。

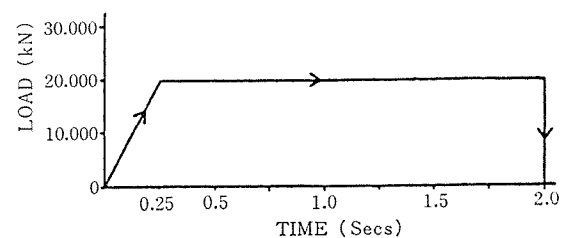


図-14 衝突荷重

5. 設 計

5.1 構造解析

構造解析は、基礎構造（フーチング以下）をバネで置きかえた構造モデルによって行っており、完成系の構造は図-15 のようである。

完成系での、支承上断面および径間中央断面での自重、活荷重の曲げモーメントの比を表-4 に示す。

橋脚が非常にスレンダーであるため、通常の断面力計

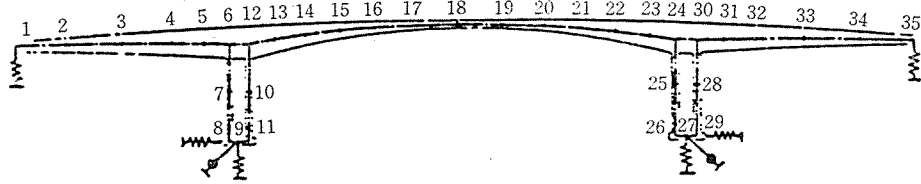


図-15 完成時構造系

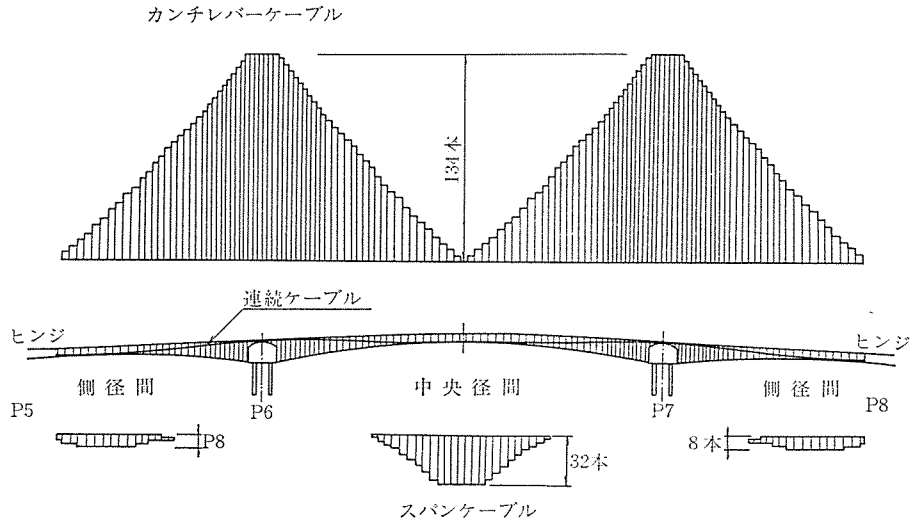


図-16 主ケーブルの配置

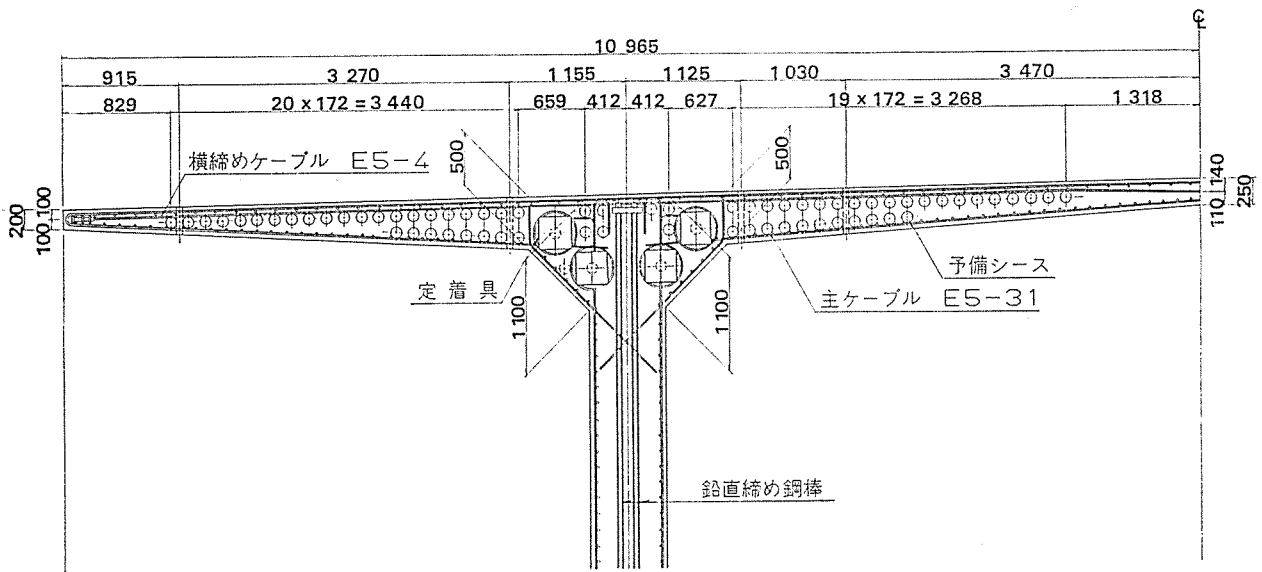


図-17 PC ケーブル断面配置図

表-4 曲げモーメント比

	支 承 上	径 間 中 央
$\frac{M_L}{M_G}$	$\frac{9}{100}$	$\frac{150}{100}$
$\frac{M_L + M_{JT}}{M_G}$	$\frac{10}{100}$	$\frac{300}{100}$

$M_L$ : 活荷重による曲げモーメント

$M_G$ : 自重による曲げモーメント

$M_{JT}$ : 温度勾配による曲げモーメント

算に加えて、水平方向の大変形による断面力の変化も考慮した二次理論による解析も行っている。

### 5.2 ケーブル配置

ケーブル配置を効果的に、かつ能率よく行うことは FCC の設計における重要なポイントである。

ゲイトウェイ橋の主ケーブル配置の概念図を 図-16 に示す。

図-16 に示されるように、一般に FCC において PC

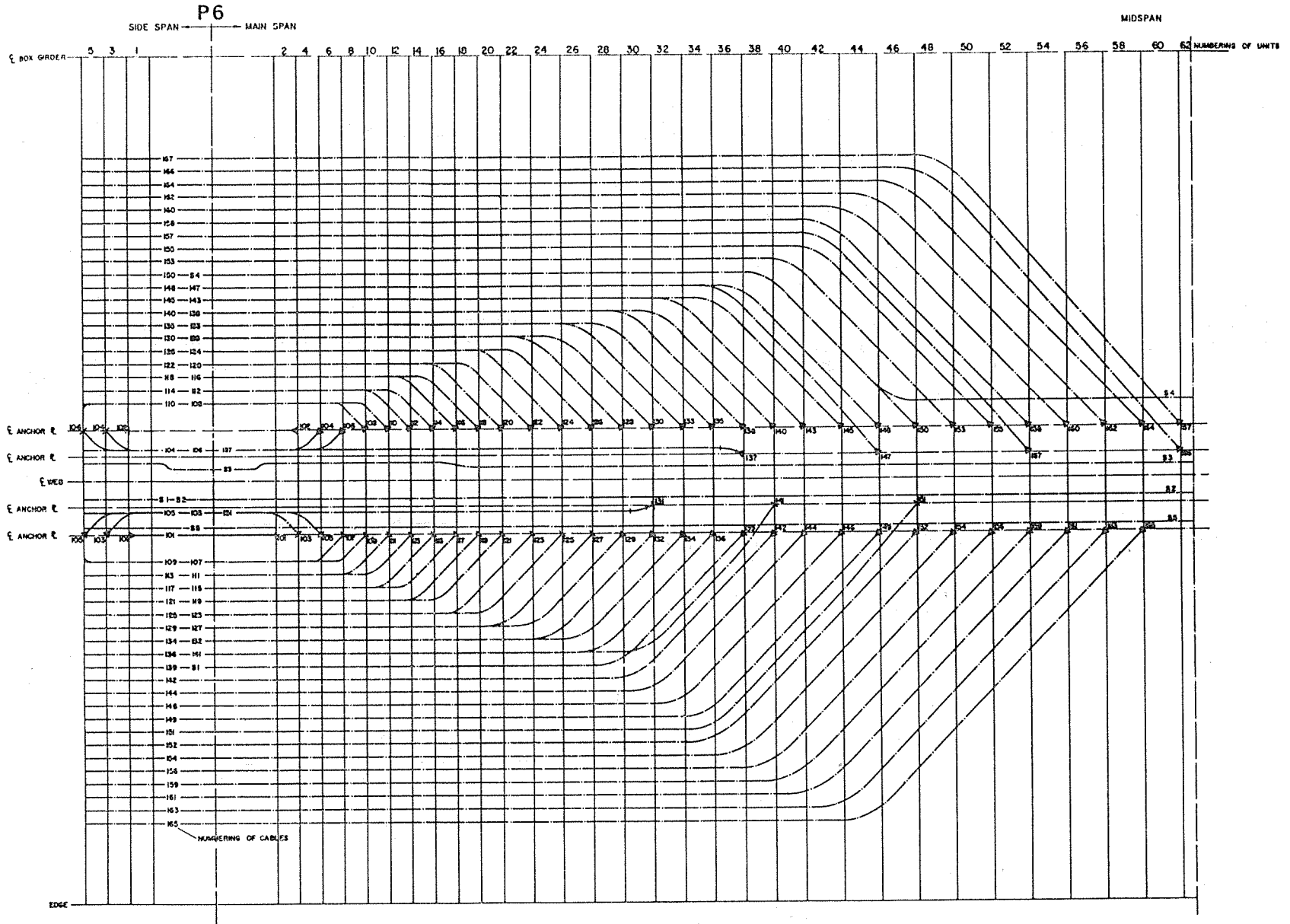


図-18 PCケーブル平面配置

報 告

ケーブルは次の3種類に分類される。

1) カンチレバーケーブル

架設時の張出しモーメントおよび設計時の支承付近の負の曲げモーメントに対処するもので、上床版または腹部内に配置される。各ブロックの製作毎にストランドが挿入され、緊張される。

2) スパンケーブル

設計時、径間内の正の曲げモーメントに対するもので、下床版または腹部内に配置される。中央閉合後、ストランドが挿入され、緊張される。

3) 連続ケーブル

径間内より支承を越えて定着されるもので、径間

内の正の曲げモーメント、支承上の負の曲げモーメントに対して配置される。スパンケーブルと同様、中央閉合後、ストランドが挿入され、緊張される。

ゲイトウェイ橋では、主ケーブルとして VSL E5-31 ケーブル ( $P_u=579.7t$ ,  $P_y=492.2t$ ) が使用されており、支承上断面では、カンチレバーケーブルが 134 本、連続ケーブルが 16 本配置されている。総導入力は、ケーブル1本あたり  $347.8t(=0.6P_u)$  として、約 52000t である。また、スパン中央断面では、スパンケーブルが 32 本、連続ケーブルが 8 本配置され、総導入力は、約 14000t である。

PC ケーブルの断面配置図を図-17 に示す。PC ケー

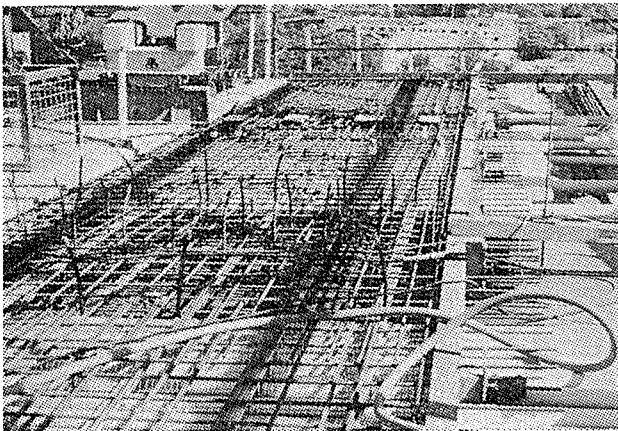


写真-4 鉄筋, シース配置状況

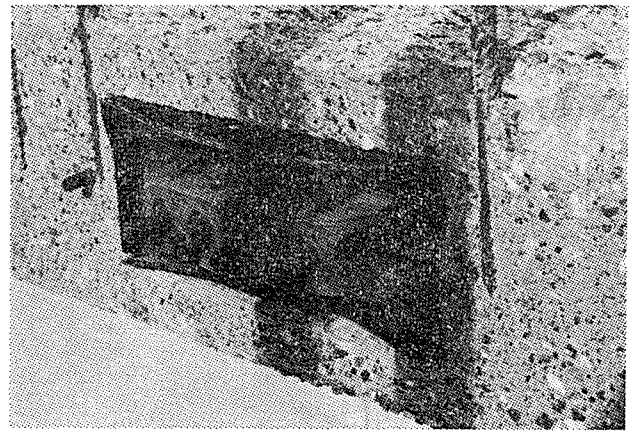


写真-5 横締めケーブル定着部

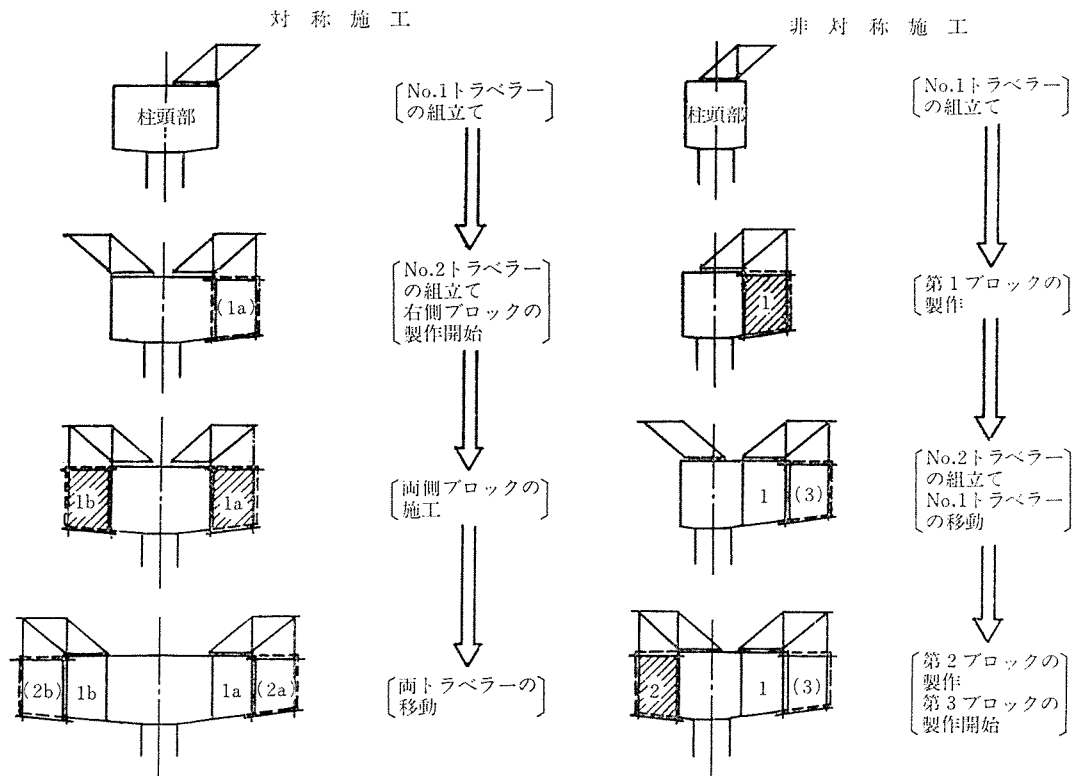


図-19 施工要領



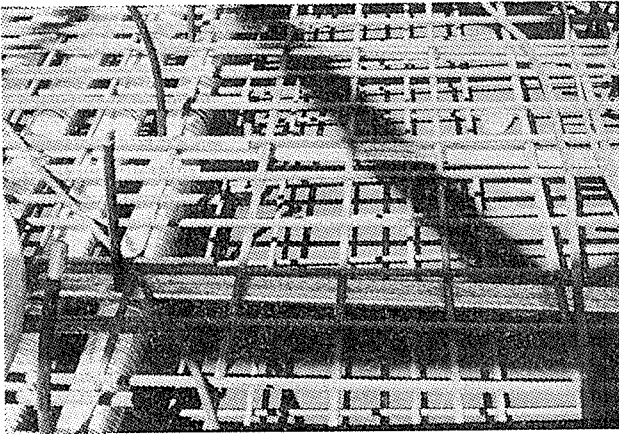


写真-6 フラットシース配置状況

ブルはすべて上床版に配置されており、ウェブに配置する場合より偏心量が大きくとれ、有利である。また、図に示されるように、大容量ケーブルを用いて配置本数を減らすことにより、上床版厚 (25 cm~50 cm) を節約することが可能となっている。

PC ケーブルは、上床版のハンチ部に定着されている。図-18 に示されるように、上床版に配置された PC ケーブルは順次平面内で折り曲げられて、ハンチ部で定着される。予備シースは、施工時あるいは竣工後の異常事態、たとえば、異常にたわみが大きい場合などに備えて安全のため設けられているものである。

横締めケーブルの定着部を 写真-5 に示す。φ12.7 mm のストランドを4本、横一列に定着するもので、シースも厚さ 20 mm のフラットシースを用いている (写真-6)。このため、偏心量を大きくとれ、また、カンチレバーケーブルの配置との取合いもよく、上床版厚の節約に役立っている。

## 6. 施 工

FCC の場合、一般に、図-19 に示すように対称施工と非対称施工があり、それぞれに応じて対称ケーブル配置、非対称ケーブル配置となる (図-20)。

対称施工では、図-20 に示されるように、同じ所要導入力に対して、非対称施工の場合より大きい容量のケーブルを使用できる。一方、非対称施工では、両側の張

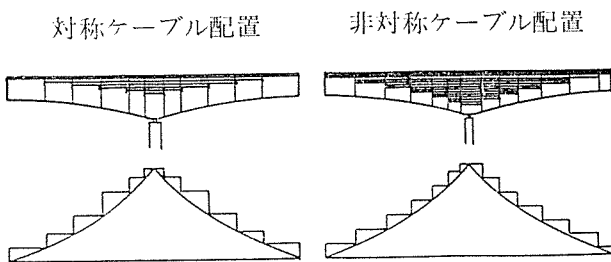


図-20 所要導入力とケーブル配置

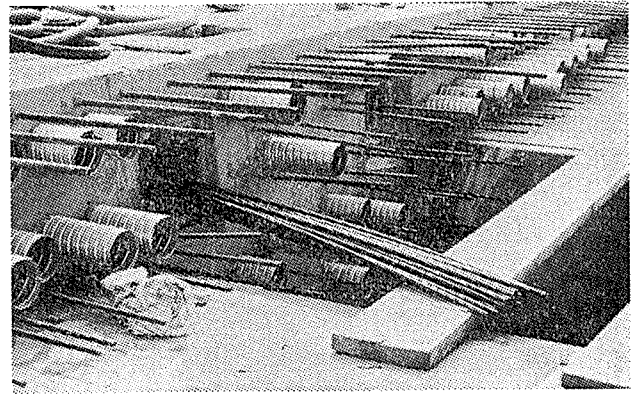


写真-7 ストランドの挿入

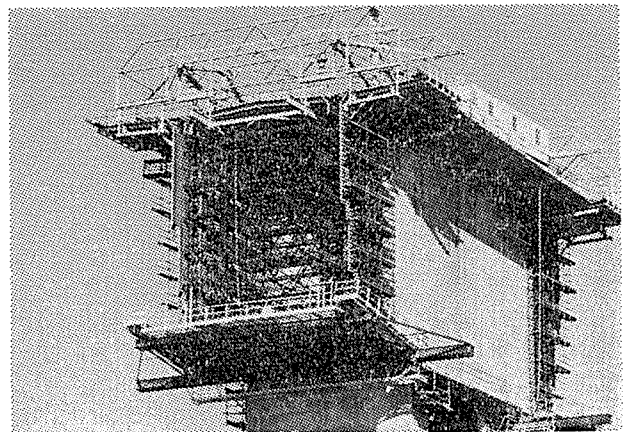


写真-8 トラベラー

出し部で作業内容が重複しないため、人員配置などが能率よく行え、工程的にも有利である。

ゲイトウェイ橋では、非対称施工を採用している。

FCC では、コンクリート打設時にはシースのみを配置し、各施工段階で所要とされる PC ケーブルを挿入し、緊張する (写真-7)。したがって、余分な緊張、カップリング作業がないため、施工性がよいものとなっている。

コンクリートブロック長は、3.0 m から 5.0 m であり、ブロックの最大重量は、380 t である。最大作用モーメント 760 t・m に対し、トラベラーの総重量は、型枠、足場まで含めて 145 t と軽量化が図られている (写真-8)。

## 7. あとがき

ゲイトウェイ橋は、FCC として、ケーブルシステムの長所を最大限に発揮しており、設計、施工の面で学ぶべき点が多いと考えられます。

オーストラリアでは、このほか、ポーウェン橋、ウエストゲイト橋などを視察しましたが、これらをもとに、FCC の一層の技術向上に努め、今後の長大スパン橋の発展に寄与したいと考えます。

【昭和 58 年 12 月 16 日受付】