

モンテカルロ法によるJCO臨界事故時の
中性子スペクトル計算

Monte Carlo Calculation of Neutron Spectrum at the JCO
Criticality Accident

植木紘太郎、山野直樹

平成12年9月

日本原子力学会2000年秋の大会予稿集

平成11年9月30日、茨城県東海村のJCOにおいて臨界事故が起きた。本報告はモンテカルロ法を用い、JCO臨界事故現場周囲にある試験棟等の形状並びに線源から2,500mまでの大気層をモデル化した計算を行い、中性子エネルギースペクトルを求めた。沈殿槽から発生した核分裂中性子線源強度は、JCO事務棟2階の窓際に置いた中性子レムカウンターによる測定値、550 μ Sv/hで規格化した。

次のような計算条件を設定した。

- ①線源条件 中性子源：沈殿槽から²³⁵U Watt核分裂スペクトルを持った中性子が等方に発生する。
- ②計算モデル 沈殿槽が置かれた転換試験棟を始め、その周囲にある第一ウラン試験棟～第四ウラン試験棟、第一固体廃棄物保管庫～第四固体廃棄物保管庫、その他、コールド試験棟、事務棟等の建家の形状を出来るだけ詳細にモデル化した。大気は沈殿槽から半径2,500mまで考慮、また地面は熱さ25cmの土とし、同じく半径2,500mまでモデル化した。

一例として、連続エネルギーモンテカルロコードMCNP4Bで計算した沈殿槽から350mにおける中性子エネルギースペクトルを示す。本計算に際しては、転換試験棟付近の特定点における計算には点検出器を、300m以上離れた位置においてはリング検出器を用いた。また、モンテカルロ計算における分散低減のために、各建家等を詳細にセル化し、各セルにそれぞれ適切なWWI (Weight Window Importance) を設定した。その結果、ほとんどのエネルギービン (10⁻⁹～20 MeVを140ビンに分割) のFSDが10%以下になり、信頼性のある結果が得られた。

(氷海技術部)

サンドイッチ複合材の低温域における衝撃挙動
Impact Behavior of Sandwich Composites at Low
Temperatures

前田利雄、櫻井昭男

平成12年10月

第25回復合材料シンポジウム講演要旨集

地球温暖化現象などの地球環境問題がクローズアップされている中で、化石燃料の消費から脱却した将来のエネルギー源の一つとして、太陽光、風力、波力等を利用した水素エネルギーシステムが考えられている。この技術開発には、液化水素を効率よく輸送できるタンカーの開発が解決すべき重要な課題の一つとなっている。そこで、断熱性のある構造材として超低温域における使用を目的に、CFRPと硬質ウレタンフォームとのサンドイッチ複合材について低温落錘三点曲げ衝撃試験を行い、動的強度の温度依存性、衝撃破壊挙動等を調べた。本試験に供したサンドイッチ平板は、心材に発泡剤の異なる3種類の硬質ウレタンフォームを使用した。それらのかさ比重は約0.1g/cm²とし、厚さはすべて10mmとした。また、表面材のCFRPはカーボクロス (317g/m²) 及びビニルエステルを使用して厚さを1.5mmとした。したがってサンドイッチ平板の全厚は13mmとなる。動的強度の測定は、硬質プラスチックに関するJIS K7211、計装化衝撃試験のための報告書等を準用して製作した落錘衝撃試験機を用いて、エッジワイズ及びフラットワイズ方向の3点曲げ衝撃試験を行い、衝撃破壊時の最大荷重、たわみ量、吸収エネルギーを算出して比較検討した。その結果、サンドイッチ平板のエッジワイズ方向の荷重挙動は最大荷重後、破壊の進展にしたがい急激に低下するが、ある値で再度上昇した後、また低下上昇を繰り返しながら徐々に減少する。この時の破壊様相は支持側の引張りによる破壊と打撃側の圧縮による破壊が混在した様相が見られた。破壊挙動の温度依存性は、最大荷重が-150 $^{\circ}$ C付近までは温度の低下に伴いやや上昇するが、それ以下の温度では減少する傾向が見られる。これに対し、たわみは温度の低下とともにやや上昇する傾向を示した。吸収エネルギーはたわみと同様の傾向を示し、荷重よりたわみが依存していることがわかった。また、衝撃挙動の供試材による違いはそれほど見られなかった。

フラットワイズ方向の荷重挙動はたわみの増加と共に上昇し、最大荷重後ある値まで急激に減少し、その後も上下変動を繰り返しながら徐々に減少する。試験後の破壊様相は打撃側表面材が打撃部で完全に破断し、支持側の表面材も殆どが中央で層間剥離を伴って破断している。心材は表面材との界面あるいは界面近傍の心材内で破壊している。

〈大阪支所〉

Stress Singularity of Edge - Bonded Dissimilar Elastic Wedges with a Slightly Undulating Interface

接着界面に微小粗度を有する異種弾性接合体端部の応力特異性について

千秋貞仁

平成11年9月

第6回SAMPE先端材料技術国際会議講演論文集

異種材料を（接着）接合する場合、被着体接合部表面に予め機械研磨等で粗度を設けておけば、接着界面強度が向上することが実験的・経験的に知られている。特に疲労強度については、接着界面端部への応力集中が繰り返し荷重付加による疲労き裂発生寿命を支配する重要因子となる。本研究は、接合界面粗度が端部の応力特異性（応力の集中形態）と破壊力学パラメータに与える影響を理論的に考察したものである。

D. B. Bogyは、平坦な（接着）接合界面を持つ異種材接合体を、2次元半無限平面上の等方・均質弾性体の静的境界値問題にモデル化し、極座標表示のAiry応力関数を用いてその解を求め、端部応力特異性について詳細な議論を行った。接合界面形状が平坦でない場合は、理論解析を求めることが出来ない。そこで、界面に微小な粗度を有する剛体-弾性体接合体について、変位と応力場に以下の重ね合わせを適用した。

$$U_i(r, \theta) = U_i^0(r, \theta) + \eta V_i(r, \theta),$$

$$\sigma_{ij}(r, \theta) = \sigma_{ij}^0(r, \theta) + \eta \tau_{ij}(r, \theta)$$

ここに $U_i(r, \theta)$ 、 $\sigma_{ij}(r, \theta)$ は界面に微小粗度を有する剛体-弾性体接合体について、 $U_i^0(r, \theta)$ 、 $\sigma_{ij}^0(r, \theta)$ は平坦な接合界面を持つ剛体-弾性体について、 $\eta V_i(r, \theta)$ 、 $\eta \tau_{ij}(r, \theta)$ は界面の微小粗度に起因する攪乱変位、応力場のそれぞれについての極座標成分を表す。また、 η は界面形状による微小な定数である。 $U_i^0(r, \theta)$ 、 $\sigma_{ij}^0(r, \theta)$ はBogyの基本解により既知なので、攪乱変位場 $V_i(r, \theta)$ のみを求めれば、トータルの変位場が得られる。次に、界面の粗度は微小であるとの仮定を導入し、界面上の完全接合条件をテーラー展開して線形項まで採用すると、以下の近似の接合条件が得られた。

$$V_r(r, 0) = -af^q (AN_1 + BT_1),$$

$$V_\theta(r, 0) = -af^q (CN_1 + DT_1)$$

これより、 $r \rightarrow 0$ （端部に近づく）場合の界面上の攪乱場の応力特異性は、代表長さ a 、界面の形状を表す関数 f 、基本解の強さ q 、材料と接合端部形状による定数 A 、 B 、 C 、 D と荷重モードによる定数 N_1 、 T_1 によって定まることがわかった。また、右辺の-は、粗度による攪乱場が端部応力集中の強さを和らげるような場合の存在可能性を示唆している。

Simulation Experiment of CO₂ Storage at 3500 m Deep Ocean Floor

二酸化炭素の3500m深海底貯留模擬実験

綾 威雄、山根健次、小島隆志

平成12年8月

Proceedings of the 5th Int. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies

モンテレー湾海洋研究所のBrewer博士は、1998年、3,627mの深海底に設置した6リットルのピーカー内に液体二酸化炭素を貯留する実海域実験を行い、間欠的に液体二酸化炭素がピーカー外にあふれ出す膨張現象を発見し、Science誌（248巻5416号、1995-5）に発表した。

観察による体積膨張の推定値は元の液体二酸化炭素の10倍を越えることから、この現象は、当所が過去10年間にわたって基礎研究を続けてきた二酸化炭素深海底貯留法の実現性検討に大きな影響をもたらすものと考えられる。そこで、深度4,000m対応の深海底模擬装置を用いて再現実験を行い、その防止対策を検討した。著者らは、液体二酸化炭素がハイドレート化する際の体積膨張が、分子量と水和数（一つの二酸化炭素分子を包み込むために要する水の分子数）から、3.35倍となることを見出したが、この数値は実海域実験における体積膨張よりはるかに小さい。この事実は、液体二酸化炭素を押し上げているハイドレートには大量の海水が含まれていることを示唆している。

以上の考察を基に、実験は二つのケースについて行われた。一つは実海域実験と同様、ハイドレート膜で被われた二酸化炭素液泡を一つずつ上方から落としてピーカー内に溜める方法であり、もう一つは、液体二酸化炭素をピーカーの底から溜める方法である。前者では、実海域実験と同じような膨張現象が観察されたのに対し、後者では100日を越え、ハイドレート膜で被われた液体二酸化炭素が安定して存在し続け、体積膨張は一切見られなかった。前者では、液泡が一体化しないため、実海域実験で見られたのと同様の海水の通路ができ、ピーカー底部でハイドレートが生成するに要する大量の水分子が供給されたものと推論できる。つまり、後者の実験のように、海水の通路ができない方法で二酸化炭素を溜めると、貯留法にとって望ましくない膨張現象を防止できることが期待できる。

なお、当所が特許を取得した新二酸化炭素投入法COSMOSにおいては、直径1mという大液泡が海水通路を押しつぶすものと予想され、その実現は可能と考えられる。

Two Types of Strength Abnormality of CO₂ Hydrate Membrane

CO₂水素化物の2種類の強度異常について

山根健二、綾 威雄、小島隆司、成合英樹
平成12年 8月

Proceedings of the 5th Int. Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies

地球の温暖化傾向を緩和する手段として注目されているCO₂海洋処理法を評価するためには、液体CO₂と海水との界面に生成する水素化物膜の性質を明らかにすることが不可欠である。中でも、CO₂水素化物膜の力学特性の解明は深海底窪地に液体CO₂を貯留する方法の実現可能性を評価するために重要である。著者らが最近、高耐圧のDu-Nouy型表面張力計を用いて高精度計測に成功したCO₂水素化物膜強度データは、解離温度近傍での強度がそれより低温側における強度のおよそ10倍という異常を示していた。更に、飽和濃度直近において、解離温度近傍での膜強度異常に匹敵する、新たな強度異常が出現することが判明した。CO₂水素化物のこの異常な強度特性は、深海底の窪地に貯留されたCO₂表面の水素化物膜と海水との界面が飽和濃度となることから、海洋処理評価において考慮しなければならない事項である。

著者らは、これらの強度異常のメカニズムを説明するために、水素化物の生成・解離確率を与える基本モデルの提案を行ってきた。著者らが提案したモデルは、従来、定性的にこの強度異常の説明が可能であったが、定量的には未確定の項の存在によって未完成なものとなっていた。今回、このモデルの中に含まれる未確定項である生成・解離確率にFermi-Dirac分布関数の適用を試み、本モデルが定量的にも解離温度近傍における強度異常の説明が可能であることを示した。また、この事実は水分子とゲスト分子で構成されるどんな種類の水素化物にもおきる普遍的な強度異常の可能性がある。

また、新しく見つかった強度異常は、飽和濃度直近の水中ではストレスによって膜が成長しないということを示しており、未飽和水中における膜の自己再生を説明するために、著者らによって提案された「自由水分子モデル」の考えを支持するものである。

船用アングル弁の強度実験及び数値解析

Strength Experiments and FEM Analysis on Marine Angle Valve

伊飼通明、綾 威雄、猪野義隆、畑中哲夫、太田正博
平成12年 8月

(社) 日本バルブ工業会

「バルブ技報」第15巻第2号

ISO規格に適合した船用玉形弁の新規格作成のための各種強度実験等を行ってきたが、玉形弁と対をなす弁であるアングル弁についても造船業界よりISO規格に適合したJIS規格化の要望が出された。しかし、アングル弁についての強度実験・解析データがほとんど見られないことから、玉形弁と同様の方法により、アングル弁の新規格化の基礎資料を得ることを目的とした強度実験、外力作用実験、弁座漏れ実験及び数値解析を行った。そして、アングル弁は玉形弁と弁座近辺の弁箱形状が似ていることから玉形弁の結果と比較しつつ、これらの実験結果をまとめた。

これらの実験結果から、以下のことが解った。

アングル弁は、内圧が作用しても球状部ではほとんど応力が発生していないことが明らかとなった。また、圧力が作用しても球状部ではあまり応力が増加しないことが解った。このため、球状部の肉厚を薄くすることによる軽量化の余地が残されていると考えられる。バルブ閉止性能を示す漏れ実験結果については、一般的にアングル弁は内圧に対しては漏れにくい構造を有していると言われているが、これは内圧に対してだけあって、垂直方向の外力が作用した場合には、玉形弁より漏れ易い構造であることも解った。一方、玉形弁と異なり、アングル弁は内圧及び外力が作用するときに発生する応力は、球状部と円筒部の接続部分に集中しており、設計上この部分に発生する応力に注意する必要がある。

船用油こしの強度実験及び数値解析結果
Discussion on Strength of Marine Oil Strainer
—Experiment & FEM Analysis—
伊飼通明、綾 威雄、花崎 襄、西岡成憲
松本克也
平成12年 8 月

(財) 日本船舶標準協会、「船舶標準」 8 月号

こし器は、燃料油、潤滑油、海水等に含まれる不純物を取り除く機器であり船舶に多く使用されている。こし器には、水こしと油こしの2種類あり、今回の実験に用いたこし器は油用のもので、船舶内の燃料油配管系に用いられているものである。油こしには、単式と複式があり、今回実験に用いたものは予備のこし筒が付いた複式のH形油こしと呼ばれるものである。本報告は、JISF7208船用H形油こしの見直し改訂時に口径25A～40Aについてメーカー間の統一した新規格化の要望を受け、規格化原案を作成すべく、(財) 日本船舶標準協会機関部会配管ぎ装品専門分科会のこし器関係のメーカーが中心となって強度実験、破壊実験及び数値解析を行い、これらの結果をまとめたものである。

以上の実験結果から、安全率が1.55から2.22と言う低い値であったが、使用圧力0.4MPaの5倍の圧力である2MPaの圧力で実験を行っていること、さらに油こしを破壊するには22倍以上の圧力を作用させる必要性があることから、本実験で油こしの安全性が十分に確認された。