

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究期中報告

以套裝軟體進行進步型核電廠圍阻體結構
樓板地震反應分析之地震輸入研究(2/2)

**Assessments of Floor Responses of ABWR Containment
Structure Subjected to Seismic Inputs(2/2)**

計畫編號：1022001INER001

受委託機關：中華學校財團法人中華科技大學

計畫主持人：廖克弘

聯絡電話：02-27864448

E-mail address：liao@cc.cust.edu.tw

核研所聯絡人員：周鼎

報告日期：中華民國 102 年 12 月 5 日

摘要

近年來由於計算機軟硬體不斷進步，核電廠之土壤結構互制分析已由集中質量分析模型(Stick Model)邁向全有限元素模型(Detailed Model)，因此，有必要發展龍門電廠之全有限元素模型，以提高核電廠土壤結構互制分析之精確度。

另外，核電廠工址土層條件一般皆理想化為水平層狀土壤，以方便以SHAKE 一維波傳程式求解工址之非線性反應及收斂後之土層性質，而實際上之工址地層剖面大部份皆呈不規則非水平層狀，此部份有必要詳加考慮並比較水平土層及不規則土層兩者反應之差異。

SASSI Detailed Model 與 Stick Model 之水平向反應大致相符，但節點高程越高差異性越大，Detailed Model 反應略高於 Stick Model，且 Detailed Model 的反應較不平滑，此部份可能因 Detailed Model 有考慮因剛心與質心差距所產生的扭矩，而 Stick Model 則無，且 Detailed Model Local Mode 的貢獻較多，故節點高程越高扭矩的貢獻較大所致，垂直向反應除少數節點外大致相符，但 Stick Model 反應略高於 Detailed Model，此點與水平向反應剛好相反，此乃因垂直向反應並無扭矩差異之故。

Sway-Rocking Model 之分析，輸入須以散射後之地震歷時輸入，而不能定義於露頭之設計基準地震輸入，SAP2000 與 SASSI 之水平向反應大致相符但 SASSI 之反應於 4Hz 後大部份皆略高於 SAP2000，SAP2000 與 Shimizu 之反應亦大致相符，Shimizu 之反應於 4Hz 後大部份較接近 SASSI 但仍低於 SASSI，此現象節點高程越高越明顯，主要因 SAP2000 之時域分析無法輸入翻轉歷時之故，垂直向反應除少數樓板設備點外幾乎全面相符，且 SAP2000 比 Shimizu 更接近 SASSI 之分析結果，此現象乃因垂直向分析無須輸入翻轉歷時且 SASSI 之散射分析精度可能高於 Shimizu，故分析結果全面接近 SASSI。

若考慮土壤不規則區凹形褶皺之工址效應，無論水平向或垂直向反應土壤特性皆會被放大，尤其是高頻區。

關鍵詞：土壤結構互制、核電廠分析、SASSI、SAP2000、SHAKE

ABSTRACT

More recently, the improvement of computation software and hardware leads to the analysis of soil-structure interaction (SSI) of the nuclear power plants using detailed model to replace stick model. Therefore, it is necessary to simulate Longman plant with detailed model and to increase the accuracy of SSI.

In addition, in the nuclear power plant design, the soil layers are considered a homogeneous horizontal plane to solve one dimension wave propagation equations in SHAKE. However, in reality, the horizontal surface is heterogeneous soil layers. The discrepancy between homogeneous horizontal plane and heterogeneous surface of soil layers needs to further consideration.

The horizontal responses using SASSI Detailed Model and Stick Model can achieve almost identical results. However, the nodes at the high elevation have a greater difference. In general, the responses using the Detailed Model have greater than those using the Stick Model. Moreover, the responses of the Detailed Model present unsmooth in results. The eccentricity at the Detailed Model leads to this unsmooth responses. The local modes are pronounced in the Detailed Model. The nodes at the high elevation inactivate more torsion response. The Stick Model responses have greater than those using the Detailed Model in the vertical responses. No torsion responses in the vertical direction result in this difference.

In the analyses of Sway-Rocking Model, scattering ground motions served as seismic inputs. The ground motions at the outcrop cannot use as seismic inputs. The horizontal responses using SAP2000 and SASSI can achieve similar results; however, the responses of SASSI have slightly greater than those of SAP2000 when the frequency is greater than 4Hz. The almost identical responses can be achieved with SAP2000 and Shimizu. In addition, the responses of Shimizu mostly close to those of SASSI when the frequency of the responses is greater than 4Hz, but still less than those obtained from SASSI. This phenomenon becomes more pronounced with an increase of nodal elevations. SAP2000 cannot incorporate the rocking responses in the time analysis, and the slab responses in the vertical direction are nearly identical except several locations with the equipment. The responses of SAP2000 are in agreement with those of SASSI better than those between Shimizu and SASSI. The discrepancy

between Shimizu and SASSI is attributed to no rocking time history as inputs in the vertical analysis. Moreover, SASSI provides more accuracy results in the scattering analysis than those of Shimizu.

If the site effect of the irregular concave folded strata is considered, the horizontal and vertical responses significantly are amplified, particular at high frequency.

Keywords: Soil-Structure Interaction, Analysis of Nuclear Power Plant, SASSI, SAP2000, SHAKE

目錄

摘要	I
ABSTRACT.....	II
目錄	IV
表目錄	VII
圖目錄	VIII
第 1 章 計畫緣起與目的	13
1.1 研究目的	13
第 2 章 研究方法與步驟	14
2.1 研究步驟	16
第 3 章 龍門電廠之 SWAY-ROCKING MODEL	18
3.1 土壤結構互制(SSI)分析方法之簡介	18
3.2 動力互制與慣性互制	19
3.3 散射問題	20
3.4 結構體及工址概述	20
3.4.1 反應爐建物結構體	20
3.4.2 工址土層條件	21
3.5 輸入地震及分析準則	21
3.6 工址自由域反應分析	21
3.6.1 工址之土層性質	22
3.6.2 隨剪應變變化之土層性質	22
3.7 輸入地震加速度歷時之轉換	22
3.8 SSI 分析模型.....	24
3.8.1 工址自由域之分析模型	24

3.8.2	土壤等值彈簧常數	24
3.8.3	結構部分之分析模型	24
3.9	SSI 分析 CASES	25
3.10	SSI 分析結果.....	25
3.10.1	Case 01 至 03.....	26
第 4 章	龍門電廠之 DETAILED MODEL	28
4.1	結構體及工址概述	28
4.2	SSI 分析模型.....	28
4.2.1	工址自由域之分析模型	28
4.2.2	結構部分之分析模型	29
4.2.3	回填部分之分析模型	29
4.2.4	埋入土壤體積之分析模型	30
4.3	SSI 分析 CASES	30
4.4	SSI 分析結果.....	30
4.4.1	Case 01 至 03.....	31
第 5 章	龍門電廠之非水平土層效應	33
5.1	SSI 分析模型.....	33
5.1.1	工址自由域之分析模型	33
5.1.2	不規則土層之分析模型	33
5.1.3	結構部分之分析模型	34
5.2	SSI 分析結果.....	34
5.2.1	Case 01 至 03.....	34
第 6 章	結論與建議	36
6.1	結論	36
6.2	建議	38

參考文獻	39
------------	----

表目錄

表 3.1	分析例識別表	42
表 3.2	Case 01 至 03 之土壤等值彈簧常數.....	43
表 5.1	彎曲褶皺由地表至底部之土層性質	44

圖目錄

圖 2.1	柔性體積法之互制模式[].....	45
圖 2.2	Detailed Model 之 SASSI 分析模型示意圖.....	46
圖 2.3	Detailed Model 之結構部份示意圖.....	46
圖 2.4	Detailed Model 之埋入土壤體積實體元素示意圖.....	47
圖 2.5	Detailed Model 之土壤阻抗節點示意圖(Subtraction Method).....	47
圖 2.6	工址不規則土層示意圖.....	48
圖 2.7	以 SASSI 三維實體元素模擬土壤不規則區之示意圖.....	48
圖 2.8	以 FLUSH 擬三維元素模擬土壤不規則區之示意圖[4].....	49
圖 2.9	土壤部份換算為等值複式彈簧之上構示意圖.....	49
圖 2.10	二階段分析上部結構反應之示意圖.....	50
圖 3.1	剛性基礎部份結構法分析的三個步驟[26].....	51
圖 3.2	柔性基礎之動力互制與慣性互制[32].....	51
圖 3.3	剛性基礎之動力互制與慣性互制[32].....	52
圖 3.4	龍門電廠機組 1 及機組 2 之工址平面圖.....	53
圖 3.5	電廠機組 1 之工址自由域理想化土壤剖面及材料性質.....	54
圖 3.6	電廠機組 1 地震分析時假設之埋入及回填計畫.....	55
圖 3.7	設計地震之加速度歷時-EW 向.....	56
圖 3.8	設計地震之 2% 阻尼比加速度反應譜-EW 向.....	56
圖 3.9	設計地震之加速度歷時-NS 向.....	57
圖 3.10	設計地震之 2% 阻尼比加速度反應譜-NS 向.....	57
圖 3.11	設計地震之加速度歷時-UD 向.....	58
圖 3.12	設計地震之 2% 阻尼比加速度反應譜-UD 向.....	58
圖 3.13	SHAKE 輸入之低剪應變工址土層性質剖面(BE).....	59
圖 3.14	回填碎石層之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係.....	60
圖 3.15	其餘土層之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係.....	61

圖 3.16	EW 向疊代收斂後之土壤剖面及材料性質	62
圖 3.17	NS 向疊代收斂後之土壤剖面及材料性質	62
圖 3.18	原設計單位分析後兩水平向平均之土壤剖面及材料性質	63
圖 3.19	地震歷時輸入位置示意圖	63
圖 3.20	B 點之地震加速度歷時-EW 向	64
圖 3.21	B 點之地震加速度反應譜-EW 向	64
圖 3.22	B 點之地震加速度歷時-NS 向	65
圖 3.23	B 點之地震加速度反應譜--NS 向	65
圖 3.24	B 點之地震加速度歷時-UD 向	66
圖 3.25	B 點之地震加速度反應譜-UD 向	66
圖 3.26	A 點至 B 點之地震加速度歷時轉換函數-EW 向	67
圖 3.27	A 點至 B 點之地震加速度歷時轉換函數-NS 向	67
圖 3.28	A 點至 B 點之地震加速度歷時轉換函數-UD 向	68
圖 3.29	C 點之地震加速度歷時-EW 向 Sway	69
圖 3.30	C 點之地震加速度反應譜-EW 向 Sway	69
圖 3.31	C 點之地震加速度歷時-EW 向 Rocking	70
圖 3.32	C 點之地震加速度反應譜-EW 向 Rocking	70
圖 3.33	C 點之地震加速度歷時-NS 向 Sway	71
圖 3.34	C 點之地震加速度反應譜--NS 向 Sway	71
圖 3.35	C 點之地震加速度歷時-NS 向 Rocking	72
圖 3.36	C 點之地震加速度反應譜--NS 向 Rocking	72
圖 3.37	C 點之地震加速度歷時-UD 向	73
圖 3.38	C 點之水平地震加速度反應譜-UD 向	73
圖 3.39	B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-EW 向 Sway	74
圖 3.40	B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-EW 向 Rocking	74
圖 3.41	B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-NS 向 Sway	75
圖 3.42	B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-NS 向 Rocking	75

圖 3.43	B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數- UD 向	76
圖 3.44	水平向分析之土壤剖面及材料性質	77
圖 3.45	垂直向分析之土壤剖面及材料性質	77
圖 3.46	結構部分集中質量 Stick Model 水平向分析模型.....	78
圖 3.47	結構部分集中質量 Stick Model 垂直向分析模型.....	79
圖 3.48	Case 01 RW 及 RCCV 分析結果	80
圖 3.49	Case 01 RW 及 RCCV Shimizu 分析結果	81
圖 3.50	Case 01 RSW 分析結果	82
圖 3.51	Case 01 RSW Shimizu 分析結果.....	83
圖 3.52	Case 01 RPV-1 分析結果.....	84
圖 3.53	Case 01 RPV-1 Shimizu 分析結果	85
圖 3.54	Case 01 RPV-2 分析結果.....	86
圖 3.55	Case 01 RPV-2 Shimizu 分析結果	86
圖 3.56	Case 02 RW 及 RCCV 分析結果	87
圖 3.57	Case 02 RW 及 RCCV Shimizu 分析結果	88
圖 3.58	Case 02 RSW 分析結果	89
圖 3.59	Case 02 RSW Shimizu 分析結果.....	90
圖 3.60	Case 02 RPV-1 分析結果.....	91
圖 3.61	Case 02 RPV-1 Shimizu 分析結果	92
圖 3.62	Case 02 RPV-2 分析結果.....	93
圖 3.63	Case 02 RPV-2 Shimizu 分析結果	93
圖 3.64	Case 03 RW 及 RCCV 分析結果	94
圖 3.65	Case 03 RW 及 RCCV Shimizu 分析結果	95
圖 3.66	Case 03 RSW 分析結果	96
圖 3.67	Case 03 RSW Shimizu 分析結果.....	97
圖 3.68	Case 03 RPV 分析結果.....	98
圖 3.69	Case 03 RPV Shimizu 分析結果.....	99

圖 3.70	Case 03 E.L. 49.7m(Floor)分析結果	100
圖 3.71	Case 03 E.L. 49.7m(Floor) Shimizu 分析結果	101
圖 3.72	Case 03 E.L. 38.2m(Floor)分析結果	102
圖 3.73	Case 03 E.L. 38.2m(Floor) Shimizu 分析結果	103
圖 3.74	Case 03 E.L. 31.7m(Floor)分析結果	104
圖 3.75	Case 03 E.L. 31.7m(Floor) Shimizu 分析結果	105
圖 4.1	SASSI Detailed Model 之基底實體元素分析模型	106
圖 4.2	SASSI Detailed Model 之 RSW 分析模型	106
圖 4.3	SASSI Detailed Model 之 RPV 分析模型	107
圖 4.4	SASSI Detailed Model 之 RCCV 分析模型	107
圖 4.5	SASSI Detailed Model 之柱及 Rigid Beam 分析模型	108
圖 4.6	SASSI Detailed Model 之內牆分析模型	109
圖 4.7	SASSI Detailed Model 之樓版分析模型	110
圖 4.8	SASSI Detailed Model 之集中質量分析模型	111
圖 4.9	SASSI Detailed Model 之外牆分析模型	112
圖 4.10	SASSI Detailed Model 之回填基礎實體元素分析模型	113
圖 4.11	SASSI Detailed Model 之土壤阻抗節點分析模型	114
圖 4.12	SASSI Detailed Model 之土壤體積實體元素分析模型	115
圖 4.13	Case-01 RW 及 RCCV 分析結果	116
圖 4.14	Case-01 RSW 分析結果	117
圖 4.15	Case-01 RPV-1 分析結果	118
圖 4.16	Case-01 RPV-2 分析結果	119
圖 4.17	Case-02 RW 及 RCCV 分析結果	120
圖 4.18	Case-02 RSW 分析結果	121
圖 4.19	Case-02 RPV-1 分析結果	122
圖 4.20	Case-02 RPV-2 分析結果	123
圖 4.21	Case-03 RW 及 RCCV 分析結果	124

圖 4.22	Case-03 RSW 分析結果.....	125
圖 4.23	Case-03 RPV 分析結果.....	126
圖 5.1	SASSI 輸入之低剪應變工址土層性質剖面(LB).....	127
圖 5.2	不規則土層之有限元素分析模型	127
圖 5.3	修正後之土壤不規則區有限元素分析模型	128
圖 5.4	土壤不規則區之土壤阻抗互制點	128
圖 5.5	含土壤不規則區之結構體分析模型	129
圖 5.6	Case-01 RW 及 RCCV 分析結果	130
圖 5.7	Case-01 RSW 分析結果.....	131
圖 5.8	Case-01 RPV-1 分析結果	132
圖 5.9	Case-01 RPV-2 分析結果	133
圖 5.10	Case-02 RW 及 RCCV 分析結果	134
圖 5.11	Case-02 RSW 分析結果.....	135
圖 5.12	Case-02 RPV-1 分析結果	136
圖 5.13	Case-02 RPV-2 分析結果	137
圖 5.14	Case-03 RW 及 RCCV 分析結果.....	138
圖 5.15	Case-03 RSW 分析結果.....	139
圖 5.16	Case-03 RPV 分析結果.....	140

第1章 計畫緣起與目的

臺灣和日本同屬環太平洋地震帶，進步型核電廠如核四龍門電廠的地震安全研究與調查，實有加強之必要，本計畫主持人已於 101 年度委託研究計畫「以套裝軟體進行進步型核電廠圍阻體結構樓板反應分析之地震輸入研究」(編號 1012001INER001)中以三維度土壤結構互制程式 SASSI 完成進步型核電廠圍阻體結構樓板地震反應分析，並以龍門電廠 Stick Model 為例完成兩大議題：(1)地震波輸入位置之選定及(2)深埋置圍阻體土壤結構互制模型之適切模擬。

近年來由於計算機硬體不斷進步及方程式平行處理演算法 Spares Solver 的出現，核電廠土壤結構互制分析已由 Stick Model 分析邁向全有限元素模型 (Detailed Model)分析，龍門電廠原設計分析並無全有限元素模型，因此，有必要發展龍門電廠之全有限元素模型，以提高核電廠土壤結構互制分析之精確度。

電廠工址土層條件一般皆理想化為水平層狀土壤，以方便以 SHAKE 一維波傳程式求解工址之非線性反應及收斂後之土層性質，而實際上之工址地層剖面大部份皆呈不規則非水平層狀，此部份有必要詳加考慮並比較水平土層及不規則土層兩者反應之差異。

1.1 研究目的

因此，本計畫承繼上一年度計畫，以龍門電廠為例研究上述之新議題，目的分為以下三項：一為以 Detailed Model 進行核電廠土壤結構互制分析，比較 Stick Model 與 Detailed Model 地震反應之差異性及合理性之檢討；二為以三維之有限元素法模擬工址土層性質，考慮不規則非水平層狀工址之反應及土層性質，與原設計地面下之分析結果比較並探討其差異性；三為目的二之延伸，利用土壤結構互制之連續法將目的二收斂後之土層性質以一般複式彈簧模擬，再使用時域或頻域之泛用有限元素程式，求解電廠上構之反應並與原設計分析結果比較，探討其差異性。

第2章 研究方法與步驟

近廿年來精密的土壤結構互制效應分析已由二維進入三維，由 Stick Model 到 Detailed Model，全拜電腦硬體快速進步之賜，本計畫為達成上述研究目的一及目的二，須將 SASSI 程式原有之方程式 Skyline Solver 改為新的平行處理 Spares Solver，SASSI 程式使用柔積法來求解土壤結構互制問題，相關理論如下：

柔積法將土壤結構互制問題(圖 2.1(a))分為兩個部分，即基礎部分如圖 2.1(b)及結構物部分如圖 2.1(c)所示。

圖 2.1(a)所示系統之運動方程式可表示如下[3]：

$$[M]\{\ddot{\hat{u}}\} + [C]\{\dot{\hat{u}}\} + [K]\{\hat{u}\} = \{\hat{Q}_b\} \quad (2-1)$$

式中 $[M]$ 為質量矩陣， $[K]$ 為勁度矩陣， $[C]$ 為阻尼矩陣， $\{\hat{u}\}$ 為節點位移向量，而 $\{\hat{Q}_b\}$ 為外力向量。

若外力為簡諧載重其圓周頻率(radian/sec)為 ω ，則外力及位移向量可分別表為 $\{\hat{Q}_b\} = \{Q_b\}e^{i\omega t}$ 及 $\{\hat{u}\} = \{u\}e^{i\omega t}$ ，其中， $\{Q_b\}$ 和 $\{u\}$ 為外力及位移之複數振幅。於是式(2-1)可表示如下：

$$[S]\{u\} = \{Q_b\} \quad (2-2)$$

式中 $[S]$ 為動態勁度矩陣，可表示為：

$$[S] = [K] + i\omega[C] - \omega^2[M] \quad (2-3)$$

另圖 2.1(b)基礎部分及圖 2.1(c)結構部分之運動方程式可分別表示為：

$$\begin{bmatrix} S_{ff} & S_{fg} & S_{fb} \\ S_{gf} & S_{gg} & S_{gb} \\ S_{bf} & S_{bg} & S_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_f \\ u_g \\ u_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_f \\ 0 \\ Q_b \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

及

$$\begin{bmatrix} S_{ss} & S_{si} \\ S_{is} & (S_{ii} - S_{ff}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_s \\ u_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -Q_f \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

其中， $\{Q_f\}$ 為結構系統中之互制力，符號 s 代表上部結構， i 代表埋入結構， f 代表被開挖之土壤， b 代表外部邊界， g 代表保留之土壤，而互制部分埋入結

構位移 u_i 必須與土壤位移 u_f 諧合，即 $u_i = u_f$ ，且互制力必須平衡，即 $Q_i = -Q_f$ ， $S_{ii} - S_{ff}$ 則表示埋入結構物部分減去開挖土壤部分所構成之質量及勁度矩陣。

另自由場(Free Field)之運動方程式可表示如下：

$$\begin{bmatrix} S_{ff} & S_{fg} & S_{fb} \\ S_{gf} & S_{gg} & S_{gb} \\ S_{bf} & S_{bg} & S_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u'_f \\ u'_g \\ u'_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ Q_b \end{Bmatrix} \quad (2-6)$$

式中 $\{u'\}$ 為自由場運動之位移，即工址不含結構物時之振動反應，可由工址反應分析求得，見 Chen,1980[1]。因互制位移乃代表相對於自由場運動之位移，可以 $\{r\} = \{u\} - \{u'\}$ 表示，於是以式(2-4)減去式(2-6)可得下式：

$$\begin{bmatrix} S_{ff} & S_{fg} & S_{fb} \\ S_{gf} & S_{gg} & S_{gb} \\ S_{bf} & S_{bg} & S_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} r_f \\ r_g \\ r_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_f \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2-7)$$

式(2-7)可利用靜濃縮法消去 $\{r_g\}$ 及 $\{r_b\}$ 得到下式：

$$\{Q_f\} = [X_f] \{r_f\} = [X_f] (\{u_f\} - \{u'_f\}) \quad (2-8)$$

式中 $[X_f]$ 即為阻抗矩陣，相當於在分析模式中互制自由度之動態勁度矩陣，可以 Kausel 等[2]發展之方法利用傳導邊界求得。

將式(2-8)代入式(2-5)可得下式：

$$\begin{bmatrix} S_{ss} & S_{si} \\ S_{is} & (S_{ii} - S_{ff} + X_f) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s \\ u_f \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ [X_f] \{u'_f\} \end{Bmatrix} \quad (2-9)$$

式(2-9)僅考慮地震波傳，對於頻域內外力作用於上部或埋入結構，可簡化為僅有外力振幅，因此，考慮外力作用的反應可表示如下：

$$\begin{bmatrix} S_{ss} & S_{si} \\ S_{is} & (S_{ii} - S_{ff} + X_f) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_s \\ u_f \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_s \\ P_f \end{Bmatrix} \quad (2-10)$$

式(2-10)中 P_s 及 P_f 分別表示作用於上部及埋入結構之外力振幅，由式(2-9)及式(2-10)即可決定結構物受地震波傳及外力振動之最終反應。

由式(2-10)得知若要求解阻抗矩陣，首先須依式(2-8)計算 $[X_f]$ 即為土壤阻抗矩陣，再將式(2-10)右側的外力陣列置換為單位外力陣列，依定義求解基礎柔度矩陣，再經逆矩陣求得阻抗矩陣，若下構自由度大於上構或使用 Stick Model 分

析，整個過最耗資源就是計算土壤阻抗矩陣，幾乎佔了 90% 以上的計算量，因這部份須計算土壤互制點柔度矩陣的逆矩陣；若上構自由度遠大於下構或使用 Detailed Model 分析，求解式(2-10)亦須耗費不少資源，本計畫將從理論及演算法徹底解決此一問題，即求解阻抗矩陣 $[X_f]$ 及式(2-10)時引入新的 in-core 平行處理 Spares Solver 取代原有之 out-of-core Skyline Solver，並使用 64 位元作業系統使單一陣列之容量高達 2 的 64 次方 Bytes，若記憶體足夠可求解之結構體自由度將趨近於無限大。

2.1 研究步驟

若以擬三維程式考慮研究目的二，則須使用 FLUSH[4]或 Super FLUSH[5]等相關程式，為達成研究目的三則須使用 SAP2000 並比較原設計分析報告[6]。

為達成研究目的一，龍門電廠之 Detailed Model，可分為工址自由域之分析模型、結構部分之分析模型、回填部分之分析模型及埋入土壤體積之分析模型，除結構部分外其餘分析模型類似 Stick Model 集中質量分析模型，不再贅述，Detailed Model 之 SASSI 分析模型示意圖如圖所示，結構部份示意圖如圖 2.3 所示，埋入土壤體積實體元素示意圖如圖 2.4 所示，土壤阻抗節點示意圖如圖 2.5 所示。

日本規範通常須考慮工址不規則土層，工址不規則土層示意圖如圖 2.6 所示，為達成研究目的二，本計畫將以 SASSI 三維實體元素模擬土壤不規則區，其示意圖如圖 2.7 所示，此不規則區須考慮土壤之三維非線性性質即 Near Field Nonlinear，本計畫擬於 SASSI 加入此土壤非線性功能；若使用 FLUSH 之類二維土壤結構互制程式，以擬三維元素模擬土壤不規則區，其示意圖如圖 2.8 所示。

若目的二是以 SASSI 之三維實體元素模擬土壤不規則區，上下部結構及土壤之反應可由一次分析中同時求得，即目的二及目的三合併考慮；若目的二是以 FLUSH 之擬三維元素模擬土壤不規則區，目的二及目的三分二階段考慮，下

部結構及土壤之反應可由圖 2.8 之示意圖求得，上部結構之反應首先須將土壤部份換算為等值複式彈簧(Sway-Rocking Model)，其示意圖如圖 2.9 所示，再由上構基底輸入地震歷時求得，輸入之地震歷時之計算為散射問題(Scatting Problem)可由 SASSI 或 FLUSH 求得，其示意圖如圖 2.10 所示，通常 FLUSH 之計算速度較快，但 SASSI 之計算結果較精確。

第3章 龍門電廠之 Sway-Rocking Model

龍門電廠共有機組 1 及機組 2，本計畫因電廠兩機組構造類似，以下分析僅就機組 1 加以說明，為建構前章目的二及目的三之 Sway-Rocking Model，本計畫將以泛用有限元素程式 SAP2000 於時域分析龍門電廠之土壤結構互制效應。

3.1 土壤結構互制(SSI)分析方法之簡介

土壤結構互制之分析方法，以使用系統之完整性而言，可分為整體結構法(Complete Method)、部分結構法(Substructure Method)[11]與混合法(Hybrid Method)[12]，若以解析技巧來區分，在時域(Time Domain)求解時，可分為直接積分法(Direct Integration)及振態疊加法(Modal Superposition)[13]，此二方法在結構動力領域中已廣泛應用，故在此不復贅述，而在頻域(Frequency Domain)求解時，則常用複式反應法(Complex Response Method)[4]及葛林函數法(Green's Function Method)[14]。

整體結構法乃將土壤及結構同時納入分析模式，如過去廣為使用之 FLUSH[4]程式即是，FLUSH 為二維分析程式，以黏滯邊界(Viscous Boundary)[15]做近似三維之模擬，並利用二維傳導邊界(Transmitting Boundary)[16,17,18]模擬水平層狀土壤之無限效應，但仍無法做到真正三維分析，且需有一剛性基盤為其底部邊界方可執行，其波傳波場亦受垂直 SV 波之限制，因此在工程應用上仍受到相當之限制。

部分結構法大致可歸納為三種，第一種為剛性邊界法(Rigid Boundary Method)[2,19]，第二種為柔性邊界法(Flexible Boundary Method)[20,21,22,23,24]，第三種為柔性體積法(Flexible Volume Method)[25,3]。

剛性邊界法乃將土壤與結構之邊界視為剛性，如圖 3.1 所示，Kausel 及 Rosset[26]認為剛性邊界法可分解為三個步驟，首先是圖 3.1(a)工址散射問題，其次為圖 3.1(b)基礎阻抗問題，最後合併前二步驟之結果進行圖 3.1(c)結構反應分析。工址散射問題乃無質量基礎座落於工址上，輸入地震波場計算土壤結構邊界反應之問題，基礎阻抗問題乃無質量基礎振動問題，亦即計算無質量基礎

與土壤介面動態勁度之問題，一般以基礎施加單位簡諧振動力求得基礎位移再反算阻抗矩陣，然散射問題與阻抗問題除了少數剛性圓盤基礎或半球型基礎置於半無限空間等情況可利用連續法求得解析解外，如欲反應實際狀況將土壤之層狀特性、土壤材料性質之非線性、基礎材料之勁度、基礎形狀之不規則性及複雜之地震波場等納入考量，則因其複雜性，必須尋求有限元素法或其他有效之數值解方屬可行之途徑。土壤結構互制之總位移可分解為兩部份，一為慣性互制位移，另一為動力互制位移，慣性互制位移乃源自結構本身因慣性振動而產生之相對位移(相對於自由域)，其基底位移主要和結構之質量及土壤結構互制系統之阻抗函數有關；動力互制位移乃因勁度較大之基礎埋入或置於勁度較小之土壤上，自由域運動因地表勁度不連續、震波傾斜入射或基礎埋入土壤而改變所引起之結構運動，其基底運動可用與頻率相關之散射轉換函數表示之，此散射轉換函數乃轉換自由域運動與無質量結構基底運動之關係。

3.2 動力互制與慣性互制

圖 3.2 為柔性基礎之動力互制與慣性互制關係圖，土壤結構互制系統可分解為土壤部份與結構部份，土壤部份自由域之勁度及運動為 S^f 及 u^f ，經散射後基底運動為 u^g ，土壤阻抗為 S^g ，首先考慮土壤阻抗 S^g 及結構勁度 S^s 但不考慮結構質量 M^s 並輸入基底運動 u^g 求得基礎動力互制位移 u^k ，其次考慮土壤阻抗 S^g 、結構勁度 S^s 及結構質量 M^s 並輸入慣性力 $M^s \ddot{u}^k$ 求得基礎慣性互制位移 u^i ，最後基礎總位移 u^t 為動力互制位移 u^k 與慣性互制位移 u^i 之和。如圖 3.3 所示，若基礎為剛性則基礎動力互制位移 u^k 等於基底運動 u^g ，可免除動力互制位移 u^k 之計算。

土壤結構互制問題主要分為基礎振動與地震波傳分析，基礎振動分析只有慣性互制而無動力互制，地震波傳則同時有慣性互制及動力互制，因此，地震波傳分析較基礎振動更為複雜。

3.3 散射問題

因僅地震波傳有動力互制即散射問題，故針對地震波傳引用 Luco 等[27,28]之研究，其基底運動 u^g 與自由域運動 u^f 及其轉換函數矩陣可表示為

$$\begin{Bmatrix} u_g \\ v_g \\ w_g \\ \alpha_g \\ \beta_g \\ \gamma_g \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & S_{xz} \\ 0 & S_y & 0 \\ S_{zx} & 0 & S_z \\ 0 & \frac{S_{\phi_{xy}}}{R} & 0 \\ \frac{S_{\phi_{yx}}}{R} & 0 & \frac{S_{\phi_{yz}}}{R} \\ 0 & \frac{S_{\phi_{zy}}}{R} & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_f \\ v_f \\ w_f \end{Bmatrix} \quad (3-1)$$

此處 u_f 、 v_f 及 w_f 分別為自由域水平(X 向)、水平(Y 向)及垂直(Z 向)之位移複式振幅， S_x 、 S_y 、 S_z 、 S_{xz} 、 S_{zx} 、 $S_{\phi_{xy}}$ 、 $S_{\phi_{yx}}$ 、 $S_{\phi_{yz}}$ 及 $S_{\phi_{zy}}$ 皆為散射轉換函數，分別定義為 u_g/u_f 、 v_g/v_f 、 w_g/w_f 、 u_g/w_f 、 w_g/u_f 、 $R\alpha_g/v_f$ 、 $R\beta_g/u_f$ 、 $R\beta_g/w_f$ 及 $R\gamma_g/v_f$ 。

若 EW 向或 NS 向 SV 波垂直入射基底散射轉換函數為 S_x (Sway)、 $S_{zx}=0$ (因垂直入射)及 $S_{\phi_{yx}}$ (Rocking)，若 UD 向 P 波垂直入射基底散射轉換函數為 $S_{xz}=0$ (因垂直入射)、 S_z 及 $S_{\phi_{yz}}=0$ (因垂直入射)。

3.4 結構體及工址概述

龍門電廠機組 1 及機組 2 之工址平面圖如圖 3.4 所示[10]，平面圖方向分為南北向(NS)及東西向(EW)，平面圖的北向和真正的北向約有 20 度的夾角，電廠機組 1 座落於工址的南邊，機組 2 則位於北邊。

3.4.1 反應爐建物結構體

電廠每一機組之反應爐建物皆為鋼筋混凝土結構，由外圍之結構牆(RB)及樓板系統組合而成，並包圍住內部圓柱形的鋼筋混凝土圍阻體容器(RCCV)，圍阻體容器則由鋼骨鋼筋混凝土造的反應爐牆(RSW)及其柱腳用以支撐鋼製的反應爐壓力容器(RPV)所組成。

整體反應爐建物平面接近正方形，南北向長 57 公尺，東西向長 60 公尺，支承之鋼筋混凝土基底厚 5.5 公尺，屋頂為鋼結構桁架，建物由基底至桁架頂總高為 63.4 公尺，整個反應爐建物埋入地表深度為 25.7 公尺，約佔其總重的 40%，建物總樓層有 7 層，4 層於地面上，3 層於地面下。

3.4.2 工址土層條件

電廠機組 1 之工址自由域理想化土壤剖面及材料性質如圖 3.5 所示[10]，分析時應考慮表面覆土移除並以緊密之碎石取代之狀況，地震分析時假設之埋入及回填計畫如圖 3.6 所示[10]。

3.5 輸入地震及分析準則

龍門電廠之設計基準地震本應考慮地震安全關機地震(SSE)及操作基準地震(OBE)兩種條件，本計畫僅就 SSE 加以討論。

龍門電廠之設計基準地震反應譜，是由代表工址一組 6 個水平及 6 個垂直正規化設計反應譜，針對 6 個臨界阻尼分別為 0.5、1、2、5、7 及 10% 分析後求得，若考慮 SSE 條件，應將水平及垂直向之地表正規化設計反應譜所對應地震歷時之 PGA 調整至 0.4g，輸入之地表地震歷時其時間間距應為 0.005 秒，時間為 20 秒，兩水平 EW 向、NS 向及垂直 UD 向之加速度歷時及 2% 阻尼之加速度反應譜，分別如圖 3.7 至圖 3.12 所示[10]。

上述之輸入地震加速度歷時，應定義於自由域之岩石表面即露頭做為控制點，並相符於反應爐建物基底高程(-13.7 公尺)。

兩水平 EW 向及 NS 向之地震加速度歷時輸入皆假設 SV 或 SH 波垂直入射；垂直 UD 向之地震加速度歷時輸入則假設 P 波垂直入射。

3.6 工址自由域反應分析

為決定反摺積後相符於反應爐建物基底之輸入地震加速度歷時，此部分之分析須使用一維地震波傳程式 SHAKE[7,8]，為考慮土層性質之不確定性，美國

NRC SRP 3.7.2 節規定須考慮 best-estimate(BE)、lower-bound(LB)及 upper-bound(UB)等一系列之土層性質，本計畫僅就 BE 土層性質加以討論。

3.6.1 工址之土層性質

SHAKE 輸入之低剪應變工址土層性質剖面(BE)，其土層厚度、單位重、剪力模數、阻尼比及剪力波速如圖 3.13 所示，其中阻尼比上限依美國 NRC SRP 規定水平向為 15%，垂直向為 10%須特別注意。

3.6.2 隨剪應變變化之土層性質

SHAKE 以等線性法(Equivalent Linear Method)考慮土壤材料非線性，以處理土壤之非線性行為，等線性法乃一種疊代法，其不斷來回使用線性分析，直至計算得之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係，和事先量測或以其他方法取得之非線性關係符合為止。

回填碎石層之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係如圖 3.14 所示，其餘土層之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係如圖 3.15 所示。

經 SHAKE 以等線性法疊代，兩水平 EW 向及 NS 向收斂後之土壤剖面及材料性質分別如圖 3.16 及圖 3.17 所示，原設計奇異電力公司(GE)分析後兩水平向平均之土壤剖面及材料性質如圖 3.18 所示[10]，由圖 3.16 至圖 3.18 分析後之剪力(S 波)波速及阻尼比得知，本計畫之分析結果與原設計單位非常接近；垂直 UD 向因原設計單位假設壓力波(P 波)波速不隨剪應變改變，因此土壤 P 波波速與疊代前相同，但阻尼比使用水平向疊代後之結果，此部分學界有不同看法，本計畫為與原設計比較，後續之分析此部分之假設與原設計單位相同。

3.7 輸入地震加速度歷時之轉換

如前節所述輸入設計基準地震加速度歷時，應定義於自由域之岩石表面即露頭做為控制點，並相符於反應爐建物基底即高程-13.7 公尺輸入。如圖 3.19 所示，A 點即為上述之設計基準地震輸入點，若使用完全結構法或部份結構法之程式如 FLUSH 或 SASSI 分析電廠之 SSI 效應，須將 A 點之露頭設計基準地震

轉換為 B 點之非露頭地震加速度歷時做為分析程式之輸入加速度歷時，A 點轉至 B 點之轉換可使用 SHAKE 程式；若使用時域之簡化分析法即 Sway-Rocking Model 分析電廠之 SSI 效應，須將 B 點之非露頭地震加速度歷時依據圖 3.1 及式(3-1)轉換為 C 點之散射後地震加速度歷時做為分析程式之輸入加速度歷時，B 點轉至 C 點之轉換可使用 SASSI 程式。

A 點至 B 點之地震加速度歷時轉換，經由 SHAKE 反摺積後輸出反應爐建物基底，EW 向 B 點之地震加速度歷時如圖 3.20 所示，其加速度反應譜如圖 3.21 所示；NS 向 B 點之地震加速度歷時如圖 3.22 所示，其加速度反應譜如圖 3.23 所示；UD 向 B 點之地震加速度歷時如圖 3.24 所示，其加速度反應譜如圖 3.25 所示，EW、NS 向及 UD 向之地震加速度歷時轉換函數則如圖 3.26 至圖 3.28。由圖 3.20、圖 3.22 及圖 3.24 得知轉換後之 PGA 已非 0.4g，EW 向、NS 向及 UD 向之 PGA 分別為 0.314g、0.352g 及 0.371g，此點亦可由圖 3.21、圖 3.23 及圖 3.25 中之 ZPA 得知，此外由圖 3.26、圖 3.27 及圖 3.28 之轉換函數得知 A 點與 B 點之地震加速度歷時並不相同。

B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換為散射問題，經由 SASSI 依據圖 3.1 及式(3-1)轉換後，EW 向及 NS 向會輸出水平(Sway)及翻轉(Rocking)歷時，而 UD 向僅會輸出垂直向歷時而無翻轉歷時，EW 向 C 點水平及翻轉之地震加速度歷時如圖 3.29 及圖 3.31 所示，其加速度反應譜如圖 3.30 及圖 3.32 所示；NS 向 C 點水平及翻轉之地震加速度歷時如圖 3.33 及圖 3.35 所示，其加速度反應譜如圖 3.34 及圖 3.36 所示；UD 向 C 點之地震加速度歷時如圖 3.37 所示，其加速度反應譜如圖 3.38 所示，EW、NS 向及 UD 向之地震加速度歷時轉換函數則如圖 3.39 至圖 3.43。圖中顯示 EW 向及 NS 向之翻轉歷時及反應譜皆不大，且後續 SAP2000 之時域分析無法輸入翻轉歷時，因此，水平向地震所引起之翻轉散射在此忽略不計，由圖 3.29、圖 3.33 及圖 3.37 得知轉換後之 PGA EW 向、NS 向及 UD 向之 PGA 分別為 0.311g、0.334g 及 0.360g，此點亦可由圖 3.30、圖 3.34 及圖 3.38 中之 ZPA 得知，此外由圖 3.39、圖 3.41 及圖 3.43 之轉換函數得知 B 點與 C 點之地震加速度歷時並不相同但差距不大，因轉換函數實數接近 1 虛數接近 0。

3.8 SSI 分析模型

由龍門電廠工址平面圖圖 3.4 得知，每一機組之反應爐建物約對 EW 平面對稱，且外力無論水平向或垂直向之地震波即 SV 波及 P 波皆垂直入射地面，結構對稱外力又對稱或反對稱。

本計畫此部分共建立二分析模型，一為用於水平 EW 向及垂直 UD 向之分析；另一為用於水平 NS 向之分析，分析時為與原設計比較採集中質量 Stick Model，集中質量 Stick Model 之材料性質、斷面性質及集中質量則參考文獻 [6,9,10]。

3.8.1 工址自由域之分析模型

本計畫僅考量 BE 土層性質，此部分之分析已於 3.6 節使用 SHAKE 程式完成，土層性質水平向採 EW 向及 NS 向之平均值，垂直向則不變，水平向及垂直向分析之土壤剖面及材料性質分別如圖 3.44 及圖 3.45 所示，其中阻尼比上限依美國 NRC SRP 規定水平向為 15%，垂直向為 10%。

3.8.2 土壤等值彈簧常數

兩種土壤等值彈簧附加於結構分析模型，一為側向彈簧另一為基底彈簧，側向彈簧之計算使用 Novak's Theory[29]基於二維波傳，基底彈簧之計算使用 Vibration Admittance Theory[30]基於三維波傳，兩種土壤彈簧本為頻域複式阻抗，為方便於時域分析，分別以與頻率無關之土壤彈簧 K_c 及阻尼係數 C_c 簡化並取代複式阻抗之實部及虛部，圖 3.46 及圖 3.47 中之 K10 至 K14 為側向彈簧，K15 至 K16 為基底彈簧。

3.8.3 結構部分之分析模型

結構部分分析時為與原設計比較採集中質量 Stick Model，集中質量 Stick Model 之材料性質、斷面性質及集中質量則參考文獻 [6,9,10]，集中質量 Stick Model 水平向分析模型如圖 3.46 所示 [9,10]，垂直向分析模型如圖 3.47 所示 [9,10]，

圖 3.46 及圖 3.47 中有數個三維的集中質量 Stick Model 分別為(a)外圍之結構牆及樓板系統(RB)、(b)鋼筋混凝土圍阻體容器(RCCV)、(c)反應爐牆及其柱腳(RSW)及(d)反應爐壓力容器(RPV)。

RB、RCCV、RSW 及 RPV 之材料性質及斷面性質一般狀況視為混凝土未開裂稱為”Base Model”或”Best Estimate”，RB、RCCV 及 RSW 柱腳部分若考慮在 SSE 載重條件混凝土有可能開裂，因此，保守將其剪力及撓曲剛度折減一半，此部分亦參考文獻[9,10]。

3.9 SSI 分析 Cases

反應爐建物之土壤結構互制分析例，原設計共有 43 個分析例，由不同分析參數排列組合而成，這些參數之變化分別為：

1. 反應爐建物機組 1 及機組 2，
2. 工址土層性質 best-estimate(BE)、lower-bound(LB)、lower-bound-1(LB-1)及 upper-bound-1(UB-1)，
3. 兩種輸入設計基準地震 SSE 及 OBE，
4. 兩種基礎埋入接觸條件一為分離，一為無分離，分離乃指埋入反應爐建物外牆從地表至回填混凝土頂即高程 7.3m 處與土壤分離無接觸，
5. SSE 設計基準地震下兩種結構勁度，一為混凝土開裂，一為混凝土無開裂，
6. 另一特殊質量分佈例為在 OBE 設計基準地震下考慮液體之動態慣性效應。

對本計畫而言參數項目 1、2 及 3 並非考量重點僅擇一即可，本計畫參數 1 選擇反應爐建物機組 1，參數 2 選擇工址土層性質 BE，參數 3 選擇較大之設計基準地震 SSE，而參數項目 6 則不予考慮，為方便比對本計畫採用之分析例編號皆與原設計相同，分析例編號及參數識別表如表 3.1 所示。

3.10 SSI 分析結果

龍門電廠反應爐建物 Stick Model 經 SAP2000 分析後之結果，分述如下。

3.10.1 Case 01 至 03

如表 3.1 所示，Case 01 至 03 之土壤性質為 BE，結構勁度為 BE，結構質量亦為 BE，基礎埋入接觸條件為無分離，相對應之土壤等值彈簧常數如表 3.2 所示，編號 01、02 及 03 分別表示 EW 水平向、NS 水平向及 UD 垂直向分析例，分析結果將以阻尼比 2% 之加速度反應譜表示之。

1. Case 01

Case 01 為 EW 水平向之分析，圖 3.48、圖 3.50、圖 3.52 及圖 3.54 分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV-1 及 RPV-2 SAP2000 及 SASSI 之分析結果，圖中顯示 SAP2000 與 SASSI 之反應大致相符但 SASSI 之反應於 4Hz 後大部份皆略高於 SAP2000。圖 3.49、圖 3.51、圖 3.53 及圖 3.55 則分別為 RCCV、RSW、RPV-1 及 RPV-2 Shimizu 之分析結果，SAP2000 與 Shimizu 之反應亦大致相符，Shimizu 之反應於 4Hz 後大部份較接近 SASSI 但仍低於 SASSI。

2. Case 02

Case 02 為 NS 水平向之分析，圖 3.56、圖 3.58、圖 3.60 及圖 3.62 分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV-1 及 RPV-2 SAP2000 及 SASSI 之分析結果，圖 3.57、圖 3.59、圖 3.61 及圖 3.63 則分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV-1 及 RPV-2 Shimizu 之分析結果，圖中顯示 Case 02 之分析結果大致與 Case 01 類似，因龍門電廠水平兩向幾近對稱。

3. Case 03

Case 03 為 UD 垂直向之分析，圖 3.64、圖 3.66、圖 3.68、圖 3.70、圖 3.72 及圖 3.74 分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV、E.L. 49.6m、E.L. 38.2m 及 E.L. 31.7m SAP2000 及 SASSI 之分析結果，圖中顯示 SAP2000 與 SASSI 之反應除少數樓板設備點外幾乎全面相符。圖 3.65、圖 3.67、圖 3.69、圖 3.71、圖 3.73 及圖 3.75 則分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV、E.L. 49.6m、E.L. 38.2m 及

E.L. 31.7m Shimizu 之分析結果，SAP2000 與 Shimizu 之反應大致相符，但 SAP2000 較接近 SASSI 之分析結果。

第4章 龍門電廠之 Detailed Model

為建構前章目之一之 Detailed Model 進行核電廠土壤結構互制分析，比較 Stick Model 與 Detailed Model 地震反應之差異性及合理性之檢討，本計畫將以土壤結構互制程式 SASSI 於頻域分析龍門電廠之土壤結構互制效應，龍門電廠共有機組 1 及機組 2，本計畫因電廠兩機組構造類似，以下分析僅就機組 1 加以說明。

4.1 結構體及工址概述

龍門電廠 Detailed Model 之反應爐建物結構體、工址土層條件、輸入地震及分析準則、工址自由域反應分析等同第三章，但輸入地震加速度歷時如 3.7 節所述須經 SHAKE 轉換使用圖 3.19 之 B 點非露頭地震加速度歷時。

4.2 SSI 分析模型

此部份 Detailed Model 與 Stick Model 大不相同，因須分析結構體的細部反應，並考慮結構體質心與剛心不一致的扭轉效應，故須以有限元素仔細模擬大部份的結構體，因此，分析模型的自由度會大量增加造成分析上的困難，本計畫將從理論及演算法徹底解決此一問題，引入新的 in-core 平行處理 Spares Solver 取代原有之 out-of-core Skyline Solver，並使用 64 位元作業系統使單一陣列之容量高達 2 的 64 次方 Bytes，若記憶體足夠可求解之結構體自由度將趨近於無限大。

Detailed Model 分析模型因須充分考慮結構體的細部行為，故不再使用一半的對稱分析模型，即無論水平 EW 向、水平 NS 向及垂直 UD 向之分析皆使用同一分析模型。

4.2.1 工址自由域之分析模型

此部分之分析已於 3.6 節使用 SHAKE 程式完成，土層性質水平向採 EW 向及 NS 向之平均值，垂直向則不變，水平向及垂直向分析之土壤剖面及材料性質

分別如圖 3.44 及圖 3.45 所示，其中阻尼比上限依美國 NRC SRP 規定水平向為 15%，垂直向為 10%。

4.2.2 結構部分之分析模型

結構部分分析時為與採集中質量 Stick Model 比較，Detailed Model 結構部分之材料性質同 Stick Model，各樓層之總質量須與 Stick Model 相同，Detailed Model 依參考文獻[6,9,10]以有之總質量限元素模擬大部份的主結構體並計算各樓層之總質量，再與 Stick Model 各樓層及設備之總質量比較，不足部份再以平均分佈之集中質量補足。

因使用 SASSI 分析 RB 外牆部分埋入土壤部分須以三維之版殼元素模擬，故 RB 之 Detailed Model 在地面下之斷面性質及集中質量須加以修正，修正的方式為將原始的 RB 梁剛度減去版殼元素之剛度，剩下的剛度可視為 RB 內牆剛度並置入 SASSI 分析模型，若考慮混凝土開裂此部份之彈性模數須折減 50%。

SASSI Detailed Model 之基底實體元素分析模型如圖 4.1 所示，SASSI Detailed Model 之 RSW 分析模型如圖 4.2 所示，SASSI Detailed Model 之 RPV 分析模型如圖 4.3 所示，RSW 與 RPV 分析模型因無具體資料提供，且其質量佔總結構體質量相對小，故此部份仍以 Stick Model 模擬，SASSI Detailed Model 之 RCCV 分析模型如圖 4.4 所示，SASSI Detailed Model 之柱及 Rigid Beam 分析模型如圖 4.5 所示，Rigid Beam 主要為束制同一設備區質量以便和 Stick Model 比較，SASSI Detailed Model 之內牆分析模型如圖 4.6 所示，SASSI Detailed Model 之樓版分析模型如圖 4.7 所示，SASSI Detailed Model 之集中質量分析模型如圖 4.8 所示，此部份主要為使 Detailed Model 與 Stick Model 各樓層及設備之總質量相同，SASSI Detailed Model 之外牆分析模型如圖 4.9 所示，SASSI Detailed Model 分析模型結構體共有 43954 個自由度，土壤阻抗互制點則有 4128 個自由度。

4.2.3 回填部分之分析模型

如圖 3.6 電廠機組 1 地震分析時假設之埋入及回填計畫所示，反應爐建物埋入基底高程為-13.7m，建物外牆四周外有預留導溝，導溝約有 3m 寬，深度則

由地表(高程 12m)至基底(高程-13.7m)，導溝計畫回填貧級配混凝土，西側牆回填至高程 7.3m，再回填碎石至地表，東側牆則回填貧級配混凝土至高程 3.8m，再回填 1m 厚之混凝土版至地表，此部分以 SASSI 模擬時須等同結構視之，因此，在建物外牆四周以一層三維實體元素模擬回填部分，另外再以一層三維實體元素模擬基底下與土壤接觸之劣質配混凝土，為配合上部結構此部份分割網格遠比原設計單位切割為細，此部分之分析模型如圖 4.10 所示。

回填部分四周與基底與土壤接觸之節點須反應土壤之阻抗，此部分由 SASSI 程式內部自行計算，SASSI Detailed Model 之土壤阻抗節點分析模型如圖 4.11 所示。

4.2.4 埋入土壤體積之分析模型

SASSI 程式因使用柔積法進行分析，所以總質量及勁度矩陣須減去埋入土壤部分，此部分除了反應爐建物埋入部分外，須再擴大至上節所述之回填部分，此埋入土壤體積須以三維實體元素模擬，此部分之分析模型如圖 4.12 所示，考量土壤的分割尺寸，此模型最高之分析頻率遠超過 33Hz。

4.3 SSI 分析 Cases

此部份 Detailed Model 同 Stick Model 如 3.9 節所述，對本計畫而言參數項目 1、2 及 3 並非考量重點僅擇一即可，本計畫參數 1 選擇反應爐建物機組 1，參數 2 選擇工址土層性質 BE，參數 3 選擇較大之設計基準地震 SSE，而參數項目 6 則不予考慮，為方便比對本計畫採用之分析例編號皆與原設計相同，分析例編號及參數識別表如表 3.1 所示。

4.4 SSI 分析結果

龍門電廠反應爐建物 Detailed Model 經 SASSI 分析後之結果，分述如下。

4.4.1 Case 01 至 03

如表 3.1 所示，Case 01 至 03 之土壤性質為 BE，結構勁度為 BE，結構質量亦為 BE，基礎埋入接觸條件為無分離，編號 01、02 及 03 分別表示 EW 水平向、NS 水平向及 UD 垂直向分析例，分析結果將以阻尼比 2% 之加速度反應譜表示之。

1. Case 01

Case 01 為 EW 水平向之分析，圖 4.13、圖 4.14、圖 4.15 及圖 4.16 分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV-1 及 RPV-2 SASSI Detailed Model 及 Stick Model 之分析結果，圖 4.13 為 RW 及 RCCV 之分析結果，圖中顯示 Detailed Model 與 Stick Model 之反應大致相符，但高程越高差異性越大，Detailed Model 反應略高於 Stick Model，且 Detailed Model 的反應較不平滑，此部份可能因 Detailed Model 有考慮因剛心與質心差距所產生的扭矩而 Stick Model 則無，且 Detailed Model Local Mode 的貢獻較多，故高程越高扭矩的貢獻較大所致；圖 4.14 為 RSW 之分析結果，圖中顯示 Detailed Model 與 Stick Model 之反應大致相符，同樣高程越高差異性越大，但較不明顯；圖 4.15 及圖 4.16 為 RPV 之分析結果，圖中顯示除節點 4 外 Detailed Model 與 Stick Model 之反應大致相符。

2. Case 02

Case 02 為 NS 水平向之分析，圖 4.17、圖 4.18、圖 4.19 及圖 4.20 分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV-1 及 RPV-2 SASSI Detailed Model 及 Stick Model 之分析結果，圖 4.17 為 RW 及 RCCV 之分析結果，圖中顯示 Detailed Model 與 Stick Model 之反應大致相符，但節點高程越高差異性越大，Detailed Model 反應略高於 Stick Model，且 Detailed Model 的反應較不平滑，此部份可能因 Detailed Model 有考慮因剛心與質心差距所產生的扭矩而 Stick Model 則無，且 Detailed Model Local Mode 的貢獻較多，故節點高程越高扭矩的貢獻較大所致；圖 4.18 為 RSW 之分析結果，圖中顯示 Detailed Model 與 Stick Model

之反應大致相符，同樣節點高程越高差異性越大，但較不明顯；圖 4.19 及圖 4.20 為 RPV 之分析結果，圖中顯示除節點 4 外 Detailed Model 與 Stick Model 之反應大致相符。

3. Case 03

Case 03 為 UD 垂直向之分析，圖 4.21、圖 4.22 及圖 4.23 分別為 RW 及 RCCV、RSW 及 RPV SASSI Detailed Model 及 Stick Model 之分析結果，圖 4.21 為 RW 及 RCCV 之分析結果，圖中顯示 Detailed Model 與 Stick Model 之反應除節點 89 外大致相符，而節點 95 及 98 Detailed Model 反應於 10.5Hz 遠低於 Stick Model，但反而與圖 3.65 Shimizu 之 Sway-Rocking Model 分析結果接近；圖 4.22 及圖 4.23 分別為 RSW 及 RPV 之分析結果，圖中顯示 Detailed Model 與 Stick Model 之反應大致相符，但 Stick Model 反應略高於 Detailed Model，此點與水平向反應剛好相反，此乃因垂直向反應並無扭矩差異之故。

第5章 龍門電廠之非水平土層效應

為詳加考慮並比較水平土層及不規則土層兩者反應之差異，本計畫將以土壤結構互制程式 SASSI 於頻域分析龍門電廠之不規則土層效應，龍門電廠共有機組 1 及機組 2，本計畫因電廠兩機組構造類似，以下分析僅就機組 1 加以說明。

5.1 SSI 分析模型

龍門電廠之非水平土層模型除工址土層條件外，其餘分析條件 SASSI Stick Model，以方便比較水平土層及不規則土層兩者反應之差異。

電廠結構部份除與 SASSI Stick Model 相同外，另須將不規則土層區視為下構之一部份，直至成為水平土層為止，因此，分析模型的自由度會大量增加造成分析上的困難，尤其是分析上最耗資源之土壤互制點。

5.1.1 工址自由域之分析模型

此部分亦同 3.6 節使用 SHAKE 程式完成，但假設工址下之不規則土層區延伸後之水平土層性質改為 NRC SRP 3.7.2 節規定之 lower-bound(LB)，主要是因為不規則土層區假設為褶皺(Fold)，而褶皺多為破碎土質勁度已降低，故延伸後之水平土層性質改為 lower-bound(LB)，SASSI 輸入之低剪應變工址土層性質剖面(LB)，其土層厚度、單位重、剪力模數、阻尼比及剪力波速如圖 5.1 所示，其中阻尼比上限依美國 NRC SRP 規定水平向為 15%，垂直向為 10%須特別注意。

5.1.2 不規則土層之分析模型

反應爐建物平面接近正方形，南北向長 57 公尺，東西向長 60 公尺，不規則土層之褶皺假設南北向及東西向皆至 90 公尺後銜接水平土層，凹形褶皺內亦為水平土層，因採一半對稱分析模型以減少分析時間，其有限元素分析模型如圖 5.2 所示，其中凹形褶皺內之水平土層性質同 NRC SRP 3.7.2 節規定之 best-estimate(BE)，彎曲褶皺由地表至底部之土層性質詳表 5.1。

SASSI 程式因使用柔積法處理土壤結構互制問題，所有下構節點均須置於土層界面上才能計算土壤阻抗，故修正後之土壤不規則區有限元素分析模型如圖 5.3 所示，本計畫使用 Subtraction Method 分析，本應僅考慮結構體與土壤接觸面之節點為土壤阻抗互制點，以減少分析時間，但不規則土層區土壤勁度遠不及結構體，因此，除與結構體重合之區域外其餘不規則區之節點皆須視為互制點，此點乃本計畫主持人多年研究 SASSI 之心得，亦呼應 2010 年後 Extended Subtraction Method 之精神，不規則區之互制點如圖 5.4 所示，其自由度高達 16782，應是國內目前所知互制點自由度最高之 SASSI 分析模型。

5.1.3 結構部分之分析模型

除原 Stick Model 結構體相同外，另須將不規則土層區視為結構體之一部份，直至成為水平土層為止，含土壤不規則區之結構體分析模型如圖 5.5 所示。

5.2 SSI 分析結果

龍門電廠之非水平土層效應經 SASSI 分析後之結果，分述如下。

5.2.1 Case 01 至 03

如表 3.1 所示，Case 01 至 03 之除土壤性質如 5.1.2 所述外，結構勁度為 BE，結構質量亦為 BE，基礎埋入接觸條件為無分離，編號 01、02 及 03 分別表示 EW 水平向、NS 水平向及 UD 垂直向分析例，分析結果將以阻尼比 2% 之加速度反應譜表示之。

1. Case 01

Case 01 為 EW 水平向之分析，圖 5.6、圖 5.6、圖 5.7 及圖 5.8 分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV-1 及 RPV-2 SASSI Stick Model 水平土層模型及褶皺土層模型(以下簡稱 Fold Model)之分析結果，圖 5.7 為 RW 及 RCCV 之分析結果，圖中顯示 Fold Model 與 Stick Model 之反應形態大致相符，但 Fold Model 反應低頻處皆高於 Stick Model，且 Fold Model 於數處反應有尖峰值，此部份

可能因 Fold Model 假設褶皺土質勁度已降低，而延伸後之水平土層性質改為 lower-bound(LB)之故，尖峰值應為放大不規則區土壤特性之故；圖 5.8 為 RSW 之分析結果，圖中顯示 Fold Model 尖峰值放大效應更為明顯；圖 5.9 及圖 5.10 為 RPV 之分析結果，亦有類似現象。

2. Case 02

Case 02 為 NS 水平向之分析，圖 5.11、圖 5.12、圖 5.13 及圖 5.14 分別為 RW 及 RCCV、RSW、RPV-1 及 RPV-2 SASSI Stick Model 及 Fold Model 之分析結果，圖中顯示 Fold Model 尖峰值放大效應較 Case 01 為 EW 水平向更為明顯。

3. Case 03

Case 03 為 UD 垂直向之分析，圖 5.14、圖 5.15 及圖 5.16 分別為 RW 及 RCCV、RSW 及 RPV SASSI Stick Model 及 Fold Model 之分析結果，圖中顯示垂直向反應 Stick Model 及 Fold Model 於低頻處幾乎完全相同，但至高頻區土壤特性被放大，Fold Model 反應遠高於 Stick Model，尤其是約 11Hz 處之尖峰值。

第6章 結論與建議

本計畫執行結果、相關結論及未來研究之建議如下：

6.1 結論

1. 由圖 3.20、圖 3.22 及圖 3.24 得知 A 點至 B 點之地震加速度歷時轉換後之 PGA 已非 0.4g，EW 向、NS 向及 UD 向之 PGA 分別為 0.314g、0.352g 及 0.371g，此點亦可由圖 3.21、圖 3.23 及圖 3.25 中之 ZPA 得知，此外由圖 3.26、圖 3.27 及圖 3.28 之轉換函數得知 A 點與 B 點之地震加速度歷時並不相同相差甚大。
2. 由圖 3.29、圖 3.33 及圖 3.37 得知 B 點至 C 點(Sway)之地震加速度歷時轉換後之 PGA EW 向、NS 向及 UD 向之 PGA 分別為 0.311g、0.334g 及 0.360g，此點亦可由圖 3.30、圖 3.34 及圖 3.38 中之 ZPA 得知，此外由圖 3.39、圖 3.41 及圖 3.43 之轉換函數得知 B 點與 C 點之地震加速度歷時並不相同但差距不大，因轉換函數實數接近 1 虛數接近 0。
3. 由圖 3.46 及圖 3.47 得知 Node 88 在基底上緣與基底 Node 106 為剛接，Node 88 反應同 Node 106，而基底彈簧非常大幾近剛接，故 Node 88 反應同輸入地震，觀察 Node 88 三向反應譜圖 3.48、圖 3.56 及圖 3.64 與輸入地震反應譜圖 3.30、圖 3.33 及圖 3.37 幾乎完全相同，再觀察 Shimizu 分析之 Node 88 反應譜圖 3.51、圖 3.57 及圖 3.65 亦與 Scattering 後之反應譜即 C 點相同，但與圖 3.8、圖 3.10 及圖 3.12 之 A 點設計地震反應譜並不相同，即可證明 Shimizu 分析時輸入之地震歷時為 C 點，故 Sway-Rocking Model 之分析，輸入之地震歷時須以 C 點(即 A 點散射後)輸入，而不能以 A 點之地震歷時輸入。
4. Sway-Rocking Model 之之水平向分析，SAP2000 與 SASSI 之反應大致相符但 SASSI 之反應於 4Hz 後大部份皆略高於 SAP2000，SAP2000 與 Shimizu 之反應亦大致相符，Shimizu 之反應於 4Hz 後大部份較接近 SASSI 但仍低於 SASSI，此現象節點高程越高越明顯，主要因 SAP2000 之時域分析無法輸入翻轉歷時，因此，水平向地震所引起之翻轉散射在此忽略不計，但 Shimizu 使用之程式(可能使用 NASTRAN)可能無此限制。

5. Sway-Rocking Model 之垂直向分析，SAP2000 與 SASSI 之反應除少數樓板設備點外幾乎全面相符，且 SAP2000 比 Shimizu 更接近 SASSI 之分析結果，此現象乃因垂直向分析無須輸入翻轉歷時且 SASSI 之散射分析精度可能高於 Shimizu，故分析結果全面接近 SASSI。
6. SAP2000 水平向分析結果某些點高頻部份不如 Shimizu 分析結果準確，但某些點比 Shimizu 準確，主要原因如下：
 - (1) SAP2000 無法輸入翻轉歷時，NASTRAN 可能可以。
 - (2) SAP2000 無法使用高階項雷利阻尼來逼近材料阻尼，NASTRAN 可能可以。
 - (3) SASSI 模型中之 Spring Element K1 至 K8 本計畫皆假設 7% 之材料阻尼比，分析結果才有辦法與原設計單位接近，Shimizu 之 Sway-Rocking Model 也一定有，只是原設計單位計算書一律不說明，故無法精確輸入 K1 至 K8 之材料阻尼比，SAP2000 之 Link Element(K1 至 K8)則無法精確輸入材料阻尼比僅能輸入阻尼係數。
7. SASSI Detailed Model 與 Stick Model 之水平向反應大致相符，但節點高程越高差異性越大，Detailed Model 反應略高於 Stick Model，且 Detailed Model 的反應較不平滑，此部份可能因 Detailed Model 有考慮因剛心與質心差距所產生的扭矩而 Stick Model 則無，且 Detailed Model Local Mode 的貢獻較多，故節點高程越高扭矩的貢獻較大所致。
8. SASSI Detailed Model 與 Stick Model 之垂直向反應除少數節點大致相符，但 Stick Model 反應略高於 Detailed Model，此點與水平向反應剛好相反，此乃因垂直向反應並無扭矩差異之故。
9. SASSI Stick Model 及 Fold Model 之水平向反應形態大致相符，但 Fold Model 反應低頻處皆高於 Stick Model，且 Fold Model 於數處反應有尖峰值，此部份可能因 Fold Model 假設褶皺土質勁度已降低，而延伸後之水平土層性質改為 lower-bound(LB)之故，尖峰值應為放大不規則區土壤特性之故。
10. SASSI Stick Model 及 Fold Model 之垂直向反應於低頻處幾乎完全相同，但至高頻區土壤特性被放大，Fold Model 反應遠高於 Stick Model，尤其是約 11Hz 處之尖峰值。

6.2 建議

1. SAP2000 及 Shimizu 之分析，側向彈簧 K10 至 K14 使用之計算使用 Novak's Theory 基於二維波傳，基底彈簧之計算使用 Vibration Admittance Theory 基於三維波傳，此部分可使用 SASSI 的阻抗分析取代或使用最佳簡化分析[31] 取代會得到更接近 SASSI 的分析結果。
2. SASSI Detailed Model 已考慮因剛心與質心差距所產生的扭矩，且能求解結構物細部之反應，本計畫之 Detailed Model 分析模型結構體共有 43954 個自由度，土壤阻抗互制點則有 4128 個自由度，以四核心之 Intel Core i7 3770 執行，求解一頻率僅需 1 分鐘，以目前之科技水準實無理由再使用 Stick Model 分析土壤結構互制效應，建議日後之 SSI 分析皆使用 Detailed Model。

參考文獻

1. Chen, J. C., Lysmer, J. and Seed, H. B., "Analysis of Local Variations in Free Field Seismic Ground Motion," Report No. EERC 81/03, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, January (1981)
2. Kausel, E., Roesset, J. M. and Waas, G., "Dynamic Analysis of Footings on Layered Media," J. Engrg. Mech. Div., ASCE, Vol. 101, No. EM5, pp. 679-693, October (1975).
3. Lysmer, J., Tabatabaie, M., Tajirian F., Vahdani, S., and Ostadan, F., "SASSI - A System for Analysis of Soil-Structure interaction," Report No. UCB/GT/81-02, University of California, Berkeley (1981).
4. Lysmer, J., Udaka, T., Tsai, C. F. and Seed, H. B., "FLUSH A Computer Program for Approximate 3-D Analysis of Soil-Structure Interaction Problems," Report No. EERC 75-30, University of California, Berkeley, Nov. (1975).
5. Udaka, T., *Super FLUSH User's Manual*, Earthquake Engineering Technology, Inc., May (1983).
6. Shimizu Corporation. "Reactor Building Seismic Analysis Results with Sway-Rocking Model," Report to GE Nuclear Energy, Project Document No. 31113-OU71-1266-0002.
7. Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B., "SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites," Report No. EERC 72/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December (1972).
8. Seed, H. B. and Idriss, I. M., "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis," Report No. EERC 70-10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December (1970).
9. Shimizu Corporation, "Reactor Building Structural Model for Seismic Analysis," Report to GE Nuclear Energy, Project Document No. 31113-OU71-1266-0001.
10. Taiwan Power Company, Lungmen Project Fourth Nuclear Power Plant Units 1 and 2, "Seismic Analysis of the Reactor Buildings," Report to GE Nuclear Energy, Project Document No. 8748611M001-1.

11. Lysmer, J., "Analytical Procedures in Soil Dynamics," Report No. EERC 78-29, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December (1978).
12. Gupta, S., Lin, T. W., Penzien, J. and Yen, C. S., "Hybrid Modelling of Soil Structure Interaction," Report No. EERC 80-9, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, May (1980).
13. Clough, R. W and Penzien, J., Dynamics of Structures, 2nd Ed., McGraw-Hill, Inc., New York (1993).
14. Apsel, R. J., "Dynamic Green's Function for Layered Media and Applications to Boundary Value Problems," Ph. D. thesis, University of California, San Diego (1979).
15. Lysmer, J. and Kuhlemeyer R. L., "Finite Dynamic Model for Infinite Media," J. Engrg. Mech. Div., ASCE, Vol. 95, No. EM4, pp. 859-877, August (1969).
16. Lysmer, J., "Lumped Mass Method for Rayleigh Waves", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 60, pp. 89-104 (1970).
17. Lysmer, J. and Wass, G., "Shear Waves in Plane Infinite Structures," J. Engrg. Mech. Div., ASCE, Vol. 98, No. EM1, pp. 85-105, February (1972).
18. Wass, G., "Analysis Method for Footing Vibrations through Layered Media," Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley, December (1972); also published under the title "Earth Vibrations Effects and abatement for Military Facilities," Report 3, U. S. Army Engineer WES, Vicksburg, Miss., September (1972).
19. Kausel, E., Whitman, R.V., Morray, J. P. and Elsabee, F., "Nuclear Engineering and Design," Vol. 48, pp. 377-392, (1978).
20. Aydinoglu, M. N. and Cakiroglu. A., "Dynamic Interaction Between Soil and a Group of Buildings," Proc. 6th World Conf. Earthq. Engrg. Vol. 4, pp. 133-138, New Delhi (1977).
21. Chopra, A. K. and Gutierrez, J. A., "Earthquake Analysis of Multistory Buildings including Foundation Interaction," Report No. EERC 73-13, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, June (1973).

22. Gutierrez, J. A., "A Substructure Method for Earthquake Analysis of Structure-Soil Interaction," Report No. EERC 76-9, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, April (1976).
23. Gutierrez, J. A. and Chopra, A. K., "Evaluation of Methods for Earthquake Analysis of Structure-Soil Interaction," Proc. 6th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 4, pp. 1-6, New Delhi, India, January (1977).
24. Gutierrez, J. A. and Chopra, A. K., "A Substructure Method for Earthquake Analysis of Structures including Structure-Soil Interaction," J. Earthq. Engrg. and Struc. Dyn., Vol. 6, pp. 51-69 (1978).
25. Lysmer, J. and Savage, E., "Flexible Volume Substructuring for Seismic Analysis," (draft), University of California, Berkeley (1978).
26. Kausel, E., and Roesset, J. M., "Soil-Structure Interaction Problems for Nuclear Containment Structures," ASCE Power Division Specialty Conference, Denver, Colorado, August (1974).
27. Luco, J. E. and Mita, A., "Response of A Circular Foundation on A Uniform Half-Space to Elastic Waves," J. Earthq. Engrg. and Struc. Dyn., Vol. 15, pp. 105-118 (1987).
28. Luco, J. E. and Westmann, R. A., "Dynamic Response of a Rigid Footing Bounded to an Elastic Halfspace," J. Appl. Mech., ASME, 1968, 35E. 697 (1968).
29. Novak, M. et al. : "Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case", The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1978.
30. Tajimi, H. : "Fundamental Study on the Theory of Seismic Design", Research Report Vol.8, No.4, University of Tokyo, 1959. (in Japanese)
31. 施俊揚, 2006, 動態土壤結構互制系統簡化分析模式, 國立台灣科技大學博士論文。
32. Wolf, J. P., *Dynamic Soil-Structure Interaction*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs (1985).

表 3.1 分析例識別表

Case No.	Foundation/Soil/Rock Properties						Structural Properties				Ground Motion input						Remarks
	Unit 1				Side Wall/Soil Separation		Stiffness		Mass		SSE			OBE			
	Best Estimate	Lower-Bound-1	Upper-Bound	Upper-Bound-1	Without	With	Best Estimate	Cracked Concrete	Best Estimate	Post-LOCA Flooding	EW (X)	NS (Y)	UD (Z)	EW (X)	NS (Y)	UD (Z)	
1	O				O		O		O		O						Base Cases
2	O				O		O		O			O					
3	O				O		O		O				O				
25	O					O	O		O		O						Parametric Sensitivity Study Cases
26	O					O	O		O			O					
27	O					O	O		O				O				
28	O				O			O	O		O						
29	O				O			O	O			O					

表 3.2 Case 01 至 03 之土壤等值彈簧常數

Spring No.	Elevation (m)	EW(Case 01)			NS(Case 02)			UD(Case 03)		
		Component	Stiffness Kc	Damping Coefficients Cc	Component	Stiffness Kc	Damping Coefficients Cc	Component	Stiffness Kc	Damping Coefficients Cc
K10	12.30	Sway	3.82E+02	5.04E+02	Sway	3.82E+02	5.02E+02	Vertical	6.64E+02	2.61E+02
K11	4.80	Sway	7.73E+04	6.17E+03	Sway	7.71E+04	6.19E+03	Vertical	6.11E+04	3.76E+03
K12	-1.7	Sway	9.77E+04	7.18E+03	Sway	9.74E+04	7.22E+03	Vertical	7.68E+04	4.43E+03
K13	-8.2	Sway	9.02E+04	6.63E+03	Sway	8.99E+04	6.66E+03	Vertical	7.09E+04	4.09E+03
K14	-13.7	Sway	4.13E+04	3.04E+03	Sway	4.12E+04	3.05E+03	Vertical	3.25E+04	1.87E+03
K15	-13.7	Sway	6.01E+05	9.93E+03	Sway	6.01E+05	9.99E+03	Vertical	8.51E+05	2.05E+04
K16	-13.7	Rocking	6.34E+12	1.71E+10	Rocking	5.87E+12	1.39E+10			

Notes (1) Units : Stiffness in t/cm for sway, t-cm/rad for rocking.

Damping Coefficients in t-sec/cm for sway, t-sec-cm/rad for rocking.

(2) Soil springs of lateral side, K10 through K14, are based on Novak's theory.

(3) Soil springs at the bottom, K15 through K16, are based on Vibration admittance theory.

表 5.1 彎曲褶皺由地表至底部之土層性質

Layer Number	Weight Density(t/m ²)	Shear Wave		Comp. Wave	
		Velocity(m/s)	Damping Ratio	Velocity(m/s)	Damping Ratio
L1	2.24	93	0.100	536	0.100
L2	2.56	747	0.013	1834	0.013
L3	2.56	738	0.014	1834	0.014
L4	2.56	735	0.015	1834	0.015
L5	2.56	725	0.017	1834	0.017

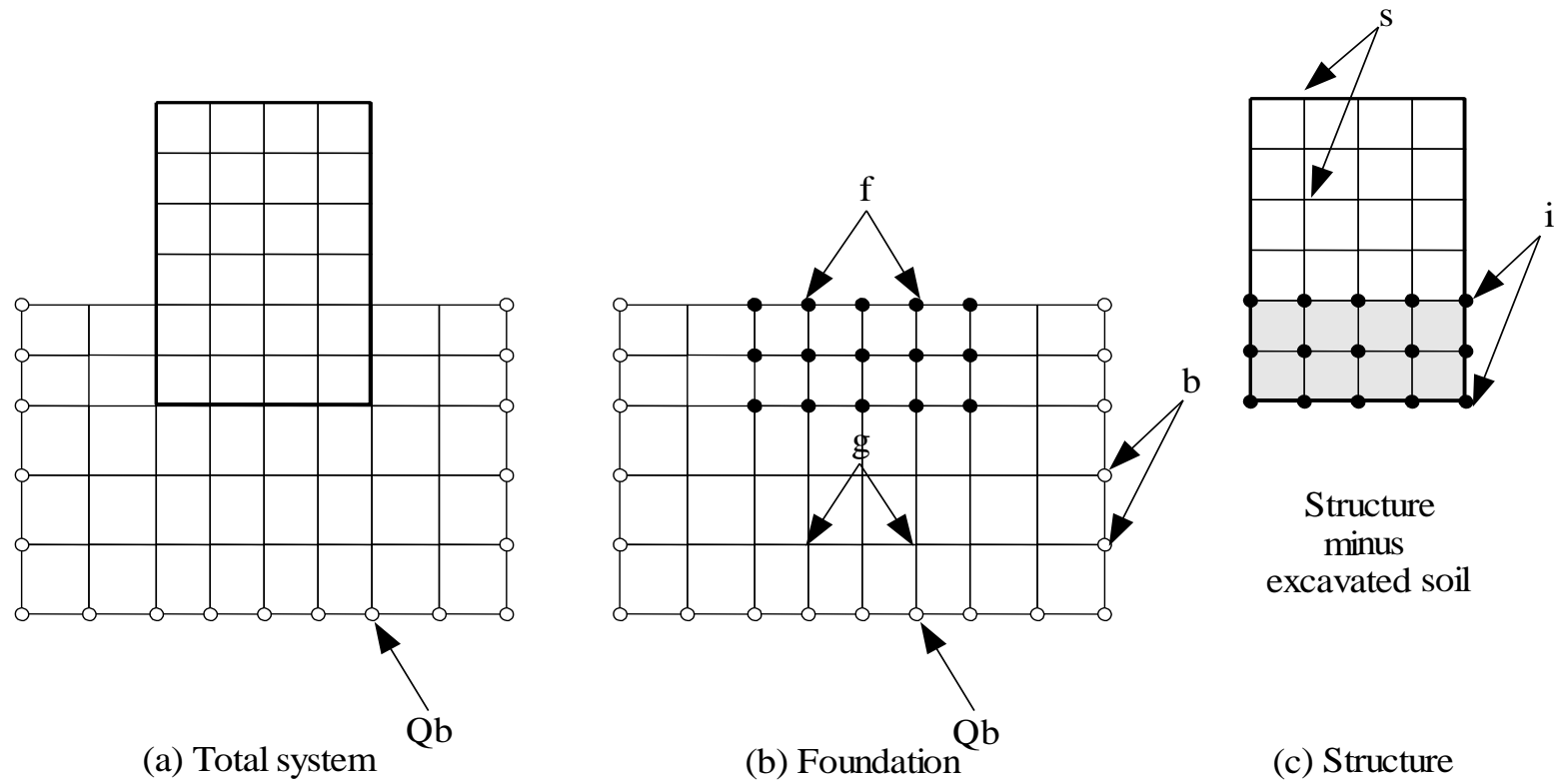


圖 2.1 柔性體積法之互制模式[]

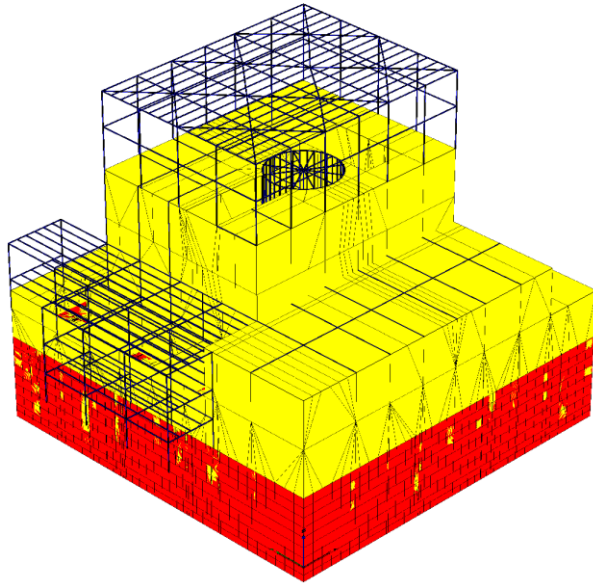


圖 2.2 Detailed Model 之 SASSI 分析模型示意圖

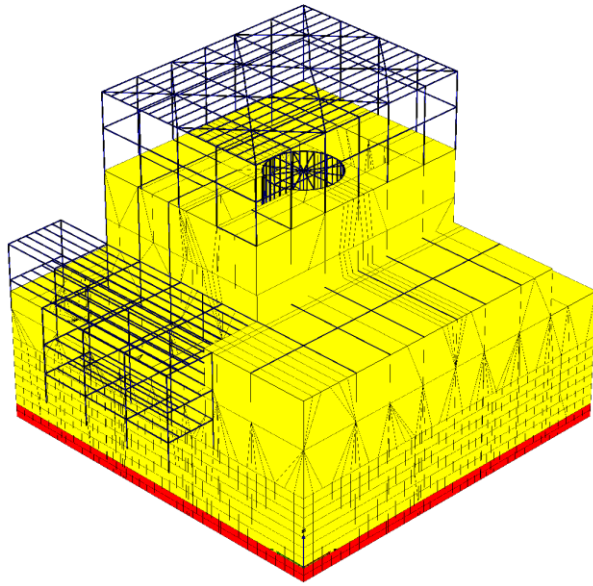


圖 2.3 Detailed Model 之結構部份示意圖

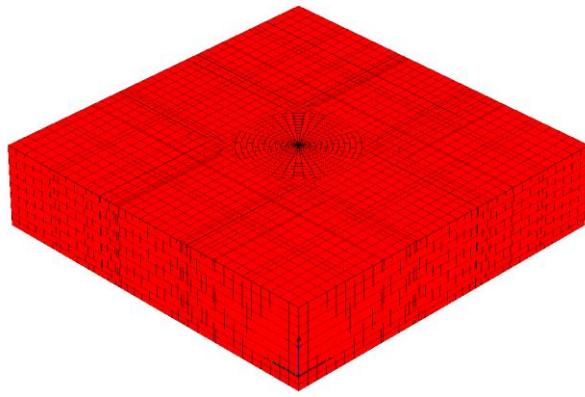


圖 2.4 Detailed Model 之埋入土壤體積實體元素示意圖

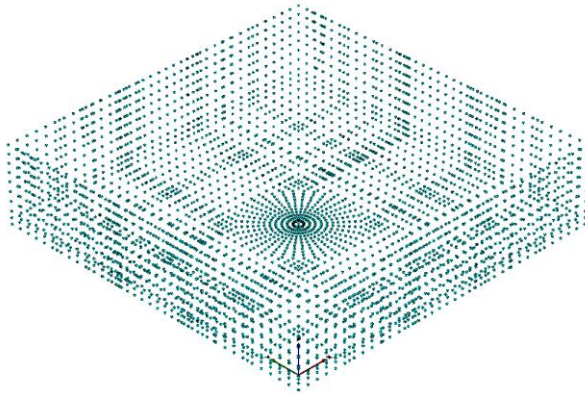


圖 2.5 Detailed Model 之土壤阻抗節點示意圖(Subtraction Method)

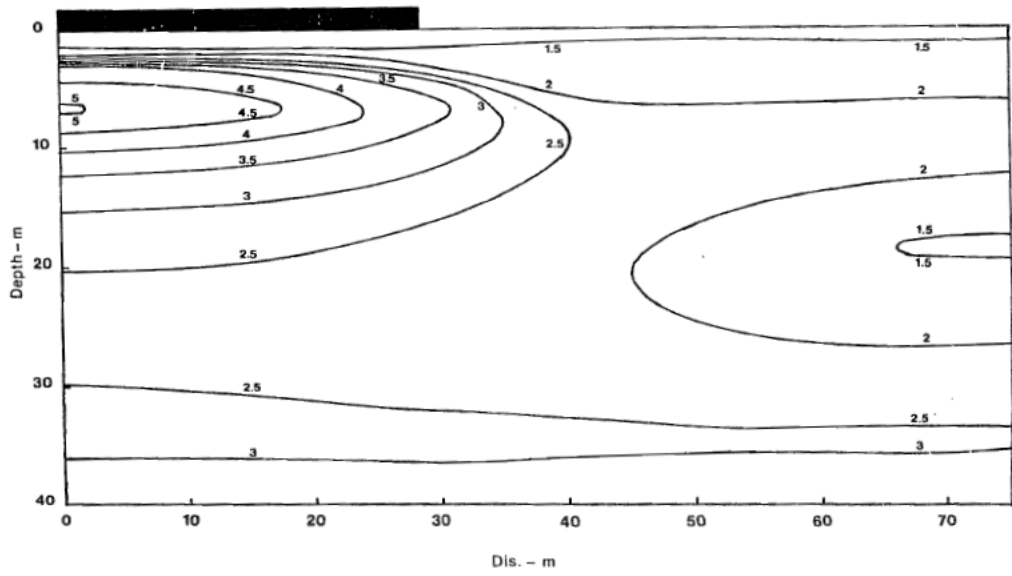


圖 2.6 工址不規則土層示意圖

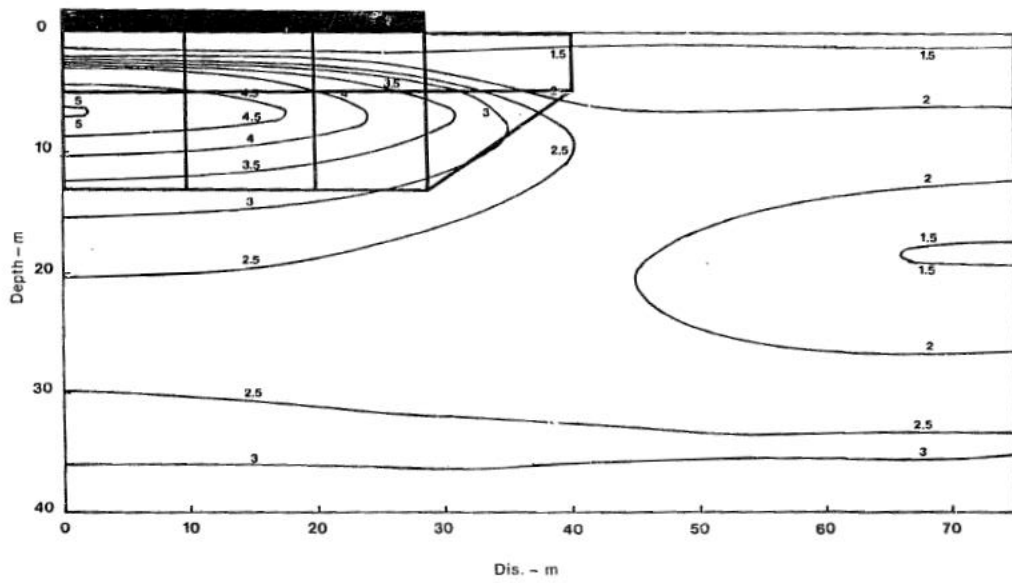


圖 2.7 以 SASSI 三維實體元素模擬土壤不規則區之示意圖

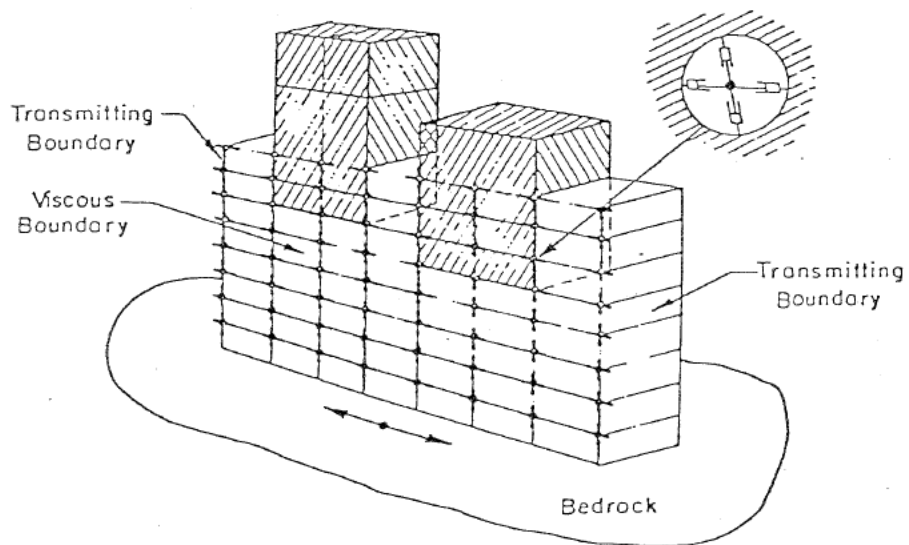


圖 2.8 以 FLUSH 擬三維元素模擬土壤不規則區之示意圖[4]

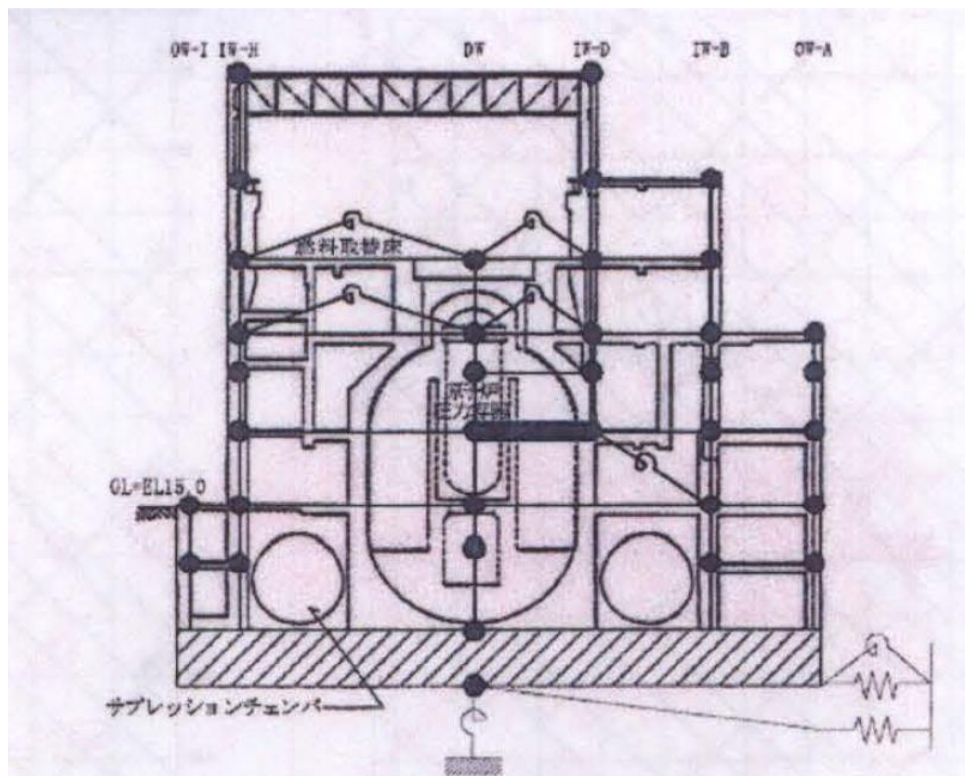


圖 2.9 土壤部份換算為等值複式彈簧之上構示意圖

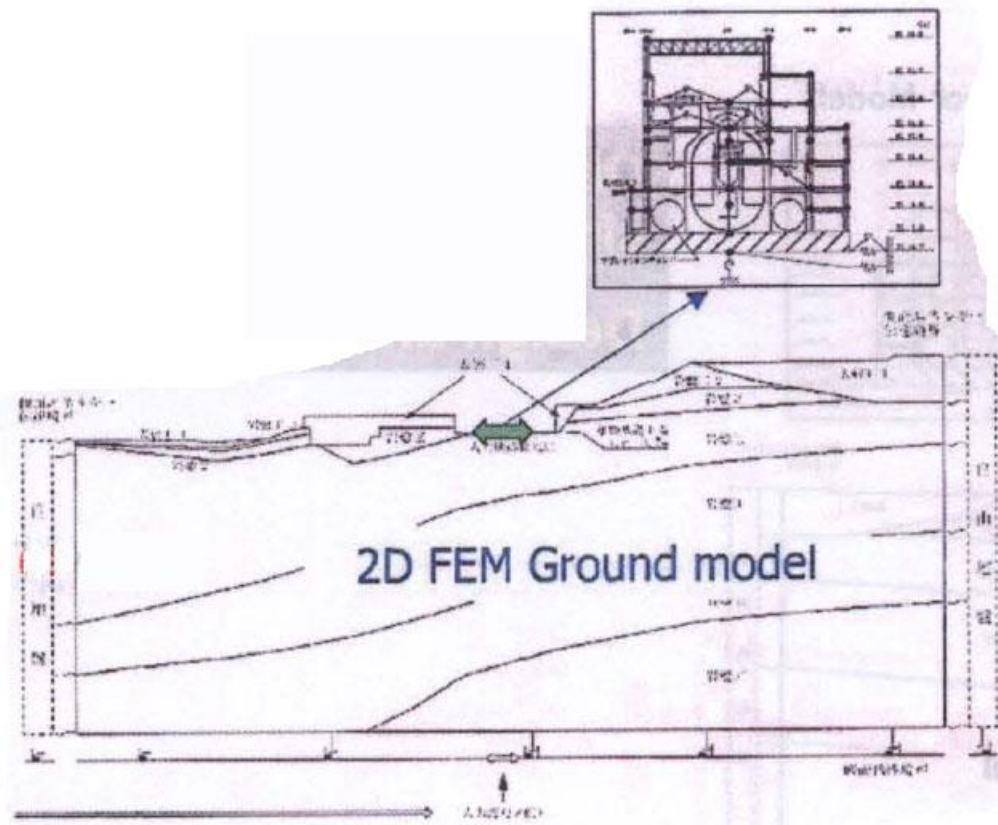


圖 2.10 二階段分析上部結構反應之示意圖

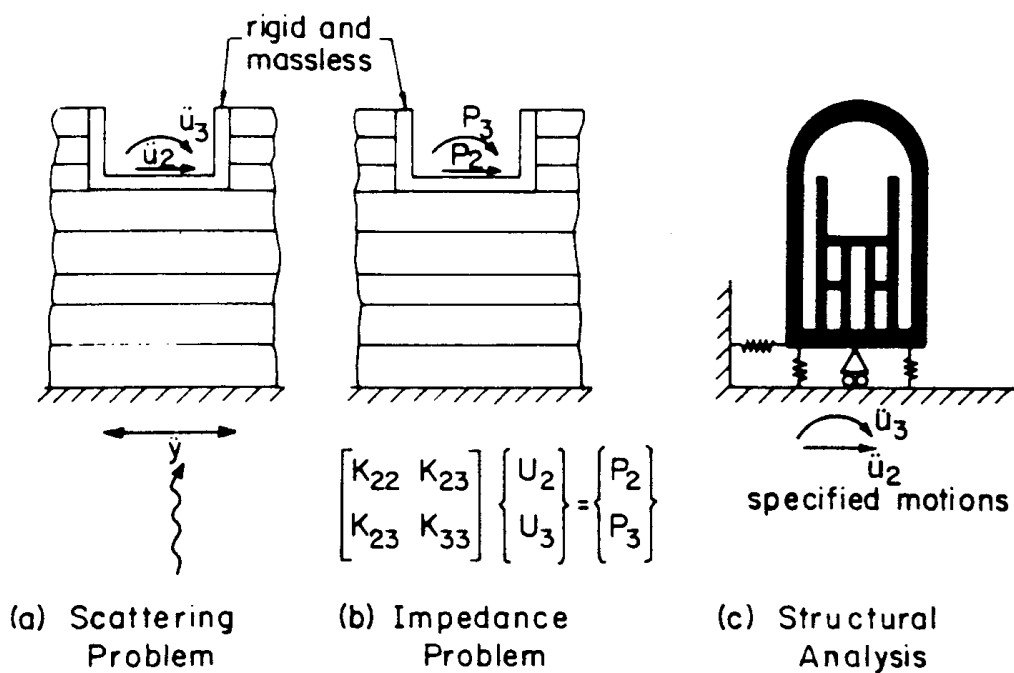


圖 3.1 剛性基礎部份結構法分析的三個步驟[26]

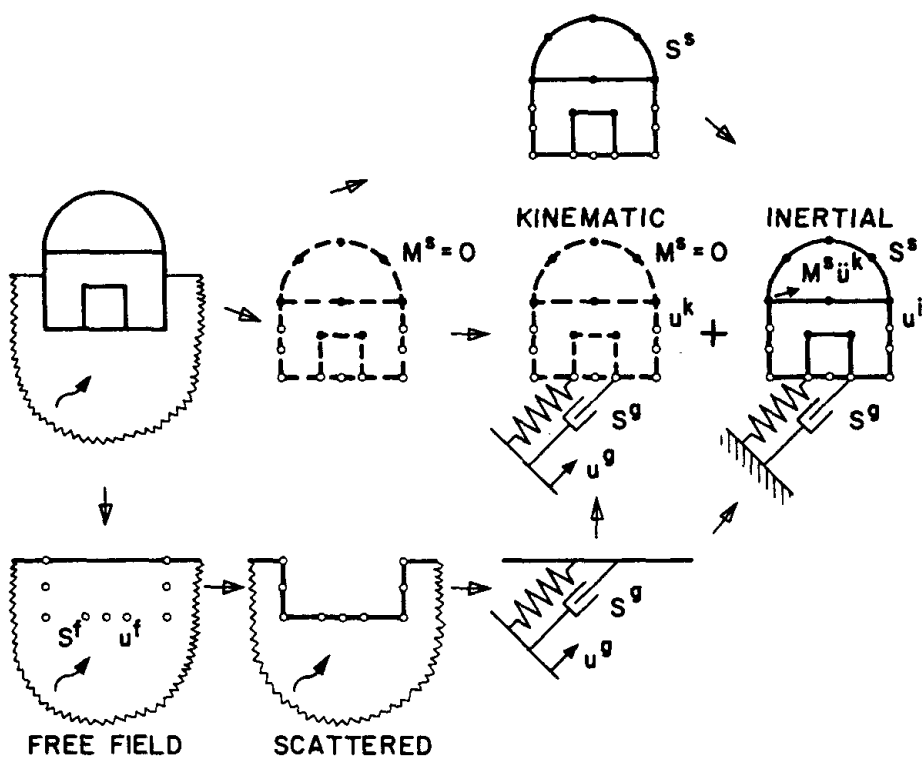


圖 3.2 柔性基礎之動力互制與慣性互制[32]

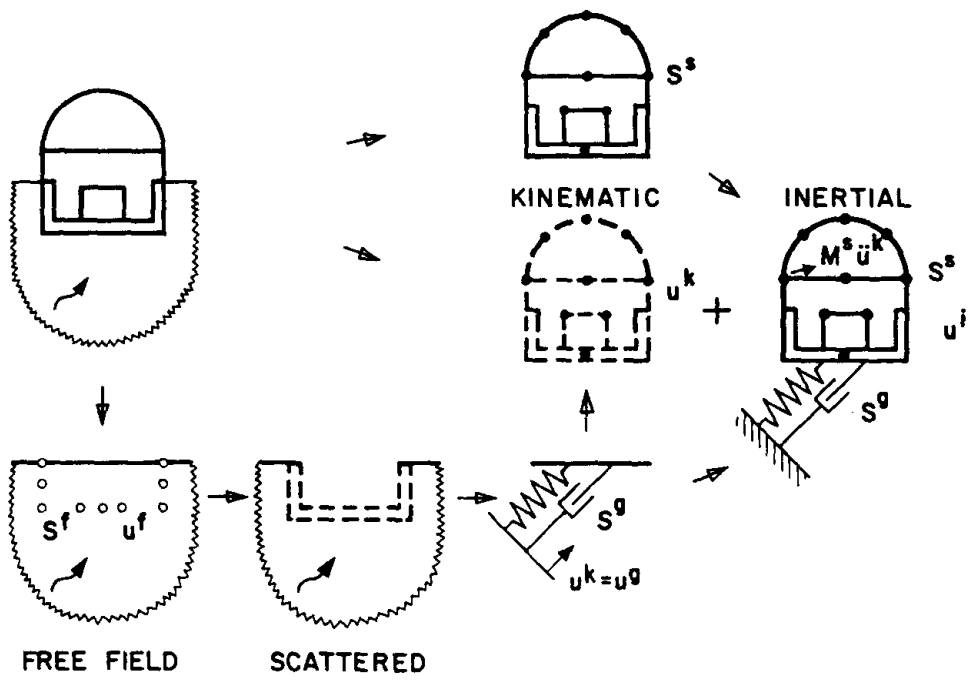


圖 3.3 剛性基礎之動力互制與慣性互制[32]

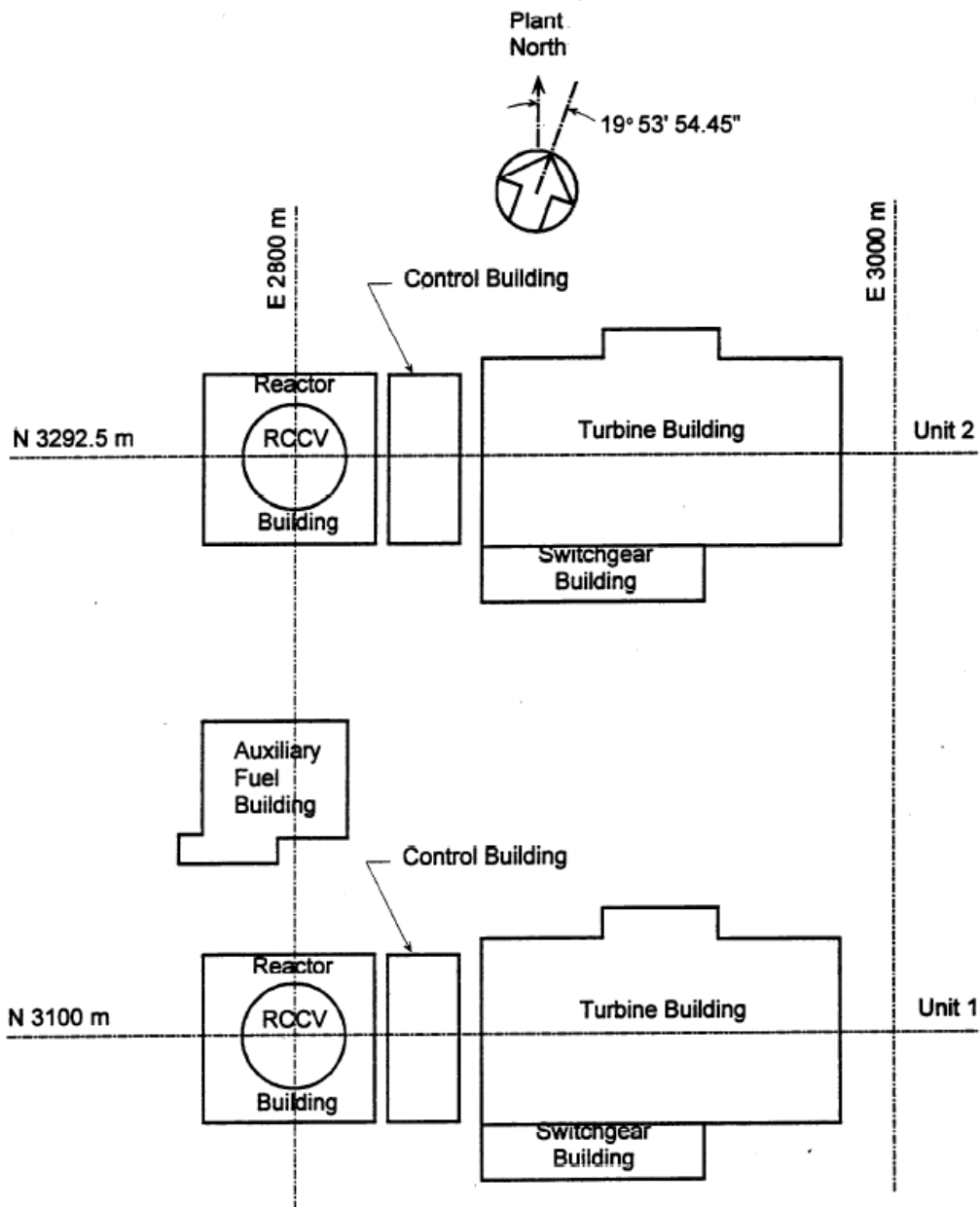


圖 3.4 龍門電廠機組 1 及機組 2 之工址平面圖

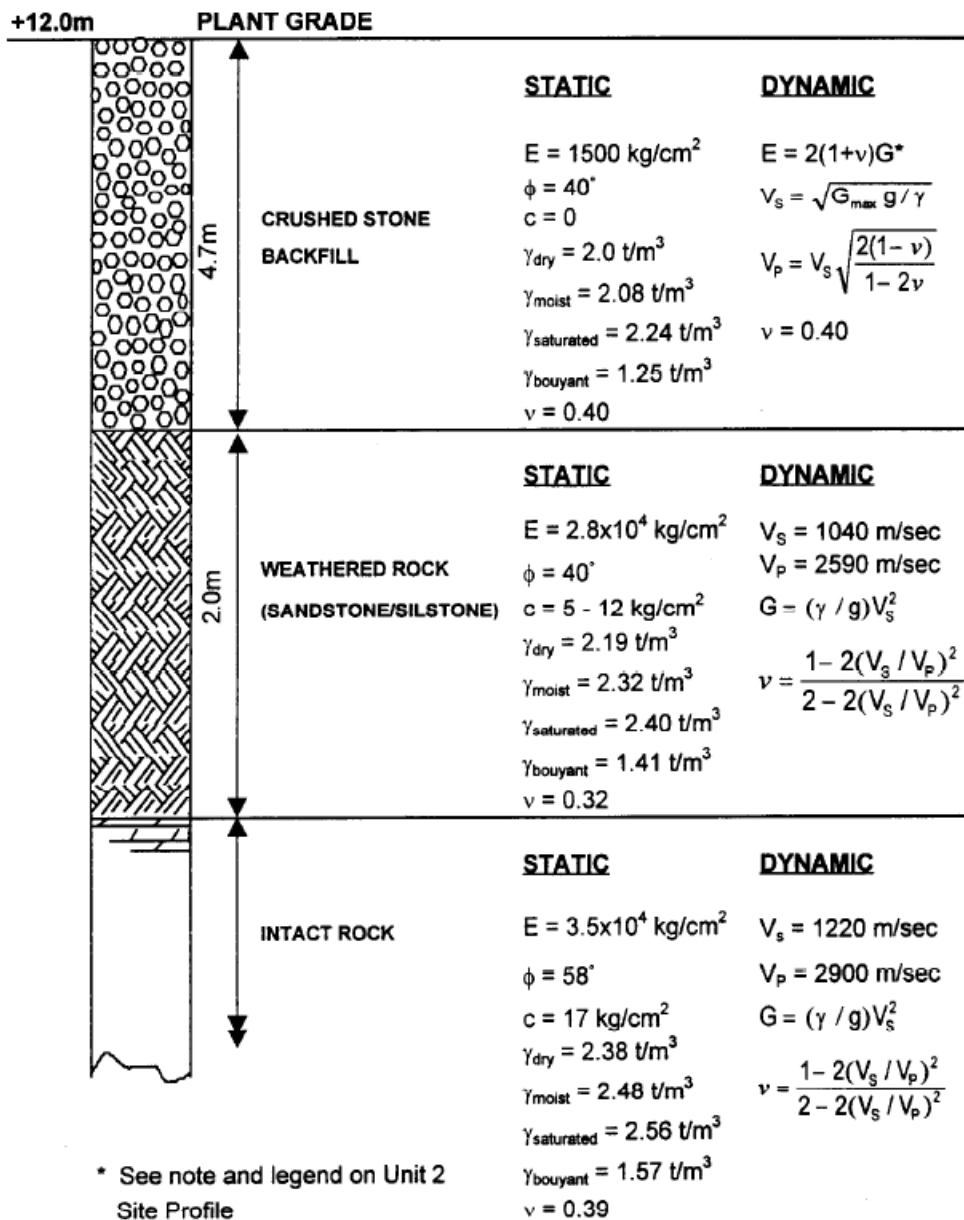
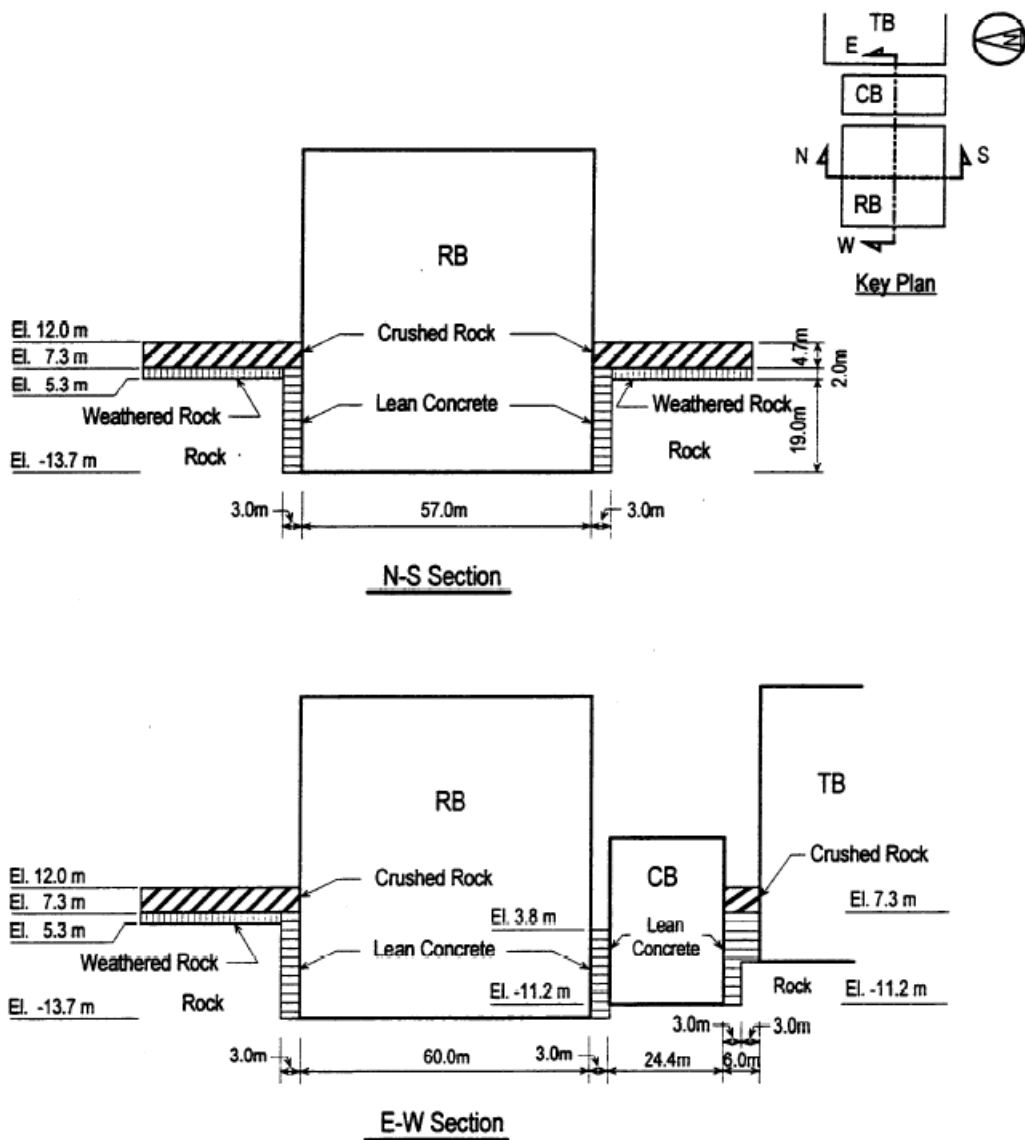


圖 3.5 電廠機組 1 之工址自由域理想化土壤剖面及材料性質



Idealized Excavation and Backfill Plan (UNIT 1)

圖 3.6 電廠機組 1 地震分析時假設之埋入及回填計畫

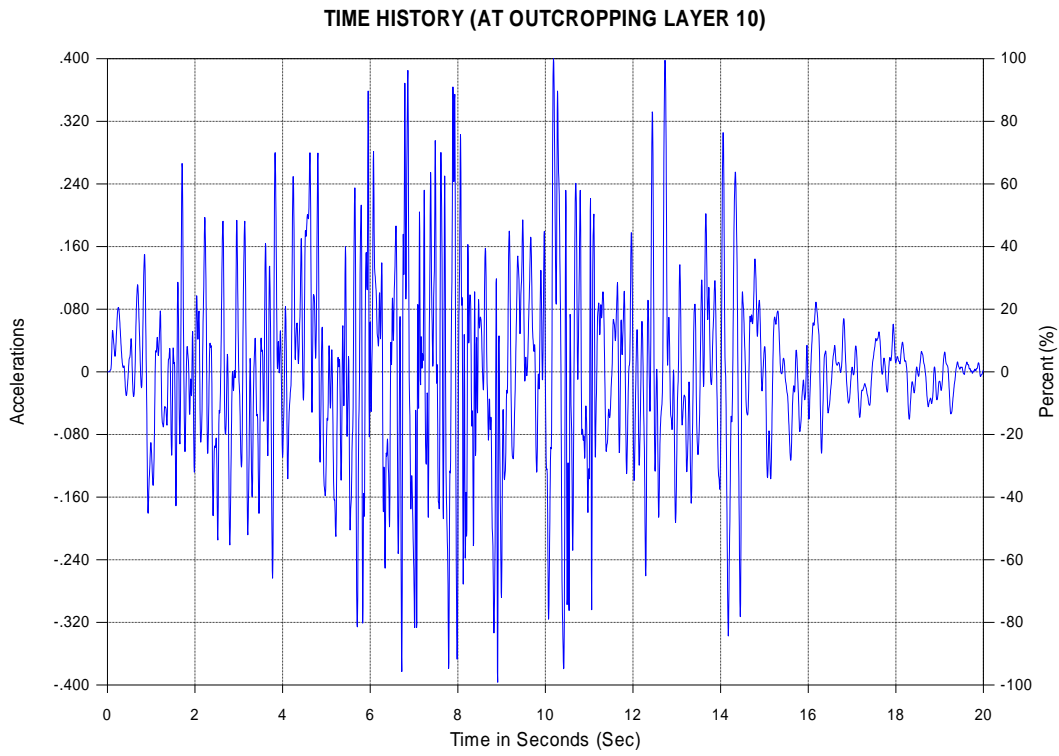


圖 3.7 設計地震之加速度歷時-EW 向

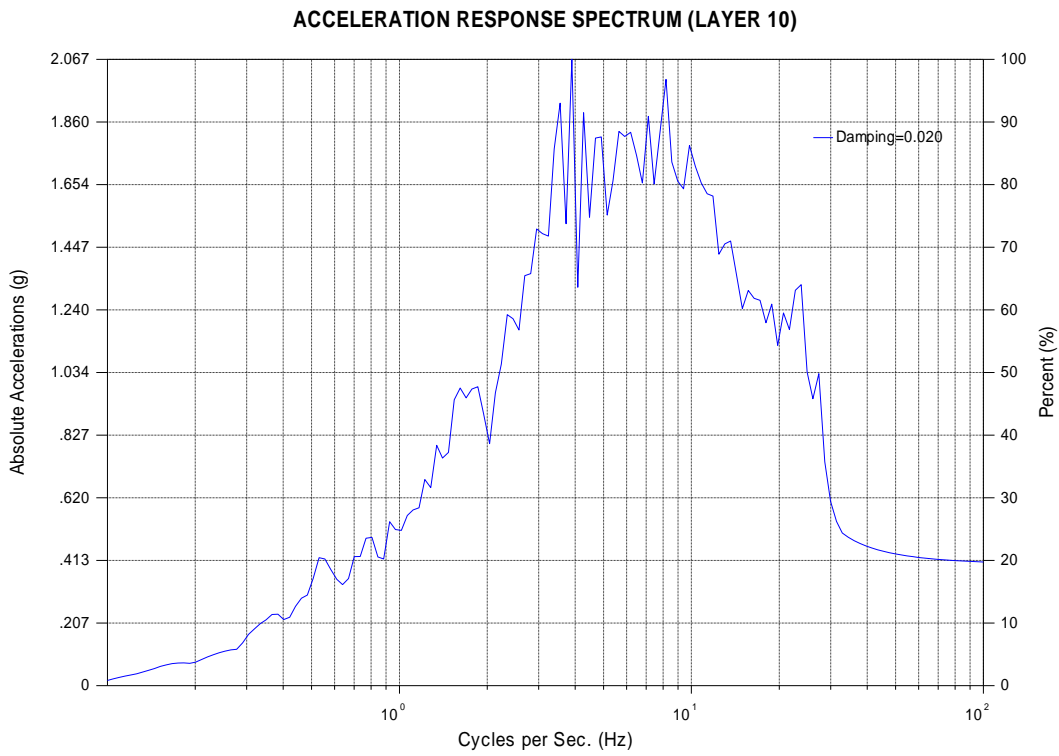


圖 3.8 設計地震之 2% 阻尼比加速度反應譜-EW 向

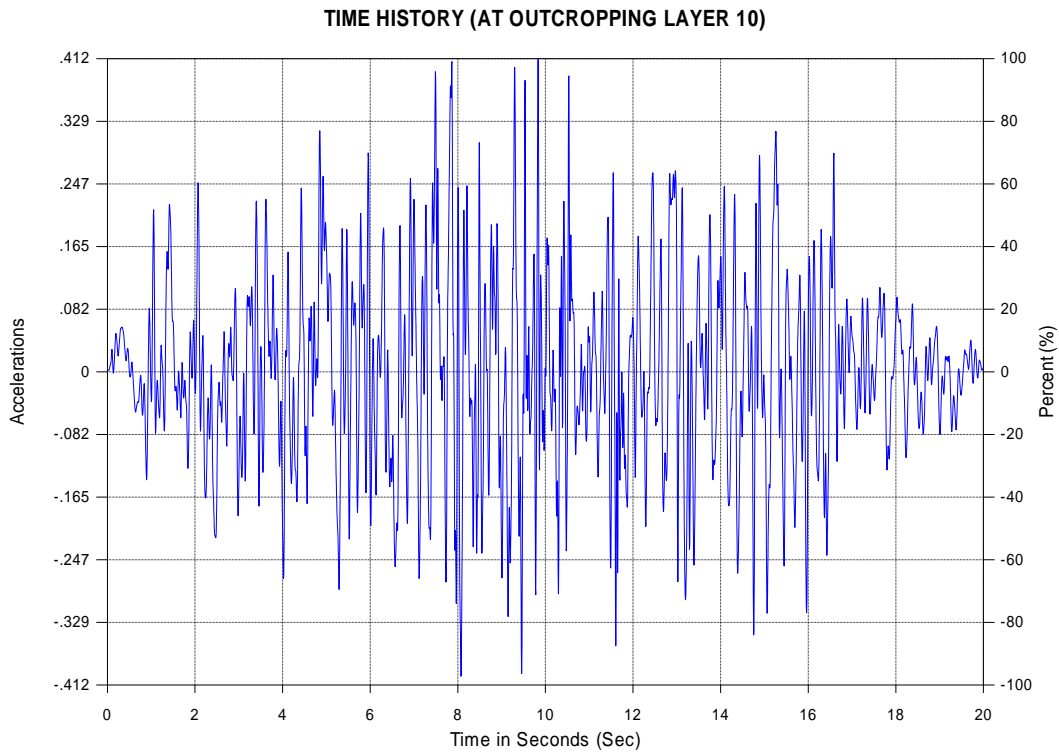


圖 3.9 設計地震之加速度歷時-NS 向

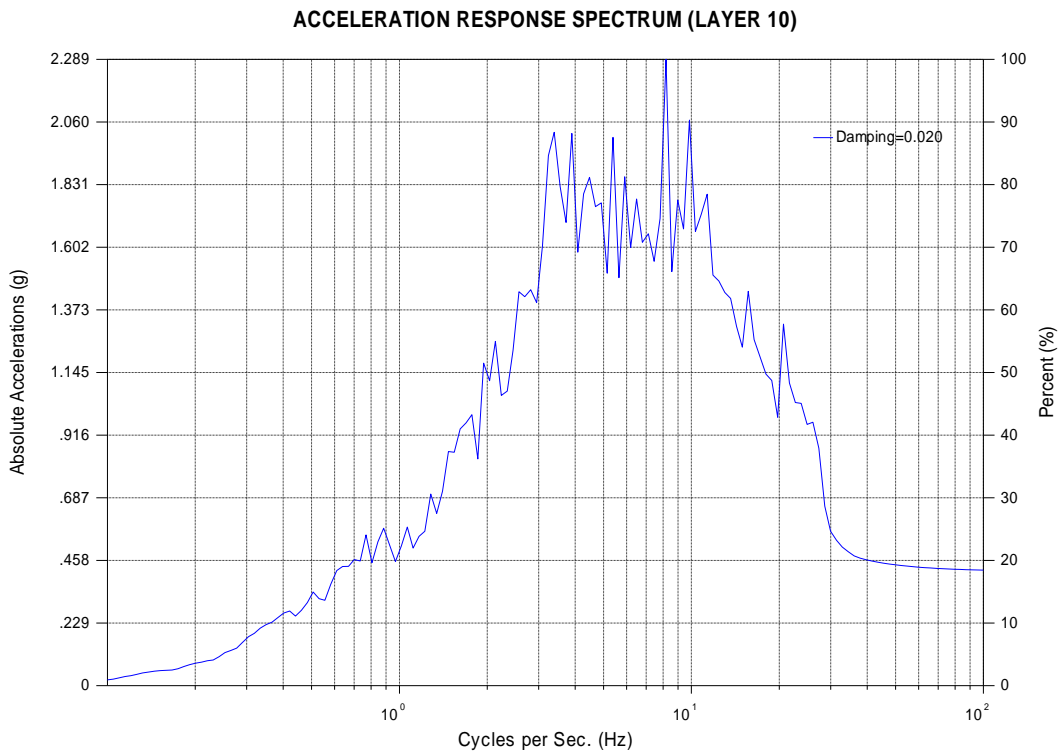


圖 3.10 設計地震之 2% 阻尼比加速度反應譜-NS 向

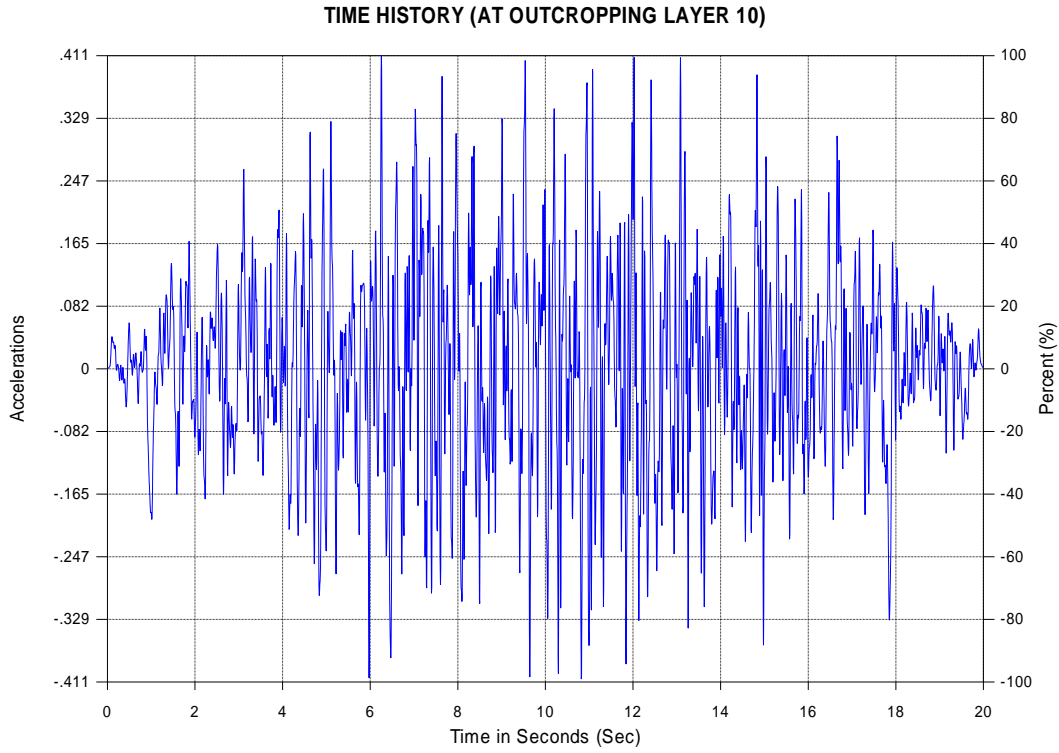


圖 3.11 設計地震之加速度歷時-UD 向

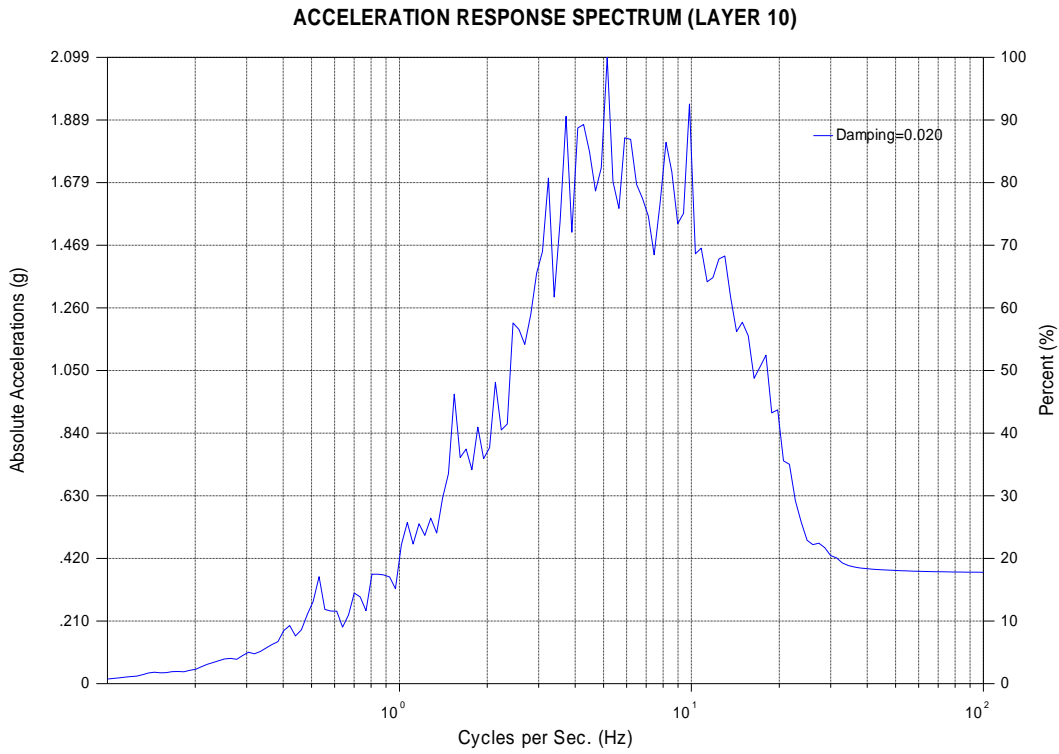


圖 3.12 設計地震之 2% 阻尼比加速度反應譜-UD 向

Example – 55.7-m layer; input:0.4g

Layer	Type	Hight	Depth	Unit Weight	Shear Modulus	S-Wave Damping Ratio	S-Wave Velocity
1	1	2.00	2.00	2.080	7576.19	0.014	189.00
2	1	2.70	4.70	2.240	14389.95	0.014	251.00
3	2	2.00	6.70	2.400	264692.56	0.014	1040.00
4	2	2.30	9.00	2.560	388529.00	0.014	1220.00
5	2	2.30	11.30	2.560	388529.00	0.014	1220.00
6	2	2.40	13.70	2.560	388529.00	0.014	1220.00
7	2	3.30	17.00	2.560	388529.00	0.014	1220.00
8	2	3.20	20.20	2.560	388529.00	0.014	1220.00
9	2	5.50	25.70	2.560	388529.00	0.014	1220.00
		● Motion(Outcrop)					
10	2	5.00	30.70	2.560	388529.00	0.014	1220.00
11	2	5.00	35.70	2.560	388529.00	0.014	1220.00
12	2	5.00	40.70	2.560	388529.00	0.014	1220.00
13	2	5.00	45.70	2.560	388529.00	0.014	1220.00
14	2	5.00	50.70	2.560	388529.00	0.014	1220.00
15	2	5.00	55.70	2.560	388529.00	0.014	1220.00
Base	2			2.560	388529.00	0.014	1220.00

圖 3.13 SHAKE 輸入之低剪應變工址土層性質剖面(BE)

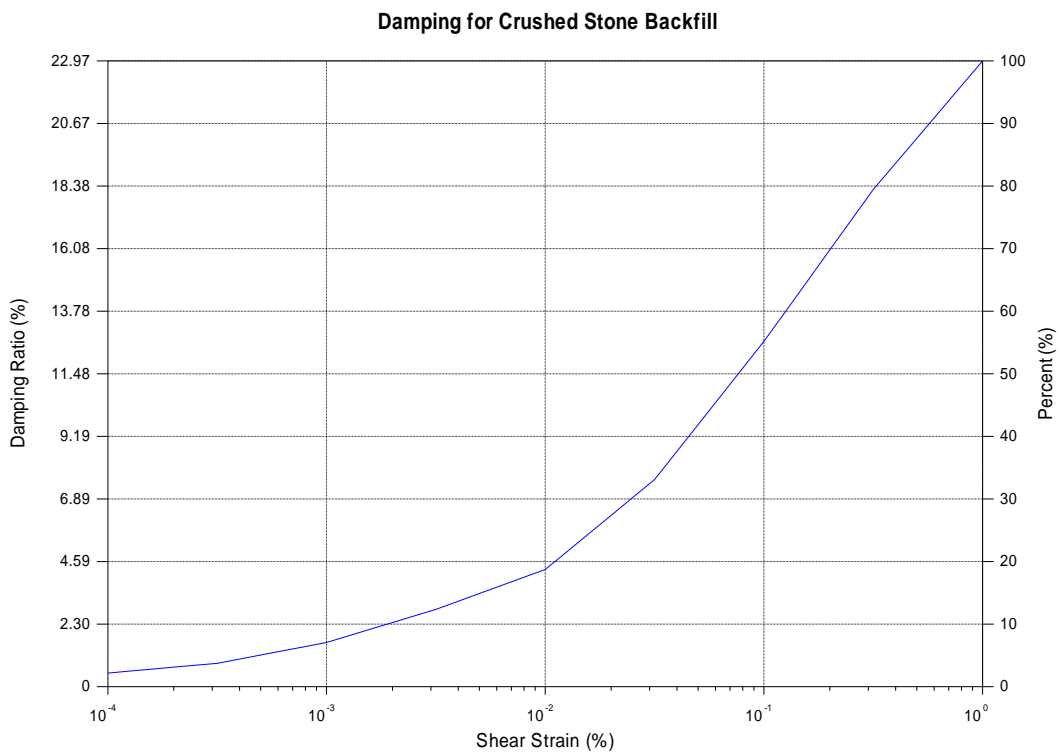
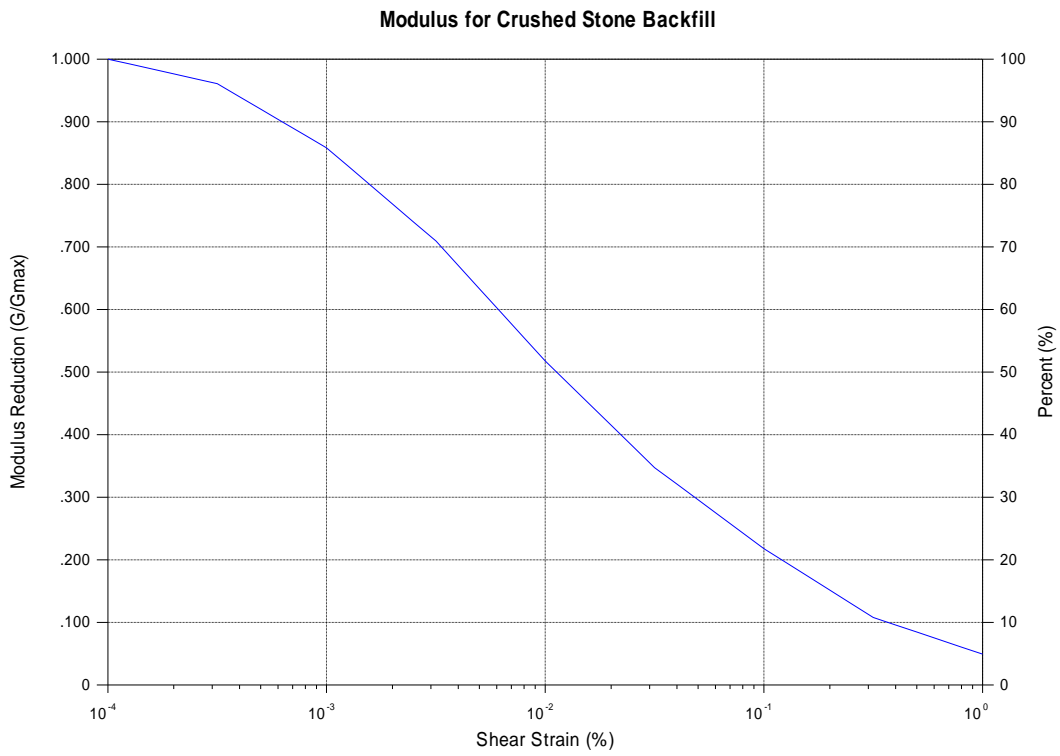


圖 3.14 回填碎石層之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係

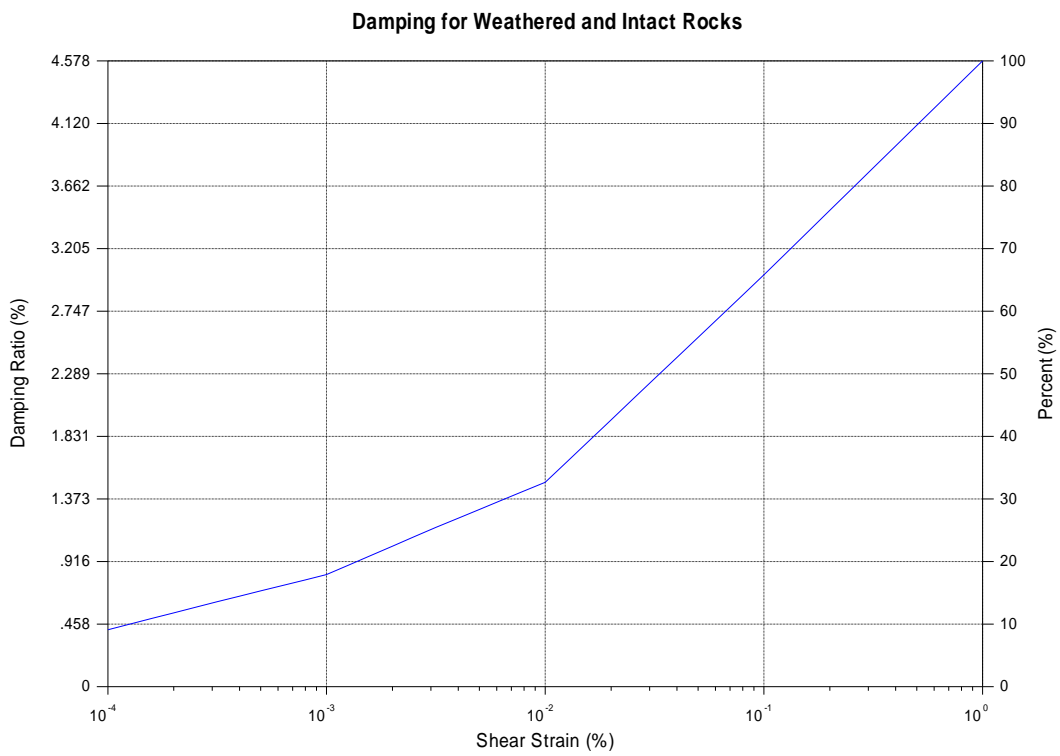
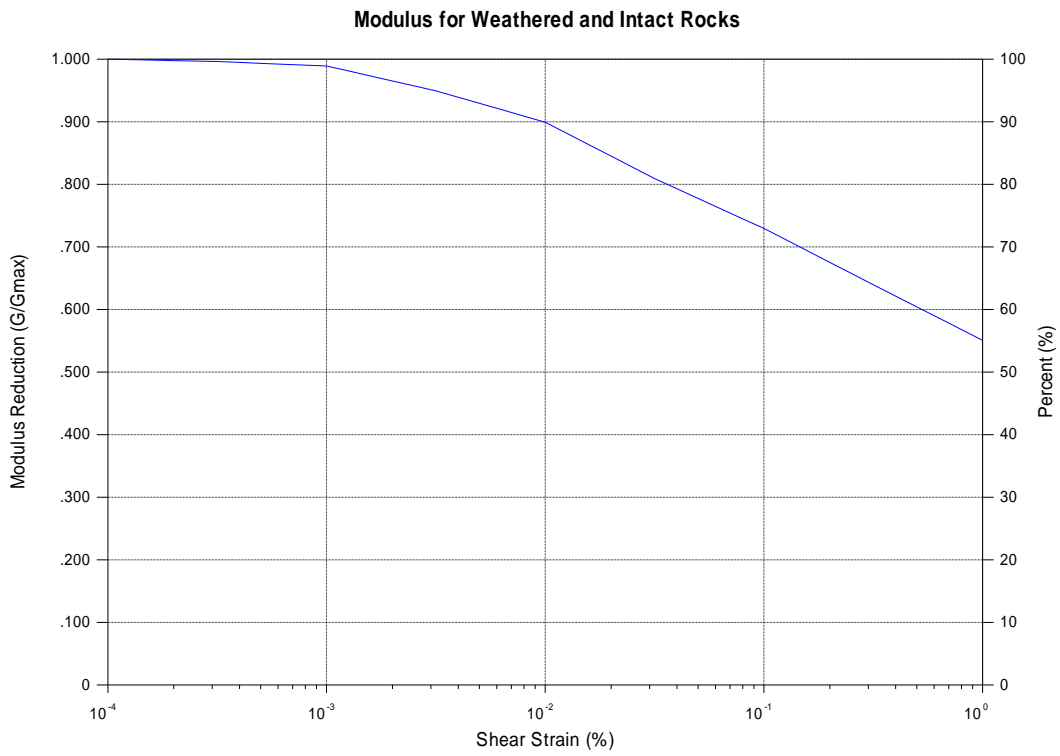


圖 3.15 其餘土層之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係

Example – 55.7-m layer; input:0.4g (Iteration Number=10)

Layer	Type	Hight	Depth	Unit Weight	Shear Modulus	S-Wave Damping Ratio	S-Wave Velocity
1	1	2.00	2.00	2.080	2047.86	0.106	98.26
2	1	2.70	4.70	2.240	3046.72	0.130	115.49
3	2	2.00	6.70	2.400	257415.31	0.010	1025.60
4	2	2.30	9.00	2.560	380262.09	0.009	1206.95
5	2	2.30	11.30	2.560	377323.97	0.010	1202.28
6	2	2.40	13.70	2.560	374786.25	0.010	1198.23
7	2	3.30	17.00	2.560	372384.06	0.011	1194.38
8	2	3.20	20.20	2.560	369997.31	0.011	1190.55
9	2	5.50	25.70	2.560	366984.97	0.012	1185.69
		● Motion(Outcrop)					
10	2	5.00	30.70	2.560	363859.88	0.012	1180.63
11	2	5.00	35.70	2.560	361361.44	0.013	1176.57
12	2	5.00	40.70	2.560	359451.91	0.013	1173.46
13	2	5.00	45.70	2.560	358024.12	0.013	1171.13
14	2	5.00	50.70	2.560	357000.09	0.014	1169.45
15	2	5.00	55.70	2.560	356313.72	0.014	1168.33
Base	2			2.560	388529.00	0.014	1220.00

圖 3.16 EW 向疊代收斂後之土壤剖面及材料性質

Example – 55.7-m layer; input:0.4g (Iteration Number=10)

Layer	Type	Hight	Depth	Unit Weight	Shear Modulus	S-Wave Damping Ratio	S-Wave Velocity
1	1	2.00	2.00	2.080	2135.19	0.102	100.34
2	1	2.70	4.70	2.240	3014.54	0.131	114.88
3	2	2.00	6.70	2.400	256677.03	0.010	1024.13
4	2	2.30	9.00	2.560	378312.75	0.010	1203.85
5	2	2.30	11.30	2.560	375111.12	0.010	1198.75
6	2	2.40	13.70	2.560	372517.69	0.011	1194.60
7	2	3.30	17.00	2.560	370000.44	0.011	1190.55
8	2	3.20	20.20	2.560	367426.06	0.012	1186.41
9	2	5.50	25.70	2.560	364336.22	0.012	1181.41
		● Motion(Outcrop)					
10	2	5.00	30.70	2.560	361339.38	0.013	1176.54
11	2	5.00	35.70	2.560	358956.25	0.013	1172.65
12	2	5.00	40.70	2.560	357129.44	0.014	1169.66
13	2	5.00	45.70	2.560	355596.34	0.014	1167.15
14	2	5.00	50.70	2.560	354465.56	0.014	1165.29
15	2	5.00	55.70	2.560	353493.09	0.014	1163.69
Base	2			2.560	388529.00	0.014	1220.00

圖 3.17 NS 向疊代收斂後之土壤剖面及材料性質

Geologic Profile	Elevation (m)	Depth (m)	Thickness (m)	Weight Density (t/m ³)	Shear Wave		Comp. Wave		Poisson's Ratio
					Velocity (m/s)	Damping	Velocity ⁽¹⁾ (m/s)	Damping	
Crushed Stone Backfill	12.0	0.0	2.0	2.08	100	0.104	463	0.100	0.476
	10.0	2.0	2.7	2.24	116	0.130	615	0.100	0.482
Weathered Rock	7.3	4.7	2.0	2.40	1,025	0.010	2,590	0.010	0.407
	5.3	6.7	2.3	2.56	1,206	0.009	2,900	0.009	0.395
	3.0	9.0	2.3	2.56	1,201	0.010	2,900	0.010	0.396
	0.7	11.3	2.4	2.56	1,197	0.011	2,900	0.011	0.397
	-1.7	13.7	3.3	2.56	1,193	0.011	2,900	0.011	0.398
	-5.0	17.0	3.2	2.56	1,189	0.012	2,900	0.012	0.399
	-8.2	20.2	5.5	2.56	1,184	0.012	2,900	0.012	0.400
	-13.7	25.7	5.0	2.56	1,179	0.013	2,900	0.013	0.401
	-18.7	30.7	5.0	2.56	1,175	0.013	2,900	0.013	0.402
	-23.7	35.7	5.0	2.56	1,172	0.014	2,900	0.014	0.402
	-28.7	40.7	5.0	2.56	1,170	0.014	2,900	0.014	0.403
	-33.7	45.7	5.0	2.56	1,168	0.014	2,900	0.014	0.403
-38.7	50.7	5.0	2.56	1,167	0.014	2,900	0.014	0.403	
-43.7	55.7	5.0	2.56	1,167	0.014	2,900	0.014	0.403	

圖 3.18 原設計單位分析後兩水平向平均之土壤剖面及材料性質

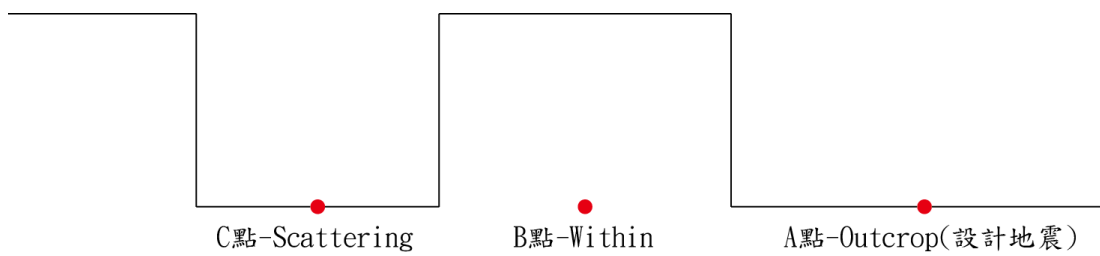


圖 3.19 地震歷時輸入位置示意圖

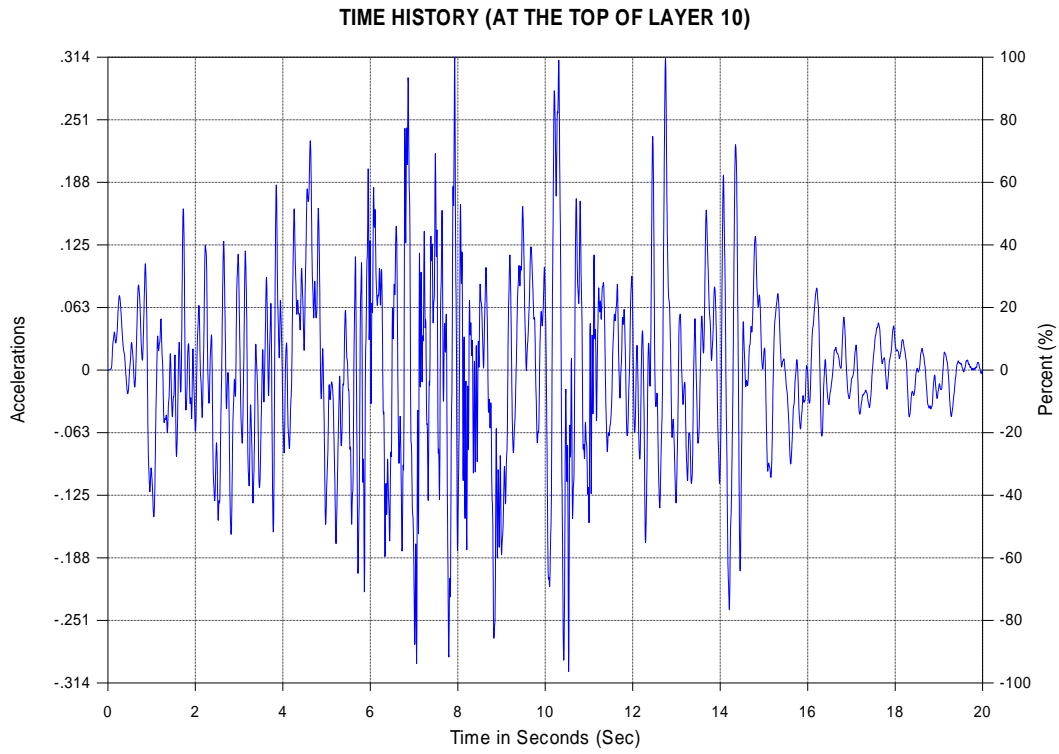


圖 3.20 B 點之地震加速度歷時-EW 向

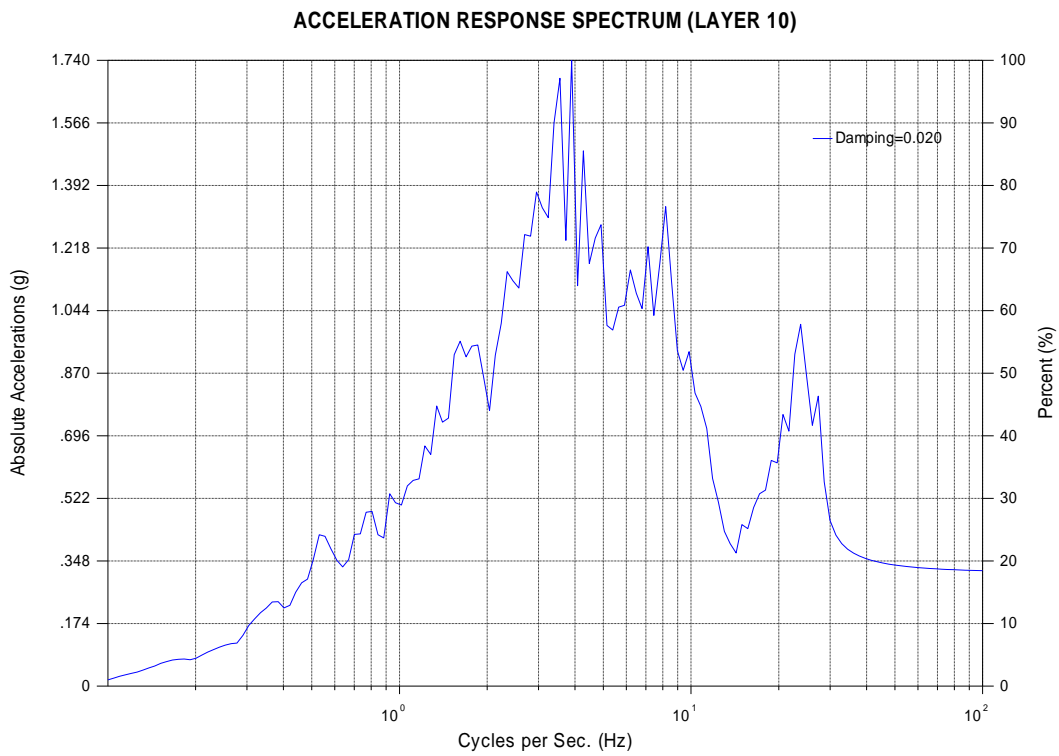


圖 3.21 B 點之地震加速度反應譜-EW 向

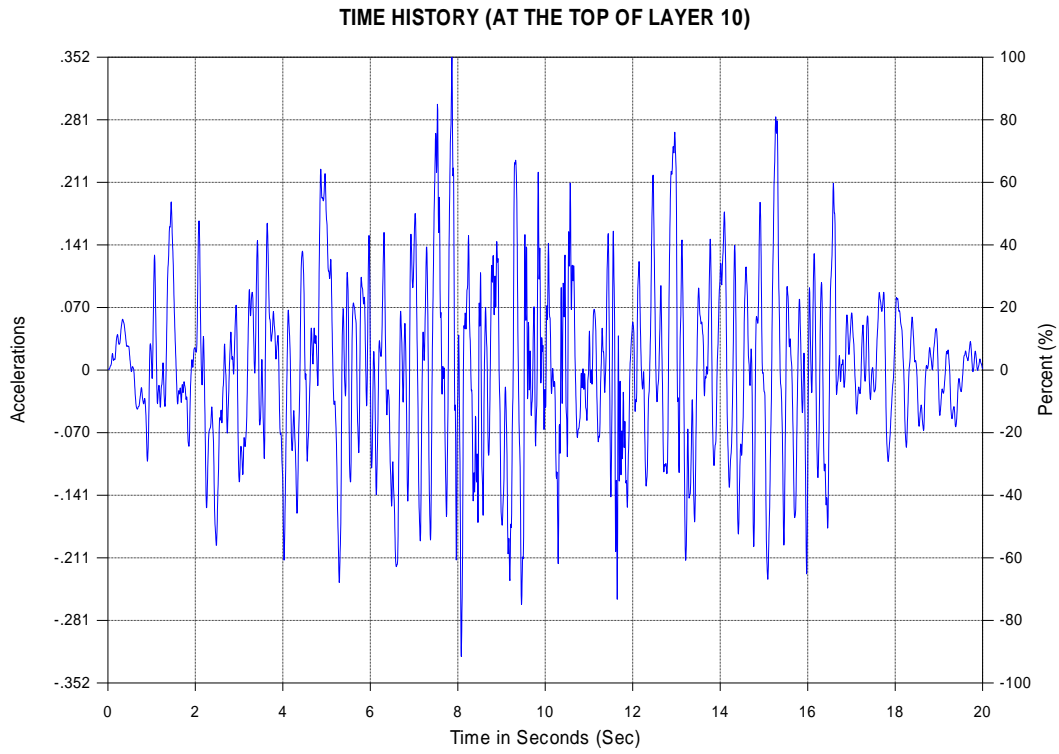


圖 3.22 B 點之地震加速度歷時-NS 向

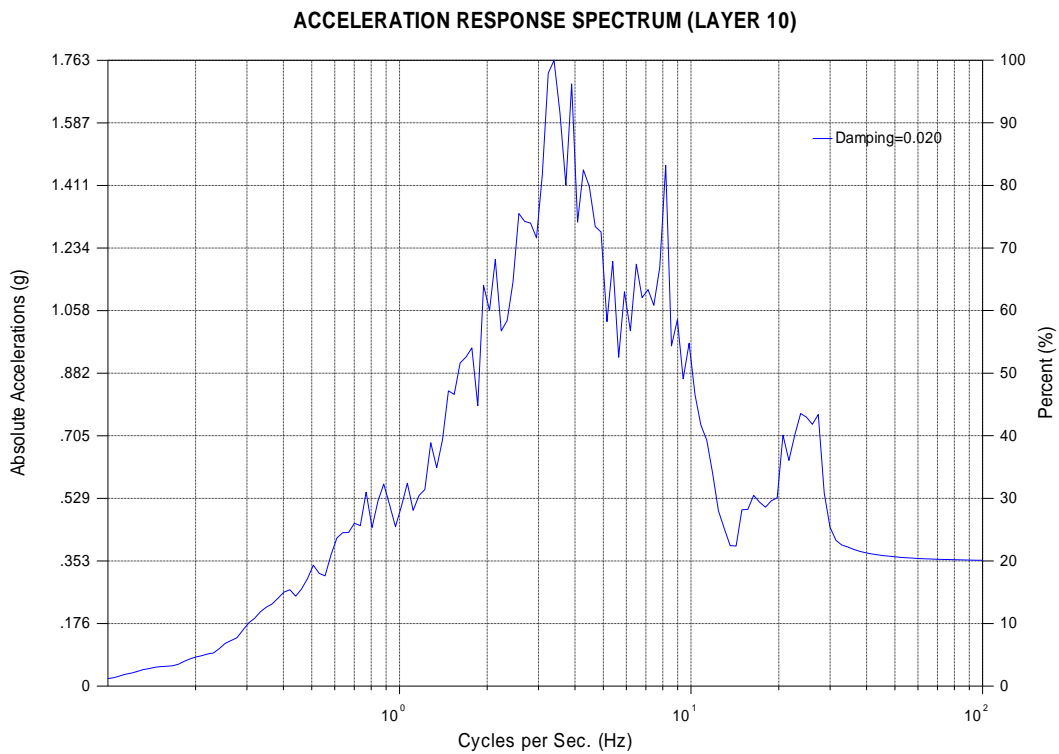


圖 3.23 B 點之地震加速度反應譜--NS 向

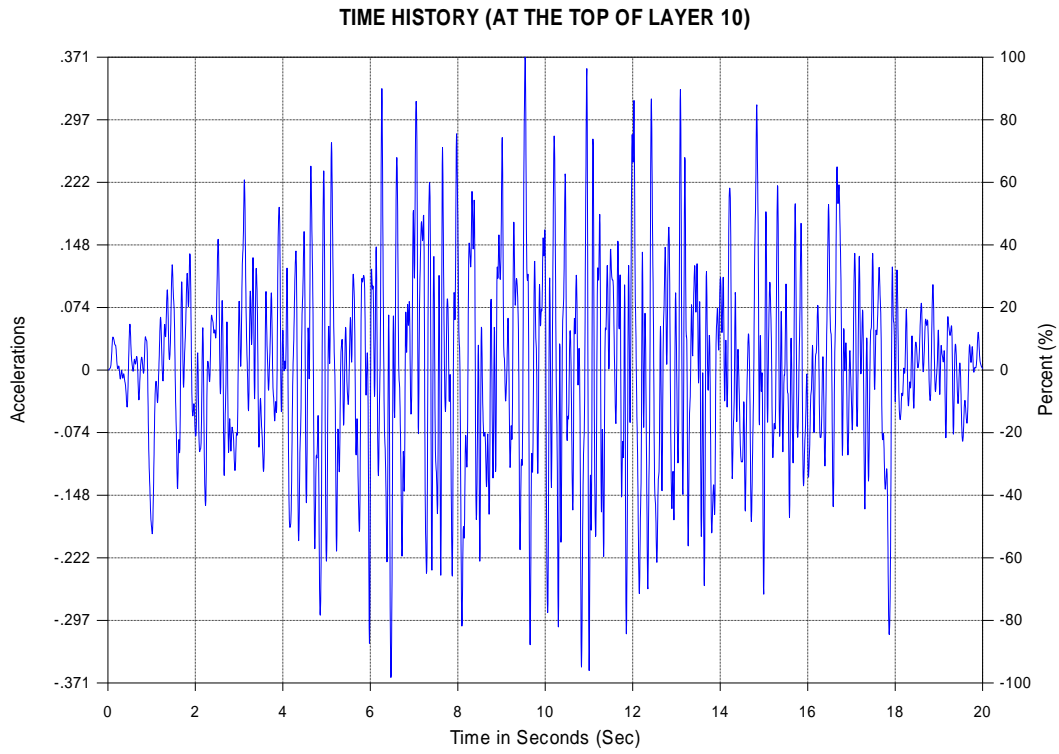


圖 3.24 B 點之地震加速度歷時-UD 向

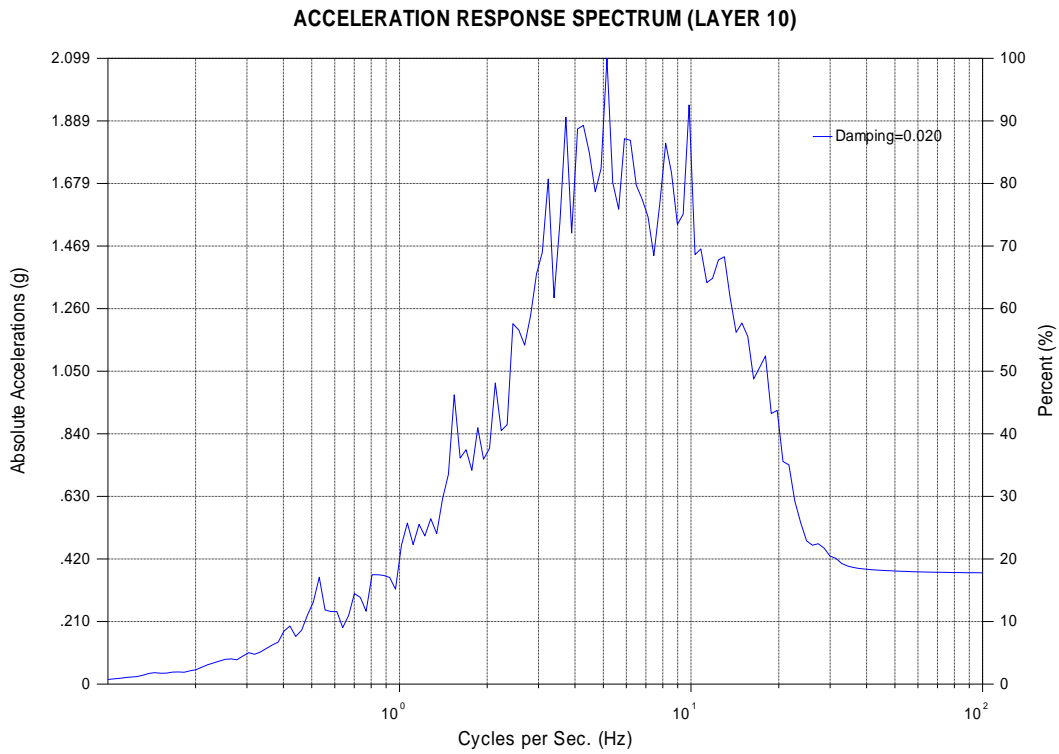


圖 3.25 B 點之地震加速度反應譜-UD 向

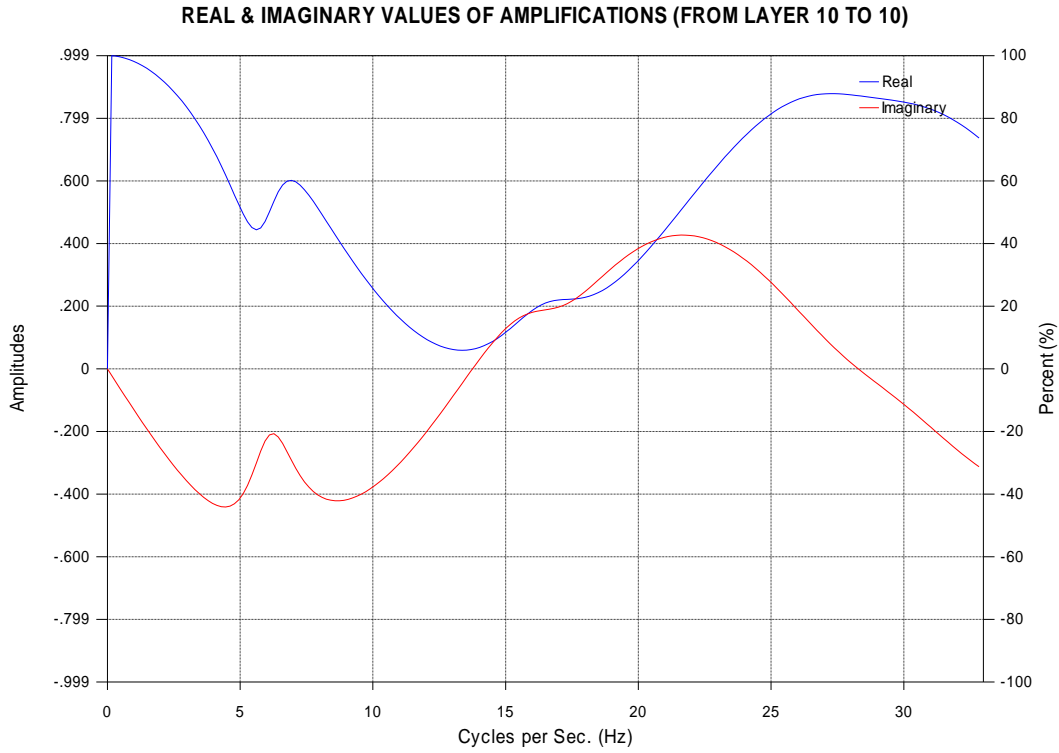


圖 3.26 A 點至 B 點之地震加速度歷時轉換函數-EW 向

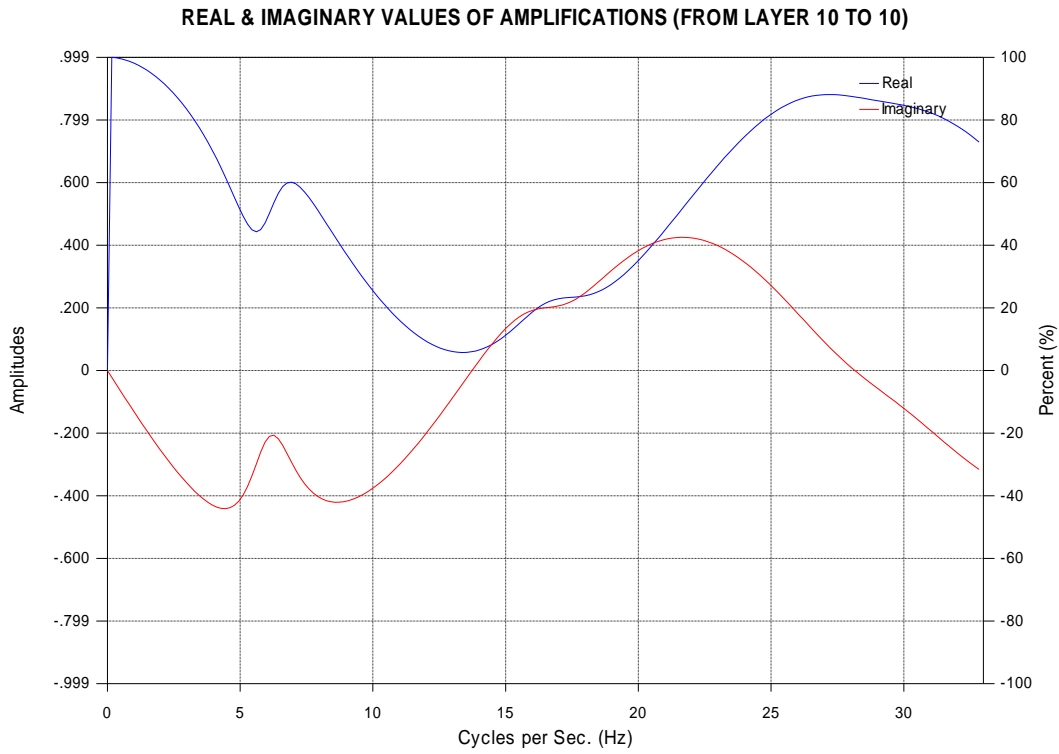


圖 3.27 A 點至 B 點之地震加速度歷時轉換函數-NS 向

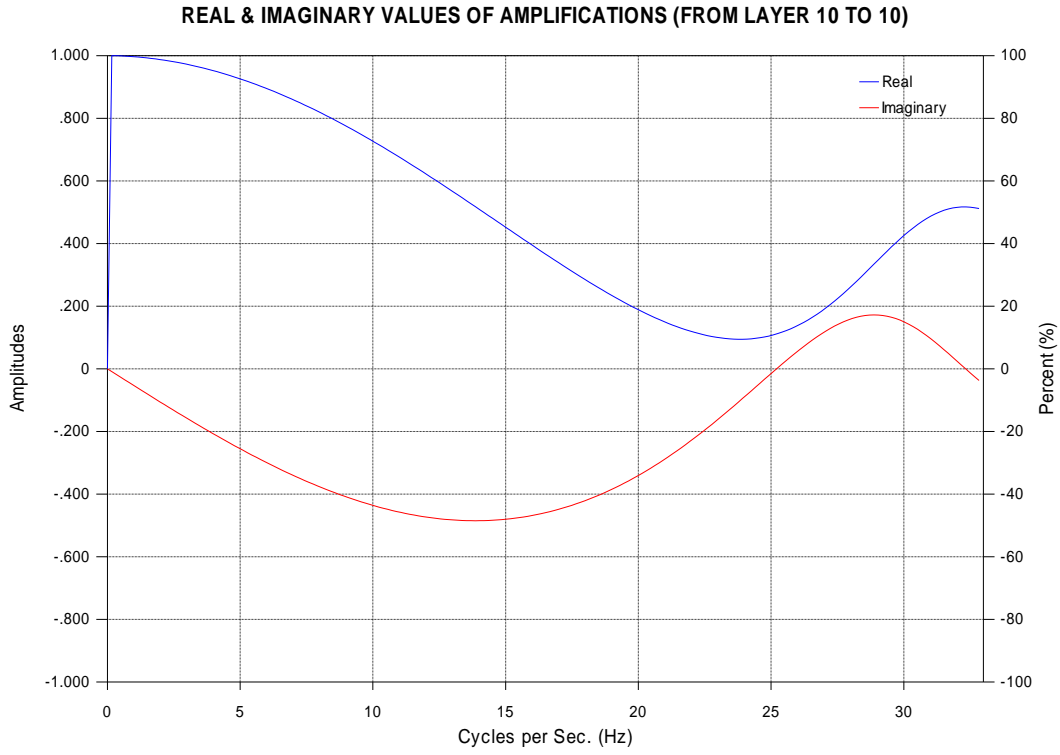


圖 3.28 A 點至 B 點之地震加速度歷時轉換函數-UD 向

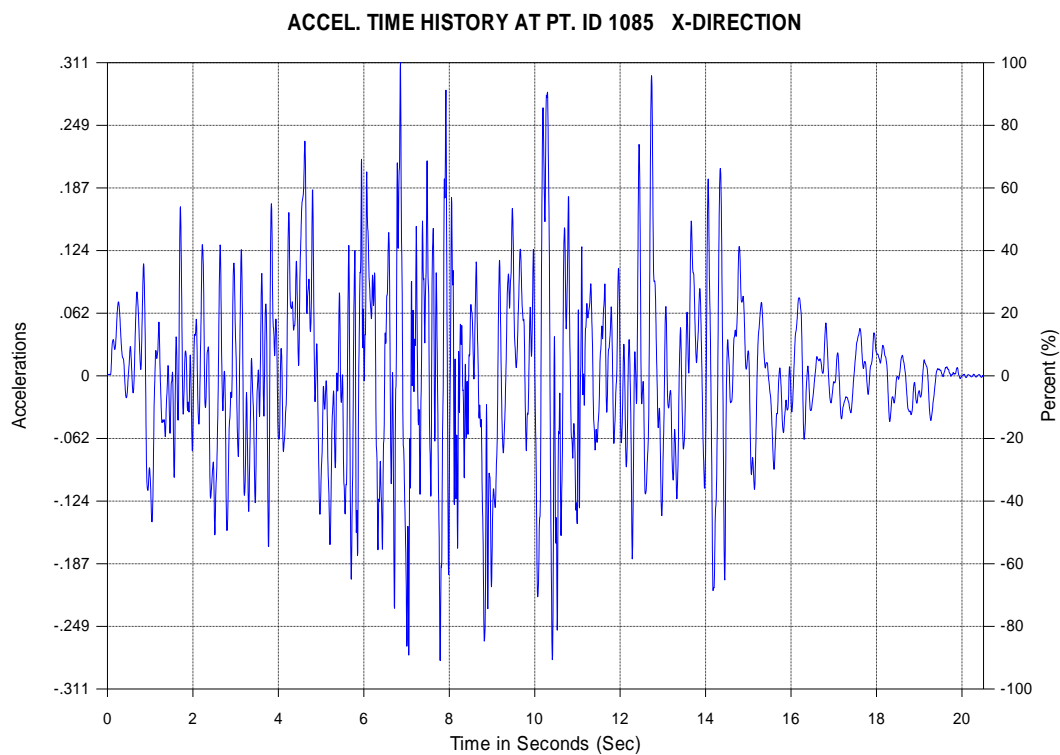


圖 3.29 C 點之地震加速度歷時-EW 向 Sway

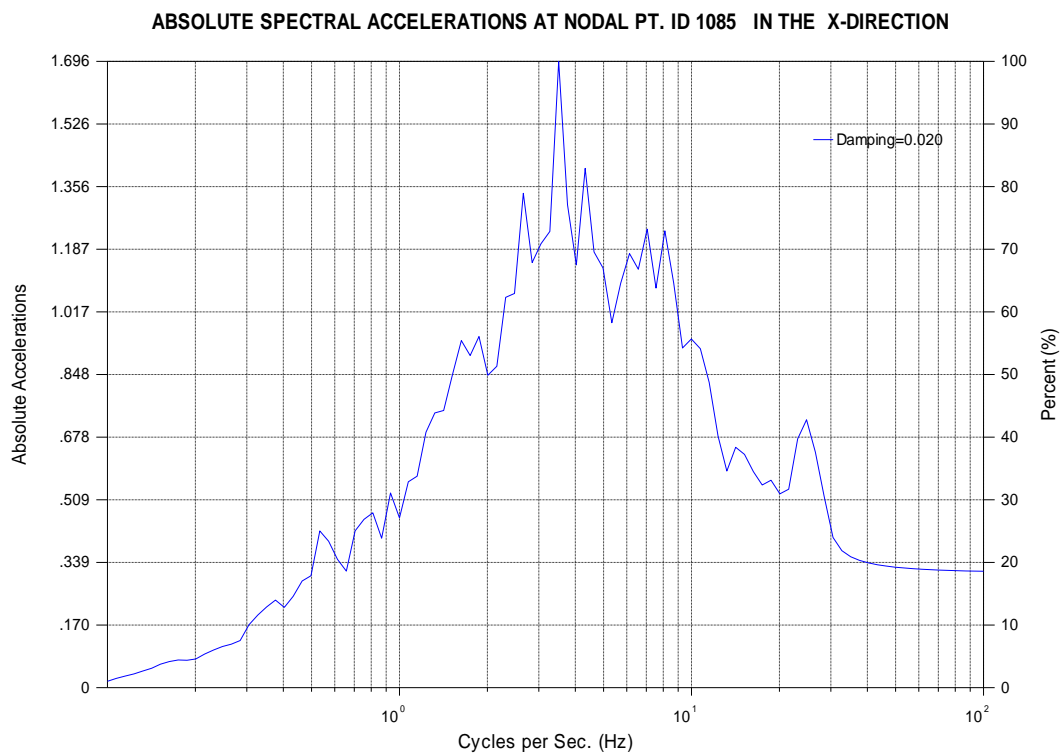


圖 3.30 C 點之地震加速度反應譜-EW 向 Sway

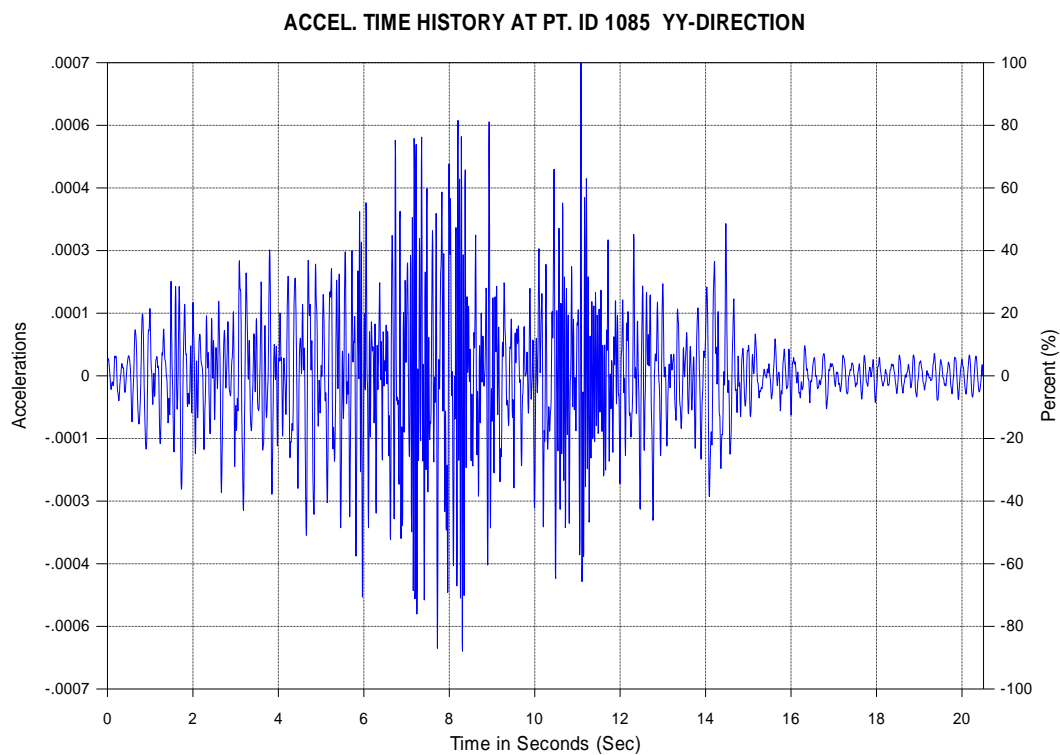


圖 3.31 C 點之地震加速度歷時-EW 向 Rocking

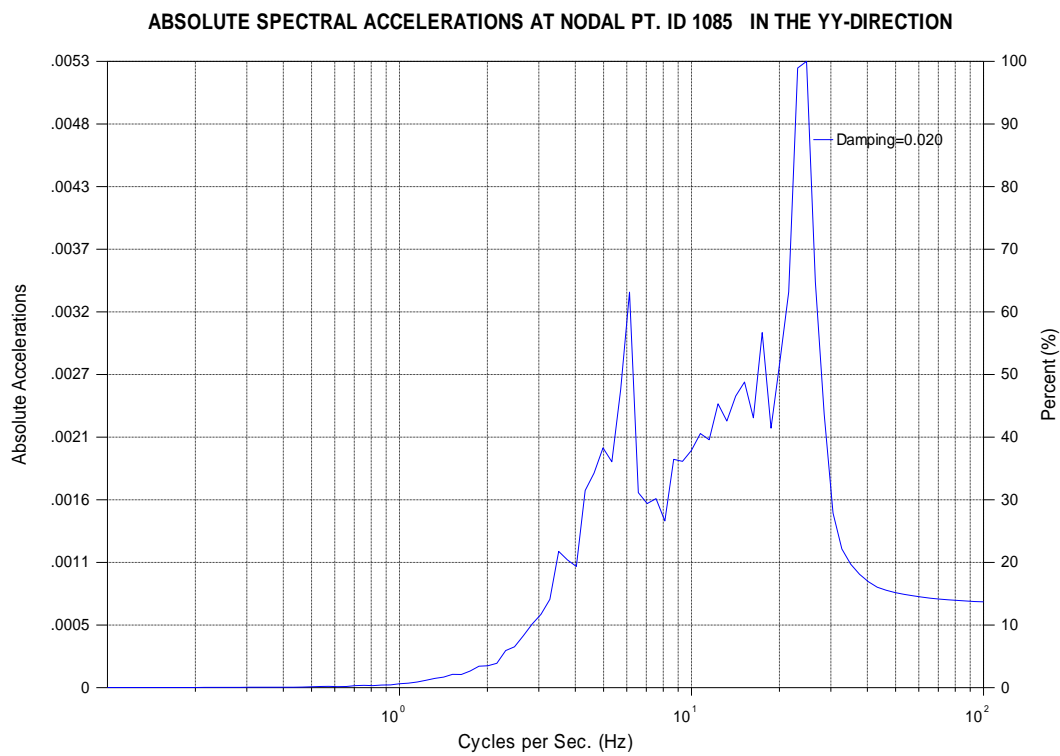


圖 3.32 C 點之地震加速度反應譜-EW 向 Rocking

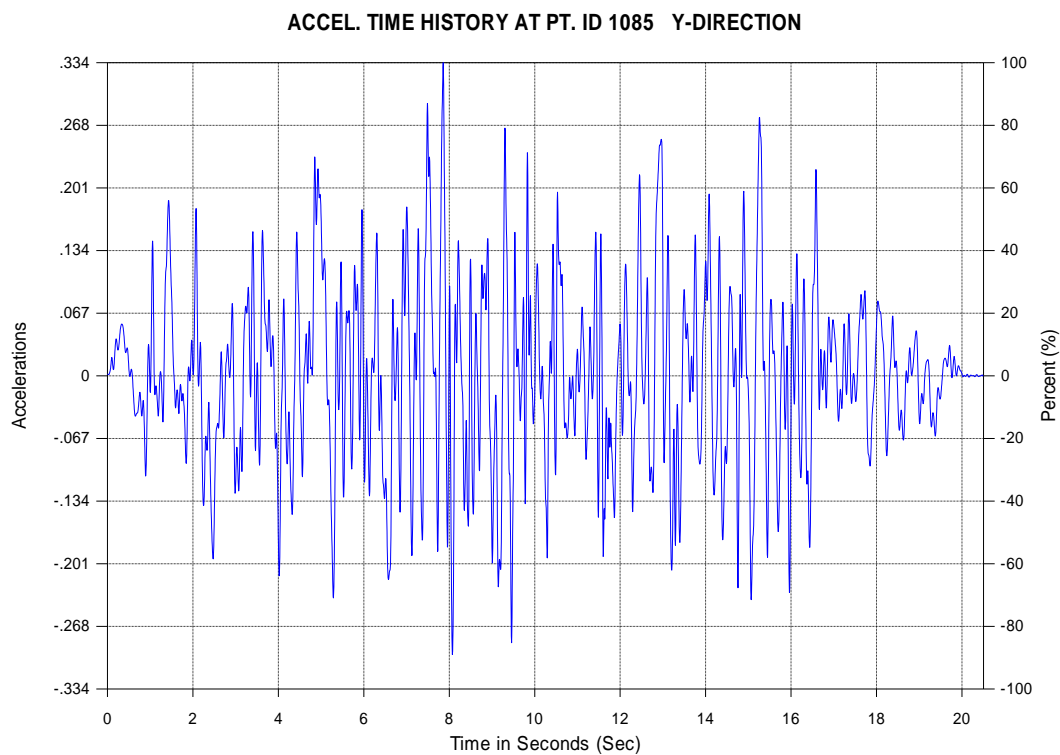


圖 3.33 C 點之地震加速度歷時-NS 向 Sway

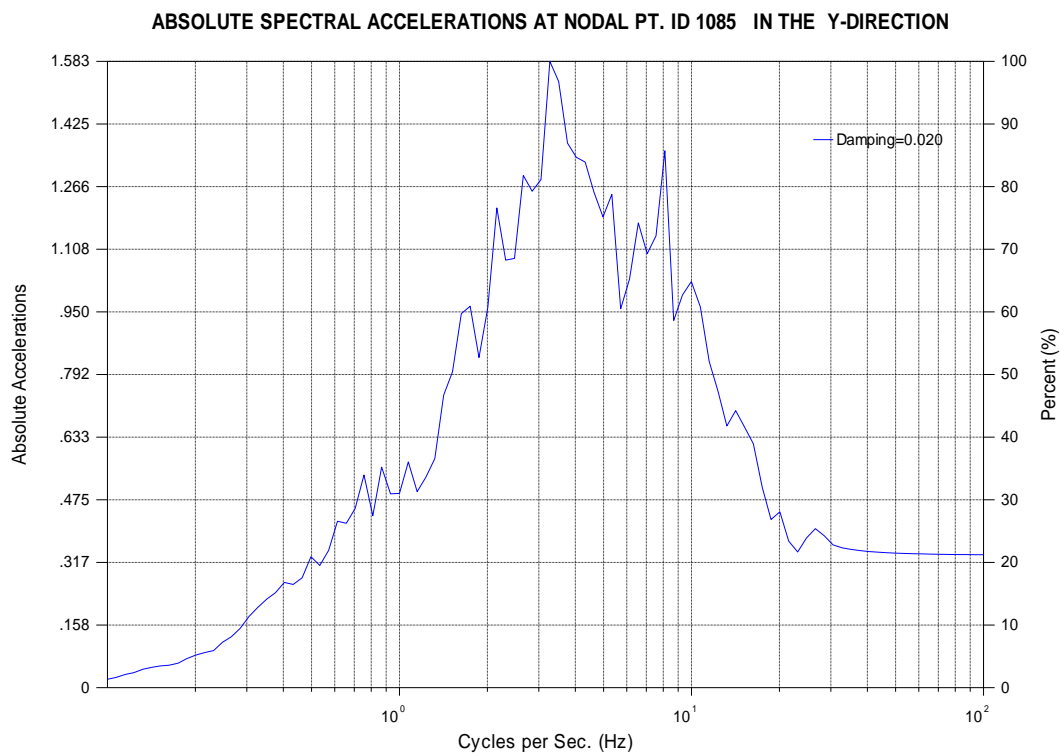


圖 3.34 C 點之地震加速度反應譜--NS 向 Sway

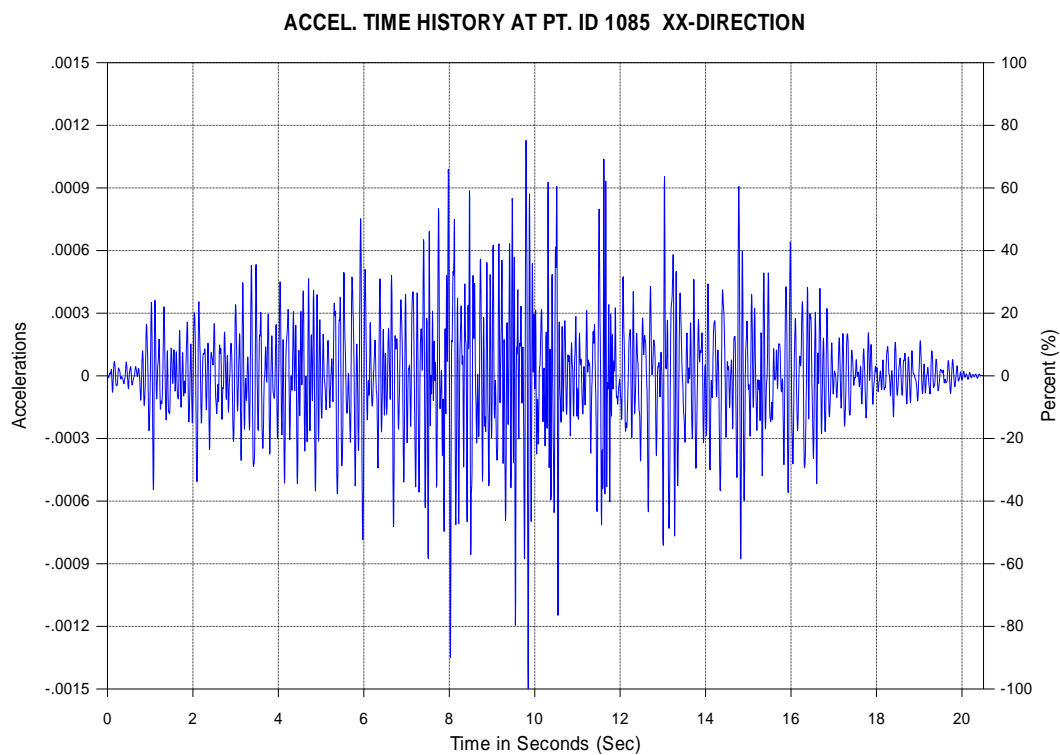


圖 3.35 C 點之地震加速度歷時-NS 向 Rocking

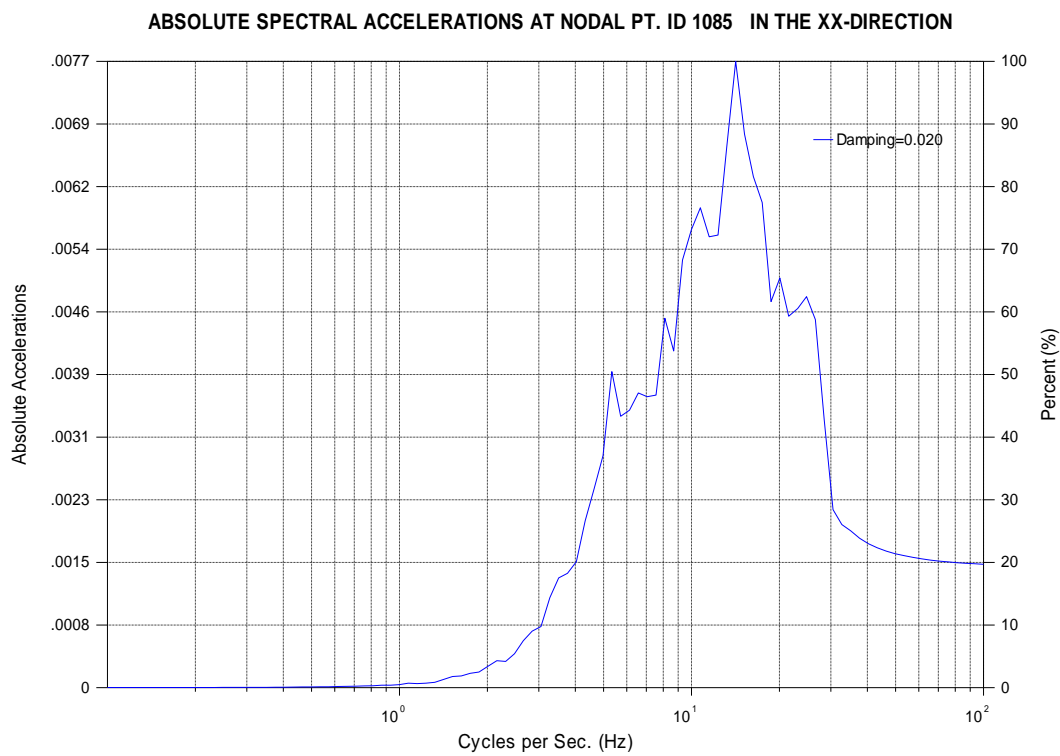


圖 3.36 C 點之地震加速度反應譜--NS 向 Rocking

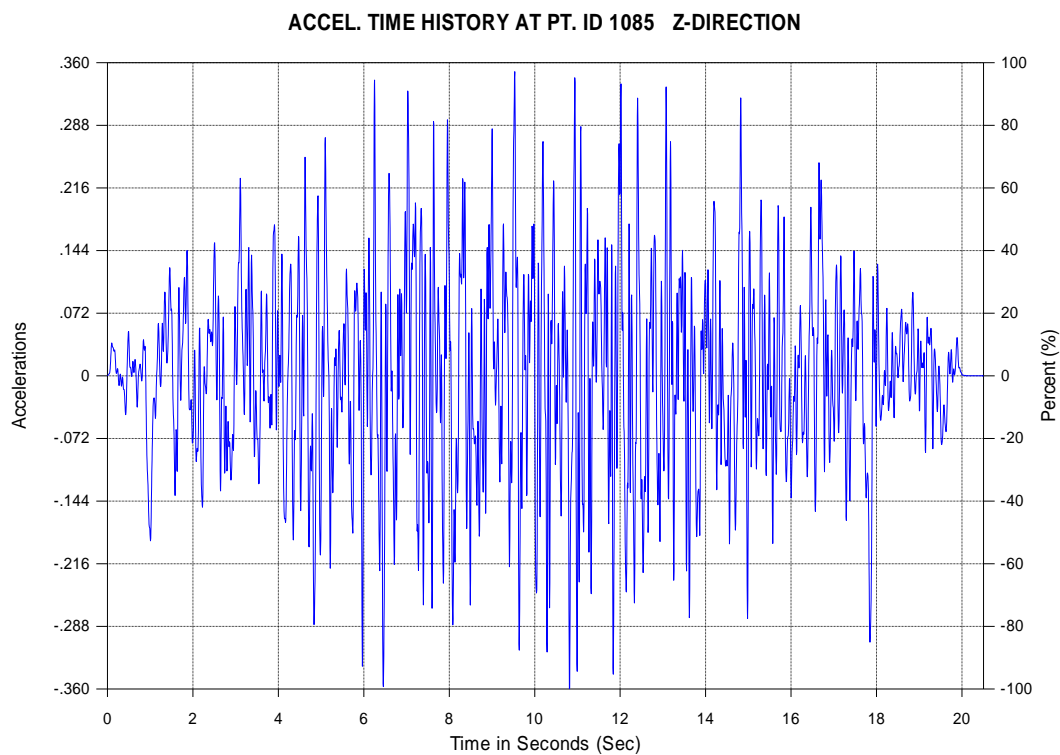


圖 3.37 C 點之地震加速度歷時-UD 向

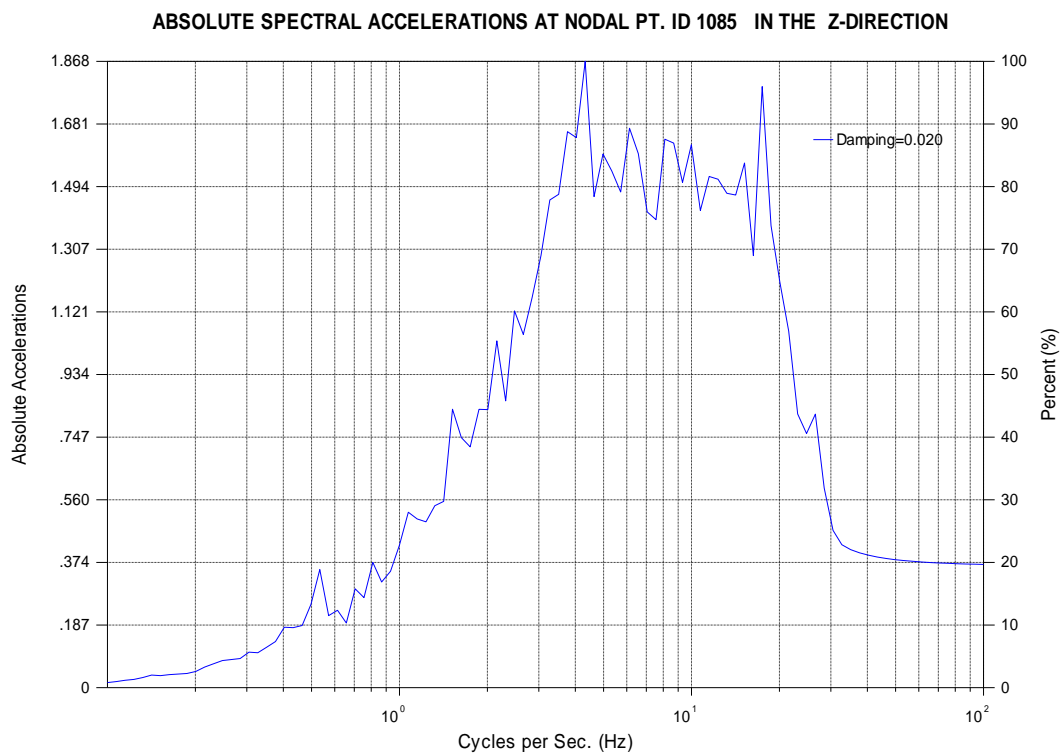


圖 3.38 C 點之水平地震加速度反應譜-UD 向

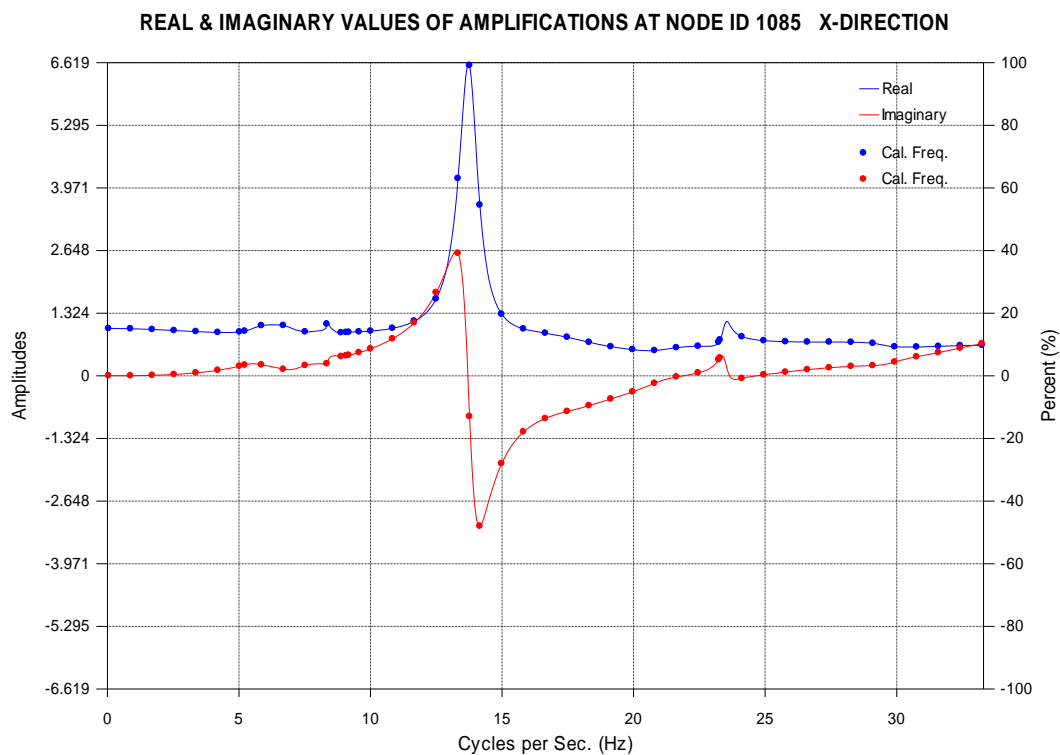


圖 3.39 B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-EW 向 Sway

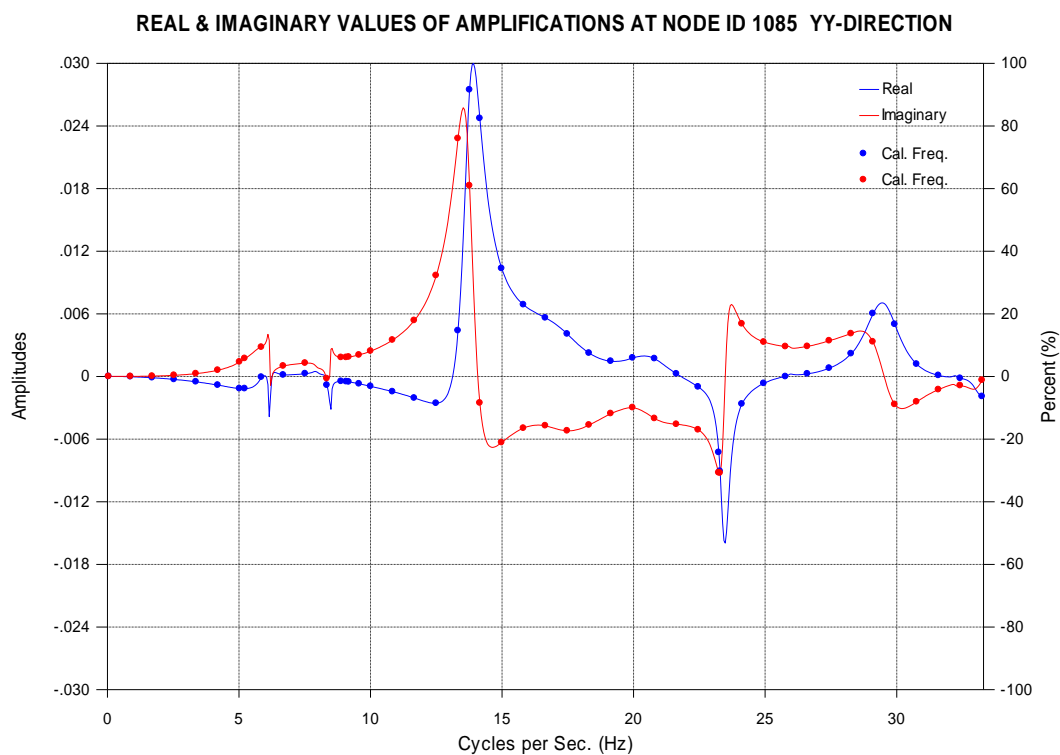


圖 3.40 B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-EW 向 Rocking

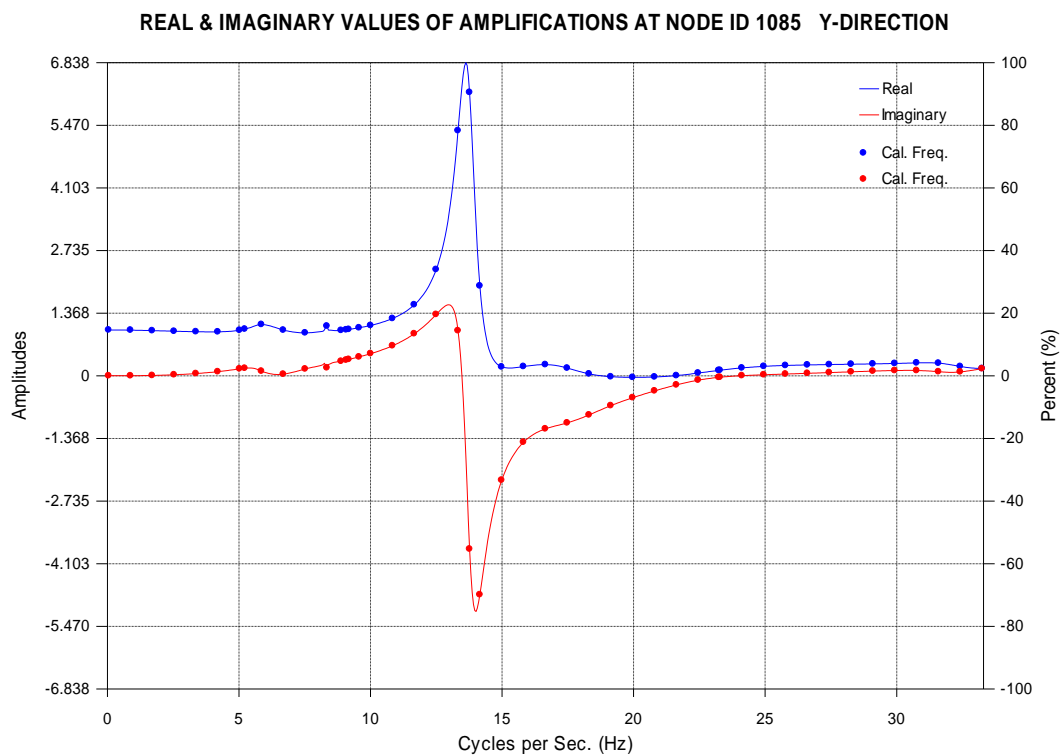


圖 3.41 B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-NS 向 Sway

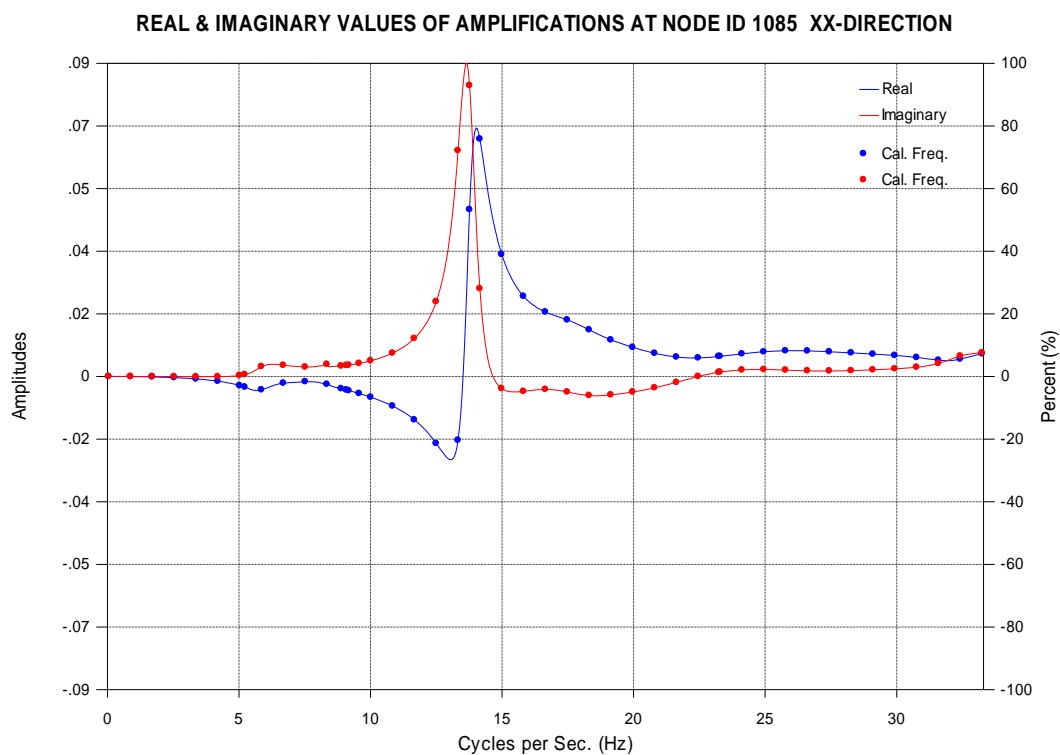


圖 3.42 B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-NS 向 Rocking

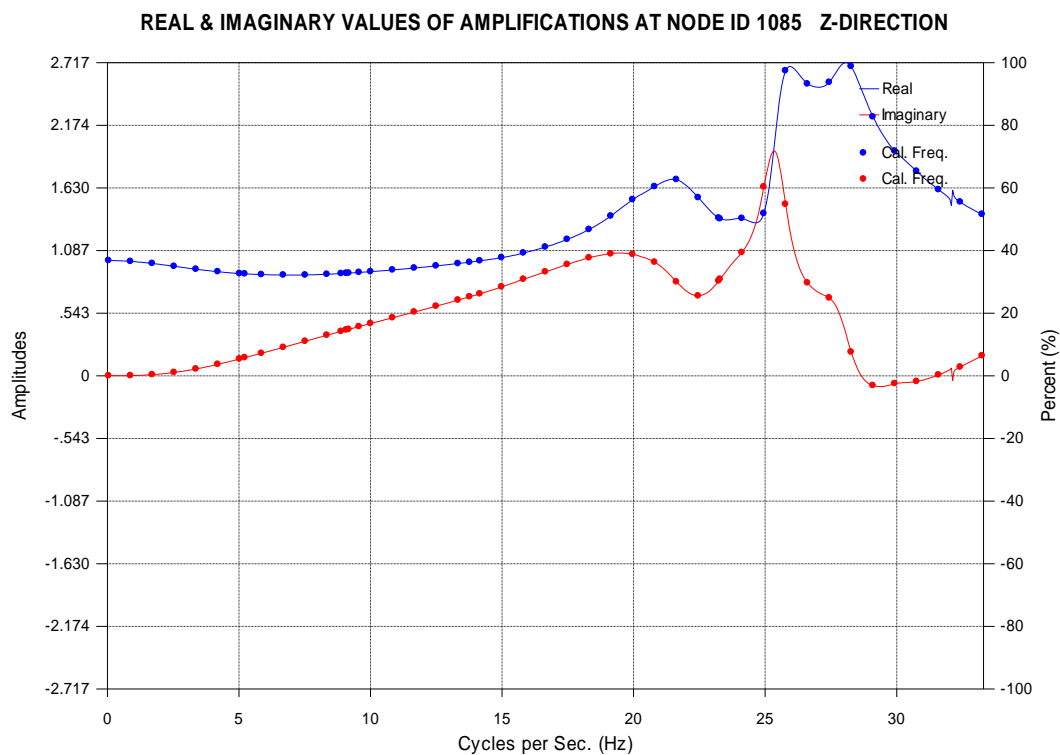


圖 3.43 B 點至 C 點之地震加速度歷時轉換函數-UD 向

Layer	Motion	Height	Depth	Best Estimate				
				Unit Weight	S-Wave Velocity	P-Wave Velocity	S-Wave Damping Ratio	P-Wave Damping Ratio
1		1.00	1.00	2.080	100.00	463.00	0.104	0.100
2		1.35	3.35	2.240	116.00	615.00	0.130	0.100
3		1.35	4.70	2.240	116.00	615.00	0.130	0.100
4		2.50	7.20	2.400	1025.00	2590.00	0.010	0.010
5		1.80	9.00	2.560	1206.00	2900.00	0.009	0.009
6		2.30	11.30	2.560	1201.00	2900.00	0.010	0.010
7		2.40	13.70	2.560	1197.00	2900.00	0.011	0.011
8		3.30	17.00	2.560	1193.00	2900.00	0.011	0.011
9		3.20	20.20	2.560	1189.00	2900.00	0.012	0.012
10		3.00	23.20	2.560	1184.00	2900.00	0.012	0.012
11		2.50	25.70	2.560	1184.00	2900.00	0.012	0.012
12		5.00	30.70	2.560	1179.00	2900.00	0.013	0.013
13	SV(0)	5.00	35.70	2.560	1175.00	2900.00	0.013	0.013
14		5.00	40.70	2.560	1172.00	2900.00	0.014	0.014
15		5.00	45.70	2.560	1170.00	2900.00	0.014	0.014
16		5.00	50.70	2.560	1168.00	2900.00	0.014	0.014
17		5.00	55.70	2.560	1167.00	2900.00	0.014	0.014
18				2.560	1167.00	2900.00	0.014	0.014
Halfspace = 20				2.560	1167.00	2900.00	0.014	0.014

圖 3.44 水平向分析之土壤剖面及材料性質

Layer	Motion	Height	Depth	Best Estimate				
				Unit Weight	S-Wave Velocity	P-Wave Velocity	S-Wave Damping Ratio	P-Wave Damping Ratio
1		1.00	1.00	2.080	100.00	463.00	0.104	0.100
2		1.35	3.35	2.240	116.00	615.00	0.130	0.100
3		1.35	4.70	2.240	116.00	615.00	0.130	0.100
4		2.50	7.20	2.400	1025.00	2590.00	0.010	0.010
5		1.80	9.00	2.560	1206.00	2900.00	0.009	0.009
6		2.30	11.30	2.560	1201.00	2900.00	0.010	0.010
7		2.40	13.70	2.560	1197.00	2900.00	0.011	0.011
8		3.30	17.00	2.560	1193.00	2900.00	0.011	0.011
9		3.20	20.20	2.560	1189.00	2900.00	0.012	0.012
10		3.00	23.20	2.560	1184.00	2900.00	0.012	0.012
11		2.50	25.70	2.560	1184.00	2900.00	0.012	0.012
12		5.00	30.70	2.560	1179.00	2900.00	0.013	0.013
13	P(0)	5.00	35.70	2.560	1175.00	2900.00	0.013	0.013
14		5.00	40.70	2.560	1172.00	2900.00	0.014	0.014
15		5.00	45.70	2.560	1170.00	2900.00	0.014	0.014
16		5.00	50.70	2.560	1168.00	2900.00	0.014	0.014
17		5.00	55.70	2.560	1167.00	2900.00	0.014	0.014
18				2.560	1167.00	2900.00	0.014	0.014
Halfspace = 15				2.560	1167.00	2900.00	0.014	0.014

圖 3.45 垂直向分析之土壤剖面及材料性質

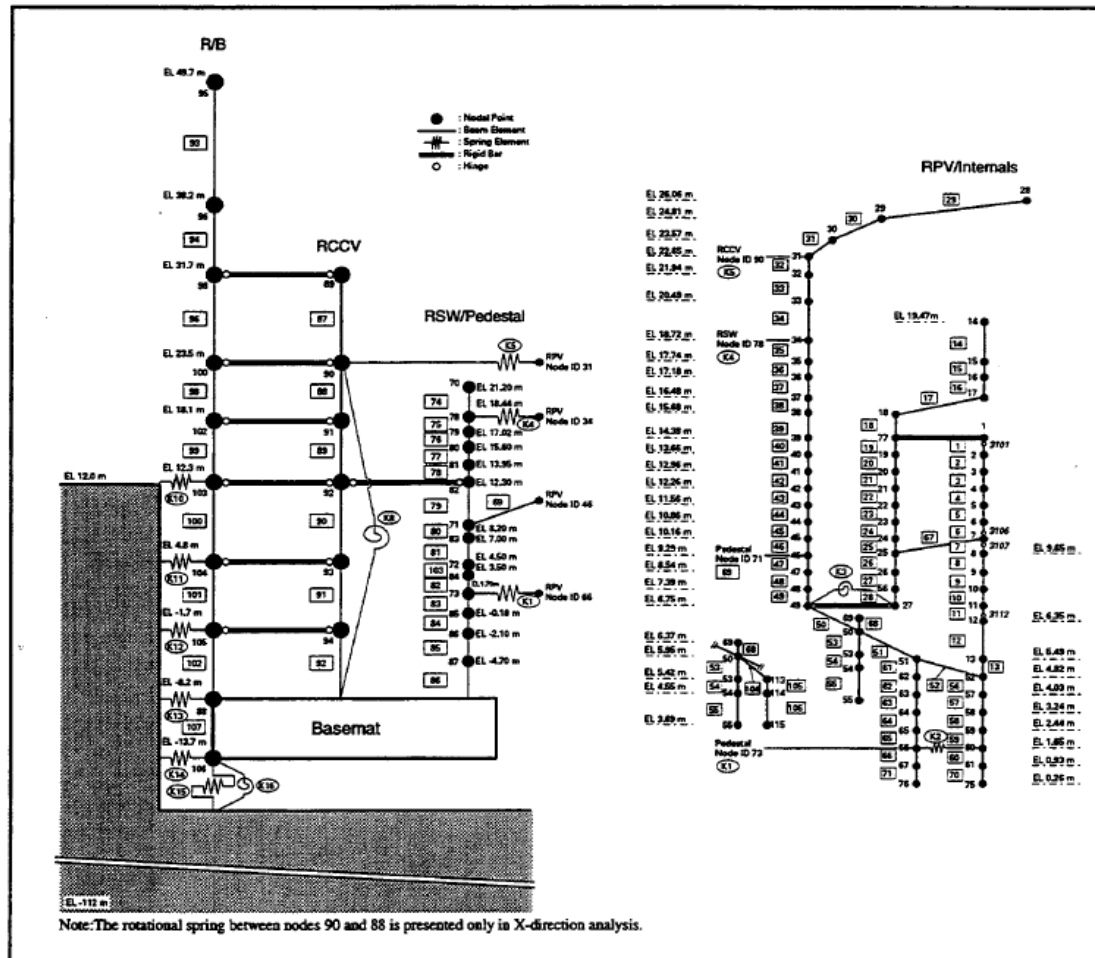


圖 3.46 結構部分集中質量 Stick Model 水平向分析模型

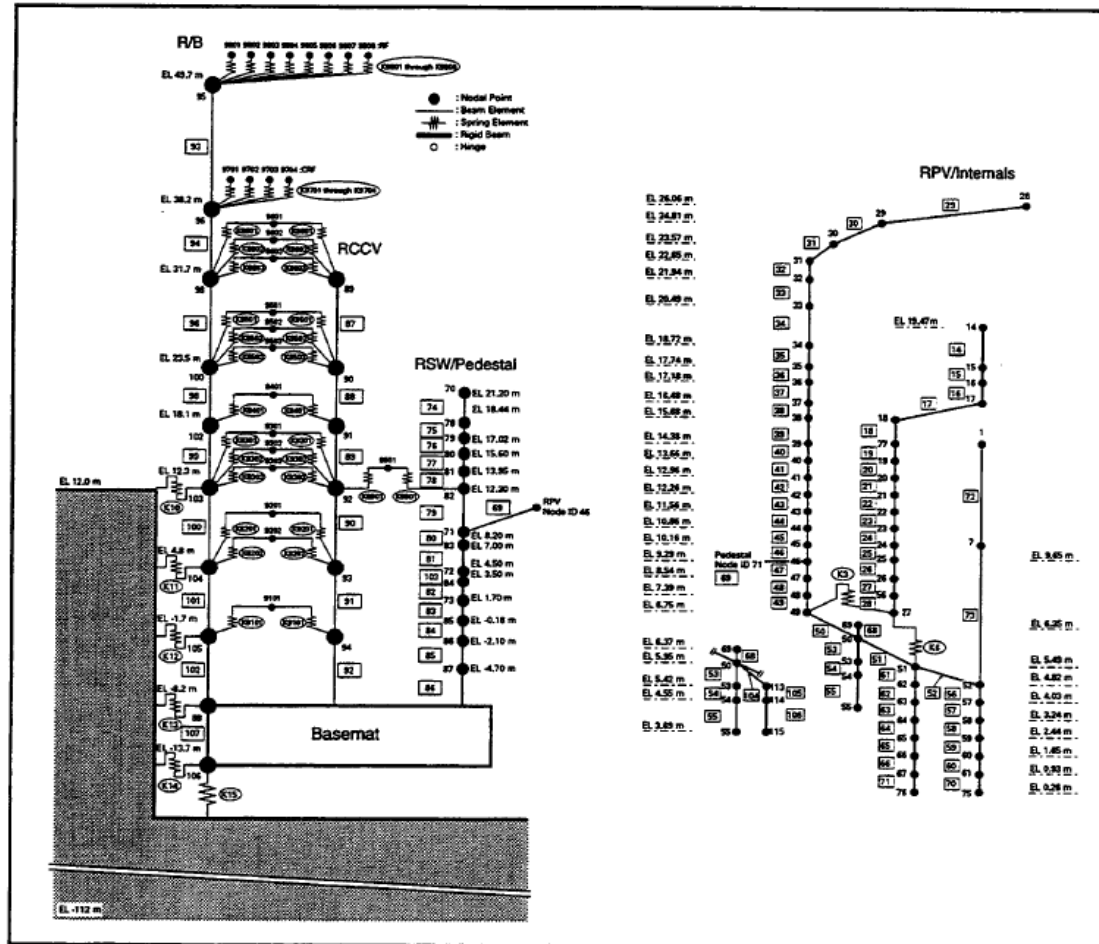


圖 3.47 結構部分集中質量 Stick Model 垂直向分析模型

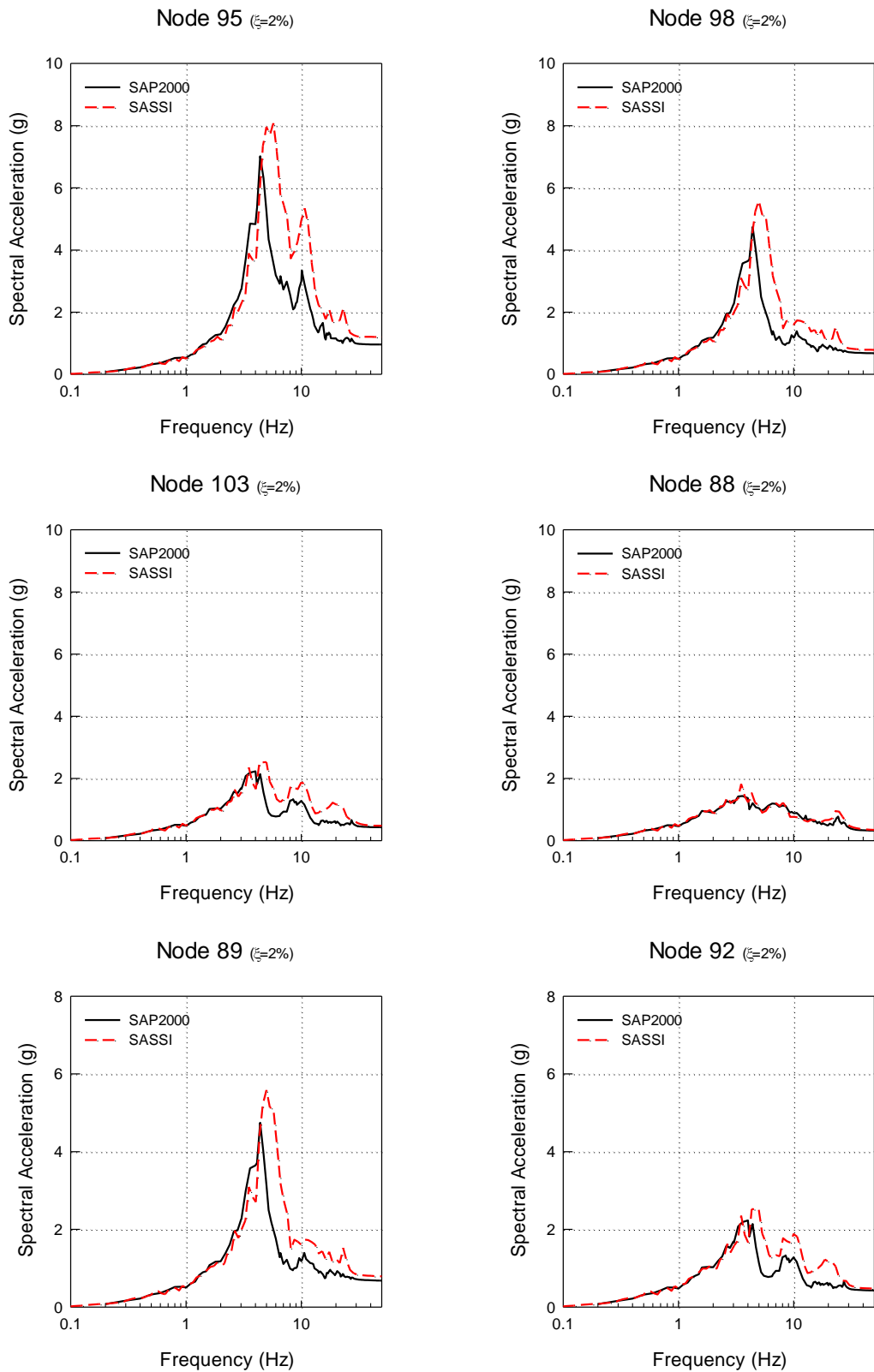
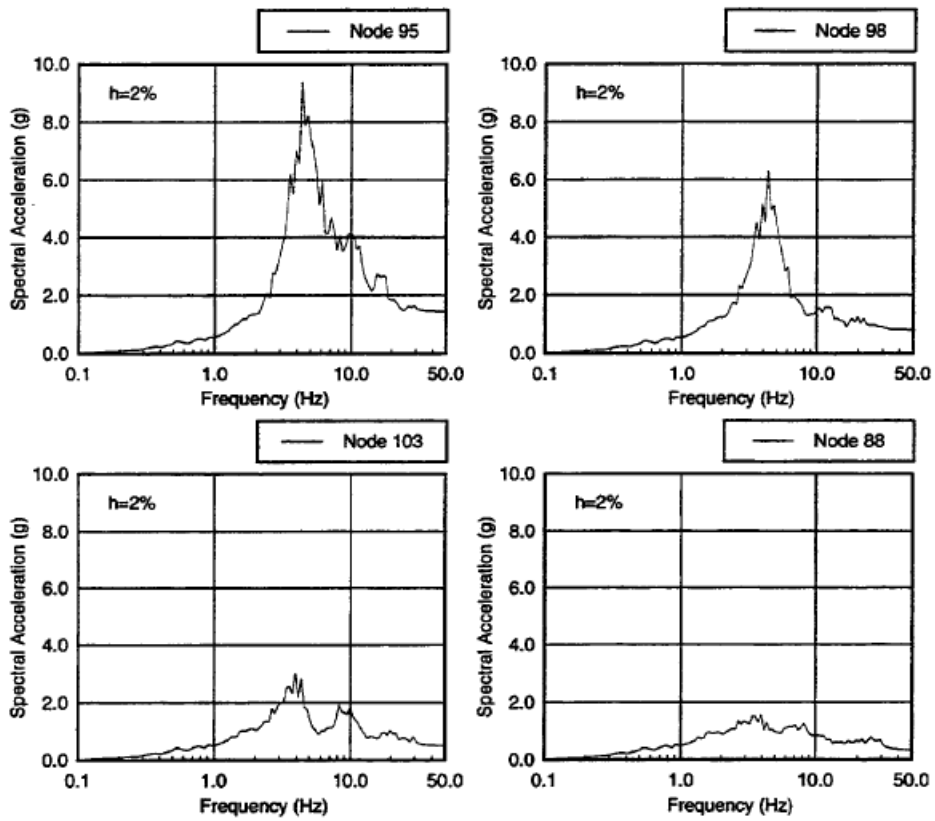
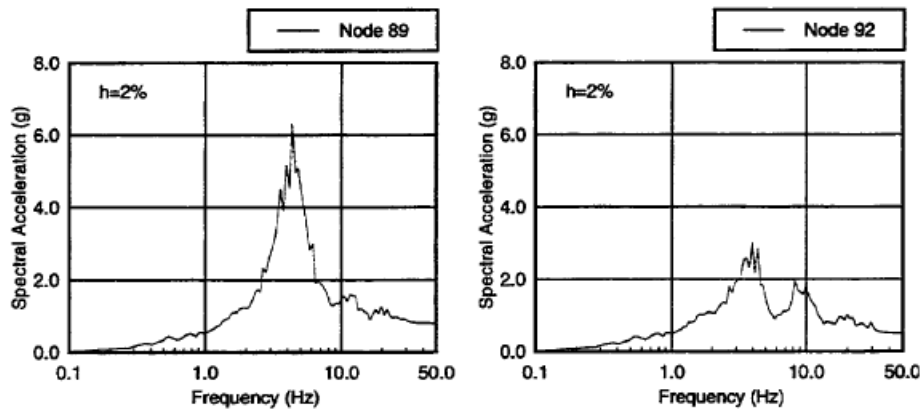


圖 3.48 Case 01 RW 及 RCCV 分析結果



(a) R/B Stick



(b) RCCV Stick

圖 3.49 Case 01 RW 及 RCCV Shimizu 分析結果

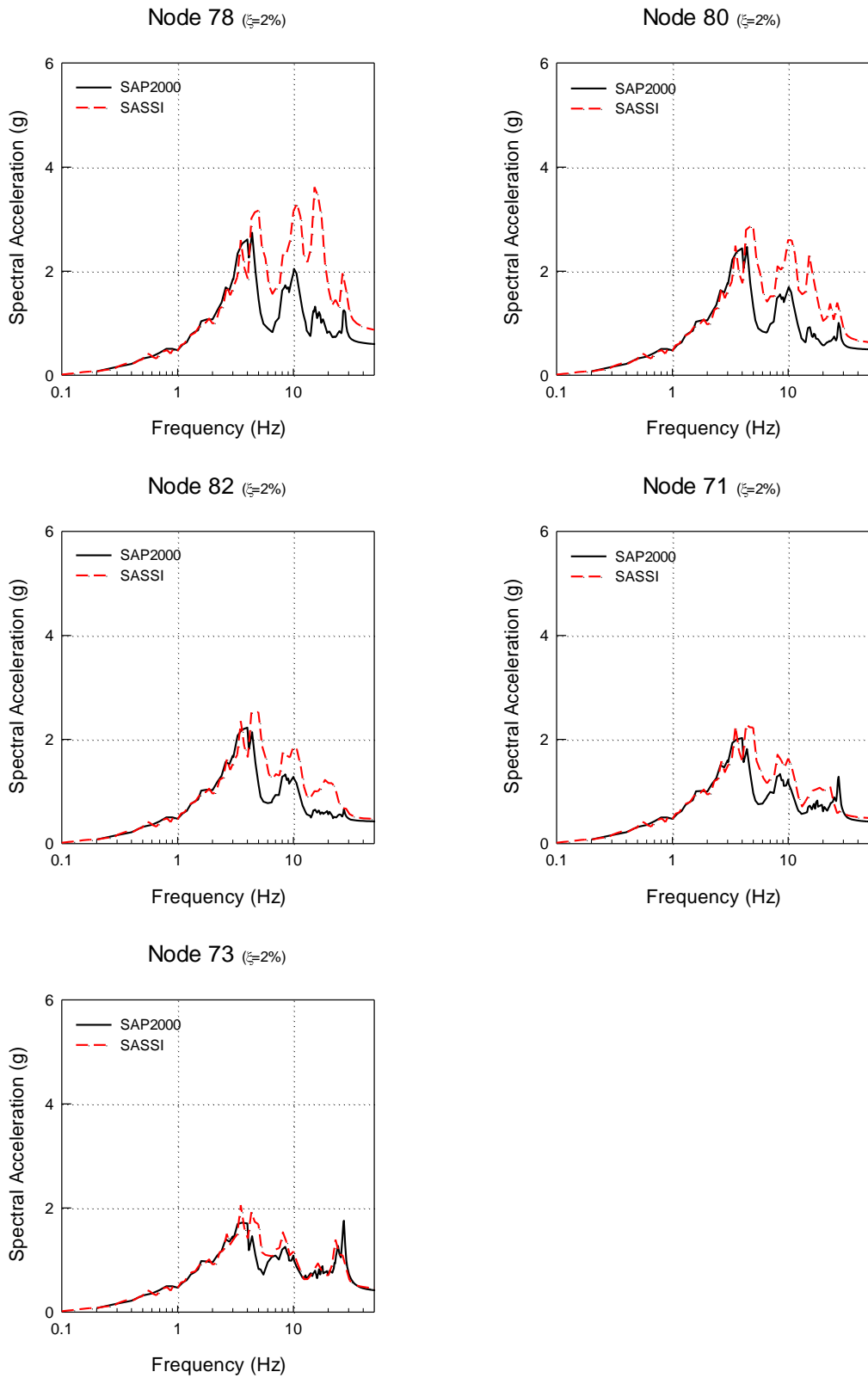
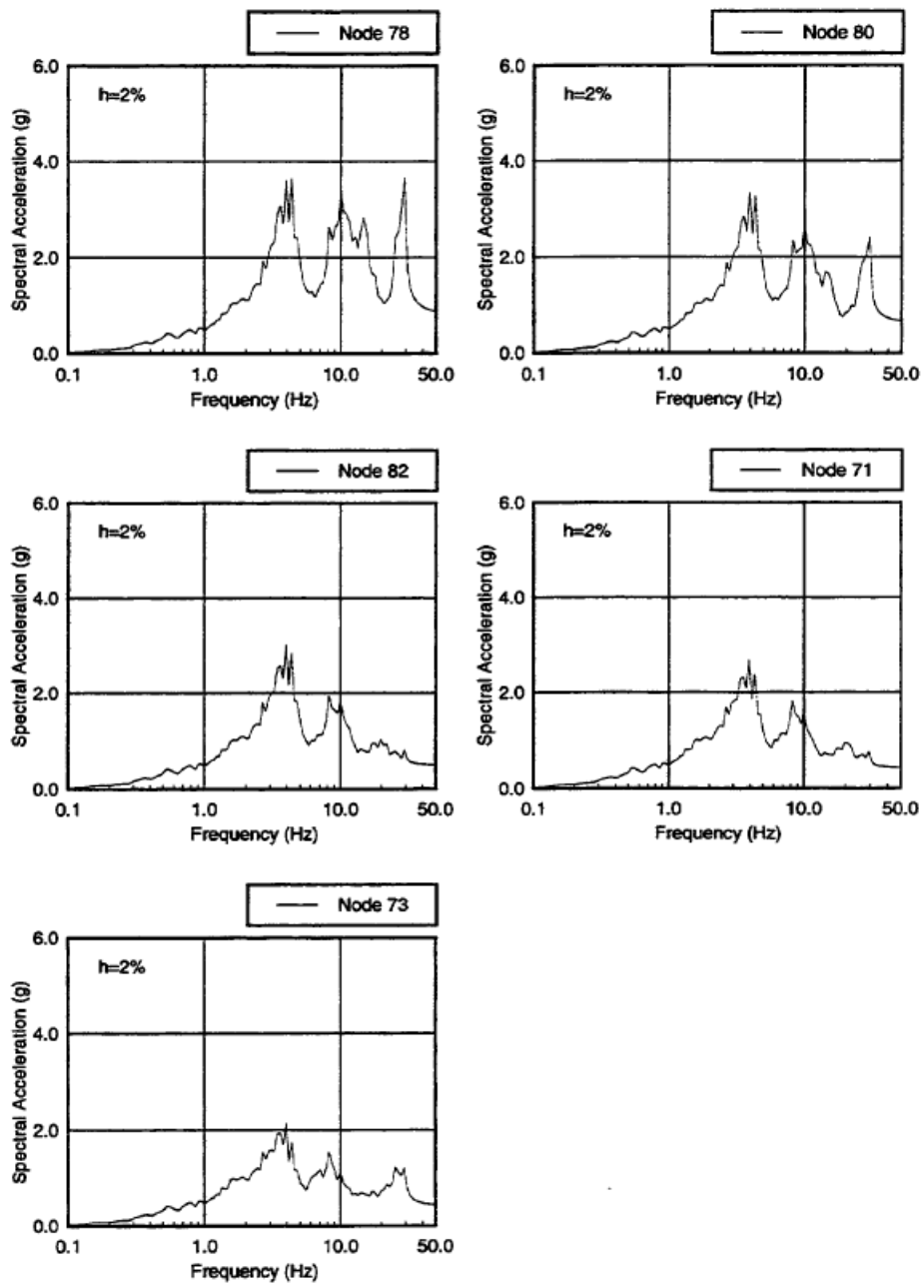


圖 3.50 Case 01 RSW 分析結果



(c) RSW/Pedestal Stick

圖 3.51 Case 01 RSW Shimizu 分析結果

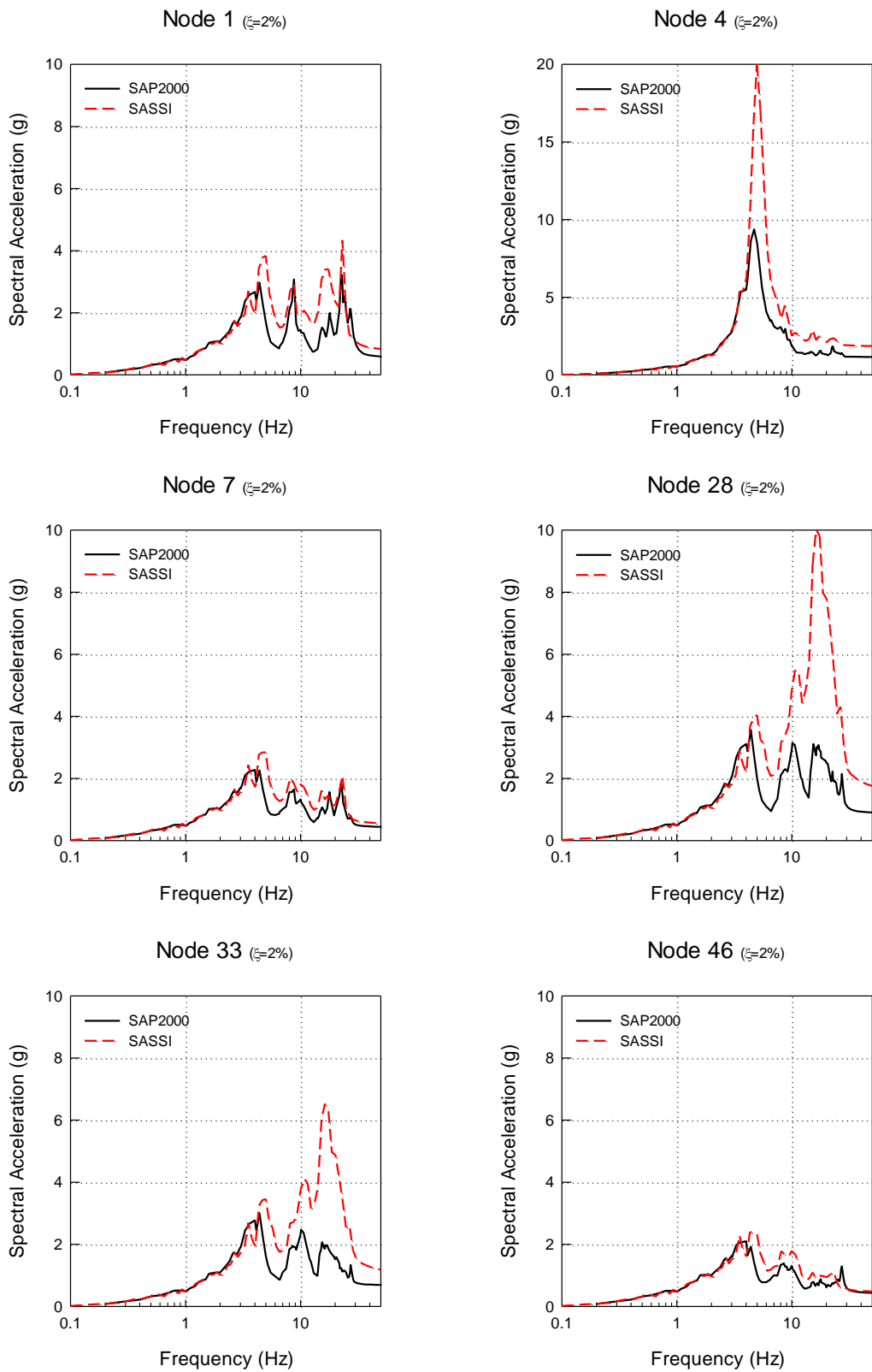
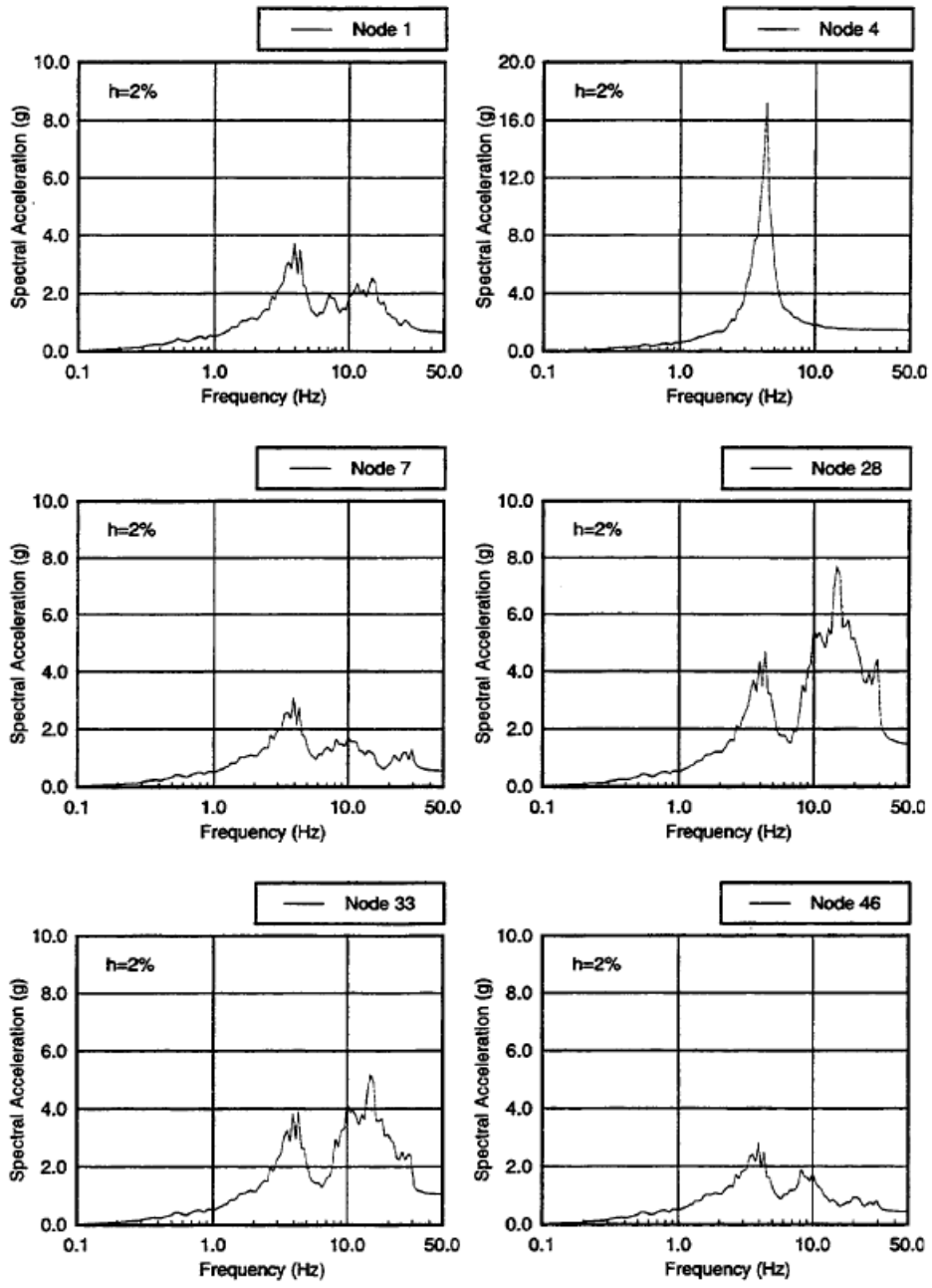


圖 3.52 Case 01 RPV-1 分析結果



(d) RPV Stick

圖 3.53 Case 01 RPV-1 Shimizu 分析結果

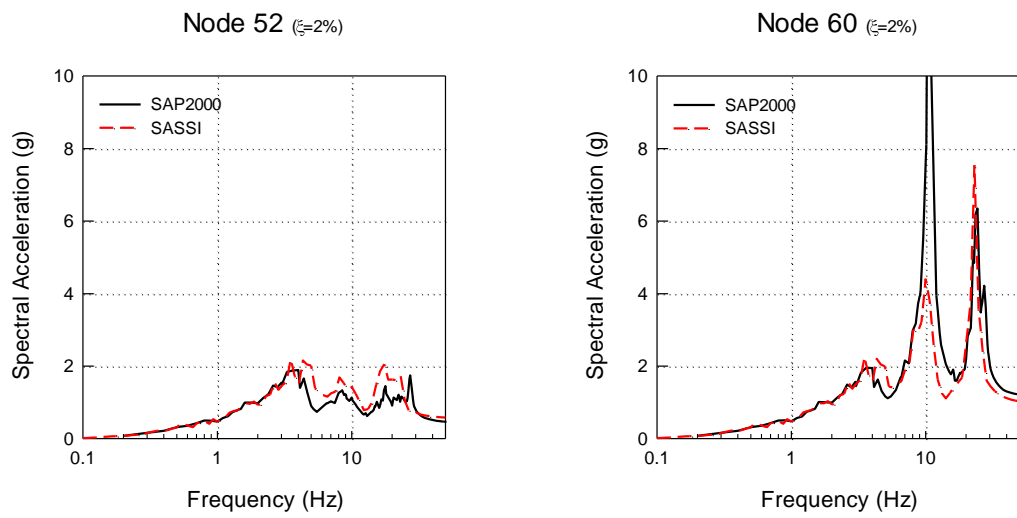
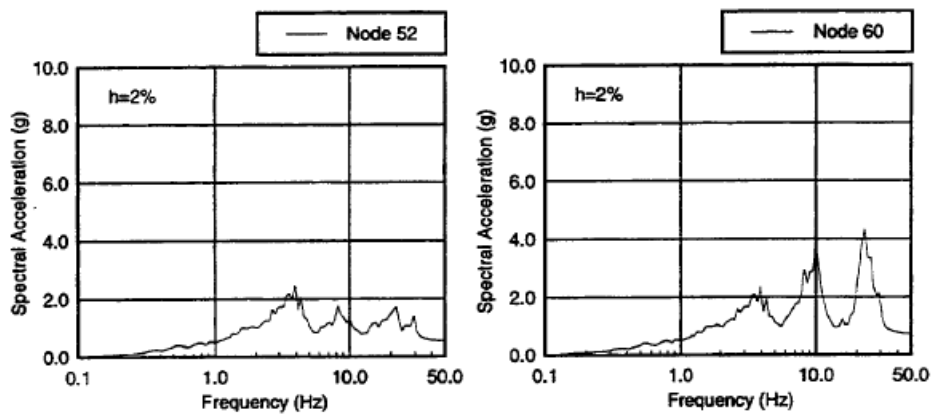


圖 3.54 Case 01 RPV-2 分析結果



(d) RPV Stick

圖 3.55 Case 01 RPV-2 Shimizu 分析結果

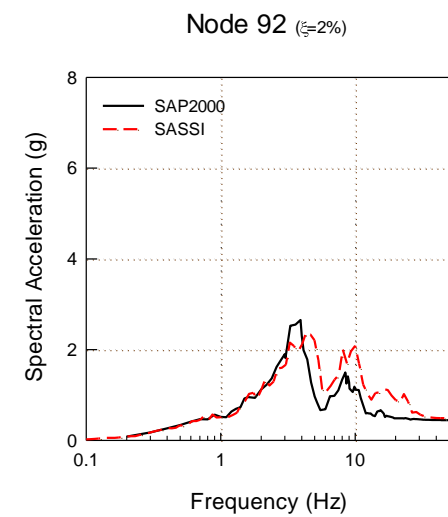
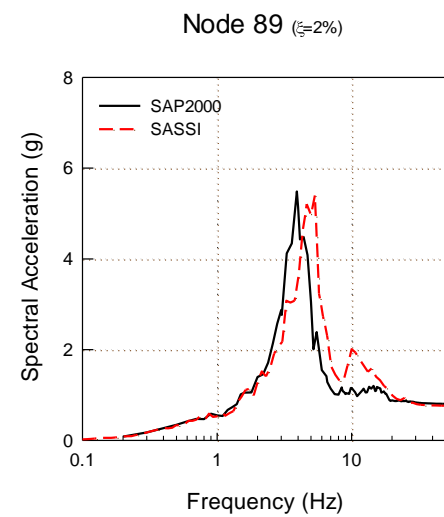
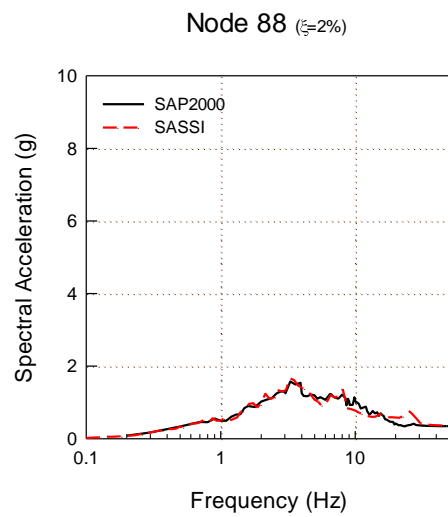
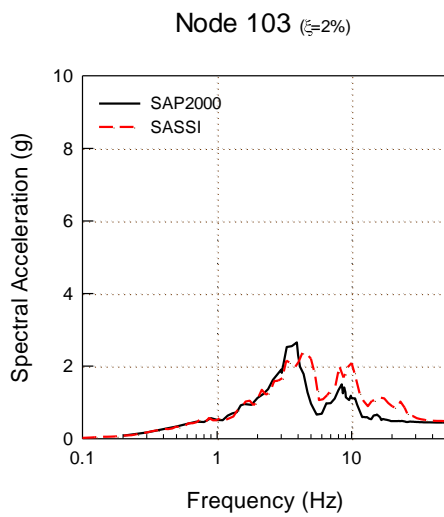
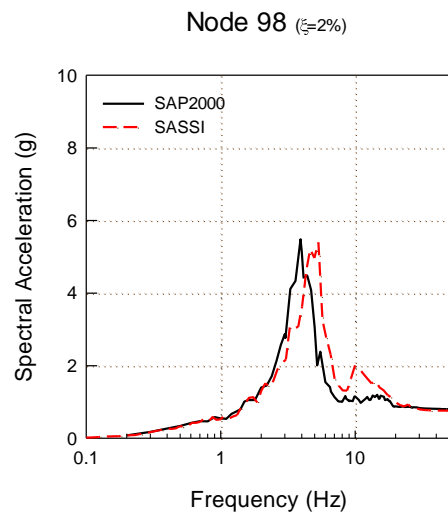
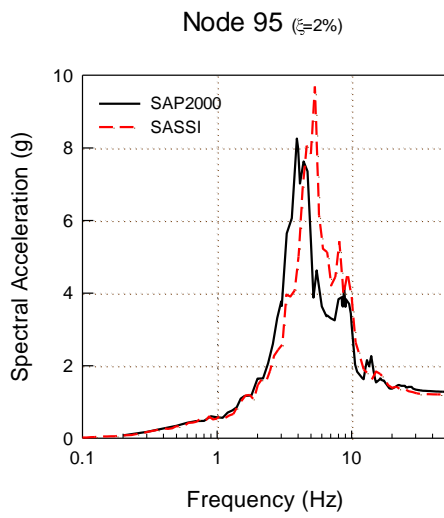
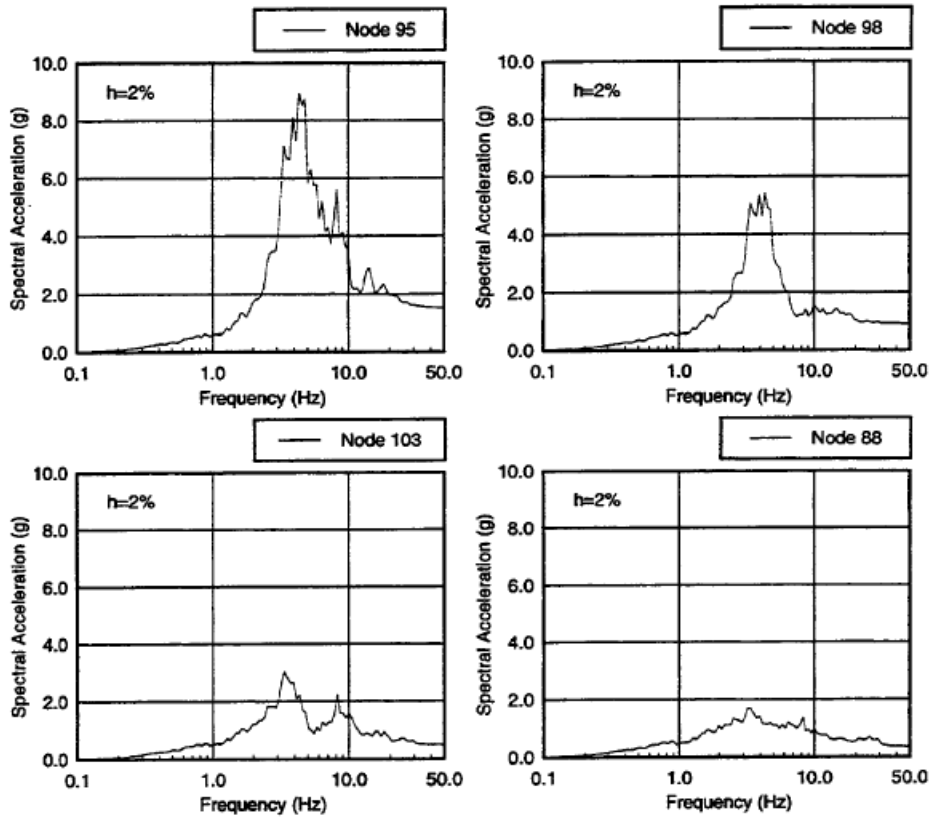
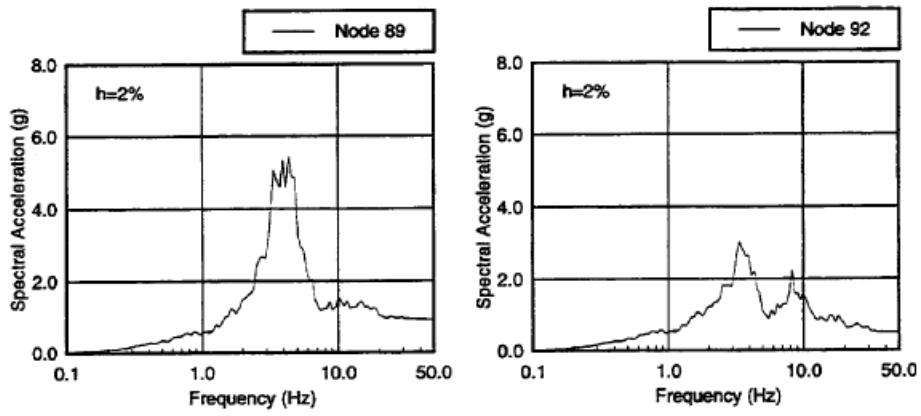


圖 3.56 Case 02 RW 及 RCCV 分析結果



(a) R/B Stick



(b) RCCV Stick

圖 3.57 Case 02 RW 及 RCCV Shimizu 分析結果

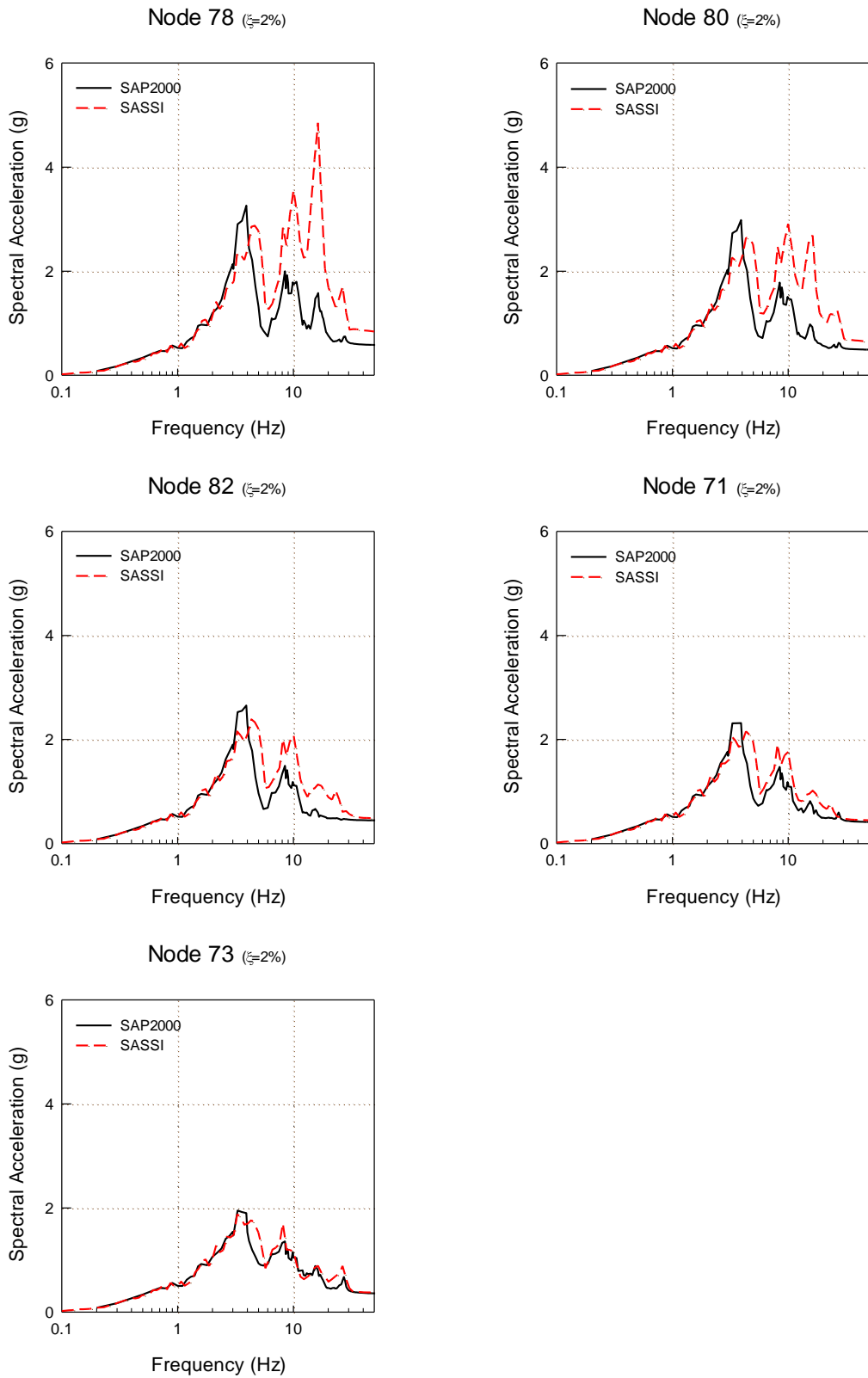
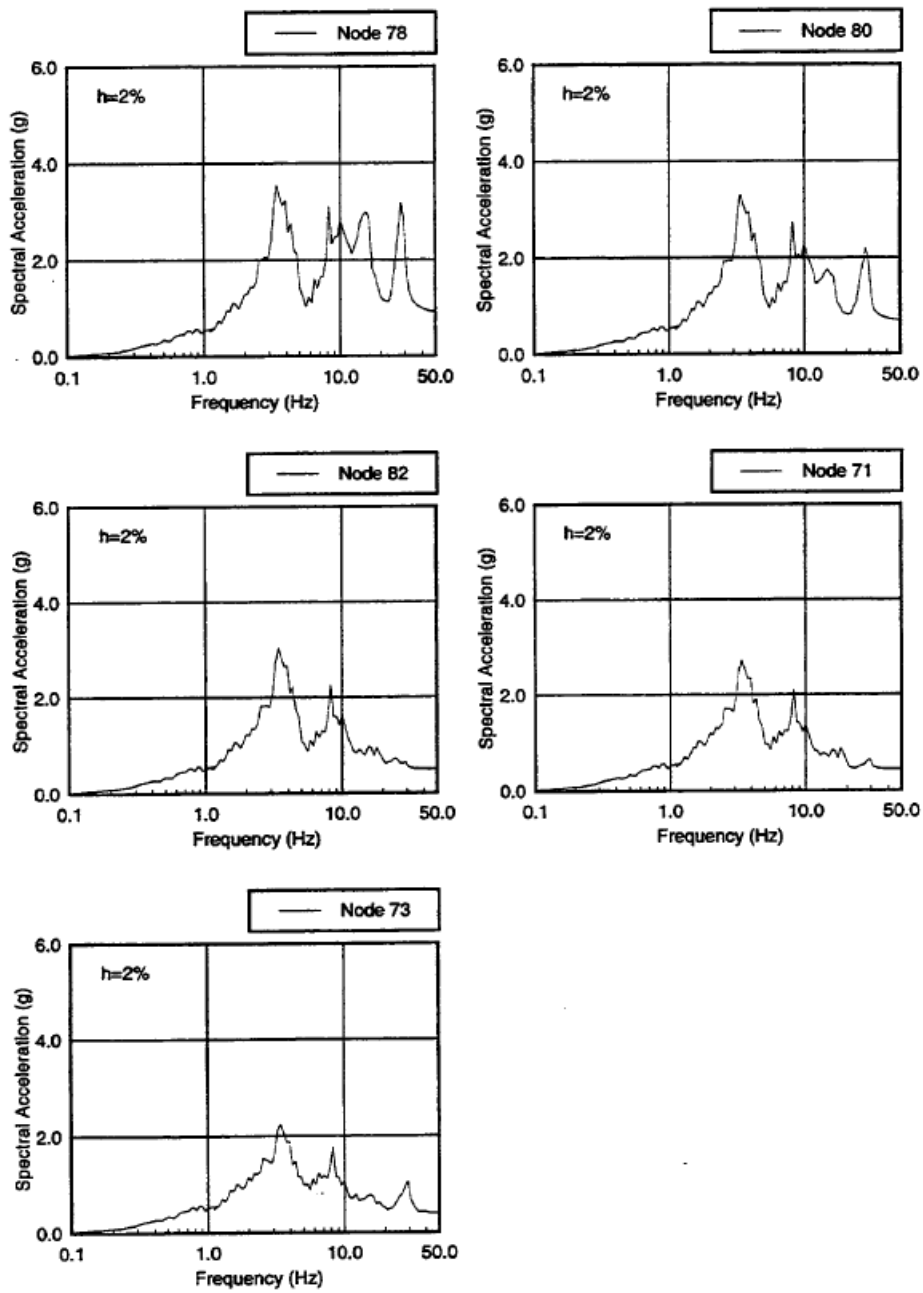


圖 3.58 Case 02 RSW 分析結果



(c) RSW/Pedestal Stick

圖 3.59 Case 02 RSW Shimizu 分析結果

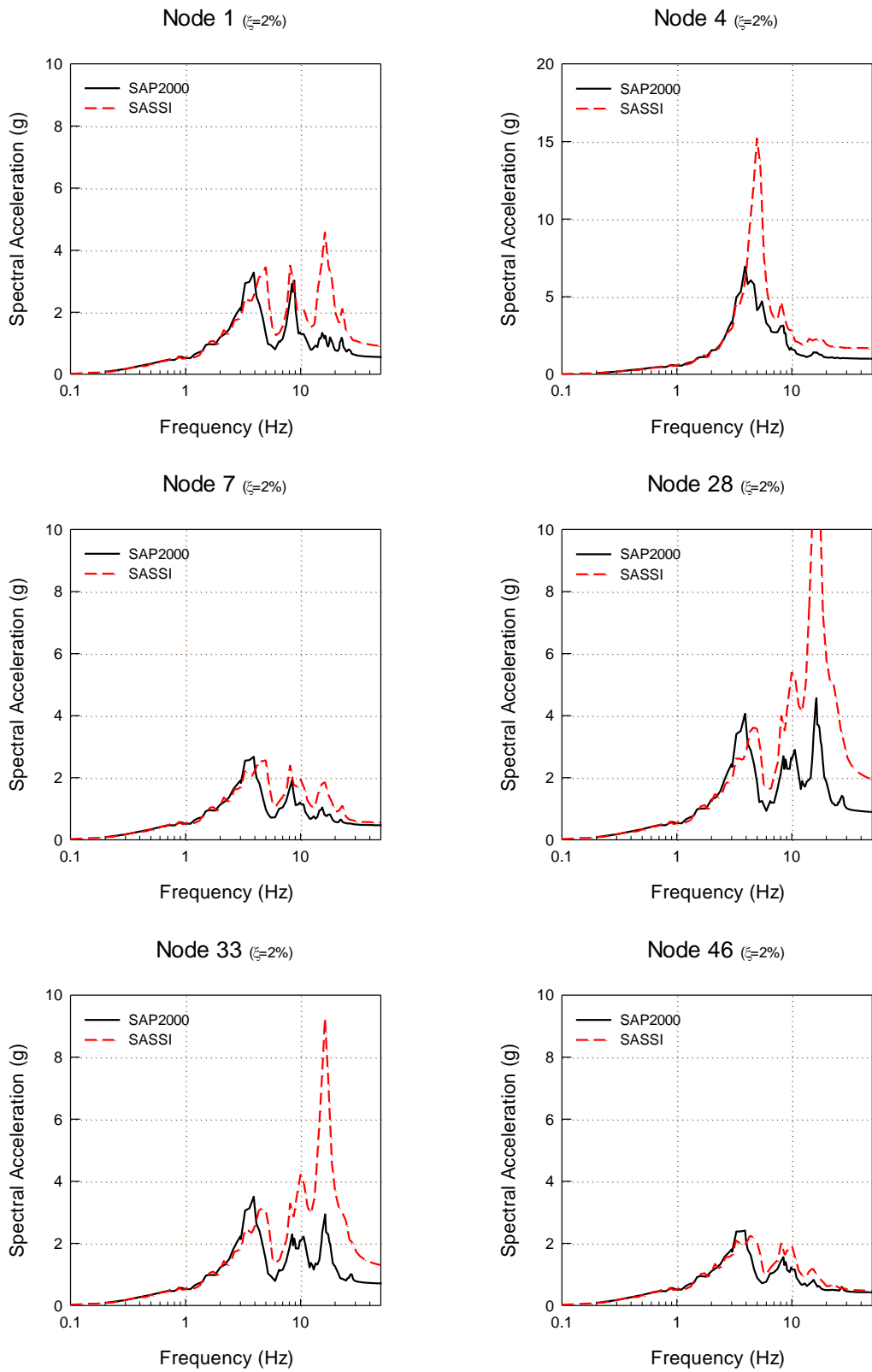
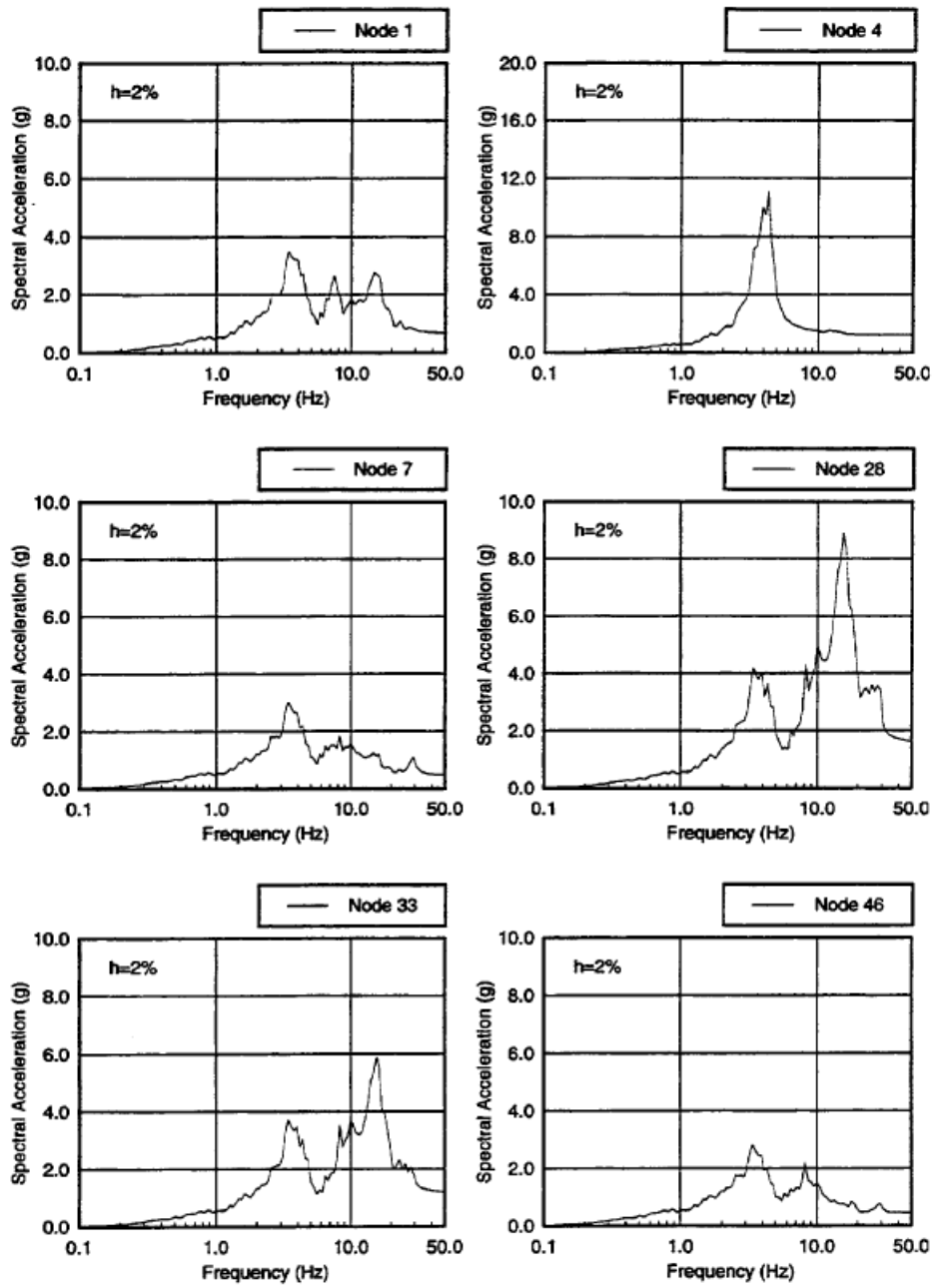


圖 3.60 Case 02 RPV-1 分析結果



(d) RPV Stick

圖 3.61 Case 02 RPV-1 Shimizu 分析結果

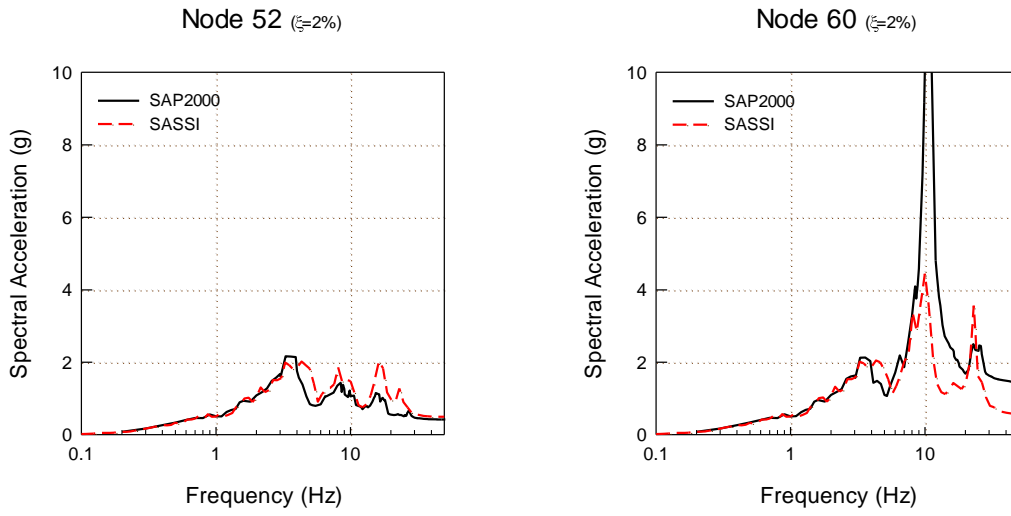
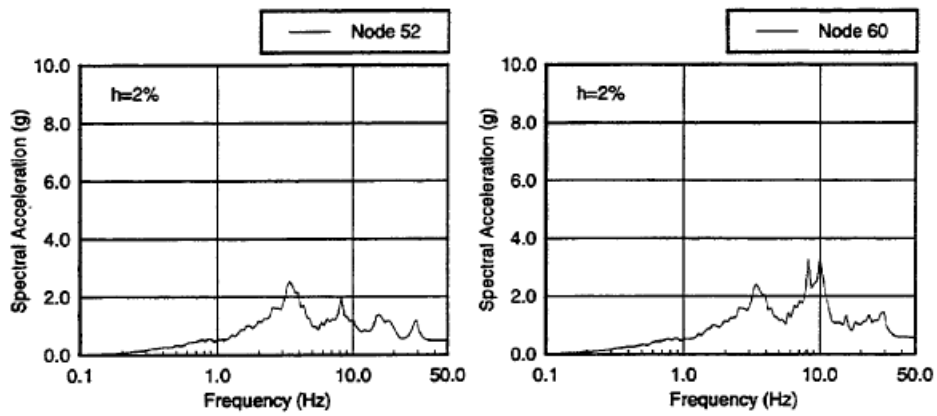


圖 3.62 Case 02 RPV-2 分析結果



(d) RPV Stick

圖 3.63 Case 02 RPV-2 Shimizu 分析結果

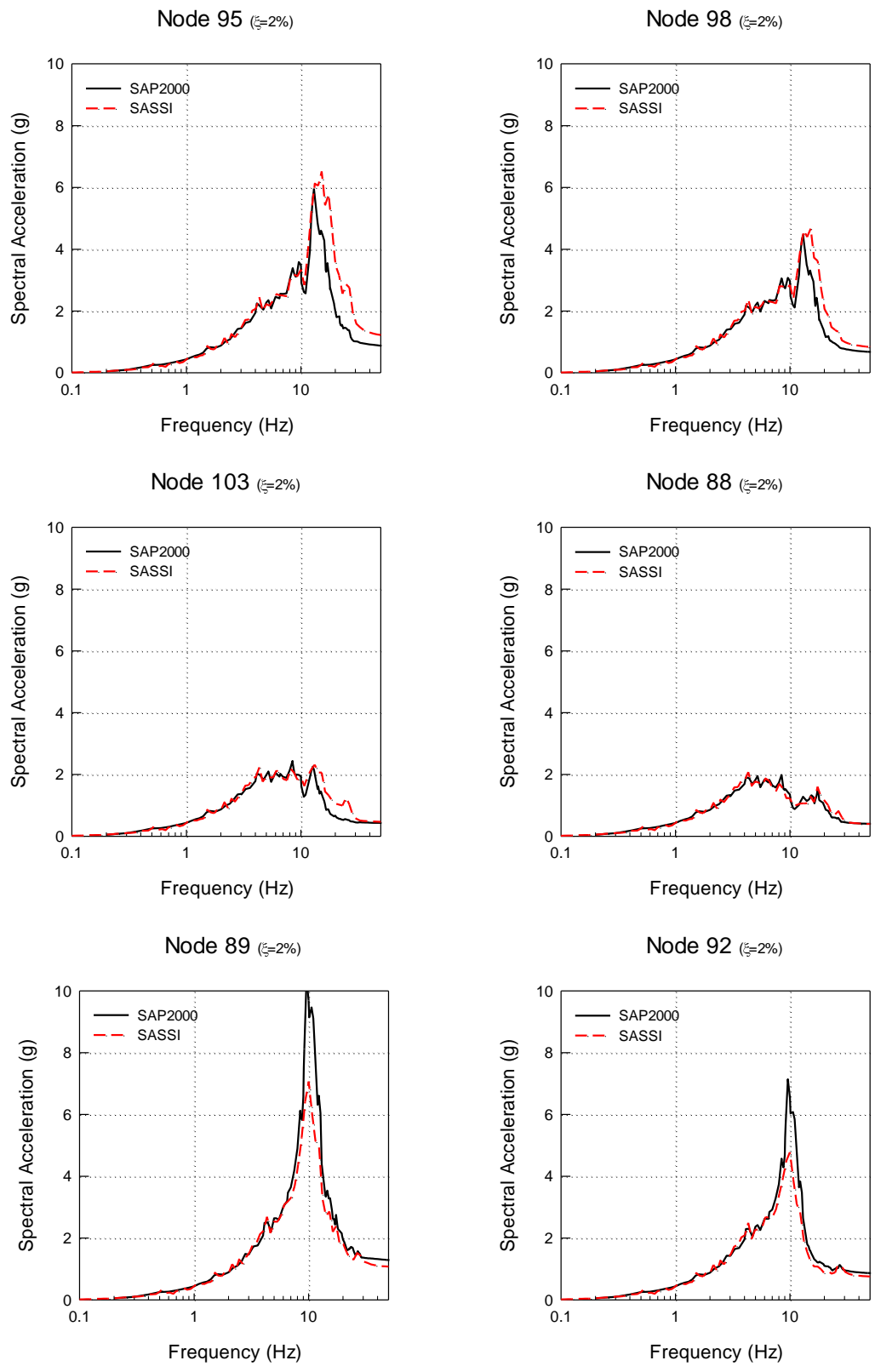
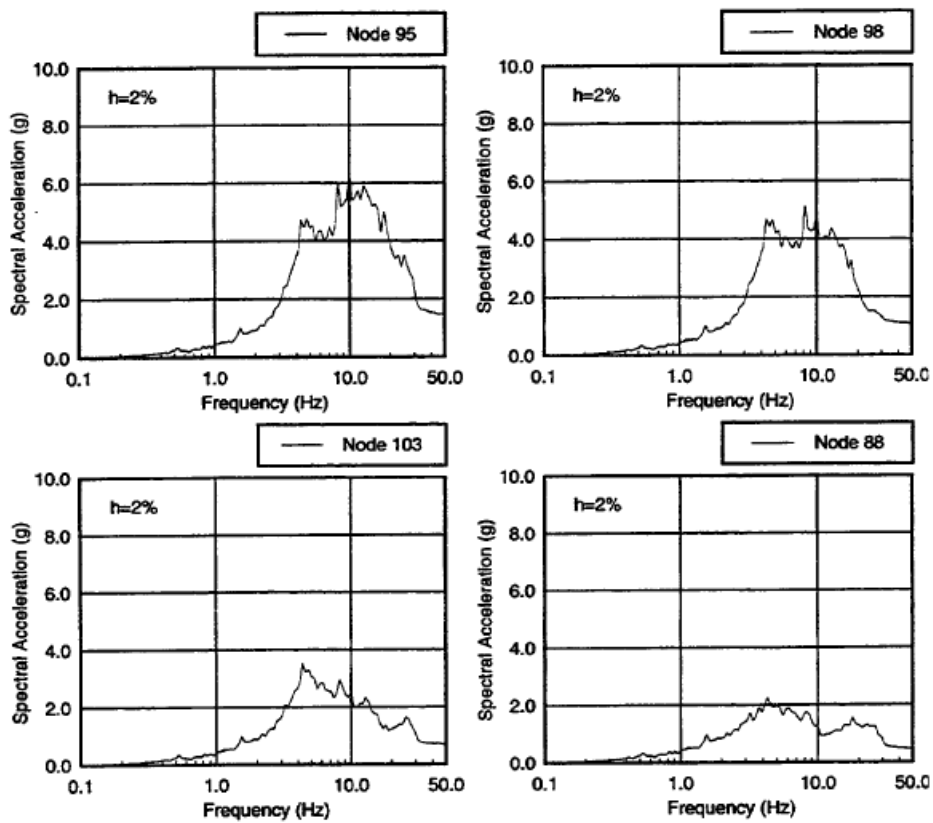
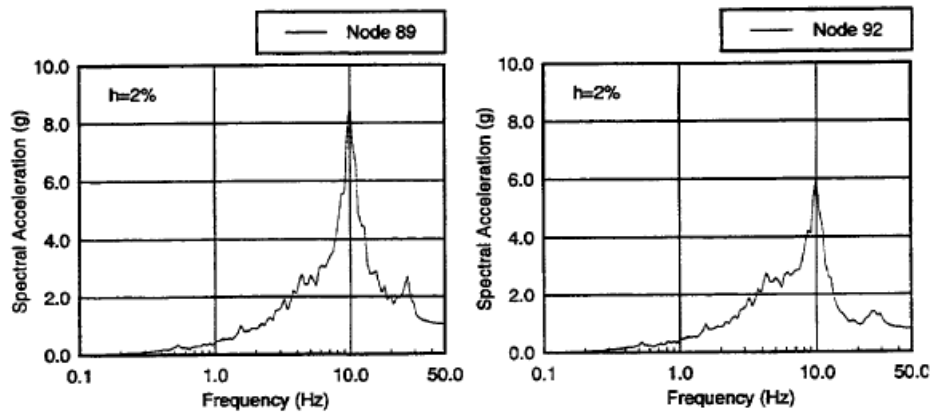


圖 3.64 Case 03 RW 及 RCCV 分析結果



(a) R/B Stick (Include Rocking Contribution)



(b) RCCV Stick (Include Rocking Contribution)

圖 3.65 Case 03 RW 及 RCCV Shimizu 分析結果

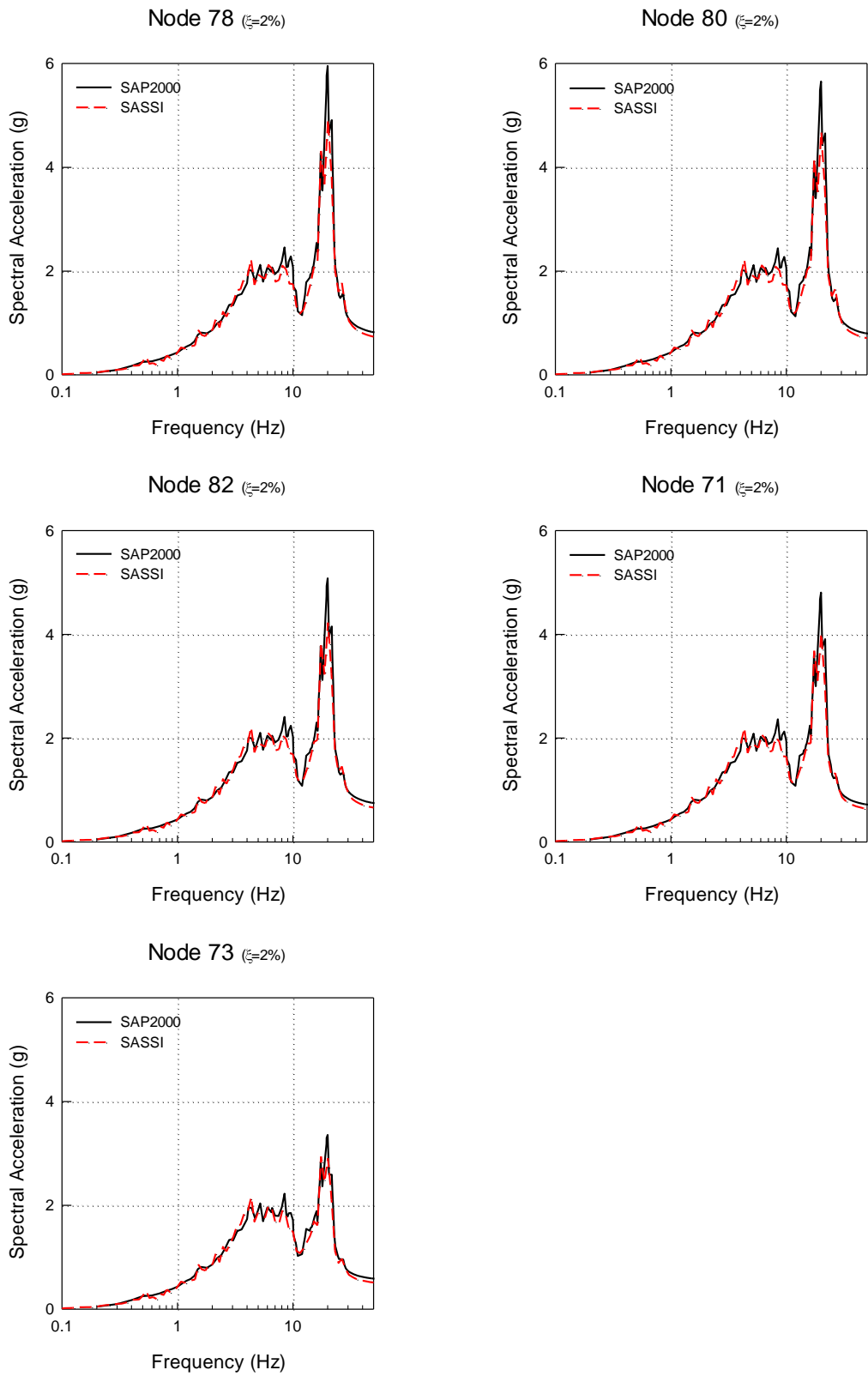
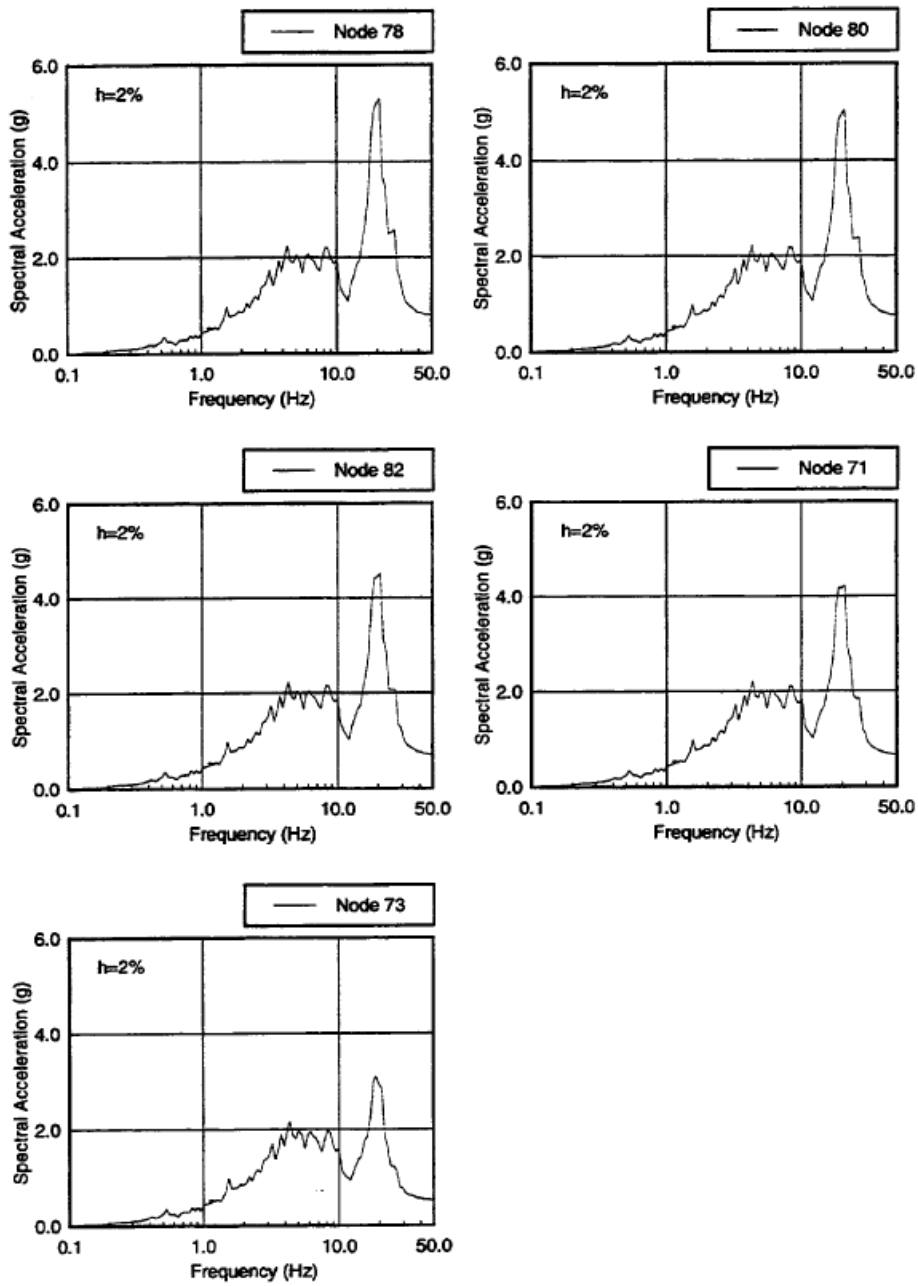


圖 3.66 Case 03 RSW 分析結果



(c) RSW/Pedestal Stick (Include Rocking Contribution)

圖 3.67 Case 03 RSW Shimizu 分析結果

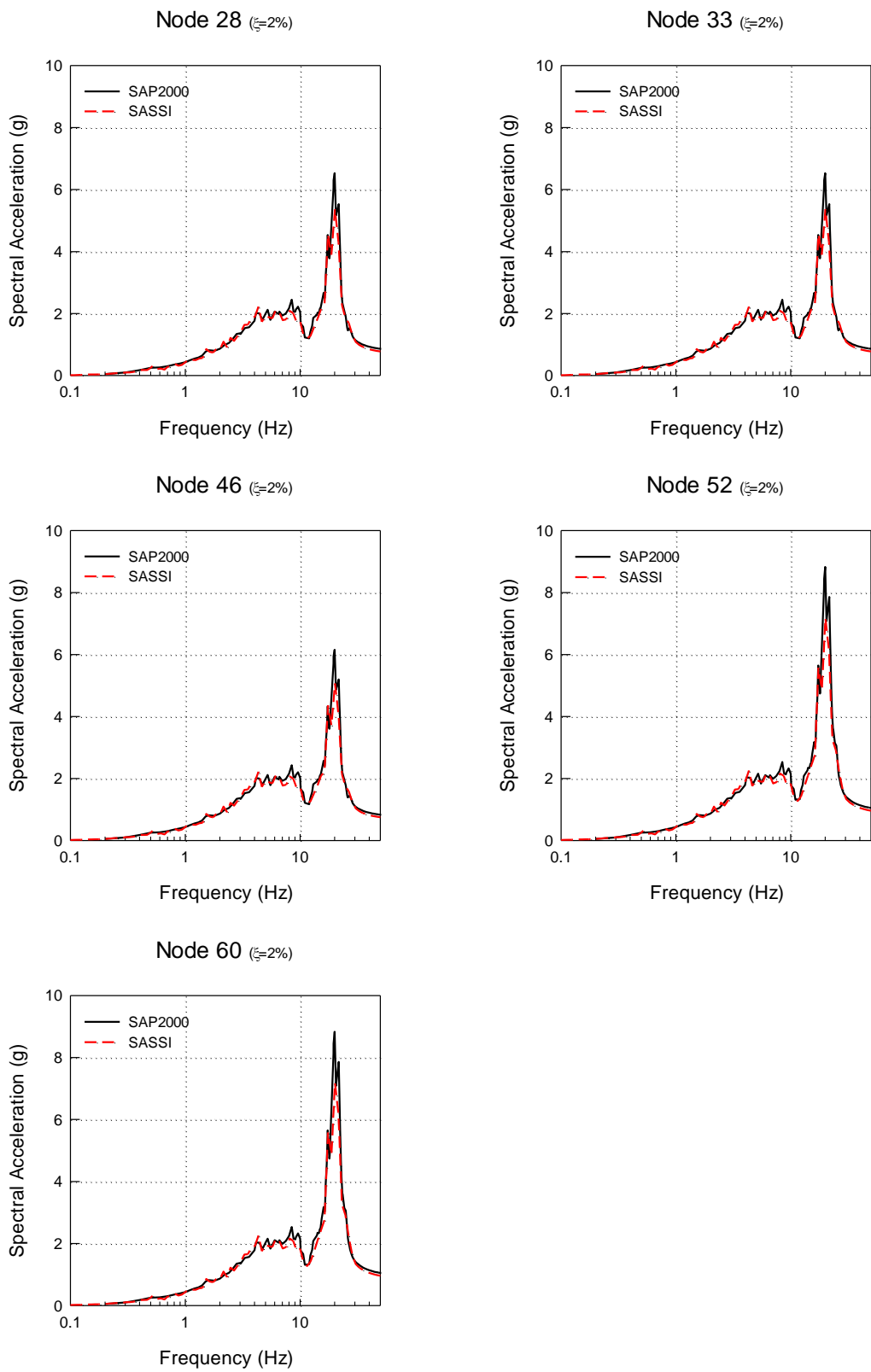
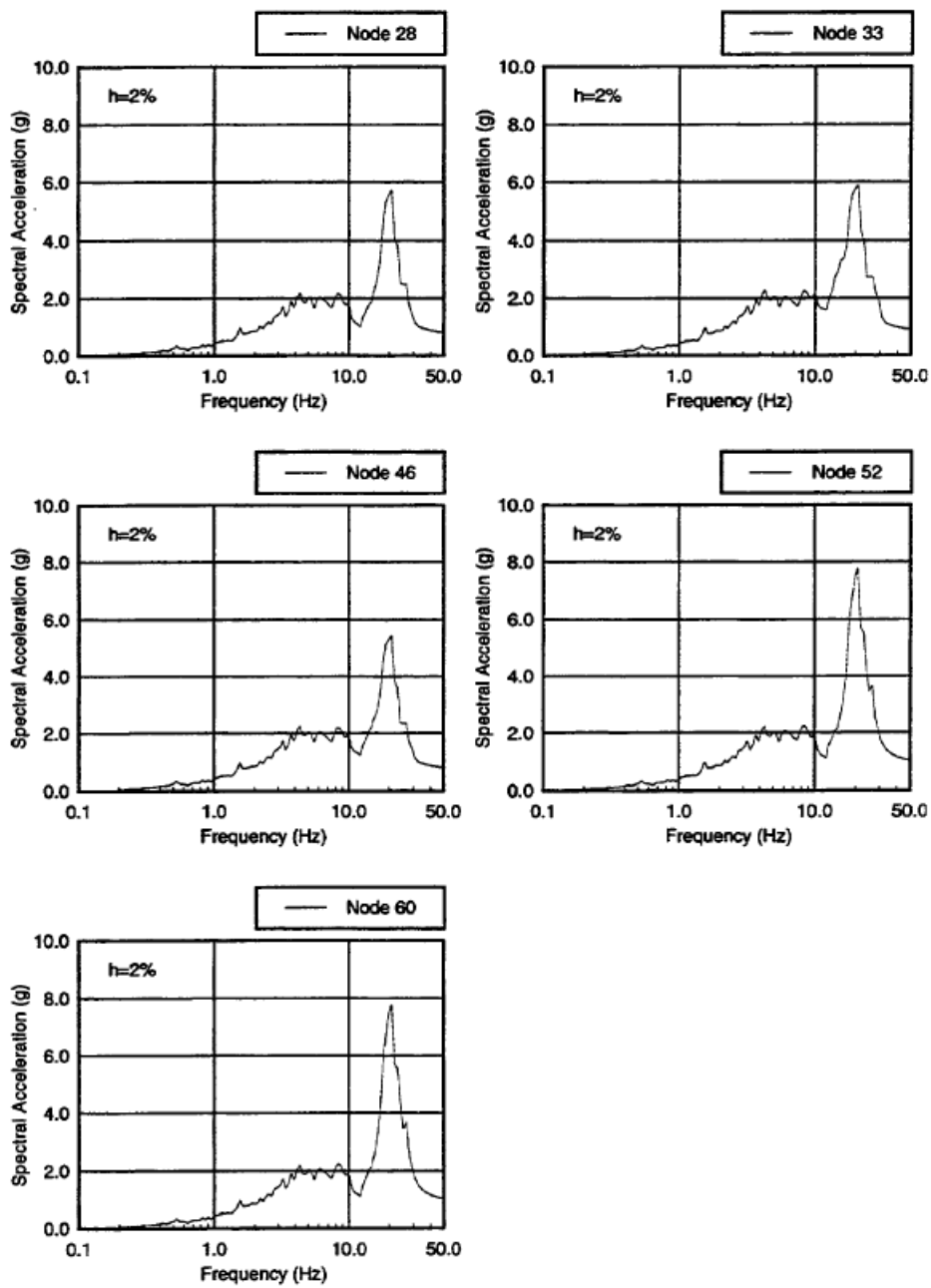


圖 3.68 Case 03 RPV 分析結果



(d) RPV Stick (Include Rocking Contribution)

圖 3.69 Case 03 RPV Shimizu 分析結果

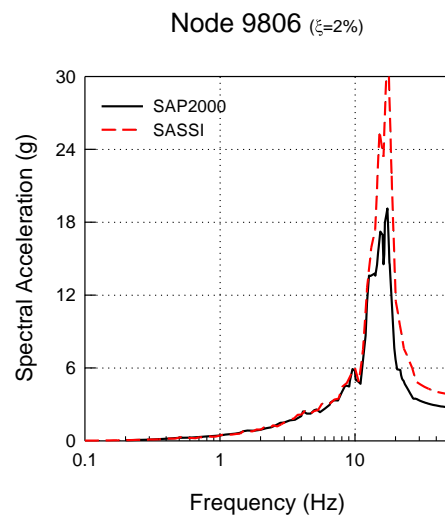
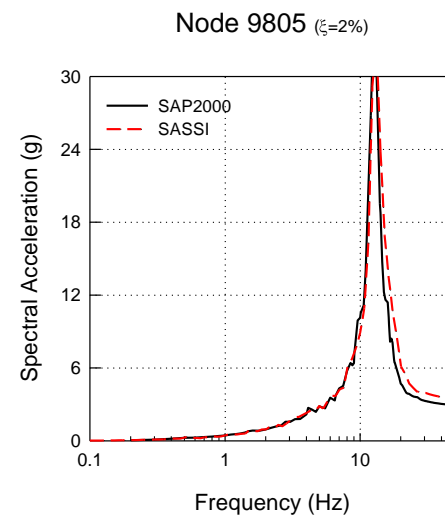
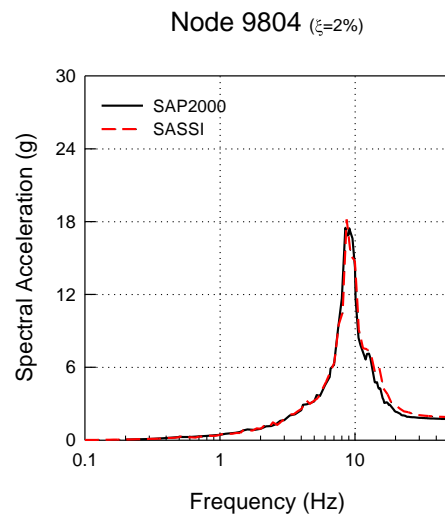
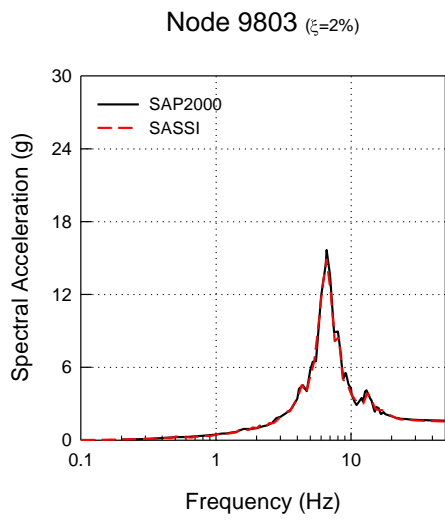
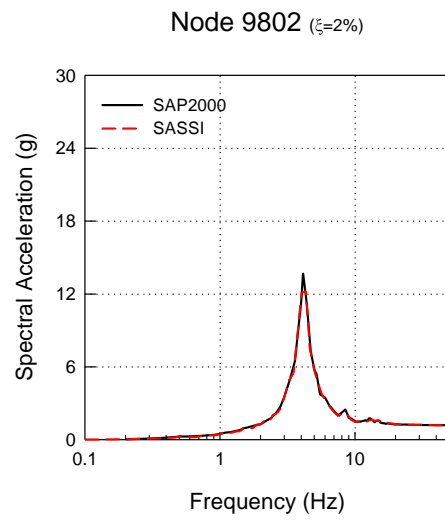
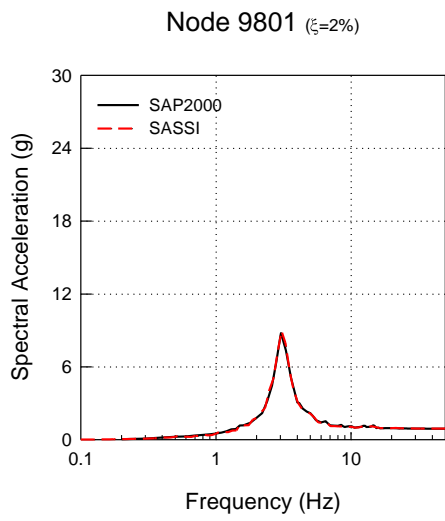
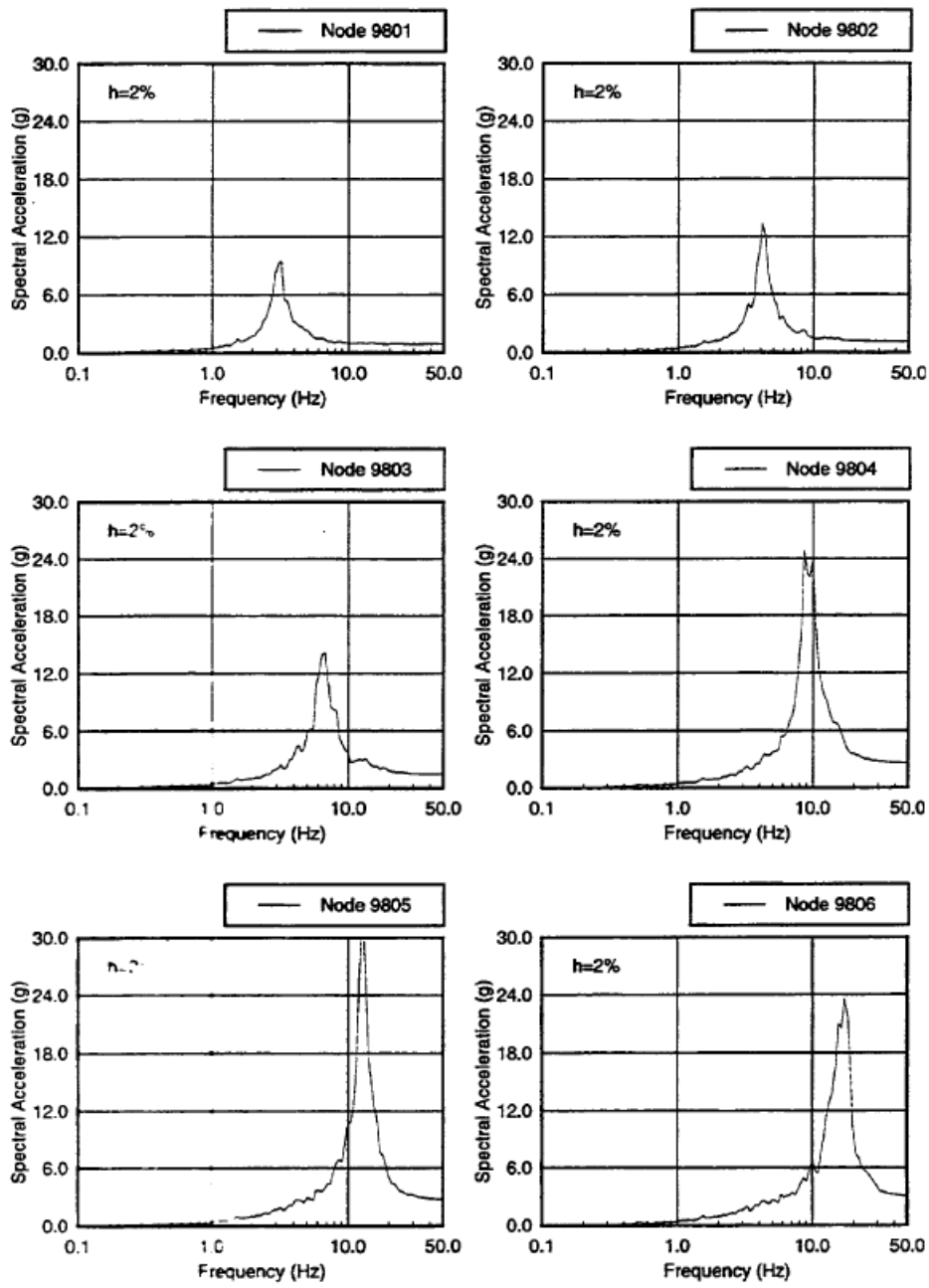


圖 3.70 Case 03 E.L. 49.7m(Floor)分析結果



(e) E.L. 49.7m (Floor)

圖 3.71 Case 03 E.L. 49.7m(Floor) Shimizu 分析結果

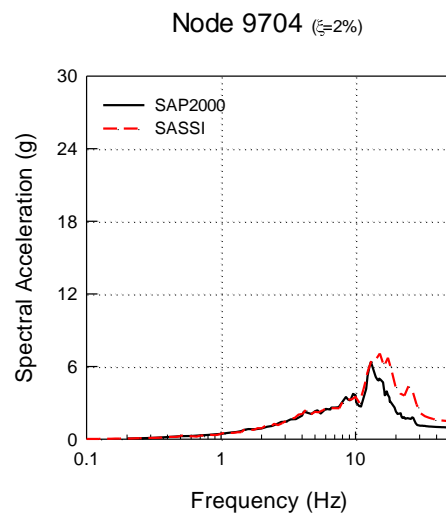
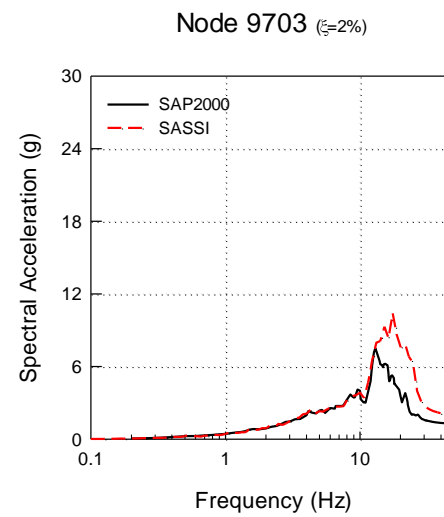
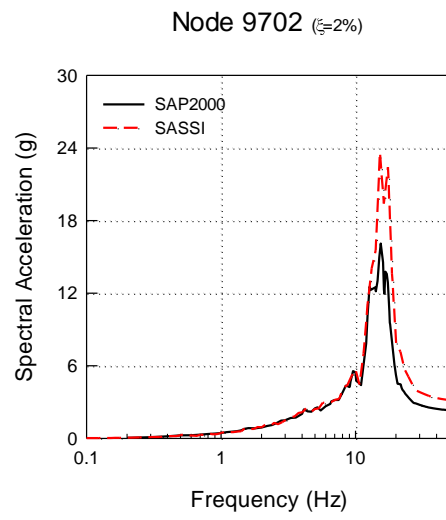
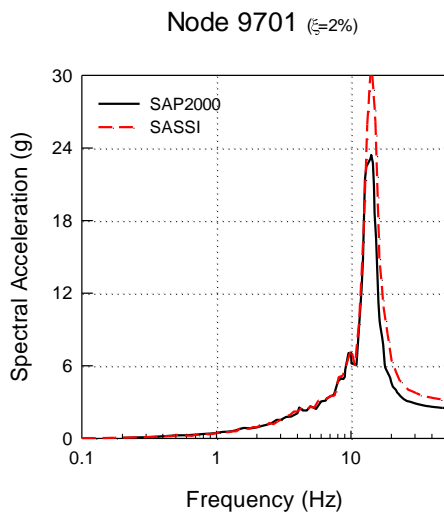
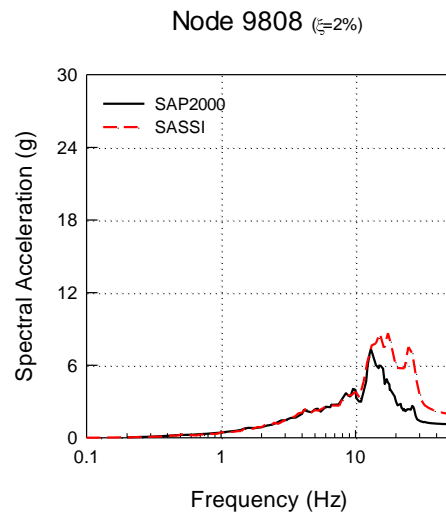
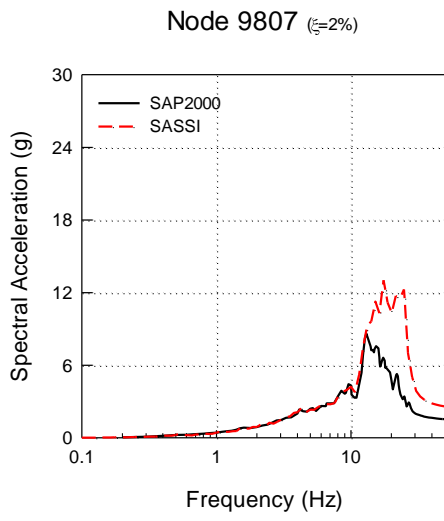


圖 3.72 Case 03 E.L. 38.2m(Floor)分析結果

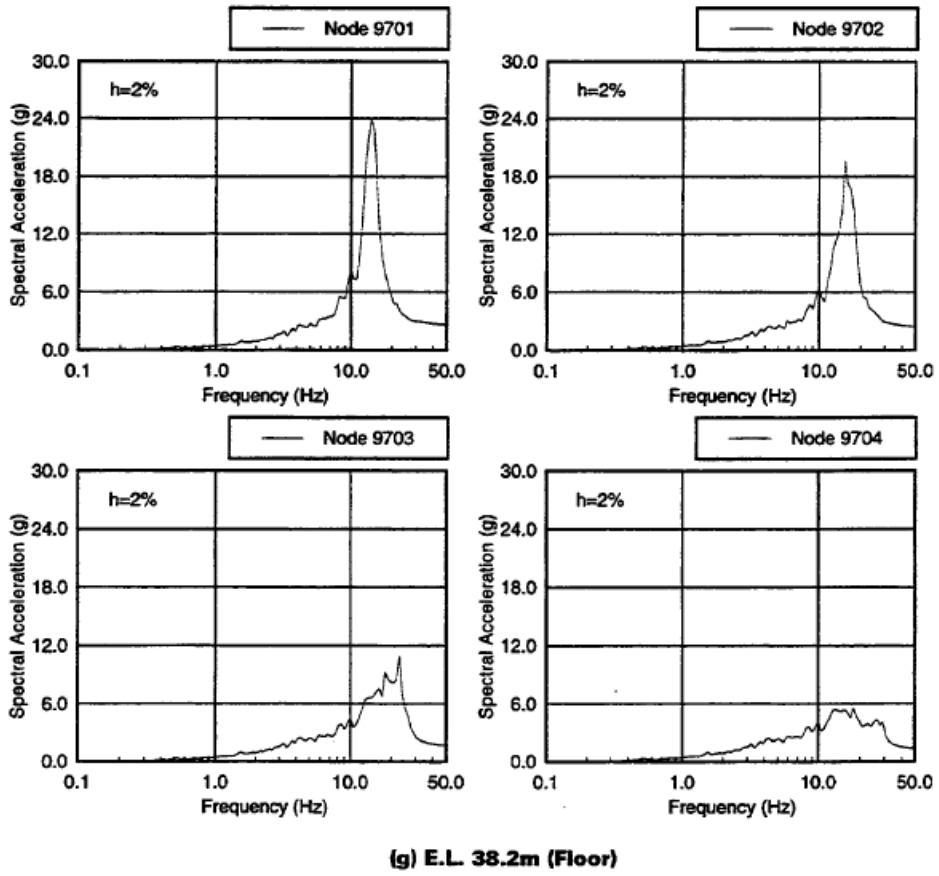
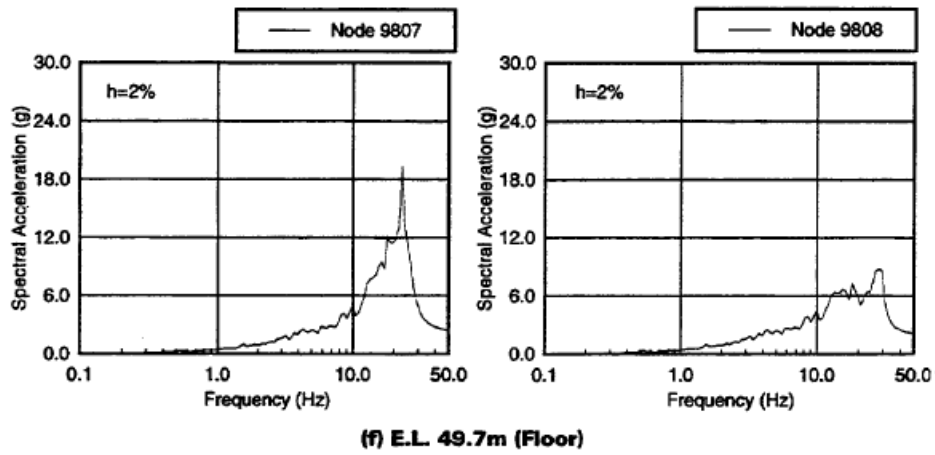


圖 3.73 Case 03 E.L. 38.2m(Floor) Shimizu 分析結果

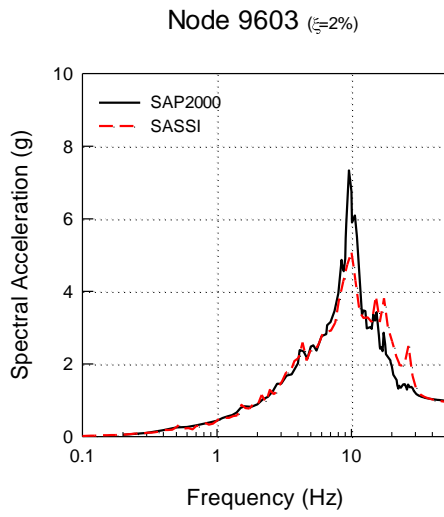
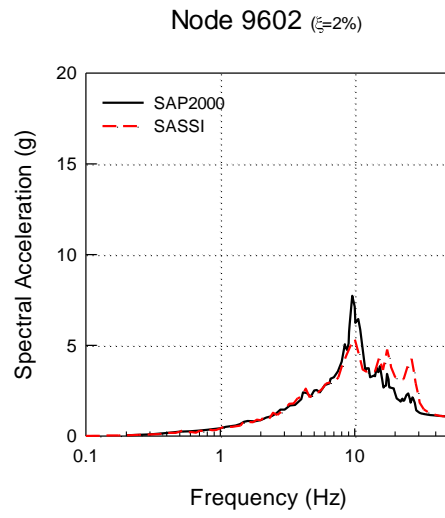
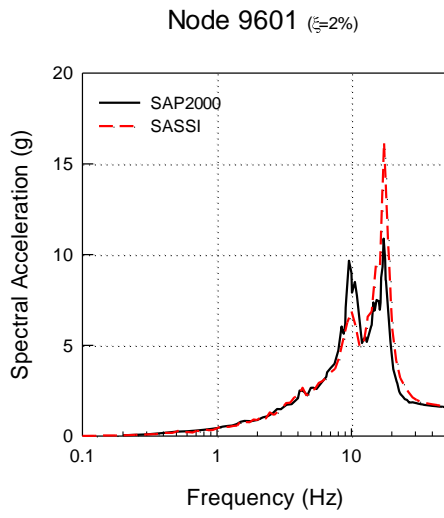


圖 3.74 Case 03 E.L. 31.7m(Floor)分析結果

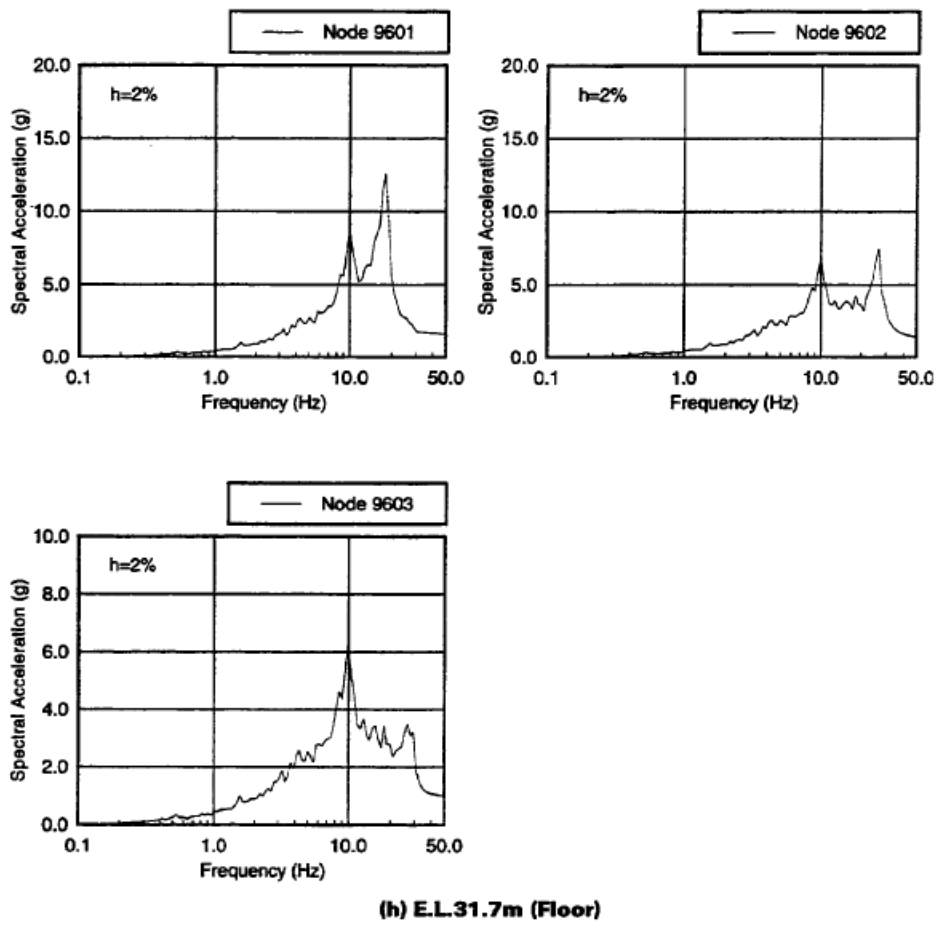


圖 3.75 Case 03 E.L. 31.7m(Floor) Shimizu 分析結果

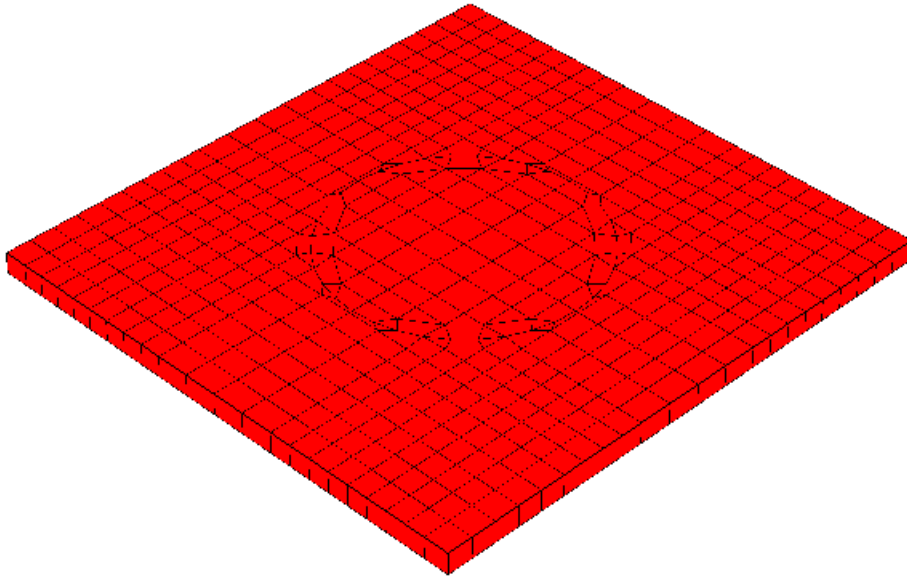


圖 4.1 SASSI Detailed Model 之基底實體元素分析模型

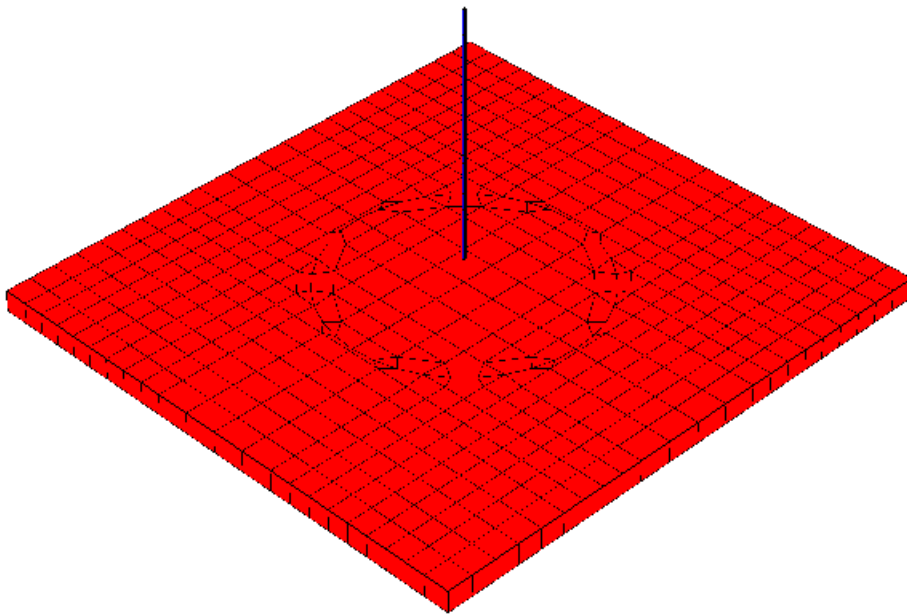


圖 4.2 SASSI Detailed Model 之 RSW 分析模型

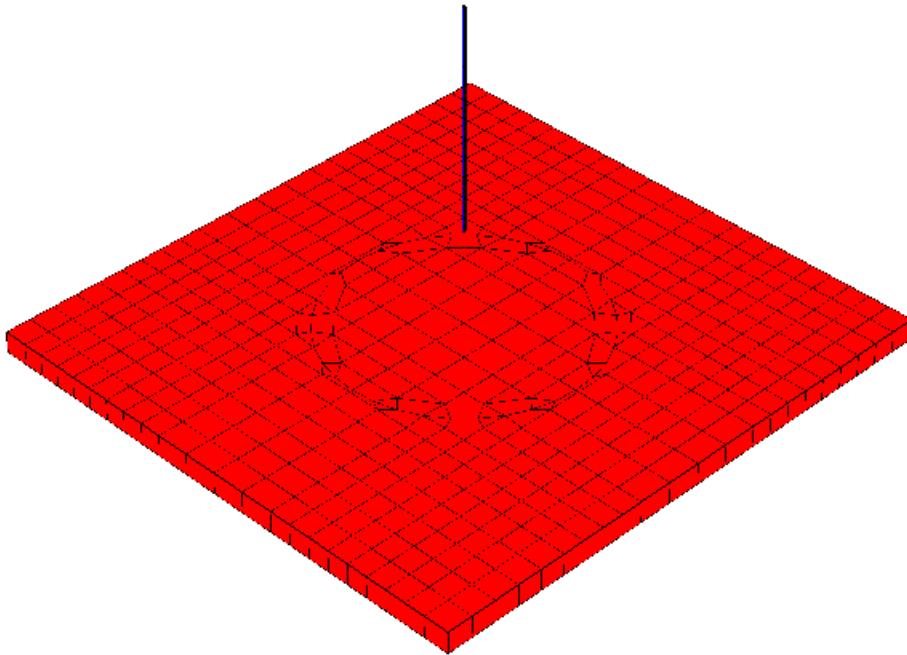


圖 4.3 SASSI Detailed Model 之 RPV 分析模型

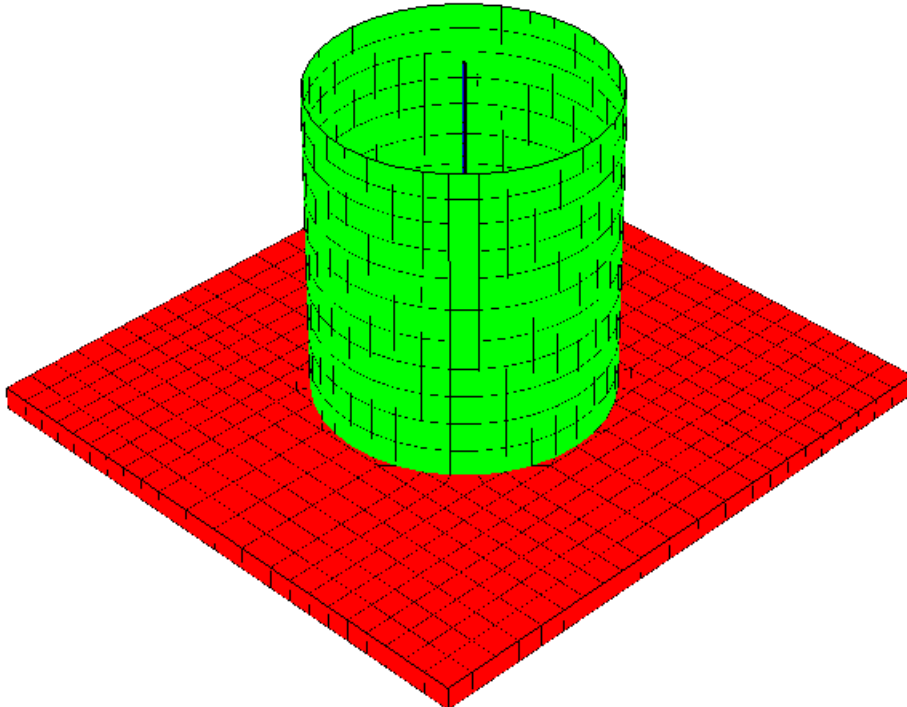


圖 4.4 SASSI Detailed Model 之 RCCV 分析模型

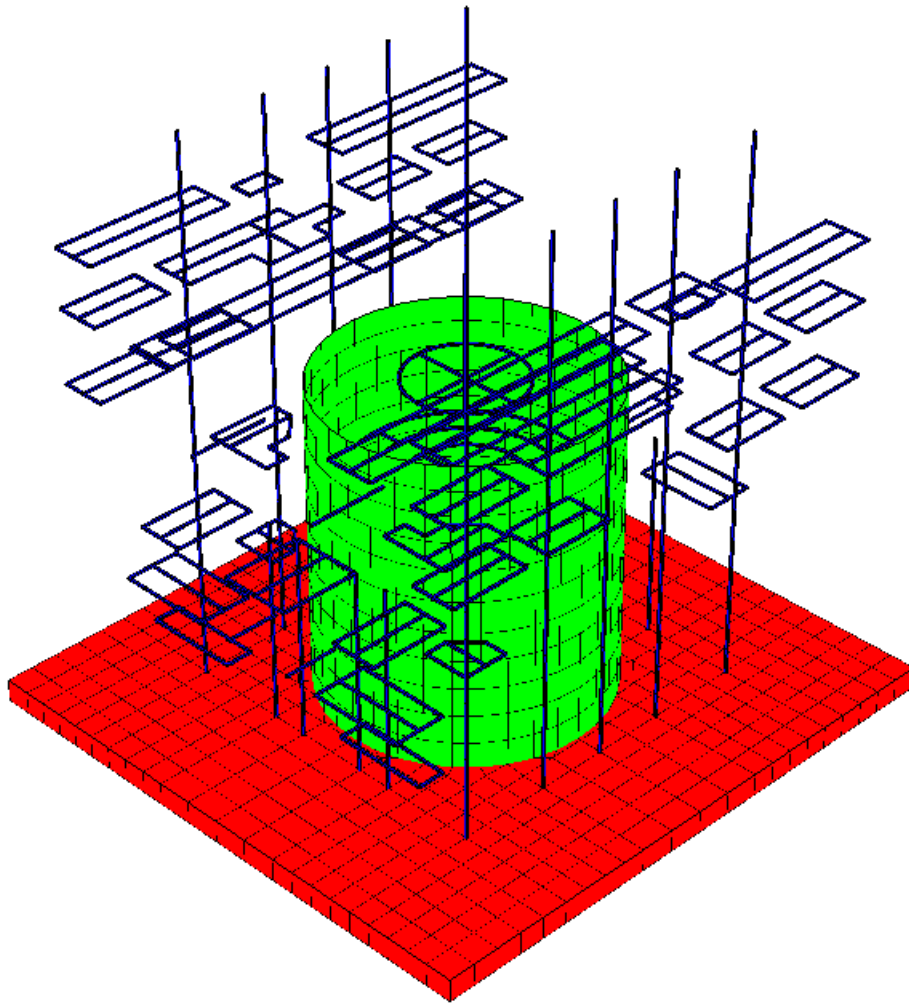


圖 4.5 SASSI Detailed Model 之柱及 Rigid Beam 分析模型

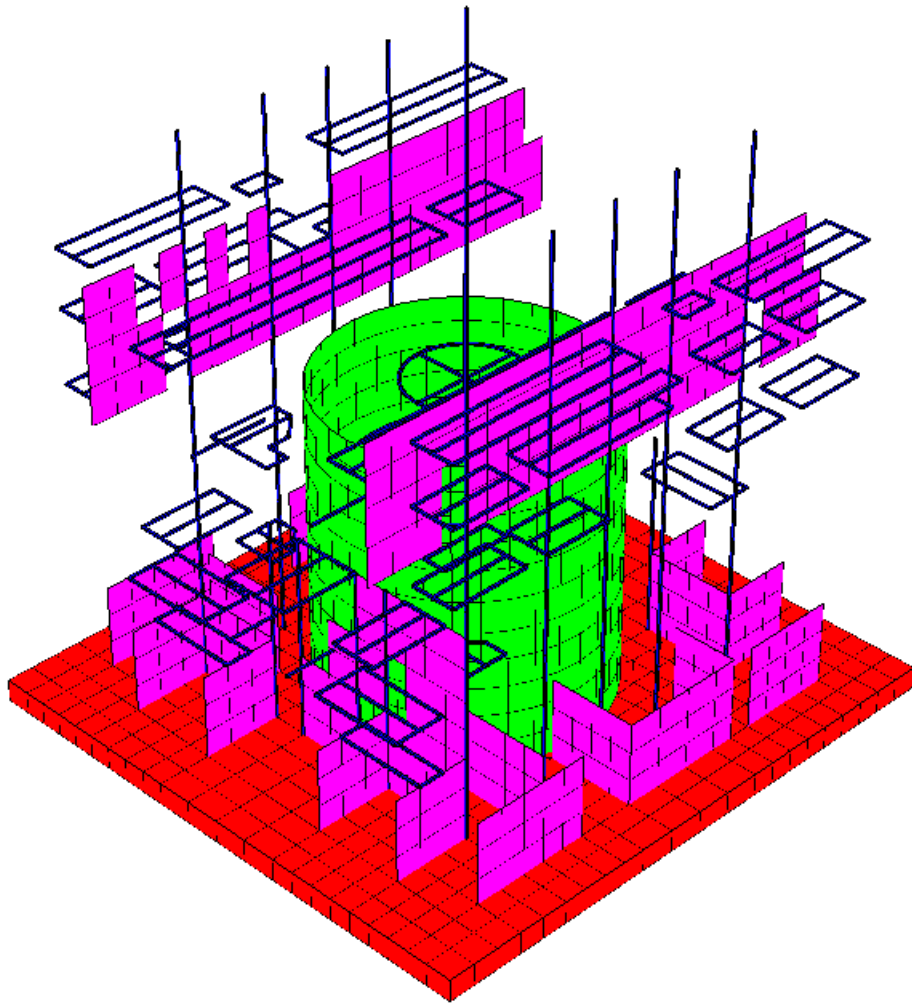


圖 4.6 SASSI Detailed Model 之內牆分析模型

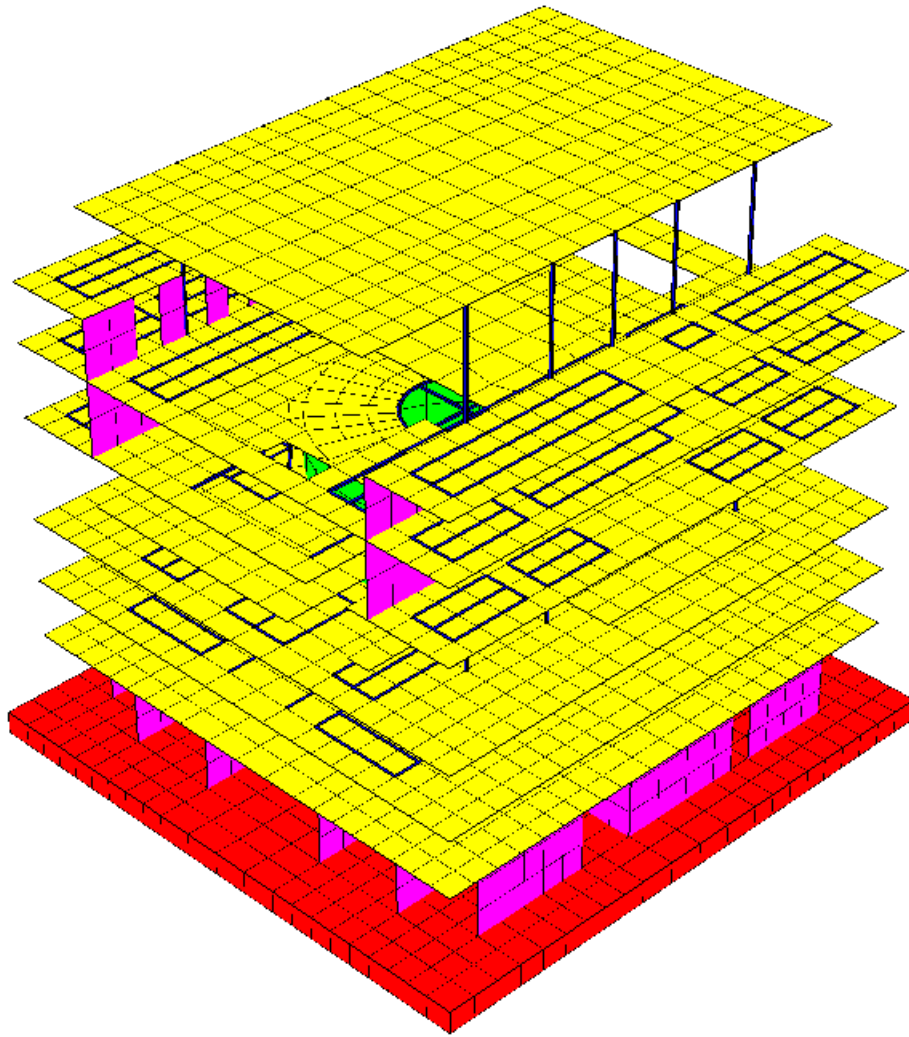


圖 4.7 SASSI Detailed Model 之樓版分析模型

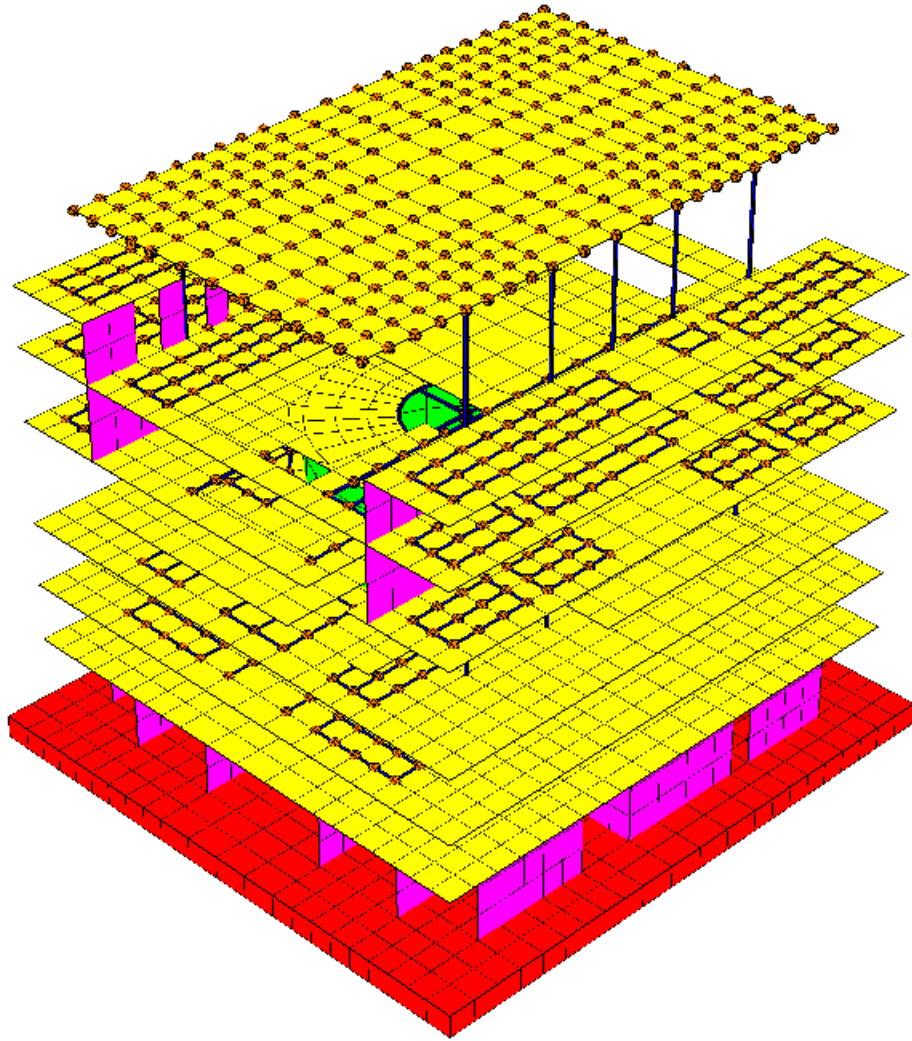


圖 4.8 SASSI Detailed Model 之集中質量分析模型

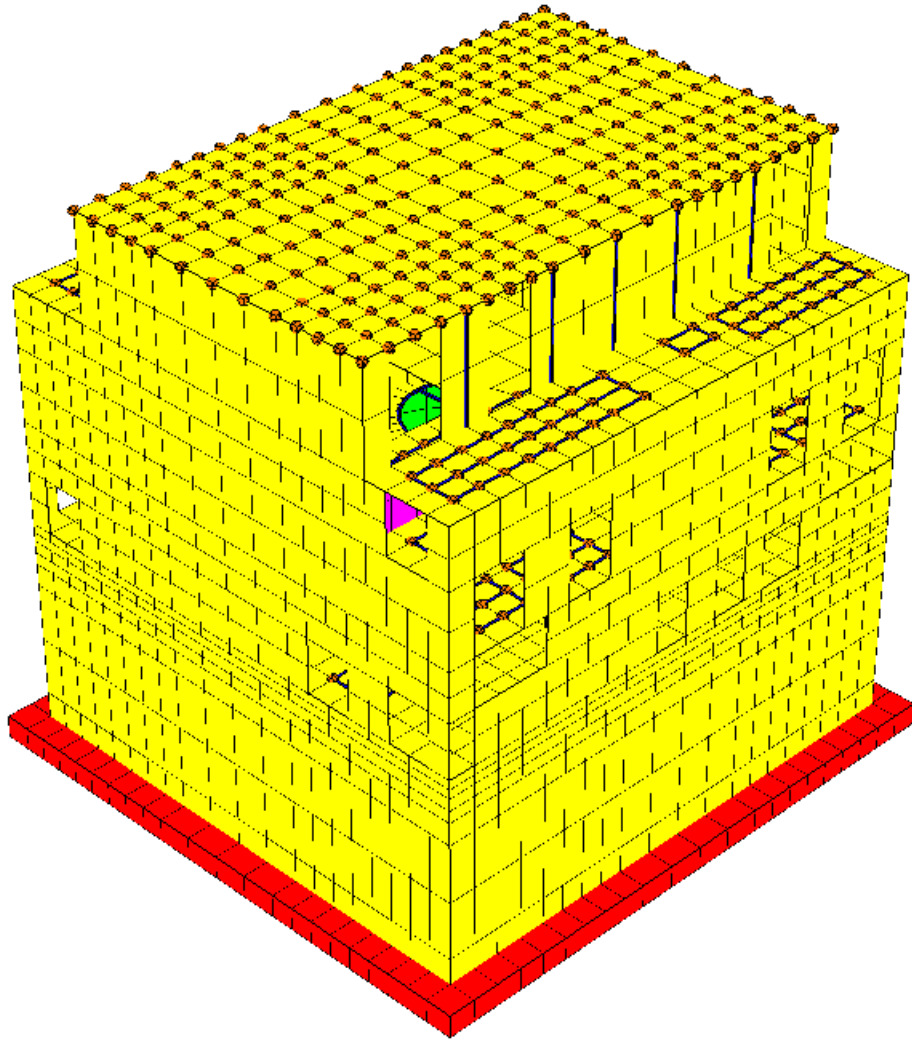


圖 4.9 SASSI Detailed Model 之外牆分析模型

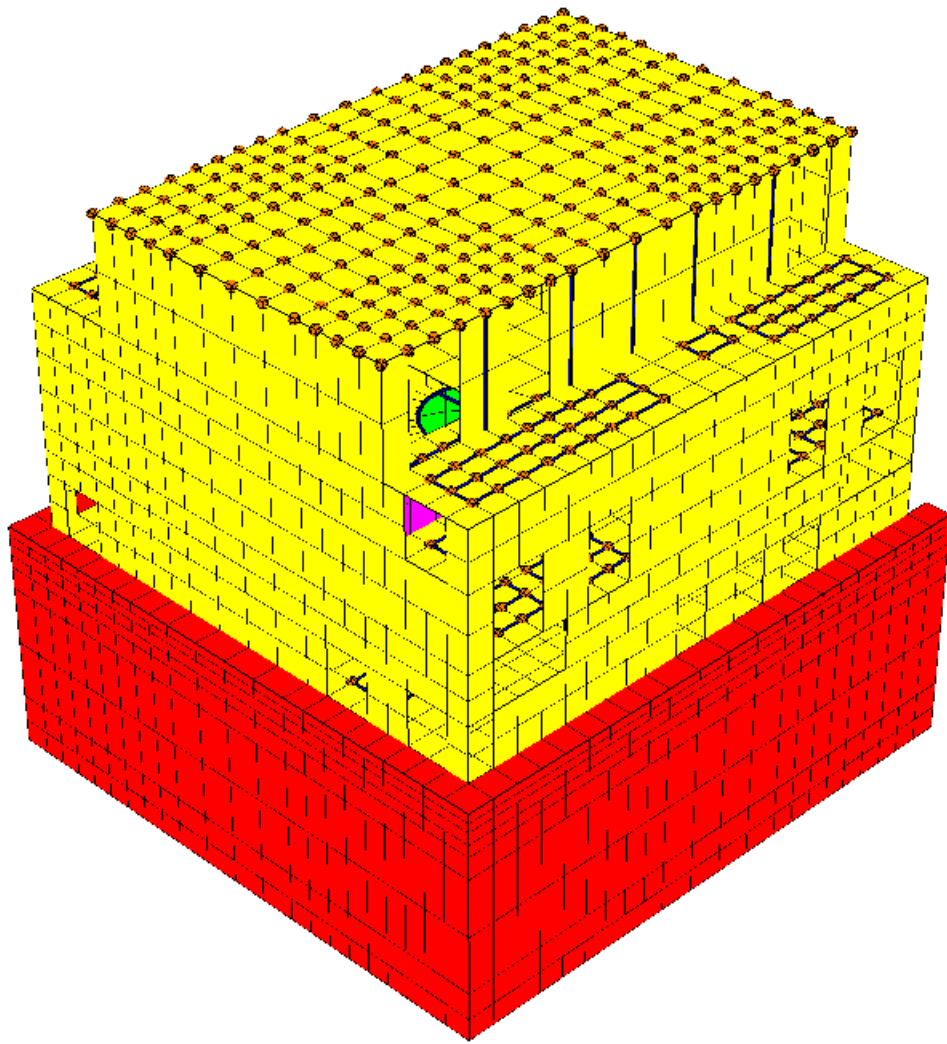


圖 4.10 SASSI Detailed Model 之回填基礎實體元素分析模型

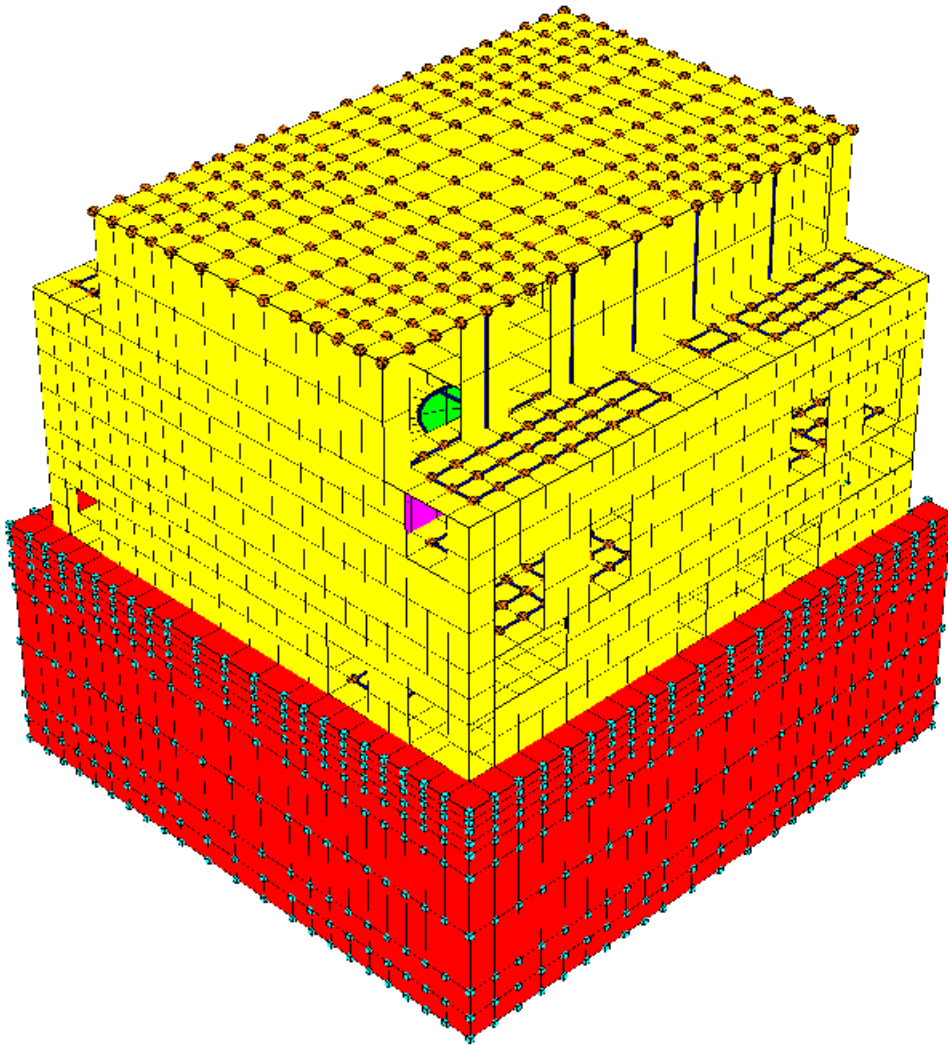


圖 4.11 SASSI Detailed Model 之土壤阻抗節點分析模型

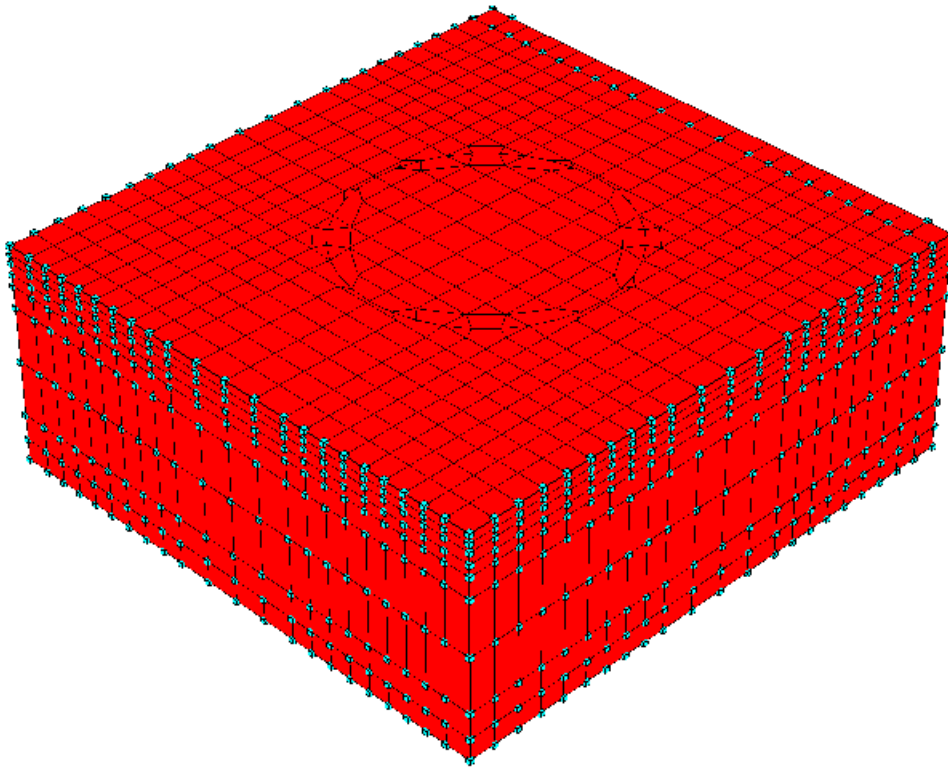


圖 4.12 SASSI Detailed Model 之土壤體積實體元素分析模型

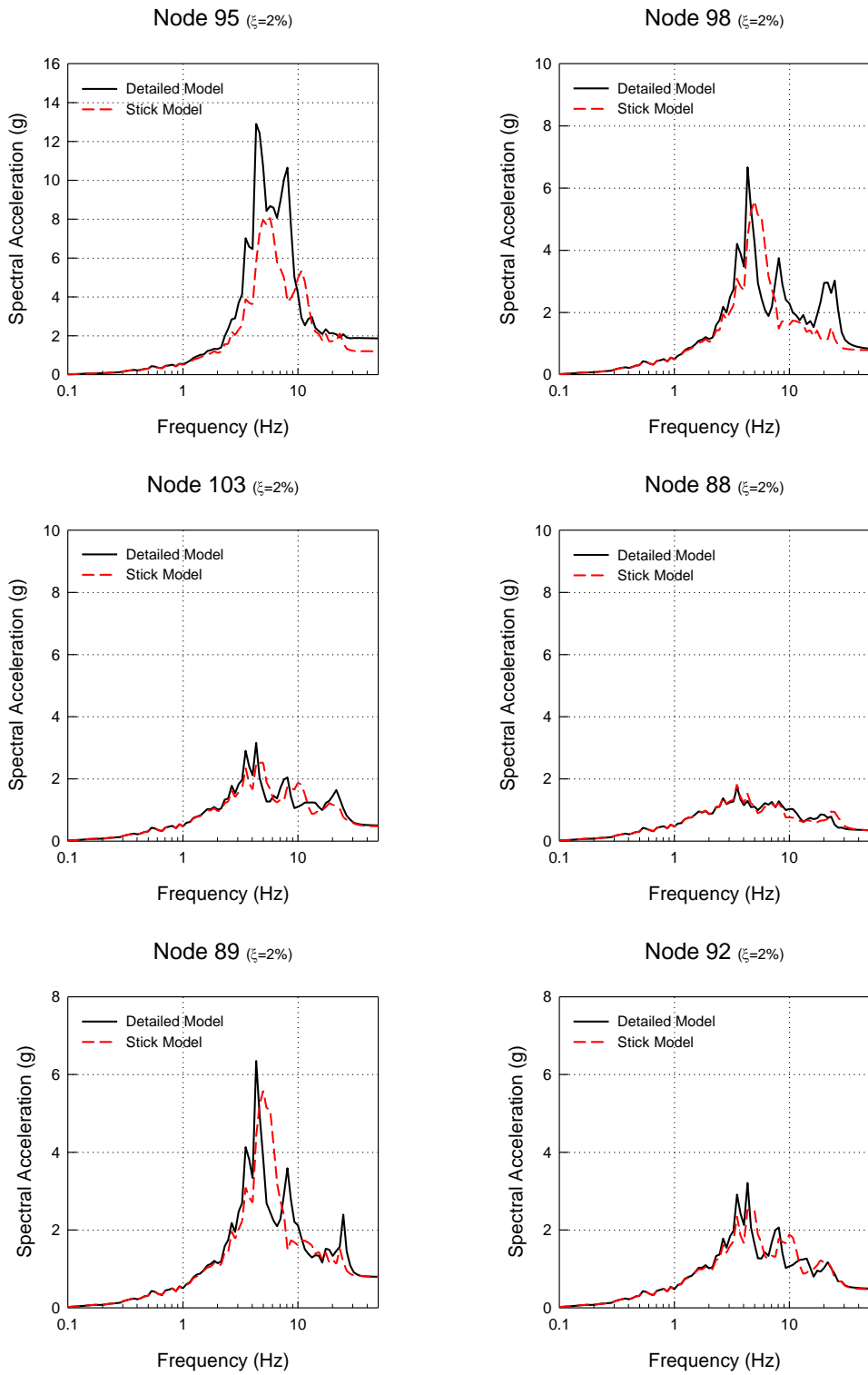


圖 4.13 Case-01 RW 及 RCCV 分析結果

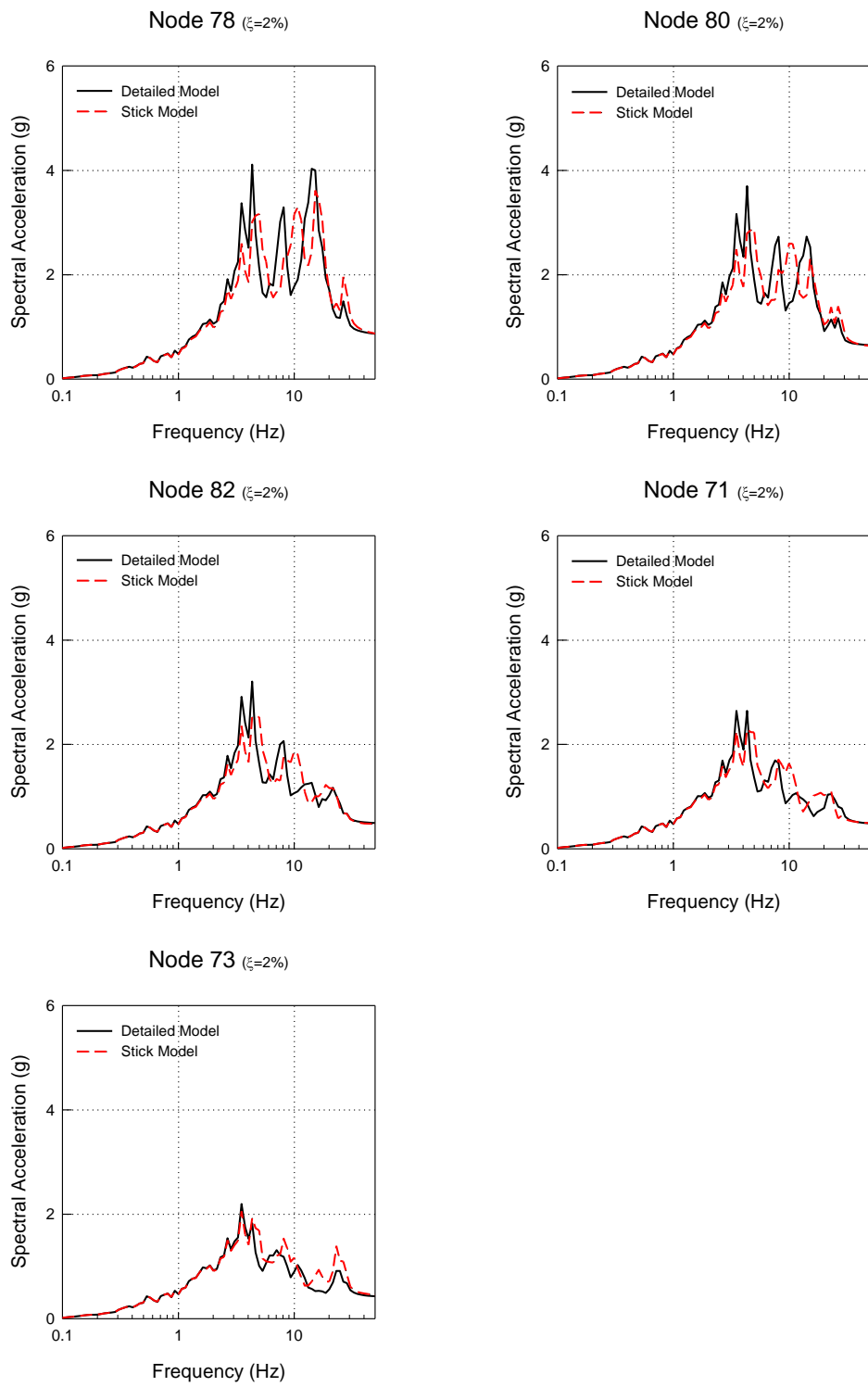


圖 4.14 Case-01 RSW 分析結果

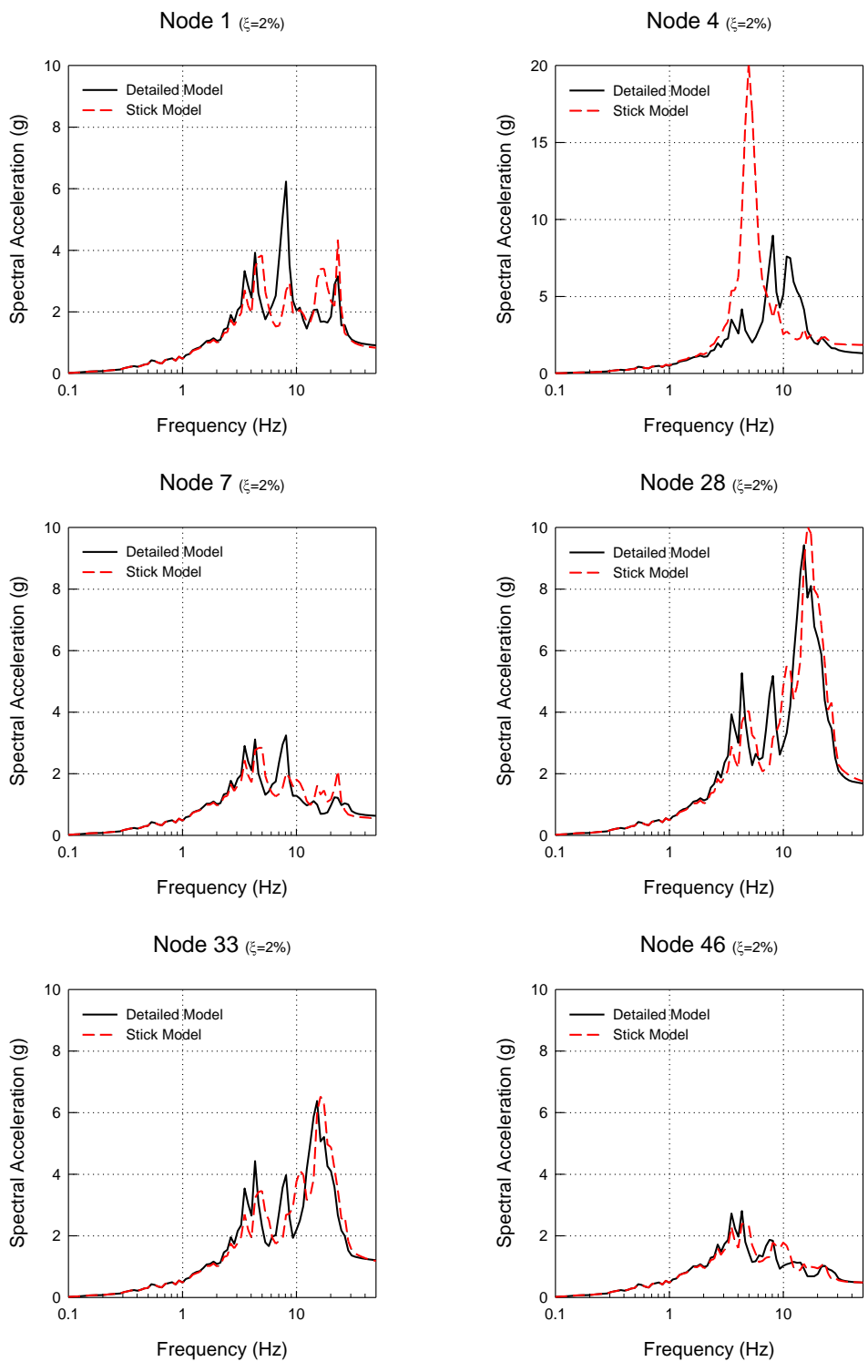


圖 4.15 Case-01 RPV-1 分析結果

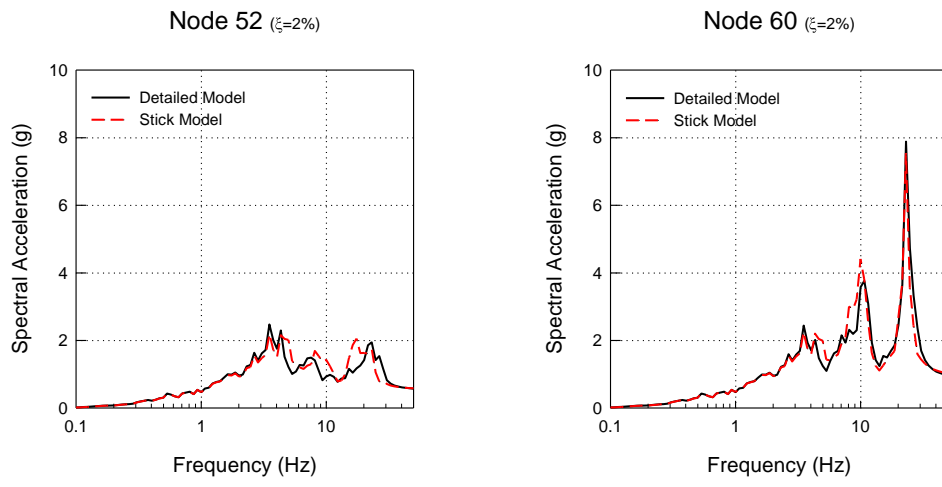


圖 4.16 Case-01 RPV-2 分析結果

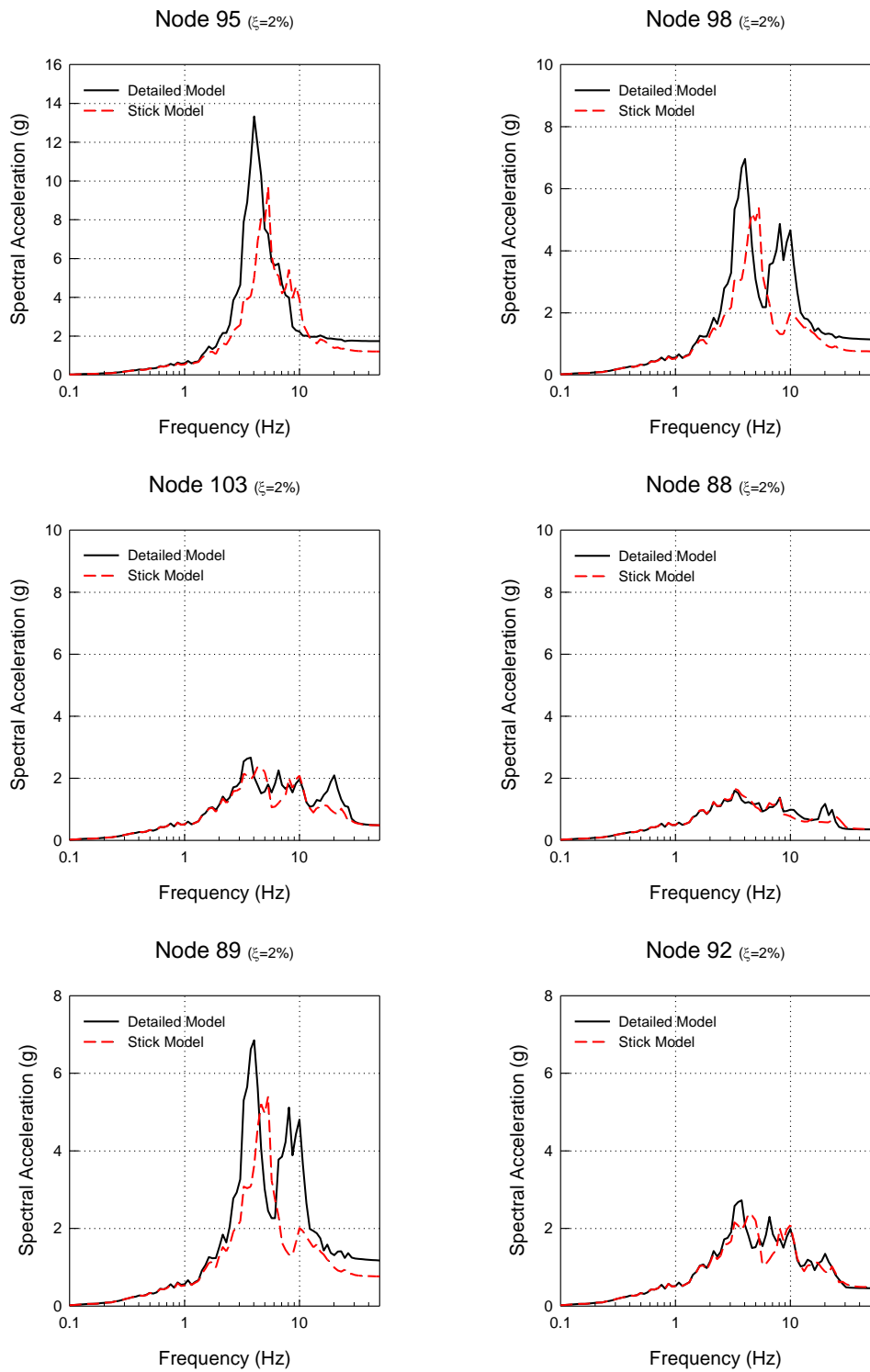


圖 4.17 Case-02 RW 及 RCCV 分析結果

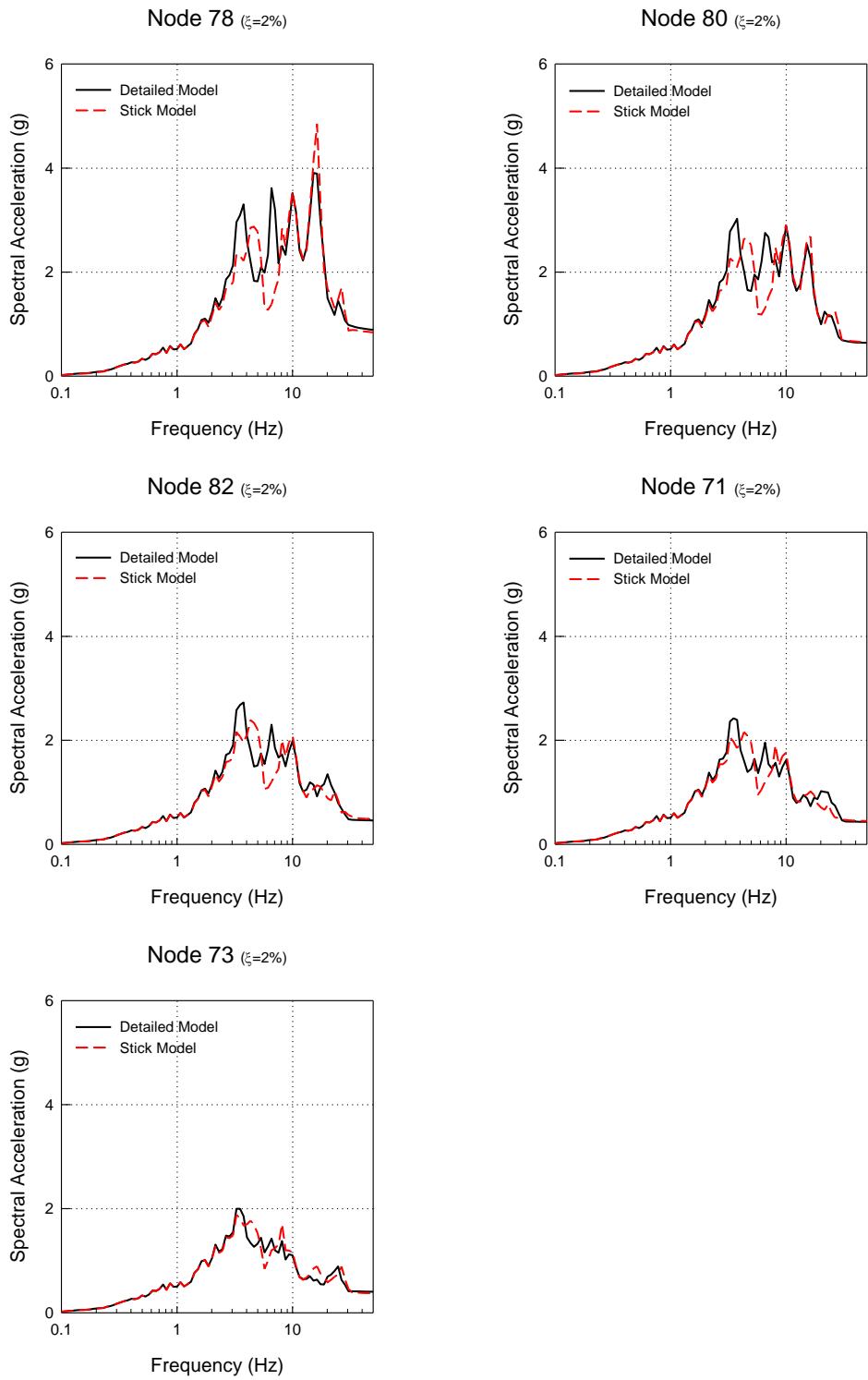


圖 4.18 Case-02 RSW 分析結果

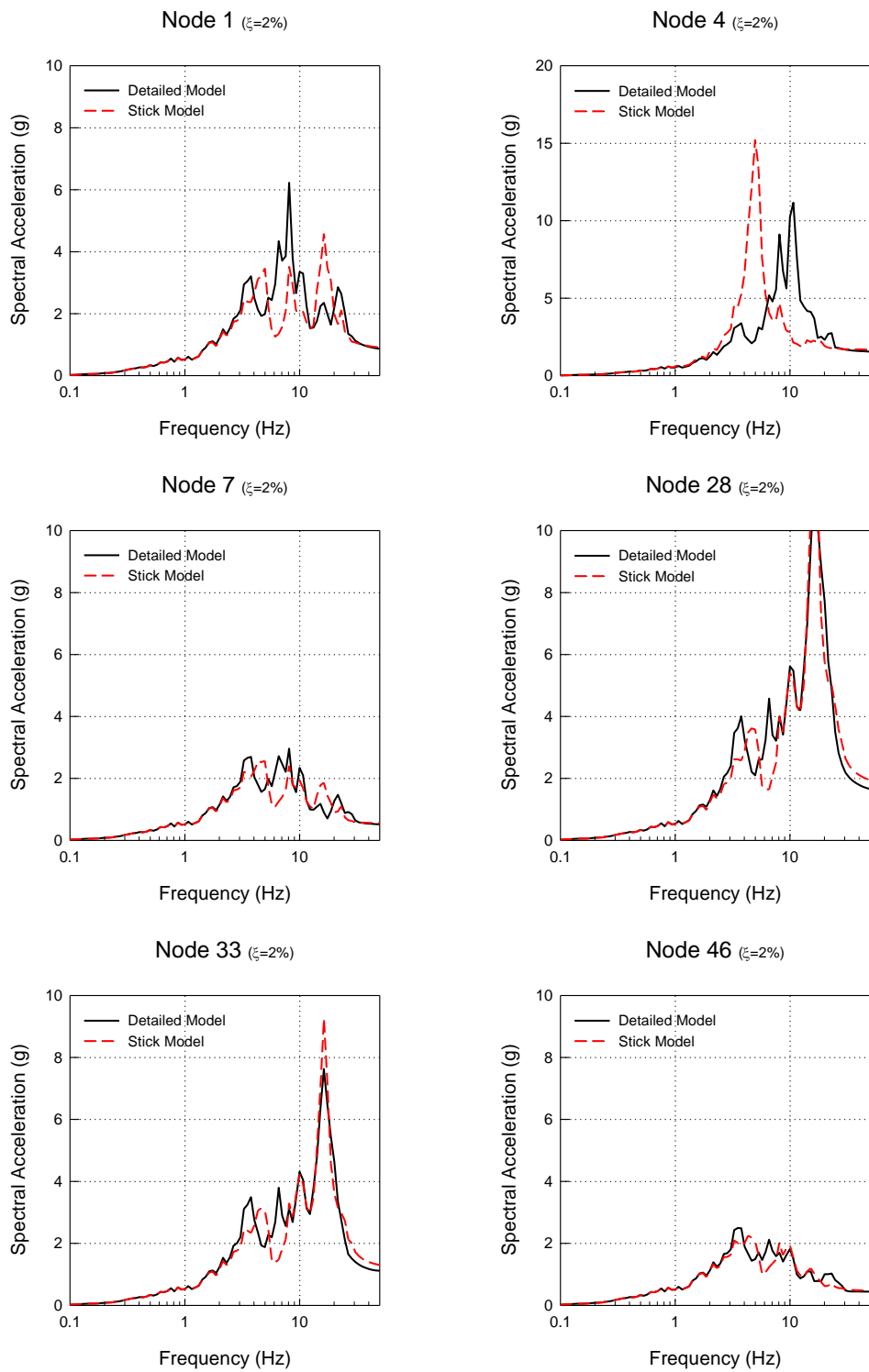


圖 4.19 Case-02 RPV-1 分析結果

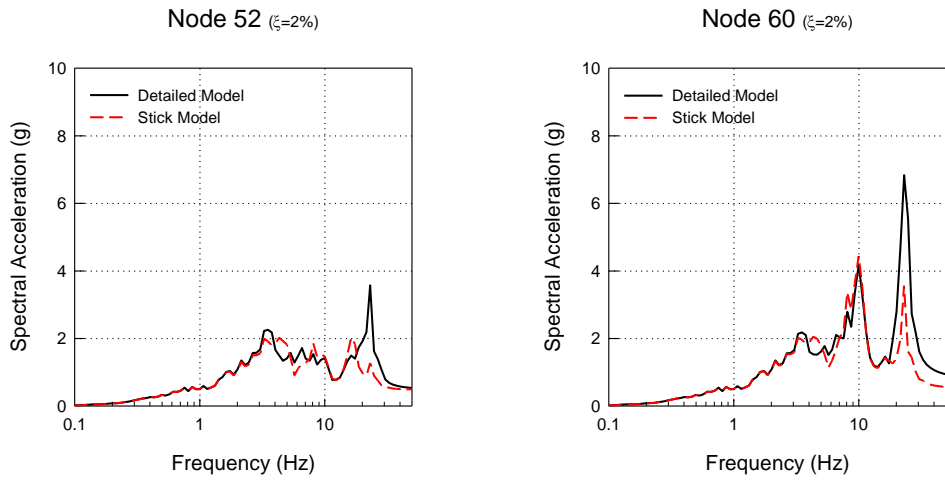


圖 4.20 Case-02 RPV-2 分析結果

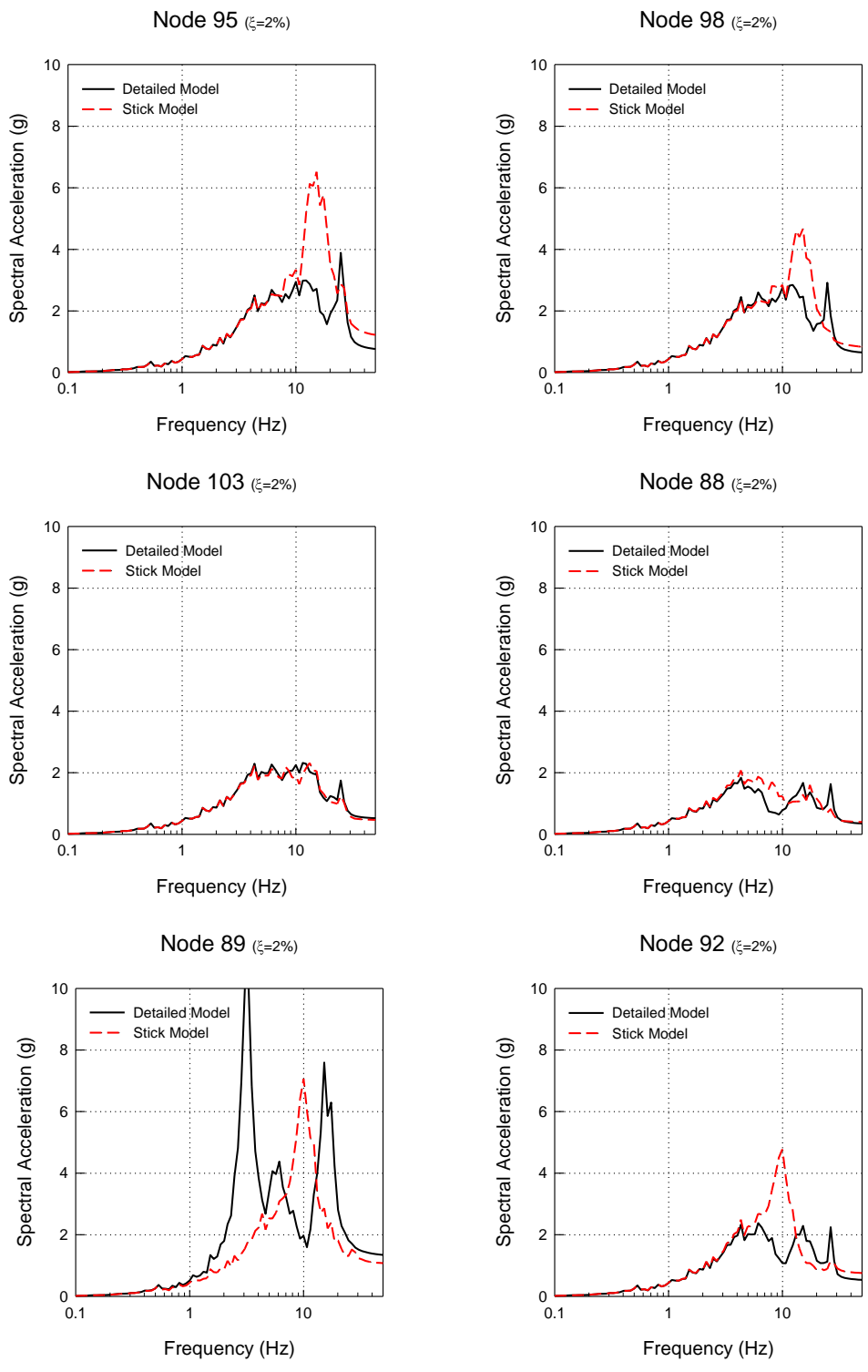


圖 4.21 Case-03 RW 及 RCCV 分析結果

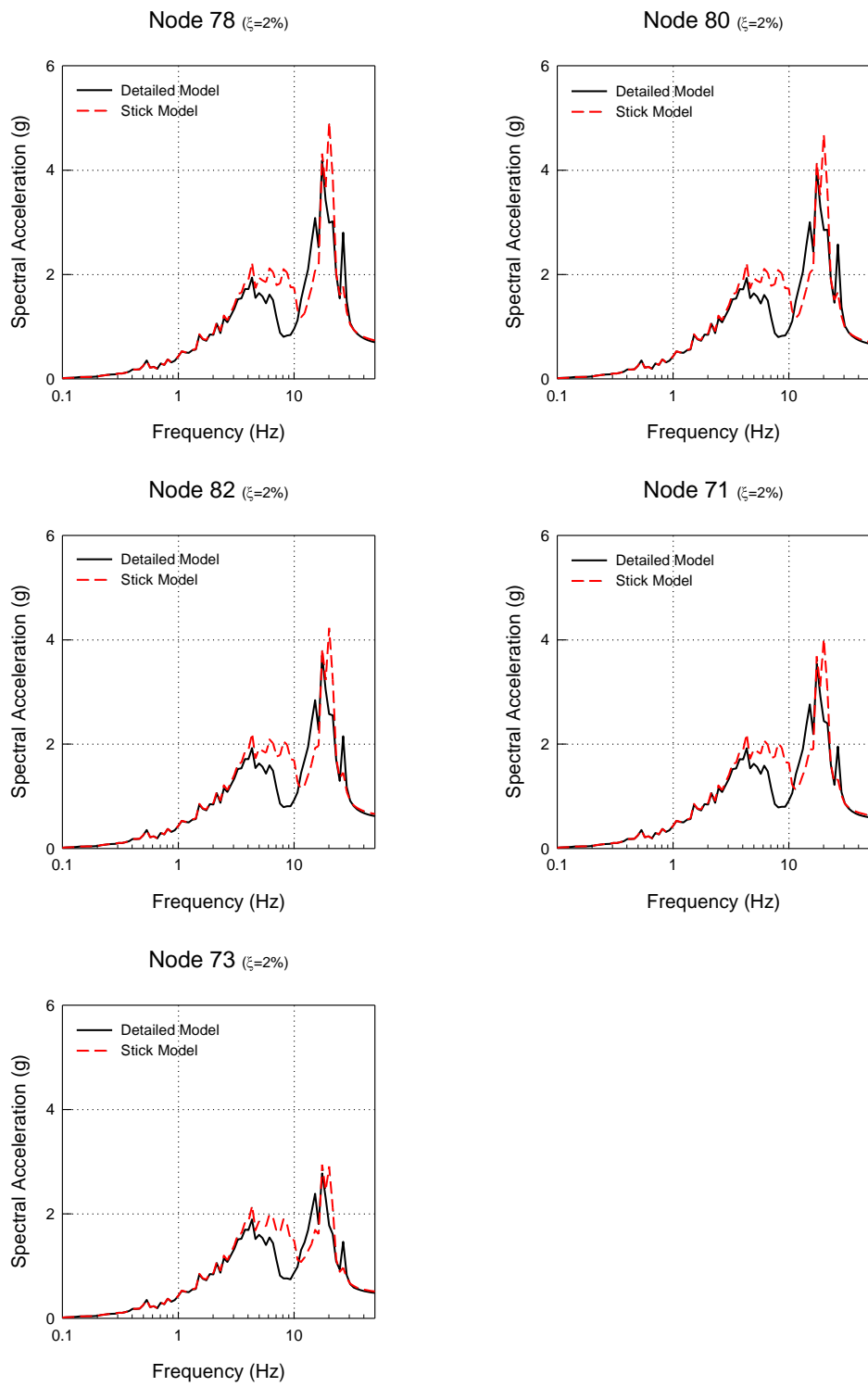


圖 4.22 Case-03 RSW 分析結果

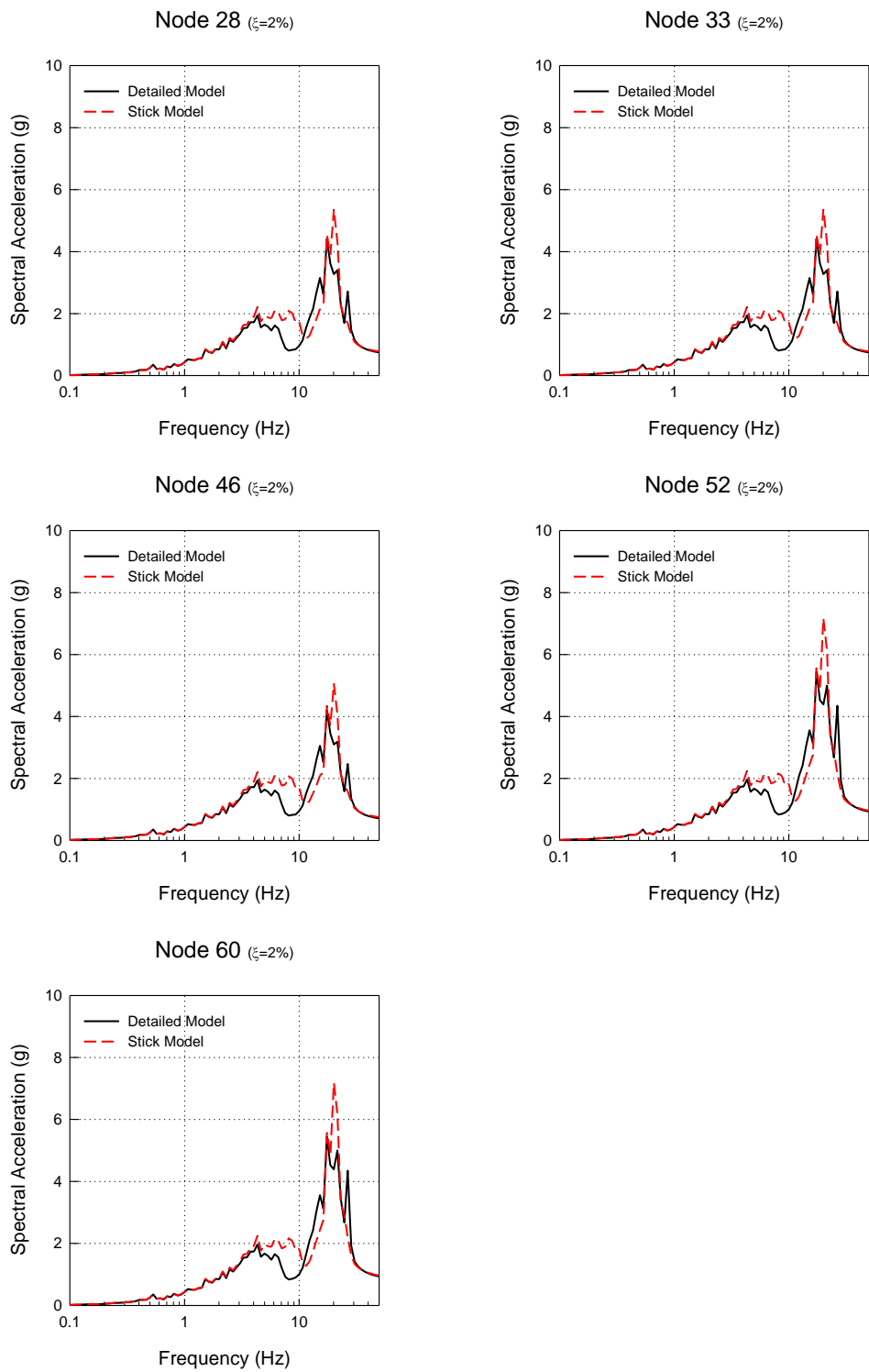


圖 4.23 Case-03 RPV 分析結果

Lower-Bound-1								
Layer	Motion	Height	Depth	Unit Weight	S-Wave Velocity	P-Wave Velocity	S-Wave Damping Ratio	P-Wave Damping Ratio
1		1.00	1.00	2.080	83.00	404.00	0.115	0.100
2		1.00	2.00	2.080	83.00	404.00	0.115	0.100
3		1.35	3.35	2.240	93.00	536.00	0.147	0.100
4		1.35	4.70	2.240	93.00	536.00	0.147	0.100
5		2.50	7.20	2.400	637.00	1637.00	0.012	0.012
6		1.80	9.00	2.560	751.00	1834.00	0.012	0.012
7		2.30	11.30	2.560	747.00	1834.00	0.013	0.013
8		2.40	13.70	2.560	744.00	1834.00	0.013	0.013
9		3.30	17.00	2.560	740.00	1834.00	0.014	0.014
10		3.20	20.20	2.560	738.00	1834.00	0.014	0.014
11		3.00	23.20	2.560	735.00	1834.00	0.015	0.015
12		2.50	25.70	2.560	735.00	1834.00	0.015	0.015
13		2.50	28.20	2.560	732.00	1834.00	0.015	0.015
14	↑ x-Sv(t)	2.50	30.70	2.560	732.00	1834.00	0.015	0.015
15		2.50	33.20	2.560	728.00	1834.00	0.016	0.016
16		2.50	35.70	2.560	728.00	1834.00	0.016	0.016
17		2.50	38.20	2.560	725.00	1834.00	0.017	0.017
18		2.50	40.70	2.560	725.00	1834.00	0.017	0.017
19		2.50	43.20	2.560	723.00	1834.00	0.017	0.017
20		2.50	45.70	2.560	723.00	1834.00	0.017	0.017
21		5.00	50.70	2.560	720.00	1834.00	0.018	0.018
22		5.00	55.70	2.560	717.00	1834.00	0.018	0.018
Halfspace = 20				2.560	717.00	1834.00	0.018	0.018

圖 5.1 SASSI 輸入之低剪應變工址土層性質剖面(LB)

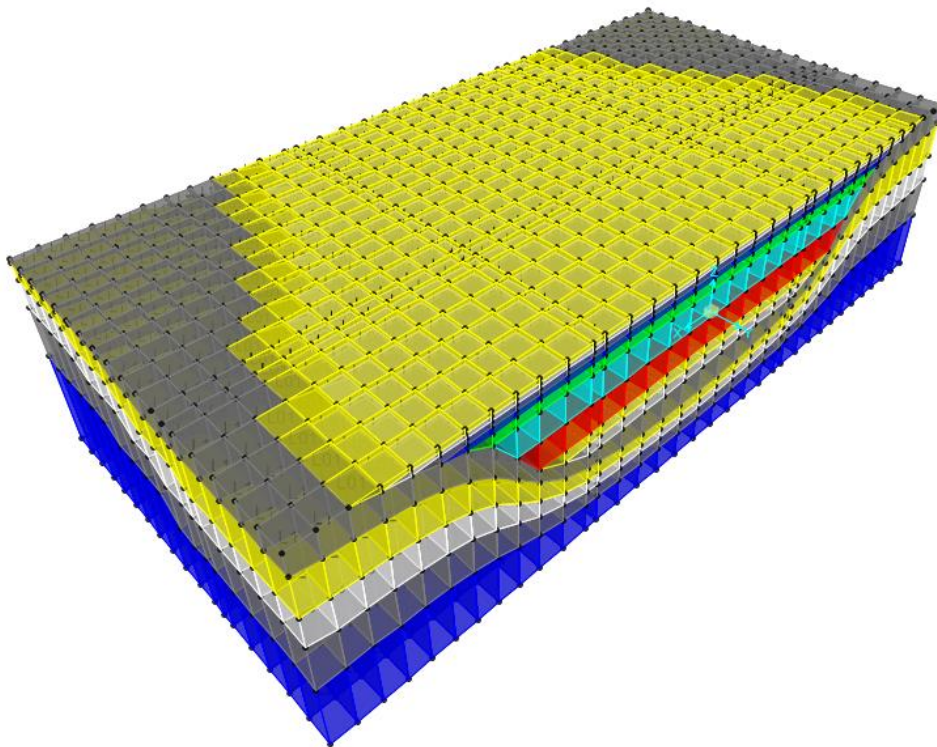


圖 5.2 不規則土層之有限元素分析模型

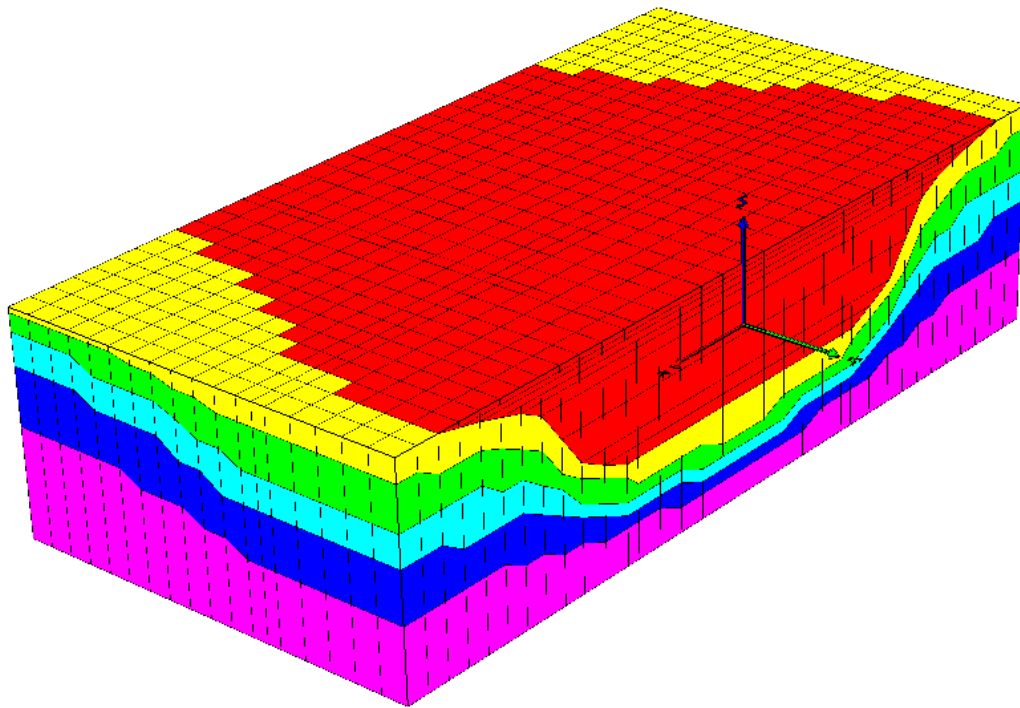


圖 5.3 修正後之土壤不規則區有限元素分析模型

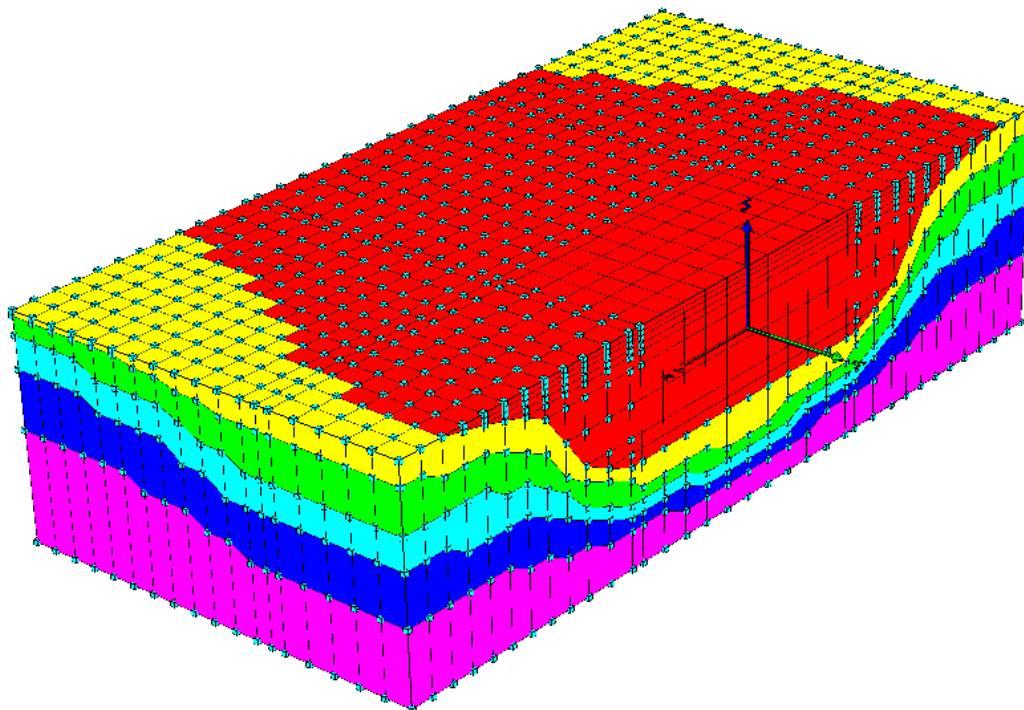


圖 5.4 土壤不規則區之土壤阻抗互制點

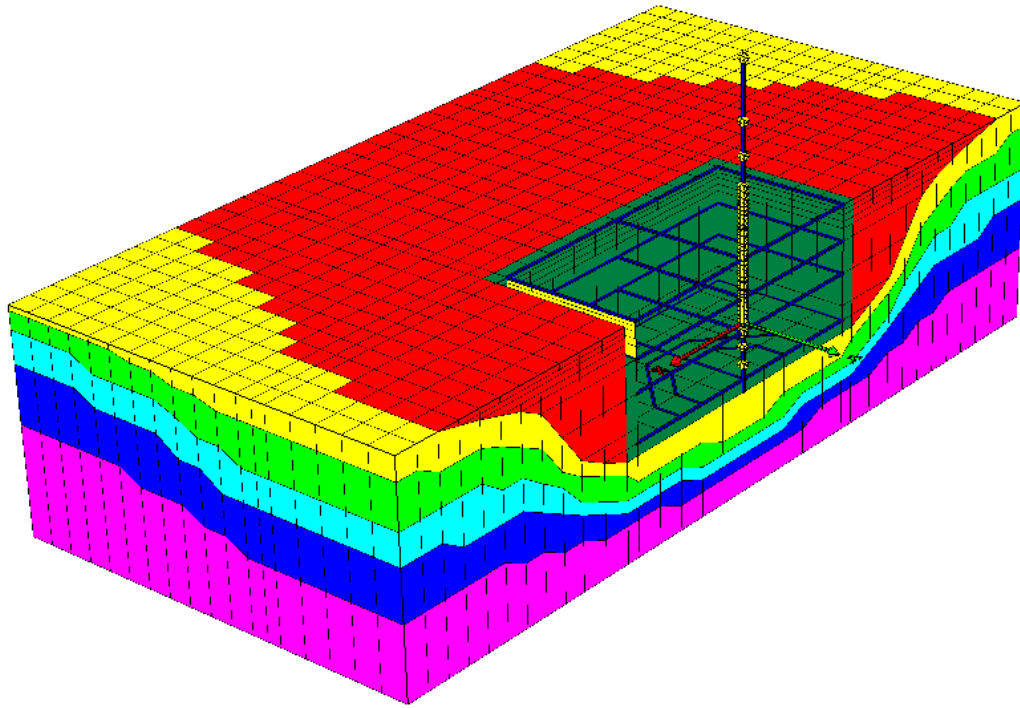


圖 5.5 含土壤不規則區之結構體分析模型

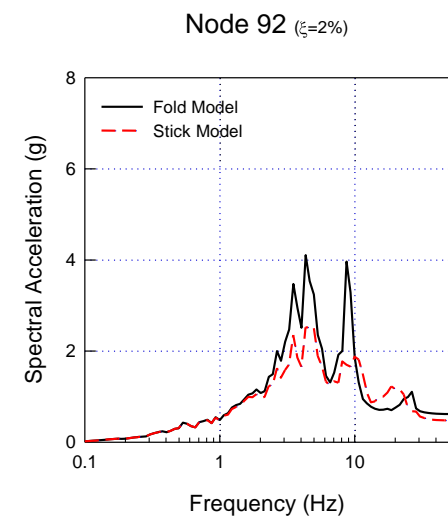
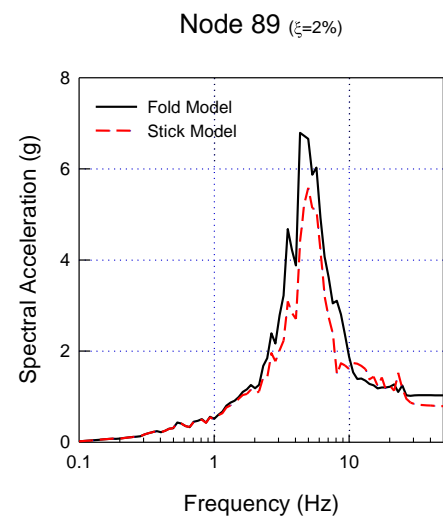
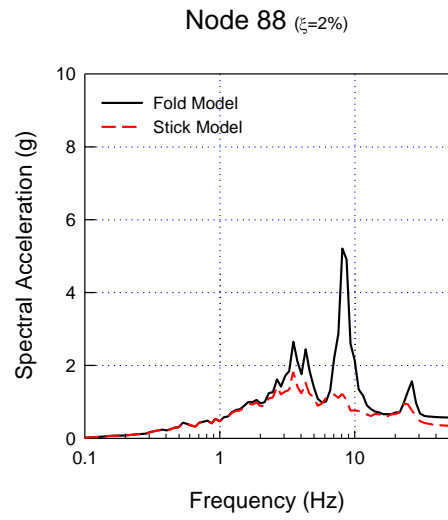
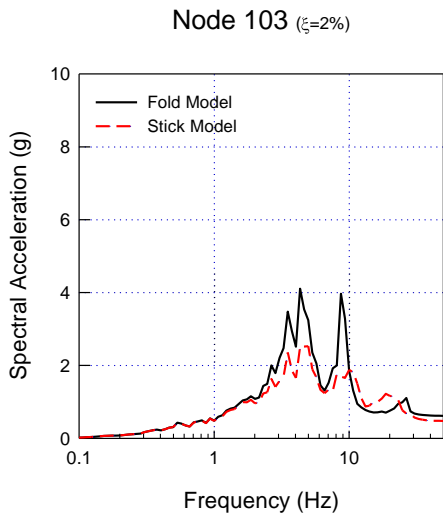
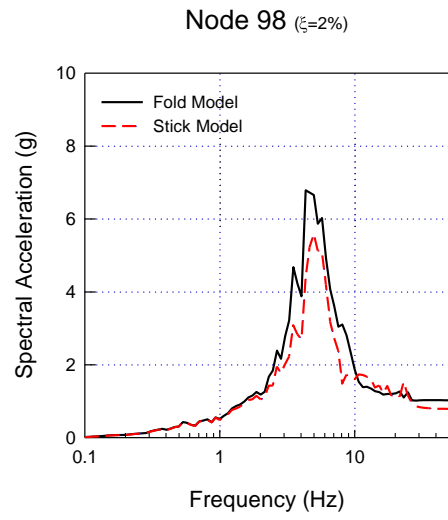
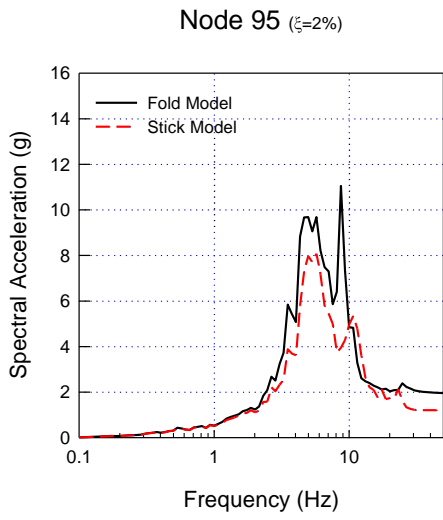


圖 5.6 Case-01 RW 及 RCCV 分析結果

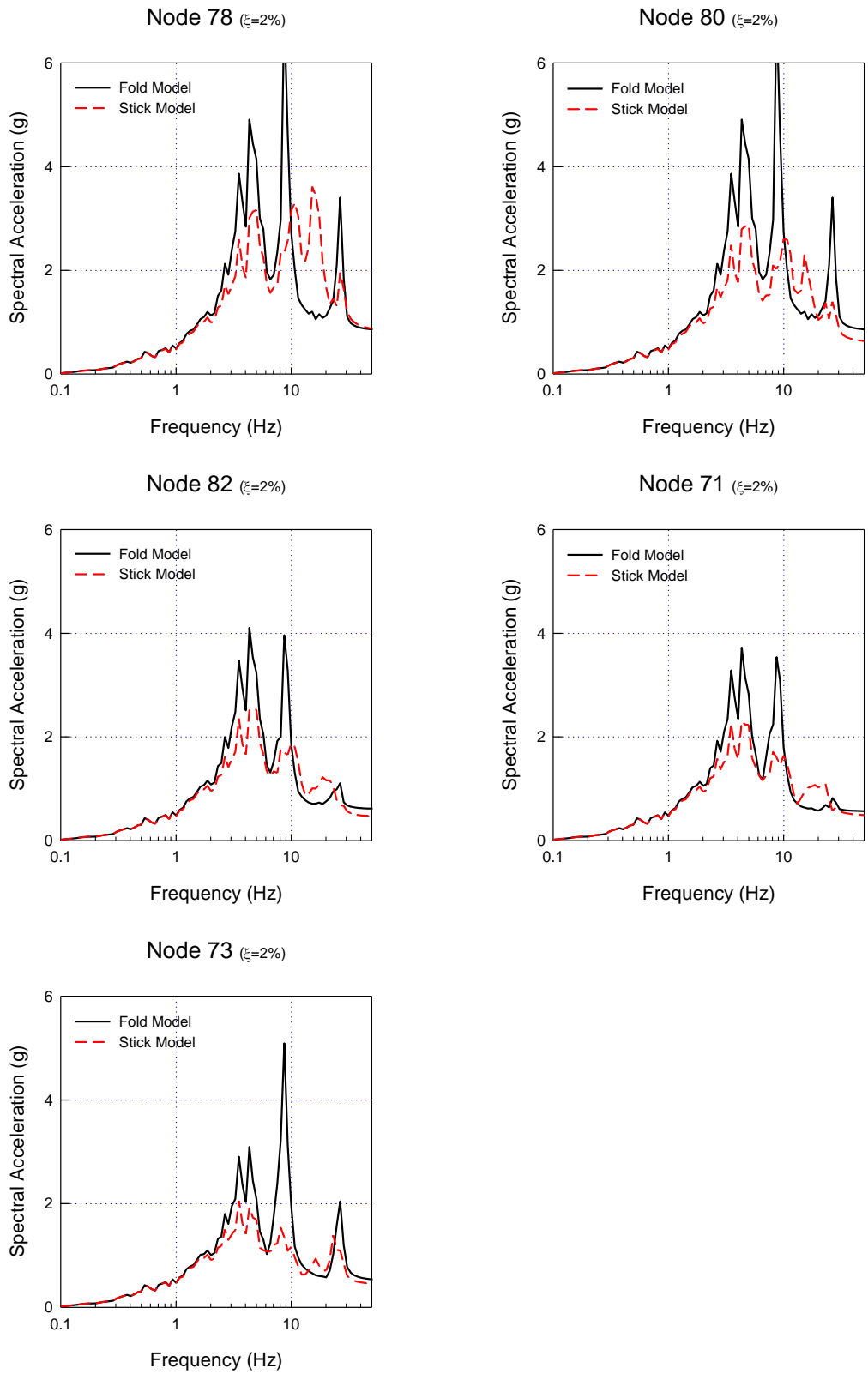


圖 5.7 Case-01 RSW 分析結果

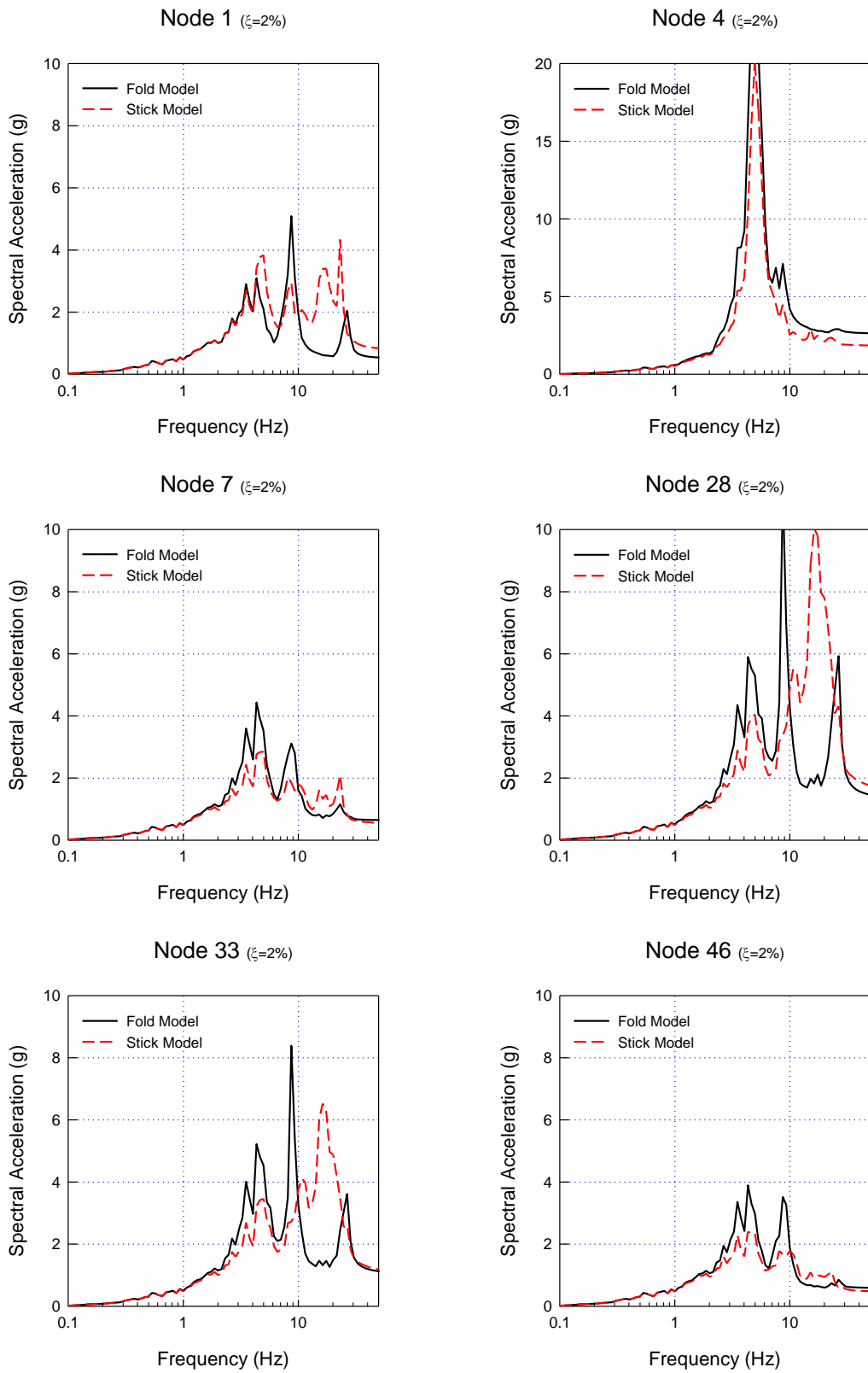


圖 5.8 Case-01 RPV-1 分析結果

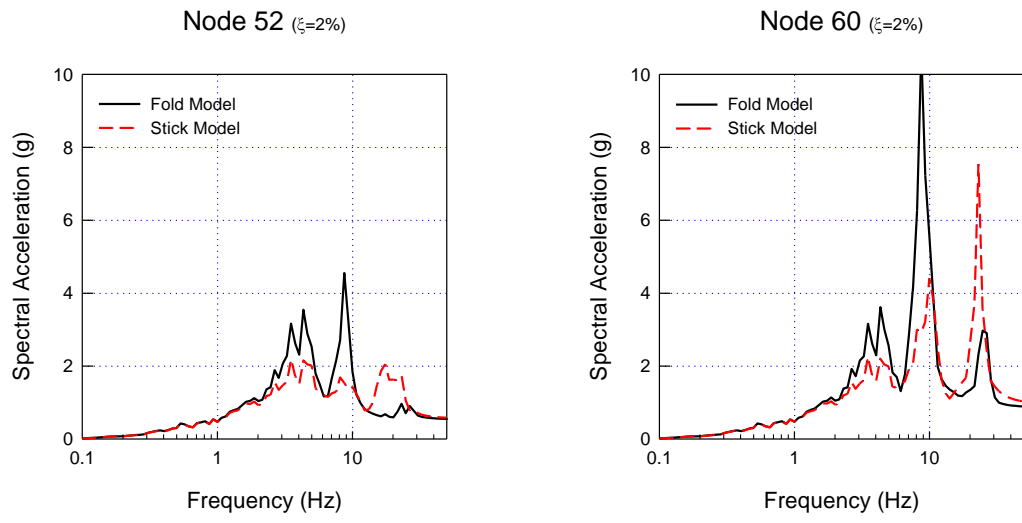


圖 5.9 Case-01 RPV-2 分析結果

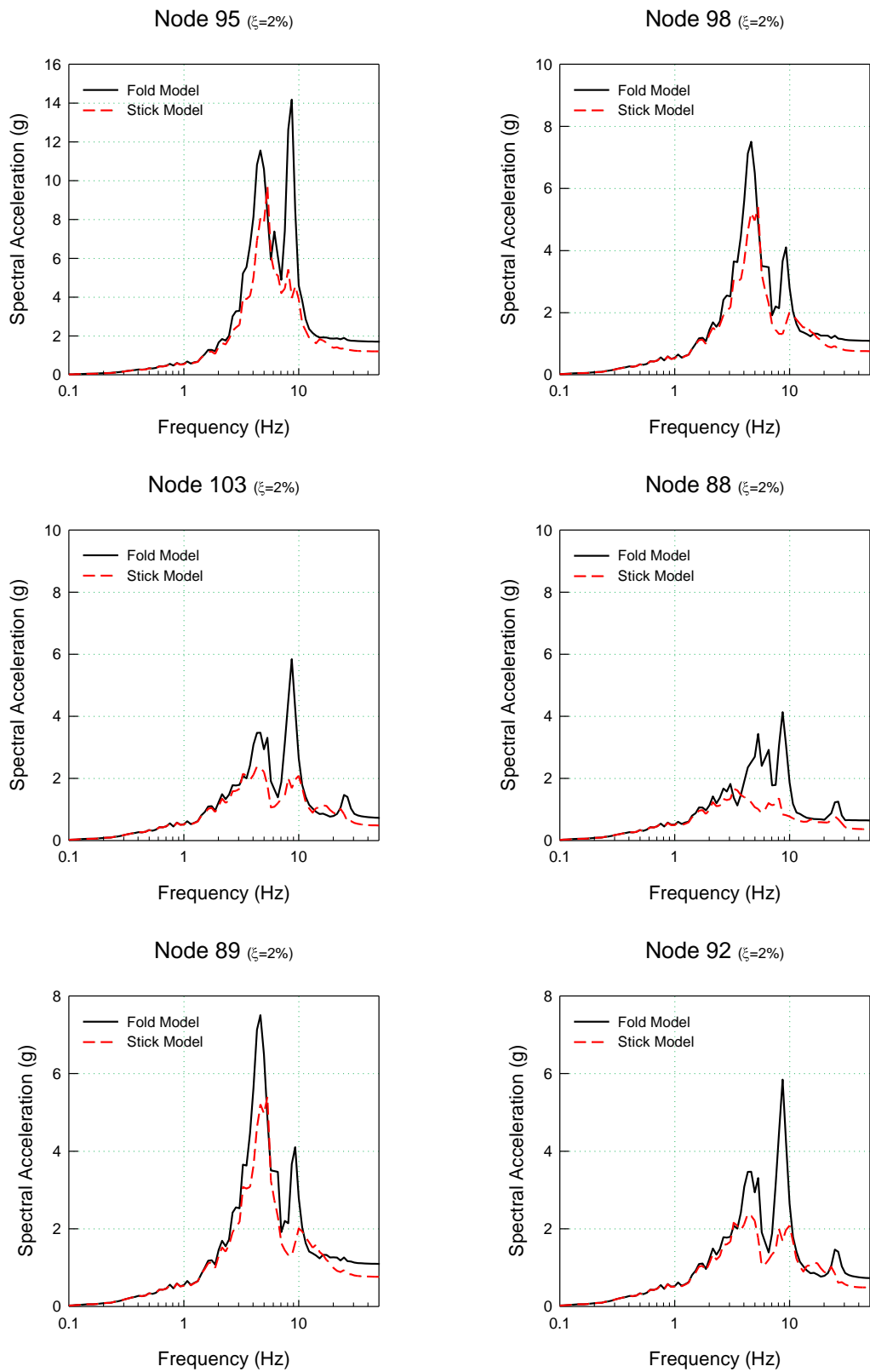


圖 5.10 Case-02 RW 及 RCCV 分析結果

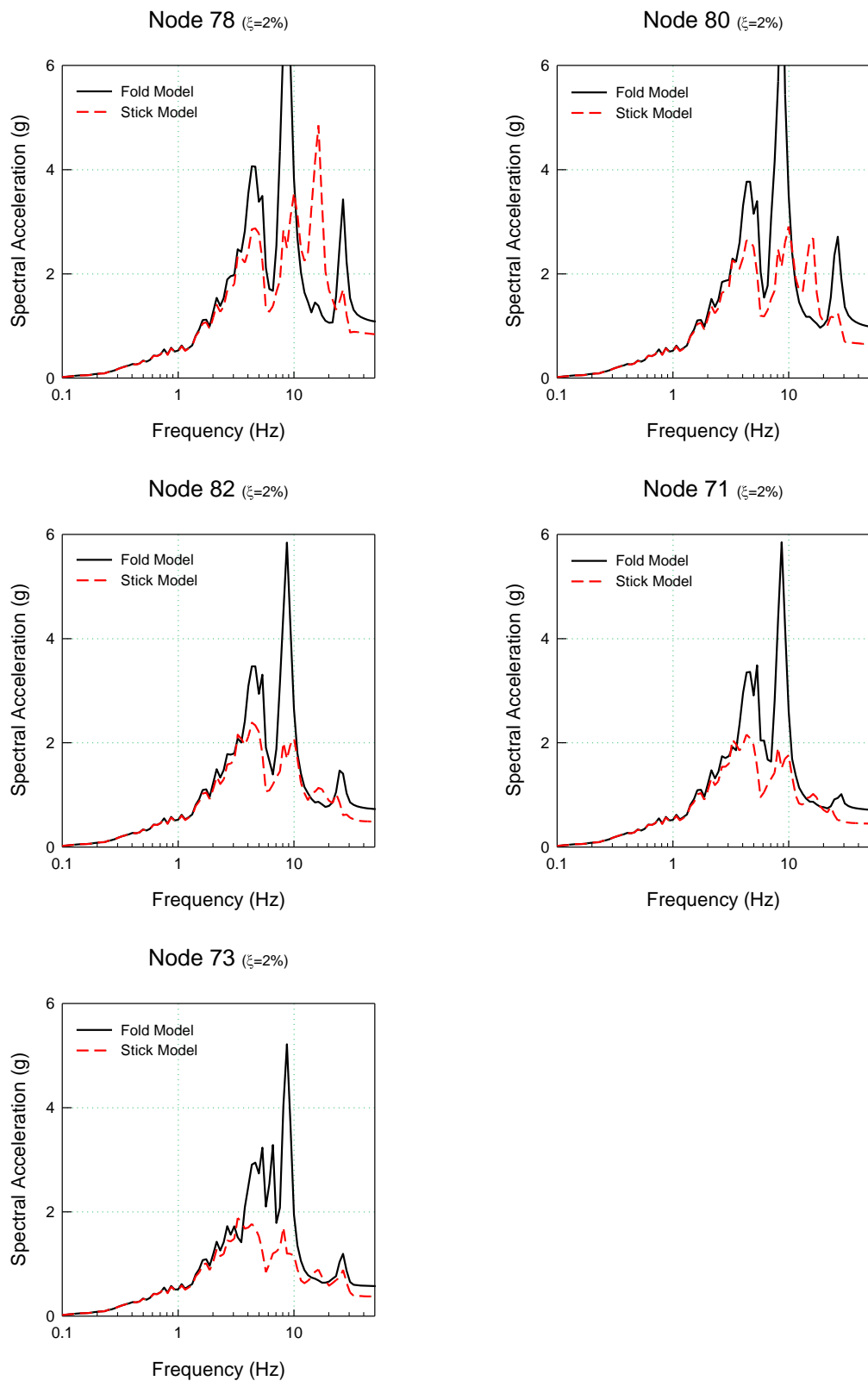


圖 5.11 Case-02 RSW 分析結果

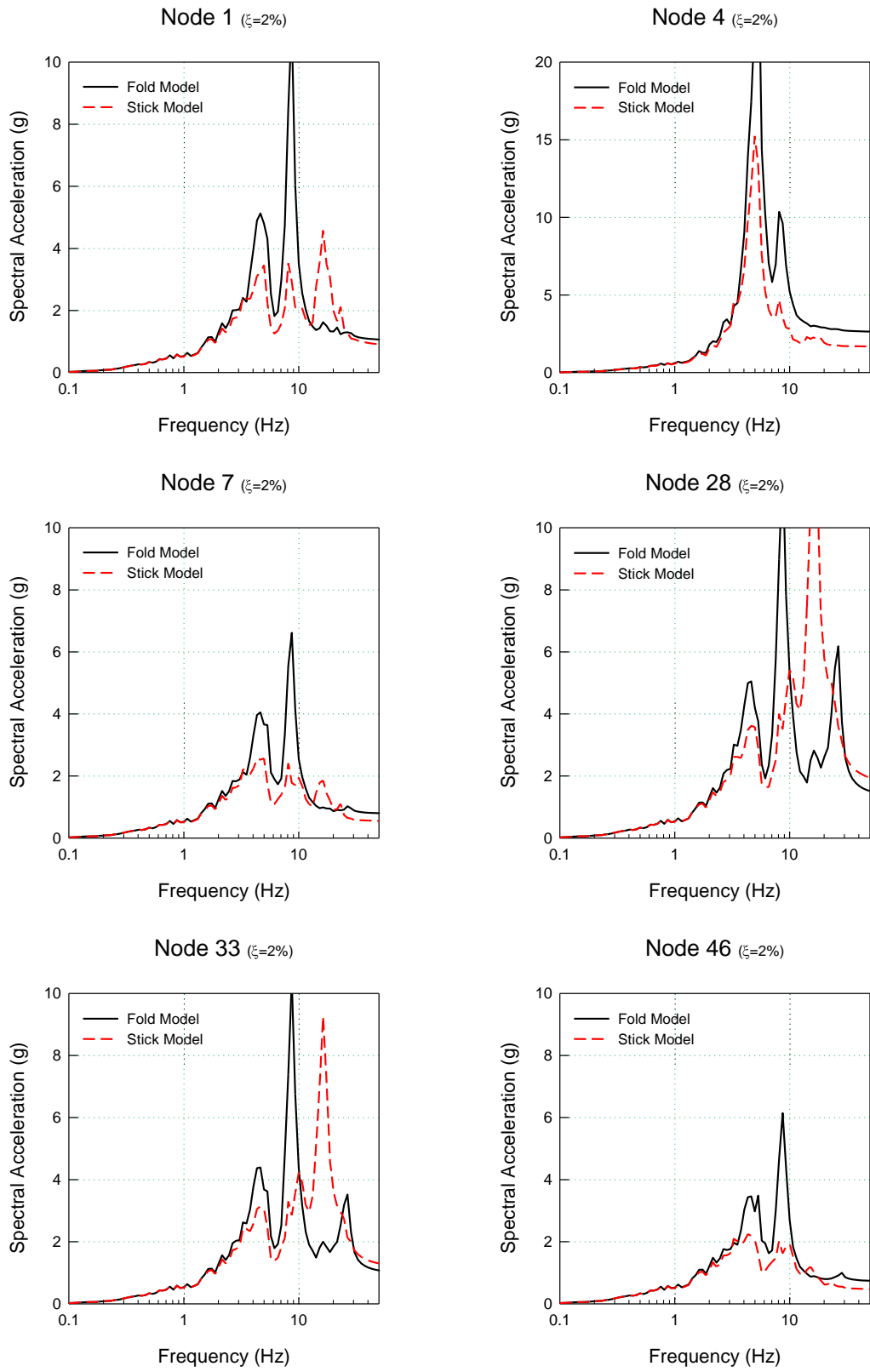


圖 5.12 Case-02 RPV-1 分析結果

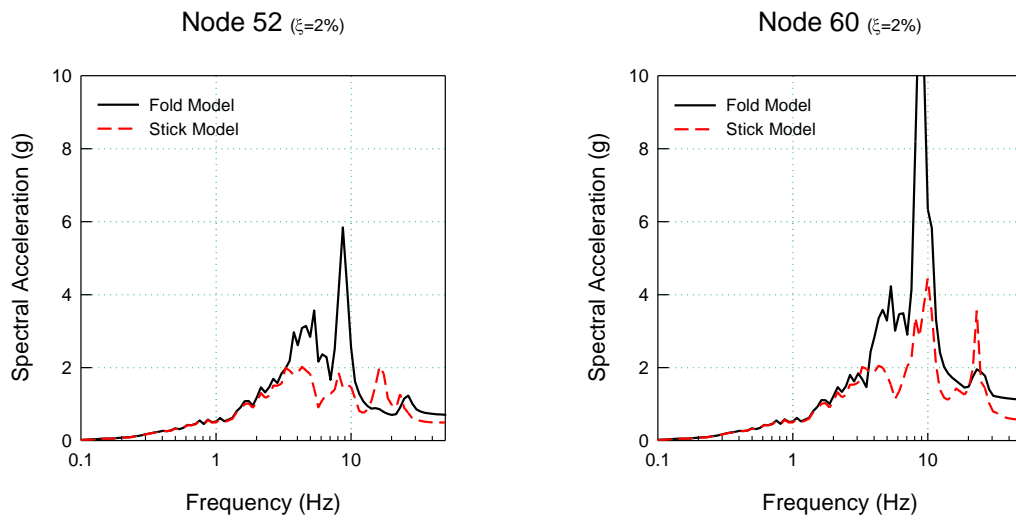


圖 5.13 Case-02 RPV-2 分析結果

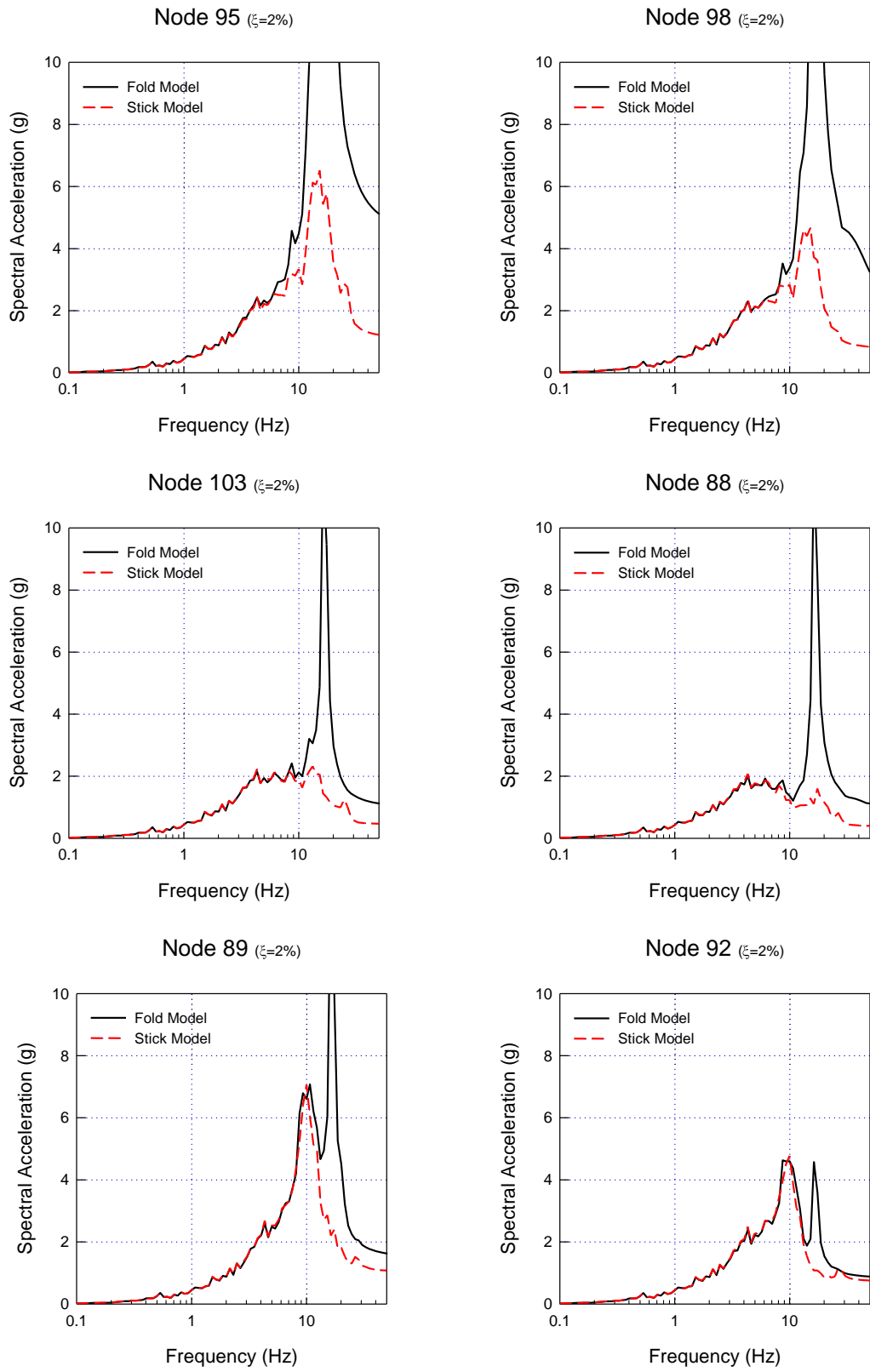


圖 5.14 Case-03 RW 及 RCCV 分析結果

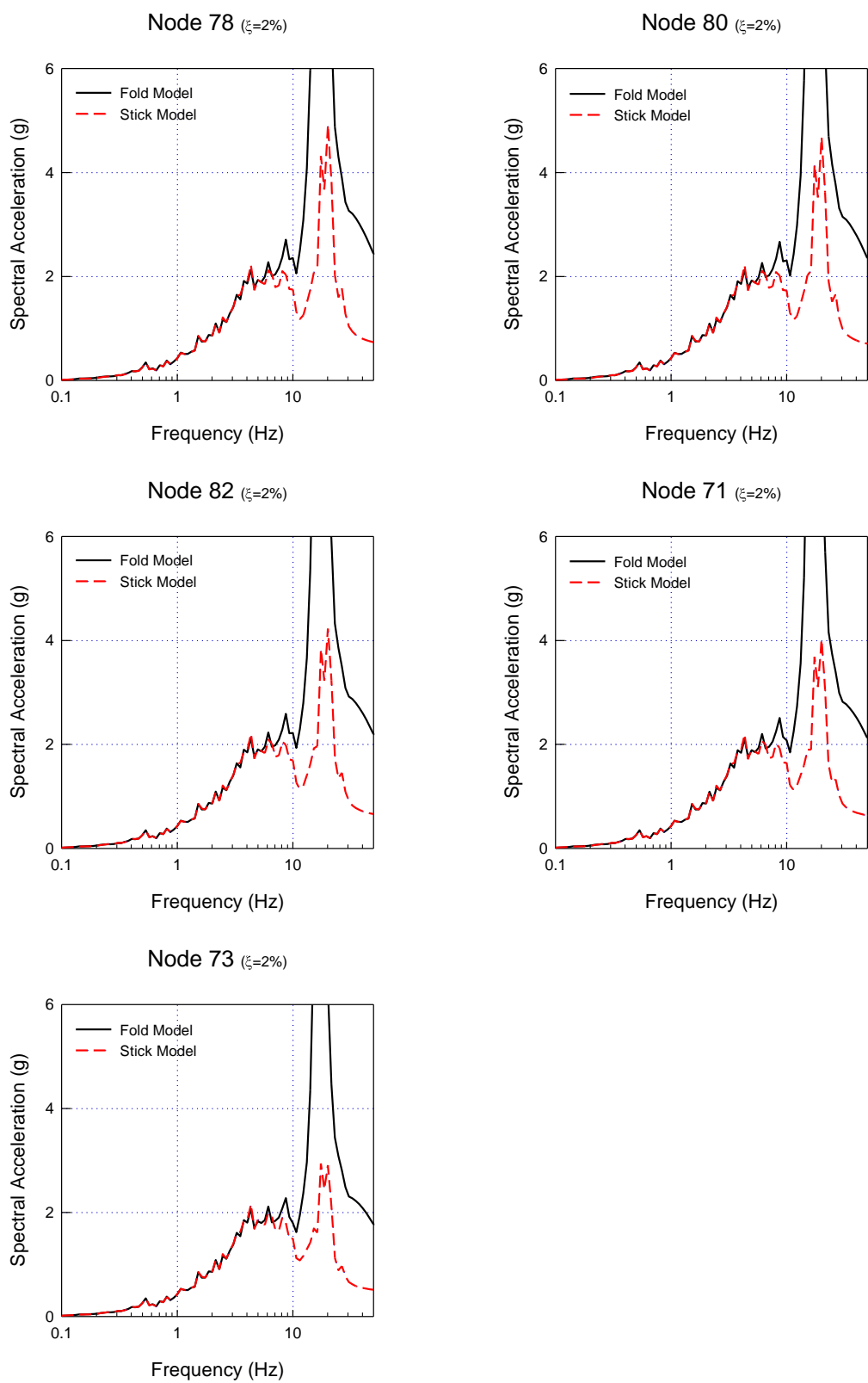


圖 5.15 Case-03 RSW 分析結果

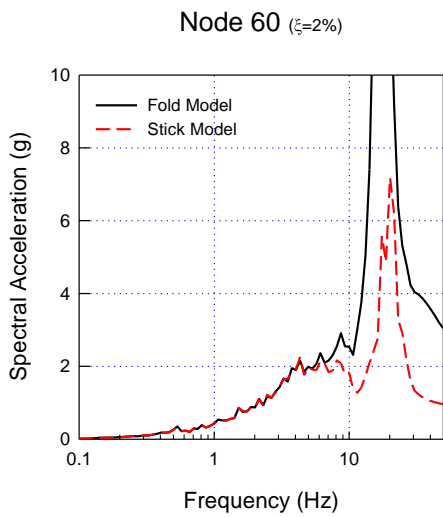
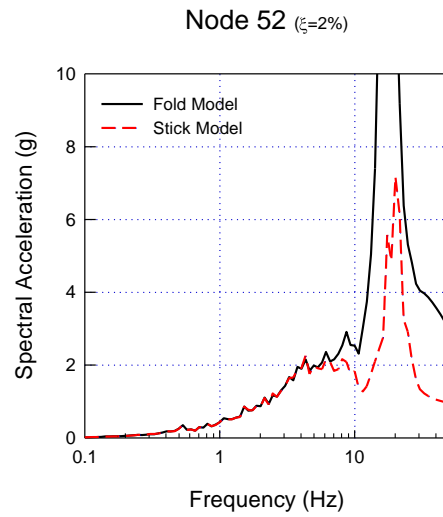
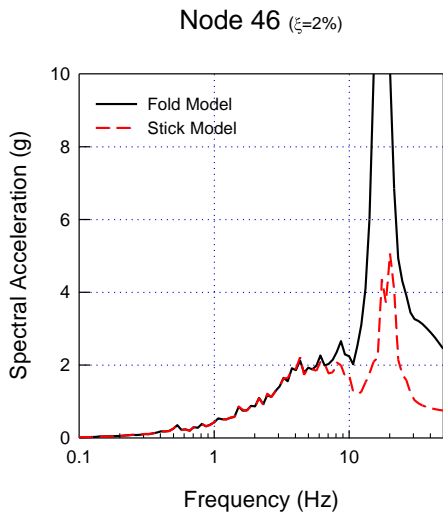
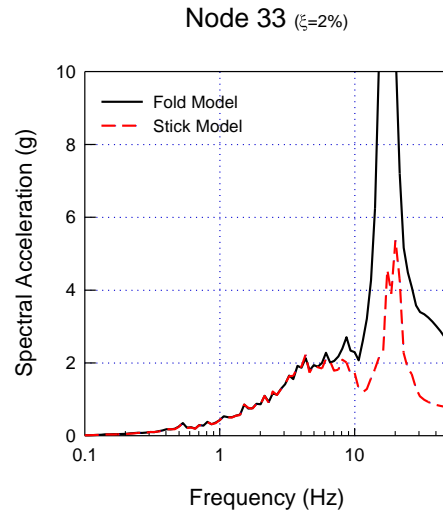
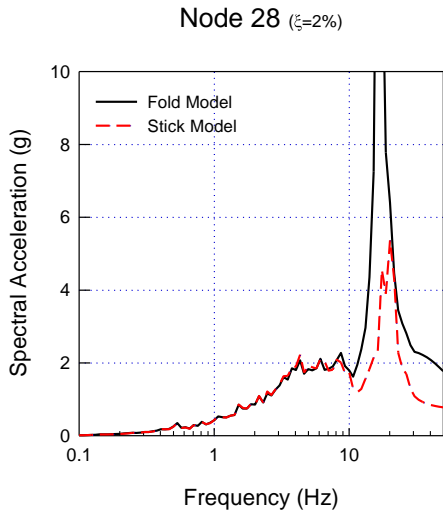


圖 5.16 Case-03 RPV 分析結果