

プラスチックを用いた模型実験に関する 基礎的研究 (その 1)

若 林 実・野中泰二郎・中 村 武

STUDIES ON STRUCTURAL STRESS ANALYSIS USING A MODEL OF PLASTICS, PART 1 —SOME PRELIMINARY TESTS—

By *Minoru WAKABAYASHI, Taijiro NONAKA*
and *Takeshi NAKAMURA*

Abstract

Some preliminary tests are performed to obtain the fundamental data for the experimental stress analysis of shells, using Acrylite polymer. Some information is explored on the accurate measurements of deformation and loading techniques. It is found that Acrylite has favourable characteristics of elasticity for the stress analysis, provided proper attention is paid to the time dependence of the material, the deformation magnitude and some other experimental techniques. As the first step of the application, a pressure vessel is analyzed experimentally using an Acrylite model, and a reasonable agreement is seen with the theoretical analysis.

序 論

特殊構造物、特に曲面板構造物の理論的な解析は、限られた幾何学的形体をもち、その境界条件も比較的単純な場合について行なわれることが多い、しかし実際に設計される構造物は、もっと複雑な形をし、境界条件も種々異なった性状を示す場合も多く、理論計算によって求められた結果を実際設計にそのまま用いることができない場合も多々起り得る。また理論解析を行なう場合には専門家の手を経なければならない状態である。

実際に構造物を設計する際、または理論解析を現状に即した形で行ない得ない時、さらに初めて解かれ得た理論解の検定を行ないたいような場合に、比較的成型が簡単な合成樹脂材などを用いて実状に合った形体、境界条件よりなる精密な模型を製作し、種々の荷重状態で模型実験を行なって、変形状態を測定し、応力の分布を知ることができれば、これを弾性計算の代りに用いること、または理論の検定をすることが可能なのではないかと考える。従来から、このような模型実験を設計の手段として用いることは行なわれてきており数多く報告もなされているが¹⁾、実験の方法に関する基礎的な研究はあまり行なわれていない。

この研究の目的は、このような特殊構造物の合成樹脂材を用いた模型実験による解析に必要な精度で行なうために、使用した材料の弾性的な諸性質を調べ、実験の際の載荷方法、支持方法、変位・歪度・曲率変化などの測定方法に関する検討を行なうことにある。

1. 合成樹脂系使用材料の選定

使用材料を選定するに当り、模型実験に使用可能と考えられる合成樹脂材料を掲げれば、

メタクリル系樹脂

1. アクリエステル

2. アクリルエステルと他のもの（例えばブタジエン、アミンなど）との共重合物

ポリ塩化ビニール系樹脂

1. ポリ塩化ビニール

2. 塩化ビニールと他のもの（例えばブタジエン）との共重合物

などが考えられる。ポリ塩化ビニール系樹脂とメタクリル系樹脂を比較した場合、弾性係数はほぼ等しく ($E=26000 \text{ kg/cm}^2$ 前後)、引張比例限度、引張破壊強さ、圧縮比例限度、圧縮破壊強さ、曲げ比例限度、曲げ破壊強さはメタクリル系樹脂の方が大きい (約 1.5 倍) とされており、熱加工温度はメタクリル系樹脂の 150°C 程度に比して、塩化ビニール系樹脂の $80\sim 100^\circ\text{C}$ 程度、線膨張係数はメタクリル系樹脂 $7\sim 9\times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 、塩化ビニール系樹脂 $9.5\times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ といわれている。

弾性的性質からいって、曲面板模型実験を行なうには弾性係数に比して比例限度が大なる方が都合よく妥当であると考えられる。またメタクリル系樹脂には液状モノマーによる同一物質の重合接着が可能である点などから、弾性実験を目的とした場合にはメタクリル系樹脂が適当であると判断した。この実験開始当時、我が国で市販されているメタクリル系樹脂では、

三菱レイヨン株式会社製アクリライト

協和ガス株式会社製パラグラス

などを採り得たが、模型実験の性格上、同一時に製作された一枚の板内での板厚変化がなるべく小さいものである必要から、実際製作された平板の板厚測定を行なって (板厚変化についてはでき上った製品について検討しなければならぬものである)、板厚誤差で品等を決めている点から、使用材料としてアクリライト (メタクリル酸メチル・エステル) 特級品を用いることに決定した。

単重合物でないもの、例えばブタジエンなどとの共重合物については、人工ゴム材の共重合物である点から、耐衝撃性は強くなる傾向にあるが、詳細については検討していないので、ここでは単重合物を使用することとした。

2. アクリライトの弾性的諸性質

1) 引張弾性係数

〔引張実験供試体〕供試体の形状は **Photo. 1** に概略が示されている。その寸法は長さ 1100 mm, 巾 30 mm, 厚さ 3 mm, 6 mm, 9 mm, 検長 500 mm である。供試体上下端より 50 mm の中央位置に **Fig. 1** に示すような引張力加力用鋼棒そう入用穿孔 (径 6.5 mm) をもつ。供試体中央位置には加力方向ならびにこれに直角方向に歪度測定用ワイヤ・ストレイン・ゲージ (以後は W.S.G. と書く) を表裏計 4 枚貼付する。

供試体の製作に当っては、アクリライト原材平板よりジグソーにて切り出し、荒仕上げはグラインダーで、所定寸法への仕上げは電気カンナで行なった。

〔実験装置ならびに実験方法〕**Photo. 1** に示したような木製枠組よりなり、供試体懸垂用鋼棒および伸び測定用読取顕微鏡支持台を備える。供試体への载荷は重錘荷重にて行ない、引張応力度約 100 kg/cm^2 まで载荷した。载荷する際には供試体に衝撃的な力を加えたり、振れ動いたりしないよう充分注意して行なった。

〔引張弾性係数〕2 台の読取顕微鏡で測定した標点間距離 500 mm の間の伸びより求めた平均歪度および W.S.G. より得た歪度と平均応力度との関係を表わす実験データの一例を **Fig. 2** に示す。

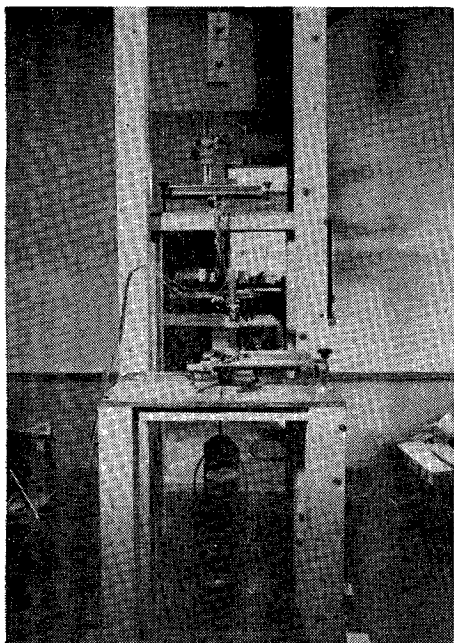


Photo. 1 Tensile test apparatus.

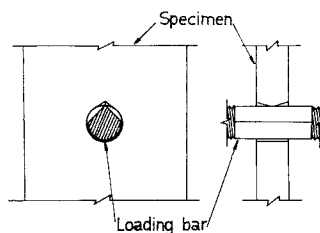


Fig. 1 Loading point at tensile test.

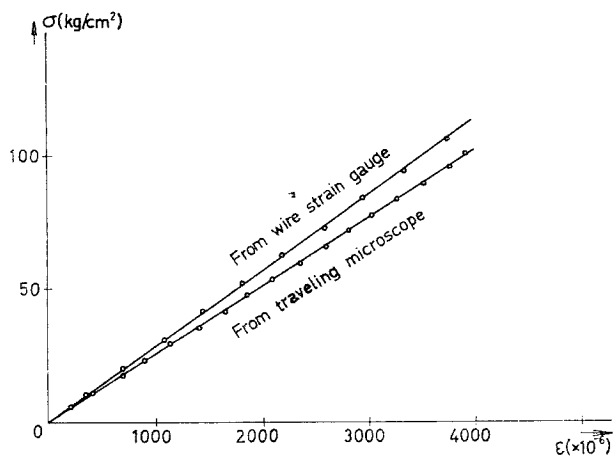


Fig. 2 Stress strain relation.

引張弾性係数は、この実験値の間に最小自乗法を適用して直線を引きその勾配より求めた。Fig. 3 に読取顕微鏡より得た 3 mm 厚供試体の引張弾性係数と温度との関係を示す。

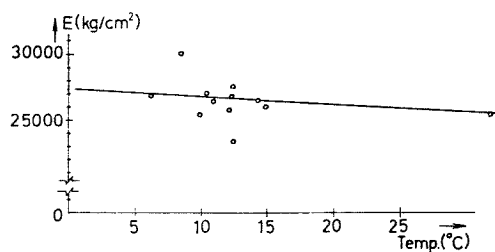


Fig. 3 Young's modulus from tensile test.

2) 曲げ弾性係数

〔曲げ実験供試体〕 供試体の形状は **Photo. 2 (a)**, **Photo. 2 (b)** に概略を示す。その寸法は長さ 1100 mm, 巾 120 mm, 厚さ 3 mm, 6 mm, 9 mm である。

〔実験装置ならびに実験方法〕 供試体の支持は 3 mm 厚のものに対しては連続ばり方式, 6 mm, 9 mm 厚

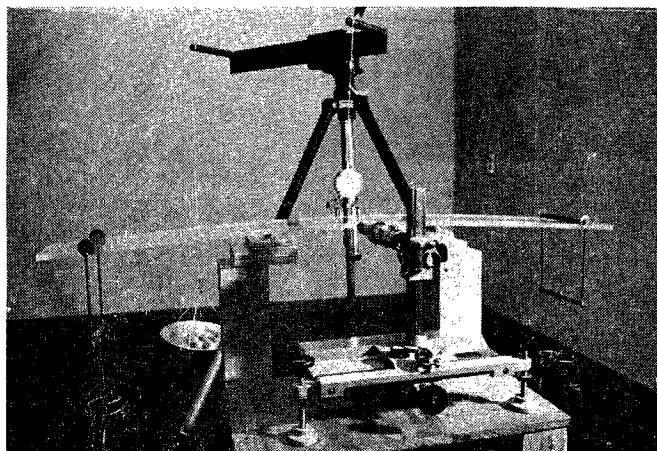


Photo. 2 (a) Bending test apparatus.

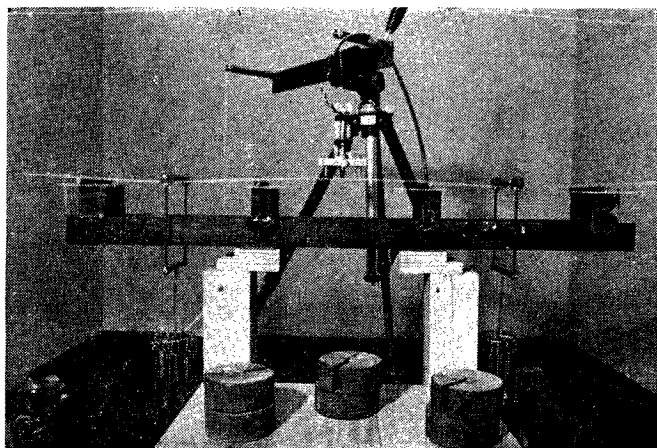


Photo. 2 (b) Bending test apparatus.

のものに対しては単純ばり方式をとり、中央スパン部では曲げモーメント一定とし、その中央点のたわみを読取顕微鏡にて測定し、荷重—たわみ関係を得る。載荷は Photo. 2 (a), Photo. 2 (b) に示されるような載荷装置を介して重錘荷重にて行なった。

また Fig. 4 に読取顕微鏡による測定結果より得た 3 mm 厚供試体の 曲げ弾性係数と温度との 関係を示す。

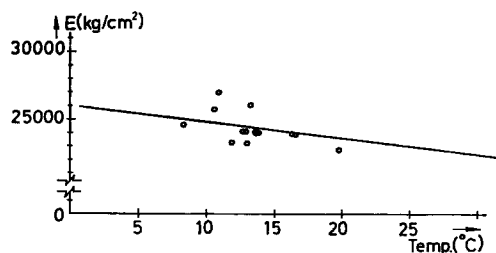


Fig. 4 Young's modulus from bending test.

3) ポアソン比

〔供試体〕ポアソン比測定用の供試体は引張実験供試体と同一のものである。

〔実験装置ならびに実験方法〕実験装置、載荷方法は引張実験と全く同じである。ポアソン比を求めるための測定は、引張加力方向ならびにこれに直角に供試体に貼付した W.S.G. の読みをとり、これらの比から求める方法をとった。W.S.G. の検長は 10 mm で紙ゲージである。また W.S.G. の横方向感度による影響は実際上考えなくてよい。

上記の方法により求めたポアソン比を Fig. 5 に示す。温度との関係は顕著でなく、平均 0.38 程度である。

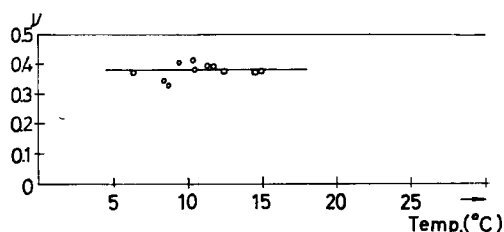


Fig. 5 Poisson's ratio.

4) セン断弾性係数

（長方形断面棒材の捩り剛性から求める方法）

〔供試体〕せん断弾性係数を求める実験の供試体は 9 mm × 3 mm 長方形断面、長さ 515 mm の角棒材で、製作方法は引張、曲げ実験用供試体と同じである。

〔実験装置ならびに実験方法〕実験装置は Fig. 6 に示す通りで、供試体下部に取付けた木製腕木を通して重錘荷重により捩りモーメントを加え、供試体中央位置（材端の影響をなくするため、材端部より約 150 mm 入った位置）に貼付した 2 枚の反射鏡により読取顕微鏡に設置した目盛尺を反射させ、標点間距離 200 mm の間の相対捩れ角を求め、これよりせん断弾性係数を求める。

〔せん断弾性係数〕この実験より得た、捩りモーメント—相対捩れ角関係の一例を Fig. 7 に示す。この結果 $G=10\,000\text{ kg/cm}^2$ 程度と考えられる。剪断弾性係数と温度との関係を明らかにする程多くの資料はまだ集められていない。

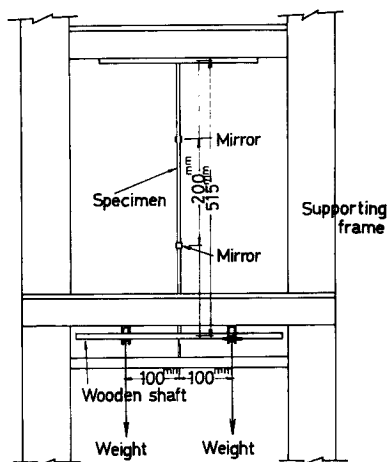


Fig. 6 Torsional test apparatus.

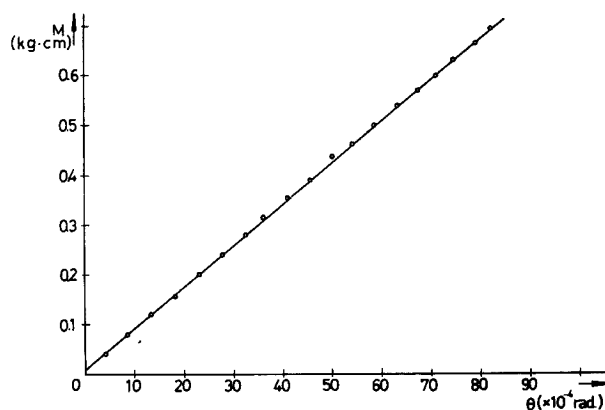


Fig. 7 Twisting couple-rotation relation from torsional test.

5) 平板のたわみから材の弾性係数を求める実験

〔供試体〕 供試体は $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ の正方形板である。四隅点のうち一隅だけに重錘荷重を与えるための穿孔をもつ。Fig. 8 に示すように、正方形のものと、周辺部の影響を除くために支持点、載荷点以外の周辺部分を削り取ったものの2種類である。

〔実験装置ならびに実験方法〕 実験装置の概略は Fig. 8 に示した通りである。供試体の三隅点を先に尖点をもつ鋼棒で上下から押えて支持し、他の一隅点に重錘荷重を与えて、この点の荷重とたわみとの関係から材の弾性係数を求めようとするものである。

〔実験結果ならびに材の弾性係数〕 実験より得た荷重と載荷点のたわみの関係の一例を Fig. 9 に示す。これを見ると荷重-たわみ関係は直線的ではない。この原因としては、

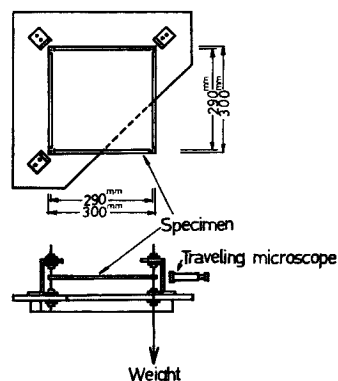


Fig. 8 Elastic modulus-test by plate deflection.

(i) 変形が大となること。

(ii) 支持点の鋼棒尖点が载荷が進むに伴って供試体内に減込んで変形を拘束すること。

(iii) (i) (ii) により供試体が平板的挙動のみならずシエルの挙動も同時に示したのではないか。

などが考えられる。この荷重-たわみ曲線の原点での接線より材の弾性係数を推定したが、この値は材の引張実験、曲げ実験、捩り実験より得たものとよく一致している。

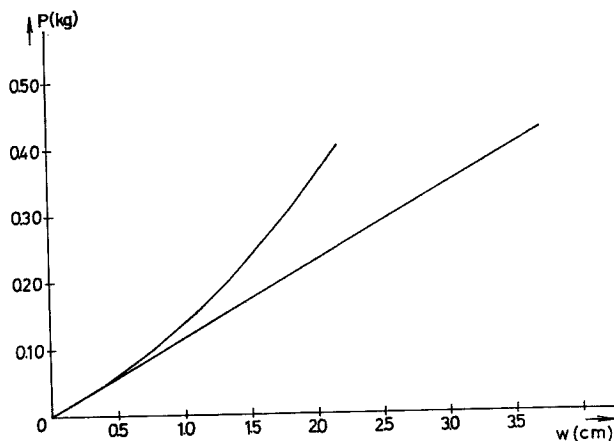


Fig. 9 Load-deflection relation of plate.

6) 材の弾性性質と温度との関係

材の引張実験、曲げ実験より得た弾性係数と温度との関係は Fig. 3, Fig. 4 に示された通り、温度が高くなれば弾性係数は小さくなる傾向にある。これは一供試体より得た値の比較である。また同一材料でも熱加工を行なった場合には弾性係数変る傾向がある。

7) アクリライトのクリープ現象

この実験で用いたアクリライトを含み一般に合成樹脂材が応力を受けた時にクリープ現象があることは常にいわれていることである。したがってこのような材料で模型実験を行なう際、供試体に载荷を行なっ

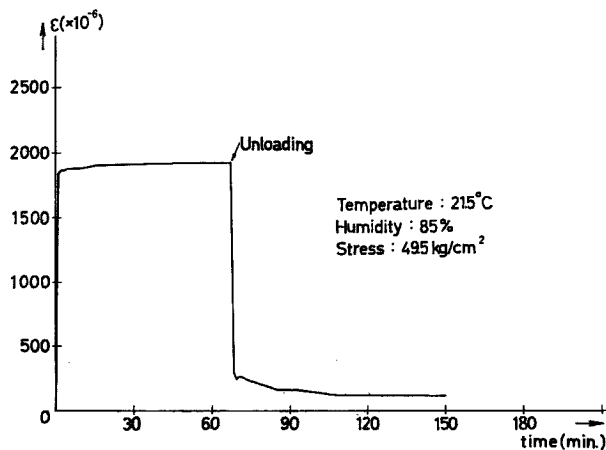


Fig. 10 Strain-time relation from tensile test.

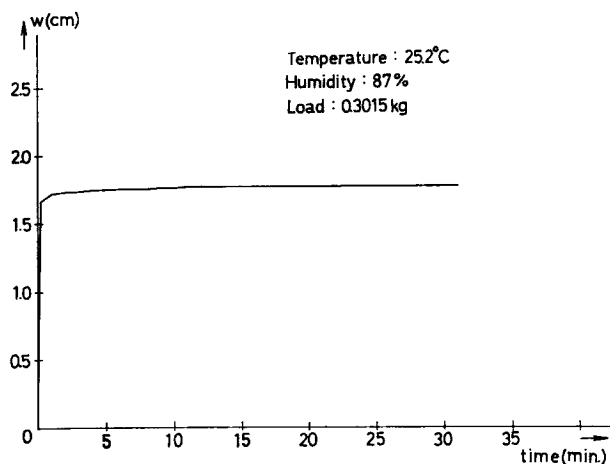


Fig. 11 Deflection-time relation of plate.

ら、どの程度の時間が経過した後変形を測定するかということが大きな問題となる。そこで各種の実験について、一定の荷重に於ける変形の進行と時間との関係を測定した。その結果の例を Fig. 10 および Fig. 11 に示す。この結果をみると、変形の進行は荷重と独立ではないが、この実験で調べた荷重範囲内（引張で $\sigma \leq 100 \text{ kg/cm}^2$, $\epsilon \leq 4000 \times 10^{-6}$ 以内）では、載荷後 1 分の間に総変形の 96%, 2 分後に 98%, 3 分後には 98.5% が進行し、その後の変形進行は極めて遅い。また除荷後の変形の完全回復迄に要する時間は、荷重が上記範囲内では、ほぼ一日程度である。この結果から各種実験の変形測定は載荷完了の 3 分後に開始することとし、同一供試体の使用は一日一度とした。また一度加熱加工したものについてはクリープ現象の影響が小さくなることが認められたが、加熱、冷却履歴との関係などについては今のところ確かめられていない。

3. 模型実験における変形測定方法に関する検討

1) W.S.G. による歪度の測定について

材料の引張実験、曲げ実験において、W.S.G. による測定結果より得た弾性係数は、読取顕微鏡より得た弾性係数よりかなり大きい (Fig. 2 参照)、この原因としては、W.S.G. ならびに貼付用接着剤の剛性が供試体の見掛けの剛性を高めていることが考えられる。その影響を調べるために W.S.G. と接着剤の種類を変えれば、どのように測定結果が変わるかを検討してみた。使用した W.S.G. は検長 10 mm の紙ゲージで、接着剤は三種類を用いて同時に実験した。供試体、実験装置、実験方法は引張実験と同じである。結果の一例を Fig.

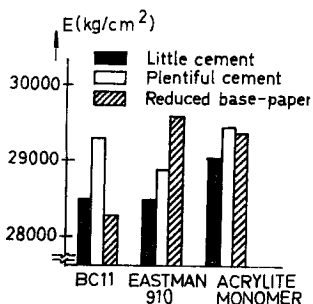


Fig. 12 Gauge cement-Young's modulus relation from tensile test.

12 に示す。この結果から考えられることは、ゲージはできるだけ余分な箇所は切り取り、接着剤はなるべく薄く滑らかに塗った場合の方が、W.S.G. と接着剤の剛性が小さくなり好結果を得ている。また同時に個人的な接着技術の巧拙が結果に大きな影響を与えるようである。

また W.S.G. および接着剤のみの伸び剛性を調べるために、W.S.G. に接着剤だけを塗布して乾燥させた状態でこれに引張応力を与え、この時の荷重-歪度関係を求めた。(Fig. 13 参照) これより得た剛性を、供試体の見掛けの剛性から差し引いて、供試体自身の剛性を推定したが、その結果は Fig. 14 に

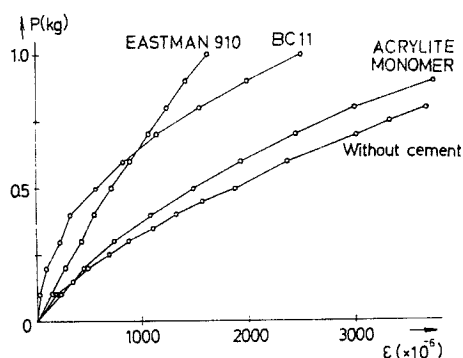


Fig. 13 Load-strain relation from tensile test for wire strain gauge.

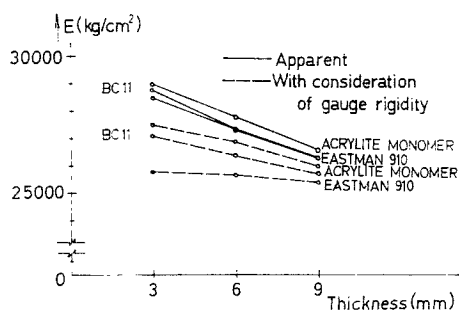


Fig. 14 Young's modulus-thickness relation from tensile test.

示す通り読取顕微鏡により得た値にかなり近い値を得た。

この補正方法は単純引張応力を受ける場合のものであるが、曲げ応力を受ける場合にもほぼ同じ比率で剛性が高くなるから、曲面などに貼付した W.S.G. の場合には、便宜的な係数として W.S.G. より得た弾性係数と読取顕微鏡による弾性係数の比を用いてやって、W.S.G. より得た歪度を補正することも可能なのではないかと考える。

2) 曲率計の試作ならびに精度の検討

〔ダイヤル・ゲージならびに差動トランスを用いた曲率計〕 試作した曲率計の概略は Photo. 3, Photo. 4 に示す。その基本的な考え方は、供試体上の任意の二点を取りその二点の中央点の相対たわみをダイヤル・

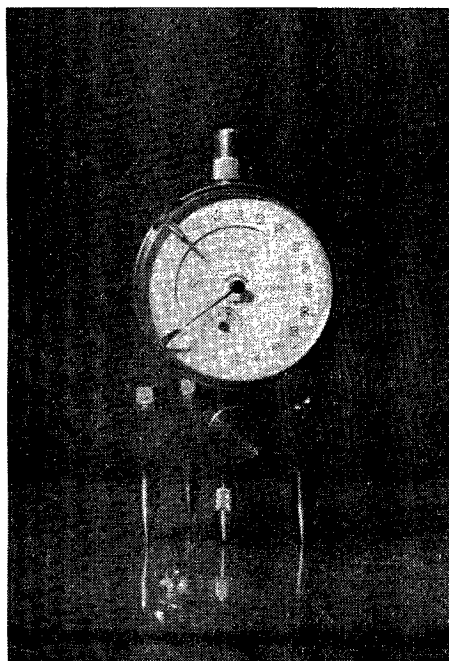


Photo. 3 Curvature gauge by means of dial gauge.

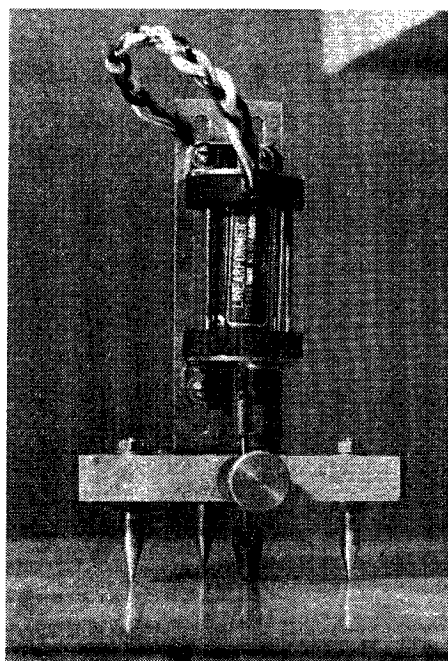


Photo. 4 Curvature gauge by means of differential transformer.

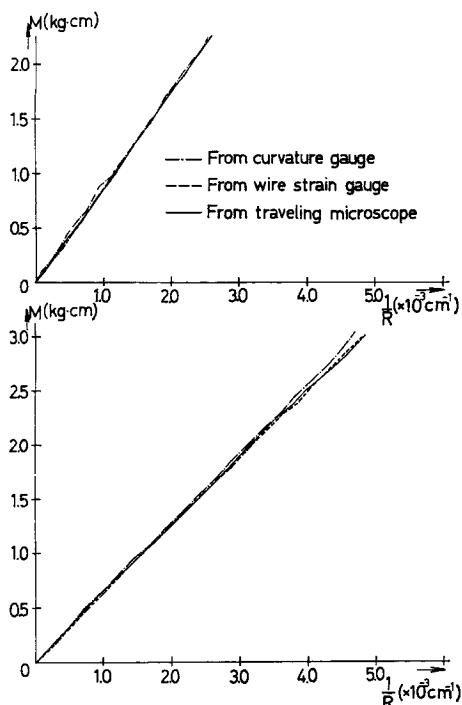


Fig. 15 Bending moment-curvature relation from bending test.

ゲージまたは差動トランスで測定して、この二点の間は近似的に等曲率をもつものとして、或る点の曲率変化を実験的に求めようとするものである。この二点間の距離（脚間距離と称する）は試作した曲率計では20 mm, 40 mm, 60 mm の3種類に変えられるようになっており、使用したダイヤル・ゲージは最小目盛 1/1000 mm, ストローク 1.0 mm, 差動トランスは最小目盛 1/10 000 mm, ストローク 0.1 mm の可測範囲で測定を行なうものである。

〔曲率計の精度検定のためのはり型供試体の曲げ実験〕試作した曲率計の精度の検定は曲げ弾性係数を求めるための実験の供試体、実験装置、実験方法をそのまま採用して行なった。すなわちにはに既知の曲げモーメントを与え、供試体の曲率一定の部分に於いてその曲率を測定して曲げモーメント-曲率関係を求め、これを読取顕微鏡による測定結果より得たものと比較した。その結果の例を Fig. 15 に示す。この場合曲率計の自重の影響を小さくするために Photo. 2 (a), Photo. 2 (b) に見られるようなカウンターバランス装置を製作した。

この実験により試作した曲率計は各種実験に使用するに充分な精度をもつものと判断する。

4. 実験精度の検討ならびに特殊構造物の模型実験への段階としての試み

1) 内圧を受けるタンク型円筒模型実験

〔実験計画〕この実験の注目点はモデル円筒部分の挙動を検討するところに置いた。供試体の形状、寸法は次の方針によって決定した。まず円筒部厚さ、径、長さについては円筒、円板の接合点より円筒母線に沿っての曲げ応力に注目して、反対側接合部の曲げの影響は円筒中央断面に至る間に完全に無視できる程度に減衰すること、また同時に W. S. G. および曲率計を用いてこの曲げ変形が確実に測定し得る程度の深さにまで進入することを条件にして検討を行なった。円板部分の厚さについては、円筒部がシエルの変形を行なうのに対して円板部分が平板的に変形することを考慮し、円筒部分の挙動を把握するに充分な内圧を加えても大変形とならないことを条件にして決定した。

〔供試体ならびに製作方法〕供試体の形状、寸法は Fig. 16 に示す通りで、円筒部直径 600 mm, 壁厚 6 mm, 長さ 600 mm, 円板部直径 600 mm, 厚さ 12 mm である。

供試体の製作に際しては、円筒部は 6 mm 厚の原材平板を 150°C 程度に加熱軟化させた後、型枠に押しつけて成型し、円板部は 12 mm 厚平板から切り抜き成型し、さらに両者をアクリライト・モノマーにて接合することとした。成型完了後、再び約 80°C 程度まで加熱を行なった。これは焼鈍に相当した操作である。また同一原材平板から供試体と同じ熱処理履歴をもつ引張実験および曲げ実験用供試体各一個をとるものとする。

〔実験装置ならびに実験方法〕実験装置の概略は Fig. 16, Photo. 5 (a), Photo. 5 (b) に示す通りである。供試体の支持は単純はり支持方式とし円筒、円板接合点で木製支持台の支持部分にゴムを貼付して供試体への影響がなるべく小さく等分布となるようにしたものを用い、その一方は円筒の母線方向の変位を妨げない

ようローラーを介在させている。供試体の曲げ変形注目点と反対側縁はアクリライト・リングを取付け、このリングにゴムパッキングを介して載荷用圧搾空気送入口および内圧測定口をもつ木製蓋を取付ける。タンク内の気密性を保つために木製蓋にトノコとクリアラッカーを繰り返し塗布した。まず供試体を支持装置の上に設置した後に密閉した状態で内外圧に差がないか確かめ、この点を零点として実験に入る。載荷はエアコンプレッサーによって圧搾した空気を直接供試体内に送入することによって行ない、荷重段階は 8 mm 水銀柱を基準刻みとして最大 41 mm 水銀柱まで載荷した。供試体の密閉度ならびに内圧測定装置も充分で載荷時の荷重追従も完全に行ない得たと考える。変形の測定開始は各荷重段階共に載荷操作完了後 3 分経過したところとした。この理由については前述した通りである。

〔実験結果〕実験より得たデータを整理したものを次に掲げる。荷重—歪度関係はほぼ直線的に変化しているのが観察された。Fig. 17～Fig. 21 は荷重 41 mm 水銀柱 ($p=0.0558 \text{ kg/cm}^2$) の時の実験により得た諸値を理論的に計算を行なった値と比較したものであり、Fig. 22 は荷重と底板中央たわみの関係である。破線で示したものが実験値、実線が理論値である。ここで x と示してあるのは供試体円筒タンクの底円板中央面から円筒母線に沿って測った距離である。また理論計算ならびに実験値の整理計算途中で使用した材料の諸性質は、供試体と同一原材料から製作した、引張用および曲げ用供試体の実験より得た値の平均値、弾性係数 $E=28000 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.38$ である。

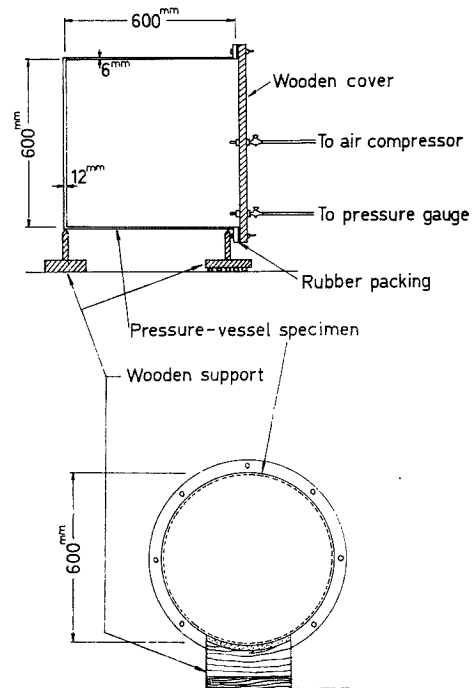


Fig. 16 Pressure-vessel test.

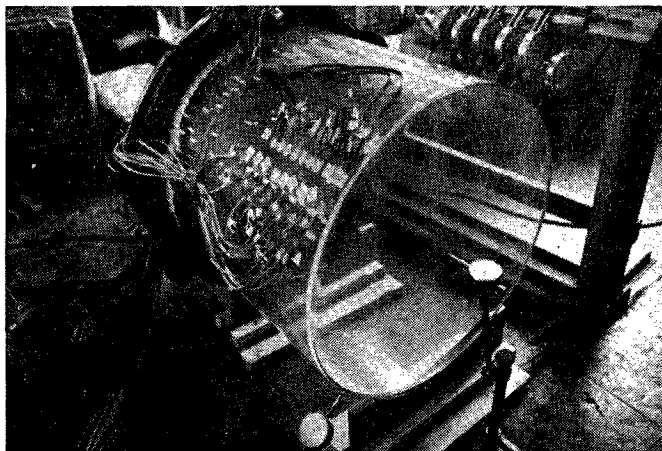


Photo. 5 (a) General arrangement of pressure-vessel test.

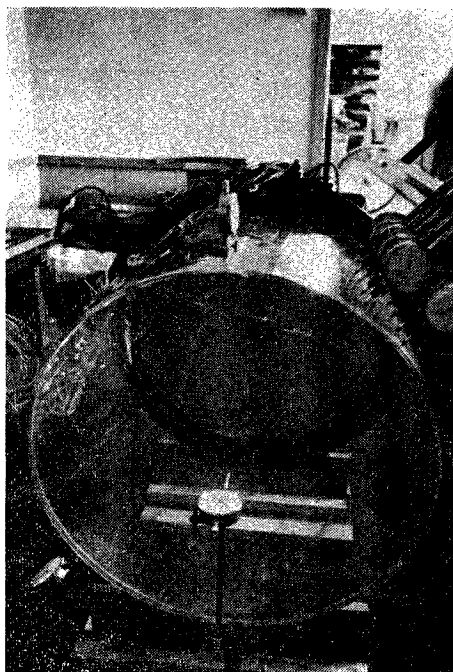


Photo. 5 (b) General arrangement of pressure-vessel test.

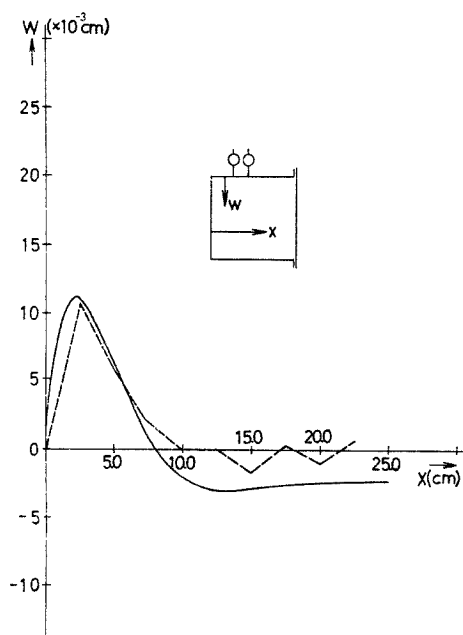


Fig. 17 Radial displacement distribution.

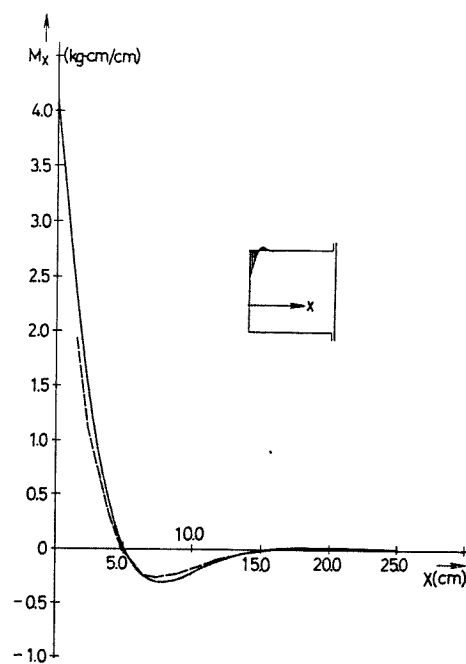


Fig. 18 Bending moment distribution.

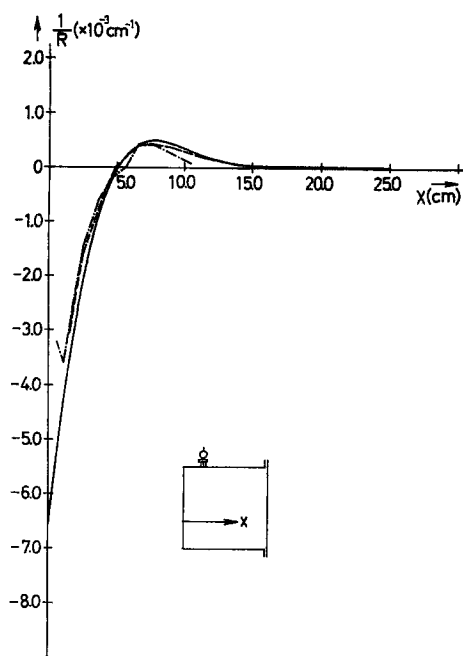


Fig. 19 Curvature distribution.

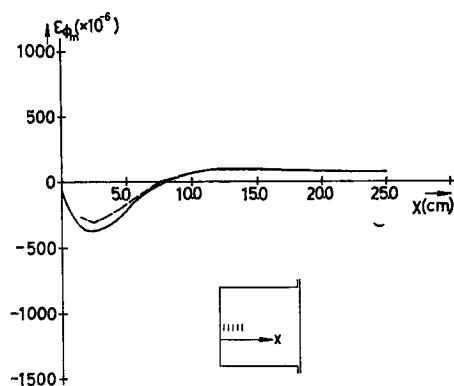


Fig. 21 Distribution of circumferential strain on middle surface.

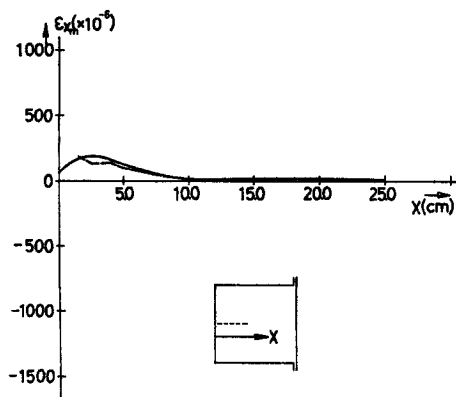


Fig. 20 Distribution of longitudinal strain on middle surface.

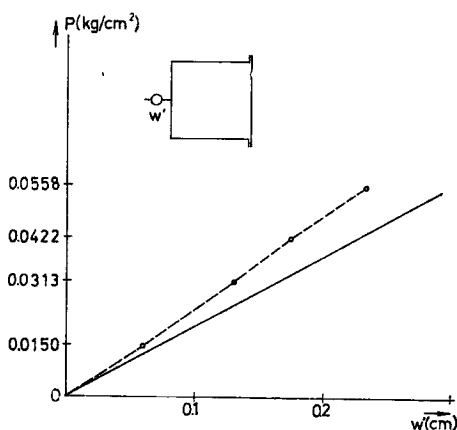


Fig. 22 Pressure-bottom deflection relation.

円筒部分たわみ (w) 曲げの影響の大なる部分すなわち底円板との接合部付近においてはかなりの精度で理論値と一致している。膜応力状態が成立していると考えられる $x > 15$ cm の範囲ではダイヤル・ゲージの精度に比してたわみ量が小さいためかなり理論値とは異なっているように見えるが、変形の傾向を捕えるには充分であらう。

曲げモーメント (M_θ) $M_\theta - x$ 関係はタンク内側、外側に貼付した W.S.G. の読みから換算した値と理論値が比較してあるが、傾向、order 共に非常によく一致している。誤差は最大約15%である。ただし実験値は W.S.G. および接着剤の剛性による補正は行っていない。

曲率 ($1/R$) $1/R-x$ 関係は曲率計を用いて測定した値が一点鎖線で同時に示してあるが、これも満足し得る結果を得ている。これより試作した曲率計はその使用法に充分熟達した後に使用すればかなりの精度でデータがとれると考えられる。

中央面歪度 ($\varepsilon_{xm}, \varepsilon_{\phi m}$) x 方向中央面歪度 (ε_{xm})、円周方向中央面歪度 ($\varepsilon_{\phi m}$) はタンク内外面に貼付した W.S.G. の読みより求めたものであるがこれもかなりの精度で理論値と一致している。

底円板中央点のたわみ (w') この実験の結果の内では最も理論値との差が大きい、この原因としては理論計算では底円板中央面に円筒部の面外せん断力が引張力として働くことと仮定してあるが、実際には接合点で中央面よりは内面に働くことが考えられる。

総合的にみてこの実験の精度については充分満足し得る結果を得たと考える。

結 び

これまで行なった諸実験の結果を検討して、結びとしてアクリライトを用いた模型実験の方法について、二、三の提案をしたいと考える。

供試体の製作方法について 引張、曲げ、振りなどの材料実験供試体など熱加工を行なわない供試体については原材平板から切り抜きを行ない、所定寸法への仕上げをするに電気カンナを用いて行なえば充分であろう。ただし電気カンナを使用する際に供試体の仕上面が過熱発泡しないように時間をかけて丁寧に行なう必要がある。曲面板模型のように熱加工を行なわなければならないものについては、まず原材板を加熱する保温度の高い加熱炉が必要である。ここで使用した加熱炉は、一辺約 1500 mm の立方体形の木製箱組の内部に断熱材アスベスト板を二重に貼り、600 W の電熱線 11本にて段階的に加熱を行なうものである。供試体は均一な加熱を行ない、急激な加熱は避けるべきである。熱した原材板は型枠に押し付け成型されるが、この際局部的な冷却は避けるべきである。熱した原材板は型枠に押し付け成型されるが、この際局部的な冷却を避けるため型枠も同温度に加熱しておく必要がある。またアクリライトは 180°C 前後で発泡現象を呈するから絶対に過熱しないよう注意すべきである。次に型枠に押し付けた状態で冷却を行なうが、この際も均一に冷却が完了するよう炉内で段階的に電熱線の電源を切り長時間をかけて冷却する。曲面の形が複雑になる程平板からの成型は難しいが、成型の最初の段階では必ず冷却後の試料は波を打った状態になるからこの波打ち状態が完全になくなるまで繰返し加熱、冷却を上述の要領で行なう。完全に成型が終わった後に所定の寸法に仕上げを行なうがこの際の操作は引張、曲げ、平板などの供試体の場合と同様である。供試体の形に仕上げた後に再び炉に入れて軟化しない程度の 70~80°C までもう一度加熱すると焼鈍とよく似た現象で特に接合点付近に於ける元応力の緩和が起るようであるがこれはまだ確実な現象を把握していない。また一度熱加工成型を行なった材についてはクリープ現象が小さくなる傾向がある。

供試体の支持方法について 供試体を支持する方法として、アクリライトは表面硬度がかなり軟かい性質をもっているので载荷変形した際に供試体内に減りこみ現象を起すような支持方法は避けるべきである。またアクリライト同志をアクリライト・モノマーで接着した場合の節点の連続に関しては接着時の技術如何にもよるが、気泡が混入しないように丁寧に行なえばほぼ完全なものとなり、円筒タンクの際には満足できる状態が得られている。

载荷方法について 模型実験の際の载荷法としては、歪度測定に W.S.G. を使用する場合にはこの W.S.G. の上をおおって载荷のための装置があるのはよくない。例えば等分布载荷を等分点集中荷重で行なう場合のスポンジ板などはこのような現象を生じ易いので注意する必要がある。またこの際局部的な曲げが生ずることも考えられるので今後さらに検討を行ないたい。これに対して円筒タンク模型実験に用いた空気圧による方法は、それが直接空気で加力する場合には非常に良い結果を示している。

変形の測定方法について 引張実験においては W.S.G. と読取顕微鏡を併用して行なうのがよい。W.S.G. の貼付は目的とした模型に貼付したと同一の要領で行なう必要がある。またダミー・ゲージは一對一の割合で作るのが最も望ましい。また鋼材などの引張実験で用いられているようにダイヤル・ゲージを使用

して伸びを測定するのは、供試体を傷つけると同時にその測定時の反力も問題になるので勧められない。

曲げ実験に於いては、たわみは読取顕微鏡で測定するのがよい。ダイヤル・ゲージを用いるのは引張実験以上にその反力の影響が大で板厚の小なるものでは測定不能になる場合もあるから使用しない方がよい。この場合も W.S.G. を併用して行なうとよい。

曲面板模型実験の際の変位測定方法については、たわみはダイヤル・ゲージで測定しても反力の影響は小さいようであるから使用してもよいと思うが測定時反力も小さく、精度もよい差動トランスによる測定も行ないたいと考えている。

歪度測定には W.S.G. を用いるとよいがその接着技術にたける必要がある。すなわちすべての W.S.G. を均一な条件、状態で貼付する技術を身につける必要がある。不均一な貼付方法をとると結果に乱れを生ずる原因となる。また使用する W.S.G. は巾、長さ共にできるだけ小さいもので余分の箇所は切り取って使用するのがよいと思われる。またその測定結果は W.S.G. および接着剤の剛性が影響して供試体のみかけの剛性を高めることが考えられるので、引張実験および曲げ実験で得た W.S.G. による測定値ならびに読取顕微鏡による測定値との比率の平均値を乗じたものを W.S.G. による測定値の近似値として用いることも可能であると考ええる。

曲率変化の測定については供試体表裏に貼付した W.S.G. と曲率計を併用するのがよい。曲率計の使用法については、その脚間距離が変えられる利点を充分生かして使用する必要がある。特に曲率変化の反曲点付近での測定には慎重を期すべきである。また測点間隔はできるだけ細かくとって行なうとよい。

以上の結びに述べた要領で模型実験を行なえば、その測定結果を利用して、曲面内の挙動をかなり精確に把握できるのではないかと考える。

参 考 文 献

- 1) 例えば A. M. Haas, and A. L. Bouma, "Shell Research" Procs. of the symposium on shell research, Delft, Aug. 30—Sept. 2, 1961.