研究ノート

かく構造の研究

浜　田　　　実*

私は，各種プラント類に用いられている圧力容器や配管類などのかく構造体の強度問題をおもな研究テーマとしていますので，その研究の経過を「思い出」風に書かせていただきます．

昭和34年頃，ある造船所からの依頼ということで，恩師の太田先生から図1のようなオメガ形伸縮継手の解析を頼まれたことがあった．それまではおもに平板の問題と取り組んでいた私にとって，これがかく体の強度問題に関する一連の研究の初めとなった．当時まだ電子計算機がなかったので，解析解を求めなければならない．苦労して何とか解くことができ，またこの問題に関連して軸対称のかく体に関する数編の論文をものにすることができたが，私たちの解法を用いて実際に応力分布や変形量を求めようとすると，大へん時間がかかり，とても実際の設計には向かないものであった．

昭和36年に城先生らのご努力で，当時新鋭であった電子計算機 2203 が阪大工学部に来た．私はこれを利用して設計者に喜ばれるような研究をしてみたいと思った．ところで，図1や図2の伸縮継手，あるいは図3の圧力容器などを含む一般的な軸対称かくの支配微分方程式はずっと以前から知られていた．ただし，電子計算機のような便利なものがなかったので，円筒かく，円錐かく，球かくなどの，ごく限られた種類のかくだけが，解析的に取り扱われていたのだった．だから電子計算機を用いて上記の一般軸対称かくの支配方程式を数値的に解くことができたら，これはえらいことになるぞ，と思った．数値的解法としては，私は以前からよく知られているルンゲ・クッタの方法を用いるつもりで，研究に着手しようとした矢先に外国の雑誌に私とまったく同じ発想の論文を見つけたときは，ずいぶんがっかりした．しかもその論文では，ルンゲ・クッタの方法ではうまくいかなかったので，差分近似法を用いたら成功したとあった．がっかりはしたが，この論文の方法を

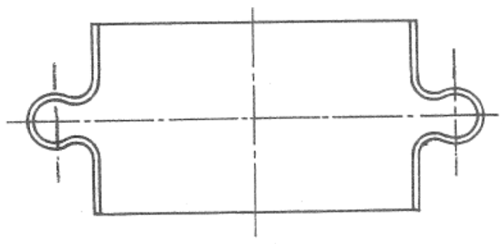

図1　ひと山Ω形伸縮継手

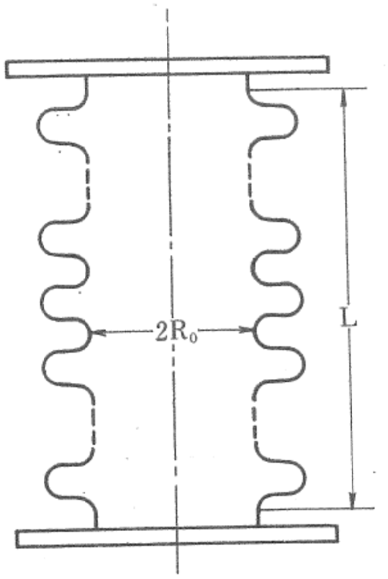

図2　U形ベローズ

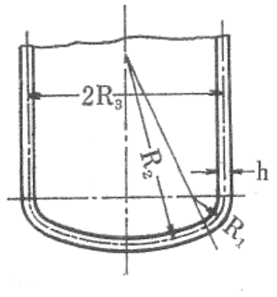

図3　円筒形圧力容器の鏡板

* 浜田実 (Minoru HAMADA)，大阪大学工学部，機械工学科，教授，工学博士，材料力学

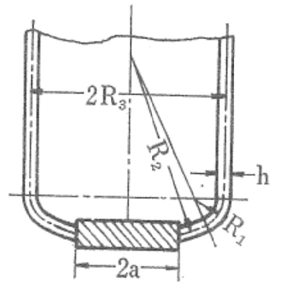

図４　円筒形圧力容器の鏡板
（ボス付き）

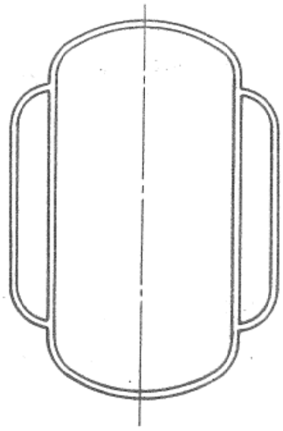

図５　オートクレーブ
（その１）

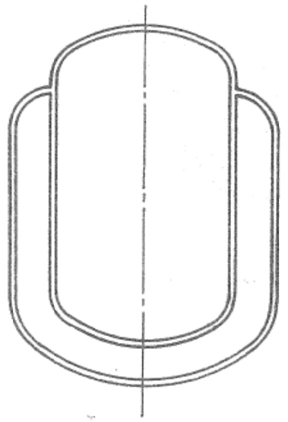

図６　オートクレーブ
（その２）

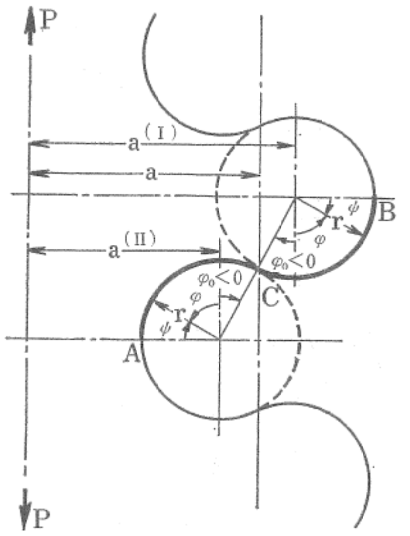

図７　S形ベローズ

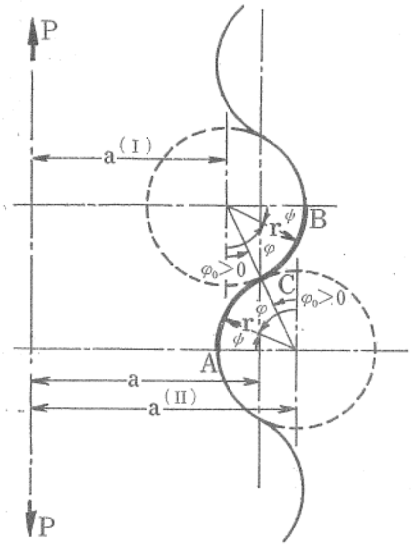

図８　不完全C形ベローズ

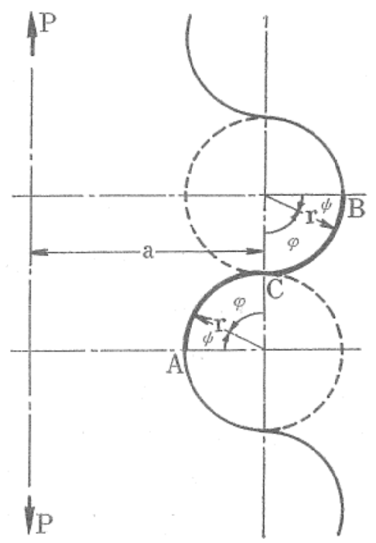

図９　C形ベローズ

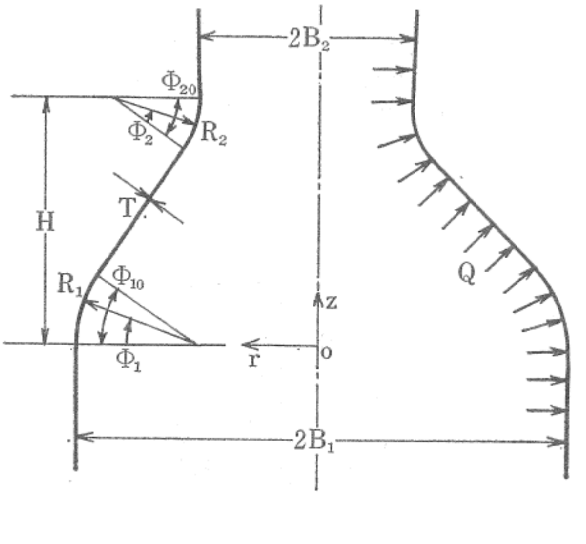

図10　減　径　管

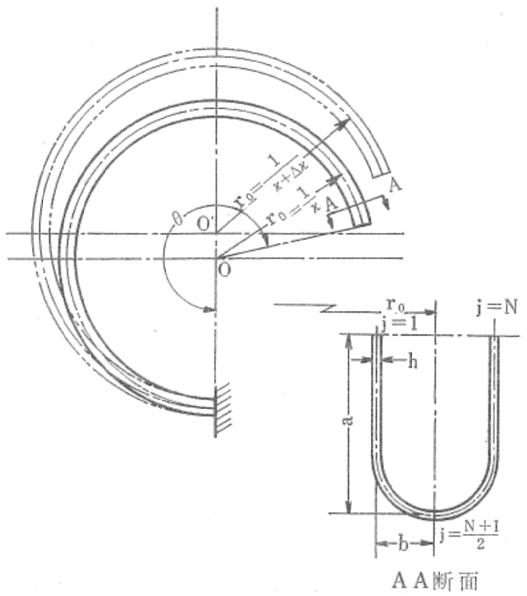

図11　ブルドン管

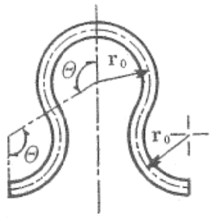

図12 一般的なΩベンド

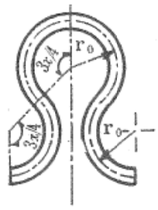

図13 タコベンド

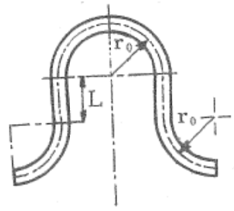

図14 Uベンド

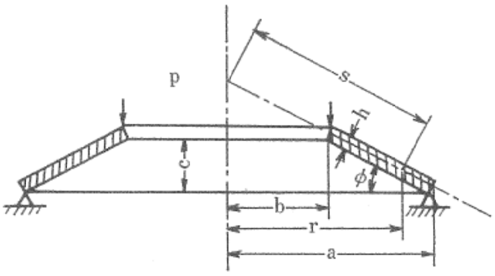

図15 皿 ば ね

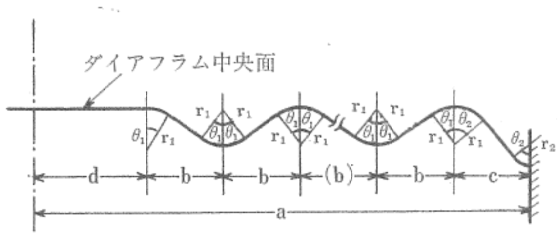

図16 波形ダイヤフラム

跡づけ，発展させようと思い立った．やってみると非常にうまくいく．解析解と手廻わしの計算機で苦労してきたので，電子計算機の有難さが身に沁みた．講演会で発表したところ，出席していたある会社の研究所の人が，ルンゲ・クッタで苦労しているところなんです，と言って感謝された．考えることは誰も同じものだなあ，と痛感した．

この方法を用いて図3や図4のような圧力容器の鏡板，図5や図6のようなオートクレーブ，図2や図7〜9のような各種のベローズ，図10の減径管，図11のブルドン管，図12〜14のような各種のオメガ・ベンドなどについて解を求め，それらの結果を設計用の線図に表わしたり，設計公式にまとめたりした．

図15の皿ばねや図16の波形ダイヤフラムの場合には，線形理論では不十分で非線形理論によらなければ，実用上有効な解が得れないが，これらの研究についても成功した．

図1，図2，図7〜9の各種の伸縮継手は，実際の場合には塑性領域まで変形することが多いから，弾塑性解析が必要となる．これに対しては，子午線方向に差分点で分割するとともに，かく厚方向にも差分をとって塑性域の進展状況を追求する方法をとった．

図2のようなベローズは曲げ変形を受けることがある．また種々の形状の軸対称形の圧力容器の振動が問題になることがある．これらの場合はいずれも軸対称形状のかく体の非軸対称変形の問題である．これに対してはすべての基礎関係式を周方向にフーリェ展開することによって，問題を解決することができた．しかしこのようなことは線形問題に限られる．これを変形量の大きい非線形問題にまで拡張することは，今後の問題である．

かく体の問題の一つに，初応力の問題というのがある．たとえば圧力容器に内圧が作用してそれが緊張状態にあるときの容器の固有振動数は，内圧が作用しない場合の振動数よりも高い．内圧の代わりに外圧が作用すると，振動数は逆に低くなり，遂には零となる．このときの外圧の値が座屈圧力に外ならない．このような問題も取り扱った．

また極限解析の問題というのがある．たとえば図2のような伸縮継手を引張っていくと，材料が完全に降伏してしまい，構造が全体的に無抵抗の状態となるが，直接的にこのような状態を求めようとするのが，極限解析問題である．このような問題も取り扱った．

最適設計問題というものもある．元来，あるものを設計する場合には，与えられた条件のもとで，何らかの意味で最適と思われる形状寸法を定めようとするものである．実際には時間的制約などのため，少数の場合を設計してみてそ

れらを比較して，そのうちで気に入ったものを採用することになる．しかし設計しようとするものが簡単で，与えられた条件もはっきりしており，一方計算手段が確立しておれば，非常に多くの場合の中から最良のものを選び出すことができる．私たちは，図2の伸縮継手，図3の鏡板，および国10の減径管について，最適の形状を求めることに成功した．

これらの研究はすべて大学院や学部の学生諸君の協力によるもので，彼らが懸命にプログラミングをしていた姿が目に浮かぶ．今はそれぞれの職場で頑張っている人たちである．

はじめの頃，実際の設計にたずさわっている人たちが，私たちの研究成果をどのように利用しておられるか，ということがたいへん気になった．皿ばねの論文を発表した頃に，これの規格を定めるための JIS の委員会が開かれており，そこに呼び出されて話をしたことがある．そのあとで聞いたのだが，私たちの提案する設計式は従来のものより精度はよいが，現在用いられている製品の寸法範囲に限ると両者の差は少ないから，従来のものでよい，という結論であったそうだ．U形ベローズの場合は，JIS ではないがある委員会であるメーカーの人に言われたことは，従来の解はなるほど精度はたいへん悪いが，簡単で使いやすいし，外国でも使われているから変更するつもりはない，ということであった．私はこう言い返しておいた．私たちの成果が実際に用いられるかどうかということは，私たちにどうでもよいことで，ただ学会の論文集に載せてもらうことが重要なのです，と．しかし これは もちろん 本当の 気持ではない．むしろ私は，実際の設計者がきわめて慎重であって，従来のやり方を変更することに対しては，たいへん抵抗を感じるものだなあ，と痛感した次第である．