

## II-1

## 防波堤堤頭部近傍の流動構造に関する実験的研究

日本データサービス㈱ 正 員 加藤雅也  
 北海道大学工学部 ○学生員 奥村悠樹  
 北海道大学工学研究科 正 員 渡部靖憲  
 北海道大学工学研究科 フェロー 佐伯 浩

## 1. はじめに

防波堤の設計手法は、既存の形状に関しては概ね確立されていると考えられているが、防波堤の被災は近年減少しているもののほぼ毎年発生しているようである。運輸省では、防波堤の被災事例を「被災防波堤集覧」として取りまとめているが、被災原因に関する詳細な検討は記述されていない。そこで、高橋ら(1999)は、ケーソン式混成堤の主要な被災パターンについて取りまとめた結果、防波堤の蛇行災害や堤頭部の局所的な被災が比較的多いと報告している。防波堤の蛇行災害や堤頭部の局所的な被災は、防波堤開口部を中心とした波・流れ場の三次元空間変動に起因していると考えられ、より信頼性、経済性の高い防波堤を構築するためには、設計段階においてそのような空間変動特性を考慮する必要がある。蛇行災害については、伊藤ら(1971)の研究により、構造物先端からの回折波の影響による堤体前面波高の増大や防波堤背後へ回り込む回折波と防波堤前面の波との位相差が原因であることが示されている。一方、堤頭部の被災原因については、国栖ら(1986)、木村ら(1996)等によるマウンド構成材の安定性に注目した研究やB.M. Sumer et al.(1997)による防波堤堤頭部の局所洗掘に関する研究等があるが、いずれの研究も構造物周辺の詳細な流動構造やその堤体本体への影響までは示されていない。渡部(1999)は、Large Eddy Simulationにより波動場における矩形構造物まわりの渦構造や圧力変動について検討しているが、計算負荷の制約から構造物の堤長や開口幅が短い条件での検討に限定されている。また、計算結果の妥当性について実験や現地観測と直接比較検討していない。そこで、本研究では、水理模型実験により防波堤堤頭部近傍の流動構造を調べ、今後の数値計算による検討や防波堤設計に資することを目的とした。

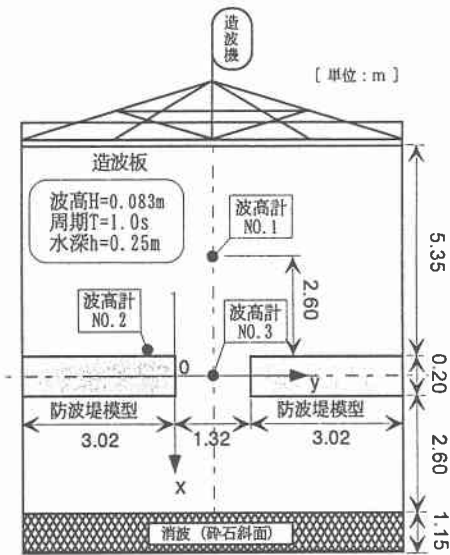
## 2. 実験および解析方法

実験は、北海道大学大学院工学研究科沿岸海洋分野実験室内の平面水槽を用いて行った。図-1に水槽および防波堤模型の諸元と計測器の配置ならびに解析に用いた座標系を示す。本実験では、最も基本的な形状として、マウンドは設けず堤体を水平床上に設置した。また、水深と入射波を一定とし、水深  $h=0.25(\text{m})$ 、波高  $H=0.083(\text{m})$ 、周期  $T=1.0(\text{s})$ 、波向きは防波堤に対して直角に入射する方向について行った。この条件で開口部の大きさは概ね入射波1波長に相当する。図-1(b)、(c)に示すように、堤頭部近傍を水平方向に2cm間隔、鉛直方向4水深について、計測器形状の制約により測定できない位置を除いた計723点の流速を、SonTek社製3次元超音波流速計を用いて計測した。データは、造波開始から15秒間、波高計、流速計ともにサンプリング周波数20Hzで収録した。

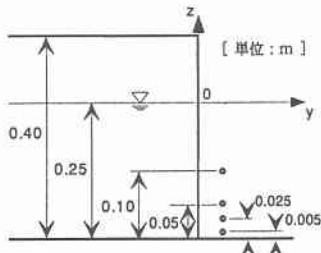
全ての計測データについて波高計No.1のデータを用いて位相を合わせた後、波高計No.3のデータで4波目の一周期分のデータを用いて解析した(図-2参照)。これは、造波機がフラップ型規則波造波装置で吸収制御機能をもたないため、多重反射等による影響の無いデータを使用するためである。

---

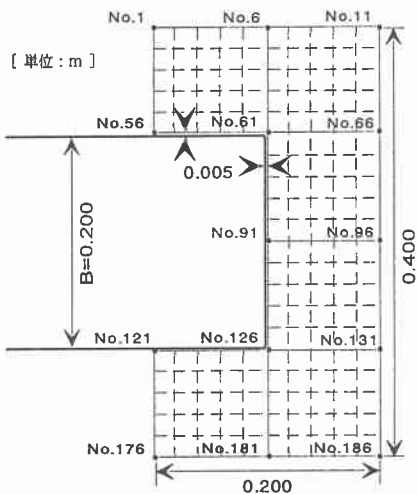
Experimental study on flow pattern around the head of a breakwater  
 by Masaya KATO, Yuki OKUMURA, Yasunori WATANABE and Hiroshi SAEKI



(a) 実験装置



(b) 流速測定点 (断面)



(c) 流速測定点 (平面)

図-1 実験装置と計測点

### 3. 実験結果および考察

図-3に、 $z/h=0.9$ の $x-y$ 平面における1周期平均流速分布を示す。平均流の特性を把握することは堤体近傍の底質移動や生態系への影響等を考える場合に重要である。本実験条件では、堤体沖側端部の沖側近傍と岸側端部周辺に堤体に沿った速い流れが起こっている。また、堤体沖側と開口部岸側付近に時計回り、堤体岸側に半時計回りの小規模な循環流が観られる。なお、これらの傾向は、計測した水深位置全てにおいて概ね同様であった。

図-4, 5に、 $z/h=0.6$ の $x-y$ 平面流速分布を示す。ここで、図-4は図-2に示す①の位相、図-5は⑤の位相の流速分布である。最初に、①の位相の流速分布を調べると、図-4に示すとおり、堤体岸側端部の開口部側で沖向きに大きな流速が発生し、剥離渦の発生を示唆する流動構造が観られる。ただし、入射波の周期が短いため渦の規模は小さい。なお、ここには図示していないが、この渦は次の②の位相では移流せずにはほぼ同じ位置に残存し、さらに次の③の位相で岸向きの流れにより消散していた。また、堤体沖側端部の沖側でも堤体に沿うように大きな流速が発生し、それとは逆向きの流速が堤体との間に観られることから、極小規模な剥離が起きていると考えられる。ただし、この構造は次の②の位相では消滅していた。次に、⑤の位相の流速分布を調べると、図-5に示すとおり、堤体岸側端部の岸側で大きな流速が発生し、剥離渦の発生を示唆する流動構造が観られるが、あまり明瞭ではない。ただし、次の⑥の位相では堤体岸側端部の岸側に小規模ながら比較的明瞭な渦構造が観られた。また、堤体沖側端部では、前の④の位相で発生した渦が残存しつつも、沖向きの強い流れによって消滅しかけている様子がわかる。以上の平面流速分布構造は、堤体端部で大きな流速が発生する点は他の水深でも同様であるが、底面近傍では剥離渦を示唆するような流動構造は観られなかった。

図-6, 7に、測定点 No.116 の各流速成分の時系列波形を示す。測定点 No.116 は、堤体岸側端部の開口部側で、図-2 に示す位相①で大きな沖向き流れが発生している場所である。図中の  $u$ ,  $v$ ,  $w$  は、図-1 に示す座標系で各々  $x$ ,  $y$ ,  $z$  方向成分である。図-6 は  $z/h=0.6$  で比較的底面から遠く、図-7 は  $z/h=0.98$  で底面近傍の様子を示している。なお、図中には比較のため No.120 の時系列波形も併せて示している。図-6 に示すとおり、岸沖方向流速成分  $u$  は、No.120 に比べると No.116 では堤体の影

響を受けて沖向きに大きな流速が出ているが、両方の計測点共に入射波周期と同じ周期で運動をしている。しかしながら、沿岸方向流速成分  $v$  や鉛直方向流速成分  $w$  を調べると、No.116 では堤体や底面の影響により入射波の周波数に加えて高周波数の乱れが観られる。図-7 も同様な傾向であるが、図-6 に比べて底面に近いため、鉛直流速成分の高周波成分が著しく大きくなっている。一般に、堤体がない波動場では底面近傍の鉛直流速は図中の No.120 の様に極めて小さな流速であるが、No.116 では堤体の影響により底面近傍でも大きな流速が測定された。このような乱れがマウンド構成材の不安定化や底質の移動(局所洗掘)等の一因になっていると考えられる。

図-8, 9 に、測定点 No.136 の各流速成分の時系列波形を示す。測定点 No.136 は、堤体岸側端部の岸側で、図-2 に示す位相⑤で後流域になっていると考えられる場所である。図-8 は  $z/h=0.6$  で比較的底面から遠く、図-9 は  $z/h=0.98$  で底面近傍の様子を示している。なお、図中には比較のため No.142 の時系列波形も併せて示している。図-8 に示すとおり、測定点 No.136 では、沿岸方向流速成分  $v$  には入射波周期による運動成分も比較的明瞭に観られるが、全ての流速成分に高周波数の大きな乱れが観られる。No.116 と同様に No.136 でも、底面近傍では通常の波動成分に比較して著しく大きな高周波成分が測定された。

図-10 に、 $z/h=0.98$  の  $x$ - $y$  平面流速分布の時間変化を示す。図中の等値線は、水平流速の大きさ ( $=\sqrt{u^2+v^2}$ ) を示している。③の位相で堤体岸側端部に岸向きの流速のピークが観られるが、時間の経過と共にピークの位置が堤体の岸側背後に移動しつつ減衰している様子がわかる。逆に、⑦の位相に観られる堤体岸側端部の沖向き流速のピークは、時間が経過してもその位置をほとんど変えずにピーク値を増減している。また、堤体沖側端部に発生する流速のピークも、コーナー近傍にトラップされほとんど移動していない。これは、堤体端部で発生した速い流れと次に進行してくる入射波との干渉により運動がほとんど移流しないためであると考えられる。以上のように、堤体近傍には周囲の波動運動とは明らかに異なる運動領域が存在していることがわかる。

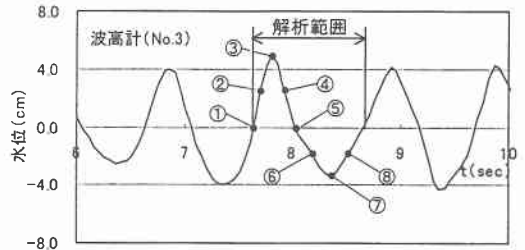


図-2 解析範囲

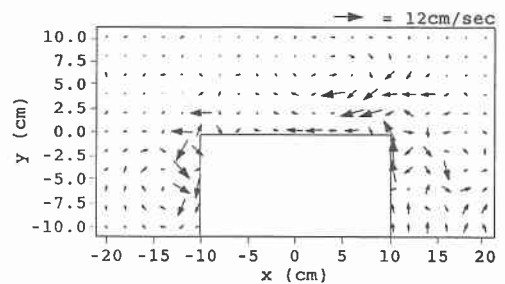


図-3 x-y 平面平均流速 ( $z/h=-0.9$ )

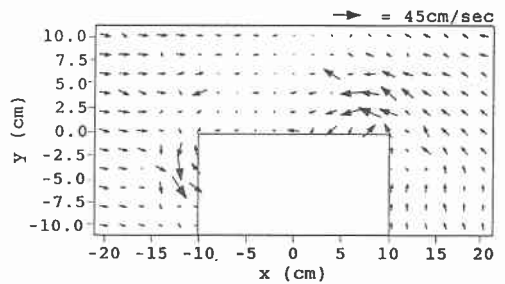


図-4 x-y 平面流速① ( $z/h=-0.6$ )

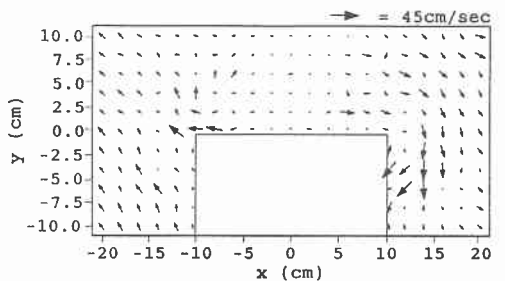


図-5 x-y 平面流速⑤ ( $z/h=-0.6$ )

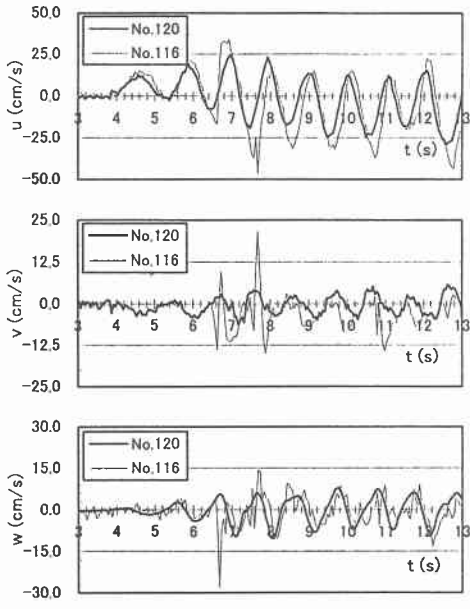


图-6 流速時系列波形  
(No.116&127,  $z/h=-0.6$ )

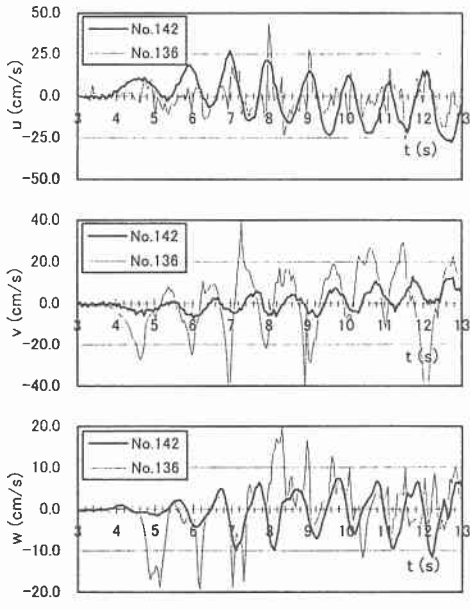


图-8 流速時系列  
(No.136&142,  $z/h=-0.6$ )

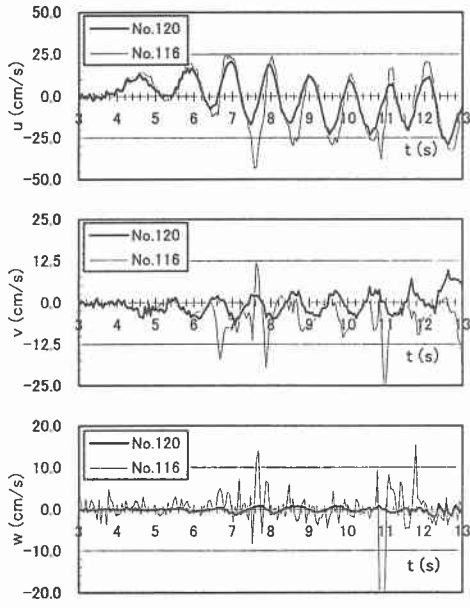


图-7 流速時系列波形  
(No.116&127,  $z/h=-0.98$ )

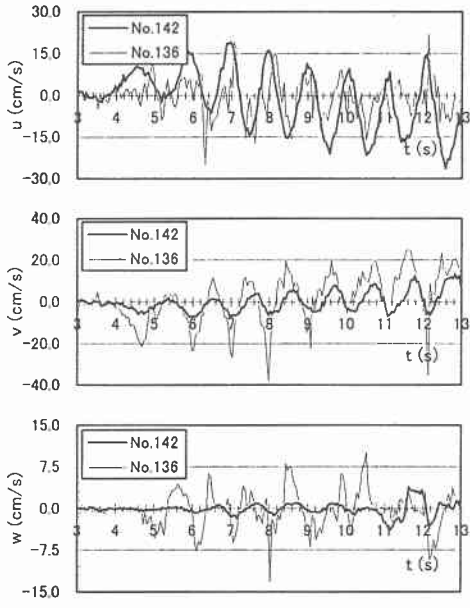
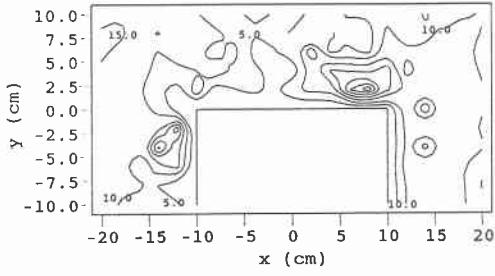
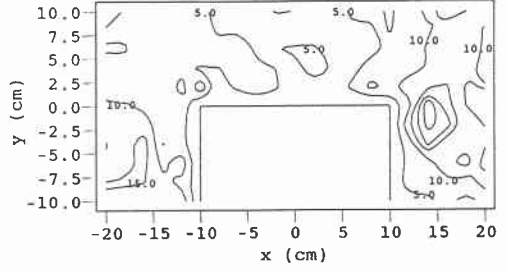


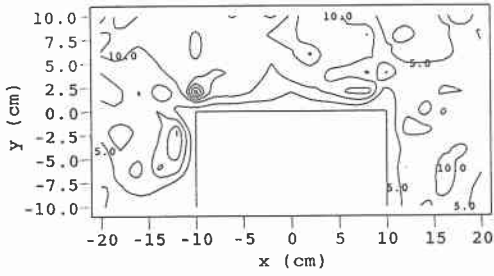
图-9 流速時系列波形  
(No.136&142,  $z/h=-0.98$ )



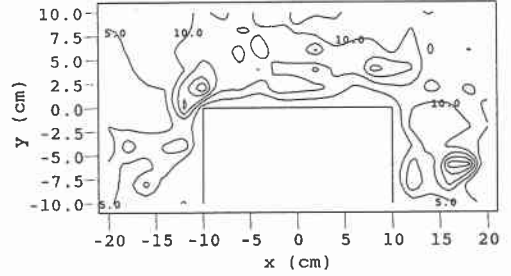
(a) ①の位相



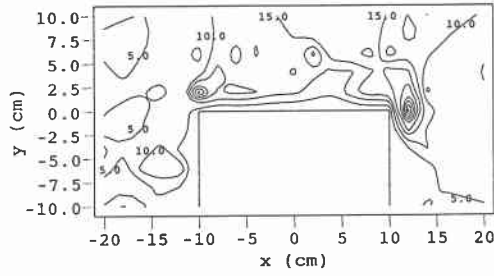
(e) ⑤の位相



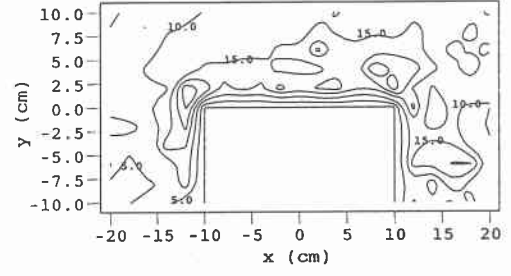
(b) ②の位相



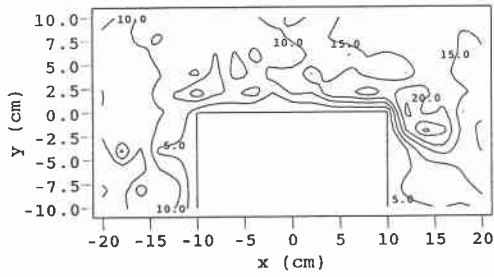
(f) ⑥の位相



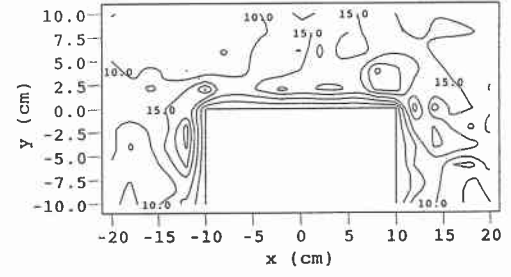
(c) ③の位相



(g) ⑦の位相



(d) ④の位相



(h) ⑧の位相

図-10 x-y 平面流速  $\sqrt{u^2 + v^2}$  ( $z/h = -0.98$ )

#### 4. おわりに

本研究では、防波堤近傍の流動構造の時空間変動を水理模型実験により調べた。その結果、堤体近傍の平均流速分布や流速分布の時間変動特性等を概ね把握することができた。しかしながら、堤体近傍の乱れの構造を調べるためにはさらに詳細な流動構造を調べる必要がある。今後は数値計算や可視化実験等も行い、詳細な流動構造を調べて堤体近傍の乱流構造を明らかにするとともに、堤体やマウンド構成材に作用する流体力の時空間変動特性についても調べていきたい。

#### 【参考文献】

- 伊藤喜行・谷本勝利（1971）：混成防波堤の蛇行災害，港湾技研資料，No. 21，20p.
- 木村克俊・水野雄三・須藤賢哉・桑原伸司・林倫史（1996）：混成堤頭部のマウンド被災特性と被覆材の安定重量算定法，海岸工学論文集，第43巻，pp. 806-810.
- 国栖広志・洞谷邦弘・清水虎重（1986）：混成式防波堤頭部根固め方塊ブロックの安定性に関する研究，海岸工学講演会論文集，第33巻，pp. 437-441.
- 高橋重雄・木村克俊・下迫健一郎・鈴木高二郎・五明美智男（1999）：ケーソン式混成堤の主要な被災パターンについて，海岸工学論文集，第46巻，pp. 816-817.
- 渡部靖憲（1999）：波動場における矩形構造物まわりの渦構造，土木学会北海道支部論文報告集，第55号(B)，pp. 144-147.
- Sumer, B.M. and Fredsoe, J. (1997) : Scour at the head of a vertical-wall breakwater, Coastal Eng., 29, pp. 201-230.