

基本研究—研(一)計劃

執行期間：民國七十年八月至七十二年七月卅一日

碼頭設計殘留水位研究

計劃主持人

副所長（兼規劃設計組組長）

侯 和 雄

研究人 員

助理研究員：單誠基、翁國和、曾哲茂

研究助 理：江金德

技 工：錢爾潔、曾文傑、黃寶珠

台灣省交通處港灣技術研究所

中華民國七十二年七月卅一日 編印

目 錄

1. 研究目的及重要性.....	1
2. 預期研究成果及效益.....	1
3. 研究（或作業）方法及步驟.....	1
4. 現場碼頭殘留水位測定調查.....	2
5. 滲流與流線網理論分析.....	10
6. 現場碼頭殘留水位觀測分析.....	18
7. 模型實驗模擬研究.....	88
8. 碼頭後線孔隙水壓之電腦分析.....	234
9. 現場碼頭後線殘留孔隙水壓觀測分析.....	242
10. 結論與建議.....	256

碼頭設計殘留水位研究

1. 研究目的及重要性

台灣西海岸中部潮差較大，高低潮漲落時，常有殘留水位情況發生，而影響碼頭基礎之安全，尤其在異常天候情況下暴潮越過碼頭岸肩，在壁後增高殘留水位，嚴重則冲刷碼頭後之基礎造成破壞，輕則減低基礎之承载力。針對此種情況以理論、實測與試驗並重，研究其對策，以改善或修正碼頭後綫基礎之設計，俾降低殘留水位至最小程度，使不致對碼頭基礎構成破壞，以利船舶安全在碼頭上裝卸貨物。

2. 預期研究成果及效益

由觀測井可獲知不同型式碼頭其殘留水位對應潮位漲落之變化，由滲流理論分析可獲得殘留水位滲透水壓作用於碼頭壁後之分佈情形，另由試驗水槽模擬潮汐漲落與港內造波作用情形，可進一步印證上述成果，並獲致碼頭設計所需之主要數據，提供修正或改善設計之參考依據。

3. 研究(或作業)方法及步驟

(1) 現場觀測

乃於現場水力回填區，埋設孔水壓轉換器，自動記錄各點之孔水壓變化，繪出整個剖面流綫網，求其滲流力。

(2) 模型試驗

模擬現場狀況，於實驗水槽進行分析，觀測其剖面孔水壓的變化。

(3) 理論解析

依據地下水滲流之運動方程式及滲流方程式，以數值分析法求得滲流力，並配合流綫圖繪法，加以比較。

4. 現場碼頭殘留水位測定調查

4.1 摘要

繫船岸設計條件之一重要因素，殘留水位合理決定法的確立是非常有必要的。以往殘留水位實測例子仍然脫離不了經驗法則的領域，故必須瞭解港灣結構物設計基本問題，改良設計。繫船岸背後水位的實測，作為殘留水位影響因素分析，合理的決定殘留水位及檢核目前設計基準的妥當性。

本研究分別就構造形式、潮位差、水深等調查岸壁前面和背後水位變化。茲將有關測定記錄整理、解析的結果敘述如下：

1. 設計所採用殘留水位、鋼板式結構場合現在的設計基準值（潮差的 $\frac{2}{3}$ ）

此值尚稱妥當，但在岸壁背後水位高的情況，則有側傾的危險，故背後地下水位實有決定設計水位的必要。重力式結構在建造完成後，因重力式結構形式背後透水性良好，背後水位設計可較低。但若經過數年後透水性會逐漸惡化，背後水位增高，岸壁內部基礎拋石部為回填砂土埋入，岸壁前面土砂的侵入等都嚴重影響原濾層的透水性，如何防制砂土埋入而維持良好的透水性則須加以考慮。特別在港灣建設潮差大的場合，如何維持濾層透水性實有必要，目前設計基準值以潮差 $\frac{1}{3}$ 來作設計殘留水位，可能需做進一步的研究。

2. 岸壁透水性為表示的方法和指標，鋼板式的情況，鋼板壁透水性是依照鋼板種類來決定，一般透水係數是在 $1 \times 10^{-5} \text{ cm}$ 至 6×10^{-5} 。另外重力式透水性的決定，主要是視基礎拋石層的厚度、長度來支配它的透水性。

4.2 殘留水位對碼頭結構物之影響

港灣結構物設計條件如殘留水位高度、繫船岸等透水性大致都用經驗法則決定，這些設計基準有部份是採用經驗法則作為依據。殘留水位在設計上的問題，對結構物前面的潮位與結構物背後水位較高的場合，必須考慮水位差作用在結構物的外力，而水位差的最大值乃是目前所必須加以探討的。所謂結構物前後水位差的殘留水壓乃指因岸壁前面潮位低而背後潮位高所呈

現的一種滯留狀態，因受岸壁背回填土透水性影響，而殘留下來的水位，將對結構物產生側向水壓。故結構物再考慮外力作用時，須將土壓與殘留水壓一並討論，視為水平外力的全體。故碼頭背後殘留水位之研究對於碼頭構造物設計方面，將可改進。

4.3 現場調查殘留水位的必要性

殘留水位是發生在繫船岸內側水位和前面水位之間，有水位差的場合。實際設計上，作用在繫船岸的殘留水壓可用 4.1 a、b 式表示。

$$\left. \begin{array}{ll} 0 \leq y < h_w & , \quad P_w = \gamma_w y \\ h_w \leq y & , \quad P_w = \gamma_w h_w \end{array} \right\} (4.1.a, b)$$

P_w : 殘留水壓 (T/m^2)

h_w : 裏邊水位和岸壁前面水位，最大的水位差。

y : 從裏邊水面至所求殘留水壓點位置的深度。

γ_w : 水的單位體積重量 (T/m^3)

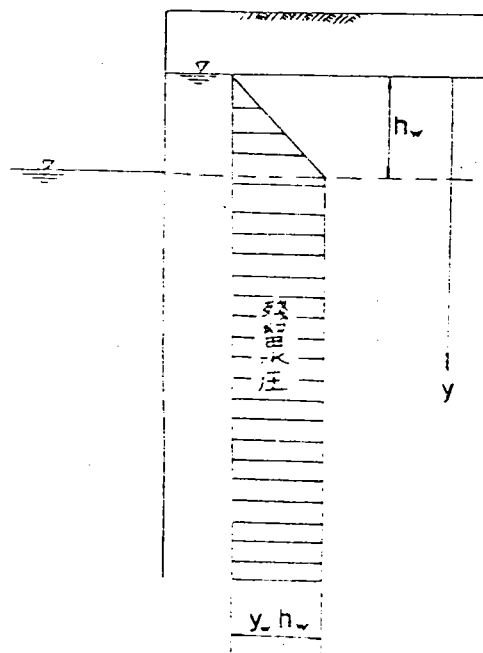


圖 4.1 殘留水壓示意圖

h_w 的大小視壁體排水良否、潮位差等而有所差異，關於附近類似結構物亦應調查。

重力式繫船岸內側基礎拋石，構造物主體透水容易的情況都必須考慮。粘性土的場合和排水不良的構造物場合亦應考慮殘留水位之影響，通常該值為前面潮位差的 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 。

實際設計所用殘留水位 h_w ，在 $L.W.L$ 之上則殘留水位不及該港灣前面潮差 $(H.W.L - L.W.L)$ ，一般是採用

重力式繫船岸 $(H.W.L - L.W.L) \times 1/2 \sim 1/3$

鋼板式繫船岸 $(H.W.L - L.W.L) \times 2/3$

特別是在特殊的場合，須對殘留水位作深入探討。

所以現在設計基準中提示，港灣結構物的計算受到殘留水位的影響，例如，岸壁高程 - 5.5 公尺，碼頭岸壁高 + 5.0 m， $H.W.L. + 4.00$ m，上載荷重 1.5 T/m^2 ，內部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ ，內部單位體積重量 $\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ ， $\gamma'(\text{水中}) = 1.0 \text{ t/m}^3$ 的條件下，殘留水位等於潮差的 $1/3$ ， $1/2$ ， $2/3$ 。港灣結構所受外力作用分析可從下表得知。

	$1/3H = 1.3 \text{ m}$	$1/2H = 2.0 \text{ m}$	$2/3H = 2.7 \text{ m}$
常時土壓	25.93 t	24.86 t	23.65 t
殘留水壓	7.35 t	12.00 t	17.15 t
外力	33.28 t	36.86 t	40.80 t

從上表得知，港灣結構物所受總外力中，殘留水壓所佔比例相當大，特別是在潮差大，水深小的區域，構造物所受土壓力與殘留水壓的比例非常相近，在這種情況結構受殘留水位的影響很大，故以往用經驗法則決定的殘留水位實有合理決定殘留水位調查的必要。

4.3 殘留水位調查的方法（殘留水位調查要領）

4.3.1 目的

一般繫船岸所受外力作用分析顯示，殘留水壓佔總應力相當大的比例，特別是在潮位差大的區域，殘留水位的影響更為顯著。由於有關殘留水位實測資料相當缺乏，雖然測定殘留水位的方法相當簡單，可是所得結果却可加以活用，對港灣結構物分析設計有很大的助益，所以這項調查是相當必要的。

殘留水位的決定因素，一般須考慮下列若干特性：構造物的結構型式、構造物的接縫材料、基礎地盤、裏邊的材料、回填土的土質特性、潮位差、調查處所的位置、背後地下水位、降雨量等的影響，現行港灣結構物設計基準，對於重力式繫船岸採用潮差的 $1/3$ ；鋼板式繫船岸採用潮差的 $2/3$ 作為殘留水位的設計基準，而以上的設計基準都沒考慮各項的影響因素。

而這次調查的主要目的，旨要考慮上述各項影響殘留水位的因素，尋找出適當計算的殘留水位，提供設計者參考。

4.3.2 調查地點

一般的原則，在法線方向取 4 個點（Cell 式繫船岸取 5 個地點）茲將調查地點分述如下：

1. 岸壁前面

前面岸壁潮位的測定，因潮位受地形影響很大，故調查港灣內有檢潮站的地方，其他測定點相關性的比較，亦是相當重要的，故岸壁前面潮位的觀測是相當必要的。

2. 法線最近點

選擇法線出來靠近法線的地點，重力式岸壁須使測定管貫入裏邊的結構濾層，Cell 式繫船岸在 Cell 內，圓弧內部選 2 個調查地點。

3. 土壓作用面附近

鋼板式繫船岸在法線 $5 - 6 \text{ m}$ 的地方，Cell 式繫船岸在 Cell 背後 $1 - 2 \text{ m}$ 處，重力式繫船岸在裏邊直背後地點。

4. 岸壁背後（靠近法線 20 m 左右）

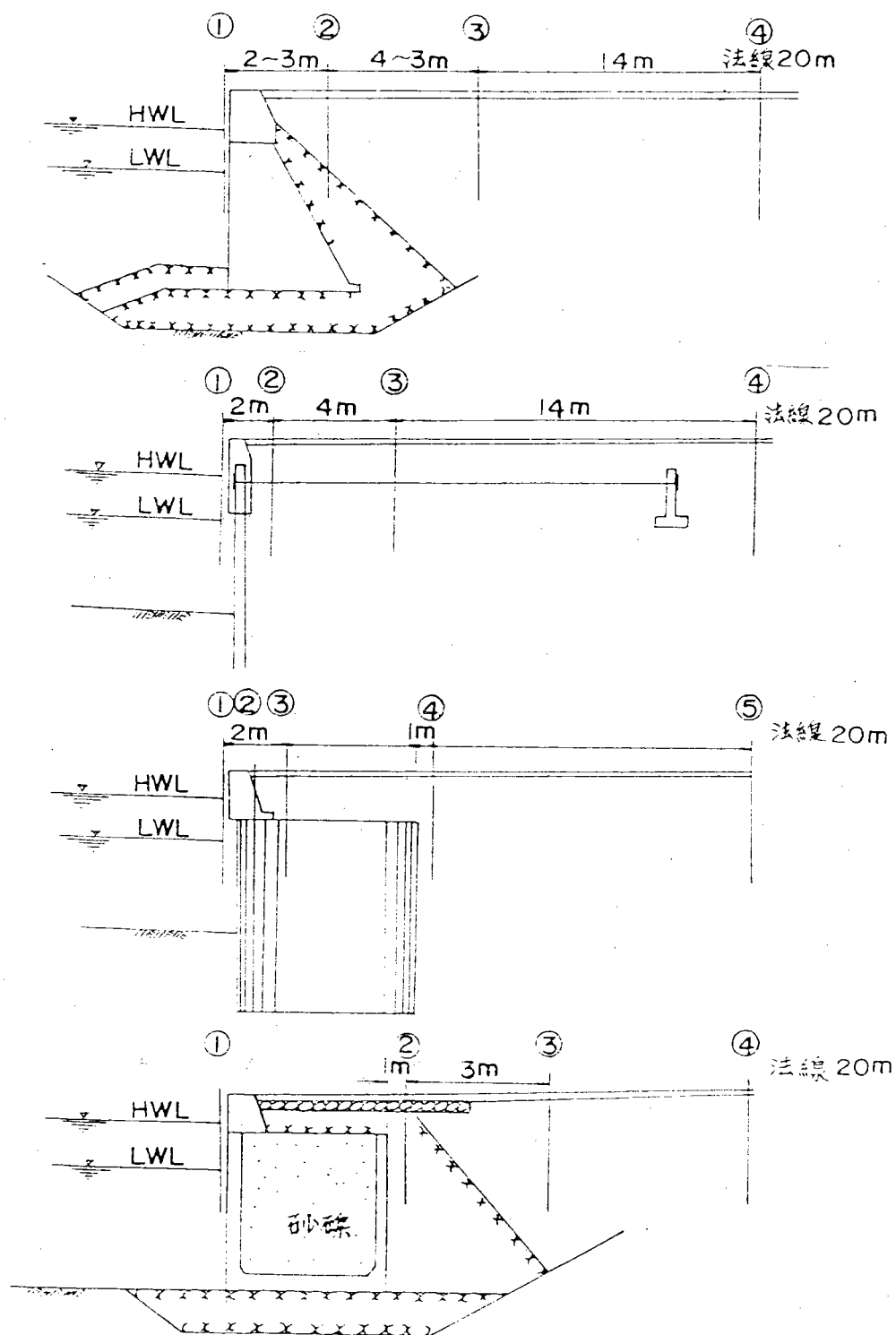


圖 4·2 測定管設置位置圖

岸壁後地下水位的測定大約在法線出來 20 公尺處的適當地點。

棧橋式繫船岸是土留構造物形式，因此上述地點亦可作為選擇。測定管的位置如圖 3-1 所示。在圖中距離的標準僅作為參考，應隨調查繫船岸的狀況而有所變更。

4.4 測定的期間

1. 1 個地點測定期間為 3 個月。
2. 測定期間中，從每月朔望日（包含每月朔望日）連續觀測 5 天。
3. 測定期間中，如遇到豪雨則次日連續觀測 5 天（但是僅限於護岸鋪裝的區域）。
4. 各調查對象繫船岸的測定，測定期間必須包含春、秋季大潮差。
5. 3 個月觀測終了，記錄器移動至別的調查地點繼續觀測。
6. 測定器如選擇自記式記錄器，可連續實施一個月的長期連續觀測，若連續 5 日以上的觀測情況，觀測中儀器可能發生故障，故每天須行校正檢查一次，校正時可採用簡易水位計實測，加以比較改正。

4.5 測定方法

茲將常用測定方法詳述如下：

1. 簡易水位計用人工來測定

連續觀測原則下，1 小時僅可能測定 4 次以上，在沒有其優良方法的情況，簡易水位計用人工來觀測亦為可行之方法。

2. 自記水位計來測定

自記式水位計在市面有兩種 a 浮子型水位計 b 觸針型水位計。

- a 浮子型水位計：這種型式的水位計是藉著浮子昇降而另外一端運轉昇降必要有足夠的空間，最好在護岸上有足夠的空間，計測器有設置在護岸突出的必要。浮子管側面須夠大。浮子型水位型設置圖如圖 4.3.a 所示。
- b 觸針型水位計：使水面追尾檢出器代替浮子這種型式的計測器在護岸不必突出來。因而在突出的護岸設置觸針型較浮子型水位計適用，可是價格較高，如圖 4.3.b 設置圖所示。

殘留水位測定的4~5個觀測地點，內部可用鋼管採用自記水位針，連接多槽記錄計同時記錄各測點水位變化。關於水位計、記錄計等計測器概略有上面所提四種，如起用打點式自記記錄計記錄時間可能是a. 二日場合 b. 三十日場合，無論是a、b場合在測定的開始或終了後都須實施1日1回水位實測。將所得資料和自動記錄器記錄紙的表格驗證。實際測定時，對於機械故障、停電等都須注意。

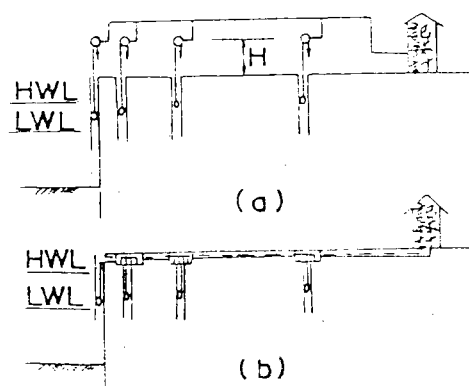


圖 4.3 a. b 水位計配置圖

4.6 殘留水位有關資料之收集及整理

1. 該繫船岸的平面圖（併記測定地點）

通棧、倉庫等岸壁背後的設施，鋪裝、非鋪裝等狀況亦須加以了解。

2. 該繫船岸標準斷面圖

測定地點，包含鋼管在內的深度，背後設施亦一併標示。

3. 繫船岸接縫的方法、接縫材料。

4. 該繫船岸的土質柱狀圖

建設年代較長的場合的資料，基礎土質狀況可用類推法求得。

5. 該繫船岸的置換材料、拋石材料、裏邊材料、回填砂土的土質工學特性（材質、粒徑、透水試驗等結果）。

測定管在平均潮位附近取土樣，進行粒度分析透水試驗。

6. 背後地下水位

地盤下沉調查及繫船岸背後地下水位等調查資料的收集

7. 降雨量

從測定前二日和測定期間中的降雨狀況，降雨量可從中央氣象局各測候站記錄取得。尤其在護岸鋪裝好的調查地點，測定期間的天候、降雨量應更特別注意，以確保觀測資料。

8. 殘留水位、前面潮位的測定結果

調查資料顯示，水位（潮位）隨時間的變化是有必要做深入的了解，前面潮位的變化和背後殘留水位的變化是隨時間而有相對高低差的變化。所有測定期間中全部調查的地點，一日最少實測一次，記錄紙上記錄水位，同時亦記錄正確的時刻。

4.7 有關殘留水位其他因素的檢討

殘留水位受下列有關因素的影響，構造物的構造形式，結構物接縫材料，基礎地盤，回填的材料，回填土的土質，潮位差，調查地點的位置，背後地下水位，降雨量，建設後經數年的觀測研討，鋼板式構造的場合，鋼板壁的透水性為決定殘留水位的主要因素，回填料回填土的透水性更是鋼板式結構物在決定其殘留水位很大的影響因素（order 是 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec）

重力式構造的場合，殘留水位決定的主要因素是基礎拋石層厚度和裏邊的材料特性，建設完成後經過數年，拋石層，裏邊回填土埋入的情況增加，將使構造物的透水性逐漸惡化。事實上鋼板式、重力式的場合，接縫的影響十分大。一般L型塊型式比沉箱式的透水性來得好，基礎拋石厚度透水性較接縫影響來得顯著。所以在測定期間中降雨，降雨的效果將使背後水位在短暫時變得很高這將使計測器為水沒，而發生故障。在護岸鋪設完成岸壁在降雨時使岸壁背後水位急速上升的問題實有必要進一步討論注意。經調查突堤式結構物受背後地下水影響較小。在開掘式港灣，地下水位高的地點採用鋼板式結構物在設計問題事實上可明顯的看出來。

5. 滲流與流線網理論分析

5.1 一度空間流體流動

這裡所指流—主要是水—流經土壤。

工程司必須了解流體流動的原則以便解決下列問題。

- (A) 水流經土壤的速率 (決定土壩漏水率)
- (B) 土壤壓縮 (決定基礎下陷率)
- (C) 土壤強度 (計算河岸安全因素) 特別是有效強度。

5.2 達西定律 (Darcy's Law)

$$Q = K \frac{h_3 - h_4}{L} A = K i A \dots\dots\dots (1)$$

此處 Q : 流量

K : 常數。達西透水性係數

h_3 : 基線上高度—入水處水位

h_4 : 基線上高度—出水處水位

A : 容器內部斷面積

$$i : \frac{h_3 - h_4}{L} \text{ , 斜率}$$

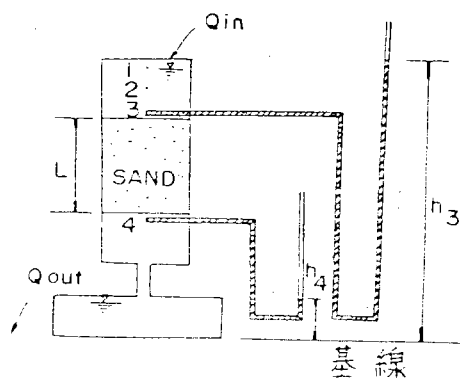


圖 5.1 達西試驗

5.3 流速之決定

方程式(1)可記為

$$\frac{Q}{A} = K i = V \dots\dots\dots (2)$$

因為 A 是管內全部開放斷面積位於土壤樣品之上，V 是一粒水從點 1 到點 2 往下運動率，從點 3 到點 4，流速 V_s

$$Q = V A = V_s A_s$$

$$V_s = V \frac{A}{A_r} = V \frac{A L}{A_v L} = V \frac{V}{V_v} = \frac{V}{n}$$

流體在土壤中平均流速 V_s 稱之為滲流流速 (Seepage velocity)

n : 空隙 (Porosity)

$$V_s: \frac{V}{n} = \frac{K_i}{n} \dots\dots\dots (3)$$

5.4 水頭之決定

水頭表示能量包括位能和動能。

下列幾種水頭用來解釋土壤中流體流動能量變化現象

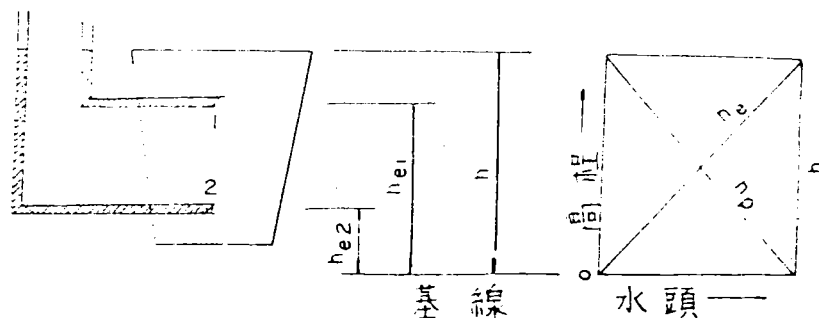
1. 壓力水頭, h_p = 壓力除以單位液體重
2. 高程水頭, h_e = 從基線算起距離
3. 總水頭, $h = h_p + h_e$ 。

此處尤應注意即速率水頭在土壤中表現太弱, 不予考慮。對於此述情形總水頭和壓力計 (Piezometer) 水頭是相同的。

在土壤力學中, 對壓力水頭之瞭解甚為重要, 因為由壓力水頭孔隙水壓 (Water pore pressure) 進而求出有效應力 (Effective stress) 。

有二種量度方式說明如下:

a. 靜止水流



點	高程水頭	壓力水頭	總水頭
1	h_{e1}	h_{p1}	$h_{e1} + h_{p1} = h$
2	h_{e2}	h_{p2}	$h_{e2} + h_{p2} = h$

b. 流動水流

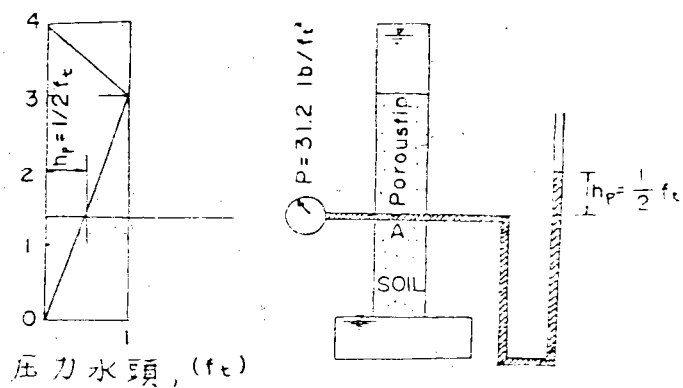


圖 5.3 流動式壓力計

壓力水頭 (ft)

圖 5.3 流動式壓力計

5.5 壓力水頭計算：

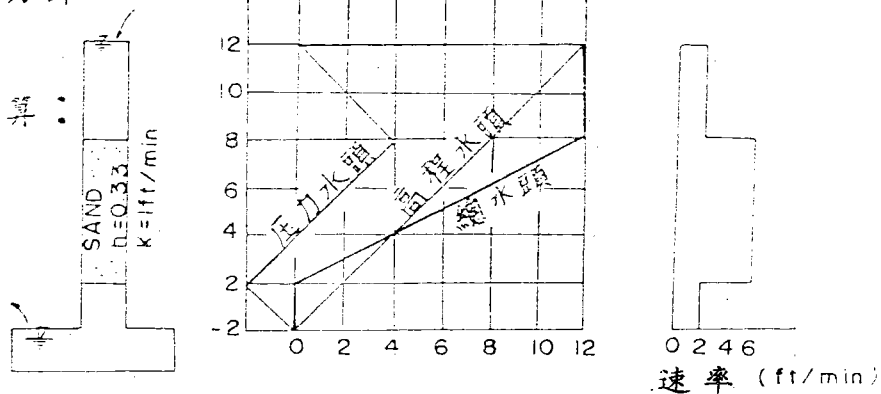


圖 5.4 水流向下情況

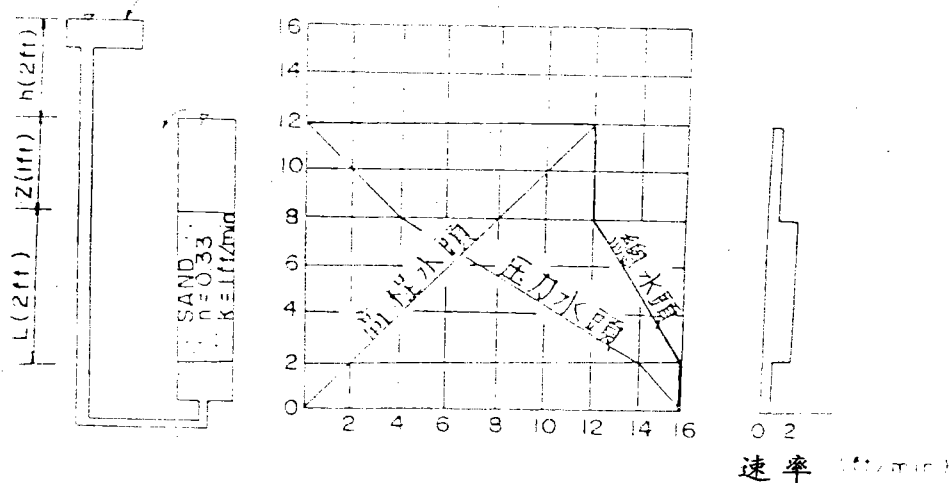


圖 5.5 水流向上情況

圖 5.5 水流向上例題

垂直水壓加於土壤樣品上如 (圖 5.5) 等於壓力水頭乘單位水重 $1 \text{ ft} \times 62.4 \text{ lb/ft}^3 = 62.4 \text{ lb/ft}^2$ 同樣，樣品底部所受向上水壓 $5 \text{ ft} \times 62.4 \text{ lb/ft}^3 = 312 \text{ lb/ft}^2$ 。

這些垂直水壓加諸於土壤樣品上下面稱之為邊際水壓。

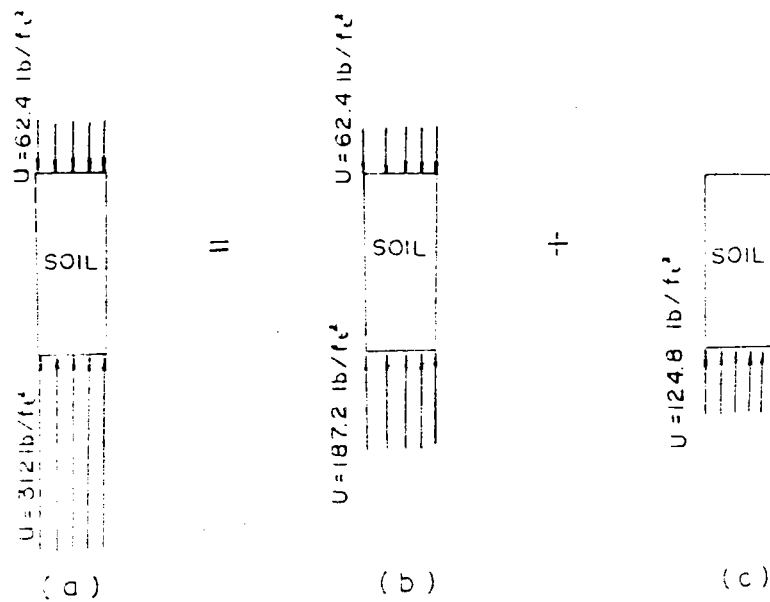
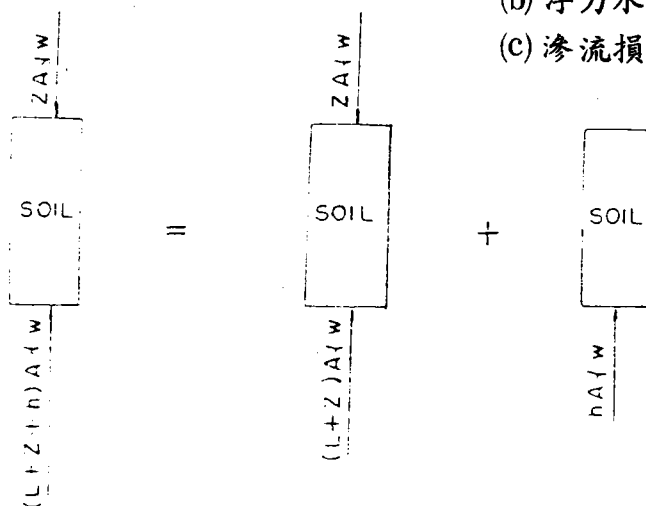


圖 5.6 土壤樣品上水壓 (a) 邊際水壓

(b) 浮力水壓 (靜止)

(c) 滲流損失水壓



邊際水力 = 浮力 + 滲流力

淨浮力 每體積

$$= L\Delta\gamma w$$

$$= \text{VOL} \cdot \Delta\gamma w$$

$$\text{滲流力} = \frac{n\Delta\gamma w}{LA} = i\Delta\gamma w$$

圖 5.7 土壤樣品所受水力

$$(L+Z+h)A \downarrow w$$

$$ZA \downarrow w \quad LA \uparrow t$$

$F =$ 支持土壤幕所受力

$$LA \downarrow b$$

$$hA \downarrow w$$

$$F = ZA \downarrow w + LA \uparrow t - (L+Z+h)A \downarrow w$$

$$F = LA \uparrow t - (L+h)A \downarrow w$$

$$F = 16.4 \quad A \downarrow b$$

$$F = \bar{F} A \downarrow b$$

(a)

$$F = LA \downarrow b - hA \downarrow w$$

$$F = LA(\downarrow t - \downarrow w) - hA \downarrow w$$

$$F = LA \downarrow t - (L+h)A \downarrow w$$

$$F = 16.4 \quad A \downarrow b$$

$$F = \bar{F} A \downarrow b$$

(b)

圖 5.8 水平衡 a 總力加邊際水力 b 水中重量加滲流

5.6 一度空間流線網

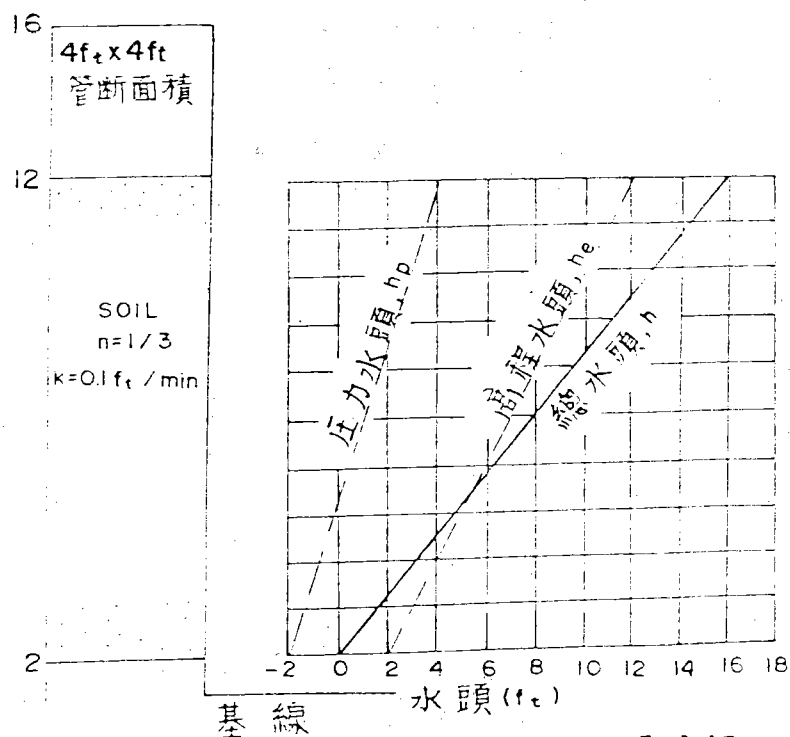
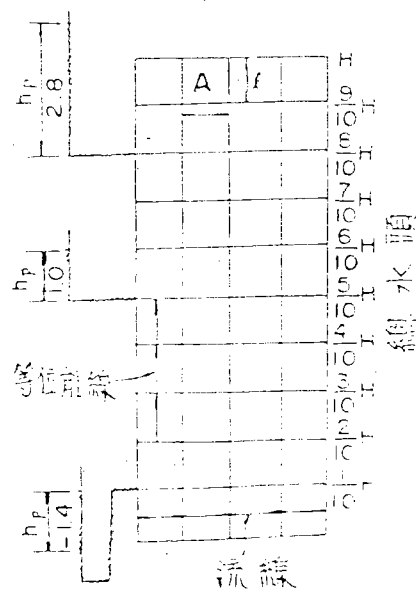


圖 5.9 一度空間流網



$$q_A = K_{iA} a_A$$

總水頭在A方塊內損失等於 H/n_d 這裡H是總水頭在流動時損失， n_d 是水頭降落數 i_A 等於 $H/n_d l$ ， l 是A方塊垂直距離。 a_A 的斷面積是A。

$$a_A = L \times b, = b \quad (L = 1 \text{ ft})$$

所有 $q_A = \frac{KHb}{n_d l}$

四方形組成流網 $b = l$ ，

$$q_A = \left(\frac{H}{n_d} \right) K$$

$$\frac{Q}{L} = q_A n_f = K \frac{H}{n_d} n_f = KH \frac{n_f}{n_d} = KH \xi$$

n_f ：流管數

ξ ：形狀因數

5.7 二度空間流網

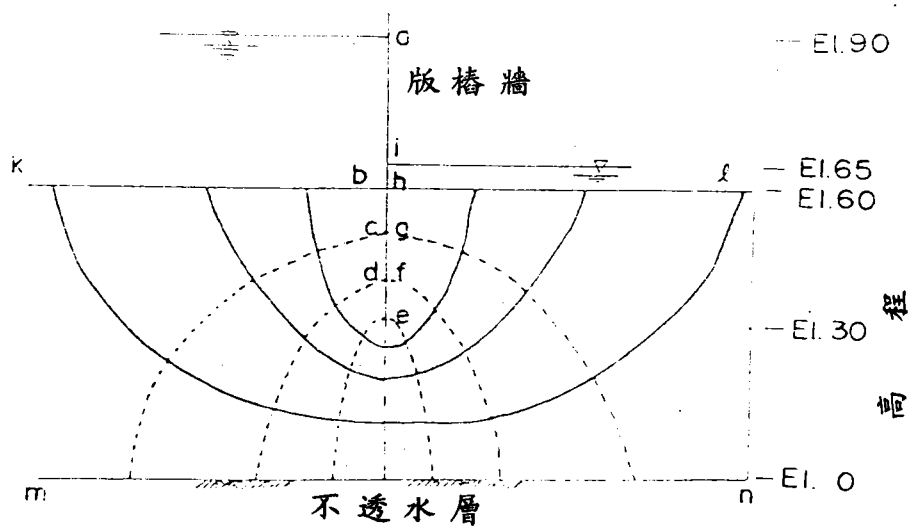


圖 5.10 二度空間流網圖

點	高程水頭 (ft)	總水頭 (ft)	壓力水頭 (ft)	水壓力 (lb/ft ²)
a	90	90.00	0	0
b	60	90.00	30.00	1872
c	49	86.88	37.88	2364
d	39	83.75	44.75	2792
e	30	77.50	47.50	2964
f	39	71.25	32.25	2012
g	49	68.12	19.12	1193
h	60	65.00	5.00	312
i	65	65.00	0	0

牆下滲流 $\frac{Q}{L} = KH \frac{\Delta h}{L} = 10^{-6} \text{ ft/min} \times 25 \text{ ft} \times \frac{4}{8}$
 $= 12.5 \times 10^{-6} (\text{ft}^3/\text{min})/\text{ft}$

斜率 $i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{25/8}{11.5} = 0.27$

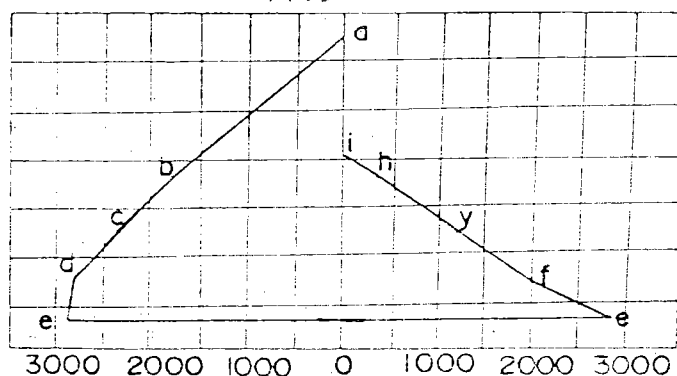


圖 5-11 牆上所受水壓分佈圖

全域爭論部份可能是靠近地表的液化作用。

此處水流向上，斜率最大，對於版樁牆這發生在點 h。

5.8 液體在土壤中流動的基本公式

首先考慮一基本單位土壤 laminar 流 q 經過此土壤在 X, Y, Z 方向

$$q = q_x + q_y + q_z$$

使用達西公式在垂直分量 q_z 可表示為 $q_z = K_1 a$, a 為底部面積

$$q_z = K_z \left(-\frac{\partial h}{\partial z} \right) dy dx$$

流出頭部時

$$q_z = \left(K_z + \frac{\partial K_z}{\partial z} dz \right) \left(-\frac{\partial h}{\partial z} - \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} dz \right) dy dx$$

這裏

K_z = 點 (x, y, z) 在 z 方向滲流性。

h = 總水頭

基本單位內淨水流

Δq_z = 流經底部一流出頭部

$$\Delta q_z = K_z \left(-\frac{\partial h}{\partial z} \right) dy dx - \left(K_z + \frac{\partial K_z}{\partial z} dz \right) \times \left(-\frac{\partial h}{\partial z} - \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} dz \right) dy dx$$

$$\Delta q_z = \left(K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + \frac{\partial K_z}{\partial z} \frac{\partial h}{\partial z} dz - \frac{\partial K_z}{\partial z} dz \frac{\partial h}{\partial z} - \frac{\partial K_z}{\partial z} dz \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} dz \right) dx dy dz$$

條件①相同滲流性 $\partial K_z / \partial z = 0$

$$\Delta q_z = \left(K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) dx dy dz$$

相同地, x 方向

$$\Delta q_x = \left(K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right) dx dy dz$$

條件②二度空間流 $q_y = 0$

$$\Delta q = \Delta q_x + \Delta q_z = \left(K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right) dx dy dz$$

在基本單位內水體積 V_w

$$V_w = \frac{Se}{1+e} dx dy dz$$

水體積改變率 $\Delta q = \frac{\partial V_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Se}{1+e} dx dy dz \right)$

條件③ $\frac{dx dy dz}{1+e} = \text{常數}$

$$\Delta q = \frac{dx dy dz}{1+e} \frac{\partial (Se)}{\partial t}$$

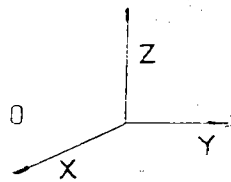
$$K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} dx dy dz = \frac{dx dy dz}{1+e} \frac{\partial (Se)}{\partial t}$$

化簡為

$$K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{1}{1+e} \frac{\partial S}{\partial t} + S \frac{\partial e}{\partial t}$$

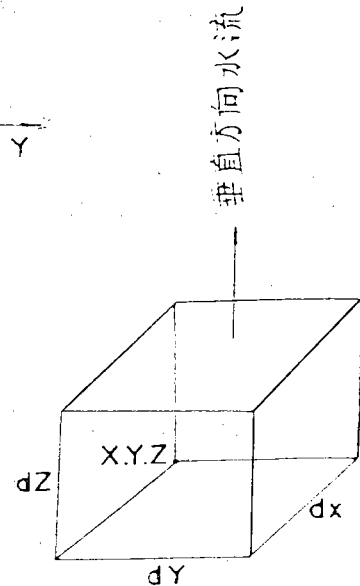
條件④ e 和 s 兩者常數

$$K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = 0$$



條件⑤ ($K_z = K_x$)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = 0$$



5.9 流線網的繪製步驟

1. 首先以適當比例尺繪製各式碼頭（沉箱式、棧橋式）工程斷面圖並判斷邊界條件及可能產生的流線形狀。
2. 用透明紙置於斷面圖上，用HB鉛筆輕輕繪製三或四條的流線於最高流線與最低流線邊界中間，此等流線群應與上下游地表相互直角相交。
3. 繪製等勢能線，此等等勢能線與流線垂直相交，且與流線所交成的方格應為正方形方格。
4. 修正第3步驟，如有必要添加流線及等勢能線，可繼續修整，以得一個良好流線網為止。
5. 最後應檢驗流線網的正確與否可用下列方法：
每一方格的兩條斜線必須等長，並相互直角相交，如不達到這個正確性應繼續修整。

6. 現場碼頭殘留水位觀測分析

6.1 緒言

本研究分別於不同構造型式之碼頭上，以KL-80型自記水位計，測定其垂直碼頭斷面上之殘留水位分佈，並與碼頭壁面所測得之水位比較，研究殘留水位與碼頭型式，回填粒料粒徑分佈、潮差、潮位、距離等之關係，及其受降水之影響。同時以UCAM-8BL萬用數位測定系統，測定相關位置上二十四

點之殘留水壓，經由波譜分析，據以印證上述之結果。現場之觀測及分析過程與結果如下所述：

將同時間各站之水位記錄重新描繪於透明紙上，可明顯地比較出各測站之水位變化，而由各測站之水位曲線，取某時間內某測站之水位差，由此可求得該測站附近之平均滲流速度，對應所截取時間段之中值，得相鄰兩測站該時刻之水位差，由已知兩測站之距離即可得當時之水力梯度，再依滲流速度與水力梯度之關係求得兩測站間之滲透係數，據此可以分析碼頭後回填粒料之特性。本研究主要目的乃求碼頭壁面與碼頭後緣所發生之最大水位差，故於各測站之水位記錄曲線上量測高低潮時比較碼頭前面水位與後面水位之最大差，即其發生之最大水位差，並記錄其對應之發生時刻。

於沉箱式碼頭所測得之資料，經分析後之結果顯示，由分析所得之碼頭背後粒徑分佈與現場實際之分佈相吻合，但是現場殘留水位之實測值，則均高於一般重力式碼頭殘留水位之設計基準值（潮差的 $1/3$ ）。

6.2 觀測目的：

在一有潮港口（Tidal Inlet），碼頭後之回填土內，於退潮時，將因土壤之滲透效應而產生殘留水位現象。此殘留水位會產生對碼頭之傾覆作用；及造成基礎粒料析出現象，此等均為碼頭設計時之重要條件。尤其在台灣中西部潮差甚大之海岸上所建造之港埠而言，殘留水位造成之影響更形重要。

目前採用之殘留水位標準，多為往昔學者研究之概估公式，且其使用條件之劃分多不明確。高估之殘留水位將形成工程建造上浪費，而低估時則將造成碼頭塌陷或傾覆之危險。因此在研究就滲流觀點，除分別由理論分析，水工模擬試驗外，尚就現場觀測方面進行研究考慮潮差，回填粒料之粒徑，孔隙率與夯實程度，觀測點與碼頭壁面之距離，沉箱所及深度，基礎級配及降水等因素對殘留水位之影響，以期檢核並建立一較正確且適用性較廣之殘留水位基準。藉此可為往後港灣規劃設計時，殘留水位之參考依據。

6.3 現場觀測方法與步驟：

1. 儀器設備及測定方法

①殘留水位觀測儀器

本研究之水位觀測儀器KL-80型，為浮標式（Float type）自記水位記，其構造如附圖6.1(a)、(b)及(c)所示。乃利用浮標在水面升降，經過相連之鏈條和滑車傳至記錄紙上，記錄紙上印有代表時間與水位高程之座標。一張記錄紙可連續作八天之觀測記錄。整個機件可分成維持轉動之計時部份與感應水面升降之水位記錄部份。其升降縱深可調整為3公尺及6公尺兩種齒輪帶動，因此尚適合台中港潮差變化之記錄。

②水位高程之測定

首先由附近之水準點引測水準高程於每一觀測井之固定處。開始作水位記錄時，尚以直尺量測井中水面至所標示高程點之距離，藉此可推知水面高程，將其標示於水位記記錄紙上，同時記下當時之時間。每次更換記錄紙時均重新量取水面高程以校對誤差。

③KL-80型自記水位計之優缺點

此種型式水位記之優點為價格較廉，適於臨時觀測。但記錄紙容易受潮，筆尖容易堵塞而出水不順，需要時常注意并校正準確時刻。

2. 觀測進行步驟

①資料收集

a. 研究碼頭之平面圖

岸壁背後設施，如通棧、倉庫、集貨場的位置，及地面鋪設狀況均須加以了解。

b. 研究碼頭之標準斷面圖

測定地點之斷面佈置及基礎結構。

c. 碼頭接縫方法，接縫材料。

d. 碼頭之拋石材料，回填粒料之特性。

e. 降雨量：

測定期間之雨量分佈。可從中央氣象局設於附近之測候站，取得記錄資料。

② 觀測井設計與裝設：

井管為工業用 P.V.C. 硬質厚管，內徑 29.2 公分，全長 700 公分，埋設高程由 -1.2 m 至 5.8 m 不等，井管之構造為閉底式，並由底部起 450 公分段打孔，外包一層 TS-300 之濾布，可使海水滲入而防止回填砂之侵入管內，如照片 6-1 (a) 所示。並於管頂配合水位記大小，做一內徑 80 cm × 50 cm 之 RC 方形孔位，上加一鐵蓋，以利儀器安放，如圖 6-2 (a)、(b) 及 (c) 所示。觀測井設置在回填砂完成後，以沖樁方式埋入，如照片 6-1 (b) 所示。埋設中須以經緯儀隨時校正，期能保持垂直狀態。完成後引水準高程於每一觀測井之固定點處，以利水位高程之量測。

③ 裝設地點：

設於台中港第三期興建之 25 號沉箱式碼頭及 27 號棧橋式碼頭後線，沿碼頭法線方向埋設，如圖 6.3 (a)(b)(c)(d) 所示，茲將觀測位置分述如下：

(1) 岸壁前面

岸壁前面之潮位測定，可與背後實測之殘留水位比較，以研究殘留水位之變化。如照片 6.2 所示。

(2) 土壓作用面

沉箱式碼頭之第一測站，設於緊臨沉箱背後土壓作用面之處，如照片 6.3，6.4 所示。

(3) 碼頭面後方

於碼頭面後取 2 處適當地點，安置觀測井。如照片 6.4，6.5，6.6 所示。

6.4 殘留水位對碼頭結構物之影響

碼頭殘留水位對碼頭結構之作用，主要有二：一為此殘留水位作用於碼頭背後之靜水壓，亦即所謂之殘留水壓；另一則為此殘留水壓對碼頭基礎級配及回填粒料之析出作用。由於這些效應或直接作用於碼頭而可能造成傾覆，或間接使碼頭塌陷而造成傾覆，因此設計碼頭斷面時，需考慮碼頭後線之殘留水位

高程，預作對策以防患其可能造成之損害。

6.5 資料處理及分析

1. 由現場水位記，所記錄各站之水位變化曲線。在同一時間，連同碼頭壁面之潮位記錄，將各站之水位變化曲線繪於同一透明紙上，再行比較分析，25 號碼頭如圖 6.4.1～圖 6.4.5 所示，27 號碼頭如圖 6.5.1～圖 6.5.5 所示。
2. 在上述之水位變化曲線中，由各測站之水位升降高程差與相對應之時間，可求得各站當時平均滲流速度 V 。再於所截取時間之中間段，求相鄰兩測站之水位差，據已知之距離可求得相鄰測站之水力梯度 i ，由達西經驗公式 (Darcy's empirical law)，即可求得滲透係數 K 。如圖 6.6 所示。所求結果 25 號碼頭如表 6.1.1 (a)～表 6.1.17 (a) 及表 6.1.1 (b)～表 6.1.17 (b) 所示，27 號碼頭如表 6.2.1 (a)～表 6.2.14 (a) 及表 6.2.1 (b)～表 6.2.14 (b) 所示。

3. 求 K 值之主要目的為

- ① 推測各測區回填砂之滲透係數。
- ② 引證現場之粒料分佈。
- ③ 判斷土層之壓密情形及對水位差之影響。
- ④ 與現場之粒徑分佈比較，驗證實測數據之可靠性。

4. K 值可靠性分析：

- ① 一般言之，砂粒顆粒愈小則孔隙平均尺寸愈小，因之 K 值亦愈低，此可由 Hazen 氏建議採用之砂粒透水性經驗式來印證：

$$K = C_1 D_{10}^2 \quad C: 100 \sim 150 \quad D_{10} : \text{有效粒徑}$$

依現場觀測資料所求得之 K 值顯示，其值沿碼頭面之法線方向而漸次變大，亦即砂粒透水性越靠近碼頭越低。換言之，即表示回填砂之粒徑愈離碼頭愈大。

- ② 由現場施工人員處得知，碼頭後線回填時，抽砂管噴出口位置，係置於碼頭後線較後方，使水由後往沉箱碼頭下經濾層流出碼頭外側，24 號碼頭回填砂時抽砂方式亦同如照片 6.1 (b) 所示，因之粒徑較小之砂將經水之流

動而往前帶動，粒徑分佈將顯示，愈離碼頭粒徑愈大，此與由現場水位變化曲線推論所得之結果相當一致。

- ③另外據由Taylor氏(1948)依Poiseuille定理所推得之方程式得到印證。

$$K = D_s^2 \frac{\gamma_w}{\mu} \frac{e^3}{1+e} C$$

式中 K ：滲透係數 D_s ：有效粒徑

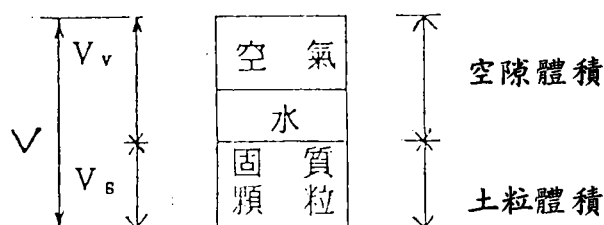
γ_w ：水之比重，約 $(1.01 \sim 1.05) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

μ ：水粘滯性 e ：孔隙比

C ：形狀因子

此公式 K 之大小，主要由孔隙比 e 值來控制，孔隙比為土壤內所含空隙體積 V_v 與土粒體積 V_s 之比

$$\text{即 } e = \frac{V_v}{V_s}$$



因顆粒愈小，則孔隙平均尺寸愈小，即空隙體積 V_v 愈小， e 值亦小， K 亦小。由現場實測資料所得之 K 值與現場粒徑分佈，及上述公式之印證，可保證數據之可靠性。

5. 求最大水位差

- ①由現場資料計算最大水位差，可得知該碼頭之實際最大殘留水位，用來檢核目前殘留水位之設計基準。如圖6.4.1～6.4.5及圖6.5.1～6.5.5所示，由現場實測曲線中可知，當No.1曲線與No.2，No.3，No.4等曲線比較，最大水位差均發生在降潮段，當潮汐以減速度將至停潮前，可由25號碼頭之表6.1.1(c)～表6.1.17(c)及27號碼頭之表6.2.1(c)～表6.2.14(c)中得知最大水位差及其發生時間。

- ②影響殘留水位差之因素大致原因如下所述：

(a)潮汐之漲落

觀測地點一天之中有兩個大小不同之高低潮，而產生不同之水位差，每月朔望潮及每年春秋大潮時更有顯著不同之水位差。

(b)降雨量

當豪雨時若碼頭之排水設施不良，或碼頭面之施工方式使雨水大量滲入碼頭面時可能會增高碼頭後線之水位，而增高殘留水位。

(c)基礎濾層及回填砂之透水性

雖然重力式碼頭具有良好之透水性，但經數年後可能由於岸壁前砂土之侵入，及岸壁內部基礎拋石部份因回填砂土之埋入，而影響原濾層之透水性，因而增大水位差。

(d)沉箱式碼頭之沉箱底部所及深度，或棧橋式碼頭之基樁所及深度都將影響滲流線之長短，改變水位變化之延時。

(e)此外尚有目前未得而知之因素，須待更進一步之研究。

6.6 測定結果依次說明如下：

1. 每段觀測井間有不同之回填粒料粒徑，而粒徑小，滲流較慢，使殘留水位增大，反之粒徑大，滲流較快，使殘留水位減小，所以回填粒料之粒徑直接影響殘留水位之大小。於 25 號沉箱式碼頭經連續數月之實測資料分析結果，各觀測井間之平均滲透係數K值均有逐漸減小之趨勢，因之沉箱基礎有被回填沙土侵入之可能，而碼頭後綫回填沙亦產生壓密沉陷，或夯實現象，可由沉箱背後No. 2 觀測井處路面所產生之沉陷裂痕看出，如照片 6.7 所示，此種現象使回填沙間之孔隙減小，或減低基礎拋石之透水性，亦減低滲流速度，而增高殘留水位。
2. 27 號碼頭棧橋式碼頭後綫之回填砂較沉箱式碼頭後綫回填沙之深度來得淺，經數月之觀測資料分析結果，各測區間之滲透係數無明顯之變化，所以棧橋式碼頭之透水性較沉箱式碼頭為佳。
3. 由實測No. 1 之潮位曲綫中選擇潮汐條件相同或相接近之水位曲綫，取No. 2 與No. 1 之水位曲綫所產生之最大水位差，來比較降雨時對碼頭殘留水位所造成的影響，就 25 號沉箱式碼頭而言，由表 6.3.1 中取兩組無降雨之情況來比

較，表 6.3.2 中取一組無降雨，兩組降雨量不同之情況來比較，表 6.3.3 取一組無降雨，一組降雨量較大之情況來比較，由以上所顯示之結果水位差均相差甚微甚或相同，27 號棧橋式碼頭所取資料之情況，與 25 號碼頭相同，亦有同樣的結果，如表 6.4.1，表 6.4.2 與表 6.4.3 所示，因此降雨量之多寡對該碼頭殘留水位幾乎沒有影響，又該碼頭後綫係有一坡度使雨水能注入排水溝或流入港內，因之雨水入滲碼頭面之量，將不致對於碼頭後綫之殘留水位有所影響。

4. 碼頭沉箱深度越深滲流綫越長，每兩測站間高潮位遲角 (Time lag) 越長，而影響殘留水位。
5. 碼頭基礎拋石和內部構造對透水性均有影響，在拋石岸壁前後受沙土埋入而使透水性惡化時，背後水位升高，設計殘留水位將小於水位差，此應特別注意基礎拋石的維持。
6. 基礎拋石透水性惡化的主要因素有下列幾點：
 - ① 前面港池底床的軟泥、沙泥等的堆積。
 - ② 基礎拋石受裏邊沙質土的埋入、侵入。拋石陷 (沉) 入於基礎之沙質土中。
 - ③ 由於因背後埋土的侵入。

上述②、③因素，施工上可能防止，而③是施工上最需考慮的因素，因此關於②可在拋石底面鋪上瀝青、防砂布，③可利用裏邊材料粒徑漸變來維持孔隙，但此種方法於實際施工上可能有困難，所以在回填土與回填材料內部粒徑結合間設置透水性的隔壁 (如前所提之防砂布)，以防止回填土和砂土的侵入是非常有必要的，此皆有待施工上的努力，以確保基礎拋石層的良好透水性。

以往對重力式碼頭設計上採用殘留水位為潮差之 $\frac{1}{3}$ ，如果施工上能多加考慮注意上述問題所在，則在潮差小的港灣經過數年後這個殘留水位值應算是很妥當的。只是，在潮差大的港灣，施工條件，周圍環境並不太好的地方，潮差之 $\frac{1}{3}$ 已不適合作為重力式碼頭之設計基準，因此於設計及施工上須待修正。

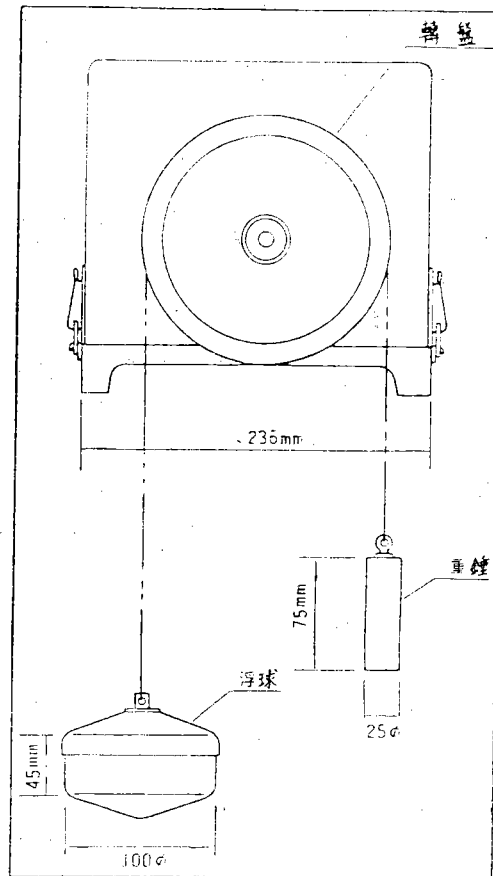


圖 6 • 1 (a) 水位記側視圖

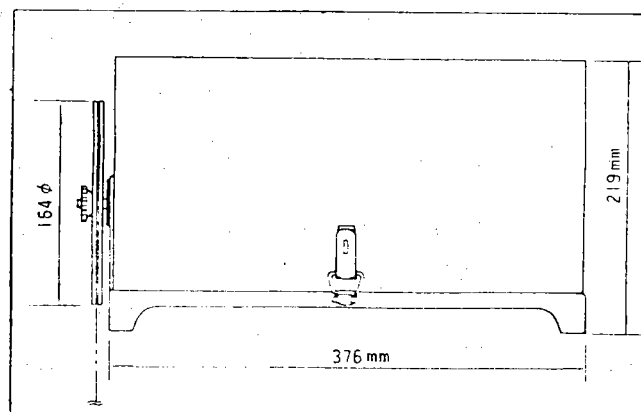


圖 6 • 1 (b) 水位記正視圖

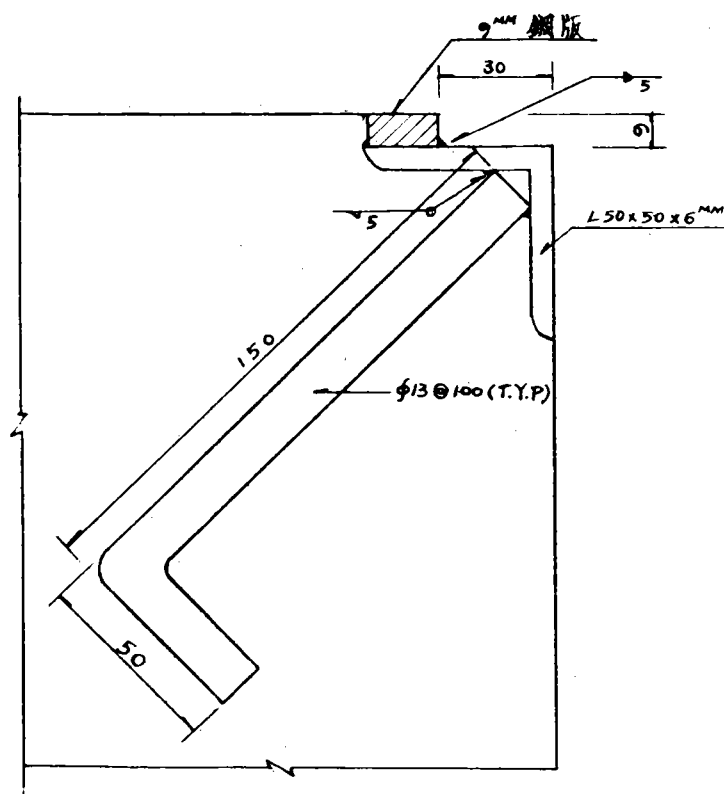
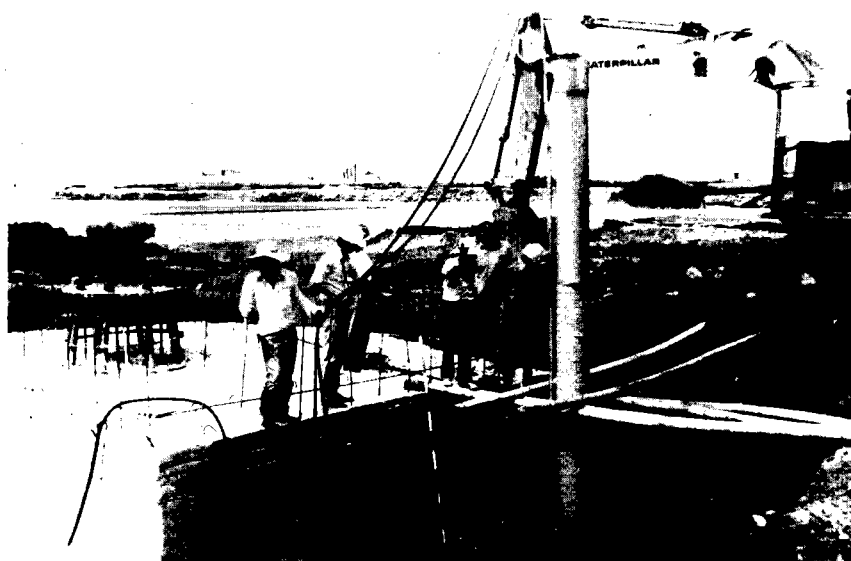
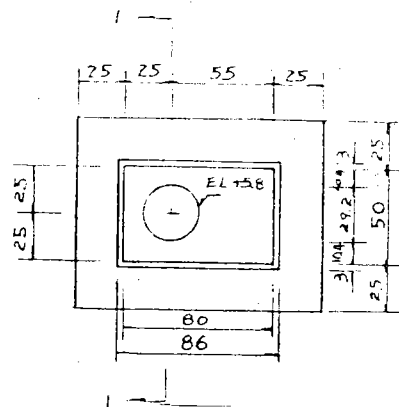


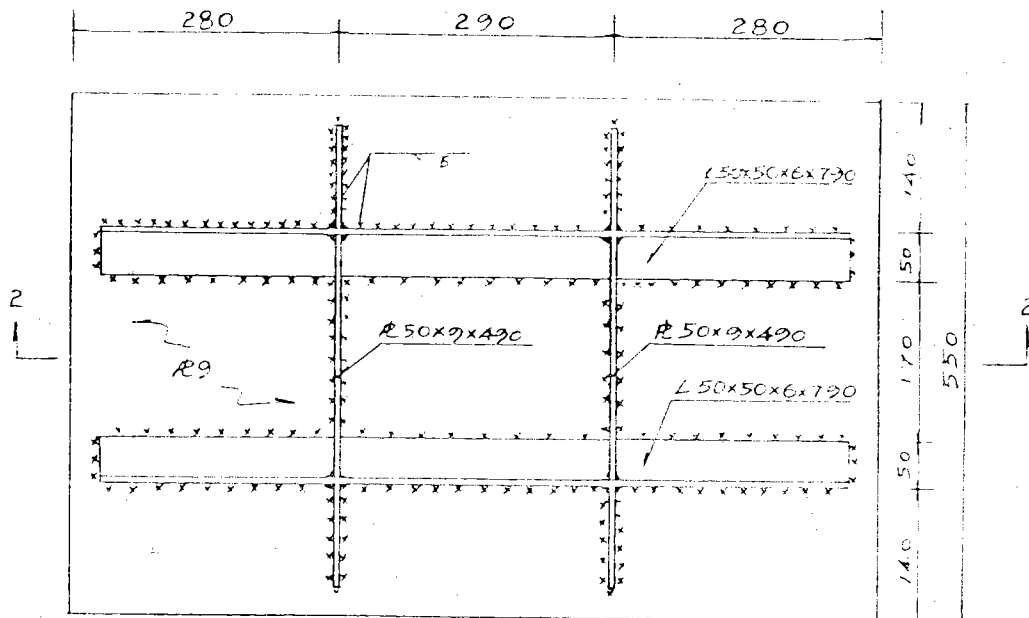
圖 6·2(c) A 詳圖 1:2 mm



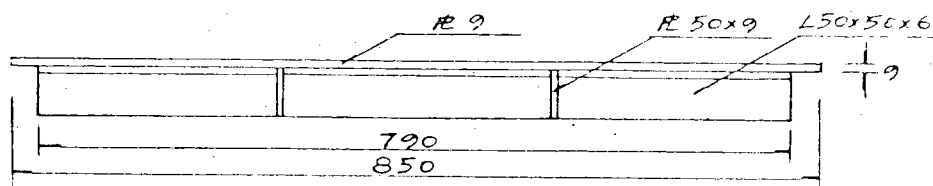
照片 6·1(b) 井管以冲樁方式埋入



觀測井平面圖 1:40 CM



平面



2-2 斷面

圖 6.2 (b) 井蓋詳圖 1:80 MM

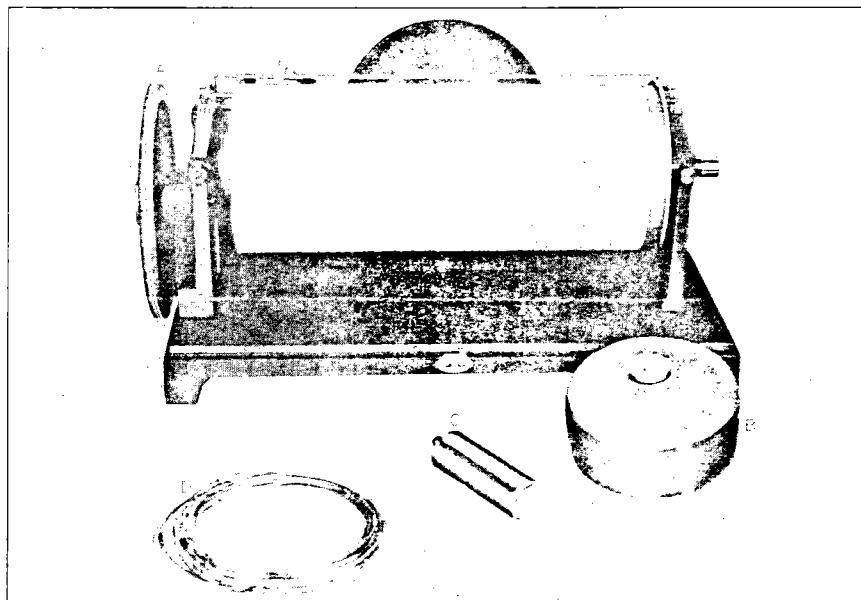
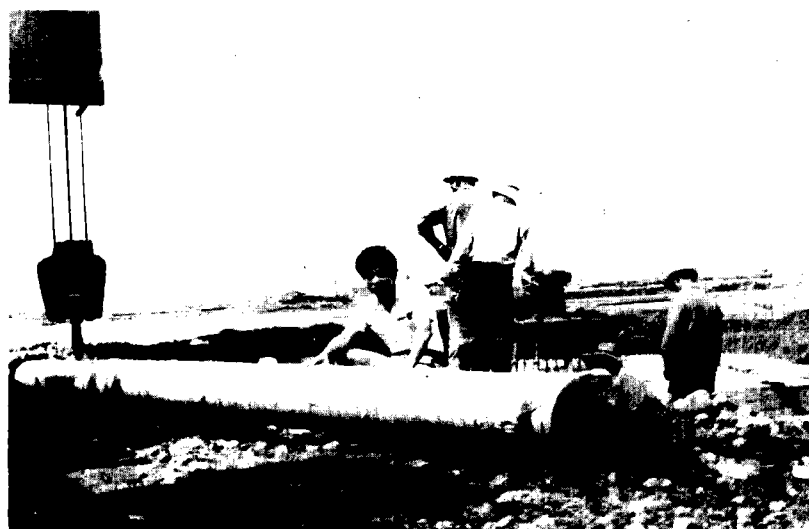
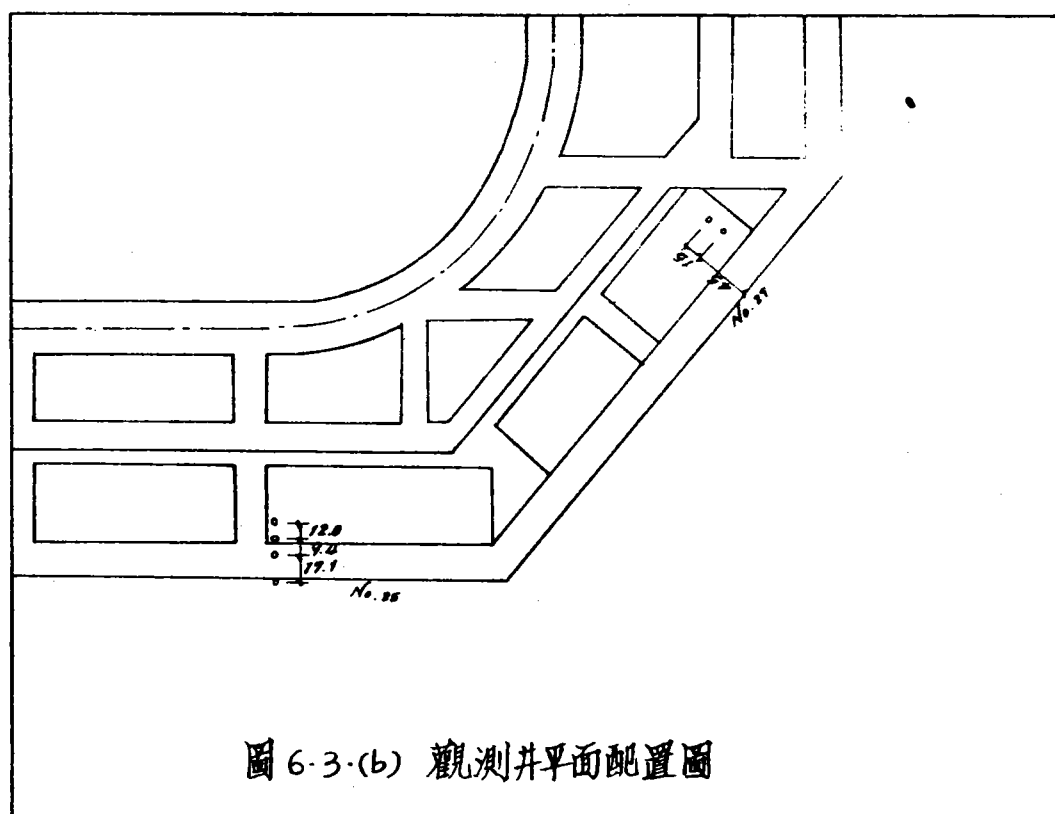
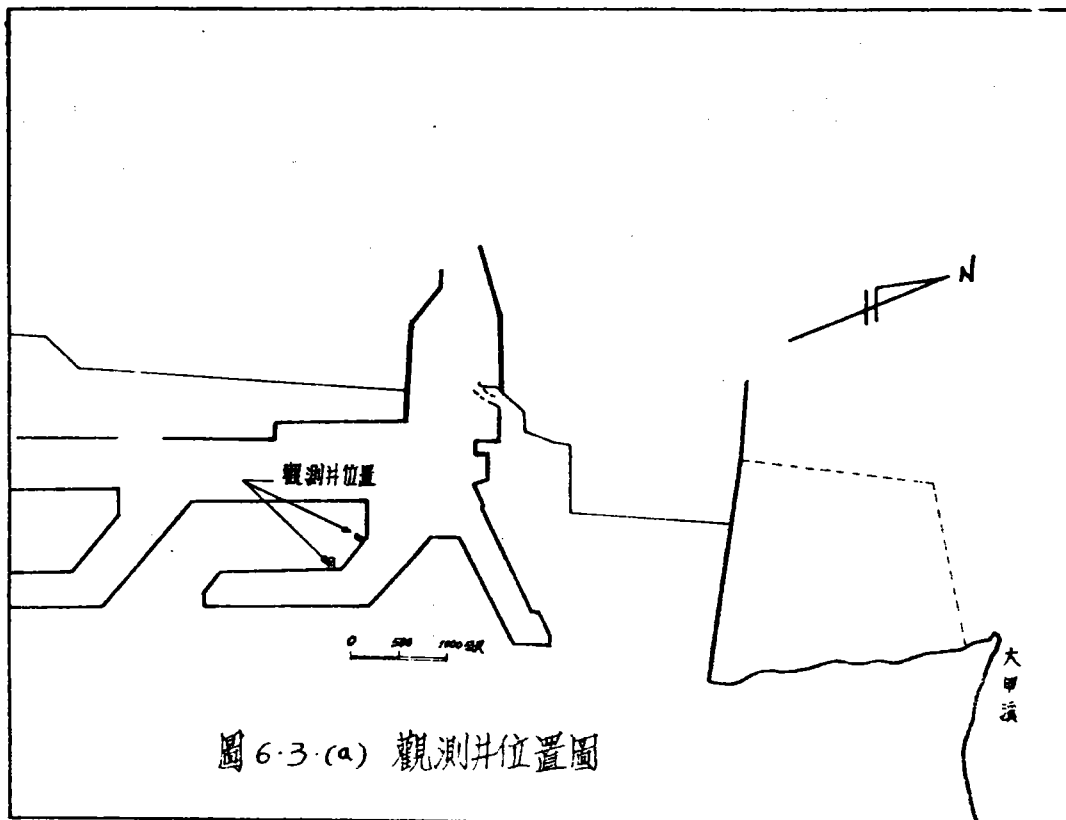


圖 6 • 1 (c) 水位計各部機件



照片 6 • 1 (a) 井管外包 TS-300 濾布一層



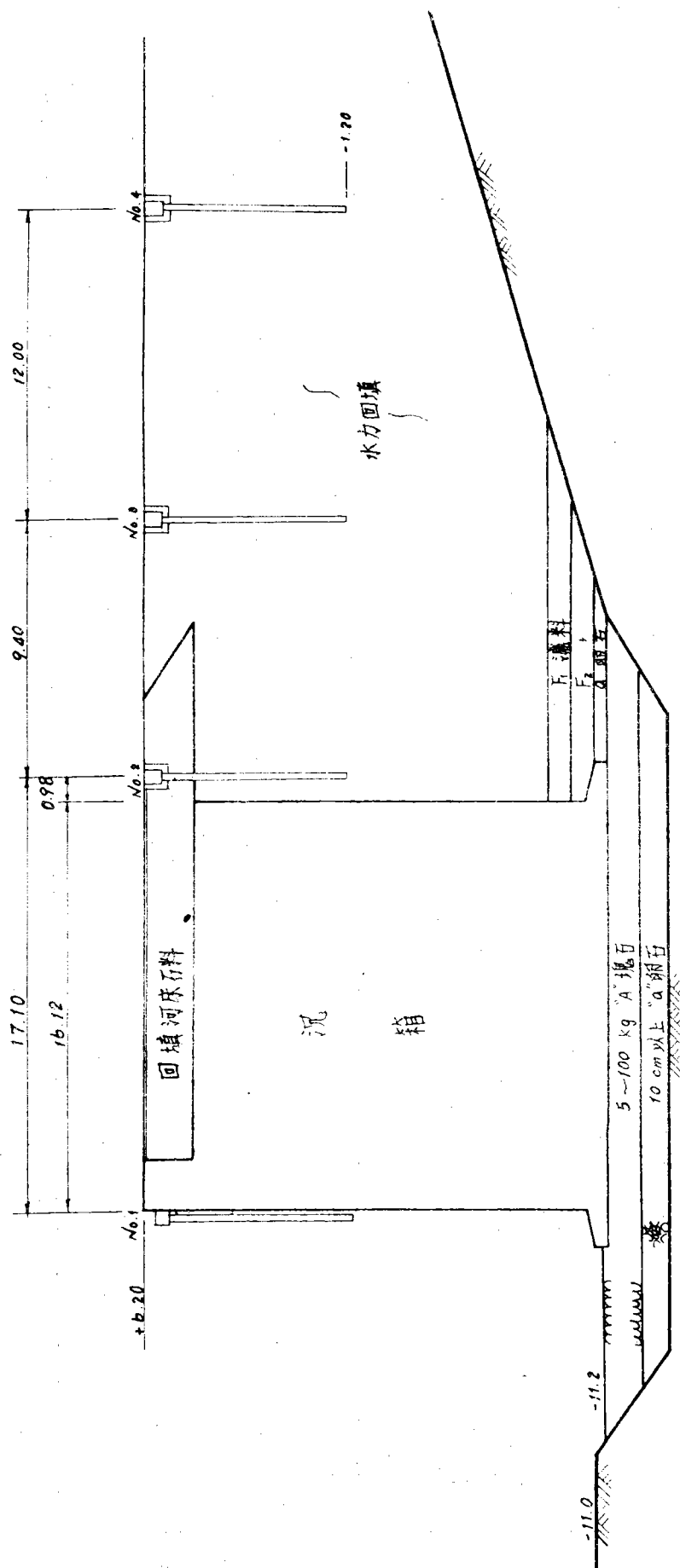


圖 6.3.(c) 廿五號碼頭觀測井設置斷面圖 1:250 M

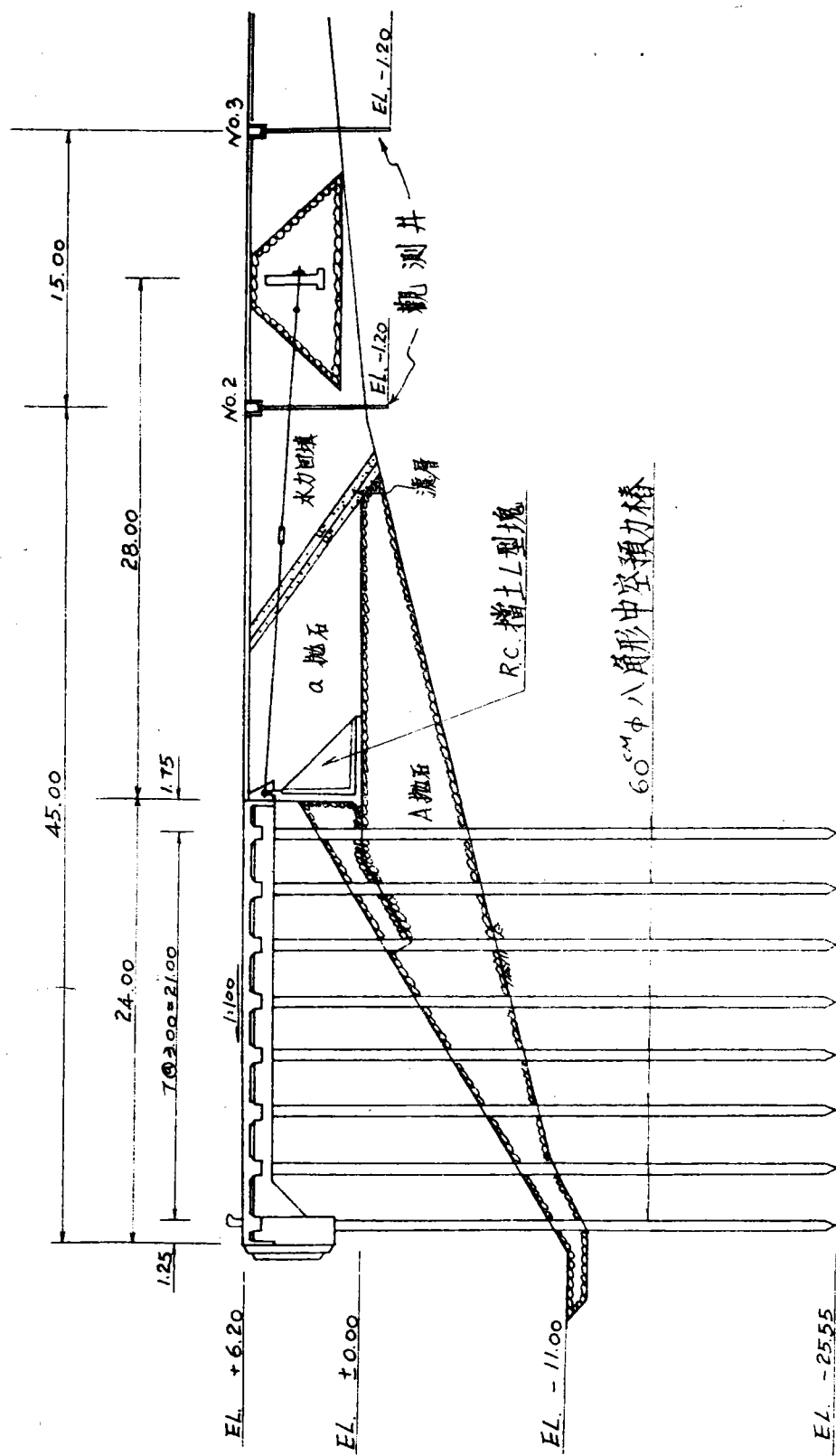
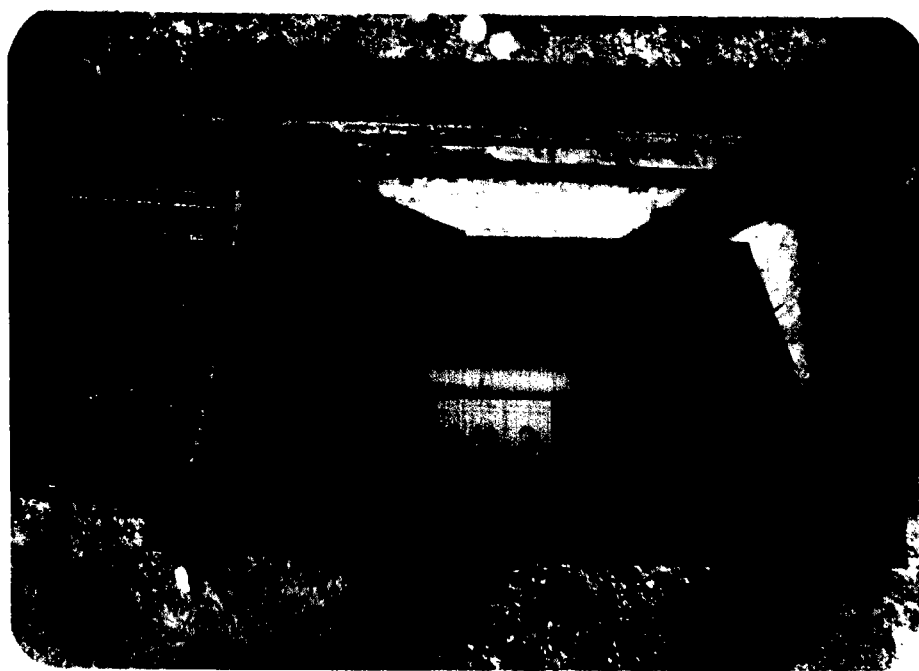


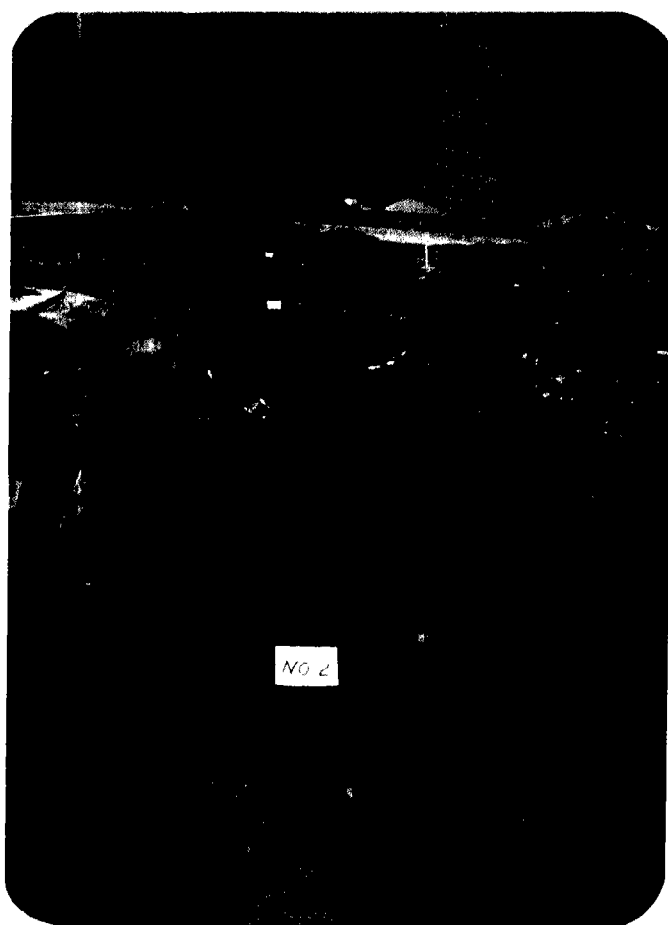
圖 6.3.(d) 廿七號碼頭觀測井設置斷面圖



照片 6•3 土壓作用面水位記



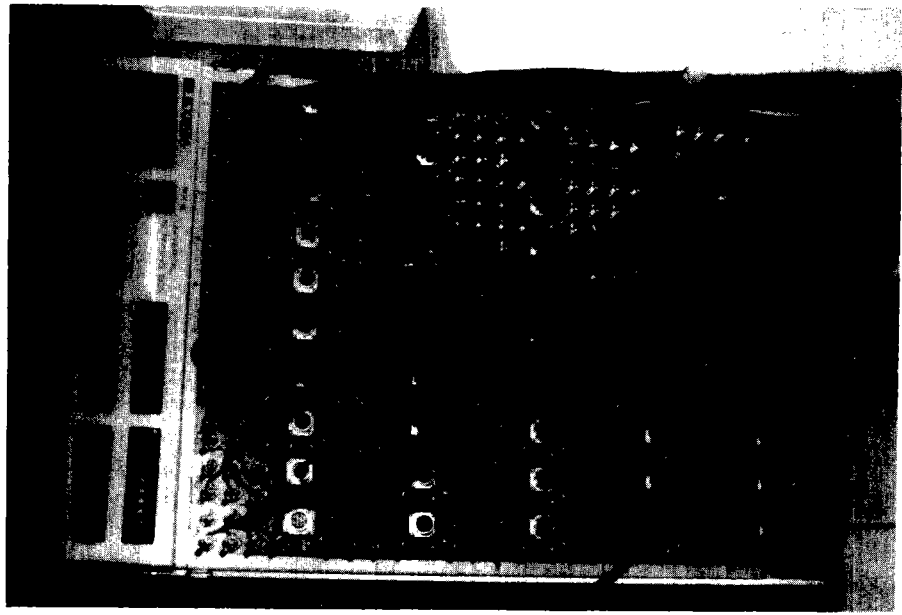
照片 6•2 岸壁前面水位記



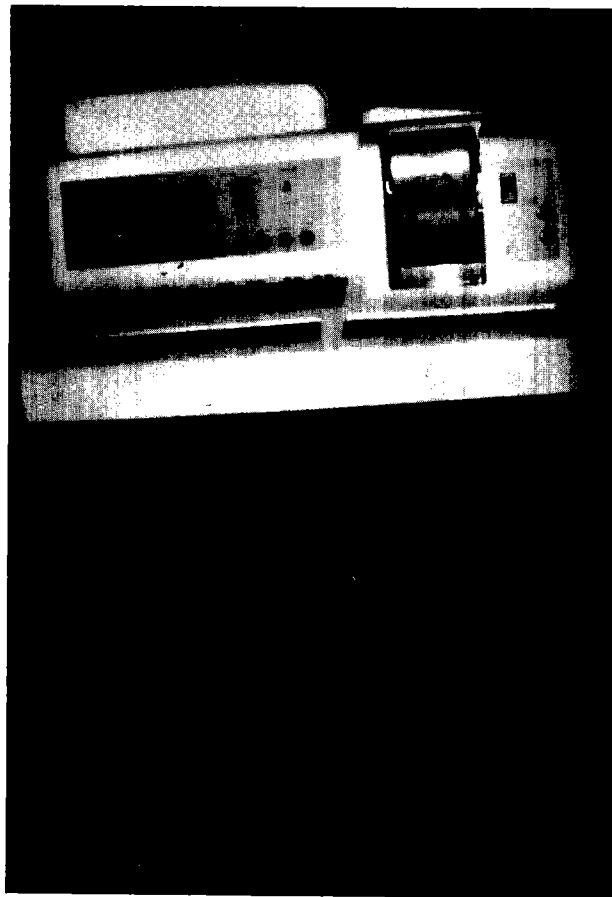
照片 6•4 碼頭後方觀測井



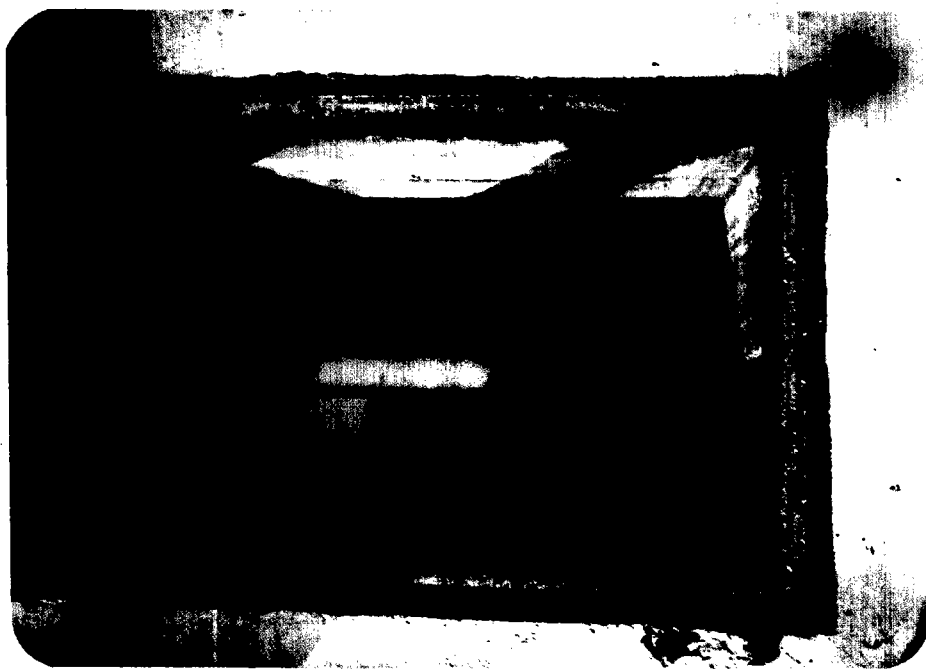
照片 6•5 No. 3 觀測井及水位記



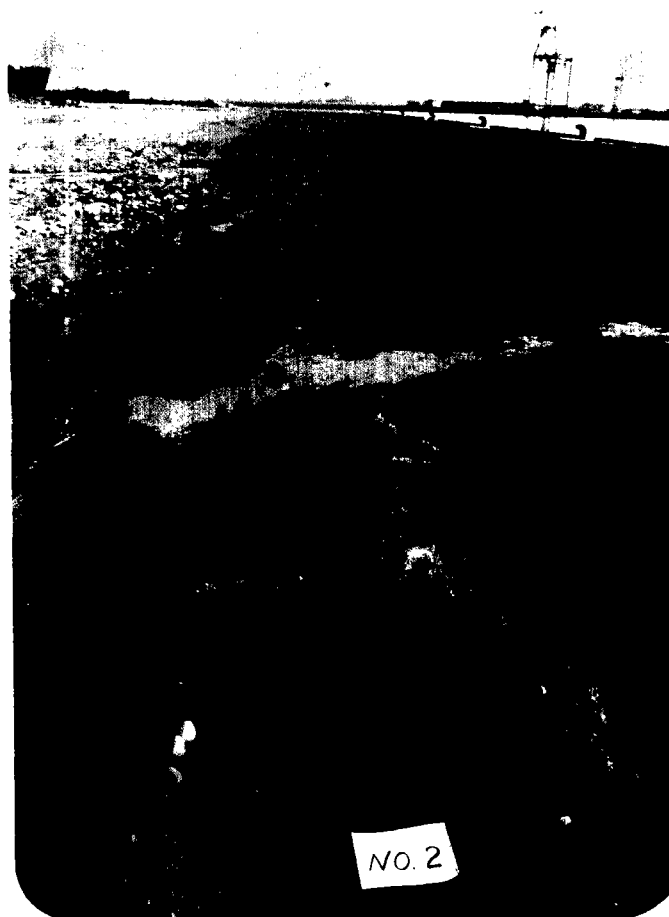
照片 6·5a 孔水壓測定之控制儀



照片 6·5b 孔水壓測定自動紀錄儀



照片 6·6 No.4 觀測井及水位記



照片 6·7 沉箱背後路面所生之裂痕

表 6·1·1 (a)

時 間	71.11.12 0 : 15		71.11.12 1:00	71.11.12 0:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.78	2.71	2.74	2.72
		2.575	2.62	
水位差 Δh_2 (m)		0.93	0.045	0.020
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.054386	0.00479	0.00167

表 6·1·1 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.11 23:30	71.11.11 23:00	71.11.11 22:00
		71.11.12 2:00	71.11.12 3:00	71.11.12 3:00
時差 Δt (時)		3.5	4	5
水位差 Δh_1 (m)		0.83	0.48	0.725
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.006587	0.00333	0.004028
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.12112	0.6959	2.4118

表 6·1·1 (c)

低 潮 時 間	71.11.12 3:00			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.58	2.38		
	0.58		2.43	
	0.58			2.47
最大水位差 Δh (m)		1.8	1.85	1.89
最大水位差發生時間	71.11.12 2:30	71.11.12 2:30	71.11.12 2:30	71.11.12 2:30

表 6·1·2 (a)

時 間	71.11.12 12:15		71.11.12 13:30	71.11.12 12:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.66	2.785		
		2.505	2.555	
水位差 Δh_2 (m)		1.125	0.05	0.025
距 離 ℓ (m)		13.1	9.4	12
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.06579	0.005319	0.002083

表 6·1·2 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.12 11:30 71.11.12 13:00	71.11.12 11:00 71.11.12 16:00	71.11.12 10:00 71.11.12 15:00
時差 Δt (時)		1.5	5	5
水位差 Δh_1 (m)		0.38	0.70	0.76
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.007037	0.003889	0.00422
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.10696	0.73111	2.0256

表 6·1·2 (c)

低 潮 時 間	71.11.12 14:00			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.55	2.49		
	0.55		2.52	
	0.55			2.52
最大水位差 Δh (m)		1.94	1.97	1.97
最大水位差發生時間	71.11.12 13:30	71.11.12 13:30	71.11.12 13:30	71.11.12 13:30

表 6·1·3 (a)

時 間	71.11.13 1:00		71.11.13 2:00	71.11.13 1:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.62	2.69	2.70	2.72
		2.52	2.57	
水位差 Δh_2 (m)		1.07	0.05	0.02
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.062573	0.005319	0.0016667

表 6·1·3 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.12 23:00 71.11.13 3:00	71.11.12 23:00 71.11.13 5:00	71.11.12 22:00 71.11.13 4:00
時差 Δt (時)		4	6	6
水位差 Δh_1 (m)		0.80	0.75	0.815
$V = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00555	0.003472	0.003773
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08879	0.65279	2.26381

表 6·1·3 (c)

低 潮 時 間	71.11.13 4:00			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.32	2.42		
	0.32		2.44	
	0.32			2.47
最大水位差 Δh (m)		2.10	2.12	2.15
最大水位差發生時間	71.11.13 3:00	71.11.13 3:00	71.11.13 3:00	71.11.13 3:00

表 6·1·4 (a)

時 間	71.11.13. 14:00		71.11.13. 14:23	71.11.13. 13:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.32	2.60	27.45	2.72
		2.59	2.54	
水位差 Δh_2 (m)		1.28	0.05	0.025
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.07485	0.005319	0.002083

表 6·1·4 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.13. 11:00 71.11.13. 17:00	71.11.13. 11:45 71.11.13. 17:00	71.11.13. 11:00 71.11.13. 16:00
時差 Δt (時)		6	5.25	5
水位差 Δh_1 (m)		1.04	0.735	0.76
$V = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00481	0.00389	0.00422
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.06432	0.73134	2.0256

表 6·1·4 (c)

低 潮 時 間	71.11.13. 15:40			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.79	0.47		
	0.79		2.51	
	0.79			2.535
最大水位差 Δh (m)		1.68	1.72	1.745
最大水位差發生時間	71.11.13. 14:40	71.11.13. 14:40	71.11.13. 14:40	71.11.13. 14:40

表 6·1·5 (a)

時 間	71.11.14 2:00		71.11.14 1:30	71.11.14 1:45
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.40	2.66	2.78	2.75
		2.84	2.74	
水位差 Δh_2 (m)		1.26	0.10	0.03
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.073684	0.010638	0.0025

表 6·1·5 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.14 0:00 71.11.14 4:00	71.11.14 0:30 71.11.14 2:30	71.11.13 23:30 71.11.14 3:00
時差 Δt (時)		4	2	3.5
水位差 Δh_1 (m)		0.86	0.58	0.63
$V = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.005972	0.0080556	0.00500
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08105	0.75723	2.000

表 6·1·5 (c)

低 潮 時 間	71.11.14 4:00			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.36	2.415		
	0.36		2.46	
	0.36			2.48
最大水位差 Δh (m)		2.055	2.10	2.12
最大水位差發生時間	71.11.14 3:30	71.11.14 3:30	71.11.14 3:30	71.11.14 3:30

表 6·1·6 (a)

時 間	71.11.14 14:07	71.11.14 14:15	71.11.14 13:30	
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.84	2.90	2.87	2.84
		2.80	2.74	
水位差 Δh_2 (m)		1.06	0.06	0.03
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.061988	0.006383	0.0025

表 6·1·6 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.14 12:30 71.11.14 15:00	71.11.14 13:30 71.11.14 15:00	71.11.14 12:00 71.11.14 15:00
時差 Δt (時)		2.5	1.5	3
水位差 Δh_1 (m)		0.70	0.28	0.57
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.007778	0.0051852	0.005278
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.12547	0.81234	2.1112

表 6·1·6 (c)

低 潮 時 間	71.11.14 16:00			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.73	2.57		
	0.73		2.64	2.60
	0.73			
最大水位差 Δh (m)		1.84	1.91	1.87
最大水位差發生時間	71.11.14 15:00	71.11.14 15:00	71.11.14 15:00	71.11.14 15:00

表 6·1·7 (a)

時 間	71.11.15 2:00		71.11.15 2:30	71.11.15 2:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.69	2.82	2.88	2.845
		2.70	2.78	
水位差 Δh_2 (m)		1.13	0.08	0.035
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.0660819	0.0085106	0.002916

表 6·1·7 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.15 1:00 71.11.15 3:00	71.11.15 2:00 71.11.15 3:00	71.11.15 1:00 71.11.15 3:00
時差 Δt (時)		2	1	2
水位差 Δh_1 (m)		0.56	0.26	0.42
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.007778	0.007222	0.0058333
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.11770	0.84861	2.000

表 6·1·7 (c)

低 潮 時 間	71.11.15 4:00			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.26	2.49		
	0.26		2.56	
	0.26			2.54
最大水位差 Δh (m)		2.23	2.30	2.28
最大水位差發生時間	71.11.15 3:30	71.11.15 3:30	71.11.15 3:30	71.11.15 3:30

表 6·1·8 (a)

時 間	71.11.15 14:15		71.11.15 14:45	71.11.15 14:45
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.96	2.86	2.80	2.77
		2.77	2.825	
水位差 Δh_2 (m)		0.90	0.055	0.03
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.0526316	0.0058510	0.0025

表 6·1·8 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.15 13:30	71.11.15 14:00	71.11.15 14:00
		71.11.15 15:00	71.11.15 15:30	71.11.15 15:30
時差 Δt (時)		1.5	1.5	1.5
水位差 Δh_1 (m)		0.42	0.25	0.26
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.007778	0.0046296	0.0048148
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.14778	0.79124	1.9259

表 6·1·8 (c)

低 潮 時 間	71.11.15 16:15			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.92	2.56		
	0.92		2.62	
	0.92			2.60
最大水位差 Δh (m)		1.64	1.70	1.68
最大水位差發生時間	71.11.15 15:30	71.11.15 15:30	71.11.15 15:30	71.11.15 15:30

表 6·1·9 (a)

時 間	71.11.16 2:30		71.11.16 2:45	71.11.16 2:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.66	2.80	2.80	2.765
		2.76	2.82	
水位差 Δh_2 (m)		1.14	0.06	0.035
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.06667	0.006383	0.002917

表 6·1·9 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.11.16 1:00 }	71.11.16 1:30 }	71.11.16 1:00 }
		71.11.16 4:00	71.11.16 4:00	71.11.16 4:00
時差 Δt (時)		3	2.5	3
水位差 Δh_1 (m)		0.68	0.50	0.61
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.006296	0.005556	0.005648
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.09444	0.87036	1.93624

表 6·1·9 (c)

低 潮 時 間	71.11.16 4:30			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.32	2.55		
	0.32		2.58	
	0.32			2.52
最大水位差 Δh (m)		2.23	2.26	2.20
最大水位差發生時間	71.11.16 4:00	71.11.16 4:00	71.11.16 4:00	71.11.16 4:00

表 6·1·10 (a)

時 間	71.12.29 2:00		71.12.29 1:30	71.12.29 1:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.95	2.6	2.73	2.685
		2.68	2.74	
水位差 Δh_2 (m)		1.65	0.06	0.035
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.0965	0.00638	0.00292

表 6·1·10 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.12.29 0:00 71.12.29 4:00	71.12.29 0:00 71.12.29 3:00	71.12.29 0:00 71.12.29 3:00
時差 Δt (時)		4	3	3
水位差 Δh_1 (m)		0.75	0.49	0.62
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00521	0.00454	0.00574
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.05400	0.71160	1.9658

表 6·1·10 (c)

低 潮 時 間	71.12.29 3:30			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	— 0.10	2.44		
	— 0.10		2.53	
	— 0.10			2.40
最大水位差 Δh (m)		2.54	2.63	2.50
最大水位差發生時間	71.12.29 3:00	71.11.29 3:00	71.12.29 3:00	71.12.29 3:00

表 6·1·11 (a)

時 間	71.12.30 2:30		71.12.30 2:30	71.12.30 2:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.00	2.67	2.77	2.72
		2.66	2.72	
水位差 Δh_2 (m)		1.67	0.06	0.05
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.09766	0.00638	0.00417

表 6·1·11 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		71.12.30 0:00	71.12.30 1:00	71.12.30 1:00
		71.12.30 5:00	71.12.30 4:00	71.12.30 3:00
時差 Δt (時)		5	3	2
水位差 Δh_1 (m)		1.05	0.50	0.55
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00583	0.00463	0.00764
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.0597	0.72537	1.83213

表 6·1·11 (c)

低 潮 時 間	71.12.30 4:30			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	— 0.24	2.49		
	— 0.24		2.56	
	— 0.24			2.42
最大水位差 Δh (m)		2.73	2.80	2.66
最大水位差發生時間	71.12.30 4:00	71.12.30 4:00	71.12.30 4:00	71.12.30 4:00

表 6·1·12 (a)

時 間	72.2.12 3:30		72.2.12 5:00	72.2.12 3:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.24	2.65	2.81	2.72
		2.48	2.69	
水位差 Δh_2 (m)		1.41	0.21	0.09
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.08246	0.02234	0.00750

表 6·1·12 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		72.2.12 2:00 72.2.12 5:00	72.2.12 3:00 72.2.12 7:00	72.2.12 2:00 72.2.12 5:00
時差 Δt (時)		3	4	3
水位差 Δh_1 (m)		0.63	0.56	0.59
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00583	0.00389	0.00546
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.07070	0.17412	0.72800

表 6·1·12 (c)

低 潮 時 間	72.2.12 5:30			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.38	2.48		
	0.38		2.75	
	0.38			2.52
最大水位差 Δh (m)		2.10	2.37	2.14
最大水位差發生時間	72.2.12 5:00	72.2.12 5:00	72.2.12 5:00	72.2.12 5:00

表 6·1·13 (a)

時 間	72.2.13. 3:30		72.2.13. 3:45	72.2.13. 3:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.48	2.56	2.88	2.78
		2.52	2.75	
水位差 Δh_2 (m)		1.08	0.23	0.10
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.06316	0.02447	0.00833

表 6·1·13 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		72.2.13. 2:00 72.2.13. 5:00	72.2.13. 2:30 72.2.13. 6:00	72.2.13. 2:00 72.2.13. 5:00
時差 Δt (時)		3	3.5	3
水位差 Δh_1 (m)		0.60	0.52	0.57
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00556	0.00413	0.00528
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08796	0.16867	0.63363

表 6·1·13 (c)

低 潮 時 間	72.2.13. 5:45			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.38	2.51		
	0.38		2.74	
	0.38			2.54
最大水位差 Δh (m)		2.13	2.36	2.16
最大水位差發生時間	72.2.11. 5:20	72.2.11. 5:20	72.2.11. 5:20	72.2.11. 5:20

表 6·1·14 (a)

時 間	72.3.11. 1:30		72.3.11. 2:30	72.3.11. 1:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.32	2.76	2.90	2.83
		2.58	2.77	
水位差 Δh_2 (m)		1.44	0.19	0.07
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.08421	0.02021	0.00583

表 6·1·14 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		72.3.11. 0:00 }	72.3.11. 1:00 }	72.3.11. 0:00 }
		72.3.11. 3:00	72.3.11. 4:00	72.3.11. 3:00
時差 Δt (時)		3	3	3
水位差 Δh_1 (m)		0.57	0.38	0.53
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00528	0.00352	0.00491
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.06270	0.17417	0.84127

表 6·1·14 (c)

低 潮 時 間	72.3.11. 3:30			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.73	2.56		
	0.73		2.72	
	0.73			2.64
最大水位差 Δh (m)		1.83	1.99	1.91
最大水位差發生時間	72.3.11. 3:00	72.3.11. 3:00	72.3.11. 3:00	72.3.11. 3:00

表 6.1.15 (a)

時 間	72.3.14 3:00		72.3.14 3:15	72.3.14 3:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.32	2.90	3.06	2.98
		2.84	3.02	
水位差 Δh_2 (m)		1.18	0.18	0.08
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.06900	0.01915	0.00667

表 6.1.15 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		72.3.14 2:00 72.3.14 4:00	72.3.14 2:30 72.3.14 4:00	72.3.14 2:00 72.3.14 4:00
時差 Δt (時)		2	1.5	2
水位差 Δh_1 (m)		0.42	0.20	0.38
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00583	0.00370	0.00528
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08449	0.19322	0.79200

表 6.1.15 (c)

低 潮 時 間	72.3.14 5:10			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.38	2.62		
	0.38		2.78	
				2.67
最大水位差 Δh (m)		2.24	2.40	2.29
最大水位差發生時間	72.3.14 4:45	72.3.14 4:45	72.3.14 4:45	72.3.14 4:45

表 6·1·16 (a)

時 間	72.4.14 16:00		72.4.14 17:00	72.4.14 17:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.46	3.14	3.14	3.08
		2.89	3.14	
水位差 Δh_2 (m)		1.68	0.25	0.06
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.09824	0.02660	0.00500

表 6·1·16 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		72.4.14 15:00 72.4.14 17:00	72.4.14 15:00 72.4.14 19:00	72.4.14 15:00 72.4.14 19:00
時差 Δt (時)		2	4	4
水位差 Δh_1 (m)		0.56	0.69	0.76
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00778	0.00479	0.00528
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.07917	0.18007	1.0556

表 6·1·16 (c)

低 潮 時 間	72.4.14 18:00			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.38	2.76		
	0.38		3.0	
	0.38			2.92
最大水位差 Δh (m)		2.38	2.62	2.54
最大水位差發生時間	72.4.14 17:30	72.4.14 17:30	72.4.14 17:30	72.4.14 17:30

表 6·1·17 (a)

時 間	72. 4. 16. 17:00		72. 4. 16. 18:00	72. 4. 16. 18:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	1.44	3.0	3.16	3.09
		2.84	3.16	
水位差 Δh_2 (m)		1.56	0.32	0.07
距 離 ℓ (m)		17.1	9.4	12.0
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.09123	0.03404	0.00583

表 6·1·17 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
時 間		72. 4. 16. 15:00 }	72. 4. 16. 17:00 }	72. 4. 16. 17:00 }
		72. 4. 16. 19:00	72. 4. 16. 19:00	72. 4. 16. 19:00
時差 Δt (時)		4	2	2
水位差 Δh_1 (m)		1.06	0.39	0.44
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00736	0.00542	0.00611
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08067	0.15922	1.04803

表 6·1·17 (c)

低 潮 時 間	72. 4. 16. 19:00			
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
水位高程 (m)	0.25	2.80		
	0.25		3.10	
	0.25			3.03
最大水位差 Δh (m)		2.55	2.85	2.78
最大水位差發生時間	72. 4. 16. 18:30	72. 4. 16. 18:30	72. 4. 16. 18:30	72. 4. 16. 18:30

表 6·2·1 (a)

時 間	72.3.1 4:00		72.3.1 5:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	0.44	3.00	
		2.64	3.22
水位差 Δh_2 (m)		2.56	0.58
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.05689	0.03867

表 6·2·1 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.3.1 3:00	72.3.1 4:00
		72.3.1 5:00	72.3.1 6:00
時 差 Δt (時)		2	2
水位差 Δh_1 (m)		0.80	0.50
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.0111	0.00694
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.09105	0.17947

表 6·2·1 (c)

低 潮 時 間	72.3.1 5:15		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	— 0.18	2.64	
	— 0.18		3.25
最大水位差 Δh (m)		2.82	3.43
最大水位差發生時間	72.3.1 4:45	72.3.1 4:45	72.3.1 4:45

表 6·2·2 (a)

時 間	72.3.2 5:00		72.3.2 5:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.50	3.12	
		2.84	3.38
水位差 Δh_2 (m)		2.62	0.54
距 離 l (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{l}$		0.12476	0.03600

表 2·2 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.3.2 4:00	72.3.2 4:00
		72.3.2 6:00	72.3.2 7:00
時 差 Δt (時)		2	3
水位差 Δh_1 (m)		0.75	0.70
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.01042	0.00648
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08352	0.18000

表 2·2 (c)

低 潮 時 間	72.3.2 6:30		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	— 0.08	2.70	
	— 0.08		3.25
最大水位差 Δh (m)		2.78	3.33
最大水位差發生時間	72.3.2 6:00	72.3.2 6:00	72.3.2 6:00

表 6·2·3 (a)

時 間	72.3.5 19:30		72.3.5 19:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.80	2.70	
		2.70	3.20
水位差 Δh_2 (m)		1.90	0.50
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.09048	0.03333

表 6·2·3 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.3.5 18:00	72.3.5 18:00
		72.3.5 21:00	72.3.5 21:00
時 差 Δt (時)		3	3
水位差 Δh_1 (m)		0.80	0.62
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00741	0.00574
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08190	0.17222

表 6·2·3 (c)

低 潮 時 間	72.3.5 20:30		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.66	2.58	
	0.66		3.12
最大水位差 Δh (m)		1.92	2.46
最大水位差發生時間	72.3.5 20:00	72.3.5 20:00	72.3.5 20:00

表 6·2·4 (a)

時 間	72.3.7 21:30		72.3.7 21:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	1.44	2.75	
		2.75	3.08
水位 差 Δh_2 (m)		1.29	0.33
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.06238	0.02200

表 6·2·4 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.3.7 20:00	72.3.7 20:00
		72.3.7 23:00	72.3.7 23:00
時 差 Δt (時)		3	3
水位 差 Δh_1 (m)		0.58	0.41
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00537	0.00380
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08608	0.17273

表 6·2·4 (c)

低 潮 時 間	72.3.7 23:30		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	1.08	2.47	
	1.08		2.90
最大水位差 Δh (m)		1.39	1.82
最大水位差發生時間	72.3.7 23:00	72.3.7 23:00	72.3.7 23:00

表 6·2·5 (a)

時 間	72. 3. 11. 1:30		72. 3. 11. 1:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	1.20	2.76	
		2.76	3.11
水位 差 Δh_2 (m)		1.56	0.35
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.07429	0.02333

表 6·2·5 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72. 3. 11. 0:00 72. 3. 11. 3:00	72. 3. 11. 0:00 72. 3. 11. 3:00
時 差 Δt (時)		3	3
水位 差 Δh_1 (m)		0.70	0.45
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00648	0.00417
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08723	0.17857

表 6·2·5 (c)

低 潮 時 間	72. 3. 11. 3:20		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	0.66	2.40	
	0.66		2.90
最大 水位 差 Δh (m)		1.74	2.24
最大 水位 差 發生 時間	72. 3. 11. 2:50	72. 3. 11. 2:50	72. 3. 11. 2:50

表 6·2·6 (a)

時 間	72. 3. 12 2:00		72. 3. 12 2:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	1.30	2.91	
		2.91	3.27
水位 差 Δh_2 (m)		1.61	0.36
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.27667	0.02400

表 6·2·6 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72. 3. 12 0:00	72. 3. 12 0:00
		72. 3. 12 4:00	72. 3. 12 4:00
時 差 Δt (時)		4	4
水位 差 Δh_1 (m)		0.95	0.61
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00660	0.00424
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08605	0.17667

表 6·2·6 (c)

低 潮 時 間	72. 3. 12 4:00		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	0.66	2.49	
	0.66		2.96
最大水位差 Δh (m)		1.83	2.30
最大水位差發生時間	72. 3. 12 3:30	72. 3. 12 3:30	72. 3. 12 3:30

表 6.2.7 (a)

時 間	72.3.14 4:00		72.3.14 4:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.88	2.68	
		2.68	3.15
水位差 Δh_2 (m)		1.80	0.47
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.08571	0.03133

表 6.2.7 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.3.14 2:00	72.3.14 3:00
		72.3.14 6:00	72.3.14 5:00
時 差 Δt (時)		4	2
水位差 Δh_1 (m)		0.95	0.41
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00660	0.00569
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.07700	0.18160

表 6.2.7 (c)

低 潮 時 間	72.3.14 5:00		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.38	2.56	
	0.38		3.02
最大水位差 Δh (m)		2.18	2.64
最大水位差發生時間	72.3.14 4:30	72.3.14 4:30	72.3.14 4:30

表 6·2·8 (a)

時 間	72.3.15 4:00		72.3.15 4:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.70	2.72	3.20
		2.72	
水位差 Δh_2 (m)		2.02	0.48
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.09619	0.03200

表 6·2·8 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.3.15 2:00	72.3.15 2:00
		72.3.15 6:00	72.3.15 6:00
時 差 Δt (時)		4	4
水位差 Δh_1 (m)		1.14	0.78
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00792	0.00542
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08234	0.16938

表 6·2·8 (c)

低 潮 時 間	72.3.15 5:30		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.08	2.47	
	0.08		2.96
最大水位差 Δh (m)		2.39	2.88
最大水位差發生時間	72.3.15 5:00	72.3.15 5:00	72.3.15 5:00

表 6·2·9 (a)

時 間	72. 4. 28 16:00		72. 4. 28 16:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	1.28	2.92	
		2.92	3.43
水位差 Δh_2 (m)		1.64	0.51
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.07810	0.03400

表 6·2·9 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72. 4. 28 14:00	72. 4. 28 15:00
		72. 4. 28 18:00	72. 4. 28 17:00
時 差 Δt (時)		4	2
水位差 Δh_1 (m)		1.16	0.49
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00806	0.00681
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.10321	0.20029

表 6·2·9 (c)

低 潮 時 間	72. 4. 28 18:00		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.30	2.52	
	0.30		3.08
最大水位差 Δh (m)		2.22	2.78
最大水位差發生時間	72. 4. 28 17:30	72. 4. 28 17:30	72. 4. 28 17:30

表 6·2·10 (a)

時 間	72. 4. 30. 17:30		72. 4. 30. 17:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	1.32	2.80	
		3.00	3.43
水位 差 Δh_2 (m)		1.48	0.43
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.07048	0.02867

表 6·2·10 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.4.30. 15:00 72.4.30. 20:00	72.4.30. 16:00 72.4.30. 18:00
時 差 Δt (時)		5	2
水位差 Δh_1 (m)		1.31	0.43
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00728	0.00597
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.10330	0.20826

表 6·2·10 (c)

低 潮 時 間	72. 4. 30. 19:30		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水 位 高 程 (m)	0.38	2.43	
	0.38		3.00
最大水位差△h (m)		2.05	2.62
最大水位差發生時間	72. 4. 30. 19:00	72. 4. 30. 19:00	72. 4. 30. 19:00

表 6·2·11 (a)

時 間	72.5.14 16:30		72.5.14 17:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	1.30	3.05	
		2.92	3.33
水位 差 Δh_2 (m)		1.75	0.41
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.08333	0.02733

表 6·2·11 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.5.14 15:00	72.5.14 14:00
		72.5.14 18:00	72.5.14 20:00
時 差 Δt (時)		3	6
水位 差 Δh_1 (m)		0.91	1.25
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00843	0.00579
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.10116	0.21183

表 6·2·11 (c)

低 潮 時 間	72.5.14 18:00		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	0.19	2.72	
	0.19		2.96
最大水位差 Δh (m)		2.53	2.77
最大水位差發生時間	72.5.4 17:30	72.5.4 17:30	72.5.4 17:30

表 6·2·12 (a)

時 間	72.5.15	17:30	72.5.15 18:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高 程 (m)	1.12	3.04	
		3.24	2.85
水位 差 Δh_2 (m)		1.92	0.39
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.09143	0.02600

表 6·2·12 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72.5.15 16:00 72.5.15 19:00	72.5.15 17:00 72.5.15 19:00
時 差 Δt (時)		3	2
水位 差 Δh_1 (m)		0.93	0.45
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00861	0.00556
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.09417	0.21385

表 6·2·12 (c)

低 潮 時 間	72.5.15 19:30		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	0.14	2.52	
	0.14		2.72
最大水位差 Δh (m)		2.38	2.58
最大水位差發生時間	72.5.15 19:00	72.5.15 19:00	72.5.15 19:00

表 6·2·13 (a)

時 間	72. 5. 27. 15:30		72. 5. 27. 16:00
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	1:00	3.01	
		2.86	3.26
水位差 Δh_2 (m)		2.01	0.46
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.09571	0.02667

表 6·2·13 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72. 5. 27. 14:00	72. 5. 27. 14:00
		72. 5. 27. 17:00	72. 5. 27. 18:00
時 差 Δt (時)		3	4
水位差 Δh_1 (m)		0.87	0.80
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00806	0.00556
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.08421	0.20850

表 6·2·13 (c)

低 潮 時 間	72. 5. 27. 18:00		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位 高程 (m)	0.38	2.78	
	0.38		3.06
最大水位差 Δh (m)		2.40	2.68
最大水位差發生時間	72. 5. 27. 17:30	72. 5. 27. 17:30	72. 5. 27. 17:30

表 6·2·14 (a)

時 間	72. 5. 28. 15:30		72. 5. 28. 15:30
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	1.48	3.00	
		3.00	3.45
水位差 Δh_2 (m)		1.52	0.45
距 離 ℓ (m)		21	15
水力梯度 $i = \frac{\Delta h_2}{\ell}$		0.07238	0.03000

表 6·2·14 (b)

井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
時 間		72. 5. 28. 14:00	72. 5. 28. 14:00
		72. 5. 28. 17:00	72. 5. 28. 17:00
時 差 Δt (時)		3	3
水位差 Δh_1 (m)		0.79	0.65
$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t}$ (cm/sec)		0.00731	0.00602
$K = \frac{V}{i}$ (cm/sec)		0.10099	0.20067

表 6·2·14 (c)

低 潮 時 間	72. 5. 28. 17:30		
井 號	NO. 1	NO. 2	NO. 3
水位高程 (m)	0.40	2.60	
	0.40		3.08
最大水位差 Δh (m)		2.20	2.68
最大水位差發生時間	72. 5. 28. 17:00	72. 5. 28. 17:00	72. 5. 28. 17:00

表 6·3·1 (25 號碼頭)

日	期	降 雨 量	No 1 水位	No 2 水位	最大水位差
71.11.13	4:00	0	0.32	2.42	2.10
71.12.28	2:30	0	0.32	2.42	2.10

表 6·3·2 (25 號碼頭)

日	期	降 雨 量	No 1 水位	No 2 水位	最大水位差
71.12.26	13:00	0	1.03	2.41	1.38
72.2.5	23:10	11.5	1.03	2.43	1.40
72.2.7	23:00	7.2	1.03	2.42	1.39

表 6·3·3 (25 號碼頭)

日	期	降 雨 量	No 1 水位	No 2 水位	最大水位差
72.3.12	16:30	46.9	1.20	2.74	1.54
72.4.6	23:30	0	1.22	2.77	1.55

表 6·4·1 (27 號碼頭)

日	期	降 雨 量	No 1 水位	No 2 水位	最大水位差
72.5.2	8:00	0	1.56	2.68	1.12
72.5.2	19:30	0	1.56	2.68	1.12

表 6·4·2 (27 號碼頭)

日	期	降 雨 量	No 1 水位	No 2 水位	最大水位差
72.3.7	23:30	7.2	1.06	2.46	1.40
72.3.9	24:00	0.8	1.06	2.46	1.40

表 6·4·3 (27 號碼頭)

日	期	降 雨 量	No 1 水位	No 2 水位	最大水位差
72.3.12	16:30	46.9	1.20	2.67	1.47
72.4.6	23:30	0	1.22	2.66	1.46
72.5.1	9:30	0	1.22	2.68	1.46

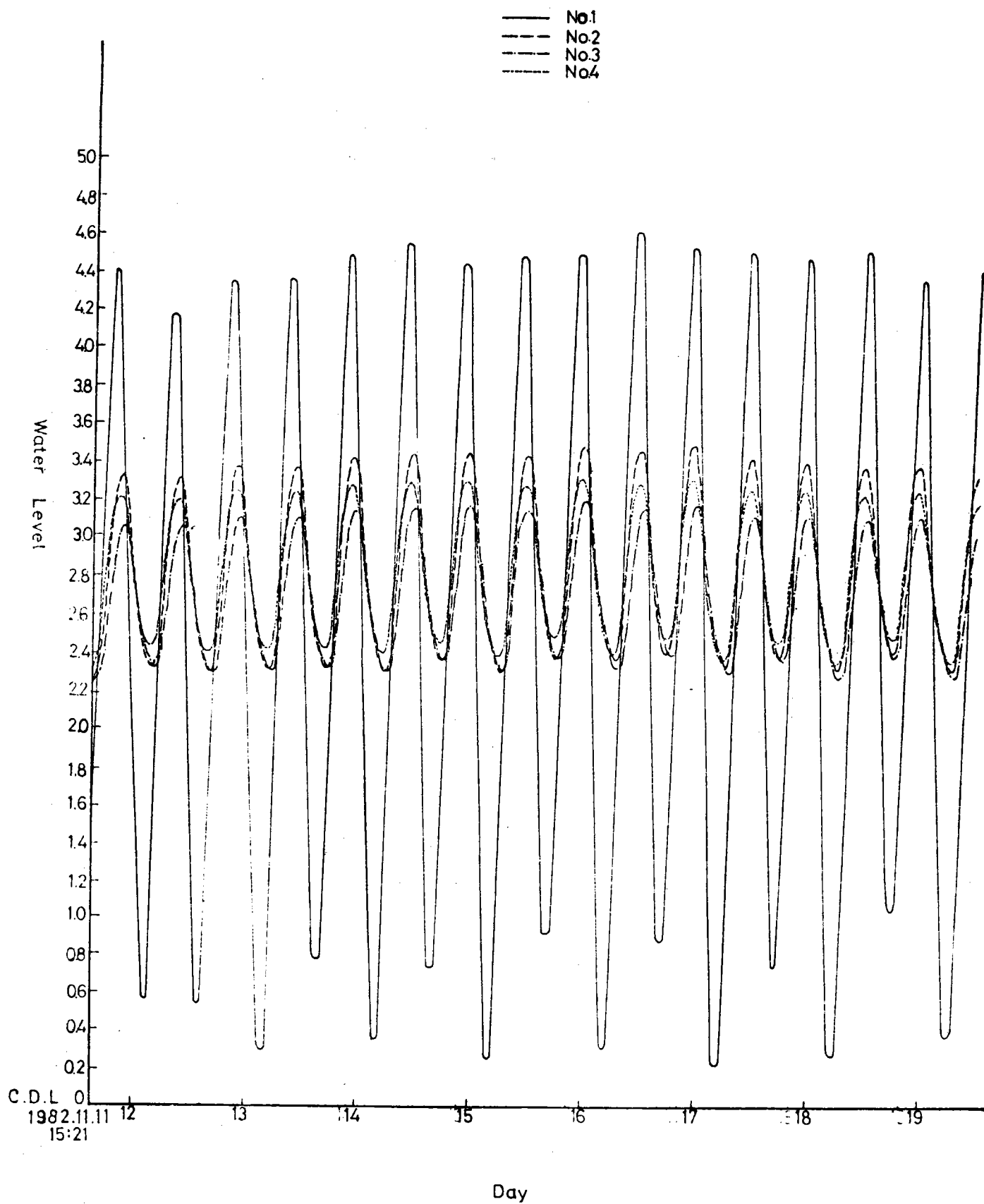


圖6-4-1 沉箱式碼頭各站水位記錄曲線

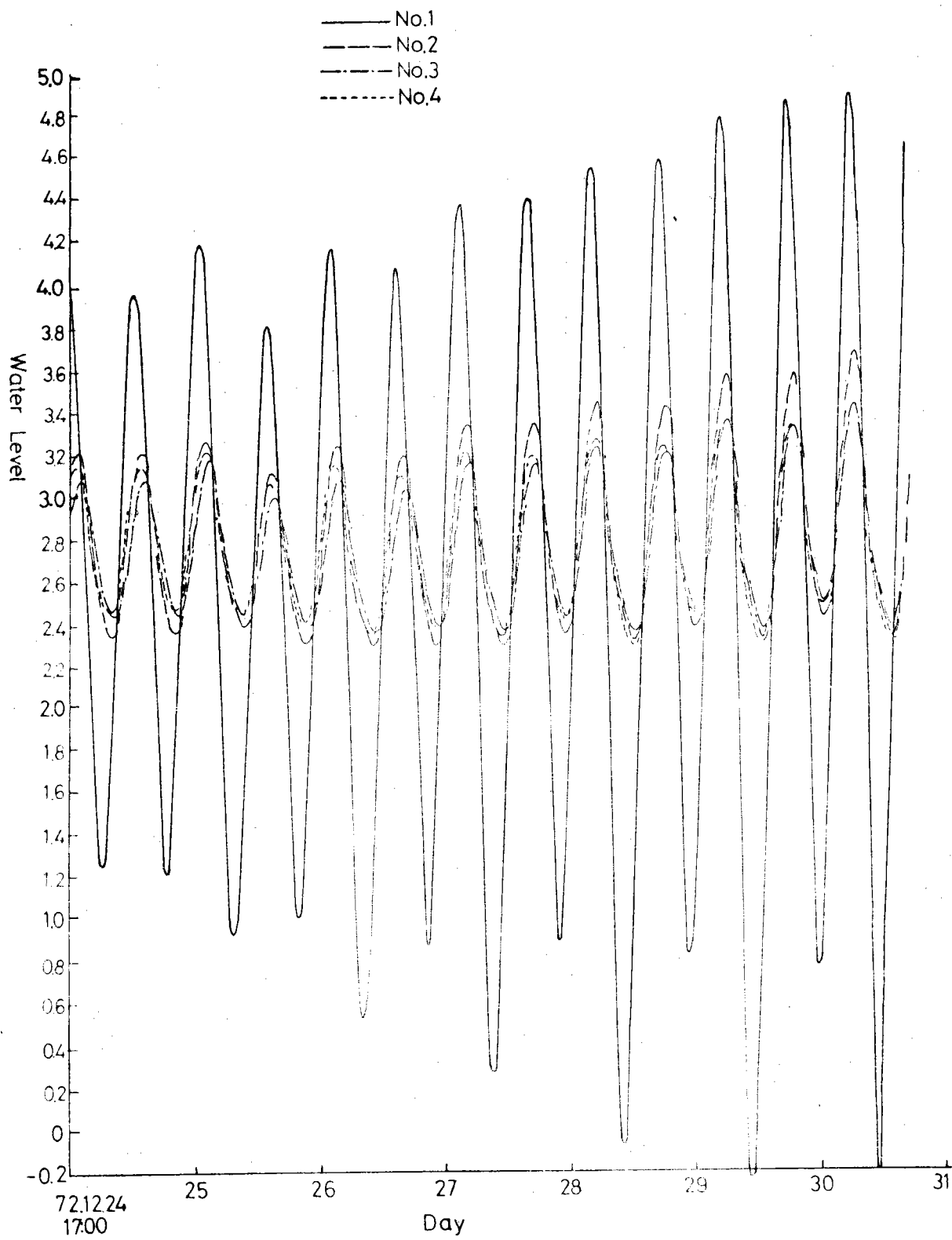


圖6.4.2 沉箱式碼頭各站水位記錄曲線

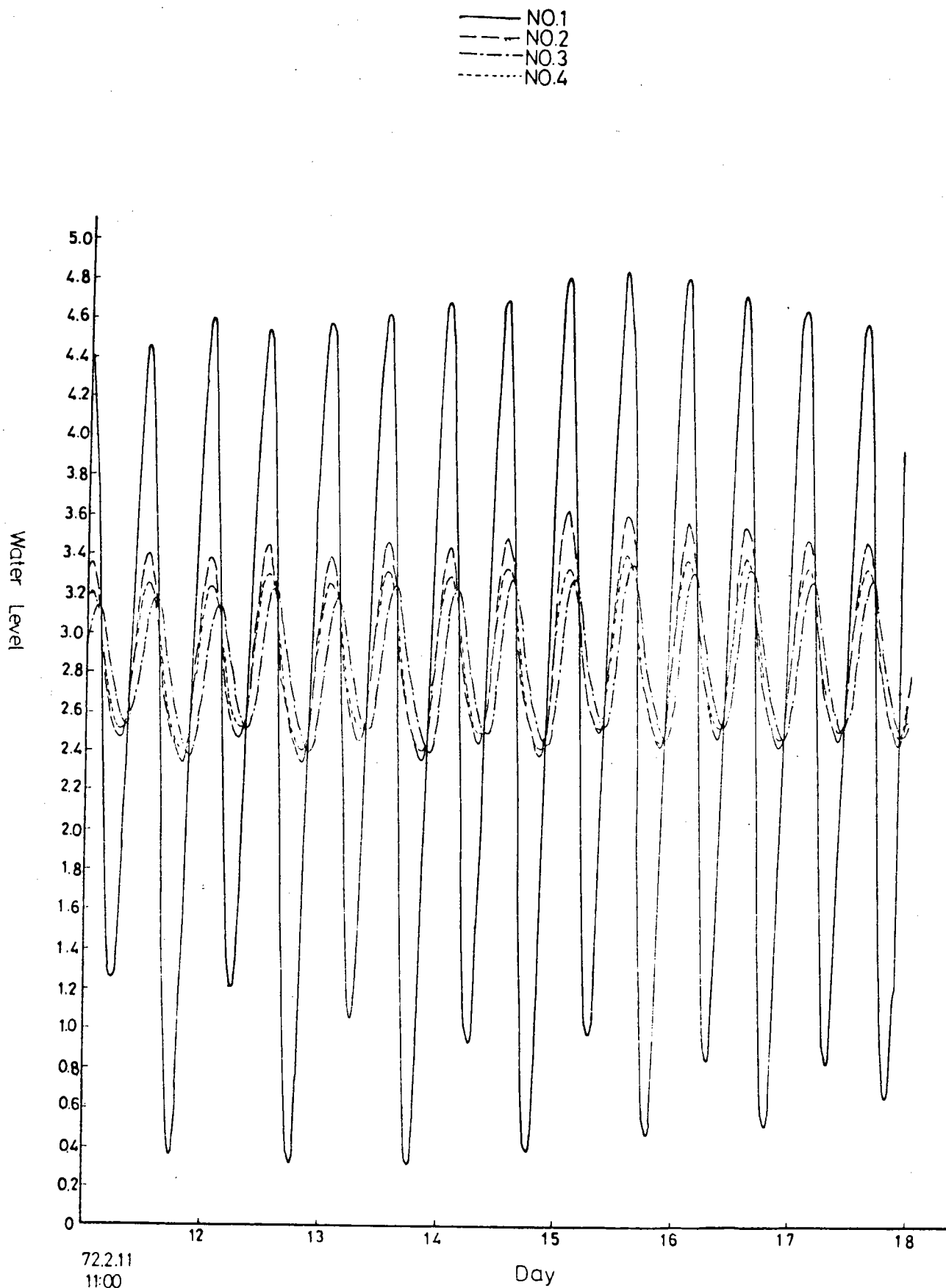


圖 6-4-3 沉箱式碼頭各站水位記錄曲線

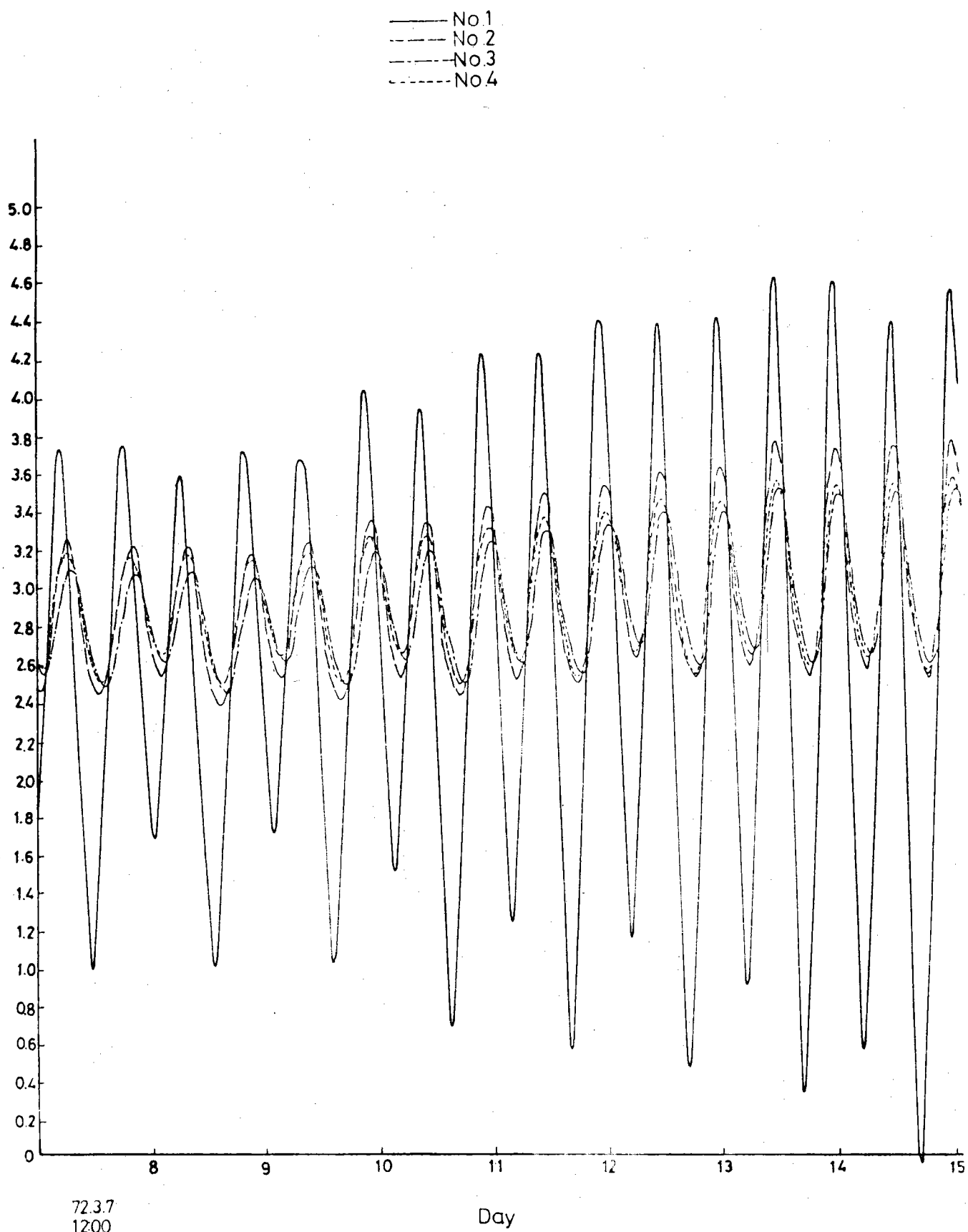


圖 6-4-4 沉箱式碼頭各站水位記錄曲線

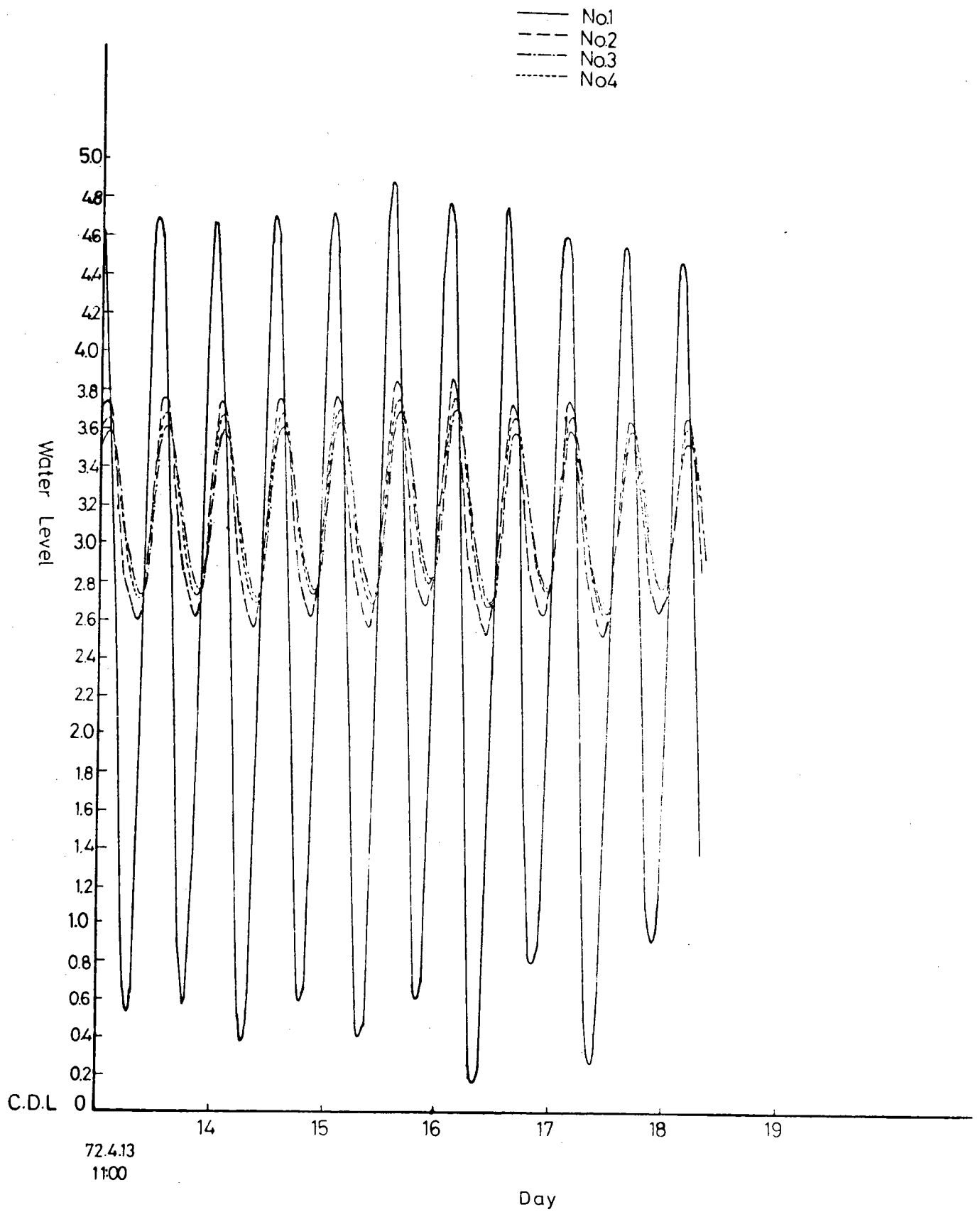


圖 6.4.5 沉箱式碼頭各站水位記錄曲線

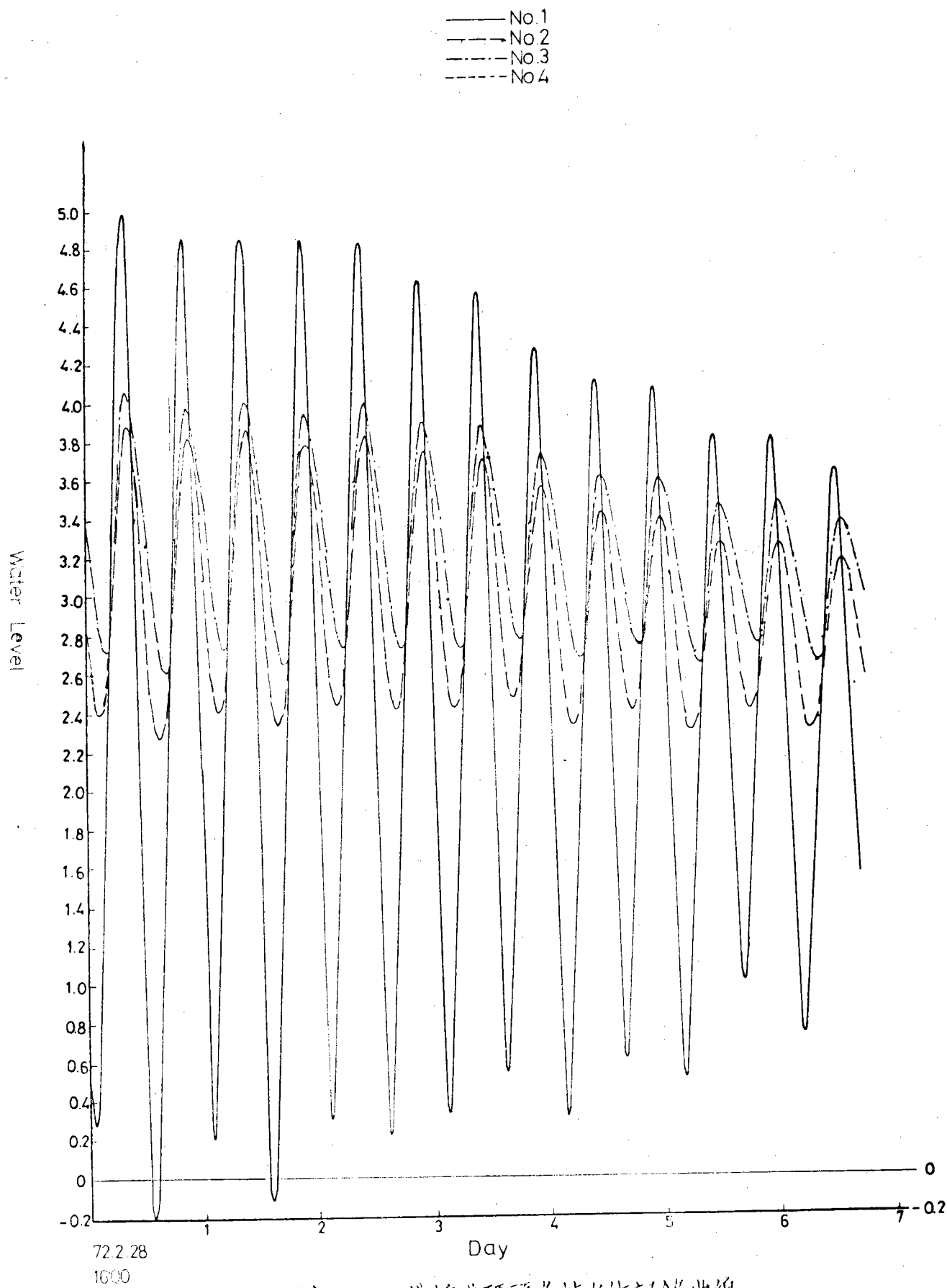


圖 6.5.1 棧橋式碼頭各站水位記錄曲線

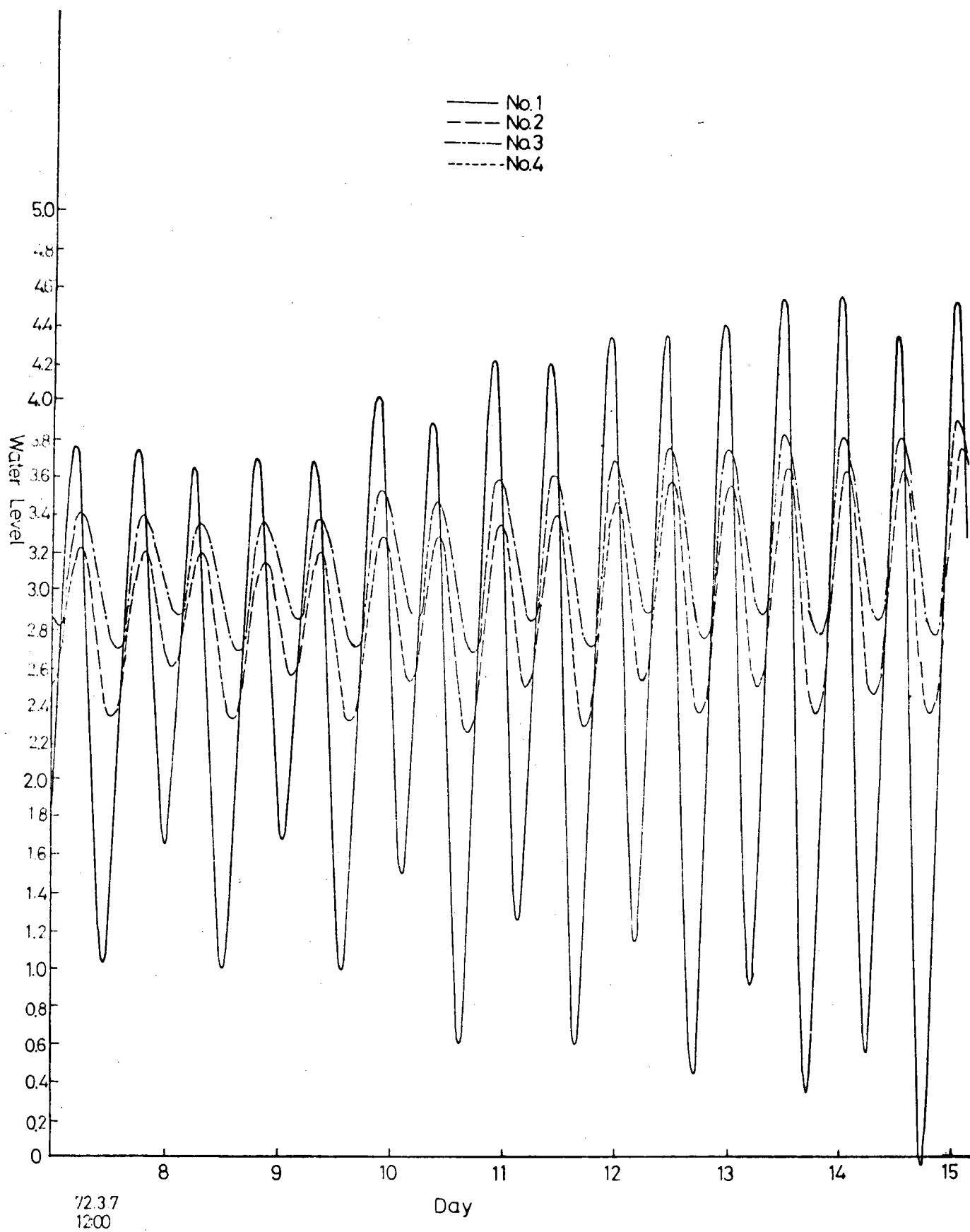


圖 6.5.2 棧橋式碼頭各站水位記錄曲線

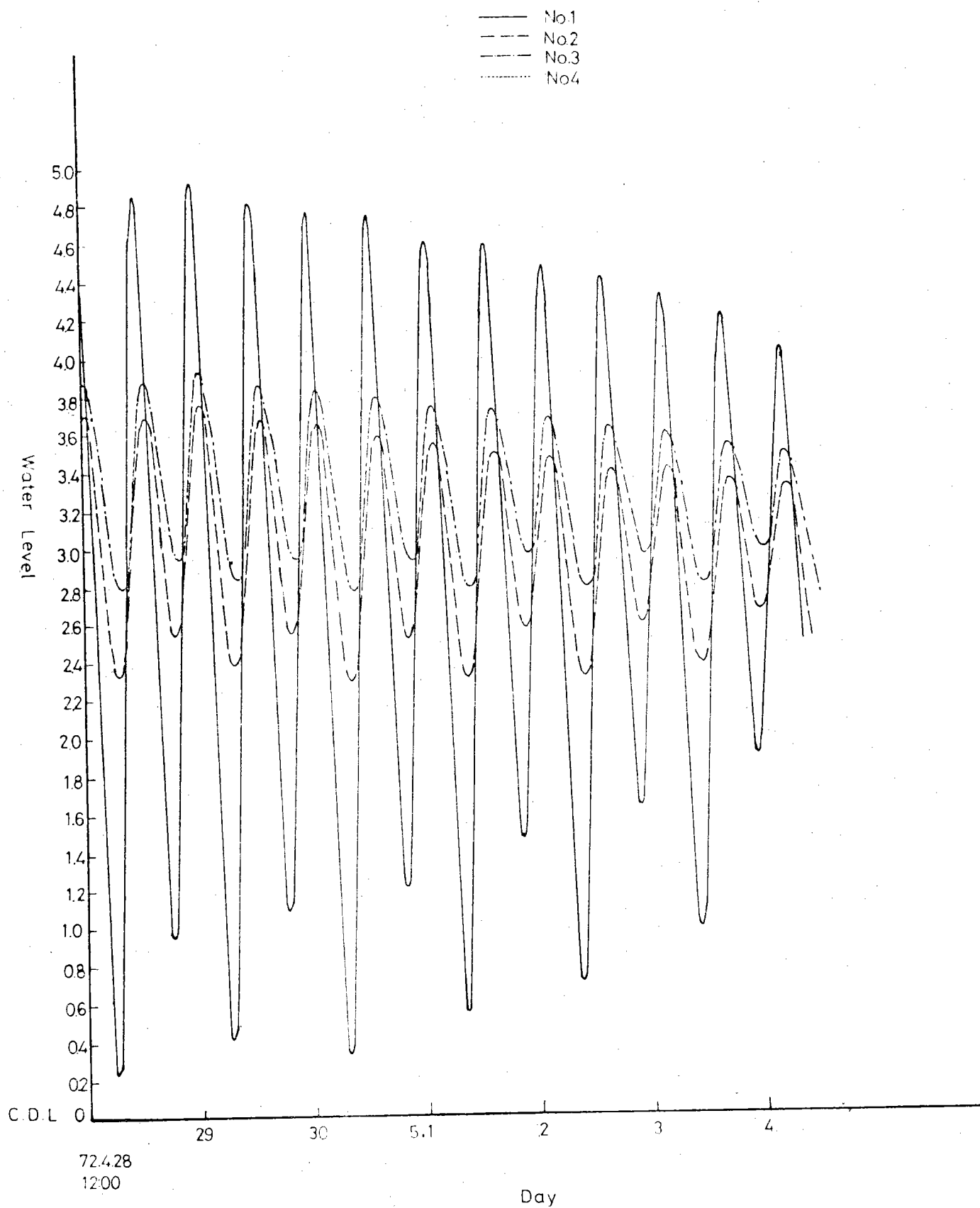


圖 6-5-3 棧橋式碼頭各站水位記錄曲線

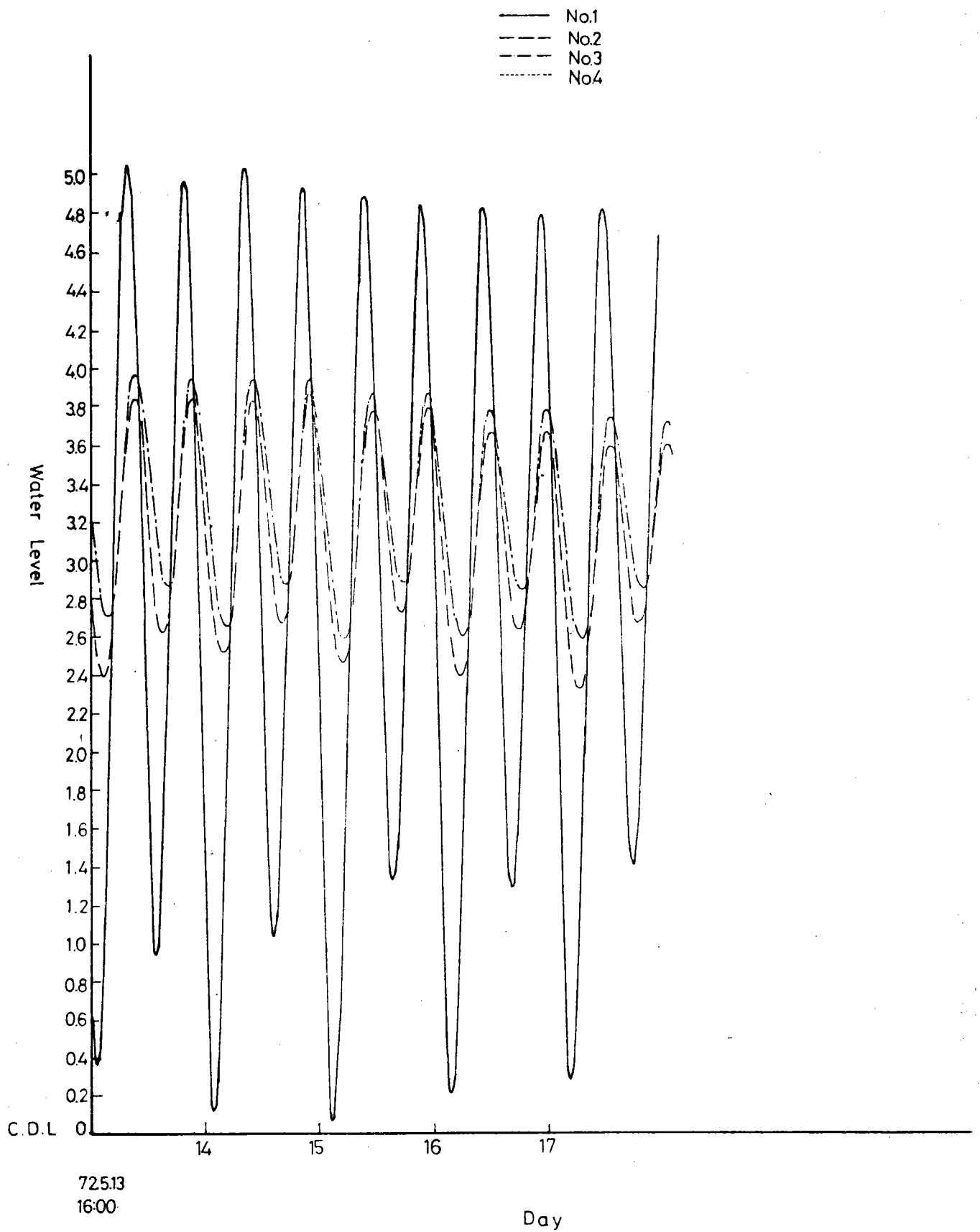


圖 6.5.4 棧橋式碼頭各站水位記錄曲線

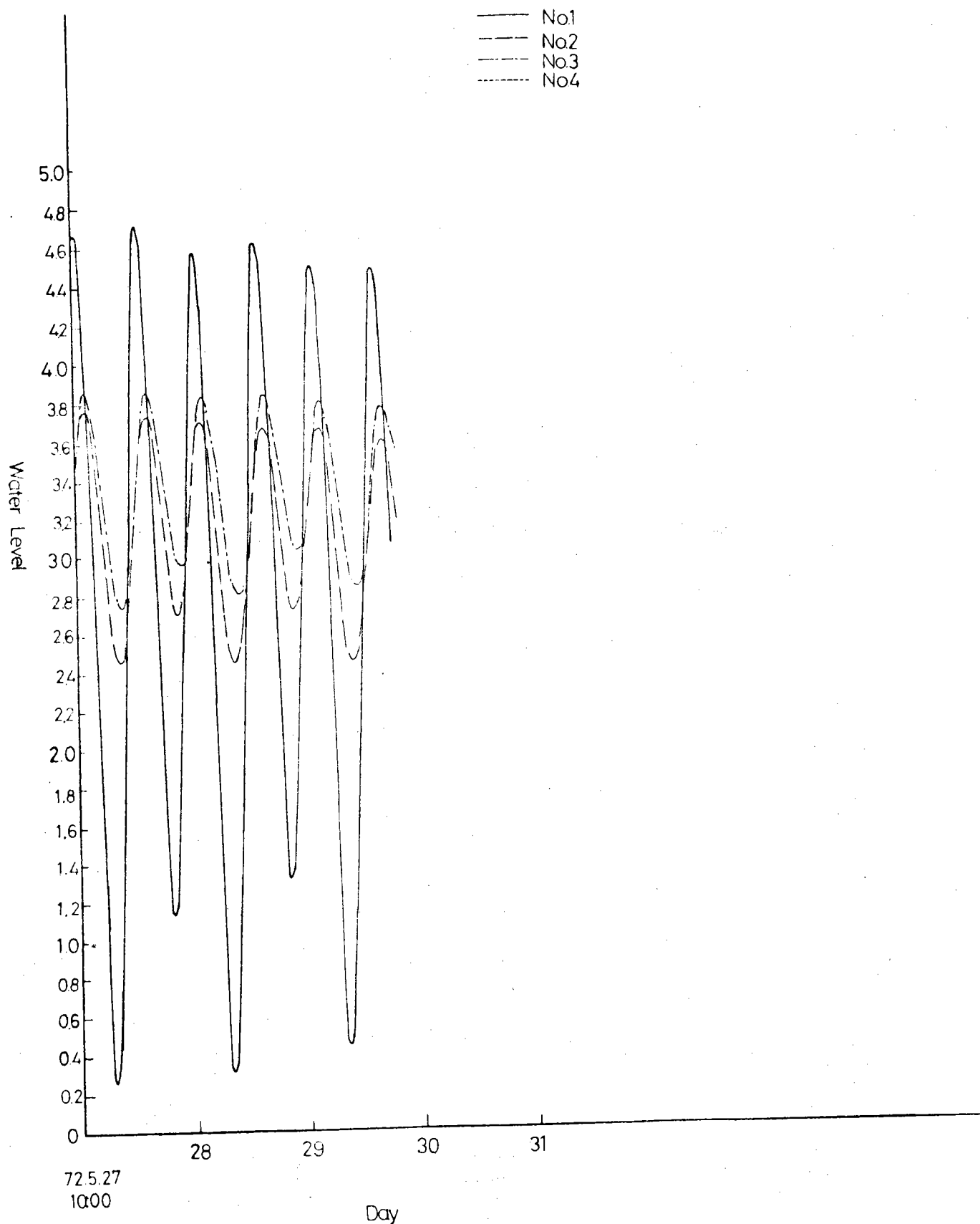
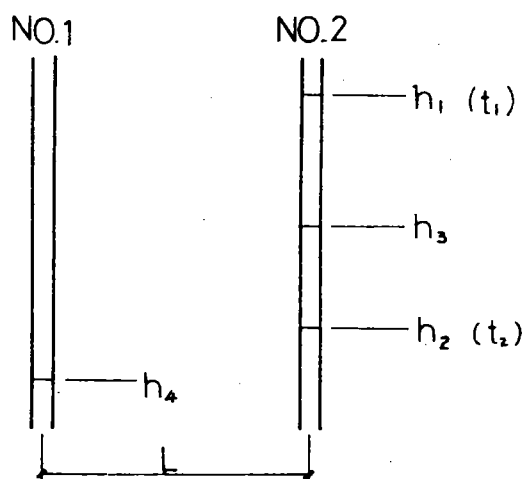
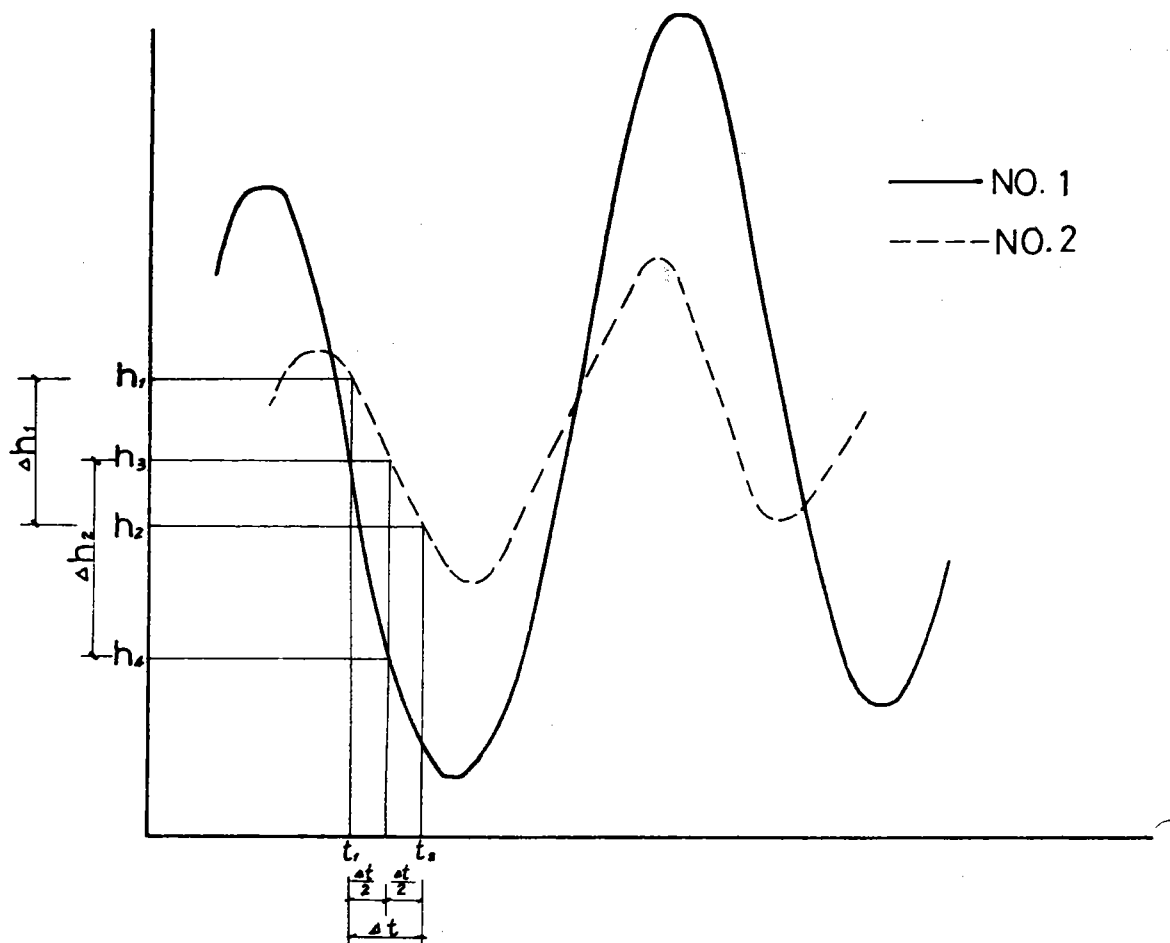


圖 6.5.5 棧橋式碼頭各站水位記錄曲線



h_3 為 t_1 至 t_2 時段中間值之水位高，
 h_4 為前面井位與 h_3 同時間之水位高。

$$V = \frac{\Delta h_1}{\Delta t} = \frac{h_1 - h_2}{\Delta t}$$

$$i = \frac{\Delta h_2}{L} = \frac{h_3 - h_4}{L}$$

$$K = \frac{V}{i}$$

圖6-6 K值求法示意圖

7. 模型實驗模擬研究

7.1 實驗設備

7.1.1 實驗水槽

本試驗是利用港研所內長 37 m，寬 1 m，深 1 m 之斷面水槽為之，為求模擬潮汐能較準確控制，首先考慮在無波浪作用下的殘留水位情形，將斷面水槽利用紅磚砌一道牆，圍成一獨立系統，（如照片 7.1），以使水位能有效控制。

7.1.2 實驗儀器

為使潮汐所產生的殘留水壓能準確有效的測出，採用日本 Kyowa 的萬能數位孔水壓觀測系統，包括鍵盤（Keyboard）、掃描器（Scanner）和殘留水壓轉換器（Tansdaer），如照片 7.2，7.3 所示。

7.2 實驗步驟

(1) 模型製作

為使試驗結果能與現場做一比較分析，乃配合台中港中突堤現場的實際觀測，以 25 號沉箱式碼頭斷面縮尺為模型，考慮斷面水槽的有效高度，縮尺採用 $1/25$ ，（ $\alpha_r = \frac{1}{25}$ ），模型如圖所示，沉箱本體利用 5 mm 木板製作接縫以樹脂加強防止透水，內填約 850 kg 砂石，沈箱底部基礎拋石部份及回填濾料部份，依設計界限，分別使用塊石、卵石如下表

A	塊石	$\frac{3}{8}'' \sim \frac{3}{4}''$	0.32 g $\sim$ 6.4 g
a	卵石	$\frac{3}{4}'' \sim \# 4$	0.4 cm 以上
F ₁	濾料	# 100 $\sim$ # 140	
F ₂	濾料	# 140 $\sim$ # 200	

背後水力回填砂採用南海堤現場砂粒分六層均勻回填，製作完成如照片 4，並依 ASTM（1980）求出粒徑分佈曲線，如圖（7.2），和透水試驗分析如圖（7.3）

(2) 試驗條件

①模型縮尺：1/25 $\alpha_r = \frac{1}{25}$

②時間縮尺：1/5 $T_r = \frac{1}{5}$

③使用設計潮位：大潮平均高潮位 (H.W.O.S.T.) : + 5.20 m

大潮平均低潮位 (L.W.O.S.T.) : + 0.00 m

(3) 潮汐控制系統

設計雙向丁字型控制閥 (照片 5)，使抽水馬達的水流造成環流，以其一閥全開回流，另一閥調整其進水量。潮差 = $\frac{5.20\text{m}}{25} = 20.8\text{cm}$ ，潮汐時間 $\frac{12\text{ hr } 25\text{ min}}{5} = 2\text{ hr } 29\text{ min}$

漲退潮控制如下：

①漲潮：使用一 2 HP 抽水馬達，調整控制閥大小，使水位變化以 0.28 cm / min 增加。

②退潮：增加一 1 HP 馬達，由斷面將水抽出，調整控制閥，使水位變化以 0.28 cm / min 減少。

(4) 實驗過程

①為使潮汐所產生的殘留水壓能準確有效的測出，且觀測時不受電纜的影響，岸壁後回填區水壓轉換器分五層不同深度，間隔 10 cm，埋設方式如圖 4.5 示。共埋設 24 個，另外沉箱碼頭前置 21 個，觀測水位變化，以配合水尺校正。(照片 7.6、7.7)

②試驗分析

潮汐水位變化分六種情況試驗。如表 7.1，記錄掃描設定時間為 6 min (相當於現場 30 min)，時間記錄潮位與孔水壓變化。

圖 7.6 ~ 圖 7.11，為潮位與時間的變化圖，實驗結果岸壁後各種情況的孔水壓變化如圖 7.1 - 1 至圖 7.6 - 28 所示，各點的孔水壓變化如圖 I-00 ~ VII-25，並將沉箱底部的孔水壓變化與岸壁前方孔水壓 (虛線部份) 做一比較。

7.3 分析與討論

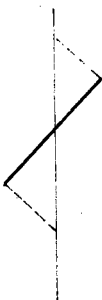
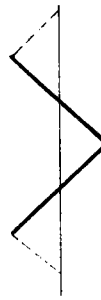
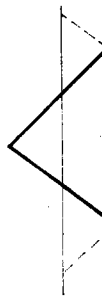
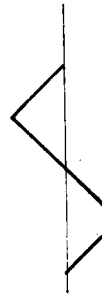
根據我們對台中港第三期工程中沉箱式碼頭岸壁作殘留水位之實驗，我

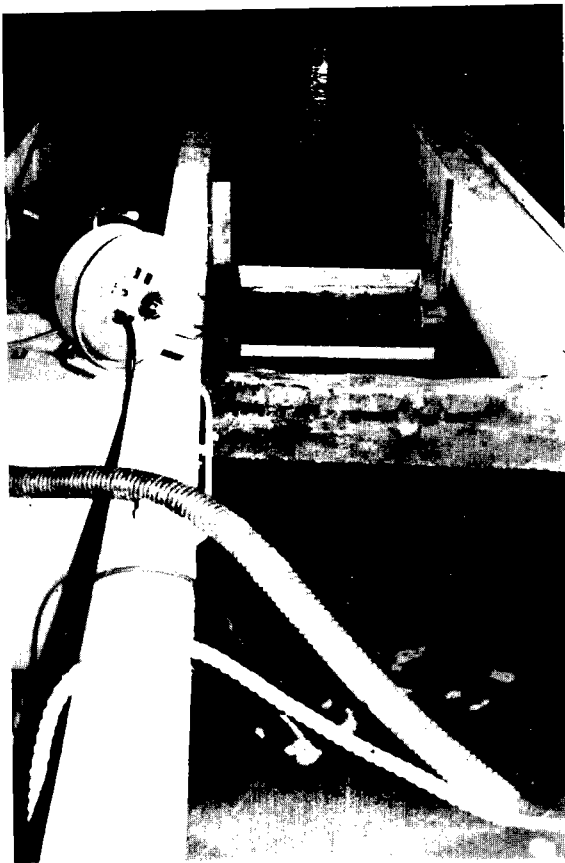
們發現：

1. 岸壁背後水位隨著距離岸壁法線的長度增加，其振幅減低，水位之最高點亦隨之下降。
2. 從時間的觀點來看，岸壁背後水位最高與最低點之發生時間，並不在前面潮位發生高低潮之當時，而其後約 24 min 左右。一般而言，透水性越低，時間愈延誤。此主要因岸壁及背填土阻擋，填土層中水位之流動所致，因此隨碼頭構造物的透水性和背填土的土壤性質不同而異。
3. 而且岸壁背後水位因前面潮位位相不同而有變化，由於潮位的變化，堤岸後之水位滲流法線 (phreatic line) 和等壓線成非穩定狀況且時常變遷，一般而言，岸壁前後水位差之最大值，約在低潮前數分鐘發生。
4. 漲潮時，背後水位與前面潮位成凹向之曲線，前面潮位愈高，曲線斜率愈大，背後水位變化率愈大。退潮時，關係曲線呈凹向下之形狀，前面潮位高時，背後水位變化較小，其共同點就是岸壁背後距離法線較近之水位，無論漲潮與退潮，其變化速度均較快。反之，距離法線愈遠，背後水位變化速度則愈慢。
5. 考慮距岸壁法線最近之水位或土壓作用面附近之水位，各有利弊，第一種於低潮時，水位將比第二種水位低，因而使設計時所計算出之殘留水壓呈低估狀態相對土壓呈高估，採用第二種情形恰好相反。
6. 由於水位差最大時，作用於岸壁之殘留水壓最大，沉箱式碼頭水位差約為潮差 $1/2$ ，另外必須考慮的是沉箱式碼頭還受基礎拋石透水性之影響而變化。其他型式碼頭背後水位與碼頭岸壁透水性有關。
7. 殘留水位所產生之滲流力，對碼頭基趾是否會產生流砂現象，在目前設計上並未予考慮。尤其是潮差大，水深淺時，板樁碼頭前地層常會發生流砂現象。
8. 目前的設計基準，對於殘留水位滲流作用所產生作用於碼頭岸壁之上舉壓力 (uplift pressure)，以在殘留水位下之壁體浮力來計算，較實際上舉壓力為大，故較保守。

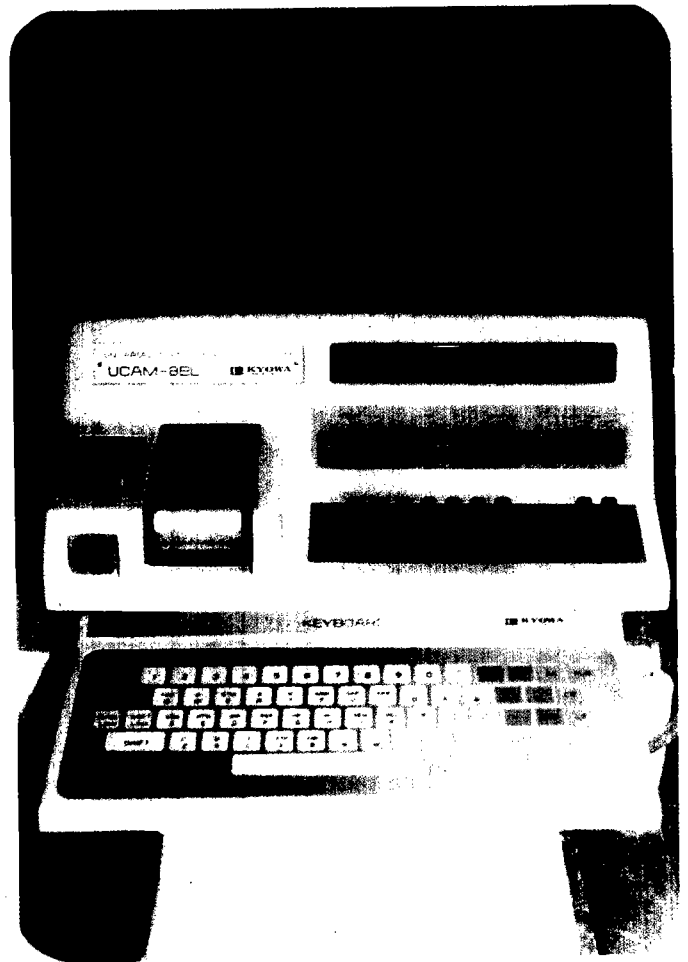
9. 有關時間縮尺，著重於潮汐之模擬，故模型與實物 Fronde 數相等，但岸壁後回填料沙粒無法按比例縮小，無法得定量之結果，只能用試驗與實地調查結果對照決定，仍有定性的結果。

表 7.1 試驗情況表

Case No.	Tide Type	潮 位 (cm)		抽水速率 V(cm/min)	控 制 閥 (轉數)			
		Initial	Final		2HP(双向T型閥)		1HP	
					輸 入	輸 出	輸 入	輸 出
1		68.5	47.7	0.28	$6\frac{7}{8} \sim 7$	全	全	
2		47.7	68.5	0.28	$4\frac{1}{2} \sim 4\frac{3}{4}$	全	—	
3		68.5	68.5	0.28	$6\frac{7}{8} \sim 7$ $4\frac{1}{2} \sim 4\frac{3}{4}$	全	全 (—)	
4		47.7	47.7	0.28	$4\frac{1}{2} \sim 4\frac{3}{4}$ $7\frac{7}{8} \sim 7$	全	— (全)	
5		58.5	47.7	0.28	$4\frac{1}{2} \sim 4\frac{3}{4}$ $7\frac{7}{8} \sim 7$	全	— (全)	
6		58.5	58.5	0.28	$6\frac{7}{8} \sim 7$ $4\frac{1}{2} \sim 4\frac{3}{4}$	全	全 (—)	



照片 7·1
斷面水槽試驗

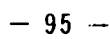


照片 7·2 孔水壓觀測儀器
(鍵盤，和掃描器)



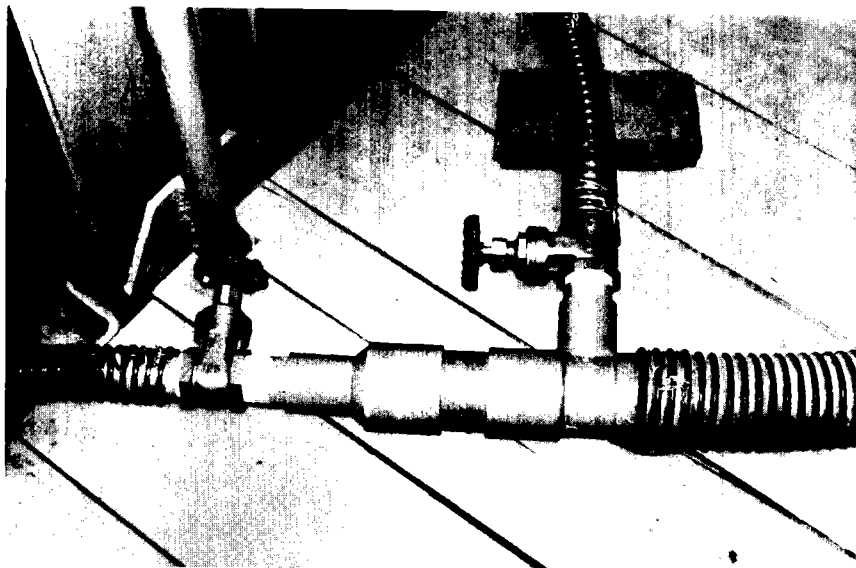
照片 7·3
孔水壓轉換器
(Trans ducer)

SCEA/E: 1/25 W



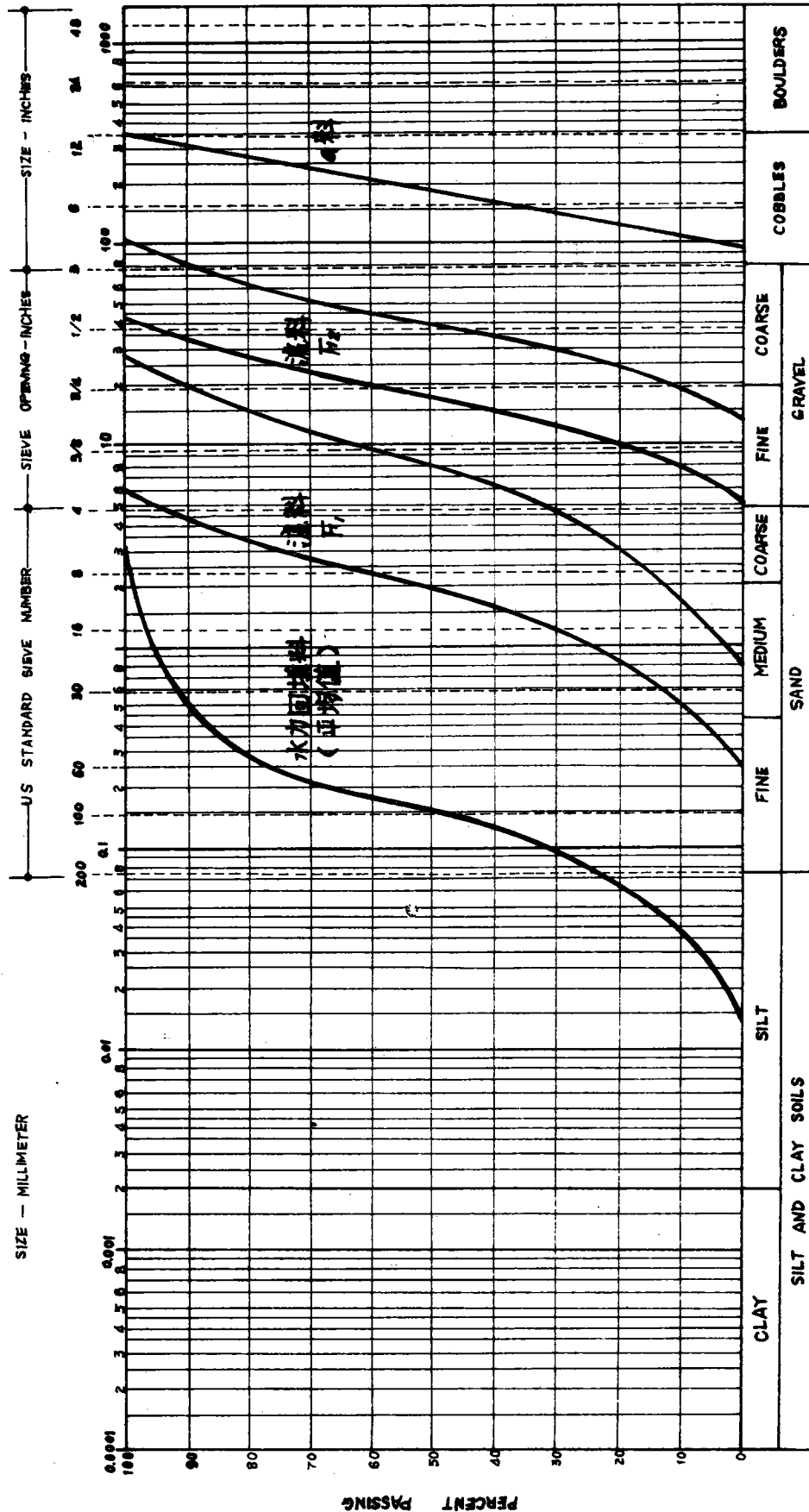


照片 7•4 沈箱式碼頭模型製作完成



照片 7•5 調整進出水量雙向丁字型控制閥

圖 7.2 GRAIN SIZE ANALYSIS



1 濾層設計依據 Terzaghi's filter design criteria

2 濾層料 F₁, F₂ 均使用 Crushed mat'l.

3 Check: $\frac{D_{50} (F_2)}{D_{50} (F_1)} = \frac{26}{2.8} = 9.2$ $5 < 9.2 < 10$ O.K.

臺灣救難研究所

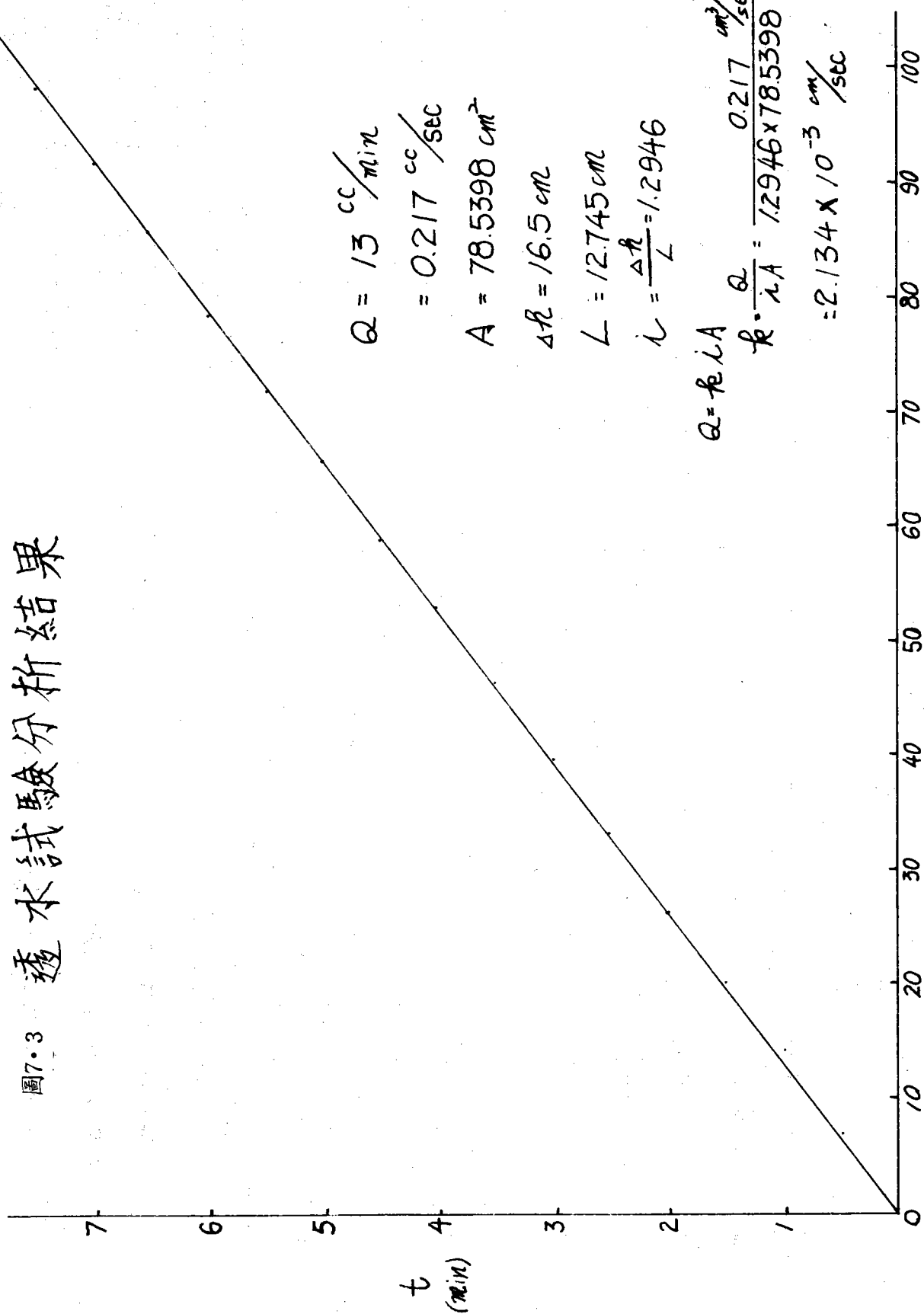
碼頭背後水力回填料濾層設計 (二)

日期
DATE

試驗者
TEST BY

圖號
DWG. NO.

圖7.3 透水試驗分析結果



$$Q = 13 \text{ cc/min}$$

$$= 0.217 \text{ cc/sec}$$

$$A = 78.5398 \text{ cm}^2$$

$$\Delta h = 16.5 \text{ cm}$$

$$L = 12.745 \text{ cm}$$

$$c = \frac{\Delta h}{L} = 1.2946$$

$$Q = k \cdot A$$

$$k \cdot \frac{Q}{A} = \frac{0.217 \text{ cm}^3/\text{sec}}{78.5398 \text{ cm}^2}$$

$$= 2.76 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$$

ΔV (cm³)

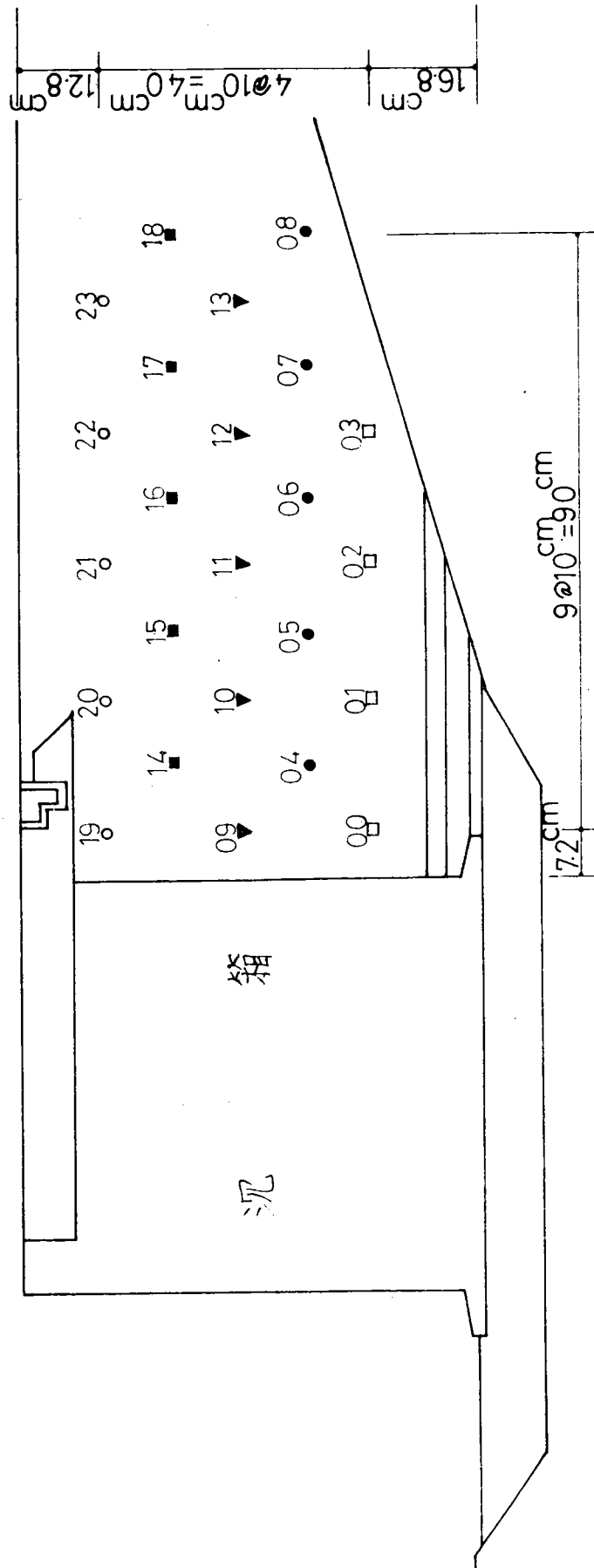


圖 7.4 碼頭式殘留水位正視圖 S:1/10

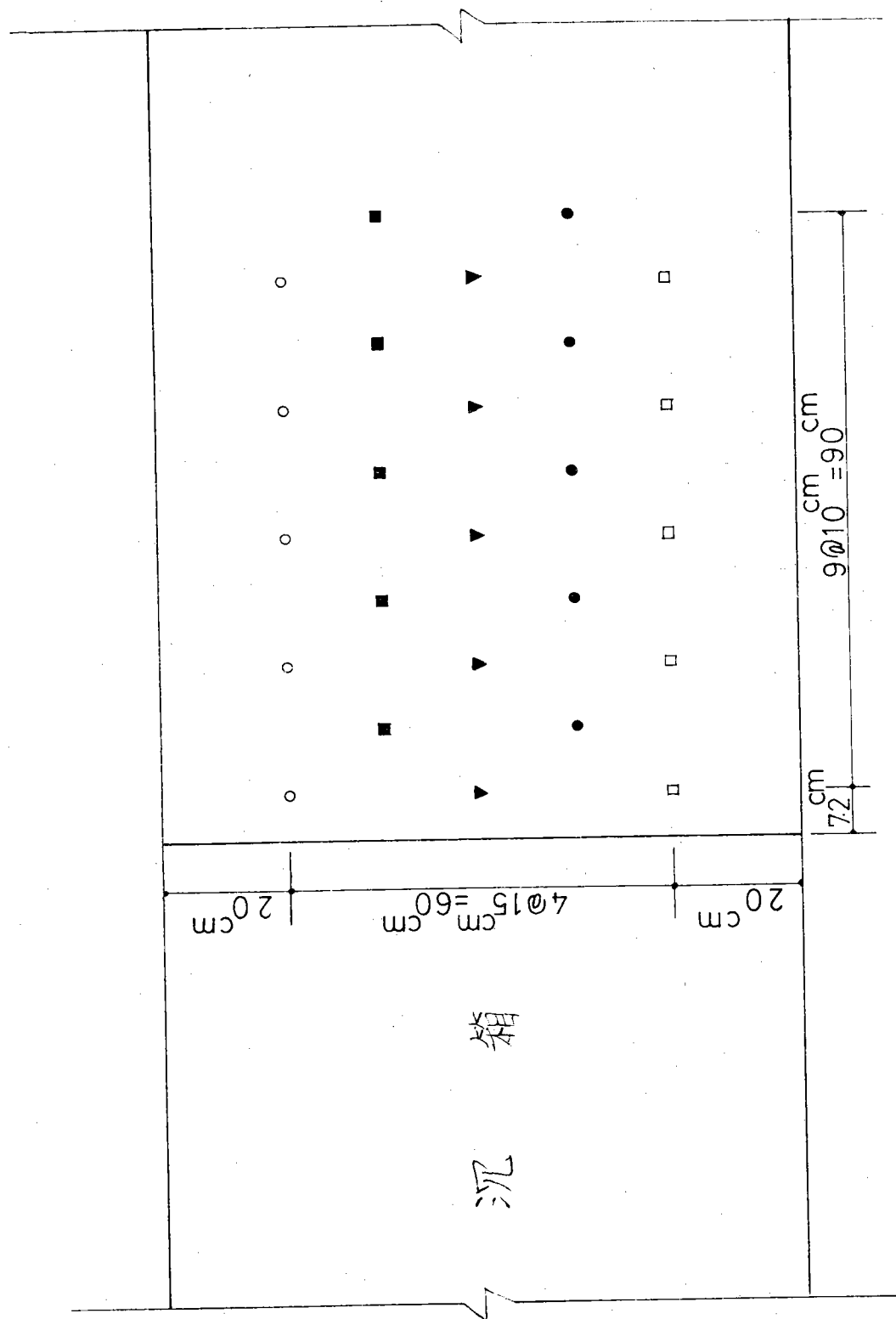
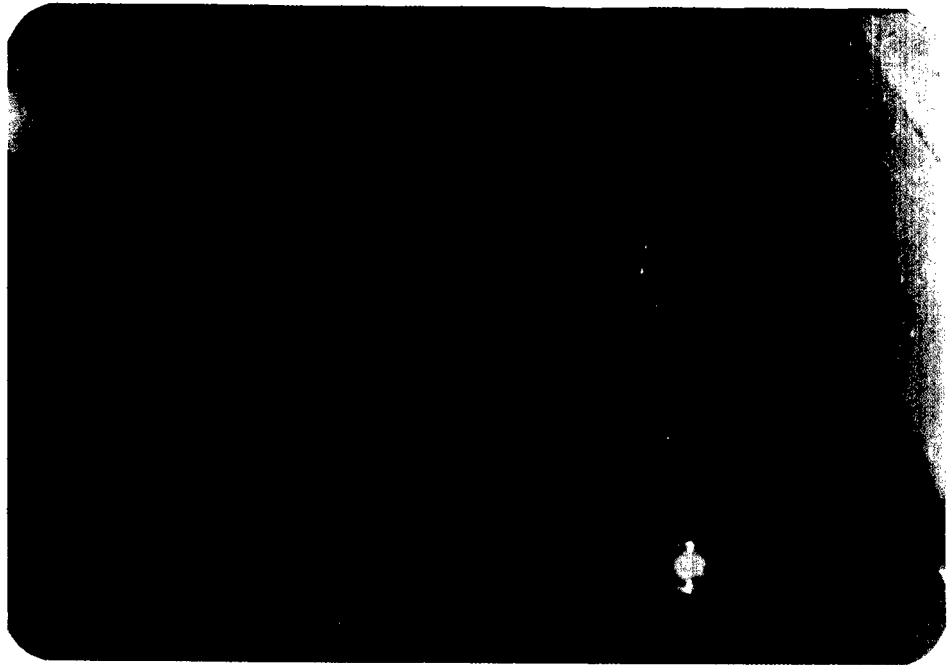
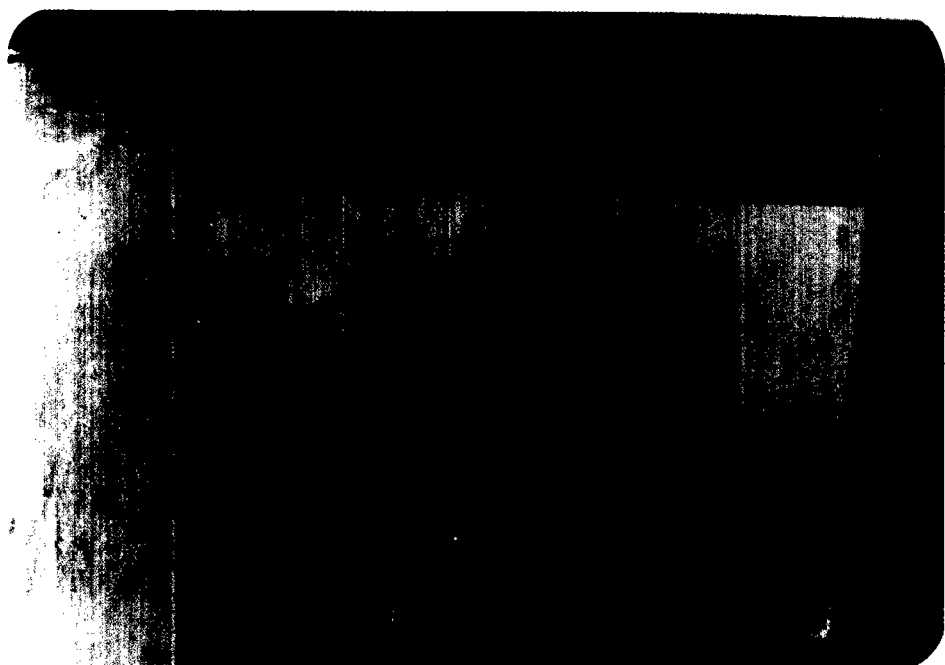


圖 7.5 碼頭式殘留水位俯視圖 S:1/10



照片 7·6 碼頭後線孔水壓轉換器埋設



照片 7·7 沉箱碼頭前孔水壓轉換器安置

Fig. 7.1-1 碼頭後線孔水壓分佈曲線

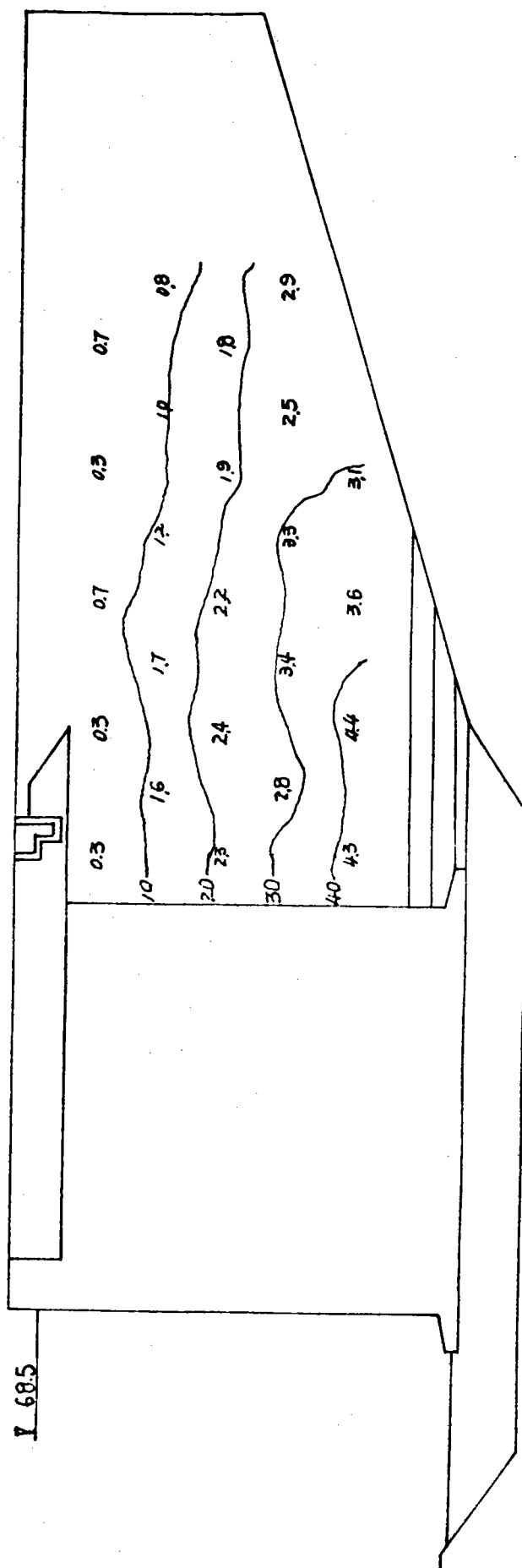


Fig. 7.1-2 碼頭後線孔水壓分佈曲線

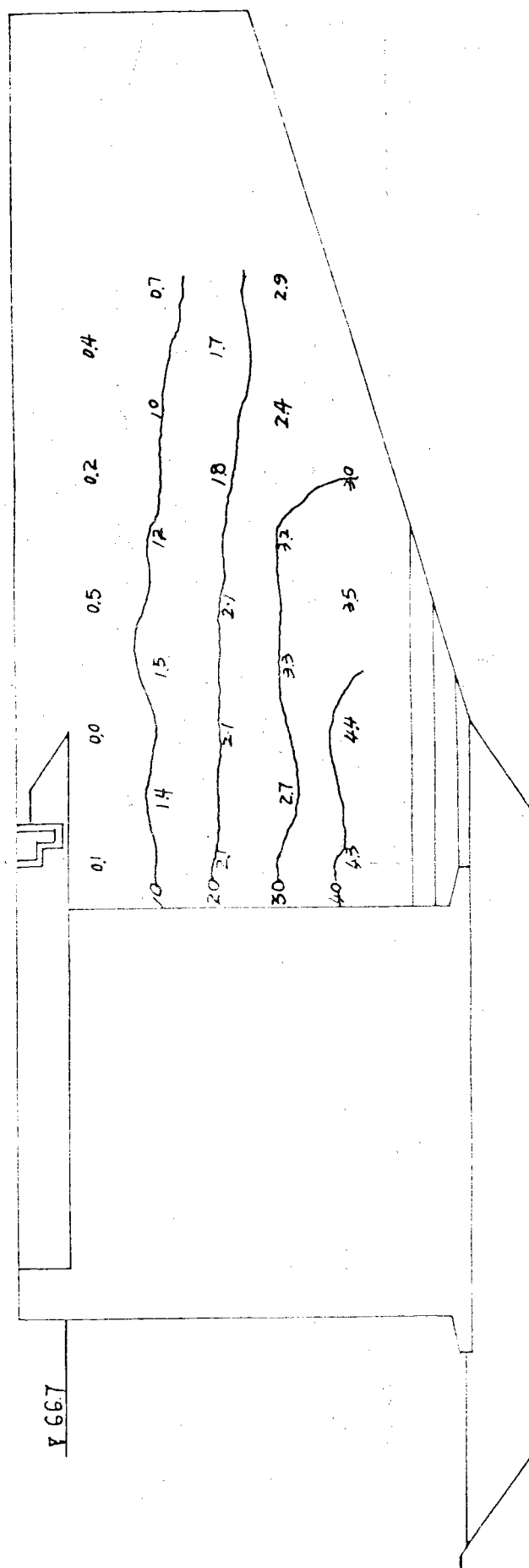


Fig. 7.1-3 碼頭後線孔水壓分佈曲線

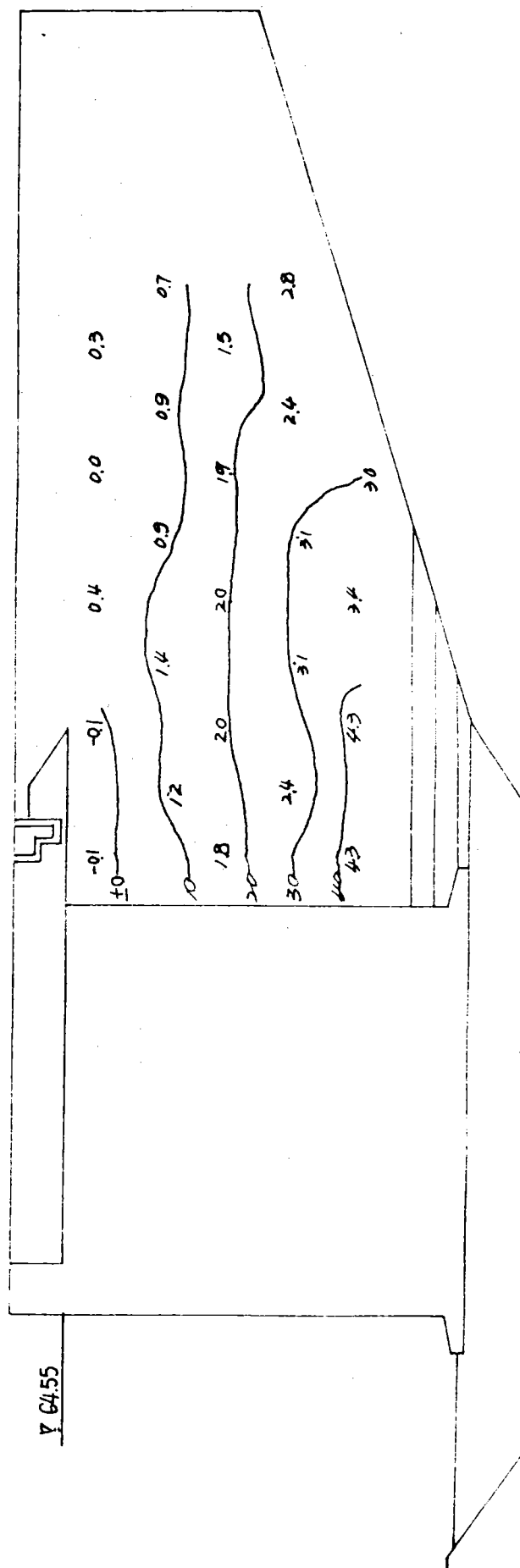


Fig. 7.1-4 碼頭後線孔水壓分佈曲線

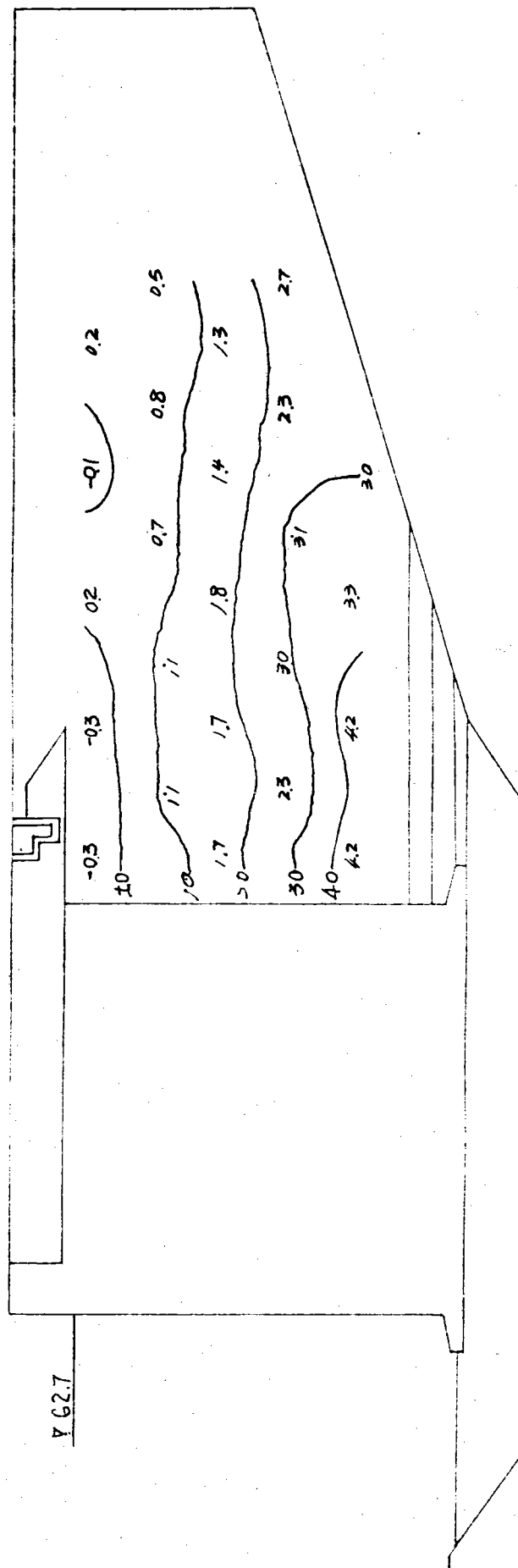


Fig. 7.1-5 碼頭後線孔水壓分佈曲線

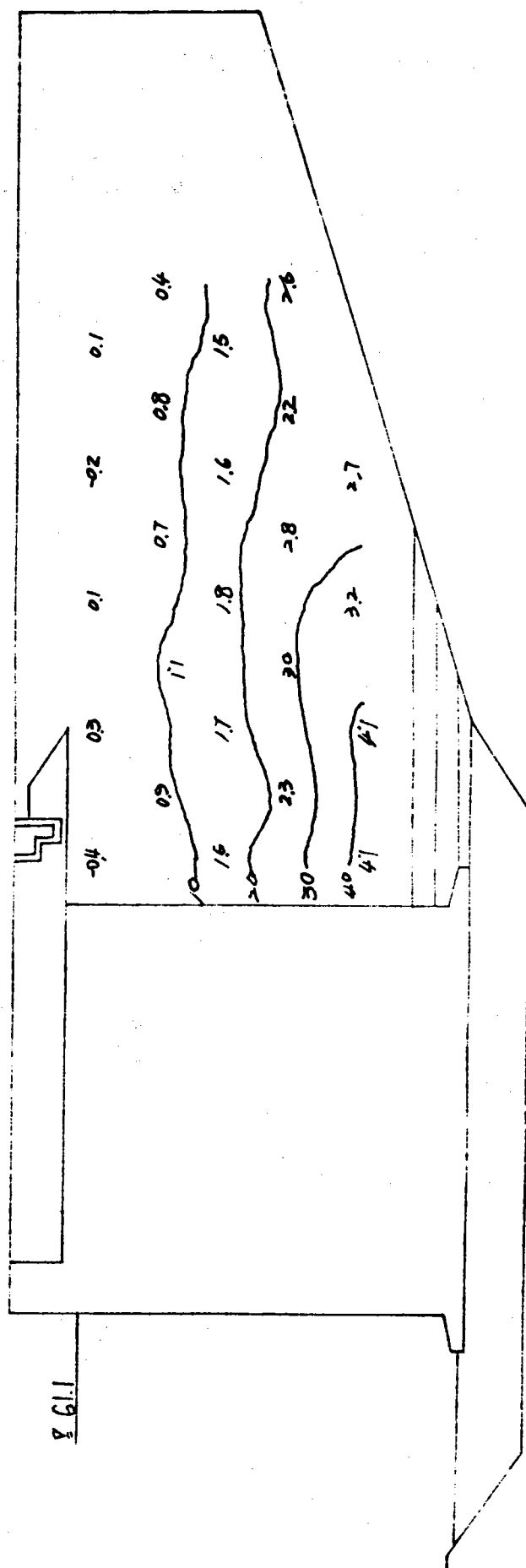


Fig. 7.1-6 碼頭後線孔水壓分佈曲線

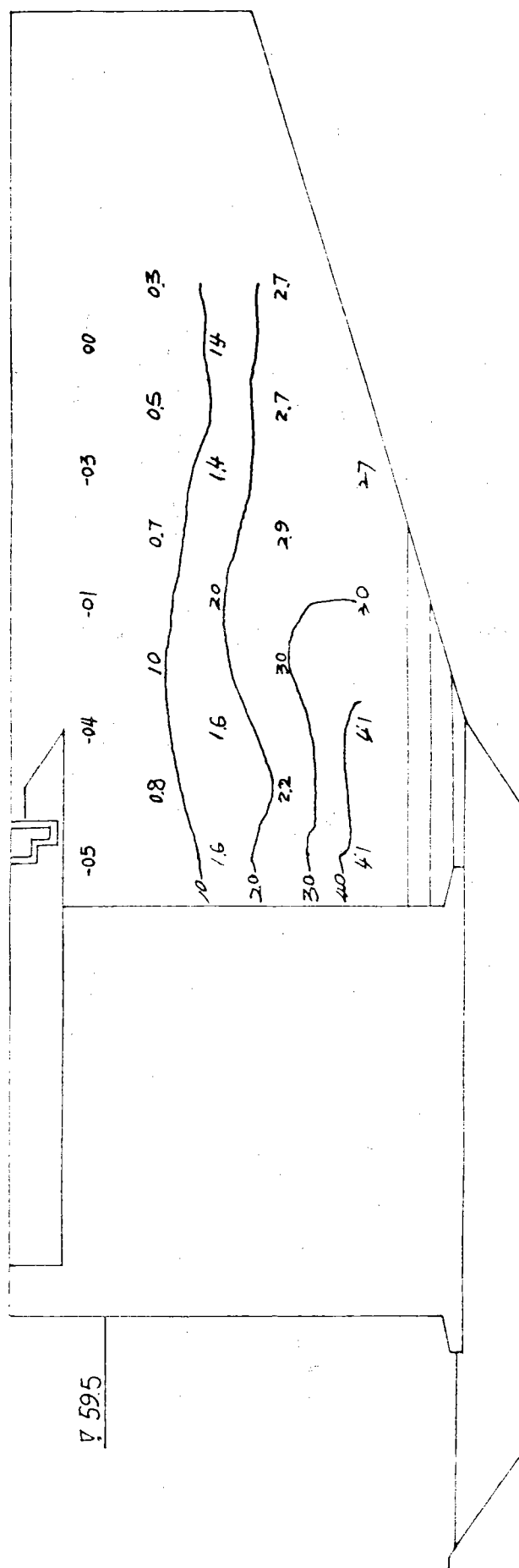


Fig. 7.1-7 碼頭後線孔水壓分佈曲線

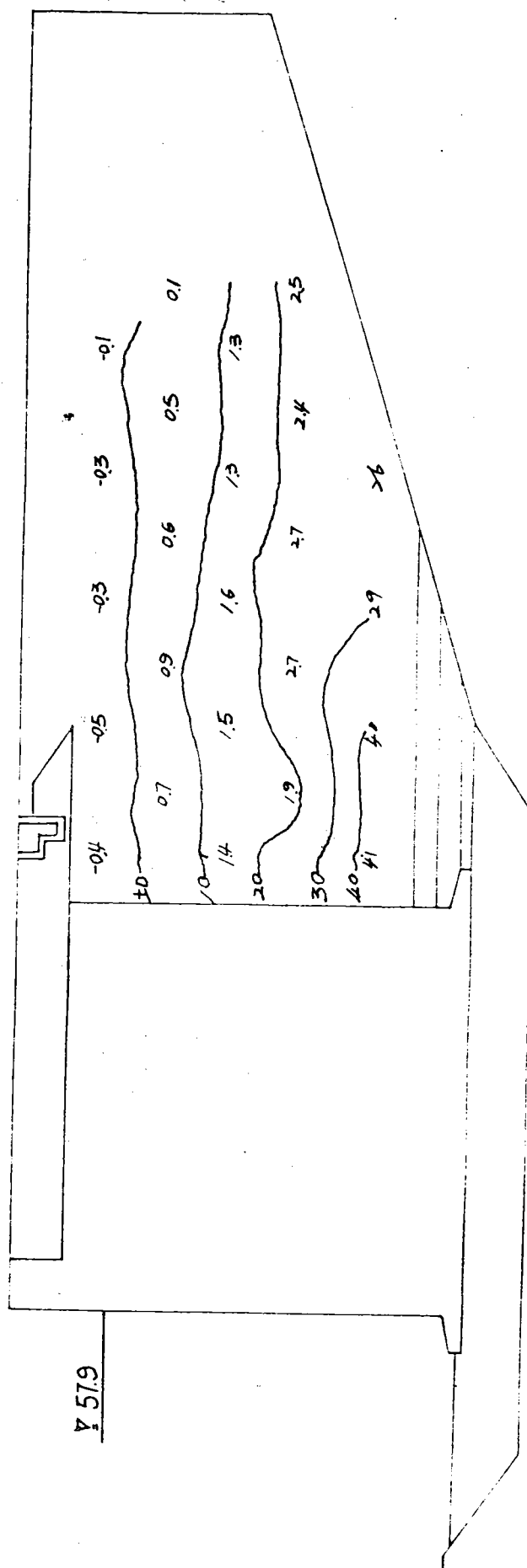


Fig. 7.1-8 碼頭後線孔水壓分佈曲線

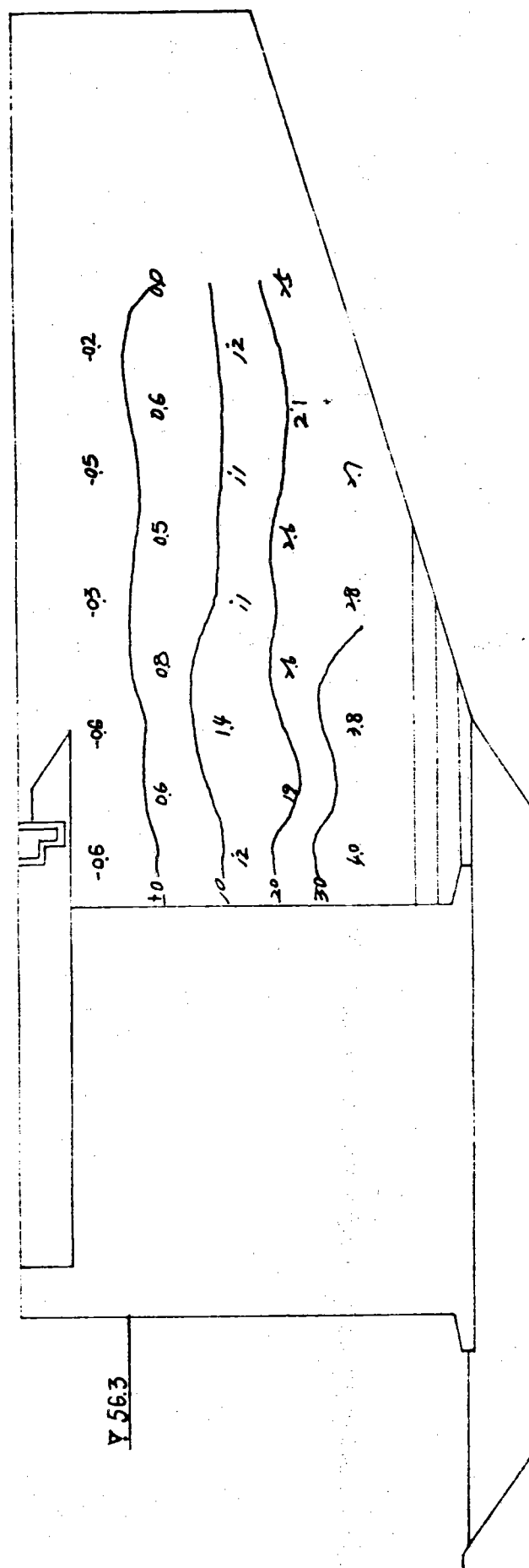
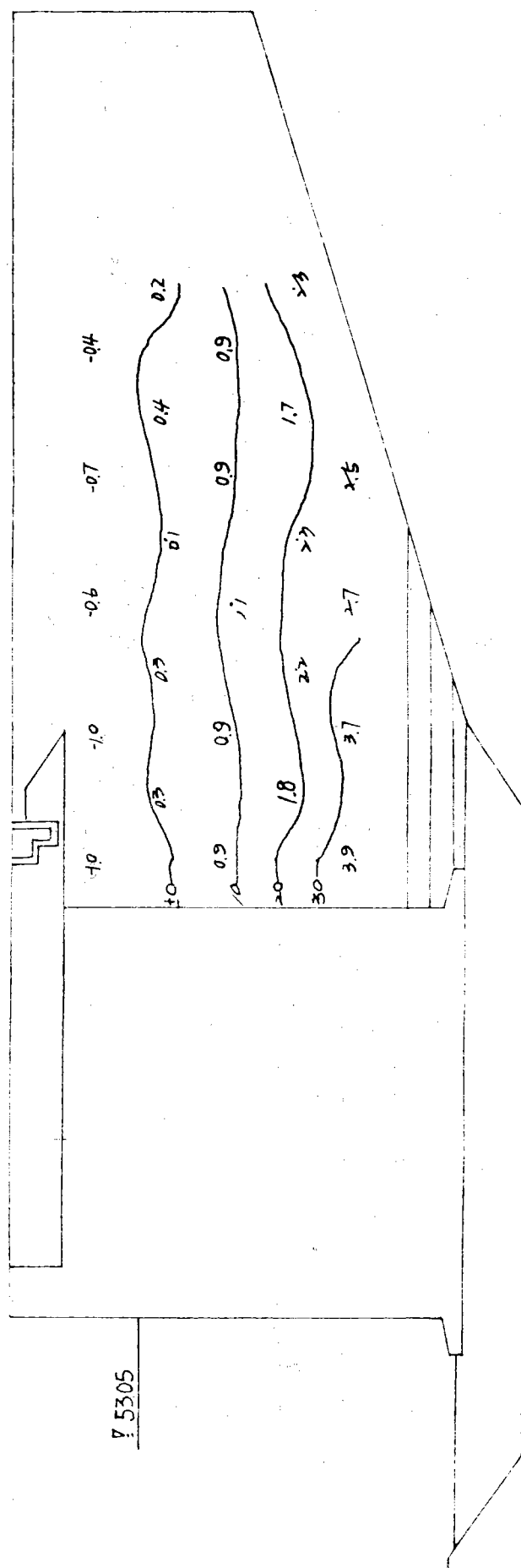


Fig. 7. 1-10 碼頭後線孔水壓分佈曲線



5305

Fig. 7. 1-11 碼頭後線孔水壓分布曲線

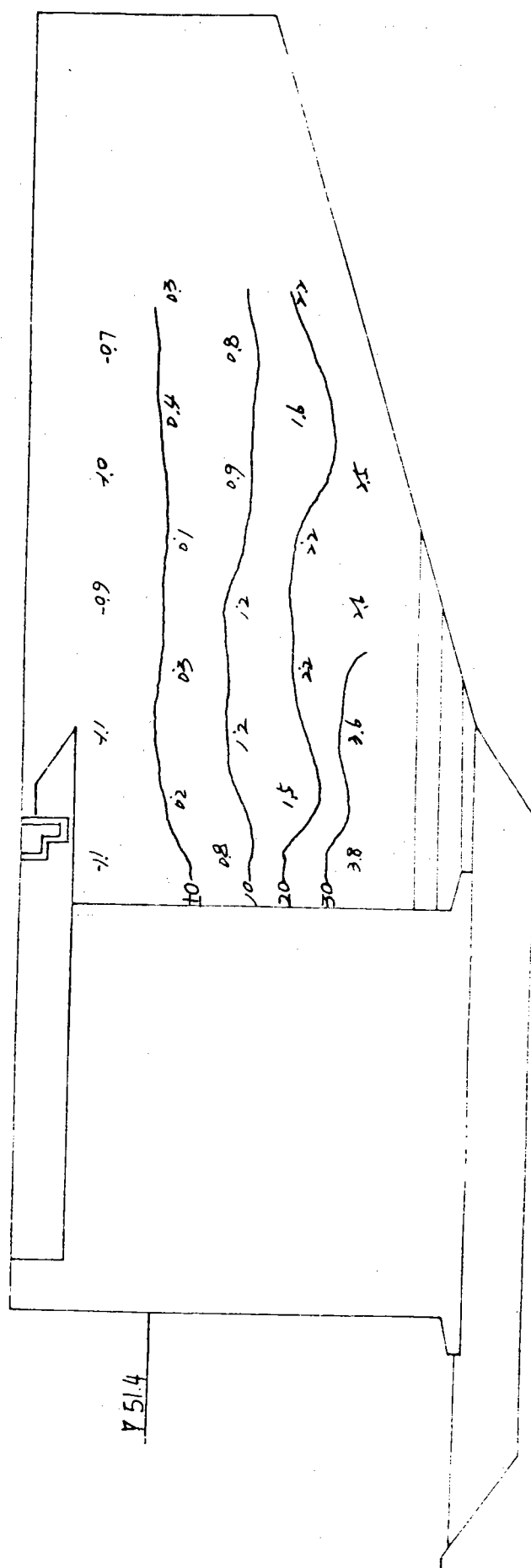


Fig. 7.1-12 碼頭後線孔水壓分佈曲線

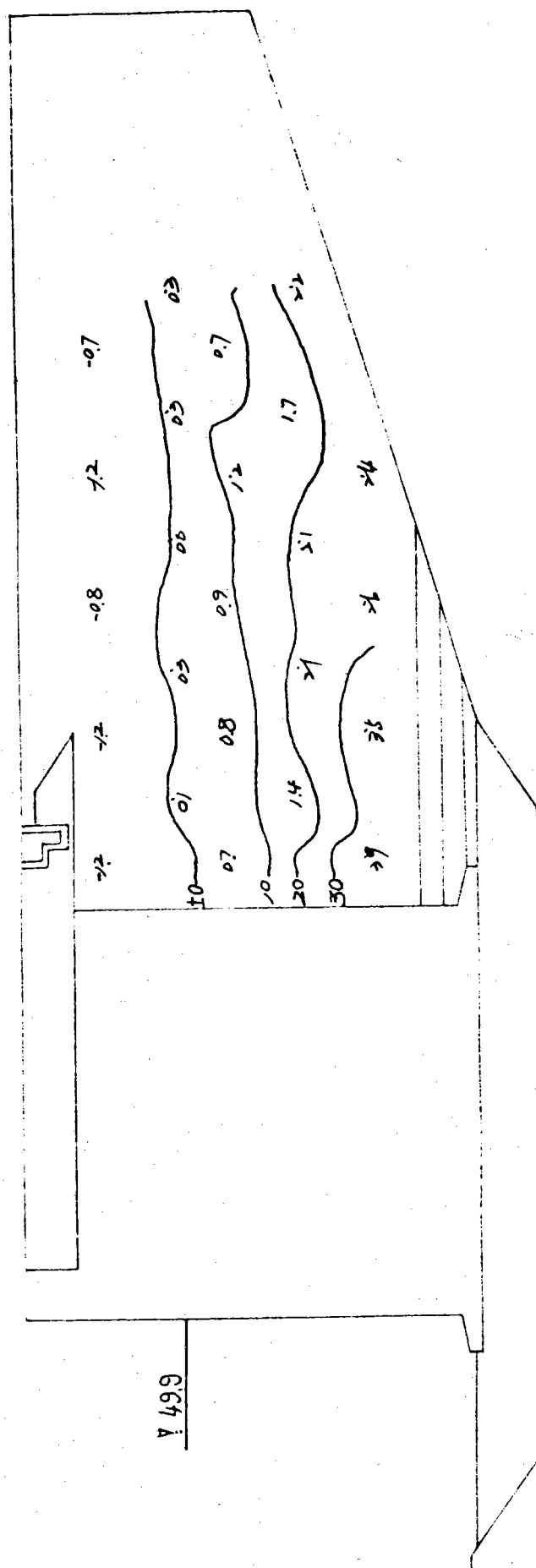


Fig. 7.1-13 碼頭後線孔水壓分佈曲線

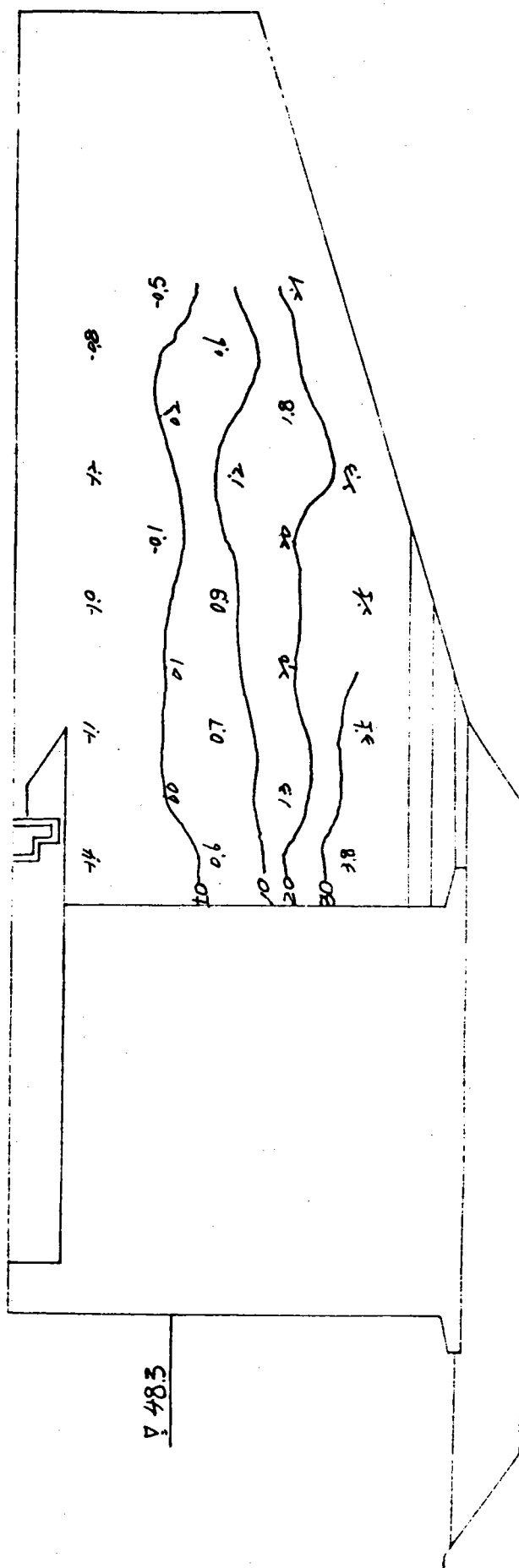


Fig. 7.1-14 碼頭後線孔水壓分佈曲線

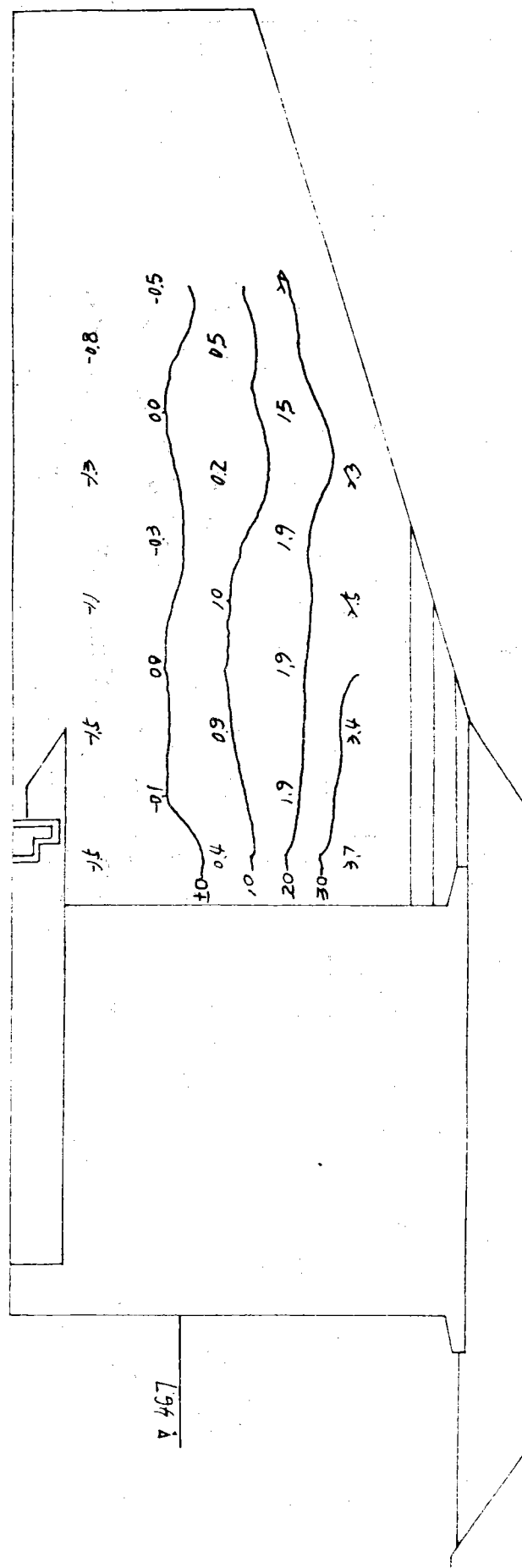


Fig. 7. 1-15 碼頭後線孔水壓分佈曲線

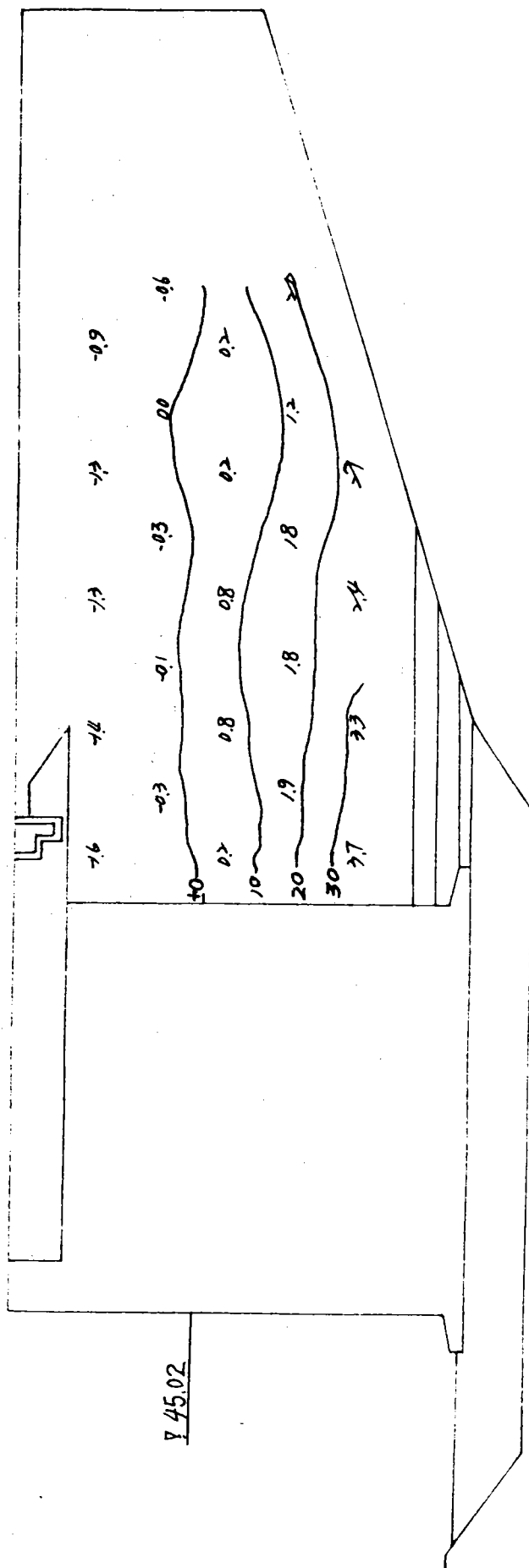


Fig. 7.2-1 碼頭後線孔水壓分佈曲線

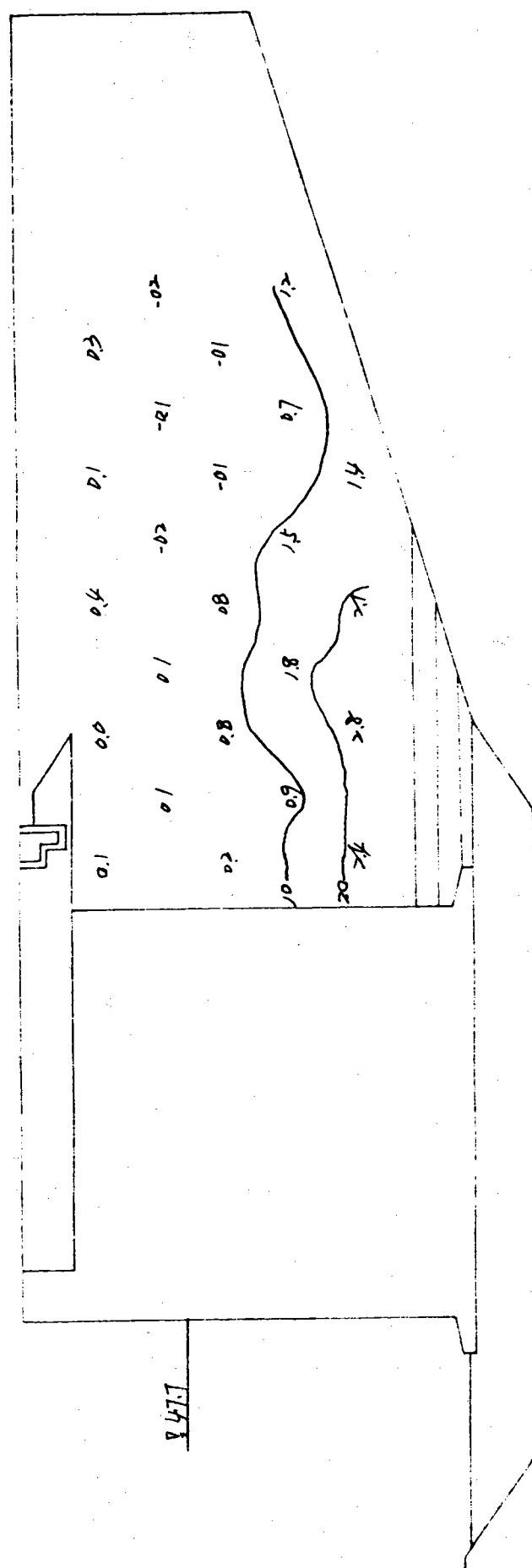
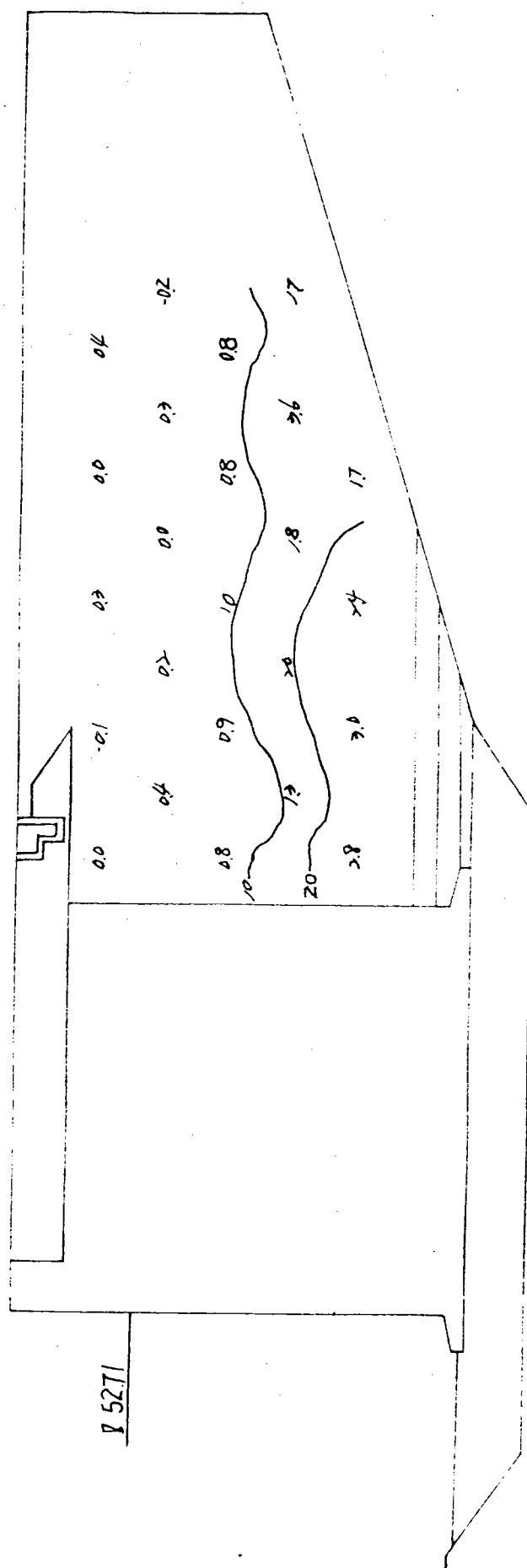


Fig. 7.2-4 碼頭後線孔水壓分佈曲線



15271

Fig. 7. 2-5 碼頭後線孔水壓分佈曲線

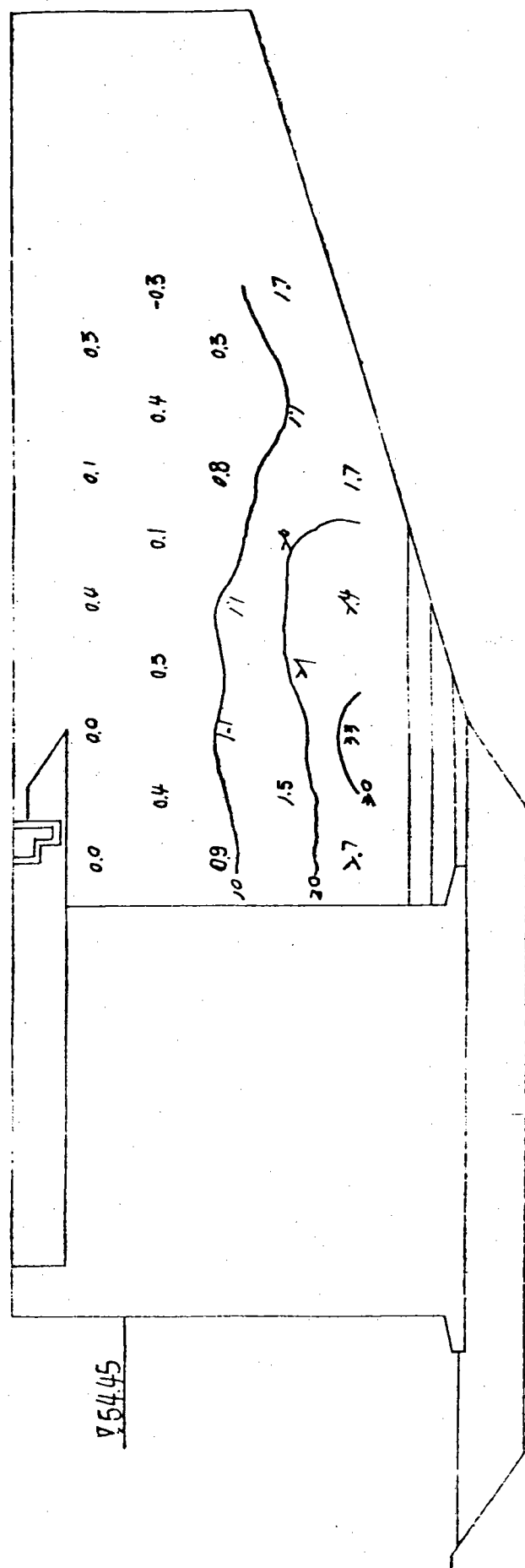


Fig. 7. 2-6 碼頭後線孔水壓分佈曲線

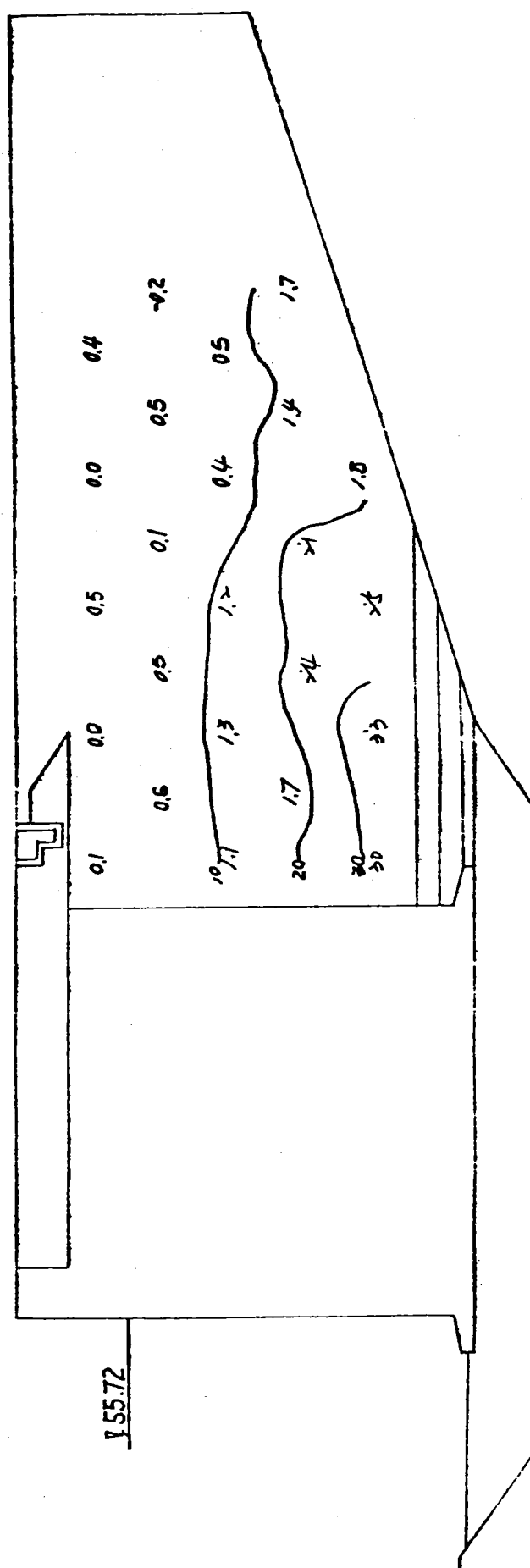
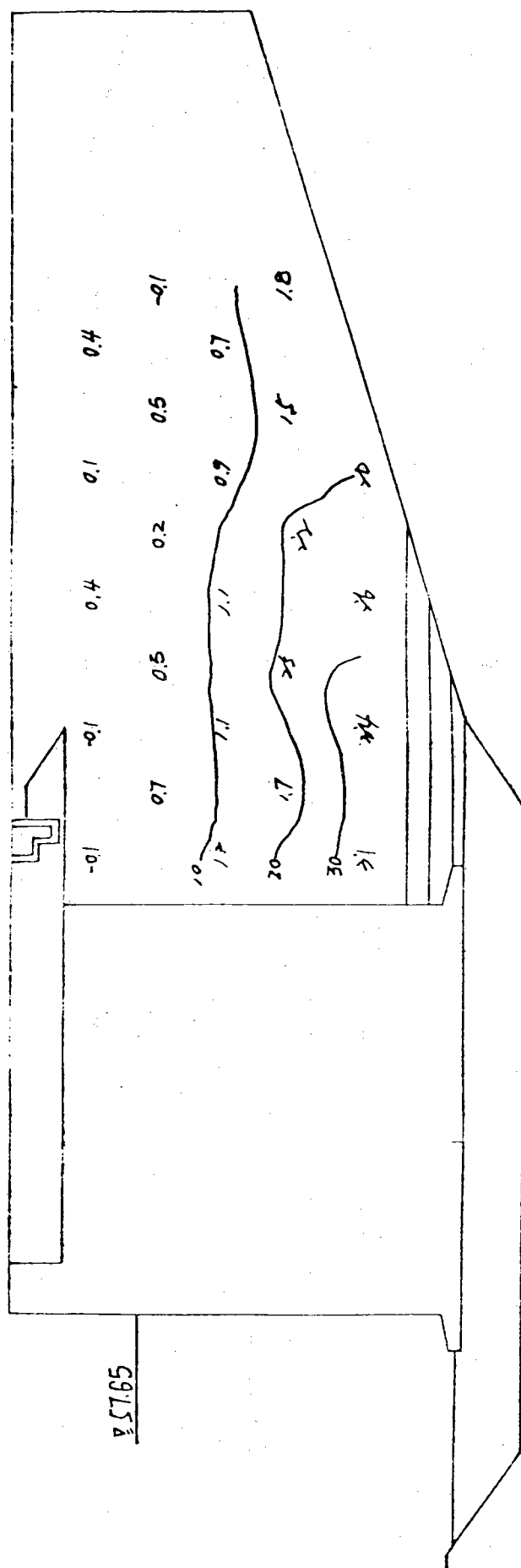


Fig. 7. 2-7 碼頭後線孔水壓分佈曲線



57.65

Fig. 7. 2-8 碼頭後線孔水壓分佈曲線

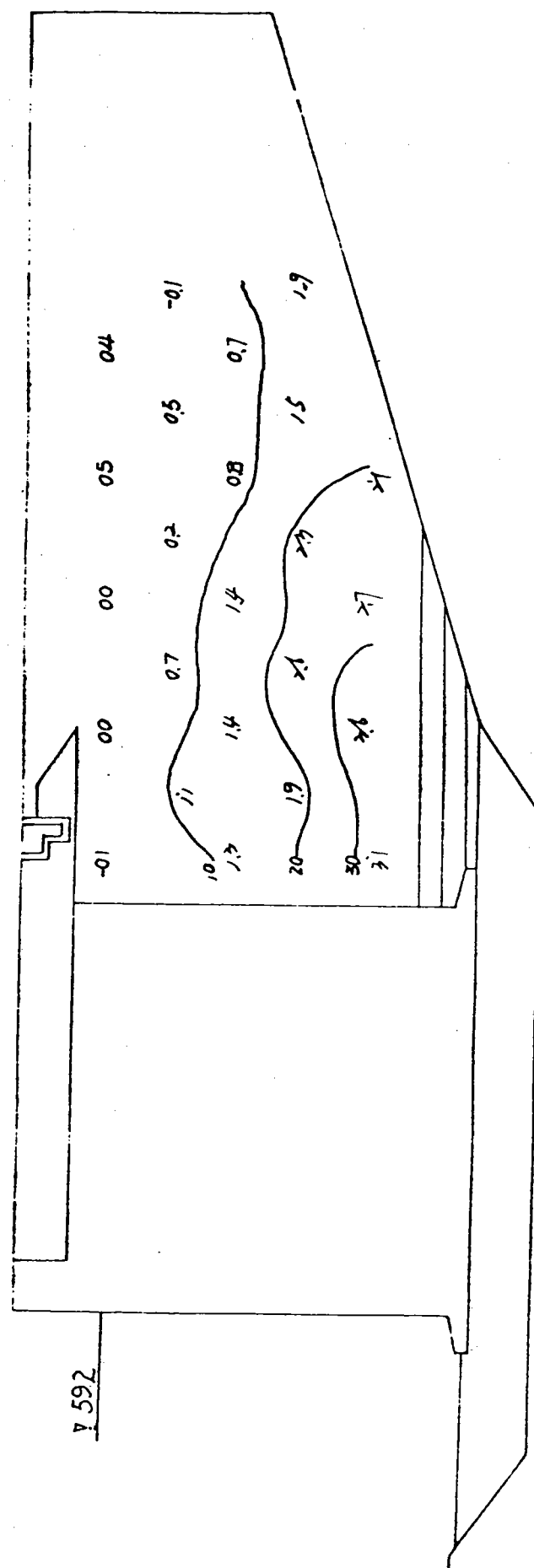


Fig. 7. 2-9 碼頭後線孔水壓分佈曲線

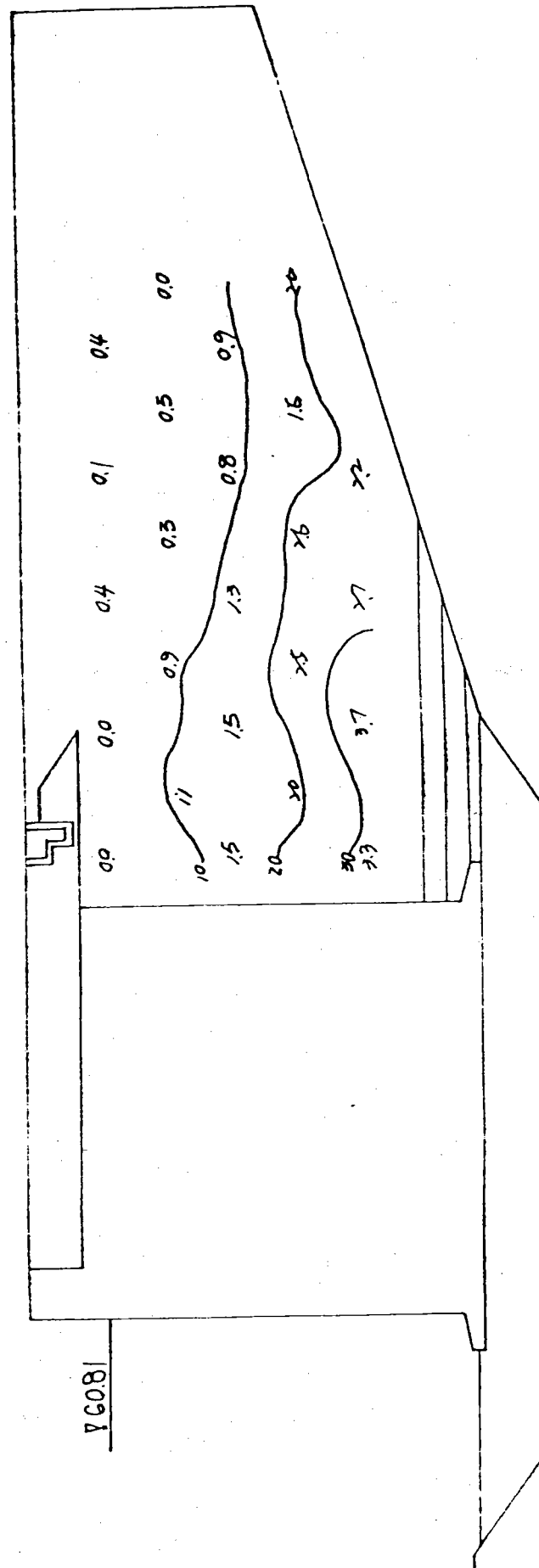


Fig. 7. 2-10 碼頭後線孔水壓分佈曲線

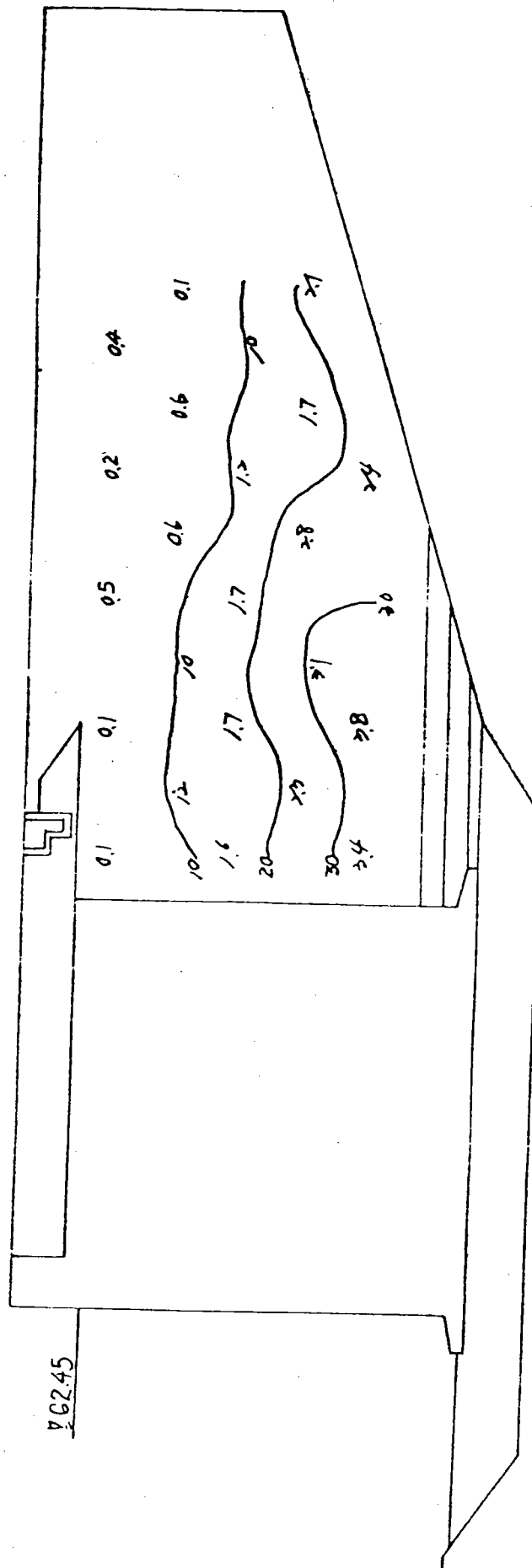


Fig. 7.2-11 碼頭後線孔水壓分佈曲線

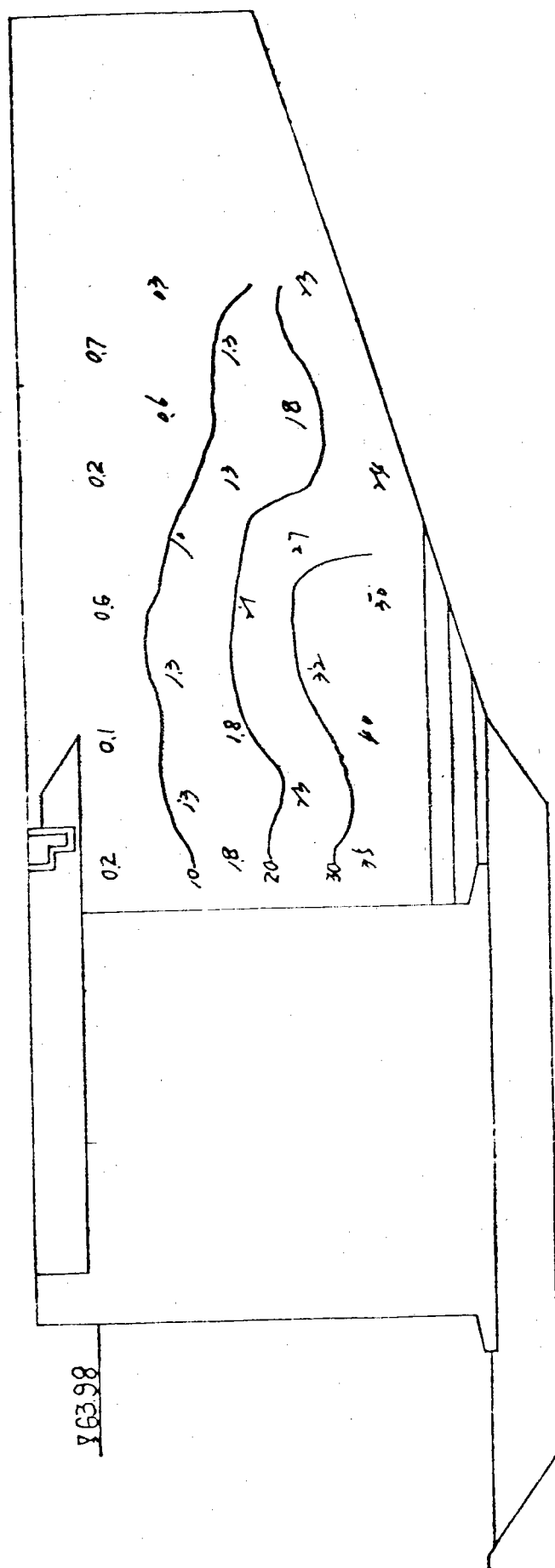


Fig. 7.2-12 碼頭後線孔水壓分佈曲線

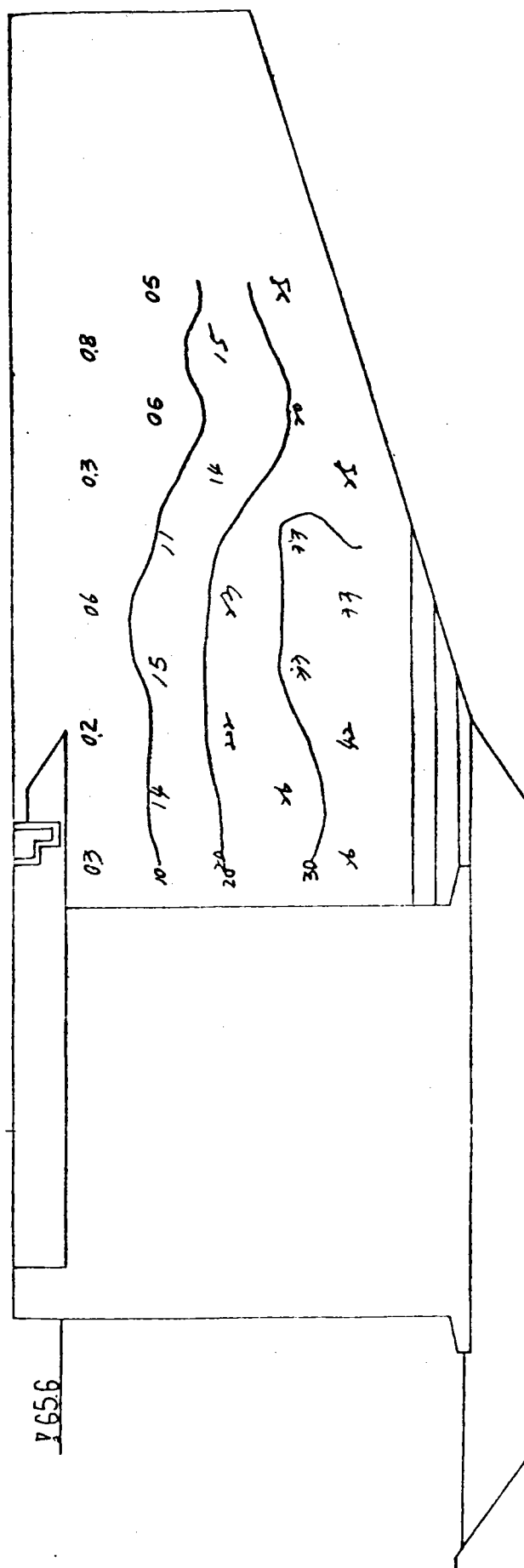


Fig. 7. 2-13 碼頭後線孔水壓分佈曲線

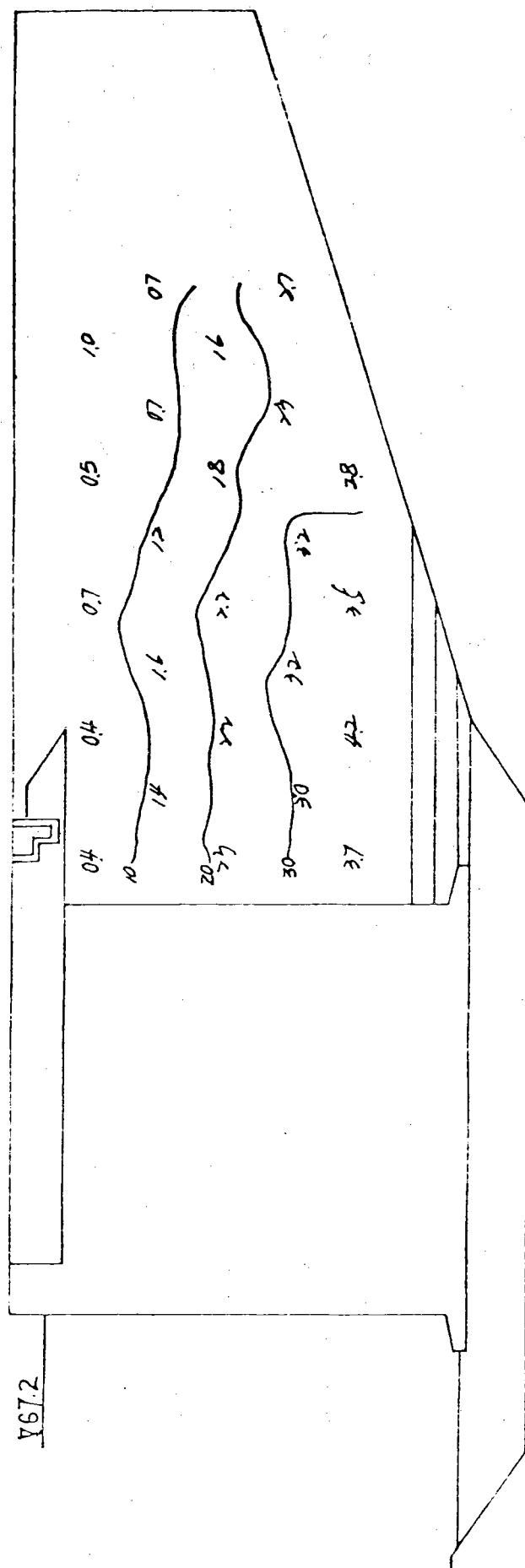


Fig. 7.3-1 碼頭後線孔水壓分佈曲線

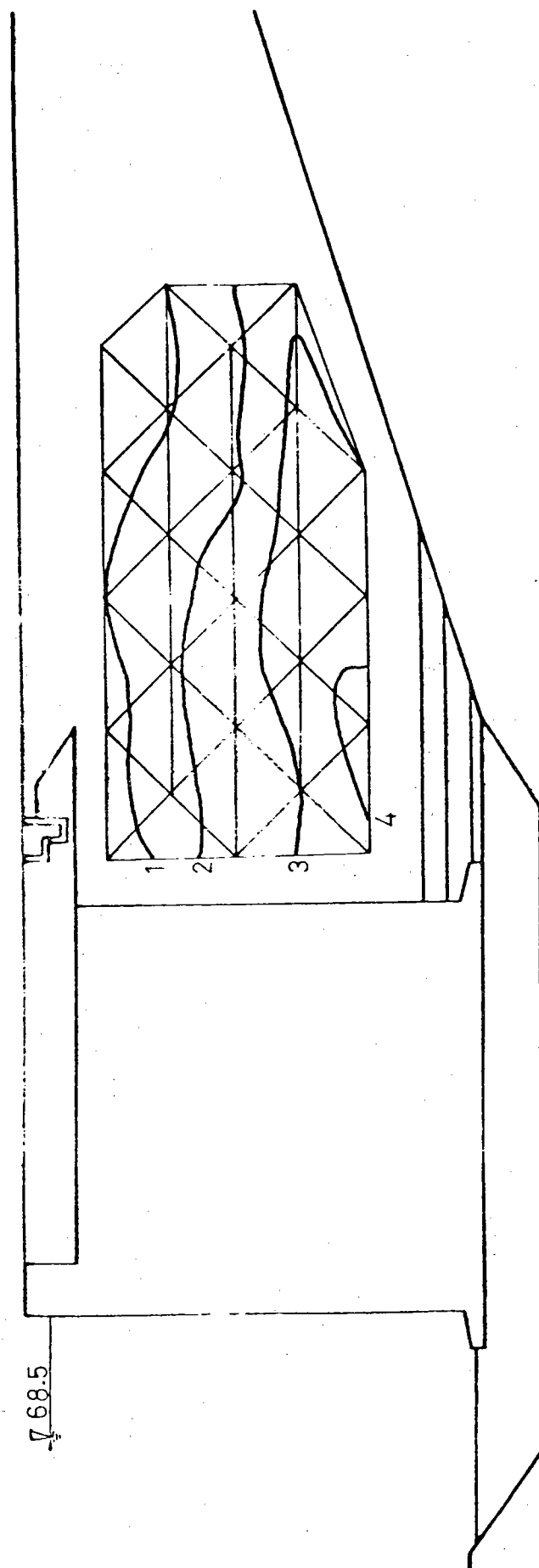


Fig. 7.3-2 碼頭後線孔水壓分佈曲線

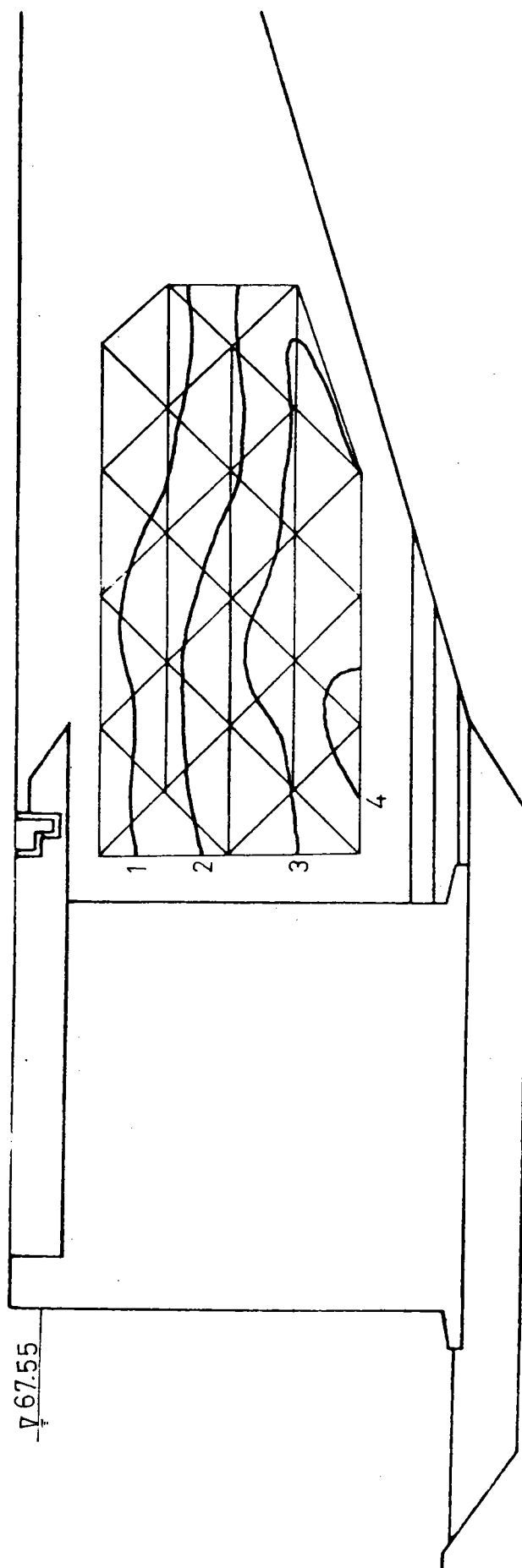


Fig. 7.3-3 碼頭後線孔水壓分佈曲線

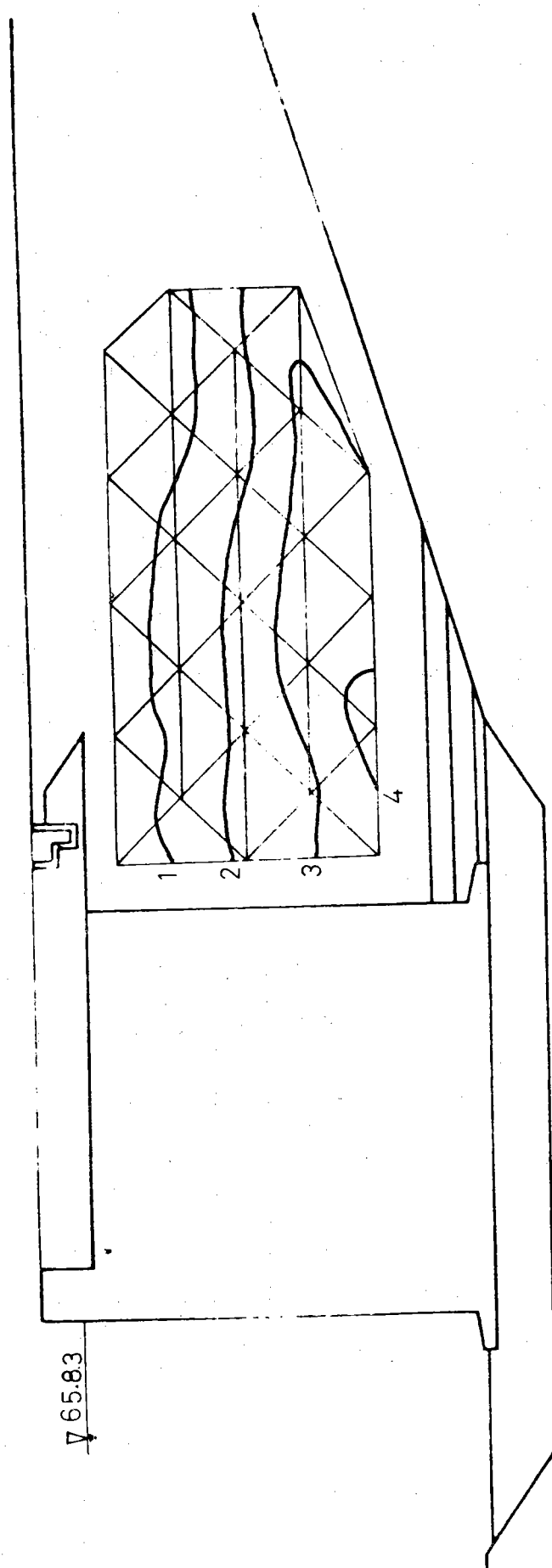


Fig. 7.3-4 碼頭後線孔水壓分佈曲線

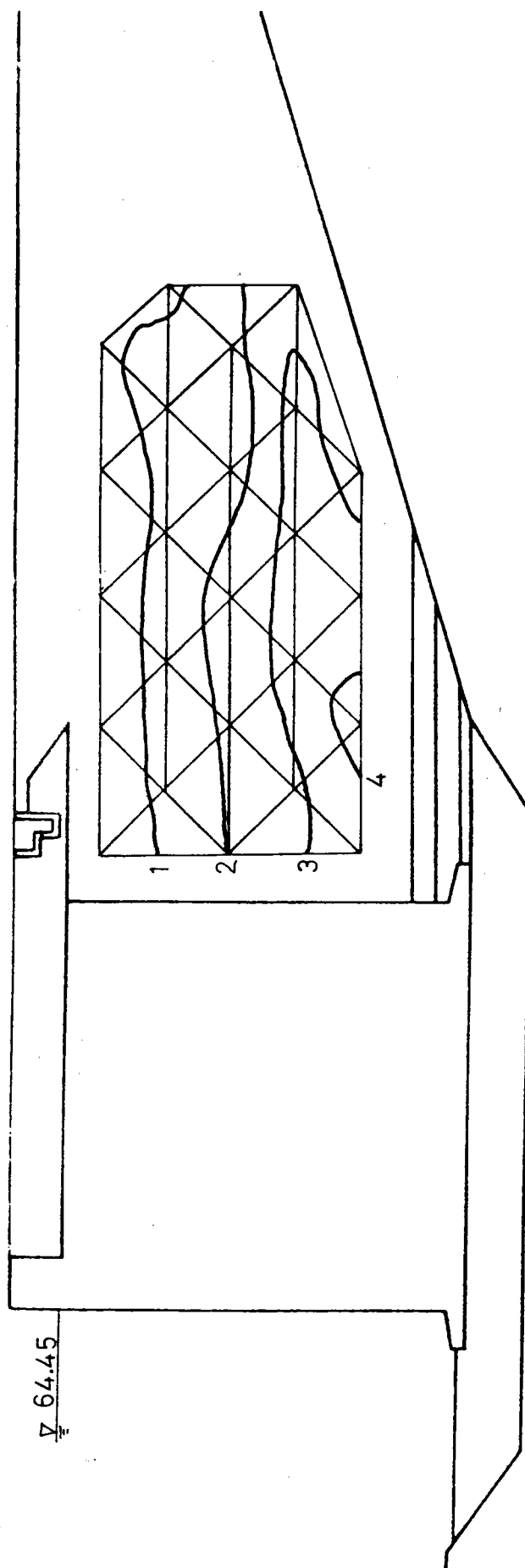


Fig. 7. 3-5 碼頭後線孔水壓分布曲線

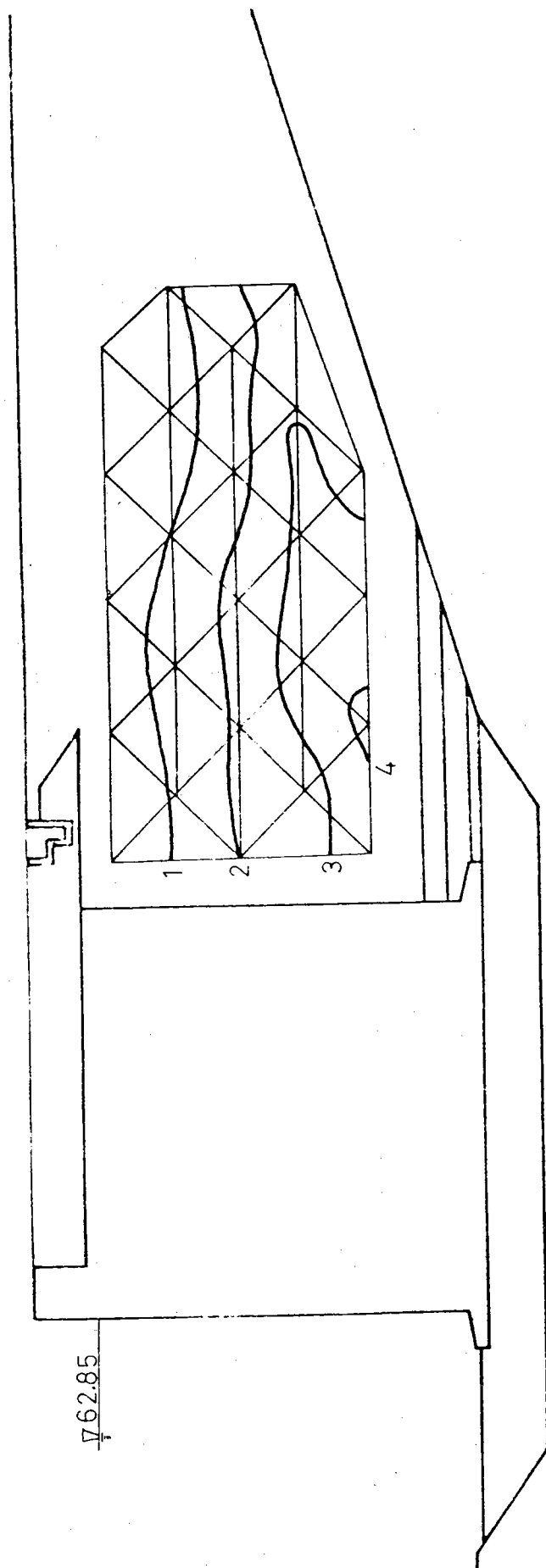


Fig. 7. 3-6 碼頭後線孔水壓分佈曲線

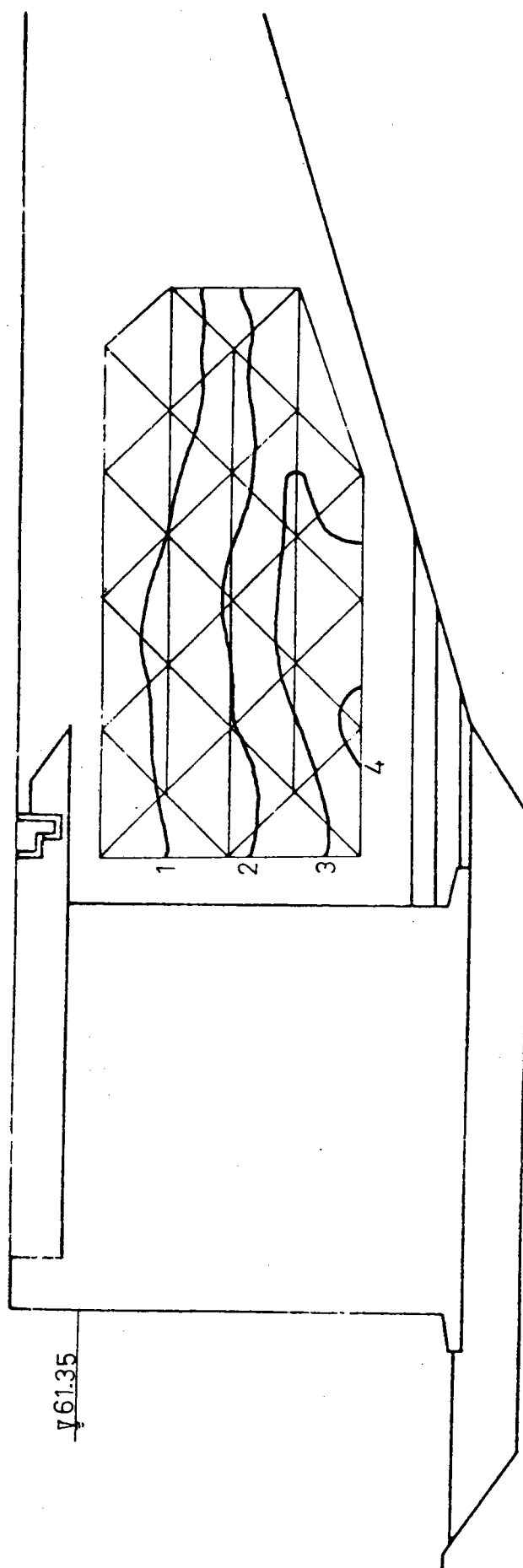


Fig. 7. 3-7 碼頭後線孔水壓分佈曲線

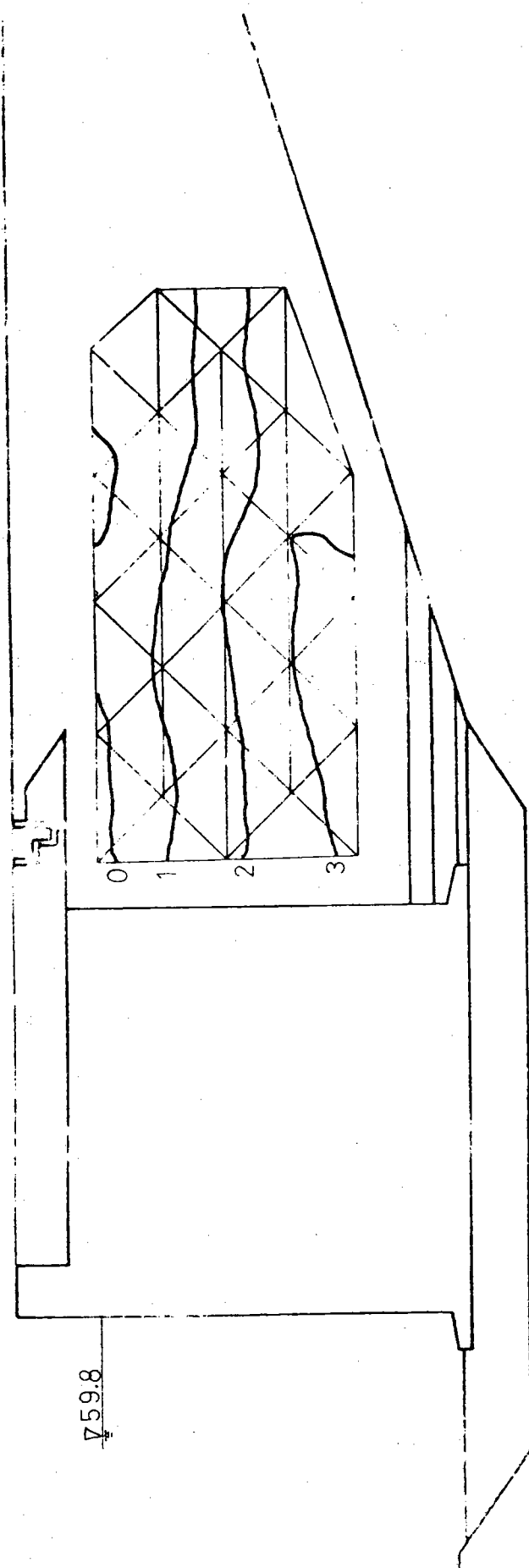


Fig. 7. 3-8 碼頭後線孔水壓分佈曲線

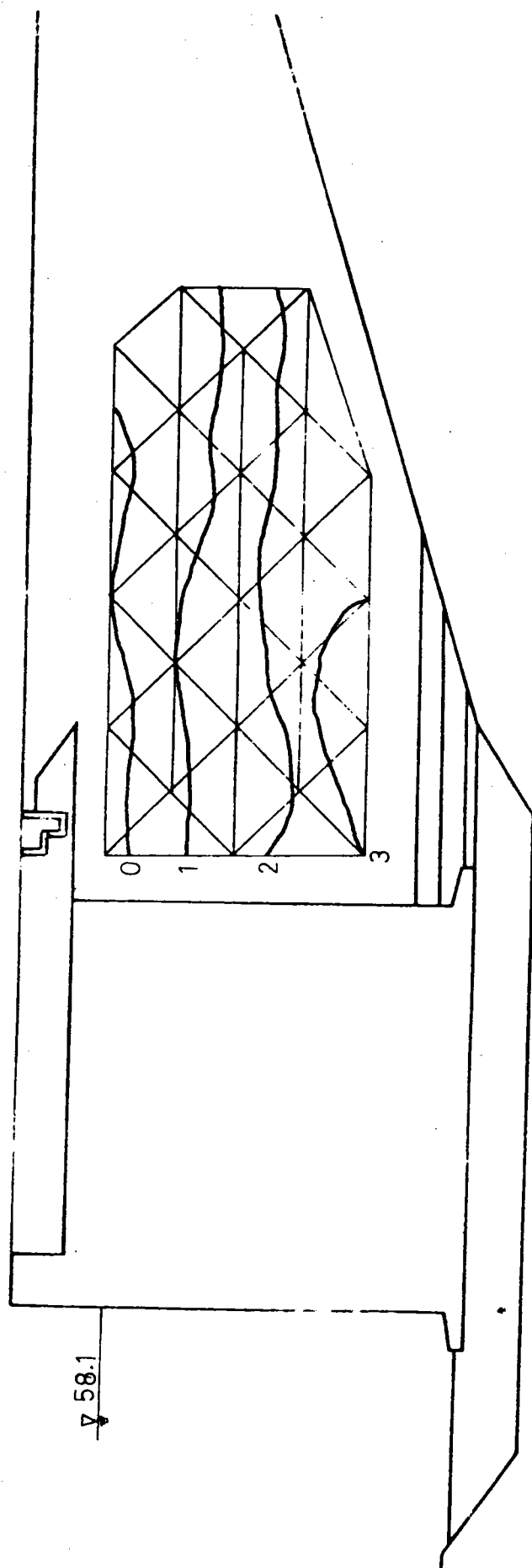


Fig. 7.3-9 碼頭後線孔水壓分佈曲線

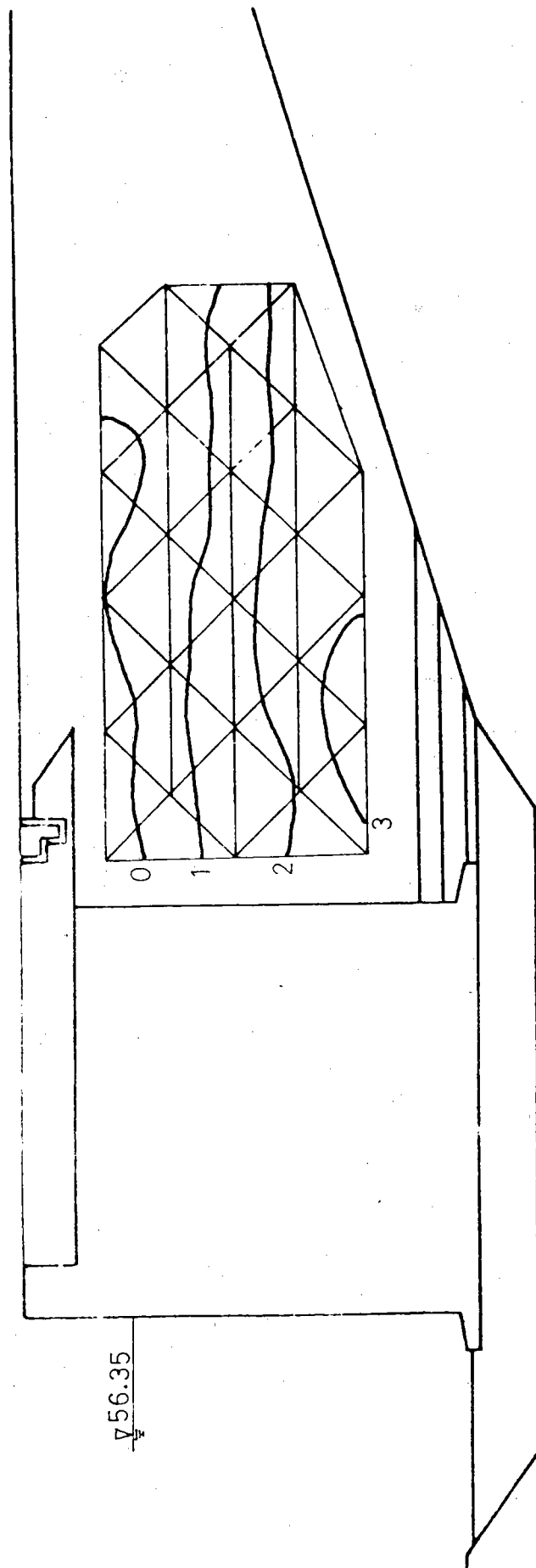


Fig. 7. 3-10 碼頭後線孔水壓分佈曲線

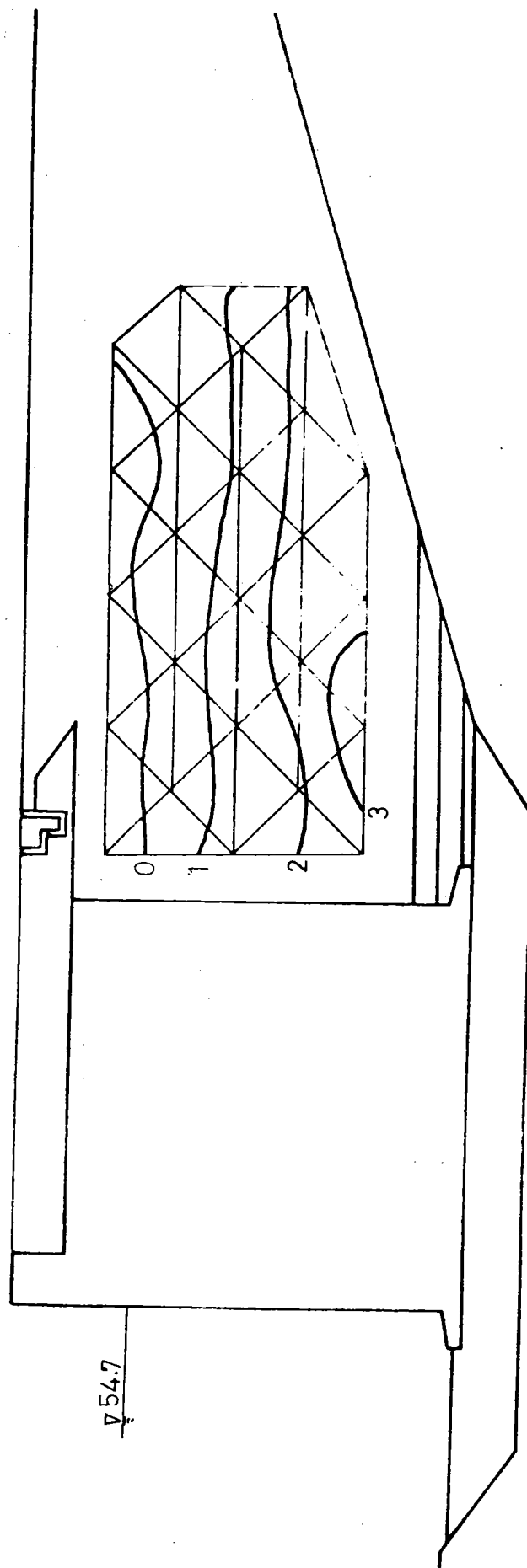


Fig. 7. 3-11 碼頭後線孔水壓分佈曲線

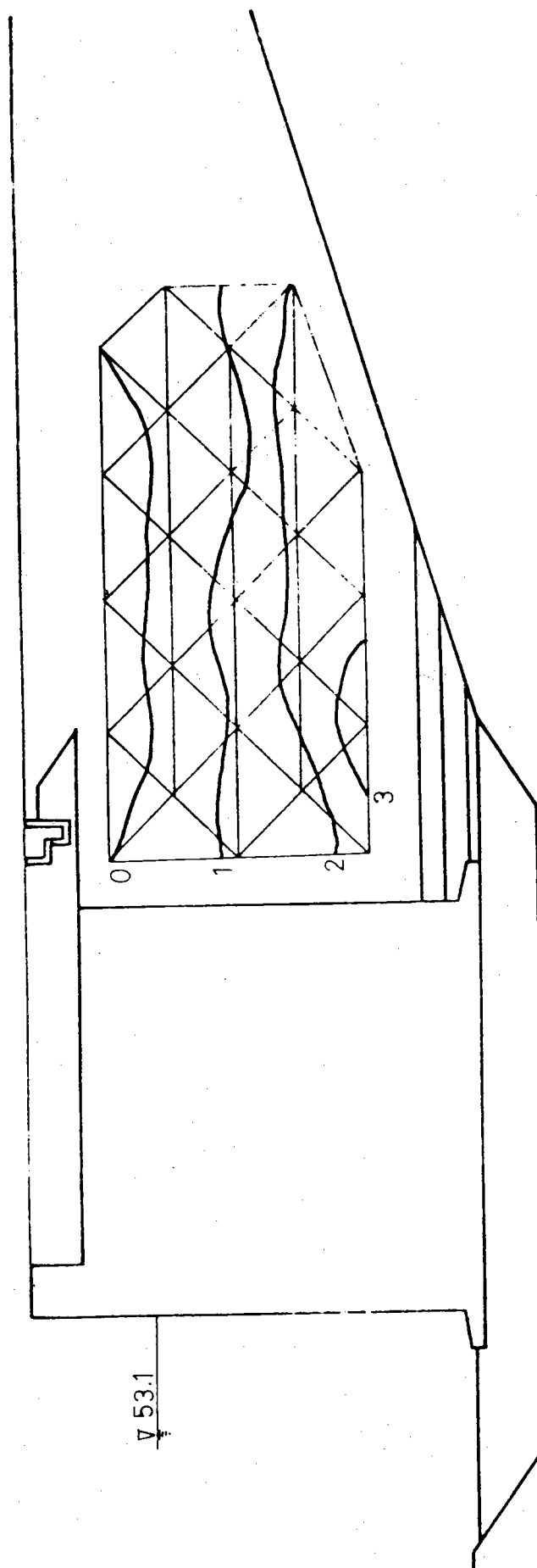


Fig. 7. 3-12 碼頭後線孔水壓分佈曲線

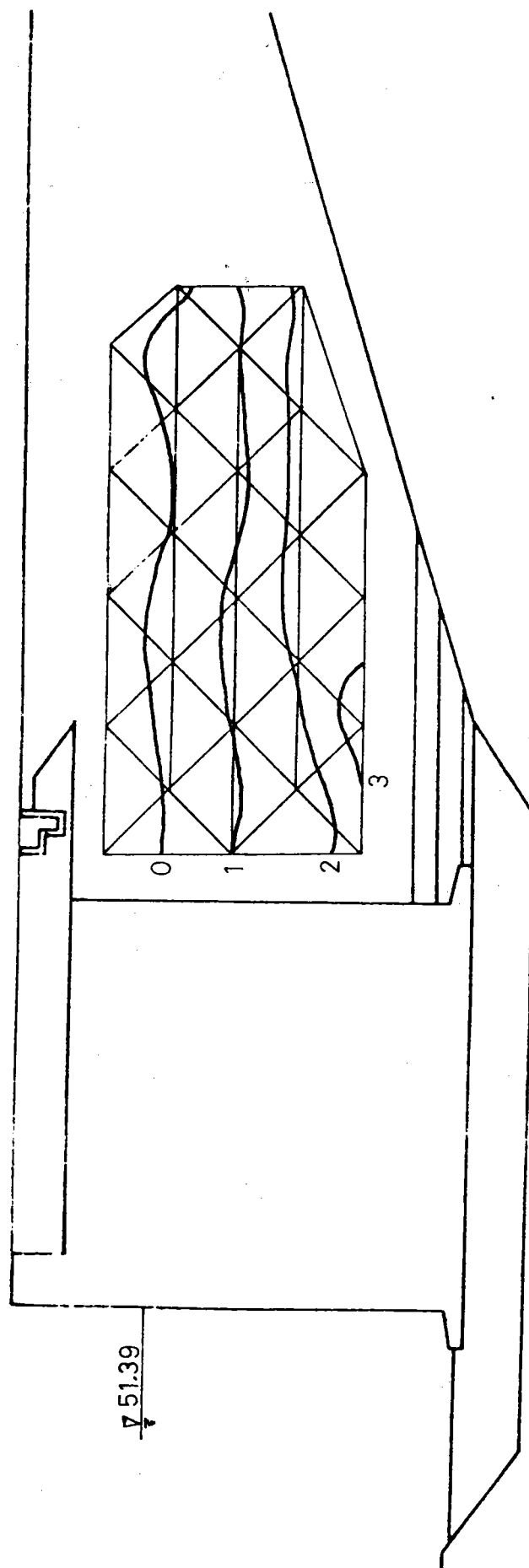


Fig. 7. 3-13 碼頭後線孔水壓分佈曲線

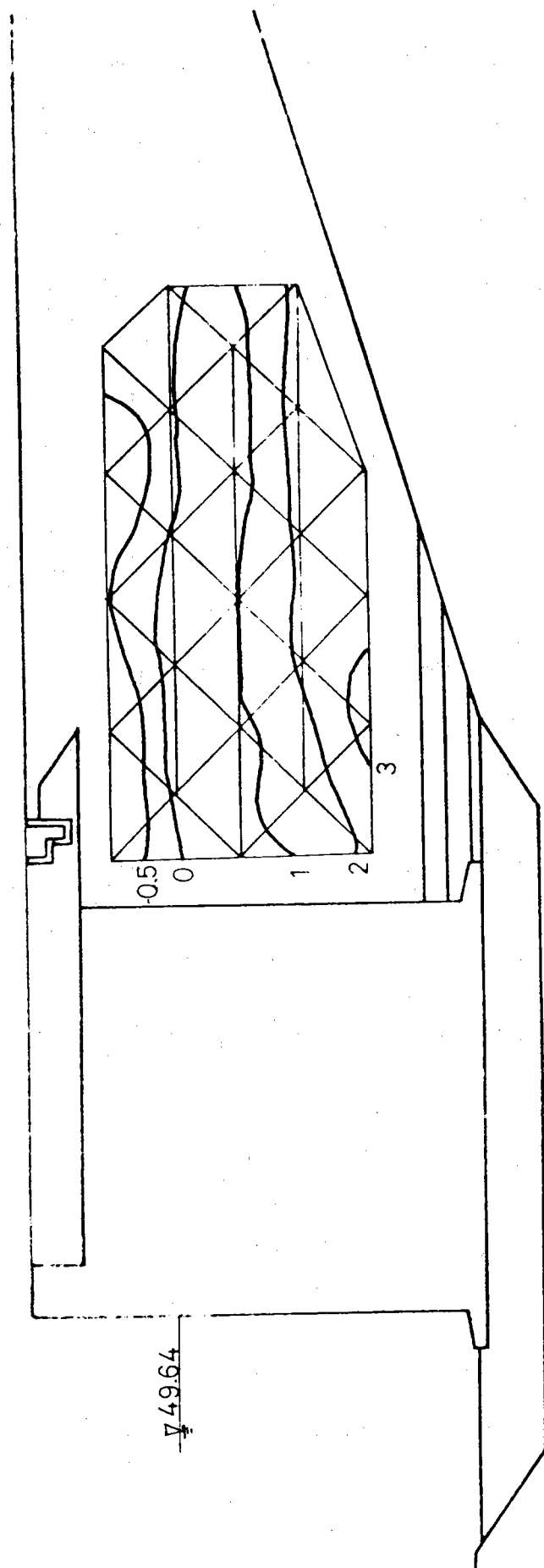


Fig. 7. 3-14 碼頭後線孔水壓分佈曲線

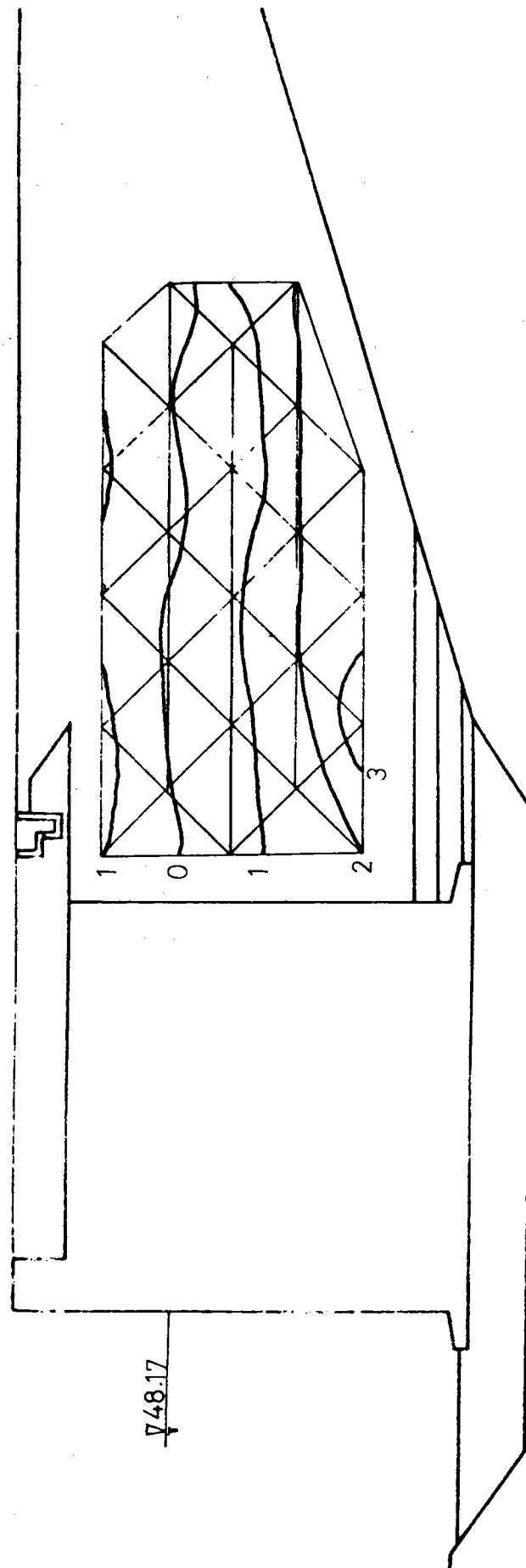


Fig. 7. 3-15 碼頭後線孔水壓分佈曲線

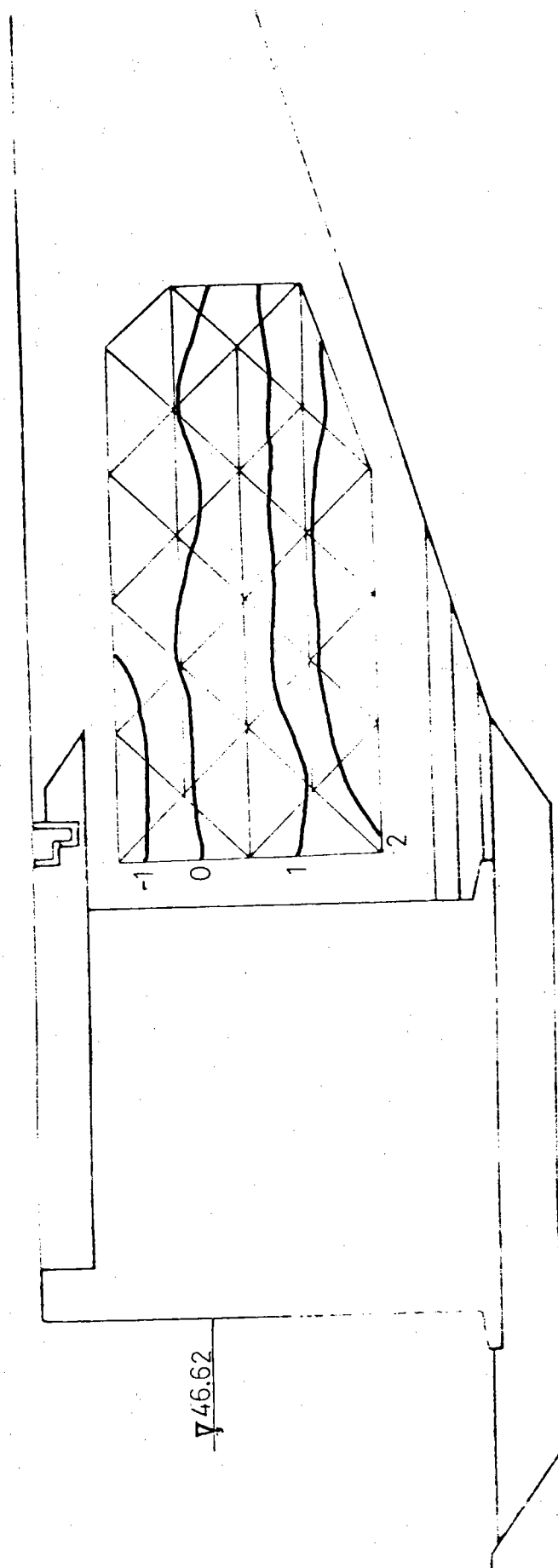


Fig. 7.3-16 碼頭後線孔水壓分佈曲線

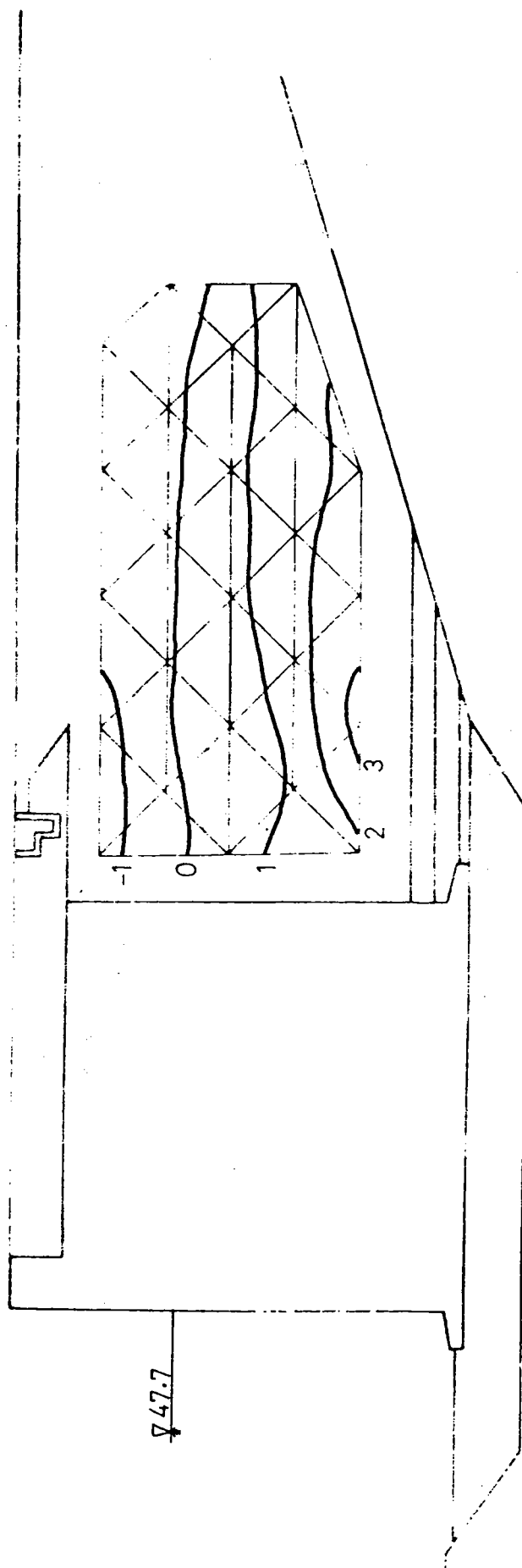


Fig. 7. 3-17 碼頭後線孔水壓分佈曲線

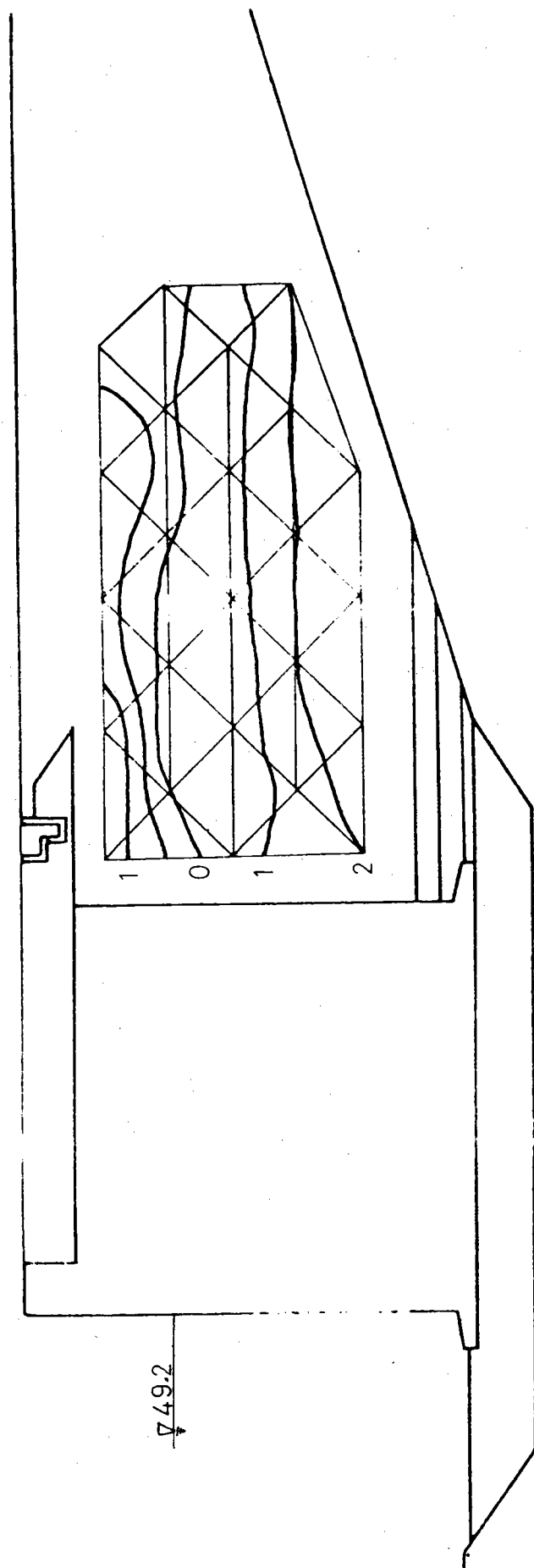


Fig. 7.3-18 碼頭後線孔水壓分佈曲線

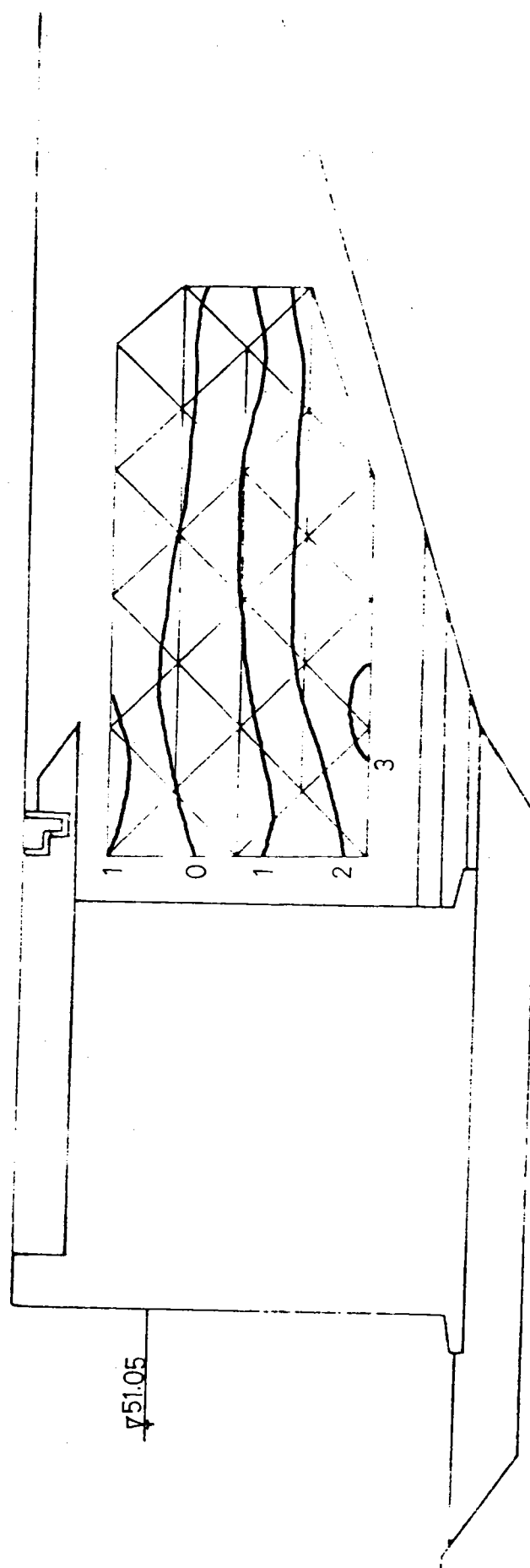


Fig. 7. 3-19 碼頭後緣孔水壓分佈曲線

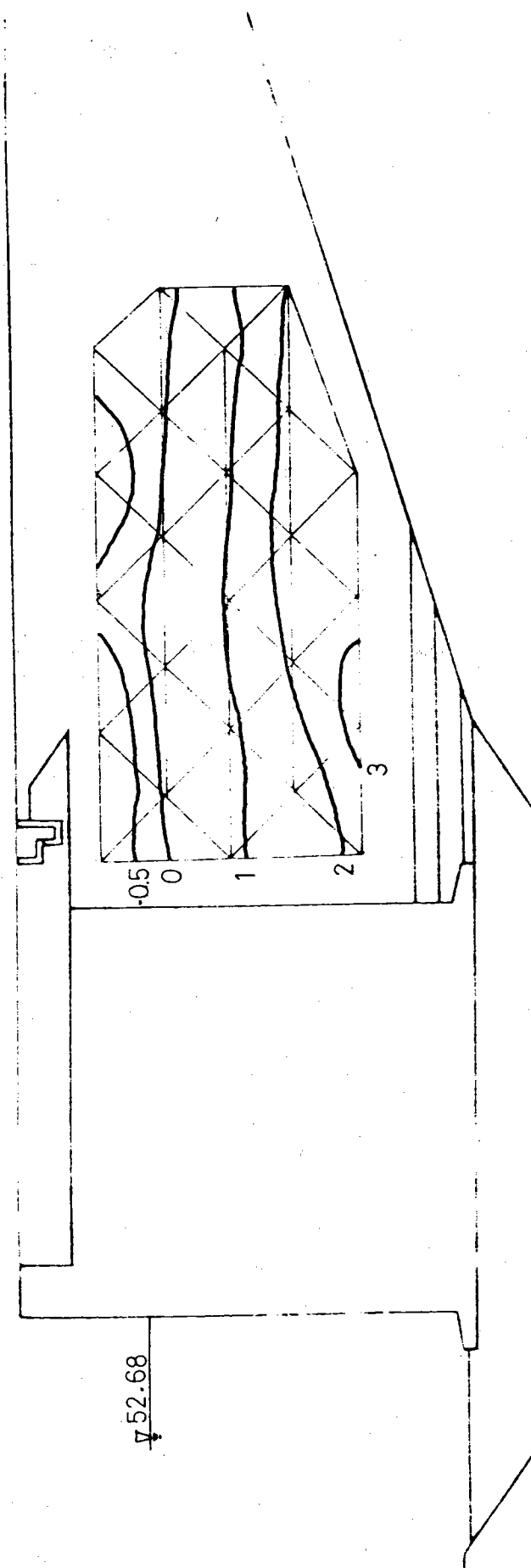


Fig. 7. 3-20 碼頭後線孔水壓分佈曲線

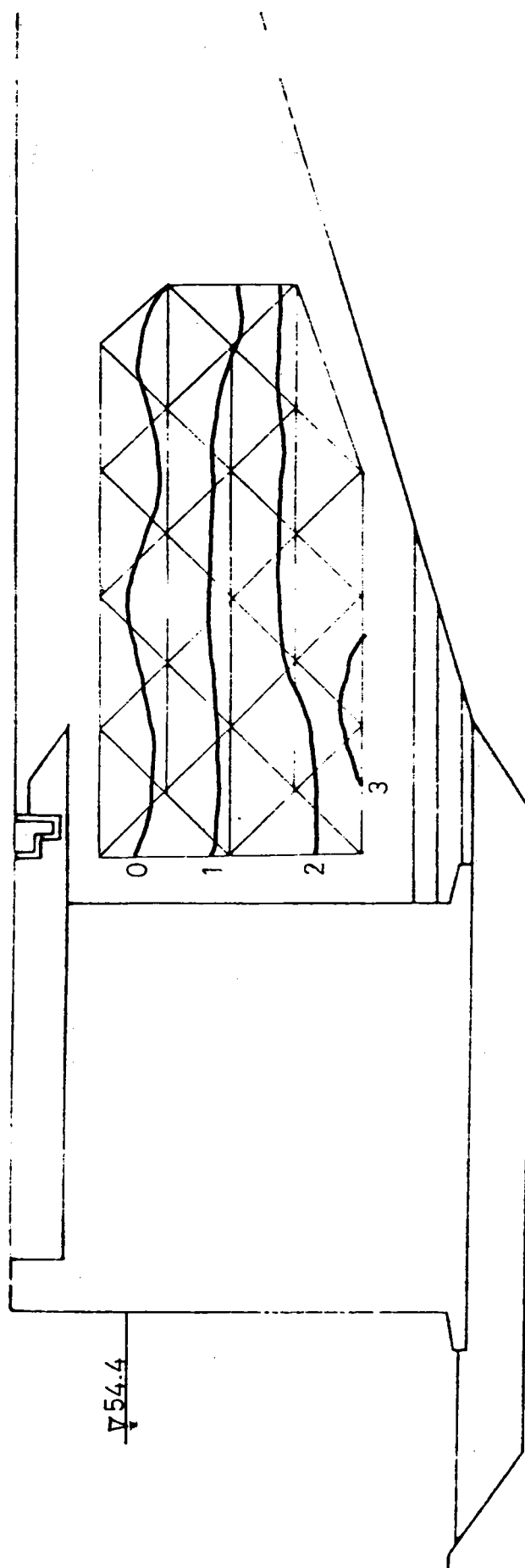


Fig. 7.3-21 碼頭後線孔水壓分佈曲線

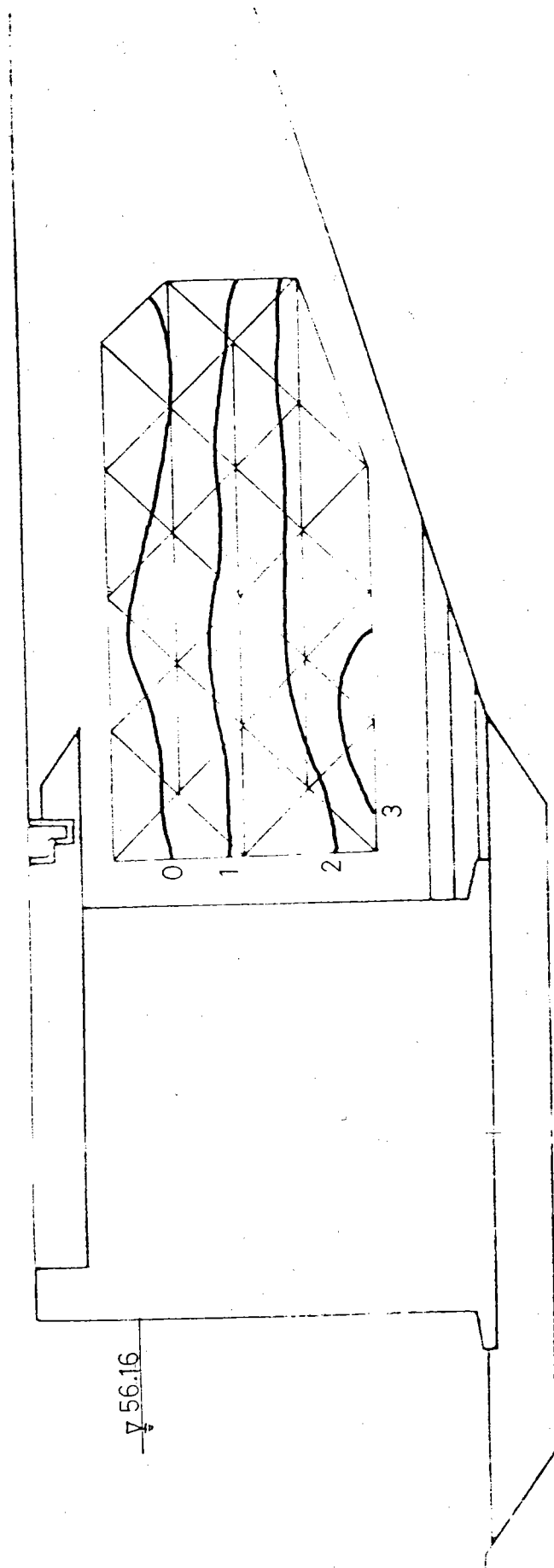


Fig. 7.3-22 碼頭後線孔水壓分佈曲線

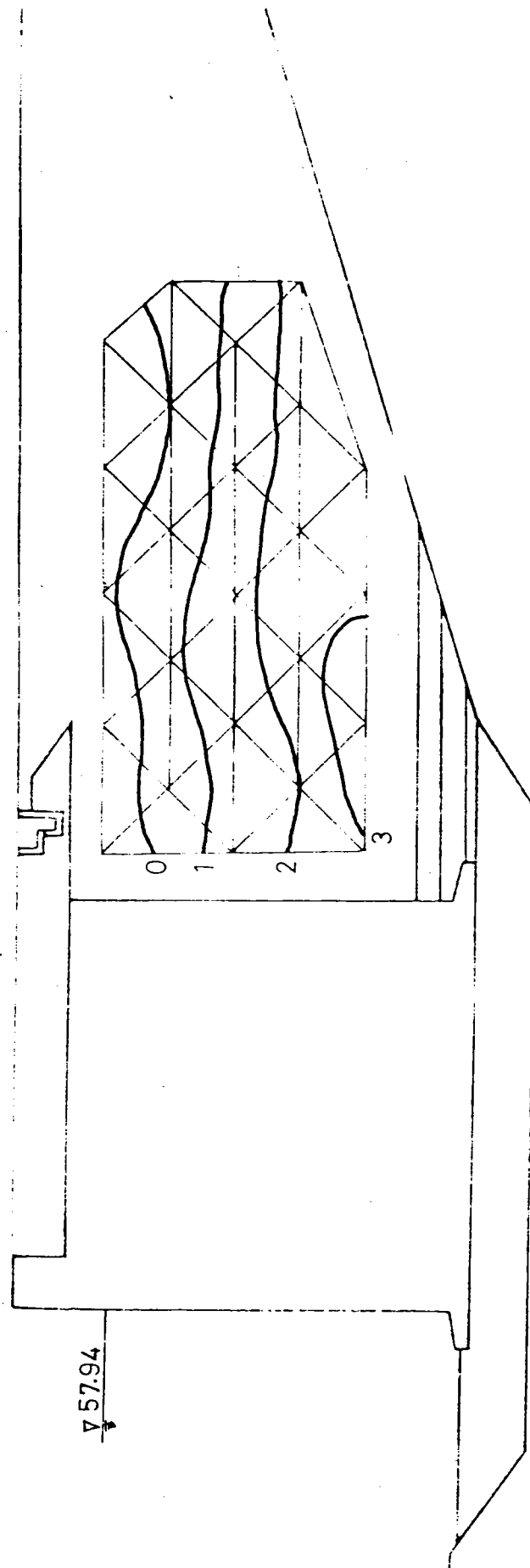


Fig. 7. 3-23 碼頭後線孔水壓分佈曲線

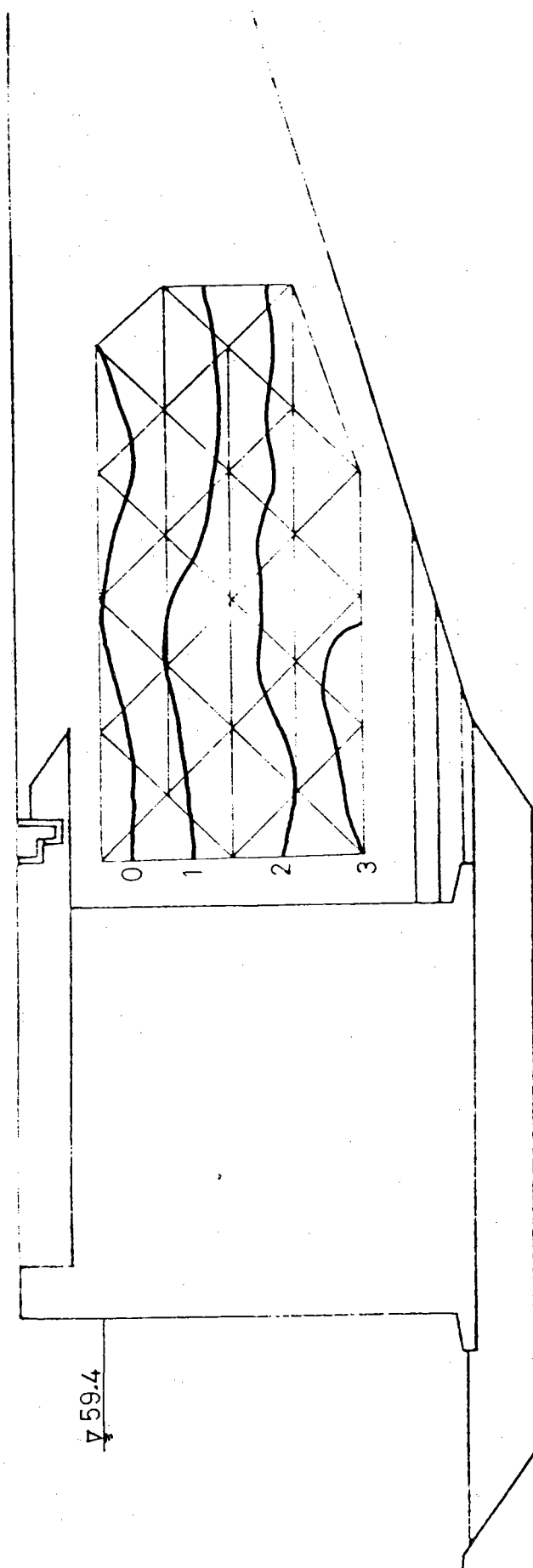


Fig. 7. 3-24 碼頭後線孔水壓分佈曲線

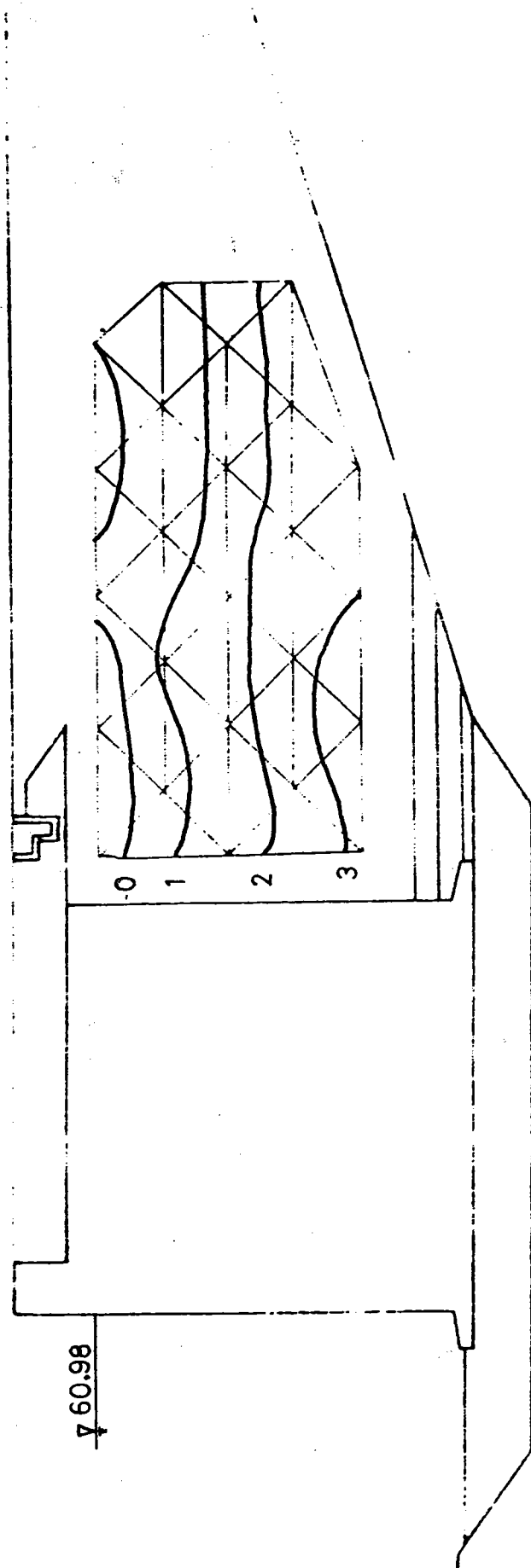


Fig. 7. 3-25 碼頭後線孔水壓分佈曲線

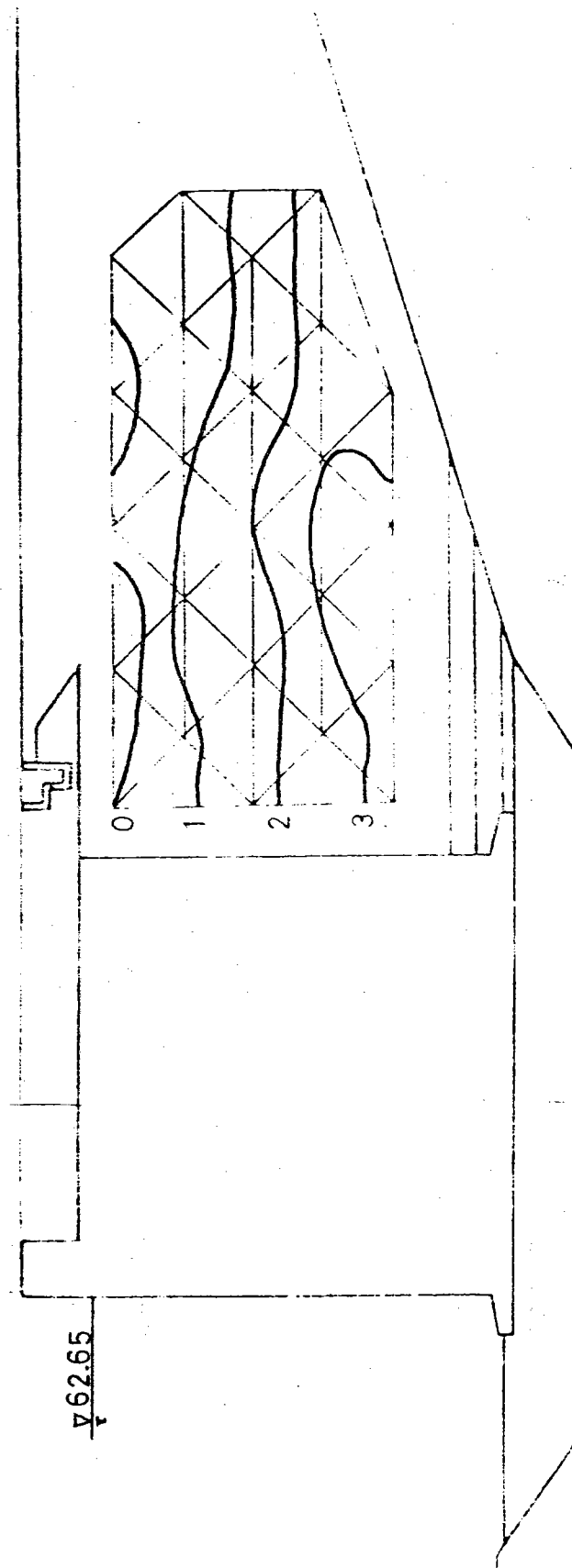


Fig. 7.3-26 碼頭後線孔水壓分佈曲線

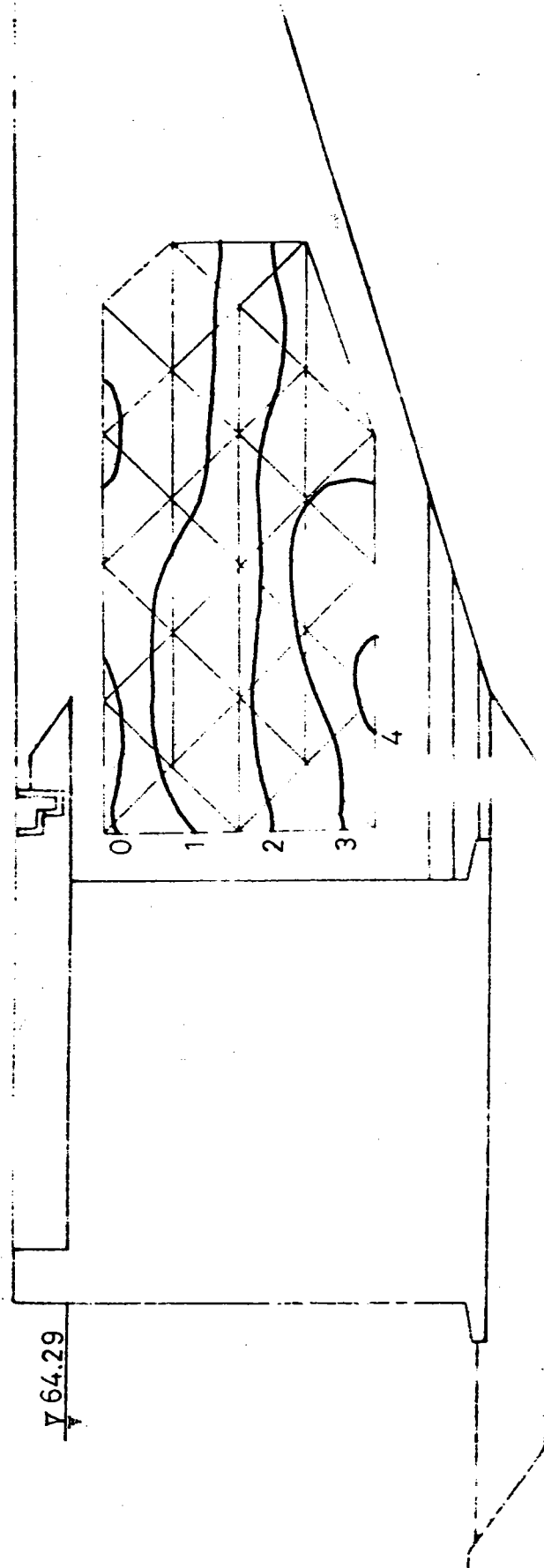


Fig. 7.3-27 碼頭後線孔水壓分佈曲線

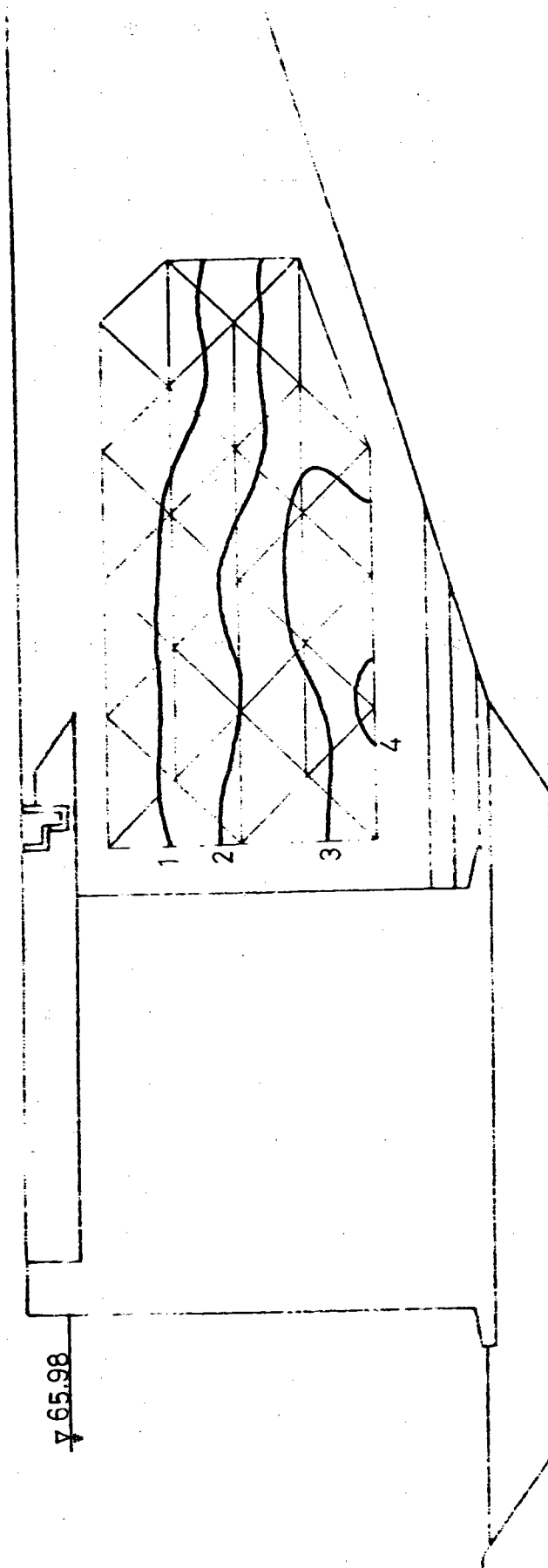


Fig. 7.3-28 碼頭後線孔水壓分佈曲線

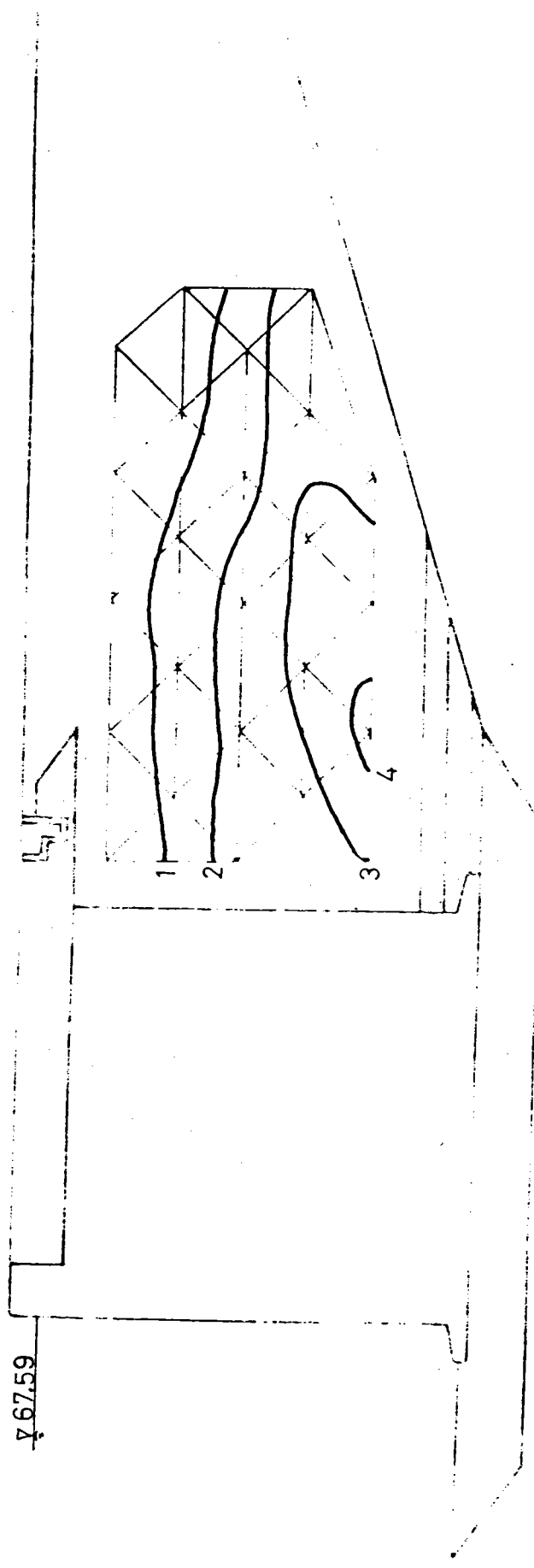


Fig. 7.3-29 碼頭後線孔水壓分佈曲線

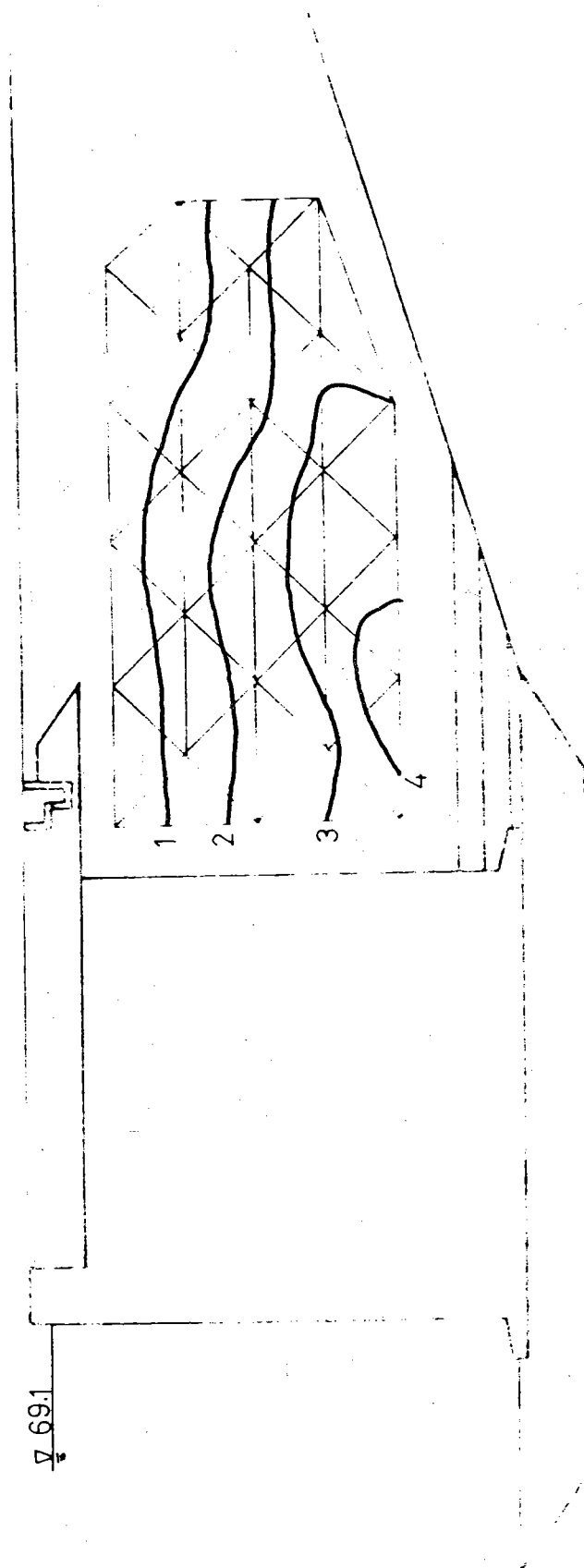


Fig. 7.4-1 碼頭後線孔水壓分佈曲線

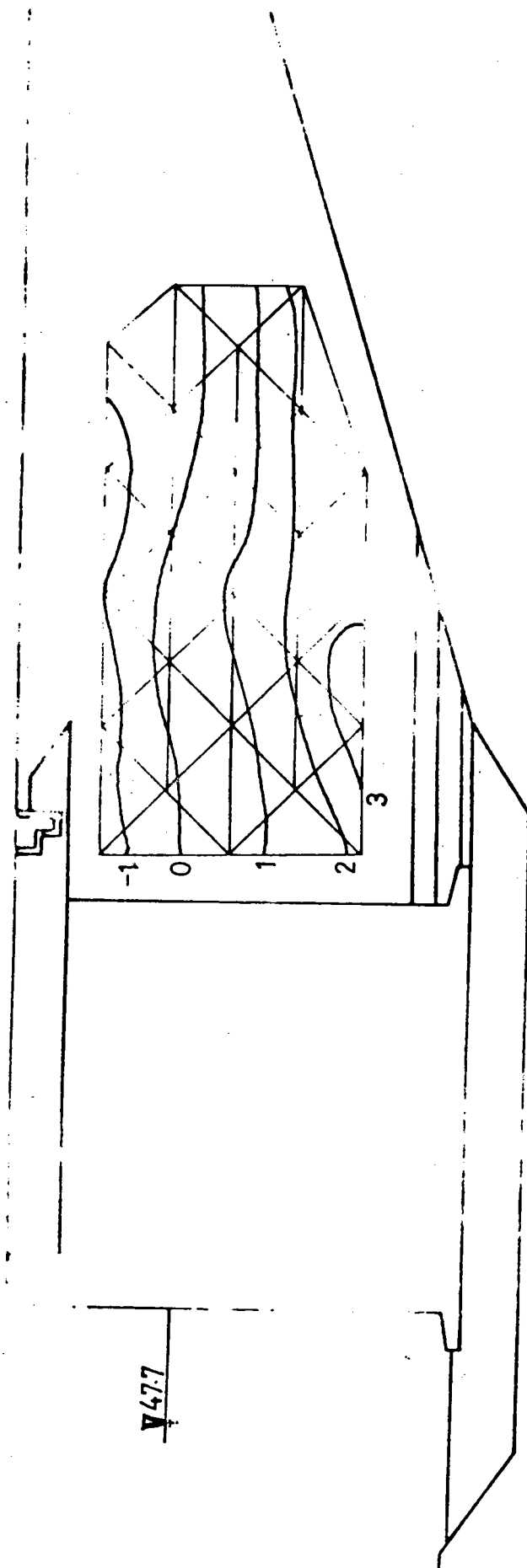


Fig. 7.4-2 碼頭後線孔水壓分佈曲線

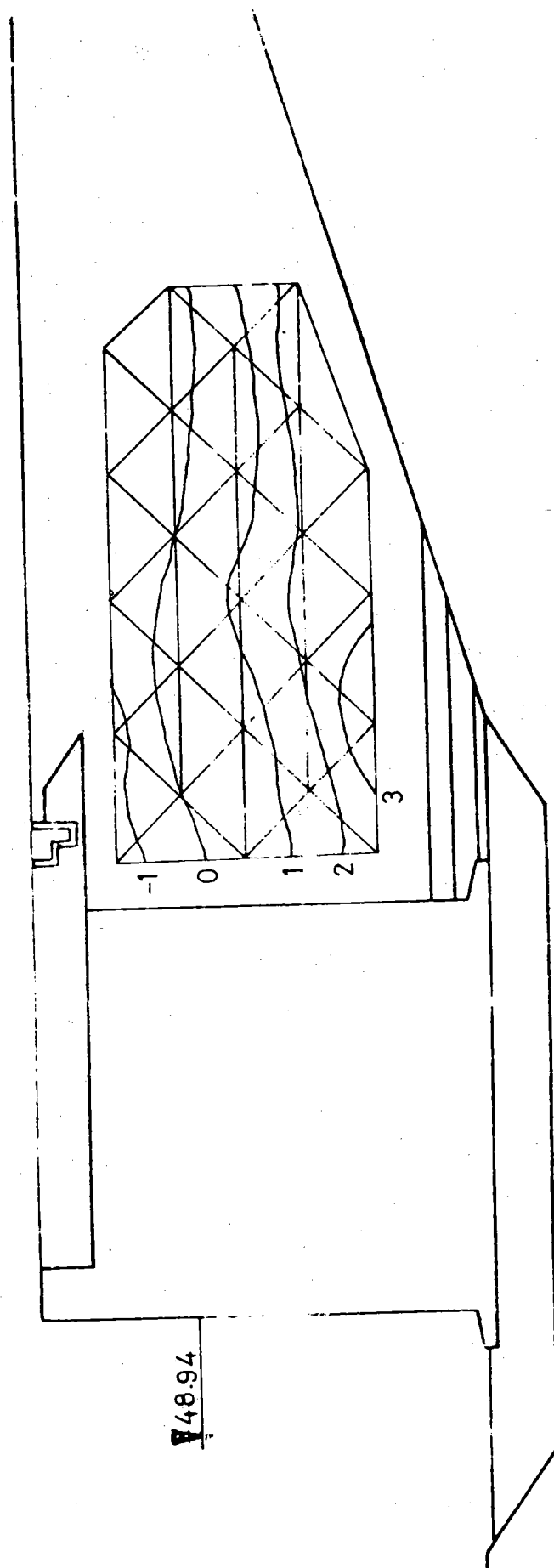


Fig. 7.4-3 碼頭後線孔水壓分佈曲線

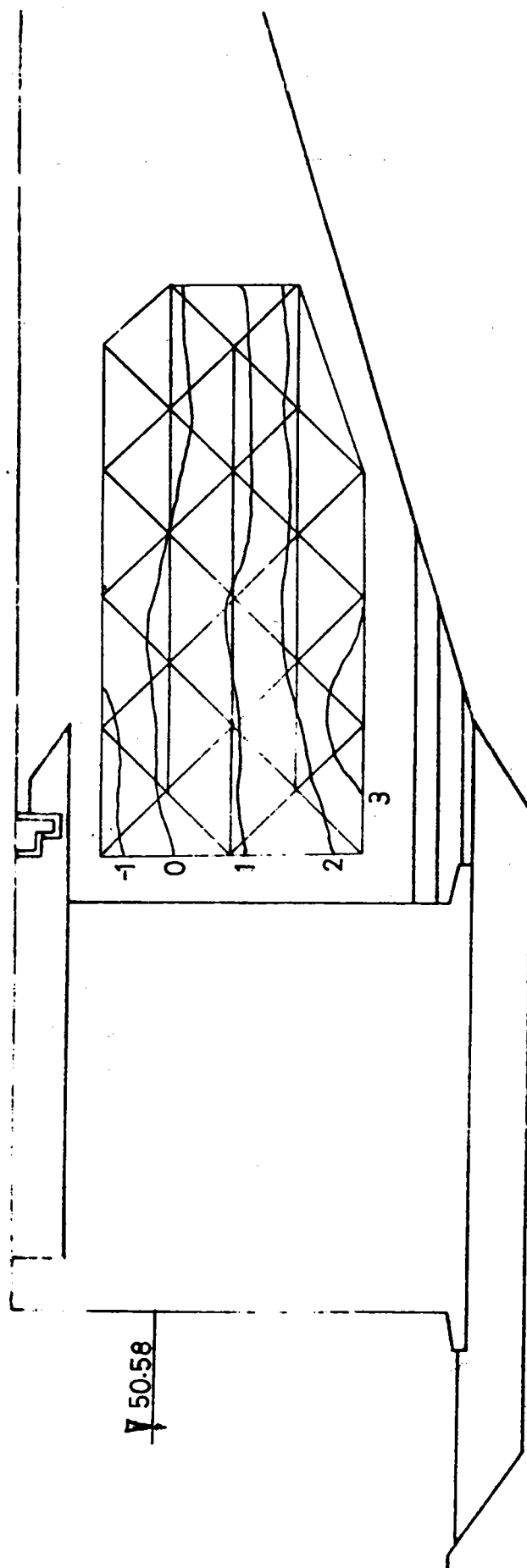


Fig. 7.4-4 碼頭後線孔水壓分佈曲線

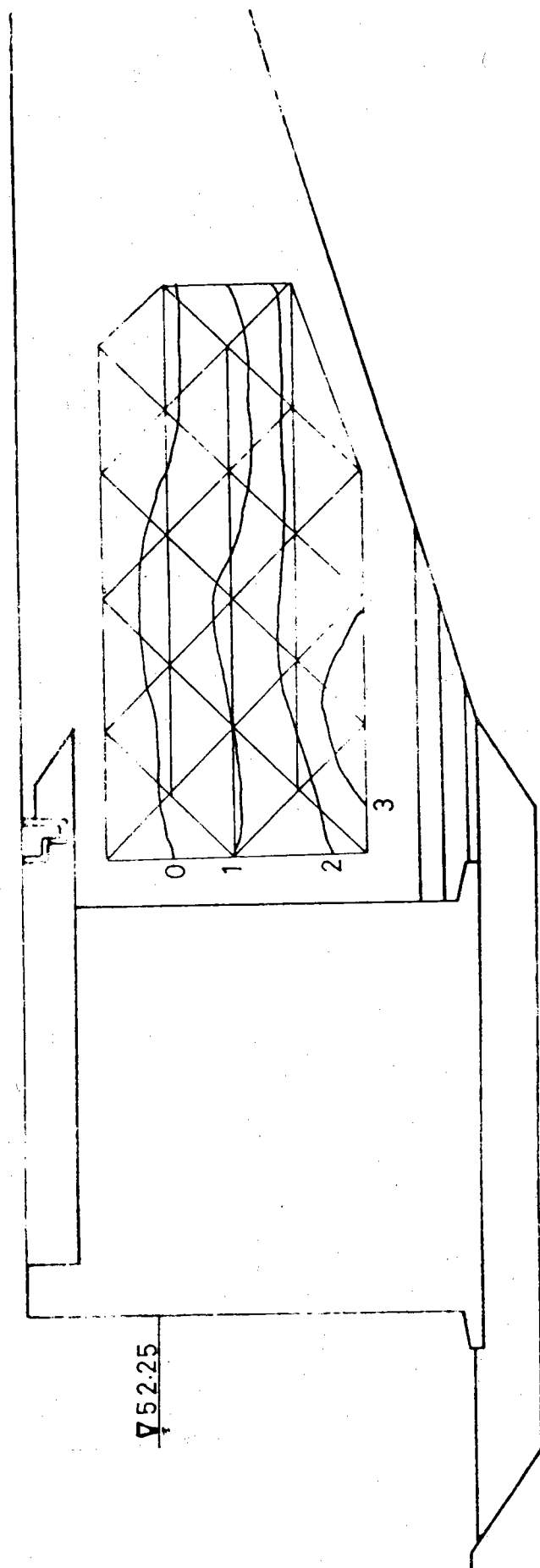


Fig. 7.4-5 碼頭後線孔水壓分佈曲線

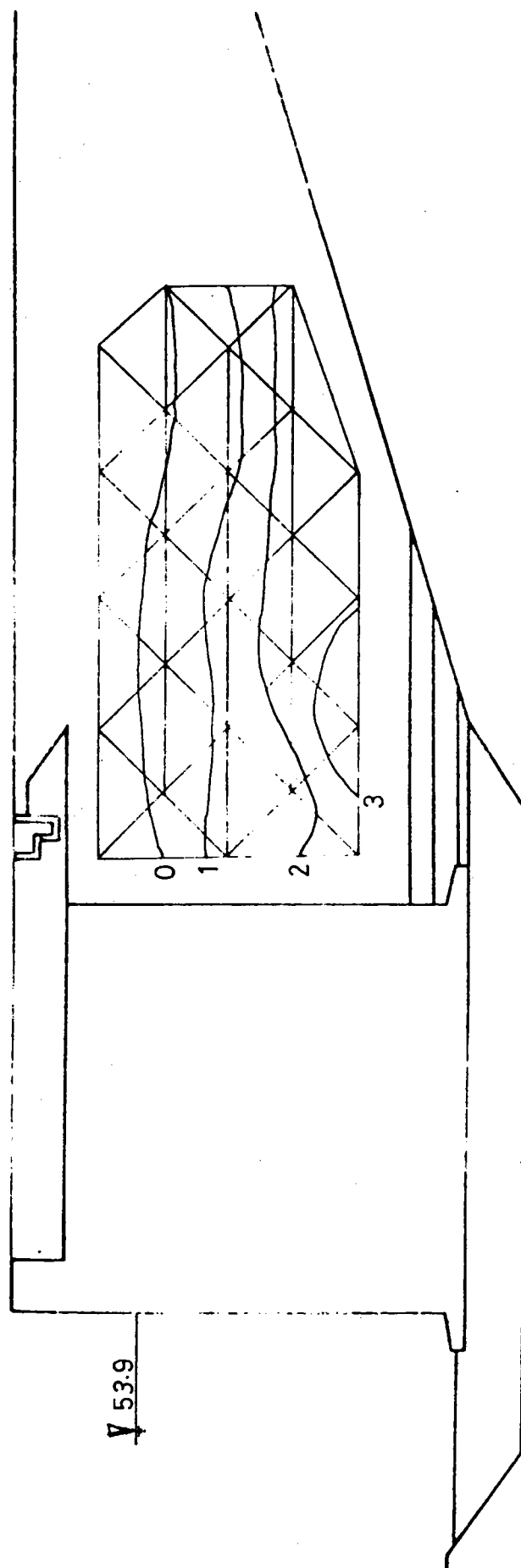


Fig. 7.4-6 碼頭後線孔水壓分佈曲線

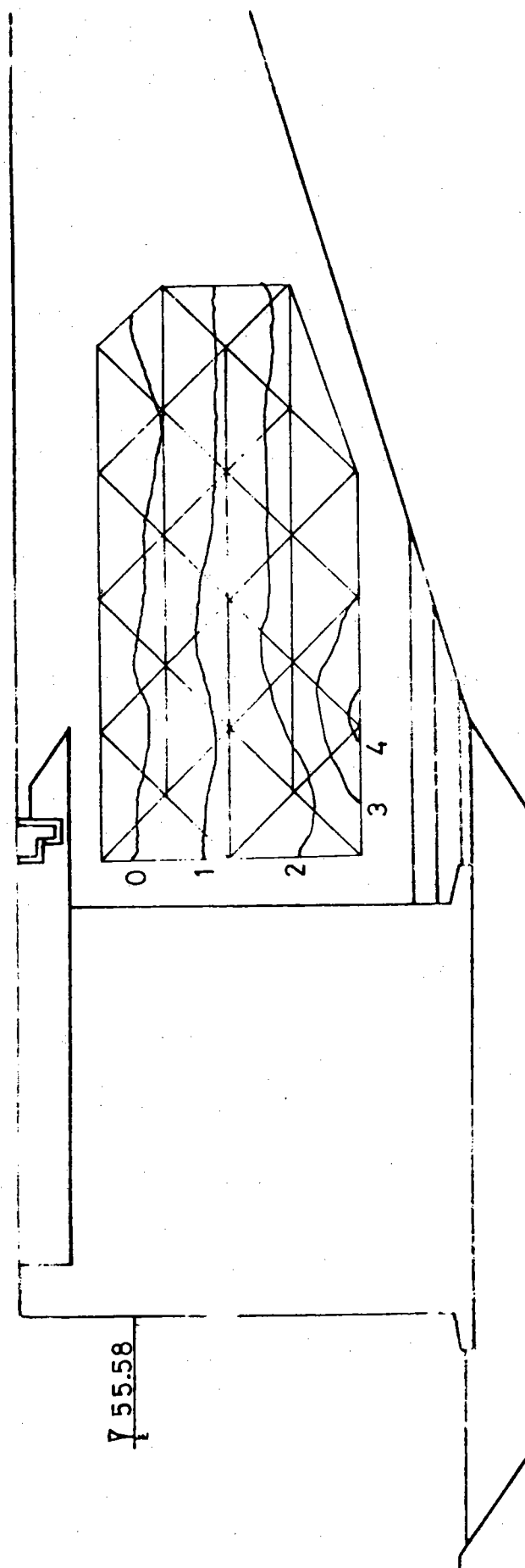


Fig. 7.4-7 碼頭後線孔水壓分佈曲線

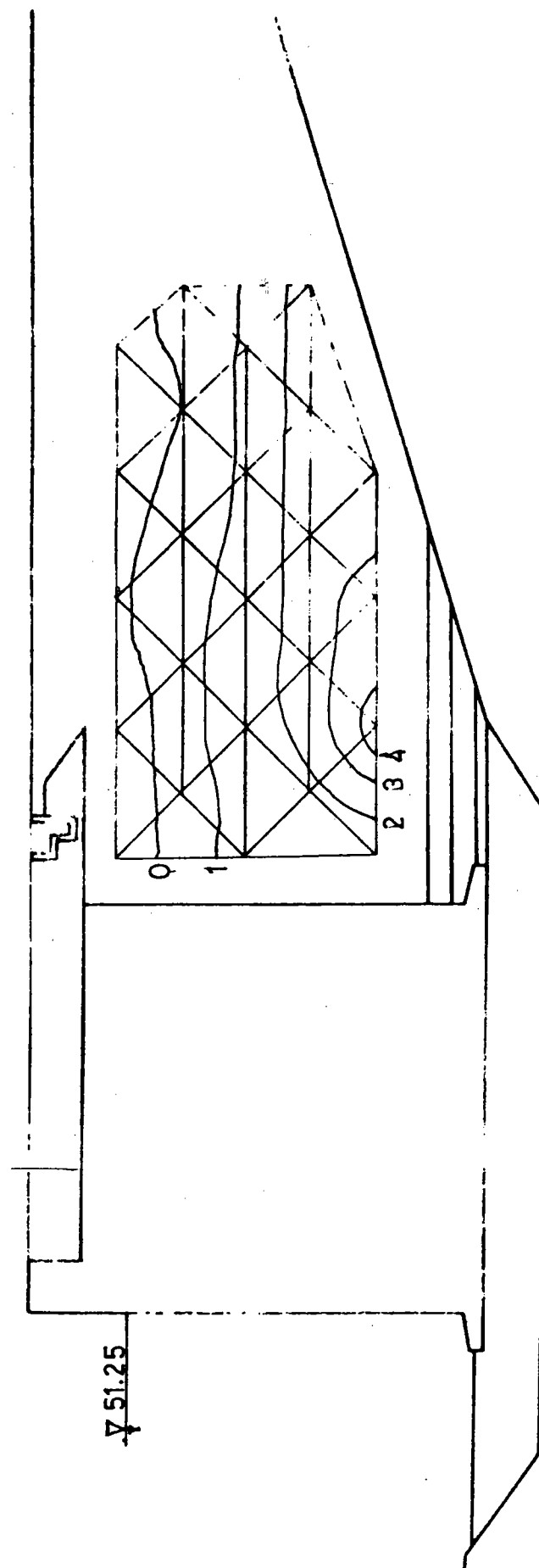


Fig. 7.4-8 碼頭後線孔水壓分佈曲線

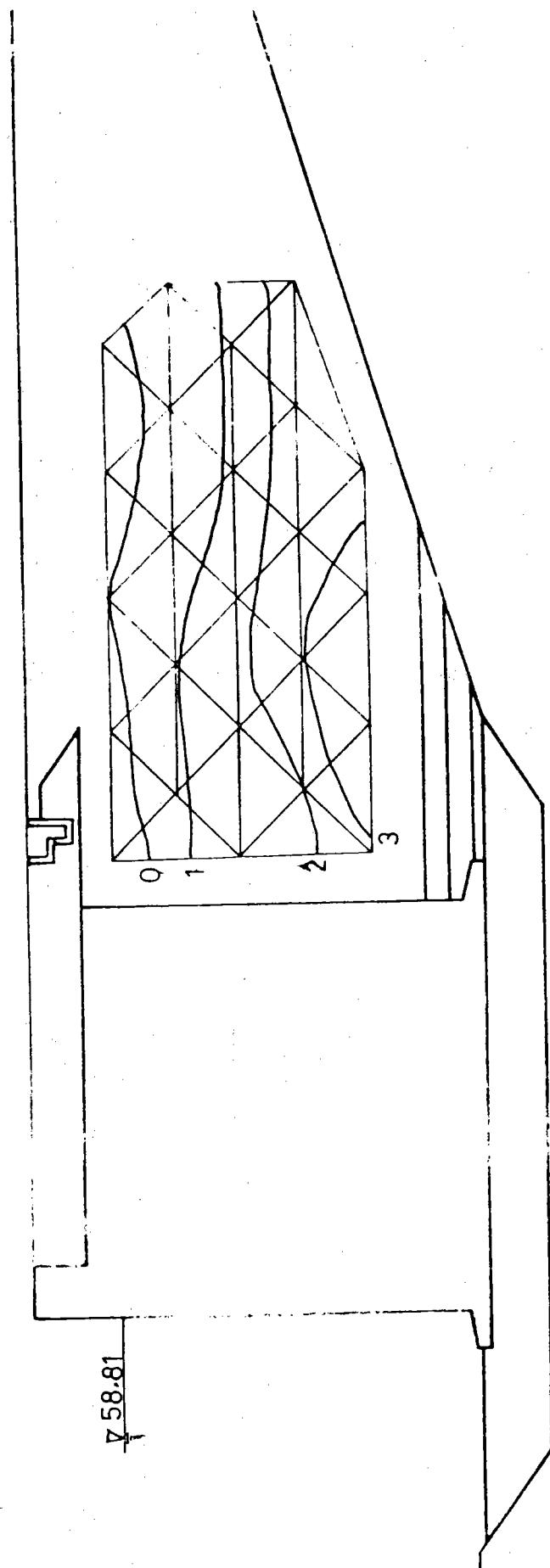


Fig. 7. 4-9 碼頭後線孔水壓分佈曲線

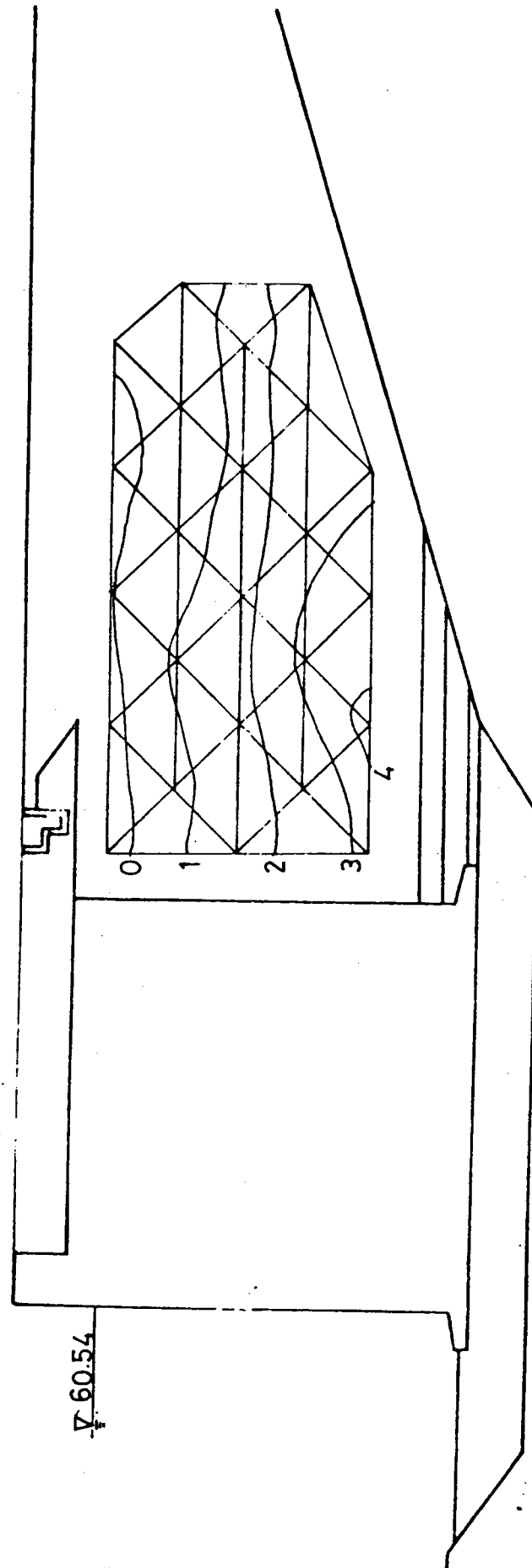


Fig. 7. 4-10 碼頭後線孔水壓分佈曲線

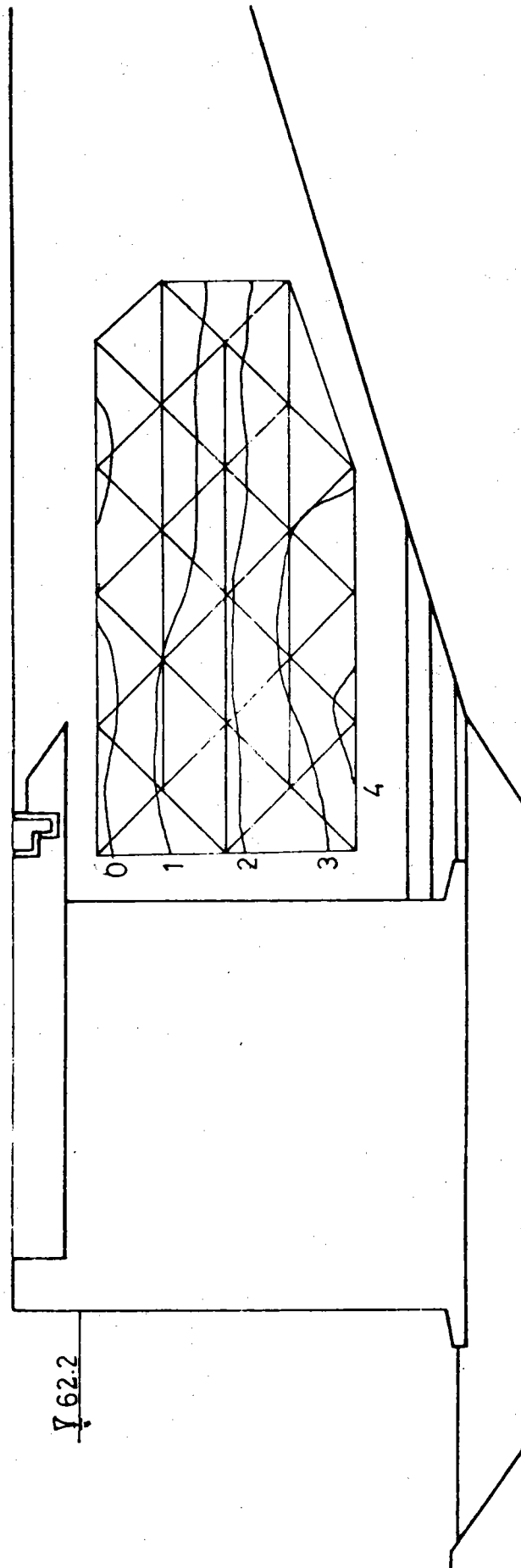


Fig. 7.4-11 碼頭後線孔水壓分布曲線

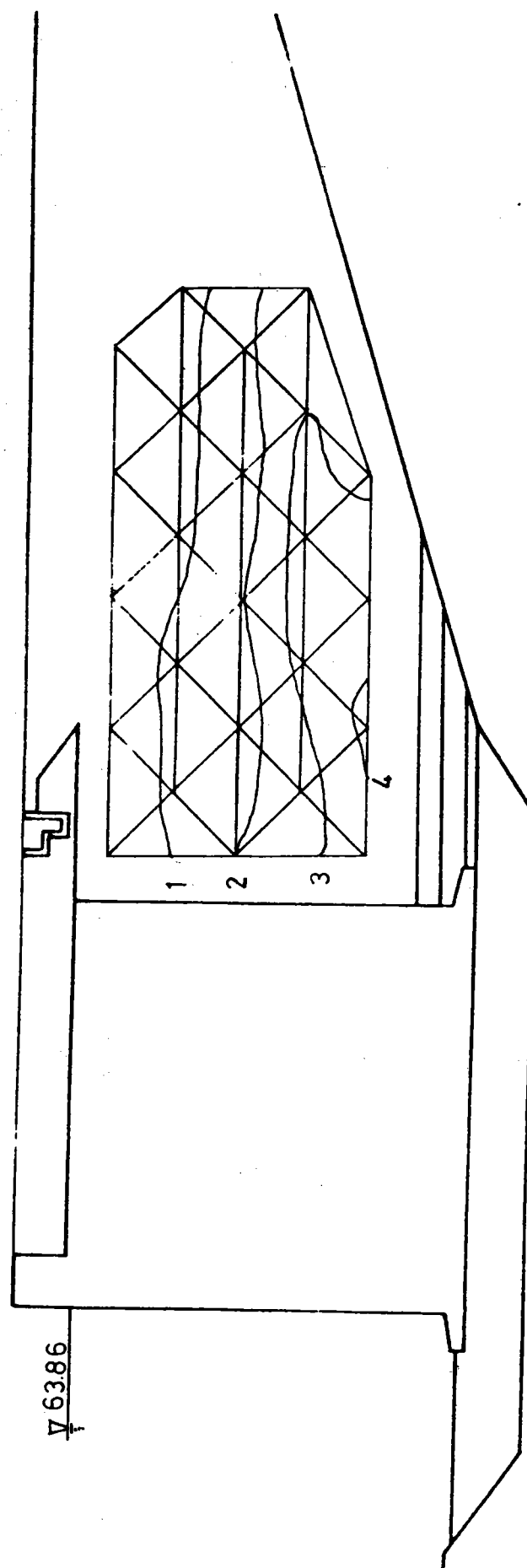


Fig. 7.4-12 碼頭後線孔水壓分佈曲線

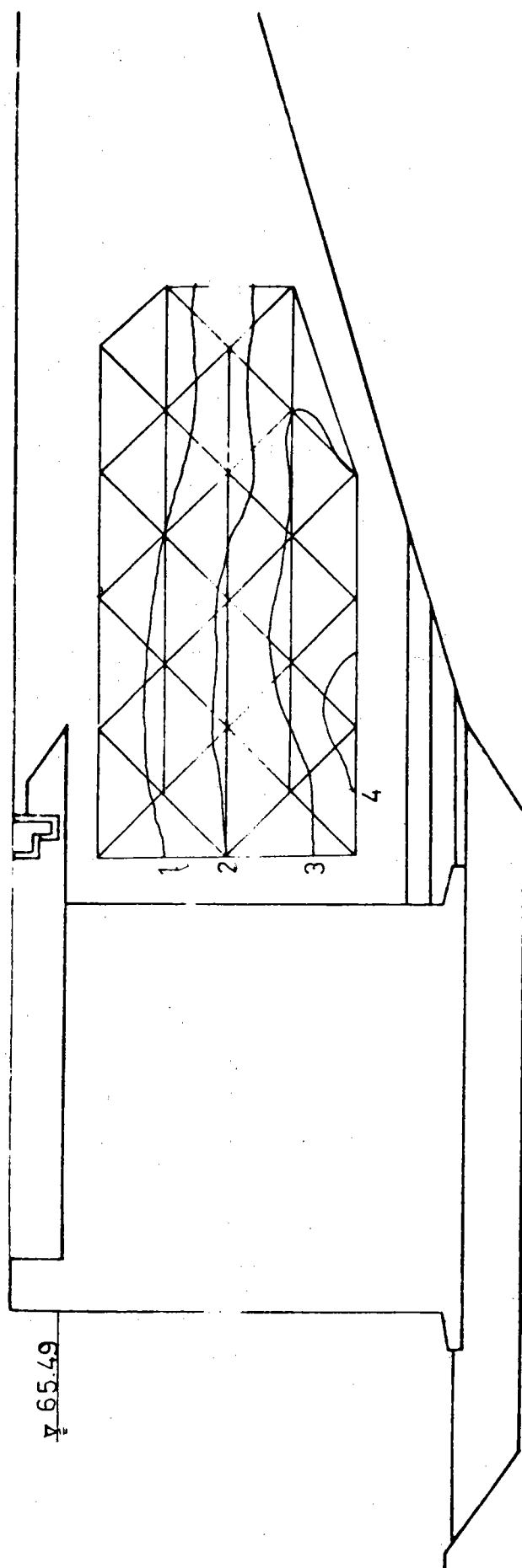


Fig. 7. 4-13 碼頭後線孔水壓分佈曲線

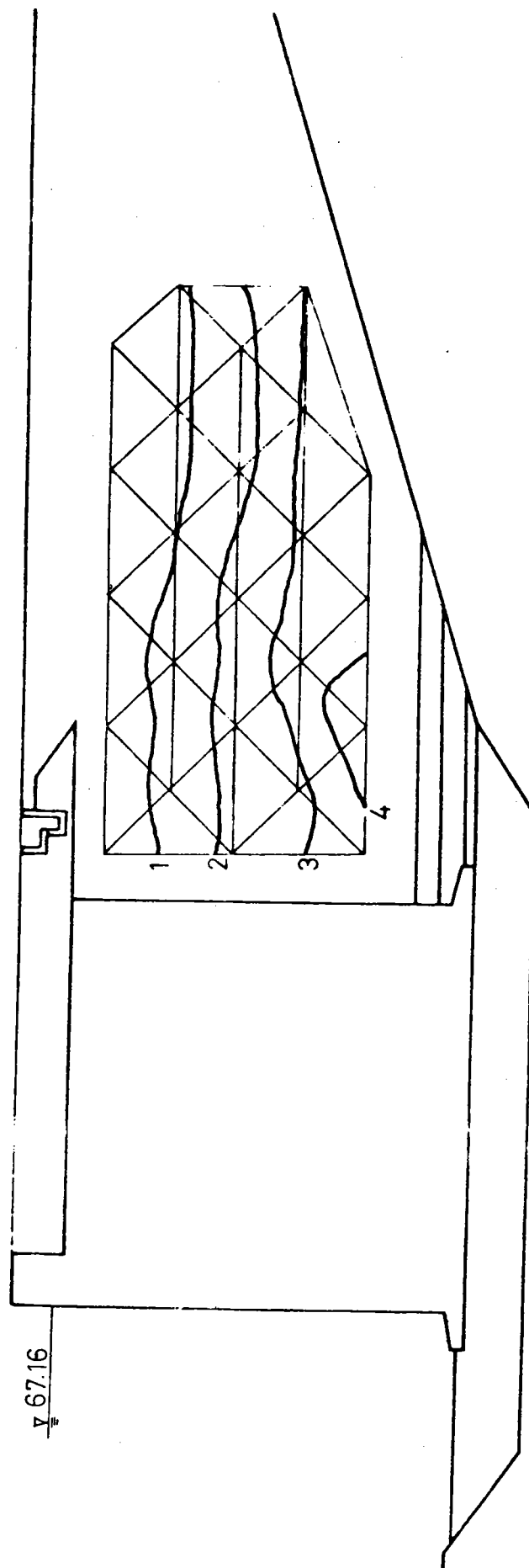


Fig. 7.4-14 碼頭後線孔水壓分佈曲線

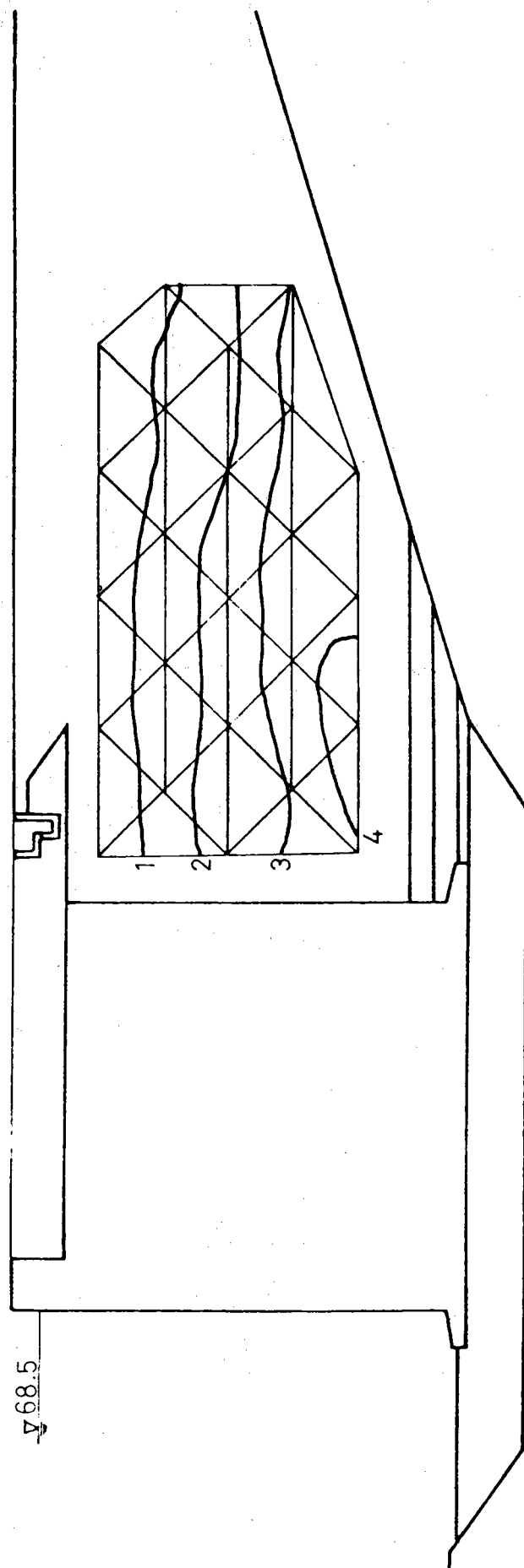


Fig. 7. 4-15 碼頭後線孔水壓分佈曲線

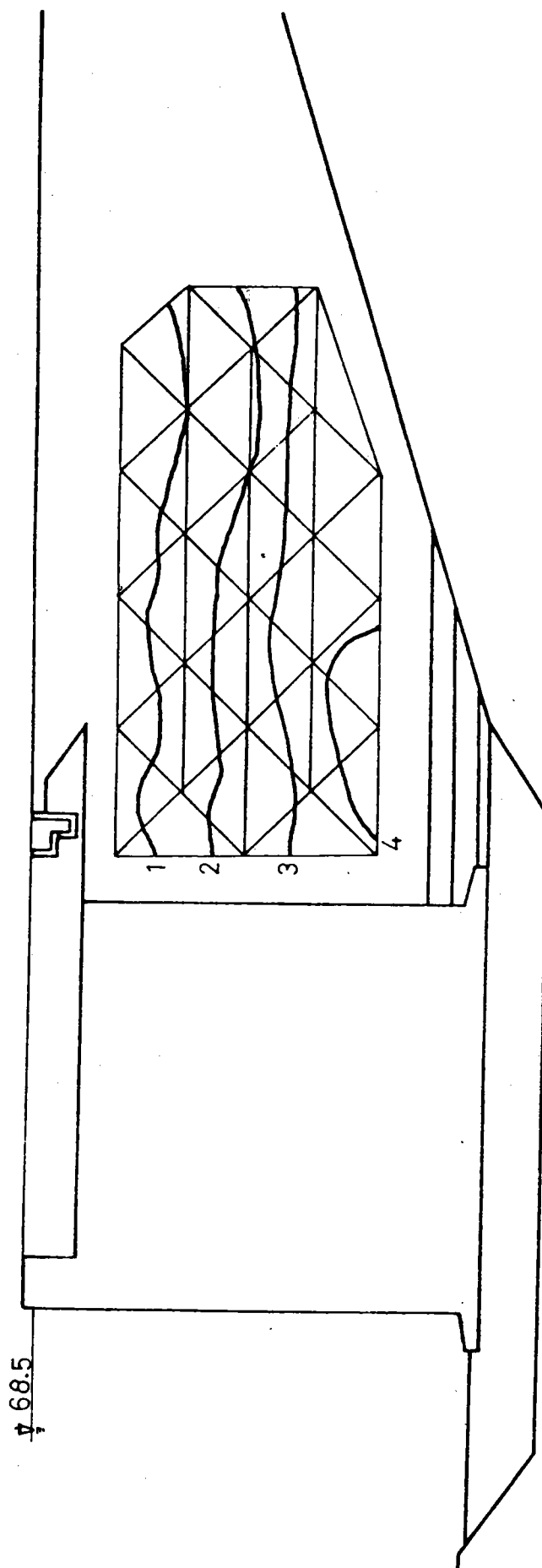


Fig. 7. 4-16 碼頭後線孔水壓分佈曲線

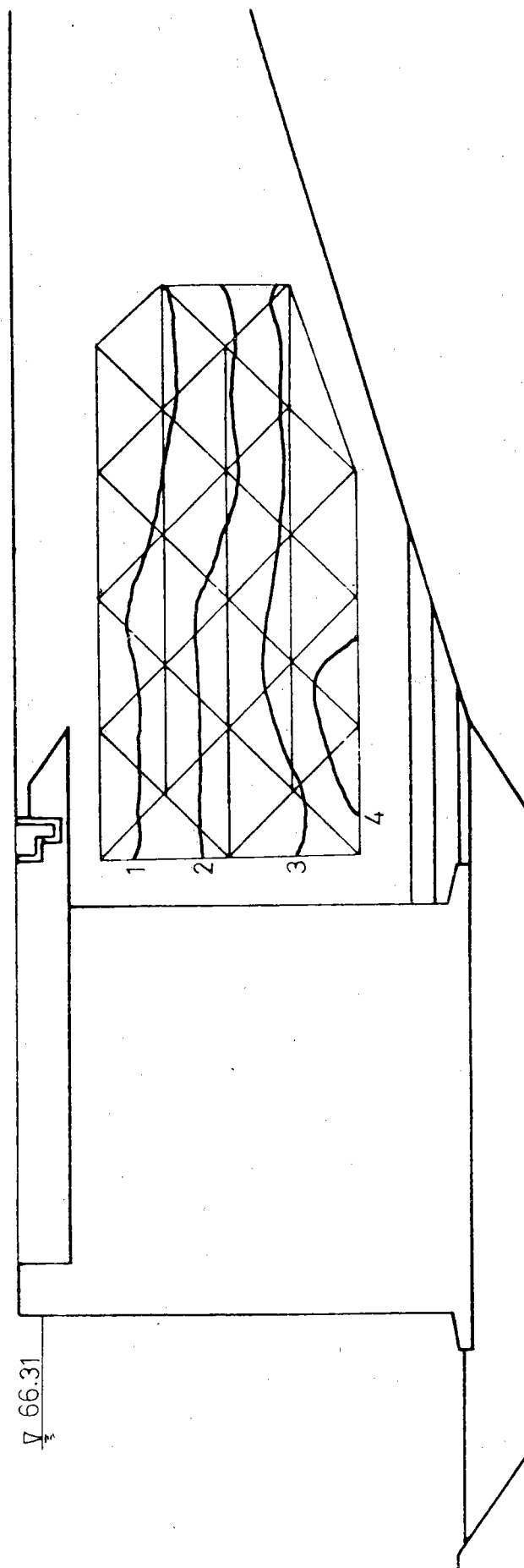


Fig. 7. 4-17 碼頭後線孔水壓分佈曲線

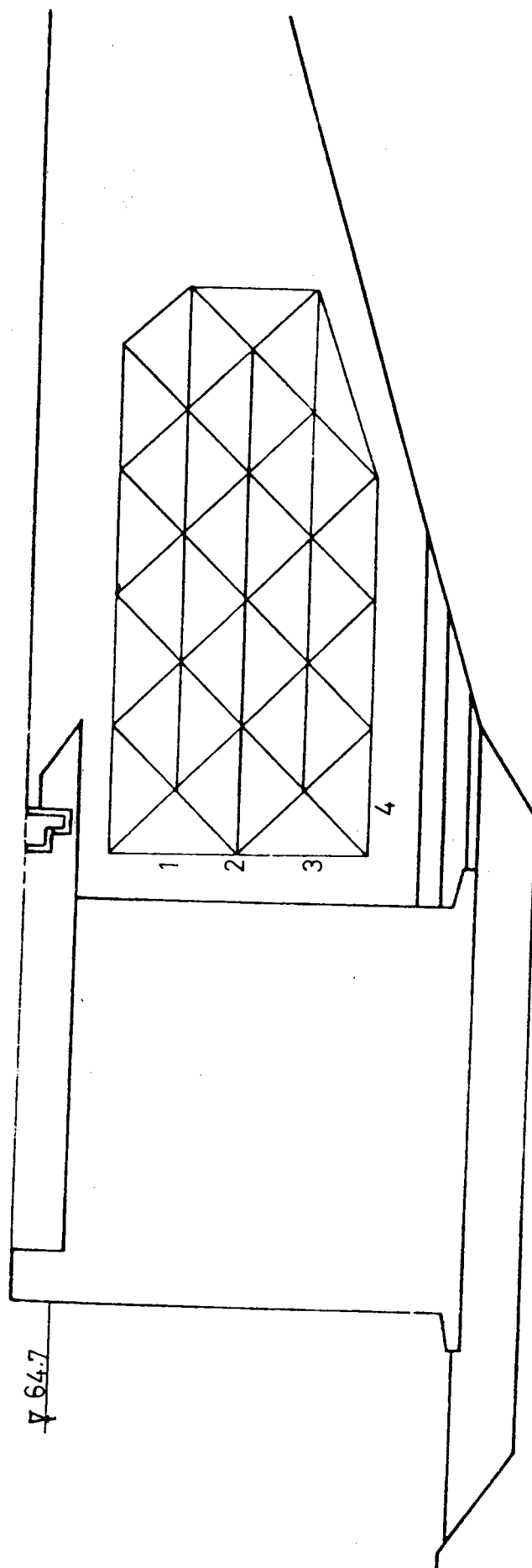


Fig. 7. 4-18 碼頭後線孔水壓分佈曲線

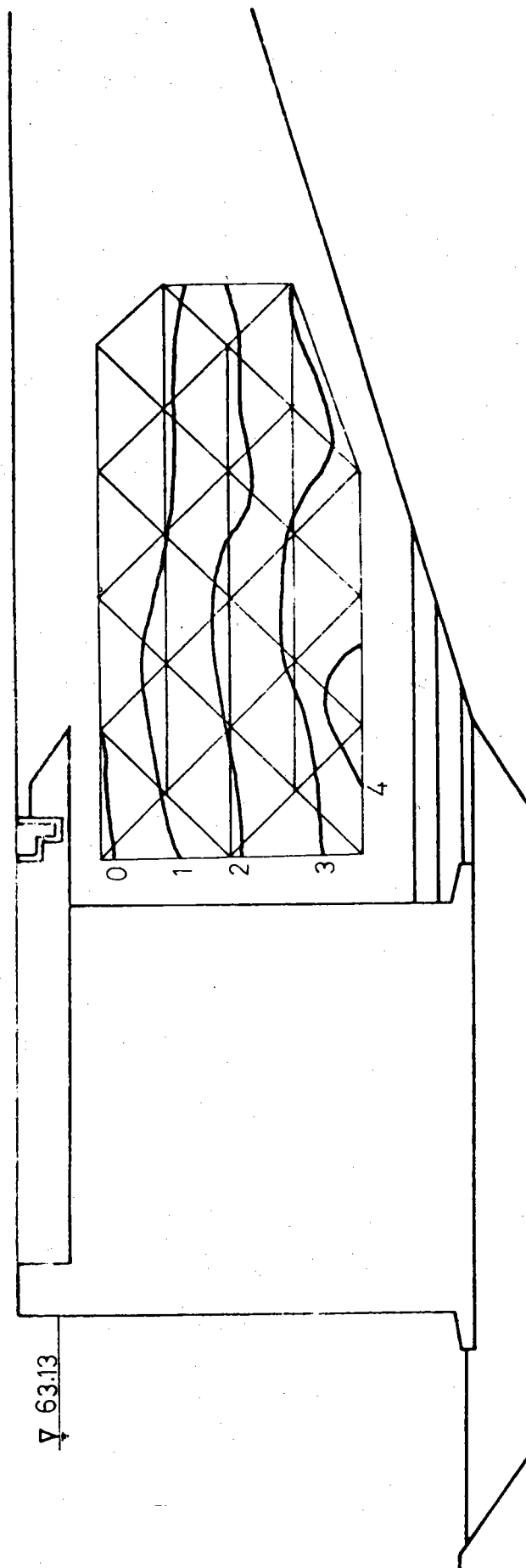


Fig. 7.4-19 碼頭後線孔水壓分佈曲線

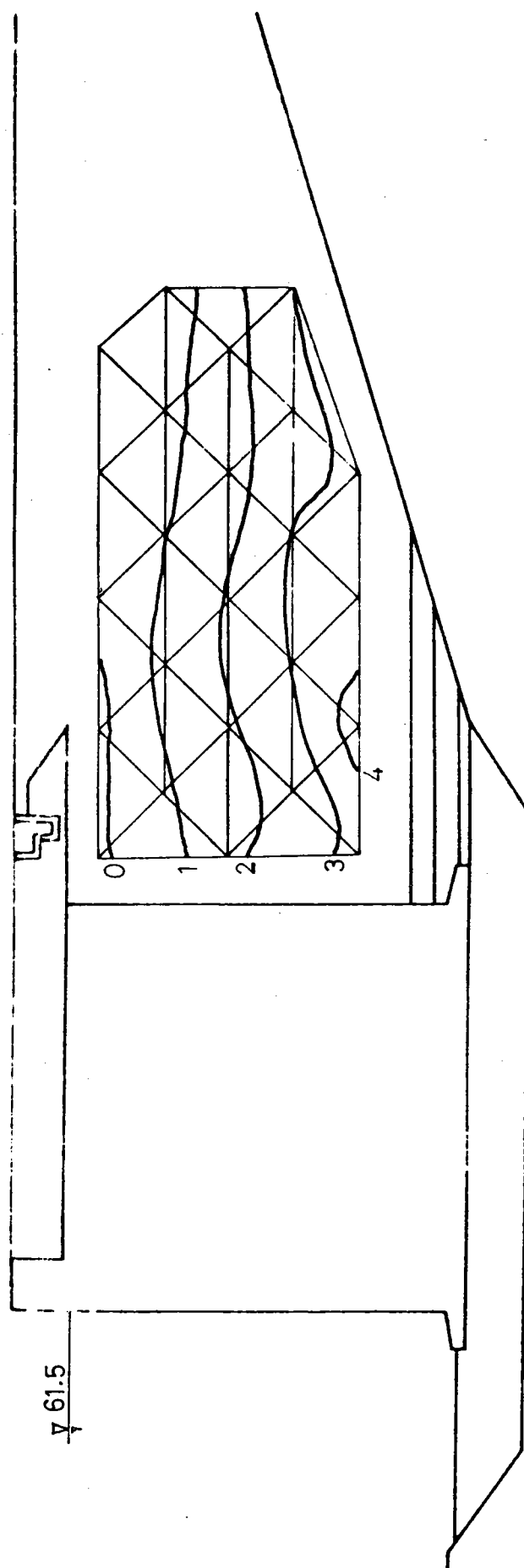


Fig. 7.4-20 碼頭後線孔水壓分佈曲線

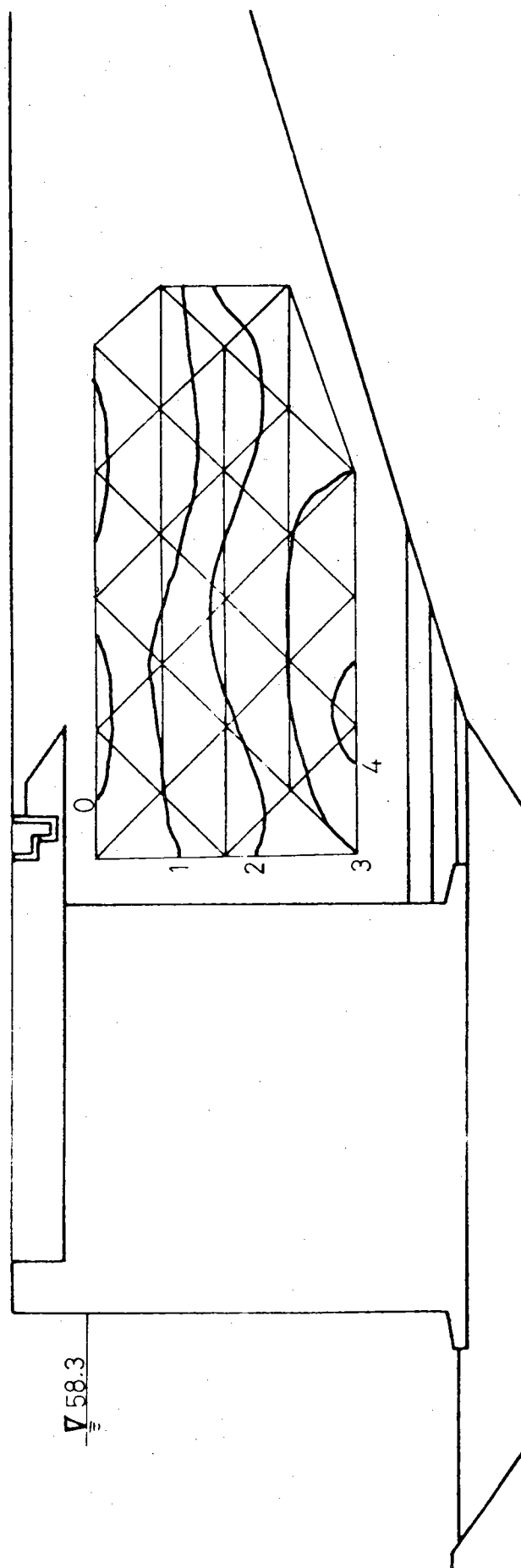


Fig. 7. 4-21 碼頭後線孔水壓分佈曲線

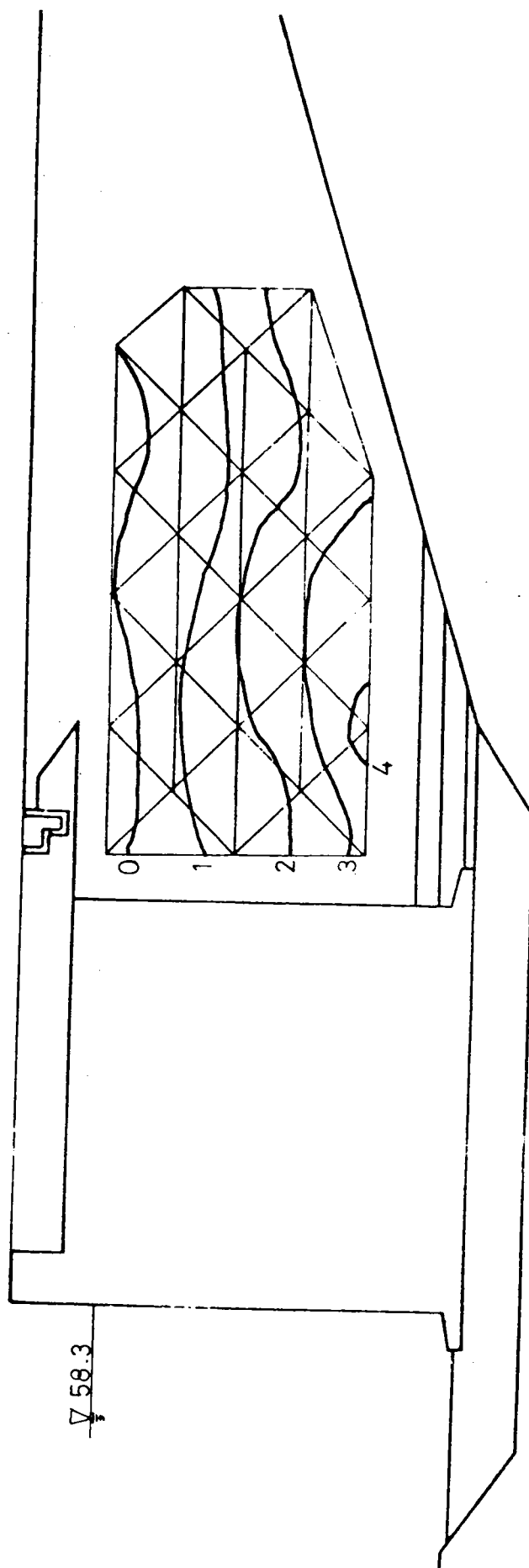


Fig. 7.4-22 碼頭後線孔水壓分佈曲線

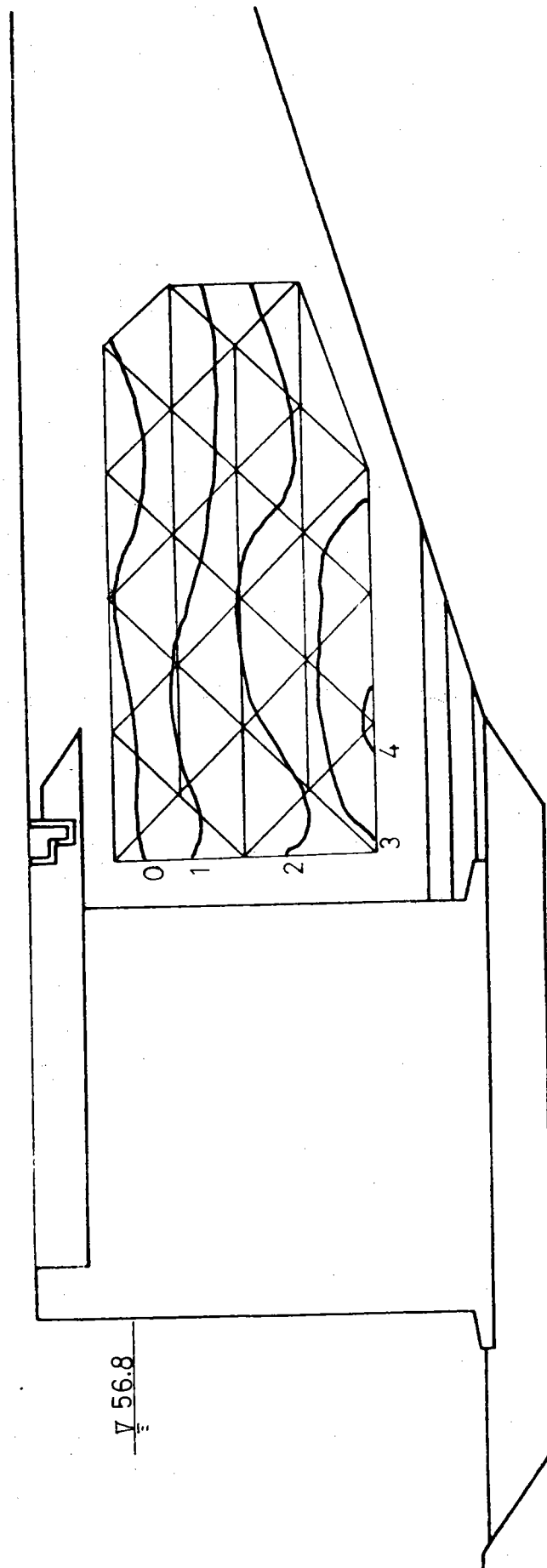


Fig. 7. 4-23 碼頭後線孔水壓分佈曲線

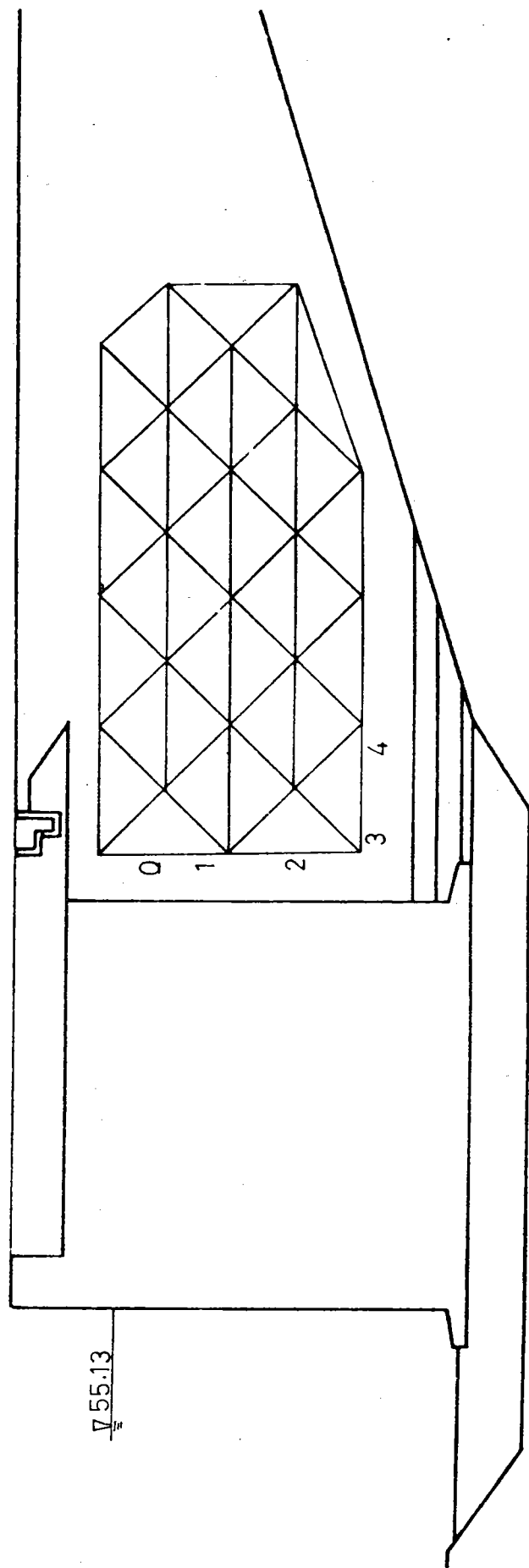


Fig. 7. 4-24 碼頭後線孔水壓分佈曲線

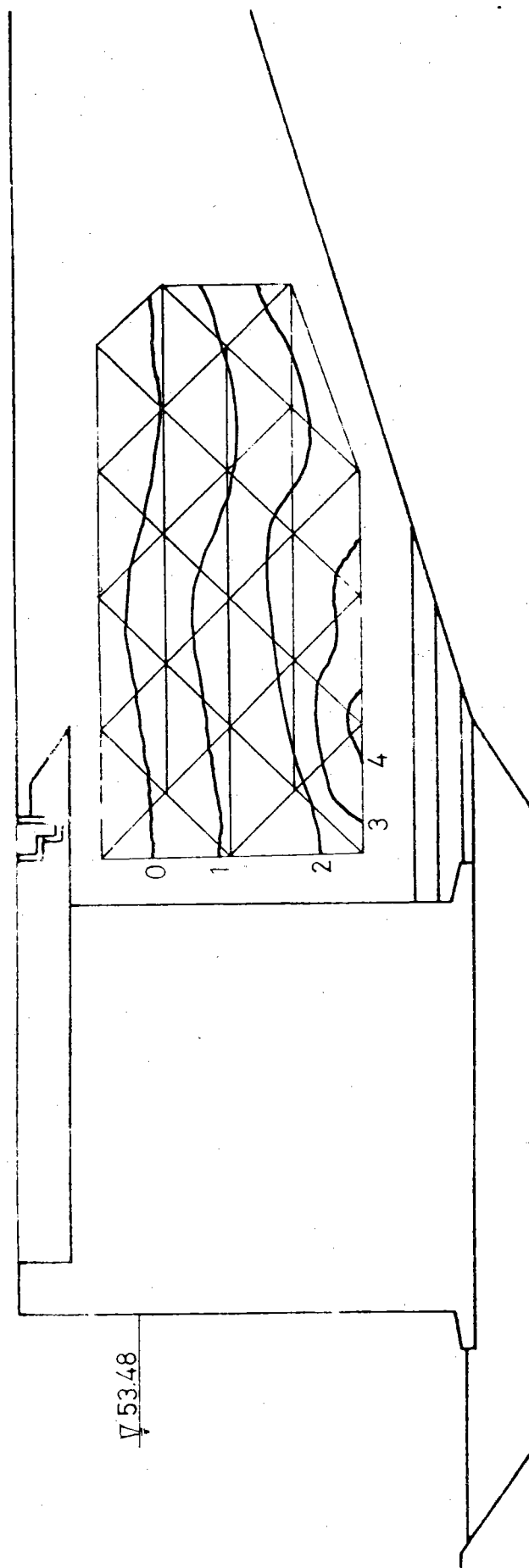


Fig. 7.4-25 碼頭後線孔水壓分布曲線

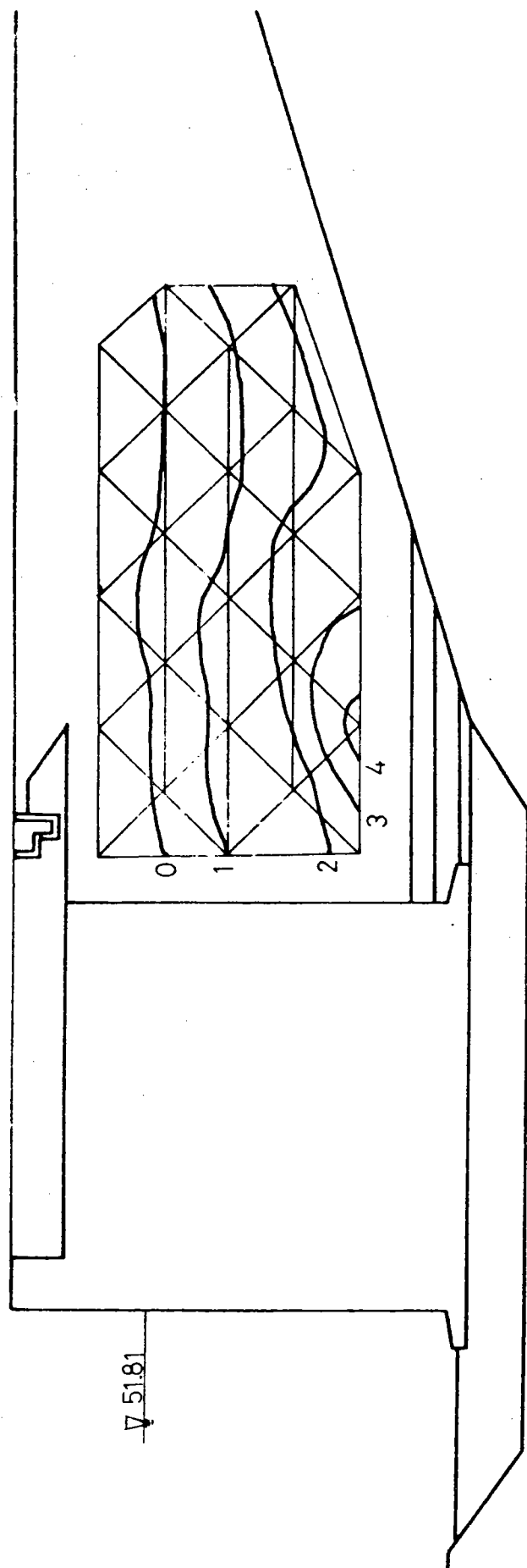


Fig. 7.4-26 碼頭後線孔水壓分佈曲線

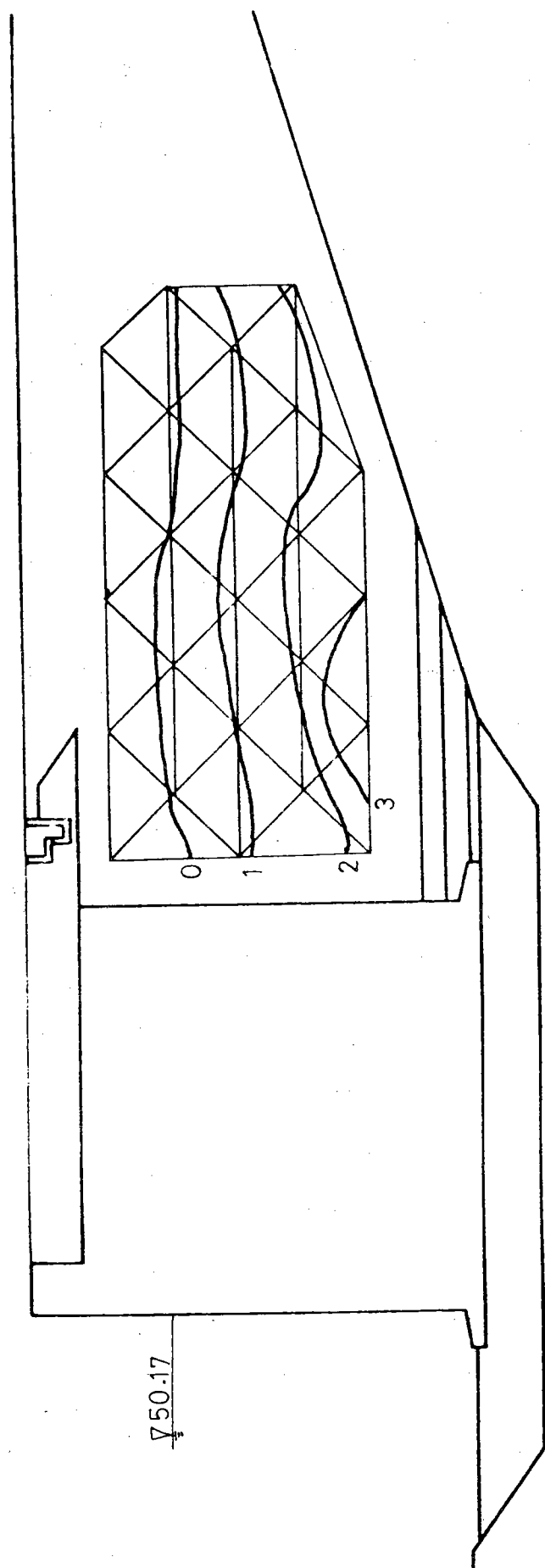


Fig. 7.4-27 碼頭後線孔水壓分佈曲線

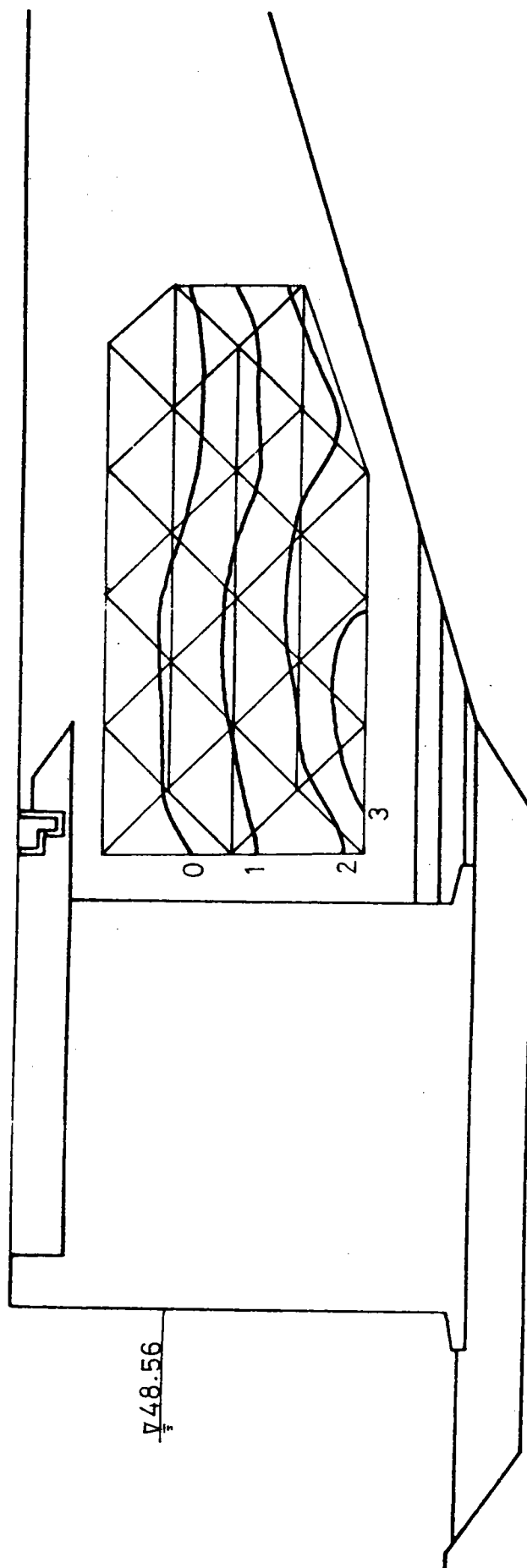


Fig. 7. 4-28 碼頭後線孔水壓分佈曲線

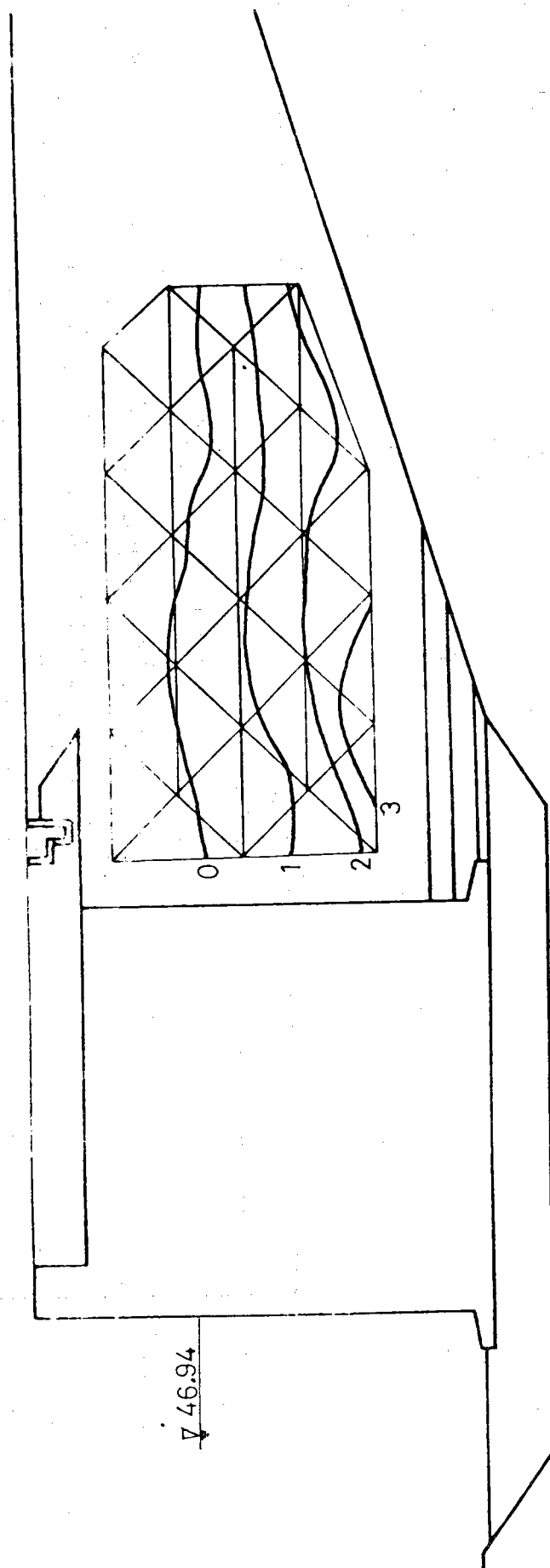


Fig. 7. 5-1 碼頭後線孔水壓分佈曲線

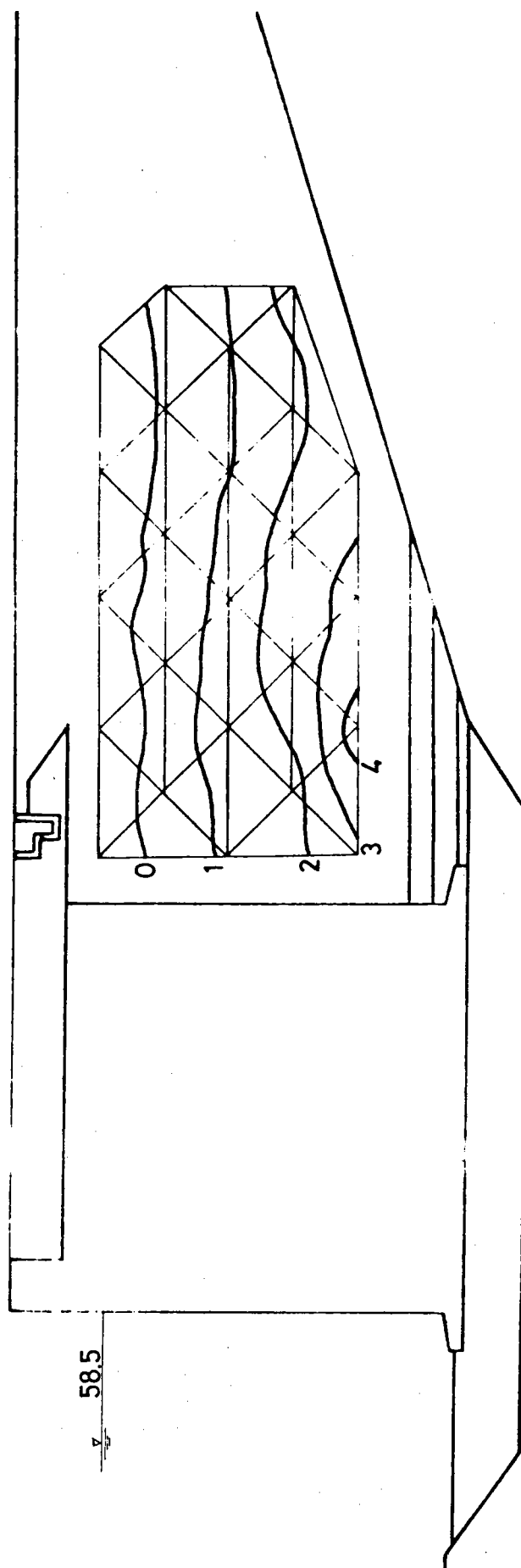


Fig. 7.5-2 碼頭後線孔水壓分佈曲線

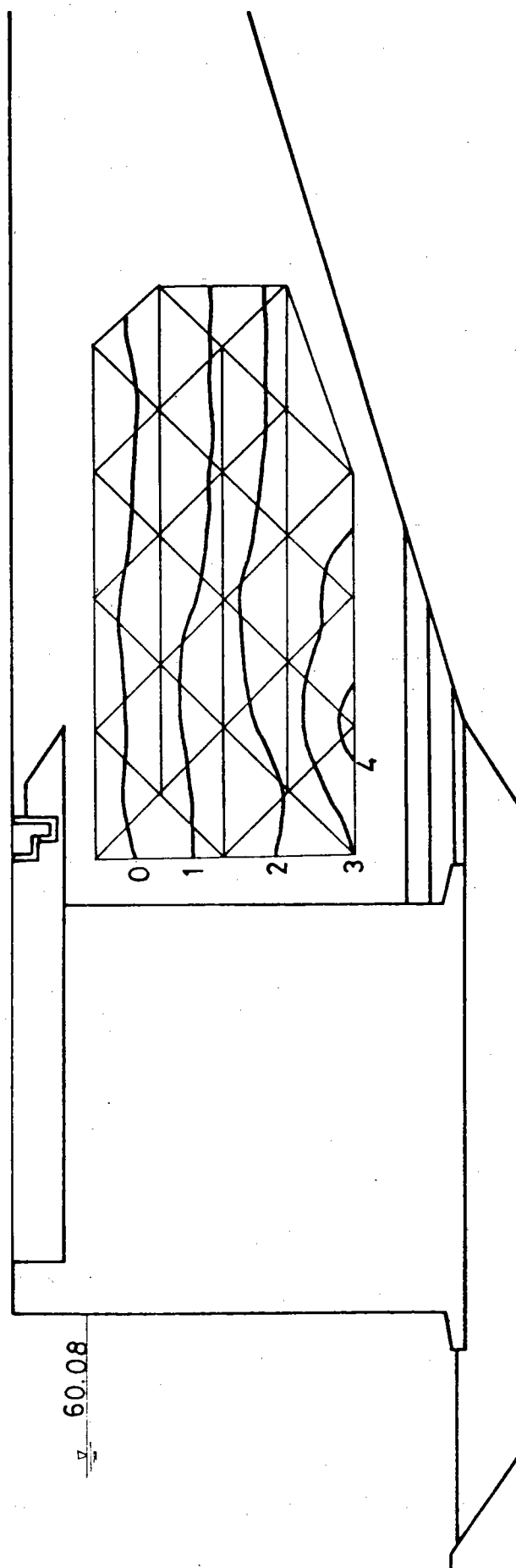


Fig. 7. 5-11 碼頭後線孔水壓分佈曲線

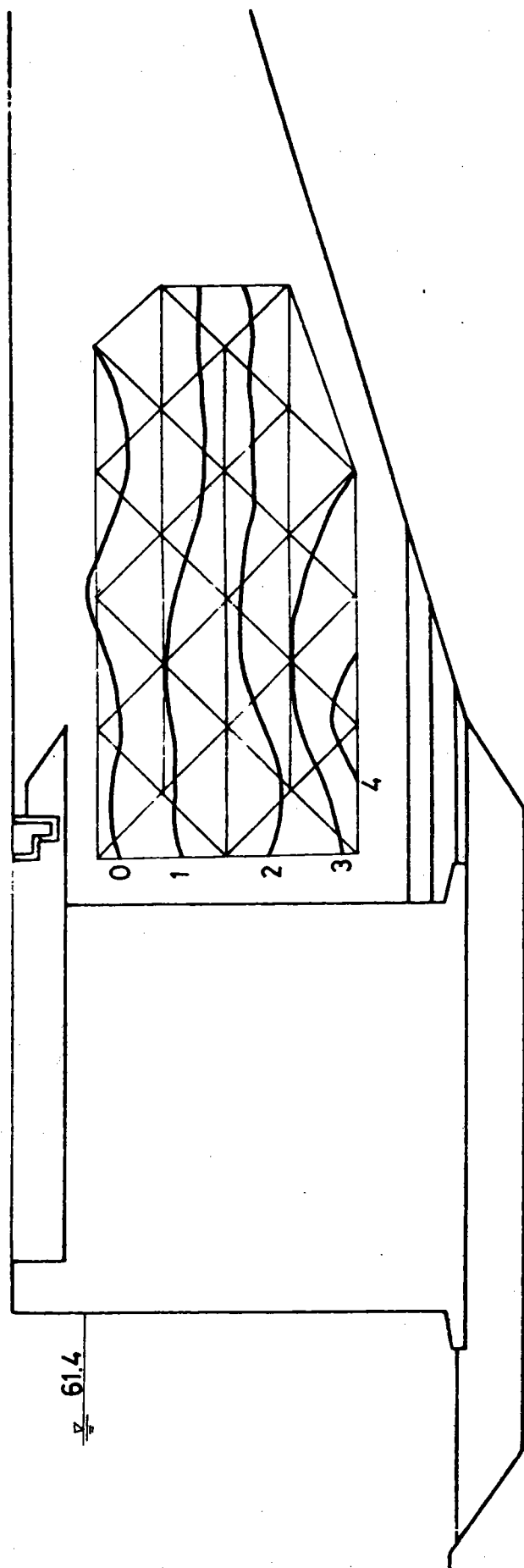


Fig. 7.5-4 碼頭後線孔水壓分佈曲線

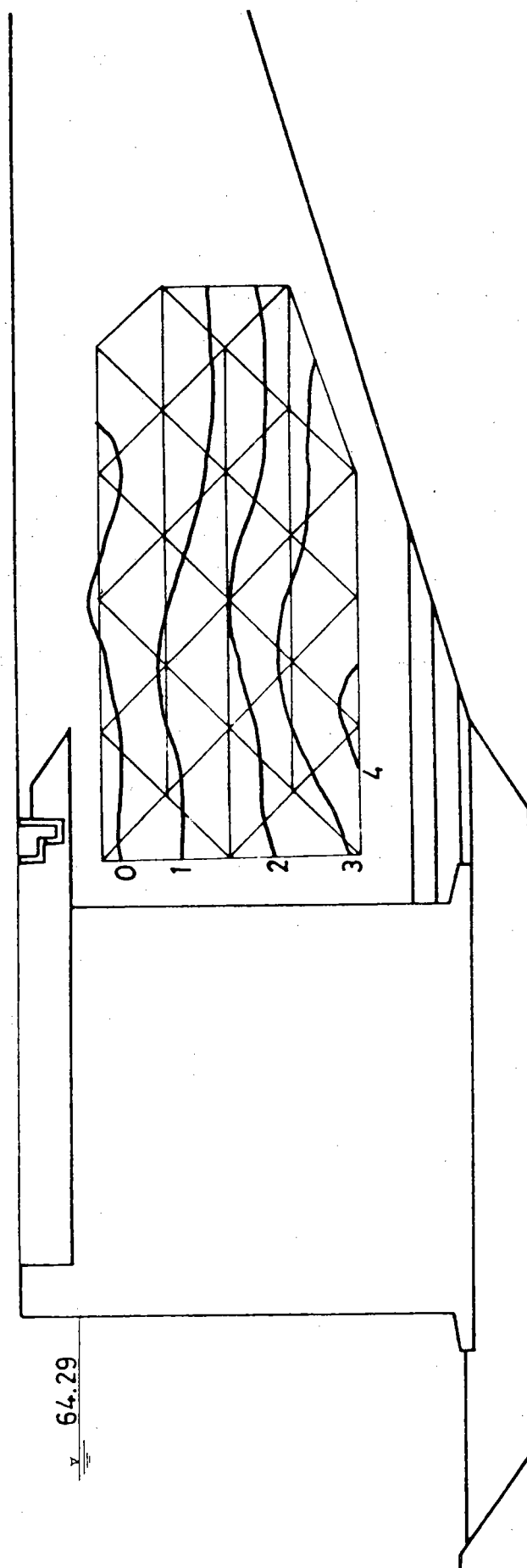


Fig. 7. 5-5 碼頭後線孔水壓分佈曲線

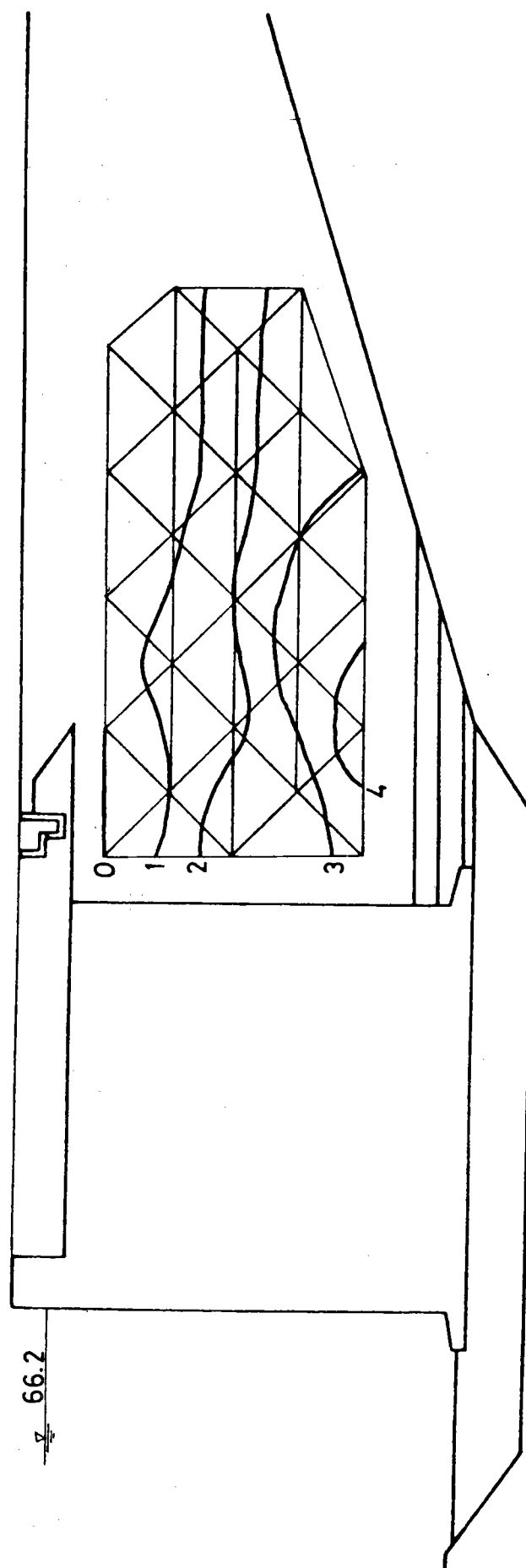


Fig. 7. 5-6 碼頭後線孔水壓分佈曲線

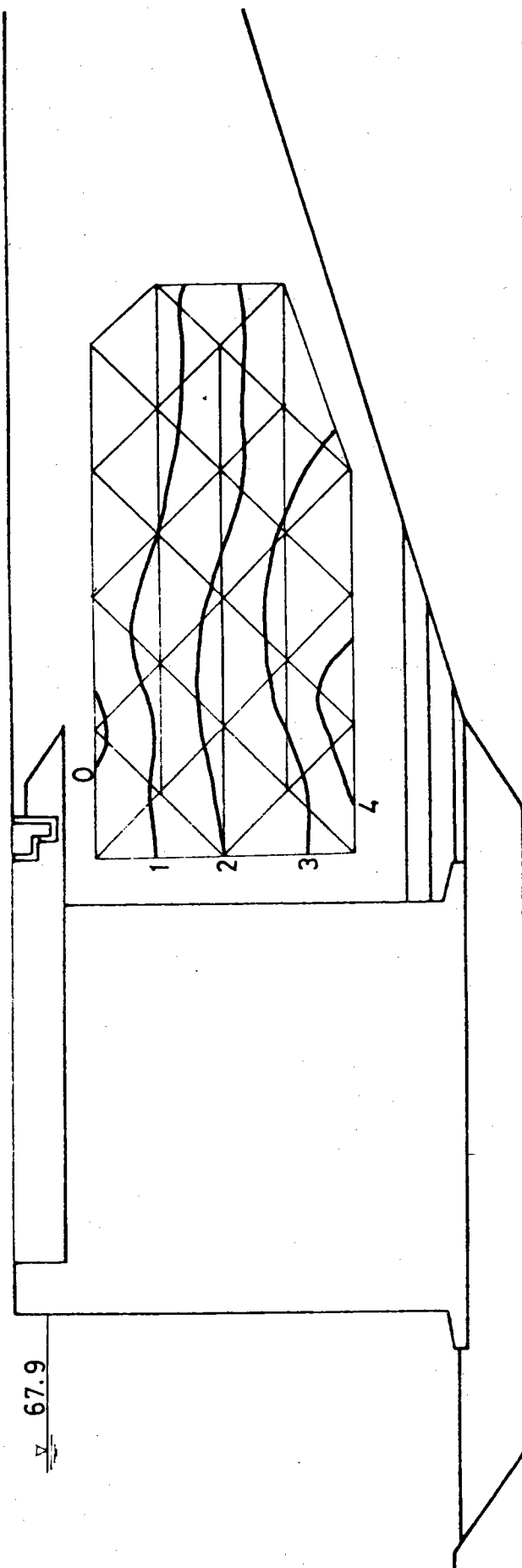


Fig. 7. 5-7 碼頭後線孔水壓分佈曲線

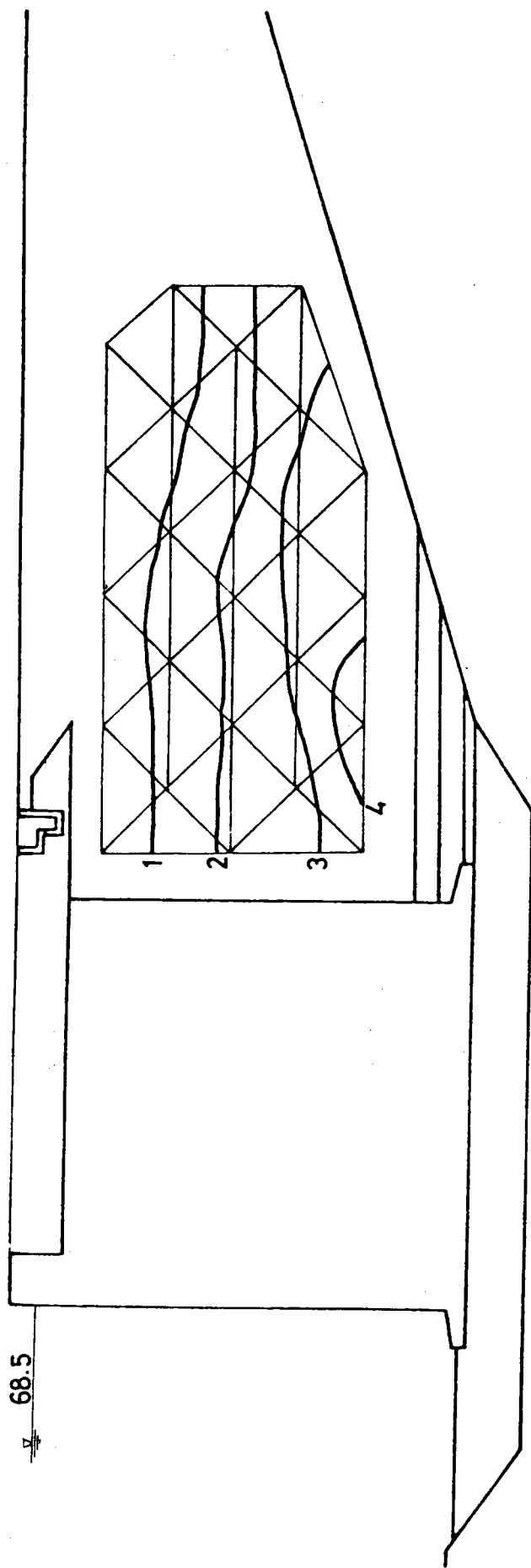


Fig. 7.5-8 碼頭後線孔水壓分佈曲線

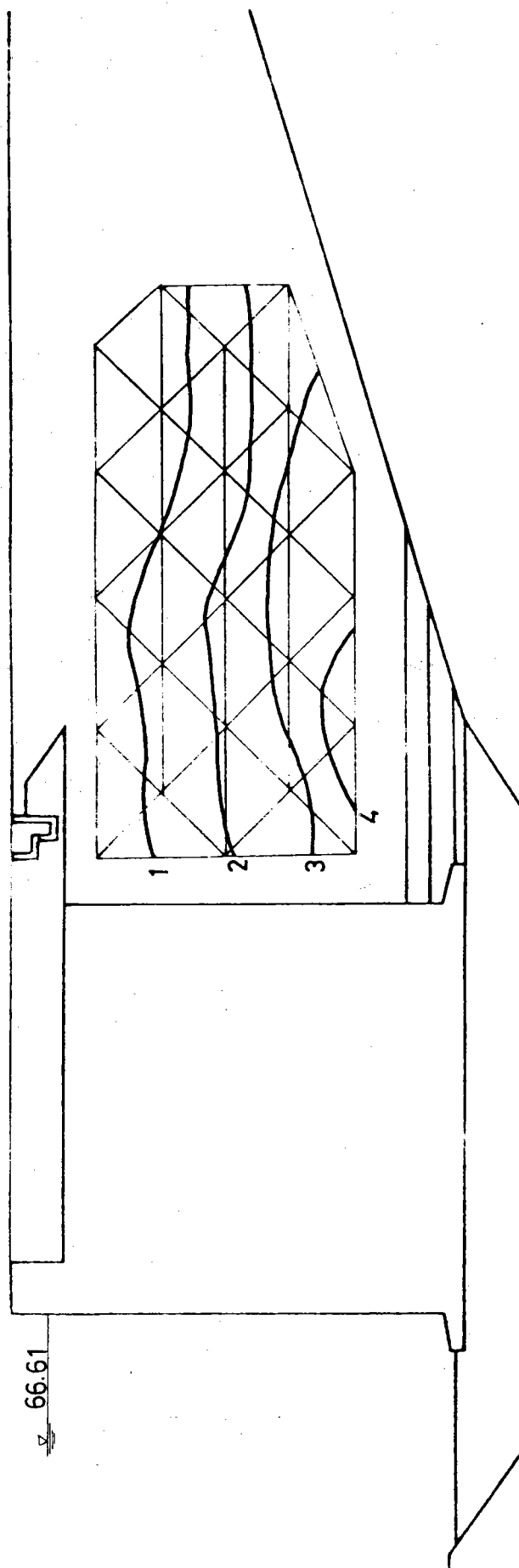


Fig. 7. 5-9 碼頭後線孔水壓分佈曲線

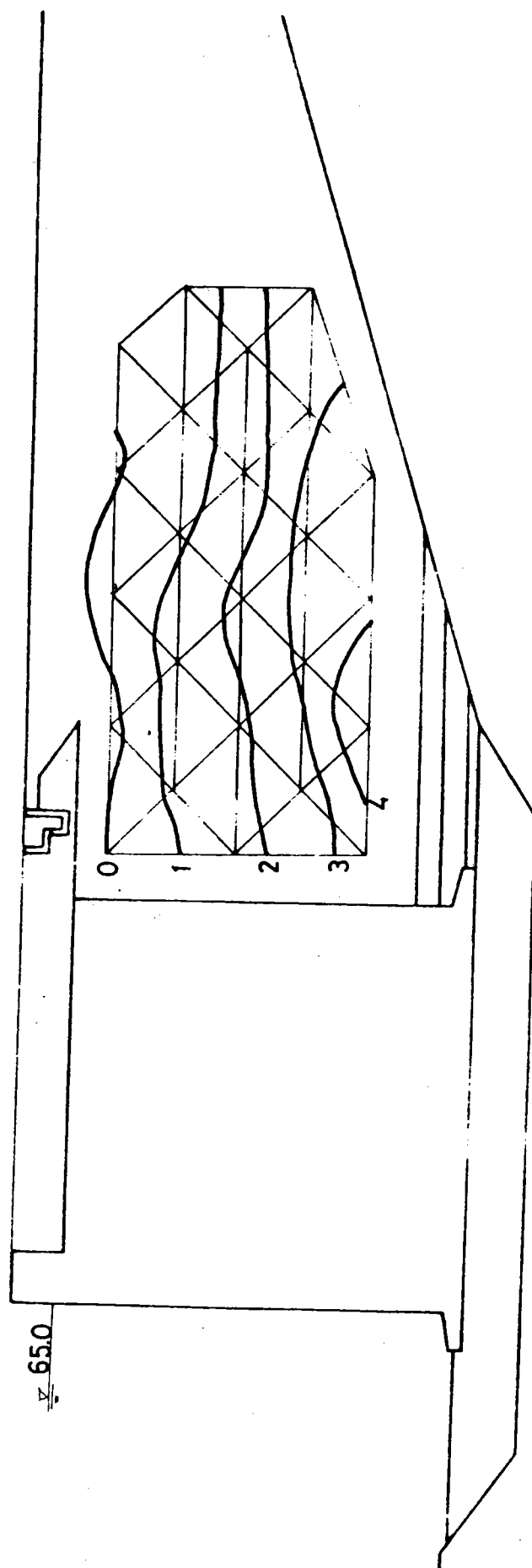


Fig. 7. 5-10 碼頭後線孔水壓分佈曲線

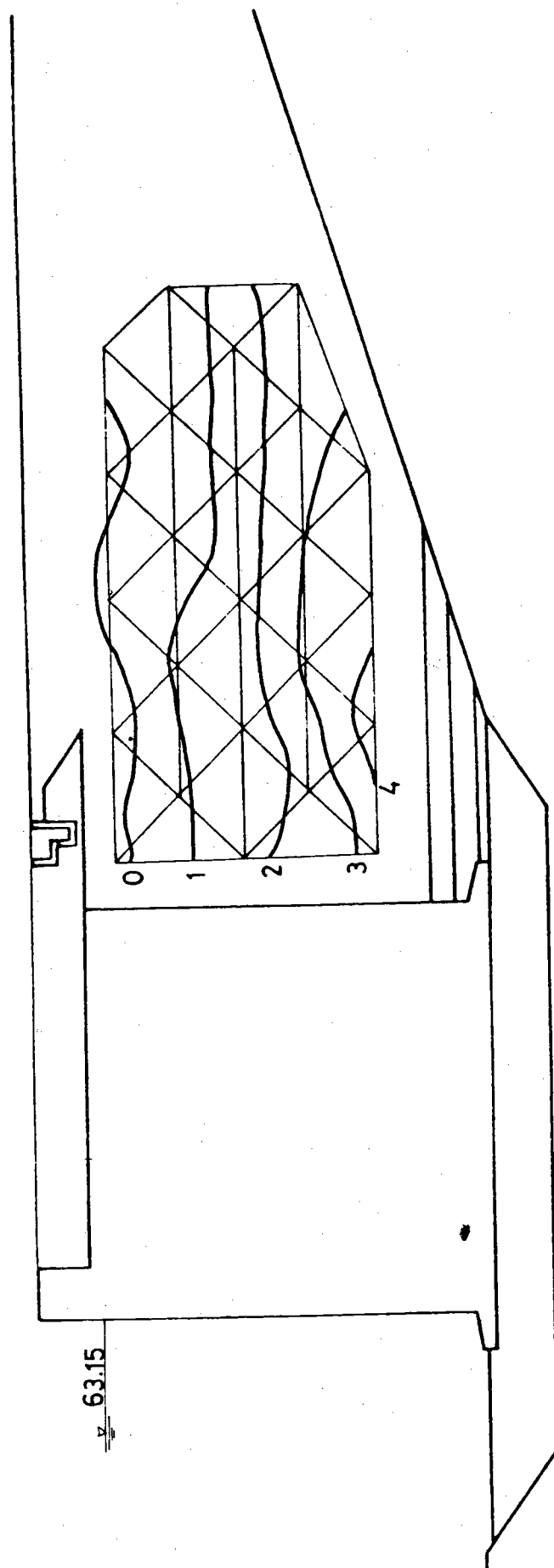


Fig. 7. 5-11 碼頭後線孔水壓分佈曲線

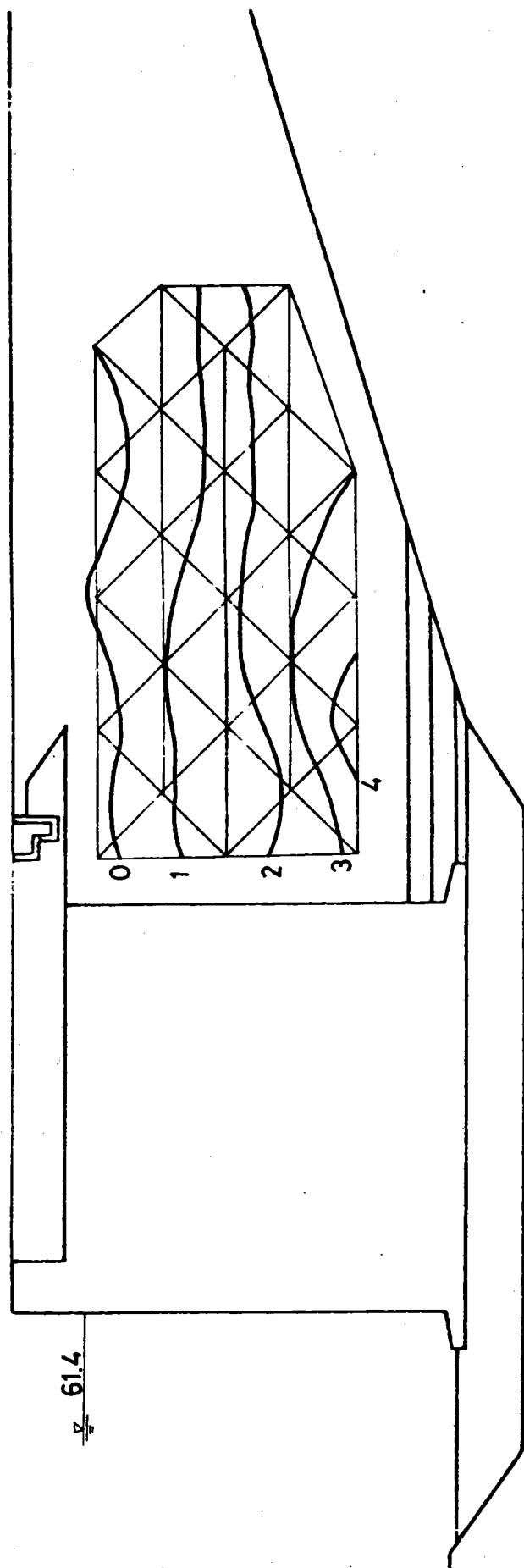


Fig. 7. 5-12 碼頭後線孔水壓分佈曲線

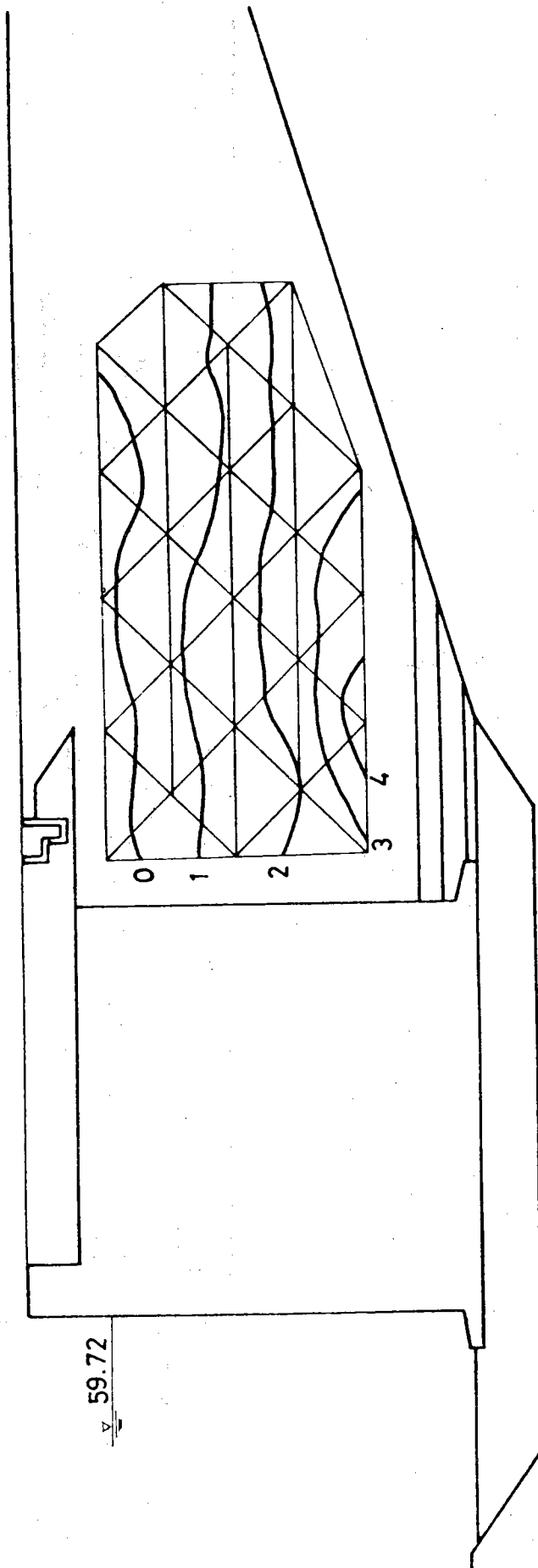


Fig. 7. 5-13 碼頭後線孔水壓分佈曲線

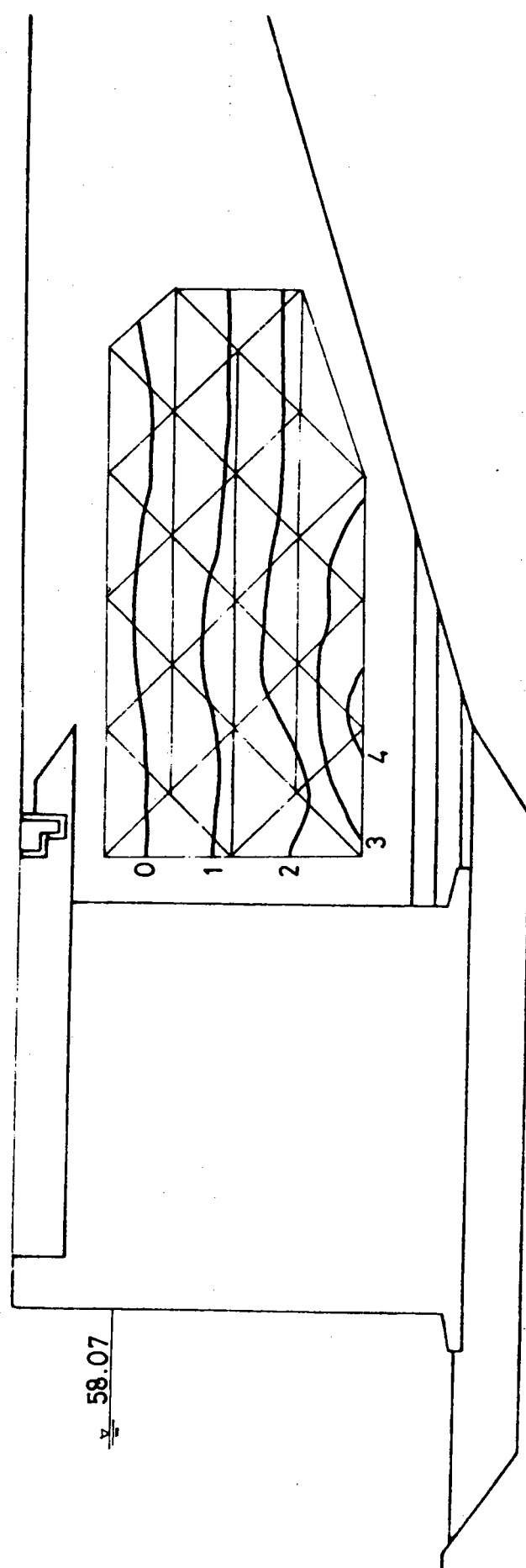


Fig. 7. 5-14 碼頭後線孔水壓分佈曲線

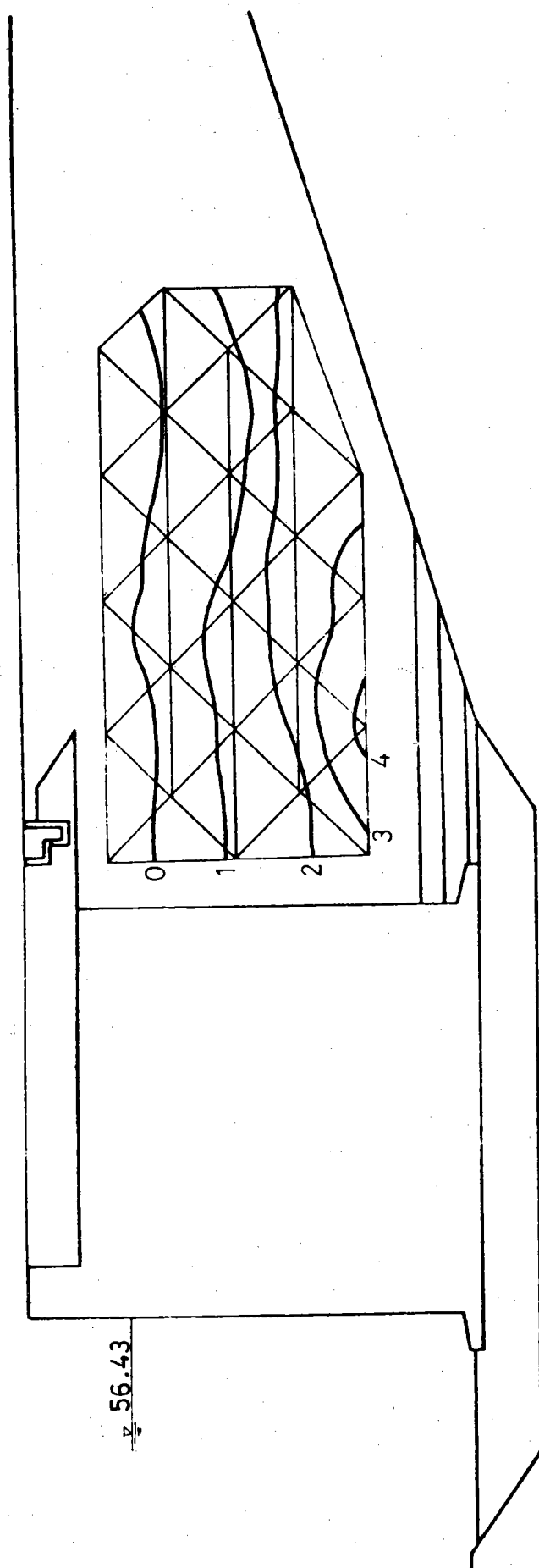


Fig. 7. 5-15 碼頭後線孔水壓分佈曲線

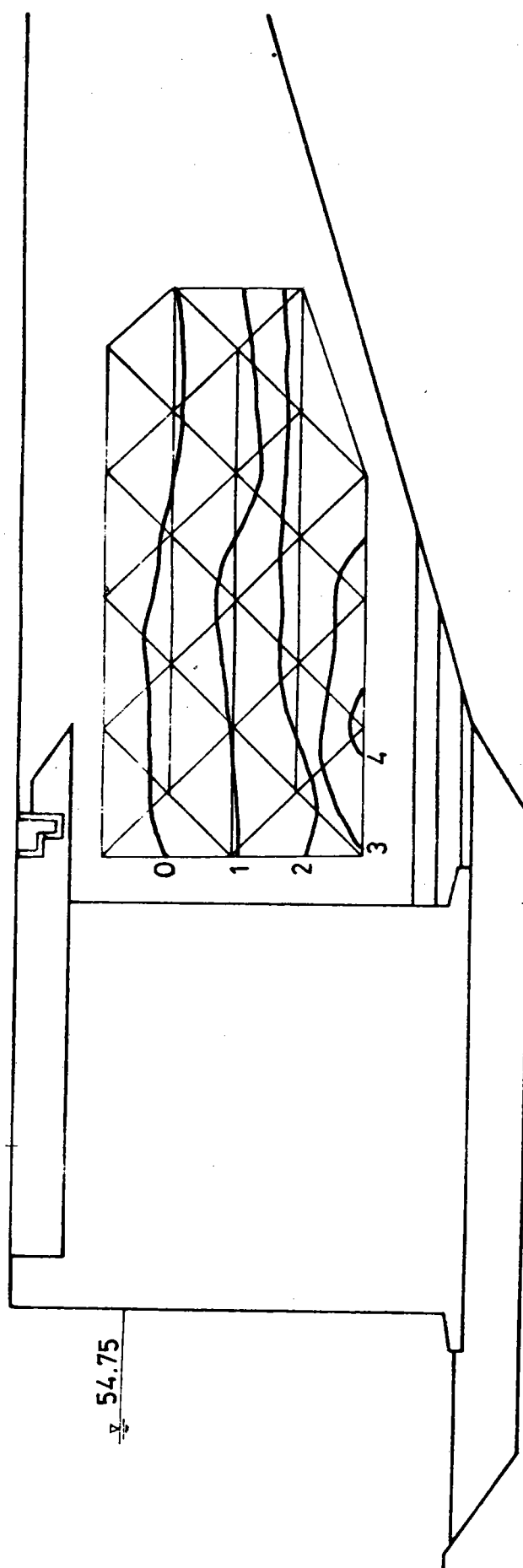


Fig. 7. 6-1 碼頭後線孔水壓分佈曲線

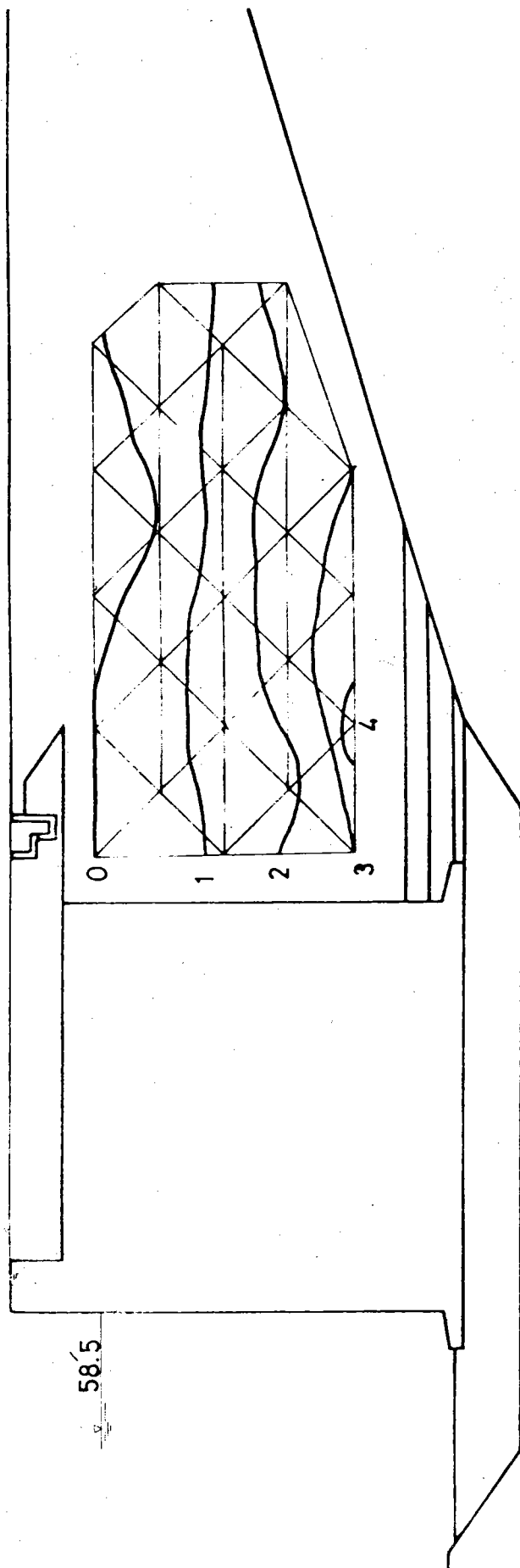


Fig. 7. 6-2 碼頭後線孔水壓分佈曲線

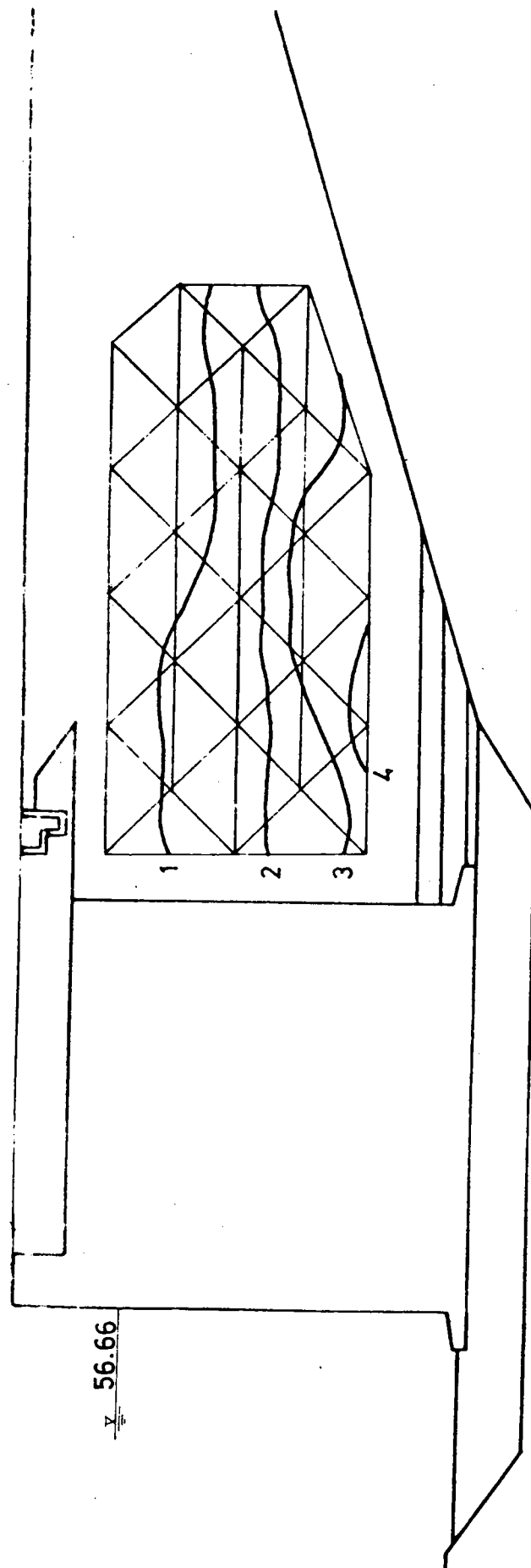


Fig. 7. 6—3 碼頭後線孔水壓分佈曲線

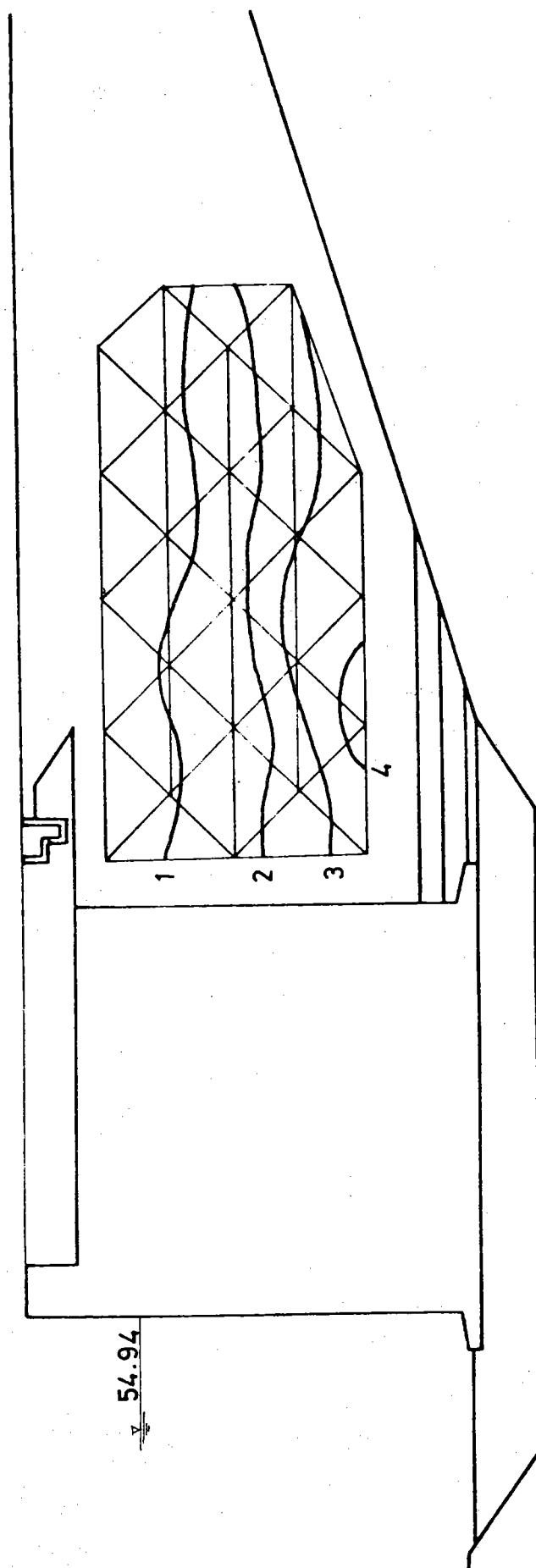


Fig. 7. 6-4 碼頭後線孔水壓分佈曲線

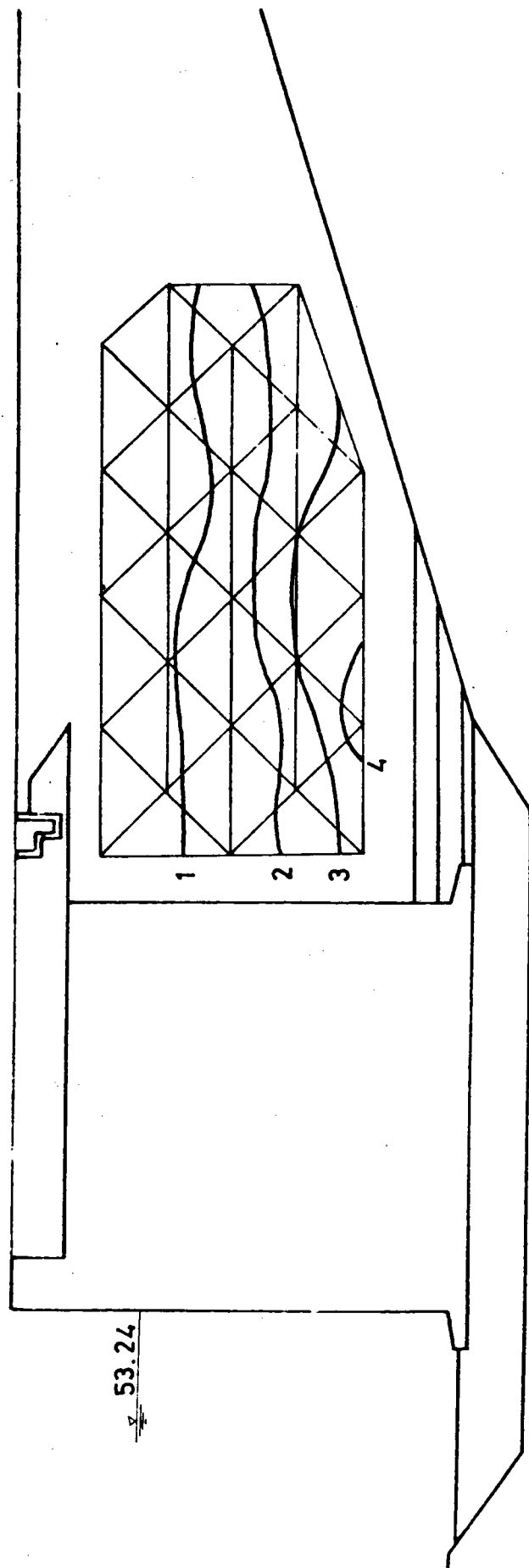


Fig. 7. 6—5 碼頭後線孔水壓分佈曲線

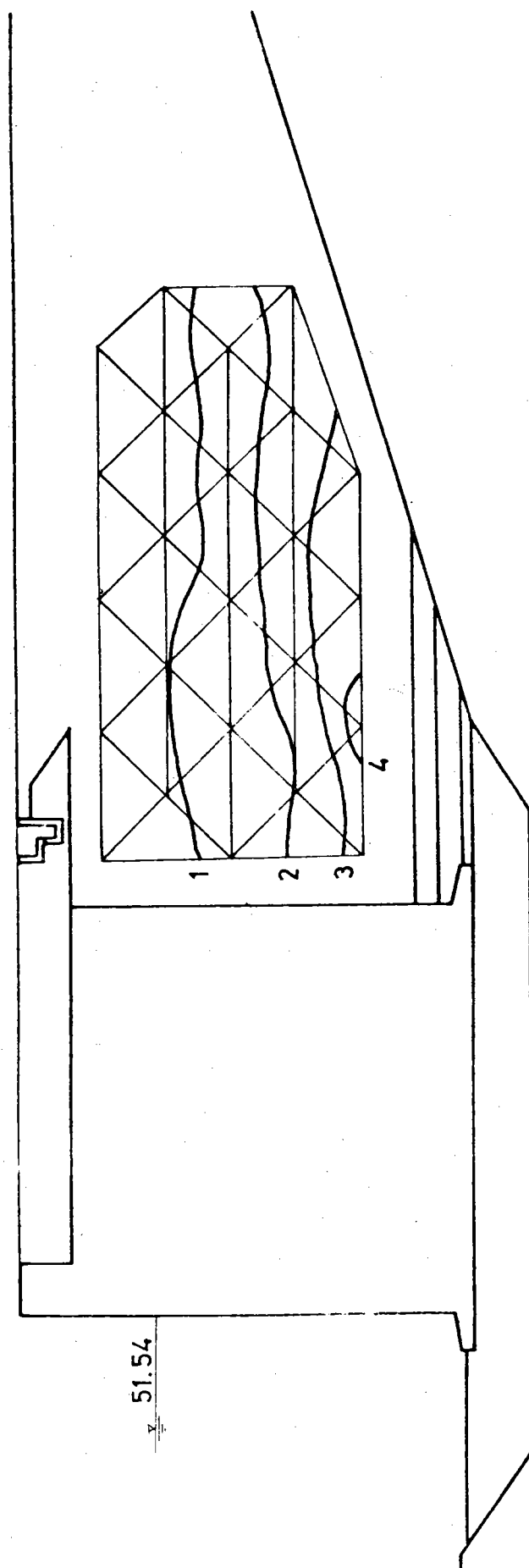


Fig. 7. 6-6 碼頭後線孔水壓分佈曲線

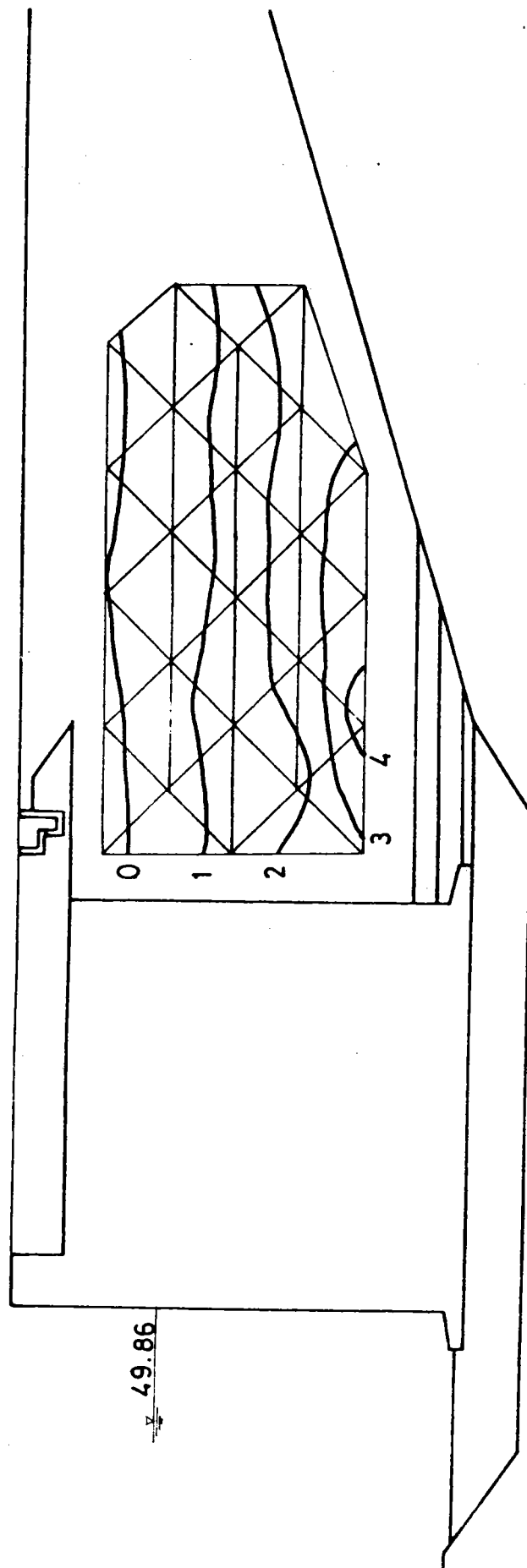


Fig. 7. 6-7 碼頭後線孔水壓分佈曲線

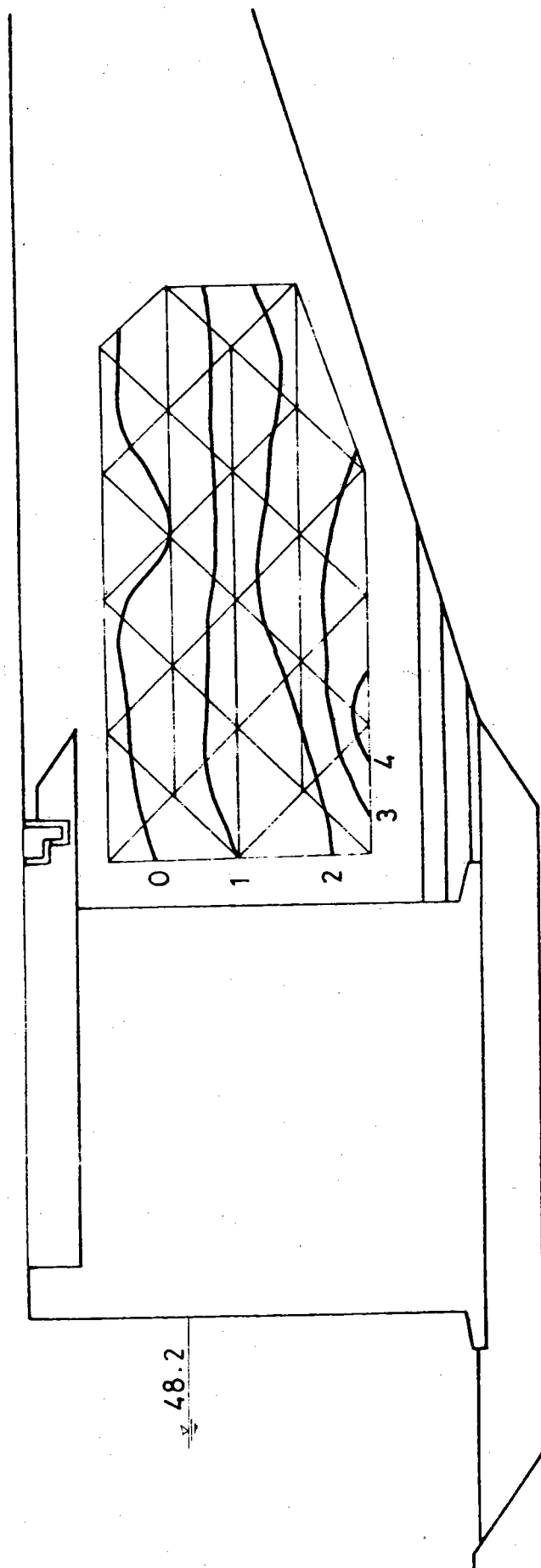


Fig. 7.6-8 碼頭後線孔水壓分佈曲線

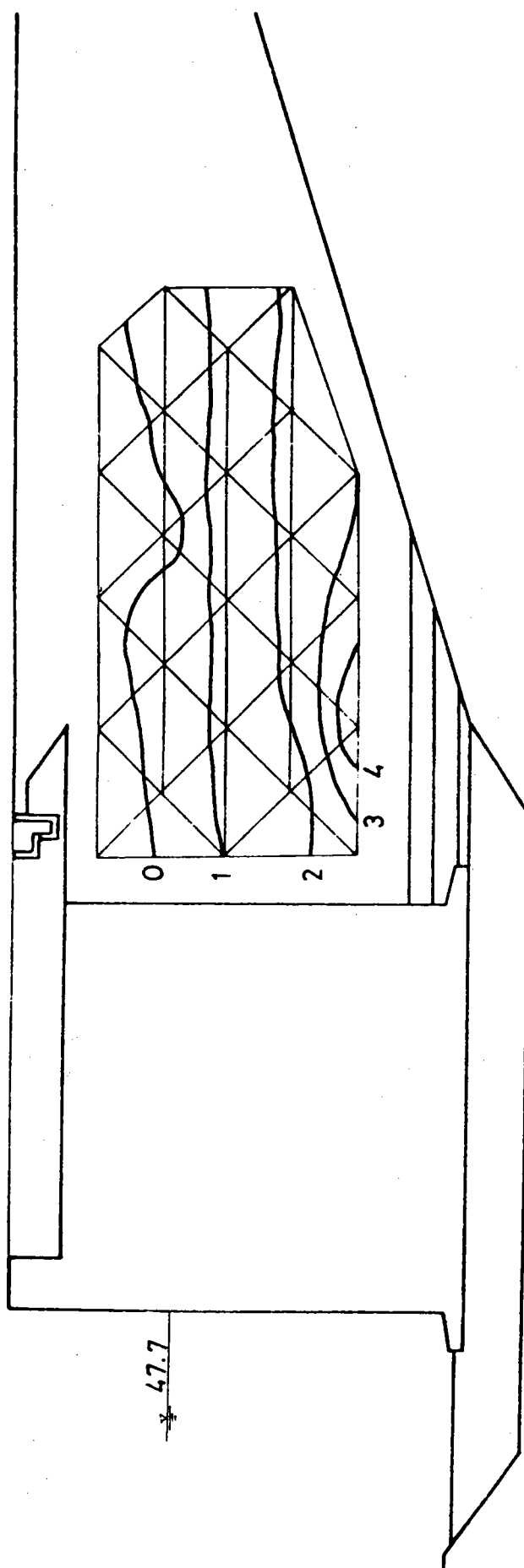


Fig. 7. 6--9 碼頭後線孔水壓分佈曲線

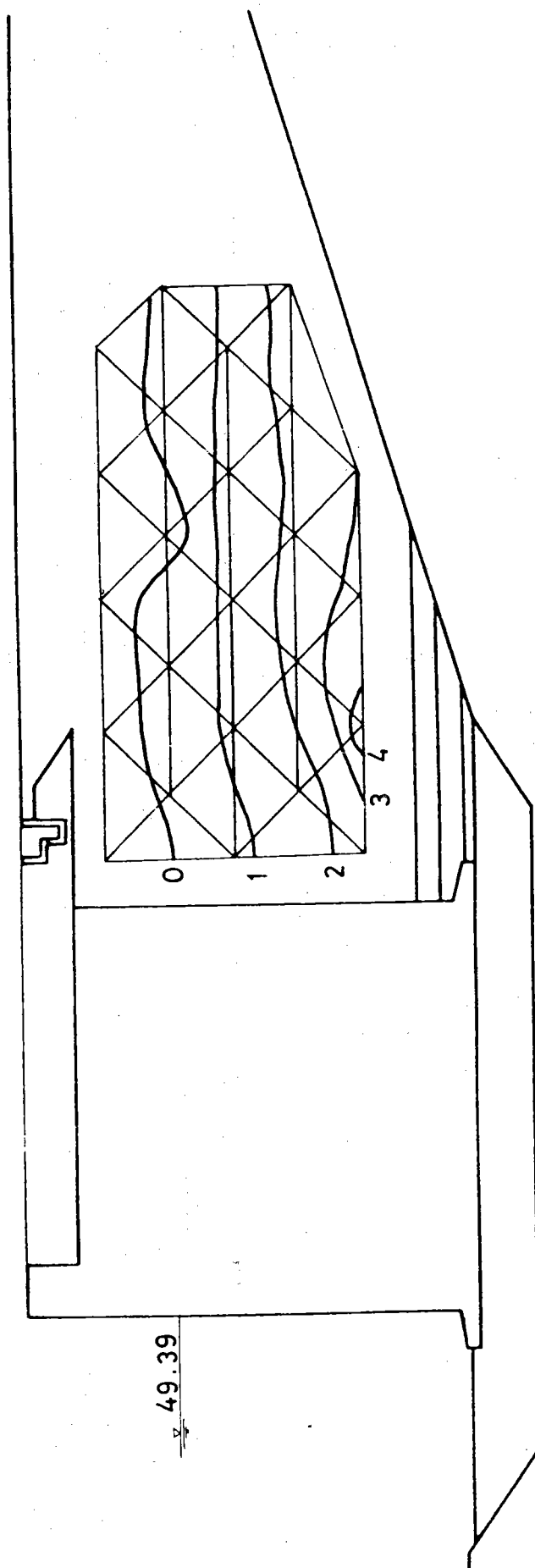


Fig. 7. 6-10 碼頭後線孔水壓分佈曲線

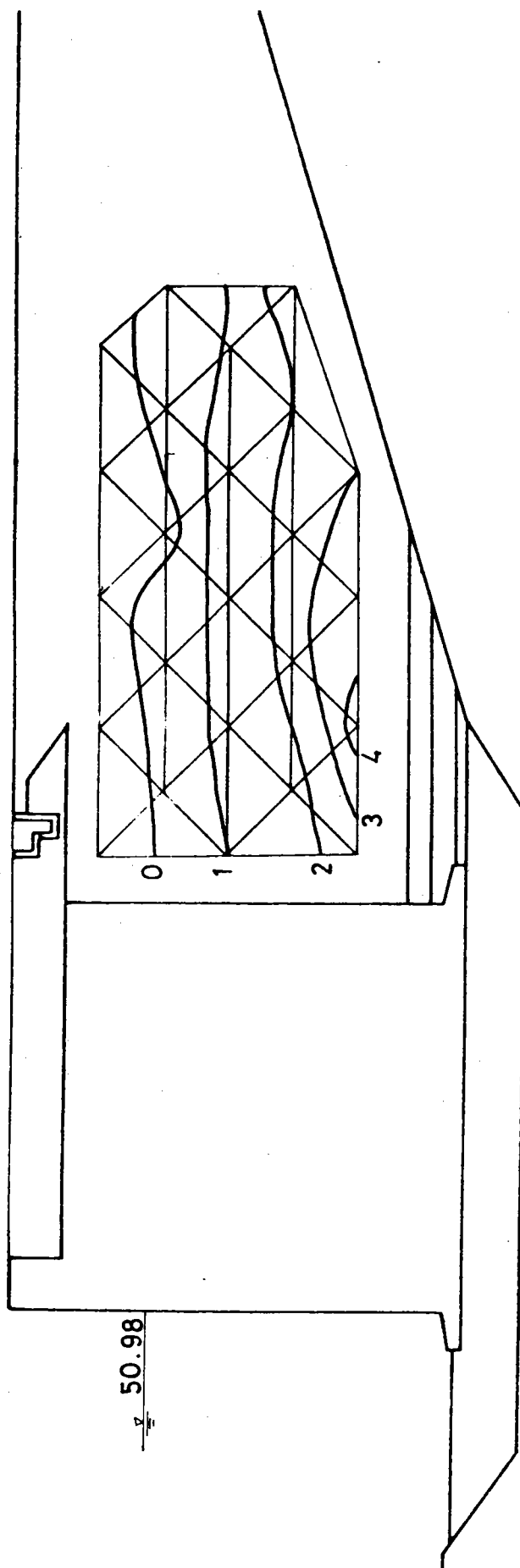


Fig. 7.6-11 碼頭後線孔水壓分佈曲線

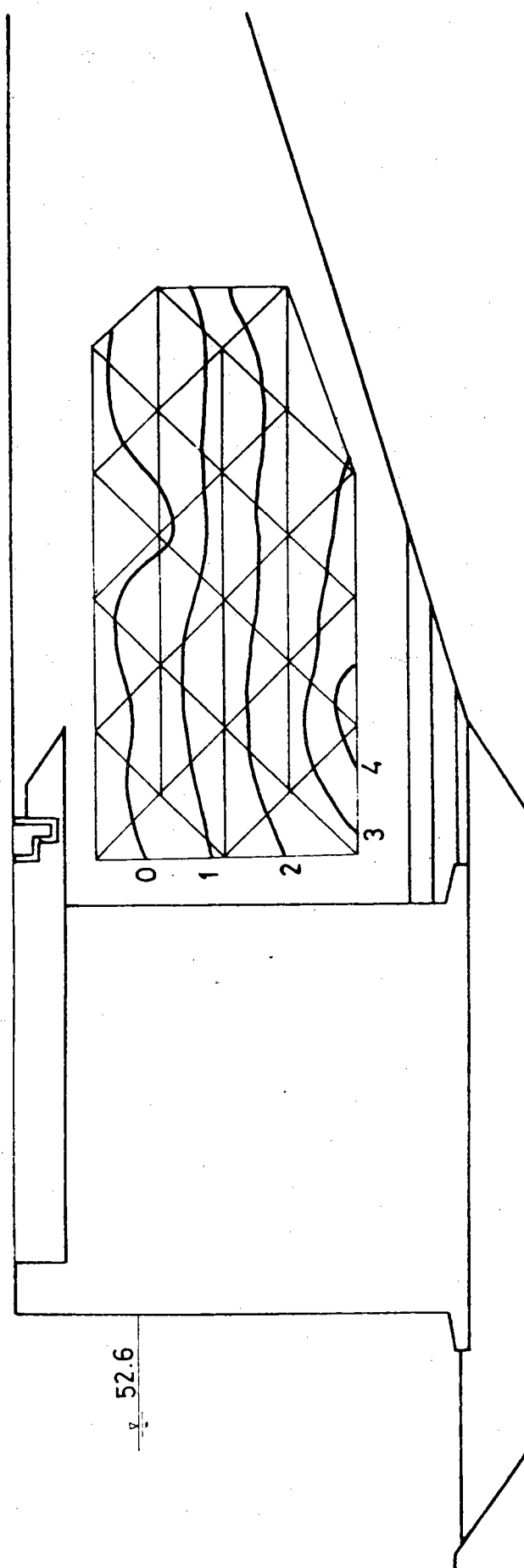


Fig. 7. 6-12 碼頭後線孔水壓分佈曲線

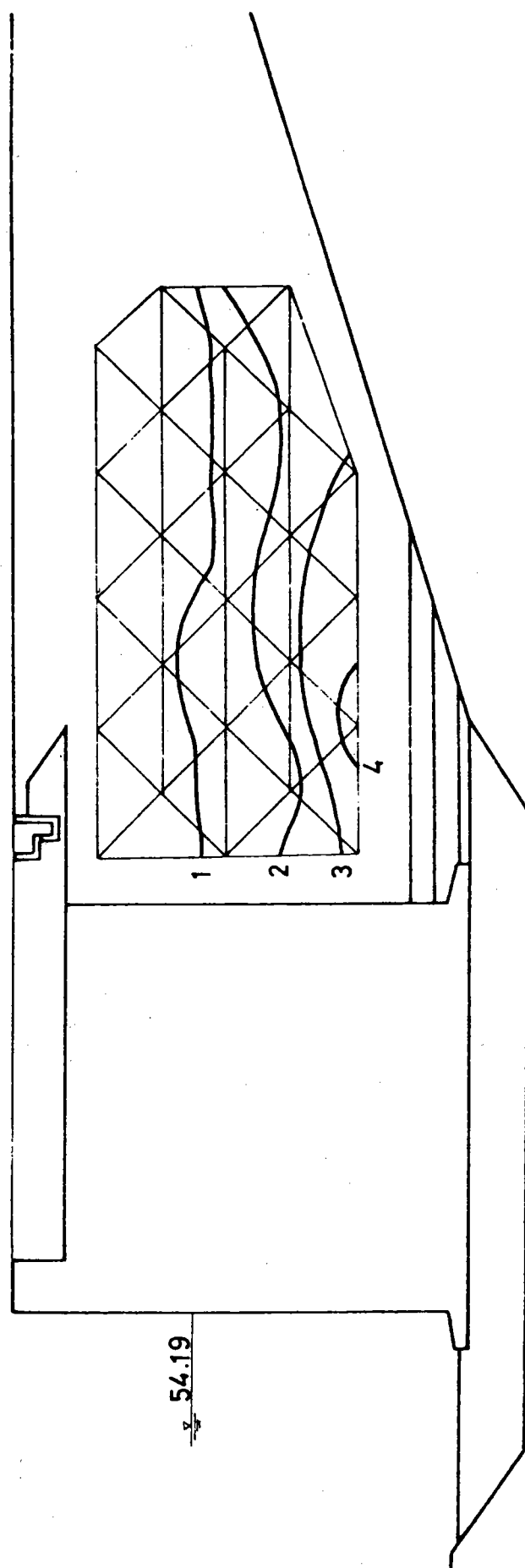


Fig. 7. 6 - 13 碼頭後線孔水壓分佈曲線

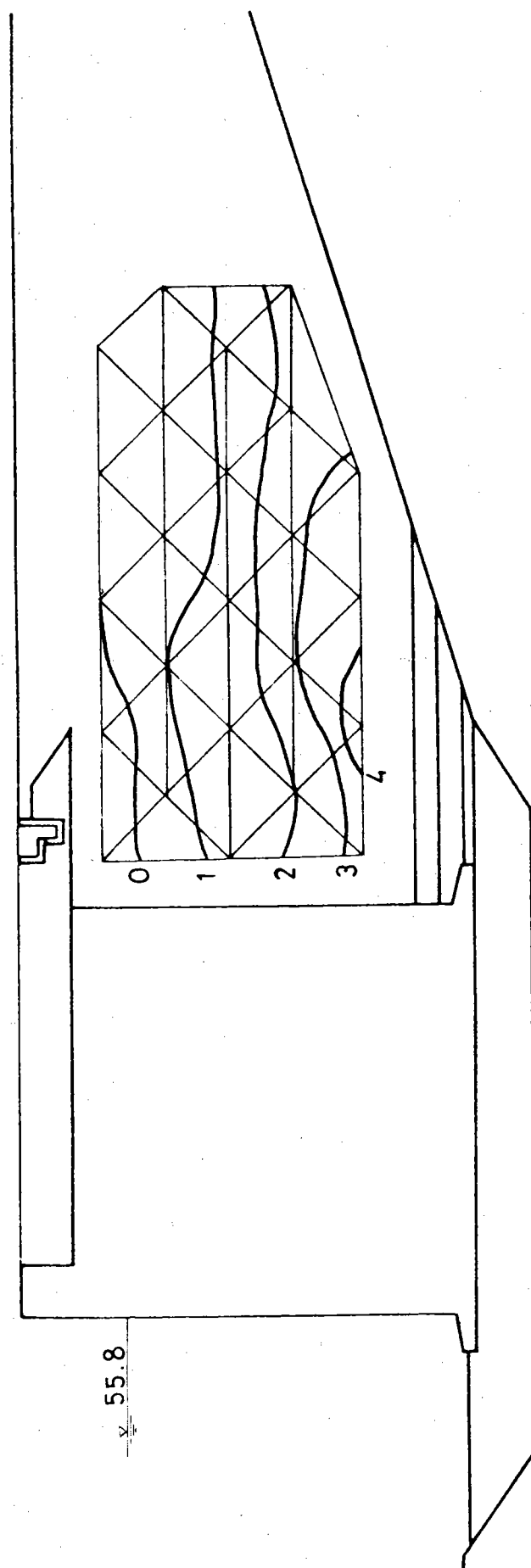


Fig. 7. 6-14 碼頭後線孔水壓分佈曲線

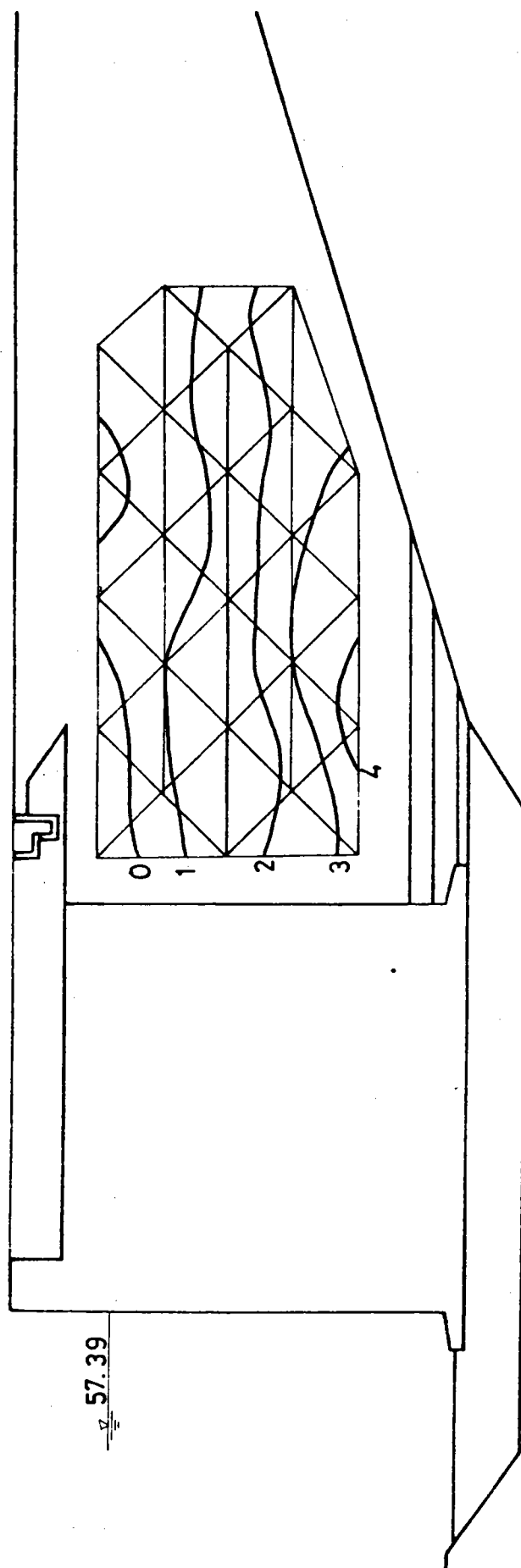


Fig. 7. 6-15 碼頭後線孔水壓分佈曲線

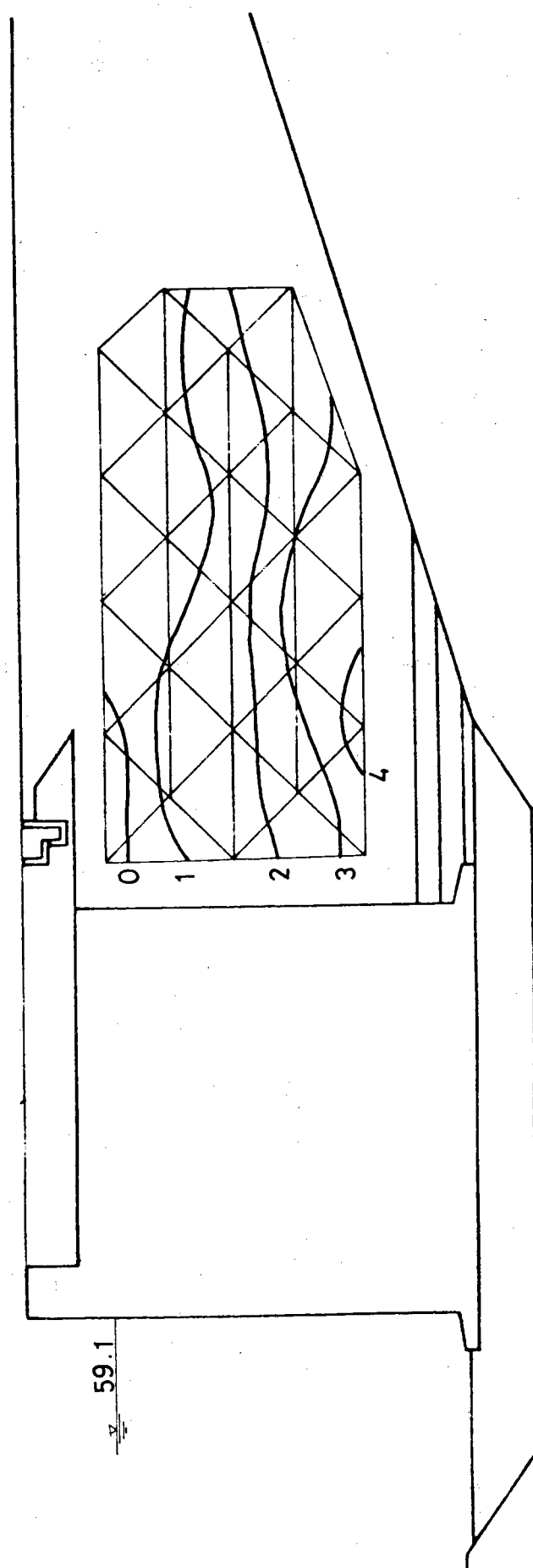


Fig. 7. 6 - 16 碼頭後線孔水壓分佈曲線

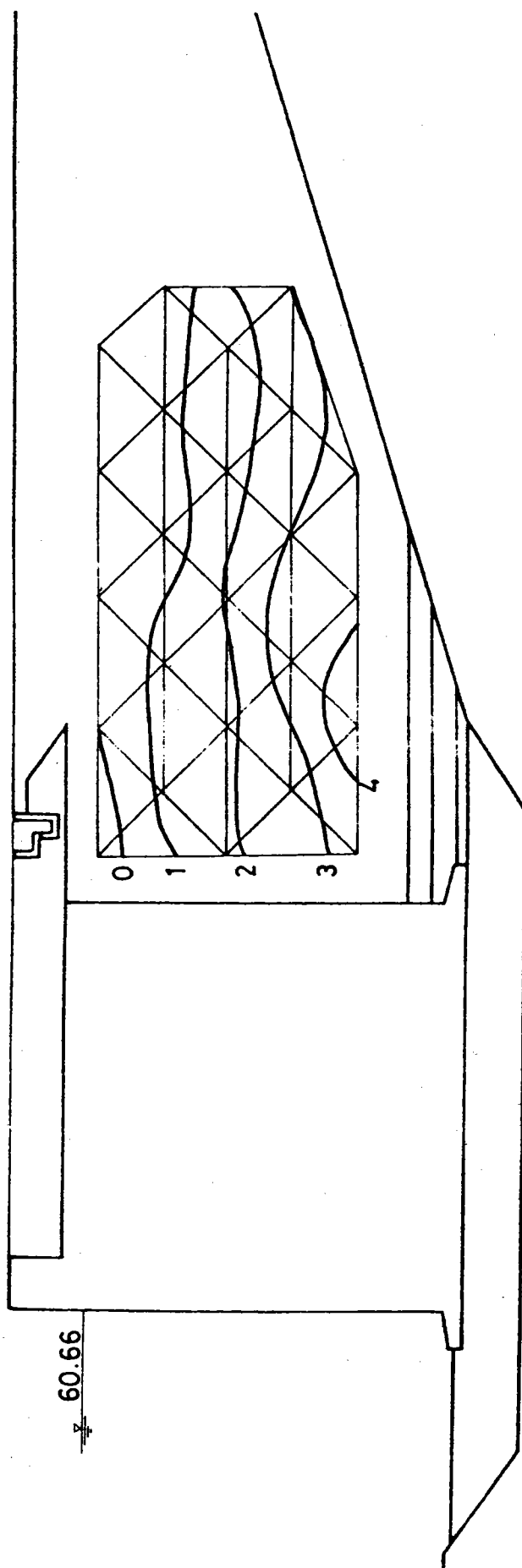


Fig. 7. 6—17 碼頭後線孔水壓分佈曲線

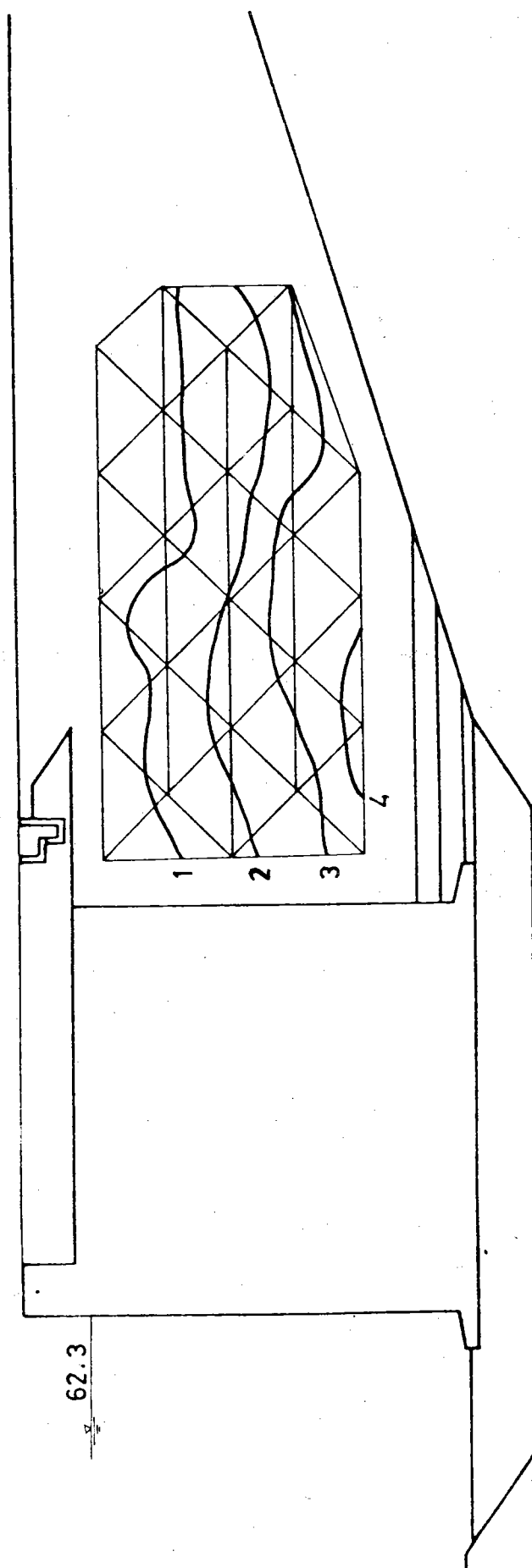


Fig. 7.6-18 碼頭後線孔水壓分佈曲線

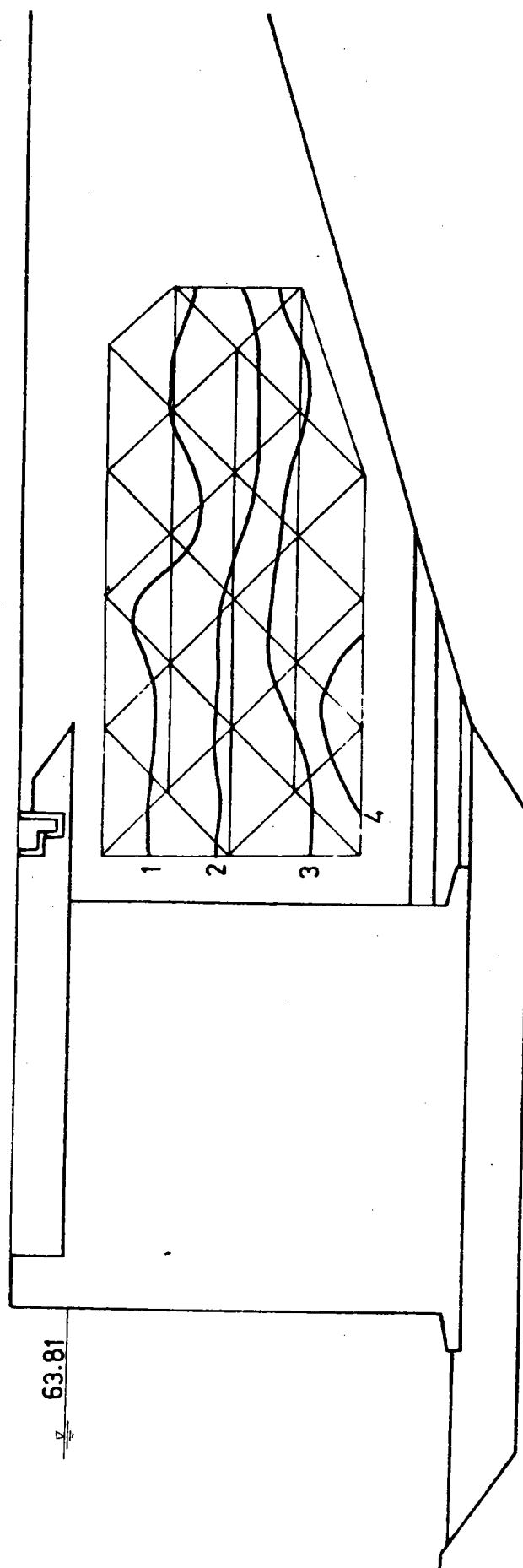


Fig. 7. 6 - 19 碼頭後線孔水壓分佈曲線

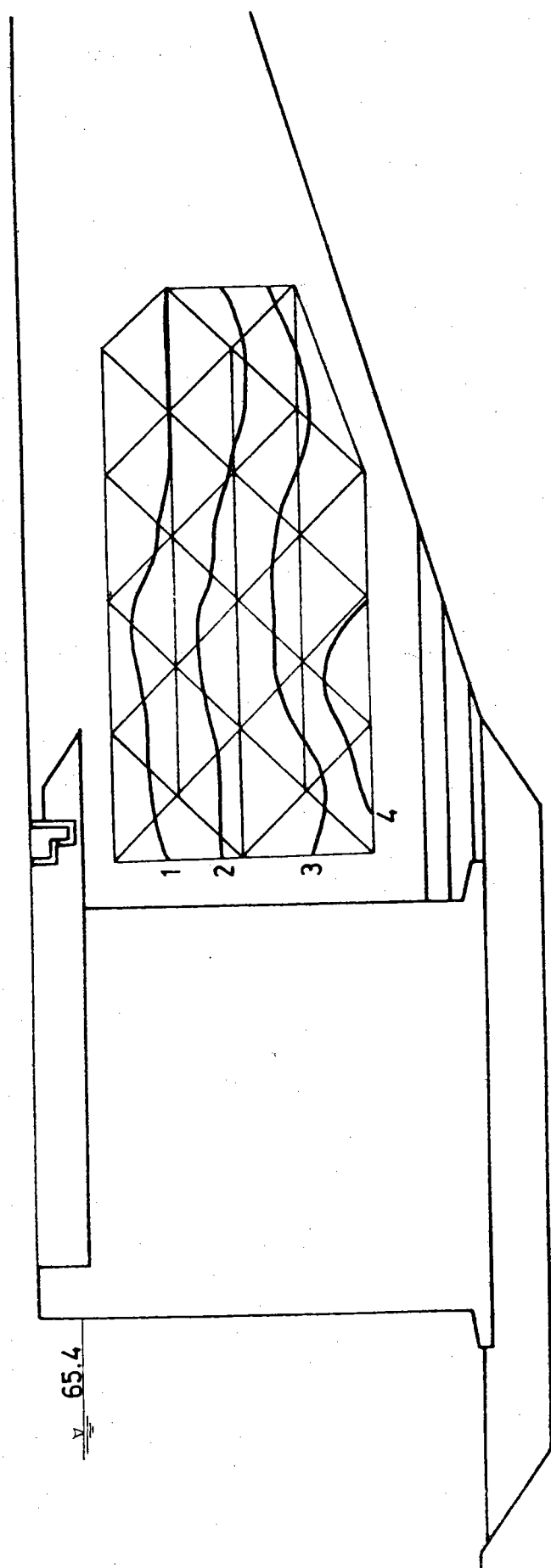


Fig. 7. 6-20 碼頭後線孔水壓分佈曲線

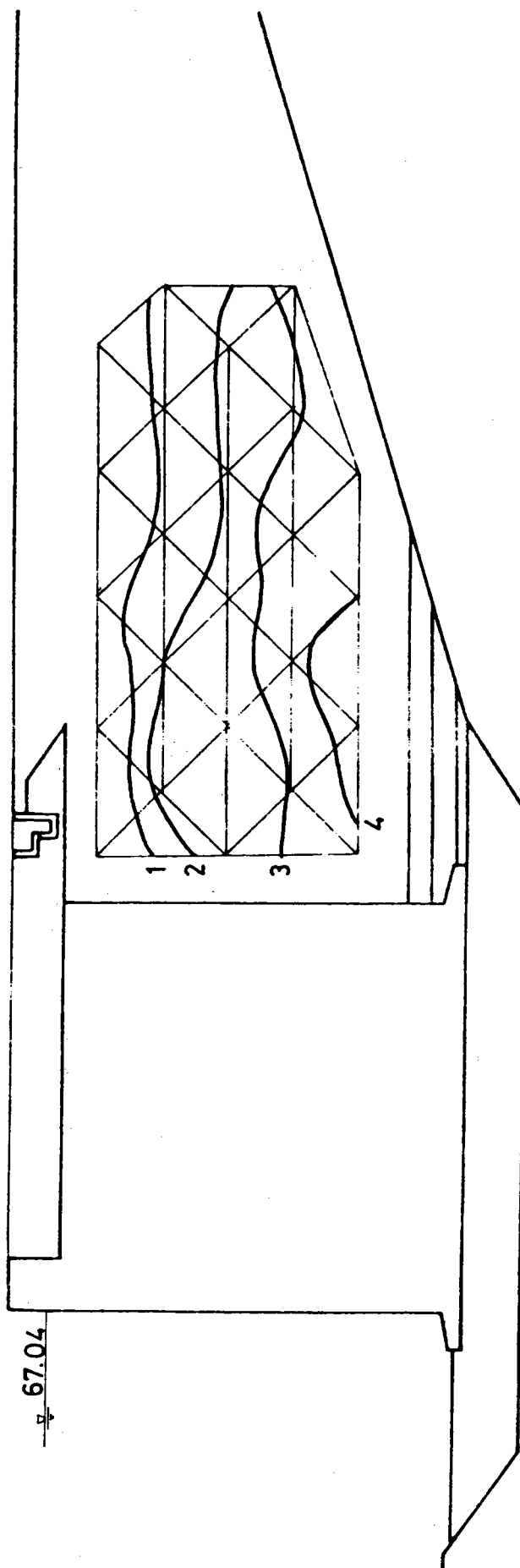


Fig. 7. 6-21 碼頭後線孔水壓分佈曲線

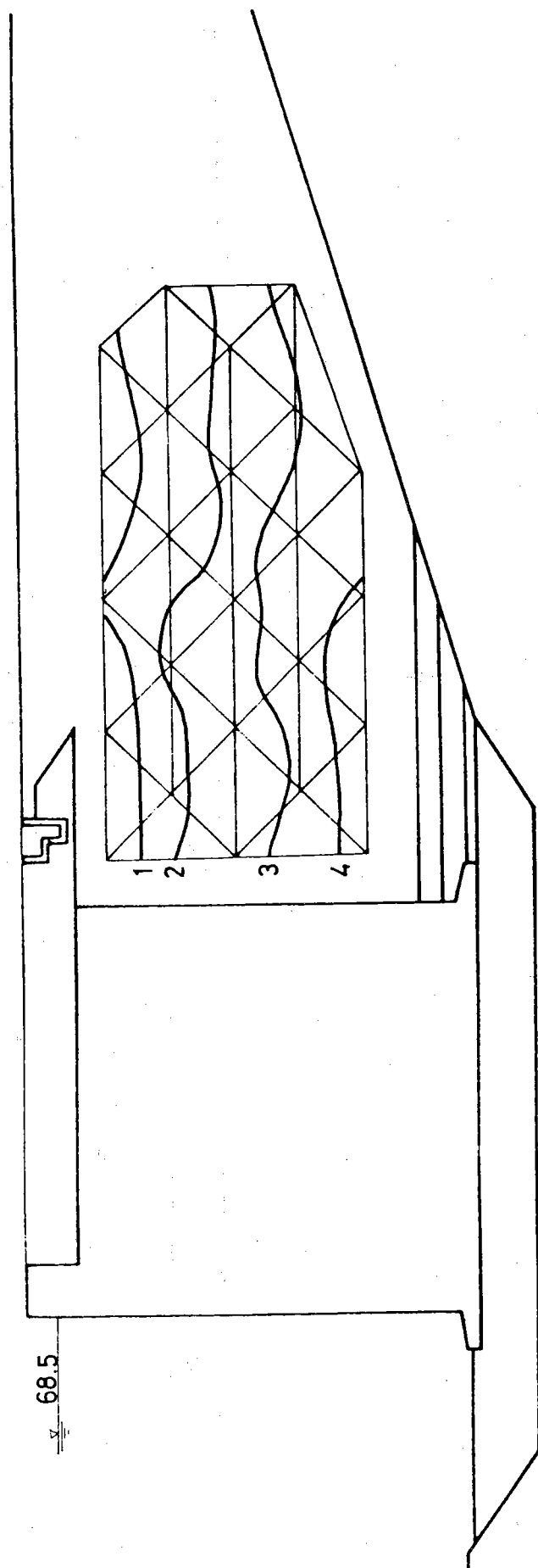


Fig. 7. 6-22 碼頭後線孔水壓分佈曲線

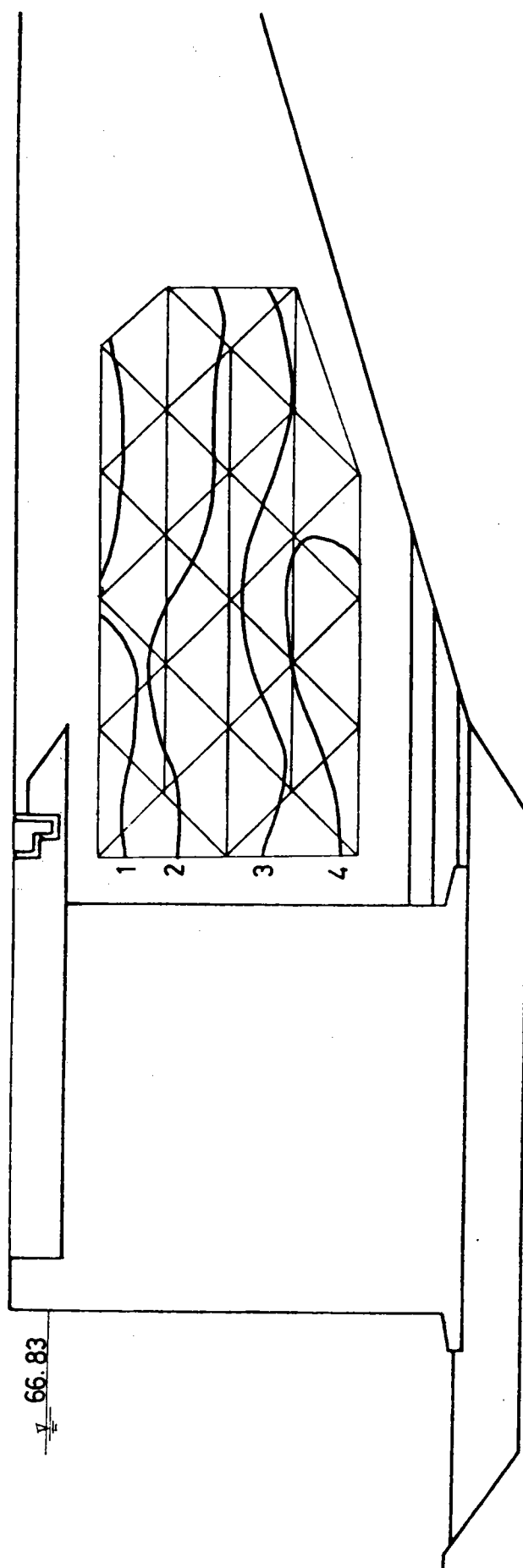


Fig 7. 6-23 碼頭後線孔水壓分佈曲線

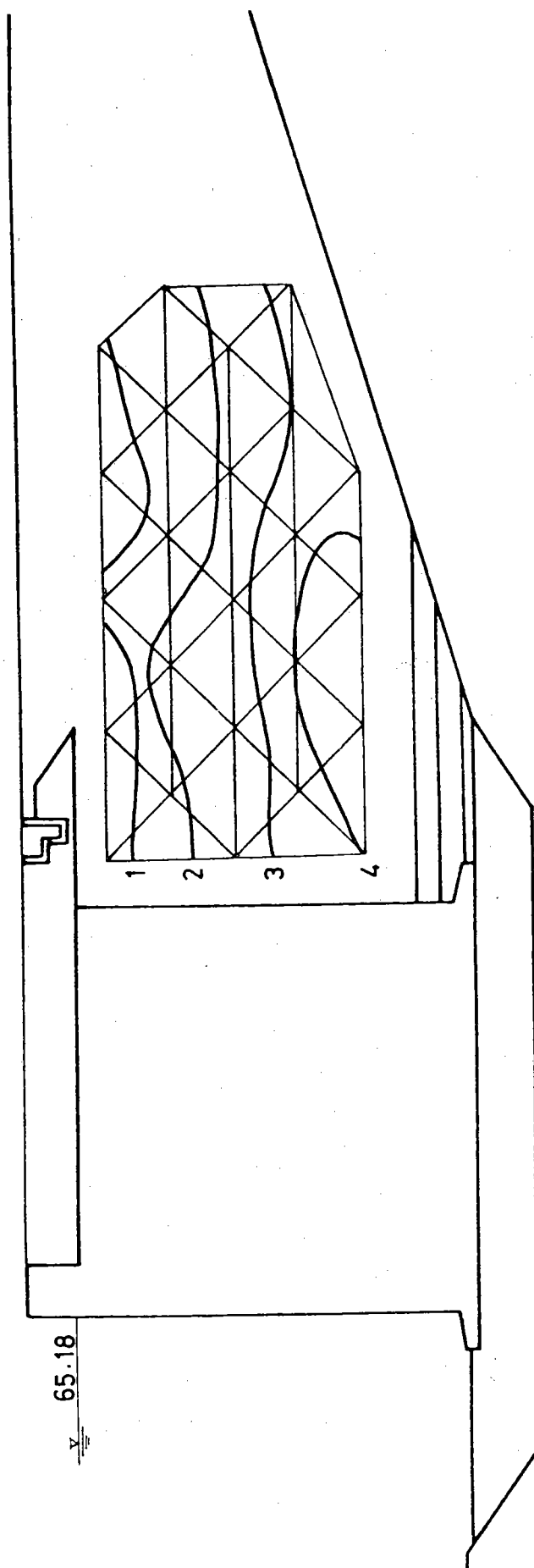


Fig. 7.6-24 碼頭後線孔水壓分佈曲線

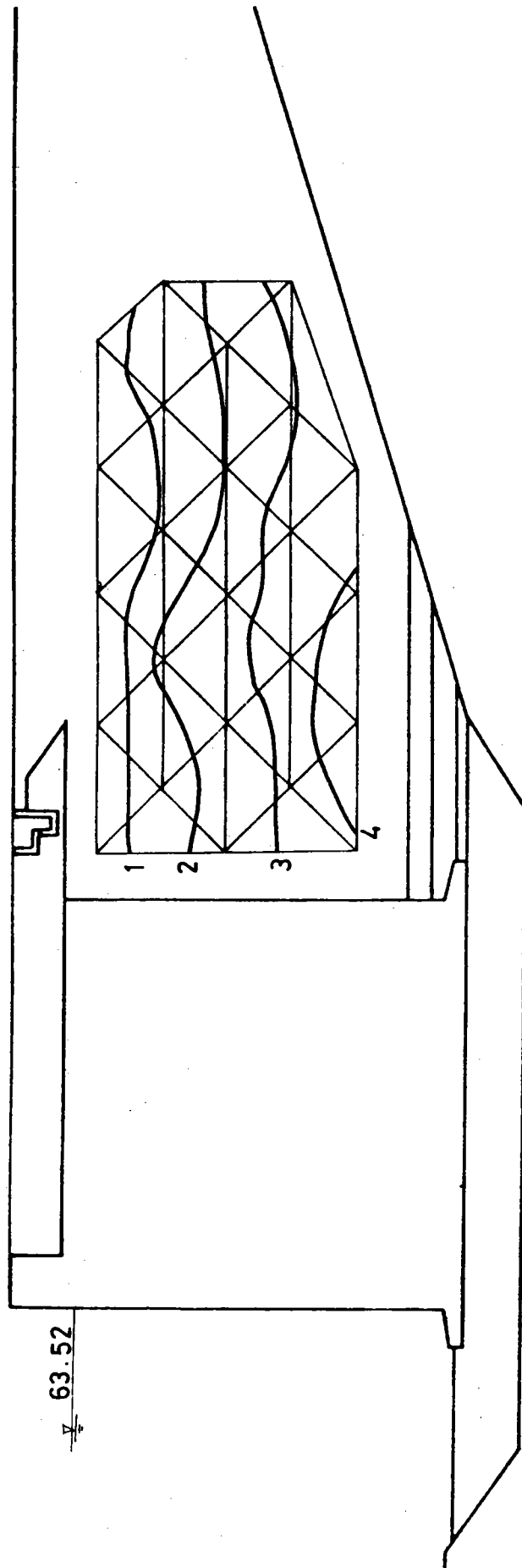


Fig. 7.6-25 碼頭後線孔水壓分佈曲線

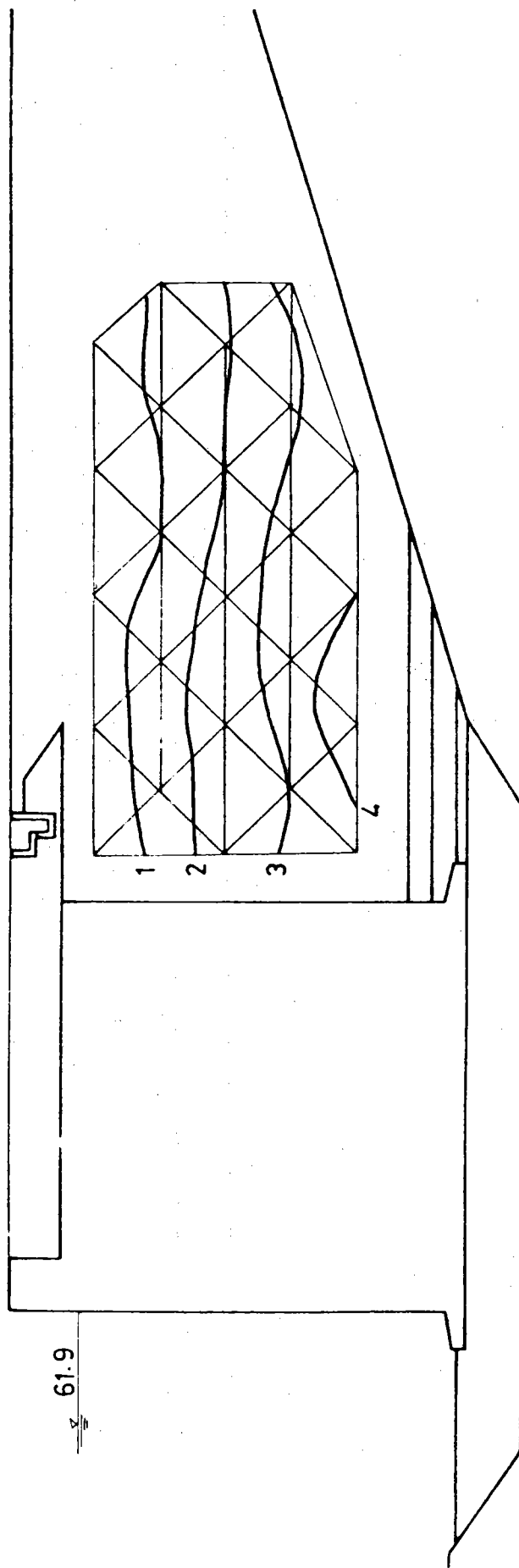


Fig. 7. 6 - 26 碼頭後線孔水壓分佈曲線

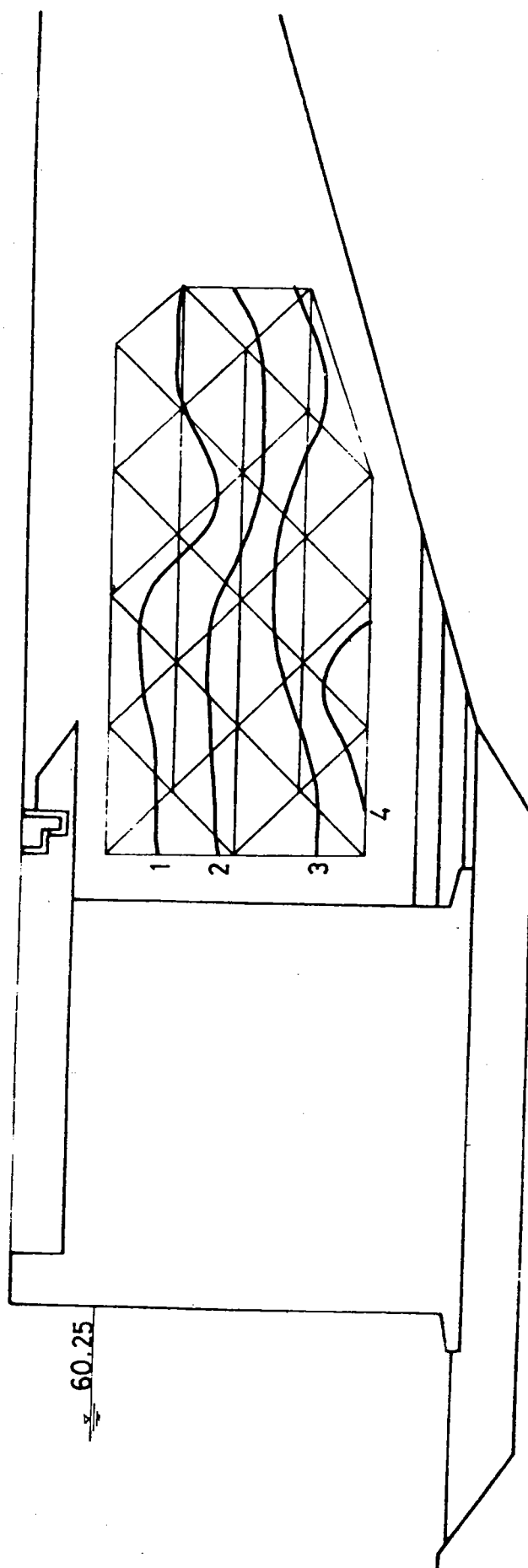


Fig. 7. 6 — 27 碼頭後線孔水壓分佈曲線

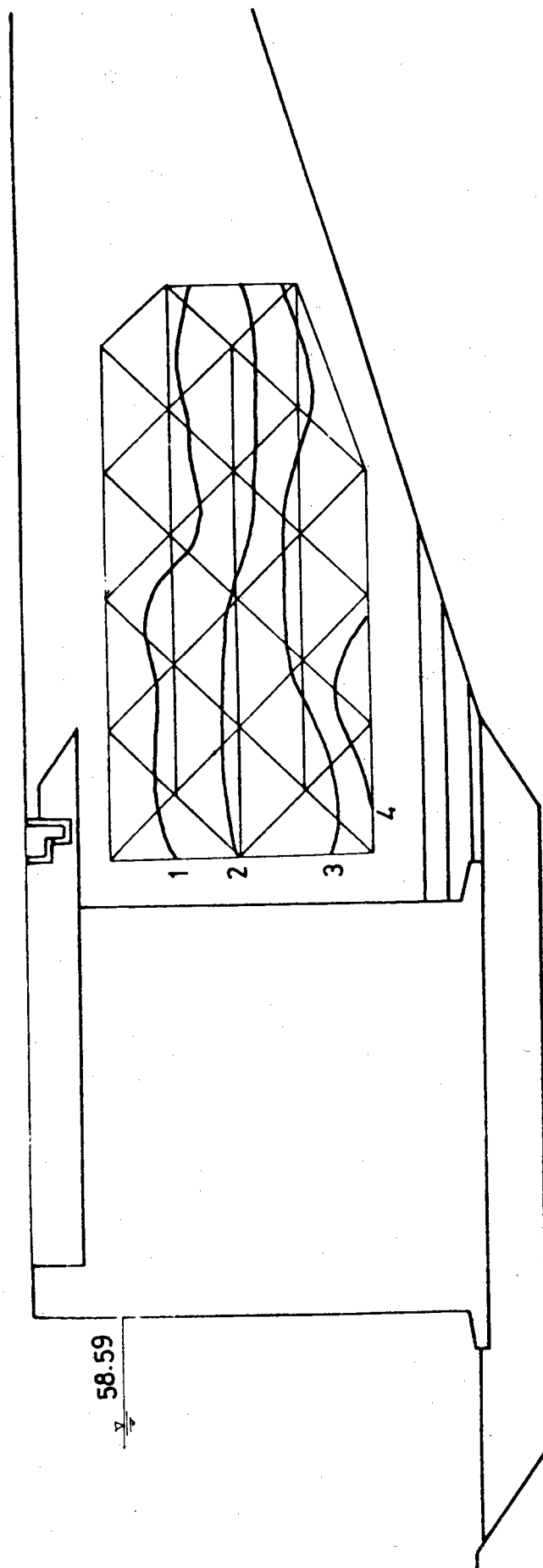
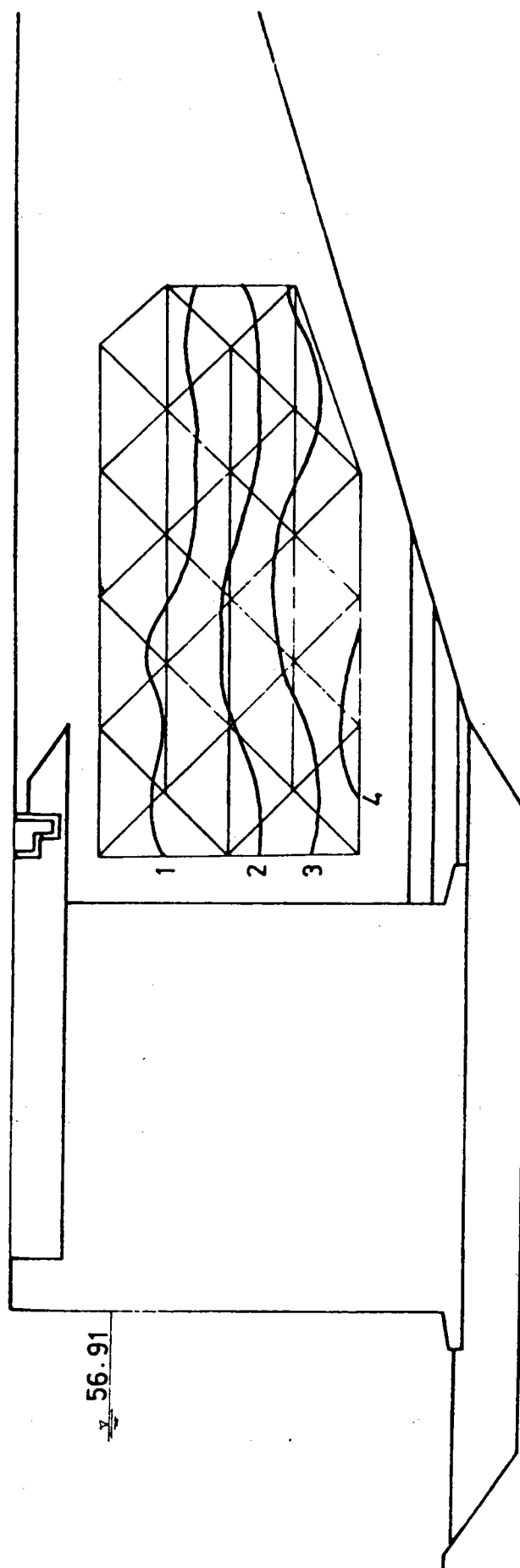


Fig. 7. 6 - 28 碼頭後線孔水壓分布曲線



8. 碼頭後線孔隙水壓之電腦分析

本項分析主要的目的在於求得碼頭前方壁面水表面與後線水表面所發生的最大水位差，即所謂的殘留水位。此殘留水位除對碼頭岸壁產生負壓力造成傾覆外，對基礎粒料及背後水力回填部份亦產生析出現象。其影響輕微者可能造成碼頭面的沉陷，嚴重者可使碼頭岸壁產生傾覆或底部滑動，造成嚴重的破壞。至於影響殘留水位差的主要因素大致包括(a)潮汐漲落(b)降雨量等外在因素及(c)基礎濾層及回填沙之透水性(d)沈箱式碼頭之沈箱底部所及深度等內在因素。而外在因素中主要來自潮汐的變化，因為降雨量受碼頭覆蓋的影響，滲漏不大，影響很小。

而潮汐的漲落主要包括全日潮和半日潮兩大部份，其變化可以公式表為

$$s(t) = s_0 + R \overset{\text{全日潮分量}}{\text{Cos}(\sigma t - \theta)} + S \overset{\text{半日潮分量}}{\text{Cos}(2\sigma t - \delta)} \quad (8-1)$$

平 均 水 位	振 幅	遲 角	振 幅	遲 角
------------------	--------	--------	--------	--------

$$\sigma = 360/25 \text{ hr} \quad t \text{ 以小時為單位}$$

上式(8-1)經展開化簡得如(8-2)式表示。

$$s(t) = s_0 + a \text{Cos}(15^\circ t) + b \text{Sin}(15^\circ t) + c \text{Cos}(30^\circ t) + d \text{Sin}(30^\circ t) \quad (8-2)$$

其中 $s(t)$ 除可代表潮汐水位的漲落外，亦可代表孔隙水壓力的變化，因此對每一點的孔隙水壓力變化可以經由此點的孔隙水壓力隨時間的改變即時間序列 (Time Series) 利用多項式線性迴歸的方法，導出有關參數 s_0 ， a ， b ， c ， d 加以模擬，現在我們假設碼頭沈箱海側壁面及陸側壁面的水位變化分別可以利用(8-3)及(8-4)式加以模擬，兩者僅相差一個相位差 (Phase lag) Δt 。

$$s(t) = s_0 + a \text{Cos}(15^\circ t) + b \sin(15^\circ t) + C \cos(30^\circ t) + d \text{Sin}(30^\circ t) \quad (8-3)$$

$$s_*(t) = s_{*0} + p \cos(15^\circ t + \Delta) + q \sin(15^\circ t + \Delta) \\ + r \cos(30^\circ t + \Delta) + S \sin(30^\circ t + \Delta) \quad (8-4)$$

則碼頭在任何時間的殘留水位差即應為 $[s_*(t) - s(t)]$ ，若能進一步加以微分求其極大值，則此極大值即為我們所要求的最大殘留水位 R ，而 R 為包含變數 t 及常數 $s_0, s_{*0}, (a, b, c, d), (p, q, r, s), \Delta$ 的一個函數，其中 Δt 所反應的即內在因素，如基礎濾層及回填沙透水性等所產生的影響，而 $s_0, s_{*0}, (a, b, c, d)$ 及 (p, q, r, s) 所反應的則為外在因素如潮汐漲落所產生的影響。換句話說只要先求得 s_0, s_{*0} 等有關常數，我們即可計算出最大殘留水位。若進一步根據碼頭後緣不同距離 X 所求最大殘留水位資料推導一以 X 為變數的殘留水位方程式 $R(X)$ ，則將來只要碼頭形式相同，回填粒料及基礎濾層相似，即可據以估算碼頭後緣的殘留水位變化。

為瞭解碼頭後緣殘留水位的實際變化，尚選擇在台中港廿五號碼頭後緣埋設24個孔隙水壓感應器，位置如圖8-1及8-2，連接至UCAM Datalogger，每5分鐘掃描一次各點的孔隙水壓改變，再藉著波譜分析的方法求出每一觀測點的自相關波譜及其相互間的交譜，如圖8-3，8-4及8-5，很顯然的此地的潮流變化主要以半日潮較為顯著，而全日潮則影響不大。根據各點實測孔隙水壓資料加以比較分析，可歸納出下列幾點共通性。

- 一、深層觀測點其孔隙水壓的改變幅度(Amplitude)較淺層觀測點之改變幅度為大。
- 二、底層觀測點#6，#11，#16相對於#1之時間延遲分別為1，8，77個取樣間隔，在對數座標上幾成直線增加。
- 三、同一垂直剖面上之三個觀測點如#2，#3，相對於最低點#1之時間延遲分別為1，5及6，幾乎與距離成正比。

由於當時感應器埋設的時候，礙於碼頭面覆蓋施工無法在碼頭港側前方投置感應器，致使整個分析工作受到嚴重的影響，為彌補此項缺失，乃利用台中港南內堤側所設置的潮汐觀測站資料作為碼頭港側前方的水位變化，經比較#1觀測點發現兩者位相差很小，幾乎同相，這說明現有碼頭基礎透水性良好，不過一般

會因後方水力回填滲出，基礎塊、卵石孔隙逐漸被細料填充致透水性逐漸降低，使殘留水位加大。經利用上述方法計算的結果殘留水位約為碼頭前方潮差的 $1/3 \sim 1/2$ 左右，其大小視潮汐變化的情形決定，與現場觀測井所得實測資料 2.74 公尺大致相符。

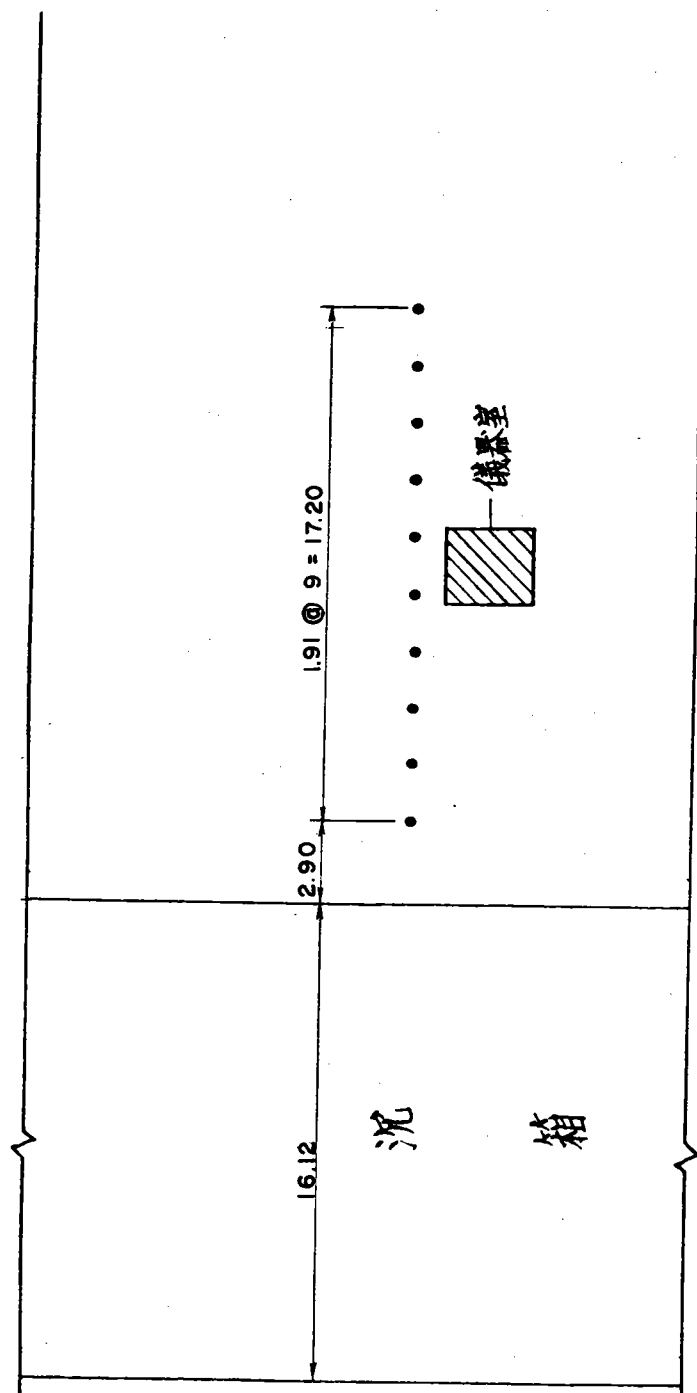


圖 8-1 廿五號碼頭壓力測定感應器埋設平面圖 1:250 M

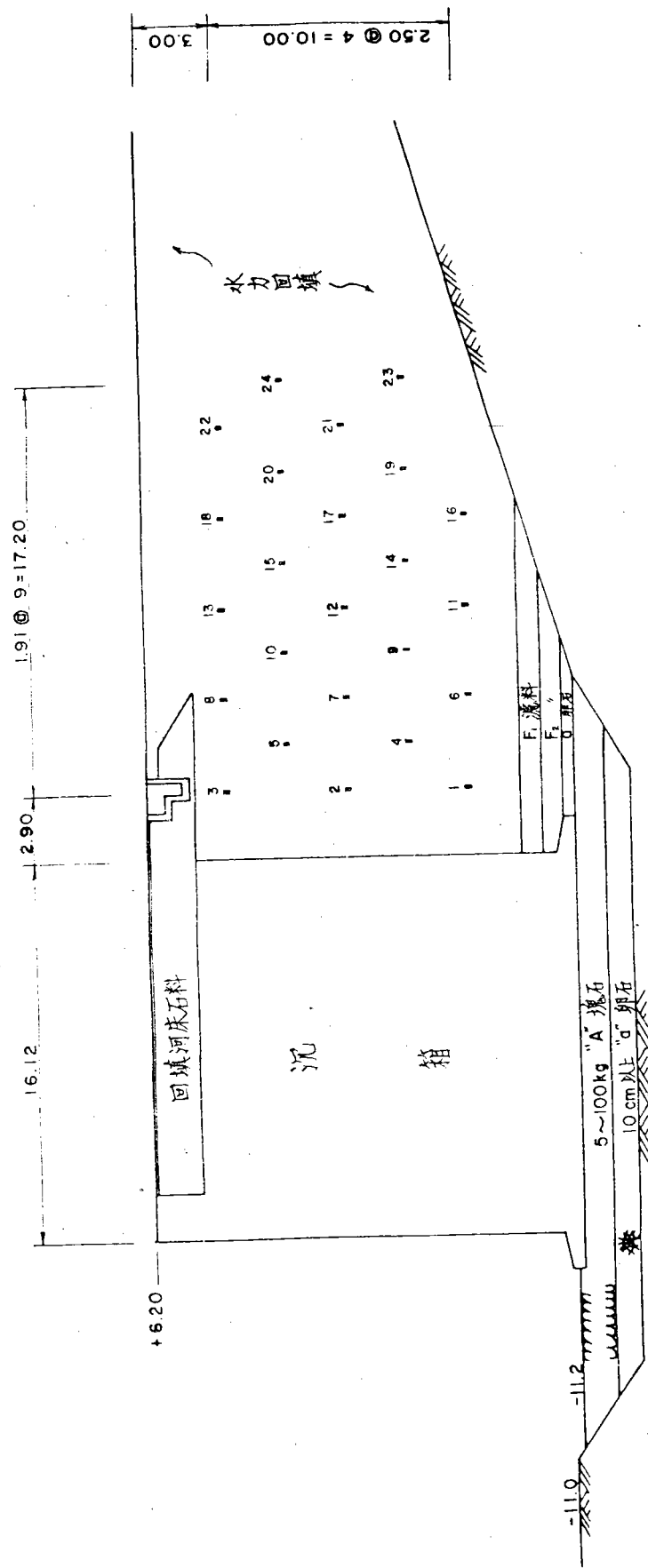


圖 8-2 廿五號碼頭壓力測定感應器埋設斷面圖 1:250 M

觀測點X之自相關波譜

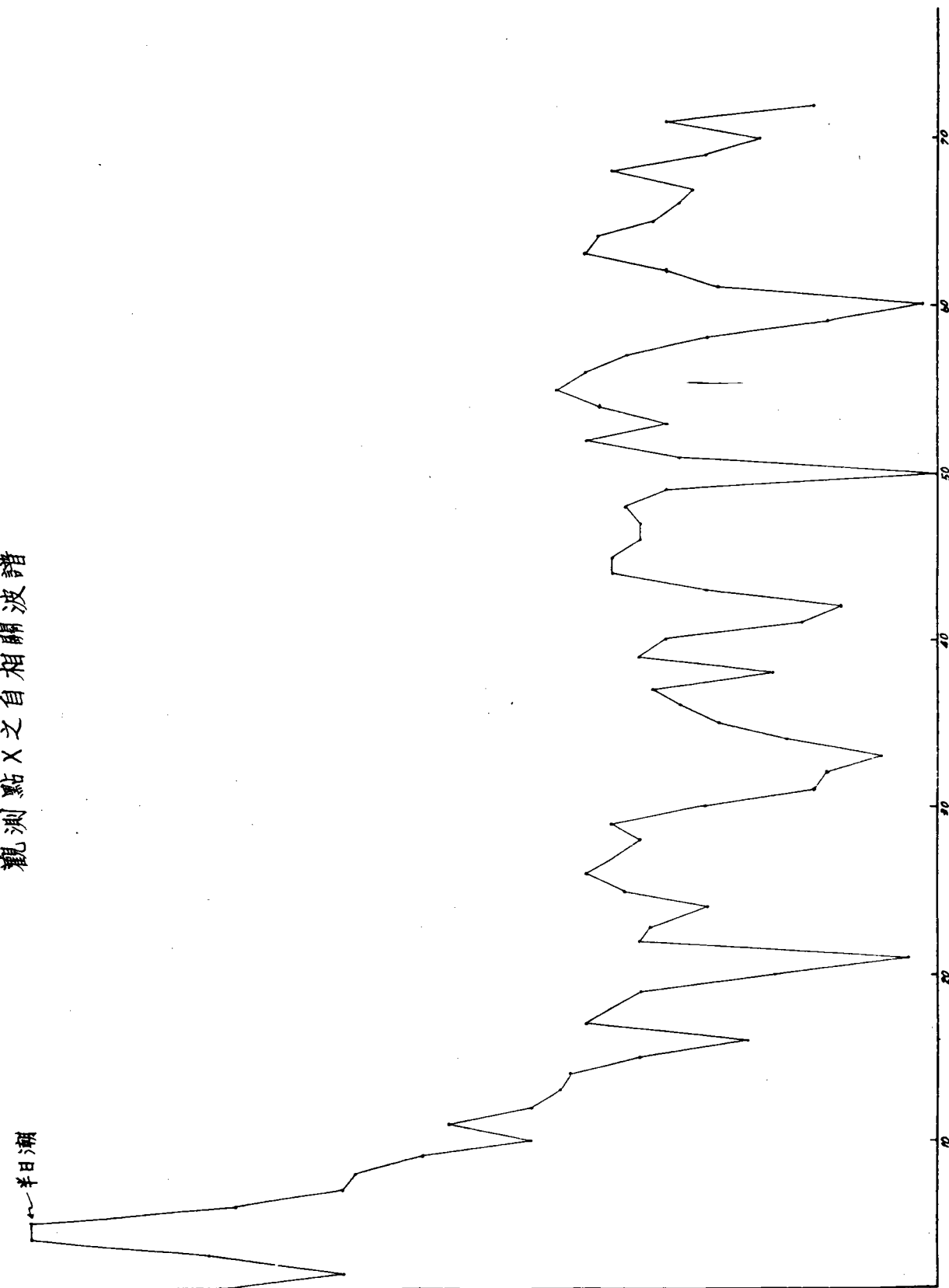


Fig. 8-3 PLOT OF AUTO SPECTRUM GXX

觀測點Y之自相關波譜

一日半

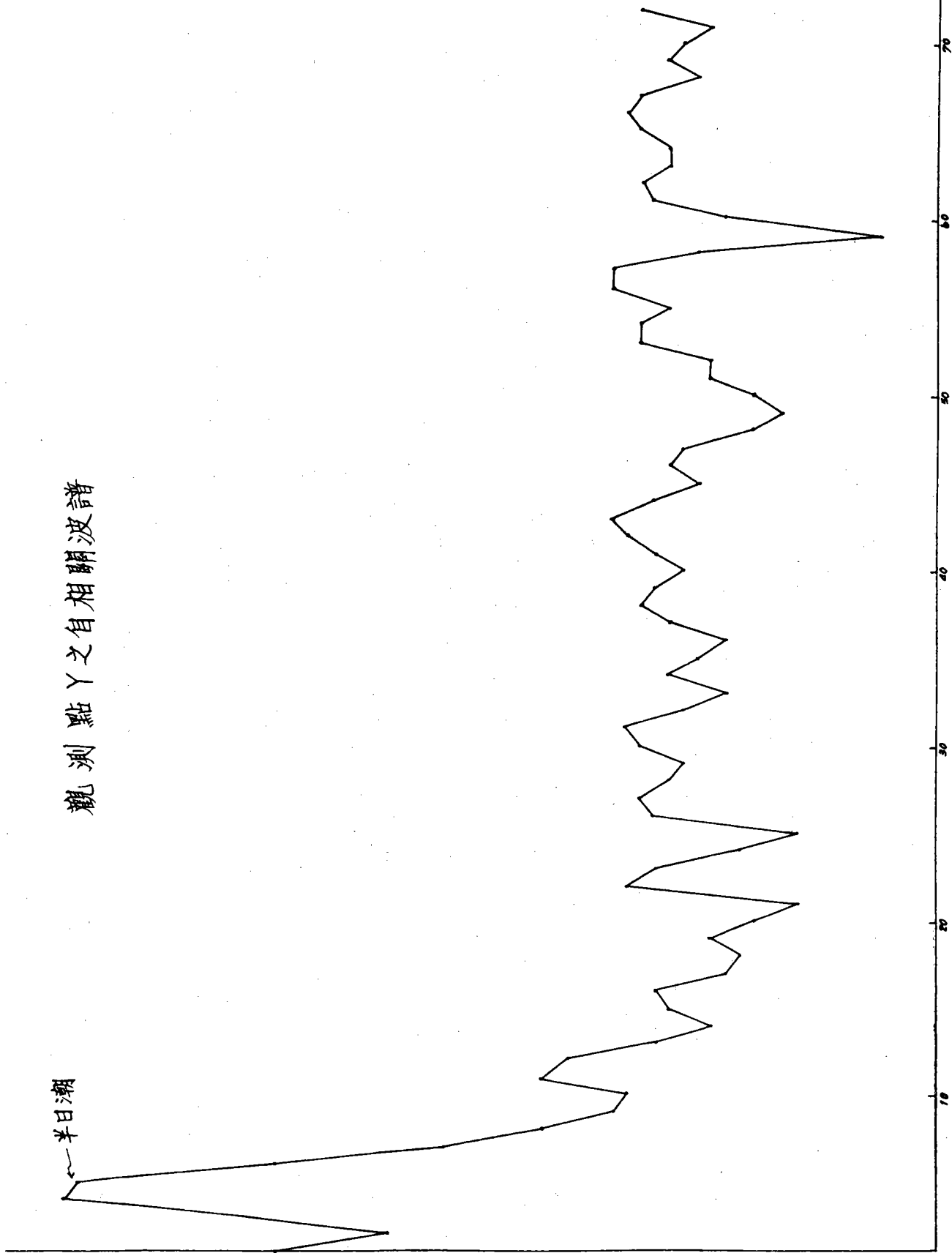


Fig. 8-4 PLOT OF AUTO SPECTRUM GXX

觀測點 X、Y 之交譜

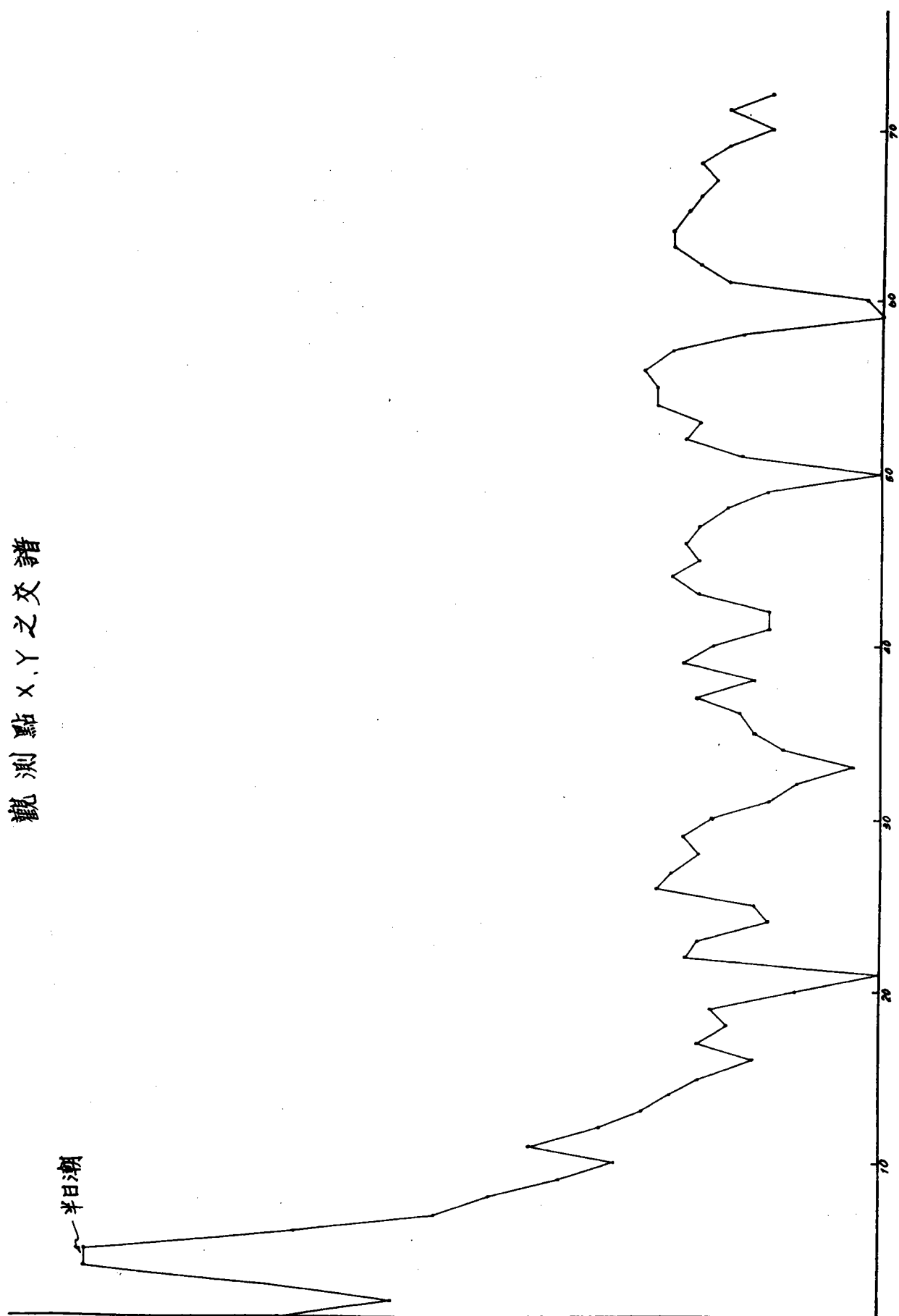


Fig. 8-5 PLOT OF CROSS SPECTRUM GXY

9. 現場碼頭後線殘留孔隙水壓觀測分析

為印證模型試驗模擬結果，特於台中港中突堤第廿五號沉箱式碼頭後線，按模型配置情形，實地鑽孔埋設孔水壓轉換器（Transducer），以電纜連接至觀測間內之UCAM-8BL掃描儀中，並定時觀測其孔隙水壓，並連續觀測半年之久，俾瞭解各種潮位下之孔隙水壓分佈曲線，供碼頭殘留水壓應力分析之依據。計分析朔望高潮位+ 4.83，+ 4.82，+ 4.93，朔望低潮位+ 0.41，+ 0.39，以及各種中等潮位如+ 2.03（漲潮中），+ 2.01（退潮中），+ 2.98（漲潮中），+ 2.94（退潮中），+ 3.24（漲潮中），+ 3.24（退潮中），+ 2.50（漲潮中）與+ 2.50（退潮中）等各種情況下，碼頭後線孔隙水壓分析深如圖9-1至圖9-13為其孔隙水壓分佈曲線。圖中等孔隙水壓線之單位為克/平方公分，該等碼頭後線孔隙水壓分佈曲線與第七章試驗模擬結果之趨勢甚為一致，亦表示模擬研究之可靠性。俟後為利於研究，試驗模擬技巧將方便各種情況之改變，可考慮多種碼頭型式，增進研究效果。

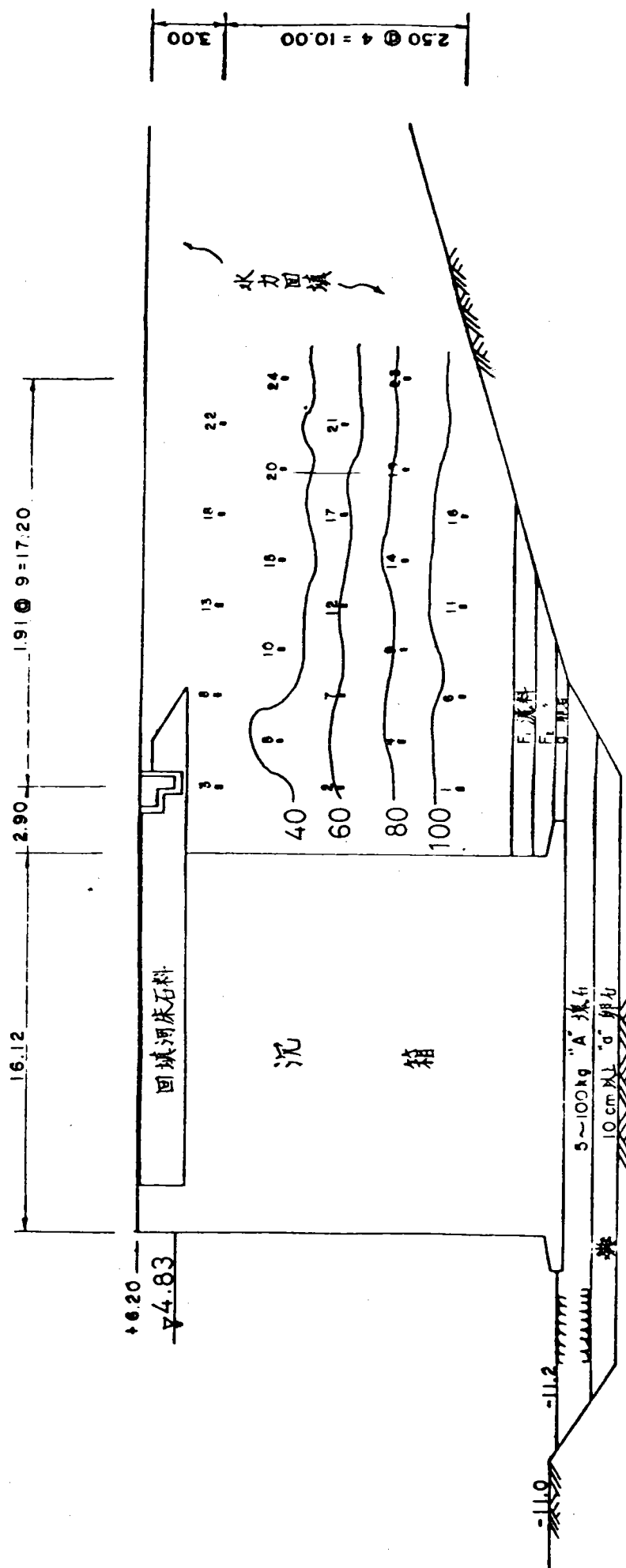


圖 9-1 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

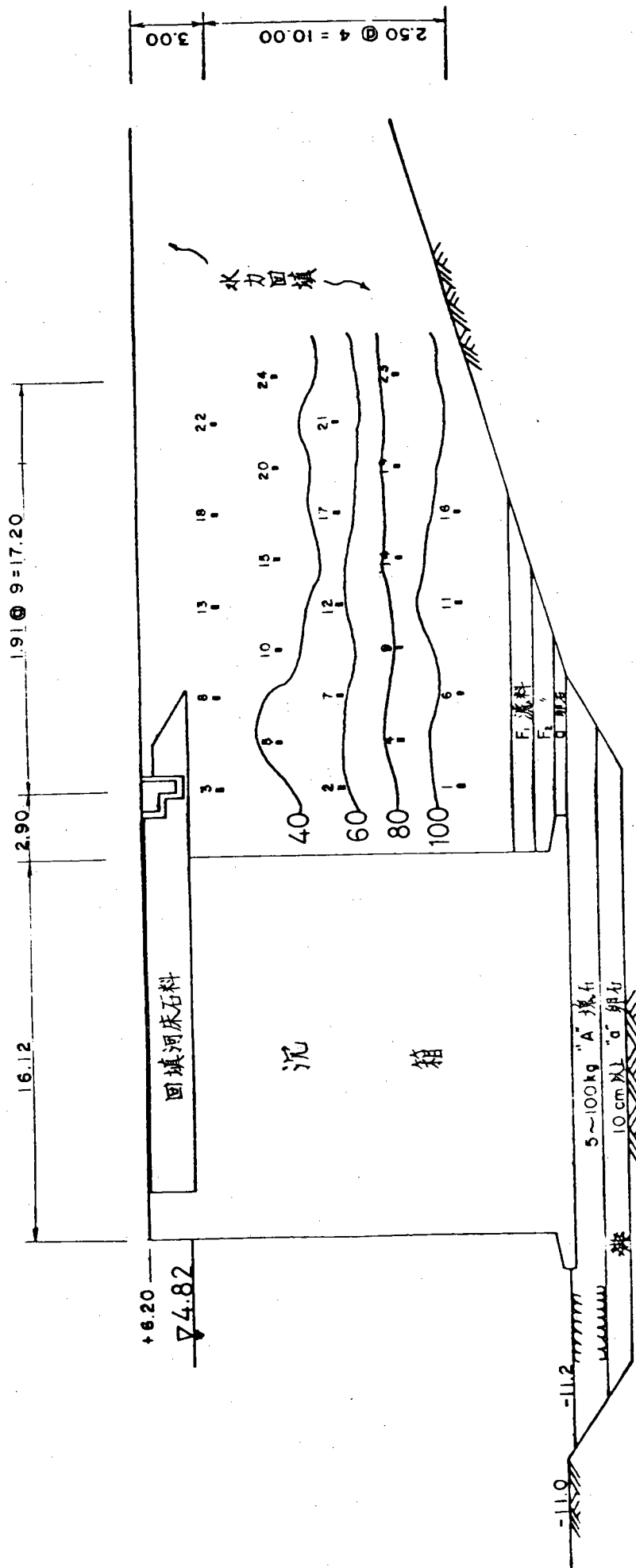


圖 9-2 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

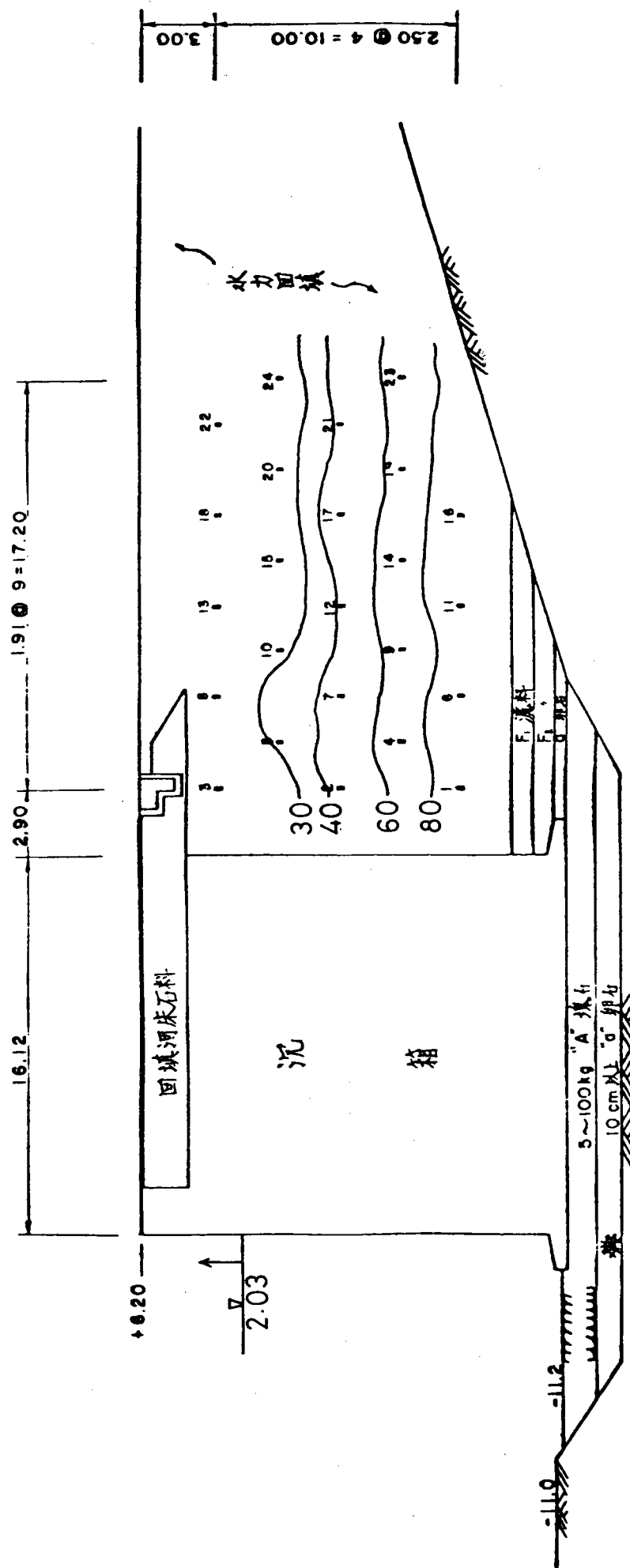


圖 9-3 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

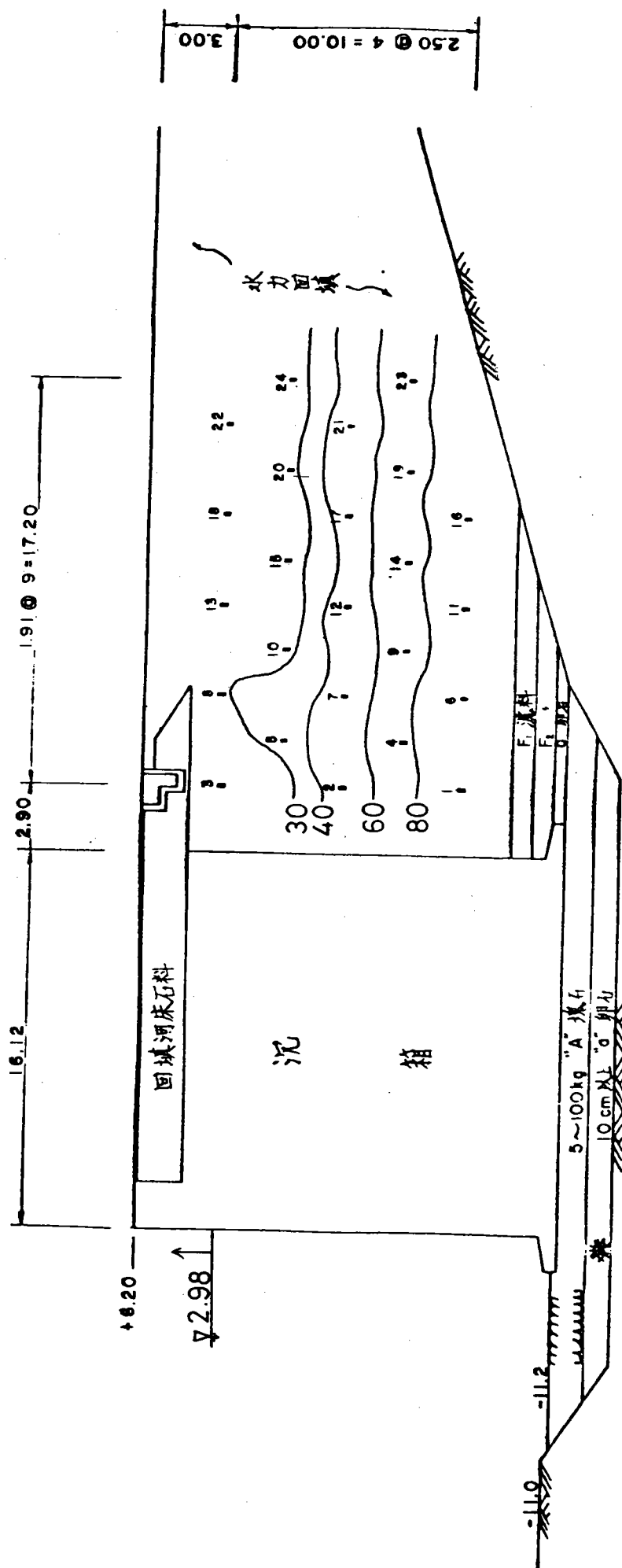


圖 9-5 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

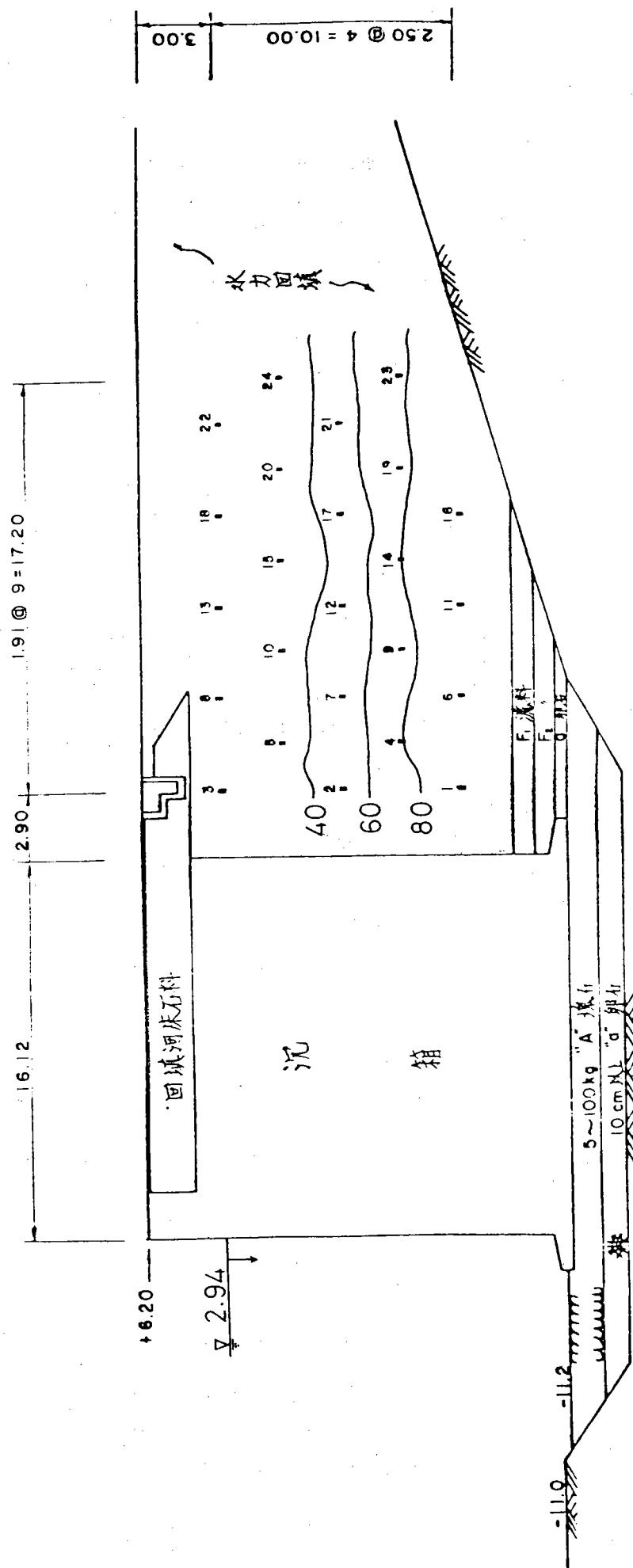


圖 9-6 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

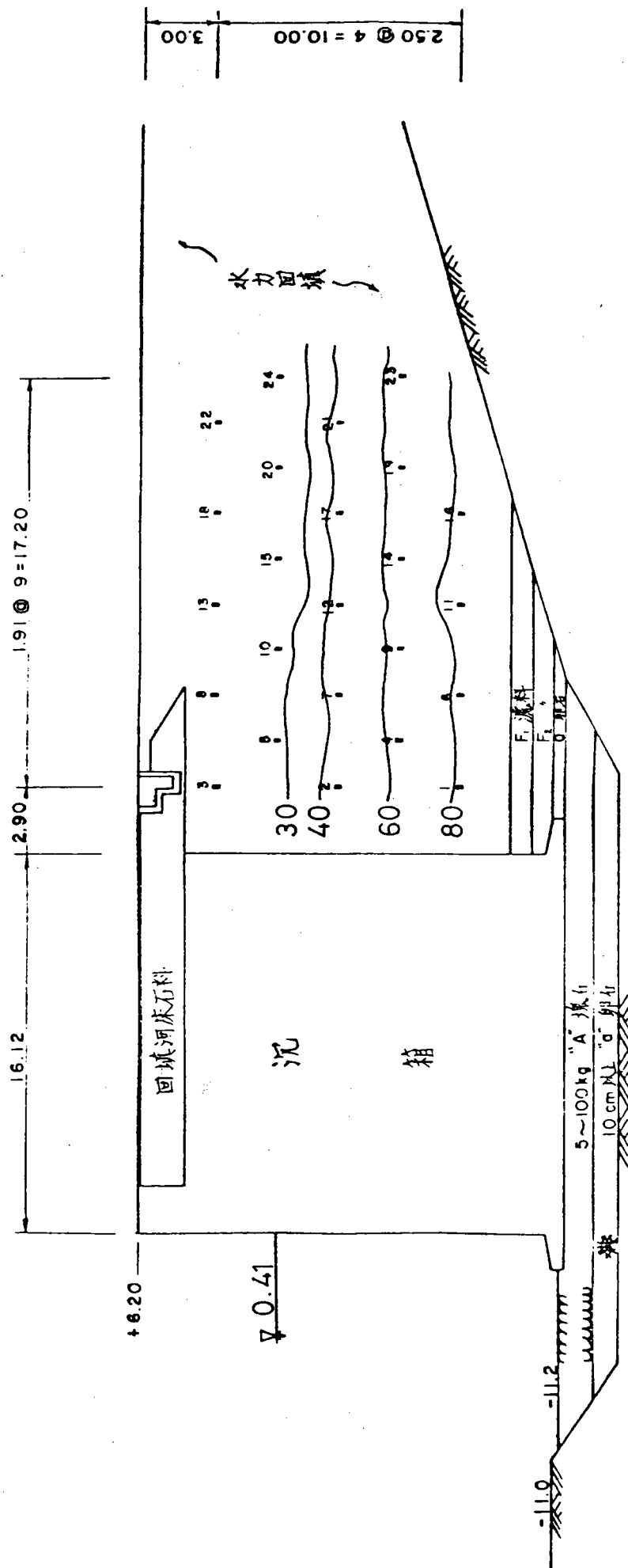


圖 9-7 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

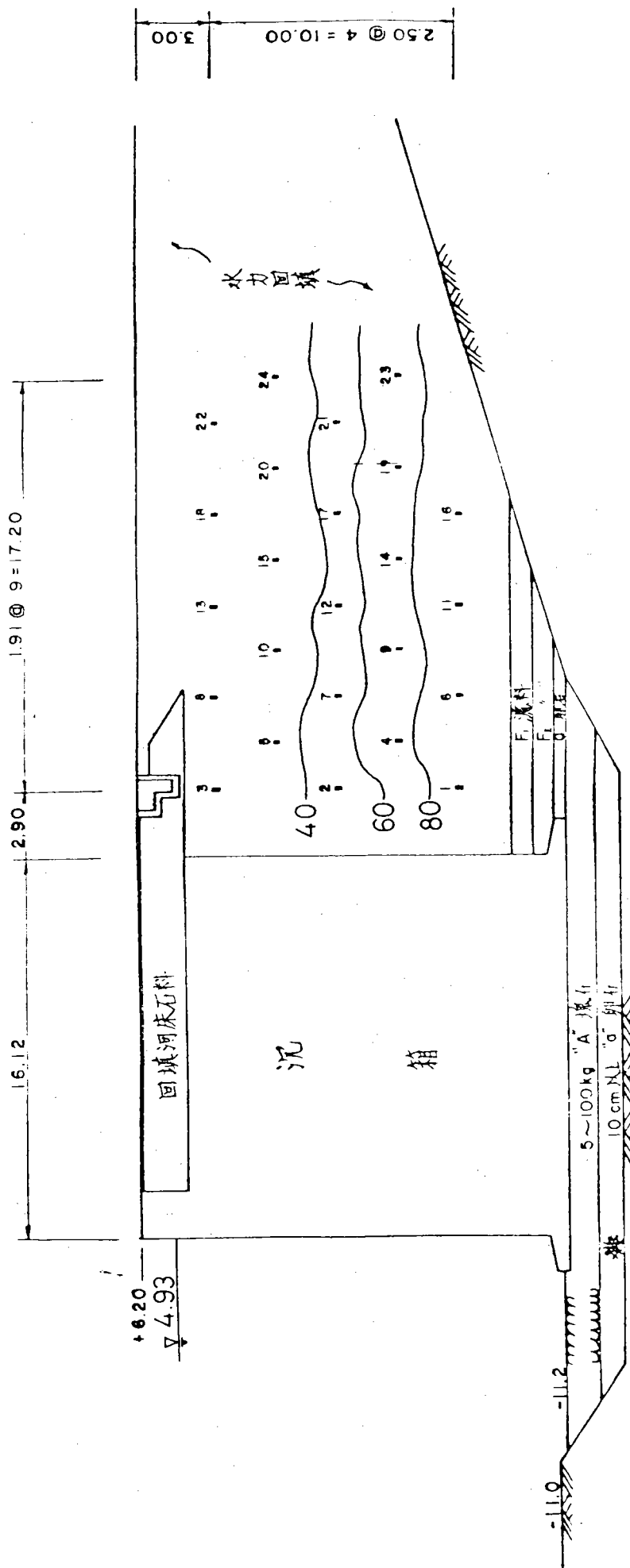


圖 9-8 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

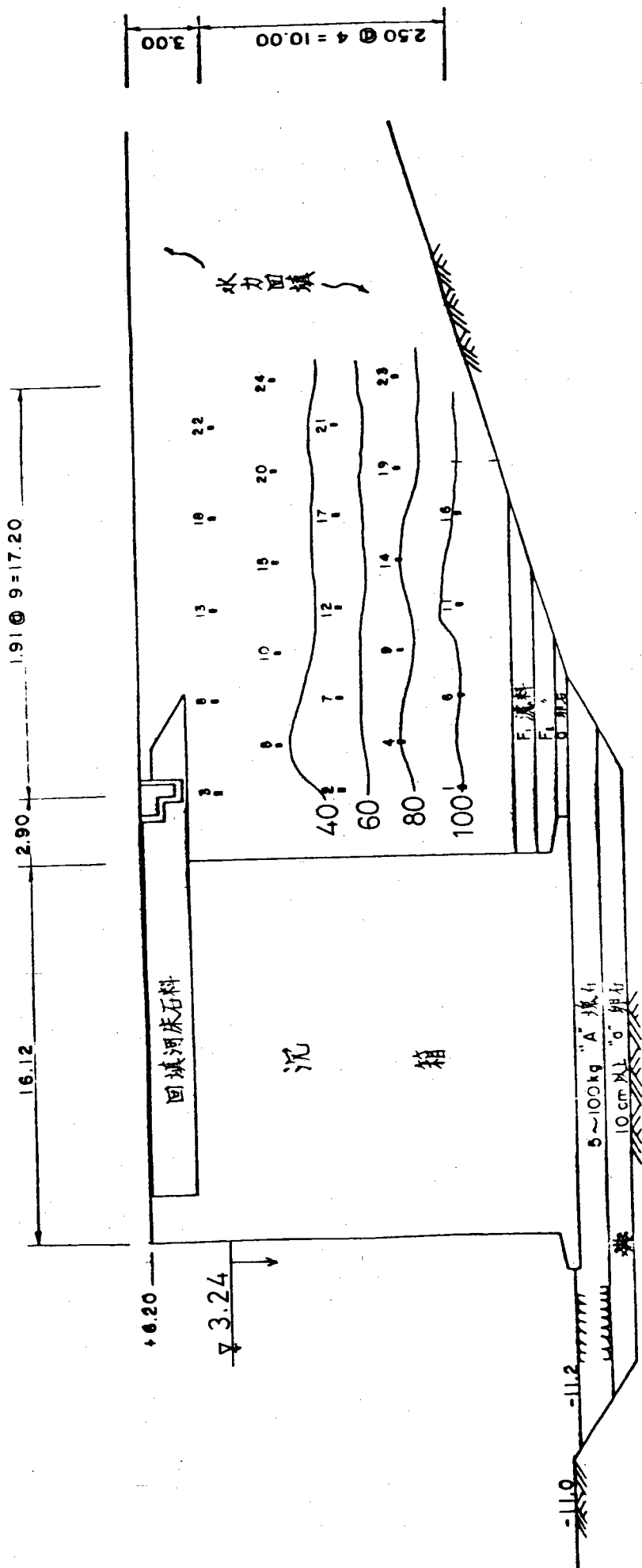


圖 9-10 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

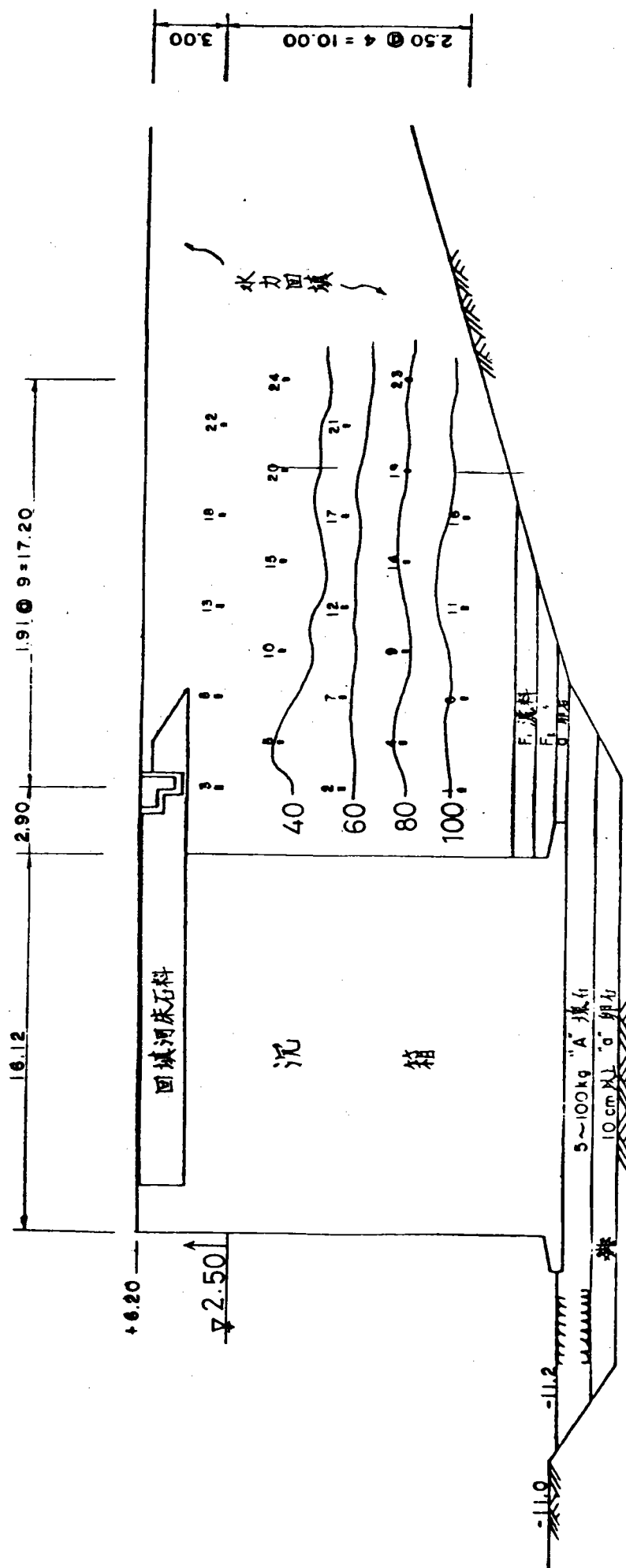


圖 9-11 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

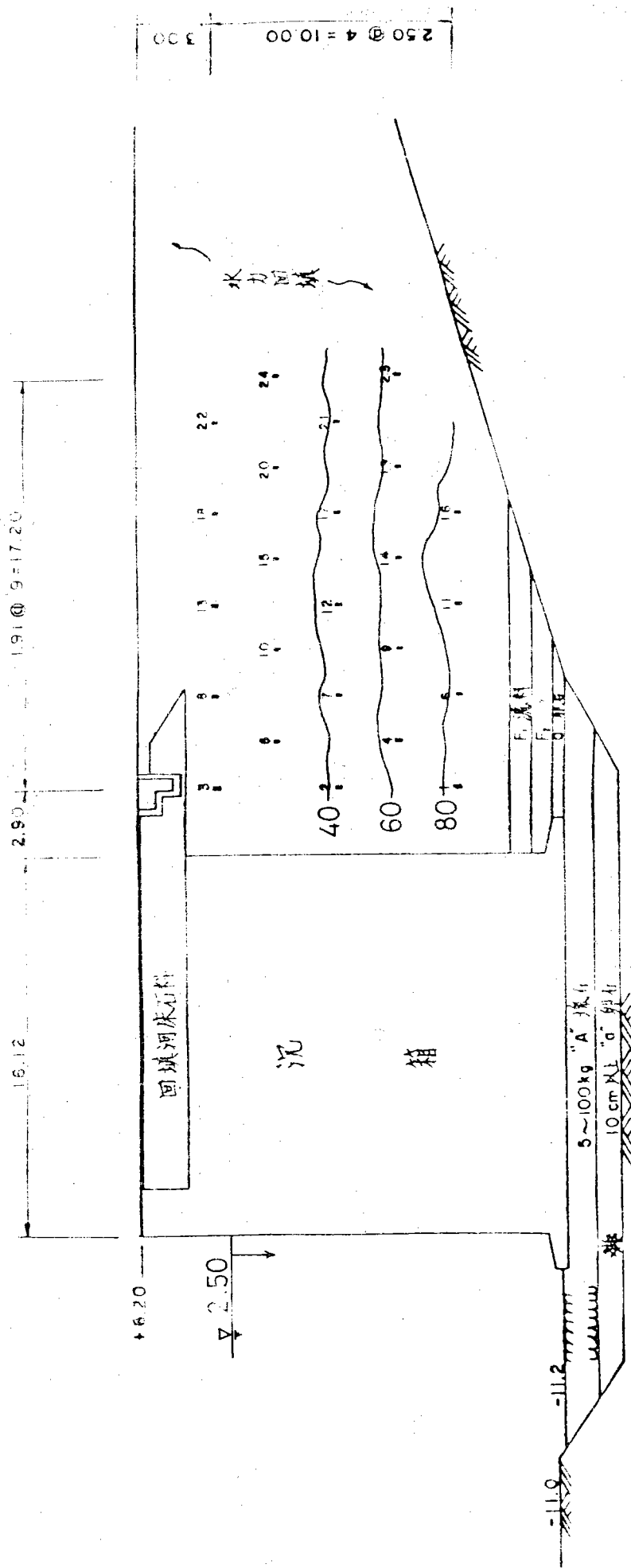


圖 9-12 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:250 M

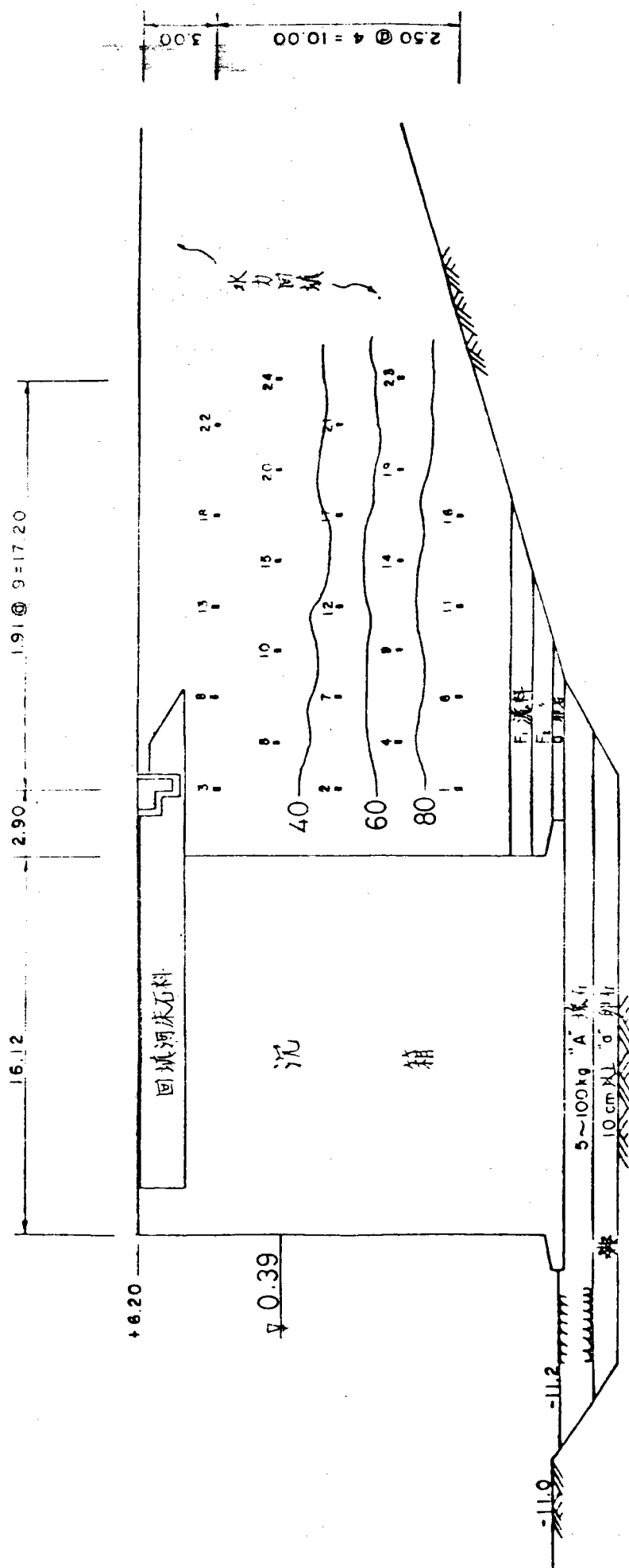


圖 9-13 廿五號碼頭孔隙水壓分佈曲線 1:2.50 M

10. 結論與建議

本項基本研究歷時兩年，在國內從事碼頭殘留水位研究係屬首創，即因為如此，故研究方法格外慎重，為求研究另有突破，乃就理論分析，試驗模擬與現場實測相互比較獲取之分析資料，尤其利用 UCAM—8BL 測定儀器系統在國內亦屬首次，能引用新穎儀器，進行有關研究，不僅資料可貴，研究成果有分量，且藉此訓練本所研究人員熟習儀器之操作與應用，亦為一項無形之成果。

就現場碼頭殘留水位觀測分析而言，因台中港位於台灣中西部海岸，且正值台中港第三期工程施工之際，乃得於配合工程進行埋設水壓轉換器測定計 (Transducer) 以量取孔隙水壓 (Pore Pressure) 藉由 UCAM—8BL 分析碼頭後線滲透壓之分佈曲線，而且分別就沈箱式碼頭 (即如台中港第 25 號碼頭) 與棧橋式碼頭 (如台中港第 27 號碼頭) 基礎級配，碼頭型式不同各予以實測分析比較亦為非常難得之資料，由於中港局與榮工處之協助，故能順利安裝觀測井七座，埋設 24 個水壓轉換器測定計，并能連續觀測獲致半年之實測記錄。水位記錄方面，目前仍繼續觀測中，因此實測部分已足夠與試驗模擬相比較，其分析資料亦可充分提供規劃設計之參考依據。

試驗模擬方面進行沉箱式碼頭後線殘留水位情況，按 Froude 模型相似得，并以雙向丁字型控制閥控制抽水馬達水量以使水位發生變化。俾模擬現場之漲落潮測定儀器亦利用水壓轉換器測定計 (Transducer) 之埋設，碼頭前放置兩個 Transducer 以記錄水位變化，利用 UCAM—8BM 將資料在分析而獲致一連串試驗結果，分成六種情況進行潮位轉換而得各種試驗模擬碼頭後線之孔水壓分佈曲線。

現場觀測方面，則除分別在沈箱式碼頭及棧橋式碼頭背後開挖觀測井設置水位計前後計六座以量取碼頭前航道與後線，自由水表面之高低差，即殘留水位差，俾得以統計分析，經半年多之連續觀測分析，已獲致完整之資料，提供今後港灣建設、擴建等設計之參考依據，另外又在碼頭後線鑽挖埋設壓力測定器至各種不同水深，連接至 UCAM—8BL 俾得以量取每一時刻各點之孔隙水壓分佈，與

試驗模擬所獲致之公佈趨勢極為相近，因各種試驗情況之結果，均得以與現場實測結果相比較，故為相當充分之研究成果，更進一步提升本研究之實用價值。