

ブレイス

— 狭小敷地に建つ垂直 PRC トラス構造 —

高田 典夫*¹・徐 光*²・加藤 元樹*³

変形な狭小敷地に建つ塔状建物である。狭小敷地において高い容積率を満足しつつ如何に有効な内部空間を確保するかが設計のテーマであった。このテーマに対して主体 4 層分の垂直トラス構造を提案した。構造種別をプレストレスト鉄筋コンクリート造 (PRC) とし、部材に PC 緊張力を導入することにより、軸力系構造であるトラス構造の引張力に対して有効に対処した。また柱部材断面を L 型断面、トラス部材を扁平断面とすることにより、室内に柱・梁型のないすっきりとした内部空間を実現した。施工においてはトラス・柱部材に配置する PC 鋼材に PC 鋼より線を用い、柱配筋の地組み時に 4 層分の PC 鋼より線を挿入・配線することにより、PC ジョイント箇所数の大幅な削減と施工工期の短縮を実現した。厳しい設計条件を満足すべく実現した構造フレームは独特な外観を通りに見せる。

キーワード：PRC, トラス構造, 狭小敷地

建物概要

建物名称：ブレイス

所在地：東京都江東区亀戸 1 丁目

用途：共同住宅 (11 戸)、店舗 (2 室)

建築主：(株) 田中工務店

設計監理：高田典夫+徐 光

意匠設計：(有) アトリエテン

OWL (株)

高田典夫
小瀧弘幸・秋山 潔

構造設計：(株) ジェーエスディー

徐 光・加藤元樹*・佐々木卓也・千葉陽一

(*元所員)

設備設計：(株) 雄建築設備設計事務所

樋川 尚

施工者：(株) 田中工務店

田中泰秀・櫻井一美・金安栄作・丹羽正昭

規模：地上 12 階・地下 1 階

敷地面積：85.03 m²

建築面積：65.18 m²

延床面積：636.63 m²

軒 高：33.40 m

最高高さ：36.30 m

構造種別：鉄筋コンクリート造 (PRC 造)

基礎種別：現場造成杭

架構方式：垂直 4 層分とばすトラス構造

1. はじめに

1.1 敷地を読む

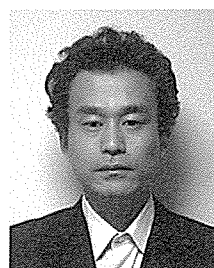
本計画建物は、JR 総武線の亀戸駅から歩いて 5 分程度の、国道 14 号線 (京葉道路) と、JR の越中島貨物線の線路敷きに面した変形狭小敷地に計画されている。敷地形状は、二つの鋭角に交差する道路に挟まれ、その先端を隅切りで切り取られた台形状の不思議なカタチであった。この敷地に面している国道に架けられた歩道橋から見下ろすと、トラック 1 台分の駐車場でしかないのではないかとと思われるようなちょっとした街角の空き地であった。唯一道路に面しない西側には 12 階建てのビルが隣接し、国道沿いのビル街を構成している。この敷地に、容積をできるだ



*¹ Norio TAKATA



*² Ko JO



*³ Motoki KATO

(有) アトリエテン 代表
実践女子大学 建築デザイン
研究室 教授

(株) ジェーエスディー 代表

(株) ジェーエスディー
(元所員)



写真 - 1 建物全景

け使い切って店舗と生活空間をつくり出すというのが、この計画の目的であった。

このプロジェクトにかぎらず、プロジェクトが始まる時には、その敷地を確認に出かける。敷地そのものより、その周辺の環境が気になる。かたちをつくり出すヒントを探しに行くわけではないが、その環境からしかデザインははじまらないといつも思っている。今回の敷地は、その環境の特殊性—不思議さ—から、とくにその思いが強い。

都市のなかになぜか残ってしまった土地は、その環境の中に不思議な存在感を示している場合が多い。この敷地も、そんな敷地の一つだ。おぼろげながら見えてくる計画建物のボリュームを想像すると、敷地が狭小であることなど関係なく、周辺に与えるインパクトが大きいであろうことがよく分かる。空間をつくり出す構造、構造が映し出す街の顔がこの計画のテーマとなるであろうと感じた。

1.2 空間をつくり出す構造システム

変形した台形状の敷地という基本的な計画条件から、一般的な構造方式では生活空間として有効な平面計画が得られないであろうことは、計画の初期段階でいくつかのスタディをして分かった。そこで、この敷地の形状、12階建てになるであろう建物スケール、そしてその施工法などを総合的に判断して、空間をつくり出す有効な構造システムを見出すことがこの計画の基本命題となった。

スタディを繰り返すうちに見出された構造システムは、生活空間の舞台となる必要な床版を空中に浮かせるように、その外周をカゴ状に支えていくというもので、それ自体で美しく、力強いものであり、構造的にも、意匠的にもこれ以上付け足すこともはぎ取ることもできないというようなものであった。この場所でなければ活きない、この場所に置いて初めてはえる新しいかたちになった。

1.3 街の顔

街角に置かれた建物は、それだけで存在を誇示するような形態であり、新しいこの街の顔となっている。



写真 - 2 三角形部分の鉄骨階段

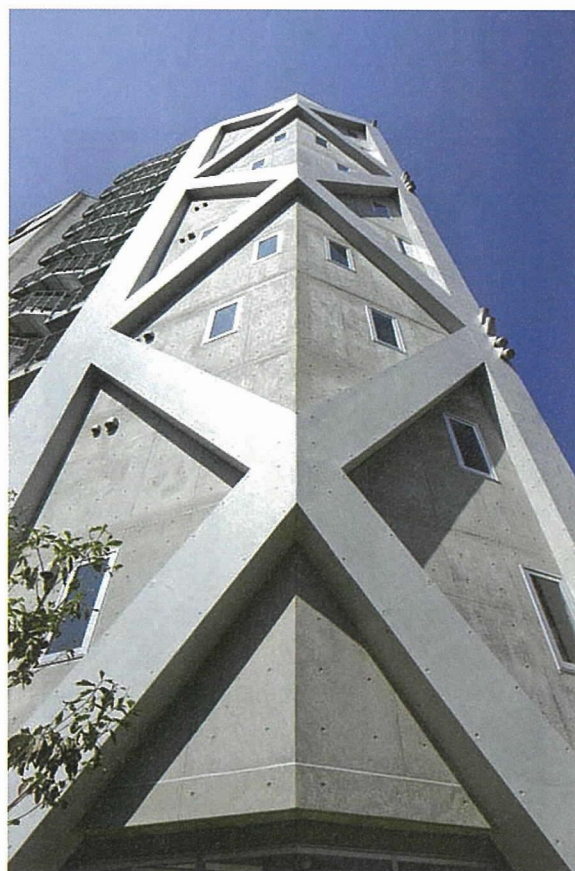


写真 - 3 4層分とばした立体トラス

街の顔は、スタティックなものではなく、その街のもっているスピードに呼応したものでなければ、その街を映し出さない。この計画敷地は、つねに流れている国道14号線（京葉道路）と、ほとんど通行が見られない越中島貨物線という二つのスピードをもっているように感じる。とくに東西に走る国道という強い街の軸に沿っていないゆるやかな曲線を描く緑に覆われた貨物線の線路敷きは、国道のスピードを受け流すように、この場所にちょっとした滞留スペースをつくり出している。

計画された建物は、その滞留スペースを幾層にも持ち上げたかたちとなり、いくつもの顔をそれぞれの面に現している。周辺の環境のなかで、見る位置によってその表情は変わっていくが、建物を支えているトラス状の構造体がそれらをまとめている（写真 - 1）。

いくつもの表情を映し出している街の顔を構成しているもう一つの要素は、南に面してはいるけれども生活空間としては使いづらい鋭角に尖った三角形の隅に計画された鉄骨の跳ね出し階段である。生活空間は、各階1住戸の構成であることからエレベーターホールから連続する階段スペースは、各階住戸の専用使用部分とも考えられ、その鋭角に尖った踊り場は、住戸のベランダ的なイメージももっている。空中に浮いた踊り場スペースを支えるためのトラスが段板を支えているといってもよい印象的なデザインの階段となった。建物を支えているトラス状の構造体と、そこから持ち出された透明性の高いトラス状の階段の視覚的、構造的な対比が、またべつの街の顔をつくり出している（写真 - 2, 3）。



写真 - 4 前面道路の新しい街のデザイン

いくつもの表情をもつ「街の顔」は、そこでいくつもの生活を映し出すことで、さらに彩りのある彫りの深い顔となっていく、街とともに生きていく建物がここに生まれた（写真 - 4, 5）。

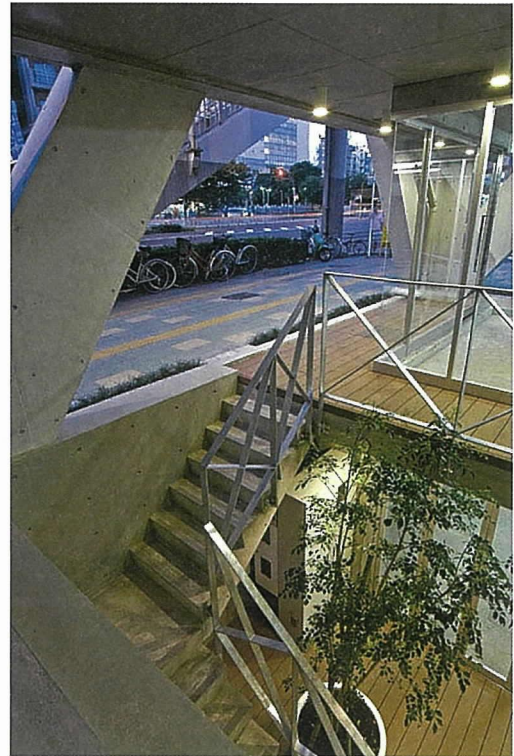
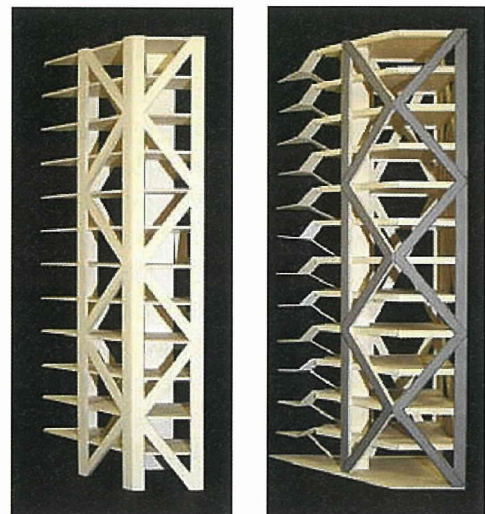


写真 - 5 浮かした1Fと地下1Fの空間

2. 構造計画

2.1 垂直トラス案の経緯

地下1階、地上12階のこの建物は、避難階段やエレベ



初期計画案模型

最終計画案模型

写真 - 6 スタディ模型写真

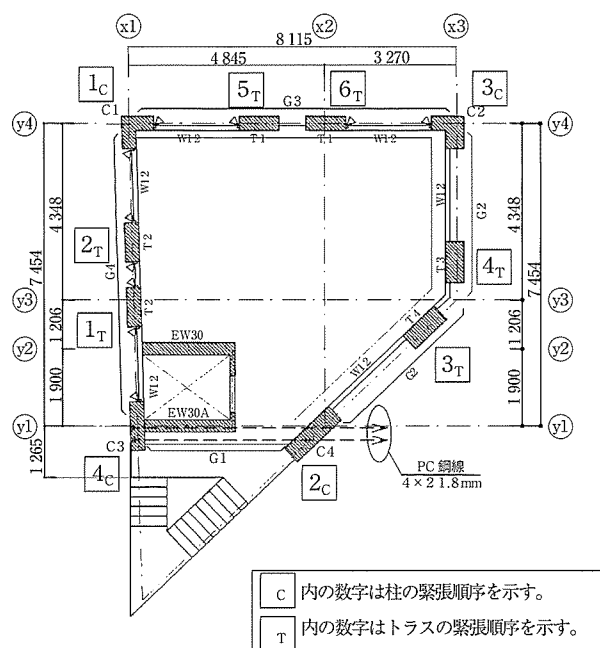


図 - 1 3階 伏図

ータ、外部廊下を除くと住宅面積が1フロアあたりわずか38.28 m²しかなく、初期段階は4本柱のラーメン構造をスタディしたが、4本柱の塔状建物では柱のサイズが1.3 m × 1.3 m程度必要となり、居住空間がかなり狭くなる。再度の構造フレームスタディの結果、主体4層分のトラス構造を考案した。建物外周をトラスで覆う案である。トラス構造であれば、力の流れが軸力系なので部材の断面を最小にすることができる。またトラスの構成が4層単位であれば、トラスを避けて居室に窓を設けられる。ただし、住居入口側はトラスを構成できないのでエレベータシャフトを利用した耐震フレームとする。またトラスの断面を扁平形とし、柱の断面をL形とすることで、室内に柱・梁がないすっきりとした内部空間の実現が可能となった。

柱の位置も当初の案から変更している(写真・6)。構造システムは同じでも突部の柱をなくしたことによりフレームのイメージがまるで違うものになる。斜めトラスの折れ点における外向きのスラストを拘束する方法でフレームの基本案を決定した(図・1, 2)。

2.2 プレストレストコンクリートの選択

主体構造は建物の居住性を考慮して当初からRC造に決めていた。トラス構造は基本的に軸力系だから、大地震時にトラスの引張力に対して鉄筋のみで対処するRC造では、コンクリートのひび割れが発生するのは当然となる。構造耐力上は問題ないのだが、構造システムと素材の組合せに若干違和感が残る。そこで建物の構造は部材にプレストレスを導入することにより、ひび割れの発生を抑制できるプレストレストコンクリート造を採用することに決めた。また、前文で説明したトラス折れ曲がり点でのスラスト処理に対しても有効である。ひび割れが少なく、中性化を遅らせるという長寿命の構造躯体をつくり出す目標であ

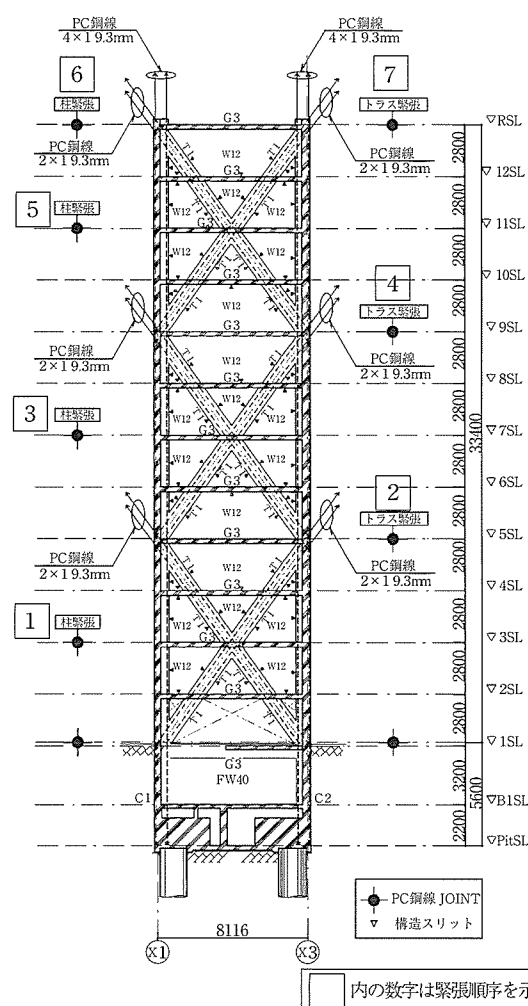


図 - 2 y 4 通り軸組図

った。

2.3 構造設計

亀戸の支持地盤は深くGL-40 m以深の砂礫層を支持層とする杭基礎(場所打ち杭)としている。

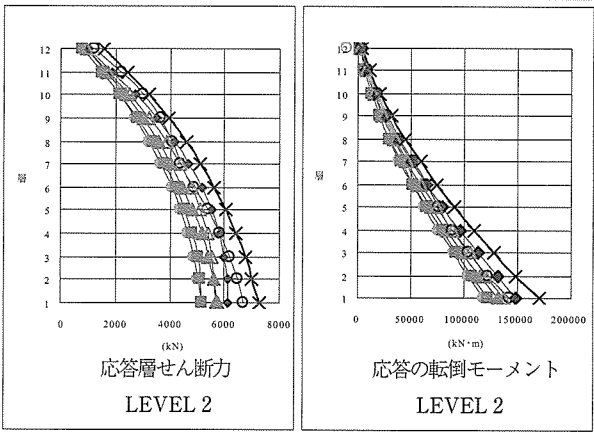
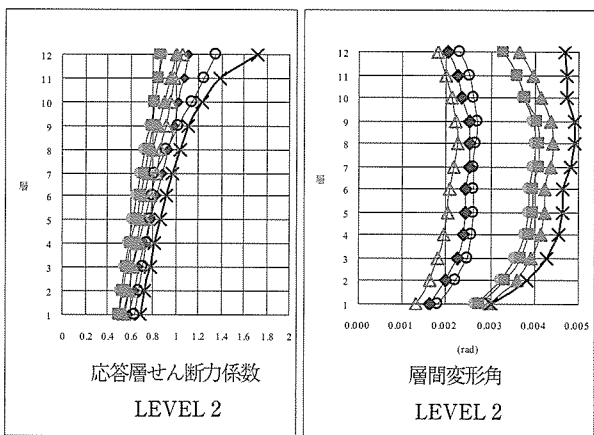
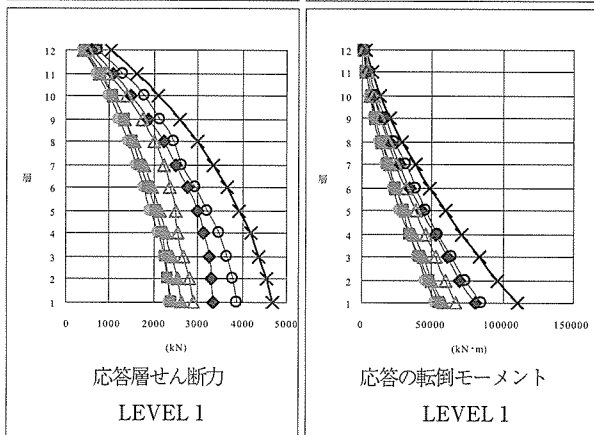
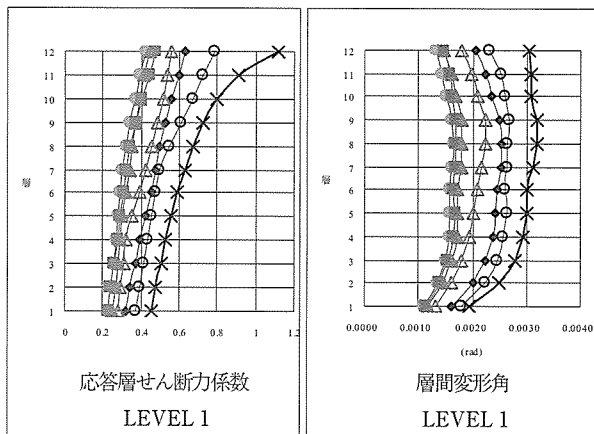
設計はPC構造の設計ルート3bとし保有水平耐力の確認を行った。また塔状建物であることを考慮し、標準せん断力係数を $C_0 = 0.3$ に割り増した地震時応力の1.5倍に対して終局強度設計を行っている。

下表にPCプレストレスの緊張力および終局時のPCキャンセル率を示す。

表 - 1 PCプレストレスの緊張力および終局時のPCキャンセル率

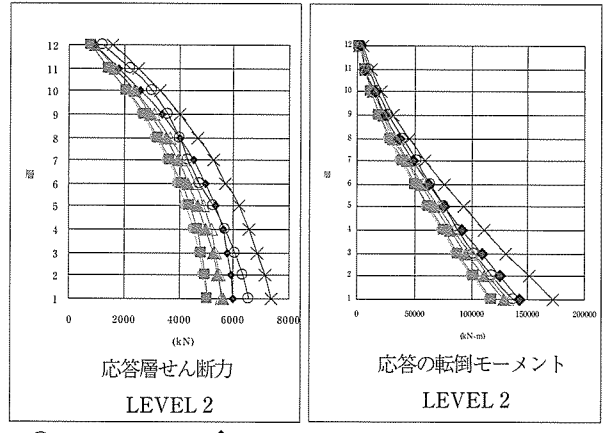
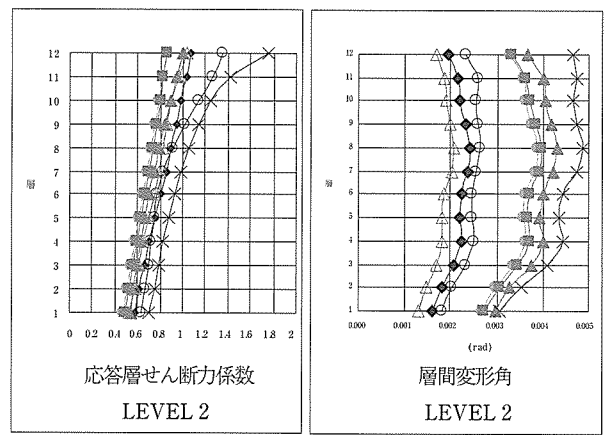
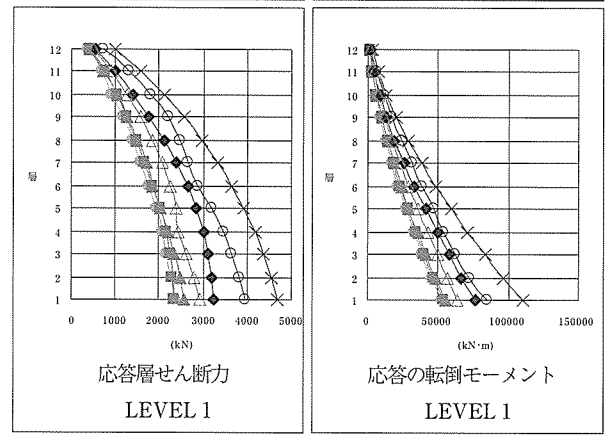
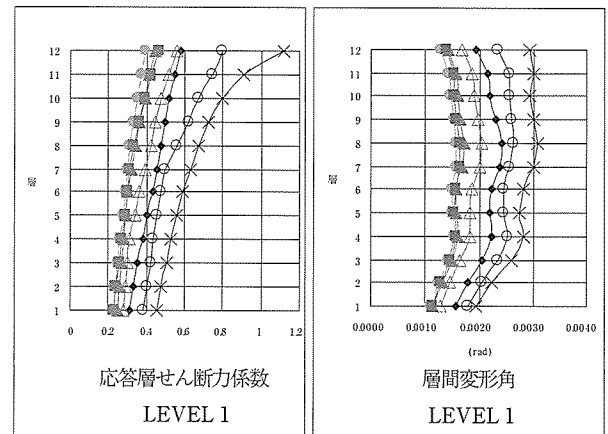
	PCプレストレスの緊張力			終局時のPCキャンセル率		
柱	σ_{max}	3.0 N/mm ²	(C3)	Max	100 %	(10F)
	σ_{min}	1.8 N/mm ²	(C4)	Min	32 %	(1F)
トラス	σ_{max}	2.2 N/mm ²	(T1, T2)	Max	100 %	(11-12F)
	σ_{min}	1.7 N/mm ²	(T3, T4)	Min	21 %	(1-2F)

必要保有水平耐力における D_s 値は、部材種別による判定では $D_s = 0.45$ となるが、建物がトラス部材を主要な耐



● 告示波 1 ▲ 告示波 2 ■ 告示波 3

図 - 3 X方向地震応答解析結果



○ EL CENTRONS ◆ HACHINOHEEW ▲ TAFTEW
—×— Qd

図 - 4 Y方向地震応答解析結果

震要素とした強度型構造物であることを考慮し $D_s = 0.55$ に対して保有水平耐力の確認を行っている。

メカニズムはトラス、柱部材の圧壊を許容せず、柱部材に引張降伏が発生した時点を保保有水平耐力とした。なお、圧縮部材の軸力比はコンクリート強度に対して終局強度設計時は $1/3$ 以下、保有水平耐力時は 0.55 以下をクライテリアとした。また、エレベータシャフト部の耐震壁フレームのメカニズムは梁部材の曲げ降伏先行型となるように設計している。

振動解析では、25 kin、50 kin のそれぞれの応答値が終局強度設計時、保有水平耐力時の層せん断力係数以下であることを確認した（図 - 3、4）。解析においては GL - 40 m を工学的基盤とし、上部構造を弾性とした多質点モデルによって振動解析を行い、減衰定数 2% とした。設計の概要を下記にまとめる。

【設計概要】

（常時）

- ・ 応力の組合せ：1.7 ($G + P$)
- ・ 部材の設計：許容応力度設計^{※1}

※1 プレストレス応力を考慮した部材の断面縁応力度をコンクリートの長期許容応力度以下とした。

本建物では、トラスを緊張することで柱に不静定応力が生じる。それらは、長期許容圧縮応力度の 4 ～ 7% の割合である。

（地震時）

- ・ 標準せん断力係数： $C_0 = 0.3$ ^{※2}
- ・ 応力の組合せ： $G + P + 1.5 F_{ex}K$
- ・ 部材の設計：終局強度設計

※2 塔状建物であるため、標準せん断力係数を $C_0 = 0.3$ に割り増した。

（保有水平耐力の確認）

- ・ 保有水平耐力の確認： $Q_u \geq Q_{un}$
- ・ 必要保有水平耐力： $Q_{un} = D_s \cdot F_{ex} \cdot Q_{ud}$
- ・ 構造特性係数： $D_s = 0.55$

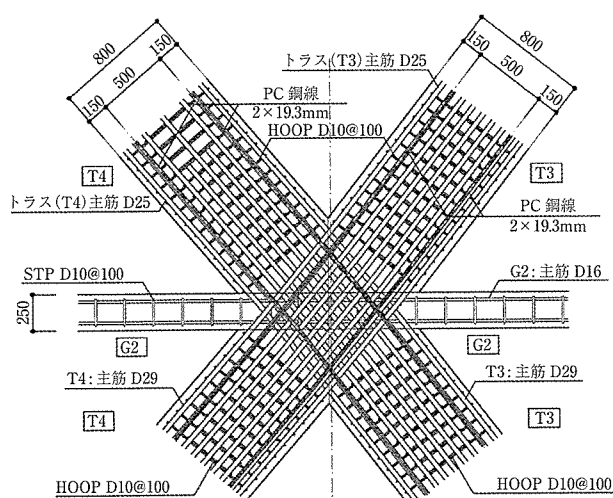


図 - 5 トラス交差部配筋図

3. 現場施工

3.1 仕口部の納まり

仕口部では1つの柱に2方向からの梁部材、および上下階2方向からのトラス部材が接合することになり、最大6部材が接合するきわめて複雑な接合状況となる。また、鉄筋のほかにPC鋼線の配線とさらにPC定着具があるため、高い施工精度および、入念な配筋・配線の計画が要求される。設計段階においても、詳細図を起こし検討を繰り返してきたが、やはり実物はあくまで3次元であり、また硬くて重量のある鉄筋を扱うため机上の計画のようにはいかない。現場において工務店の方や職人さん達と施工性を考慮した詳細な打合せを繰り返し行った（図 - 5）。

この仕口部の処理に非常に有効な対策は柱をL型断面

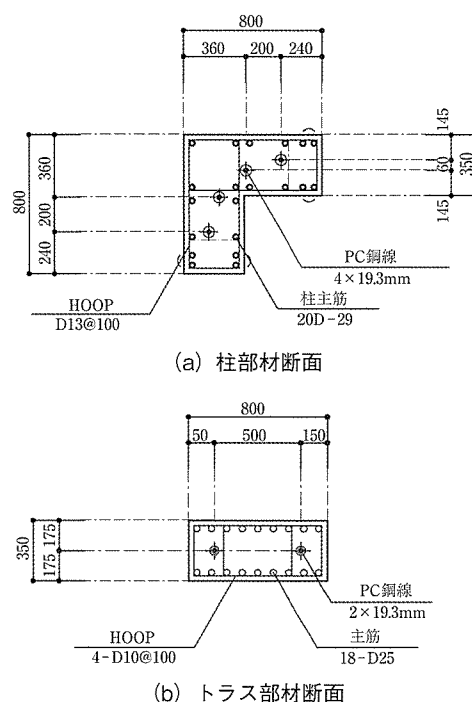


図 - 6 部材断面

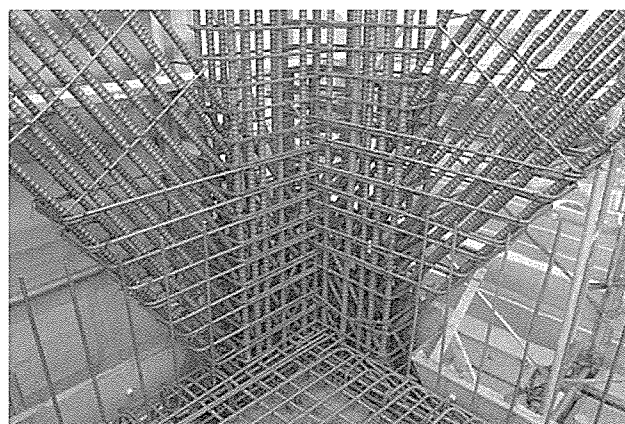


写真 - 7 仕口部の配筋状況

としたことであった。この断面形は内部に柱型を出さないという理由のほかに、仕口部の納まりも考慮して決定した。柱に6部材が取り付くような状況では、よほど部材の断面寸法に余裕がなければ納まらない。部材断面を小さくすることを目的としてトラス構造を選択したのに、配筋・配線の納まりのために部材サイズが大きくなってしまうという本末転倒になりかねない。柱をI形断面とすることにより、2方向から取り付く梁、トラス部材の柱への取り合いは各方向別に処理することができ、実際の納まりは柱に一方から取り付く梁と上下階からのトラス部材の3部材の取り合いの問題に帰着できる（図-6、写真-7）。

3.2 PCの配線と鉄筋の組立て計画

本計画はトラス構造であるため、鉄筋工事だけを考えても通常のRC造と比べて複雑になることが予想された。さらに、配筋の中にPC鋼材を配線するPRC造であるため、設計段階においても施工計画を入念に行う必要があった。

どの計画でも共通することであるが、構造性能を確実に確保できる設計とするためには、構造各部の納まりや施工方法を十分に検討しなければならない。また施工方法については構造上の納まりのほかに施工性や工期などに十分に配慮して計画を進めなければならない。以下にトラス部材と柱部材の配筋・PC配線計画を中心とした施工計画について説明をする。

(1) トラスの配線計画

設計段階での施工計画ではトラス部材のPC鋼材の配線を如何に施工するかが第一の課題であった。通常、鉛直部材に用いるPC鋼材にはPC鋼棒を用いることが一般的であるが、鉛直でも水平でもない斜め部材であるトラスのPC鋼材には何を用いるべきか。本建物ではトラスが立体的に折れ曲がる箇所があるため、その折れ曲がり箇所におけるPC鋼材の納まりをどのようにするかが問題となる。PC鋼棒を用いるとトラスの折れ曲がり箇所に定着部を設ける必要があり、納まりも施工も煩雑になってしまう。対してPC鋼より線をを用いれば、折れ曲がり部においてもPC鋼材の配線が連続でき、かつジョイント箇所数も少なくできる。また部材の緊張力も連続し力学上も明快である。以上の考えからトラス部材にはPC鋼より線を採用することに決定した（写真-8）。

(2) 柱の配線計画

鉛直部材である柱においては一般的にPC鋼棒を用いることが多い。PC鋼棒であれば施工上の扱いは鉄筋と似ており、通常のRC造の配筋工事と同じように施工できる。逆にPC鋼より線を用いると、PC鋼棒と異なり曲げ剛性が低いため施工が難しくなるためである。果たしてそうだろうか。縦に立っているものの中に柔らかいものを通そうとするため難しいのであって、横に寝ているものの中に柔らかいものを通すのであれば、この考えは逆転してくる。あらかじめ柱の配筋を横にして地組し、その中にPC鋼より線を通してから配筋を吊り上げ、建て込むのであれば、難しい工事とはならない。狭小敷地である本計画の限られた現場スペースにおいて、横置きによる柱の地組サイズは2層分が可能であった。2層分の柱配筋を横置きで地組し、

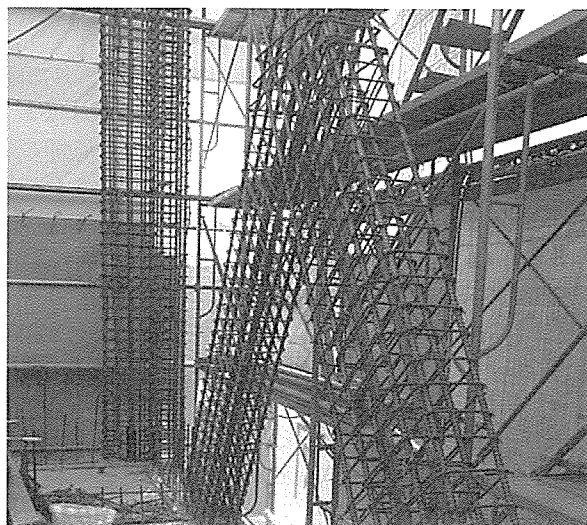


写真-8 トラスの配筋状況

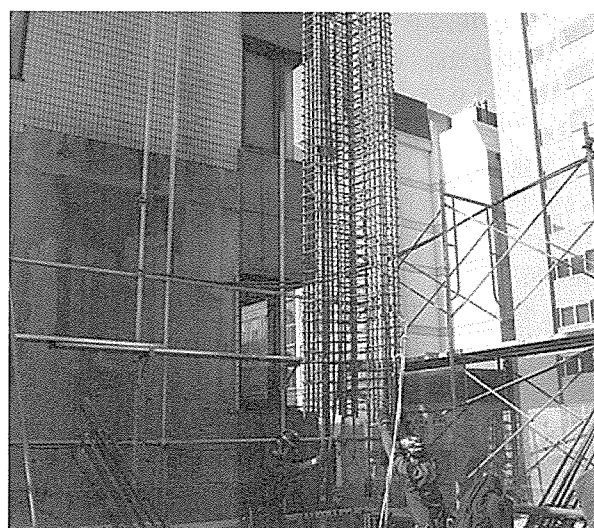


写真-9 地組み柱鉄筋の建て込み

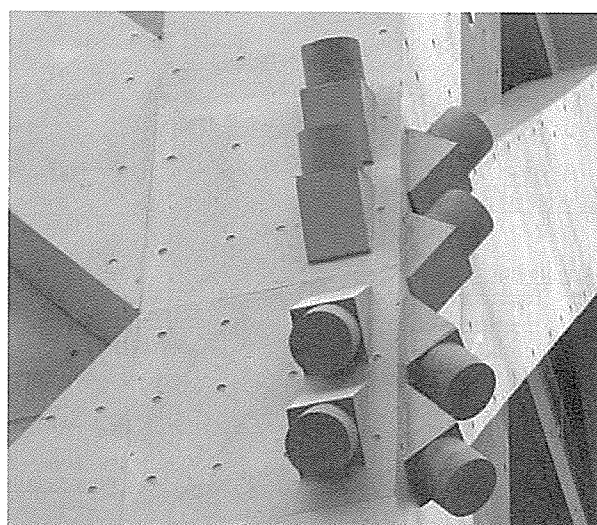


写真-10 PC定着端

その中に PC 鋼より線を通してから建て込めば 2 層分の柱が一気に施工できるため施工期間を短縮できる。さらに柱に配置する PC 鋼より線の長さを 4 層分を一本とすればジョイント箇所数を大幅に減らすことも可能となる。以上の考えから柱部材にもトラス部材と同様に PC 鋼より線を用いることに決定した（写真 - 9）。

以上のようにトラス部材，柱部材に PC 鋼より線を用いることにより施工性の良さだけでなく大幅なジョイント数の削減と工期の短縮を実現した。

（3）鉄筋の継手

鉄筋の継手にはエンクローズ溶接継手を採用している。エンクローズ溶接継手は鉄筋の継手部の長さの誤差が吸収



写真 - 11 梁・柱が出ない内部空間が実現



写真 - 12 街の新しい顔



写真 - 13 立体トラスの夜景

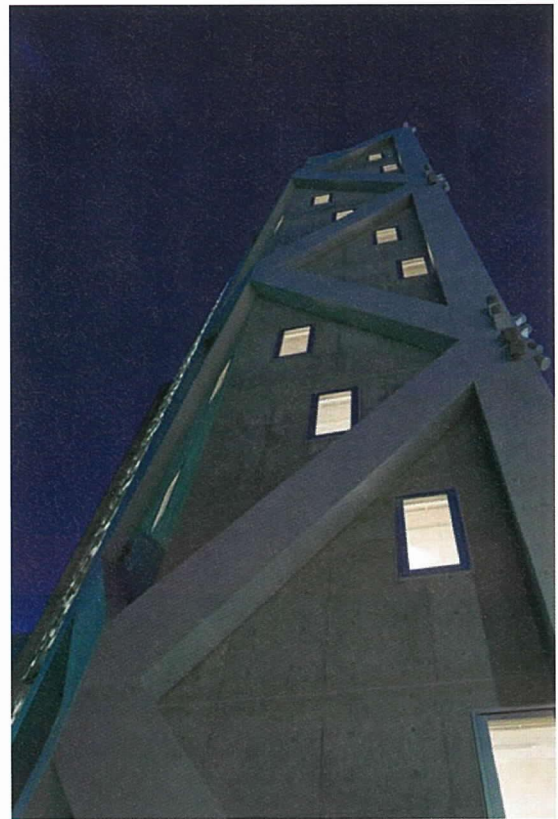


写真 - 14 立体トラスの夜景

できるため鉄筋を地組して配筋工事を行う場合には、非常にメリットが大きい。またこの工法は接合時の鉄筋長さの縮み量が小さいことや、接合部分が平滑であるため高い施工精度を確保するうえでも有効である。

3.3 PC 緊張計画

(1) PC 鋼材の配置

PC 鋼線はトラス、柱、EV シャフト壁および EV シャフトフレームの大梁に配線し緊張力を導入している。トラスと柱部材は同厚でありお互いに交差するため、トラスには部材芯に PC 鋼線を配線し、柱には部材芯から対称に割り振って PC 鋼線を配線することにより、PC 鋼線の交差を避けている（図 - 6）。

(2) PC 緊張計画

PC 鋼線の配線はトラス、柱ともに 4 層を 1 セットとしているため、緊張力の導入も PC 鋼線のジョイントに合せ 4 層ごとに行っている。また、定着・ジョイント部分が集中しないように、トラスと柱の緊張位置は 2 層ずらしてジョイントを設け、緊張力の導入を行った（図 - 1, 2）。

(3) PC 定着部の納まり

PC 定着部の納まりは RC 躯体内部に埋め込み、外観を

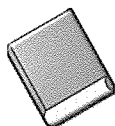
すっきりできればそれに越したことはないのだが、本計画では PC 定着部を埋め込むには部材断面が小さいため、積極的に外部に露出することにした。高田さんにも快く承知していただいた。定着端はアルミの鋳物で製作したシンプルな筒状のキャップによりカバーし、内部にモルタルを充てんし保護している（写真 - 10）。

4. おわりに

建物内部は柱梁が出ない空間を実現した。結果、かなり独特なフレームの外観となった。デザインのためのデザインの実現ではなく、いろいろな理由を経過し、その敷地の条件、生活空間の要求、構造に対する耐震性と耐久性、そしてデザイン性をミックスした結果に生まれた建築だと思う（写真 - 11, 12, 13, 14）。

今回の難しい構造を可能にした田中工務店の施工技術に敬服している。枠の建方、固定とコンクリート打設計画は完璧であった。鉄筋の交差点では 3 次元 CAD で検討しながら作業を進め、無事に竣工を迎えることができた。誌面を借りて施工に関わった方々の協力に感謝申し上げます。

【2010 年 4 月 23 日受付】



刊行物案内

第 38 回 PC 技術講習会テキスト

PC 技術の新たな適用と展開

平成 22 年 2 月

定 価 6,000 円／送料 500 円

会員特価 5,000 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会