

深水防波堤理論分析與試驗研究



交通部運輸研究所

中華民國八十二年十二月

**交通部運輸研究所
合作研究計畫出版品摘要表**

出版品名稱 中文：深水防波堤理論分析與試驗研究 外文：Theoretical Analysis & Experiment Study For Deep Water Breakwater			
國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號 009104820740	運輸研究所出版品編號 82-87-226	
本所主辦單位：運輸工程組 主管：侯和雄 計畫主持人：侯和雄 研究人員：歐陽餘慶 翁國和	合作研究單位：成功大學 水利及海洋工程研究所 計畫主持人：郭金棟 研究人員：簡仲和、高家俊 邱耀達、鄭順安…等 地址：台南市大學路一號 聯絡電話：(06)2757575	研究期間 自 81年 07月 至 82年 04月	
關鍵詞：混成堤、波壓、上舉力、機率分佈。			
摘要： 混成堤試驗部份，模型採用幾何比尺1/49，就二種斷面各改變三種堤頂高程拍打 JONSWAP波譜作成之不規則波，以十組波壓計，二組位移計，測定波壓、上舉力及位移，波浪週期 $T = 9、11、13 \text{ sec}$ ， $H_o/d = 0.08 \sim 0.4$ ，其一斷面，檢測堤面波壓、堤底揚壓力及安定性，另一斷面則量測越波量，試次終了兩斷面之檢測項目再以對調繼續進行之，至試驗完成。試驗結果顯示，無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 皆隨 H_o/d 、 H_o/L_o 之增加而增加，水面附近之波壓隨 H_o/d 增加之幅度較大於近水底之波壓增加幅度，堤面之波壓分佈以靜水面下之最大波壓點位為分際，以下之各點波壓值隨水深之增加而遞減，以上之點則隨高程之增加而遞減，此分佈與微小振幅重複波、Sainflou 與 Tadjbakhsh-Keller 重複波三次解等理論波壓公式比較結果顯示，重複波三階解與試驗值較吻合。另外，經用柯-司(Kolmogorov-Smirnov K-S)的密合度試驗法檢定 Weibull、Rayleigh 及 Log-normal 等理論機率分佈模式與水面下最大波壓發生點之波壓機率分佈顯示，Weibull 分佈較能有效描述試驗值之機率分佈情況。由統計波壓比值顯示， $P_{max}/P_{1/3}$ 與 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 之值域範圍有隨 H_o/d 之增加而增寬的趨勢，其比值分別約在1.2~1.8及1.16~1.28，堤底上舉力比值約在1.2~2.8 及1.2~2， $P_{mean}/P_{1/3}$ 與 $P_{rms}/P_{1/3}$ 之比值則與 H_o/d 之關係並不顯著，其比值各約為0.7、0.8。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
82年11月	176	420	凡屬機密性或限閱性出版品均不對外公開。一般性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
管制等級： <input type="checkbox"/> 機密 (<input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 承辦單位視情況辦理解密) <input type="checkbox"/> 限閱 (<input type="checkbox"/> 解限日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 承辦單位視情況辦理解限) <input checked="" type="checkbox"/> 一般			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

摘要

本所接受交通部運研所委託進行深水防波堤之理論分析與試驗研究，就先期規劃之二種混成堤斷面，一種拋石堤斷面及一種新型斷面，分別進行試驗。

混成堤試驗部份，模型採用幾何比尺1/49，就二種斷面各改變三種堤頂高程拍打 JONSWAP波譜作成之不規則波，以十組波壓計，二組位移計，測定波壓、上舉力及位移，波浪週期 $T = 9、11、13 \text{ sec}$ ， $H_0/d = 0.08 \sim 0.4$ ，其一斷面，檢測堤面波壓、堤底揚壓力及安定性，另一斷面則量測越波量，試次終了兩斷面之檢測項目再以對調續進行之，至試驗完成。試驗結果顯示，無因次波壓 $P_{1/3}/\rho d$ 皆隨 H_0/d 、 H_0/L_0 之增加而增加，水面附近之波壓隨 H_0/d 增加之幅度較大於近水底之波壓增加幅度，堤面之波壓分佈以靜水面下之最大波壓點位為分際，以下之各點波壓值隨水深之增加而遞減，以上之點則隨高程之增加而遞減，此分佈與微小振幅重複波、Sainflou 與Tadjbakhsh-Keller重複波三次解等理論波壓公式比較結果顯示，重複波三階解與試驗值較吻合。另外，經用柯-司(Kolmogorov-Smirnov K-S)的密合度試驗法檢定Weibull、Rayleigh及Log-normal等理論機率分佈模式與水面下最大波壓發生點之波壓機率分佈顯示，Weibull 分佈較能有效描述試驗值之機率分佈情況。由統計波壓比值顯示， $P_{\max}/P_{1/3}$ 與 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 之值域範圍有隨 H_0/d 之增加而增寬的趨勢，其比值分別約在1.2~1.8及1.16~1.28，堤底上舉力比值約在1.2~2.8 及1.2~2， $P_{\text{mean}}/P_{1/3}$ 與 $P_{\text{rms}}/P_{1/3}$ 之比值則與 H_0/d 之關係並不顯著，其比值各約為0.7、0.8。

由各點最大波壓 P_{\max} 合成之波力與Goda波壓經驗公式比較結果顯示， H_0/d 大時Goda公式／試驗值之比例愈小，即Goda公式於 H_0/d 較大 d/L_0 較小時愈有高估之趨勢，本文乃依此提出Goda波壓經驗公式之修正式，修正後之結果並與兩組試驗數據之合成波力作比較，其結果顯示本計畫所提議之修正式尚屬合理。由位移計之檢測結果顯示，混成堤其直立部無晃動及滑動現象，表示先期規劃之二種混成堤斷面均安定。由越波量之分析顯示，各不同週期之越波量皆隨 H_0/d 之增加而增加，其增加之幅度隨週期之增加而增加，同一堤頂高同一 H_0/d 時， d/L_0 大者越波量愈少，先期規劃斷面堤頂降低1m對越波量影響不大，降低3m之越波量約增加2~3倍。

拋石堤安定試驗之模型幾何比尺及波浪條件與混成堤相同，堤面被覆層依不同試次分別佈放326克重(實體重38.35噸)之安卡塊、元鼎塊、協克塊及凌克塊等四種消波塊。試驗前，三種週期之波浪各選取2~3種較大之波高，試驗時固定週期先拍打較小之波高，同時觀察消波塊破壞情形，若無破壞情形發生，則此波高拍打400個波後，改換另一較大之波高續進行試驗，若有破壞情形發生，此波高續拍打至1000個波，以瞭解其穩定之狀況。待波高改換至 $H_{1/3}=16.3\text{cm}$ (實體 $H_{1/3}=8\text{m}$)時，以此條件拍打1000個波，並記錄破壞情形，其後改變週期續以進行試驗，待四種消波塊皆測試後即完成試驗。經觀測結果顯示，安卡塊、元鼎塊及凌克塊無破壞情形，協克塊則於三個週期皆有破壞情形發生。

基於施工及減壓之考慮本所構想出之新式防波堤係為一雙傾斜式防波堤，其外型如照片5-1-1A、5-1-1B及圖5-1-1所示，其堤面之垂直剖面採傾斜面與水平面成 θ 角，水平剖面則由與入射波向成 α 交角之二斜面相交成三角形。本所先以4(V):1(H)之傾斜面($\theta=75^\circ 58'$)， α 角為 0° 、 22.5° 及 45° 之三種水平斷面做為雙傾斜式防波堤之堤面，不設拋石護基，堤面整體直達海底床做為試驗斷面。試驗以規則波進行，分別以六組波壓計檢測堤面上之波壓，並利用自行設計之測力桿件檢測測全堤面之水平波力，模型試驗比尺1/50，實體堤址水深29.4m，波浪週期 $T=9.3$ 、11.3、13.5sec，試驗波高拍打範圍3.92~9.8m，試驗分析結果顯示，波壓強度不論何種情況以靜水面附近最大，往下愈近底床愈小。就同一位置之波壓言，波高愈大時其波壓愈大，而相對水深愈小或週期愈長者其波壓亦愈強。於 $\theta=75^\circ 58'$ (1H:4V)之情形言，以 $\alpha=22.5^\circ$ 之波壓最小， $\alpha=0^\circ$ 者次之， $\alpha=45^\circ$ 者反大，可能係短峰波影響所致。 α 角對水面附近之波壓影響較大，愈近底床影響愈不明顯。就同一波高而言，相對水深小(或週期長)者之水平波力較大。水平波力顯示 $\alpha=0^\circ$ 時較大， $\alpha=22.5^\circ$ 時較 $\alpha=0^\circ$ 者小，而 $\alpha=45^\circ$ 時最小，週期長者 α 角之影響較顯著，尤以波高大時更為明顯。實測水平波力除週期 $T=1.93\text{秒}$ $\alpha=0^\circ$ 及 22.5° 之二個試次外均較換算水平波力小，亦即由波壓積分乘以 $\sin\theta\cos\alpha$ 後之水平波力大於實測值，即在安全側，二者誤差不超過10%。

目 錄

摘 要	-----	I
符號說明	-----	V
表 目 錄	-----	VII
圖 目 錄	-----	VIII
照片目錄	-----	XIV
第 一 章	前言 -----	1
第 二 章	理論分析 -----	3
第 三 章	混成堤試驗 -----	10
3-1	模型比尺 -----	10
3-2	斷面佈置情形 -----	11
3-3	試驗之設備、步驟及分析方法 -----	11
3-3-1	試驗之設備 -----	11
3-3-2	試驗步驟 -----	12
3-3-3	試驗分析方法 -----	13
3-4	試驗分析結果與討論 -----	14
3-4-1	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係 -----	14
3-4-2	波壓於堤面之分佈與理論波壓公式之比較 -----	16
3-4-3	代表波壓之比值 -----	16
3-4-4	波壓之機率分佈特性 -----	18
3-4-5	波力經驗公式 -----	21
3-4-6	變位 -----	23
3-4-7	越波量 -----	24
第 四 章	拋石堤安定試驗 -----	25
4-1	模型佈置 -----	25
4-2	試驗波浪條件及流程 -----	25
4-3	試驗結果 -----	26
第 五 章	新型防波堤試驗 -----	35
5-1	新型防波堤之構想 -----	35

5-2	試驗設備與試驗方法	-----	36
5-2-1	模型比尺及試驗條件	-----	36
5-2-2	模型製作	-----	37
5-2-3	試驗設備	-----	37
5-2-4	試驗方法	-----	39
5-3	試驗結果與分析	-----	39
5-3-1	堤面波壓	-----	39
5-3-2	水平波力	-----	40
5-3-3	水平波力與波壓積分之關係	-----	41
第 六 章	結論與建議	-----	42
參考文獻		-----	47

符 號 說 明

d	堤址水深
F	波力
H	堤防前面進行波之波高
H_p	堤防前面進行波之波高(實體)
H_m	堤防前面進行波之波高(模型)
H_{max}	最大波高
$H_{1/10}$	1/10最大波高
$H_{1/3}$	1/3最大波高(指示波高)
H_{mean}	平均波高
H_o	深海波高
L_o	深海波長
n	樣本數
P	波壓
P_{max}	最大波壓
$P_{1/10}$	1/10最大波壓
$P_{1/3}$	1/3最大波壓
P_{mean}	平均波壓
P_{rms}	均方根波壓
r	水之單位體積重量
T	波浪週期
T_p	波浪週期(實體)
T_m	波浪週期(模型)
F/rd^2	波力無因次參數

H_o/d	波高水深比
H_o/L_o	波形尖銳度
d/L_o	相對水深比
P/rd	波壓無因次參數
θ	新式防波堤傾斜面與水平面之交角
θ_c	沉箱之晃動角度
W	消波塊每一塊重量
W_p	消波塊每一塊重量 (ton) (實體)
W_m	消波塊每一塊重量 (g) (模型)
K_d	安定係數
K_s	淺化係數
Q	單位寬度單位時間之越波量 ($m^3/m/sec$)
S_r	混凝土對於海水之比重 (2.23)
D_n	試驗值的累積機率曲線與理論模式累積機率曲線間的最大差值
$D_n^{\alpha_K}$	K-S密合度試驗於有效水準 α_K ，樣點數 n 個時查表所得之值
α	新式防波堤水平剖面與入射波向之交角
α_w	Weibull分佈尺度參數
β	Weibull分佈形狀參數
μ	Log-normal分佈尺度參數
σ	Log-normal分佈形狀參數
μ_r	Rayleigh分佈尺度參數

表 目 錄

表 3-1-1	模型之各項物理量 -----	10
表 3-3-1	不同堤址水深及堤頂高程之試次編號 -----	13
表 3-4-1	波壓對應各機率分佈式之參數值 -----	19
表 3-4-2	柯-司 (Kolmogorov-Smirnov K-S) 試驗中 $D_n^{\alpha k}$ 值的 臨界值 -----	19
表 3-4-3	K-S 密合度試驗之 D_n 及 $D_n^{\alpha k}$ 值 -----	20
表 3-4-4	Goda 波壓公式之修正式 -----	23
表 4-3-1A	拋石堤安定試驗記錄 (安卡塊, $T=1.29$ sec) -----	27
表 4-3-1B	拋石堤安定試驗記錄 (安卡塊, $T=1.57$ sec) -----	27
表 4-3-1C	拋石堤安定試驗記錄 (安卡塊, $T=1.86$ sec) -----	28
表 4-3-2A	拋石堤安定試驗記錄 (元鼎塊, $T=1.29$ sec) -----	29
表 4-3-2B	拋石堤安定試驗記錄 (元鼎塊, $T=1.57$ sec) -----	29
表 4-3-2C	拋石堤安定試驗記錄 (元鼎塊, $T=1.86$ sec) -----	30
表 4-3-3A	拋石堤安定試驗記錄 (協克塊, $T=1.29$ sec) -----	30
表 4-3-3B	拋石堤安定試驗記錄 (協克塊, $T=1.57$ sec) -----	31
表 4-3-3C	拋石堤安定試驗記錄 (協克塊, $T=1.86$ sec) -----	31
表 4-3-4A	拋石堤安定試驗記錄 (凌克塊, $T=1.29$ sec) -----	32
表 4-3-4B	拋石堤安定試驗記錄 (凌克塊, $T=1.57$ sec) -----	32
表 4-3-4C	拋石堤安定試驗記錄 (凌克塊, $T=1.86$ sec) -----	33
表 4-3-5	Hudson 公式計算拋石堤被覆不同塊體時之 堤前容許設計波高 H -----	34
表 4-3-6	不同週期及水深條件所計算出之堤前波高 H -----	34
表 5-2-1	實體波浪及水深與模型波浪及水深之關係 -----	36

圖 目 錄

圖2-1	Goda波壓經驗公式符號標示圖	-----	48
圖3-1-1A	混成堤標準斷面設計圖(堤址高程-30m)	-----	49
圖3-1-1B	混成堤標準斷面設計圖(堤址高程-26m)	-----	50
圖3-2-1	混成堤及拋石堤試驗之平面及斷面佈置圖	-----	51
圖3-2-2	波壓計及位移計佈置點位及編號	-----	52
圖3-3-1	試驗波譜與其理論波譜之比較	-----	53
圖3-4-1	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-1)	---	54
圖3-4-2	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-1)	---	55
圖3-4-3	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-1)	---	56
圖3-4-4	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-2)	---	57
圖3-4-5	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-2)	---	58
圖3-4-6	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-2)	---	59
圖3-4-7	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-3)	---	60
圖3-4-8	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-3)	---	61
圖3-4-9	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-3)	---	62
圖3-4-10	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-1)	---	63
圖3-4-11	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-1)	---	64
圖3-4-12	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-1)	---	65
圖3-4-13	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-2)	---	66
圖3-4-14	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-2)	---	67
圖3-4-15	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-2)	---	68
圖3-4-16	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-3)	---	69
圖3-4-17	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-3)	---	70
圖3-4-18	無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-3)	---	71

圖3-4-19	測點P2、P8於相同堤頂高程、不同 d/L_0 條件下 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖	72
圖3-4-20	測點P2、P8於相同堤頂高程、不同 d/L_0 條件下 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖	73
圖3-4-21	測點P2、P8於不同堤頂高程、相同 d/L_0 條件下 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖	74
圖3-4-22	測點P2、P8於不同堤頂高程、相同 d/L_0 條件下 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖	75
圖3-4-23	試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較(CASE A-1)	76
圖3-4-24	試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較(CASE A-2)	77
圖3-4-25	試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較(CASE A-3)	78
圖3-4-26	試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較(CASE B-1)	79
圖3-4-27	試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較(CASE B-2)	80
圖3-4-28	試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較(CASE B-3)	81
圖3-4-29	$P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE A-1)	82
圖3-4-30	$P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE A-2)	83
圖3-4-31	$P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE A-3)	84
圖3-4-32	$P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE B-1)	85
圖3-4-33	$P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE B-2)	86
圖3-4-34	$P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE B-3)	87
圖3-4-35	$P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE A-1)	88
圖3-4-36	$P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE A-2)	89
圖3-4-37	$P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE A-3)	90
圖3-4-38	$P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE B-1)	91
圖3-4-39	$P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE B-2)	92
圖3-4-40	$P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE B-3)	93

圖3-4-41	$P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-1)	-----	94
圖3-4-42	$P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-2)	-----	95
圖3-4-43	$P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-3)	-----	96
圖3-4-44	$P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-1)	-----	97
圖3-4-45	$P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-1)	-----	98
圖3-4-46	$P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-1)	-----	99
圖3-4-47	$P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-1)	-----	100
圖3-4-48	$P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-2)	-----	101
圖3-4-49	$P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE A-3)	-----	102
圖3-4-50	$P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-1)	-----	103
圖3-4-51	$P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-2)	-----	104
圖3-4-52	$P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖(CASE B-3)	-----	105
圖3-4-53	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE A-1)	-----	106
圖3-4-54	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE A-1)	-----	106
圖3-4-55	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE A-1)	-----	107
圖3-4-56	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE A-3)	-----	107
圖3-4-57	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE A-3)	-----	108
圖3-4-58	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE A-3)	-----	108
圖3-4-59	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE B-1)	-----	109
圖3-4-60	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE B-1)	-----	109
圖3-4-61	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE B-1)	-----	110
圖3-4-62	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE B-3)	-----	110
圖3-4-63	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE B-3)	-----	111
圖3-4-64	波壓之累積及超越機率分佈圖(CASE B-3)	-----	111
圖3-4-65A	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)	-----	112
圖3-4-65B	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)	-----	112

圖3-4-66A	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)	-----	113
圖3-4-66B	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)	-----	113
圖3-4-67A	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)	-----	114
圖3-4-67B	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)	-----	114
圖3-4-68A	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)	-----	115
圖3-4-68B	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)	-----	115
圖3-4-69A	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)	-----	116
圖3-4-69B	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)	-----	116
圖3-4-70A	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)	-----	117
圖3-4-70B	Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)	-----	117
圖3-4-71A	試驗值與Goda波壓公式計算結果之比值曲線與 H_0/d 之關係圖		118
圖3-4-71B	試驗值與Goda波壓公式計算結果之比值曲線與 H_0/d 之關係圖		118
圖3-4-72A	Goda波壓公式修正後之計算結果與試驗值之比較(波力)	---	119
圖3-4-72B	Goda波壓公式修正後之計算結果與試驗值之比較(上舉力)	-	119
圖3-4-73A	Goda波壓公式修正後之計算結果與試驗值之比較(波力)	---	120
圖3-4-73B	Goda波壓公式修正後之計算結果與試驗值之比較(上舉力)	-	120
圖3-4-74	混成堤之晃動角度(CASE A-1)	-----	121
圖3-4-75	混成堤之晃動角度(CASE A-2)	-----	121
圖3-4-76	混成堤之晃動角度(CASE A-3)	-----	121
圖3-4-77	混成堤之晃動角度(CASE B-1)	-----	122
圖3-4-78	混成堤之晃動角度(CASE B-2)	-----	122
圖3-4-79	混成堤之晃動角度(CASE B-3)	-----	122
圖3-4-80	相同試次不同週期之越波量與 H_0/d 之關係圖(CASE A)	-----	123
圖3-4-81	相同試次不同週期之越波量與 H_0/d 之關係圖(CASE B)	-----	124
圖3-4-82	相同週期不同試次之越波量與 H_0/d 之關係圖(CASE A)	-----	125
圖3-4-83	相同週期不同試次之越波量與 H_0/d 之關係圖(CASE B)	-----	126

圖3-4-84	相同試次同週期之無因次越波量與 H_o/d 之關係圖(CASE A)	- 127
圖3-4-85	相同試次同週期之無因次越波量與 H_o/d 之關係圖(CASE B)	- 128
圖4-1-1	拋石堤標準斷面設計圖	----- 129
圖5-1-1	雙傾斜式防波堤之側視及上視圖	----- 130
圖5-2-1	雙傾斜式防波堤模型結構圖	----- 131
圖5-2-2	雙傾斜式防波堤試驗之平面及斷面佈置圖	----- 132
圖5-2-3	波壓計佈置點位及編號	----- 133
圖5-2-4	波壓計P1之壓力與輸出電壓率定圖	----- 134
圖5-2-5	惠斯敦電橋和應變計佈置圖	----- 135
圖5-2-6	測力桿A之受力與輸出電壓率定圖	----- 135
圖5-3-1A	$\alpha=0^\circ$, $d/L_o=0.199$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 136
圖5-3-1B	$\alpha=0^\circ$, $d/L_o=0.132$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 137
圖5-3-1C	$\alpha=0^\circ$, $d/L_o=0.102$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 138
圖5-3-2A	$\alpha=22.5^\circ$, $d/L_o=0.199$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 139
圖5-3-2B	$\alpha=22.5^\circ$, $d/L_o=0.132$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 140
圖5-3-2C	$\alpha=22.5^\circ$, $d/L_o=0.102$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 141
圖5-3-3A	$\alpha=45^\circ$, $d/L_o=0.199$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 142
圖5-3-3B	$\alpha=45^\circ$, $d/L_o=0.132$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 143
圖5-3-3C	$\alpha=45^\circ$, $d/L_o=0.102$, P/rd 對 H_o/d 之關係圖	----- 144
圖5-3-4	$d/L_o=0.199$ 時, 各種 α 的波壓比較圖	----- 145
圖5-3-4	$d/L_o=0.199$ 時, 各種 α 的波壓比較圖	----- 146
圖5-3-5	$d/L_o=0.132$ 時, 各種 α 的波壓比較圖	----- 147
圖5-3-5	$d/L_o=0.132$ 時, 各種 α 的波壓比較圖	----- 148
圖5-3-6	$d/L_o=0.102$ 時, 各種 α 的波壓比較圖	----- 149
圖5-3-6	$d/L_o=0.102$ 時, 各種 α 的波壓比較圖	----- 150
圖5-3-7	$d/L_o=0.199$ 、不同 α 時, F/rd^2 對 H_o/d 之關係圖	----- 151

圖5-3-8	$d/L_o=0.132$ 、不同 α 時， F/rd^2 對 H_o/d 之關係圖	-----	152
圖5-3-9	$d/L_o=0.102$ 、不同 α 時， F/rd^2 對 H_o/d 之關係圖	-----	153
圖5-3-10A	$\alpha=0^\circ$ 、 $d/L_o=0.199$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	154
圖5-3-10B	$\alpha=0^\circ$ 、 $d/L_o=0.132$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	155
圖5-3-10C	$\alpha=0^\circ$ 、 $d/L_o=0.102$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	156
圖5-3-11A	$\alpha=22.5^\circ$ 、 $d/L_o=0.199$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	157
圖5-3-11B	$\alpha=22.5^\circ$ 、 $d/L_o=0.132$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	158
圖5-3-11C	$\alpha=22.5^\circ$ 、 $d/L_o=0.102$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	159
圖5-3-12A	$\alpha=45^\circ$ 、 $d/L_o=0.199$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	160
圖5-3-12B	$\alpha=45^\circ$ 、 $d/L_o=0.132$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	161
圖5-3-12C	$\alpha=45^\circ$ 、 $d/L_o=0.102$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖	-----	162

照 片 目 錄

照片 3-2-1A	量測波壓及位移之沉箱模型佈置	-----	163
照片 3-2-1B	量測波壓及位移之沉箱模型受波浪作用的情形	---	163
照片 3-2-2A	量測越波量之沉箱模型佈置	-----	164
照片 3-2-2B	量測越波量之沉箱模型量測的情形	-----	164
照片 4-1-1	(A)安卡塊(B)元鼎塊(C)協克塊(D)凌克塊	-----	165
照片 4-1-2A	安卡塊排列方式	-----	165
照片 4-1-2B	元鼎塊排列方式	-----	166
照片 4-1-2C	協克塊排列方式	-----	166
照片 4-1-2D	凌克塊排列方式	-----	167
照片 4-3-1A	安卡塊受波浪作用的情形	-----	168
照片 4-3-1B	安卡塊受波浪作用的情形	-----	168
照片 4-3-2A	元鼎塊受波浪作用的情形	-----	169
照片 4-3-2B	元鼎塊受波浪作用的情形	-----	169
照片 4-3-3A	協克塊佈置於模型中之編號方式	-----	170
照片 4-3-3B	協克塊佈置於模型中之編號方式	-----	170
照片 4-3-3C	協克塊發生晃動破壞的情形	-----	171
照片 4-3-3D	協克塊發生晃動破壞的情形	-----	171
照片 4-3-3E	協克塊發生翻轉破壞的情形	-----	172
照片 4-3-3F	協克塊發生翻轉及下滑破壞的情形	-----	172
照片 4-3-3G	協克塊發生破壞的情形	-----	173
照片 4-3-3H	協克塊發生破壞的情形	-----	173
照片 4-3-4A	凌克塊受波浪作用的情形	-----	174
照片 4-3-4B	凌克塊受波浪作用的情形	-----	174
照片 5-1-1A	雙傾斜式防波堤模型	-----	175
照片 5-1-1B	雙傾斜式防波堤模型	-----	175

第一章 前言

爲因應我國未來航運成長以及世界航運發展趨勢，台灣地區需籌建深水港，俾能提供深水船席提供大宗散貨及工業原料裝卸，同時構築新生地作爲工業區及機場用地。然因深水防波堤水深堤高比一般之防波堤高，箱斷面較大，拋石基礎亦較寬，工程費高昂，倘堤體斷面、堤頂高及堤寬不能依據波浪條件切實予以掌握，則影響工程費及堤體之安全，故需對波壓、上舉力詳加研究，務期設計之防波堤斷面能儘量縮小而不影響其安全以期節省工程費。由於一般波壓公式係依普通水深試驗或實驗之結果爲依據所提議之公式，是否適宜於深水情況有待驗證，而這些波壓公式除Goda公式採不規則波觀念外，其餘如Sainflou, Minikin等均以規則波爲設計基準，是否吻合實際海洋波壓亦值得深入探討。而上舉力一向少加研究，凡此均值得再深入探討。

拋石堤一般均以Hudson公式設計被覆層消波塊重量，但此公式不無缺陷，有尚待進一步探討修正，而各型消波塊之安定係數亦因水深、波浪條件、損害率而異，有待客觀評估。

我國建造防波堤頗具經驗，唯水深僅達24 m都採混成堤型式，而拋石堤則僅達數公尺，深水防波堤尚乏經驗，日本雖有水深達60 m之建造經驗，但屬防禦海嘯之防波堤其設計波高較小，防波堤長度亦有限。然日本爲建造深水防波堤於事前經近十年之研究，開發若干新型之防波堤，唯此等防波堤型式是否適用於波浪條件兇惡之台灣海域以及施工設備有待探討。

台灣過去於成大、興大、港研所等研究單位曾就直立沉箱、開孔沉箱及拋石堤等從事試驗及理論研究頗有成果，但對大水深防波堤問題因過去無此需要而較少研究，爲因應未來港灣建設需要實有深入研究之必要。

本所接受交通部運研所委託進行深水防波堤之理論分析與試驗研究，依運研所提供之先期規劃混成堤斷面二種及拋石堤斷面一種並提出新型斷面一種，分別進行試驗及理論分析，各項工作均以完成。

本報告共分六章分別加以說明，除本章外第二章爲解析試驗值所引用之理論公式說明，第三章爲混成堤之斷面佈置、試驗設備及試驗結果討論，第四章爲拋石堤安定性之斷面佈置及試驗結果，第五章爲新式防波堤之斷面佈置、試驗設備及試驗結果討論，第六章則爲各項試驗之結論與建議。

第二章 理論分析

本計畫除直接分析各項試驗所攫取之資料外，並代用數種理論公式解析試驗值，以瞭解其間之差異。其中，淺化係數乃以Shuto(1974)^[1]公式計算，藉由此係數可計算深海波高受淺化作用傳遞至堤址之波高。混成堤堤面波壓分佈則代用微小振幅波^[2]、Sainflou^[2]、Tadjbakhsh-Keller^[2]三次近似重複波等波壓理論解析之，以比較理論與試驗波壓分佈之差異。堤面之波壓機率分佈型態乃以 Weibull^[3]、Rayleigh^[3]及 Log-normal^[3]等理論分佈模式比較試驗值之累積及超越機率分佈，同時以柯-司(Kolmogorov-Smirnov K-S)的密合度試驗法^[4]檢定理論分佈式之適用性。混成堤之波力經驗式則以 Goda波壓經驗式^[1]為基礎，藉由其與試驗值之比較結果對Goda經驗式作一適當的修正。拋石堤安定試驗則代用 Hudson^[1]公式反算堤前容許波高並與試驗之堤前最大波高作比較，藉此瞭解Hudson公式之適用性。上述之各項經驗及理論公式詳述如下：

一. Shuto 淺化係數計算公式

由於本計畫之混成堤試驗及拋石堤安定試驗所使用之造波機所拍打出之波浪屬中間性波，因此需將造波機前之波高計所測得之波高利用淺化係數 K_s 換算至深海波高，另外於本文 3-4-2節之波壓於堤面之分佈與理論波壓公式之比較及4-3節等所需之堤前波高皆係利用深海波高以 K_s 係數計算求得。其中 K_s 係數係用Shuto公式計算之，公式之詳細內容及計算方法說明如下：

$$K_{s1} \equiv \frac{H}{H_0} = \frac{1}{\left(1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)}\right) \tanh \frac{2\pi d}{L}} \quad (2-1)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} K_s = K_{si} & : d_{30} \leq d \dots\dots\dots(2-2) \\ K_s = (K_{si}) \left(\frac{d_{30}}{d} \right)^{2.7} & : d_{50} \leq d < d_{30} \dots\dots(2-3) \\ K(\sqrt{K_s} - B) - C = 0 & : d < d_{50} \dots\dots\dots(2-4) \end{array} \right.$$

$$\left(\frac{d_{30}}{L_0} \right)^2 = \frac{2\pi}{30} \frac{H_0}{L_0} (K_{si})_{30} \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\left(\frac{d_{50}}{L_0} \right)^2 = \frac{2\pi}{50} \frac{H_0}{L_0} (K_s)_{50} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$B = \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{2\pi H_0/L_0}} \frac{d}{L_0} \dots\dots\dots(2-7)$$

$$C = \frac{C_{50}}{\sqrt{2\pi H_0/L_0}} \left(\frac{L_0}{d} \right)^{3/2} \dots\dots\dots(2-8)$$

$$C_{50} = (K_s)_{50} \left(\frac{d_{50}}{L_0} \right)^{3/2} \left(\sqrt{2\pi \frac{H_0}{L_0} (K_s)_{50}} - 2\sqrt{3} \frac{d_{50}}{L_0} \right) \dots\dots\dots(2-9)$$

式2-1 中之 K_{si} 係由微小振幅波理論所推導之淺化係數，式2-5中之 $(K_{si})_{30}$ 表代用式2-1於水深 $d=d_{30}$ 所計算之 K_{si} ， d_{30} 則由式2-5以疊代方法求之，式2-6 中之 $(K_s)_{50}$ 表水深 $d=d_{50}$ 所計算之 K_s ， $(K_s)_{50}$ 及 d_{50} 需聯立式2-4、2-6 以數值方法解之，此二式中之常數項如式2-7、2-8及2-9所示。計算初，以上述程序先解得 d_{30} 及 d_{50} ，再以式2-2~2-4判別以何式計算水深 d 之淺化係數並計算之，即可得水深 d 處之淺化係數 K_s 。

二．堤面動壓力理論公式

本文於 3-4-2節之波壓於堤面之分佈與理論波壓公式之比較中所代用之三種理論波壓公式，及 3-4-5節波力經驗公式中所代用之Goda波壓公式，其詳細內容及計算方式說明如下：

1. 微小振幅波重複波波壓公式

最大壓力發生在波峰出現時，其壓力強度為 P_a

$$P_a = -rz + rH \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh k(d+H)} \dots\dots\dots(2-10)$$

2. Sainflou 波壓公式

$$\Delta h_0 = \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi d}{L} \dots\dots\dots (2-11)$$

波峰出現時之靜水面、底床處壓力強度分別為 P_2 、 P_1 ，其公式為

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2 = (P_1 + rd) \frac{H + \Delta h_0}{d + H + \Delta h_0} \\ P_1 = \frac{rH}{\cosh \frac{2\pi d}{L}} \end{array} \right. \dots\dots\dots (2-12)$$

式 2-12 中之 Δh_0 表靜水面之升高量， H 表堤前波高。

3. Tadjbakhsh-Keller 重複波壓三次近似解

三次解動壓力於堤面之分佈方程式如下：

$$\begin{aligned} \frac{kP}{r} = & -kz + \frac{\epsilon^2}{8} (w_0^{-2} - w_0^2) - \frac{\epsilon^2}{2} \frac{\sinh^2 k(z+d)}{\sinh 2kd} + [A_{11} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \\ & + A_{12} \frac{\cosh 3k(z+d)}{\cosh 3kd} - A_{13} \frac{\sinh k(z+d) \sinh 2k(z+d)}{\sinh kd \cosh 2kd}] \cos \sigma t \\ & - [B_{11} - B_{12} \frac{\cosh 2k(z+d)}{\cosh 2kd} - B_{13} \frac{\sinh^2 k(z+d)}{\sinh 2kd}] \cos 2\sigma t \\ & - [C_{11} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} - C_{12} \frac{\cosh 3k(z+d)}{\cosh 3kd} - \\ & C_{13} \frac{\sinh k(z+d) \sinh 2k(z+d)}{\sinh kd \cosh 2kd}] \cos 3\sigma t \dots\dots\dots (2-13) \end{aligned}$$

$$\text{但： } w_0^2 = \tanh kd \dots\dots\dots (2-14)$$

波長 L 由下式推算

$$d/L_0 = (d/L) W_0^2 [1 + 1/32 \epsilon^2 (9W_0^{-8} - 12W_0^{-4} - 3 - 2W_0^4)] \quad (2-15)$$

$$L_0 = gT^2/2\pi \dots\dots\dots (2-16)$$

參數 $\epsilon=ka$ ，可依下式由 H/L 推算

$$kH = \epsilon + \epsilon^3/256 [27W_0^{-12} + 27W_0^{-8} + 96W_0^{-4} - 63 + 11W_0^4 + 6W_0^8] \quad (2-17)$$

各係數如下式：

$$A_{11} = \epsilon + \epsilon^3/64 (9W_0^{-8} - 12W_0^{-4} - 3 - 2W_0^4)$$

$$A_{12} = \epsilon^3/256 (1 + 3W_0^4) (3W_0^{-8} - 5 + 2W_0^4)$$

$$A_{13} = 3/16 \epsilon^3 (W_0^{-6} - W_0^2)$$

$$B_{11} = \epsilon^2/8 (3W_0^2 + W_0^{-2})$$

$$B_{12} = 3/8 \epsilon^2 (W_0^{-6} - W_0^{-2})$$

$$B_{13} = 1/2 \epsilon^2$$

$$C_{11} = 3/256 \epsilon^3 [9W_0^{-8} + 62W_0^{-4} - 31]$$

$$C_{12} = \epsilon^3/256 (1 + 3W_0^4) (27W_0^{-12} - 66W_0^{-8} + 39W_0^{-4})$$

$$C_{13} = 48/256 \epsilon^3 (W_0^{-6} - W_0^2)$$

其中橫作標位於靜水面，垂直方向為 z ，向上為正， T 為週期， L 為波長， d 為水深， $k=2\pi/L$ ， $a=H/2$ ， r 為單位水重。

4. Goda 波壓經驗公式

$$H_{1/3} = \begin{cases} k_s H_0 & : d/L_0 \geq 0.2 \\ \min[(\beta_0 H_0 + \beta_1 d), \beta_{\max} H_0, k_s H_0] & : d/L_0 < 0.2 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2-18)$$

$$H_{\max} \equiv H_{1/250} = \begin{cases} 1.8 k_s H_0 & : d/L_0 \geq 0.2 \\ \min[(\beta_0^* H_0 + \beta_1^* d), \beta_{\max}^* H_0, 1.8 k_s H_0] & : d/L_0 < 0.2 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

式 2-18、2-19 中之 K_s 係代用 Shuto 公式所計算之淺化係數。

$$\beta_0 = 0.028 (H_0/L_0)^{-0.38} \exp(20 \tan^{1.5} \theta)$$

$$\beta_1 = 0.52 \exp(4.2 \tan \theta)$$

$$\beta_{\max} = \max[0.92, 0.32 (H_0/L_0)^{-0.29} \exp(2.4 \tan \theta)]$$

$$\beta_0^* = 0.052 (H_0/L_0)^{-0.38} \exp(20 \tan^{1.5} \theta)$$

$$\beta_1^* = 0.63 \exp(3.8 \tan \theta)$$

$$\beta_{\max}^* = \max[1.65, 0.53 (H_0/L_0)^{-0.29} \exp(2.4 \tan \theta)]$$

$\max[a, b, c]$: a, b, c 之最大值

$\min[a, b, c]$: a, b, c 之最小值

$\tan \theta$: 海底底床之坡度

Goda波壓經驗公式中各符號標示如圖2-1。

(1)堤前設計波高 $H_{1/3}$ 、 H_{max}

指示波高 $H_{1/3}$ ：以堤址水深 d 代入式2-18推求。

最大波高 H_{max} ：碎波帶以外以 $1.8H_{1/3}$ 估算，

碎波帶內以堤址前 $5H_{1/3}$ 處之水深代入式2-19推求。

$$T_{max}=T_{1/3}$$

(2)波壓作用於堤面最高點距水面線之高程 η^*

$$\eta^*=0.75(1+\cos\beta_g)H_{max} \dots\dots\dots(2-20)$$

β_g ：波向與堤面法向之夾角

(3)直立堤堤面波壓

$$P_{g1} = \frac{1}{2}(1+\cos\beta_g)(\alpha_{g1}+\alpha_{g2}\cos^2\beta_g)rH_{max} \dots\dots\dots(2-21)$$

$$P_{g2} = \frac{P_{g1}}{\cosh(2\pi d/L)} \dots\dots\dots(2-22)$$

$$P_{g3} = \alpha_{g3}P_{g1} \dots\dots\dots(2-23)$$

其中

$$\alpha_{g1} = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right]^2$$

$$\alpha_{g2} = \min \left\{ \frac{d_b - d'}{3d_b} \left(\frac{H_{max}}{d'} \right)^2, \frac{2d'}{H_{max}} \right\}$$

$$\alpha_{g3} = 1 - \frac{h'}{d} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi d/L)} \right]$$

d_b ：堤址前 $5H_{1/3}$ 處之水深

(4) 直立堤堤趾處之上揚波壓

$$P_{gu} = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta_g) \alpha_{g1} \alpha_{g3} r H_{max} \dots\dots\dots (2-24)$$

(5) 直立堤堤面所受之波力 F_g 及堤底之上揚力 F_{gu}

$$F_g = \frac{1}{2} (P_{g1} + P_{g3}) d' + \frac{1}{2} (P_{g1} + P_{g4}) h_c^* \dots\dots\dots (2-25)$$

$$F_{gu} = \frac{1}{2} P_{gu} B \dots\dots\dots (2-26)$$

其中

$$P_{g4} = \begin{cases} P_{g1} (1 - h_c / \eta^*) & : \eta^* > h_c \\ 0 & : \eta^* \leq h_c \end{cases}$$

$$h_c^* = \min[\eta^*, h_c]$$

B : 直立堤堤底寬度

三. 波壓機率分佈函數

本文於3-4-4節之波壓之機率分佈特性中分析點波壓之機率分佈型態所代用之三種理論機率函數，其詳細內容及計算方式說明如下：

1. Weibull累積機率函數：

$$F(x; \alpha_\omega, \beta) = \int_0^x \alpha_\omega \beta t^{\beta-1} \exp(-\alpha_\omega t^\beta) dt = 1 - \exp(-\alpha_\omega x^\beta) \dots\dots\dots (2-27)$$

其超越機率密度函數為

$$E(x; \alpha_\omega, \beta) = 1 - F(x; \alpha_\omega, \beta) = \exp(-\alpha_\omega x^\beta) \dots\dots\dots (2-28)$$

x : 波壓 (g/cm^2)

參數 α_ω, β 可依下列方法估算之：

將超越機率密度函數 $E(x)$ 之倒數取兩次對數後，得

$$\ln \ln (1/E(x)) = \ln \alpha_\omega + \beta \ln x \dots\dots\dots (2-29)$$

式(A-19) 為一截距 $\ln \alpha_\omega$ ，斜率 β 的直線。只要先計算試驗數據的超越機率值，經線性迴歸後即可求得 α_ω 與 β 。

2. Rayleigh累積機率函數：

$$F(x; \mu_r) = \begin{cases} 1 - \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{\mu_r} \right)^2 \right] & \text{for } x \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots (2-30)$$

x : 波壓 (g/cm^2)
 $\mu_r = \sum x_i / n$
 n : 樣本數

3. Log-normal累積機率函數：

$$F(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{t} \exp[-0.5 \cdot (\ln t - \mu)^2 \cdot \sigma^{-2}] dt \quad x > 0$$

..... (2-31)

x : 波壓 (g/cm^2)
 $\mu = \sum \ln x_i / n$
 $\sigma = [\sum \ln^2 x_i / n - (\sum \ln x_i)^2 / n^2]^{1/2}$

四. Hudson 拋石堤被覆層塊石安定公式

本文於 4-3節由塊石重量反算拋石堤之堤前容許波高所代用之Hudson公式如下所示：

$$H = \sqrt[3]{\frac{WK_d(S_r - 1)^3 \cot \theta}{r_c}} \dots (2-32)$$

- W : 被覆石塊或混凝土每一塊重量 (ton)
 r_c : 混凝土單位體積重量 (2.3 ton/m^3)
 H : 堤防前面進行波之波高
 K_d : 安定係數
 S_r : 混凝土對於海水之比重 (2.23)
 θ : 堤防斜面仰角

第三章 混成堤試驗

本章混成堤試驗斷面如圖 3-1-1A、3-1-2B所示，係依交通部運輸研究所提供，該設計斷面係該所委託中華顧問工程公司所設計之高雄深水港先期規化斷面代表型式。

3-1. 模型比尺

本試驗之模型幾何比尺為1/49，採用等比縮尺，模型試驗之各物理量則依物理相似律決定。本試驗之波浪條件、堤址水深及混成堤沉箱之重量等經比尺計算後其結果如表3-1-1所示。

表 3-1-1 模型之各項物理量

項 目	實 體			模 型		
幾何比尺	1			1/49		
週 期(sec)	9	11	13	1.29	1.57	1.86
設計波高 $H_{1/3}$	8 m			16.33 cm		
暴潮位水深						
混成堤 A	32.6 m			66.5 cm		
混成堤 B	28.6 m			58.4 cm		
拋石堤	20.6 m			42.0 cm		
沉箱重量	1363.13 ton/m			567.73 kg/m		
波 壓	0.49 ton/m ²			1 g/cm ²		
位 移	0.49 m			1 cm		
沉箱晃動角度	1°			1°		
越 波 量	343 m ³ /m/sec			1 m ³ /m/sec		
消波塊重量	38.35 ton			326 g		

3-2. 斷面佈置情形

本試驗係假成功大學建國校區水利及海洋工程研究所之平面試驗水槽之東側進行，該水槽長40m、寬 13.1m、深 1m。水槽一端為日本KOWA公司製造之油壓伺服馬達驅動之活塞式不規則造波機，造波機前水深約80cm，平面水槽順著波浪方向分隔成四道斷面水槽；各槽寬約70cm，其中二道設置混成堤斷面，一道設置拋石堤斷面，三道水槽之堤前坡度皆為 1/100，堤址水深依先期規劃斷面設計水深各為66.5cm、58.4cm及42cm，另一道則不設置防波堤而供觀測進行波特性和用，其平面及斷面佈置如圖3-2-1所示。

混成堤之沉箱模型係按先期規劃斷面換算為模型尺寸以鐵板所製之鐵殼沉箱，堤頂可拆換成三種不同高度，沉箱模型之中空部份填沙，不足之重量置放鐵塊予以補足，以符合設計重量。兩種不同堤址水深之混成堤於同一波浪條件下分別檢測不同項目之資料，其中當一混成堤於堤後擺置水箱檢測越波量時，另一堤則於堤面及堤底佈置波壓計(共10個)，堤後佈置位移計(二組)，分別用以量測其波壓、上舉力分佈及沉箱之位移、轉動量。待三種不同高度之堤頂皆檢測後，再對調兩堤之檢測項目。波壓計及位移計佈置測點及編號如圖 3-2-2 所示，照片 3-2-1A，3-2-1B 則為量測波壓及位移之沉箱受波浪作用的情形，越波量之檢測則係利用一導流槽將越過堤頂之水體導至堤後設置之鐵箱，利用波高計量測鐵箱中水位變化高度，再由體積換算其越波量，照片3-2-2A，3-2-2B為越波量量測佈置及其量測的情形。

3-3. 試驗之設備、步驟及分析方法

3-3-1 試驗之設備

(1) 資料攫取系統

本試驗以HP9000 400之工作站配以HP3852之高速資料攫取機，用以控制造波並攫取試驗資料，為確保所攫取之試驗資料具代表性，因此每一頻道皆以攫取頻率 2000 Hz進行試驗，每試次拍打100 個波，由於所攫取之資料極多，因此搭配HP650A光碟機以光碟片儲存資料。

(2) 波壓計

本試驗佈置於堤面及堤底之10個波壓計係日本SSK株式會社之P306-02型，其直徑 3mm、厚1mm，最大感應度為 0.2kg/cm^2 ，波壓計直接聯結至HP3852內部模組之動態增幅器可將波壓計訊號增幅。

(3) 位移計

本試驗佈置於堤後量測沉箱位移、轉動量之二組位移計係日本總合技裝株式會社之TR50 100W型，與其搭配之動態增幅器同(2)所述。

(4) 波高計

本試驗量測造波機前波高所佈置之波高計係日本正豐工學實驗裝置製作所所製造之分壓式波高計，與其搭配之增幅器係該所所製造之WC-503型增幅器。

3-3-2 試驗步驟

(1) 率定試驗之波浪

本試驗之波浪採用JONSWAP波譜，其peak enhancement factor採取適用於台灣海域之2.08(歐，1977)。於試驗前首先率定波譜是否吻合理論波譜，圖 3-3-1為率定過程中，週期 1.29波高14.28cm時，其試驗波譜與其理論波譜之比較情形，待兩者吻合後即將其率定好之波譜儲存，並藉以進行試驗。

(2) 試驗步驟

(A) 試次分類

由於混成堤除進行波壓、位移及越波試驗外，尚需將堤頂降低1~3米以探討堤頂高程改變對波壓、位移及越波之影響，為便於說明，因此將A、B兩種不同堤址水深之混成堤依其堤頂高程予以編號如表3-3-1。

表 3-3-1 不同堤址水深及堤頂高程之試次編號

試次 編號	堤址水深 d		堤頂高程		h_c/d^*
	實體	模型	實體	模型	
A-1	32.6 m	66.5 cm	+10m	+15.10cm	0.2270
A-2	32.6 m	66.5 cm	+ 9m	+13.06cm	0.1963
A-3	32.6 m	66.5 cm	+ 7m	+ 8.98cm	0.1350
B-1	28.6 m	58.4 cm	+10m	+15.10cm	0.2587
B-2	28.6 m	58.4 cm	+ 9m	+13.06cm	0.2238
B-3	28.6 m	58.4 cm	+ 7m	+ 8.98cm	0.1538

* : h_c 表堤頂之出水高度

(B) 試驗流程

- 調整試驗所需之水位。
- 調整堤頂高度。
- 調整週期。
- 試驗拍打波浪前，先將儀器調整零點，以便記錄。
- 變換六種不同之波高，每種波高約拍打兩次。於試驗時，利用工作站直接抓取試驗資料。
- 重複(c)~(e)之步驟，直到三種不同週期之波高業已拍打完畢。
- 重複(b)~(f)步驟，直到三種不同堤頂高度皆試驗完成。

3-3-3 試驗分析方法

試驗波高之分析方式採用零上切法 (zero up-cross)，並依統計方法求出平均波高 H_{mean} ，1/3最大波高 $H_{1/3}$ ，1/10最大波高 $H_{1/10}$ ，及最大波高 H_{max} 。由於本試驗所拍打出之波浪屬中間性波，因此試驗所分析出之波高 $H_{1/3}$ 皆用 Shuto 公式求出淺化係數 K_s 後，反算其深海波高 H_0 ，而波壓之探討亦依照波高統計分析方式，分析其正波壓之統計值。

3-4. 試驗分析結果與討論

本節就混成堤試驗分析結果，分別探討波壓隨波浪條件變化之趨勢及各代表波壓比值之特性；藉由試驗值與理論計算之比較結果探討堤面波壓分佈情形，同時藉由Goda波壓公式計算之波力及上舉力與試驗結果之比較，提出Goda波壓公式之修正式，最後說明防波堤變位與越波試驗之量測結果。

3-4-1 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係

圖 3-4-1~3-4-18係於相同堤頂高程、相同週期條件下，波壓及上舉力之量測結果，圖中縱軸以無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 表示，橫軸部份有二，分別為波高水深比 H_o/d 及波形尖銳度 H_o/L_o ，其中P1~P6 為量測波壓之測點，P7~P10為量測上舉力之測點，各測點之詳細位置如圖3-2-2所示，各試次之堤頂高程及水深條件詳見表3-3-1。

由各圖顯示， $P_{1/3}/rd$ 皆隨 H_o/d 、 H_o/L_o 之增加而增加，水面附近之波壓隨 H_o/d 、 H_o/L_o 增加之幅度較大於近水底之波壓增加幅度，待 H_o/d 增至0.22附近，水面附近P1、P2、P3、P4波壓之增加幅度較趨平緩，此係已有部份大波高越波消散部份波能，使其整波列發生大波壓之機率減小，因此 $P_{1/3}$ 趨於平緩，其餘測點之波壓則因佈置位置較深，波壓傳動受水深影響，波壓值隨 H_o/d 、 H_o/L_o 增加的趨勢並沒有明顯的改變。

比較圖3-4-1~3-4-9中，CASE A-1~A-3於固定 H_o/d 時，測點P1~P6之 $P_{1/3}/rd$ 顯示，除圖3-4-3(CASE A-1 $T=13\text{sec}$)、圖3-4-7(CASE A-3 $T=9\text{sec}$)及圖3-4-9(CASE A-3 $T=13\text{sec}$)三個試次於大波高時P3值大於P2值外，其餘各試次皆以P2值最大，而圖3-4-10~3-4-18則顯示CASE B-1~B-3於固定 H_o/d 時，各測點值皆以P3為最大。由各圖顯示，固定 H_o/d 時，堤面之波壓分佈以最大波壓值之測點為分際，以下之各測點值隨水深之增加而遞減，以上之測點值則隨高程之增加而遞減。另外，比較各圖中上舉力測點P7~P10之 $P_{1/3}/rd$ 顯示，固定 H_o/d 時，P8之值皆較大於P7，兩者之差值有隨 H_o/d 、 H_o/L_o 之增加而增加的趨勢，比較P8、P9、P10 顯示，佈置於靠近堤前之測點值皆大於靠近堤後之測點值，且前者隨 H_o/d 、 H_o/L_o 增加之趨勢皆大於後者。

圖 3-4-19、3-4-20係測點 P2、P8於相同堤頂高程、不同相對水深 d/L_0 條件下之 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖。比較圖 3-4-19 CASE A-1、A-2 中不同 d/L_0 之 P2 值顯示，於較小 H_0/d 時，各 P2 值之差異並不明顯，但由於較小 d/L_0 之 P2 值隨 H_0/d 增加而增加之幅度皆大於較大 d/L_0 者，因此隨 H_0/d 之增加，前者之 P2 值大於後者之趨勢逐漸明顯，CASE A-3 則無此現象，CASE A-3 中 $d/L_0=0.2563$ 之 P2 值大致上皆大於 $d/L_0=0.1730$ 、 0.1233 之 P2 值，後兩者之 P2 值則無明顯差異。比較同圖號之上舉力測點 P8 顯示， $d/L_0=0.1730$ 、 0.1233 之 P8 值隨 H_0/d 增加而增加之幅度大致相同，而 $d/L_0=0.2563$ 之 P8 值於 $H_0/d < 0.22$ 時，其隨 H_0/d 增加而增加之幅度小於前二者，待 $H_0/d > 0.22$ 後，其隨 H_0/d 增加而增加之幅度變陡且其斜率大於前二者。大致上，固定 H_0/d ，較小之 d/L_0 有較大之 P8 值，即相同波高條件下，較長週期之波浪有較大之上舉力。

比較圖 3-4-20 中不同 d/L_0 之 P2 值顯示，各 P2 值隨 H_0/d 增加而增加之幅度大致相同。固定 H_0/d 時，以 $d/L_0=0.1518$ 之 P2 值最大，其後依次為 $d/L_0=0.1082$ 及 $d/L_0=0.2248$ 者。比較上舉力測點 P8 顯示， $d/L_0=0.1082$ 、 0.1518 之 P8 值隨 H_0/d 增加而增加之幅度大致相同，而 $d/L_0=0.2248$ 之 P8 值隨 H_0/d 增加而增加之幅度則略小於前二者。CASE B-1、B-2 於固定 H_0/d 時，以 $d/L_0=0.1518$ 之 P2 值較大，其後依次為 $d/L_0=0.1082$ 及 $d/L_0=0.2248$ 者。CASE B-3 於固定 H_0/d 時， $d/L_0=0.1082$ 、 0.1518 之 P8 值差異並不明顯，但二者之值皆大於 $d/L_0=0.2248$ 者。

圖 3-4-21、3-4-22 係測點 P2、P8 於不同堤頂高程、相同相對水深 d/L_0 條件下之 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖。比較圖 3-4-21 中 $d/L_0=0.1730$ 、 0.1233 不同堤頂高程之 P2 值顯示，各 P2 值隨 H_0/d 增加而增加之幅度大致相同，固定 H_0/d 時，各 P2 值之差異並不明顯。比較 $d/L_0=0.2563$ 不同堤頂高程之 P2 值顯示，固定 H_0/d 時，以 CASE A-3 之 P2 值最大，其後依次為 CASE A-1 及 CASE A-2，此現象隨 H_0/d 之增加而愈趨明顯。即改變堤頂高程對較短週期波波壓影響較為顯著。比較上舉力測點 P8 顯示，不同堤頂高程之 P8 值隨 H_0/d 增加而增加之幅度大致相同，固定 H_0/d 時，各 P8 值除 $d/L_0=0.1730$ 稍有差異外，其餘相對水深之 P8 值大致相等。即改變堤頂高程對上舉力影響較不顯著。

比較圖 3-4-22 之各堤頂高程之 P2 值顯示，固定 H_0/d 時，各 P2 值之差異並不顯著， d/L_0 之改變對 P2 值之影響亦不明顯。比較上舉力測點 P8 顯示，不同堤頂高程之 P8 值隨 H_0/d 增加而增加之幅度堤頂較高者皆大於堤頂較低者，固定 H_0/d 時，以 CASE B-1 之 P8 值最大，其後依次為 CASE B-2 及 CASE B-3，此現象 $d/L_0=0.1518$ 最為顯著。

3-4-2 波壓於堤面之分佈與理論波壓公式之比較

圖 3-4-23~3-4-28 爲 CASE A-1 ~ CASE B-3 於週期 $T=1.29\text{sec}$ ，不同 H_o/d 條件下，試驗之波壓分佈與 Sainflou 等波壓公式之比較，其中符號 "o" 代表試驗值 $P_{1/3}/rd$ ，點折線 (— · — 1st) 代表微小振幅重複波波壓，長虛線 (— — — Sainflou) 代表 Sainflou 波壓公式，實線 (—— 3rd) 代表重複波壓三階解，計算時以 $\sigma t=0$ 代入可得波峰處之波壓，點線 (····· 3rd_max) 代表重複波壓三階解之最大波壓。

各圖中三種波壓公式計算結果顯示，以 Sainflou 波壓公式計算之水面下波壓值皆高於其他二公式計算之結果，微小振幅重複波波壓計算值則介於其間，且較接近於 Sainflou 公式計算結果。比較圖 3-4-23 中試驗值與波壓公式計算結果顯示，於較小 H_o/d 時，試驗值較趨近於 Sainflou 公式計算結果，隨著 H_o/d 之逐漸增加，試驗值愈趨近於重複波三階解，而 Sainflou 及微小振幅重複波波壓公式計算值有逐漸高估之趨勢，以圖 3-4-23 為例， H_o/d 之值大於 0.1695 後，Sainflou 及微小振幅重複波波壓公式計算值皆高估試驗值，且二者與試驗值之偏差隨著 H_o/d 之增加而加大，其餘各圖除圖 3-4-25 外，皆有如上所述之趨勢。在較小 H_o/d 值時，三種波壓公式計算結果之偏差較小，隨著 H_o/d 之增加，重複波三階解與其它二公式之偏差才逐漸加大。大致上，由上述之比較結果顯示，三種公式以重複波三階解與試驗值較吻合。另外，CASE A-1 ~ A-3 於 $H_o/d > 0.25$ 及 CASE B-1 ~ B-3 於 $H_o/d > 0.29$ 時，三階解之最大波壓有偏離波峰的現象，即最大波壓並不是發生於 $\sigma t=0$ 處。

3-4-3 代表波壓之比值

爲探討波壓統計值之比值關係，乃將試驗值分析之 P_{max} 、 $P_{1/10}$ 、 P_{mean} 及波壓之均方根 P_{rms} 分別與 $P_{1/3}$ 之比值點繪如圖 3-4-29~3-4-52。其中

圖 3-4-29~3-4-34 爲 $P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖

圖 3-4-35~3-4-40 爲 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖

圖 3-4-41~3-4-46 爲 $P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖

圖 3-4-47~3-4-52 爲 $P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖

由圖 3-4-29~3-4-34顯示，P1~P6 測點之 $P_{\max}/P_{1/3}$ 值約為1.2~1.8 之間，在 $H_0/d < 0.22$ 時， $P_{\max}/P_{1/3}$ 較集中於 1.2~1.4間，而後隨 H_0/d 之增加而其分佈範圍約在1.2~1.8間，P7~P10 為量測沉箱底面上舉力之測點，其 $P_{\max}/P_{1/3}$ 比值趨勢大致與 P1~P6測點相同，但可能由於受基礎拋石之影響，其比值變動範圍較大，在 $H_0/d < 0.22$ 以下時，其 $P_{\max}/P_{1/3}$ 比值在1.2~1.6間， $H_0/d > 0.22$ 後，其變動範圍隨著堤頂高之降低與週期之增長而略有增大之傾向，其值域約在1.2~2.8間變動。

由圖3-4-35~3-4-40顯示 P1~P6測點之 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 值較 $P_{\max}/P_{1/3}$ 之值集中，約分佈在1.16~1.28之間，在 $H_0/d < 0.22$ 時， $P_{1/10}/P_{1/3}$ 較集中於1.16~1.2間，而後隨 H_0/d 之增加而其分佈範圍約在1.2~1.28間，P7~P10之 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 比值趨勢大致與 P1~P6測點相同，但如前段所述之原因，其比值變動範圍較大，在 $H_0/d < 0.22$ 以下時，其 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 比值在1.2~1.6間， $H_0/d > 0.22$ 後，其值約在1.2~2.0間變動。

由圖3-4-41~3-4-52顯示，各測點之 $P_{\text{mean}}/P_{1/3}$ 分佈較為集中，大多在 0.6~0.8間，其平均值約為0.7， $P_{\text{rms}}/P_{1/3}$ 則皆集中於0.8， H_0/d 、 H_0/L_0 對 $P_{\text{mean}}/P_{1/3}$ 與 $P_{\text{rms}}/P_{1/3}$ 之影響並不顯著。

Sainflou等波壓公式其波壓與波高係成正比關係，假定實際海洋波浪以零上切法定義之波高滿足Rayleigh分佈，則依 Rayleigh 分佈之各種波高統計比關係可知代表波壓比值 $(P_{\max}/P_{1/3})_r$ 、 $(P_{1/10}/P_{1/3})_r$ 、 $(P_{\text{mean}}/P_{1/3})_r$ 及 $(P_{\text{rms}}/P_{1/3})_r$ 各為 1.61、1.27、0.625及0.7，比較本試驗之各代表波壓比值顯示，波壓 $P_{\max}/P_{1/3}$ 於 $H_0/d < 0.22$ 時小於 $(P_{\max}/P_{1/3})_r$ ，上舉力亦然， $H_0/d > 0.22$ 則 $(P_{\max}/P_{1/3})_r$ 介於波壓、上舉力 $P_{\max}/P_{1/3}$ 之值域間。波壓 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 $(P_{1/10}/P_{1/3})_r$ 之關係如上所述，上舉力 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 值域範圍則含蓋 $(P_{1/10}/P_{1/3})_r$ 。 $P_{\text{mean}}/P_{1/3}$ 與 $(P_{\text{mean}}/P_{1/3})_r$ 約略相等， $P_{\text{rms}}/P_{1/3}$ 則大於 $(P_{\text{rms}}/P_{1/3})_r$ 。

3-4-4 波壓之機率分佈特性

圖 3-4-53~3-4-64 爲 CASE A-1、A-3 及 CASE B-1、B-3 於相同波浪週期條件下所拍打之數種波高中，選取最大與最小波高之兩波列（每一波列約 100 個波）所繪制測點 P3 之波壓累積及超越機率分佈及機率分佈與 Weibull、Rayleigh、Log-normal 等機率分佈之比較圖。各試次之波高條件及機率分佈式之參數值詳列於表 3-4-1。由圖 3-4-53 週期 1.29 sec 之累積機率及超越機率圖顯示，大波高時 ($H_0/d = 0.2861$)，Rayleigh 分佈對於發生機率較大之小波壓有低估的趨勢而對於發生機率較小之大波壓則有高估的趨勢，Log-normal 分佈則與上述情況相反，Weibull 分佈則與試驗值較吻合；小波高時 ($H_0/d = 0.1194$)，三種分佈大致上與試驗值皆吻合，但對於發生機率極小之大波壓皆有高估的趨勢，其中以 Rayleigh 分佈與試驗值偏差最大，其次爲 Weibull 分佈。圖 3-4-54、3-4-55 顯示，大波高時，三種分佈仍以 Weibull 分佈與試驗值較吻合，小波高時，Rayleigh 分佈有高估大波壓的趨勢，其餘二分佈則有低估的趨勢。由三圖之比較結果，於大波高，以 Weibull 分佈與試驗值分佈最吻合，於小波高，小波壓之描述三種分佈皆適用，大波壓則三種分佈與試驗值之偏差較無規則可循。比較圖 3-4-56~3-4-58 顯示試驗值分佈趨勢與圖 3-4-53~3-4-55 類似，其中各週期小波高之試驗值分佈皆與 Weibull 分佈相吻合。

圖 3-4-59~3-4-64 比較結果與前段結果相類似。

表 3-4-3 爲利用柯-司 (Kolmogorov-Smirnov K-S) 的密合度試驗法在有效水準 $\alpha_k = 0.2$ ，點數 n 時經查表 3-4-2 所得的 $D_n^{\alpha_k}$ 值及試驗值與各分佈之 D_n 值，用以檢定試驗所得的累積機率與假設的理論分佈間的差異，表中註記 "*" 者表該分佈之 D_n 值大於查表之 $D_n^{\alpha_k}$ 值，即該分佈並不適於描述試驗值之分佈。由表顯示，Rayleigh 與 Log-normal 分佈除少部份試次外，二者之 D_n 值皆大於 $D_n^{\alpha_k}$ 值，Weibull 分佈之 D_n 值則皆小於 $D_n^{\alpha_k}$ ，此表示 Weibull 分佈用來描述波壓之機率分佈是可以被接受的。

表 3-4-1 波壓對應各機率分佈式之參數值

試次	T(sec)	H _o /d	Weibull		Rayleigh	Log-normal	
			ln α_w	β	μ_r	μ	σ
A-1	1.29	0.2861	-8.1506	3.5209	9.1199	2.1934	0.1848
		0.1194	-3.7631	2.4485	4.0904	1.3630	0.3021
	1.57	0.3474	-15.1666	5.6705	13.4290	2.5901	0.1213
		0.0825	-5.7095	3.6979	4.2320	1.4068	0.2677
	1.86	0.3206	-17.8931	5.2332	28.1367	3.3333	0.0869
		0.0754	-4.1474	3.0379	3.4844	1.2020	0.3042
A-3	1.29	0.2935	-12.7048	4.7099	13.5930	2.6008	0.1326
		0.0826	-4.9283	3.1082	4.3665	1.4355	0.2774
	1.57	0.3345	-11.1658	4.4384	11.2965	2.4129	0.1521
		0.0892	-5.4261	3.2025	4.8728	1.5502	0.2587
	1.86	0.3110	-13.6204	5.0428	13.6957	2.6088	0.1287
		0.0958	-6.6675	3.9131	4.9790	1.5769	0.2382
B-1	1.29	0.3042	-9.7821	3.9597	10.7159	2.3590	0.1598
		0.0881	-5.8230	3.0526	5.9866	1.7636	0.2275
	1.57	0.3496	-15.1466	5.6852	13.2865	2.5794	0.1209
		0.0943	-6.5428	3.3574	6.2629	1.8113	0.2159
	1.86	0.3657	-11.0408	4.1904	12.6778	2.5294	0.1446
		0.1061	-8.2023	4.2072	6.3787	1.8336	0.1966
B-3	1.29	0.2949	-8.6498	3.5700	10.1681	2.3040	0.1744
		0.0823	-4.9549	2.7128	5.4380	1.6648	0.2391
	1.57	0.3304	-12.4435	4.7988	12.2542	2.4965	0.1366
		0.0898	-7.1480	3.8295	5.8471	1.7418	0.2196
	1.86	0.3442	-11.1405	4.2994	12.1522	2.4870	0.1452
		0.1037	-7.5627	3.8263	6.4988	1.8520	0.1979

表 3-4-2 柯-司 (Kolmogorov-Smirnov K-S) 試驗中 $D_n^{\alpha_k}$ 值的臨界值^[4]

α_k	0.2	0.1	0.05	0.01
n				
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
>50	$1.07/\sqrt{n}$	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

表3-4-3 K-S 密合度試驗之 D_n 及 $D_n^{\alpha k}$ 值

試次	T(sec)	H_0/d	n	Weibull D_n	Rayleigh D_n	Log-normal D_n	K-S $D_n^{\alpha k}$
A-1	1.29	0.2861	84	0.0489	*0.1573	* 0.1678	0.1167
		0.1194	98	0.0713	0.0994	* 0.1704	0.1081
	1.57	0.3474	91	0.0379	*0.2448	* 0.1486	0.1122
		0.0825	93	0.0953	*0.1642	0.0896	0.1110
	1.86	0.3206	97	0.0606	*0.2350	* 0.2506	0.1086
		0.0754	98	0.0565	*0.1463	0.1015	0.1081
A-3	1.29	0.2935	86	0.0736	*0.2382	* 0.1774	0.1154
		0.0826	88	0.0493	0.1069	* 0.1237	0.1141
	1.57	0.3345	90	0.0741	*0.2100	* 0.1273	0.1128
		0.0892	96	0.0691	*0.1310	* 0.1406	0.1092
	1.86	0.3110	98	0.0843	*0.2410	* 0.1963	0.1081
		0.0958	95	0.0632	*0.1692	* 0.1129	0.1098
B-1	1.29	0.3042	83	0.0505	*0.1877	* 0.1794	0.1174
		0.0881	87	0.0882	*0.1423	* 0.1974	0.1147
	1.57	0.3496	93	0.0918	*0.2585	* 0.1294	0.1110
		0.0943	93	0.0907	*0.2044	0.0973	0.1110
	1.86	0.3657	97	0.0585	*0.1899	* 0.1715	0.1086
		0.1061	100	0.0467	*0.2127	0.1014	0.1070
B-3	1.29	0.2949	83	0.0779	*0.1516	* 0.1901	0.1174
		0.0823	90	0.0918	*0.1468	* 0.1478	0.1128
	1.57	0.3304	92	0.0576	*0.2205	* 0.1511	0.1116
		0.0898	94	0.0816	*0.2047	0.0996	0.1104
	1.86	0.3442	98	0.0522	*0.2088	* 0.1511	0.1081
		0.1037	100	0.0724	*0.2247	* 0.1370	0.1070

3-4-5 波力經驗公式

目前一般波壓公式係依普通水深試驗或實驗結果為依據所提議之公式，而這些波壓公式中除Goda公式採不規則波觀念外，其於如Sainflou等重複波波壓公式均以規則波為設計基準，因此各公式對於實際海洋深水結構物波壓計算結果是否合理，有待進一步探討。本計畫之混成堤試驗包含六種 d/L_0 值，試驗深海波高拍打範圍換算成實體波高約在 2m~13m間，直立堤部之出水高度有三種，總合所有試驗之條件所得之結果可謂衆多，因此本節擬提議一經驗公式以便於設計參考。由於Goda波壓公式以不規則波觀念作成，且此公式計算結果含蓋重複波及碎波帶範圍之波壓，因此本節提議之經驗公式擬以Goda波壓公式為藍本，經與試驗值之比較對其作一適切及合理的修正。

圖 3-4-65A ~ 3-4-70B 為相同週期、相同 d/L_0 ，不同堤頂高程之Goda公式計算結果與試驗值之比較，圖中縱軸表無因次波力 F/rd^2 及試驗波力對 Goda計算值之比值，橫軸部份有二，分別為 H_0/d 及 H_0/L_0 。其中試驗值乃由堤面至堤底之各點波壓 P_{max} 值合成之波力及上舉力，不同堤頂高以不同符號點表示，前者點繪於圖 A部份，後者點繪於同圖號之B部份，Goda公式計算之結果(以下簡稱計算值)則分別以實線、較密及較疏虛線點繪，試驗值與計算值之比值則以符號—線表示。

由圖3-4-65A顯示，試驗值與計算值皆隨 H_0/d 、 H_0/L_0 之增加而增加，待 H_0/d 增至0.22附近，因越波之緣故使得試驗值之增加幅度有減緩的趨勢，此結果與3-4-1 節波壓變化趨勢相同，計算值則沒明顯改變。另外，比較不同堤頂高程於相同 H_0/d 時所對應之波力，由計算值顯示較高堤頂所對應之波力皆略大於較低堤頂之波力，此趨勢隨 H_0/d 之增加而愈趨明顯，至於試驗值則沒有明顯的差別，此係因堤頂降低部份所合成之波力僅佔全波力之小部份，因此試驗值顯示堤頂改變對全波力之影響並不明顯。比較相同 H_0/d 所對應之計算值與試驗值顯示，計算值於 $H_0/d < 0.22$ 時與試驗值較吻合， $H_0/d > 0.22$ 後，計算值有高估試驗值的趨勢，且二者之偏差有隨 H_0/d 之增加而增加的傾向。由同圖上方各堤頂高之試

驗值與計算值比值曲線可明顯看出，比值皆隨 H_0/d 之增加而下降，逐漸由1.3下降至0.8附近。比較圖3-4-66A及3-4-67A之比值曲線可知，前者之比值由1.2下降至0.7附近，後者則由1.1下降至0.5附近，由此三圖之比值下降趨勢可知，計算值與試驗值之偏差亦有隨 d/L_0 之減小而增加的趨勢。此一分析結果表示， H_0/d 愈大或 d/L_0 愈小Goda公式愈有高估之可能。

圖3-4-65B顯示，上舉力試驗值與計算值皆隨 H_0/d 、 H_0/L_0 之增加而增加，其增加趨勢受越波之影響並不明顯，圖中CASE A-1、A-3試驗值較為散亂，係因堤底之上舉力受拋石之影響， P_{max} 值變化較大，使得所合成之上舉力較為散亂。另外，由於堤頂高度的改變對直立堤堤底之上舉力影響甚少，因此不同堤頂於相同 H_0/d 時所對應之計算值幾乎一致，試驗值則較為散亂，但堤頂較低之值有大於堤頂較高者的趨勢。比較相同 H_0/d 所對應之計算值與試驗值顯示，計算值有低估的趨勢，由比值曲線顯示，其與 H_0/d 之關係並不明顯，比較圖3-4-66B及3-4-67B之比值曲線可知此二圖之趨勢與圖3-4-65B相同，由此三圖之計算值與試驗值圖點顯示，較小 d/L_0 值其計算值與試驗值較為吻合。

圖3-4-68A~3-4-70B各圖變化趨勢皆如前兩段所述。

圖3-4-71A、3-4-71B係將圖3-4-65A~3-4-70B中所有比值曲線整合分波力比值與上舉力比值點繪於兩圖，其中"—○—"表試驗值與計算值之比值曲線，"—"表比值之迴歸曲線，此迴歸曲線之迴歸式作為Goda波壓公式之修正式， σ 值為比值對迴歸曲線之標準偏差，藉由 σ 值以包絡線型式定出修正式之上下限，分別以較密及較疏曲線表示，各修正式及其上下限與其適用範圍詳載於表3-4-4，表中之 $R_{to.}$ (Ratio)係由各修正式對應不同 H_0/d 值所計算出之修正係數。由圖3-4-71A顯示，試驗值與計算值比值隨 H_0/d 之增加而下降，圖中迴歸曲線隨不同 H_0/d 所對應之比值由1.05逐漸下降至0.6，即計算值隨 H_0/d 之增加愈有高估試驗值之趨勢，另外由圖3-4-71B顯示，迴歸曲線隨 H_0/d 之增加而小幅度上升，其值約在1.1附近，即計算值有低估試驗值之趨勢。

表 3-4-4 Goda波壓公式之修正式

適用範圍 $d/L_0=0.1082 \sim 0.2563$	
波力修正式	
上 限	$R_{to.} = -1.3799 \times (H_0/d) + 1.4011$
修正式	$R_{to.} = -1.3799 \times (H_0/d) + 1.1630$
下 限	$R_{to.} = -1.3799 \times (H_0/d) + 0.9249$
上舉力修正式	
上 限	$R_{to.} = 1.1375 \times (H_0/d) + 3.7230$
修正式	$R_{to.} = 1.1375 \times (H_0/d) + 1.0785$
下 限	$R_{to.} = 1.1375 \times (H_0/d) + 0.2161$

本節所提議之經驗公式，係以Goda波壓經驗式為藍本，其計算之波力及上舉力再乘以表 3-4-4 中修正係數 $R_{to.}$ 修正之。圖3-4-72A~3-4-73B 為選取 $d/L_0=0.1082$ 、 0.2563 之兩組試驗數據與本節所提議之經驗公式之比較，圖中"—"—表修正後之Goda波壓經驗式計算值(以下簡稱經驗值)，"—○—"表試驗值與經驗值之比值曲線。圖3-4-72A顯示，經驗值已不再隨 H_0/d 之增加而逐漸偏離試驗值，試驗值約分佈在經驗值上下側，且在上下限間，其比值在 $0.8 \sim 1.0$ 間小幅度變動。由圖3-4-72B 顯示，經驗值略微高於試驗值，試驗值約分佈在經驗值之下側，且在上下限間，其比值在 $0.65 \sim 0.8$ 間變動，圖3-4-73A之趨勢與比值變動範圍同圖 3-4-72A之結果。圖3-4-73B之趨勢則與3-4-72B相同，但比值變動範圍較大，約在 $0.6 \sim 1.2$ 之間。由圖3-4-72A~3-4-73B結果顯示，本節所提議之經驗公式尚屬合理。

3-4-6 變位

圖3-4-74 ~3-4-79 為 CASE A-1 ~CASE B-3混成堤各週期之沉箱晃動角度，由圖3-4-73顯示，晃動角度隨 H_0/d 之增加在一定值上下小幅變動，變動範圍約在 $0.06 \sim 0.75$ 度之間，固定 H_0/d 時，週期較長之晃動角度略大於週期較短者，比較圖 3-4-74 ~3-4-76顯示，改變堤頂高程對上述趨勢之影響並不明顯。比較圖 3-4-77 ~3-4-79顯示，晃動角度變化趨勢與圖 3-4-74 ~3-4-76類似，但其變動範圍稍大，約在 $0.06 \sim 0.08$ 。另外分析二位移計位移量結果可知沉箱沒有滑動現象。

3-4-7 越波量

圖 3-4-80~3-4-81 為相同試次下，不同週期之越波量與 H_0/d 之關係圖。縱軸為單位堤寬之越波量除以各試次之量測時間之值，橫軸為 H_0/d 。由圖顯示，同一試次下，各週期之越波量皆隨 H_0/d 之增加而增加，其增加之幅度隨週期之增加而增加。當 $H_0/d < 0.3$ 時，短週期波之越波量皆較大於長週期波之越波量，當 $H_0/d > 0.3$ 時，長週期波之越波量有漸次大於短週期波之趨勢，由圖 3-4-81 中 CASE B-3 可明顯看出週期 1.86 sec 之越波量當 $H_0/d > 0.3$ 時，其值皆較其他二週期為大。

圖 3-4-82 ~ 3-4-83 為相同週期下，不同堤頂之越波量與 H_0/d 之關係圖。縱軸為試驗之單位越波量除以各該週期之量測時間之值，橫軸為 H_0/d 。由圖顯示，相同週期下，各不同試次之越波量皆隨 H_0/d 之增加而增加，其增加之幅度隨堤頂之減低而增加。A、B 二斷面之堤頂降低 1m 時對越波量之影響不大，但堤頂降低 3m 時越波量則顯著增加，由二圖顯示，CASE A-3 之越波量約有 CASE A-1、CASE A-2 之 2 倍，CASE B-3 之越波量約有 CASE B-1、CASE B-2 之 3 倍。

圖 3-4-84~3-4-85 為相同試次下，不同週期之無因次越波量與 H_0/d 之關係圖，其中縱軸為單位堤寬之越波量 Q 除以 $\sqrt{2gH^3}$ 之無因次量，橫軸為 H_0/d 。由圖 3-4-84 顯示，同一試次下，各週期波浪之越波量皆隨 H_0/d 增加而增加的幅度隨週期之增長而增加，同一週期下，越波量皆隨 H_0/d 增加而增加的幅度隨堤頂高程之降低而增加。各試次各週期之越波量隨 H_0/d 增加而增加的幅度皆有逐漸變緩而轉為隨 H_0/d 增加而下降的趨勢，以 CASE A-3 為例，週期 1.29、1.57 sec 之越波量於 $H_0/d > 0.27$ 時，已有隨 H_0/d 之增加而下降之趨勢，週期 1.86 sec 之越波量雖於 CASE A-1、CASE A-2 中隨 H_0/d 之增加而增加的幅度無趨緩的現象，但 CASE A-3 中於 $H_0/d > 0.27$ 時，其隨 H_0/d 之增加而增加的幅度則有趨緩的傾向。圖 3-4-85 與圖 3-4-84 之趨勢相近，週期 1.29、1.57 sec 之越波量於 $H_0/d > 0.32$ 時，已有隨 H_0/d 之增加而下降之趨勢，週期 1.86 sec 之越波量則於三個試次中皆無隨 H_0/d 之增加而減緩之趨勢。

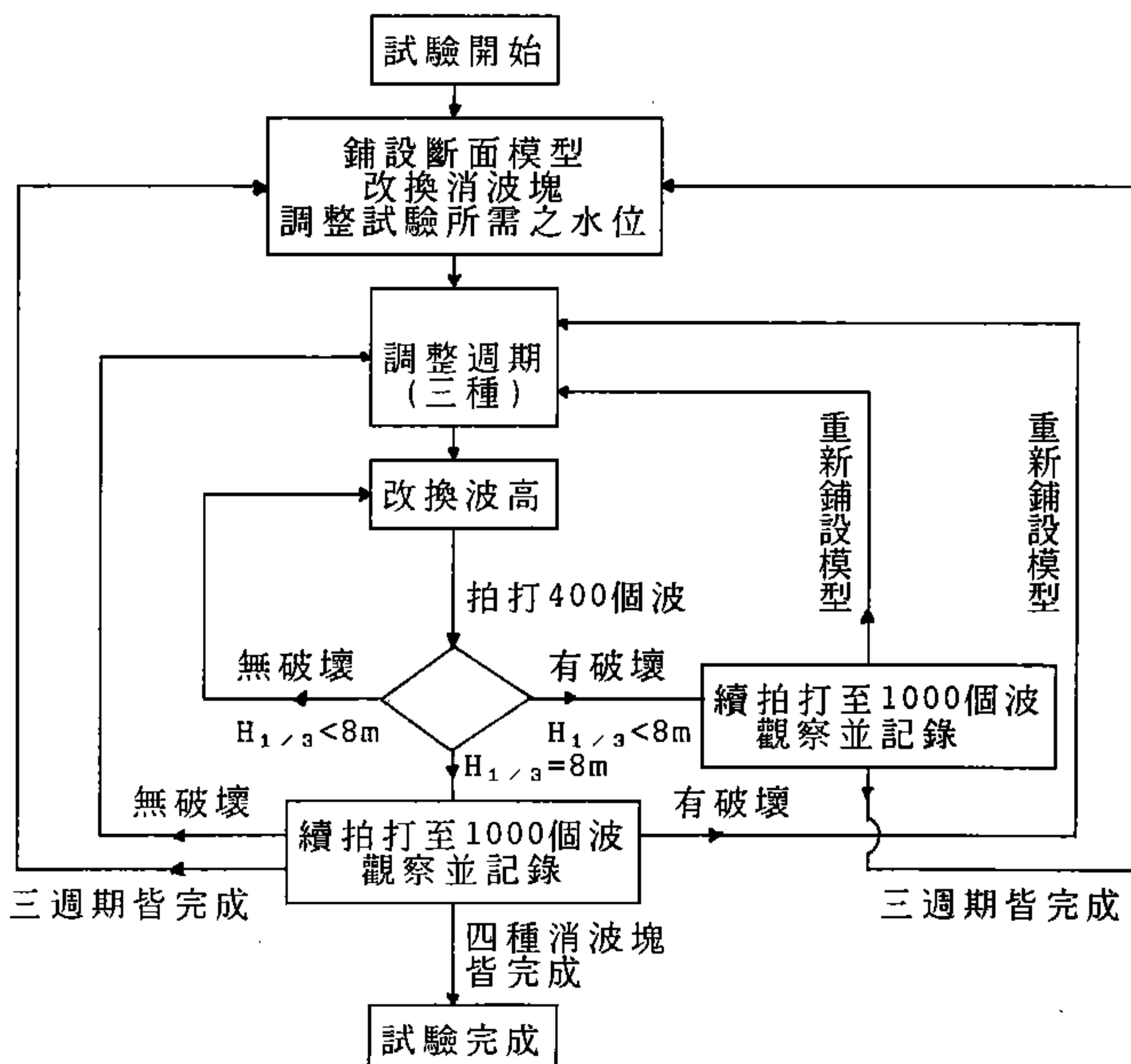
第四章 拋石堤安定試驗

4-1. 模型佈置

本試驗之模型幾何比尺為1/49，依運研所提供圖 4-1-1之拋石堤標準斷面設計圖依比例鋪設模型並分別灌製拋石堤被覆層所需之三種不同型體之消波塊—安卡塊、元鼎塊、協克塊，上述三種消波塊經斷面安定試驗後，其中協克塊斷面有破壞情形發生，在與運研所討論後，另選取凌克塊進行安定試驗。同一斷面各型消波塊鋪設個數各為133、99、132、132個，每塊重量 326g(實體38.35ton)，鋪設於模型表層，其型狀如照片 4-1-1 所示，排列方式則如照片 4-1-2A~4-1-2D所示。堤前水深42cm相當實體水深20.6m，試驗斷面之鋪設位置與混成堤試驗相同(詳見圖3-2-1)。

4-2. 試驗波浪條件及流程

拋石堤安定試驗以不規則波進行，所拍打之波譜係利用混成堤試驗時所率定之波譜，波浪條件詳見表3-1-1。不同週期之波浪各選取 2~3種較大之波高，試驗時固定週期，先以選取之較小之波高進行。試驗流程如下：



4-3. 試驗結果

拋石堤安定試驗堤面佈放之四種消波塊受波浪作用之情形如照片4-3-1A~4-3-4B所示，試驗結果記錄詳如表4-3-1A~4-3-4C，表中記錄有消波塊型式，同一試次所累積之波數及分析之各統計波高，其中破壞情況表示方式如下之說明：

破壞情況	表示方式
無破壞情況發生	"無"
消波塊晃動	1
消波塊翻轉	2
消波塊下滑	3

消波塊之編號方式如照片 4-3-3A、4-3-3B 所示平行方向由下而上排列1, 2, ..., N, 垂直波向由左而右1, 2, ..., N行，例如(a) 8.1, 1表第8列第1個消波塊晃動，(b) 10.2-6, 3 表第10列第2個至第6個消波塊下滑。試驗結果顯示，安卡塊、元鼎塊及凌克塊在本試驗範圍均無破壞情形，協克塊則於三個週期皆有破壞情形發生，其中週期1.57 sec，波高12cm左右，即發生整體下滑的情況，如照片4-3-3H所示。

表4-3-5係將設計之塊體重量 W 及建議安定係數 K_d 等資料，代用Hudson公式反算堤前容許設計波高，而表4-3-6所示之波高係8m設計深海波波高代用 Shuto公式換算之堤前波高。比較表4-3-5、4-3-6之堤前波高值顯示設計之消波塊重量尚稱合理，但試驗顯示，協克塊發生破壞，顯然其 K_d 值並不妥，如欲用於本斷面重量略嫌不足，另外週期 9、11秒淺化計算後之堤前波高雖皆比協克塊堤前容許設計波高小，但協克塊於此二週期之安定試驗中皆有破壞情形發生，且週期11秒之試驗波高未達設計波高 $H_{1/3}=8m$ 時協克塊即發生整體下滑情形(表 4-3-3B所示)。由上述比較結果顯示，Hudson公式僅能大致估算塊體之安定與否，其因公式本身僅考量堤前設計波高及堤面之坡度，對於堤前海底之坡度，波浪週期及塊體在不規則波作用下之安定情況並未加以考量，此有待進一步研究探討。

表4-3-1A 拋石堤安定試驗記錄(安卡塊, $T=1.29$ sec)

堤面佈放： 安卡塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.29 sec			排列方式：如照片4-1-2A所示			
試次	累積波數	破壞情況	H_{max} (cm)	$H_{1/10}$ (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	H_{mean} (cm)
1	200	無	25.80	20.58	16.95	10.84
	600	無	27.07	20.55	16.64	10.71
	1000	無	25.41	20.18	16.73	10.68

表4-3-1B 拋石堤安定試驗記錄(安卡塊, $T=1.57$ sec)

堤面佈放： 安卡塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.57 sec			排列方式：如照片4-1-2A所示			
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	200	無	18.76	17.12	13.85	9.61
	400	無	19.61	16.77	13.89	9.89
2	200	無	24.53	21.28	17.67	12.09
	600	無	22.38	20.06	16.62	11.41
	1000	無	27.38	19.95	16.55	11.46

表 4-3-1C 拋石堤安定試驗記錄(安卡塊， $T=1.86$ sec)

堤面佈放： 安卡塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.86 sec			排列方式：如照片4-1-2A所示			
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	100	無	19.23	16.51	12.61	8.46
	200	無	19.00	15.90	12.62	8.35
	400	無	19.03	16.19	12.80	8.44
2	100	無	27.58	20.94	16.84	11.16
	200	無	26.98	20.67	16.71	11.22
	400	無	26.16	19.83	15.92	10.73
	600	無	28.25	20.66	16.82	11.16
	1000	無	27.48	19.85	16.56	11.45

表4-3-2A 拋石堤安定試驗記錄(元鼎塊, $T=1.29$ sec)

堤面佈放： 元鼎塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.29 sec			排列方式：如照片4-1-2B所示			
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	100	無	22.82	14.18	11.22	7.20
	200	無	21.19	13.74	10.79	6.90
	300	無	22.97	14.33	11.22	7.18
	400	無	21.91	14.39	10.85	6.86
2	100	無	25.32	17.65	14.14	8.78
	200	無	25.76	17.37	14.02	8.83
	300	無	25.85	18.13	14.42	9.00
	400	無	25.94	18.61	14.61	9.12
3	100	無	25.28	20.04	16.23	10.17
	200	無	26.18	20.45	16.71	10.53
	400	無	24.79	20.03	16.24	10.35
	700	無	27.46	20.24	16.34	10.18
	1000	無	26.10	20.12	16.17	10.37

表4-3-2B 拋石堤安定試驗記錄(元鼎塊, $T=1.57$ sec)

堤面佈放： 元鼎塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.57 sec			排列方式：如照片4-1-2B所示			
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	100	無	20.90	18.28	15.03	10.24
	200	無	19.12	16.61	13.41	9.13
	400	無	19.11	16.30	13.10	9.00
2	100	無	22.65	20.34	16.63	11.22
	200	無	25.31	20.54	16.53	11.31
	400	無	24.79	20.38	16.64	11.39
	600	無	23.00	19.57	16.16	11.22
	1000	無	22.09	19.65	16.45	11.43

表4-3-2C 拋石堤安定試驗記錄(元鼎塊, T=1.86 sec)

堤面佈放： 元鼎塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.86 sec			排列方式：如照片4-1-2B所示			
試次	累積波數	破壞情況	H _{max}	H _{1/10}	H _{1/3}	H _{mean}
1	200	無	17.18	14.65	11.81	8.07
	400	無	17.18	14.82	11.90	8.12
2	100	無	24.39	20.34	16.03	10.85
	200	無	25.26	20.90	15.94	10.87
	400	無	26.80	19.95	16.18	10.81
	600	無	25.94	19.80	15.88	10.82
	800	無	24.97	19.84	15.81	10.78
	1000	無	25.09	19.50	15.89	10.67

表4-3-3A 拋石堤安定試驗記錄(協克塊, T=1.29 sec)

堤面佈放： 協克塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.29 sec			排列方式：如照片4-1-2C所示			
試次	累積波數	破壞情況	H _{max}	H _{1/10}	H _{1/3}	H _{mean}
1	100	無	22.74	14.98	11.65	7.36
	200	無	23.03	15.12	11.55	7.52
	400	無	23.05	15.13	11.65	7.55
2	100	無	25.63	19.97	16.53	10.50
	200	8.1-3, 3 8.2, 1 9.4, 1	24.63	19.40	16.26	10.46
	400	8.2, 1 8.8, 1 9.4, 1	25.94	19.69	16.42	10.82
	800	8.2, 1 8.3-5, 3 10.7, 1	25.10	19.59	16.41	10.68
	1000	9.2, 1 10.7, 1	25.5	19.42	16.24	10.70

表4-3-3B 拋石堤安定試驗記錄(協克塊, $T=1.57$ sec)

堤面佈放： 協克塊		堤址水深： 42 cm				
週 期： 1.57 sec		排列方式：如照片4-1-2C所示				
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	200	5.8 , 2 10.2-6, 3	15.39	12.46	9.95	6.97
	400	9.8 , 3 9.10, 2 10.8 , 1	14.82	11.98	9.58	6.75
	600	9.10, 1	14.94	11.97	9.64	6.83
	1000	9.10, 1	14.82	11.93	9.66	6.86
2	100	無	19.50	15.55	12.77	8.87
	200	無	19.53	15.34	12.46	8.74
	300	整體 下滑	19.03	14.95	12.27	8.71

表4-3-3C 拋石堤安定試驗記錄(協克塊, $T=1.86$ sec)

堤面佈放： 協克塊		堤址水深： 42 cm				
週 期： 1.86 sec		排列方式：如照片4-1-2C所示				
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	200	無	17.72	15.64	12.87	8.97
	400	無	17.62	15.55	12.80	8.95
2	200	9.4 , 2 10.1 , 1	26.06	19.43	16.12	11.12
	400	9.4 , 1 10.6 , 2 11.4 , 1	25.11	19.42	16.13	11.36
	800	8.3 , 1 9.7 , 2 11.3 , 1 11.4 , 1	25.94	19.69	16.42	10.82
	1000	11.3 , 1	22.58	18.96	15.96	10.99

表4-3-4A 拋石堤安定試驗記錄(凌克塊, $T=1.29$ sec)

堤面佈放： 凌克塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.29 sec			排列方式：如照片4-1-2D所示			
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	100	無	22.04	20.00	16.51	11.43
	200	無	23.48	20.81	16.61	11.57
	400	無	22.15	20.88	16.56	12.00
	600	無	22.48	20.15	16.51	11.44
	1000	無	22.45	19.92	16.33	12.04

表4-3-4B 拋石堤安定試驗記錄(凌克塊, $T=1.57$ sec)

堤面佈放： 凌克塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.57 sec			排列方式：如照片4-1-2D所示			
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	200	無	18.61	17.00	13.55	9.60
	400	無	18.30	16.89	13.46	9.25
2	100	無	20.96	19.10	16.54	12.00
	200	無	22.48	19.19	16.51	12.70
	400	無	22.30	19.88	16.33	12.59
	600	無	21.84	19.51	16.50	11.44
	1000	無	22.54	19.29	16.63	12.43

表4-3-4C 拋石堤安定試驗記錄(凌克塊， $T=1.86$ sec)

堤面佈放： 凌克塊			堤址水深： 42 cm			
週 期： 1.86 sec			排列方式：如照片4-1-2D所示			
試次	累積波數	破壞情況	H_{max}	$H_{1/10}$	$H_{1/3}$	H_{mean}
1	100	無	11.15	9.71	8.41	6.10
	200	無	12.13	10.14	8.77	6.29
	400	無	12.30	9.81	8.64	6.25
2	100	無	15.35	12.56	10.83	7.86
	200	無	15.48	12.99	11.09	7.70
	400	無	14.80	12.88	11.11	7.95
3	100	無	17.54	15.07	13.02	9.39
	200	無	18.34	15.15	13.00	9.44
	400	無	18.03	16.94	13.30	9.80
4	200	無	21.74	18.01	15.74	11.68
	400	無	22.36	18.24	16.00	11.87
	600	無	21.36	18.74	16.29	12.20
	1000	無	22.54	18.92	16.30	12.33

表4-3-5 Hudson公式計算拋石堤被覆不同塊體時之堤前容許設計波高H

消波塊	K_d	模型 H_m (cm)	實體 H_p (m)
安卡塊	16	17.80	8.72
元鼎塊	11	15.69	7.69
協克塊	10	15.20	7.45
凌克塊	14.6	17.24	8.45

表4-3-6 不同週期及水深條件所計算出之堤前波高 H

堤址水深 20.6 m				深海設計波高 $H_{1/3} = 8$ m		
T_p (sec)	T_m (sec)	H_o/L_o	d/L_o	k_s	H_m (cm)	H (m)
9	1.29	0.0633	0.1630	0.915	14.94	7.32
11	1.57	0.0424	0.1091	0.930	15.18	7.44
13	1.86	0.0303	0.0781	0.980	16.00	7.84

第五章 新型防波堤試驗

5-1. 新型防波堤之構想

傳統式之防波堤不外乎傾斜拋石堤、直立堤(方塊或沉箱式)或混成堤。拋石堤在產石國家而言最爲經濟，但在大水深處斷面龐大興建不易。直立堤雖有不必要全在現場施工方便且斷面較小，但反射率高，波壓分佈幾乎於直立面上同時作用合力較大，常導致極強之碎波波壓，安定較差，在大水深情況下施工亦有困難。混成堤則取二者之長較爲安定而易於施工兼具二者之長處，在我國、日本多採用之。大水深時如何調整拋石護基高亦頗費周章，而施工設計均有待進一步了解。

近二十年來爲補救此等缺陷，有遊水腔開孔沉箱防波堤之研發，期以一、二遊水腔使波壓位相錯開，並借開孔消減波能，使波浪反射率及波壓力大量降低，但開孔式沉箱在實地施工上限制很多，陸上施工再吊放則受重量限制只適於中度水深以下。亦有斜頂或曲面沉箱，使波壓產生垂直力成份以增加防波堤之安定性，但此型斷面會有增加溯升使波浪易於越堤之可能。此外亦有開孔圓筒式之防波堤使波壓減低並分散於水平方向。新型防波堤之開發日本最爲積極。

基於施工及減壓之考慮本所構想出雙傾斜式斷面，其外型如照片5-1-1A、5-1-1B及圖5-1-1所示，堤體之垂直剖面採傾斜面與水平面成 θ 角，而水平剖面則由與入射波向成 α 交角之二斜面相交成三角形。由於波力 F 作用方向與堤面垂直，故波浪作用時波力可分成水平波力 F_h 及垂直成份之波力 F_v ，設傾斜面與水平之交角爲 θ 則

$$F_h = F \sin \theta \quad \dots\dots\dots (5-1-1)$$

$$F_v = F \cos \theta \quad \dots\dots\dots (5-1-2)$$

沉箱之水平推力得以減少 $\sin \theta$ ，而沉箱底面亦增寬，故抗滑力增加，因此可以較直立堤斷面面積小之斷面抵抗滑動。抗轉力則因水平力 F_h 減低轉矩，且垂直力 F_v 增加而加大，使得能以較小之斷面保持堤體之安定。從波力及安定觀點言理論上應較直立堤優良。

又水平剖面如亦採用與波峰線成 α 角之三角形斜面，則與防波堤堤線垂直方向之波壓成份 P_h 為垂直堤面波壓 P 之餘弦成份

$$P_h = P \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (5-1-3)$$

故作用於雙傾斜防波堤之水平波力為

$$F_h' = F \sin \theta \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (5-1-4)$$

由式 5-1-4 知 θ 角度愈小， α 角度愈大水平波力愈小。但隨 θ 角度之減小，堤底寬度將隨之變寬，防波堤堤寬變大且其溯升高有增加之可能，據設計經驗考量， θ 角似以不小於 60° 較宜。又由式 5-1-2 知垂直方向波力隨 θ 角度之減小而增加，此亦有利於抗轉力之增加，故就轉抗力、抗滑言，均有利於防波堤之安定性。

5-2. 試驗設備與試驗方法

基於 5-1 節之構想，本所先以 $4(V):1(H)$ ($\theta=75^\circ 58'$) 之傾斜面， α 角分別以 0° 、 22.5° 及 45° 之三種水平斷面做為雙傾斜式防波堤之堤面，不設拋石護基，堤面整體直達海底床做為試驗斷面。試驗以規則波進行，一方面測定堤面上之波壓，一方面測定全堤面之水平波力，以資比較水平波力是否因而減低。

5-2-1 模型比尺及試驗條件

本試驗採用 $1/49$ 之幾何比尺，其他物理量則以福祿相似律決定之。實體波浪及水深與模型波浪及水深之關係如表 5-2-1。

表 5-2-1 實體波浪及水深與模型波浪及水深之關係

項 目	實 體	模 型
週 期 (sec)	9.3、11.3、13.5	1.33、1.60、1.93
波 高	3.92~9.8m	8~20cm，約 13 種
水 深	29.4m	60cm

5-2-2 模型製作

以 $\theta=75^{\circ}58'$ 、高 100cm、寬 50cm之傾斜面，以及與波向成 $\alpha=0^{\circ}$ 、 22.5° 及 45° 之三角形堤面，做為雙傾斜式防波堤斷面之模型，模型於試驗水槽之佈置結構如圖5-2-1所示。模型之左右兩側則各置 25cm寬半個防波堤成對稱狀共 100cm寬，用以模擬防波堤堤線某部份之波場。模型架設於支架上，模型與支架間以兩支懸臂樑聯接防波堤上下兩端，於懸臂樑上黏貼四片應變計組成惠斯敦電橋，用以測定水平波力。斜面上則分別於斜面中心線之靜水面上下安裝六個波壓計測定波壓強度。

5-2-3 試驗設備

(1) 試驗水槽

本試驗係在建國校區玻璃水槽中進行，其平面及斷面佈置如圖5-2-2所示。水槽寬1m、長40m、高1m。一面嵌玻璃另一面則為混凝土。造波機置於水槽一端為懸臂式造波機由十馬力直流馬達驅動造波。造波機前約 35m處設置防波堤模型，堤後設消波斜面，造波機前及堤面上各裝設電容式波高計，分別量測入射波及溯升高。

(2) 波壓計及動態增幅器

本試驗於堤面所佈置之六個波壓計係採用日本ST株式會社之PM10-2型，其直徑10mm、厚2mm，最大感應度為 $0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 。波壓計佈置位置及編號詳如圖5-2-3所示。增幅器為日本 San-ei製造6M61型及KYOWA DPM-611B型二種，前者為電容自動平衡、電阻手動調整之半自動增幅器，感應度為 $0.5\text{V}/10\mu\text{m}/\text{m}$ ，反應頻率2KHz，輸出頻率為 10V。後者為全自動平衡方式，反應頻率為2.5KHz，輸出為5V，搭配波壓計或波力計使用。二者輸出可直接由 A/D轉換器與電腦連線，由電腦操控計錄、攫取及分析。試驗前先率定各個波壓計受壓與輸出電壓之關係式，作為試驗時由電壓值反算壓力之依據，圖5-2-4係波壓計 P1之壓力與輸出電壓之率定圖，由圖顯示壓力與電壓值之線性關係良好，其餘各個波壓計與輸出電壓關係皆如是。

(3) 波力計

本試驗檢出防波堤作用力之測力桿 A、B係由本計劃研究人員自行研製。測力桿件製作方法係以圖5-2-5之方式，於桿件上黏貼四片KYOWA之KFW-2-C1-16-L500型應變規(Strain Gage) R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 組成全電橋(Full Gage)，利用桿件受力矩時之形變使全電橋發生電阻差，電阻差經增幅器轉化為電壓。試驗前可先施予一系列已知大小之作用力，藉著計錄增幅器之電壓輸出值，可率定出作用力與出力電壓關係式。試驗時，由測力桿件受所產生之電壓變化，即可以該關係式推算作用力之大小。圖5-2-6係測力桿A之受力與輸出電壓之率定圖，由圖顯示受力與電壓值之線性關係良好，測力桿B之受力與輸出電壓關係亦如是。

(4) 波高計

為日本製C-400型容量式波高計，其所搭配之放大器為CH-306型增幅器，用以測量入射波高及波浪溯升高。

(5) 資料攫取系統

本試驗資料攫取係採用 Notebook套裝軟體由486個人電腦控制，將各測點之電壓訊號經由A/D，D/A轉換後，儲存於硬碟中。資料經程式分析後，應用 GRAPHER套裝軟體將分析圖形整理出來，由雷射印表機印出。其組成之各單元說明如后：

- A. 計算主機是486個人電腦，內含640KB RAM，4 Mega Byte 的擴充記憶體，配有一座12吋的圖形顯示幕及實數運算卡等。分析程式用 Quick Basic語言，具有繪圖能力，可直接將資料以圖形顯示出。
- B. 硬式磁碟機：資料計憶容量為80 Mega Byte，可高速傳送與儲存程式及數據。
- C. 多功能程式機(Notebook)：有15頻道掃描系統，可藉以輸出控制電壓信號及數據攫取和輸入。
- D. 雷射印表機(Hp Laserjet IIP)可高速列印輸出之資料。
- E. 繪圖軟體(GRAPHER)具有完備的繪圖功能，可將資料依所需表示於圖形上。

5-2-4 試驗方法

試驗時先注入水至試驗水深，設定波浪週期後調整波高振幅後隨即造波，待第一個波到達堤前時開始攫取資料，直至二次反射波到達堤前時則試次終了並停止造波，試驗所攫取之資料儲存後，再調整波高、週期反覆試驗俾得各種週期、各種波高下之波力及波壓資料，以資分析。試驗資料分析時，取波形已達穩定而二次反射未達之第七波至第二十個波之平均值做為試驗分析數據。

5-3. 試驗結果與分析

5-3-1 堤面波壓

本試驗防波堤縱斷面傾斜度採4V：1H，而水平斷面之交角則分別為 $\alpha=0^\circ$ ， 22.5° 及 45° 三種。波壓計分別裝設於靜水面上+4.9cm，靜水面 ± 0 cm及水面下-9.7cm、-19.4cm、-34.0cm及-50.4cm等六處，依序以P1、P2、P3、P4、P5及P6代表各點之波壓強度，詳如圖5-2-3所示。

在水深一定($d=60$ cm)，改變三種週期，於週期一定下調整各種波高測定波壓之結果如圖5-3-1A~5-3-3C所示。圖5-3-1A係週期1.32秒，即相對水深 $d/L_0=0.199$ 、 $\alpha=0^\circ$ (平板)各點所測得之波壓、波高關係以無因次波壓 p/r_d 與深海波高水深比 H_0/d 表示之結果。由圖可知各點之波壓隨波高之增加而增加，同時以靜水面波壓為最大，往水面下波壓遽減，而水面上P1之壓力則較P2小而大於P3。愈上面之波壓隨波高之增加率較水面下者明顯。週期1.63秒(相對水深 $d/L_0=0.132$)及週期1.93秒(相對水深 $d/L_0=0.102$)之試驗結果分別如圖5-3-1B及圖5-3-1C所示，亦有同樣之趨勢，比較三圖之結果可知週期愈長或相對水深愈小者波壓較大，亦即同一測點於相同波高作用時，週期愈長波壓愈強。圖5-3-2為交角 $\alpha=22.5^\circ$ 之試驗結果，由圖5-3-2A、5-3-2B及5-3-2C之比較可知，亦類似於 $\alpha=0^\circ$ 者，同一測點上於同一波高作用時，長週期之波壓較短週期者大，而波壓與波高之關係則波壓之增加率於相對水深 d/L_0 小時較小，其中尤以靜水面者為然。 $\alpha=45^\circ$ 之試驗結果如圖5-3-3A、5-3-3B及5-3-3C所示。比較同一水深及波浪條件時，不難發現水平交角 $\alpha=22.5^\circ$ 之波壓強度最小， $\alpha=0^\circ$ 者次之，而 $\alpha=45^\circ$ 之波壓在水面及水面附近者反稍大於 $\alpha=0^\circ$ 者，此一關係於三種不同週期中均有同樣之趨勢。故就三種 α 角度之試驗結果視之，當以 $\alpha=22.5^\circ$ 較為理想。

圖5-3-4~5-3-6爲同一週期及水深條件下，同一測點在不同 α 角之波壓—波高關係之分析，圖5-3-4A爲水面上測點 P_1 之波壓~波高無因次量 P_1/r_d 與 H_0/d 之關係圖。圓形符號表示 $\alpha=0^\circ$ ，即平面時之波壓，方形符號表示面板與入射波之交角 $\alpha=22.5^\circ$ 之波壓，十字形符號表示 $\alpha=45^\circ$ 之波壓。由此圖可知水面上之壓力以 $\alpha=45^\circ$ 時最小， $\alpha=22.5^\circ$ 時較大， $\alpha=0^\circ$ 者居中，其原因可能 $\alpha=22.5^\circ$ 時堤面中間之溯升較他者高所致。靜水面之無因次波壓 P_2/r_d 與 H_0/d 之關係則如圖5-3-4B所示。不同 α 角之波壓相差有限，但 $\alpha=45^\circ$ 者波壓較其他角度略爲大些，而以 22.5° 者較小。水面下第一、二點 P_3 ， P_4 之壓力強度與 α 角之關係如圖5-3-4C及圖5-3-4D所示，大致亦與水面者相似以 45° 者較大， 22.5° 者較小， 0° 者居中，而水面下第3、4點，即 P_5 、 P_6 之無因次波力如圖5-3-4E及圖5-3-4F所示， α 角之影響不甚明顯，三種角度之壓力幾近相同，但 $\alpha=0^\circ$ 者略較他者大些。週期 $T=1.63$ 秒之試驗結果及週期 $T=1.93$ 秒之試驗結果各如圖5-3-5及圖5-3-6所示， α 角對波壓之影響在水面及水面下均以 $\alpha=45^\circ$ 者最大， $\alpha=22.5^\circ$ 者最小，愈往水下接近底床 α 之影響愈不明顯。顯然在此三種 α 角之比較試驗中顯示 $\alpha=22.5^\circ$ 之堤面波壓較水平板($\alpha=0^\circ$)者小，而 $\alpha=45^\circ$ 者卻反而較水平板者大，其原因可能因波向與堤面斜交產生之短峰波有關， α 大未必能減低垂直於堤面之波壓強度。理論上言，如無波浪反射平面分佈之相異，波壓強度應不受 α 角之影響。

又從不同週期之波壓強度之比較可知，在同一位置上之波壓相對水深 d/L_0 小或週期長者波壓較大，即週期 $T=1.93$ 秒者波壓大於 1.63 秒者，而 1.63 秒者又大於 1.32 秒者。

5-3-2 水平波力

水平波力 F 係指於防波堤背面上、下二支撐所測得作用於單位寬度防波堤面上水平方向之波力之和。圖5-3-7~5-3-9爲水平波力無因次量 F/r_d^2 與波高水深比 H_0/d 之關係圖，由此三圖可知，(1)就同一波高言，週期 T 長或相對水深 d/L_0 小之無因次水平波力較週期短或相對水深大者大。(2)就不同之水平交角 α 而言，平板 $\alpha=0^\circ$ 時三種週期之水平波力都較其他角度者大。 $\alpha=22.5^\circ$ 及 $\alpha=45^\circ$ 之水平波力則在週期 1.93 秒之試驗中明顯顯示 $\alpha=45^\circ$ 者最小，亦即週期長者 α 角愈大水平波力愈小，此一趨勢在波高大時愈明顯。週期 1.63 秒之試驗中，雖然 $\alpha=45^\circ$ 之水平波

22.5°者略小，但不如週期1.93秒者明顯。週期較短之 $T=1.32$ 秒試驗，則測點較為散亂，但平均而言 $\alpha=45^\circ$ 反較 $\alpha=22.5^\circ$ 之水平波力大。由以上之結果大致可看出三角形斷面之水平波力較平板($\alpha=0^\circ$)之水平波力小，而週期長或相對水深小時， α 角愈大水平波力愈小。又由此三圖之比較可知週期長之無因次水平波力較週期短者大，即相對水深愈小無因次波力愈大。

5-3-3 水平波力與波壓積分之關係

如將堤面所測得各點之壓力予以積分，再乘以 $\sin\theta\cos\alpha$ 即為水平波力換算值 F_{ph} (以下簡稱合成波力)，即

$$F_{ph} = \sin\theta\cos\alpha \sum_{i=1}^n (P_i + P_{i+1}) \Delta Z_i / 2 \quad \dots\dots\dots (5-3-1)$$

P_i : 第 i 點之堤面波壓測定值
 ΔZ_i : 壓力計二測點 P_i 、 P_{i+1} 之間距

圖 5-3-10A ~ 5-3-12C為由水平力測桿所得之實測水平波力 F (以下簡稱實測波力)與由式5-3-1合成波力之比較圖。圖 5-3-10A為 $\alpha=0^\circ$ 平板之合成波力 F_{ph}/rd^2 與實測波力 F/rd^2 之關係圖，由圖 5-3-10A知週期 $T=1.32$ 秒於小波高時實測波力大於合成波力，波高較大時實測波力小於合成波力，亦即合成波力較實測波力大，表示合成波力可能會偏大些。同樣在週期 $T=1.63$ 秒之試驗中(參照圖 5-3-10B)，亦顯示合成波力稍比實測波力大些，而在 $T=1.93$ 秒之試驗(參照圖 5-3-10C)則顯示實測波力較合成波力大，亦即 $\cos \alpha$ 影響不如預期者大。在 $\alpha=22.5^\circ$ 之試驗中亦顯示同樣之結果(參照圖5-3-11A、B及C)，週期短者實測波力小於合成波力，而週期長者卻實測波力大於合成波力，表示傾斜堤於相對水深較大時較為有利。而 $\alpha=45^\circ$ 之三種週期結果均顯示實測波力比合成波力小(參照圖 5-3-12A、B及C)，亦即 α 角對實測值之影響效果較合成波力大，唯依前述波壓強度在 $\alpha=45^\circ$ 時均有大於 $\alpha=0^\circ$ 之情況視之，合成波力有偏大之可能，但自此結果即可看出 α 角增加時，水平波力確有減少之傾向。

第六章 結論與建議

本所接受交通部運研所委託進行深水防波堤之理論分析與試驗研究，就先期規劃二種混成堤斷面，一種拋石堤斷面及一種新型斷面，分別進行試驗，並以理論值分析、比較，其結論與建議綜述如後：

結 論

一. 混成堤試驗

1. 無因次波壓 $P_1/\rho g d$ 皆隨 H_0/d 、 H_0/L_0 之增加而增加，水面附近之波壓隨 H_0/d 增加之幅度較大於近水底之波壓增加幅度，待 H_0/d 之值增至 0.22 附近，水面附近(測點 P1、P2、P3、P4)波壓之增加幅度較趨平緩。當固定 H_0/d 值時，測點 P1~P6(堤面之波壓計)之波壓，除 CASE A-1 $T=13\text{sec}$ ，CASE A-3 $T=9、13\text{sec}$ 三個試次於大波高時 P3 大於 P2 外，其餘各試次皆以水面 P2 之波壓最大，CASE B-1~B-3 之各波壓值則皆以 P3 為最大，堤面之波壓分佈以最大波壓值之測點為分際，以下之各點波壓隨水深之增加而遞減，以上之測點則隨高程之增加而遞減。另外，比較各堤底上舉力 P7、P8 顯示，固定 H_0/d 值時，P8 之值皆較大於 P7，兩者之差值有隨 H_0/d 、 H_0/L_0 之增加而增加的趨勢。比較 P8~P10 顯示，靠近堤跟之上舉力值皆小於靠近堤趾之上舉力，且前者隨 H_0/d 、 H_0/L_0 增加之趨勢皆小於後者。
2. 經以微小振幅重複波、Sainflou 與 Tadjbakhsh-Keller 重複波三次解理論波壓與試驗之波壓分佈比較結果，Sainflou 波壓公式所計算出水面下之波壓值皆高於其他二公式計算之結果，微小振幅重複波波壓所計算出之值則介於其間且較接近於 Sainflou 公式計算結果。三種公式計算值與試驗值之比較結果顯示，Sainflou 與微小振幅重複波波壓公式之計算結果有高估試驗值的趨勢，其間之偏差隨 H_0/d 之增加而增加，三種公式以重複波三階解與試驗值較吻合。另外，CASE A-1 ~ A-3 於 $H_0/d > 0.25$ 及 CASE B-1~B-3 於 $H_0/d > 0.29$ 時，三階解之最大波壓有偏離波峰的現象，即最大波壓並不是發生於 $\sigma t=0$ 處。

3. 統計波壓比值 $P_{\max}/P_{1/3}$ 與 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 之比值域變動範圍有隨 H_0/d 增加而增寬變大的趨勢， $P_{\text{mean}}/P_{1/3}$ 與 $P_{\text{rms}}/P_{1/3}$ 約保持定值與 H_0/d 之關係並不顯著，。沉箱底面上舉力之測點 P7~P10，其比值變動範圍皆較堤面波壓 P1~P6 測點為寬為大。各統計波壓比值之值域範圍詳如下表：

比 值	測 點	$H_0/d < 0.22$	$H_0/d > 0.22$
$P_{\max}/P_{1/3}$	P1~P6	1.20~1.40	1.20~1.80
	P7~P10	1.20~1.60	1.20~2.80
$P_{1/10}/P_{1/3}$	P1~P6	1.16~1.20	1.20~1.28
	P7~P10	1.20~1.60	1.20~2.00
$P_{\text{mean}}/P_{1/3}$	P1~P6 P7~P10	0.6~0.8	
$P_{\text{rms}}/P_{1/3}$	P1~P6 P7~P10	0.8	

4. 經以 Weibull、Rayleigh 及 Log-normal 等理論分佈與測點 P3 之波壓累積機率分佈及超越機率比較之結果，Rayleigh 分佈對於發生機率較大之小波壓有低估的趨勢，對較大波壓有高估的趨勢，Log-normal 分佈則與上述情況相反，三種機率分佈以 Weibull 分佈較能有效描述 P3 之機率分佈情況。藉由柯-司 (Kolmogorov-Smirnov K-S) 的密合度試驗法檢定理論與試驗值之差異結果顯示，Weibull 分佈用來描述波壓之機率分佈是可以被接受的，Rayleigh 及 Log-normal 分佈則較不適用。
5. 將各不同試次之堤面波壓與堤底上舉力之 P_{\max} 值合成之波力及上舉力與 Goda 波壓公式計算結果 (以下簡稱計算值) 比較顯示，波力、上舉力與兩者之計算值皆隨 H_0/d 、 H_0/L_0 之增加而增加，待 H_0/d 增至 0.22 附近，因係越波之緣故使得波力之增加幅度有減緩的趨勢，至於上舉力與兩者計算值則沒明顯改變。另外，固定 H_0/d 值時，波力計算值顯示較高堤頂所對應之波力皆略大於較低堤頂之波力，此趨勢隨 H_0/d 之增加而愈趨明顯，至於上舉力計算值及合成之波力及上舉力則沒有明顯的差別，據試驗資料，堤頂改變對合成之波力及上舉力的影響並不明顯。比較相同 H_0/d 所對應之合成波力與計算值，顯示計算值於 $H_0/d < 0.22$ 時二者較吻合， $H_0/d > 0.22$ 則計算值有高估的趨勢且其間偏差有隨 H_0/d 之增加、 d/L_0 之減小而增加的傾向。比較相同 H_0/d 所對應之合成上舉力與計算值顯示，計算值有低估的趨勢，其偏差與 H_0/d 之關係並不明顯，但較小 d/L_0 值其合成之上舉力與其計算值較為吻合。

6. 以Goda波壓經驗式為藍本，本文依據試驗資料提出波力修正係數，修正後之波力計算值不再隨 H_0/d 之增加而有偏離試驗值之現象，試驗值約分佈在計算值上下側，且在上下限間。修正後之上舉力計算值則略微大於試驗值。
7. 混成堤各週期之晃動角度多數介於 $0.06 \sim 0.08$ 度之間，另外由位移計之位移量分析結果可知，各試次均無滑動現象產生，顯示該二先期規劃之混成堤斷面均無安全之顧慮。
8. 由相同試次不同週期之越波量與 H_0/d 之關係圖顯示，同一試次下，各週期之越波量皆隨 H_0/d 之增加而增加，其增加之幅度隨週期之增加而增加。當 $H_0/d < 0.3$ 時，短週期波之越波量皆大於長週期波之越波量，當 $H_0/d > 0.3$ 時，長週期波之越波量反有漸次大於短週期波之趨勢。由相同週期下，不同堤頂之越波量與 H_0/d 之關係圖顯示，相同週期下，各不同試次之越波量皆隨 H_0/d 之增加而增加，其增加之幅度隨堤頂之減低而增加。A、B二斷面之堤頂降低1m時對越波量之影響不大，但斷面堤頂降低3m時越波量則顯著增加，約有前者未降低堤頂前之2倍後者之3倍。

二．拋石堤安定試驗

安定試驗，各斷面均經長達1000個造波時間之觀測結果顯示，安卡塊、元鼎塊及凌克塊無破壞情形，協克塊則於三個週期皆有破壞情形發生，其中週期11sec，波高6m左右，即發生整體下滑的情況。

三．新型防波堤試驗

1. 波壓強度不論何種情況以靜水面附近最大，往下愈近底床波壓愈小。就同一位置波壓言，波高愈大時其波壓愈大，而相對水深愈小或週期愈長者其波壓亦愈強。
2. 於 $\theta = 75^\circ 58'$ (1H:4V)之情形言，以 $\alpha = 22.5^\circ$ 之波壓最小， $\alpha = 0^\circ$ 者次之， $\alpha = 45^\circ$ 者反大，可能係短峰波影響所致。

3. α 角對水面附近之波壓影響較大，愈近底床影響愈不明顯。
4. 就同一波高而言，相對水深小(或週期長)者之水平波力較大。水平波力顯示 $\alpha=0^\circ$ 時較大， $\alpha=22.5^\circ$ 時較 $\alpha=0^\circ$ 者小，而 $\alpha=45^\circ$ 時最小，週期長者 α 角之影響較顯著，尤以波高大時更為明顯。
5. 實測水平波力除週期 $T=1.93$ 秒 $\alpha=0^\circ$ 及 22.5° 之二個試次外均較換算水平波力小，亦即由波壓積分乘以 $\sin\theta\cos\alpha$ 後之水平波力大於實測值，在安全側。二者誤差不超過10%。

建 議

一．混成堤試驗

1. 相關試驗研究及現場調查報告皆指出，在沉箱堤址部附近發生之負波壓可能造成堤址掏刷，由於本計畫著於波壓研究，未探討上述之現象，因此有待進一步試驗以瞭解發生負波壓之條件及影響結果。
2. 本試驗所提出之經驗式其適用範圍僅限於本計畫之設計斷面及試驗條件，至於影響混成堤受力之護坦長度、拋石基礎高度等重要因素，本試驗限於計畫之設計斷面，未能加以考量，此有待進一步研討適用於深水情況之護坦長度及拋石基礎高度。
3. 四面環海之台灣，其經濟命脈整之於海運，深水港之開發、建造誠屬必然趨勢。本試驗之深水防波堤堤址水深分別為32.6m及28.6m，試驗之相對水深比 d/L_0 介於0.1082~0.2563間，基隆、高雄新港不日即將開發至水深 50~60m處，相對水深比將遠大於本計畫之斷面試驗條件，應及早深入探討以提供日後大型深水港之規劃設計用。

二．拋石堤安定試驗

拋石堤斷面安定試驗結果顯示，Hudson公式僅能大致估算塊體之安定與否，其因公式本身僅考量堤前設計波高及堤面之坡度，對於堤前海底之坡度，波浪週期及塊體在不規則波作用下之安定情況並未加以考量，此有待進一步研究探討。

三．新型防波堤試驗

1. 由於開發一種新式防波堤並非一蹴可成之事，需經多項試驗及理論分析探討並集就多方面之意見方可使一新的設計理念完備，就以本試驗之結果顯示，尚需就不同傾斜坡度予以試驗研究才能得到更具體之結論。
2. 雙傾斜式防波堤水平剖面之凹角附近由於受兩方向之水體擠壓，其局部波壓有可能大於凸角附近之波壓，因此對傾斜面各部位之波壓需進一步探討，以作為設計時堤面材值之選定及局部堤面補強之依據。
3. 當波浪斜向入射或波向恰好成 α 角度入射時，雙傾斜式防波堤是否仍具有減壓及安定之優勢，需進一步於平面水槽進行試驗，方能證實雙傾斜式防波堤之優異性。
4. 本試驗波浪乃以規則波進行，待雙傾斜式防波堤不同之傾角及交角有較具體之結論後，須進一步以較佳堤面傾角與交角配置之模型進行不規則波試驗，以探討此新式防波堤於實際海岸之適用性。

參 考 文 獻

1. Goda, Y. , " Random Seas and Design of Maritime Structures " , University of Tokyo press , 1985.
2. 郭金棟, 簡仲和, " 直立防波堤全波壓之實驗研究 " , 第一次海洋工程研討會論文專輯, pp. 203~205, 1977.
3. 簡仲和, 邱耀達, " 作用於緩坡上直立堤之沖擊波力之研究 " , 港灣技術第七期, pp. 49~64, 1992.
4. 洪華生, 鄧漢忠, 蔡益超, " 工程或然率 " , 中國土木水利工程學會, 1989.

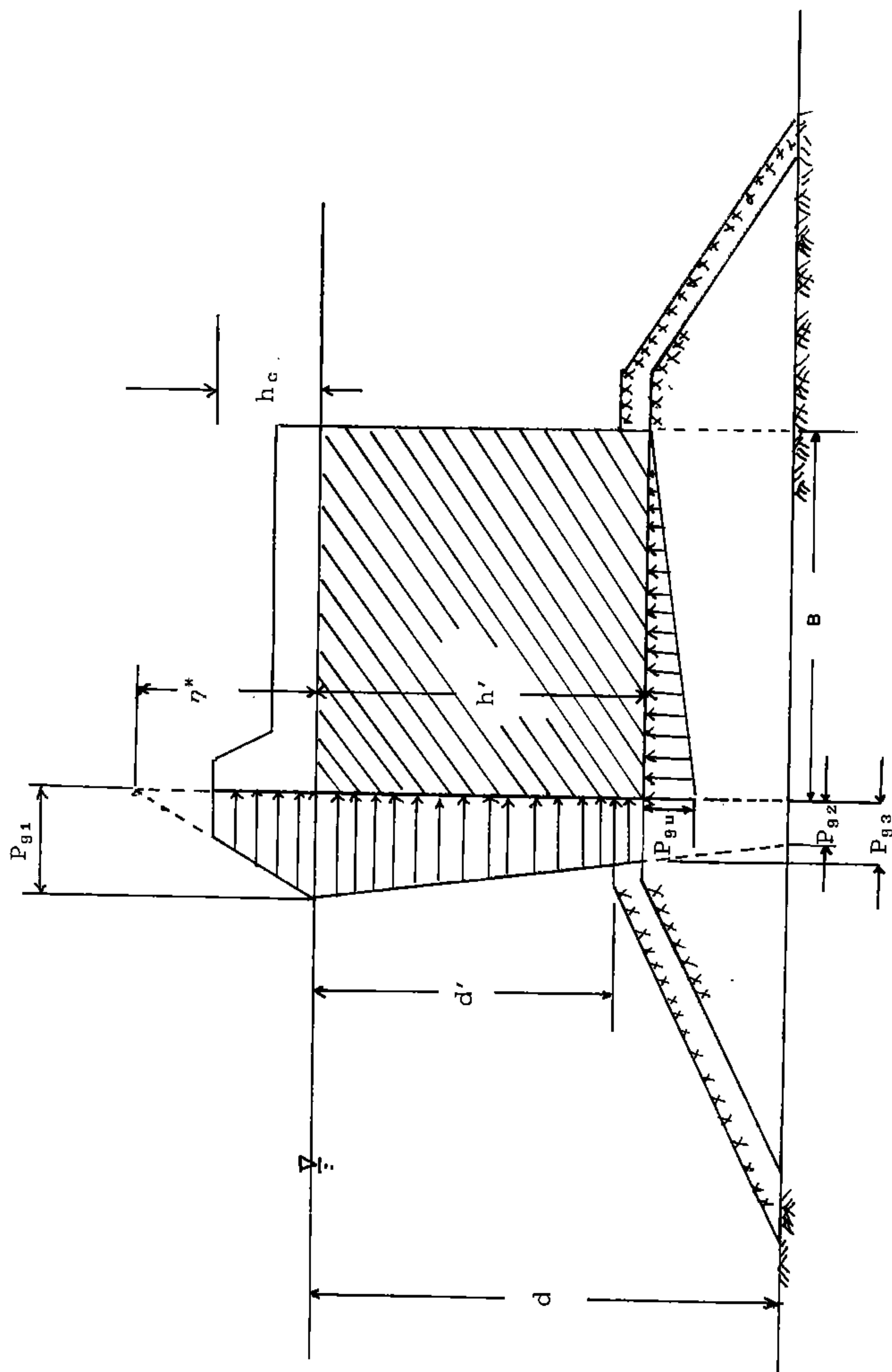


圖2-1 Goda波壓經驗公式符號標示圖

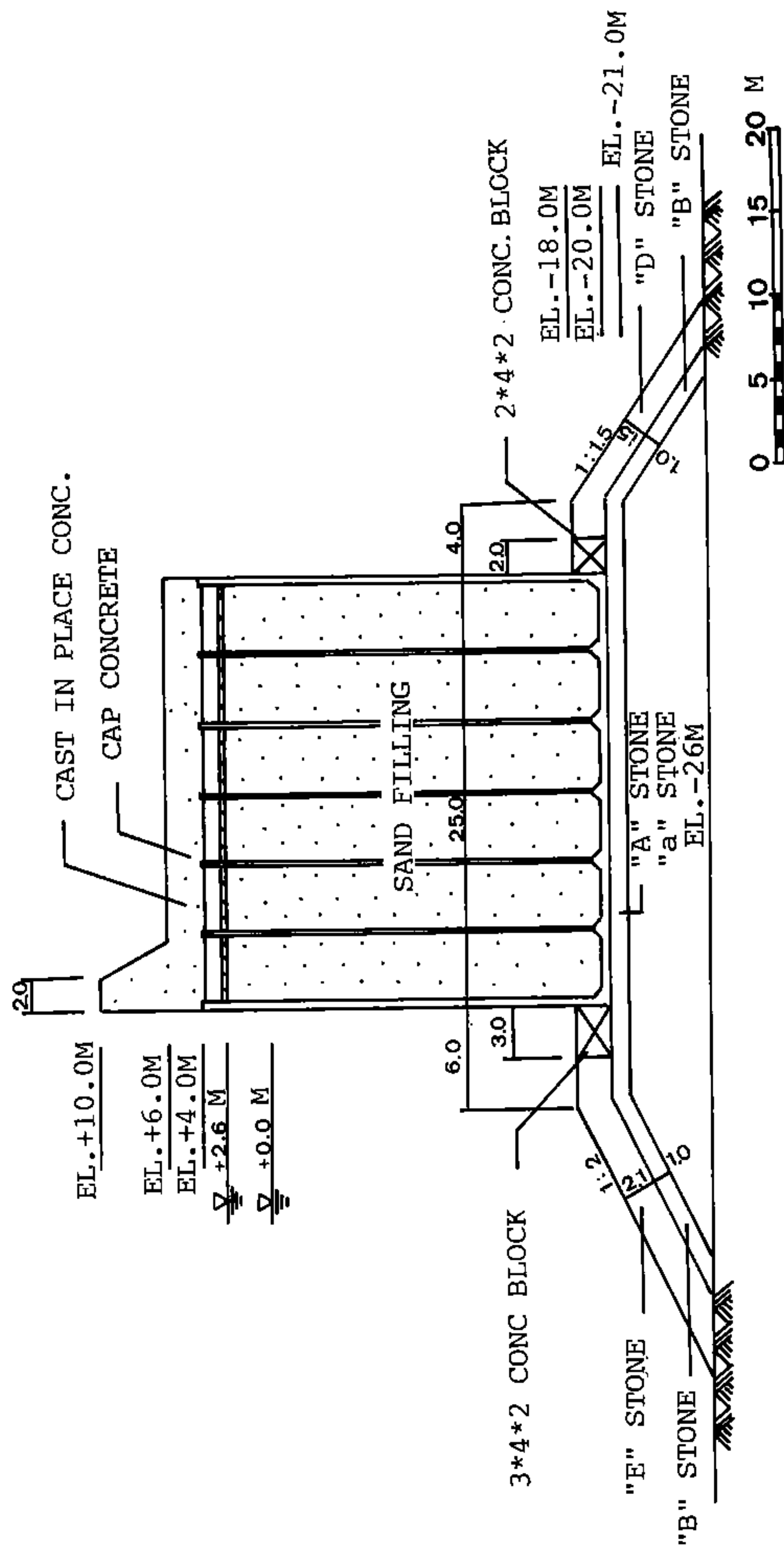


圖 3-1-1B 混成堤標準斷面設計圖 (堤址高程 -26m)

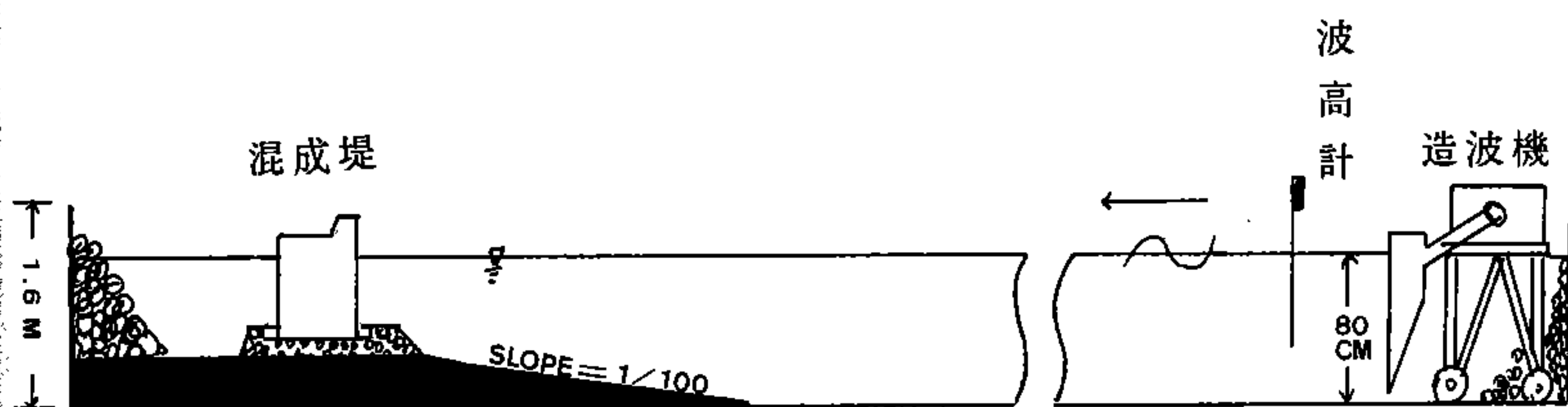
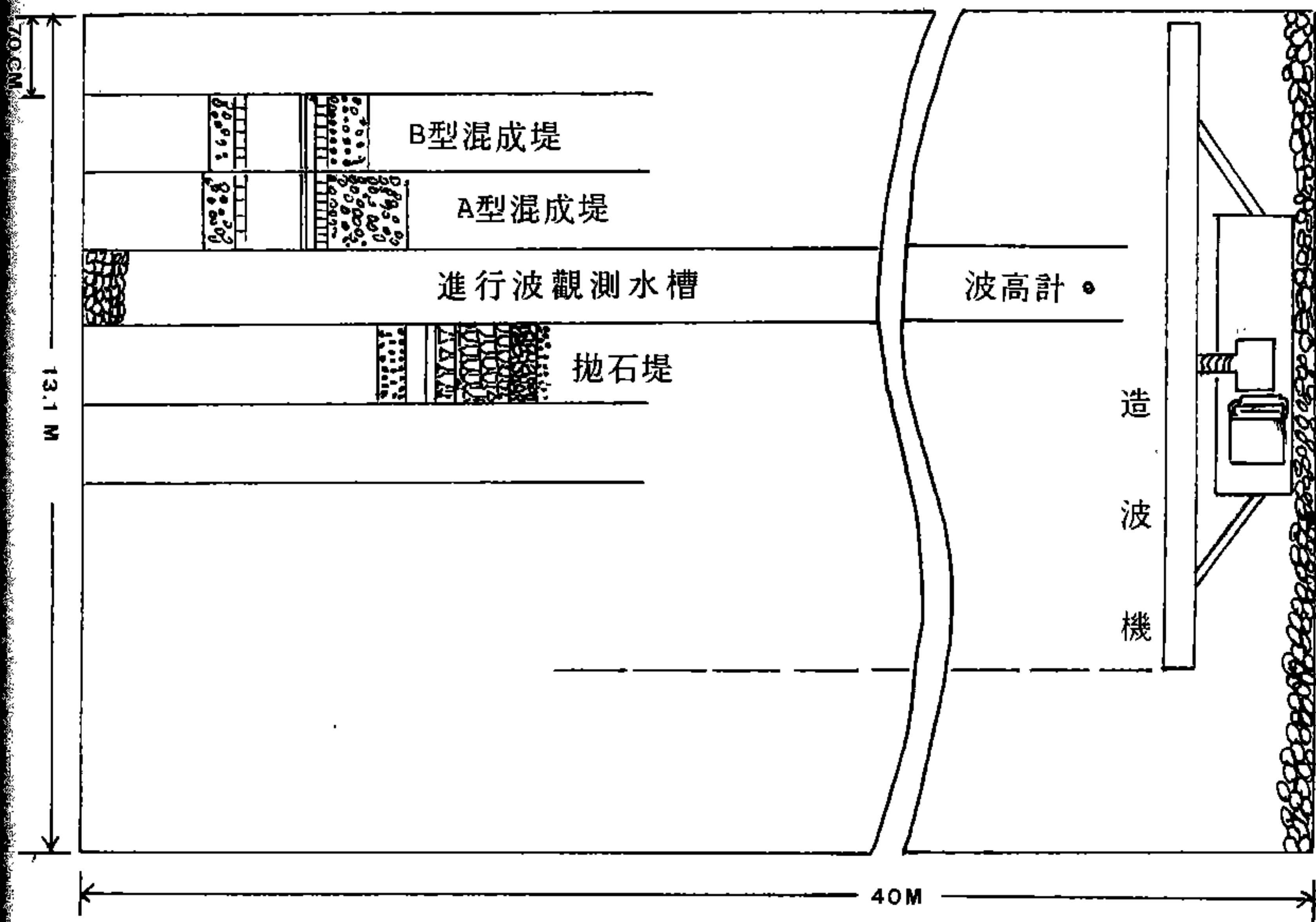


圖3-2-1 混成堤及拋石堤試驗之平面及斷面佈置圖

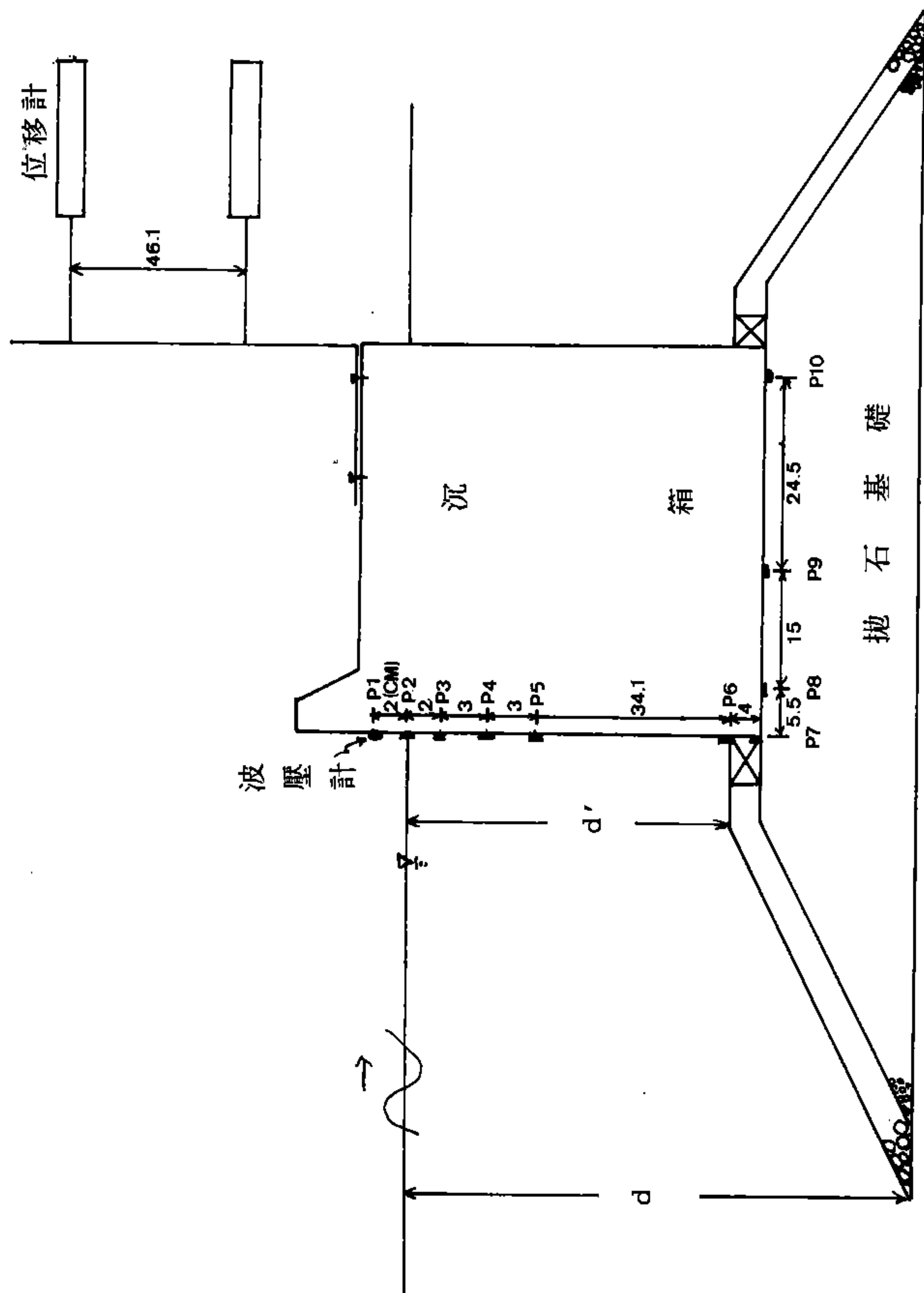


圖3-2-2 波壓計及位移計佈置點位及編號

** POWER SPECTRUM **

EXPERIMENT NAME : TRANSPORT
 CASE NAME : TRN_T09
 TARGET SPECT. : TRN_T09_H7_THEORY
 GENE. SPECT. : 913

S(f) FULL SCALE = 4.33E+01 [cm^2*sec]

Flow = 0.00 [Hz]

Fhigh = 2.00 [Hz]

Fleft = 0.00 [Hz]

Fright= 2.00 [Hz]

Ea = 0.00E+00

Eb = 0.00 [%]

Fqmax = 8.33 [Hz]

— Target Wave
 --- Approval Data
 — Generated Wave

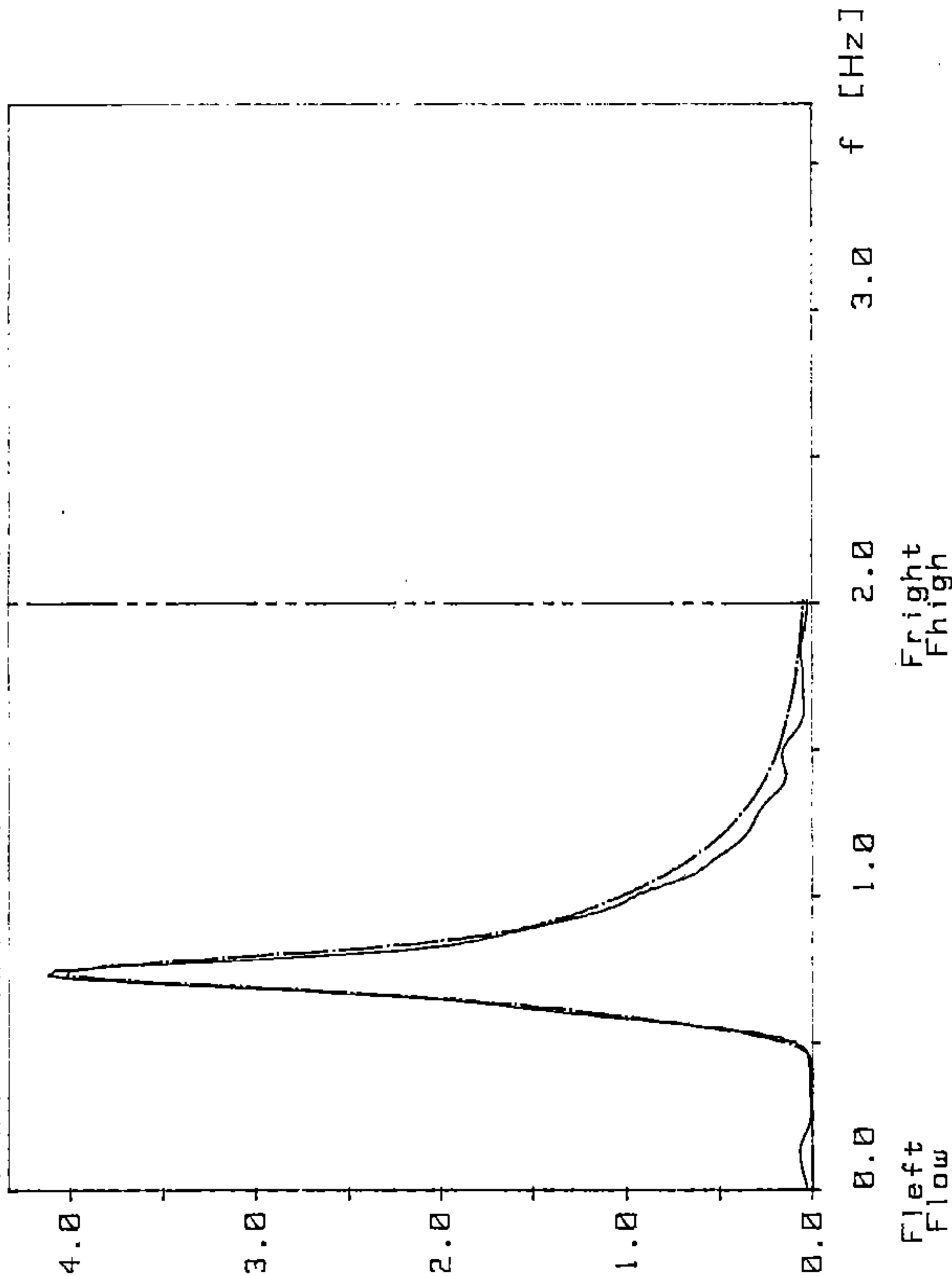


圖 3-3-1 試驗波譜與其理論波譜之比較

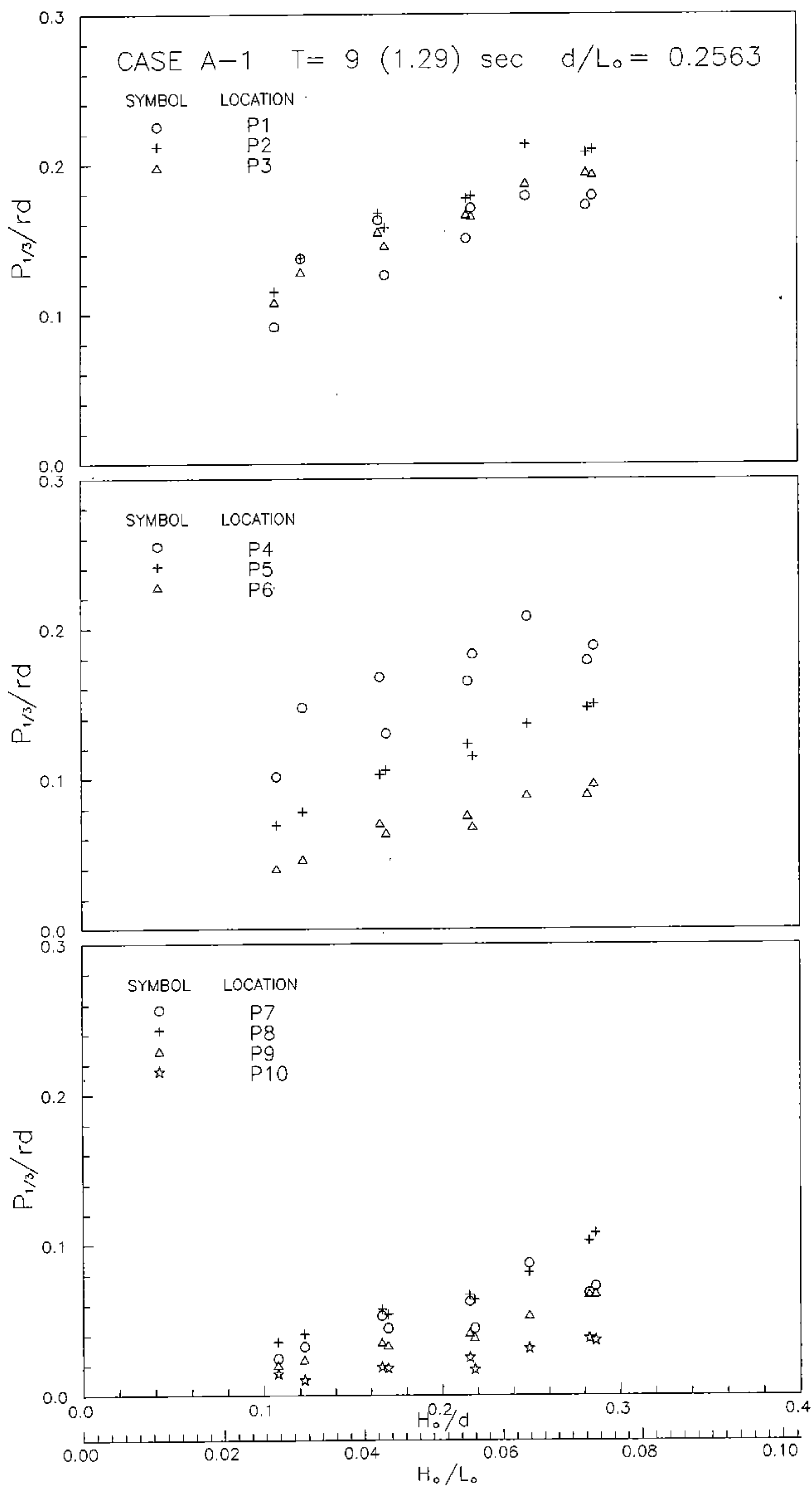


圖 3-4-1 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-1)

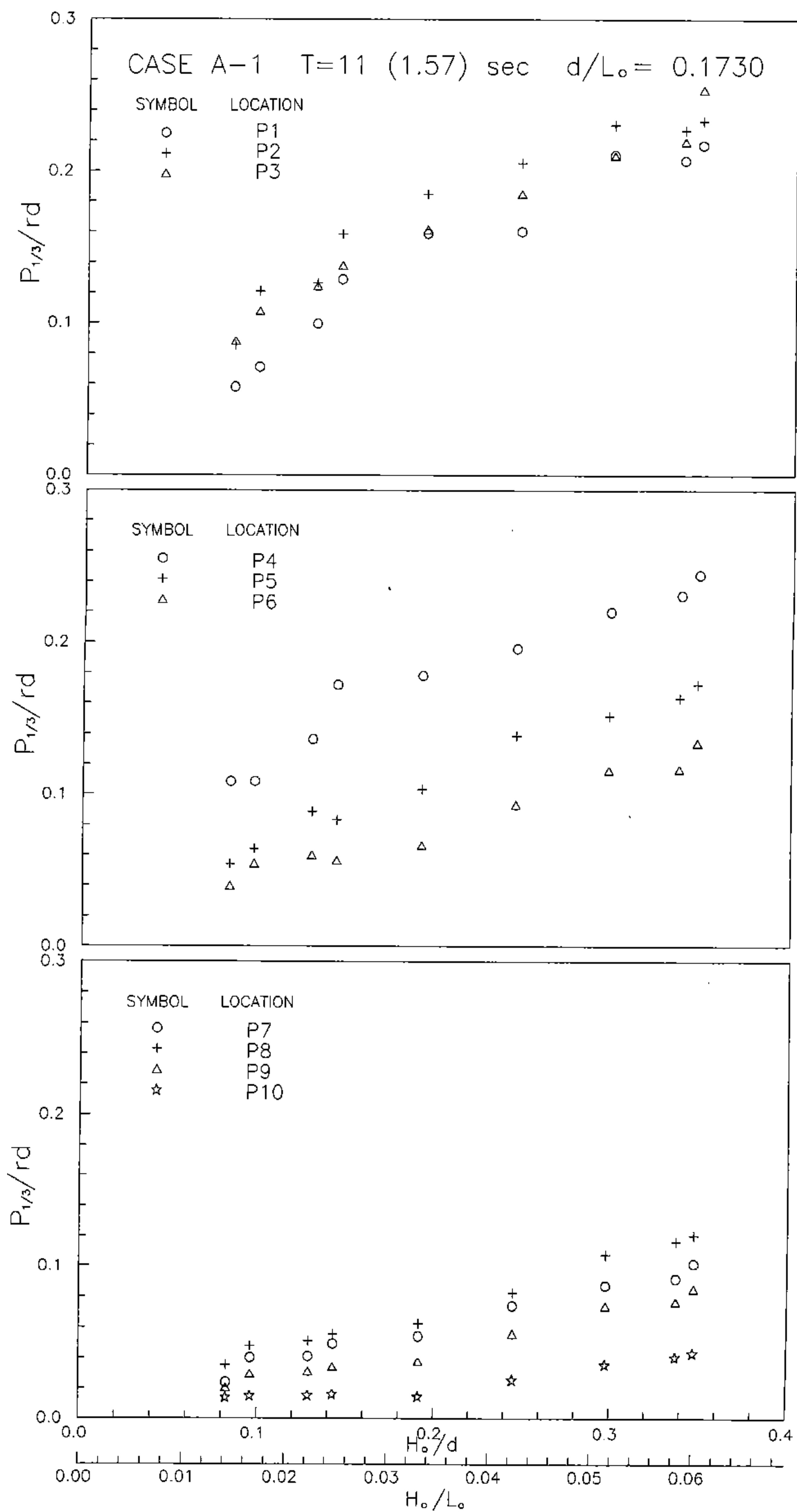


圖 3-4-2 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-1)

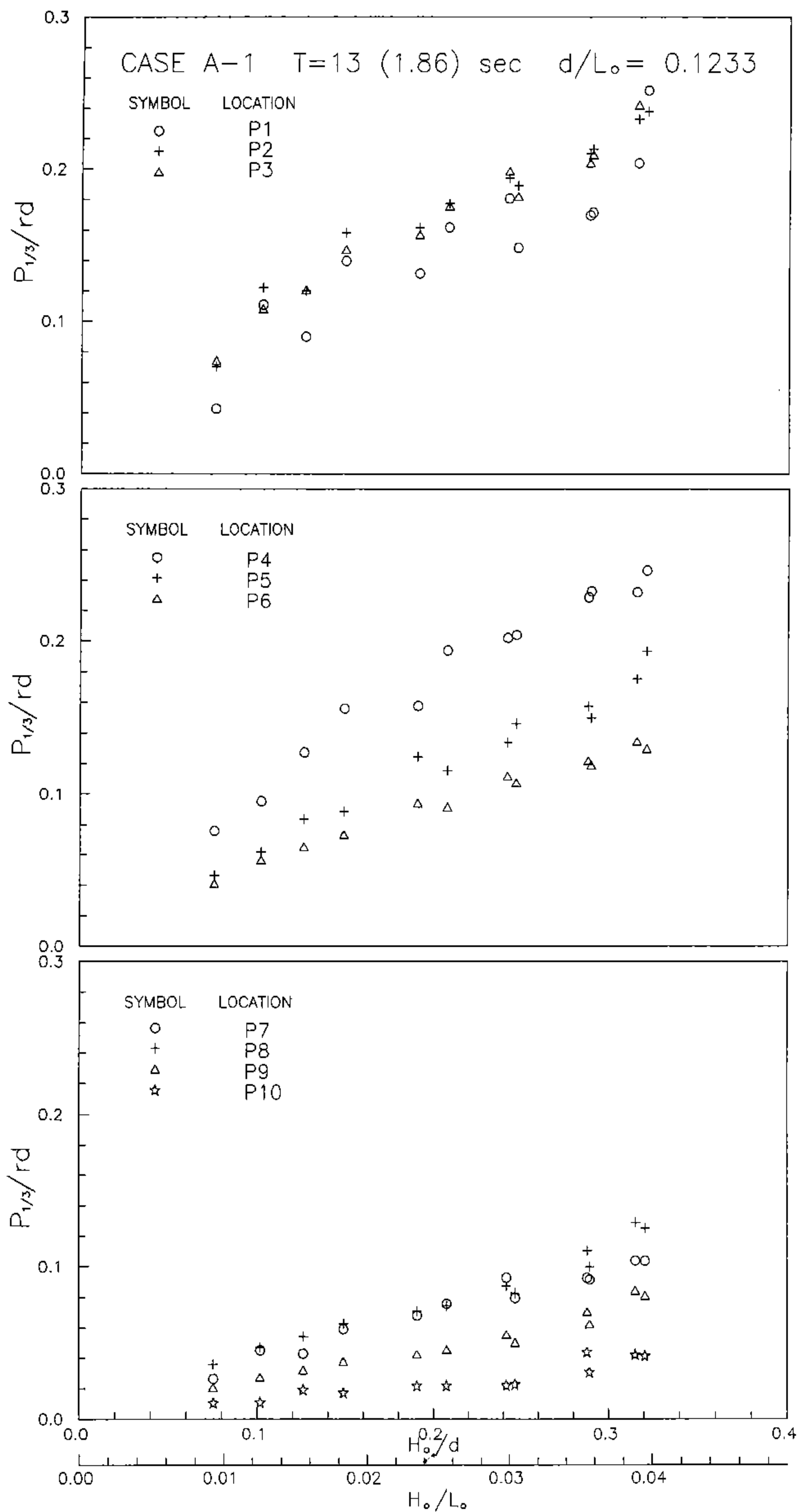


圖 3-4-3 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-1)

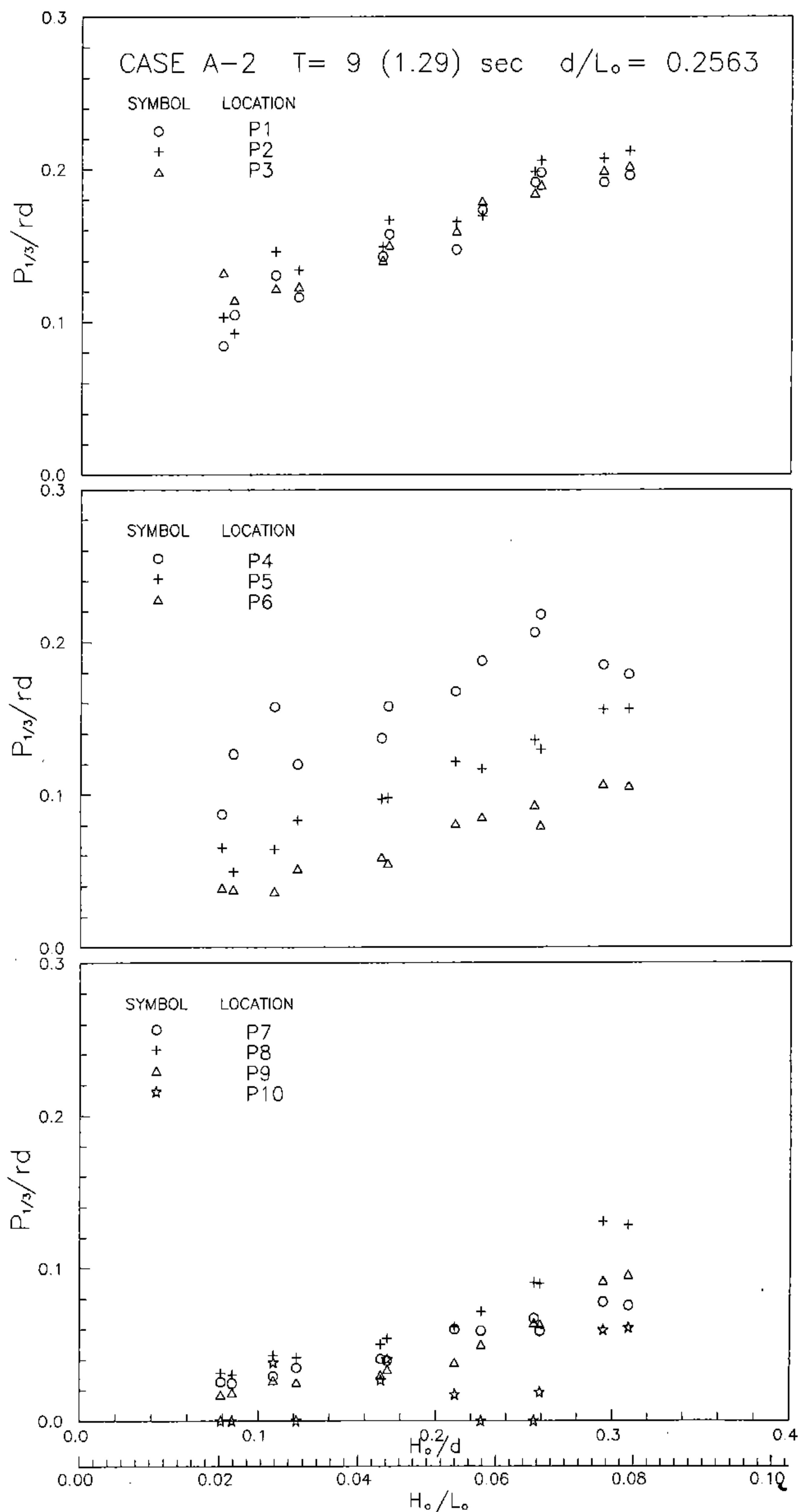


圖 3-4-4 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-2)

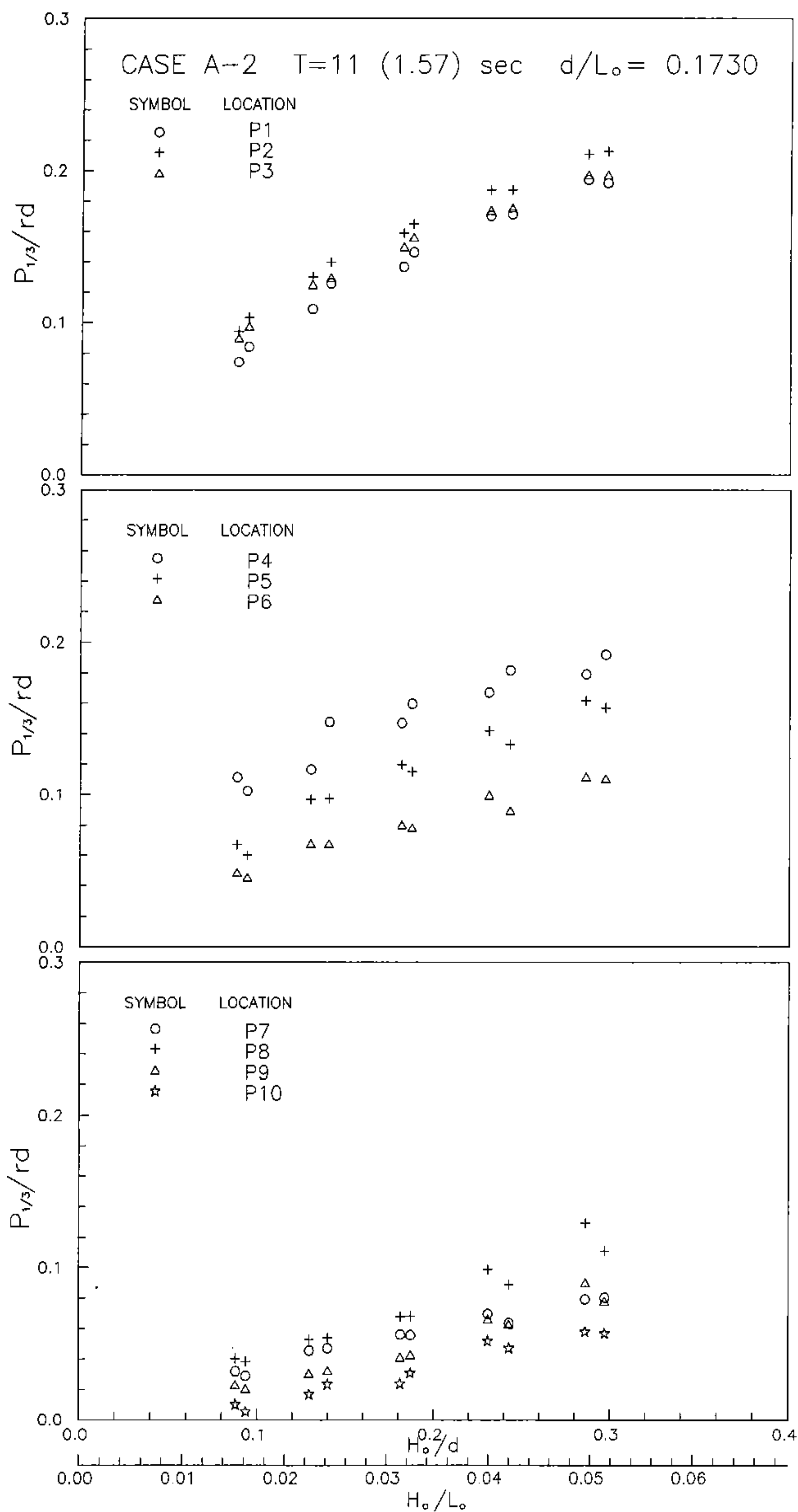


圖 3-4-5 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-2)

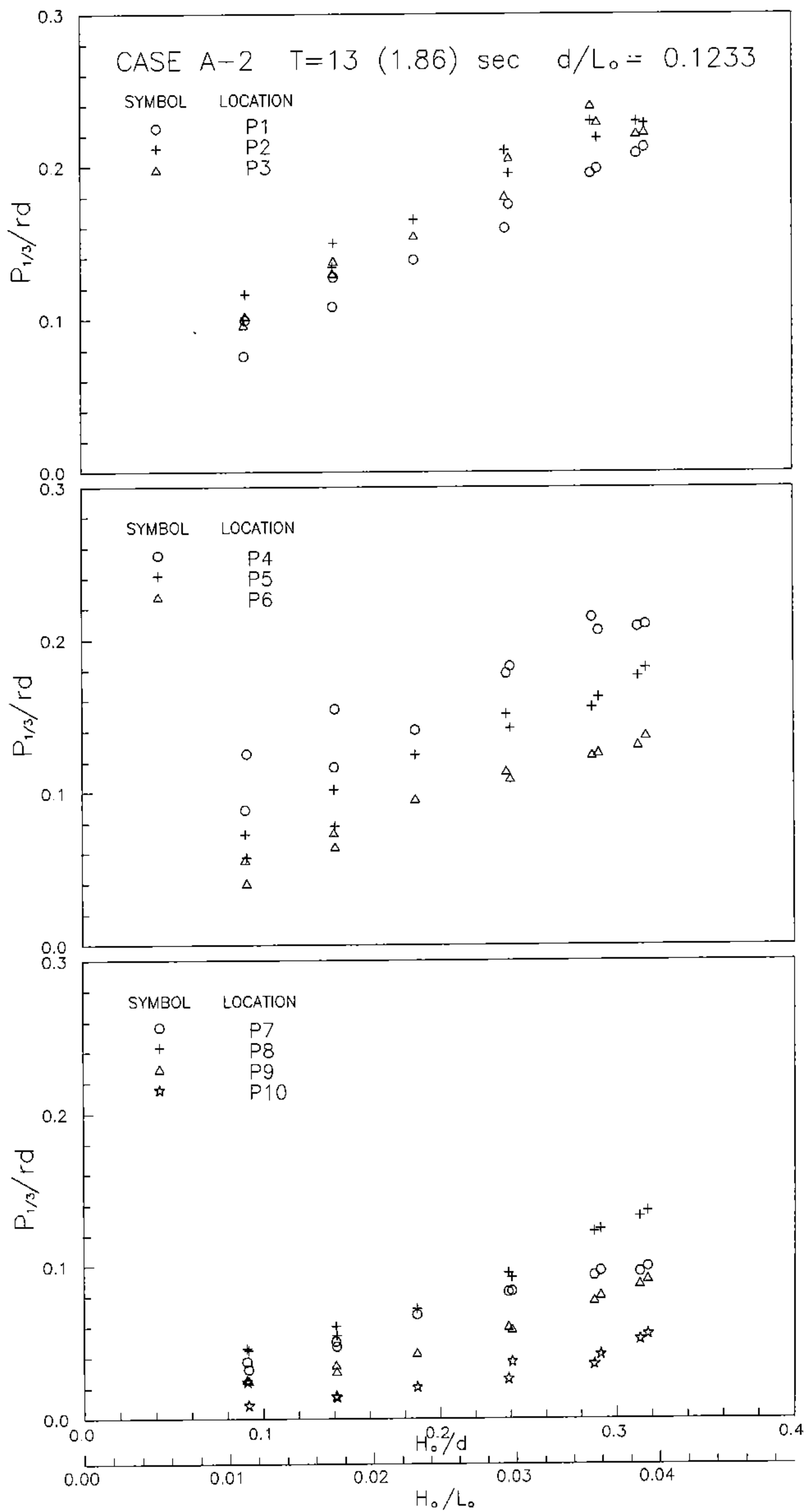


圖 3-4-6 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-2)

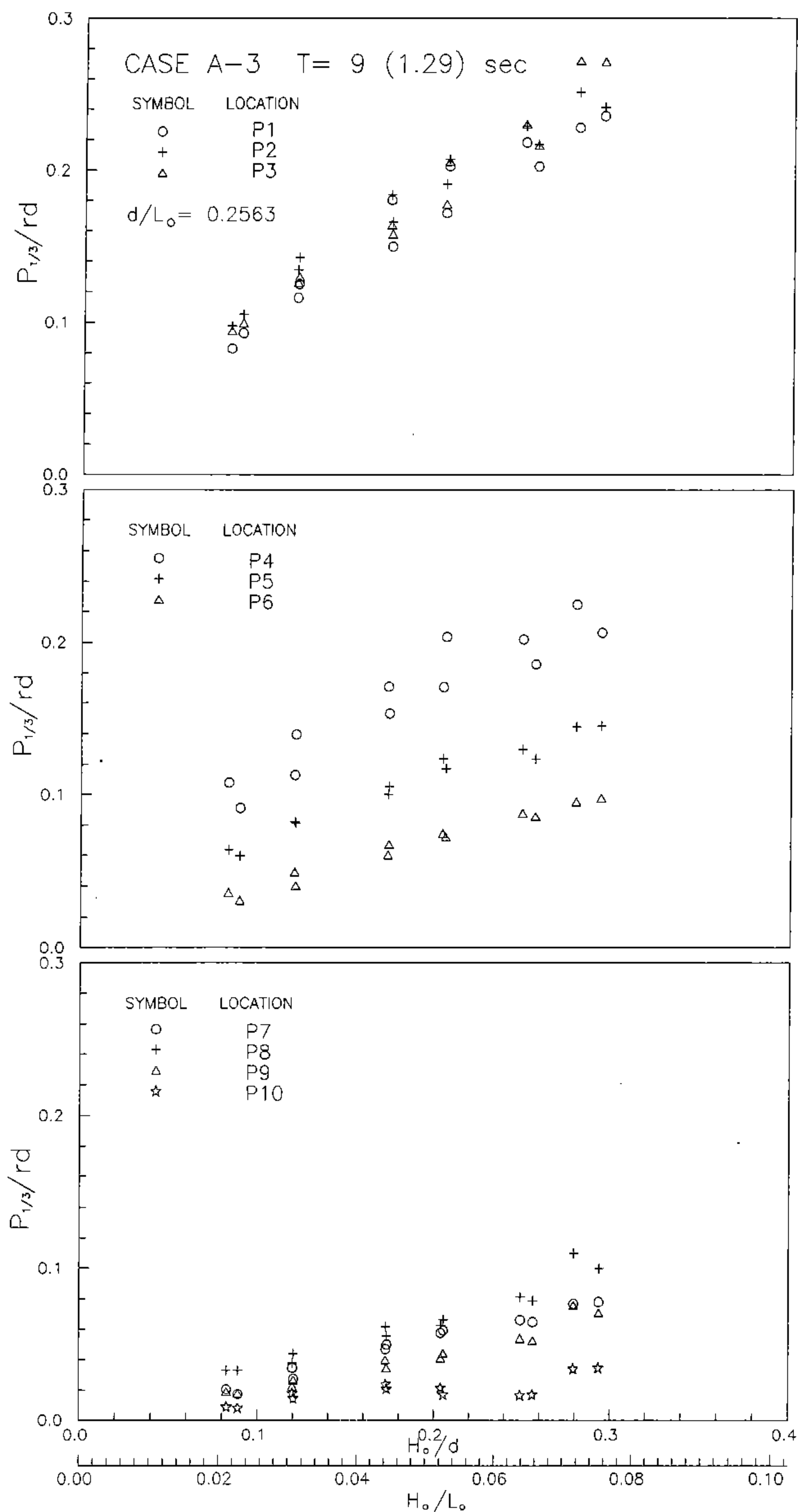


圖 3-4-7 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-3)

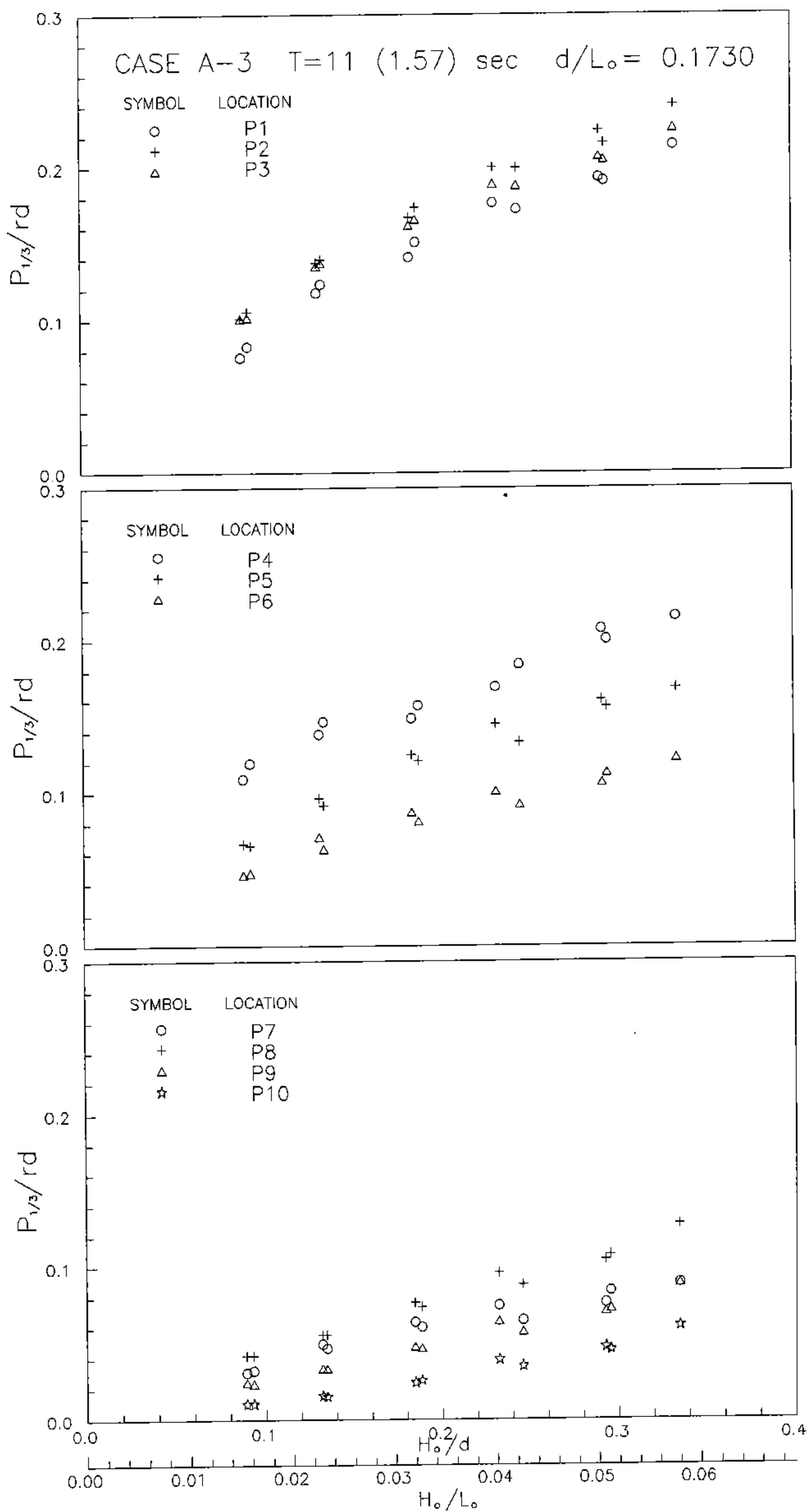


圖 3-4-8 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-3)

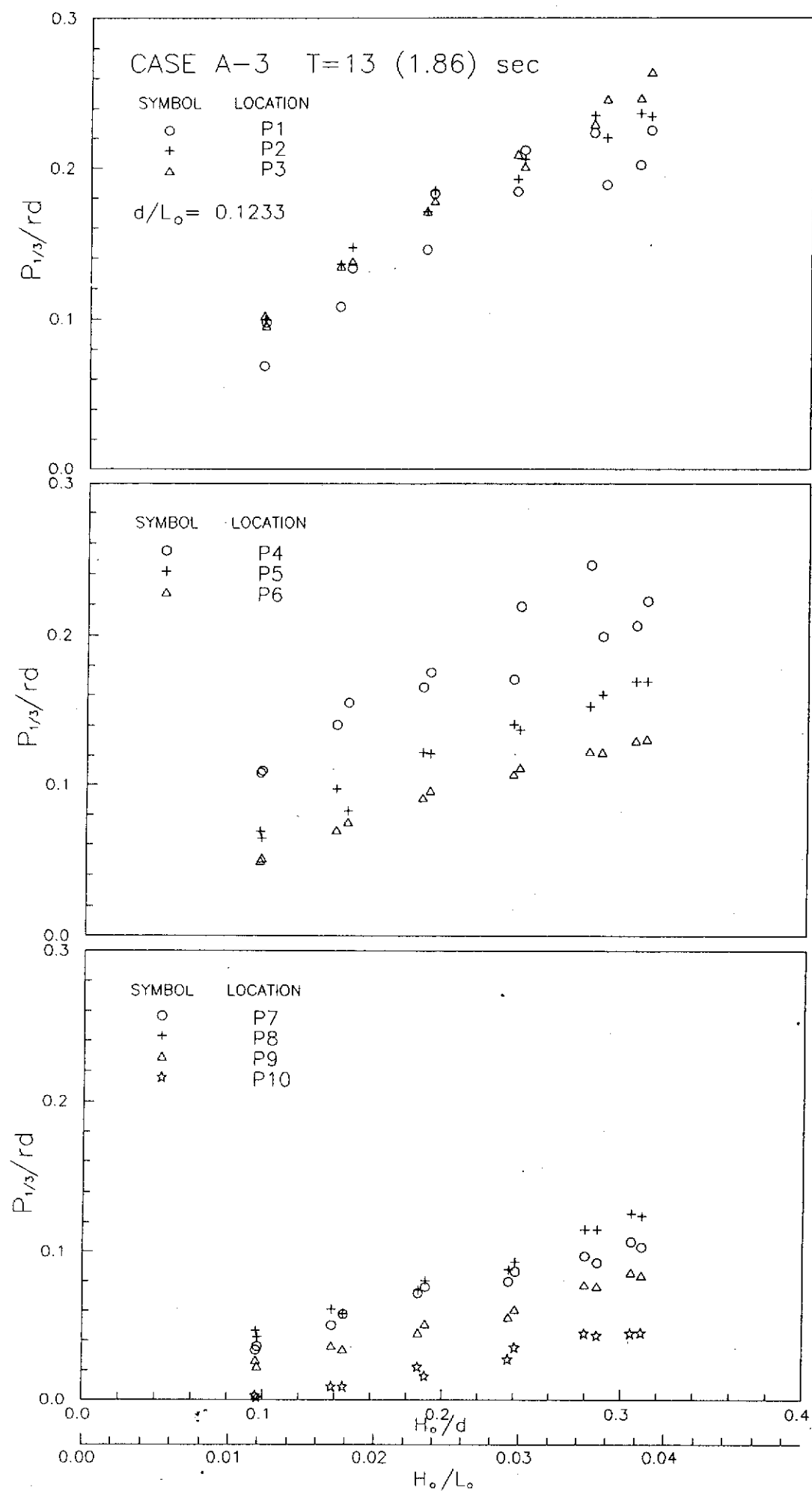


圖 3-4-9 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-3)

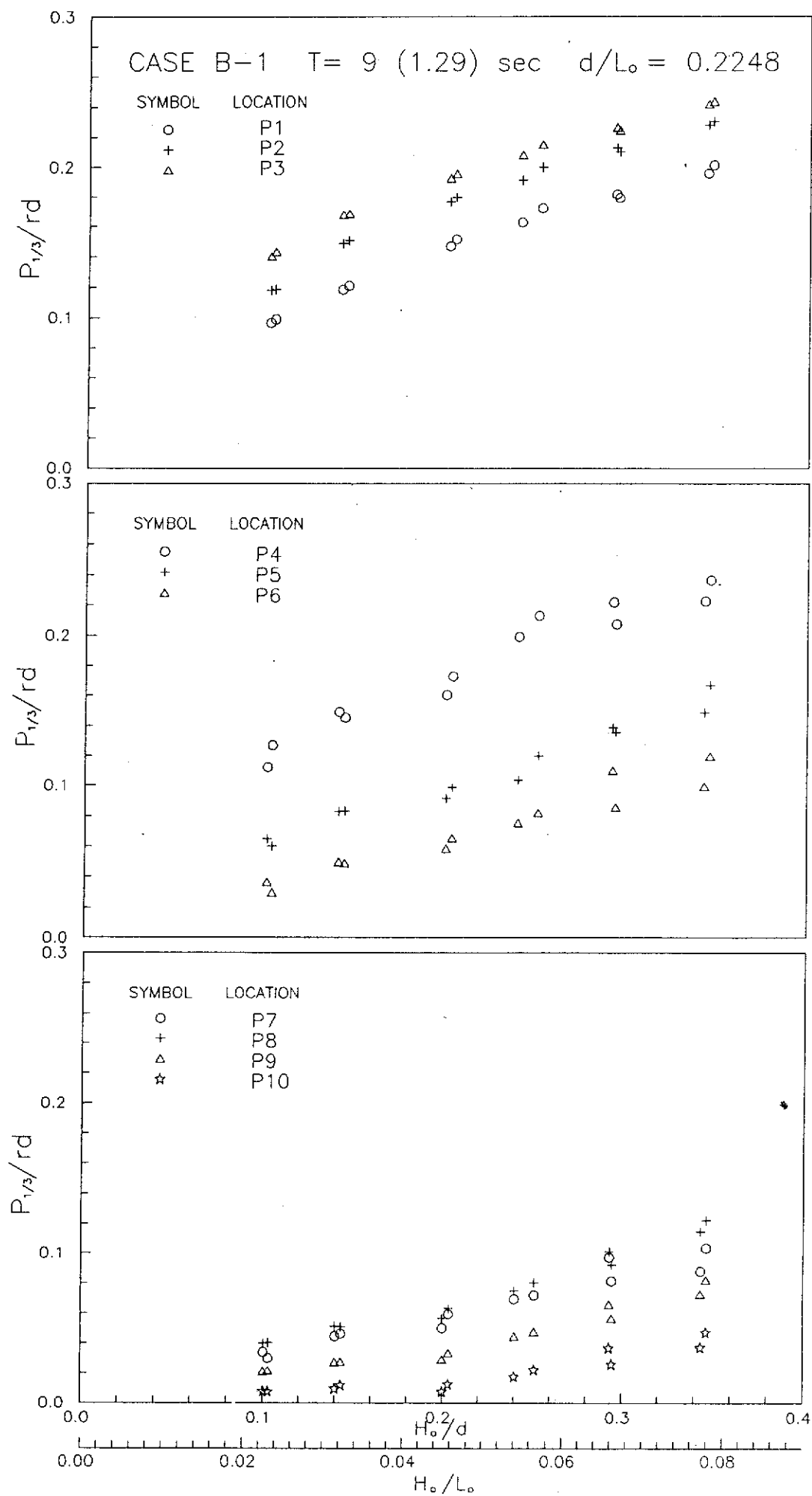


圖3-4-10 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-1)

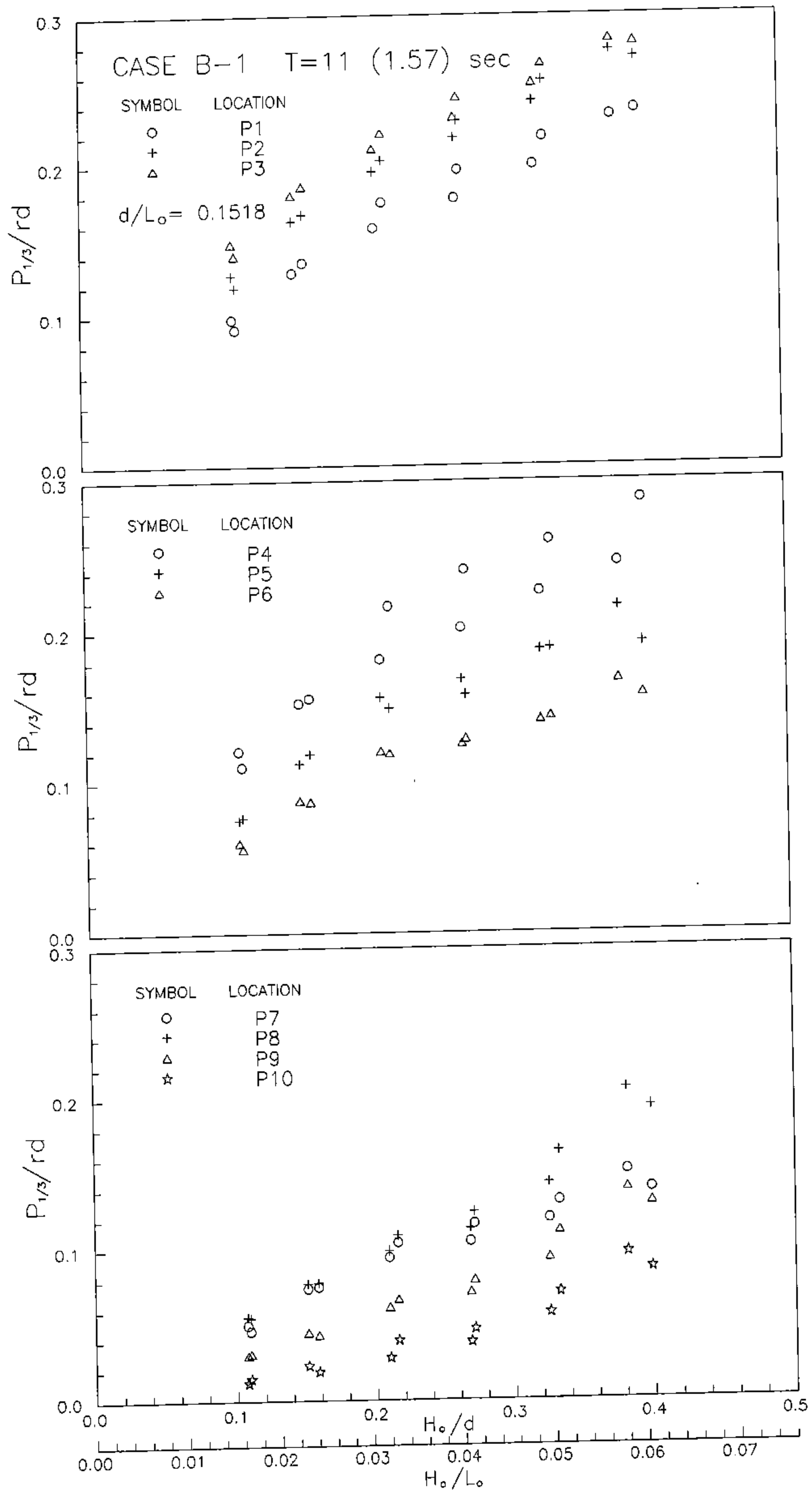


圖 3-4-11 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-1)

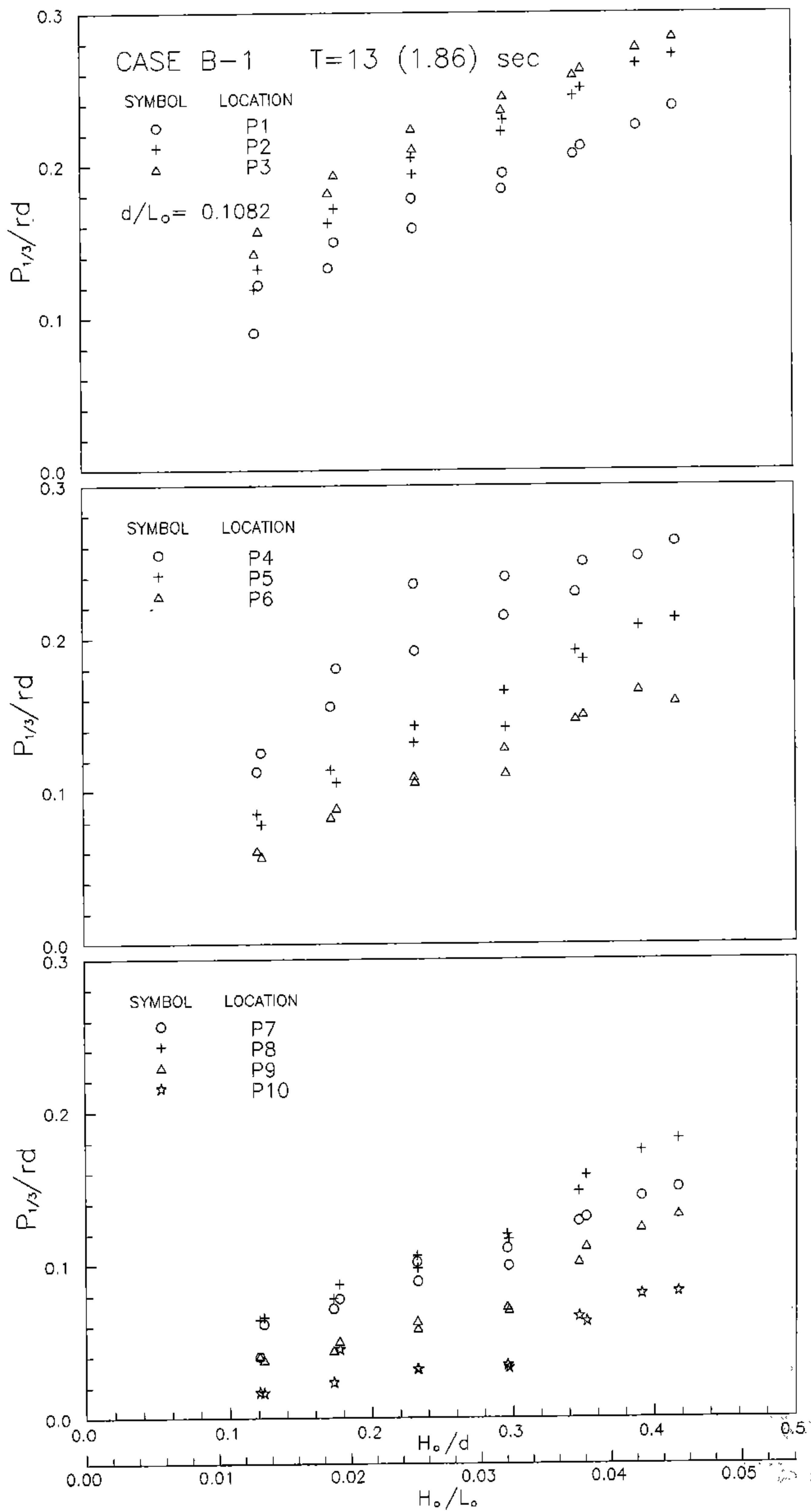


圖 3-4-12 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-1)

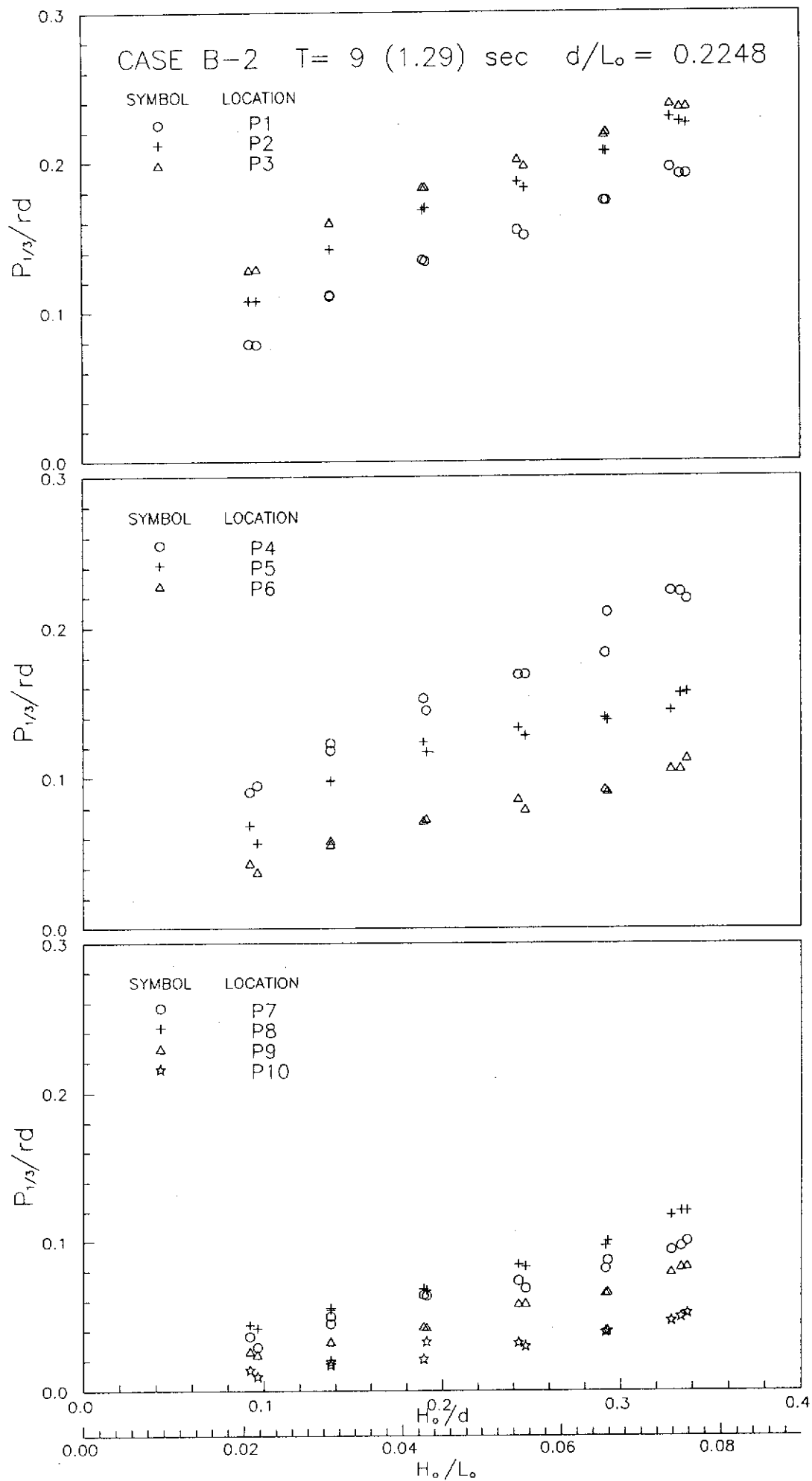


圖3-4-13 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖(CASE B-2)

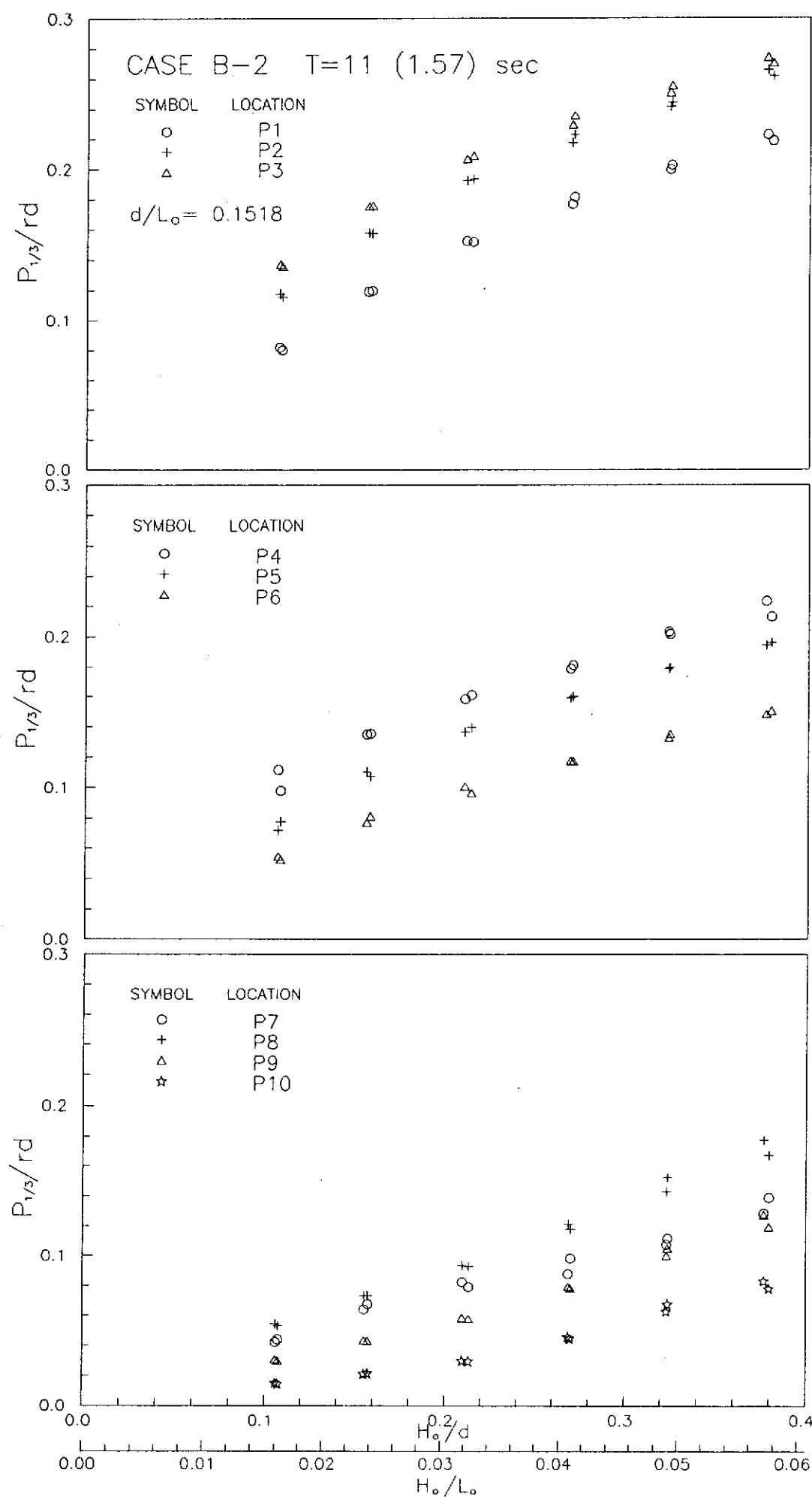


圖3-4-14 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-2)

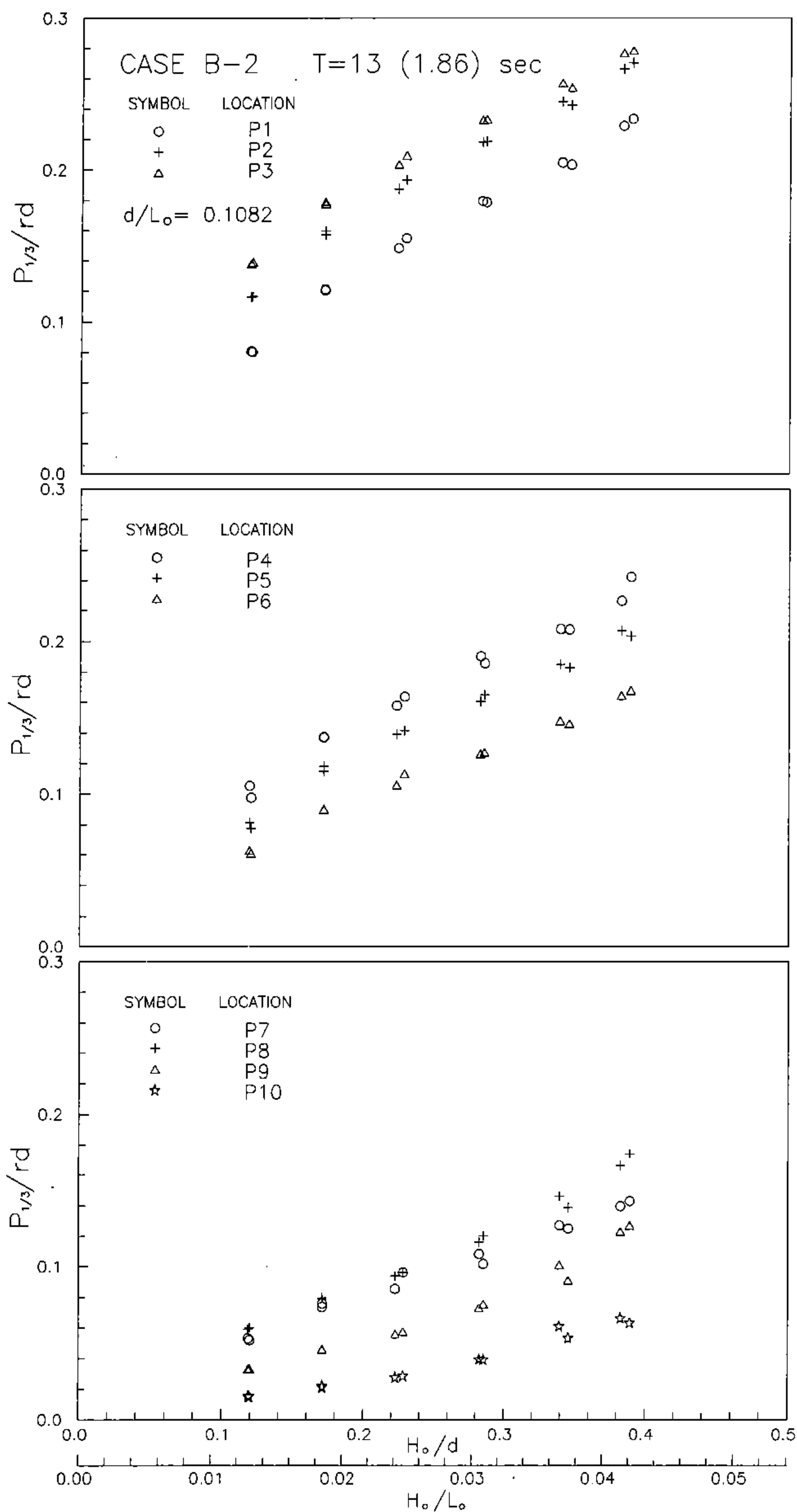


圖 3-4-15 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-2)

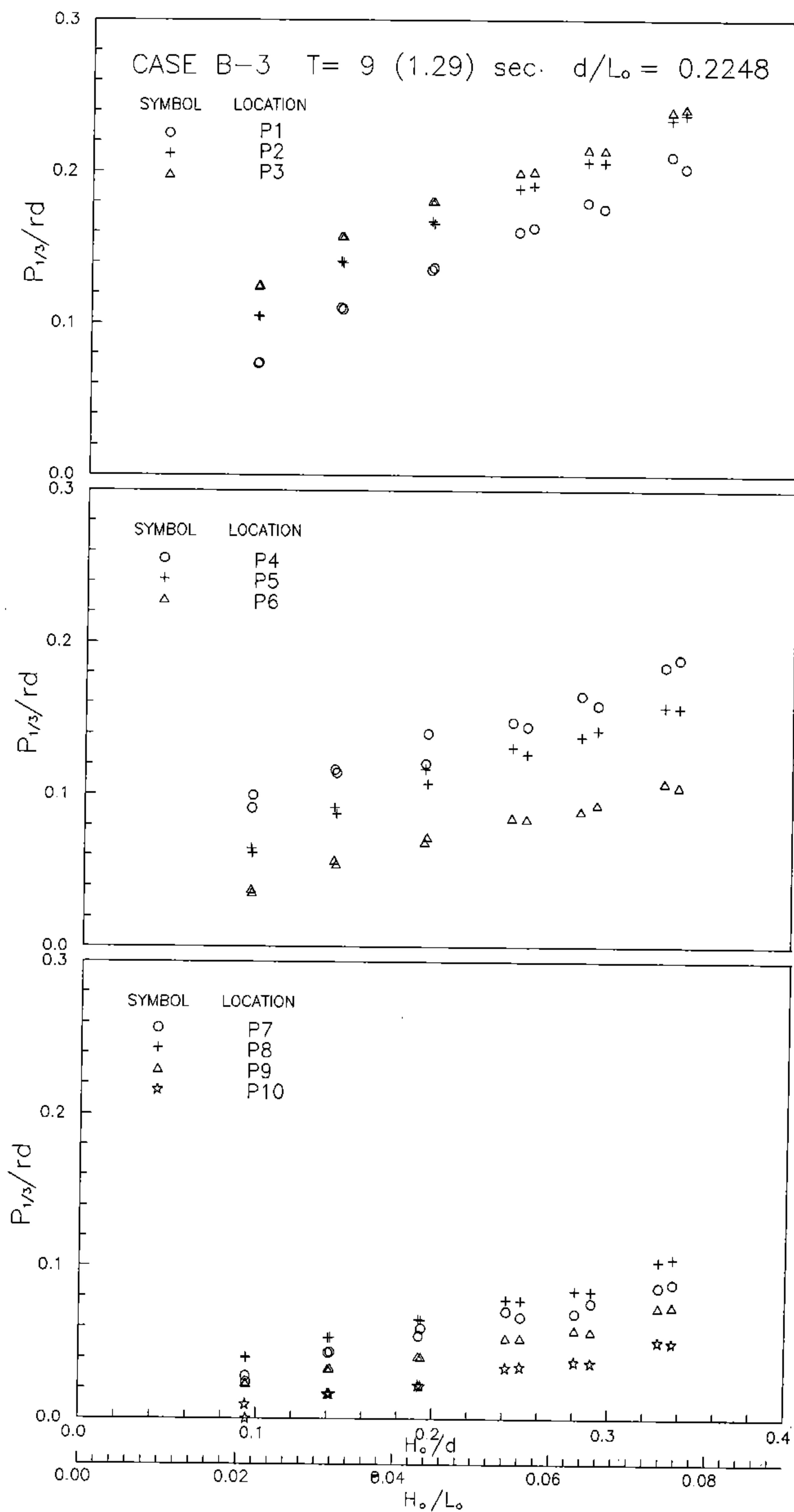


圖 3-4-16 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-3)

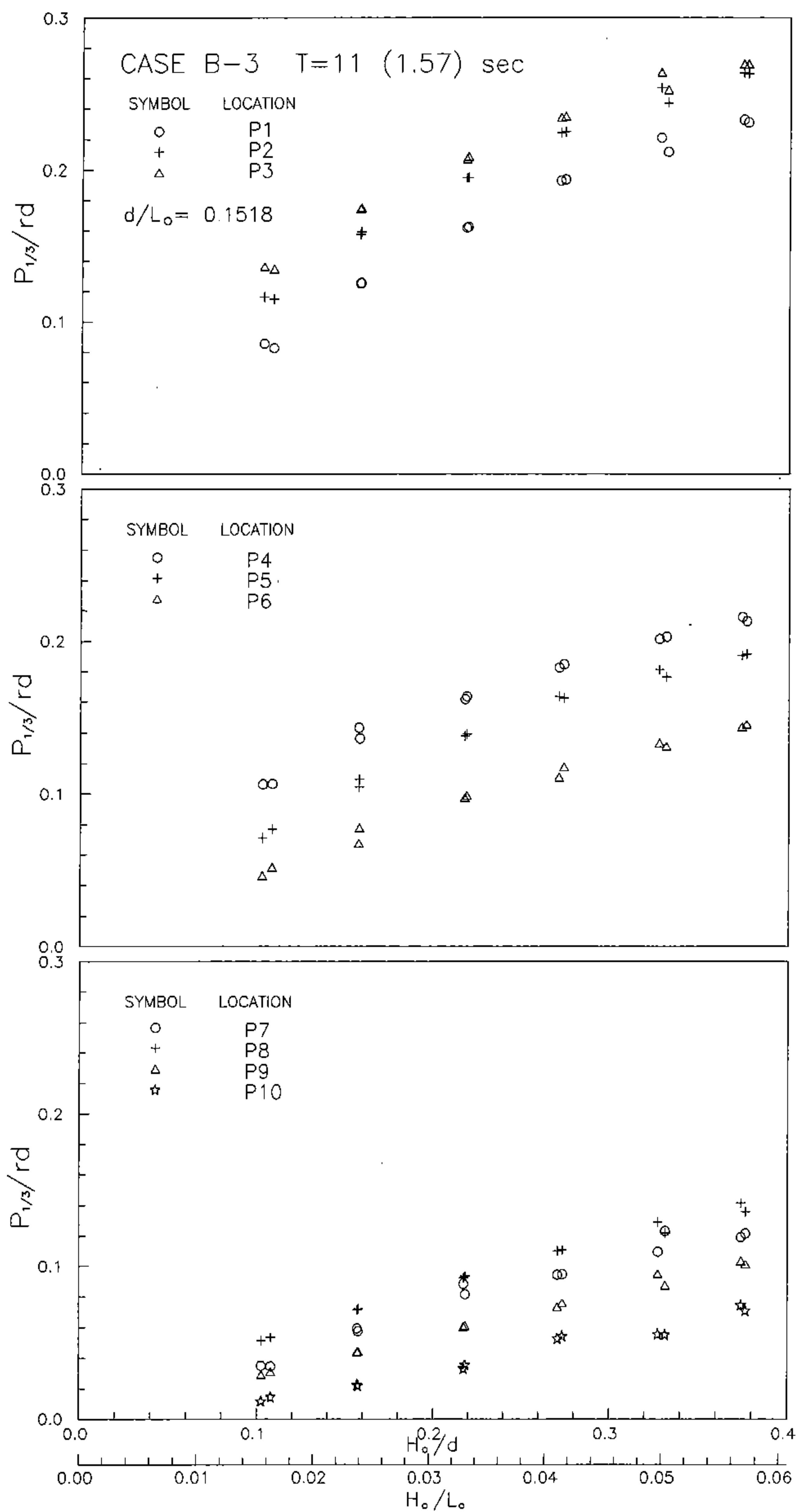


圖 3-4-17 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-3)

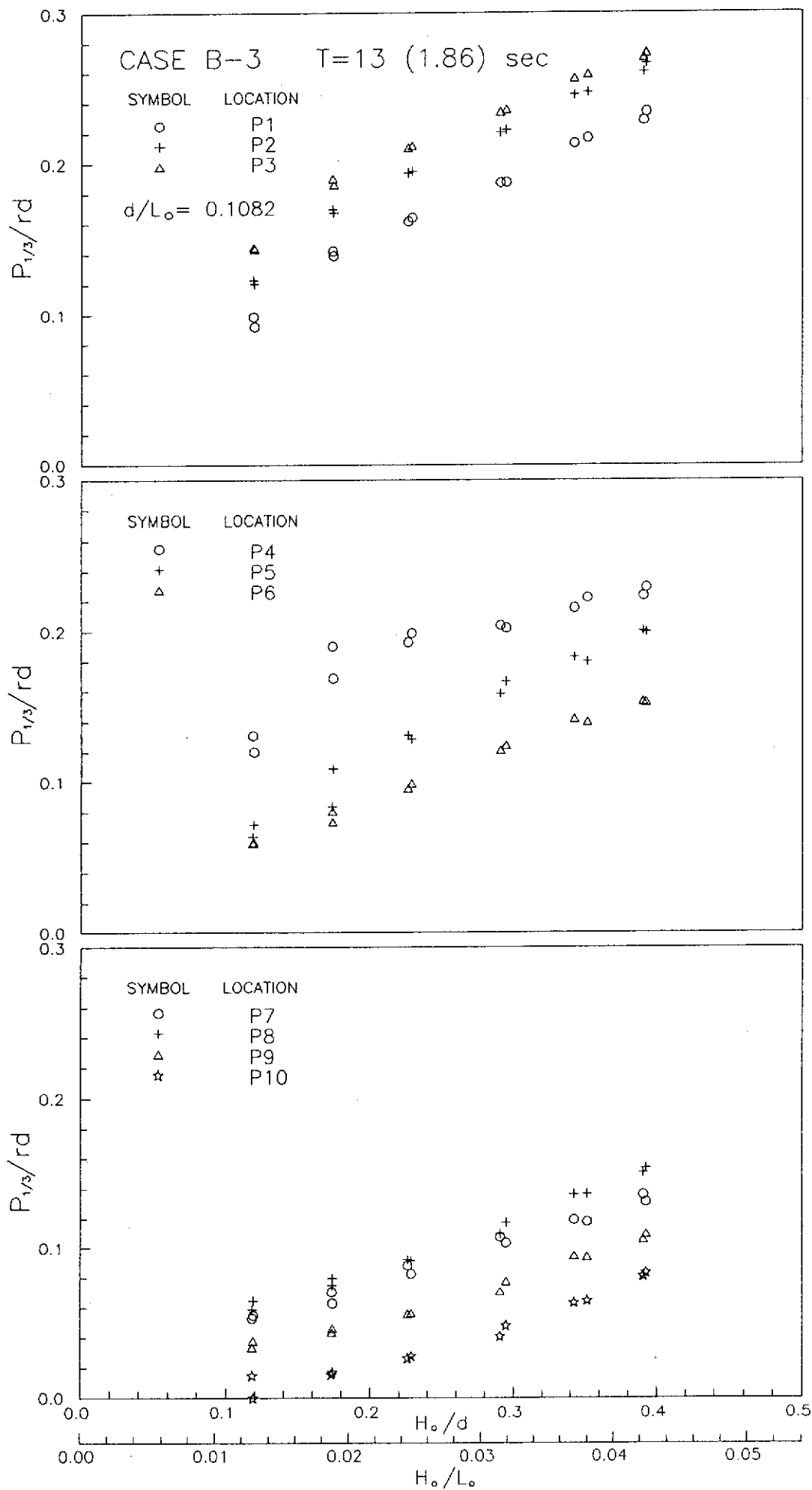


圖 3-4-18 無因次波壓 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-3)

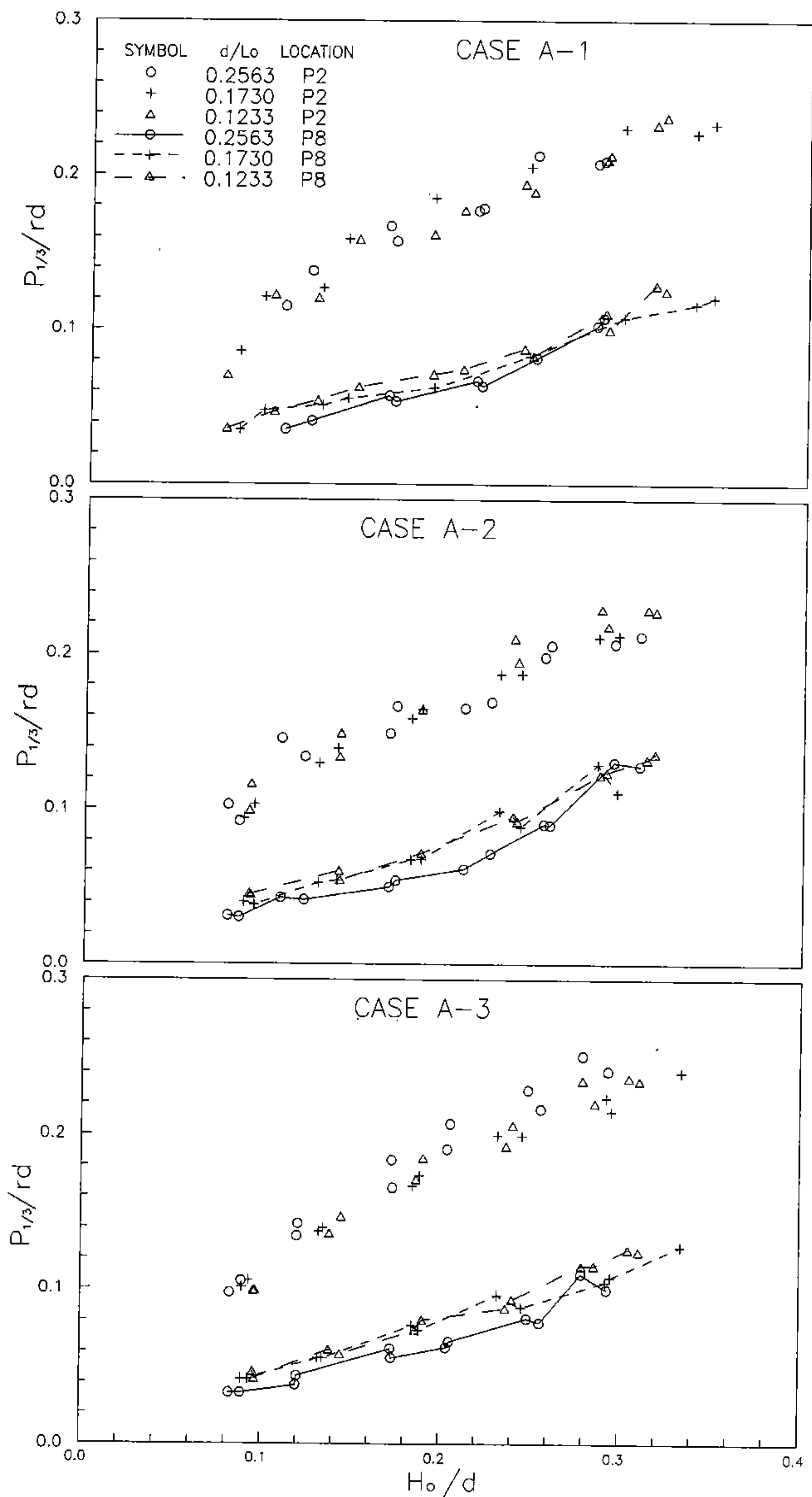


圖3-4-19 測點P2、P8於相同堤頂高程、不同 d/L_0 條件下 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖

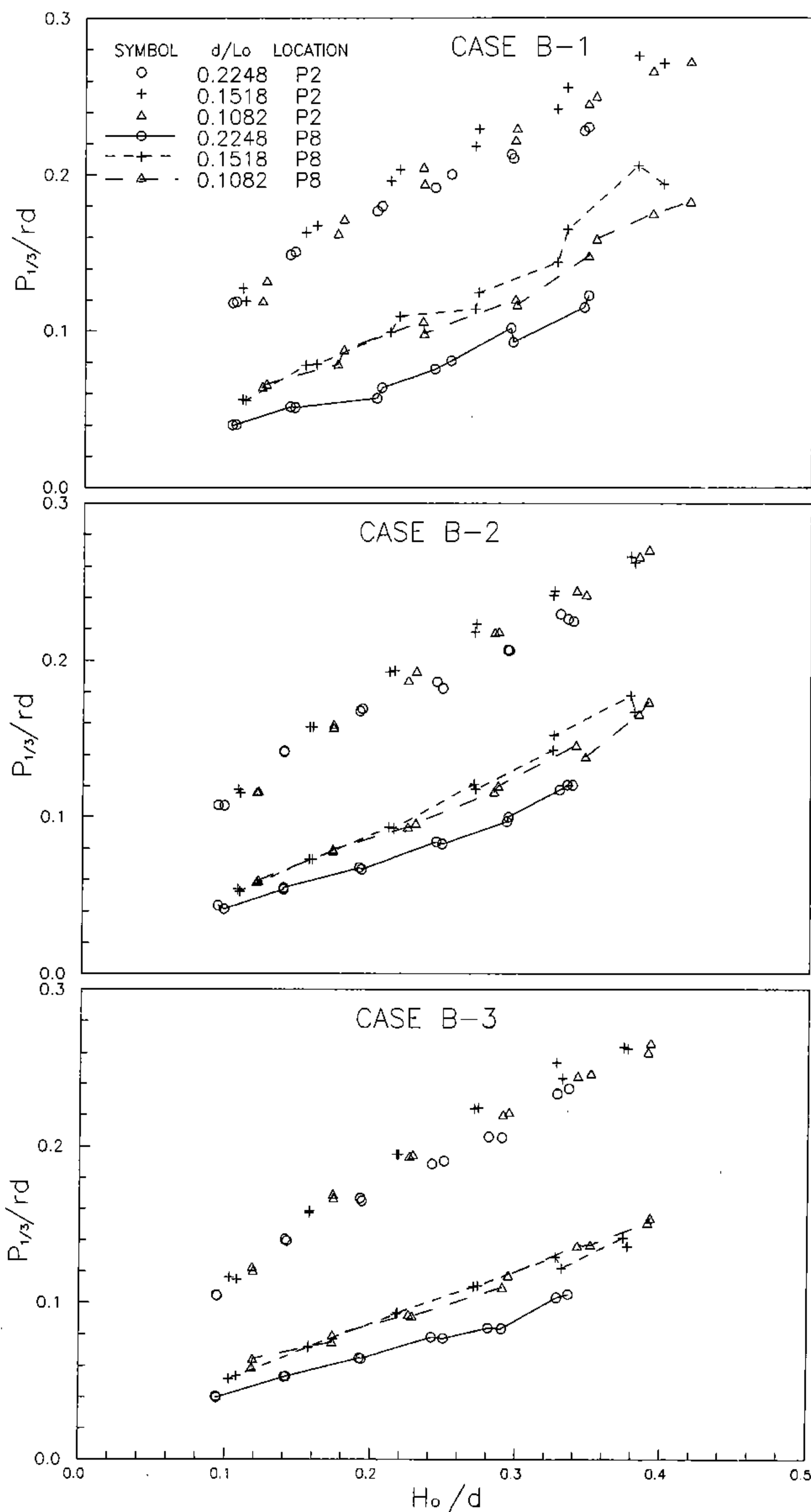


圖3-4-20 測點P2、P8於相同堤頂高程、不同 d/L_0 條件下 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖

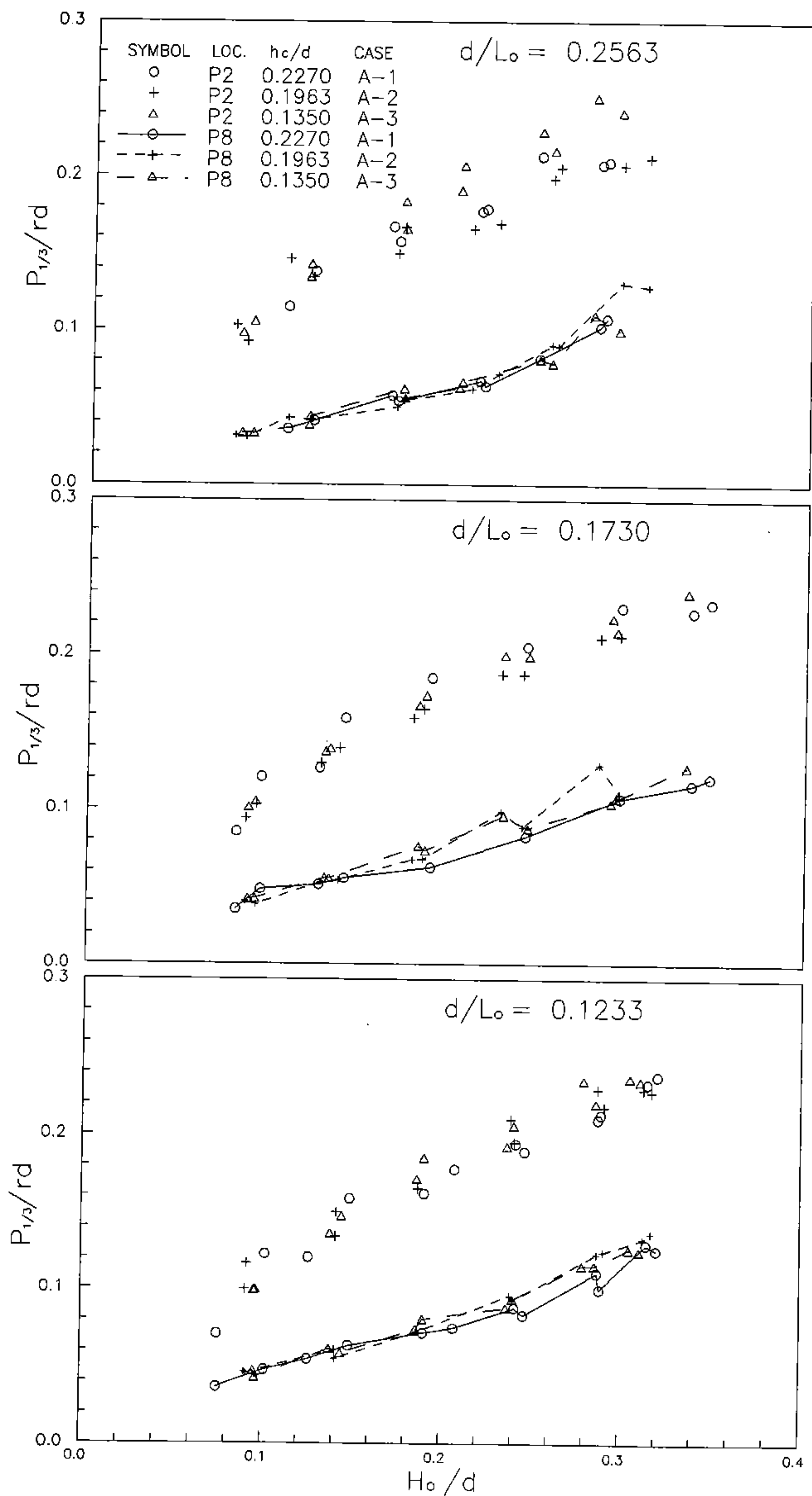


圖3-4-21 測點P2、P8於不同堤頂高程、相同 d/L_0 條件下 $P_{1/3}/rd$ 與 H_0/d 之關係圖

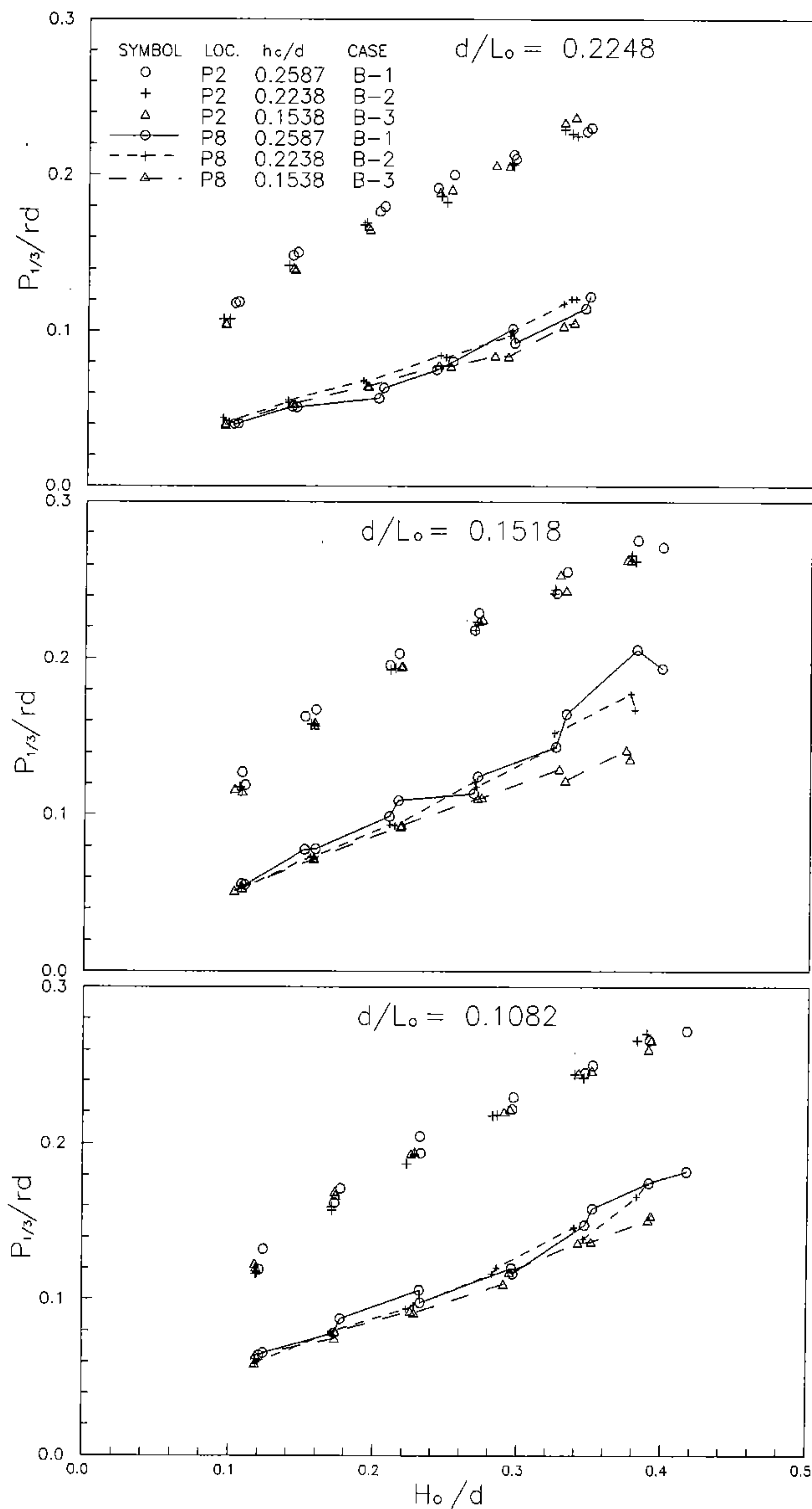


圖3-4-22 測點P2、P8於不同堤頂高程、相同 d/L_o 條件下 $P_{1/3}/rd$ 與 H_o/d 之關係圖

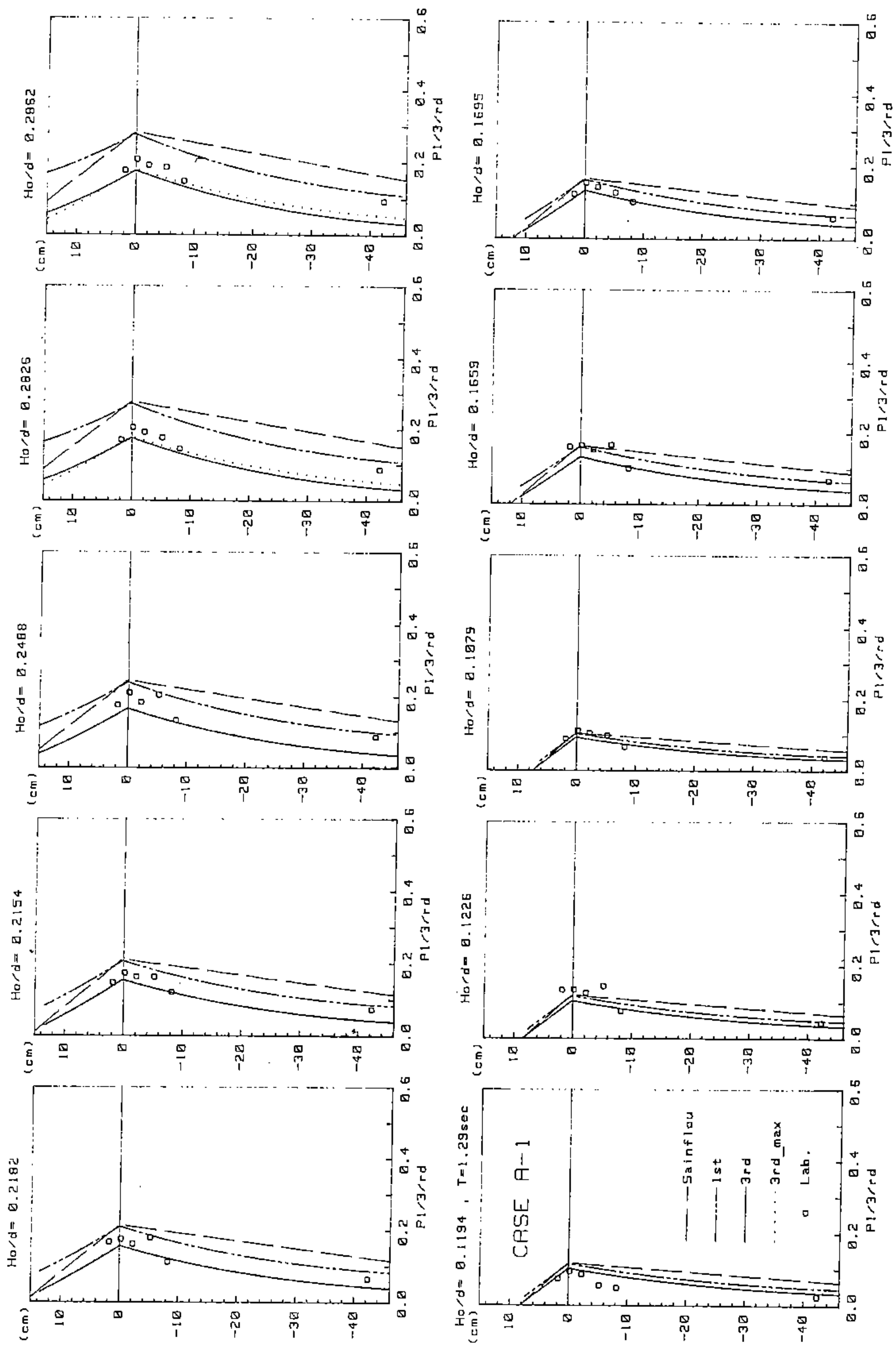


圖 3-4-23 試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較 (CASE A-1)

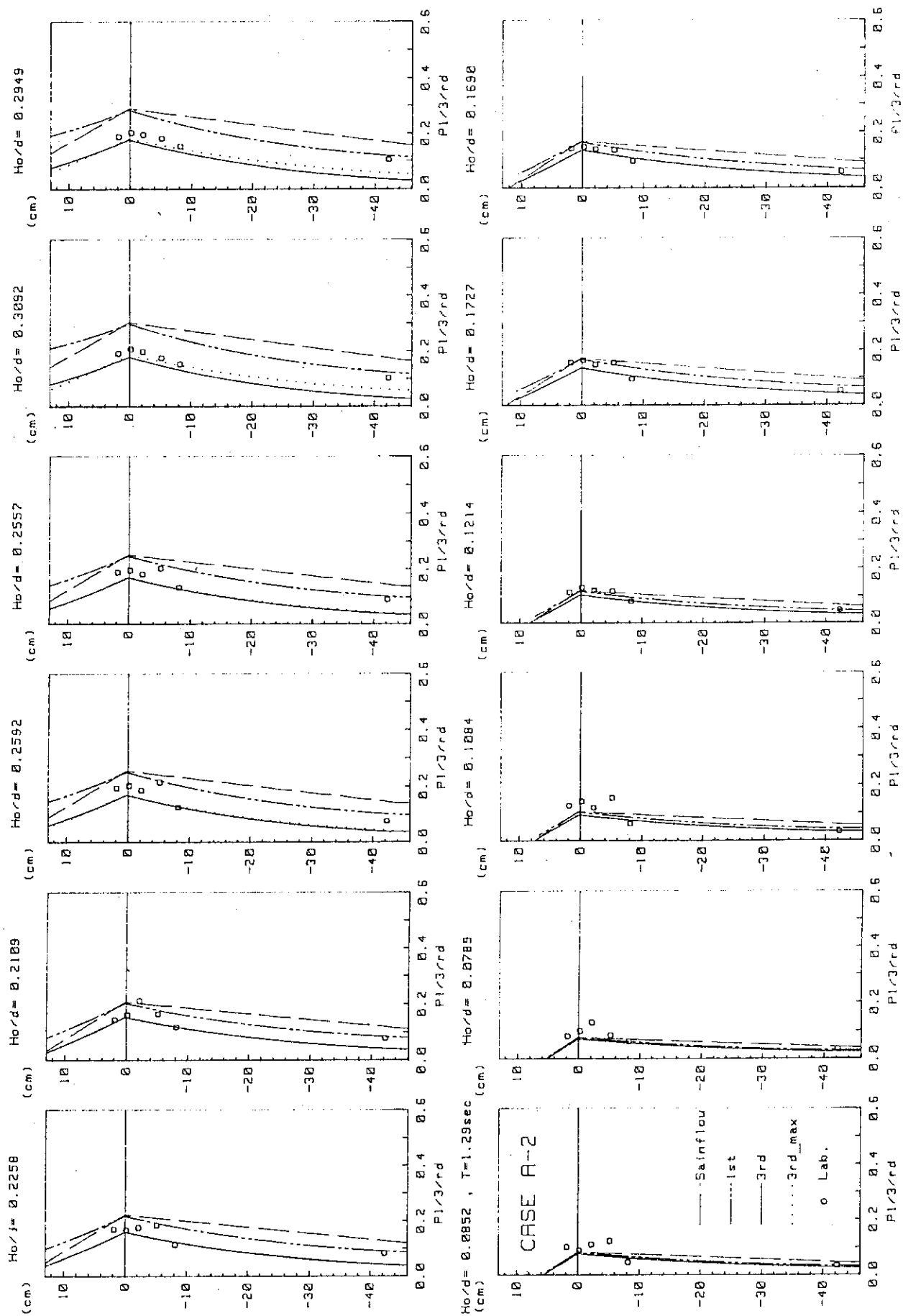


圖 3-4-24 試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較 (CASE A-2)

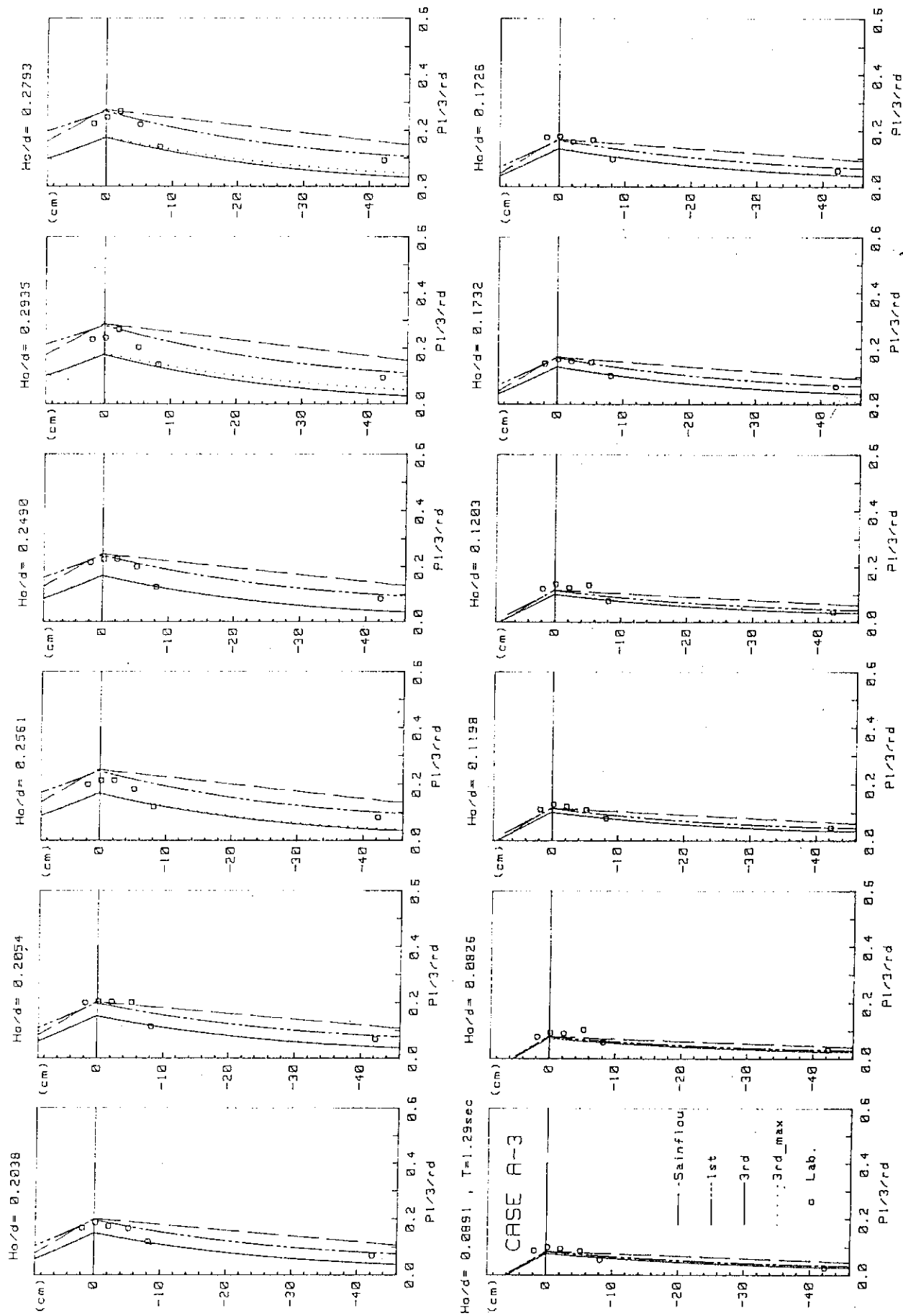


圖3-4-25 試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較 (CASE A-3)

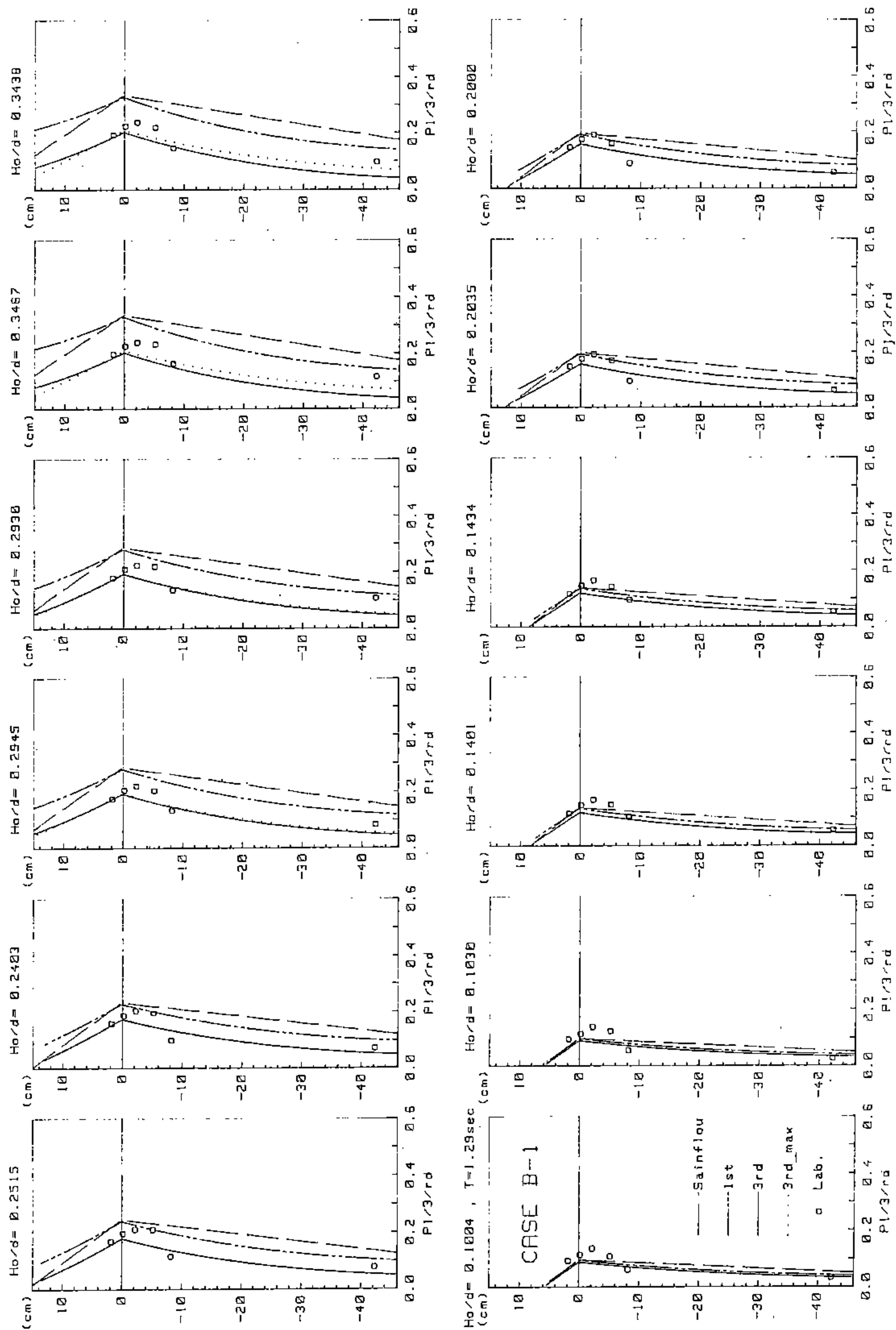


圖3-4-26 試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較 (CASE B-1)

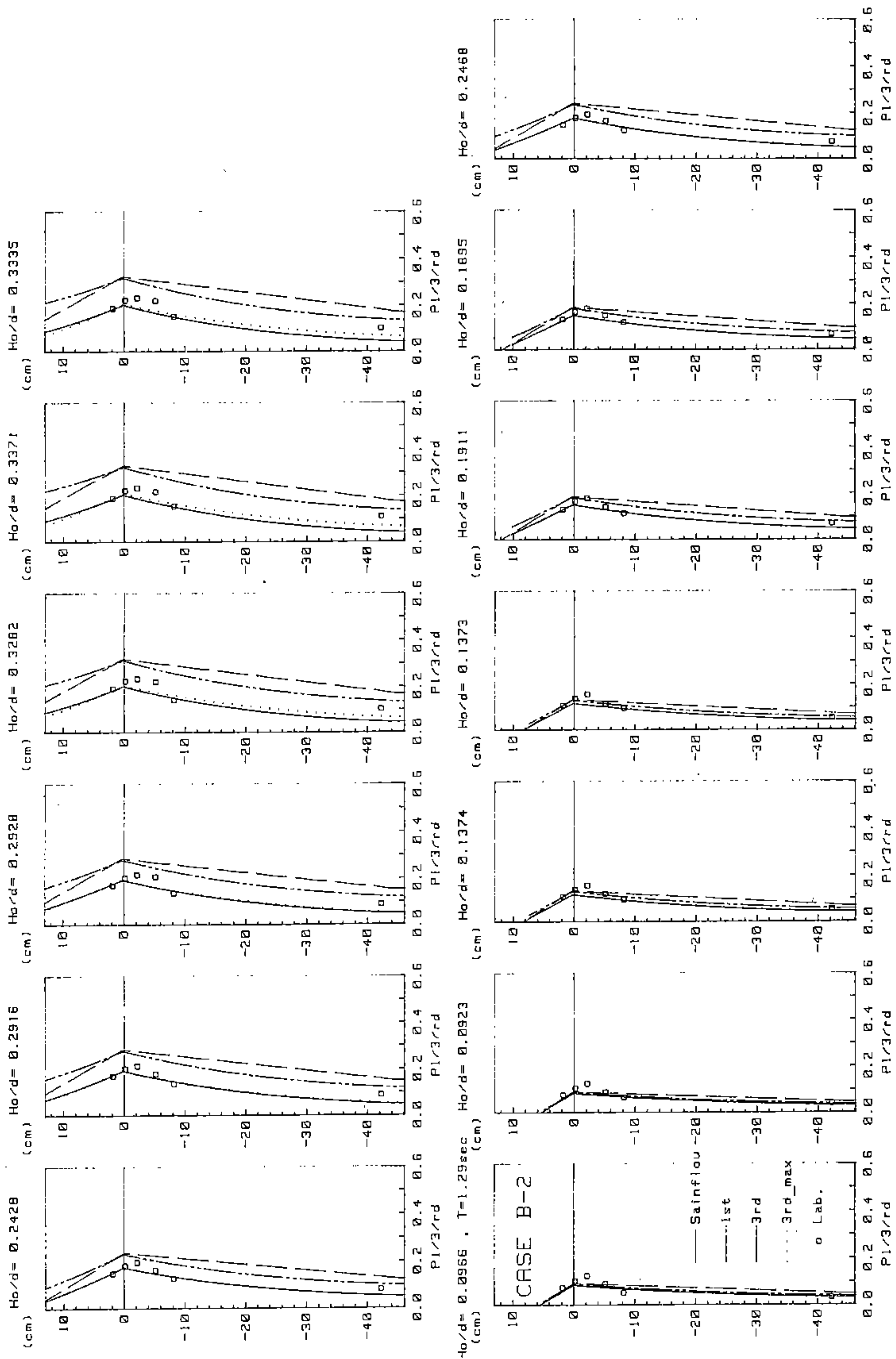


圖 3-4-27 試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較 (CASE B-2)

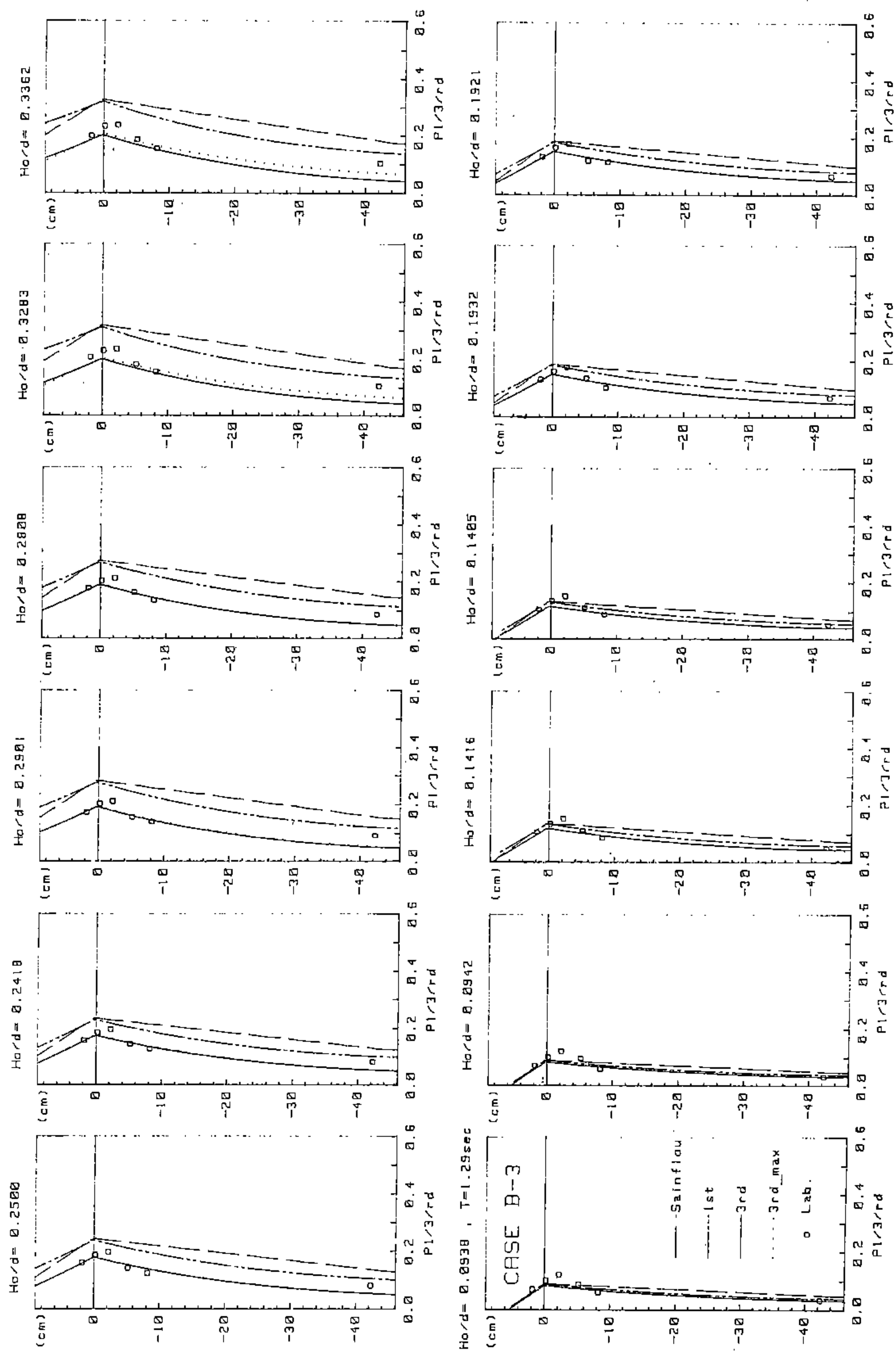


圖 3-4-28 試驗之波壓分佈與Sainflou等波壓公式之比較 (CASE B-3)

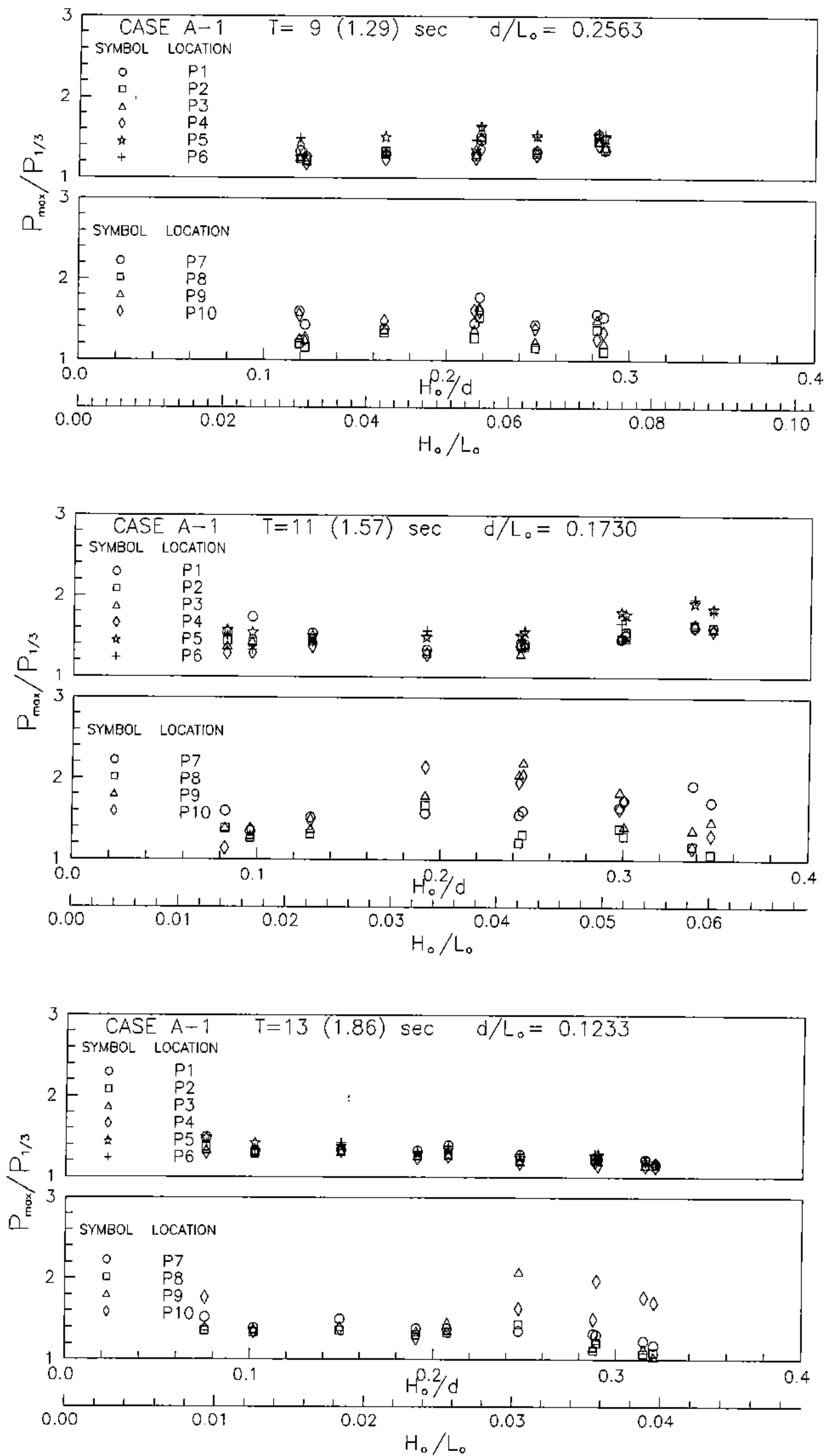


圖3-4-29 $P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-1)

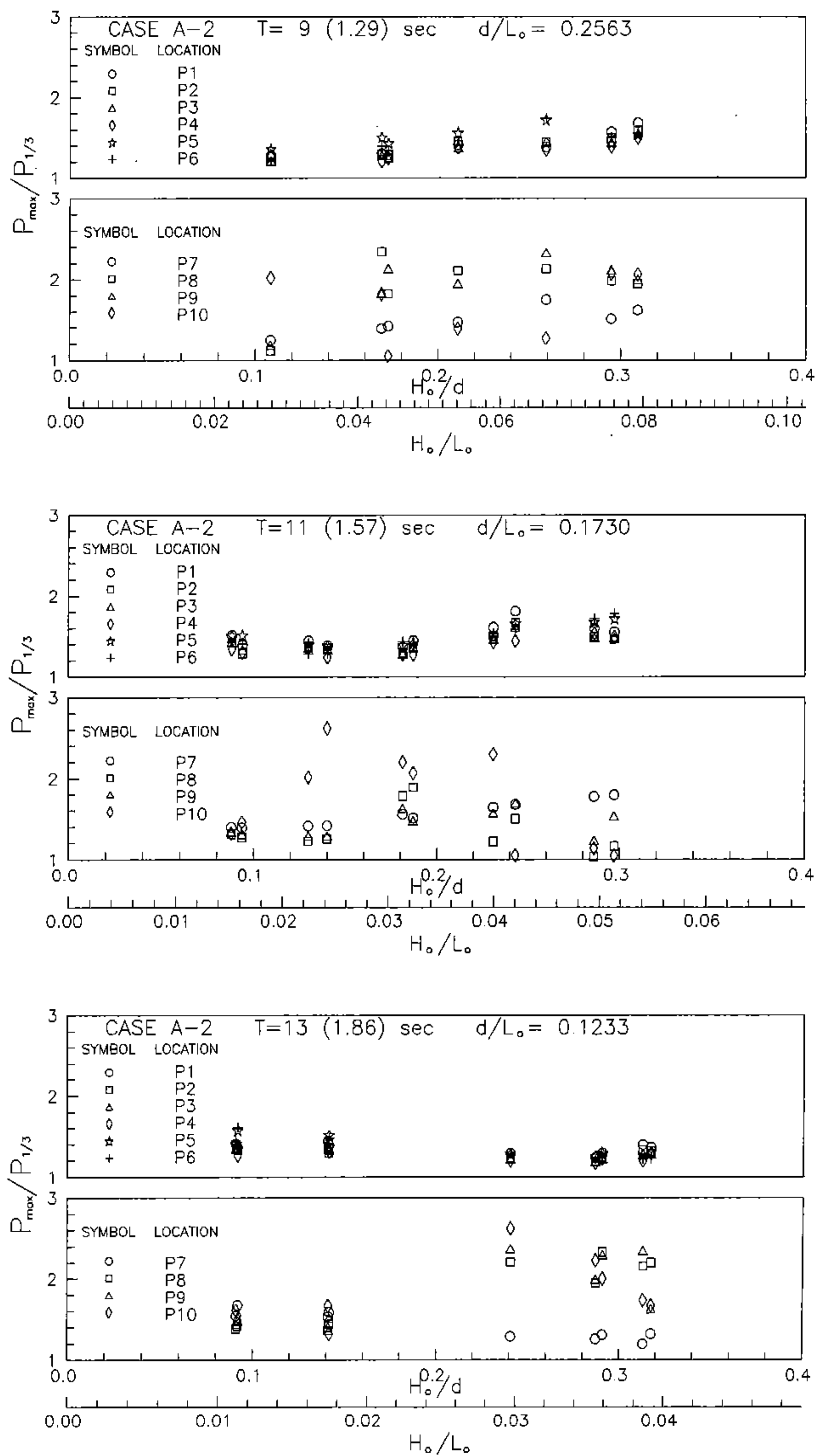


圖 3-4-30 $P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-2)

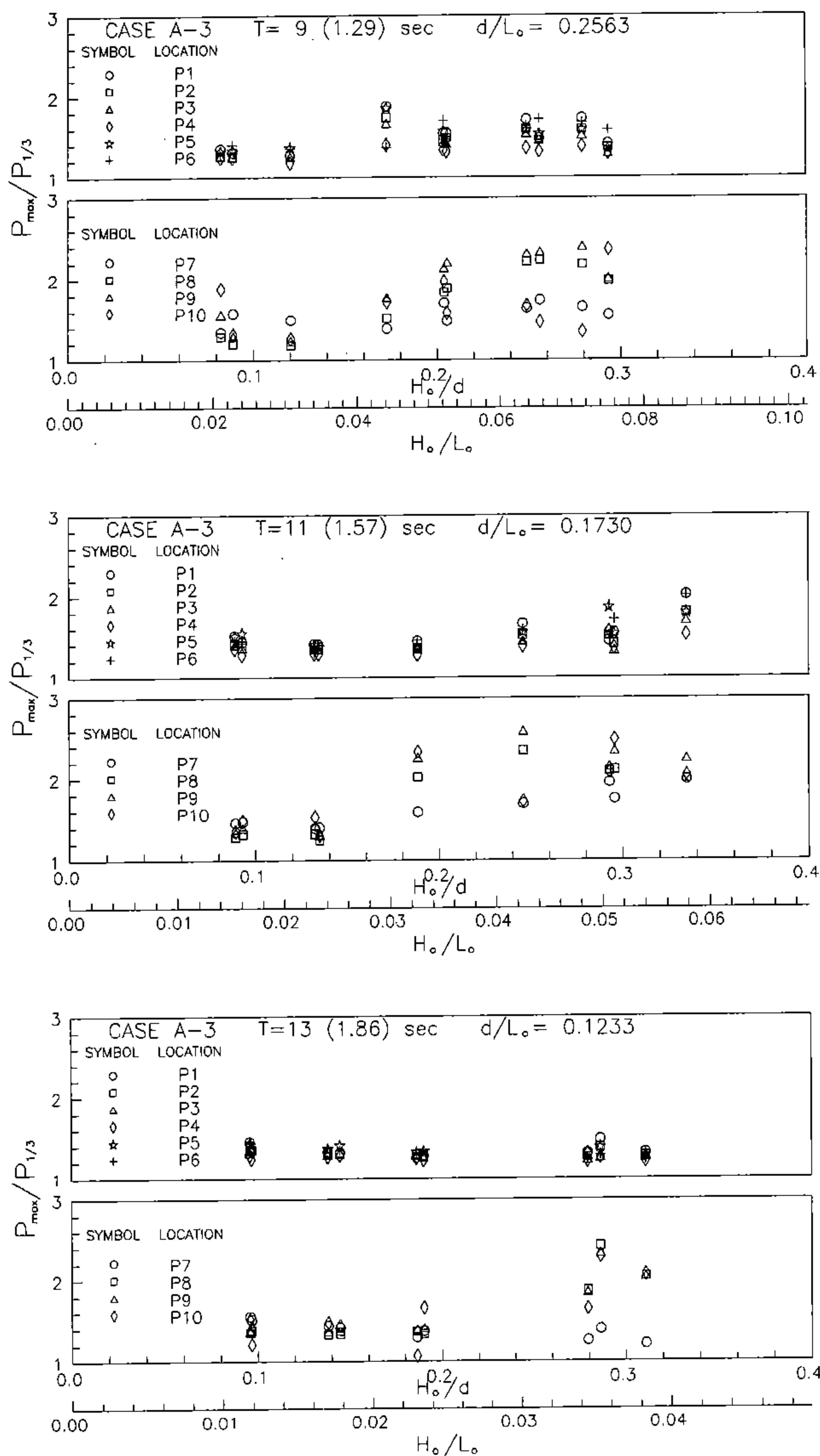


圖3-4-31 $P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-3)

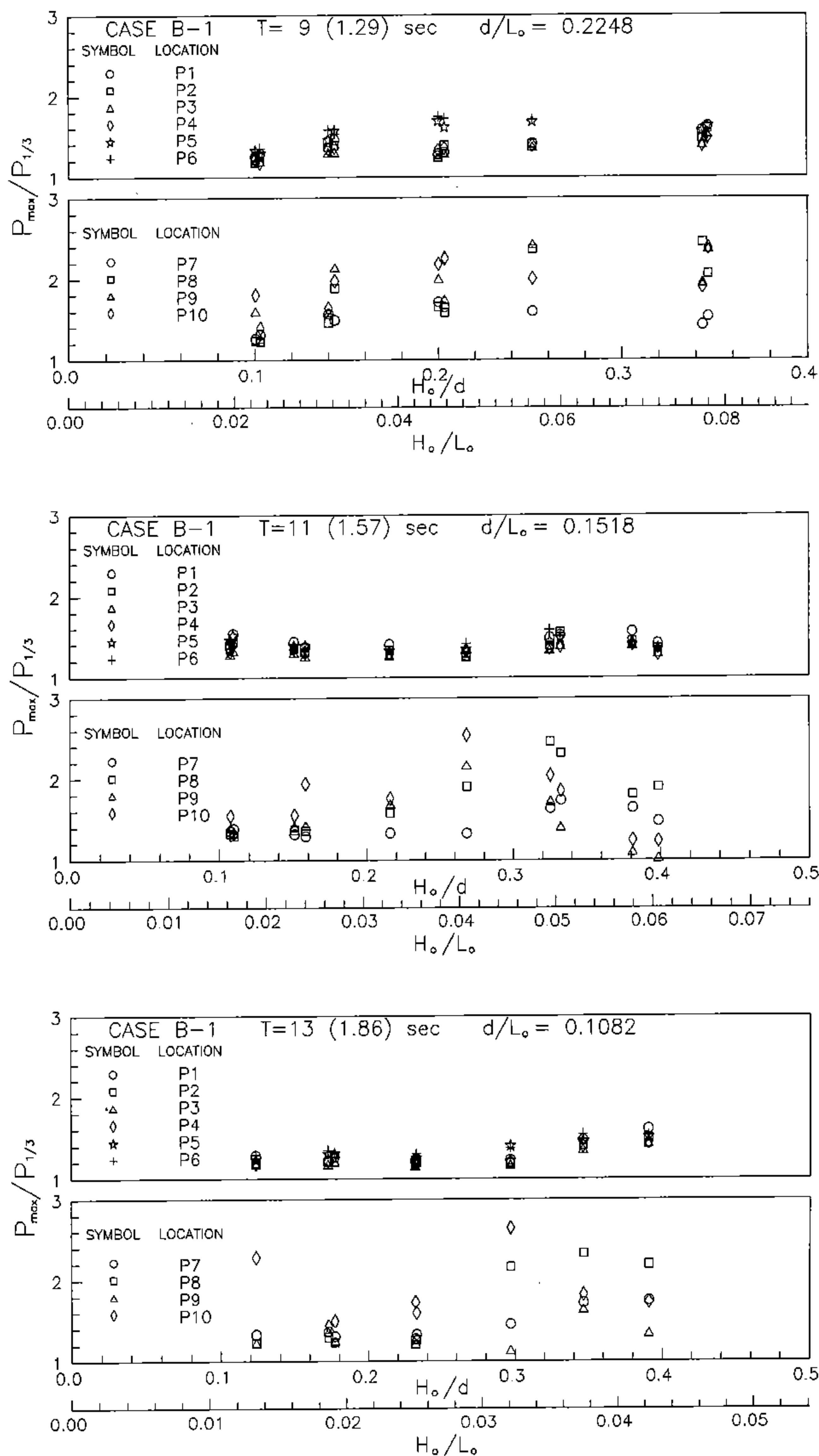


圖3-4-32 $P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-1)

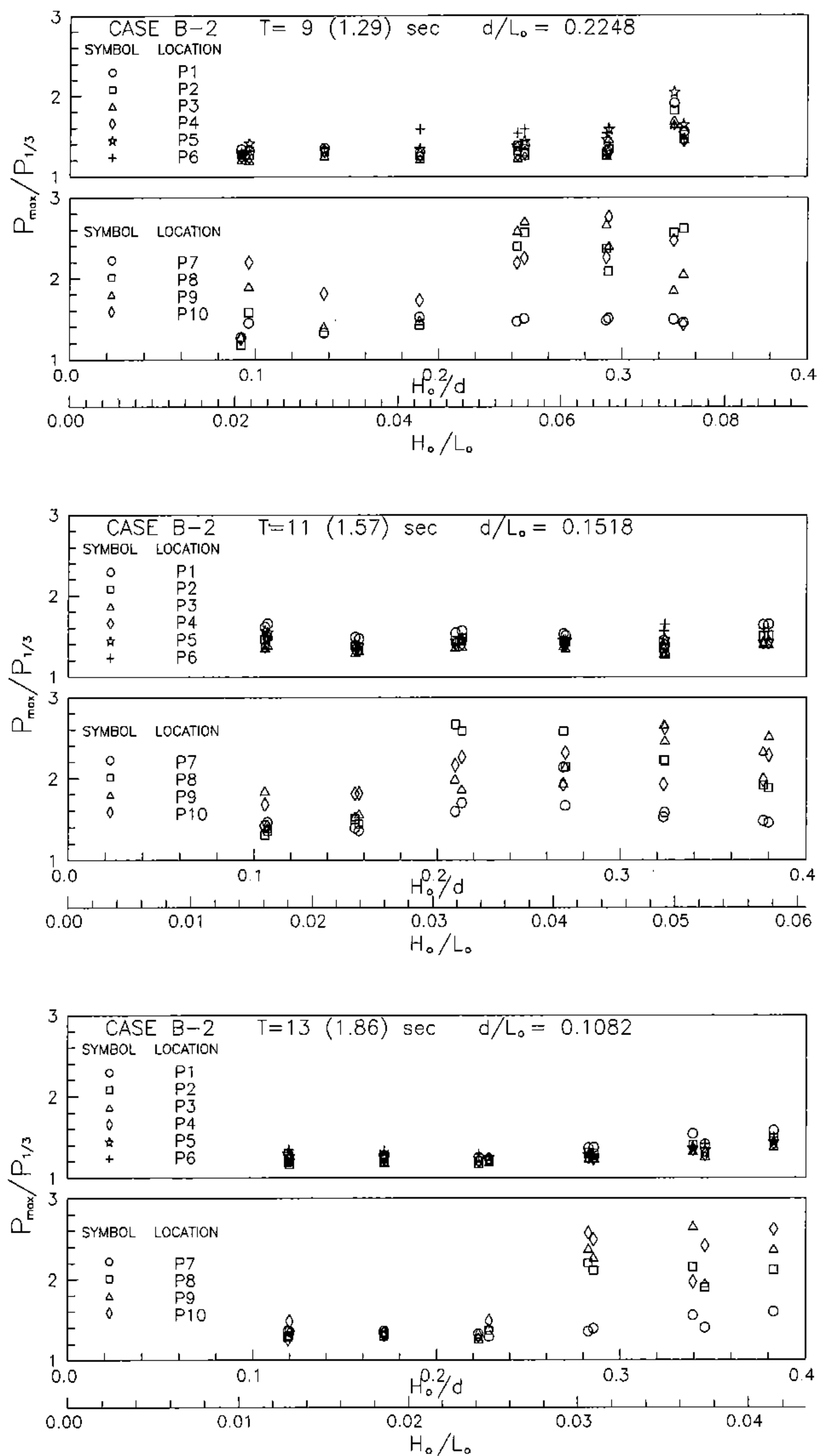


圖3-4-33 $P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-2)

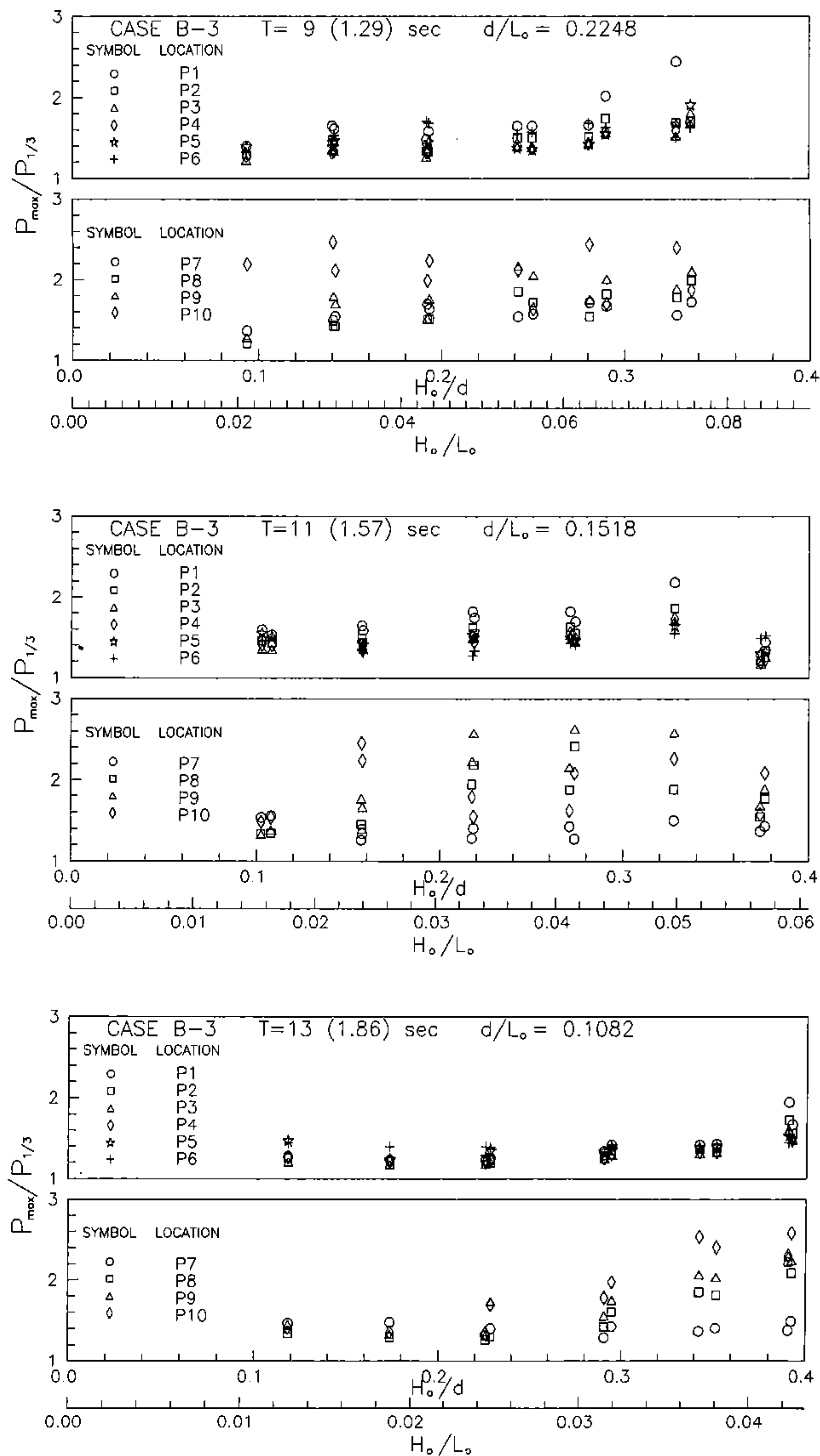


圖3-4-34 $P_{max}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-3)

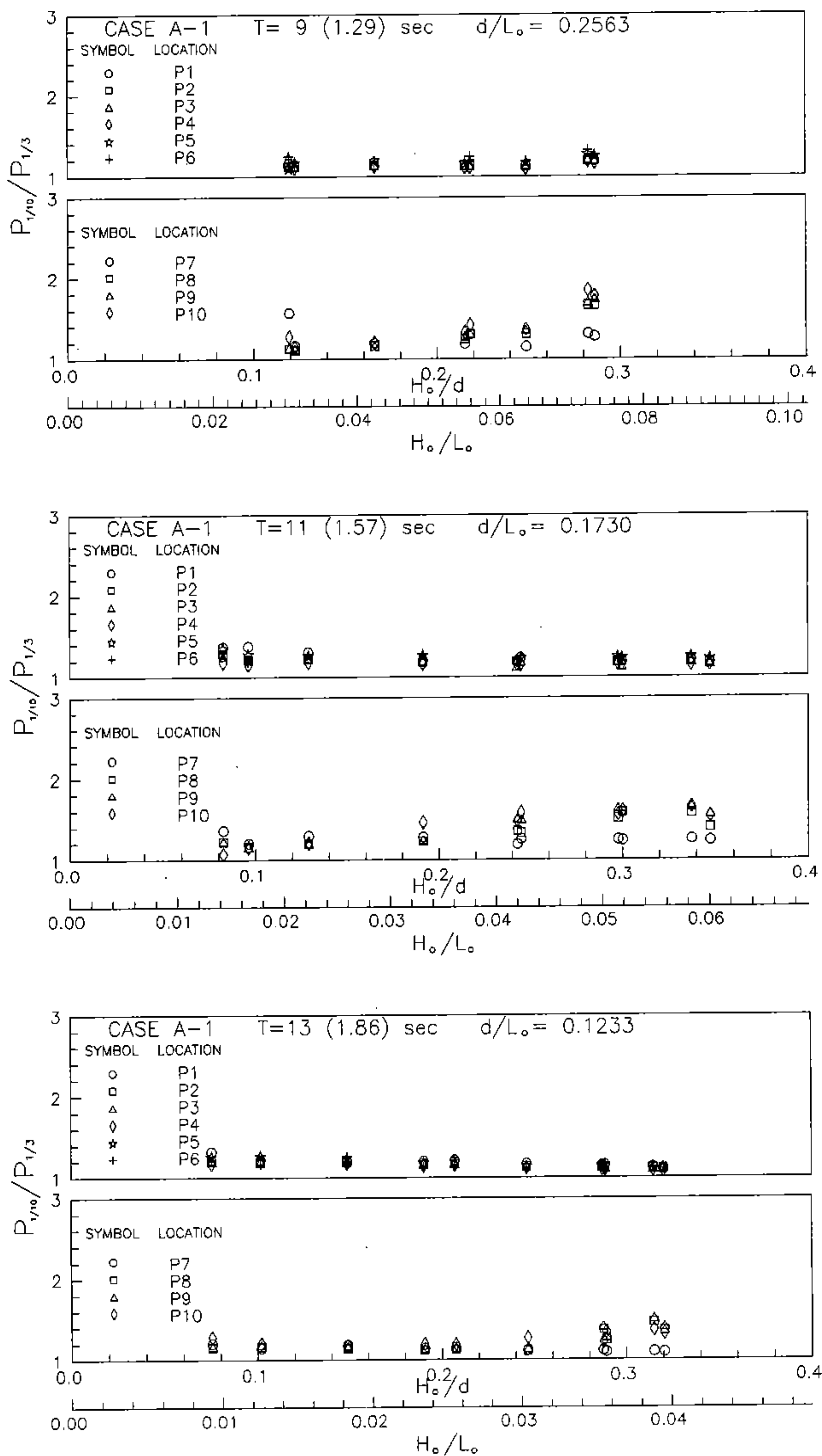


圖3-4-35 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-1)

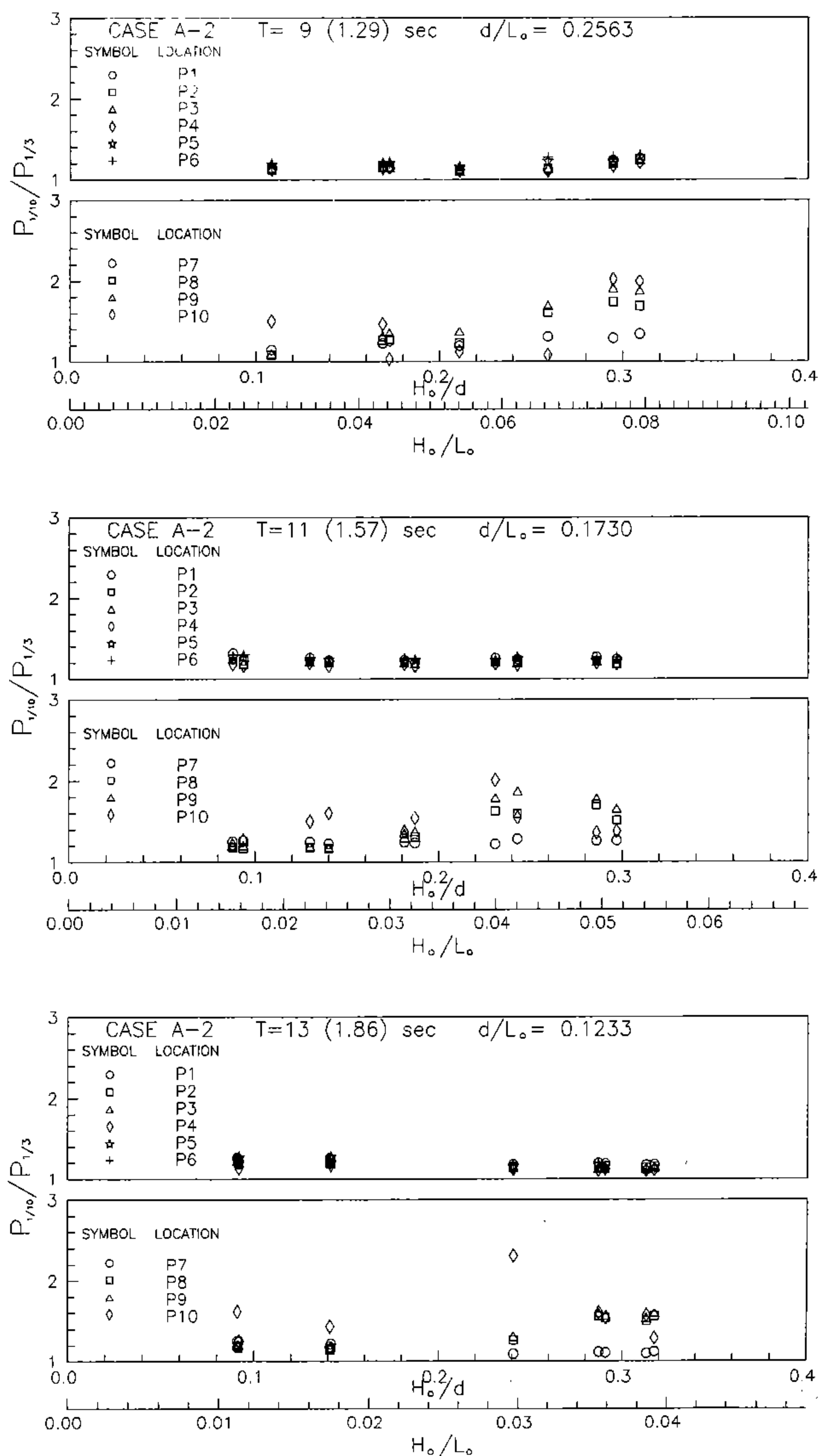


圖3-4-36 $P_{1,10}/P_{1,3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-2)

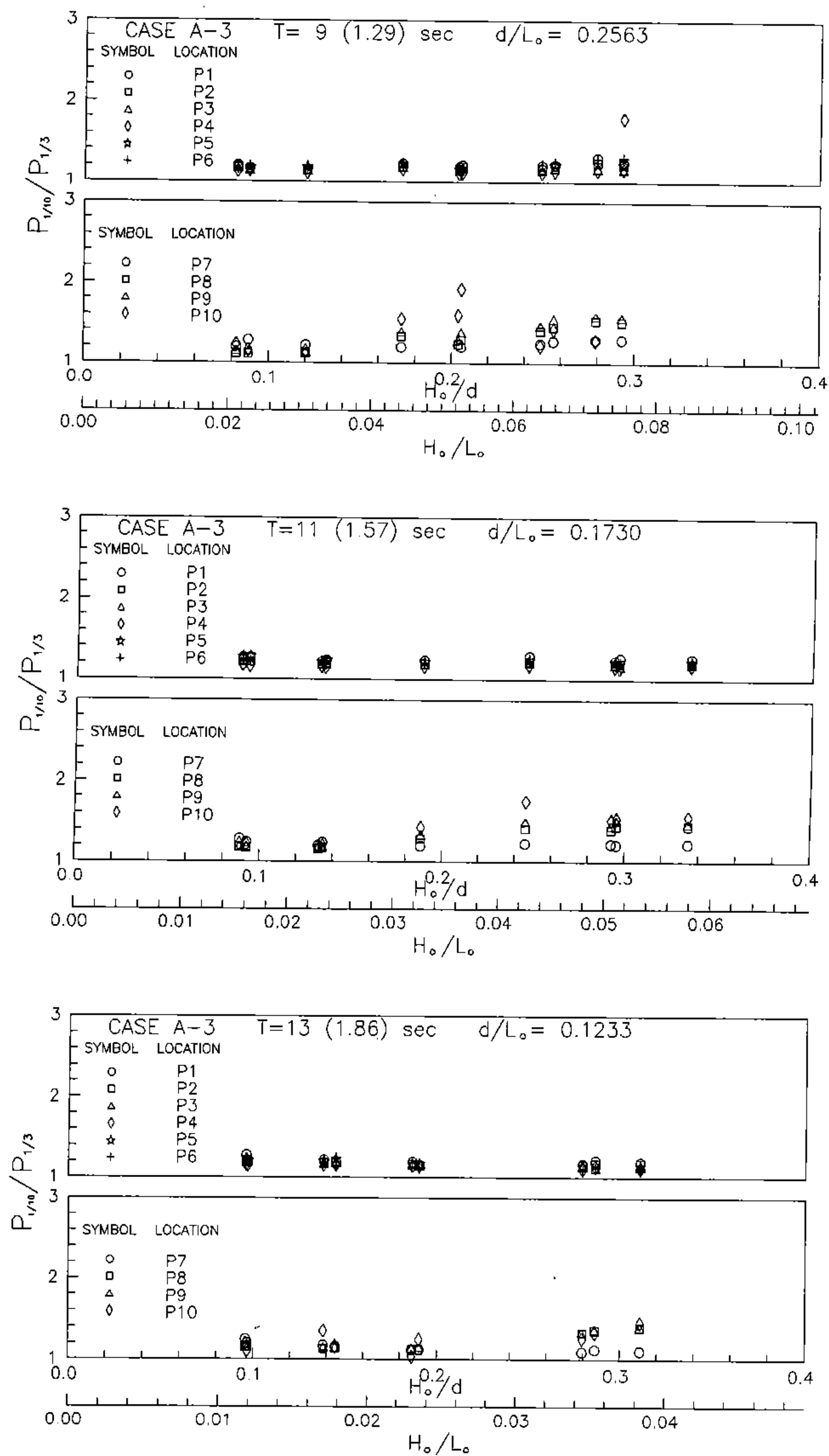


圖3-4-37 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-3)

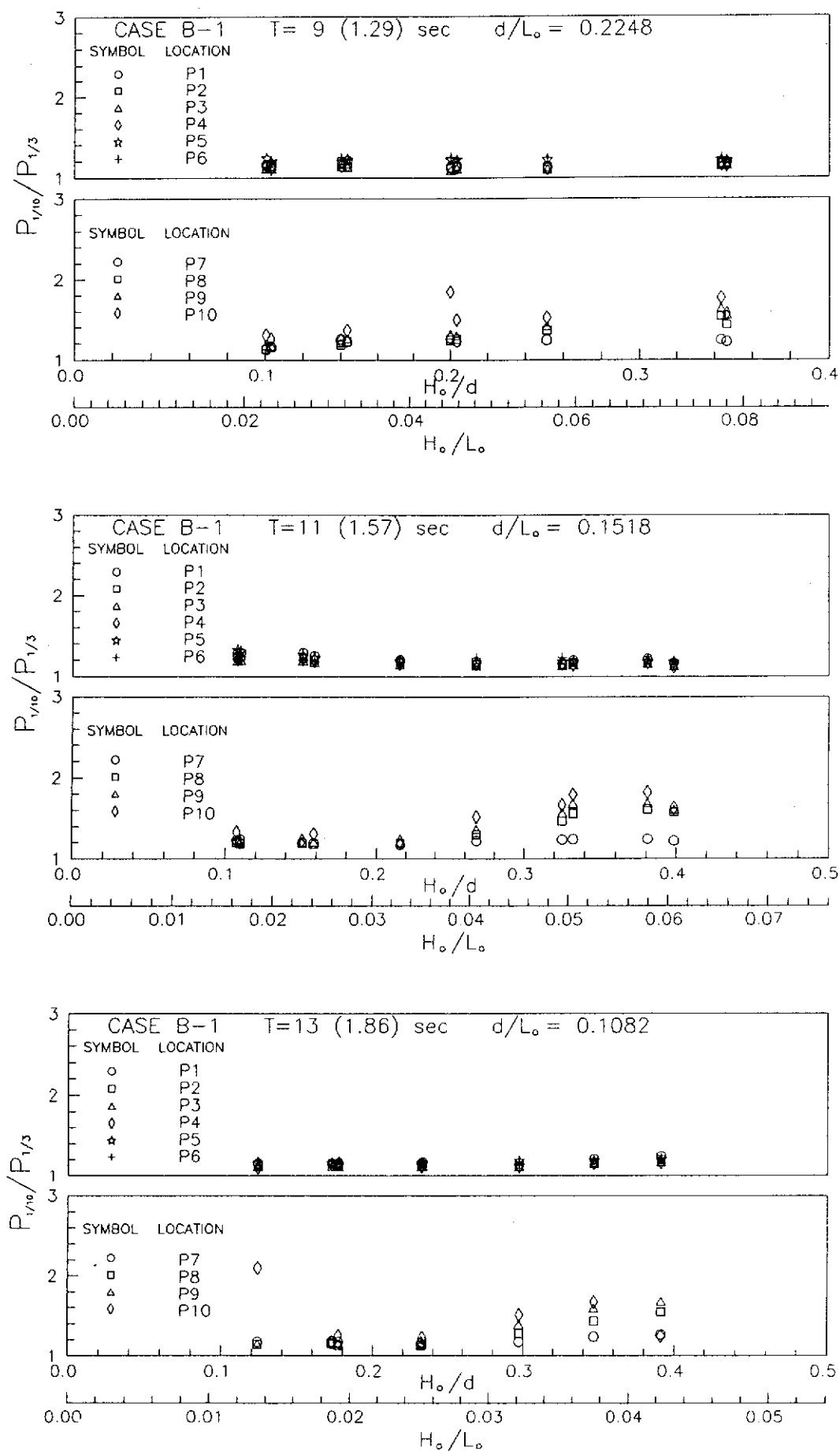


圖3-4-38 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-1)

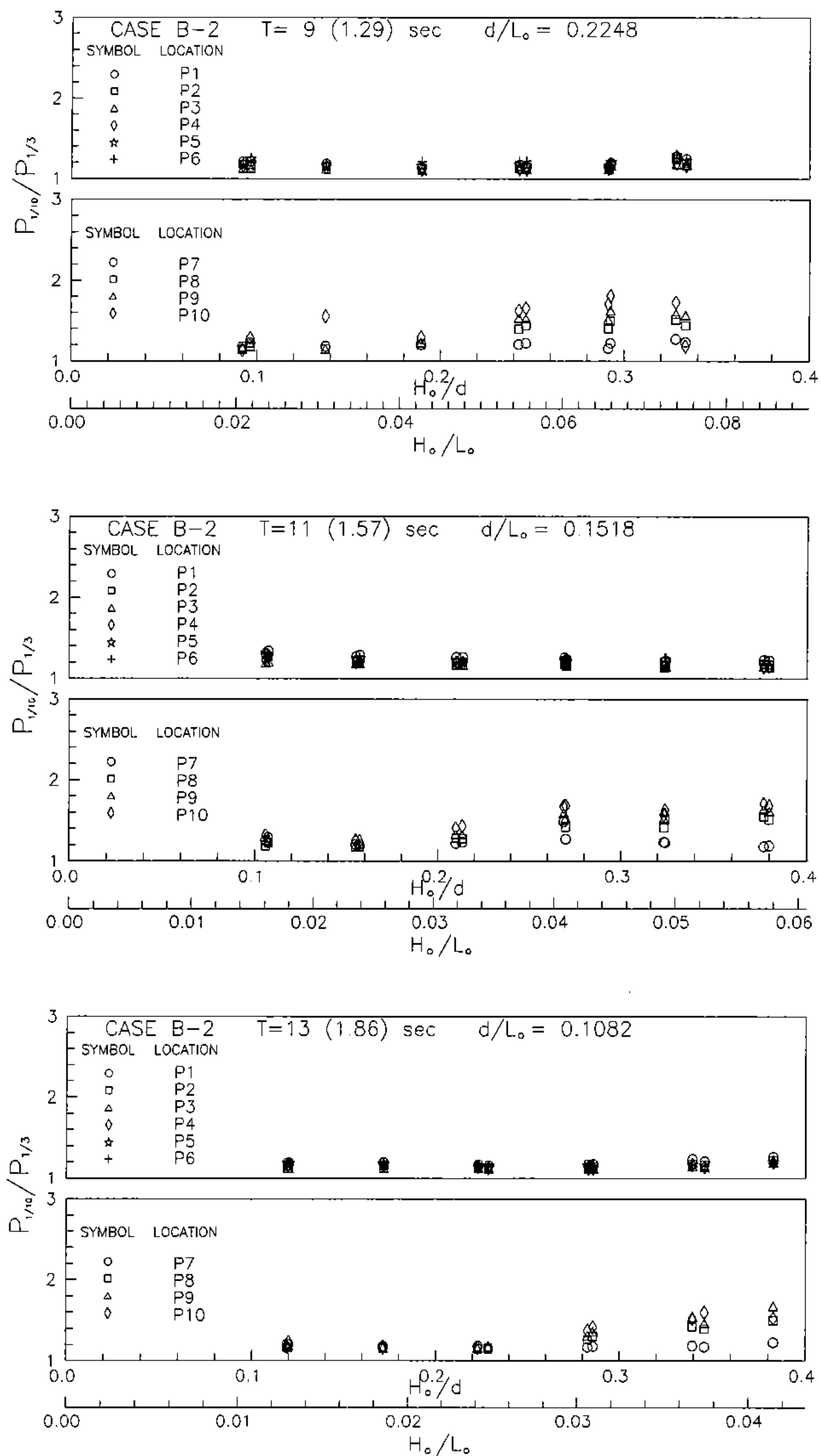


圖3-4-39 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-2)

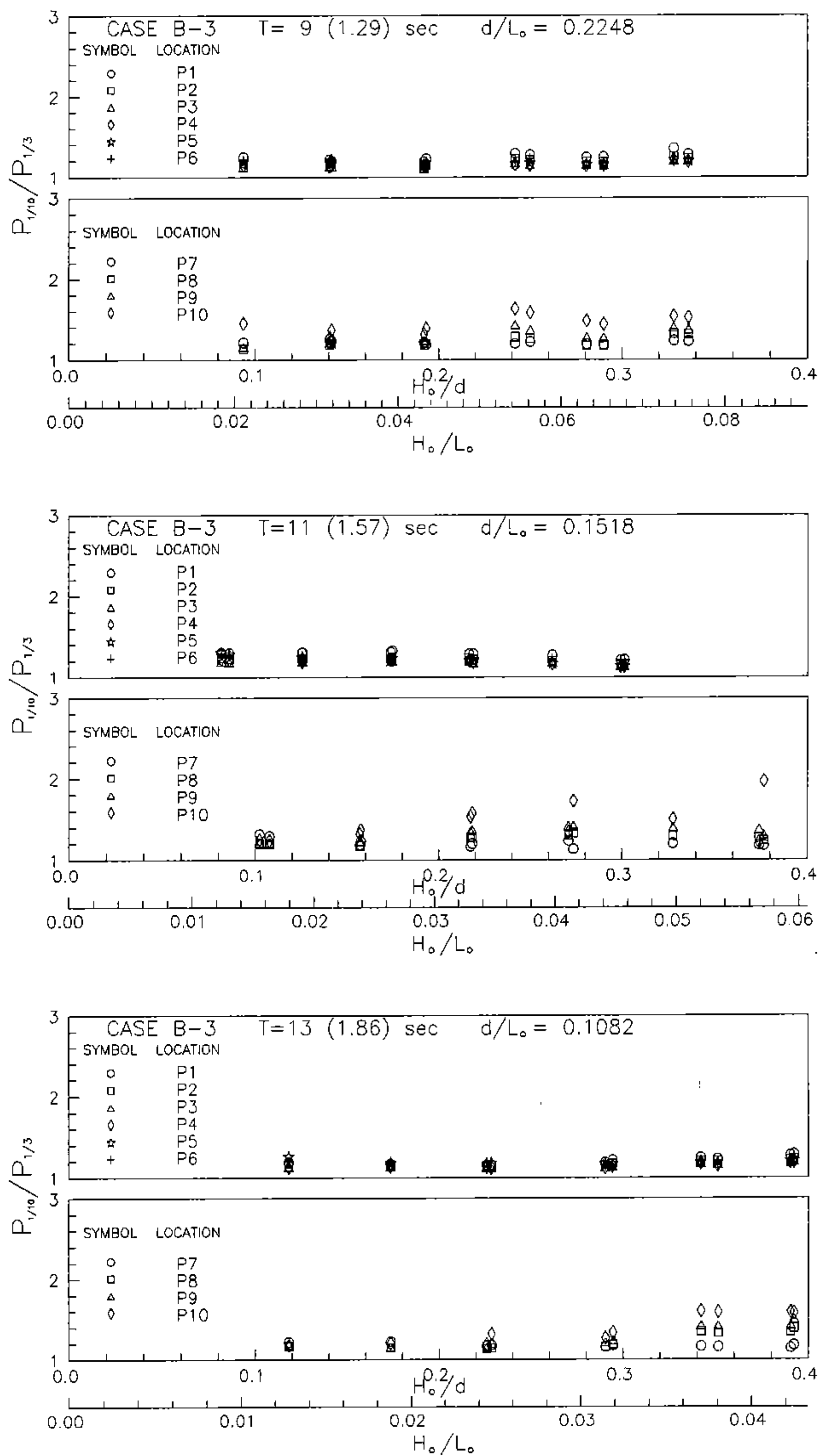


圖3-4-40 $P_{1/10}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-3)

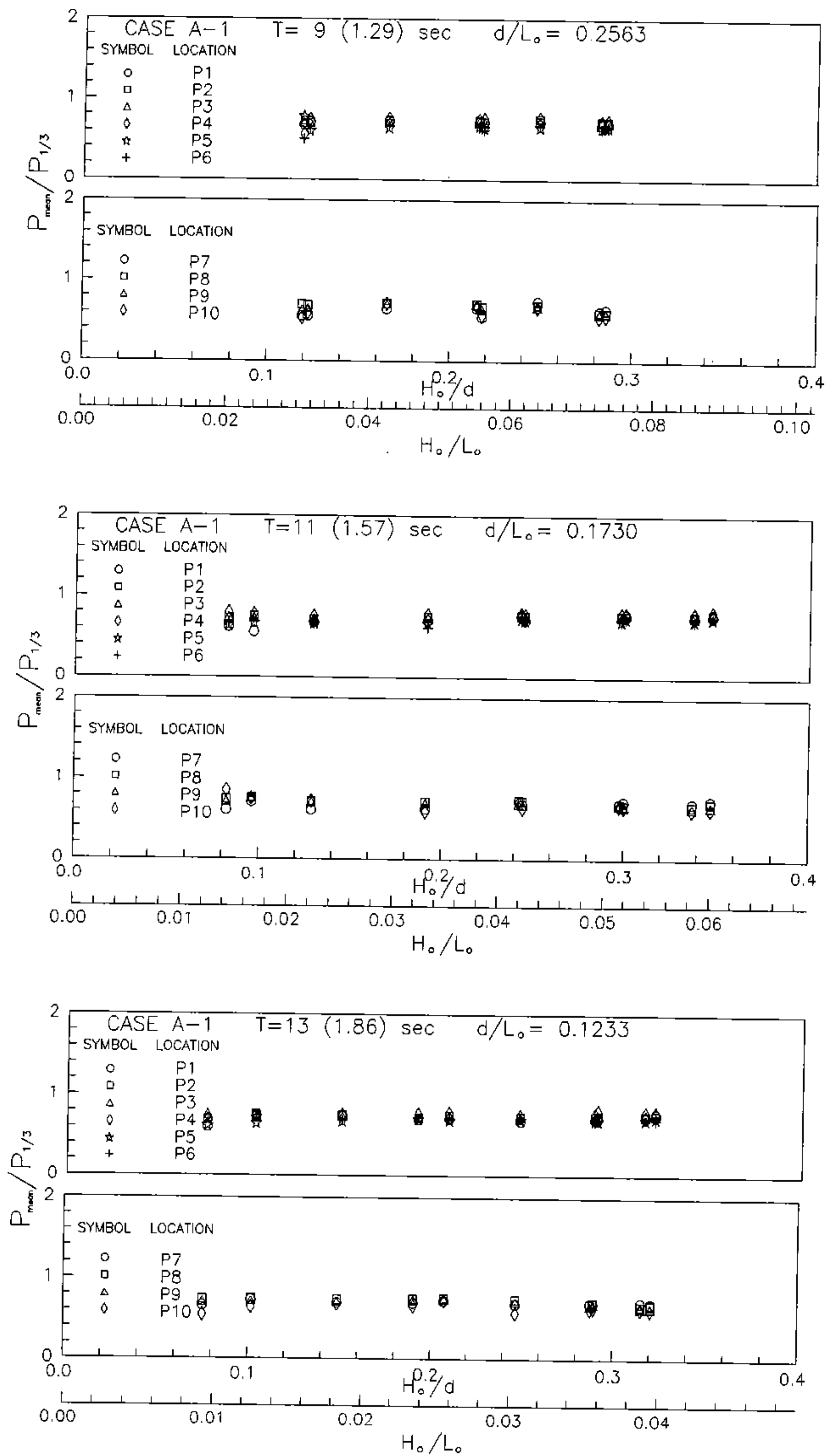


圖3-4-41 $P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-1)

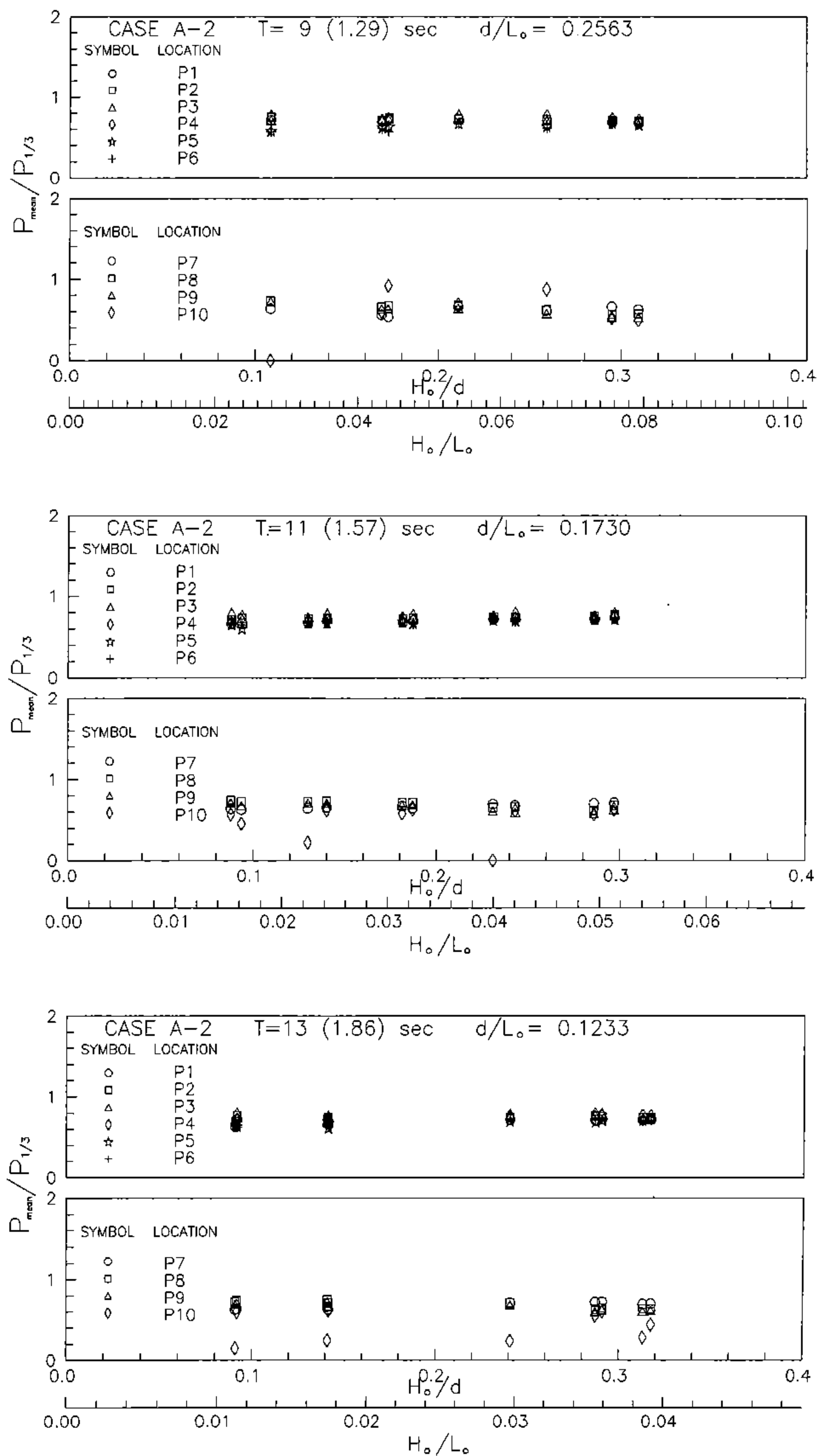


圖3-4-42 $P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-2)

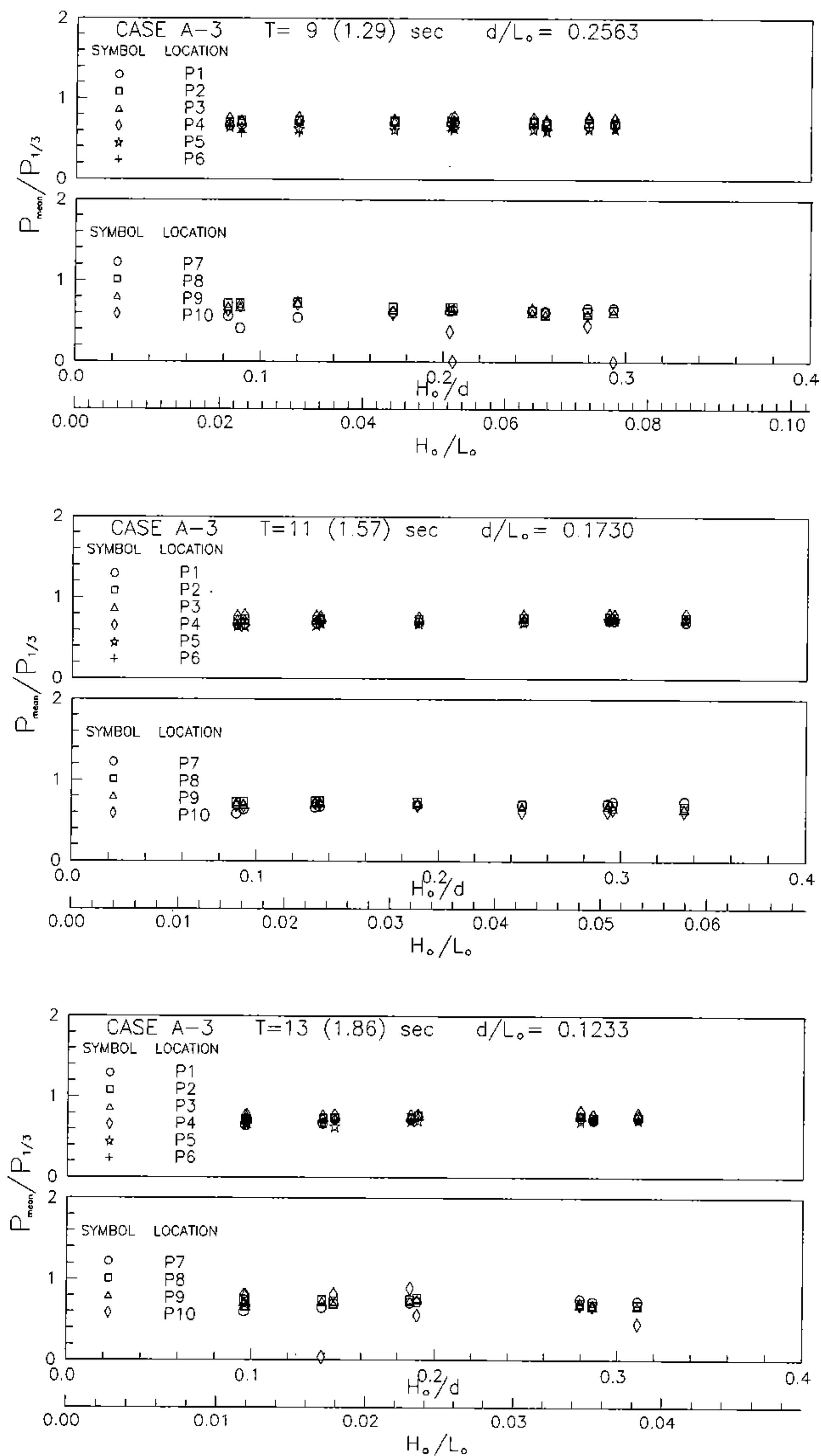


圖3-4-43 $P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE A-3)

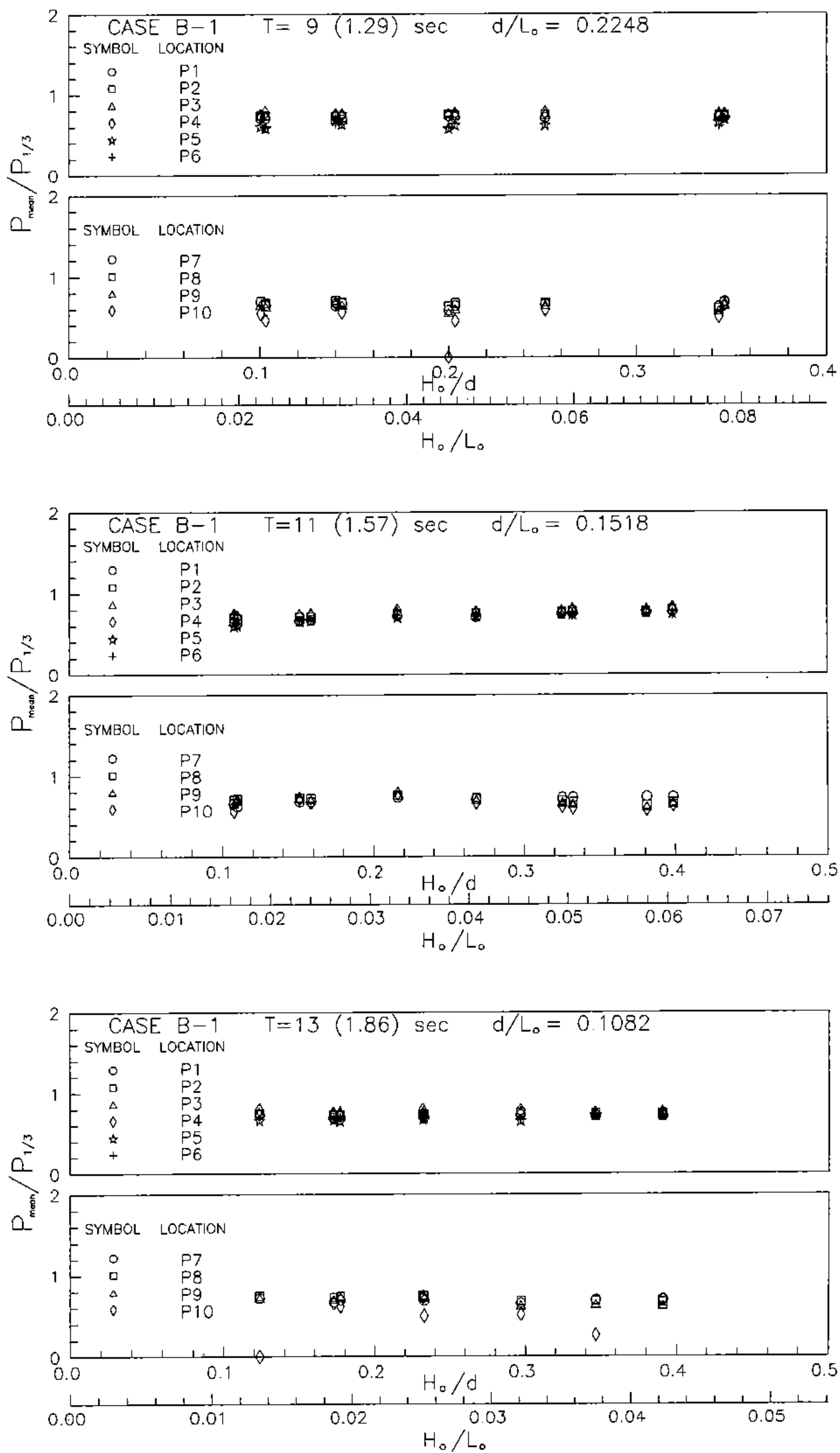


圖3-4-44 $P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-1)

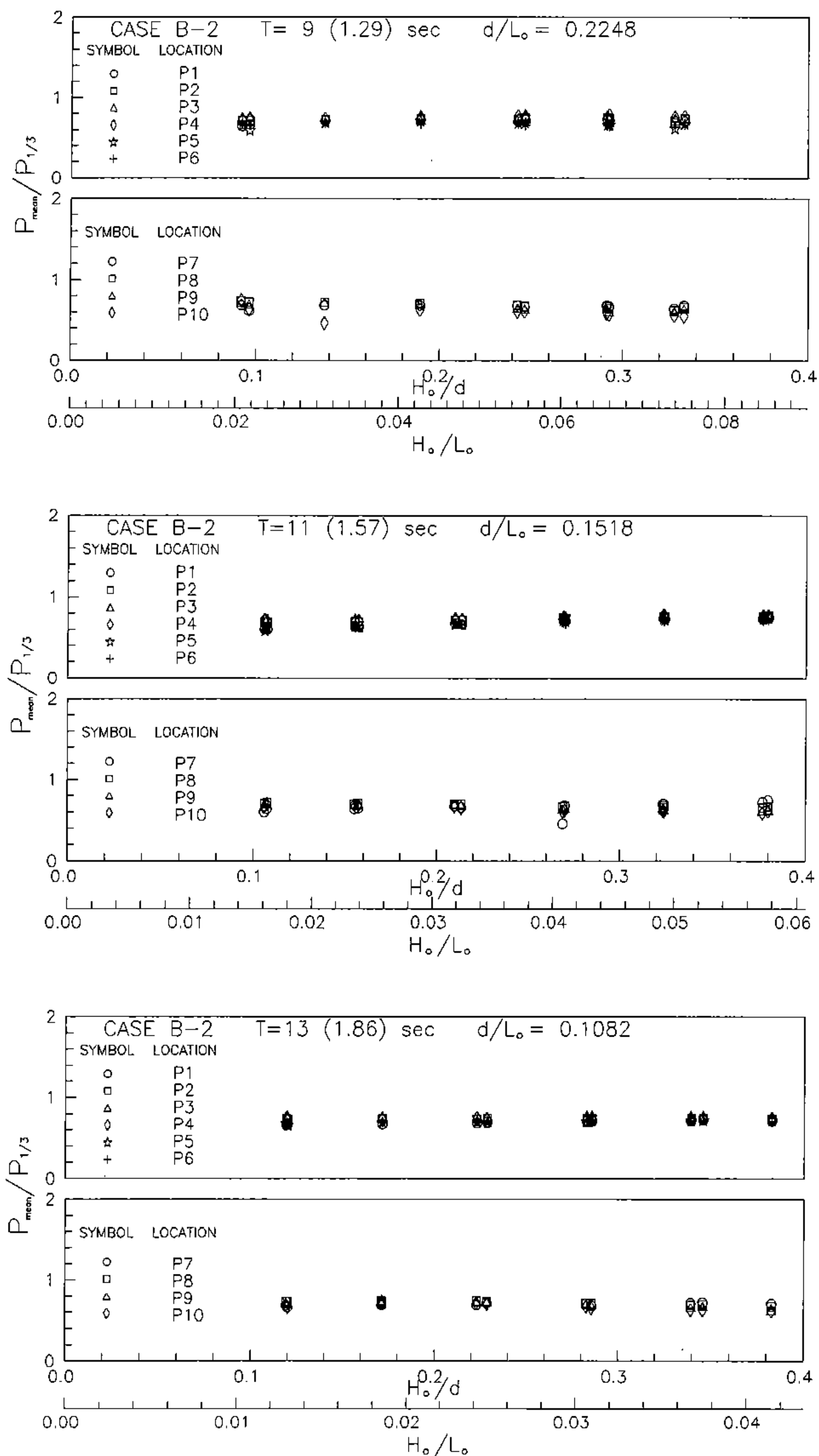


圖3-4-45 $P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-1)

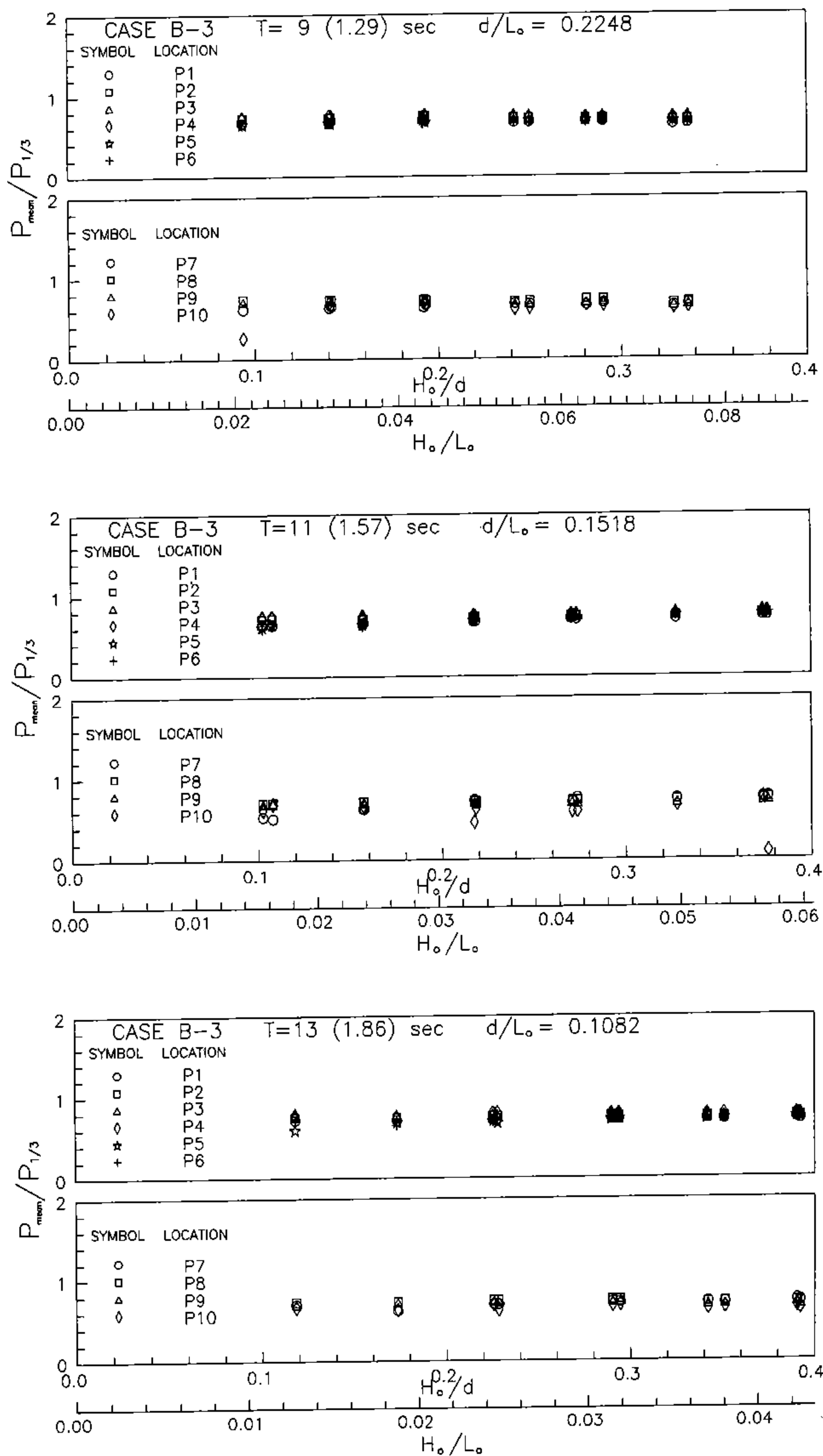


圖3-4-46 $P_{mean}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-1)

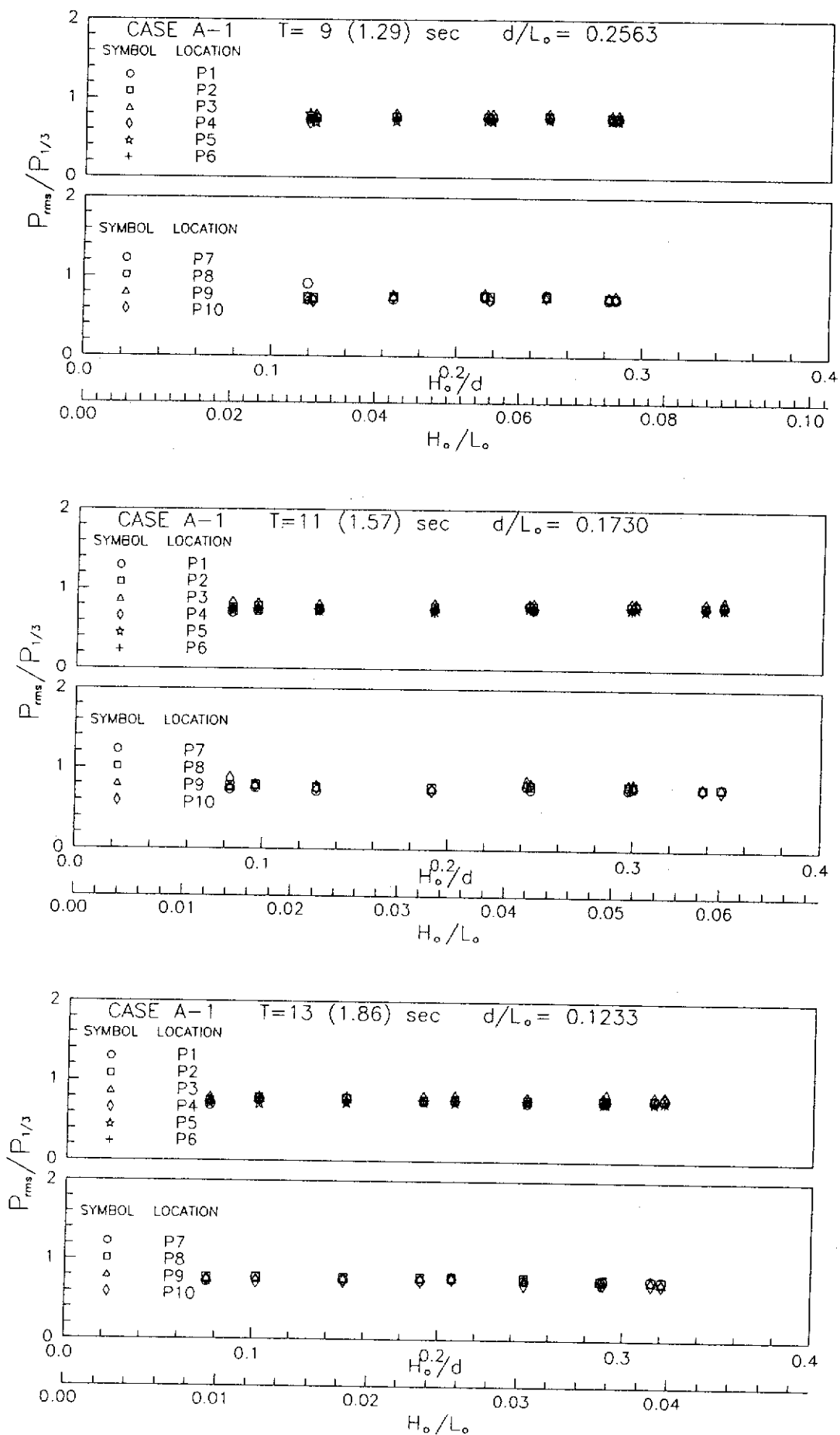


圖3-4-47 $P_{rms} / P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-1)

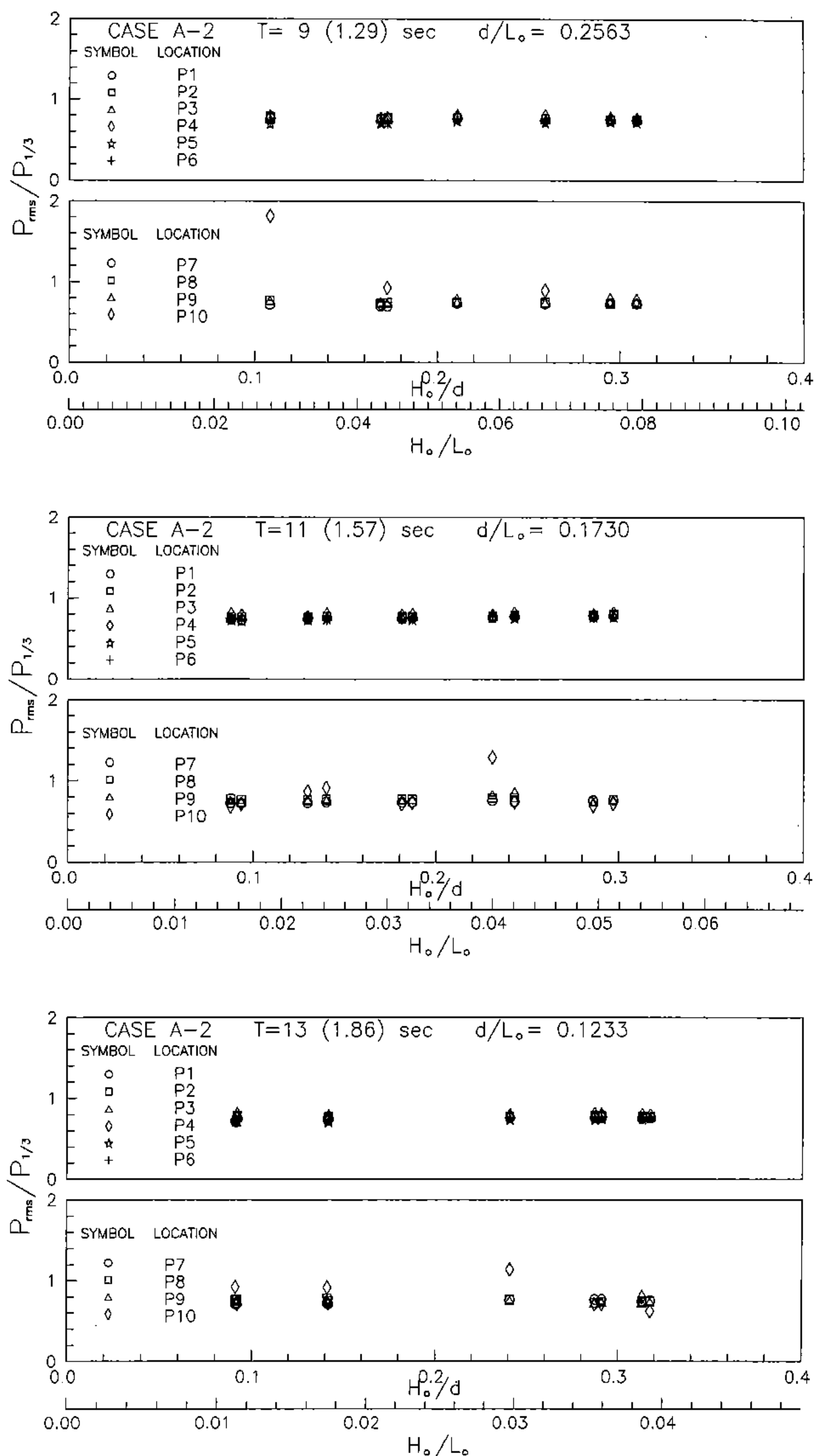


圖3-4-48 $P_{rms} / P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-2)

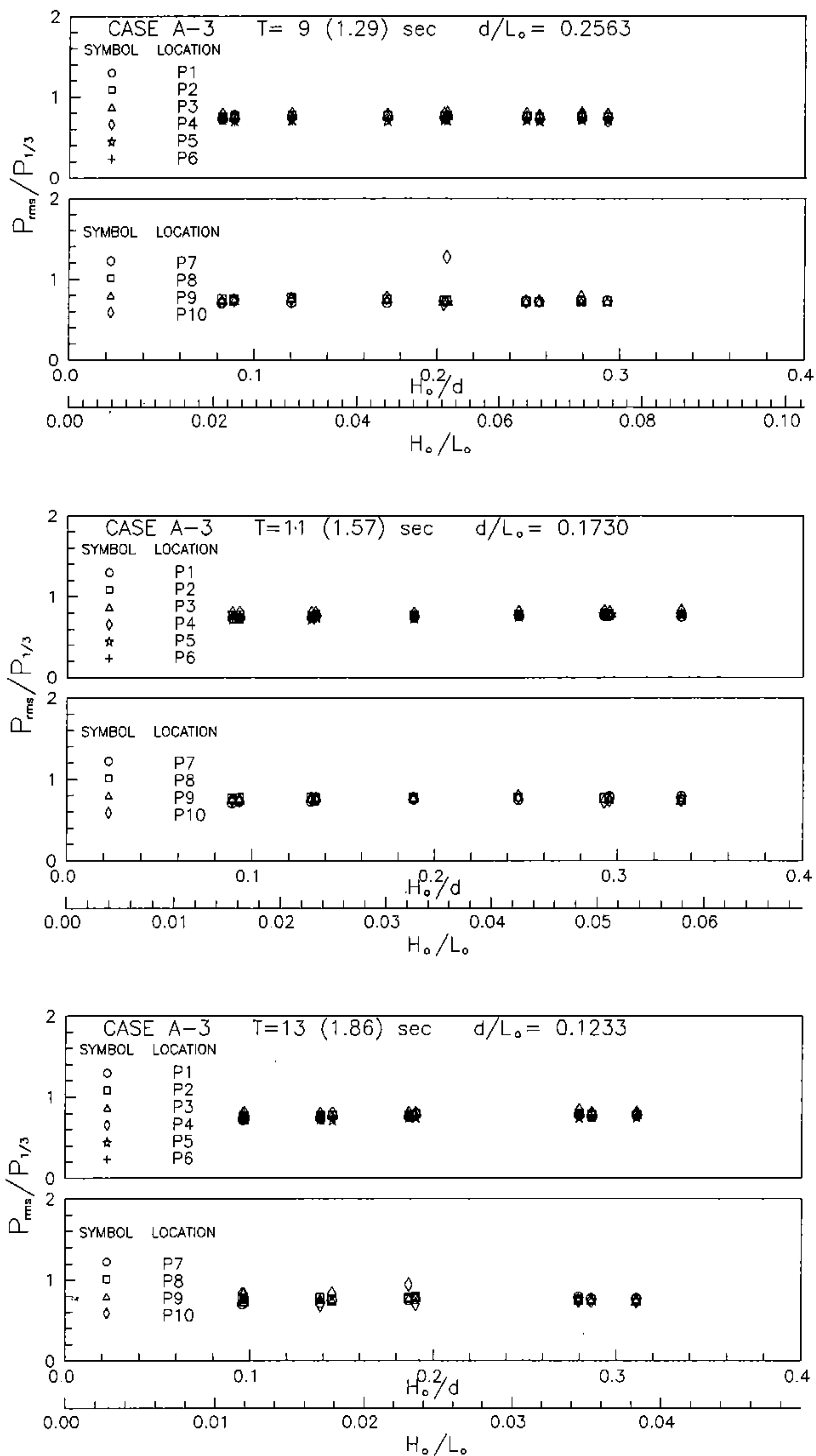


圖3-4-49 $P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE A-3)

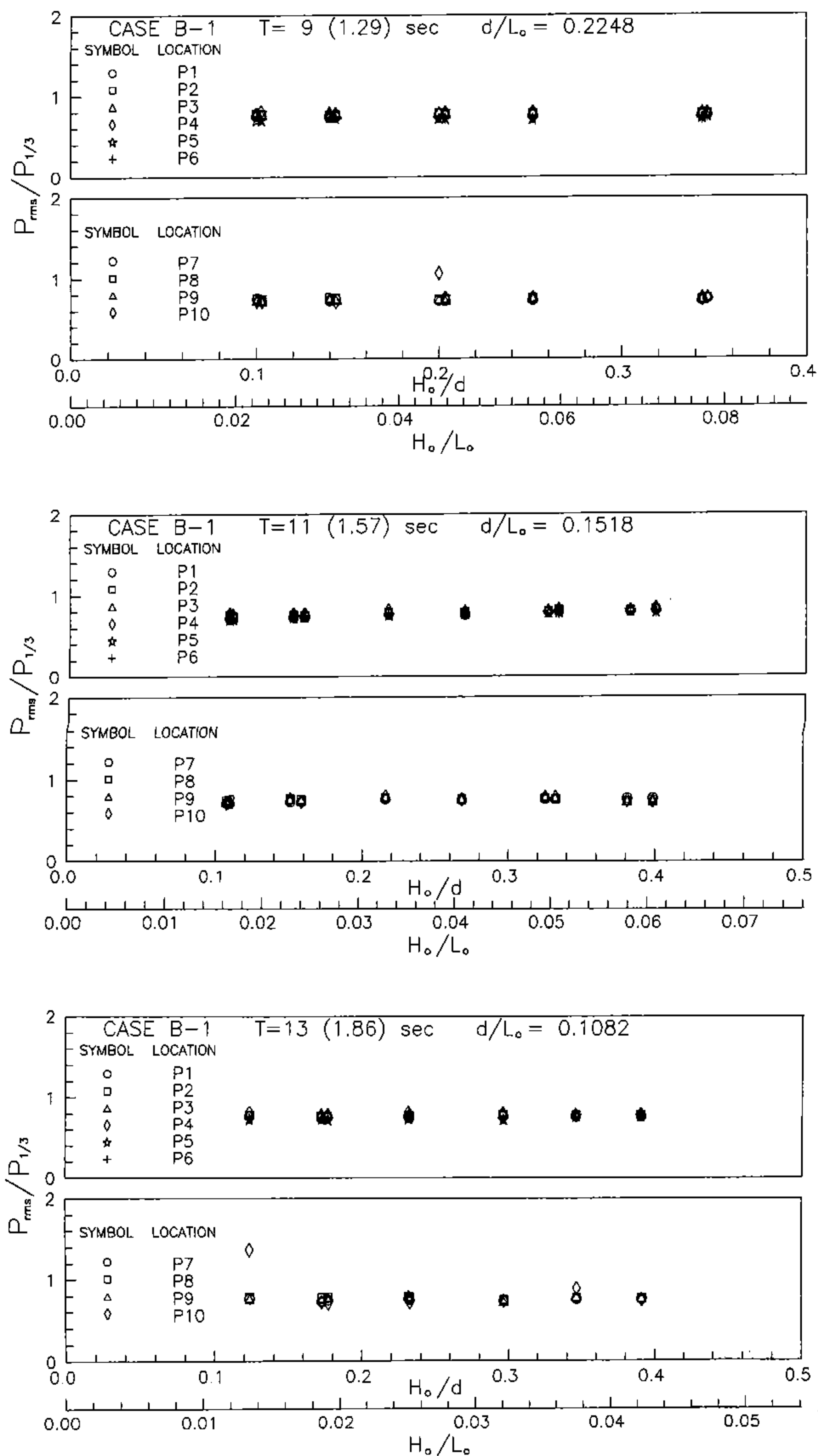


圖3-4-50 $P_{rms} / P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-1)

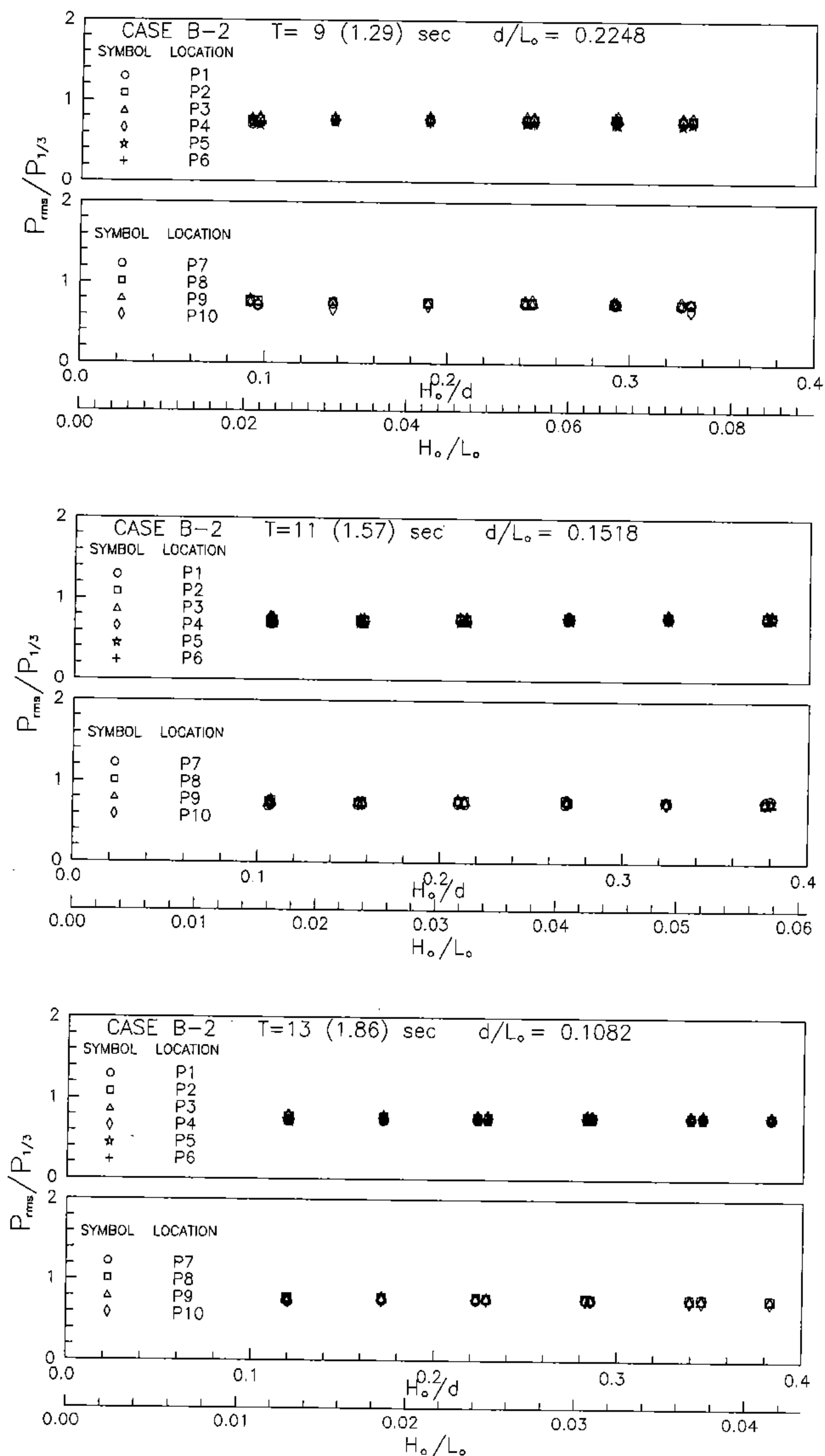


圖 3-4-51 $P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_0/d 、 H_0/L_0 之關係圖 (CASE B-2)

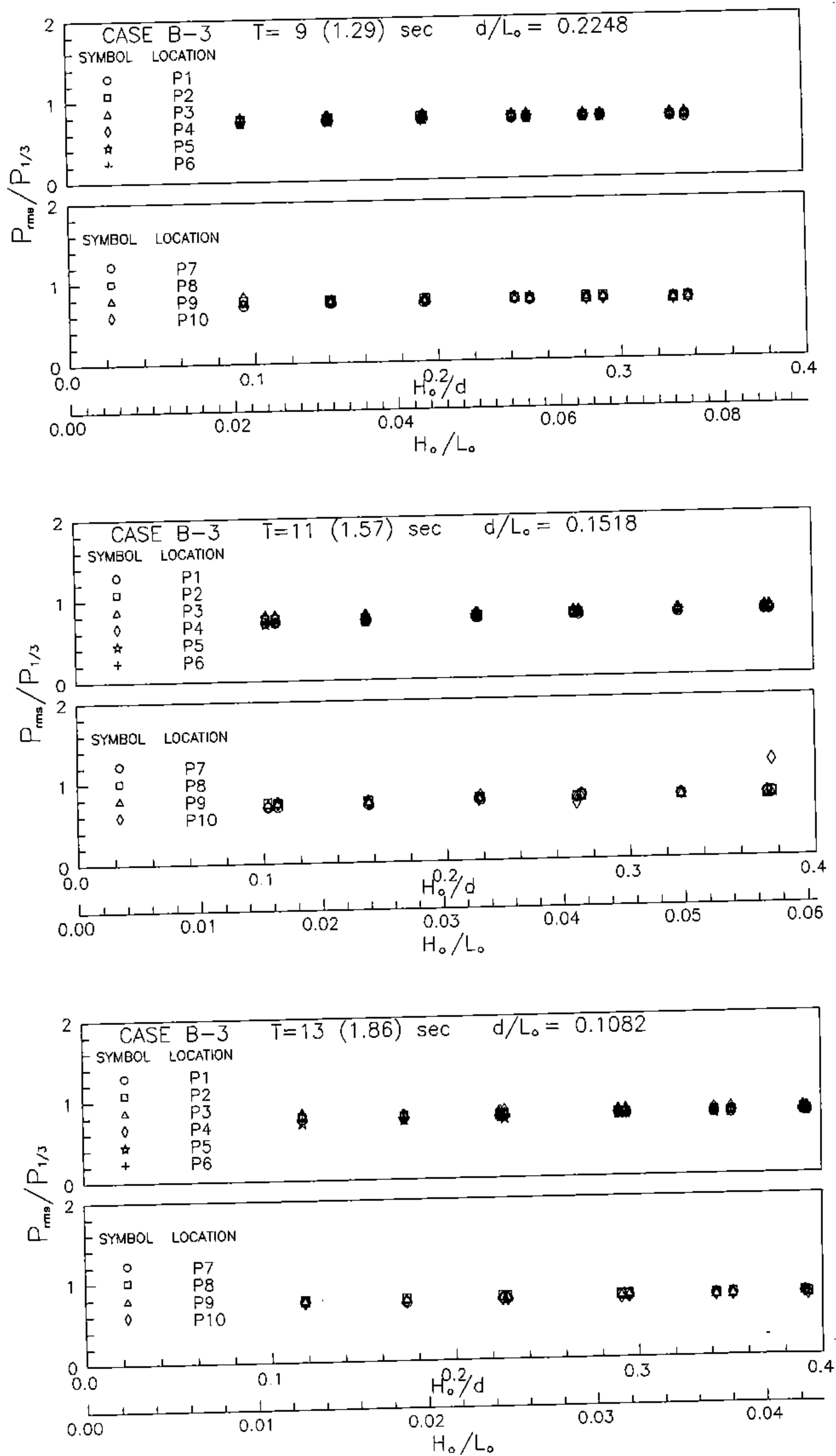


圖3-4-52 $P_{rms}/P_{1/3}$ 與 H_o/d 、 H_o/L_o 之關係圖 (CASE B-3)

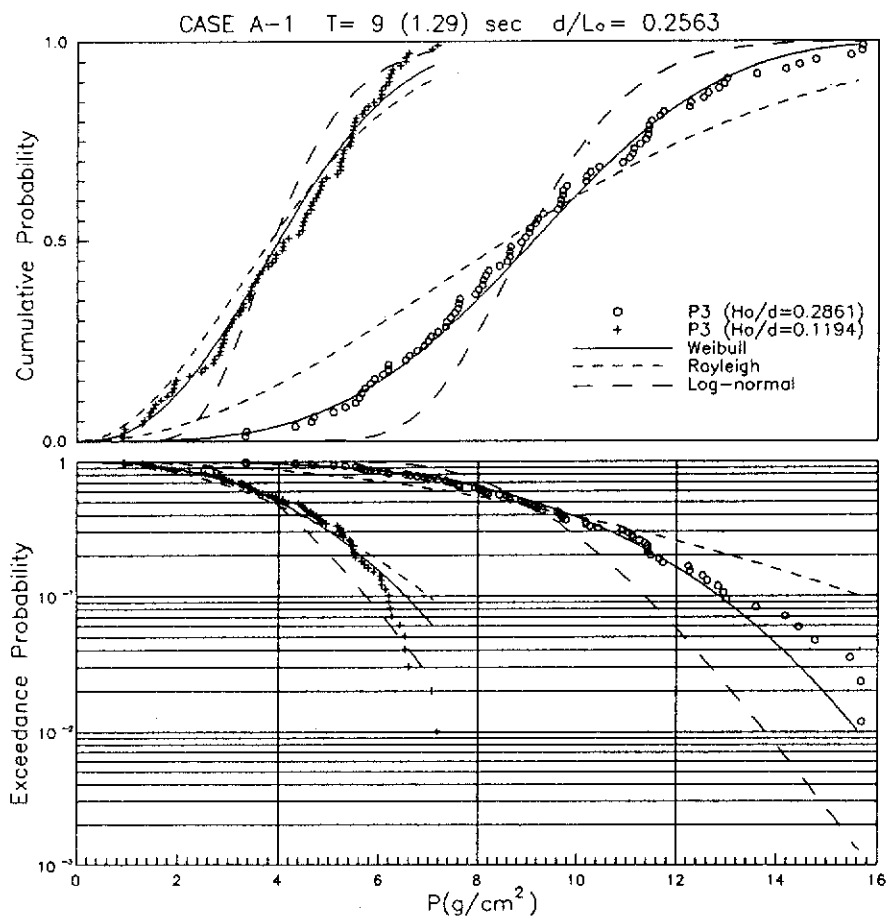


圖3-4-53 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE A-1)

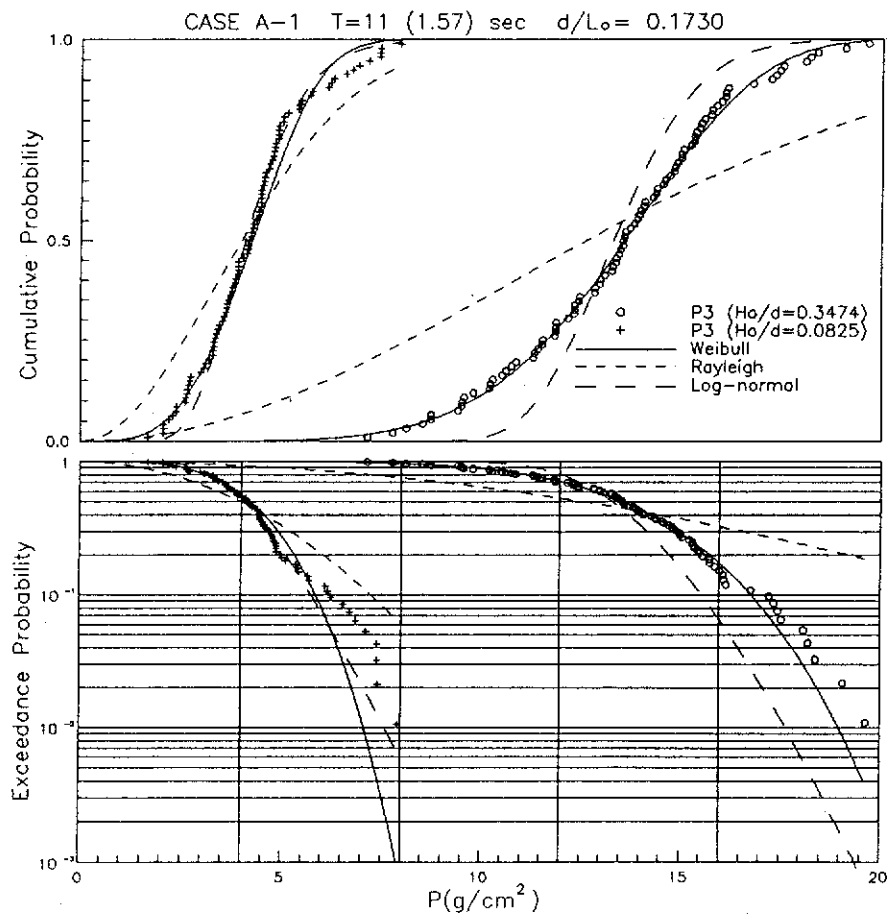


圖3-4-54 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE A-1)

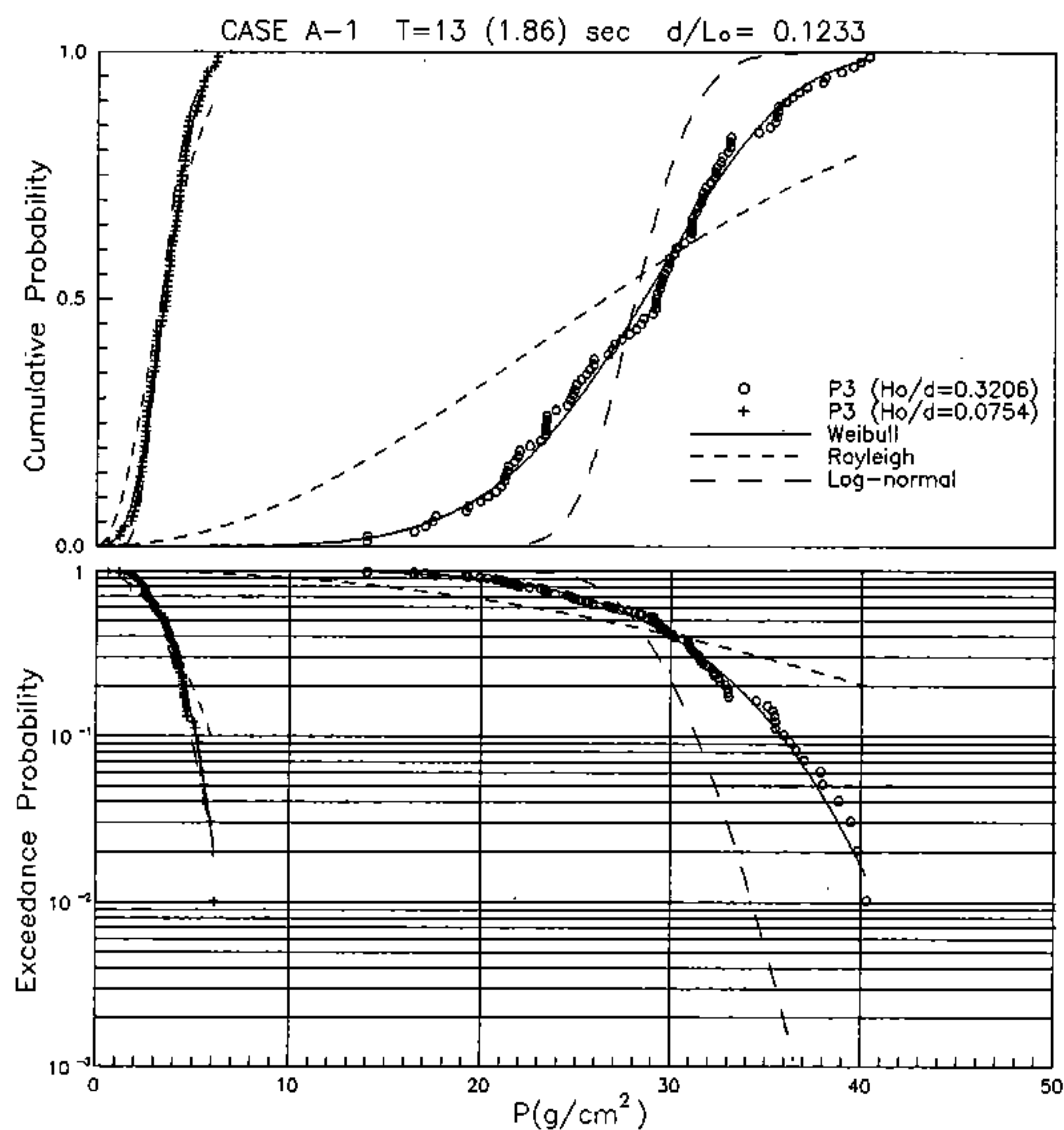


圖3-4-55 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE A-1)

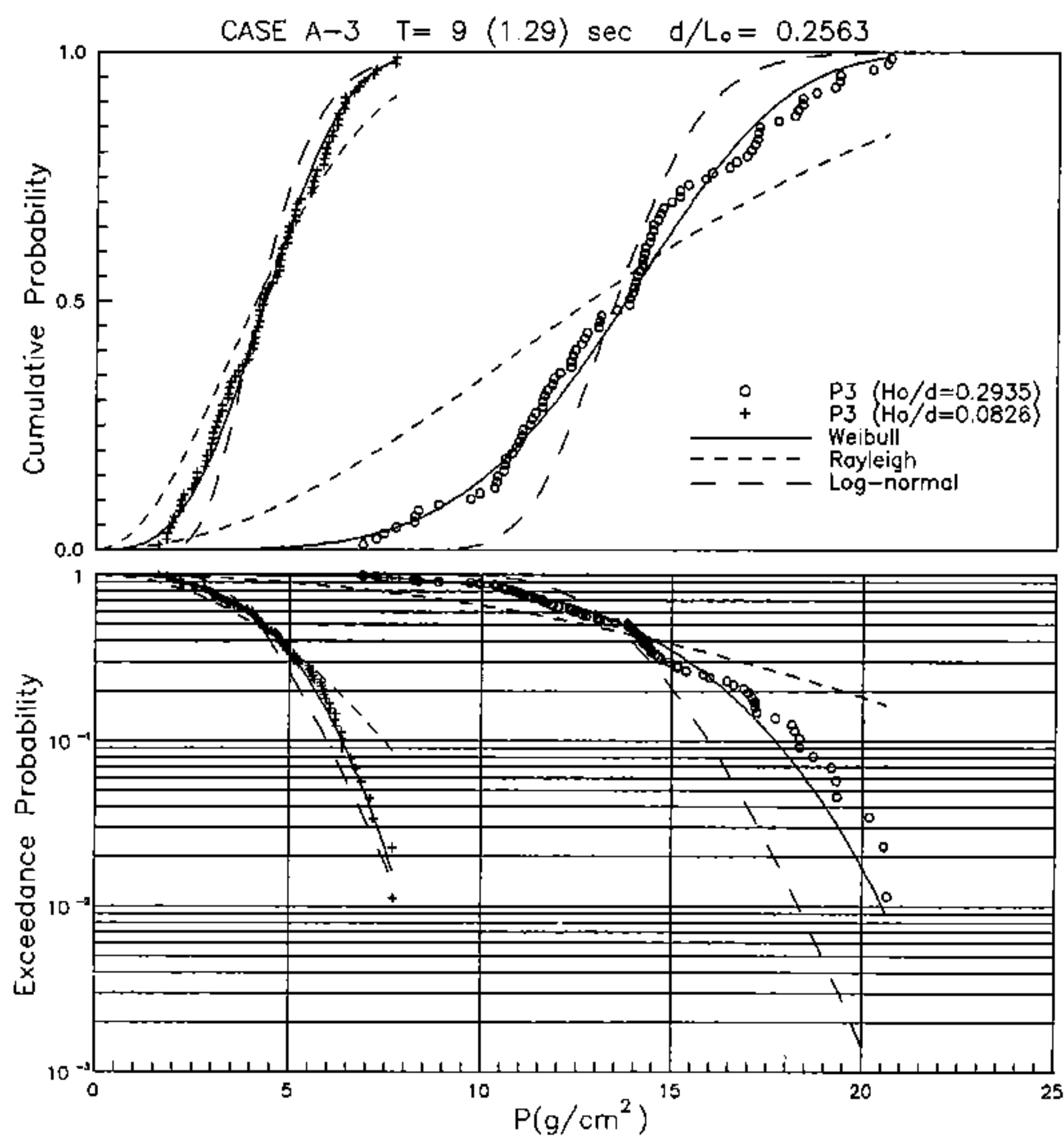


圖3-4-56 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE A-3)

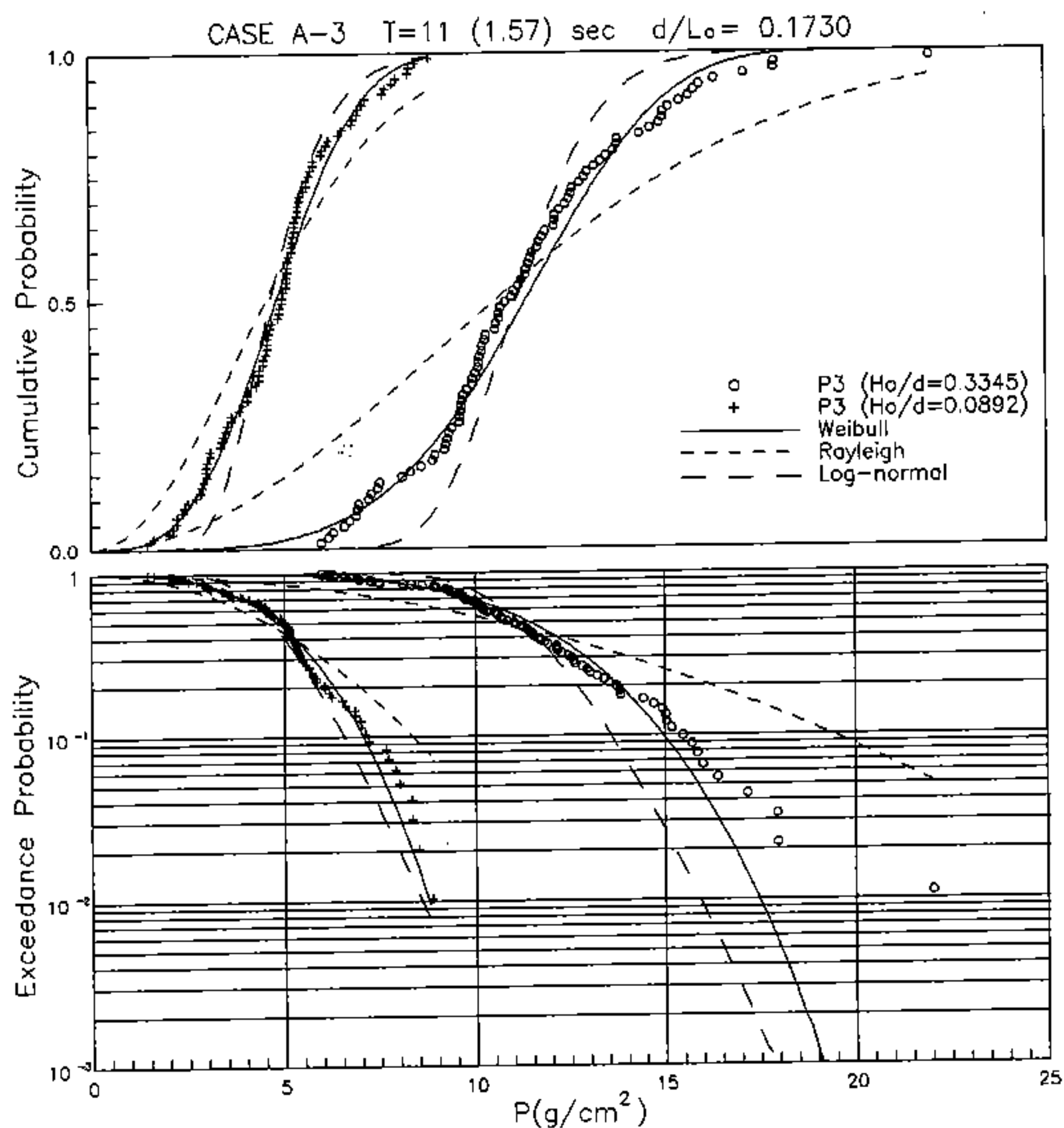


圖3-4-57 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE A-3)

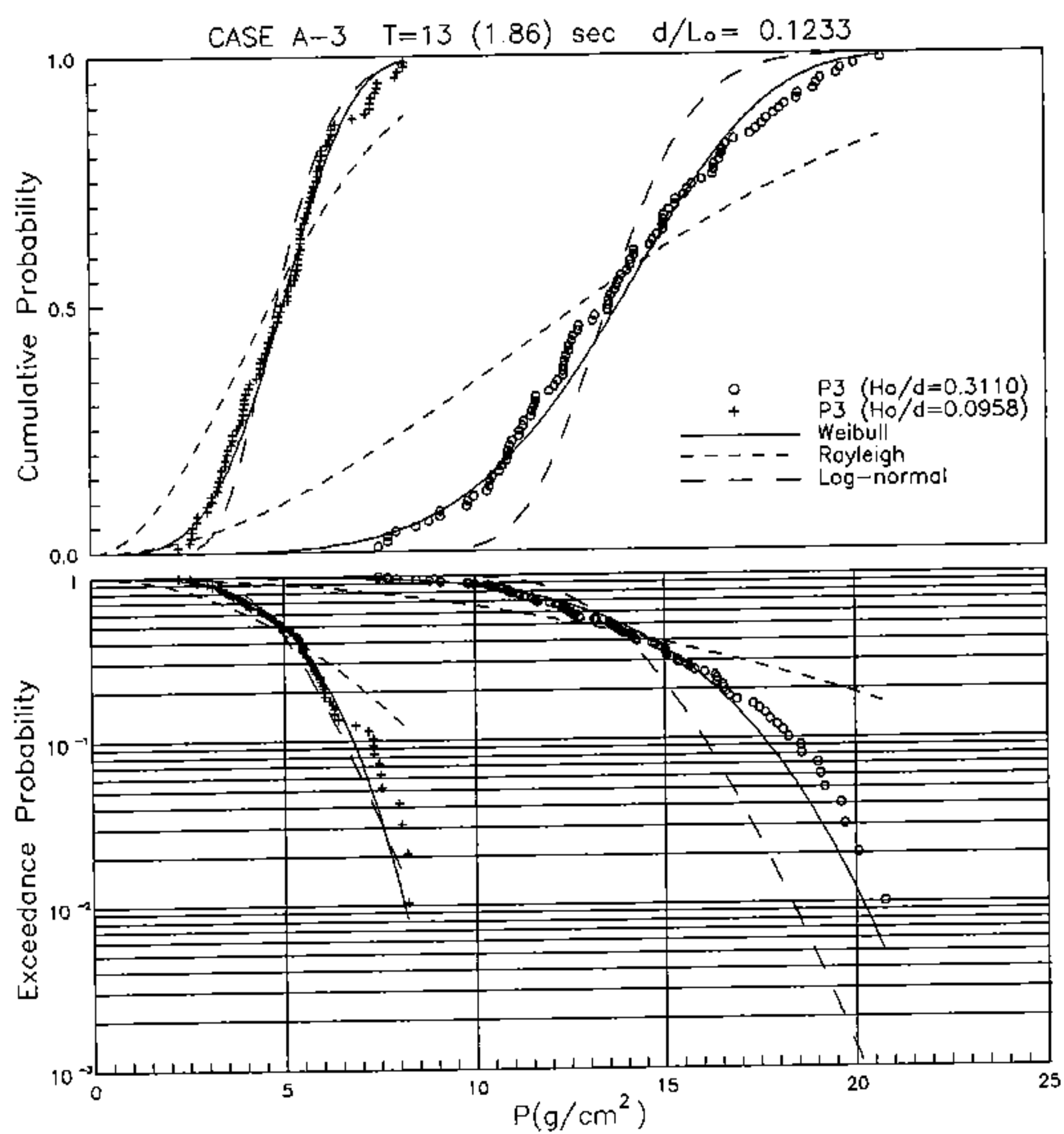


圖3-4-58 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE A-3)

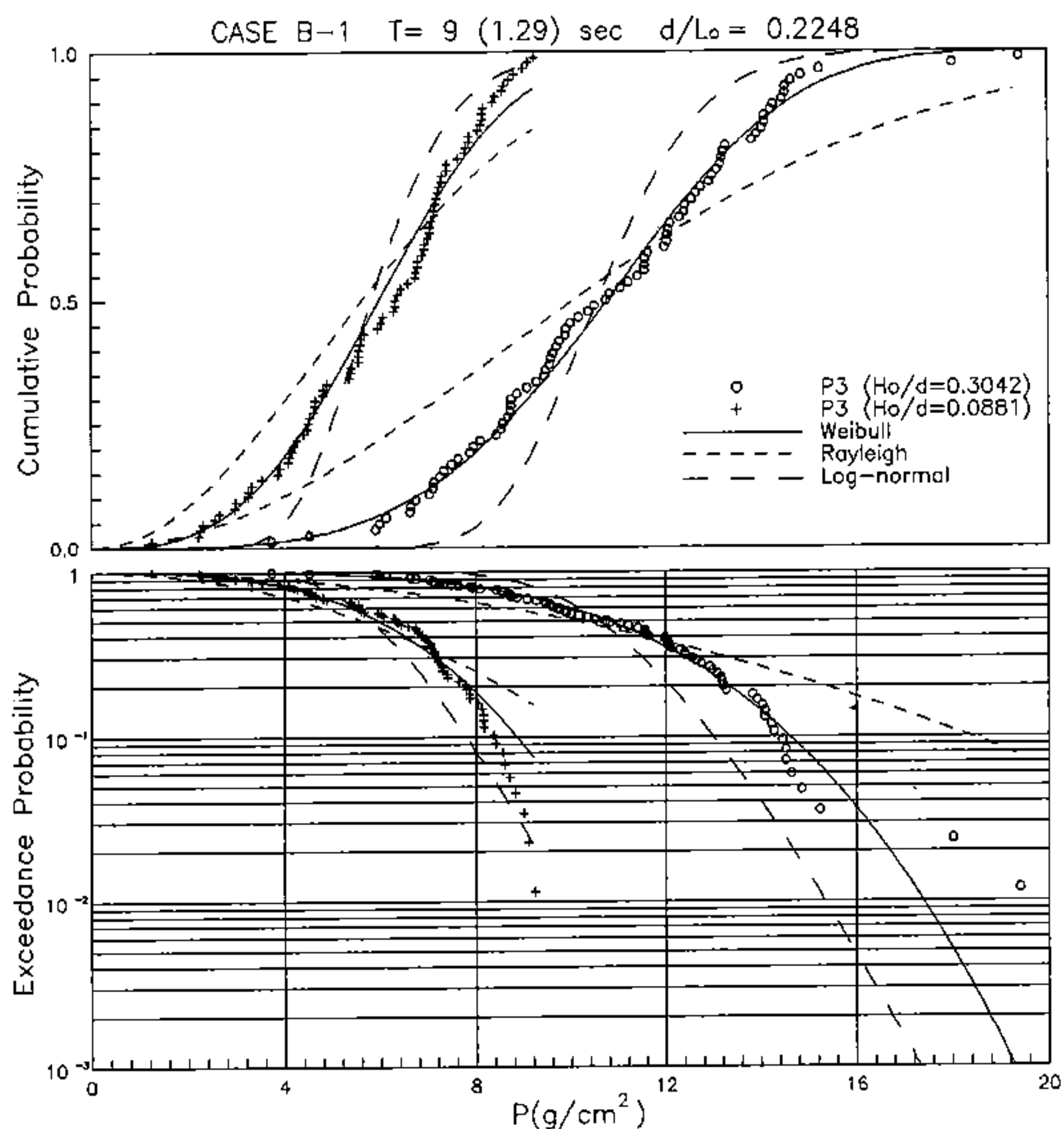


圖3-4-59 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE B-1)

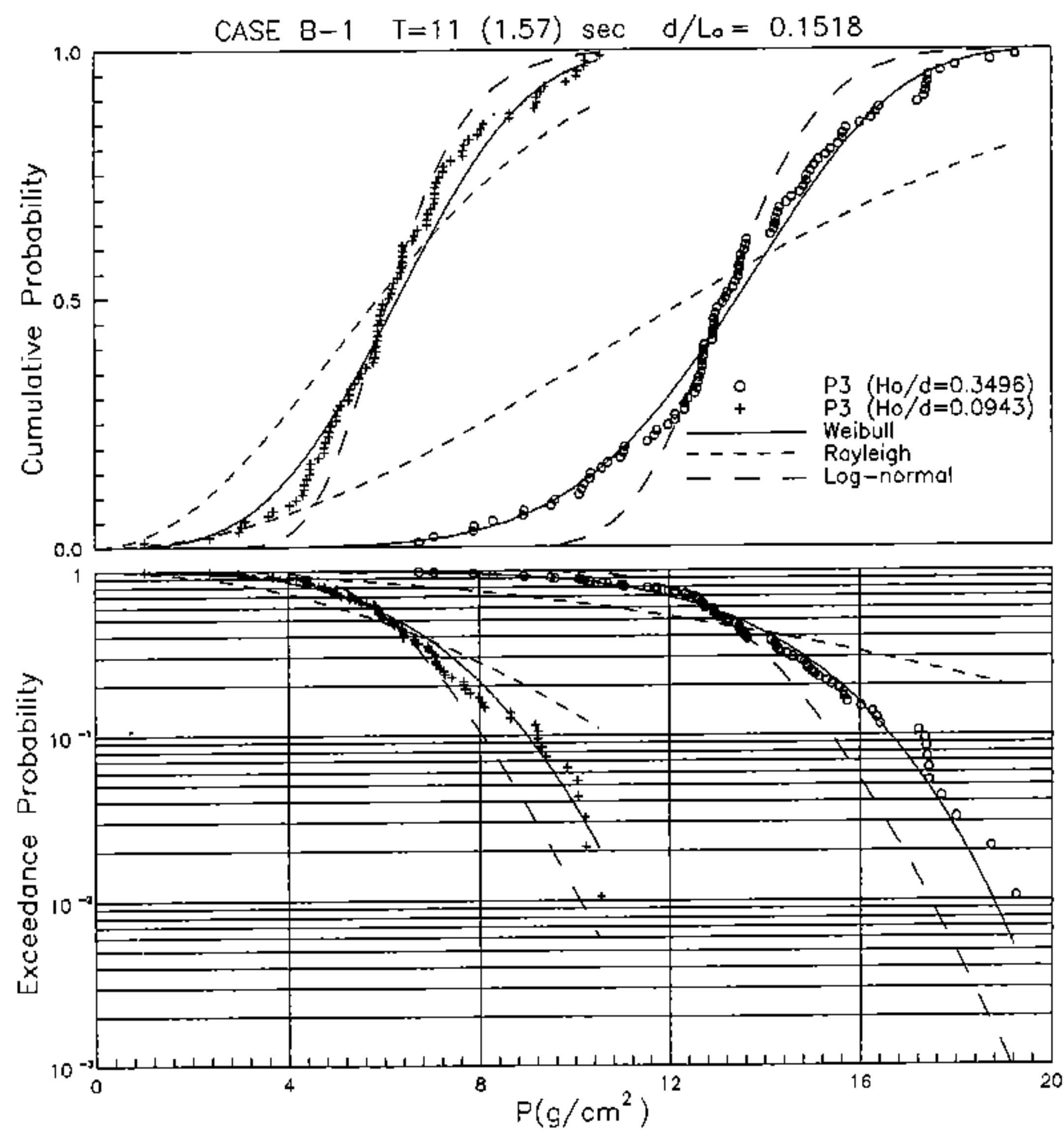


圖3-4-60 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE B-1)

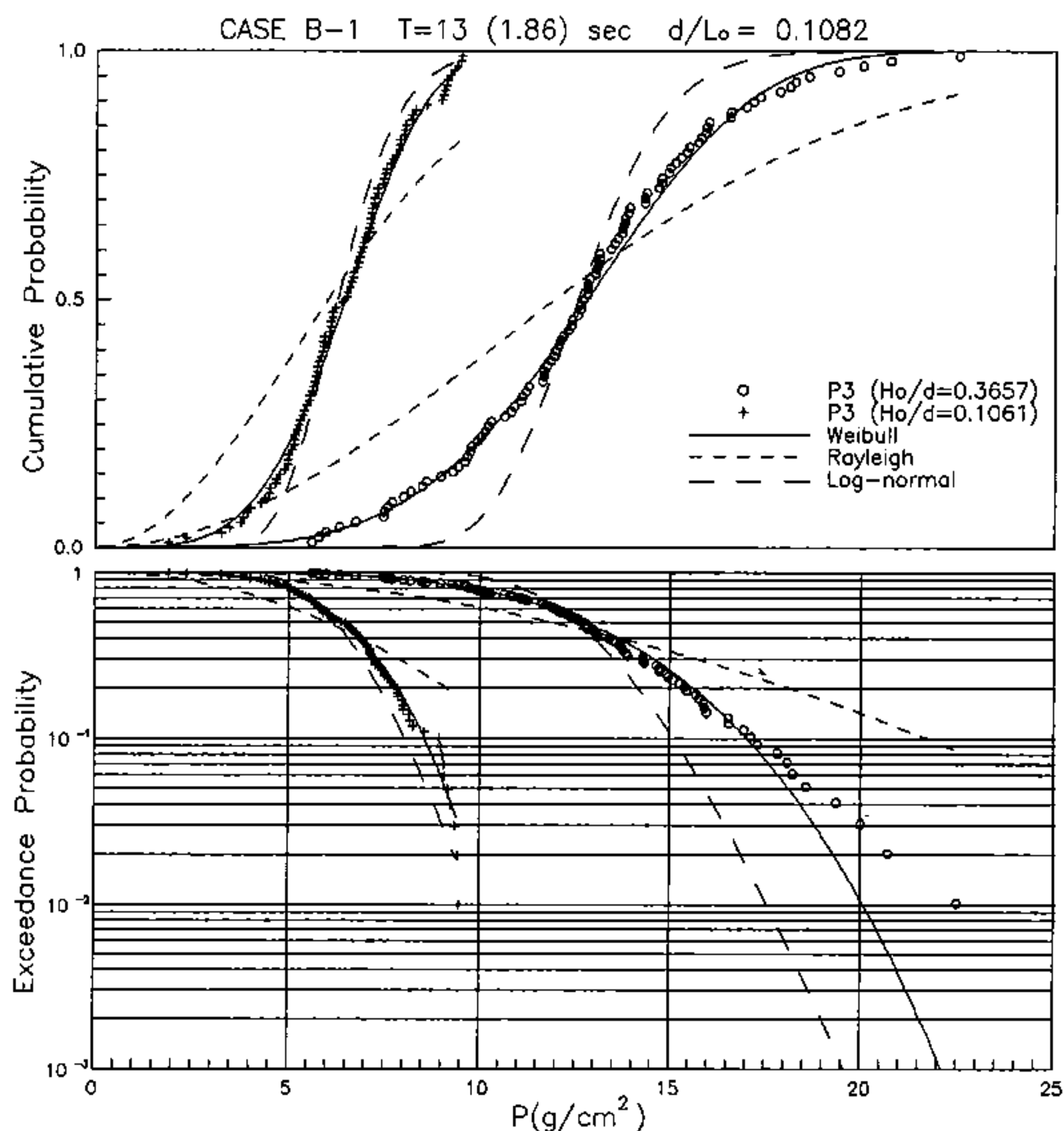


圖3-4-61 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE B-1)

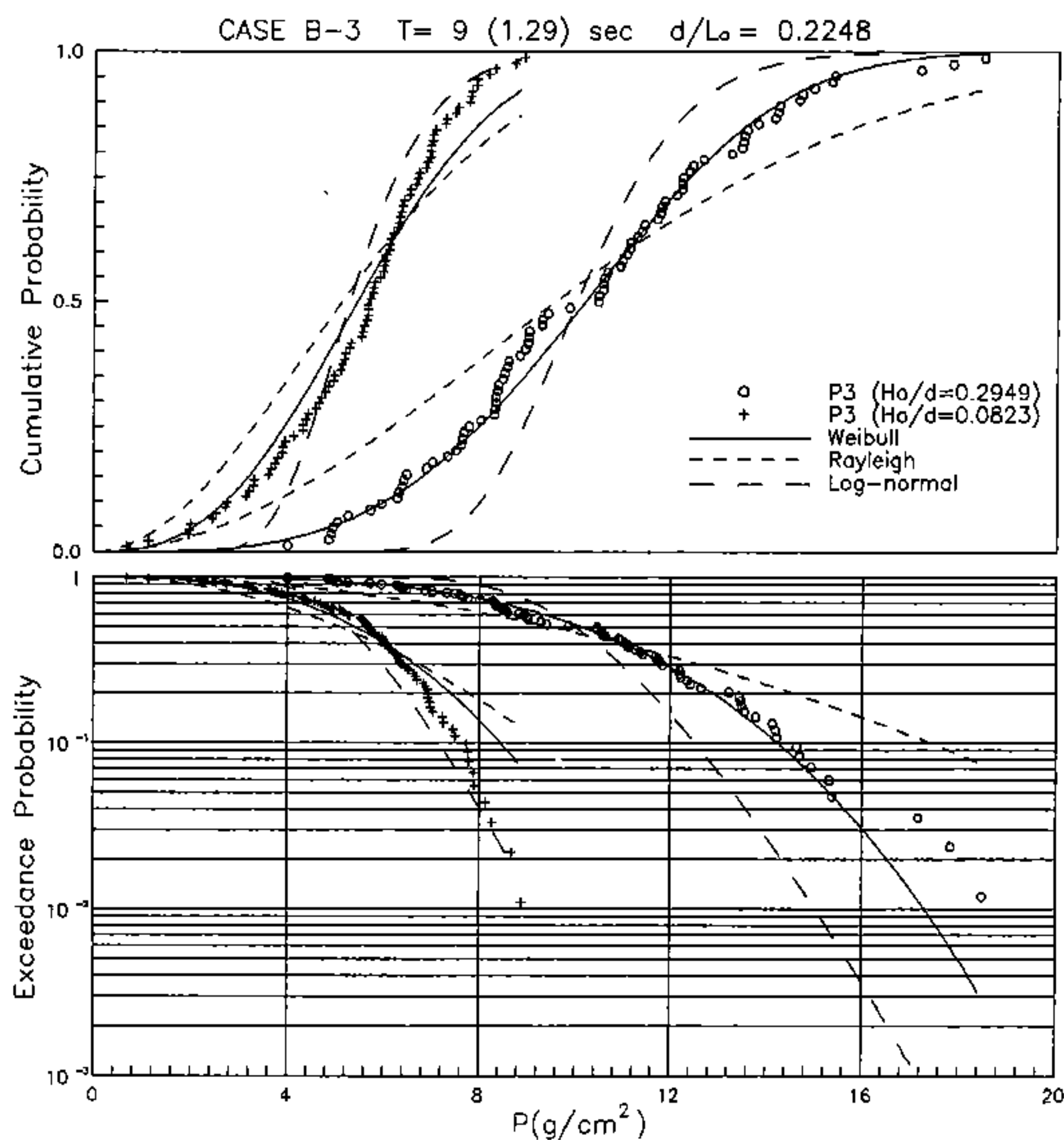


圖3-4-62 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE B-3)

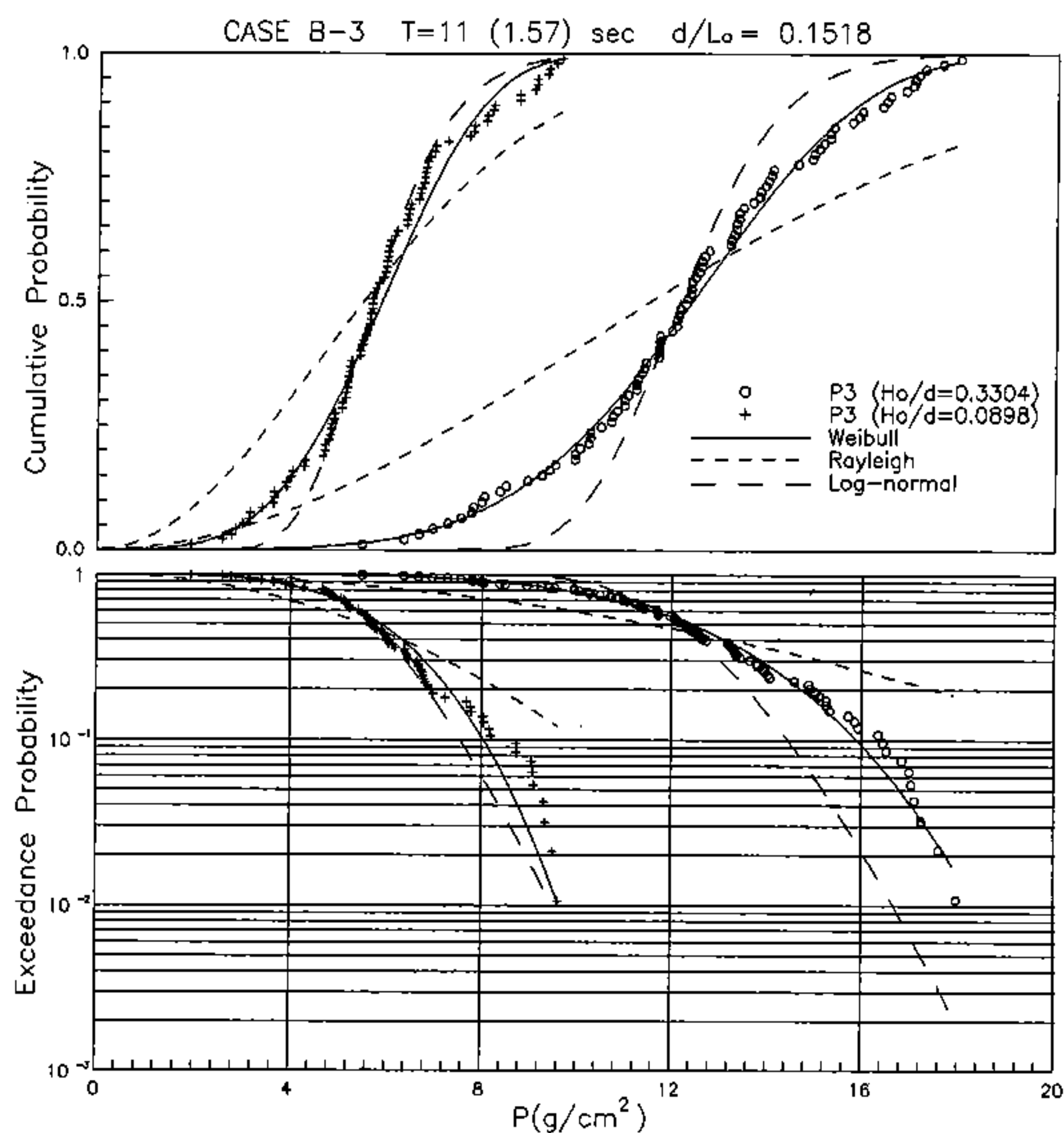


圖3-4-63 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE B-3)

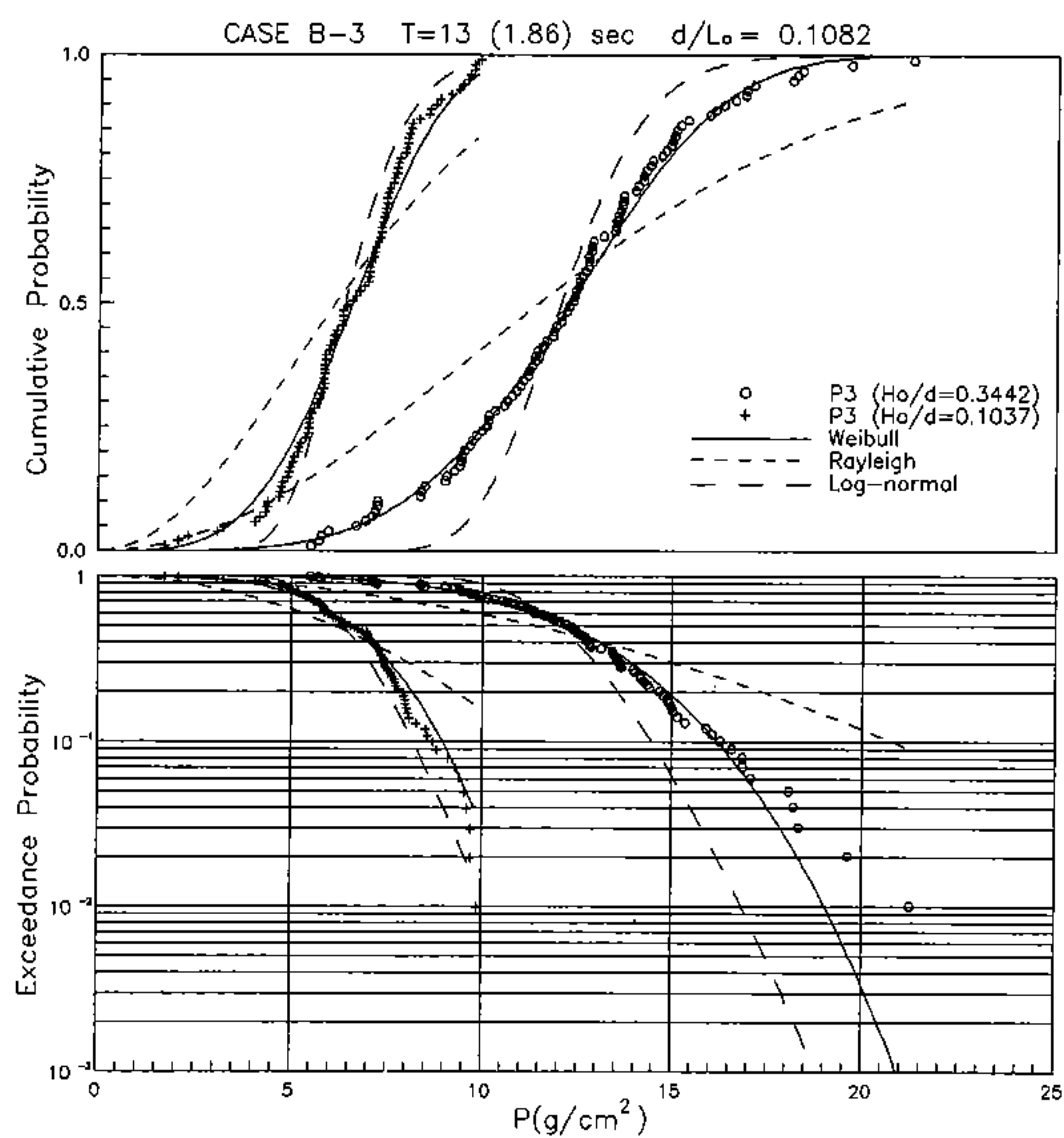


圖3-4-64 波壓之累積及超越機率分佈圖 (CASE B-3)

WAVE FORCE ON VERTICAL WALL

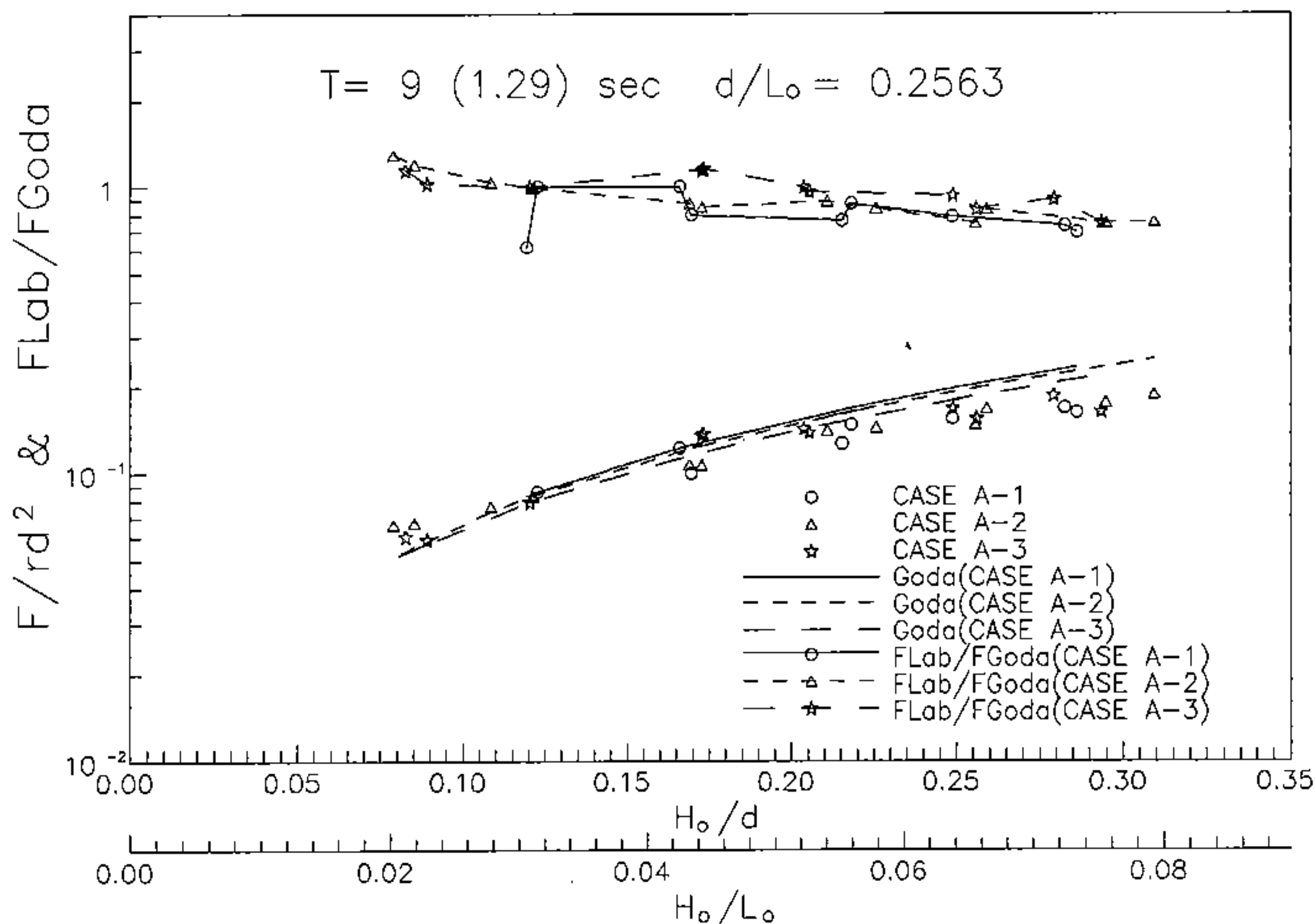


圖3-4-65A Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)

UP-LIFT FORCE ACTING ON THE BOTTOM

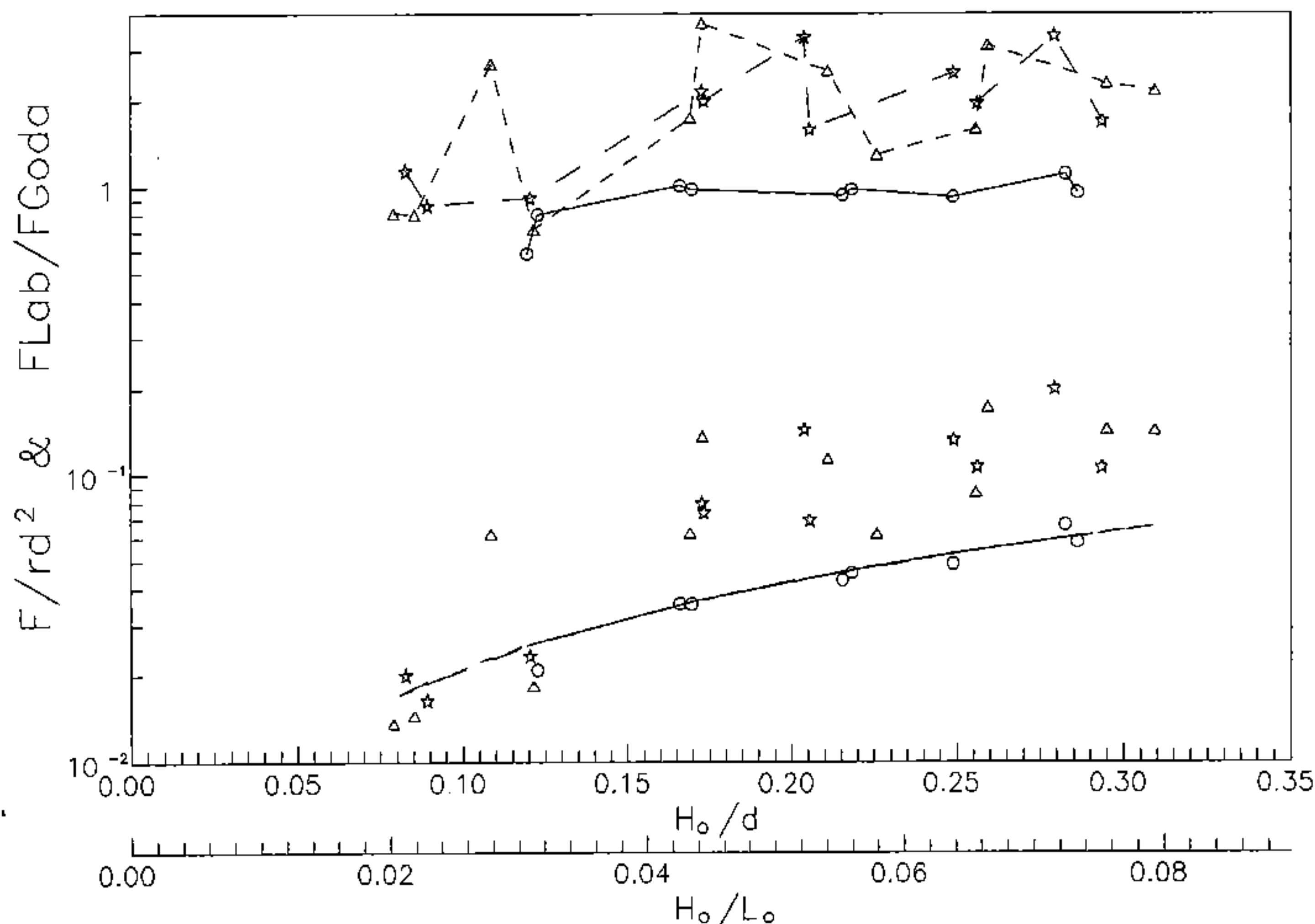


圖3-4-65B Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)

WAVE FORCE ON VERTICAL WALL

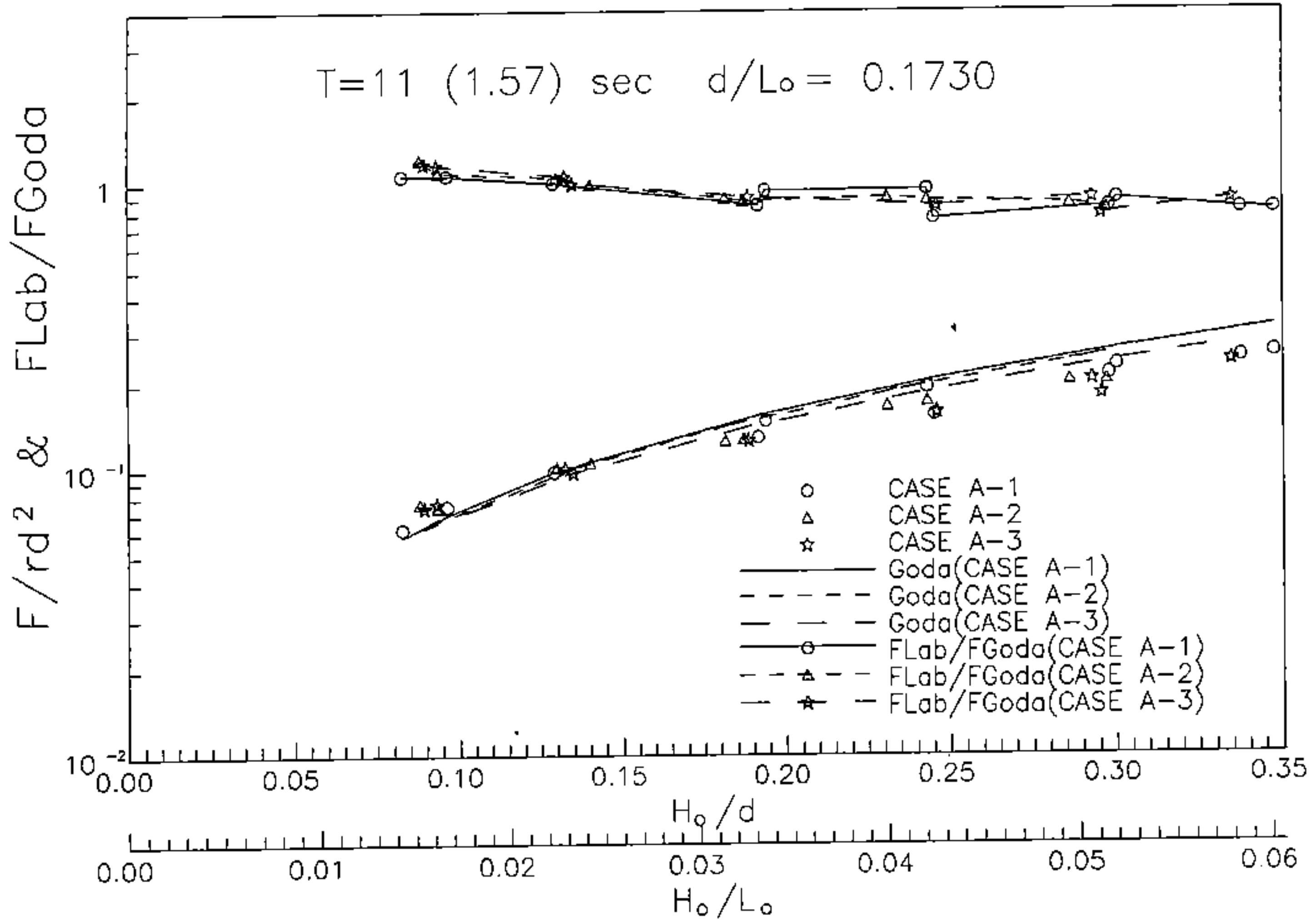


圖3-4-66A Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)

UP-LIFT FORCE ACTING ON THE BOTTOM

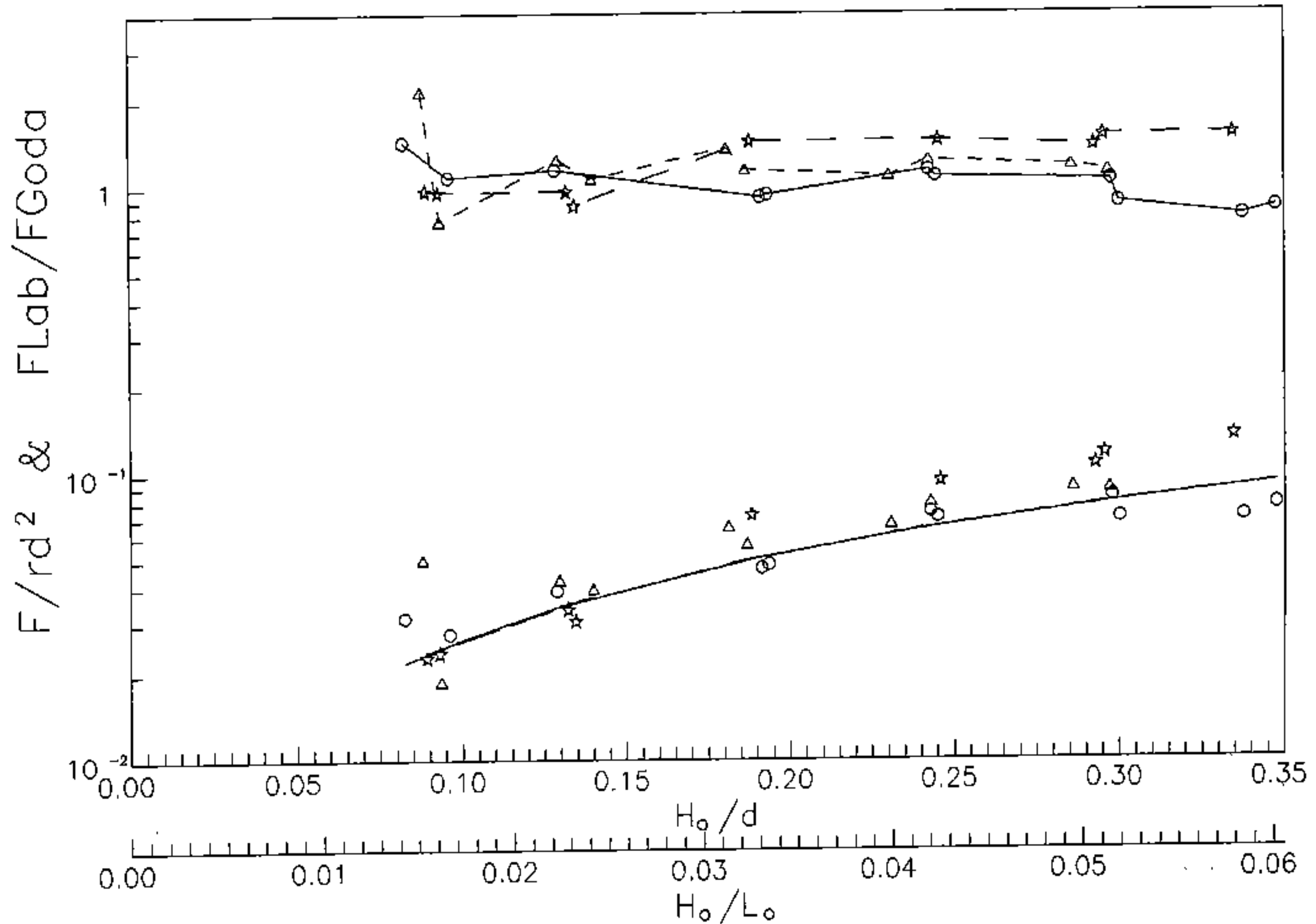


圖3-4-66B Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)

WAVE FORCE ON VERTICAL WALL

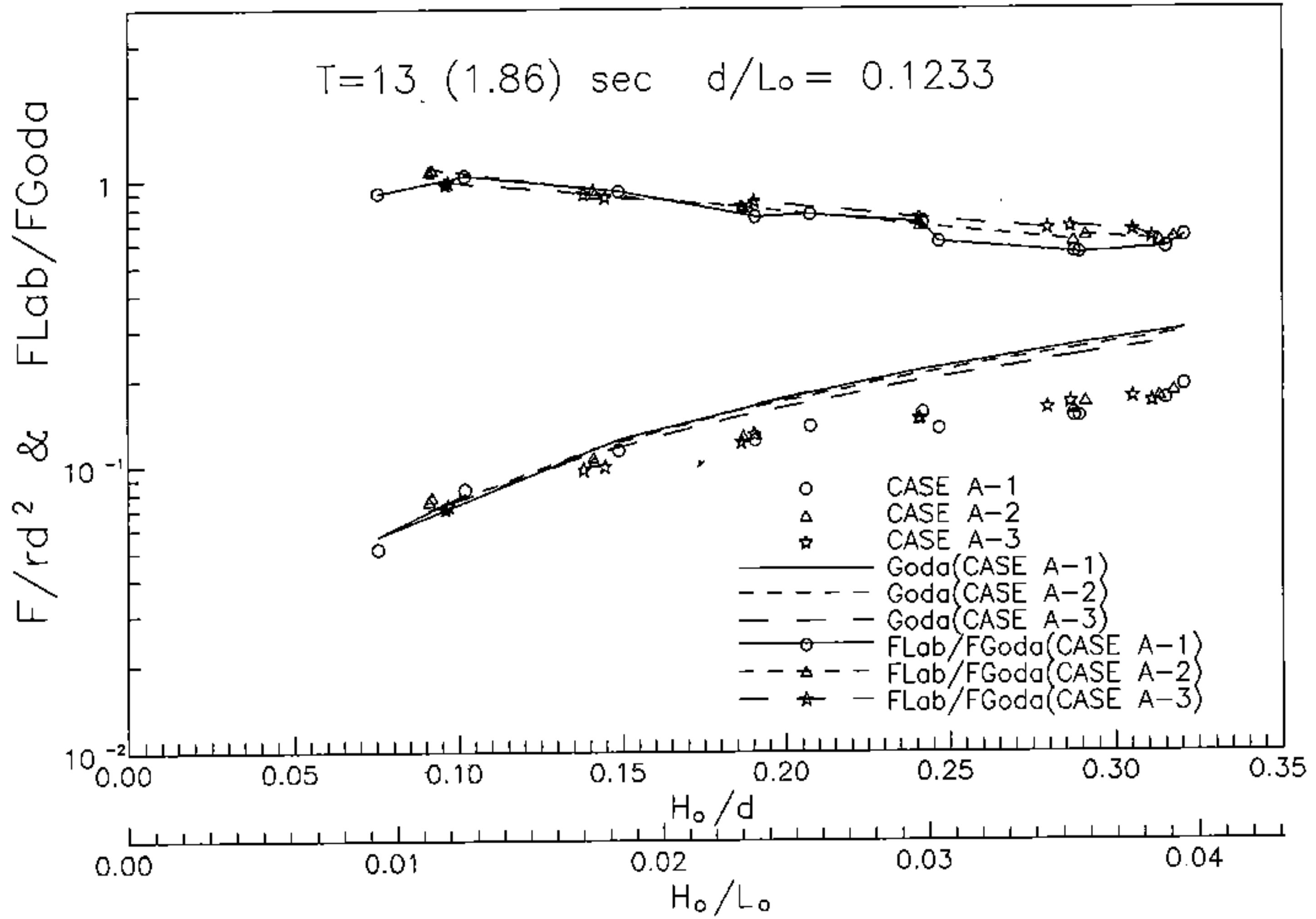


圖3-4-67A Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)

UP-LIFT FORCE ACTING ON THE BOTTOM

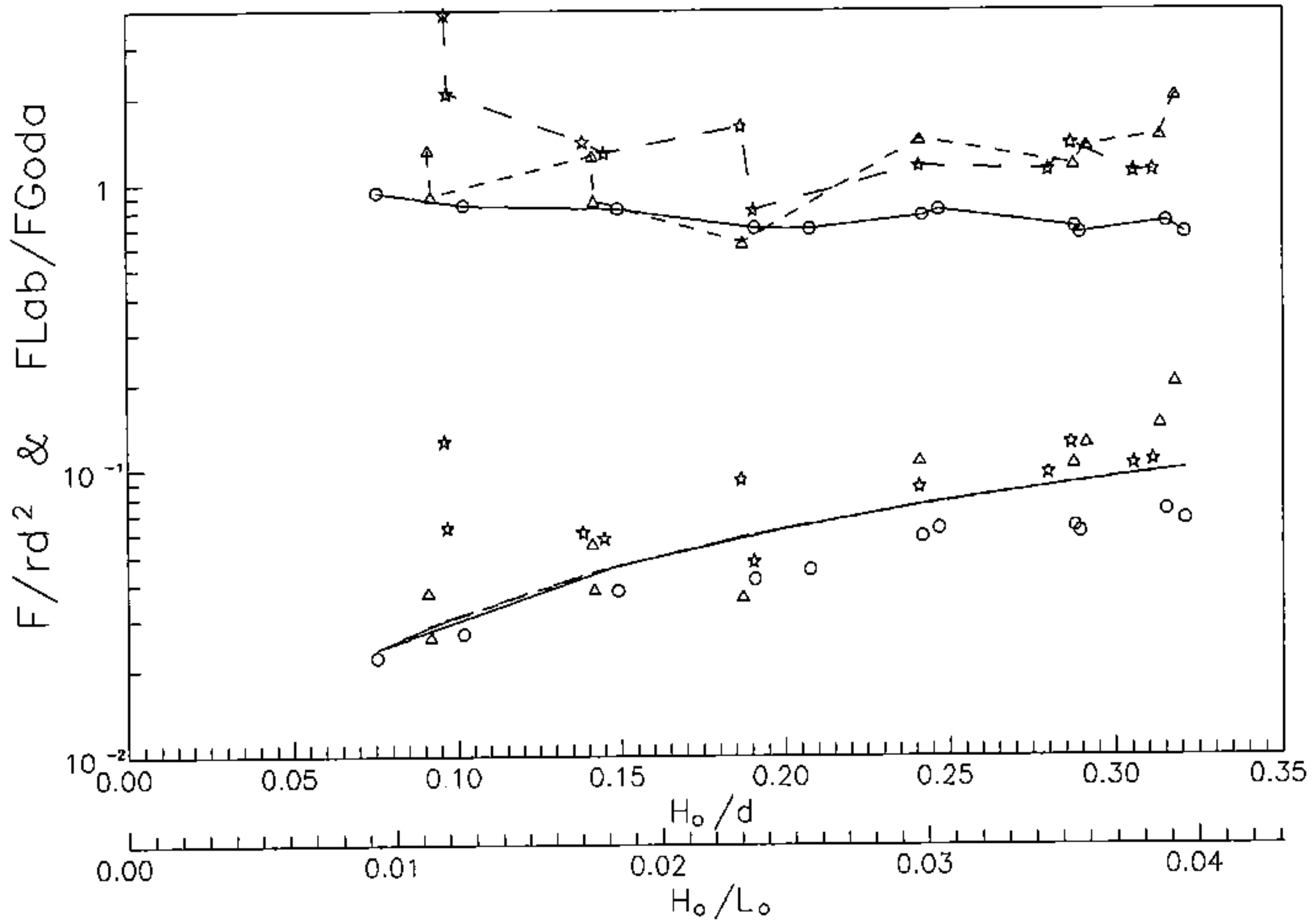


圖3-4-67B Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)

WAVE FORCE ON VERTICAL WALL

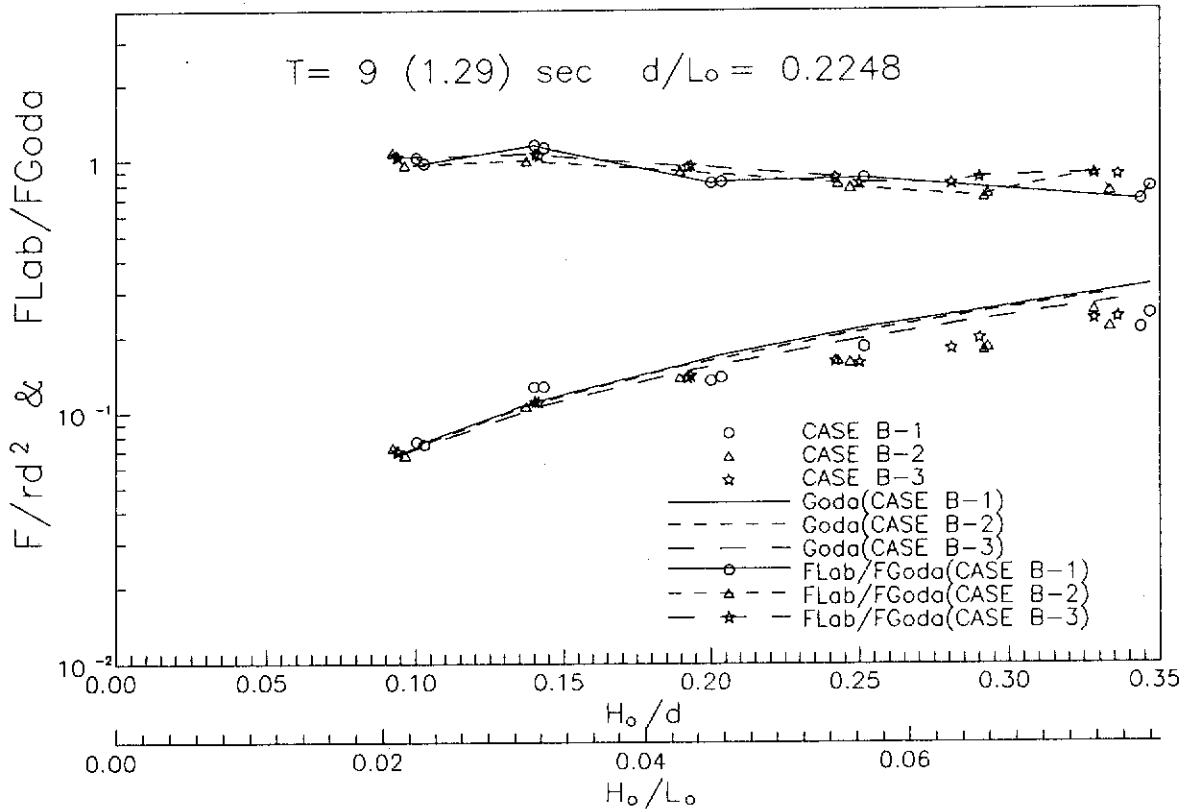


圖3-4-68A Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)

UP-LIFT FORCE ACTING ON THE BOTTOM

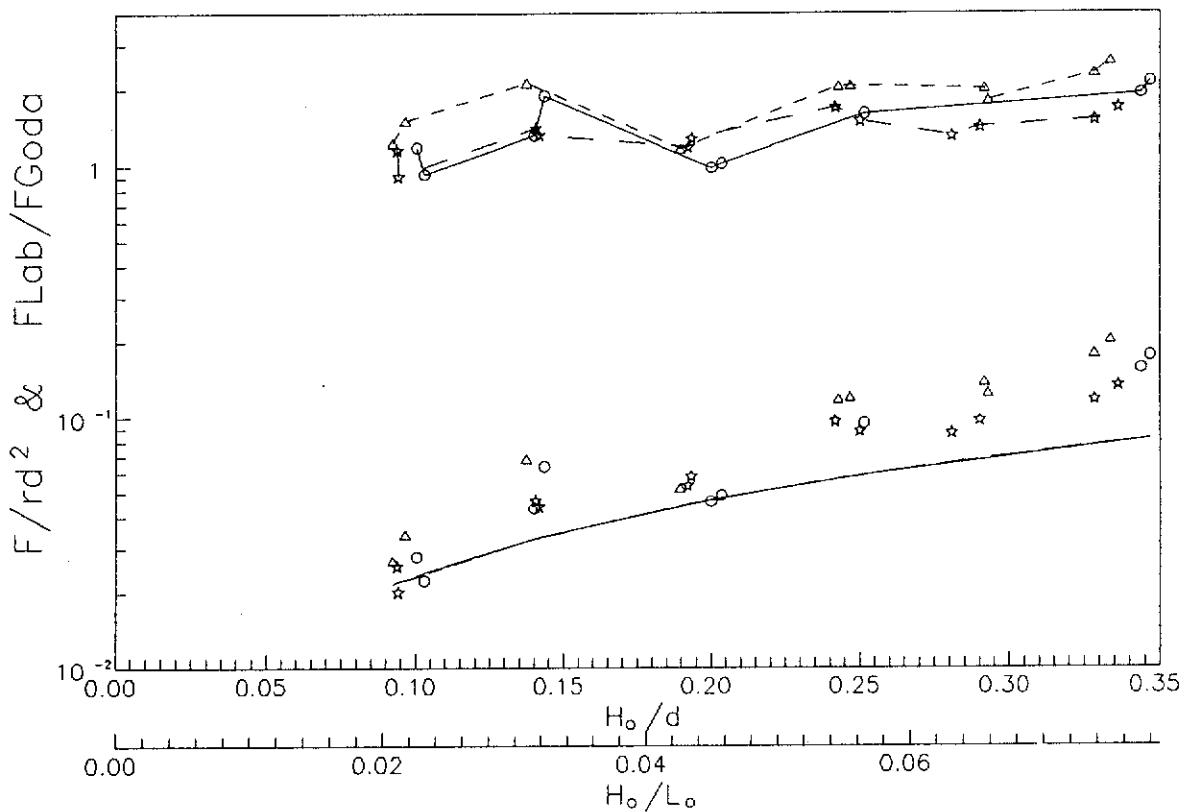


圖3-4-68B Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)

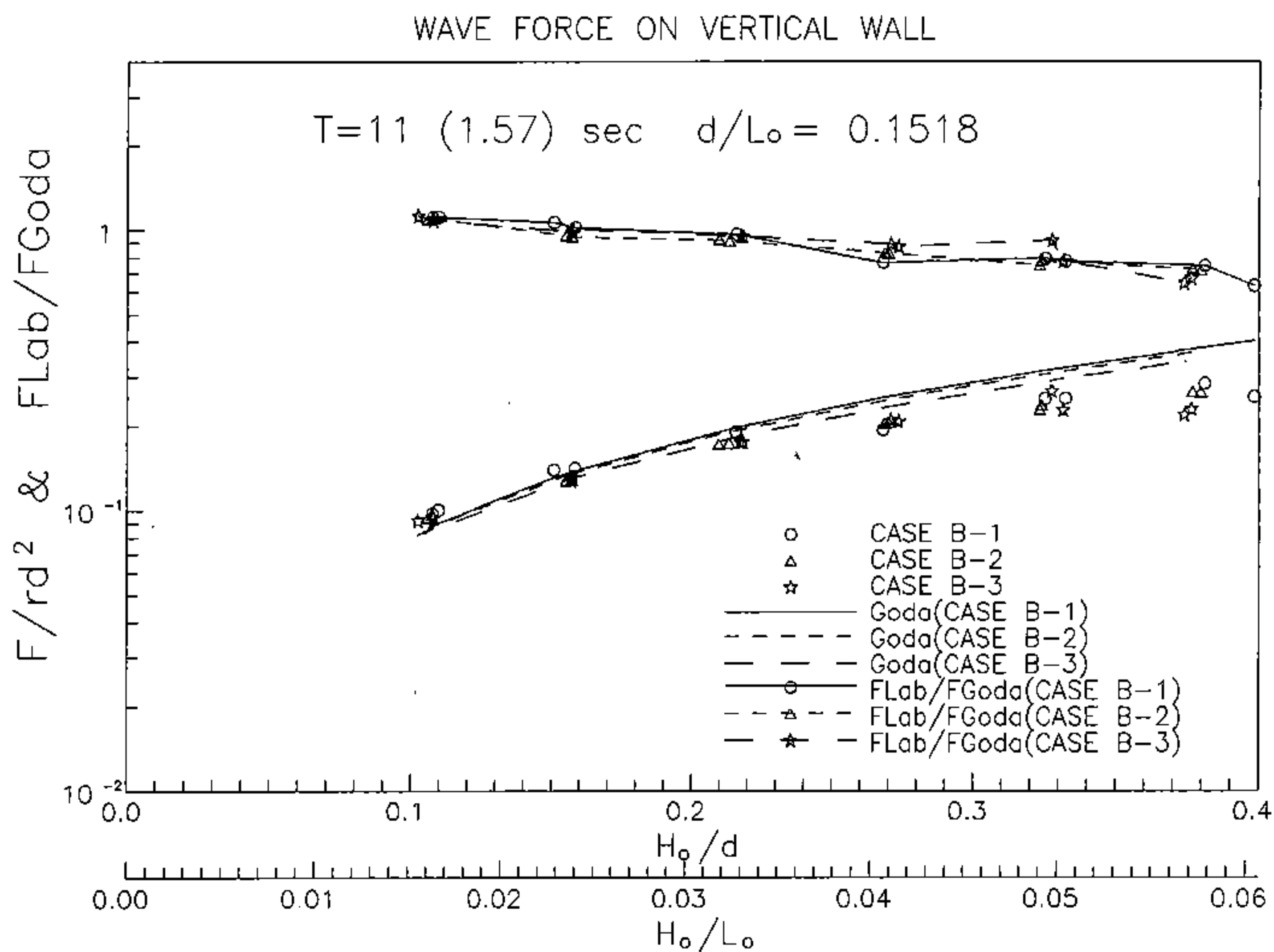


圖3-4-69A Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)

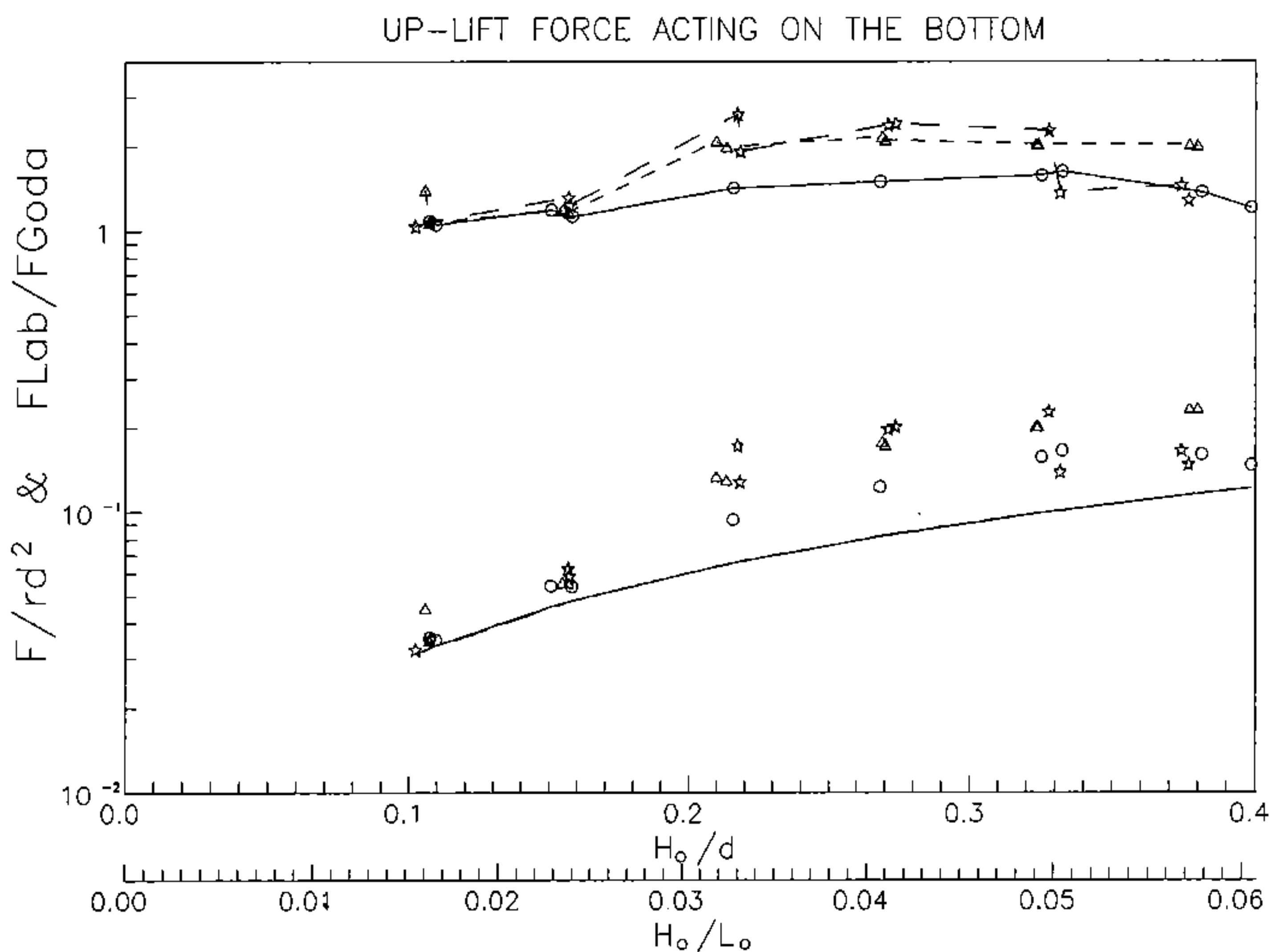


圖3-4-69B Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)

WAVE FORCE ON VERTICAL WALL

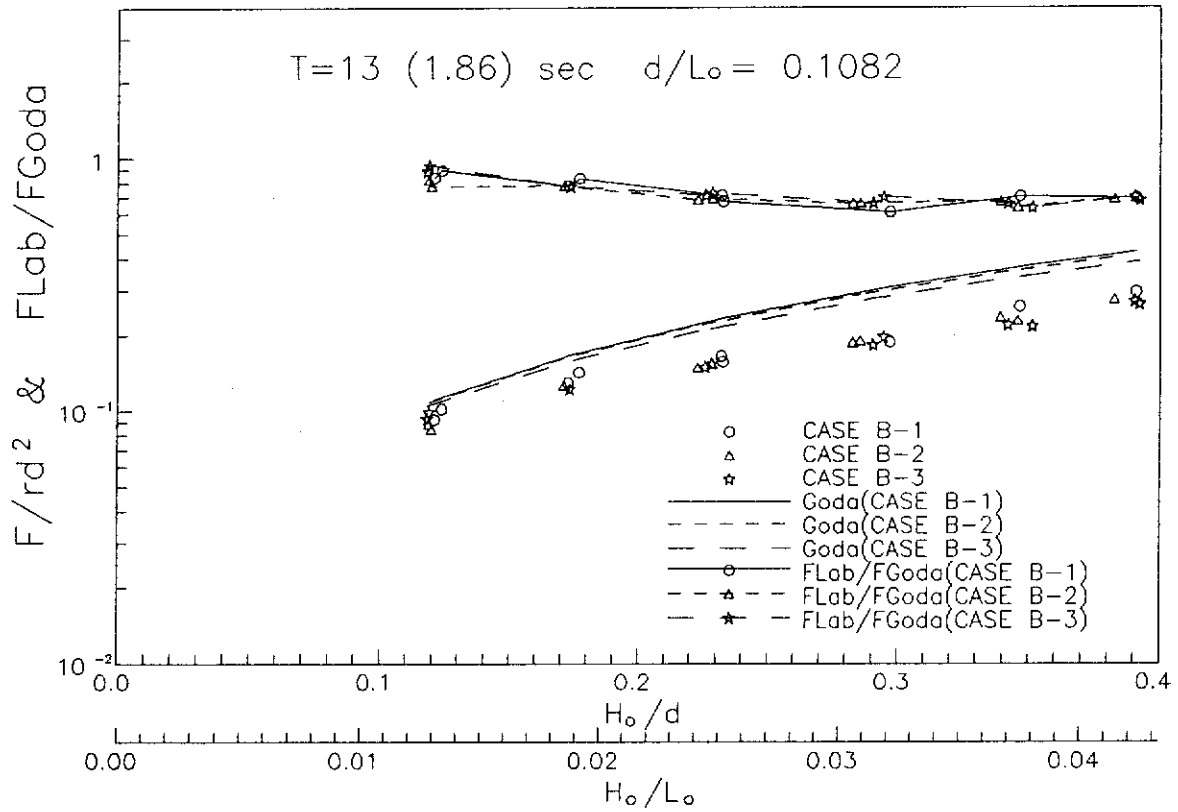


圖3-4-70A Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(波力)

UP-LIFT FORCE ACTING ON THE BOTTOM

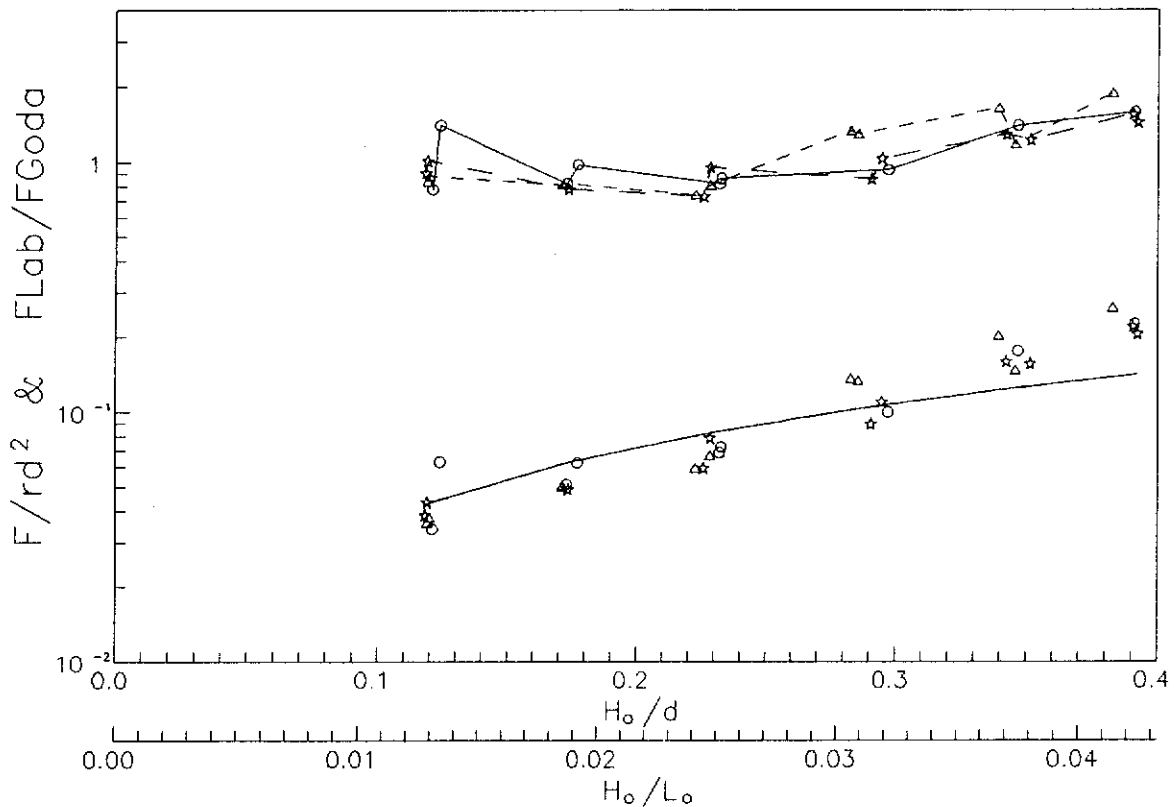


圖3-4-70B Goda波壓公式計算結果與試驗值之比較(上舉力)

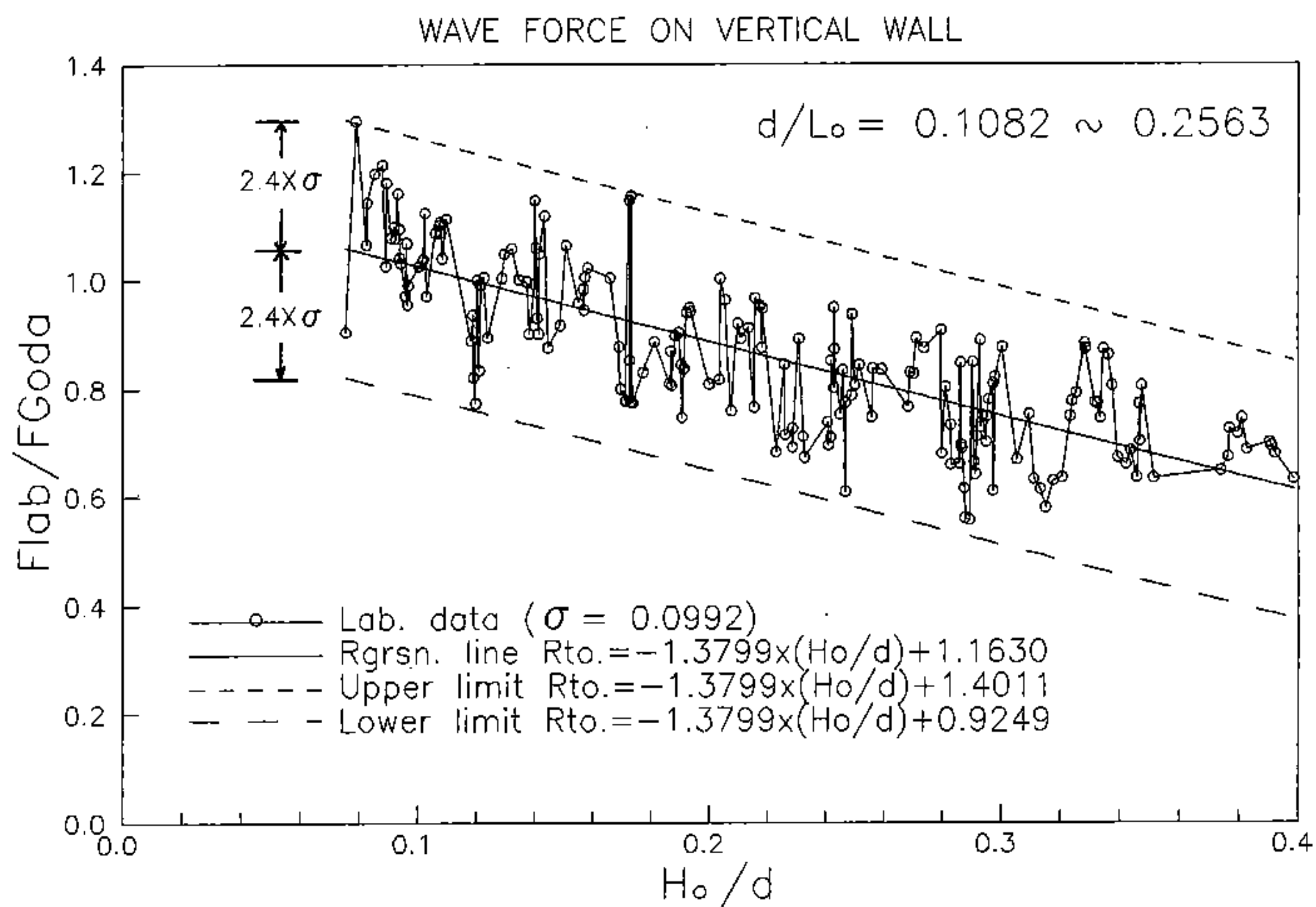


圖3-4-71A 試驗值與Goda波壓公式計算結果之比值曲線與 H_o/d 之關係圖

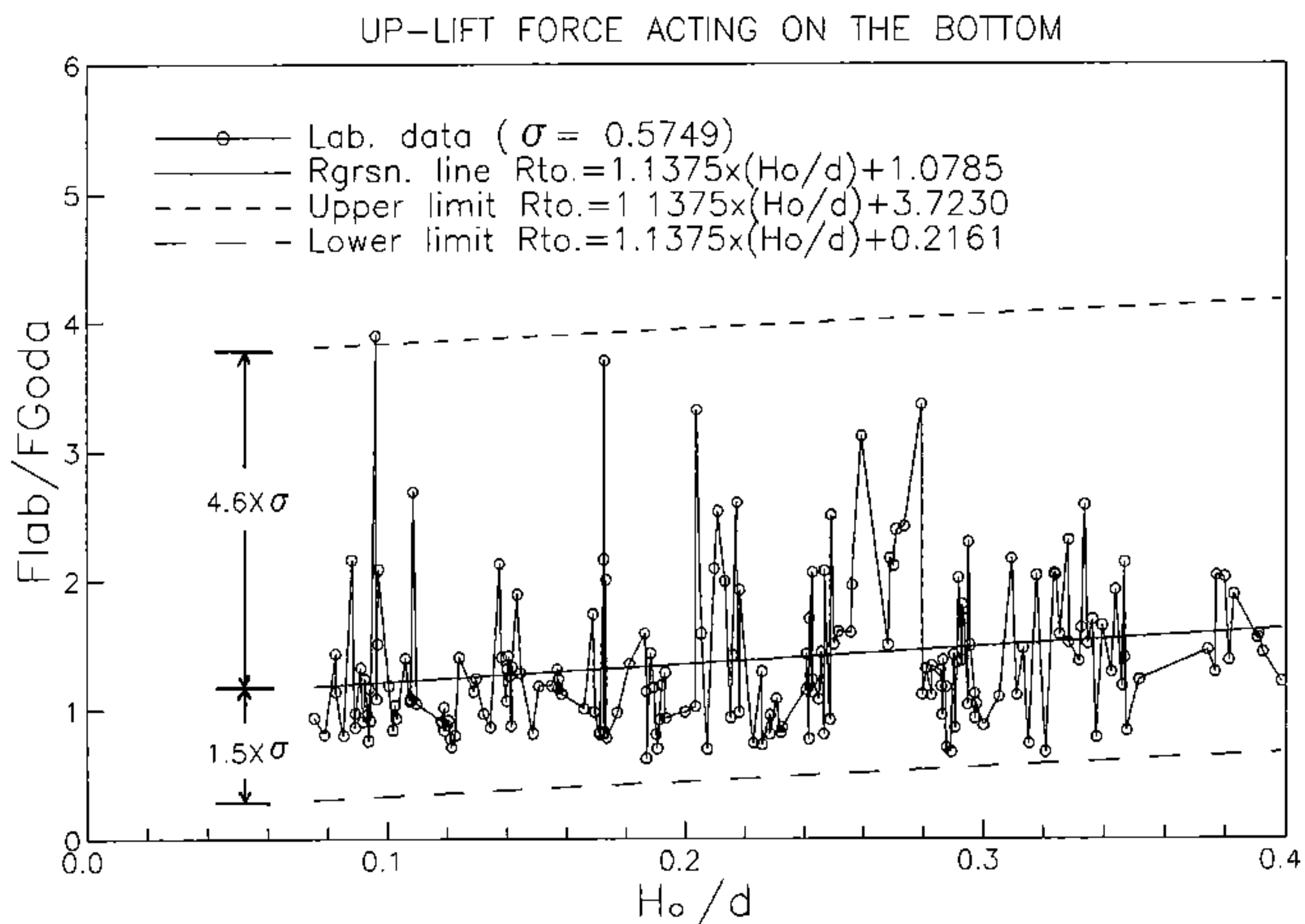


圖3-4-71B 試驗值與Goda波壓公式計算結果之比值曲線與 H_o/d 之關係圖

WAVE FORCE ON VERTICAL WALL

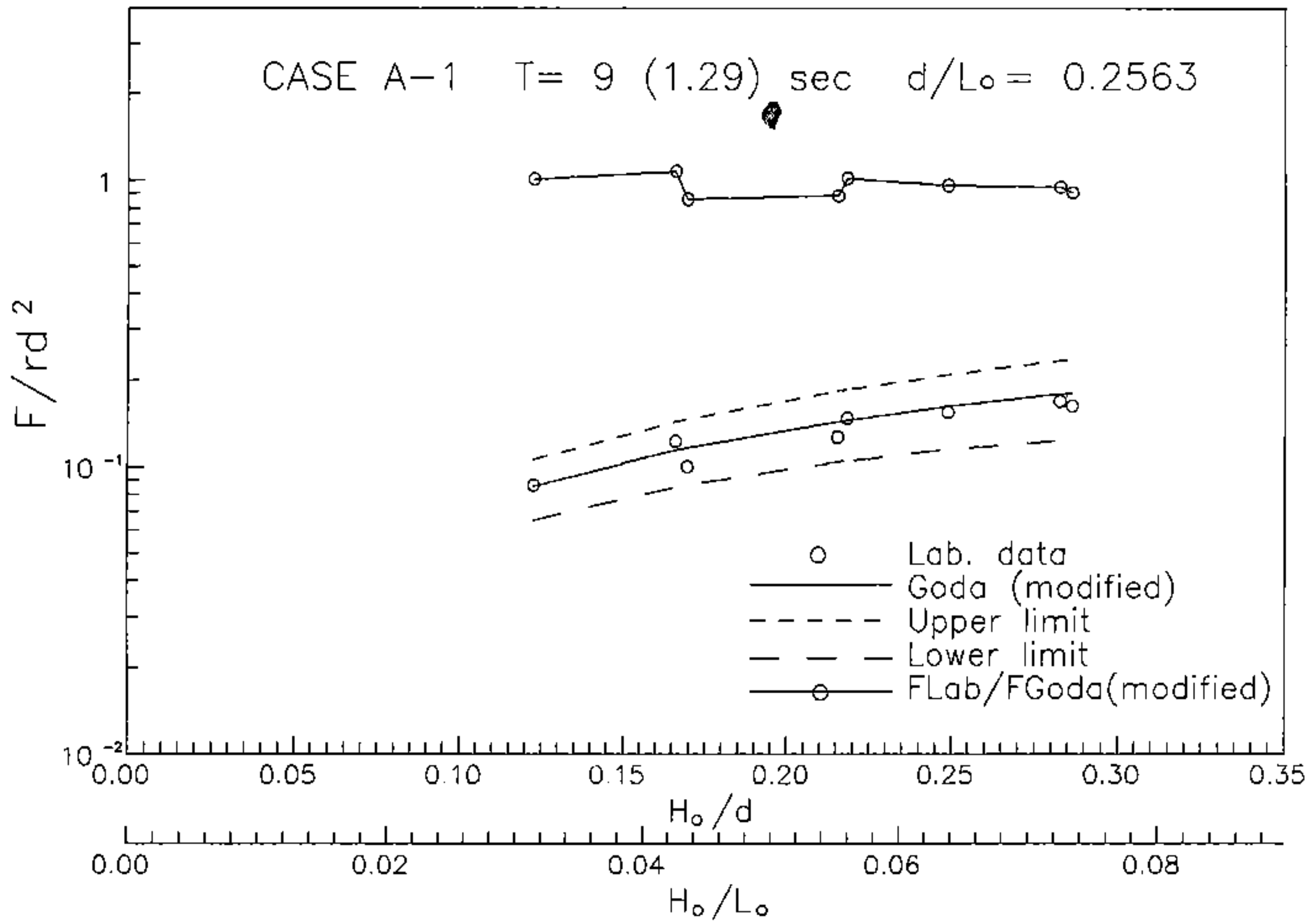


圖3-4-72A Goda波壓公式修正後之計算結果與試驗值之比較(波力)

UP-LIFT FORCE ACTING ON THE BOTTOM

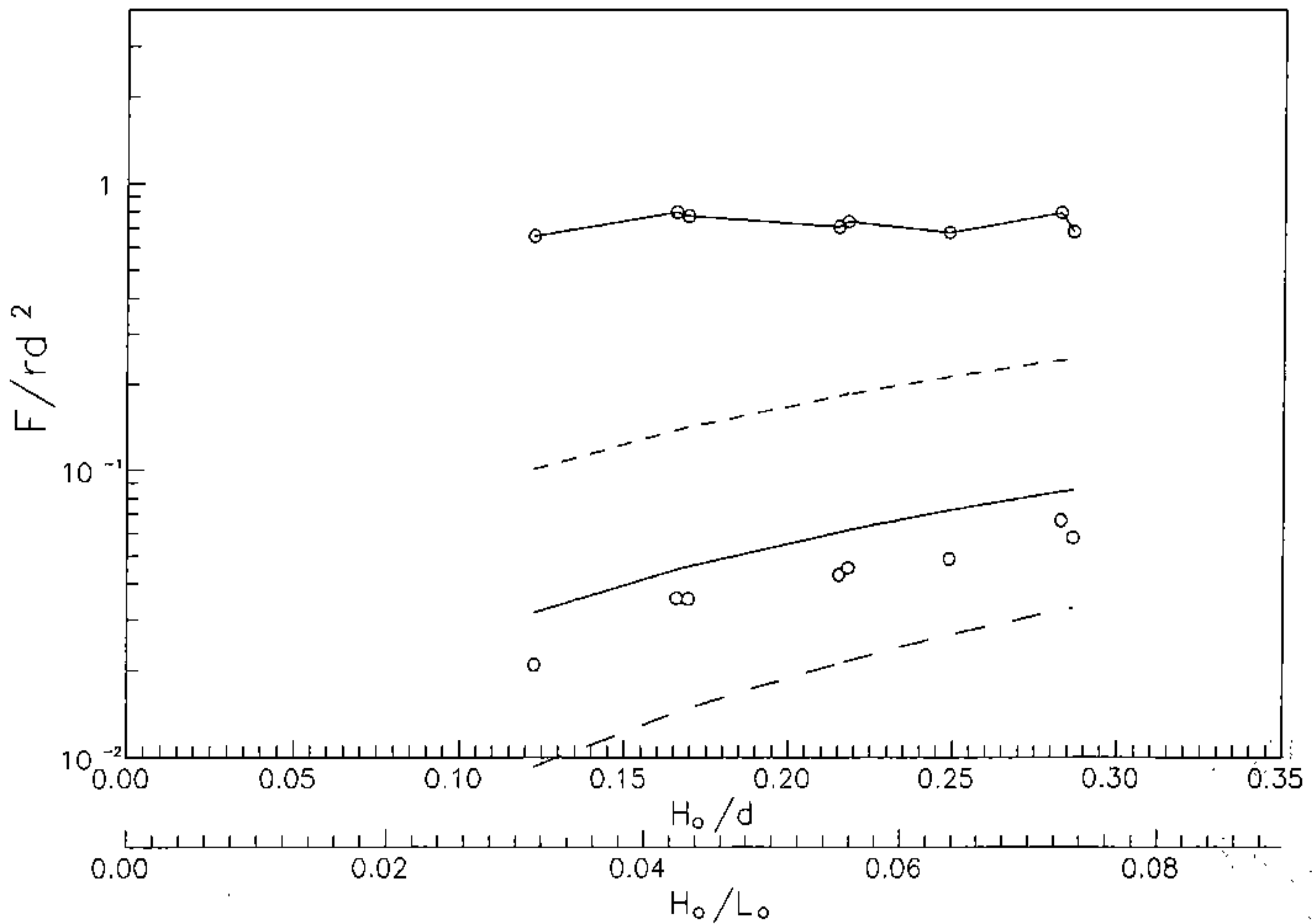


圖3-4-72B Goda波壓公式修正後之計算結果與試驗值之比較(上舉力)

WAVE FORCE ON VERTICAL WALL

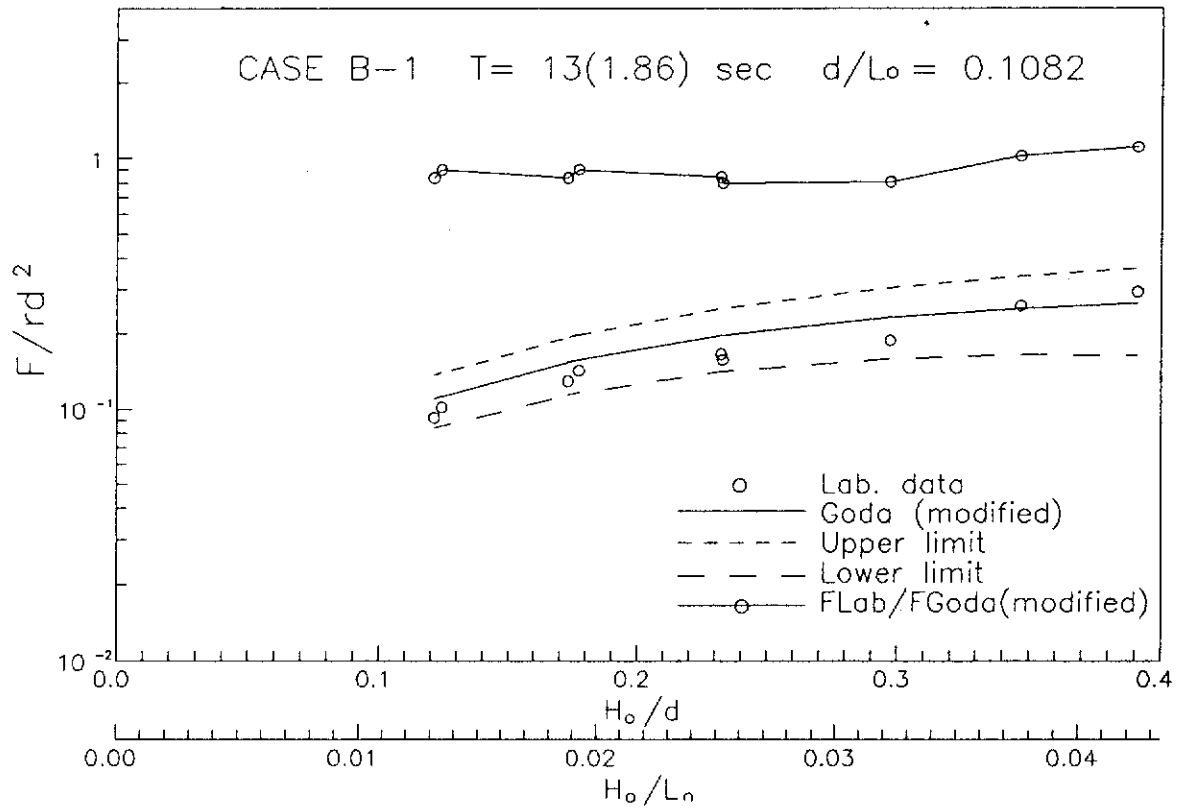


圖3-4-73A Goda波壓公式修正後之計算結果與試驗值之比較(波力)

UP-LIFT FORCE ACTING ON THE BOTTOM

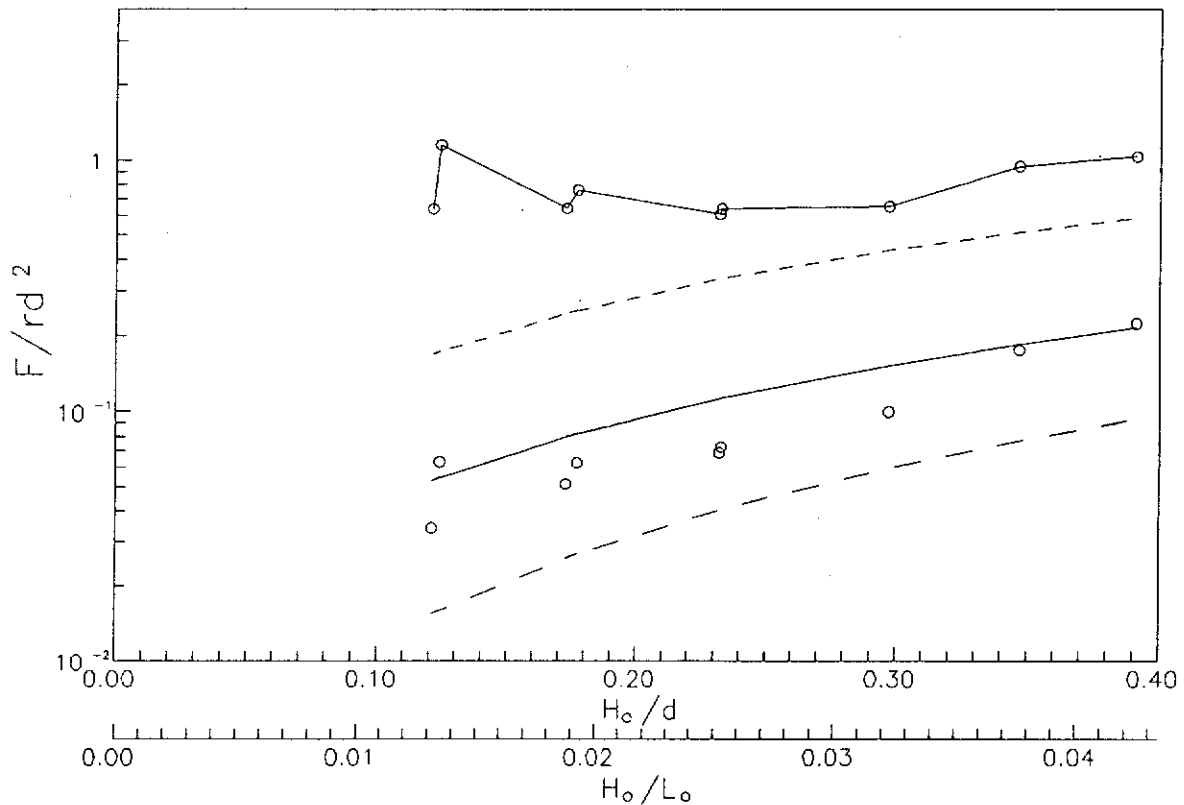


圖3-4-73B Goda波壓公式修正後之計算結果與試驗值之比較(上舉力)

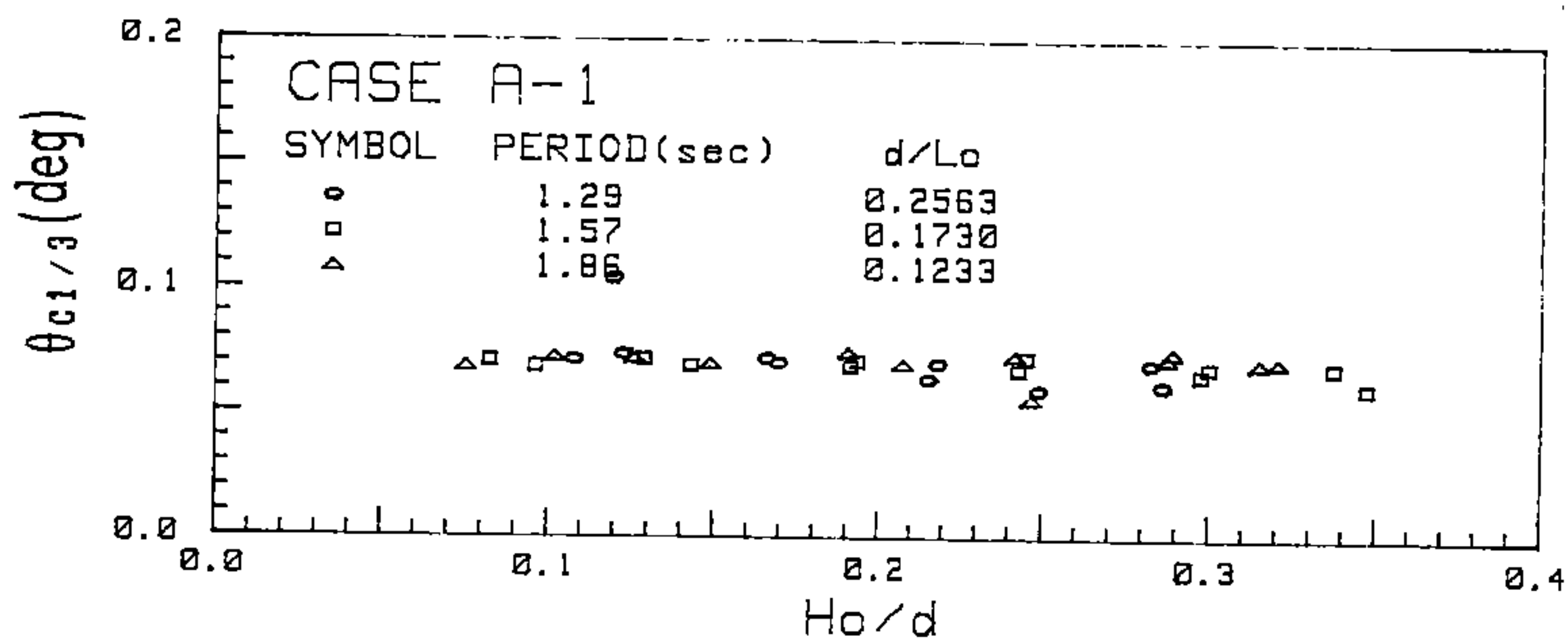


圖3-4-74 混成堤之晃動角度 (CASE A-1)

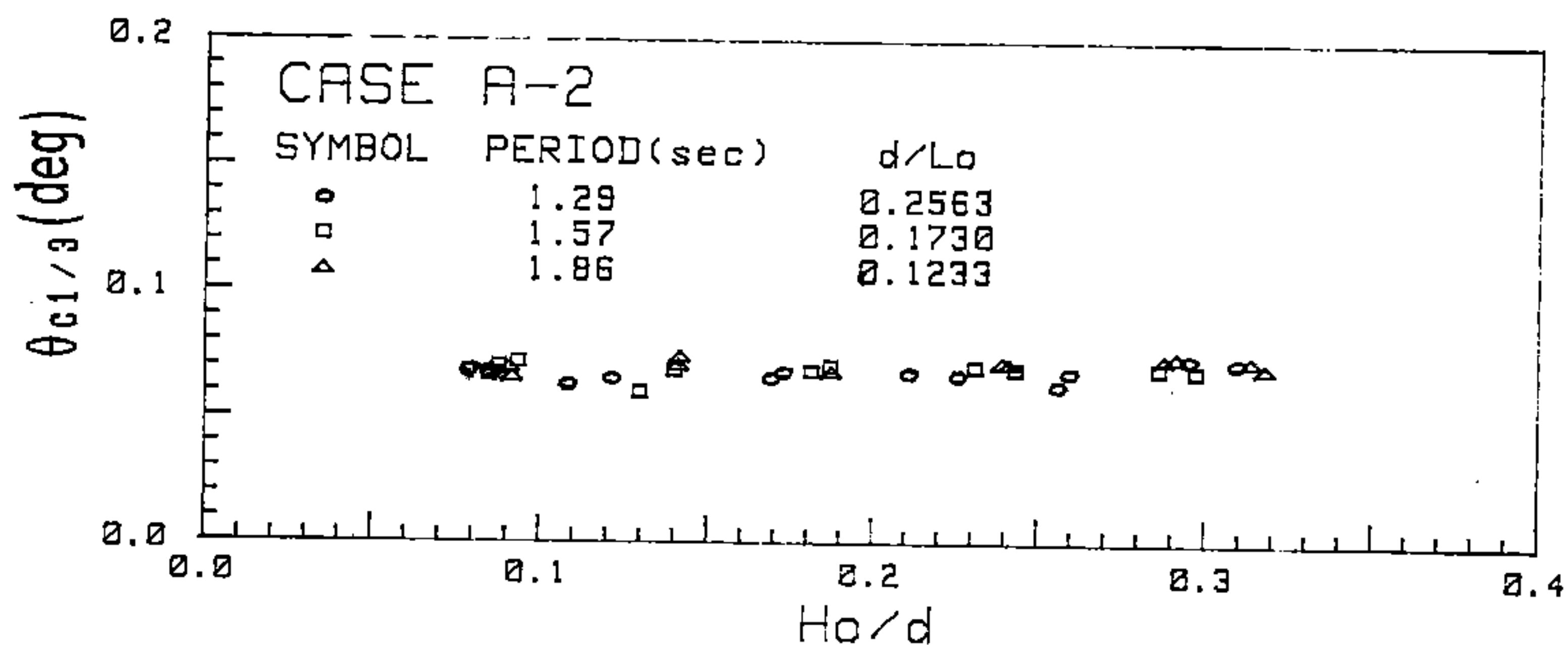


圖3-4-75 混成堤之晃動角度 (CASE A-2)

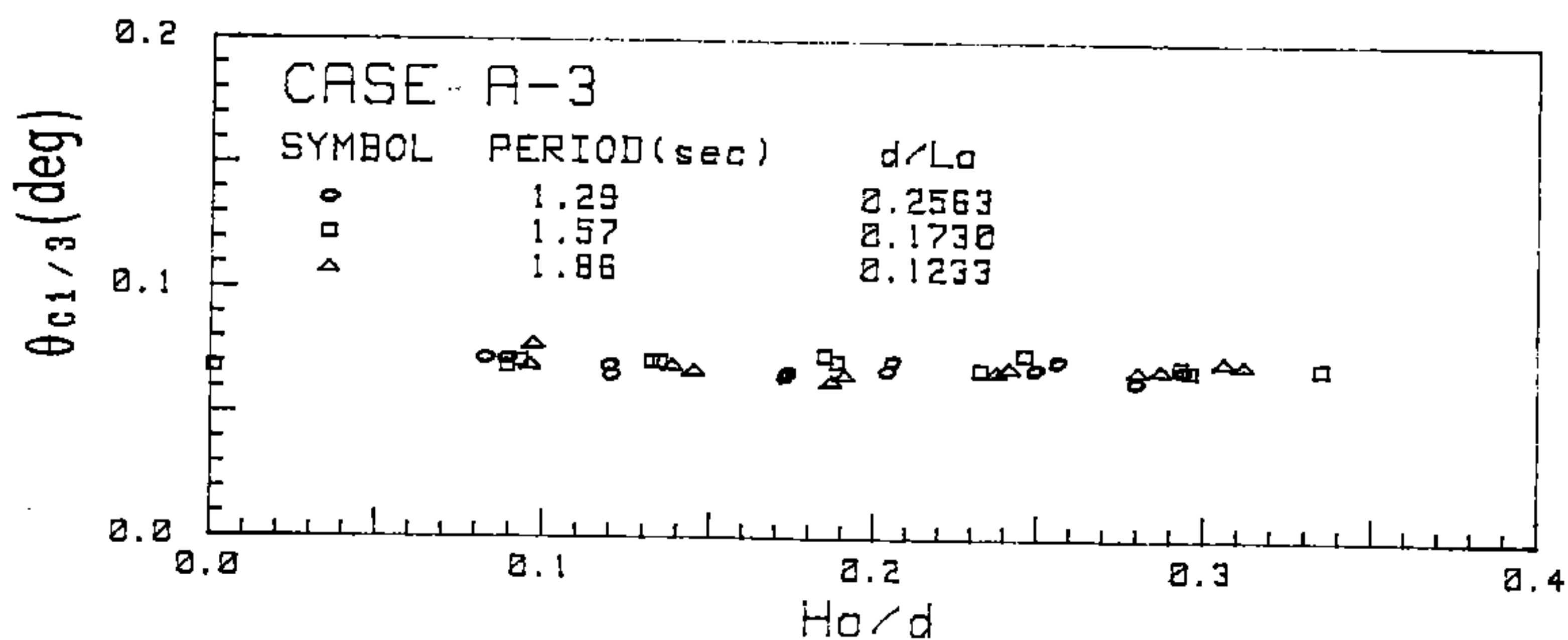


圖3-4-76 混成堤之晃動角度 (CASE A-3)

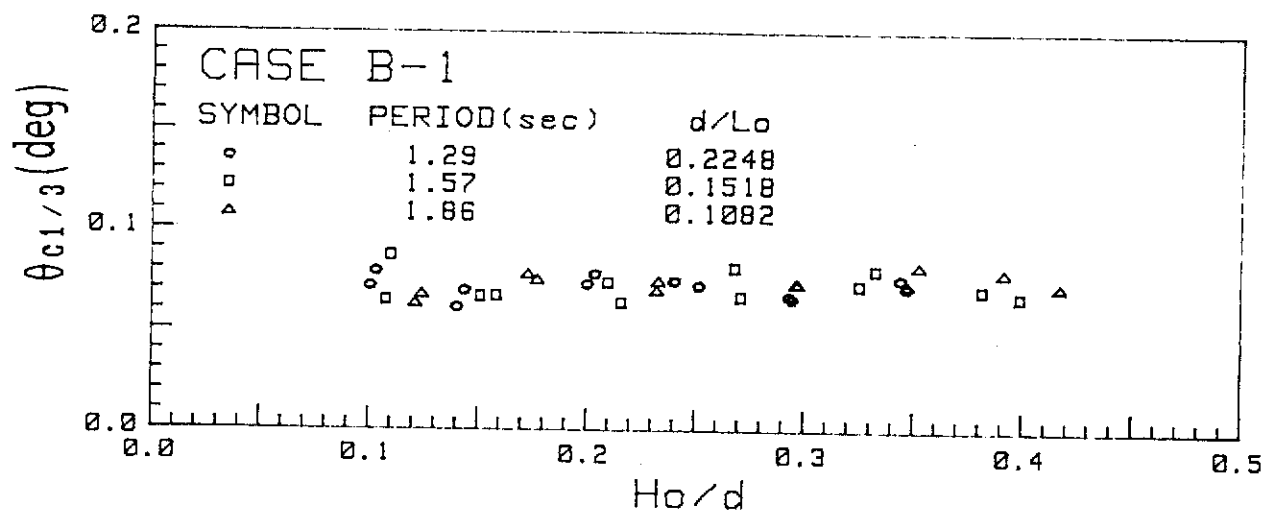


圖3-4-77 混成堤之晃動角度 (CASE B-1)

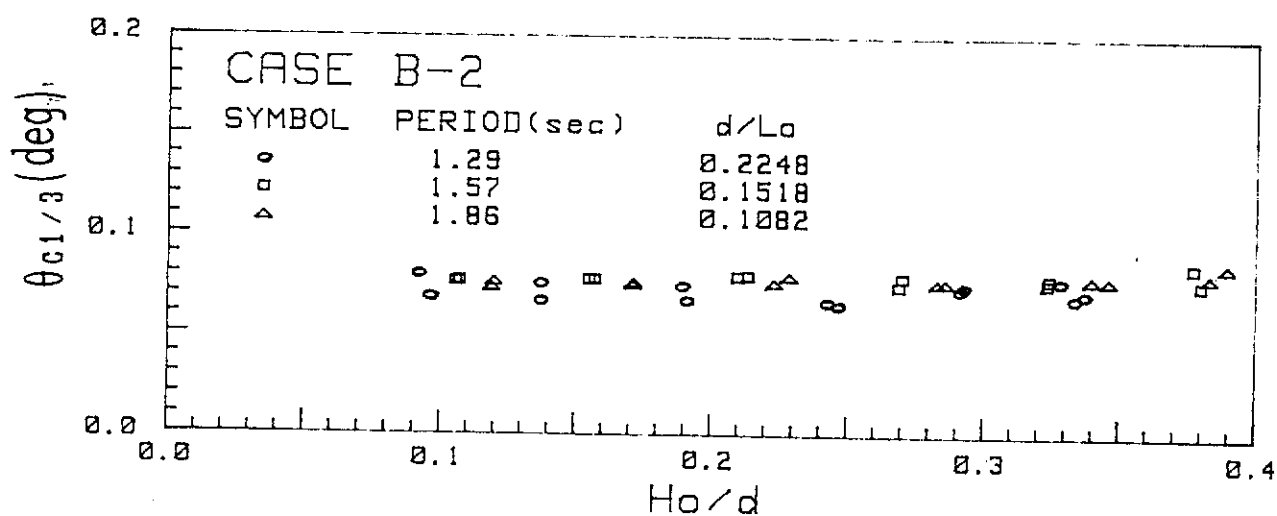


圖3-4-78 混成堤之晃動角度 (CASE B-2)

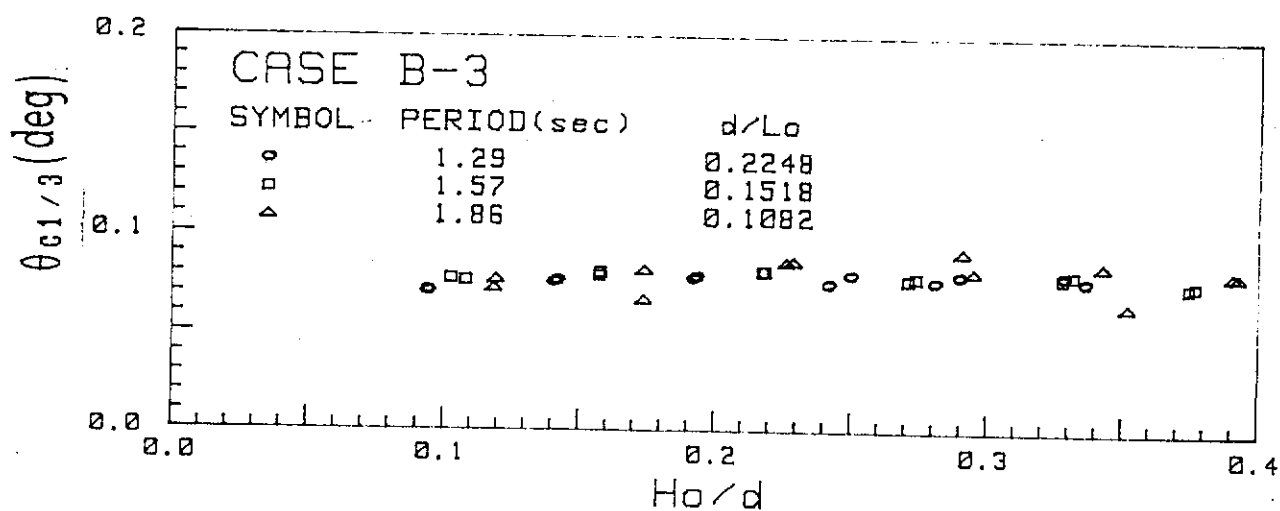


圖3-4-79 混成堤之晃動角度 (CASE B-3)

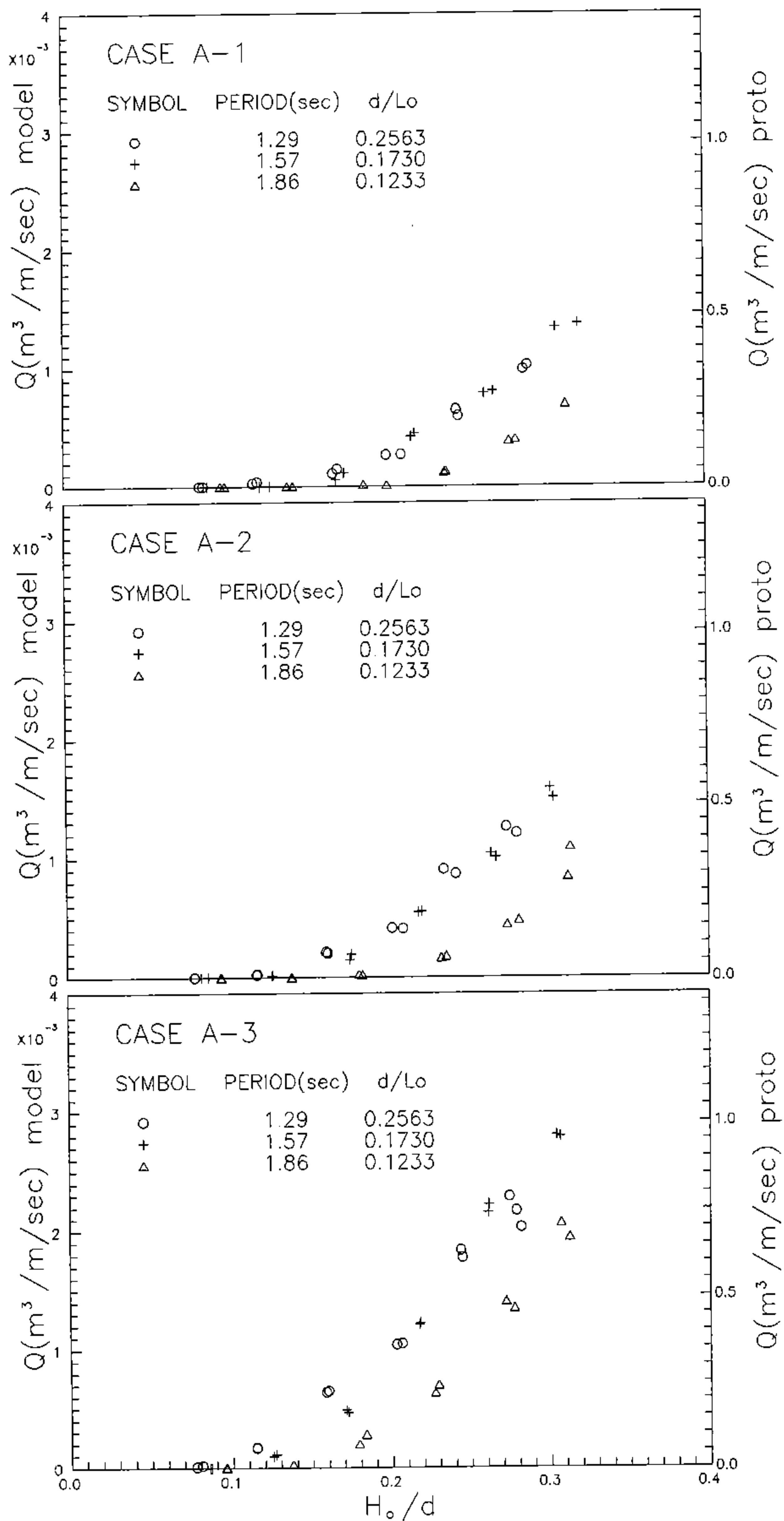


圖3-4-80 相同試次不同週期之越波量與 H_0/d 之關係圖 (CASE A)

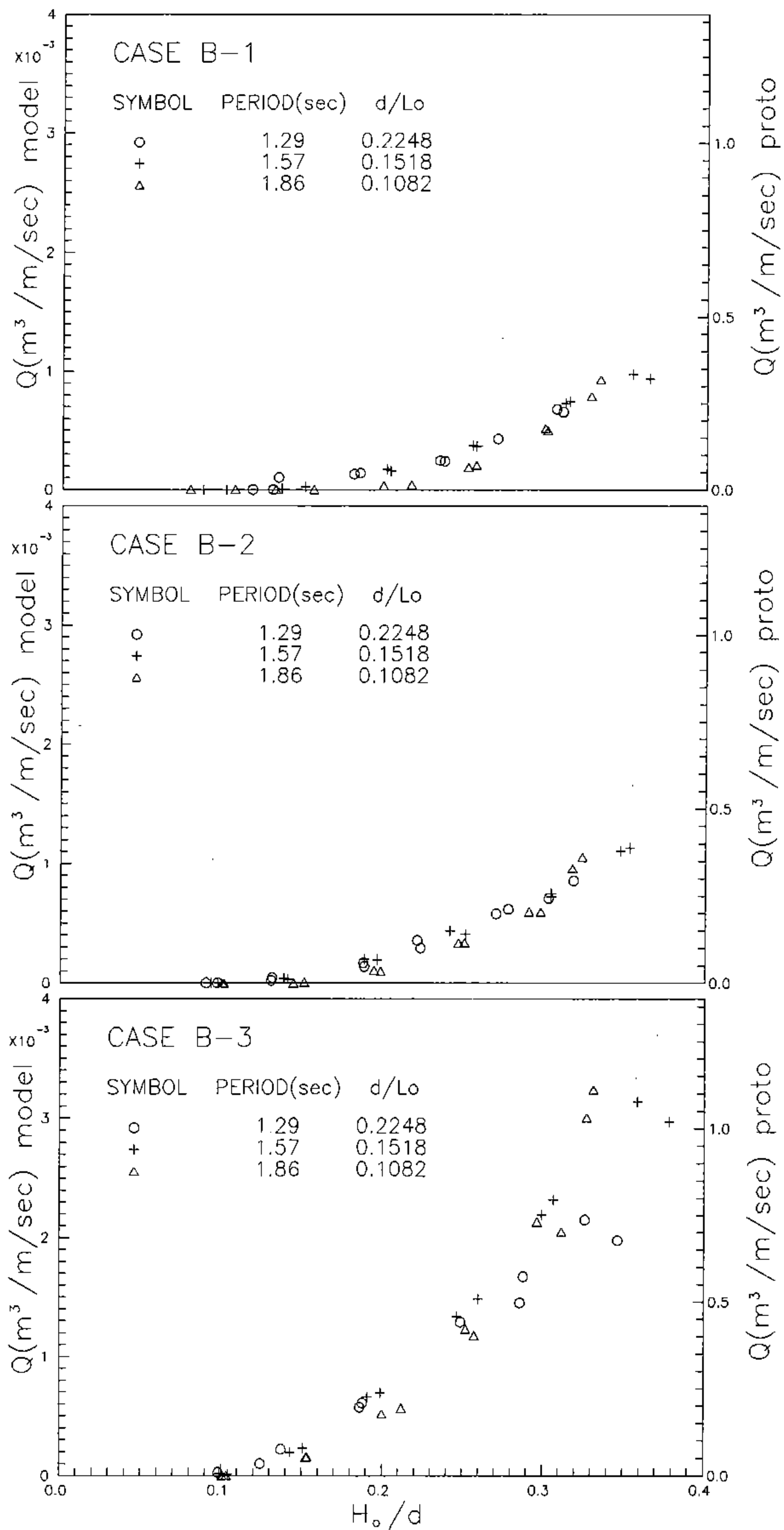


圖3-4-81 相同試次不同週期之越波量與 H_o/d 之關係圖 (CASE B)

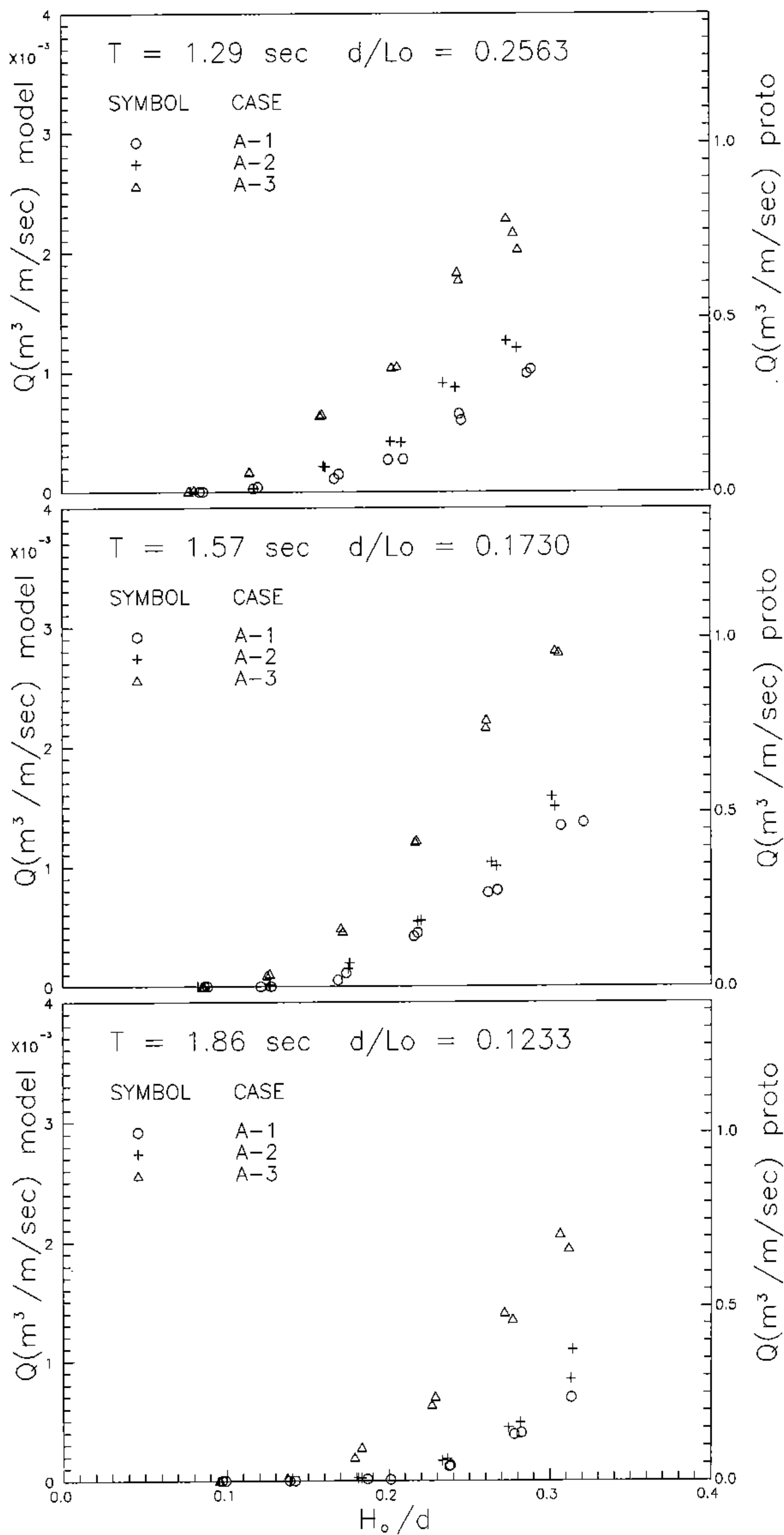


圖3-4-82 相同週期不同試次之越波量與 H_o/d 之關係圖 (CASE A)

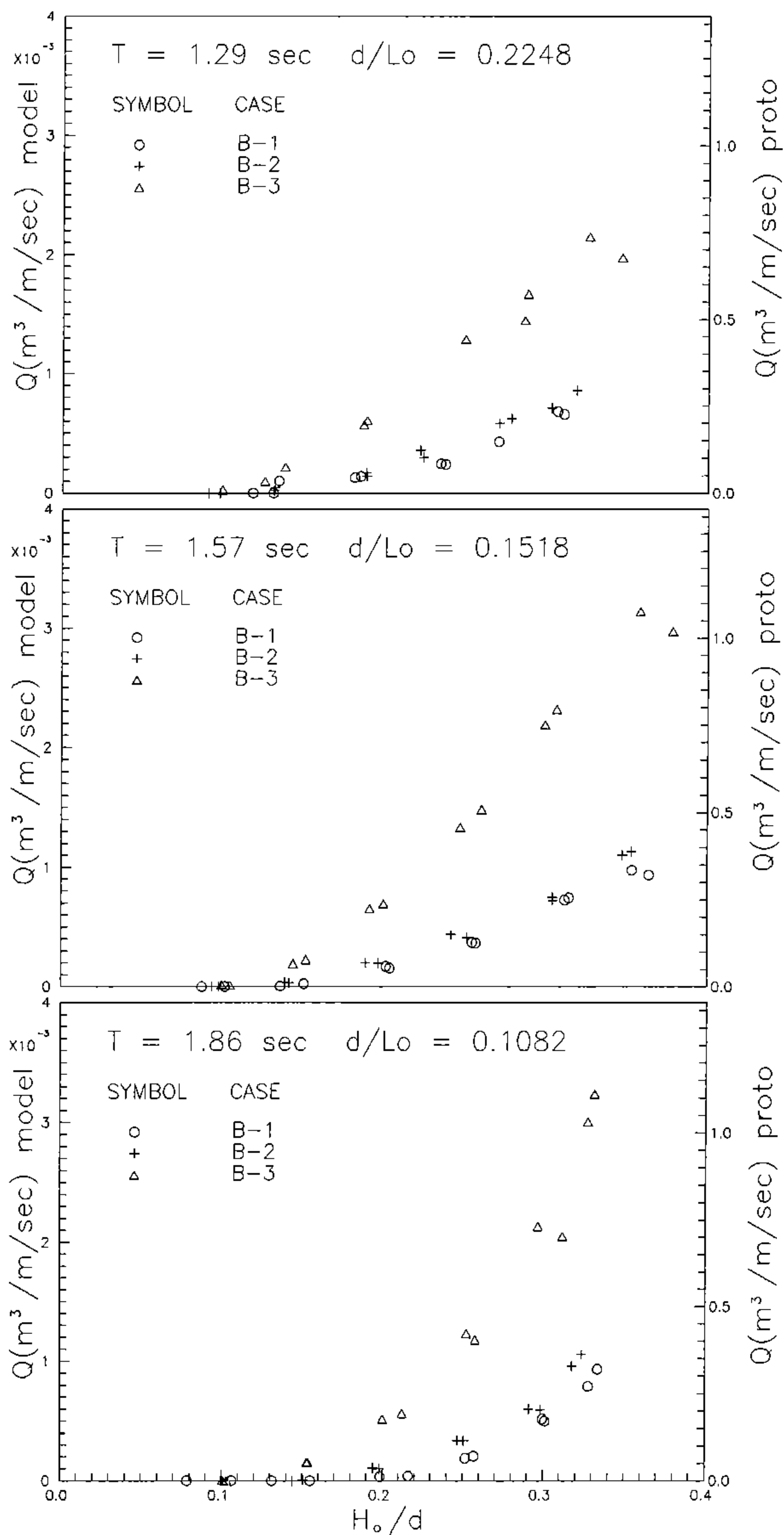


圖3-4-83 相同週期不同試次之越波量與 H_0/d 之關係圖 (CASE B)

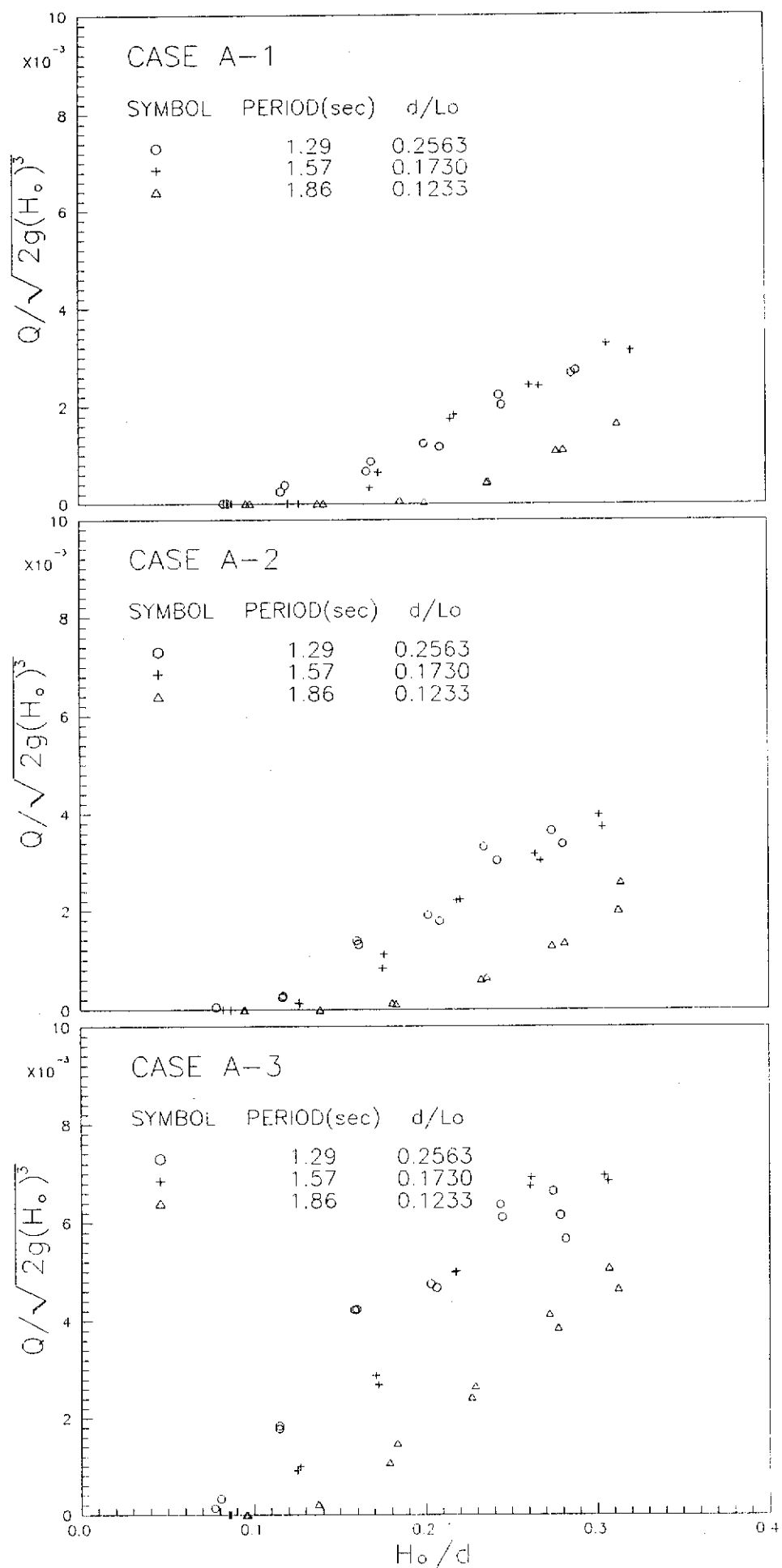


圖3-4-84 相同試次同週期之無因次越波量與 H_0/d 之關係圖 (CASE A)

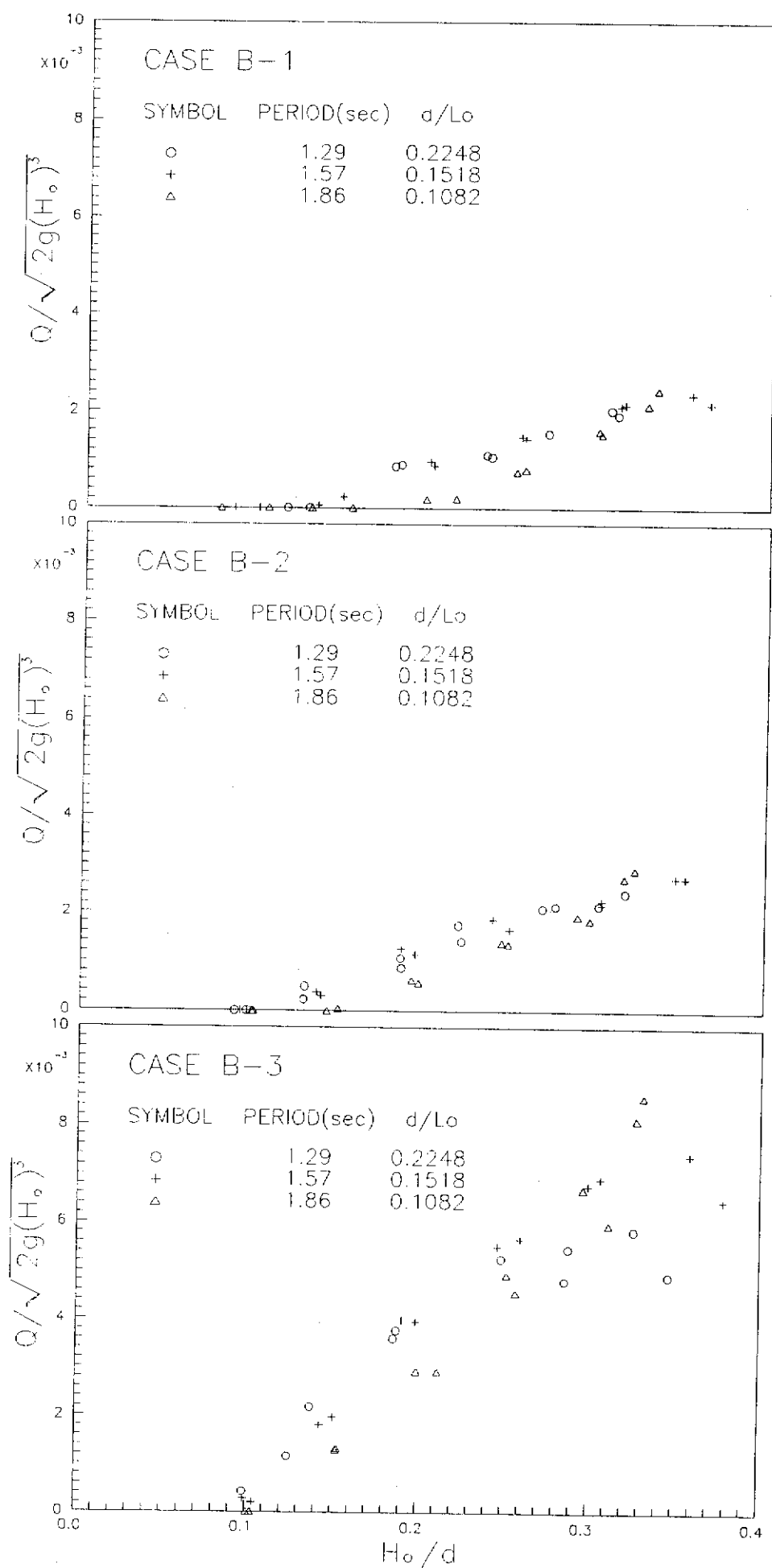


圖3-4-85 相同試次同週期之無因次越波量與 H_0/d 之關係圖 (CASE B)

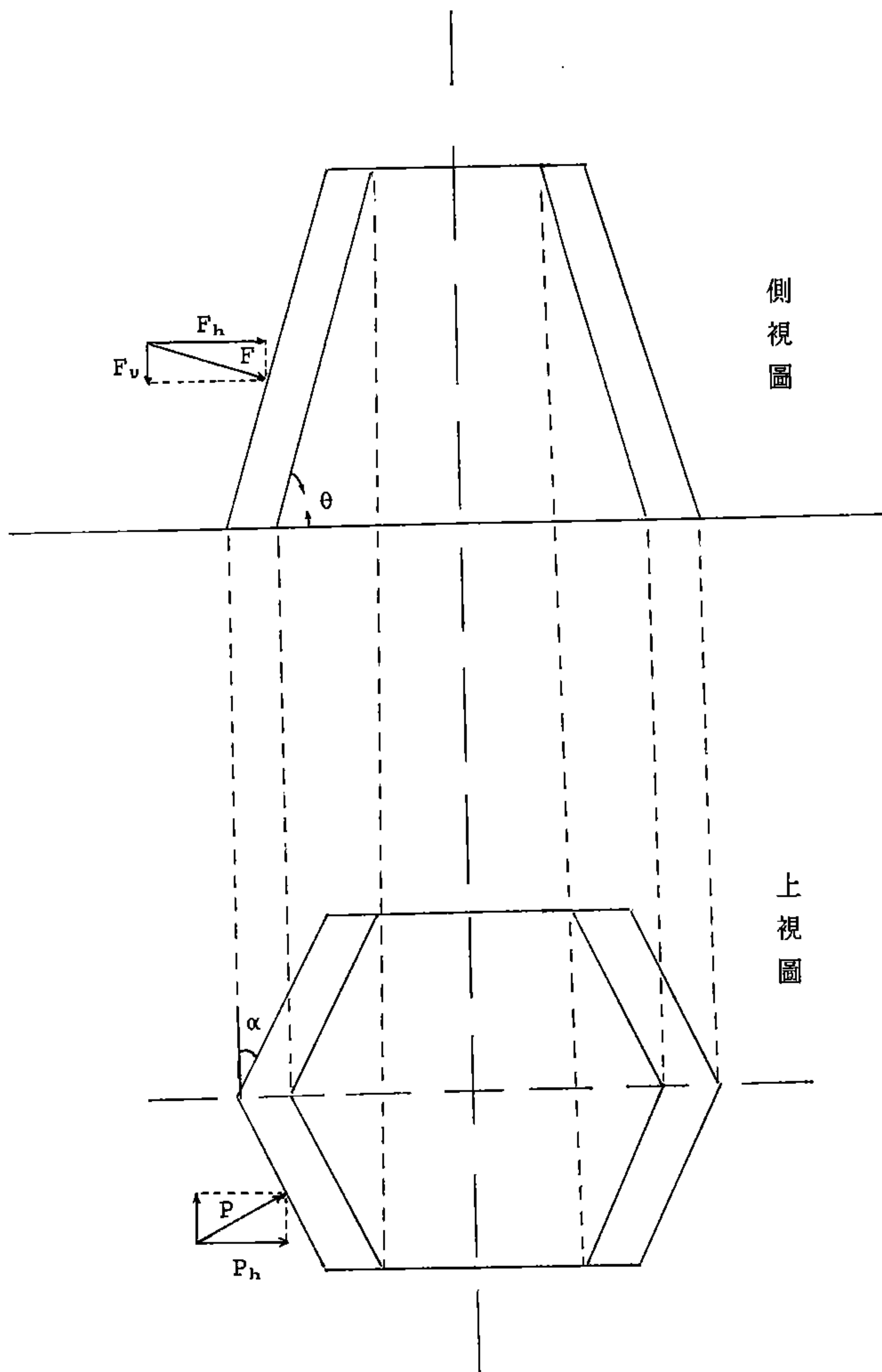


圖5-1-1 雙傾斜式防波堤之側視及上視圖

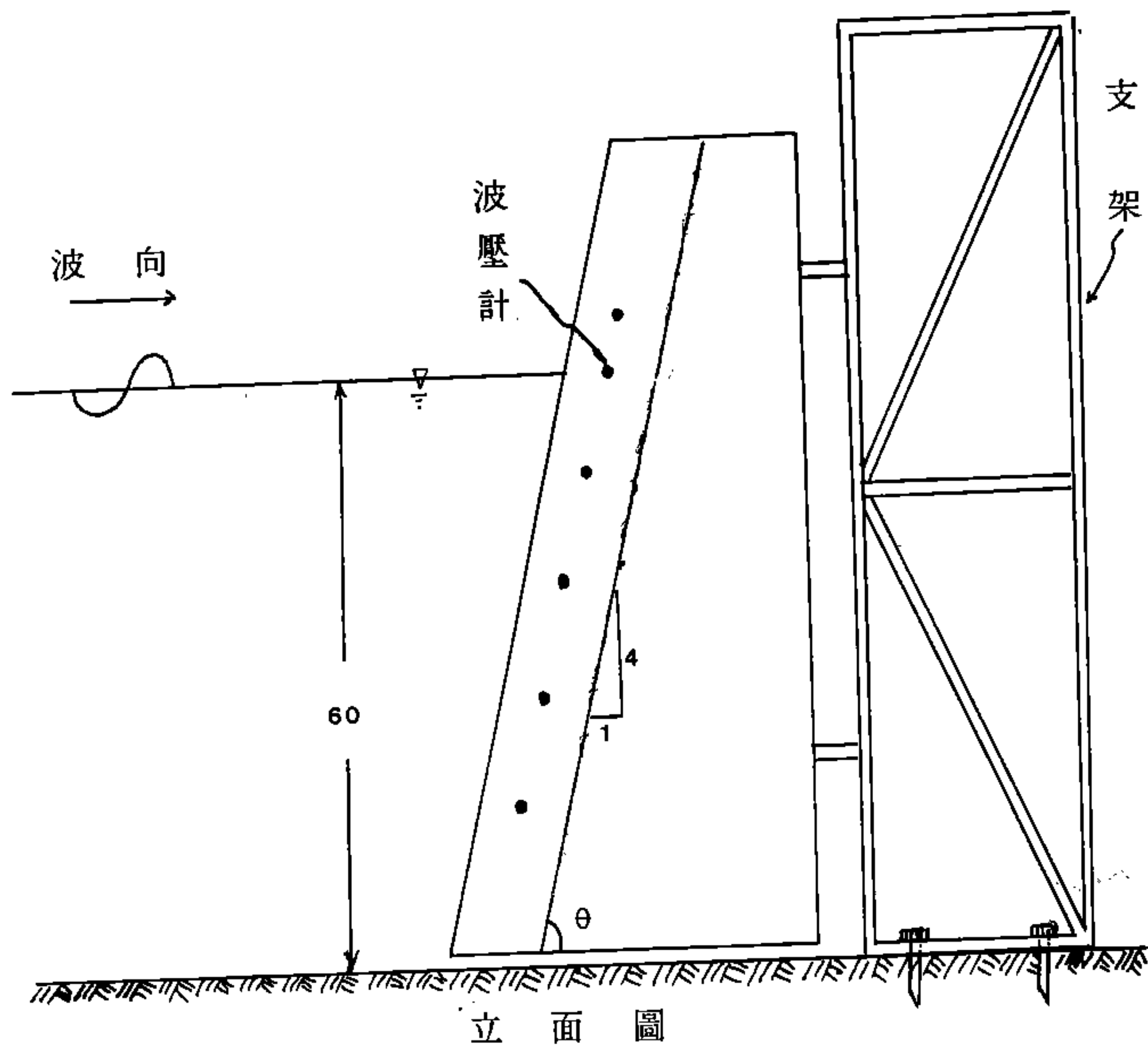
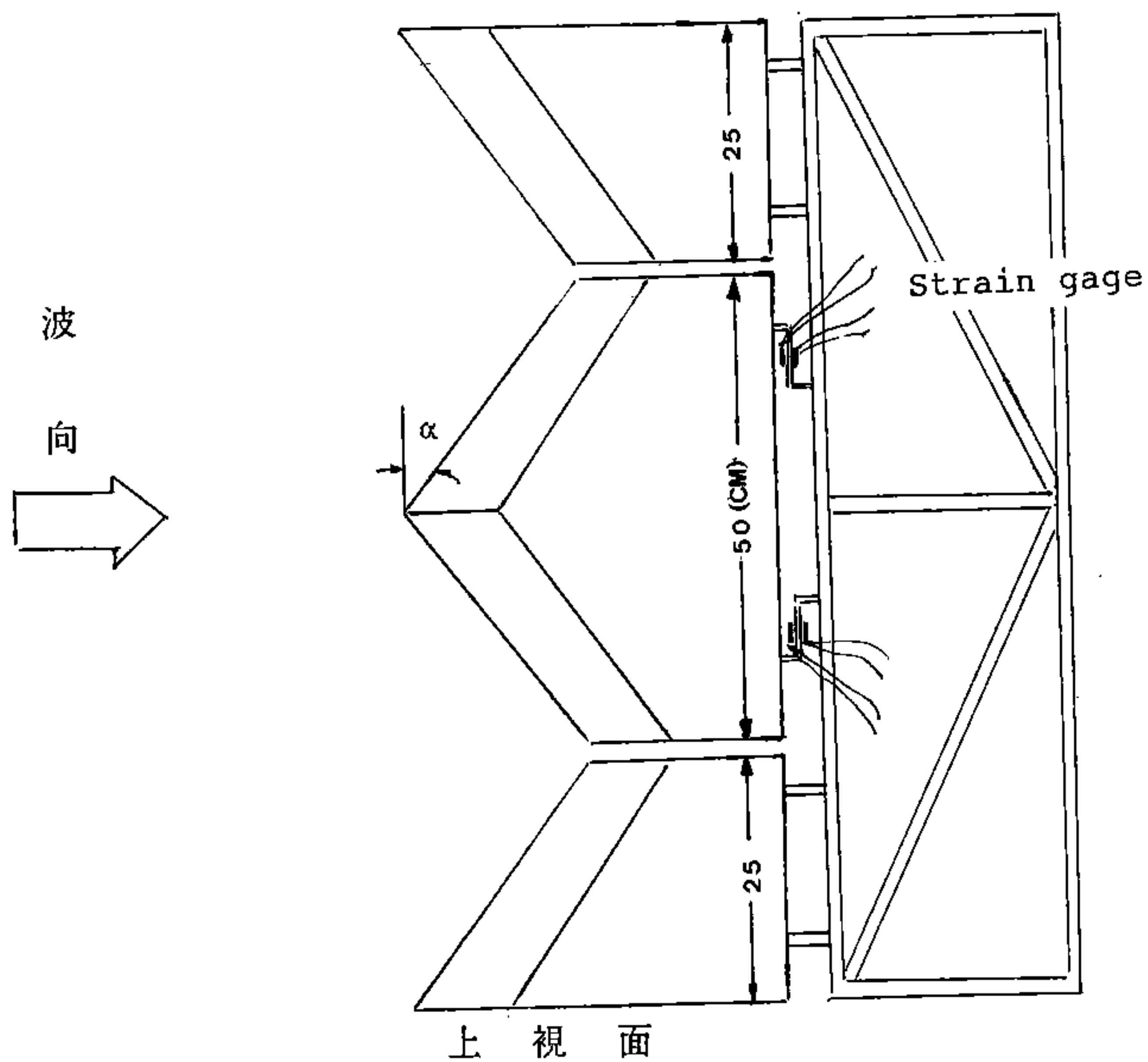


圖 5-2-1 雙傾斜式防波堤模型結構圖 —131—

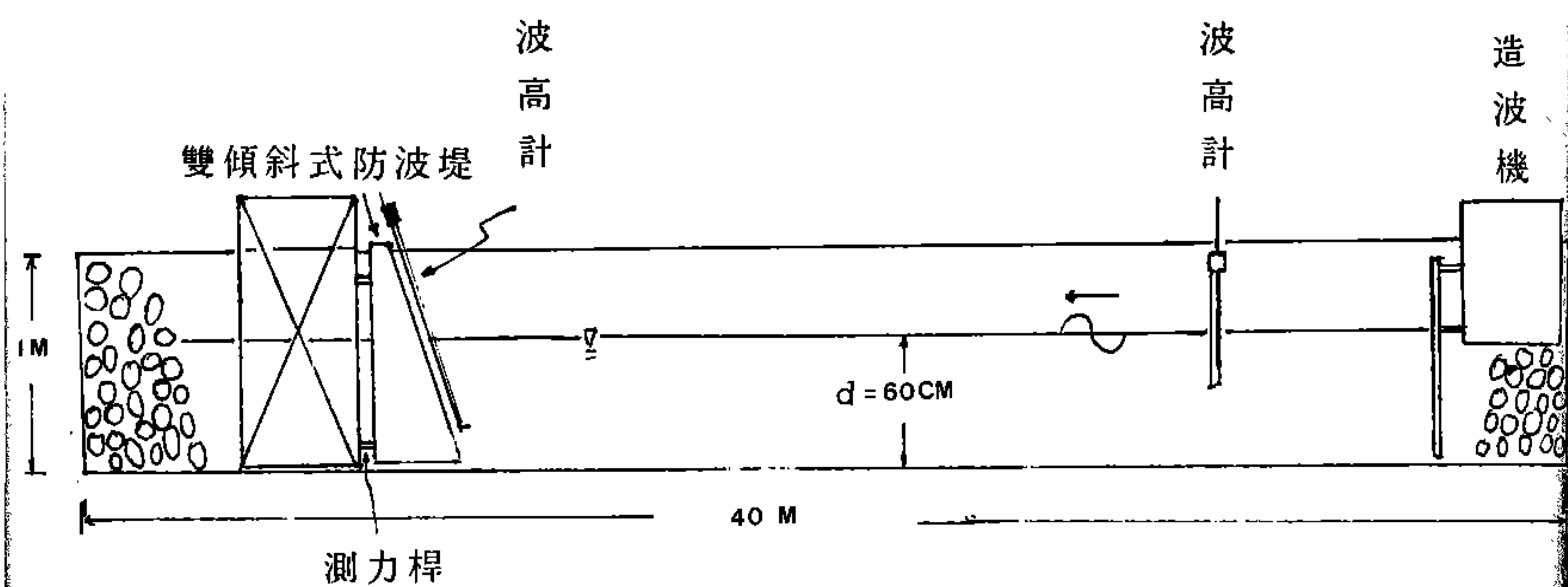
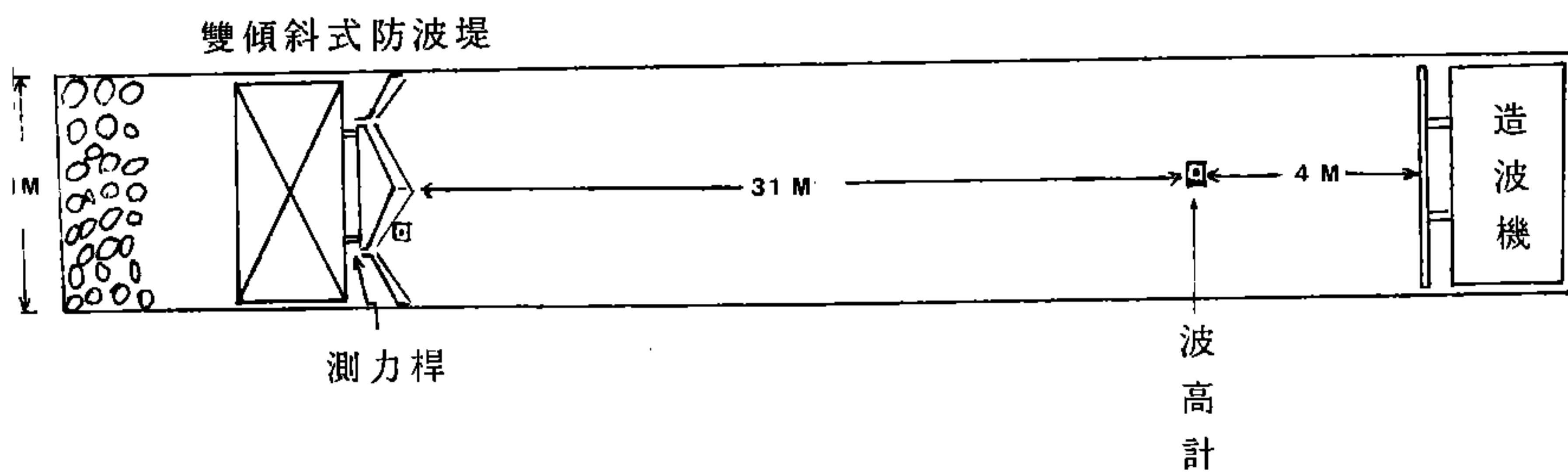


圖 5-2-2 雙傾斜式防波堤試驗之平面及斷面佈置圖

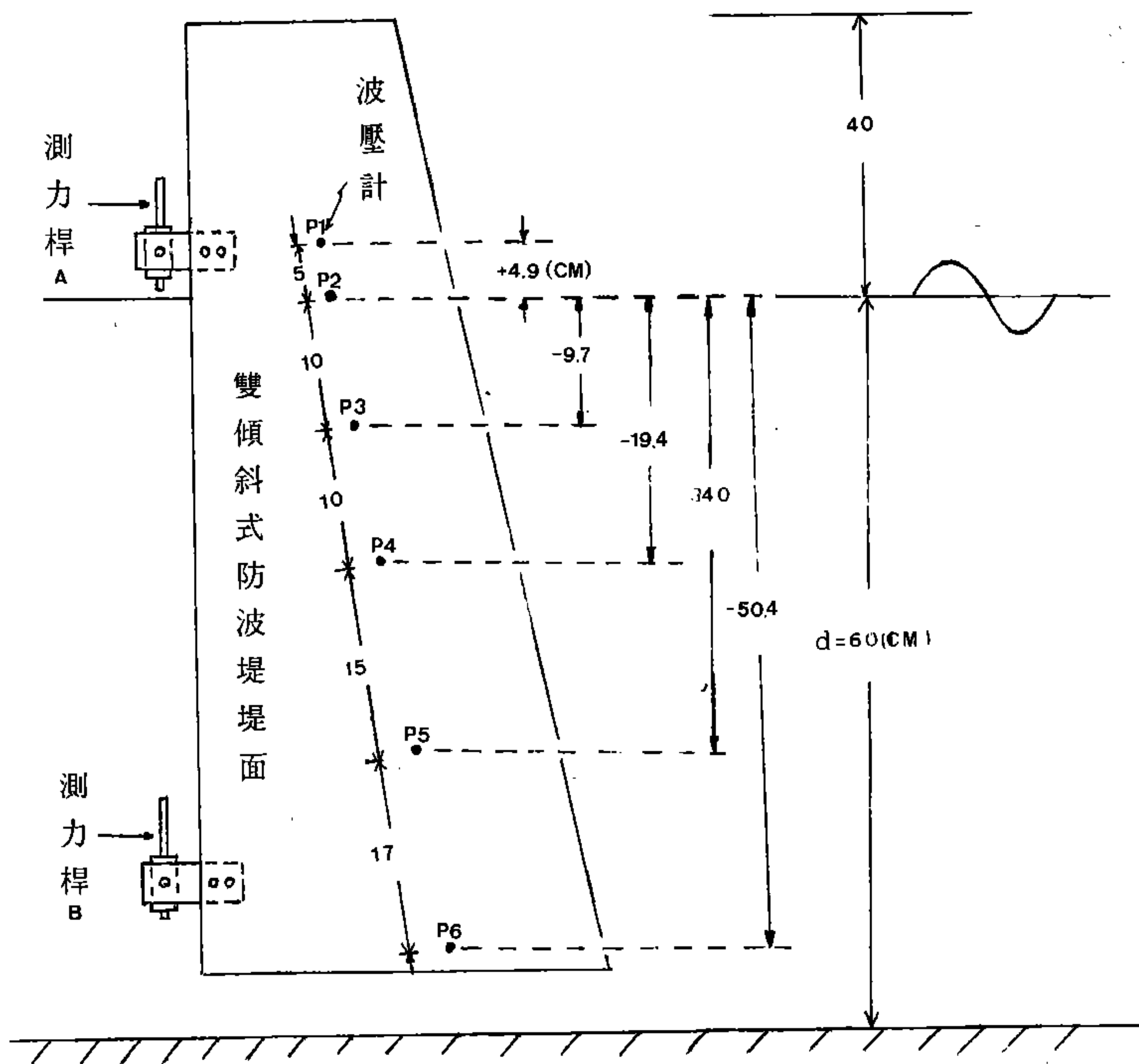


圖 5-2-3 波壓計佈置點位及編號

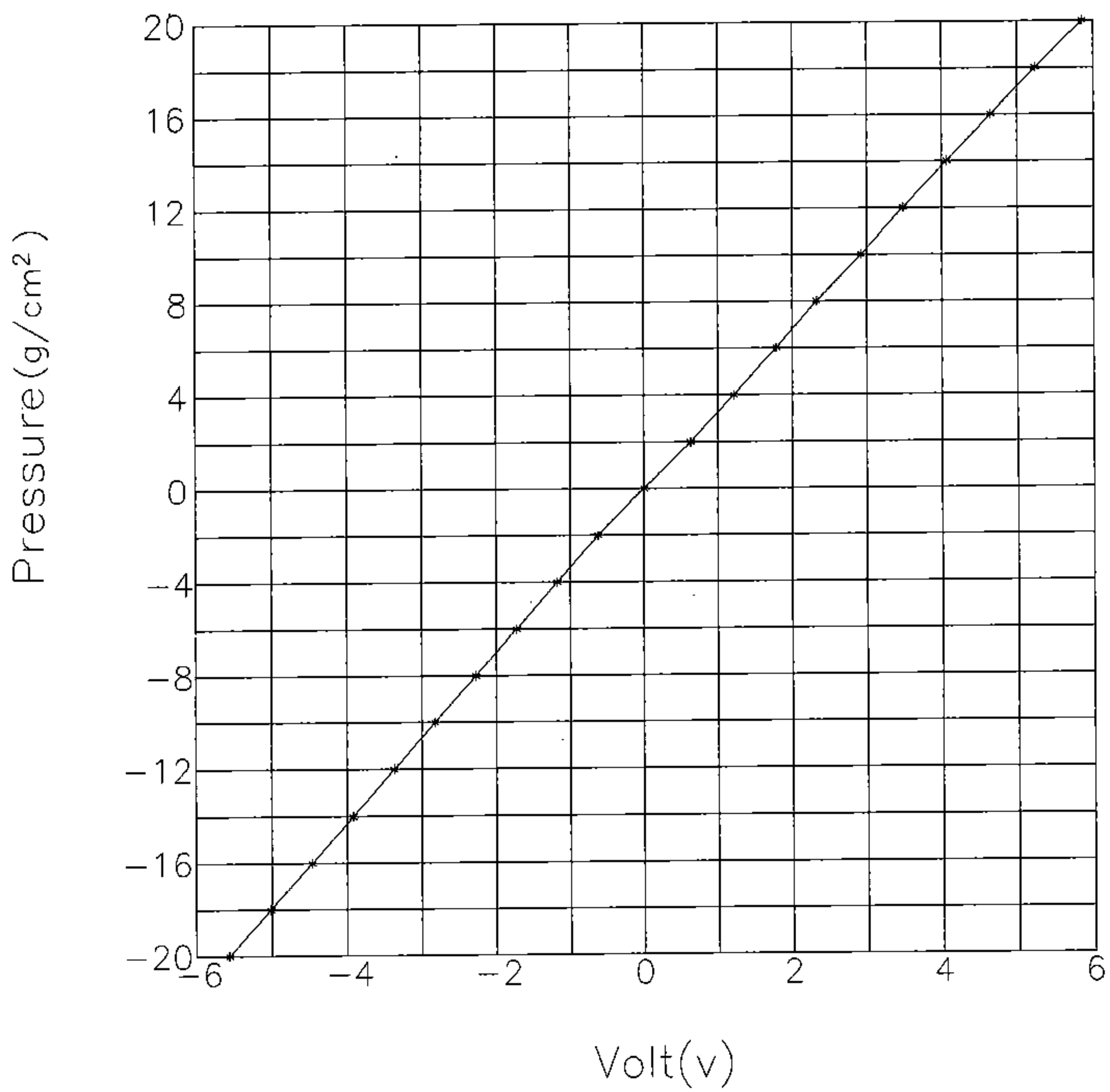


圖5-2-4 波壓計P1之壓力與輸出電壓率定圖

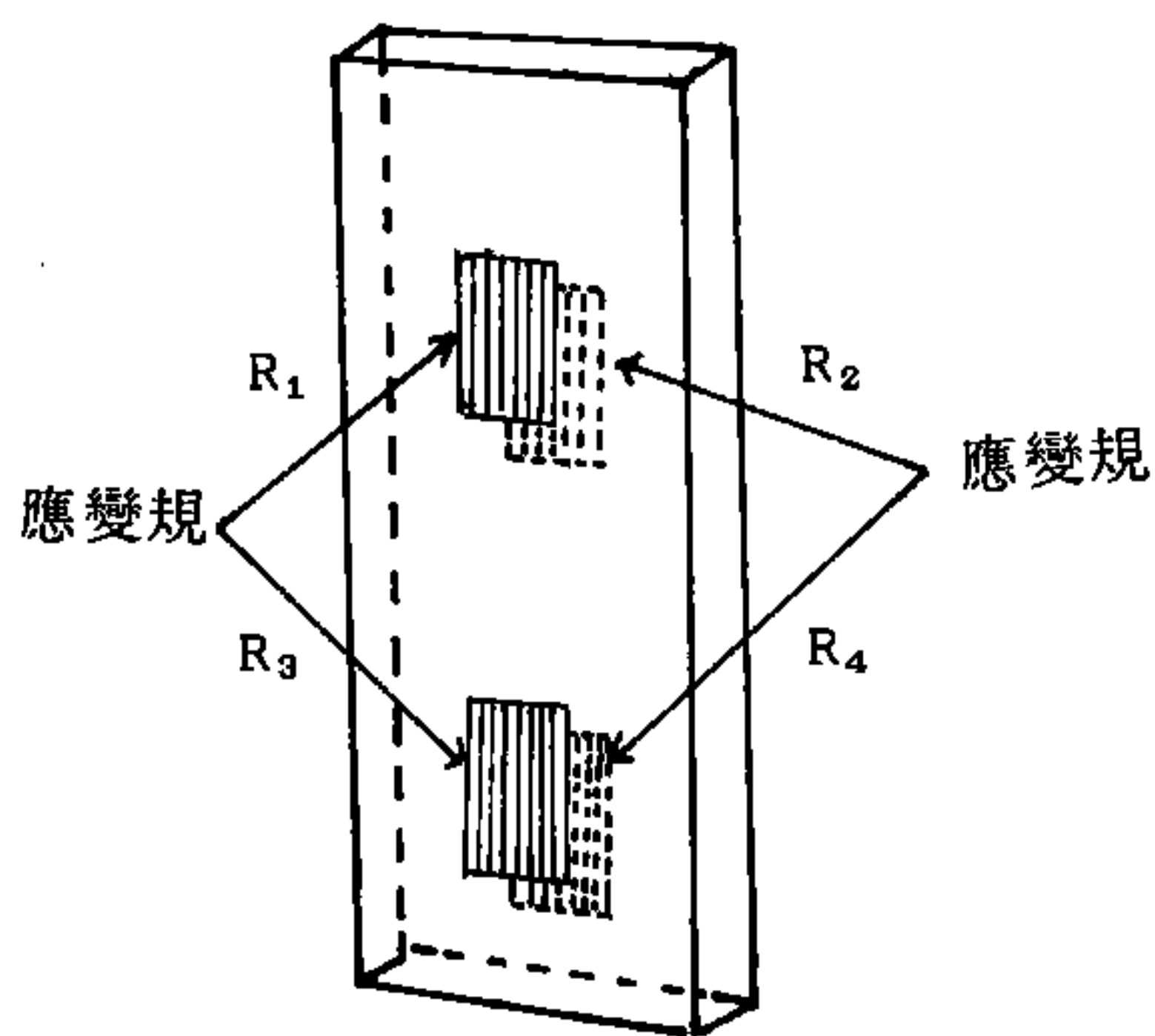
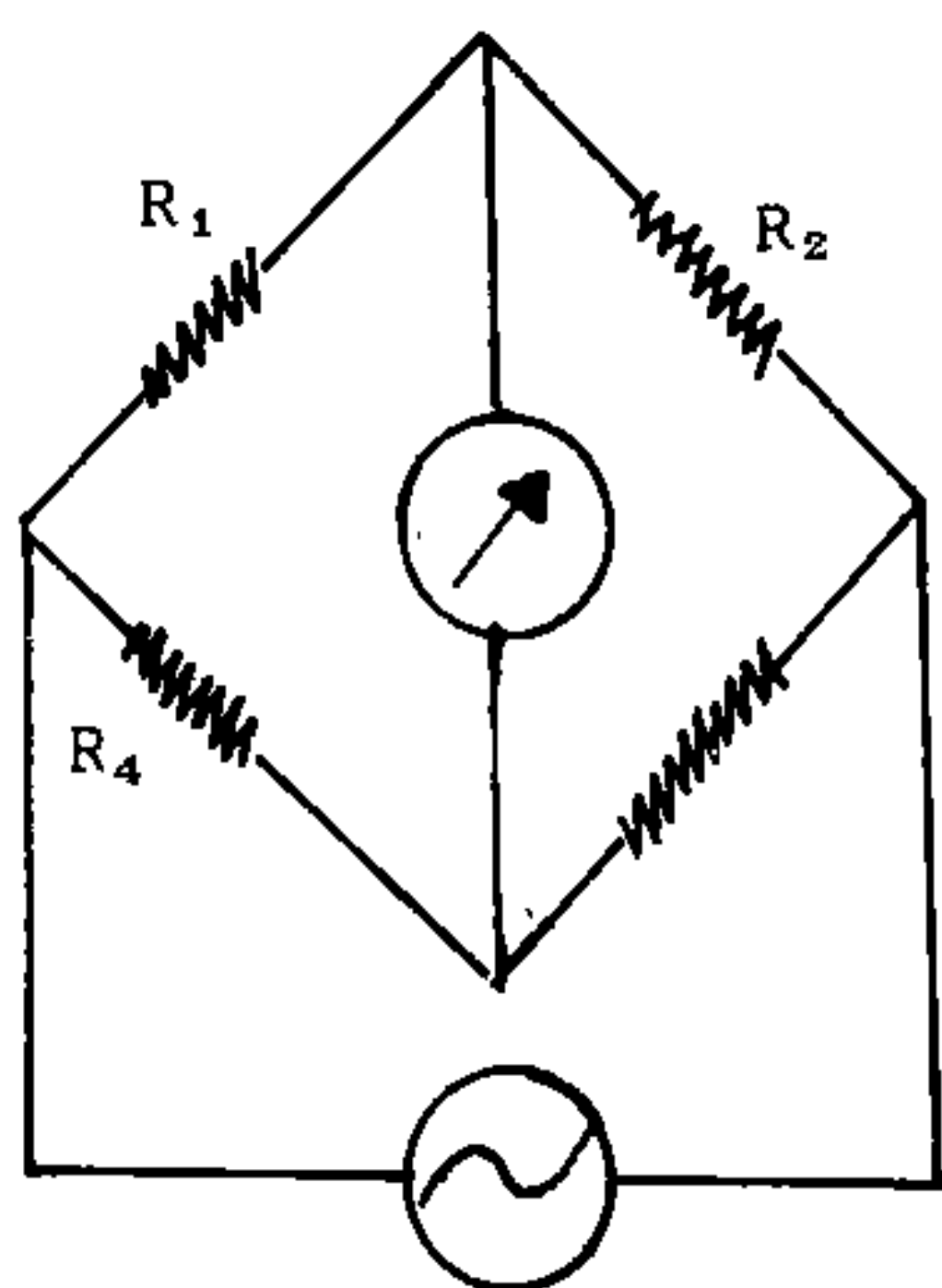


圖5-2-5 惠斯敦電橋和應變計佈置圖

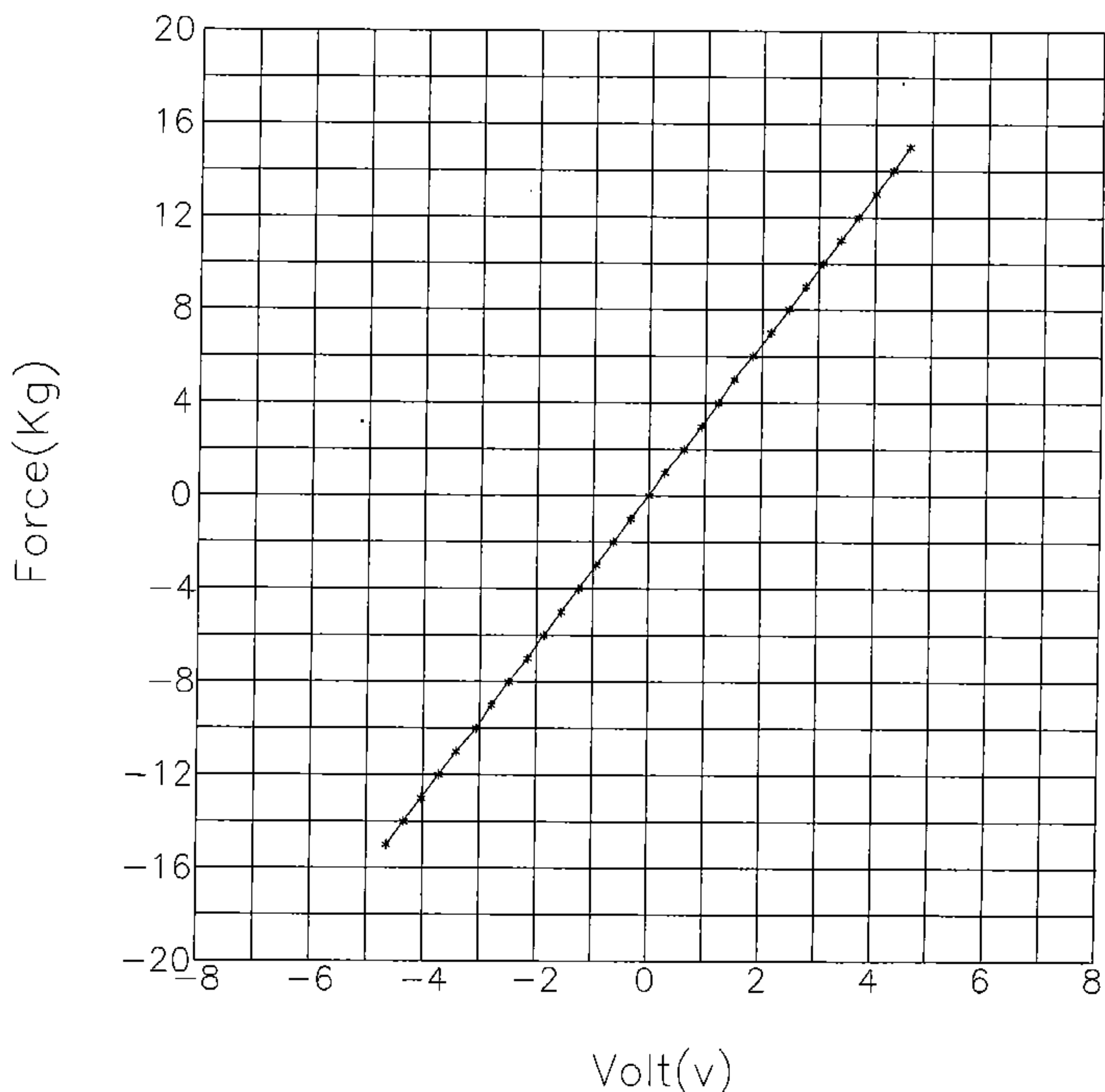


圖5-2-6 測力桿A之受力與輸出電壓率定圖

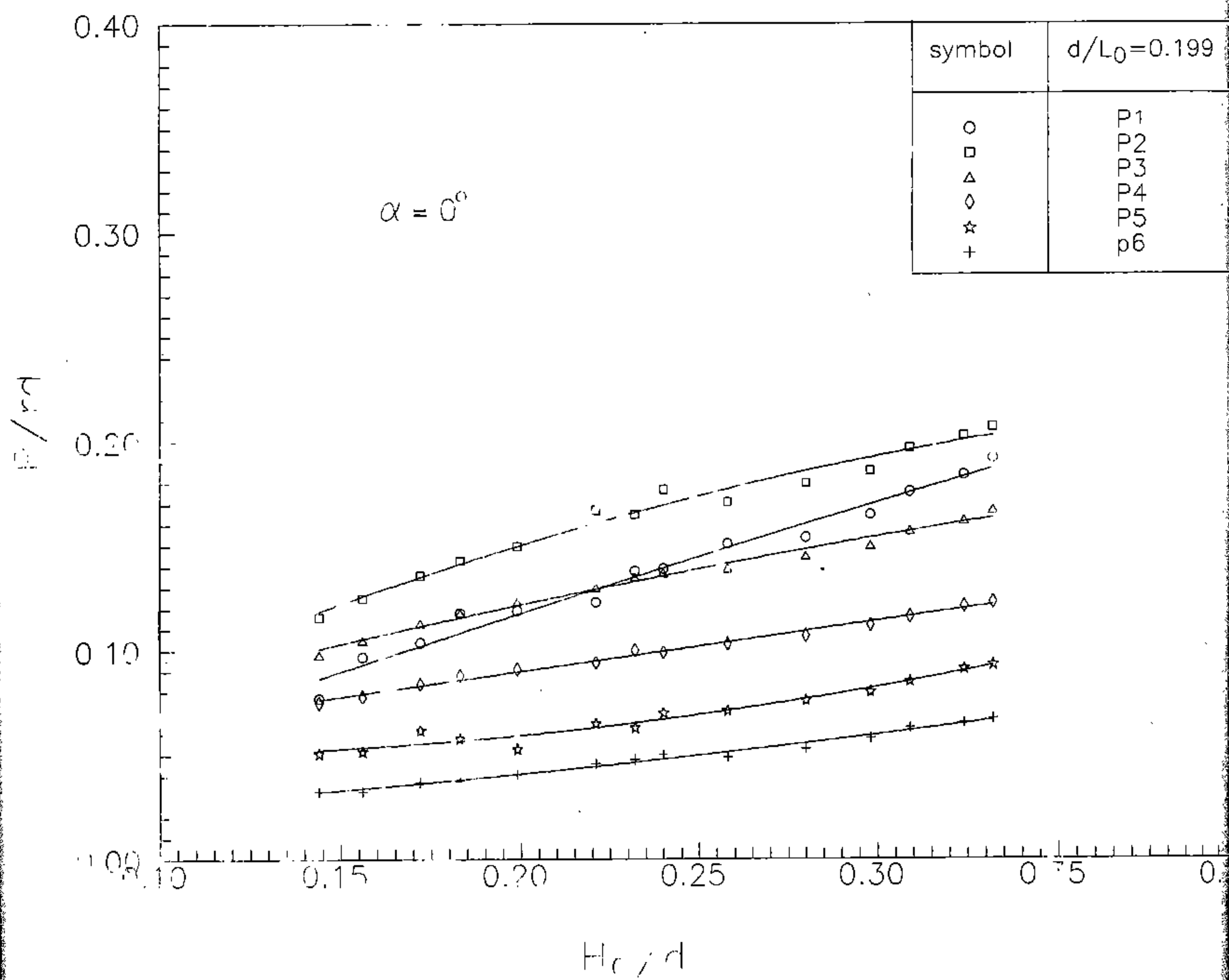


圖 4-1-1A $\alpha=0^\circ$, $d/L_0=0.199$, P/rd 對 H_0/d 之關係圖

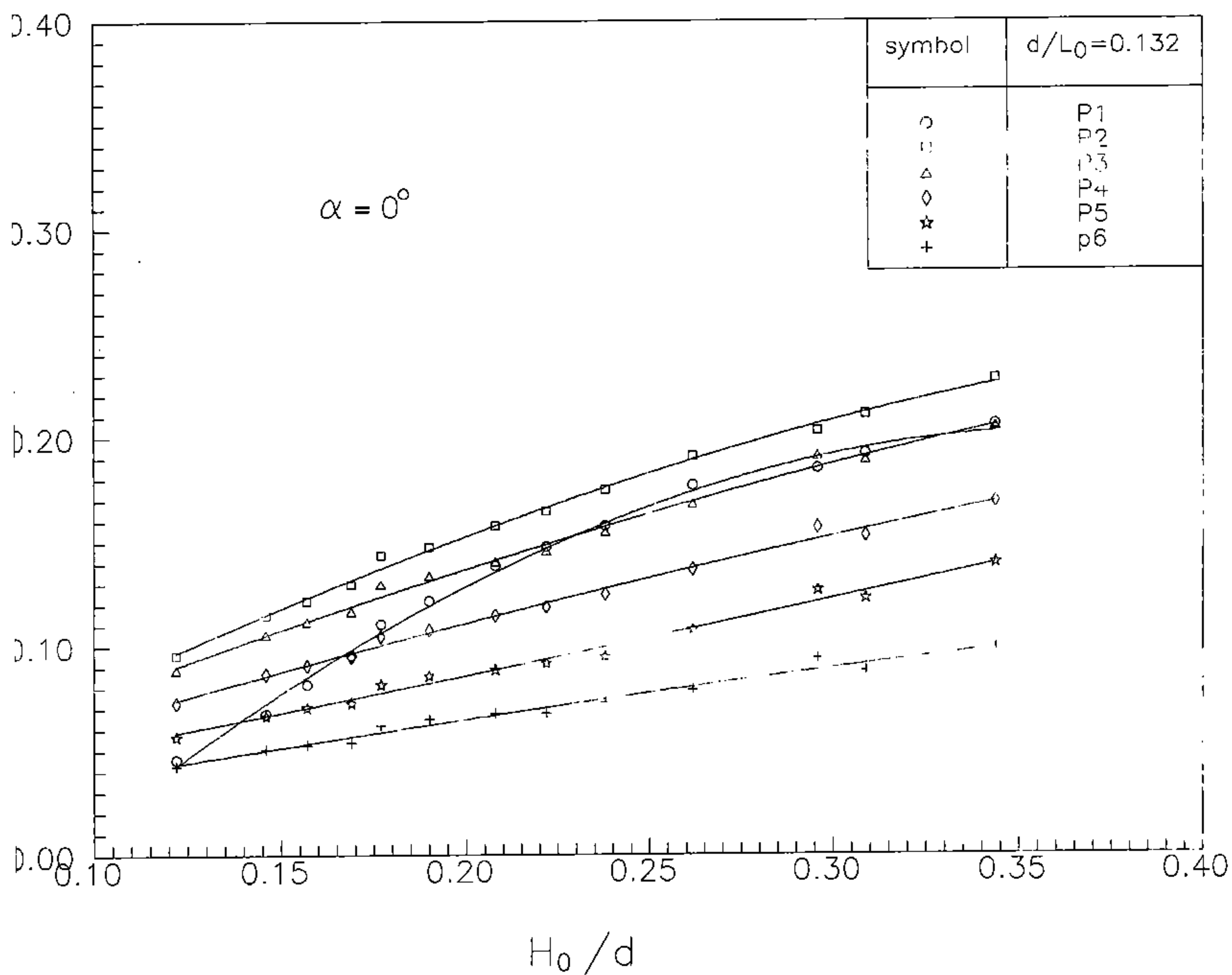


圖 5-3-1B $\alpha=0^\circ$, $d/L_0=0.132$, P/rd 對 H_0/d 之關係圖

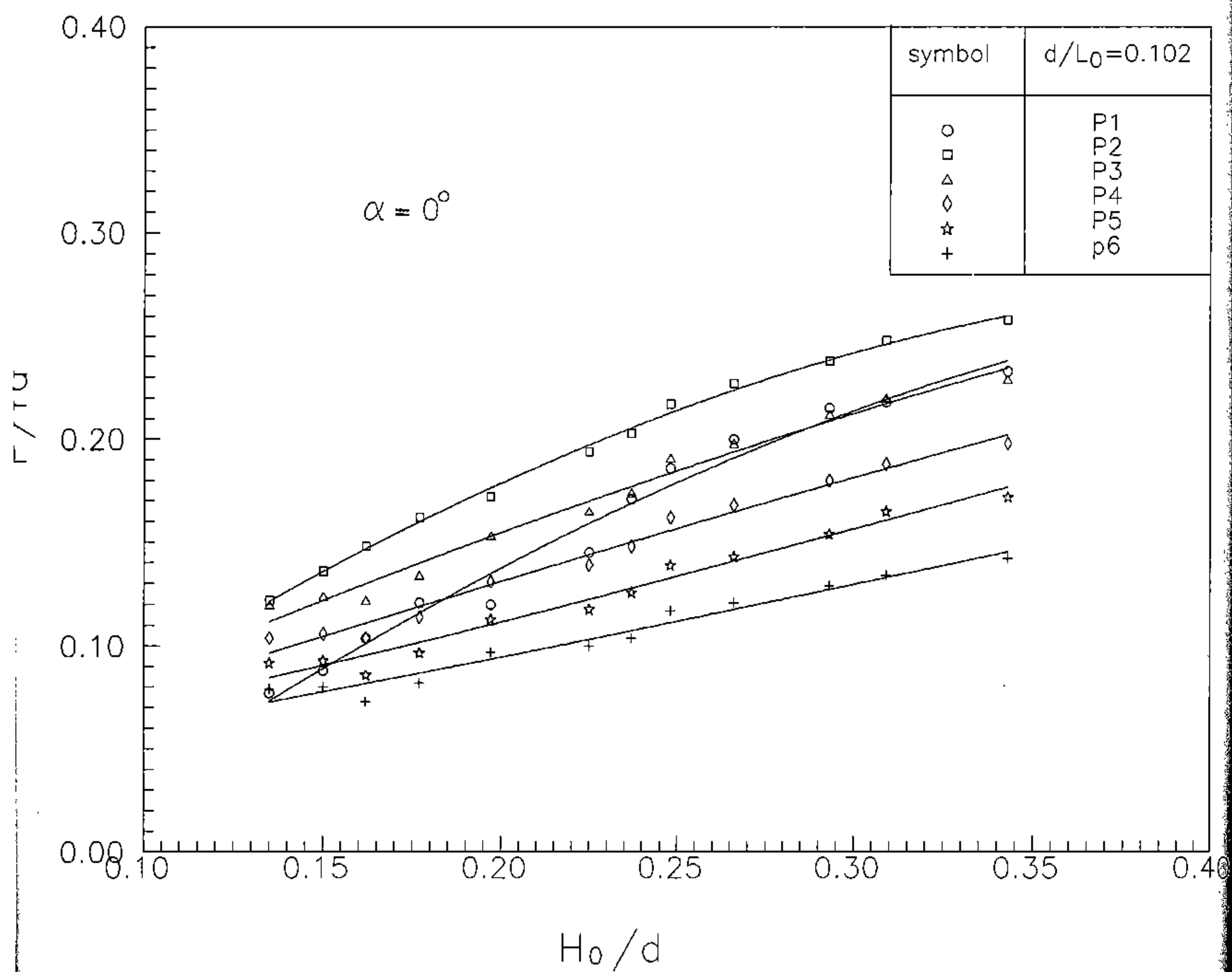


圖 5-3-1C $\alpha=0^\circ$, $d/L_0=0.102$, P/rd 對 H_0/d 之關係圖

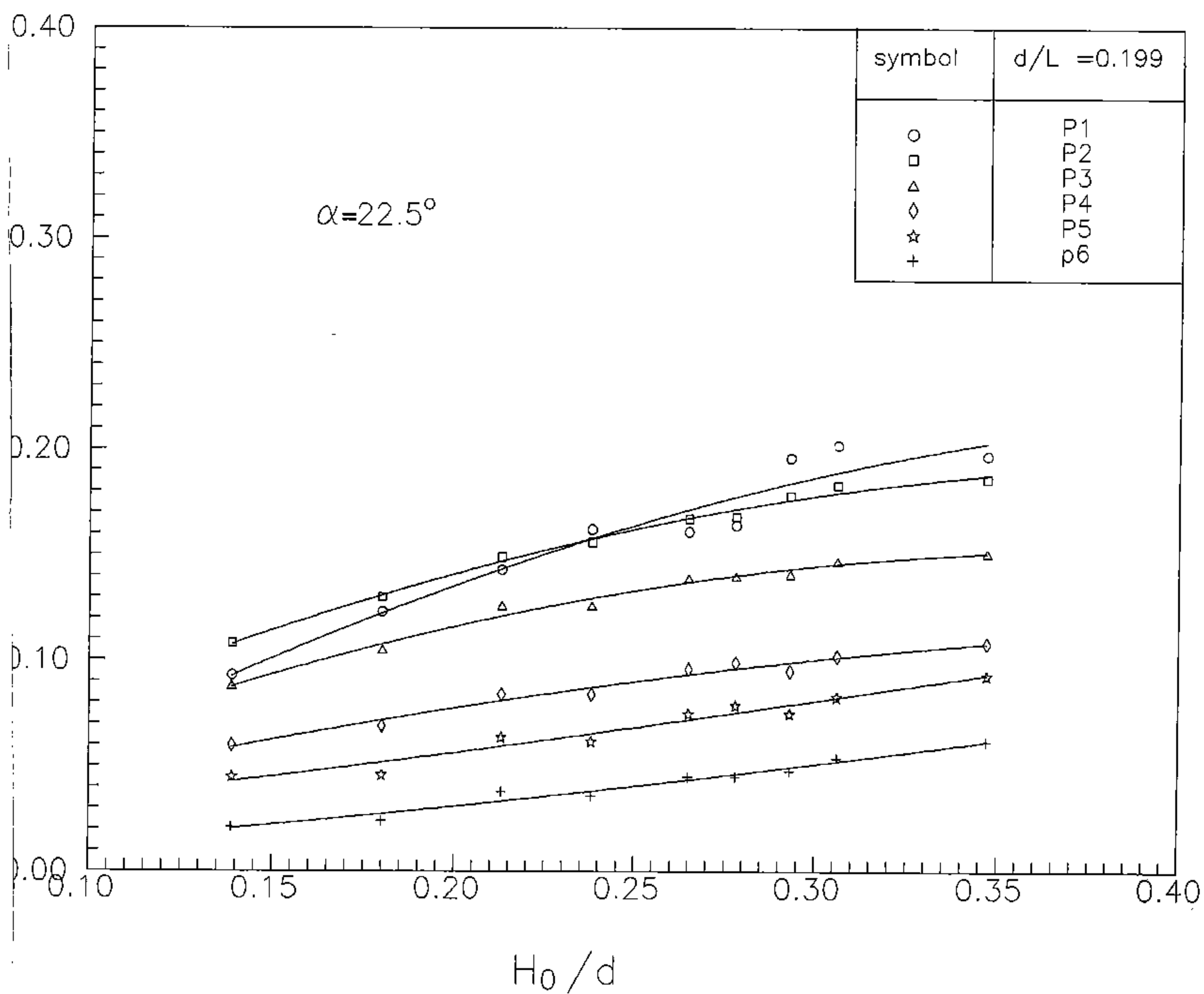


圖 5-3-2A $\alpha=22.5^\circ$, $d/L_0=0.199$, P/rd 對 H_0/d 之關係圖

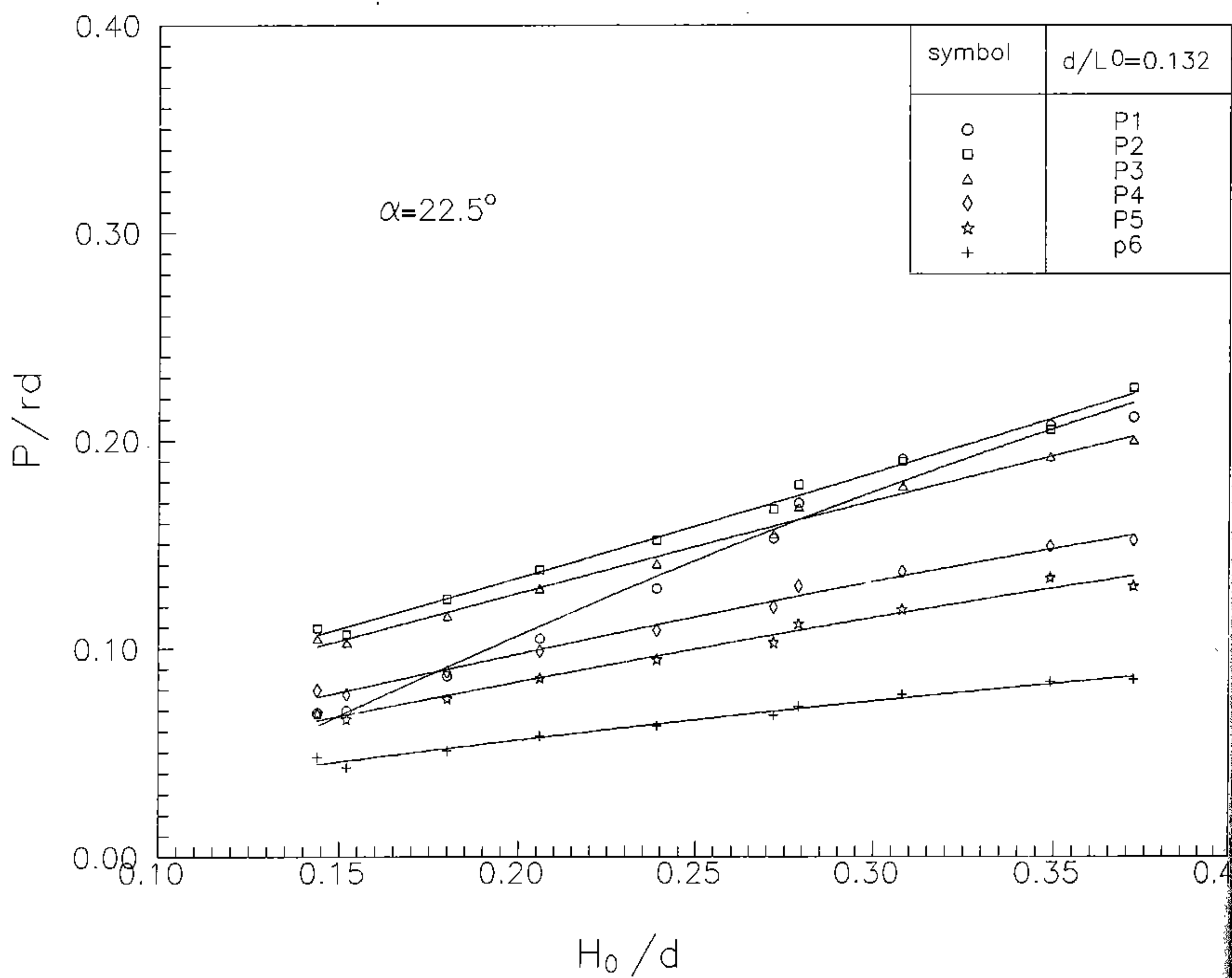


圖 5-3-2B $\alpha=22.5^\circ$, $d/L_0=0.132$, P/rd 對 H_0/d 之關係圖

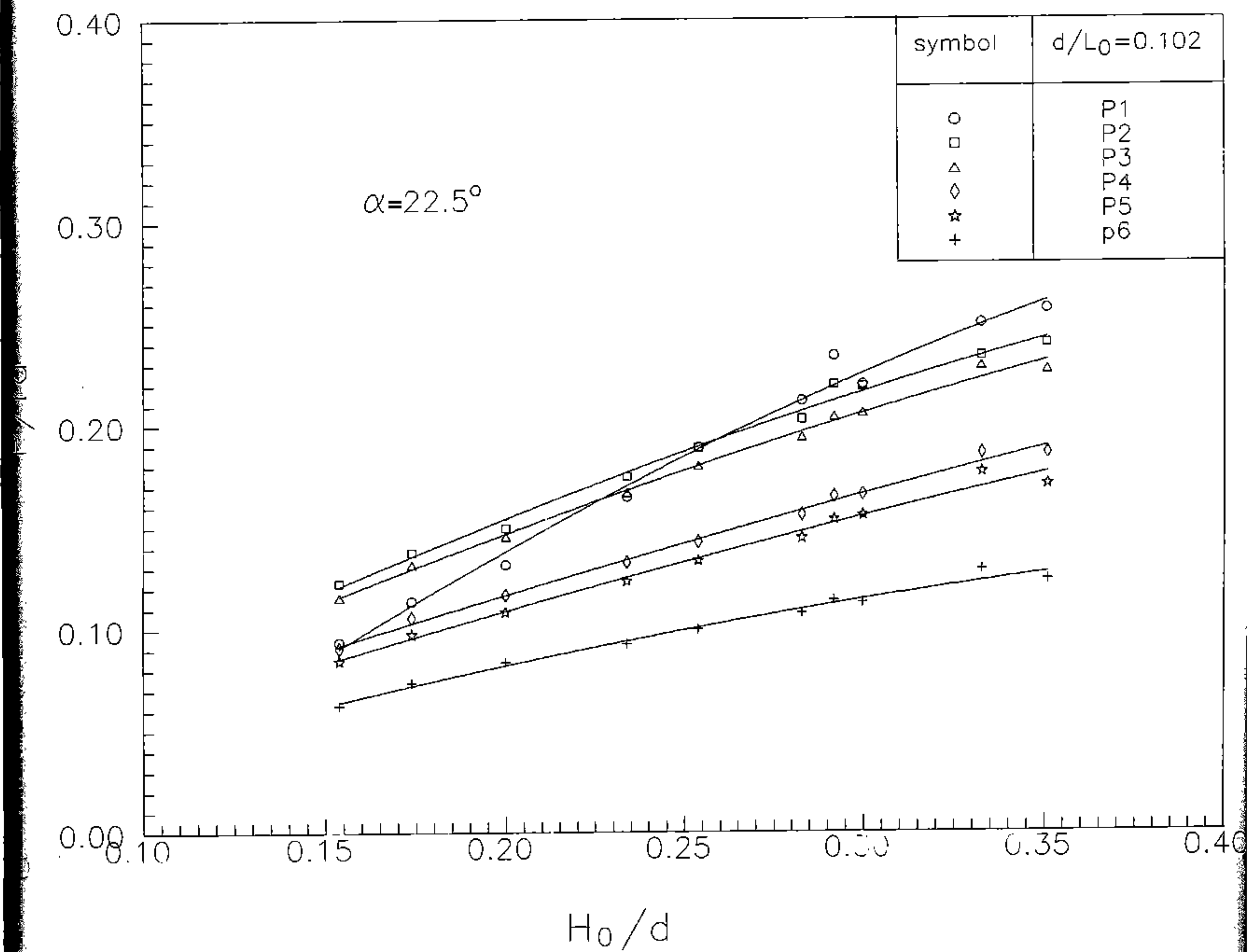


圖 5-3-2C $\alpha=22.5^\circ$, $d/L_0=0.102$, $P/(rd)$ 對 H_0/d 之關係圖

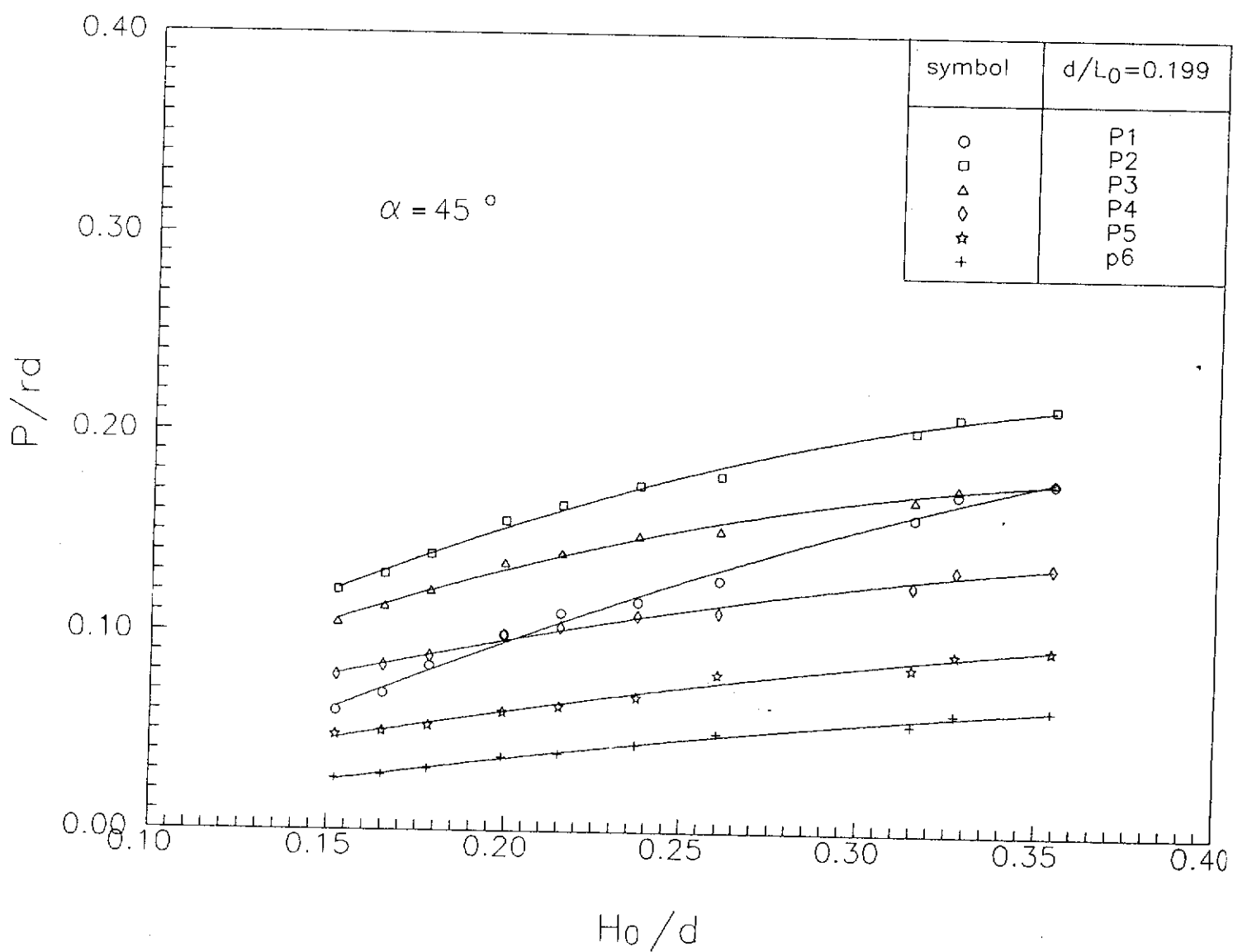


圖 5-3-3A $\alpha=45^\circ$, $d/L_0=0.199$, P/rd 對 H_0/d 之關係圖

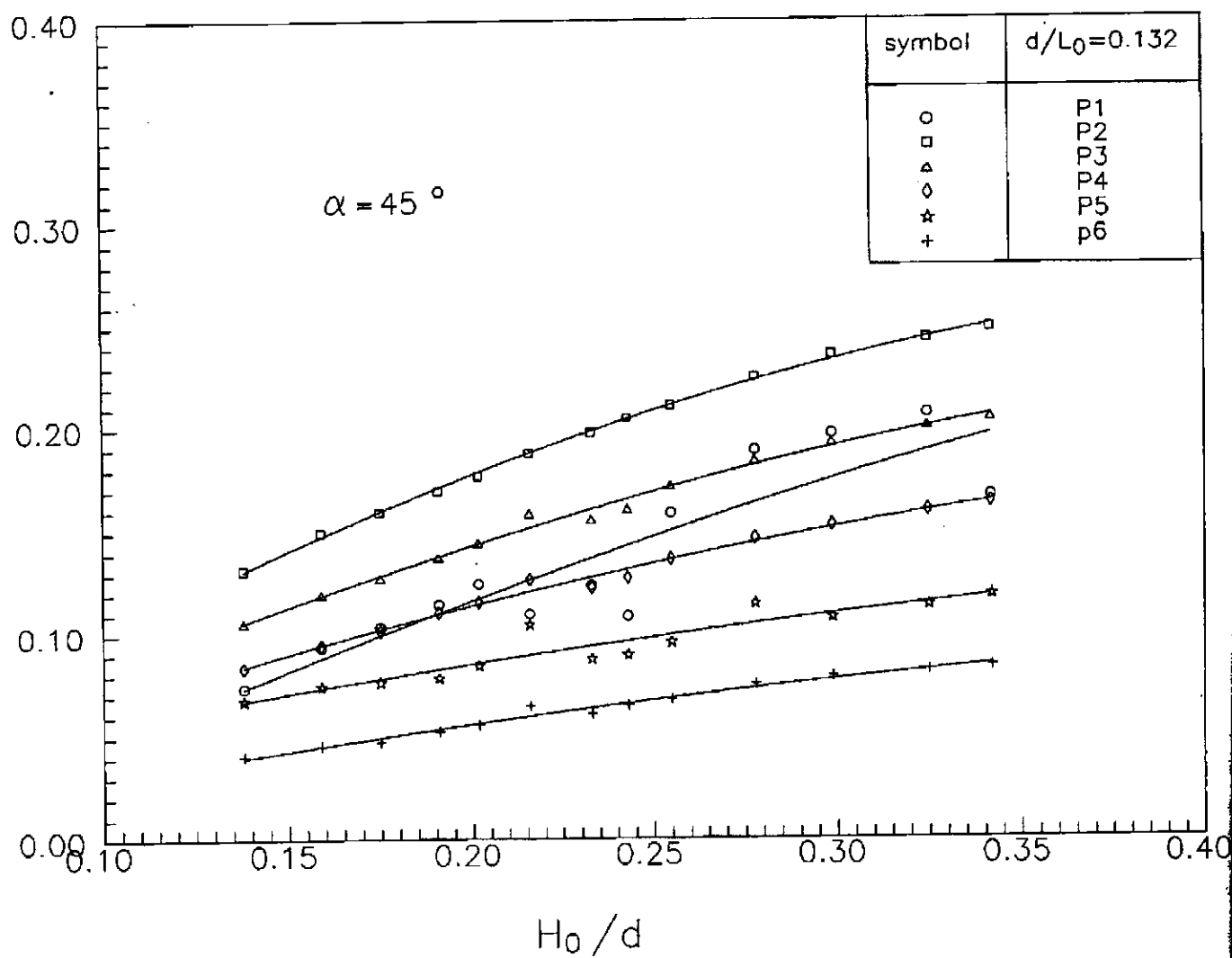


圖 5-3-3B $\alpha=45^\circ$, $d/L_0=0.132$, P/rd 對 H_0/d 之關係圖

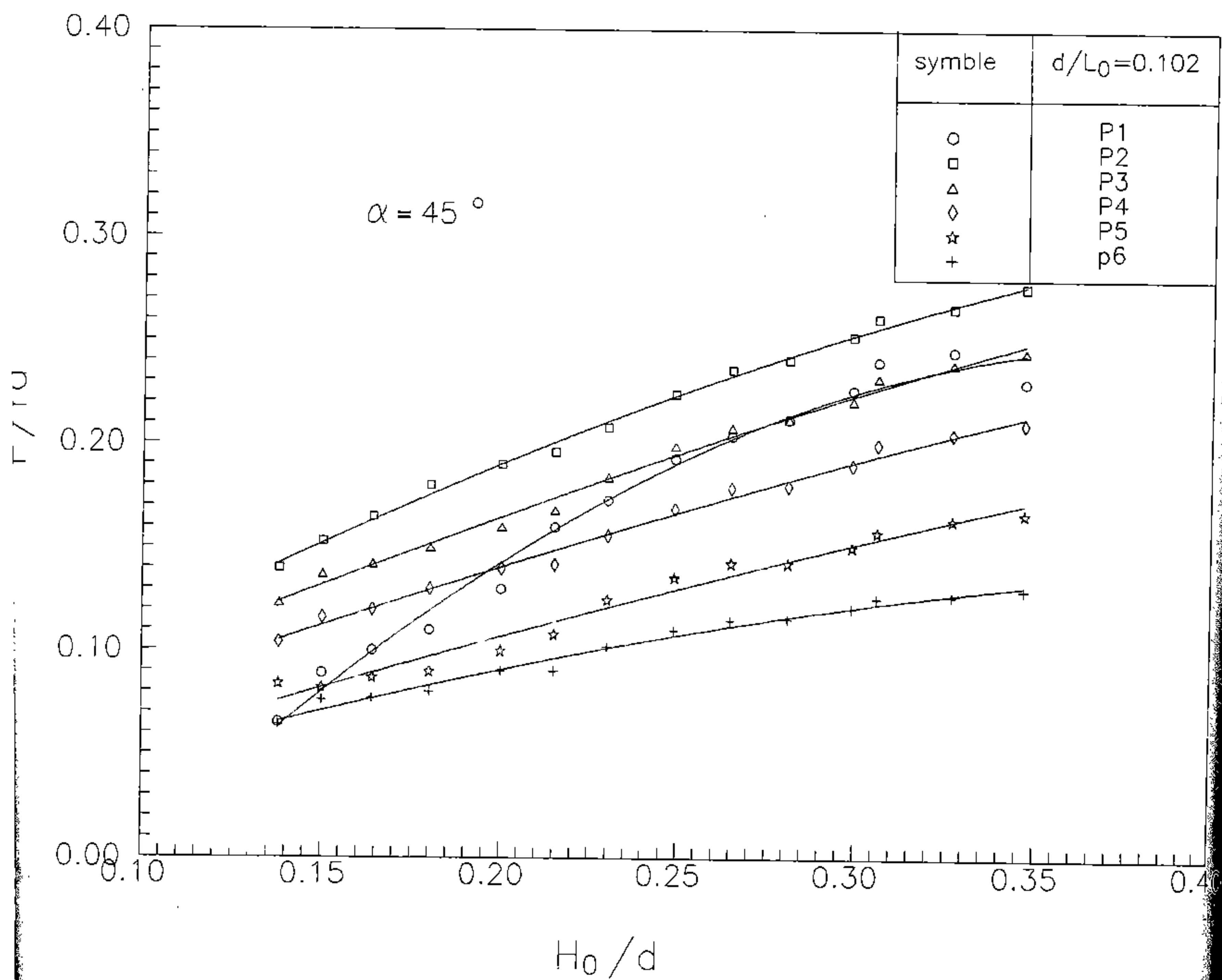


圖 5-3-3C $\alpha=45^\circ$, $d/L_0=0.102$, P/rd 對 H_0/d 之關係圖

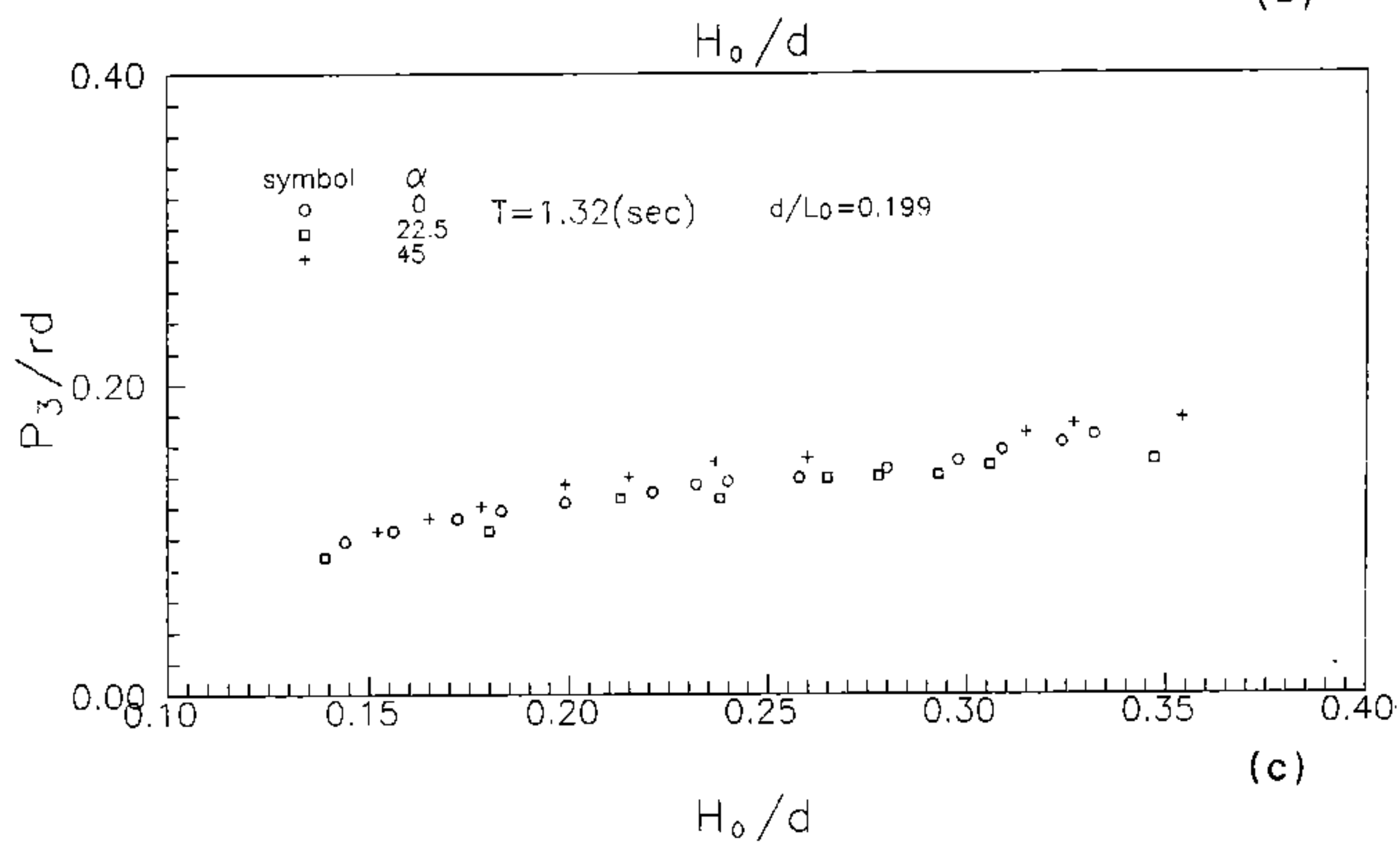
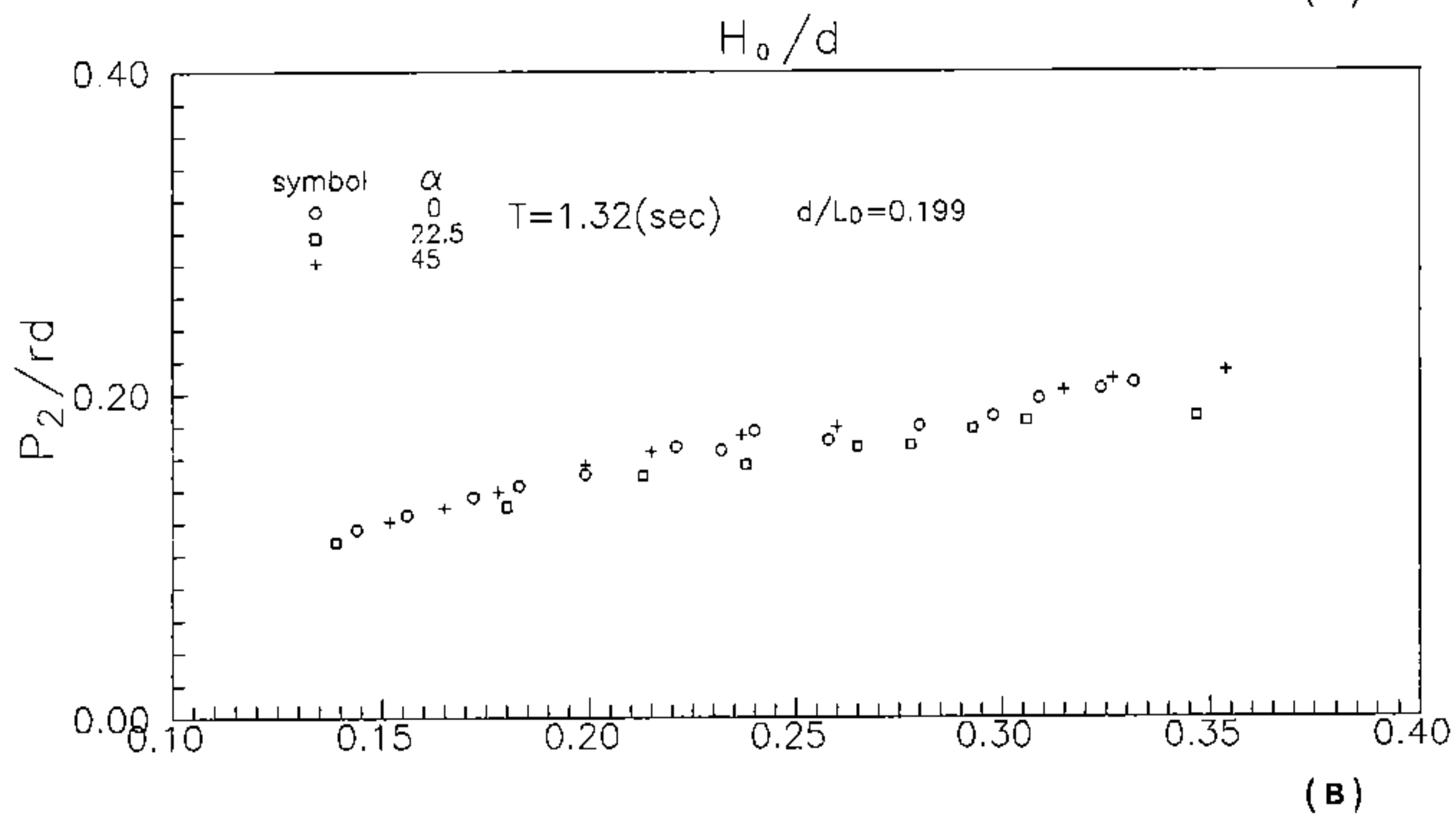
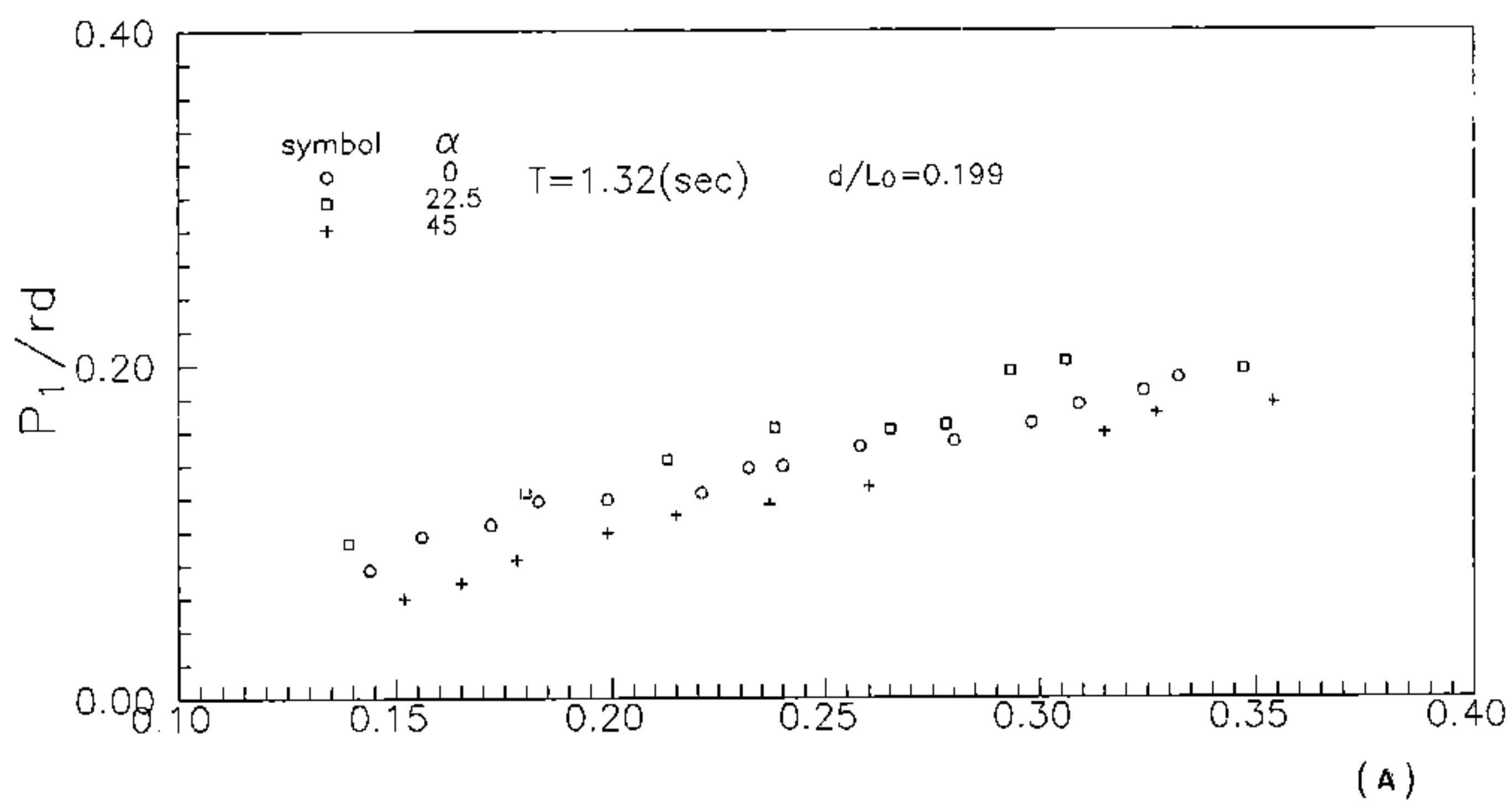


圖 5-3-4 $d/L_0=0.199$ 時，各種 α 的波壓比較圖

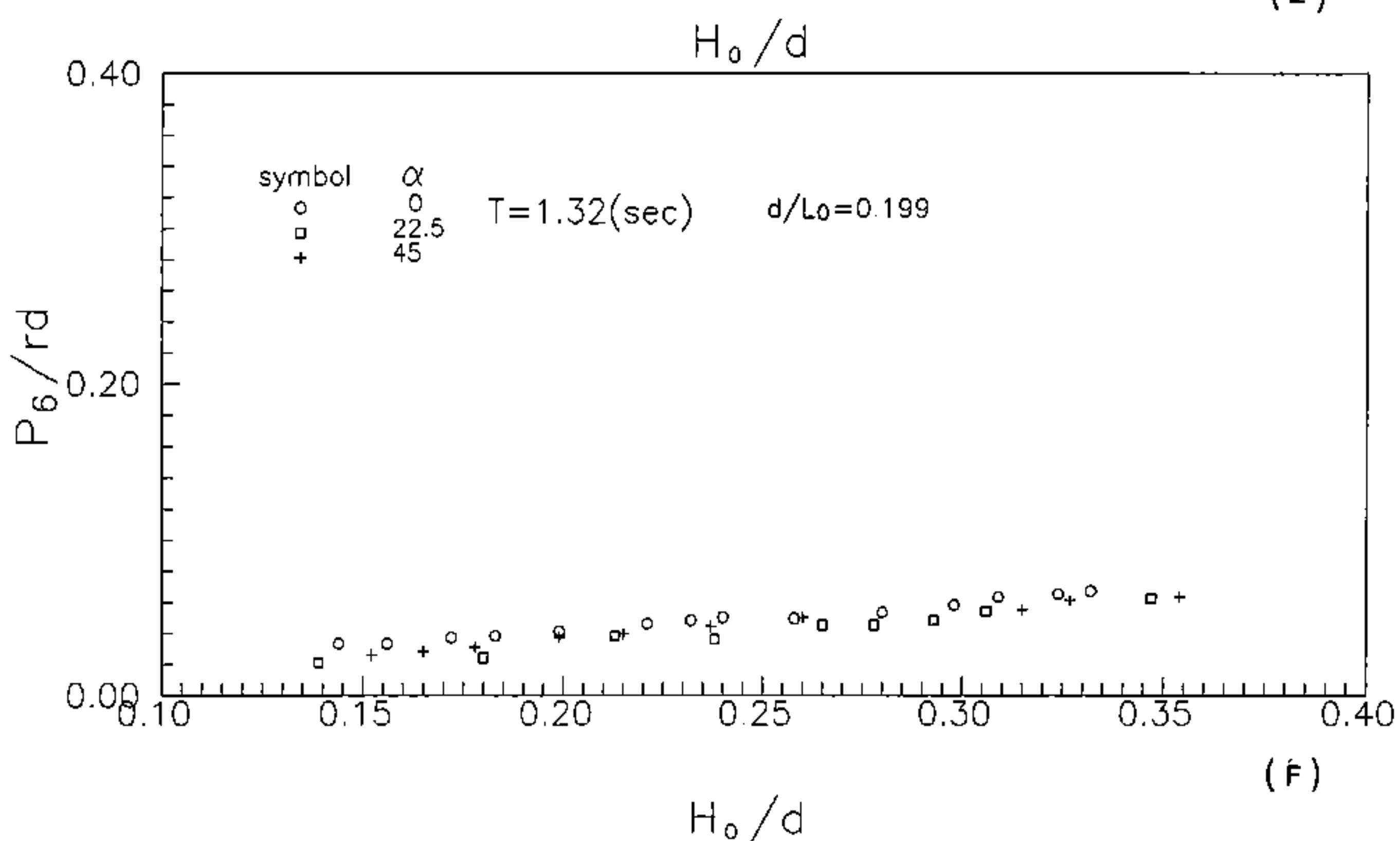
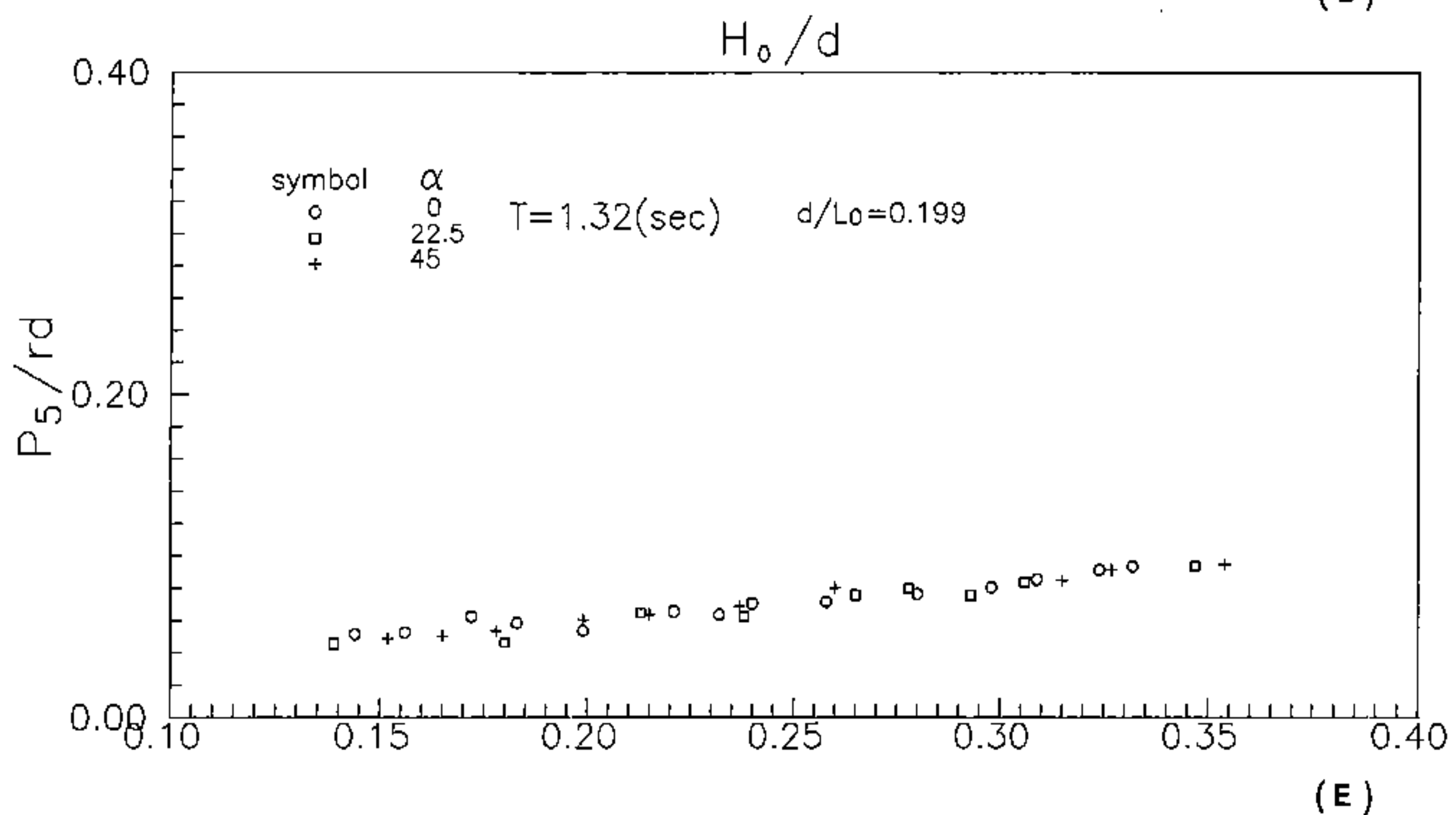
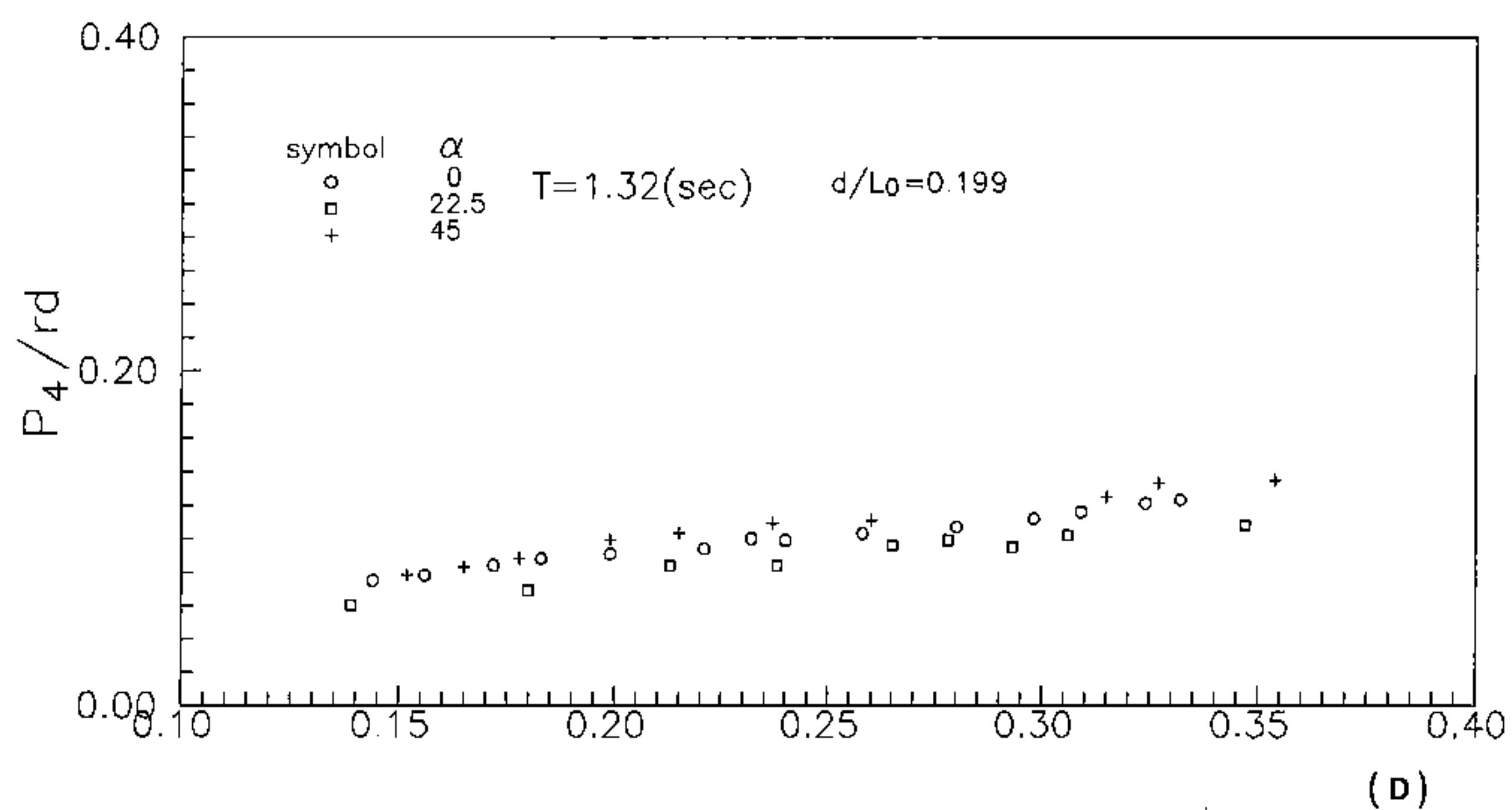


圖 5-3-4 $d/L_0=0.199$ 時，各種 α 的波壓比較圖

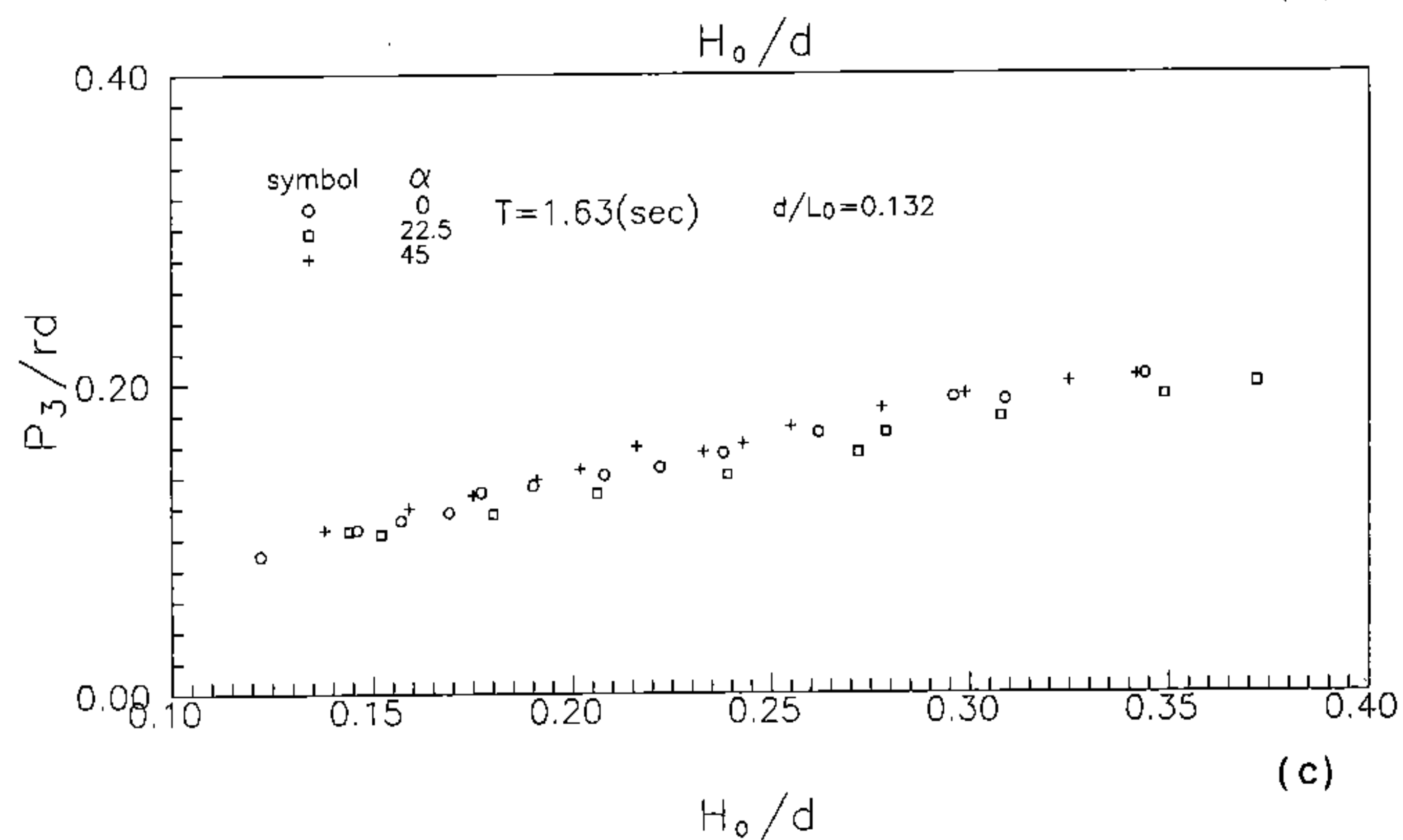
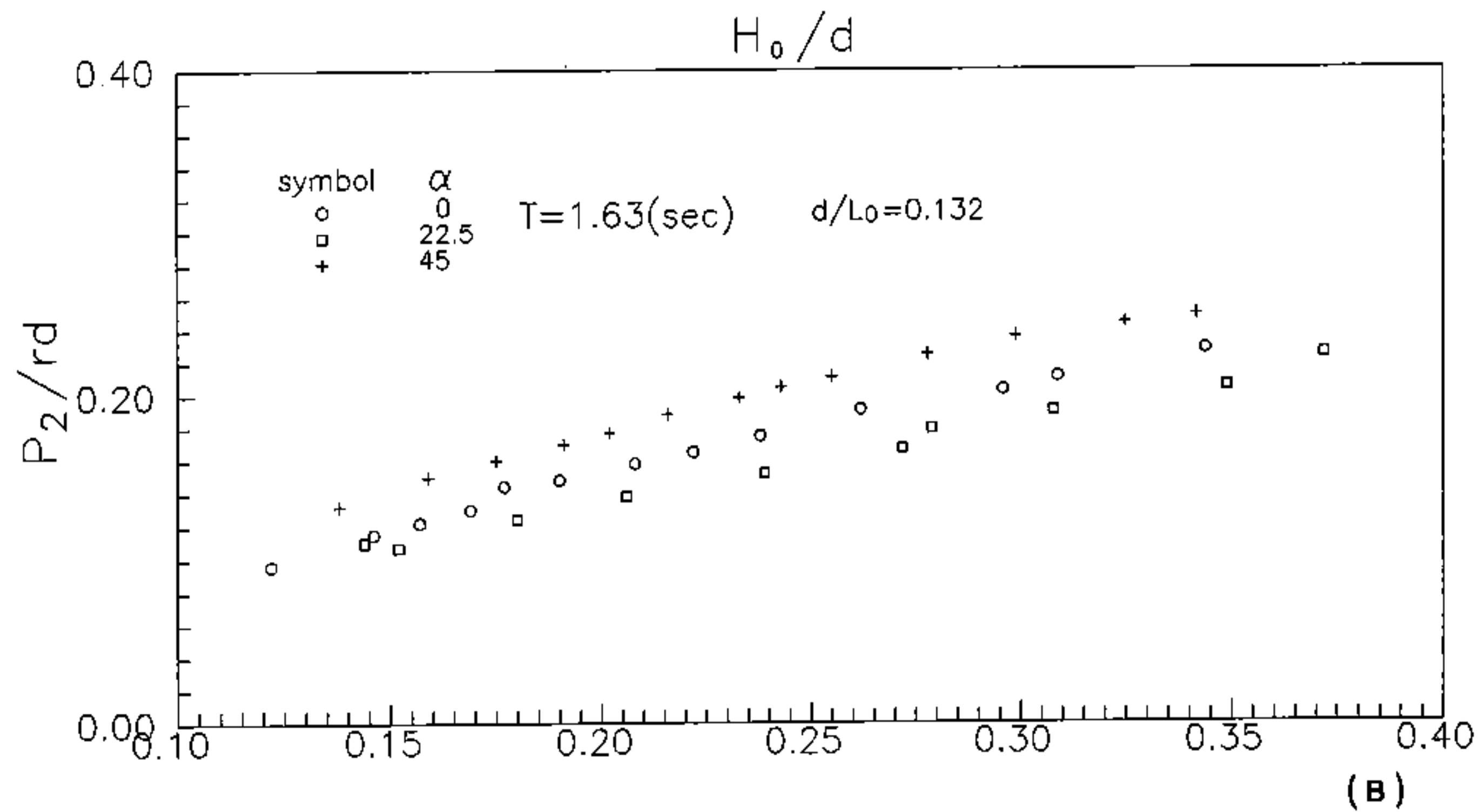
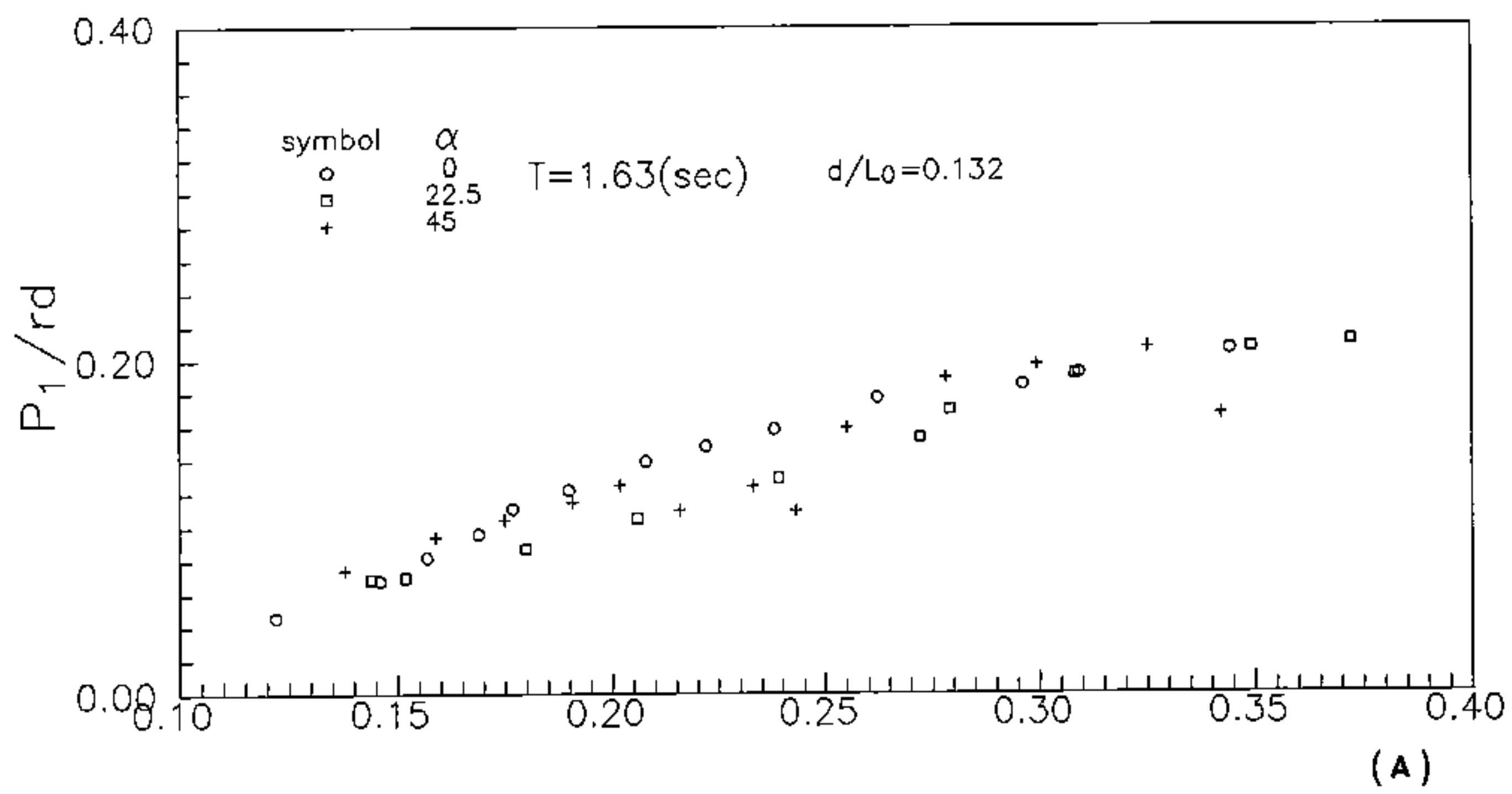


圖 5-3-5 $d/L_0=0.132$ 時，各種 α 的波壓比較圖

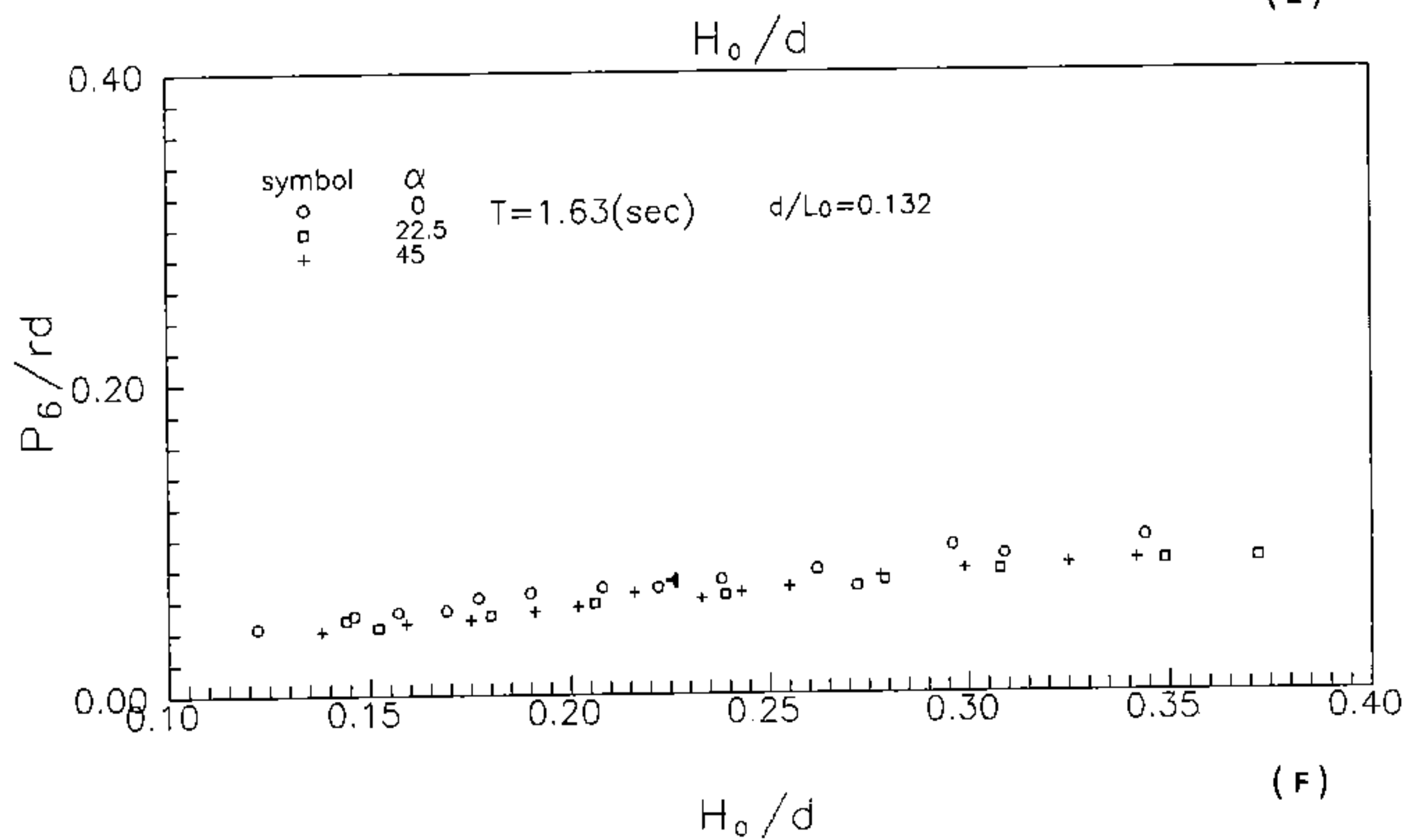
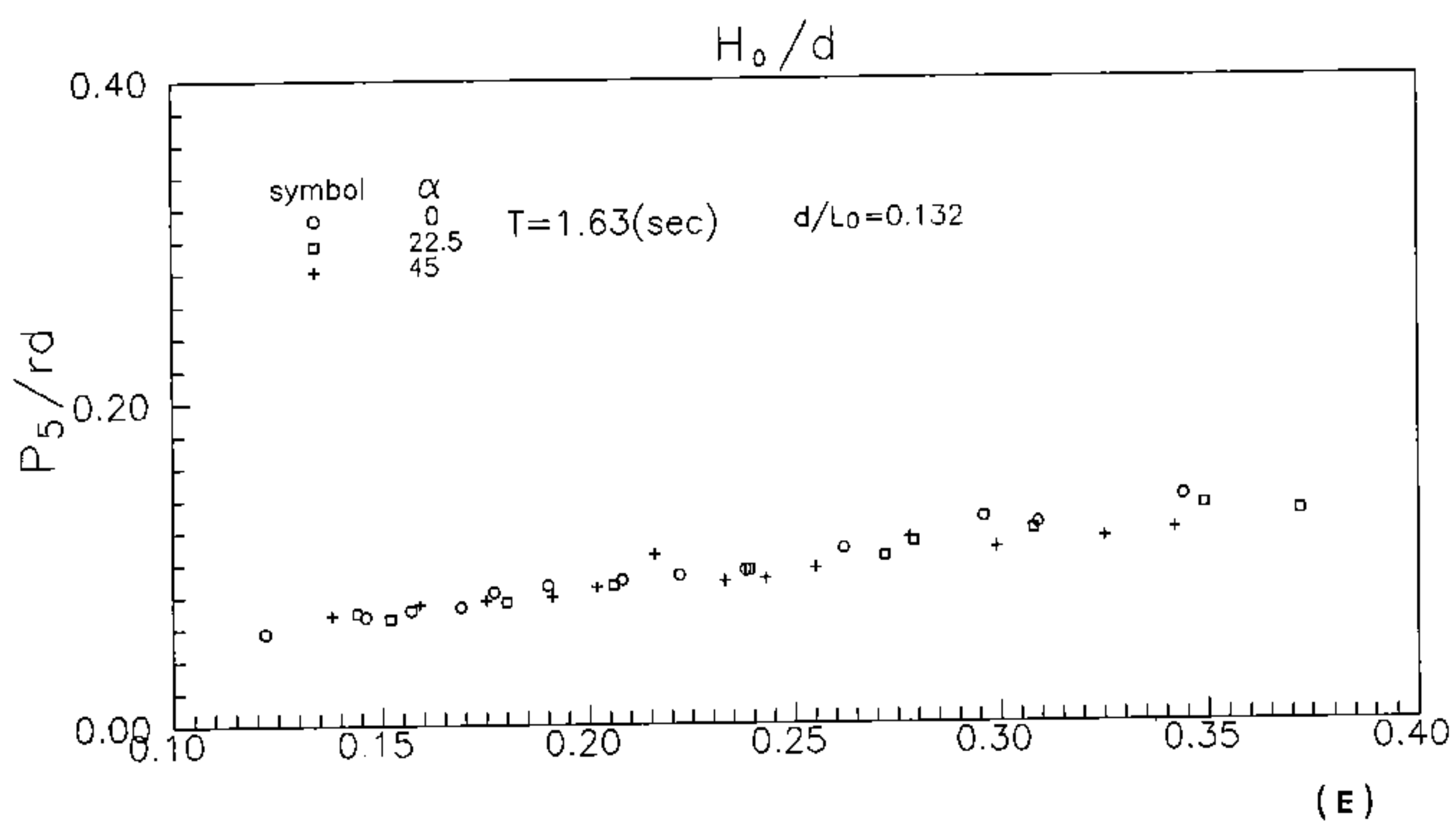
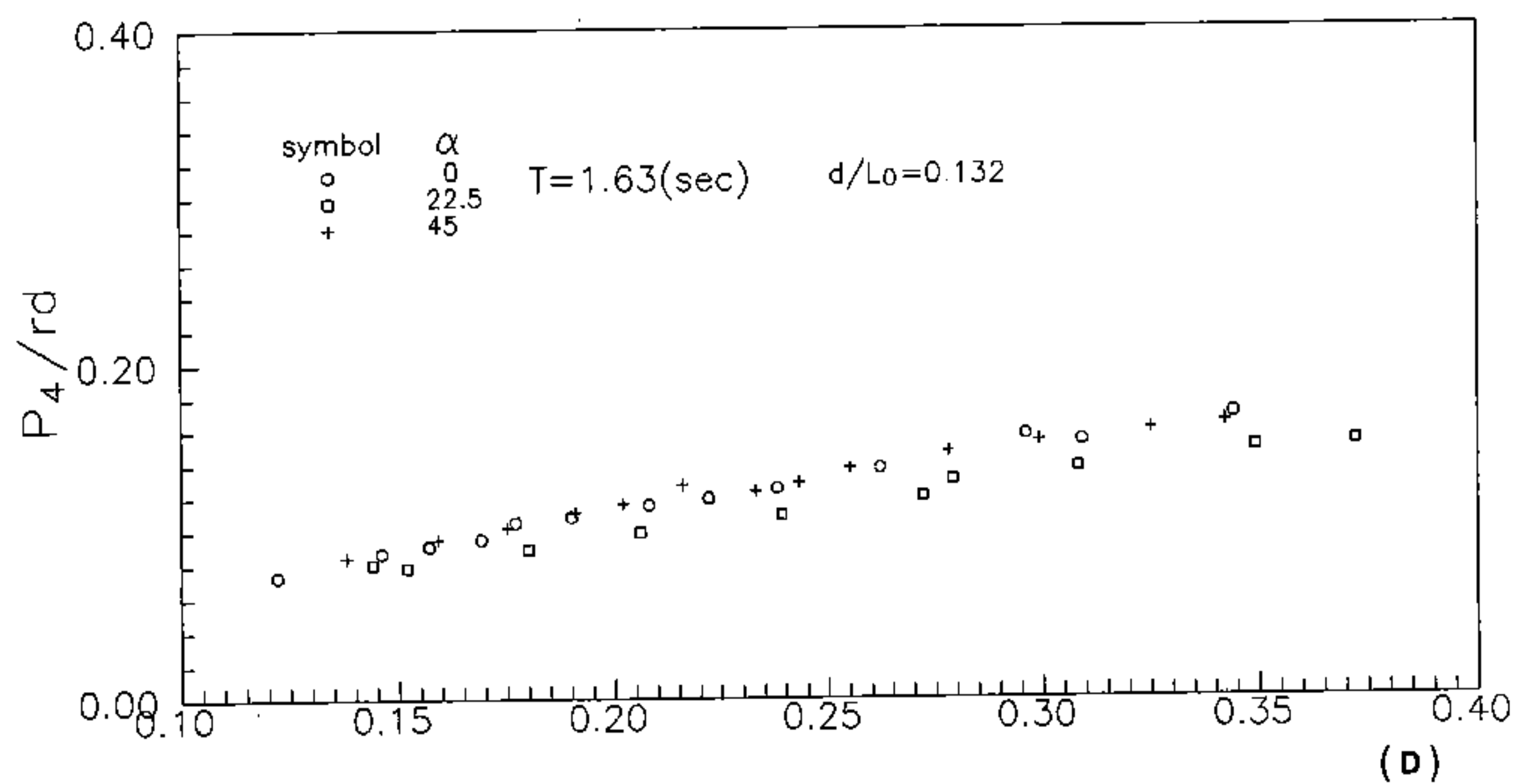


圖 5-3-5 $d/L_0=0.132$ 時，各種 α 的波壓比較圖

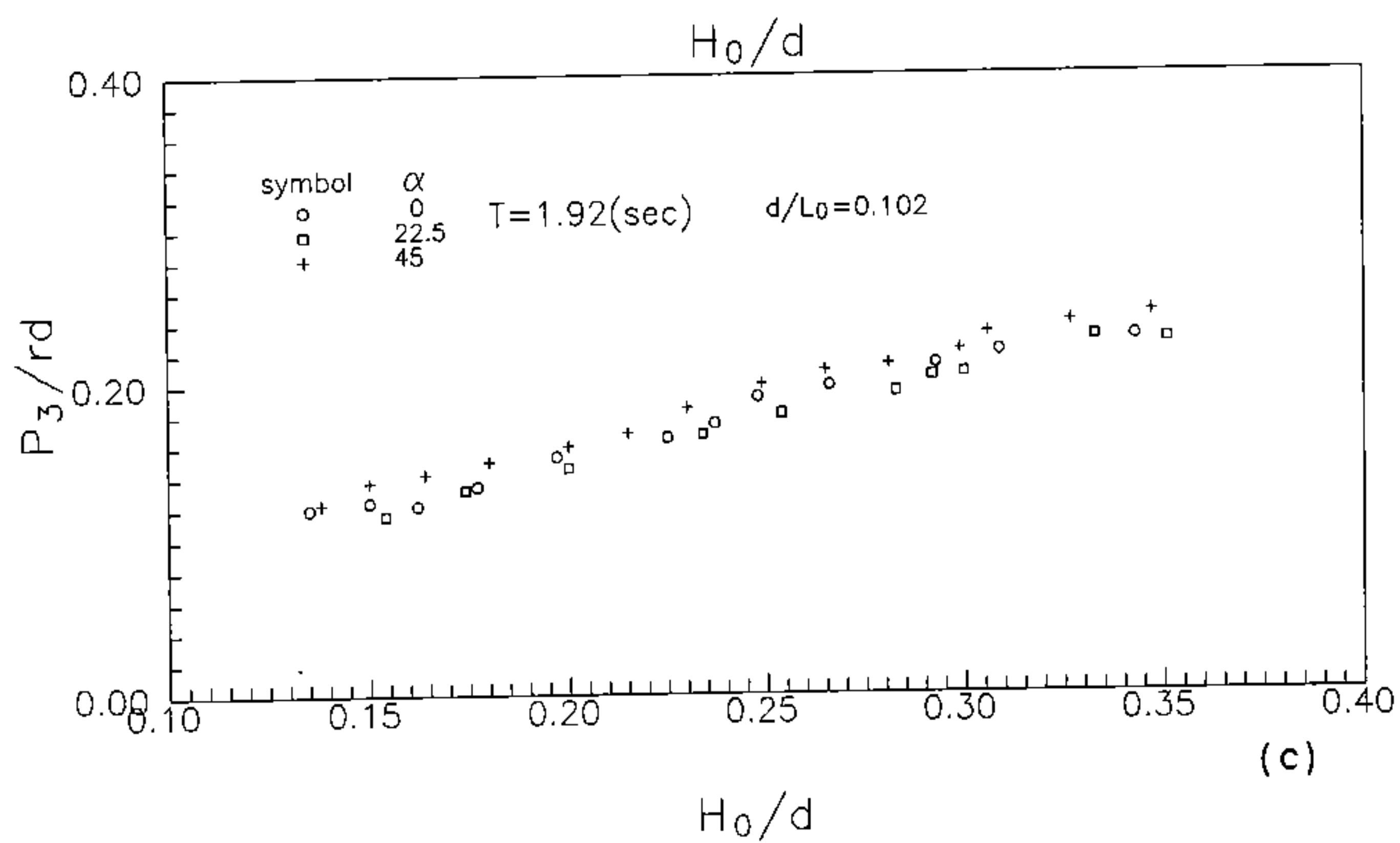
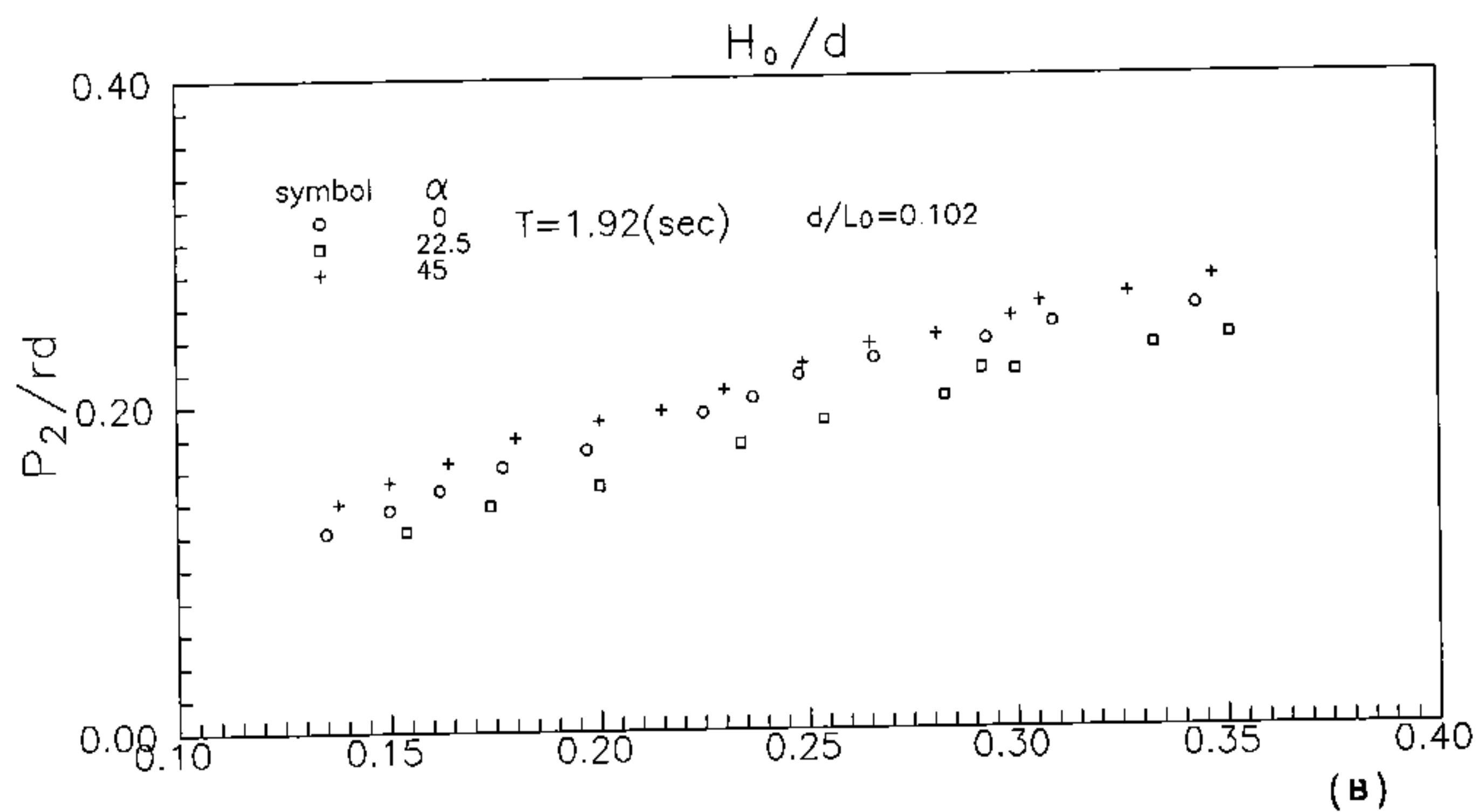
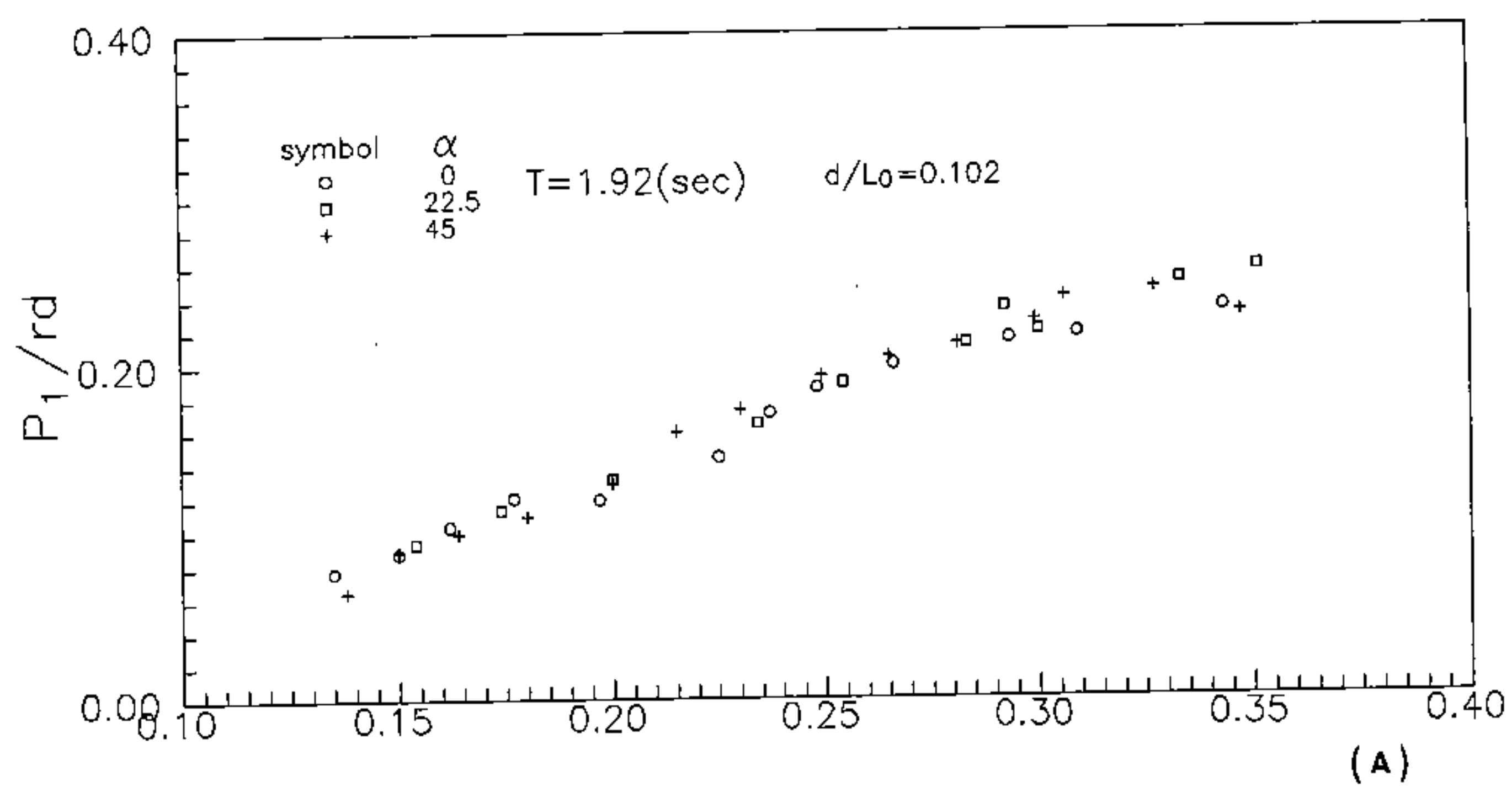


圖 5-3-6 $d/L_0=0.102$ 時，各種 α 的波壓比較圖

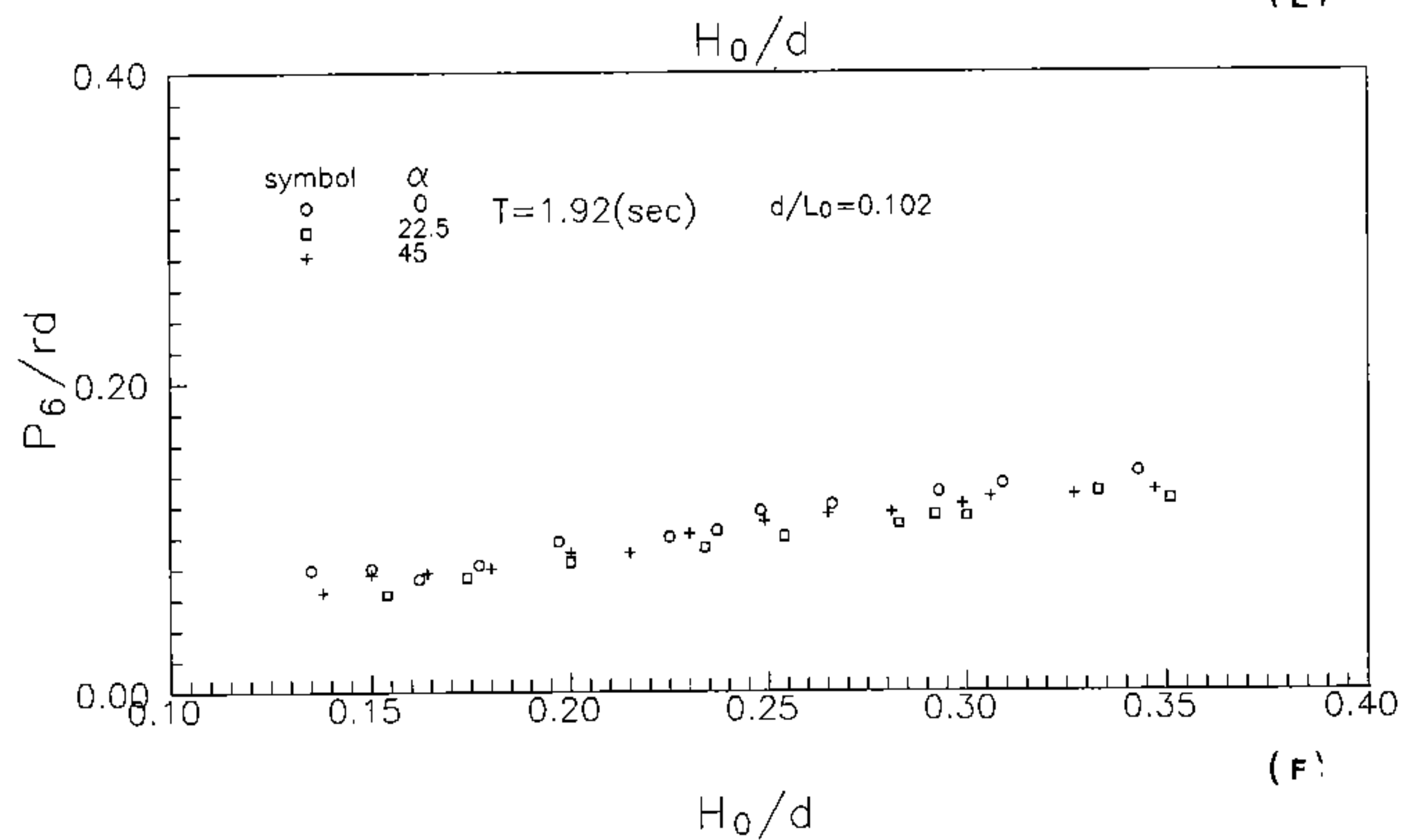
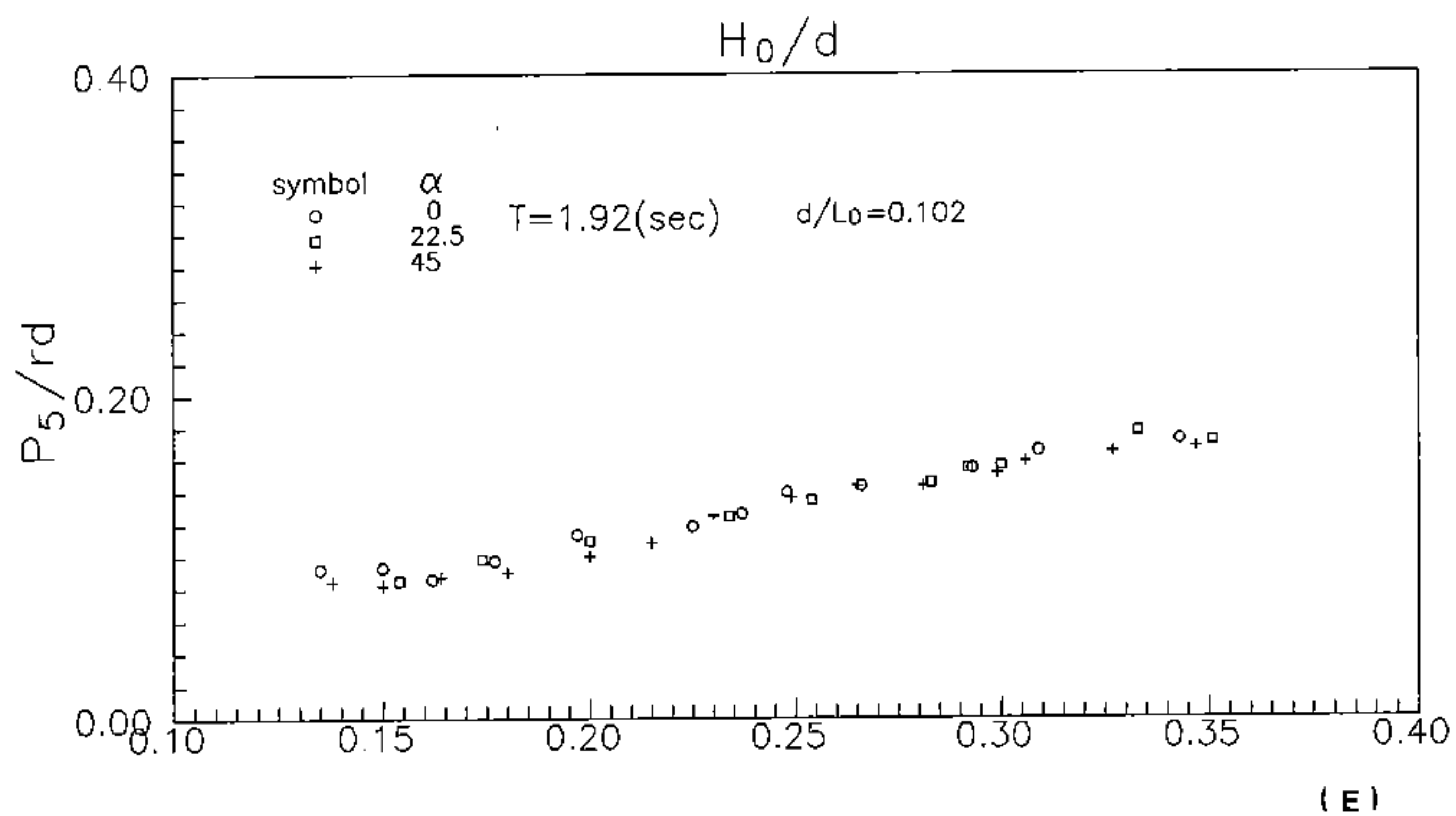
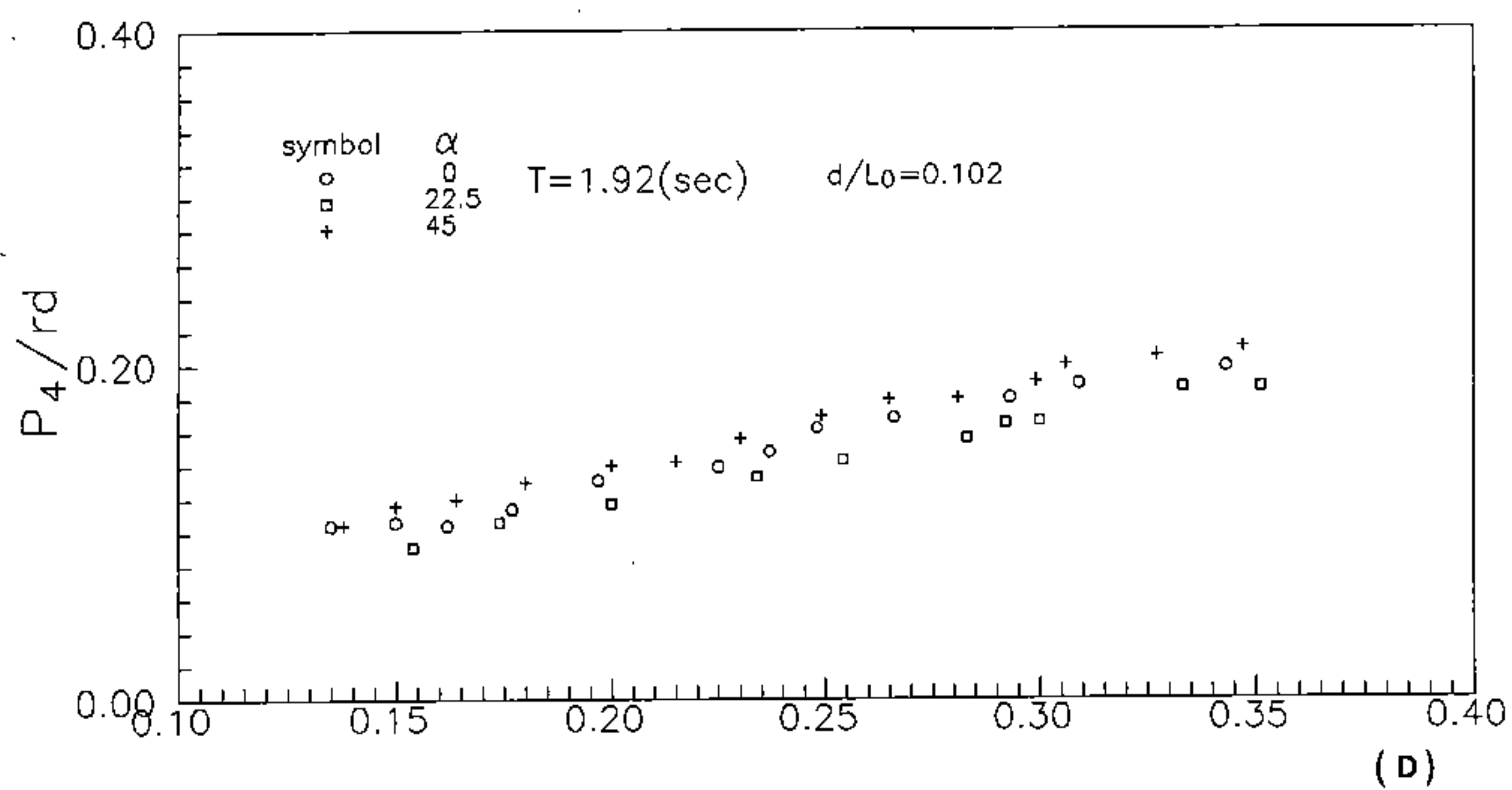


圖 5-3-6 $d/L_0=0.102$ 時，各種 α 的波壓比較圖

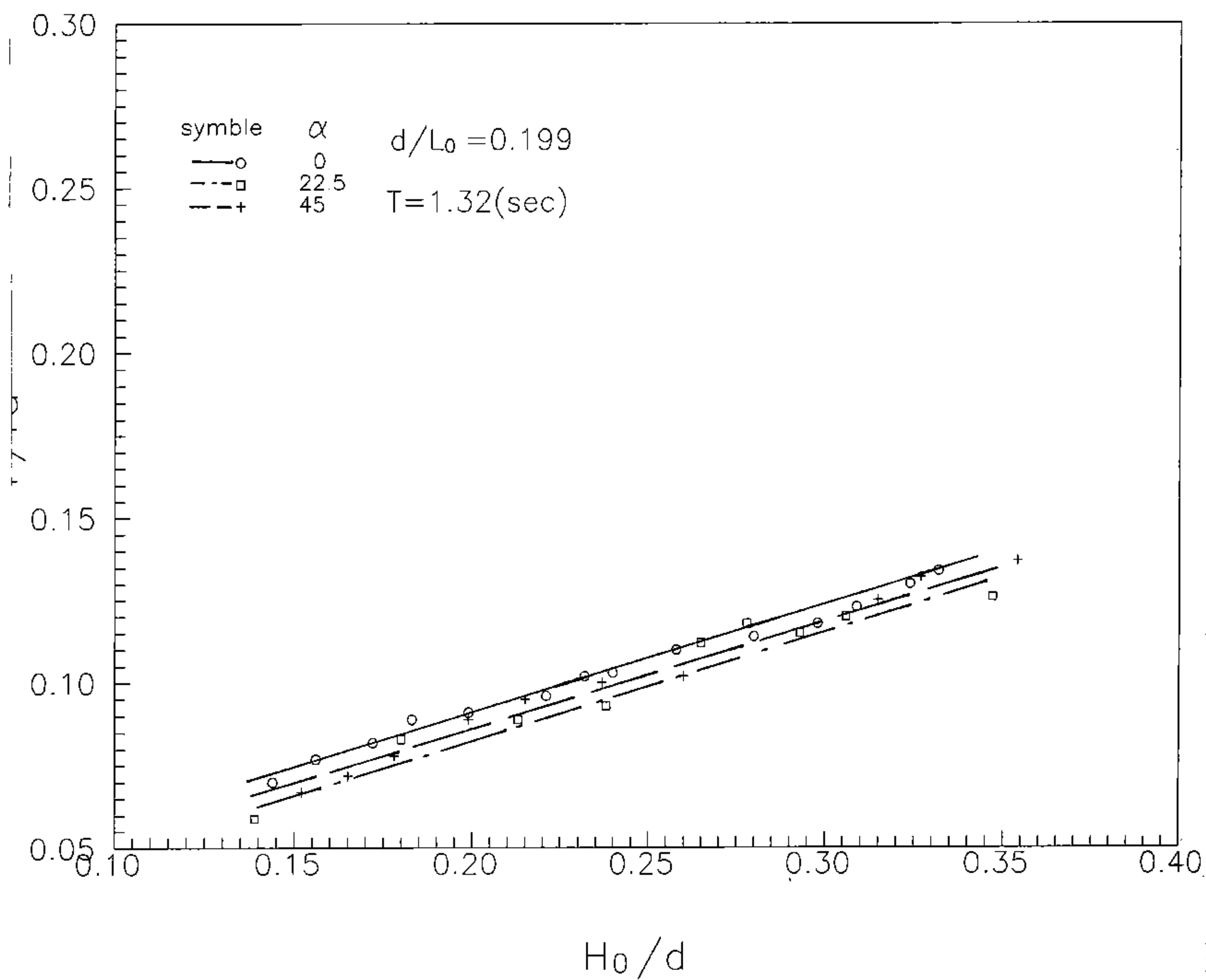


圖5-3-7 $d/L_0=0.199$ 、不同 α 時， F/rd^2 對 H_0/d 之關係圖

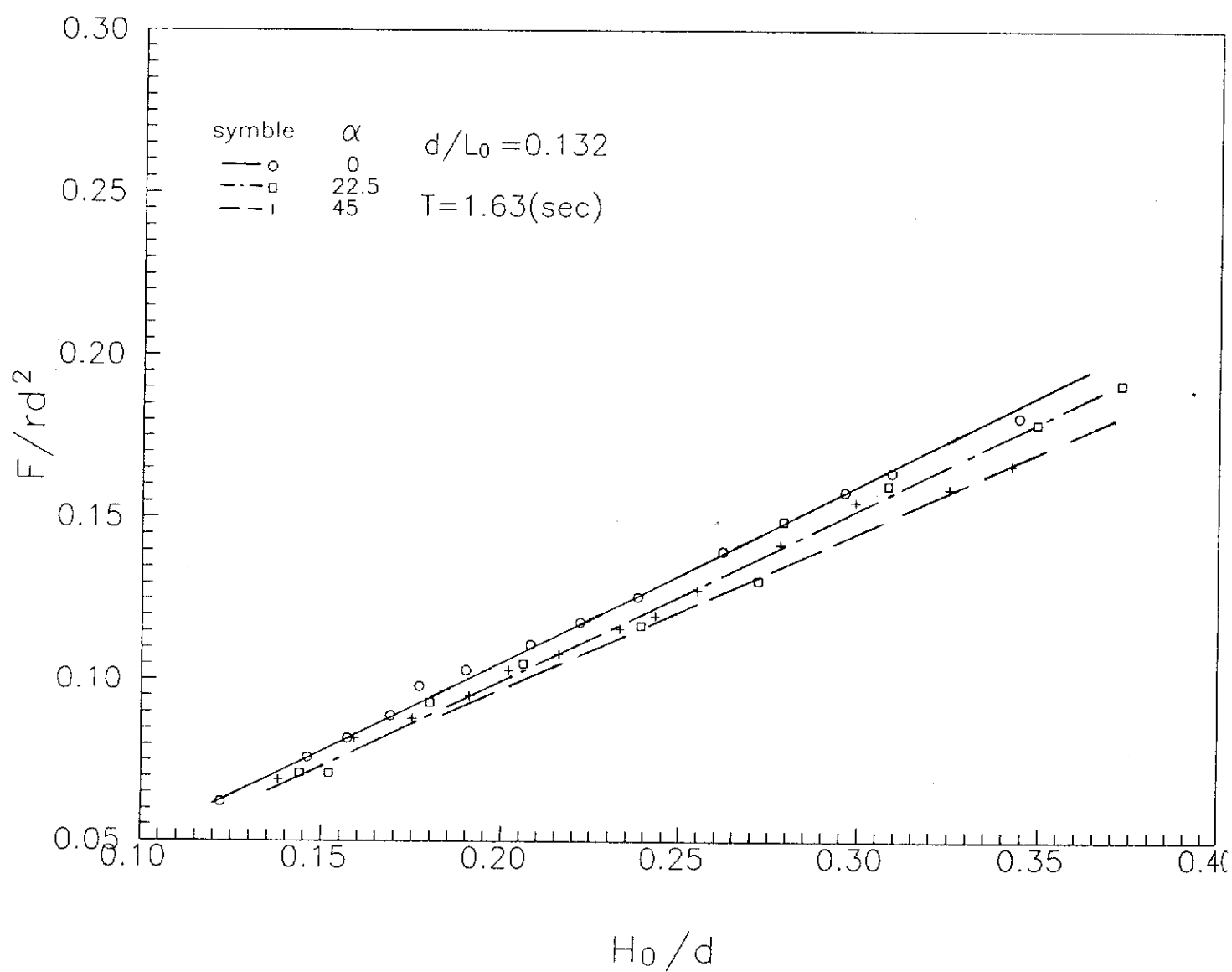


圖 5-3-8 $d/L_0=0.132$ 、不同 α 時， F/rd^2 對 H_0/d 之關係圖

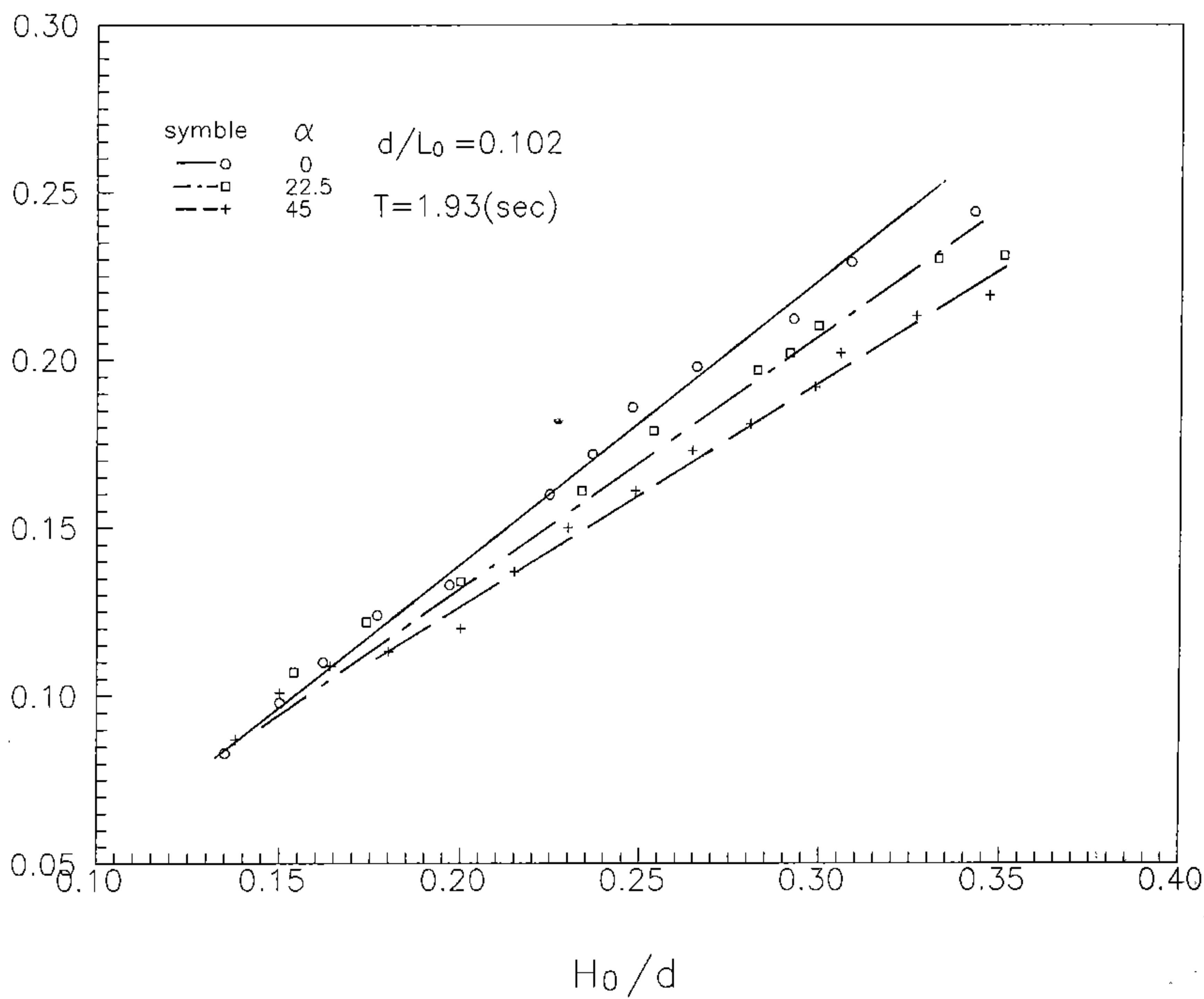


圖 5-3-9 $d/L_0 = 0.102$ 、不同 α 時， F/rd^2 對 H_0/d 之關係圖

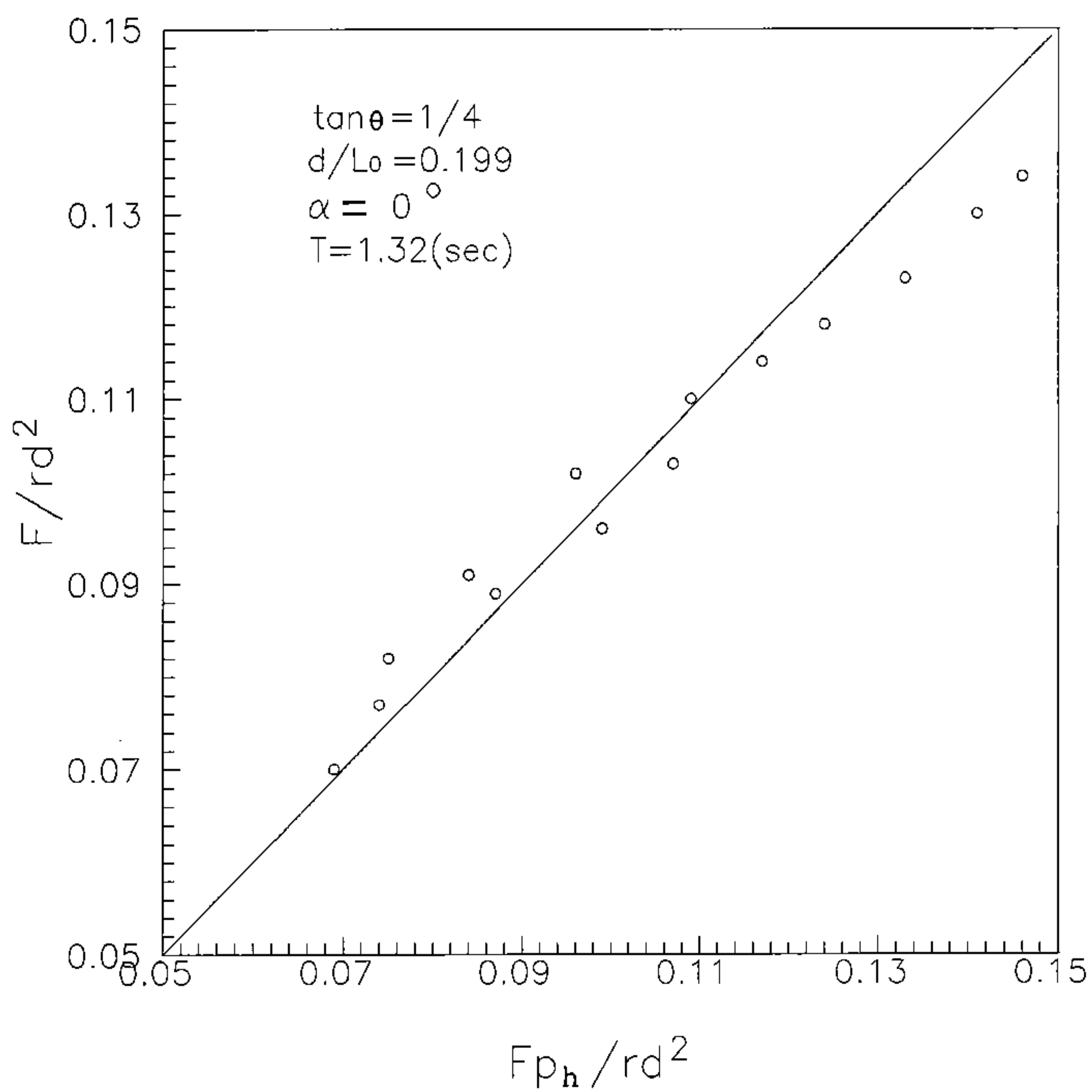


圖 5-3-10A $\alpha=0^\circ$ 、 $d/L_o=0.199$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖

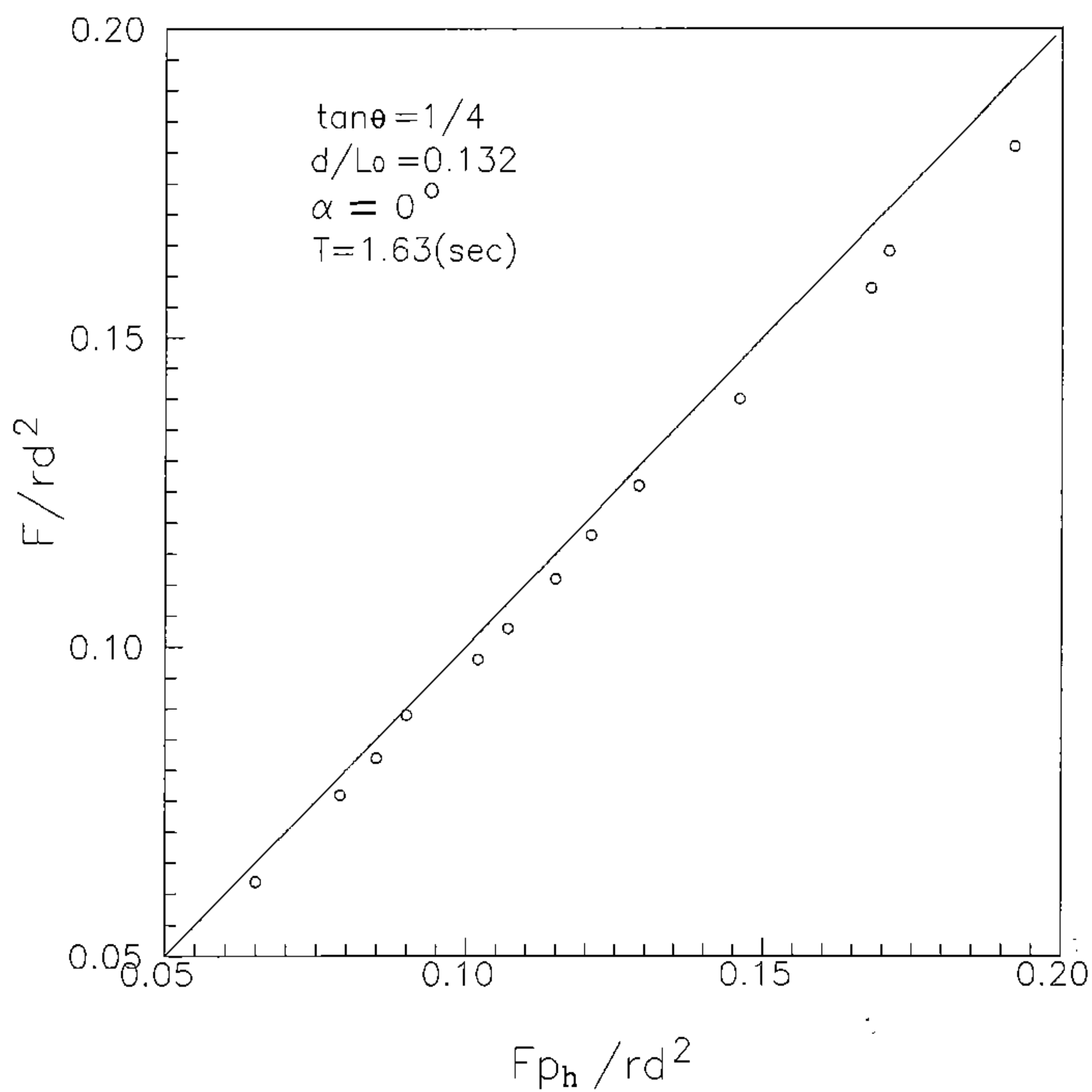


圖 5-3-10B $\alpha=0^\circ$ 、 $d/L_0=0.132$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖

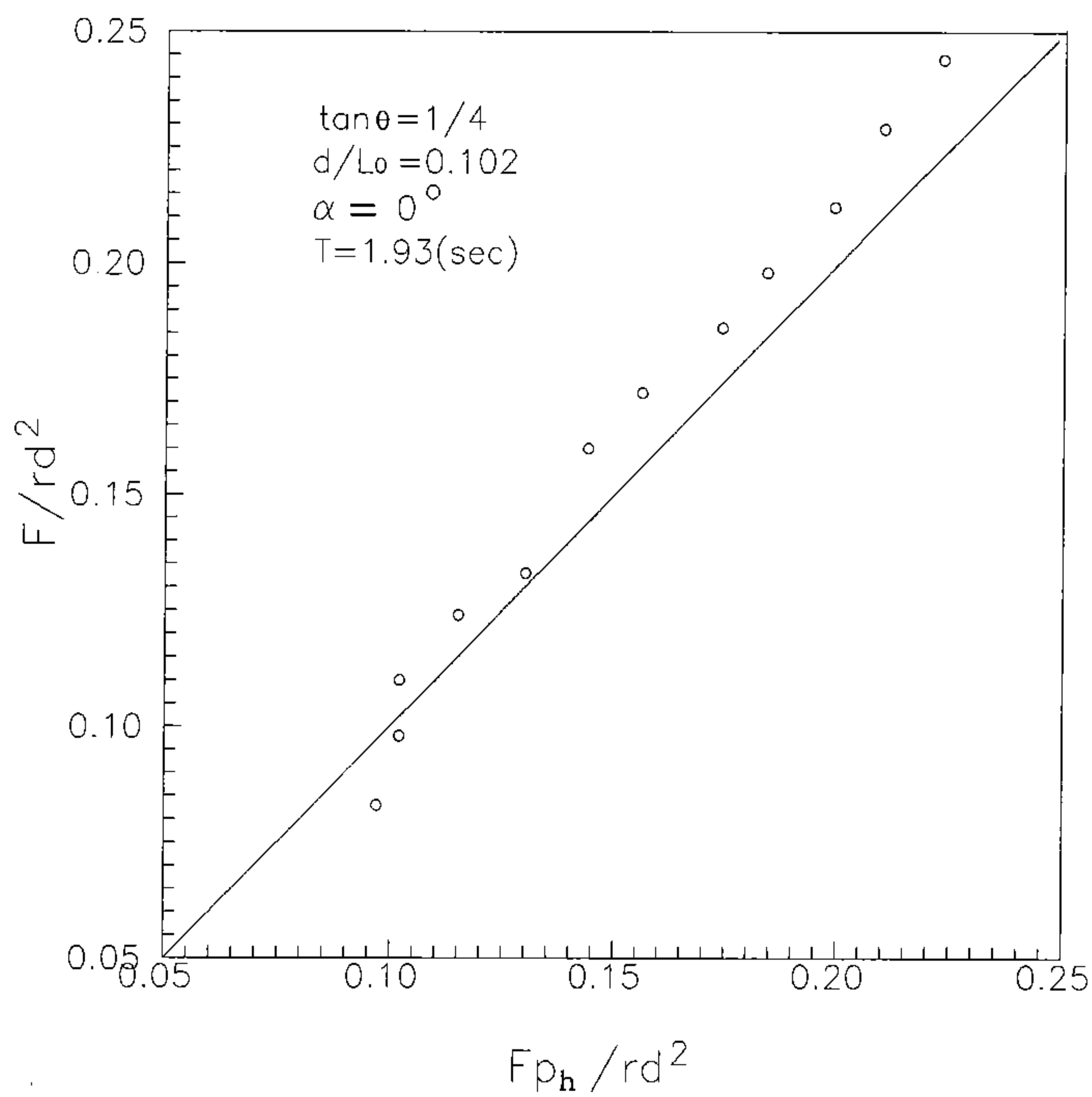


圖 5-3-10C $\alpha=0^\circ$ 、 $d/L_o=0.102$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖

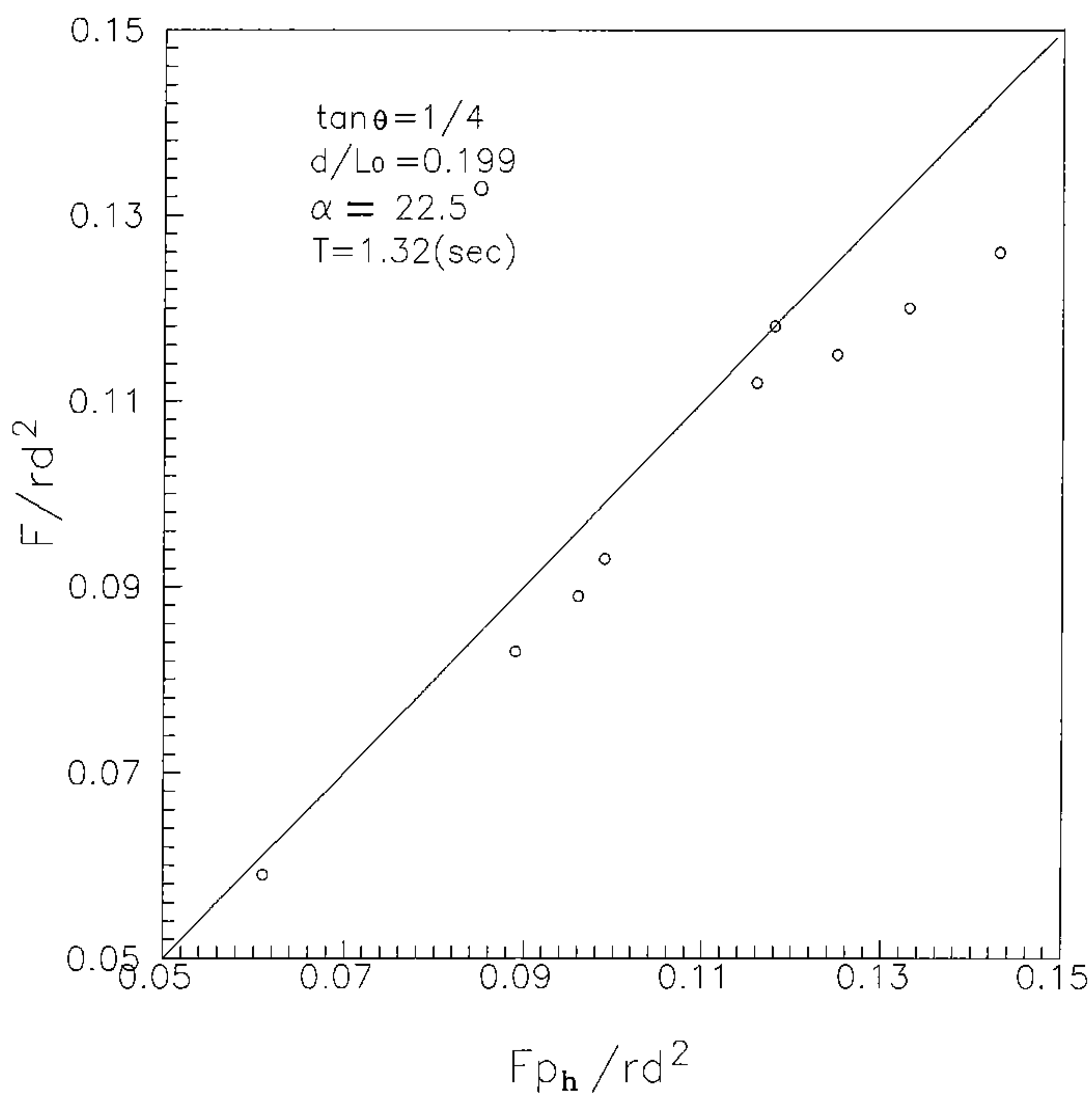


圖 5-3-11A $\alpha=22.5^\circ$ 、 $d/L_o=0.199$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖

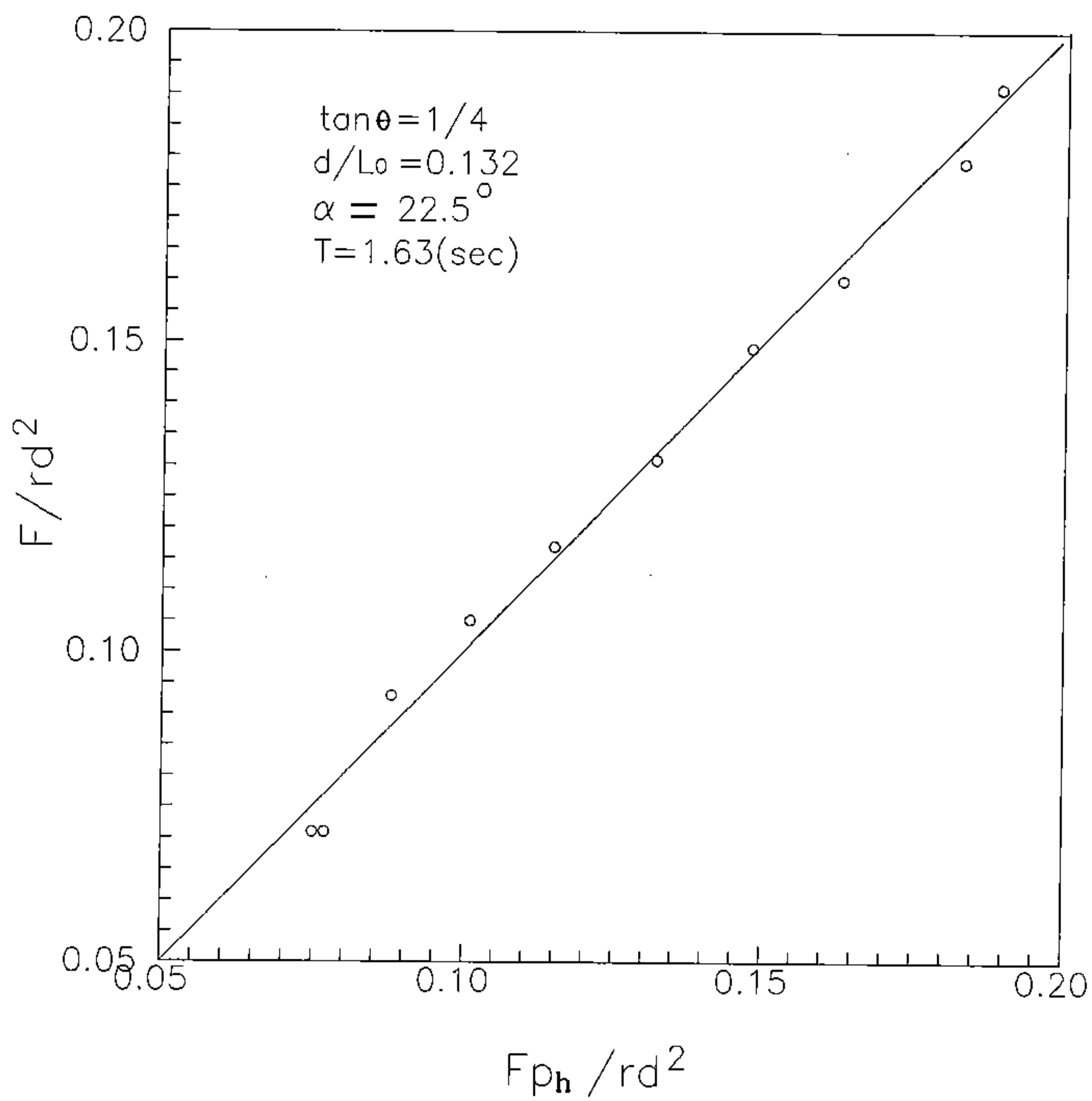


圖 5-3-11B $\alpha=22.5^\circ$ 、 $d/L_0=0.132$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖

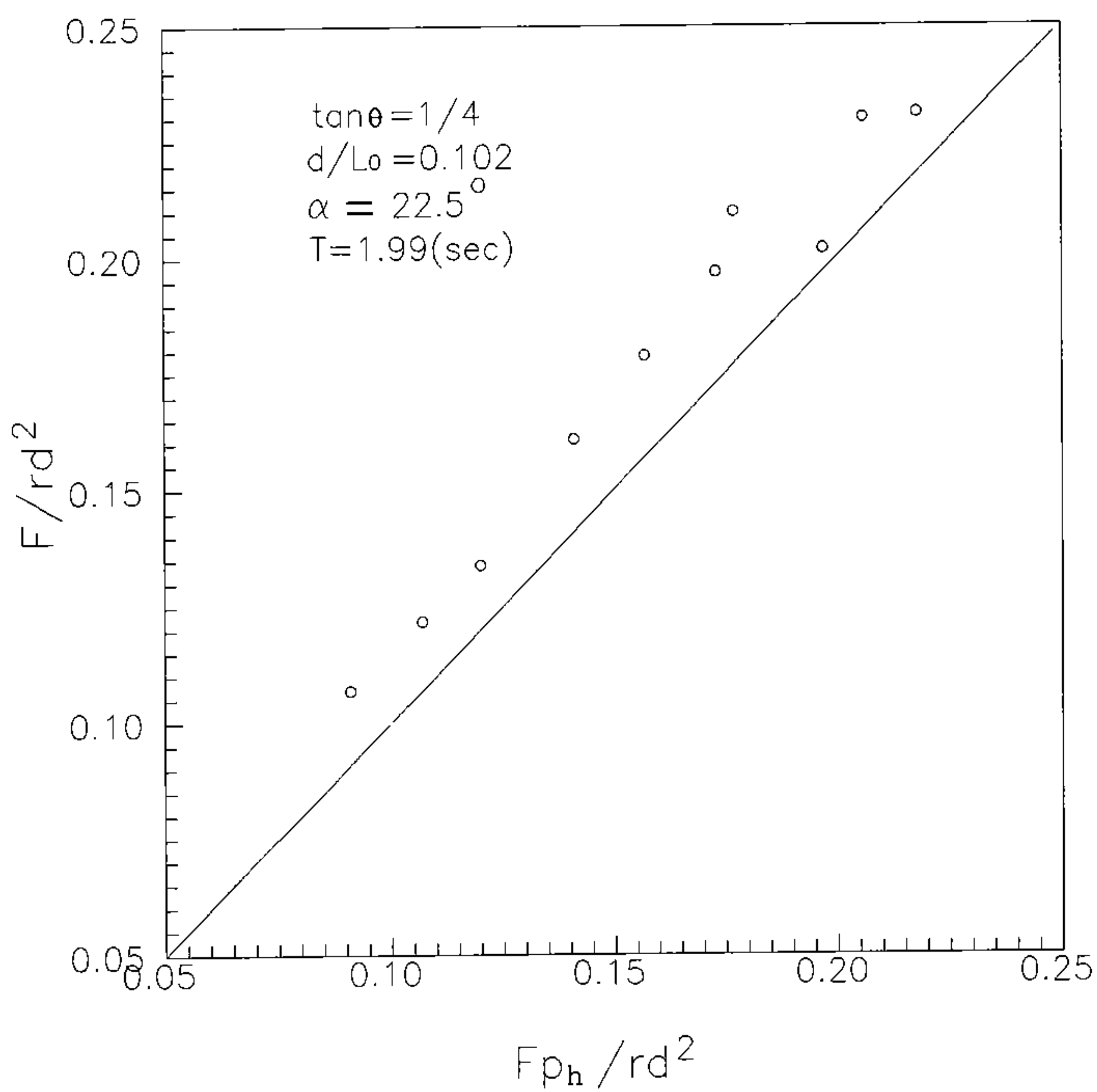


圖 5-3-11C $\alpha=22.5^\circ$ 、 $d/L_o=0.102$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖

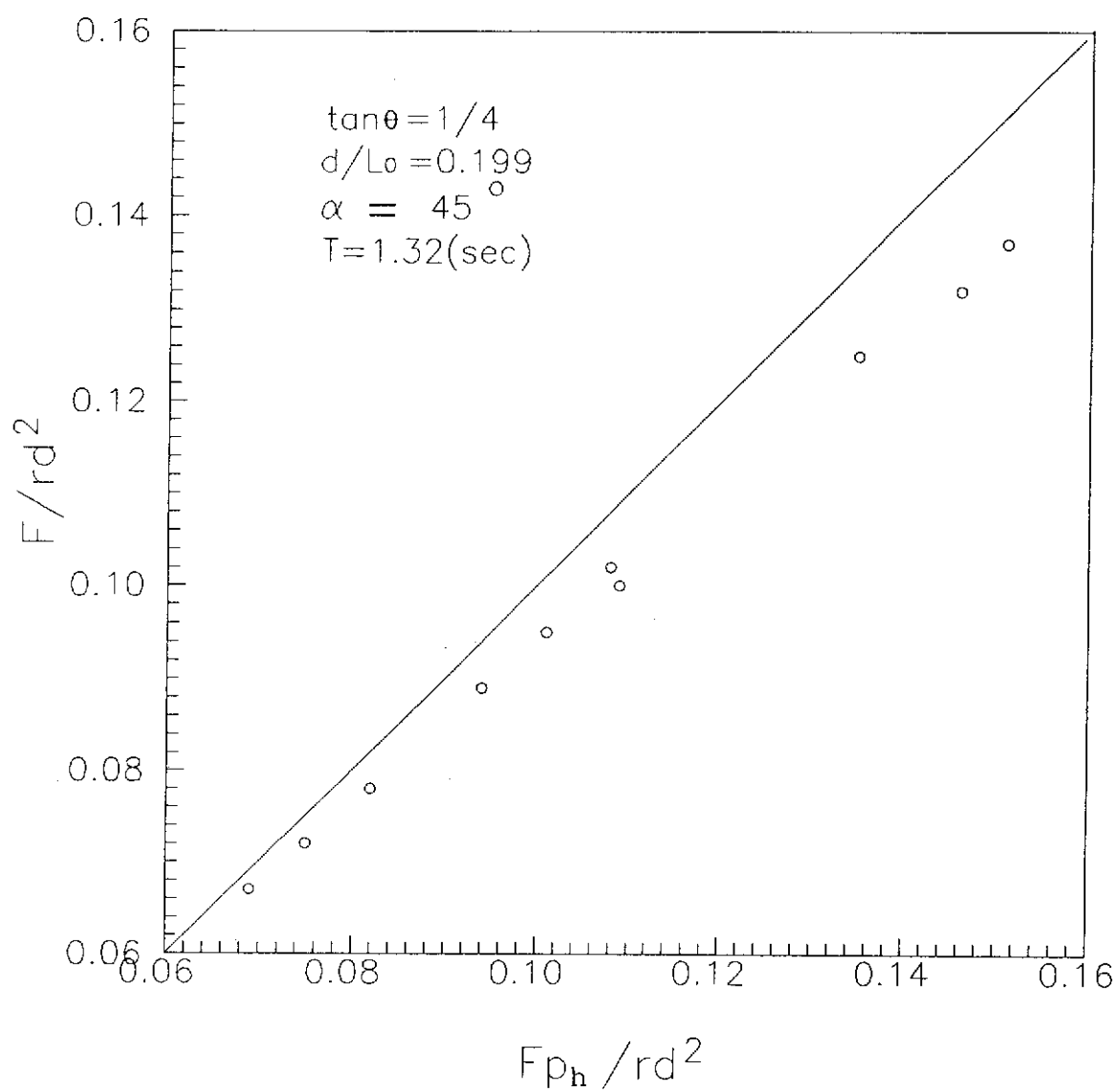


圖 5-3-12A $\alpha=45^\circ$ 、 $d/L_o=0.199$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖

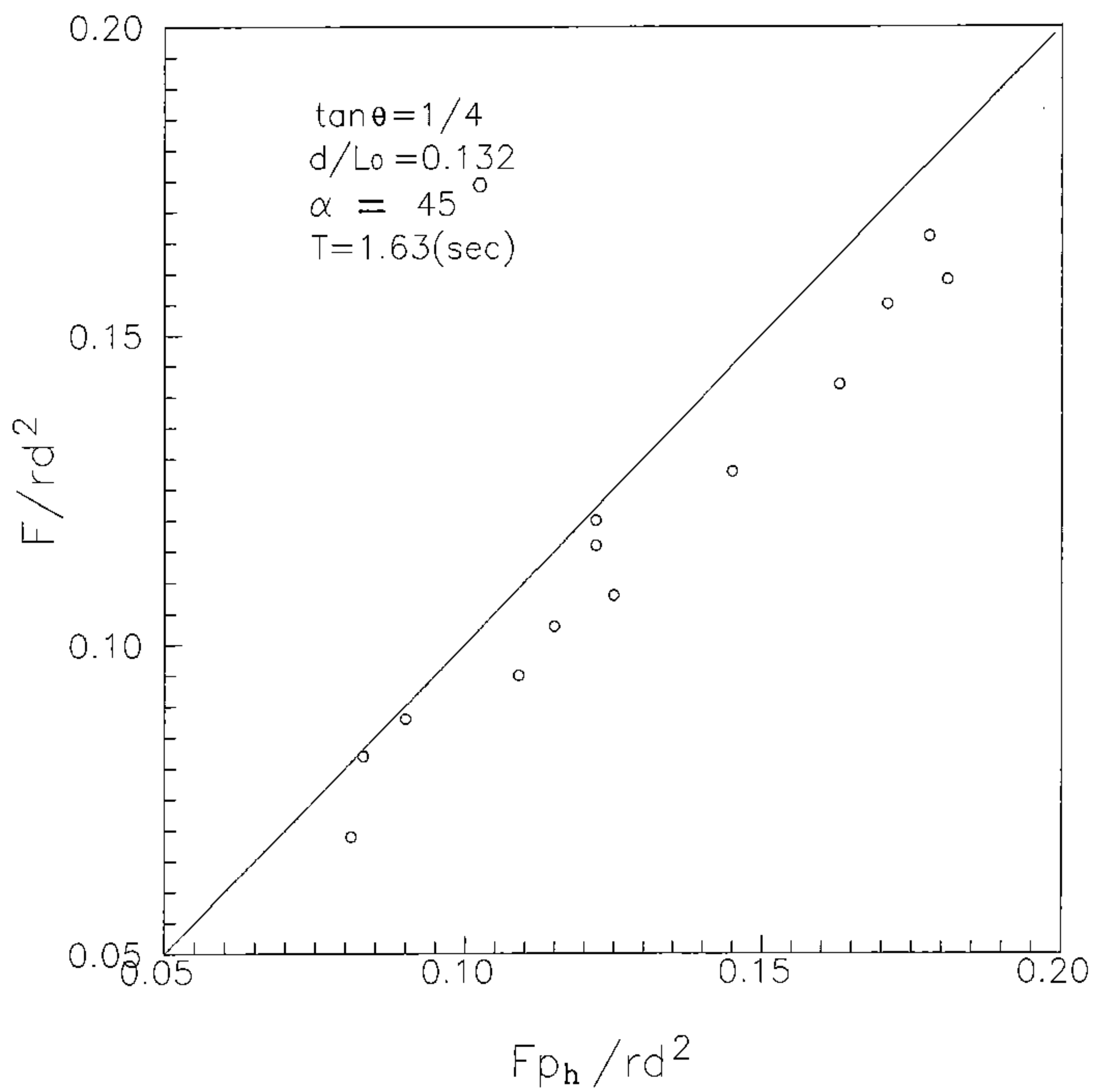


圖 5-3-12B $\alpha=45^\circ$ 、 $d/L_0=0.132$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖

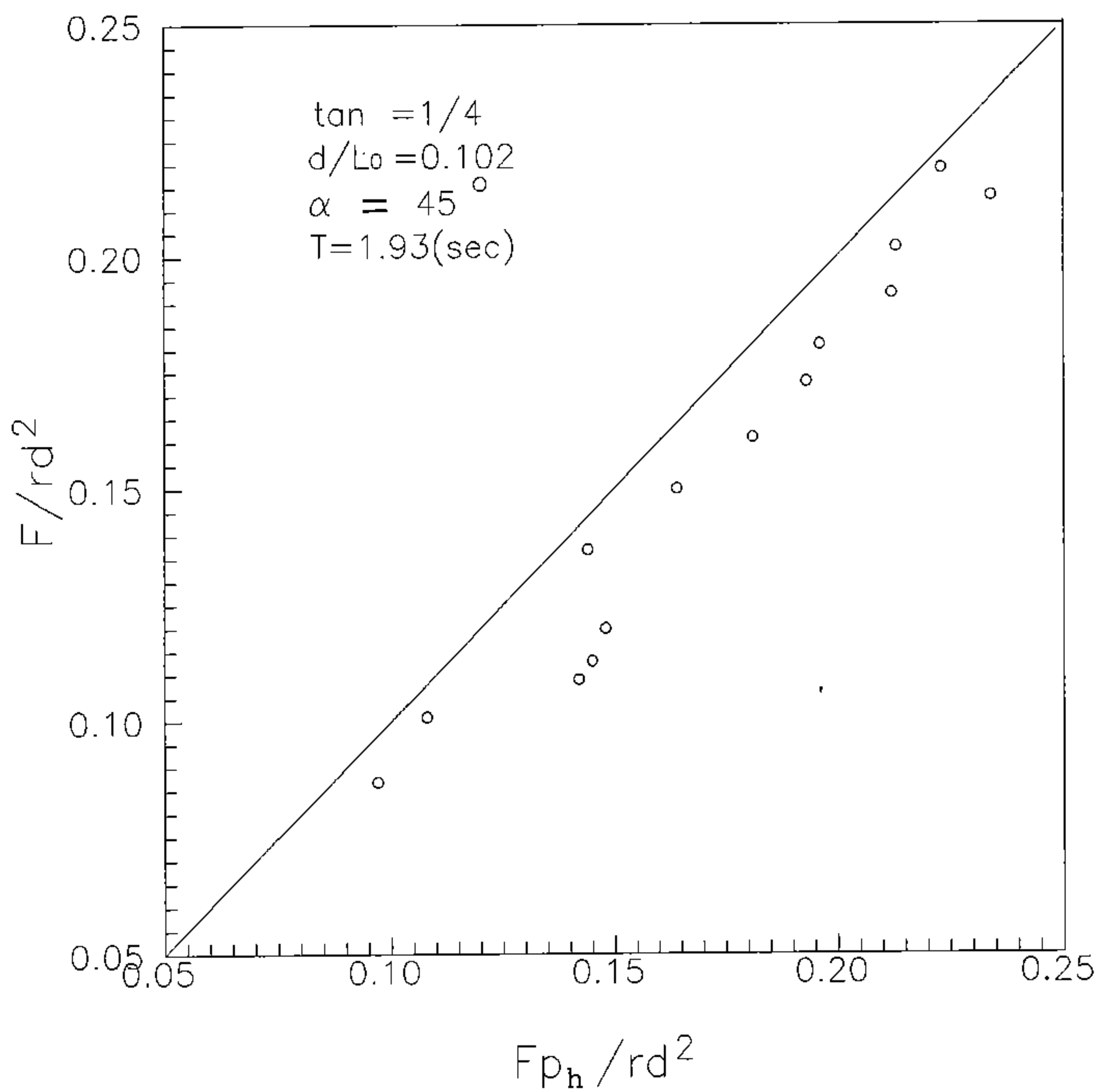
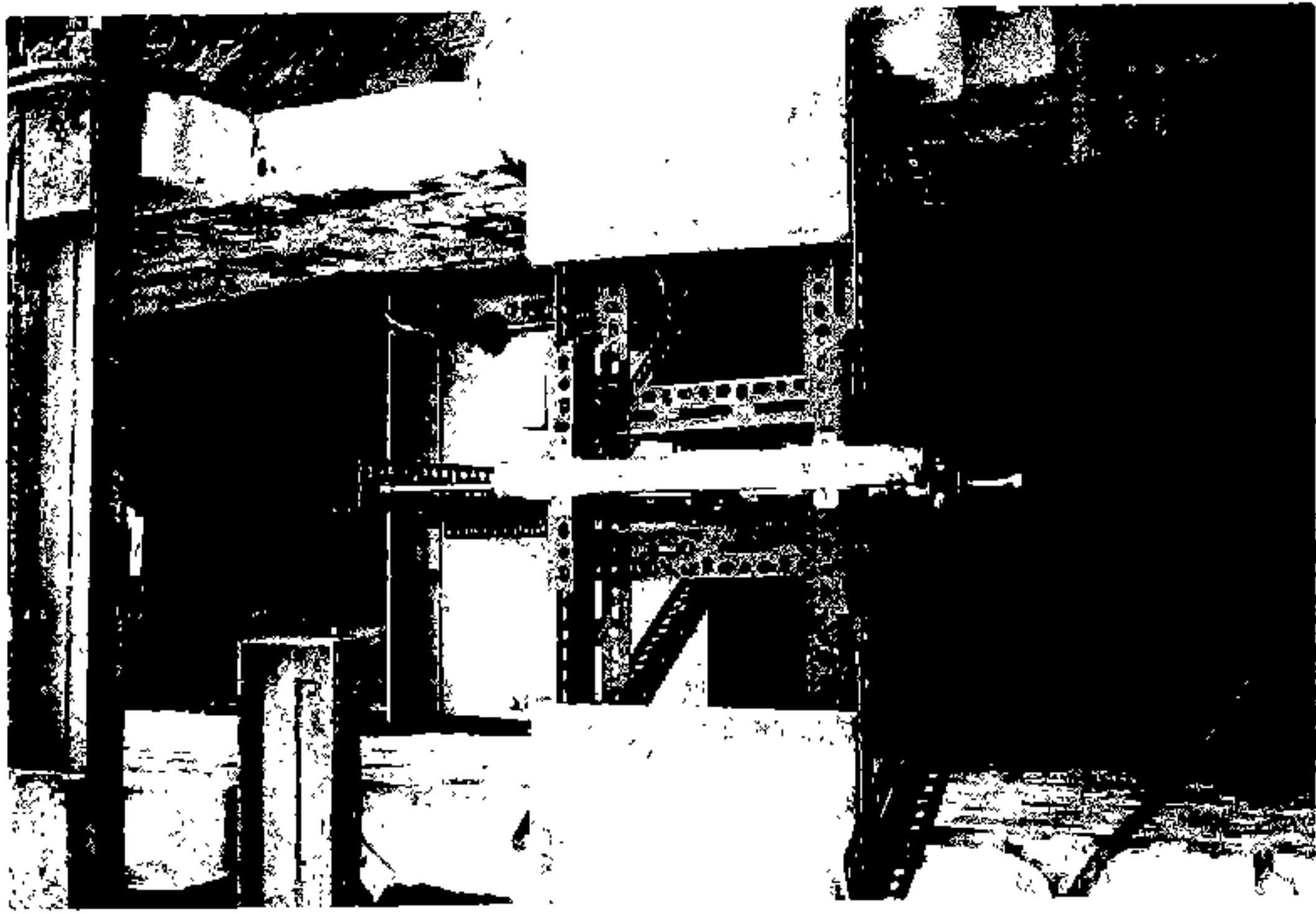
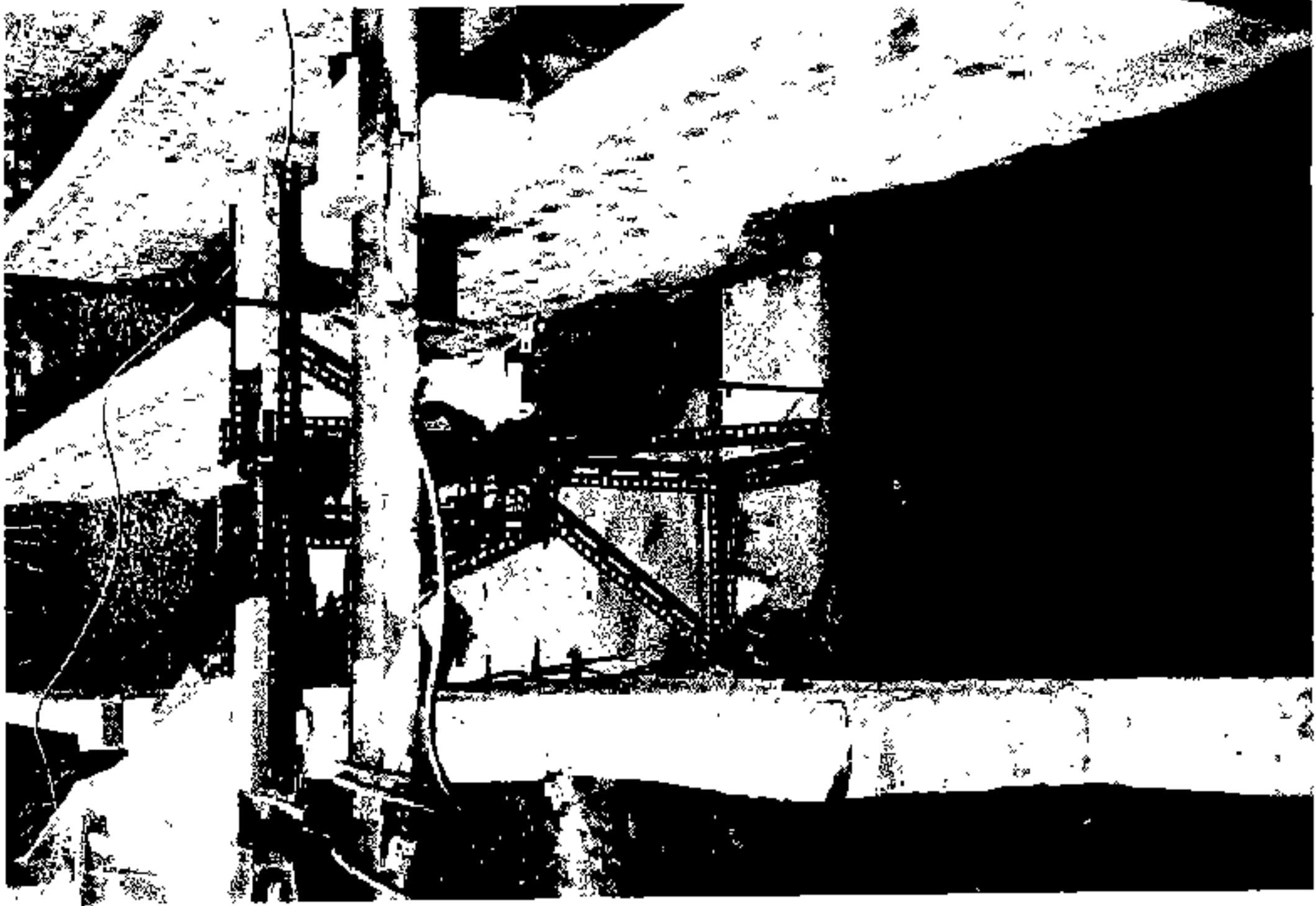


圖 5-3-12C $\alpha=45^\circ$ 、 $d/L_0=0.102$ 之 F/rd^2 對 F_{ph}/rd^2 的關係圖



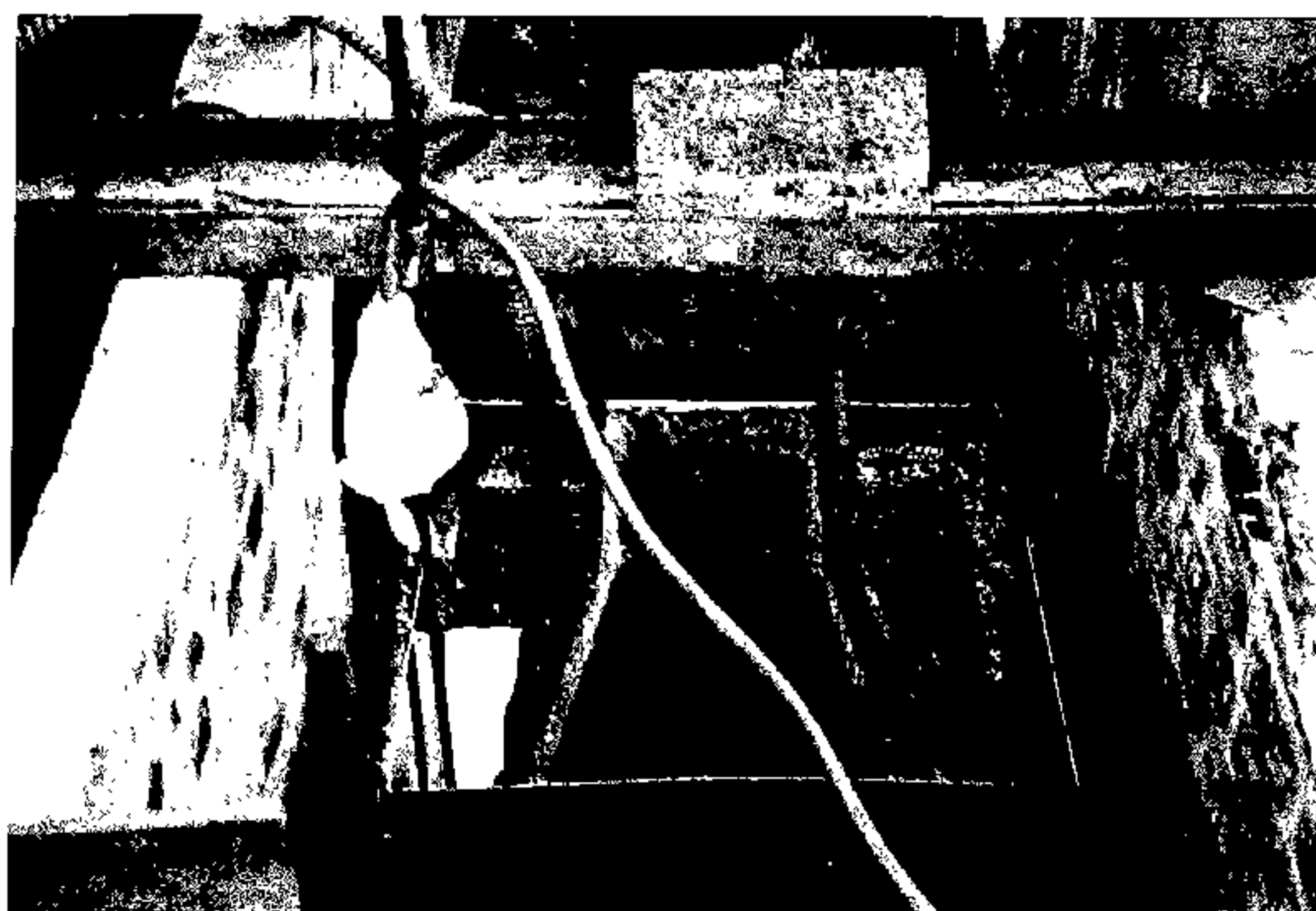
照片3-2-1A 量測波壓及位移之沉箱模型佈置



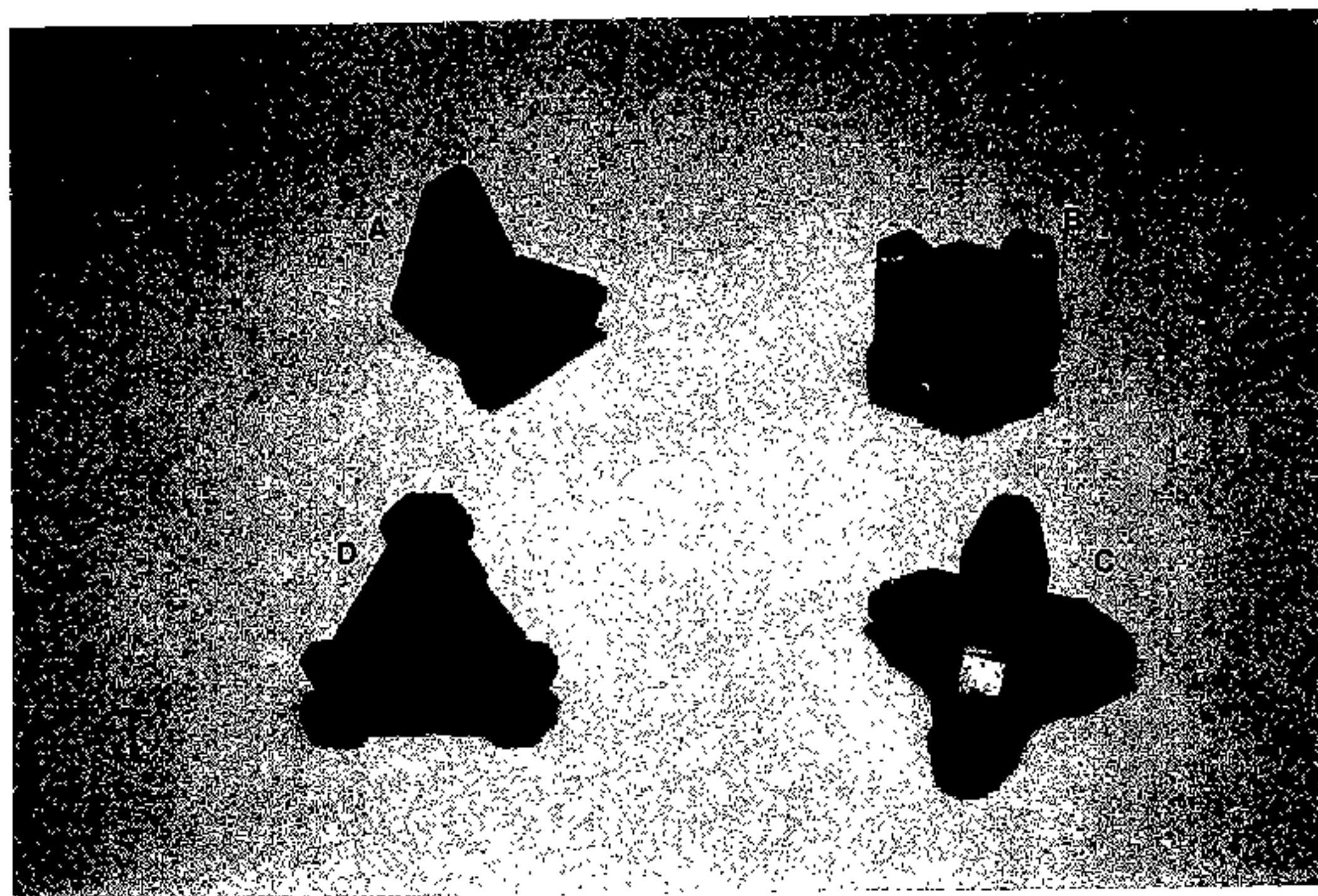
照片3-2-1B 量測波壓及位移之沉箱模型受波浪作用的情形



照片3-2-2A 量測越波量之沉箱模型佈置



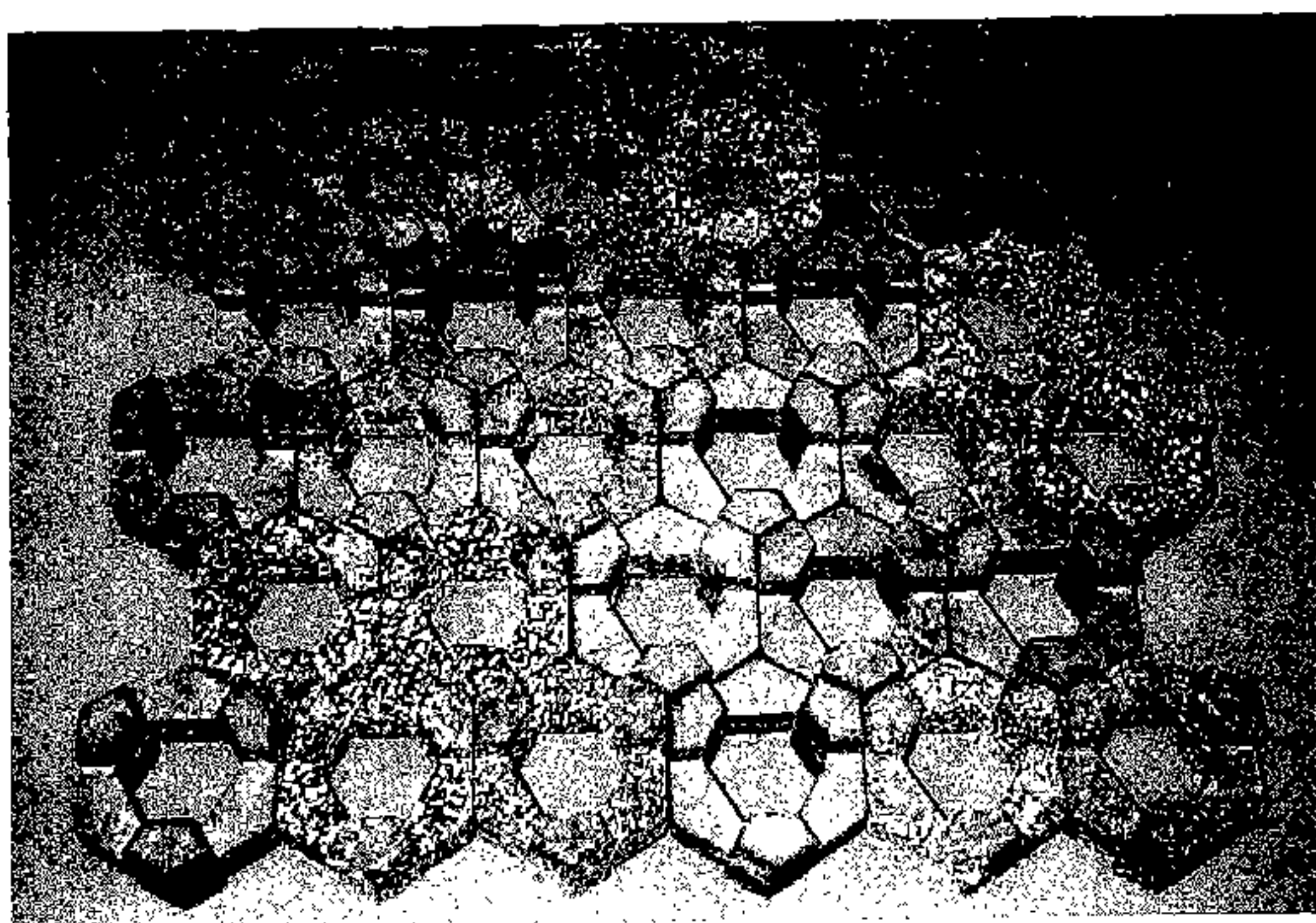
照片3-2-2B 量測越波量之沉箱模型量測的情形



照片4-1-1 (A)安卡塊(B)元鼎塊(C)協克塊(D)凌克塊



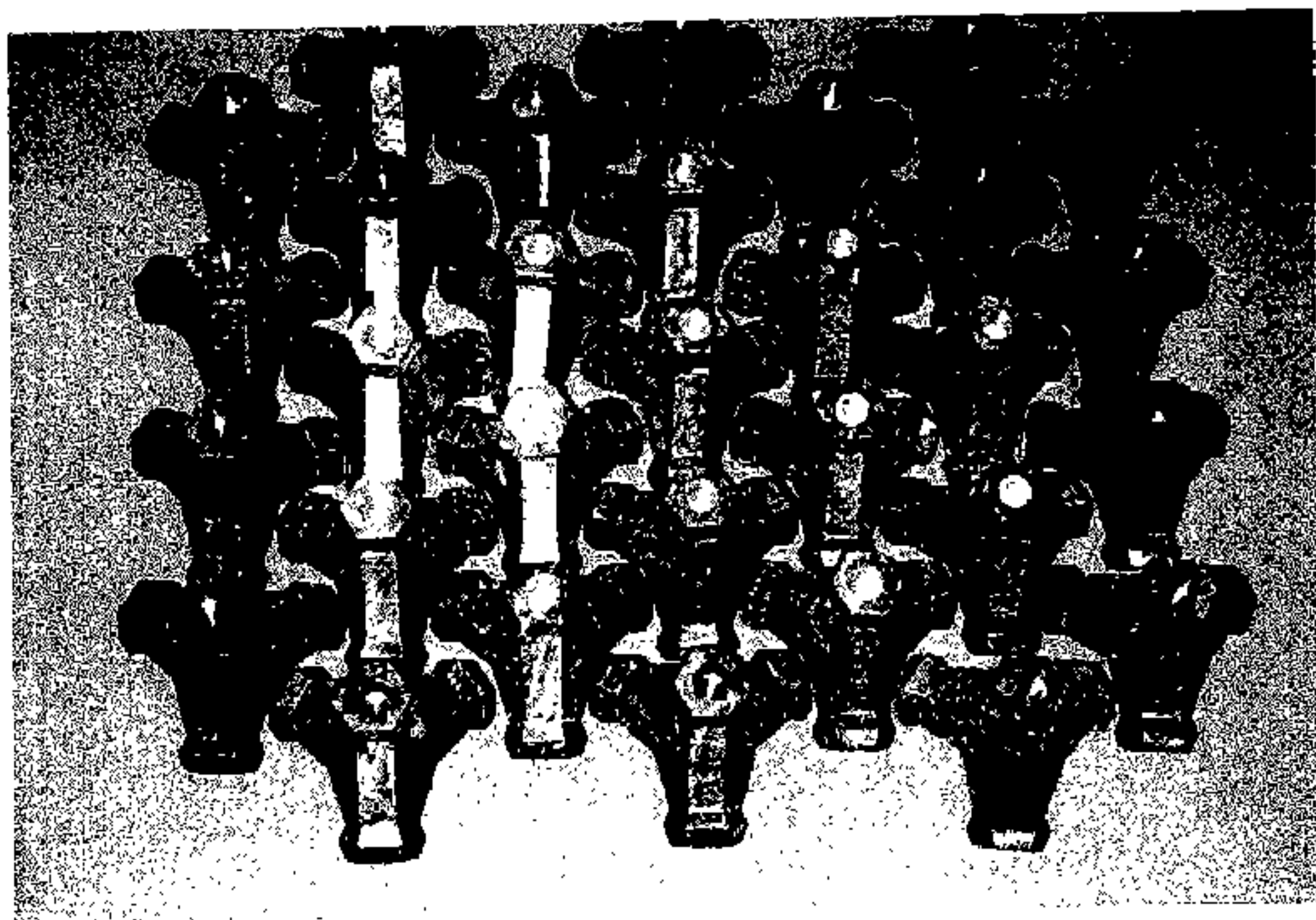
照片4-1-2A 安卡塊排列方式



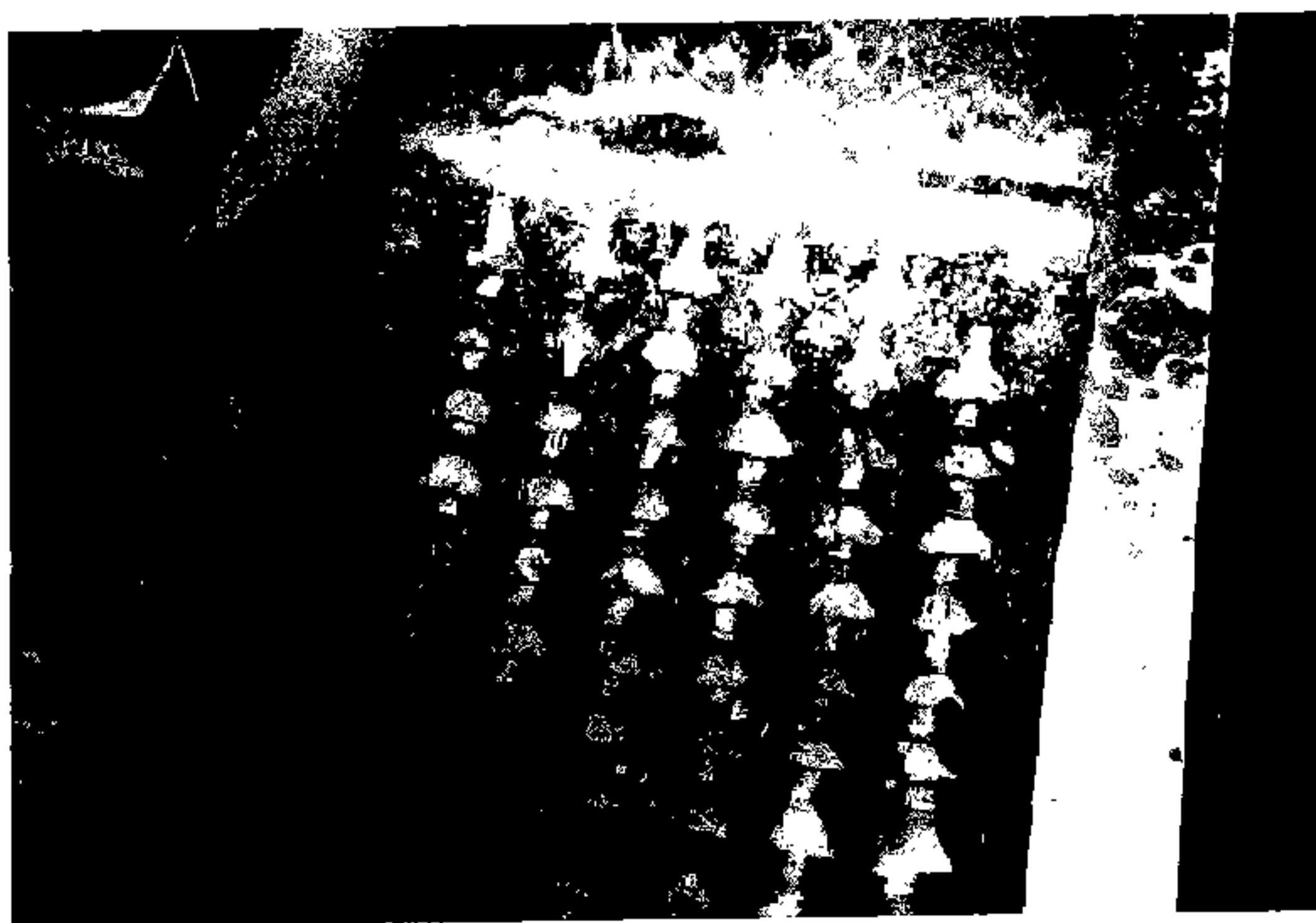
照片4-1-2B 元鼎塊排列方式



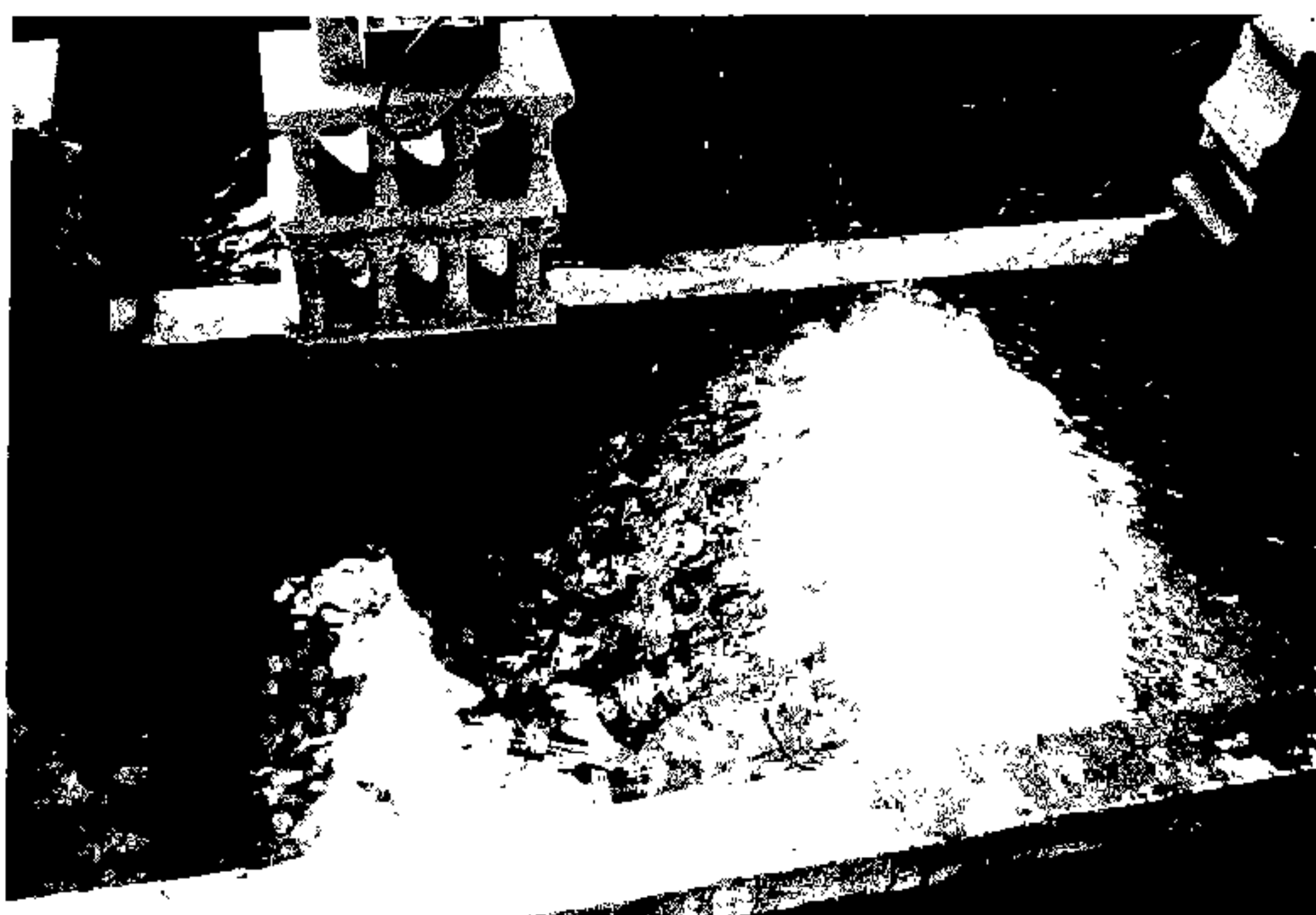
照片4-1-2C 協克塊排列方式



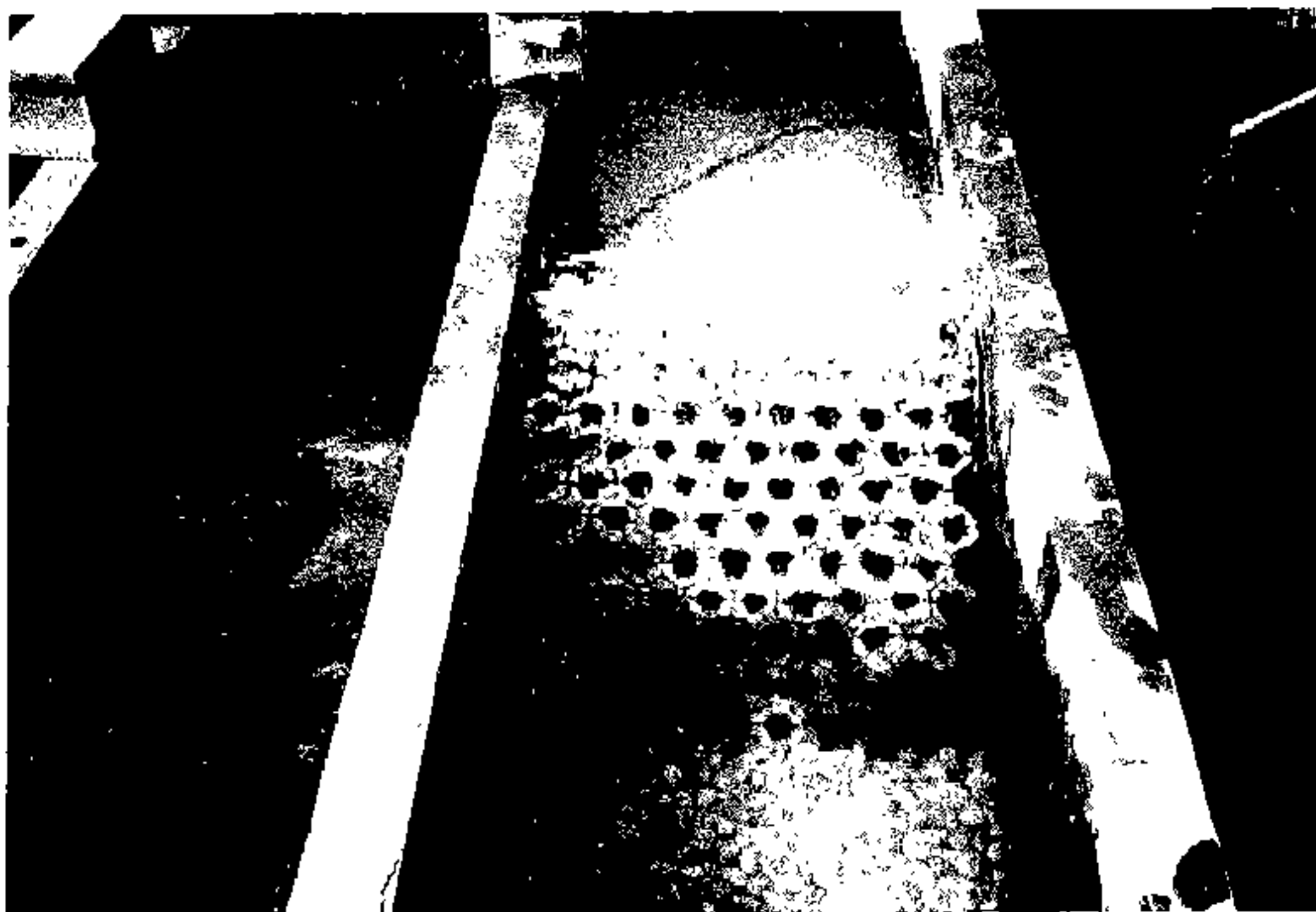
照片4-1-2D 凌克塊排列方式



照片4-3-1A 安卡塊受波浪作用的情形



照片4-3-1B 安卡塊受波浪作用的情形



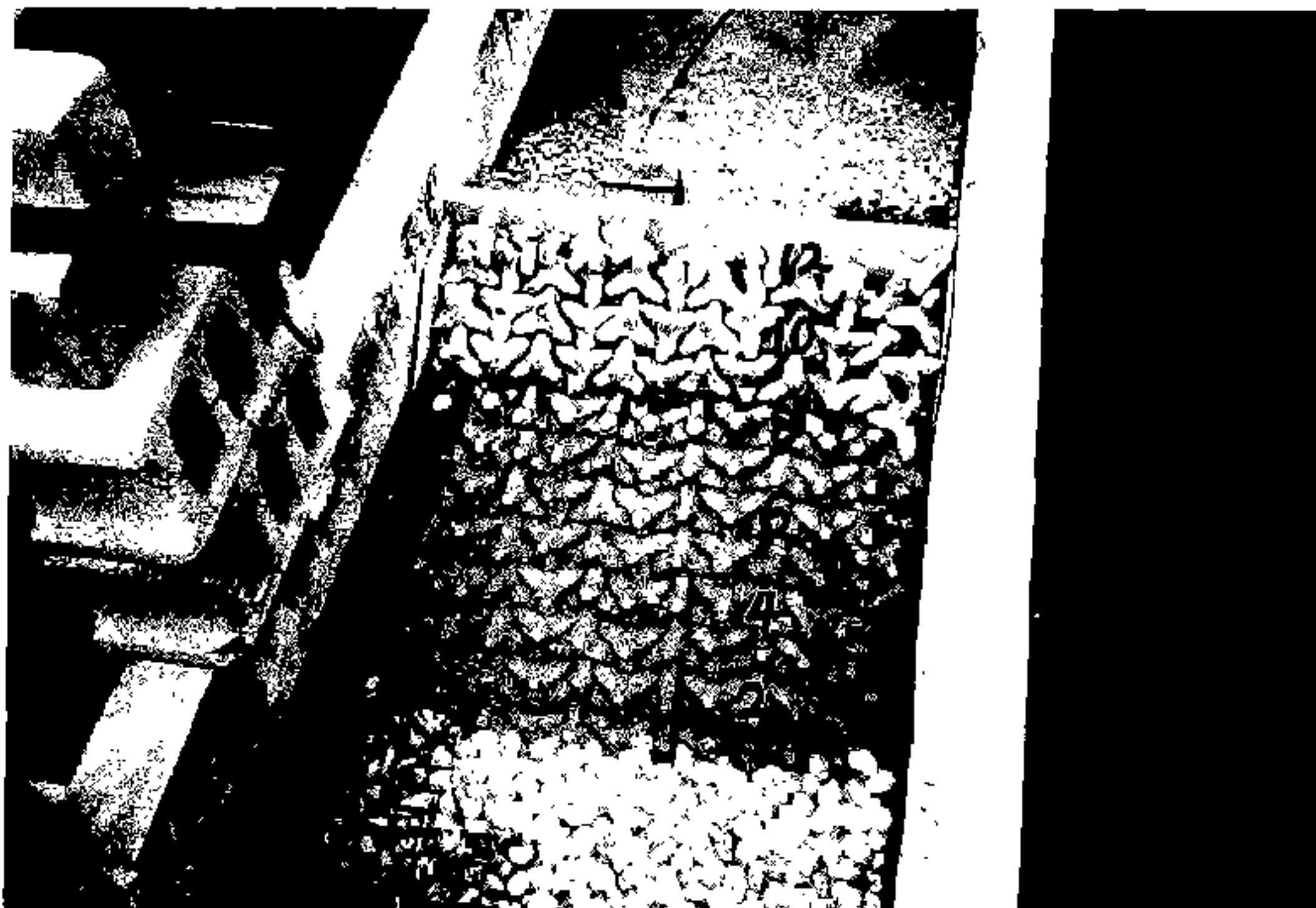
照片4-3-2A 元鼎塊受波浪作用的情形



照片4-3-2B 元鼎塊受波浪作用的情形



照片4-3-3A 協克塊佈放於模型中之情形及編號方式



照片4-3-3B 協克塊佈放於模型中之情形及編號方式



照片4-3-3C 協克塊發生晃動破壞的情形



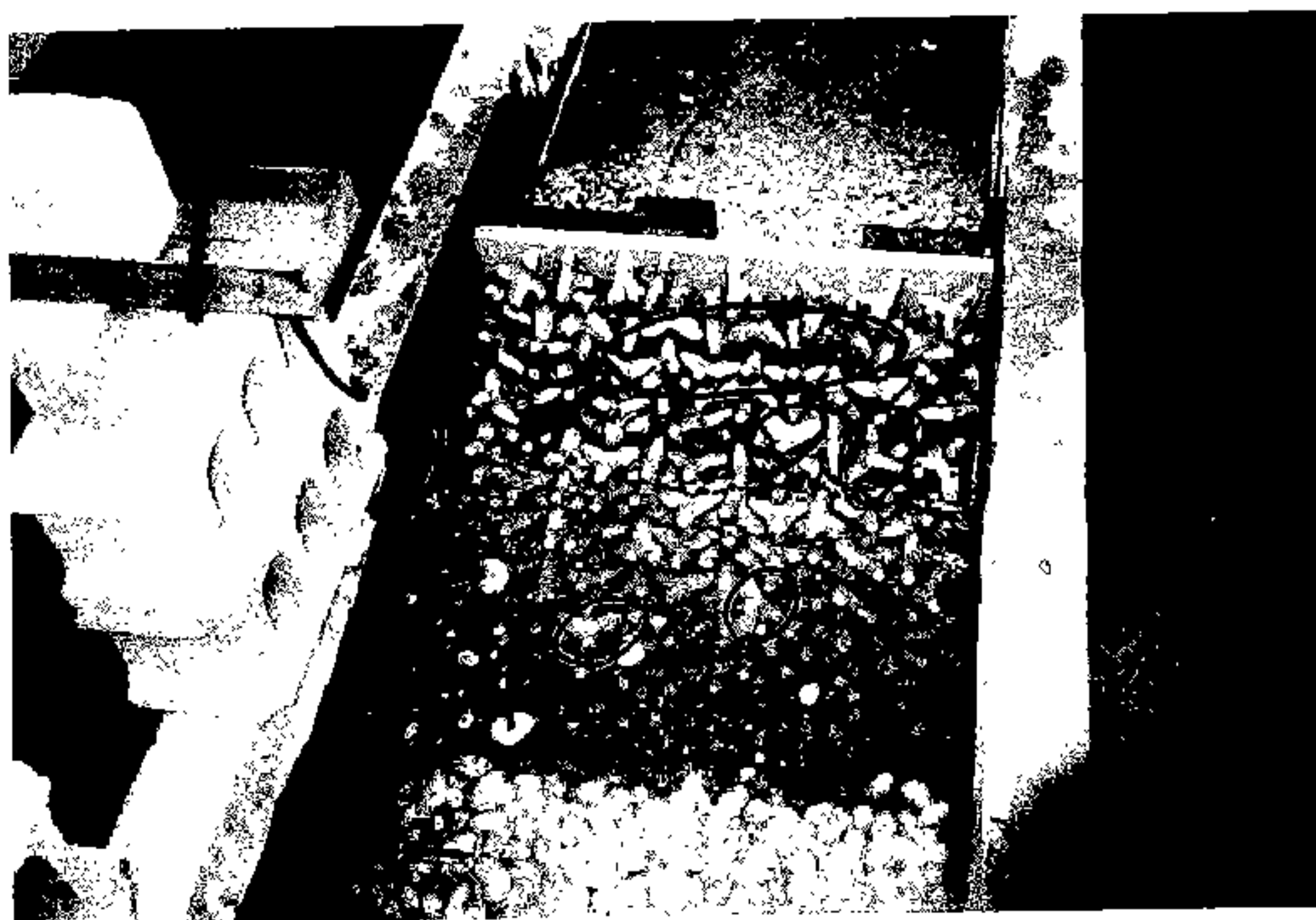
照片4-3-3D 協克塊發生晃動破壞的情形



照片4-3-3E 協克塊發生翻轉破壞的情形



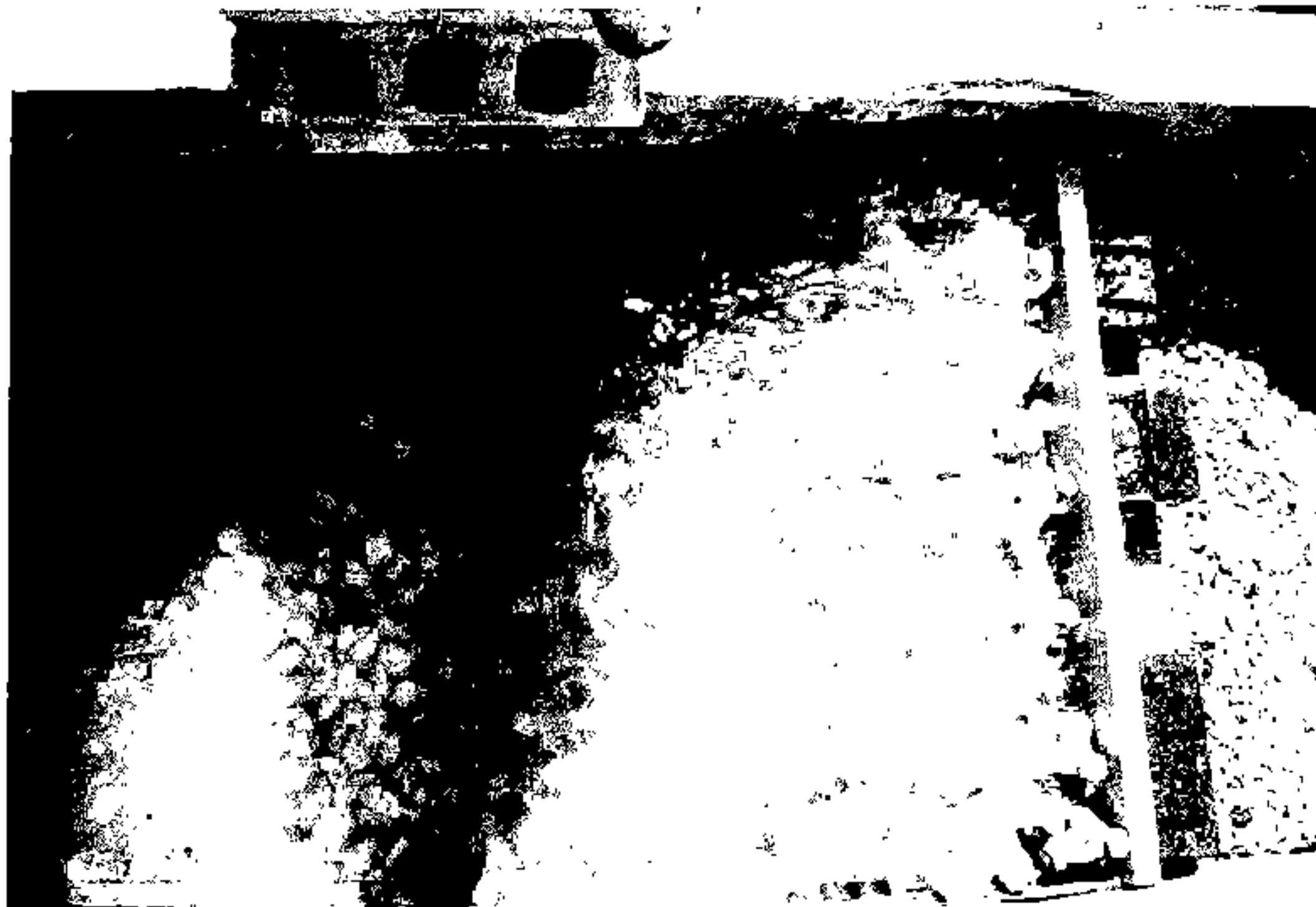
照片4-3-3F 協克塊發生翻轉及下滑破壞的情形



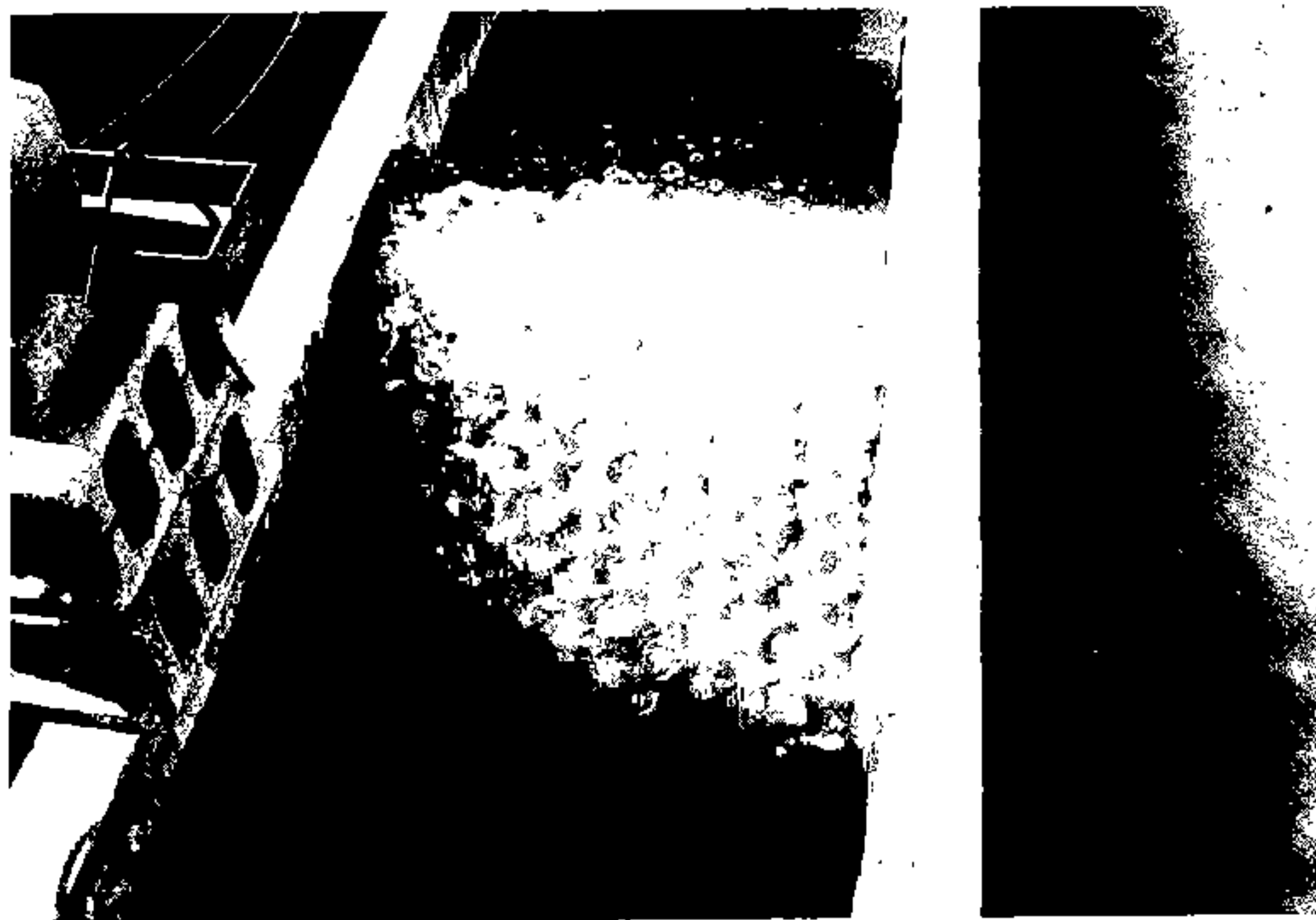
照片4-3-3G 協克塊發生破壞的情形



照片4-3-3H 協克塊發生破壞的情形



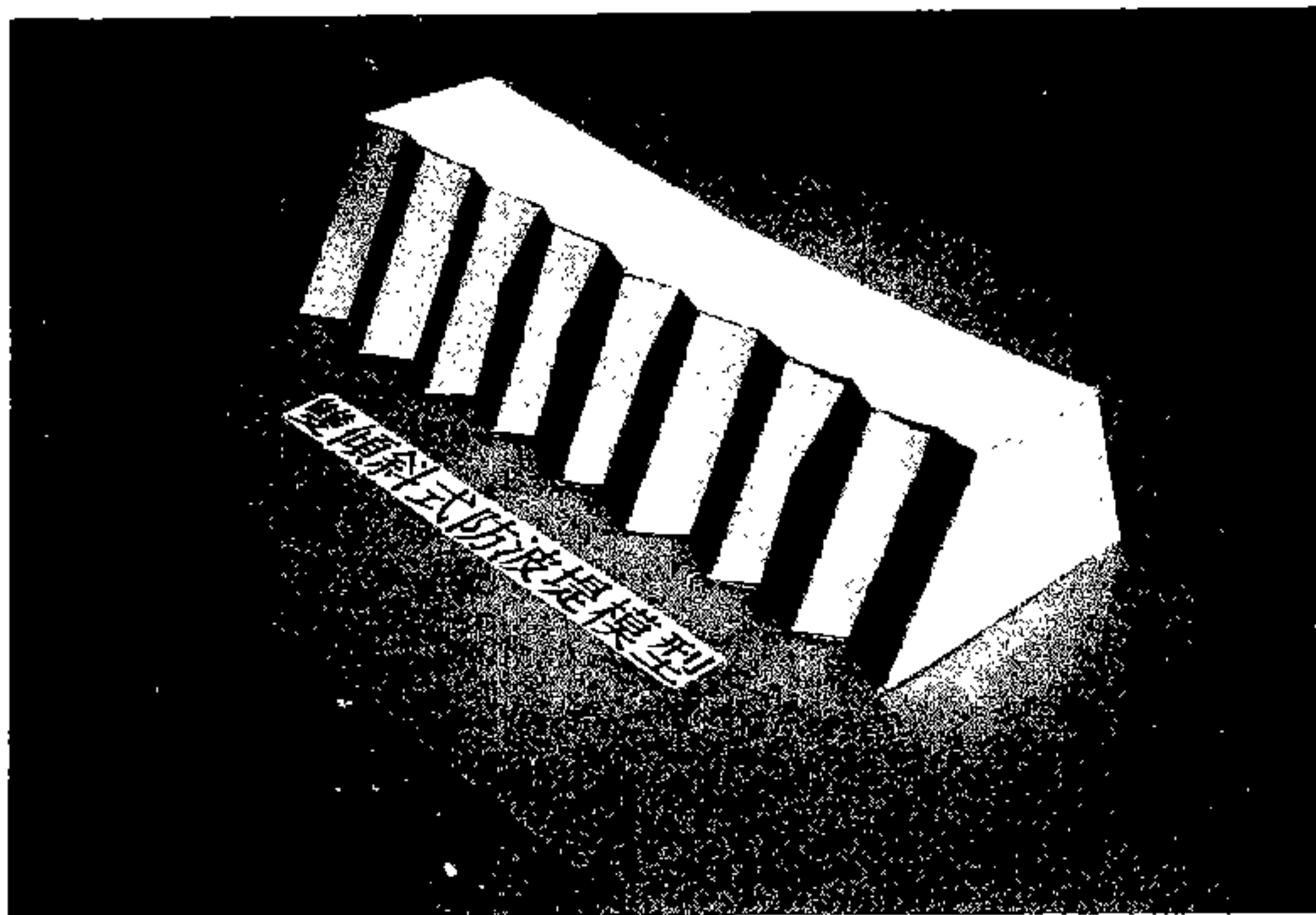
照片4-3-4A 凌克塊受波浪作用的情形



照片4-3-4B 凌克塊受波浪作用的情形



照片5-1-1A 雙傾斜式防波堤模型



照片5-1-1B 雙傾斜式防波堤模型

深水防波堤理論分析與試驗研究

出版者：交通部運輸研究所

地址：台北市敦化北路150號7樓

電話：(02)7123121

經銷處：交通部運輸研究所運輸資訊組

地址：台北市敦化北路150號3樓

電話：(02)7123121

印刷者：文彥文具印刷有限公司

地址：台北市忠孝東路5段236巷20弄1號

電話：(02)7205591（代表線）

中華民國八十二年十二月初版一刷

本書印製100冊・每冊工本費420元