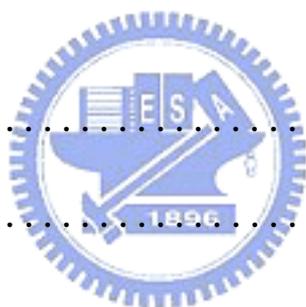


目錄

頁次

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VI

第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機.....	1
1-2 研究方法.....	2
1-3 內容大綱.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
2-1 引言.....	4
2-2 實驗方法.....	4
2-3 數值分析方法.....	6
第三章 彈性體之應力波傳理論.....	8
3-1 波傳簡介.....	8



3-2 實體波.....	8
3-2 表面波.....	10
3-3 地表線荷重下的波傳特性.....	12
第四章 邊界元素法理論.....	14
4-1 動力基本解.....	14
4-2 邊界積分方程式.....	15
4-3 時間域積分 (temporal integral) 之處理.....	19
4-3-1 時間形狀函數 (temporal shape functions) .	19
4-3-2 褶積處理.....	20
4-3-3 時間域積分.....	22
4-4 空間域積分 (spatial integral)	23
4-5 求解過程.....	24
第五章 分析模式與元素切割特性探討.....	26
5-1 分析模式.....	26
5-2 圍繞元素切割之探討.....	26
5-2-1 主動機制垂直位移分析結果.....	27
5-2-2 被動機制分析結果.....	29
第六章 結論與建議.....	30
6-1 結論.....	30

6-2 建議	30
參考文獻	31



表目錄

表 1 各種不同分析案例.....	33
-------------------	----

圖目錄

圖 4-1 常數變化時間形狀函數.....	34
圖 4-2 線性變化時間形狀函數.....	34
圖 5-1 主動減振槽溝模式.....	35
圖 5-2 被動減振槽溝模式.....	35
圖 5-3 (a) 一個元素深模型圖.....	36
圖 5-3 (b) 兩個元素深模型圖.....	36
圖 5-3 (c) 圍繞元素模型圖.....	36
圖 5-4 case I 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	37
圖 5-5 case I 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	37
圖 5-6 case I 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	37
圖 5-7 case I 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	38
圖 5-8 case I 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	38
圖 5-9 case I 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	38
圖 5-10 case I 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	39
圖 5-11 case I 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	39
圖 5-12 case I 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	39
圖 5-13 case II 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	40
圖 5-14 case II 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	40
圖 5-15 case II 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	40
圖 5-16 case II 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	41
圖 5-17 case II 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	41
圖 5-18 case II 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	41
圖 5-19 case II 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	42
圖 5-20 case II 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	42
圖 5-21 case II 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	42
圖 5-22 case I、case II 各觀察點垂直位移振幅比較.....	43
圖 5-23 case I、case II 各觀察點水平位移振幅比較.....	43
圖 5-24 case III 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	44
圖 5-25 case III 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	44
圖 5-26 case III 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	44
圖 5-27 case III 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	45
圖 5-28 case III 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	45
圖 5-29 case III 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	45
圖 5-30 case III 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	46
圖 5-31 case III 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	46
圖 5-32 case III 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	46
圖 5-33 case III 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	47
圖 5-34 case III 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	47
圖 5-35 case III 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較.....	47

圖 5-80	caseⅢ觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	62
圖 5-81	caseⅢ觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	63
圖 5-82	caseⅢ觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	63
圖 5-83	caseⅢ觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	63
圖 5-84	caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	64
圖 5-85	caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	64
圖 5-86	caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	64
圖 5-87	caseⅢ觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	65
圖 5-88	caseⅢ觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	65
圖 5-89	caseⅢ觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	65
圖 5-90	caseⅢ觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	66
圖 5-91	caseⅢ觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	66
圖 5-92	caseⅢ觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	66
圖 5-93	caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	67
圖 5-94	caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	67
圖 5-95	caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	67
圖 5-96	caseⅢ觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	68
圖 5-97	caseⅢ觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	68
圖 5-98	caseⅢ觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	68
圖 5-99	caseⅢ觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	69
圖 5-100	caseⅢ觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	69
圖 5-101	caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	69
圖 5-102	caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	70
圖 5-103	caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	70
圖 5-104	caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	70
圖 5-105	caseⅢ觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	71
圖 5-106	caseⅢ觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	71
圖 5-107	caseⅢ觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	71
圖 5-108	caseⅢ觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	72
圖 5-109	caseⅢ觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	72
圖 5-110	caseⅢ觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	72
圖 5-111	caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	73
圖 5-112	caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	73
圖 5-113	caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	73
圖 5-114	caseⅣ觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	74
圖 5-115	caseⅣ觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	74
圖 5-116	caseⅣ觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	74
圖 5-117	caseⅣ觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	75
圖 5-118	caseⅣ觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	75
圖 5-119	caseⅣ觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	75
圖 5-120	caseⅣ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	76
圖 5-121	caseⅣ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	76
圖 5-122	caseⅣ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	76
圖 5-123	caseⅣ觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	77

圖 5-168	caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	92
圖 5-169	caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	92
圖 5-170	caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	92
圖 5-171	caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	93
圖 5-172	caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	93
圖 5-173	caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	93
圖 5-174	caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	94
圖 5-175	caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	94
圖 5-176	caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	94
圖 5-177	caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	95
圖 5-178	caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	95
圖 5-179	caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	95
圖 5-180	caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	96
圖 5-181	caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	96
圖 5-182	caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	96
圖 5-183	caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	97
圖 5-184	caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	97
圖 5-185	caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	97
圖 5-186	caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	98
圖 5-187	caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	98
圖 5-188	caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	98
圖 5-189	caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	99
圖 5-190	caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	99
圖 5-191	caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	99
圖 5-192	caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	100
圖 5-193	caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	100
圖 5-194	caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	100
圖 5-195	caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	101
圖 5-196	caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	101
圖 5-197	caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	101
圖 5-198	caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	102
圖 5-199	caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	102
圖 5-200	caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	102
圖 5-201	caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	103
圖 5-202	caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	103
圖 5-203	caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較	103
圖 5-204	caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較	104
圖 5-205	caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較	104
圖 5-206	caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較	105
圖 5-207	caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較	105
圖 5-208	caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較	106
圖 5-209	caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較	106
圖 5-210	caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較	107
圖 5-211	caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較	107

圖 5-212	case III、case IV 各觀察點垂直位移振幅比較	108
圖 5-213	case III、case IV 各觀察點垂直位移振幅比較	108
圖 5-214	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	109
圖 5-215	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	109
圖 5-216	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	110
圖 5-217	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	110
圖 5-218	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	111
圖 5-219	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	111
圖 5-220	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	112
圖 5-221	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	112
圖 5-222	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	113
圖 5-223	case III、case IV 各觀察點水平位移振幅比較	113
圖 5-224	case V 載重點 110 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	114
圖 5-225	case V 載重點 120 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	114
圖 5-226	case V 載重點 130 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	114
圖 5-227	case V 載重點 140 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	115
圖 5-228	case V 載重點 150 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	115
圖 5-229	case V 載重點 160 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	115
圖 5-230	case V 載重點 170 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	116
圖 5-231	case V 載重點 180 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	116
圖 5-232	case V 載重點 190 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	116
圖 5-233	case VI 載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	117
圖 5-234	case VI 載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	117
圖 5-235	case VI 載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	117
圖 5-236	case VI 載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	118
圖 5-237	case VI 載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	118
圖 5-238	case VI 載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	118
圖 5-239	case VI 載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	119
圖 5-240	case VI 載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	119
圖 5-241	case VI 載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	119
圖 5-242	case V、case VI 各槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	120
圖 5-243	case V、case VI 各槽溝中點有槽、無槽水平位移比較	120
圖 5-244	case VII 載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	121
圖 5-245	case VII 載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	121
圖 5-246	case VII 載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	121
圖 5-247	case VII 載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	122
圖 5-248	case VII 載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	122
圖 5-249	case VII 載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	122
圖 5-250	case VII 載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	123
圖 5-251	case VII 載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	123
圖 5-252	case VII 載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	123
圖 5-253	case VII 載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	124
圖 5-254	case VII 載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	124
圖 5-255	case VII 載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較	124

圖 5-432 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較..... 186
圖 5-433 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較..... 187
圖 5-434 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較..... 187



第一章 緒論

1-1 研究動機

近年來由於工商業蓬勃發展，人們生活品質提升，因此大型建設的需求與日遽增，雖然帶動了經濟成長，但建設過程難免產生地表振動，振動不但造成結構物損壞，也影響附近居民的生活及工作環境，另外，由於高科技產業製品的製造過程極為精細，微小的振動亦導致晶圓廠產生不良品，故常在適當位置設置開口溝槽來阻隔表面波所帶來的能量以期達減振功效。

對於有關波傳研究上，其研究方法分為現場實驗及數值分析兩方面，現場實驗方法結果較為精確，但所需耗費之人力與物力十分龐大，且結果常常不適用於其他地區，因此數值方法較常被採用，這些數值方法包括了有限元素法 (finite element method) 有限差分法 (finite difference method)、邊界元素法 (boundary element method)，為了解決有限元素法其邊界之反射波問題，近年來有學者配合無限元素之使用，並以高速電腦進行分析，也可得一經濟有效之數值結果。

其中邊界元素法的基本解自動滿足無限遠處的輻射條件，且只需在定義域的邊界處分割元素，元素數目也可減少許多，可減低運算時

間，故本研究藉由二維時間域邊界元素法分別對不同尺寸溝槽及地形變化的情形建立分析模型，選定特定分析點（場址），透過改變不同幾何變化參數（深度、位置）再給定瞬態外力作用於基礎上當成振源後開始做一系列系統分析，預期將對各項變因對雷利波波傳衰減的行為有一深切瞭解。

1-2 研究方法

本文研究主要是想應用二維時間域邊界元素法來分析，所謂的被動和主動阻隔暫態波傳之問題，而空間元素採用等參數二次元素，時間域積分採用 LC 方法，土壤可假設為彈性半空間無限域來處理而雷利波視為平面波。在處理奇異性的過程中，我們藉由圍繞元素的引入加以解決。當圍繞元素處理半無限問題時，其圍繞之區域必須足夠大，以防止邊界反射之影響。

1-3 內容大綱

本文一共分六章。

第一章為緒論，闡述研究動機及方法概述。

第二章為文獻回顧，簡述前人所做之相關研究，主要分實驗方法及數值方法兩方面。

第三章為彈性波傳理論，概述實體波與表面波傳遞之方式與現象。

第四章為邊界元素法理論，詳述邊界積分方程式之推導及元素離散方式。

第五章為分析模式與元素切割特性探討，藉由分析模式與元素切割特性探討，進而建立分析模型和分析案例，並作初步結果分析。

第六章為結論與建議，將本研究之分析結果，歸納出結論，並對未來相關研究提出建議。



第二章 文獻回顧

2-1 引言

振動之防治，不論是主動隔震或被動隔震均需建立阻隔屏障，此阻隔屏障最常用者為槽溝，而槽溝建於地下土層中用以減振，故又稱隔振溝。有關槽溝工法之隔振溝或隔振壁之相關研究，自 1960 年代以來，已有近四十餘年之歷史，包括歐美、日本及國內已有相當數量之研究著作。



一般研究方法大致可分為現場試驗及數值分析方法，而現場試驗因需耗費龐大的人力物力，阻隔影響參數不亦變動，且其結果適用範圍較小，因此常使用三種數值方法分析，即有限元素法 (finite element method) 有限差分法 (finite difference method)、邊界元素法 (boundary element method)，以下分別對以前人所做過實驗方法及數值方法兩方面之研究，來進行文獻回顧。

2-2 實驗方法

Barken(1962) [1] 最早以現地實驗的方式，利用開口槽溝與鋼版樁阻隔由交通產生的振動，結果發現，鋼版樁阻隔效果不佳，而開

口槽溝只有在深度較深時才有效。

Dolling(1965) [2] 與 Neumeuer(1963) [3] 等人曾使用皂土漿(bentonite-slurry)來填充槽溝，以阻隔柏林地下鐵路所產生的振動。實驗報告指出隔振效率相當良好，約可使槽溝後方地表位移振幅有效降低 50 %。

Woods、Barnett 與 Sagessar(1974) [4] 等人利用全像攝影技術(principle of holography)及模型半空間之振動，來觀察以中空圓柱為障礙(void cylindrical obstacles)之被動阻隔效率，求得中空圓柱障礙之被動阻隔準則。

Liao 與 Sangrey(1978) [5] 等人利用一感音模型(acoustic model)，藉著聲波在流體介質中，以估計排樁作為被動阻隔機制的可能性，實驗結果顯示與 Woods(1974)等人所分析及建議十分吻合。

Sridharan(1981) [6] 等人利用開口槽溝與以鋸木屑(sawdust)、砂作為內部填充物之填充槽溝，來進行現地振波阻隔分析，其實驗結果顯示，開口槽溝是最有效阻隔振波傳遞的阻隔機制。

Haupt(1981) [7] 使用開口槽溝、混凝土之填充槽溝、與空心排樁作為阻隔機制，製作振動阻隔分析模型。實驗結果得知振動阻隔的效率與槽溝的斷面積有關，而開口槽溝的阻隔效率則與槽溝深度有關，會隨著槽溝深度的增加而增加。

倪勝火等人(1993)〔8〕應用模型箱試驗，探討條形基礎在垂直荷重作用下，以開口槽溝及混凝土或保麗龍(polyurethane)作為填充材料之填充槽溝作為阻隔機制。試驗結果指出，開口槽溝之阻隔效率隨著深度之增加而增加，而槽溝寬度之影響不大。填充槽溝的斷面積可判斷其對震波之阻隔效率。槽溝阻隔效率則以開口槽溝最好，保麗龍填充槽溝次之，混凝土填充槽溝最差。

2-3 數值分析方法

Adoudi(1973)〔9〕利用有限差分法，配合特殊邊界處理方法，針對與時間有關的表面荷重，在彈性半空間設置屏障，研究雷利波受到屏障造成繞射(scattering)情形，他認為地表存在屏障響雷利波的波傳方式。

Haupt(1977)〔10〕以有限元素法配合傳導邊界的觀念，以硬質（相對於土壤）材料填充槽溝作為阻震機制時，槽溝斷面積和阻隔效果有關，而較軟填充物之阻隔效果則與槽溝的形狀有關。

倪勝火等人(1994)〔11〕，以頻率域邊界元素法，分析條形基礎振動之勁度與柔度函數同時考慮基礎沉埋效應與岩層深度之影響。其分析中發現由於波的反射與折射的影響，岩層位置將影響基礎振動之共振頻率。

楊永斌(1995) [12] 等人使用有限元素配合無限元素，加入一指數函數於形狀函數中，模擬輻射條件，分析列車所引致地表振動問題。它指出彈性基礎在較高頻率下阻隔效率較開口槽溝較填充槽溝為佳，但亦會放大鐵軌上的最大加速度及速度。開口槽溝則是在低頻時，有放大振幅的現象，而填充槽溝不易有放大的現象。他建議若無穩定性考量，以開口槽溝優先作為阻隔屏障，而彈性基礎則不宜作為阻隔列車振動的機制。

蔡佩勳(1996) [13] 以三維頻率邊界元素法研究垂直簡諧外力作用下，利用開口槽溝及混凝土和保麗龍為填充材料之填充槽溝，作主動隔震機制，並提出相關設計準則。他發現，如果使用開口槽溝來阻隔震波，以槽溝深度為一倍雷利波波長且槽溝斷面積大於 0.1 倍雷利波波長之平方的槽溝，可降低近 9 成之垂直地表振幅。而比土壤”軟”之保麗龍填充槽溝，其隔震效率優於比土壤”硬”之混凝土填充槽溝。

由以上的文獻回顧可知，開口槽溝為阻隔振波的最理想方式。但在分析位置和槽溝設置方面探討較少，所以本文以主動隔振和被動隔振方式分析之。

第三章 彈性體之應力波傳理論

3-1 波傳簡介

彈性體受一外力作用後，將造成介質產生局部變形，由於受力產生能量，造成質點運動，如此引發顆粒朝著某一方向之運動現象。此顆粒受擾而運動可謂波，而顆粒間能量之傳遞現象即為波傳現象。由於顆粒運動方向與波傳運動方向不一定相同，因此由不同顆粒運動方向與波傳方向之組合，而有不同名稱的波。

3-2 實體波



實體波通常於無限空間的均質彈性體內傳播，而實體波又因其質點運動方向與傳播方向有所不同而分壓力波 (compression wave) 和剪力波 (shear wave)。

在一均質 (homogeneous)、等向 (isotropic)、線彈性 (linear-elastic)，可得平衡方程式為

$$\sigma_{ij,i} + \rho b_j = \rho \ddot{u}_j \quad (3-1)$$

其中 σ_{ij} 為應力張量

b_j 為單位質量的體力 (body force)

u_i 為位移向量

ρ 為質量密度

在小變形的假設下，彈性體的應變與位移之關係式為

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (3-2)$$

其中 ε_{ij} 為應變張量

再由均質、等向彈性體的組成律 (constitution law)，可得

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (3-3)$$

其中 δ_{ij} 為 Kronecker delta 符號

由式 (3-1) (3-2) (3-3)，可得 Navier' s 方程式

$$(\lambda + \mu)u_{i,ij} + \mu u_{j,ii} + \rho b_j = \rho \ddot{u}_j \quad (3-4)$$

其中 λ 、 μ 為萊曼常數 (Lame' s constant)

u 表位移

ρ 表質量密度

b 表微體力 (body force)

$i, j, k=1, 2, 3$

若忽略體力，則可求得兩個解。欲求第一個解，可對(3-4)式取空間變異量 (divergence)，可得

$$\nabla^2 (u_{i,i}) = \frac{1}{c_p} \ddot{u}_{i,i} \quad (3-5)$$

此為著名的波動方程式，其中 $c_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$

因 $u_{i,i} = \epsilon_{kk}$ ，代表物體之膨脹量，所以 (3-5) 式即代表物體之膨脹 ϵ_{kk} 以 c_p 之速度傳遞，此種波稱為膨脹波 (dilatational wave)，若考慮此種波的質點運動與波傳方向相同，亦稱之為壓力波 (p-wave)。

對 (3-4) 式取邊界旋轉通量 (curl) 可得另一個解

$$\nabla^2(\nabla \times \tilde{u}) = \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}(\nabla \times \tilde{u}) \quad (3-6)$$

其中 $c_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$

(3-6) 式顯示物體之旋轉是以 c_s 速度傳遞，故這種波稱為扭曲波 (distortional wave)。又因其質點運動方向與波傳方向互相垂直，所以又稱為剪力波 (s-wave)。若假設波在水平之 X 方向線傳播，則由於與波傳運動方向之垂直面有兩個，若顆粒在水平之 Y 方向運動的稱為 SH 波，而顆粒在垂直之 Z 方向面上運動的，則稱為 SV 波。這兩種波主要在介質內部傳遞，故統稱為實體波 (body wave)。

3-2 表面波

在彈性半無限空間域中，除了在體內有實體波外，因有邊界，因此當波傳至邊界，為滿足平衡條件，將造成另一在表面邊界傳播之波，稱為表面波 (surface wave)。主要有兩種波，一是拉夫波

(L-wave)，為 Love 在 1911 年定義之。一是雷利波(R-wave)，在 1885 年由 Rayleigh 所導。

拉夫波(Love Wave)的發生是因為實體波在某些具有層狀土壤(如一般之沈積土壤)中傳播時，其所產生之反射波會大量集中於地表下之第一層，且並非所有層狀土壤都會發生拉夫波，而是當地表層之波速遠小於下一層時，才会有大量拉夫波存在於地表層，故不予考慮。

雷利波(Rayleigh Wave)是利用彈性力學理論，建立因彈性媒介在半無限域空間中，在邊界形成無限不連續之邊界條件，再利用各種實體波在不連續處的已知行為而解出的一種強度集中於邊界處的波。其質點運動途徑唯一後退橢圓，而波速與剪力波波速之關係與柏松比相關：(Graff , [14])

$$\frac{c_R}{c_S} = \frac{(0.87 + 1.12\nu)}{1 + \nu}$$

其中 ν 為柏松比

c_R 為雷利波之波速

c_S 為剪力波之波速

以上三種波，壓力波波速最快，其次是剪力波，再其次是雷利波，所以對於一般地震而言，壓力波多為主波，剪力波則多以副波之形式出現。而由於雷利波在本質上是屬於二維，因此其能量的消散較壓力

波和剪力波(三維的波)為慢，從地震的角度來看，其破壞性亦最強。

3-3 地表線荷重下的波傳特性

波傳問題在不同波源下的解析解，大多是由 Lamb(1904)所完成，他考慮了地表上及地表下之線荷重及點荷重等波源荷重情況。此後這類問題便稱為”Lamb's problem”。Gutowski 和 Dym [15]將其結果特性作一整理：

(1) 諧和點荷載作用於彈性半平面上：

在此情況下有三種波源傳出，一為雷利波，此波之水平振幅和垂直振幅，沿著垂質地表面方向均呈指數衰減的現象，而在遠域沿著地表面上，其振幅將反比於接收點與波源距離之平方根（呈 $r^{-1/2}$ 衰減）。另兩種波為壓力波和剪力波，其振幅在地表上將反比於接收點與振源距離之平方（呈 r^{-2} 衰減），而在地表下將反比於接收點與振源之距離（呈 r^{-1} 衰減）。所以在離點波源較遠處，地表面上主要是雷利波，而地表面下主要為剪力波和壓力波。Miller 和 Pursey 曾對點波源作用下，上述三種波之能量分佈作過研究，發現表面波所佔的能量最多，達 67%，剪力波佔 26%，壓力波則為 7%。

(2) 諧和線荷重作用於彈性半平面：

在此情況下，能量成圓柱擴散，所以振幅衰減速率將較前述點波源作用之情況為慢（點波源作用下，能量呈球狀擴散）。對於雷利波而言，原本為二維的波，但在此情況下，成了類似一維的波，在地表面上並不衰減。至於遠域的實體波，其振幅在地表面下將反比於接收點與線荷載距離之平方根（呈 $r^{-1/2}$ 衰減）。

(3) 諧和點波源作用於地表下：

對此類問題而言，若接受點距波源到足以產生遠域，則實體波之波傳特性將分別同於前述（1）及（2）兩種情形，即在點波源作用下，實體波呈 r^{-1} 衰減，而在線波源下，實體波呈 $r^{-1/2}$ 衰減，至於雷利波亦可由波在地表面上的反射而產生，但除非波源離地表並不遠，否則此一表面波振幅將很小。

第四章 邊界元素法理論

4-1 動力基本解

我們將 (3-5)、(3-6) 式中推得的 C_p 、 C_s 代入 (3-4) 式中並重新整理可得：

$$(c_p^2 - c_s^2)u_{i,ij}(\mathbf{x},t) + c_s^2 u_{j,ii}(\mathbf{x},t) + b_j(\mathbf{x},t) - \frac{\partial^2 u_j(\mathbf{x},t)}{\partial t^2} = 0 \quad (4-1)$$

對於二維 (two-dimensional) 問題來說，下標 $i, j=1, 2$ ，對於三維問題，則 $i, j=1, 2, 3$ 。

對於一個三維問題，若彈性體受一形式為 $b_i = \delta_{ij}(t-\tau)(\mathbf{x}-\xi)e_j$ ，其中 e_j 表單位向量的單位體力 (unit body force)，則可求得式 (4-1) 的解即為 1849 年 Stokes 所推導出之解，以 $G_{ij}^{3D}(\mathbf{x},t;\xi,\tau)$ 表示。對於將討論的二維動力問題，我們所需要的是二維之動力基本解，這可由三維動力基本解對第三個空間座標積分而得。即

$$G_{ij}^{2D} = \int_{-\infty}^{\infty} G_{ij}^{3D} dx_3 \quad (4-2)$$

故可以得到二維動力基本解。在以下文章中，我們將專對二維彈動力 (2-D elastodynamic) 問題作討論，故所提及之基本解，若無再做進一步之解釋，將專指二維基本解而言。

現在我們針對此二維彈性體受一單位體力之動力問題進一步討論。在此二維系統中，由單位力於時間 τ 時作用在點 ξ 所造成在

時間 t 時， x 點上的位移 $u_i(x,t)$ 可以基本解表示如下：

$$u_i(x,t) = G_{ij}(x,t;\xi,\tau)e_j(\xi) \quad (4-3)$$

利用應變-位移的關係，與組成律 (constitutive law)，處於

(x,t) 時處的應力可表示為：

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= \rho[(c_p^2 - 2c_s^2)G_{mk,m}\delta_{ij} + c_s^2(G_{ik,j} + G_{jk,i})]e_k \\ &= T_{ijk}(x,t;\xi,\tau)e_k(\xi) \end{aligned} \quad (4-4)$$

則點 (x,t) 之曳引力 (traction) 便可寫成下式：

$$t_i(x,t) = F_{ik}(x,t;\xi,\tau)e_k(\xi) \quad (4-5)$$

其中 $F_{ik} = T_{ijk}n_j(x)$

至此，我們將可盡得二維動態反應之基本解 $G_{ij}(x,t;\xi,\tau)$ 與 $F_{ij}(x,t;\xi,\tau)$ ，兩者則分別代表位移與曳引力基本解，其意義即為由單位力於時間 τ 時作用在源點 ξ 所造成在時間 t 時， x 點上的位移與曳引力。詳細的推導過程可見於文獻 [16]，在此僅直接引用其結果。

4-2 邊界積分方程式

考慮一受曲面 S 包圍之區域 V ，則時間為 t 時，位於 ξ 點的位移 $u_i(\xi,t)$ 將可由功的動力互易定理 (dynamic reciprocal work theorem) 推得一以積分形式所表現的式子，亦即我們將所欲討論的

物理量當作一系統，另一系統則為 4-1 節所討論之受單位體力之系統，則利用互易定理推得如下的式子：

$$\begin{aligned}
 c_{ij}(\xi)u_i(\xi,t) &= \int_S [G_{ij}(x,t;\xi,\tau)*t_i(x,\tau) - F_{ij}(x,t;\xi,\tau)*u_i(x,\tau)]ds(x) \\
 &+ \rho \int_V G_{ij}(x,t;\xi,\tau)*b_i(x,\tau)dV(x) \\
 &+ \rho \int_V [G_{ij}(x,t;\xi,\tau)\dot{u}_i(x,0) - \dot{G}_{ij}(x,t;\xi,0)u_i(x,0)]dV(x) \quad (4-6)
 \end{aligned}$$

上式中 ξ, x 分別代表源點 (source point) 與場點 (field point)， $u_i(x,0)$ 與 $\dot{u}_i(x,0)$ 則各自代表初始位移和初始速度。而 $c_{ij}(\xi)$ 乃對於不連續性 (discontinuity) 情況之表示項，其值如下：

- (1) $c_{ij}(\xi) = \delta_{ij}$ ，當 ξ 落在物體體積 V 之內側
- (2) $c_{ij}(\xi) = 0.5\delta_{ij}$ ，當 ξ 落在平滑曲面 S 之上
- (3) $c_{ij}(\xi) = 0$ ，當 ξ 落在物體體積 V 之外側

* 乃是褶積 (convolution integral) 符號。 $G_{ij}(x,t;\xi,\tau)$ 和 $F_{ij}(x,t;\xi,\tau)$ 如前所示，為動力問題之位移 (displacement) 和曳引力 (traction) 的基本解 (fundamental solution)，代表的是，由單位力於時間 τ 時作用在源點 ξ 所造成在時間 t 時， x 點上的位移與曳引力。

若不考慮體力 (body force) 的影響，則對於一個彈性體，當其初始條件是處於靜止狀態時，式 (4-6) 之積分式將僅剩下面積分 (surface integrals) 形式，而變成如下的模樣：

$$c_{ij}(\xi)u_i(\xi,t) = \int_S [G_{ij}(x,t;\xi,\tau) * t_i(x,t) - F_{ij}(x,t;\xi,\tau) * u_i(x,t)] ds(x)$$

(4-7)

其中 $G_{ij}(x,t;\xi,\tau)$ 和 $F_{ij}(x,t;\xi,\tau)$ 即我們在 4-1 節所稱之位移與曳引力基本解，在此，相關於邊界積分方程式，我們以位移核心 (displacement kernel) 與曳引力核心 (traction kernel) 稱之。

這裡我們要提及位移核心的一些特性：

(1) 因果律 (causality) : $G_{ij}(x,t;\xi,\tau) = 0, c_k(t-\tau) \chi(|\bar{x} - \bar{\xi}|), k = p, s,$

亦即當波未到達場點 (field point) 前，對於場點並不造成影響。

(2) 互易性 (reciprocity) : $G_{ij}(x,t;\xi,\tau) = G_{ij}(\xi,-\tau;x,-t)$

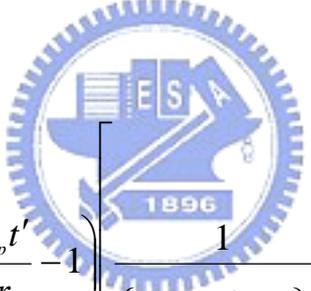
(3) 平移性 (time-translation) : $G_{ij}(x,t+t_1;\xi,\tau+t_1) = G_{ij}(x,t;\xi,\tau)$

(4) 對稱性 (symmetry) : $G_{ij}(x,t;\xi,\tau) = G_{ji}(x,t;\xi,\tau)$

此位移核心與曳引力核心可分別表示如下之形式：

$$G_{ij} = \frac{1}{2\pi\rho} \left\{ \frac{1}{c_p} H\left(\frac{c_p t'}{r} - 1\right) \left[\frac{2\left(\frac{c_p t'}{r}\right)^2 - 1}{\sqrt{\left(\frac{c_p t'}{r}\right)^2 - 1}} \left(\frac{r_{,i} r_{,j}}{r}\right) - \left(\frac{\delta_{ij}}{r}\right) \sqrt{\left(\frac{c_p t'}{r}\right)^2 - 1} \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{c_s} H\left(\frac{c_s t'}{r} - 1\right) \left[-\frac{2\left(\frac{c_s t'}{r}\right)^2 - 1}{\sqrt{\left(\frac{c_s t'}{r}\right)^2 - 1}} \left(\frac{r_{,i} r_{,j}}{r}\right) + \left(\frac{\delta_{ij}}{r}\right) \frac{\left(\frac{c_s t'}{r}\right)^2}{\sqrt{\left(\frac{c_s t'}{r}\right)^2 - 1}} \right] \right\}$$

(4-8)



$$F_{ij} = \frac{\mu}{2\pi\rho r} \left\{ \frac{1}{c_p} H\left(\frac{c_p t'}{r} - 1\right) \left[\frac{1}{\left\{\left(\frac{c_p t'}{r}\right)^2 - 1\right\}^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{A_1}{r}\right) - \frac{2\left(\frac{c_p t'}{r}\right)^2 - 1}{\sqrt{\left(\frac{c_p t'}{r}\right)^2 - 1}} \left(\frac{2A_2}{r}\right) \right] \right. \\ \left. - \frac{1}{c_s} H\left(\frac{c_s t'}{r} - 1\right) \left[\frac{1}{\left\{\left(\frac{c_s t'}{r}\right)^2 - 1\right\}^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{A_3}{r}\right) + \frac{2\left(\frac{c_s t'}{r}\right)^2 - 1}{\sqrt{\left(\frac{c_s t'}{r}\right)^2 - 1}} \left(\frac{2A_2}{r}\right) \right] \right\}$$

(4-9)

其中H為 heavside function

$t' = t - \tau$ 代表遲滯時間 (retarded time)，而

$$A_1 = \frac{\lambda}{\mu} n_i r_{i,j} + 2r_{i,j} \frac{\partial r}{\partial n}$$

$$A_2 = n_i r_{i,j} + n_j r_{i,i} + \frac{\partial r}{\partial n} (\delta_{ij} - 4r_{i,j})$$

$$A_3 = \frac{\partial r}{\partial n} (2r_{i,j} - \delta_{ij}) - n_j r_{i,i}$$

$i, j=1, 2$

4-3 時間域積分 (temporal integral) 之處理

對於式 (4-7)，要實行數值之運算，則需要對時間上與空間上兩者作離散化 (discretization) 的動作。為精確求得式 (4-7) 邊界積分方程式中，有關褶積部份。我們將時間軸上，一段從 $0 \sim t$ 的時間等切成 N 份，則每一時階 (time step) 為 Δt ， $t = N\Delta t$ 。並定義 $t_n = n\Delta t$ 其中 $n=1, 2, \dots, N$ 。

4-3-1 時間形狀函數 (temporal shape functions)

如文獻 [16] 所討論，我們將以常數 (constant)、線性 (linear) 形狀函數來模擬時間域上的邊界變數。所有討論的時間形狀函數定義如下：

1. 常數時間形狀函數 (constant temporal shape function)

$$M_{CF}(\tau) = \frac{1}{2}, \quad M_{CB}(\tau) = \frac{1}{2} \quad t_{n-1} \leq \tau \leq t_n \quad (4-10a)$$

其中 CF 代表在一個時階中之前方時點 (forward temporal

nodes)，而 CB 代表後方時點 (backward temporal nodes)，如圖 4-1 所示。

則在一個時階之兩時點間的變數可表示成：

$$f_i(x, \tau) = M_{CF}(\tau) f_i^n(x) + M_{CB}(\tau) f_i^{n-1}(x) \quad (4-10b)$$

2. 線性時間形狀函數 (linear temporal shape function)

$$M_{LF}(\tau) = \frac{\tau - t_{n-1}}{\Delta t}, \quad M_{LB}(\tau) = \frac{t_n - \tau}{\Delta t} \quad t_{n-1} \leq \tau \leq t_n \quad (4-11a)$$

其中 LF 代表在一個時階中之前方時點 (forward temporal nodes)，而 LB 代表後方時點 (backward temporal nodes)，如圖 4-2 所示。

則在一個時階之兩時點間的變數可表示成：

$$f_i(x, \tau) = M_{LF}(\tau) f_i^n(x) + M_{LB}(\tau) f_i^{n-1}(x) \quad (4-11b)$$

4-3-2 褶積處理

根據褶積定義：

$$f * g = \int_0^t f(x, t - \tau) g(x, \tau) d\tau = \int_0^t f(x, \tau) g(x, t - \tau) d\tau \quad (4-12)$$

我們可對式 (4-7) 中，相關於褶積部分 $G_{ij} * t_i$ 與 $F_{ij} * u_i$ 進行時間積分。而對於時間域上變數的模擬，不同的時間形狀函數將會產生不同的時間褶積結果，現在分別討論如下：

(1) 線性變化 (linear variation) 方法：

定義為：在一個時階裡，曳引力、位移變數以線性變化來模擬，

即：

$$t_i(x, \tau) = M_{LF}(\tau)t_i^n(x) + M_{LB}(\tau)t_i^{n-1}(x) \quad (4-13)$$

$$u_i(x, \tau) = M_{LF}(\tau)u_i^n(x) + M_{LB}(\tau)u_i^{n-1}(x) \quad (4-14)$$

則

$$\begin{aligned} G_{ij} * t_i &= \sum_{n=1}^N \left[t_i^n \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} G_{ij} M_{LF}(\tau) d\tau + t_i^{n-1} \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} G_{ij} M_{LB}(\tau) d\tau \right] \\ &= \sum_{n=1}^N \left[t_i^n (G_{LFij}^{N-n+1}) + t_i^{n-1} (G_{LBij}^{N-n+1}) \right] \end{aligned} \quad (4-15)$$

$$\begin{aligned} F_{ij} * u_i &= \sum_{n=1}^N \left[u_i^n \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} F_{ij} M_{LF}(\tau) d\tau + u_i^{n-1} \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} F_{ij} M_{LB}(\tau) d\tau \right] \\ &= \sum_{n=1}^N \left[u_i^n (F_{LFij}^{N-n+1}) + u_i^{n-1} (F_{LBij}^{N-n+1}) \right] \end{aligned} \quad (4-16)$$

其中定義褶積位移與曳引力核心如下

$$G_{LFij}^{N-n+1} = \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} G_{ij}(x, N\Delta t; \xi, \tau) M_{LF}(\tau) d\tau \quad (4-17)$$

$$G_{LBij}^{N-n+1} = \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} G_{ij}(x, N\Delta t; \xi, \tau) M_{LB}(\tau) d\tau \quad (4-18)$$

$$F_{LFij}^{N-n+1} = \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} F_{ij}(x, N\Delta t; \xi, \tau) M_{LF}(\tau) d\tau \quad (4-19)$$

$$F_{LBij}^{N-n+1} = \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} F_{ij}(x, N\Delta t; \xi, \tau) M_{LB}(\tau) d\tau \quad (4-20)$$

(2)常數變化 (constant variation) 方法：

定義為：在一個時階裡，曳引力、位移變數以常數變化來模擬，

即：

$$t_i(x, \tau) = M_{CF}(\tau)t_i^n(x) + M_{CB}(\tau)t_i^{n-1}(x) \quad (4-21)$$

$$u_i(x, \tau) = M_{CF}(\tau)u_i^n(x) + M_{CB}(\tau)u_i^{n-1}(x) \quad (4-22)$$

則

$$\begin{aligned}
 G_{ij} * t_i &= \sum_{n=1}^N \left[t_i^n \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} G_{ij} M_{CF}(\tau) d\tau + t_i^{n-1} \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} G_{ij} M_{CB}(\tau) d\tau \right] \\
 &= \sum_{n=1}^N \left[t_i^n (G_{CFij}^{N-n+1}) + t_i^{n-1} (G_{CBij}^{N-n+1}) \right] \quad (4-23)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{ij} * u_i &= \sum_{n=1}^N \left[t_i^n \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} F_{ij} M_{CF}(\tau) d\tau + t_i^{n-1} \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} F_{ij} M_{CB}(\tau) d\tau \right] \\
 &= \sum_{n=1}^N \left[u_i^n (F_{CFij}^{N-n+1}) + u_i^{n-1} (F_{CBij}^{N-n+1}) \right] \quad (4-24)
 \end{aligned}$$

其中定義褶積位移與曳引力核心如下

$$G_{CFij}^{N-n+1} = \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} G_{ij}(x, N\Delta t; \xi, \tau) M_{CF}(\tau) d\tau \quad (4-25)$$

$$G_{CBij}^{N-n+1} = \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} G_{ij}(x, N\Delta t; \xi, \tau) M_{CB}(\tau) d\tau \quad (4-26)$$

$$F_{CFij}^{N-n+1} = \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} F_{ij}(x, N\Delta t; \xi, \tau) M_{CF}(\tau) d\tau \quad (4-27)$$

$$F_{CBij}^{N-n+1} = \int_{(n-1)\Delta t}^{n\Delta t} F_{ij}(x, N\Delta t; \xi, \tau) M_{CB}(\tau) d\tau \quad (4-28)$$

其中，式 (4-17) - (4-20) 所代表的線性褶積位移核心與褶積曳引力核心；式 (4-25) - (4-28) 所代表的常數褶積位移核心與褶積曳引力核心，可在文獻 [16] 中找到完整的形式，在此並不再贅述。

4-3-3 時間域積分

在 4-3-2 節中，我們針對不同的時間形狀函數，對於褶積 $G_{ij} * t_i$ 與 $F_{ij} * u_i$ 作處理而得到不同階次 (order) 的褶積核心 (convoluted kernels)。本文採用的方法是位移函數隨時間成線性變化，曳引力函數隨時間成常數變化組合而成的所謂 LC 方法，其組合方式如下：

為了方便觀察，將式 (4-7) 重新寫出，

$$c_{ij}(\xi)u_i(\xi, t) = \int_S [G_{ij}(x, t; \xi, \tau) * t_i(x, \tau) - F_{ij}(x, t; \xi, \tau) * u_i(x, \tau)] dS(x)$$

(4-7)

將(4-19)(4-20)(4-25)(4-26)式代入(4-7)式整理可得

$$\begin{aligned} c_{ij}(\xi)u_i^N(\xi) &= \sum_{n=1}^N \int_S \left([G_{CFij}^{N-n+1} t_i^n(x) + G_{CBij}^{N-n+1} t_i^{n-1}(x)] \right. \\ &\quad \left. - [F_{LFij}^{N-n+1} u_i^n(x) + F_{LBij}^{N-n+1} u_i^{n-1}(x)] \right) dS(x) \\ &= \sum_{n=1}^N \int_S \left([G_{CFij}^{N-n+1} + G_{CBij}^{N-n}] t_i^n(x) - [F_{LFij}^{N-n+1} + F_{LBij}^{N-n}] u_i^n(x) \right) dS(x) \end{aligned} \quad (4-29)$$

式(4-29)中，有關於中括號[]裡面所出現的褶積核心，在經過濃縮(condense)的過程之後，我們稱之為濃縮褶積核心(condense convoluted kernels)。其形式可見於文獻[17]。



4-4 空間域積分 (spatial integral)

本文是利用等參數二次元素作空間離散，在任一元素中任一點，其座標(coordinates)和變數函數(位移或曳引力)可以下列式子表示之：

$$x_i = N_\alpha(\eta)X_{i\alpha} \quad (4-30)$$

$$u_i^n = N_\alpha(\eta)U_{i\alpha}^n \quad (4-31)$$

$$t_i^n = N_\alpha(\eta)T_{i\alpha}^n \quad (4-32)$$

其中

$i=1, 2$ 針對 2-D 問題而言

$\alpha=1, 2, 3$ 針對二次元素 (quadratic element) 而言

$N_\alpha(\eta)$ 表二次元素的形狀函數， η 為其座標

$$N_1(\eta) = \frac{-\eta}{2}(1-\eta)$$

$$N_2(\eta) = (1+\eta)(1-\eta)$$

$$N_3(\eta) = \frac{\eta}{2}(1+\eta)$$

邊界積分方程式在經過時間域與空間域兩種離散化過程後，可得到一系列的代數方程式，以 LC 方法而言，式 (4-29) 可寫成下面形式：

$$c_{ij}(\xi)u_i^N(\xi) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \left(\sum_{\alpha=1}^3 T_{i\alpha}^n(x) \int_{-1}^1 [G_{CFij}^{N-n+1} + G_{CBij}^{N-n}] N_\alpha(\eta) |J| d\eta - \sum_{\alpha=1}^3 U_{i\alpha}^n(x) \int_{-1}^1 [F_{LFij}^{N-n+1} + F_{LBij}^{N-n}] N_\alpha(\eta) |J| d\eta \right) \quad (4-33)$$

M 代表邊界上切割的二次元素的總數，至於 $|J|$ 則代表座標轉換之 Jacobian。

4-5 求解過程

對於邊界上的每一個點，我們持續的應用 (4-33) 式則可以得出一系列的代數方程式，將此代數方程式以矩陣方式表示如下：

$$\sum_{n=1}^N \left([G_{CFij}^{N-n+1} + G_{CBij}^{N-n}] \{ \mathbf{t}^n \} - [F_{LFij}^{N-n+1} + F_{LBij}^{N-n}] \{ \mathbf{u}^n \} \right) = \{ \mathbf{0} \} \quad (4-34)$$

\mathbf{t}^n 與 \mathbf{u}^n 分別代表所有邊界點的曳引力與位移之全向量

(global vectors)，而其上標 n 乃第 n 時階 (time step) 之代表。

因此，在時間 t 時，有一半的變數仍為未知，另一半則為已知，而時間 t 之前的反應 (response) 皆為已知，將未知量移到等號左邊，則式 (4-34) 整理後寫成：

$$[\mathbf{A}_1^1]\{\mathbf{X}^N\} = [\mathbf{B}_1^1]\{\mathbf{Y}^N\} + \{\mathbf{R}^N\} \quad (4-44)$$

$$\{\mathbf{R}^N\} = -\sum_{n=1}^{N-1} \left([G_{CFij}^{N-n+1} + G_{CBij}^{N+n}]\{\mathbf{t}^n\} - [F_{LFij}^{N-n+1} + F_{LBij}^{N-n}]\{\mathbf{u}^n\} \right) \quad (4-45)$$

其中 $\{\mathbf{X}^N\}$ 與 $\{\mathbf{Y}^N\}$ 分別代表未知量和已知量，而 $\{\mathbf{R}^N\}$ 所代表的乃是在當前時點 (current time node) N 之前，動力歷史所產生的效應。上標 1 指該項對應於前導時間 (leading time)，下標 1 則指該項對應於時階中的前方時點 (forward time node)。如此便可逐步解得答案。



第五章 分析模式與元素切割特性探討

5-1 分析模式

考慮一振動基礎（震源）於地表面上，基礎振動產生能量而以波的形式散發出去。在研究震波阻隔問題時，依槽溝的設置位置或目的，將分析模式分為兩大類：即主動阻隔（active isolation）和被動阻隔（passive isolation）。

（1）主動減振槽溝：係將振動基礎（震源）四周以槽溝圍障起

來，以減低震源向外輻射的震波能量，如



圖 5-1

（2）被動減振槽溝：係在被保護的結構物四周以槽溝圍障起

來，以減少外來震波對結構物之干擾，如

圖 5-2

5-2 圍繞元素切割之探討

我們首先探討參數 $\beta = \frac{C_p \times \Delta t}{dL}$ ，其中 C_p 為壓力波速， Δt 為時階

長度， dL 為元素長度。其意義為每一分析時階內壓力波傳遞的單元數，由文獻〔17〕中指出 β 介於 0.5~0.75 之間，而 Δt 和 dL 愈小愈精確，但 Δt 不可過小導致數值誤差的產生。

其他土壤參數假設，土壤密度為 $2.057653 \times 10^3 N/m^3$ ，土壤剪力模數 $G_s = 1.306692 \times 10^8 N/m^2$ ， $C_p = 1114 m/sec$ ， $C_s = 252 m/sec$ ， $C_R = 239 m/sec$ 柏松比為 0.468，阻尼比為 0， dL 為 10m，因為假設壓力波速較大，為了不使 Δt 不可過小導致數值誤差，因此我們選定 $\beta = 0.75$ 為依據建立模型。

再由文獻 [17] 中得知在欲分析的範圍元素採均切，而較遠表面處元素可採漸增式切割，對分析的結果影響甚微，因此我們在兩槽溝間和槽後 100 公尺內之元素採 10m 等長切割，200 公尺~300 公尺採 20m 元素切割，300 公尺以後採 40m 元素切割，如此類推至 4500 公尺處，所以我們在 4500 公尺處設圍繞元素。此外我們將分析模型分為 1 元素深（模型一）和 2 元素深（模型二）也就是約 10 公尺和 20 公尺，兩槽溝間相距 200 公尺，整體模型剖面見圖 5-3(a)(b)(c)。

而載重型態也分衝擊載重（impulse loading）和簡諧載重（harmonic loading），因此將分析案例分為幾種情況如表 1 所示。

5-2-1 主動機制垂直位移分析結果

我們將衝擊載重放置於模型一和模型二（圖 5-3）的兩溝槽中點處（如 case I、case II），比較有槽和無槽距載重點 110 公尺、120 公尺、130 公尺、140 公尺、150 公尺、160 公尺、170 公尺、180 公

尺、190 公尺處垂直位移情況，分析結果如圖 5-4~5-21 圖所示，其中橫軸無因次化是將壓力波速乘以時間後除以分析位置至加載重中心的距離，縱軸是利用所得位移除以載重極值和剪力模數的比值無因次化，然後再比較各垂直位移和水平位移圖中的最高點與最低點的差也就是雷利波的振幅繪於圖 5-22 和圖 5-23，由圖 5-22 可知，以垂直位移而言模型一在觀察點 110 公尺處的阻隔率只有 5%，而模型二在觀察點 110 公尺處的阻隔率也只有 22%，但觀察點 140 公尺處卻高達 44% 和 75%，可見距地形變化處的雷利波阻隔效果並不顯著，距離槽溝 30~40 公尺處效果較好，而由圖 5-23 可知，水平位移之阻隔效果不隨觀察點遠近而有太大變化，只隨槽溝深度而增加。因此槽溝對阻隔雷利波有較佳的效果，而深度增加亦可增加阻隔效果。

對於簡諧載重 $1e^{i\omega t}$ 頻率 $f=1、2、3、4、5、6、7、8、9、10\text{Hz}$ 等十個不同頻率依上述作法，分析結果如圖 5-24~圖 5-203 所示，再將雷利波的垂直位移和水平位移振幅比較繪於圖 5-204~圖 5-223，由圖可知，以垂直位移而言模型一和模型二頻率 $f=1、2\text{Hz}$ 振幅相當接近，阻隔率較低，但深度增加亦可增加阻隔效果，頻率較高時和衝擊載重的結果一樣距地形變化處的雷利波阻隔效果並不顯著，距離槽溝 30~40 公尺處效果較好，而水平位移無論頻率高低其阻隔效果不隨觀察點遠近而有太大變化，只隨槽溝深度而增加。

5-2-2 被動機制分析結果

由 case V、case VI，將載重分別置於離兩槽溝中點 110、120、130、140、150、160、170、180、190 公尺處，比較兩槽溝中點處有槽和無槽垂直位移和水平位移情況，其分析結果如圖 5-224~5-243 所示，由圖所知，以垂直位移而言模型一的阻隔率最高只有 1.8%，而模型二的阻隔率最高卻有 69%，而水平位移在模型一的阻隔率約 0.5% ~4.6%，而模型二的阻隔率約 28.1% ~34.4%，可見槽溝深度在被動阻隔方面必須要一定深度才有其阻隔效果。

再由 case VII、case VIII，載重 $1e^{700}$ 頻率 $f=1、2、3、4、5、6、7、8、9、10\text{Hz}$ 置於離兩槽溝中點 110、120、130、140、150、160、170、180、190 公尺處，比較兩槽溝中點處有槽和無槽垂直位移和水平位移情況，其分析結果如圖 5-244~5-434 所示，以垂直位移而言模型一的阻隔率在頻率 $f=1\sim 10\text{Hz}$ 皆在 20% 以下，模型二的阻隔率 $f=1\text{Hz}$ 時完全看不效果， $f=3\sim 10\text{Hz}$ 阻隔效果較顯著，而水平位移無論頻率高低其阻隔效果不隨觀察點遠近而有太大變化，只隨槽溝深度而增加，整體而言主動機制的效果比被動機制的阻隔效果好。

第六章結論與建議

6-1 結論

1. 以主動機制垂直位移而言，槽溝對阻隔雷利波有較佳的效果，而深度增加亦可增加阻隔效果，而分析點於槽後 10 公尺後，阻隔效果並非最好，阻隔效果最好的位置出現在槽後 30~40 公尺處，而水平位移，槽溝對阻隔雷利波亦有較佳的效果，而深度增加亦可增加阻隔效果，但阻隔效果不隨觀察點遠近而有太大變化，只隨槽溝深度而增加。
2. 以被動機制垂直位移和水平位移而言槽溝對阻隔雷利波依然有其效果，但一個元素深和兩元素深比較時效果並不顯著，而頻率較低時無論主動或是被動機制效果並不顯著。

6-2 建議

1. 本文是以二維邊界元素法分析，但土壤實際情況並非如此，如何發展成以三維來分析，為一個值得繼續發展的問題。
2. 本文討論的開口槽溝亦可加入填充物，並探討槽後位移情況。

參考文獻

1. Barkan, D. D., Dynamics of Bases and Foundations, translated from the Russian by L. Drashevskaya, and translation edited by G. P. Tschebotarioff, McGraw-Hill Book Co., New York, p. 434 ,1962.
2. Dolling, H. J., “Schwingungsisolierung Von Bauwerken durch Tiefe auf Geeignete Weise Stabilisierte Schlitzte,” VDI-bar. 88 S. 3741 ,1965.
3. Neumeuer, H., “Untersuchungen über die Abschirmung eines Bestehenden Gebäudes gegen Erschütterungen beim Bau und Betrieb Einer U-Bahnstrecke,” Baumaschine und Bautechnik 10, pp. 23-29 ,1963.
4. Woods, R. D., Barnett, N.E. and Sagesser, R , “Holography, a New Tool for Soil Dynamics,” Proc. ASCE 100, J. Geotech. Engng., Dir. GT11, pp. 1231-1247,1974.
5. Liao, S and Sangrey, D. A ., “Use of Piles as Isolation Barriers,” Journal of the Geotechnical Engineering Division
6. Sridharan, A., M. V. Nagenendra, and T. Parthasarathy, “Isolation of Machine Foundations by Barriers,” International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics ,St. Louis, Vol. 1, pp. 279-282 ,1981.
7. Haupt, W. A., “Model Test on Screening of Surface Waves,” Proc., 10th, Int. Conf. Soil Mech. And Found. Engrg., Stockholm, Vol. 3, pp. 215-222 , 1981.
8. 倪勝火，徐俊雄，蔡佩勳，「填充槽溝阻隔效應之實驗研究與分析」，中華民國第十七屆全國力學會議論文集，臺北，第 349-356 頁，1993。
9. Aboudi, J., “Elastic Waves in Half-Space with Thin Barrier,” Proc. ASCE, J. Engrg. Mechs. Div., Vol. 99, EM1, pp. 69-83 ,1973.

10. Haupt, W. A., "Surface Waves in Nonhomogeneous Half-Space," Dynamical Methods in Soil and Rock Mechanics, Prange, B., eds, Rotterdam: Balkema, pp. 335-367, 1977.
11. 倪勝火、馮正一、蔡佩勳，「條形基礎振動反應與阻隔效應之分析」，中國土木工程學刊，第六卷，第三期，第 269-277 頁，1994。
12. 楊永斌，高速列車所引致之土壤振動分析法，中興工程顧問社，臺北，1995。
13. 蔡佩勳，「槽溝對方形振動基礎的震波阻隔效應之研究」，博士論文，國立成功大學土木工程研究所，臺南，1996。
14. Graff, K.F., Wave Motion in Elastic Solids, Dover Publications, Int., New York, 1973
15. Gutowski, T.G., Dym, C.L., "Propagation of Ground Vibration : A Review" , J.Sound Vibr., Vol 49(2), p179-193, 1976
16. 王忠成，「推導高階時間域邊界元素法求解二維暫態應力波」，國立交通大學，博士論文，1996
17. 麥永慶，「以二維時間域邊界元素法分析地表幾何變化對波傳之影響」，碩士論文，國立交通大學土木工程研究所，2002。

主動模式	一個元素深	兩個元素深
衝擊載重	case I	case II
簡諧載重	case III	case IV

被動模式	一個元素深	兩個元素深
衝擊載重	case V	case VI
簡諧載重	case VII	case VIII

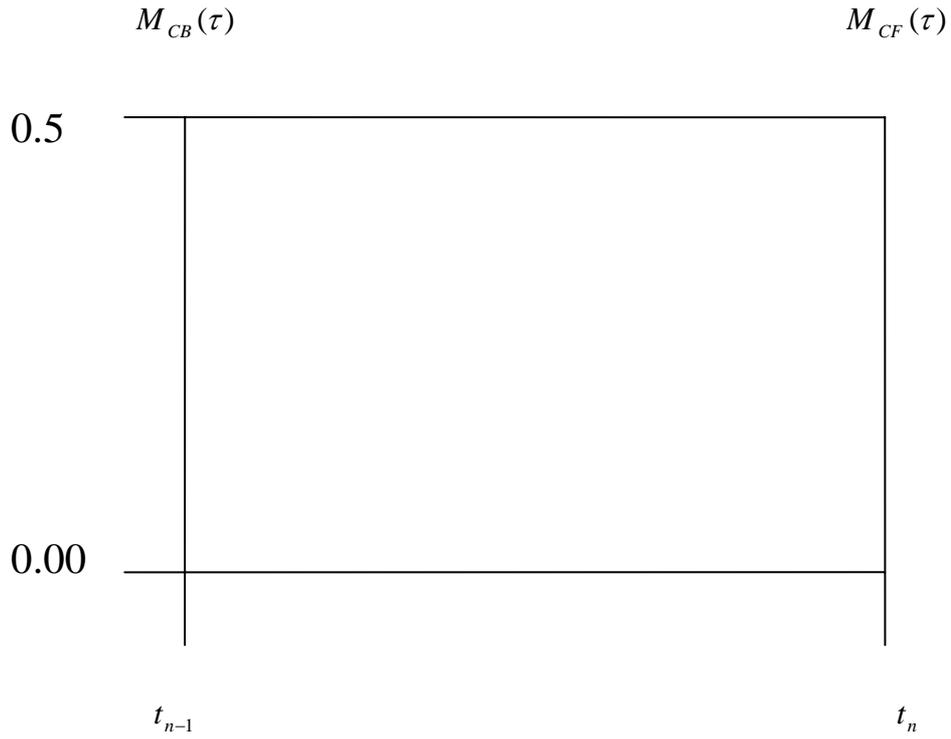


圖 4-1 常數變化時間形狀函數

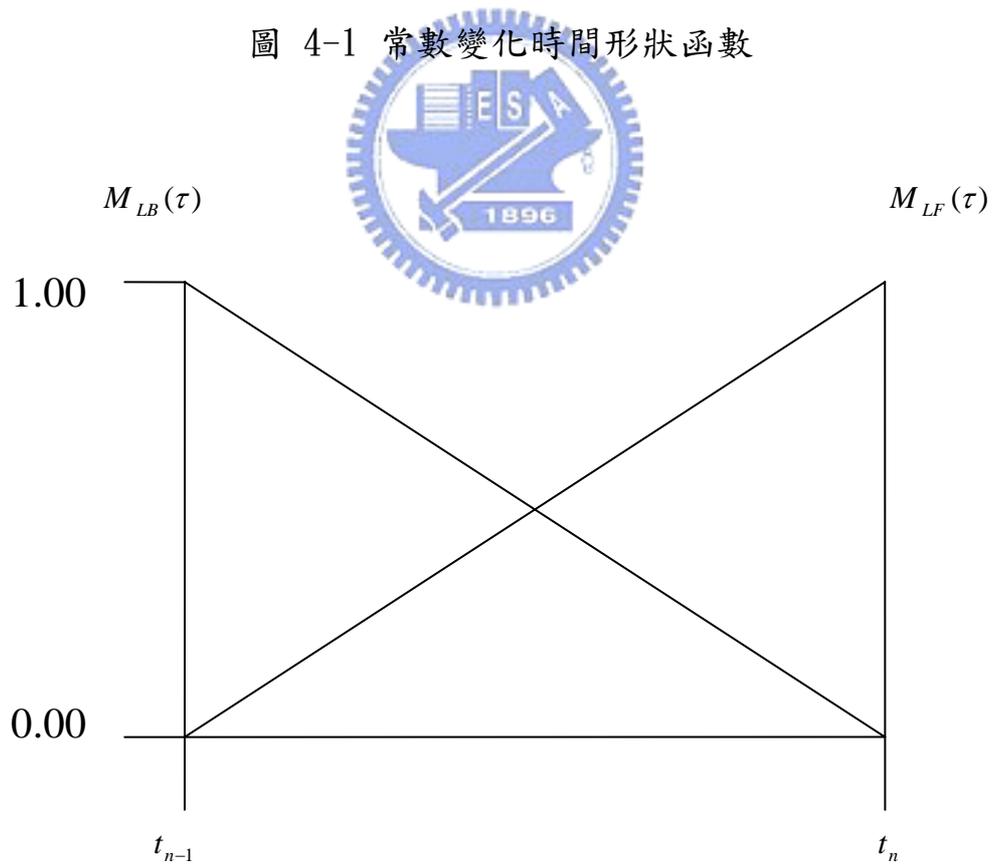


圖 4-2 線性變化時間形狀函數

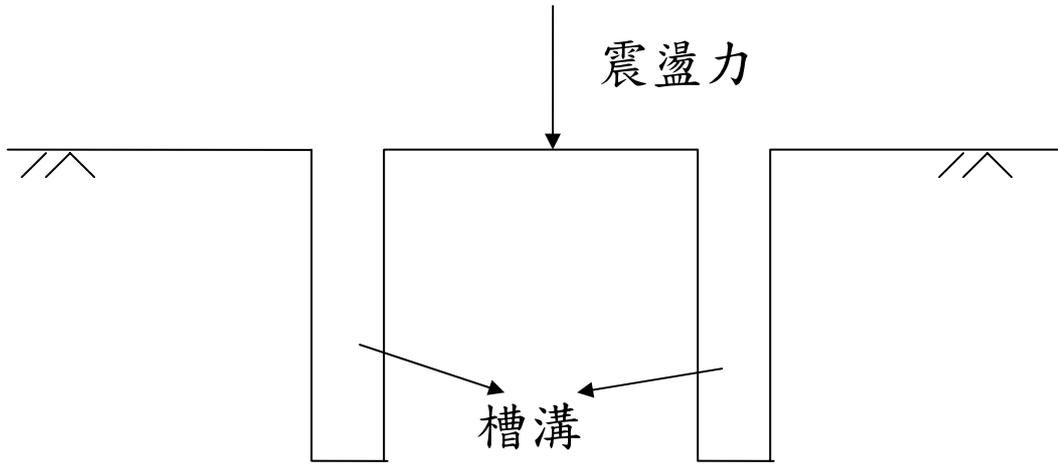


圖 5-1 主動減振槽溝模式

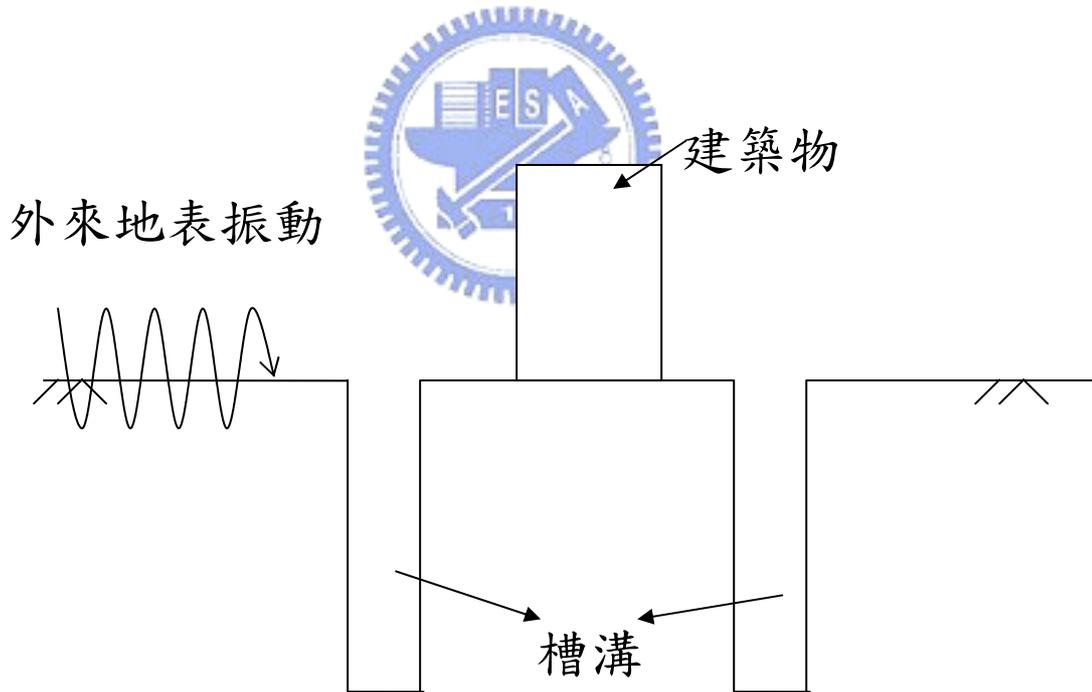


圖 5-2 被動減振槽溝模式

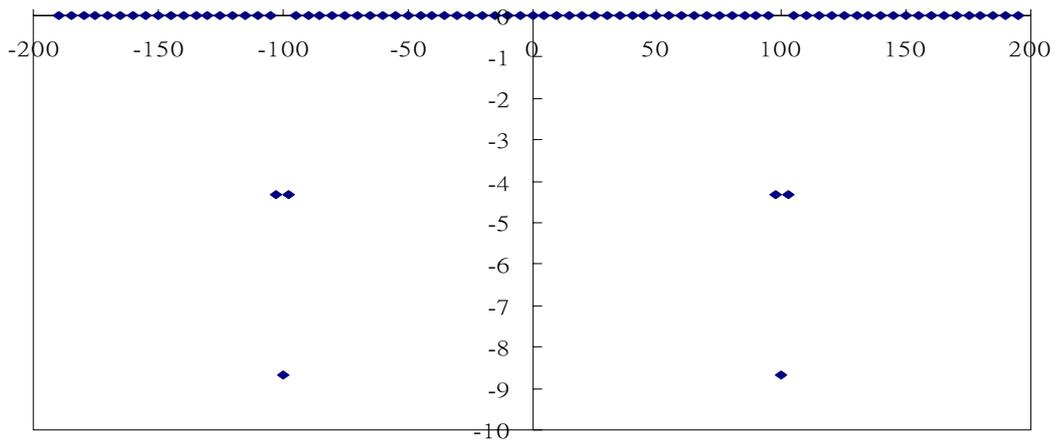


圖 5-3 (a) 一個元素深模型圖

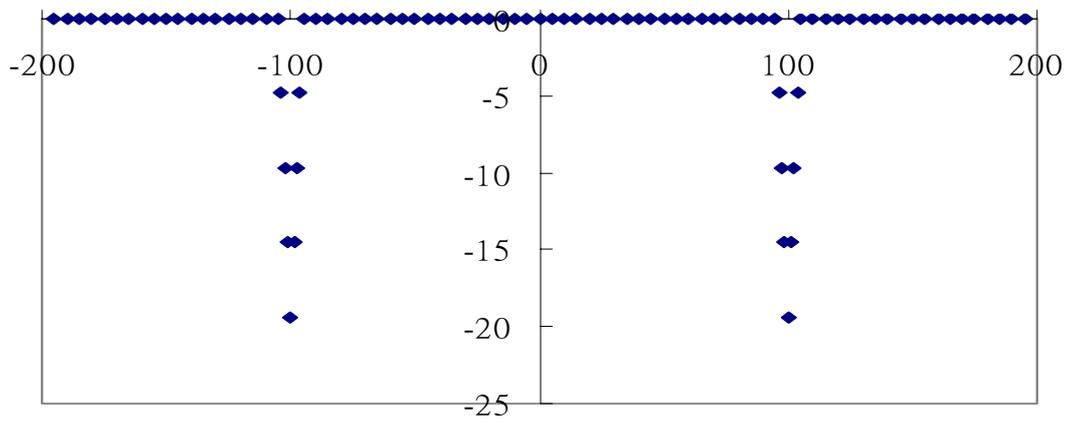


圖 5-3 (b) 兩個元素深模型圖

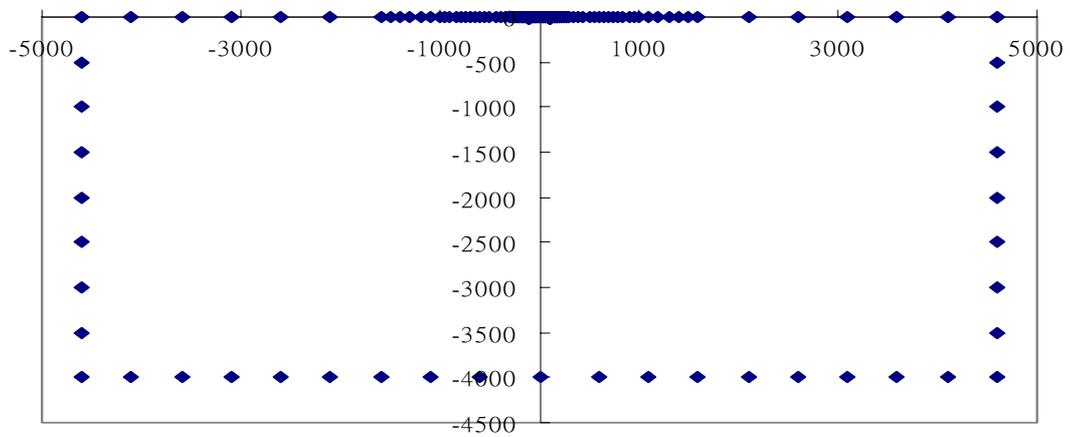


圖 5-3 (c) 圍繞元素模型圖

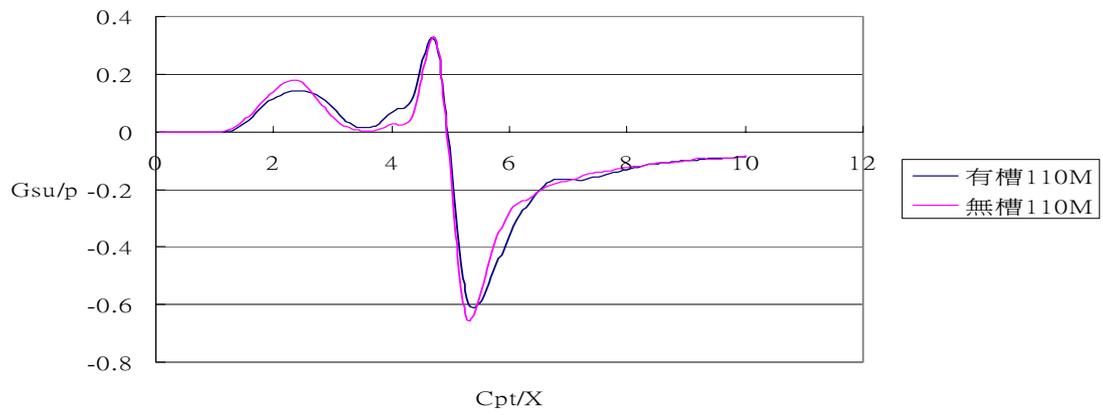


圖 5-4 case I 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

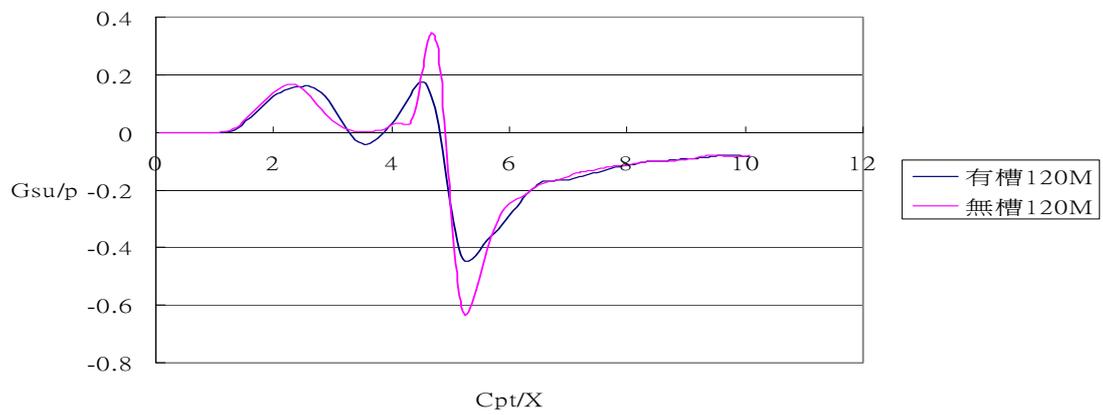


圖 5-5 case I 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

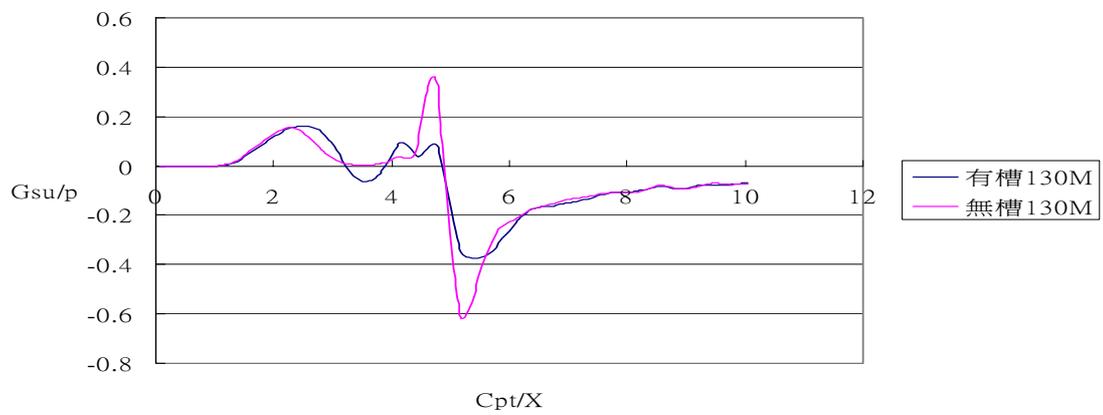


圖 5-6 case I 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

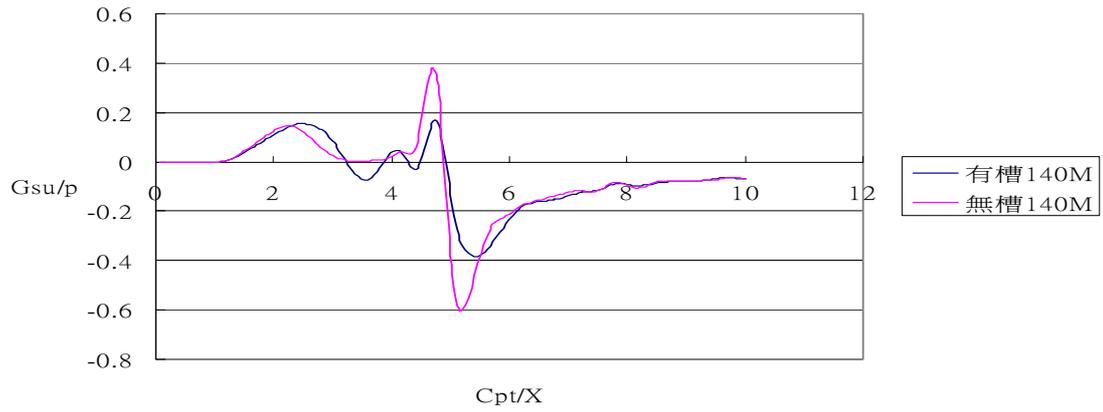


圖 5-7 case I 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

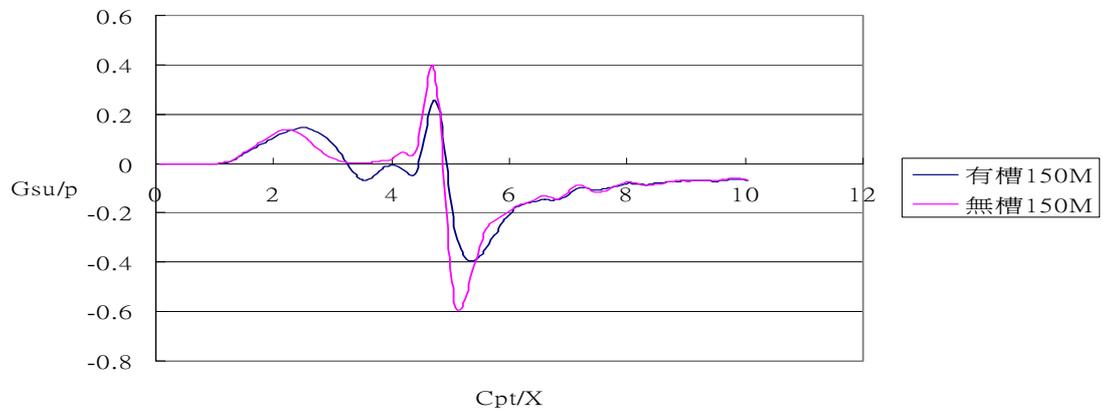


圖 5-8 case I 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

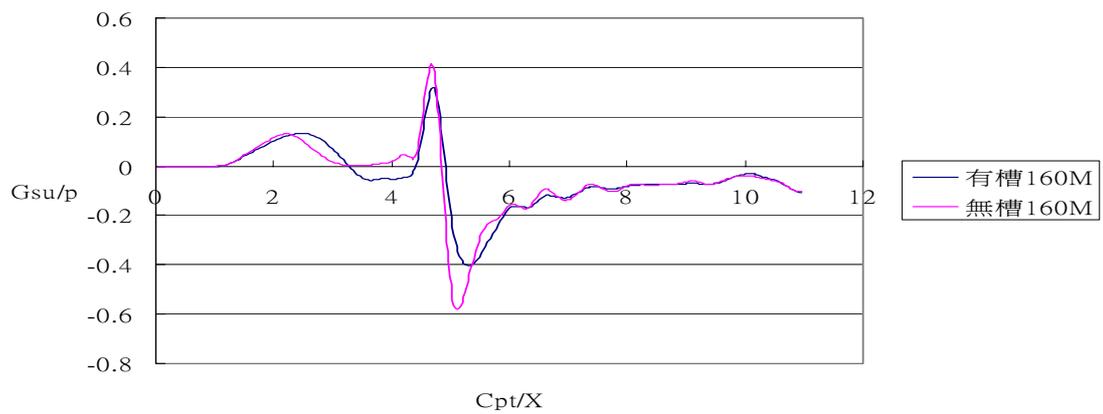


圖 5-9 case I 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

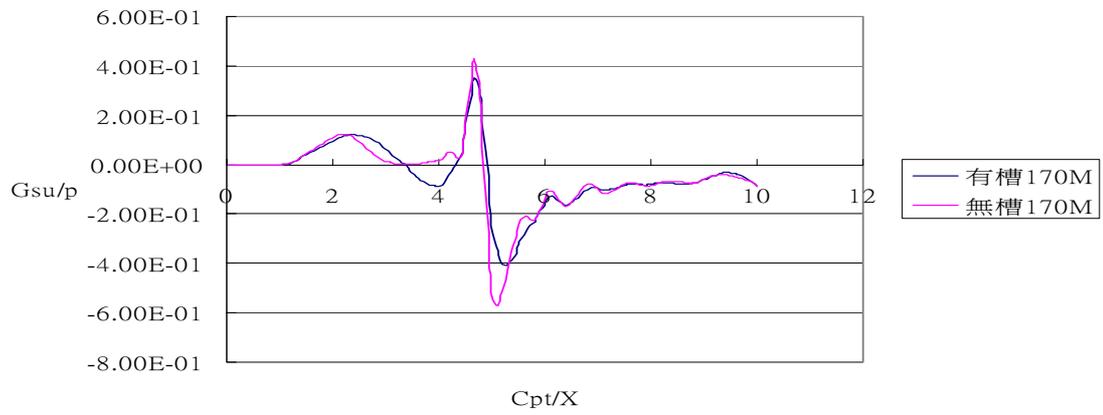


圖 5-10 case I 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

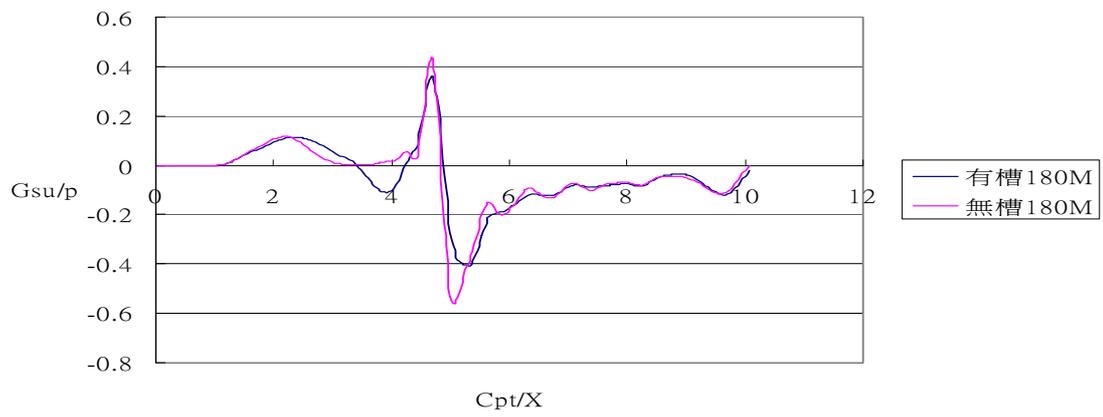


圖 5-11 case I 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

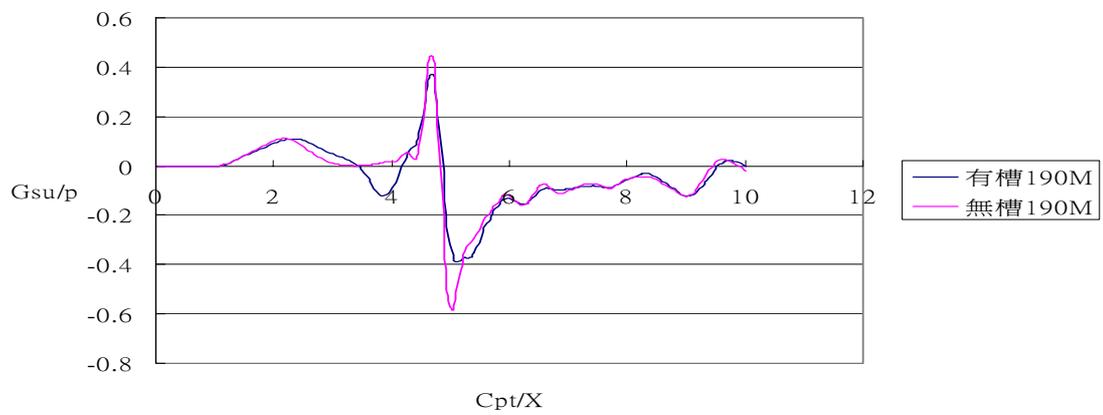


圖 5-12 case I 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較



圖 5-13 case II 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

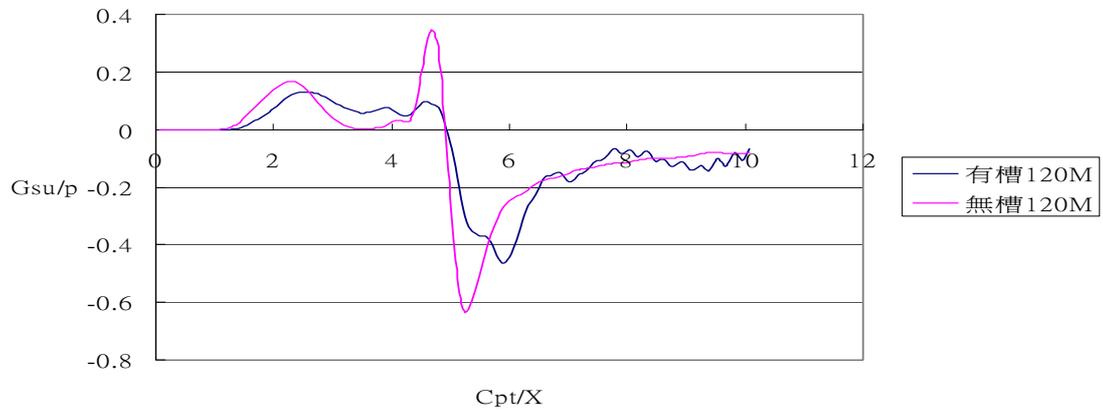


圖 5-14 case II 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

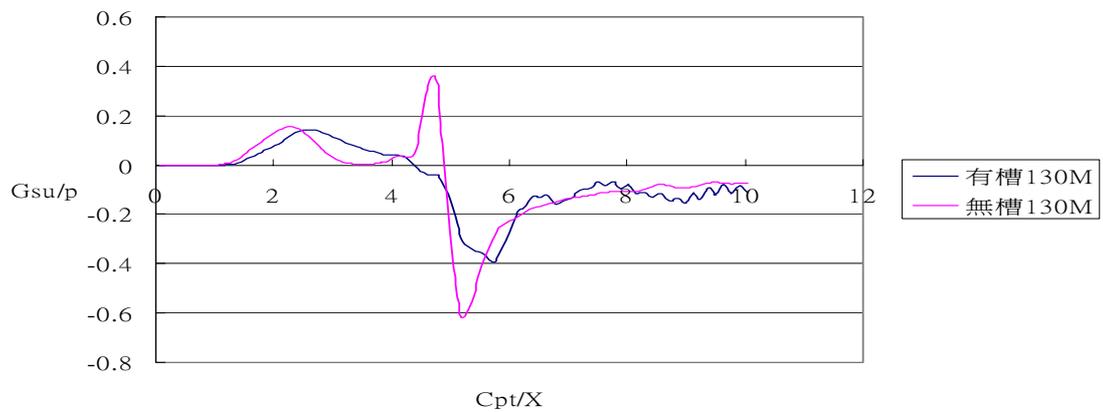


圖 5-15 case II 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

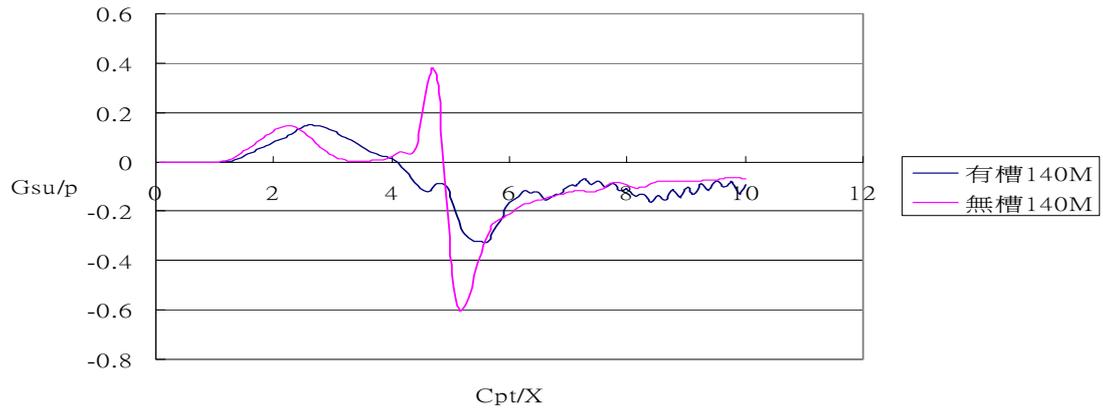


圖 5-16 case II 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

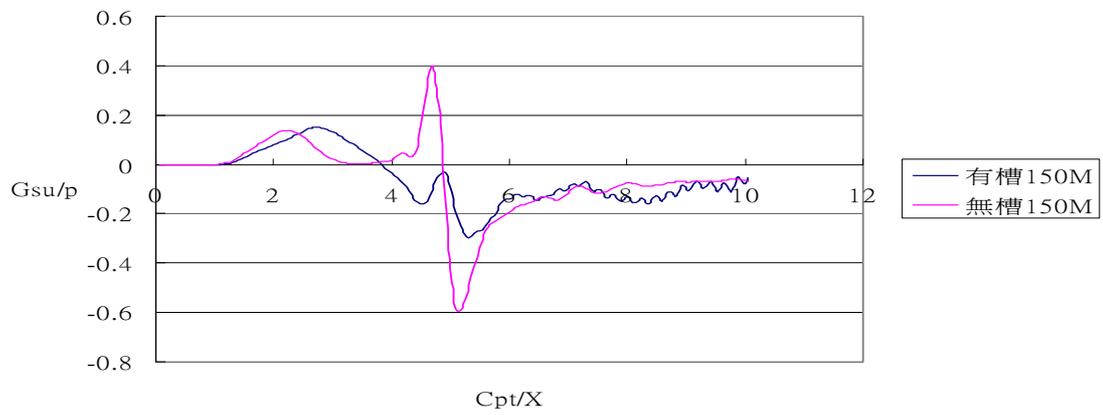


圖 5-17 case II 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

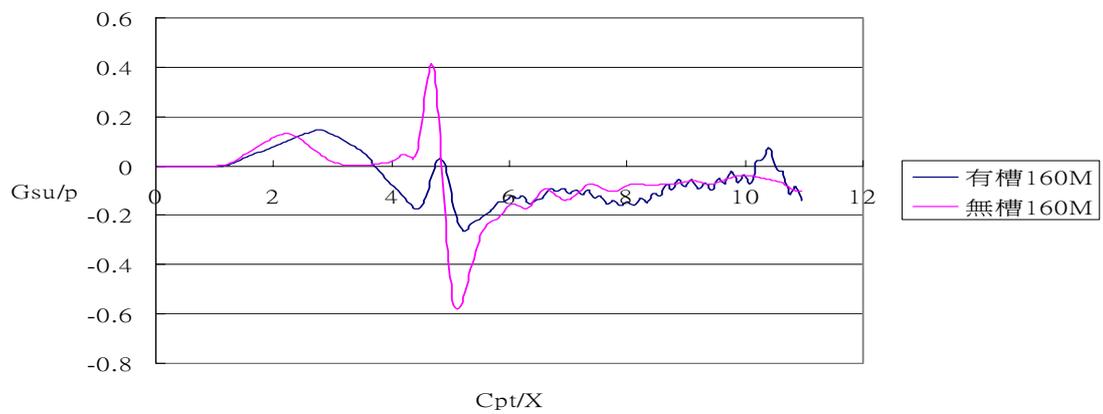


圖 5-18 case II 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

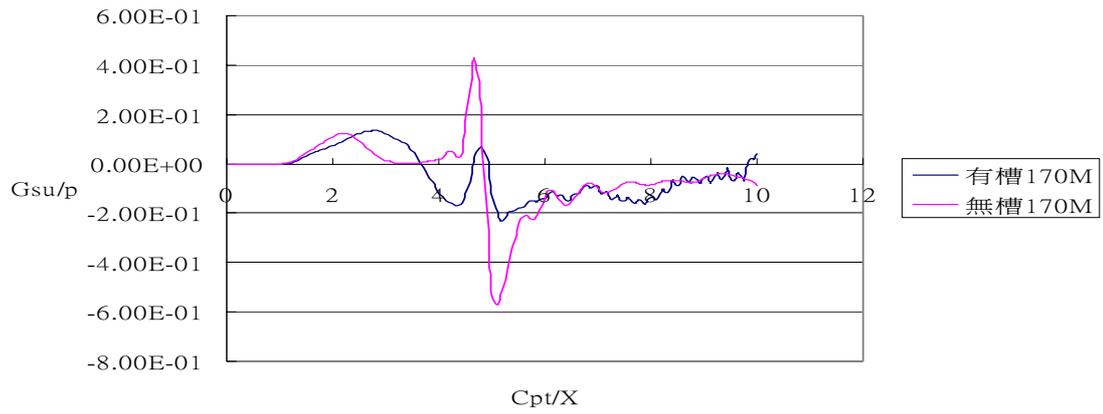


圖 5-19 case II 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

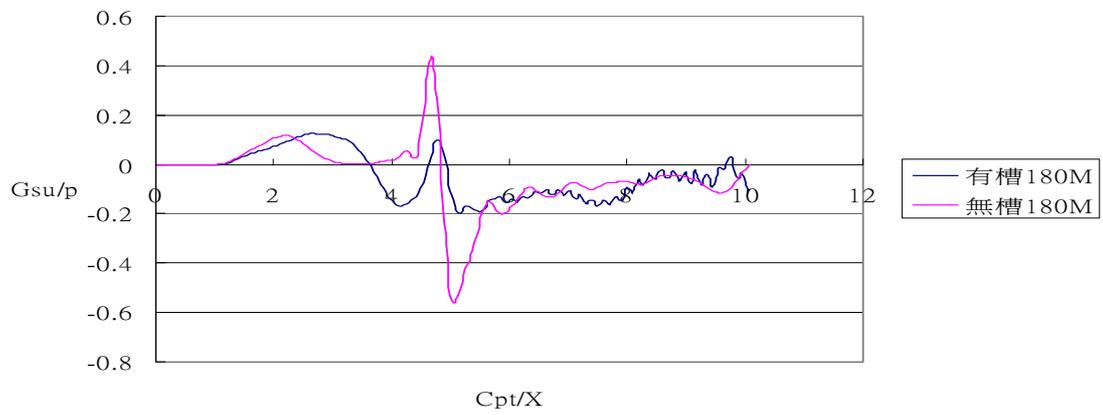


圖 5-20 case II 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

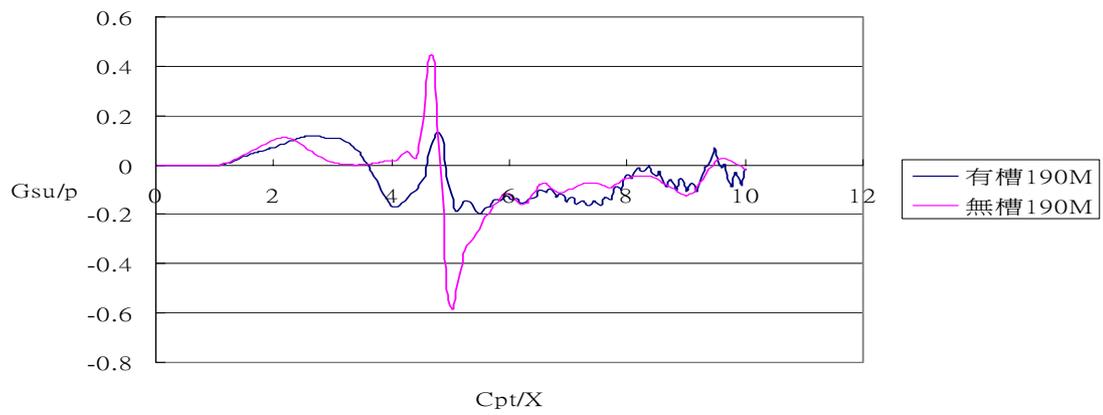


圖 5-21 case II 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

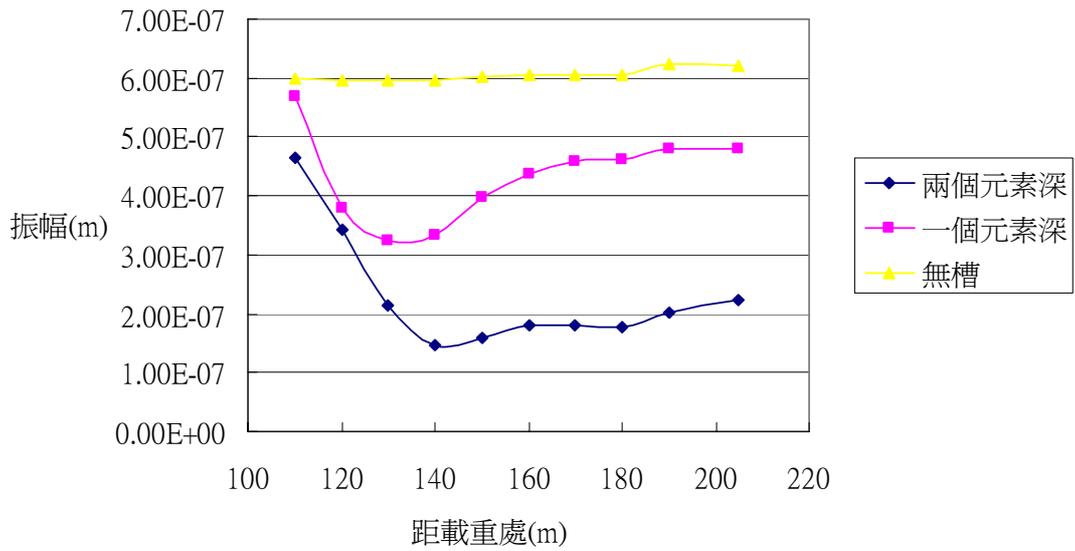


圖 5-22 case I 、case II 各觀察點垂直位移振幅比較

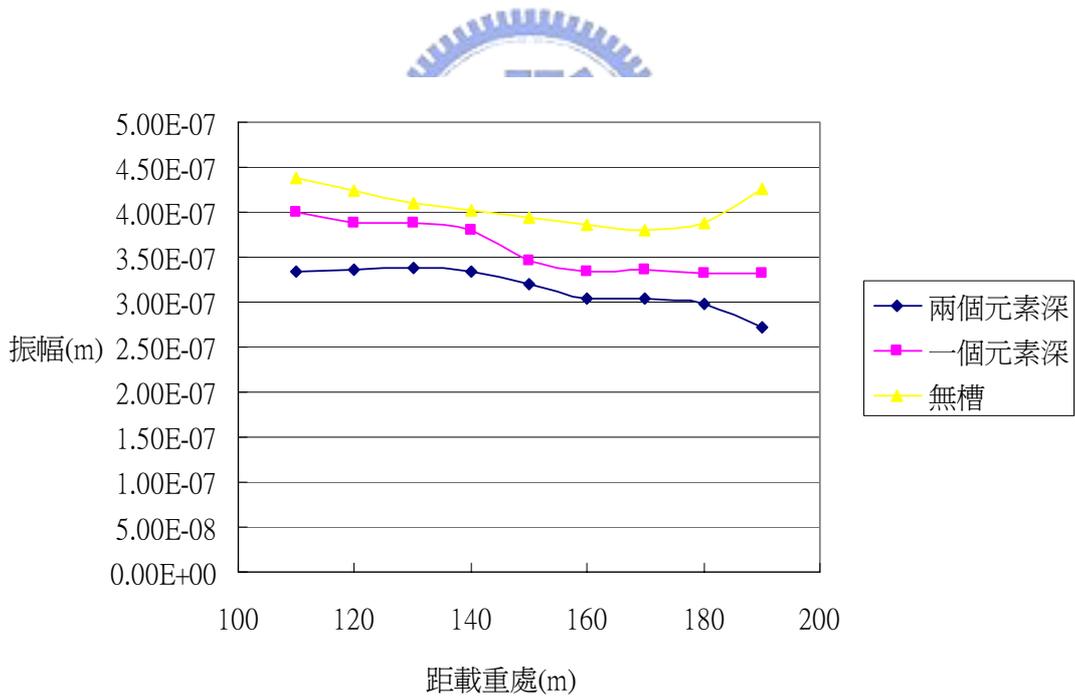


圖 5-23 case I 、case II 各觀察點水平位移振幅比較

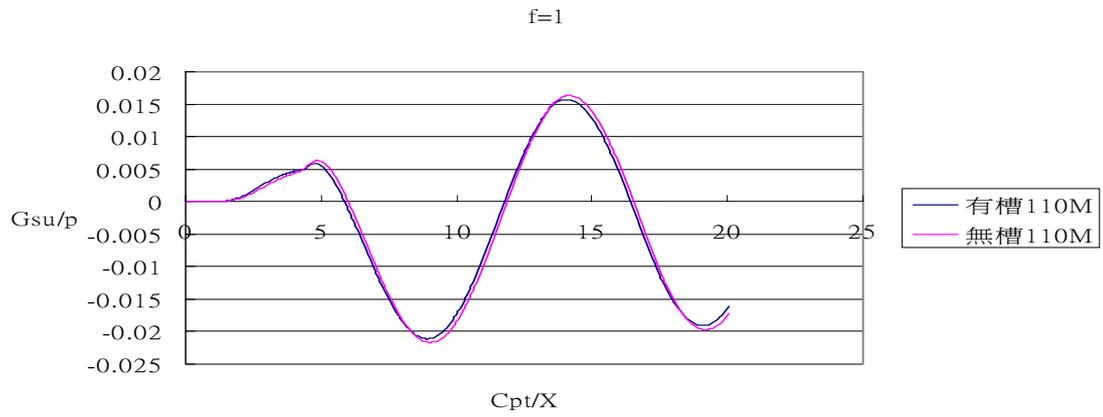


圖 5-24 case III 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

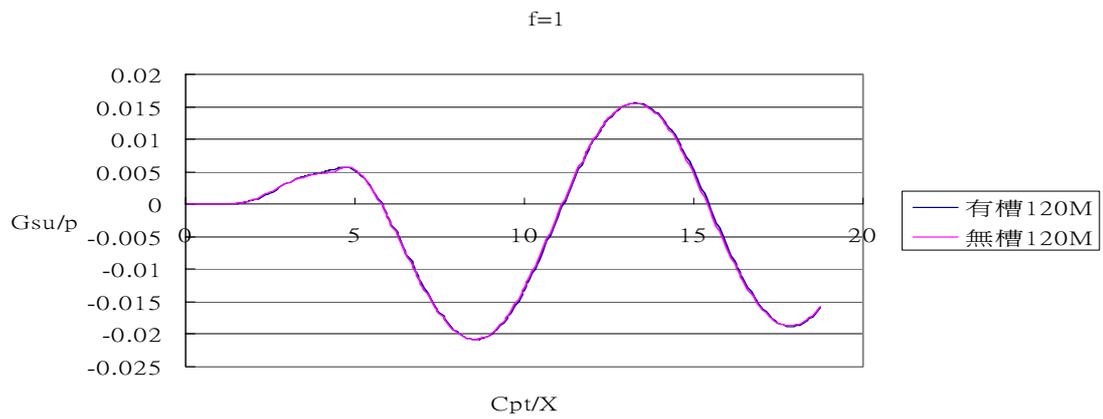


圖 5-25 case III 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

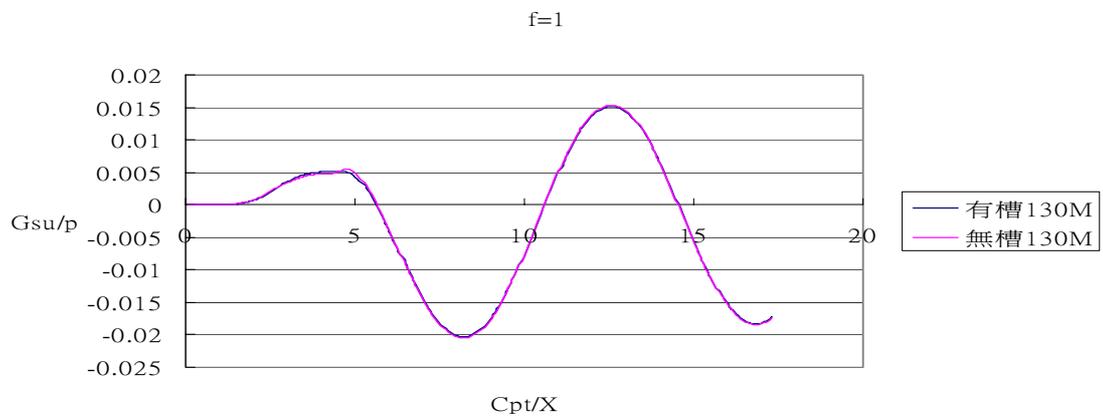


圖 5-26 case III 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

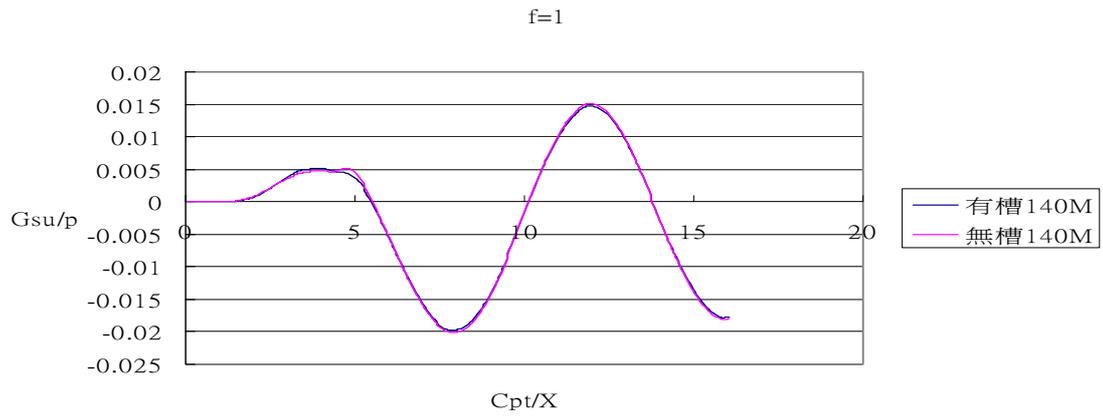


圖 5-27 case III 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

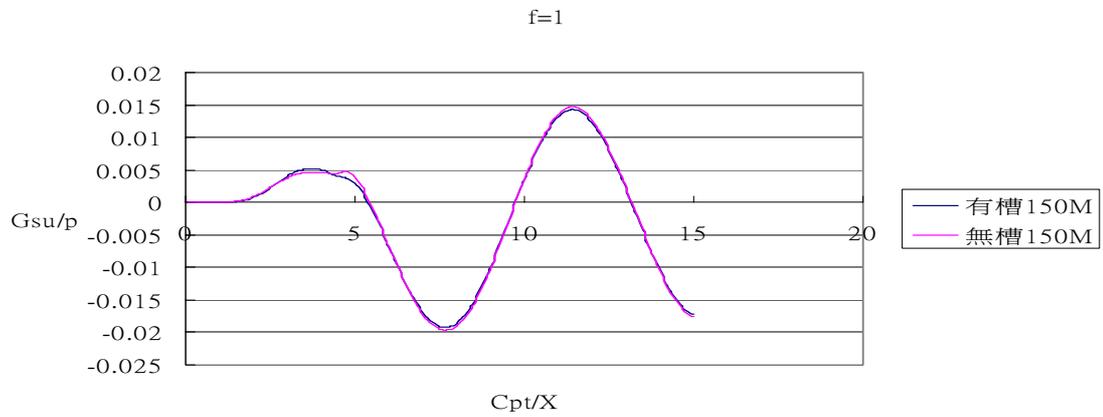


圖 5-28 case III 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

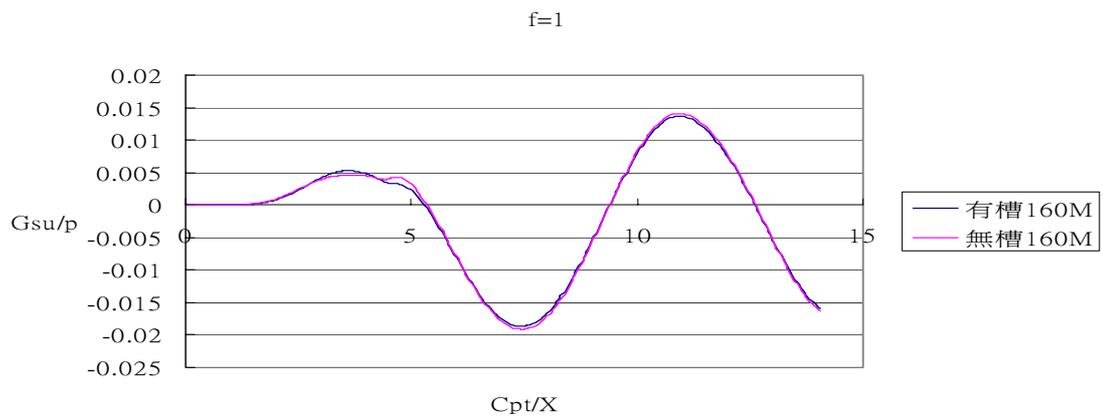


圖 5-29 case III 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

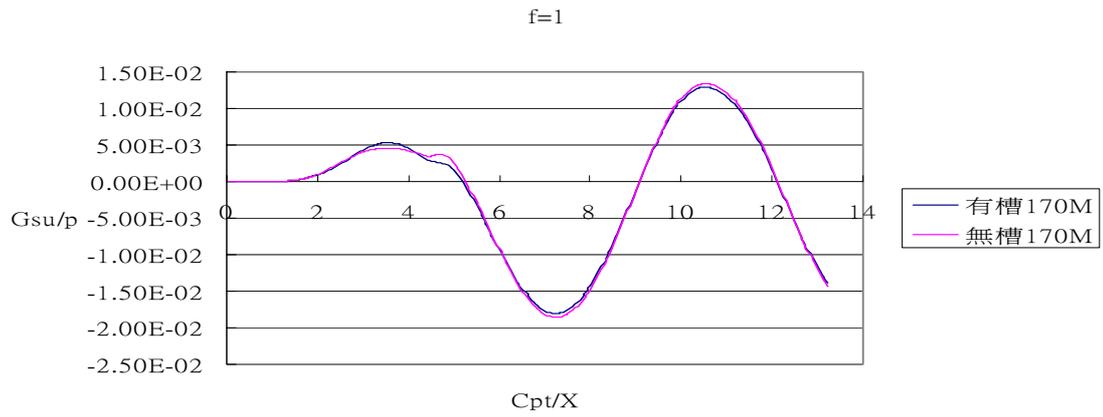


圖 5-30 case III 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

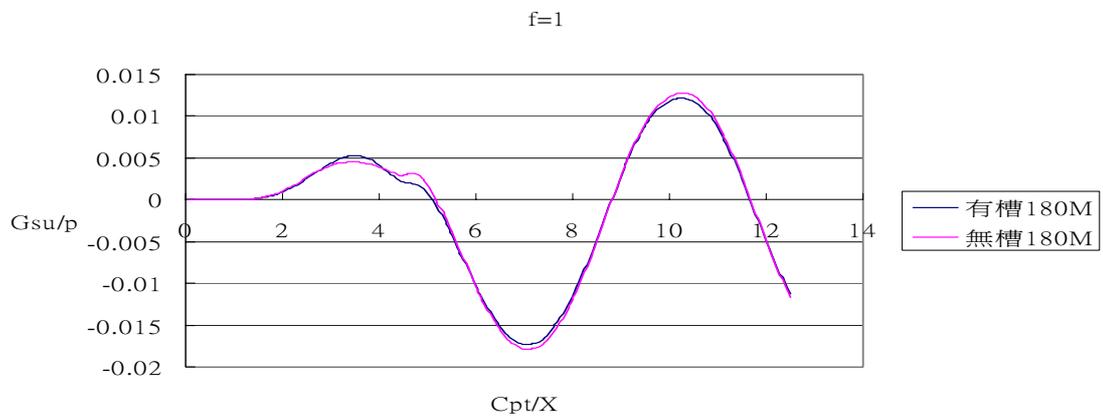


圖 5-31 case III 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

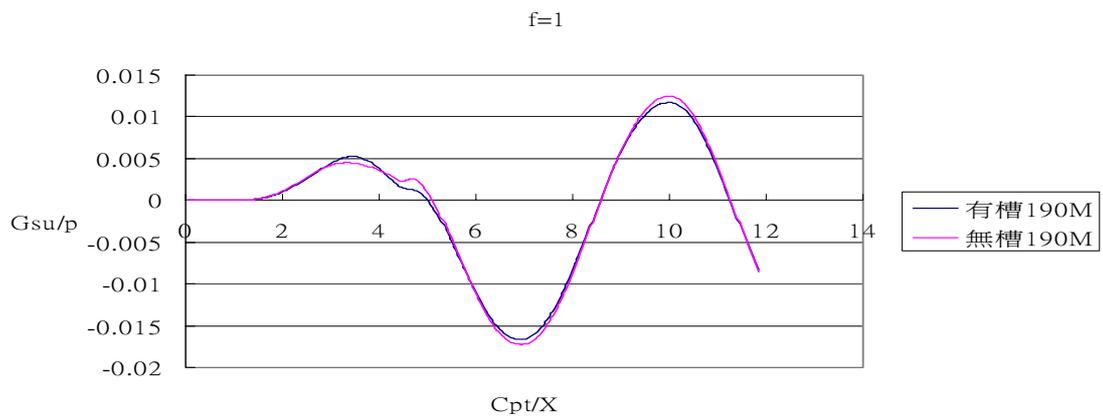


圖 5-32 case III 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

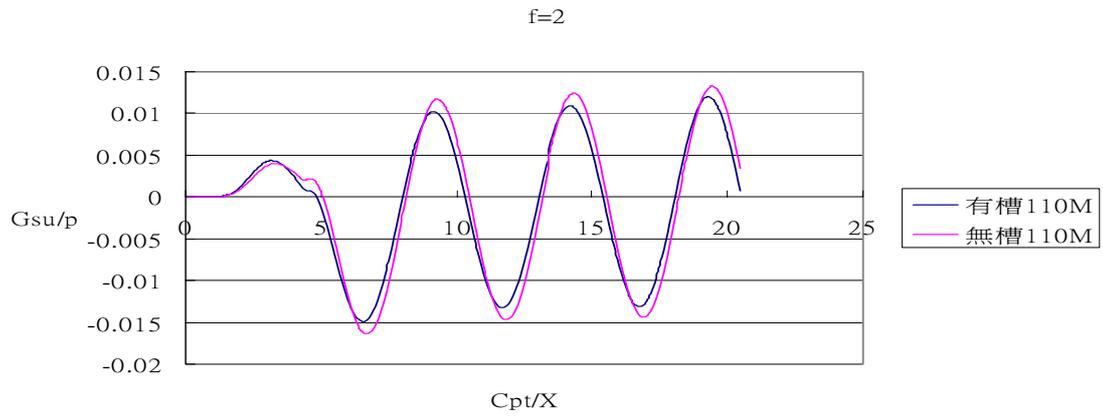


圖 5-33 caseⅢ觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

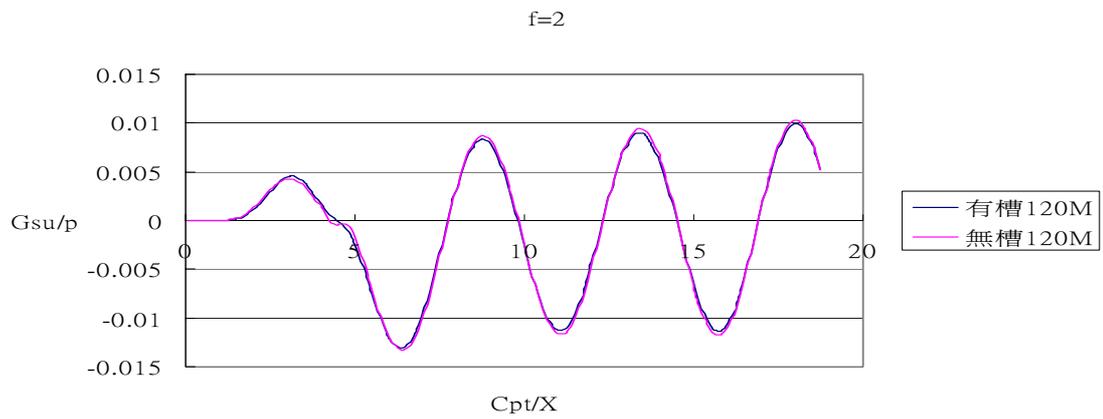


圖 5-34 caseⅢ觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

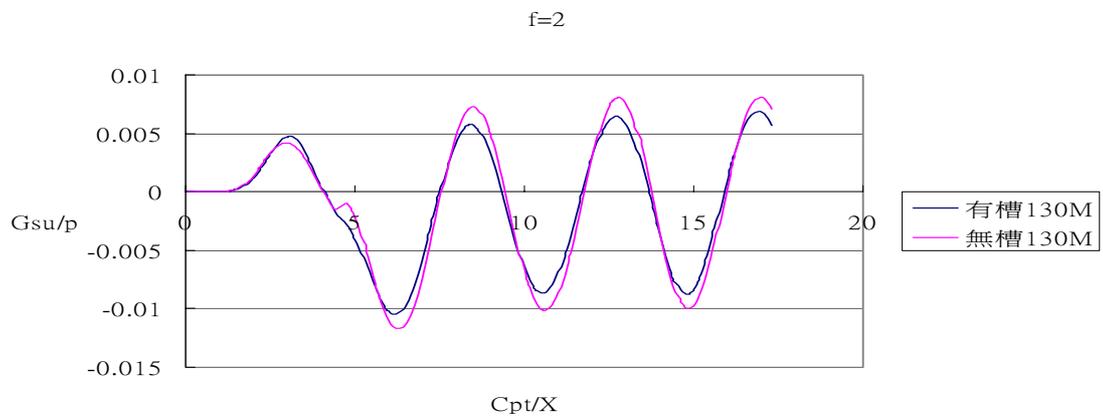


圖 5-35 caseⅢ觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

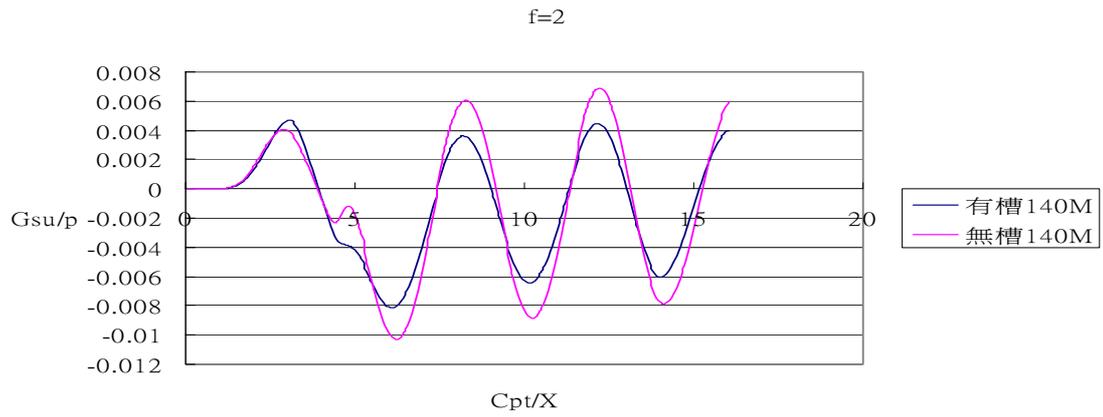


圖 5-36 case III 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

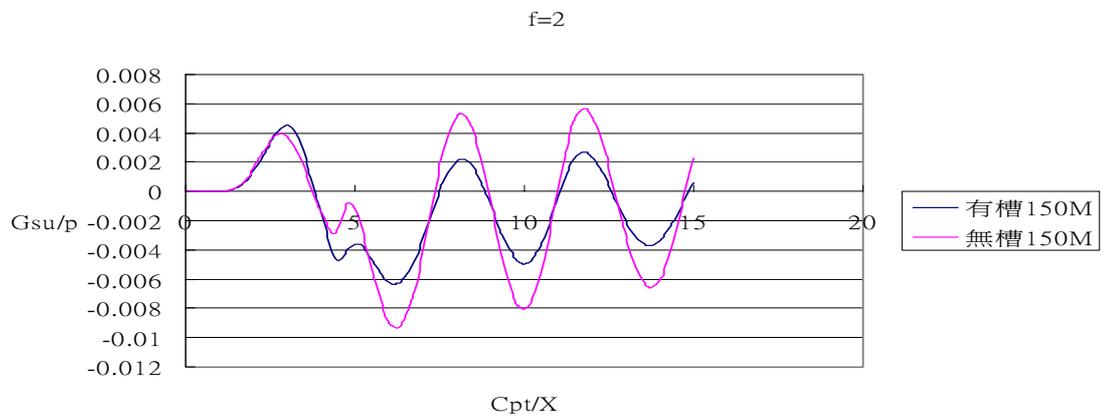


圖 5-37 case III 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

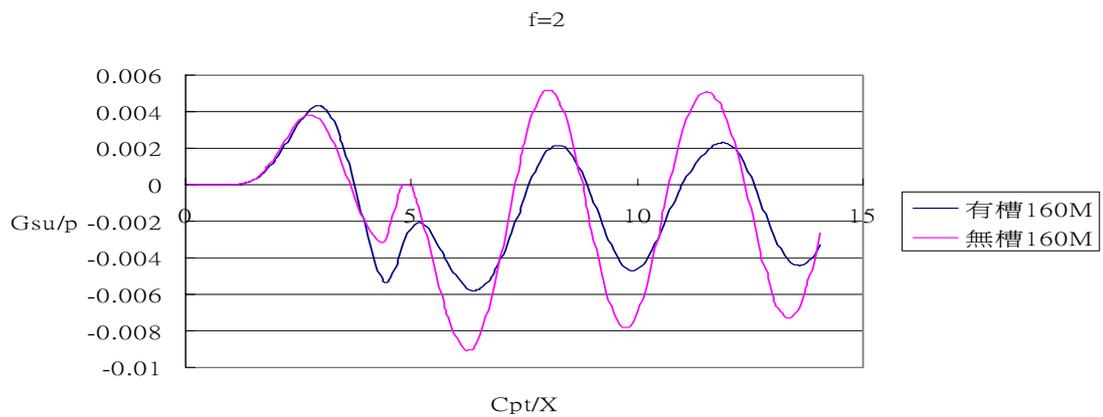


圖 5-38 case III 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

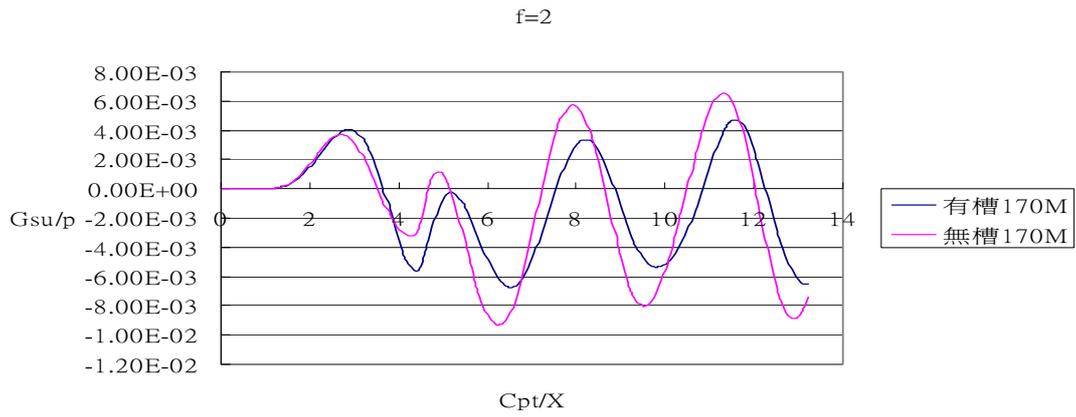


圖 5-39 caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

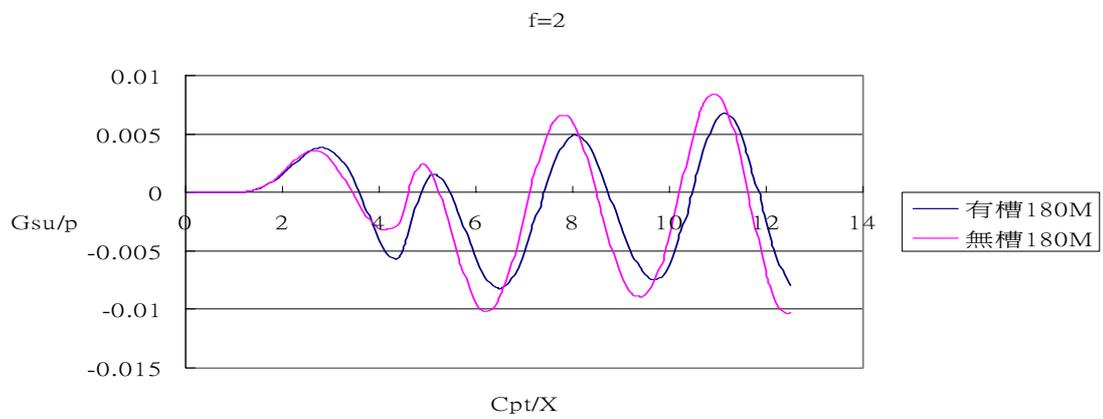


圖 5-40 caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

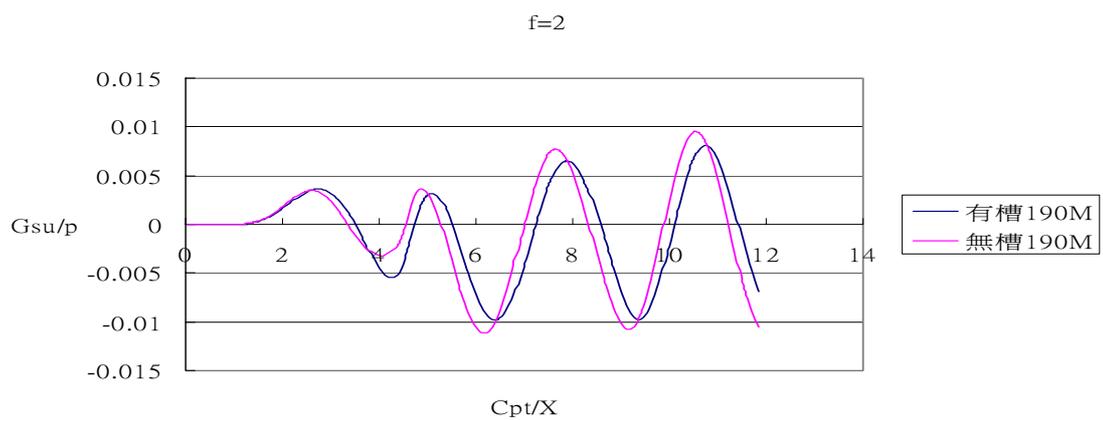


圖 5-41 caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

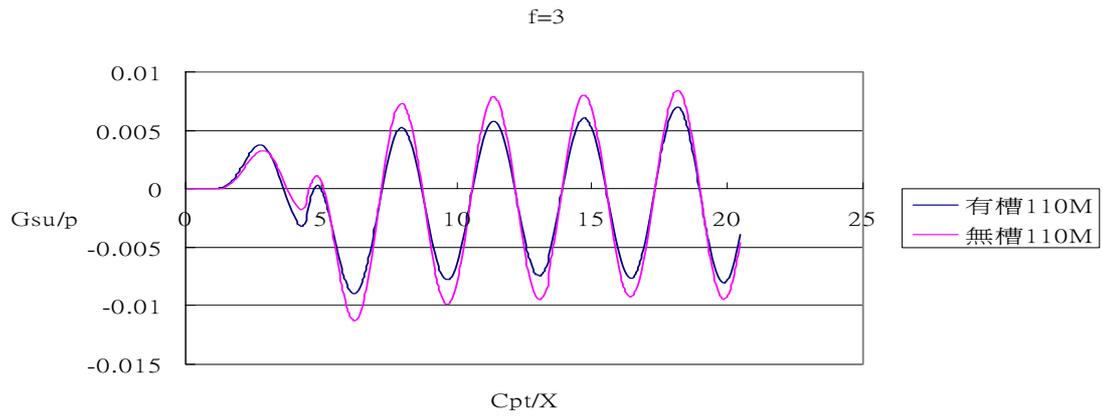


圖 5-42 caseⅢ觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

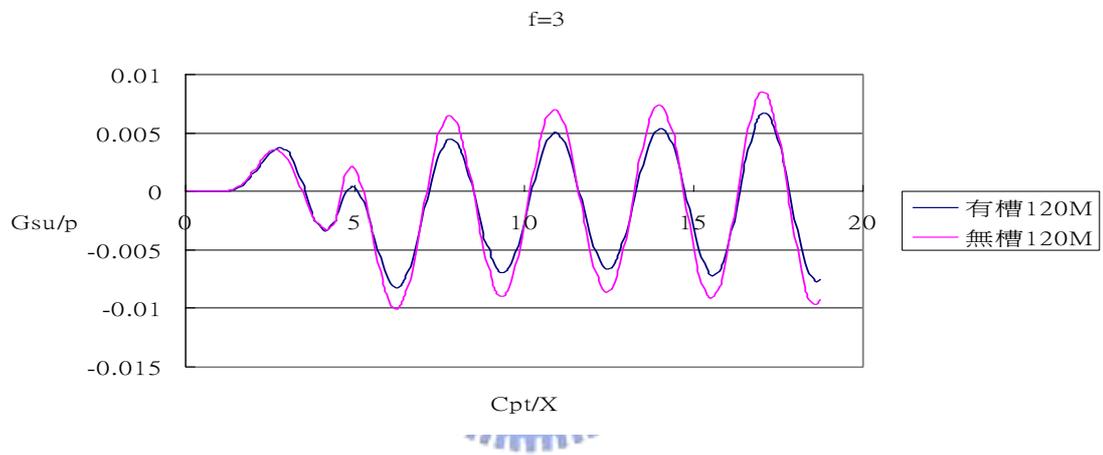


圖 5-43 caseⅢ觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

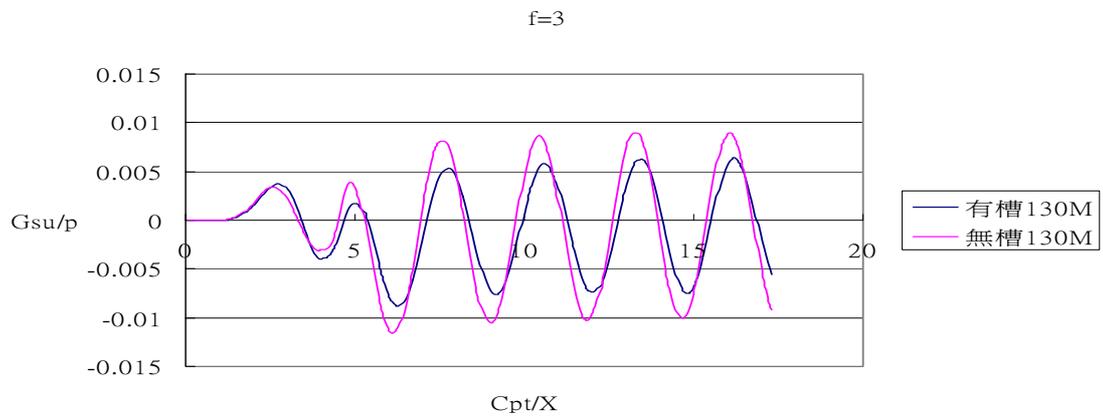


圖 5-44 caseⅢ觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

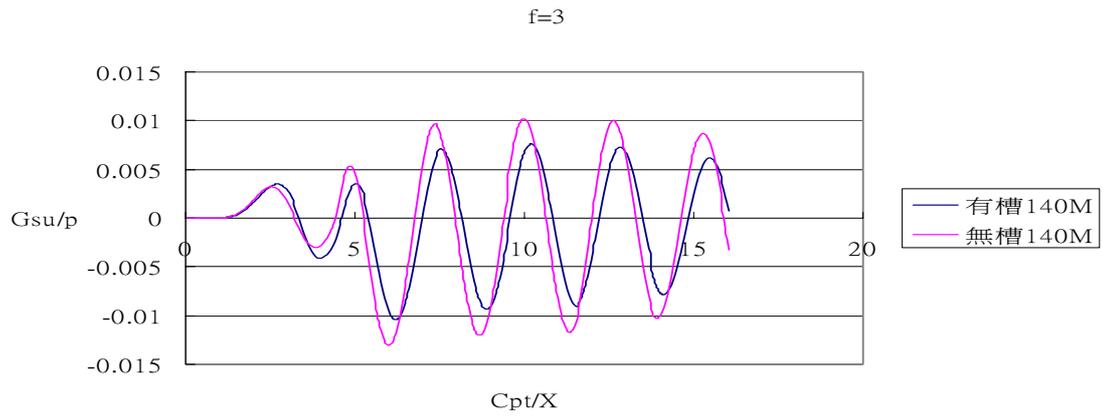


圖 5-45 case III 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

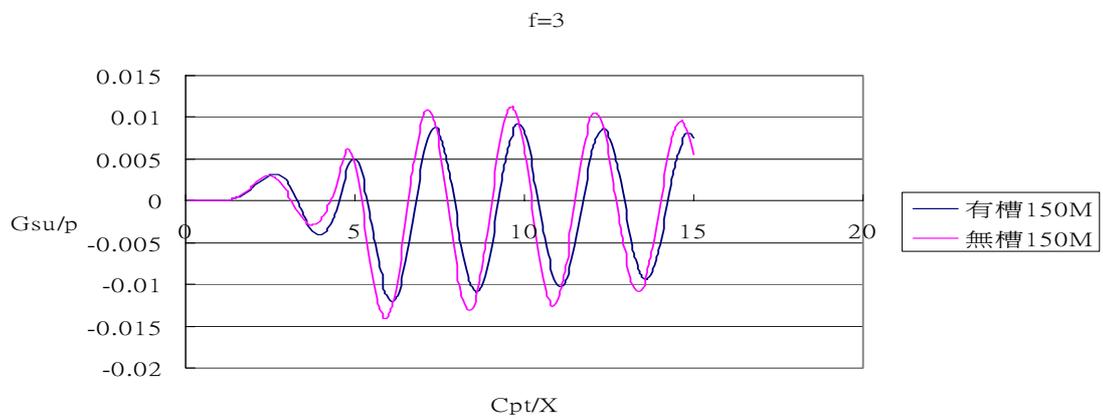


圖 5-46 case III 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

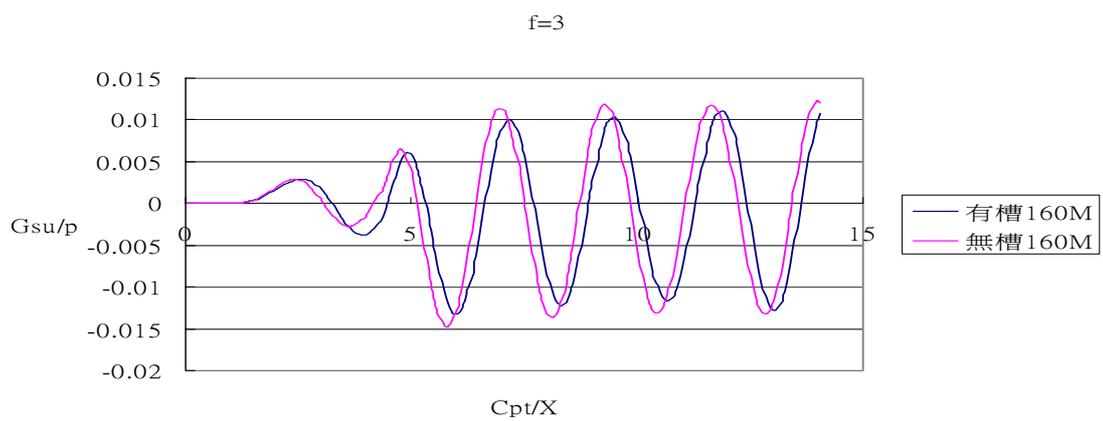


圖 5-47 case III 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

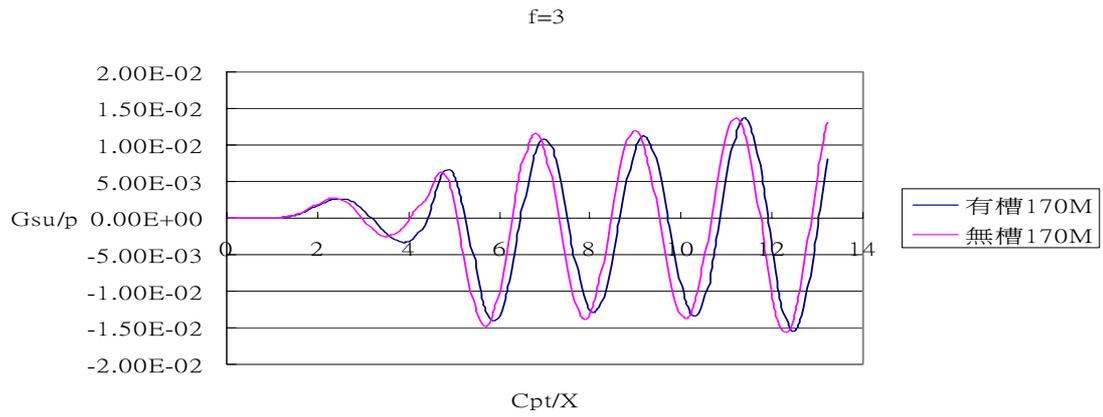


圖 5-48 caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

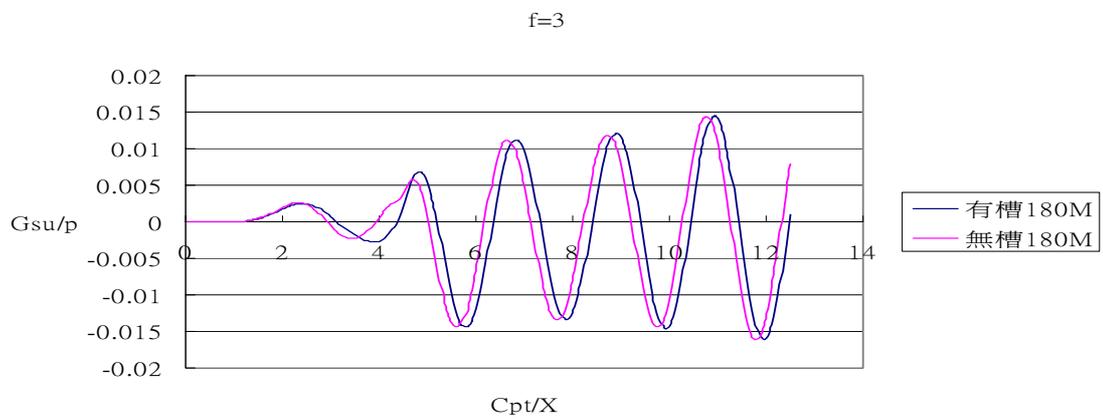


圖 5-49 caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

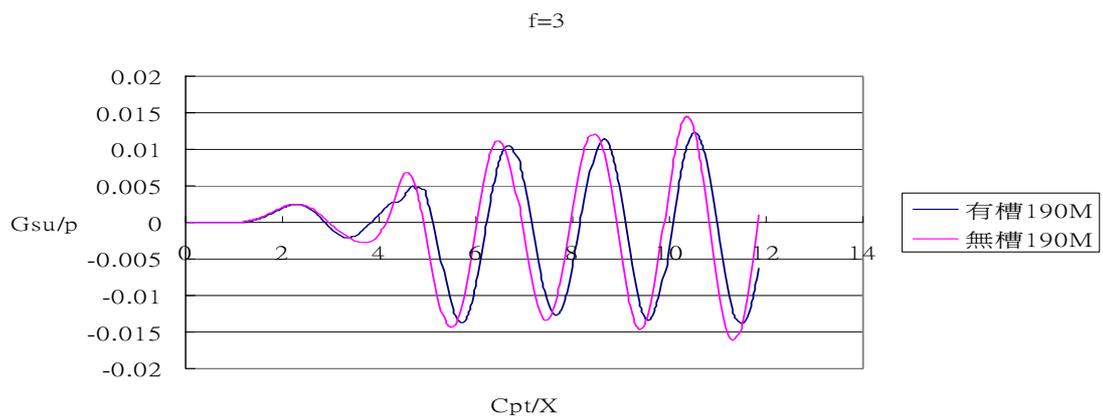


圖 5-50 caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

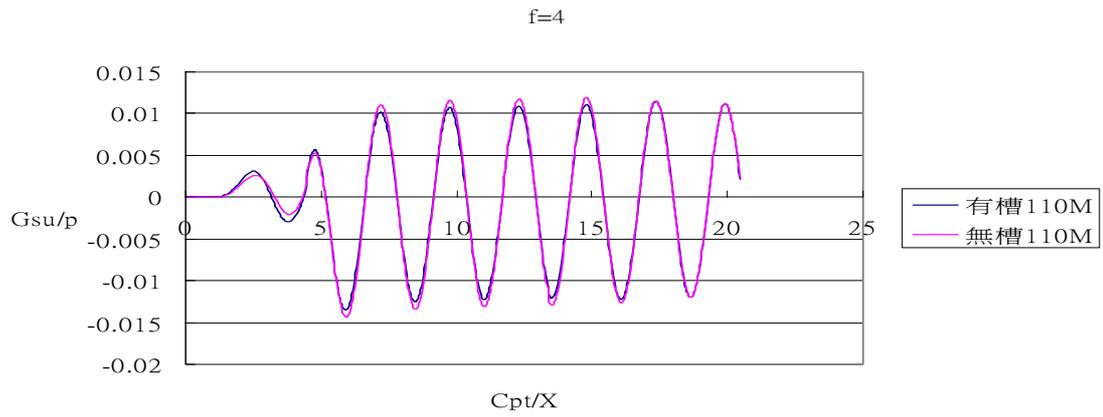


圖 5-51 case III 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

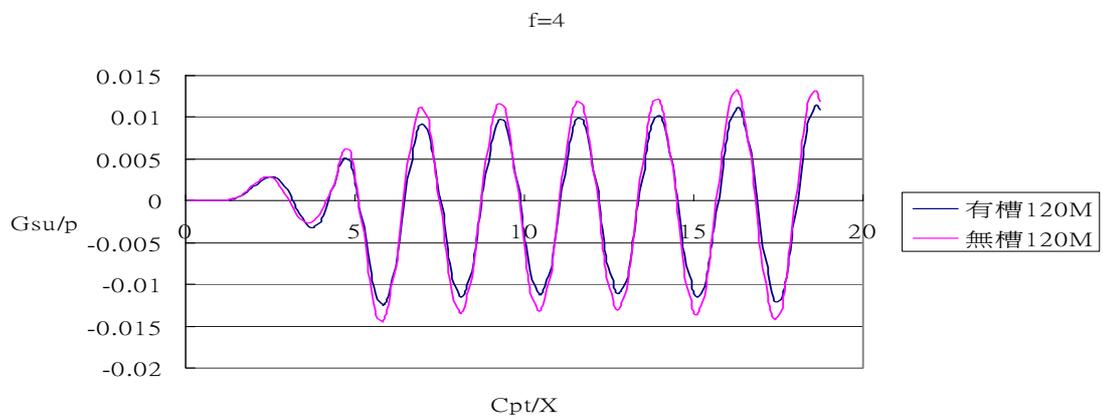


圖 5-52 case III 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

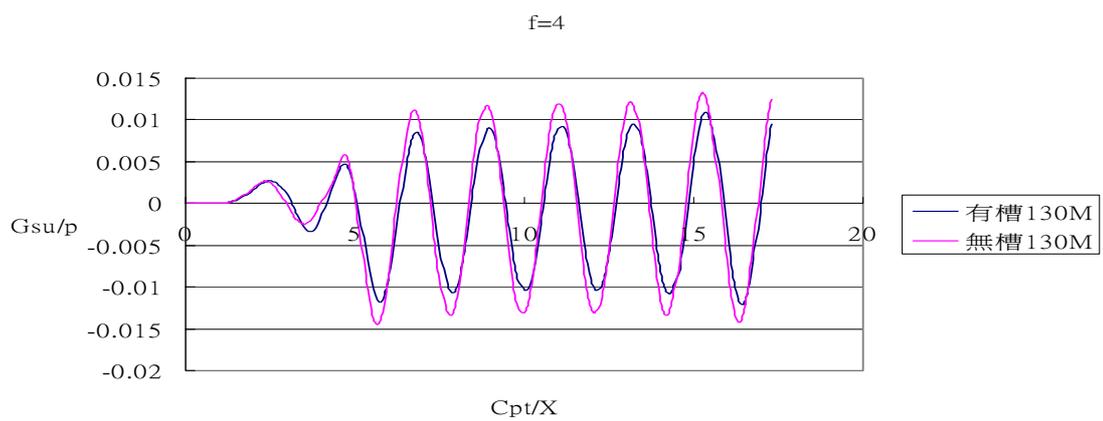


圖 5-53 case III 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

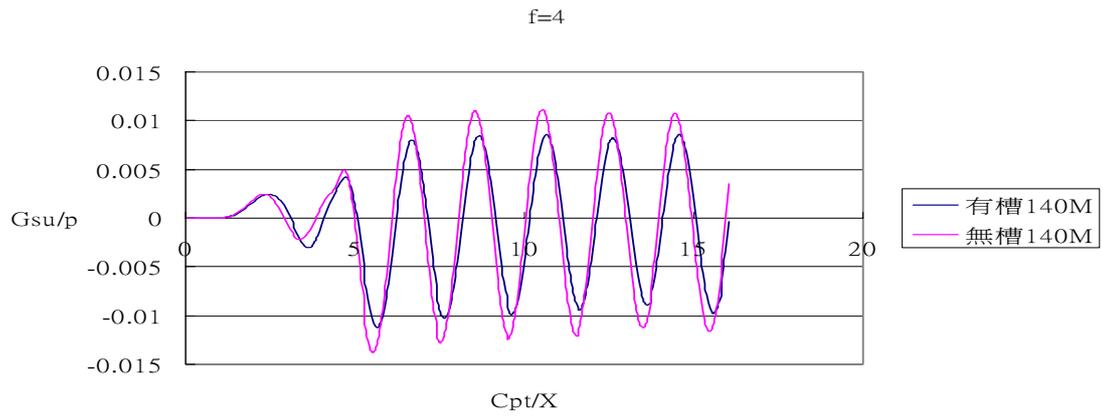


圖 5-54 caseIII 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

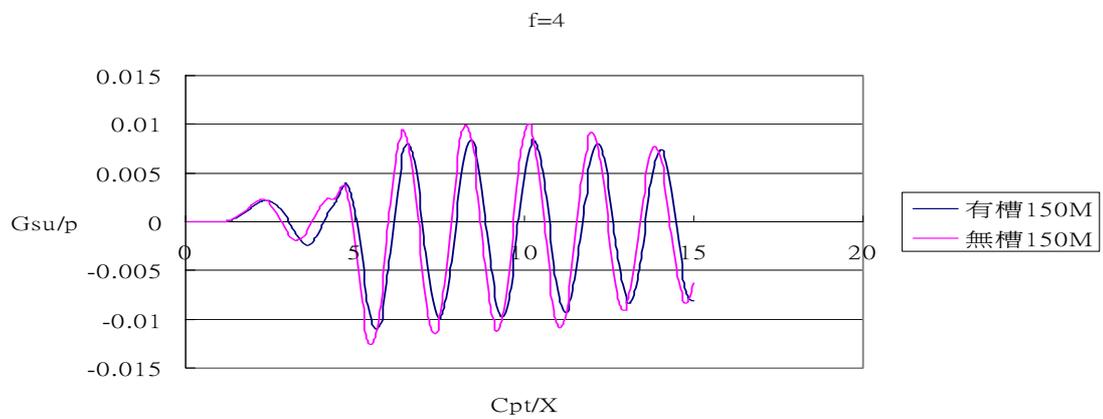


圖 5-55 caseIII 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

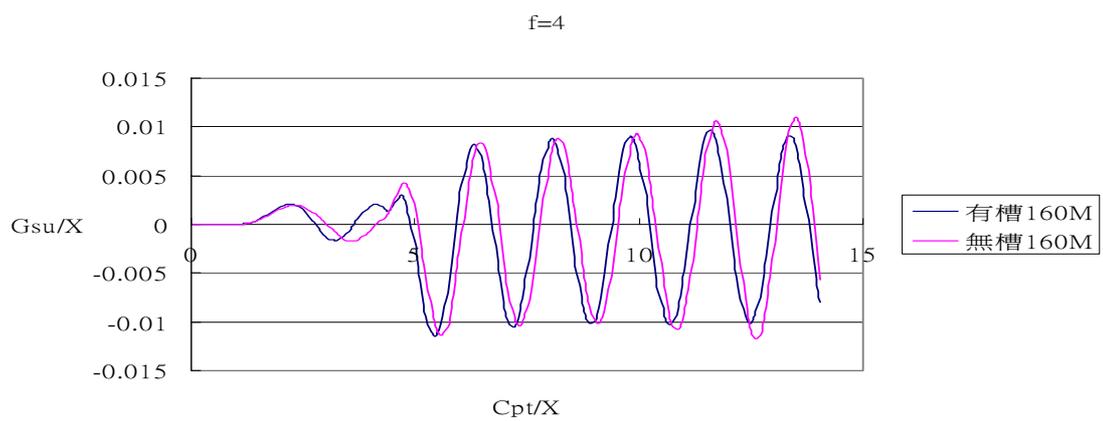


圖 5-56 caseIII 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

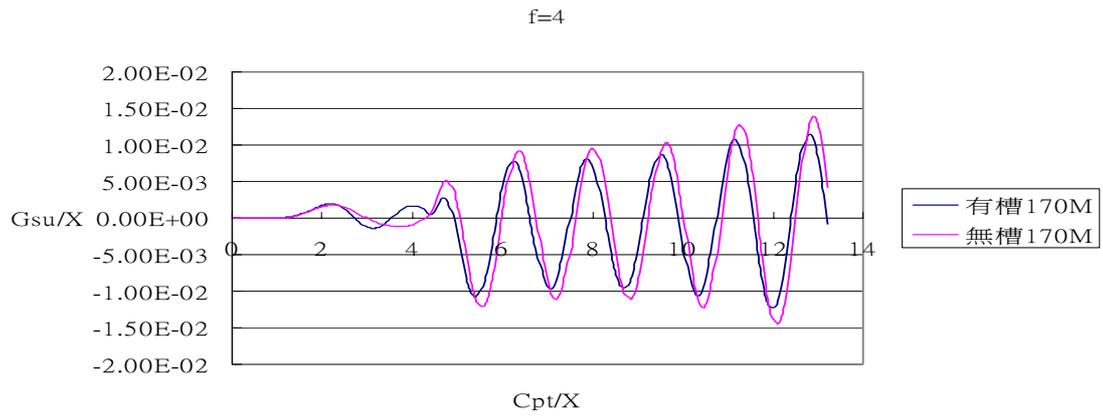


圖 5-57 caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

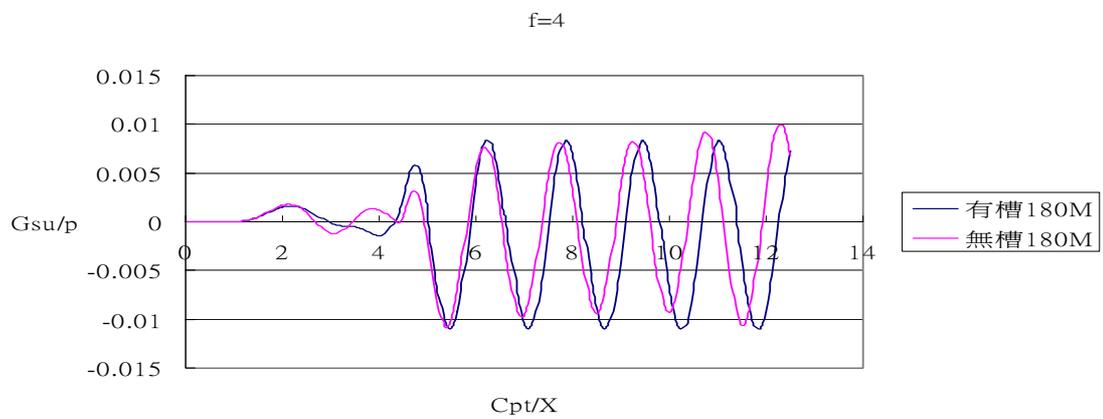


圖 5-58 caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

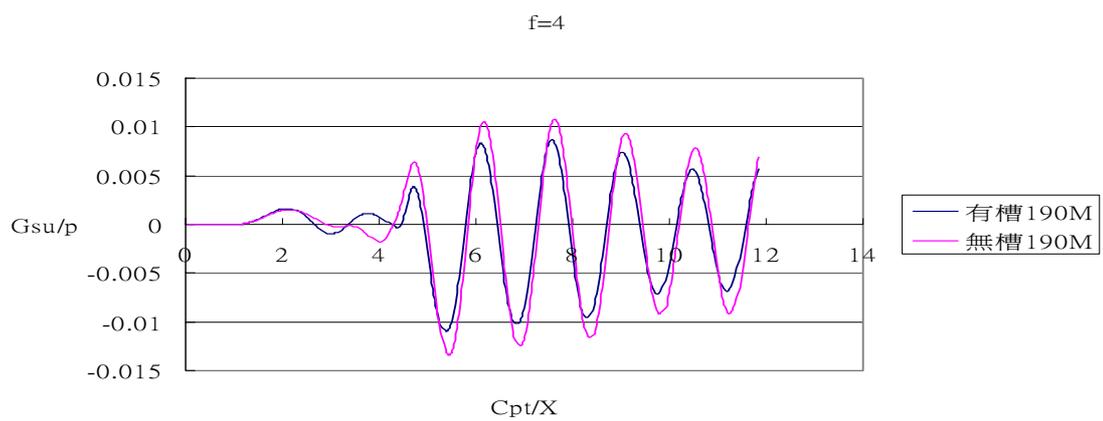


圖 5-59 caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

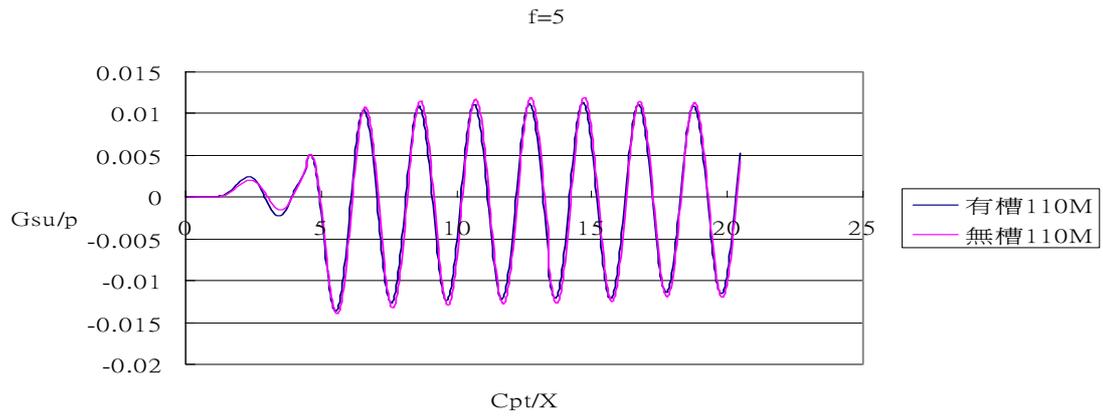


圖 5-60 caseIII 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

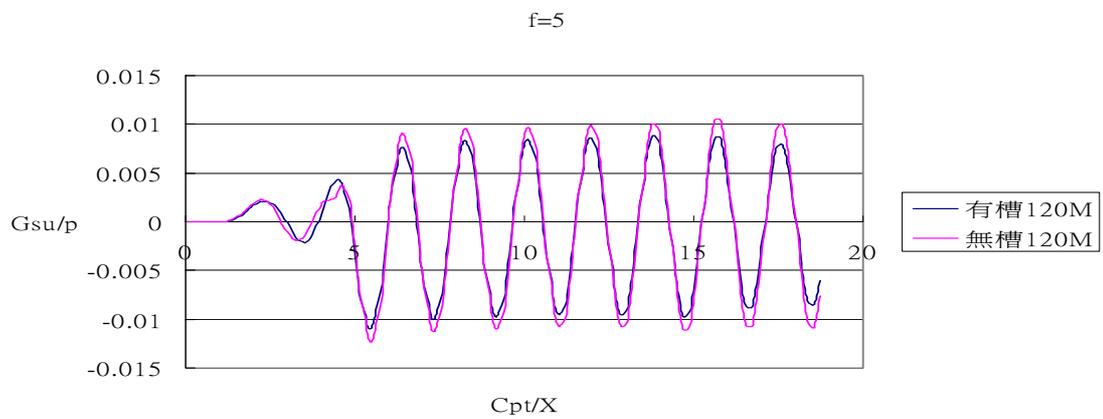


圖 5-61 caseIII 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

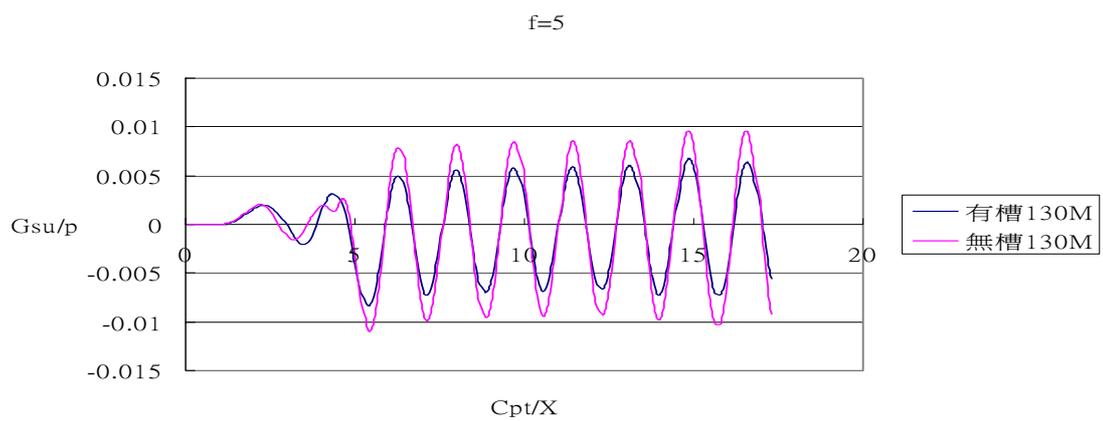


圖 5-62 caseIII 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

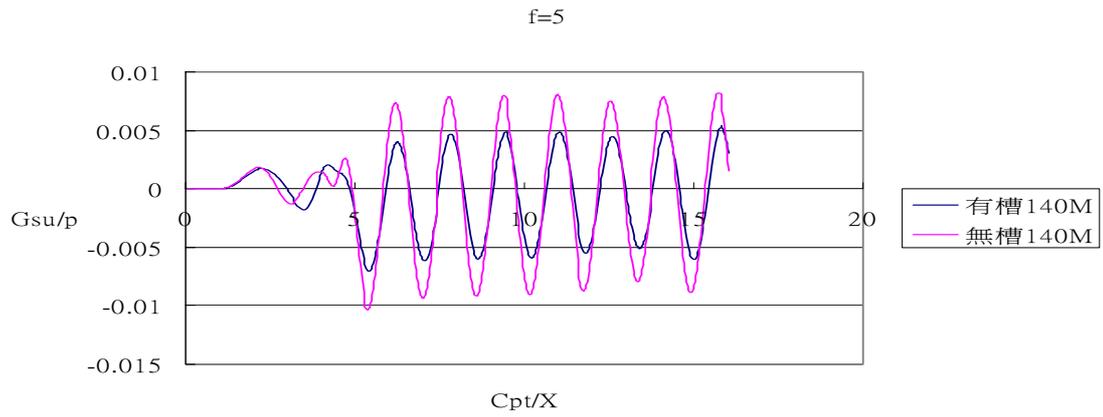


圖 5-63 caseIII 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

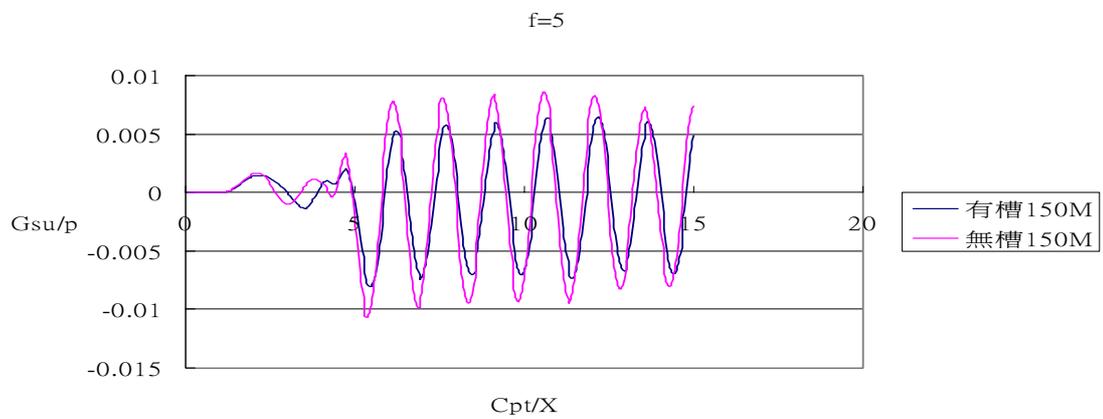


圖 5-64 caseIII 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

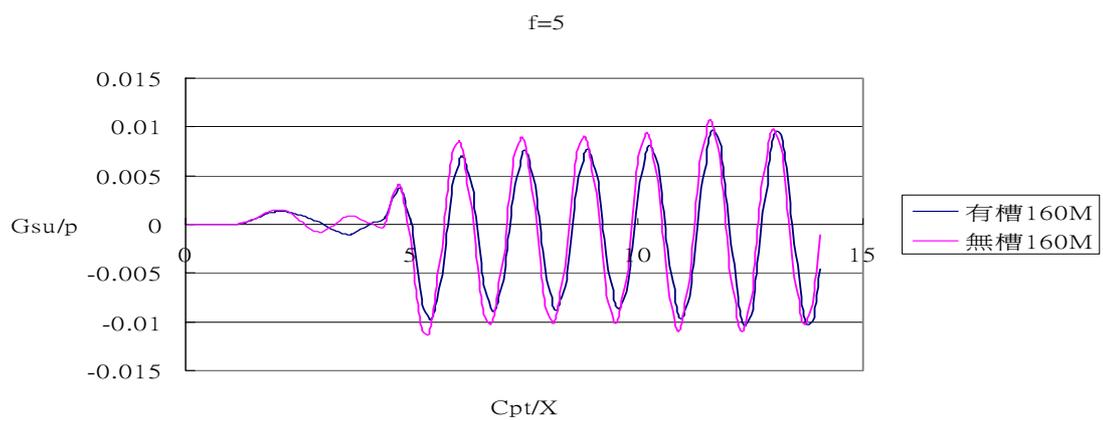


圖 5-65 caseIII 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

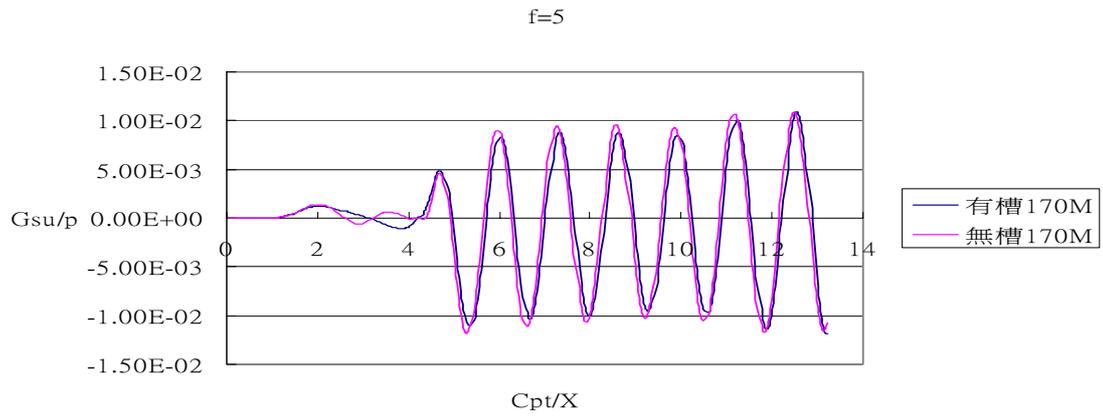


圖 5-66 caseIII 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

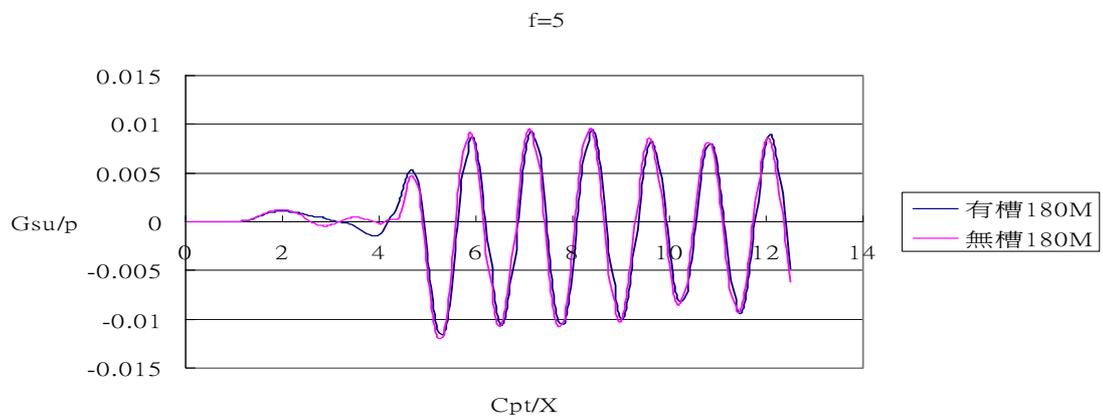


圖 5-67 caseIII 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

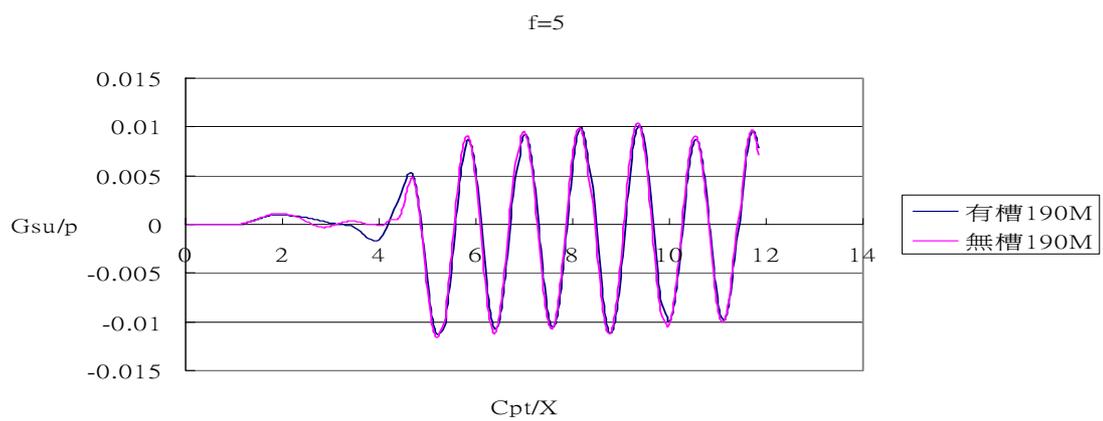


圖 5-68 caseIII 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

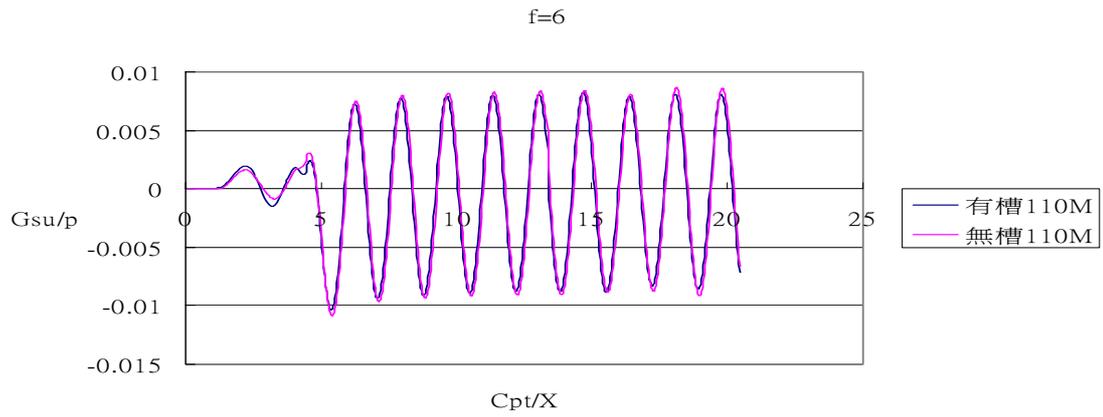


圖 5-69 caseIII 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

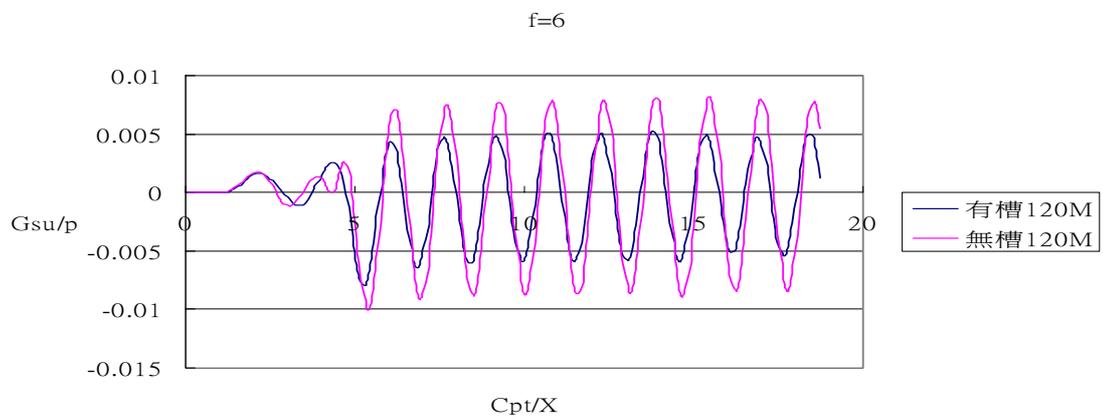


圖 5-70 caseIII 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

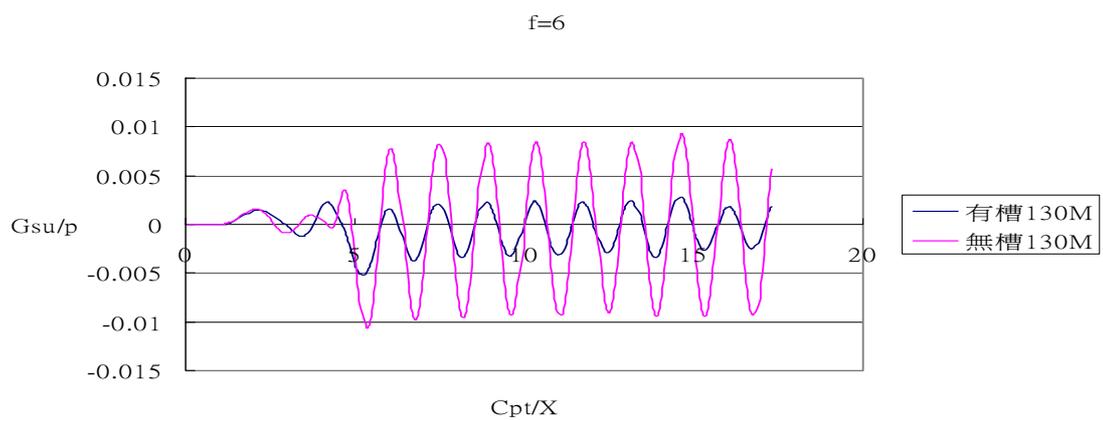


圖 5-71 caseIII 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

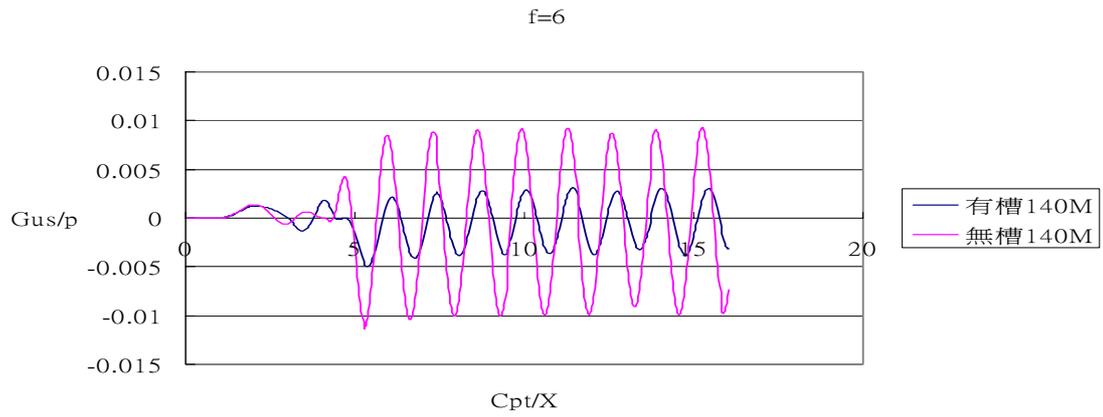


圖 5-72 caseIII 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

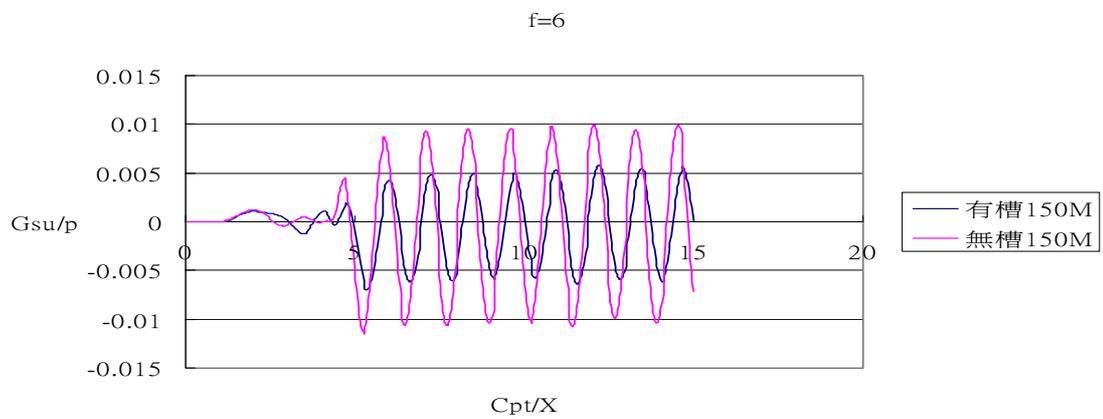


圖 5-73 caseIII 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

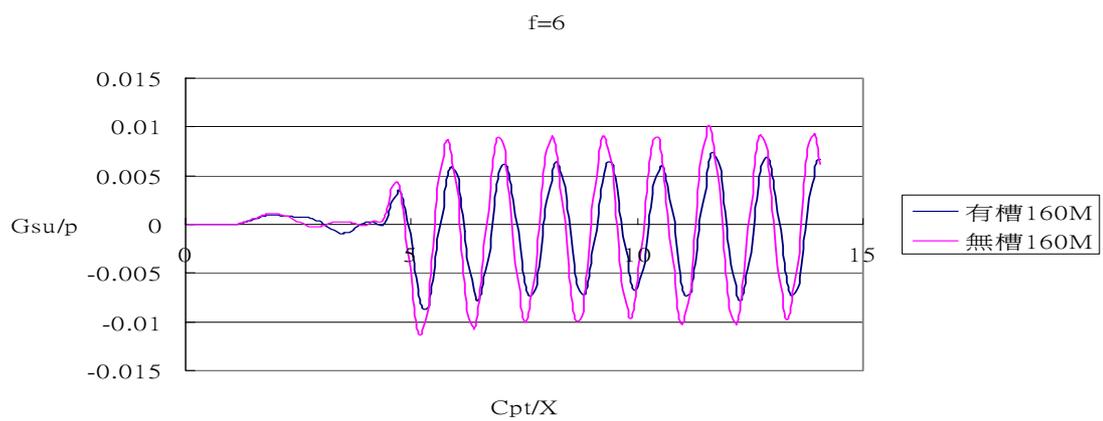


圖 5-74 caseIII 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

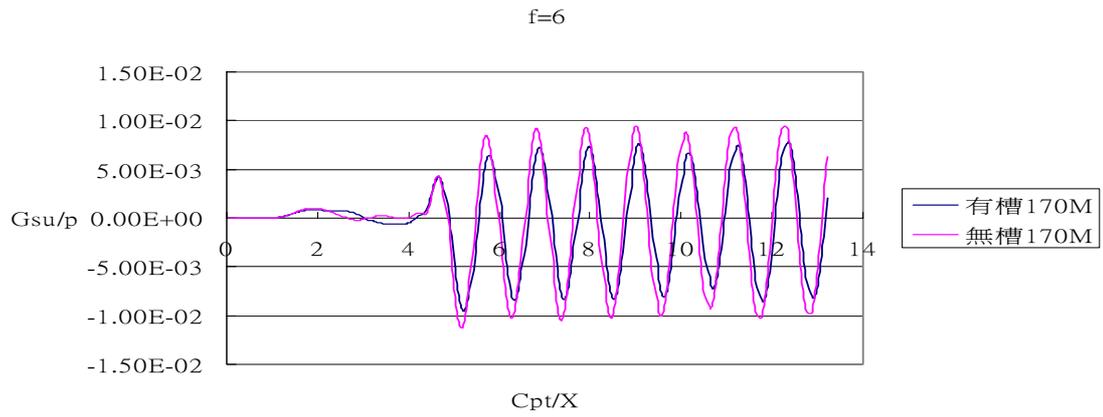


圖 5-75 caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

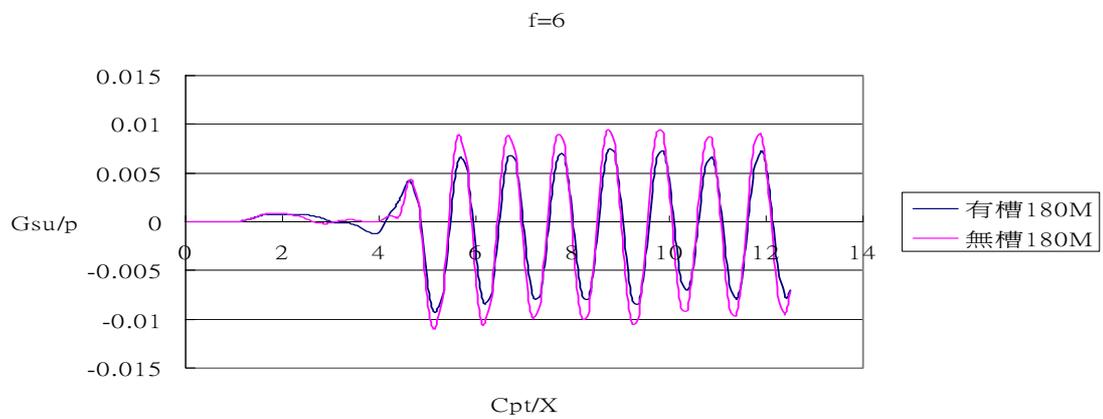


圖 5-76 caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

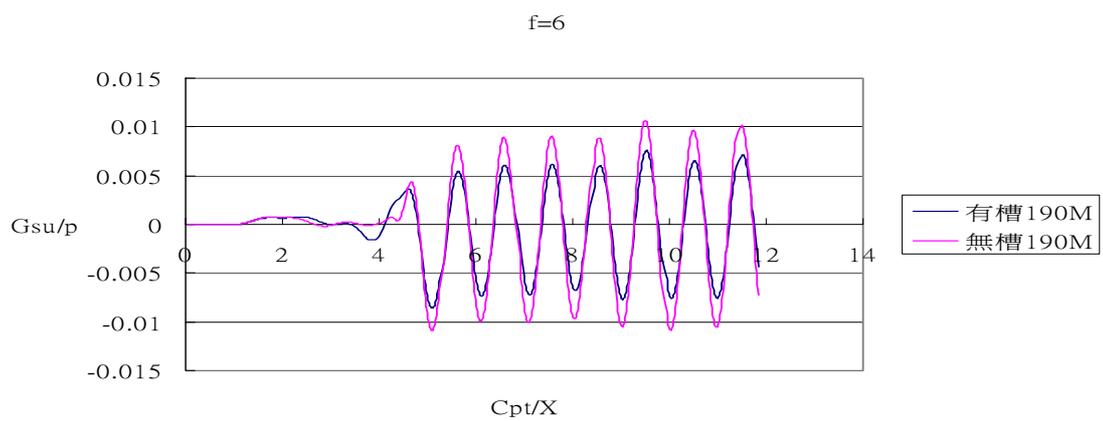


圖 5-77 caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

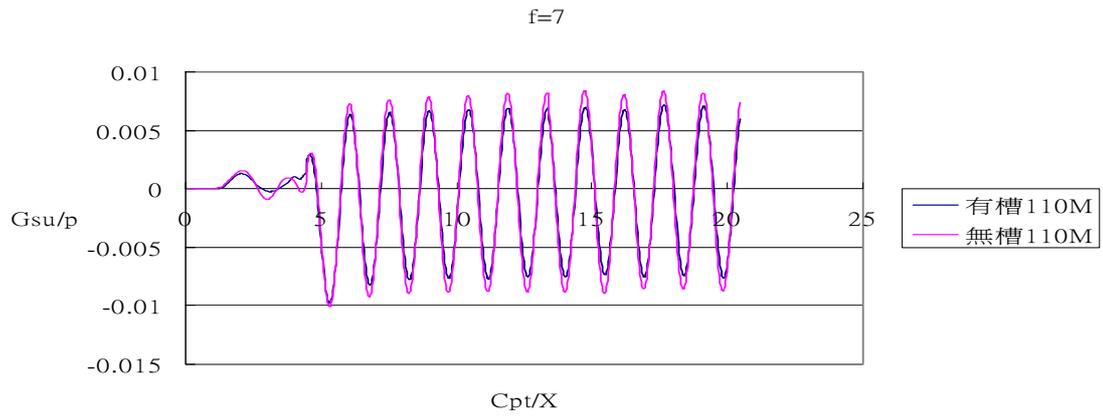


圖 5-78 case III 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

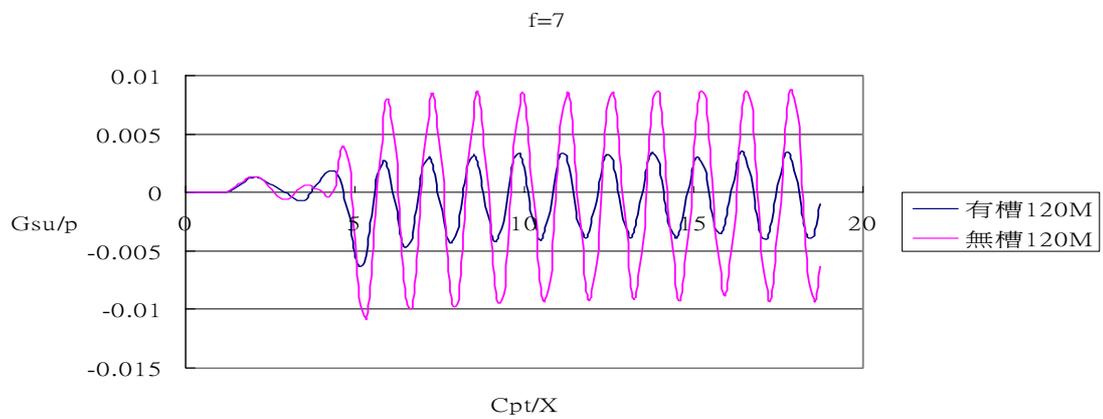


圖 5-79 case III 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

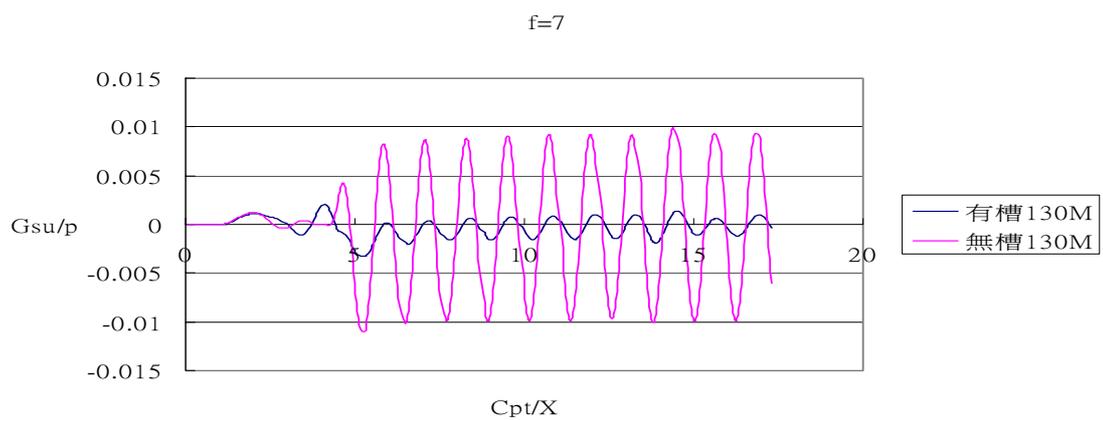


圖 5-80 case III 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

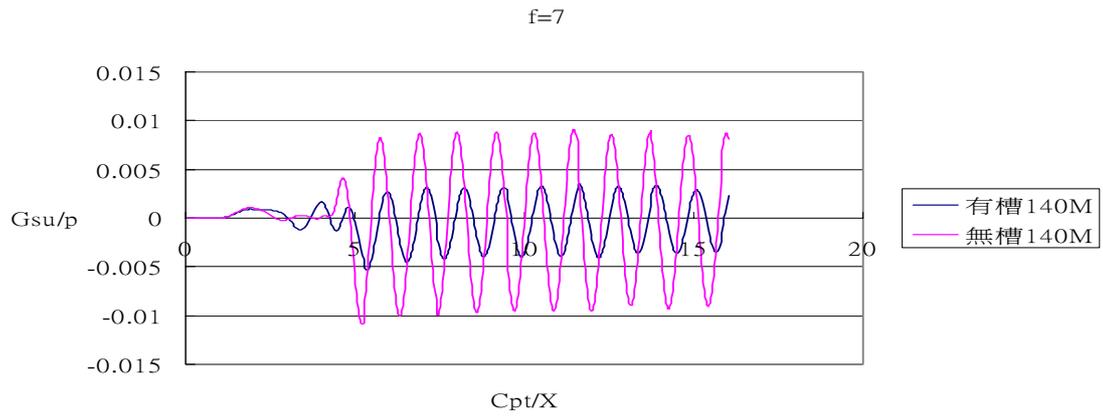


圖 5-81 case III 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

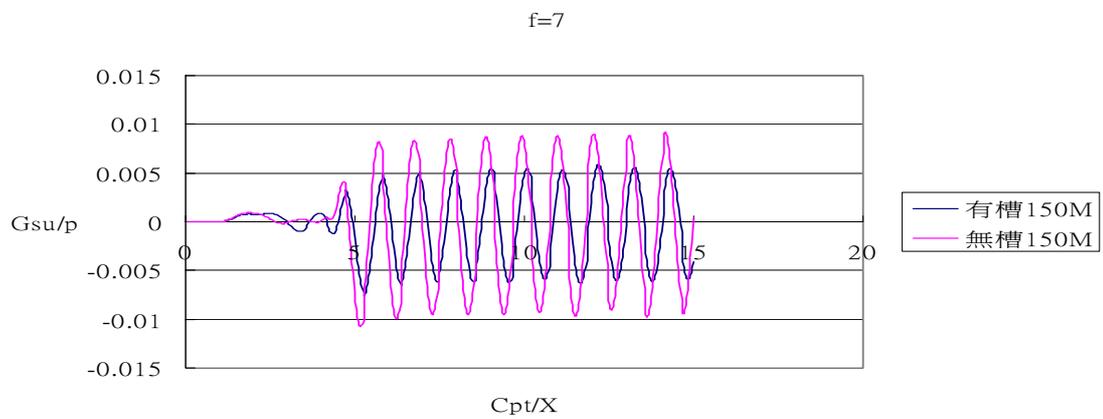


圖 5-82 case III 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

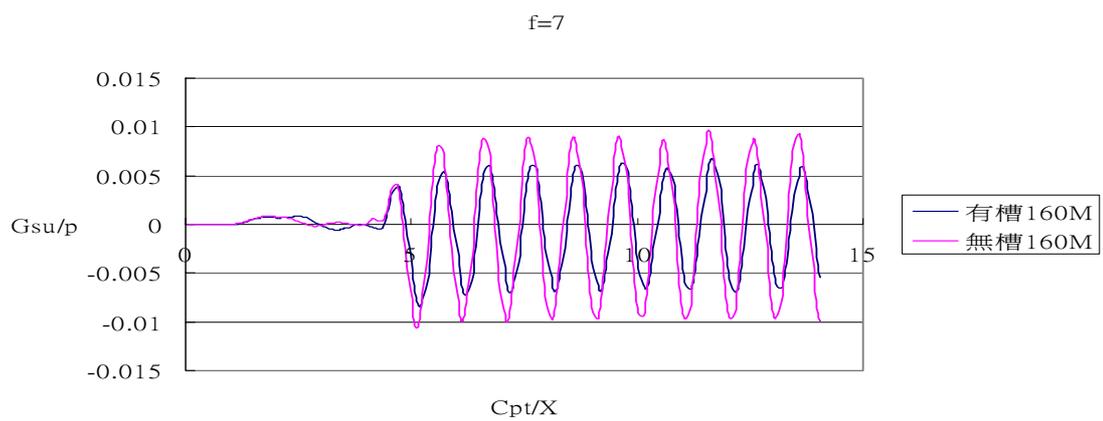


圖 5-83 case III 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

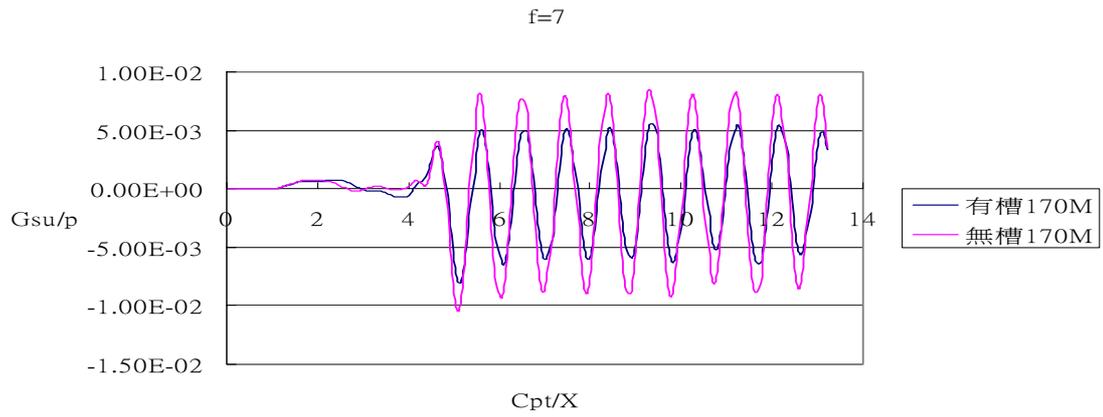


圖 5-84 case III 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

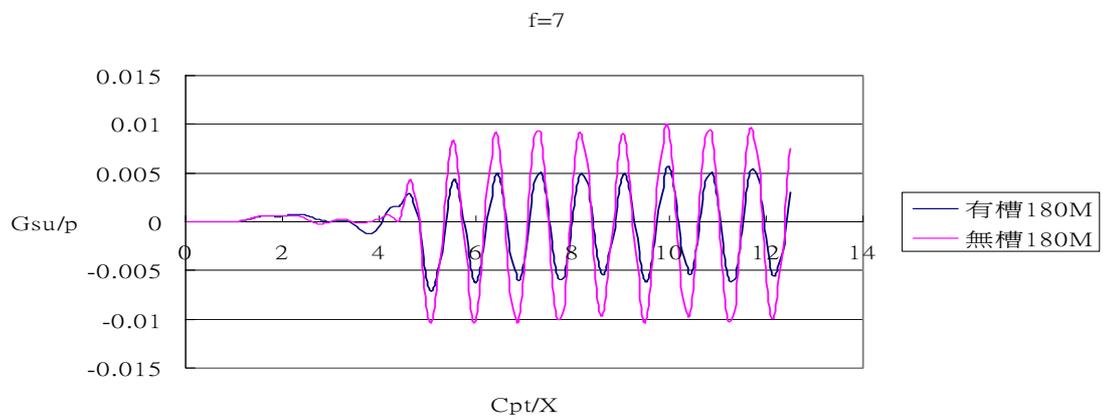


圖 5-85 case III 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

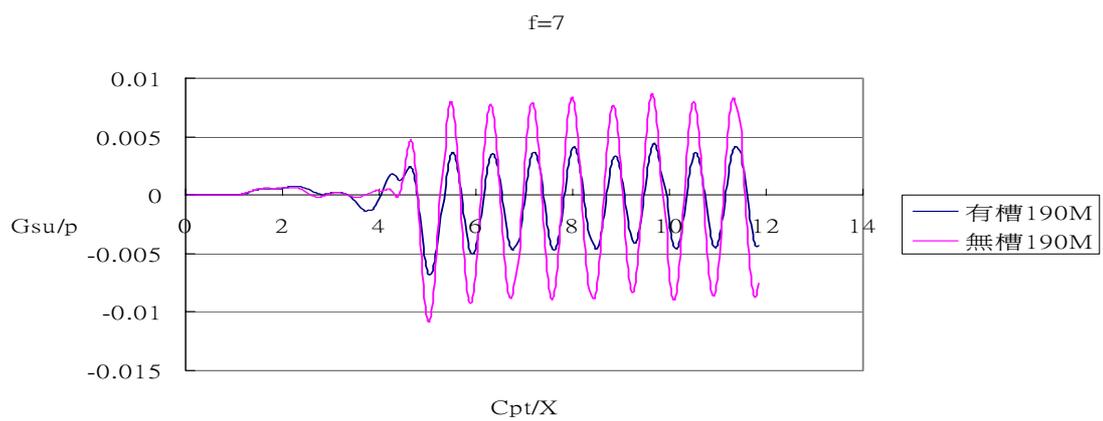


圖 5-86 case III 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

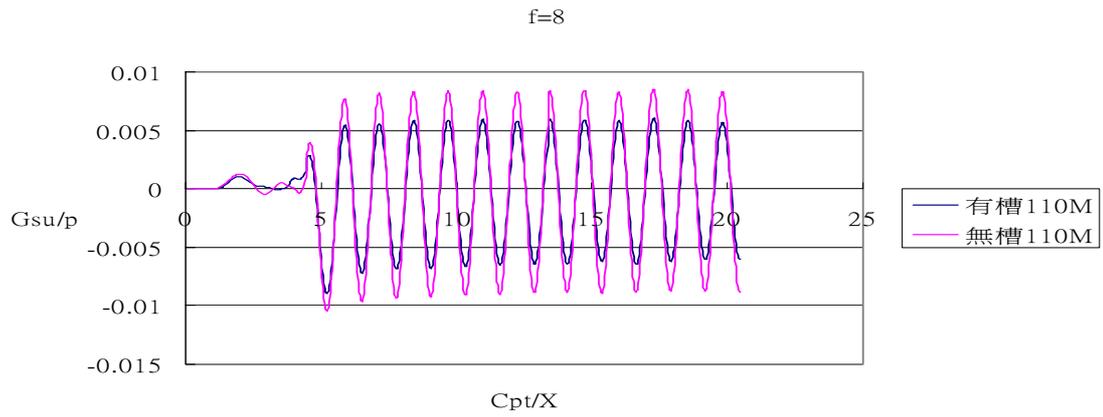


圖 5-87 case III 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

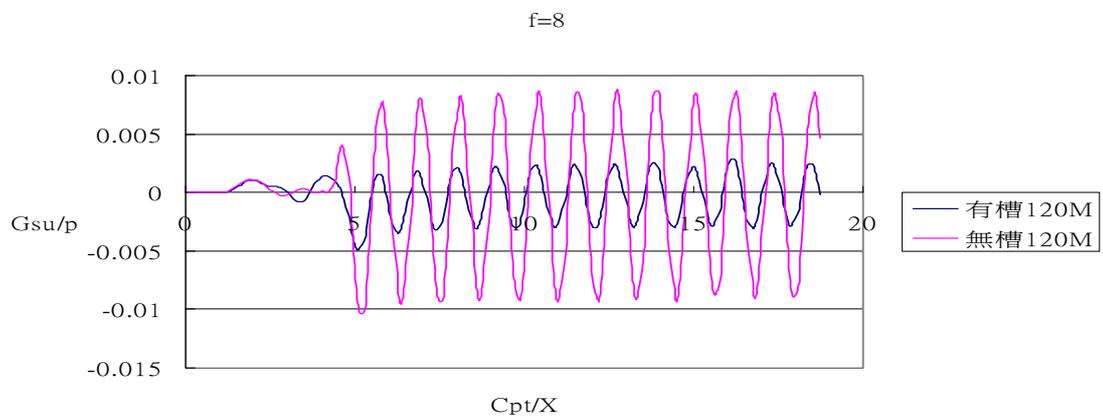


圖 5-88 case III 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

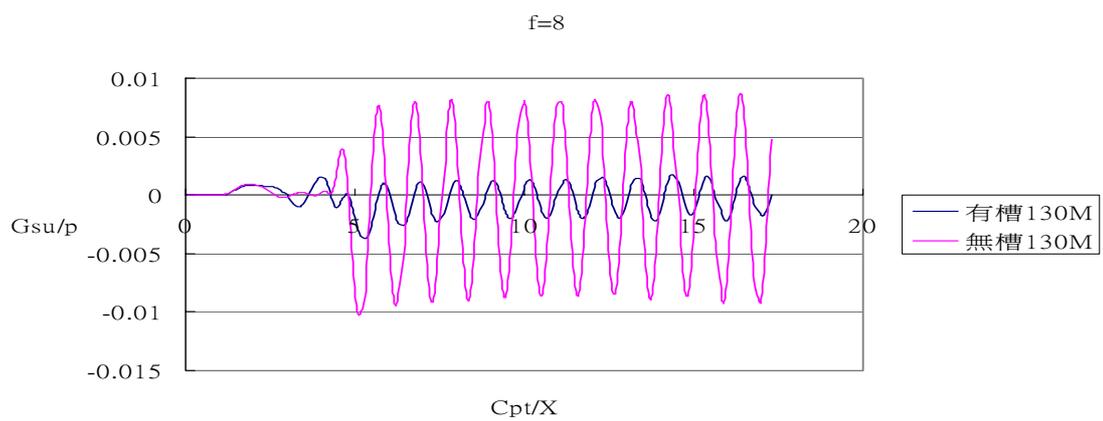


圖 5-89 case III 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

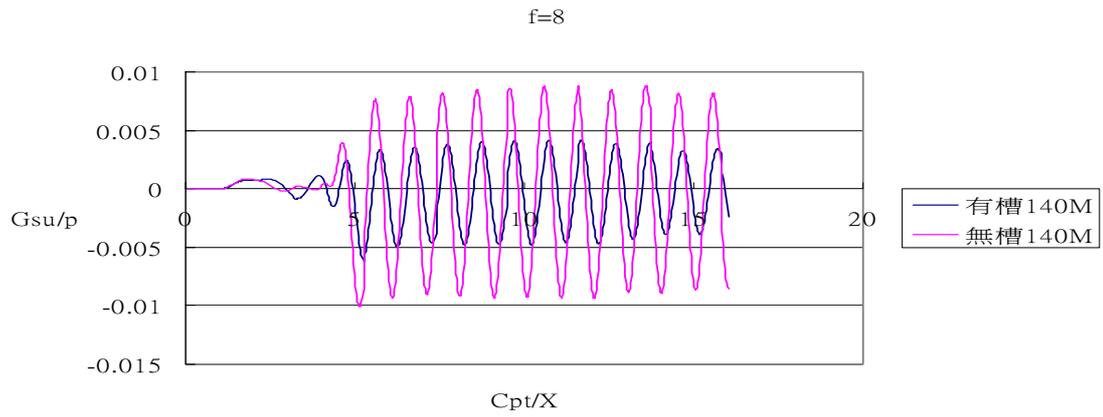


圖 5-90 case III 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

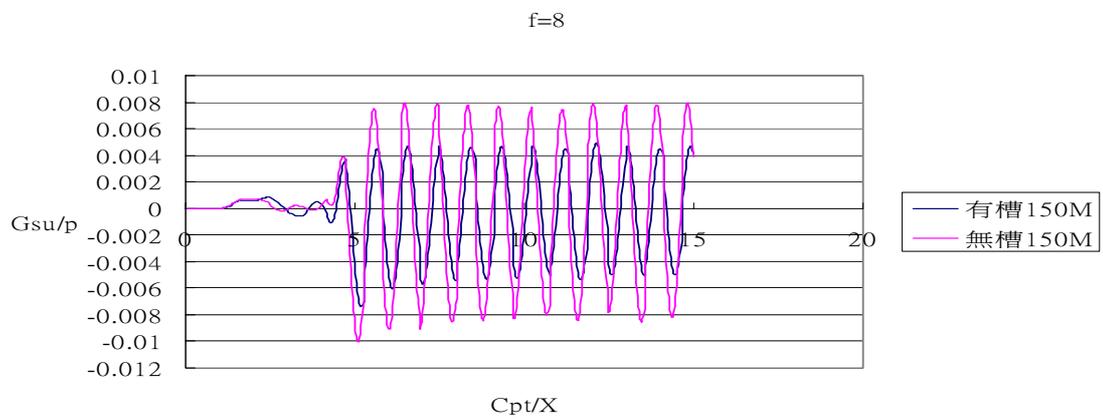


圖 5-91 case III 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

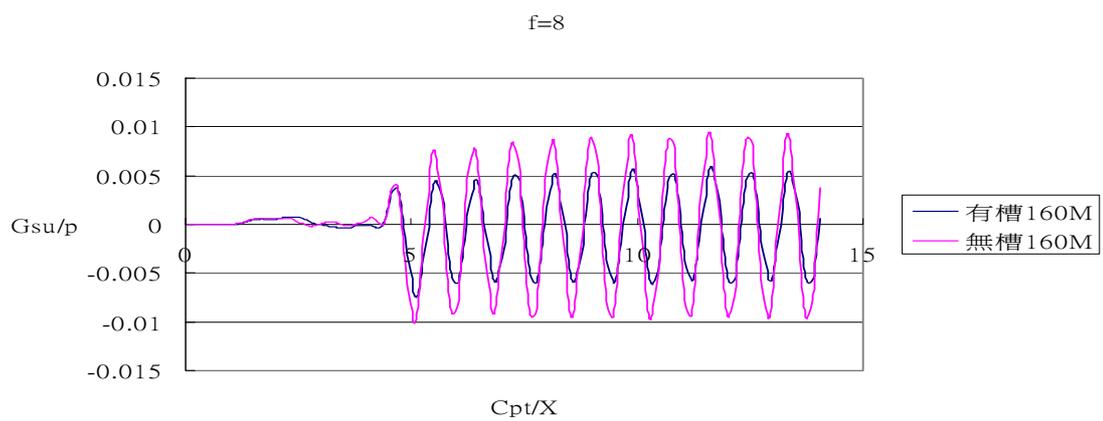


圖 5-92 case III 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

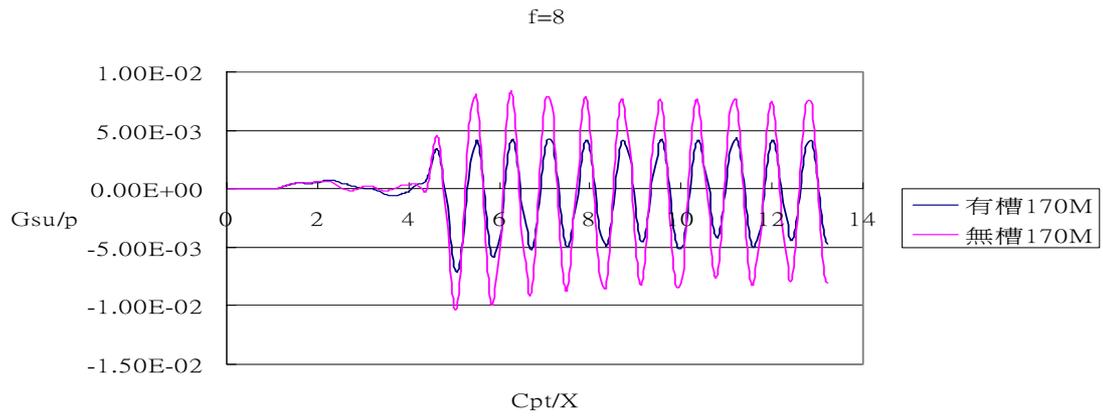


圖 5-93 case III 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

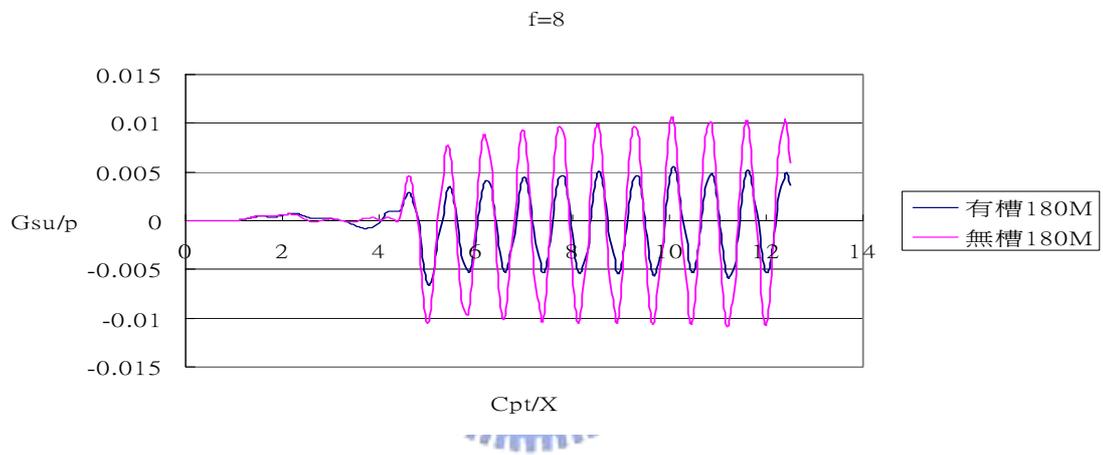


圖 5-94 case III 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

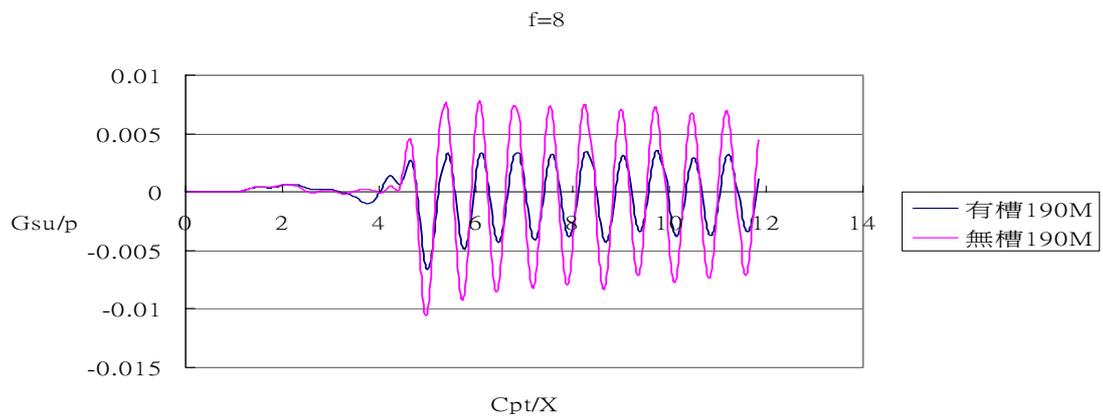


圖 5-95 case III 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

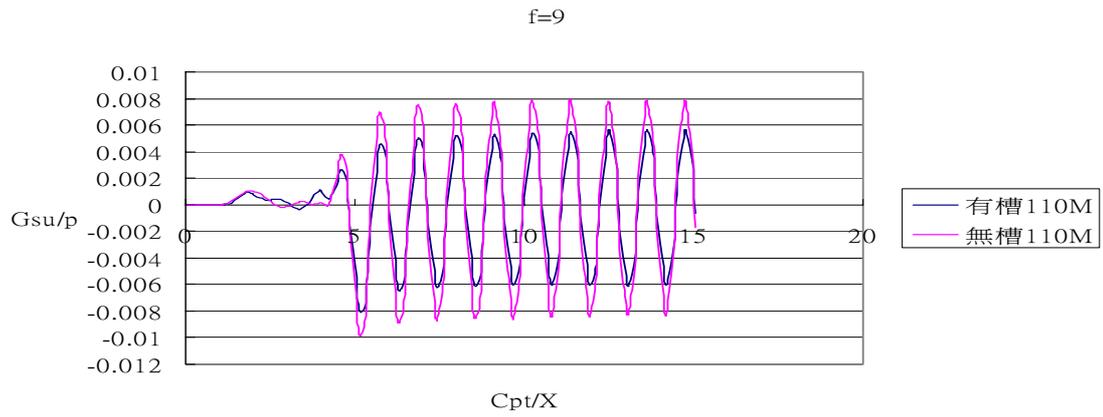


圖 5-96 caseIII 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

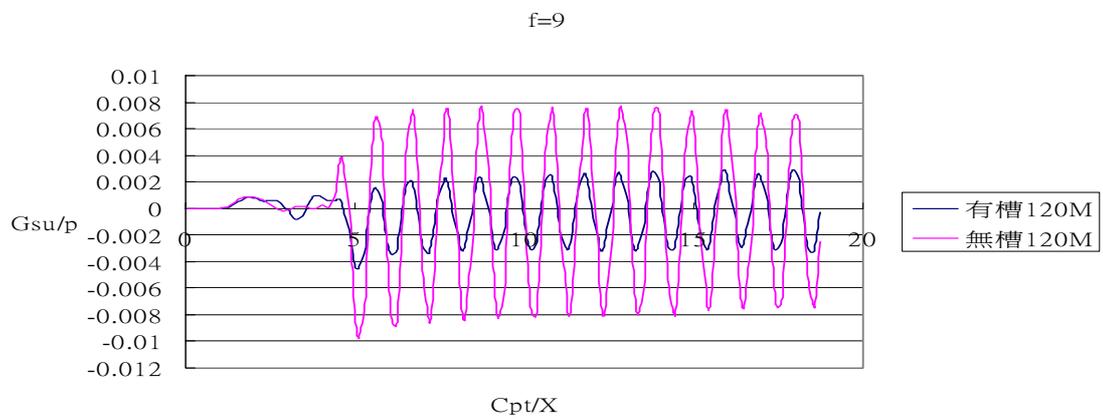


圖 5-97 caseIII 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

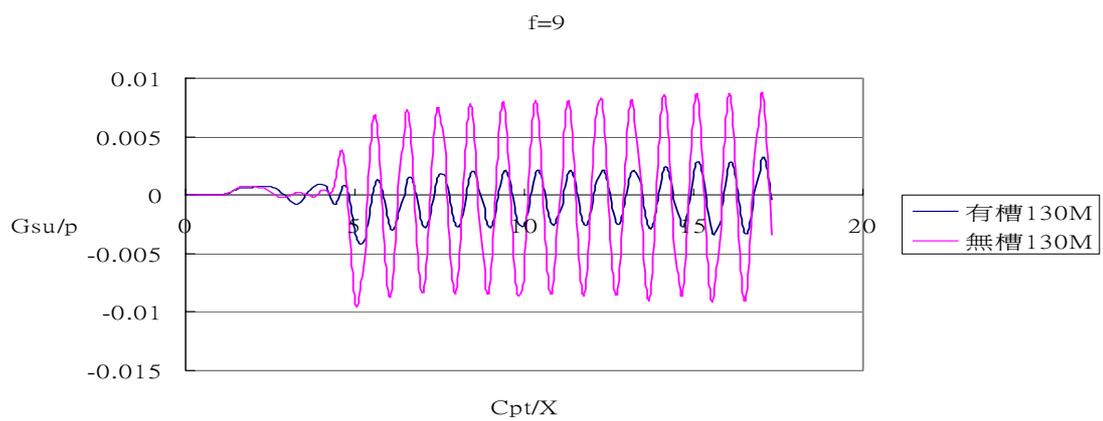


圖 5-98 caseIII 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

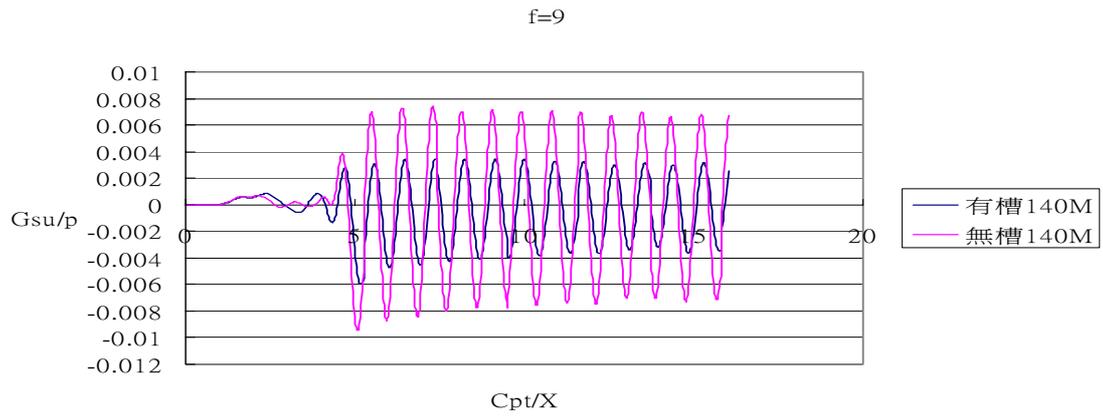


圖 5-99 caseⅢ觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

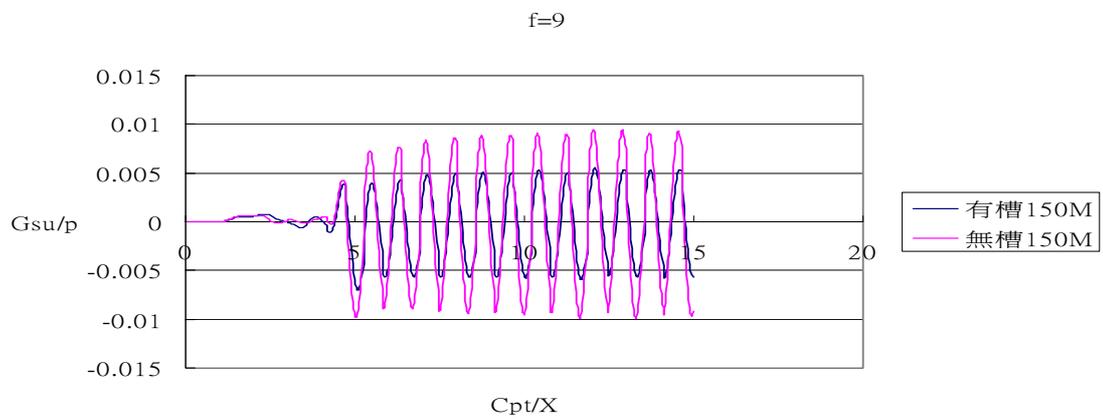


圖 5-100 caseⅢ觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

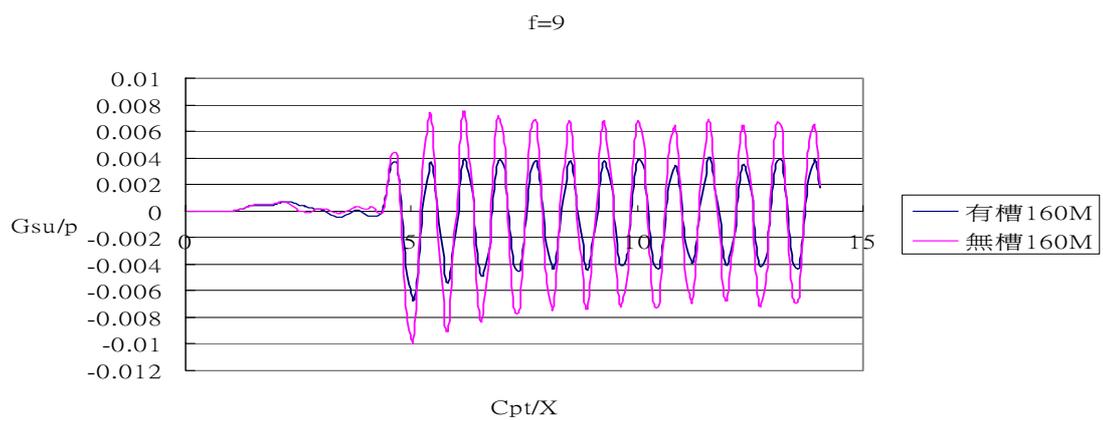


圖 5-101 caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

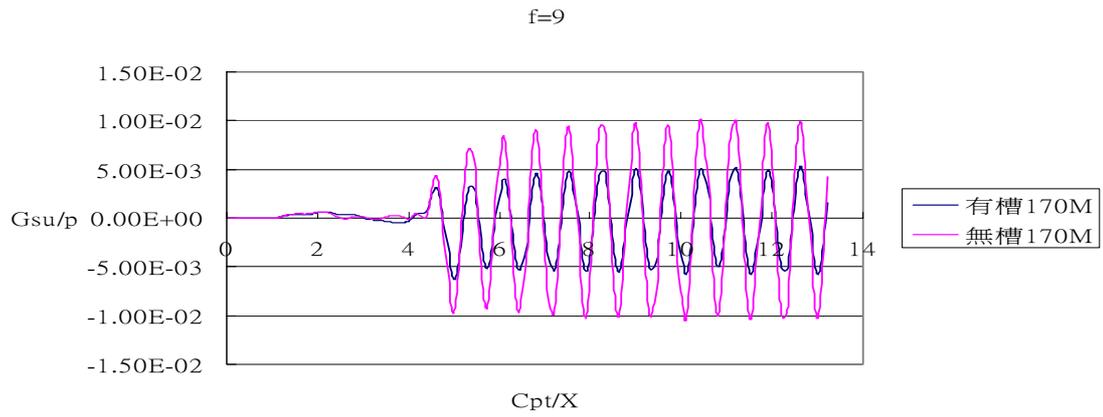


圖 5-102 caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

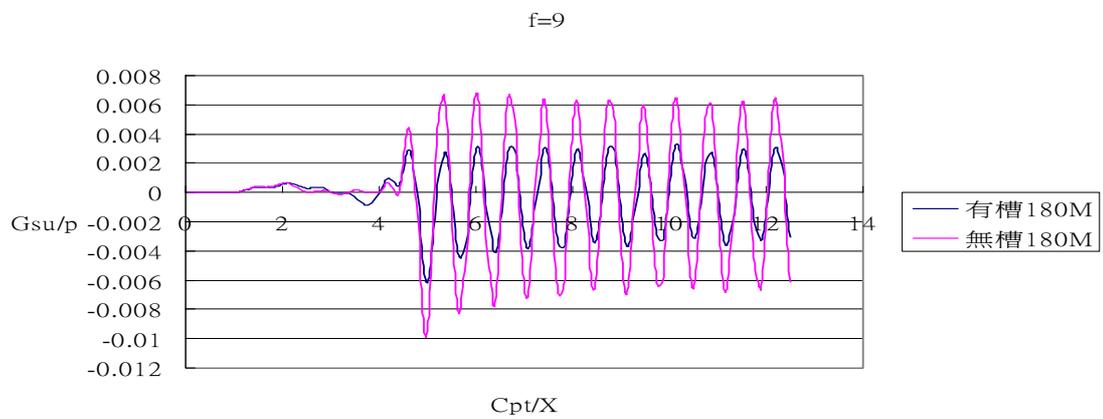


圖 5-103 caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

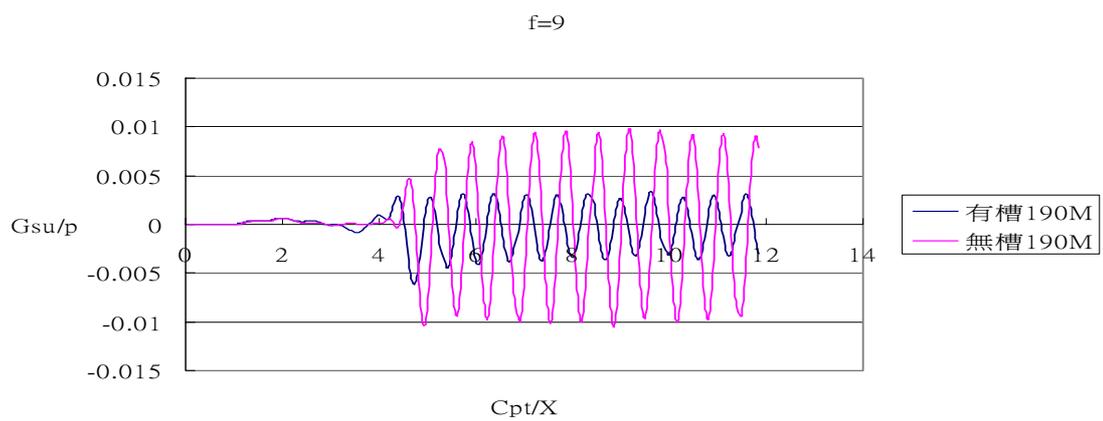


圖 5-104 caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

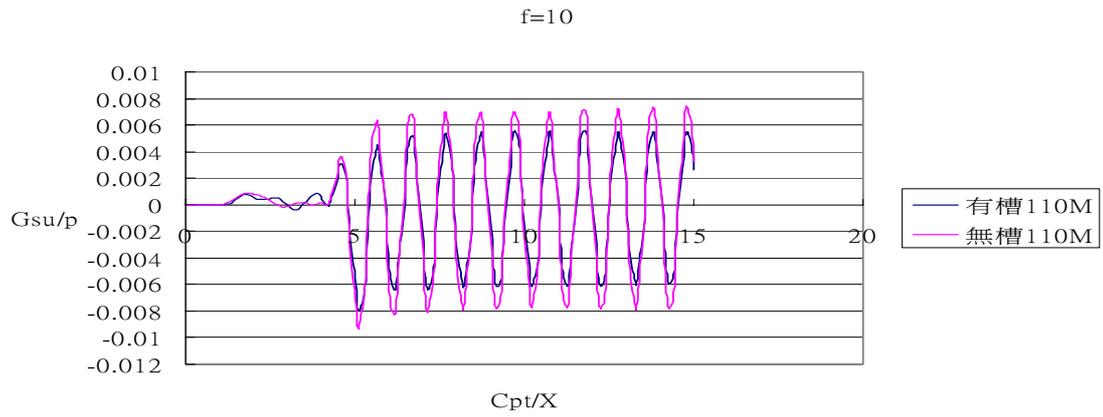


圖 5-105 case III 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

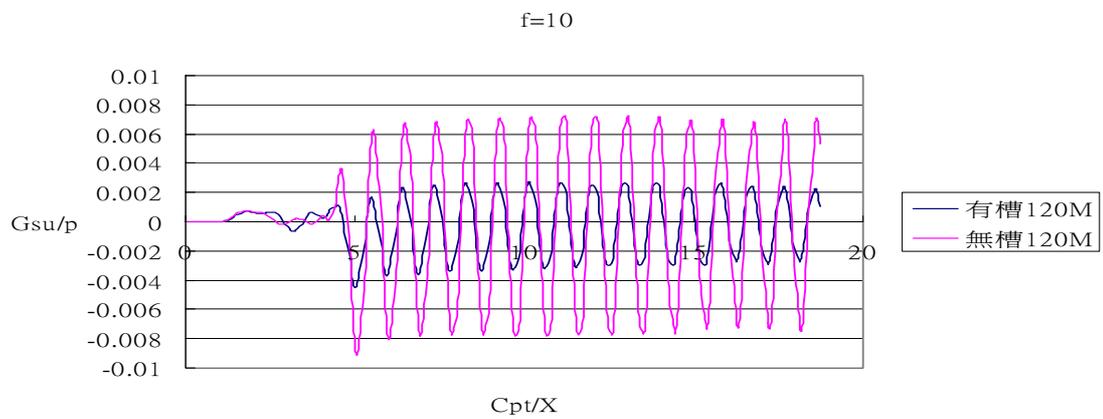


圖 5-106 case III 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

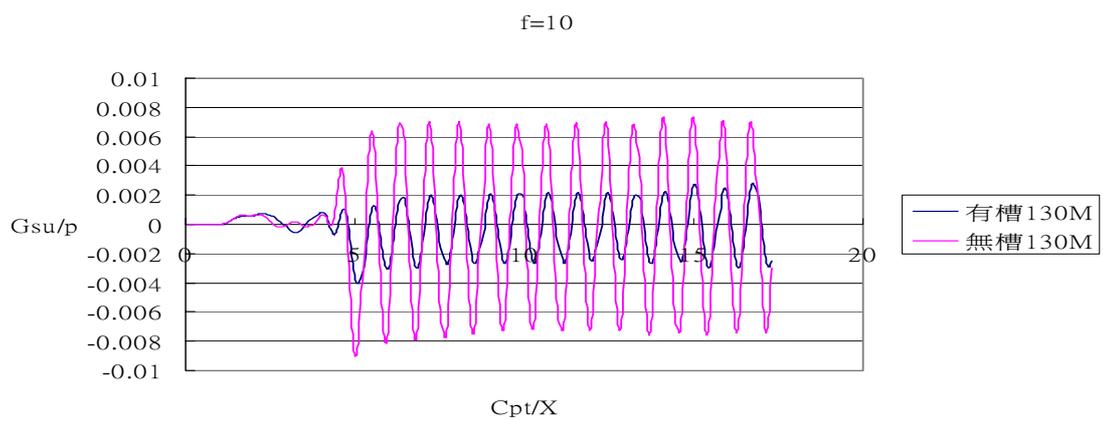


圖 5-107 case III 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

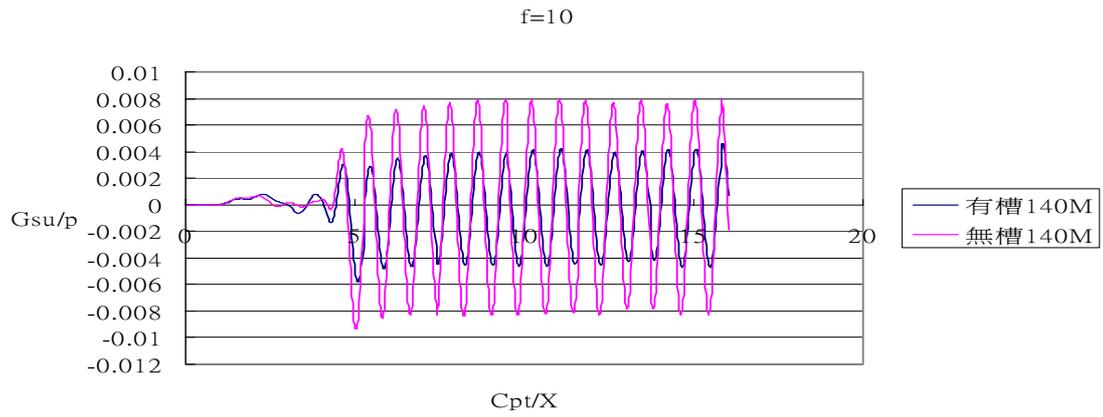


圖 5-108 case III 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

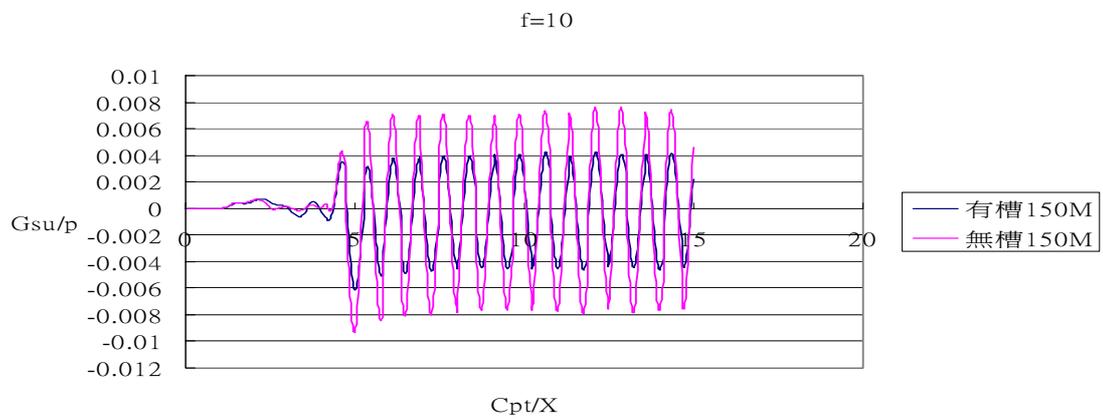


圖 5-109 case III 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

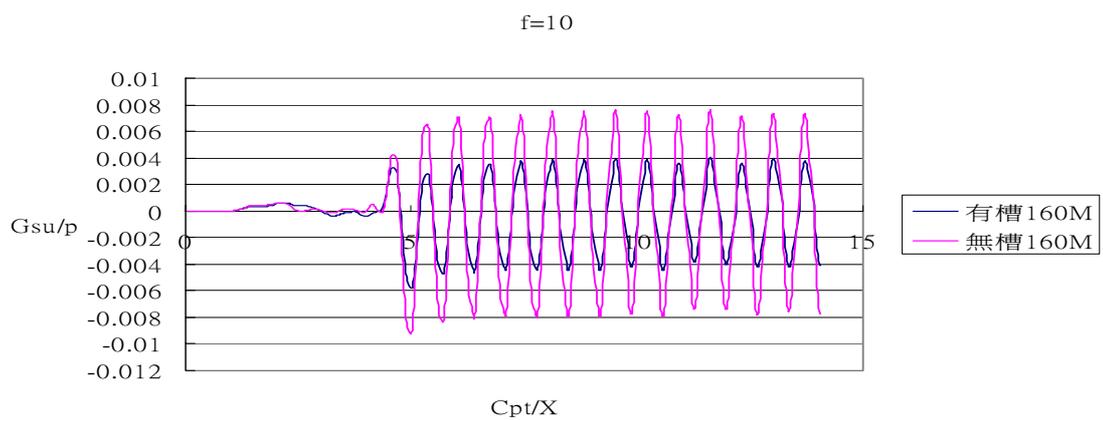


圖 5-110 case III 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

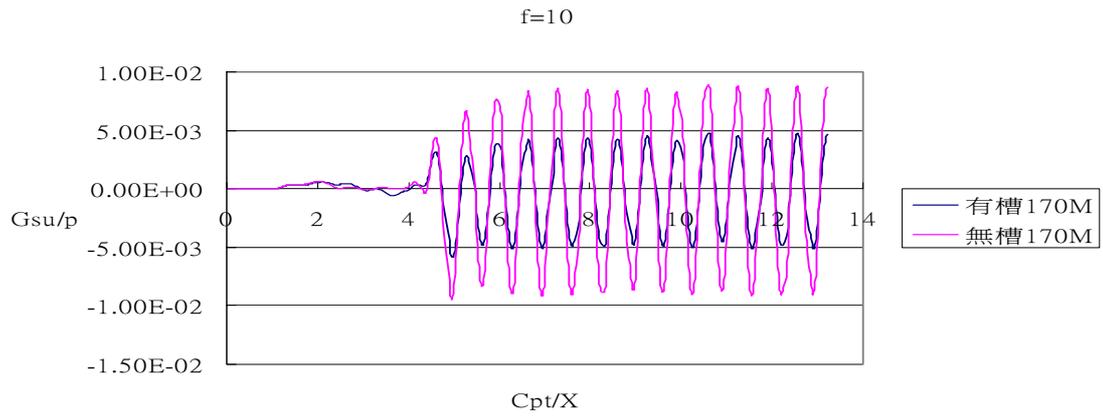


圖 5-111 caseⅢ觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

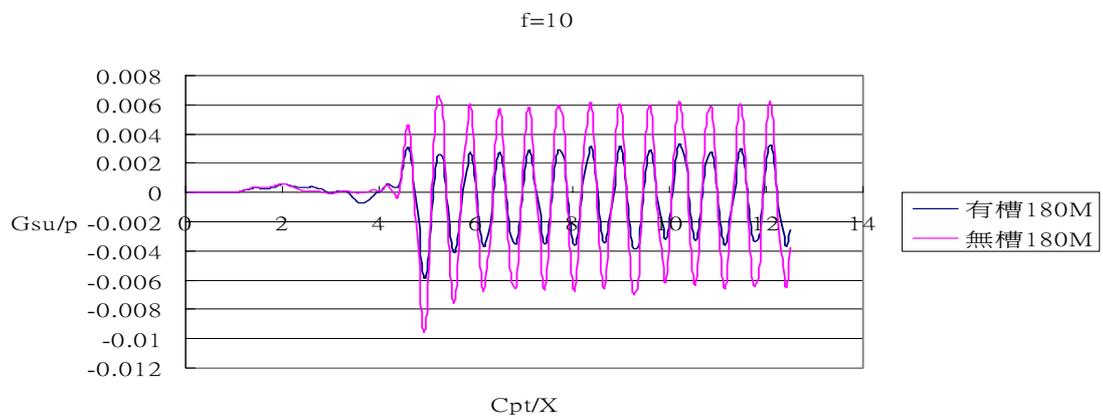


圖 5-112 caseⅢ觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

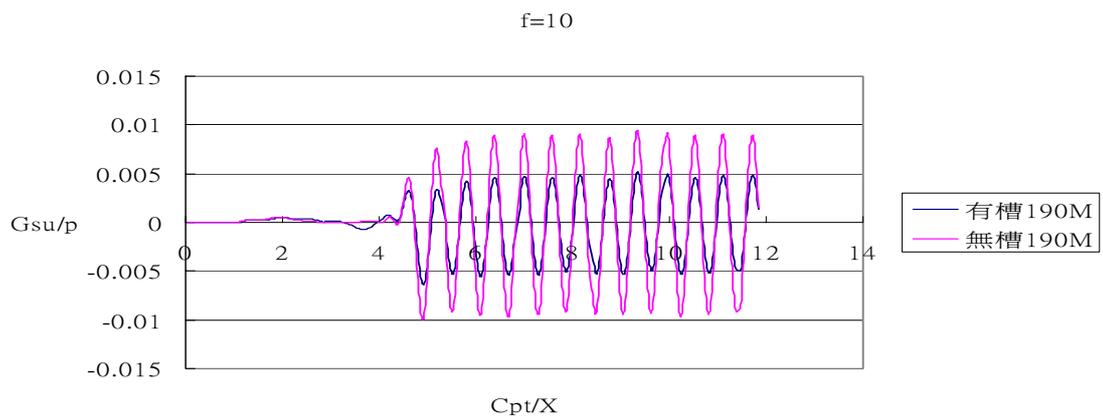


圖 5-113 caseⅢ觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

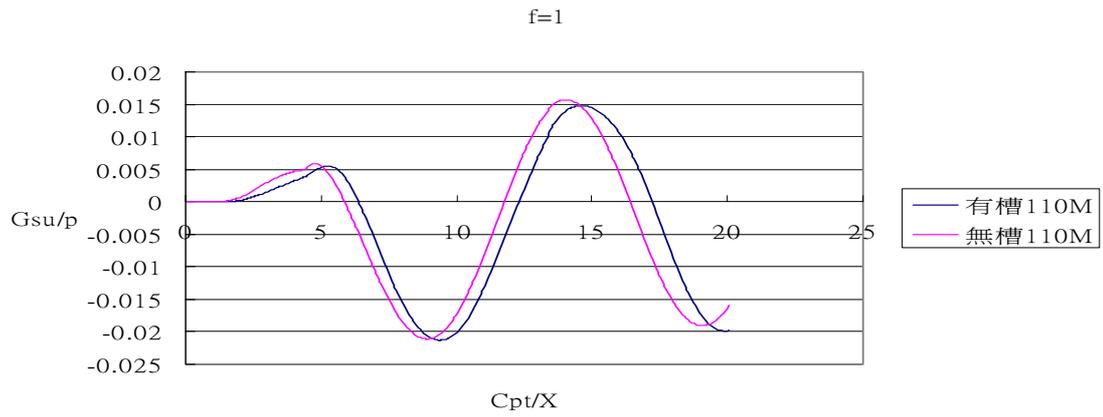


圖 5-114 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

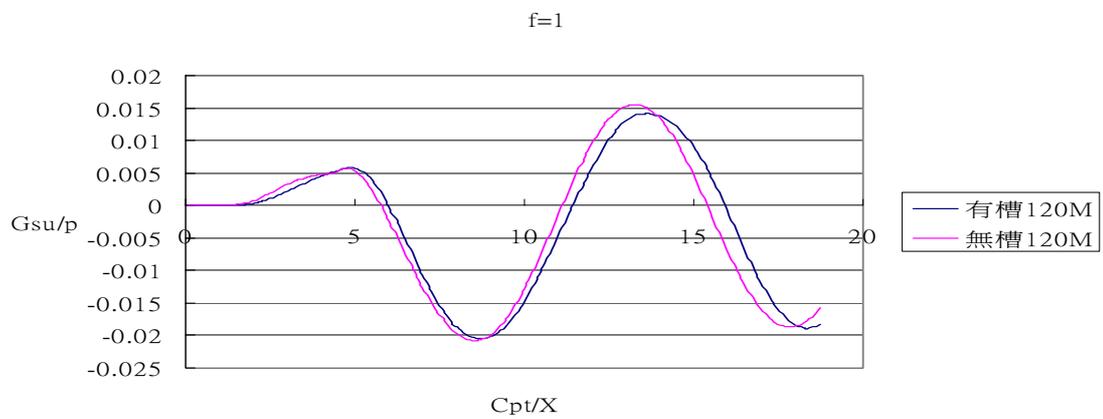


圖 5-115 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

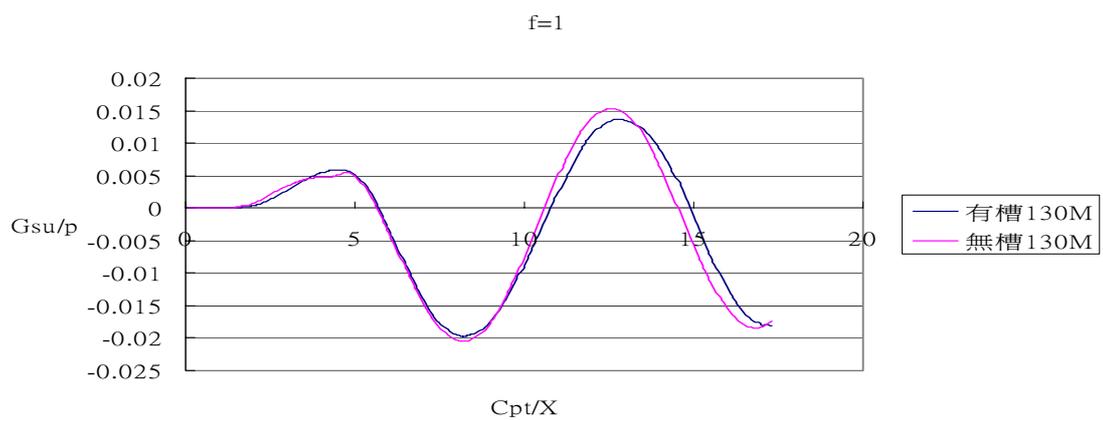


圖 5-116 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

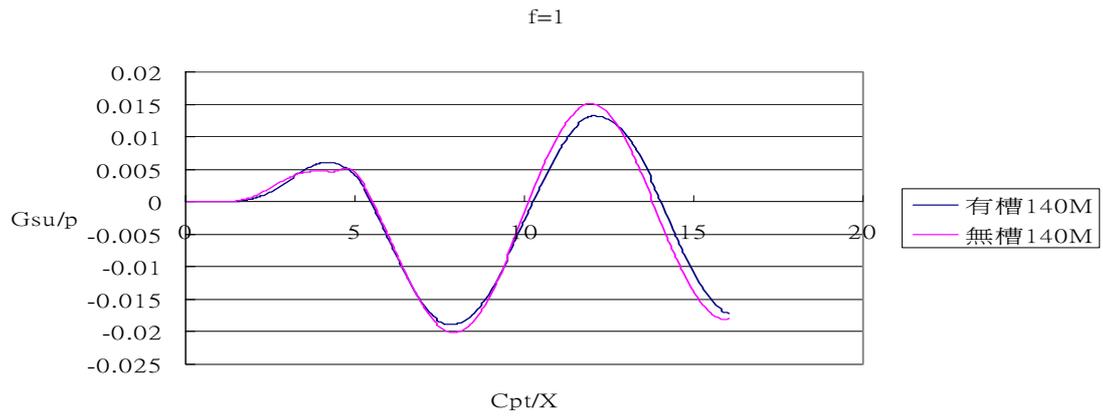


圖 5-117 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

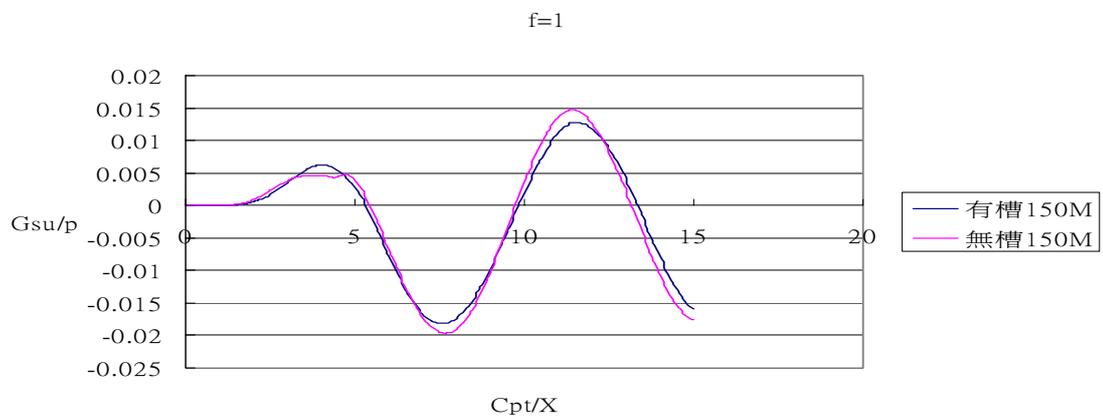


圖 5-118 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

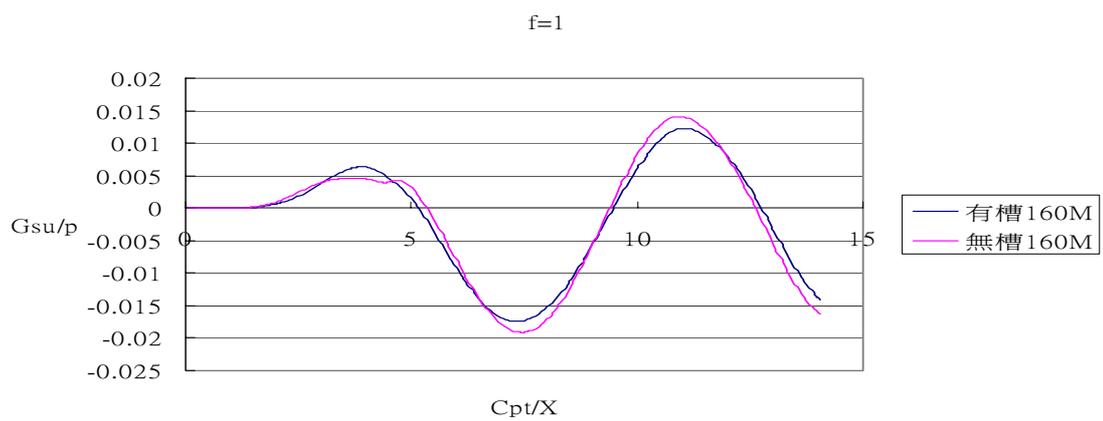


圖 5-119 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

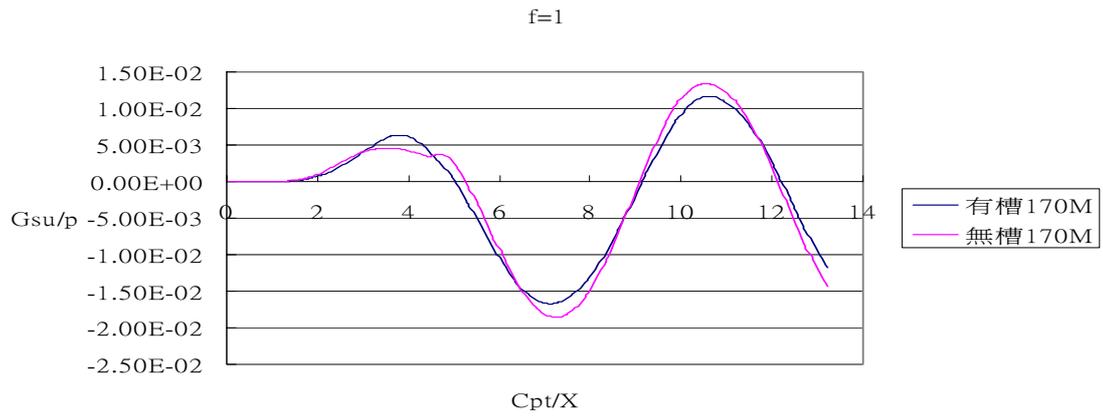


圖 5-120 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

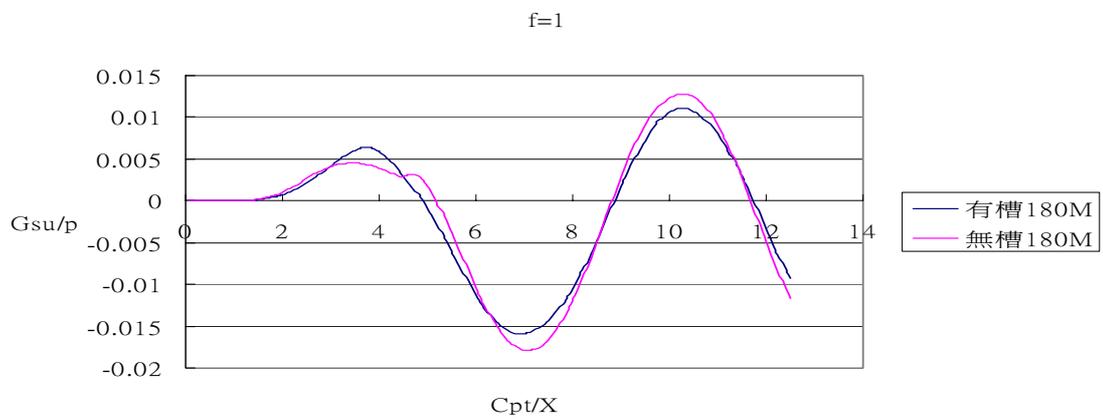


圖 5-121 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

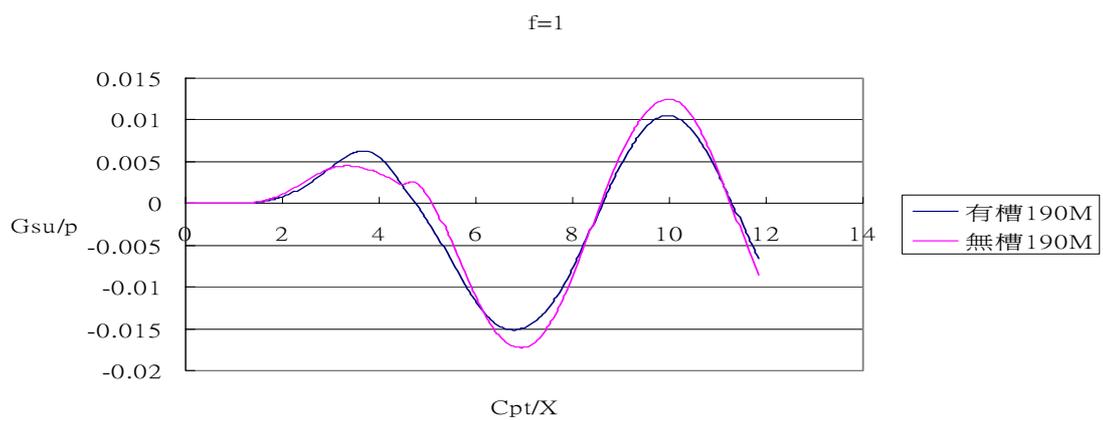


圖 5-122 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

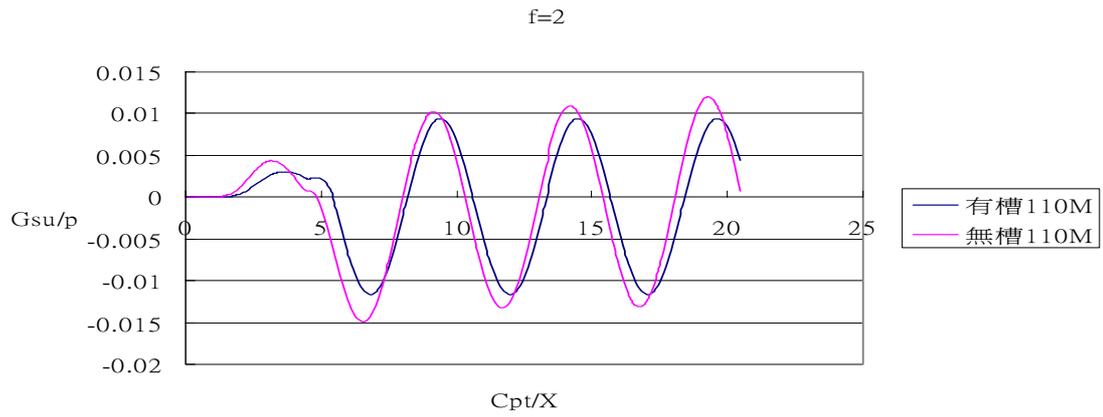


圖 5-123 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

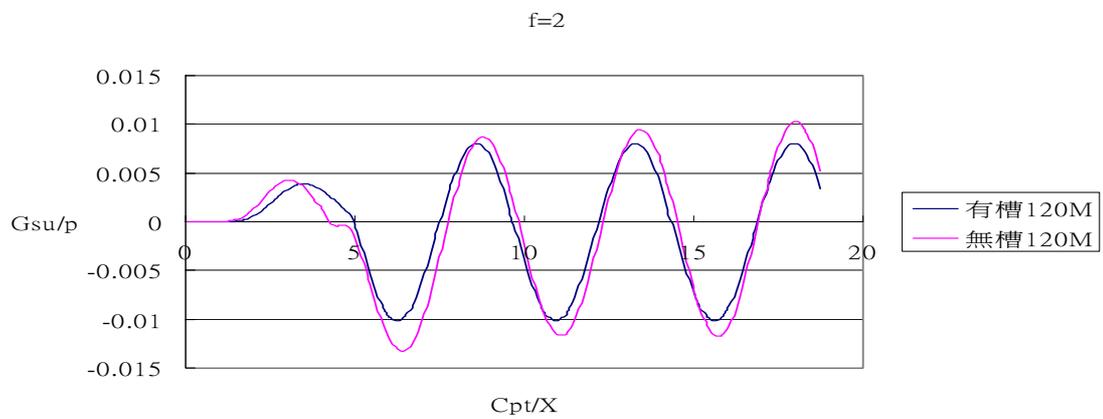


圖 5-124 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

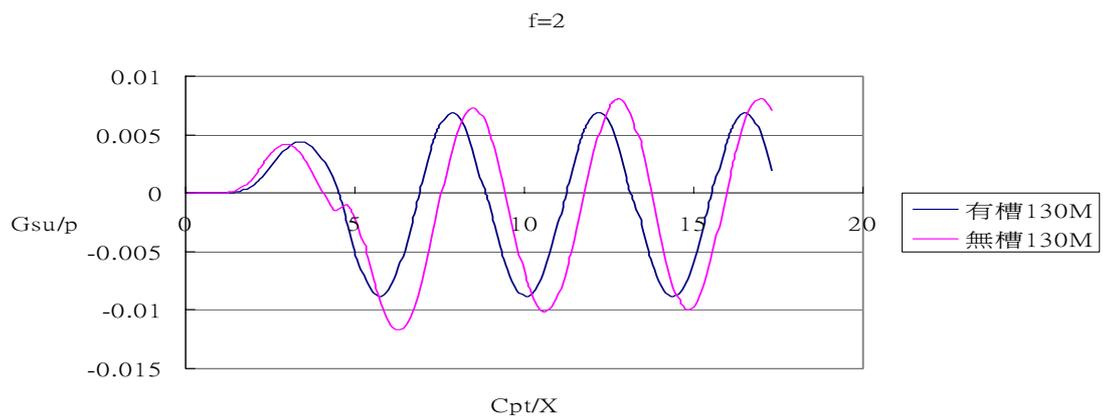


圖 5-125 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

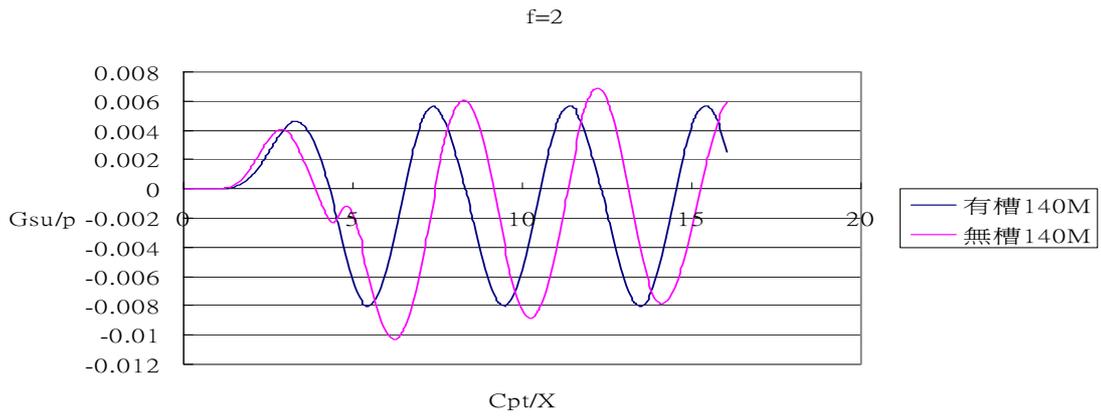


圖 5-126 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

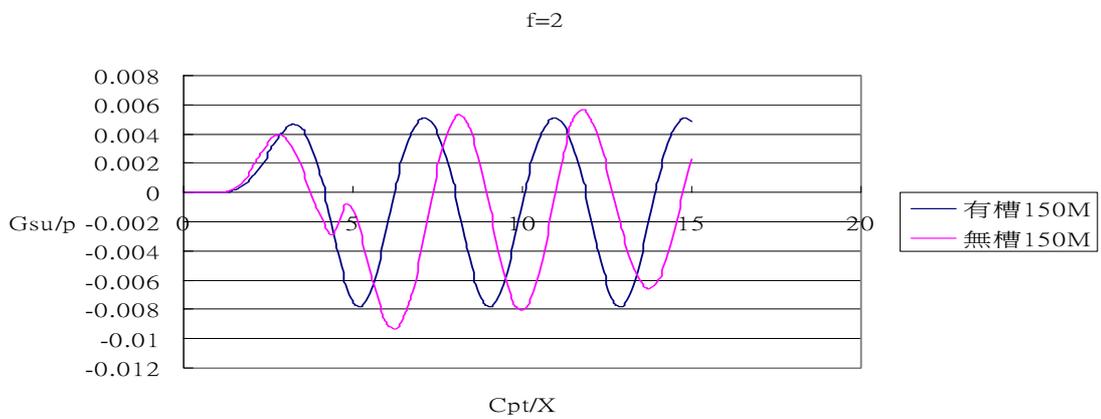


圖 5-127 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

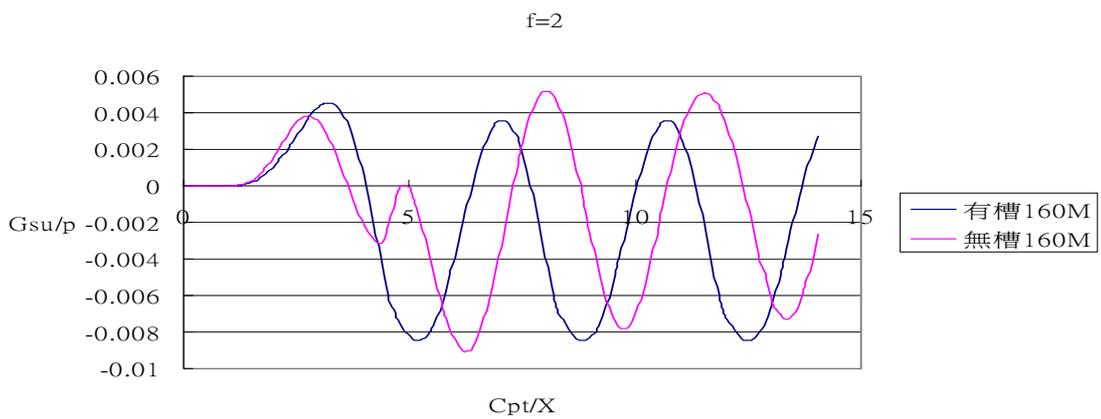


圖 5-128 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

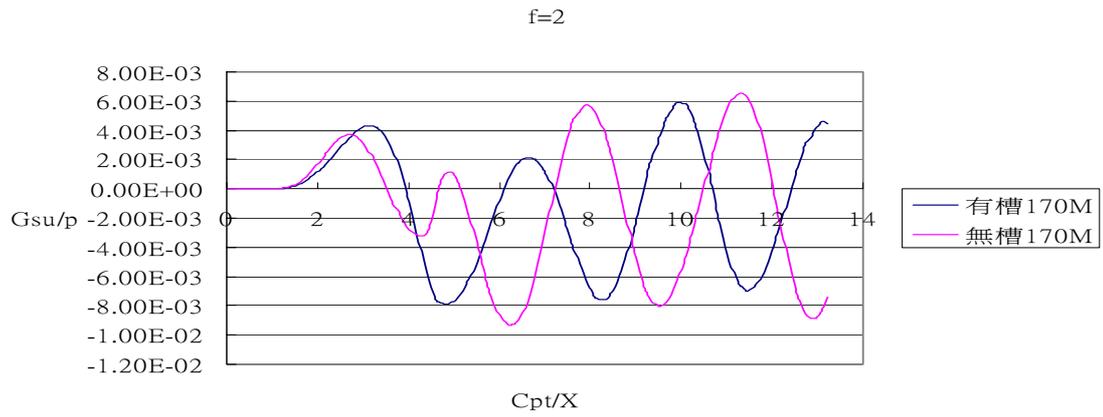


圖 5-129 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

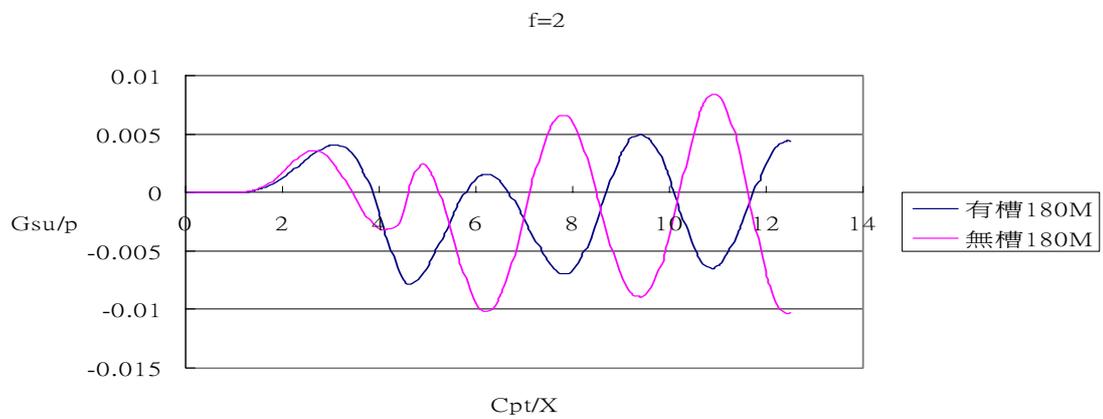


圖 5-130 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

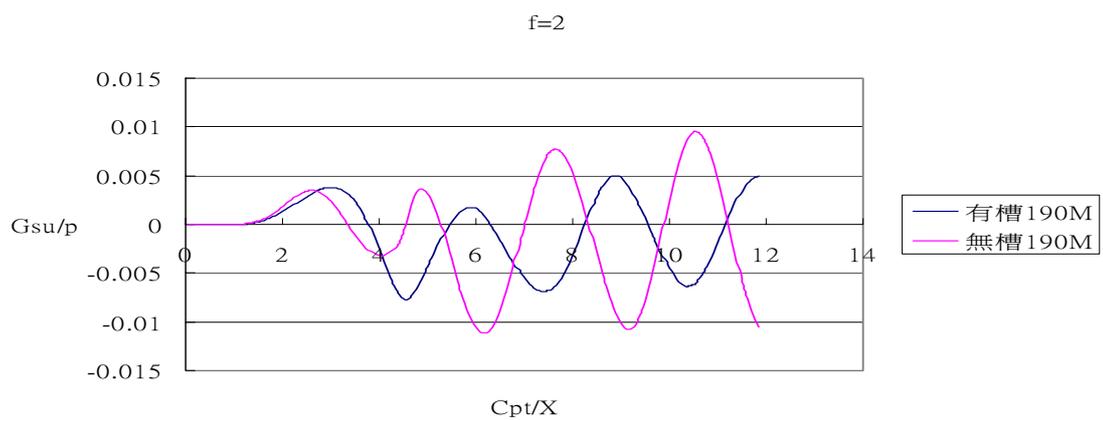


圖 5-131 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

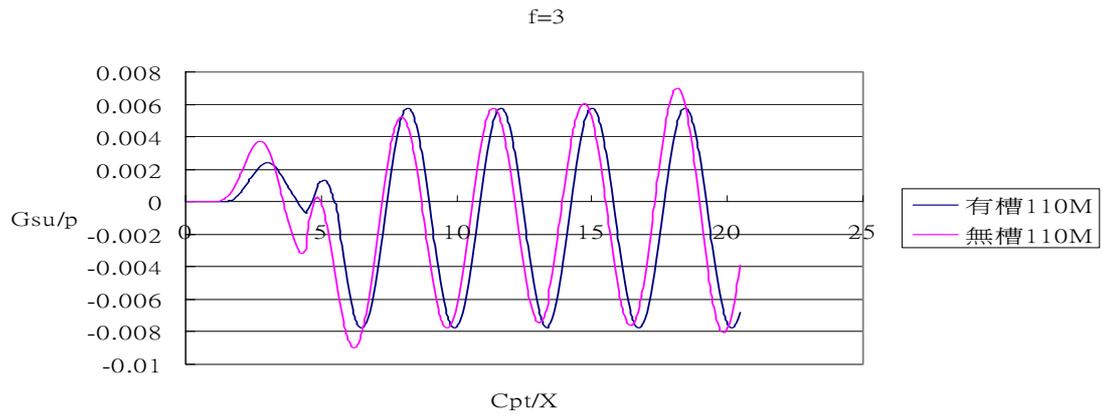


圖 5-132 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

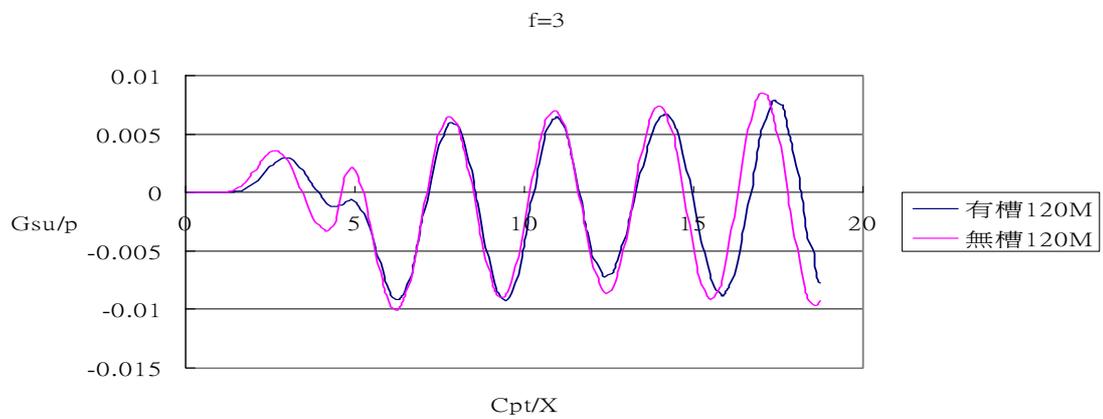


圖 5-133 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

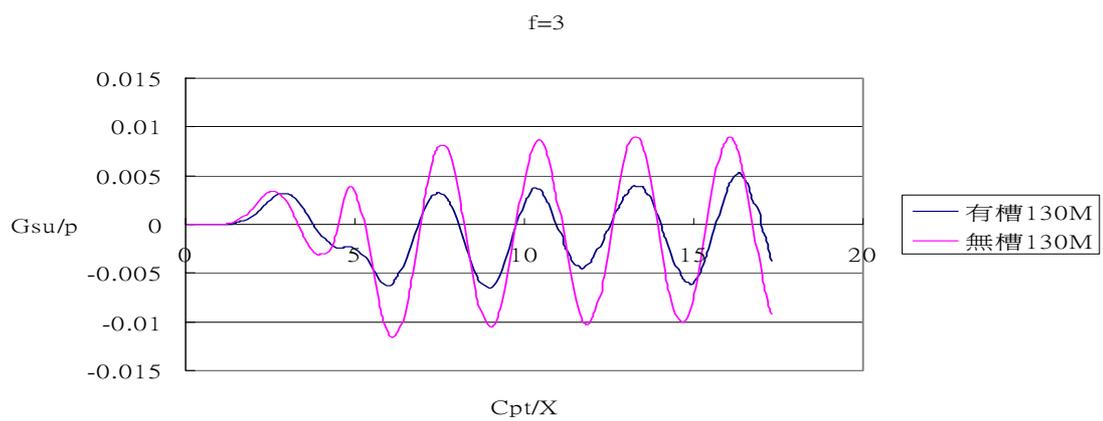


圖 5-134 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

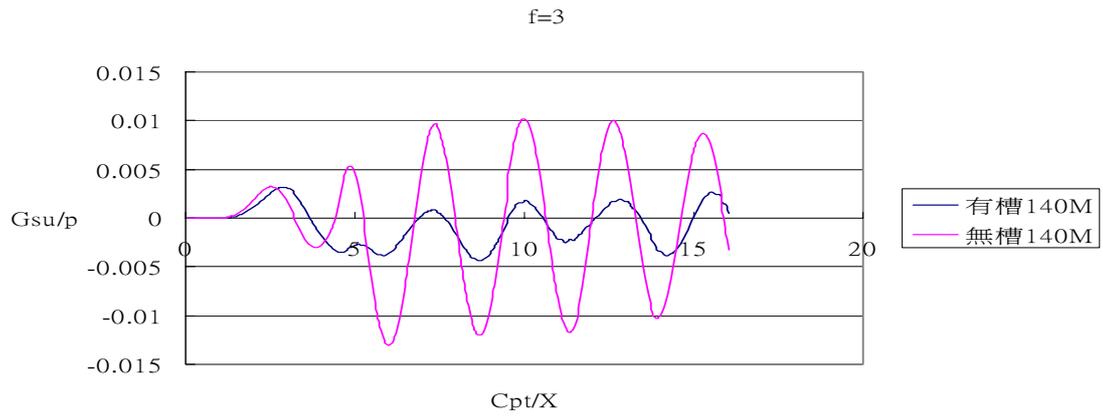


圖 5-135 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

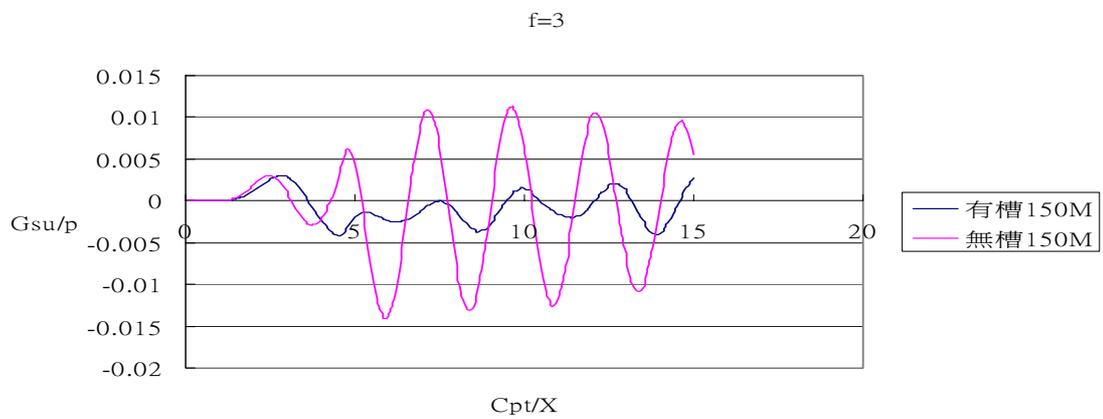


圖 5-136 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

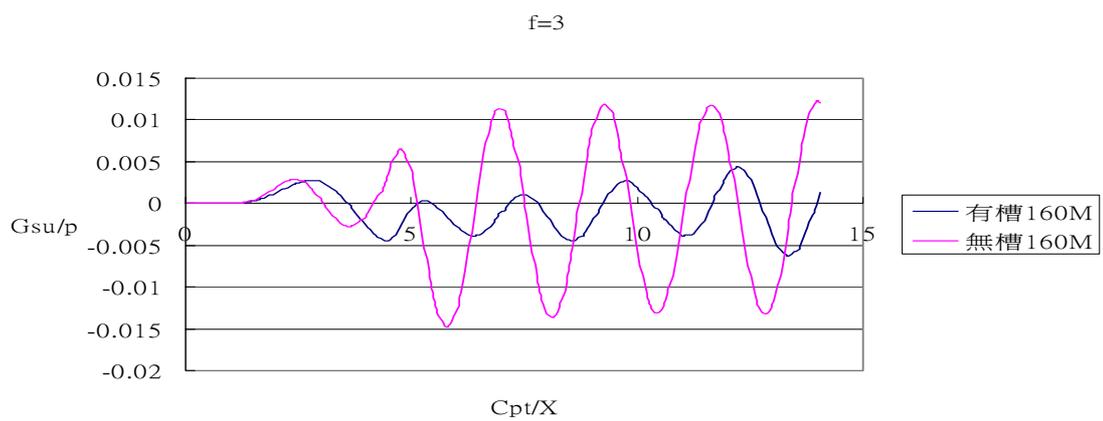


圖 5-137 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

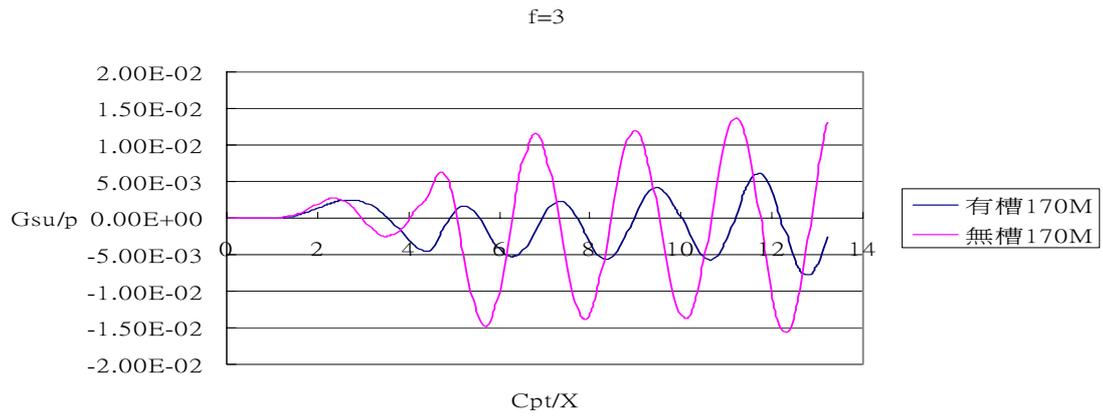


圖 5-138 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

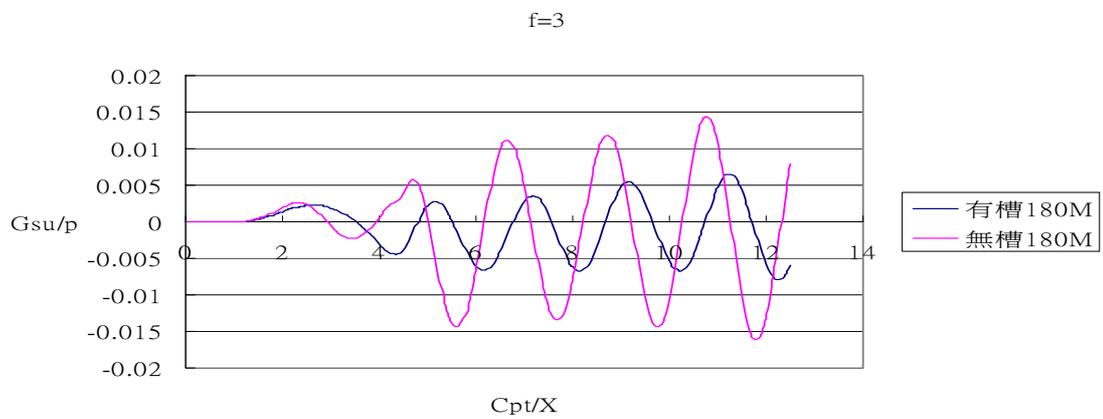


圖 5-139 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

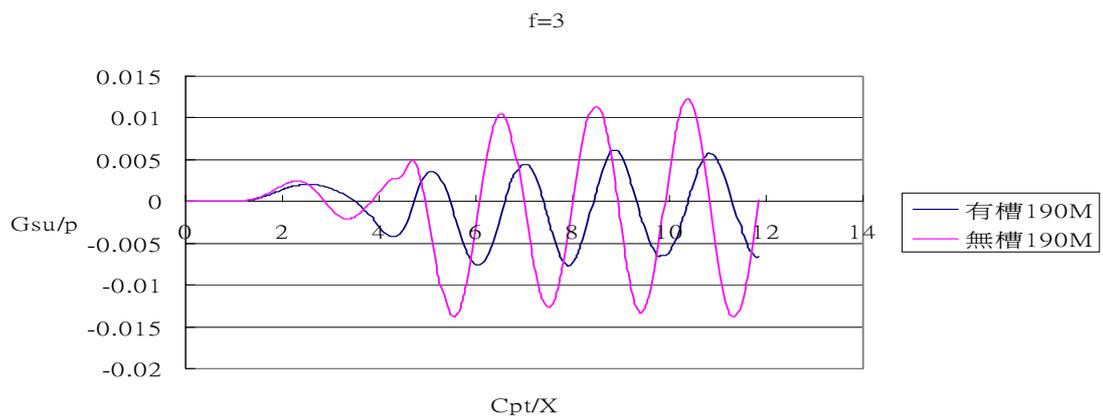


圖 5-140 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

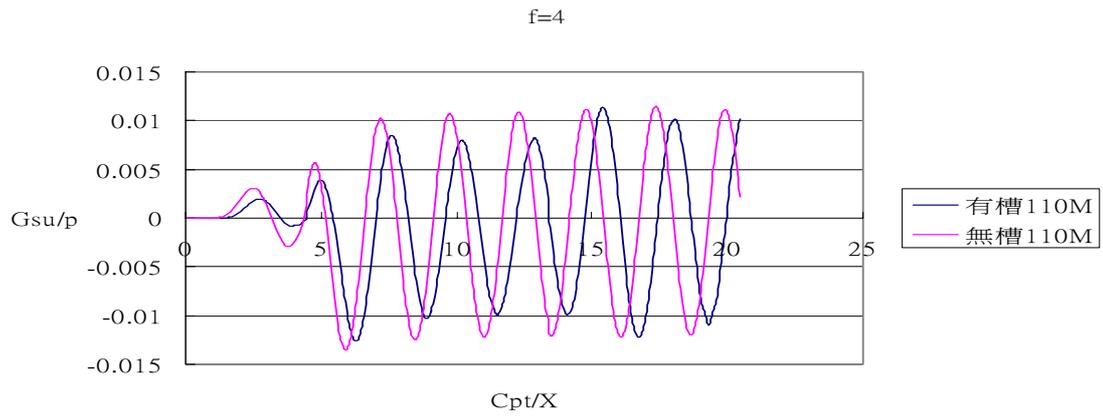


圖 5-141 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

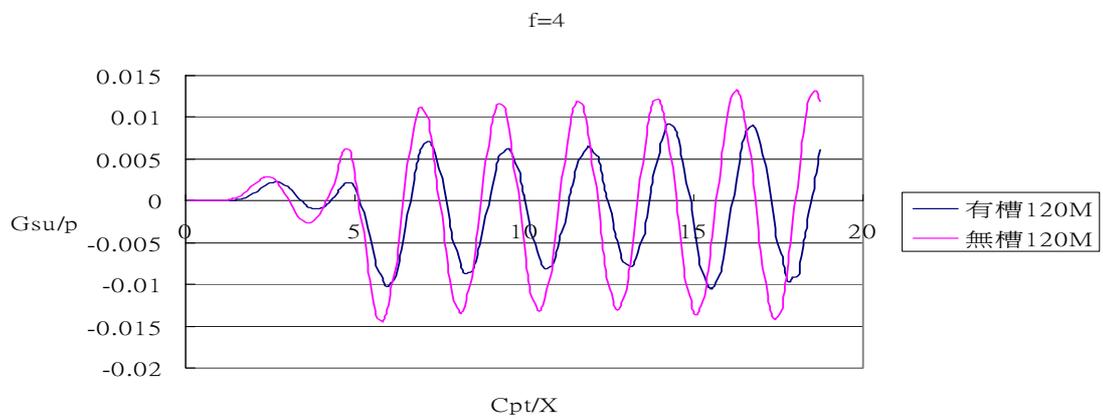


圖 5-142 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

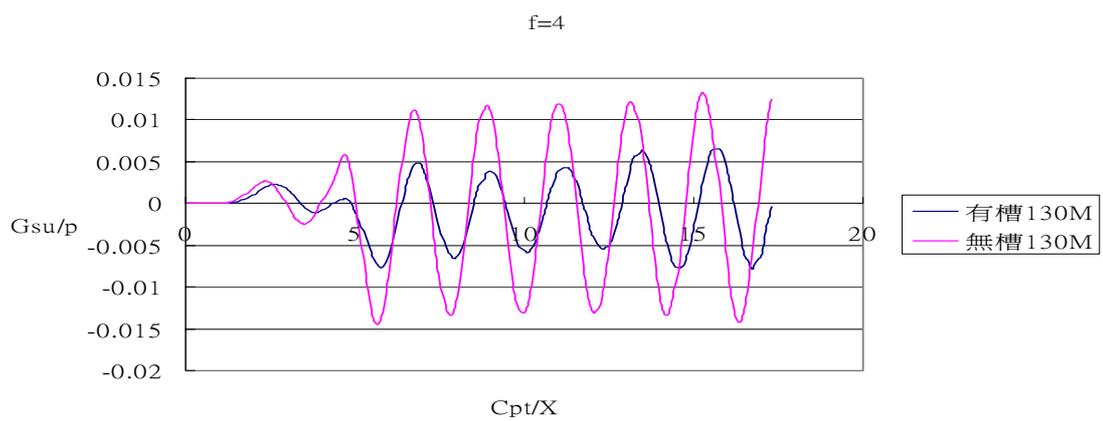


圖 5-143 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

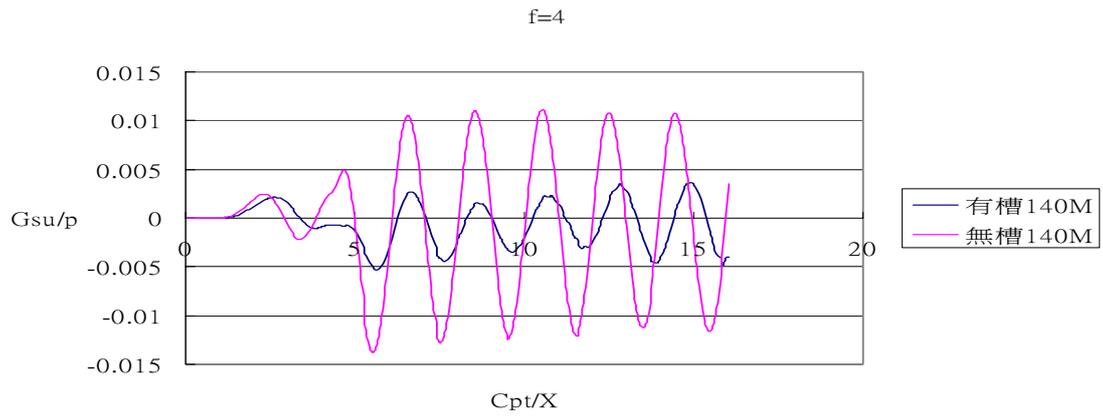


圖 5-144 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

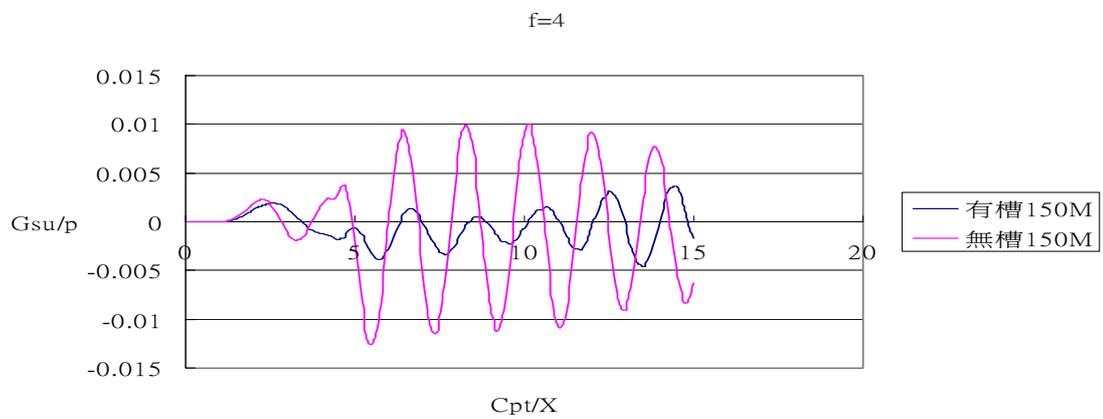


圖 5-145 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

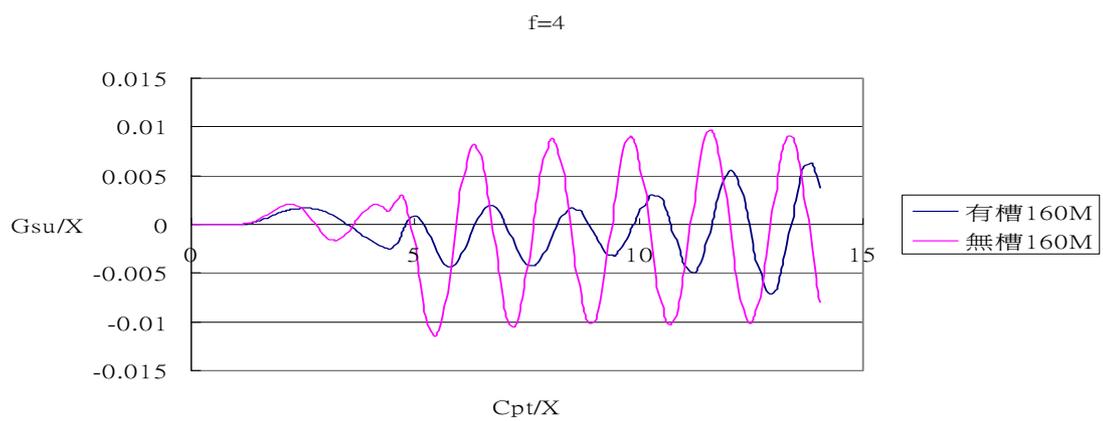


圖 5-146 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

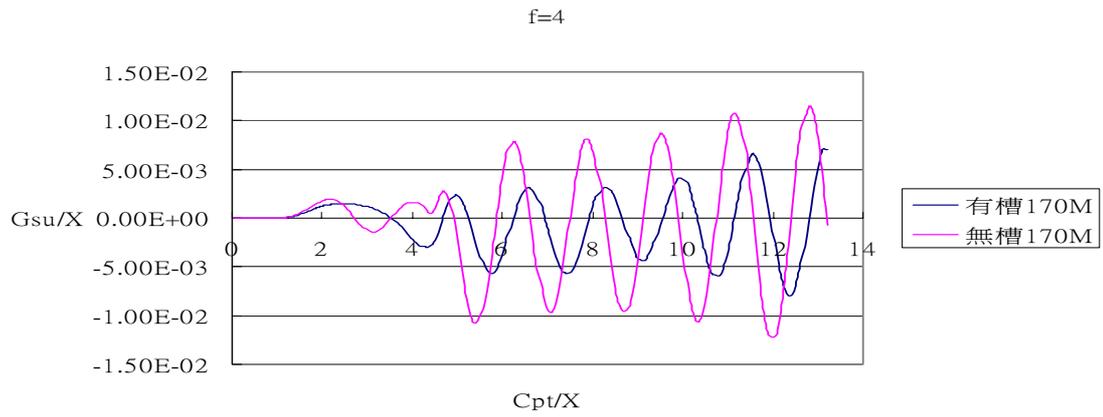


圖 5-147 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

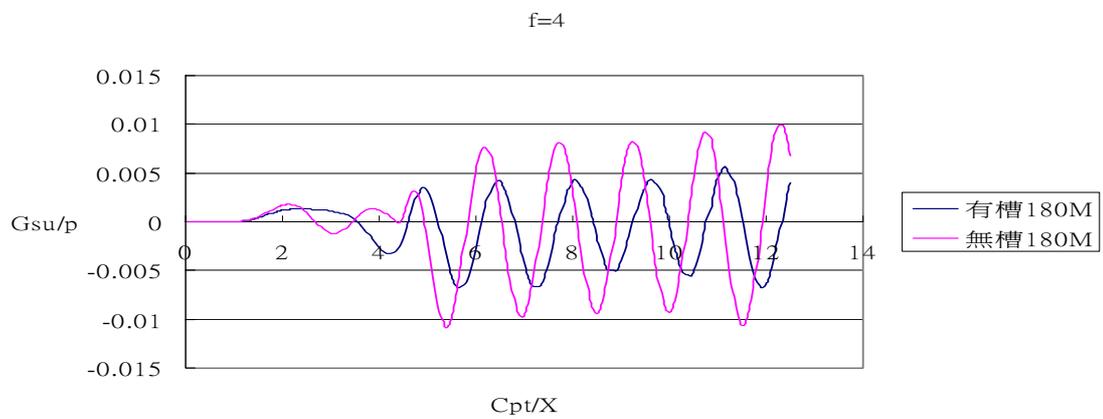


圖 5-148 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

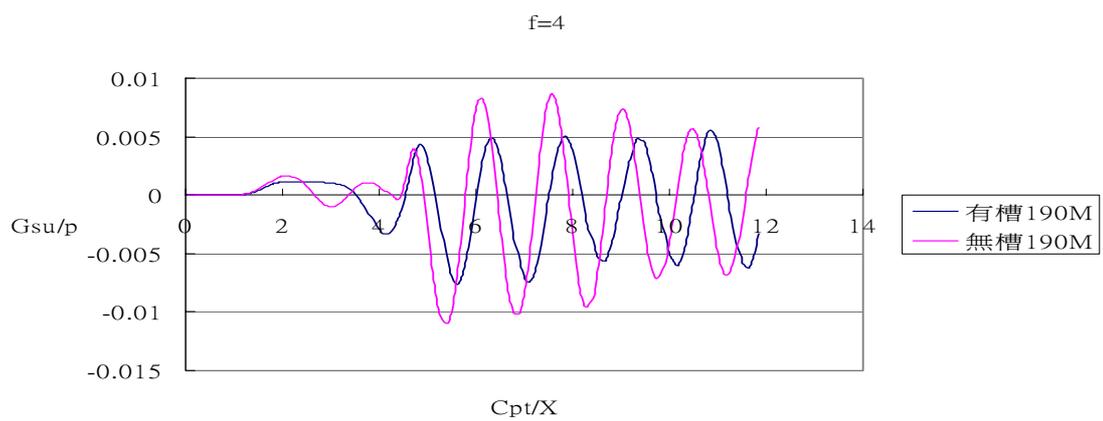


圖 5-149 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

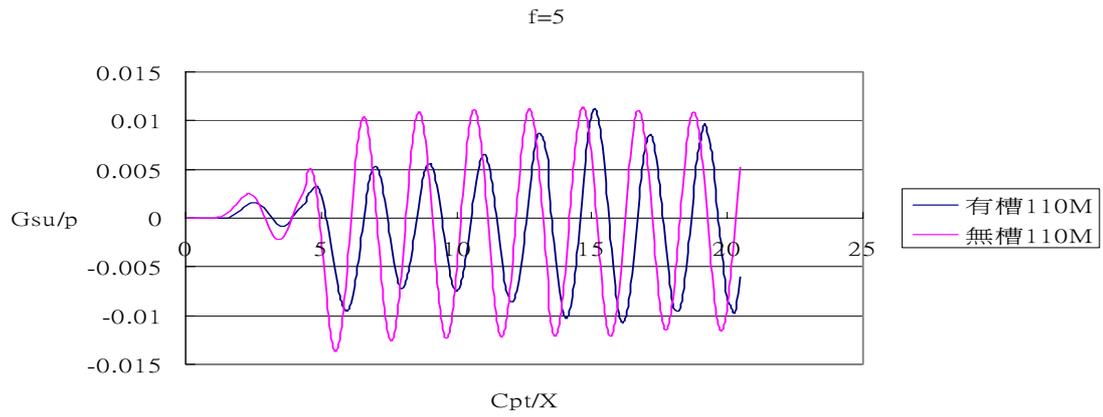


圖 5-150 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

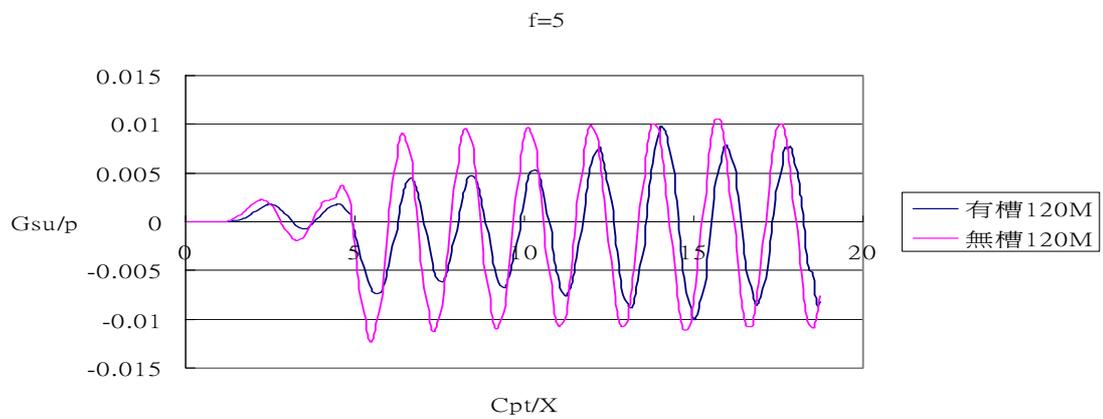


圖 5-151 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

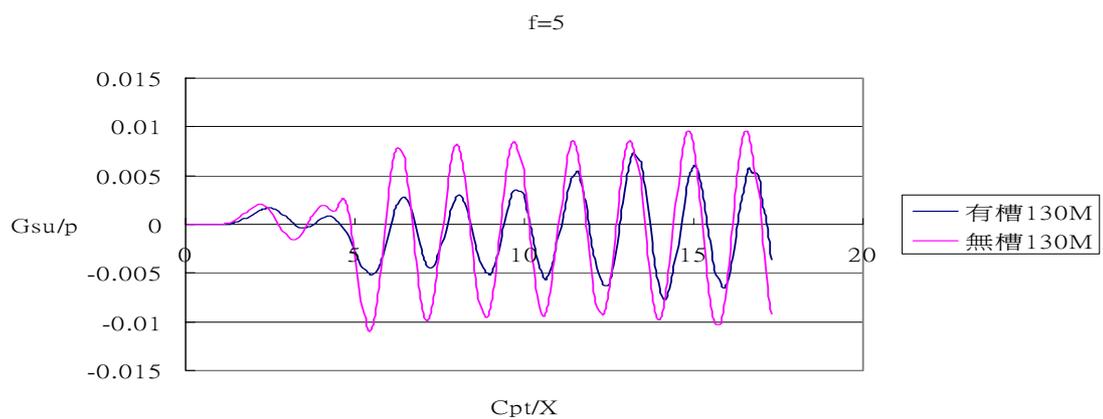


圖 5-152 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

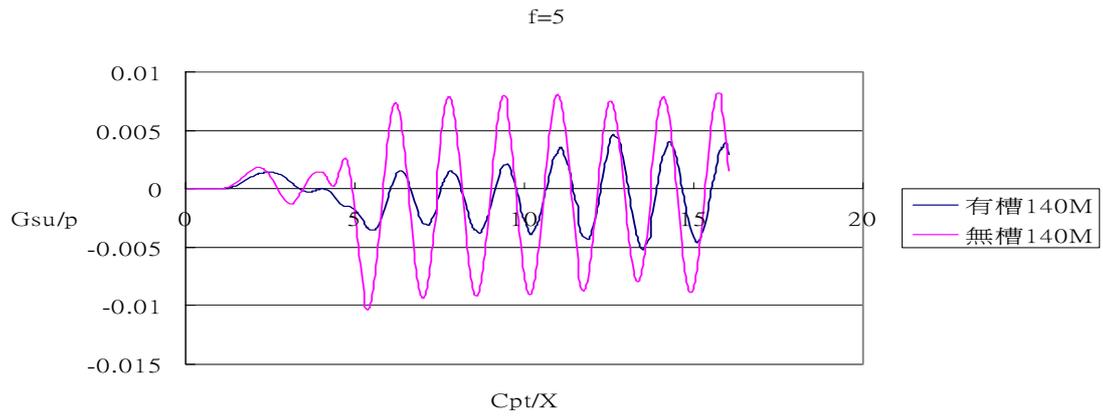


圖 5-153 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

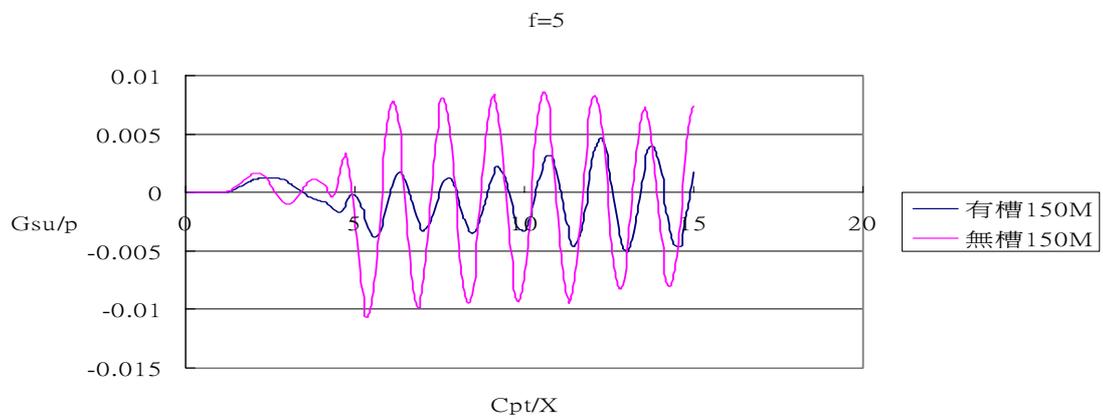


圖 5-154 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

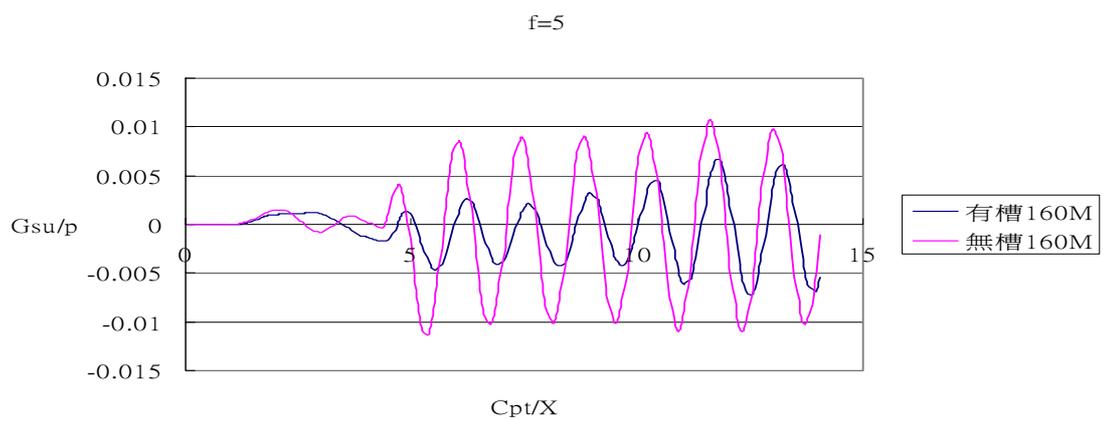


圖 5-155 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

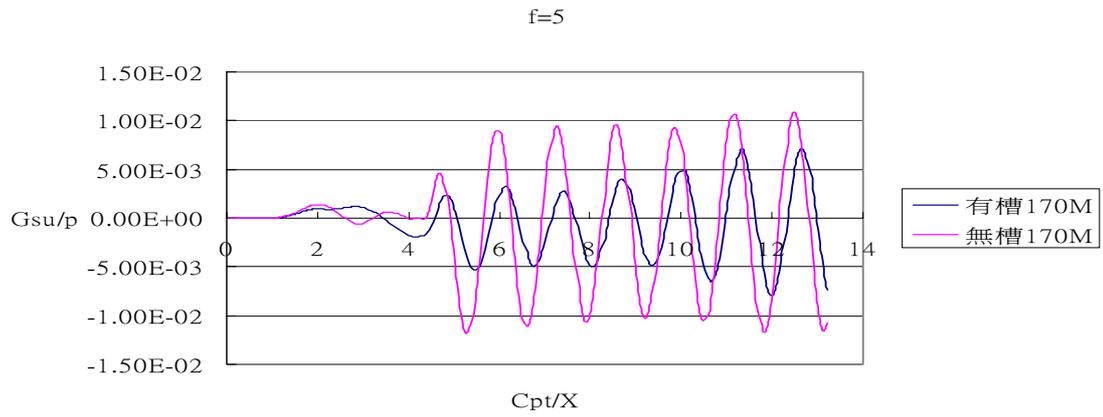


圖 5-156 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

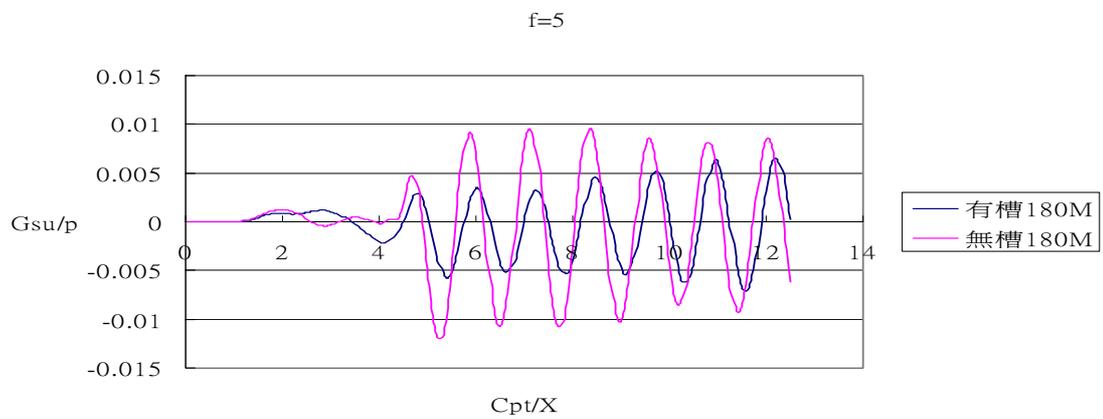


圖 5-157 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

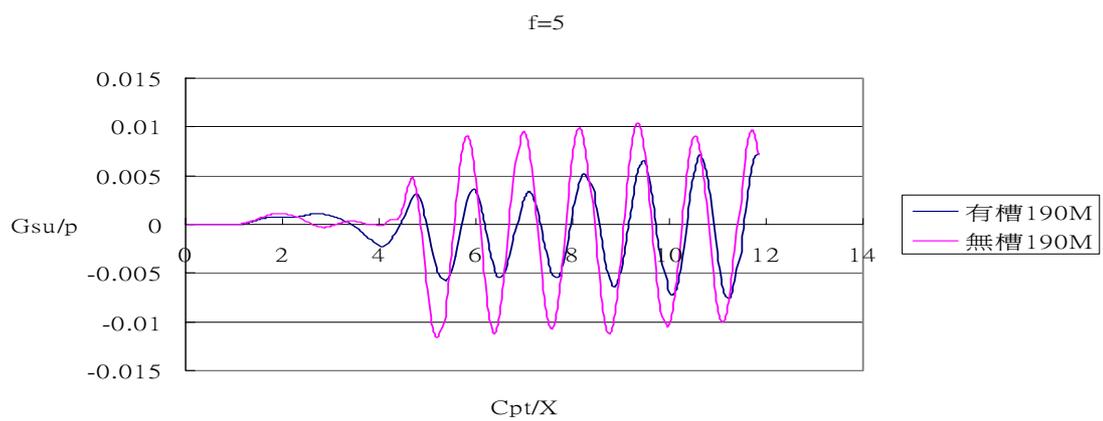


圖 5-158 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

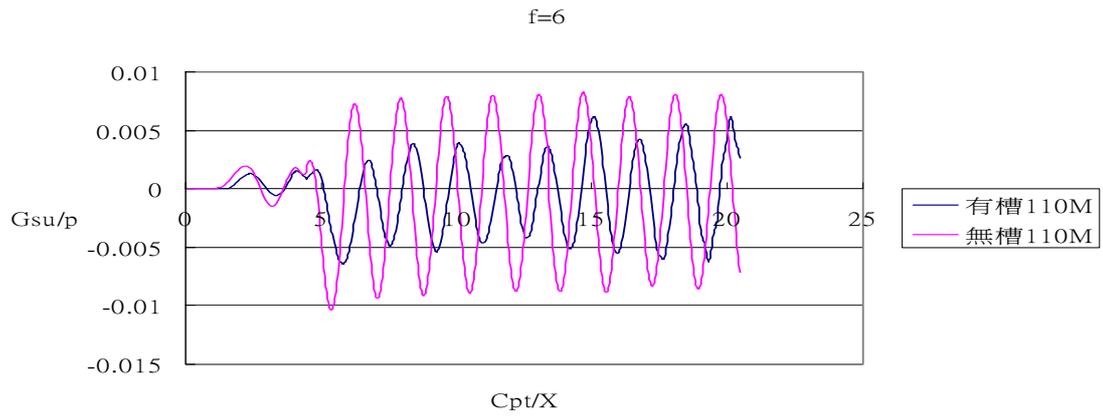


圖 5-159 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

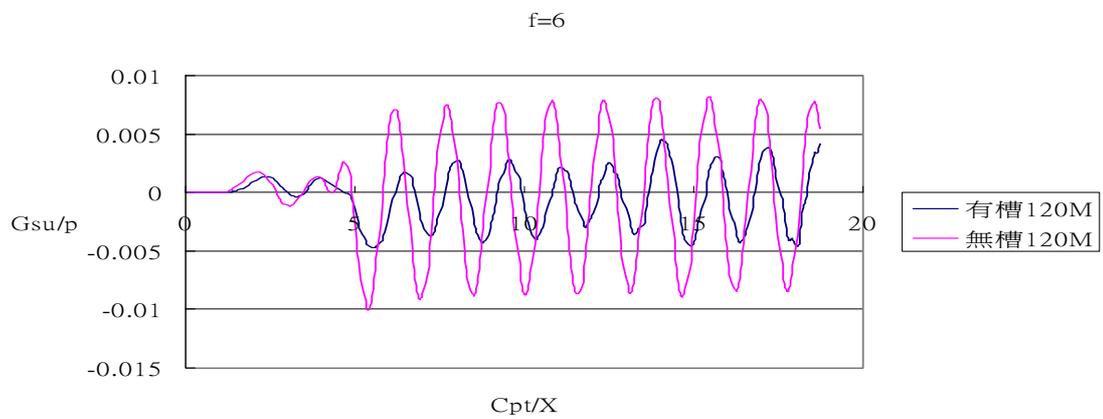


圖 5-160 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

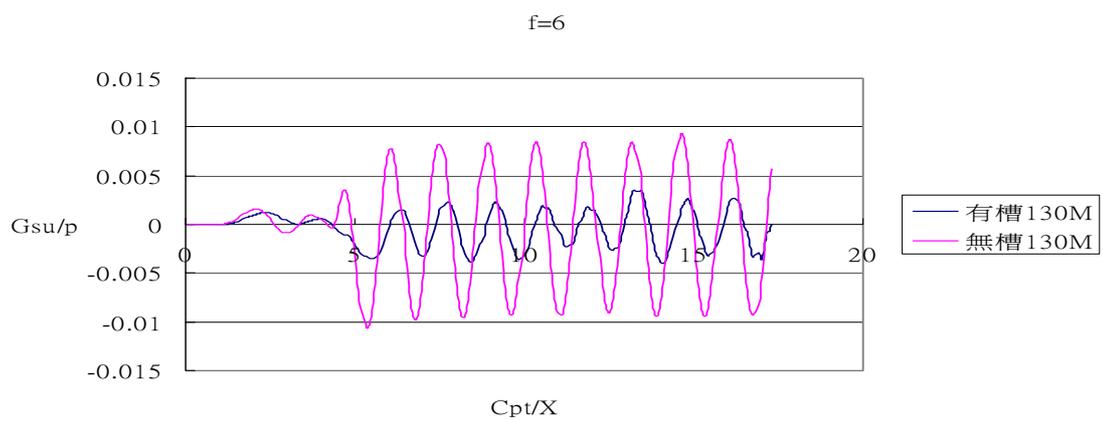


圖 5-161 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

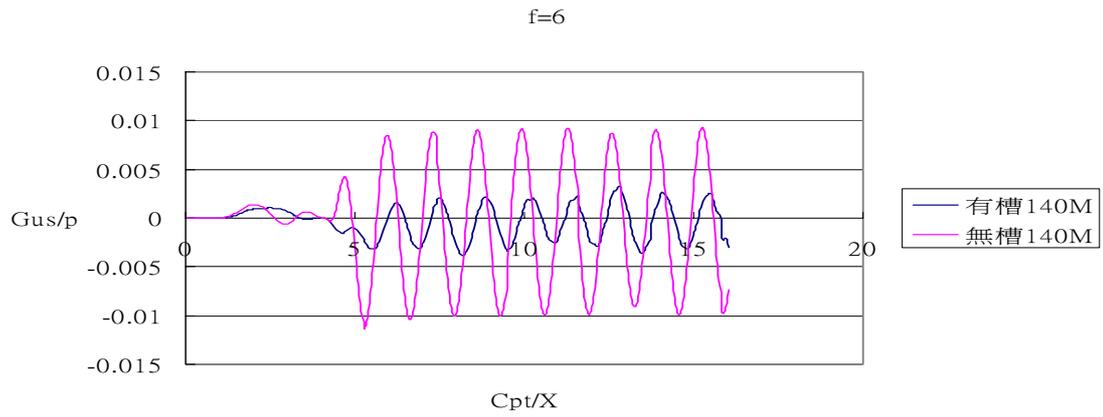


圖 5-162 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

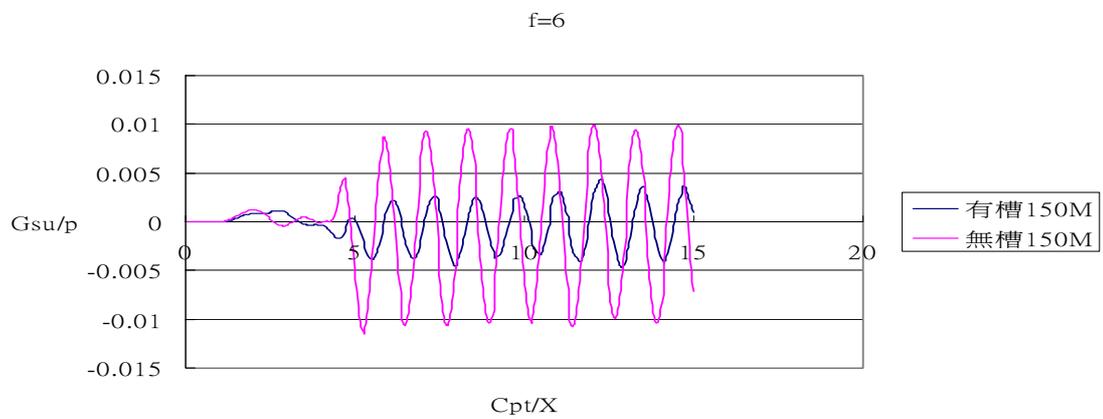


圖 5-163 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

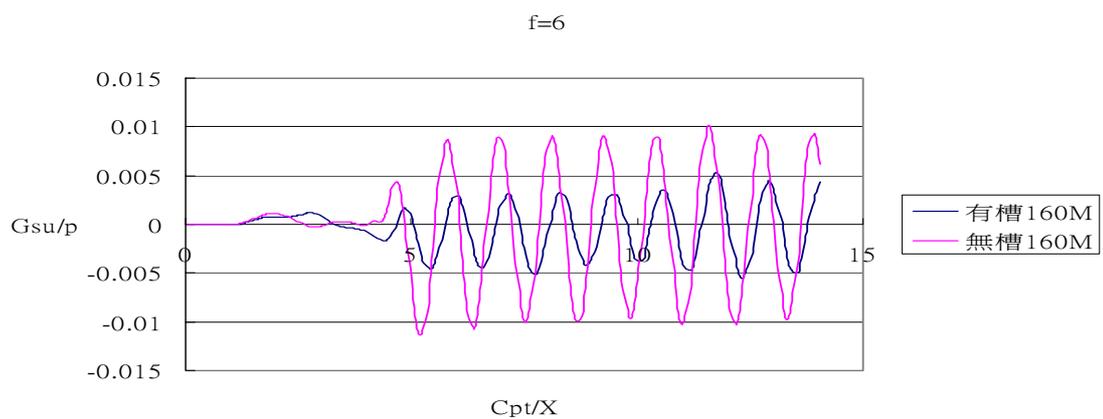


圖 5-164 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

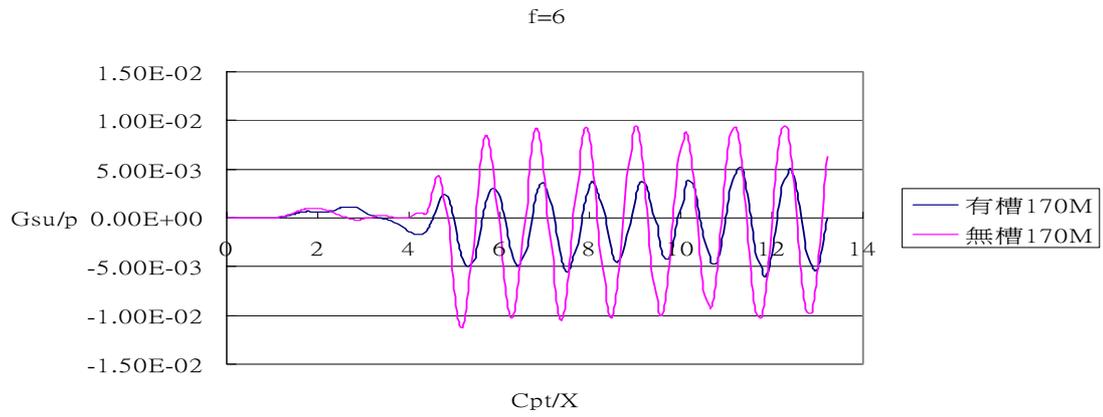


圖 5-165 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

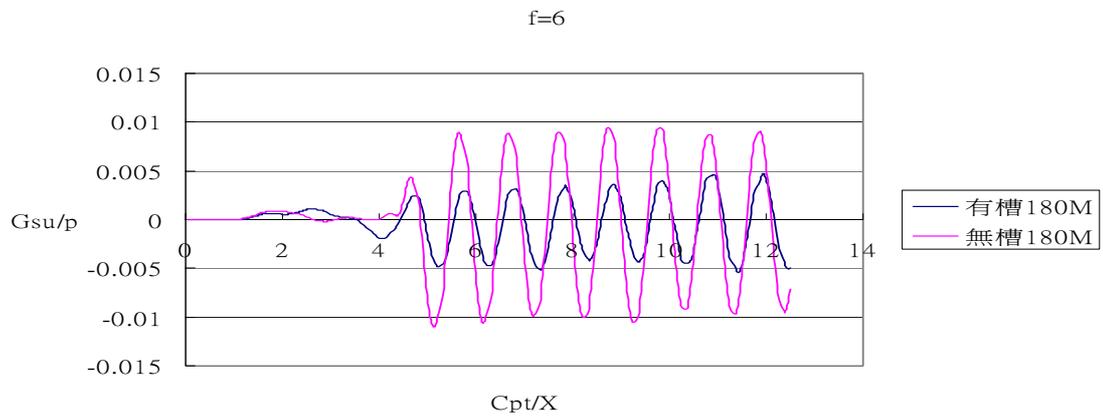


圖 5-166 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

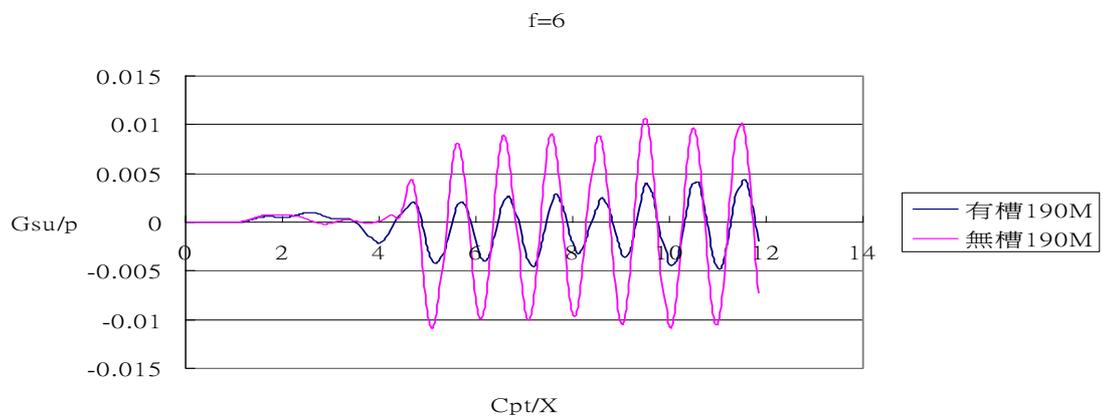


圖 5-167 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

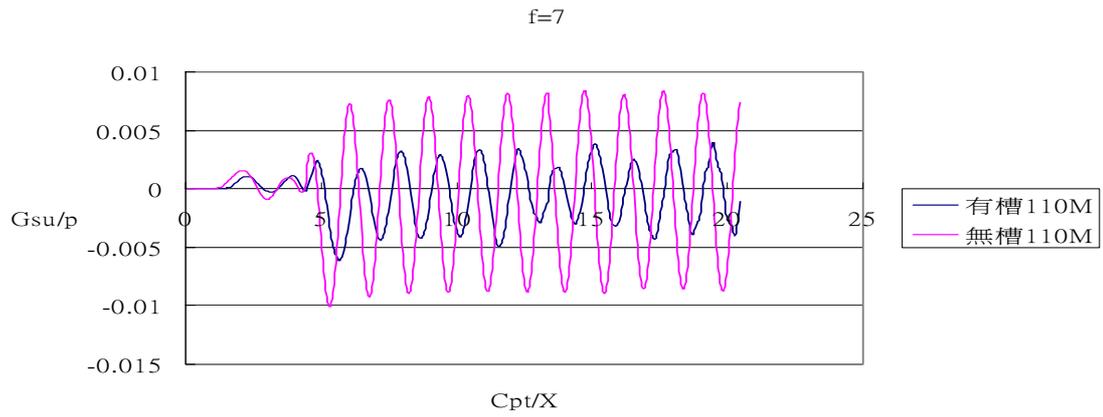


圖 5-168 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

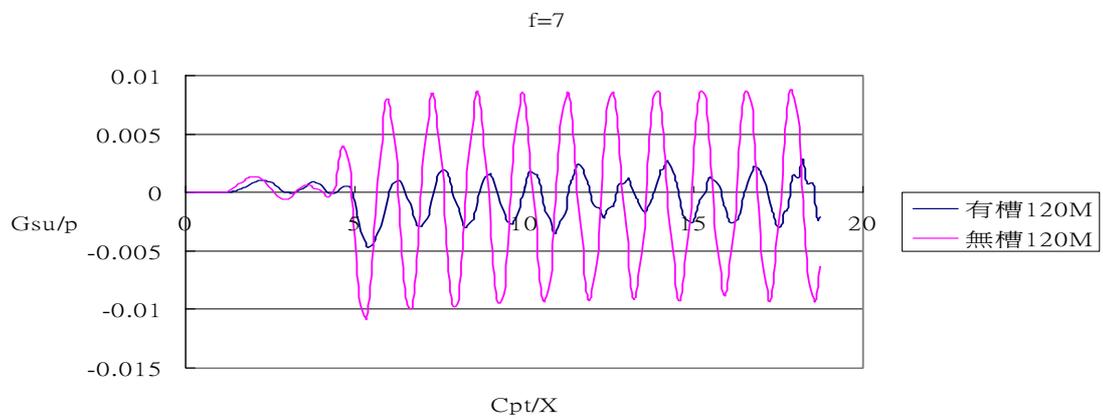


圖 5-169 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

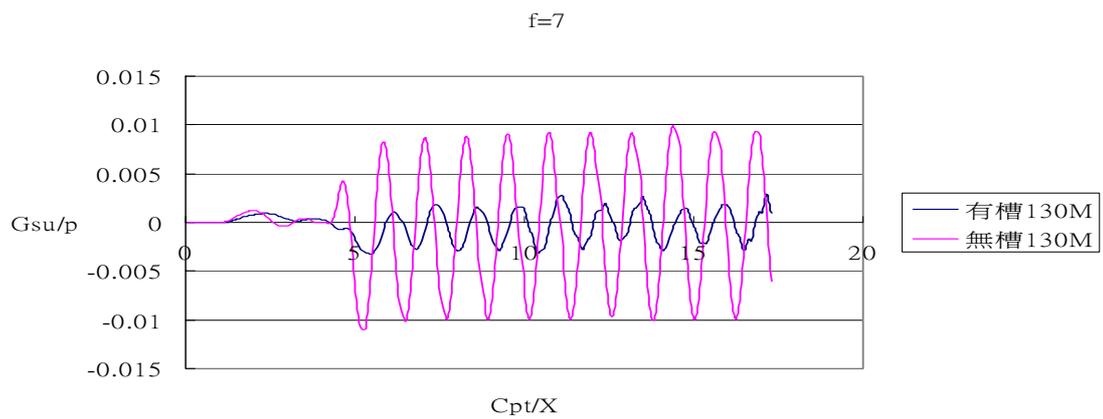


圖 5-170 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

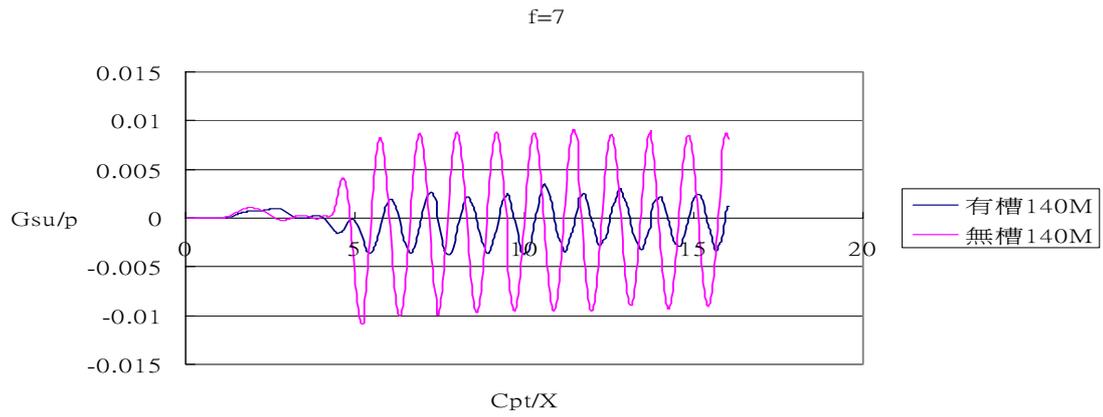


圖 5-171 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

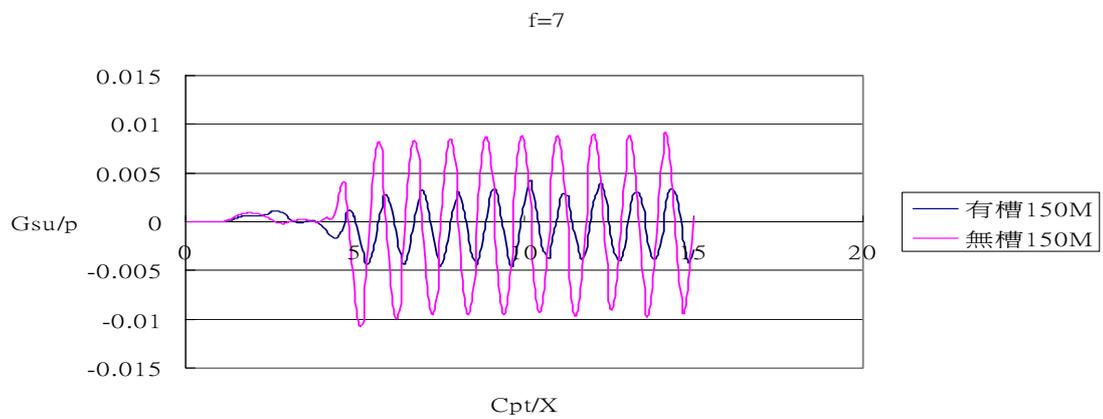


圖 5-172 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

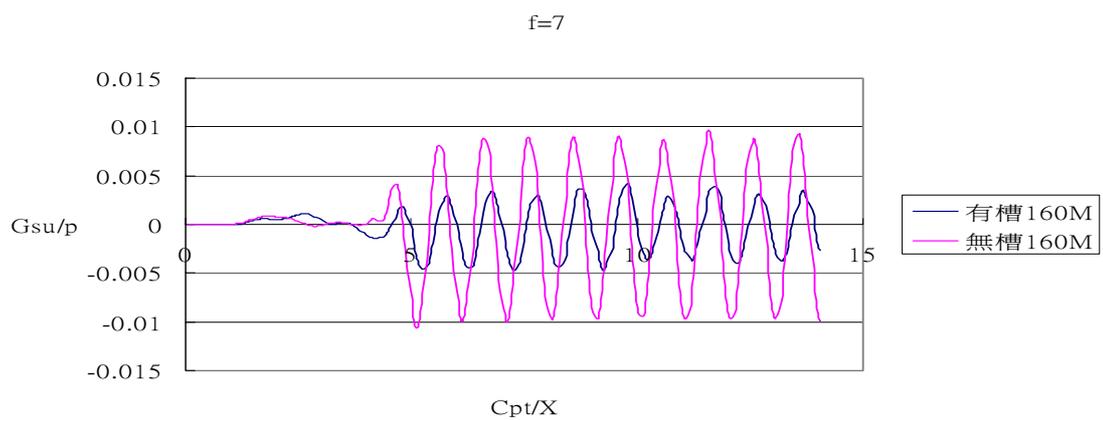


圖 5-173 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

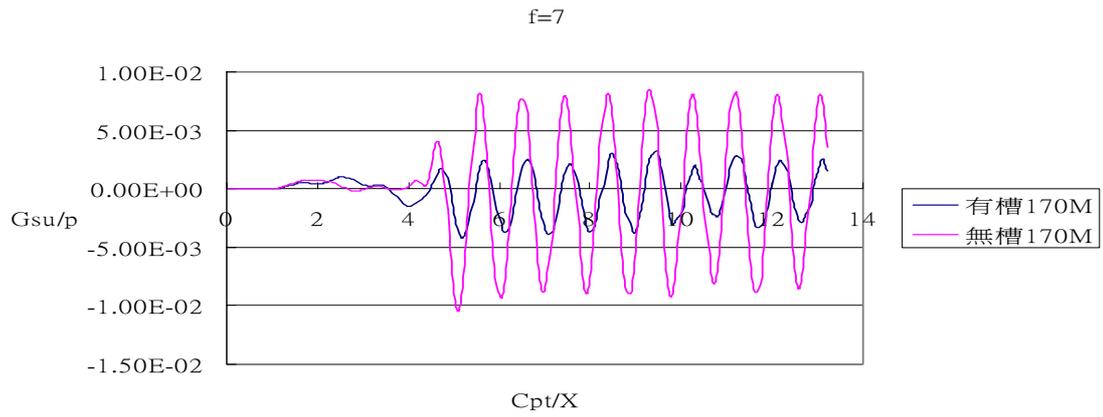


圖 5-174 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

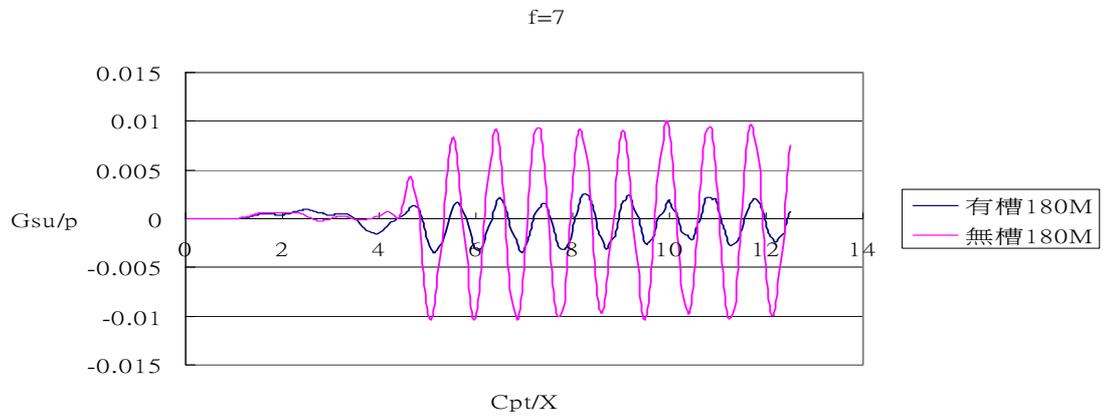


圖 5-175 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

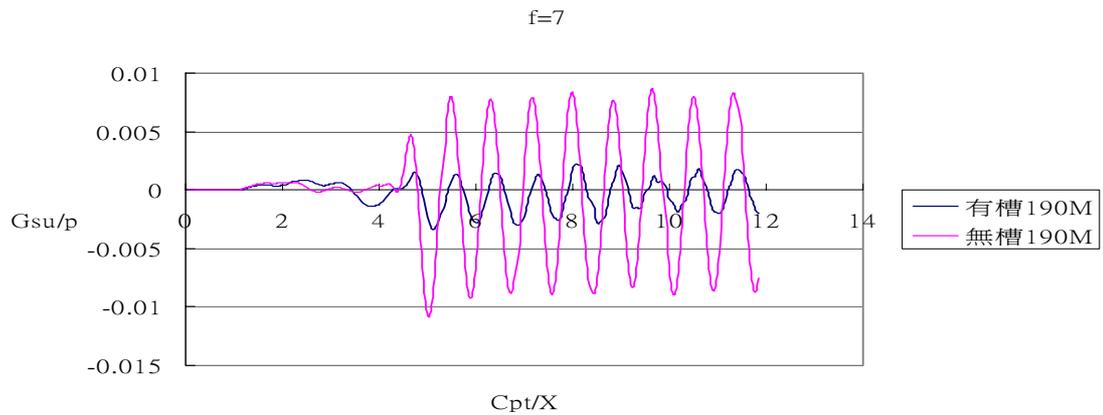


圖 5-176 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

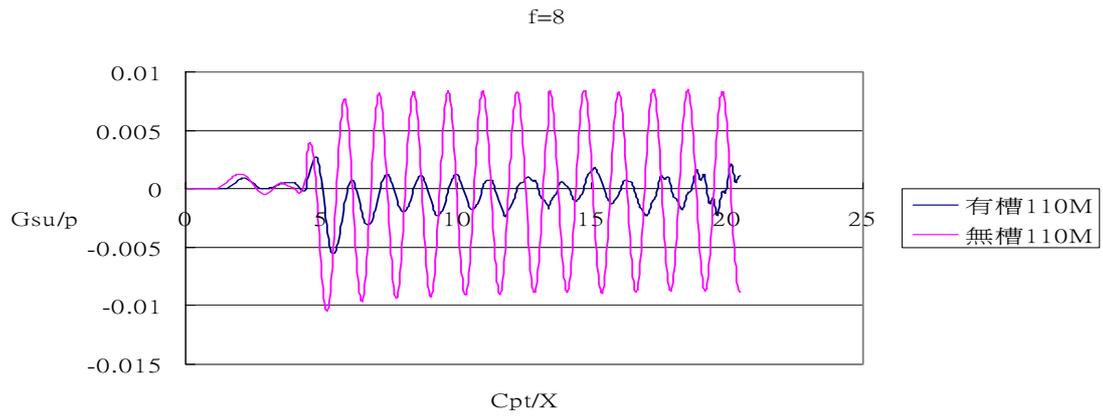


圖 5-177 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

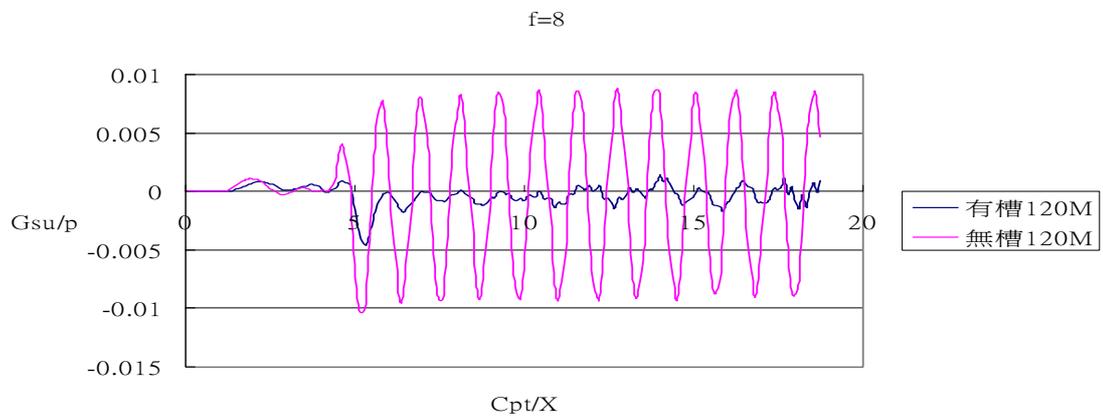


圖 5-178 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

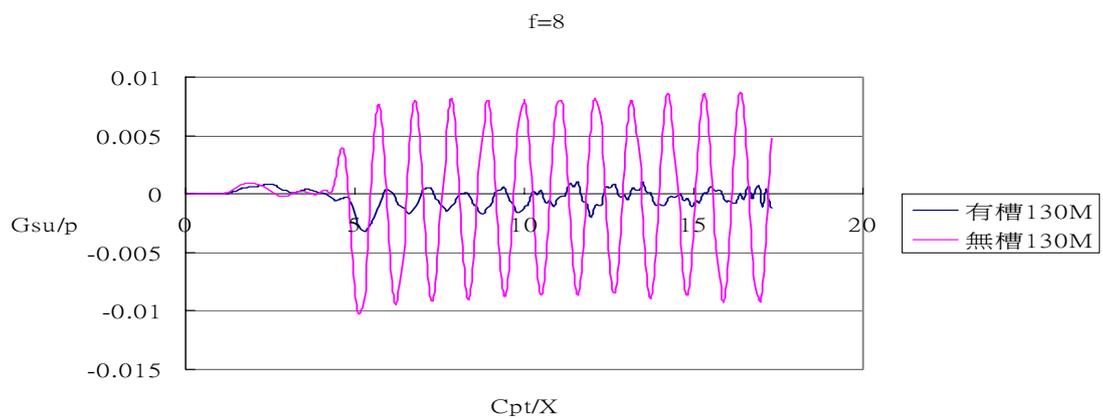


圖 5-179 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

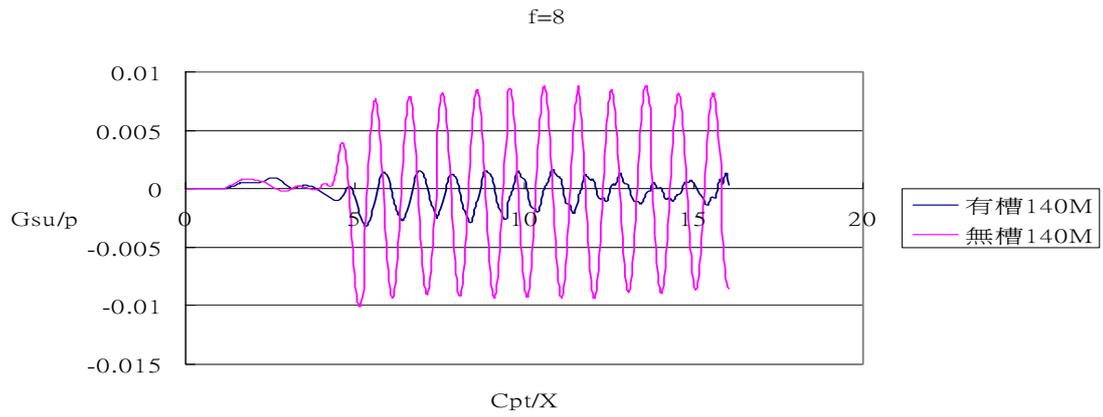


圖 5-180 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

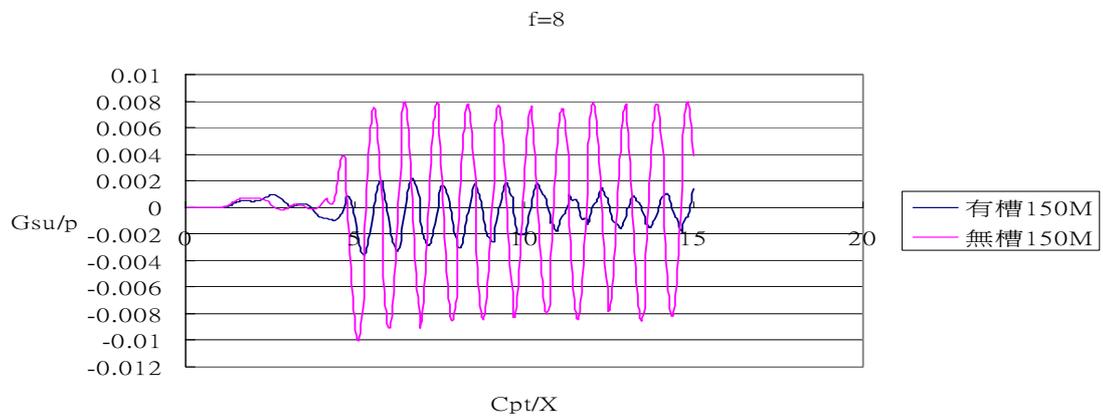


圖 5-181 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

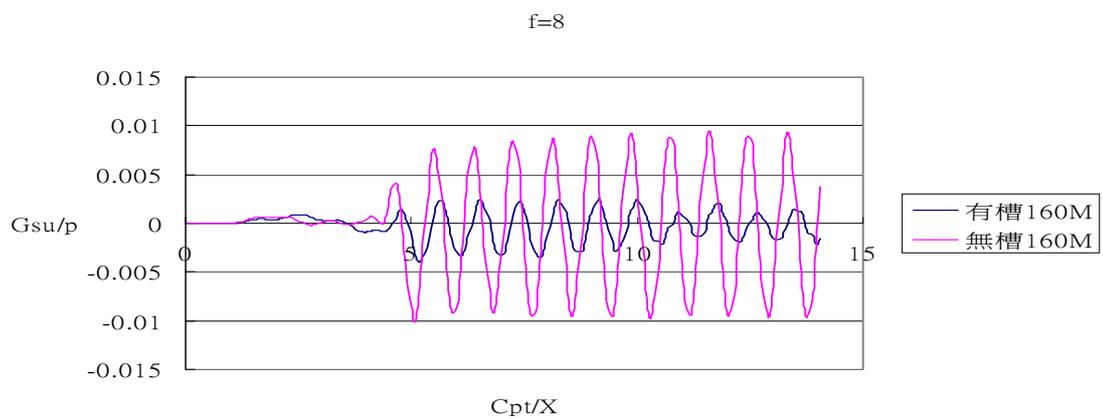


圖 5-182 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

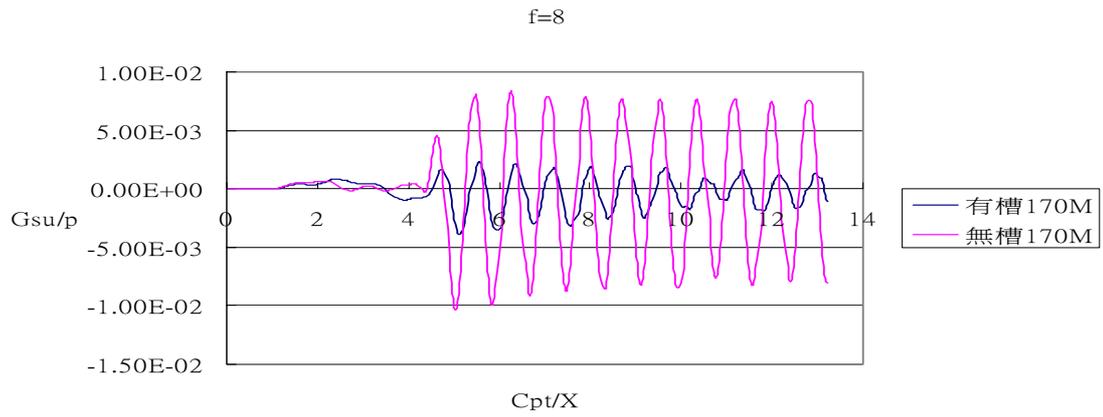


圖 5-183 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

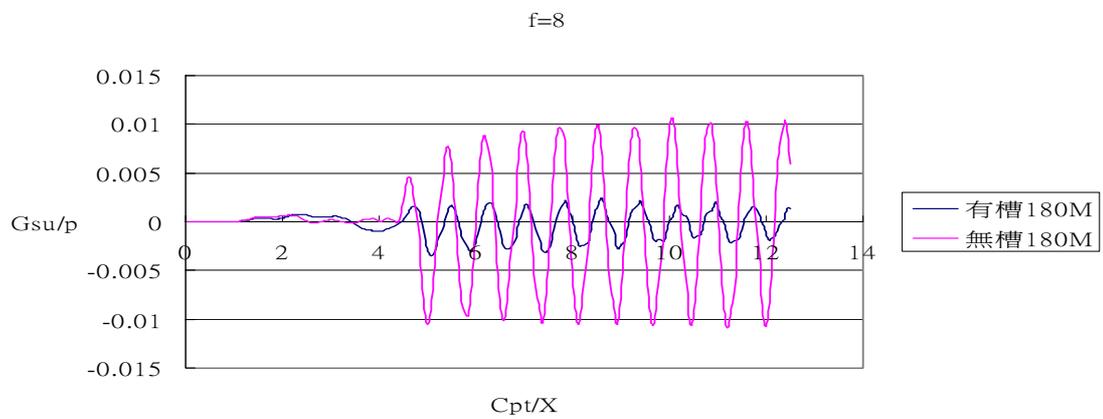


圖 5-184 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

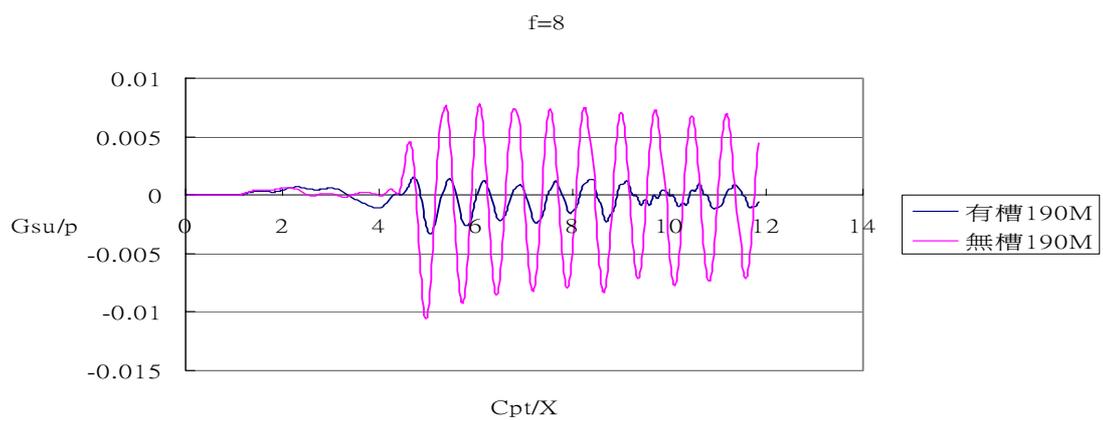


圖 5-185 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

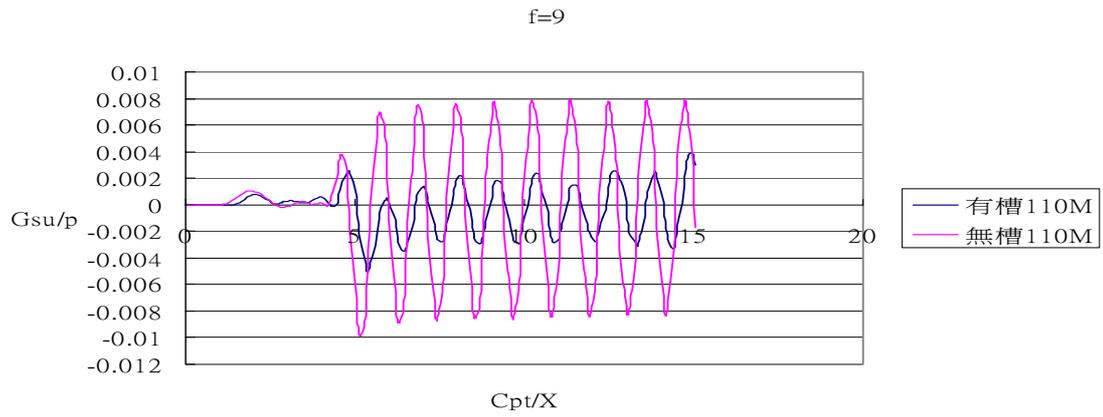


圖 5-186 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

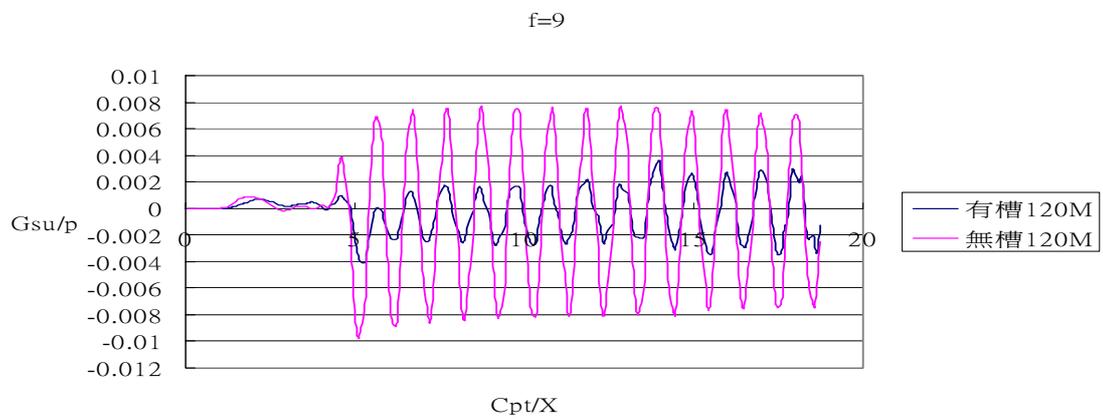


圖 5-187 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

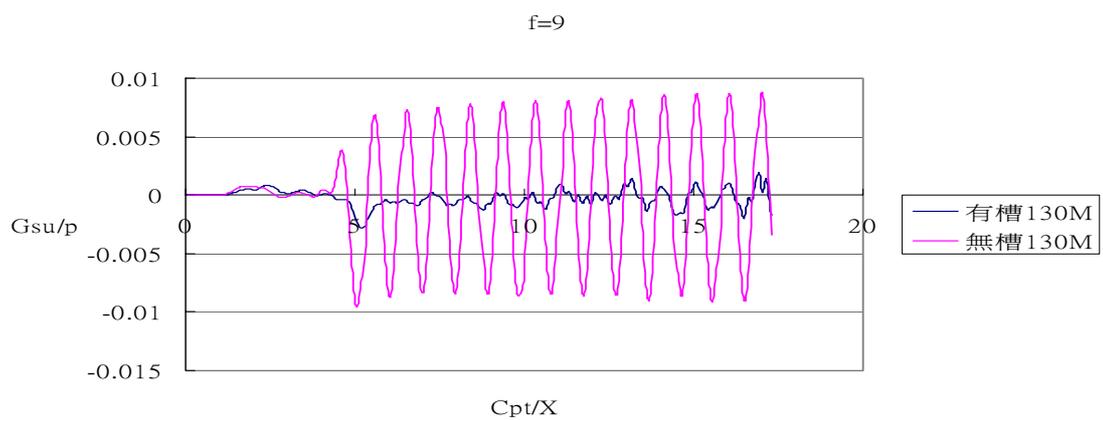


圖 5-188 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

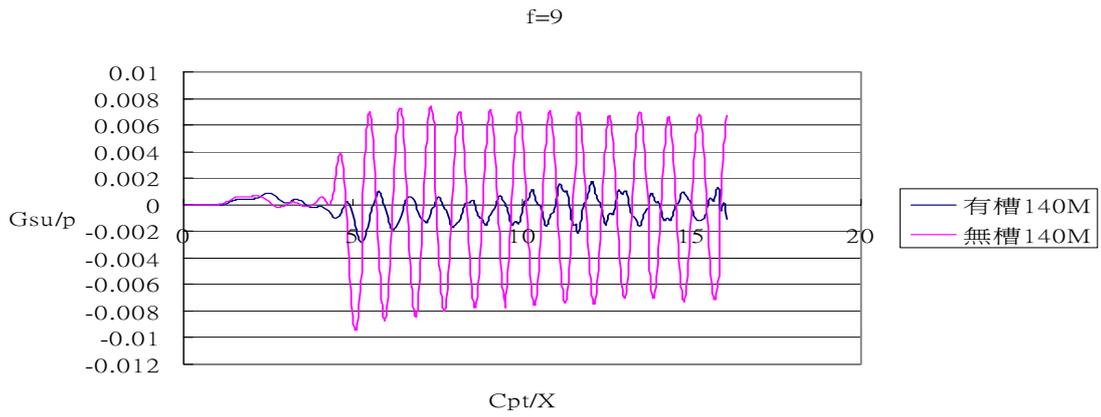


圖 5-189 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

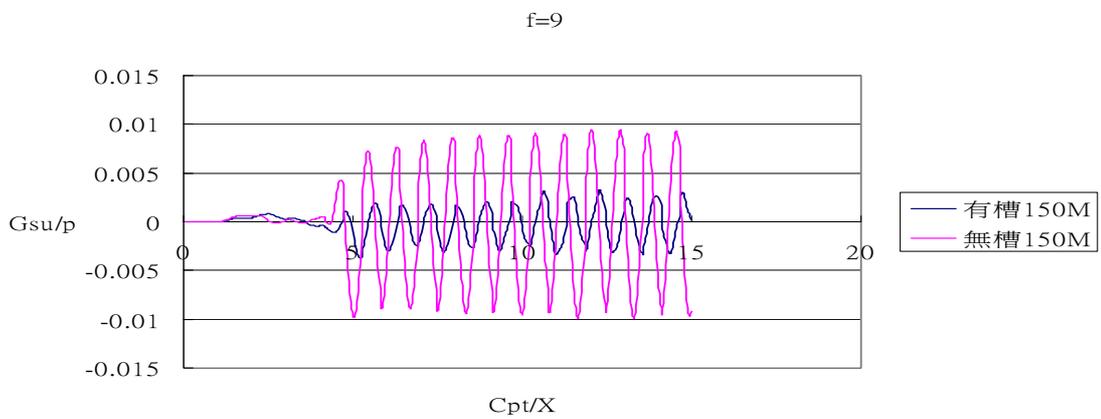


圖 5-190 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

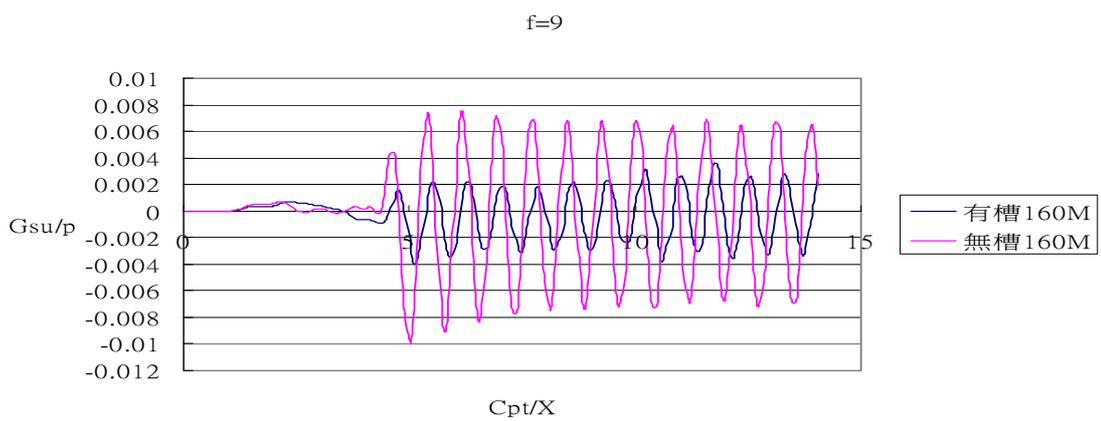


圖 5-191 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

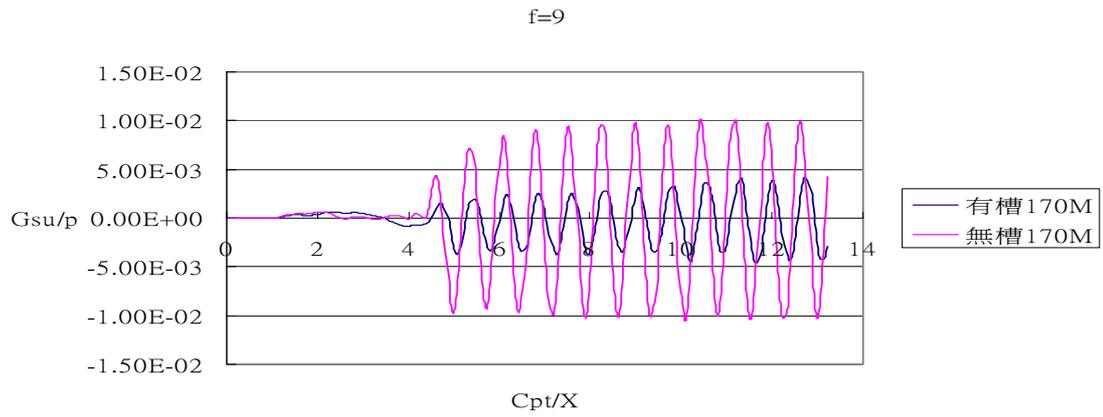


圖 5-192 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

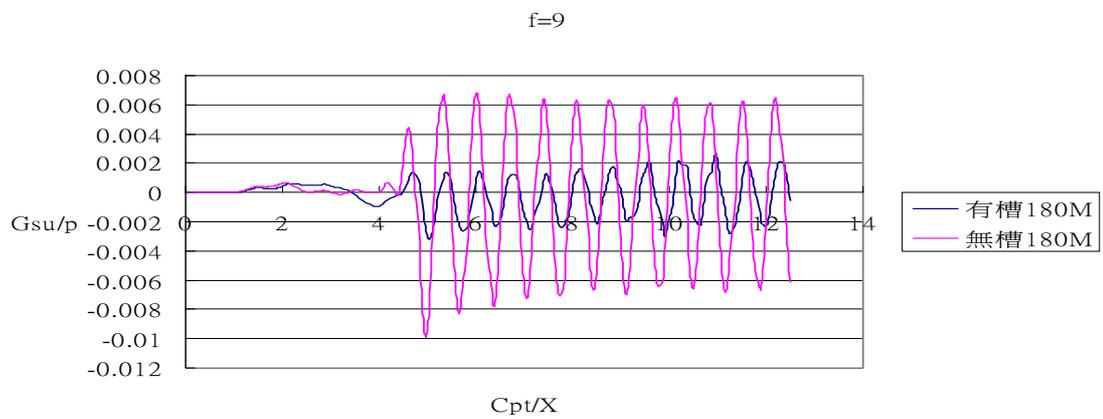


圖 5-193 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

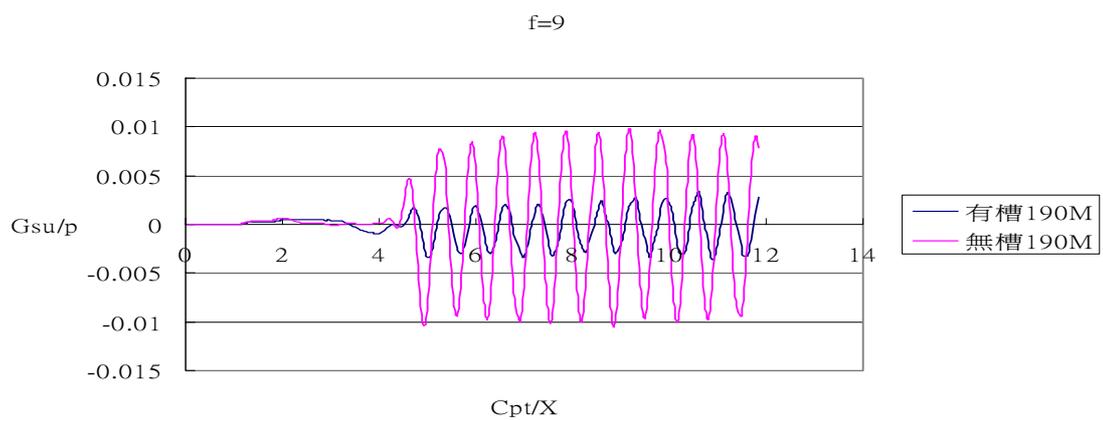


圖 5-194 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

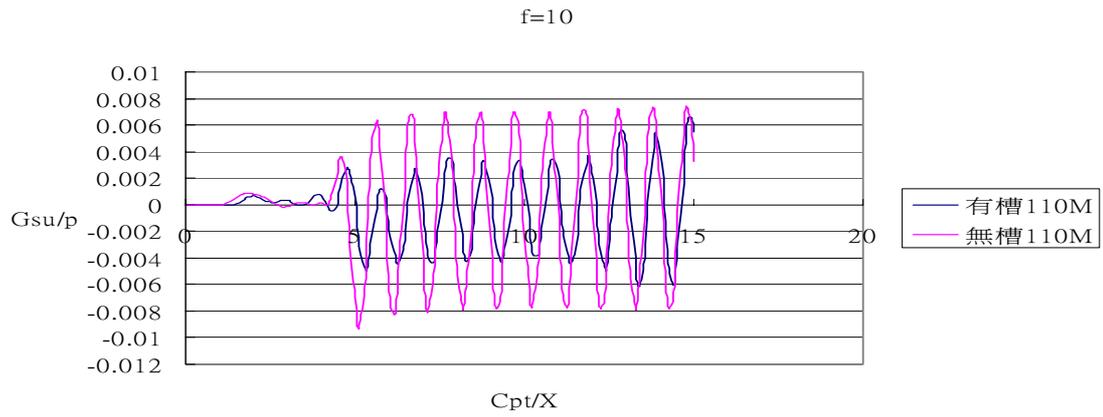


圖 5-195 caseIV 觀察點 110 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

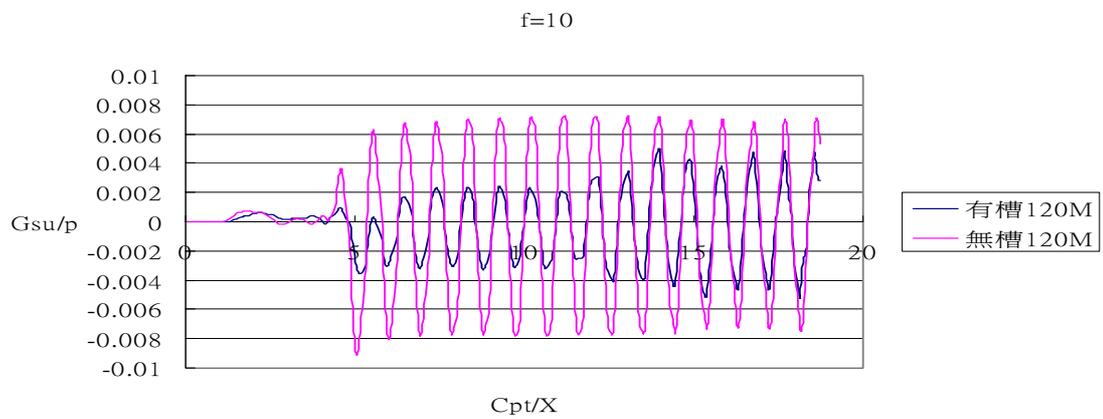


圖 5-196 caseIV 觀察點 120 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

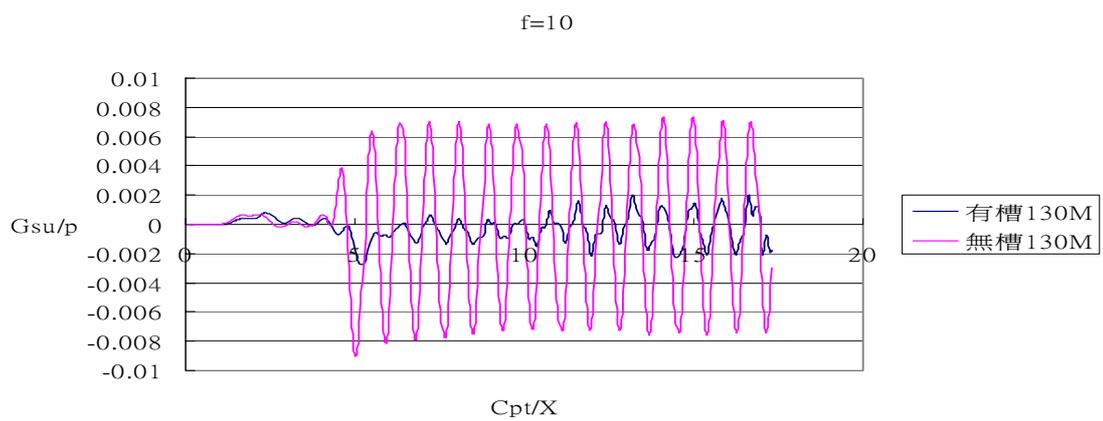


圖 5-197 caseIV 觀察點 130 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

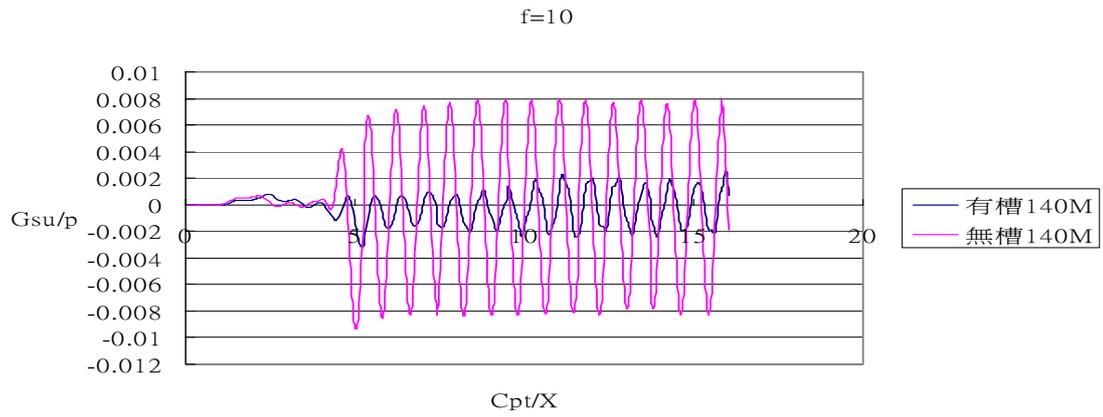


圖 5-198 caseIV 觀察點 140 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

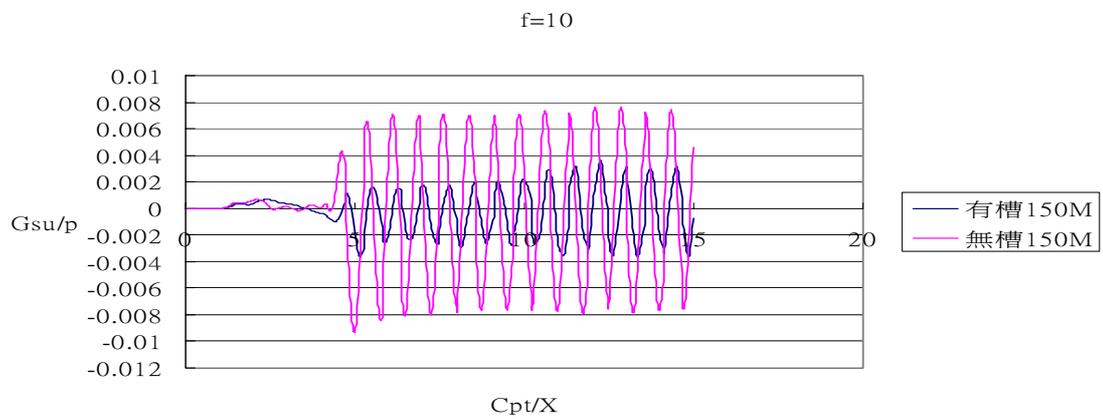


圖 5-199 caseIV 觀察點 150 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

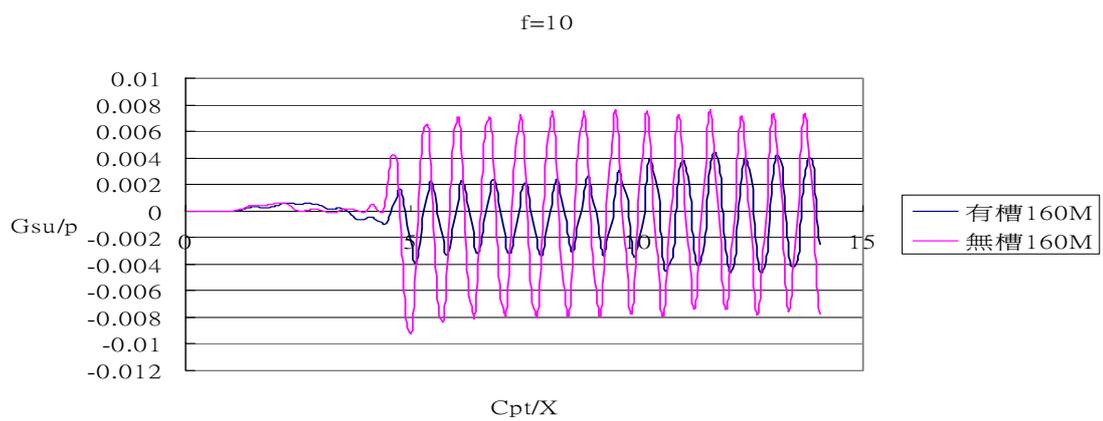


圖 5-200 caseIV 觀察點 160 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

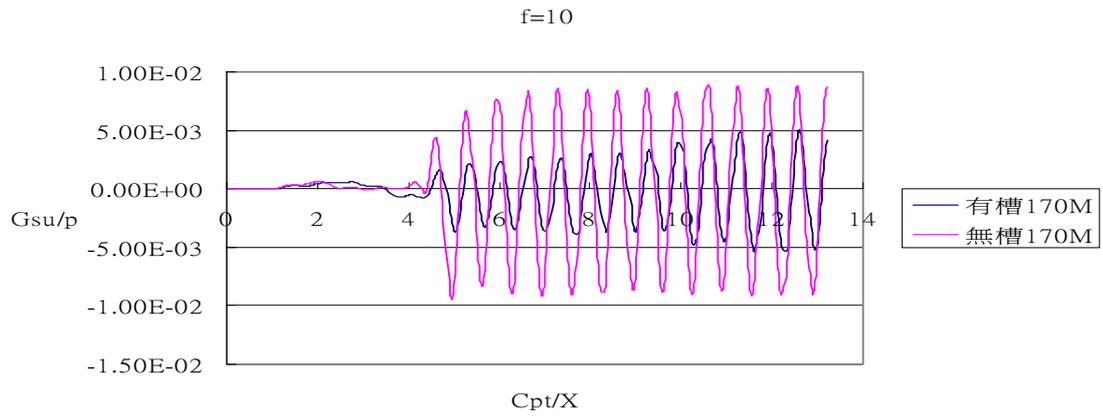


圖 5-201 caseIV 觀察點 170 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

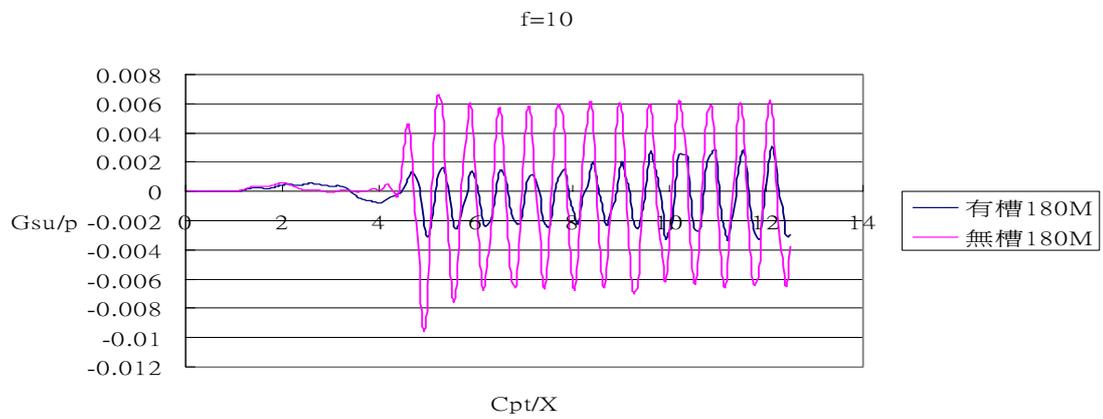


圖 5-202 caseIV 觀察點 180 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

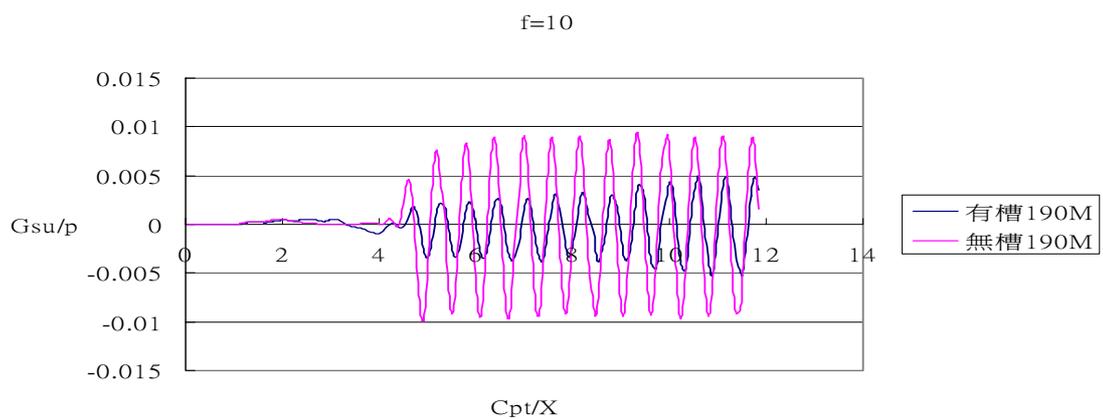


圖 5-203 caseIV 觀察點 190 公尺處有槽、無槽垂直位移比較

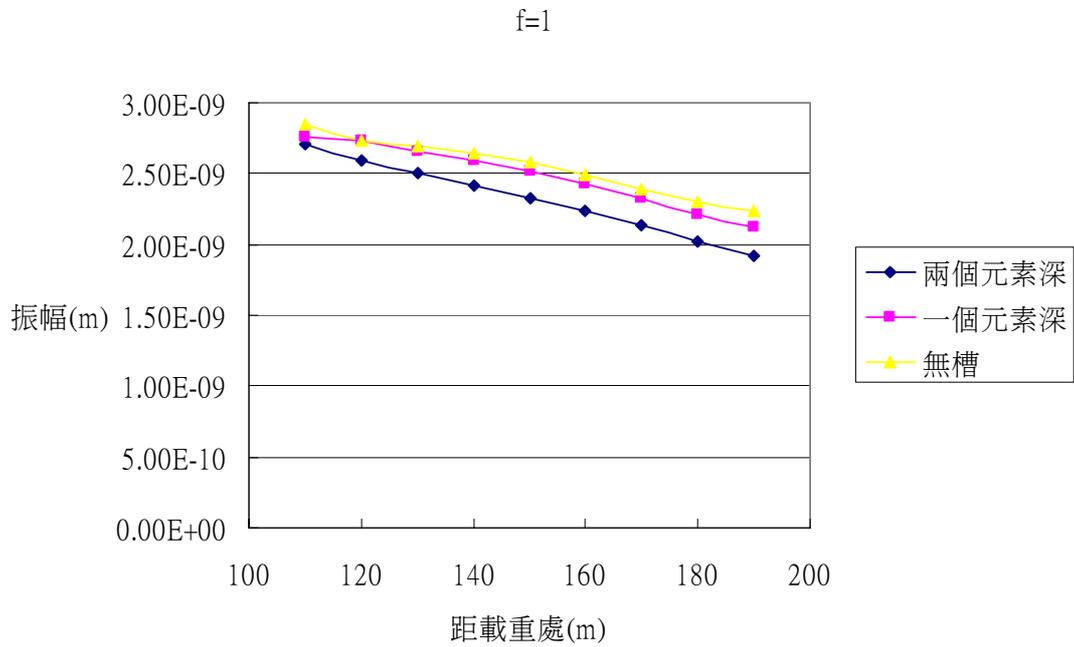


圖 5-204 case III、case IV 各觀察點垂直位移振幅比較

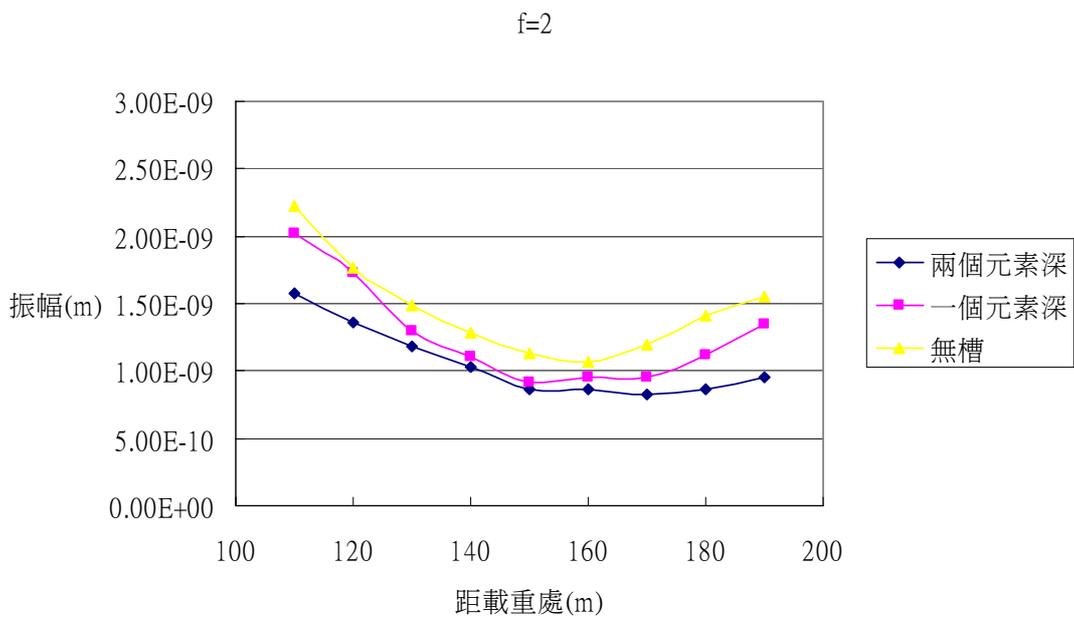


圖 5-205 case III、case IV 各觀察點垂直位移振幅比較

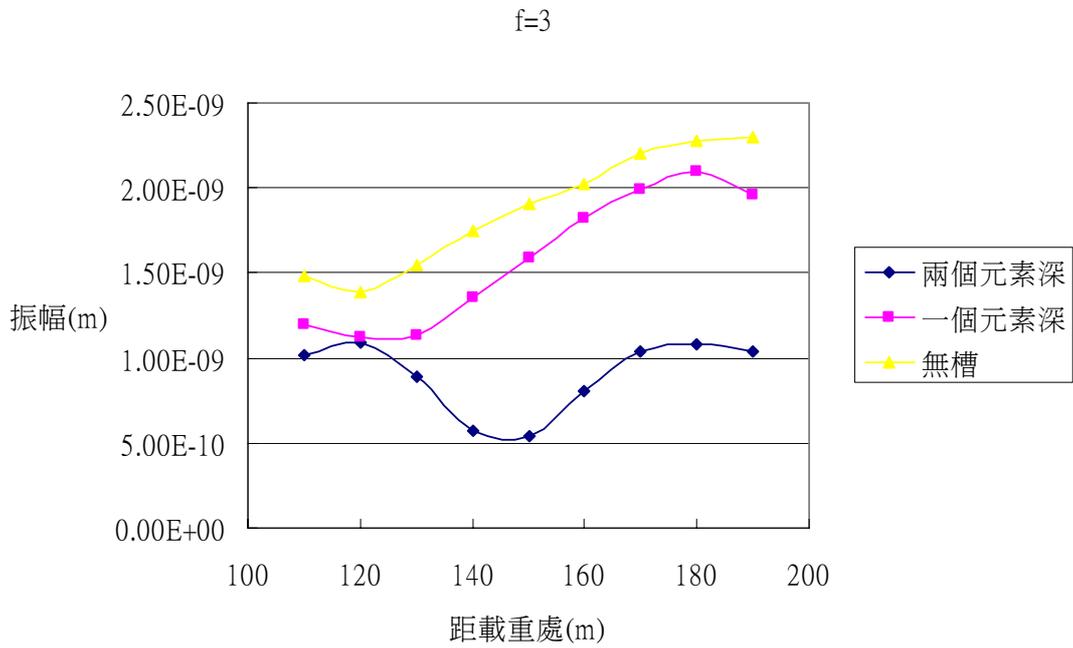


圖 5-206 caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較

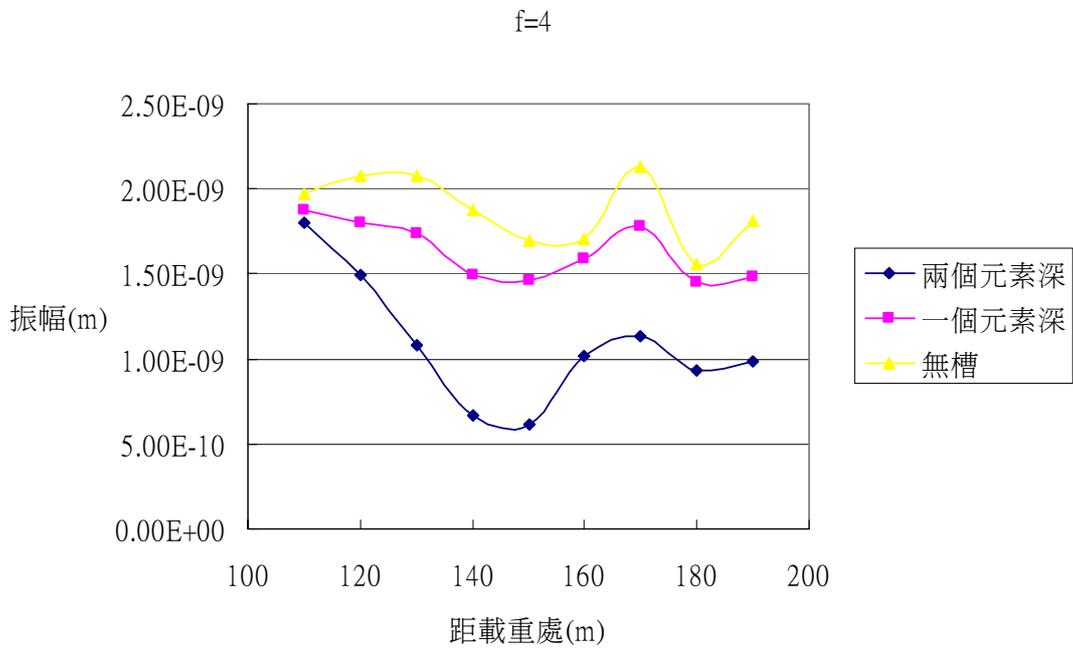


圖 5-207 caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較

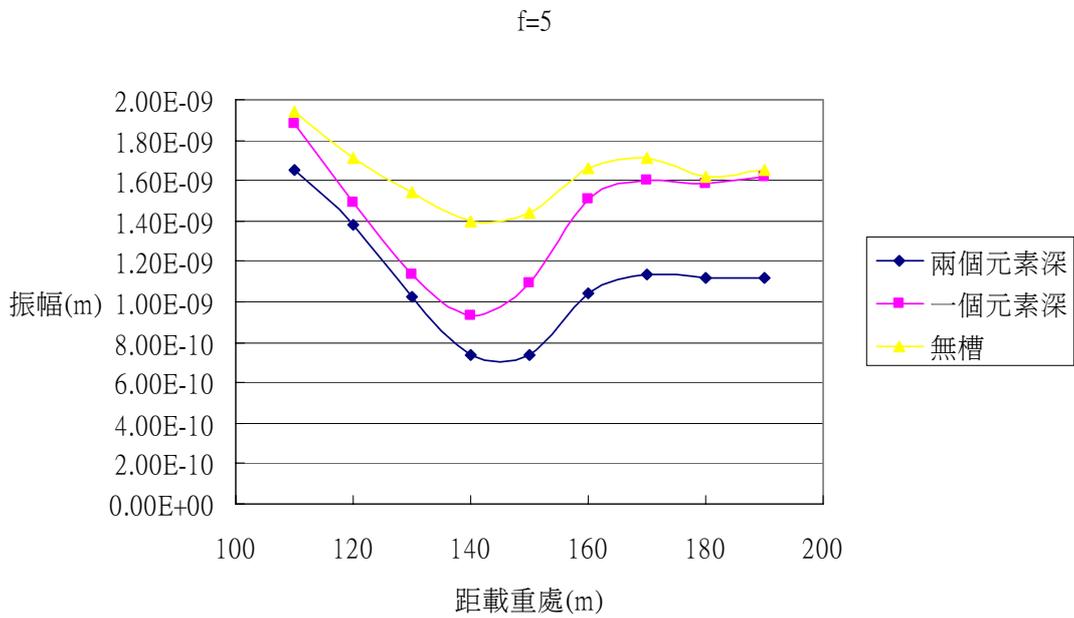


圖 5-208 caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較

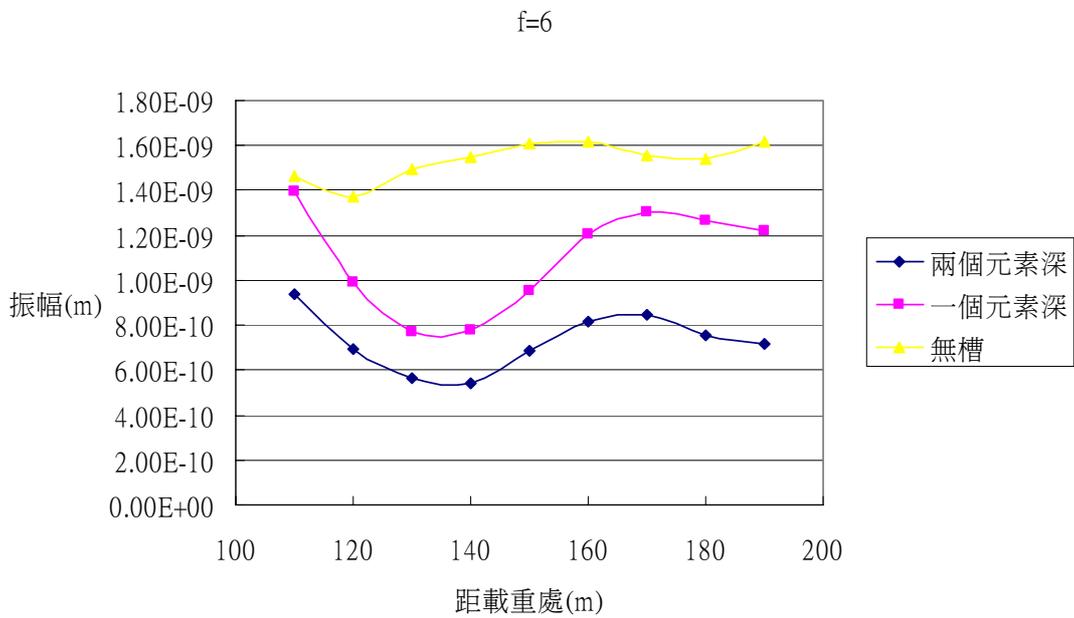


圖 5-209 caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較

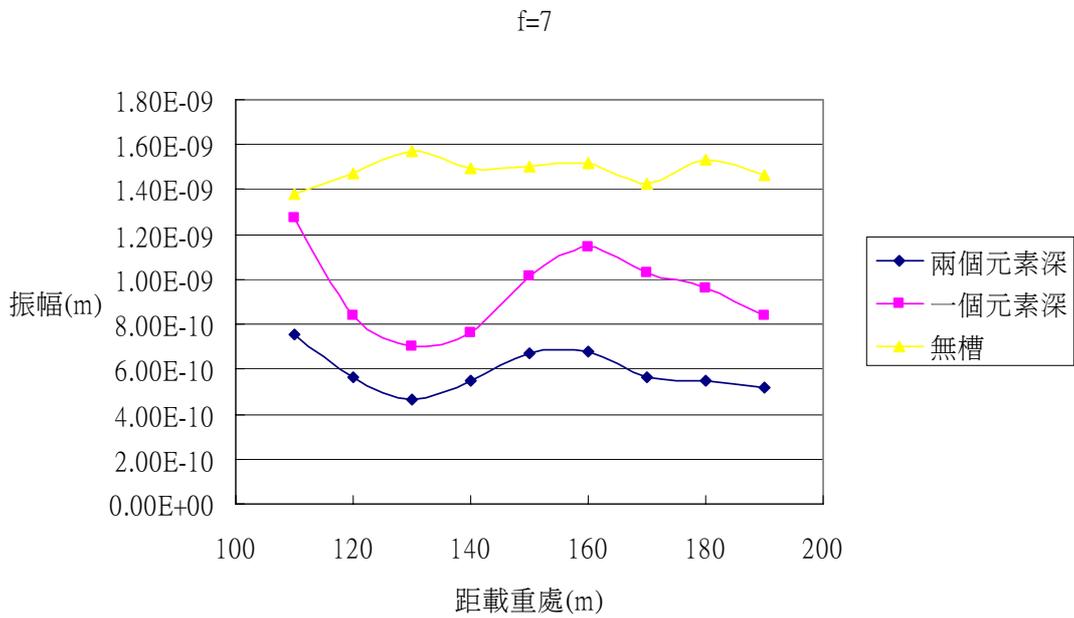


圖 5-210 caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較

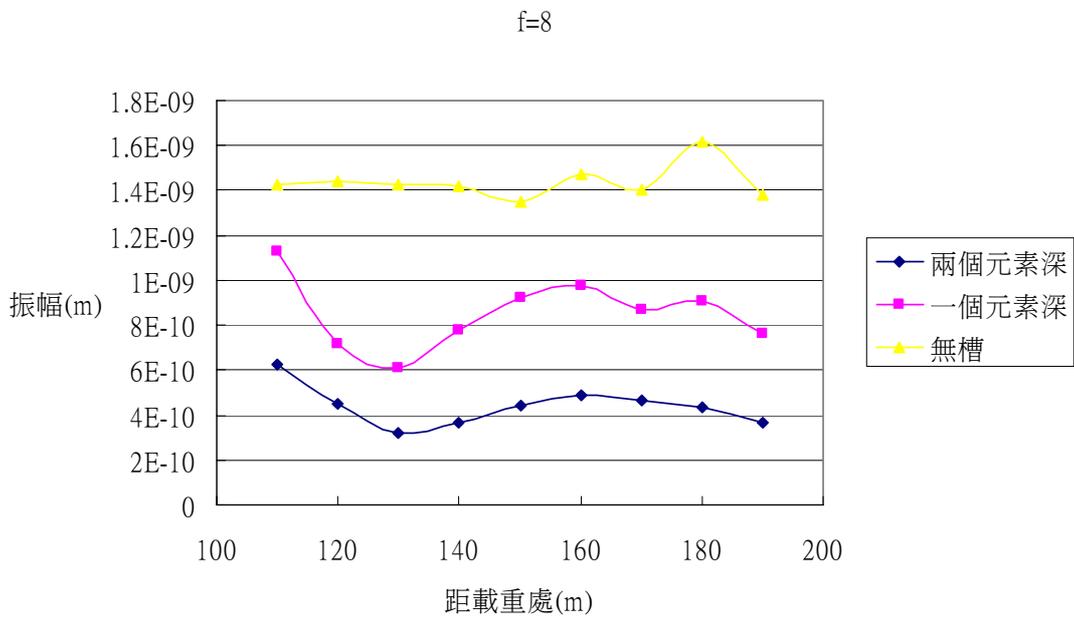


圖 5-211 caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較

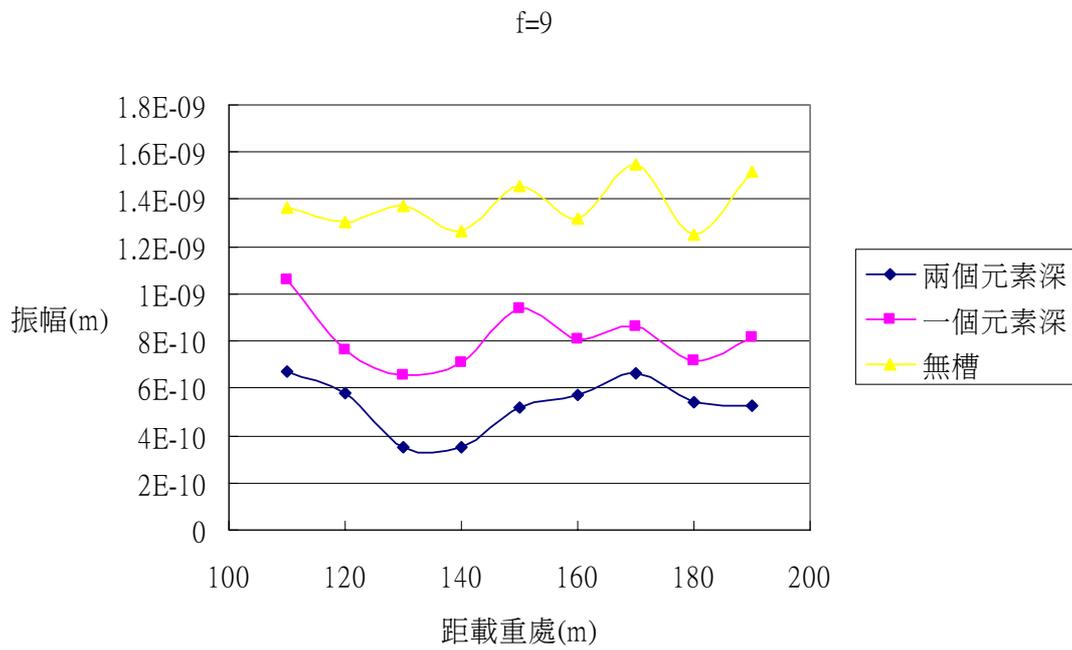


圖 5-212 caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較

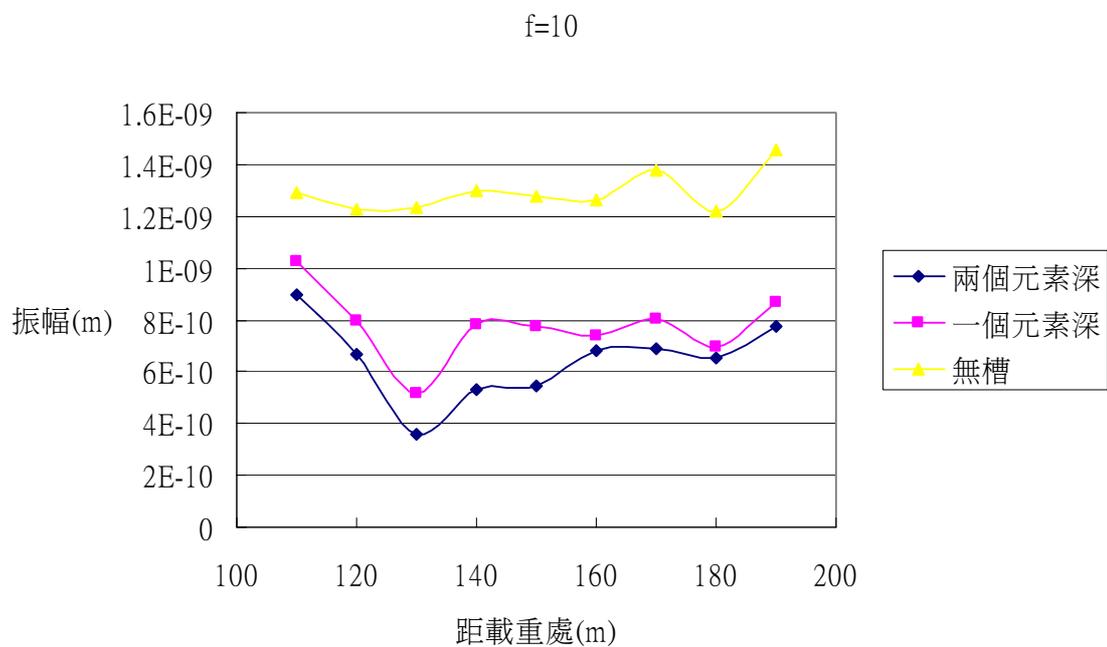


圖 5-213 caseIII、caseIV 各觀察點垂直位移振幅比較

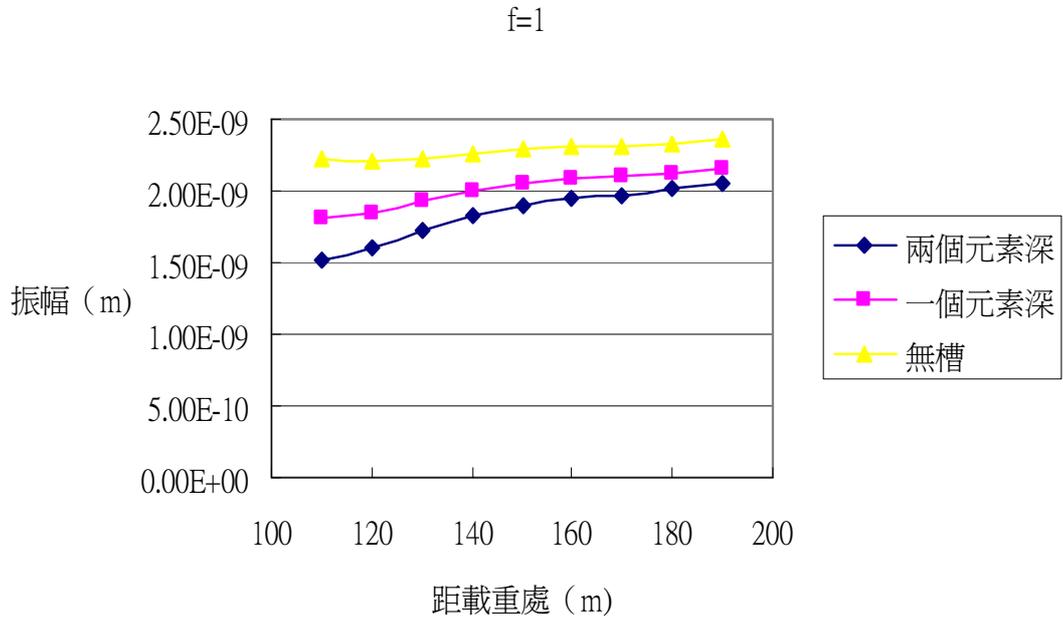


圖 5-214 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

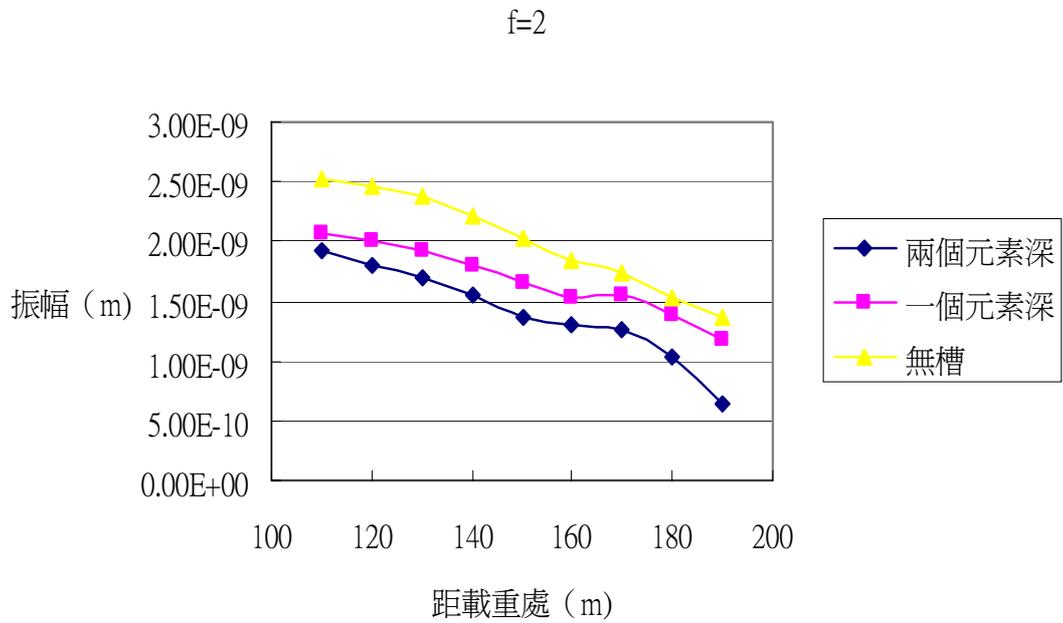


圖 5-215 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

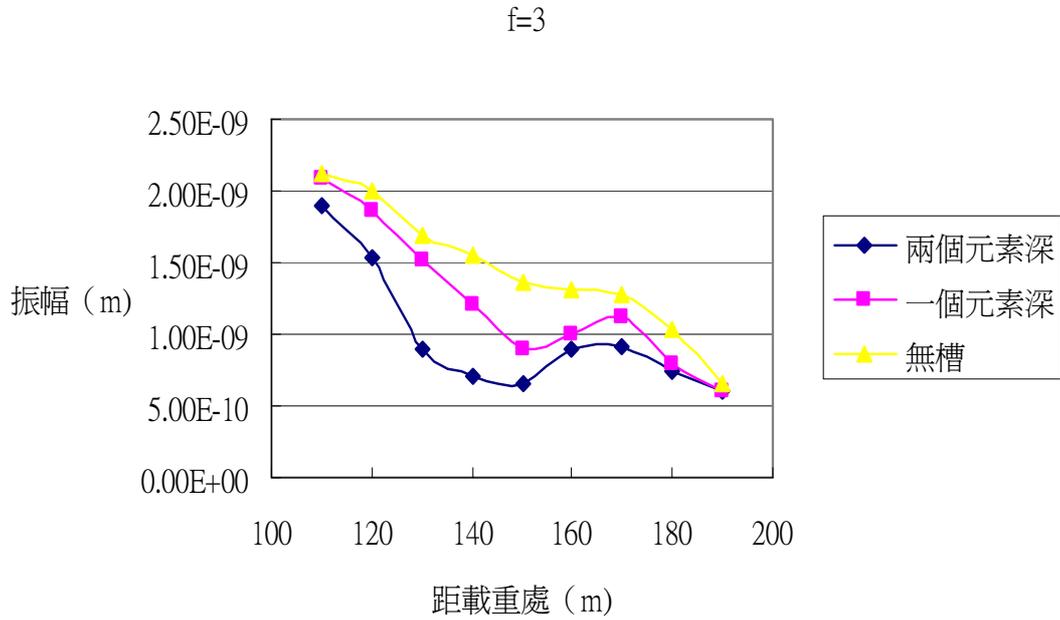


圖 5-216 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

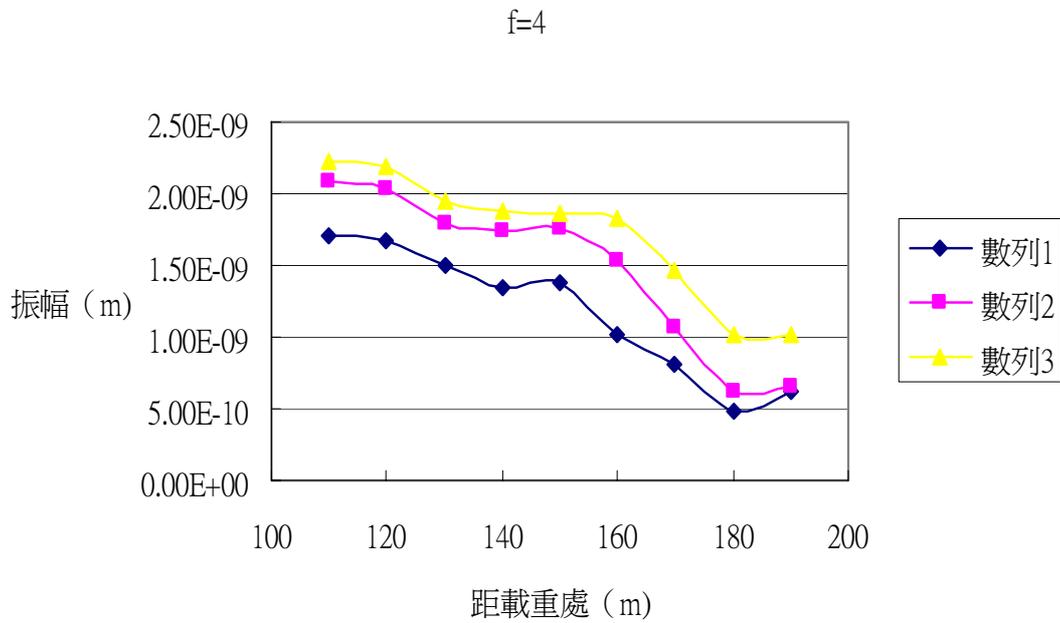


圖 5-217 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

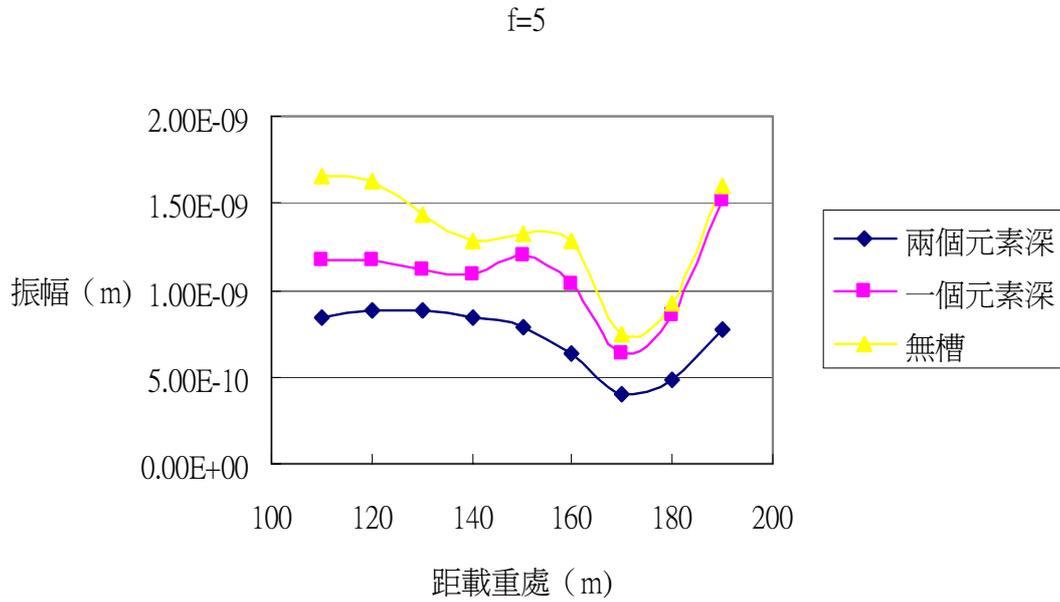


圖 5-218 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

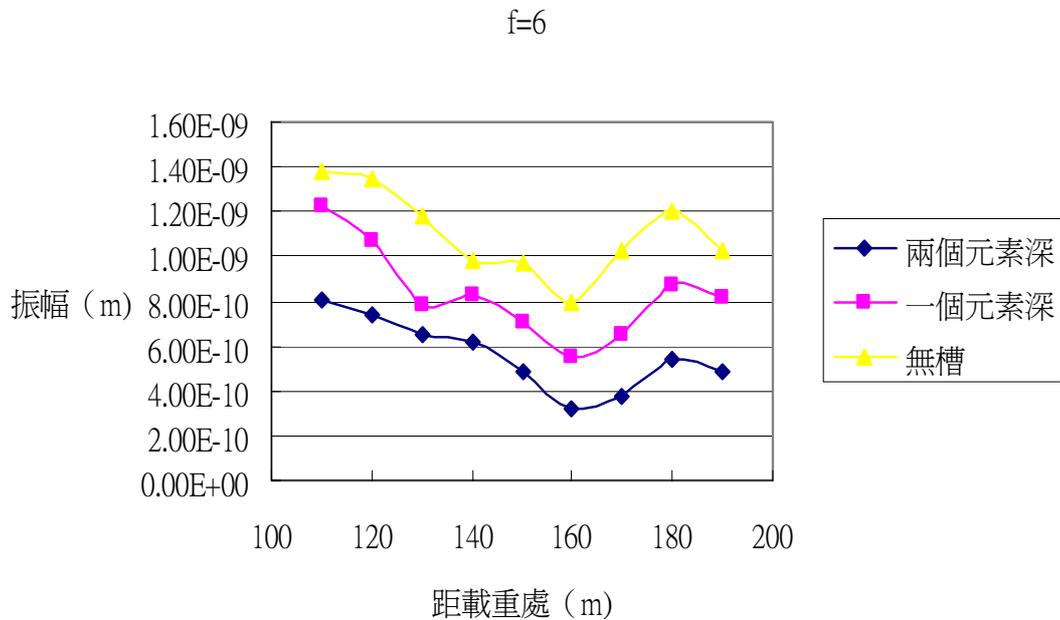


圖 5-219 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

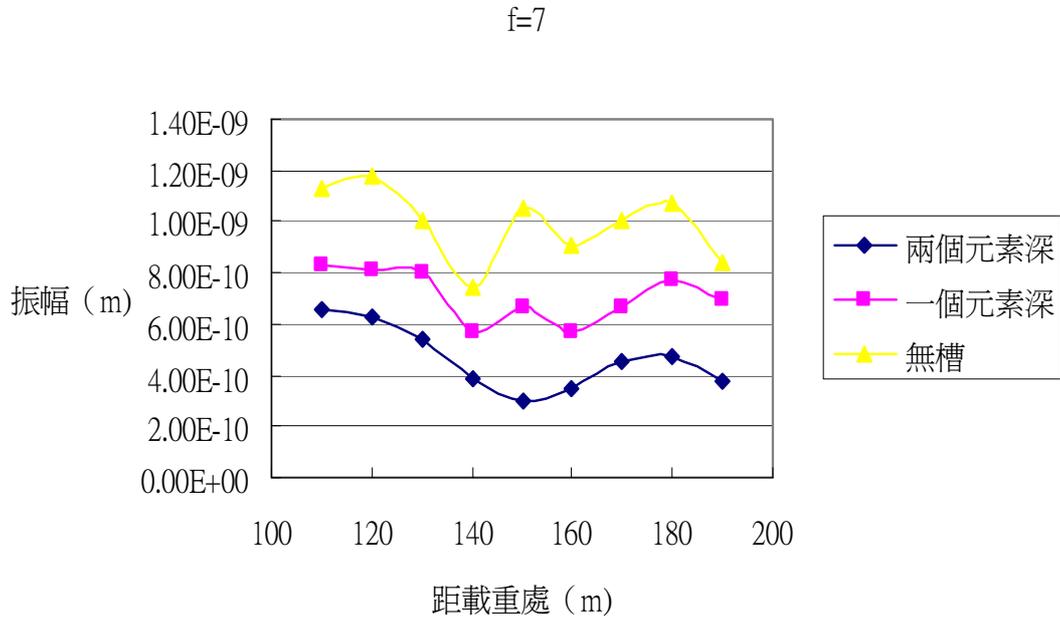


圖 5-220 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

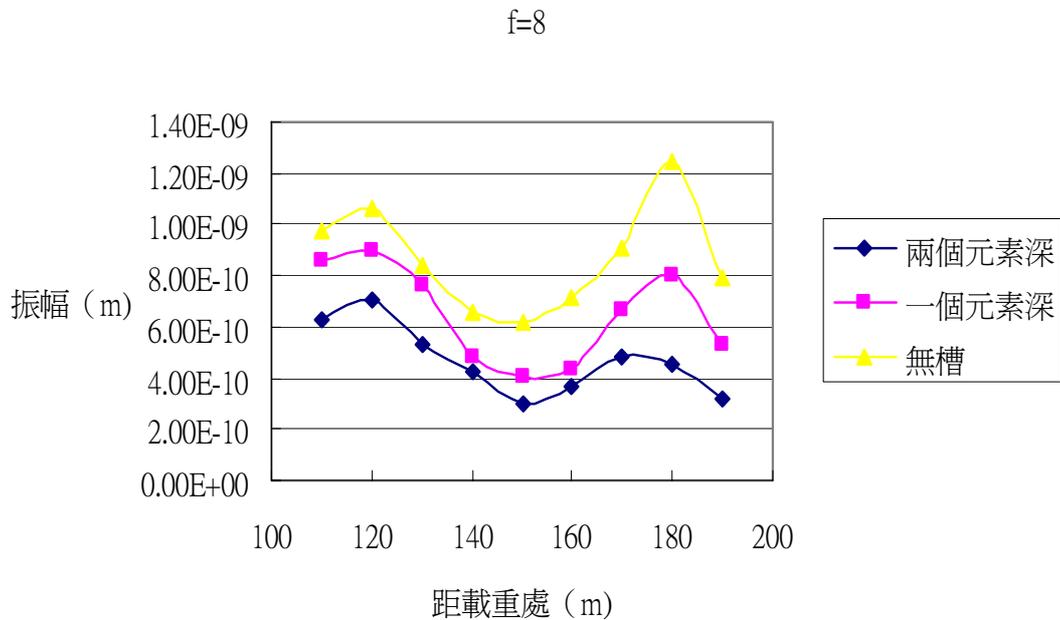


圖 5-221 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

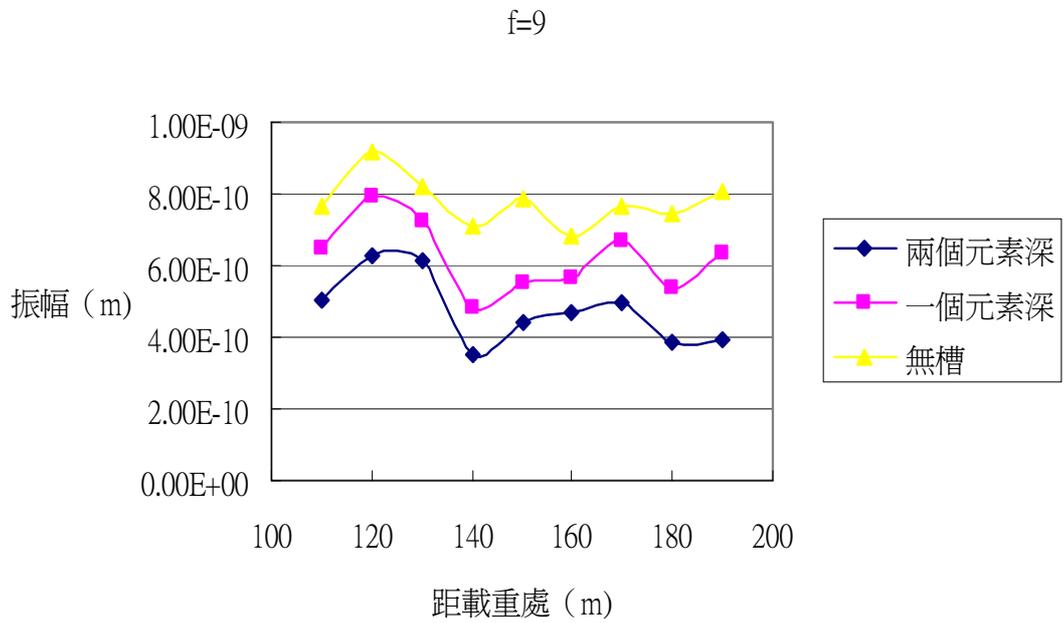


圖 5-222 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

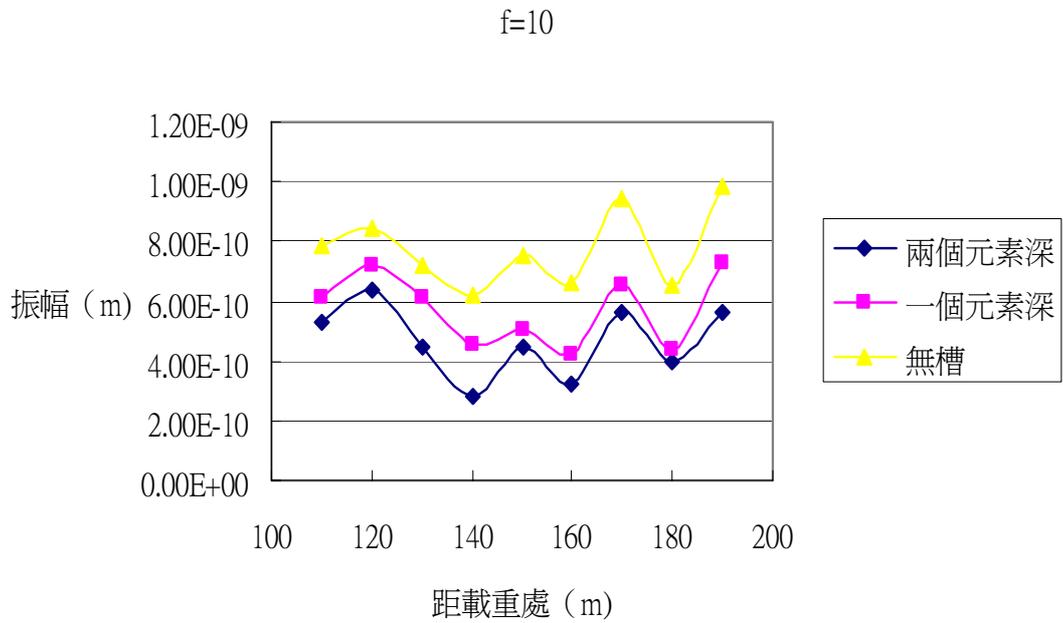


圖 5-223 caseIII、caseIV 各觀察點水平位移振幅比較

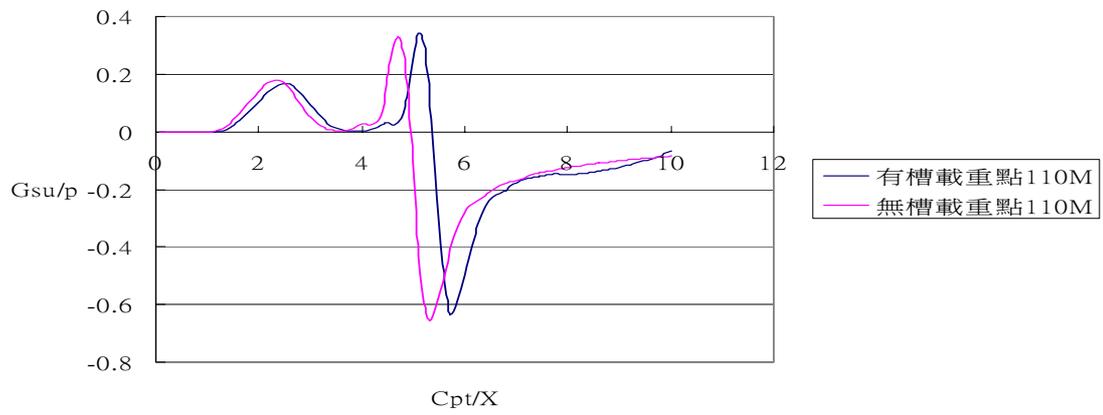


圖 5-224 case V 載重點 110 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

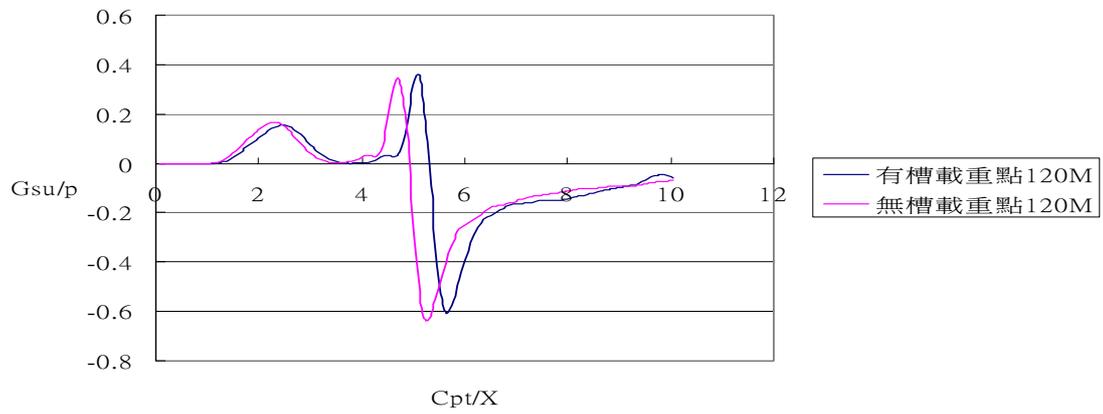


圖 5-225 case V 載重點 120 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

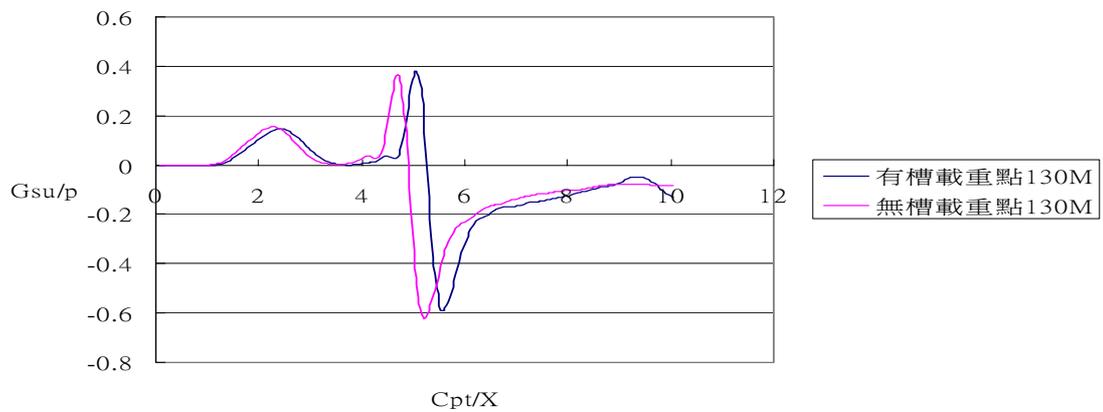


圖 5-226 case V 載重點 130 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

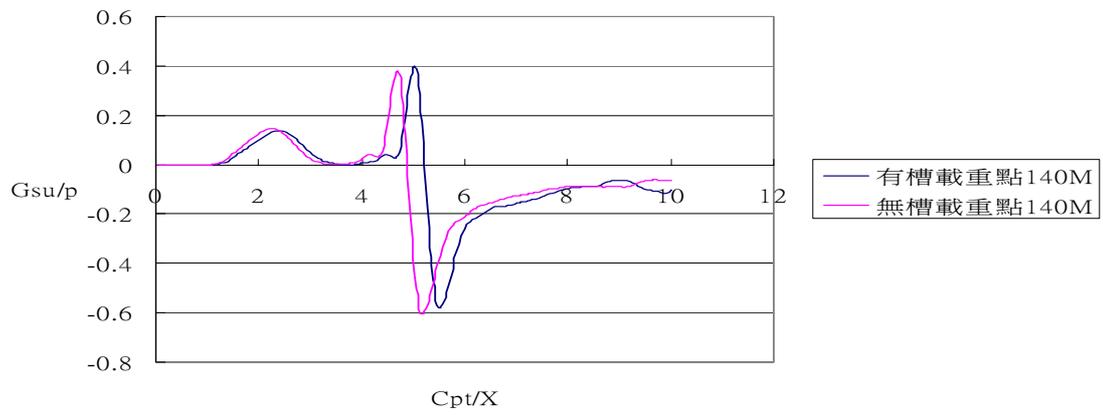


圖 5-227 case V 載重點 140 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

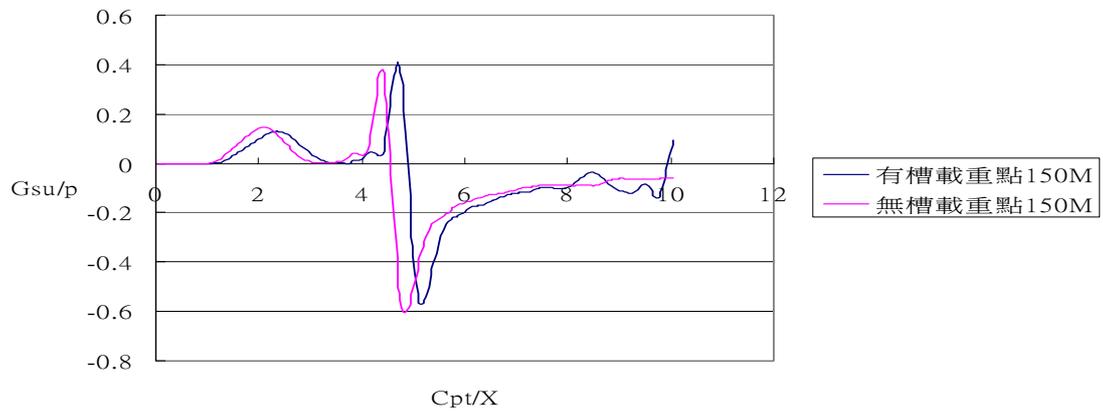


圖 5-228 case V 載重點 150 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

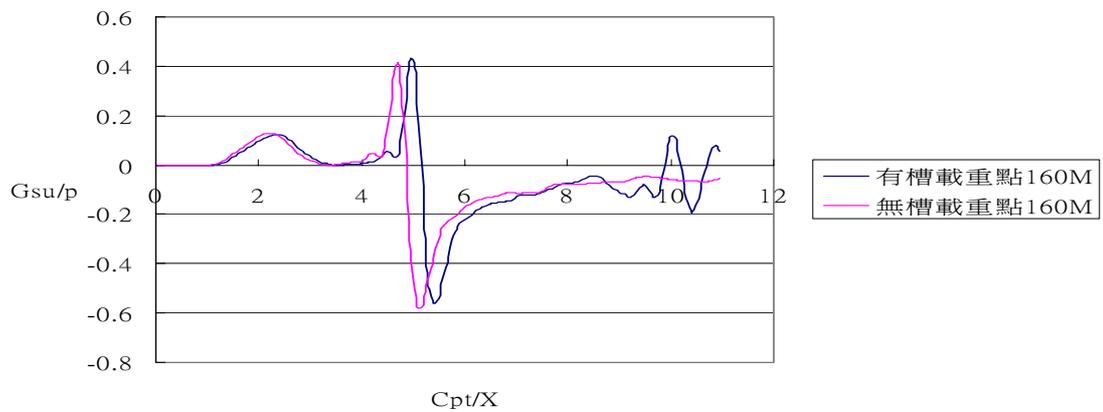


圖 5-229 case V 載重點 160 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

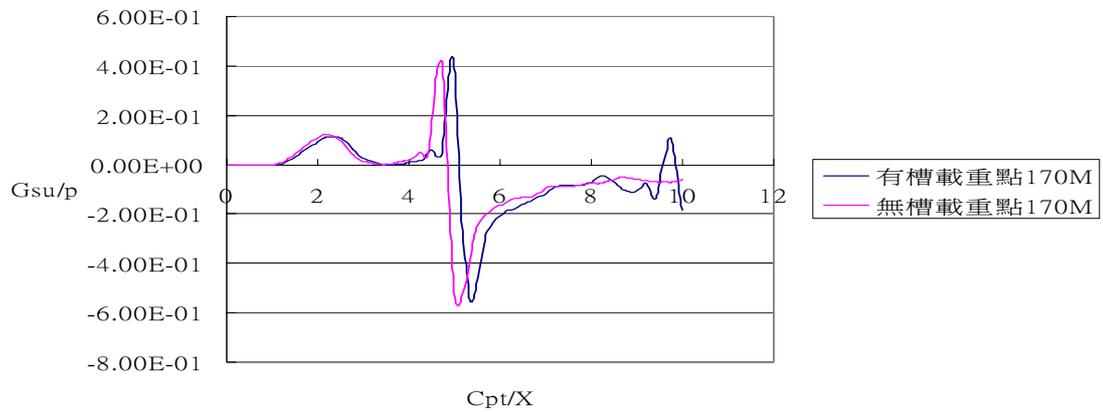


圖 5-230 case V 載重點 170 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

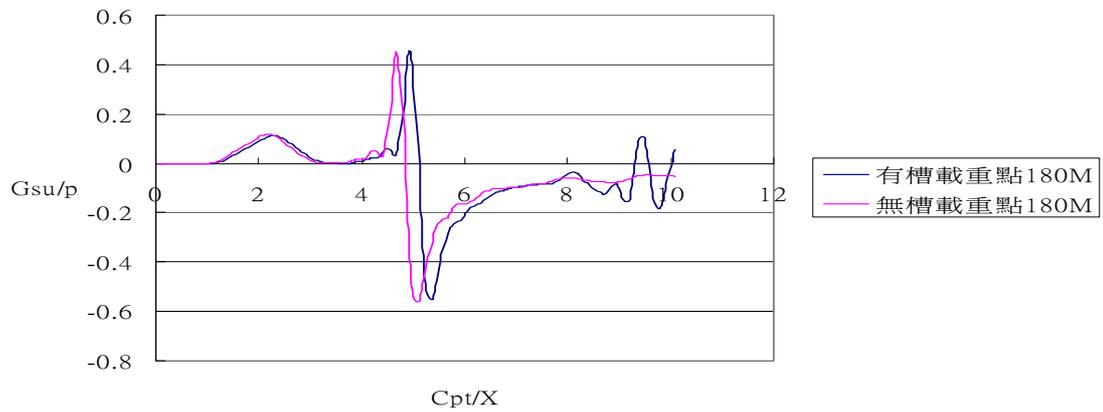


圖 5-231 case V 載重點 180 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

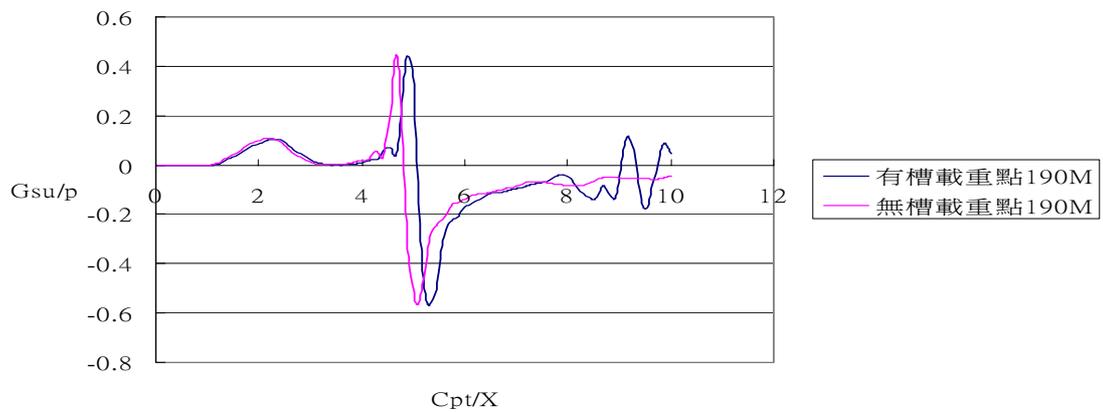


圖 5-232 case V 載重點 190 公尺兩槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

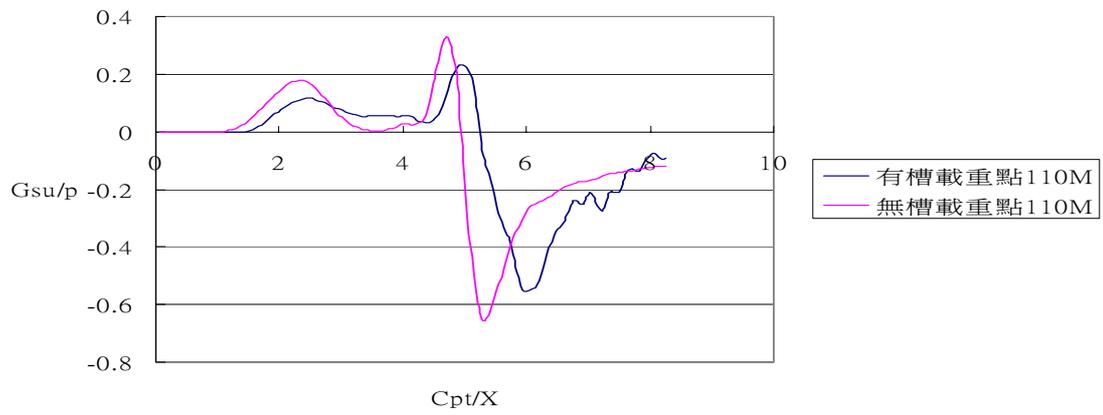


圖 5-233 caseVI載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較



圖 5-234 caseVI載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

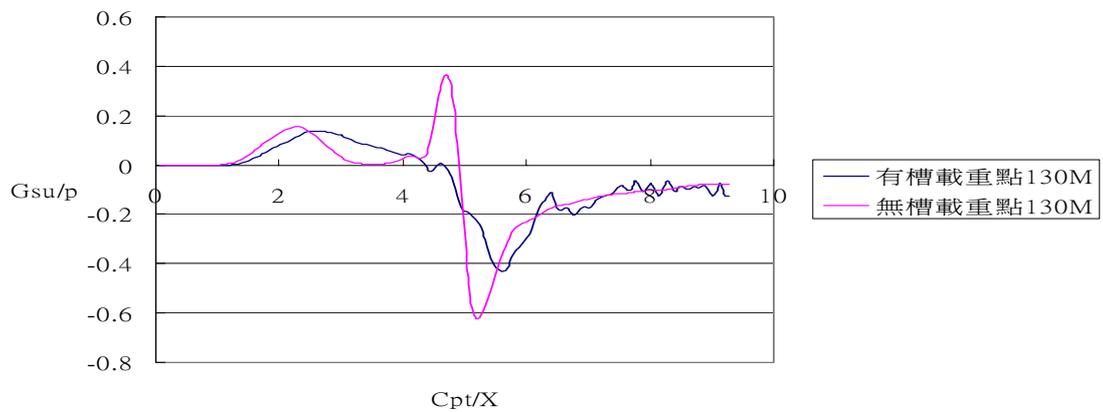


圖 5-235 caseVI載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

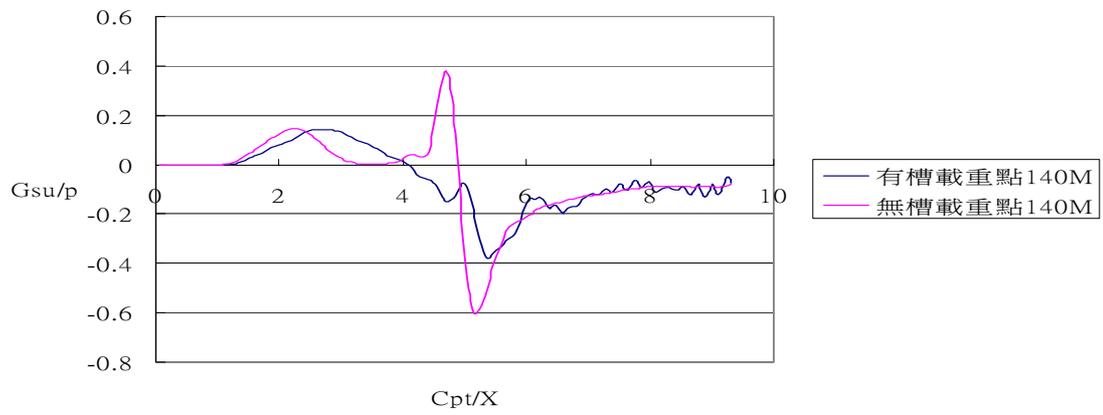


圖 5-236 caseVI載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

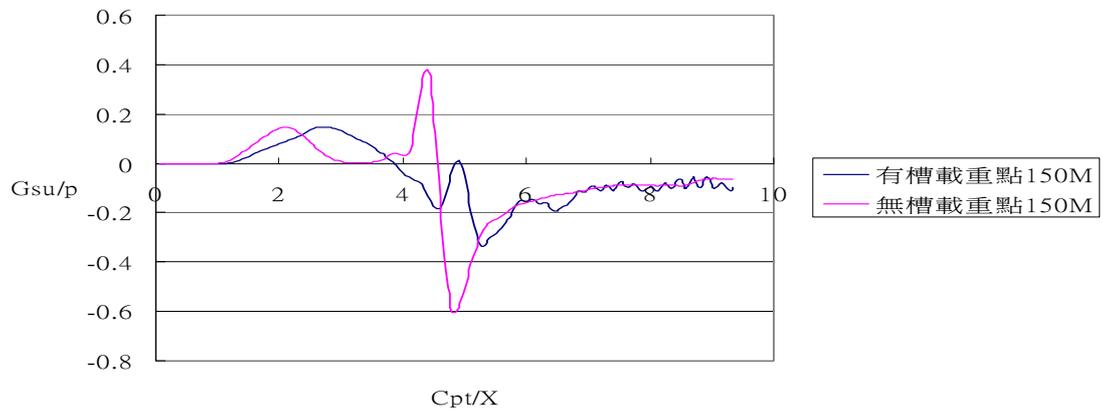


圖 5-237 caseVI載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

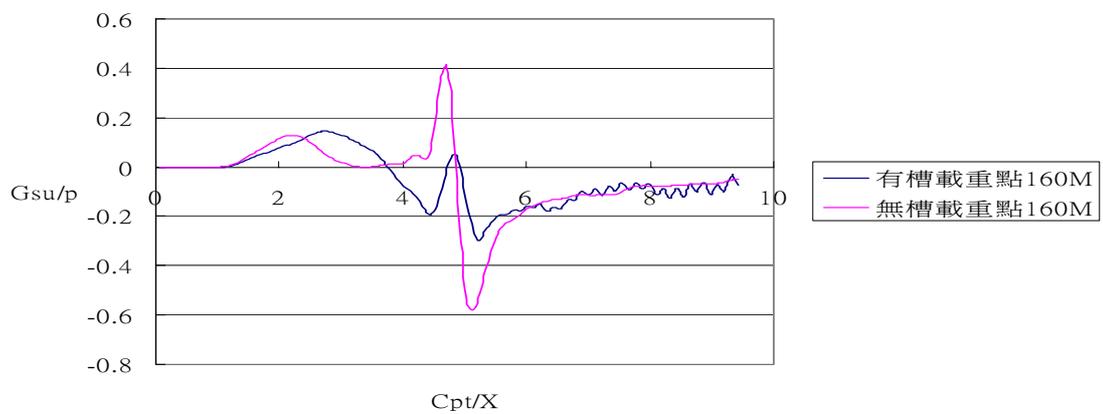


圖 5-238 caseVI載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

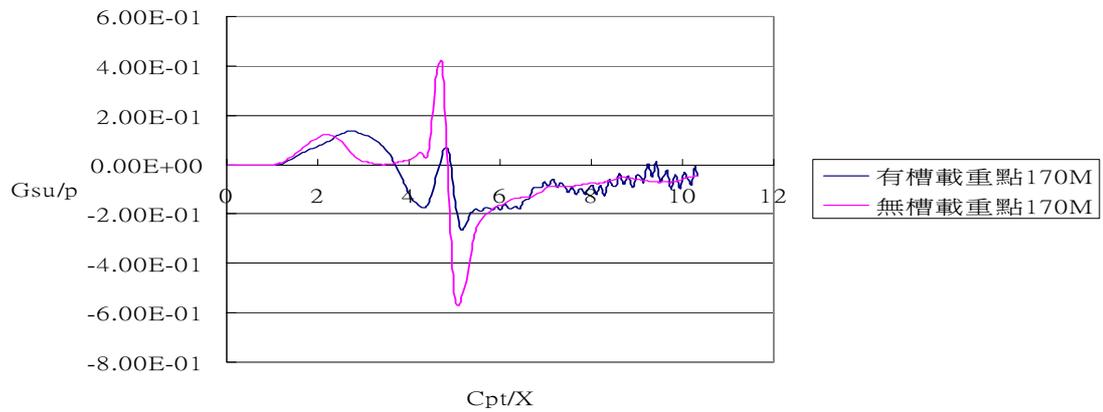


圖 5-239 caseVI載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

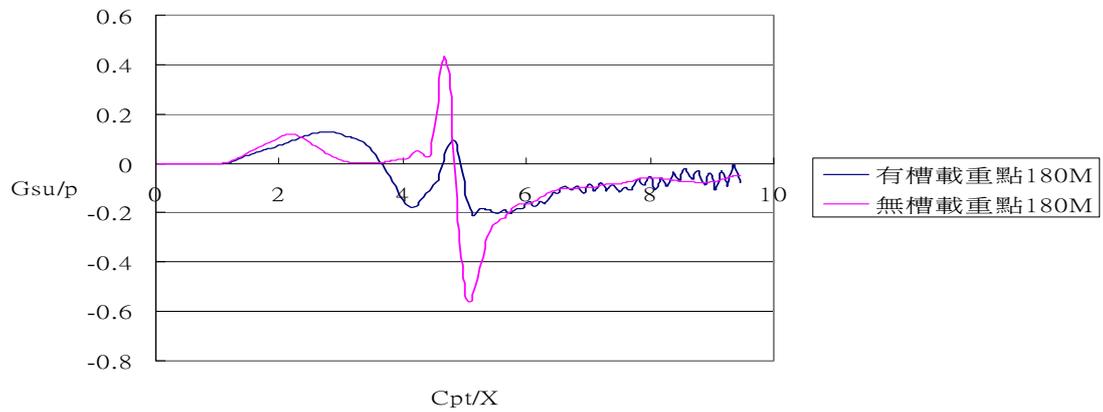


圖 5-240 caseVI載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

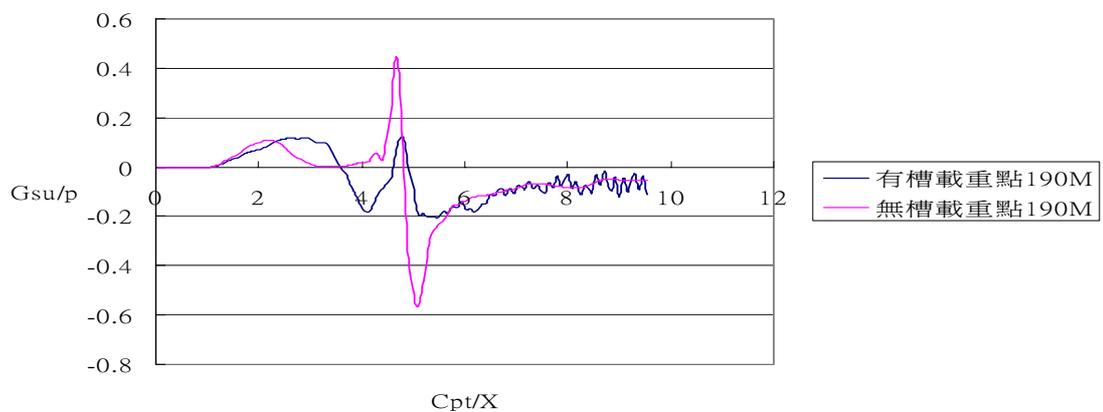


圖 5-241 caseVI載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

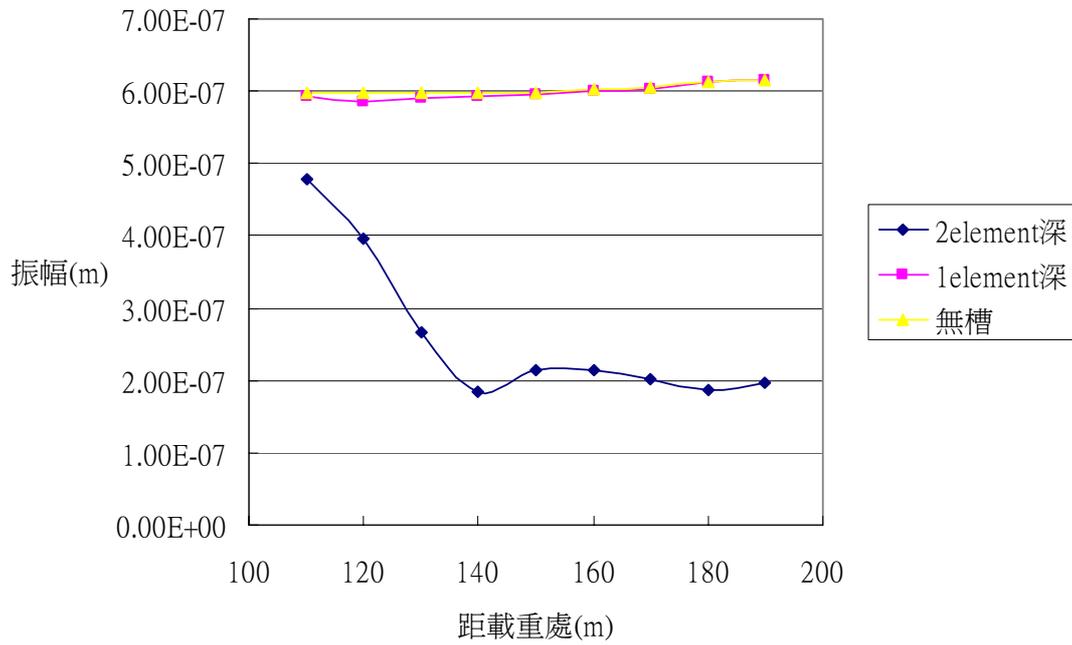


圖 5-242 case V、case VI各槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

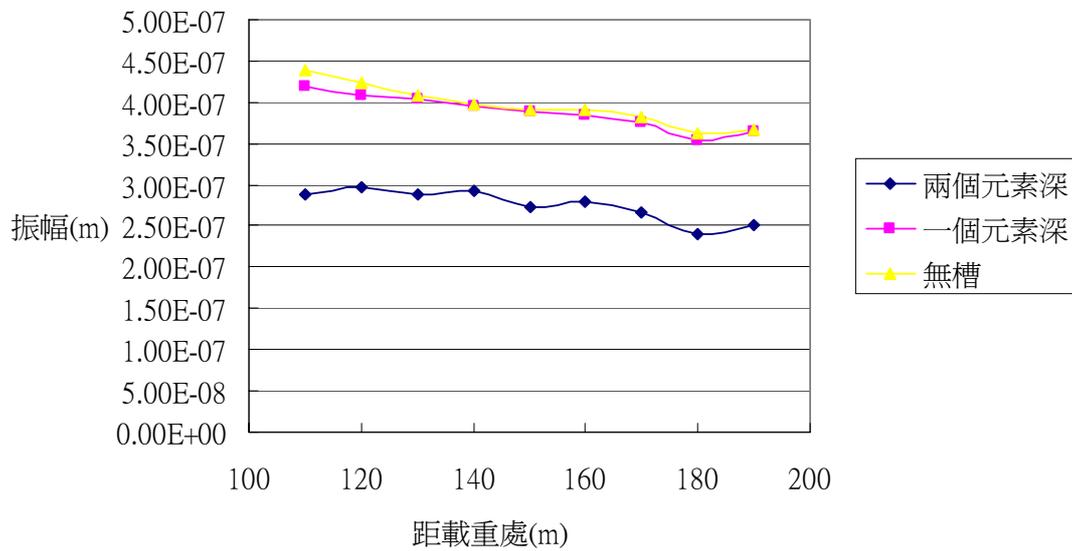


圖 5-243 case V、case VI各槽溝中點有槽、無槽水平位移比較

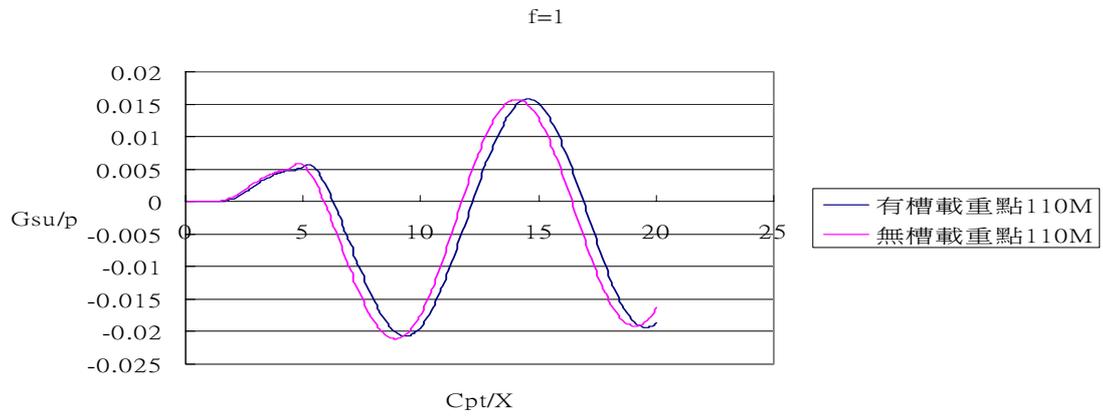


圖 5-244 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

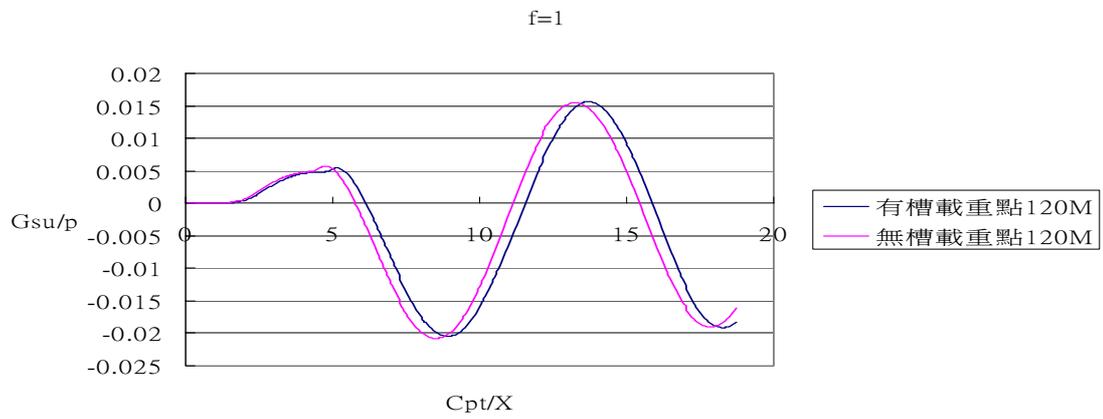


圖 5-245 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

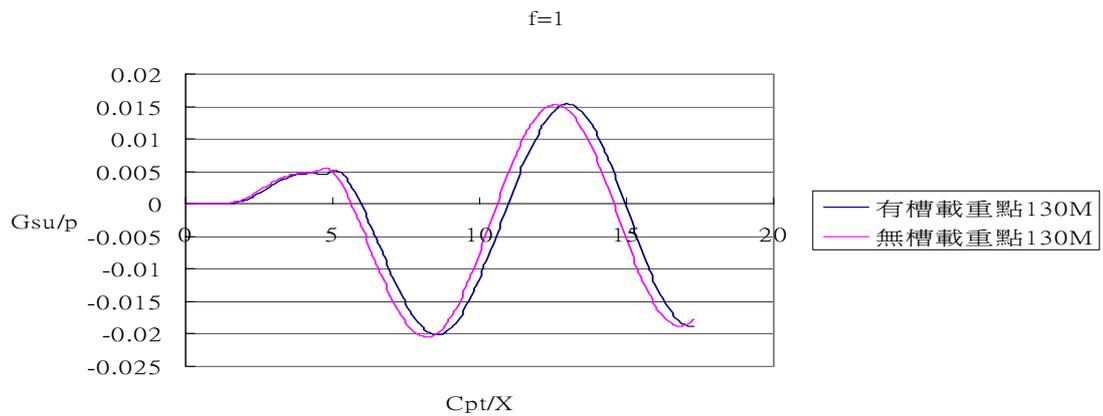


圖 5-246 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

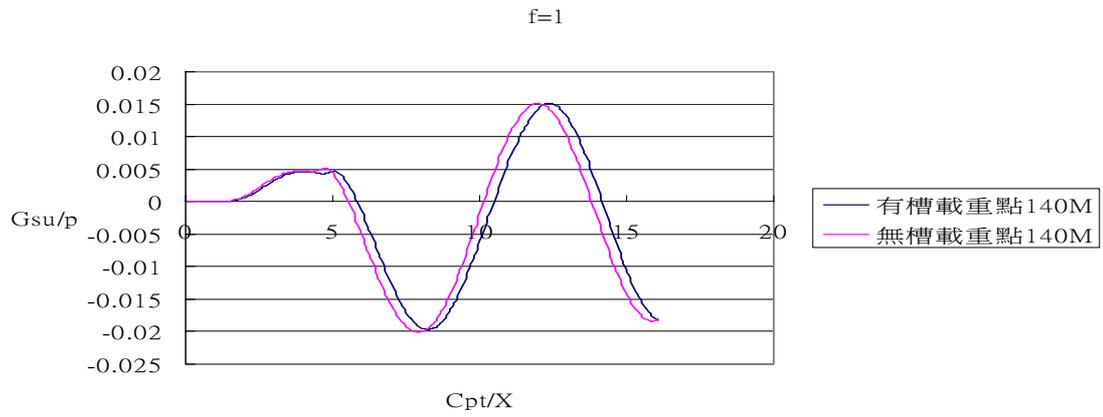


圖 5-247 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

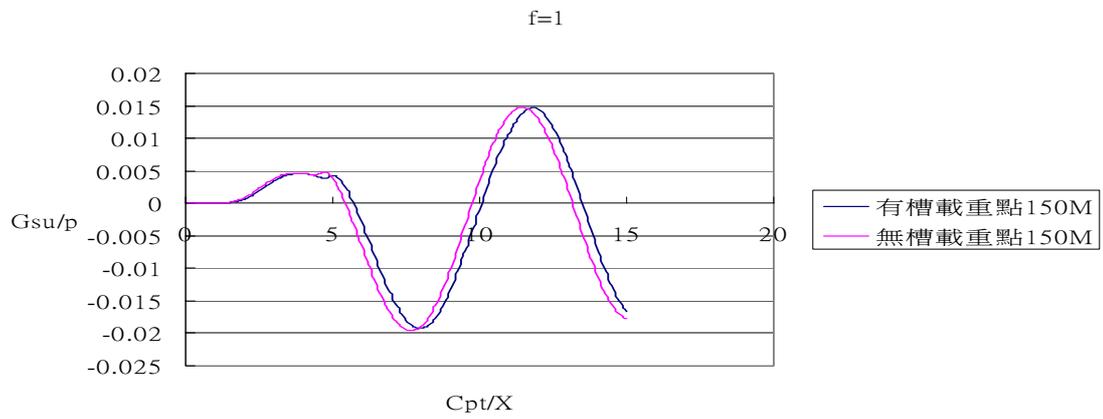


圖 5-248 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

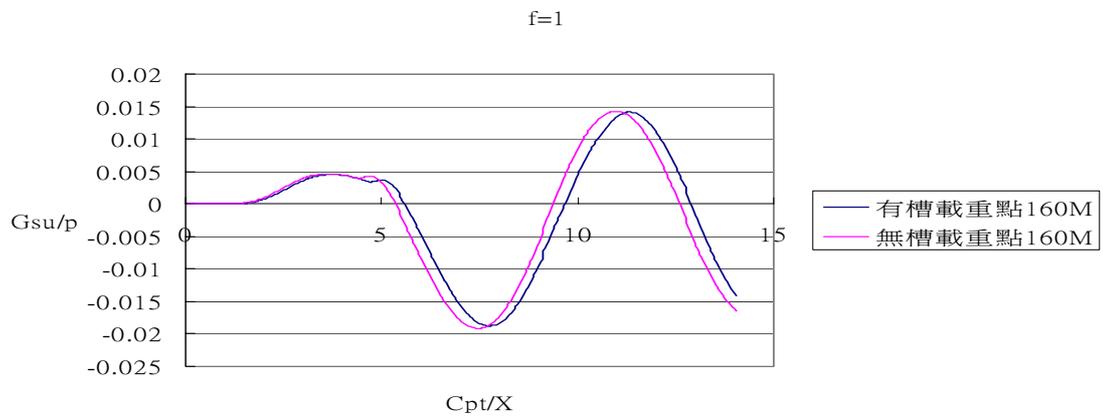


圖 5-249 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

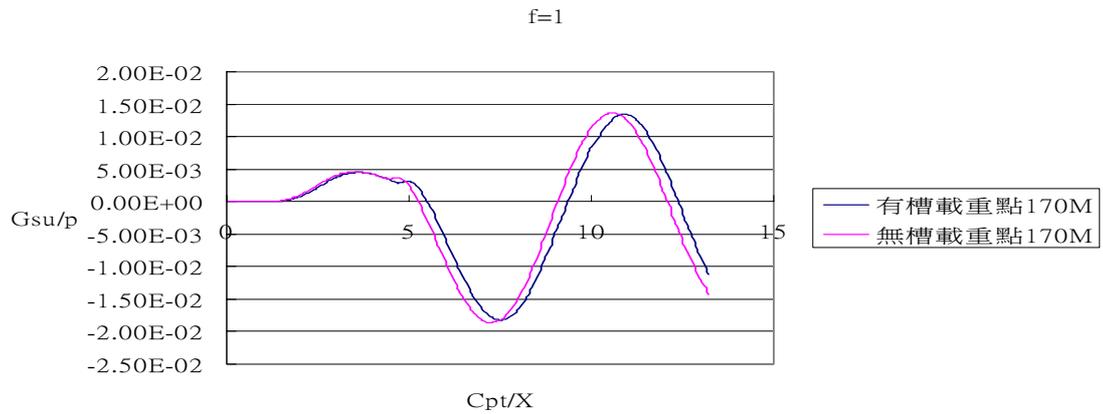


圖 5-250 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

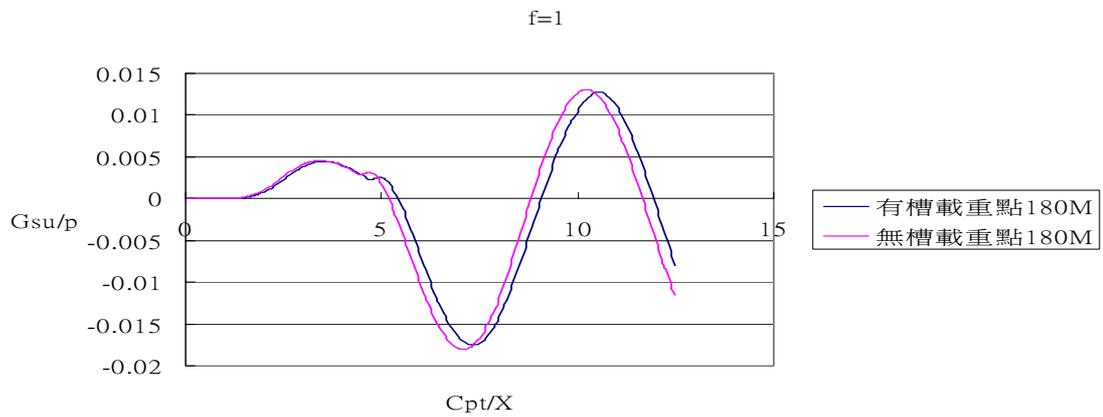


圖 5-251 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

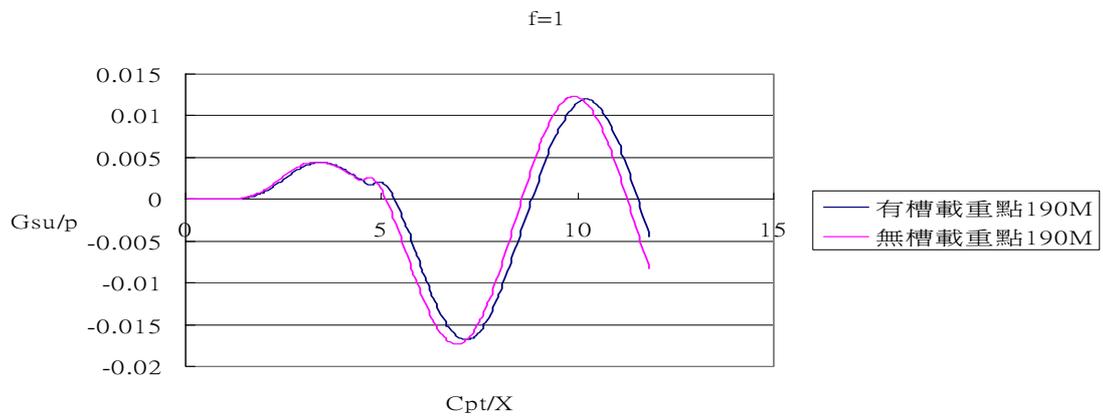


圖 5-252 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

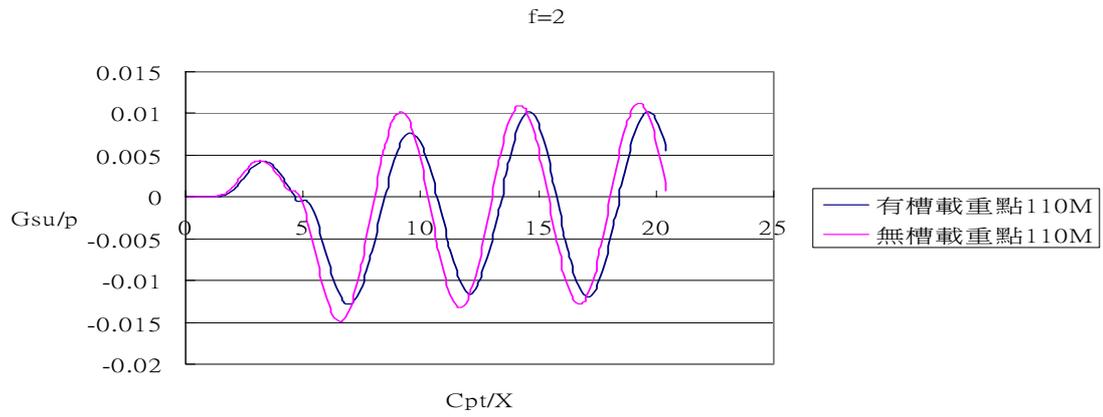


圖 5-253 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

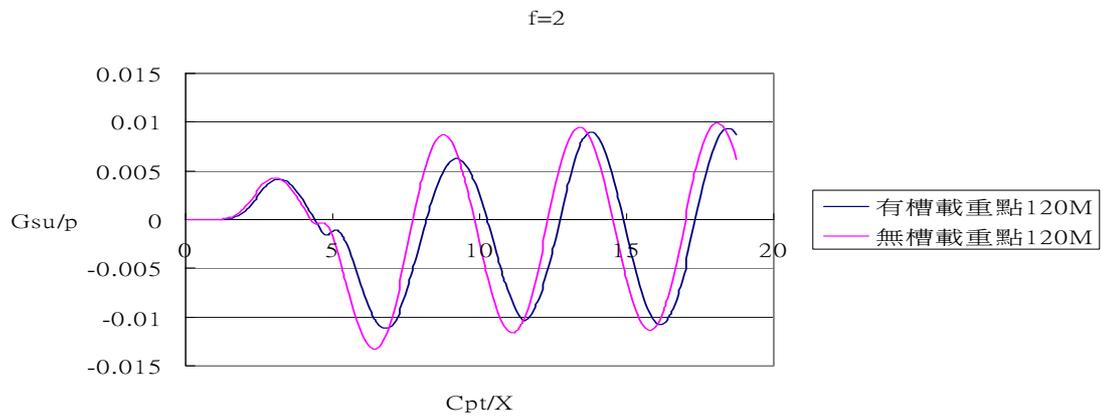


圖 5-254 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

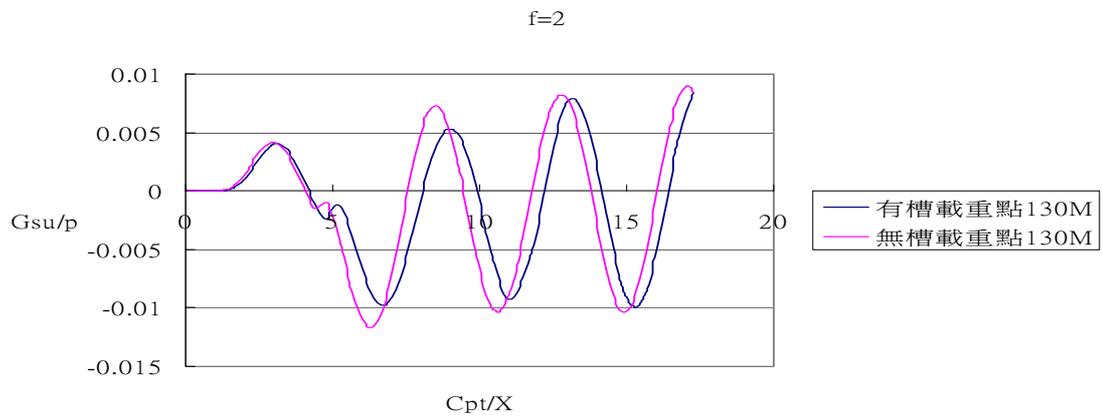


圖 5-255 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

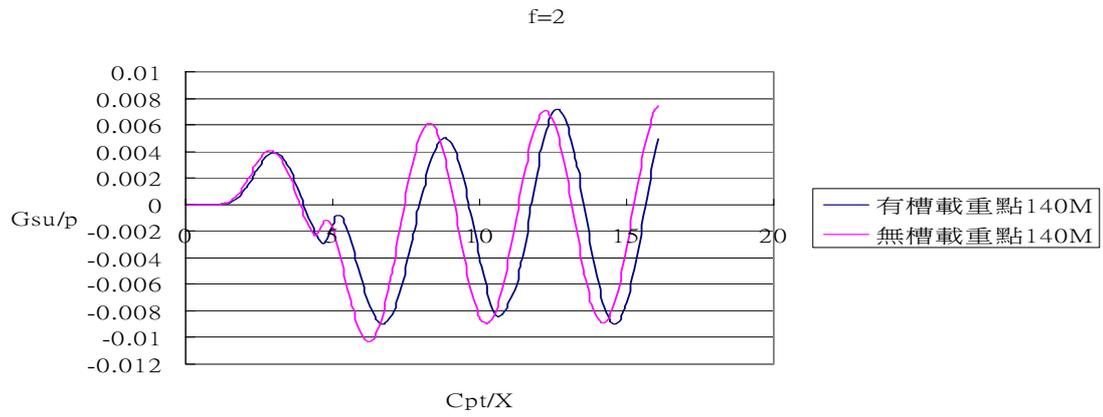


圖 5-256 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

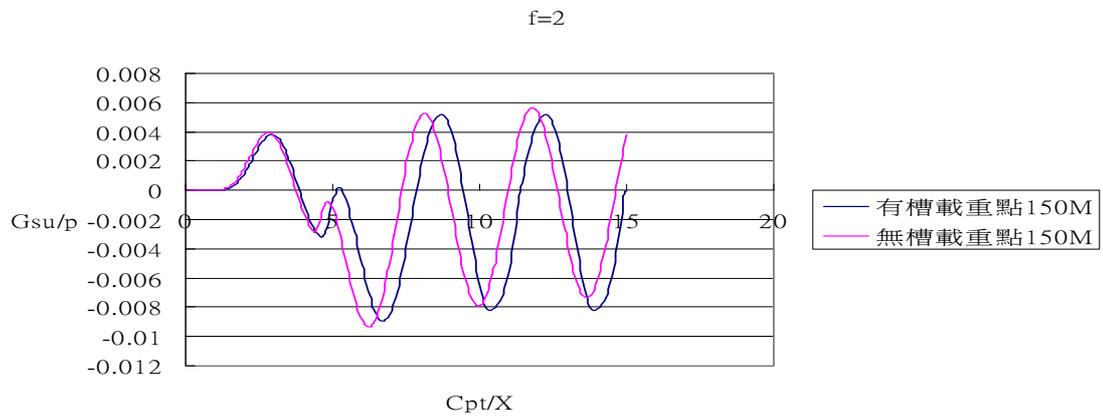


圖 5-257 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

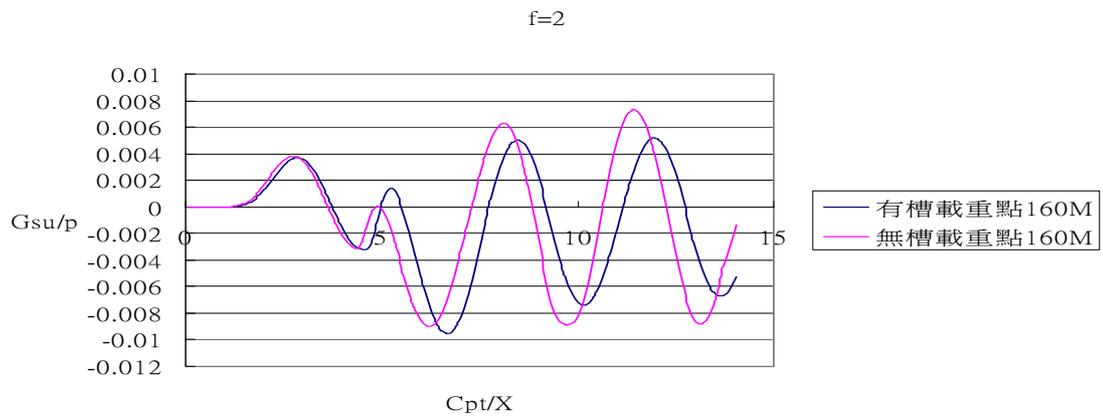


圖 5-258 caseVII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

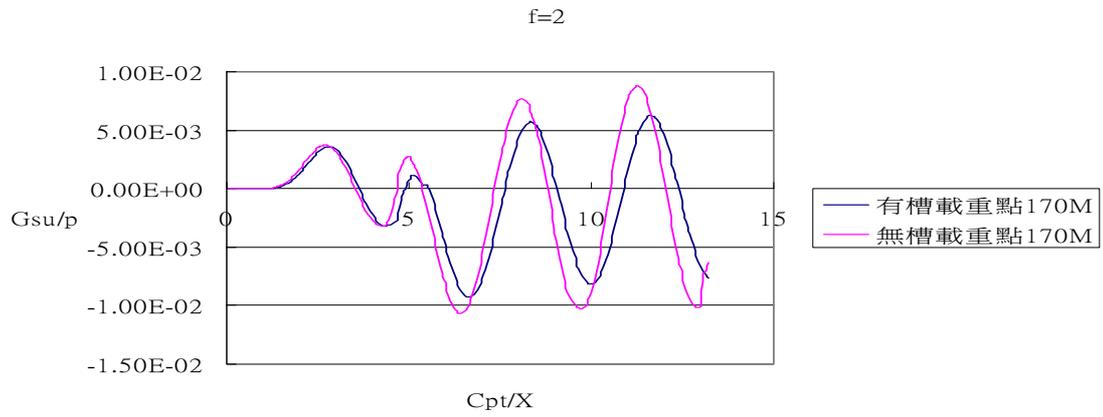


圖 5-259 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

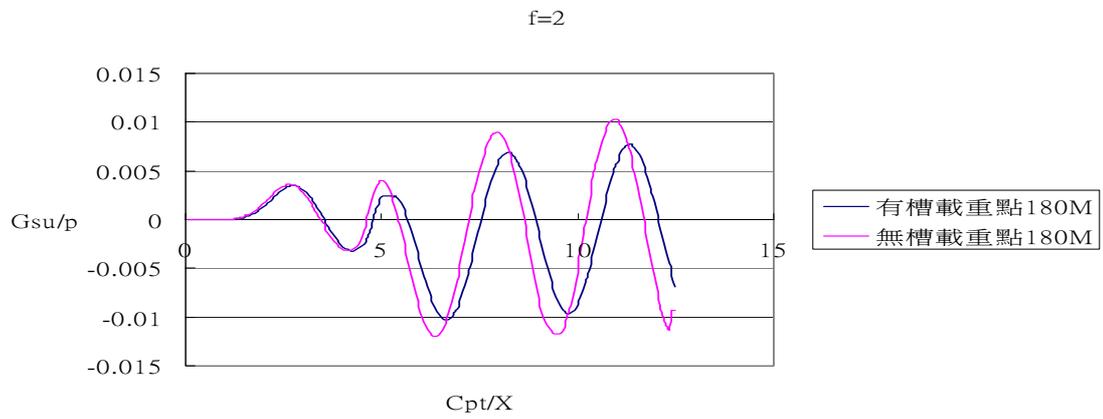


圖 5-260 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

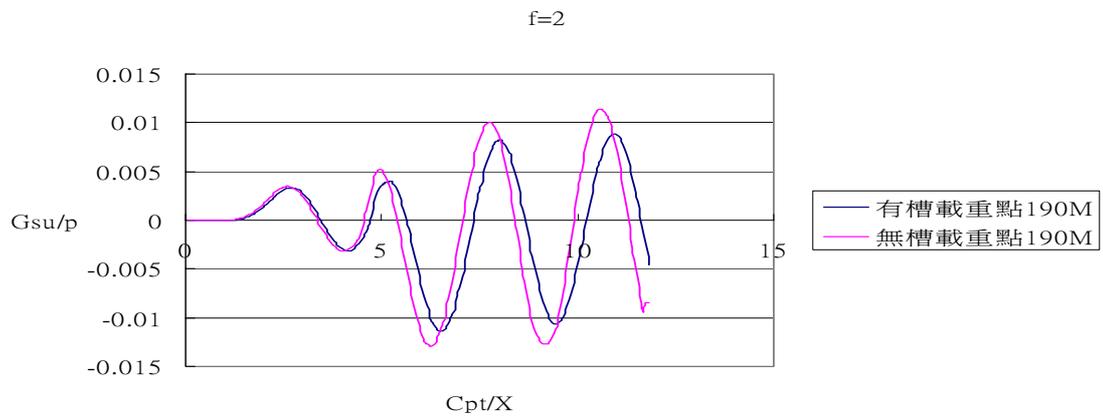


圖 5-261 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

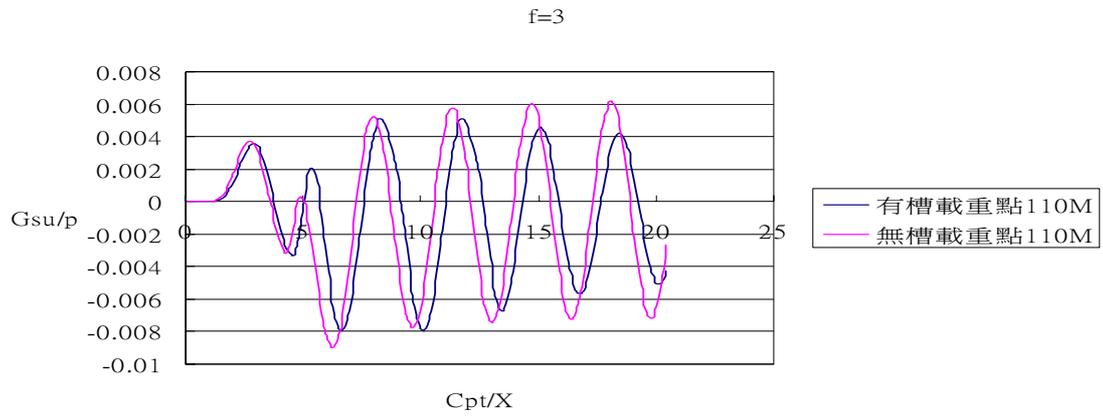


圖 5-262 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

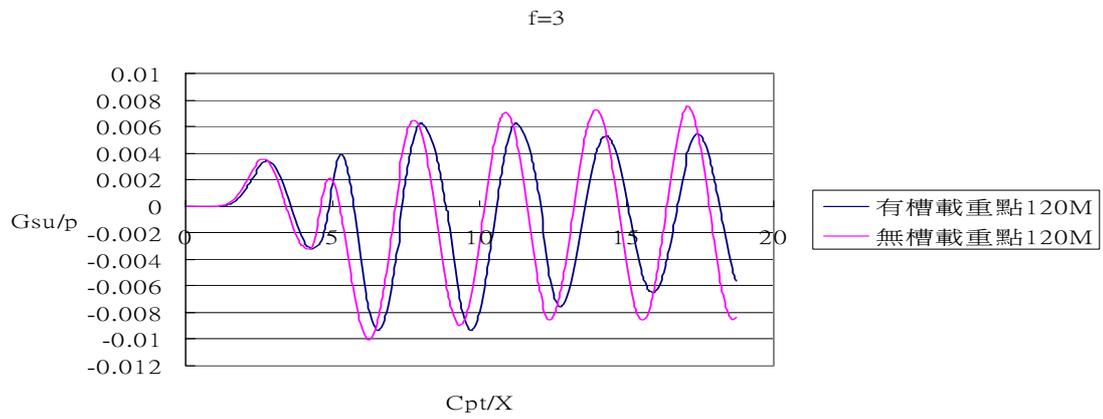


圖 5-263 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

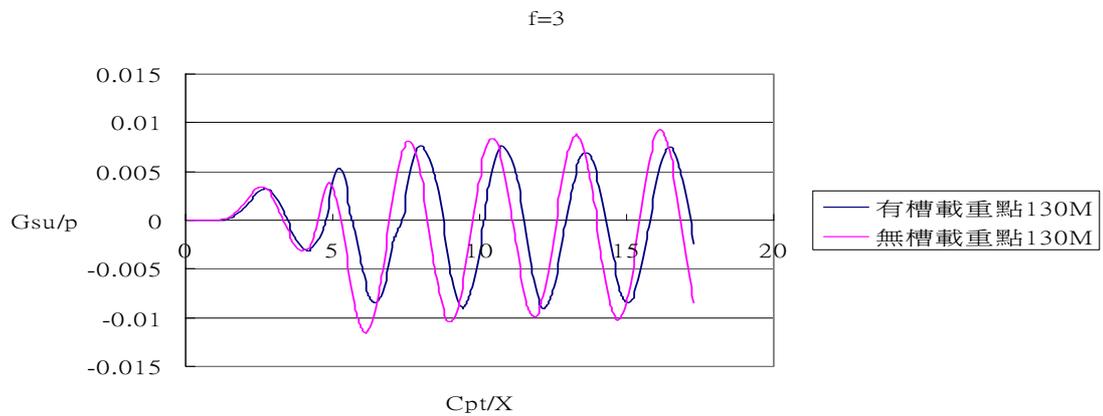


圖 5-264 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

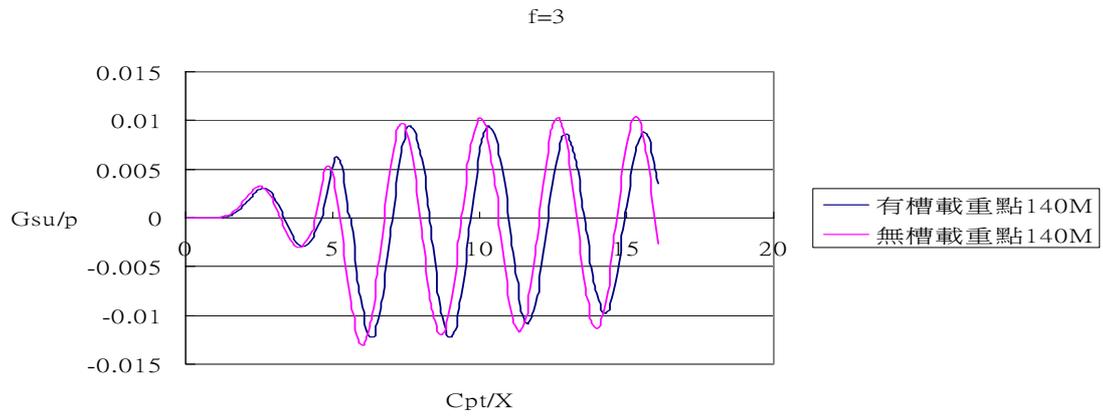


圖 5-265 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

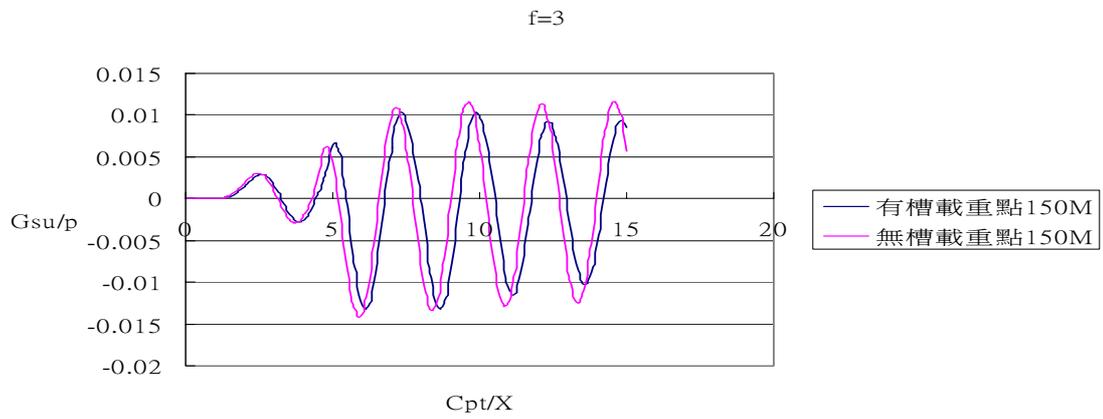


圖 5-266 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

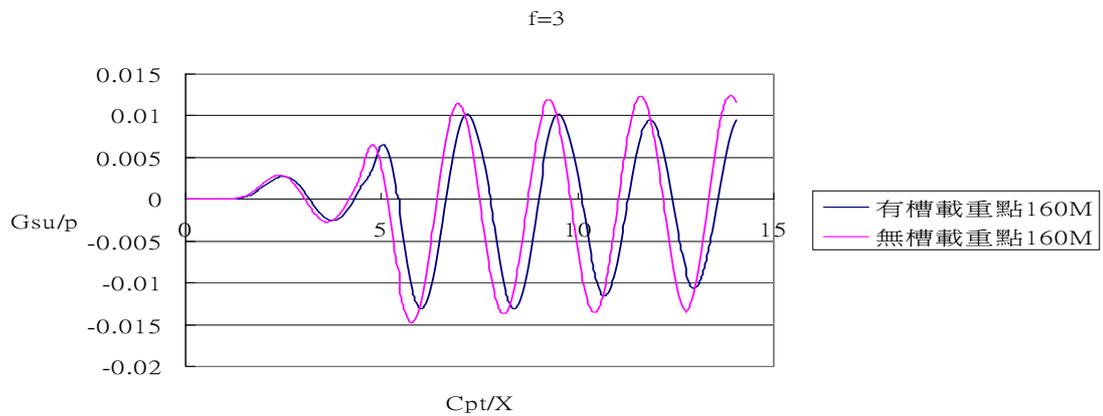


圖 5-267 caseVII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

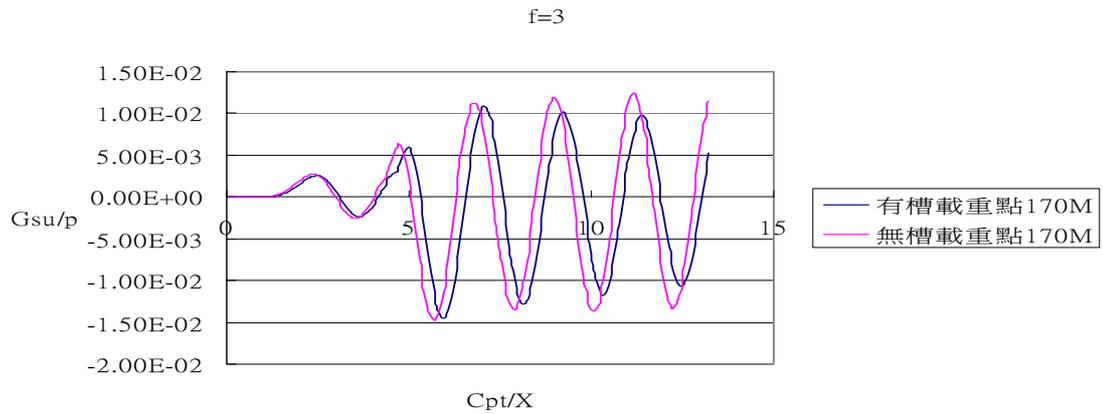


圖 5-268 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

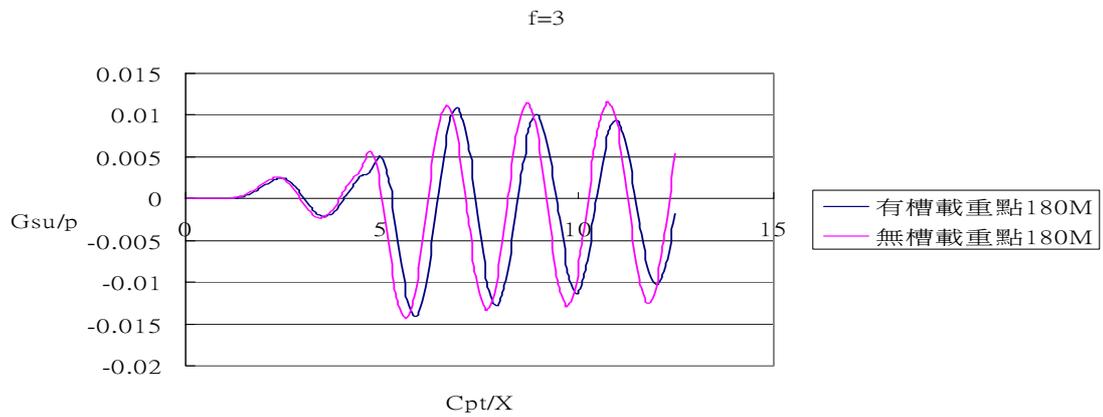


圖 5-269 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

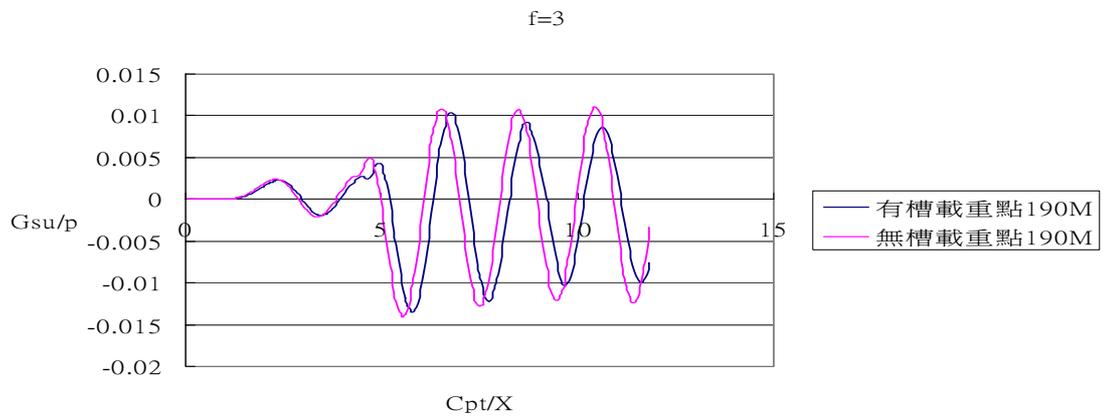


圖 5-270 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

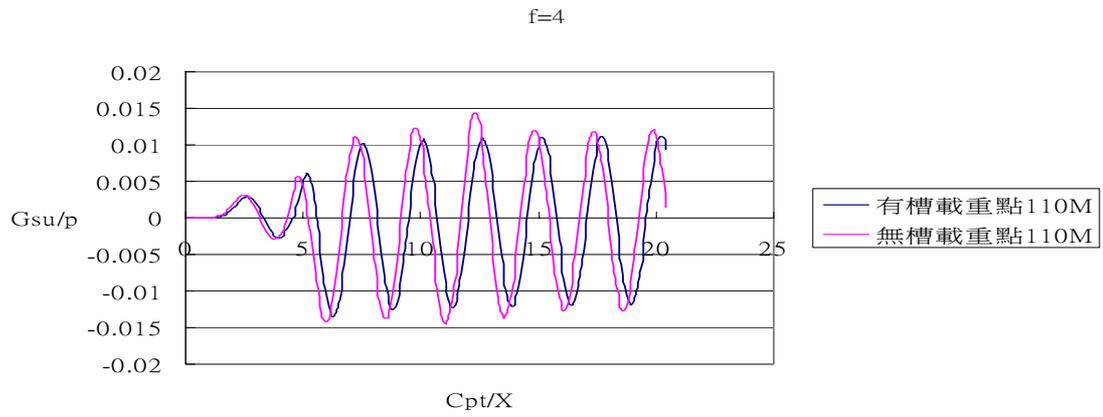


圖 5-271 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

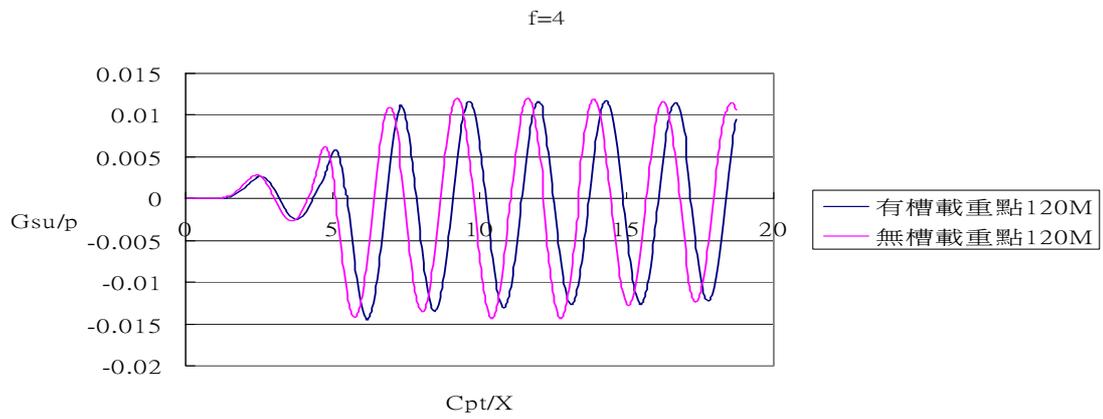


圖 5-272 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

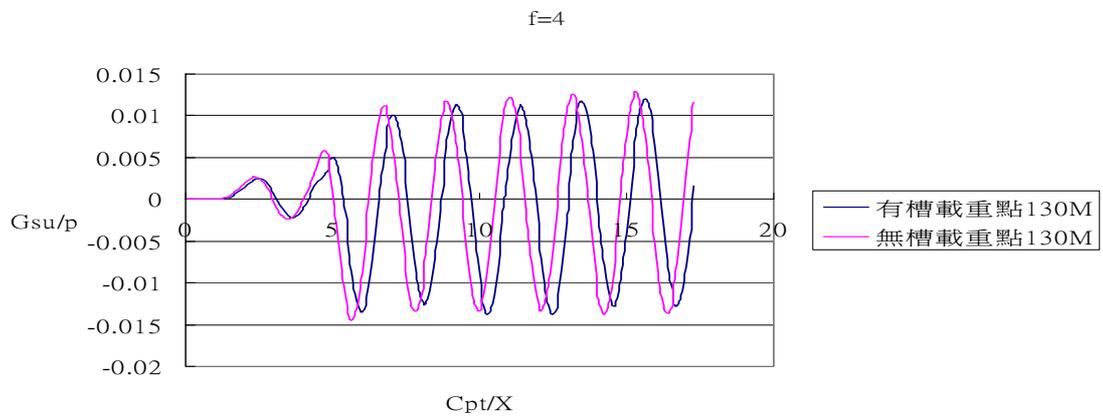


圖 5-273 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

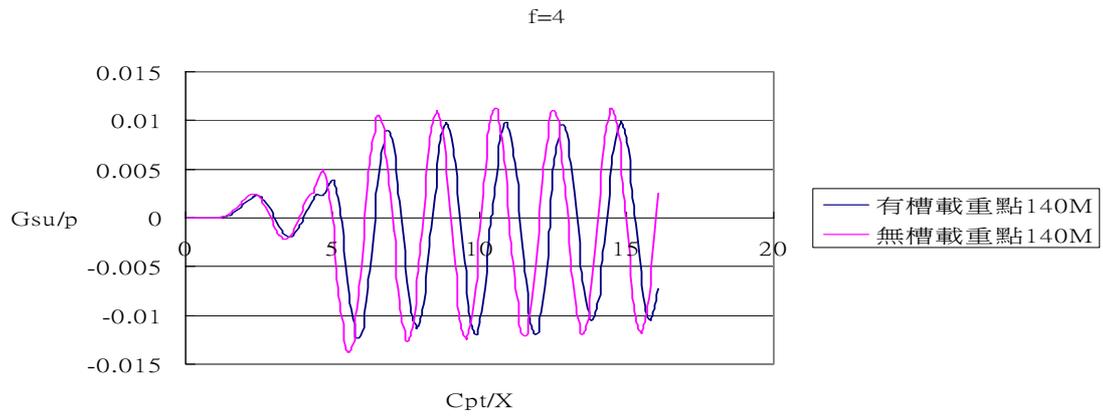


圖 5-274 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

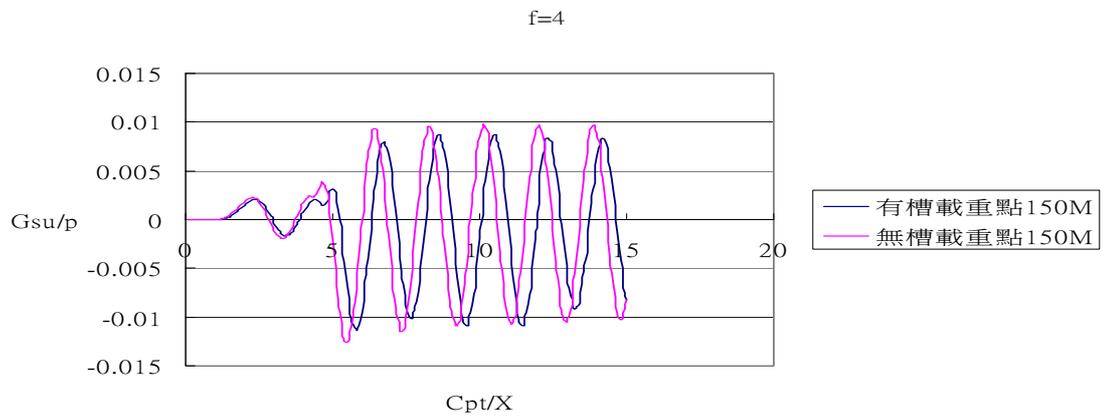


圖 5-275 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

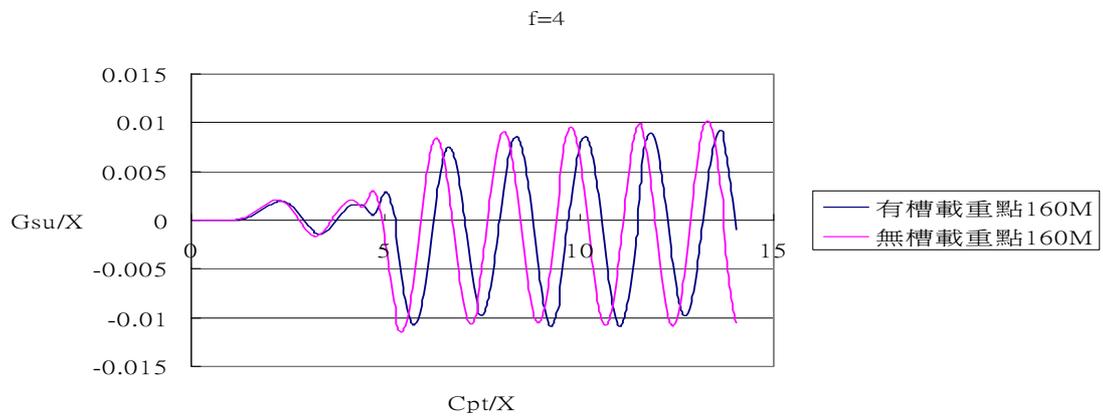


圖 5-276 caseVII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

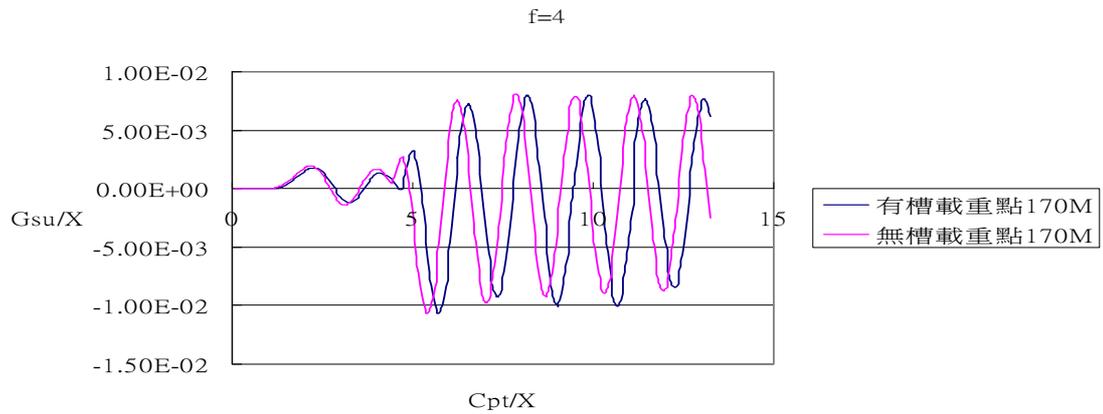


圖 5-277 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

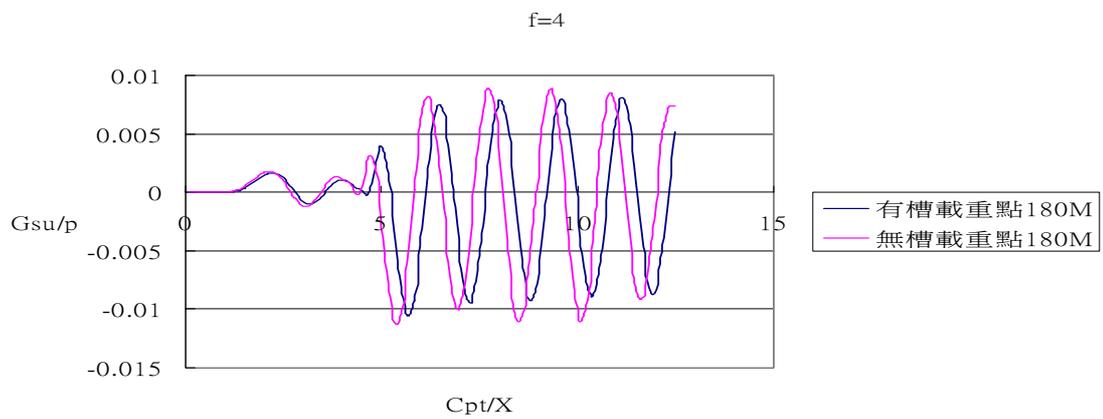


圖 5-278 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

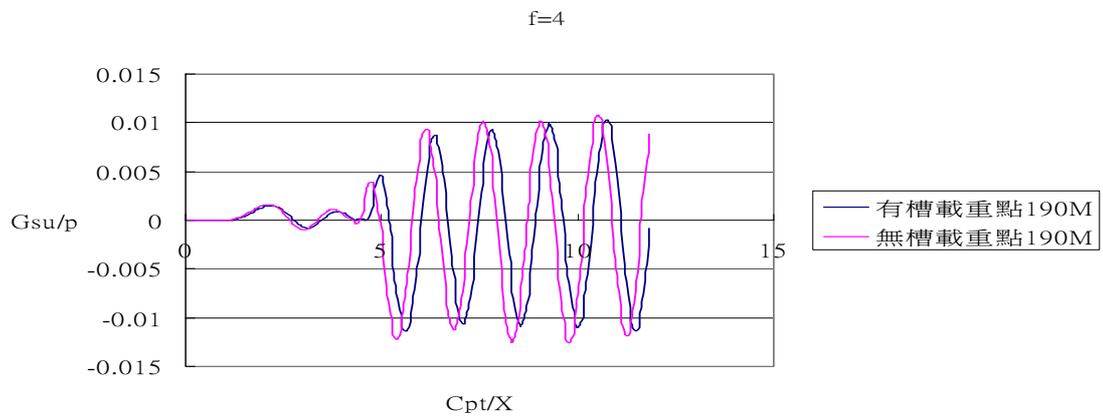


圖 5-279 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

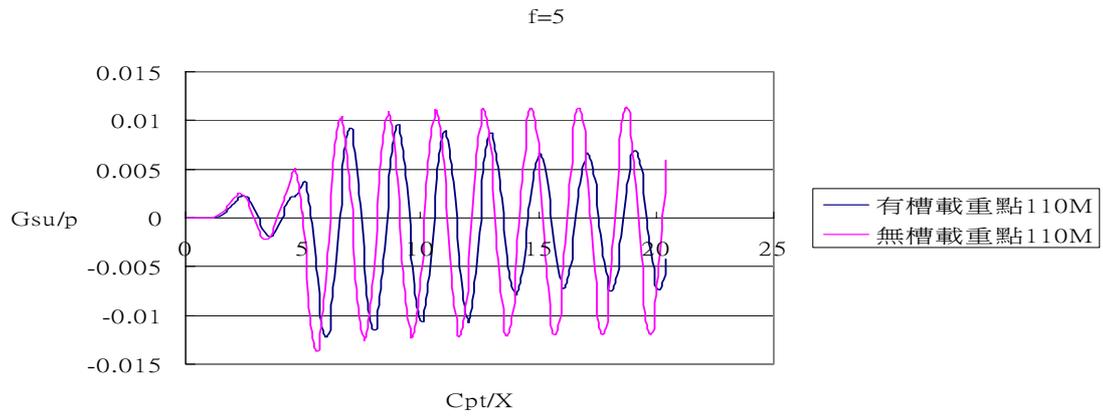


圖 5-280 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

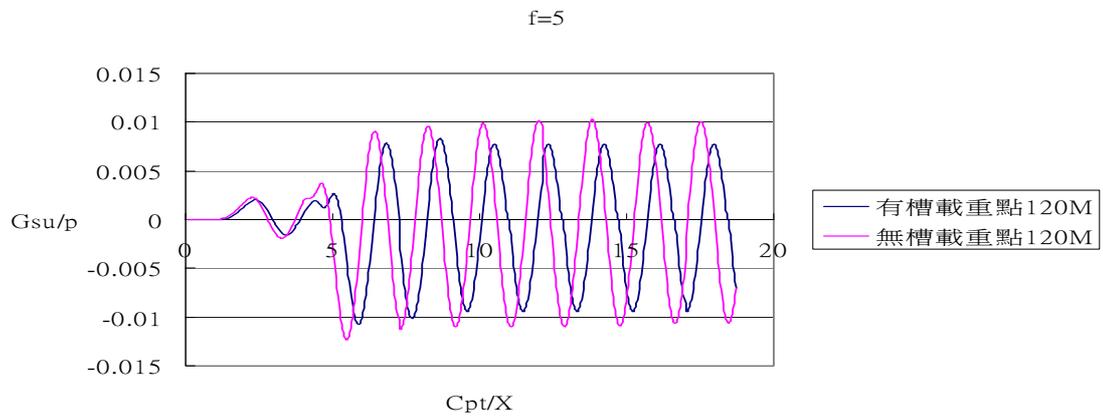


圖 5-281 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

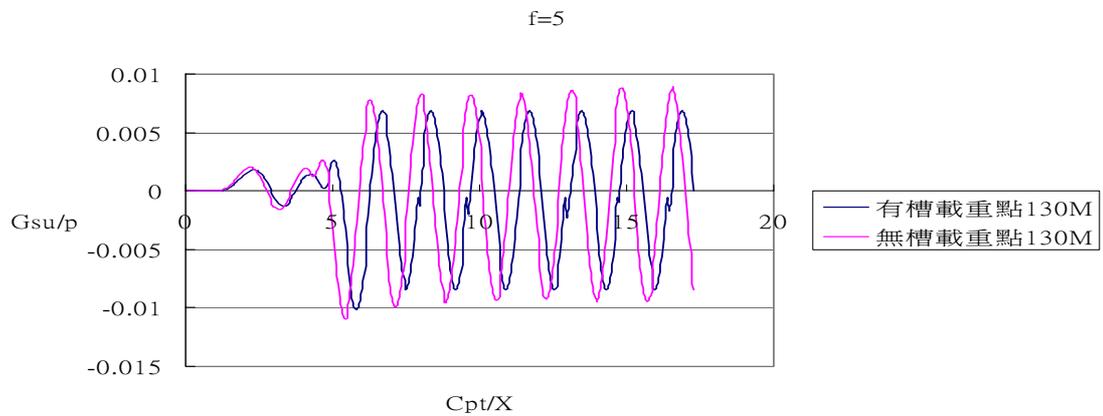


圖 5-282 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

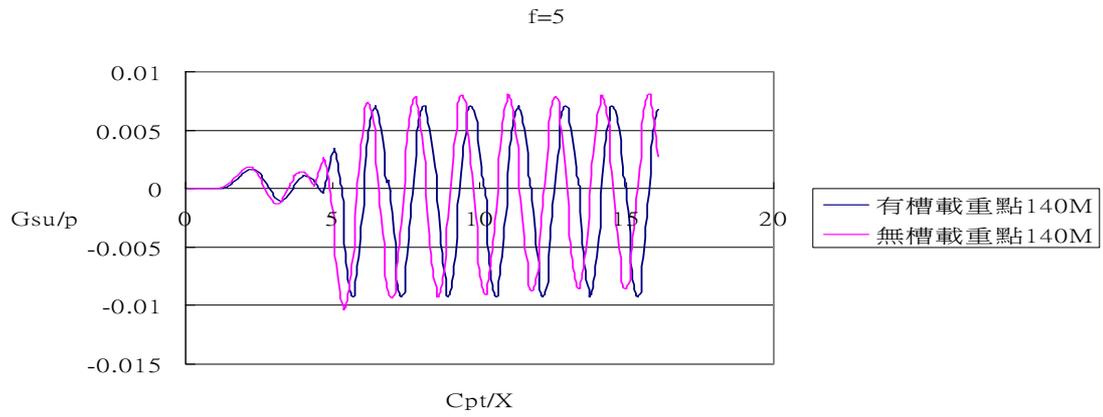


圖 5-283 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

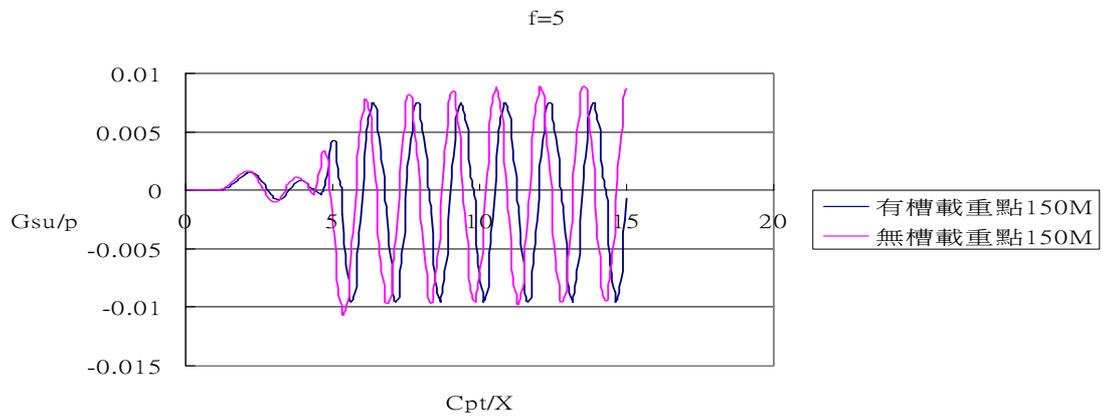


圖 5-284 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

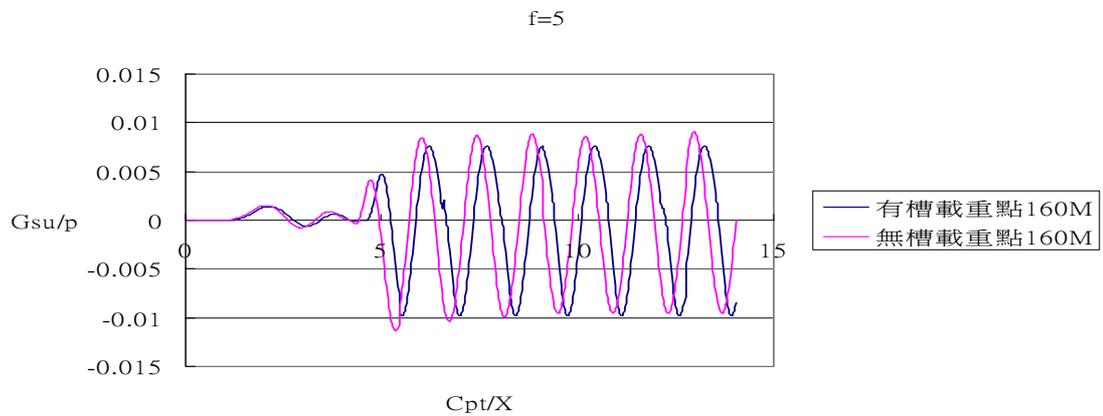


圖 5-285 caseVII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

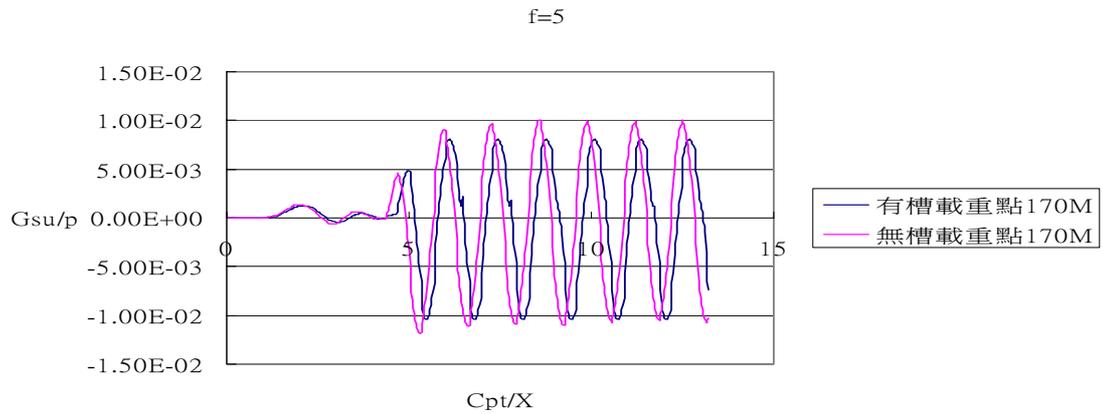


圖 5-286 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

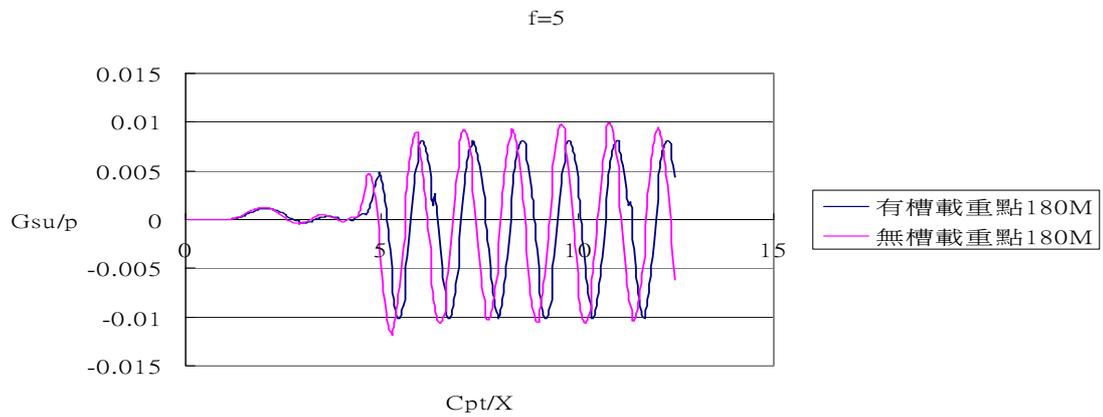


圖 5-287 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

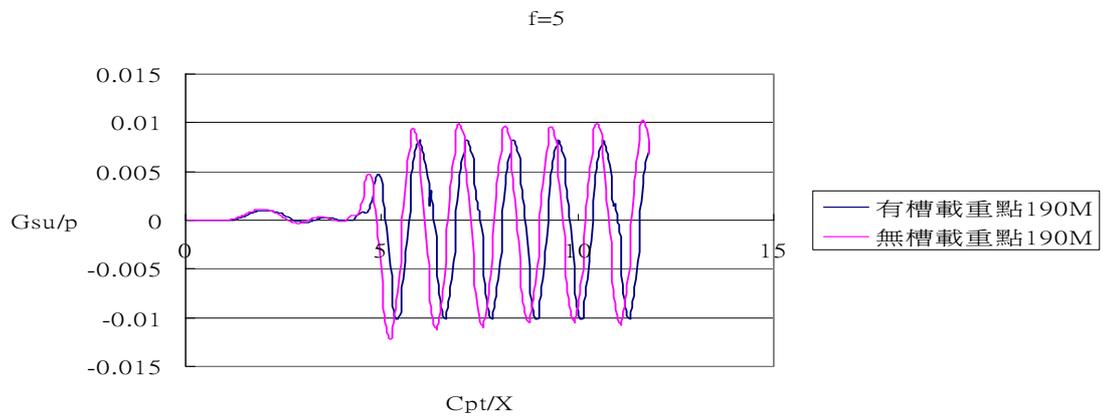


圖 5-288 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

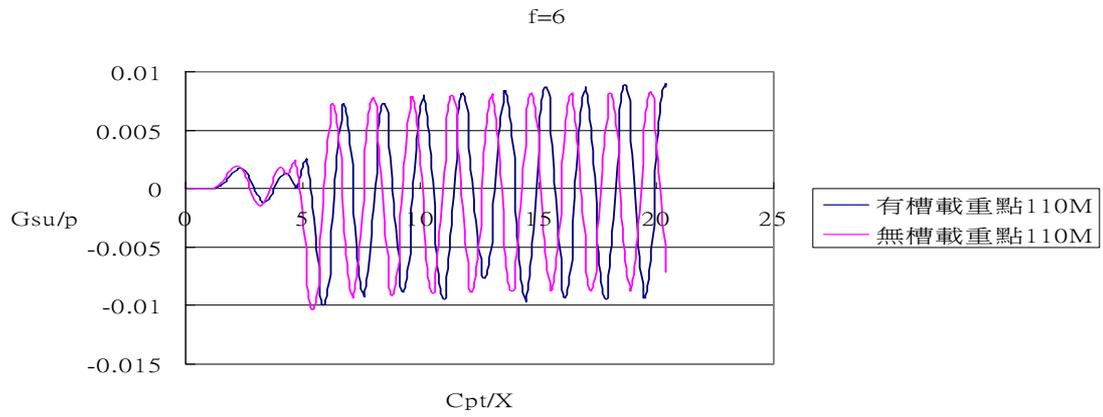


圖 5-289 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

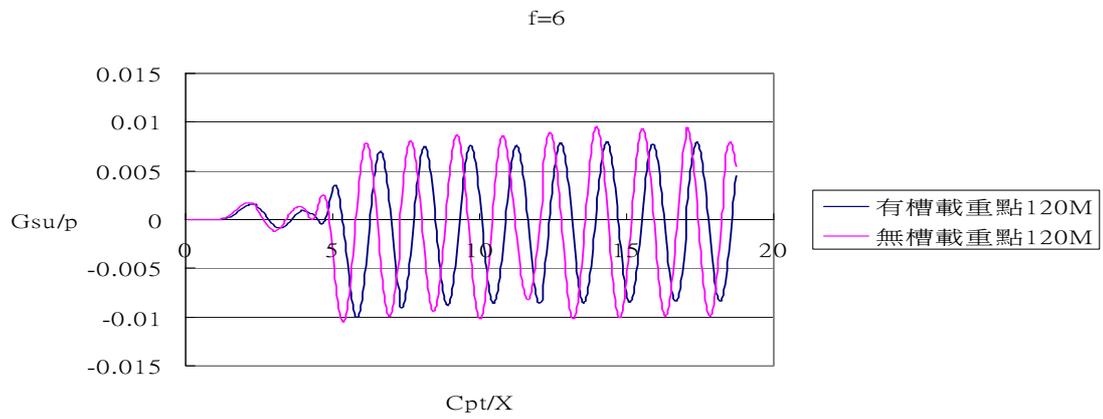


圖 5-290 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

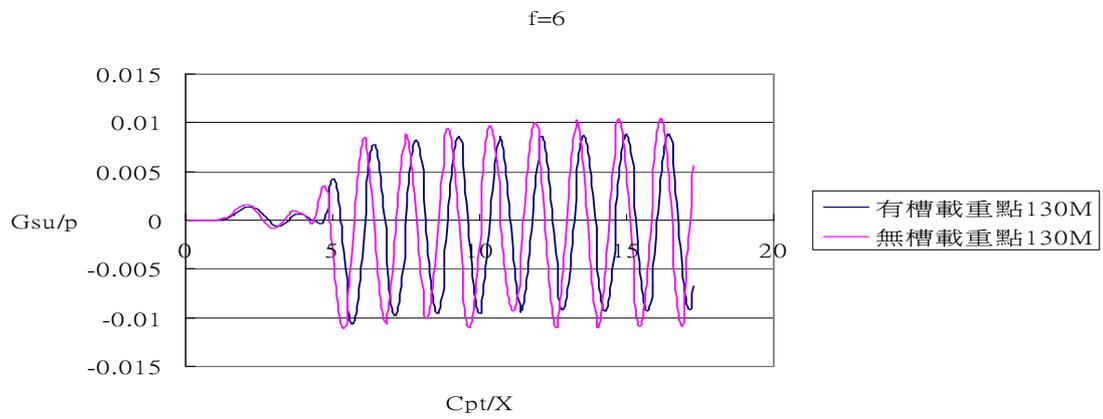


圖 5-291 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

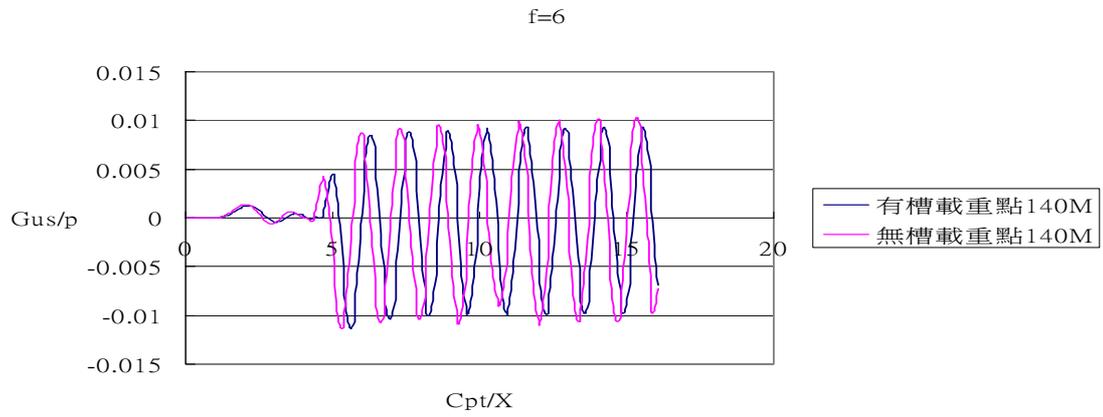


圖 5-292 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

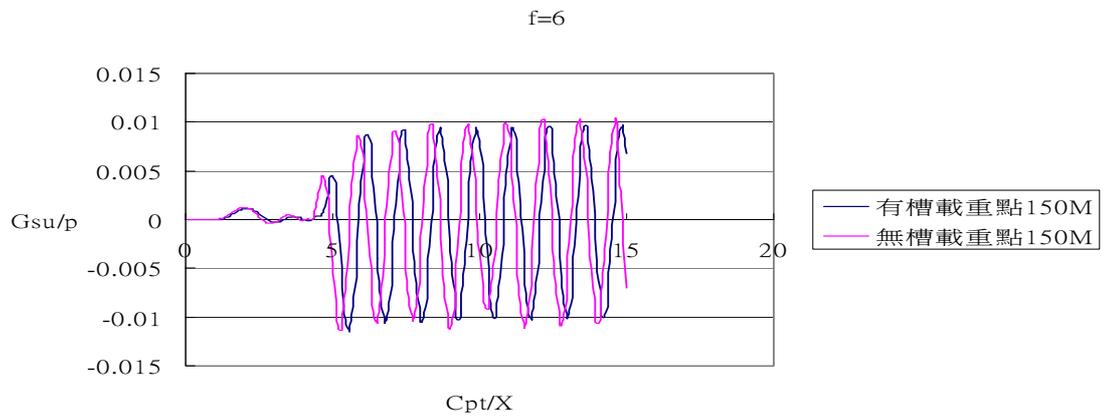


圖 5-293 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

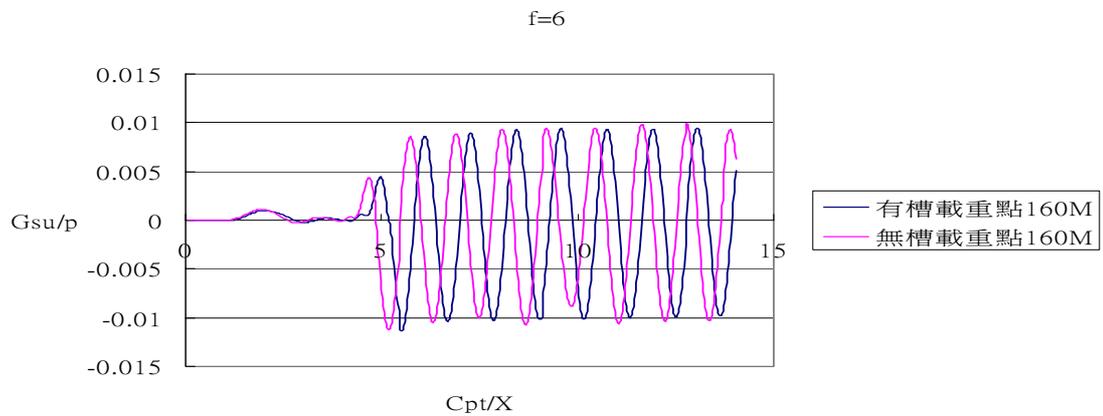


圖 5-294 caseVII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

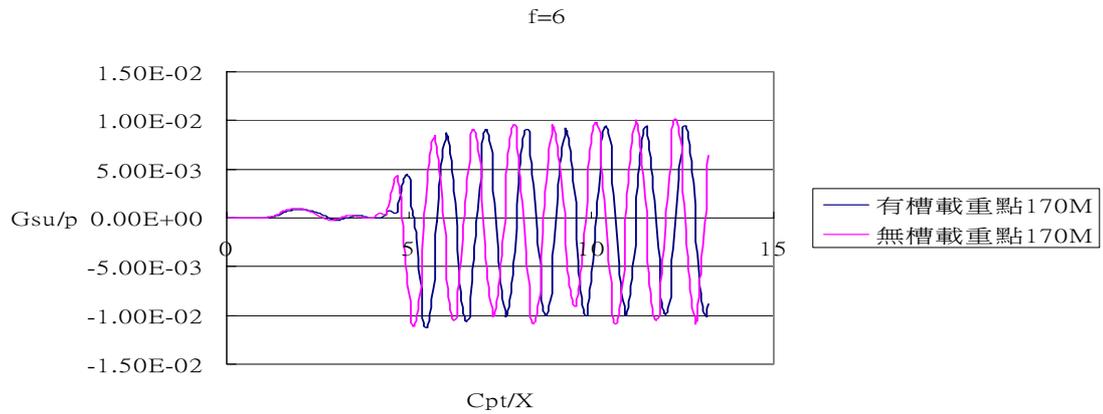


圖 5-295 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

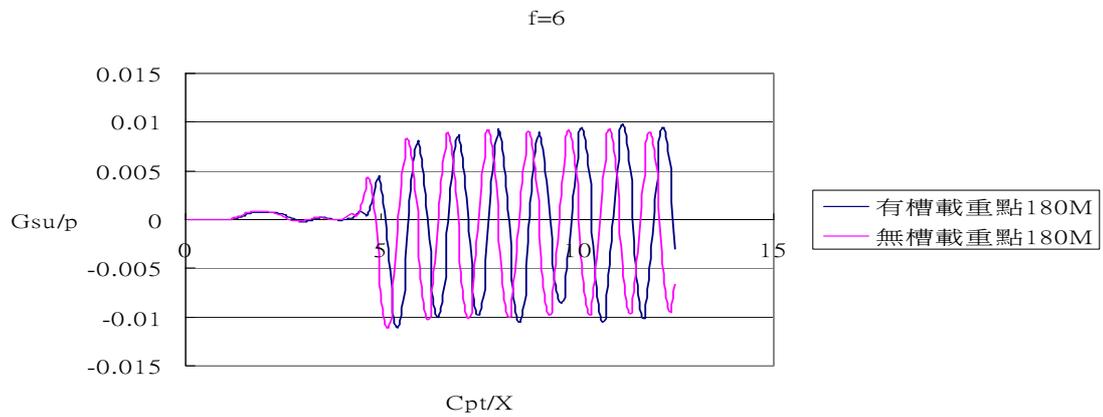


圖 5-296 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

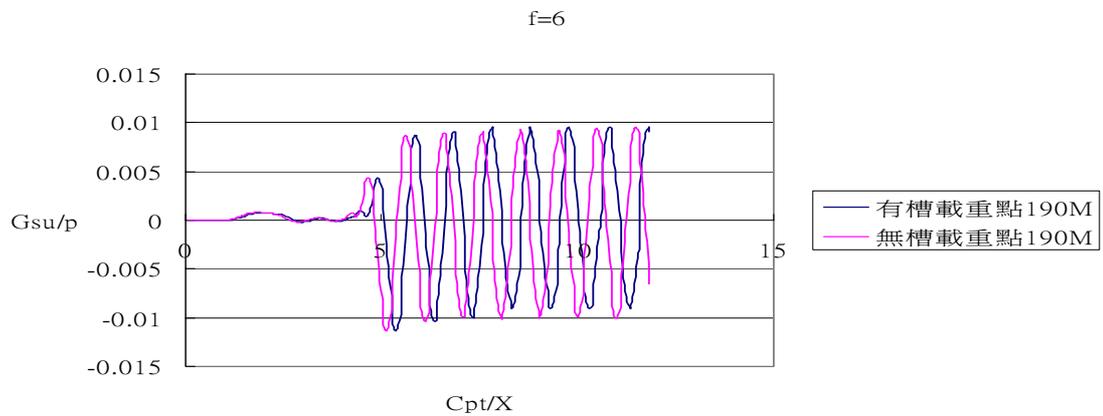


圖 5-297 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

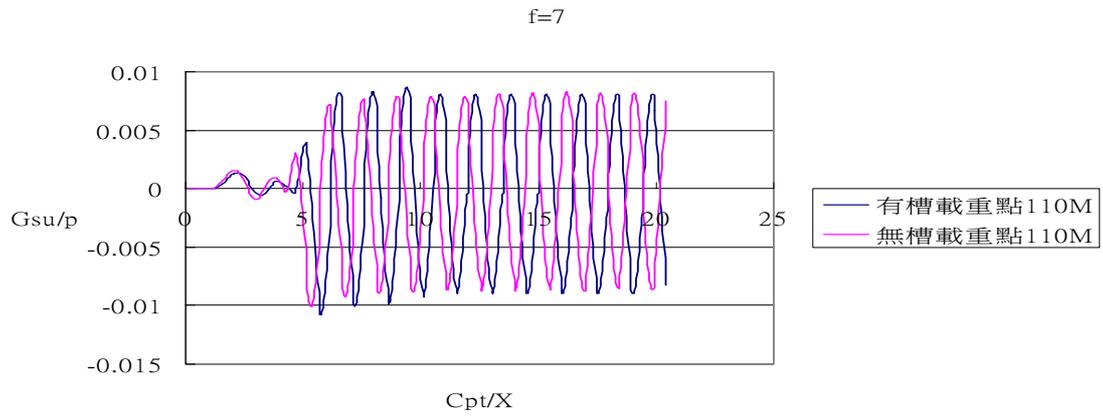


圖 5-298 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

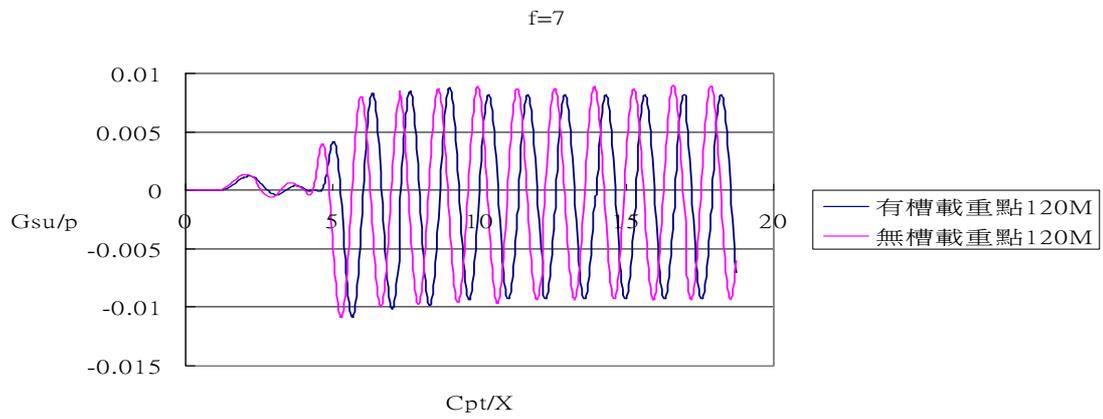


圖 5-299 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

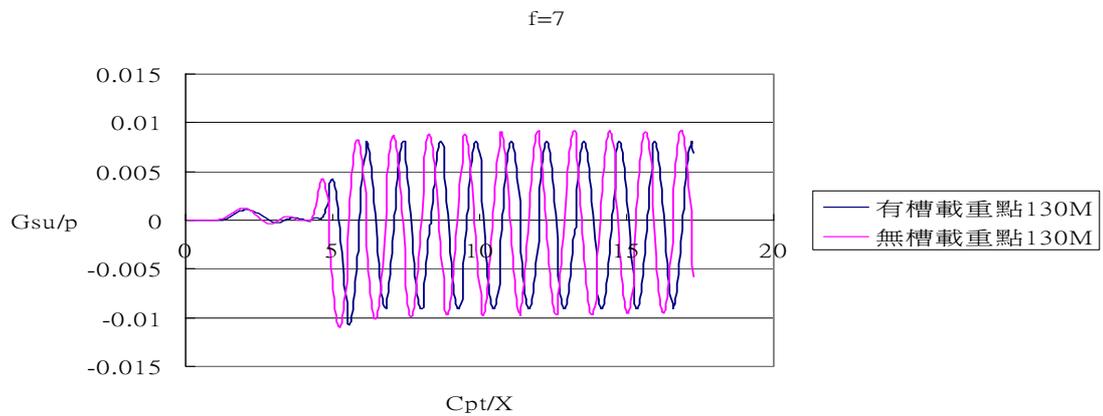


圖 5-300 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

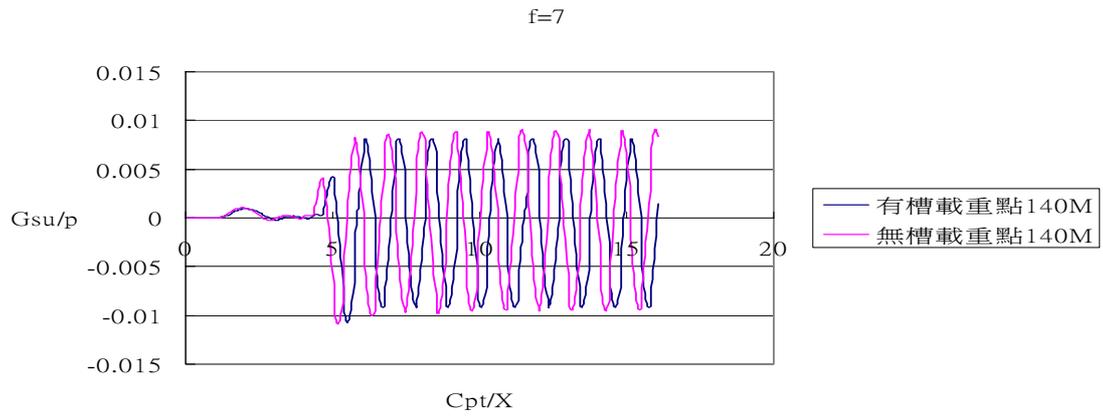


圖 5-301 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

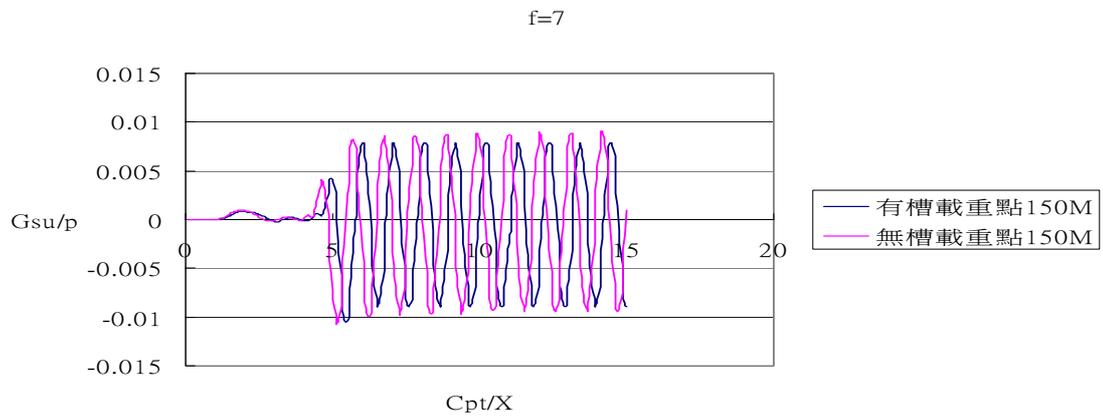


圖 5-302 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

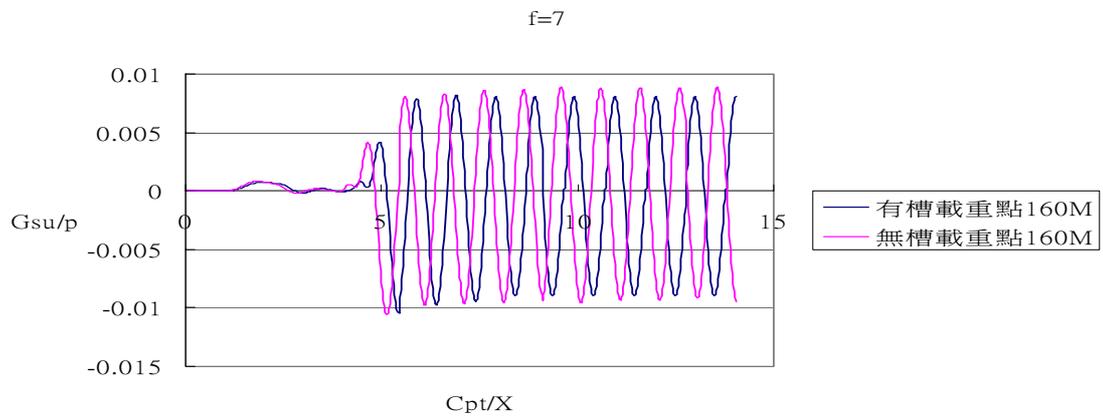


圖 5-303 caseVII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

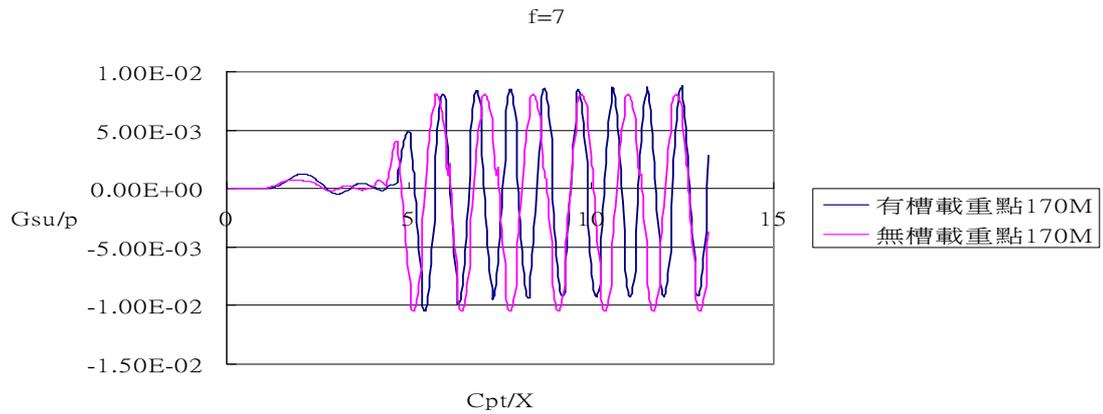


圖 5-304 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

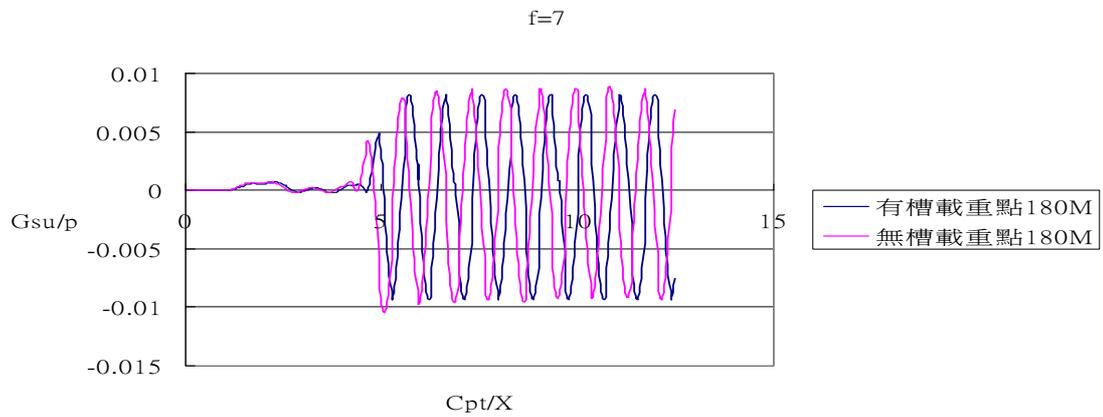


圖 5-305 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

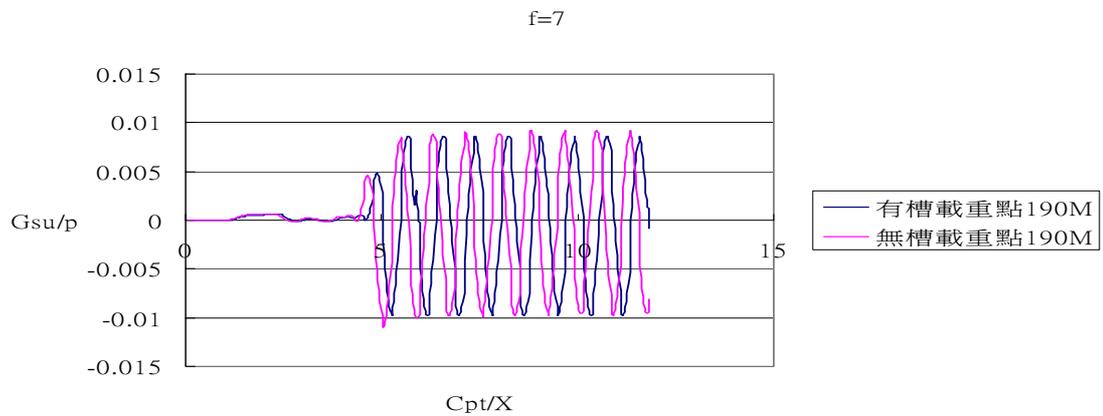


圖 5-306 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

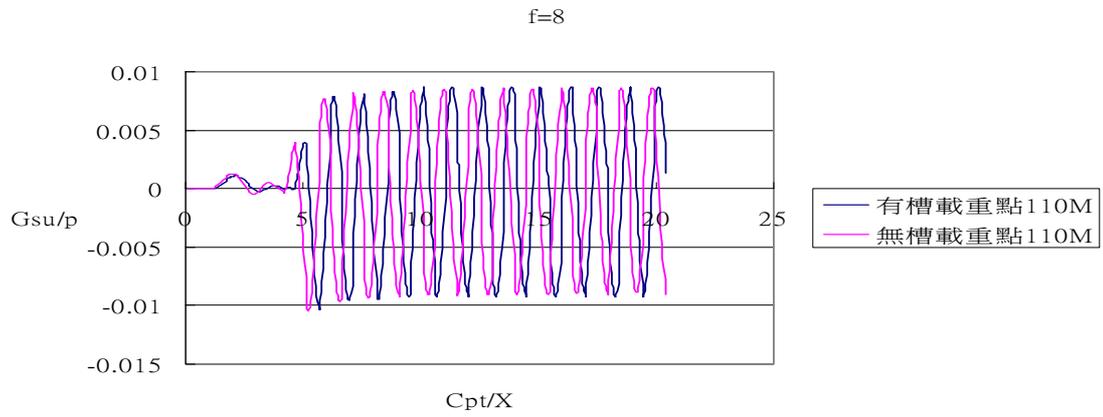


圖 5-307 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

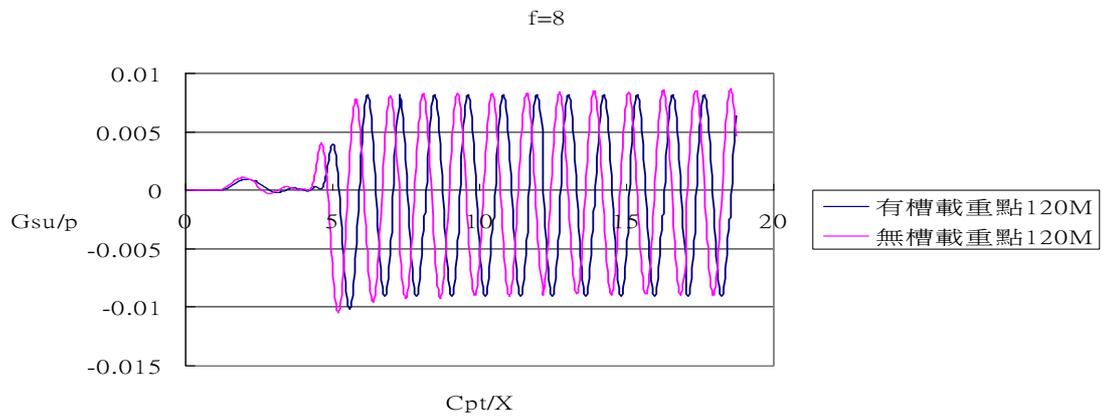


圖 5-308 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

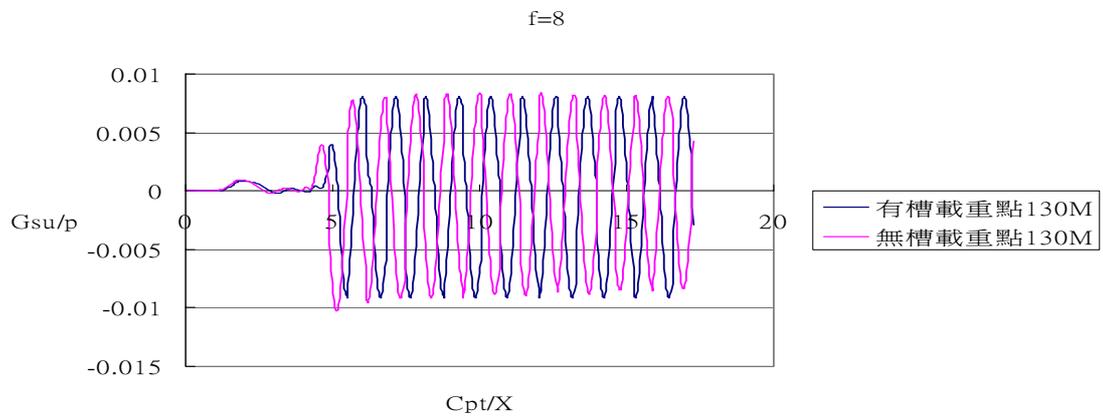


圖 5-309 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

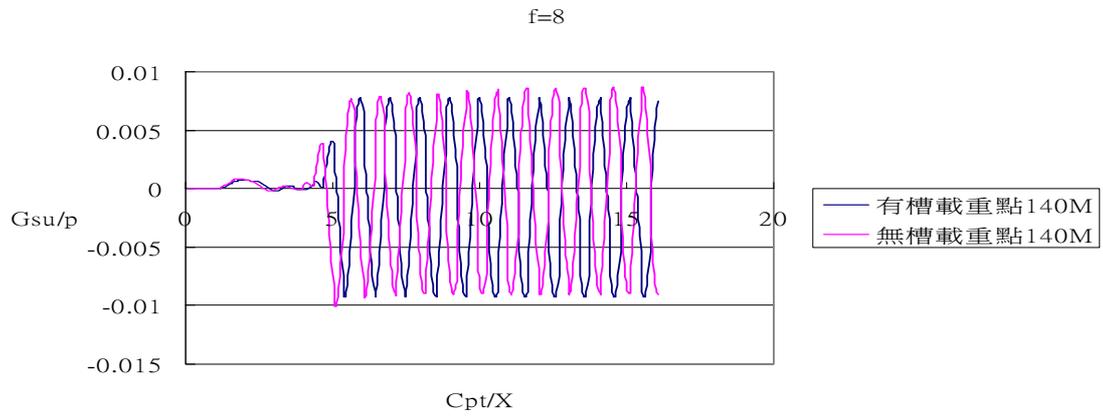


圖 5-310 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

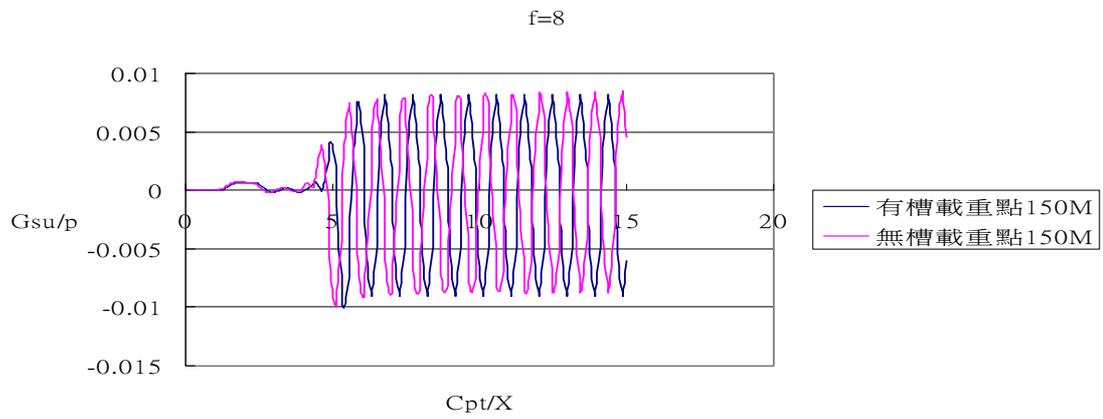


圖 5-311 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

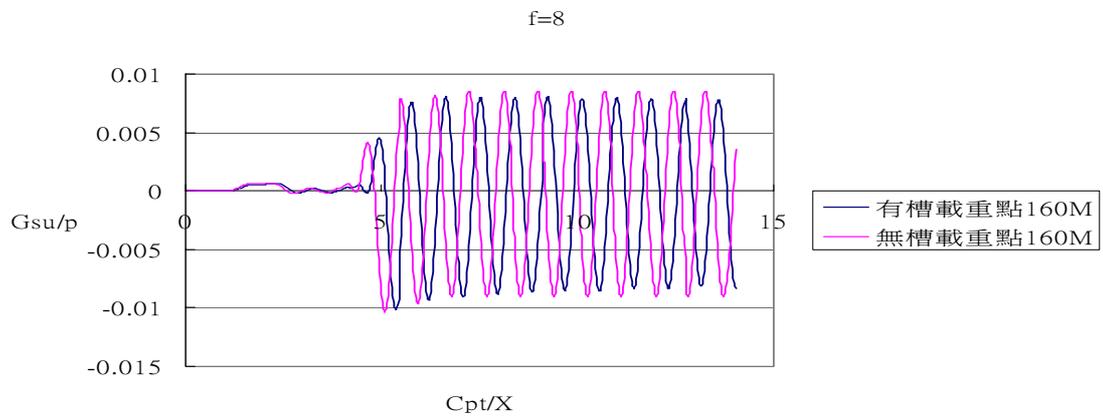


圖 5-312 caseVII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

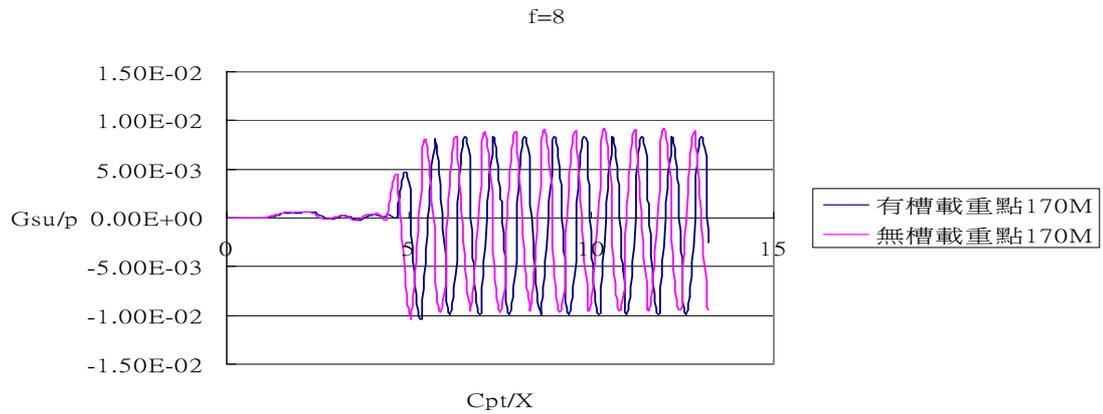


圖 5-313 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

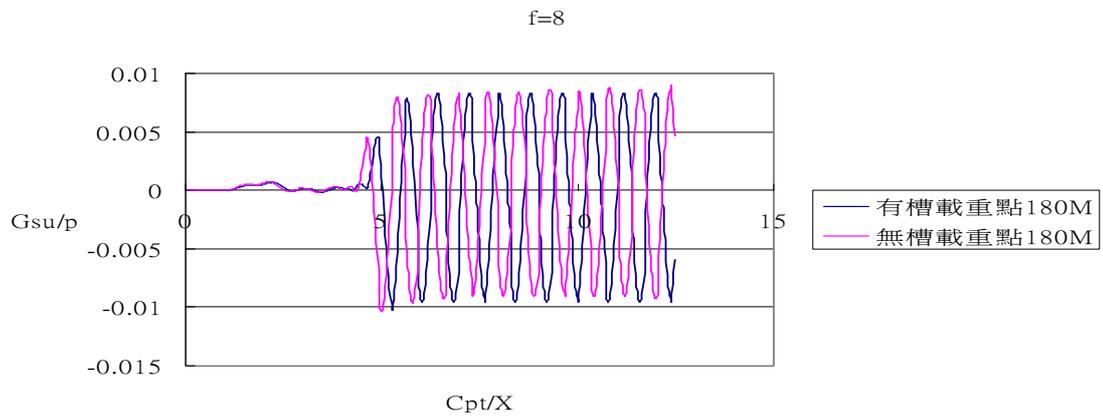


圖 5-314 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

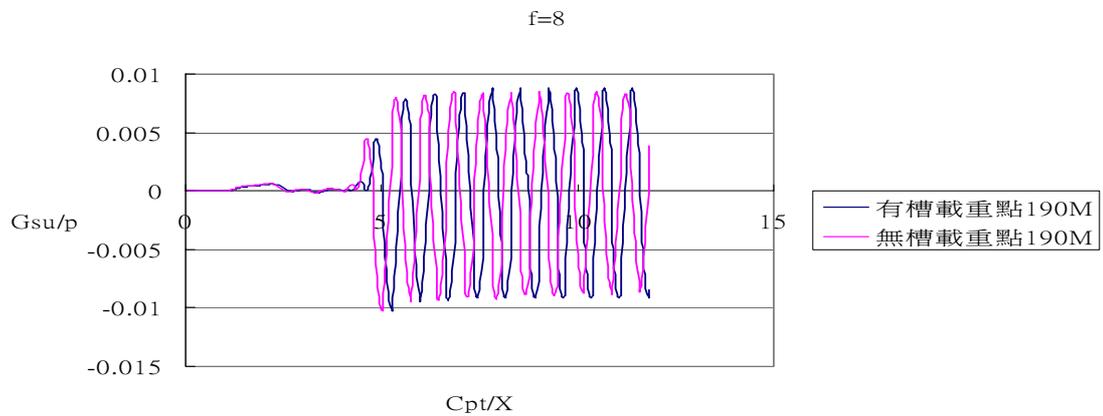


圖 5-315 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

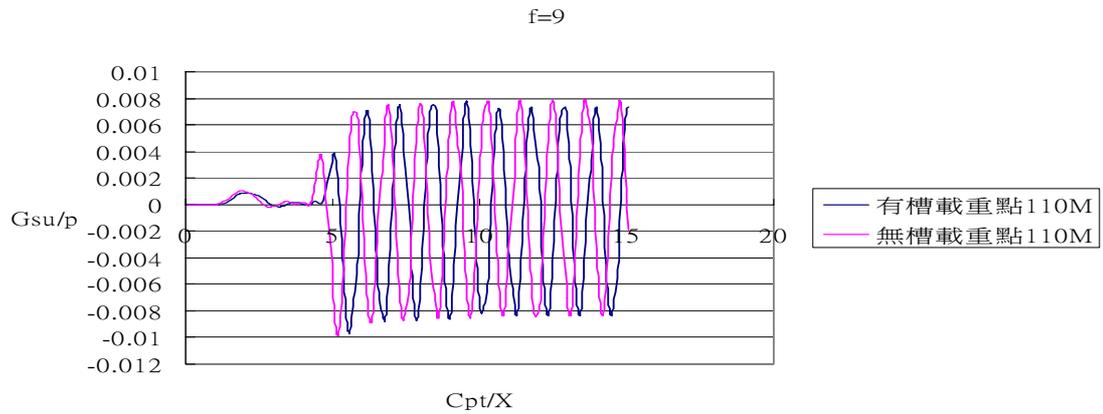


圖 5-316 caseVII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

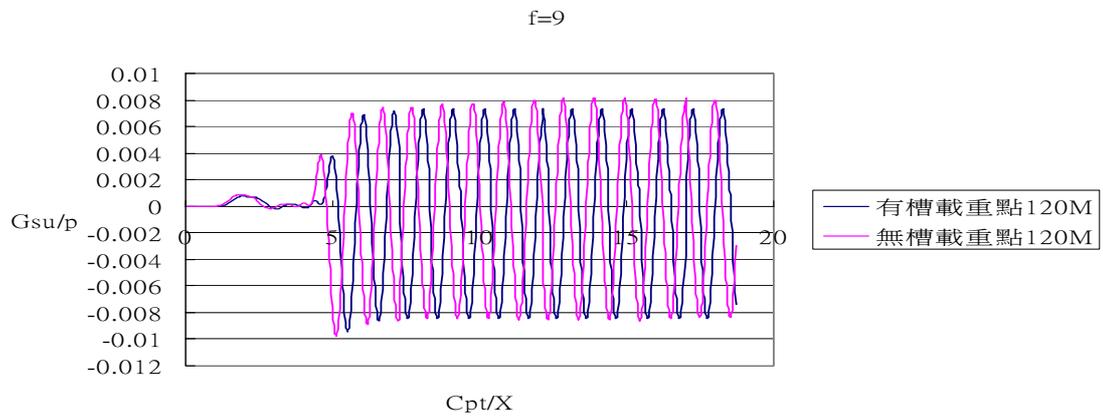


圖 5-317 caseVII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

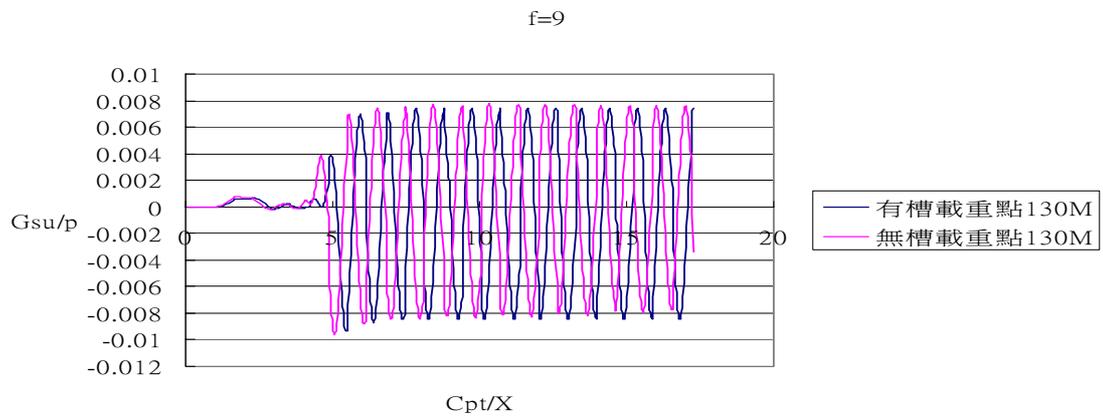


圖 5-318 caseVII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

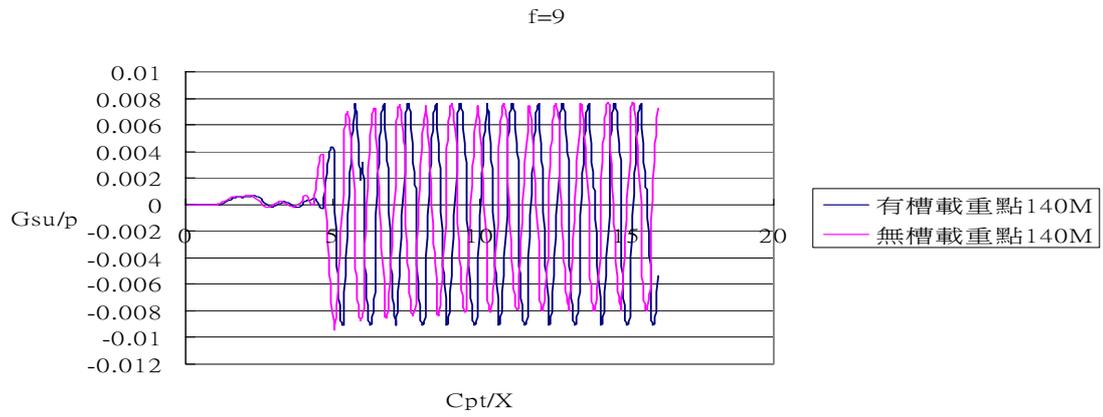


圖 5-319 caseVII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

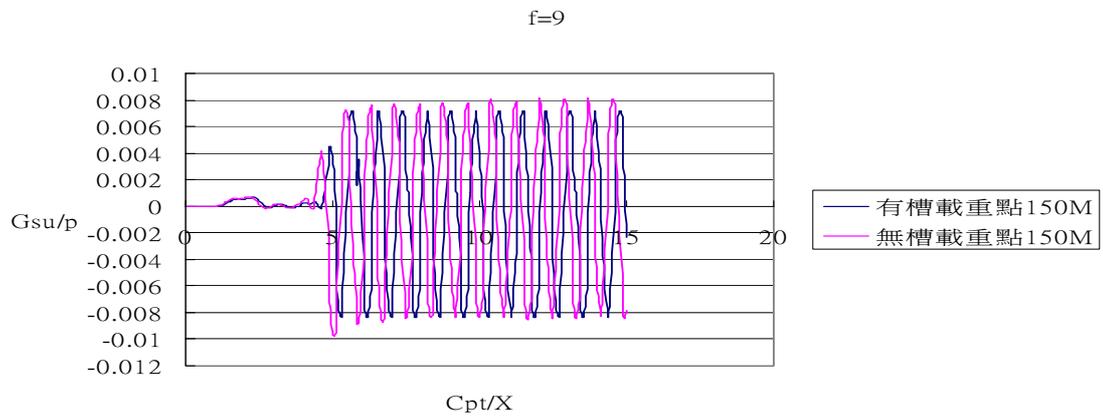


圖 5-320 caseVII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

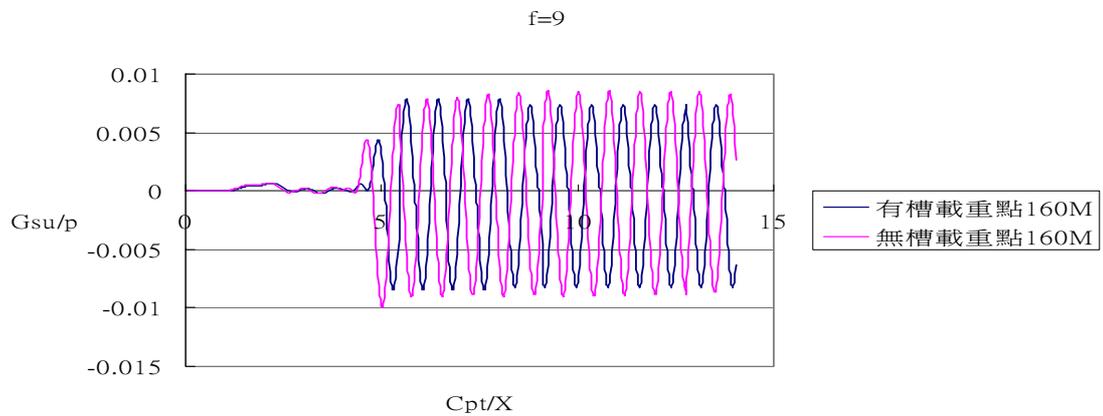


圖 5-321 caseVII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

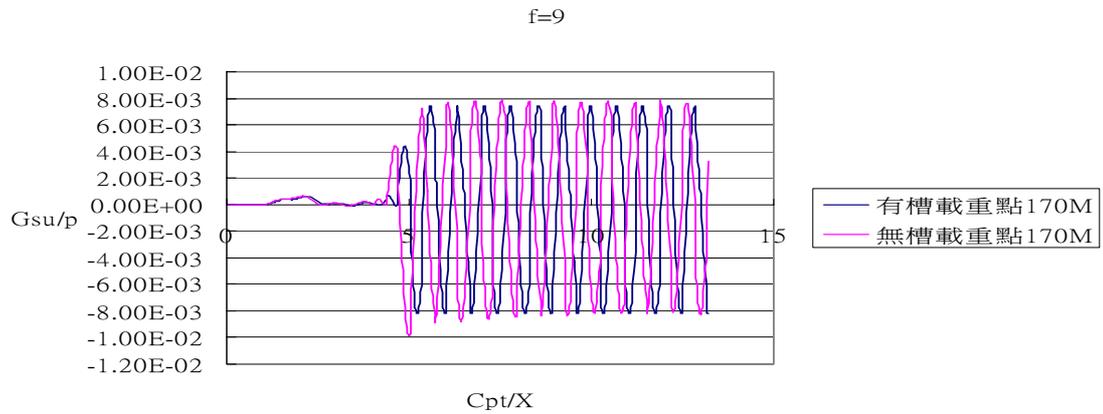


圖 5-322 caseVII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

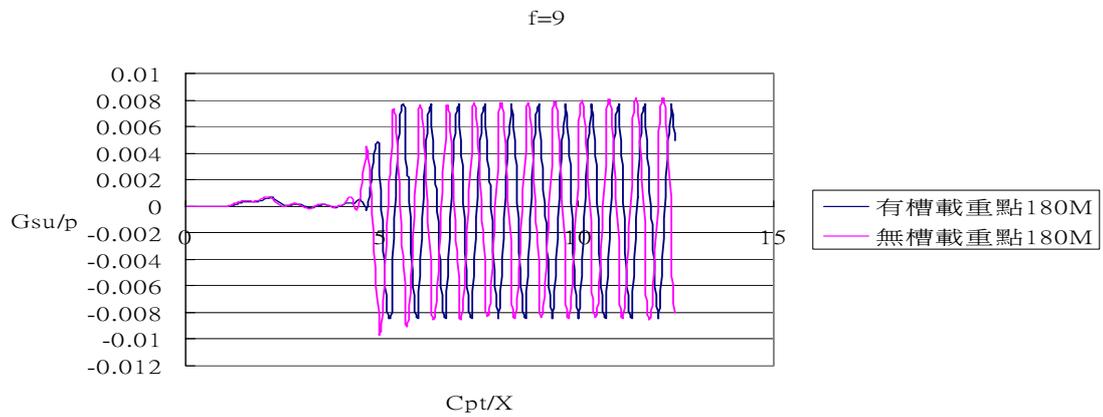


圖 5-323 caseVII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

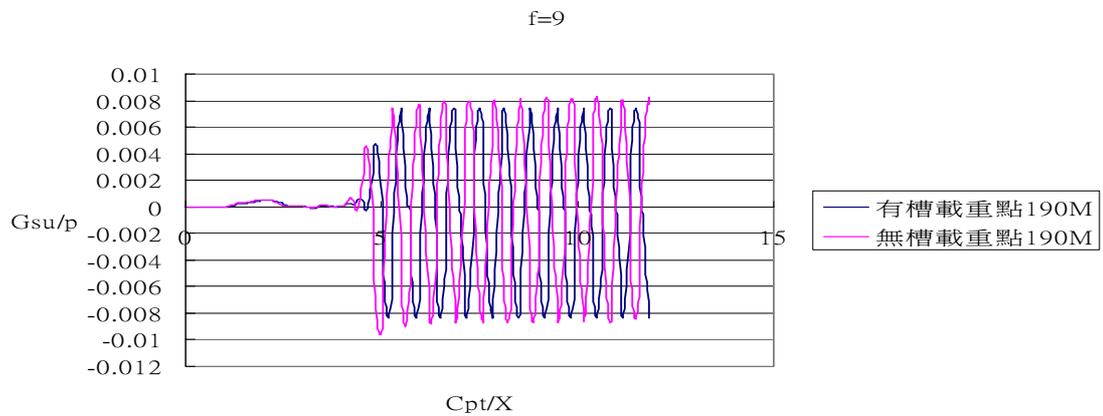


圖 5-324 caseVII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

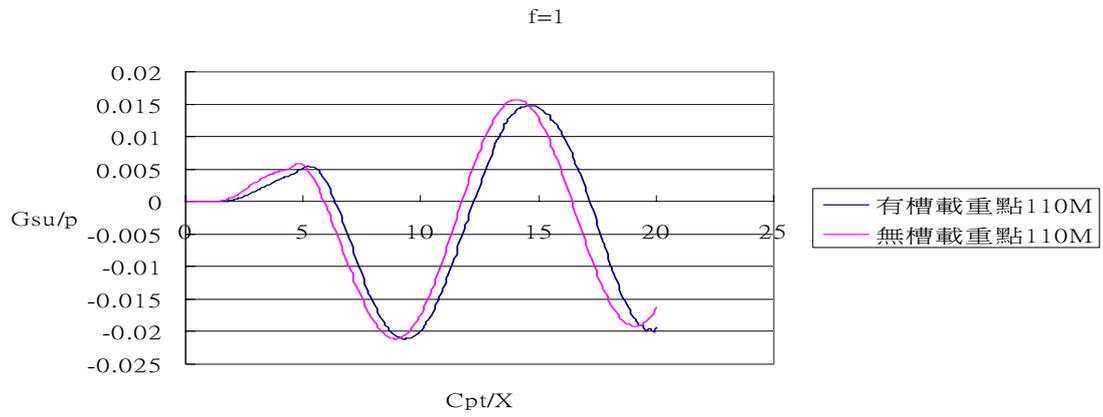


圖 5-325 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

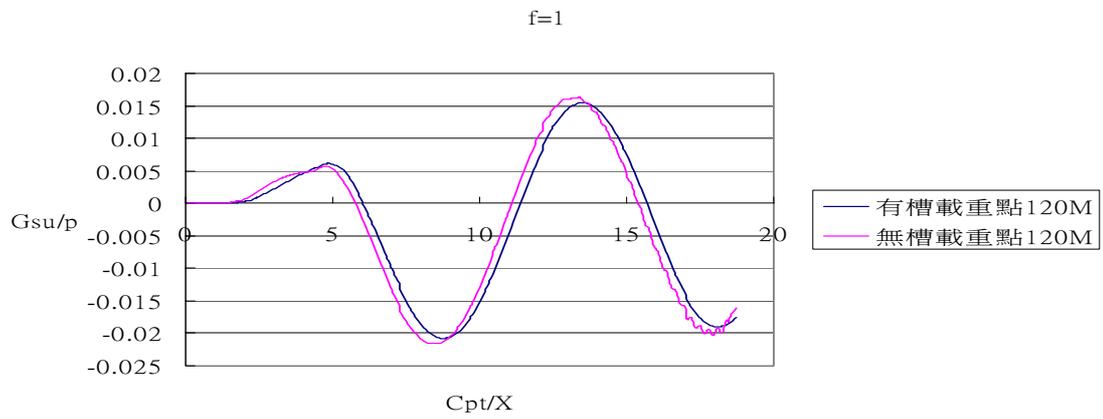


圖 5-326 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

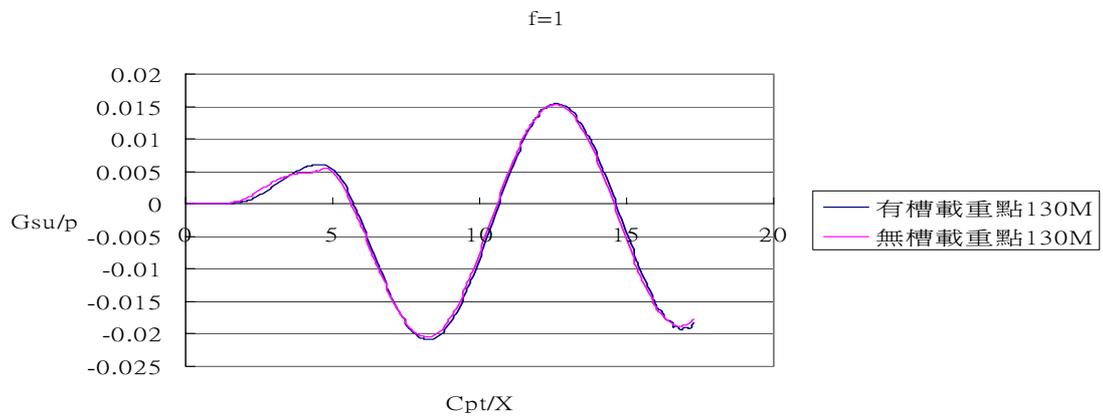


圖 5-327 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

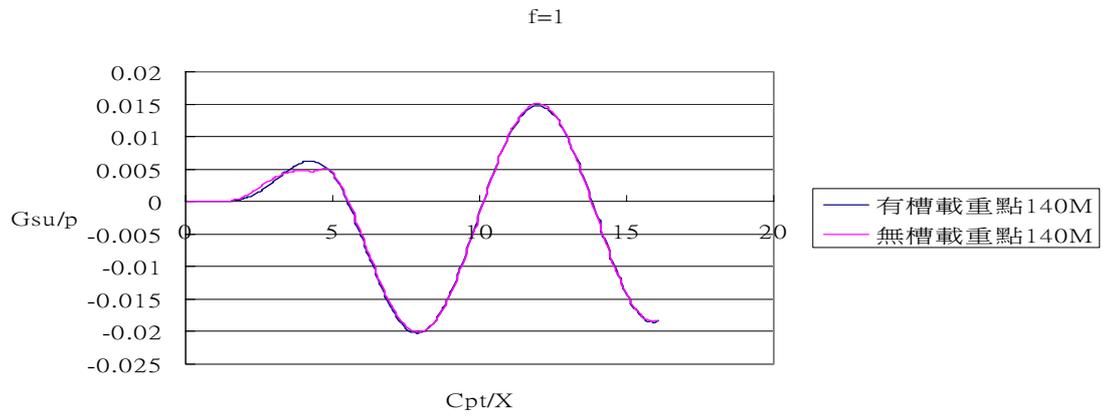


圖 5-328 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

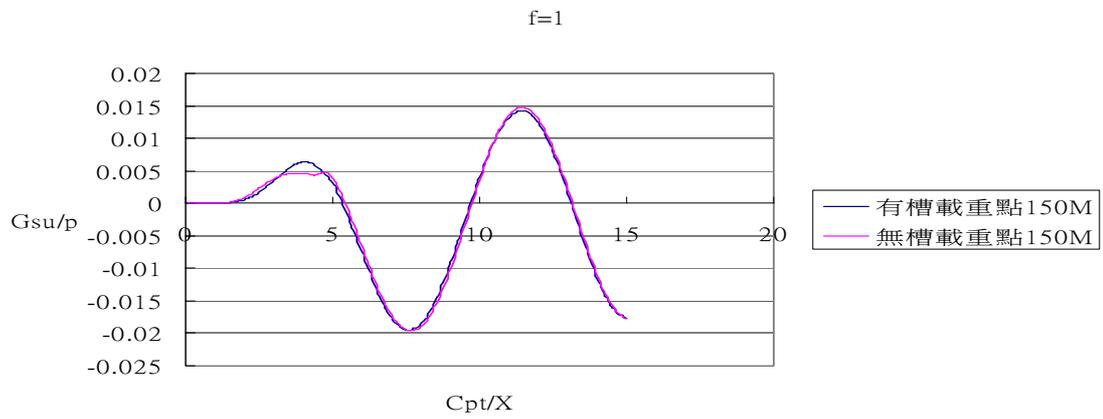


圖 5-329 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

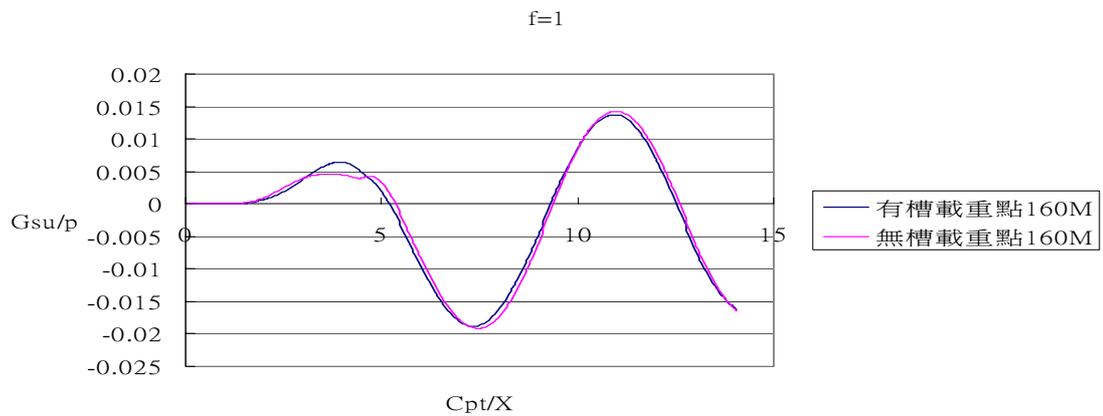


圖 5-330 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

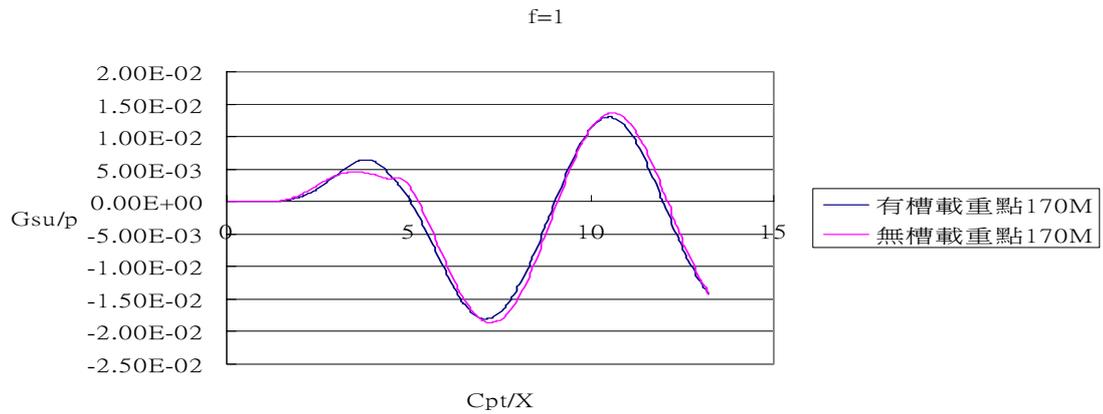


圖 5-331 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

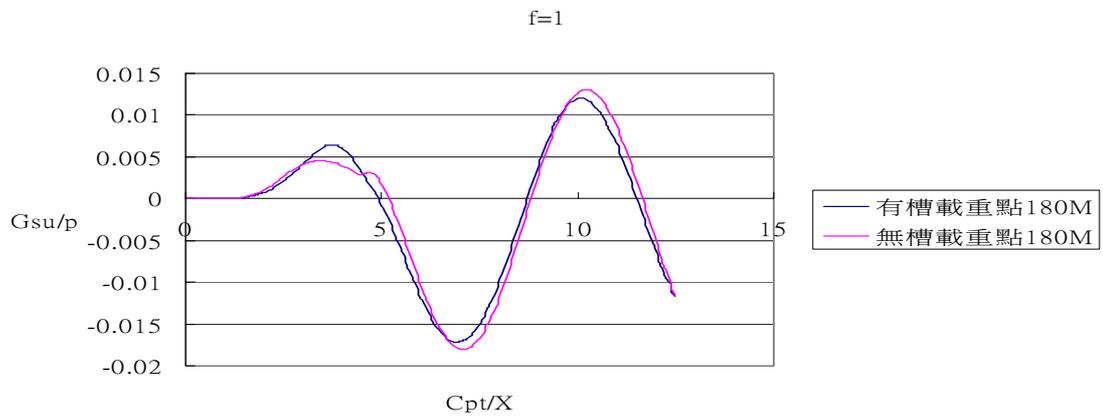


圖 5-332 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

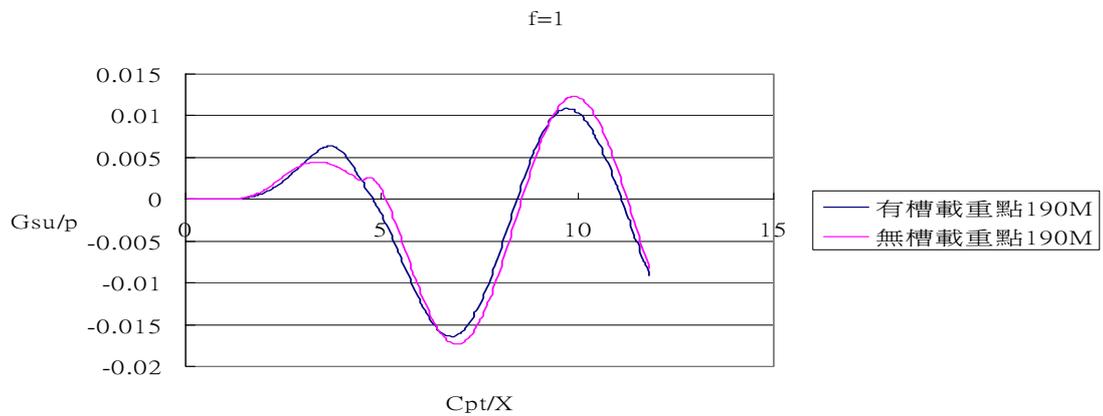


圖 5-333 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

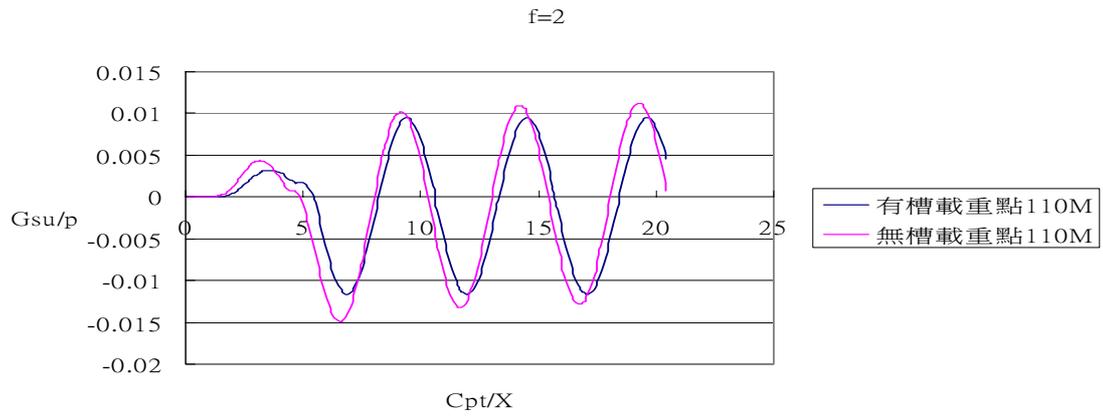


圖 5-334 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

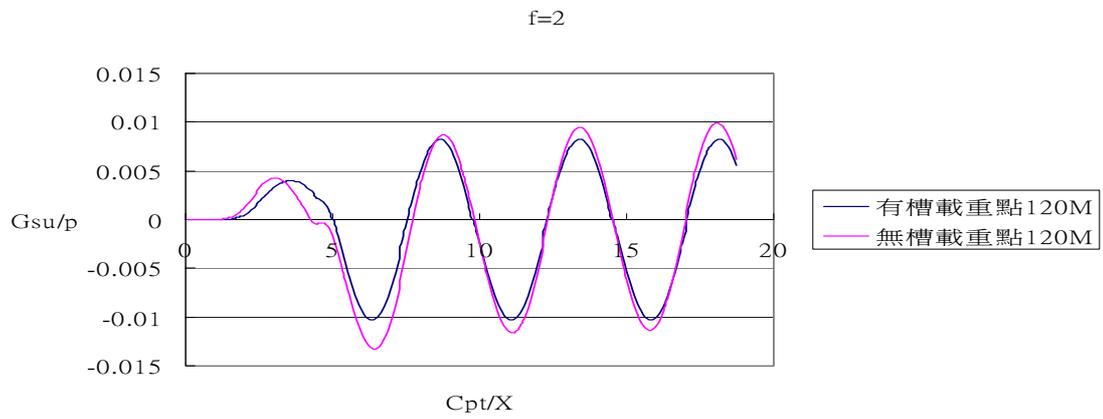


圖 5-335 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

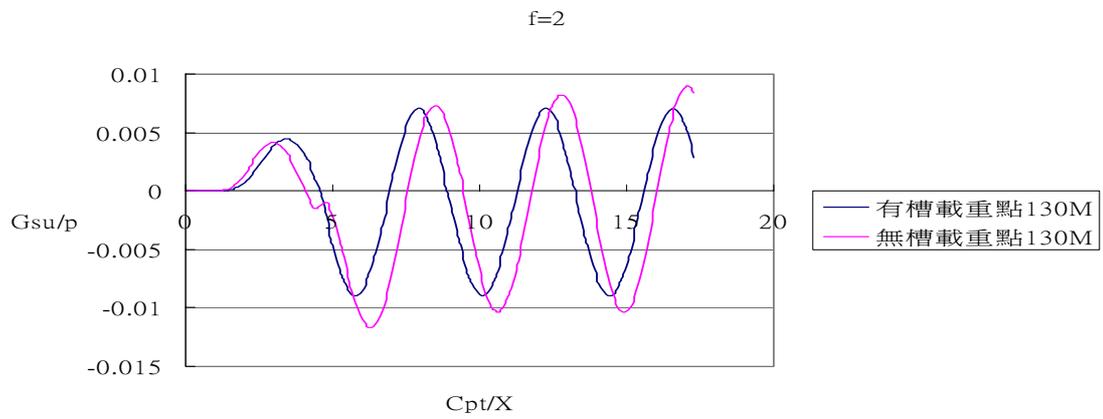


圖 5-336 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

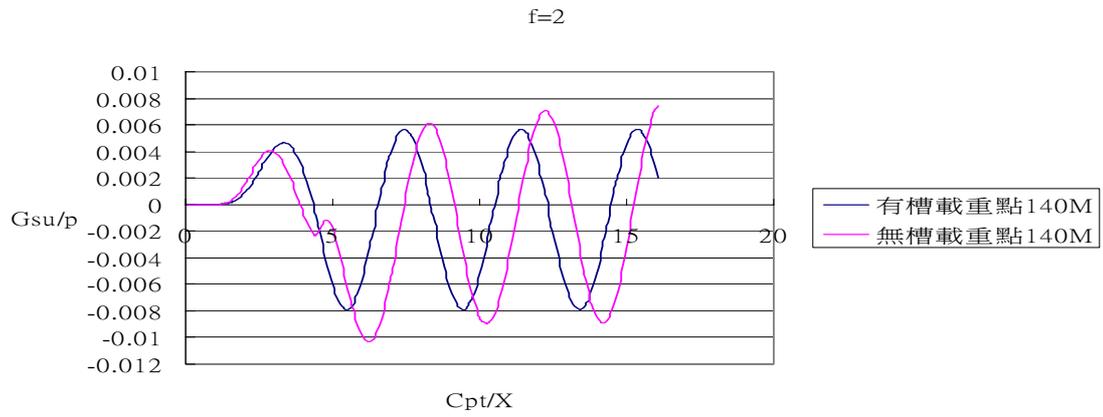


圖 5-337 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

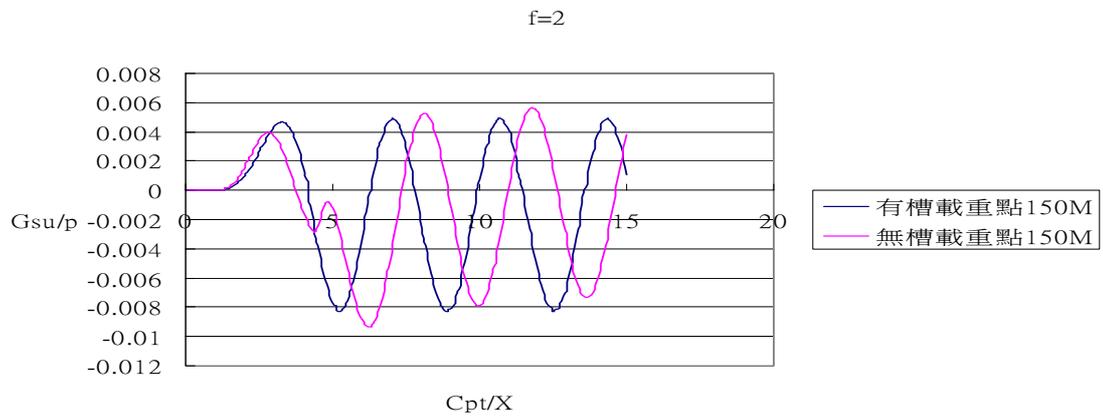


圖 5-338 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

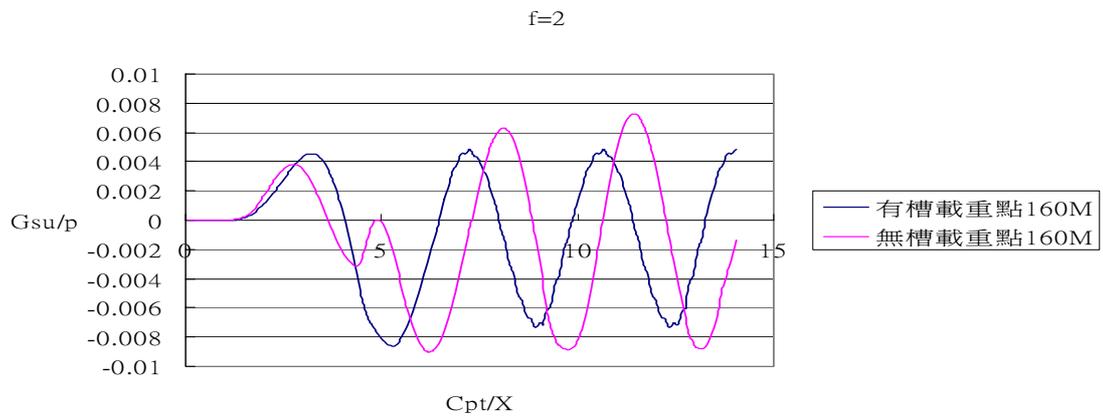


圖 5-339 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

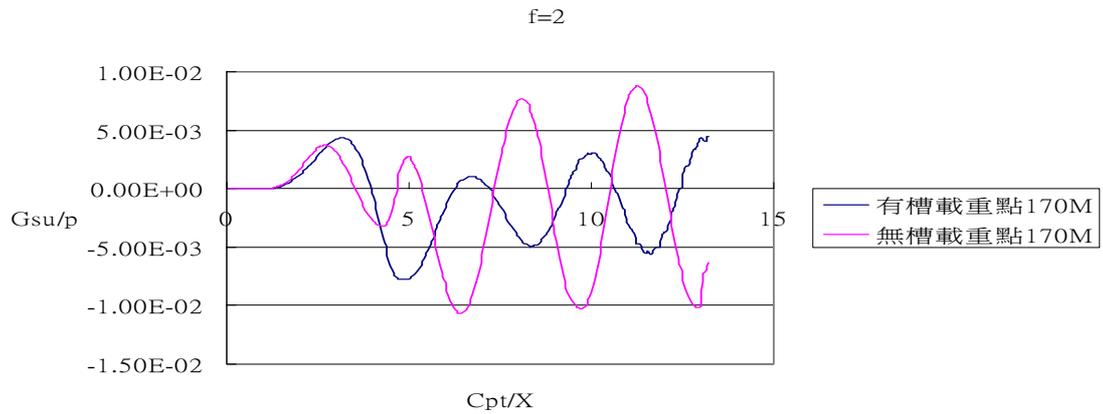


圖 5-340 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

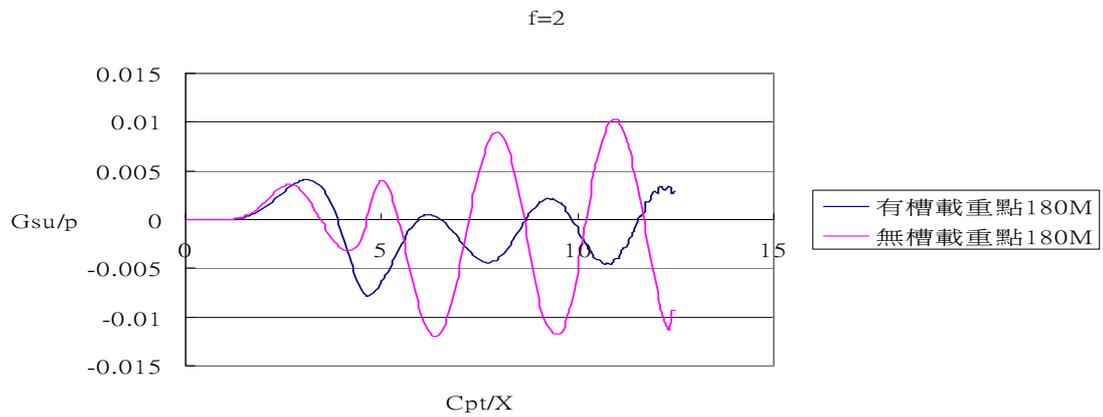


圖 5-341 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

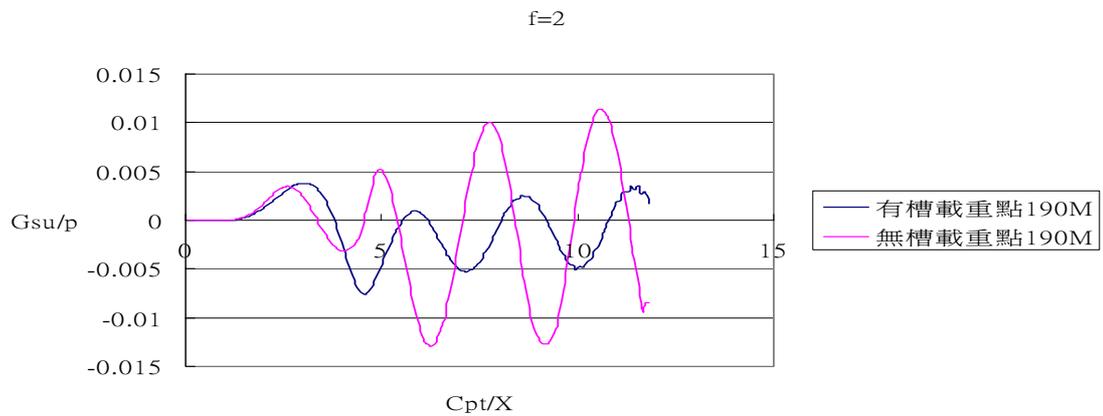


圖 5-342 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

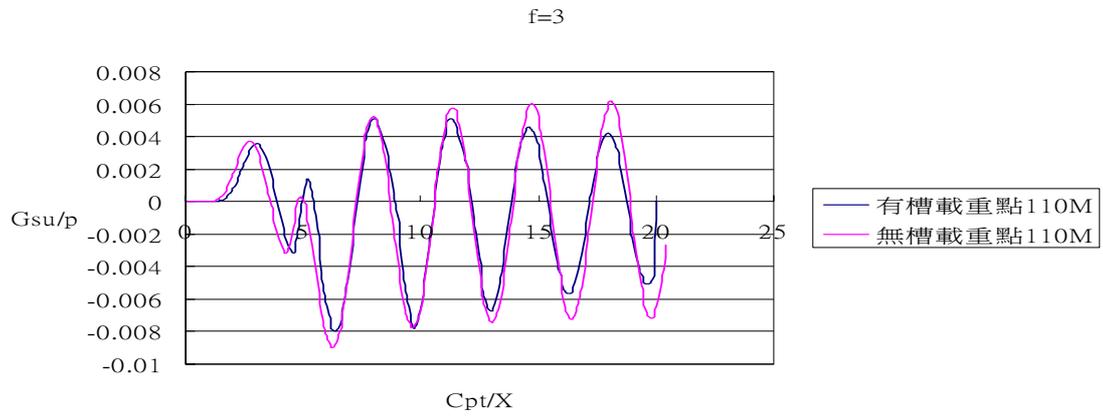


圖 5-343 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

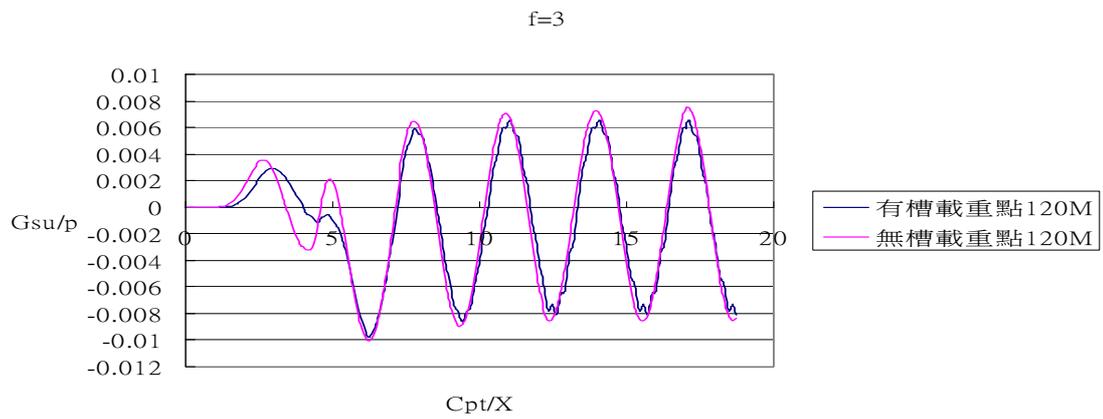


圖 5-344 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

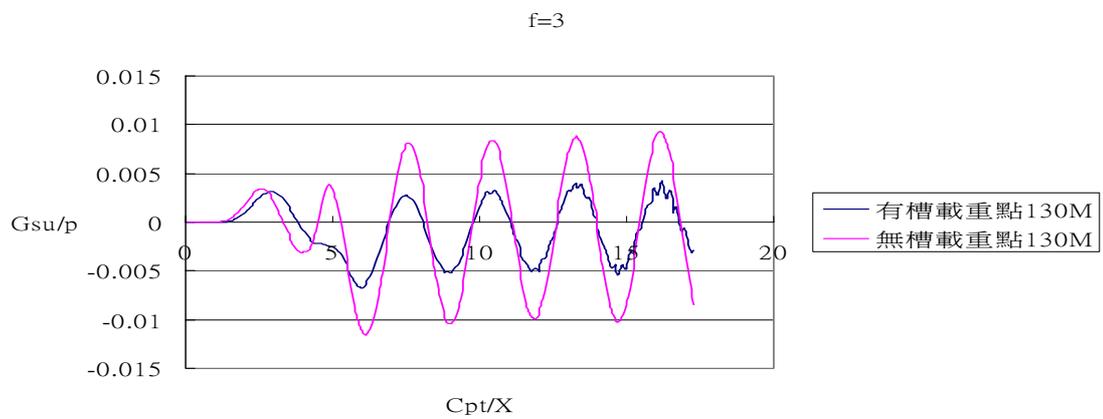


圖 5-345 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

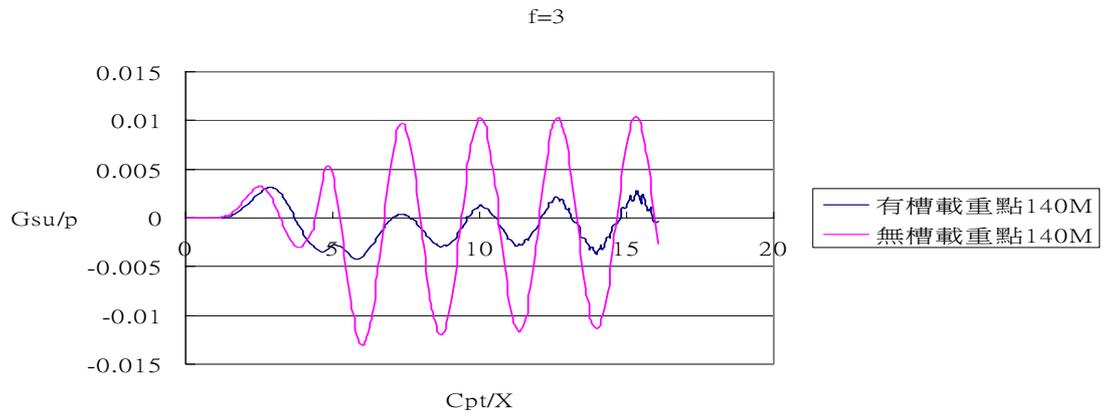


圖 5-346 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

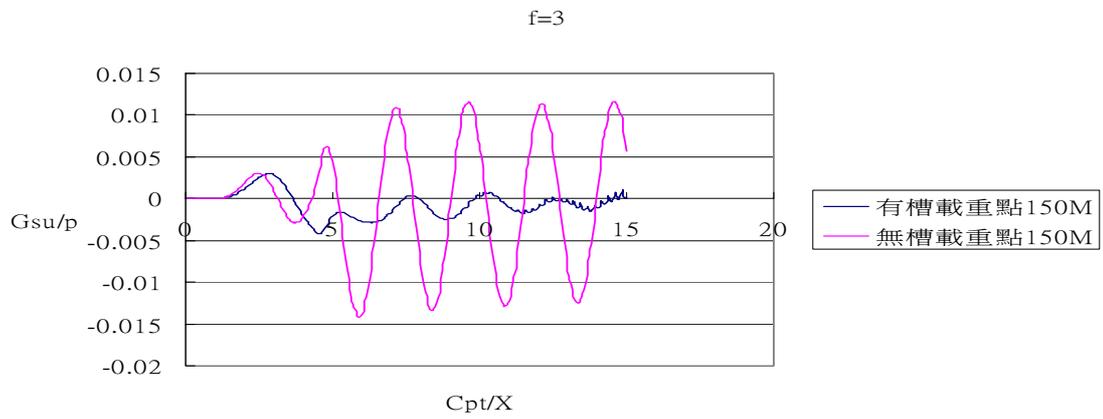


圖 5-347 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

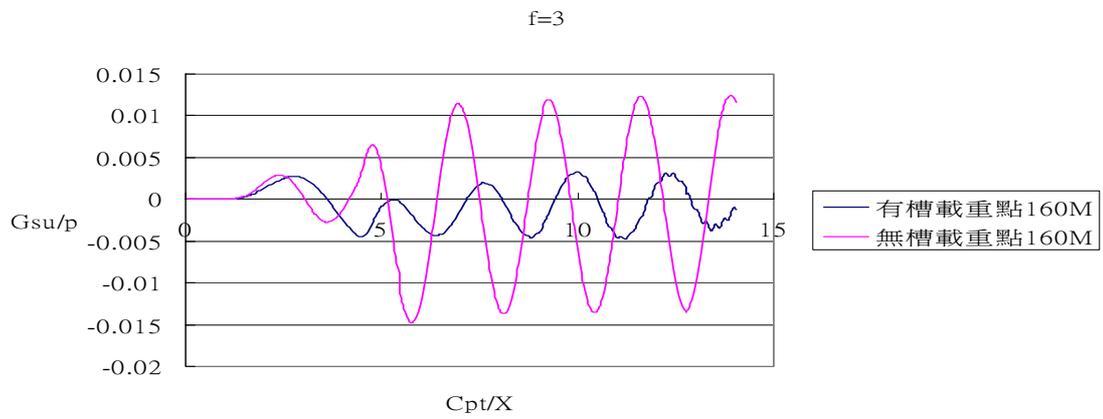


圖 5-348 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

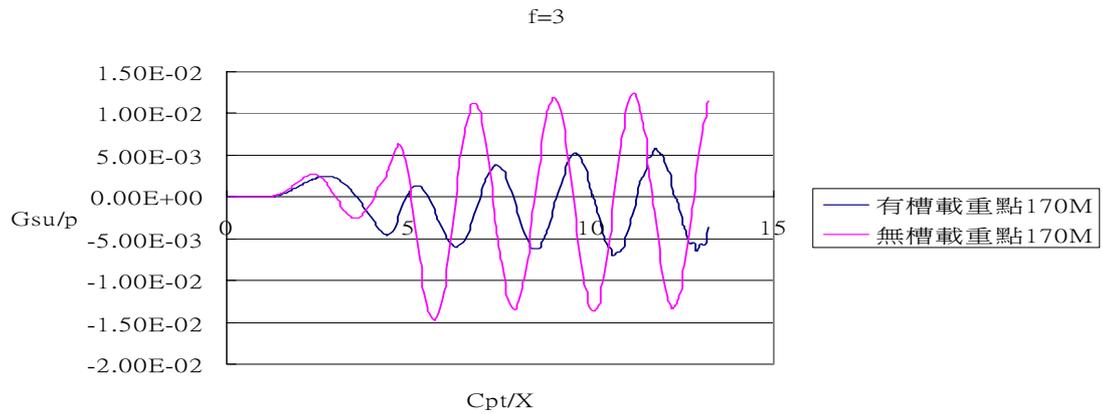


圖 5-349 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

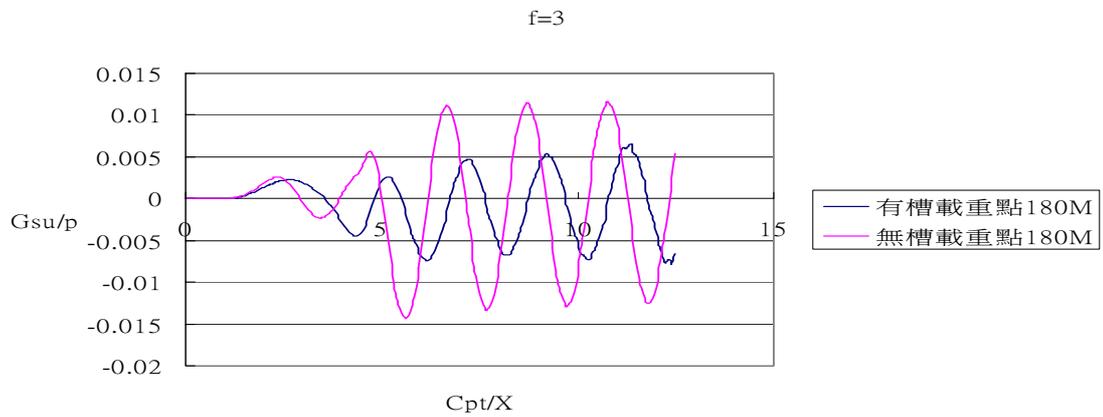


圖 5-350 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

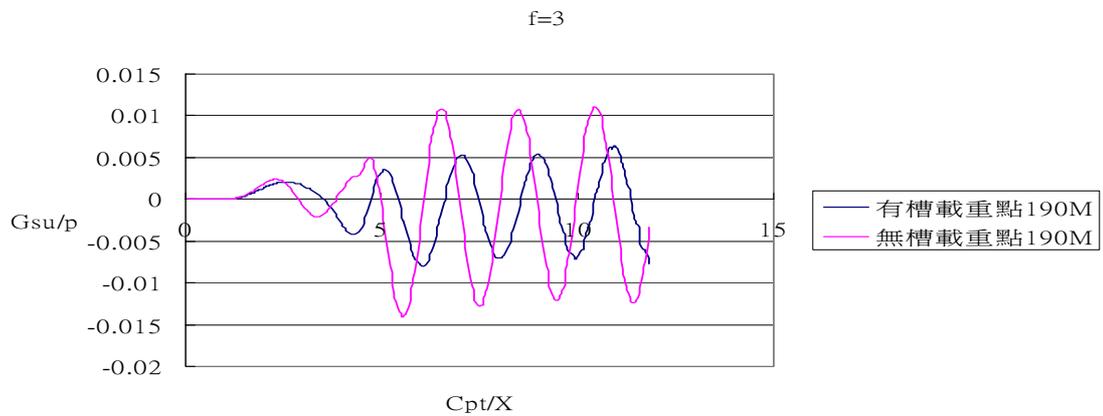


圖 5-351 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

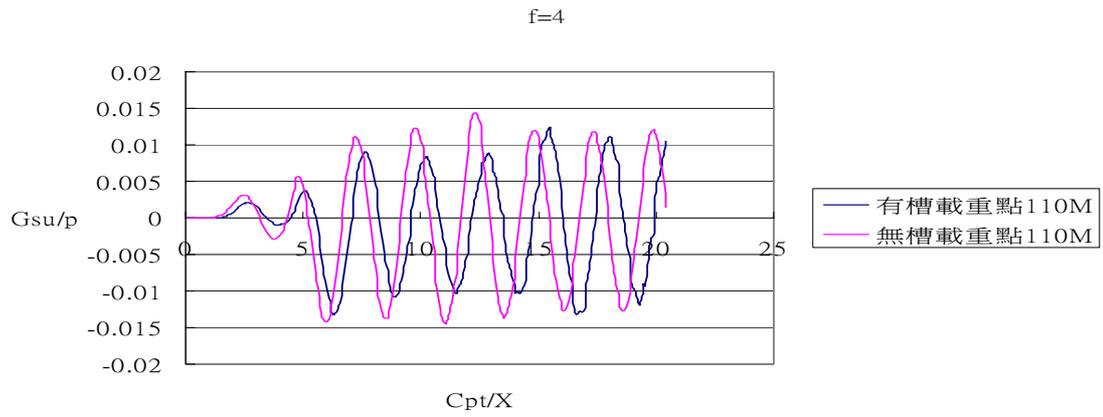


圖 5-352 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

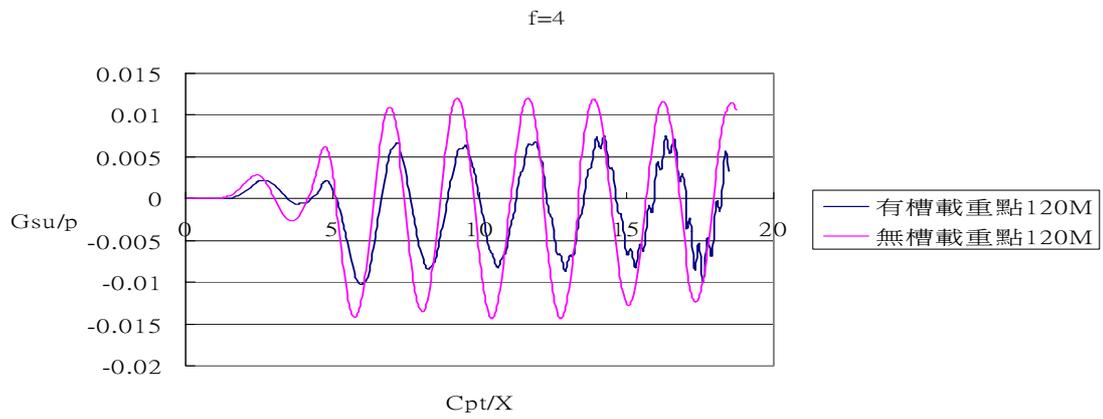


圖 5-353 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

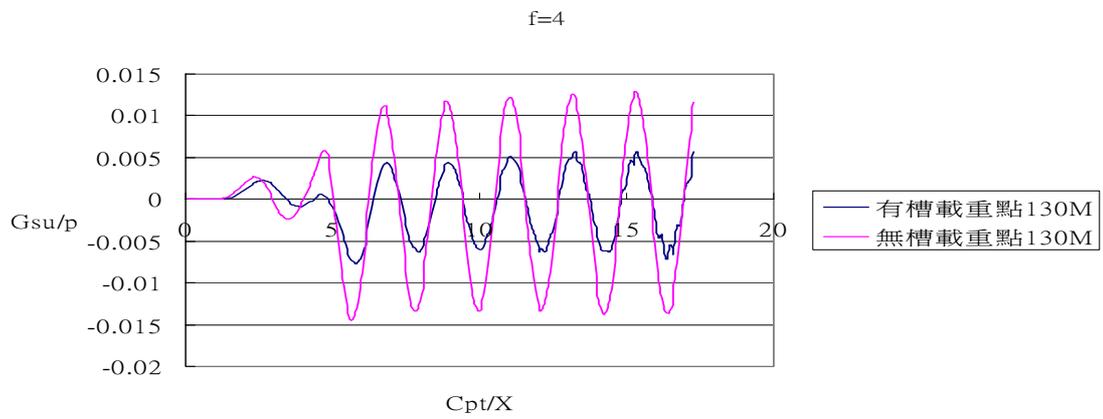


圖 5-354 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

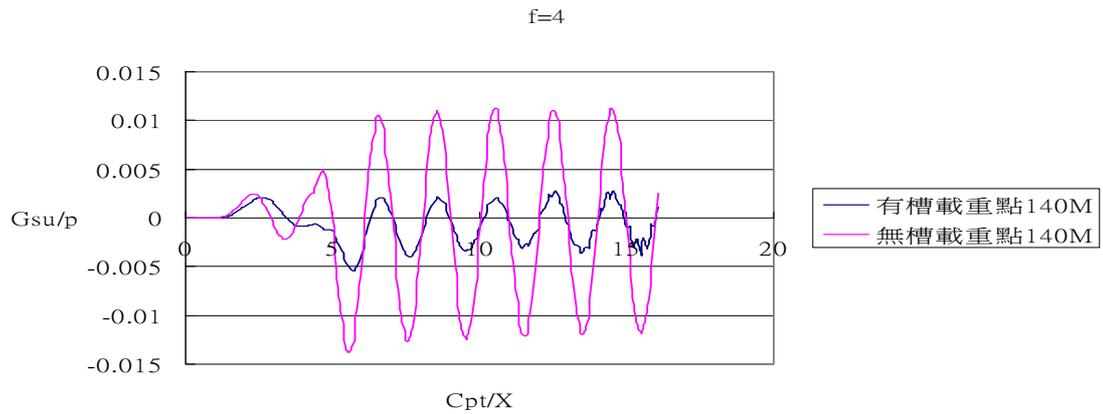


圖 5-355 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

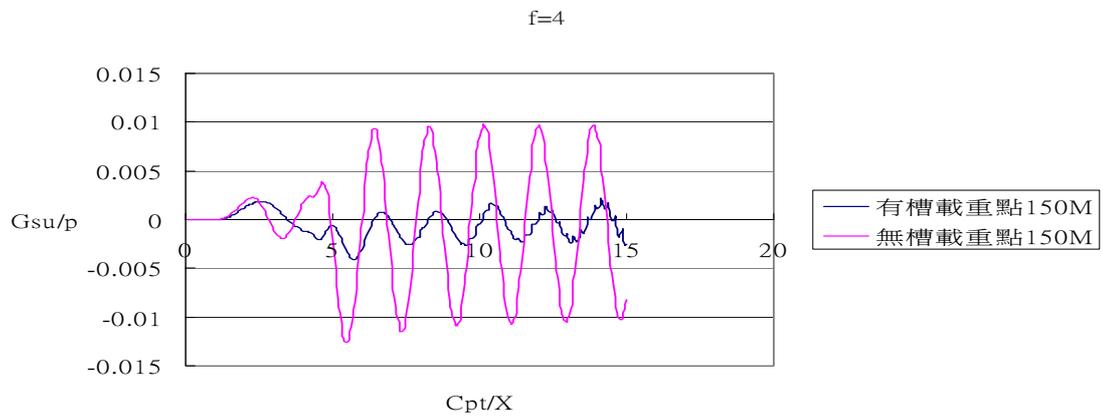


圖 5-356 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

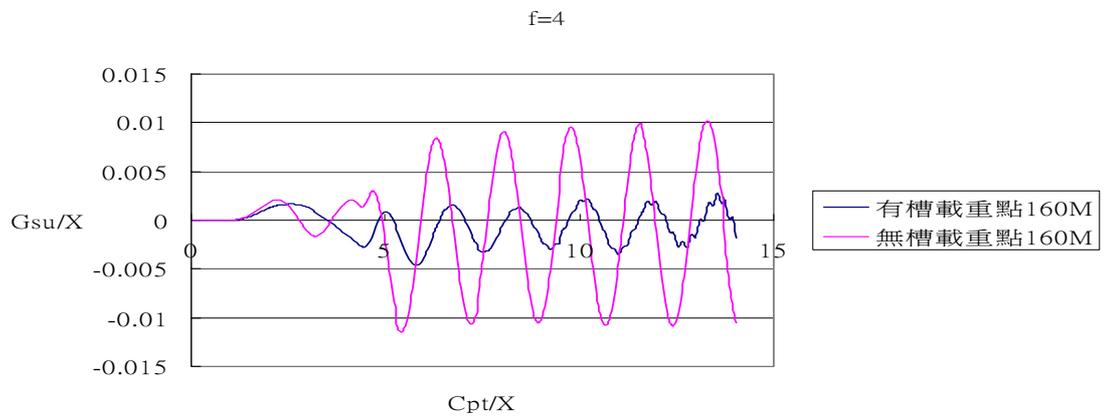


圖 5-357 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

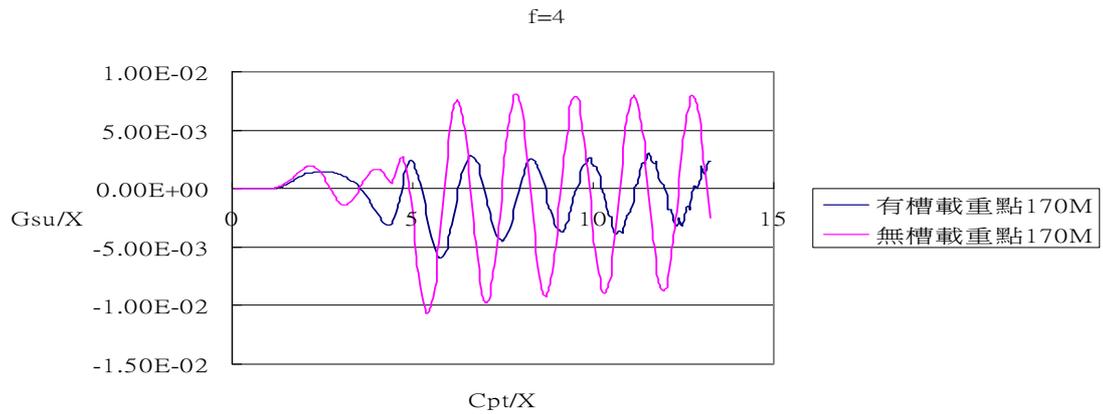


圖 5-358 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

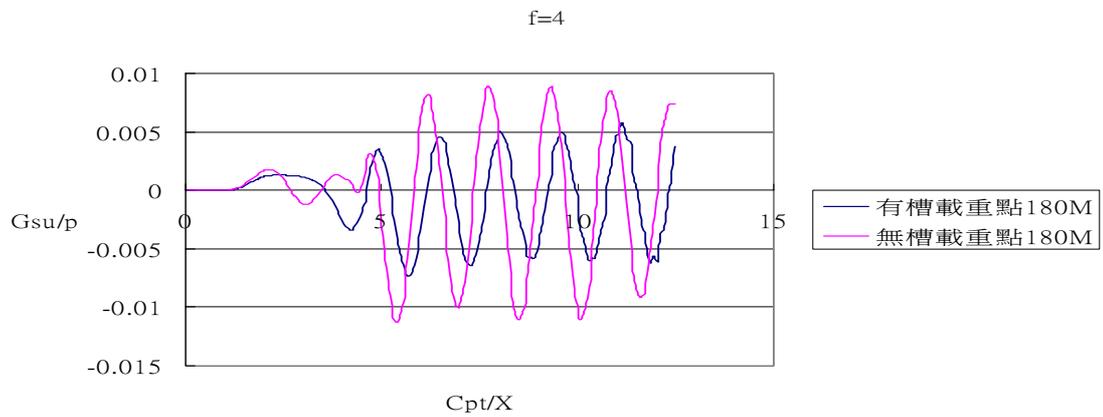


圖 5-359 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

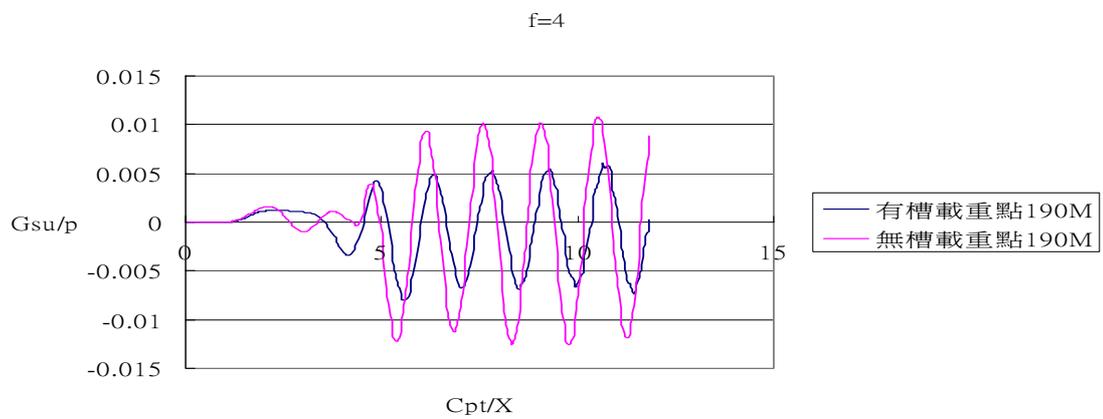


圖 5-360 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

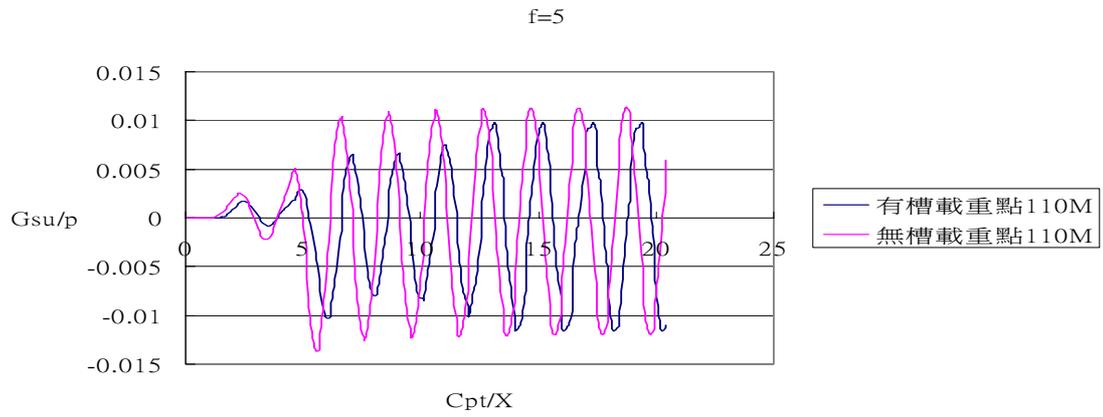


圖 5-361 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

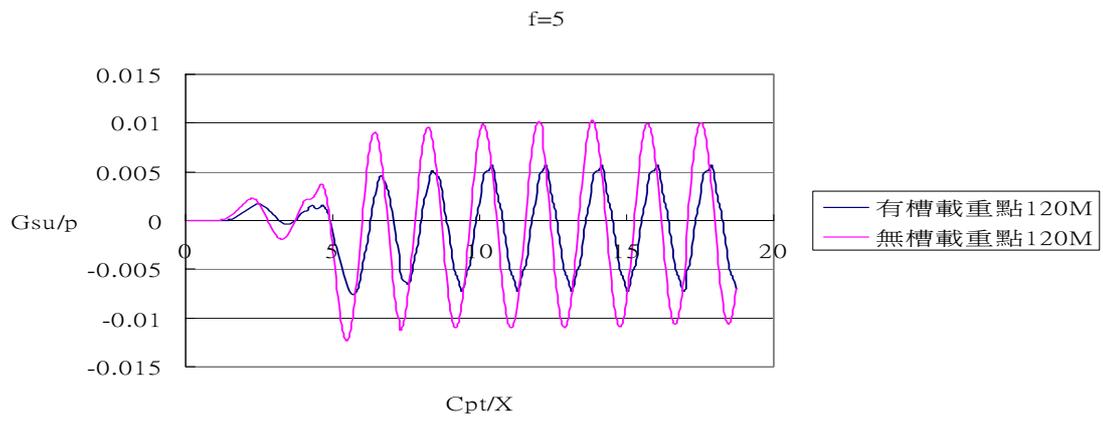


圖 5-362 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

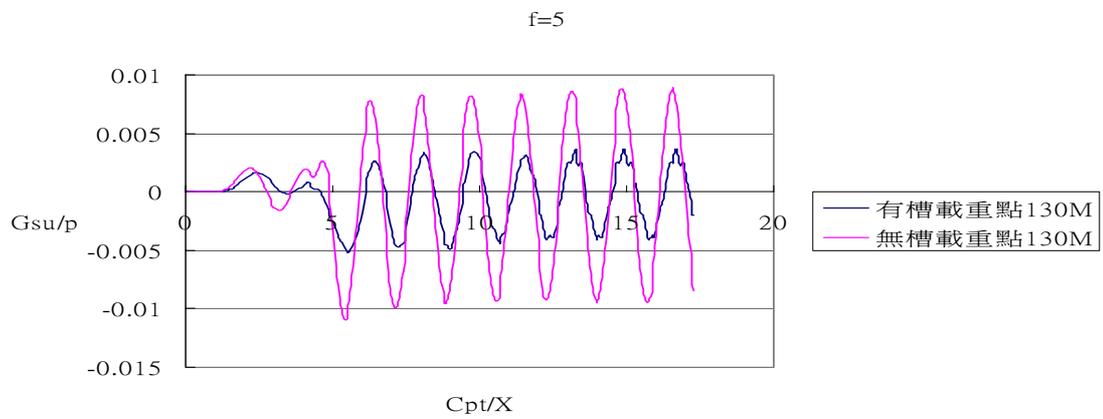


圖 5-363 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

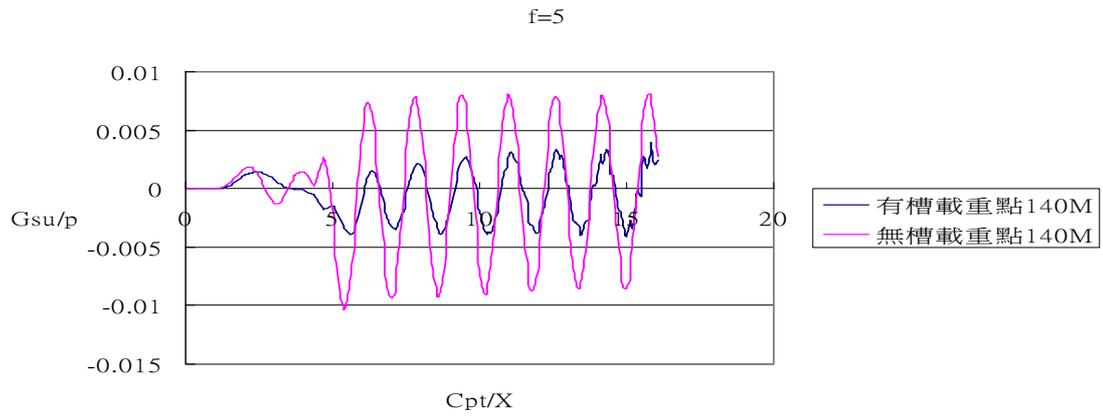


圖 5-364 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

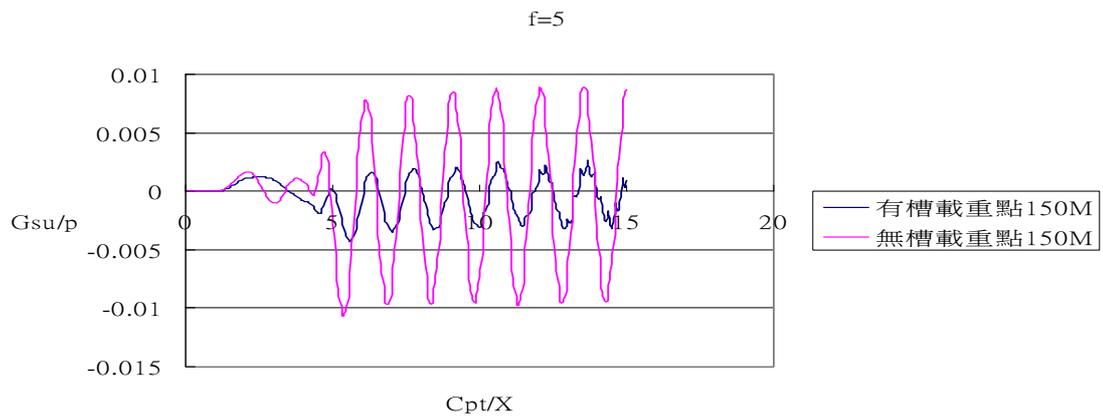


圖 5-365 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

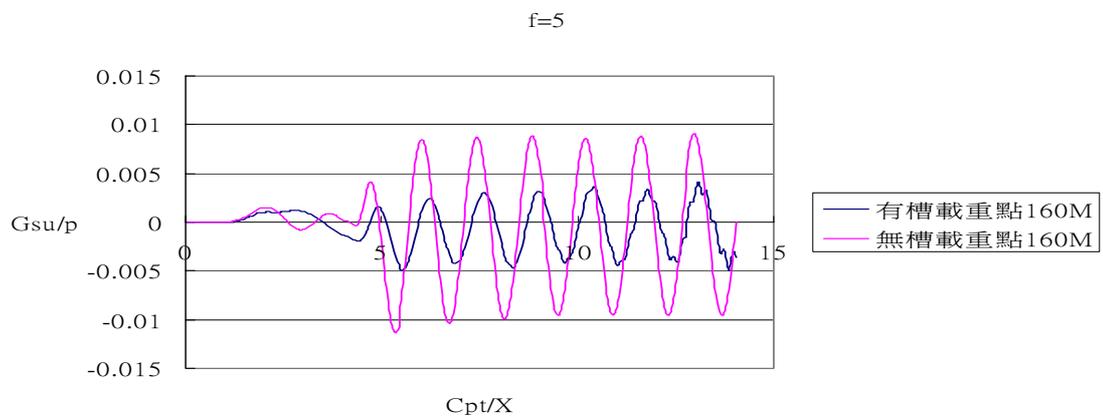


圖 5-366 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

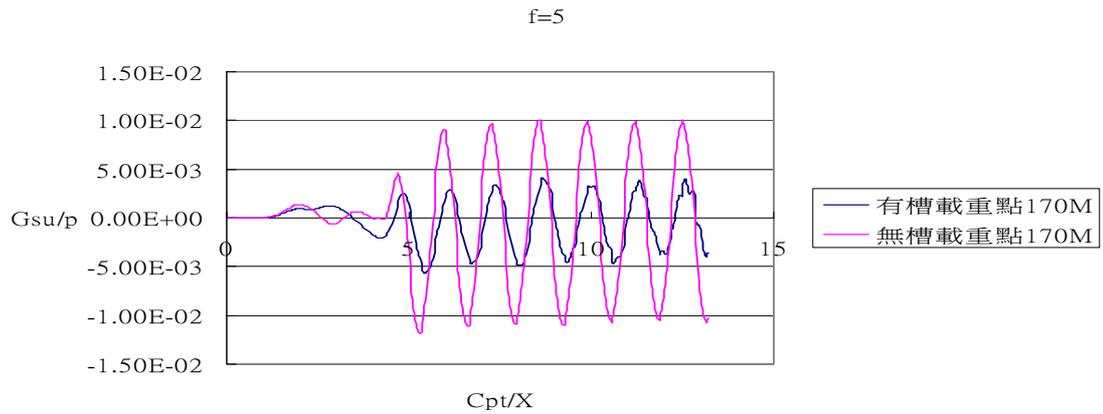


圖 5-367 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

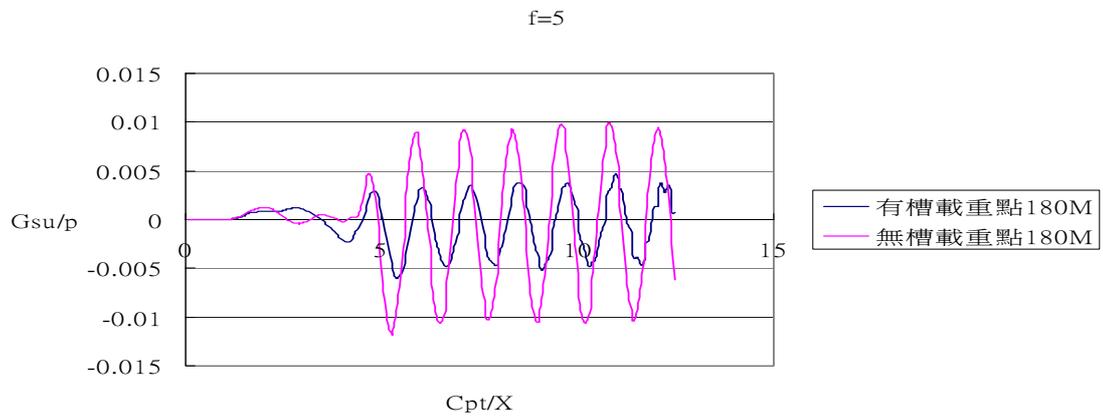


圖 5-368 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

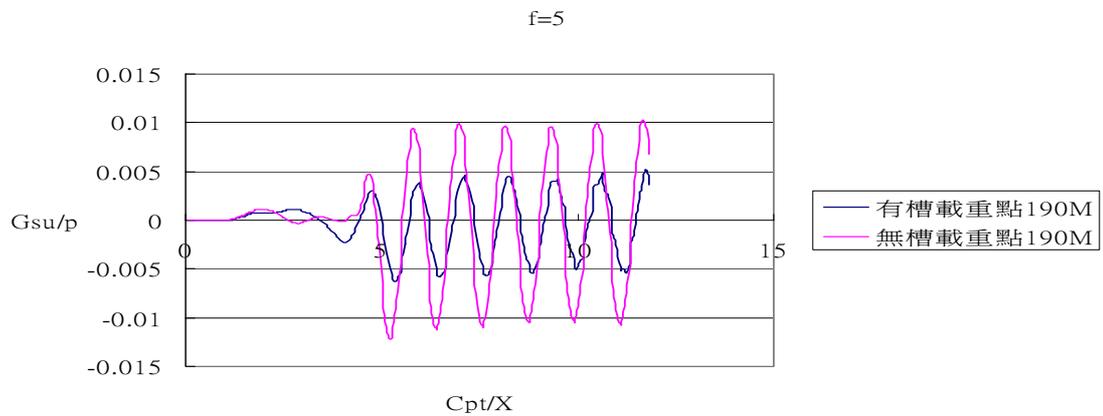


圖 5-369 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

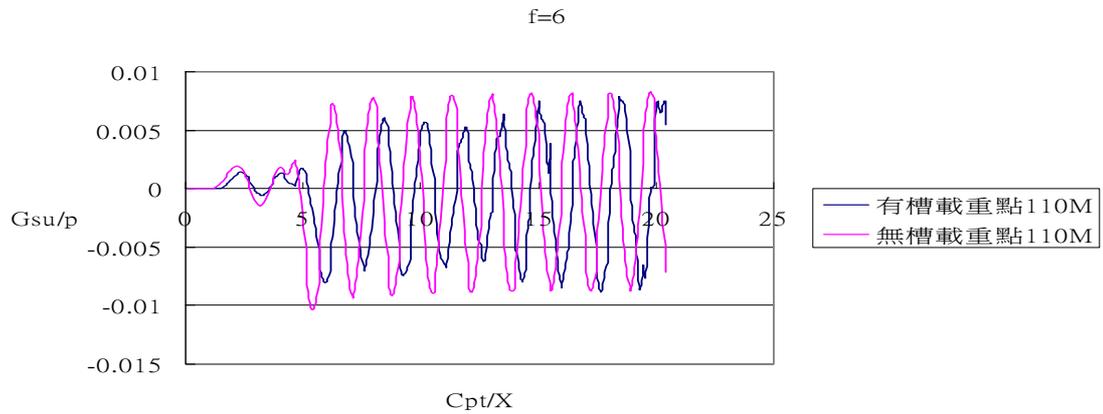


圖 5-370 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

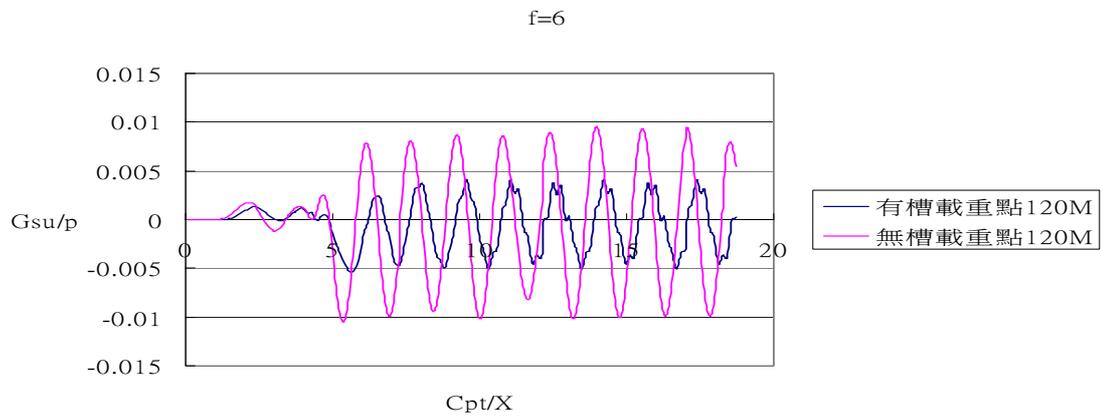


圖 5-371 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

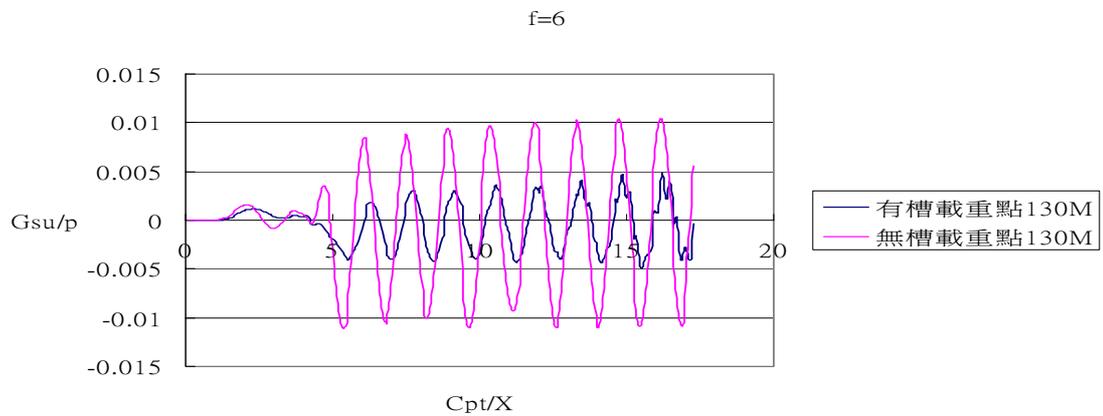


圖 5-372 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

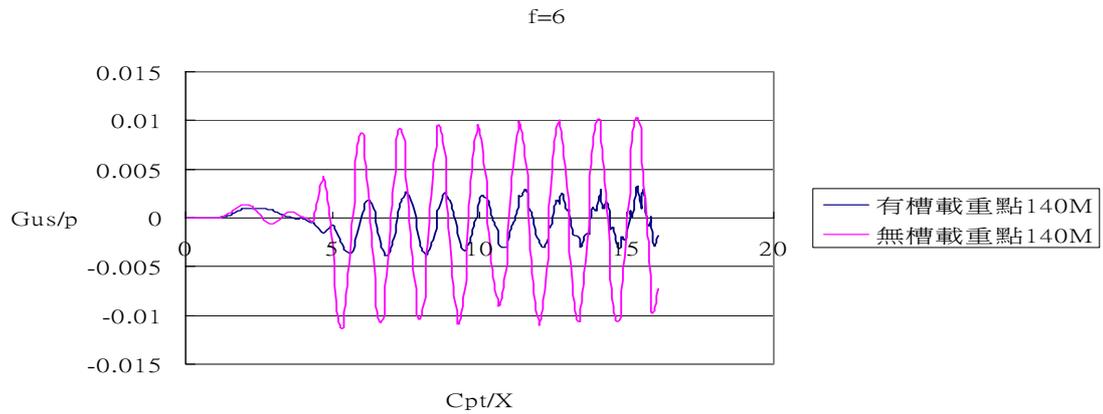


圖 5-373 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

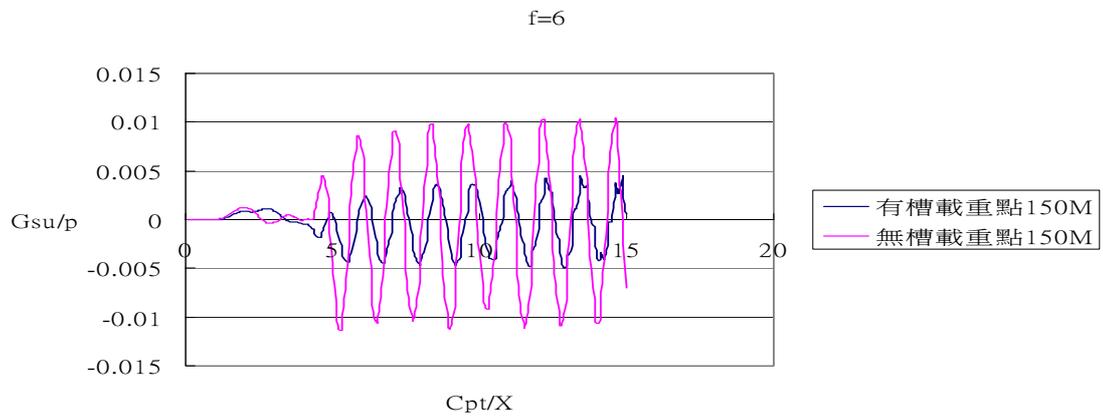


圖 5-374 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

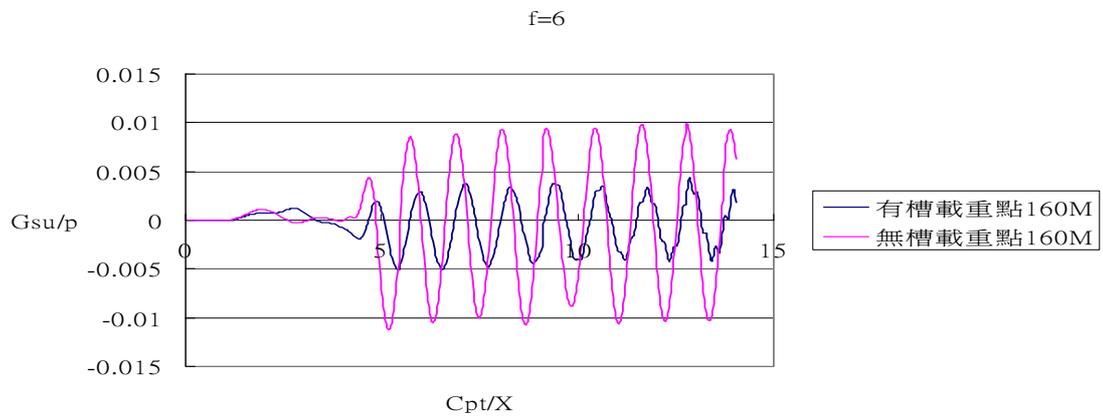


圖 5-375 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

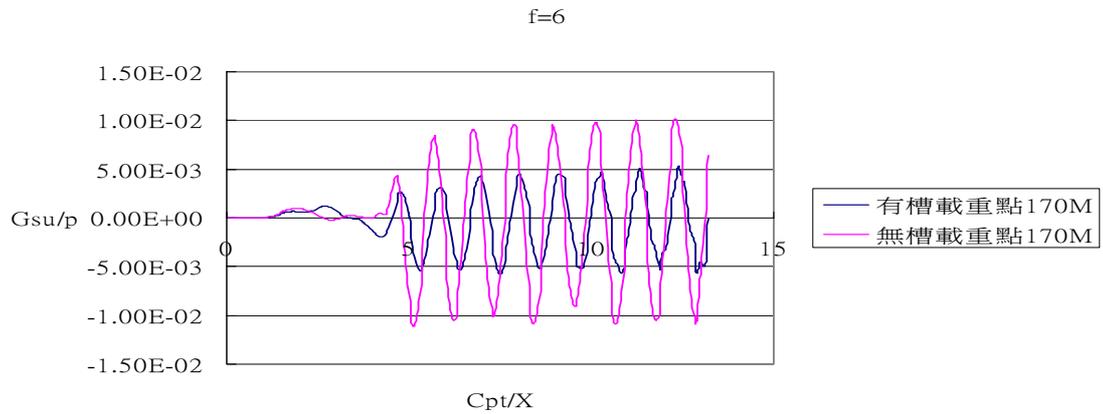


圖 5-376 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

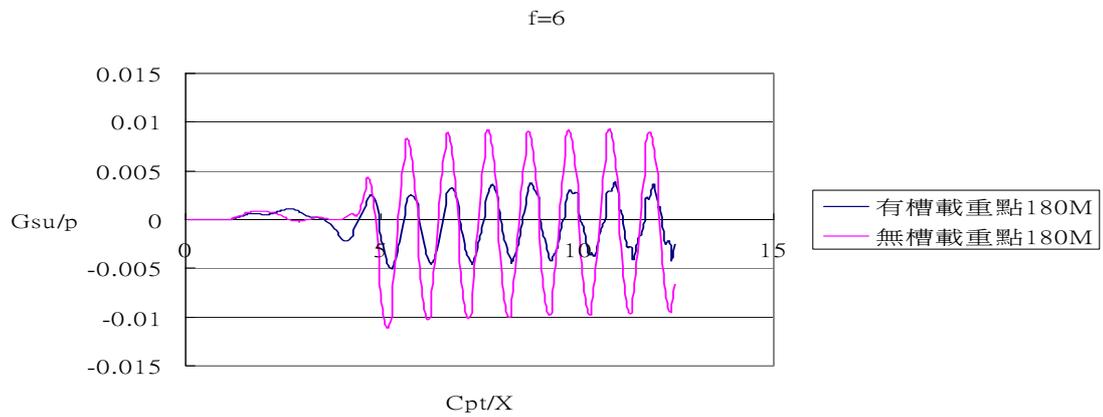


圖 5-377 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

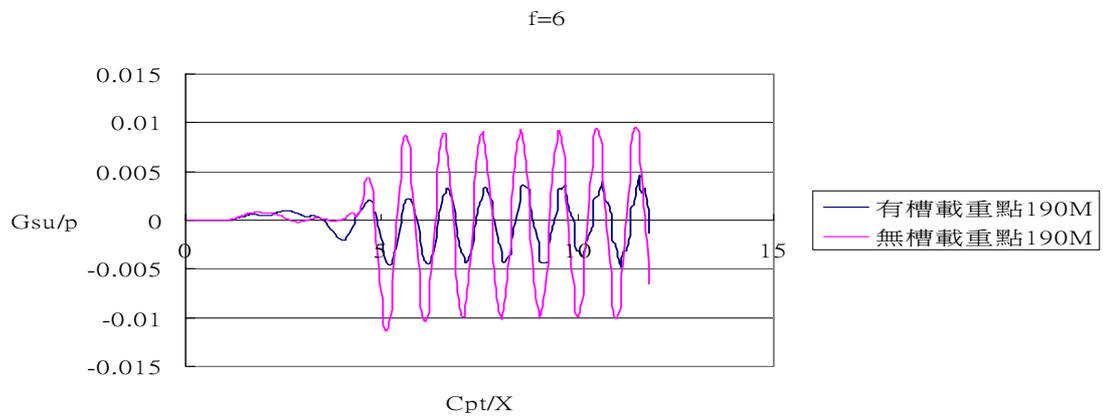


圖 5-378 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

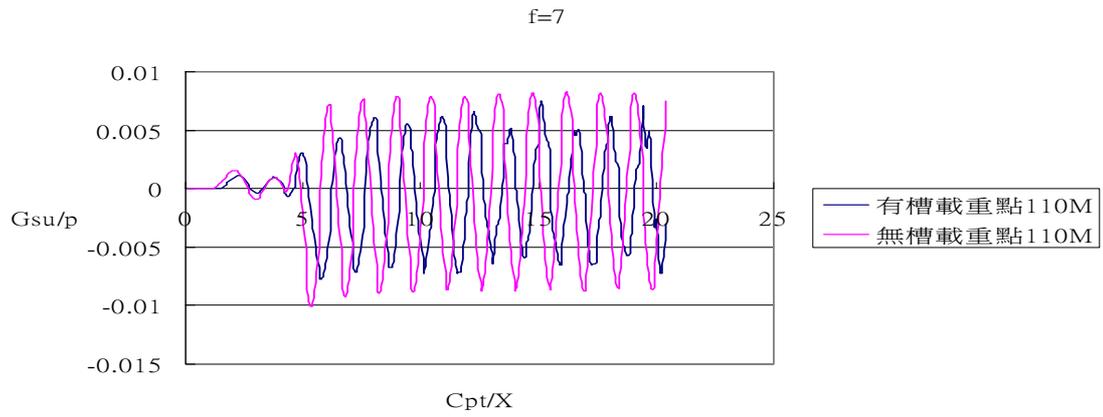


圖 5-379 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

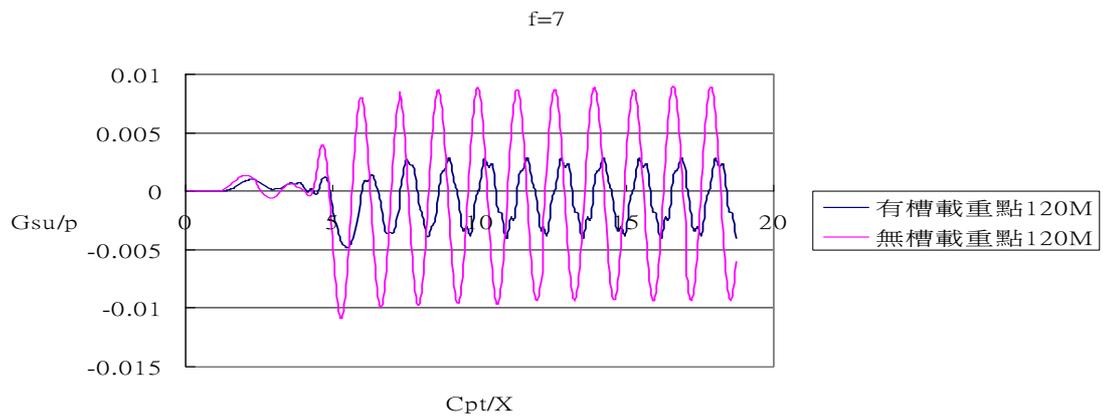


圖 5-380 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

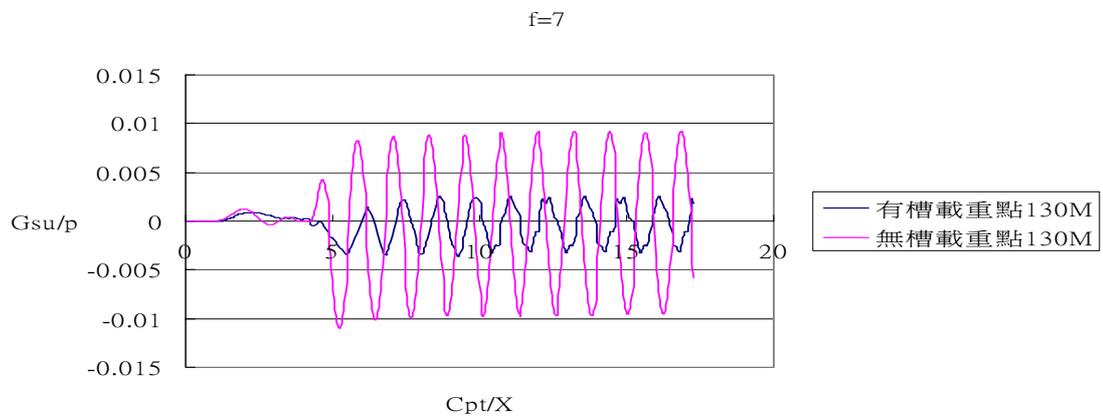


圖 5-381 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

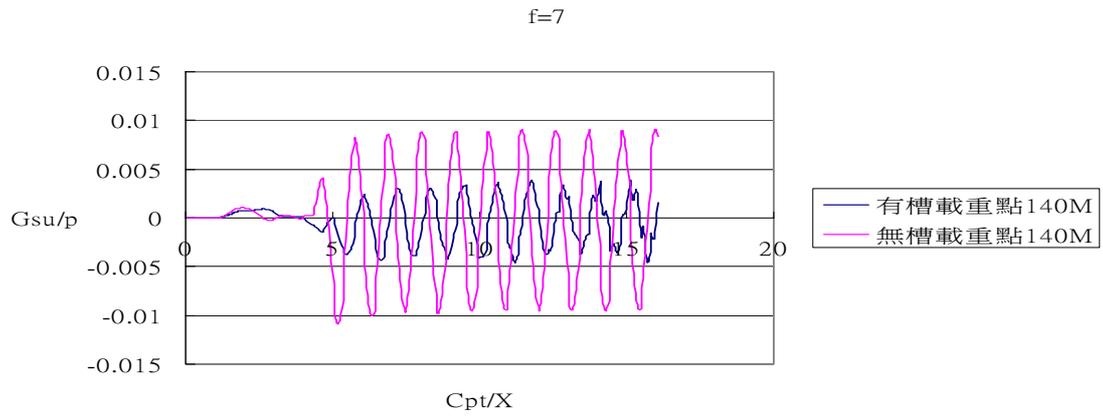


圖 5-382 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

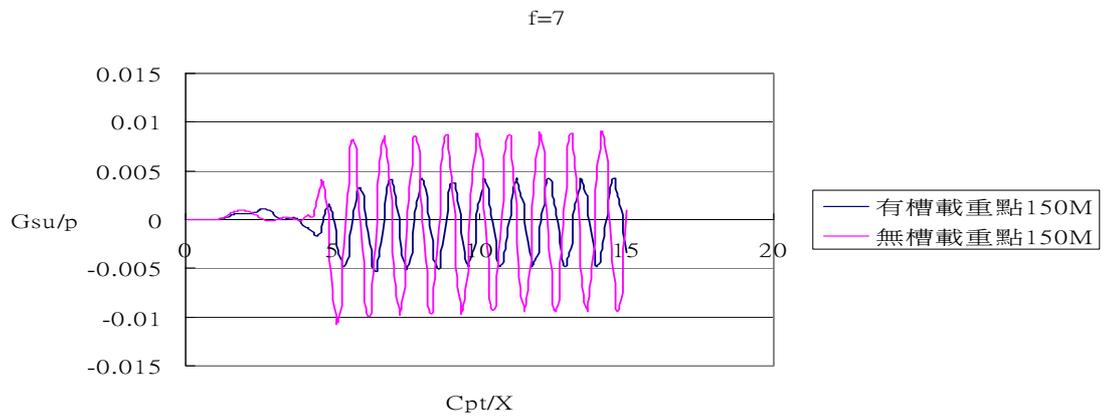


圖 5-383 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

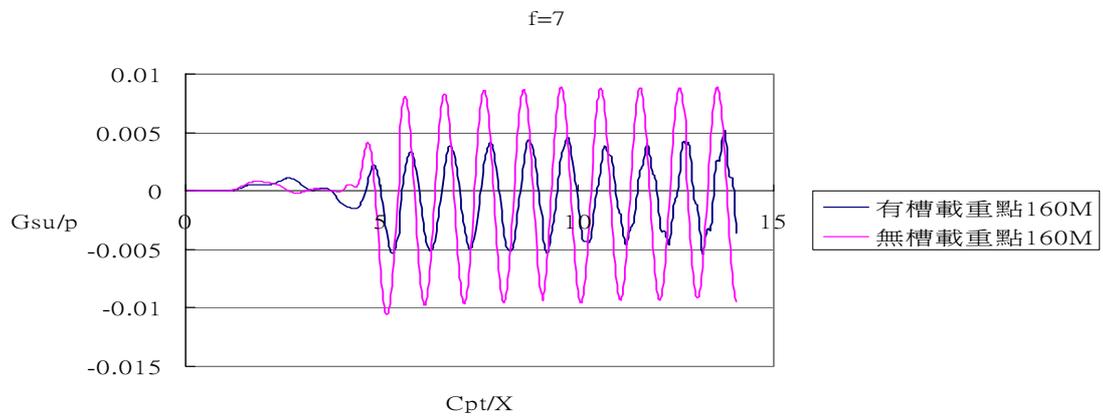


圖 5-384 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

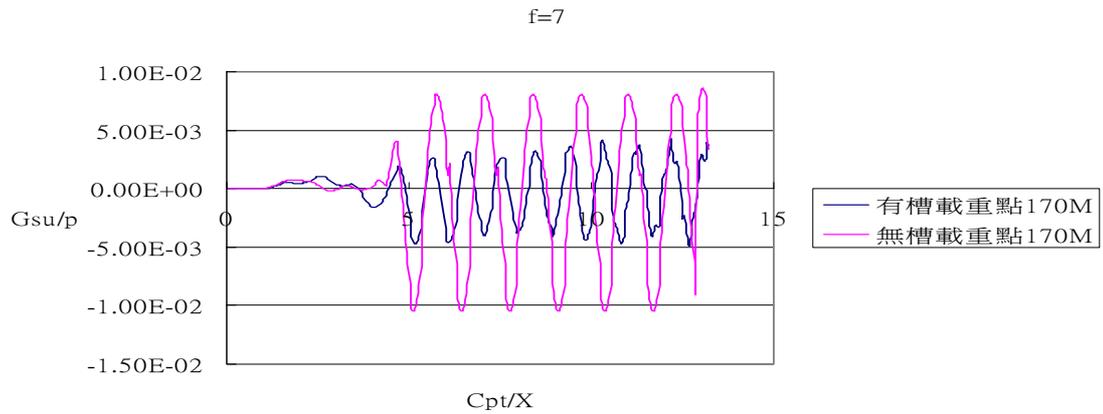


圖 5-385 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

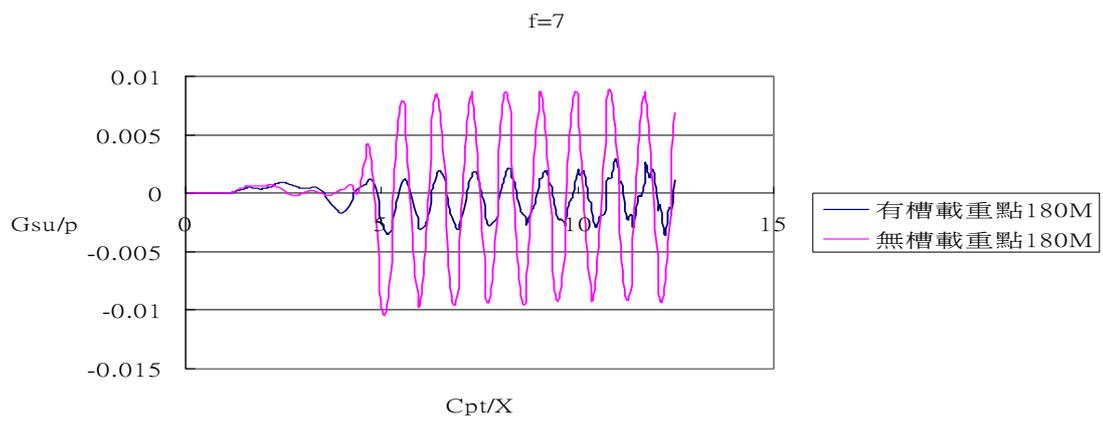


圖 5-386 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

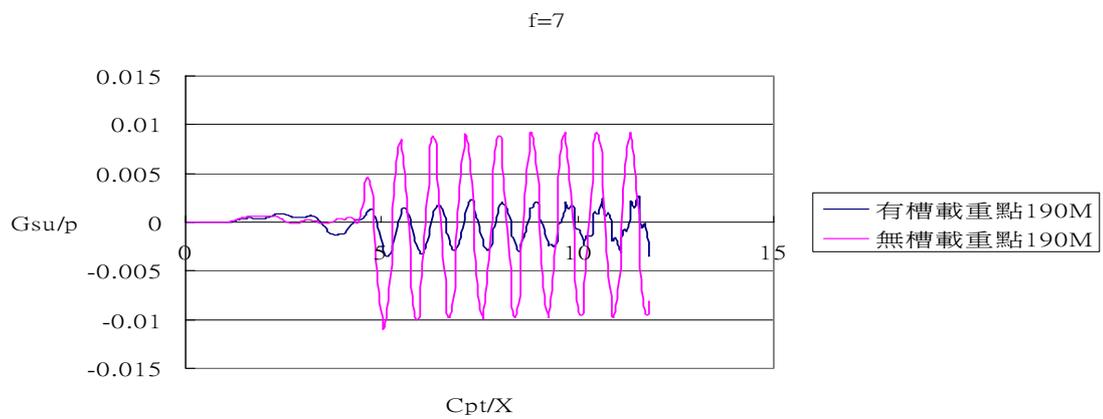


圖 5-387 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

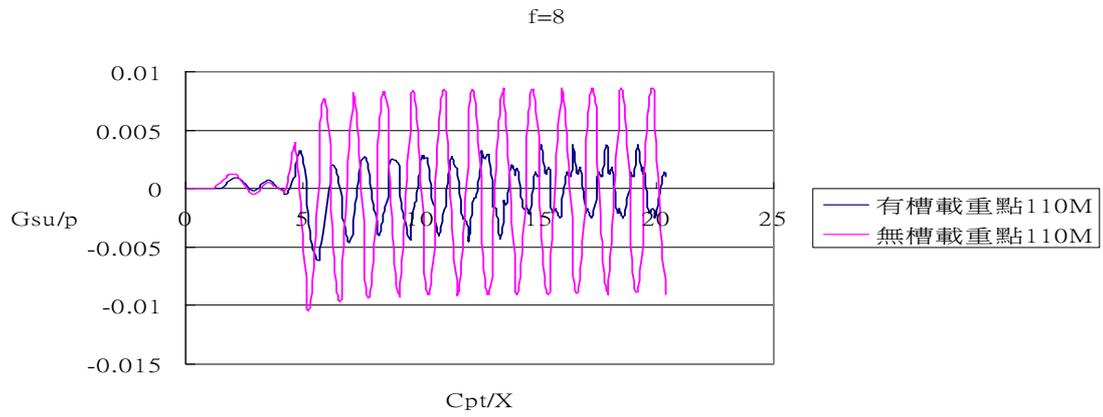


圖 5-388 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

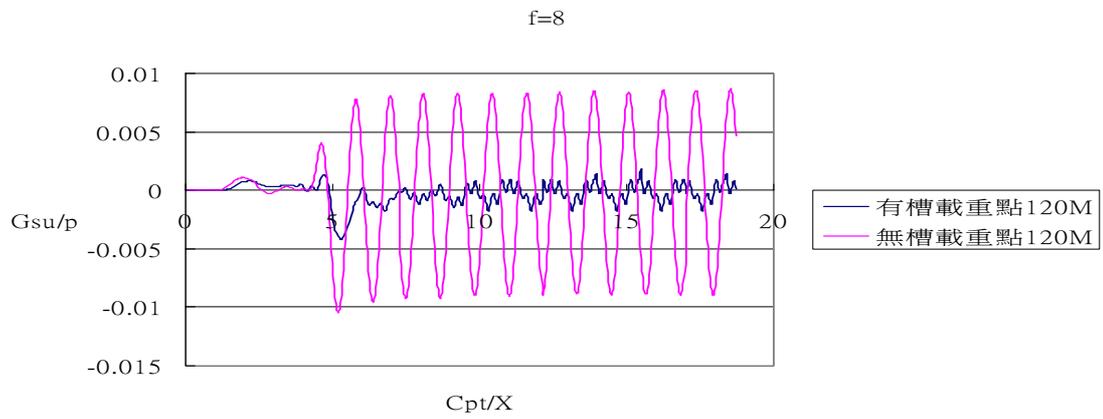


圖 5-389 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

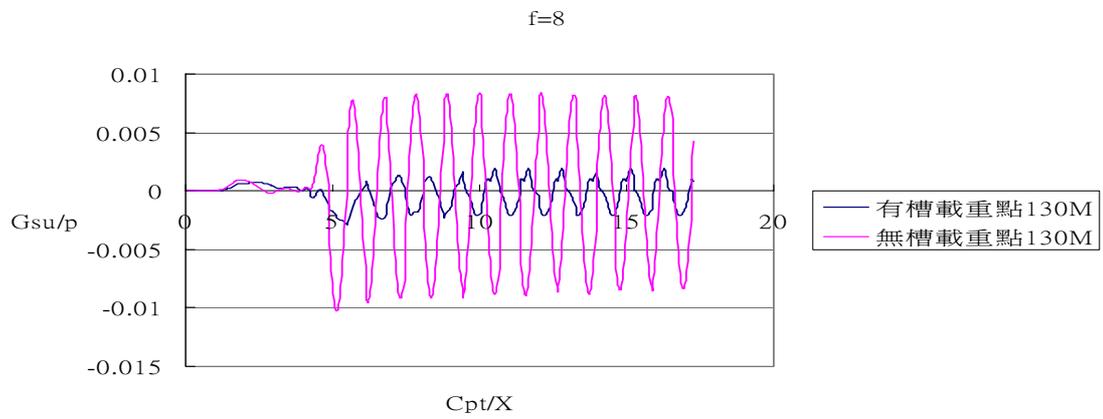


圖 5-390 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

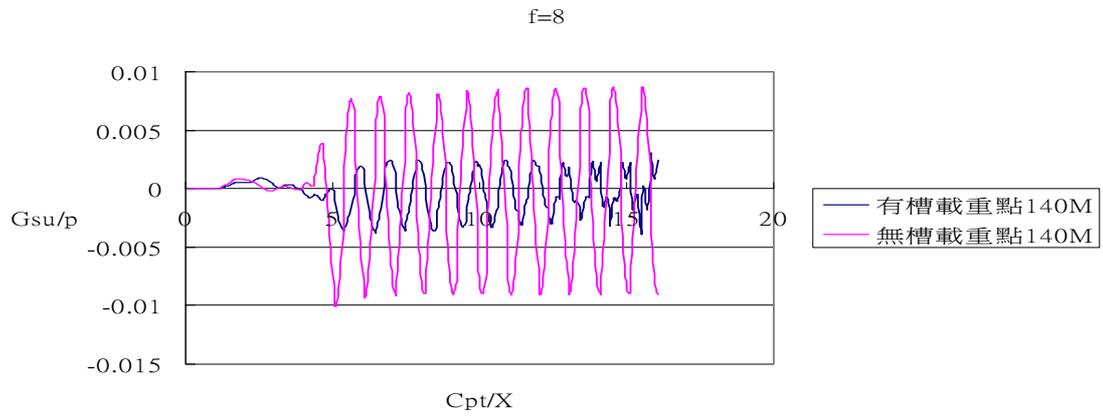


圖 5-391 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

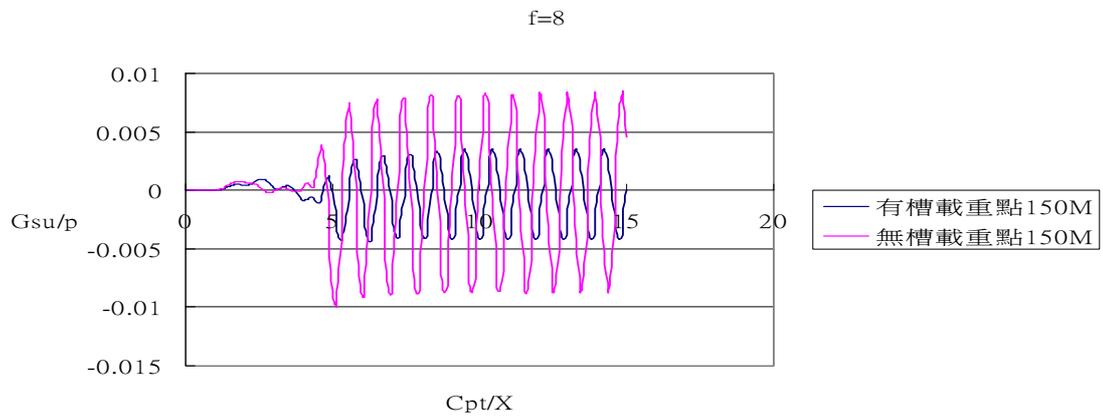


圖 5-392 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

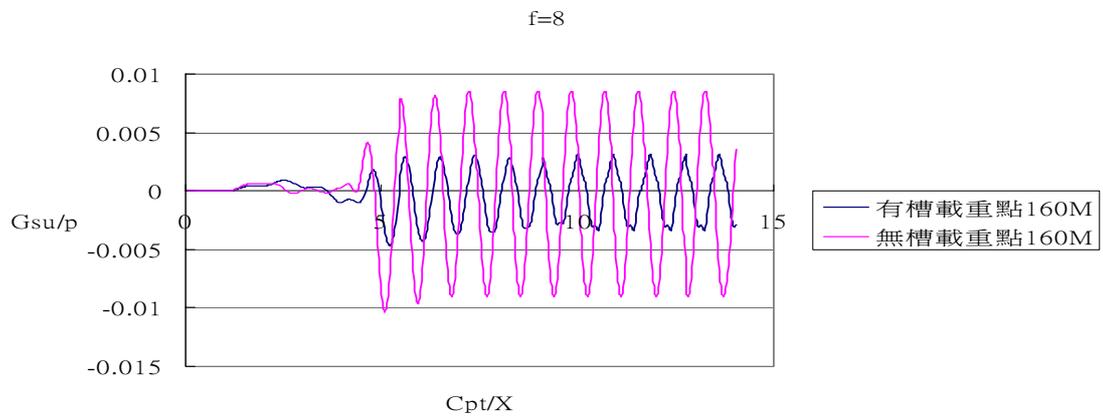


圖 5-393 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

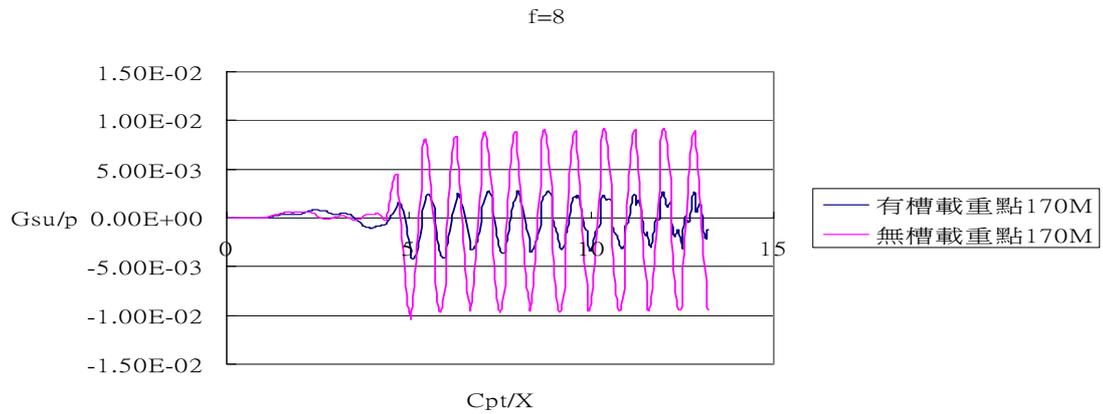


圖 5-394 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

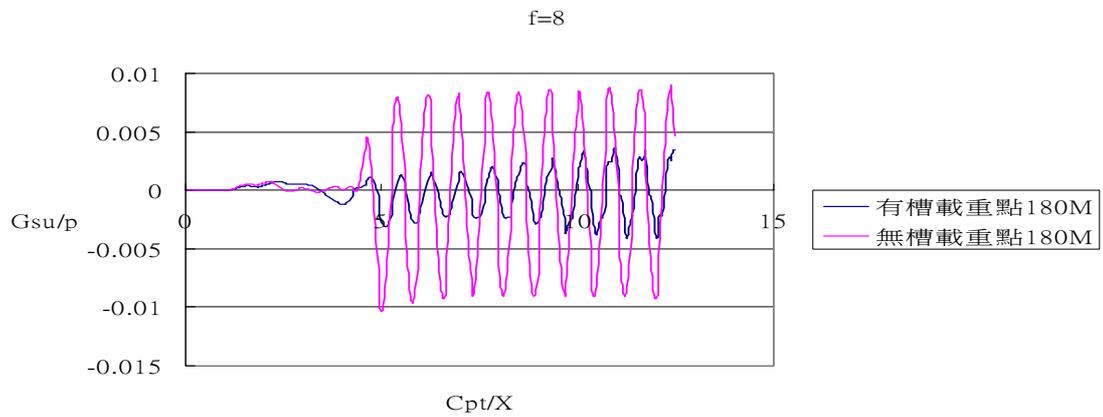


圖 5-395 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

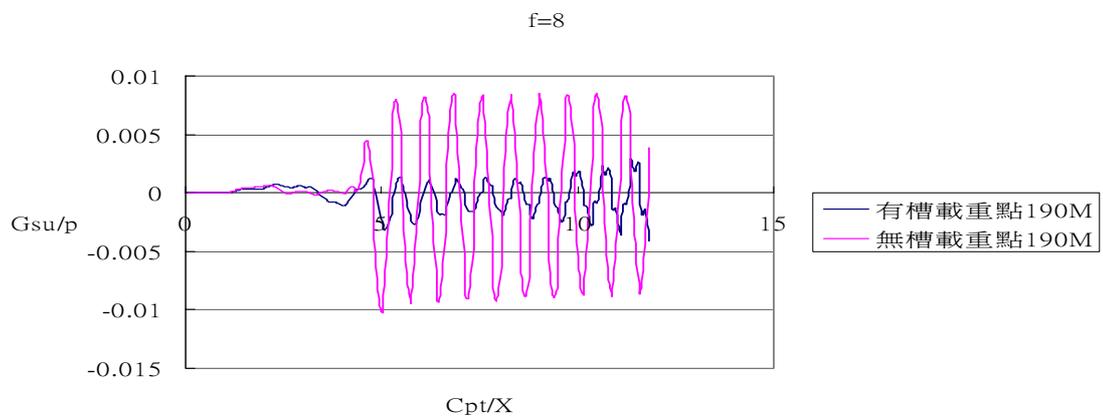


圖 5-396 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

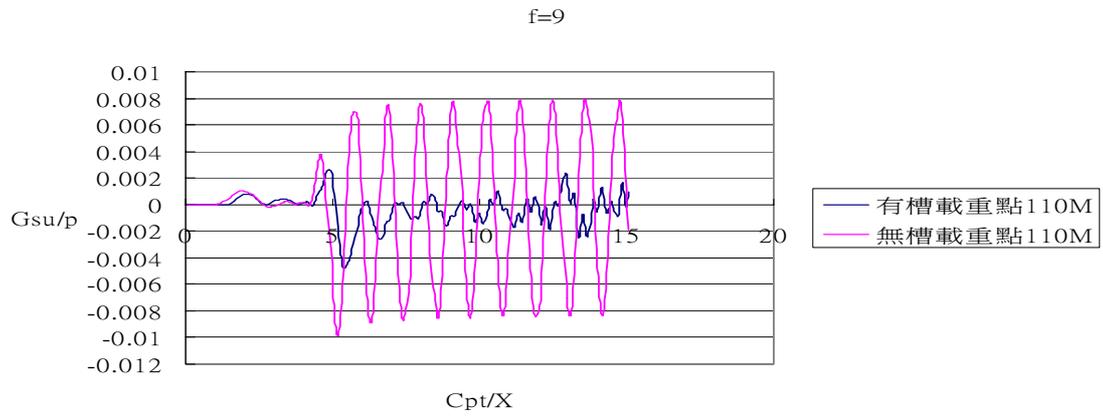


圖 5-397 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

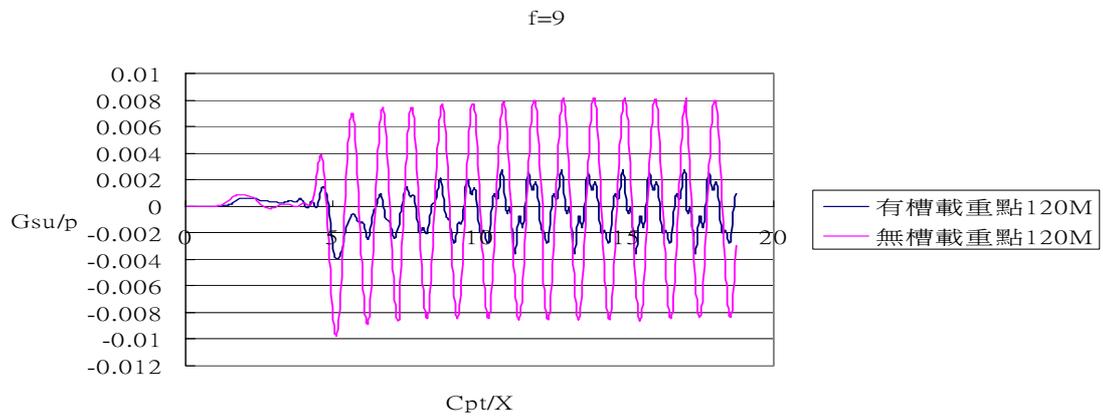


圖 5-398 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

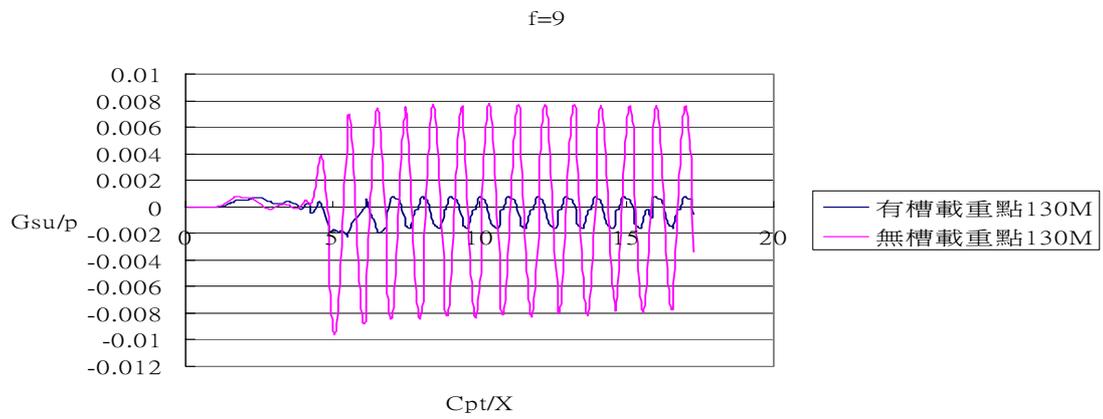


圖 5-399 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

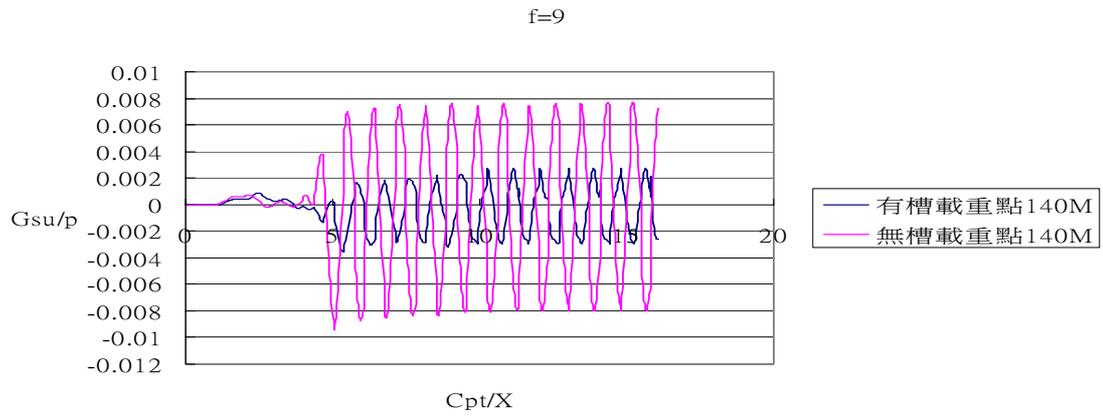


圖 5-400 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

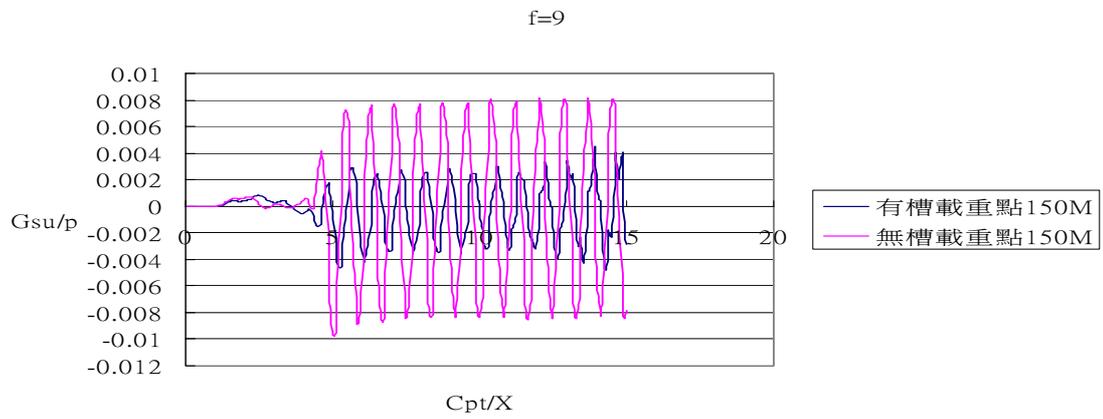


圖 5-401 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

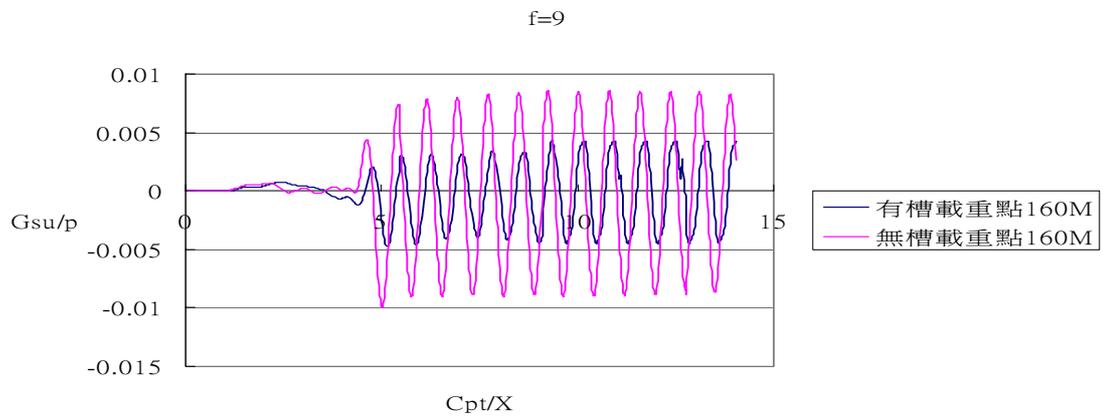


圖 5-402 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

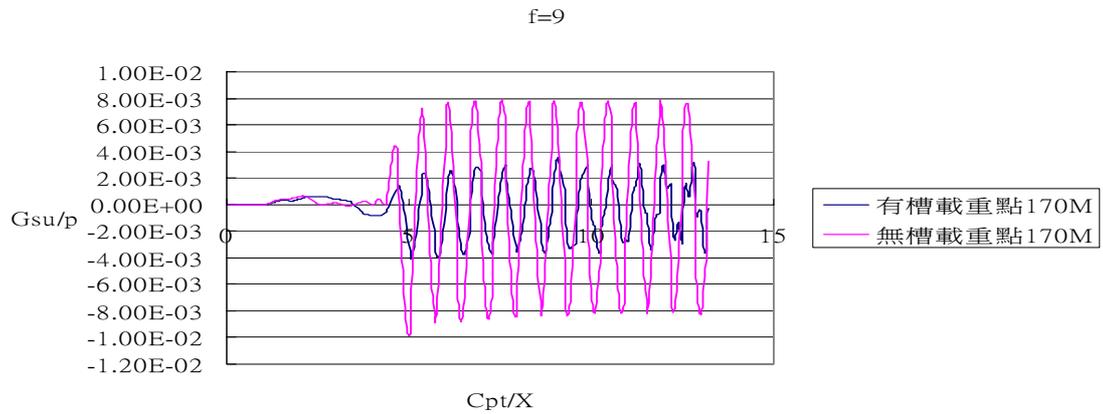


圖 5-403 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

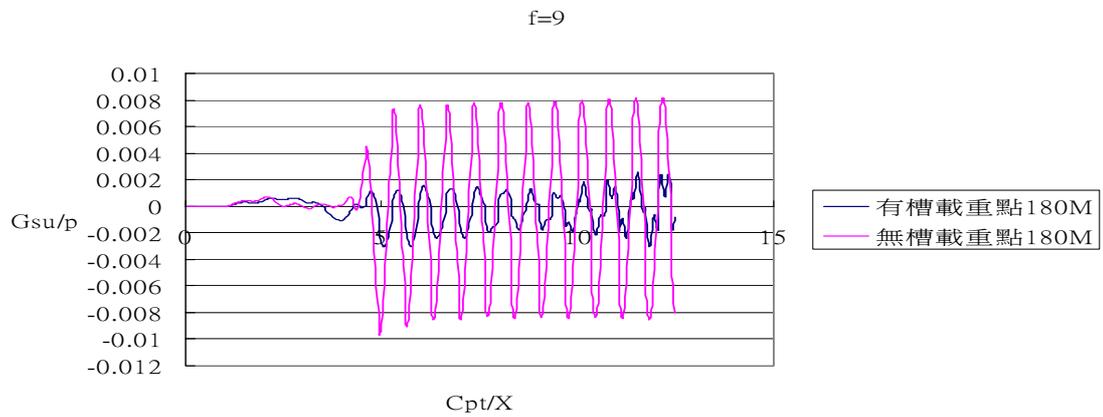


圖 5-404 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

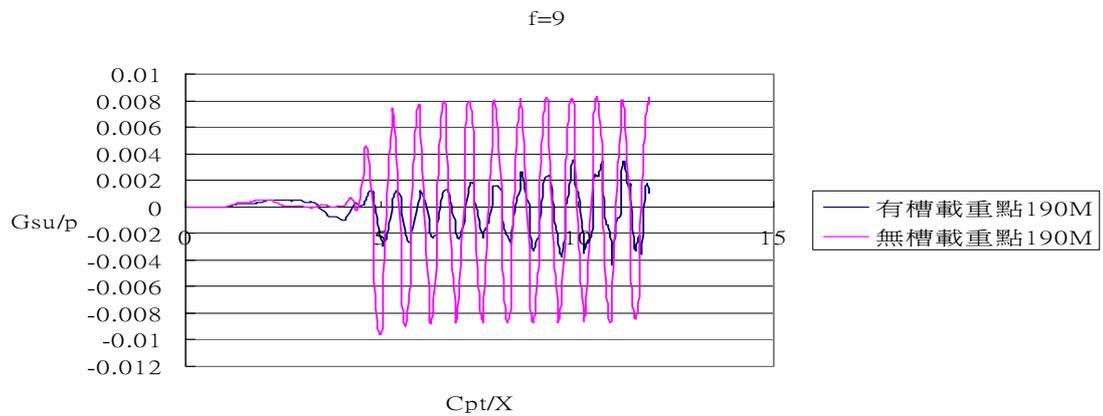


圖 5-405 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

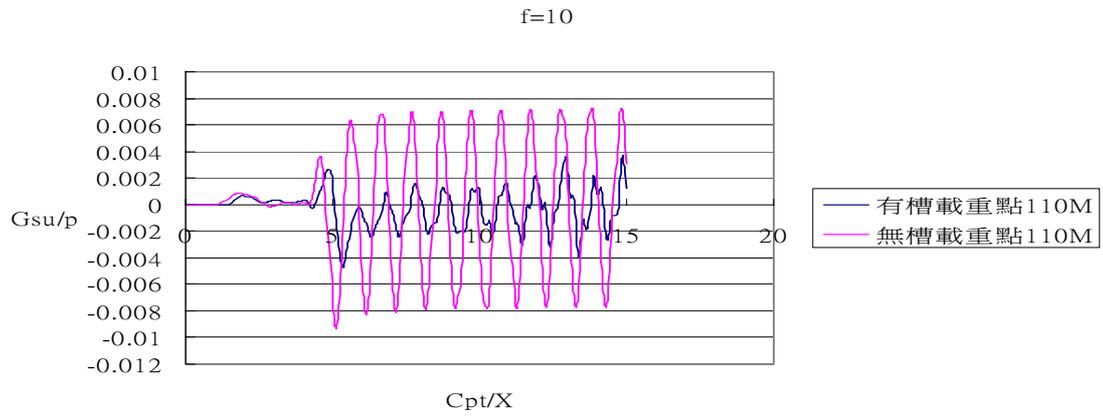


圖 5-406 caseVIII載重點 110 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

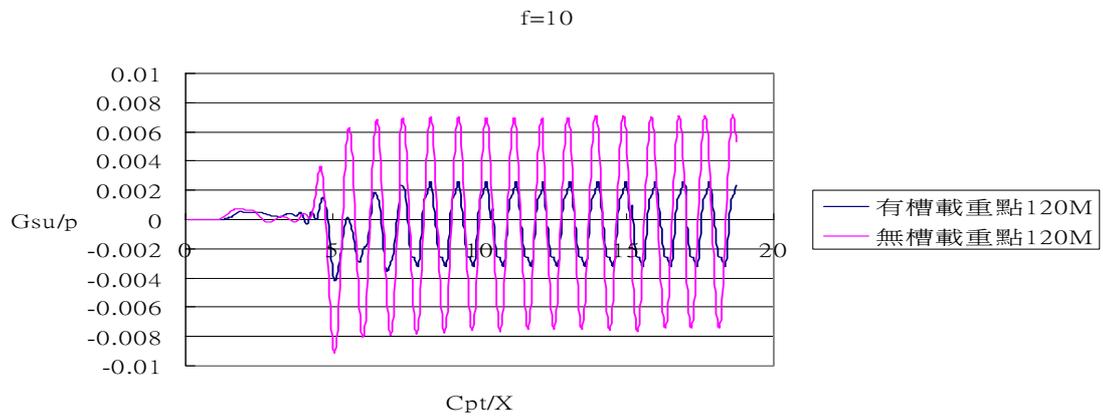


圖 5-407 caseVIII載重點 120 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

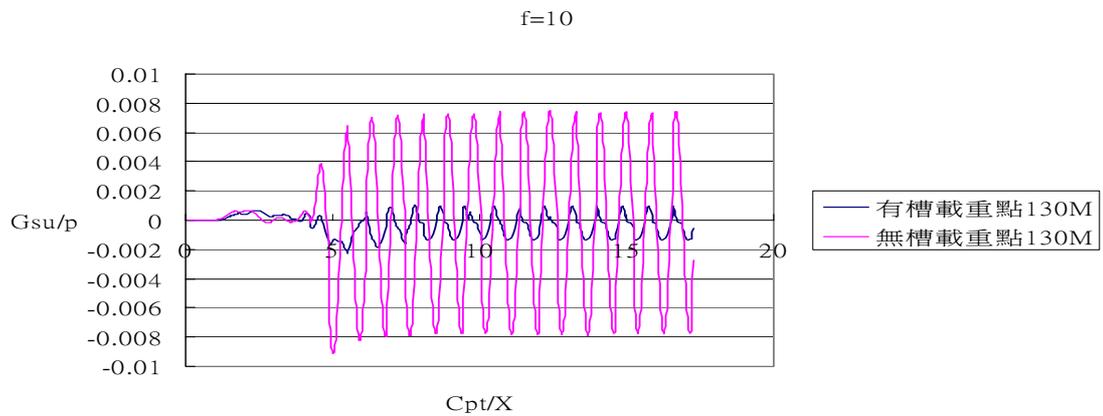


圖 5-408 caseVIII載重點 130 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

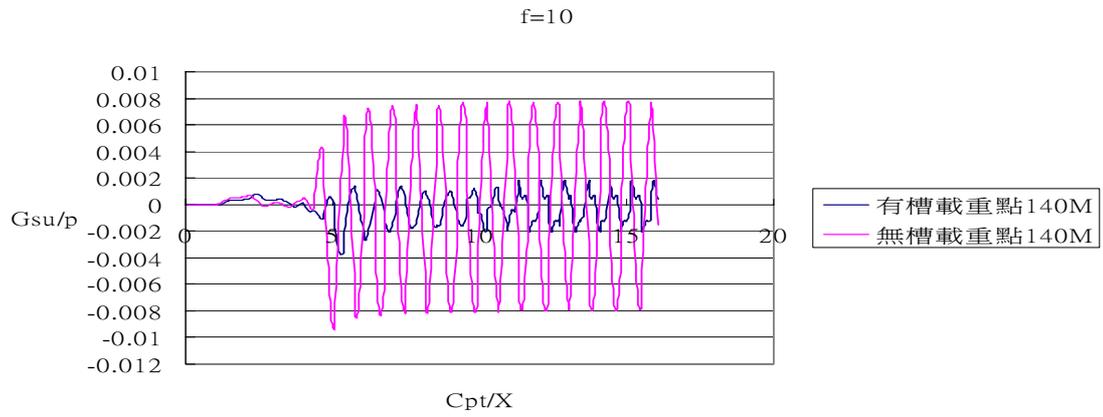


圖 5-409 caseVIII載重點 140 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

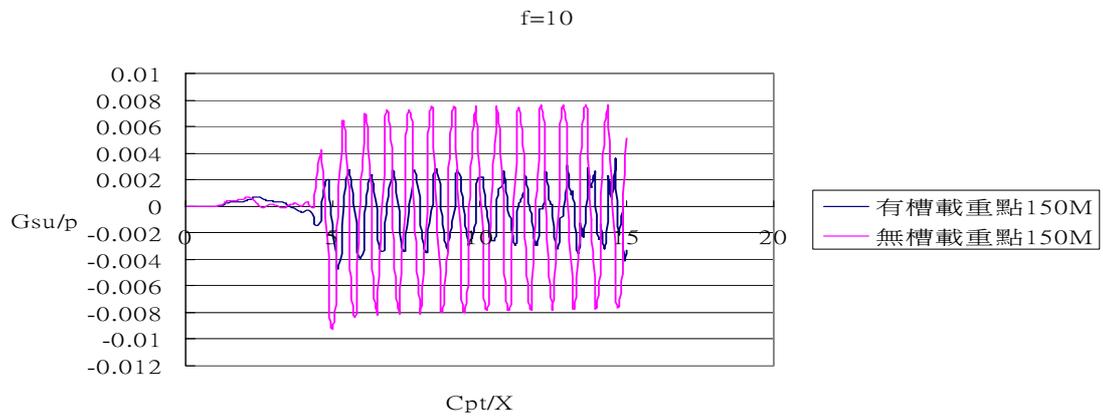


圖 5-410 caseVIII載重點 150 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

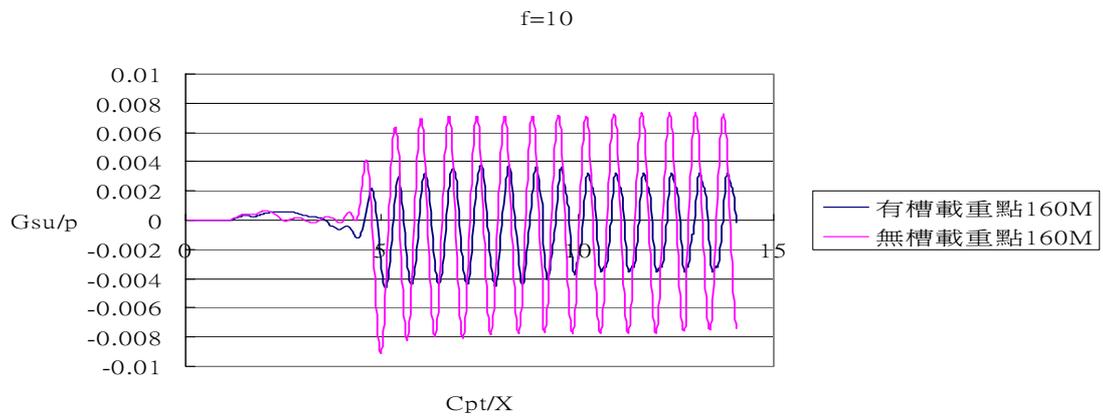


圖 5-411 caseVIII載重點 160 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

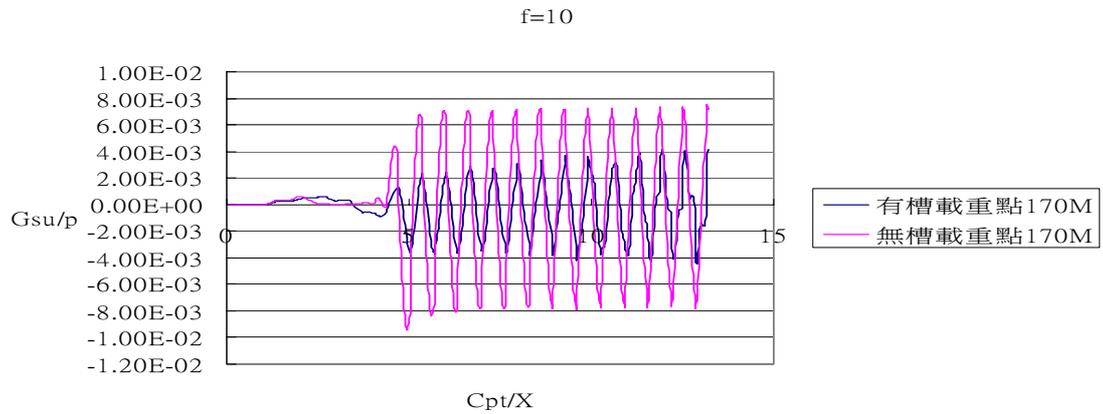


圖 5-412 caseVIII載重點 170 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

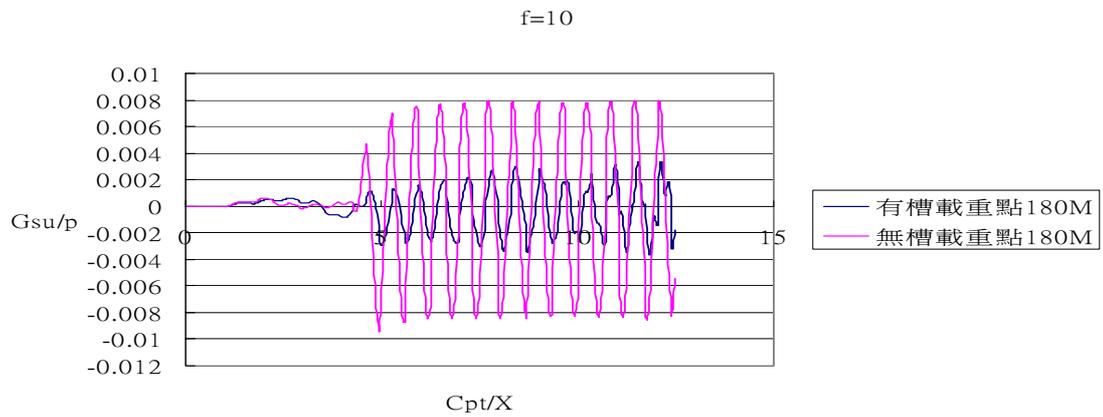


圖 5-413 caseVIII載重點 180 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

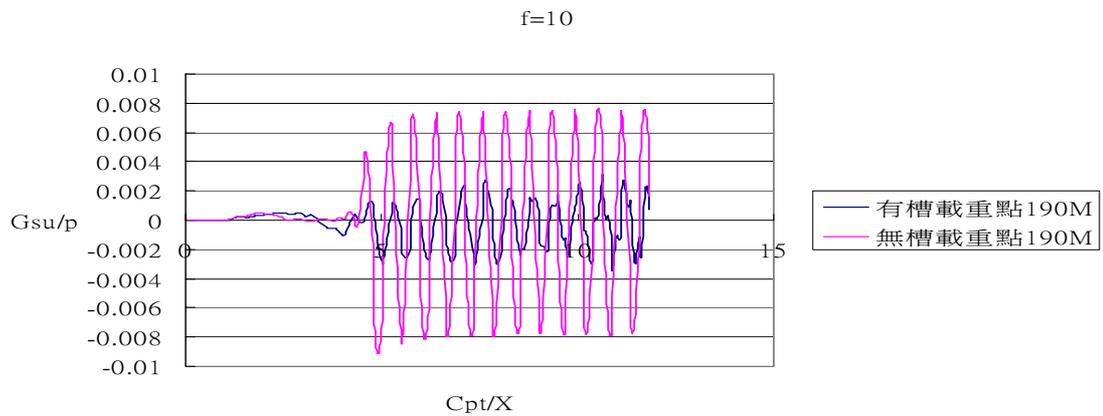


圖 5-414 caseVIII載重點 190 公尺槽溝中點有槽、無槽垂直位移比較

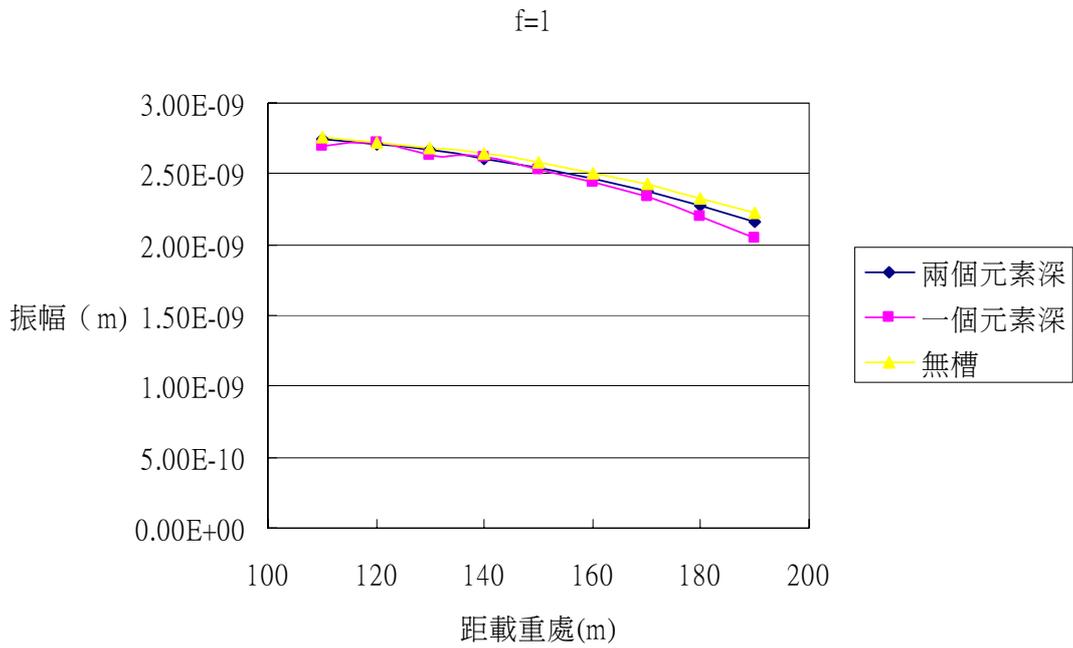


圖 5-415 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

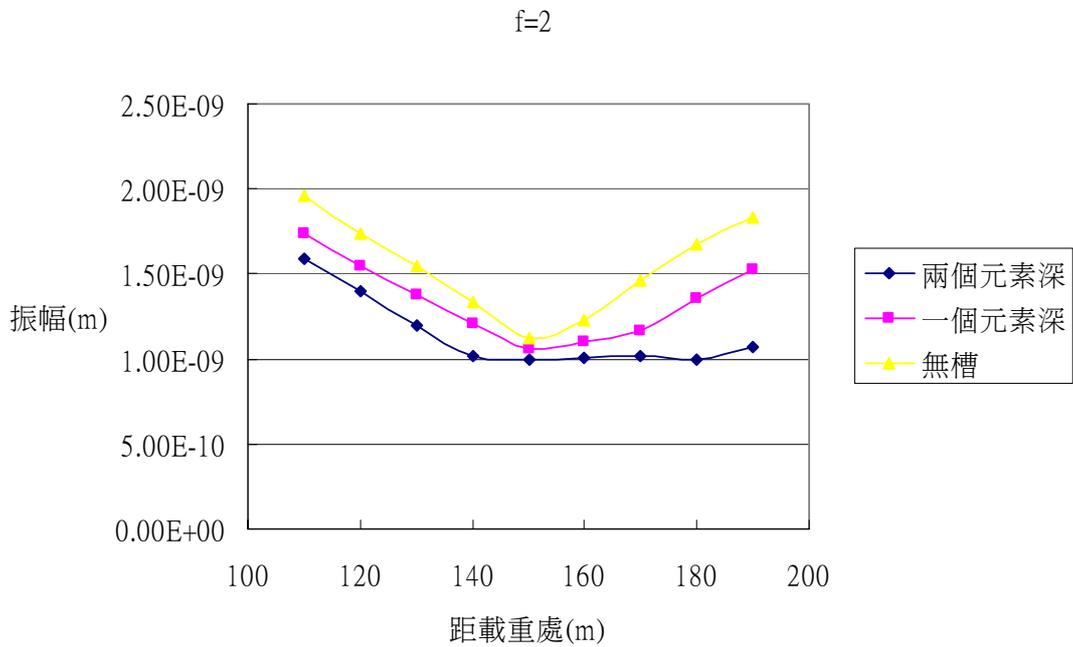


圖 5-416 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

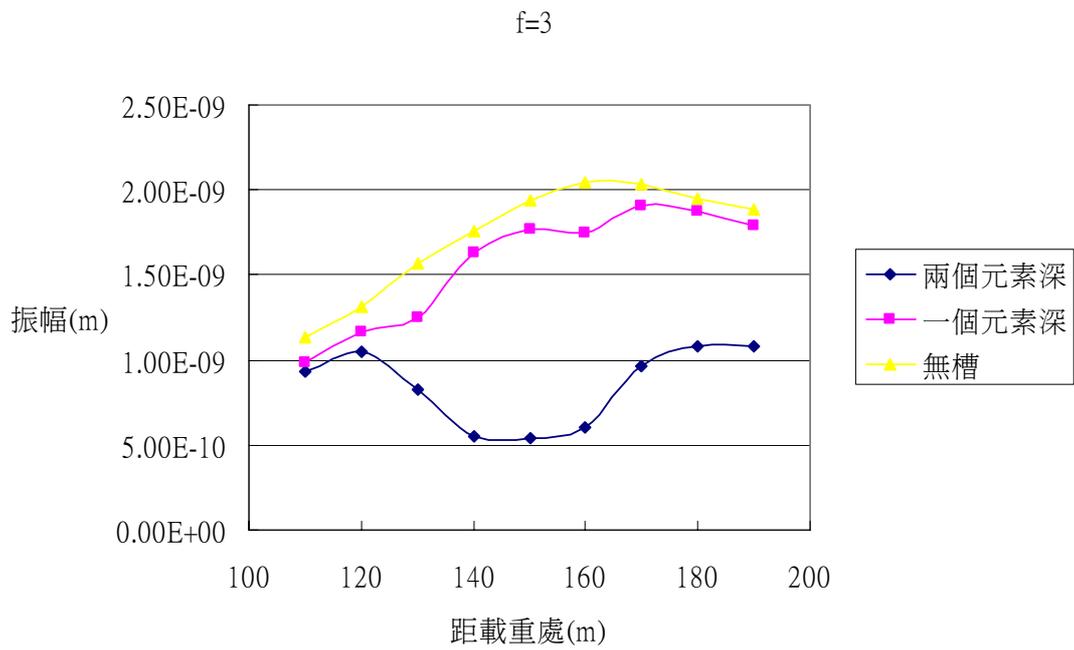


圖 5-417 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

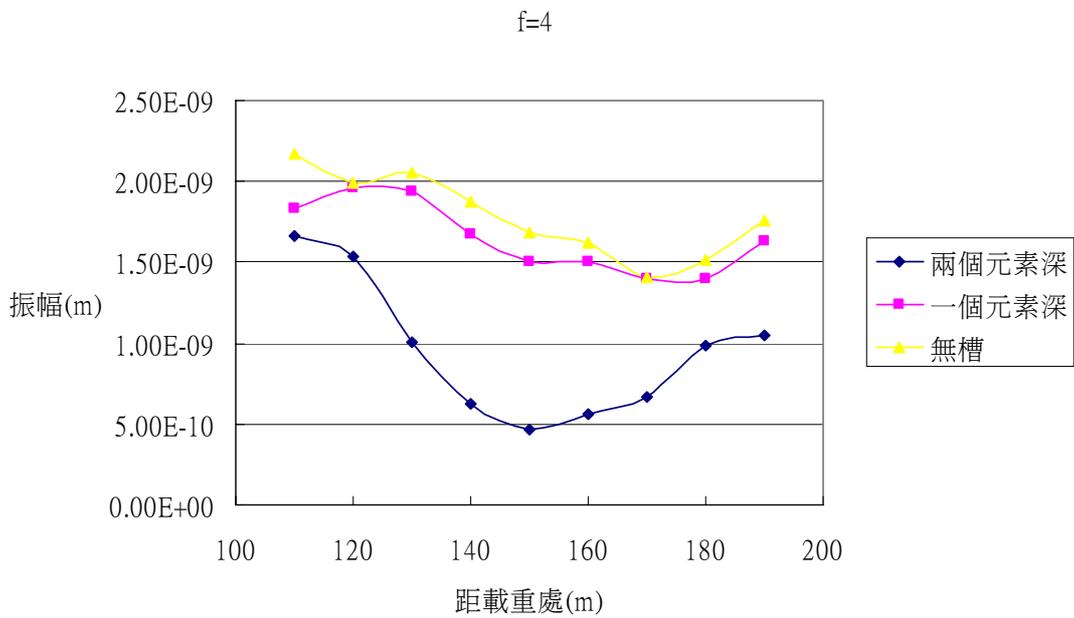


圖 5-418 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

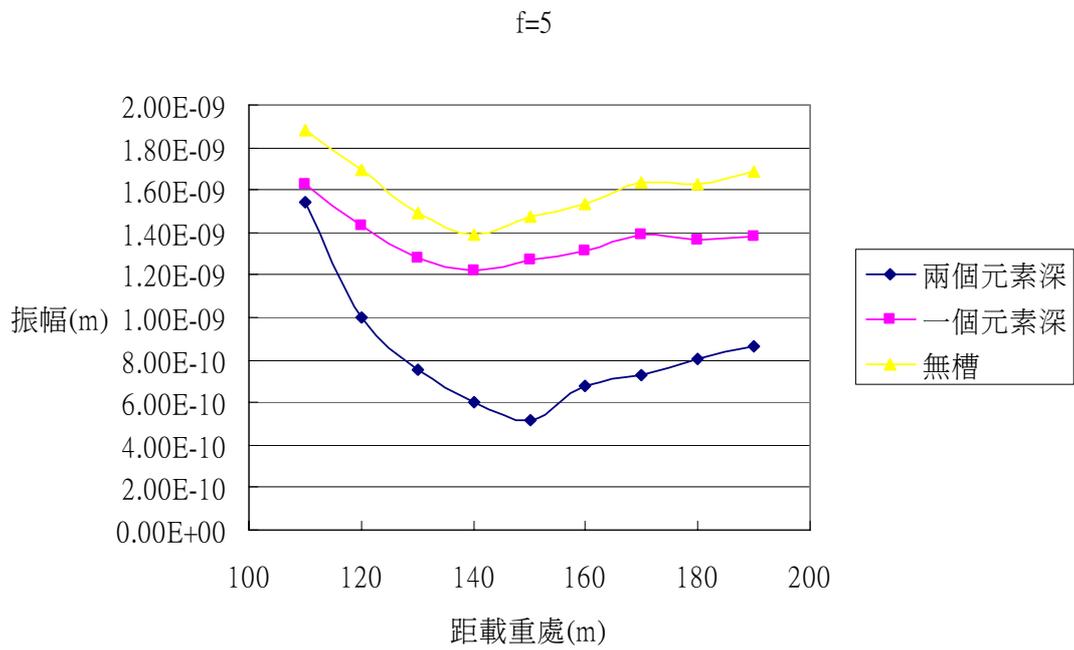


圖 5-419 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

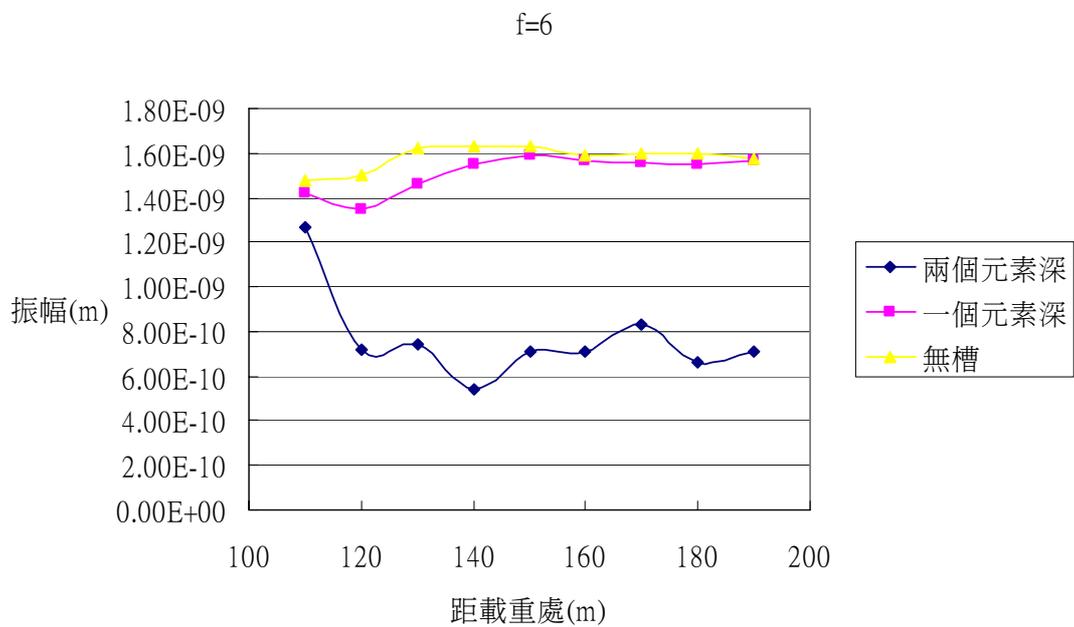


圖 5-420 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

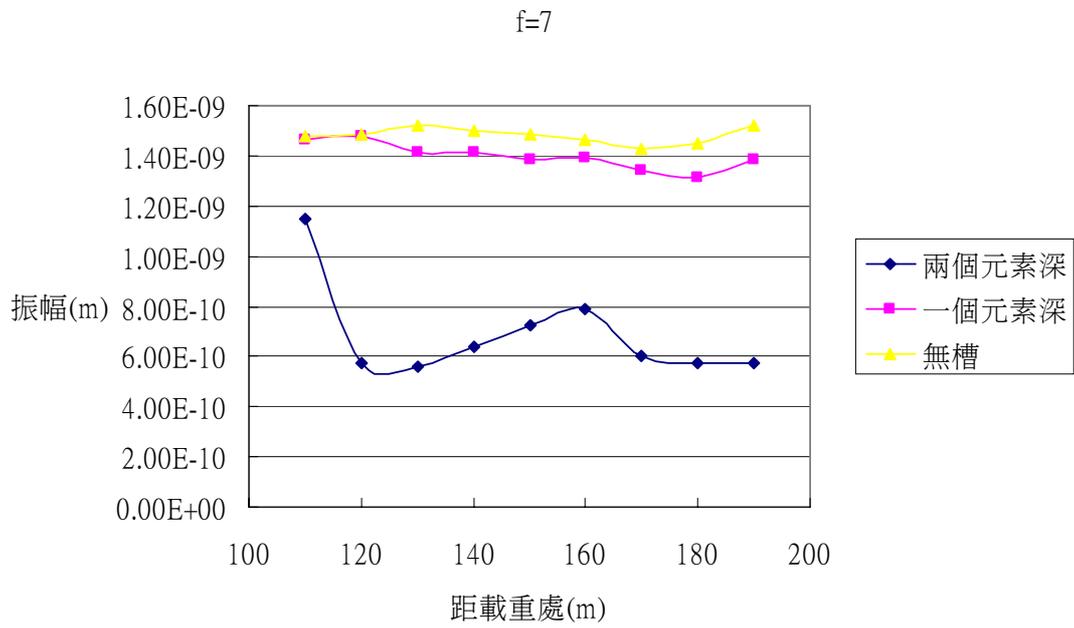


圖 5-421 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

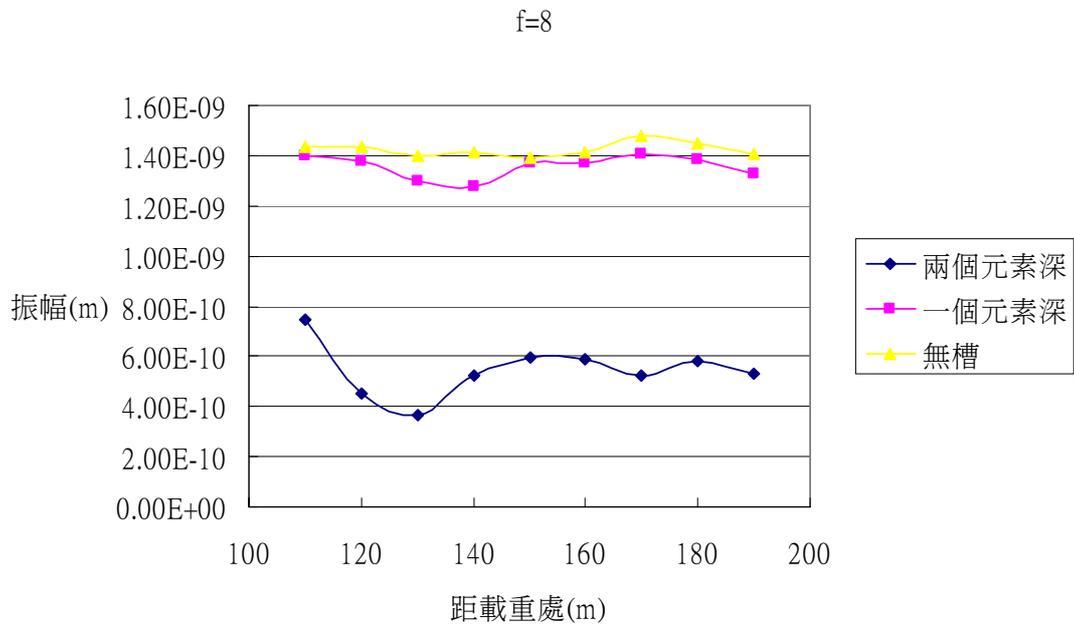


圖 5-422 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

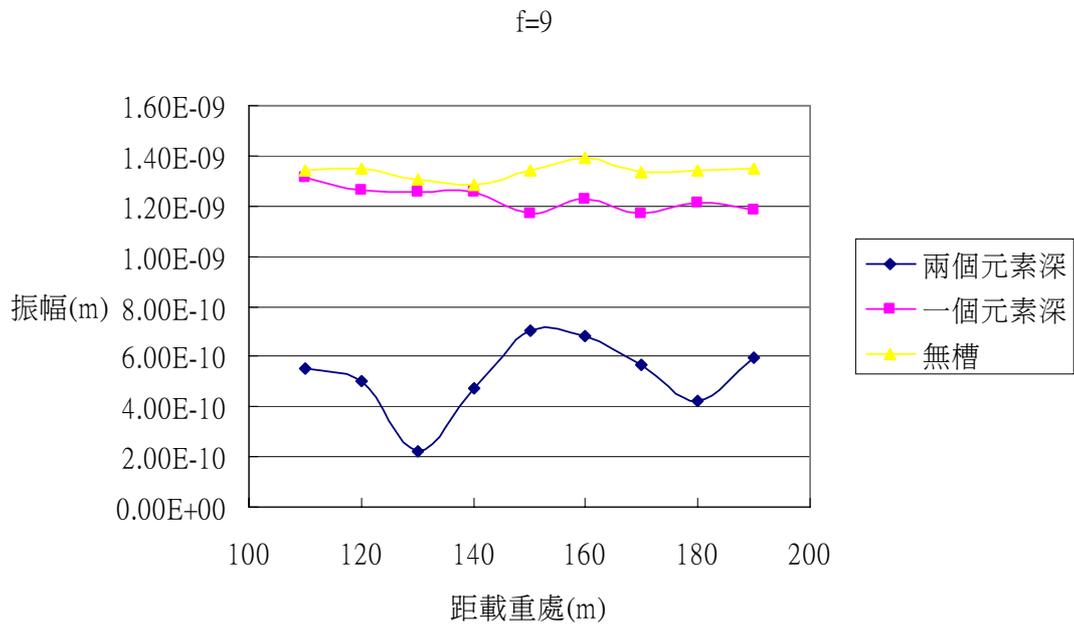


圖 5-423 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

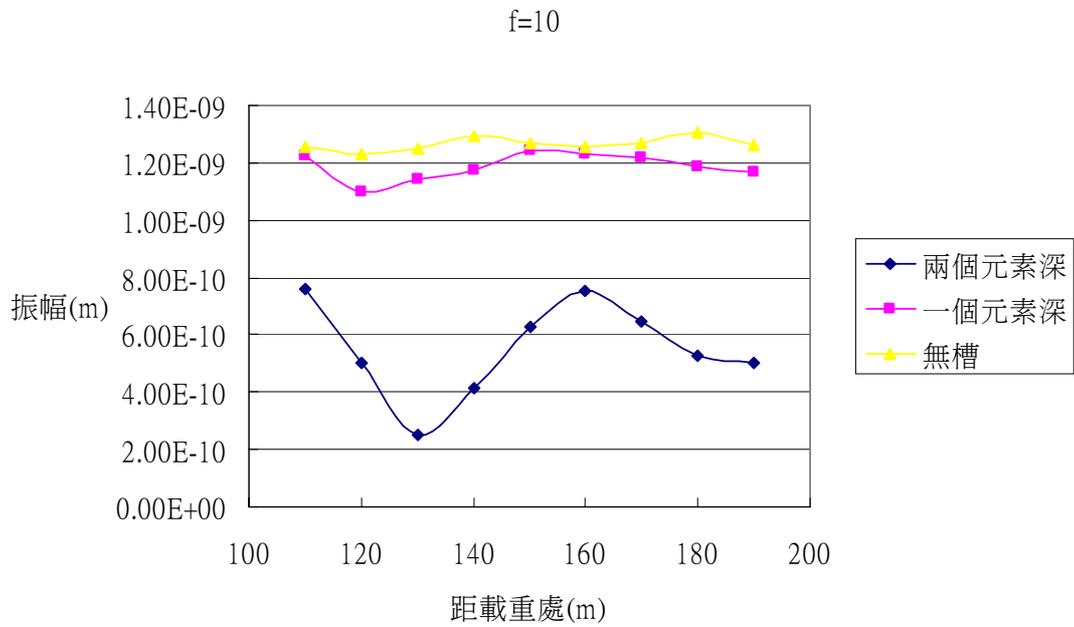


圖 5-424 caseVII、caseVIII各槽溝中點垂直位移振幅比較

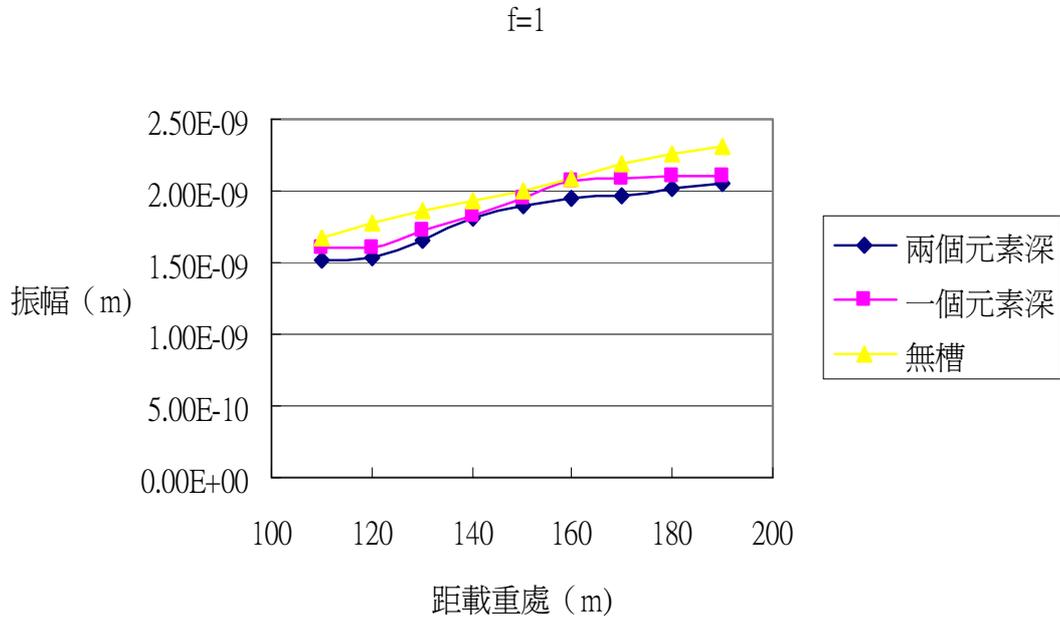


圖 5-425 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

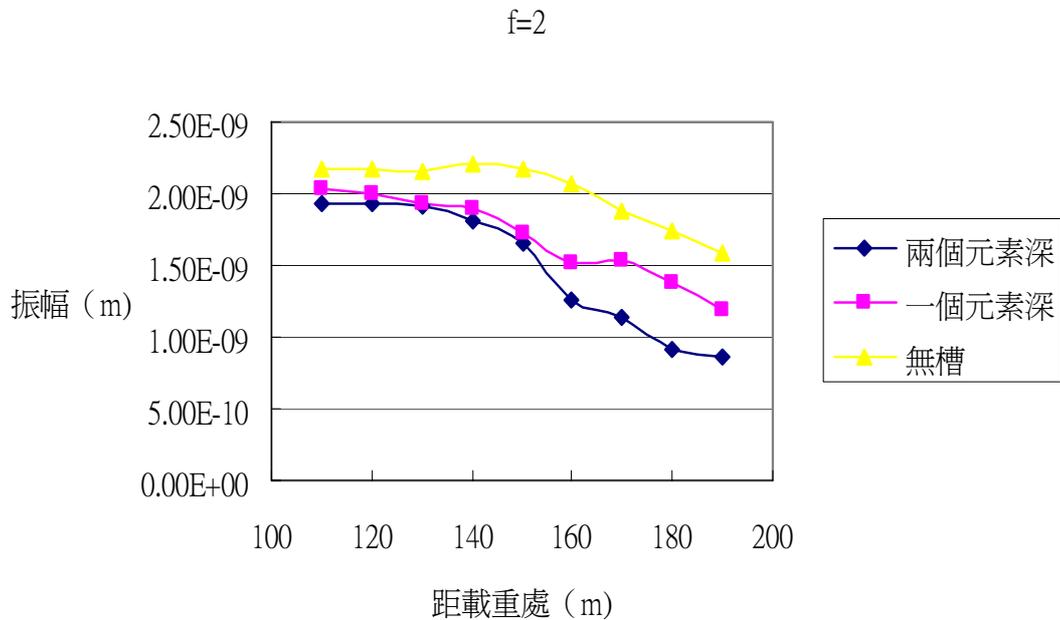


圖 5-426 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

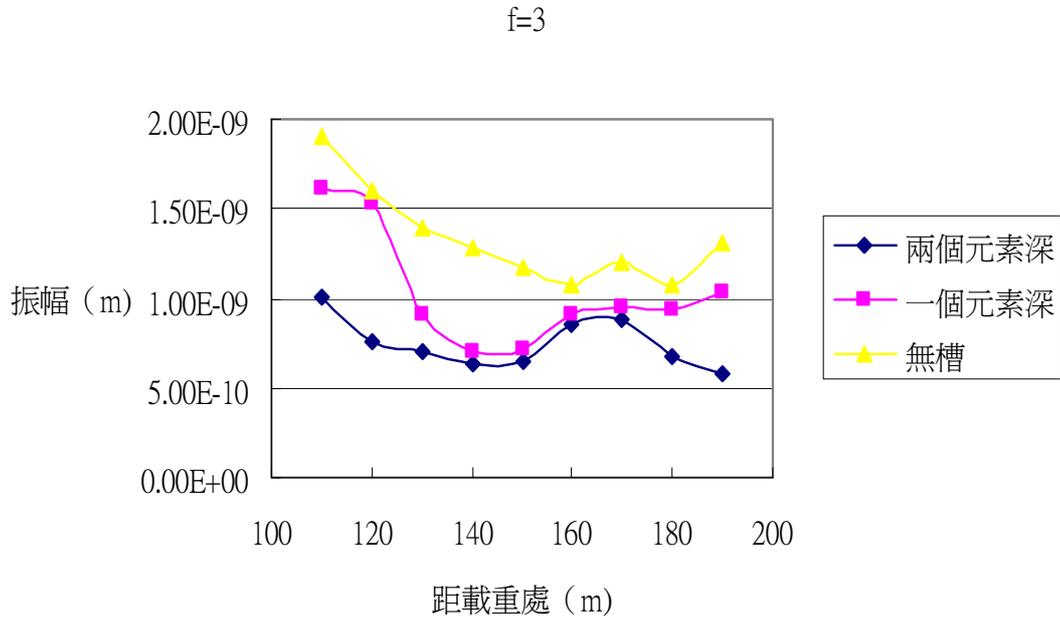


圖 5-427 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

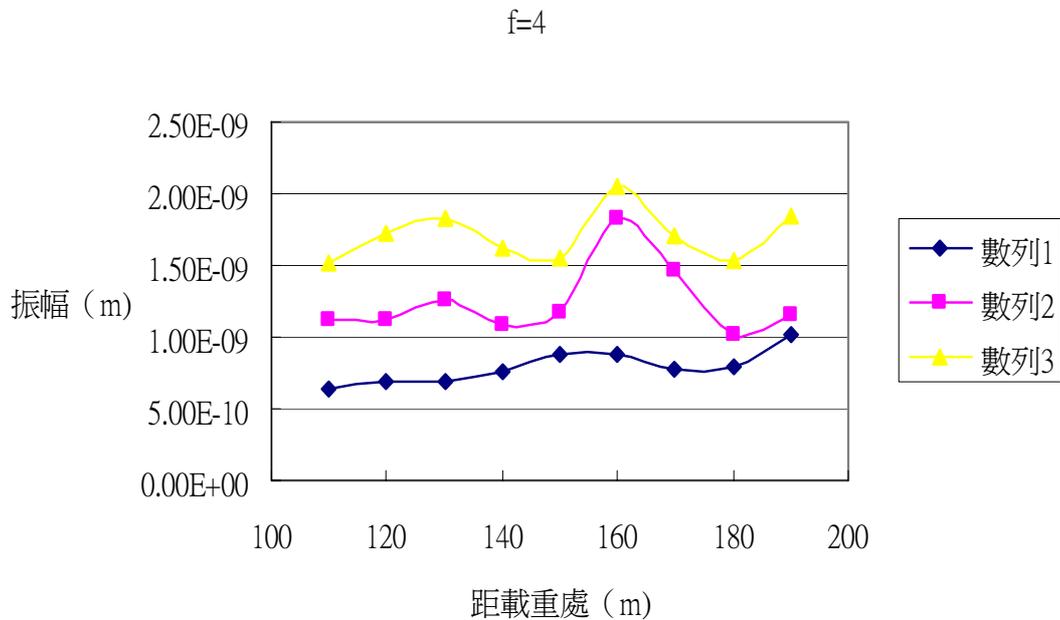


圖 5-428 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

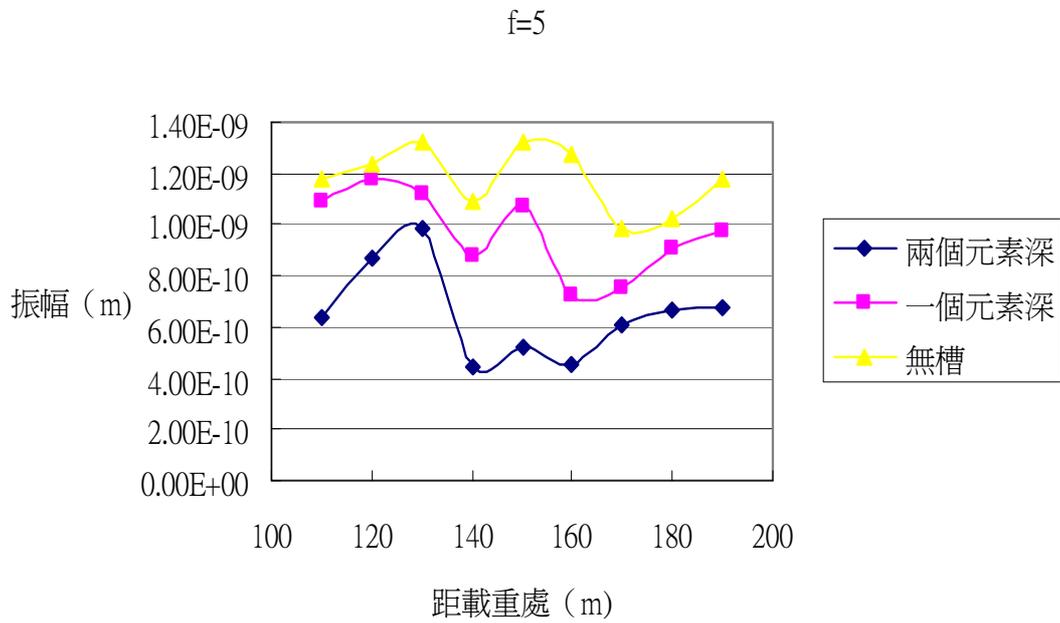


圖 5-429 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

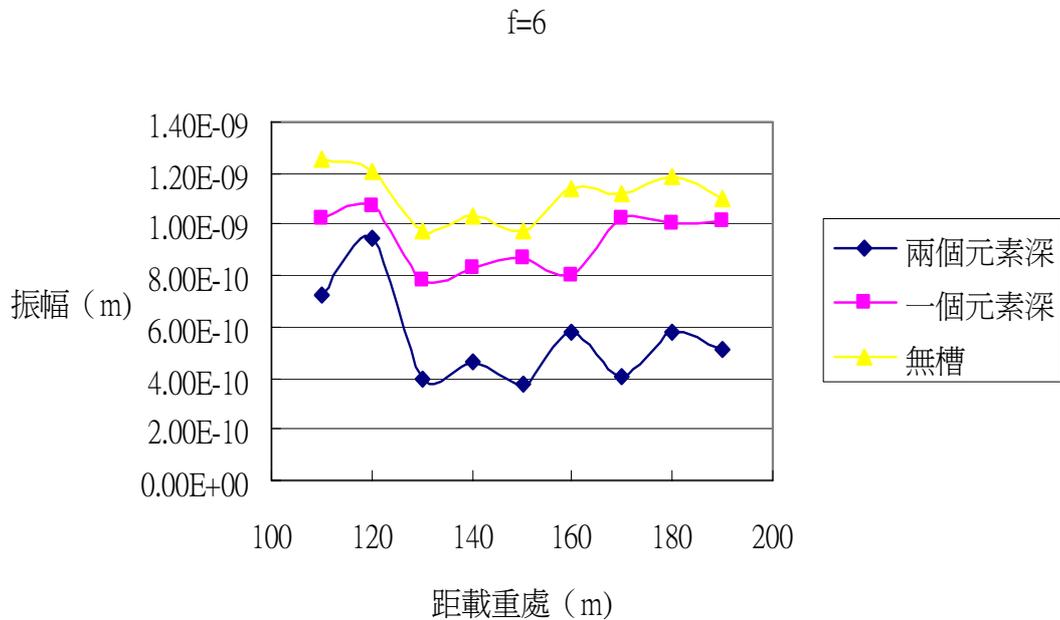


圖 5-430 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

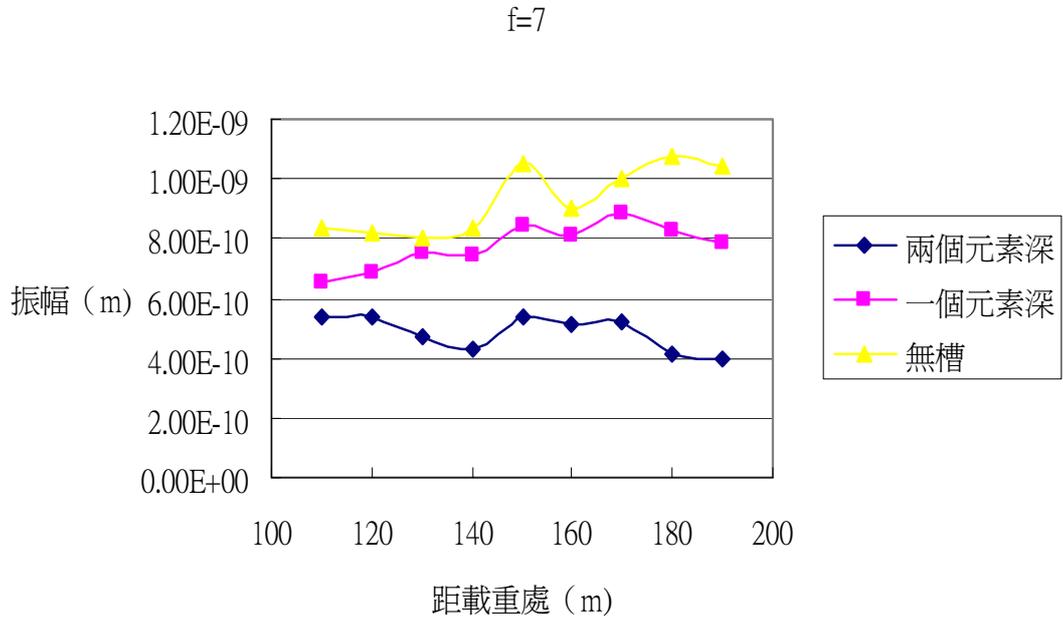


圖 5-431 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

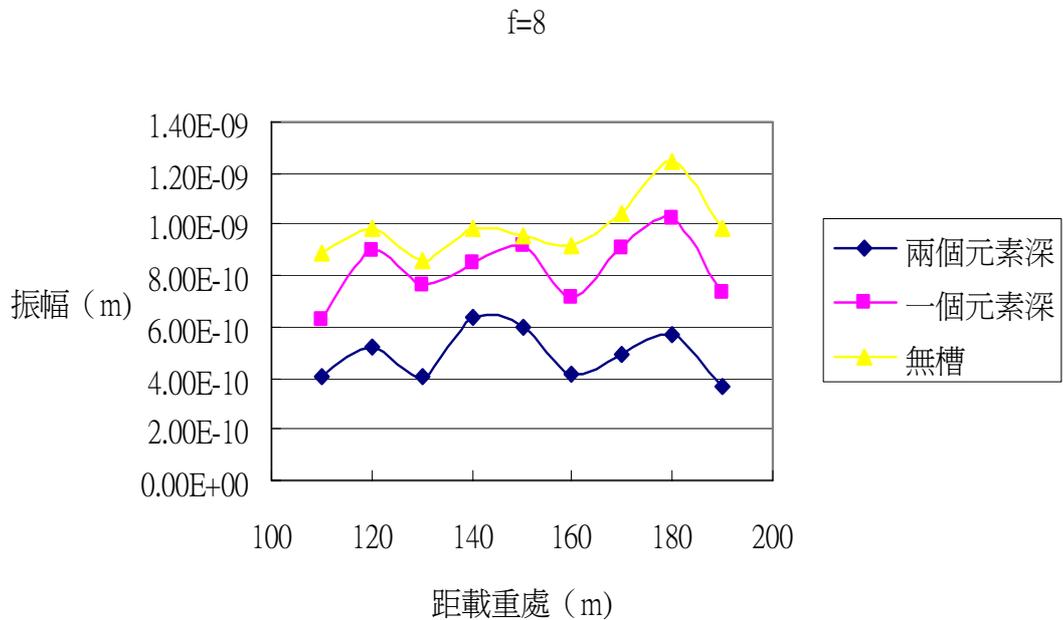


圖 5-432 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

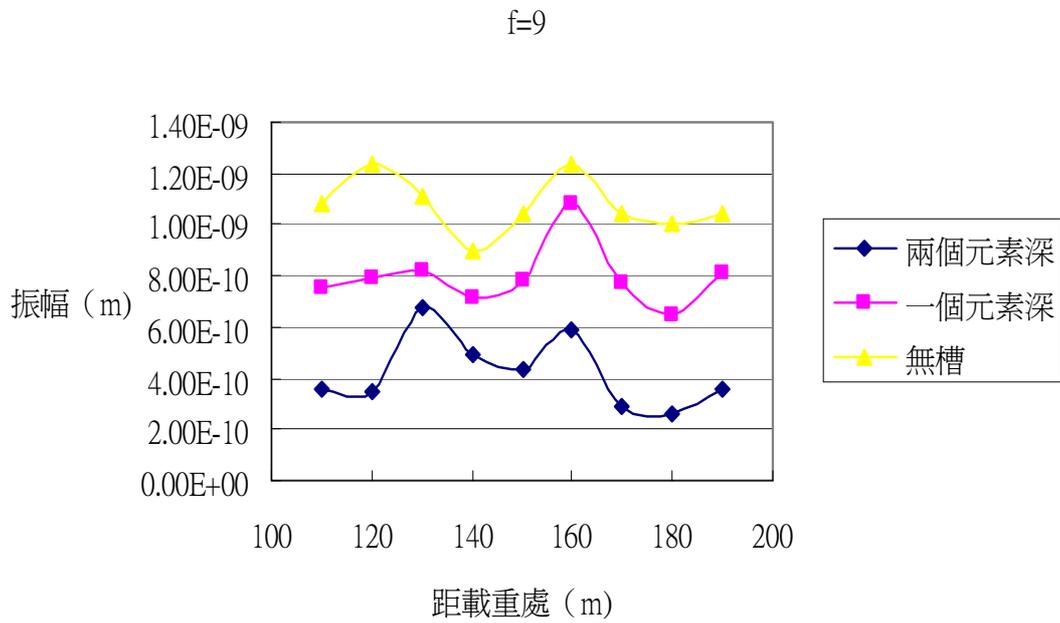


圖 5-433 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較

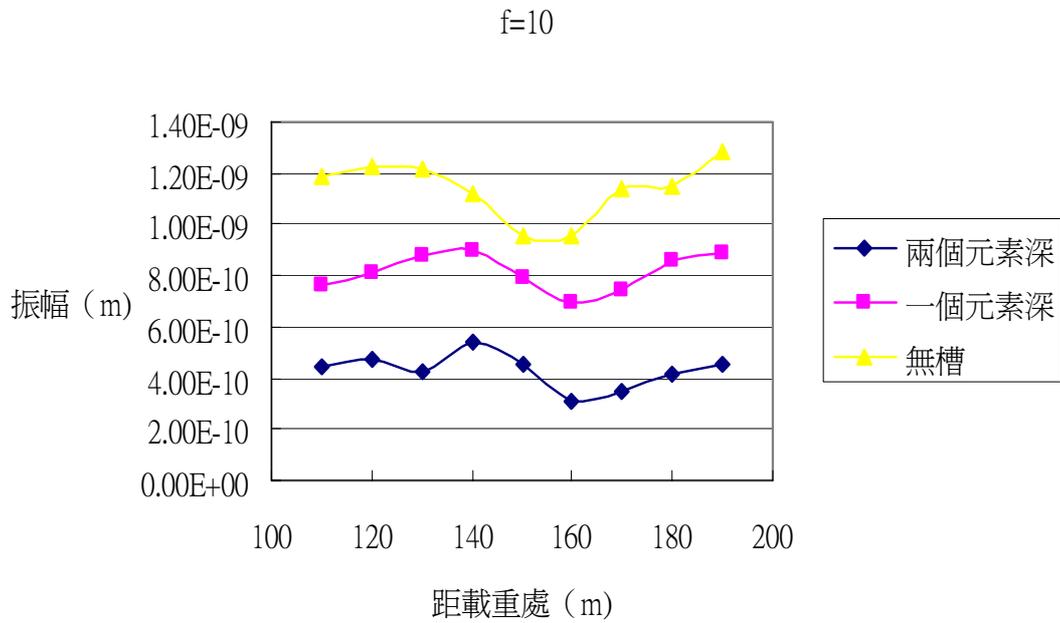


圖 5-434 caseVII、caseVIII各槽溝中點水平位移振幅比較