

はじめに

恵まれた住環境を創造するためには、良質で安定した価格の住宅を供給すること、並びに周辺環境の整備のために比較的広い空地を確保することが必要とされている。前者の対策としては現場作業の省力化を計った構法の採用が有効な手段とされ、そのために、住宅をプレファブ化し工場生産するという考え方が定着しつつある。さらに、この生産方式による住宅を量産し供給することによってその効果は高められる。後者に対しては限定された住宅用地の活用のために、住宅群を高層集合住宅とすることによって空地を確保し、住宅周辺環境の向上を計ろうとしている。このような動向は我が国に限らず欧米諸国においても同様であり、主として行政側は住環境の向上のための新方式や新構法の出現をコンペなどによって刺激する、いわゆる Operation Breakthrough方式を採用して追求しているようである。本報告に述べる新構法も上述の背景のもとに行われた提案競技において提案したものであり、本計画の特徴となっている比較的ユニークな形態は、高層集合住宅の住戸機能及び住戸周辺環境の向上を計るための建築計画上の要求と、工業化工法を指向する新構法が有機的に結びつけられたものである。

本報告では主として構造設計の概要並びにこの構法の特徴となっている接合部に対する設計方針、機構及び施工精度との関係について述べる。

1. 基本計画

ここに述べようとする計画は高層集合住宅の形態としては従来に無いユニークなものとなっているが、このような形も住宅或いは高層集合住宅はどうあるべきか、という建築計画上の要求から強く動機づけられたものに他ならない。すなわち、住性能への要求の多様性に応えるためのプランバリエーションに対して自由度の高い住空間、プライバシーの確保などの住宅としての基本条件と、集合住宅の計画上重要な共同社会との接触の機会、場の創造、さらに、これが高層となった場合の各個住宅への合理的なアクセス方式、防災避難対策などが建築計画上の要求である。これらを設計にとり入れた結果が、2住戸1階段型式の採用、共用階の設置、に代表される具体的な形となって表われたものである。一方、住宅事情の現状を考慮すれば高層集合住宅の持つべき機能を、高度な品質管理とコスト

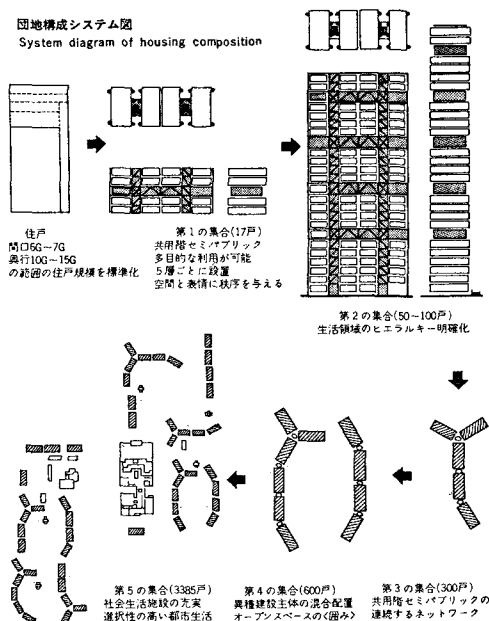


Fig. 1 団地構成システム

ダウンに結びつく工業化工法によって実現させる構法の追求が社会的ニーズとして大きくとらえられつつある。工業化の定義は難しいが、従来の建築生産方式を脱し一歩工業化に近づくものとして、先ず、構成部材のプレファブ化及び工場生産化（工業製品化）を計る方法がある。すなわち、部材の標準化を計りこれを工場において量産化することによって高度な品質管理による一定の品質を持った部品の供給、安定したコスト、現場作業の省力化及び比較的气象条件に左右されない工期などを建築生産の中にとり入れることが可能となる。このような観点から本計画では工業化を指向する大きな特徴として構造体と住戸ユニットを分離した新構法を採用している。すなわち、規模や位置による部材寸法の変化は構造体のみで吸収し、住戸ユニットを構成する部材に対してはこれをできるだけ標準化するという考え方にもとづいている。以上述べたように本計画の建物形態における基本的特徴は、2住戸1階段型式の採用、共用階の設置、構造体と住戸ユニットの分離であるが、これらの基本的特徴に、任意の敷地面積、形状及び住戸数に対する自由度の高い住棟配置、並びに住棟規模、構造計画的な見地からとらえた安定した架構形式、構造体の集約化、標準化などの要求が付加されて以下に述べる形にまとめたものである。

(Fig. 1 参照)

全体計画の概要は、住宅団地用海岸埋立地に異種建設主体の混合による住宅約3,400戸、14階建て以上の高層集合住宅を建設する計画である。建設主体別建物概要をTable 1に示す。また、階数構成はFig. 2に示すように14, 19, 24, 29階の4種類であり、住戸面積の種類をこれらと組み合わせると11タイプのバリエーションがある。Fig. 3に住戸プランの1例を示す。

Table 1 建設主体別建物概要

建設主体	KE	KS	DA	DB	MA	MB
住戸占有面積に対する構造体ユニット (0)	6×10	6×12	6×13	7×13	7×14	7×15
閉上に対する面積(㎡)	484	583	651	757	781	851
階数 (階)	14	14	19	14	19	24
高さ(ラフト天)(m)	40.82	40.82	50.02	40.82	50.02	60.22
高層階高30.3-(m)	30.0	30.0	34.0	30.0	34.0	48.0
階高 (m)	住戸階	2.58		2.63		
	共用階	3.23		3.27		
スパン (m)	A	2.70	8.40	9.50	9.50	10.20
	B	6.250	6.235	6.250	6.240	6.255
	C	2.650	2.650	2.510	2.650	2.510
	D	5.910	5.910	5.920	5.910	5.920
基準階床面積 (㎡)	228.05	248.50	277.59	322.56	365.64	548.73
床面積 (㎡)	3,038.0	3,789.0	5,101.5	5,886.2	5,274.2	6,662.1
住戸数 (戸)	12	4	5	5	4	2
住戸数 (戸)	596	199	396	249	551	411

注 1. 標準グリッドは10mグリッドとする。
2. スパンA, B, C, Dは下図の寸法を示す。

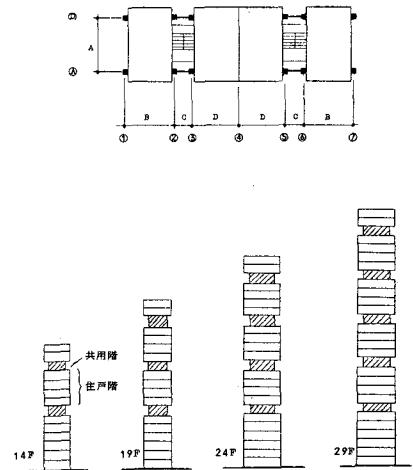


Fig. 2 階数構成

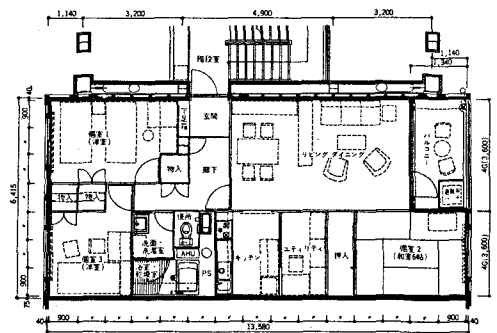


Fig. 3 住戸ユニット平面図 (MBタイプ)

2. 構造設計概要

2-1. 架構形式

住棟の構造骨組形式を Fig. 4 に示す。住棟の構造上の基本単位は図に示すように4戸／階の平面で構成している。桁方向（X方向）は階段コア部分を柱とし、共用階をはりとする大きなラーメン状の架構2面に集約することによつて住戸のための自由な空間をつくりだしている。張間方向（Y方向）については階段側面架構4面を剛節トラス架構としてトラスの性状をもつ架構形式としている。以上の桁方向架構2面、及び張間方向架構4面が耐風・耐震架構であり、妻側架構はいづれの場合にも鉛直荷重のみを支持する。また、建物全体としての水平面内剛性を確保するために共用階上、下床面に水平ブレースを組んでいる。

2-2. 住戸ユニットの構造

住戸ユニットの構造概要を Fig. 5 に示す。住戸ユニットはP C a板（プレキャストコンクリート板）組立工法によつて構成され、最下部分を除き4層分の住戸ユニットが共用階直上のはりの上に載っている。P C a床板及びP C a壁板は鉛直荷重を支持し、荷重はP C a床板からP C a壁板を伝わり、4層分の鉛直荷重が共用階直上のはりで支持されている。また、これらのP C a板は耐風・耐震要素としては関与しない機構としている。

2-3. 住戸ユニットと構造骨組との関係

構法上のシステムを特徴づける要素は、構成部材、構成方法、接合方法であると考えられるが、この構法における構造体と住戸ユニットの分離という構成方法を考えると接合方法が最も重要であり、かつ、この構法を特徴づけるものであるといえる。ここでは接合部周辺の設計条件について述べ、接合部の詳細については後述する。

P C a板の接合部は大別して、P C a板相互の接合部とP C a板と構造骨組との接合部があり、各接合部において要求される機能と力を伝達しうる耐力を保有するように設計している。住戸ユニットの壁及び床は

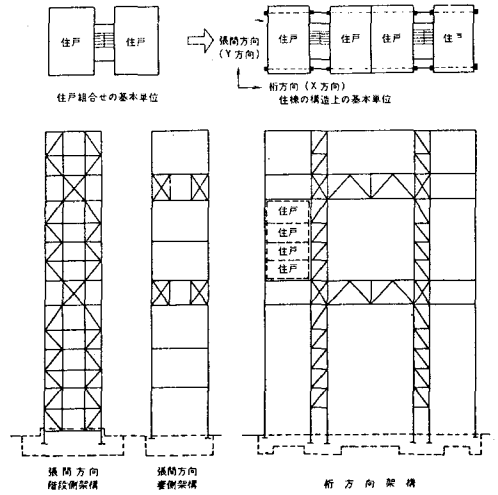


Fig. 4 構造骨組形式

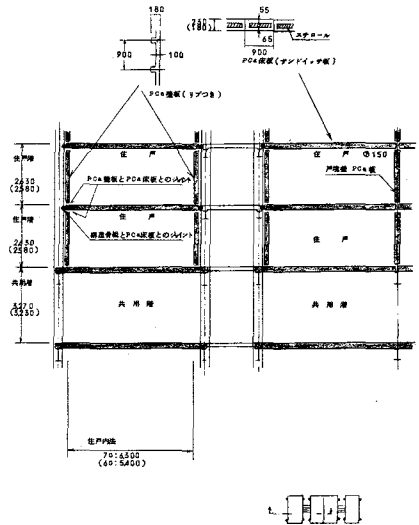


Fig. 5 住戸ユニット構造概要

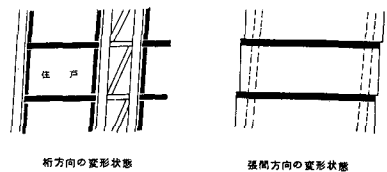


Fig. 6 住戸ユニットの変形状態

鉛直荷重を支持するとともに、水平荷重時における構造骨組の変形に追従しうる機能をもつ必要があり、これらの関係は夫々の方向について模式的に Fig. 6 に示すような状態となるように設計している。特に張間方向の壁は、水平荷重時における大きなせん断ひびわれの発生を防止するため、鉛直荷重を支持しながら各層毎に剛体のままで水平方向に変位しうる性能が要求される。このため、各層の壁 upper 端に四弗化エチレン樹脂系にり支承材を挿入して、その上階の床と壁が一体となって水平変位しうる機構としている。P C a 板と構造骨組との接合部の代表的なものは、P C a 床板と柱との接合部であり、住戸ユニットの水平荷重を各層毎に構造骨組に伝達するために必要な機能と耐力を賦与している。

2-4. 下部構造（基礎及び地業）

埋立地に建設される高層集合住宅であることから、下部構造はできるかぎり剛強かつ靱性に富む構造であることが望ましい。本計画の下部構造に対する構造計画にあたって、鉛直荷重の支持、沈下など構造上満足すべき基本的な条件の他に、注意すべき点及びこれらに対する対策を次のように考えた。

- 1) 地震時における埋立砂層の液化化対策。
 - 住棟直下及び周辺部埋立層の地盤改良。
- 2) 上部構造の水平剛性にバランスした下部構造の水平剛性の確保。
 - 大口径鋼管杭地業。

地盤改良工法は砂質地盤の振動締め固めに類する工法であり、鋼管杭は比較的大口径のサイズを採用し、地盤改良工法との併用によって水平剛性を確保する。

2-5. 耐震設計

耐震設計はいわゆる動的耐震設計の手法を用いて行う。すなわち、建物の耐震安全性を確保するために、まず、外力条件に対して建物が保有すべき構造性能を設定する。次に、構造種別、規模などを考慮し動的な考え方をとり入れた設計用せん断力を設定して、これにもとづいて実構造物を設計する。この実構造物を数学的モデルに置換し、実構造物モデルとして動力学特性を評価し、地震応答解析を行う。このようにして得られた応答結果が当初設定した耐震安全性を表わす諸量並びにその分布の規定を満

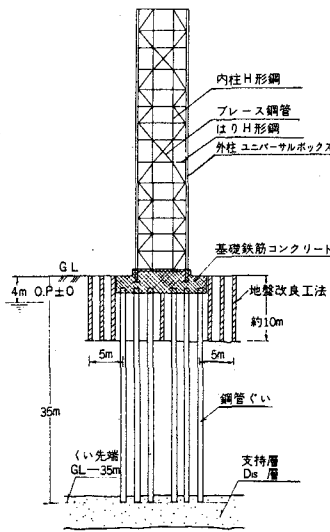


Fig. 7 構造概要

Table 2 外力条件と構造性能

外力条件		構造性能		想定耐震
地震力	風圧力	変形 ***	強度、靱性	
震度	加速度			
I 強震	0.2g	高層建物の揺れに 対して	$\leq \frac{1}{100}$ Rad	弾性
II 烈震	0.3g		$\leq \frac{1}{100}$ Rad	$\mu \leq 2.0$ ** (プレースは 層間しない)

注・ 加速度の値は地表面における地震加速度の値とする。
** : 靱性率
*** : 最大層間変位 (部材角)

Table 3 固有周期

種別 階数		KE 14		KS 19		DA 24		MB 29	
		X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
1T		1.41	1.50	1.75	1.97	2.30	2.52	2.66	2.70
2T		0.51	0.54	0.64	0.71	0.84	0.85	1.00	1.04
3T		0.32	0.30	0.42	0.59	0.56	0.70	0.70	0.83

Table 4 設計用せん断力係数

種別 階数		KE 14		KS 19		DA 24		MB 29	
		X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
最上層		0.520	0.510	0.515	0.550	0.420	0.510	0.285	0.560
1 層		0.236	0.230	0.190	0.172	0.145	0.150	0.128	0.125

足しているか検討し、必要ならば実構造物を修正して再度以上述べたと同様なループを繰り返す、いわゆるフィードバックループによつて設定した耐震安全性を確認する方法である。本計画において設定した外力条件と建物の保有すべき性能との関係はTable 2のとおりである。11タイプ中の階数を代表する4タイプに対する固有周期はTable 3に示すとおりであり、設計用ベースシャー係数 C_B は

$$C_B = \frac{0.33}{T} \quad (T \text{ は 1 次固有周期を表わす。但し、} 0.33 \geq C_B \geq 0.11 \text{ とする})$$

から算出し、それらの値はTable 4に示す。

鉄骨構造骨組の部材設計にあつては、耐震安全性を確保するための設計方針細則を定め、巾厚比の制限、ブレースに対する細長比の制限、柱軸力比に対する制限などを規定して弾塑性領域にわたつて良好な復元力特性を保持せしめるよう考慮している。このようにして設計された構造物に対する地震応答解析の結果の代表例をFig. 8に示す。

3. 接合部の設計

本構法では接合部は以下の3つに大別できる。

- i) 鉄骨と鉄骨との接合部
- ii) PCa板とPCa板との接合部
- iii) PCa板と鉄骨との接合部

i) の鉄骨と鉄骨との接合部については一般の構法の場合と比較して本構法の採用による特殊性は見られない。したがつて、ここではii), iii) 項の接合部について述べる。

3-1. PCa板とPCa板との接合部

住戸ユニットはPCa板パネルの組立構法によつて形成されている。各PCa板パネルは各パネルに埋込まれた接合金物を介して現場において接合される。床板、壁板は夫々数枚のパネルによつて構成され、夫々の面内剛性をできるだけ高めるように接合されることが望ましい。また、水平荷重時における住戸ユニットの変形状態をFig. 6のようにするためには、床板と壁板との接合部が想定している変形状態に追従しうる変形性能をもつ必要がある。

PCa板とPCa板との接合部の代表例として、床板の接合部JA並びに床板と妻側壁板(住戸ユニット奥行方向の壁板)との接合部JOについて以下に述べる。

a. 床板の接合部JA

この接合部に主として要求される性能は、水平荷重時における1住戸ユニットあたりの水平荷重に対して、これらをPCa板パネル相互に伝達しうる強度と床板全体を一体化しうる面内剛性の確保のために充分な剛性を保有することである。

接合方法は各パネルに埋込まれている金物に、これらを伸介する添金物を溶接することによつて各パネル相互を接合する方法である。この方法は従来のPCa板組立構法によく用いられている方法で

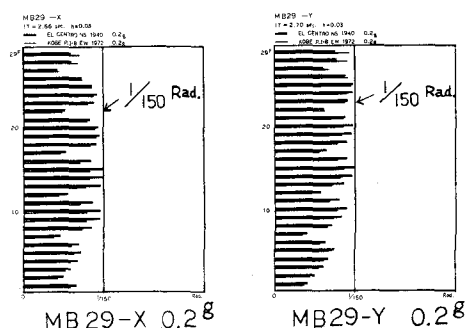


Fig. 8 地震応答解析結果
(MB29タイプ0.2g最大変位角応答)

あるが、本計画では埋込み金物のアンカーとして省力化を計るためにスタッドボルトを採用しているのが特徴である。

Fig. 9にJA接合部の形状を、Fig. 10にこの接合部の実物大モデルによるせん断実験の結果を示す。この図から終局強度 Q_u の設計荷重 Q_D に対する安全率は約2.0倍が確保されていることが判る。また、実験結果から得られた剛性を用いて検討した結果、床板全体の面内剛性が充分確保されていることを確認している。

b. 床板と妻側壁板との接合部 Jo

住戸ユニットを構成する壁板に対する設計条件として、耐風・耐震要素として関与せず、水平荷重時に大きなひびわれが生じないという条件を設けている。妻側壁板は比較的面内剛性が高く、かつ、住戸ユニットの鉛直荷重を支持しており、上記の設計条件を満足するため、Fig. 6に示したように張間方向の鉄骨構造骨組の変形に対して、各層毎に階段状に剛体変形することによって追従するような機構を設けている。各階の床板は後述するJ1接合部によって鉄骨構造骨組と結合されており、妻側壁板はその階の床板と一体として動くように接合されている。したがって、各住戸ユニットは鉄骨構造骨組の変形状態に応じて恰も机やたんすの引出し状に変形し、その動きや復元性は床板に設けられたJ1接合部によって鉄骨構造骨組の動きに追従するようになっている。妻側壁板が比較的高圧荷重下において摺動しうる機構として、Fig. 11に示すように床板と妻側壁板上端との間に四弗化エチレン樹脂系入り支承材を挿入している。入り支承材に対する摩擦係数と圧縮応力度との関係をFig. 12に示す。この入り支承材は圧縮応力度が高まれば摩擦係数が低下する傾向を有しているのが特徴である。入り支承材に対する設計用面圧は、耐圧強度、クリープ特性、圧縮応力度と摩擦係数との関係などを考慮して $\sigma = 140\text{kg/cm}^2$ を採用し、一方、設計用摩擦係数については施工上の精度、接触面の条件悪化などを考慮して

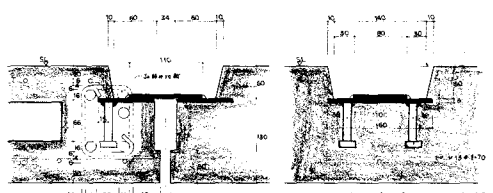


Fig. 9 JA接合部の形状

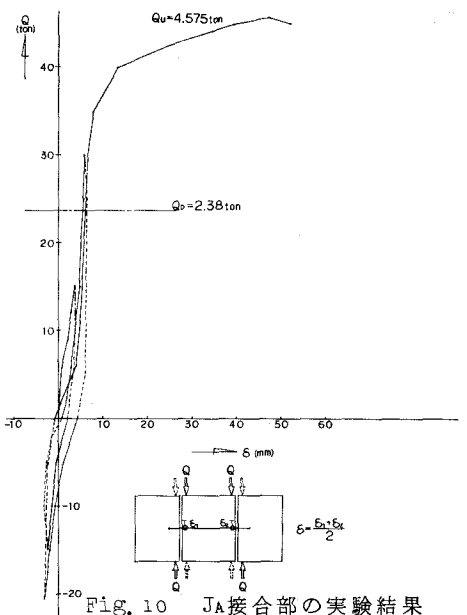


Fig. 10 JA接合部の実験結果

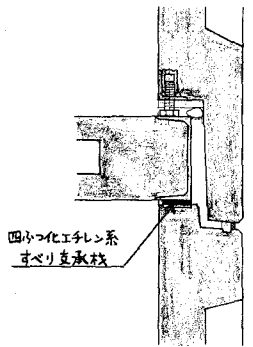


Fig. 11 Jo接合部の形状

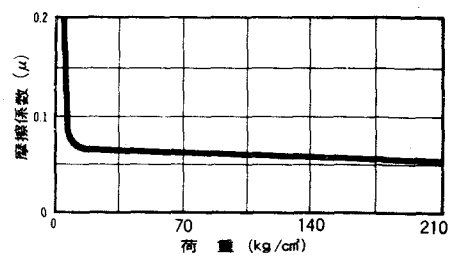


Fig. 12 入り支承材の摩擦係数と圧縮応力度との関係

この種のり支承材の耐久性、耐候性については、既に橋梁、パイプラインなど比較的苛酷な環境条件下で使用されその性能は実証されているようである。本計画への採用にあたっては基本的な物性試験、及び支承材としての機械的特性を確認するための試験を行う他、相手方摺動材の選定並びに施工精度に伴う偏荷重、接触面の傾斜などの悪条件下での摺動性能に関する実験を行っている。

構造体と住戸ユニットを分離した構法を採用することによつて、必然的にこれら両者を結合する接合部には、力の伝達、変形への追従性、施工上の精度の調整などの性能が要求されてくる。

This architectural drawing consists of two parts. The left part is a cross-section of a building, showing a central corridor with a staircase, and several rooms on either side. The rooms have hexagonal windows. The right part is a long, low building elevation, showing a series of horizontal bands and circular features. The drawing is labeled with 'A-1' and 'A-2'.

j) 住戸ユニットと鉄骨構造骨組との結合

ii) 鉄骨構造骨組の析方向変形に対する追従性

iii) 水平方向に対する施工精度の調整

iv) 鉛直方向に対する施工精度の調整及び変形への追従性

J 1 接合部の形状は Fig. 13 に示すように、床板のコンクリート中にアンカーをもった水平鉄板と、鉄骨柱に溶接されている I 形ブラケットとが 2 個の L 形の添金物を仲介として接合されるようになってゐる。2 個の L 形添金物は水平鉄板とは 4 本のハイテンションボルトによつて摩擦接合され、一方、I 形ブラケットのウェブに対してはこれを両側から挟んでピンボルトによつて接合される。

住戸ユニットの水平荷重は、最終的にはピンボルトのせん断及び引張り、並びにL形添金物の支圧によって鉄骨構造骨組に伝達される。また、荷重の伝達にあたっては、住戸ユニット部分の動きに支障を来たすこ

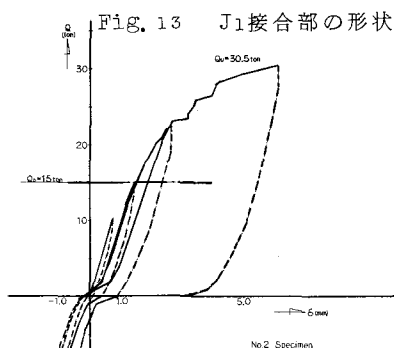


Fig. 14 J₁接合部の実験結果

とを防ぐために接合部に大きな滑りやたががあつてはならない。これらの性能に対する安全性を確認するため、実物大モデルによるせん断並びに引張り実験をおこなった。Fig. 14 はせん断実験の結果を示したものであるが、強度的には設計用荷重 Q_D ($0.3g$ の入力加速度に対する最大応答加速度から住戸ユニットに生じる水平荷重を算定した) に対して終局強度 Q_U は約 2.0 倍の安全率を有しており、かつ荷重－変形履歴曲線から見ても大きな滑りは見られず比較的高い剛性を有していることが確認できる。

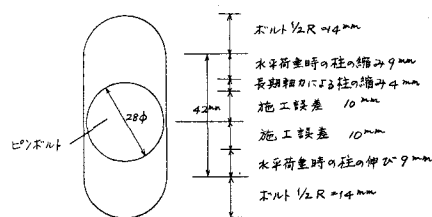


Fig. 15 J1接合部の上下方向調整寸法

接合部取付時における施工精度の調整方法について以下に述べる。水平方向については、張間方向はL形添金物のハイテンションボルト孔を張間方向に長孔（ $\pm 10\text{mm}$ ）とすることによって調整する。桁方向については、階段室側の接合部を優先して取付け、妻側の接合部で集約して施工精度を調整する。この方法は、構造上、耐風・耐震要素が階段室コア一部分に集約されている構造計画にも合致する。鉛直方向については、ピンボルト孔を上、下方向に長孔（調整用寸法として $\pm 10\text{mm}$ を見込む）とすることによって調整する。

接合部取付後における各種の変形に対する調整については、まず、桁方向の鉄骨構造骨組の変形に対しては、ピンボルトの回転によって追従する。次に、鉛直方向に対する各種の変形に対しては、鉄骨柱の軸方向変形量を計算したピンボルト孔をFig. 15に示すような上、下方向長孔とすることによって調整する。

おわりに

工業化工法を指向した新構法について、主として構造設計の概要、及び接合部の設計について報告した。この種の構法はその特殊性から、設計上のディテールと施工精度（再現性）との関係が重要であり、設計時点において施工時の問題点を予測することの困難さも多い。さらに、新構法による高層住宅の居住性、埋立地に建設される場合の下部構造など高度の工学的判断を要求される問題点もある。今後、実験結果などを参考にして問題点の解決、施工面を考慮した実施設計内容を充実させねばならない。

構造計画上、不明確な要素を除いてできるだけ明快にしようとした構法であるため、明確な要素に対しては安全性を高めている。しかし、不明確な要素による予想外の余力は期待しえない。したがって、品質管理が充分におこなわれ、材料、部材に対して、設計どおりの性能を期待できることがこの種の構法では特に重要な基本条件である。今後の建築構法の傾向から、特に建築生産システムの中における品質管理の重要性が問われる所以である。

謝辞

本計画の設計にあたり、御指導、御協力を頂きました関係者の方々に感謝の意を表します。特に、新日本製鉄K、K芦屋浜プロジェクト班の皆様、竹中工務店技術研究所の皆様に深い感謝の意を表します。