

3次元光弾性法による薄肉架構接合部の実験的研究

田中輝明* 藤岡武雄** 田中義行**

Experimental Studies on Beam-column Connections by Three-dimensional Photoelasticity

By Teruaki Tanaka*, Takeo Fujioka**, Yoshiyuki Tanaka**

Synopsis: In this paper, we investigated a stress analysis of rectangular beam-column connections by three dimensional photoelasticity. Then, we found the distributions of a shearing stress on the shearing panel.

要旨: 水平力が主体構造を支配する我国においては、架構の接合部の研究は重要な課題の一つである。本論文では、梁成と柱成の等しい薄肉架構の接合部の梁と柱で囲まれる部分——接合部パネル——が水平力を受けた場合に、接合部パネルの厚さ方向の応力分布状態を解明するために、応力凍結法による3次元光弾性実験を行なった。その結果接合部パネルの厚さ方向のせん断応力度分布状態が、2次元光弾性実験と異なる状態を示している事が確かめられたのでその概要を述べる。

1. 序

水平力が作用する架構の梁柱接合部で、梁と柱で囲まれる部分——接合部パネル——は大きなせん断力を受け非常に複雑な応力状態を示している¹⁾²⁾。さらに接合部が厚さ方向に拘束される場合には、その架構性状が一般の場合と異った状態を示すことも研究されている²⁾³⁾。梁成、柱成がスパンに較べて小さく、架構が厚さ方向に連続している薄肉架構の接合部では、水平力が作用するとき、接合部の厚さ方向の影響は無視できない³⁾⁴⁾。本研究は応力凍結法による3次元光弾性実験法を用いて、薄肉架構に逆対称荷重を加えた場合の接合部パネルの厚さ方向の応力分布状態を解明するものである。

2. 実験の概要

2.1 試験体の製作

試験体は図1に示す如き形状で、エポキシ樹脂を用い、梁成と柱成とが等しくて、厚さ方向は梁成の5倍のものを作製した。試験体の材料は、アラルダイトと硬化剤を1:0.3の重量比で $130^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ で気泡が取れるまで熱し、その後、硬化剤を加えて約30分間攪拌する。そ

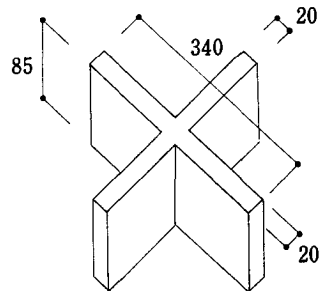


図1 試験体形状 (単位 mm)

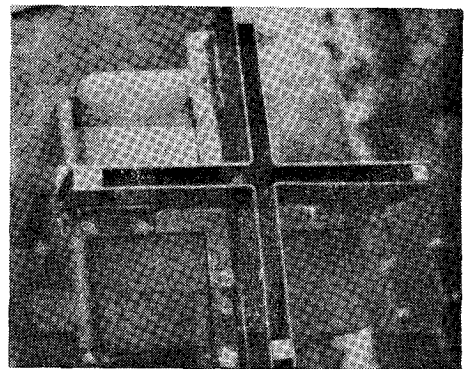


写真1 試験体型枠

の後、光弾性炉内に型枠(写真1)をセットして、鑄込、脱型、アニール、除冷を図2のようなサイクルをもって

* 建築学教室助教授

Assistant Professor, Architectural Division.

** 建築学教室 助手

Assistant, Architectural Division.

行ない試験体を作製する。

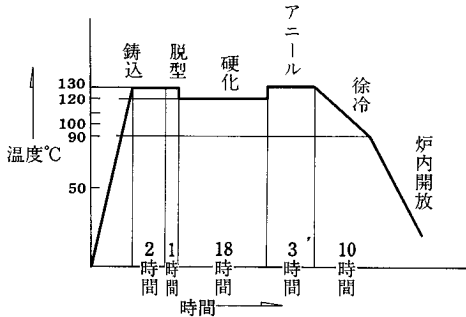


図 2 試験体作製サイクル

2.2 予備実験

エポキシ樹脂のヤング係数の測定 試験体に荷重載荷時にはかなりの変形が考えられるので、ヤング係数を測定して試験体の変形量の検討を行なう。

(イ) 試験体常温時の応力～歪曲線は図3の如くであり、

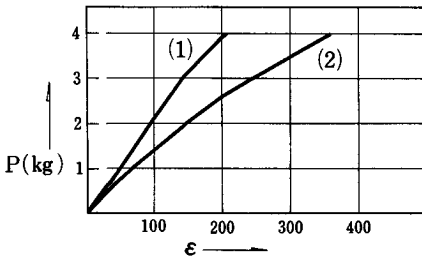


図 3 常温時応力～歪曲線

$E=355 \text{ kg/mm}^2$ である。(文献⁵⁾では 302 kg/mm^2)

図3において、曲線(1)は材長 15 cm、曲線(2)は料長 10 cm のものである。

(ロ) 試験体に荷重載荷時 (120°C) の弾性係数の測定 常温において予備実験試験体に荷重を加え、炉内を 120°C で 1 時間保温し、その後除冷し硬化させる。硬化後伸びを測定して、ヤング係数を求めた。(表1) (文献⁵⁾では $E=1.56 \text{ kg/mm}^2$)

2.3 載荷方法

試験体を炉内で荷重を加え、図4のようなサイクルで応力凍結を行なう。載荷方法は図5のように2点に等分荷重をかけて、他の2点に反力をとり、架構に地震時

の水平力が作用した状態となるようにした。載荷々重の大きさは載荷時の変形を考慮し、又繰り数が 5 次程度となるように定め、 $P=1.4 \text{ kg}$ を載荷した。又載荷時の試験体の熱応力の影響を調べるために、載荷しない試験体も同時に応力凍結を行なう。これと併行して同じ状態で長方形梁を凍結させて、曲げの検定を行なう。

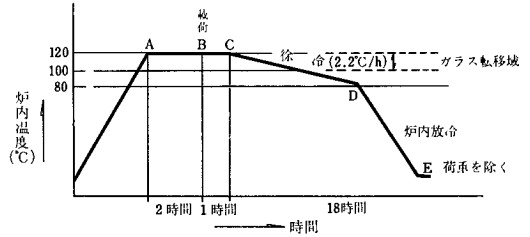


図 4 応力凍結サイクル

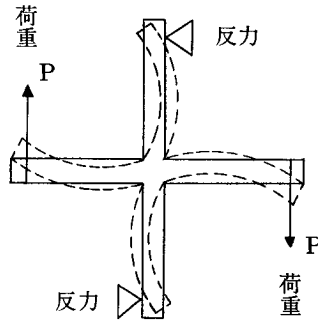


図 5 載荷方法

試験体応力凍結サイクルについては、文献⁵⁾によると、A～B間は20～30分程度とされているが、試験体が大きく、試験体内部までの温度の伝達を考慮して、本実験では十分な時間を与えた。同様に文献⁵⁾ではB点での載荷後も、ただちに除冷を行なうことになっているが、本実験では十分な時間を与えた。

2.4 凍結後の処理

試験体を図6、写真2のように一定の厚さで切断する。即ち中央部分 3 片、及び両端各 1 片の計 5 片を取出

表 1 荷重載荷時弾性係数測定

	A mm ²	L cm	L' cm	ΔL cm	P kg	E (kg/mm ²)	
試験体 1	50	10	10.26	0.26	1.5	1.16	1.73
試験体 (2)	60	15	15.26	0.26	2.0	2.3	

し、これらの応力解析を2次元光弾性実験法により求める。スライス番号は図6のように付し、No. 3は試験体中央部分のスライス片であり、No. 2, No. 4は中央に隣接するスライス片である。

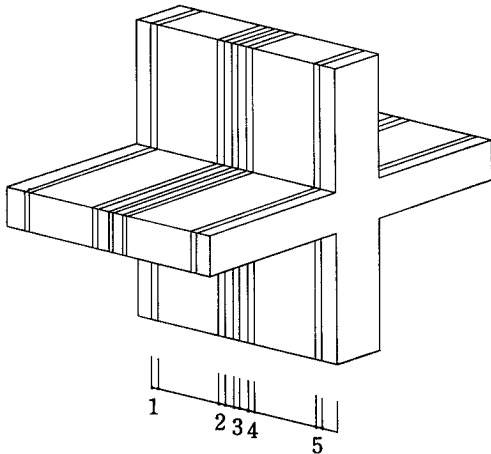


図6 スライスの状況

3. 実験結果

写真3は曲げ検定用梁の等色線写真で、(a)は暗視野、(b)は明視野である。1次の荷は 0.63 kg/cm^2 の主応力差を示している。

写真4～写真8は各スライス片 No. 1～No. 5 を2次元光弾性装置で求めた等色線写真で、写真6 No. 3は試験体中央のスライス片である。各々(a)は暗視野、(b)は明

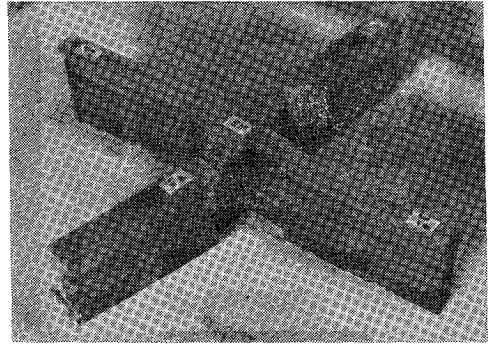


写真2 スライスの状況

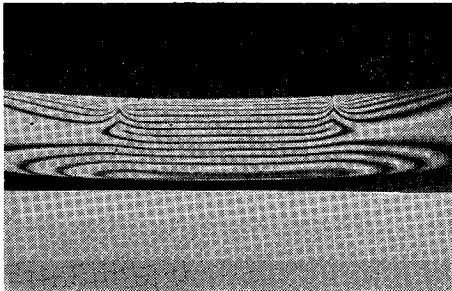


写真3(a) 暗視野

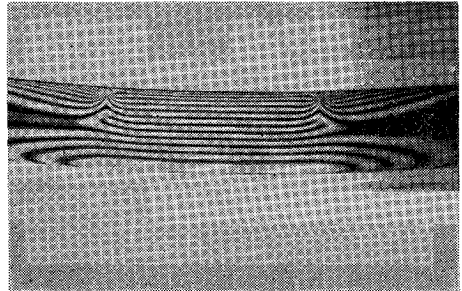
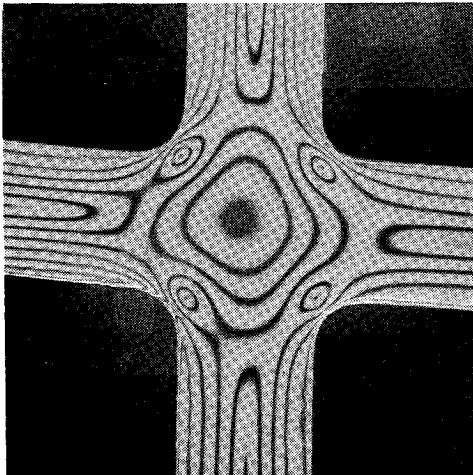
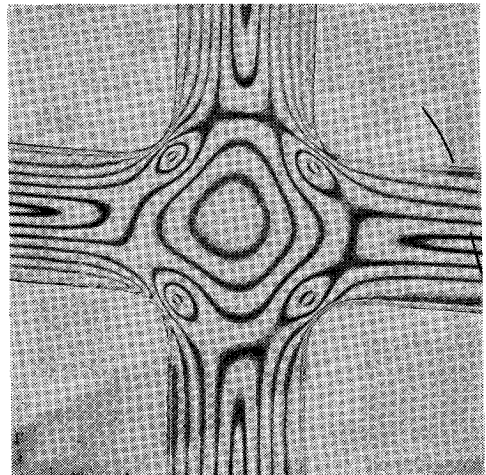


写真3(b) 明視野

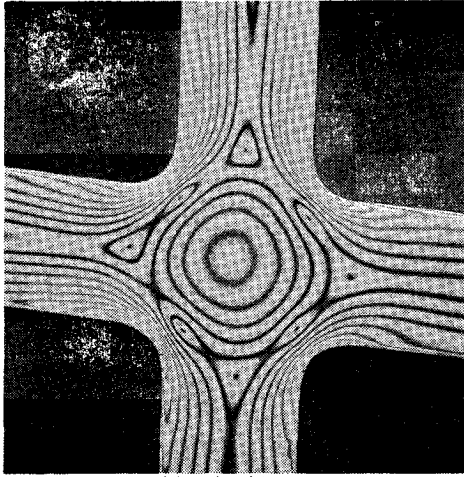


(a) 暗視野

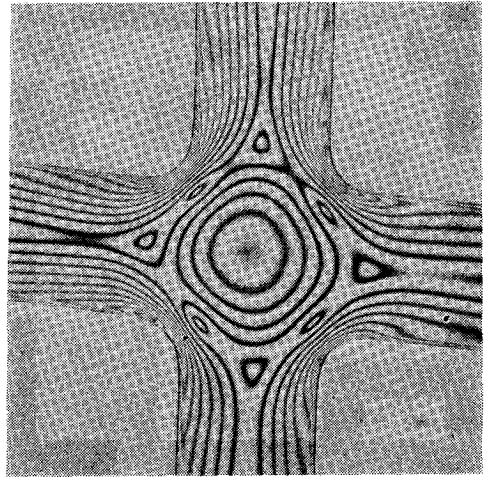


(b) 明視野

写真4 (No. 1) 等色線写真

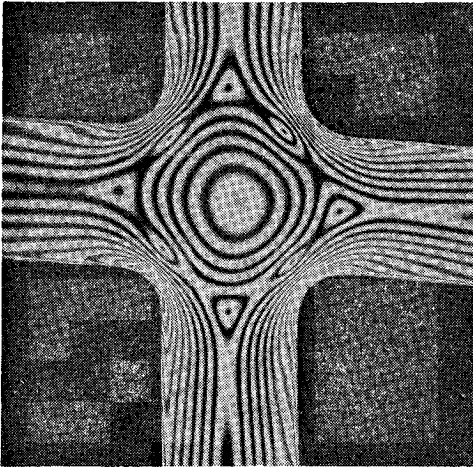


(a) 暗視野

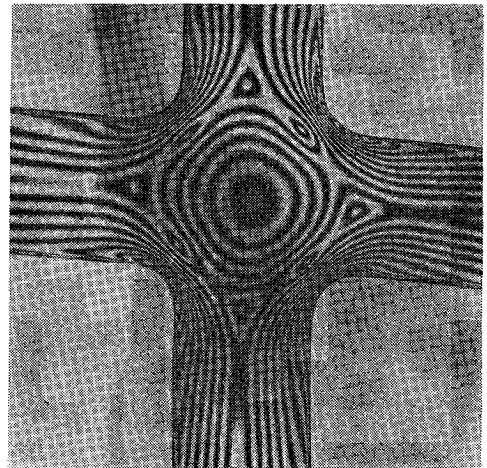


(b) 明視野

写真 5 (No. 2) 等色線写真

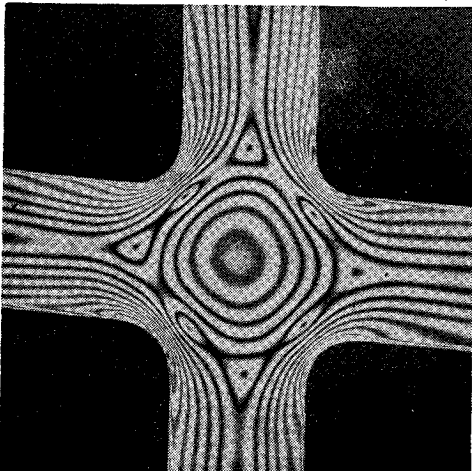


(a) 暗視野

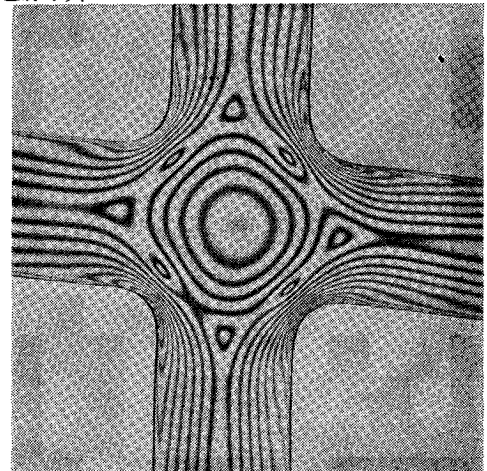


(b) 明視野

写真 6 (No. 3) 等色線写真

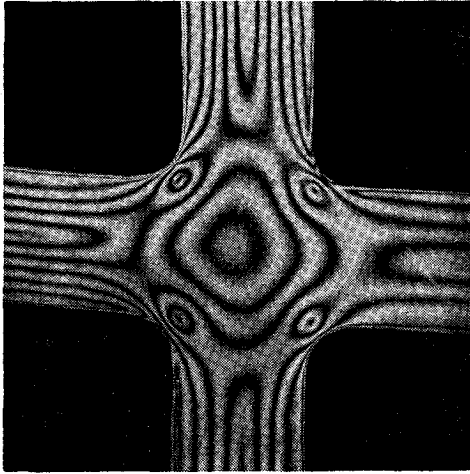


(a) 暗視野

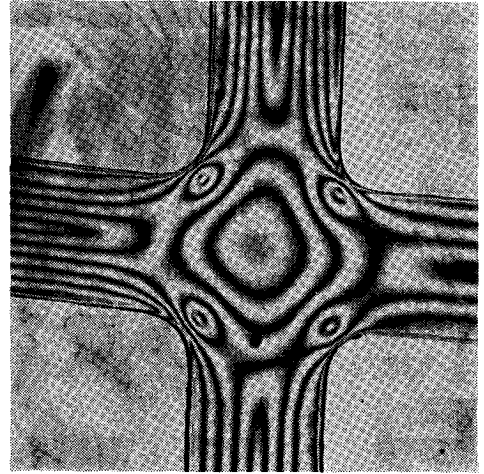


(b) 明視野

写真 7 (No. 4) 等色線写真



(a) 暗視野



(b) 明視野

写真 8 (No. 5) 等色線写真

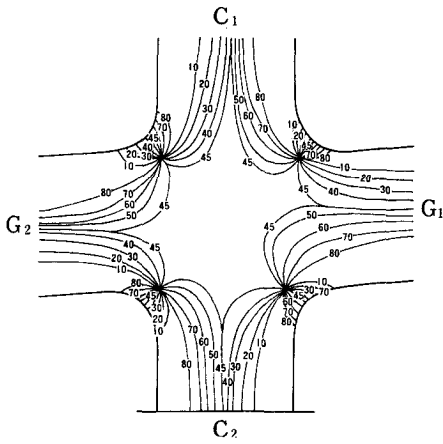


図 7(a) 等傾線図 No. 1

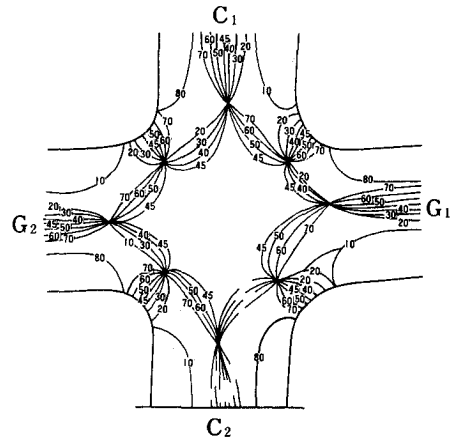


図 7(b) 等傾線図 No. 2

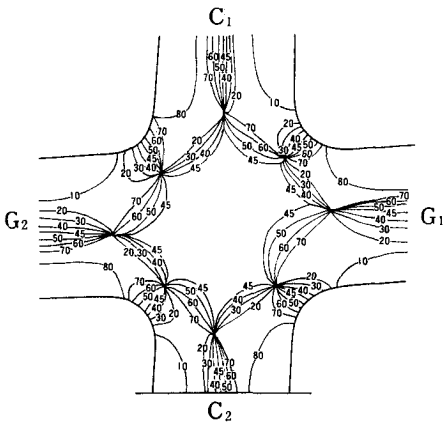


図 7(c) 等傾線図 No. 3

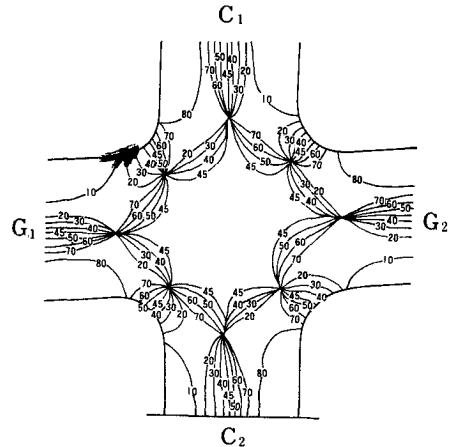


図 7(d) 等傾線図 No. 4

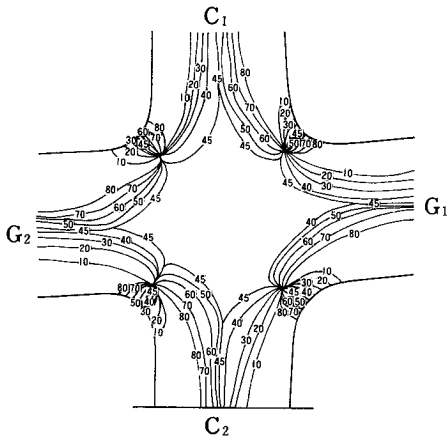


図 7(e) 等傾線図 No. 5

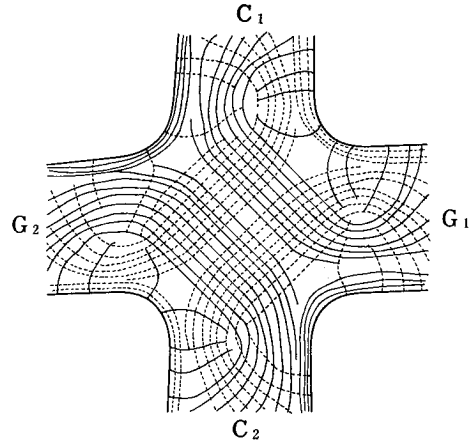


図 8(a) 主応力線図 No. 1

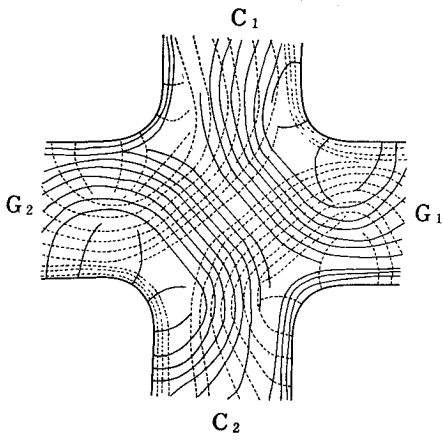


図 8(b) 主応力線図 No. 2

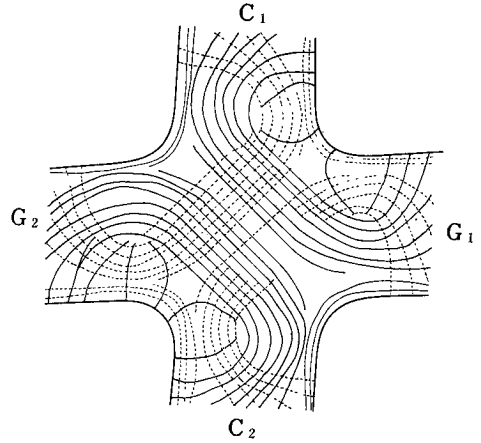


図 8(c) 主応力線図 No. 3

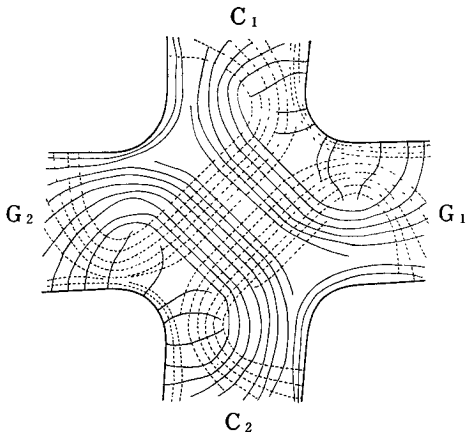


図 8(d) 主応力線図 No. 4

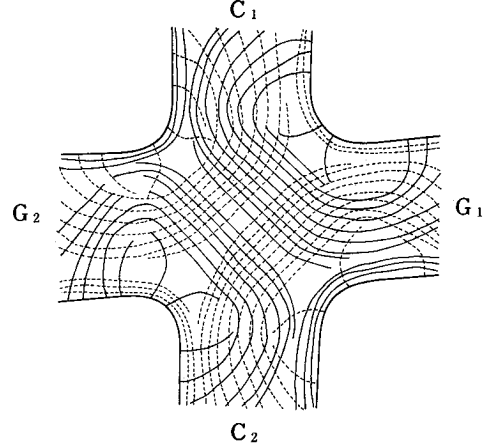


図 8(e) 主応力線図 No. 5

視野を示す。

図7は等傾線図, 図8は主応力線図, 図9は接合部境界曲げ応力図, 接合部パネルせん断応力分布図である。

図10に試験体の接合部パネルせん断応力分布をX方向, Y方向に分けて示してある。

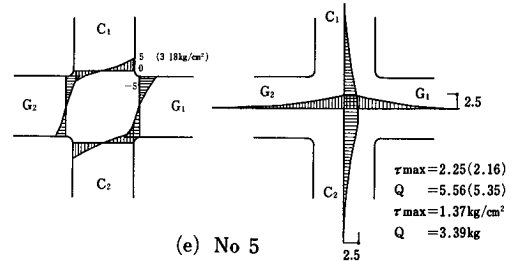
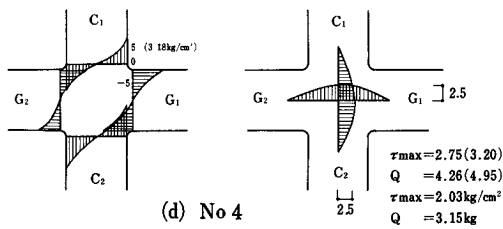
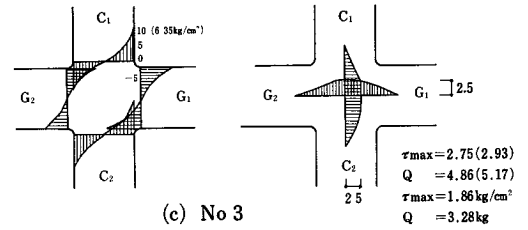
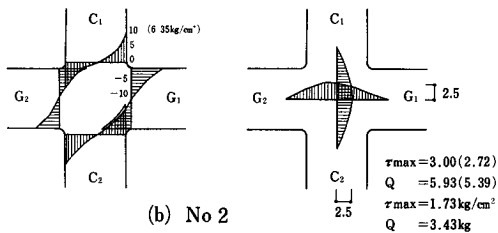
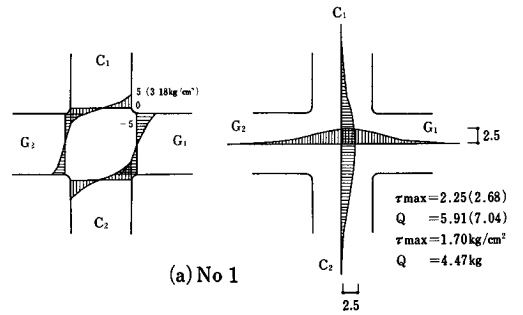


図9 せん断応力分布図, 境界曲げ応力図

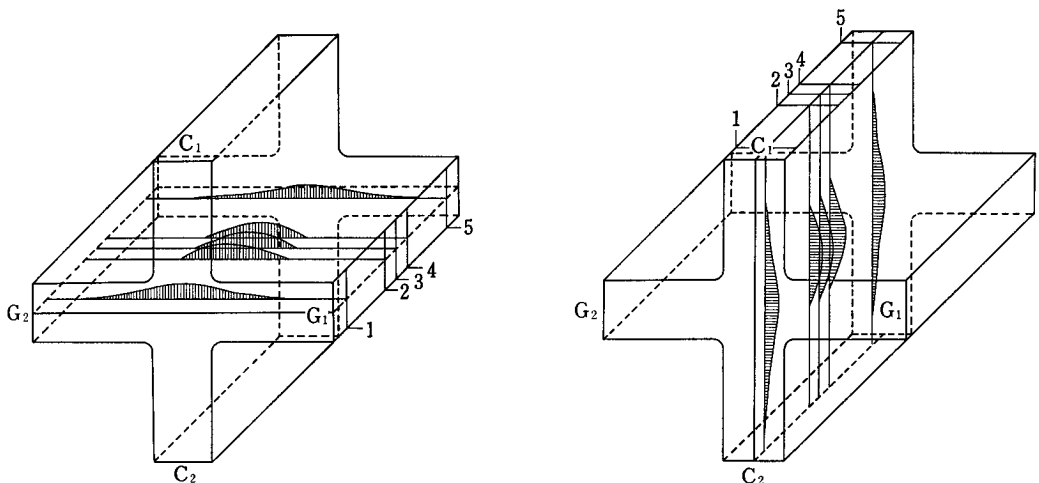


図10 せん断応力分布図

4. 2次元光弾性実験実験

3次元光弾性実験で用いたのと同じ形状の試験体を、エポキシ板(厚さ6mm)で作製し、図11のような実験装置で、3次元実験と同じ逆対称荷重を試験体に載荷して2次元光弾性実験を行なう。写真9は等色線、図12は等傾線、図13は主応力線図、図14は接合部パネルせん断応力分布図と境界曲げ応力図である。

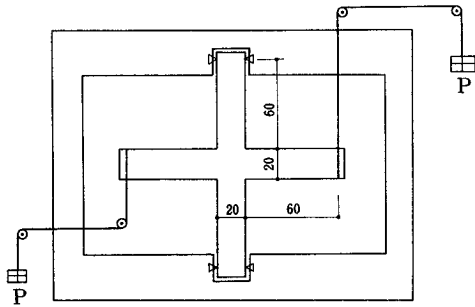


図 11 2次元試験体と実験装置

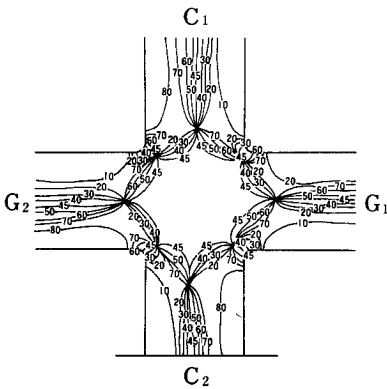


図 12 等傾線図

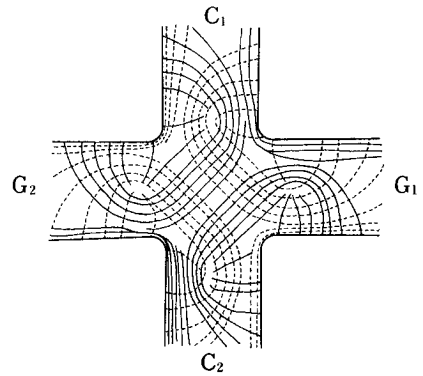


図 13 主応力線図

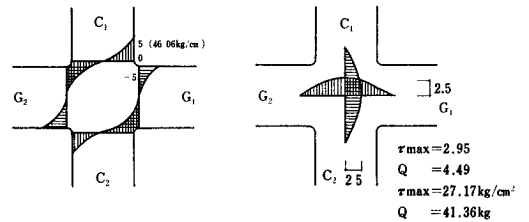
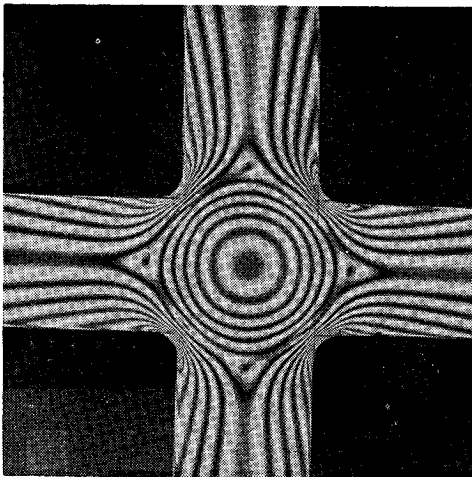
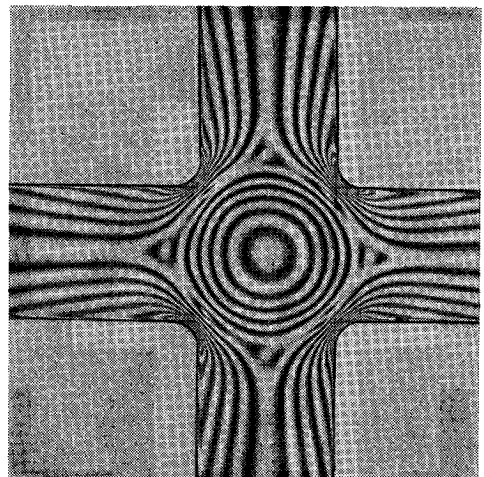


図 14 せん断応力分布図, 境界曲げ応力図



(a) 暗視野



(b) 明視野

写真9 等色線写真

5. 結果の検討

表2は、実験の結果をまとめたものである。図15は梁、柱部分の曲げ応力分布図で、これによると接合部境界から10cm（梁成、柱成の5倍）のところで等分布载荷が行なわれていることが確認できる。

◇ パネル部せん断応力度分布について

せん断応力度0の点はパネルよりも少し外にあって、せん断応力度の大きさはパネル部中央で最大になる山型を示している。又せん断応力度0の点から0の点までの距離は、中央断面より外側断面に行くに従って大きくなる。それは端部では中央の約2.38倍の広がりを見せ、試験体パネル幅に対する比は、外側では1:4、内側では1:1.7である。接合部パネルの最大せん断応力度 τ_{max} は中央断面では両側断面よりも1.1~1.36倍大きくなり、中央で最大となる山型をなしている。最大せん断応力度と、せん断応力の全体を分布長さで除した平均せん断応力度の値は表3の如くである。接合部パネル境界部分のせん断力の合計は外側と中央とはほぼ等しい。

◇ 2次元光弾性実験との比較について

接合部パネルのせん断応力度0の点から0の点までの距離を比較すると表4の如くなる。2次元実験の場合と3次元実験の場合の中央断面のせん断応力度分布の範囲が一致している。したがって3次元実験の場合は、2次元実験の場合よりも、せん断応力度の分布が外側に行くに従って広くなり、最大せん断応力度は小さくなる。

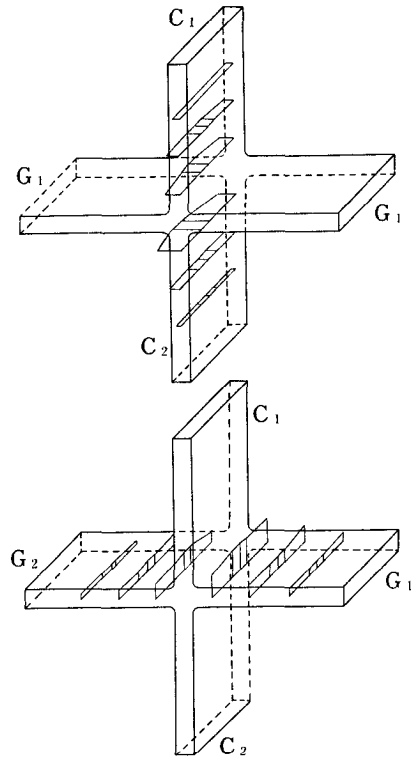


図15 梁柱部曲げ応力分布図

表2 実験の結果

スライス No.	光弾性係数 (cm/kg)	縮1次当りの応力 (kg/cm ²) ²	境界部分 Q		剪断力0点の距離		パネル内 Q		τ_{max}	
			(kg)	(比)	(cm)	(比)	(kg)	(比)	(kg/cm ²)	(比)
1	1.4	0.63	0.55	0.98	8.1	2.38	4.47	1.36	1.70	0.91
2	1.4	0.63	0.56	1.0	3.4	1.0	3.43	1.05	1.73	0.93
3	1.4	0.63	0.56	1.0	3.4	1.0	3.28	1.0	1.86	1.0
4	1.4	0.63	0.55	0.98	3.5	1.03	3.15	0.96	2.07	1.09
5	1.4	0.63	0.54	0.96	8.1	2.38	3.39	1.03	1.37	0.74

表3 せん断応力度の値

スライス No.	1	2	3	4	5
平均せん断応力度 (τ_A)	0.55	1.0	0.96	0.9	0.42
最大せん断応力度 (τ_{max})	1.70	1.73	1.83	2.07	1.37
τ_{max}/τ_A	3.1	1.73	1.9	2.3	3.26

表4 セン断応力分布の比較

	0点距離	比
2次元実験	3.13	0.92
3次元実験(中央)	3.4	1.0
”(外側)	8.1	2.38

◇ 同時応力凍結の試験体について

荷重載荷を行なわないで、応力凍結を行なった試験体では、熱応力の影響はみられなかった。

6. 結 論

薄肉架構接合部に水平力が作用した場合、次のような興味ある事実が確認できた。

(Ⅰ) 接合部パネルに生じるせん断応力度の分布は、 X, Y 方向ではパネル部中央に最大せん断応力が生じるなめらかな山型となり、せん断応力度0の点はパネル部分のわずかに外側に生じる。

(Ⅱ) 接合部パネルの厚さ方向のせん断応力度分布範囲(せん断応力度0点から0点までの距離)に関しては、外側では中央より広くなり、中央の約2.38倍となる。

(Ⅲ) 接合部パネルの最大せん断応力度(τ_{max})の厚さ方向の分布は、中央断面で最大となり、外側断面では中央

断面の約0.74~0.91倍となる。

(Ⅳ) 2次元光弾性実験の場合のせん断応力度分布状況と、3次元光弾性実験の場合の中央断面の分布状況と一致する。

参 考 文 献

- 1) 仲, 加藤, 他「水平荷重を受ける鋼構造はり及びその接合部の挙動について」日本建築学会論文報告集 No. 101, 102, 104 号
- 2) 東, 大和田「水平力を受ける鉄筋コンクリート梁接合部に関する実験的研究」日本建築学会論文報告集 No. 157 号
- 3) 松井, 田中, 他「版架構接合部の実験的研究」日本建築学会全国大会学術論文集昭和44年
日本建築学会関東支部学術研究発表梗概集昭和44年
- 4) 田中, 荒木, 他「薄肉架構接合部の実験的研究」工学部紀要 No. 3
- 5) 辻, 西田, 河田著「光弾性実験法」日刊工業新聞社
- 6) 松井源吾著「材料力学」彰国社
- 7) By Timoshenko And Goodier “Theory of Elasticity”