

川崎製鉄(株)鋼構造研究所 正会員 ○三好弘高
 ； 土木開発室 ； 大方 茂
 ； 鋼構造研究所 ； 原 道彦

1. まえがき セルラー構造は、構造物の重量を大幅に軽減しうるため、船舶、航空機、基礎構造物などに多用されており、その応力分布状態を明確に把握することは合理的な設計法を確立するためにきわめて重要な問題である。近年、数値解析に関してはおもに有限要素法を用いた多くの研究がなされ、船舶や航空機を対象とした有益な計算例もみられる。しかし、セルの数が多くなると未知数が増大し、電算機容量の不足、数値計算上の精度低下などのため、計算例の多くは板の面外剛性を無視したり、あるいはオ1次分割を大きくに行ない、数次にわたって再分割、再計算をくり返したりするなどの手法が用いられている。したがって、これら数値計算の信頼性を検討するため、実験的なアプローチは現在もおもな重要な課題となっているが、未だ基礎的な実験資料が不足しているのが現状である。筆者らはこれらの問題の体系的な研究を意図し、エポキシ樹脂模型を用いてケージ計測と3次元光弾性実験を行い、セルラー構造体の変形性状、セル上下板および鉛直壁の応力分布を求め、その力学的性状を把握するとともに、有限要素法解析との比較照合を行った。

2. 模型実験

2.1 ケージ計測 模型材に用いたエポキシ樹脂の性質を表1に、その断面諸元を図1にそれぞれ示した。実験は、写真1に示したごとく模型の4隅端を単純支持したうえで、中央点と自由端中央部とを載荷点に送ハバース重錘とを用いて集中荷重を載荷し、計測した。荷重の大きさは60kgとしたが、この値は予備実験によって模型体が弾性挙動を示し、かつ十分な実験精度が得られることを確認して決定したものである。鉛直変位は図1に示す13点を計測点とし、ダイヤルケージ(1/1000mm)を用い、ひすみは2方向、3方向ひすみケージを用いてそれぞれ計測した。計測にあたっては、載荷後クリープによるひすみ移動が停止した時点で、実験中の湿度は21~23℃に保持した。

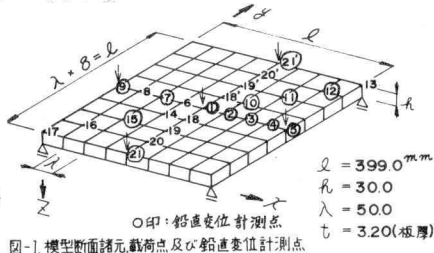


図-1 模型断面諸元、載荷点及び鉛直変位計測点

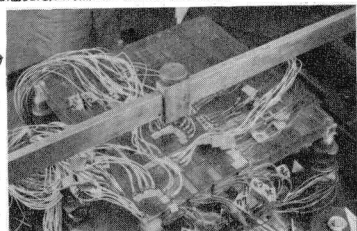


写真1 模型実験(ケージ計測)

2.2 3次元光弾性実験 3次元光弾性実験においては、応力凍結時の支持条件をケージ計測時と同様に4隅端単純支持とし、載荷条件を最も基本的な中央集中荷重とした。荷重値としては3体の予備模型体にそれぞれケージ計測時の約1/10の荷重(6.0, 7.5, 9.0kg)を作用させ、その結果、適量の変形、縮次数が得られた7.5kgを採用した。応力凍結後、模型体をバンドソーによってスライスし、得られたスライス片をメーノプロムウフタリンと流動パラフィンとを混合した浸漬液に浸した後、単色光の垂直入射によって写真2に例示したとき等色線縞を撮影した。とくに低次数領域に対しては、精度向上をはかるため、白色光による色比較法を併用した。また等色線縞は偏光板を回転させながら、スクリーン上に結像した等色線縞をトレスする手法によって求めた。以上の実験から得た等色線縞と等価線縞を用い、セソ断応力差積分法によって鉛直壁の応力分布を求めた。

表-1 材料の性質

温度	E (kg/cm ²) 弾性定数	ν ポアソン比	ρ (mm/kg) 比重
21~23℃	3.69 × 10 ⁴	0.41	0.96
125℃	2.20 × 10 ²	0.46	39.14

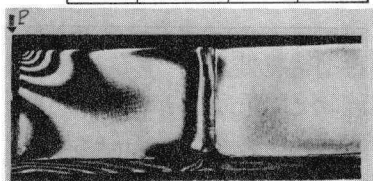


写真2 等色線縞(暗視野)

3. 数値解析 数値解析では、未知数を低減させるため、本模型体を図1のような薄肉板要素の連続体とみなし、板の面外剛性を無視した比較的粗分割の有限要素法を用いることとした。すなわち、セルを構成する板を4等分してそれを1要素に送ハバ、各節長の自由度を3(α, β, γ方向変位)とした。また、面内剛性行列は1要素内における応力が

一定であるとし、要素内任意点 (x, y) における変位関数をつぎのごとく仮定することによって求めた。

$$u(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy \quad \text{--- (1)}$$

$$v(x, y) = \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 y + \alpha_8 xy \quad \text{--- (2)}$$

4. 結果と考察

4.1 鉛直変位と上下板の応力 中央集中載荷時および自由端中央集中載荷時それぞれに対する下板鉛直変位を図2に、上下板の応力分布を図3に示した。計算値と実験値とを比較すれば、鉛直変位については両者の差異はたかだか9%であり、その形状もよく一致している。また応力は載荷点から離れた位置ではよく一致し、載荷点近傍では差異が顕著になってくる。最も大きな差異を示した載荷点直下では実験値が計算値よりも約20%大きくなっているが、この原因は応力変化の著しさに比べて選定した要素が大きく、この領域の剛性を真の剛性よりも大きく評価したことによるものと考えられる。

4.2 鉛直壁の応力 応力分布の1例を図4に示した。まず、鉛直壁に貼付したひずみゲージの計測値と光弾性実験結果とを比較すると、後者が前者よりもやや大きな値を示す傾向にあったが、応力分布形状は良好な近似性を示した。したがって光弾性実験によって得た応力分布は定性的には十分信頼しうるものと考えられる。光弾性実験結果によって求めた応力分布を吟味したところ、載荷点や支点近傍に大きな応力が生じているにもかかわらず、他の部分では応力が著しく減少しており、したがってセルラー構造では鉛直壁のダイヤフラムの補剛効果が顕著に現われることが明確となった。一方、計算値は載荷点や支点近傍では実験値との差異が著しいが、載荷点から離れた点では実験値とよく一致し、図4から明らかのごとく、この計算値からも鉛直壁の応力分布状態を定性的には十分把握しうるものと判断できる。外力作用点近傍における計算誤差の原因としては、おもに要素分割が粗大であること、要素内の応力が一定であると仮定したことなどが考えられ、この領域に対してはZooming法とを併用する必要がある。

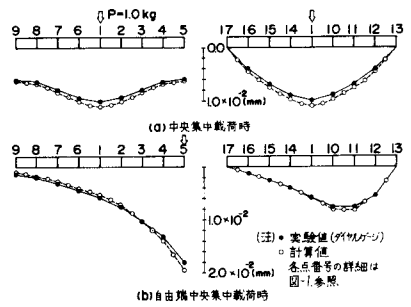


図2 鉛直変位

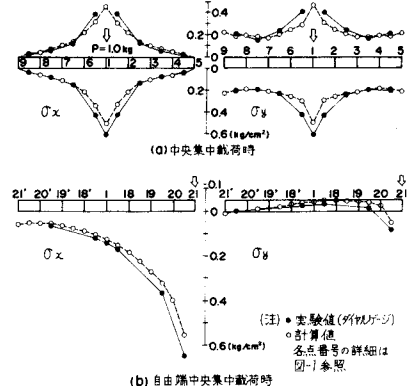


図3 上下板の応力分布

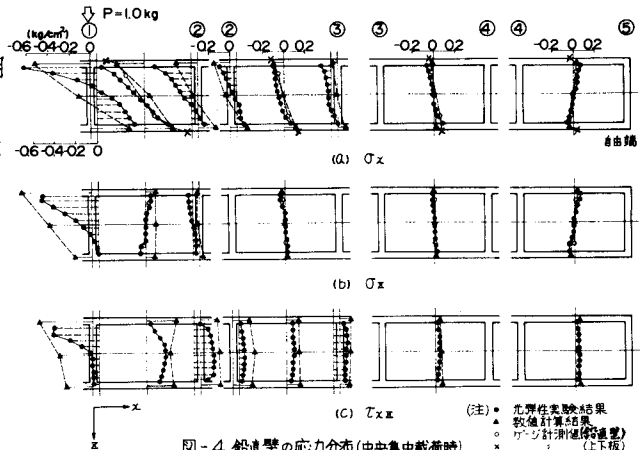


図4 鉛直壁の応力分布(中央集中載荷時)

5. まとめ 本研究結果をまとめるとつぎのようである。1)セルラー構造における荷重分担率は、載荷点および支点近傍のセルが鉛直壁のダイヤフラムの補剛効果により、他に比較して著しく大きくなる。2)有限要素法による解析結果と実験値とを比較すると、鉛直変位はきわめてよく一致し、応力は載荷点や支点近傍を除くと良好な近似性を示した。3)明確な不一致を示した載荷点や支点近傍の応力解析にはZooming法の局部的併用により、精度を一段と向上させる必要がある。

参考文献：1)川井忠彦, 三本木茂夫他：有限要素法による船体局部構造解析, 日本鋼構造協会第5回マトリクス構造解析法研究発表論文集, 昭和46年。2)辻二郎, 西田正孝, 河田幸三：光弾性実験法。