

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○辻尾 大樹
 京都大学防災研究所 フェロー 高山 知司
 京都大学防災研究所 正会員 安田 誠宏
 京都大学大学院工学研究科 学生員 谷口昇太郎

1. はじめに

海岸構造物が暴波来襲時に支持地盤内に沈み込む被害が顕在化している。その原因として高波浪による防波堤前面の洗掘等が挙げられているが、筆者らは高波浪の作用によるマウンド直下地盤の液状化の可能性に着目している。

本研究は、高知港東第一防波堤において、2003 年と2004 年に実施した、自由地盤(P)と防波堤直下地盤(法先自由地盤 P1, 洗掘防止工下 P2, 消波ブロック下 P3, ケーソン直下 P4)における水圧と間隙水圧の応答観測に加え、VOF-FEM 法による間隙水圧の波浪応答に関する数値計算を行い、高波浪時の防波堤基礎地盤内における間隙水圧の波浪応答を明らかにするものである。

2. 高波浪における間隙水圧の波浪応答観測の概要

本観測では、P 地点には水圧計(海底地盤面を基準として+0.5m)と間隙水圧計(-0.67m, -1.0m, -2.0m)を、P1 地点には水圧計、間隙水圧計(-0.6m, -2.0m)を設置し、P2~P4 地点においては、地盤内 3 深度(-0.6m, -1.0m, -2.0m)に間隙水圧計を設置して観測を実施した。

観測データの解析方法として、移動平均法を用いて、水圧データを波浪成分、潮位変動成分、長周期波成分に分離し、間隙水圧データを水圧変動成分(潮位変動成分+長周期波成分)、振動成分、残留成分に分離している。また、間隙水圧振動成分の減衰傾向を示す振動成分振幅比 $\bar{p}_e^{(i)} / \bar{p}_o^{(i)}$ についても算出している。

3. 観測結果

T0416 号, T0423 号に伴い、それぞれ数日間の連続観測を実施した。代表的な観測データ特性を、T0310 号の観測データを含めて以下に示す。

表 1 観測した台風の波浪特性

	海象計H _{1/3}	海象計T _{1/3}	P1地点Hmax
T0310	10.0m	13.0s	5.51m
T0416	10.2m	13.5s	4.80m
T0423	12.5m	16.4s	6.25m

3.1 水圧変動特性

観測時の台風による波浪特性は表 1 に示している。

3.2 過剰間隙水圧短周期変動特性

T0416 号観測時の振動成分振幅比を図 1 に示す。図から、観測期間に P3 地点以外ではほぼ一定の減衰を示すが、P3 地点では大きな変動が見られる。これは観測した 3 台風に共通している。この振幅比の変動と有義波周期の関係を調べたところ、周期 12~16s で大きな減衰を示し、周期 8s 程度では減衰が小さくなることがわかった。P1 に対する P3 の振幅比と周期の関係を調べ、P3 地点は周期 12~16s で重複波の腹、8s 程度では節に位置し、また、-2.0m の振幅は周期にかかわらず、P1 の 0.5 程度を示すことがわかった。このことから、P3 地点の振幅比の変化は周期に依存する重複波モードの変化によって、上層 2 深度の振幅は変化するが、-2.0m の振幅が変化しないことによって生じたと考えられる。

また、各地点における振動成分の位相差を明確にするために相関係数を調べ、T0416 観測時の P2~P4 の相関係数時刻歴を図 2 に示す。図から P2 地点(P, P1 も同様)では 1.0 のよい相関が見られるが、波高の減少過程で P3 と P4 地点の相関が低くなる。これは 3 台風に共通する特性である。この相関の低下は構造物下に位置する P3, P4 地点では、波浪による構造物運動の影響に

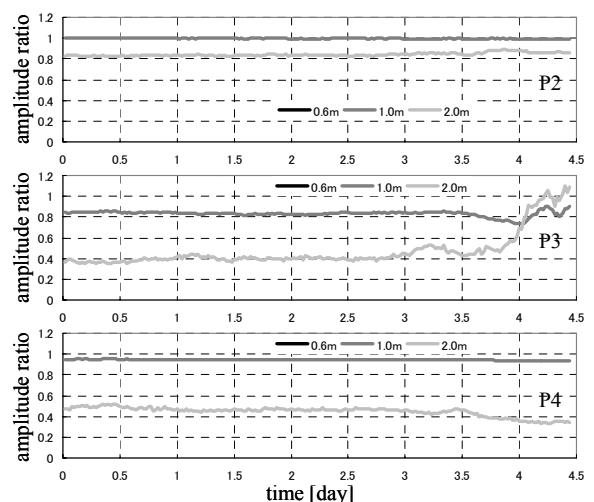


図 1 T0416 観測時の鉛直振動振幅比

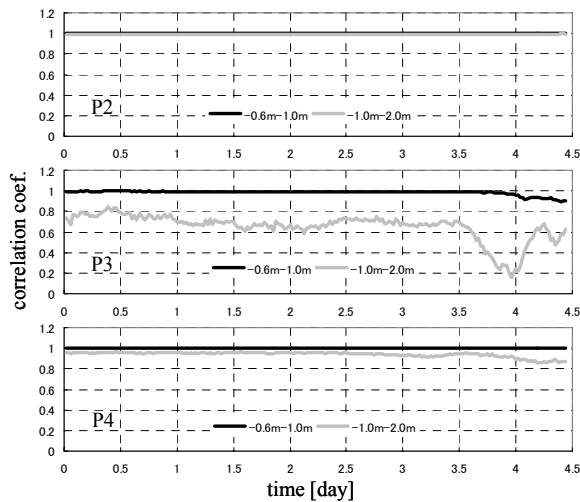


図2 P2～P4 地点の振動成分相関係数(T0416)

よって生じていると考えられる。

3.3 残留変動特性

残留成分中の長周期で変動する成分である残留変動成分と来襲波浪の波群特性の関係について調べるため、周波数スペクトル解析を行った。解析結果によると、波群のピークにかかわらず、全地点で 60s 程度の波群、P3, P4-2.0m では 80s 程度の波群大きく影響を受けることがわかった。

3.4 残留間隙水圧特性

残留間隙水圧には前節の残留変動成分と徐々に蓄積する平均的成分があり、T0310, T0416 観測時には、平均的成分は発生せず、数十秒の周期で変動する残留変動成分のみ発生していたが、T0423 観測時の P, P2 地点では平均値の上昇(最大で 0.4kPa 程度)を観測した。

4. 数値計算の概要と計算結果

4.1 計算方法

本研究では、CADMAS GEO-SURF(高橋ら, 2002)を用いて間隙水圧の波浪応答の数値計算を行った。本モデルでは、流体部は VOF 法からなる CADMAS -SURF によって、地盤部は Biot の 2 相弾性理論に基づく弾性 FEM プログラムによって解析し、流体部と地盤部を連成させたものである。

4.2 重複波モードの周期特性

振動振幅の水平方向比(P1 の振幅に対する各地点の振幅の比)と周期の関係を観測値と共に図 3 に示す。図から周期と重複波モードの関係を本計算により再現しているが、P3-2.0m における周期 12～16s 時の大きな減衰は再現できていない。これは地盤特性を把握できていないためと考えられる。

4.3 ケーソン運動による影響

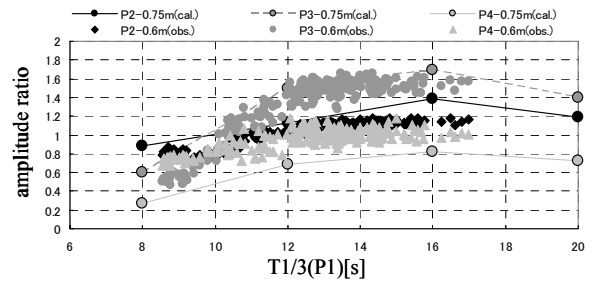


図3 振幅水平比の計算結果と観測値の比較

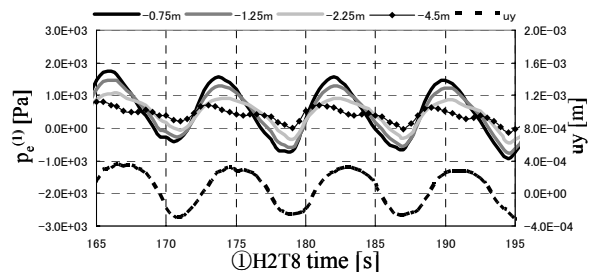


図4 P4 地点のケーソン変位と間隙水圧変動

P4 地点における振動成分相関係数の低下を調べるため、波浪によるケーソン運動が考慮できるモデルで計算した。波高 2m 周期 8s での計算結果を図 4 に示す。図から、-2m 以深の間隙水圧変動がケーソン運動の影響を受けて、地盤表層の間隙水圧変動との間に位相差が生じており、観測結果をよく再現している。

5. おわりに

防波堤基礎地盤内における間隙水圧の波浪応答観測と数値計算によって得られた主要な結論を以下に示す。

- ・消波ブロック下(P3)での振幅比の減衰傾向の変化は来襲波浪の周期に依存する重複波モードの変化に起因していると考えられる。
- ・構造物下地盤内の上層 2 深度と -2m の間で観測された位相差を含んだ変動は波浪による構造物の運動によって生じていることを数値計算によって明らかにした。
- ・来襲波浪の波群特性と残留変動成分には密接な関係があり、残留変動成分は周期 50～60s の波群周期に大きく影響を受け、上載構造物下地盤の深さ -2.0m では 70s～80s の波群周期にも影響を受けることがわかった。
- ・防波堤基礎地盤内で発生する残留間隙水圧は最大でも 2kPa 以下であり、液状化が発生する可能性は極めて小さい。

参考文献 高橋重雄・鈴木高二朗・村西佳美・磯部雅彦 (2002) : 波・地盤・構造物の相互作用に関する U- π 形式 VOF-FEM (CADMAS GEO-SURF) の開発, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp.881-885.