

- ② 極限強度解析において計算時間が短縮化される。
- ③ 要素分割パターンが解の精度に及ぼす影響が大きい。
- ④ 線形解の収束性は保証されない。
- ⑤ アルゴリズムの複雑さは有限要素法と比べて大差ない。

したがって、ある程度の trial and error により③の欠点を補いながら、①、②の利点を生かせる極限強度問題に応用することが適切です。

【討論】前田昭彦君 (1) Fig. 4(a) の load-deflection curves の最高荷重と Fig. 4(c) の maximum pressure ($\phi_0=30^\circ$ の場合) は異なっているが、崩壊荷重の推定方法を、ご教示願います。

【回答】(1) シェル構造においては、たとえば周辺固定平板の曲げ崩壊挙動において見られるように、塑性解析による崩壊荷重が単に剛性の急激な低下点を示すのみで必ずしも最高荷重を意味しないことがあります。Fig. 4 と同じ問題を円錐台要素モデルを用いて解析した際にも同様の結果が得られています (たとえば文献 7) の Fig. 13)。よって、Fig. 4(c) の最高荷重値は、最初に剛性が急激に低下し、荷重・たわみ曲線がほぼ flat になった点をプロットしてあります。

なお、Fig. 4(a) の荷重・たわみ曲線の最終 step は、形式的に山田の方法に従ったものでは少々、荷重増分が大き過ぎるようであり、別の判定基準により荷重増分を制御すれば、結果が変わる可能性はあると思います。

【討論】矢川元基君 (1) 塑性解析において、荷重増分形の解析を行っていますが、論文中にその記述が見あたりません。如何なる方法を使用されていますか。

(2) 上記に関係して、Fig. 4(a) の理論上限解以上

に上昇している荷重値は如何なる意味をもつのですか。また、このとき Fig. 4(c) 上の各点は如何なる基準で決定したのですか。

(3) 結論において同方法による動的解析について言及しておられ、既に幾つかの成果を得られているようですが、同方法によれば要素の質量の取扱いは、集中質量マトリクスにならざるを得ないように思われます。一般に集中質量マトリクスを使用した場合、分布質量マトリクスと比較して、精度は幾分悪化します。同方法による、この点の取扱いは如何していますか。

【回答】(1) 塑性解析においては、(20) 式の降伏関数を塑性ポテンシャルとして塑性流れ則によりばね定数 $[D]$ マトリックスにおける非対角項を含む) を決定し、1 step に 1 line ずつ降伏させる言わゆる山田の方法により荷重増分解析を行っています。

(2) 前田氏の回答をご参照下さい。

(3) (4) 式の剛体変位関数に基づき、有限要素法による場合と同様の手順により、各剛体要素に対する等価質量マトリックスを導くことができます。精度面からは等価質量マトリックスを用いることが望ましく、既発表の平板の衝撃崩壊解析^{付1), 付2)}においても等価質量マトリックスを使用していますが、変位関数が低次多項式ですから、集中質量マトリックスとの差は有限要素法の場合ほど大きくありません。explicit な時間積分公式が使用可能な場合は、計算時間節約のために集中質量マトリックスを積極的に使用する考えです。

付1) 川井・都井, 日本機械学会論文集, 第 45 巻, 第 389 号 (1979) 73~80

付2) 都井・川井, 日本造船学会論文集, 第 143 号 (1978) 257~263

20 初期不整を有する球殻の圧壊強度解析

【討論】本間康之君 (1) 荷重～たわみ曲線と圧壊圧力の関係

ひずみ硬化を考慮した計算によると、半径～板厚比が小さい (したがって P/P_y が 1 に近い) 場合には圧力～たわみ曲線は降伏後も増加しつづけると思います。

アルミ球殻 (case 1) では計算による圧壊圧力として荷重～たわみ曲線の勾配が初期の値の $1/20$ となる圧力値を圧壊圧力としたのはこのためですか。そうであるなら $1/20$ とした根拠は何ですか。

また、NS 63 球殻 (case 2) では case 1 のような取扱いをしていないのは何故ですか (降伏後の勾配が小さいため)。

(2) Fig. 2 の近似化

Fig. 2 のような応力～ひずみ曲線の近似化はひずみ硬

化の影響を無視することにならないですか。

(3) 実験との関連

実験では、殻の最終的な圧壊形状は軸対称となりますが、そこに到るまでの経過として非対称変形を生ずるものと想像します。もし、そうであるなら計算の仮定と実際の挙動の差についてどのように考えたらよいですか。

【回答】(1) 球殻の座屈では、塑性座屈であっても座屈後耐力が増加しつづけることはないと考えます。本報では便宜上、圧壊荷重として荷重～たわみ曲線の勾配が初期の値の $1/20$ となる値を採用していますが、最大圧力とはほとんど差がありません。また NS 63 球殻についてもアルミ球殻と全く同様に応力～ひずみ関係を σ_p , σ_y を用いて正確に表し、圧壊圧力も同様の手順で求めています。

(2) 厳密に圧壊圧力を求めるには正確な応力～ひずみ線図を使用する必要がありますが、本報の解析例では σ_y 以上の応力での歪硬化は小さく無視できます。事実、ここで取り扱った球殻では平均的な膜応力が σ_p から σ_y の間の値で圧壊しています。

(3) ご指摘のとおりです。軸対称の圧壊となるか非対称となるかは寸法により異なると考えます。本報で計算した球殻では軸対称の圧壊と非対称座屈との差はほとんどありませんでした。

【討論】森 鼻 英 征 君 (1) 著者らの計算結果と Krenzke らの実験式との比較で、本論文による計算値が高めになる理由として、Krenzke らの方法では初期不整以外の不整を考慮しているとあるがこれはどのようなものですか。Table 1, 2 の P_e の定義式とともに御教示下さい。

(2) Fig. 14 の金井らの実験結果との比較で金井らの供試模型は、平坦部と一般部との間に小さな R を付しており一方本論文では Fig. 10 のような初期不整を与えています。このように初期不整モードが異なるにもかかわらず δ/t で整理した結果は良く一致していますが初期不整モードの影響についてはいかがお考えですか。

(3) Fig. 16 の初期不整 $\delta/t=0.2$ ($R/t=100, \theta=20^\circ$) の球殻の圧壊強度 P/P_y が 0.74 であるのに対し、Fig. 18 では同様の球殻で初期不整 $\delta/t=0.783$ と増加しているにもかかわらず P/P_y が 0.88 と増加しています。一般には初期不整が大きい方が圧壊強度が低下すると思われるが本計算結果で逆になっている理由を御教示下さい。

【回答】(1) Krenzke は、初期不整をもつ球殻の圧壊圧力の実験式として

$$P_e = K \times 0.694 \times (2/\sqrt{3(1-\nu^2)}) \times \sqrt{E_s E_t} (t/R_1)^2$$

を提案している。この式では初期不整の影響を局部半径 R_1 で考慮しているが、 R_1 だけで初期不整の影響を説明することができず実験値のばらつきの下限値を与えるように修正係数 0.694 および K を考えている。したがって、計算結果は Krenzke の式より一般に高めになると思われます。

(2) 本報ではなだらかな形状の初期不整を考えていますが、かどのあるような初期不整を持つ球殻の圧壊解析を行っても圧壊圧力は 2~3% 低下するだけであり、ご質問のような形状も含めて初期不整モードの違いによる圧壊圧力の変化は小さいと思われます。

21 RORO 船の船尾部波浪衝撃について

【討論】深 沢 塔 一 君 (1) 衝撃圧力の最大値に関して、規則波中では船速の増加によって減少するのに対し (Fig. 3)、不規則波中では増加している (Fig. 10)。これは何に起因するものか。実船においては高速の方が衝撃圧力が大きいと考えてよいか。また、不規則波中の実験で計測された最大衝撃圧力も船速が高い方が大きいのか。

(2) 実験で測られた衝撃圧力の duration は相似則が成り立つとして実船に換算した場合、船尾部パネル材の固有振動周期、プロペラの blade frequency と比べてどの程度か。

(3) 実船の場合は船尾にプロペラがあるため波面や orbital velocity は著しく乱されると思われる。これらの影響はどの程度考えればよいか。本計算では orbital velocity は相対速度の何 % を占めているか (衝撃時)。

【回答】(1) Fig. 10 は船が 30 分間航行したとき出会う N 個の波の中で累積確率が $1/N$ となる衝撃圧力を予測したものです。船速が増加すると出会う波の回数 N は大きくなり累積確率 $1/N$ が小さくなるため予測値は大きくなっていますが、累積確率が同じであれば船速が小さいときに予測値が大きくなり規則波中での傾向と一致します。ある決められた距離を航行する場合を考えると船速が小さいときには航行に時間を要し高速の場合と出

会波の回数は変わらなくなり衝撃圧の最大値は低速の方が大きくなります。実船はほぼこの様な場合に対応し、低速の方が衝撃圧は大きくなると考えられます。また、不規則波中の実験では低速の方が大きな衝撃圧力が計測されております。

(2) 規則波中の実験で計測された衝撃圧力の立ち上がり時間の平均値は約 1.2 m sec でフルードの相似則を用いて実船に換算しますと 6.9 m sec となり、その 2 倍を duration time とし振動数を求めますと約 70 Hz となります。一方、船尾パネル材は板厚 10 mm、縦・横が 600 mm と 2000 mm 程度であり固有振動数は約 170 Hz、またプロペラの blade frequency は一般に 5~50 Hz 程度です。

(3) 実験はプロペラを取り付けずに行っており、プロペラの影響についてはお答え出来ませんが、プロペラ近傍では波の乱れ等の影響は当然受けると考えられます。衝撃時の相対速度に占める orbital velocity の割合は船速および波長の違いにより様々に変化します。例えば、船体の上昇速度より波の隆起速度が大きい場合には 100% を越えます。衝撃圧力が比較的大きい状態では 40~70% 位の割合となっています。