

繰り返し荷重を受けるR/C冷却塔の挙動

徳山高専 正員 〇原 隆
 豊橋技科大 正員 加藤 史郎
 松江高専 正員 大屋 誠
 豊橋技科大 前田佐登男

1. まえがき

鉄筋コンクリート冷却塔は発電所や化学プラントで生じた温排水を常温に冷却するための装置であり、大型の鉄筋コンクリートシェル構造である。大型のものは高さ150m、のど部直径70mの双曲型であるにも関わらずわずかに厚さ20cm程度である。このため、このような構造は自重のみならず風荷重や地震荷重などに対する安全性の検討が必要である。著者らは有限要素法を用いて、静的な荷重に対してこの鉄筋コンクリート構造の変形特性や終局耐力を分析してきたが、動的な荷重に対する応答挙動を分析することも必要であると考えた。しかしながら、著者らの知る限り、鉄筋コンクリートの繰り返し載荷に対して数値計算に適合するような構成モデルがなく、この分野の問題の数値解析による検討が遅れている。そこで本研究では、繰り返し載荷を受ける鉄筋コンクリートの履歴モデルを複数の一軸部材で構成された格子モデルで表現し、R/C冷却塔の繰り返し載荷時の挙動を分析した。

2. 格子モデル

本研究では退化シェル要素を用いた有限要素解析を行った。また、シェルの厚さ方向への応力分布を表現するために積層化手法を採用した。各荷重段階における要素剛性を計算するために、コンクリート要素は各積分点において格子モデルをもとに応力履歴を求めた。また、鉄筋は配筋方向のみにバイリニアな剛性を有する層として剛性の計算を行った。図-1に格子モデルを示す。モデルは4本の一軸部材とその部材の端点を結ぶ8本の環材から構成される。さらに、環材内部はそれぞれ4本の軸部材で構成されている。多軸応力状態のもとでのコンクリートの挙動は複雑であり、とりわけ繰り返し荷重の作用のもとでは従来の構成モデルでは数値解析が困難である。そこで本研究ではこの複雑な挙動を格子モデルの各軸部材の挙動に置換し、エネルギー的等価なモデルを構成し、数値解析に適用した。図-2に Saentz[1]の提案した応力履歴に基づく一般的な軸部材の応力ひずみ関係を示す。また、図-3にせん断力の影響を受けることが大きい環材の鉛直材の応力ひずみ関係を示す。

3. 解析モデル

図-4に本解析に用いた鉄筋コンクリート冷却塔を示す。モデルはPort Gibson タワーで高さ約150m、平均シェル厚は20cmである。数値解析においては半断面を対象とし、周方向に8分割子午線方向に12分割した。また、板厚方向にコンクリート8層鉄筋4層の層モデル化を行った[2]。また、支持条件としては下端をピン支持とし、上端を自由とした。荷

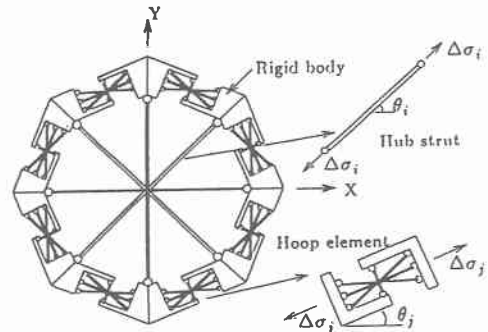


図-1 格子モデル

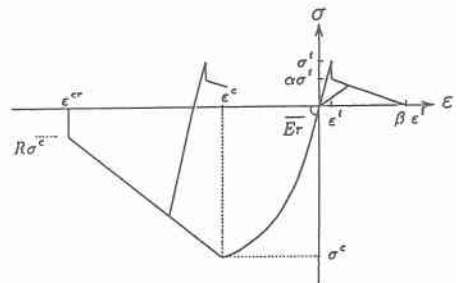


図-2 軸材の応力履歴

重は自重並びに風荷重とし、自重を載荷した後に風荷重を図-5に示す荷重履歴で準静的に作用させた。荷重並びに詳細な材料特性は文献[2]を参照されたい。

4. 数値解析結果および考察

図-6に片振り載荷した場合の風上側の子午線上のどの部の水平変位を示す。ループを描いているのが繰り返し載荷の場合の応答である。図中の番号は図-5の荷重履歴の点に対応している。また、同様に単調載荷時の荷重変形応答も示す。繰り返し載荷時の変形応答の包絡線は単調載荷よりもやや小さいが同様の傾向を示している。また、各荷重段階における剛性は徐々に低下し、コンクリート要素の全ひび割れ時の剛性に近づいていることを示している。

図-7に両振り載荷の場合の荷重変位応答履歴を示す。対称な繰り返し荷重履歴に関わらず変位応答は一方に偏っている。これは初期載荷においてコンクリートシェル面に大きな変形が生じ、この変形が影響しているためである。また、このモデルでは鉄筋量が適切に配置されているために一方の荷重の載荷の後、鉄筋が降伏した後も逆方向の載荷に対して安定を保持している。

5. まとめ

本研究では繰り返し荷重を受けるR/C冷却塔の応答解析を有限要素法を用いて行った。本解析手法は複雑なコンクリートの応力履歴を単純な軸部材の応力履歴で近似できるため、R/C構造の繰り返し耐力、耐震評価に有効な手法であると思われる。

【参考文献】

- [1]Kabaila K. ACI Journal Vol.61 pp1227-1239 1964
[2]Hara T. et.al Engineering Structures Vol.16 pp171-180 1994

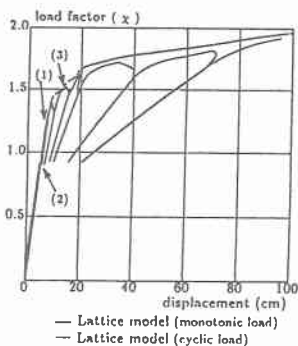


図-6 荷重変形応答(片振り)

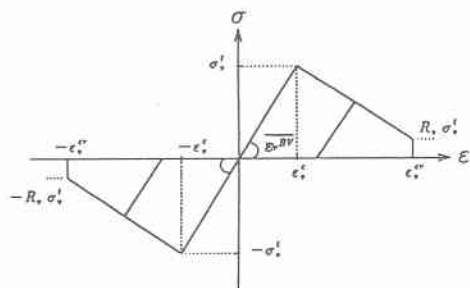


図-3 せん断力を負担する部材の履歴

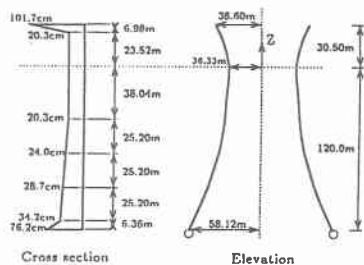


図-4 解析モデル

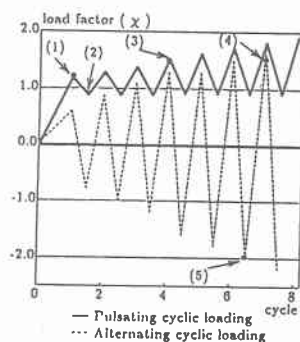


図-5 荷重履歴

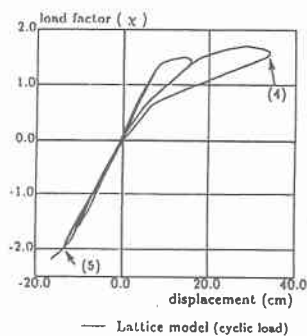


図-7 荷重変形応答(両振り)