

鹿島建設(株) 正会員 ○長谷川 福太郎
村山 八洲雄

1. まえがき

PCバージをはじめとするコンクリート船の船殻は、船の大きさあるいは積荷の種類によっては、PCバージ規準等の関連規準に基づいて、二重殻構造としなければならない。コンクリート製二重殻構造としては、種々の構造形式が考えられるが、今回は図-1に示すような上下スラブおよび直角二方向のウェブによって構成されるプレストレストコンクリート船殻を対象とした。その特徴として、鋼船の場合に比べ、肉厚が大きく且つ折高/スパンが大きいことが挙げられる。この種の船殻構造の合理的な設計法を見出すために、図-1に示す船殻のうち船底一區画を対象にアクリル模型実験に基づいて、有限要素法を適用した構造解析法の検討を行なった。さらに、模型実験および構造解析の結果に基づいて、二重殻構造の力学的性状についても検討を行なった。

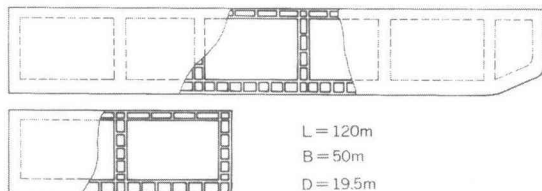


図-1 PCバージ概要図

2. アクリル模型実験

アクリル模型は縮尺を幾何学的に約1/20とし、図-2に示すように直交するウェブ間隔が相等しい等方性モデルとし、その間隔が互いに1:0.7の比率で異なる直交異方性モデルの二種類を製作した。使用したアクリル樹脂の力学的性質は、ヤング率 $30,900 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比0.356である。載荷試験にあつては模型の支持条件は四隅単純支持、四辺単純支持および四辺固定とした。荷重は上スラブ全面への等分布荷重および船底中央のウェブ交差部4点への面外集中荷重とした。規定は模型の表面ひずみおよび鉛直方向変位について、それぞれロゼット型ストレインゲージおよび電気式ダイヤルゲージを用いて行なった。

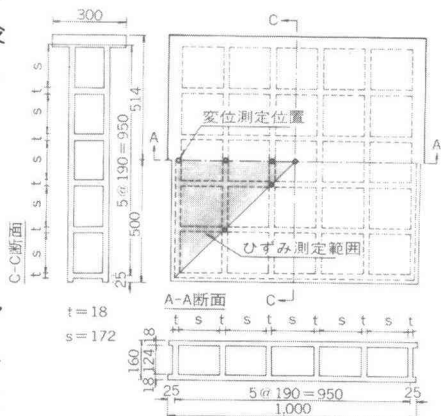


図-2 アクリル模型

3. 構造解析法

複雑な二重殻構造により構成される船殻の構造解析法としては、まず二重殻構造を同じ剛性を有する単板(等価単板)に置き換えて船全体の解析を行ない、つぎに二重殻構造を正確にモデル化して船底のような部分構造の解析を行ない、いわゆるZooming法が実際的且つ有用であると考えられる。

(1) 船全体を解析するための等価単板について

二重殻と単板の剛性の関係はそれぞれの微小要素に関する力のつり合い式および変位に関する微分方程式を導き、その係数を対比することによって明らかにすることができる。一般に、単板の剛性を支配している要素はスパンおよびポアソン比を一定とした場合ヤング率および板厚のみであり、二重殻が有する軸方向および曲げ剛性を等しくすることは容易に可能である。しかし、折高/スパンが大きいたときにはせん断変形も無視できなくなり、さらにせん断剛性やねじり剛性も等しくする必要がある。したがって、ここではせん断変形を考慮できる板要素を主体とした有限要素法を適用することにより、各弾性定数 D を独立した定数として取り扱い、せん断弾性係数をここで述べた微分方程式と対比させることにより換算して、せん断とねじりのいずれかの剛性を等し

くわつてした。一般に船体の縦と横強度および温度応力の解析では軸方向、曲げおよびせん断剛性が支配的と考えられるので、図-2に示すアクリル模型をこれらの剛性が等しい単板に置き換えて解析を行なった。

(2) 部分構造系の解析

部分構造系の解析には、上と同じ立体板構造を対象とした有限要素法を適用した。このプログラムはアイソパラメトリック要素を用いており、また面外せん断変形を考慮しているため、図-2に示すアクリル模型を、スラブおよびウェブの各パネルを4つの四辺形要素とする比較的粗い要素分割によってモデル化した。

4. 解析法の検討ならびに二重殻構造の力学的性状

(1) 等価単板の評価

3-(1)で述べた等価単板モデルの面外荷重による変形、曲げモーメントおよびせん断力の計算値と実験値は図-3に示すようにほぼ一致した。他の境界条件や荷重条件についても、ほぼ同等の精度で両者は一致する事が判った。したがって、3-(1)で述べた方法を用いて二重殻を単板に置き換えることにより、船全体の解析を合理的に行なうことができる。また、3-(2)で述べた部分構造系の解析にあたって、断面力または変形を境界条件とすることが可能である。

(2) 部分構造系解析法と二重殻構造の力学的性状

3-(2)で述べた二重殻モデルの変形および応力は図-3～5に示すとおりであり、計算値と実験値はほぼ一致している。したがって、3-(2)で述べたモデル化の方法により、十分な精度によって部分構造系の解析を行なうことができる。上下スラブの直応力は図-4に示すように、ウェブ位置において図-5に示す曲げモーメントの変化に对应して不連続となっている。なお裏面性の影響は小さく、応力、変形ともに2～3%程度である。等分布荷重を受ける上スラブの曲げモーメントの分布形状は図-5に示すようにウェブで固定された板の曲げモーメントとほぼ一致するが、厚肉であるので定量的には二重殻としての曲げモーメントが合成される。この影響はウェブの剛性が小さくなるほど顕著であった。ウェブの直応力はほぼ直線分布で、直交するウェブ位置で不連続となり、また、ウェブのせん断応力はI形はりのウェブと同様に放物線分布を示し、上スラブ下面および下スラブ上面ではせん断応力を生じていることが判った。

5. あとがき

船体の縦および横強度に対する基本設計には、バジ規準の示す設計手順が用いられるが、これらの詳細設計や、船体の温度応力ならびにプレストレス分布の検討には、以上に示した解析手法によるのが合理的で且つ実地的であると考える。現在さらに、弾性域から破壊に至るまでの性状を把握するために、PC二重殻構造を用いた模型実験を予定している。

〔参考文献〕「PCバジに関する調査研究(その2)」 鹿島建設技術研究所年報, Vol.26, 1978.

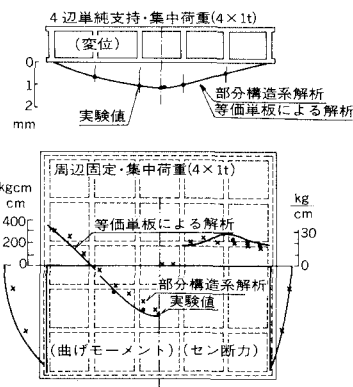


図-3 二重殻部材の変形と断面力

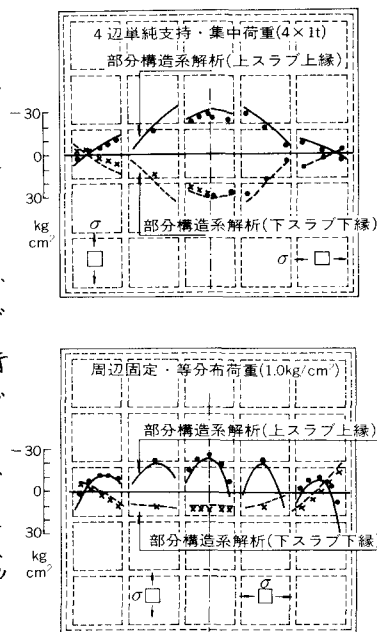


図-4 スラブの応力分布

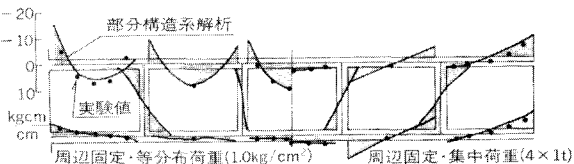


図-5 スラブとウェブの曲げモーメント