

II - 41

有限要素法による3次元数値波動水槽の構成に関する研究

川崎製鉄（株） 正会員 高須賀丈広
京都大学工学研究科 正会員 宇都宮智昭

京都大学工学研究科 フェロー 渡邊英一
京都大学工学研究科 正会員 杉浦邦征

1. 研究目的

従来の浮体構造物の波浪応答解析に関する研究では、周波数領域での定常応答を求めることが中心であり、時刻歴応答解析を行っているものは数少ない。そこで本研究では、流体-浮体構造物をとともに有限要素法によりモデル化し、浮体構造物の過渡応答解析を行うための手法を開発することを目的とした。

2. 研究手法

本研究では、有限要素法に基づく波浪場解析に組み込むことができる開境界処理手法として Fig.1 に示すように、単一周期の波だけを吸収する Sommerfeld 境界と流体運動に減衰を与えて入射波をエネルギー的に吸収するスポンジ層で構成される数値消波フィルター¹⁾を導入する。また、圧力の境界条件を水槽端部で与えることで造波し、上述の数値消波フィルターと組み合わせることで3次元数値波動水槽を構成する。その際、汎用有限要素プログラム ABAQUS を用いた。

3. 数値波動水槽の検証

①数値水槽内の水面変動量についての検証

長さ 200m×幅 10m×水深 40.0m の数値水槽を構成した。次に、数値水槽左端部において Airy 波理論から導出される圧力の境界条件を与えることで造波すると同時に、水槽右端では Sommerfeld 境界を使用し波を吸収した。発生させた波の諸元を Table 1 に示し、定常状態になった $T=40.6(\text{sec}) \sim T=41.0(\text{sec})$ の空間波形を Fig.2 に示す。但し図の横軸は造波面からの距離を表し、縦軸は水面変動量を表す。Fig.2 より発生させた波は数値水槽内を伝搬していることが分かる。また、Fig.2 から定常状態で反射波の影響が全く見られないことから、発生させた波は Sommerfeld 境界で充分吸収されていることが分かる。

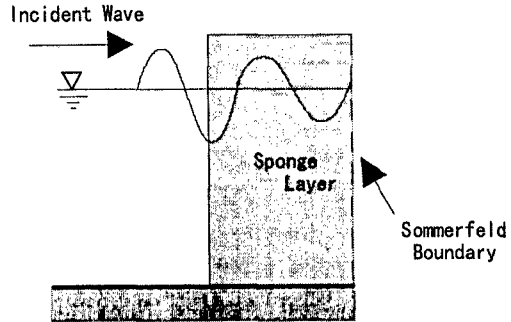


Fig.1 数値消波フィルター

Table 1 発生させる波の諸元

波長(m)	振幅(m)	波数(m^{-1})	周期(sec)
20.0000	0.0010	0.3142	3.5797

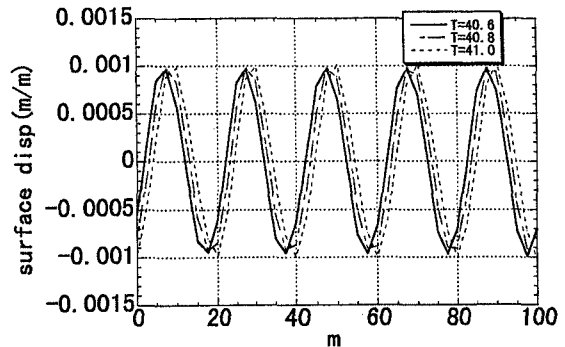


Fig.2 水槽内の空間波形

Table 2 入射波の諸元

波長(m)	振幅(m)	波数(m^{-1})	周期(sec)
28.0000	1.0000	0.2244	4.2361

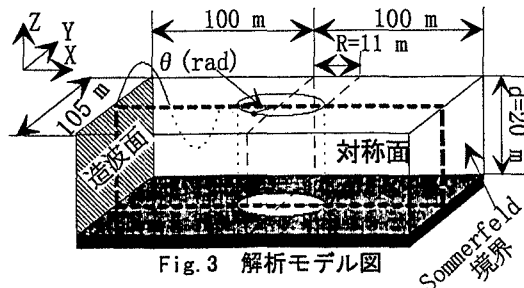


Fig.3 解析モデル図

Key Word 浮体構造物, 過渡応答解析, 3次元有限要素法, 数値消波フィルター, 数値波動水槽
〒606-01 京都市左京区吉田本町 Tel 075-753-5079 Fax 075-753-5130

②円柱周りの動的圧力に関する検証

Fig.3に示すように、長さ200m×幅105m×水深20.0mの数値水槽を構成し、半径11.0mの着定式円筒構造物をその中央に配置する。また、Table 2に示す波を水槽左端から発生させ、円柱構造物と水面が接する部分の動的圧力を算定し、理論値と比較した。その結果をFig.4に示す。但し、解析モデルの対称性から図のように対称面を設け、半円柱周りの動的圧力を算定した。また、図の縦軸は円柱周りの動的圧力であり、横軸は半円柱周りの節点位置を $\theta(\text{rad})$ で表したものである。この図より本解析で算定された円柱周りの動的圧力と理論値から算定される動的圧力はよく一致していることが分かる。

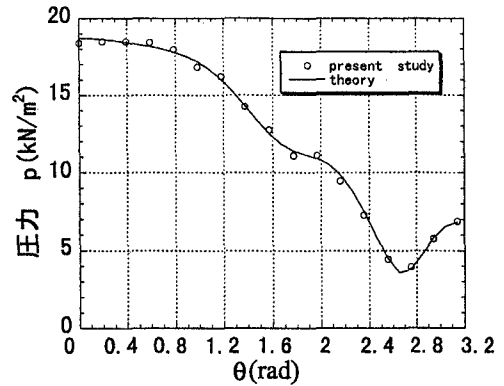


Fig. 4 円柱周りの圧力分布

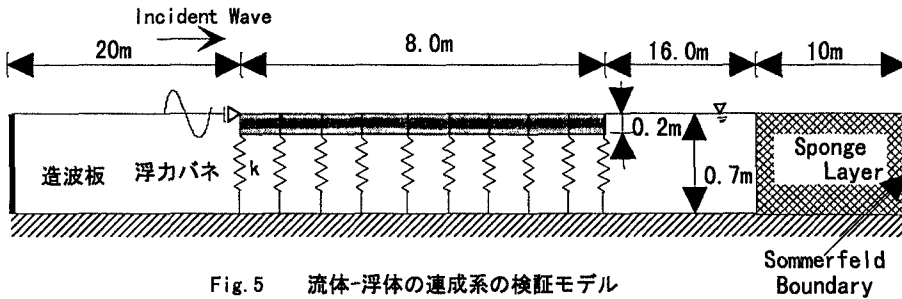


Fig. 5 流体-浮体の連成系の検証モデル

③流体-浮体構造連成系問題に対する検証

まず、Fig.5に示すように長さ54.0m×幅0.4m×水深0.7mの数値水槽に、全長8.0m、幅0.4m、喫水0.2mの弾性浮体構造物（単位幅当たりの曲げ剛性 $EI=5000 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ ）を設置する。次に、Table 3に示す波を水槽左端から発生させ、水槽内が定常状態に至った時の浮体の鉛直方向の動揺量を、本研究で開発されたM.E.E.Mプログラム（周波数領域解）で算定したものと比較した。その結果をFig.6に示す。但し、M.E.E.Mプログラムは2次元浮体解析プログラムであるため、本検証では3次元構造物を断面2次元問題と同一と見なせるようにモデル化を行った。また、Fig.6の横軸は浮体前端からの距離を表し、縦軸は浮体の鉛直方向の動揺量を表す。この図よりFEMで算定した浮体の鉛直方向の動揺量がM.E.E.Mプログラムで算定したものとよく合っていることが分かる。

Table 3 入射波の諸元

波長(m)	振幅(m)	波数(m^{-1})	周期(sec)
2.3313	1.0000	2.6951	1.25

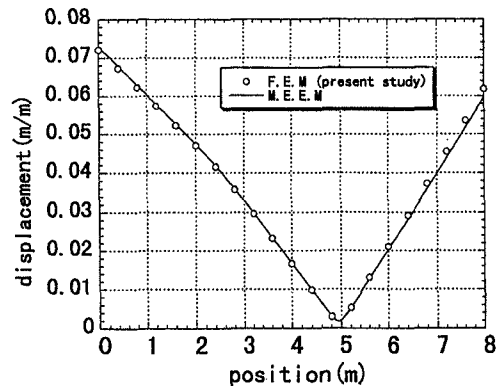


Fig. 6 全長8.0mの弾性浮体に波長2.33mの波を入射させたときの浮体各点の鉛直変位

4.結論

本研究で行った3つの検証から、本研究で用いた開境界手法、流体要素並びに造波システムは有効であり、有限要素法を用いて3次元数値波動水槽を構成できることが分かった。

参考文献

- 1) 大山 巧, 灘岡和夫: 数値波動水槽における開境界処理のための数値消波フィルターの開発, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 16-20, 1990.