

【技術ノート】

プレート組立式ジョイントによる 立体トラスの実大強度実験

Full-Scale Measurement of Space Truss Using Steel-Plated Joints

青 木 敬二郎 *
Keijiro AOKI
梅 澤 宣 雄 **
Nobuo UMEZAWA
松 崎 宏 之 ***
Hiroyuki MATUSZAKI

1. はじめに

鉄構事業の多角化を目的として、昭和57年4月にスペースストラクチャー開発プロジェクトチームが発足し、プレート組立式ジョイント（開発当初は平潰し鋼管継手方式と称した）を用いた立体トラスの開発に取り組んで来た。開発にあたっては、日本大学斎藤研究室の御協力を得て、以下に示す一連の実験を行った。

(1) 模型実験（昭和57年12月～昭和58年5月実施）¹⁾

実物の約 $\frac{1}{8}$ の模型を用いて、複層立体トラス平面板に関する基本的な構造特性及び弾塑性挙動を把握することが出来た。

(2) 実大ジョイント実験（昭和58年8月実施）²⁾

ジョイントの耐力を知り、最適なジョイントを選ぶことを目的に行った実験である。そのために、ジョイントを構成する部品の大きさや製作条件等を変えて、引張及び圧縮試験をアムスラー試験機を用いて行った。

(3) 実大ユニット実験Ⅰ（昭和58年12月～昭和59年1月実施）²⁾

この実験では、実大ジョイント実験の結果を参考にし、表-1のタイプ1（基準体）のジョイントを用いて2×2の実大ユニットを組み、静的載荷実験を行った。当初は、調整板の厚みを変えた2種類のジョイントを用いて実験を行う予定であった。しかし、試験体No.1の結果は所期の耐力が得られなかったため、2体目の試験体は、ジョイントを改良してから後日実験を行う際に使用することにした。そして、試験体No.1の上弦4点の中央のボルトのみ新しいものと交換し、これを試験体No.2として確認実験を行った。

(4) ユニット実験Ⅱ（昭和59年5月実施）²⁾

中央のボルト径をM33（F10T相当）に変更して、試験体No.3として載荷実験を行った。これはユニット実験Ⅰの結果、ジョイント中央のボルトの曲げ降伏がユニ

ットの耐力に大きな影響を及ぼすことがわかったためである。

ここでは、(2)～(4)の実大実験についてのみ概略報告する。

2. 実大ジョイント実験

2-1 試験体

図-1に引張試験用の試験体を、図-2に圧縮試験用の試験体を示す。ここで、最適なジョイントを選ぶにあたり、主に次の4項目に着目した。

- (1) 十字形羽根プレートの板厚
- (2) 十字形羽根プレートの熱処理の有無
- (3) 中央のボルトの径
- (4) 座板の大きさ

これ以外に、調整板を薄くして、トラスの節点に偏心を生じさせた場合や、十字形羽根プレートの圧延方向を変えた場合等も着目したが、ここでは上記主要4項目について述べる。

表-1に示すような諸元をもつジョイントを基準体（タイプ1）と定めた上で、表-2に示す6つのタイプのジョイントを製作し、試験体とした。

表-1 基準体の諸元

タイプ	十字形羽根プレート			中央のボルト	座板
	板厚(mm)	熱処理	圧延方向		
1	t=16	無	圧延直角方向を試験	M24	10×60 ×60

上表にない諸元は図-1, 2に従う。

* 川田工業株式会社建築事業部事業部長代理 ** 川田工業株式会社鉄構事業部技術課課長 *** 川田工業株式会社鉄構事業部技術課

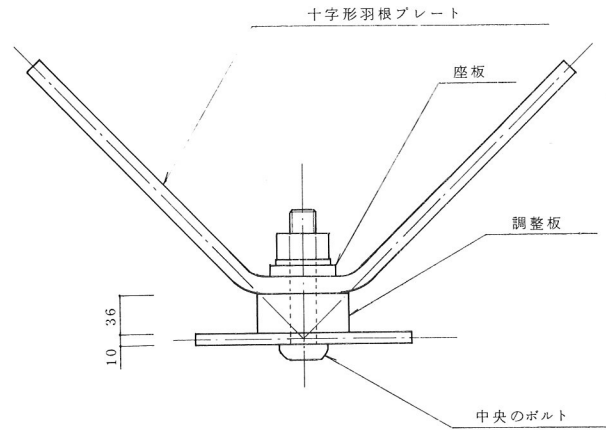
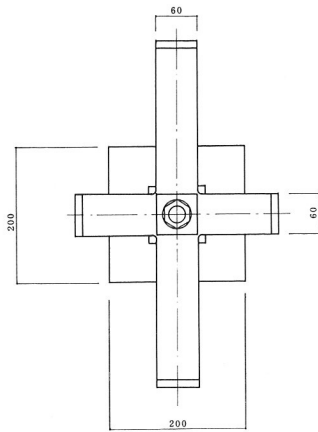


図-1 引張試験体

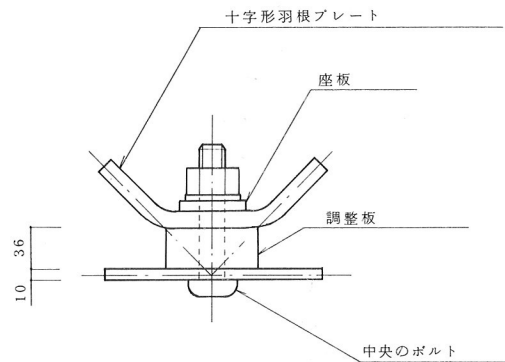
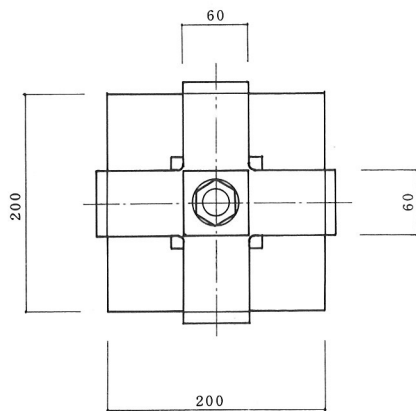


図-2 圧縮試験体

2-2 実験方法

図-3に引張試験、図-4に圧縮試験の概略を示す。

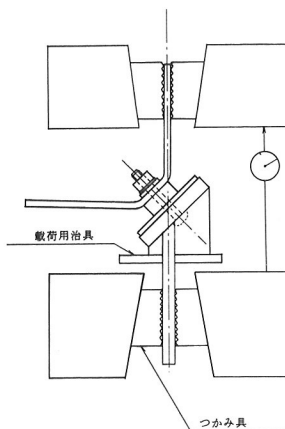


図-3 引張試験

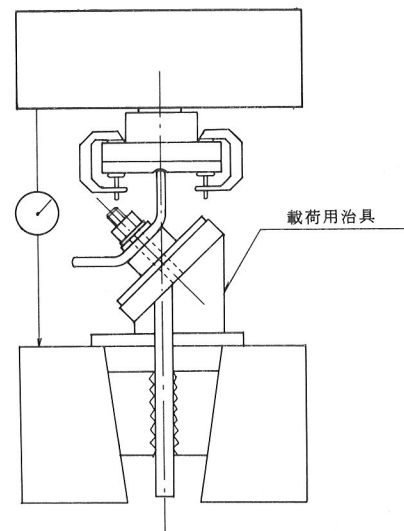


図-4 圧縮試験

アムスラー試験機によりジョイントに加力して、ジョイントの変形量をダイヤルゲージにて計測し、これと同時に、十字形羽根プレートの子げ加工部分と中央のボルトに歪ゲージを貼り測定した。

2-3 実験結果

実験結果の概要を表-2に示す。表-2より以下の事項がわかった。

表-2 各タイプの説明と実験結果

タイプ	着目点 (基準体と異なる諸元)	引張試験	圧縮試験
		耐力 (t)	耐力 (t)
1	基準体	7.9	9.7
2	十字形羽根プレートの板厚 $t = 12$	7.5	9.9
3	十字形羽根プレートの板厚 $t = 20$	7.1	13.2
4	十字形羽根プレートの熱処理 加熱温度 $625 \pm 25^\circ\text{C}$	7.5	9.5
5	中央のボルト M 22	6.6	—
6	座板 $10 \times 65 \times 65$	7.4	—

(上表の耐力は3回～5回の測定値の平均である。)

- (1) 各試験体とも圧縮耐力が引張耐力を上回っており、このジョイントの耐力は引張力によって決る。
- (2) 十字形羽根プレートの厚さ t による引張耐力の差はさほど顕著ではない。
- (3) 十字形羽根プレートを熱処理しても、ジョイントの耐力は向上しない。
- (4) 中央のボルト径を小さくするとジョイントの耐力が低下する。
- (5) 座板を多少大きくしてもジョイントの耐力は向上しない。

以上のことから、このジョイントは圧縮より引張に弱く、中央のボルト径の大小がジョイントの引張耐力に影響することがわかる。図-5のBOLT ($P-\epsilon_1$) 曲線及びBOLT ($P-\epsilon_3$) 曲線は、試験体タイプ1のボルトの引張側 (ϵ_1) と圧縮側 (ϵ_3) に貼った歪ゲージの値と荷重 P の関係を示した曲線である。

この図から、ジョイントの耐力とボルトの曲げ耐力がほぼ一致していることがわかる。

3. ユニッ ト 実験

3-1 試験体

実験に用いた 2×2 ユニットの形状を図-6に示し、各部材の形状を図-7に示す。試験体No.3については、支点部の圧縮力を受ける斜材4本に他の斜材より太径の鋼管を用い、端部加工もU形通しガセット形式とした。これはこの4本の斜材が座屈するのを防ぐためである。一方、ジョイントの形状を図-8に示し、ジョイントの諸元を表-3に示す。また、実験状況を写真-1に示す。

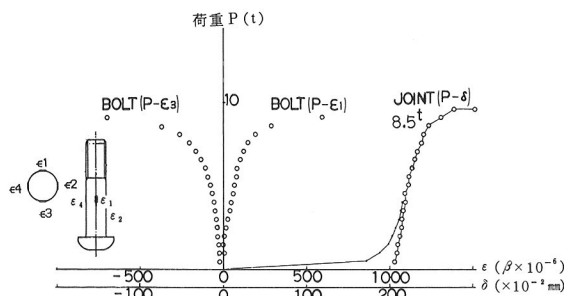


図-5 基準体(タイプ1)の実験結果

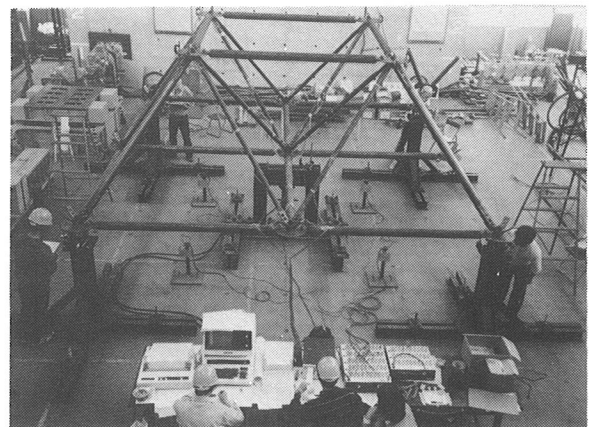


写真-1 実験状況

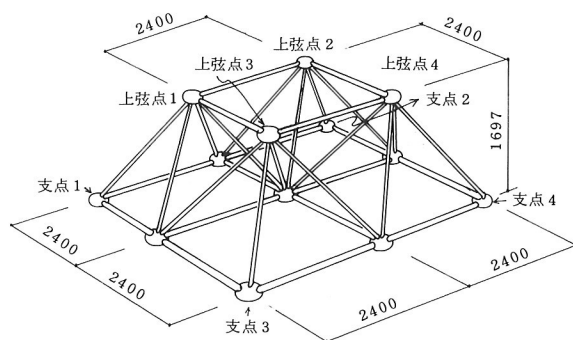


図-6 試験体の形状

表-3 実大ユニット実験に使用した
ジョイントの諸元

試験体 No.	十字形羽根 プレート	調整板	円 盤	中央の ボルト
1	t=16 (SM50A)	t=36 (SS41)	t=10 (SS41)	M24 (F10T)
2	t=16 (SM50A)	t=36 (SS41)	t=10 (SS41)	M24 (F10T)
3	t=16 (SM50A)	t=36 (SS41)	t=10 (SS41)	M33 (F10T相当)

上表以外の諸元は図-8に従う。

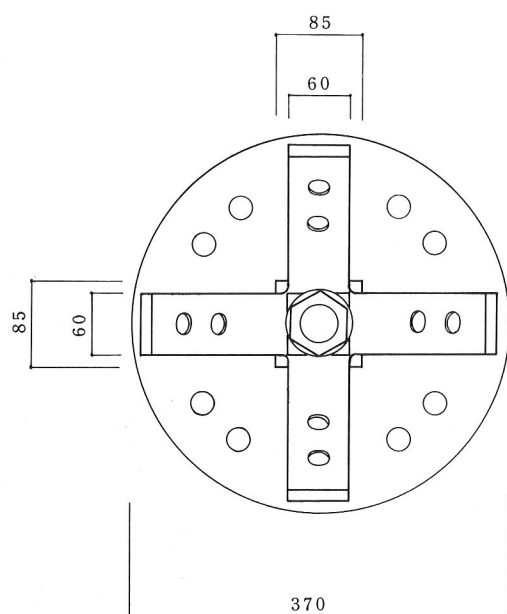


図-8 ジョイントの形状

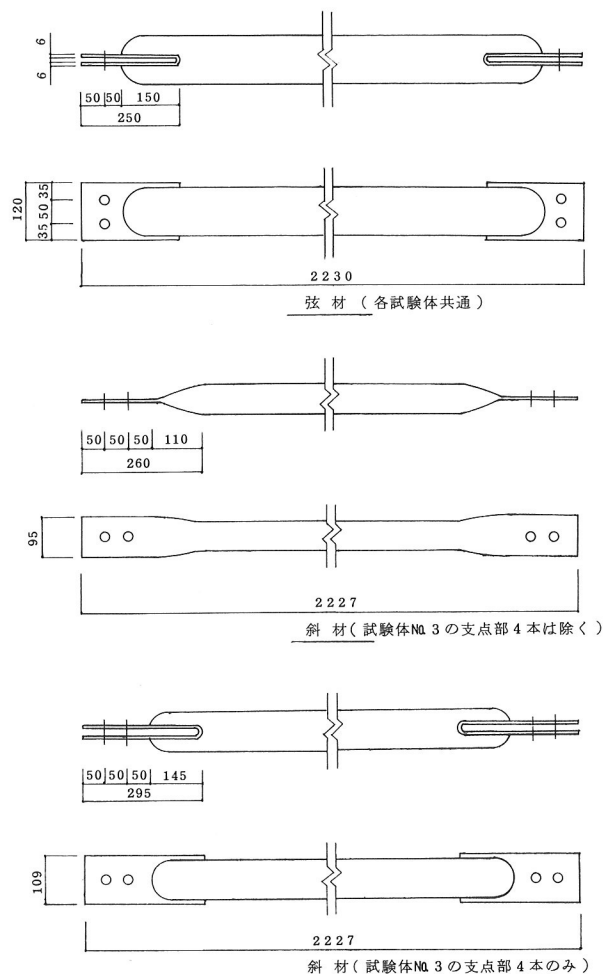
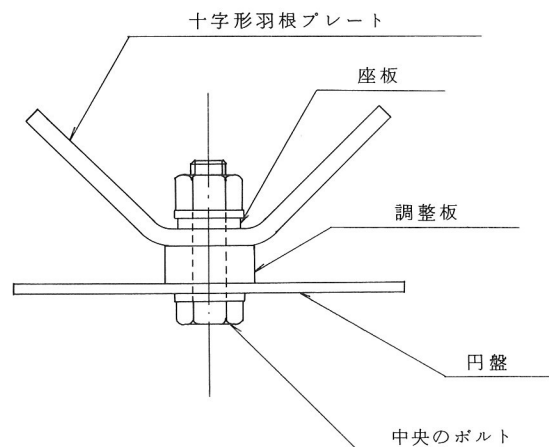


図-7 部材の形状



3-2 実験方法

3-2-1 載荷方法

載荷方法は中央下弦点1点載荷とし、載荷点のジョイント中央にはボルトのかわりに32φのPC鋼棒をさし込み、油圧ジャッキにて直接加力した。そのため、図-9に示す載荷フレームを製作した。そして、ユニットの耐力がわかるまでは荷重制御で加力し、耐力がわかってからは変位制御法に切りかえて実験を行った。

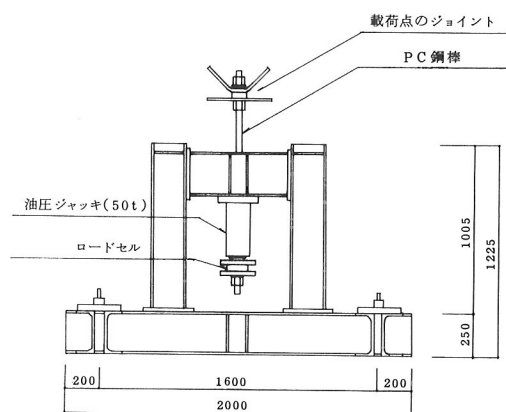


図-9 載荷フレーム

3-2-2 支持方法

4支点にはテフロン板を2枚重ねてはさみ、水平方向の移動を自由にした。

3-2-3 測定方法

上弦4点の鉛直変位はリングゲージにて測定、上弦4点の中央のボルトには各々4枚の歪ゲージを貼付して、歪測定を行った。一方、載荷点の高感度変位計で鉛直変位を測定し、4支点部の沈下はダイヤルゲージで測定した。さらに、試験体No.3については、上記測定項目以外に、引張力を受ける斜材4本(載荷点と各上弦点を結ぶ斜材)の軸力、及び上弦4点のうち2点の十字形羽根プレート(の)の曲げ加工部分の歪を測定した。

3-3 実験結果

試験体No.1の実験結果を図-10~12に、試験体No.2の実験結果を図-13~14に、試験体No.3の実験結果を図-15~18に示す。実験結果から以下のことがわかった。

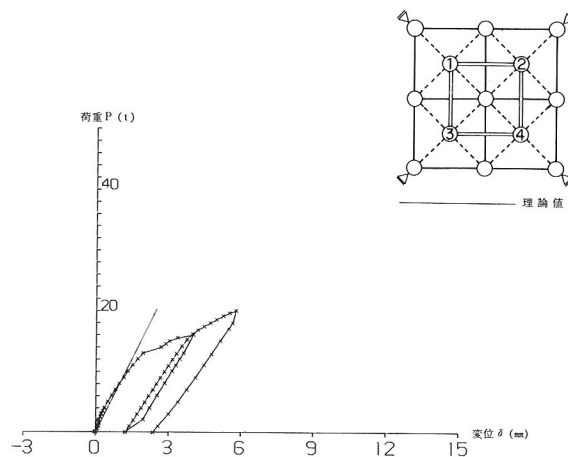


図-10 試験体No.1 上弦点の鉛直変位
(1~4の平均)

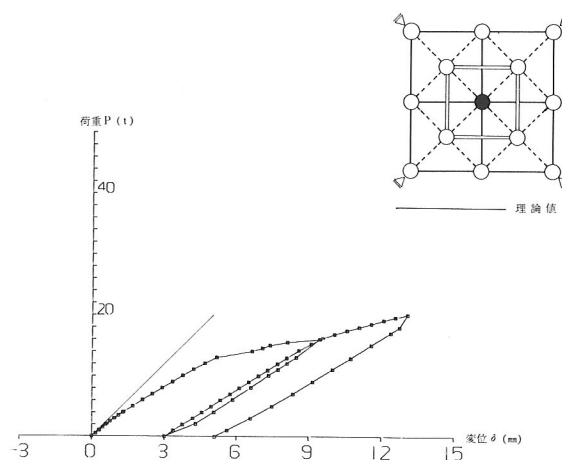


図-11 試験体No.1 載荷点の鉛直変位

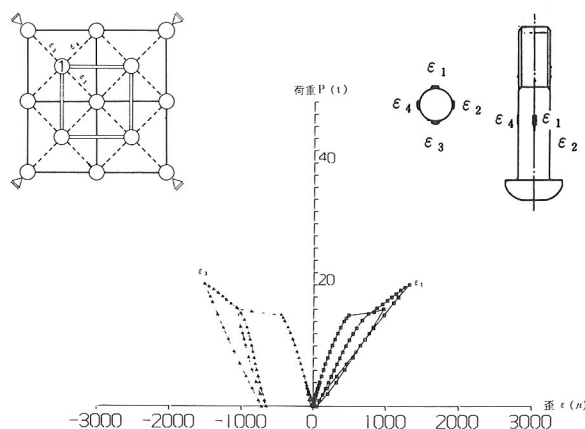


図-12 試験体No.1 ボルトNo.1の歪

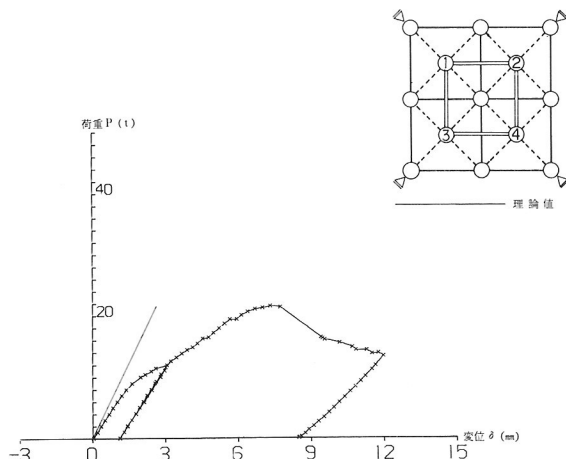


図-13 試験体No.2 上弦点の鉛直変位
(1~4の平均)

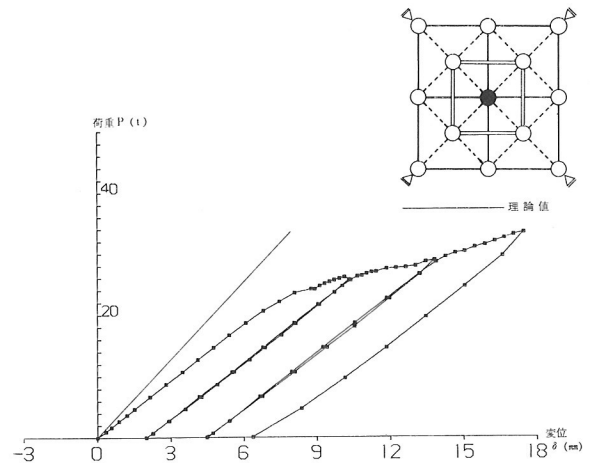


図-16 試験体No.3 載荷点の鉛直変位

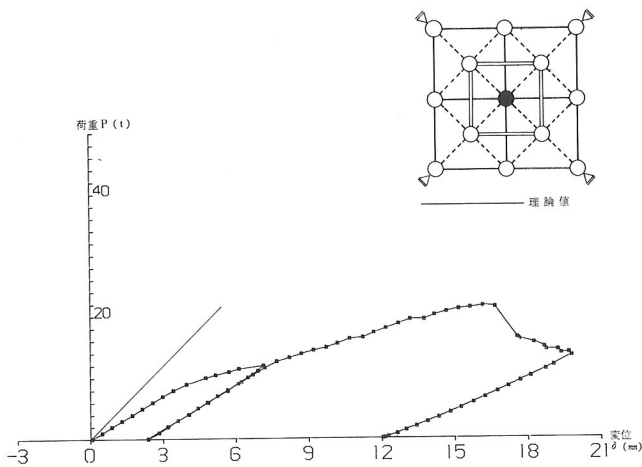


図-14 試験体No.2 載荷点の鉛直変位

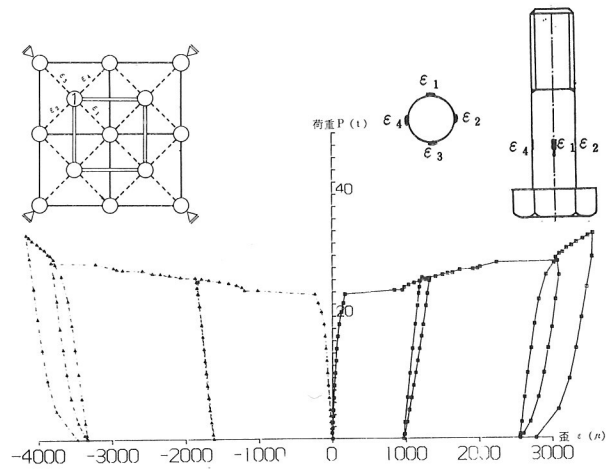


図-17 試験体No.3 ボルトNo.1の歪

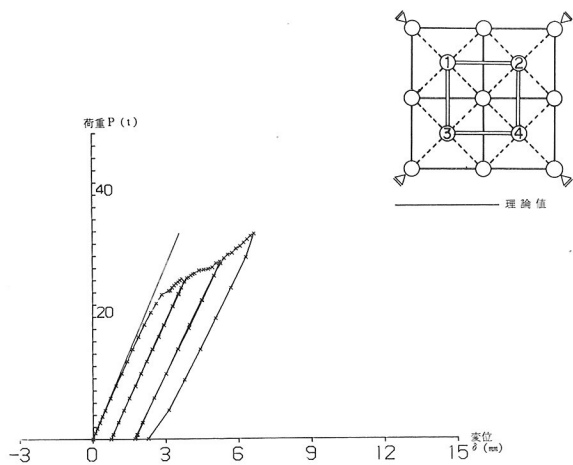


図-15 試験体No.3 上弦点の鉛直変位
(1~4の平均)

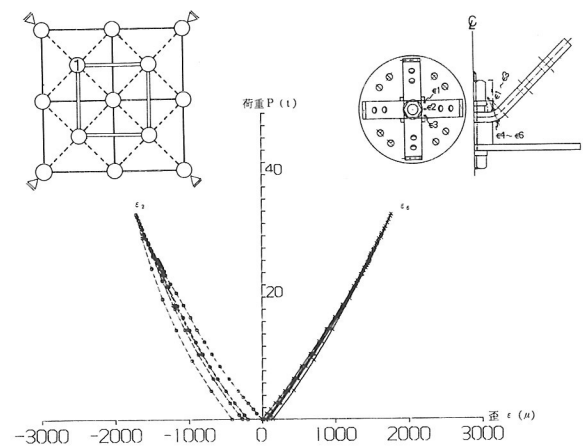


図-18 試験体No.3 羽根プレートの歪

(1) 各試験体の耐力はおよそ表-4の通りである。

表-4 各試験体の耐力

試験体 No.	1	2	3
耐力 (t)	13	10	24

(2) 試験体No.3に約24tの荷重を加えた時、載荷点と上弦各点を結ぶ4本の斜材に働いていた引張力は、4本を平均すると約7.9tであった。従って、この時上弦4点のジョイントには図-19に示すような引張力と圧縮力が同時に作用していたと考えられる。

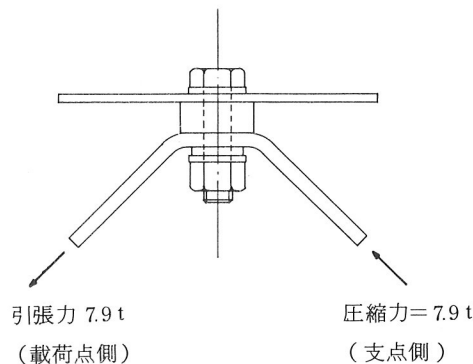


図-19 上弦点に作用する力

3-4 考察

最も耐力の大きかった試験体No.3について考察する。

- (1) ジョイントの耐力は、斜材軸力が約7.9tであり、この時の載荷荷重は約24tである。
- (2) ジョイント中央のボルトの曲げ降伏が、このジョイントシステムの耐力を決定すると思われる。
- (3) 上弦4点の鉛直変位は、弾性範囲内では実測値と理論値は比較的良好一致している。たとえば、耐力の75%、すなわち載荷荷重18tの時、実測値は理論値の約1.08倍、つまり、約8%増である。従って、設計に際しては、部材の軸変形のみ考慮してたわみを算出しても、実際とはあまり差はないと考えられる。
- (4) 載荷点の変形量が理論値より大きいのは、次の2つの理由が考えられる。まず第一に、載荷点に集まる4本の斜材とも引張力が生じて、十字形羽根プレートの変形量が大きいためと考えられる。ただし、このような状態は実際の構造物では生じない。第二に、PC鋼棒とジョイントを十分に締めあげることができなかったためと考

えられる。

(5) 平面トラスに置換して適用スパンを求めると、表-5のようになる。ただし、表-5の値は節点間距離は2m50cm、ジョイントの耐力7.9tの75%を短期許容応力、短期許容応力の $\frac{1}{1.5}$ を長期許容応力として求めたものである。

表-5 本ジョイント方式の適用可能スパン

設計荷重 (kg/cm^2)	適用可能スパン (m)
150	30
125	36
100	45

4. まとめ

力学的な観点から本ジョイント方式を検討すると、設計荷重が比較的小さい構造物、例えば設計荷重が長期で $100\text{kg}/\text{m}^2$ 前後の屋根等については、スパンが中小規模であれば適用可能であると考えられる。一方、経済的観点から検討すると、汎用性のあるジョイント方式は中小規模の構造物に用いられる場合は比較的割高であるので、本方式はこれらに比べて経済的に有利になる可能性があると思われる。

しかし、本ジョイント方式の力の伝達機構等の解析は複雑であり、実用化に際してはさらに多くの実験が必要とされると思われる。

最後に、今回の実験に御協力頂いた日大の齊藤助教授、黒木助手、大学院生、卒業研究生の皆様にご心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本大学理工学部建築学科斎藤研究室・川田工業㈱ S.S. 開発プロジェクトチーム：平潰し鋼管継手方式立体トラス構造模型実験報告書、1983年5月。
- 2) 日本大学理工学部建築学科斎藤研究室・川田工業㈱ S.S. 開発プロジェクトチーム：プレート組立式ジョイントによる立体トラスの実大強度実験報告書その1、その2、1984年9月。