

防風壁對繫岸船舶之影響

尤仲卿* 岳景雲** 尹彰*** 周宗仁****

摘 要

在港內之繫岸船舶，常由於受風作用之影響，而產生纜繩斷裂或船舶碰撞碼頭之情形，因此，本文乃欲研究利用防風壁或倉庫之設置，以減低繫岸船舶受風作用而產生之搖動，並確保船舶本身及碼頭設施之安全。

本文分別以數值計算與模型試驗來進行研究。首先應用表面漩渦法 (Surface Vorticity Method) 進行數值計算，不考慮流體黏滯性的擴散過程，然後經過勢流、漩渦發生、漩渦移動以及漩渦對流等一連串的數值運算過程後，將可模擬防風壁附近之流動情形，以瞭解防風壁背後之風速分佈，並藉以分析預測適當之防風壁高度及設置位置。

其次，利用風洞水槽進行水工模型試驗。以半導體式風速計量測防風壁附近之風速分佈情形，並與數值計算結果加以比較分析。然後分別在無防風壁及有防風壁之情況下，利用船體搖動測定裝置量測模型船之船體運動，以瞭解船體受風作用下之運動特性。

最後，綜合數值計算與模型試驗結果加以整理分析，求得適當之防風壁高度及設置位置，使船舶搖晃減低，並提供為設置碼頭設備時之參考。

一、緒 論

1-1 研究動機

在海港工程中，氣象數據為最重要之因素，而風為決定海港型態位置不可或缺之一環，風向影響港口之位置，以及泊船方向，風速則影響進港船舶航行條件，並造成波瀾，同時影響水域靜穩與設施安全。

在港內繫岸之船舶，進行裝卸作業時，風對船舶作用，產生搖動之影響，有時大於波瀾之作用。

* 國立台灣海洋學院河海工程研究所畢業

** 國立台灣海洋學院河海工程學系講師

*** 國立台灣海洋學院河海工程學系副教授

**** 國立台灣海洋學院河海工程學系教授

而本省每年季節風長達約半年，尤其以台中港為最。

由於受風之作用，繫岸船舶常受其影響，產生劇烈搖動，而遭致纜繩斷裂，或船舶碰撞碼頭產生船舶及碼頭損壞之情形，且影響裝卸作業甚鉅。因此，若在碼頭上設置防風壁，或有效利用現有碼頭上之倉庫做為防風之物，則可以減低繫岸船舶因風引起之搖動⁽¹⁾，以提高裝卸效率，並確保船舶本身及碼頭設施之安全。

1-2 研究方法

本文分別以數值計算及模型試驗來進行研究。首先應用表面漩渦法 (Surface Vorticity Method)⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 為數值計算方法，如圖 1 所示，忽略流體黏滯性的擴散過程，經過勢流，漩渦發生，漩渦移動以及漩渦對流等一連串的數值運算過程後，將可模擬流體通過防風壁後之流場，以便瞭解防風壁背後之風速分佈情形，並藉以分析預測較適當之防風壁高度及設置位置。

其次，利用具有風洞裝置之造波水槽進行水工模型試驗。先以半導體式風速計，量測防風壁背後之風速分佈情形，並與數值計算結果加以比較分析。接著，以模型船做為試驗時之繫岸船舶，分別在無防風壁及有防風壁作用下，利用船體搖動測定裝置量測模型船之運動情形，以瞭解船體受風作用下之運動特性。

最後，綜合數值計算與試驗結果加以整理分析，求得較適當之防風壁高度及設置位置，使船舶搖晃減少，並同時提供為設置碼頭設備時之參考。

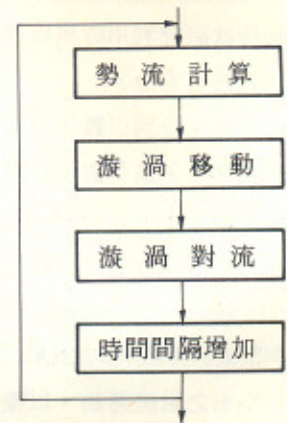


圖 1 表面漩渦法之數值運算過程

二、數值解析

2-1 勢流之表面漩渦模擬

本文利用表面漩渦法來模擬物體附近的流動，此法乃由 Martensen (1959)⁽²⁾ 所提出，假如我們考慮一個二度空間任意物體表面之非黏性流體流動，如圖 2(a) 所示，在 abcd 的範圍內，由於從流動中速度 V_∞ 至物體表面上速度為零之速度不連續，導致一個渦流片 $\gamma(s)$ 的存在，若考慮 abcd 範圍內之環流 (Circulation) 我們可以證實下式成立。

$$\gamma(s) = V_\infty \dots \dots \dots (1)$$

因此，我們假設物體表面係由一連續的渦流片所組成。

目前，勢流的問題在於計算 $\gamma(s)$ 的分佈，使其結果符合於物體表面所有的點。Martensen (1959)⁽²⁾ 已經證實，在等速流 (W_∞, α_∞) 中一個物體表面某一點 m 上，如圖 3 所示，Dirichlet

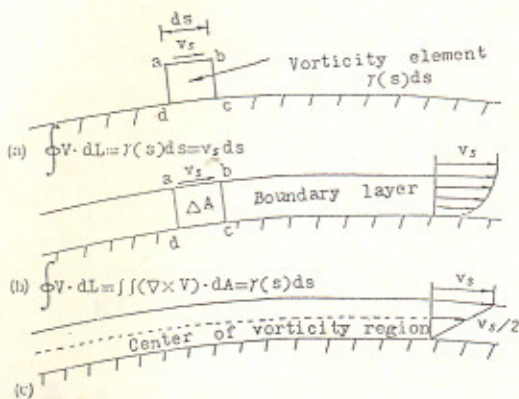


圖 2 物體表面之表面漩渦模擬

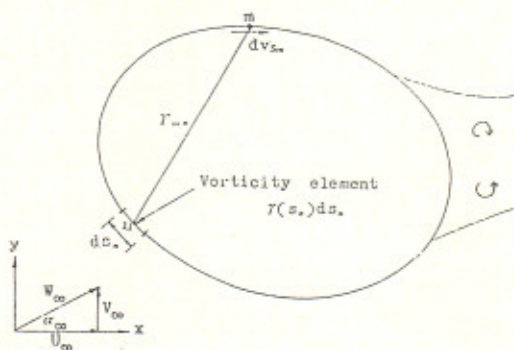


圖 3 經過任意物體勢流之表面漩渦模擬

邊界條件的應用，導致一個無特異性的 Fredholm 積分方程式，如下式所示，

$$\oint \gamma(s_n) K(m, n) ds_n - \frac{1}{2} \gamma(s_m) = -W_\infty \left(\frac{dx_m}{ds} \cos \alpha_\infty + \frac{dy_m}{ds} \sin \alpha_\infty \right) \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中， α_∞ 為等速流 W_∞ 與 X 軸之夾角， $K(m, n)$ 是一個相關係數，其值為由在 n 點上之單位漩渦所產生在 m 點上平行於物體表面的速度，可表成下式。

$$K(m, n) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{-(x_m - x_n) \left[\frac{dy_m}{ds} \right] + (y_m - y_n) \left[\frac{dx_m}{ds} \right]}{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

因此，式(2)左邊之環積分表示由物體表面上所有邊界漩渦 $\gamma(s)$ 所產生在 m 點上平行於物體表面的速度，第二項 $\frac{1}{2} \gamma(s_m)$ 為在 m 點上，因渦流片存在之內外速度差，而等式右邊則計算了由等速流 W_∞ 在 m 點上平行於物體表面的速度分量。

對於流場中散佈 z 個移動漩渦 Γ_N 時，如圖 4 所示，我們將在式(2)中加上移動漩渦的影響，由下式表示之。

$$\oint \gamma(s_n) K(m, n) ds_n - \frac{1}{2} \gamma(s_m) = -W_\infty \left(\frac{dx_m}{ds} \cos \alpha_\infty + \frac{dy_m}{ds} \sin \alpha_\infty \right) - \sum_{N=1}^z \Gamma_N L(m, N) \quad \dots\dots\dots(4)$$

其中，我們取漩渦 Γ_N 順時針方向為正，逆時針方向為負。式中 $L(m, N)$ 也是一個相關係數，與式(3)有相同形式，可表成下式。

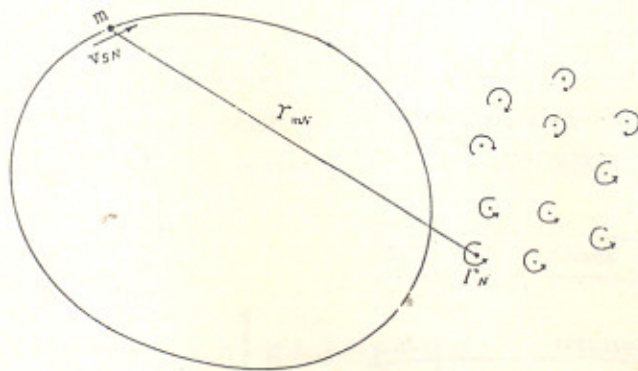


圖 4 流場中移動漩渦對勢流之影響

$$L(m, N) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{-(x_m - x_N) \left\{ \frac{dy_m}{ds} \right\} + (y_m - y_N) \left\{ \frac{dx_m}{ds} \right\}}{(x_m - x_N)^2 + (y_m - y_N)^2} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

積分方程式(4)對一般二度空間勢流經過物體且包含分離現象做了完整的描述。

若將式(4)沿物體表面邊界線分割成M個分離元素 Δs_n ，如圖 5 所示，在各元素令其 $\gamma(s_n)$ 值為一定，並以各元素之中央節點之值做為代表值，則可將式(4)分離成下列方程式。

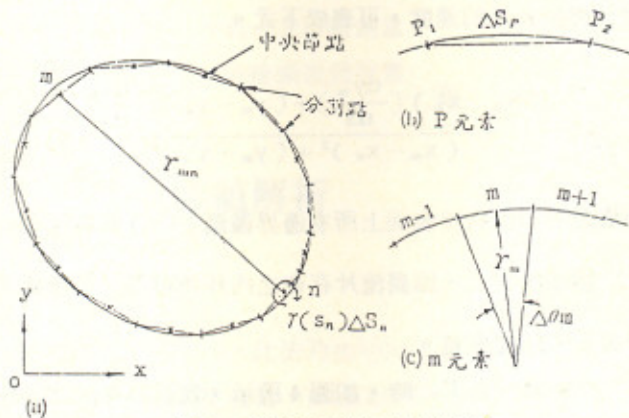


圖 5 邊界元素之分割情形

$$\sum_{n=1}^M \gamma(s_n) K(m, n) \Delta s_n - \frac{1}{2} \gamma(s_m) = -W_\infty \left(\frac{dx_m}{ds} \cos \alpha_\infty + \frac{dy_m}{ds} \sin \alpha_\infty \right) - \sum_{N=1}^Z \Gamma_N L(m, N) \dots\dots\dots(6)$$

為了節省計算時間及空間，方程式可藉引進鏡像漩渦 (Mirror Image Vortices) 而加以簡化，如圖 6 所示。因此，相關係數被修正成如下式所示⁽³⁾，

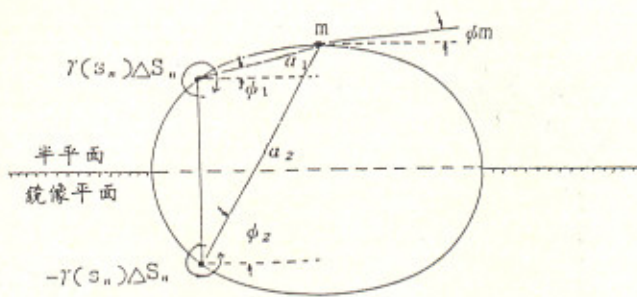


圖 6 對稱流之鏡像系統圖

$$K(m, n) = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{a_1} \sin(\Phi_1 - \Phi_m) - \frac{1}{a_2} \sin(\Phi_2 - \Phi_m) \right) \dots\dots\dots(7)$$

此處， a_1 與 a_2 分別表示 m 點與 $\gamma(s_n)\Delta s_n$ 和其鏡像渦 $-\gamma(s_n)\Delta s_n$ 所在位置的距離，則

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2} \\ a_2 &= \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m + y_n)^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 &= \tan^{-1} \left\{ \frac{y_m - y_n}{x_m - x_n} \right\} \\ \Phi_2 &= \tan^{-1} \left\{ \frac{y_m + y_n}{x_m - x_n} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

又 Φ_m 表示 m 點處物體表面切線與 X 軸之夾角，則

$$\Phi_m = \tan^{-1} \left\{ \frac{dy_m}{dx} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

式(6)中之 m 係對全部邊界成立，故可得 M 個方程式，若將等速流 (W_∞, α_∞)，移動渦分佈 $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$ 以及分割元素等各項條件代入，然後解此 M 個線性方程式，便可求得 $\gamma(s)$ 之解。又由式(1)知 $V_s = \gamma(s)$ ，則物體表面之速度分佈亦可求得。

2-2 漩渦之移動與對流

我們考慮由一個具有銳緣的陡峭物體分離的情形，如圖 7 所示，漩渦不能隨著尖角流動，而將以一個速度在 sp 點分離。因此，漩渦將連續的移動進入流場中，其強度為 $\gamma(sp) = v_{sp}$ ，而且對流速度是 $\frac{v_{sp}}{2}$ 。在每個時間間隔 Δt_n 中，新的漩渦元素移動進入流場中，成為移動漩渦，其強度是

$$\Delta \Gamma_n = \gamma(sp) \cdot \frac{v_{sp}}{2} \cdot \Delta t_n = \frac{1}{2} v_{sp}^2 \Delta t_n \dots\dots\dots(11)$$

而且此漩渦一經移動，在所有時間中保持其強度。

由一個在 n 點上單位漩渦所產生在 m 點上之水平速度分量 u 與垂直速度分量 v ，如圖 8 所示，可以下式表示之。

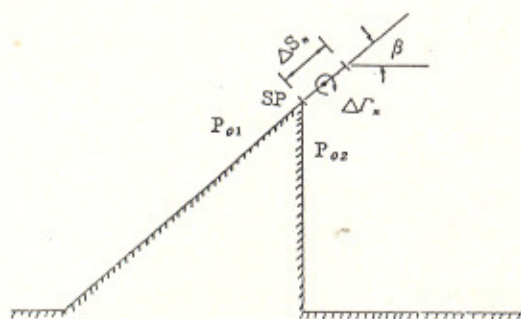


圖 7 漩渦在銳緣處之移動

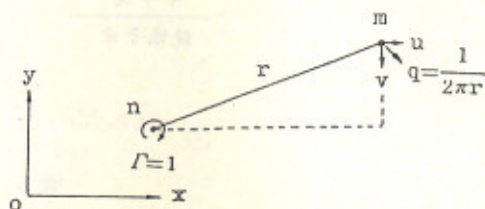


圖 8 漩渦之對流

$$\left. \begin{aligned} u = U(m, n) &= \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{(y_m - y_n)}{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2} \right\} \\ v = V(m, n) &= \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{-(x_m - x_n)}{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

因此，如圖 4 所示，移動漩渦 Γ_N 之對流速度分量，將可由流場中所有的影響計算而得到，如下式所示。

$$\left. \begin{aligned} u_{cN} &= \sum_{n=1}^M \gamma(s_n) \Delta s_n U(N, n) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq N}}^Z \Delta \Gamma_n U(N, n) + U_{\infty} \\ v_{cN} &= \sum_{n=1}^M \gamma(s_n) \Delta s_n V(N, n) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq N}}^Z \Delta \Gamma_n V(N, n) + V_{\infty} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

並且在每個時間間隔中，漩渦之位置改變，其新的位置將由下式計算而得到。

$$\left. \begin{aligned} x_{new} &= x_{old} + u_{cN} \Delta t_n \\ y_{new} &= y_{old} + v_{cN} \Delta t_n \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

由式(13)與式(14)將可計算任何一個時間間隔裡，流場中之速度分佈情形。

2-3 數值計算例及結果

依據 2·1 及 2·2 所述之方法，本文乃針對等速流經過平板的流動情形進行數值計算，以達成本文的主要目的，即瞭解防風壁前後之風速分佈情況，及進一步之探討研究。

於數值計算時，計算點之取法如圖 9 所示。然後，分別對 3 公尺、6 公尺、9 公尺等三種不同高度之防風壁，在不同風速下加以計算。同樣地，亦對 6 公尺（高）× 18 公尺（寬）及 9 公尺（高）× 27 公尺（寬）之倉庫，計算其附近之流況。

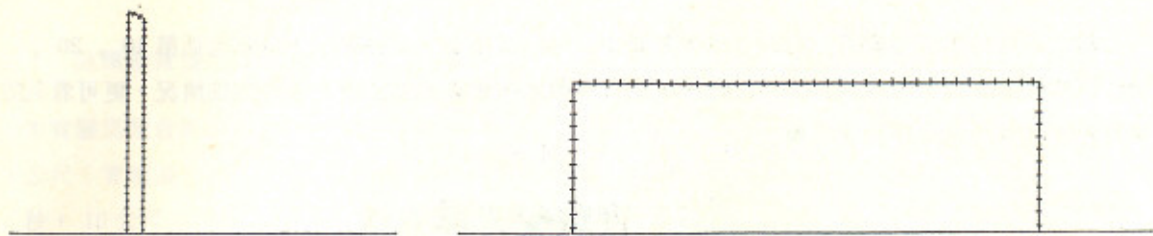
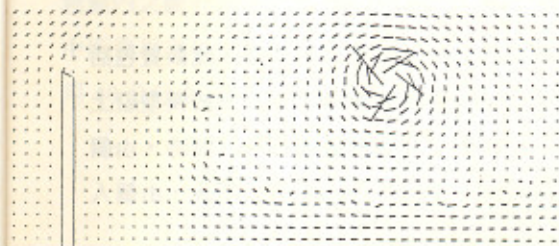
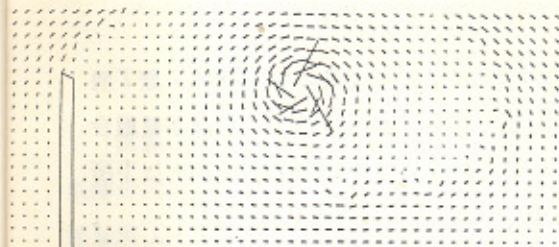


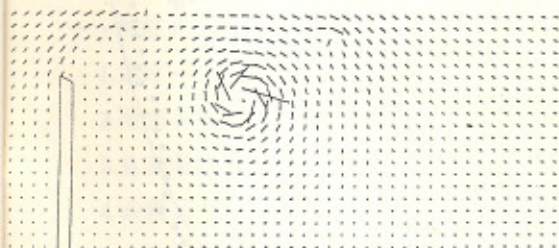
圖 9 計算點之分配情形



NO. *30 VEL. *5.0

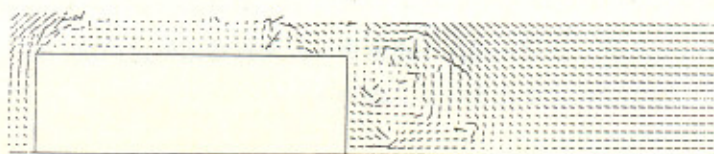


NO. *20 VEL. *5.0

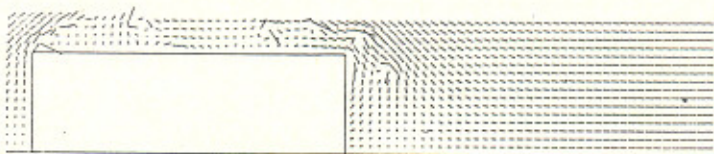


NO. *10 VEL. *5.0

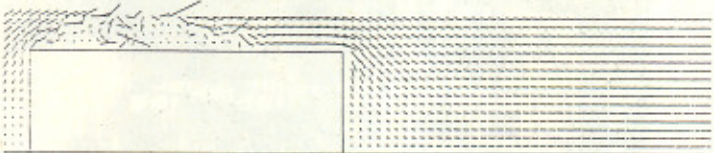
圖 10 3 公尺高防風壁前後之風速分佈



NO. *30 VEL. *15.0



NO. *20 VEL. *15.0



NO. *10 VEL. *15.0

圖 11 6 公尺 (高) × 18 公尺 (寬)
倉庫前後之風速分佈

以上各種情況經過數值計算後之結果如圖 10 ~ 圖 11 所示。這些圖中，分別包括第 10，20，30 個時間間隔的數值計算結果，由此，除了可明顯看出在防風壁前後之風速分佈情況，更可看到防風壁背後漩渦形成及移動之現象。

三、實驗配置與方法

3-1 實驗設備

本文之實驗係利用河海工程學系海港工程館所有加裝風洞設備之斷面水槽，水槽長 50 公尺，寬 1.8 公尺，高 1.5 公尺，風洞部份為 15 公尺（長）× 1.8 公尺（寬）× 1.0 公尺（高），此風洞為開放吹入式，動力系統係採用 50 Hp 直流馬達。量測風速時，使用半導體式風速計，所得風速值可由顯示窗顯示出，亦可連接印表機列印出來。

另外於測定船體運動情形時，乃利用本學系海港工程館新添置之船體搖動測定裝置，此裝置包括：與個人電腦相連接之主控制系統，操舵機，雷射桿，送受信號用天線及實驗時必須放置於模型船上之 HEAVE 測定器，PITCH & ROLL 測定器，四方向運動計測裝置和資料處理器。計測時，由個人電腦負責控制及下達命令，經過無線電傳送到模型船上之測定器，然後再傳回給個人電腦，由個人電腦做記錄及進一步之處理。

3-2 流場之模擬

本實驗為模擬大氣紊流邊界層流場，乃利用阻牆，長方形柵欄，及萬代福消波塊、磚塊、雙 T 消波塊等不同的粗糙元素之組合來模擬。實驗中利用半導體式風速計量測平均風速剖面，經過多種組合的嘗試後發現，以如圖 12 所示之佈置所得之結果較理想，其平均風速剖面圖如圖 13 所示。以下所述之各項實驗均採用此佈置。

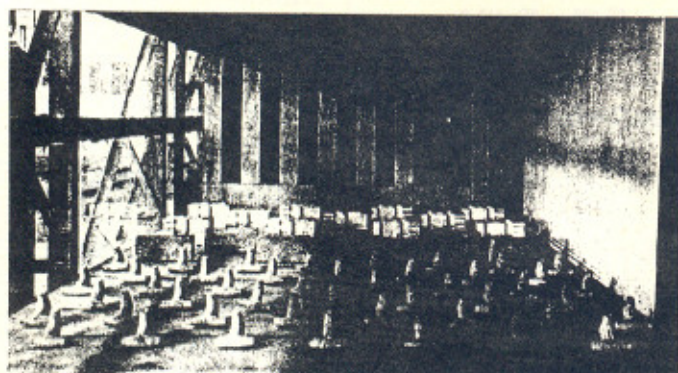


圖 12 流場模擬實驗之佈置

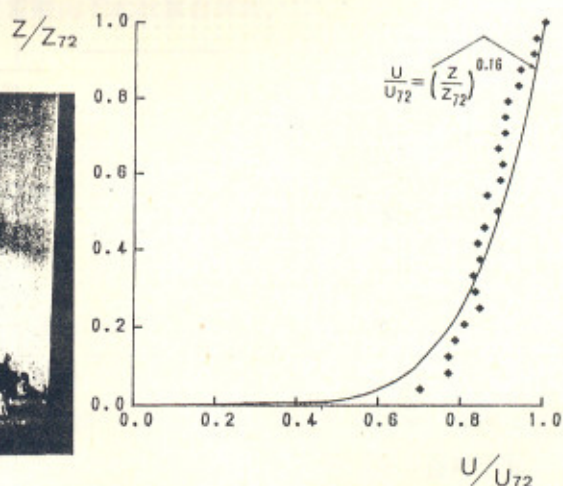


圖 13 平均風速剖面圖

3-3 防風壁背後之風速分佈

本實驗為配合與數值計算之結果進行比較，因此，所採用之防風壁高度分別為：3公尺，6公尺，9公尺（實體高度）等三種，長度則與水槽寬度相同，而每一種高度均分別在三種不同風速：5公尺/秒，10公尺/秒，15公尺/秒（實體風速）等情形下進行風速量測工作。另外亦進行二種倉庫模型之風速量測，此二倉庫模型之實體尺寸為：6公尺（高）×18公尺（寬）及9公尺（高）×27公尺（寬），藉此可以瞭解實體倉庫附近之風速分佈情形。

3-4 船體搖動測定

為瞭解船體在受風作用下之運動情形，及防風壁的存在對於繫岸船舶之影響，乃於本學系海港工程館內之斷面風洞水槽進行水工模型試驗，並利用船體搖動測定裝置量測船體之運動情形。而本實驗中所使用之模型船為箱船，其尺寸為：165公分（長）×40公分（寬）×24公分（深），實驗時採用40公分之水深，實驗佈置如圖14所示。

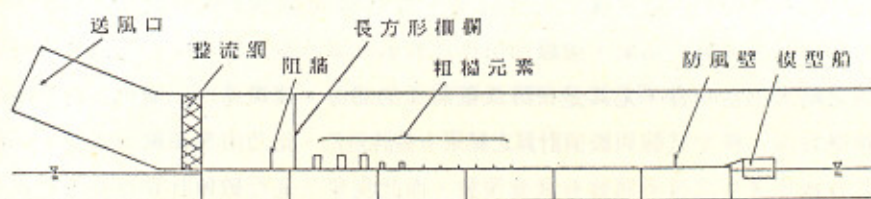


圖 14 模型實驗佈置圖

試驗之條件如下：模型船之受風斷面分別為水面以上13公分，10公分，7公分等三種，即船吃水深分別為：3.3公尺，4.2公尺，5.1公尺（實體），防風壁高度為3公尺，6公尺，9公尺（實體高度），而防風壁之設置位置則分別為距碼頭岸線15公尺，21公尺，27公尺（實體）。

實驗之步驟分為無防風壁作用及有防風壁作用二種情況，以下分述之：

一、無防風壁作用時：

1. 選定一受風斷面。
2. 改變各種風速狀況。
3. 量測船體運動。
4. 改變另一受風斷面，重覆2至3之步驟。

二、有防風壁作用時：

1. 選定一防風壁高度。
2. 選定一防風壁之設置位置。
3. 同無防風壁作用時之1~4步驟。

4. 改變防風壁之設置位置，再重覆 2~3 步驟。

5. 改變防風壁之高度，再重覆 2~4 步驟。

3-5 數據收集與處理

於擷取風速資料時，每間隔 5 秒取一個風速，由印表機印出，每一測站取 20 個風速值，加以平均，求得該測站之平均風速，再經由個人電腦整理分析，接著由繪圖機繪製平均風速剖面圖。

量測船體運動時，首先於無風狀態下進行零位計測，之後，打開送風機送風約 3~5 分鐘，再開始量測船體受風作用之搖動，每 0.5 秒取一組數據，每一次試驗共約取 200 組數據，存入個人電腦之磁碟片，然後再分析並繪製圖形。

四、實驗結果與討論

4-1 防風壁前後之風速分佈

經由風洞試驗，測得防風壁前後之風速分佈，並與數值計算結果做比較，如圖 15~圖 16 所示，圖中實線部份為風洞試驗之結果，虛線部份則為數值計算所得之結果。由這些圖中可發現，數值計算與模型試驗之結果相當吻合，尤其是在防風壁前面的部份，其風速剖面變化之趨勢幾乎完全一致。

而在防風壁背後，模型試驗與數值計算之結果有些許差別，此乃由於在風洞實驗中，當流體經過防風壁後，於其背後所產生之漩渦將會有衰減現象，而此現象在進行數值計算時並未加以考慮，因此，有些計算點所得之結果會產生比模型實驗結果大過數倍之情況。

4-2 船體運動

船體搖動測定裝置本應可測得船體六個自由度的運動情形，然而，因本實驗佈置上的因素，且係在斷面風洞水槽內進行試驗，故本實驗中僅量測船體的二個自由度，亦即垂直移 (HEAVE) 及橫轉 (ROLL)，對於所取得的每一組數據也僅針對此二個自由度之測定值，加以分析與討論。

於防風壁不存在時，船舶受風作用後，繫纜繩立即張緊，因此，由實驗結果觀察之，發現船體之搖動與船舶吃水深並無顯著之關係。而影響其搖動之主要原因為風速大小，大致上，船體搖晃大小隨風速增加而增大。

在防風壁存在時，船體搖動受船舶吃水深的影響亦不明顯。當防風壁高度為 3 公尺時，於本實驗之三種設置位置處，對於船體搖動情況幾乎均無任何改善，即其遮蔽效果欠佳。當防風壁高度為 9 公尺，其設置位置在距碼頭岸線 21 公尺及 27 公尺處時，則可見到船體搖動情況有減小之趨勢，其遮蔽效果較設置高 3 公尺之防風壁為佳。而當防風壁高度為 6 公尺時，對於船體搖晃程度而言，比另二種高度之防風壁有較多的改善，尤其是設置位置在距碼頭岸線 21 公尺處會有甚佳的遮蔽效果。如圖 17~18 所示。

若將防風壁之擺設改爲倉庫時，則由實驗結果中發現，設置高 9 公尺寬 27 公尺之倉庫後，並沒有改善船舶晃動程度，反而有增加船體搖動之情況發生。然若設置高 6 公尺寬 18 公尺之倉庫時，則船體晃動將有所改善。如圖 19 ~ 20 所示。

五、結 論

本文在計算防風壁前後之風速分佈時，由於考慮在非黏性流體情況下進行計算，對於漩渦擴散或強度衰減，甚至於破壞，均未加以考慮，故由數值計算結果與試驗結果之比較得知，在防風壁前二者之結果相當吻合，而在防風壁背後，由於漩渦已生成，故會有少許誤差產生。

本文主要目的爲探討在碼頭上設置防風壁之後，對於繫岸船舶產生之影響。由模型試驗中得知，防風壁之設置，因其設置位置及高度之不同，可能對繫岸船舶產生正面的影響與負面的影響，即可能減少船舶之搖晃，亦可能因設置位置及高度不適當而增加其搖晃現象。因此，由本文之實驗結果得知，若防風壁距碼頭岸線距離與其高度之比值 (X/H) 在 2.5 ~ 4.5 間，則將可減少繫岸船舶之搖晃現象。

經過模型試驗結果與數值計算結果之比較後，發現本文所採用之數值計算方法所得結果相當準確，即此數值計算方法之可靠性極佳。

參 考 文 獻

1. 上田 茂・白石 悟・小熊康文 1985 : 強風下の係岸船舶の動揺とこれに對する防風壁の效果について，第 32 回海岸工學講演會論文集，pp. 672 ~ 676 .
1. Martensen, E., 1959 " Die Berechnung der Druckverteilungen dicken Gitterprofilen mit Hilfe von Fredholmschen Integral Gleichungen. " Zweiter Art. Arch. Ret. Mech. Anel., Vol. 3, pp. 235 - 237.
3. Lewis, R. I., 1981 " Surface Vorticity Modelling of Separated Flows from Two-Dimensional Bluff Bodies of Arbitrary Shape. " Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 23, No. 1, pp. 1 - 12.
4. Porthouse, D. T. C., Lewis, R. I., 1981 " Simulation of Viscous Diffusion for Extension of the Surface Vorticity Method to Boundary Layer and Separated Flows. " Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 23, No. 3, pp. 157 - 167.
5. Lewis, R. I., Porthouse, D. T. C., 1983 " Recent Advances in the Theoretical Simulation of Real Fluid Flows. "

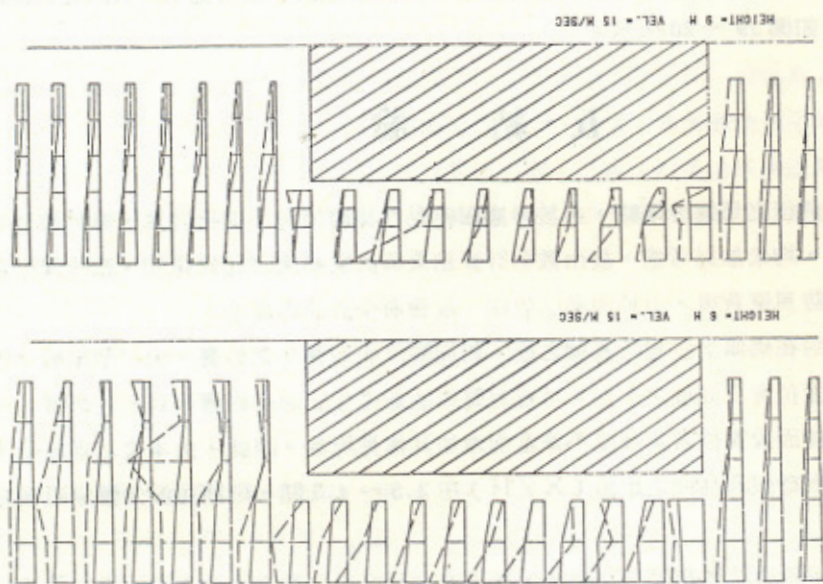


圖 16 倉庫前後之風速分佈一模型實驗
與數值計算結果之比較(上: 6
公尺(高) × 18公尺(寬),
下: 9公尺(高) × 27公尺(寬
))

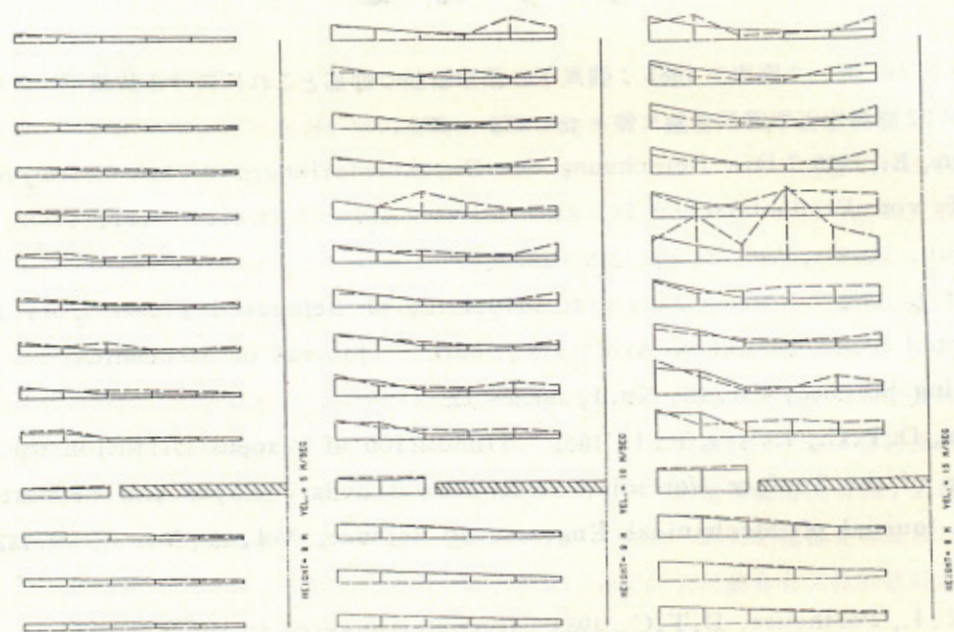


圖 15 9公尺高防風壁前後之風速分佈
一模型實驗與數值計算結果之比較

The Effects of Windbreak on The Motion of Mooring Ship

by

C. C. Yu* C. Y. Yueh** John Z. Yim*** C. R. Chou****

ABSTRACT

Ship mooring in harbor for loading-discharging, the influence of the motion of the ship induced by wind are sometimes greater than that by waves. In Taiwan, seasonal winds last, almost always, for about half of the days each year, Taichung Harbor is an example. This paper are intended to clear the influence of the motion reduction of the ship by windbreak or warehouse for increasing the efficiency of stevedoring, and will be sure that the safety of the ship and the wharf.

As numerical analysis we use Surface Vorticity Method that can simulate the flow field when fluid flow through the windbreak. From the results, we can understand the wind velocity distribution in the rear of the windbreak, and predict the proper height and location of the windbreak by this method.

Then, a model test in wind tunnel to measure the wind velocity distribution in the rear of the windbreak, and the motion of the ship itself will be measured simultaneously.

Finally, after the results of numerical analysis and model test were compared, we found that the results of the numerical method are very accurate. And the proper height and location of the windbreak were found to reduce the motion of the ship, and present a reference for the planning of the equipments of the wharf.

* Formerly, Graduate Student, Graduate School of Harbor and River Engineering National Taiwan College of Marine Science and Technology.

** Instructor, Department of Harbor and River Engineering National Taiwan College of Marine Science and Technology.

*** Associate Professor, Department of Harbor and River Engineering National Taiwan College of Marine Science and Technology.

**** Professor, Department of Harbor and River Engineering National Taiwan College of Marine Science and Technology.