挟み込み式ガラス点支持構法に関する研究

—ガラスパネルの力学特性と変形追随性能について—

STUDY ON GLASS SUPPORTING SYSTEM PINCHED AT CORNER

—Structural characteristics and following behavior for deformation of glass panel—

斎藤 公男*, 岡田 章**, 今村 柳輔***

Masao SAITOH, Akira OKADA and Ryusuke IMAMURA

With the increasing of requirement for atrium and public space in architecture, various glass facades have been constructed. The sense of transparency is pursued not only for glass material itself but also for its supporting system. Instead of traditional glass supporting system with mullion and sash, the combination of cable truss and "Dot Point System" recently become popular as a glass supporting system. This paper reports the new glass supporting system named "MJG (Minimum Joint Glazing)" instead of these Dot Point Systems. MJG is the system using a clamp which is able to pinch four glass panels at their corners with no hole, proposed by J. Schlaich. This new system is expected to product more attractive and transparent glass facades. This paper proposes a design method for glass panel by carrying out both experiments and analyses on the following items.

- (1) Structural characteristics of glass panel under wind-load.
- (2) Following behavior for out-of plane and relative story deformation of glass panel.
- (3) Proposal for new glass supporting structures considered of joint performance.

Keywords: Glass supporting system pinched at corner, Glass panel, Applicability

Clamp, Packing plate, Relative story deformation

挟み込み式ガラス点支持構法, ガラスパネル, 適応性

金物, パッキンプレート, 層間変形

1 序

近年、ガラスのもつ軽快感や透明感により内外空間の連続性を積極的に表現した建物が数多く見られる。ガラスを支持する金物の見付面積が小さい点支持構法や、部材断面の小さいケーブル支持架構の適用例が増加しているのもこの動向として捉えられよう。このような背景のもと、現在様々なガラス構法の開発と実施が積極的に進められてきている^[1, 2]。

ガラスファサードを構成する要素はその機能により以下のように分類できる。

- (1) ガラスパネル
- (2) ジョイント：ガラスパネル相互の接合およびガラスパネルの反力処理。
- (3) ファスナー：ジョイント部と支持架構の接合。
- (4) 支持架構：ガラス面全体の反力処理。
- (5) 反力処理機構：支持架構の反力処理。
- (6) 建物躯体

本論では、(1)～(3)の要素を「ガラス支持構法」と総称する。1辺1m～2m程度のガラスパネルの隅部あるいは辺中間部をジョイントおよびファスナーで支持する点支持構法は、(2)～(4)に着目し開発が進められてきた。中でも「孔あけ式ガラス点支持構法 (DPG)^[2]」

は、現在まで多くの大規模で透明感に富んだガラス壁面を実現してきた。しかし、ガラスパネルに孔をあけることで孔周りに発生する局所的な応力を緩和しなければならず、ジョイントに回転性能あるいはファスナーに変形性能を設ける必要がある。さらにガラスパネルの孔あけの際に高い精度が要求され、施工も比較的困難となり、ガラス支持構法の製作・コスト面の問題が発生しがちである。また変形の吸収能力が不足するため、ケーブルネット^[8, 12]やケーブルグリッド^[6, 8]のような大変形を許容する支持架構の選択幅が狭い。

以上の背景を踏まえ本論では、ジョイントおよびファスナーの製作・施工面をより単純化し、大変形を許容する支持架構との組合せを可能とする新しいガラス点支持構法として注目される、J. Schlaich博士によって提案された「挟み込み式ガラス点支持構法^[3]」を研究対象とした。本構法はガラスパネルに孔をあけず、隅部を比較的簡易なジョイントで挟み込むことによって支持するものである。実施例は既にドイツ国内で見られる^[10]ものの、本構法におけるガラスパネルの力学特性や様々な荷重に対する適用性についての検討は報告されていない。このことから著者らは以下の項目を研究課題としてとり挙げた。

- (1) 挟み込み式ジョイントにより支持されたガラスパネルの応力・変形性状の把握。

* 日本大学理工学部建築学科 教授・工博

** 日本大学理工学部建築学科 助手・工修

*** 日本大学理工学部建築学科 大学院生・工修

Prof., Dept. of Architecture, Nihon University, Dr. Eng.

Research Assoc., Dept. of Architecture, Nihon University, M. Eng.

Graduate Student, Dept. of Architecture, Nihon University, M. Eng.

- (2)我が国における外乱（風・地震）に対する安全性の確認。
 (3)面外変形や層間変形に対するガラスパネルの変形追従性能の検討。
 (4)ジョイントディテール（サイズ・形状・パッキンプレート厚さ等）
 設計のための基本データの蓄積および新しい支持架構の提案。

これらの中で特に本論では、挟み込み式ジョイントにより支持されたガラスパネルの付加荷重時の力学特性の把握を目的として、主に以下の2点について実験と解析の両面から検討を行うと共に、本ジョイントの支持架構に対する適用性について述べるものである。
 (1)風荷重に代表される面外力に対するガラスパネルの力学特性。
 (2)風荷重時の面外変形および地震時の層間変形に対する追従性能。

2 挟み込み式ガラス点支持構法の特徴とジョイントの構成

一般にガラス支持構法はガラスパネルをとめている部位の形態に着目すると図1のように分類することができる。そのうち点支持構法は孔あけ式と挟み込み（孔なし）式に大別できる。J. Schlaich博士により考案された「挟み込み式ガラス点支持構法」は、支持架構として比較的面外剛性の低いケーブルグリッド^[6]と組合わせた事例が報告されている^[10]。本構法は、ケーブルグリッドのみならずケーブルガーダー^[14, 15]やテンセグリットラス^[7]と組合わせたガラスファサード、さらにはガラスドームとして展開させ、我が国の外乱や設計クライテリアに適用させるシステムの構築を意図してMJG (Minimum Joint Glazing) 構法^[3]と命名された経緯を持つ。

挟み込み式ガラス点支持構法に用いられるジョイント（以下「挟み込み式ジョイント」と称す）は以下の要素から構成される（図2）。なお、(1)～(4)は1本のセンターボルトで締付けられる。

- (1)カバープレート：センタープレートと共にガラスパネルとパッキンプレートを挟み込む機能を持つ。
- (2)パッキンプレート：ガラスパネルとプレート間の緩衝および水密性能の保持を目的とする。
- (3)セッティングブロック：ガラスパネル自重を支持すると共に施工時におけるガラスパネルの位置決め利用される。
- (4)センタープレート：ガラスパネルを挟み込むと共に、プレート上に設けられたリブによりガラスパネル自重を支持する機能を持つ。

(1)～(3)の形状・サイズ・厚さやセンターボルトの締付力等を変化させることでガラスパネルの応力の低減および変形追従性能の向上が期待される。

3 風荷重時におけるガラスパネルの力学性状の検討

本章では挟み込み式ジョイントにより隅部を4点支持されたガラスパネルについて、風荷重時の力学性状の把握および解析手法の妥当性の検証を目的として解析・実験の両面から検討を行う。

3.1 解析的検討

3.1.1 解析概要

本項では、ガラスパネルの支持条件をパラメータとした解析的検討を行い、挟み込み式ジョイントにより4点支持されたガラスパネルの基本力学性状について把握した。

解析モデルを図3に示す。ガラスを平板要素、パッキンプレートをソリッド要素を用いてそれぞれモデル化し、隅部に相当する箇所の支持条件を固定支持、ローラー支持、挟み込み式ジョイント支持の3種類設定した。挟み込み式ジョイントによる支持の場合、ガラスパネルの滑り出しが予想されるが、パッキンプレートの上下をロー

ガラス支持構法

図1 ガラス支持構法の分類

図2 挟み込み式ガラス点支持構法：MJG(Minimum Joint Glazing)

図3 解析モデル

ラー支持とすることで評価することにした。すなわちガラスパネルとパッキンプレートとの接合部における要素は節点を共有するものとした^[4]。解析は幾何学的非線形を考慮したFEM解析を用いた。

3.1.2 解析結果および考察

風荷重に相当する等分布荷重下におけるガラスパネルの最大主応力度分布図を図4に示す。隅部を固定支持した場合、隅部に集中的に応力が生じる。ローラー支持した場合は、ガラスパネルの滑り出しにより辺部の応力が増加する傾向が見られるものの、隅部の過大な応力発生は抑制されない。これらに対し挟み込み式ジョイントによる支持の場合は、パッキンプレートの変形によりガラスパネルの滑り出し量が増大する一方、隅部の過大な応力発生が抑制されて、隅部と辺中央部の引張応力の均等化の傾向が得られている。

挟み込み式ガラス点支持構法において隅部の支持条件がガラスパネルの応力に及ぼす影響は大きく、解析において特に隅部のモデル化が重要となると考えられる。

3.2 実験的検討

3.2.1 実験概要

本項では、挟み込み式ジョイントにより隅部を4点支持されたガ

図4 支持条件がガラスパネルの応力に及ぼす影響（等分布荷重時の最大主応力度分布）

ラスパネルの力学特性の把握と解析モデルの妥当性の検証を目的として実験的検討を行った^[13]。

試験体は、1辺1.5mの正方形のガラスパネル（フィルム（PVB）で接着された強化合わせガラス、厚さ6+6mm、12+12mm）を用い、4隅をジョイントにより架台上に設置した（図5）。ジョイントのプレート形状として角無四角形（1辺110mm）と円形（直径120mm）の2種類を、またバックインプレート（シリコンゴム・硬度70°）の厚さを2種類、それぞれ用いた（表1）。

荷重は、試験体の下方を膜により密閉し、吸引機により風荷重を想定したガラス面鉛直下向きの等分布荷重を行い、内圧を膜内に挿入されたマンオメータで管理した。測定点を図5に示す。変位は高感度変位計、歪は3軸歪ゲージを用いて測定を行った。

3.2.2 実験結果および考察

ガラスパネル上面（外力を受ける面）の隅部と下面の辺中央部の荷重-縁応力度関係を図6に示す。ここでガラスパネルは曲げによる引張応力により破壊が生じるため^[3, 4]、引張応力の生じる隅部上面と辺中央部下面について考察を行った。実験結果ではガラス厚さに関係なく隅部応力は辺中央部応力を超えることはない。

また、ガラスパネル中央部の荷重-変位、下面の辺中央部における荷重-縁応力度関係を図7に示す。フィルムを用いた合わせガラスの場合、フィルムを介した両ガラスパネル間のせん断力の伝達が行われるため、実験値は合計厚さに相当する単板ガラスの剛性を用いた解析値とよく一致しているが、提案した解析モデルの妥当性が示された。また図中に4点ピン支持板の理論値^[5]を合わせて示すが、理論値は実験値とほぼよく一致し、さらに応力面で安全側の評価がされることから、構造計画初期段階においてガラスパネル選択の際の一指標となり得ると思われる。

4 ガラスパネルのパラメトリックスタディ（風荷重時）

4.1 カバープレート形状の影響

6+6mm合わせガラス（1辺1.5mの正方形・バックインプレート（シリコンゴム硬度70°）厚さ2mm）においてカバープレート形状をパラメータとした場合のガラスパネル中央部の荷重-変位、辺中央部の荷重-縁応力度関係を図8に示す。カバープレート形状が四角形の方がわずかながら変形が大きく生じている。これはカバー

図5 実験概要

表1 試験体パラメータ

ガラス	強化合わせガラス（フィルム（PVB）接着） 厚さ 6+6mm・12+12mm $E=7.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
カバープレート	角無四角形（1辺110mm）円形（直径120mm） SS400 厚さ 12mm $E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ （公称値）
バックインプレート	シリコンゴム（硬度70°） $E=59 \text{ kg/cm}^2$ （公称値） 厚さ 2mm・5mm
セッティングブロック	ネオプレンゴム（硬度60°） $E=250 \text{ kg/cm}^2$ （公称値）

図6 実験結果

プレートによるガラスパネルの挟み込み部分を2辺固定の片持形式の平板と捉えた場合、四角形の方が片持部の長さが大きく、カバープレートの回転剛性がわずかながら低いためであると考えられる。

4.2 カバープレートサイズの影響

解析は、ガラスパネル（1辺1.5mの正方形、厚さ12mm）の4隅を支持するカバープレート（四角形、パッキンプレート（シリコンゴム硬度70°）厚さ2mm）の1辺の大きさを、110mm、90mm、70mmと変化させる方法で行った。

隅部のガラスパネル対角方向の断面における、カバープレートの大きさをパラメータとしたガラスパネル応力分布を図9に示す。それぞれ辺中央部が短期許容応力度（500kg/cm²：強化ガラス）^[1]に達する時の荷重 w_{max} の値に相当する。カバープレートの1辺の大きさが小さくなるほど、 w_{max} が小さくなると共に、最大変位は大きくなる傾向が得られた。これは、ガラスパネルの挟み込み部分が小さくなるにつれ隅部の支持条件がピン支持に近づくためと考えられる。

4.3 ガラスパネルのアスペクト比の影響

厚さ12mmのガラスパネル（パッキンプレート（シリコンゴム硬度70°）厚さ2mm）において長辺が2mの時を対象として、アスペクト比（長辺／短辺）の変化に伴う引張応力の変化を図10に示す。アスペクト比が1に近づくときガラスパネル中央部の応力は減少し、隅部応力は増加する。一方、長辺中央部応力はアスペクト比に関係なくほぼ一定である。またガラスパネル中央部応力および隅部応力は辺中央部応力を超えることがない。従ってガラスパネルの強度計算を行う際には、長辺中央部の応力を用いて検討すればよいことが把握された。変形に関してはアスペクト比が1に近づくにつれて大きくなり、ガラスパネル中央部で最大変位が生じる。

4.4 パッキンプレートの材質の影響

厚さ12mmのガラスパネル（1辺2mの正方形）においてパッキンプレートの材質がネオプレンゴム、シリコンゴム（共に厚さ2mm・硬度60°）の場合の縁応力度とガラスパネル中央部の変位を図11に示す。辺中央部応力はネオプレンゴムの方が低いが、隅部対角方向の応力はシリコンゴムの方が約5%に抑えられており、ヤング係数の低いパッキンプレートを用いた場合、隅部応力を低減する効果があることが示された。一方、最大変位量は両者間に顕著な差異が見られない。

4.5 隅部の支持条件の影響

前項までの検討結果より、挟み込み式ジョイントにより4点支持されたガラスパネルは、隅部の支持条件が応力変形状に大きな影響を及ぼすことが把握された。本項では、隅部の支持条件が及ぼす影響をさらに詳細把握するために、パッキンプレート厚さが2mm

図7 実験と解析の比較

図8 カバープレート形状による影響

の場合にガラスパネル（1辺1.5mの正方形）の辺中央部が短期許容応力度（500kg/cm²：強化ガラス）に達した時の荷重を用いて、パッキンプレート（シリコンゴム硬度70°）厚さ（2mm、5mm、8mm）とガラスパネルの厚さ（6～24mm）をパラメータとして検討を行った。

隅部のガラスパネル対角方向の断面を対象として、縁応力度と

面内引張応力度の分布を図12に示す。図よりガラスパネル、パッキンプレートが厚くなるほど隅部の応力は低減され、変形は増大する傾向が見られる。このことからパッキンプレート厚さが増すとパッキンプレートのせん断変形が増大し、隅部の支持条件がローラーに近づく性状が定量的に把握された。

なお、ガラスパネル厚あるいはパッキンプレート厚によってはガラスパネルの辺中央部で最大引張応力が発生しない場合があり、実施設計の際留意する必要がある。

4.6 ガラスパネルの簡易選択図の提案

本章の検討結果を考慮し、簡易的にガラスパネルの選択を行うための図表の提案を試みた。図13に、発生引張応力が短期許容応力度（ $500\text{kg}/\text{cm}^2$ ：強化ガラス）以下であることを検定条件とし、挟み込み式ジョイントにより支持されたガラスパネル厚さの簡易選択図（1辺110mmの四角形ジョイント、パッキンプレート（シリコンゴム硬度70°）厚さ2mm）を示す。なお、本図は複層ガラス等の、ガラスパネル1枚の厚さに応じた荷重分担に基づき強度計算が行われるガラスパネルについても適用可能である。

5 ガラスパネルの変形追従性能

ガラスファサードにおいて外力により生じる変形は、風による面外変形と地震による面内方向の層間変形に大別できる。面外変形は、1枚のガラスパネルおよびガラスファサード全体の面外変形が考えられるが、後者については各々のガラスパネルに発生する応力が小さいこと、また支持架構の構造性能や居住性（視覚的不安感の抑制）の観点から許容値を設定する必要がある。従って本章では1枚のガラスパネルの面外変形について検討を行った。

5.1 面外変形に対する検討

本項ではガラスパネルの発生応力の観点から面外変形に対するクライテリアの設定を試みる。ここでは面外変形の許容値を表わす無次元化指標として回転角 R を用いた。許容回転角 R は、ガラスパネルの辺中央部の発生応力が短期許容応力度（ $500\text{kg}/\text{cm}^2$ ：強化ガラス）に達した時のガラスパネル中央部変位 δ_d 、辺中央部変位 δ_e を用いて次式で定義した。

図10 アスペクト比の影響

図11 パッキンプレート材質の影響

$$R_d = \frac{\delta_d}{\sqrt{2}(L/2)}, \quad R_e = \frac{\delta_e}{L/2} \quad (1)$$

これらはガラスパネルの隅部に生じる局所的な変形に対する追従性能を表わすものと考えられる。

正方形ガラスパネルにおける許容回転角 R とパッキンプレート厚さの関係を図14に示す。ガラスパネルが薄いほど、またパッキンプレート厚さが増すほど許容回転角 R は大きくなる傾向が見られる。しかしながらガラスパネルが薄くなれば耐風圧性能は低下するため、耐風圧性能を確保すると同時にガラスパネルの面外変形への追従性能の向上を図るためには、パッキンプレートを厚くすることが有効な手段であると考えられる。

5.2 層間変形に対する検討

我が国において、地震時の層間変形に対する追従性能に関して

図12 隅部の応力度分布（ガラスパネル厚さ・パッキンプレート厚さの影響）

は建築基準法により規定されている^[11]。ここでは、本構法の層間変形に対する追従メカニズムおよび追従性能は不明確であり、我が国における適用性を考える上で検討が必要である。

5.2.1 理論式の提案

ガラスパネルとカバープレートあるいはパッキンプレート間に摩擦がないと仮定し、ガラスパネルの層間変形に伴いガラスパネルに応力が発生しない条件から、許容層間変形角 ϕ を求めた。ここでガラスパネルに応力が発生する変形モードとして、ガラスパネルがリブに接触する状態を設定した(図15)。層間変形に伴い、隅部においてガラスパネルがジョイントのリブに接触する部分とリブから離れる部分が生じる。この変形モードにおける鉛直・水平方向の幾何学的関係より次式が得られる。

$$\begin{cases} -(L_v - s + t)\psi + L_v\phi = L_h - (L_h - s + t) \\ (-2a + L_h - s + t)\psi + 2a\phi = L_v - (L_v - s + t) \end{cases} \quad (2)$$

(2)式から許容層間変形角 ϕ を導くと次式となる。

$$\phi = \frac{-2(s-t)^2 + (L_v + L_h - 2a)(s-t)}{L_h L_v - (L_v + 2a)(s-t)} \quad (3)$$

ただし ϕ : 許容層間変形角 L_v : 縦方向ジョイント間隔
 s : 目地幅 L_h : 横方向ジョイント間隔
 t : リブ厚 a : リブ長さ
 ψ : ガラスパネルの回転角

なお、セッティングブロックにガラスパネルが接触する状態の許容層間変形角は、(3)式の t 、 a のリブをセッティングブロックに読み替えることで求めることができる。

5.2.2 実験概要

実験は図16に示すようにジョイントの縦リブの有無をパラメータとし、図17に示す試験体を用いて行った。目的を以下に示す。

- (1)ジョイントとガラスパネルの変形モードの把握
- (2)ガラスパネルの端部応力・面内応力の把握
- (3)理論式の妥当性の検証

実験は、層間変形(ガラスパネル面内方向の変形)が自由な1.5×3.7mのフレームに、1辺1.5mの正方形のガラスパネル(厚さ6+6mmの強化合わせガラス)を縦方向に2枚並べ、フレームの下端をジャッキにより強制変位させる方法で実施した。

5.2.3 実験結果および考察

①荷重-層間変形角関係および荷重-歪関係

実験では層間変位94mm(層間変形角1/35に相当)まで載荷を行ったが、ガラスパネルの破損・離脱はType-A(縦リブ有り)、Type-B(縦リブ無し)共に見られなかった。また、除荷後ガラス

図16 ジョイント詳細

図13 ガラスパネル簡易選択図(単板強化ガラス)

図14 面外許容回転角(ガラスパネル正方形)

図15 想定変形モード

パネルは元の位置に戻っており、その後同様の実験においても結果に差異は見られなかった。

荷重-層間変位関係を図18に示す。Type-Bの方がType-Aよりジャッキ荷重が小さいことから、Type-Bが層間変形への優れた追従性能を有することが確認された。両者の挙動を比較すると、層間変位10mm前後でType-Aのグラフの傾きが変化していることから、

図17 試験体架台詳細

図18 実験結果 (荷重-層間変位関係)

この点でガラスパネルの端部が縦リブのセッティングブロックに接触し、層間変形に対する抵抗が大きくなっていることが推察できる。

また、ガラスパネルの各点における歪-層間変位関係を図19に示す。いずれの点においてもType-Bは歪に大きな変化は見られないが、Type-Aは層間変位50mm前後で歪の絶対値が増加している。なお、ガラスパネルの短期許容歪は 700μ (辺部分の許容応力度 $500\text{kg}/\text{cm}^2$: $E=7.3\times 10^5\text{kg}/\text{cm}^2$ より算出)であり、両Type共許容値には達していない。

Type-Aの結果より、ガラスパネルはセッティングブロックを接触後に押し潰し、その後層間変位が50mm前後でガラスパネルがリブに接触し始め抵抗が大きくなると共にガラスパネルの面外方向の変形が生じ、歪の絶対値の急激な増加が生じる性状が得られている。

なお、ガラスパネルがセッティングブロック ($t=13\text{mm}$) に接触する際の層間変位の理論値 (8.6mm : $1/387$) およびリブ ($t=5\text{mm}$) に接触する際の理論値 (43mm : $1/77$) は実験値とほぼ一致し、理論式の妥当性が確認できた。

また実験結果より、Type-B (縦リブ無し) は優れた変形追随性能を示しており、想定される層間変形量が多い場合有効であると考えられる。

②ガラスパネルの大きさが及ぼす影響

本検討はガラスパネルに応力が生じない (ガラスパネルがリブに接触する) 条件から、許容層間変形角を設定した。図20にType-Aのジョイントを用いた場合のガラスパネルのサイズと許容層間変形角の関係を示す。なおリブ厚は5mm、目地幅は15mm (一般に用いられる値) とした。図からガラスパネルのサイズが小さく、アスペクト比が1に近いほど許容層間変形角は大きくなり、変形追随性能が向上する傾向が示されている。

6 挟み込み式ガラス点支持構法による新しい支持架構の提案

挟み込み式ガラス点支持構法は、耐風圧性能を確保しつつ、面外変形および層間変形に対する優れた追随性能を有していることが確認された。従って、本論における検討結果を構造計画時に考慮することにより、従来の孔あけ式ガラス点支持構法に比べ、様々な支持架構に対するその適応範囲は広いと考えられる。

ガラスファサードを形成する支持架構のうち、卓越した透明感を発揮するケーブルグリッド^[6, 8]は、地震時に応力が発生しないため、ガラスパネルの発生応力・変形の観点から構造計画を行うことが可能である。しかしながら変形量の抑制のためケーブルに導入される初期張力が大きくなり、建物に過大な反力が生じ十分な反力

図19 実験結果 (歪-層間変位関係)

図20 ガラスパネルの大きさが許容層間変形角に及ぼす影響

図21 支持架構の提案

処理機構が必要となる。

ここで挟み込み式ガラス点支持構法による新しい支持架構として、次の3方式を提案する(図21)。

(1) ケーブルトラス補強型ケーブルグリッド方式

ケーブルグリッドの中間部に補強的にケーブルトラスを組合わせることで面外変形量を低減し、視覚的不安感をできるだけ抑制することを目的とした方式である。ケーブルグリッドに導入される初期張力の低減が可能であるが、ケーブルトラスにより支持された点におけるガラスパネルの回転性能の検討が必要となる。

(2) テンセグリッドトラス方式^[7]

システムトラスの弦材をストリングに置換し、ケーブルグリッドの剛性を高めた方式である。小断面の斜材(アルミニウム材)の存在により、透明性に対する独特な構造表現を意図した。本架構は、デプスがスパンの1/30以上確保されていれば線形的な挙動を呈するため^[7]、弦材に導入される初期張力は低減され、反力処理機構の縮小化が図れる。地震時の層間変形に伴う部材応力の発生に対しては、斜材の接合部にわずかなルーズホールを設けることで対応可能である。また挟み込み式ジョイントのセンタープレートは架構の接合部として兼用できるため、ジョイントと支持架構の一体化を図ることも可能である。

(3) ケーブルガーダー方式^[14, 15]

従来の方式^[2]と異なり、ジョイント部と支持架構部(ケーブルガーダー)がそれぞれ独立していることが特徴である。ジョイント部の縦ロッドでガラスパネルの自重を吸収することが可能であり、ジョイントと支持架構との接合に施工誤差の吸収が可能なファスナーを用いることにより、施工性の向上も図ることができる。

これらの支持架構は、従来の孔あけ式ガラス点支持構法では比較的困難と考えられ、挟み込み式ガラス点支持構法の特徴を十分に利用した「MJG」の今後の発展が期待される。

7 結

本論では実験および数値解析により挟み込み式ガラス点支持構法の力学特性について検討を行い、結果に基づいて我が国における適用性について考察を加えた。得られた新しい知見を以下に示す。

- (1) 挟み込み式ジョイントにより支持されたガラスパネルの風荷重時の発生応力は、実用的な支持条件においては辺中央部が最大となる。
- (2) ジョイントによる支持条件、特にパッキンプレートの剛性や厚さがガラスパネルに及ぼす影響は大きい。風荷重時のガラスパネルの発生応力の低減および変形に対する追従性能の向上を図るためには、パッキンプレートの厚さを増すことが有効である。
- (3) 層間変形性能を評価するため理論式の提案を行い、実験結果と比較することにより妥当性を検証した。
- (4) 提案した風荷重時および地震時の層間変形に対する図表は、実施設計においてガラスパネルを選択する際有効であると思われる。
- (5) 本構法は支持架構への適用性が高く、透明感の高いガラスファサードを形成する上で有効と考える。

今後の課題としては以下の検討が必要であると考ええる。

- (1) ジョイント部の最適形状の検討
- (2) 支持架構と組合わせた時の力学挙動の把握
- (3) 屋根架構への適用性の検討

謝辞

本研究を遂行するにあたり、供試体の製作および実験の実施面で御協力を頂いたフィグラ(株)の関係者に、また風荷重実験の実施に御尽力頂いた日本大学大学院 寺嶋知宏さん(現 大成建設(株))、田中佳奈子さん(現 (株)石本建築事務所)、中原英子さんに謝意を表します。

参考文献

- [1] 斎藤公男監修：透明なデザインと建築技術，建築技術，1996・1
- [2] 例えば、和久井智・磯崎敏正・横田暉生他：テンション架構で支持されたDPGガラスファサードの研究(その1)～(その5)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1537～1546，1993
- [3] 斎藤公男・岡田 章・寺嶋知宏・今村柳輔：点支持方式のガラスファサードの力学特性に関する基礎的研究(その1)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.745～746，1995
- [4] 斎藤公男・岡田 章・寺嶋知宏・田中佳奈子：点支持方式のガラスファサードの力学特性に関する基礎的研究(その3)(その4)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.927～930，1996
- [5] 坪井善勝：連続体力学序説，産業図書，1977
- [6] 斎藤公男・岡田 章・渡邊朋宏：点支持方式のガラスファサードの力学特性に関する基礎的研究(その2)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.747～748，1995
- [7] 斎藤公男・岡田 章・今村柳輔・田中佳奈子：ファサードに用いるテンセグリッド・トラスの力学特性に関する研究(その1)(その2)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1035～1038，1998
- [8] 斎藤公男・岡田 章・今村柳輔・田中佳奈子：MJG式ガラス支持ケーブル構造の力学特性と適用性に関する研究(その1)(その2)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.797～800，1997
- [9] 斎藤公男・岡田 章・今村柳輔：点支持方式のガラスファサードの力学特性に関する基礎的研究(その5)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.931～932，1996
- [10] 例えば、Helmut Jahn：Hotel Kempinski, Munich Airport，建築と都市，au，1995・2
- [11] 例えば、建築基準法施行令第82条の2，建設省住宅局建築指導課
- [12] 斎藤公男・黒木二三夫・望月利男他：ケーブルネット式サスペンション膜構造の構造特性に関する研究(その1)(その2)(その3)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1799～1804，1992
- [13] 斎藤公男・岡田 章・今村柳輔・中原英子：挟み込み式ガラス点支持構法の適用性に関する基礎的研究(その1)(その2)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.999～1002，1999
- [14] 斎藤公男・岡田 章・今村柳輔他：大規模ガラスファサードに用いるケーブルガーダーに関する実験的研究(その1)(その2)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.995～998，1999
- [15] 斎藤公男・原田公明・小堀 徹・細澤 治：さいたまスーパーアリーナの設計と施工(その4)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.993～994，1999

(1999年6月10日原稿受理，1999年11月1日採用決定)