

# 神慈秀明会滋賀の神苑の鉄骨製作と現場施工

宮坂睦夫\*  
有沢一民\*

菅井 衛\*\*

## 1. まえがき

この建物は、宗教法人の礼拝堂およびその付属施設として滋賀の山中に建設され、巨大空間を形造っている。

設計意図として「あえて巨大美術への力学的、構造的挑戦である。外装のいかんを問わず、中身の造形的完璧を念願したのがこの構造設計であり、必ず実現できる工法を信頼しての設計であった」と設計者が述べているごとく、礼拝堂である教祖殿の構造体は、内側に湾曲したコーナーバットレス（高さ=42.480m）とよばれる4本の柱と、頂部でこれらをつないでいるトップガーダー（長辺長さ=49.400m、短辺長さ=21.600m）、ガーダーから吊られているカテナリー曲線をもつ屋根およびそれを押さえている下部ガーダーによって構成される巨大空間を形造る構造物である。

本文は教祖殿のコーナーバットレスおよびトップガーダーについて製作前の検討事項、工場製作および架設に関して紹介するものである。グラビアに全景を示す。

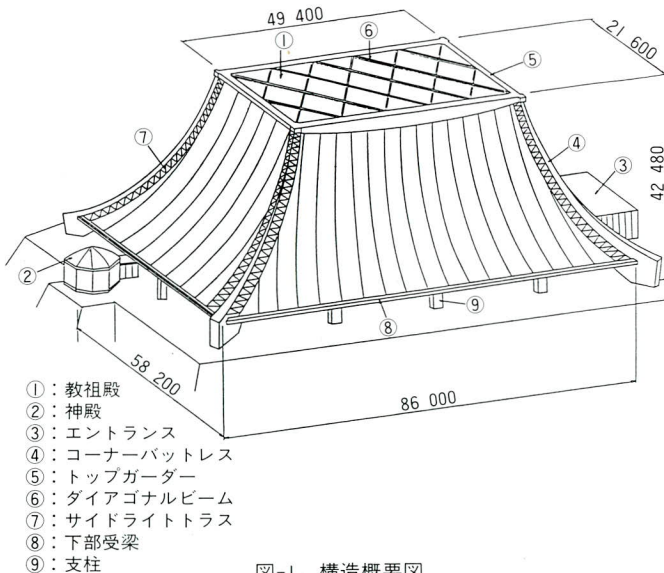


図-1. 構造概要図

## 2. 工事概要

工事名称 神慈秀明会滋賀の神苑のうち教祖殿建設工事  
 工事場所 滋賀県甲賀郡信楽町  
 施主 宗教法人神慈秀明会  
 設計管理 (株)伊東建築設計事務所  
 (株)日本設計事務所  
 (株)坪井善勝研究室  
 施工 清水建設(株)  
 構造 主架構：立体ラーメン  
 屋根：鋼管による立体トラス

建物概要を図-1に、コーナーバットレスを図-2に示す。

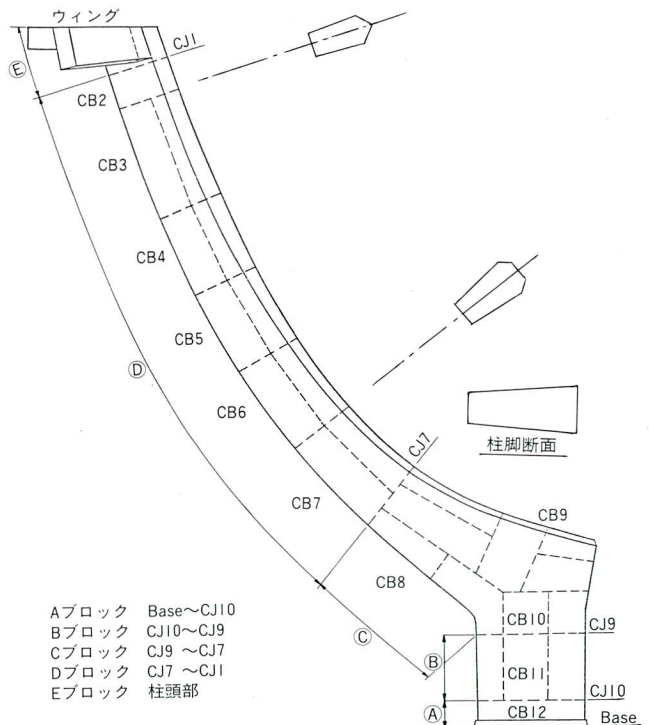


図-2. コーナーバットレス

\* 松本工場製造部生産技術課係長  
 \*\* 宮地建設工業(株) 技術部技術第一課係長

### 3. 検討事項

#### (1) コーナーバットレスの線形

教祖殿の屋根はカテナリー曲線であり、その骨組はカテナリーパイプトラス上弦材のパイプ芯で

$$Y=8.699\left(\cosh\frac{X}{8.699}-1\right)$$

の曲線で表わされている。このトラスと45度を取合うコーナーバットレスの形は、模型スタディのうえ、造形上の観点より決めたものであるため、基準点の座標と断面形状が与えられているだけであった。図-2に示すように3つの曲線による形状となっており、各条件を満足するような9次の曲線で近似させ、それによる図形と原図を重ねて照合することにより曲線式が決定された。

#### (2) 模型による検討

全体形状を理解する為にコーナーバットレスの1/20の全体模型を作り、製作方法を検討する為には柱頭部および柱脚部の1/10の模型を作成した。柱頭部の模型により製作上の問題点が明確となり、ダイヤフラムおよび縦リブ位置を変更した。

#### (3) 材料の検討

主板は厚さ20~36mm、材質はSM50Aであり、溶接によるラメラテアを防止する為に板厚方向に引張が生じる個所は耐ラメラテア鋼である。耐ラメラテア鋼のサルファーの規定値は0.008%以下とした。耐ラメラテア鋼でない材料は、炭素当量の規定値を0.44%以下（WES式）とした。

### 4. 製作図および原寸

コーナーバットレスの断面は前述の3つの曲線式で表わされており、断面変化率が一定でない為、各ダイヤフラム間において、スキムプレート上に対角線の折曲げ線が必要となってくる。従って、ダイヤフラム上の基準点の空間座標を計算し、それを平面座標に変換することにより原寸展開を行った。

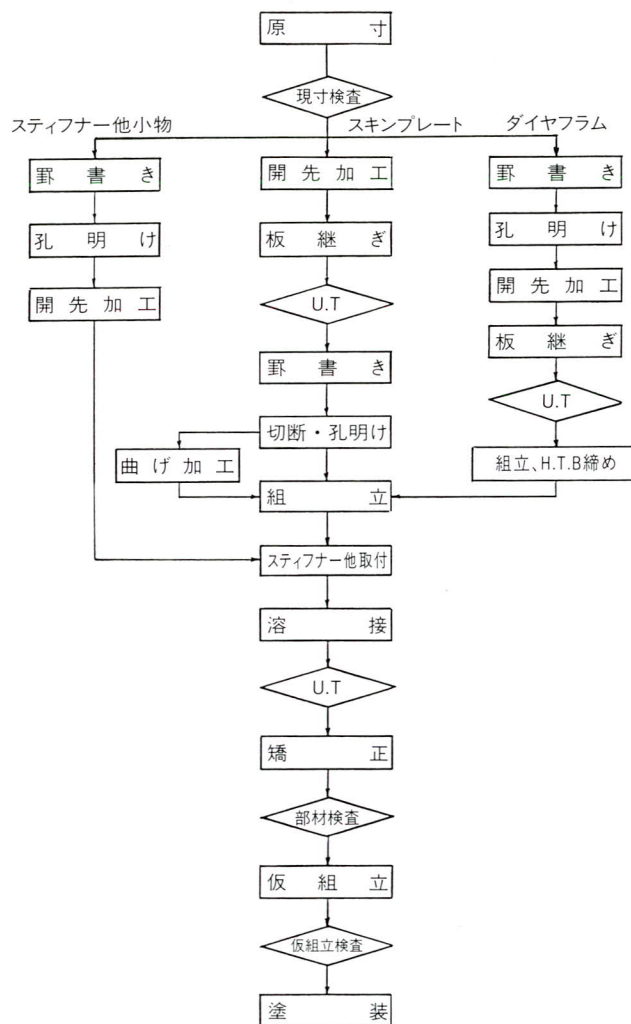


図-3. 製作フローチャート

### 5. 工場製作

#### (1) 概要

製作は、コーナーバットレス部分を松本工場、トップガーダー部分を東京工場で行った。

製作に先立って、プロジェクトチームを編成し、設計仕様の検討、製作順序、組立方法、溶接法、製作精度等について、あらゆる角度から検討を行った。コーナーバットレスの製作フローチャートを図-3に示す。

表-1. WESI18「ガス切断面の品質標準」

部材名	あらさ	ノッチ	スラグ	上縁の溶
バットレス、ガーダー 下部梁、カテナリー、支柱)の主材	100S以下	1mm以下	1級	1級
上記以外	200S以下	1mm以下	2級	2級



## (2) 加工

鋼材にはSM50A耐ラメラテア鋼を使用しているため、材料の混同を防ぐため、耐ラメラテア鋼にはすべてZAスタンプを打ち材質管理を行った。主材は、原寸型板およびシナイを使用してけがき作業を行い、自動ガス切断器により切断した。原寸型は厚さ0.25mmのフィルムを用いたが、最大3m×7mと大きくなり、気温、湿度による伸縮誤差をチェックするため、辺寸法、対角寸法をけがき後、スチールテープで、寸法チェックを行った。開先加工は、すべて自動ガス切断器で行い、ガス切断面の品質は、WES2801「ガス切断面に体する品質水準」により、表-1を目標にした。

孔明にはラジアルボール盤を主に使用し、NCボール盤、電気ドリルおよび50φ以上の孔径には自動ガス切断器を併用した。コーナーバットレスは、フルサイズ先孔を原則とし、トップガーダーでは、フランジ、ウェブおよび縦スティフナーの現場溶接部を、フルサイズ後孔とした。

## (3) 組立

コーナーバットレスは、ボックスタイプの断面形で、内側には横スティフナーが約1.5m間隔、縦スティフナーが約0.8m間隔に配置され、横スティフナーにはねじりに対する形状保持のため、骨組としてチャンネル材（[-200]）によりトラスが組んである。

トップガーダーは、箱型のダブルセル断面で、短辺側は全断面等巾であるが長辺側はスパン中央で桁高の高くなる二次曲線形状を持った変断面である。バットレスと同様、内部は1.5m間隔の横スティフナーとチャンによるラチス材および縦スティフナーで構成されている。

工場組立では、このような大型曲線部材の組立法として、横スティフナーをトラス組としたダイヤフラムを形状確保のための骨として、スキムプレートを固定してゆく大ブロック一体組立法を採用した。基本となるダイヤフラムの寸法誤差は高さ、対角とも±3mmに押えて仮ボルトおよびドリフトピンで固定した。コーナーバットレスは図-2に示すように、全体を5ブロックに分けて一体組を行い、各ブロック相互の継手関係は必ず仮組立して確認を行った。各ブロックごとに定盤上にバットレス中心面を水平とした投影図を作画して外枠をH型鋼等で作り、水平組の状態で順次部品の組立仮付を行った。

トップガーダーは図-4、5に示すように、各ブロック

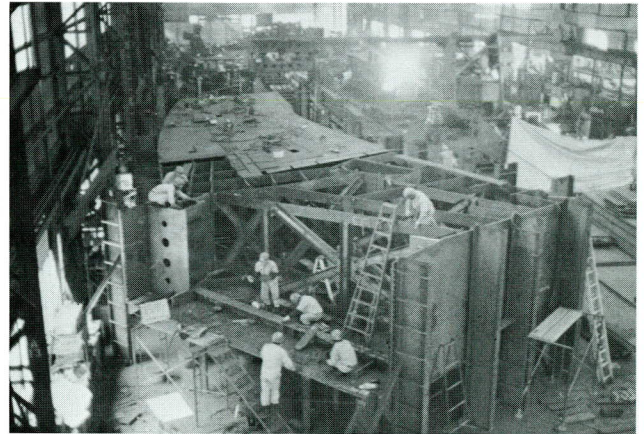


写真-1. コーナーバットレスの組立状況

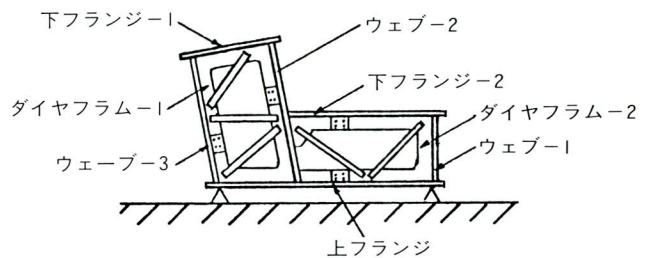
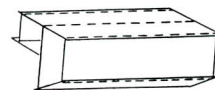
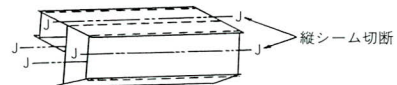


図-4. トップガーダーの組立方法

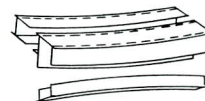
### 1. 溶接、矯正



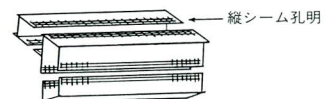
### 2. 縦シーム切断



### 3. 解体後矯正



### 4. 縦シーム孔明け



### 5. 再組立後添接部孔明け、切断

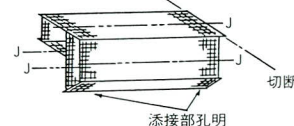


図-5. トップガーダーの組立後の工程

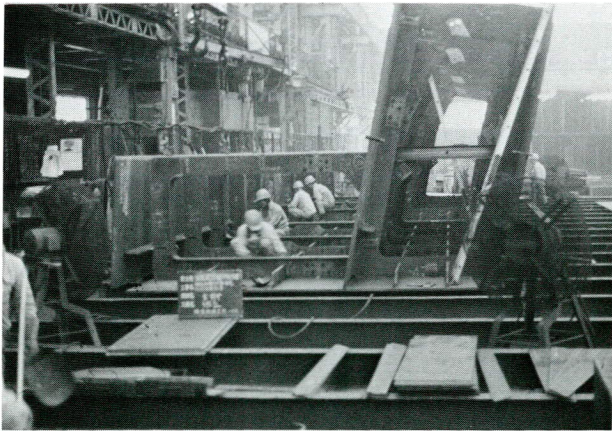
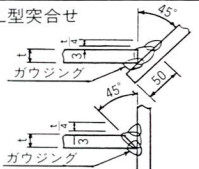
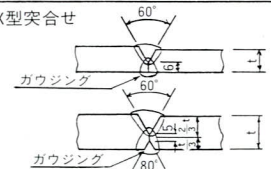
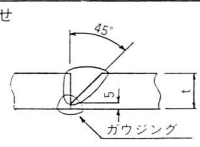
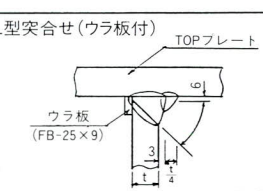
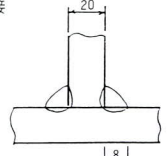


写真-2. トップガーダーの組立状況

ごとにスキンプレートを分割しない状態で水平台上に倒立状態で組み、溶接後に切断する方法とした。製作順序を以下に示す。

- 1) 水平台上で大組立をする。
- 2) 溶接、矯正後に縦シームの切断線をけがく。
- 3) 縦シーム切断後に解体する。

表-2. 溶接開先

溶接適用箇所	溶接法	開先形状
スキンプレート 角継手	ガスシールドアーク 半自動溶接	L型突合せ 
スキンプレート 板継ぎ	サブマージアーク 自動溶接	X型突合せ 
スティフナー 板継ぎ	ガスシールドアーク 半自動溶接	▽型突合せ 
柱頭部(CI) TOPプレート	ガスシールドアーク 半自動溶接	L型突合せ(ウラ板付) TOPプレート ウラ板 (FB-25×9) 
スティフナー	ガスシールドアーク 半自動溶接 アーク手溶接	隅内溶接 

- 4) 解体後各ブロックで曲り矯正を加熱法で行う。
- 5) 縦シームの孔位置をけがく。
- 6) 縦シームの孔明後、再度組立てる。
- 7) 部材の長さ方向の添接孔および切断線をけがく。
- 8) 孔明、切断をする。

各現場添接部は仮ボルト、ドリフトピンを使用して、添接板の仮締めを行い不良孔はリーマーで整孔した。溶接部の開先精度は建築学会基準を管理目標とした。

#### (4) 溶接

本工事に採用した溶接法は、アーク手溶接、ガスシールドアーク半自動溶接、サブマージアーク自動溶接を併用した。

各部材は重量が約10t~30tと大きく、また脚部、柱頭ジョイント部の箱桁内部は狭隘なため、先組立、先溶接をしなければならない箇所もあったが、変形、残留応力および拘束力を最小とするような順序で、できるかぎり下向又は水平姿勢で行った。表-2に主溶接部の溶接法、開先形状を示す。

#### (5) 部材検査と超音波探傷検査

##### (a) 部材寸法検査

コーナーバットレスおよびトップガーダーは、全体が数多くの部材に分かれて柱と梁を形成しており、各部材は現場で地組あるいは直接建方をする。そのため、最大の問題は現場溶接部の適合性すなわち、クリアランス、H、T、B、孔の精度、添接板の肌すきである。これに対応するため、各部材の継手断面について寸法(巾、長さ、対角)を計測し、誤差の把握を行った。相互誤差は±3mmを管理目標値として加熱法で矯正した。

##### (b) 超音波探傷検査

工場溶接部の超音波探傷検査は継手の重要度によりA~Dの4種にグレード分けを行い受入検査を受けた。使用規格は、日本建築会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査基準・同解説」であり、抜取に当たっては継手の重要度により、次のように区分を行った。

- 1) Grade Aは全数検査を行う。
- 2) Grade B、C、Dはグレードごとに計数選別型、2回抜取法による抜取検査を行う。

抜取検査の平均検査率は、Grade B=35%、Grade C=20%、Grade D=10%と定めた。図-7に、2回抜取方式のフローを、表-3に検査結果を示す。

また、バットレス柱角継手、ガーダー角継手、吊材用



ブラケット接合部について、ラメラテア検査を、JIS G 0801に準拠して垂直探傷で行った結果、全箇所合格であった。

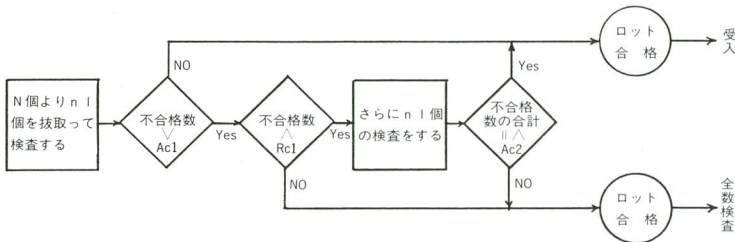


図-6. 2回抜取方式フロー

表-3. 超音波探傷検査結果(コーナーパットレス)

探傷箇所数	合格箇所数	合格率
3,013	2,996	99.4%

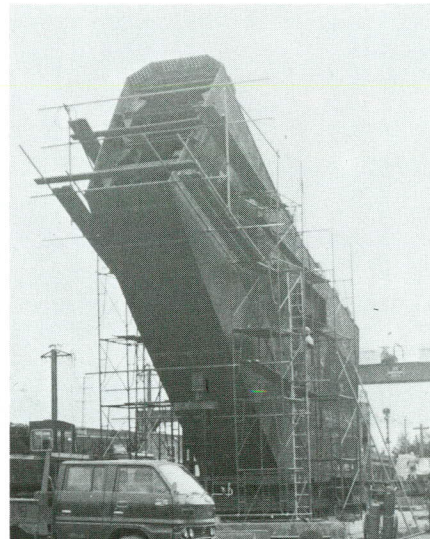


写真-3. 仮組立状況(Cブロック)

## (6) 仮組立

コーナーパットレス4本のうち、1本について、Cブロックは正立組、Dブロックは、地上横組で柱芯が鉛直となる状態、またEブロックは、ウィングを取り付けて倒立組で、工場仮組立を行い、組立寸法精度の確認を行った。組立には、35t吊りトラッククレーン、あるいは、20t吊り門型クレーンを用い、充分堅固な地盤上に、コンクリートブロックを支持台として行った。

組合せ孔精度については、全箇所23.0φの貫通ゲージを通して、確認を行い、不良孔はリーマーで整孔した。

その結果、すべての計測部位について、誤差は許容差内に収まり、満足できる結果であった。写真-3、4に、仮組立状況を、表-4に仮組立精度を、図-7に仮組立寸法記録を示す。

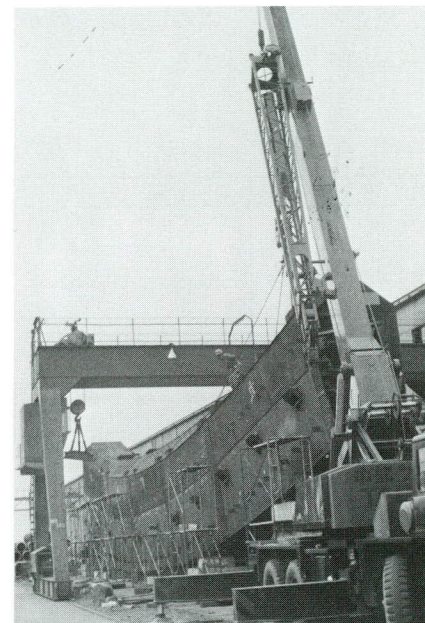


写真-4. 仮組立状況(Dブロック)

表-4. 仮組立精度

項目	許容差	摘要
全長	$\pm(10 + \frac{L}{10})\text{mm}$	
曲がり(δ)	$\pm \frac{L}{1000}\text{mm}$	
巾	$W \leq 2\text{m} \quad \pm 4\text{mm}$ $W > 2\text{m} \quad \pm(3 + \frac{W}{2})\text{mm}$	

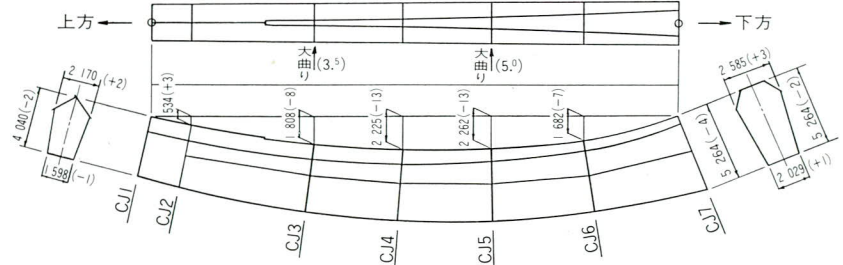


図-7. 仮組立寸法記録

## 6. 建方

### (1) 概要

鉄骨の建方は、全て、建物中央の長軸上を貫通し、4方向にウィングをもつ乗り入れ構台上(巾10m,長さ150m)よりクローラー・クレーンを用いて行った。

### (2) 仮設備

- (a) 鉄骨建方用クレーンとして、能力150tのクローラー・クレーン(ブーム長L=33.00m~57.00m)を乗り入れ構台上に2台設置した。
- (b) バットレス建方中の横力(震度0.1)に対して、弾性限度内に納まるようバットレスCB5部をピン支持とし、二又支柱(鋼管 $\phi 800 \times 19 \times 28.00\text{m}$ )を4方向に設置した。
- (c) 長辺側トップガーダーの建方(リフトアップ工法)のため、トップガーダー下に支持用支柱を設置した。
- (d) 部材吊込は、各部材に吊金具を全て取付け天秤を介して、シャックル、台付けワイヤー、チェーンブロック(20t)を4点にセットして行った。

### (3) コーナーバットレスの建方

4方向バットレス柱(重量約1500t)は、CB12~CB9ブロックを工場より搬入されて来た単材のまま直接吊り上げ組立を行った。CB8~CB3部材については、現地ヤードにて上下ピースを1ブロックに先行地組立したのち建方工程に合せ順次搬入し組立を行った。二又支柱はCB5ブロック組立後に建て込みを行いバットレスを支持した。

バットレスの建方順序は

- 1) 足場組立
- 2) バットレス柱組立
- 3) 仮締めボルト取付け
- 4) 水平・垂直精度確認・修正
- 5) 高力ボルト締付け(耐力点検出法)

となり、各ブロック共に同じ作業の繰り返しで建方を行った。CB2、CB1部材は、単材組立を行い同時にベント支柱も並行して建方を行った。

### (4) ウィングの建方

ウィングの取付に当っては、短辺側をまず取付けベント支柱で仮受け後、短辺側トップガーダーの組立を行っ

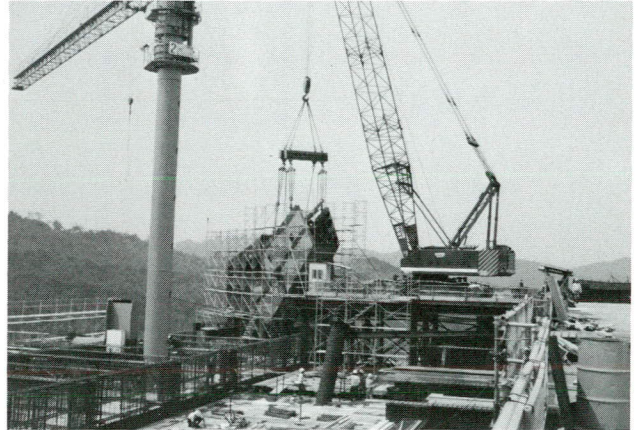


写真-5. CB8 建方

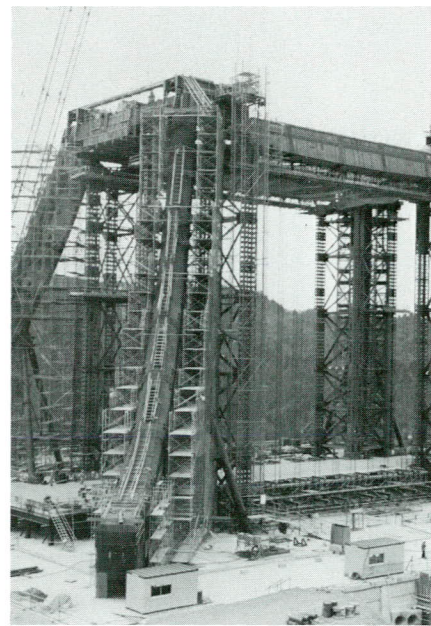


写真-6. 二又支柱、ベント支柱

た。なおバットレスの前方への撓みに対処するため、両方向の短辺ウィング間を油圧ジャッキにて押し拡きを行った後、トップガーダーの落とし込み組立を行った。短辺側閉合後、長辺側ウィングの取付けを行い、ベント支柱トップのスラスト支承にて荷重を受けた。

## 7. あとがき

世界にもまれな、このように力学的に施工の極めて難かしい構造物を、製作・架設する機会を得たことは、非常に喜びであり、本工事で得た工法および技術は、以後の工事に必ず役立つことを確信している。

本工事の施工にあたり設計事務所の諸先生方、および、施工会社の皆様方に御指導を頂きました事に、深く感謝の意を表す次第です。