

厚肉円筒状の保温材内部の定常熱伝導について

(株)大阪パッキング製造所

水野 克明

岐阜大学 工学部 学生員○藤田 賢一

岐阜大学 工学部 正 員 藤井 文夫

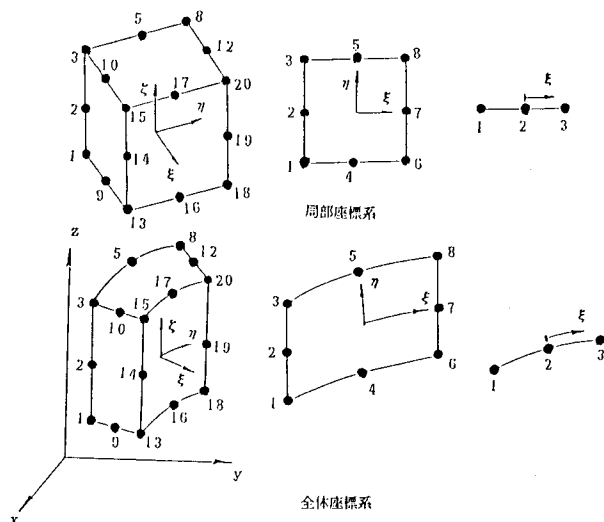
1. はじめに

原子力発電プラントの安全性を維持するため配管、機器等の溶接が定期点検されること、また、放射汚染区域に使用されるという特殊性から保温材の具備すべき要件は次の通りである¹⁾。①取り付け、取り外しが容易で再利用が可能で耐久性があること。②発塵性がないこと。③放射能被爆に変質しないこと。④洗浄が容易なこと。⑤放散熱量が少ないこと。⑥耐熱温度が高いこと。これらの要件を満足させるため、従来は反射型の金属保温材が用いられてきた。しかし、この金属保温材は高価な上、断熱性能が今一步満足すべきものでなかった。そこでこれらの欠点を補うため軽量断熱材を金属で保護した金属被覆保温材が開発された。その構造はロックウールあるいはケイ酸カルシウムの軽量保温材(ダイバライト²⁾)の外側を0.5-0.7mmの金属薄膜で被覆したもので、例としてカプセライト³⁾が挙げられる。

保温材の断熱性の評価は、一般的に熱伝導率が用いられているが、この金属被覆保温材は熱伝導率の高い金属部分と熱伝導率の低い保温材で構成されているので、簡単に保温材全体の熱伝導率を決めることはできない。すなわち、金属及び保温材の種類と厚さなどの構成要素に依存した断熱性能を加味したものでなければならない。このような断熱特性を考慮し、個々の金属被覆保温材について断熱計算を行い、設計条件の放散熱量が180 kcal/m²h以下、もしくは(および)表面温度が(室温+20℃)以下でなければならない。本研究はこのような金属被覆保温材の熱設計のための計算手段の開発を試みたので報告する。

2. 解析手法

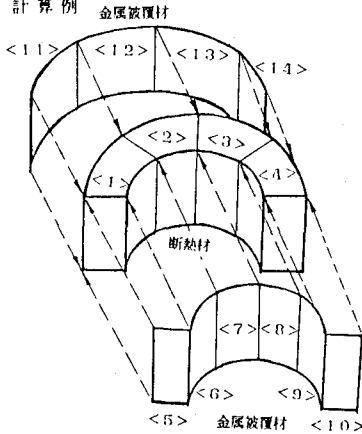
本研究で用いる要素は右図に示すような20節点六面体要素、8節点曲面要素、3節点曲線要素であり、形状補間としてセレンディビティ系の補間関数を採用した。断熱材に対して六面体要素、金属被覆保温材に対しては曲面要素で解析をおこなうものとする。ここで問題となるのは、3次元空間にある曲面要素の要素マトリックスが立体要素と同様の操作では組立てられないことである。そこで曲線要素では形状関数の導関数



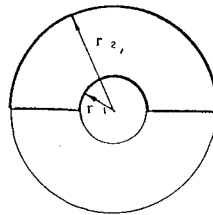
(株)大阪パッキング製造所製

を用いて各8節点での曲面上の法線ベクトルを求め、曲面要素の厚さを考慮して、立体要素としてのデータを自動的に生成する方法を取る。これにより一旦、立体要素の(20×20)の要素マトリックスを組立てる。曲面の厚さ方向に温度変化はないことから要素マトリックスの対応する行と列とを重ね合わせることで曲面要素のための(8×8)の要素マトリックスが得られる。熱伝導問題における境界条件として、①温度指定、②断熱境界、③放散熱境界などがあり、例えば境界条件③に関わる係数に表面熱伝達率がある。断熱特性だけ解析するのならば体積分のみでよいが、表面熱伝達率を考慮する場合は放散熱境界面についての面積分も必要となる。このようにアイソパラメトリック要素を用いた解析における重要な過程の一つに必要な数値積分の実行があり、関数の積分値の決定に多量の計算を要することになる。従って計算量の少ない GAUSS の求積法が理想的であるので、これを用いる。局所座標系での(ξ, η, ζ)の数値積分における積分範囲は[-1, +1]として座標変換により全体座標系に直す。これにより任意形状要素についての解析が可能となる。表面熱伝達率は対流とふく射の因子から成り、一般に表面温度に依存する。現段階ではこれらのパラメーターを定数とすることによる計算を試みている。

3. 計算例 金属被覆材

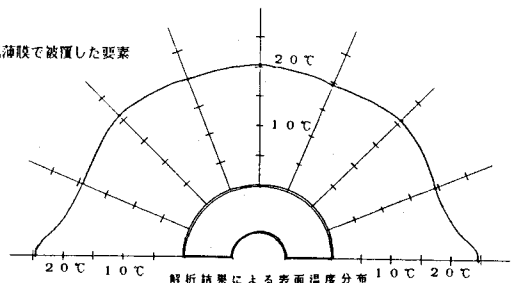


断熱材の熱伝導率 0.033kcal/mh℃
 金属被覆材の熱伝導率 13kcal/mh℃
 要素<11>~<14>の表面熱伝達率 kcal/m²h℃
 円筒内部の温度 300℃
 円筒外部の温度 20℃



$r_1 = 10\text{cm}$
 $r_2 = 20\text{cm}$
 金属被覆厚 5mm

半円筒断面の境界を金属薄膜で被覆した要素



4. あとがき

現在までの断熱及び線形問題と仮定した表面の放散熱計算は良好な結果が得られている。GAUSSの求積法による数値積分においても円筒状の形状程度ならば積分点は3×3×3で非常に精度良く計算できる。今後は、表面熱放散を非線形問題として解析できないかを検討したい。

5. 参考文献

- 【1】佐川 渉(1980)、原子力プラントにおける断熱設計、断熱材の開発・選定と用途別効率的、断熱工法経営開発センター出版部、458-473
- 【2】矢川 元基(1983)、流れと熱伝導の有限要素法入門、培風館