

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.917

June 2016

## 防潮壁の越流時における水位・流速・圧力の計測

内藤 了二・熊谷 兼太郎・浅井 正・鈴木 武

Measurement of height, velocity and pressure of the water overflow over a seawall

Ryoji NAITO, Kentaro KUMAGAI, Tadashi ASAI, Takeshi SUZUKI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan



## 防潮壁の越流時における水位・流速・圧力の計測

内藤了二\*・熊谷兼太郎\*\*・浅井正\*\*\*・鈴木武\*\*\*\*

### 要 旨

本研究は、防潮壁を越流した流れ場の状況を把握するため、背後に堰を設置し、背後水位の条件を変化させた水理模型実験を行なった。実験は、防潮壁周辺の流況や防潮壁に作用する圧力及びナップフローが水叩き部に与える圧力の違いを把握することを目的とした。水理模型実験は、現地の1/10となるように製作した防潮壁模型を水路横断方向に設置し、回流装置で定常的な流れを発生させ、防潮壁を越流した流れを再現した。本研究では、ナップフローが水叩き面に与える圧力の違いを把握するため、背後水位を4種類に変更して水理模型実験を行なった。実験により、防潮壁を越流した流れ場における水位、流速、圧力の状況を把握することができた。

キーワード：海岸保全施設、防潮壁、越流実験、水理模型実験、ナップフロー

---

\* 沿岸海洋・防災研究部 主任研究官  
\*\* 京都大学防災研究所特定准教授（前 沿岸海洋・防災研究部 主任研究官）  
\*\*\* 四日市港管理組合 理事（前 沿岸海洋・防災研究部 沿岸防災研究室長）  
\*\*\*\* 沿岸海洋・防災研究部 部長

## Measurement of height, velocity and pressure of the water overflow over a seawall

**Ryoji NAITO\***  
**Kentaro KUMAGAI\*\***  
**Tadashi ASAI\*\*\***  
**Takeshi SUZUKI\*\*\*\***

### Synopsis

A physical hydraulic model experiment was conducted to understand the behavior of water flowing over a seawall. A steady flow was generated over a 1/10 scale model of a seawall in an experimental flume in order to reproduce an overflow over a seawall. In this experiment, the difference between the water levels in areas before and after the seawall was set large enough that the overflow over the seawall became a nappe flow. The hydraulic pressure at the surface after the seawall beneath the nappe largely correlates to the level of the water before the seawall. Hence, four different water levels before the seawall were tested. This paper reports on the results of measuring the height of the flow at various sections of the flume; on flow velocity around the seawall; and on hydraulic pressures on the vertical and horizontal surfaces after the seawall for each of four different levels of water before the seawall.

**Key words:** shore protection facility, seawall, overflow, physical experiment, nappe flow

---

\* Senior Researcher, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department  
\*\* Associate Professor, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University  
\*\*\* Head of Coastal Disaster Prevention Division Coastal Marine and Disaster Prevention Department, NILIM.  
\*\*\*\* Director of Coastal Marine and Disaster Prevention Department, NILIM.  
National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan  
Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

## 目 次

1. まえがき	1
1.1 本研究の背景と目的	1
2. 実験方法	1
2.1 防潮壁の背後水位現象と実験ケースの考え方	1
2.2 実験施設の概要	2
2.3 防潮壁模型設置	2
2.4 越流実験	4
3. 実験結果	7
3.1 越流量の算定と実験状況	7
3.2 水位の計測結果	8
3.3 圧力の計測結果	10
3.4 流速の計測結果	13
3.5 防潮壁背面水位と圧力の関係	15
4. まとめ	15
謝辞	16
参考文献	16
付録 A 圧力計の詳細配置図	17
付録 B 各実験ケースにおける計測点位置、計測結果一覧表	19



## 1. まえがき

### 1.1 本研究の背景と目的

防潮壁は、港湾域での背後資産を高潮や津波から防護する施設である。図-1.1に示すように、水際線部より背後に整備される海岸保全施設である。日本は、T.P.約5m以下の地域での面積が国土の3%しか占めていないが、その地域に人口の17%、製造業出荷額等の25%、商業販売額の42%が集積しているため（鈴木，2009）、防潮壁の役割は大きい。

熊谷ら（2011，2014）は、2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査を行なっている。軽微な被害から比較的大きな被害まで、被害の類型を整理している。

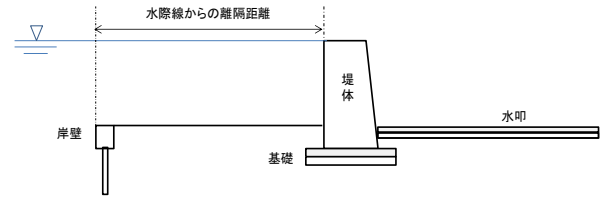
国土交通省では「港湾における防潮壁（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」（国土交通省，2013）では、水理模型実験や数値計算を最大限活用することにより防潮壁の全体安定性を照査することが望ましいとされている。

防潮壁を越流した水流は、津波に限らず、高潮発生時にも生じる現象である。越流した水流が、防潮壁背後の水叩き部地盤を洗掘することによって、防潮堤本体は転倒しやすくなる。一方、越流後の防潮壁背面での水位が高くなれば、防潮壁前面に作用する水圧に対する抵抗力となる可能性があるが、実際に、防潮壁背後での水位や圧力変化の現象を詳細に把握した実験例は少ない。

さらに、防潮壁越流時の水脈流（以降、ナップフロー）が、水叩き部に与える圧力を水理模型実験で確認した事例が少ない。仮に設計水位を超過し、防潮壁を越流した流れが発生すると、背後地盤の洗掘が発生することが懸念される。その際、防潮壁が粘り強く機能するか否かという観点からも、水理模型実験を行なう意義は大きい。

本研究では、防潮壁を越流した流れ場を詳細に把握するため、背後に堰を設置し、背後水位の条件を変化させた水理模型実験を行なった。水理模型実験では、防潮壁に作用する圧力とナップフローにより水叩き部に与える圧力の違いを把握することを目的とした。

水理模型実験は、国土技術政策総合研究所台風防災実験水路で行なった。防潮壁模型は、現地地の1/10となるように製作した。防潮壁模型を水路横断方向に設置し、回流装置で定常的な流れを発生させ、防潮壁を越流した流れを再現する。主な計測内容は、防潮壁の越流時における水位・流速・圧力である。



- ・水際線からの距離や堤体幅は、設計条件により異なる。
- ・図中左側は防潮壁海側。右側は防潮壁陸側を示す。

図-1.1 防潮壁の概念図

## 2. 実験方法

### 2.1 防潮壁の背後水位現象と実験ケースの考え方

ナップフローの概念図を図-2.1に示している。既往文献による定義（Chanson，2002）を参考にし、本研究での実験条件に併せて作成している。ここに、図中の記号の定義を以下の通り示す。

- $\theta$ : 水脈の水面への突入角度 ( $^{\circ}$ )
- $d_c$ : 防潮壁模型天端上の水深 (cm)
- $d_b$ : 防潮壁模型の陸側端の水深 (cm)
- $d_i$ : 水脈の厚さ (cm)
- $d_1$ : 防潮壁から堰の間での最小水深 (cm)
- $d_2$ : 地形模型終端部位置での水深 (cm)
- $h$ : 防潮壁模型高さ (cm)
- $h_s$ : 防潮壁模型背面での水位 (cm)
- $P$ : 圧力 ( $N/cm^2$ )
- $\rho_w$ : 水の密度 ( $t/m^3$ )
- $g$ : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

図-2.1に示すように、 $d_1$ は、ナップフローが背後水面に打ち込んだ後の水位が最も低くなる地点での水深である。 $d_2$ は、水路計測部の送風機側の端を0とする水路長軸方向座標の  $x=20.80$  m 位置での水深である。

本研究では、ナップフローが水叩き面に与える水圧の違いを把握するため、背後水位を4種類に変更して、水理模型実験を行なった。

実験ケースの考え方は、表-2.1に示すとおりである。表中の堰高さは、各ケースでの越流堰の設置高さとし、 $d_1$ 、 $d_2$ の水深は実測値とした。

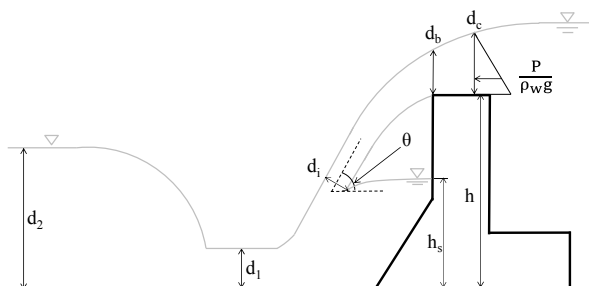


図-2.1 ナップフローによる背後水位の概念図

表-2.1 実験ケースの一覧

	堰高さ (cm)	d <sub>1</sub> (cm)	d <sub>2</sub> (cm)
ケース1	1	1.7	2.0
ケース2	4.9	5.8	10.7
ケース3	6.0	8.4	11.9
ケース4	7.8	11.4	13.7

## 2.2 実験施設の概要

実験施設の配置は図-2.2に示すとおりである。実験水路（計測部28.5 m）と回流装置が配置されている。水理模型実験では、越流は回流装置を使用して発生させた。回流装置の能力は、ポンプ出力30 kW、流量200 l/sである。

防潮壁模型は、清水港（静岡県静岡市）の海岸保全施設を模擬し、当該施設のふ頭を模擬した矩形箱を実験水路内に設置した。

防潮壁模型の縮尺は1/10とした。水平方向と鉛直方向の縮尺が同じである歪みなしの縮尺とした。

防潮壁模型の配置とその概略図は図-2.3に示すとおりである。台風防災実験水路内に高さ290 mm、幅1500 mm、全長1820 mmの耐水ベニヤ製の台を設置し、その中央付近に高さ171 mm、水路横断方向幅1500 mm、天端幅50 mmの亚克力製の防潮壁模型を設置する構造である。

実験に使用した計測機器を以下に示す。水位は、ポイントゲージ（ケネック社製 PH-102）を用いて計測した。流速の計測は、電磁流速計（ケネック社製、本体部:VM-706H-4、検出部:VMT2-200-08PL）とプロペラ流速計（ケネック社製、本体部:VO2103、検出部:VOT2-100-05N）を用いて計測した。圧力は、圧力計（エス・エス・ケイ社製、本体部:M-101D、検出部:P310-02）を用いて計測した。実験状況は、ビデオカメラ（Panasonic社製、HDC-TM85）を使用して記録した。

## 2.3 防潮壁模型設置

### (1) 防潮壁模型の設置位置

防潮壁模型設置位置は、図-2.2に示す位置に設置した。模型設置の全体拡大図を図-2.3に示す。図-2.4には、回流ポンプ稼働時の水位変化の概略図を示す。防潮壁模型の海側は目標水位に合わせてるとともに、防潮壁模型陸側は背後水位を調整するため、図-2.4中の矩形箱より低い水位となる必要がある。回流装置は、防潮壁模型陸側の水をポンプで吸い込み、防潮壁模型海側に吐き出す仕組みである。したがって、模型設置位置が陸側に寄り過ぎると吸い込む水が枯渇してしまうため、できる限り沖側の位置に模型を設置することとした。この条件を満たす位置は、水路の中央付近での位置となった。

図-2.3には、模型配置の拡大図を示す。実験状況の観察及び撮影には、防潮壁模型付近と防潮壁模型背後を捉えるため、水槽ガラス面に防潮壁模型からふ頭を模擬した矩形箱が収まるように配置することとした。

計測位置等は図-2.2及び図-2.3中に示す座標系で表示した。x (m)は水路計測部の送風機側の端を0とする水路長軸方向座標、z (cm)は地形模型地盤面を0とする鉛直上方向とした。

### (2) 防潮壁模型の設置

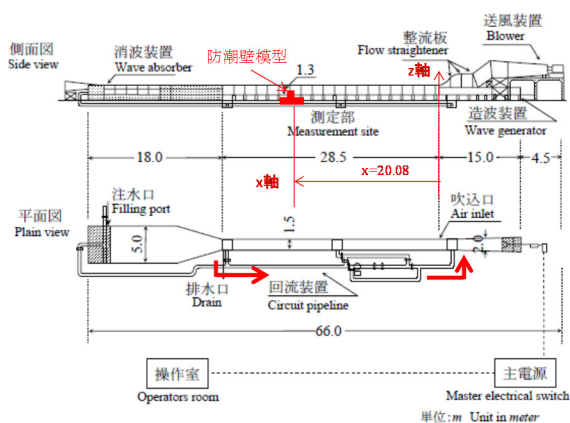
ふ頭を模擬した矩形箱の浮上防止のため、重錘を用意した。運搬や設置作業の安全性を考慮して、重錘1個あたりの重さを約5 kgとした。重錘は約5 kg/個を22 個用意し、材質は鋼材（SS400）とした。重錘の矩形箱への設置状況を図-2.5に示す。実験水路への模型設置に際して、模型と水槽ガラス面に間にわずかな隙間が生じる。そのため、模型設置の際に水密性を高める必要がある。止水用として、網戸用の押えゴムを埋め込むことにより水密性を高めた。隙間の幅は場所により異なり、5～10 mm程であった。それぞれの隙間の幅に合った太さのゴムを用意し、隙間に埋め込んだ。押えゴムを設置したのは矩形箱の上面と海側の面及び防潮壁模型部分とした。実験中は、防潮壁模型の海側の水位が高く陸側の水位が低い場合、海側から陸側に水圧差が作用する。そこで、図-2.6に示すように海側から防潮壁模型を補強した。補強部材は十分な強度を得るために材質を厚さ2.3 mmの鋼材（SS400）とし、切断・穴あけを行い、折り曲げ加工した補強材を模型に設置した。

ふ頭を模擬した矩形箱の陸側端部には、背後水位調整用の越流堰を設置した。矩形箱の陸側端部に鋼製の溝形鋼を取り付け、耐水合板の越流板をボルトで溝形鋼に押し付けて固定した。越流堰の設置状況は図-2.7のとおり



である。

越流時の防潮壁模型背後の空隙部分を確保するため防潮壁模型背後にはベンチレーションを取り付けた。材料は塩化ビニール管VP13（直径18 mm）とし、防潮壁模型の後方に設置した。下端は防潮壁模型天端より約2 cm 下。上端は水槽上レール付近とし、水位に関わらず空気の供給がなされるよう配慮した。図-2.8には、最も背後水位の高い条件の状況を示しており、ベンチレーション機構が有効に機能していた。



・計測部の起点から、水平方向  $x=20.08$  m の位置に防潮壁模型（図中赤凸部）を配置。赤矢印の方向は、回流装置の水流方向を示す。

図-2.2 実験施設の配置図

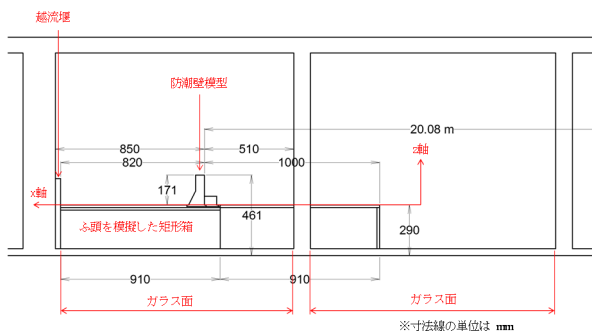


図-2.3 模型配置の拡大図

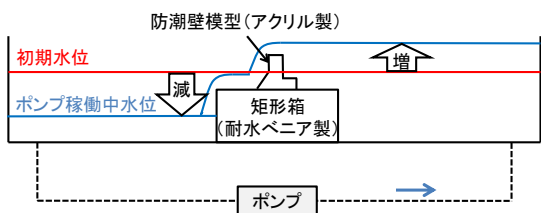


図-2.4 ポンプ稼働時水位のイメージ

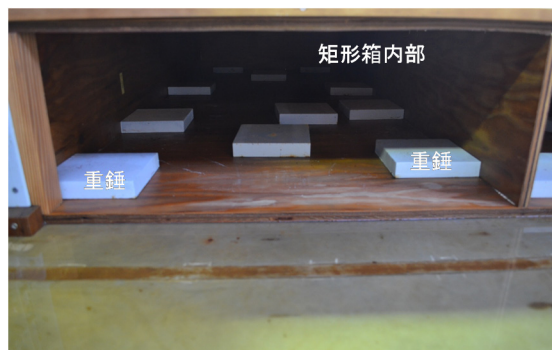


図-2.5 矩形箱浮上防止用重錘

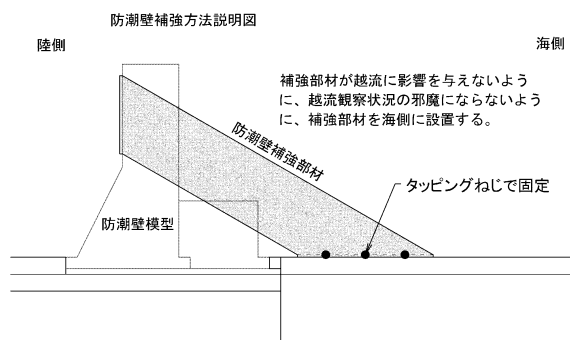


図-2.6 防潮壁模型の補強方法

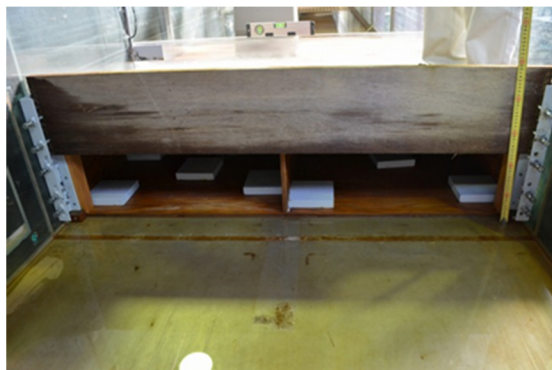


図-2.7 越流堰設置状況



図-2.8 ベンチレーション機構

## 2.4 越流実験

### (1) 計測項目と計測位置

水位、流速、圧力の計測位置の概略図を図-2.9に示す。計測位置の断面位置(x1~x11)を図中下部に示している。なお、実験ケースによっては、計測位置が異なる点もある。各計測地点での設定内容の解説を表-2.2に示す。水位の計測地点は、図-2.9に示すH1地点からH10地点の計10地点である。H1地点は、防潮壁模型海側より沖のx1断面位置で計測した。H3地点は、防潮壁模型天端上x5断面での位置、H5地点は、防潮壁背後のx8断面位置であり、H6地点は、H5地点直上でのナップフロー表面位置で計測している。H8地点は、ナップが背後水面に突入するところの水位(d<sub>1</sub>)であり、H9地点(d<sub>1</sub>)は、防潮壁から堰の間(x10断面)での最も低い位置で計測した。H10地点(d<sub>2</sub>)は、地形模型終端部のx11断面での位置で計測した。

流速の計測地点は、図-2.9に示すV1地点からV18地点の計18地点である。海側のx1断面位置での計測点を選定するため、予備実験を行った。予備実験では水路床

1 cm, 2 cm, 5 cm, 10 cmと水面まで流速を計測し、流速の鉛直分布を求め、その中から流速分布が近似できる地点を選出し、これらの6地点で計測した。海側x2断面の位置では流量検定の際に求めた流速鉛直分布から流速鉛直分布が近似できる地点を選出し、これらの5地点で計測を行なった。防潮壁模型天端上(d<sub>c</sub>)x5断面の位置では、防潮壁天端上の1 cm, 水深の中央部, 水面から下に1 cmの3地点で計測した。防潮壁模型陸側端(d<sub>b</sub>)では水脈の厚さを考慮して水深を3分割した2点を計測することとした。水深の1/3地点と2/3地点の2点で計測した。ナップ中の流速は、x7断面の位置で計測した。ナップが背後水面に打ち込んだ場所の流速は、x9断面の位置で計測し、地形模型終端部(d<sub>2</sub>)では、x11断面の位置で計測した。

圧力の計測地点は、P1からP20の20地点である。防潮壁背後底面部(x8断面からx11断面の区間)のうち、水叩き面を詳細に計測するため、P15地点からP19地点では2 cm間隔で圧力計を配置した。

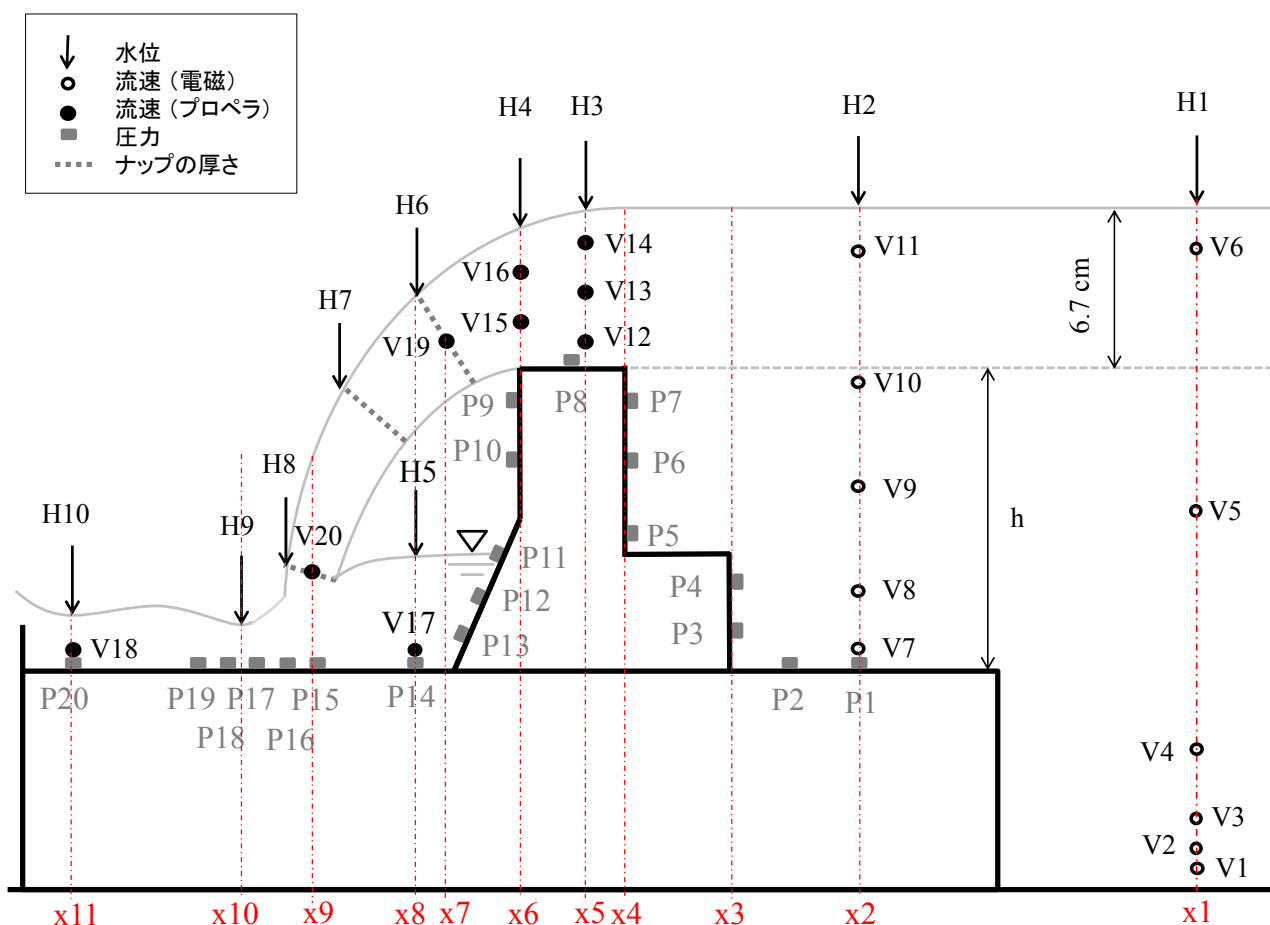


図-2.9 水位・流速・ナップ厚さの計測位置図

表-2.2 計測地点の設定内容の解説

計測点	水路長軸座標 x (m), 断面位置	解説
H1	18.400 ; x1 断面	防潮壁模型海側, 沖の位置での水位
H2	19.500 ; x2 断面	防潮壁模型海側の代表的位置での水位
H3	20.095 ; x5 断面	防潮壁模型天端での水位 (限界水深 $d_c$ と想定される位置, $d_c=d_b/0.715$ )
H4	20.130 ; x6 断面	防潮壁模型の陸側端の水位
H5	20.190 (ケース 1,2,3) ; x8 断面	ナップ内側 (防潮壁模型背後) で代表的水位 圧力計測点 P14 の上 (ケース 1,2,3)
	20.160 (ケース 4) ; x8 断面	平均的水位の場合 (ケース 4)
H6	同上 ; x8 断面	H5 地点直上のナップの表面水位
H7	背後水位により異なる	H6 と H8 の中間地点での水位
H8	背後水位により異なる	ナップが背後水面に突入するところの水位
H9	背後水位により異なる ; x10 断面	防潮壁から堰の間での最小水深位置での水位
H10	20.800 ; x 11 断面	地形模型の終端部位置での水位
V1~V6	18.400 ; x1 断面	H1 地点での鉛直流速分布
V7~V11	19.500 ; x2 断面	H2 地点での鉛直流速分布
V12~V14	20.095 ; x5 断面	防潮壁模型天端での流速
V15,V16	20.130 ; x6 断面	防潮壁模型の陸側端での流速
V17	20.190 ; x8 断面	ナップ内側での流速
V18	20.800	地形模型終端部付近での流速
V19	背後水位により異なる. X7 断面	ナップ中の任意の点の流速
V20	背後水位により異なる. X9 断面	ナップが背後水面に突入する流速
P1,P2	19.500, 19.750 ; x2 から x3 断面の区間	防潮壁模型海側の圧力
P3~P7	付録 A のとおり, x3 から x4 断面の区間	防潮壁模型前面部での圧力
P8	付録 A のとおり	防潮壁模型天端面での圧力
P9~P13	付録 A のとおり, x6 から x8 断面の区間	防潮壁模型背面部での圧力
P14	20.190. x8 断面	ナップ内側での底面部圧力
P15~P19	20.230~20.310. x9 断面	ナップ落下地点周辺の底面部圧力
P20	20.800. x11 断面	地形模型終端付近での圧力

(2) 計測方法

a) 水位計測

ポイントゲージにより水位を計測した。実験水路長軸方向の計測位置は、水路に備え付きのメジャーで位置合わせをした。水面高さは水路壁上の計測台車から水面までの距離をポイントゲージにより計測し、ルール高さ較正の結果を用いて、場所によるルール高さの違いを補正した。

b) 流速計測

流速は、プロペラ式流速計と電磁流速計を用いて計測

した。図-2.9 中の○印が電磁流速計、●印がプロペラ流速計での計測位置である。

プロペラ流速計のアンブでの計測範囲は±3 cm/s～±200 cm/s である。図-2.9 に示す海側の x1 断面での底部 V1 地点～V3 地点, x2 断面の底部 V7 地点では 3 cm/s 以下と流速が遅く、プロペラが十分に回転しないので、プロペラ流速計では計測範囲以下である。また、V1 地点から V11 地点は流速が最大でも 25 cm/s を超えないため電磁流速計の±25 cm/s のレンジで計測を行うことが可能となる。そのため、V1 地点から V11 地点は電磁流速計を用いて計測した。

防潮壁模型天端上及びナップ中では流速が速いため、

電磁流速計を水面に差し込むと水中に空気を巻き込んでしまい、正確なデータを取得できない。そのため、防潮壁模型天端上及びナップ中の流速はプロペラ流速計で計測した。

プロペラ流速計はセンサーと直交方向の一軸しか流速を計測できない。そのため、ナップ中の流速は、水脈と直交方向に流速計を斜めに設置し、流れ方向の流速を計測した。流速計取り付け部には角度調節可能な金具を取り付けた。流速の斜め計測状況を図-2.10に示す。図-2.10は、水面に対して、直交するように角度を調節して固定した状態で流速を計測した状況を示しており、図-2.11は、越流した水脈流中での計測状況を示している。なお、防潮壁模型背後では水中に空気が混入している現象がみられているため、電磁流速計で計測するとノイズが入る。そこで、防潮壁模型の背後側では、プロペラ流速計を用いて流速を計測した。

計測時間と流速の関係を図-2.12に示す。回流装置を立ち上げ、目視により水位の安定を確認後、3分間の流速の変動を計測した。計測位置は、防潮壁模型海側のx2断面位置での水面下2cmである。短周期の細かい流速の振動はあるが、3分間の中で平均流速の変動はなく、水路で様な流れが再現できていた。3分間の全体平均値は16.8 cm/sであった。平均流速の変動量を確認するために20sごとに区間平均をとって全体平均流速と比較した。各区間の全体平均に対する差分と流速変動率（差分を全体平均で割り100を掛けたものと定義）は、最大でも+1.78%であり、非常に小さい。そのためサンプリングタイムは20s以上あれば十分であった。本実験では、精度向上のために計測時間を長くしてサンプリングタイムは100sとした。なお、データサンプリング間隔は、0.05(s)とした。

### c) 圧力計測

防潮壁模型に設置した圧力計の位置図を図-2.13に示す。図中の■部分が、圧力計設置位置を示す。なお、圧力計の詳細な配置図は、付録Aに示した。

圧力計センサーの破損を防ぐために、圧力計を取付け部材に貼り付けて取り付けることとした。その際には、圧力計受圧面を周辺の高さと同合わせて設置した。

これらの条件を満たすために、圧力計は3cm四方の大きさのステンレス板に貼り付け、水圧計の形状をくりぬいたアクリル板をかぶせて圧力計センサーを埋め込んだ。これらの形状・寸法の詳細図は図-2.14に示すとおりである。

防潮壁模型アクリル面への取り付けには、両面テープ

とパイロンテープで貼り付けをした。取付け面が木材の場合には浸水により接着強度が弱まるため、ビス止めにより固定した。取付け状況を図-2.15に示す。

圧力計における計測地点は20点とした。特に、防潮壁模型背後の底面部は、詳細に計測するため、2cm間隔で配置した。なお、圧力計配置の詳細図は、付録Aに示している。

圧力計のデータサンプリング間隔は、0.05(s)、サンプリングタイムは100sとした。圧力計は初期水位の静水状態で0にセットした。そのため、静水状態からの圧力の変化量を計測することとなる。後述する第3章の実験結果では静水状態で水没している圧力計には、計算上の水没分の静水圧を計測値に加算して表示した。

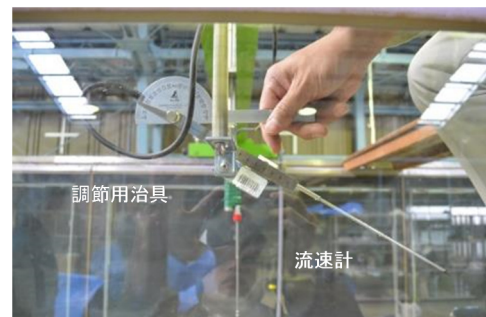


図-2.10 プロペラ流速計の設置角度調節

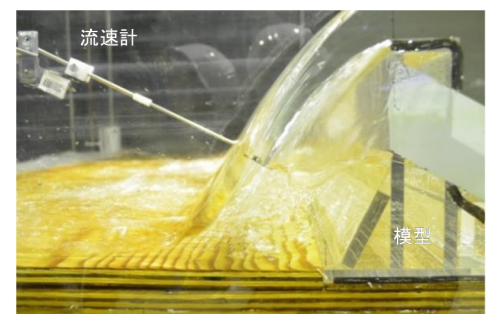


図-2.11 水脈流中での流速測定

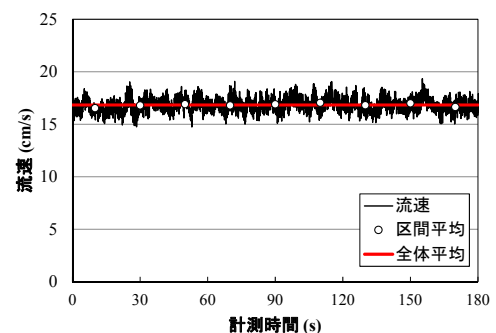


図-2.12 流速変動の計測結果



3. 実験結果

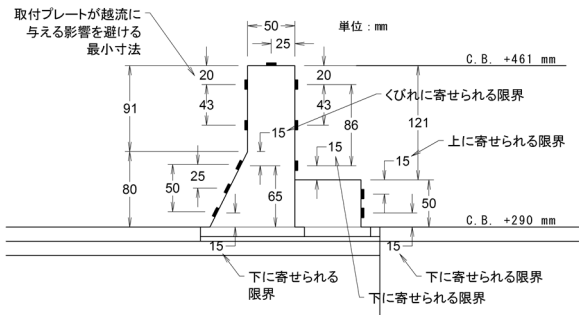


図-2.13 防潮壁模型の圧力計測位置

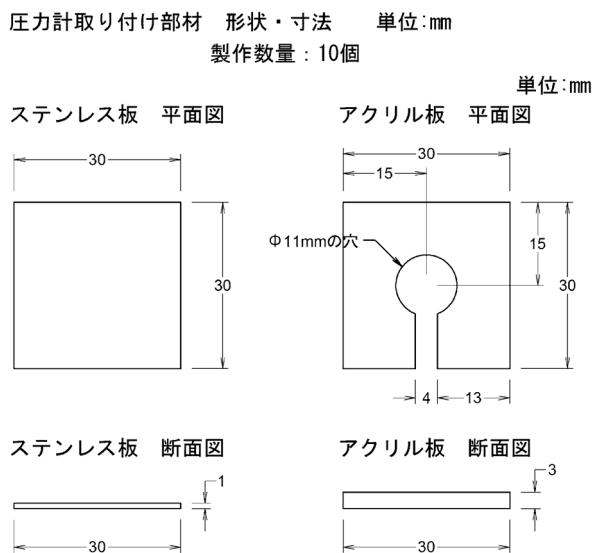


図-2.14 圧力計取り付け用部材の詳細図

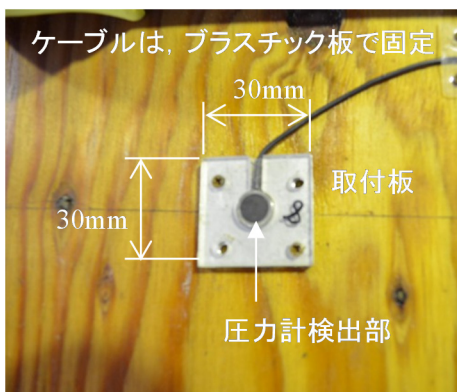


図-2.15 圧力計の設置状況 (底面部)

3.1 越流量の算定と実験状況

防潮壁模型海側（以降、防潮壁海側）における鉛直方向の流速分布より、越流量を導出した。鉛直方向の流速分布をx2断面の位置で計測し、積分することにより通過する流量を求めた。流速の計測箇所は、図-3.1に示す3カ所とした。実験水路手前側ガラス面より20 cmの地点、水路中央地点、水路奥側ガラス面より20 cm地点の3測線で計測している。それぞれの測線で、流速の鉛直分布を計測し、3測線の平均値を流量計算に用いた。計測箇所の水位は、ポイントゲージで計測したところ23.7 cmであった。鉛直方向の流速は、底面から1 cmから2 cmピッチで計測した。流速は、20 秒間での平均値とした。表-3.1に越流量の算定結果を示す。流速は、底面部ほど、流速が遅い結果となっていた。越流量は、表中に示す高さでの流速より、鉛直方向の刻み幅あたりの流量を算出し、それらの合計したところ、越流量は $Q=44.8 \text{ l/s}$ と算定された。

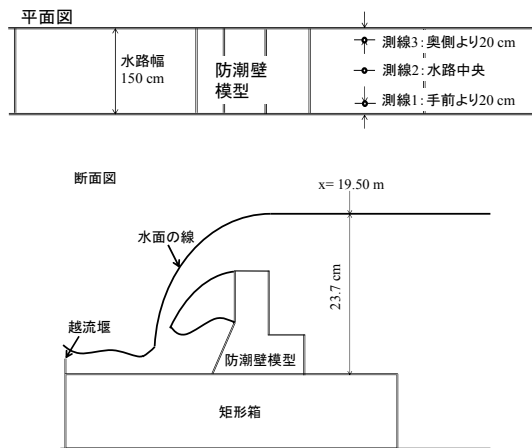


図-3.1 流速計測地点の平面・断面図

表-3.1 流速による越流量の算出

測定高さ (cm)	流速 (cm/s)	刻み幅 (m)	水路幅 (m)	刻み幅あたり流量 (L/sec)
23	16.160	0.017	1.5	4.121
21	16.021	0.02	1.5	4.806
19	15.762	0.02	1.5	4.729
17	15.878	0.02	1.5	4.763
15	15.822	0.02	1.5	4.747
13	15.725	0.02	1.5	4.718
11	15.593	0.02	1.5	4.678
9	14.288	0.02	1.5	4.286
7	12.264	0.02	1.5	3.679
5	8.018	0.02	1.5	2.405
3	4.759	0.02	1.5	1.428
1	1.568	0.02	1.5	0.470
合計				44.830

### 3.2 水位の計測結果

図-3.2には、越流実験状況を示している。ケース1ではナップ落下地点から地形模型終端部（以降、地形終端部）までほぼ同じ水深で非常に速い流れを生じていた。この区間において跳水現象は確認されておらず、この区間の計測範囲では、射流であったと考えられる。ケース2とケース3の場合は、防潮壁から落下した水脈が、大量の気泡を含みながら渦を形成していた。

なお、この渦より下流側では水深が大きくなっていた。跳水現象を生じた地点より下流側では、常流であったと考えられる。ケース4では、防潮壁背面側へ常に大量の水が滞留する現象が観察されていた。さらに、その滞留した場所に、越流したナップフローが、潜り込む現象が観察された。

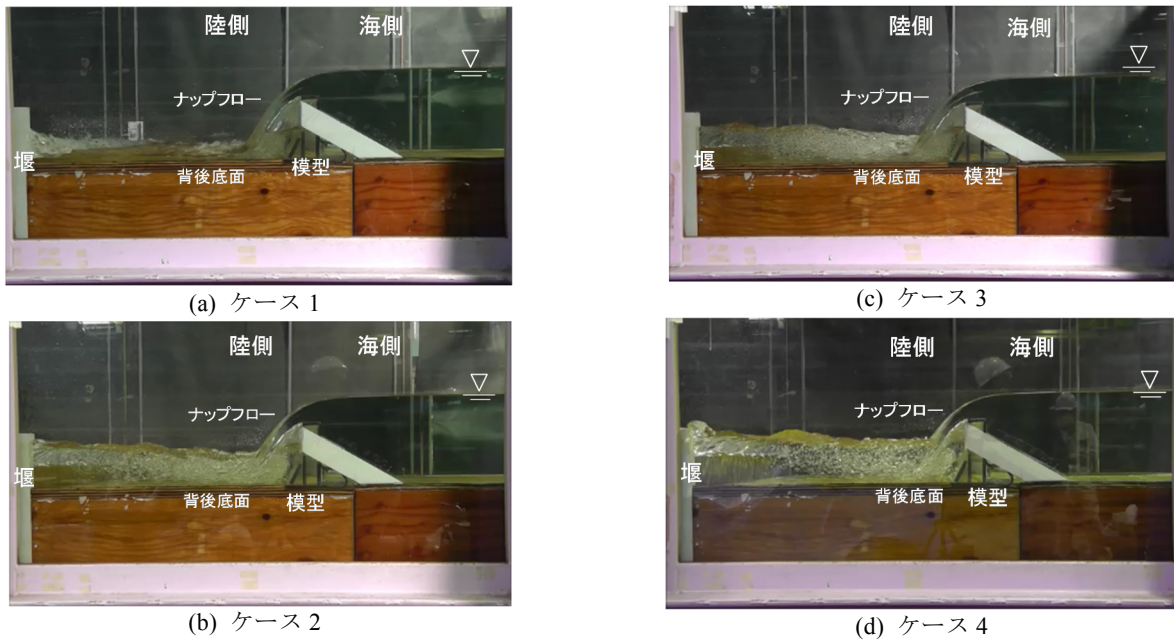


図-3.2 越流実験によるナップフローの状況

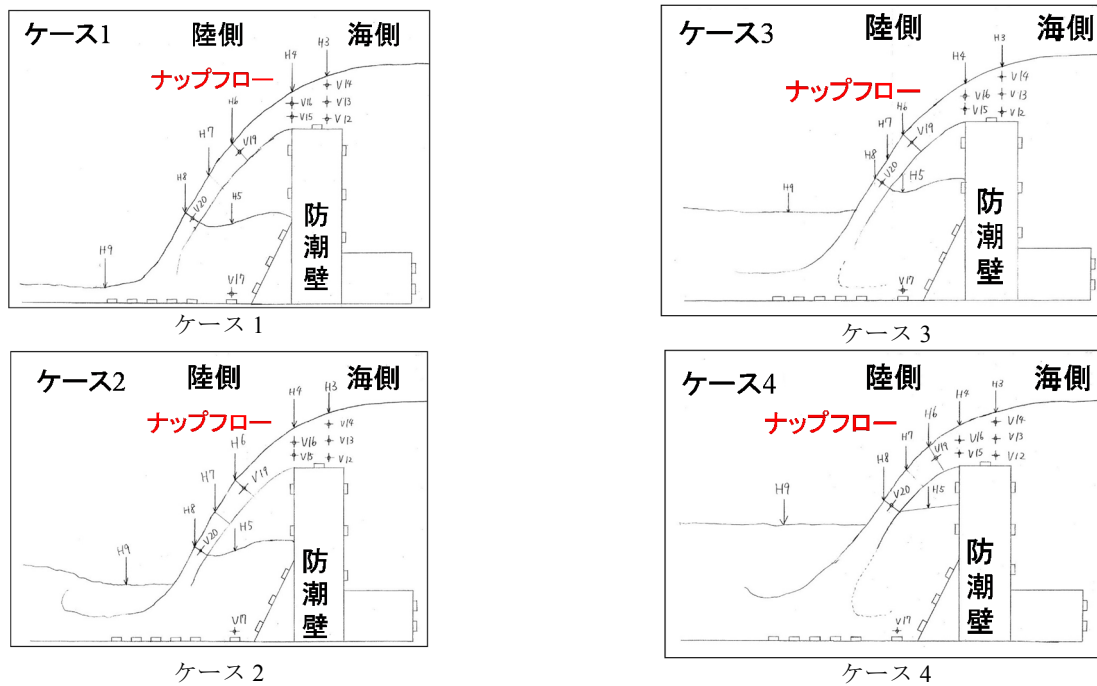


図-3.3 防潮壁陸側での水面と水脈形状の状況

図-3.3は、防潮壁陸側での水面と水脈形状を直接スケッチした図である。水面のラインは、水理模型実験時での観察状況をスケッチしたものである。スケッチは、実験水路ガラス面より直接観察した形状をトレースして図化している。

防潮壁背後部での水面形状は、4ケースで、それぞれ水面の形状が異なっていることが観察された。さらに、ナップフローが水面に打ち込んだ後の渦の形状についても、各ケースで異なっていた。

地形終端部側への水流の状況は、ケース1では、著しく水位が低く、ケース2、ケース3、ケース4の順番に、水位が高くなっている傾向がみられた。

水位の計測結果を、図-3.4に示す。それぞれの計測地点と位置は、第2章で示した図-2.9の通りである。水位計測値の詳細は、付録Cにまとめている。

防潮壁背面付近の●印のプロットは、越流したナップ内側面のx8断面位置での代表的な水位(H5地点)の計測結果を示している。防潮壁より海側からx6断面位置までの区間では、全ケースとも同等の水位を示していた。x10断面位置でのH9地点の水位は、堰高が高くなるにつれ、水位が高くなっていた。x11断面位置でケース1だけ著しくH10地点の水位が低いのは、このケースだけ射流であることに起因するものである。防潮壁から越流堰の区間での(x6断面からx11断面)最小水深 $d_1$ のx座標位置は、ケース毎に異なっていた。

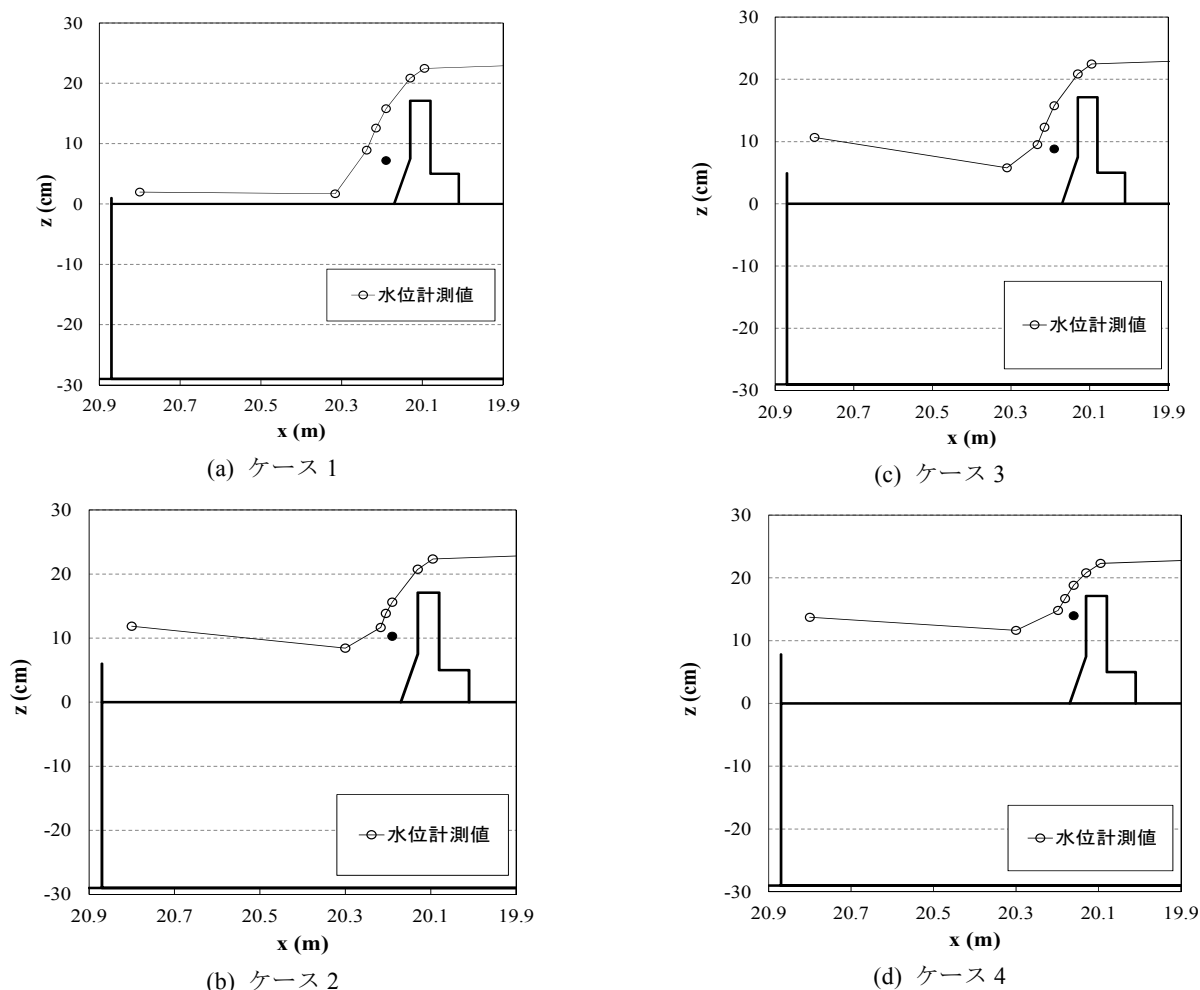


図-3.4 水位の計測結果

### 3.3 圧力の計測結果

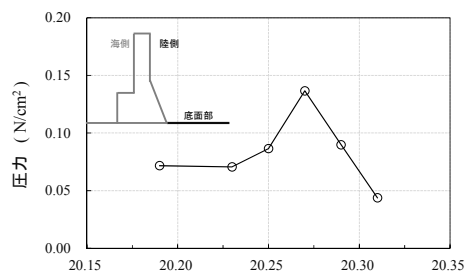
x軸方向の水平距離と防潮壁模型背後底面部（以降，防潮壁背後底面部）での圧力との関係を図-3.5に示した。なお，それぞれの計測地点の位置は，第2章で示した図-2.9の通りである。付録Cには，計測位置と計測値の詳細をまとめている。図中には，x8断面位置のP14地点からx11断面位置までの圧力分布を示した。図-3.6は，x軸方向を拡大して図示しており，地形模型終端部のx11断面位置での結果を除いて図示している。図中の上から順番に，(a) ケース1，(b) ケース2，(c) ケース3，(d) ケース4，(e) 4ケース分の計測結果をそれぞれ示している。

各ケースともに，圧力の最大値は，底面部のP17地点で計測された。この地点においては，ケース1,ケース2の場合は，同様の計測結果であった。ケース3,ケース4と背後水位( $h_b$ )高さの順に，圧力が高くなる傾向がみられており，越流堰と防潮壁の区間での湛水量の増加に伴い，底面部に作用する圧力が高くなっていることが確認できた。ナップ落下地点では，圧力が高く，落下地点からみて防潮壁側（x8断面方向）では，ナップ落下地点（P17）から，防潮壁に近づくにつれ，圧力分布は低減していた。また，ナップ落下地点から陸側になるに従い，圧力分布が低減していた。ナップ落下地点から地形終端部側の圧力分布は，ケース1の場合でP19地点から地形終端部のP20地点を比較すると，他のケースより圧力が低減していた。ケース2とケース3では，x11断面位置での圧力が高くなり，ケース4の場合は，x10断面からx11断面の区間のP19地点とP20地点では同様の結果であった。

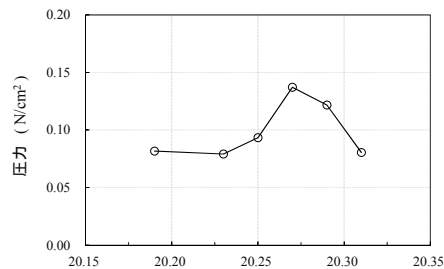
防潮壁天端面付近のx4断面からx5断面までの区間での圧力分布を図-3.7に示す。いずれのケースにおいて，天端面のP8地点（x5断面）での圧力は，P7地点（x4断面）より圧力が低減されていた。

防潮壁陸側の直立部，斜面部（以降，防潮壁背面）での鉛直方向での圧力分布を図-3.8に示す。縦軸zは，圧力計設置地点での水深，横軸の圧力はx6断面からx7断面の区間の計測結果を示している。防潮壁背面部は，天端面から直立部区間と，斜面部区間で構成されている。図中には，防潮壁背面部のP9地点から模型背後斜面部下端のP13地点までの圧力分布を示した。

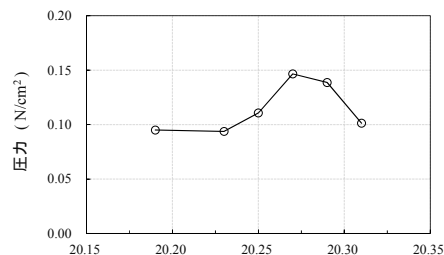
防潮壁海側（以降，防潮壁前面部）のx2断面からx4断面位置での圧力分布を図-3.9に示す。防潮壁前面部は，天端面からの直立部と，直立部より7 cm海側への小段部で構成されている形状である。全ケースで鉛直方向の圧力分布は，水深が深くなるほど圧力が増加していた。



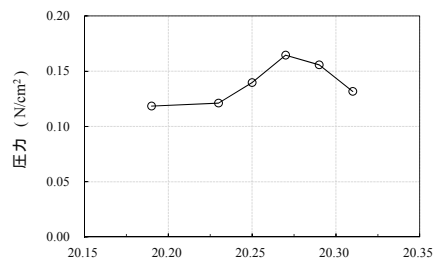
(a) ケース 1



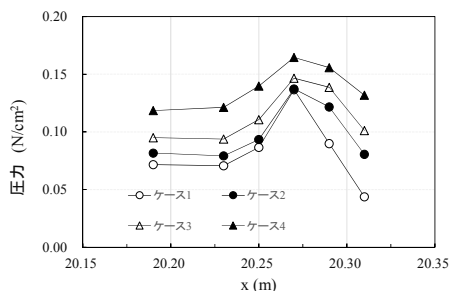
(b) ケース 2



(c) ケース 3



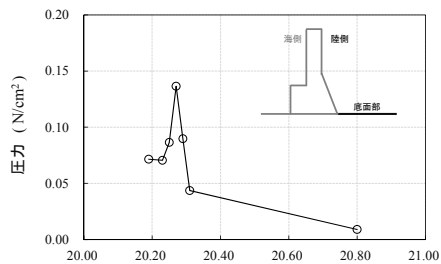
(d) ケース 4



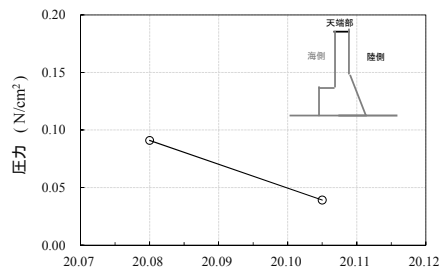
(e) 4 ケース

図-3.5 防潮壁背後底面部の水平距離と圧力（拡大）

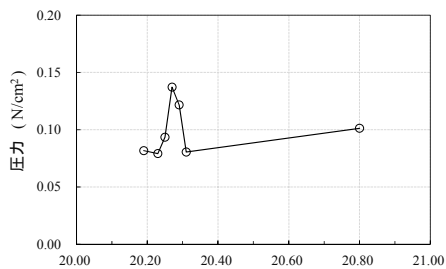




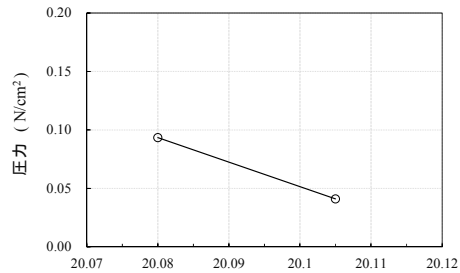
(a) ケース 1



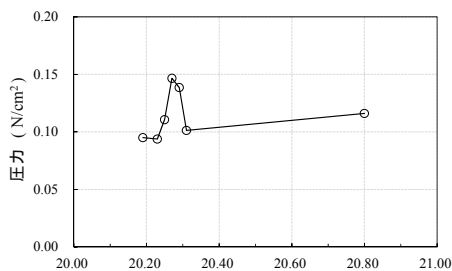
(a) ケース 1



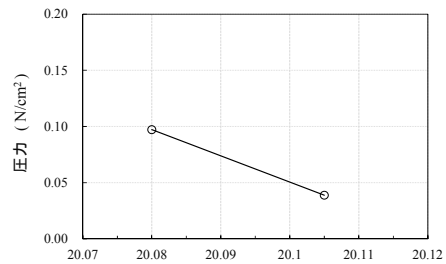
(b) ケース 2



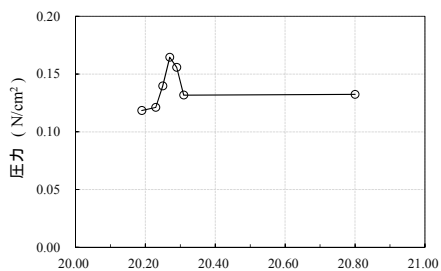
(b) ケース 2



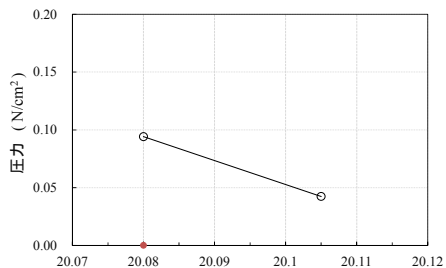
(c) ケース 3



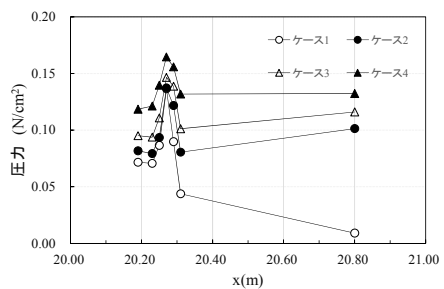
(c) ケース 3



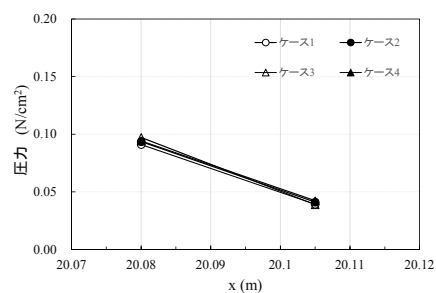
(d) ケース 4



(d) ケース 4



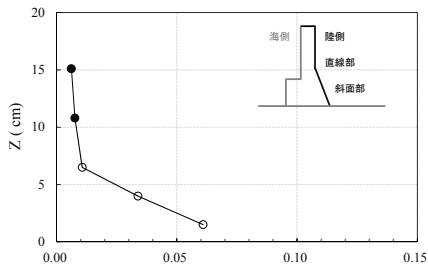
(e) 4 ケース



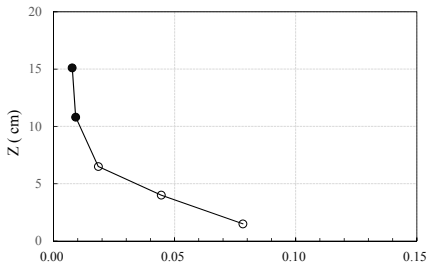
(e) 4 ケース

図-3.6 防潮壁背後底面部の水平距離と圧力

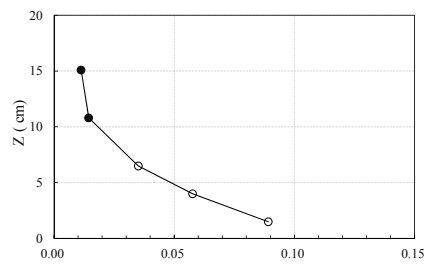
図-3.7 防潮壁天端面付近の水平距離と圧力



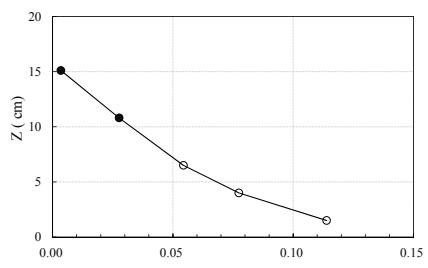
(a) ケース 1



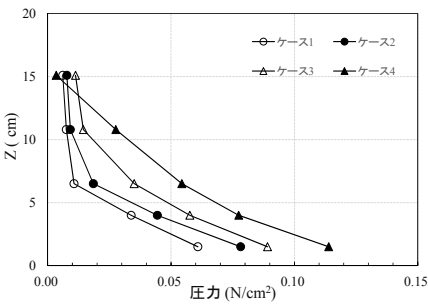
(b) ケース 2



(c) ケース 3

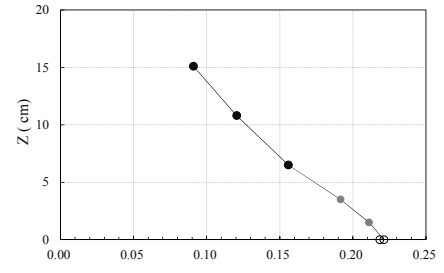


(d) ケース 4

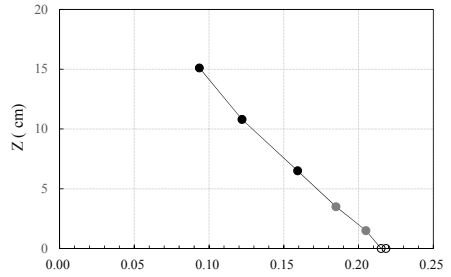


(e) 4 ケース

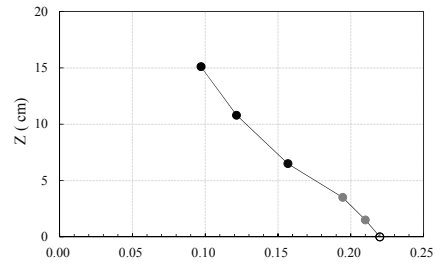
図-3.8 防潮壁背面部の圧力と鉛直距離



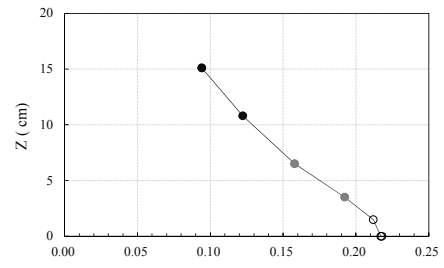
(a) ケース 1



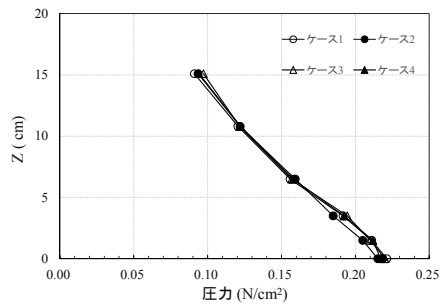
(b) ケース 2



(c) ケース 3



(d) ケース 4



(e) 4 ケース

図-3.9 防潮壁前面部の圧力と鉛直距離

### 3.4 流速の計測結果

地形模型終端部（以降、地形終端部とする、x11断面）での $d_2$ の水深と、防潮壁背面部から地形底面部（x8断面からx10断面）での流速分布との関係を図-3.10に示している。なお、それぞれの計測地点は、第2章で示した図-2.9の通りである。付録Cには、計測位置、ナップでの計測角度、計測値の詳細をまとめている。図中には、防潮壁模型背後へ越流した水脈（V19地点）から地形模型終端部（x7断面からx11断面）までの流速と、各ケースにおける水位を示す。なお、図中の○印のプロットは、ケース1の計測結果であり、地形終端部では、射流となっているので注意が必要である。

全ケースともに、ナップフローの落下地点付近であるV20地点（x11断面）での流速が最大値であった。防潮壁

背後面側のV17地点（x8断面）は、地形終端側へ向かう水流とは、逆向きの流れが生じていることから、マイナスの流速となった。

地形終端部のV18地点（x11断面）では、ケース1のケースだけ流速が169.5 cm/sと速いが、射流であることが原因と考えられる。その他のケースでは、40 cm/sから50 cm/sの範囲で流速が推移していた。これら3ケースの流速のうち、ケース3の流速が速かった。

ナップフロー上部のV19地点（x7断面）は、127.2 cm/s～130.7 cm/sの範囲で推移しており、ケース3が最大値であった。

ナップフローの打ち込み箇所V20地点（x9断面）の場合は、146.2 cm/s～178.9 cm/sの範囲で推移しており、他の地点と異なる傾向がみられた。

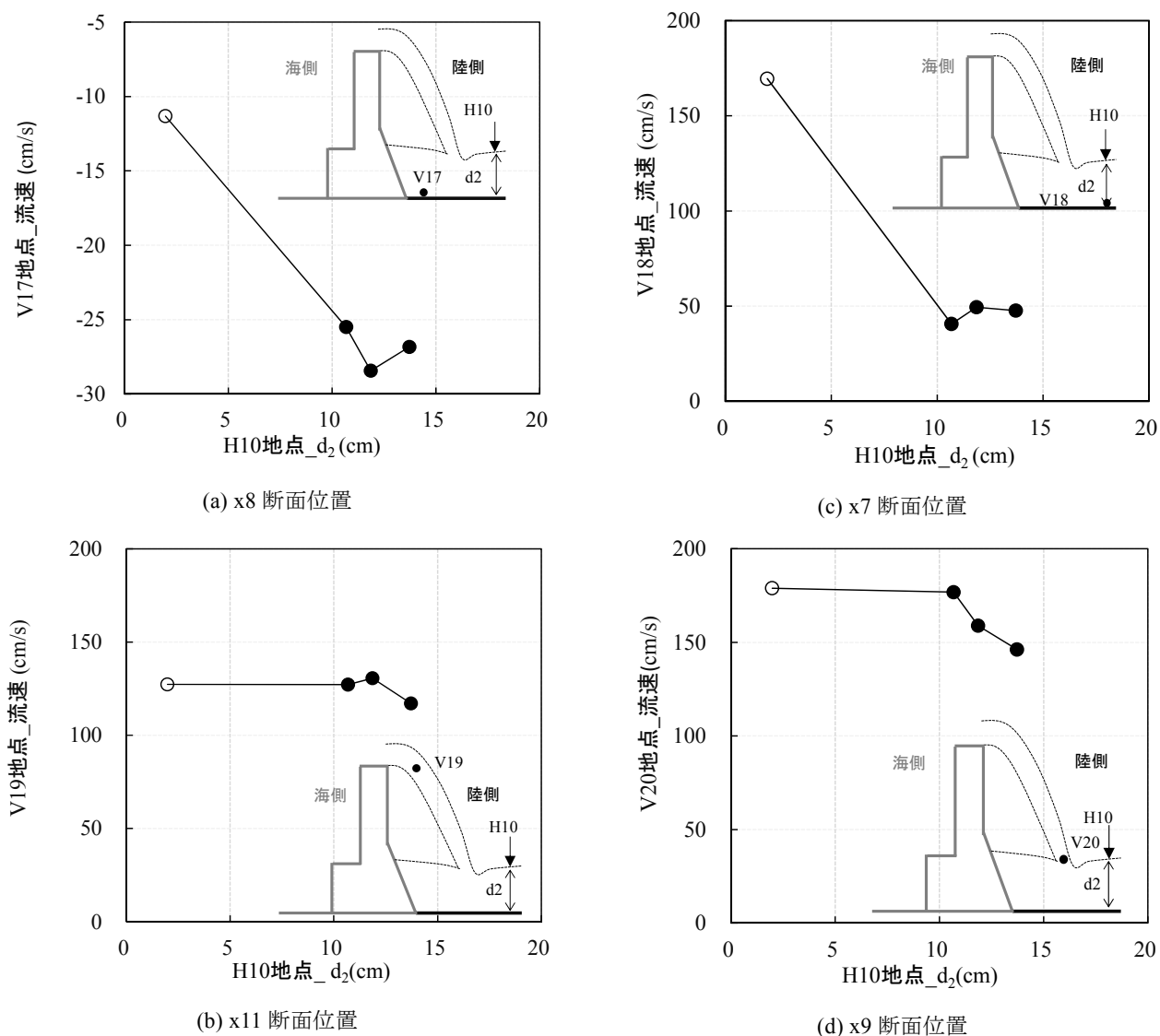
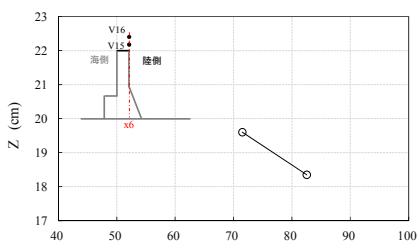
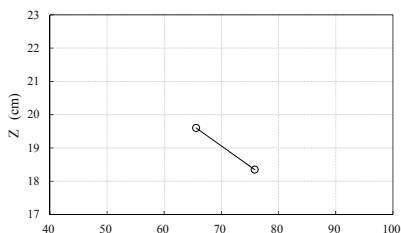


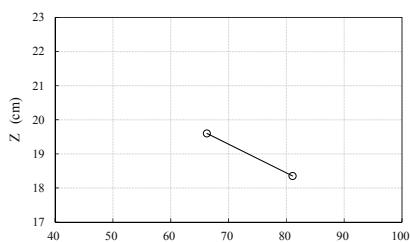
図-3.10 地形終端部での  $d_2$  と流速との関係



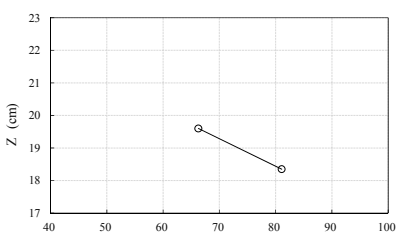
(a) ケース 1



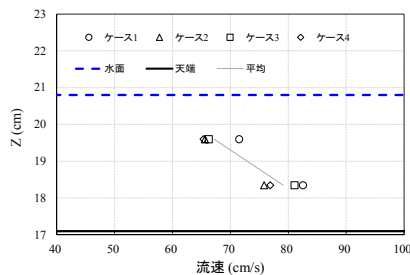
(b) ケース 2



(c) ケース 3



(d) ケース 4



(e) 4 ケース

図-3.11 x6 断面での鉛直流速分布

防潮壁陸側端部上の断面 (x6断面) での鉛直流速分布を図-3.11に示す. 縦軸zは, 流速計設置地点での水深である. 図中には, V15地点 (z=18.4 cm) とV16地点 (z=19.6 cm) の流速を示した.

全ケースともに, 水脈の底面側での流速が速く, 水面側の流速が遅くなっていた. 4ケースの流速を比較すると, ケース2での流速が最小であり, ケース1が最大値を示していた.

防潮壁天端上部の断面 (x5断面) での鉛直流速分布を図-3.12に示す. 図中には, V12地点 (z=18.1 cm) V13地点 (z=19.8 cm) V14地点 (z=21.4 cm) の流速分布を示した.

全ケースともに, 底面側の流速が速く, 水面側の流速が遅くなっており, 防潮壁陸側端部と同様の現象であった. 天端上で流れが剥離し, 渦を巻いていることが観察されており, 狭長せきの剥離 (土木学会, 1999) と同様な現象がされた.

防潮壁海側の断面 (x2断面) での鉛直流速分布を図-3.13に示す. 図中には, 防潮壁海側のV7地点からV11地点 (z=1.0 cm~z=20 cm) の流速分布を示している.

全ケースともに, 水深が低い位置ほど流速が遅く, 水面側の流速が速い. なお, 境界層の位置は, z=10 cmから0cmの範囲であり, z=10 cmでの流速は, 全ケースとも15.0 cm/s付近であった. 流速の鉛直分布形状は, 全ケースとも同様であった.

防潮壁海側沖の断面 (x1断面) の鉛直流速分布を図-3.14に示す. 図中には, V1地点からV5地点 (z=-27.0 cm~z=21.0 cm) の流速分布を示している.

全ケースともに, 水深が低い位置ほど流速が遅い. なお, 境界層の位置は, z=-24 cmから -27 cmの範囲であり, z=-24 cmでの流速は, 全ケース3.6 cm/s付近であった. 流速の鉛直分布形状は, 全ケースとも同様であった.

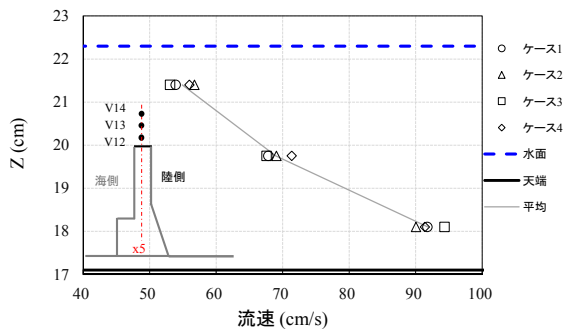


図-3.12 x5 断面での鉛直流速分布

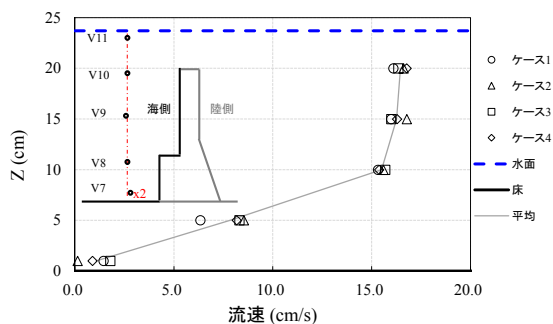


図-3.13 x2断面での鉛直流速分布

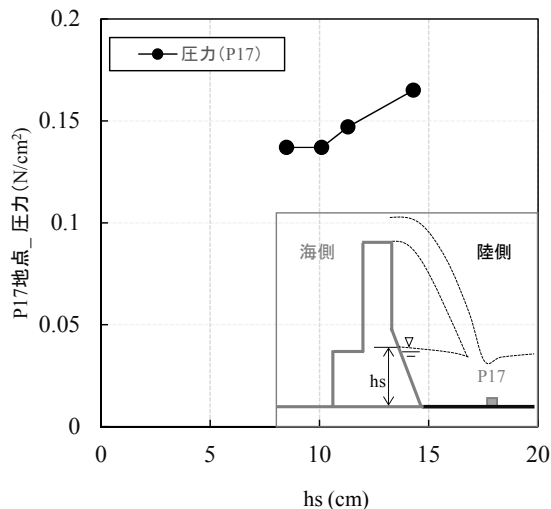


図-3.15 背後水位と P17 地点での圧力の関係

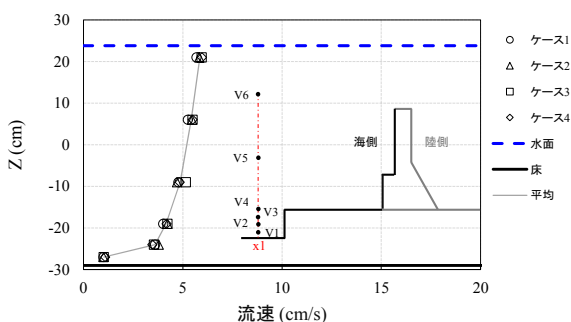


図-3.14 x1断面での鉛直流速分布

### 3.5 防潮壁背面水位と圧力の関係

図-3.15には、底面部での最大圧力が計測されている P17地点と防潮壁背面部での水位の関係を図示している。防潮壁背面部の水位は、水流を観察し、直接スケッチした図面からの読み取り値を採用した。防潮壁背面部の水位の高さ ( $h_s$ ) は、ケース1が8.5 cm、ケース2が10.1 cm、ケース3が11.3 cm、ケース4が14.3 cmであった。

ケース1とケース2の場合では、底面部での圧力は、0.14 N/cm<sup>2</sup>と同様な値であった。なお、防潮壁背面部の水位が高くなるに従い、底面部での圧力が上昇しており、ケース4 ( $h_s=14.3\text{cm}$ ) での圧力が最大値を示していた。

図-3.16には、底面部の各地点での圧力計測結果と防潮壁背面部で計測した水位との関係を示している。

4 ケースともに、ケース4での圧力が最大値であり、防潮壁背面部の水位が高くなるに従い、圧力が増加傾向であった。

P18地点 (x10断面からx11断面の区間, ■印) は、P17地点より2cm地形模型終端側に位置し、P16地点 (x9断面からx10断面の区間, ▲印) は、P17地点より2cm防潮壁背面側に位置している。(詳細位置: 付録A, 図-A.2)。両者の圧力分布を比較すると、P18地点が高く、越流した水脈の流れ方向での圧力が大きくなっていった。

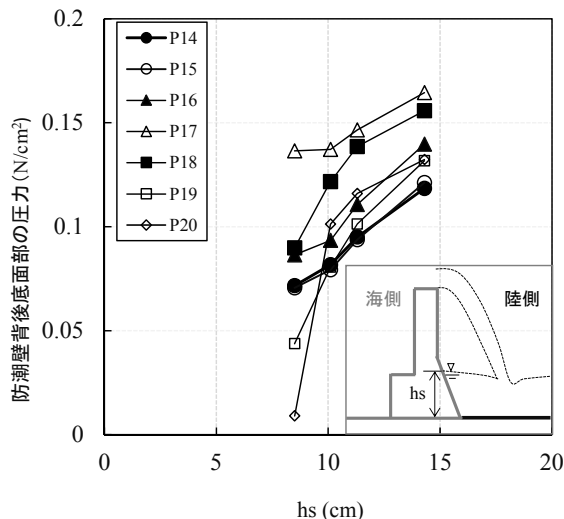


図-3.16 背後水位と底面部圧力の関係

防潮壁背面に最も近いP14地点 (x8断面, ●印) は、ケース1以外の各ケースでは、圧力が最小値であった。

地形終端部のP20地点 (x11断面, ◇印) は、ケース1で著しく圧力が低く、射流であった。これは水位が低いことが原因であると考えられる。

## 4. まとめ

本研究は、防潮壁を越流した流れ場の状況を把握するため、背後に堰を設置し、背後水位の条件を変化させた水理模型実験を行なった。実験は、防潮壁周辺の流況や防潮壁に作用する圧力及びナップフローが水叩き部に与える圧力の違いを把握することを目的とした。水理模

型実験は、現地の1/10となるように製作した防潮壁模型を水路横断方向に設置し、回流装置で定常的な流れを発生させ、防潮壁を越流した流れを再現した。本研究では、ナップフローが水叩き面に与える圧力の違いを把握するため、背後水位を4種類に変更して水理模型実験を行った。実験により、防潮壁を越流した流れ場における水位、流速、圧力の状況を把握することができた。

(2016年5月31日受付)

#### 謝辞

水理模型実験の実施にあたり、国土交通省 中部地方整備局清水港湾事務所、静岡県の関係各位より、防潮壁模型製作の参考となる情報提供をしていただきました。本資料の執筆にあたり、国土技術政策総合研究所 本多和彦主任研究官からは、懇切丁寧にご意見や貴重なご助言を賜りました。国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所の鈴木高二郎耐波研究グループ長、国土技術政策総合研究所 鈴木健之沿岸防災研究室長からは、有益なご助言を賜りました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- 熊谷兼太郎, 渡邊祐二, 長尾憲彦, 鮎貝基和 (2011): 2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査, 国土技術政策総合研究所資料, No. 658, pp1-39.
- 熊谷兼太郎, 永廣迪, 浅井正, 宮田正史, 松田茂, 鷺谷忠彦, 鎌木雅之 (2014): 2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査(その2), 国土技術政策総合研究所資料, No. 781, pp1-50
- 国土交通省港湾局 (2013): 港湾における防潮堤(胸壁)の耐津波設計ガイドライン, pp1-18.
- 鈴木武 (2009): 関東地方から九州地方にかけての高潮被害の温暖化による感度, 国土技術政策総合研究所資料, No.547, pp1-12.
- 土木学会 (1999): 水理公式集 -平成11年度版-, pp1-713.
- Chanson, H. (2002): The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways, A. A. Balkema Publishers/Lisse/ Abingdon/ Exton (PA)/Tokyo, pp1-384.

付録A 圧力計の詳細配置図と越流堰設置図

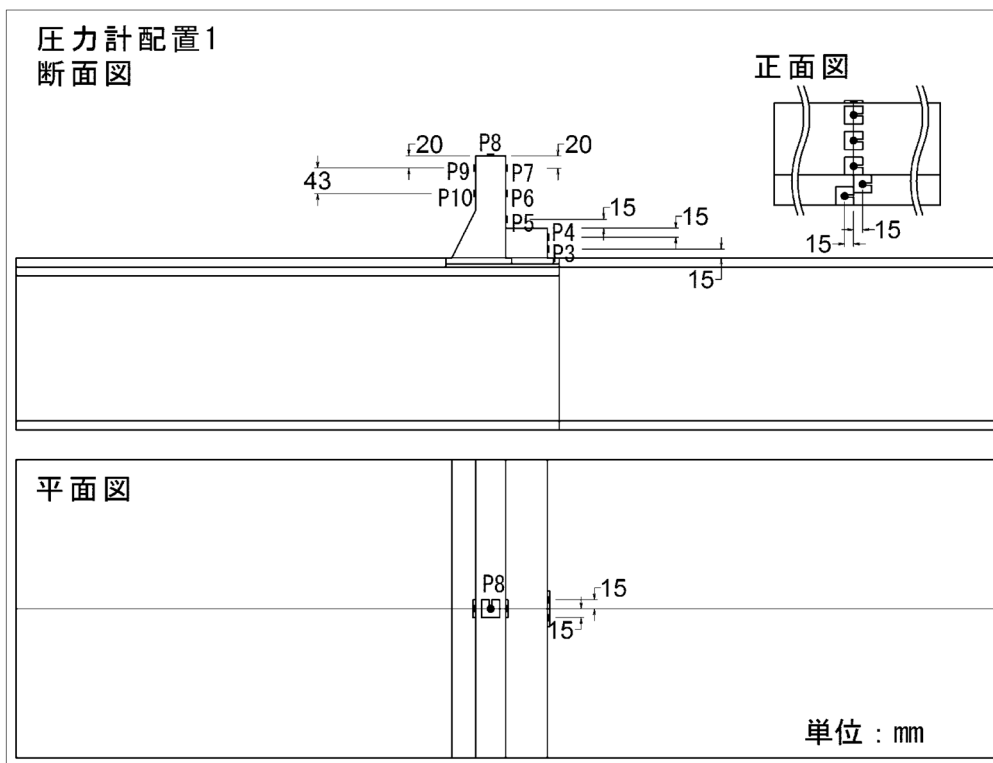


図-A.1 圧力計配置 (P3~P10)

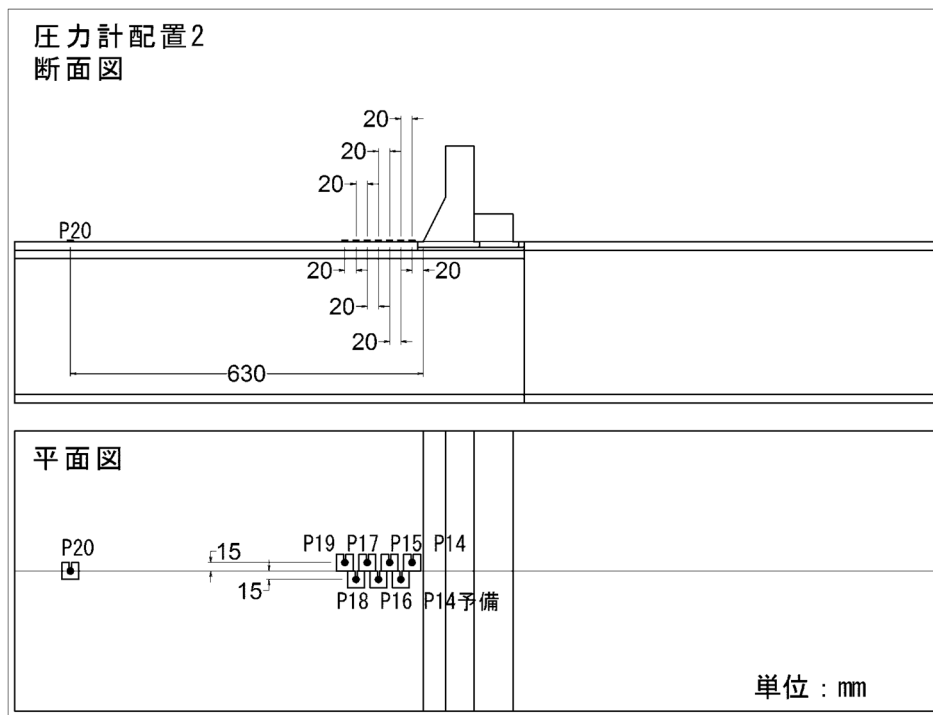


図-A.2 圧力計配置 (P14~P20)

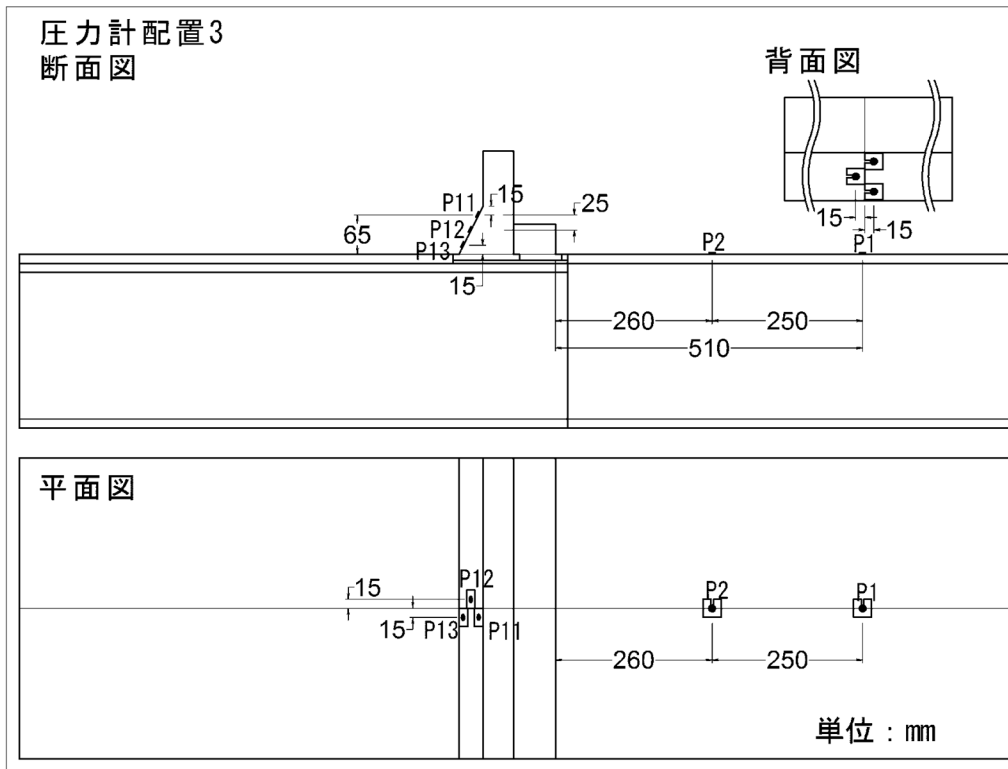


図-A.3 圧力計配置 (P11~P13)

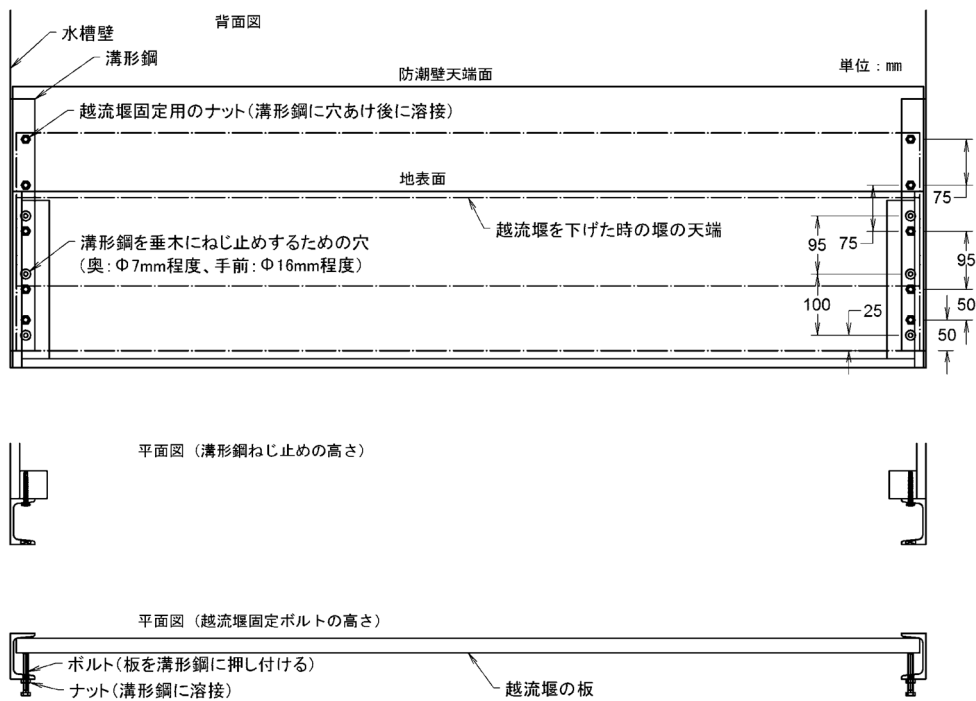
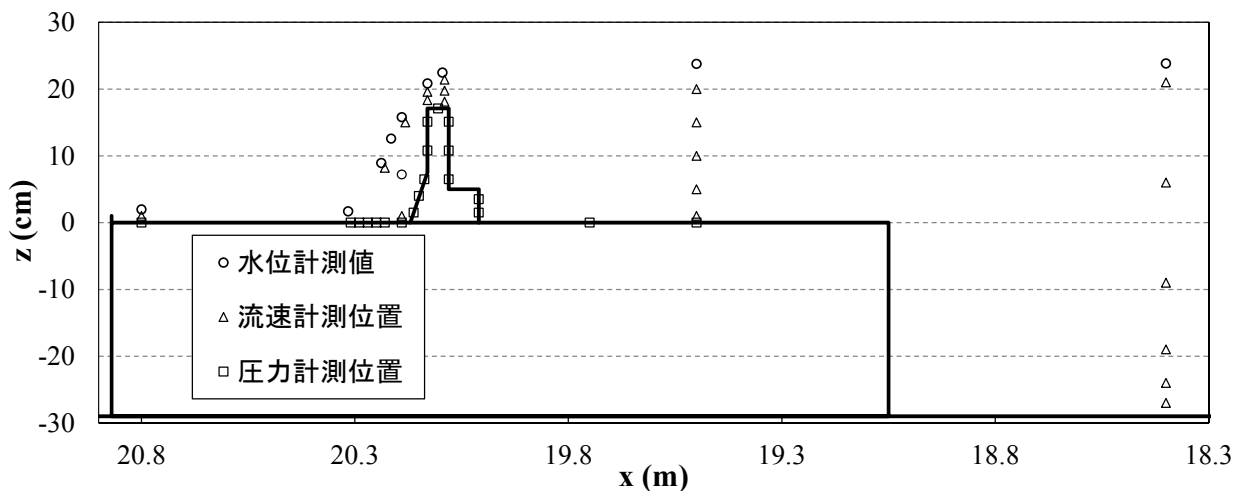


図-A.4 越流堰の設置図



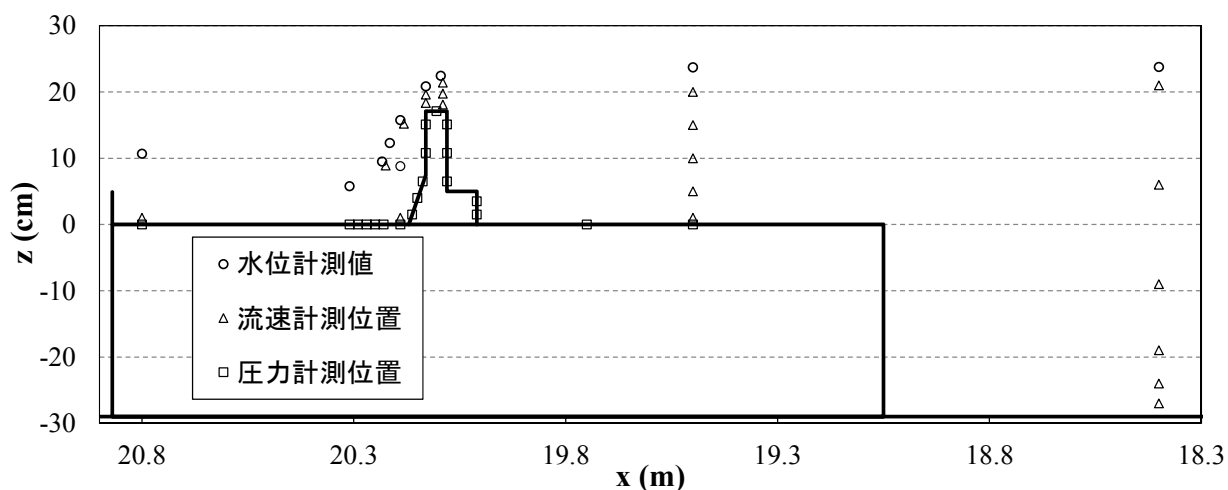
付録B 各実験ケースにおける計測点位置・計測結果一覧表



	水位		流速 (V19, V20は水脈方向)				圧力				
	x (m)	計測値 (cm)	計測位置		計測角度(°)	計測値 (cm/s)	計測位置		計測値 (N/cm <sup>2</sup> )		
			x (m)	z (cm)			x (m)	z (cm)			
H1	18.400	23.9	V1	18.400	-27.0	0	1.00	P1	19.500	0	0.218
H2	19.500	23.8	V2	18.400	-24.0	0	3.60	P2	19.750	0	0.221
H3	20.095	22.5	V3	18.400	-19.0	0	4.01	P3	20.010	1.5	0.211
H4	20.130	20.9	V4	18.400	-9.0	0	4.77	P4	20.010	3.5	0.192
H5	20.190	7.2	V5	18.400	6.0	0	5.25	P5	20.080	6.5	0.156
H6	20.190	15.8	V6	18.400	21.0	0	5.69	P6	20.080	10.8	0.121
H7	20.215	12.6	V7	19.500	1.0	0	1.45	P7	20.080	15.1	0.091
H8	20.238	8.9	V8	19.500	5.0	0	6.34	P8	20.105	17.1	0.039
H9	20.316	1.7	V9	19.500	10.0	0	15.32	P9	20.130	15.1	0.006
H10	20.800	2.0	V10	19.500	15.0	0	15.99	P10	20.130	10.8	0.008
			V11	19.500	20.0	0	16.09	P11	20.138	6.5	0.011
			V12	20.090	18.1	0	91.75	P12	20.150	4	0.034
			V13	20.090	19.8	0	67.84	P13	20.163	1.5	0.061
			V14	20.090	21.4	0	53.92	P14	20.190	0	0.072
			V15	20.130	18.4	0	82.54	P15	20.230	0	0.071
			V16	20.130	19.6	0	71.52	P16	20.250	0	0.086
			V17	20.190	1.0	0	-11.32	P17	20.270	0	0.137
			V18	20.800	1.0	0	169.48	P18	20.290	0	0.090
			V19	20.182	15.0	49	127.32	P19	20.310	0	0.044
			V20	20.230	8.2	60	178.89	P20	20.800	0	0.009

・灰色着色はケース毎に計測位置が異なる箇所

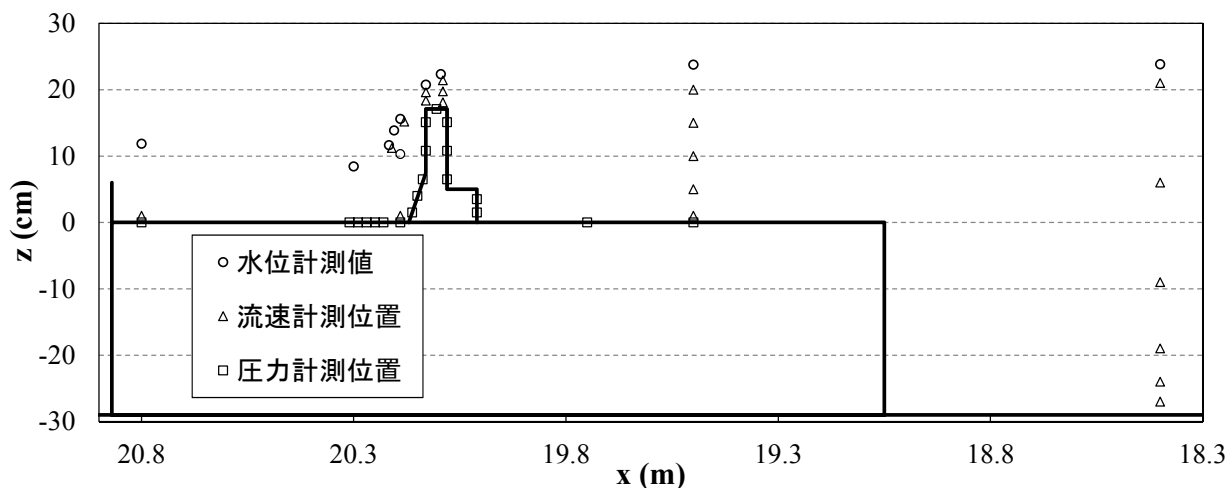
図-B.1 水位・流速・圧力の計測位置と計測結果 (ケース 1)



	水位		流速 (V19, V20は水脈方向)				圧力				
	x (m)	計測値 (cm)	計測位置		計測角度 (°)	計測値 (cm/s)	計測位置		計測値 (N/cm <sup>2</sup> )		
			x (m)	z (cm)			x (m)	z (cm)			
H1	18.400	23.8	V1	18.400	-27.0	0	1.00	P1	19.500	0	0.218
H2	19.500	23.7	V2	18.400	-24.0	0	3.78	P2	19.750	0	0.215
H3	20.095	22.5	V3	18.400	-19.0	0	4.22	P3	20.010	1.5	0.205
H4	20.130	20.9	V4	18.400	-9.0	0	4.70	P4	20.010	3.5	0.185
H5	20.190	8.8	V5	18.400	6.0	0	5.46	P5	20.080	6.5	0.159
H6	20.190	15.8	V6	18.400	21.0	0	5.83	P6	20.080	10.8	0.122
H7	20.215	12.3	V7	19.500	1.0	0	0.14	P7	20.080	15.1	0.094
H8	20.233	9.5	V8	19.500	5.0	0	8.54	P8	20.105	17.1	0.041
H9	20.310	5.8	V9	19.500	10.0	0	15.59	P9	20.130	15.1	0.008
H10	20.800	10.7	V10	19.500	15.0	0	16.78	P10	20.130	10.8	0.009
			V11	19.500	20.0	0	16.62	P11	20.138	6.5	0.019
			V12	20.090	18.1	0	90.04	P12	20.150	4	0.044
			V13	20.090	19.8	0	69.07	P13	20.163	1.5	0.078
			V14	20.090	21.4	0	56.73	P14	20.190	0	0.082
			V15	20.130	18.4	0	75.83	P15	20.230	0	0.079
			V16	20.130	19.6	0	65.59	P16	20.250	0	0.093
			V17	20.190	1.0	0	-25.50	P17	20.270	0	0.137
			V18	20.800	1.0	0	40.56	P18	20.290	0	0.122
			V19	20.182	15.2	50	127.18	P19	20.310	0	0.080
			V20	20.225	8.9	60	176.82	P20	20.800	0	0.101

・灰色着色はケース毎に計測位置が異なる箇所

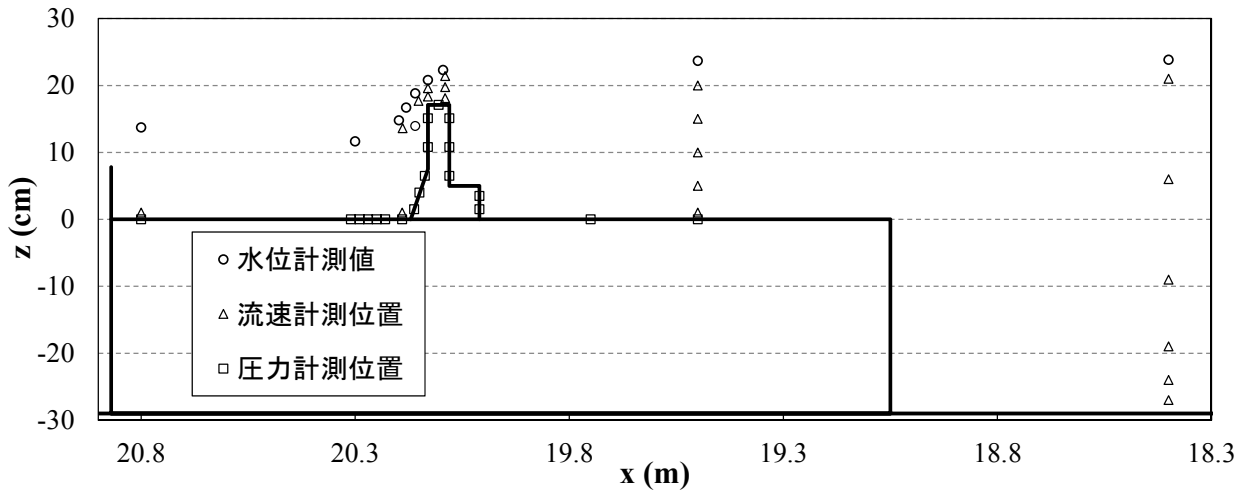
図-B.2 水位・流速・圧力の計測位置と計測結果 (ケース 2)



	水位		流速 (V19, V20は水脈方向)				圧力				
	x (m)	計測値 (cm)	計測位置		計測角度 (°)	計測値 (cm/s)	計測位置		計測値 (N/cm <sup>2</sup> )		
			x (m)	z (cm)			x (m)	z (cm)			
H1	18.400	23.8	V1	18.400	-27.0	0	1.01	P1	19.500	0	0.220
H2	19.500	23.8	V2	18.400	-24.0	0	3.55	P2	19.750	0	0.220
H3	20.095	22.3	V3	18.400	-19.0	0	4.22	P3	20.010	1.5	0.210
H4	20.130	20.8	V4	18.400	-9.0	0	5.15	P4	20.010	3.5	0.195
H5	20.190	10.3	V5	18.400	6.0	0	5.49	P5	20.080	6.5	0.157
H6	20.190	15.6	V6	18.400	21.0	0	5.94	P6	20.080	10.8	0.122
H7	20.205	13.9	V7	19.500	1.0	0	1.79	P7	20.080	15.1	0.097
H8	20.217	11.7	V8	19.500	5.0	0	8.32	P8	20.105	17.1	0.039
H9	20.300	8.4	V9	19.500	10.0	0	15.68	P9	20.130	15.1	0.011
H10	20.800	11.9	V10	19.500	15.0	0	15.99	P10	20.130	10.8	0.014
			V11	19.500	20.0	0	16.35	P11	20.138	6.5	0.035
			V12	20.090	18.1	0	94.36	P12	20.150	4	0.058
			V13	20.090	19.8	0	67.57	P13	20.163	1.5	0.089
			V14	20.090	21.4	0	53.07	P14	20.190	0	0.095
			V15	20.130	18.4	0	81.08	P15	20.230	0	0.094
			V16	20.130	19.6	0	66.27	P16	20.250	0	0.111
			V17	20.190	1.0	0	-28.44	P17	20.270	0	0.147
			V18	20.800	1.0	0	49.40	P18	20.290	0	0.139
			V19	20.181	15.2	50	130.67	P19	20.310	0	0.101
			V20	20.210	11.2	56	158.94	P20	20.800	0	0.116

・灰色着色はケース毎に計測位置が異なる箇所

図-B.3 水位・流速・圧力の計測位置と計測結果 (ケース3)



	水位		流速 (V19, V20は水脈方向)					圧力			
	x (m)	計測値 (cm)	計測位置		計測角度(°)	計測値 (cm/s)	計測位置		計測値 (N/cm <sup>2</sup> )		
			x (m)	z (cm)			x (m)	z (cm)			
H1	18.400	23.9	V1	18.400	-27.0	0	1.08	P1	19.500	0	0.218
H2	19.500	23.7	V2	18.400	-24.0	0	3.46	P2	19.750	0	0.217
H3	20.095	22.3	V3	18.400	-19.0	0	4.18	P3	20.010	1.5	0.212
H4	20.130	20.8	V4	18.400	-9.0	0	4.84	P4	20.010	3.5	0.192
H5	20.160	14.0	V5	18.400	6.0	0	5.50	P5	20.080	6.5	0.158
H6	20.160	18.8	V6	18.400	21.0	0	5.96	P6	20.080	10.8	0.122
H7	20.181	16.7	V7	19.500	1.0	0	0.89	P7	20.080	15.1	0.094
H8	20.198	14.8	V8	19.500	5.0	0	8.18	P8	20.105	17.1	0.042
H9	20.300	11.6	V9	19.500	10.0	0	15.38	P9	20.130	15.1	0.003
H10	20.800	13.7	V10	19.500	15.0	0	16.29	P10	20.130	10.8	0.028
			V11	19.500	20.0	0	16.77	P11	20.138	6.5	0.054
			V12	20.090	18.1	0	91.39	P12	20.150	4	0.077
			V13	20.090	19.8	0	71.37	P13	20.163	1.5	0.114
			V14	20.090	21.4	0	55.97	P14	20.190	0	0.118
			V15	20.130	18.4	0	76.90	P15	20.230	0	0.121
			V16	20.130	19.6	0	65.36	P16	20.250	0	0.140
			V17	20.190	1.0	0	-26.83	P17	20.270	0	0.165
			V18	20.800	1.0	0	47.62	P18	20.290	0	0.156
			V19	20.152	17.7	30	117.16	P19	20.310	0	0.132
			V20	20.189	13.6	48	146.24	P20	20.800	0	0.132

・灰色着色はケース毎に計測位置が異なる箇所

図-B.4 水位・流速・圧力の計測位置と計測結果 (ケース4)

表-B.1 水位計測結果 (4 ケース分)

水位計測位置		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
計測値 (ケース1)	x (m)	18.400	19.500	20.095	20.130	20.190	20.190	20.215	20.238	20.316	20.800
	z (cm)	23.9	23.8	22.5	20.9	7.2	15.8	12.6	8.9	1.7	2.0
計測値 (ケース2)	x (m)	18.400	19.500	20.095	20.130	20.190	20.190	20.215	20.233	20.310	20.800
	z (cm)	23.8	23.7	22.5	20.9	8.8	15.8	12.3	9.5	5.8	10.7
計測値 (ケース3)	x (m)	18.400	19.500	20.095	20.130	20.190	20.190	20.205	20.217	20.300	20.800
	z (cm)	23.8	23.8	22.3	20.8	10.3	15.6	13.9	11.7	8.4	11.9
計測値 (ケース4)	x (m)	18.400	19.500	20.095	20.130	20.160	20.160	20.181	20.198	20.300	20.800
	z (cm)	23.9	23.7	22.3	20.8	14.0	18.8	16.7	14.8	11.6	13.7

表-B.2 流速計測結果 (4 ケース分)

単位: cm/s				
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
V1	1.00	1.00	1.01	1.08
V2	3.60	3.78	3.55	3.46
V3	4.01	4.22	4.22	4.18
V4	4.77	4.70	5.15	4.84
V5	5.25	5.46	5.49	5.50
V6	5.69	5.83	5.94	5.96
V7	1.45	0.14	1.79	0.89
V8	6.34	8.54	8.32	8.18
V9	15.32	15.59	15.68	15.38
V10	15.99	16.78	15.99	16.29
V11	16.09	16.62	16.35	16.77
V12	91.75	90.04	94.36	91.39
V13	67.84	69.07	67.57	71.37
V14	53.92	56.73	53.07	55.97
V15	82.54	75.83	81.08	76.90
V16	71.52	65.59	66.27	65.36
V17	-11.32	-25.50	-28.44	-26.83
V18	169.48	40.56	49.40	47.62
V19	127.32	127.18	130.67	117.16
V20	178.89	176.82	158.94	146.24

・灰色着色部分は、ナップの水脈流線方向

表-B.3 圧力計測結果 (4 ケース分)

単位: N/cm<sup>2</sup>

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
P1	0.218	0.218	0.220	0.218
P2	0.221	0.215	0.220	0.217
P3	0.211	0.205	0.210	0.212
P4	0.192	0.185	0.195	0.192
P5	0.156	0.159	0.157	0.158
P6	0.121	0.122	0.122	0.122
P7	0.091	0.094	0.097	0.094
P8	0.039	0.041	0.039	0.042
P9	0.006	0.008	0.011	0.003
P10	0.008	0.009	0.014	0.028
P11	0.011	0.019	0.035	0.054
P12	0.034	0.044	0.058	0.077
P13	0.061	0.078	0.089	0.114
P14	0.072	0.082	0.095	0.118
P15	0.071	0.079	0.094	0.121
P16	0.086	0.093	0.111	0.140
P17	0.137	0.137	0.147	0.165
P18	0.090	0.122	0.139	0.156
P19	0.044	0.080	0.101	0.132
P20	0.009	0.101	0.116	0.132

・灰色着色部分は干出，黄色着色部分は干出のように観察されたが，みえづらくはっきりと確認できない・



---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 917                  June 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写のお問い合わせは  
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 〕  
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019  
E-mail:ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp