

第 I 部門 連続ポンツーン型浮体橋の合理的設計法に関する研究

京都大学大学院 正会員 ○宇都宮智昭
 京都大学工学部 上田 英司
 京都大学大学院 フェロー 渡邊 英一

1. はじめに

コンクリート製ポンツーンを連続させて、その甲板を道路として用いる形式の連続ポンツーン型浮体橋は、既に米国で多くの実績があり、また我が国でも検討実績があるが、波浪作用によって生ずる断面力の推定にあたっては、簡易的方法によっているのが実情である。現状、我が国の検討例では、ミューラーの式による事が多いと思われるが、厳密には浮体橋の弾性応答の影響を考慮することが必要である。

そこで、連続ポンツーン型浮体橋の波浪作用による断面力の合理的算出法の開発を目的として、ミューラーの式による解析法¹⁾、浮体動揺を剛体として考慮した二次元理論による解析法^{2), 3)}、ならびに浮体を FEM 弾性はりとしてモデル化し、流体力には断面二次元での値を用いるストリップ法を用いる方法の3つの解析法によって断面力をそれぞれ求め、それらの適用性について比較検討する。

2. 動揺解析

長さ 100m、幅 19.7m、喫水 6m、高さ 7.42m の矩形断面のポンツーンを対象とし、これが 20m の一定水深の海域に係留されている場合を考える。緩係留を想定し、解析は自由浮体に対しておこなう。ただし、長軸方向の動揺(Surge)は拘束されているものとする。浮体の長軸に対する入射角 $\alpha=45^\circ$ のときの、浮体の Sway, Heave, Roll 方向の応答値を、□ FEM 解析値、○特異点分布法による三次元厳密計算、◆二次元理論計算により求めた値をそれぞれ図 1～図 3 に示す。(グラフの縦軸は応答値 z /波振幅 ζ 、ただし、Roll 応答はラジアン値、横軸は周波数 f (Hz)) 図 1 及び図 2 において、周波数が低くなると応答値は波振幅 ζ に近づいている。また、図 3 において、周波数が低くなると応答値は 0 に近づいている。これらの応答値結果より、長周期の波が入射する際、浮体は波の動きと同調している。これは周波数領域における浮体動揺の基本的特徴を表している。

二次元計算は簡易的な方法にも関わらず、ほぼ厳密計算と似た傾向となっており、概略検討には十分に用いられる。また FEM 解析値は弾性影響により二次元計算と異なった値となっているが、ほぼ妥当と考えられる応答値となっている。

3. 断面力の比較

浮体の長軸に対する入射角 $\alpha=45^\circ$ のときの、周波数が変化した場合と、周波数が $f=0.1$ [Hz]において浮体の長軸長さが変化した場合について、◆FEM 解析値、■ミューラー式での計算値、▲二次元理論により縦曲げモーメントの最大値を求めた。

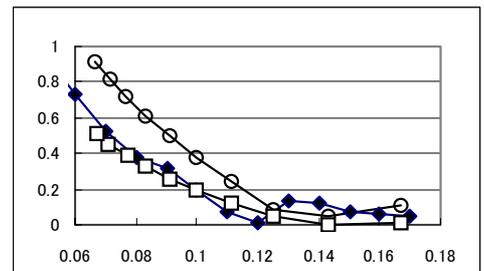


図 1 Sway 応答値

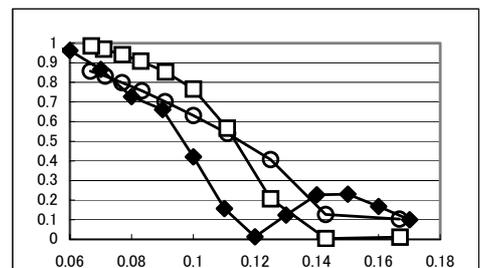


図 2 Heave 応答値

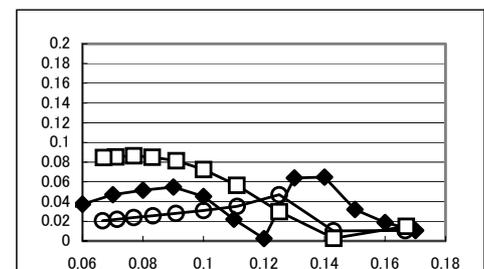


図 3 Roll 応答値

図4は、縦軸に縦曲げモーメントの最大値の無次元値 $M/\rho g B L^2 \zeta$ をとり、横軸に周波数 f (Hz) をとった図である。図4より、短周期の波が入射した際は、二次元理論により求めた断面力値は、FEM解析値に近い値が出ている。一方、長周期側では、二次元理論（剛体）による曲げモーメント値は、ミューラー式あるいは弾性を考慮したFEM解析値と比較してもかなり大きな値となっている。弾性影響を考慮しないと過大な縦曲げモーメントが与えられる一例といえる。

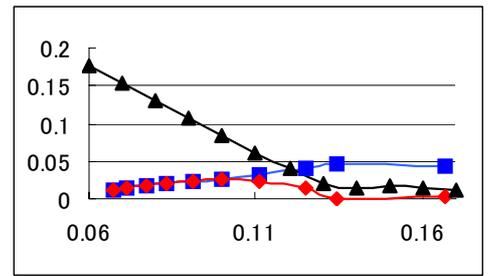


図4 周波数変化による縦曲げモーメントの最大値の変化

図5は、縦軸に縦曲げモーメントの最大値の無次元値 $M/\rho g B L^2 \zeta$ をとり、横軸に浮体長 L [m] をとった図である。図5より、入射波の波長に比べ浮体長が長いほど、二次元理論値はFEM解析値に近い値となる。また、いずれの解析値とも浮体長が長くなるほど縦曲げモーメントの無次元値は小さくなっているが（分母の L^2 のため）、絶対値そのものは必ずしも小さくなっている訳ではないので注意する。いずれも、弾性影響を考慮したFEM解析値が最も小さくなっており、連続ポンツーン型浮体橋の設計モーメントを計算する場合においては、FEM梁モデルを用いた弾性解析を実施するのが合理的であることが分かる。

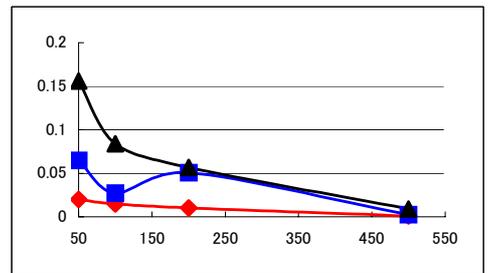


図5 浮体長変化による縦曲げモーメントの最大値の変化

4. 結論と今後の課題

本研究では、浮体橋モデルに対し、周波数が変化した場合のミューラーの式による断面力計算、浮体動揺を考慮した二次元理論による応答値計算、周波数が変化した場合の断面力計算、FEMモデルによる応答値解析、及び周波数が変化した場合の断面力解析上記3手法による計算値の比較検証、浮体橋モデルの浮体長変化に伴う断面力、特に縦曲げモーメントを各手法で解いた計算値の比較検証を行った。解析結果より、ミューラー式や二次元理論（剛体モデル）により求めた断面力値は、FEM解析値よりも安全側の結果ではあるが、浮体橋建設の際の経済性を考慮すると、設計の際、ミューラー式や二次元理論による断面力値を用いるのは適当でないといえる。

今回、浮体動揺を考慮した二次元理論により運動方程式を解いて求めた応答値は、FEM解析による応答値解析値とほぼ同じような結果を描いている。しかし、二次元理論による断面力計算値に関しては、入射波が長周期の場合はミューラー式による断面力計算値よりもかなり過大な結果が出た。

ミューラーの式および二次元理論を用いての断面力計算は非常に簡易であり、FEM解析よりも安全側であるが、先に述べたように断面力の算定には必ずしも適さない。ここで示した、FEM解析と二次元理論（ストリップ法）を組み合わせる方法は比較的簡易ながらも合理的な方法と考えられ、さらにより厳密な解析解との比較をおこなうことで、その妥当性を検証することが必要である。

参考文献

- 1) 財団法人 沿岸開発技術研究センター：浮体構造物技術マニュアル, 1991
- 2) 上田茂, 白石悟：大形矩形浮体の浮浪中の動揺と係留力に関する研究(第2報), 港湾技術研究所報告, 第19巻, 第3号, pp 105-145, 1980. 9
- 3) 上田茂, 白石悟, 石崎崇志：箱型浮体の波浪による断面力の計算法, 港湾技術研究所報告, 第31巻, 第2号, pp 75-107, 1992. 6