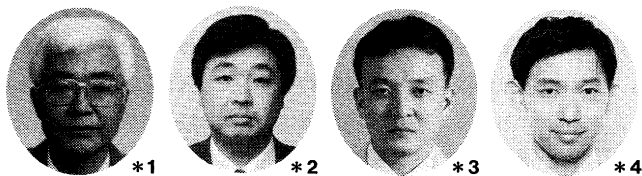


D.P.G. 構法を用いたガラスキューブの設計と施工

DESIGN AND CONSTRUCTION OF GLASS CUBES USING DOT POINT GLAZING SYSTEM

寺本隆幸 ——— *1
北村春幸 ——— *2
原田公明 ——— *3
竹内 徹 ——— *4

Takayuki TERAMOTO
Haruyuki KITAMURA
Hiroaki HARADA
Toru TAKEUCHI



The long Term Credit Bank of Japan H.Q. Building in Tokyo, completed in 1993 fall, is high rise building of 130 meters with T shape form. There is a 20 meter cantilever at the height of 46 meters. There are two glass cubes under each cantilever. Both glass cubes are designed by using Dot Point Glazing System. Those could be designed very light structure by using that system. This paper firstly outlines structural planning, load conditions and structural analysis, then reports tension structural system that support D.P.G. system, same scale experiment, and construction method.

キーワード：
ガラスキューブ, パイプラーメン構造, テンション構造, D.P.G. 構法, 実大実験

Keywords :
Glass cube, Pipe ramen structure, Tension structure, Dot point glazing system, Same scale experiment

1 はじめに

日本長期信用銀行本店ビルは、高さ130m地上21階で、高層部が南北に張り出したT型の特徴ある形態をした超高層建物であり、1993年秋に竣工した。地上46mで約20mの片持部を持ちその下に2つのガラス箱が配置されており、ここではガラスキューブと称する。いずれのガラスキューブもD. P. G. (DOT POINT GRAGING) 構法のガラスを用いており、サッシュレスのガラスを通して構造骨組が見える事から架構全体が意匠となる事を念頭に設計した。

本報では、本体建物に接続されたガラスキューブの構造計画、設計荷重、構造解析に触れた後、D. P. G. 構法のガラスを支持するテンション架構の概要、実大試験について述べ、さらに構造体、テンション材、ガラス材を含む施工全体について報告する。

2 建物概要

北側ガラスキューブ

用途：玄関ホール

規模：(高さ30m) × (幅25.6m) × (奥行き12.2m)

フレーム形式：パイプ単材ラーメン構造 (FR鋼)

ガラス支持フレーム：テンション構造

外装材：透明強化ガラス (D. P. G. 構法)

南側ガラスキューブ

用途：バンキングホール

規模：(高さ21m) × (幅25.6m) × (奥行き12.2m)

フレーム形式：パイプトラスラーメン構造 (FR鋼)

ガラス支持フレーム：H型钢間柱

外装材：二重ガラス

外側 半透明熱線反射強化ガラス (D. P. G. 構法)

内側 白色シート挟合せガラス



写真-1 建物全景図

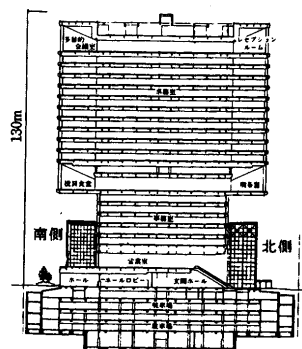


図-1 建物断面図

*1 (株)日建設計東京本社 構造設計室長・工博

*2 (株)日建設計東京本社 構造部主管・工博

*3 (株)日建設計東京本社構造部 工修
(〒112 文京区後楽2-1-2)

*4 新日本製鐵(株)建築事業部 係長・工修

*1 General Manager, NIKKEN SEKKEI, Structural Engineering Dept., Dr. Eng.

*2 Senior Structural Engineer, NIKKEN SEKKEI, Structural Engineering Dept., Dr. Eng.

*3 Structural Engineer, NIKKEN SEKKEI, Structural Engineering Dept., M. Eng.

*4 Chief Engineer, Nippon Steel Corp., Building Construction Div., M. Eng.

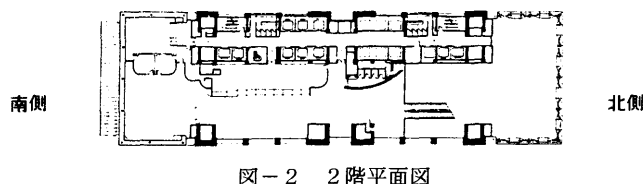


図-2 2階平面図

3 構造計画

3.1 北側ガラスキューブ

透明なガラスの箱の玄関ホールであるため、構造フレームも同様に透明感のある架構となるよう設計した。柱・梁ともに318φのパイプ単材を使用し、6.4×6.1mのグリッドのフレームで構成されたラーメン架構とした。

外壁に加わる風圧力は、パイプの格子のフレームで抵抗した。地震及び風荷重時による水平力を高さ12m・24m位置のつなぎ梁によって本体建物に伝えるため、平面剛性を確保できる水平フレームを両位置に配した。高さ12mの位置ではK字型に318φのパイプを配置し、コーナーの柱から水平材の中心にPC鋼棒2-17φを張って座屈止めとした。高さ24mの位置ではパイプを日の字に配置し各面をPC鋼棒2-23φでX型に張り、平面の剛性を確保した。屋根面は短辺方向に張弦梁とするパイプの格子梁とした。12m・24m及び屋根面のパイプの架構は面外方向にPC鋼棒を用いた張弦材により相互に接合され、この張弦材には屋根面の風の吹き上げ力の抵抗と、平面架構の面外の座屈補強の機能を持たせている。PC鋼棒には、最上段の壁面ブレースのみ各5tの初期張力を導入し、他はたわみを減ずる目的で手締めにより初期張力を与える程度にとどめた。

3.2 南側ガラスキューブ

外側が熱線反射、内側が半透明の二重のガラスで覆われたバンキングホールであり、その二重ガラスの間の空間を利用した架構形式で設計した。成1.3mの弦材318φ・斜材165φ・101φのパイプトラス梁を高さ7m、14mの位置で外周に回し、318φのパイプの柱と組んで、6.4×7mのグリッドのフレームを構成した。この水平トラス梁により平面剛性を確保すると共に、この位置で本体建物とつなぎ梁により接続している。屋根面は、水平材と同様なパイプトラス梁を格子状に組んだ。外壁に加わる風圧力は、格子のフレームで抵抗した。地震及び風荷重時による水平力は各面内外周に回されたパイプトラス梁より本体建物に水平力を流している。

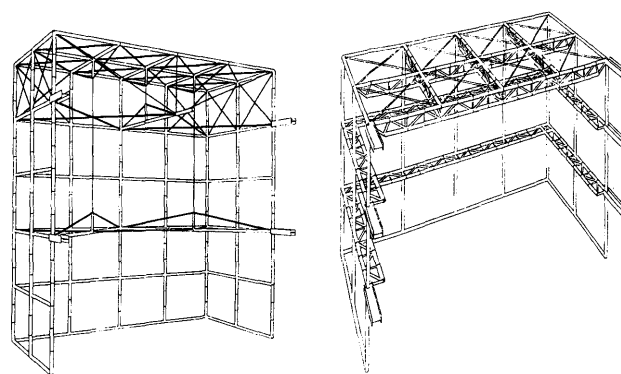


図-3 北側ガラスキューブ構造フレームパース

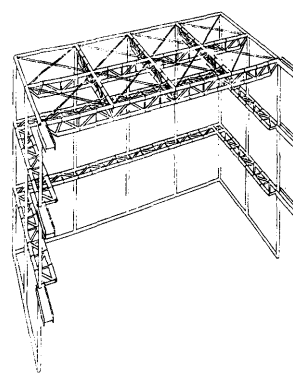


図-4 南側ガラスキューブ構造フレームパース

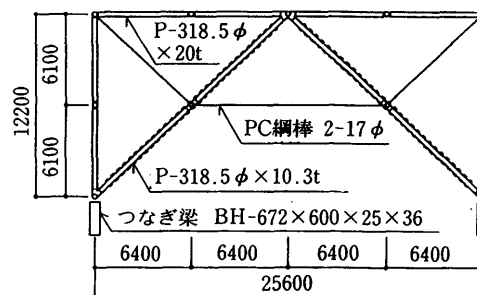


図-5 北側ガラスキューブ平面図(12m位置)

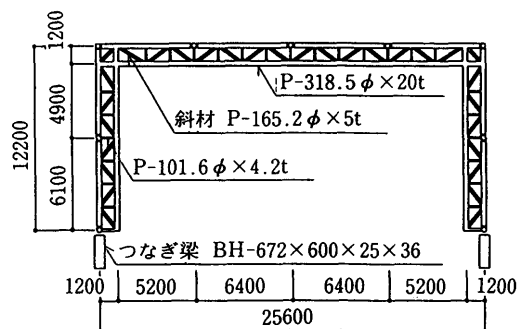


図-6 南側ガラスキューブ平面図(7, 14m位置)

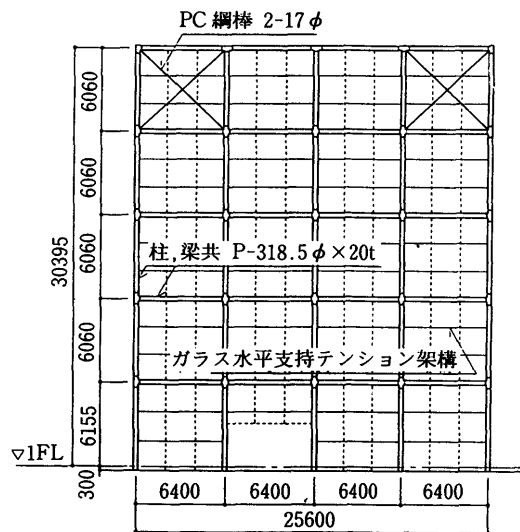


図-7 北側ガラスキューブ立面図

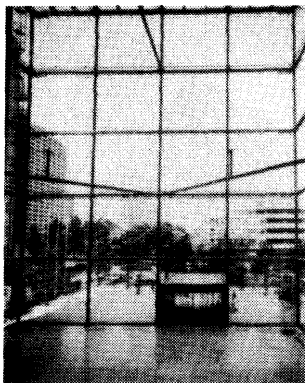


写真-2 北側ガラスキューブ内観

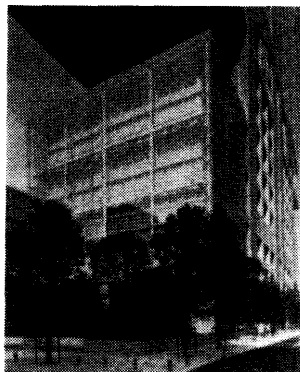


写真-3 南側ガラスキューブ外観

3.3 ディテールリング

(1) 鍛造ブロック 柱・梁接合部は継ぎ目のない完全な円柱相貫体を実現するために様々な製造法を検討した。柱・梁材とも同形の鋼管（FR鋼）であり、交差部を美しく仕上げたいため最終的に鍛造品で相貫体のブロックを造る方法とし、柱材及び梁材をこれに突き合わせ溶接して接合した。相貫体ブロックは、ブロックの種類が多いため、油圧プレスによる粗鍛造の後機械切削仕上げを行った。プログラミングされたドリルによる等高線状の切削によって、理想的な美しいブロック形状が得られた。

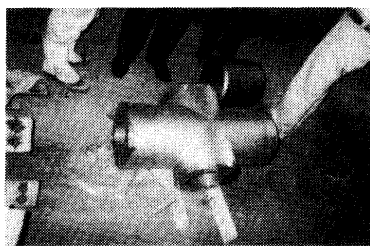


写真-4 鍛造ブロック

(2) ガラス支持テンション材支点部材 ガラスを支持するテンション材が取付くキャンティレバーの形状は、模型等を何種類も製作し、鉄骨現寸場で決定した。60mmの厚板をガスで型抜きし、機械切削で形状を仕上げた。

(3) 本体テンション部材定着部 北側ガラスキューブにおいて用いたテンション部材（PC鋼棒23φ、17φ）端部、ピンジョイントは従来の高力ボルトとは異なりフォーク型定着部にピンを差し込む形式とし、美しいピンジョイントを型打ち鍛造により製作した。

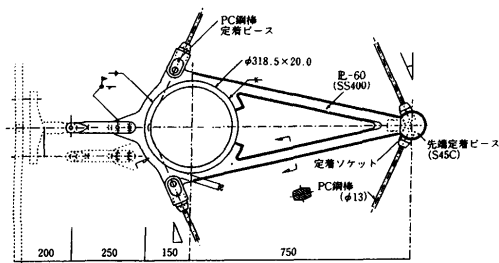


図-8 ガラス支持テンション材支点部材

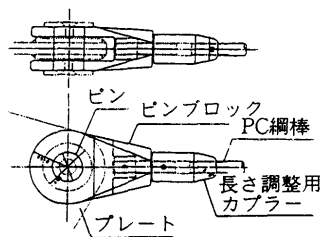


図-9 ピンジョイント詳細

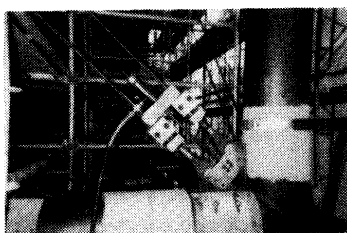


写真-5 PC鋼棒プレストレス導入

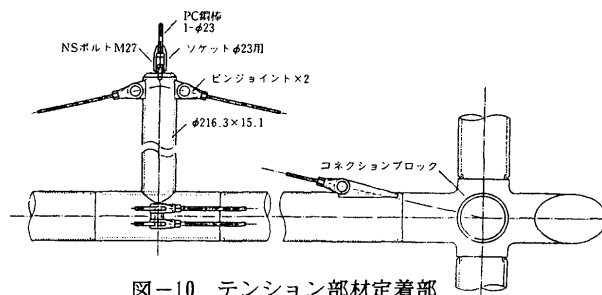


図-10 テンション部材定着部

本体ブレースの一部は、最上段壁面において構造計画の部分で述べたようにプレストレス導入を行ったため、ピン定着部にも初期張力導入可能なディテールとした。具体的にはPC鋼棒がピン内部に送り込めるようになっており、オイルジャッキ加力時に生じる緩みをとることができる。

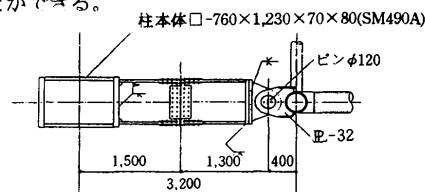


図-11 本体建物との接合部分

4 設計荷重及び構造解析

長期荷重は、外装材（ガラス）、鉄骨部材の鉛直荷重に加え、壁面ブレースのプレテンション力及びガラス支持テンション材のプレテンション力を考慮した。

風荷重は日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」の外装用風荷重に準拠し、風洞実験による結果を参考にして決め、X・Y方向別における各面の風圧力を設定した（最大250kg/m²）。

地震荷重は本体建物の振動応答解析結果を参考にし、レベル2地震時相当0.7G、本体建物による強制変位を各層間変位1/150とした。ガラスキューブ自身に地震力が加わる場合、本体建物によってガラスキューブが強制変位を受ける場合、地震力と強制変位が加わる場合の3ケースに分けて設定した。

表-1に荷重の組み合わせを示す。図-12、13に荷重ケース8の軸力図、変形図を示す。プレテンションを導入しないテンション材については圧縮側の軸剛性を無視した。両ガラスキューブともいずれの荷重ケースの場合も各部材は許容応力度範囲内で納まり、各層間変形角も1/100を超えないように設計した。

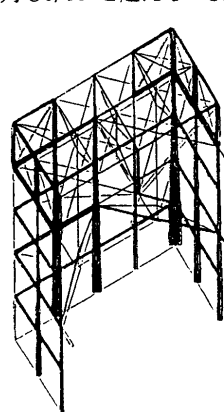


図-12 軸力図

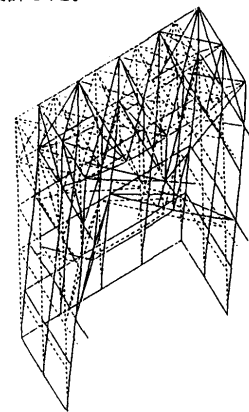


図-13 変形図

荷重の種類	想定	荷重番号	荷重ケース	解析荷重
長期	常時	1	G+B+T	鉛直荷重用
短期	強風時	2	G+W _x +B+T	X方向風荷重用
		3	G+W _y +B+T	Y方向風荷重用
	地震時	4	G+S _{x1} +B+T	X方向地震(0.7G)荷重用
		5	G+S _{y1} +B+T	Y方向地震(0.7G)荷重用
		6	G+S _{x2} +B+T	X方向地震(強制変位)荷重用
		7	G+S _{y2} +B+T	Y方向地震(強制変位)荷重用
		8	G+0.5S _{x1} +S _{y2} +B+T	Y方向地震(同位相)荷重用
		9	G-0.5S _{x1} +S _{y2} +B+T	Y方向地震(逆位相)荷重用

B: 屋根面及び壁面内プレースの初期導入軸力による荷重 (北側ガラスキューブのみ)
T: ガラス支持テンション材の初期導入軸力による荷重 (北側ガラスキューブのみ)
荷重番号8: 本体建物の動きと同方向にガラスキューブも変形する場合
荷重番号9: 本体建物の動きと反対方向にガラスキューブが変形する場合

表-1 荷重組合せ

5 北側ガラスキューブのガラス支持機構

5.1 ガラス支持機構の概要

ガラスは柱・梁の1グリッドを構成する6.4×6mの中で2.1×2mの3×3=9枚のガラスで構成されている。その中に2構面のテンション架構が水平方向に張られている。各ガラスパネルは原則的に上部のパイプ梁材より吊られ、自らの自重を支持しているため、これらのテンション架構は、面外の風圧力等に対し抵抗する機能を持っている。テンション架構は束材30φの鋼棒とそれをつなぐ引張材PC鋼棒13φより構成される。引張材は面外方向の正圧・負圧双方に対し、対称に配置され、その耐力及び剛性を有効に活用するため、設計荷重下で圧縮応力が生じないよう初期引張力3tを導入している。この初期引張力は不均等荷重が生じた場合にも有効である。風圧力は300kg/m²で設計している。

また、このテンション架構のもう一つ大きな特徴は、鉛直方向の力を吊り材なしで水平面テンション部材だけで抵抗していることである。ガラス支持部まわりに束材が回転した時、微小変形理論ではこの形は不安定であるが、幾何学的非線型性を考慮した場合、束材とテンション材が作る微妙な角度に対し、引張力がその変形抑止力として働き鉛直方向に安定する機構となっている。

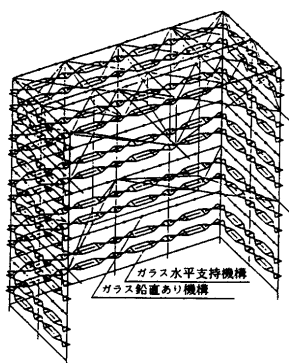


図-14 ガラス支持テンション架構図 (北側ガラスキューブ)

5.2 構造解析

テンション架構の性状を確認するため、同モデルについて幾何学的非線型性を考慮したマトリックス荷重増分解析を行った。荷重ケ

ースを図-19に示す。load-1は対称荷重、load-2は非対称荷重であり双方とも鉛直方向に若干の鉛直荷重を与えている。load-3は鉛直荷重である。解析によって求められた各荷重ケースの荷重-変形関係を図-18に示す。

水平荷重について対称荷重に比べ非対称荷重に対する変形が大きくなっているが、初期強制鉛直変位はload-1, 2ともに水平加力の増加に伴い収束する傾向が見られ、水平載荷によって鉛直安定性が損なわれる傾向のないことが確認された。また、鉛直安定性は理論式の値と比較的一致している結果となっている。

また、風外力に対する共振の可能性を探るためガラス及び架構の自重を質点として評価し、水平面内の固有値解析を行った。非対称モードが1次モードとなっており、固有振動数は約2.4Hzである。風荷重に共振しない振動数であると考えられる。

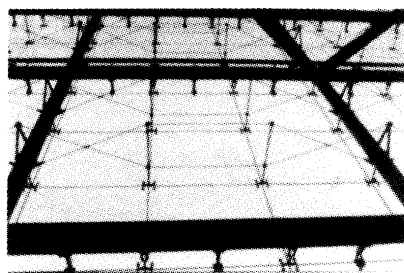


写真-6 ガラス支持テンション

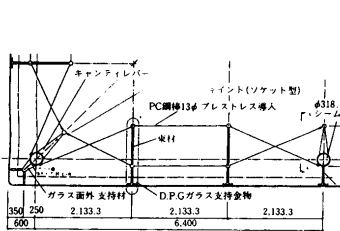


図-15 ガラス支持テンション架構平面図

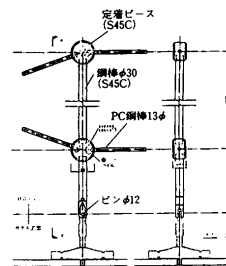


図-16 接合部詳細

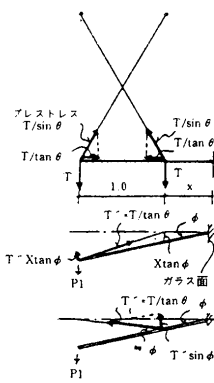


図-17 鉛直方向の抑止力

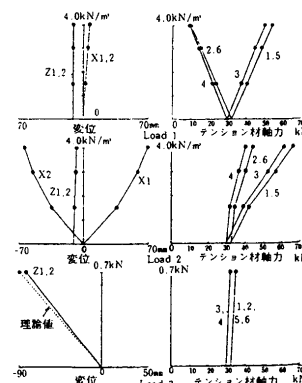
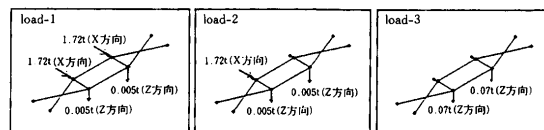


図-18 解析詳細



STEP	Ld	X	Ld	Y
0	0.00	0.005		
1	0.65	0.005		
2	1.29	0.005		
3	1.72	0.005		

STEP	Ld	X	Ld	Y
0	0.00	0.005		
1	0.65	0.005		
2	1.29	0.005		
3	1.72	0.005		

STEP	Ld	X	Ld	Y
0	0.00	0.07		

(1f, 10kN)
Z
Y
X

図-19 荷重ケース

5.3 ディーテリング

ガラス支持束材回り 束材とP C鋼棒の接合部分は、鋼棒の座屈防止を考慮し、圧縮力に対しては抵抗せず引張力にのみ抵抗する埋め込みジョイント方式とした。またP C鋼棒が交差する部分は貫通プラウを作り、テンション架構を構成させた。

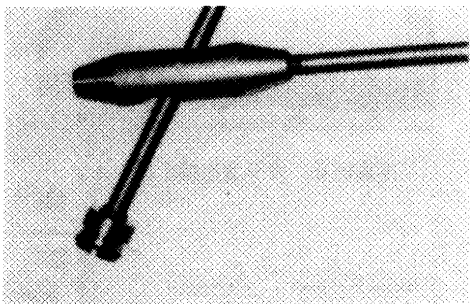
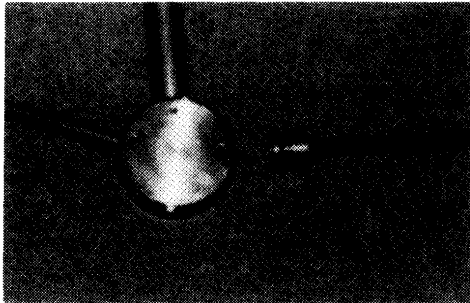


写真-7 支柱まわり及び貫通プラウ部品

5.4 実大実験

テンション架構の実大実験を、地震時・強風時の構造安全性の確認、施行法の検討、意匠性の確認の目的で行った。ここでは、初期引張力導入試験及び鉛直剛性試験結果について述べる。

2,133×2,020mmのガラスを縦3×横3=9枚、D. P. G. -H型金物を介して2段のテンション支持架構に取り付けた。テンション支持架構は、13φのP C鋼棒と42φのパイプの束材よりなっており、両端をフレームに緊結した。

各テンション材には設計風圧力に対して引張応力状態を保持するように約3 tの初期引張力を導入した。導入方法としては図-20に示すように中央ノード間をやや広げた状態で各部材を組立て（STEP 1）、油圧ジャッキにより中央ノード間を強制的に絞った後（STEP 2）、鋼棒端のソケットを調整することにより中央鋼棒間の緩みを取り（STEP 3）、その後除荷することにより各部材に所定の引張力を導入した（STEP 4）。各P C鋼棒の応力変化を歪ゲージにより測定する。歪ゲージによって得られた各部材の軸力と理論値は比較的よく一致していることが確認された。

前述のガラス支持機構の概要で、テンション支持架構の鉛直安定性について述べたが、ここでは導入引張力の管理に利用するため、写真-8に示すようにテンション材後部に重りを吊り下げた時に生じる変形を測定する実験を行った。図-21に測定した荷重・変形関係を示す。実験値は理論値とよく一致していることが確認された。

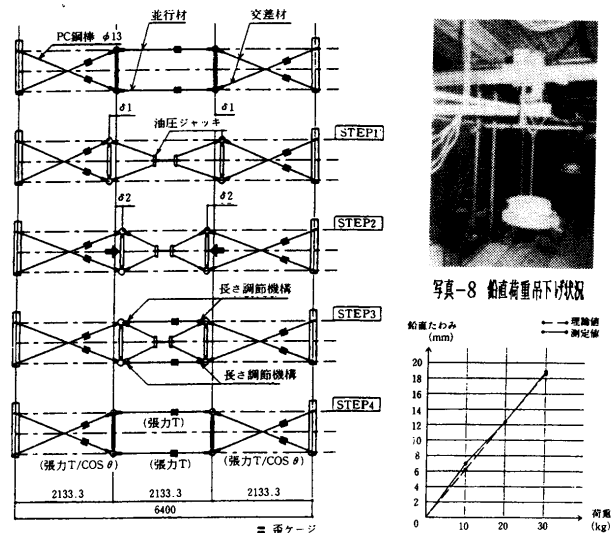


図-20 初期引張力導入手順

図-21 鉛直たわみ荷重関係

6 南側ガラスキューブガラス支持機構

ガラス支持機構の概要

ガラスは柱・梁の1グリッドを構成する7×6.4mで1.75×1.6mの4×4=16枚のガラスで構成されている。各々一枚のガラスはD. P. G. -H型金具によってコーナー付近4点で支持されており、この金具が水平荷重（風荷重）と垂直荷重（ガラス自重）の両方の力を構造体に伝える機構となっている。垂直荷重は上下の300φの梁にとりつく支持材からP C鋼棒の吊り材がD. P. G. -H型金具に接合され、梁材に伝わるようになっている。また、水平荷重はH型金具に接合された束材42φのパイプを介してH-200×100の間柱によって抵抗している。

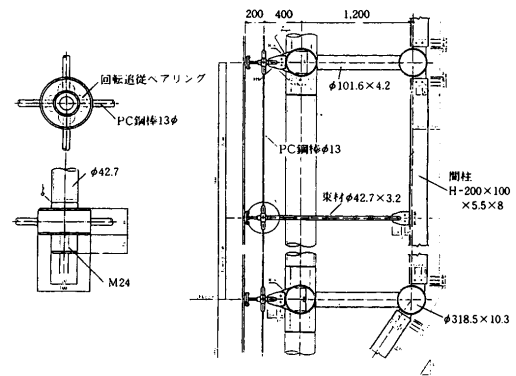


図-22 ガラス支持架構断面図及びディテール

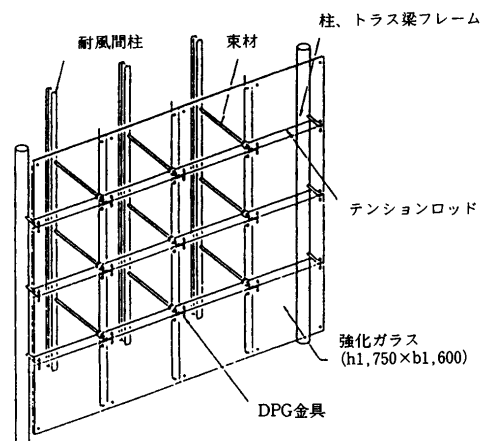


図-23 ガラス支持架構図

7 施工

両ガラスキューブとも構造体自体が意匠であり、架構の緊張感を出すため、鋼管とテンション材を組み合わせたハイブリッドな架構を採用した。また透明感を出すため、ガラスにおいてはサッシュレスのD. P. G. 構法を採用した。よって鉄骨の建方においては、通常より厳しい精度が必要とされる施工となった。また柱・梁の接合に現場溶接を採用し、鉄骨の地肌が露出することから、溶接部の仕上がりに美しさが求められた。これらの理由により総足場を組んで鉄骨を建て置きする計画とした。つまり通常の鉄骨建方に見られる柱と梁が自立しながら建方する方法ではなく、あらかじめ組んだ足場に柱や梁をゆだねて位置決めをし、その後接合する方法で建方の精度を確保した。

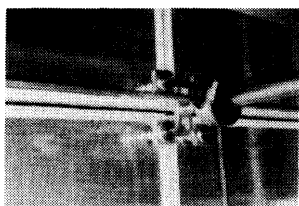


写真-9 接合部詳細

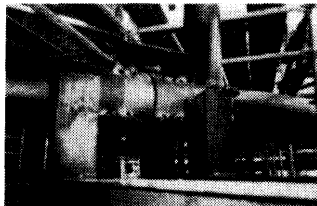


写真-10 建て置き状況

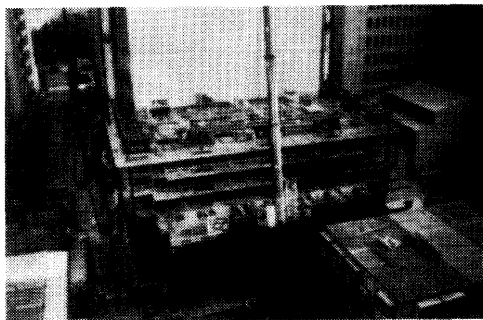


写真-11 南側ガラスキューブ建て方状況

北側ガラスキューブはP C鋼棒を用いたテンション部材を多く用いていたため、軸力導入や長さ調整等の施工管理についても特に留意した。D. P. G. 構法のガラスを支持するテンション架構及び鉄骨部材の組立てに当たってはガラス工事との取り扱い金具の位置出し

(精度は北ガラスキューブで左右10mm, 南ガラスキューブで上下左右3mm) 及び調整にかなりの時間を費やした。鉄骨の建方精度は、水平・垂直±5mm以内を目標とし、溶接完了後の水平誤差は3mm前後に納まった。ガラス支持テンション架構の導入力のチェック方法として実大試験の確認した幾何学的非線型剛性を利用した重り吊るしによる導入引張力のチェックを全数に対し行った。ガラス取付後すべての架構はエポキシ樹脂系塗料により仕上げ塗装された。

8 まとめ

機能の異なる二つのガラスキューブをサッシュレスD. P. G. 構法のガラスを用い、パイプ材を主体とした架構で設計した。北側ガラスキューブではパイプ単材にテンション材を組み合わせることにより軽快で透明な空間を、南側ではパイプトラス梁と二重ガラスを組み合わせることにより単一の空間を実現できたといえる。

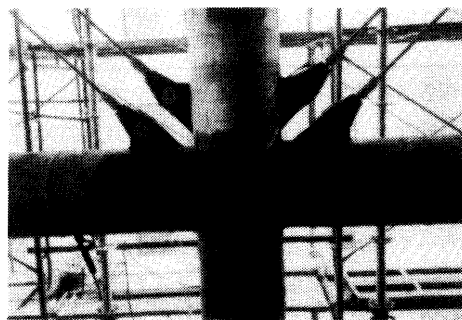


写真-12 P C鋼棒とパイプの交差部

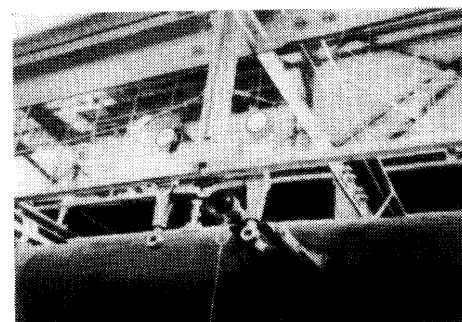


写真-13 北側D. P. G. 金具取付け状況

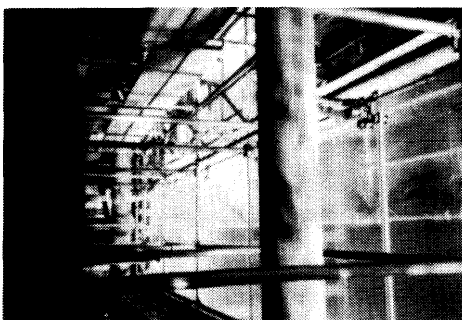


写真-14 南側D. P. G. 金具取付け状況

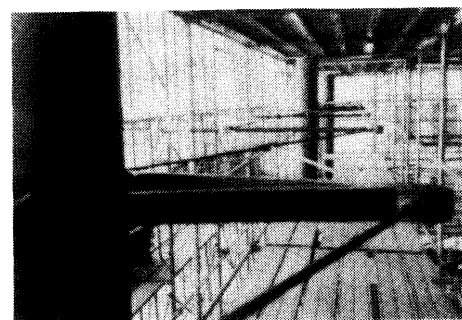


写真-15 北側テンション架構取付け状況

参考文献

- 1) 寺本隆幸, 北村春幸, 原田公明, 竹内徹他: 日本長期信用銀行本店ビルのガラスキューブの設計と施工(その1~その2): 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 1994. 9.

[1996年6月24日原稿受理 1996年9月10日採用決定]