

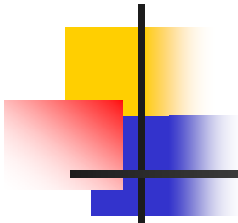
港口航道与海岸工程 专业实验课

主讲教师：韩丽华



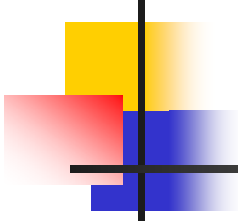
概述

- 港口、海洋工程建筑物一般位于近海地区，经常受到波浪、水流等海岸动力因素的作用。因此，在港口建设中规划其平面布置、设计各种海洋工程建筑物、防浪建筑物时，都必须的掌握海洋动力因素的变化规律，预计可能发生的对建筑物的作用力。研究解决此类问题，一般采用数学模型和物理模型两种方法。
- 数学模型的方法，变换条件容易，节省人力和经费等优势；但由于有些实际工程问题，所涉及到的自然现象和边界条件比较复杂，由此带来的计算技术方面的问题是相当困难和复杂的；
- 物理模型的方法，它是将原型有关的动力因素，根据相似原理，通过比尺的缩小，使原型有关现象在模型中复演，比较直观，以便进行研究。



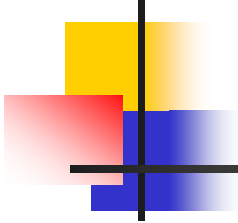
一、模型试验的目的

- 1.对于难以计算的问题，提供设计依据
- 2.验证应用理论的正确性
- 3.寻找规律、发现理论的解答
- 4.配合数值计算解决问题



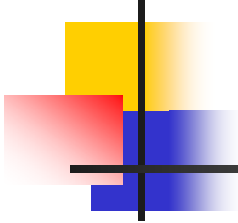
二、模型试验的种类

- 根据试验任务不同，可选用不同的模型来满足试验要求。
 1. 整体、半整体模型试验
 2. 断面模型试验
 3. 正态、变态模型试验
 4. 动床、定床试验



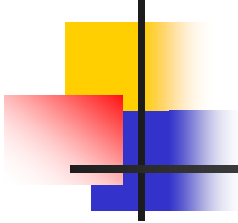
1.整体、半整体模型试验

- 当我们研究港内波浪状况时，需要把研究的港区地形、码头和防波堤等建筑物都按比例缩小，做成模型进行试验，这种模型试验叫整体模型试验。
- 如果建筑物是对称的，我们就采用半整体进行模型试验，这种模型试验称半整体模型试验。



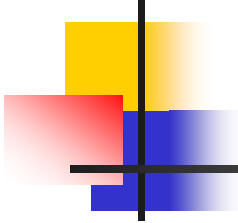
2.断面模型试验

- 有些问题往往不需要整体模型，例如测防波堤上的波压力或块体的稳定性，模型比尺不能取得太小，此时只要沿防波堤轴线截取一段进行试验即可，这种模型试验叫断面模型试验。



3.正态、变态模型试验

- 在一般问题的试验时，对原型的三个尺度都用相同的比例尺来缩小成模型，这样的模型试验叫正态模型试验。
- 但有些情况因受一些条件的限制，正态模型不能满足试验要求，而采用变态模型，变态模型试验在竖向和水平方向的长度缩小倍数是不同的。



4.动床、定床试验

- 根据试验模型底床的变化与否，分为动床试验和定床试验。定床试验是指在整个试验中底床始终不变。
- 动床试验则与之相反，在研究泥沙运动时多用此方法进行试验。

三、试验用的主要设备

（港海实验室）

- 港口、海洋工程建筑物的水力模型试验，主要设备是港池、水槽、造波机及造流系统。
 1. 港池平面尺寸长50 m、宽8 m、深1m。前端有不规则造波机、出流口，后端有出流口、消能坡、消能网，主要用于整体模型试验，
 2. 水槽平面尺寸长47 m、宽1 m、深1.3m。前端有不规则造波机、出流口，后端有出流口、消能坡、消能网，主要用于断面模型试验，
 3. 造流系统包括在港池和波浪槽的前端、后端、留有水流出口，并匹配加流设备（泵、阀门、管系）使水流方向与波浪方向正向或反向，用以模拟波流共同作用试验研究。
 4. 造波机安放在港池、水槽的前端，作为人工模拟波浪，造波机能造规则波和不规则波。

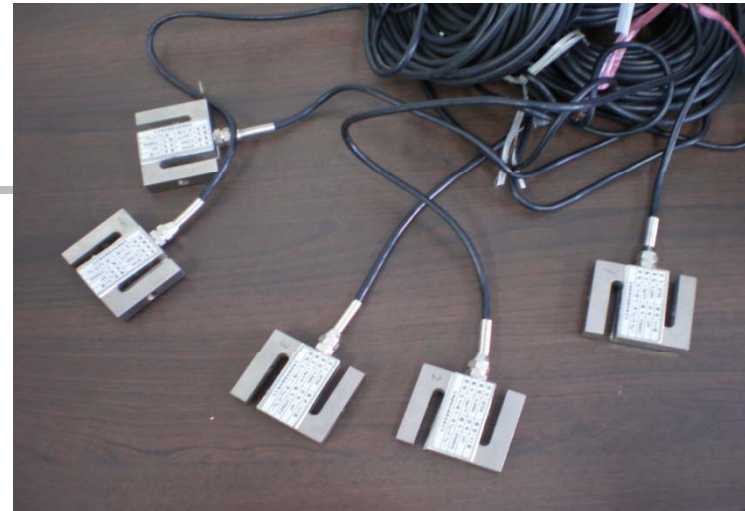
三、试验用的主要仪器

1. 水面波动的测量

《CBY- II 型波高测量控制系统》



2. 力的测量



《CSW-II型压强和总力测量系统》



《压力传感器》 《LY-100型多点压力仪》 《DJ800多功能监测系统》

3. 流速测量



LGY—III型多功能智能流速仪



四、海岸工程水力模型试验要求

1. 对整体模型试验的要求

整体模型试验应采用正态模型，模型比尺不应小于1:150。放置船模时，模型比尺不应小于1:100。模型原始波高不宜小于2cm，波周期必须大于0.5s。

2. 对斜坡堤断面模型试验的要求

斜坡堤断面试验应采用正态模型，模型比尺不应小于1:40。造波板与建筑物模型间的距离不应小于6倍波长。试验断面的护面块体和胸墙模型的几何尺寸、总重和重心位置等均应与原型相似，其尺度误差不应大于 $\pm 1.0\text{mm}$ ，重量误差不应大于 $\pm 3\%$ 。

3. 对直立堤断面模型试验的要求

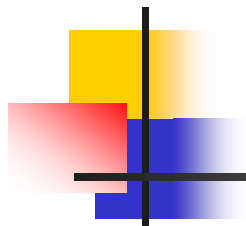


模型可用金属、木材、有机玻璃等材料制作，模型比尺不应小于1:40，模型在水槽中放置位置应满足距造波板的距离大于6倍波长的要求。

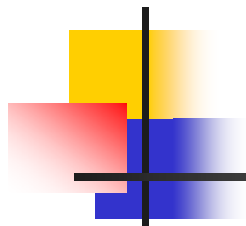
直立堤的模型设计、制作和尺度误差以及波浪作用时间，均可按斜坡堤断面模型试验要求进行。

4. 对桩、墩式建筑物模型试验的要求

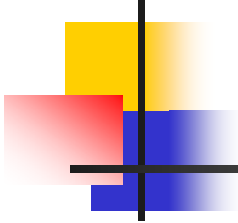
波浪与桩、墩式建筑物的相互作用，一般按重力相似模拟。模型比尺不应小于1:60。模型距波高仪或槽壁的距离不宜小于3倍桩、墩直径、或4倍垂直于波向的桩、墩宽度、且不应小于15厘米。测力系统的自振频率宜大于被测波高频率的4~6倍。



实验一



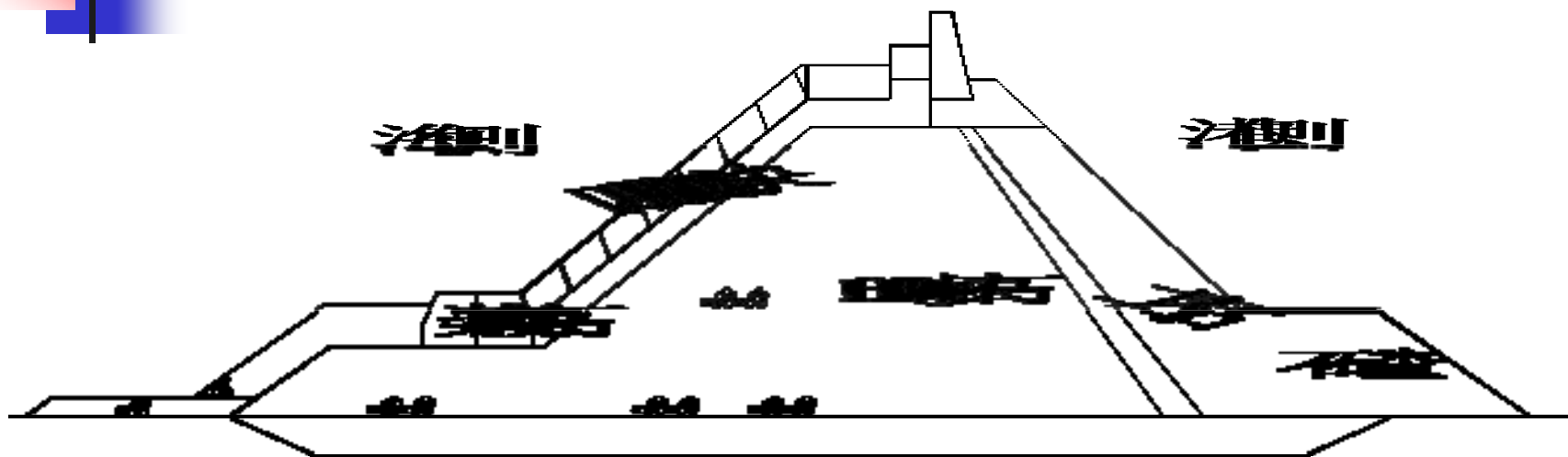
斜坡式防波堤实验



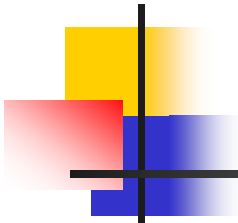
主要内容

- 一、斜坡式防波堤介绍
- 二、实验目的
- 三、实验设备和测量仪器
- 四、实验方案
- 五、实验步骤
- 六、实验报告内容与要求

一、斜坡式防波堤介绍



1. 斜坡式防波堤主要由堤心、垫层、护面块体、棱体、护底块石、胸墙组成。



一、斜坡式防波堤介绍

2. 斜坡式防波堤的主要优缺点

优点 (1) 波浪反射弱，附近海面较平稳；

(2) 对地基承载力要求不高；

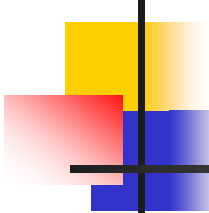
(3) 施工较简单；

(4) 便于维修。

缺点 (1) 材料用量大；

(2) 需要经常维修，维修费用多；

(3) 堤内侧不能直接用作系靠船。



二、实验目的

1. 学会用实验的方法验证在波浪荷载作用下斜坡式防波堤的稳定性；
2. 学会用实验的方法来验证实际工程问题，为专业课的学习及在做斜坡式防波堤设计时，应考虑的一些实际工程问题，对胸墙的稳定状况、堤顶的越浪情况、护面块体、护底块石的选择等做到更合理、更科学。

三、实验设备和测量仪器

1. 实验水槽

实验水槽长47 m、宽1 m、深1.3 m。前端有造波机、直立式消能网、还设有出流口；水槽的尾端安装斜坡式消浪网，也设有出流口，试验就是在水槽中进行。



三、实验设备和测量仪器

2. 造波机

伺服电动机
机械推波板
控制仪
造波机由控制
软件控制



三、实验设备和测量仪器

3. 控制系统

计算机

控制仪

造波控制软件

浪高仪





四、实验方案

- 我们选择的试验是一实际工程案例，试验选自某人工岛岛体建设工程护岸断面稳定性试验。我们按规范要求对原试验略做修改以便示范教学。（设计为防波堤）
- 波浪力是作用在防波堤上的主要荷载。试验要求通过给定的水位、在波浪荷载作用下研究防波堤的稳定性。
- 实验条件均由设计单位提供。

1. 水位

极端高水位: **+3.59 m**

设计高水位: **+2.33 m**

2. 波浪要素 (波浪要素重现期为**50**年一遇)

$$H_{1\%} = 1.99 \text{ m}$$

$$H_{5\%} = 1.50 \text{ m}$$

$$H_{13\%} = 1.20 \text{ m}$$

$$T = 6.2 \text{ s}$$

3. 水深

依据泥面高程: **-1.84 m**

设计高水位水深: **4.17 m**

极端高水位水深: **5.43 m**



3.模型比尺的确定

试验依据《波浪模型试验规程》（JTJ/T234—2001）。
根据弗劳德重力相似准则及及实验室现有设备条件，试验模型的几何比尺定为1: 15。

长度比尺： $l = 15$

时间比尺： $t = l^{1/2} = 15^{1/2}$

重量比尺： $F = l^3 = 15^3$

原型设计参数值与实验参数值换算表（ $1=1:15$ ）

试验参数值	原型值	模型值
设计高水位水深	4.17m	27.8cm
极端高水位水深	5.43m	36.2cm
波高 $H_{1\%}$	1.99m	13.27cm
波高 $H_{5\%}$	1.5m	10.00cm
波高 $H_{13\%}$	1.2m	8.00cm
波浪周期T	6.2s	1.60s
四角锥体	270 kg	80g
块石	300kg	88.9g
	100kg	29.6g
	60kg	17.8g
	50kg	14.8g
	10~100kg	2.96~29.6g
胸墙	5.175T/m	23.0kg/m



4. 试验模型的确定

- 试验模型采用正态模型，保证外形几何尺寸和重心及重量与原形相似，堤心石的级配满足规范要求。垫层块石、棱体块石、护脚块石经过筛选，重量偏差控制在规范要求范围±**10%**之内。人工护面块体、胸墙的模拟保证外形几何尺寸相似、重量相似及重心相似。
- 试验波浪要素的模拟采用规则波。试验水位及波浪要素按设计单位提供的要求进行。

五、实验方法及内容

1 实验方法

在防波堤试验断面模型摆放之前，将设计方提供的设计水位及波浪要素（原始波浪要素）转换成模型数据，测好的每组波浪要素以文件形式存放计算机中以便试验中调用。然后将试验模型摆放在波流水槽的靠近尾部位置。试验中调出已测好的数据文件造波，观察、记录实验结果。

模型波浪作用的累计时间，应根据暴风浪的持续时间确定，但模拟的原型作用时间不宜少于**2**小时。模型实验累计作用时间为**30**分钟。



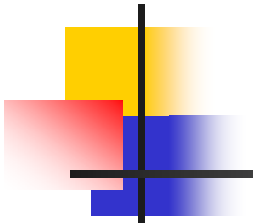
2. 实验内容

在下列表中给定的波浪荷载作用下，观察斜坡堤断面的护面块体、护底块石及胸墙的稳定_性，目测胸墙越浪情况，把观察到的结果填入下列表中。每组实验重复三次。

水位	波浪要素	胸墙 稳定	越浪层 厚度 (cm)	护面块体		棱体 块石	护底 块石
				块石	四角 锥体		
设计 高水位 +2.33m	$H_{13\%} = 1.20\text{m}$ $T = 6.2\text{s}$						
	$H_{5\%} = 1.5\text{m}$ $T = 6.2\text{s}$						
	$H_{1\%} = 1.99\text{m}$ $T = 6.2\text{s}$						
极端 高水位 +3.59m	$H_{13\%} = 1.20\text{m}$ $T = 6.2\text{s}$						
	$H_{5\%} = 1.5\text{m}$ $T = 6.2\text{s}$						
	$H_{1\%} = 1.99\text{m}$ $T = 6.2\text{s}$						

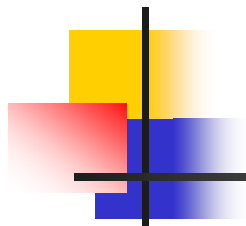
六、实验报告内容与要求

1. 斜坡式防波堤的试验目的。
2. 该试验的模型比尺是根据什么确定的？
3. 在防波堤断面稳定试验中，将你观测、记录的试验结果填入上述表中。
4. 通过对防波堤断面稳定性物理模型试验，你对该防波堤的设计做一评价；如胸墙有越浪或不稳定，请提出合理的改进方案。
5. 计算防波堤护面块体、护脚块石的稳定重量。
6. 交作业时间：下周上课时。作业要求统一实验报告格式。

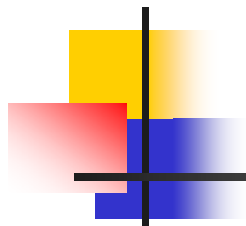


※实验报告格式要求

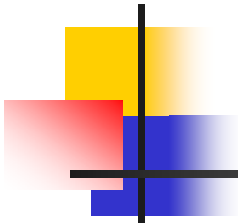
1. 统一A4纸张;
2. 封面按教务处要求统一格式;
3. 交报告实间下周上课前交。



实验二



直立堤实验



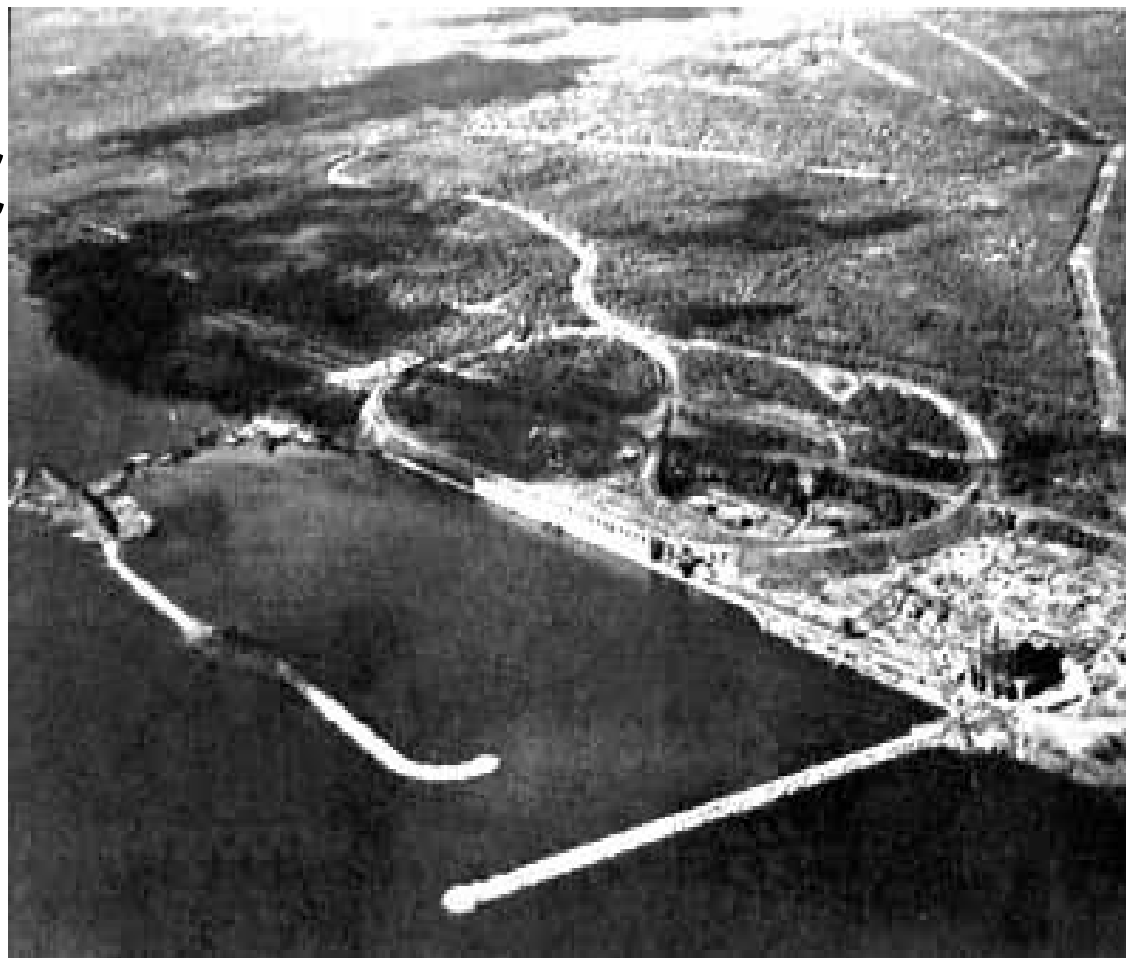
主要内容

- 一、直立堤介绍
- 二、实验目的
- 三、实验设备和测量仪器
- 四、实验方案
- 五、实验步骤
- 六、实验报告内容与要求

一、直立堤介绍

1. 防波堤的功能

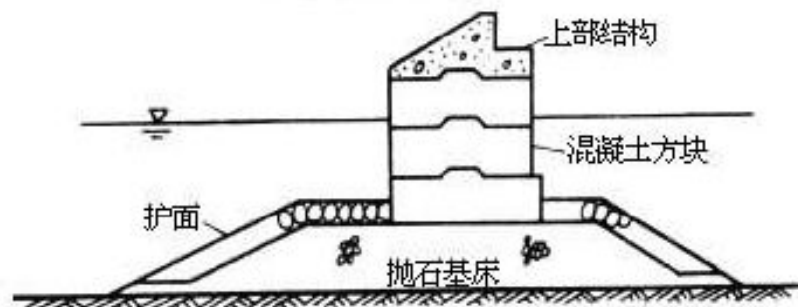
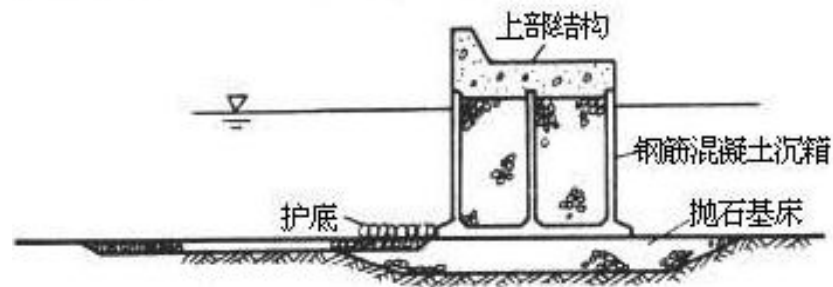
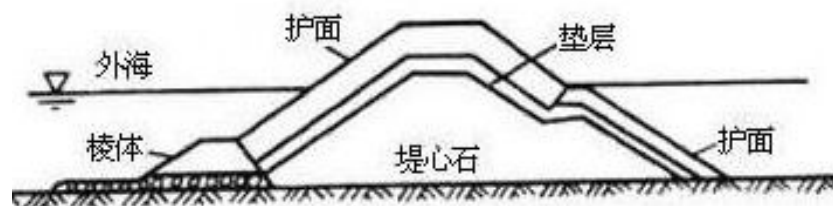
防浪
拦沙
防冰

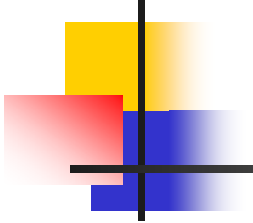


一、直立堤介绍

2. 防波堤的分类

斜坡式
直立式
混合式





一、直立堤介绍

3. 直立堤的优缺点

优点：

用料较斜坡式少，不需经常维修。

缺点：

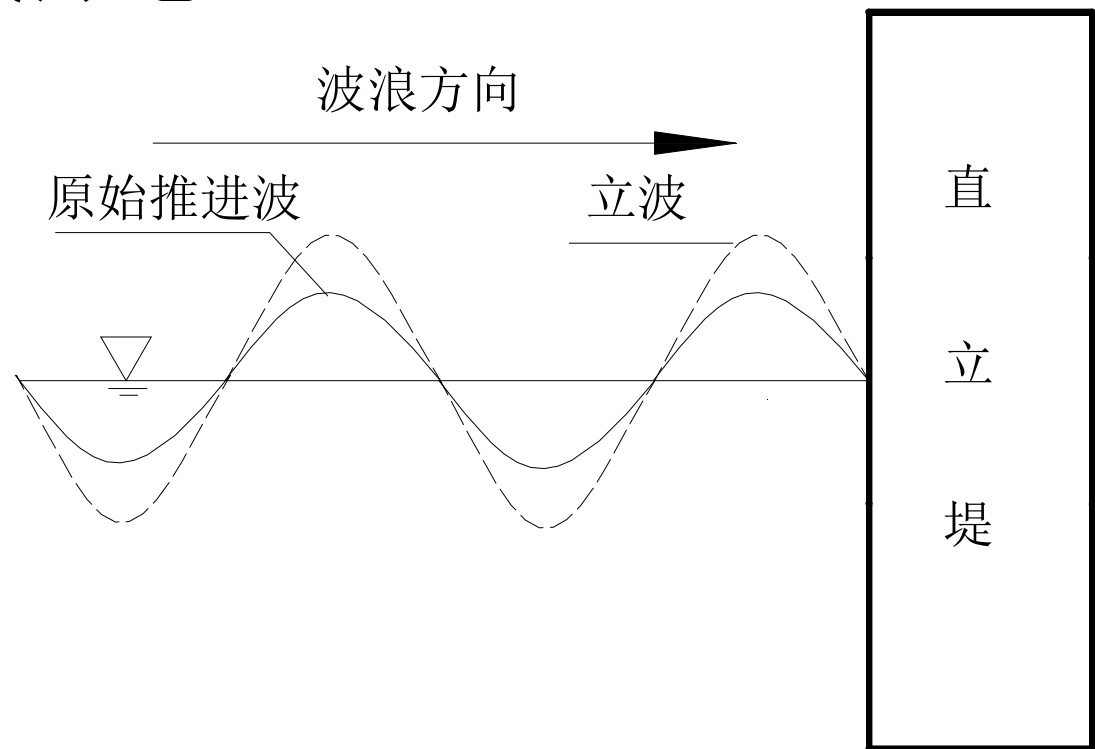
对地基要求高，维修起来困难；波浪在堤前会发生很大的形态变化，对直立堤产生很大波浪力。因此，研究波浪形态，确定波浪力的大小，显得尤为重要。

一、直立堤介绍

4. 直立堤前的波浪形态

立波：

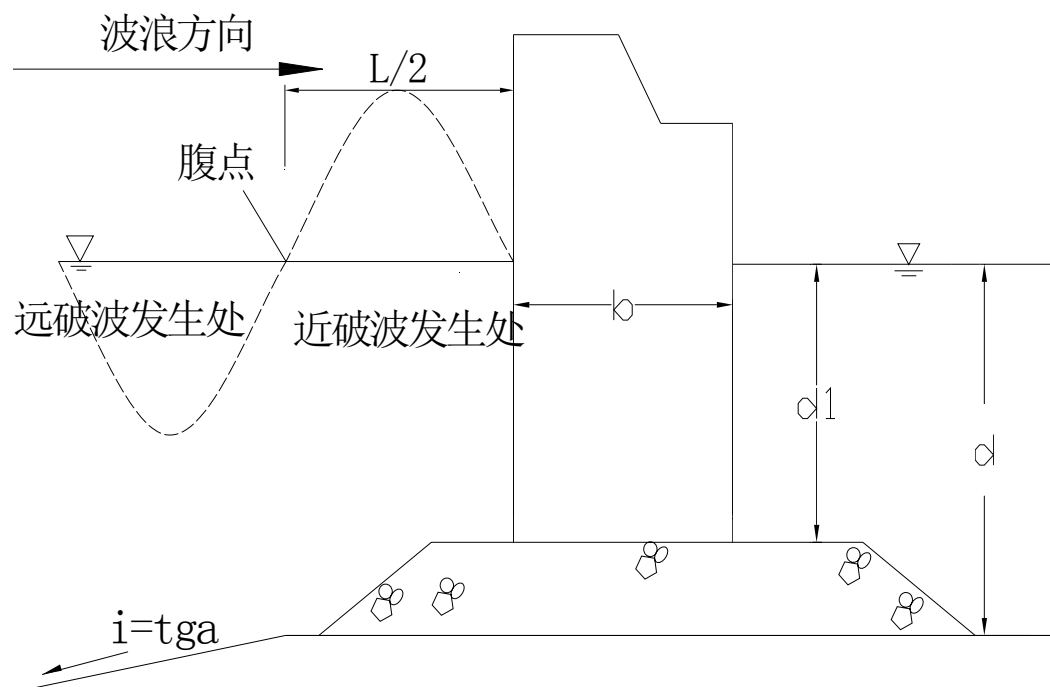
当堤前的水深、波高等因素满足某种条件时，正向波浪在直立堤前如果不破碎，将发生完全或不完全反射，入射波和反射波叠加就形成立波。完全立波波高约为两倍原始波高，波长不变。

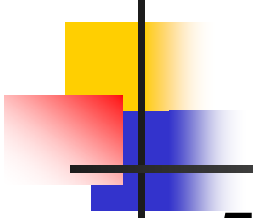




当波浪距离直立堤半个波长或稍远处破碎，这种破碎后的波浪形态称为远破波。

当波浪距离直立堤半个波长以内或基床顶水深很小时，波浪在墙前半个波长以内或在基床上破碎，称为近破波。

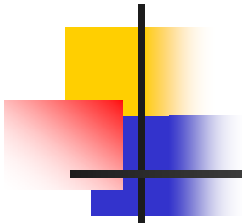




一、直立堤介绍

5. 形成三种波态的条件

基床类型	产生条件	波浪形态
暗基床或低基床 ($d/d_1 > 2/3$)	$T_* < 8, d \geq 2H, T_* \geq 8, d \geq 1.8H$	立波
	$T_* < 8, d < 2H, i \leq 1/10$ $T_* \geq 8, d < 1.8H, i \leq 1/10$	远破波
中基床 ($2/3 > d/d_1 > 1/3$)	$d_1 \geq 1.8H$	立波
	$d_1 < 1.8H$	近破波
高基床 ($d/d_1 \leq 1/3$)	$d_1 \geq 1.5H$	立波
	$d_1 < 1.5H$	近破波



二、实验目的

1. 观察波浪形态
2. 加深理解波态形成条件
3. 测量直立堤上的波压力
4. 验证直立堤上波浪力的理论计算
5. 能独立设计实验方案

三、实验设备及测量仪器

1. 实验水槽

实验水槽长47 m、宽1 m、深1.3 m。前端有造波机、直立式消能网、还设有出流口；水槽的尾端安装斜坡式消浪网，也设有出流口，试验就是在水槽中进行。



三、实验设备及测量仪器

2. 造波机

伺服电动机
机械推波板
控制仪
造波控制软件



三、实验设备及测量仪器

3. 压力测量仪器



压力盒



LY-100型多点压力仪
及DJ800多功能监测系统

三、实验设备及测量仪器

3. 波高测量仪器



三、实验设备及测量仪器

3. 控制系统

计算机
控制仪
造波控制软件
浪高仪

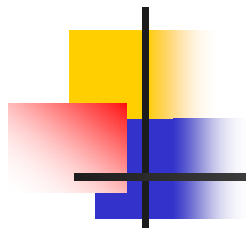


四、实验方案

1. 实验模型

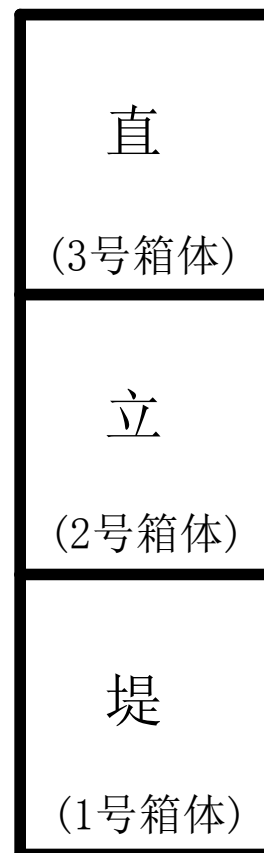
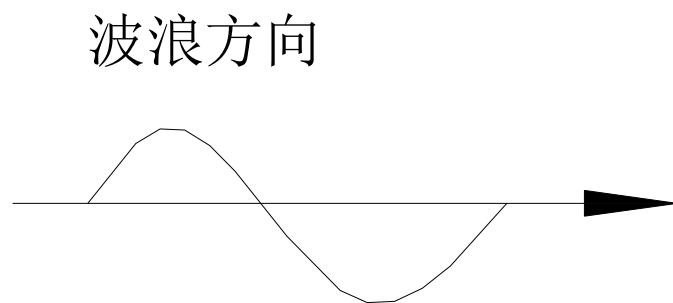
由三个有机玻璃箱体组成。





四、实验方案

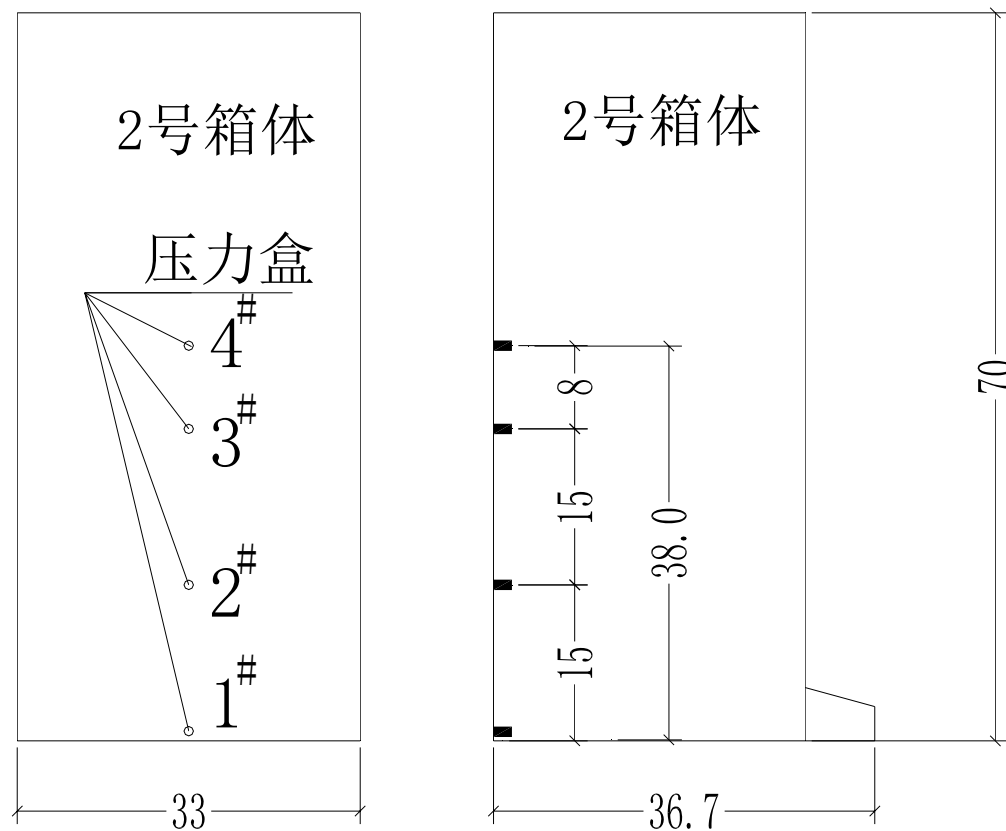
2. 实验模型平面布置



四、实验方案

3. 压力盒布置图

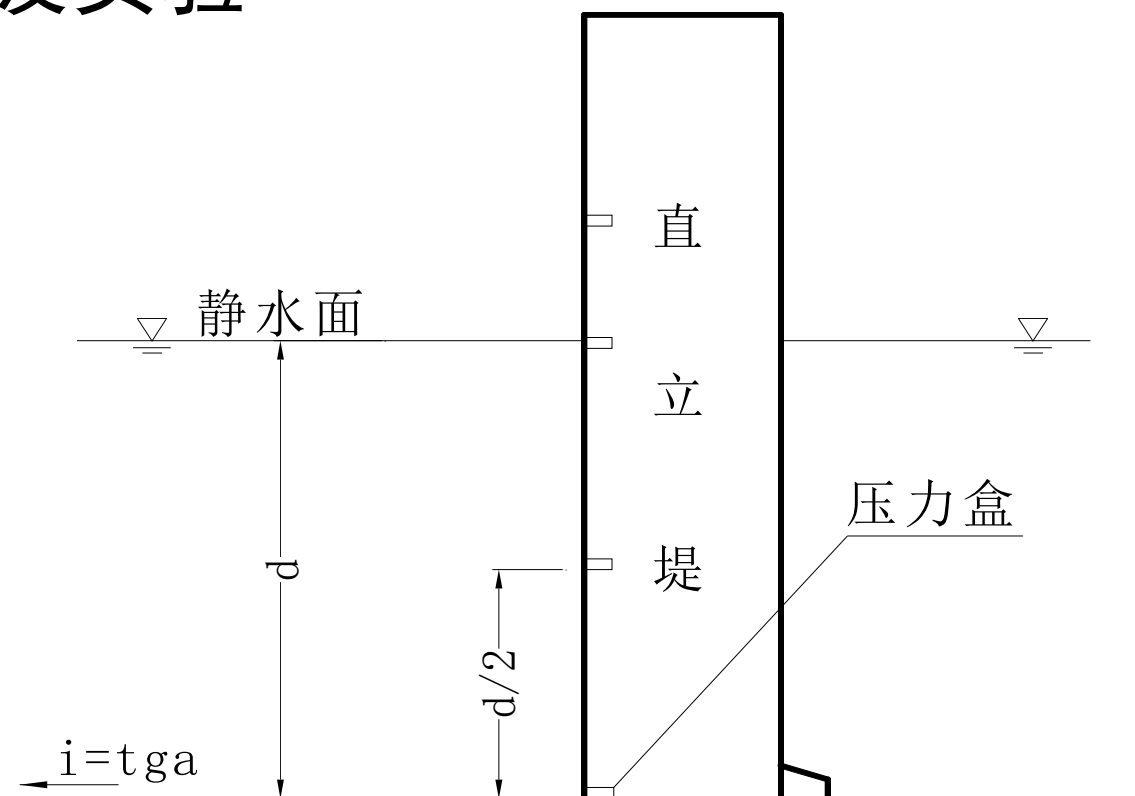
2号箱体上沿水深
按设四个波压力测
点，水面处一个，
水面上一个，水底处
一个，水面至水底中
间加一个。



四、实验方案

4. 立波、远破波实验

(1) 实验断面图 (暗基床)



四、实验方案

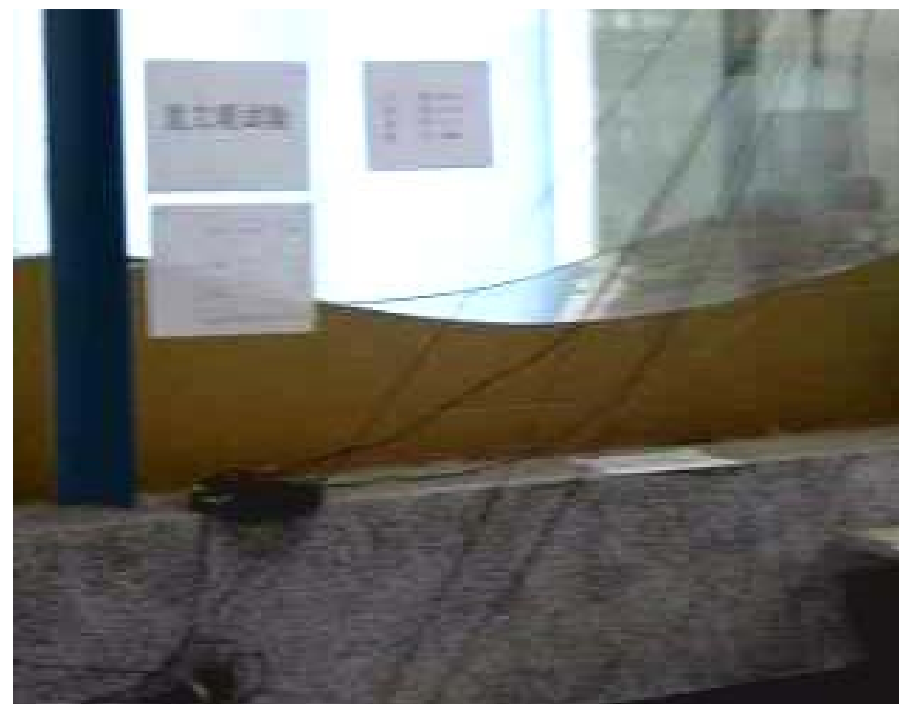
(2) 立波形成条件

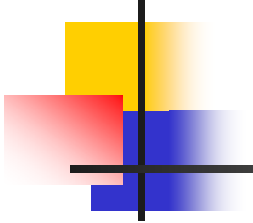
$$d = 30\text{cm}, H = 10\text{cm}, T = 1.3\text{s}$$

$$d = 30\text{cm}, H = 10\text{cm}, T = 1.6\text{s}$$

(3) 远破波形成条件

$$d = 30\text{cm}, H = 15.1\text{cm}, T = 1.3\text{s}$$





五、实验步骤

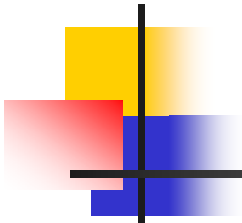
1.在试验前（没有安放模型时），我们按试验要求的水深条件下将波浪要素测好，测好的波浪要素以文件形式存放计算机内，以便试验时调用。

2.立波实验过程:

将试验模型摆放在水槽靠近尾部的位置，调出测好的形成立波的两个波浪条件，进行造波，观察波态，测量直立堤上四个压力测点的最大波压力值，测三次，填入表中。

五、实验步骤

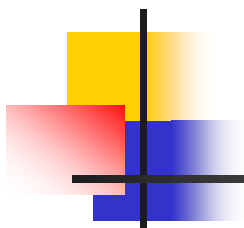
波 态	H (cm)	T (s)	实测最大波压力				
			压力盒	1#	2#	3#	4#
立 波	10	1.3	①				
			②				
			③				
	10	1.6	①				
			②				
			③				



五、实验步骤

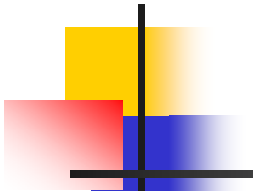
3.远破波实验过程:

同立波实验过程，调出测好的形成远破波两种波浪条件，进行造波，观察远破波的形成，测量远破波的波腹点的位置，测定给定的四个点的最大波压力值，测三次，填入下表中。



五、实验步骤

波态	H (cm)	T (s)	实测最大波压力 $p(kPa)$					波腹点 (m)
			压力盒	1#	2#	3#	4#	
远破波	15.1	1.3	①					
			②					
			③					

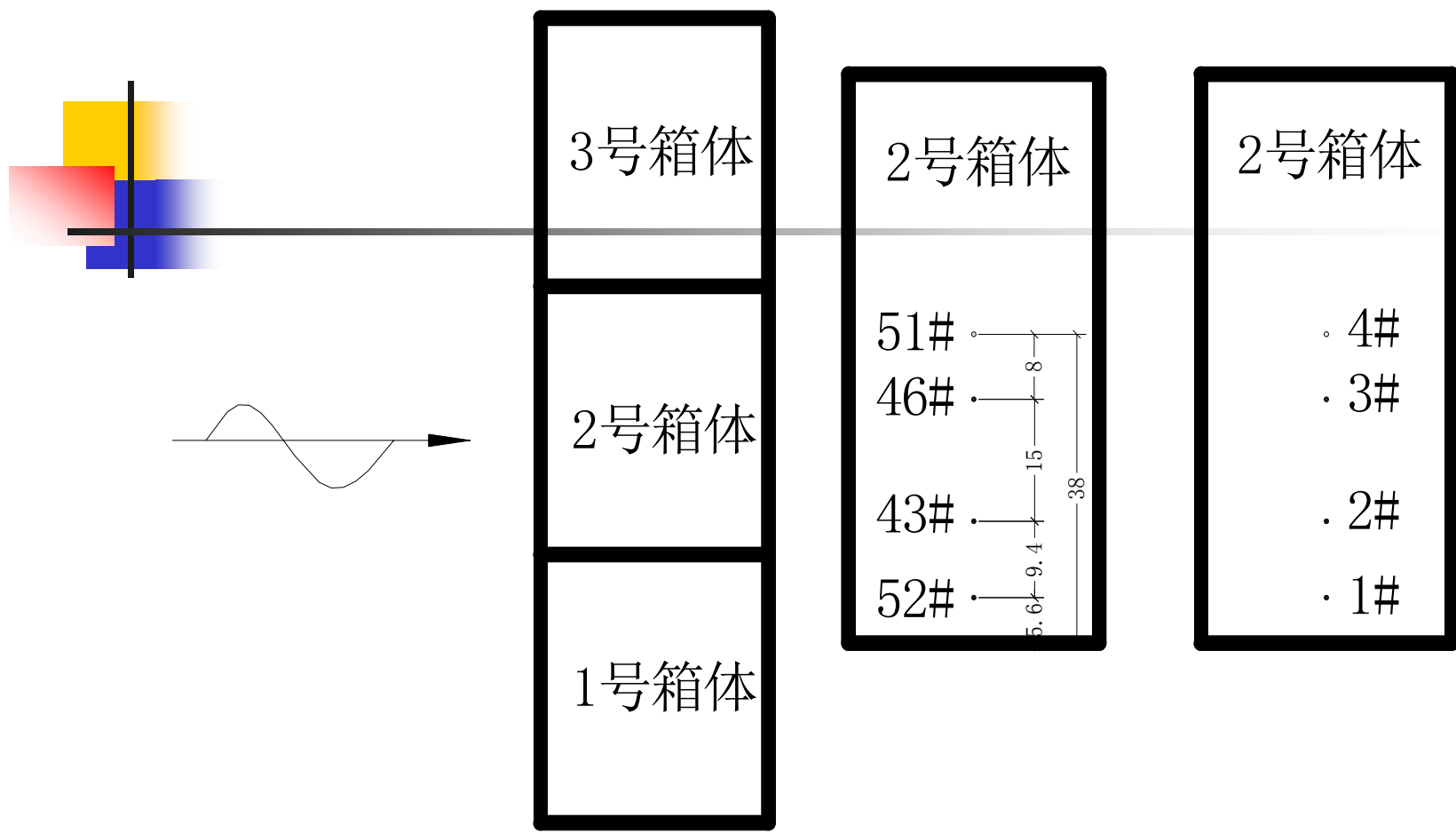


六、实验报告内容与要求

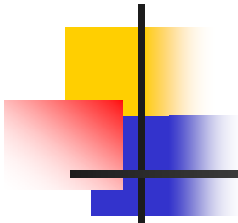
1. 直立式防波堤的试验目的;
2. 实验中直立堤上布置几个压力测点? 为什么这样布置?
3. 将实验要求测量的数据整理填入表2-2中;
4. 理论计算: 在 $d=30\text{cm}$ 、 $H=10\text{cm}$ 、 $T=1.6\text{s}$ 波浪荷载作用下, 直立堤上的三个点(2#、3#、4#点)在波峰作用时立波波压力值。
5. 将理论值与实测值进行比较分析。
6. 统一稿纸。

※实验报告第5题不做了。

交报告时间: 下周五下午; 地点: 407室



直立堤试验压力盒布置图（单位：cm）



七、设计性试验内容与要求

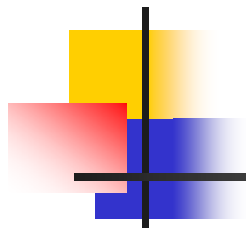
根据此次试验的经验，请自行设计近破波的形成条件，并利用现在的试验室条件，将你的试验设想做一个详细的计划，提交老师修改探讨，并可以择日进行试验。

要求设计试验必须提供的试验参数有：

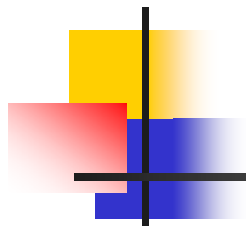
- ①形成近破波的试验断面图；（尤其是基床的高度）；
- ②形成近破波的水深、波浪要素；
- ③箱体上的压力盒布置个数和位置；

八、压力测量系统使用介绍

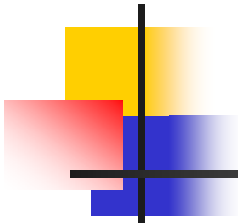




实 验 三



波浪荷载对桩柱作用力实验



主要内容

- 一、实验原理简介
- 二、实验目的
- 三、实验设备和测量仪器
- 四、实验介绍
- 五、实验内容
- 六、实验报告内容与要求

一、实验原理简介

- 海洋上各类结构物大都处于开敞的海域，直接遭受波浪袭击，受到波浪力的作用。对于海洋结构物来说，波浪荷载是一项主要的环境荷载。波浪在静水面附近波动最大，最活跃，静水面附近的波浪力也就最大。导管架结构和桩式码头的桩柱是减小波浪力作用的较好结构形式。
- 小尺度结构物，通常是指近海工程结构物被波浪包围的构件横向尺寸与波长(D/L)之比小于0.2时，则可按小尺度结构物受波浪力作用来考虑。本实验重点模拟小尺度结构物受波浪力作用。波浪对小尺度结构物的作用主要是粘滞效应和附加质量效应。

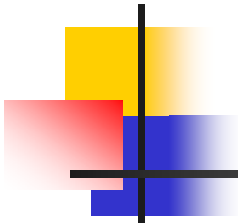


- **粘滞效应**：由于流体的粘滞性而引起的粘滞效应，使结构物受到阻力作用（或称流速力或拖曳力）。
- **附加质量效应**：由于流体运动的惯性及结构物存在而引起的附加质量效应，使结构物受到质量力作用（或称惯性力）。
- 当波浪作用在小尺度孤立桩柱上时，形成波浪绕流，这时几乎不产生波浪反射和波浪破碎，认为桩柱存在不影响波浪运动状态。当波浪绕过桩柱时，使桩柱受到波浪力作用。当桩柱间距 l 大于4倍桩柱直径 D ，即 $l/D \geq 4$ 时，桩柱周围波浪绕流基本上不受影响，这时各桩柱便可以认为是孤立桩柱，桩柱间受力不受干扰，可分别计算各桩柱上的波浪力。

■ 莫里森方程

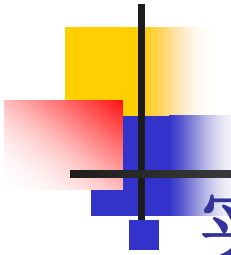
计算小尺度孤立桩柱上的波浪力首先由莫里森提出，认为波浪力使水流经物体时速度引起的阻力和水体加速度引起的惯性力的线性迭加，阻力是绕流时水质点运动速度突然变化而形成，与速度平方及阻水面积成正比；惯性力是水质点原有轨迹运动的加速度及被物体排开水体的质量成正比。

■ 计算按规范 《8.3 波浪对桩基和墩柱建筑物的作用》



二、实验目的

通过该实验加深波浪荷载对桩柱水平作用力的理解。加深不同直径的桩所受的最大水平阻力和最大水平惯性力与周期、波高、速度等关系理解。验证孤立桩柱所受的水平作用力与莫里森公式的关系。掌握用实验的方法测量桩柱式结构物的水平波浪力。

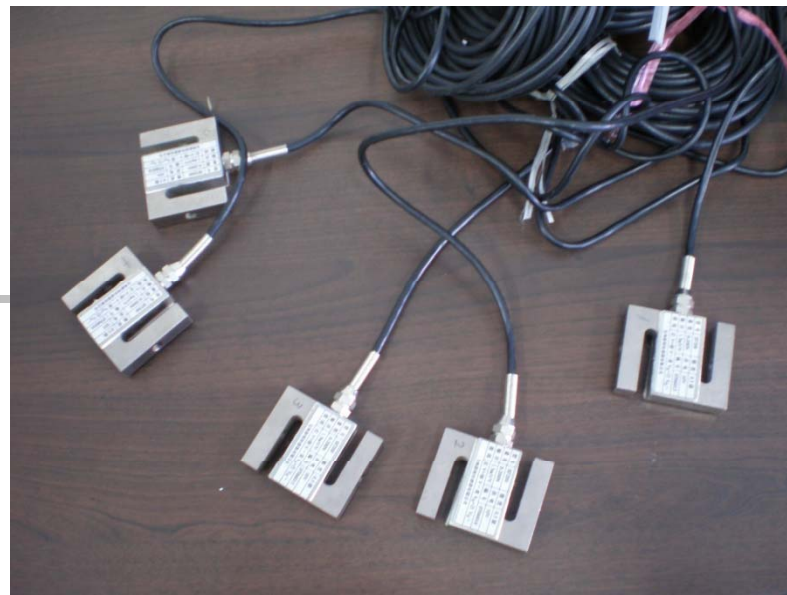


三、实验设备和测量仪器

■ 实验水池

实验在大连理工大学港海教研室的波浪水池中进行。水池长**50m**，宽**8m**，深**1.0m**，水池的前端装备液压式不规则造波机，由计算机控制产生规则波和不规则波，同时采集波浪信号。水池的末端设有消能坡，以减少波浪的反射影响。

- 用《**CBY-II**型波高测量控制系统》测量波高，用《总力测力计》同步测量作用于整个桩上的水平波浪力，测力系统的自震频率为**7~8**赫兹，可不考虑动力反响的影响。



- 《**CSW-II**型压强和总力测量系统》是采用先进的电子技术、传感技术和计算机硬、软件技术最新研制成功的计算机多点同步测量系统，系统可同步采集处理**27**点压强（本次实验不用）和**27**点总力（本次试验采用的**3**点总力测量）。

四、实验介绍

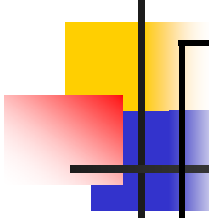


- 该实验模拟波浪作用下的海上桩柱式结构物，测试孤立桩所受的水平波浪力（忽略横向力影响）。模型实验由三个不同的直径的桩柱组成，布置如上图所示。实验桩柱模型上端安装总力测力计，同时固定在水池上部测试架上，让试验桩柱成悬臂梁，实验模型摆放在水池中间位置。

五、实验内容

- 实验中模型采用正态模型，保证外形几何尺寸与原形桩柱相似，给出的实验值（模型尺寸、水深、波高、周期）均为模型值。因此实验中的实测值、理论计算值均按照模型值取值。
- 实验桩柱模型直径取**40mm、50mm、75mm**三种；试验水深取**50cm**；波高取值为 **$H=7\sim15\text{cm}$** ，周期取值为 **$T=1.3\sim2.0\text{s}$** 。
- 实验中，同时采集桩柱所受的总力、波浪要素，并将采集的数据文件记录下来，作为实验原始资料依据。

实验内容一览表



水深 (cm)	波高 (cm)	周期 (s)	桩径 (mm)	文件名	最大水 平力
50			40		
			50		
			75		
			40		
			50		
			75		

六、实验报告内容要求（见实验讲义）

1. 实验原理及试验目的、实验内容。
2. 将实验测量的数据整理添入表3-1中；
3. 主人分别选取桩径 $D=40\text{mm}$ 、 50mm 、 75mm 三种情况，来计算桩柱上最大水平波浪力(根据《港口工程水文规范JTJ213-98》里的条文8.3，要求有详细的计算过程)；因为是每组的波浪要素各不相同，每个组三个人又选取不同的桩径，因而每个人的计算结果各不相同。
4. 将三种不同桩径所受的总力实验值用画图软件画出。
5. 找出实验值中最大水平波浪力和你计算的最大水平波浪力进行比较，并分析误差可能出现的原因。（必须要有分析过程，写在实验报告中）
6. 对于受波浪作用的群桩，当桩间距离（桩轴线间距离）与桩径时，桩与桩之间的波浪作用则要产生不可忽略的影响。由于每根桩在群桩中所处的位置不同，则会受到不同影响作用。当桩列平行于波浪行进方向时，前桩对后桩有掩护作用，称作遮帘作用；当桩列垂直于波浪行进方向时，同一列桩之间要产生相互干扰，称作干扰作用。这两种作用就是群桩效应。当考虑群桩效应时，我们所测到每根桩水平力将可能发生什么变化？试查文献资料并根据自己的分析得出相应的结论。（必需有此项）