

シンガポールの円筒形超高層ビル鉄骨の製作 (トレジャリービルディング)

長村隆至* 田中 浩***
柳沢 聡** 小松秀隆****

1. まえがき

シンガポールの丸の内、シェントン・ウェイの南端に地上52階、高さ231mでセンターコアから伸びる16本の片持梁が、全ての床を支えるという、世界でも例を見ない構造形式のトレジャリービルディングが建設中である。

このビルは、直径48mの円筒形をしており、設計、仕様はAISC (米国)、材料はASTM (米国規格)であり、検査会社はSANDBERG社 (英国)で工場に常駐し全部材を全工程にわたって、検査した。

昭和60年10月に鉄骨工事が完了したので、ここで工場製作について、その概要と問題点等を中心に報告する。

2. 工事概要

工事名称：トレジャリービルディング

工事場所：Lots7-2SL&94PT. SL Shenton way/
Maxwell Road Anson Road/Prince
Edward Lane SINGAPORE

発注者：シンガポール・トレジャリービルディング
社

基本設計：ARCHITECTS 61, OVE/ARUP & PART-
NERS, LeMESSURIER ASSOCIATES

実施設計：HUGH STUBBINS & ASSOCIATES

施 工：(株)大林組

施工時間：1983年6月～1986年5月 (予定)

〈建築概要〉

敷地面積：12927m²

建築面積：5655m²

延べ面積：133714m²

用 途：オフィスビル

構 造：SRC造及びS造、地上52階、地下5階、地
上高231m、円筒形ビル

鉄骨重量：約16000 t (内8200 t 当社製作)

鉄骨製作：新日本製鐵(株)、(株)宮地鐵工所、(株)片山鐵工
所

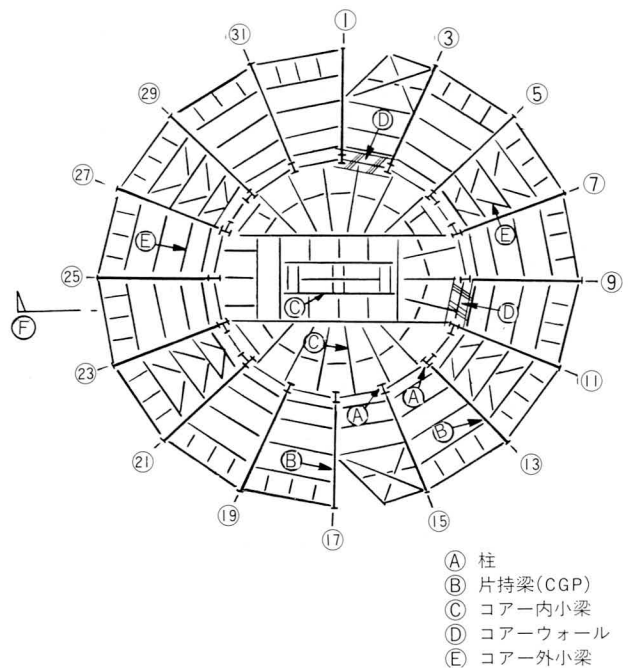


図-1 標準階鉄骨平面図

* 松本工場製造部製造一課課長代理 *** 松本工場検査室係長
** 松本工場製造部生産設計課係長 **** 松本工場製造部生産設計課係長

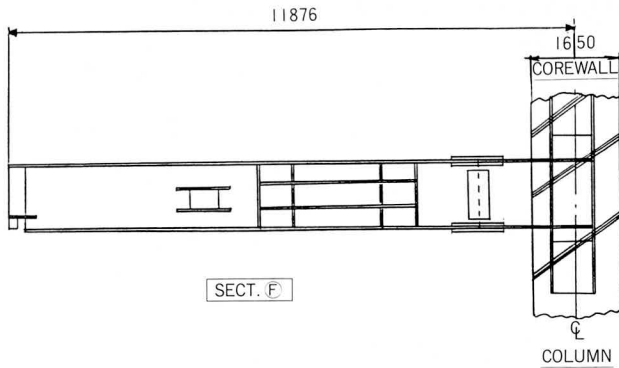


図-2. 標準階片持梁 (CPG)

3. 工場製作

(1) 継手の設計と工作図

(a) 継手計算

本工事は、設計図で部材、断面、軸力、反力係数、スパンが与えられ、鉄骨メーカーでAISCに基づき、ボルト、ガゼット断面、溶接サイズ等の継手の設計を行った。

部材の継手計算を行う場合、反力の算出は次式の様な考え方をしている。

$$R = \frac{W_c \times S_c}{2 \times L}$$

R : 反力 (KiP)

L : 支間 (ft)

S_c : 合成梁反力係数

H型鋼のサイズごとに係数の指定があった。

非合成梁は $S_c = 1$

W_c : 等分布荷重定数 (KiP・ft)

次式により表わされる。

$$W_c = \frac{2}{3} F_b \cdot S$$

F_b : 材質により定められた許容応力度を決定する場合の規準値 (KiP/ft²)

S : 断面係数 (ft³)

上記算出式より、スパンと反力は反比例することがわかる。スパンが短い梁ほど反力が大きくなり、ボルト本数及び取合ガゼットプレートも大きくなる。

ピン接合の継手は、ボルト群中心での、モーメントを

考慮して、下記のような計算式に基づいて決めた。

$$M = M_R + M_N = R \times \ell + N \times h$$

$$I_{XX} = \frac{n \times B^2 \times (n^2 - 1) \times m}{12}$$

$$I_{YY} = \frac{m \times D^2 \times (m^2 - 1) \times n}{12}$$

$$F_1 = \frac{R}{m \times n}$$

$$F_2 = \frac{M \times (m - 1) \times D}{2 \times (I_{XX} + I_{YY})}$$

$$F_3 = \frac{M \times (n - 1) \times B}{2 \times (I_{XX} + I_{YY})}$$

$$F_4 = \frac{N}{m \times n}$$

$$F_R = \sqrt{(F_1 + F_2)^2 + (F_3 + F_4)^2} \leq R_{HSB}$$

(R_{HSB} : ボルト 1 本当り耐力)

n : 縦列ボルト群本数 R : 反力 (KiP)

m : 横列ボルト群本数 N : 軸力 (KiP)

B : 縦列ボルト群ピッチ ℓ : スパン

h : 梁センターと軸力のかかるセンターの偏心距離

D : 横列ボルト群ピッチ

梁高により縦列ボルト本数 n は、必然的に決まり、上式の $F_R \leq R_{HSB}$ を満足するまで、横列ボルト本数 m 値を増加するが、 m が増加すると、偏心量 ℓ が大きくなり偏心モーメント M_R が増加し、 $F_R \leq R_{HSB}$ を満足しなくなる。繰り返し計算をしてボルト本数が定まらない場合は、ボルト径を大きくすることに依って、本数を決定した。

本工事では、取合ガゼットプレートの厚さは取合ガゼットプレートの根元に作用するモーメントを考慮して決めた。

上記のモーメントが意外に大きいため、ガゼットプレート厚を決定する上で、支配的要素となり、ガゼットプレート厚が、主材厚の数倍にもなるという一見、不合理な継手になることもあった。

以上、各条件を満足する継手を、パソコン及び手計算にて、全体で約1500種計算した。

(b) 工作図

工作図は、設計図、指示書、継手計算書に依りAISCに基づいて作成した。

設計変更などの修正作業も、多大であったが、現地での「納り」に重点をおいて、チェックを行った。

工作図枚数は、1200枚となった。工作図による不具合は、皆無に近いものにすることができた。

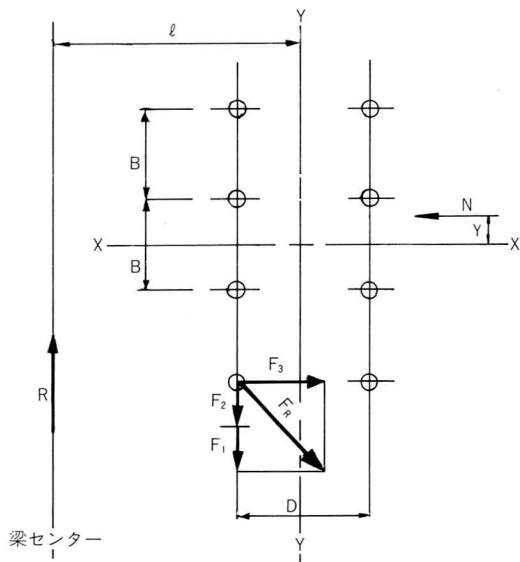


図-3

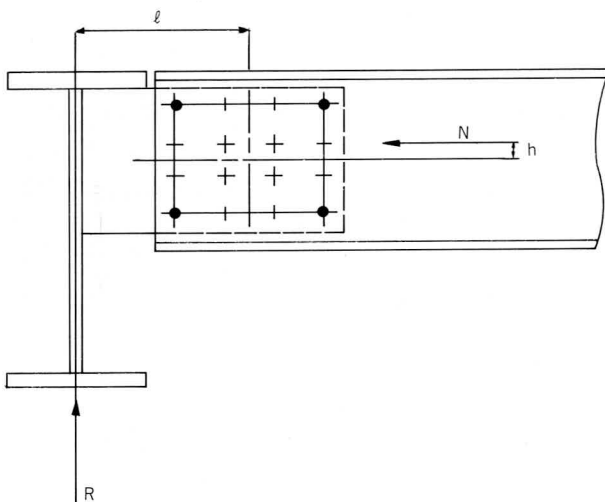


図-4

(2) 加工概要

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、溶接方法、製作精度等について、特に下記事項について検討を行った。

- 1) 柱ブラケットの取付けについて。
- 2) ダブルガセットの取付けについて。
- 3) 柱端部の機械仕上げについて。
- 4) 溶接歪防止について。
- 5) 厚板の予熱及び溶接欠陥防止について。

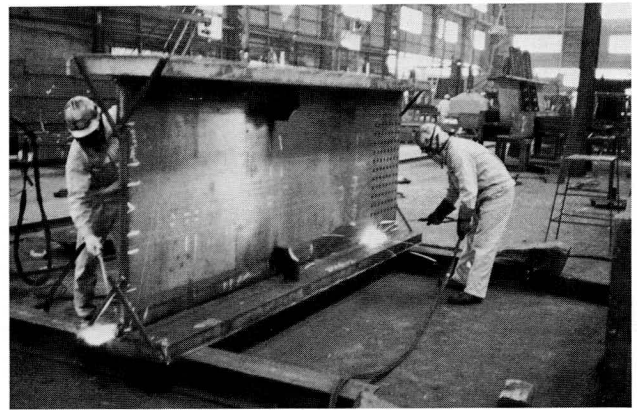


写真-1 50階柱幹溶接予熱

- 6) A737(耐ラメラティア鋼)の材料管理について。
- 7) 管理シートについて。

(3) 加工

(a) 前加工

鋼材は、A737、A572、A36の材料を使用したので材料の混合をさけるため材質スタンプを打ち、またA737に対しては、製鋼番号と製品の対応ができるように、プレーナー切断時に管理シートを用いて、材料管理を行った。

使用鋼材は、最大板厚125mmであり、溶接及び、切断小口の直角度の確保、現場継手部の孔精度を確保する事などが大きな問題であった。

(b) 組立

柱シャフトは、片側に溶接が集中するため、完成した柱の曲がりが大きく発生することが、予測されたので、あらかじめ歪を突けて組立を行った。

7～8節では予歪を8～10mmとしたが、歪残量が出たため12節以後は、3～5mmに変更し製作したところ、良好な精度を得ることができた。(図-5、表-1に示す)

I形溶接後の柱フランジの倒れは、板厚60mmまではローラーによる矯正が可能であるが、それ以上の板厚については、ローラー矯正が出来ないことと、柱材は加熱矯正が許されないので、柱シャフトI形には、拘束板を取付けることにより、所定の精度(±3mm以下)を確保した。(図-6に示す。)

柱大組立ブラケットの倒れ精度が、ブラケット長さ1600mmに対し、1.5mm以下(精度1/1000)であるため、7～8節では横方向の組立には、ストレートエッチを用い精度を1mm以下に押さえ、また縦方向については度形を使用して取付け、拘束治具で固定を行った。しかし、

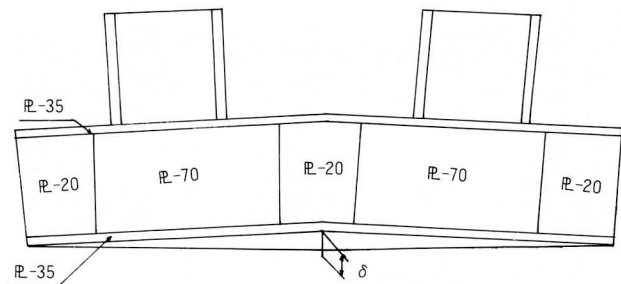


図-5 柱シャフト予歪取り方

表-1 柱シャフト予歪量

	溶接前(δ)	溶接後(δ)
7. 8節	8~10mm	4~6mm
12節以上	3~5mm	-1~3mm

7~8節では横方向については、溶接後の倒れが出て矯正が多くなったので12節以後は、フランジの、はだすき側に拘束プレートを取付け歪防止を行った。(図-7、8、9 に示す)

1) 横方向精度

$a = a_1$ にセット

a_2 、 a_3 を測定

$a_2 - a_3 \leq 1$ とした。

2) 縦方向精度

度形でセット後治具で固定した。

3) はだすき

12節以後では、はだすき2mm未満について拘束プレートを取付けた。また2mmをこえるものは、2mm未満になるようにフランジ密着部分をグラインダーにて、すり合わせを行った。

建物が円形構造なため小梁、ブレース等の取合が斜めに入ってくる個所が多いことと、小梁及びブレースガセット取合が接近しているため、組立工程と溶接工程が何回にもわたり往復しなくてはならなかった。

図-10において、①のプレートは溶接後超音波探傷検査をしその後②のプレートを付けるので欠陥があると工程が停滞するので特に初層の欠陥を少なくする為にウラ板に開先加工を行い欠陥の発生を防止した。

(c) 溶接

本工事にはアーク手溶接、ガスシールドアーク半自動溶接、ガスシールド自動溶接、サブマージドアーク自動

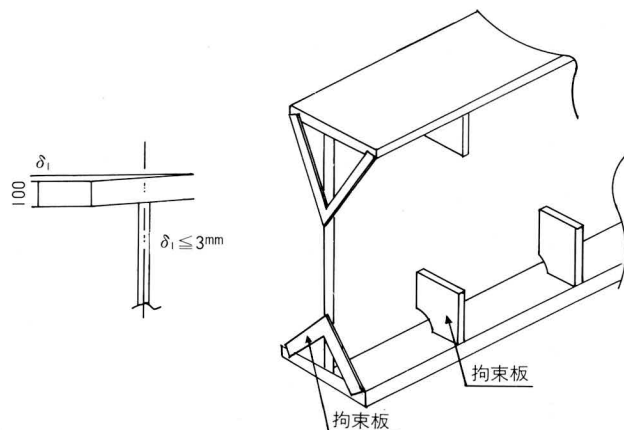


図-6 柱シャフト拘束板

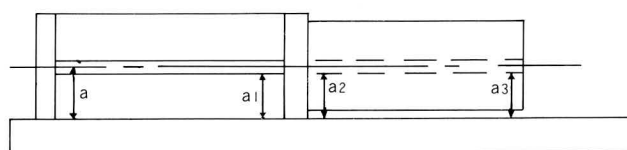


図-7 ブラケット横方向固定

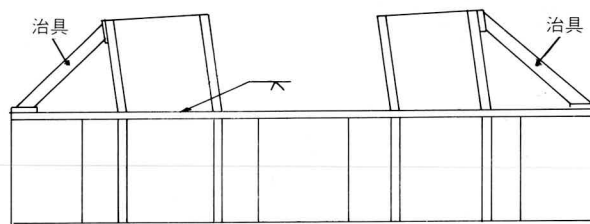


図-8 ブラケット縦方向固定方法

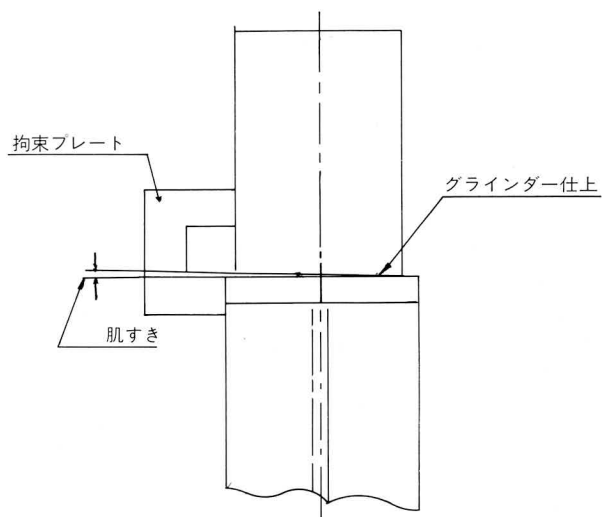


図-9 ブラケット拘束板取付けはだすき処理

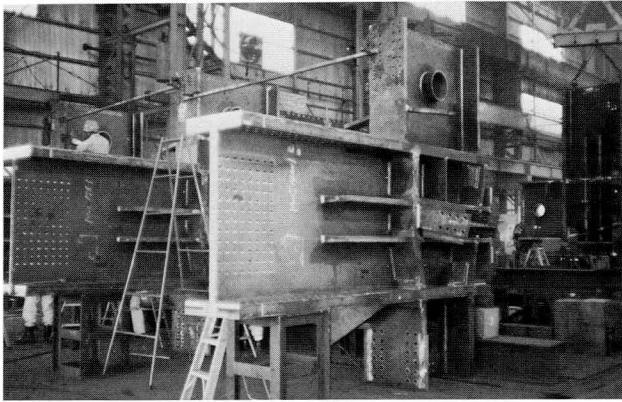


写真-2 50階柱幹組立

溶接を併用した。(表-2に示す)

柱リブの溶接は溶接歪を防止する為10~15mm倒し、ウェブ側の溶接を先に行い、ストッパーに着いた時点でフランジ側の溶接を行うことにより、リブの歪を2mm以下に押さえる事が出来た。(図-11に示す)

厚板の予熱はガスバーナーによる方法を主とし、特に厚板の場合は電熱器を使用して全体が充分所定の温度になる様に加熱した。温度チェックは溶接作業員全員に温度チョークを持たせ予熱管理を行った。溶接欠陥についての詳細は検査の項で記すがブローホールあるいはクラッカーワレが溶接始末端部等の一部に見られたが大きな欠陥もなく施工が出来た。(図-12に示す)

柱ブラケットの溶接は、変形を防止するため溶接順序を考慮した。たとえば、肌すきがある場合や溶接欠陥がフランジ端部に出た場合には、ハズルため、7~8節では倒れ精度1.5mmを越す所が64個所の内、5~6個所出た。12節以後については、肌すきの個所や欠陥手直しを行う所には、拘束材を取り付けて歪防止を行った。64個所の内2ヶ所では1.5mmを超える結果となった。

(d) 矯正、仕上げ

加熱矯正が規制されている為に機械矯正又は拘束治具による方法、溶接順序を考慮した方法(図-13、14に示す)を駆使し、加熱矯正を最少限に押さえた。

柱の現場接合部は設計上メタルタッチを要求されており、現場建方時の精度が0.8mm以下となる様にしないでならない。そこで工場製作時には端面直角度を部材巾のうちで0.5mm未満になる様に直角定規、トランシットを使用して計測し、フェーシングマシンによる仕上げを行った。(図-15に示す)

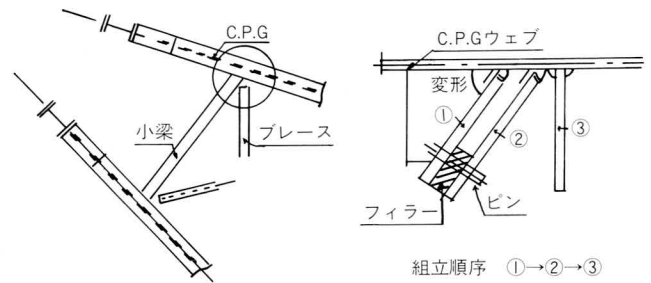


図-10 ガセットプレート取付け方法

表-2 溶接方法とその割合

溶接方法	サブマージドアーク	ガスシールド自動	ガスシールド半自動	アーク手溶接	全溶接長
溶接内容	柱板継ぎ C.P.G.フランジ 板つぎ	C.P.G.I形 すみ肉溶接 P.G.I形 すみ肉溶接	柱シャフトすみ肉 リブ突合せ C.P.G.ウェブ板継ぎ C.P.G.リブ溶接 その他	仮付 デッキ受溶接	—
溶接長割合	3%	12%	84%	1%	722,000m

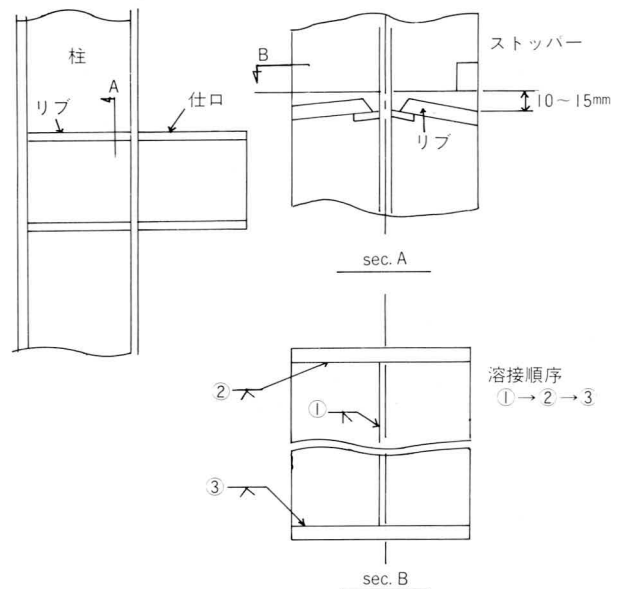


図-11 柱リブ溶接方法

表-3 予熱温度

板厚	予熱温度
38-64mm	66℃
64mmをこえる	107℃

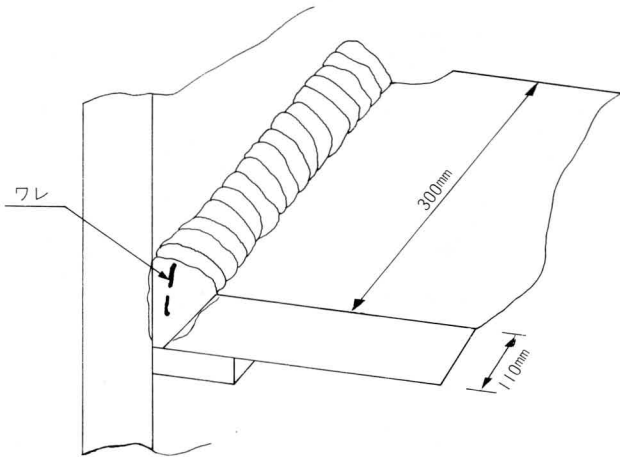


図-12 クレーター割れ

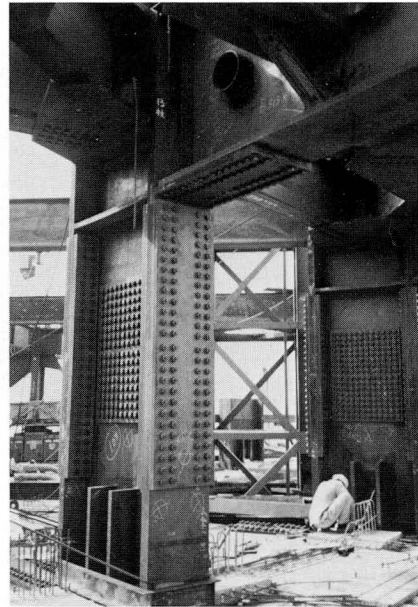


写真-3 50階柱現場建方完了

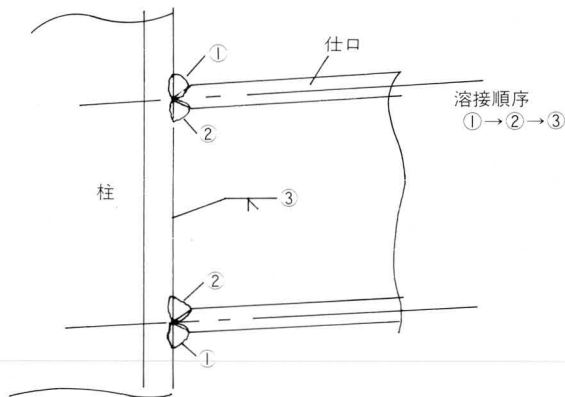


図-13 柱ブラケット溶接順序

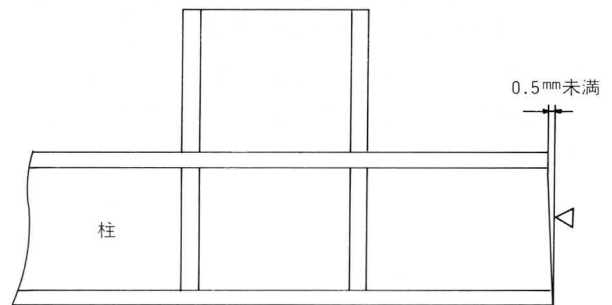


図-15 柱端面精度

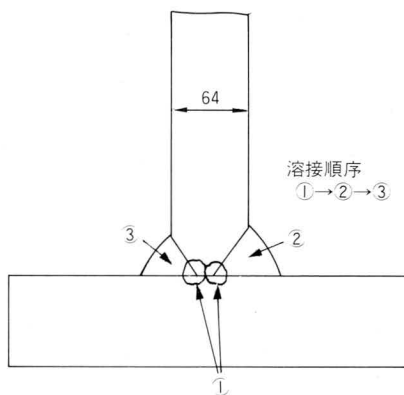


図-14 柱梁、工型溶接順序

4. 寸法検査及び非破壊検査

(1) 寸法検査

寸法精度は、おおむね満足できる結果であった。この内の一部であるが17節から19節までの主要寸法誤差のヒストグラムを図-16に示す。他の節も同様の傾向であった。

(2) 非破壊検査

溶接部の非破壊検査として超音波探傷検査と磁粉探傷検査を行った。特に耐ラメラティア鋼材を使用した柱と片持ち梁の接合部については、ブラケットを取り付ける前に垂直探傷で、ブラケット溶接後斜角探傷でラメラティアを対象とした検査を行った。超音波探傷検査結果を表-4に示す。磁粉探傷については当初数箇所のカレーター割れが検出されたが、その後改善され良好な結果であった。

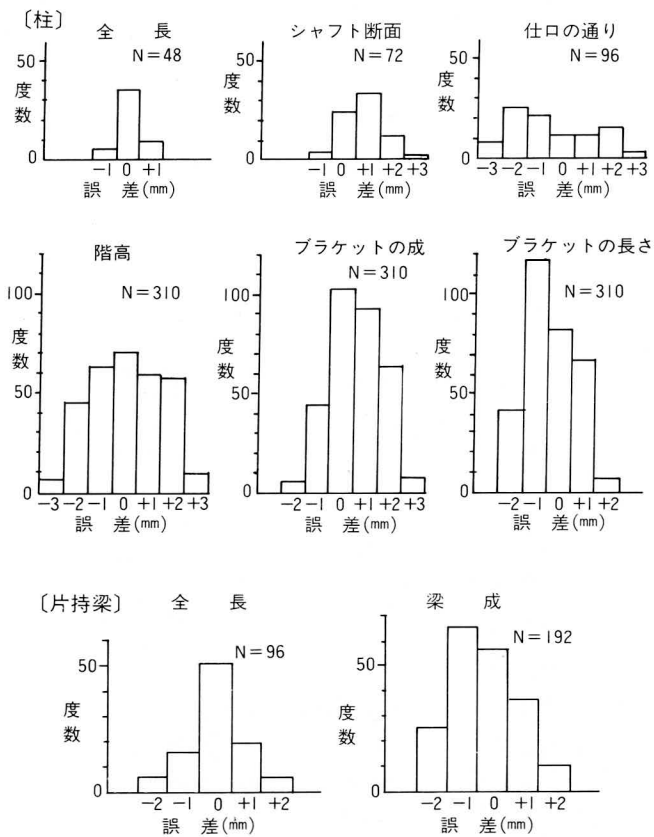


図-16 主要寸法誤差ヒストグラム(17~19節)

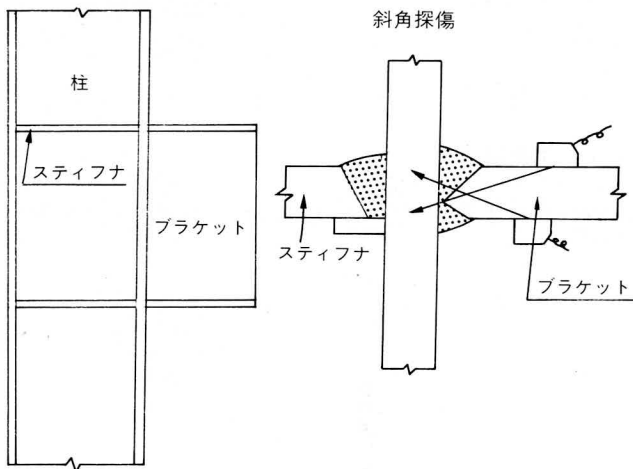


図-17 ラメラティア検査

表-4 超音波探傷検査結果

	探傷箇所数	合格箇所数	合格率
溶接部検査	17531	17327	98.8%
ラメラティア検査	768	768	100.0%

5. むすび

徹底した品質管理と、正確な情報伝達によって、ユニークな構造形式を持つ本工事は、1985年9月上旬全ての工場製作を完了することができた。

ここに、完了までの概要を報告することによって、今後の製作に何らかの御役にたてれば幸いである。

おわりに本工事の製作にあたって、お世話になった(株)大林組、新日本製鐵(株)他、各関係者の皆さんに紙面を借りて謝意を表したい。