

海堤坡面之保護

(摘譯自十八屆國際航運會議第二章)

陳麟詩譯

本文專討論斜坡式防浪結構物之保護方法，此種結構物在荷蘭海岸建造甚多，因之，本文所述者均為荷蘭之經驗。

1. 荷蘭海岸情形

荷蘭臨近大西洋之北海，其西南部份海岸潮差為3.7公尺，向北漸減 Hoek of Hoallat (Rotterdam 港入口) 處為1.7公尺，Den Helder 處為1.6公尺，然而至東北部份海岸，潮差又增高至2.3公尺，從西方與西北方向吹來的暴風可將水面升高至預測潮位2公尺以上，強勁暴風吹起海面兇惡波浪。其週期為7秒，高度約為 $5\frac{1}{2}M$ 。另外亦曾實到較長週期但高度較小之湧波 (Swell)。

2. 海堤之斷面

波浪衝擊海堤時，其最強衝擊力量位於波峯高程與波谷高程之間。

波浪破壞海堤保護層的作用，現並未充分詳細研究清楚，所以此處僅能作一般性之討論。

如果海水能自堤面築砌材料之間的縫隙中灌入海堤內層時，內層之水壓並不能馬上隨外面水位之升降而變化，當堤面外波浪後退之時期，內層內會發生過大之水壓。

在砌石堤面情形，某一個或某數個塊石會被上述內壓所推動。石塊與石塊之間的摩擦力會使已鬆動的塊石不能落回至原來位置，當波浪週期性地衝擊堤面時，內層產生的脈動性內壓可能將某些石塊推出太多，以致下一個正面打擊的波浪就輕易地將此石塊沖走。一個石塊被沖走後，其附近的石塊就失去支持而坍塌，於整個堤面的破壞就開始了。

如堤面是瀝青保護層 (Asphaltl l ager)，則瀝青層亦會被內層壓力所壓壞，瀝青破塊很快就會被波浪帶走。

堤前的淺灘 (Fore Shore) 及水下棧道 (Berm) 可以使來襲的波浪破碎，因之可以減少破壞的作用。

波浪打堤面時，會沿斜坡沖上一段高度，此謂之沖昇 (uprush)，平均水位面以上之波浪沖昇高度 Z 與波度高 H 及堤面斜坡角度 A 之間之關係式純經驗式) 如下：

$$Z = 8H \tan A$$

加堤平均水面處築有戲道，則沖昇可減少，上式可乘一係數 $(1 - B/L)$ ， B 是戲道寬， L 是波長，如入射波浪與堤線成傾斜，則此係數變成 $(\cos l - B/L)$ ， l 是波浪入射角。

公式中之波高 H 需應用有效波高 (Significant wave height)，並須視淺灘水深及一般地形加以修正，波浪經過曲折 (Refraction) 後，各處波高不盡相同，故堤線可能必須應用不同數值之 H 。約有百分之二的波浪達到沖昇高度 Z ，沖昇發生之沖刷，亦可達到該高程。

此公式適用於整齊之砌石護坡，其戲道之寬度約為波長 L 之四分之一。更寬之戲道，其沖昇之減低，並不遵循相同的減低率。

表面光滑且不透水之堤面增加沖昇約15%，特別設計之粗糙混凝土面如階級式護坡能減少沖昇約10%。

粗糙面置於斜坡之上段時最為有效，如置於下段，沖昇時該處之水層太厚，而坡面突出粗糙部份比較之下太小，以致無甚影響。

將大塊的阻礙體放置波面上，可減少沖昇20%，但此種構造，其費用較高沖昇之光滑護坡尤高，故在大多數情形下不能採用此種方法。

直立面阻礙體能使水沫四濺，致堤頂及堤後均被大量濺濕，在任何情形下，宜將直立面局限於沖昇高度最高三分之一以內。

此公式之適用限界亦須說明。此公式係觀測模

型及已有海堤之冲昇情形而求得。模型之坡度由1:3至1:8, 研究餞道影響之模型, 其餞道上下斜坡之坡度是相等的。

關於堤面高度, 還須考慮其他因素。施工情形即是一項。施工時如保護層之建造無法與堤體填築同時升進, 而無保護之堤體在相當時間內將暴露於波浪冲擊之下, 則堤坡必須平緩過保護層本身所需要的坡度。

堤坡如較1:4更陡, 則在作補修工作時, 運土機具將無法爬上該坡。如築堤之地點為海水所不常

到達之處, 並且不致有嚴重的冲刷情形發生, 則可將堤面鋪植草皮。堤坡宜為1:25或更平, 並須顧及氣候, 土壤肥力情形, 以及牛羊放牧等條件。餞道宜略有坡度, 至少1:20, 以使積水能流出。有時因施工之要求, 須要建造數個不同高程的餞道。

3. 保護層 (Protective Layers)

關於採用何種型式之保護層, 必須考慮施工時之條件, 及最惡劣氣候下波浪的冲擊的情形。為便利說明起見, 可將海堤朝海之一面分成四區: (請見 Plate 1, fig 2)

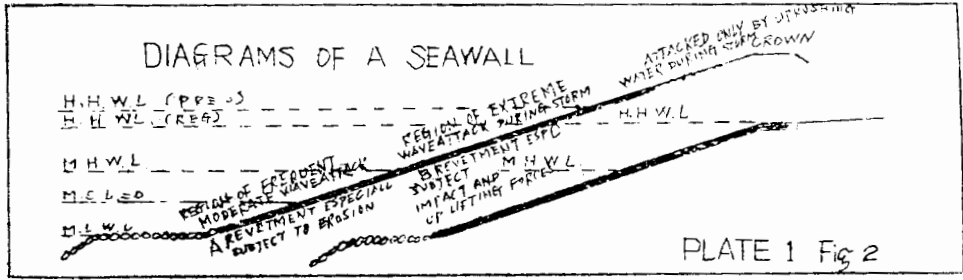


PLATE 1 Fig 2

低潮位以下為第一區, 為沿岸流 (Longshore Current) 及波浪振盪流 (Oscillating Currents of waves) 之活動區域。此等水流有相當流速, 具有冲刷沙灘之能力。第二區為低潮位與高潮位之間, 此區中存在著永久性之波浪冲擊。第三區為高潮位與暴潮位 (Storm tide Level) 之間。最強之波浪冲擊於發生於此區內。至於暴潮位以上的坡面, 因有冲昇 (uprush) 現象發生, 必須注意如何防止冲刷。

低潮位以下之保護之方法, 現仍採用古典式沈床 (Fascine Mattress)。沈床係用柔韌之柳枝編成。上面壓一層石塊, 沈於堤脚處以保護該處沙底, 風暴發生時, 石塊如有被冲走之可能, 則需常常拋石維護。

護坡工程之基脚為一極其重要的部份, 此處實為水下保護層與水上保護層之交界點, 最易受到波浪退卻之淘刷 (Back wash of receding waves)。保護的對策是在低潮位上作一適當寬度的餞道, 鋪砌石塊或其他硬質材料。

低潮位與高潮位之間的護坡係抵抗波浪之冲刷, (Plate 1, fig 2. 區域A—B), 但在最強波浪冲擊區域 (區域B—C), 護坡必須能够承受巨大的冲击力 (impact) 與內層之浮壓力 (uplift)。

大多數海堤均用砌塊石層保護。石塊之質料必

須良好 不易風化。砌石層之強度由每一石塊之重量及砌合方法決定。石塊之重量必須能克復波浪後退時內層所產生之靜水壓力。良好之砌石方法能使石塊緊密接觸, 互相支持。荷蘭習用之玄武石 (Basalt) 護坡, 強度極大, 因玄武石比重既大, 又其天然形狀為六角柱體, 砌合極為緊密。

砌石保護層之工費昂貴, 並須有仔細之砌合工作。故其工作進度不能迅速。砌石層之另一缺點是石塊與石塊之間空隙。波浪由此等空隙灌入流出, 淘空內層堤體材料。(習用內層材料為粘土夾碎石或碎磚)。內層被淘空後, 外層石塊即行鬆動而被波浪冲走。其他砌石因失去支持即大量坍塌。但另一方面說, 砌石層亦有一項優點, 即比較富有軟性, 能隨堤體之沈陷而移動, 故護面與內層之間不會有巨大空洞發生。

上述石塊間空隙的弊病可用填實的方法作改進。有時空隙會因波浪携來的泥沙及貝類之生長而自然的填實, 但此種填實殊不可靠, 難耐強勁波浪冲擊。最好的方法是用灌注混凝土或瀝青 (Asphalt grouting) 填實。

在暴潮位以上的部份, 應用單薄護面即能在大多數情形下達到保護堤體之目的。如在暴潮位附近設置餞道一道, 可以減少砌石護坡的數量。此餞道因為位置的關係, 僅需要簡單的保護, 如種植草皮

即可。但草皮餞道必須在普通波浪沖昇範圍之外，不易為鹽水所達到 (Plate 5-F, G)，就是例子。

對於暴露於波浪嚴重沖擊之下的海堤，不宜設置草皮餞道，因為該餞道僅能設在暴潮位以上數公尺之處，否則波浪的沖刷力太強，致會發生損害，

於是護坡工程須要做到很高的高程，因此亦就失去了設置餞道的優點，在較低高程處設置完善保護之餞道，可以增加堤面斜坡的穩定，又能作施工及修理時施工機具的通路，是很合乎理想的，所以餞道的高程定在施工期中沖昇高程度之上 (Plate 2,

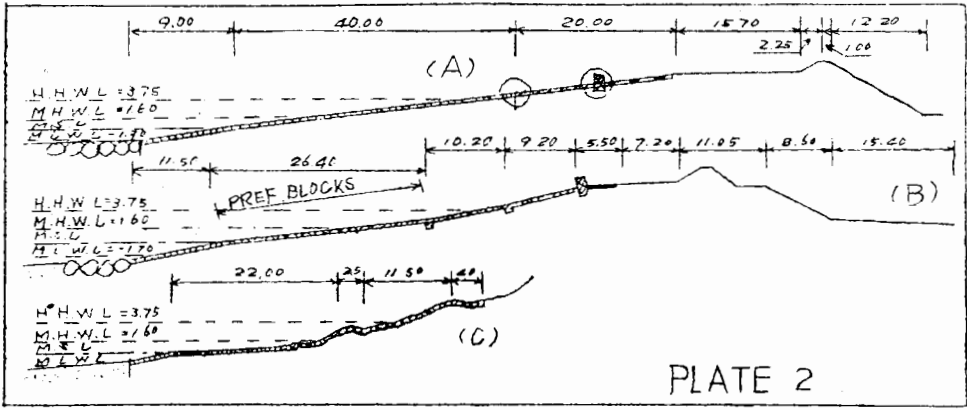


PLATE 2

fig C)。

餞道與上部斜坡之相交部份亦是一個薄弱部位，在若干海堤需要提高其餞道高程，或加作保護工 (Plate 5 fig. H)。

堤面上宜避免設置高牆或高直立階級，因為不僅工費昂貴且產生水沫已如前述，少數海堤亦曾採用，如 Plate 2, 4, fig. E 與 Plate 5 fig. K, 荷蘭西南部 Walcheren 島 Westkapelle 海堤有應用沖直牆，其原因是海堤堤體是過去所築，新建護坡的表面太光滑致產生過大之沖昇，應用直牆減少沖

昇甚巨，但風暴時海水竄上空中高出堤頂 5 公尺，

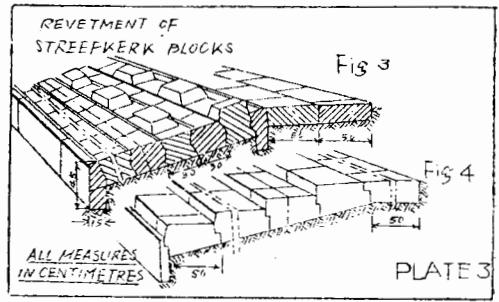


PLATE 3

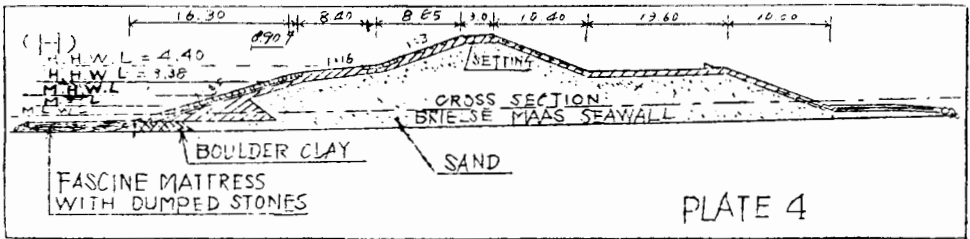


PLATE 4

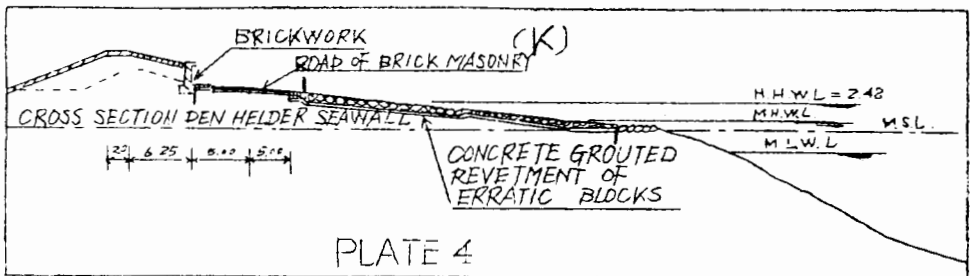
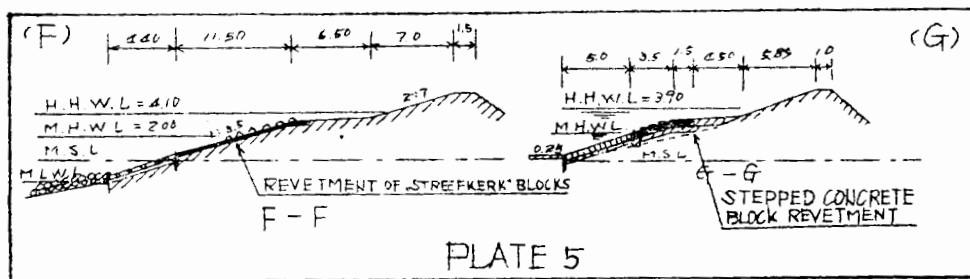
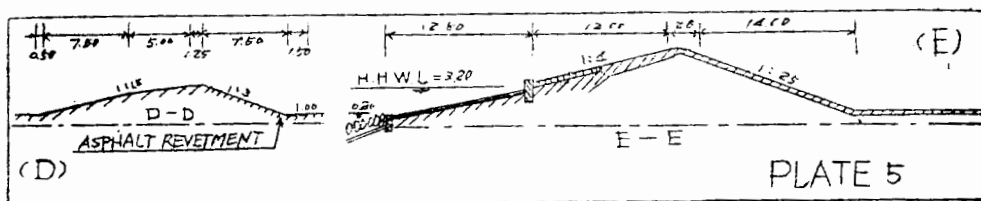


PLATE 4



盡落在堤頂及堤後草坡之上。

4. 混凝土工作

於古舊砌石堤上灌注混凝土能增加其強度。混凝土須有合適之稠度使能貫入石塊後及石塊間之空隙，但砌石坡面經過灌注後，失去柔性，故僅在已充分沈固 (Consolidated) 之舊堤上方可實施。

直接應用混凝土作為護坡以代替天然石塊可以減低工費並且節省時間，但其劣點是較易在海水中分解 (Disintegration) 及抵抗風化能力較差，如波浪作用時，海水中帶有沙粒，則混凝土易被磨損，表面被磨損之後，海水化學分解作用愈易進行，愈易分解則抵抗磨損愈能力差，如此循環不已，終使混凝土完全損壞，如無沙粒磨擦發生，混凝土耐久程度可以大增。

混凝土塊因為形狀整齊，故其接合較天然石塊為緊密。保護內層粘土之能力亦較高，混凝土塊之表面平滑，其沖昇高度亦較大。

混凝土護坡可分成預鑄混凝土塊及現場製鑄二種，茲分述如下：

a. 預鑄混凝土塊

混凝土塊之大小需以一人能搬動為度。預鑄塊式護坡種類很多，其主要差別所在全在預鑄塊之形狀。

最簡單的形狀是方塊式，此種護坡應用於坡面上等擊力較弱之處，如保護餞道等。方塊與方塊間彼此之支撐能力很差。

為改進此一缺點，六角塊 (Hexagonal element) 便被發明。但試驗結果很壞。緊密砌合之六

角塊護坡的柔性太差，不能隨堤體沈陷而自動移動。故不能助以應用。其有最好結果的混凝土塊是，表裡兩面都是長方形，側面有特別設計之槽道 (Grooves)，使混凝土塊既有良好之互相支撐而又不損其柔性。Plate 3, fig. 3, 4 是最常應用的型式。此種混凝土塊護坡能隨堤內局部之沈陷而下移，fig. 3 之突出塊型與 fig. 4 之階級型能減少波浪之沖昇，尤其放置於高程處成效最好。因為沖昇之水層在該處較薄。Plate 4, fig. 3, 4, 是此種護坡應用於保護上面草皮餞道之例子，如採用平滑的坡面則需要較高的餞道及特別之餞道保護。

上述型式之護坡，其混凝土塊大小以一人能搬動為限。因混凝土塊間既有良好之互支，則厚度可以減少，但如海堤須承受強大大波浪沖擊則此類護坡重量太輕。宜採用大而重之混凝土塊而不必特別注意土塊間之接縫，於是護坡之穩定主要全恃混凝土塊之大小。

Westkapelle 海堤平均潮位以上至高潮位係用預鑄混凝土塊保護，其尺寸是 $1 \times \frac{1}{2}$ 公尺，每塊重量一噸。土塊接縫間灌注瀝青，施工時需要特別工具以移動此種混凝土塊。

b. 現鑄混凝土護坡 (Concrete revetment cast in place)

高潮位以上之護坡不須用預鑄混凝土塊，因為有充分養護現鑄混凝土之時間。混凝土以大塊為經濟。因在斜坡上施工，需有較大之稠度，但大塊混凝土缺乏柔性，故只能應用在已沈固之老堤上，West Kapelle 堤上所應用尺寸為 $3 \times 3 \times \frac{1}{2}$ 公尺。