

超高層建築（ホテルニューオータニタワー）における鉄骨架構上の諸問題

大成建設(株) 矢島四朗 平島治 磯野敏雄 田中淳夫 ○熊野隆喜

ホテルニューオータニタワー（新館）は地下1階地上40階、軒高132mの超高層ホテルとして、本年8月末に完成した。当ホテルの建設に当って、大成建設は独自に開発した積層工法を採用し、超高層建築のプレハブ工業化に成功した。

今回は、そのうちの鉄骨架構について重点的に記す。

1. 鉄骨架構の概要

外周フレームで架構全体の剛性を確保し、外力の大部分をこれによって処理する、いわゆる外殻構造である。柱は400シリーズの極厚H形鋼、梁はH-700×300シリーズを使用した。

内部のフレームは鉛直荷重を支えることを主とした補助フレームで、建物内部の天井高を確保するため梁はH-450×300シリーズを使用した。

7～37階にはTAC式可撓耐震壁を配した。TACは鉄骨で補強されたプレキャストコンクリート耐震壁を、仕口の鉄板で可撓性をもたせたものである。

基準階の梁伏図は図-1のとおりであり、主要部材のリストを表-1に示す。

建物概要

建築面積 7,060㎡(2136坪)
延床面積 88,631㎡(26,811坪)
基準階床面積 1,434㎡(434坪)
階 数 B I F 40 F P H 3 F
軒 高 132.3m(海拔156m)
基準階階高 2900mm
客 室 1,006室

構造概要

基 礎 鉄筋コンクリート ベタ基礎
B1階～1階 SRC造
2階～40階 S造 7階以上は積層工法

積層工法概要

外周鉄骨 キ形柱、交互ジョイント方式
内部鉄骨 H形柱 1階1柱
床 P C板
耐力壁 P C可撓耐力壁(TAC)
間仕切壁 P C板
外 壁 P C板
浴 室 P Cバスユニット

表-1 主要柱はりリスト

階 数	柱				は り	
	C ₁	C ₃	C ₅	C ₇	G ₁	G ₃
35	16/24	16/24	16/24	552×350×14	H-692×300×13×20**	H-434×299×10×15
25	20/30	18/28	20/30	" ×19	H-692×300×13×20	同 上
15	30/40	30/40	40/45	" ×25	同 上	H-440×300×11×18
5	55/70	55/75	60/75	" ×32	BH-1400×300×14×14	端 中央 BH-1400 BH-800× ×300×14 300×12 ×14 ×14

備考 C₁ C₃ C₅ C₇ 400シリーズ圧延H形鋼* プレート加工BOX H:圧延H形鋼 BH:組立断面材
*表示はウェブ厚/フランジ厚 **この材のみSS41

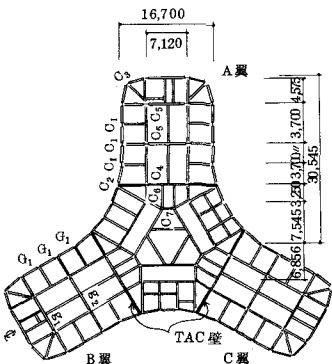


図-1 基準階はり伏

柱の継手はフランジ厚の薄い高層部はフランジ，ウェブとも高力ボルト摩擦接合とし，これ以外はウェブについては高力ボルト，フランジは主要な外周柱，および下層の階高の高い階では全溶接とし，中柱については部分溶け込み溶接メタルタッチ継手とした。梁継手は外周梁においてはスパン中央でフランジ，ウェブとも高力ボルト摩擦接合である。

2 素材選定上の問題点

極厚H形鋼を使用するに当って，溶接性，寸法精度等については詳細に検討した。その結果及び，施工時の測定記録による問題点を記す。

2-1 極厚H形鋼の溶接性の検討

i) 最高硬さ試験 ⑤-16LH (JIS-D5016) とLB-52A (JIS-D5026) の2種類の溶接棒について試験を行った。

最高硬さの目標値をH_v(10kg) で350以下と考えると⑤-16Hを使った場合は予熱温度として150℃，LB-52Aを使った場合は100℃となった。

ii) 斜めY形溶接われ試験 試験の結果，手溶接の場合，板厚75mmまでは60℃の予熱を行えば割れが生じないことがわかった。板厚90mmでは80～90℃ 125mmでは100℃位の予熱で割れの発生を防止できる。

iii) 溶接ビード曲げ試験 この試験は，室温と50℃予熱について行ったが，いずれも規定値を大巾に上廻っている。

iv) 溶接ビードの切欠き曲げ試験 省略

以上の試験結果から溶接部の予熱温度を表-2のように決定した。

表-2 予 熱 温 度

板 厚	25 m/m以下	予熱ナシ
26～50	50℃	
55～60	60℃	
65～80	80℃	
仮付溶接，タラップ，スタッド等	50℃	

2-2 極厚H形鋼の寸法精度について

柱に使用するH形鋼の誤差のうち，高さH，直角Y₁Y₂，曲り，ウェブ片寄りの4項目は鉄骨の製品精度及び仕口溶接部の開先精度に大きく影響する。

当工事に使用する極厚H形鋼については，表-3のようにJIS規定値より厳しい許容誤差とした。

実際に圧延されてくるH形鋼の誤差の測定値を図-2に示すが，すべて許容値以内におさまっている。

鉄骨の製作は組立治具上で仮組するため，これらの誤差は仕口部の開先部分と，製品精度とにしろ寄

表-3 H形鋼許容誤差

柱主材 400×400シリーズ			
高 さ	H		± 3.0 m/m
直 角 度			Y ₁ 1.5 Y ₂ 1.0
曲 り		XY方向共	1/2,000
ウェブ片寄り			$\frac{ b_1 - b_2 }{2} \leq 3.5$

がくることになるが、特に支障にはならなかった。素材の精度をこれ以上厳しくすることは、鋼材の単価アップとなるばかりで問題であろう。

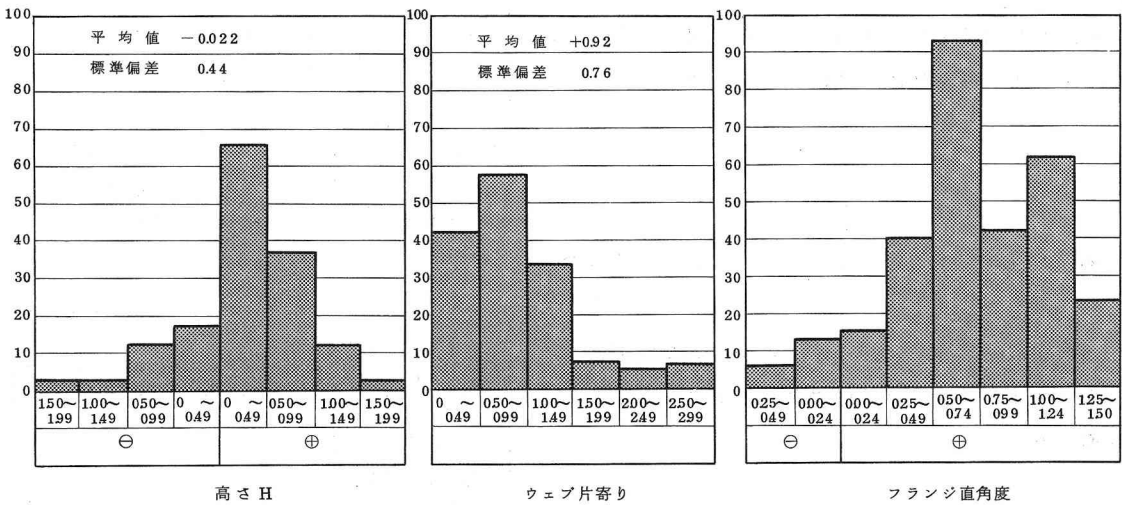


図-2 極厚H形鋼誤差実測値(45/60~65/80)

3. 鉄骨部材の構成

積層工法は鉄骨とPC部材を1階1階組立てるのを原則としている。これは1階毎の作業は能率的であり、安全で正確な組立ができるからである。しかし鉄骨柱を1階毎に切断して継手数を多くするのは、工程上、鉄骨工事費の面で好ましくない。当工事ではこれらの問題点を下記のように解決した。

- 外周フレーム 2階1柱のキ形柱で、柱継手は交互ジョイントとする。
- 内部フレーム 梁と1体のH形で各階ジョイントとする。コア柱は梁との取合はすべてピンジョイントの単柱とする。

鉄骨の割付けを図-3に示す。
外周柱の継手を交互にしたのは次の理由からである。

- ① 建方部材数が各階平均化される。
- ② 本締などの作業量が各階一定となる。
- ③ 作業が1階分の高さで行え、安全かつ能率的であり、足場などの仮設材も軽微ですむ。
- ④ 構造的には継手が並列にならない。
- ⑤ 組立時の仮止めが安定しており、建入れ直しも容易である。

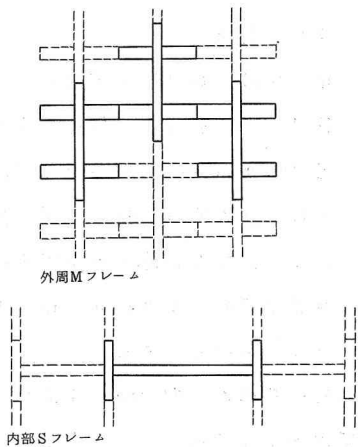


図-3 鉄骨割付け図

部材数を一般工法の鉄骨構成と比較すると表 - 4 のとおりである。

鉄骨の部材数は一般工法に比べてやや多くなっているが、P C 内壁を梁と地組して一体荷揚することによって、組立部材数は、逆に少くなっている。

表-4 部 材 数 比 較

	オータニ積層工法	一 般 工 法
外 周 柱	$48/2=24$ ピース	$48/3=16$ ピース
内 柱	9	$30/3=10$
コ ア 柱	12	
梁	109	148
内壁地組1体小梁	(30)	
階 段	20	20
計	204	194
	(174).....	内壁と梁を1本と考えた場合

継手数を一般工法と比較すると表 - 5 のとおりである。

柱の継手は一般工法に比べて多いが、梁では逆に少くなっている。柱の継手の簡易化、省力化が1つの課題となった。

表-5 継 手 数 比 較

	オータニ積層工法	一 般 工 法
柱 継 手		
外 周 柱	4ヶ所	4ヶ所
内 柱	$9 \times 2 = 18$	$30/3=10$
コ ア 柱	12	
梁 継 手		
外 周 梁(キ形)	51	51
内 梁	$136 \times 2 = 272$	$145 \times 2 = 290$
計	377	367

3 - 2 鉄骨部材の精度

特有な平面形のために、種々の角度をもった仕口の鉄骨の製作が必要となり、その精度の確保と製作能率の向上による鉄骨製作費の節減を下記要領により行った。

- ① 部材の切断はコールドソーで行い、切断面を高精度に加工する。
- ② 部材の孔明けは多軸ボール盤でN O 制御にて行う。
- ③ メタルタッチ面はミーリングマシンで削り仕上げを行う。
- ④ 組立ては、組立治具上で行う。
- ⑤ 鉄骨部材の製作は、数社に分割発注したが、各社の担当分は、建物をたてに分割し、工場では少数の治具で長期間同一製品を作ることにより、精度と能率を確保する。
- ⑥ 現場での組立誤差は6階毎に測定して工場にフィードバックする。

製品精度基準の1例を図 - 4 に示す。全長は誤差の累積があるので厳しくしてある。

また製品の測定結果の1部を図 - 5 に示す。ほぼ基準値内に納まっており、この程度の精度を確保すれば組立て上も特に支障はなかった。

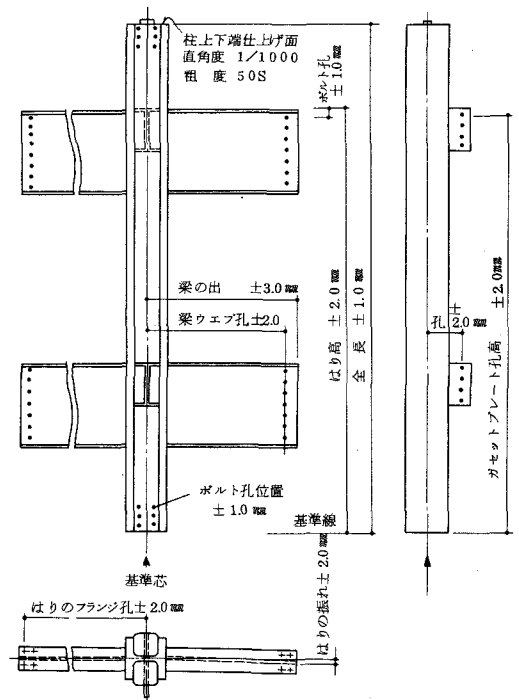


図 - 4 鉄骨製品精度基準

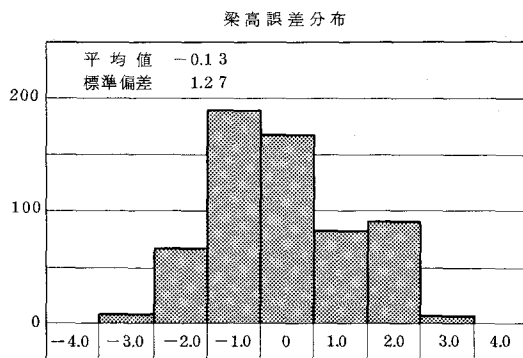
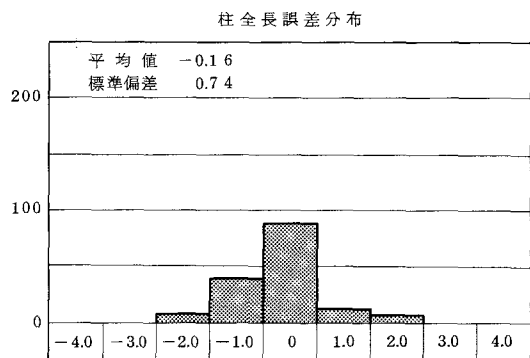


図 - 5

4 鉄骨組立における問題点

4 - 1 部材の接合部

前述のように柱の接合部の簡易化、省力化が大きな問題であるが、当工事では、狭開先自動溶接法と、メタルタッチ部分溶け込み溶接の採用によって解決した。

i) 狭開先自動溶接

外周柱のフランジの溶接に狭開先自動溶接を採用した。この溶接法は次のような利点がある。

- ① 溶接量が少く能率的である。
(板厚 75 mm でレ形開先の 2 分の 1)
- ② 運棒の自動化により溶接工の疲労が少なく、
従って欠陥も少くなる。
- ③ 開先加工が不要で、鉄骨の製作費が安い。

柱の溶接は P C 部材の組立後に行うため、室内と同様な好条件で施工できた。溶接時間は表 - 7 のとおりで、従来の半自動溶接とは比較にならないくらいに省力化された。

ii) 部分溶け込み溶接

内柱はメタルタッチ部分溶け込み溶接とし、開先は J 形とした。J 開先はレ形開先に比べ初層部の溶け込みが良く欠陥が少ない。開先の加工は開先形状に合せた刃形を用意すればミールリングマシンで切削できる。

図 - 6 に J 開先の断面形状を示す。

表 - 6 狭開先自動溶接の仕様

装 置	NHM-3 (トーチのねらいは手動)
シールドガス	Ar 80% + CO ₂ 20% 流量 50 l/min
開 先	I 形 ルート間隔 1.4^{+3}_{-2} m/m
ワイヤ	MG-50 1.6ϕ 自動供給

表 - 7 狭開先自動溶接による柱の溶接時間

フランジ厚	フランジ長	溶接時間
80 mm	約 450 mm	約 180 分
65	" 440	" 140
50	" 420	" 110
35	" 410	" 90

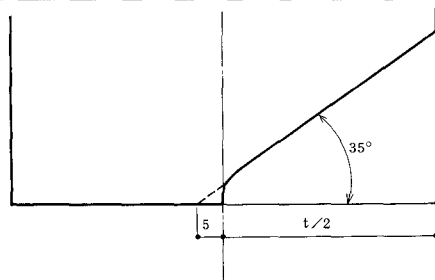


図 - 6 J 開先形状

4-2 部材組立時の精度について

i) 鉄骨の建入れ

鉄骨の建入れは床板上の基準墨から測定し歪直しを行った。建入れ精度の目標値を $\pm 5\text{ mm}$ 以内とした。図-7に外周柱の建入れ精度測定結果を示す。すべて目標値以内に入っている。

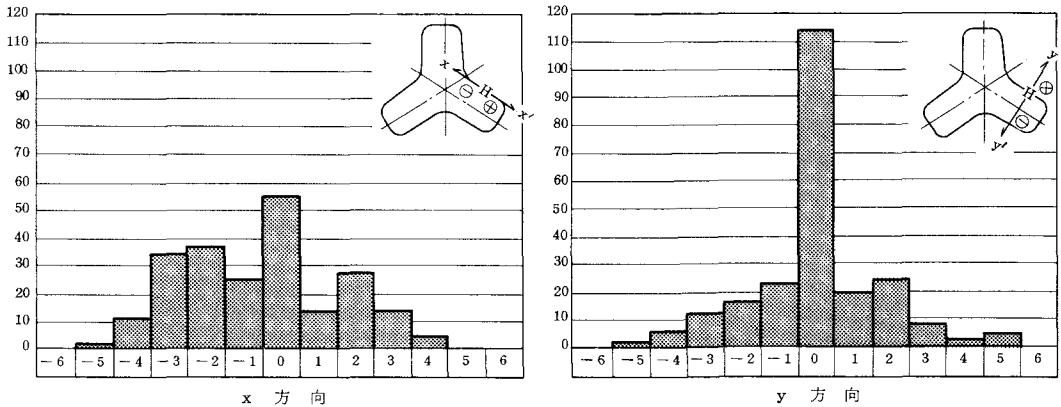


図-7 外周柱の建入れ精度

建物全体の倒れは、3翼端において外壁面で測った。測定の結果は最大値で20 mmであったが、この値は外壁の取付け誤差も含まれており、鉄骨の倒れとしてはもっと小さいものと思われる。

ii) 鉄骨のレベル

6階毎にレベルを測定し、その誤差を工場にフィードバックして修正した。測定結果は全般的に高くなりがちで、0～+12 mmであった。これは柱の継手にスペーサーが入っていること、外周のキ形柱が梁の継手部でレベルが決まり、柱が浮き上がる傾向にあること、内柱はメタルタッチであることなどにより、誤差は正の方向に出がちであったことが原因である。

iii) 柱継手の溶接部の誤差

柱継手の上下フランジの目違いは、H形鋼の公差、加工誤差、組立誤差などが加算されて生じる。当工事の場合、最大8 mmの目違いが見られたが、溶接断面に欠損を生じないように裏当金及び補助受金を図-8のようにした。測定結果を図-9に示す。

また狭開先自動溶接の開先間隔は14 mmを標準としたが、実際に測定すると、11 mm～20 mm程度の範囲に分布した。測定結果を図-10に示す。開先間隔の許容値としては12 mm～18 mm程度が好ましいが、20 mm程度でも走行速度の調整によって溶接は可能であった。

メタルタッチ面の密着も重要なことの1つであるが、完全なタッチはやはり難しく、図-11の測定結果にもみられるように、大半は0.5 mm以内におさまっているが、1 mmをこえるものも多少見うけられた。すきまの処理は、数種類の厚さの薄板を用意しておき、すきまにあわせて充てんした後、溶接を行った。

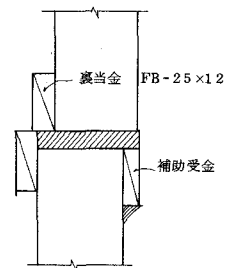


図-8 フランジ目違いの処理方法

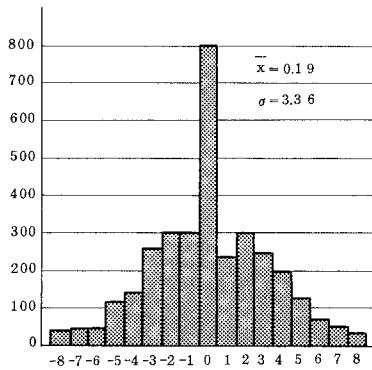


図-9 フランジ上下の目違い測定値

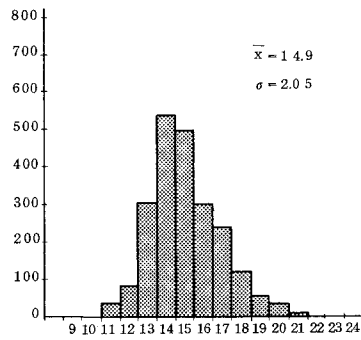


図-10 狭開先自動溶接部の開先間隔

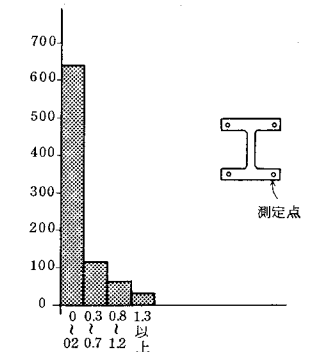


図-11 メタルタッチ部のすきま測定値

4-3 高力ボルト締付け精度

高力ボルトはF11T及びF10TのM24, M22を使用した。締付機械は当社開発のICエスパーレンチを使用した。トルク値の検査結果の1例を図-12に示す。トルク値のばらつきはボルトの種類によって多少ちがうが、標準偏差で1.8%~2.6%程度で、非常によい結果となっている。

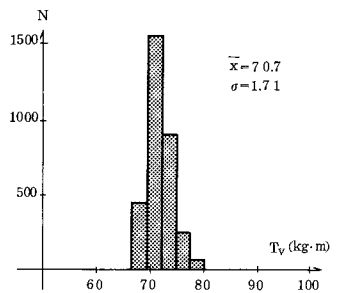


図-12 高力ボルトの締付トルク測定値
(梁継手M22の場合)

5 溶接部の品質管理

当工事では、溶接作業はPC板で囲まれた中で行ったので、足場もよく、風雨の影響もほとんどなかった。溶接前に前述の温度まで予熱し、温度チョークでチェックした。溶接後の検査は超音波探傷法と、放射線透過試験を併用した。検査及び溶接部の手直しの手順は次の通りである。

一般柱 超音波探傷を全箇所について行い欠陥が認められたものについては放射線透過試験を併用して手直し方法を検討する。

翼端柱 全箇所について超音波探傷と放射線透過試験を行う。両試験の結果を見合わせて、

(引抜柱) 手直し方法を検討する。

図-13に翼端柱についての検査結果を示す。図の結果から次のようなことがわかる。

- ① 超音波探傷法による欠陥率は7%であるが、そのうち放射線透過試験共欠陥として表われているものは1%にすぎず、残りの6%はかなり微少な傷を検出していると思われる。
- ② また逆に超音波探傷では検出しなかったが、放射線透過試験で欠陥ありというものが4%あった。

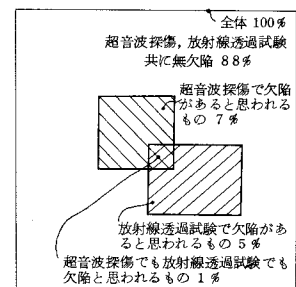


図-13 翼端部柱溶接部検査結果

欠陥の手直しの判断は

①溶接部の重要度はどうか、②溶接部の板厚に対して欠陥の影響はどうか、③欠陥の位置はどうか

等を考慮して行った。微少な欠陥を手直しするためにガウジングを行うことは、母材を硬化させ、炭素粉末などが補修溶接に悪影響を及ぼすことを考えると必ずしもよい結果を得るとは限らない。

以上の結果を考えると、溶接部の検査を超音波探傷にのみ頼るのは危険であり、重要な溶接部は放射線透過試験を併用すべきだと思われる。なお、当工事の場合、溶接検査費用は、現場溶接費の35%であった。

6. 自重による柱の縮みについて

超高層建築における外殻構造は、耐震要素となる外周柱と、長期軸力によって断面が決定する内柱とでは、建物自重による柱の縮み差がはげしい。そのため外柱と内柱を結ぶはりに附加応力が生ずる。とくにこの建物の場合下層階から一層ごとに床、柱、浴室をとりつけてゆく工法をとるため、上層部が出来上るとともに下層部に漸次縮み差が累加されて支障をきたすことも充分考えられる。

このような観点から、各層建方時、および建物完成時の柱の変形と附加応力の検討を行なった。

図-14～図-16に検討結果、および実測結果を示す。図-14は各階の柱寸法を修正することなく建方を行った時の、建方時および建方完了時の沈下量を示したものである。この場合は柱間のレベル差が30mmをこえる。このことから建方時に各階でレベルになるように調整を行うことにした。この場合の各階沈下量およびレベル差は図-15、図-16に示すようになり、レベル差も18mm以下になる。

建方の進行に伴い、実測をおこなった結果を図-14にプロットする。計算値と実測値がよくあっているのがわかる。

施工的には床勾配、壁の倒れ、設備配管等に対する影響に配慮した。

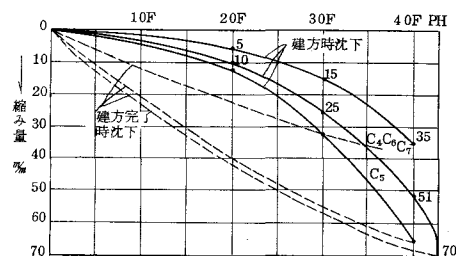


図-14 レベル調整をしない場合の沈下量

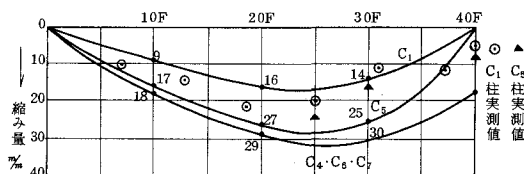


図-15 各階レベル調整後の建方完了時沈下量

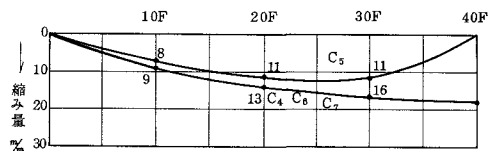


図-16 各階レベル調整後の建方完了時柱間レベル差

以上でホテルニューオータニタワーの鉄骨架構上の諸問題についての検討したこと、実際の施工に当たっての測定結果について記した。工事は順序にすすみ、特に問題となる点はなかったが、今後の問題としては、溶接部の検査方法の確定、高力ボルトのナット回転法による省力化などが考えられる。