

行政院原子能委員會核能研究所
委託研究計畫研究報告

核二廠設計地震下反應器廠房間 SSI 分析
研究

**Assessment of Structure-to-Structure Interaction Effects
Between Kuosheng Nuclear Power Plant Units 1 and 2**

契約編號：NL1040572

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：曾盈達

報告日期：中華民國 104 年 12 月 2 日

摘要

研究結果顯示，節點水平向最大加速度，雙反應器之反應皆大於單反應器，Stick Model 雙反應器之影響高於 Detailed Model，埋入土壤的影響 Stick Model 亦高於 Detailed Model，高程越高加速度越大；垂直向最大加速度，雙反應器之影響並不明顯，埋入土壤的影響大於反應器間之互制效應，埋入土壤的影響 Stick Model 高於 Detailed Model，除了 Containment 外高程之影響並不顯著。

節點水平向轉換函數，4 個 Case 於低頻之反應趨勢一致且峰值頻率相近，但峰值大小略有不同，埋入土壤效應影響不大；垂直向轉換函數，Containment 及 Drywall 高頻部份 4 個 Case 會有明顯差異，Shield Wall 及 RPV 無論低頻或高頻反應並不相同，埋入土壤效應顯著。

節點水平向反應譜，基礎版之加速度反應譜，4 個 Case 之反應趨勢一致，反應僅略有不同，Containment 之加速度反應譜，4 個 Case 反應值及趨勢皆雷同，高頻部份 Detailed Model 反應大於 Stick Model，Drywall、Shield Wall 及 RPV 之加速度反應譜，4 個 Case 反應值及趨勢皆相近，高頻部份 Detailed Model 反應小於 Stick Model；垂直向反應譜，基礎版頂部及 Containment 地表 4 個 Case 反應峰值及趨勢皆相近，其餘位置反應僅低頻部份相近，高頻部份並不相同。

總之水平向分析反應器間之互制效應必須考慮，垂直向分析雙反應器之影響並不明顯，埋入土壤的影響大於反應器間之互制效應。最後建議日後核二廠 SSI 分析使用 Detailed Model，將所有 8 棟建物全部納入分析模型，並使用 Direct Method 正確考慮整個廠區之埋入土壤效應。

關鍵詞：土壤結構互制、國聖核電廠分析、SASSI、SAP2000、SHAKE

ABSTRACT

Results in this study show that the maximum nodal horizontal acceleration, the reaction of the two reactors is larger than a single reactor. The stick Model dual reactor is greater than those of detailed Model. As for effects of embedded depth in the soil, Stick Model is much more sensitive than those of detailed Model. The elevation is higher, the acceleration is the larger. However, in the vertical maximum acceleration, the impact of the two reactors is not obvious. The effects of embedded depth are greater than interaction between reactors. Stick model is affected by the embedded depth than those of detailed models. In addition to the effects of containment, the effects of elevation are not significant.

Based on the nodal conversion function in the horizontal direction, the responses of four cases in low frequency are consistent and their peak frequencies have similar trend, but the peak values are slightly different. In addition, the effects of soil embedded depths are not obvious. However, the conversion functions in the vertical direction, the responses of four cases reveal significant differences in the high frequency at containments and drywalls. In addition, shield walls and RPV have different responses in the low and high frequencies. The effects of soil embedded depths are pronounced.

The horizontal acceleration response spectra at nodes and foundations are nearly identical in the four cases. Those responses at containment reveal consistent trends, but the responses of detailed models in the high frequency are greater than those of stick models. Moreover, the responses of drywalls, shield walls and RPV also have identical responses. The responses of detailed models are less than those of stick models. The vertical response spectra at the top of foundations and containment at ground level present similar results. The responses at other locations reveal that responses are similar in the low frequencies and those are different in the high frequencies.

The conclusions of this research as follows:

Firstly, the interaction between the reactor systems in the horizontal direction should be incorporated in the analysis. However, the effects in the vertical direction are no obvious. Secondly, the effects of the foundation embedded depths are greater

than the interactions between reactors. Final remarks of this study are that the SSI effects, eight buildings structural models should be incorporated in the models. Direction method is adopted to account for the effects of foundation embedded depths.

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

目錄

摘要	I
ABSTRACT.....	II
目錄	IV
表目錄	VI
圖目錄	VII
第 1 章 計畫緣起與目的	1
1.1 研究目的	2
第 2 章 研究方法與步驟	3
2.1 研究步驟	5
第 3 章 核二廠之工址自由域反應分析	6
3.1 工址土層條件	6
3.2 輸入地震及分析準則	6
3.3 工址自由域反應分析	7
3.3.1 工址之土層性質	7
3.3.2 隨剪應變變化之土層性質	7
3.4 輸入地震加速度歷時之轉換	8
第 4 章 核二廠反應器廠房之 STICK MODEL 與 DETAILED MODEL.....	9
4.1 工址概述	9
4.2 結構體概述	9
4.3 SSI 分析模型.....	10
4.3.1 工址自由域之分析模型	11
4.3.2 最高分析頻率及網格尺寸	11

4.3.3	Stick Model 結構部分之分析模型	11
4.3.4	Detailed Model 結構部分之分析模型	12
4.3.5	埋入土壤體積之分析模型	13
4.4	反應器廠房間之 SSI 分析結果.....	13
4.4.1	節點最大加速度	13
4.4.2	節點轉換函數(放大函數).....	17
4.4.3	節點反應譜	18
第 5 章	結論與建議	20
5.1	結論	20
5.2	建議	22
參考文獻		24

表目錄

表 3.1	低應變 BE 土層性質	26
表 4.1	反應器廠房結構體材料性質	27
表 4.2	反應器廠房結構體材料阻尼比	27
表 4.3	GE Stick Model 水平向分析模型之外部彈簧常數	27
表 4.4	Stick I- Containment 之節點水平向最大加速度	28
表 4.5	Stick I- Containment 之節點垂直向最大加速度	29
表 4.6	Stick II- Drywall 之節點水平向最大加速度	30
表 4.7	Stick II- Drywall 之節點垂直向最大加速度	31
表 4.8	Stick III- Shield Wall 之節點水平向最大加速度	32
表 4.9	Stick III- Shield Wall 之節點垂直向最大加速度	33
表 4.10	Stick IV-RPV 之節點水平向最大加速度	34
表 4.11	Stick IV-RPV 之節點垂直向最大加速度	36

圖目錄

圖 1.1	考慮相鄰結構互制效應的土壤結構分析系統[6].....	38
圖 2.1	柔性體積法之互制模式[3].....	39
圖 2.2	Stick Model 之結構部份示意圖	40
圖 2.3	Detailed Model 之結構部份示意圖	41
圖 3.1	SSE 設計反應譜[8].....	42
圖 3.2	設計地震之加速度歷時-EW 向及 NS 向	43
圖 3.3	設計地震之 5%阻尼比速度反應譜-EW 向及 NS 向	43
圖 3.4	設計地震之加速度歷時-UD 向	44
圖 3.5	設計地震之 5%阻尼比速度反應譜-UD 向	44
圖 3.6	SHAKE 輸入之低剪應變工址土層性質剖面(BE)	45
圖 3.7	回填粒狀土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係	46
圖 3.8	基岩之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係	47
圖 3.9	EW 向及 NS 向疊代收斂後之土壤剖面及材料性質	48
圖 3.10	地震歷時輸入位置示意圖	48
圖 3.11	B 點之地震加速度歷時-EW 向及 NS 向	49
圖 3.12	B 點之地震加速度反應譜-EW 向及 NS 向	49
圖 3.13	B 點之地震加速度歷時-UD 向	50
圖 3.14	B 點之地震加速度反應譜-UD 向	50
圖 4.1	SASSI 精確分析模型之示意圖	51
圖 4.2	EPR TM NUCLEAR ISLAND SASSI 分析模型[11].....	52
圖 4.3	SASSI EW 向及 NS 向分析之土壤剖面及材料性質	53
圖 4.4	SASSI UD 向分析之土壤剖面及材料性質	53
圖 4.5	水平向地震之富利葉振幅譜	54
圖 4.6	垂直向地震之富利葉振幅譜	54
圖 4.7	GE Stick Model 水平向分析模型[7].....	55

圖 4.8	GE Stick Model 垂直向分析模型[7].....	56
圖 4.9	Stick Model Case(a)之 SASSI 結構體分析模型.....	57
圖 4.10	Stick Model Case(b)之 SASSI 結構體分析模型	58
圖 4.11	Detailed Model 之俯視圖	59
圖 4.12	Detailed Model 之東向剖面圖	60
圖 4.13	Detailed Model 之北向剖面圖	61
圖 4.14	Detailed Model 之基礎版及 RPV 基座.....	62
圖 4.15	Detailed Model 之 RSCW	63
圖 4.16	Detailed Model 之 Drywall	64
圖 4.17	Detailed Model 之內部結構牆及版	65
圖 4.18	Detailed Model 之 Outer Containment.....	66
圖 4.19	Detailed Model 基礎版實體元素與版殼元素之接合	67
圖 4.20	Detailed Model 深梁與牆之剛接	68
圖 4.21	Stick Model Case(a)之埋入土壤實體元素及阻抗點分析模型.....	69
圖 4.22	Stick Model Case(b)之埋入土壤實體元素及阻抗點分析模型	69
圖 4.23	Detailed Model Case(a)之埋入土壤實體元素及阻抗點分析模型 ..	70
圖 4.24	Detailed Model Case(b)之埋入土壤實體元素及阻抗點分析模型 ..	70
圖 4.25	分析模型輸出結果節點位置圖	71
圖 4.26	雙反應器 Stick Model Case(a)之分析模型.....	72
圖 4.27	雙反應器 Stick Model Case(b)之分析模型	73
圖 4.28	雙反應器 Detailed Model Case(a)之分析模型	74
圖 4.29	雙反應器 Detailed Model Case(b)之分析模型	75
圖 4.30	Containment Stick Model 之節點最大加速度-EW 向.....	76
圖 4.31	Containment Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向	76
圖 4.32	Containment Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向 ..	77
圖 4.33	Containment Stick Model 之節點最大加速度-UD 向	77
圖 4.34	Containment Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向	78

圖 4.35	Containment Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向	78
圖 4.36	Drywall Stick Model 之節點最大加速度-EW 向	79
圖 4.37	Drywall Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向	79
圖 4.38	Drywall Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向	80
圖 4.39	Drywall Stick Model 之節點最大加速度-UD 向	80
圖 4.40	Drywall Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向	81
圖 4.41	Drywall Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向	81
圖 4.42	Shield Wall Stick Model 之節點最大加速度-EW 向	82
圖 4.43	Shield Wall Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向	82
圖 4.44	Shield Wall Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向 ..	83
圖 4.45	Shield Wall Stick Model 之節點最大加速度-UD 向	83
圖 4.46	Shield Wall Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向	84
圖 4.47	Shield Wall Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向 ..	84
圖 4.48	RPV Stick Model 之節點最大加速度-EW 向	85
圖 4.49	RPV Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向	85
圖 4.50	RPV Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向	86
圖 4.51	RPV Stick Model 之節點最大加速度-UD 向	86
圖 4.52	RPV Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向	87
圖 4.53	RPV Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向	87
圖 4.54	基礎版底部節點 97(I152)之加速度放大函數-EW 向	88
圖 4.55	基礎版頂部節點 96(657)之加速度放大函數-EW 向	88
圖 4.56	Containment 地表節點 76(1467)之加速度放大函數-EW 向	89
圖 4.57	Containment 頂部節點 68(3854)之加速度放大函數-EW 向	89
圖 4.58	Drywall 地表節點 83(1462)之加速度放大函數-EW 向	90
圖 4.59	Drywall 頂部節點 79(3270)之加速度放大函數-EW 向	90
圖 4.60	Shield Wall 地表節點 91(1355)之加速度放大函數-EW 向	91
圖 4.61	Shield Wall 頂部節點 86(2439)之加速度放大函數-EW 向	91

圖 4.62	RPV 底部節點 18 之加速度放大函數-EW 向	92
圖 4.63	RPV 地表節點 59 之加速度放大函數-EW 向	92
圖 4.64	RPV 頂部節點 38 之加速度放大函數-EW 向	93
圖 4.65	基礎版底部節點 97(I152)之加速度放大函數-UD 向	94
圖 4.66	基礎版頂部節點 96(657)之加速度放大函數-UD 向	94
圖 4.67	Containment 地表節點 76(1467)之加速度放大函數-UD 向	95
圖 4.68	Containment 頂部節點 68(3854)之加速度放大函數-UD 向	95
圖 4.69	Drywall 地表節點 83(1462)之加速度放大函數-UD 向	96
圖 4.70	Drywall 頂部節點 79(3270)之加速度放大函數-UD 向	96
圖 4.71	Shield Wall 地表節點 91(1355)之加速度放大函數-UD 向	97
圖 4.72	Shield Wall 頂部節點 86(2439)之加速度放大函數-UD 向	97
圖 4.73	RPV 底部節點 18 之加速度放大函數-UD 向	98
圖 4.74	RPV 地表節點 59 之加速度放大函數-UD 向	98
圖 4.75	RPV 頂部節點 38 之加速度放大函數-UD 向	99
圖 4.76	基礎版底部節點 97(I152)之加速度反應譜-EW 向	100
圖 4.77	基礎版頂部節點 96(657)之加速度反應譜-EW 向	100
圖 4.78	Containment 地表節點 76(1467)之加速度反應譜-EW 向	101
圖 4.79	Containment 頂部節點 68(3854)之加速度反應譜-EW 向	101
圖 4.80	Drywall 地表節點 83(1462)之加速度反應譜-EW 向	102
圖 4.81	Drywall 頂部節點 79(3270)之加速度反應譜-EW 向	102
圖 4.82	Shield Wall 地表節點 91(1355)之加速度反應譜-EW 向	103
圖 4.83	Shield Wall 頂部節點 86(2439)之加速度反應譜-EW 向	103
圖 4.84	RPV 底部節點 18 之加速度反應譜-EW 向	104
圖 4.85	RPV 地表節點 59 之加速度反應譜-EW 向	104
圖 4.86	RPV 頂部節點 38 之加速度反應譜-EW 向	105
圖 4.87	基礎版底部節點 97(I152)之加速度反應譜-UD 向	106
圖 4.88	基礎版頂部節點 96(657)之加速度反應譜-UD 向	106

圖 4.89	Containment 地表節點 76(1467)之加速度反應譜-UD 向	107
圖 4.90	Containment 頂部節點 68(3854)之加速度反應譜-UD 向	107
圖 4.91	Drywall 地表節點 83(1462)之加速度反應譜-UD 向	108
圖 4.92	Drywall 頂部節點 79(3270)之加速度反應譜-UD 向	108
圖 4.93	Shield Wall 地表節點 91(1355)之加速度反應譜-UD 向	109
圖 4.94	Shield Wall 頂部節點 86(2439)之加速度反應譜-UD 向	109
圖 4.95	RPV 底部節點 18 之加速度反應譜-UD 向	110
圖 4.96	RPV 地表節點 59 之加速度反應譜-UD 向	110
圖 4.97	RPV 頂部節點 38 之加速度反應譜-UD 向	111

第1章 計畫緣起與目的

核能研究所執行原子能委員會委託「核電廠結構地震反應安全分析管制技術研究」計畫，104 年度以建構核二廠反應器廠房土壤結構互制全有限元素分析模型並完成相關地震安全分析研究與培植熟悉核電廠結構土壤結構互制分析技術團隊為目標。本「核二廠於設計地震下一、二號機反應器廠房間之土壤結構互制效應安全分析研究暨建模、分析方法技術諮詢與分析軟體功能增進」計畫書提出配合核能研究所達成上述目標所需之作法與研究題目，包括客製化套裝軟體維護與功能增進、反應器廠房結構全有限元素模型建立及分析方法訓練、分析結果審查等技術諮詢服務，並以建立之分析模型進行一、二號機反應器廠房間之土壤結構互制效應安全分析研究，以了解大型結構物鄰近時，其效應是否影響結構土壤互制分析結果之準確性。

台灣電力公司第二核能發電廠即國聖電廠(以下簡稱核二廠)位於台灣北部濱海地區之新北市萬里區與金山區之間的國聖埔，於民國 63 年奉准興建兩部機，為單機容量 98.5 萬瓩之沸水式反應器，其中一號機於民國 70 年 12 月 28 日開始商業運轉，二號機則於民國 72 年 3 月 15 日開始商業運轉，當時的分析模型為一維的 Stick Model，並使用土壤彈簧法考慮土壤結構互制效應，以現今之分析技術而言實過於簡化，尤其未考慮一、二號機間之土壤結構互制效應[6]。

為考慮評估相鄰結構之間交互作用的反應，圖 1.1 顯示其必要性。圖中建築佈置涉及三建物，即圍阻體結構及兩側兩個相似的結構，如圖 1.1 所示。圍阻體結構中心線上於地表高程的三個分析的反應，亦如圖 1.1 所示，此三個分析的反應分別為單獨圍阻體分析反應、考慮相鄰結構之間交互作用的二維分析反應及考慮相鄰結構之間交互作用的三維分析反應，圖中可以看出相鄰結構的存在會增加圍阻體結構約 60% 的最大反應，但遠低於二維分析的最大反應，因此，有必要考慮一、二號機間之三維土壤結構互制效應。

1.1 研究目的

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分析 (Detailed Model)，因此，有必要重新建構核二廠之 Stick Model 及 Detailed Model 並考慮一、二號機間之土壤結構互制效應，以提高核電廠土壤結構互制分析之精確度，提供管制單位參考。

本計畫之目標如下：

1. 培養核電廠地震安全分析團隊，建立國內自主土壤結構分析技術，供核安管制應用。
2. 改進分析工具 SASSI 軟體程式效能，增進計算速度，並客製化使易於使用及加強後處理應用功能。
3. 完成核二廠一、二號機反應器廠房間之土壤結構互制效應安全分析研究，提供管制單位參考。

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，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]：

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

式中 $[M]$ 為質量矩陣， $[K]$ 為勁度矩陣， $[C]$ 為阻尼矩陣， $\{u\}$ 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 $\{u\} = \{u\}e^{i\omega t}$ ，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，整個過程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

為達成研究目的，須先以 SASSI 程式建構核二廠一號機及二號機之 Stick Model 及 Detailed Model，無論 Stick Model 或 Detailed Model 皆需建構工址自由域之分析模型、結構部分之分析模型及埋入土壤體積之分析模型，此部份由本計畫主持人協助核能研究所完成，Stick Model 之結構部份分析模型示意圖如圖 2.2 所示，Detailed Model 之結構部份分析模型示意圖如圖 2.3 所示，最後再將上述二機組模型以 SASSI 程式合併，並進行三維土壤結構互制效應分析。

第3章 核二廠之工址自由域反應分析

為決定核二廠反摺積後相符於反應器廠房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[4,5]，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。

3.1 工址土層條件

核二廠反應器廠房工址之土層性質及剖面資料乃參考文獻[8,9]，主要由 6 種土壤所組成，最上層 3 土層為回填粒狀材質土壤，由地表起算總厚度約 30ft，此土層覆蓋於厚度超過 200ft 岩層的上方，岩層下剪力波速為 2300 ft/sec 之土層假設為基岩，工址之低應變 BE 土層性質如表 3.1 所示。

3.2 輸入地震及分析準則

核二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。

核二廠之設計基準地震反應譜如圖 3.1 所示[8]，包含一組 8 個正規化設計反應譜，針對 8 個臨界阻尼分別為 0、0.5、1、2、5、10、15 及 20%分析後求得，若考慮 SSE 條件，應將水平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，垂直向調整至 0.267g 即水平向 PGA 的三分之二。

輸入之人造地震歷時其時間間距為 0.005 秒，時間為 24 秒其中包含 14 秒的強震，此人造地震乃由 1952 年的 Taft 地震修改後所產生，兩水平 EW 向、NS 向及垂直 UD 向之加速度歷時及 5%阻尼之速度反應譜，分別如圖 3.2 至圖 3.5 所示。

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，並相符於基岩頂高程(-30ft)。

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。

3.3 工址自由域反應分析

本節分別說明分析工址自由域反應所需之低剪應變土層性質、隨剪應變變化之動態土層性質曲線及輸入之地震加速度歷時，並以 SHAKE 程式分析工址自由域反應。

3.3.1 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 3.6 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%。

3.3.2 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。

回填粒狀土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係如圖 3.7 所示，基岩之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係如圖 3.8 所示。

經 SHAKE 以等線性法疊代，水平 EW 向及 NS 向收斂後之土壤剖面及材料性質分別如圖 3.9 所示；垂直 UD 向因假設壓力波(P 波)波速不直接隨剪應變而改變，但假設土壤波松比疊代前後不變即維持常數，而剪力波速與壓力波波速之比值又為波松比之函數，換言之壓力波波速間接隨剪應變而改變，壓力波阻尼比則直接使用水平向疊代後之結果。

3.4 輸入地震加速度歷時之轉換

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，並相符於基岩頂即高程(-30ft)輸入。如圖 3.10 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 反摺積後輸出至基岩頂高程，EW 向及 NS 向 B 點之地震加速度歷時如圖 3.11 所示，經轉換後 PGA 為 0.35g 尚屬合理，其加速度反應譜如圖 3.12 所示；UD 向 B 點之地震加速度歷時如圖 3.13 所示，其加速度反應譜如圖 3.14 所示，經轉換後 PGA 為 0.262g，尚屬合理。

第4章 核二廠反應器廠房之 Stick Model 與 Detailed Model

為建構核二廠反應器廠房互制之 Stick Model 與 Detailed Model 進行核電廠土壤結構互制分析，並比較 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 於頻域分析核二廠之土壤結構互制效應。

核二廠整個廠區平面接近正方形，南北向長 551ft，東西向長 573ft，含 2 幢反應器建物共有 8 幢建物，反應器建物支承之鋼筋混凝土基底厚 10.75ft，其底部高程為-50.75ft，反應器建物之頂部高程為 170.58ft，建物由基底頂部總高為 221.33ft，地表高程為 0ft，整個建物埋入地表深度為 50.75ft。

本計畫因使用 SASSI 程式建立分析模型，為配合柔積法需減去土壤部份之質量與勁度，並使土壤部份與結構部份之結點於結構邊界上位移諧合，因此，若要建立精確之分析模型，必須將上述含反應器建物之 8 幢建物全部建入分析模型，如此，才能精確反應埋入土壤之影響，並可考慮結構物與結構物間之互制效應，其分析模型之示意圖如圖 4.1 所示，國外亦有類似之分析模型如圖 4.2 所示[11]。但如此做分析模型實在太大，其分析自由度可能高達數十萬至百萬以上，本計畫因時間與資源並不容許，故以簡化後之分析模型來求解上述問題。

4.1 工址概述

核二廠反應器廠房 Detailed Model 之工址土層條件、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 3.4 節所述須經 SHAKE 轉換使用圖 3.11 及圖 3.13 之 B 點非露頭地震加速度歷時。

4.2 結構體概述

簡化後之分析模型僅模擬反應器廠房部份，其餘結構物暫不考慮。反應器廠房為 RC 結構包括環狀圍阻體，內部為 Mark III 沸水式反應器第 6 型，反應器建物由 Outer Containment、Drywall、Pedestal/Shield Wall 及反應器壓力容器 (RPV)所組成。

結構體簡化後，減去土壤部份亦須簡化，配合簡化後之結構體，可分為(a)僅考慮基礎版(-40ft)以下為埋入土壤忽略以上埋入土壤效應、(b)假設地表高程(0ft)以下皆有埋入土壤且圍阻體外牆接觸土壤及(c)假設地表高程(0ft)以下皆有埋入土壤且圍阻體外牆不接觸土壤三種 Case，事實上三種 Case 與實際狀況皆不符，理論上以 Case(c)較接近實際狀況，但埋入土壤元素必須分割延伸至最外圍結構物外牆，因分析模型過於龐大，故本計畫僅考慮 Case(a)及 Case(b)。

反應器廠房結構體主要使用混凝土及鋼構建造，混凝土之 28 天最小抗壓強度 f_c' 為 6850 psi，波松比 ν 為 0.20，彈性模數 E 為 6.79×10^5 ksf，單位重 ρ 為 150 lb/ft³；鋼構 Vessel Wall 彈性模數 E 為 3.989×10^6 ksf，波松比 ν 為 0.3，Shield Wall 彈性模數 E 為 4.176×10^6 ksf，波松比 ν 為 0.27，其餘鋼構彈性模數 E 為 3.701×10^6 ksf，波松比 ν 為 0.3，單位重 ρ 為 490 lb/ft³，材料性質如表 4.1 所示，材料阻尼比如表 4.2 所示。

若考慮在 SSE 載重條件混凝土有可能開裂，因 GE 之 Stick Model 並未折減混凝土強度，為方便比較後續之分析亦假設混凝土未開裂。

4.3 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 分析模型因充分考慮結構體的細部行為，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。

4.3.1 工址自由域之分析模型

此部分之分析已於 3.4 節使用 SHAKE 程式完成，水平向及垂直向分析之土壤剖面及材料性質分別如圖 4.3 及圖 4.4 所示，其中阻尼比並未達上限即美國 NRC SRP 規定水平向為 15%，垂直向為 10%。

4.3.2 最高分析頻率及網格尺寸

元素網格尺寸及土層厚度 Δh 之大小與模型最高之分析頻率 $f_{\max}$ 有關，若分析時採用 Direct Method，因 SASSI 質量矩陣由 50%集中質量與 50%諧和質量所組成，元素網格尺寸及土層厚度須小於 $1/5$ 剪力波波長，若採用 Subtraction Method，元素網格尺寸及土層厚度須小於 $1/8$ 剪力波波長，若採用 Extended Subtraction Method，元素網格尺寸及土層厚度則須介於 $1/5$ 至 $1/8$ 剪力波波長之間，剪力波波長 λ 為剪力波波速 V_s 除以最高分析頻率 $f_{\max}$ ，換言之， $f_{\max}$ 須小於等於 $V_s/\Delta h$ 再乘以 $1/5$ 或 $1/8$ 。

因基底岩層遠較上層回填土壤硬，土壤層厚 10ft 已足以使最高分析頻率超過 33Hz，因此，僅須考慮地表至基底之土壤性質，由圖 4.3 及圖 4.4 得知，地表至基底之平均剪力波波速為 1147.86ft/sec，再由圖 4.5 及圖 4.6 之水平向及垂直向地震之富利葉振幅譜得知，水平向及垂直向地震最高分析頻率理應至上限 33Hz，但富利葉振幅譜超過 25Hz 比例並不高，最高分析頻率定至 25Hz 對分析結果影響應不大。

本計畫之 Stick Model 與 Detailed Model 皆使用 Direct Method，平均元素網格尺寸約在 10ft 左右，最高分析頻率約可達 23Hz，約接近最高分析頻率 25Hz。

4.3.3 Stick Model 結構部分之分析模型

集中質量 Stick Model 採用 GE 之分析模型[7]，其材料性質如表 4.1 所示，材料阻尼比如表 4.2 所示，GE Stick Model 水平向分析模型如圖 4.7 所示[7]，垂直向分析模型如圖 4.8 所示[7]，圖 4.7 及圖 4.8 中有數個三維的集中質量 Stick Model 分別為(a)Outer Containment、(b)Drywall、(c)Pedestal/Shield Wall 及(d)反

應器壓力容器(RPV)，GE Stick Model 為二維分析模型，本計畫以其水平向分析模型為主，將水平及垂直向二維分析模型整合為一三維分析模型，水平向分析模型之外部彈簧常數如表 4.3 所示。

因使用 SASSI 分析，GE Stick Model 下部結構埋入土壤部分須以三維之版殼元素模擬，故 Stick Model 在埋入高程下之斷面性質及集中質量須加以修正，4.2 節 Case(a)之 SASSI 結構體分析模型如圖 4.9 所示，Case(b)之 SASSI 結構體分析模型如圖 4.10 所示。

4.3.4 Detailed Model 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 相近，Detailed Model 依參考文獻[8,9,10]建置，主要精神為按實計算。

分析模型之建立主要藉由 SAP2000 再經由 SAPin 轉至 SASSI，SASSI Detailed Model 分析模型共有 4475 個節點、57 個梁元素、3239 個版殼元素及 672 個實體元素，圖 4.11 為 Detailed Model 之俯視圖，圖 4.12 及圖 4.13 為 Detailed Model 之內部剖面圖，圖 4.14 為 Detailed Model 之基礎版及 RPV 基座，圖 4.15 為 Detailed Model 之 Shield Wall，圖 4.16 為 Detailed Model 之 Drywall，圖 4.17 為 Detailed Model 之內部結構牆及版，圖 4.18 為 Detailed Model 之 Outer Containment，圖中不同顏色之元素代表不同之元素斷面性質，除了基礎版及 RPV 基座使用實體元素外，所有樓版及牆皆使用版殼元素。

如圖 4.19 所示，因基礎版實體元素節點無旋轉自由度，故無法傳遞相接版殼元素之彎曲勁度，因此，須將所有與實體元素相接之版殼元素(含 Containment、Drywall 及 Shield Wall 等)延伸至實體元素中以傳遞其彎曲勁度，延伸部份不賦予質量即材料密度為零。

RPV 此處仍以 Stick Beam 及 Lump Mass 模擬，RPV Stick Beam 如何連接至 Detailed Model RPV 基座之頂部如圖 4.20 所示，圖中顯示 RPV 分別經由等分之水平彈簧元素 K2 及 K3 於高程-18.983ft 及 52.233ft 處連接至 Shield Wall 及 Drywall，另外 RPV 再於高程-9.333ft 處經由 Skirt 梁元素連接至 Shield Wall。

4.3.5 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，此部分為反應器廠房埋入地表高程部分，此埋入土壤體積無論 Stick Model 或 Detailed Model 均需以三維實體元素模擬，此部分之 Stick Model Case(a) 之分析模型如圖 4.21 所示，Stick Model Case(b) 之分析模型如圖 4.22 所示，Detailed Model Case(a) 之分析模型如圖 4.23 所示，Detailed Model Case(b) 之分析模型如圖 4.24 所示，本計畫使用 Direct Method 來分析土壤阻抗，圖中之小藍點即代表土壤阻抗節點。

4.4 反應器廠房間之 SSI 分析結果

Stick Model 不含基礎版總重 104605kips，本計畫之 Detailed Model 不含基礎版總重 116202 kips，誤差在 10% 左右，對分析結果會有一定比例之影響，未來實有檢討之必要。

核二廠反應器廠房 Detailed Model 經 SASSI 分析後之結果，並與上述之 Stick Model 結果比較，比較項目分為節點轉換函數、反應譜及最大加速度，如圖 4.25 所示分別為基礎版底部節點 97(I152)、基礎版頂部節點 96(657)、Containment 地表節點 76(1467)、Containment 頂部節點 68(3854)、Drywall 地表節點 83(1462)、Drywall 頂部節點 79(3270)、Shield Wall 地表節點 91(1355)、Shield Wall 頂部節點 86(2439)、RPV 底部節點 18、RPV 地表節點 59 及 RPV 頂部節點 38，其中括號內節點編號為 Detailed Model 相對應之節點編號，因是 Detailed Model 某些位置只能取相近座標，無法與 Stick Model 完全相同，圖 4.30 至圖 4.97 為分析結果，圖中圖例若有附加"-I"者代表雙反應器，若無代表單反應器，分析結果分述如下。

4.4.1 節點最大加速度

本計畫主要是探討反應器廠房間之互制效應，核二廠共有兩機組即雙反應器，反應器間之距離為 368ft，考慮反應器廠房間互制效應之 Stick Model

Case(a)及 Case(b)如圖 4.26 及圖 4.27 所示，Detailed Model Case(a)及 Case(b)如圖 4.28 及圖 4.29 所示，本節分別以 Stick Model 及 Detailed Model 探討有無考慮反應器廠房間互制效應之差別。

節點最大加速度乃反應結構所受之慣性力，為結構設計之重要指標，可由反應加速度時間歷時直接求得，亦可由反應譜中之 ZPA 間接得知。

1. Containment

圖 4.30 為 EW 向 Stick Model 之節點最大加速度與高程之關係，圖中顯示無論 Case(a)或 Case(b)雙反應器(考慮互制效應)之反應皆大於單反應器(不考慮互制效應)，高程越高越明顯，Case(a)之反應又大於 Case(b)，亦是高程越高越明顯，但埋入土壤的影響顯然大於反應器間之互制效應；圖 4.31 為 EW 向 Detailed Model 之節點最大加速度與高程之關係，Detailed Model 之反應非常類似 Stick Model，不同之處在於埋入土壤的影響遠小於反應器間之互制效應，埋入土壤的影響並不顯著，幾乎沒有影響；圖 4.32 為 EW 向 Stick Model 與 Detailed Model 之比較，4 個 Case 皆考慮反應器間之互制效應，Detailed Model 反應大於 Stick Model，Stick Model 反應類似懸臂梁，Detailed Model 反應類似剪力屋架，相關分析數據如表 4.4。

圖 4.33 為 UD 向 Stick Model 之節點最大加速度與高程之關係，圖中顯示無論 Case(a)或 Case(b)反應器間之互制效應並不顯著，Case(a)之反應又小於 Case(b)，高程越高越明顯，埋入土壤的影響遠大於反應器間之互制效應；圖 4.34 為 UD 向 Detailed Model 之節點最大加速度與高程之關係，Detailed Model 之反應非常類似 Stick Model，反應器間之互制效應並不顯著，雙反應器之反應反而略小於單反應器；圖 4.35 為 UD 向 Stick Model 與 Detailed Model 之比較，4 個 Case 皆考慮反應器間之互制效應，Detailed Model 於較高高程反應大於 Stick Model，低高程反應相距不多，相關分析數據如表 4.5。

2. Drywall

圖 4.36 為 EW 向 Stick Model 之節點最大加速度與高程之關係，圖中顯示無論 Case(a)或 Case(b) 雙反應器之反應皆大於單反應器，高程越高越明顯，雙反應器 Case(a)之反應又大於 Case(b)，亦是高程越高越明顯，單反應器 Case(a)與 Case(b)幾乎完全相同；圖 4.37 為 EW 向 Detailed Model 之節點最大加速度與高程之關係，Detailed Model 之反應非常類似 Stick Model，亦是埋入土壤的影響小於反應器間之互制效應，埋入土壤的影響並不顯著，幾乎沒有影響；圖 4.38 為 EW 向 Stick Model 與 Detailed Model 之比較，4 個 Case 皆考慮反應器間之互制效應，Detailed Model 反應小於 Stick Model，相關分析數據如表 4.6。

圖 4.39 為 UD 向 Stick Model 之節點最大加速度與高程之關係，圖中顯示無論 Case(a)或 Case(b)反應器間之互制效應並不顯著，Case(a)之反應於高程 20ft 以下大於 Case(b)，高程 20ft 以上小於 Case(b)，埋入土壤的影響遠大於反應器間之互制效應；圖 4.40 為 UD 向 Detailed Model 之節點最大加速度與高程之關係，Case(a)之反應於高程 51ft 以下皆大於 Case(b)，反應器間之互制效應並不顯著，雙反應器之反應反而略小於單反應器；圖 4.41 為 UD 向 Stick Model 與 Detailed Model 之比較，4 個 Case 皆考慮反應器間之互制效應，Detailed Model 於高程 51ft 以下皆小於 Stick Model，高程 51ft 以上大於 Stick Model Case(a)，相關分析數據如表 4.7。

3. Shield Wall

圖 4.42 為 EW 向 Stick Model 之節點最大加速度與高程之關係，圖中顯示無論 Case(a)或 Case(b)雙反應器之反應皆大於單反應器，高程越高越明顯，Case(a)之反應又大於 Case(b)，亦是高程越高越明顯，但埋入土壤的影響顯然大於反應器間之互制效應；圖 4.43 為 EW 向 Detailed Model 之節點最大加速度與高程之關係，Detailed Model 之反應非常類似 Stick Model，不同之處在於埋入土壤的影響小於反應器間之互制效應，埋入土壤的影響並不顯著；圖 4.44 為 EW 向 Stick Model 與 Detailed Model 之比較，4 個 Case 皆考慮反應器間之

互制效應，Detailed Model 反應小於 Stick Model，Stick Model 反應類似懸臂梁，Detailed Model 反應類似剪力屋架，相關分析數據如表 4.8。

圖 4.45 為 UD 向 Stick Model 之節點最大加速度與高程之關係，圖中顯示無論 Case(a)或 Case(b)反應器間之互制效應並不顯著，僅雙反應器 Case(b)與其他 Case 略有不同，反曲點約於高程 10ft 處，高程之影響不顯著，僅-30ft 至 10ft 間之反應隨高程線性增加；圖 4.46 為 UD 向 Detailed Model 之節點最大加速度與高程之關係，Detailed Model 反應器間之互制效應並不顯著，Case(a)或 Case(b)亦差不多，高程對反應幾乎無影響；圖 4.47 為 UD 向 Stick Model 與 Detailed Model 之比較，4 個 Case 皆考慮反應器間之互制效應，Detailed Model 反應小於 Stick Model，相關分析數據如表 4.9。

4. RPV

圖 4.48 為 EW 向 Stick Model 之節點最大加速度與高程之關係，圖中顯示無論 Case(a)或 Case(b)雙反應器之反應皆大於單反應器，高程越高越明顯，雙反應器 Case(a)之反應又大於 Case(b)，亦是高程越高越明顯，但埋入土壤的影響顯然小於反應器間之互制效應；圖 4.49 為 EW 向 Detailed Model 之節點最大加速度與高程之關係，Detailed Model 之反應非常類似 Stick Model，埋入土壤的影響並不顯著；圖 4.50 為 EW 向 Stick Model 與 Detailed Model 之比較，4 個 Case 皆考慮反應器間之互制效應，Detailed Model 反應小於 Stick Model，相關分析數據如表 4.10。

圖 4.51 為 UD 向 Stick Model 之節點最大加速度與高程之關係，圖中顯示無論 Case(a)或 Case(b)反應器間之互制效應並不顯著，Case(a)之反應於高程 5ft 以下皆小於 Case(b)，5ft 以上皆大於 Case(b)，高程之影響不顯著；圖 4.52 為 UD 向 Detailed Model 之節點最大加速度與高程之關係，Detailed Model 反應器間之互制效應並不顯著，Case(b)反應明顯大於 Case(a)，反應僅隨高程輕微變大；圖 4.53 為 UD 向 Stick Model 與 Detailed Model 之比較，4 個 Case 皆考慮反應器間之互制效應，Case(b)反應明顯大於 Case(a)，Case(a) Detailed

Model 反應小於 Stick Model，Case(b) Detailed Model 反應大於 Stick Model，相關分析數據如表 4.11。

4.4.2 節點轉換函數(放大函數)

節點轉換函數乃結構控制點輸入一單位外力此節點於頻域之反應，與地震外力無關，因此，結構經 SSI 後反應於頻域之特性可由轉換函數得知，本節僅比較雙反應器之反應，不再考慮單反應器反應。

1. EW 及 NS 水平向

圖 4.54 及圖 4.55 分別為基礎版底部節點 97(I152)及基礎版頂部節點 96(657)之加速度放大函數，圖中顯示 4 個 Case 於 15Hz 前之反應趨勢一致，僅 13Hz 之峰值有所不同，Case(a)明顯高於 Case(b)，埋入土壤效應降低峰值；圖 4.56 及圖 4.57 分別為 Containment 地表節點 76(1467)及頂部節點 68(3854)之加速度放大函數，4 個 Case 反應峰值及趨勢皆雷同；圖 4.58 及圖 4.59 分別為 Drywall 地表節點 83(1462)及頂部節點 79(3270)之加速度放大函數，4 個 Case 反應峰值頻率相近，除主峰值外其餘峰值大小 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同，埋入土壤效應影響不大；圖 4.60 及圖 4.61 分別為 Shield Wall 地表節點 91(1355)及頂部節點 86(2439)之加速度放大函數，Shield Wall 反應除高頻外與 Drywall 反應雷同；圖 4.62、圖 4.63 及圖 4.64 分別為 RPV 底部節點 18、地表節點 59 及頂部節點 38 之加速度放大函數，除主峰值外其餘峰值無論頻率或大小，Stick Model 與 Detailed Model 並不相同，埋入土壤效應影響不大反應雷同。

2. UD 垂直向

圖 4.65 及圖 4.66 分別為基礎版底部節點 97(I152)及基礎版頂部節點 96(657)之加速度放大函數，基礎版底部節點高頻部份 4 個 Case 會有明顯差異，基礎版頂部節點 4 個 Case 之反應趨勢大致一致；圖 4.67 及圖 4.68 分別為 Containment 地表節點 76(1467)及頂部節點 68(3854)之加速度放大函數，地

表節點 4 個 Case 反應峰值及趨勢皆雷同，頂部節點高頻部份 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同；圖 4.69 及圖 4.70 分別為 Drywall 地表節點 83(1462) 及頂部節點 79(3270)之加速度放大函數，除低頻外 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同，埋入土壤效應影響不大；圖 4.71 及圖 4.72 分別為 Shield Wall 地表節點 91(1355)及頂部節點 86(2439)之加速度放大函數，Shield Wall 無論低頻或高頻，Stick Model 與 Detailed Model 並不相同，埋入土壤效應顯著；圖 4.73、圖 4.74 及圖 4.75 分別為 RPV 底部節點 18、地表節點 59 及頂部節點 38 之加速度放大函數，RPV 反應與 Shield Wall 類似。

4.4.3 節點反應譜

轉換函數與地震外力於頻域相乘，經 IFFT 後至時域即為反應時間歷時，而反應譜可視為時間歷時的另一種表示方式，因此，反應譜某程度上應與轉換函數相呼應，本節亦僅比較雙反應器之反應，不再考慮單反應器反應。

1. EW 及 NS 水平向

圖 4.76 及圖 4.77 分別為基礎版底部節點 97(1152)及基礎版頂部節點 96(657)之加速度反應譜，圖中顯示 4 個 Case 之反應趨勢一致，反應僅略有不同；圖 4.78 及圖 4.79 分別為 Containment 地表節點 76(1467)及頂部節點 68(3854)之加速度反應譜，4 個 Case 反應值及趨勢皆雷同，高頻 Detailed Model 反應大於 Stick Model；圖 4.80 及圖 4.81 分別為 Drywall 地表節點 83(1462)及頂部節點 79(3270)之加速度反應譜，4 個 Case 反應值及趨勢皆相近，高頻 Detailed Model 反應小於 Stick Model；圖 4.82 及圖 4.83 分別為 Shield Wall 地表節點 91(1355)及頂部節點 86(2439)之加速度反應譜，Shield Wall 反應與 Drywall 反應雷同，高頻 Detailed Model 反應亦小於 Stick Model，且 Stick Model 於 6Hz 處有一明顯峰值；圖 4.84、圖 4.85 及圖 4.86 分別為 RPV 底部節點 18、地表節點 59 及頂部節點 38 之加速度反應譜，底部節點及地表節點反應同 Shield Wall，但頂部節點反應 Detailed Model 於 8Hz 處另有一明顯峰值。

2. UD 垂直向

圖 4.87 及圖 4.88 分別為基礎版底部節點 97(I152)及基礎版頂部節點 96(657)之加速度反應譜，基礎版底部節點高頻部份 4 個 Case 會有明顯差異，基礎版頂部節點 4 個 Case 之反應趨勢大致一致；圖 4.89 及圖 4.90 分別為 Containment 地表節點 76(1467)及頂部節點 68(3854)之加速度反應譜，地表節點 4 個 Case 反應峰值及趨勢皆雷同，頂部節點高頻部份 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同；圖 4.91 及圖 4.92 分別為 Drywall 地表節點 83(1462)及頂部節點 79(3270)之加速度反應譜，高頻區 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同；圖 4.93 及圖 4.94 分別為 Shield Wall 地表節點 91(1355)及頂部節點 86(2439)之加速度反應譜，Shield Wall 於高頻區 Stick Model 反應遠大於 Detailed Model；圖 4.95、圖 4.96 及圖 4.97 分別為 RPV 底部節點 18、地表節點 59 及頂部節點 38 之加速度反應譜，RPV 反應於 3Hz 至 10Hz，Stick Model 反應遠大於 Detailed Model 與 Shield Wall 類似，但超過 10Hz，Detailed Model 反應大於 Stick Model。

第5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：

5.1 結論

1. Containment 最大加速度水平向反應，雙反應器之反應皆大於單反應器，高程越高越明顯，Detailed Model 反應大於 Stick Model，Stick Model 反應類似懸臂梁，Detailed Model 反應類似剪力屋架。
2. Containment 最大加速度垂直向反應，反應器間之互制效應並不顯著，Case(a)之反應又小於 Case(b)，高程越高越明顯，埋入土壤的影響遠大於反應器間之互制效應，Detailed Model 於較高高程反應大於 Stick Model，低高程反應相距不多。
3. Drywall 最大加速度水平向反應，雙反應器之反應皆大於單反應器，高程越高越明顯，埋入土壤的影響遠小於反應器間之互制效應，埋入土壤的影響並不顯著，幾乎沒有影響，Detailed Model 反應小於 Stick Model。
4. Drywall 最大加速度垂直向反應，反應器間之互制效應並不顯著，Detailed Model 於高程 51ft 以下皆小於 Stick Model，高程 51ft 以上大於 Stick Model Case(a)。
5. Shield Wall 最大加速度水平向反應，雙反應器之反應皆大於單反應器，高程越高越明顯，Detailed Model 反應小於 Stick Model，Stick Model 反應類似懸臂梁，Detailed Model 反應類似剪力屋架。
6. Shield Wall 最大加速度垂直向反應，反應器間之互制效應並不顯著，高程對反應幾乎無影響，Detailed Model 反應小於 Stick Model。
7. RPV 最大加速度水平向反應，雙反應器之反應皆大於單反應器，高程越高越明顯，埋入土壤的影響並不顯著，Detailed Model 反應小於 Stick Model。
8. RPV 最大加速度垂直向反應，反應器間之互制效應並不顯著，高程對反應並不顯著。

9. 節點轉換函數水平向，基礎版底部及基礎版頂部 4 個 Case 於 15Hz 前之反應趨勢一致，僅 13Hz 之峰值有所不同，Case(a)明顯高於 Case(b)，埋入土壤效應降低峰值；Containment 地表及頂部之加速度放大函數，4 個 Case 反應峰值及趨勢皆雷同；Drywall 地表及頂部之加速度放大函數，4 個 Case 反應峰值頻率相近，除主峰值外其餘峰值大小 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同，埋入土壤效應影響不大；Shield Wall 地表及頂部之加速度放大函數，Shield Wall 反應除高頻外與 Drywall 反應雷同；RPV 底部、地表及頂部之加速度放大函數，除主峰值外其餘峰值無論頻率或大小，Stick Model 與 Detailed Model 並不相同，埋入土壤效應影響不大反應雷同。
10. 節點轉換函數垂直向，基礎版底部及基礎版頂部之加速度放大函數，基礎版底部節點高頻部份 4 個 Case 會有明顯差異，基礎版頂部節點 4 個 Case 之反應趨勢大致一致；Containment 地表及頂部之加速度放大函數，地表節點 4 個 Case 反應峰值及趨勢皆雷同，頂部節點高頻部份 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同；Drywall 地表及頂部之加速度放大函數，除低頻外 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同，埋入土壤效應影響不大；Shield Wall 地表及頂部之加速度放大函數，Shield Wall 無論低頻或高頻，Stick Model 與 Detailed Model 並不相同，埋入土壤效應顯著；RPV 底部、地表及頂部之加速度放大函數，RPV 反應與 Shield Wall 類似。
11. 節點反應譜水平向，基礎版底部及基礎版頂部之加速度反應譜，4 個 Case 之反應趨勢一致，反應僅略有不同；Containment 地表及頂部之加速度反應譜，4 個 Case 反應值及趨勢皆雷同，高頻 Detailed Model 反應大於 Stick Model；Drywall 地表及頂部之加速度反應譜，4 個 Case 反應值及趨勢皆相近，高頻 Detailed Model 反應小於 Stick Model；Shield Wall 地表及頂部之加速度反應譜，Shield Wall 反應與 Drywall 反應雷同，高頻 Detailed Model 反應亦小於 Stick Model，且 Stick Model 於 6Hz 處有一明顯峰值；RPV 底部、地表及頂部之加速度反應譜，底部節點及地表節點反應同 Shield Wall，但頂部節點反應 Detailed Model 於 8Hz 處另有一明顯峰值。
12. 節點反應譜垂直向，基礎版底部高頻部份 4 個 Case 會有明顯差異，基礎版頂部 4 個 Case 之反應趨勢大致一致；Containment 地表 4 個 Case 反應峰值及

趨勢皆雷同，頂部高頻部份 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同；Drywall 地表及頂部之加速度反應譜，高頻區 Stick Model 與 Detailed Model 並不相同；Shield Wall 地表及頂部之加速度反應譜，Shield Wall 於高頻區 Stick Model 反應遠大於 Detailed Model；RPV 底部、地表及頂部之加速度反應譜，RPV 反應於 3Hz 至 10Hz，Stick Model 反應遠大於 Detailed Model 與 Shield Wall 類似，但超過 10Hz，Detailed Model 反應大於 Stick Model。

5.2 建議

1. 本計畫僅考慮雙反應器間之互制效應，反應器相距甚遠互制效應已相當明顯，合理推估鄰近建物之影響更大，未來建議應將廠區 8 幢建物全部建入分析模型，如此，才能精確反應埋入土壤之影響，並可考慮結構物與結構物間之互制效應。
2. Stick Model 不含基礎版總重 104605kips，本計畫之 Detailed Model 不含基礎版總重 116202 kips，誤差在 10%左右，對分析結果會有一定比例之影響，未來實有檢討 Stick Model 及 Detailed Model 之必要。
3. 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，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。
4. SASSI Subtraction Method 於 2010 年美國能源部已證實某些條件下高頻部份有誤。若使用 Subtraction Method 元素網格尺寸及土層厚度須小於 1/8 剪力波波長，而非 1/5 剪力波波長，若使用 Extended Subtraction Method 元素網格尺寸及土層厚度則須介於 1/5 至 1/8 剪力波波長之間。本計畫主持人發展之 LSASSI 使用特殊之平行處理演算法計算逆矩陣，使用 Direct Method 會比其它版本之 SASSI 快 4 倍以上，因此，本計畫無論 Stick Model 或 Detailed Model、Case(a)或 Case(b)一律皆使用 Direct Method，未來建議全面改用 Direct Method。
5. 本計畫之 Stick Model 及 Detailed Model，依其元素網格尺寸及土層厚度，最高分析頻率則僅至 25Hz 左右，並無法完全滿足地震最高分析頻率應考慮至 33Hz 之需求，且本計畫僅就 BE 土層性質加以討論，若是 LB 土層性質，元

素網格尺寸及土層厚度將無法滿足需求，建議未來再將元素網格尺寸及土層厚度細切，以滿足分析需求。

6. 本計畫工址之土層性質及剖面資料已相當老舊，建議未來若有有進一步的土壤鑽探資料，應將舊有資料更新並重新分析。

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. 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.
5. 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.
6. GE Nuclear Energy, Lungmen Nuclear Units 1 & 2, "Assessment of Structure-to-Structure Interaction Effects Between Reactor and Control Buildings." Appendix F to "Seismic Analysis of the Control Buildings," Report prepared by International Civil Engineering consultants, Inc., Project Document No. 31113-0U73-1411.
7. Kuosheng NPP Units 1 & 2 RPV and RPV Internal Seismic Analysis, GEH386HA705, TPC.
8. Final Safety Analysis Report, Amendment No.21, Kuosheng Nuclear Power Station Units 1 & 2, TPC, April 2015.
9. 核能二廠耐震安全餘裕評估計畫成果總結報告，附件九，台灣電力公司，S&A 計算書 11C4032-CAL-004, Rev. 1, Soil Property Evaluation for Soil-Structure Interaction Analysis, 泰興工程顧問股份有限公司, December 2013。
10. 核能二廠反應器廠房圖，台灣電力公司。

11. Mansour Tabatabaie, Ph.D., P.E., “Recent Advances in Seismic Soil-Structure Interaction Analysis of NPPs,” NEA/CSNI-IAGE / IAEA ISSC SSI Workshop, Ottawa, Canada, October 6-8, 2010.

表 3.1 低應變 BE 土層性質

Material	Thickness(ft)	Shear Modulus (ksf)	Density(pcf)	Poisson Ratio
Backfill Sand	14.37	1190	125	0.375
Backfill Sand	7.63	2540	130	0.45
Backfill Sand	8.0	3510	130	0.45
Rock	10.0	12960	125	0.4
Rock	10.0	21600	135	0.35
Rock	20.0	21600	140	0.35

表 4.1 反應器廠房結構體材料性質

Material Properties		
Material	Young's Modulus (lb/In ²)	Poisson's Ratio
M1	11.5×10 ⁶	0.42
M2	25.7×10 ⁶	0.30
M3	27.7×10 ⁶	0.30
M4	4.715×10 ⁶	0.20
M5	29.0×10 ⁶	0.27

表 4.2 反應器廠房結構體材料阻尼比

Damping Values		
	OBE	SSE
Vessel, internals	2%	3%
Fuel	6%	6%
Building	2%	5%

表 4.3 GE Stick Model 水平向分析模型之外部彈簧常數

External Springs			
Spring	"SAMIS" Node	"SAMIS" Node	Spring Constant (lb/in) or (in-lb/rad)
K ₁	22	66	2.01×10 ⁸
K ₂	66	67	5.80×10 ⁶
K ₃	41	60	1.0×10 ⁶
K ₄	37	36	10.0×10 ¹¹

表 4.4 Stick I- Containment 之節點水平向最大加速度

Node (Stick)	EL(ft) (Stick)	Node (Detailed)	EL(ft) (Detailed)	Stick	Stick (Embedded)	Detailed	Detailed (Embedded)	Stick-Inter.	Stick-Inter. (Embedded)	Detailed-Inter.	Detailed-Inter. (Embedded)
68	170.58	3854	171.58	0.900	0.755	0.943	0.925	0.953	0.798	1.007	0.989
69	146.42	3712	145.96	0.816	0.700	0.869	0.861	0.861	0.737	0.929	0.915
70	126.08	3564	123.04	0.742	0.660	0.800	0.804	0.781	0.692	0.855	0.853
71	106.08	3478	106.08	0.664	0.621	0.755	0.764	0.705	0.649	0.805	0.806
72	77.00	3277	76.25	0.580	0.556	0.667	0.670	0.613	0.577	0.704	0.700
73	56.50	2925	59.58	0.521	0.504	0.586	0.592	0.548	0.519	0.618	0.616
74	36.75	2340	37.08	0.466	0.448	0.505	0.512	0.486	0.459	0.529	0.530
75	17.00	1746	18.00	0.416	0.408	0.452	0.454	0.421	0.414	0.469	0.466
76	0.00	1467	0.00	0.389	0.382	0.398	0.383	0.387	0.387	0.408	0.387
77	-14.00	1275	-10.00	0.372	0.369	0.372	0.365	0.371	0.373	0.372	0.374
78	-27.42	955	-30.00	0.358	0.357	0.356	0.353	0.357	0.360	0.355	0.358
96c	-40.00	657	-40.00	0.347	0.349	0.350	0.346	0.345	0.352	0.349	0.351

表 4.5 Stick I- Containment 之節點垂直向最大加速度

Stick I -Containment											
Node (Stick)	EL(ft) (Stick)	Node (Detailed)	EL(ft) (Detailed)	Stick	Stick (Embedded)	Detailed	Detailed (Embedded)	Stick-Inter.	Stick-Inter. (Embedded)	Detailed-Inter.	Detailed-Inter. (Embedded)
68	170.58	3854	171.58	0.297	0.361	0.369	0.464	0.294	0.360	0.361	0.461
69	146.42	3712	145.96	0.293	0.356	0.307	0.378	0.291	0.355	0.294	0.372
70	126.08	3564	123.04	0.289	0.348	0.279	0.343	0.286	0.347	0.276	0.337
71	106.08	3478	106.08	0.283	0.337	0.275	0.331	0.280	0.336	0.274	0.324
72	77.00	3277	76.25	0.270	0.315	0.272	0.306	0.268	0.313	0.270	0.300
73	56.50	2925	59.58	0.262	0.295	0.271	0.289	0.262	0.293	0.269	0.283
74	36.75	2340	37.08	0.262	0.273	0.269	0.270	0.262	0.270	0.267	0.269
75	17.00	1746	18.00	0.262	0.263	0.268	0.268	0.263	0.262	0.265	0.267
76	0.00	1467	0.00	0.262	0.263	0.266	0.265	0.263	0.261	0.264	0.264
77	-14.00	1275	-10.00	0.262	0.262	0.266	0.264	0.263	0.261	0.263	0.263
78	-27.42	955	-30.00	0.262	0.262	0.265	0.262	0.263	0.260	0.262	0.262
96c	-40.00	657	-40.00	0.261	0.261	0.264	0.261	0.262	0.260	0.262	0.260

表 4.6 Stick II- Drywall 之節點水平向最大加速度

Stick II -Drywall											
Node (Stick)	EL(ft) (Stick)	Node (Detailed)	EL(ft) (Detailed)	Stick	Stick (Embedded)	Detailed	Detailed (Embedded)	Stick-Inter.	Stick-Inter. (Embedded)	Detailed-Inter.	Detailed-Inter. (Embedded)
79	76.25	3270	76.25	0.879	0.875	0.622	0.649	0.935	0.913	0.658	0.662
60	52.23	2861	57.50	0.762	0.760	0.563	0.578	0.807	0.791	0.594	0.587
80	51.25	2683	51.25	0.757	0.755	0.546	0.556	0.802	0.786	0.575	0.570
81	32.75	2142	32.75	0.665	0.664	0.492	0.495	0.701	0.688	0.514	0.512
82	15.75	1740	18.00	0.568	0.567	0.451	0.453	0.595	0.585	0.468	0.465
83	0.00	1462	0.00	0.480	0.480	0.398	0.399	0.501	0.493	0.409	0.407
84	-11.00	1224	-14.83	0.420	0.422	0.371	0.360	0.436	0.431	0.374	0.372
85	-25.50	1091	-23.22	0.378	0.377	0.363	0.355	0.378	0.388	0.365	0.365
96d	-40.00	656	-40.00	0.348	0.350	0.350	0.345	0.346	0.354	0.349	0.351

表 4.7 Stick II- Drywall 之節點垂直向最大加速度

Stick II -Drywall											
Node (Stick)	EL(ft) (Stick)	Node (Detailed)	EL(ft) (Detailed)	Stick	Stick (Embedded)	Detailed	Detailed (Embedded)	Stick-Inter.	Stick-Inter. (Embedded)	Detailed-Inter.	Detailed-Inter. (Embedded)
79	76.25	3270	76.25	0.285	0.302	0.291	0.291	0.282	0.299	0.288	0.288
60	52.23	2861	57.50	0.284	0.299	0.290	0.289	0.281	0.296	0.287	0.287
80	51.25	2683	51.25	0.284	0.299	0.275	0.271	0.281	0.296	0.270	0.267
81	32.75	2142	32.75	0.282	0.295	0.274	0.270	0.279	0.292	0.269	0.266
82	15.75	1740	18.00	0.278	0.276	0.274	0.269	0.277	0.273	0.269	0.266
83	0.00	1462	0.00	0.276	0.270	0.273	0.269	0.275	0.268	0.269	0.266
84	-11.00	1224	-14.83	0.274	0.268	0.273	0.267	0.273	0.266	0.270	0.265
85	-25.50	1091	-23.22	0.271	0.266	0.272	0.267	0.271	0.265	0.269	0.265
96d	-40.00	656	-40.00	0.267	0.265	0.271	0.266	0.267	0.264	0.269	0.264

表 4.8 Stick III- Shield Wall 之節點水平向最大加速度

Stick III - Shield Wall											
Node (Stick)	EL(ft) (Stick)	Node (Detailed)	EL(ft) (Detailed)	Stick	Stick (Embedded)	Detailed	Detailed (Embedded)	Stick-Inter.	Stick-Inter. (Embedded)	Detailed-Inter.	Detailed-Inter. (Embedded)
86	42.04	2439	42.04	0.772	0.696	0.516	0.501	0.796	0.705	0.536	0.518
87	32.29	2233	33.48	0.708	0.643	0.488	0.479	0.733	0.653	0.506	0.501
88	22.54	1940	24.92	0.649	0.589	0.460	0.463	0.670	0.602	0.477	0.483
89	15.54	1666	16.35	0.598	0.550	0.436	0.447	0.622	0.564	0.449	0.465
90	8.54	1560	7.79	0.551	0.511	0.423	0.431	0.574	0.526	0.428	0.447
91	-1.33	1355	-0.77	0.487	0.461	0.410	0.415	0.506	0.472	0.413	0.429
92	-9.33	1307	-10.98	0.436	0.420	0.393	0.395	0.453	0.429	0.395	0.407
93	-12.92	-	-	0.414	0.401	-	-	0.430	0.409	-	-
94	-15.46	-	-	0.400	0.389	-	-	0.413	0.397	-	-
67	-18.98	1187	-17.00	0.384	0.377	0.384	0.385	0.391	0.390	0.386	0.396
95	-28.83	1067	-24.67	0.364	0.364	0.374	0.372	0.364	0.373	0.375	0.381
96s	-40.00	654	-40.00	0.350	0.352	0.354	0.350	0.349	0.358	0.354	0.356

表 4.9 Stick III- Shield Wall 之節點垂直向最大加速度

Stick III - Shield Wall											
Node (Stick)	EL(ft) (Stick)	Node (Detailed)	EL(ft) (Detailed)	Stick	Stick (Embedded)	Detailed	Detailed (Embedded)	Stick-Inter.	Stick-Inter. (Embedded)	Detailed-Inter.	Detailed-Inter. (Embedded)
86	42.04	2439	42.04	0.320	0.325	0.277	0.280	0.321	0.325	0.278	0.279
87	32.29	2233	33.48	0.320	0.325	0.277	0.280	0.321	0.325	0.278	0.279
88	22.54	1940	24.92	0.320	0.323	0.277	0.280	0.320	0.323	0.278	0.279
89	15.54	1666	16.35	0.319	0.321	0.277	0.280	0.320	0.321	0.278	0.279
90	8.54	1560	7.79	0.319	0.318	0.277	0.279	0.319	0.318	0.278	0.278
91	-1.33	1355	-0.77	0.318	0.314	0.277	0.279	0.318	0.314	0.278	0.278
92	-9.33	1307	-10.98	0.317	0.311	0.277	0.279	0.317	0.310	0.278	0.278
93	-12.92	-	-	0.309	0.298	-	-	0.309	0.299	-	-
94	-15.46	-	-	0.306	0.297	-	-	0.306	0.298	-	-
67	-18.98	1187	-17.00	0.297	0.293	0.277	0.279	0.298	0.294	0.278	0.278
95	-28.83	1067	-24.67	0.279	0.283	0.277	0.279	0.281	0.283	0.278	0.278
96s	-40.00	654	-40.00	0.278	0.282	0.276	0.277	0.281	0.282	0.277	0.276

表 4.10 Stick IV-RPV 之節點水平向最大加速度

Stick IV - RPV Wall											
Node (Stick)	EL(ft) (Stick)	Node (Detailed)	EL(ft) (Detailed)	Stick	Stick (Embedded)	Detailed	Detailed (Embedded)	Stick-Inter.	Stick-Inter. (Embedded)	Detailed-Inter.	Detailed-Inter. (Embedded)
38	61.32	38	61.32	0.909	0.886	0.800	0.783	0.948	0.924	0.810	0.824
39	60.10	39	60.10	0.897	0.876	0.792	0.777	0.938	0.910	0.802	0.817
40	54.50	40	54.50	0.841	0.834	0.758	0.745	0.892	0.854	0.767	0.783
41	52.23	41	52.23	0.818	0.817	0.744	0.732	0.875	0.838	0.753	0.769
42	49.90	42	49.90	0.795	0.800	0.730	0.719	0.856	0.822	0.739	0.755
43	47.42	43	47.42	0.770	0.782	0.714	0.706	0.838	0.803	0.723	0.741
44	43.44	44	43.44	0.743	0.752	0.690	0.684	0.808	0.775	0.698	0.717
45	41.62	45	41.62	0.732	0.738	0.679	0.674	0.794	0.761	0.687	0.706
46	38.12	46	38.12	0.711	0.712	0.657	0.654	0.769	0.736	0.665	0.685
47	34.08	47	34.08	0.689	0.682	0.631	0.630	0.740	0.706	0.639	0.659
48	27.70	48	27.70	0.654	0.638	0.590	0.593	0.697	0.660	0.597	0.619
49	26.36	49	26.36	0.646	0.629	0.581	0.585	0.688	0.650	0.589	0.611
50	22.74	50	22.74	0.626	0.604	0.559	0.563	0.664	0.624	0.568	0.587
51	20.45	51	20.45	0.613	0.589	0.545	0.549	0.648	0.608	0.551	0.572
52	18.15	52	18.15	0.600	0.574	0.531	0.535	0.633	0.593	0.537	0.557
53	15.86	53	15.86	0.587	0.560	0.516	0.522	0.617	0.578	0.522	0.542
54	13.56	54	13.56	0.574	0.546	0.502	0.508	0.598	0.564	0.508	0.528
55	11.27	55	11.27	0.560	0.532	0.489	0.495	0.587	0.550	0.494	0.514
56	7.30	56	7.30	0.538	0.510	0.465	0.471	0.562	0.525	0.470	0.489
57	6.47	57	6.47	0.533	0.506	0.461	0.466	0.556	0.521	0.465	0.484

58	3.96	58	3.96	0.518	0.492	0.447	0.452	0.540	0.506	0.451	0.468
36	3.13	36	3.13	0.513	0.488	0.442	0.448	0.535	0.501	0.446	0.463
59	-0.59	59	-0.59	0.490	0.467	0.424	0.429	0.508	0.479	0.428	0.444
61	-4.31	61	-4.31	0.468	0.447	0.407	0.412	0.484	0.458	0.410	0.425
62	-6.08	62	-6.08	0.458	0.439	0.401	0.406	0.472	0.449	0.404	0.419
18	-8.00	18	-8.00	0.447	0.429	0.395	0.399	0.462	0.439	0.398	0.411

表 4.11 Stick IV-RPV 之節點垂直向最大加速度

Stick IV - RPV Wall											
Node (Stick)	EL(ft) (Stick)	Node (Detailed)	EL(ft) (Detailed)	Stick	Stick (Embedded)	Detailed	Detailed (Embedded)	Stick-Inter.	Stick-Inter. (Embedded)	Detailed-Inter.	Detailed-Inter. (Embedded)
38	61.32	38	61.32	0.324	0.331	0.307	0.361	0.323	0.331	0.304	0.355
39	60.10	39	60.10	0.324	0.331	0.307	0.361	0.323	0.331	0.304	0.355
40	54.50	40	54.50	0.324	0.331	0.307	0.361	0.323	0.331	0.304	0.355
41	52.23	41	52.23	0.324	0.331	0.307	0.361	0.323	0.331	0.304	0.355
42	49.90	42	49.90	0.324	0.331	0.307	0.361	0.323	0.331	0.304	0.355
43	47.42	43	47.42	0.324	0.331	0.307	0.360	0.323	0.331	0.304	0.355
44	43.44	44	43.44	0.324	0.331	0.307	0.360	0.323	0.331	0.304	0.354
45	41.62	45	41.62	0.324	0.330	0.307	0.359	0.323	0.331	0.303	0.354
46	38.12	46	38.12	0.324	0.330	0.307	0.359	0.323	0.330	0.303	0.353
47	34.08	47	34.08	0.324	0.330	0.306	0.358	0.323	0.330	0.303	0.352
48	27.70	48	27.70	0.324	0.329	0.305	0.356	0.322	0.329	0.302	0.350
49	26.36	49	26.36	0.323	0.328	0.305	0.355	0.322	0.328	0.302	0.350
50	22.74	50	22.74	0.323	0.328	0.304	0.353	0.322	0.328	0.301	0.348
51	20.45	51	20.45	0.323	0.327	0.304	0.352	0.322	0.327	0.301	0.347
52	18.15	52	18.15	0.323	0.326	0.303	0.350	0.322	0.326	0.300	0.345
53	15.86	53	15.86	0.323	0.325	0.303	0.349	0.321	0.325	0.299	0.343
54	13.56	54	13.56	0.322	0.324	0.302	0.347	0.321	0.325	0.299	0.341
55	11.27	55	11.27	0.322	0.324	0.301	0.345	0.321	0.324	0.298	0.339
56	7.30	56	7.30	0.322	0.322	0.300	0.341	0.320	0.322	0.296	0.335
57	6.47	57	6.47	0.321	0.321	0.299	0.340	0.320	0.321	0.296	0.335

58	3.96	58	3.96	0.321	0.320	0.298	0.337	0.320	0.320	0.295	0.332
36	3.13	36	3.13	0.321	0.320	0.298	0.336	0.320	0.320	0.295	0.331
59	-0.59	59	-0.59	0.320	0.318	0.296	0.332	0.319	0.318	0.293	0.326
61	-4.31	61	-4.31	0.320	0.316	0.295	0.327	0.319	0.316	0.291	0.321
62	-6.08	62	-6.08	0.322	0.317	0.296	0.329	0.320	0.317	0.292	0.324
18	-8.00	18	-8.00	0.323	0.319	0.296	0.331	0.322	0.319	0.293	0.325

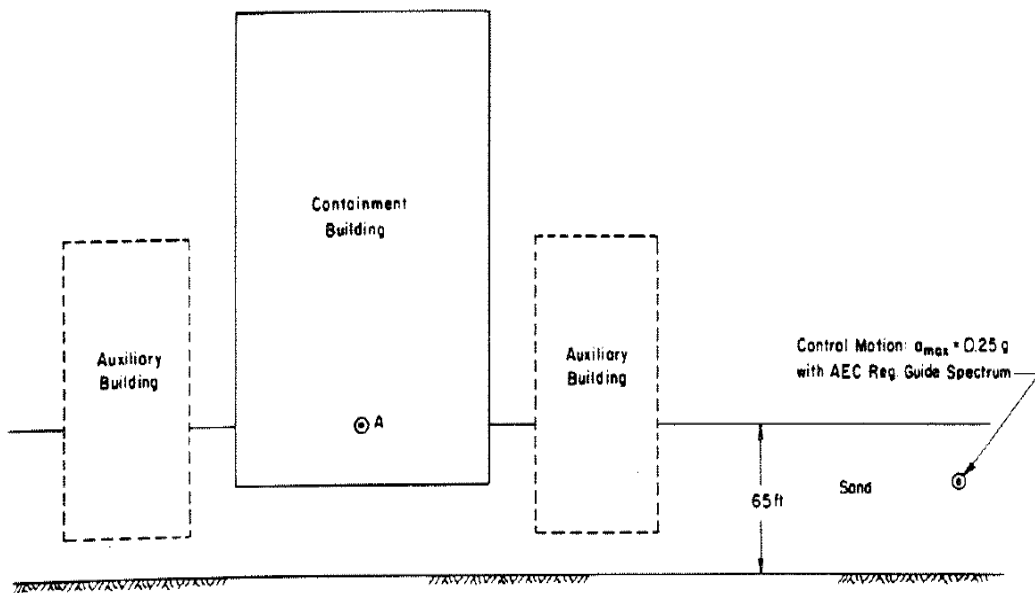
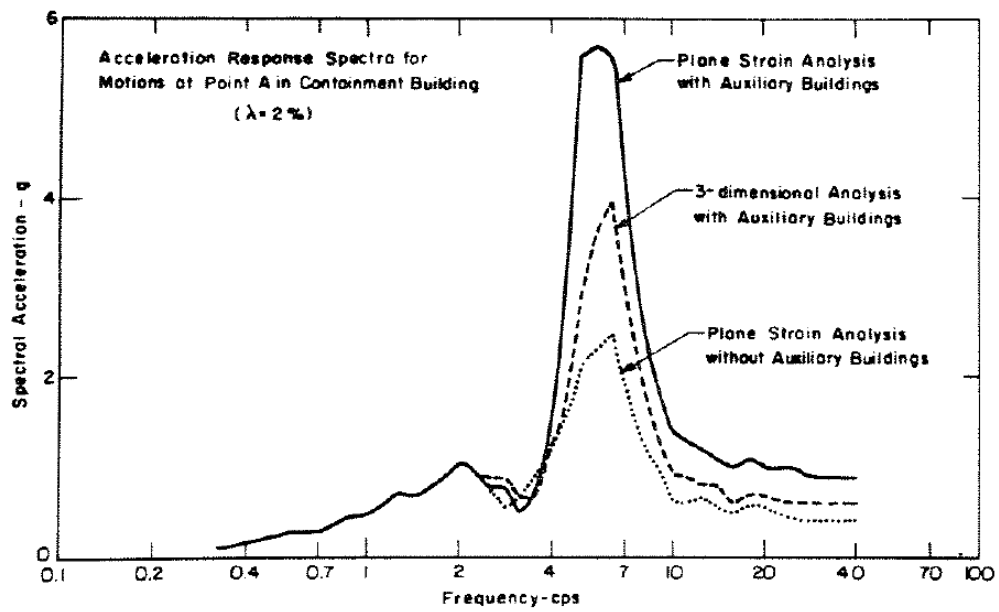


圖 1.1 考慮相鄰結構互制效應的土壤結構分析系統[6]

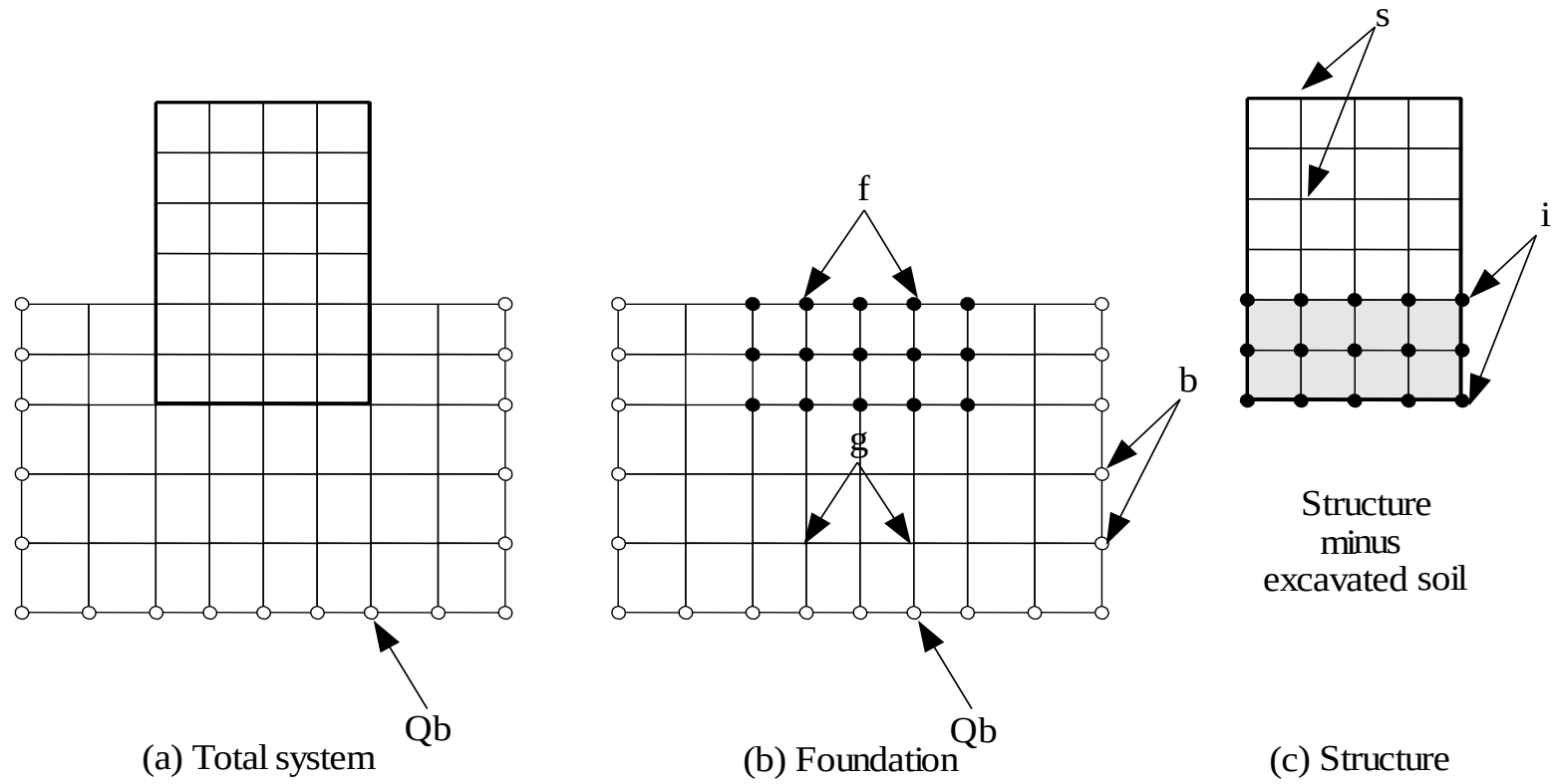


圖 2.1 柔性體積法之互制模式[3]

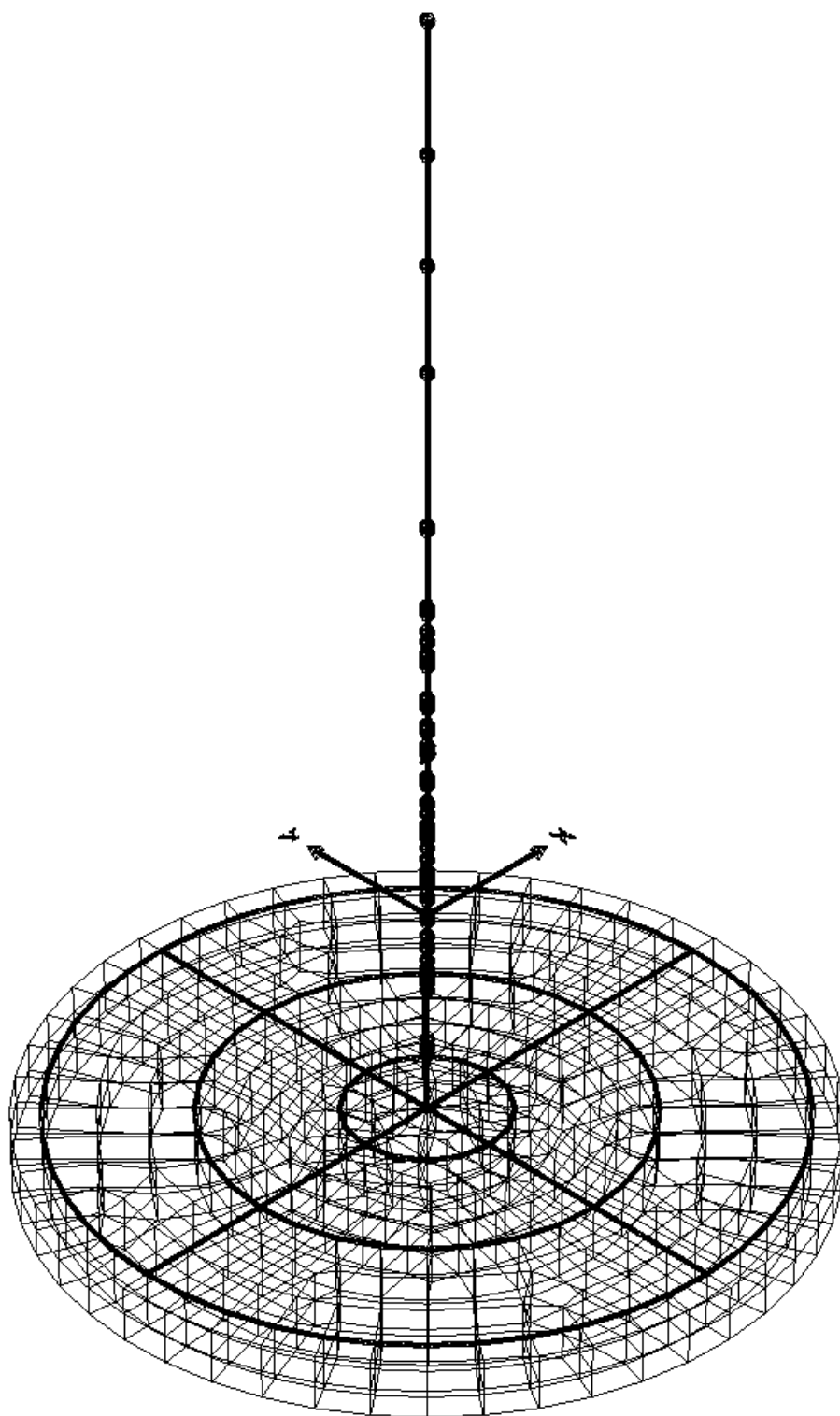


圖 2.2 Stick Model 之結構部份示意圖

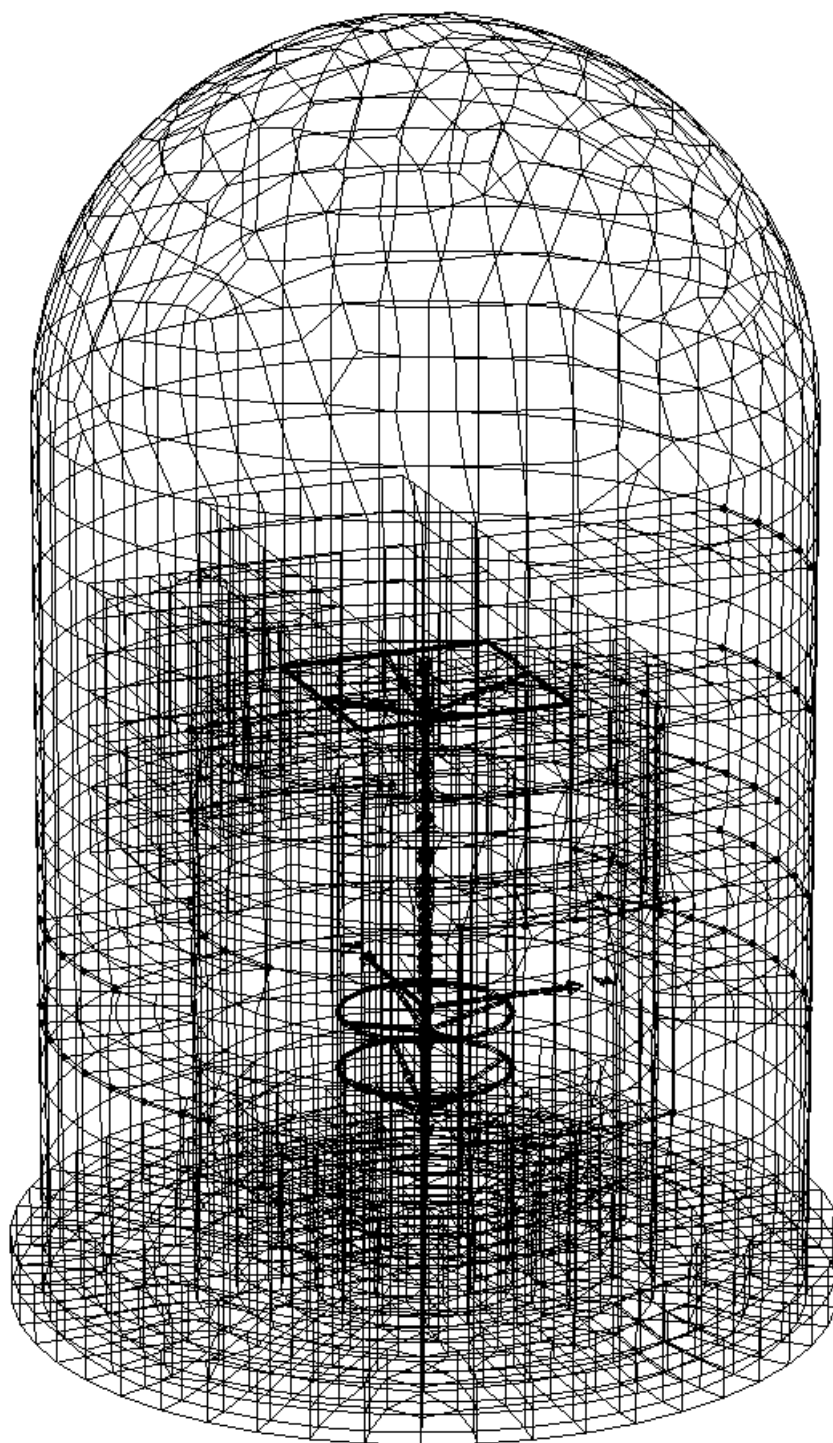


圖 2.3 Detailed Model 之結構部份示意圖

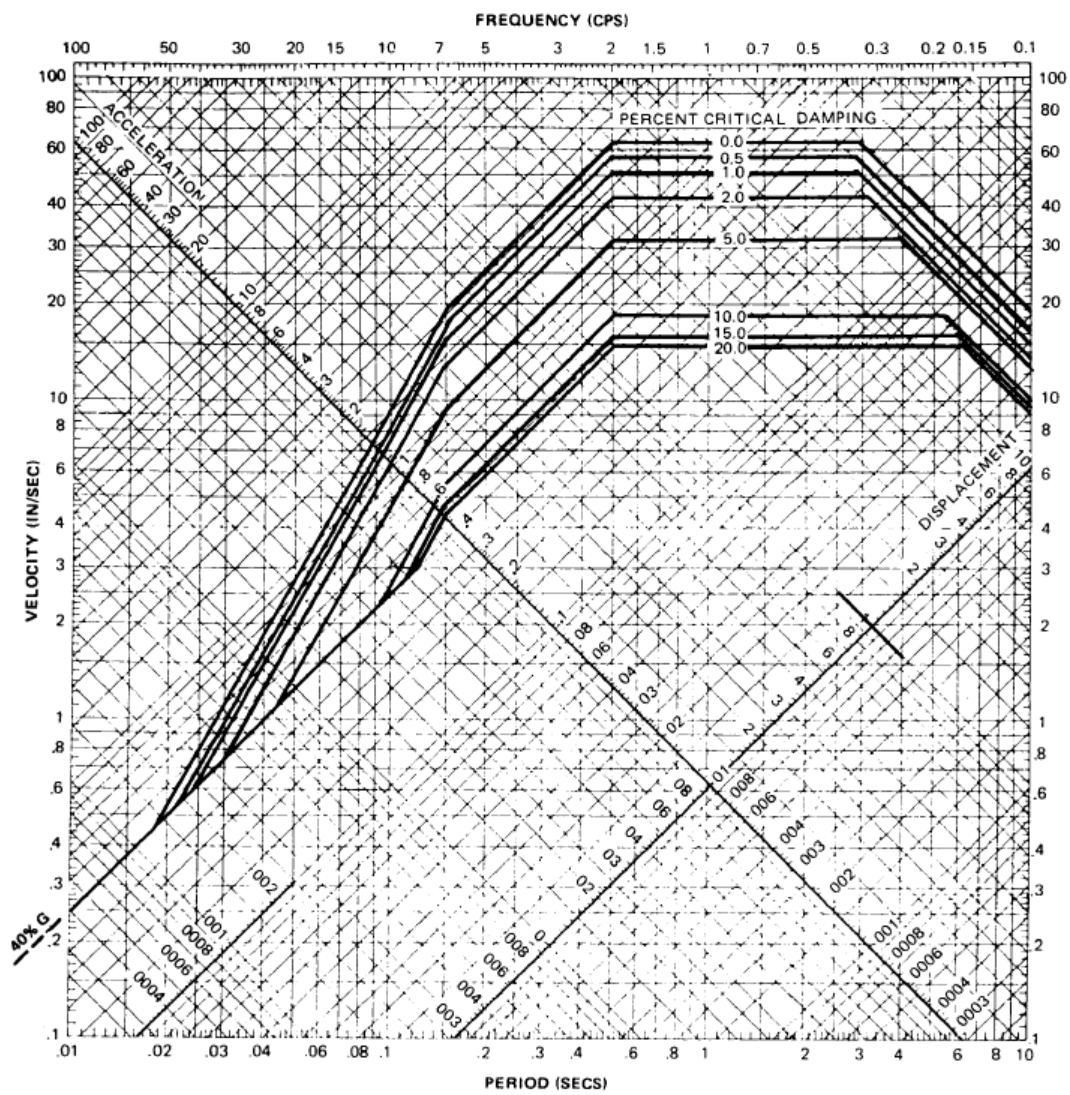


圖 3.1 SSE 設計反應譜[8]

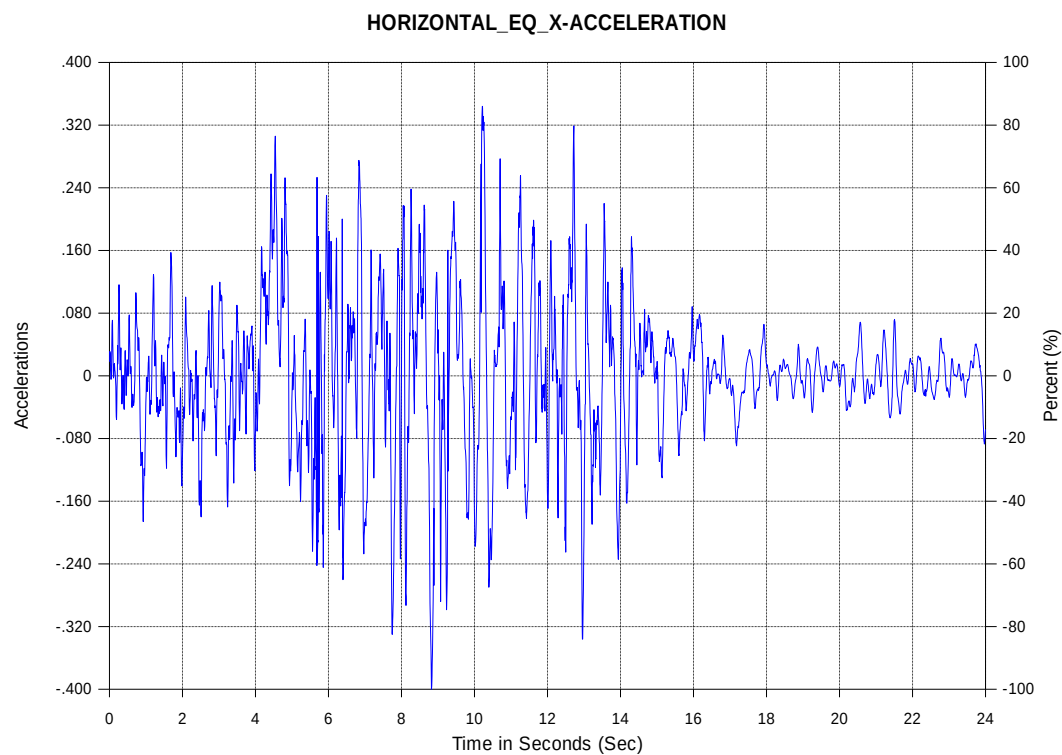


圖 3.2 設計地震之加速度歷時-EW 向及 NS 向

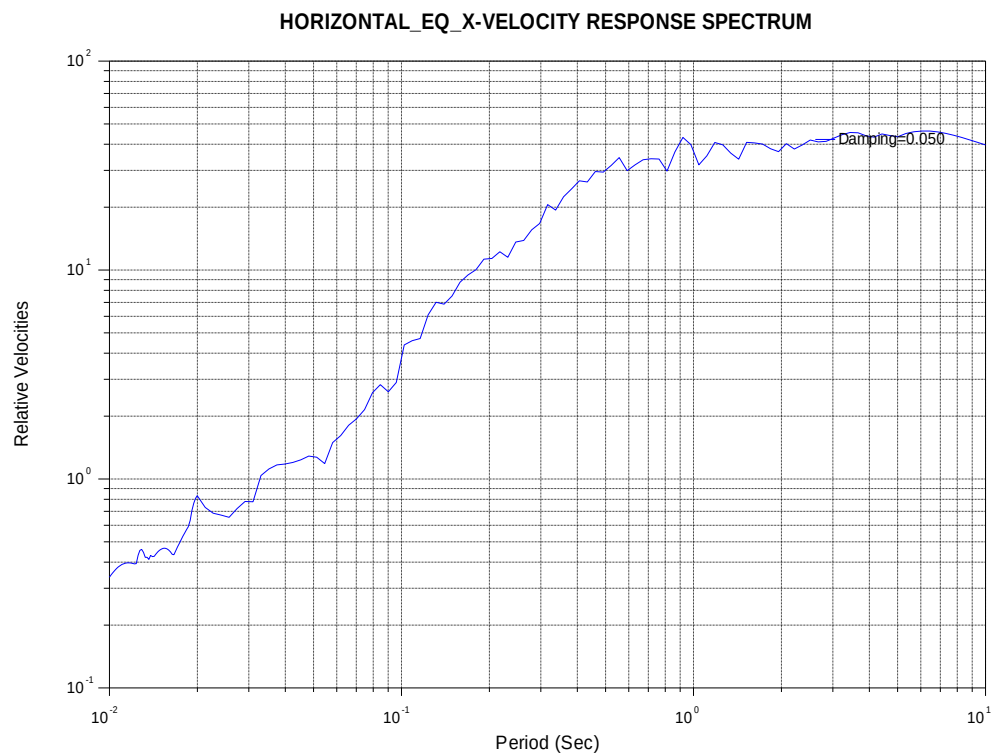


圖 3.3 設計地震之 5%阻尼比速度反應譜-EW 向及 NS 向

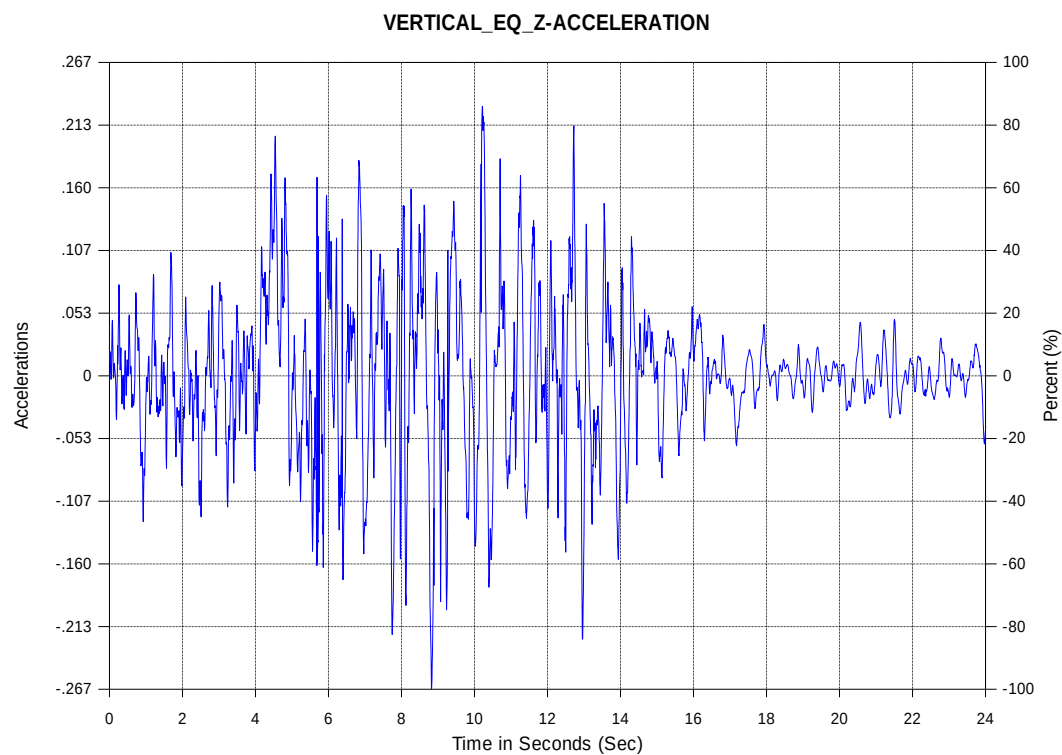


圖 3.4 設計地震之加速度歷時-UD 向

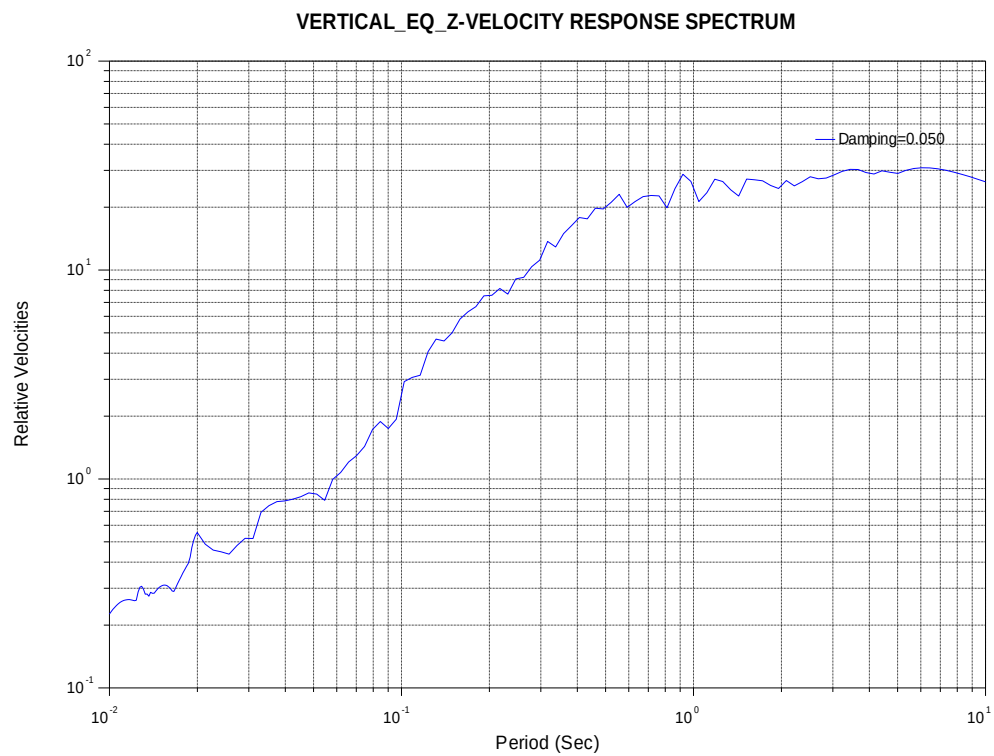


圖 3.5 設計地震之 5%阻尼比速度反應譜-UD 向

KUO SHENG UNITS 1 & 2 SV Wave; input:0.4g

Layer	Type	Hight	Depth	Unit Weight	Shear Modulus	S-Wave Damping Ratio	S-Wave Velocity
1	1	84.00	84.00	0.072	8270.54	0.010	8643.97
2	1	88.44	172.44	0.072	8270.54	0.010	8643.97
3	1	91.56	264.00	0.075	17653.07	0.010	9518.18
4	1	96.00	360.00	0.075	24394.62	0.010	11188.99
5	2	60.00	420.00	0.072	87415.08	0.010	21600.00
6	2	60.00	480.00	0.072	87415.08	0.010	21600.00
7	2	64.50	544.50	0.078	154141.92	0.010	27600.00
8	2	64.50	609.00	0.078	154141.92	0.010	27600.00
9	2	111.00	720.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
10	2	120.00	840.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
11	2	120.00	960.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
12	2	120.00	1080.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
13	2	120.00	1200.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
14	2	120.00	1320.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
15	2	120.00	1440.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
16	2	120.00	1560.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
17	2	150.00	1710.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
18	2	150.00	1860.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
19	2	150.00	2010.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
20	2	150.00	2160.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
21	2	150.00	2310.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
22	2	150.00	2460.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
23	2	150.00	2610.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
24	2	150.00	2760.00	0.081	159850.89	0.010	27600.00
Base	2			0.081	159850.89	0.010	27600.00

圖 3.6 SHAKE 輸入之低剪應變工址土層性質剖面(BE)

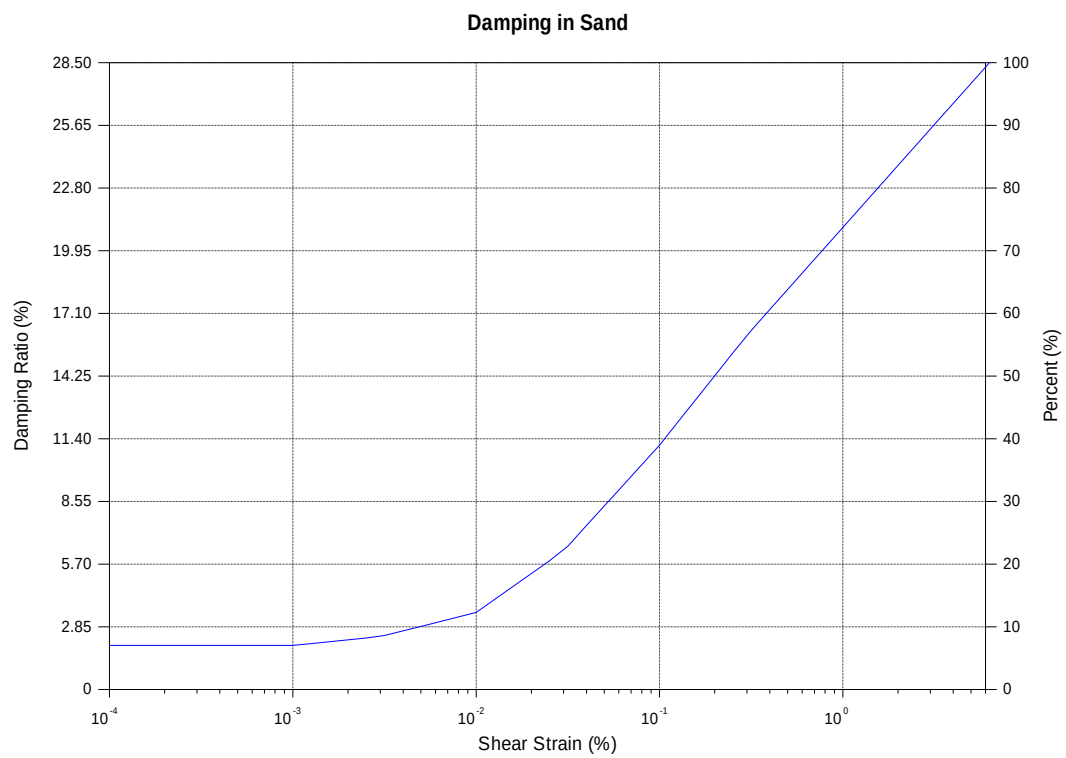
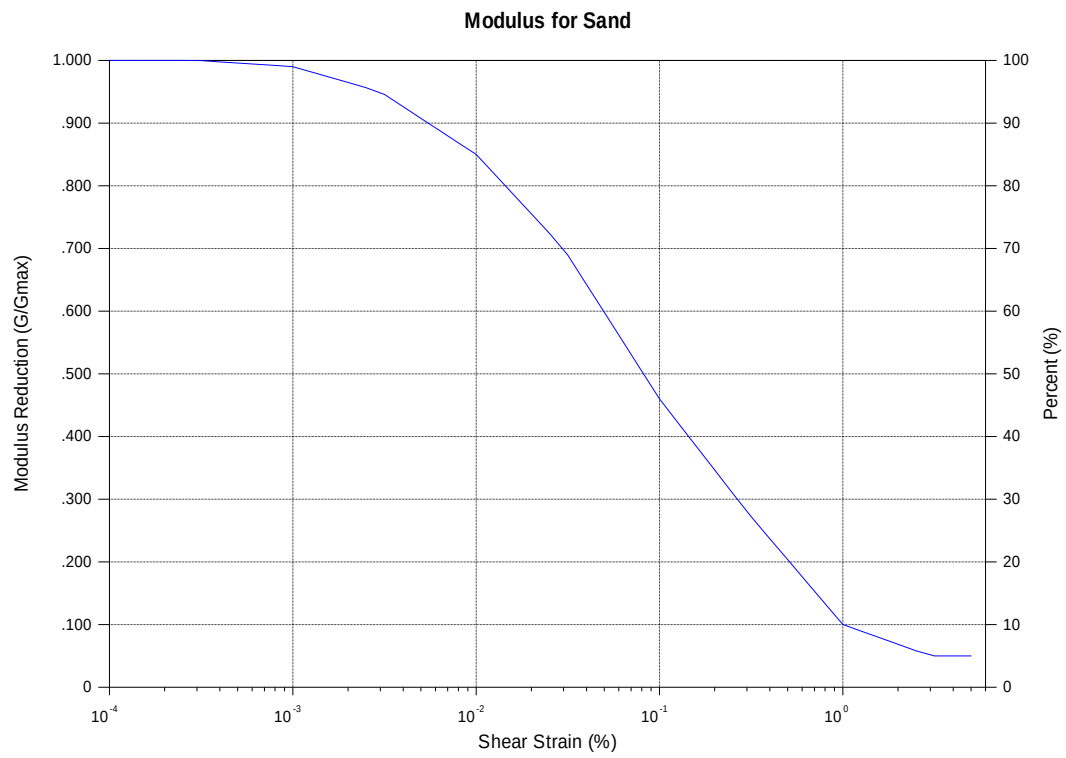


圖 3.7 回填粒狀土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係

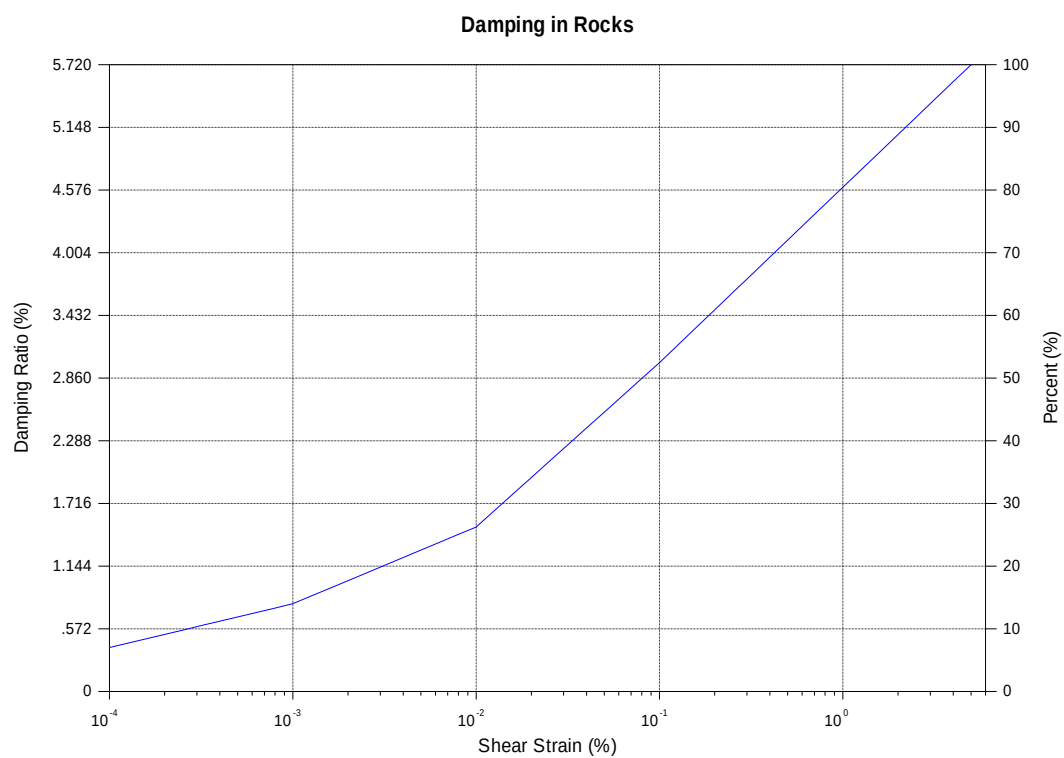
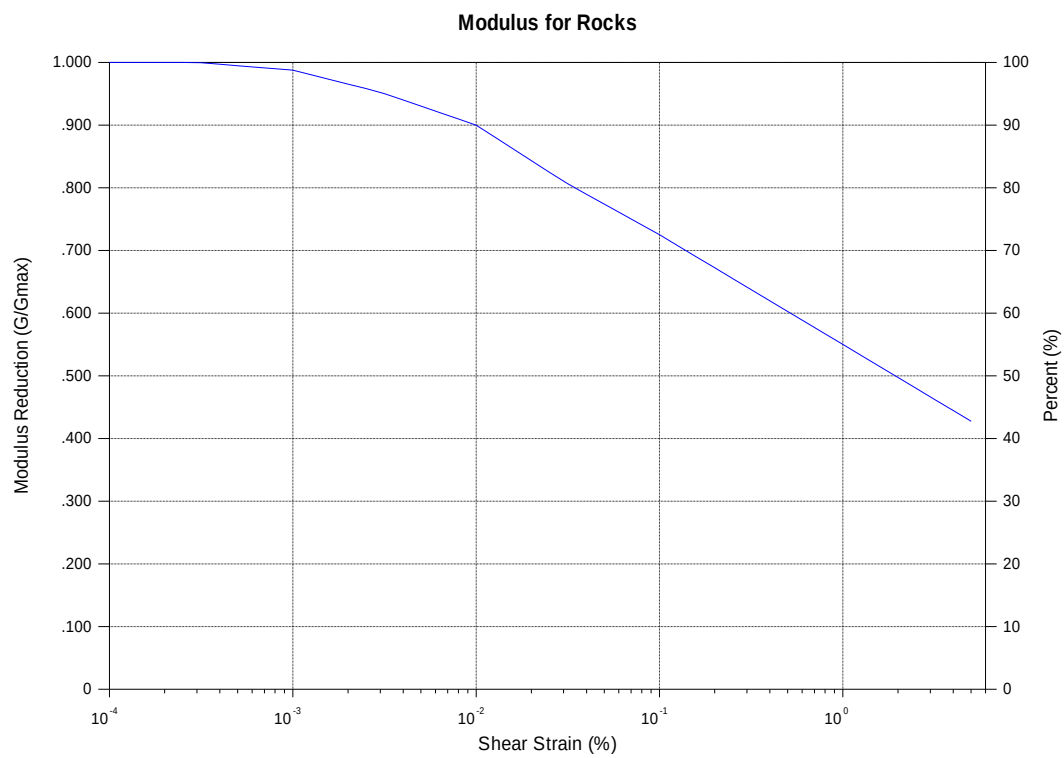


圖 3.8 基岩之土壤剪力模數及阻尼比與剪應變之關係

KUO SHENG UNITS I & 2 SV Wave; input:0.4g (Iteration Number=10)

Layer	Type	Hight	Depth	Unit Weight	Shear Modulus	S-Wave Damping Ratio	S-Wave Velocity
1	1	84.00	84.00	0.072	6558.59	0.046	5916.52
2	1	88.44	172.44	0.072	4707.70	0.089	5012.62
3	1	91.56	264.00	0.075	11523.24	0.072	7690.09
4	1	96.00	360.00	0.075	16060.55	0.071	9075.88
5	2	60.00	420.00	0.072	79097.33	0.015	20546.67
6	2	60.00	480.00	0.072	78596.56	0.015	20481.53
7	2	64.50	544.50	0.078	141873.22	0.014	26478.84
8	2	64.50	609.00	0.078	141115.42	0.014	26408.03
9	2	111.00	720.00	0.081	145631.92	0.014	26343.89
10	2	120.00	840.00	0.081	144529.36	0.015	26243.97
11	2	120.00	960.00	0.081	143248.89	0.015	26127.46
12	2	120.00	1080.00	0.081	141630.94	0.016	25979.49
13	2	120.00	1200.00	0.081	140247.64	0.017	25852.31
14	2	120.00	1320.00	0.081	139050.28	0.017	25741.72
15	2	120.00	1440.00	0.081	138009.05	0.018	25645.16
16	2	120.00	1560.00	0.081	137111.03	0.018	25561.58
17	2	150.00	1710.00	0.081	136246.59	0.019	25480.88
18	2	150.00	1860.00	0.081	135472.91	0.019	25408.43
19	2	150.00	2010.00	0.081	134908.05	0.019	25355.40
20	2	150.00	2160.00	0.081	134534.50	0.020	25320.27
21	2	150.00	2310.00	0.081	134307.56	0.020	25298.91
22	2	150.00	2460.00	0.081	134208.52	0.020	25289.58
23	2	150.00	2610.00	0.081	134194.92	0.020	25288.30
24	2	150.00	2760.00	0.081	134257.55	0.020	25294.20
Base	2			0.081	159850.89	0.010	27600.00

圖 3.9 EW 向及 NS 向疊代收斂後之土壤剖面及材料性質

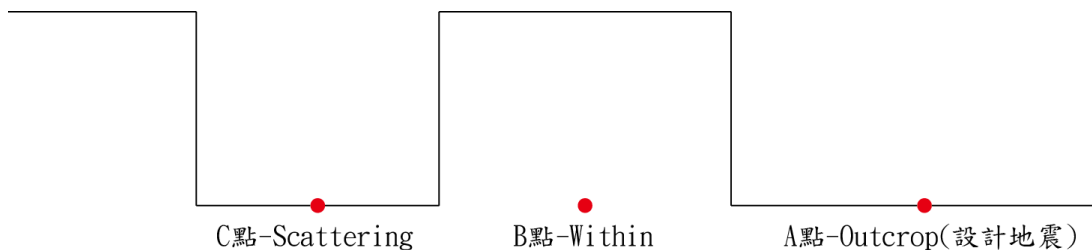


圖 3.10 地震歷時輸入位置示意圖

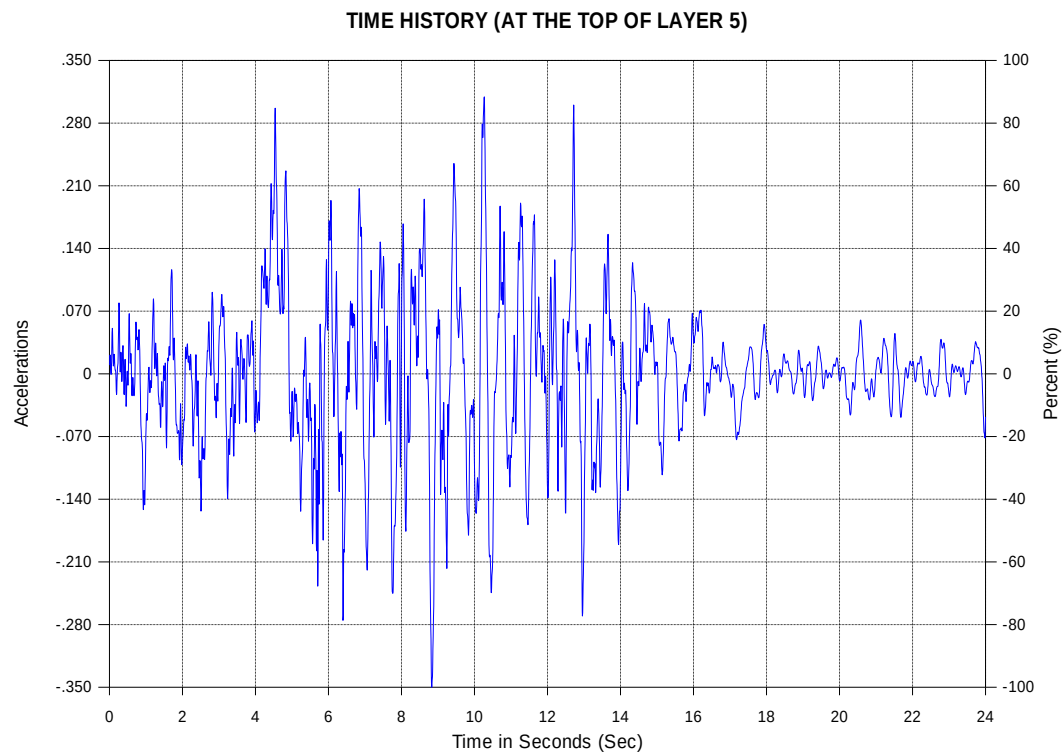


圖 3.11 B 點之地震加速度歷時-EW 向及 NS 向

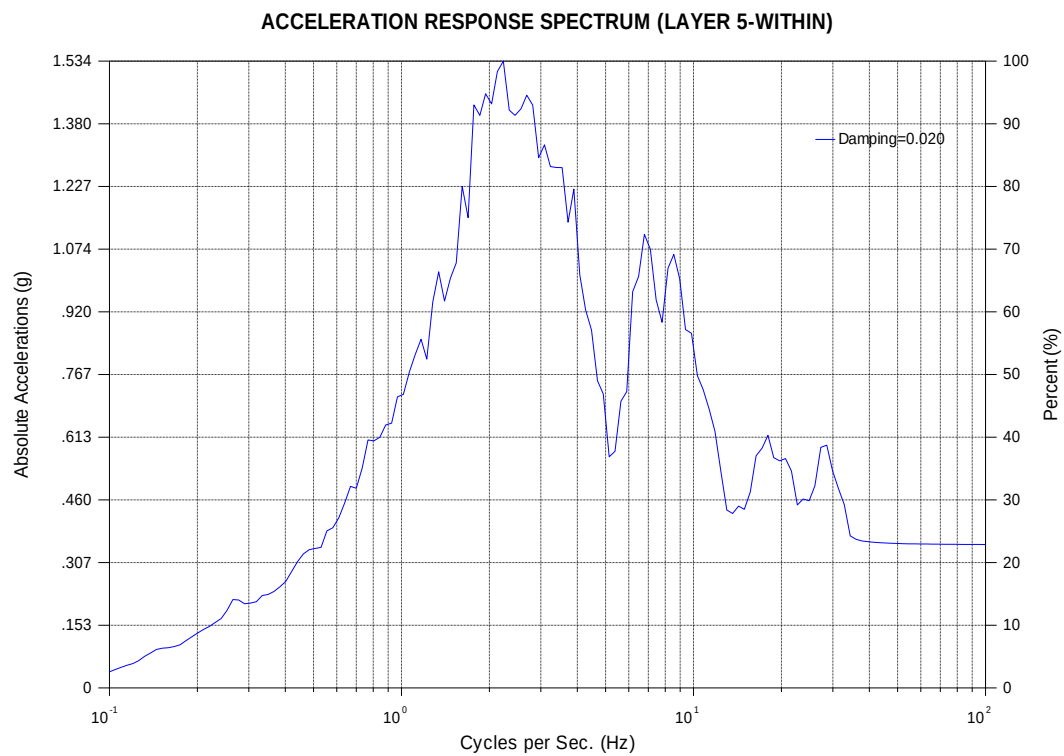


圖 3.12 B 點之地震加速度反應譜-EW 向及 NS 向

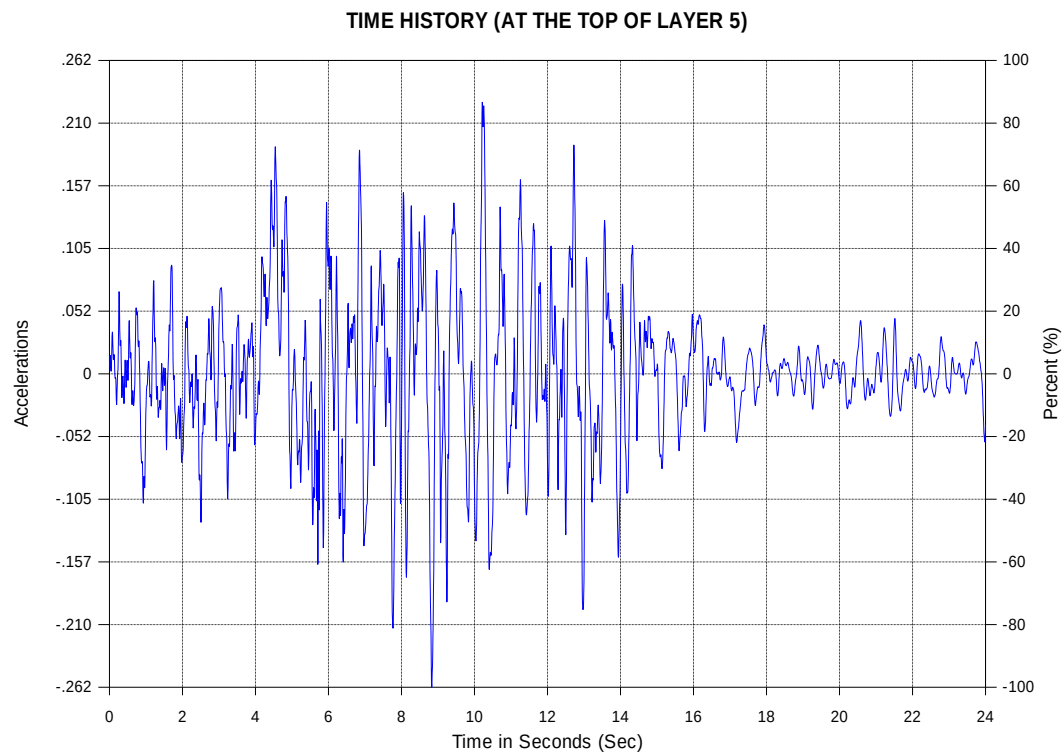


圖 3.13 B 點之地震加速度歷時-UD 向

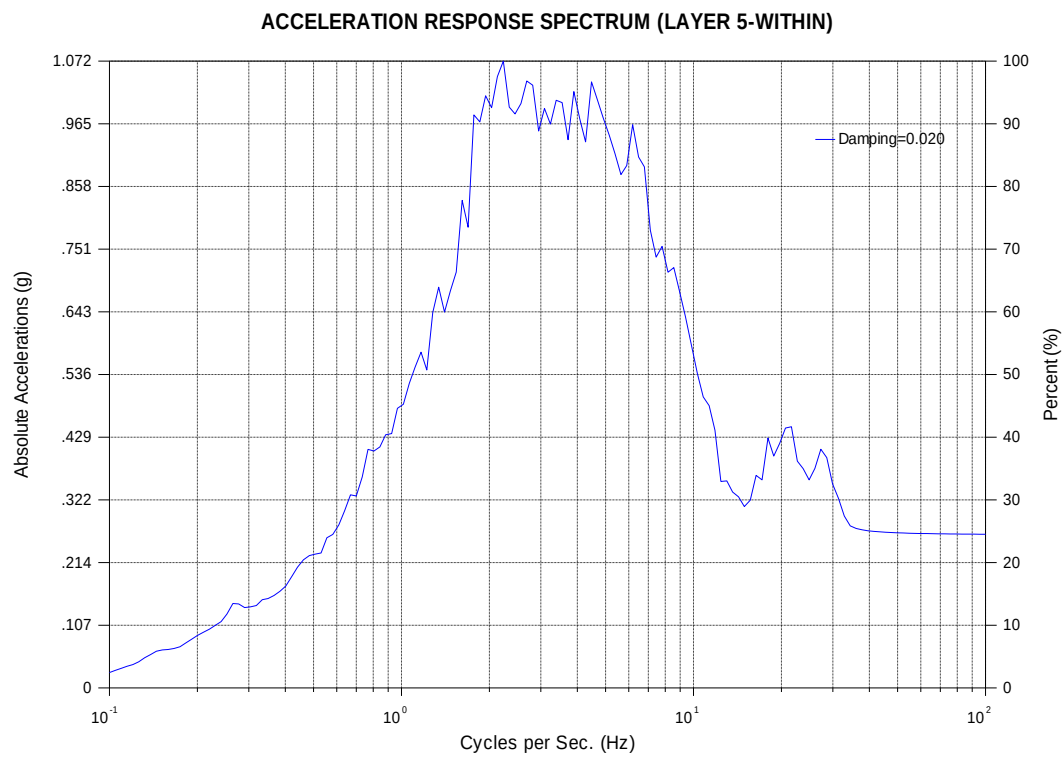


圖 3.14 B 點之地震加速度反應譜-UD 向

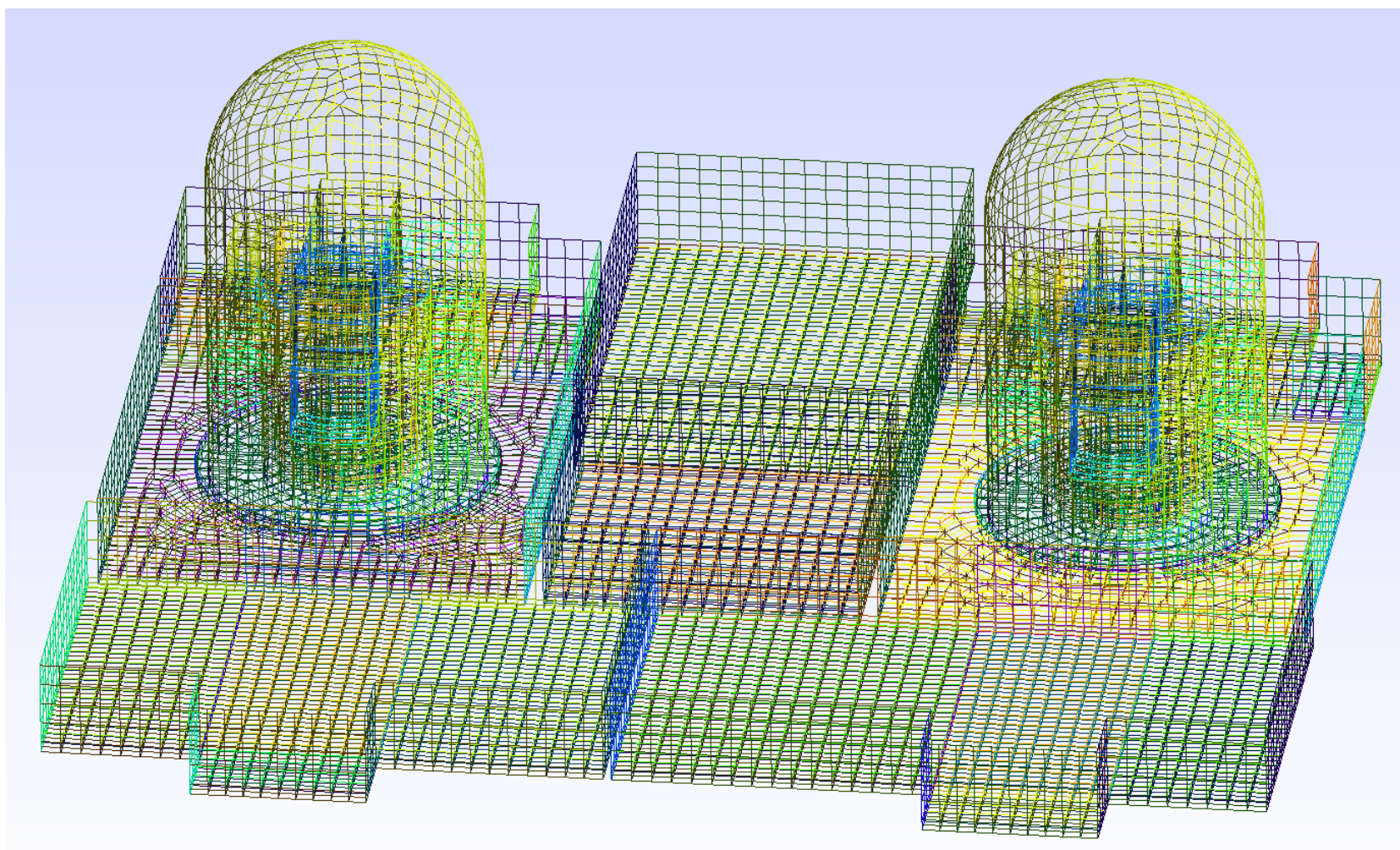


圖 4.1 SASSI 精確分析模型之示意圖

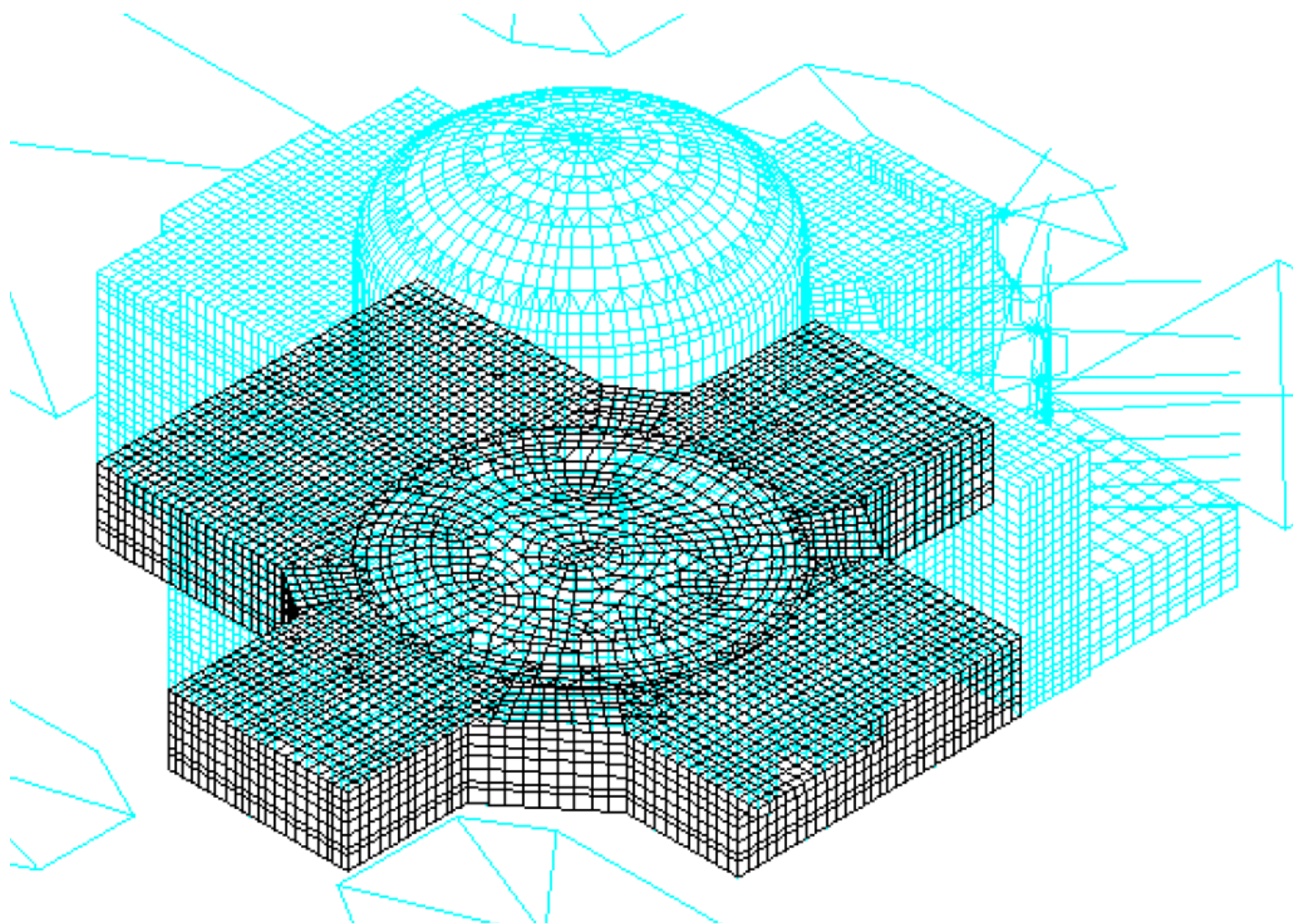


圖 4.2 EPRTM NUCLEAR ISLAND SASSI 分析模型[11]

Best Estimate								
Layer	Motion	Height	Depth	Unit Weight	S-Wave Velocity	P-Wave Velocity	S-Wave Damping Ratio	P-Wave Damping Ratio
1		84.00	84.00	0.072	5916.52	13229.74	0.046	0.046
2		88.44	172.44	0.072	5012.62	11208.56	0.089	0.089
3		91.56	264.00	0.075	7690.09	25505.14	0.072	0.072
4		96.00	360.00	0.075	9075.88	30101.29	0.071	0.071
5		60.00	420.00	0.072	20546.67	50328.88	0.015	0.015
6		60.00	480.00	0.072	20481.53	50169.30	0.015	0.015
7		64.50	544.50	0.078	26478.84	55120.10	0.014	0.014
8		64.50	609.00	0.078	26408.03	54972.70	0.014	0.014
9		111.00	720.00	0.081	26343.89	54839.18	0.014	0.014
10		120.00	840.00	0.081	26243.97	54631.18	0.015	0.015
11		120.00	960.00	0.081	26127.46	54388.64	0.015	0.015
12		120.00	1080.00	0.081	25979.49	54080.62	0.016	0.016
13		120.00	1200.00	0.081	25852.31	53815.88	0.017	0.017
14		120.00	1320.00	0.081	25741.72	53585.66	0.017	0.017
15		120.00	1440.00	0.081	25645.16	53384.66	0.018	0.018
16		120.00	1560.00	0.081	25561.58	53210.67	0.018	0.018
17		150.00	1710.00	0.081	25480.88	53042.68	0.019	0.019
18		150.00	1860.00	0.081	25408.43	52891.86	0.019	0.019
19		150.00	2010.00	0.081	25355.40	52781.47	0.019	0.019
20		150.00	2160.00	0.081	25320.27	52708.34	0.020	0.020
21		150.00	2310.00	0.081	25298.91	52663.88	0.020	0.020
22		150.00	2460.00	0.081	25289.58	52644.46	0.020	0.020
23		150.00	2610.00	0.081	25288.30	52641.79	0.020	0.020
24		150.00	2760.00	0.081	25294.20	52654.07	0.020	0.020
Halfspace = 10				0.081	25294.20	52654.07	0.020	0.020

圖 4.3 SASSI EW 向及 NS 向分析之土壤剖面及材料性質

Best Estimate								
Layer	Motion	Height	Depth	Unit Weight	S-Wave Velocity	P-Wave Velocity	S-Wave Damping Ratio	P-Wave Damping Ratio
1		84.00	84.00	0.072	5916.52	13229.74	0.046	0.046
2		88.44	172.44	0.072	5012.62	11208.56	0.089	0.089
3		91.56	264.00	0.075	7690.09	25505.14	0.072	0.072
4		96.00	360.00	0.075	9075.88	30101.29	0.071	0.071
5		60.00	420.00	0.072	20546.67	50328.88	0.015	0.015
6		60.00	480.00	0.072	20481.53	50169.30	0.015	0.015
7		64.50	544.50	0.078	26478.84	55120.10	0.014	0.014
8		64.50	609.00	0.078	26408.03	54972.70	0.014	0.014
9		111.00	720.00	0.081	26343.89	54839.18	0.014	0.014
10		120.00	840.00	0.081	26243.97	54631.18	0.015	0.015
11		120.00	960.00	0.081	26127.46	54388.64	0.015	0.015
12		120.00	1080.00	0.081	25979.49	54080.62	0.016	0.016
13		120.00	1200.00	0.081	25852.31	53815.88	0.017	0.017
14		120.00	1320.00	0.081	25741.72	53585.66	0.017	0.017
15		120.00	1440.00	0.081	25645.16	53384.66	0.018	0.018
16		120.00	1560.00	0.081	25561.58	53210.67	0.018	0.018
17		150.00	1710.00	0.081	25480.88	53042.68	0.019	0.019
18		150.00	1860.00	0.081	25408.43	52891.86	0.019	0.019
19		150.00	2010.00	0.081	25355.40	52781.47	0.019	0.019
20		150.00	2160.00	0.081	25320.27	52708.34	0.020	0.020
21		150.00	2310.00	0.081	25298.91	52663.88	0.020	0.020
22		150.00	2460.00	0.081	25289.58	52644.46	0.020	0.020
23		150.00	2610.00	0.081	25288.30	52641.79	0.020	0.020
24		150.00	2760.00	0.081	25294.20	52654.07	0.020	0.020
Halfspace = 10				0.081	25294.20	52654.07	0.020	0.020

圖 4.4 SASSI UD 向分析之土壤剖面及材料性質

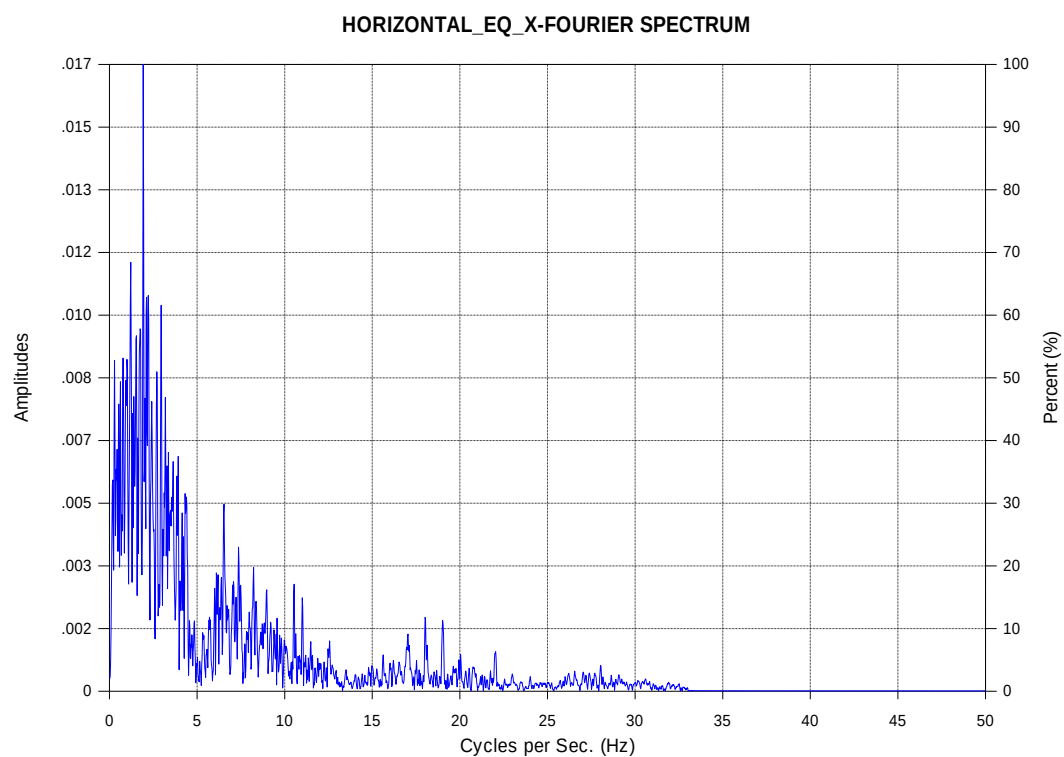


圖 4.5 水平向地震之富利葉振幅譜

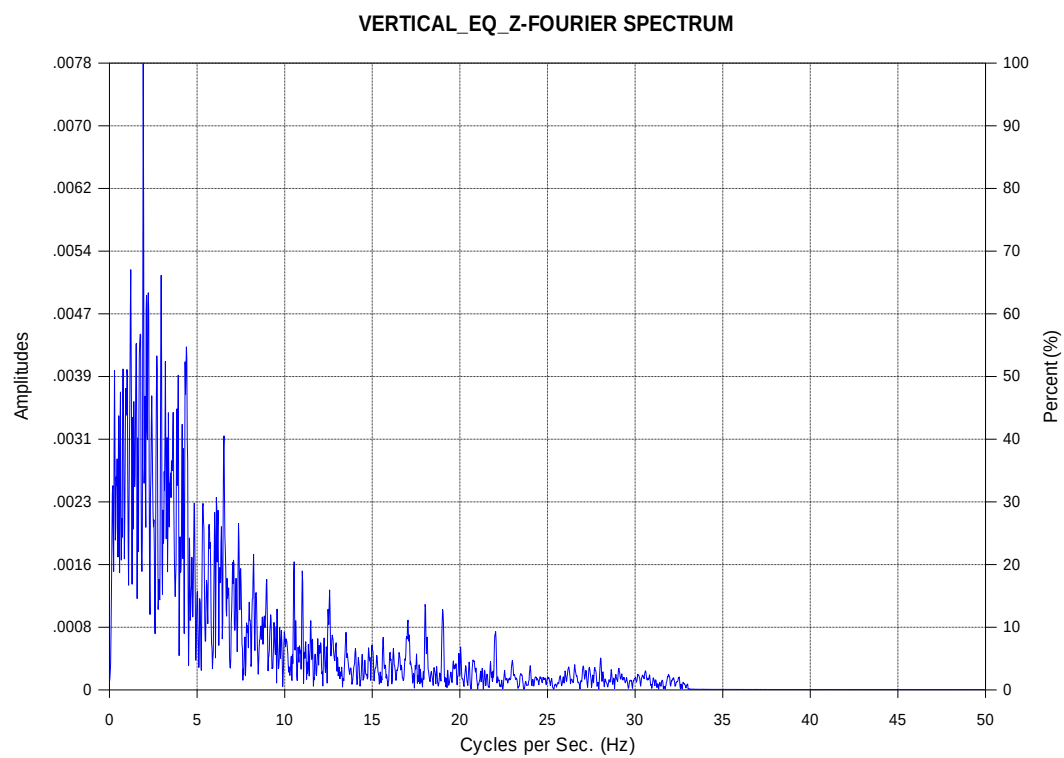


圖 4.6 垂直向地震之富利葉振幅譜

HORIZONTAL DYNAMIC MODEL

FIGURE 1

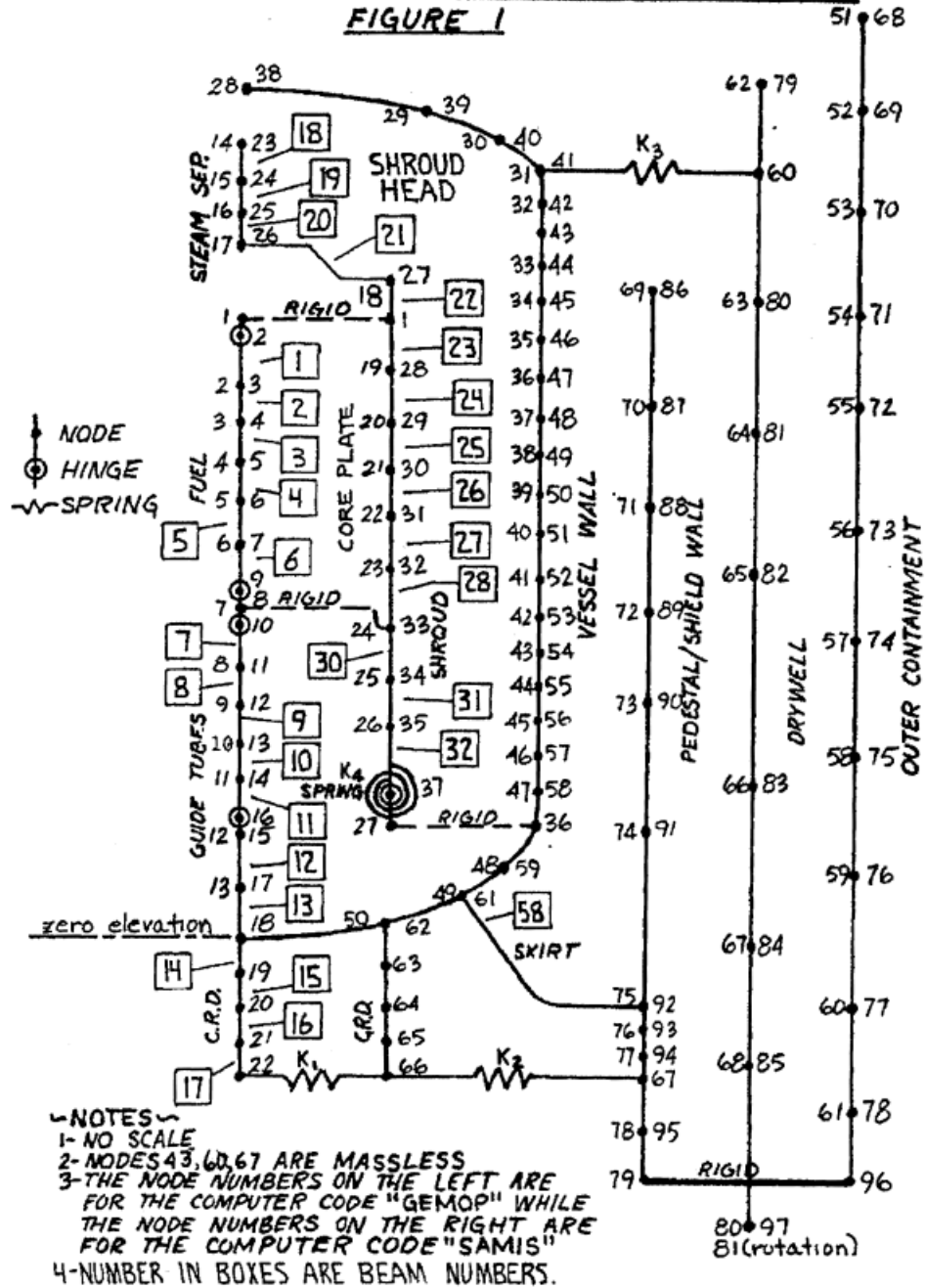


圖 4.7 GE Stick Model 水平向分析模型[7]

VERTICAL DYNAMIC MODEL

FIGURE 3

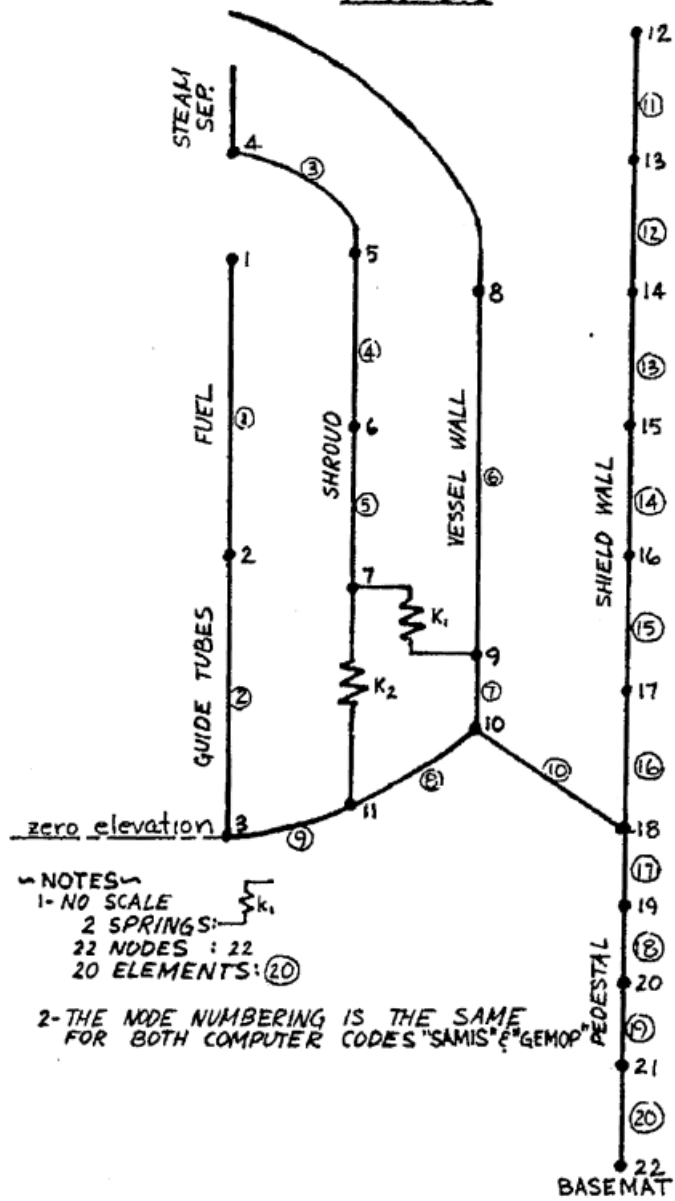


圖 4.8 GE Stick Model 垂直向分析模型[7]

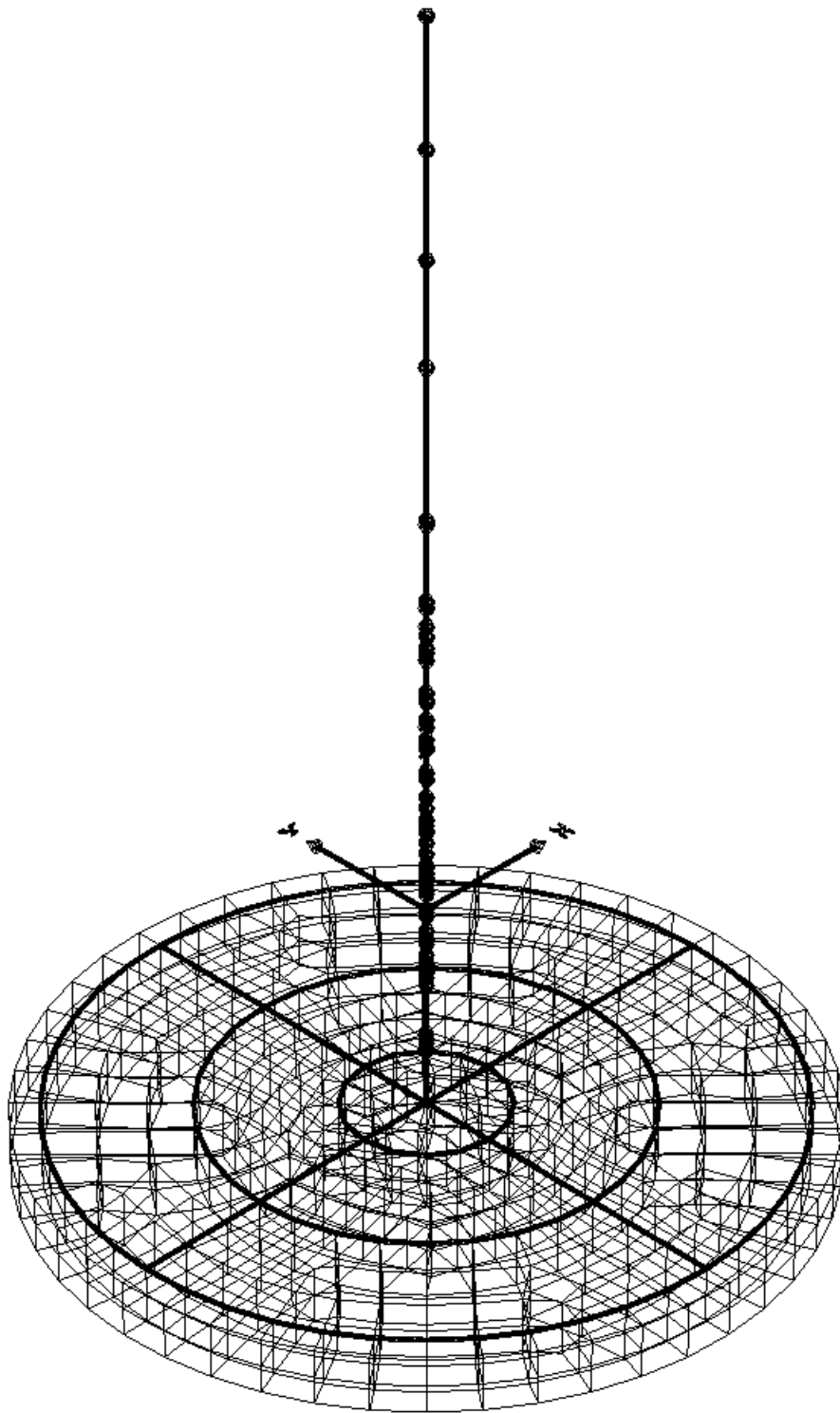


圖 4.9 Stick Model Case(a)之 SASSI 結構體分析模型

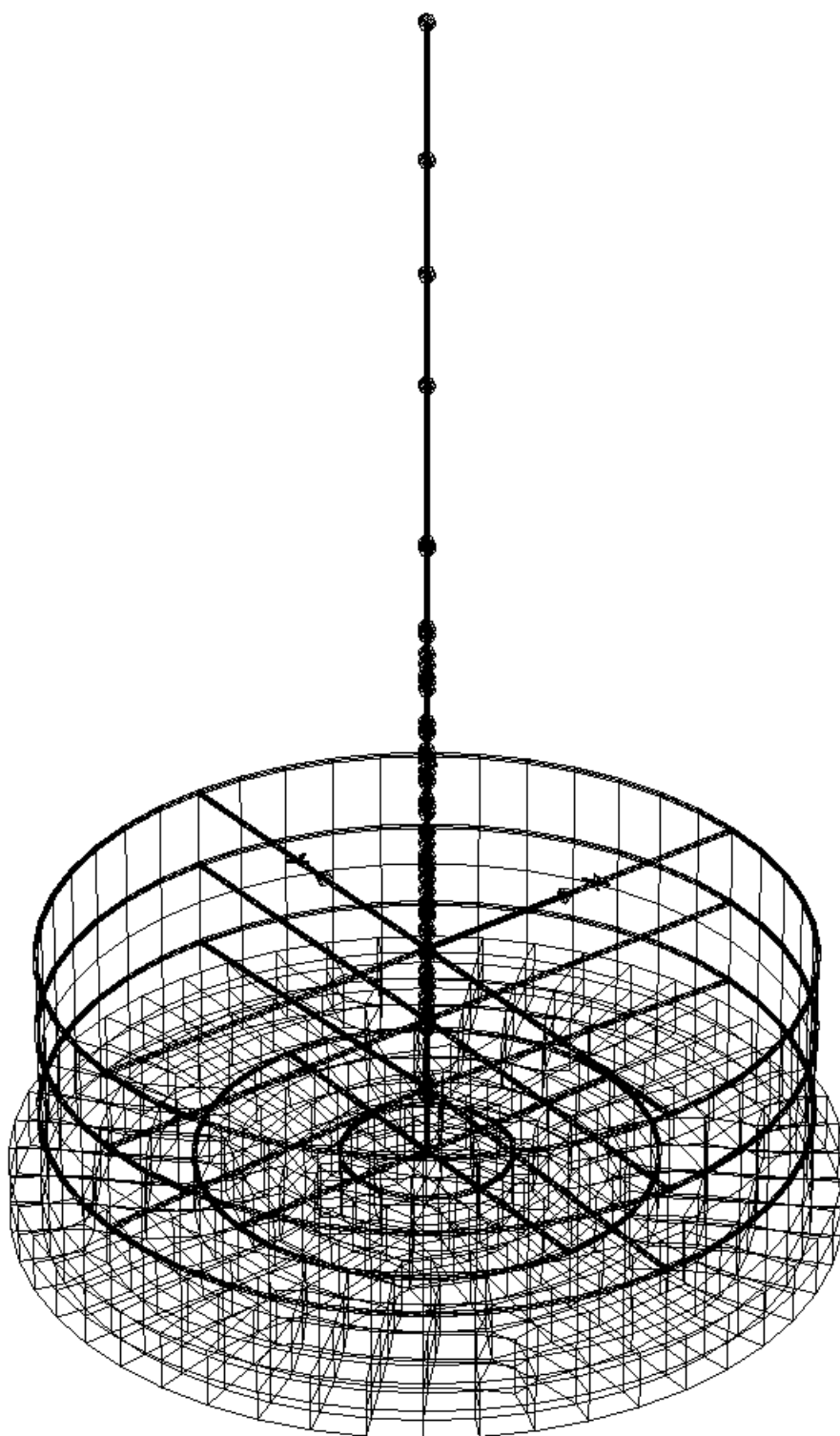


圖 4.10 Stick Model Case(b)之 SASSI 結構體分析模型

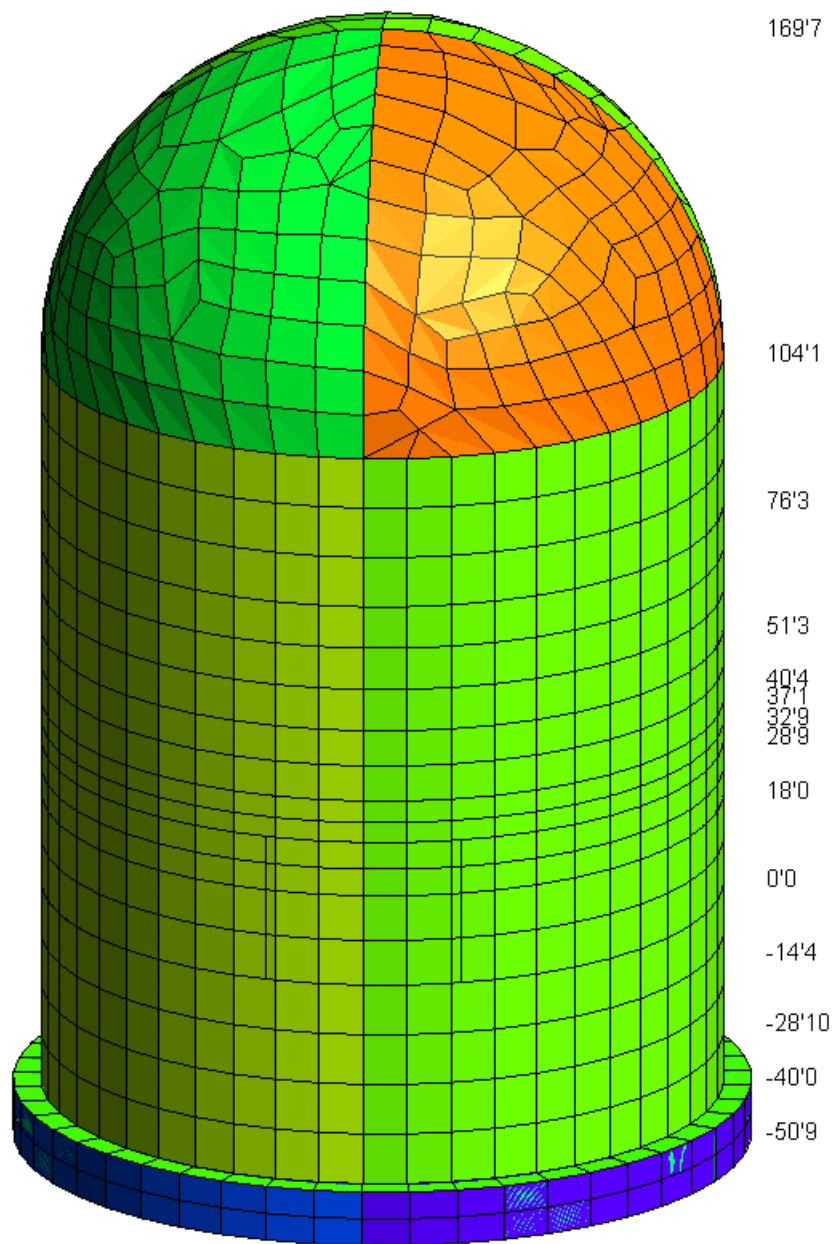


圖 4.11 Detailed Model 之俯視圖

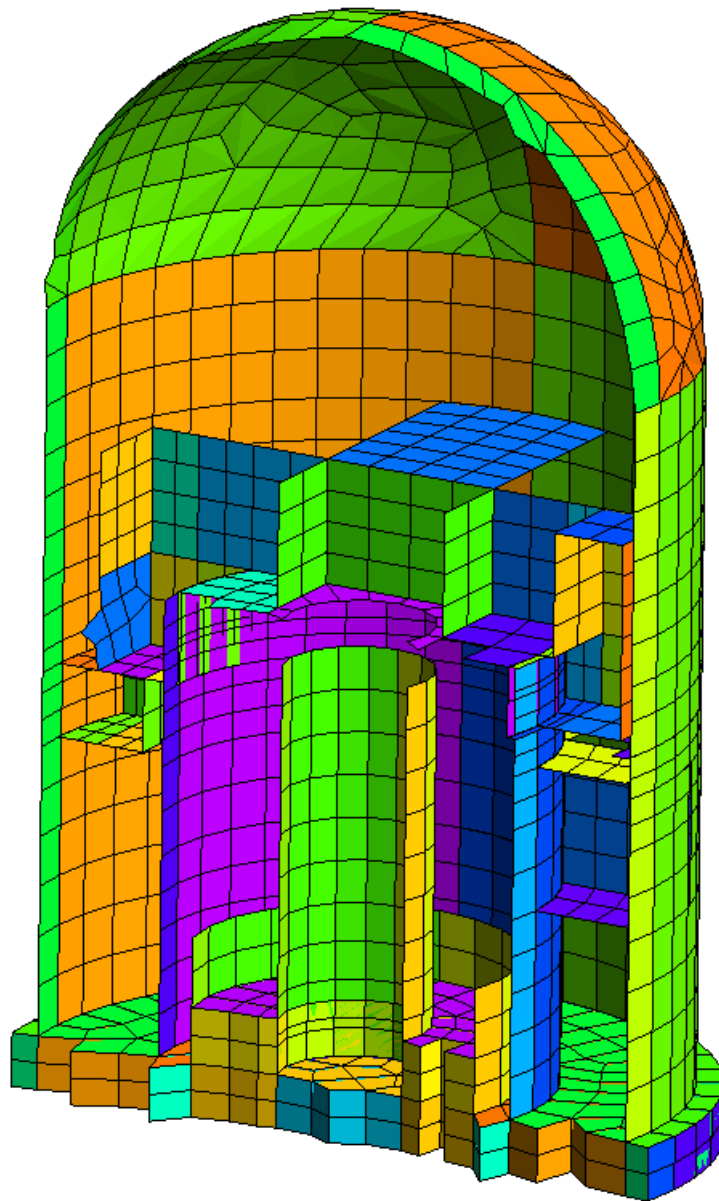


圖 4.12 Detailed Model 之東向剖面圖

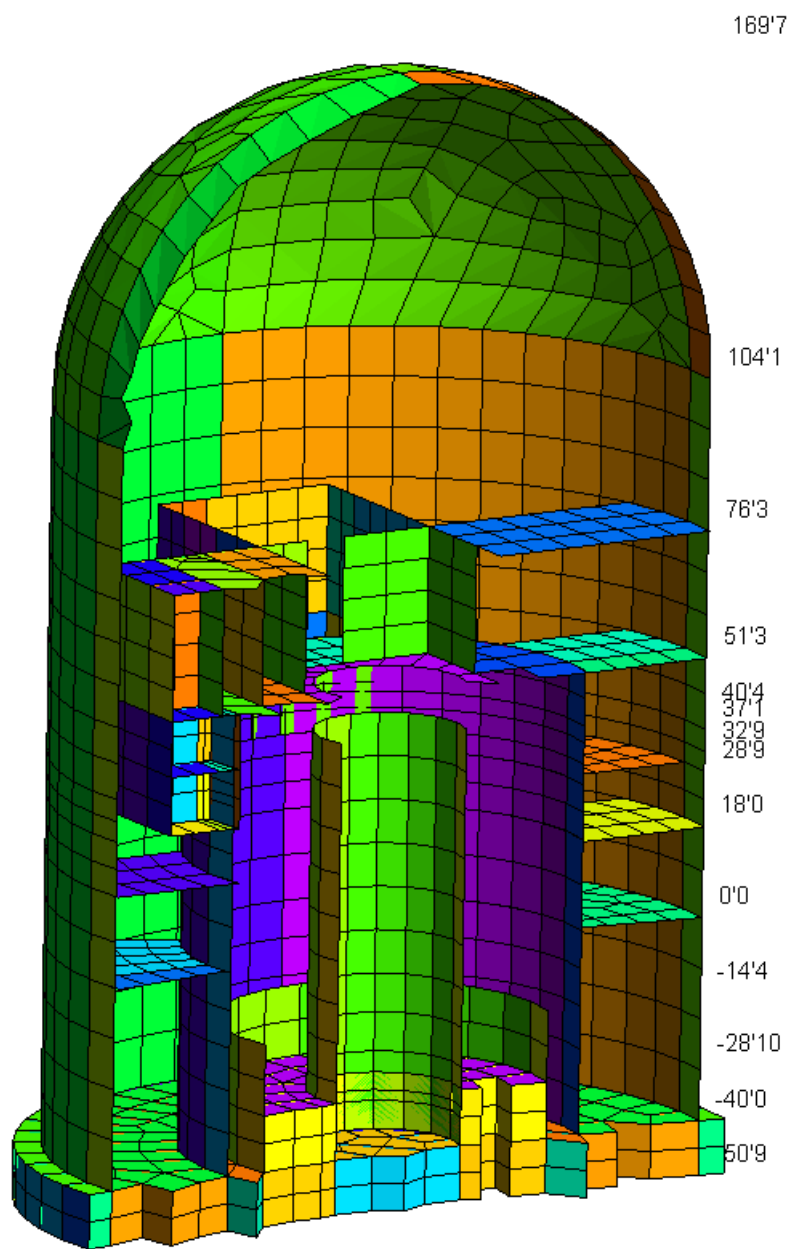


圖 4.13 Detailed Model 之北向剖面圖

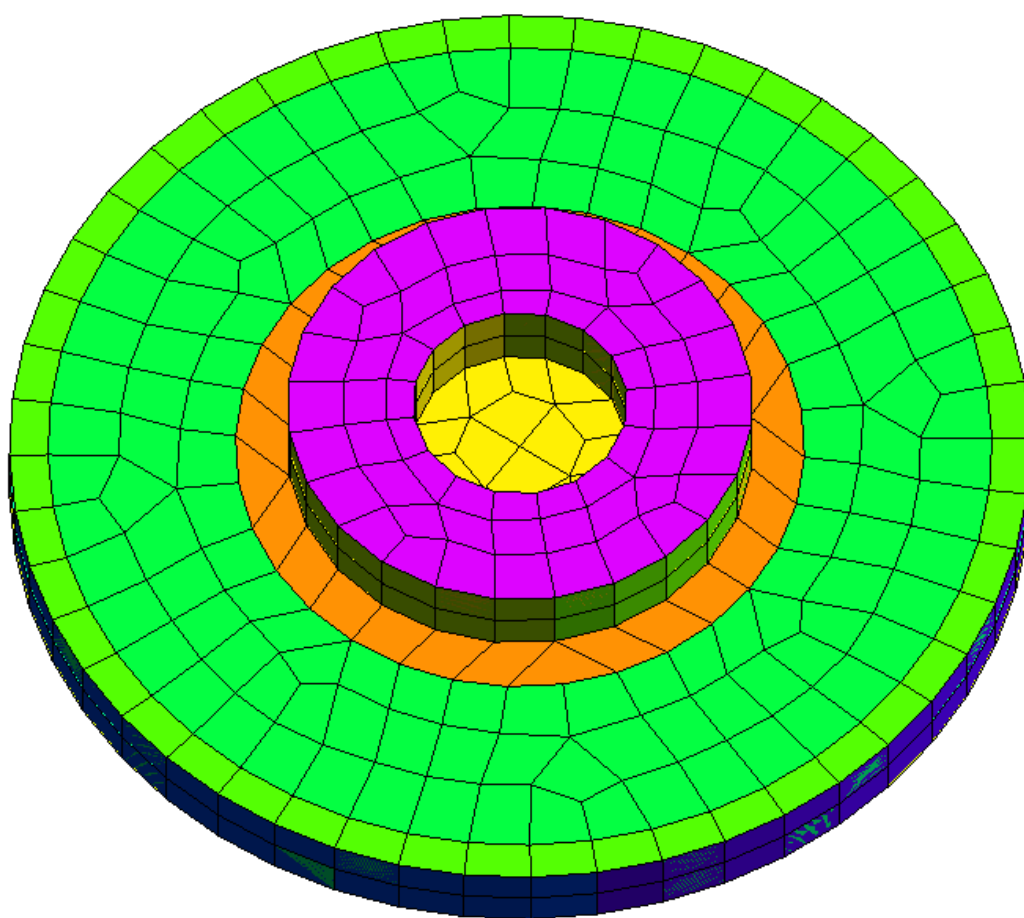


圖 4.14 Detailed Model 之基礎版及 RPV 基座

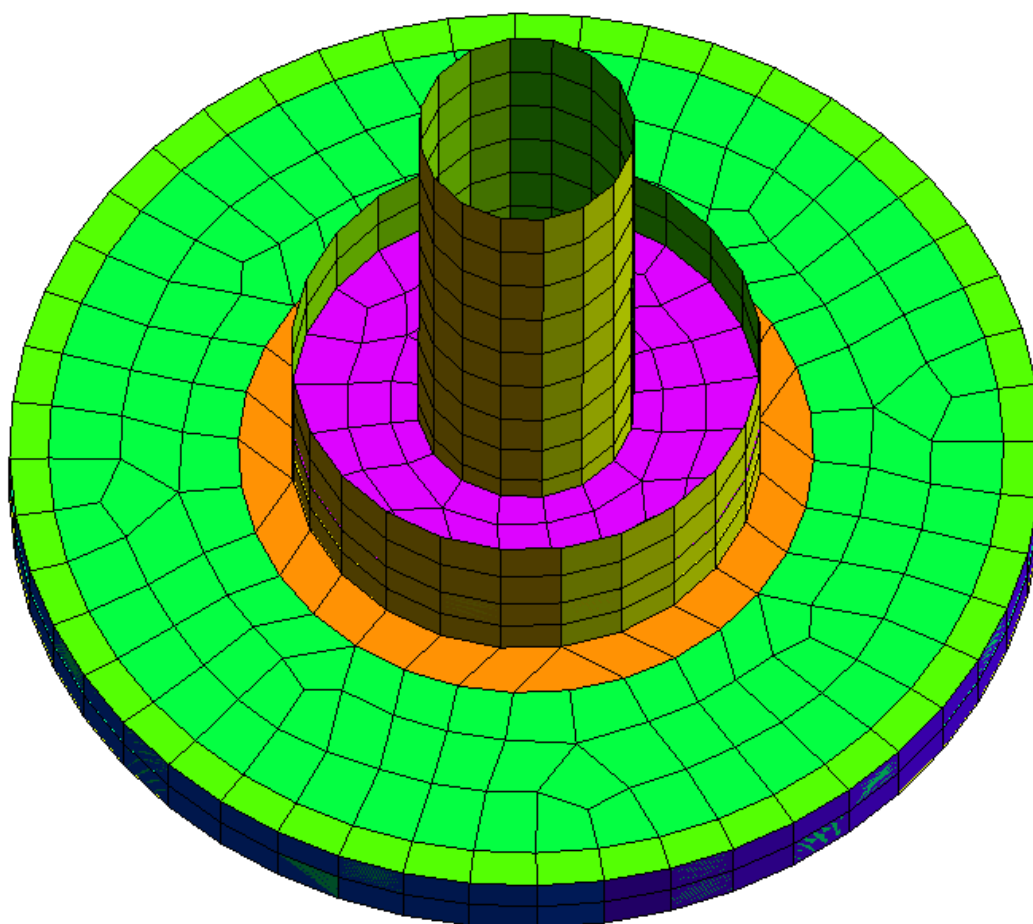


圖 4.15 Detailed Model 之 RSCW

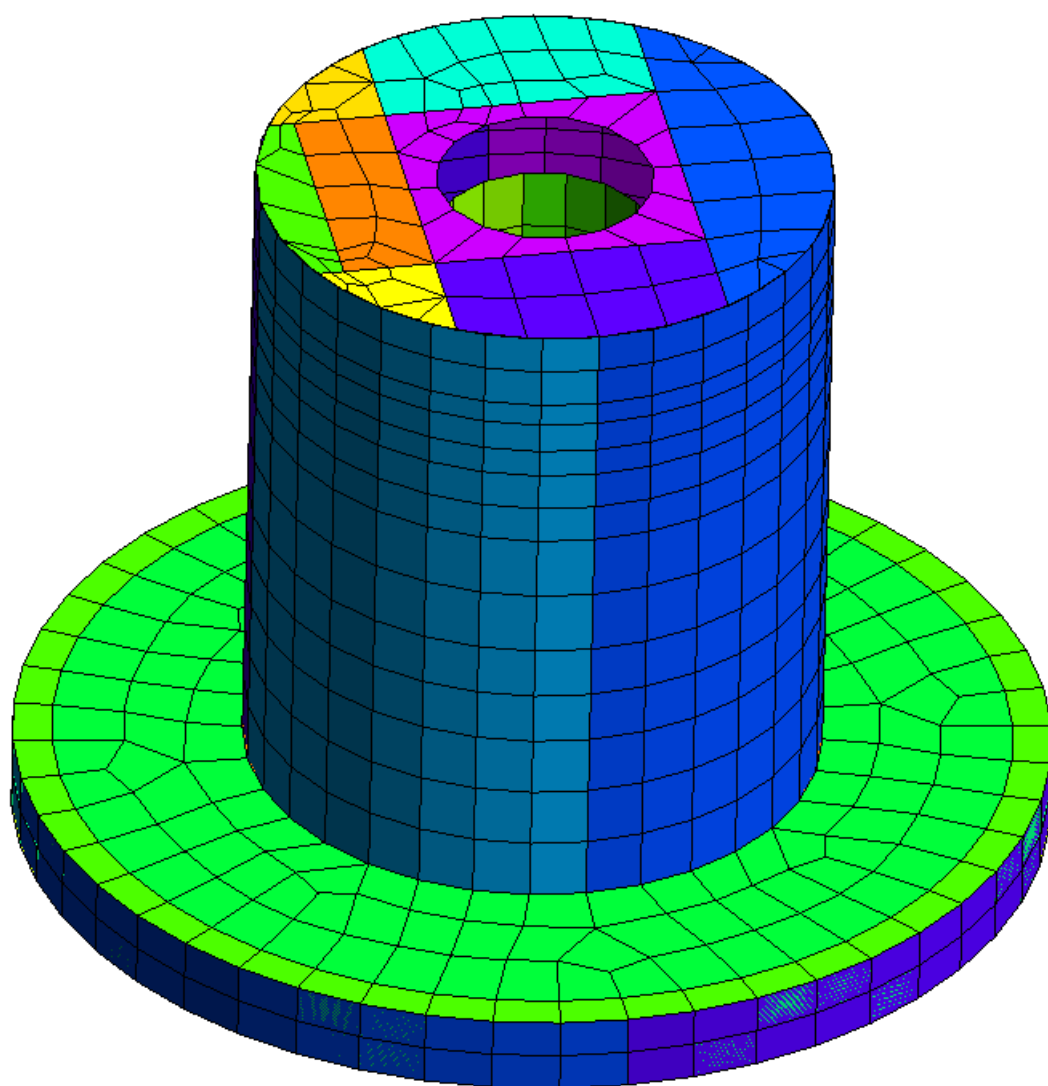


圖 4.16 Detailed Model 之 Drywall

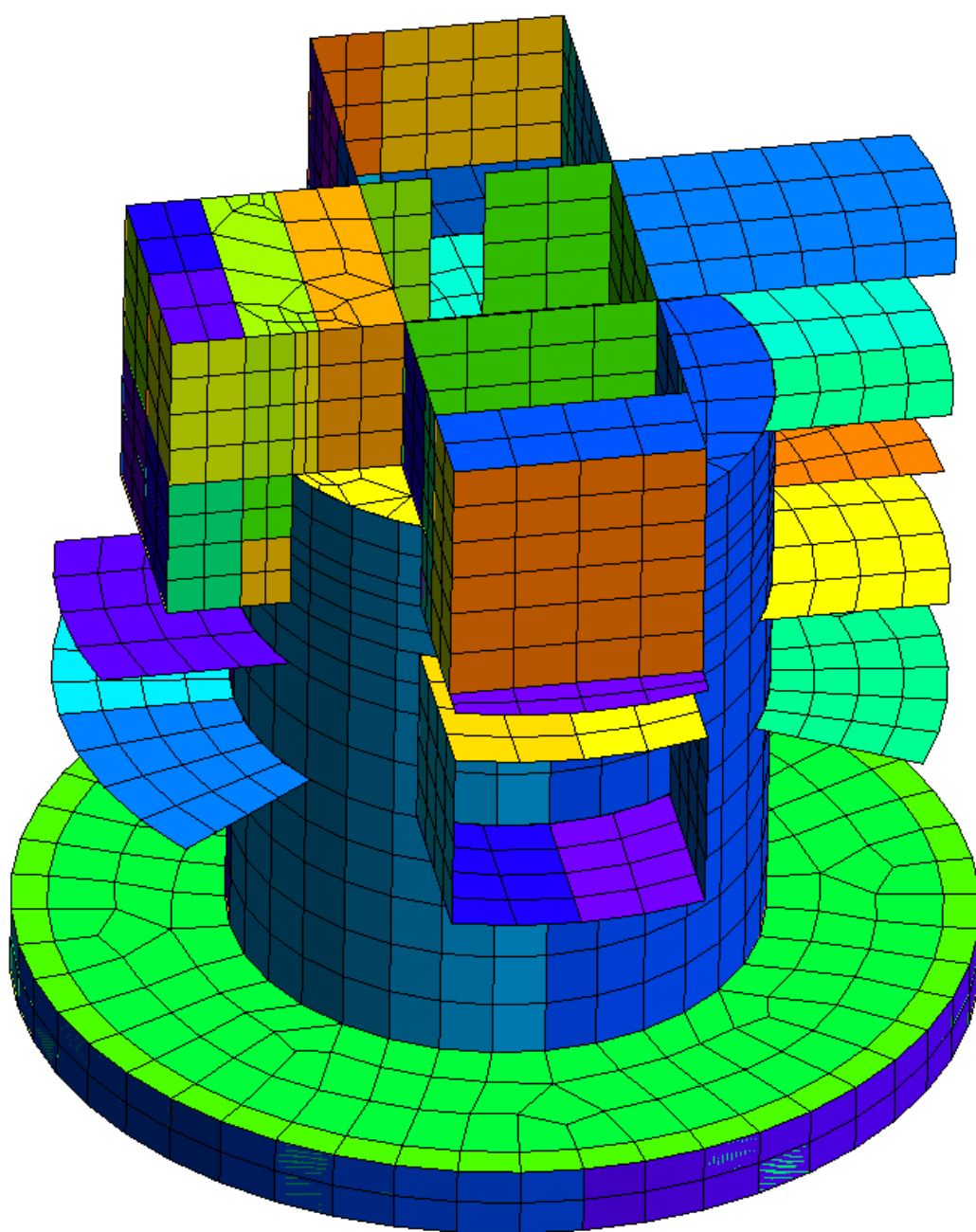


圖 4.17 Detailed Model 之內部結構牆及版

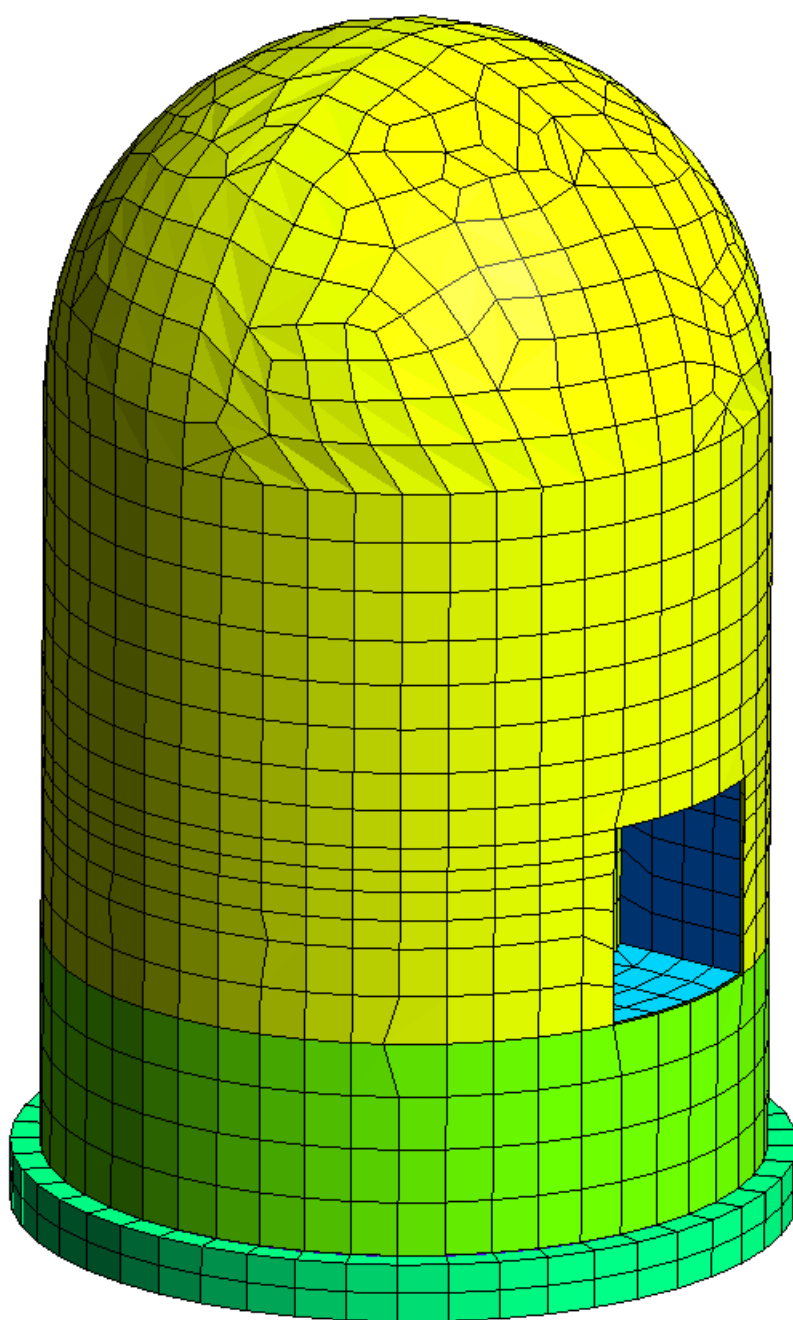


圖 4.18 Detailed Model 之 Outer Containment

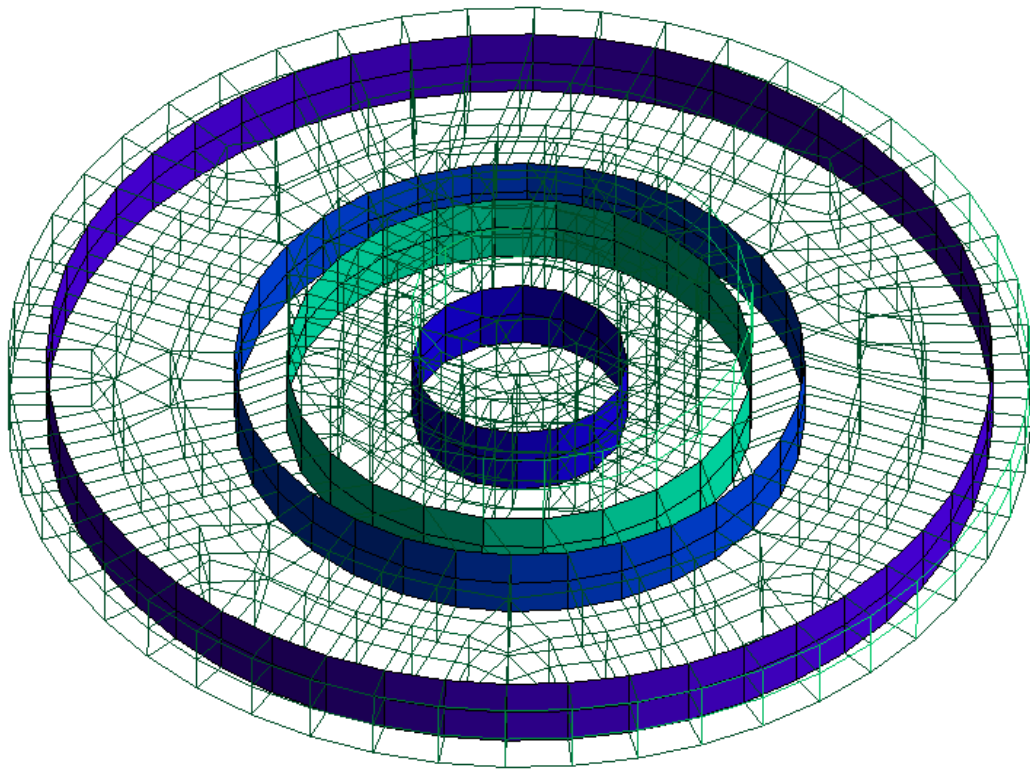


圖 4.19 Detailed Model 基礎版實體元素與版殼元素之接合

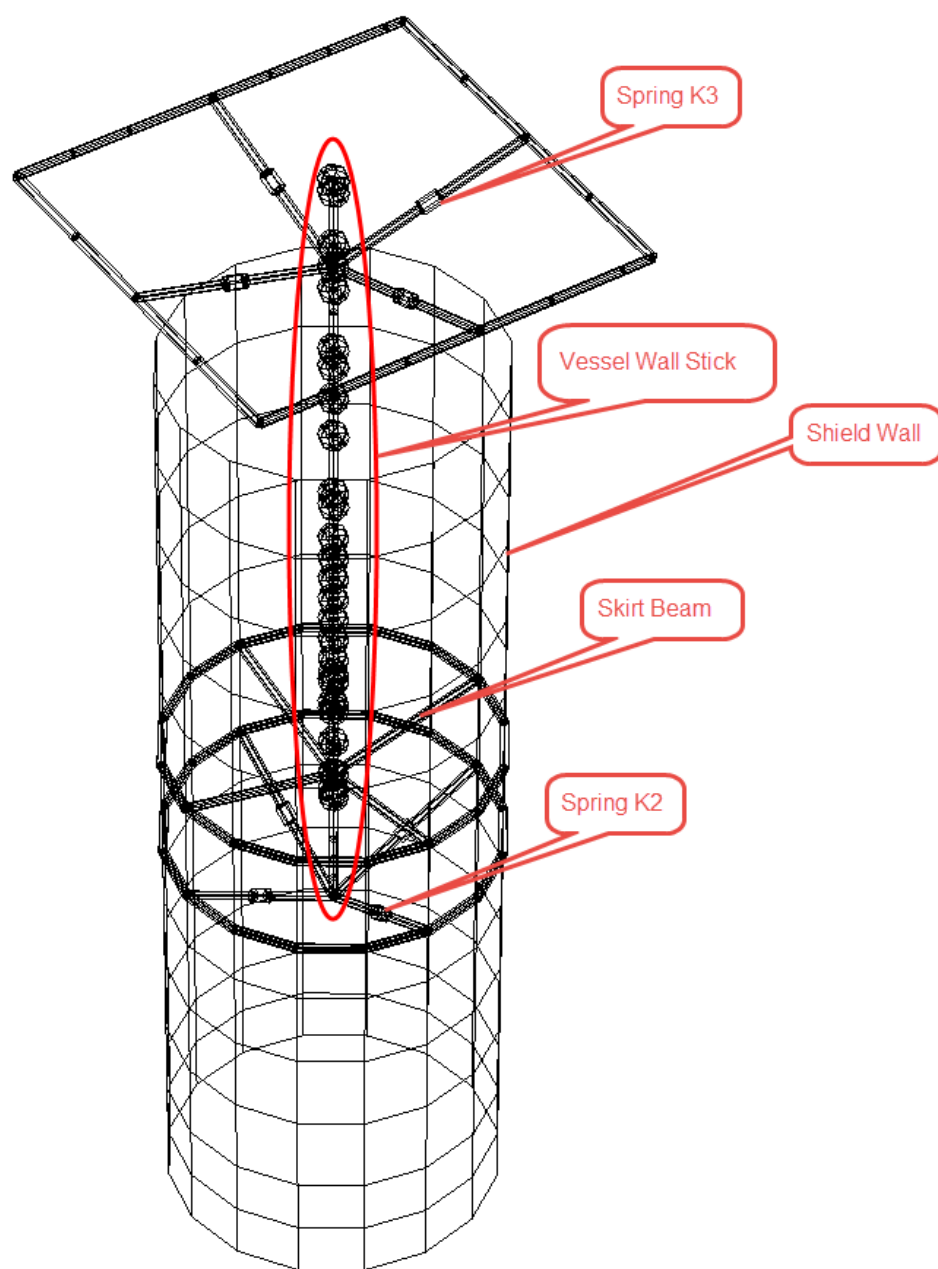


圖 4.20 Detailed Model 深梁與牆之剛接

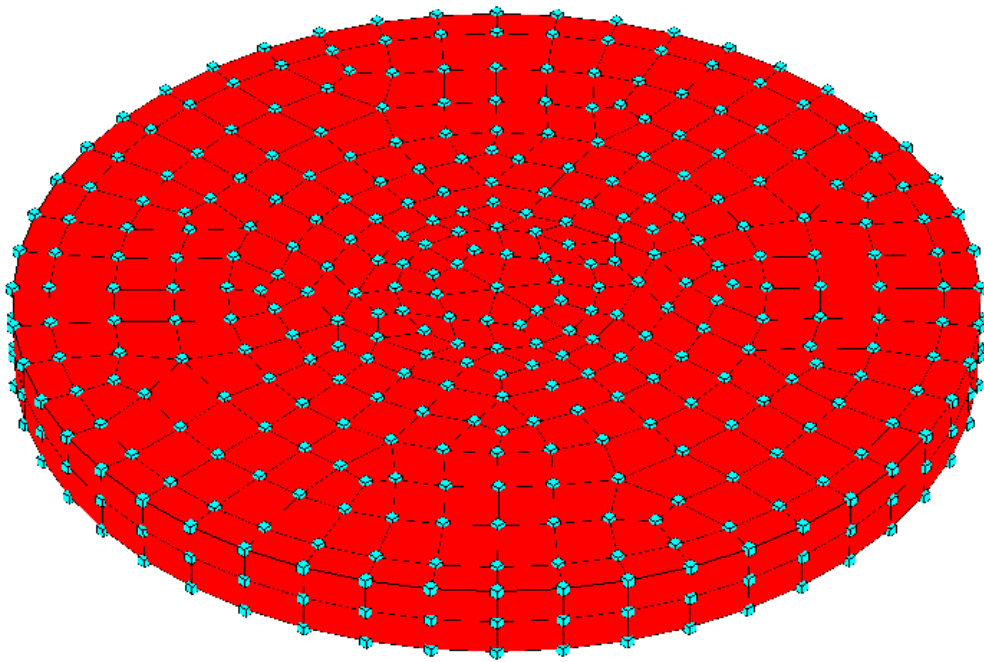


圖 4.21 Stick Model Case(a)之埋入土壤實體元素及阻抗點分析模型

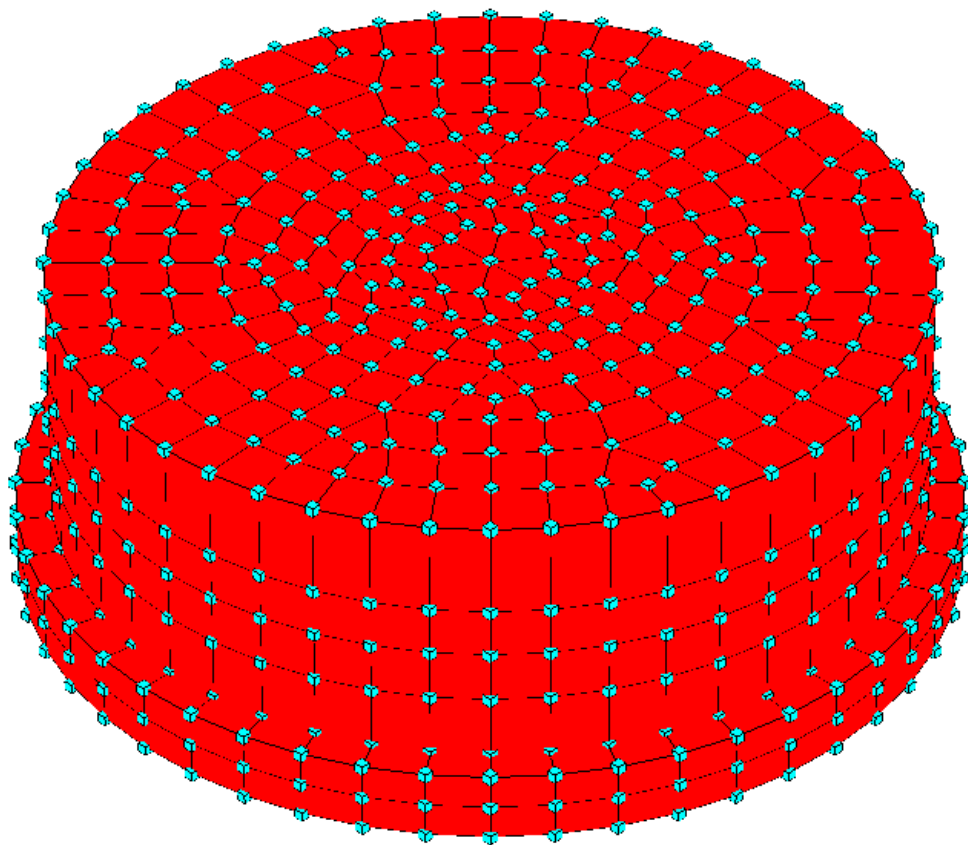


圖 4.22 Stick Model Case(b)之埋入土壤實體元素及阻抗點分析模型

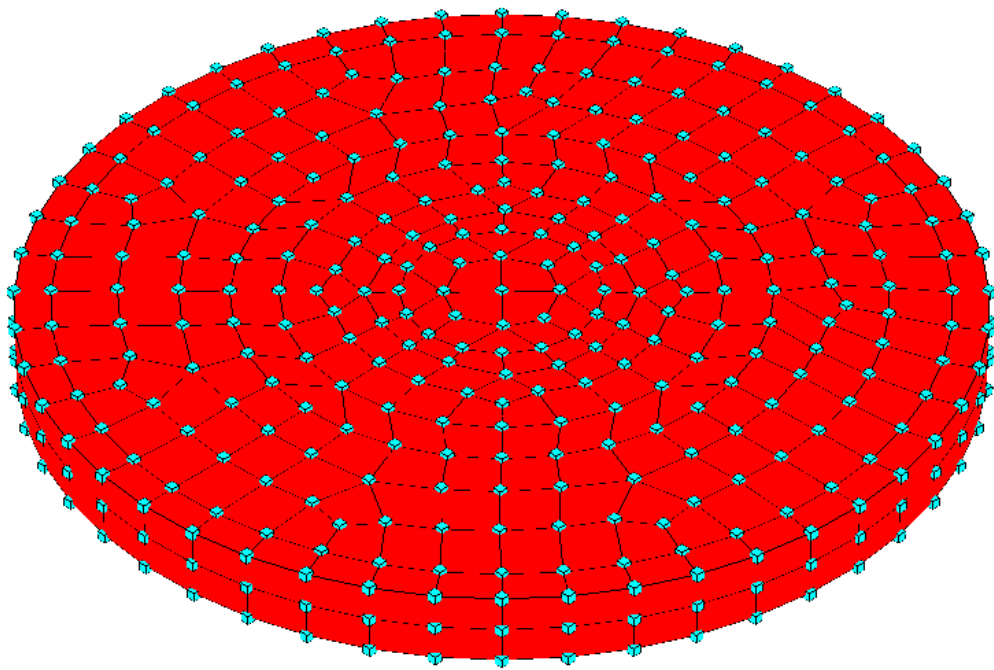


圖 4.23 Detailed Model Case(a)之埋入土壤實體元素及阻抗點分析模型

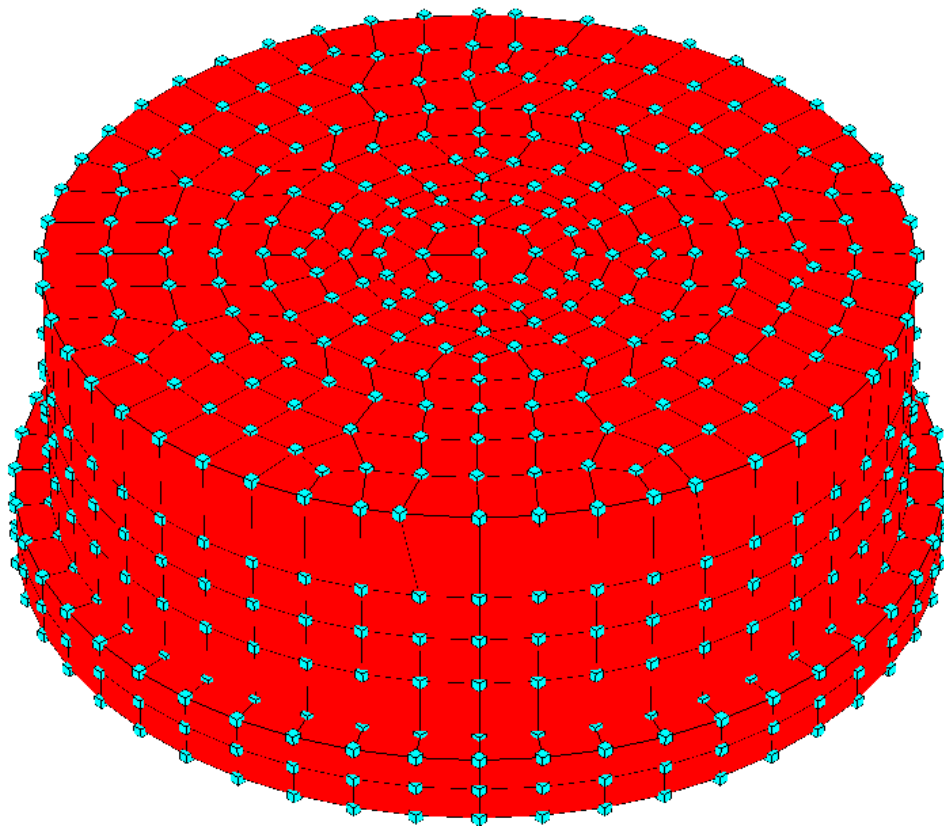


圖 4.24 Detailed Model Case(b)之埋入土壤實體元素及阻抗點分析模型

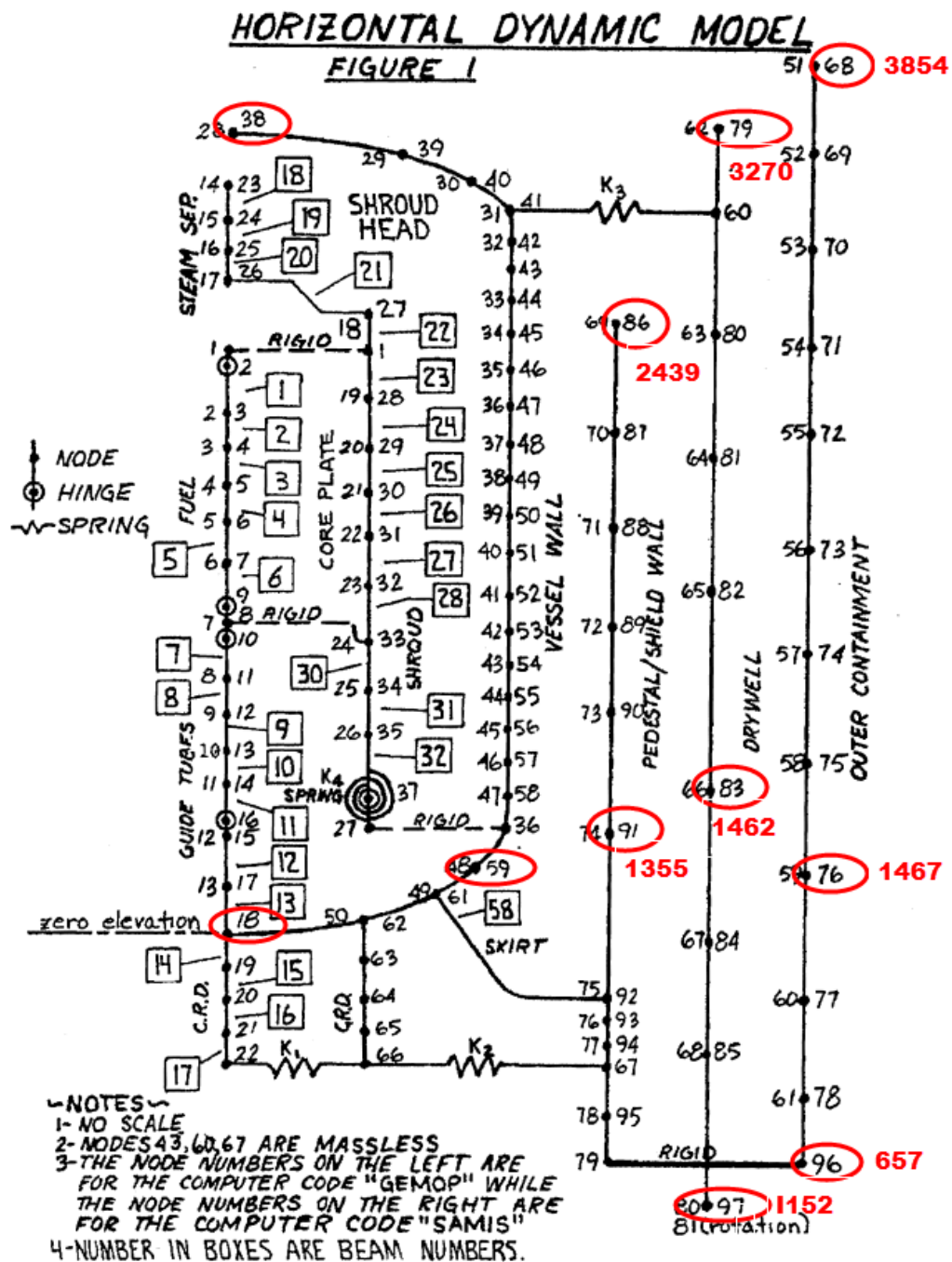


圖 4.25 分析模型輸出結果節點位置圖

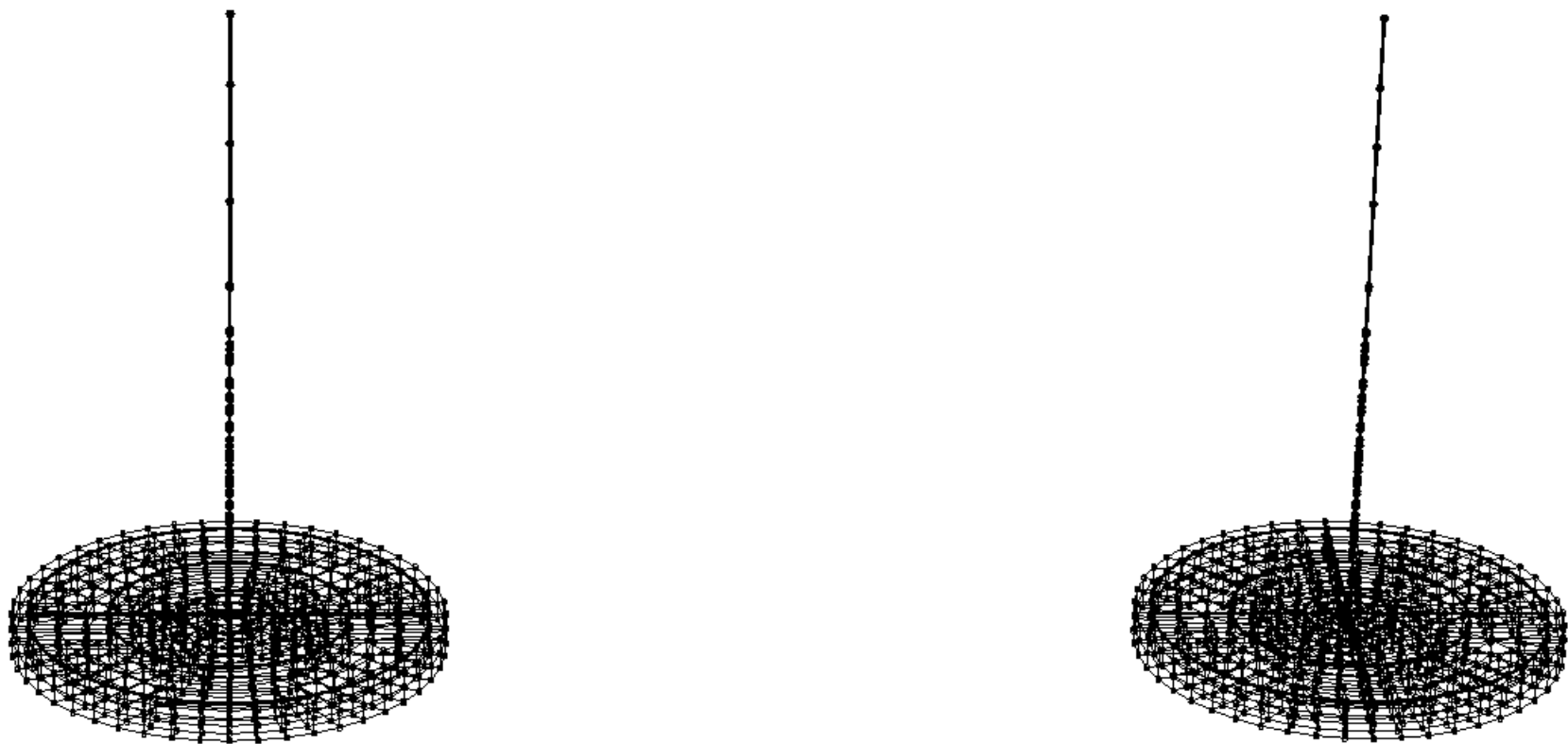


圖 4.26 雙反應器 Stick Model Case(a)之分析模型

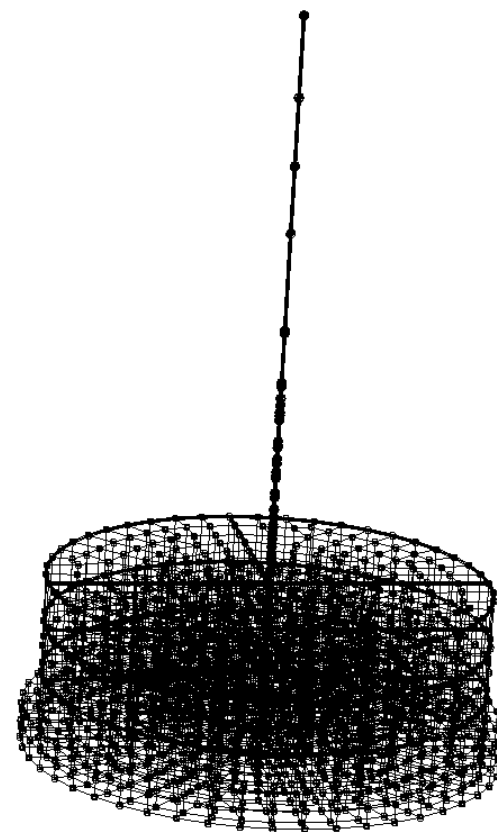
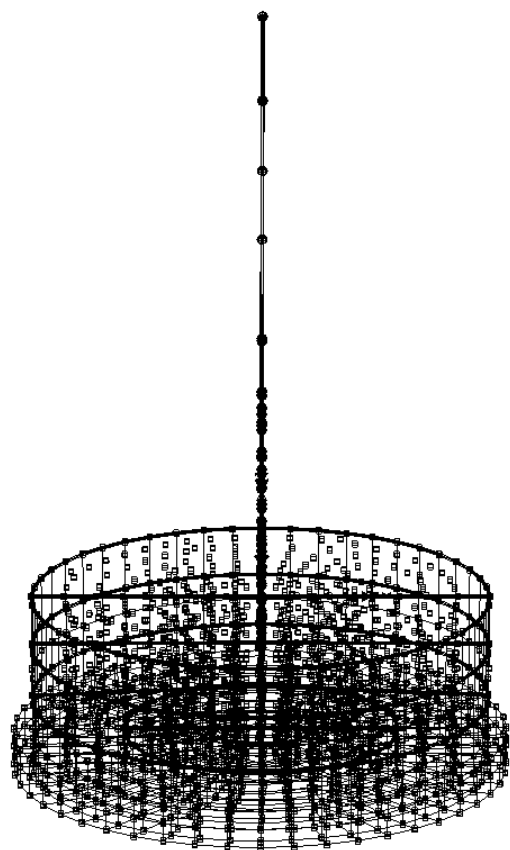


圖 4.27 雙反應器 Stick Model Case(b)之分析模型

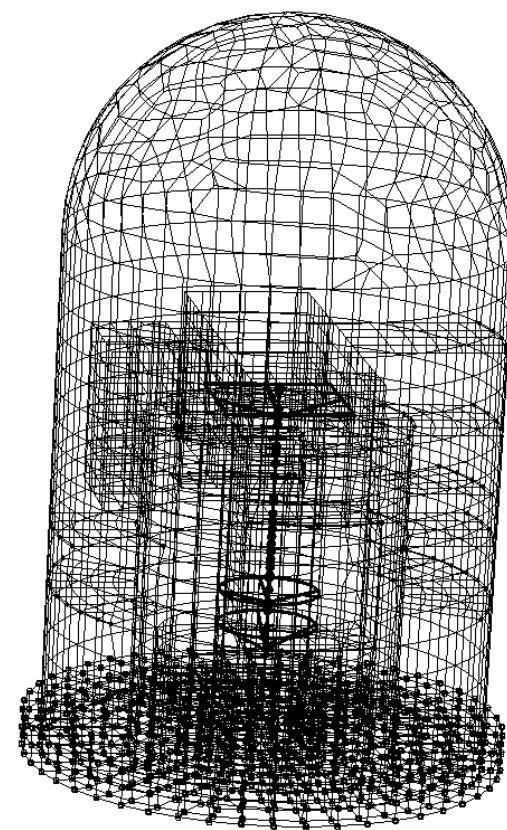
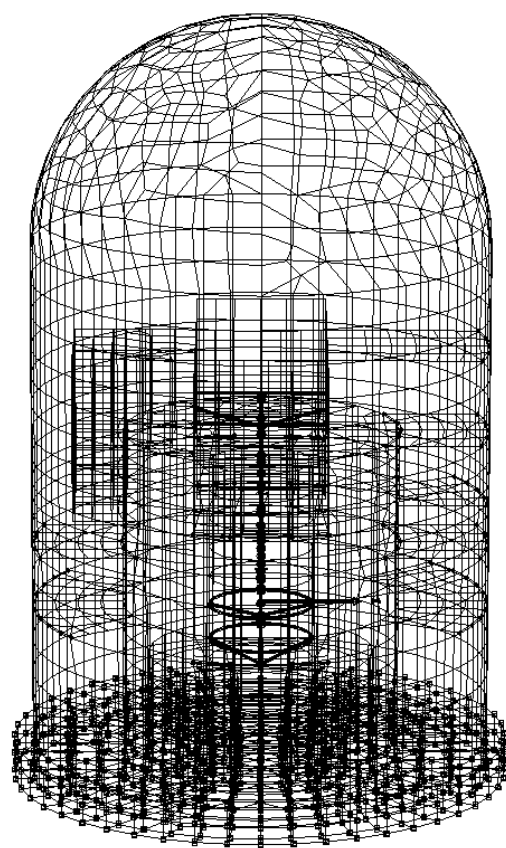


圖 4.28 雙反應器 Detailed Model Case(a)之分析模型

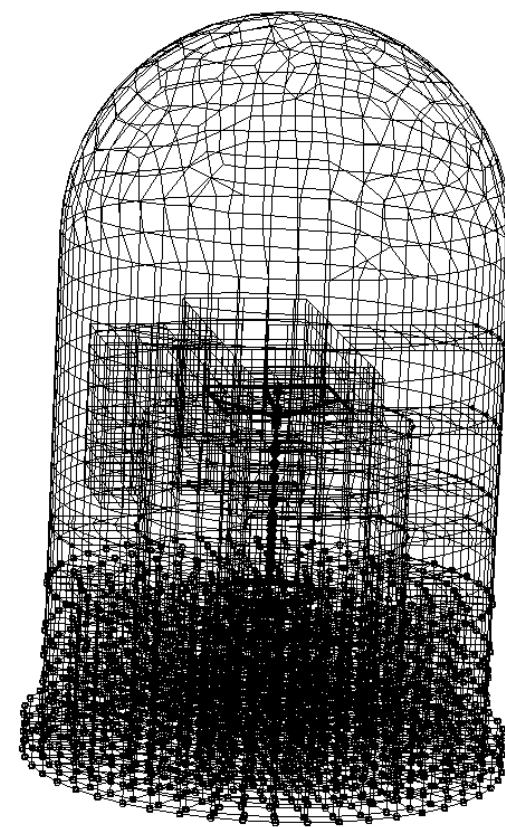
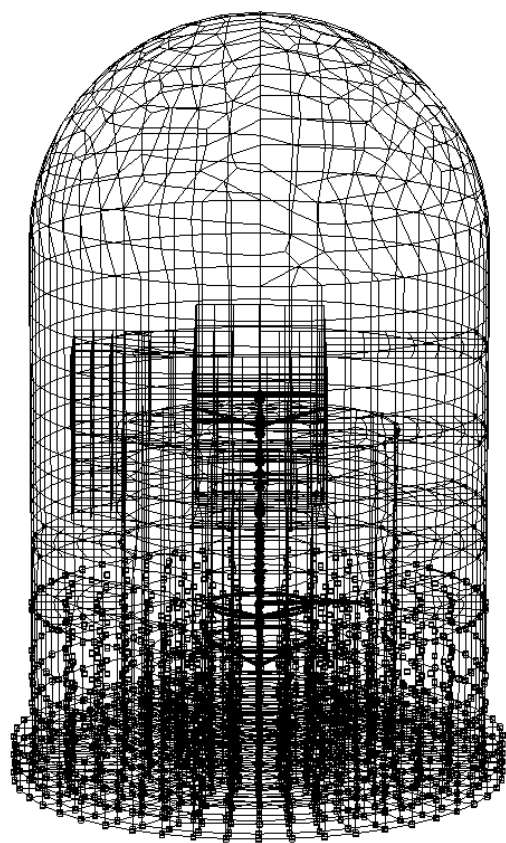


圖 4.29 雙反應器 Detailed Model Case(b)之分析模型

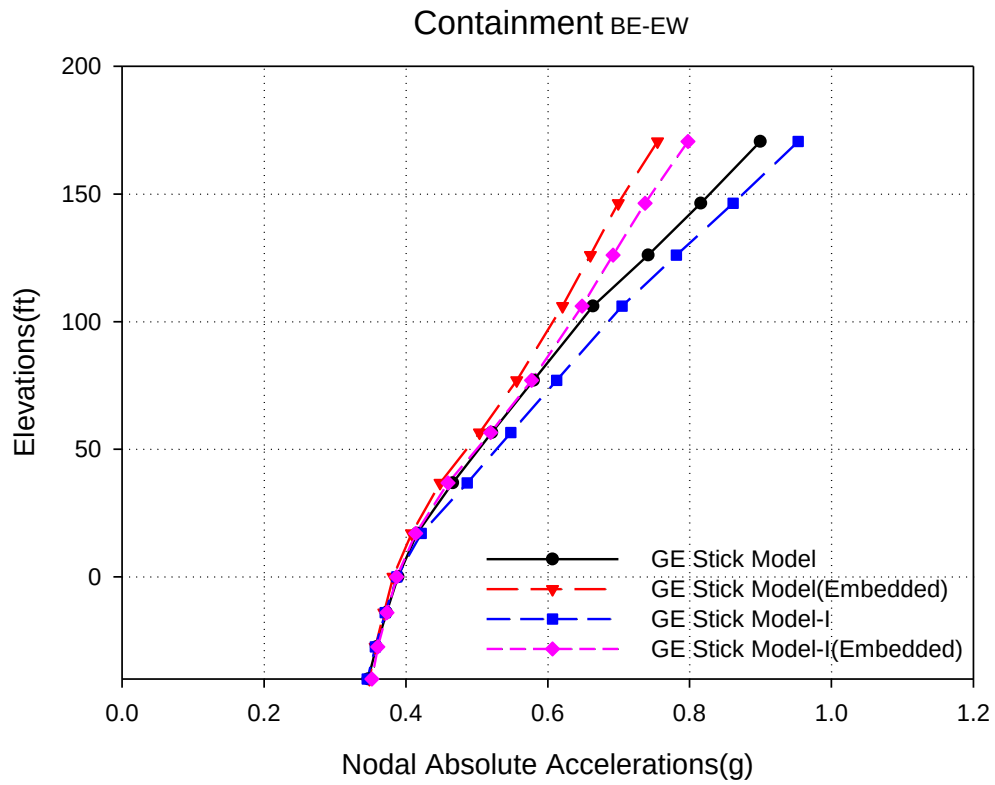


圖 4.30 Containment Stick Model 之節點最大加速度-EW 向

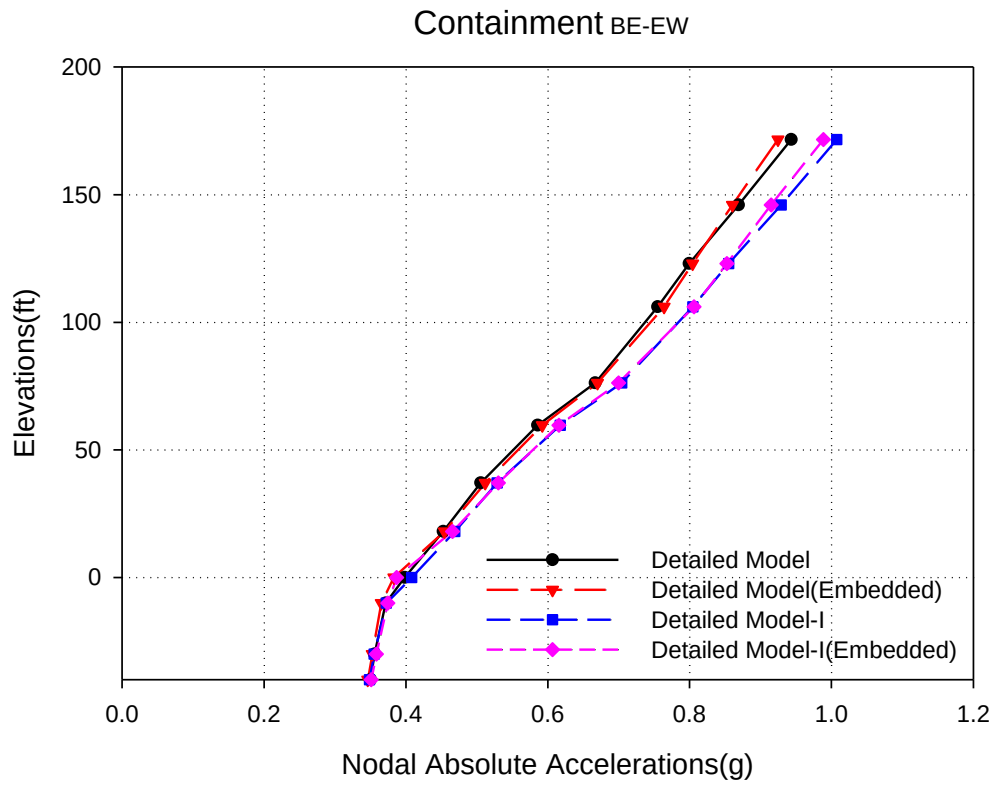


圖 4.31 Containment Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向

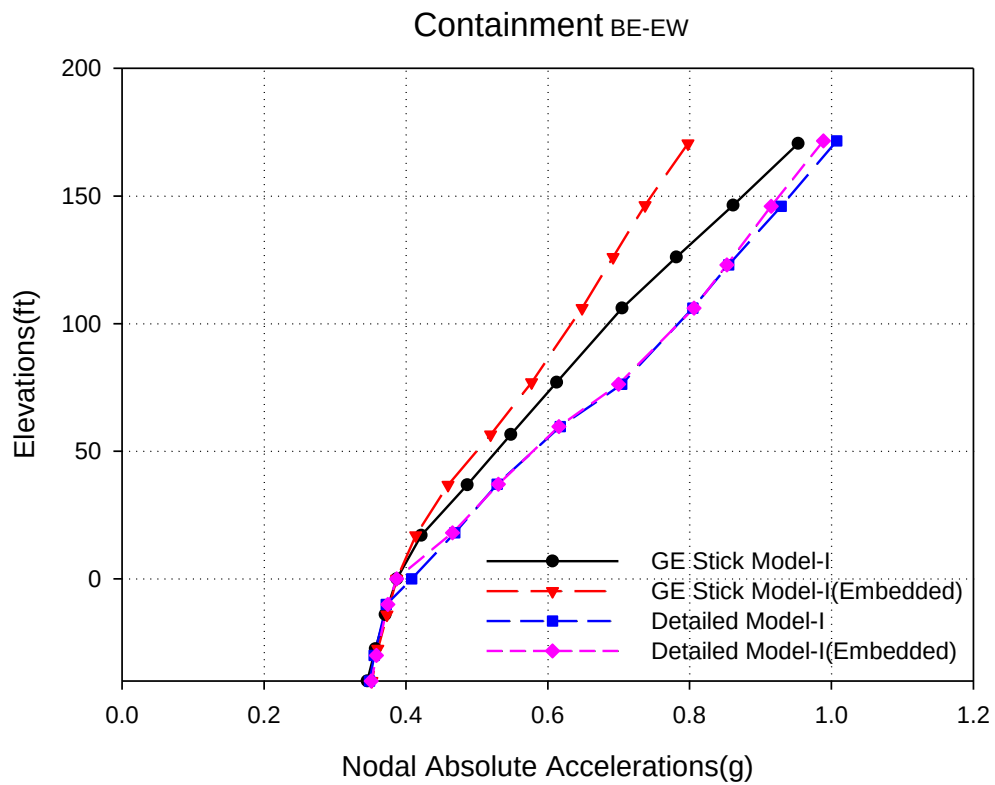


圖 4.32 Containment Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向

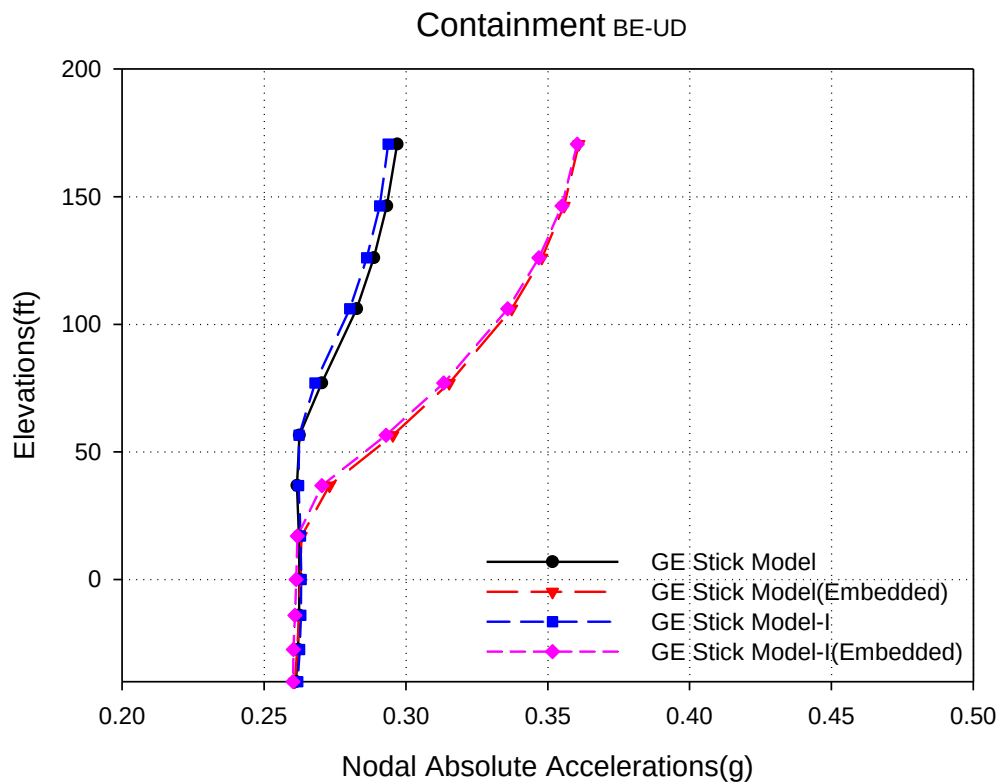


圖 4.33 Containment Stick Model 之節點最大加速度-UD 向

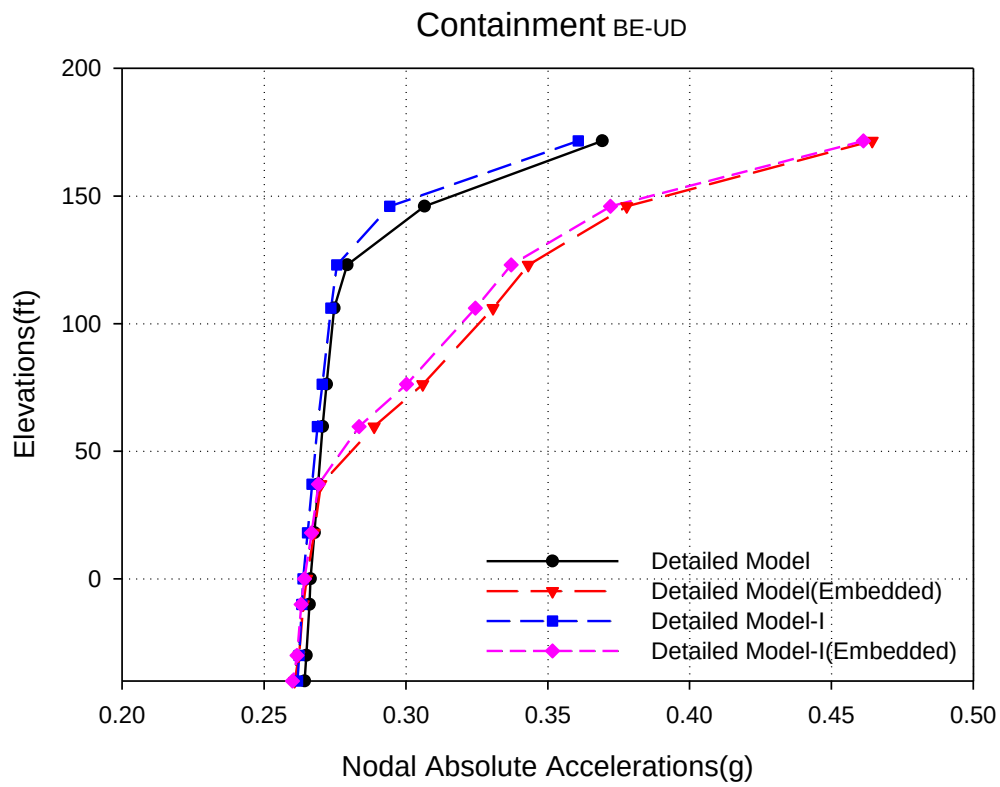


圖 4.34 Containment Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向

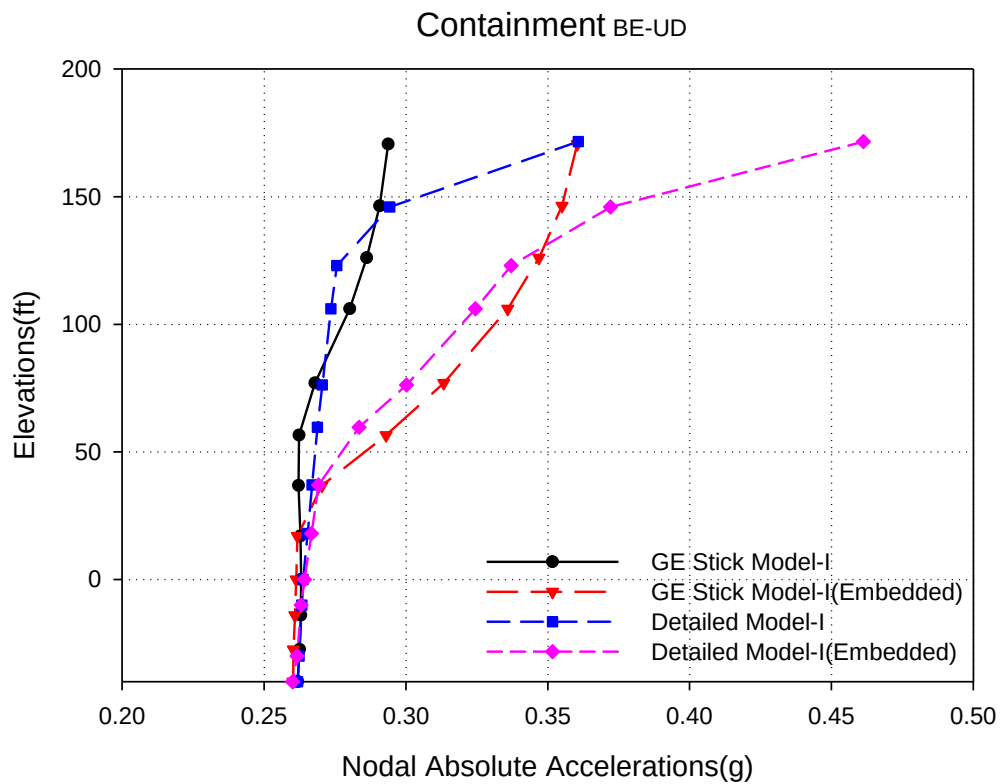


圖 4.35 Containment Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向

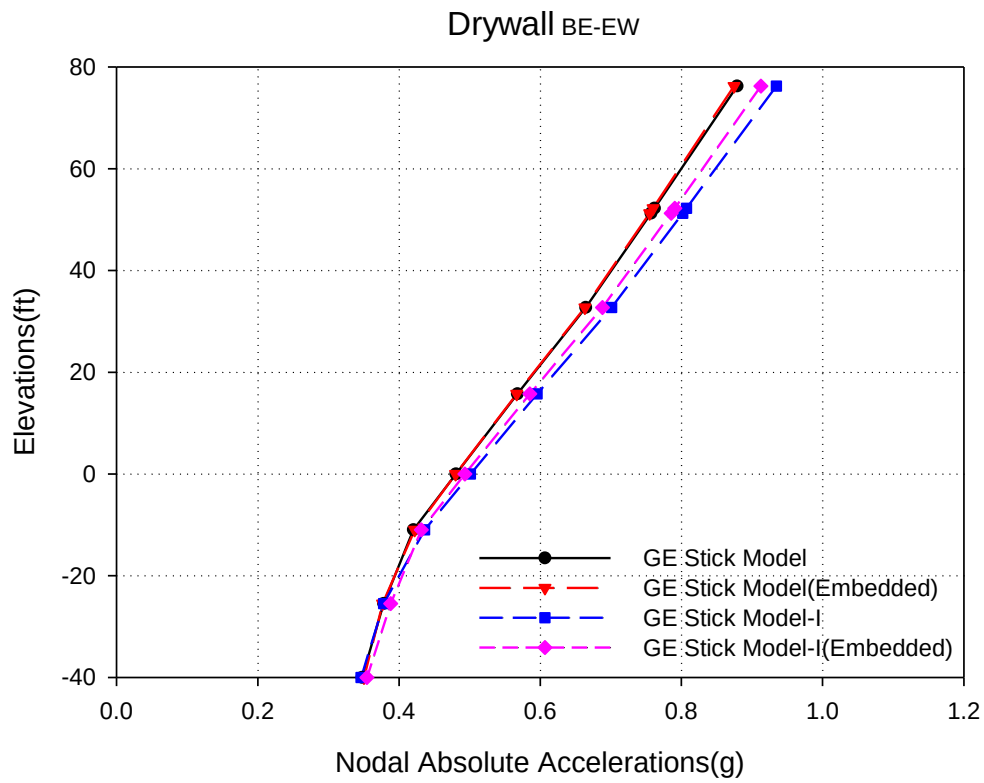


圖 4.36 Drywall Stick Model 之節點最大加速度-EW 向

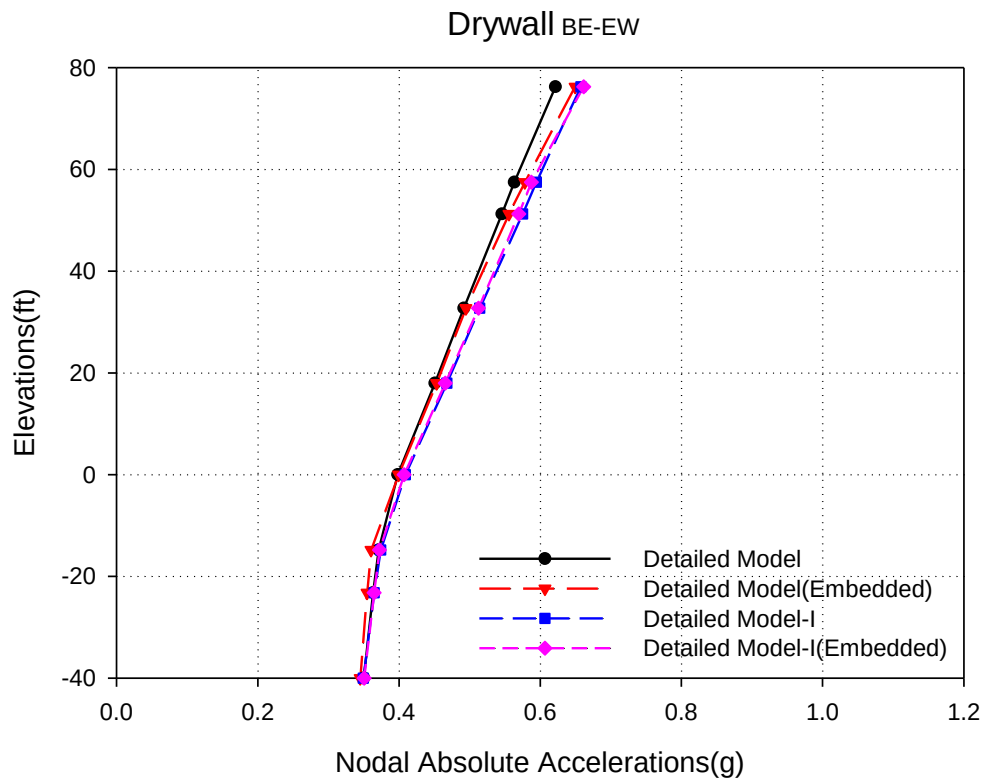


圖 4.37 Drywall Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向

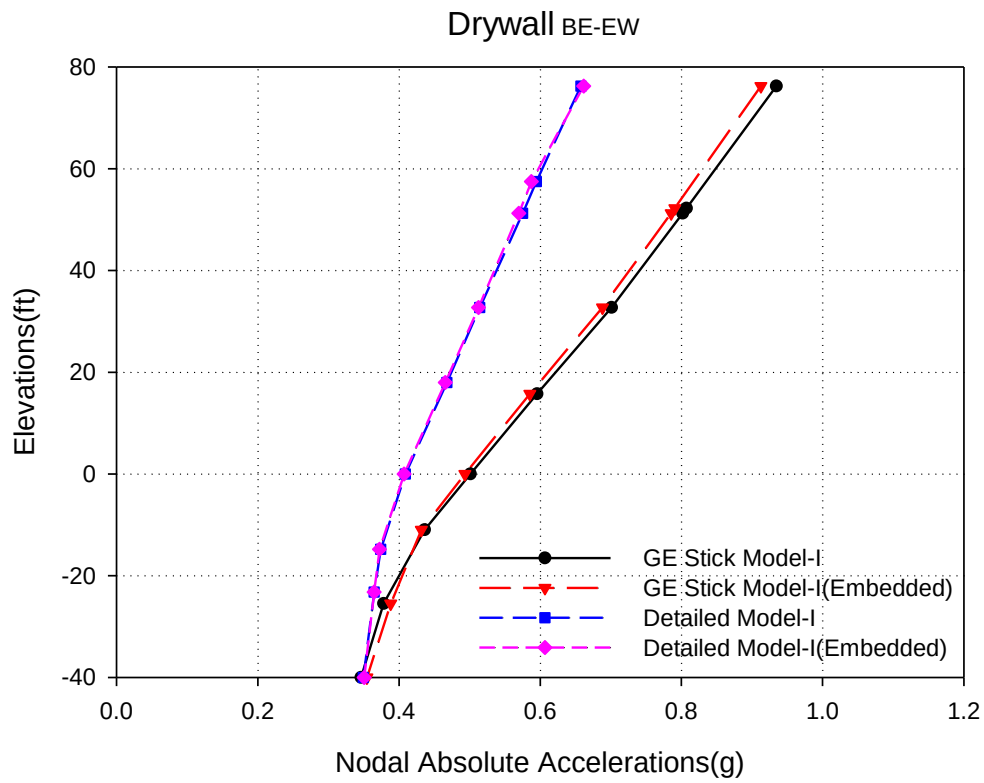


圖 4.38 Drywall Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向

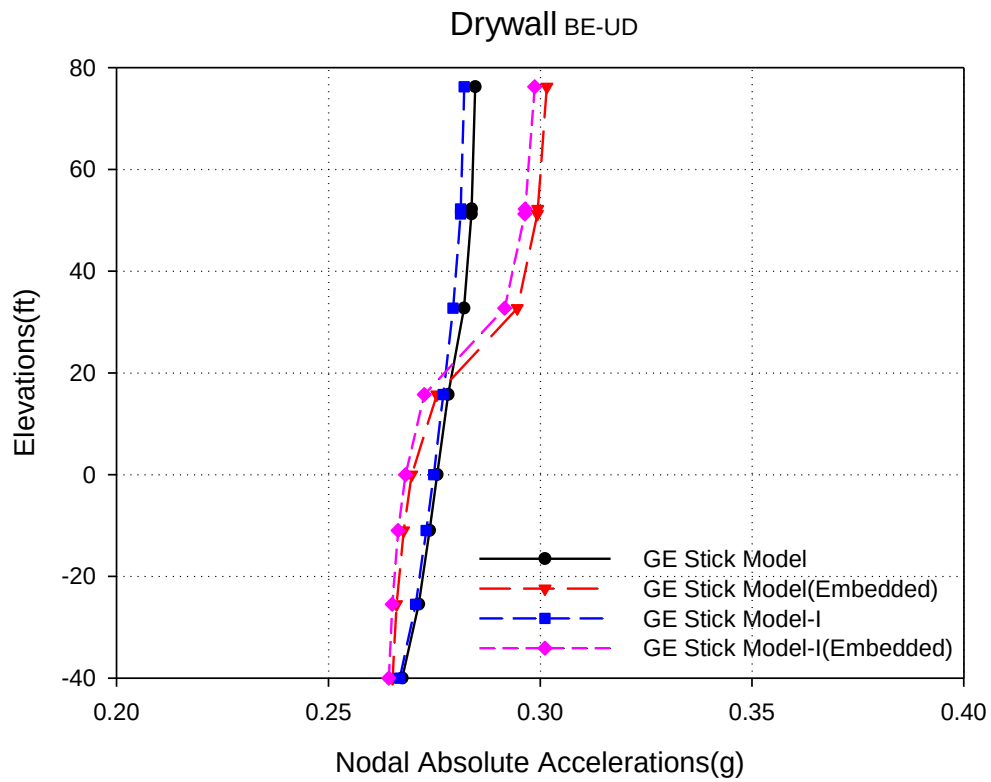


圖 4.39 Drywall Stick Model 之節點最大加速度-UD 向

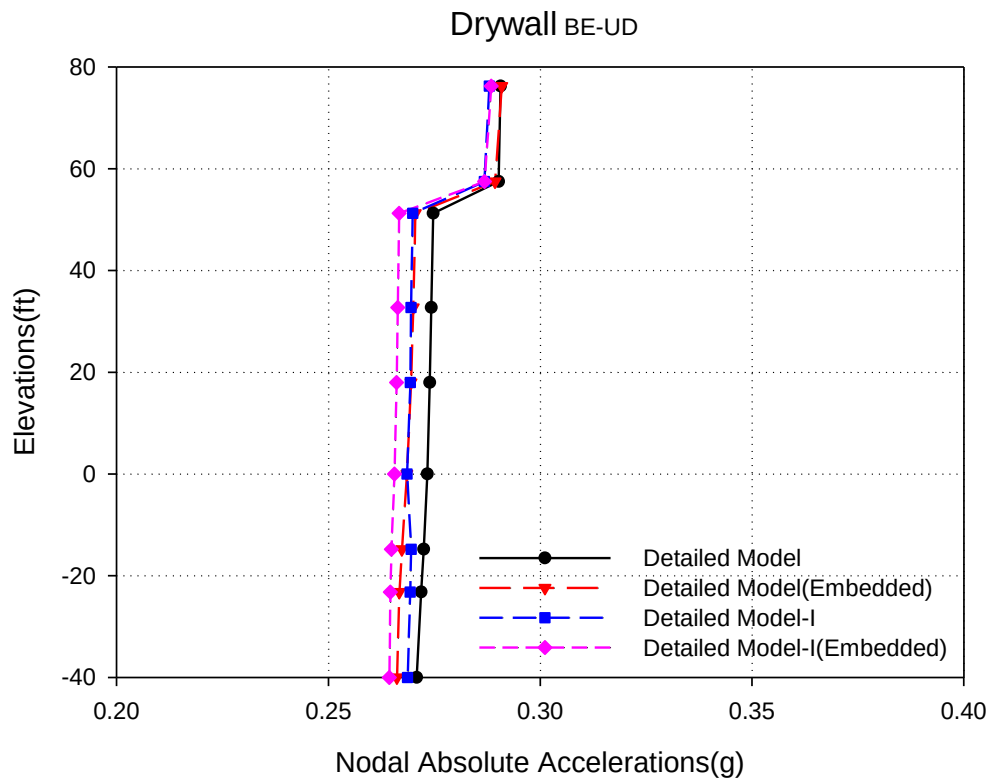


圖 4.40 Drywall Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向

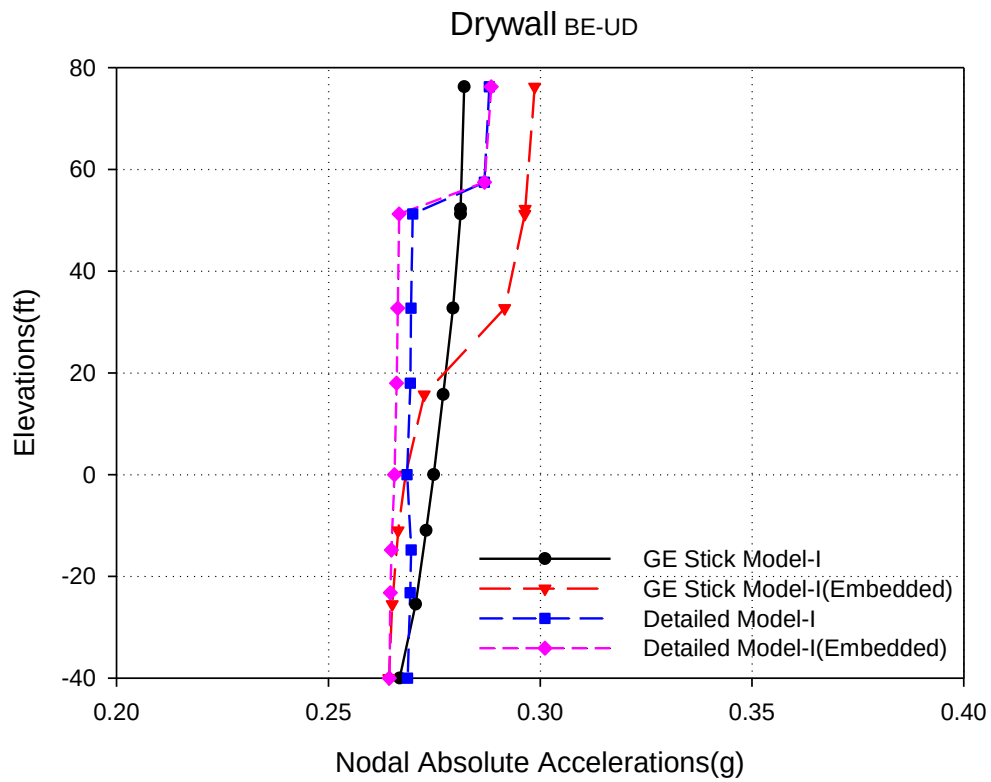


圖 4.41 Drywall Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向

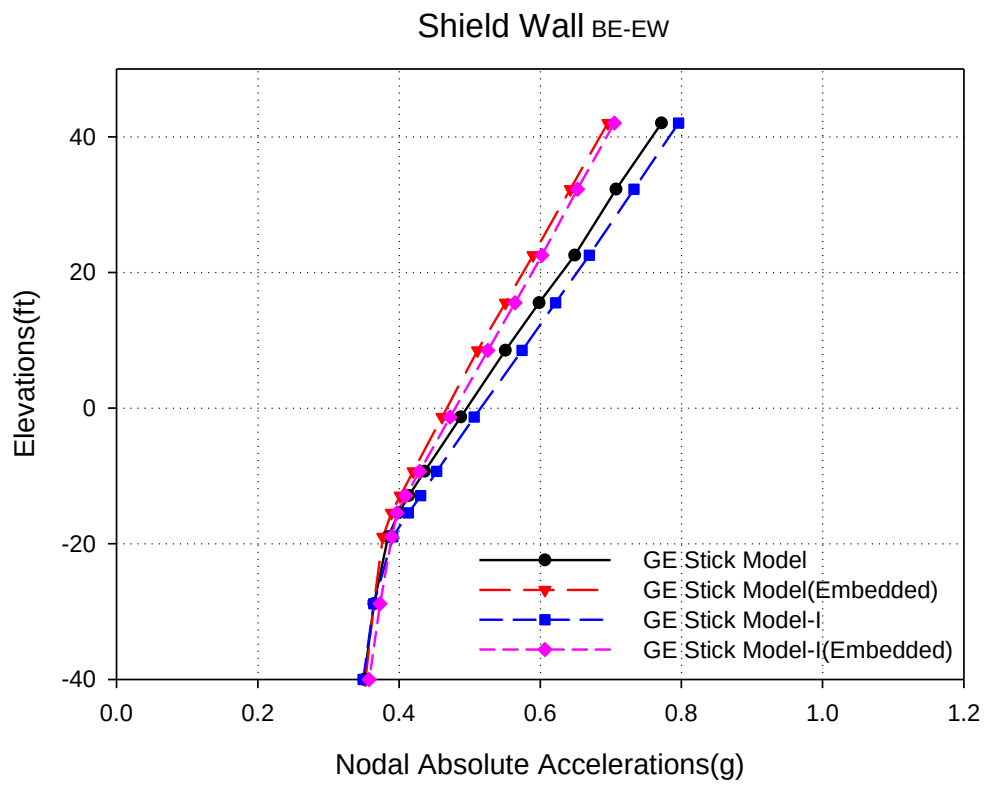


圖 4.42 Shield Wall Stick Model 之節點最大加速度-EW 向

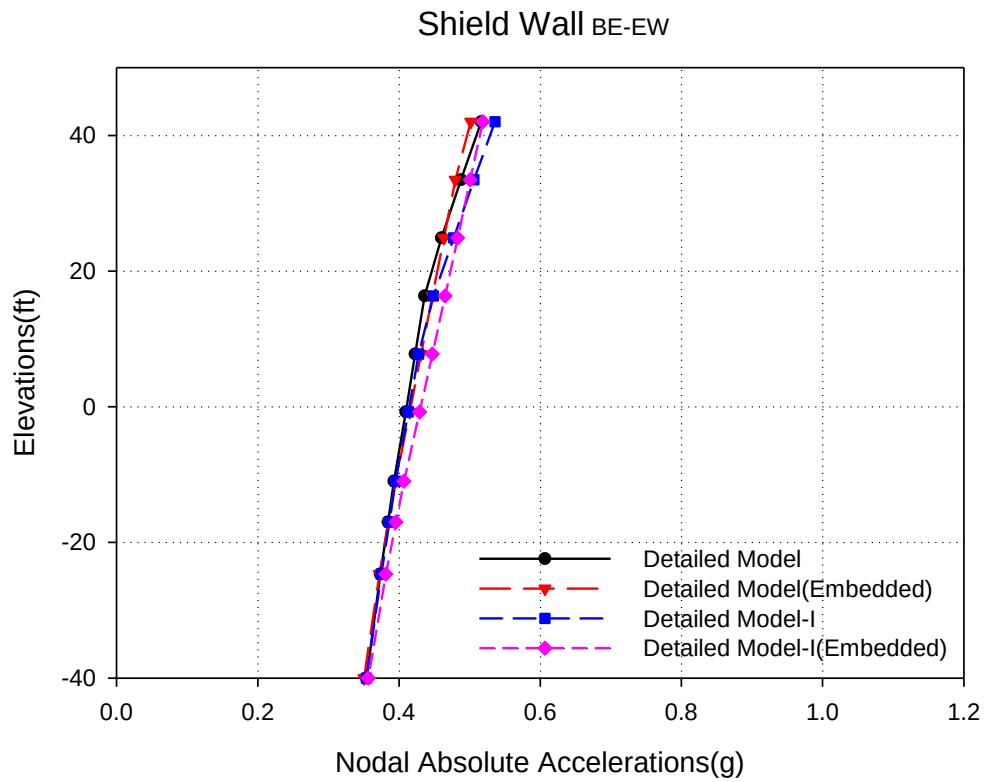


圖 4.43 Shield Wall Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向

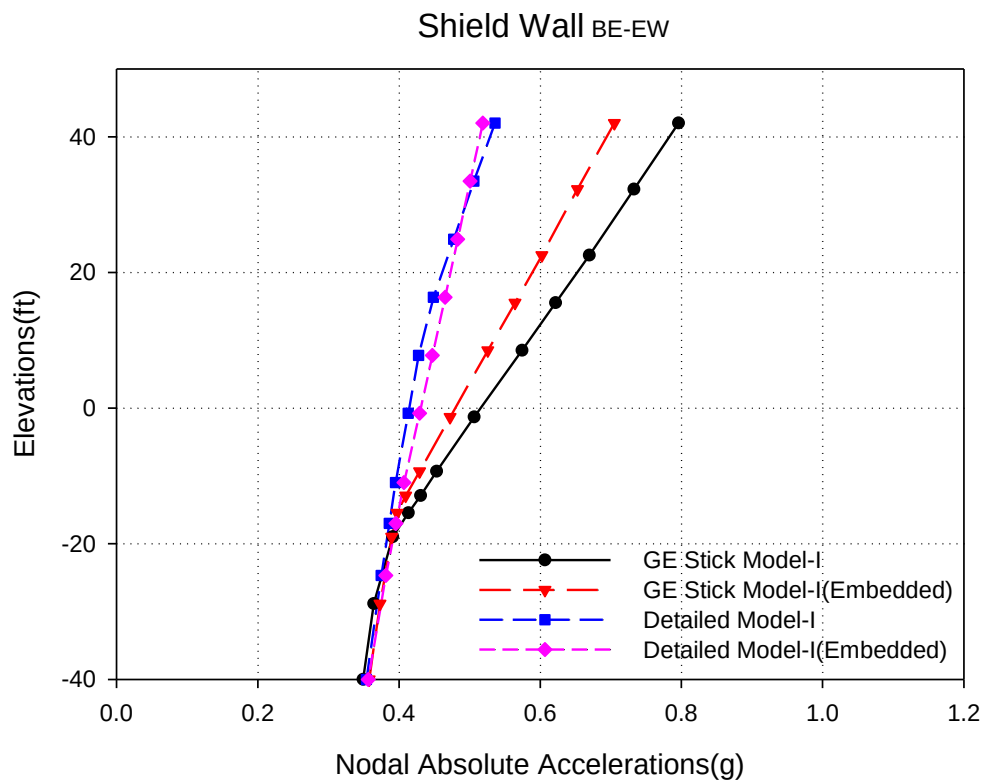


圖 4.44 Shield Wall Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向

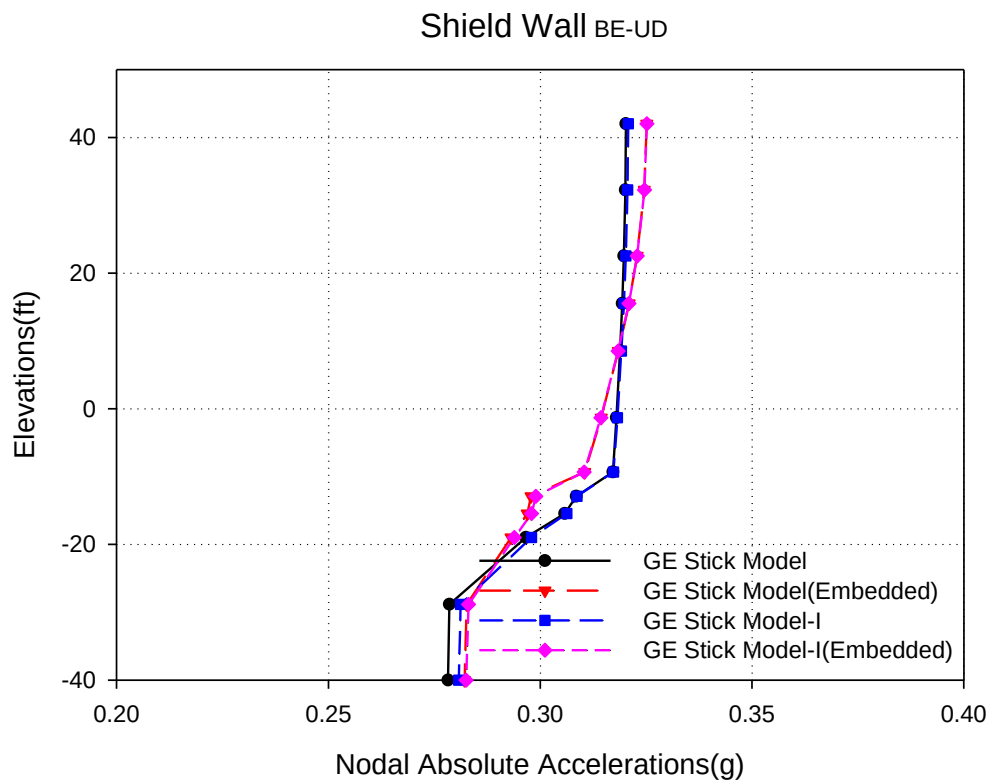


圖 4.45 Shield Wall Stick Model 之節點最大加速度-UD 向

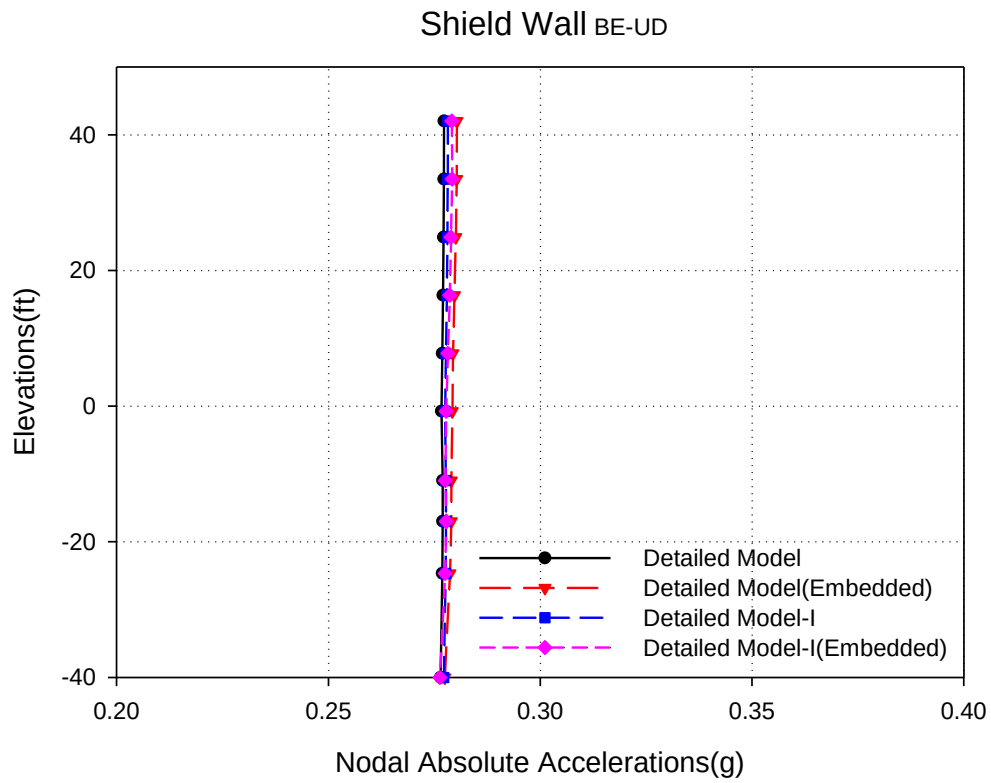


圖 4.46 Shield Wall Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向

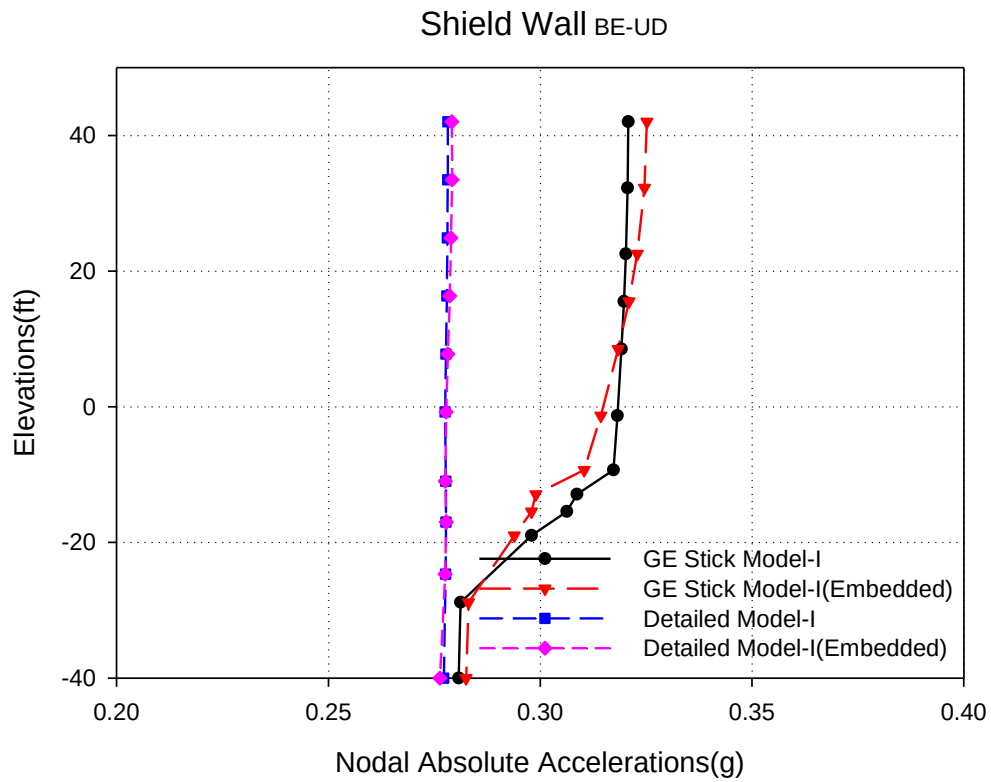


圖 4.47 Shield Wall Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向

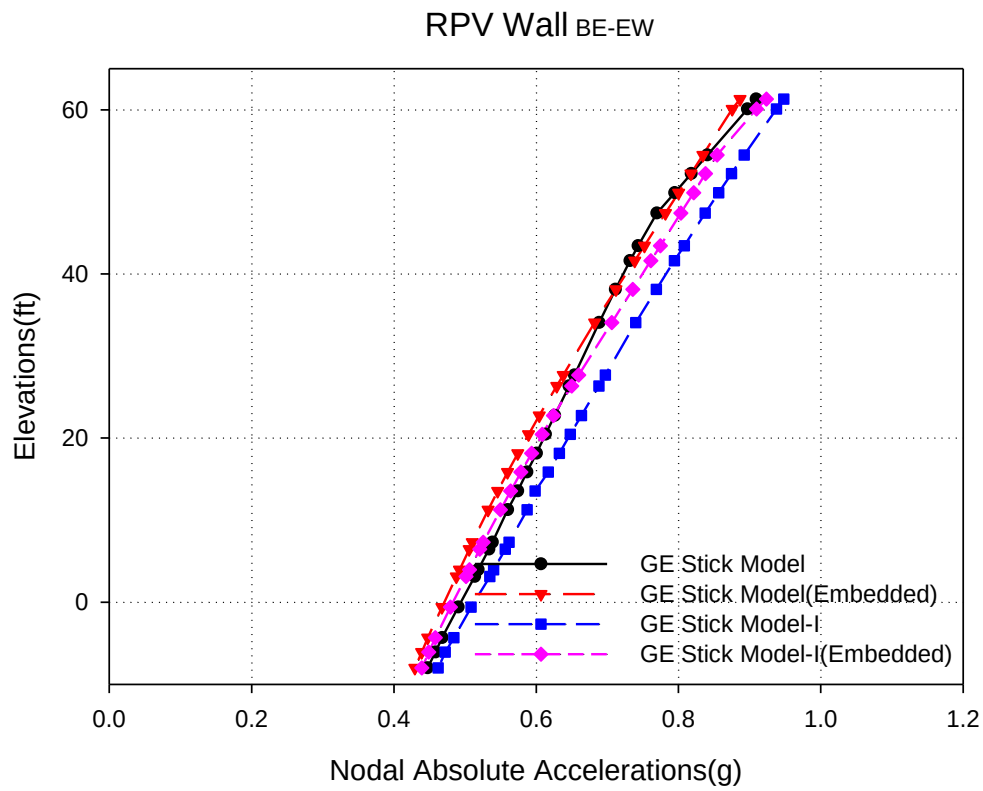


圖 4.48 RPV Stick Model 之節點最大加速度-EW 向

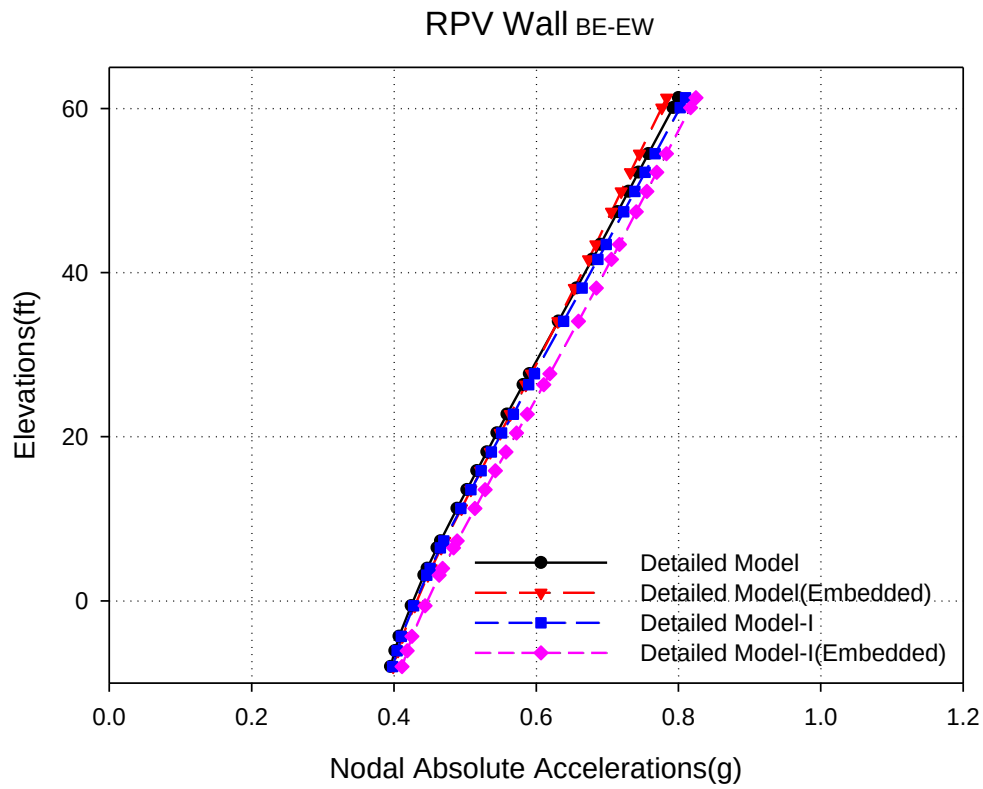


圖 4.49 RPV Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向

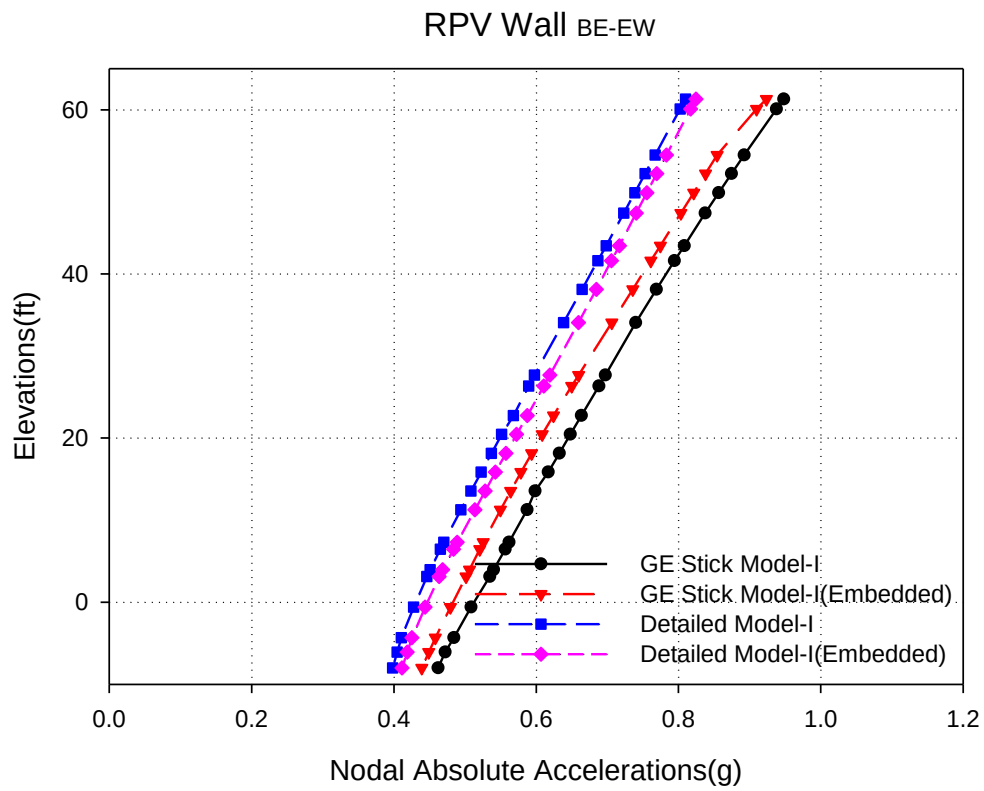


圖 4.50 RPV Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- EW 向

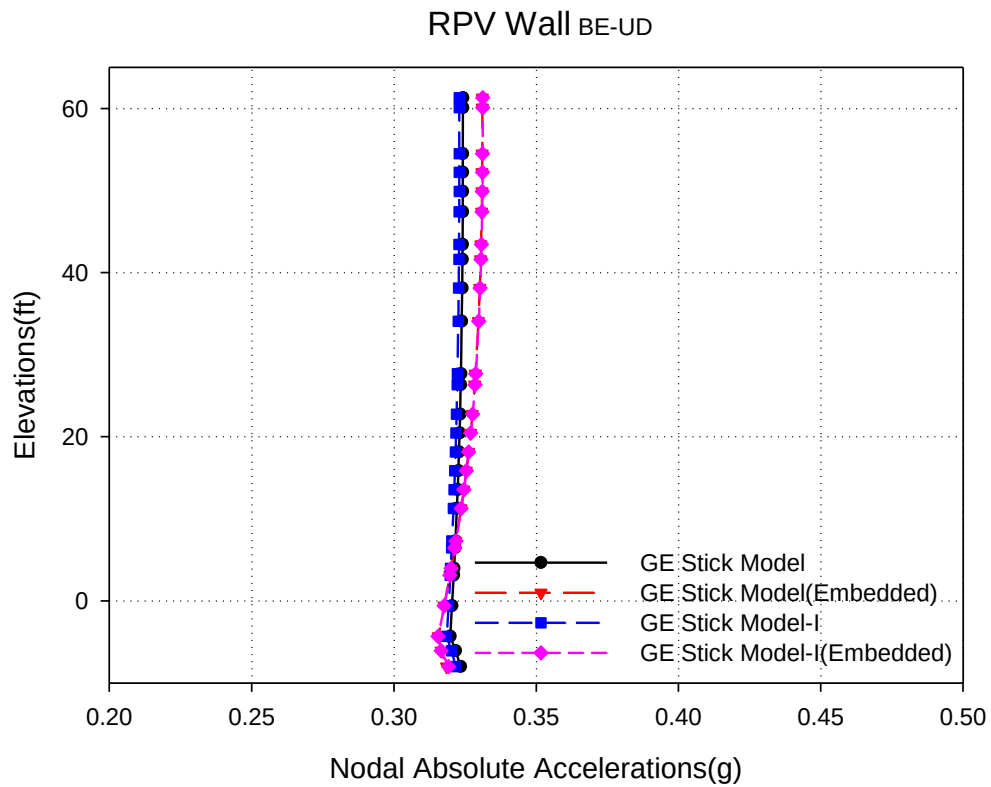


圖 4.51 RPV Stick Model 之節點最大加速度-UD 向

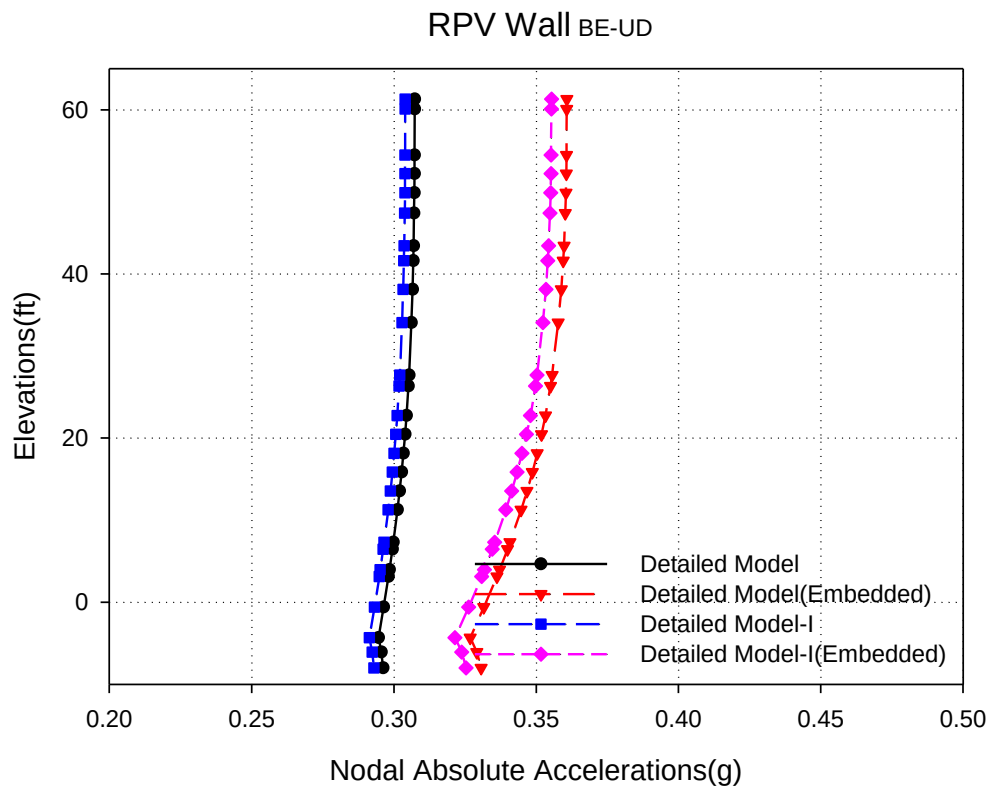


圖 4.52 RPV Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向

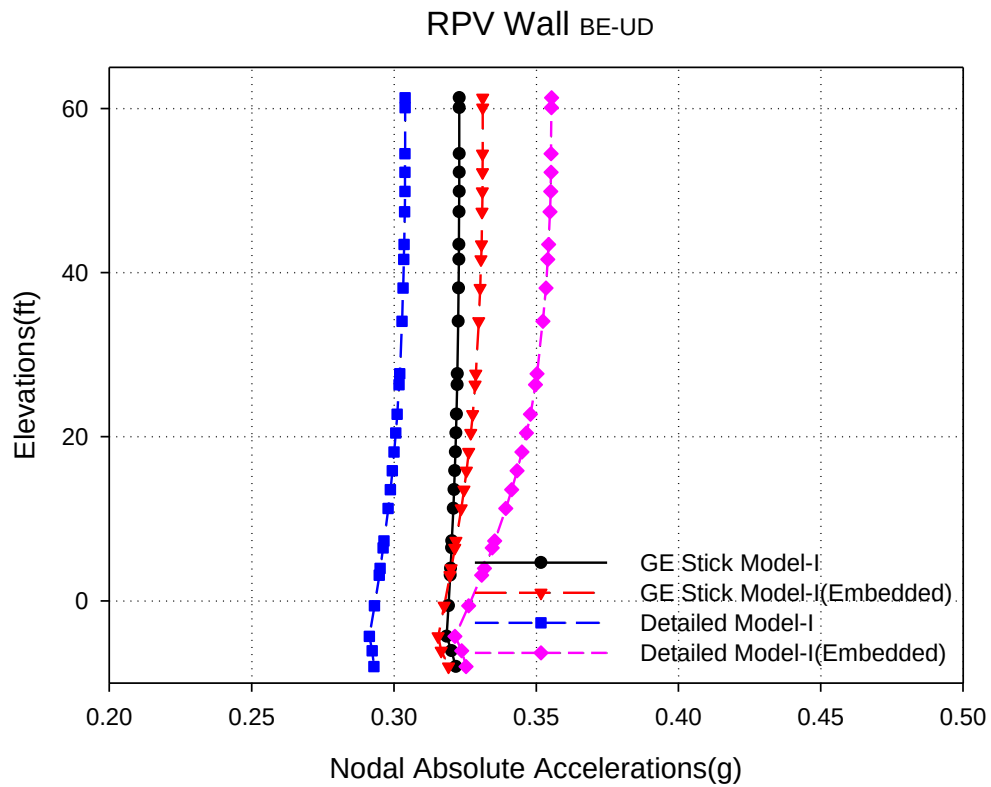


圖 4.53 RPV Stick VS Detailed Model 之節點最大加速度- UD 向

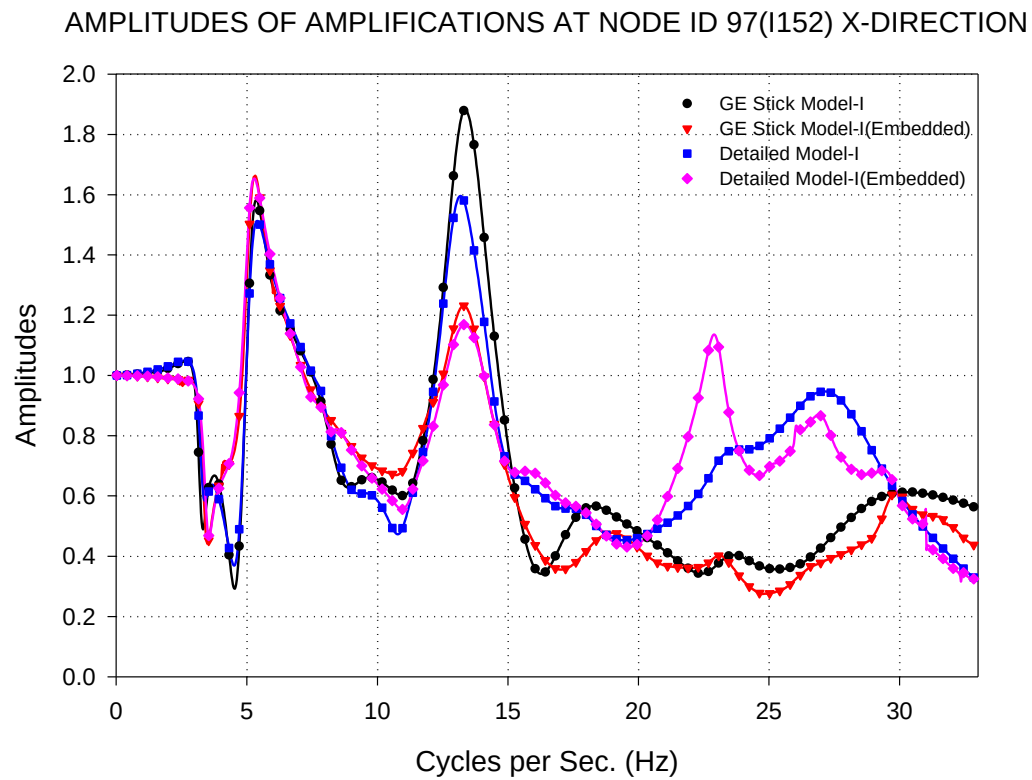


圖 4.54 基礎版底部節點 97(I152)之加速度放大函數-EW 向

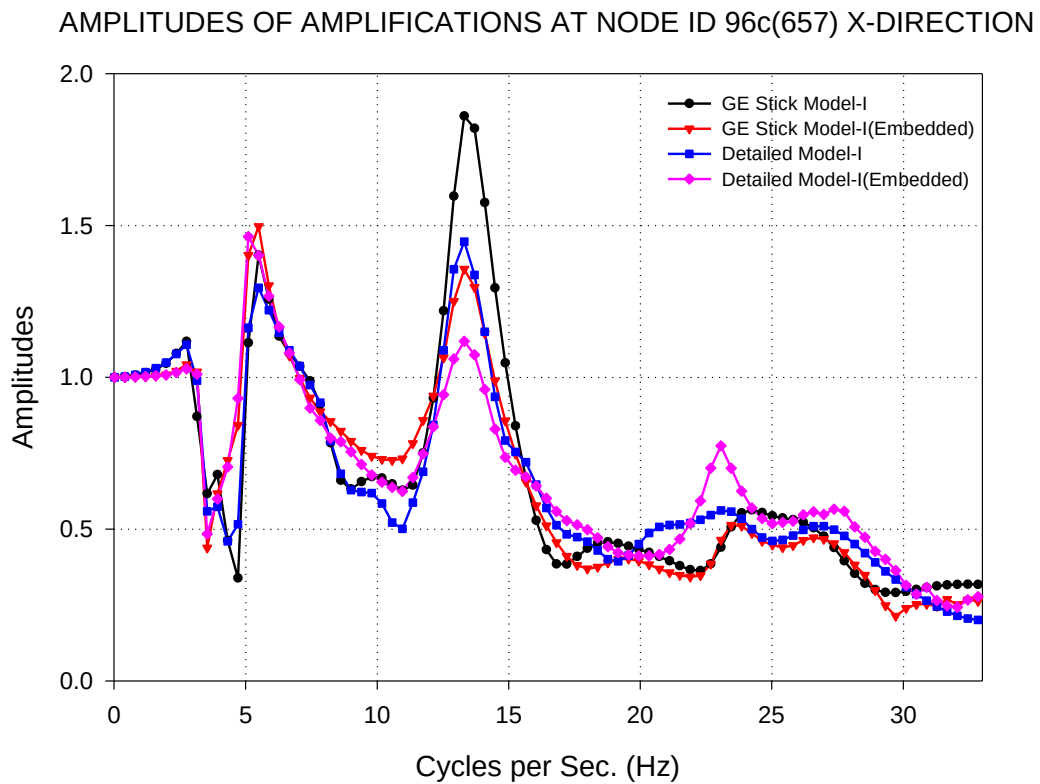


圖 4.55 基礎版頂部節點 96(657)之加速度放大函數-EW 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 76(1467) X-DIRECTION

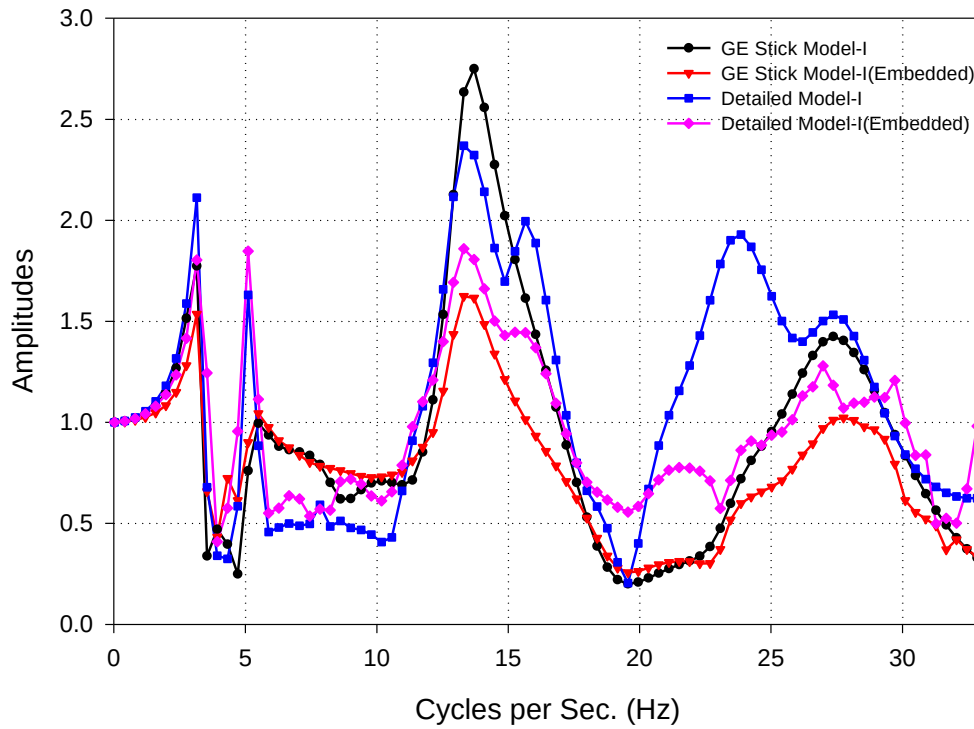


圖 4.56 Containment 地表節點 76(1467)之加速度放大函數-EW 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 68(3854) X-DIRECTION

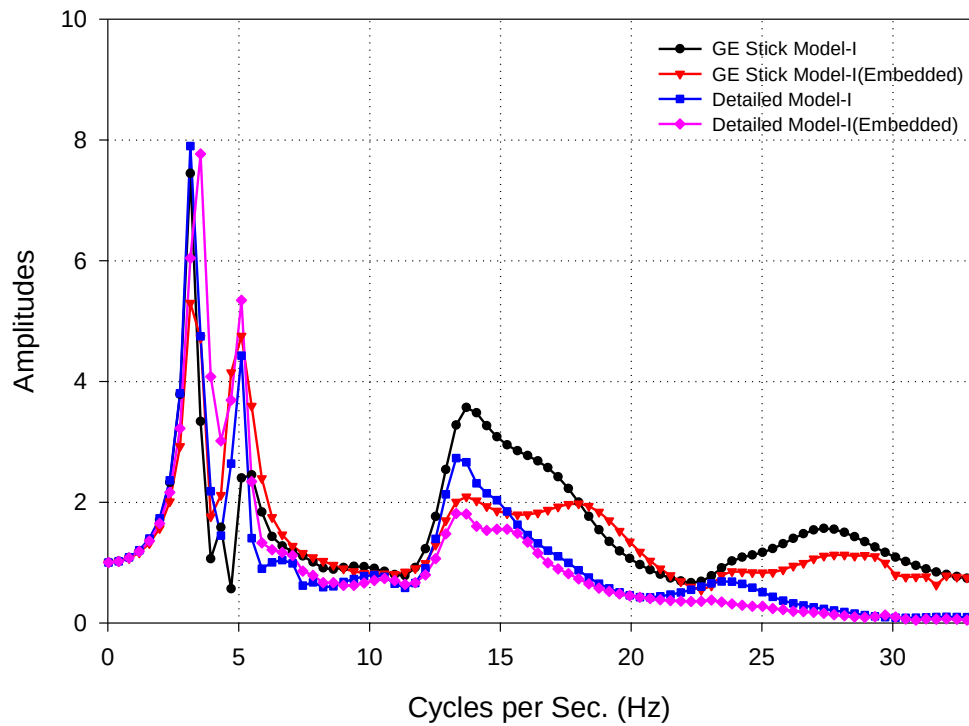


圖 4.57 Containment 頂部節點 68(3854)之加速度放大函數-EW 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 83(1462) X-DIRECTION

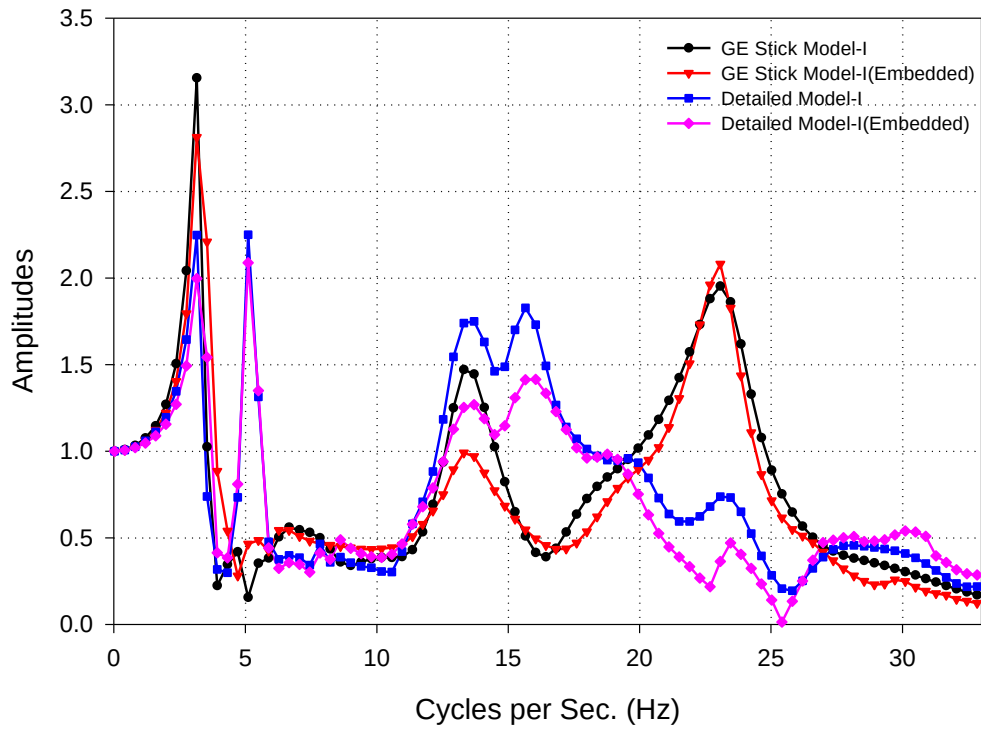


圖 4.58 Drywall 地表節點 83(1462)之加速度放大函數-EW 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 79(3270) X-DIRECTION

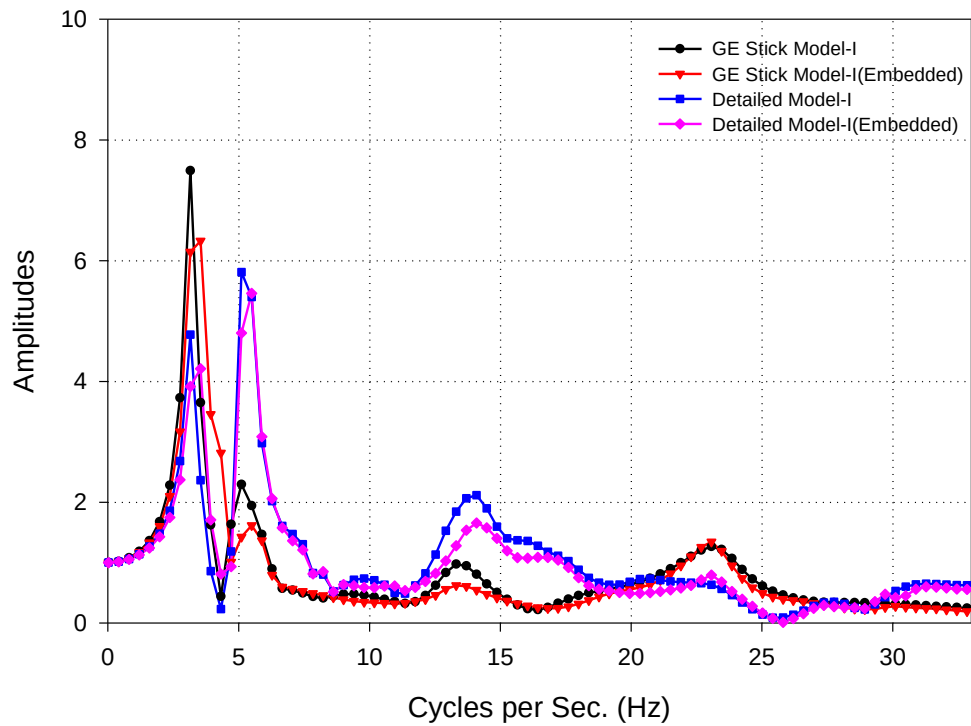


圖 4.59 Drywall 頂部節點 79(3270)之加速度放大函數-EW 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 91(1355) X-DIRECTION

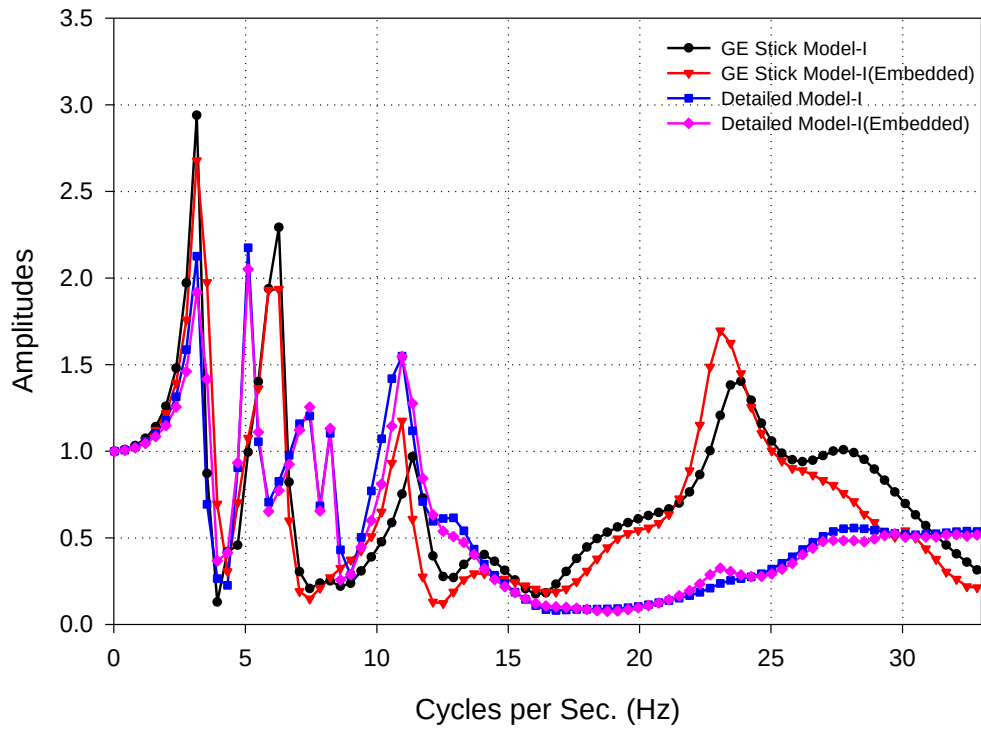


圖 4.60 Shield Wall 地表節點 91(1355)之加速度放大函數-EW 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 86(2439) X-DIRECTION

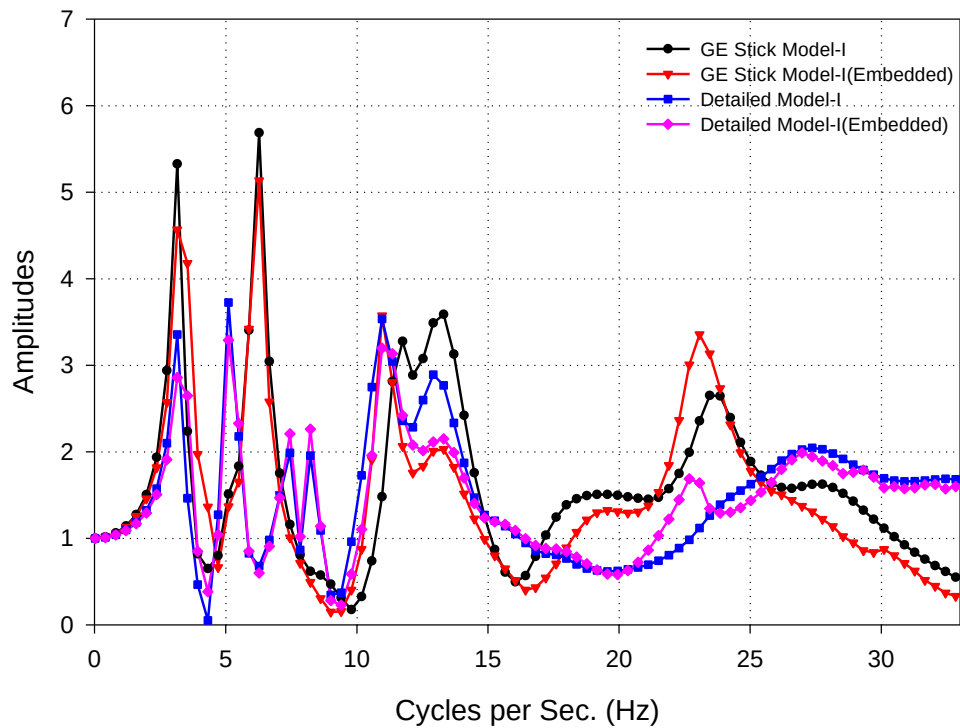


圖 4.61 Shield Wall 頂部節點 86(2439)之加速度放大函數-EW 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 18 X-DIRECTION

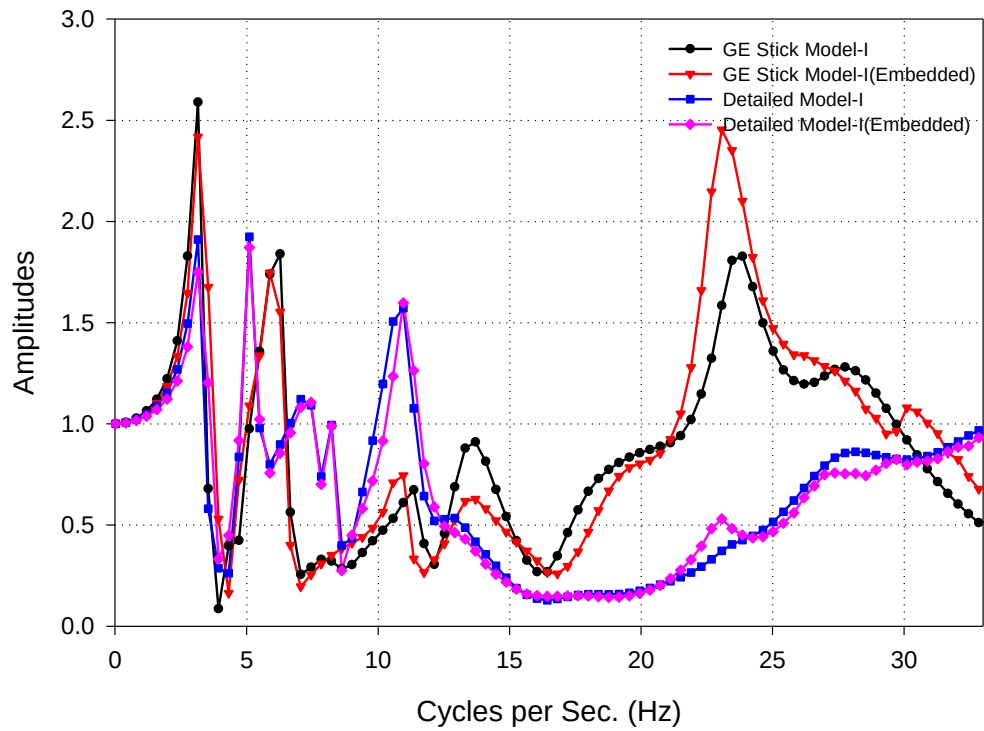


圖 4.62 RPV 底部節點 18 之加速度放大函數-EW 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 59 X-DIRECTION

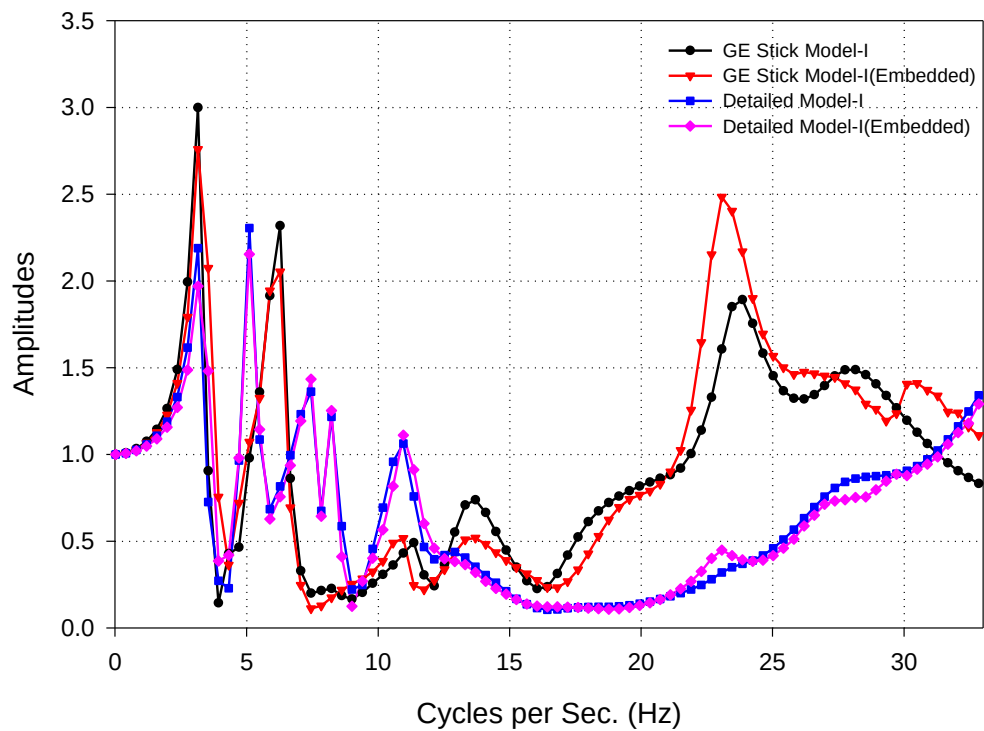


圖 4.63 RPV 地表節點 59 之加速度放大函數-EW 向

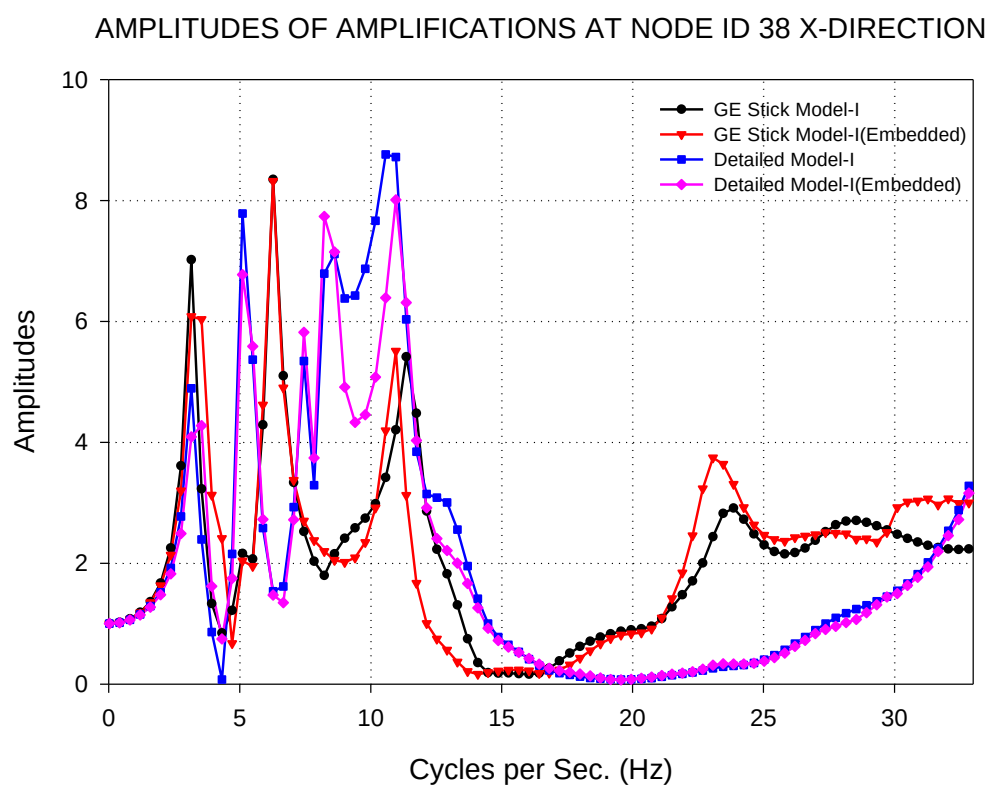


圖 4.64 RPV 頂部節點 38 之加速度放大函數-EW 向

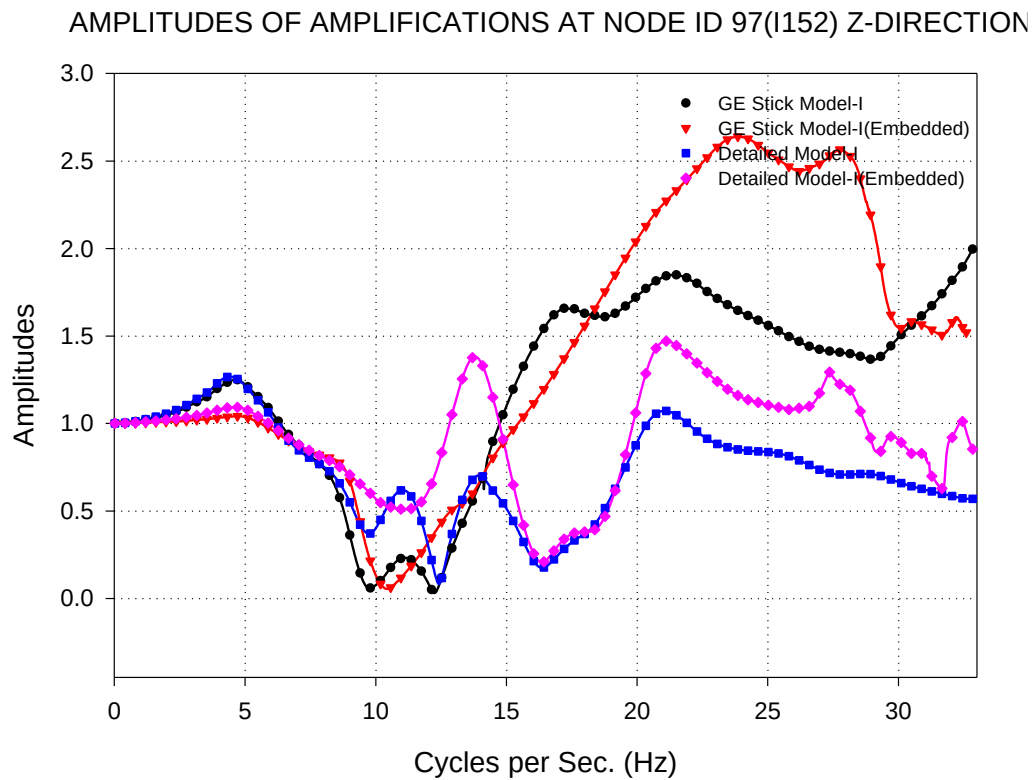


圖 4.65 基礎版底部節點 97(I152)之加速度放大函數-UD 向

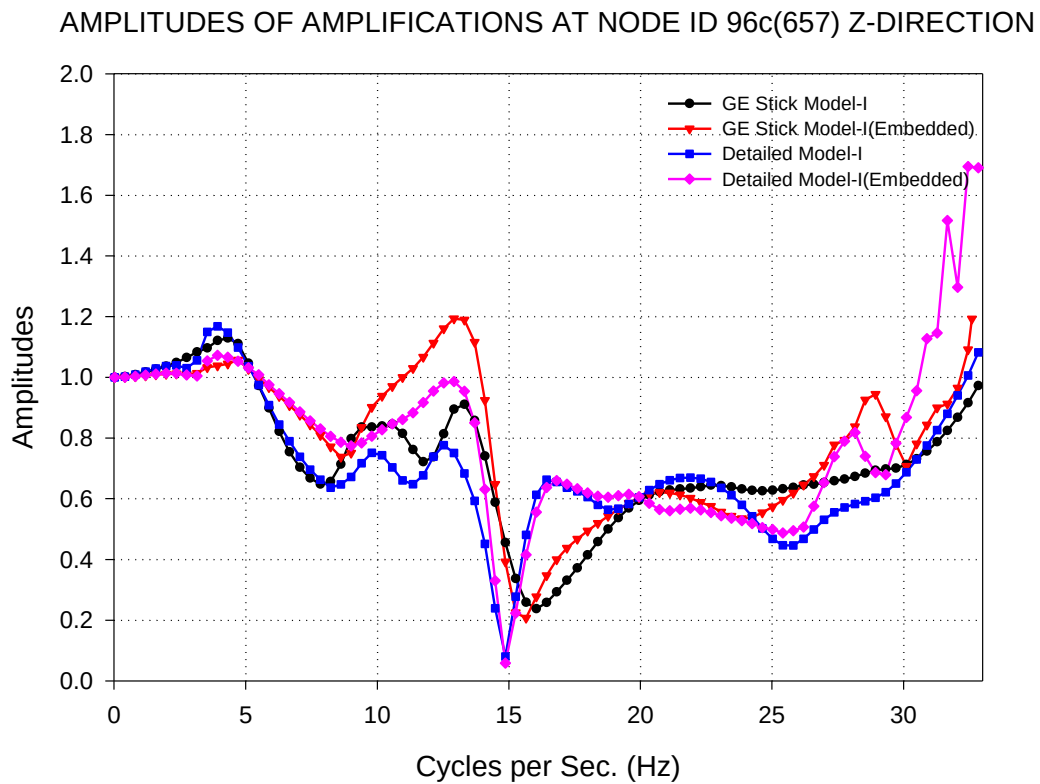


圖 4.66 基礎版頂部節點 96(657)之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 76(1467) Z-DIRECTION

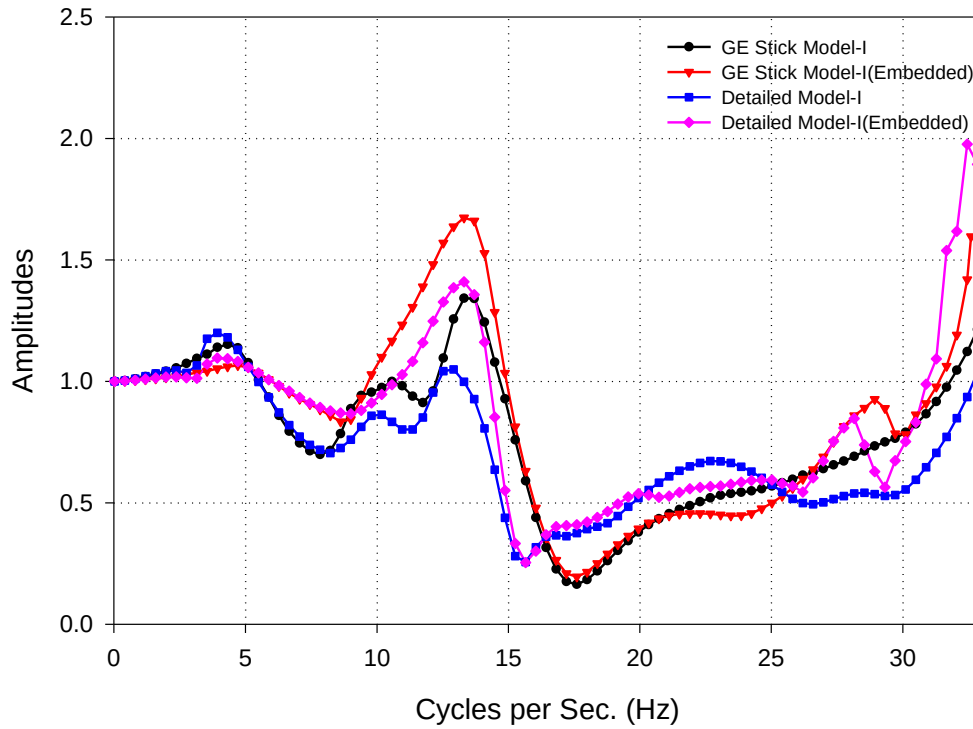


圖 4.67 Containment 地表節點 76(1467)之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 68(3854) Z-DIRECTION

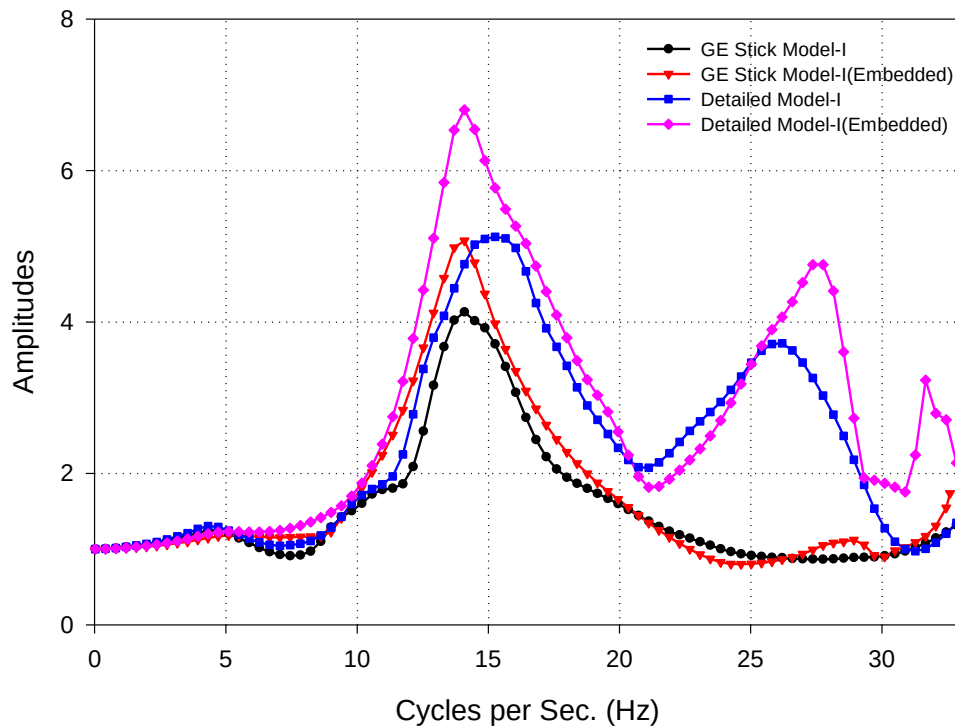


圖 4.68 Containment 頂部節點 68(3854)之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 83(1462) Z-DIRECTION

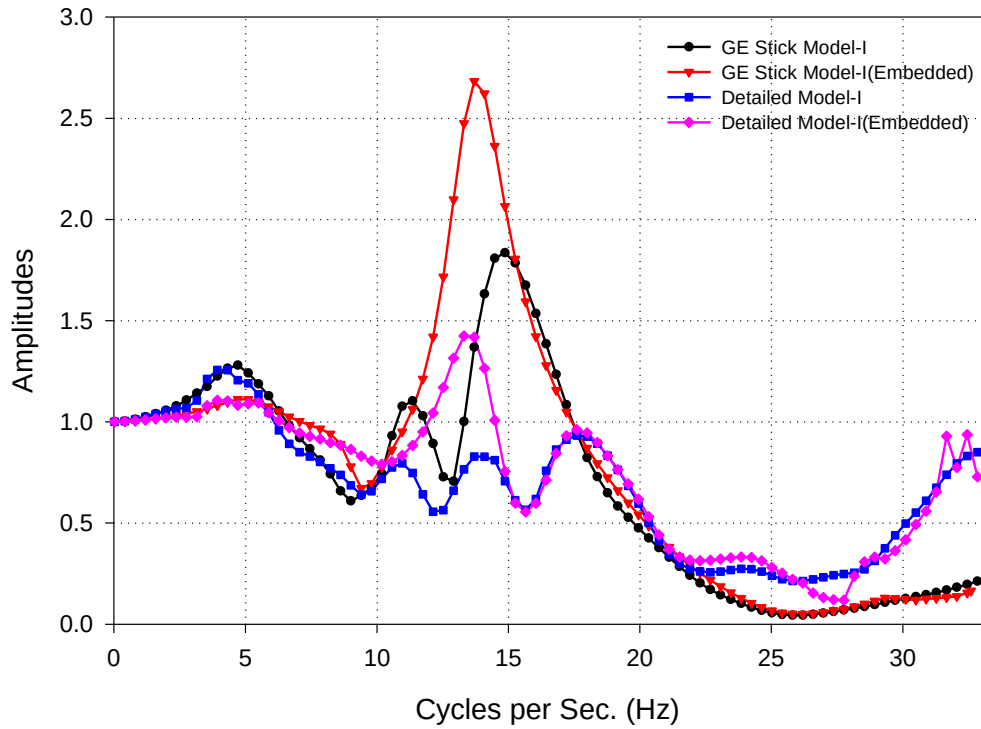


圖 4.69 Drywall 地表節點 83(1462)之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 79(3270) Z-DIRECTION

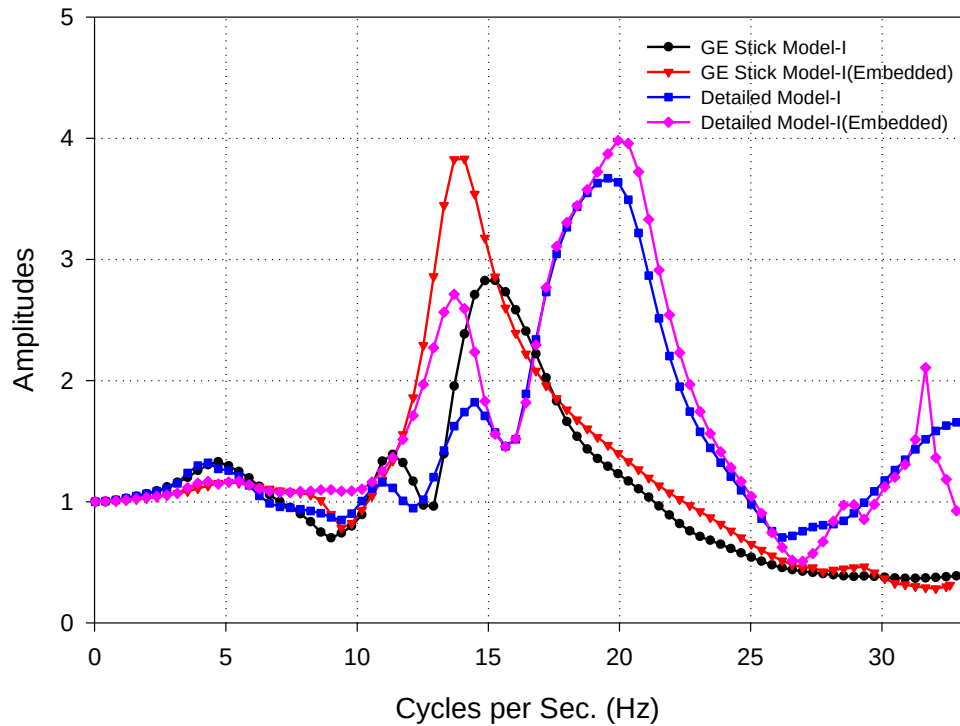


圖 4.70 Drywall 頂部節點 79(3270)之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 91(1355) Z-DIRECTION

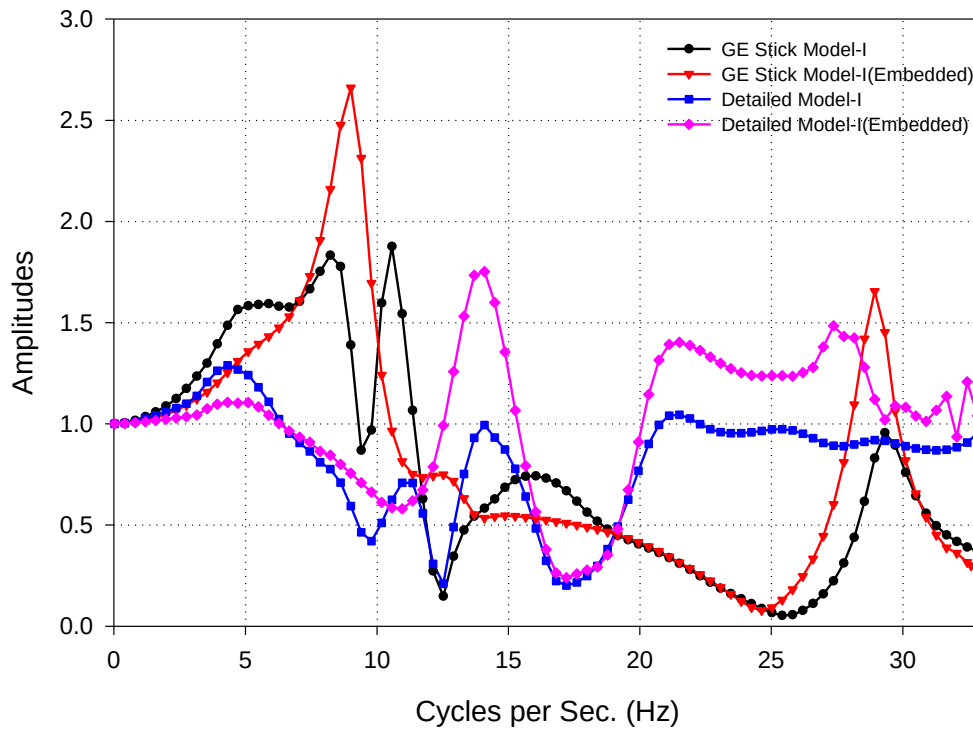


圖 4.71 Shield Wall 地表節點 91(1355)之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 86(2439) Z-DIRECTION

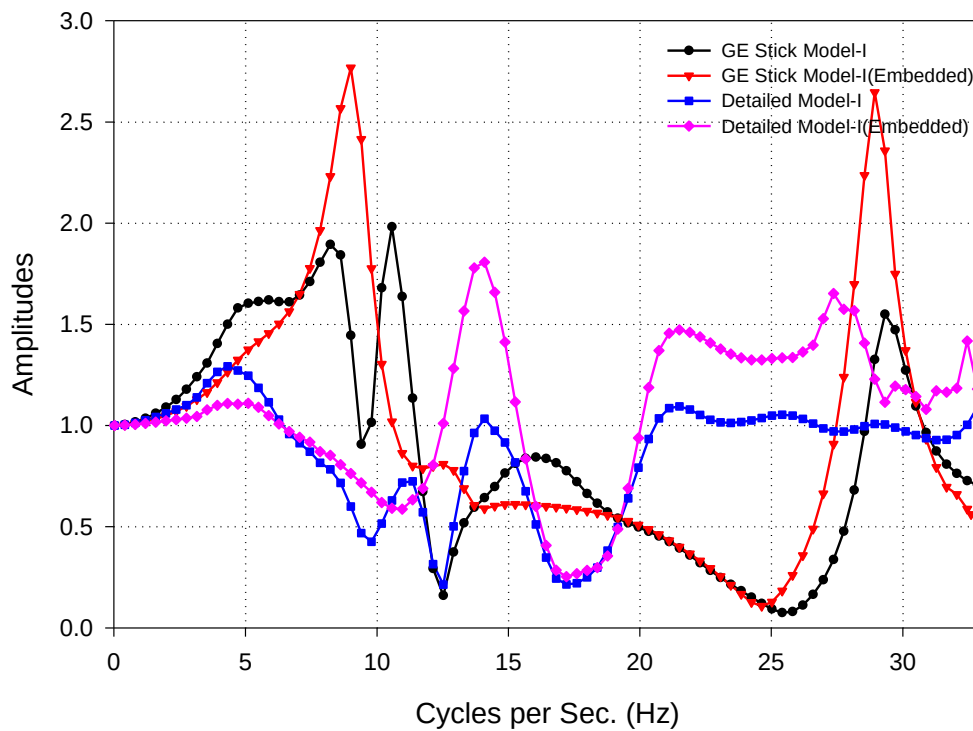


圖 4.72 Shield Wall 頂部節點 86(2439)之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 18 Z-DIRECTION

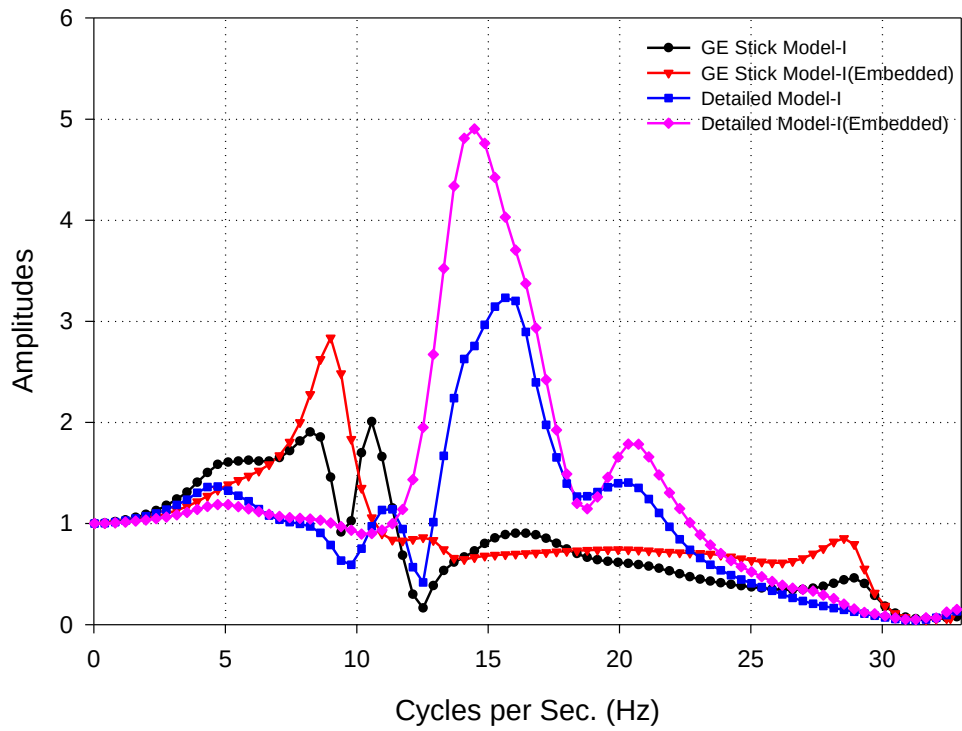


圖 4.73 RPV 底部節點 18 之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 59 Z-DIRECTION

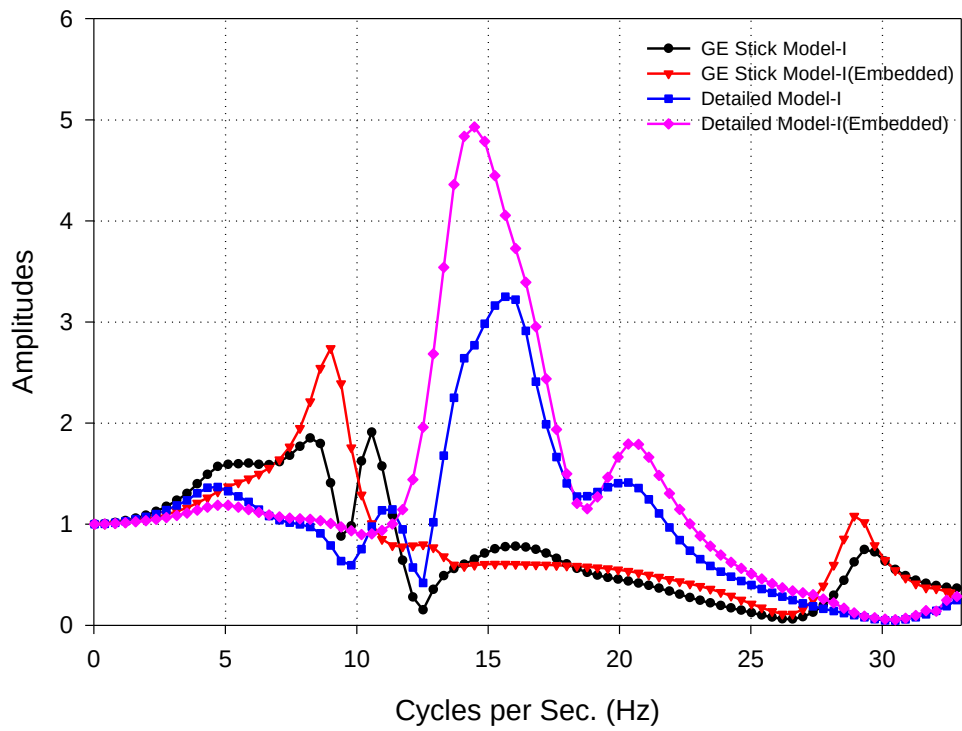


圖 4.74 RPV 地表節點 59 之加速度放大函數-UD 向

AMPLITUDES OF AMPLIFICATIONS AT NODE ID 38 Z-DIRECTION

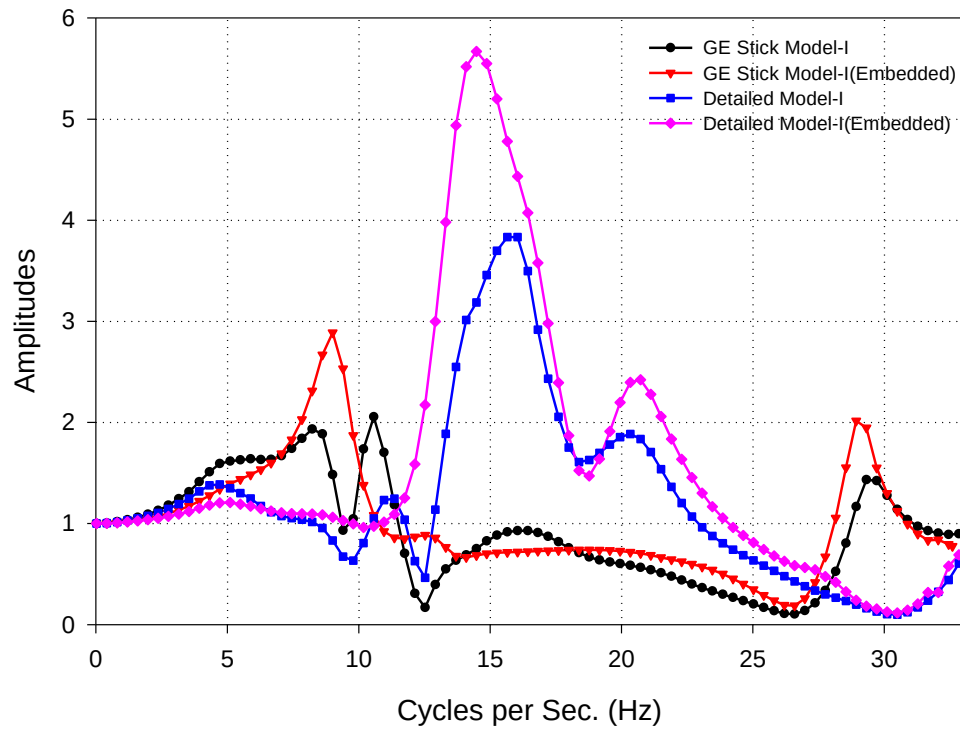


圖 4.75 RPV 頂部節點 38 之加速度放大函數-UD 向

Node 97 (I152) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

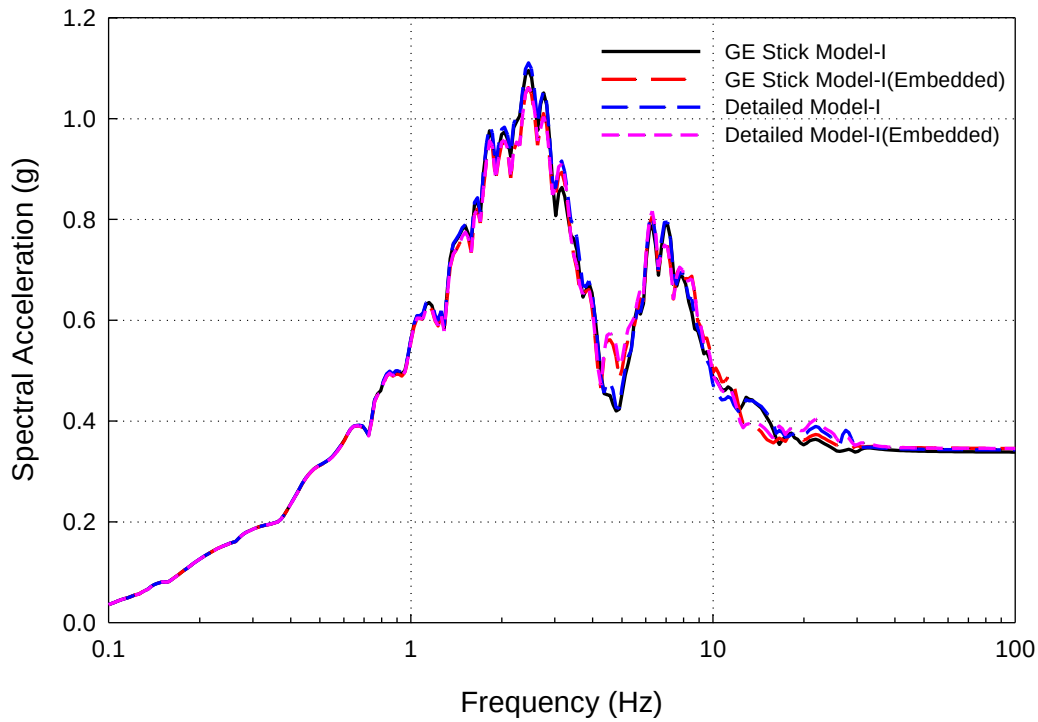


圖 4.76 基礎版底部節點 97(I152)之加速度反應譜-EW 向

Node 96c (657) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

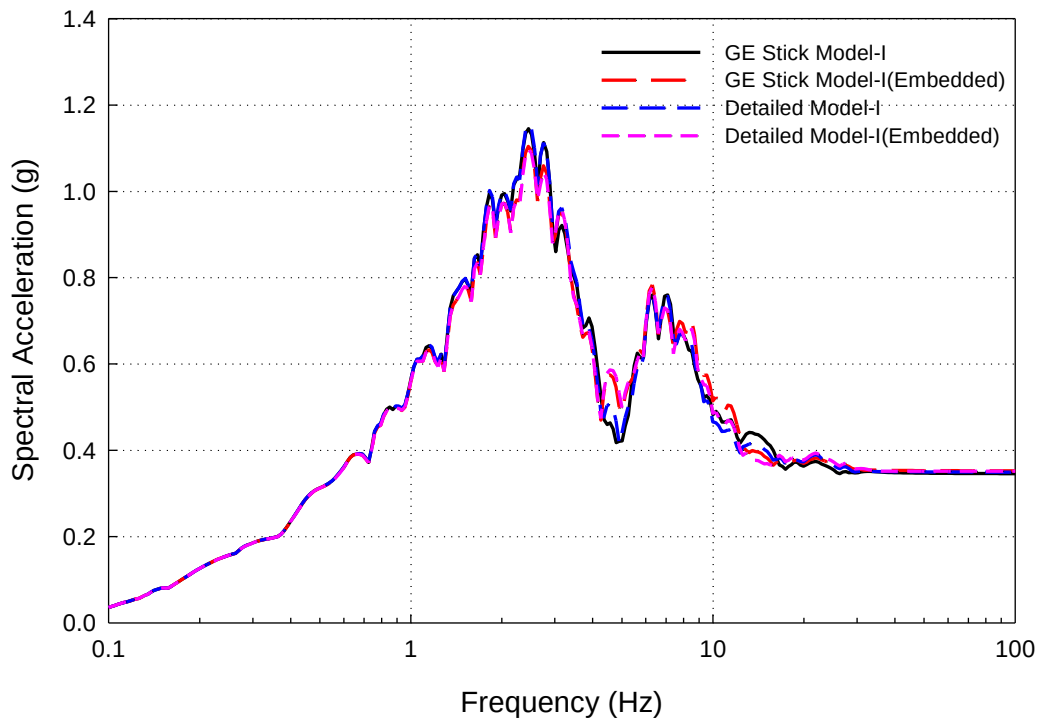


圖 4.77 基礎版頂部節點 96(657)之加速度反應譜-EW 向

Node 76 (1467) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

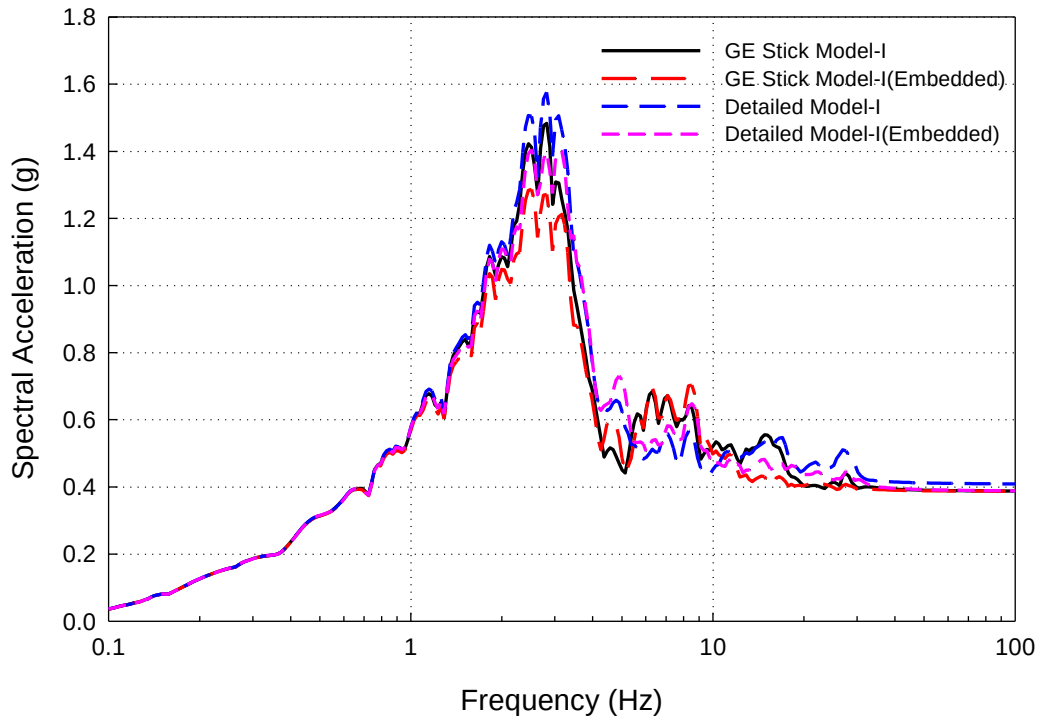


圖 4.78 Containment 地表節點 76(1467)之加速度反應譜-EW 向

Node 68 (3854) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

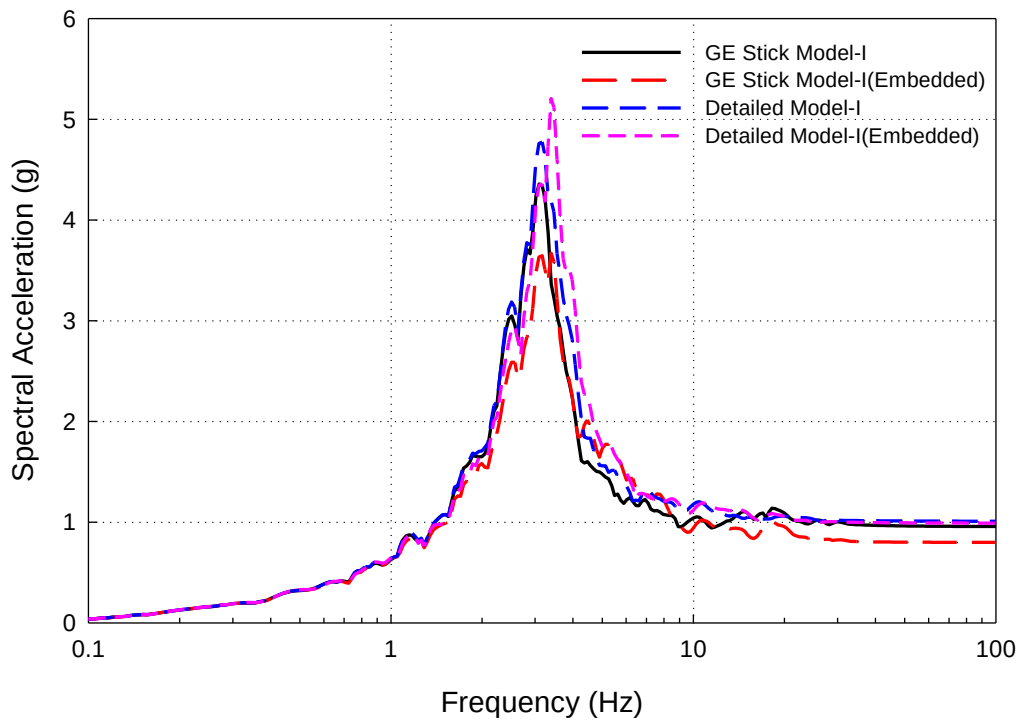


圖 4.79 Containment 頂部節點 68(3854)之加速度反應譜-EW 向

Node 83 (1462) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

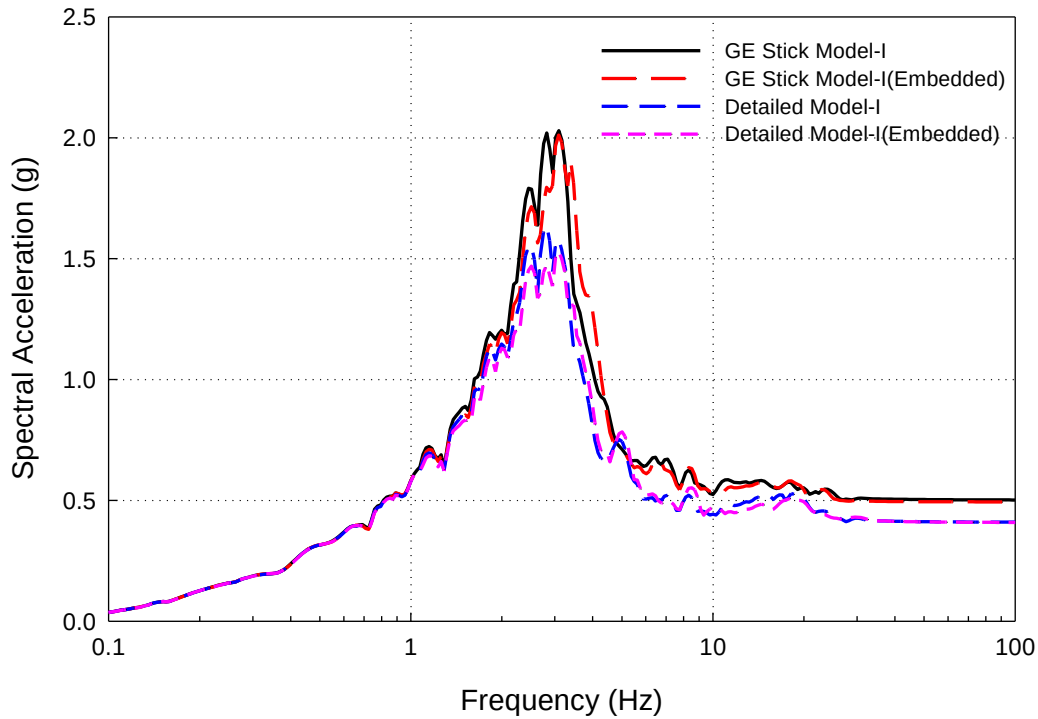


圖 4.80 Drywall 地表節點 83(1462)之加速度反應譜-EW 向

Node 79 (3270) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

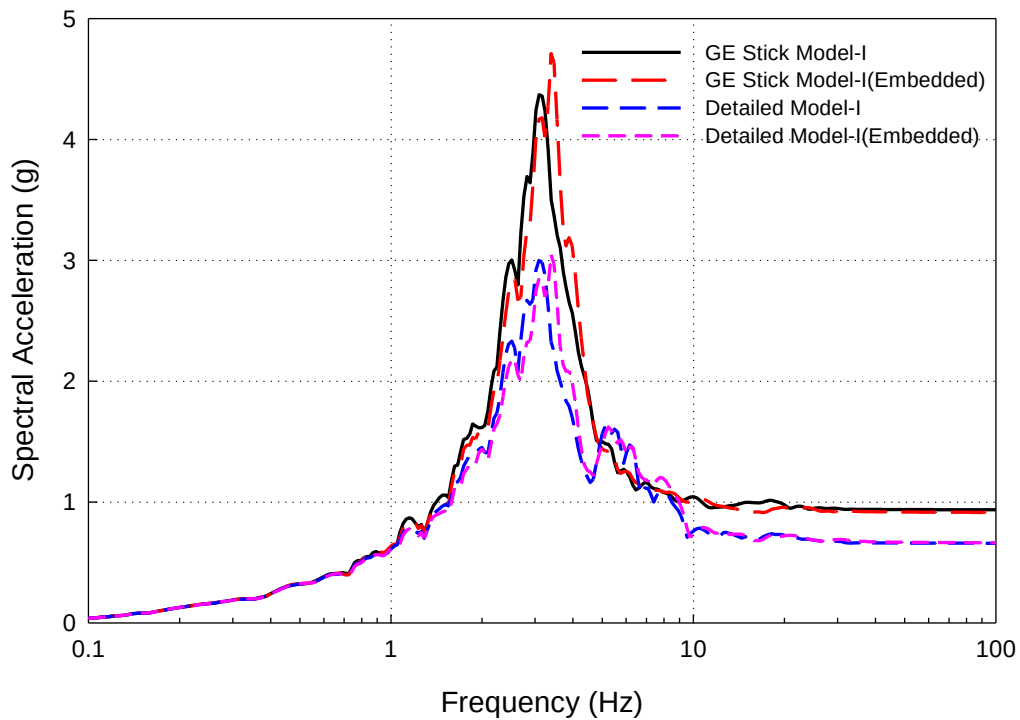


圖 4.81 Drywall 頂部節點 79(3270)之加速度反應譜-EW 向

Node 91 (1355) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

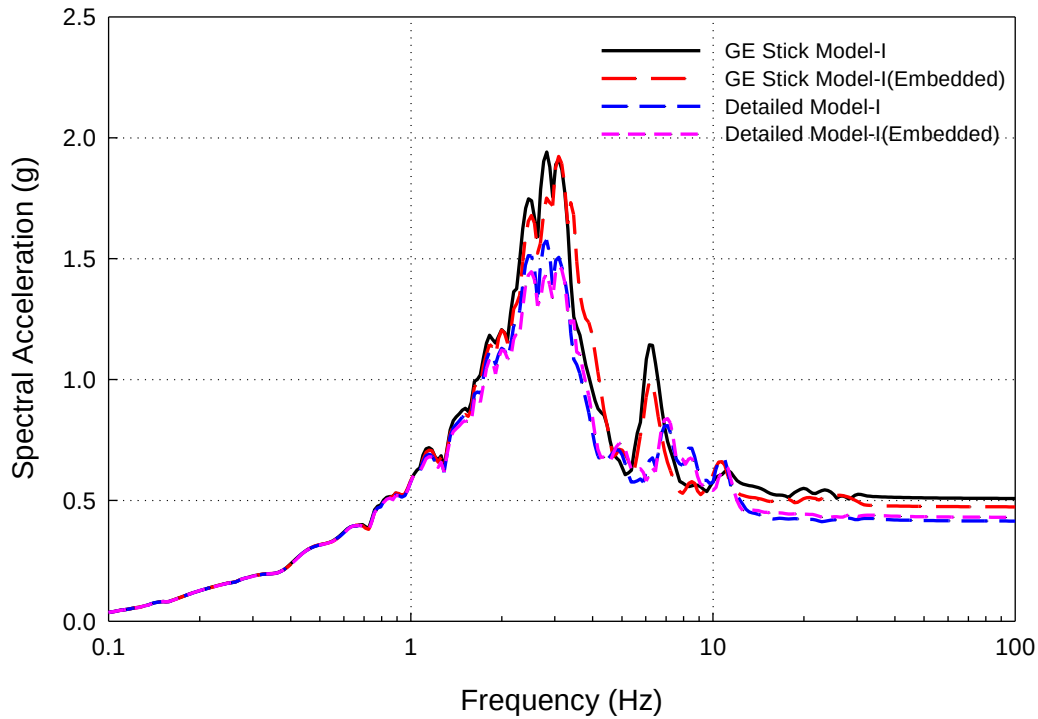


圖 4.82 Shield Wall 地表節點 91(1355)之加速度反應譜-EW 向

Node 86 (2439) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

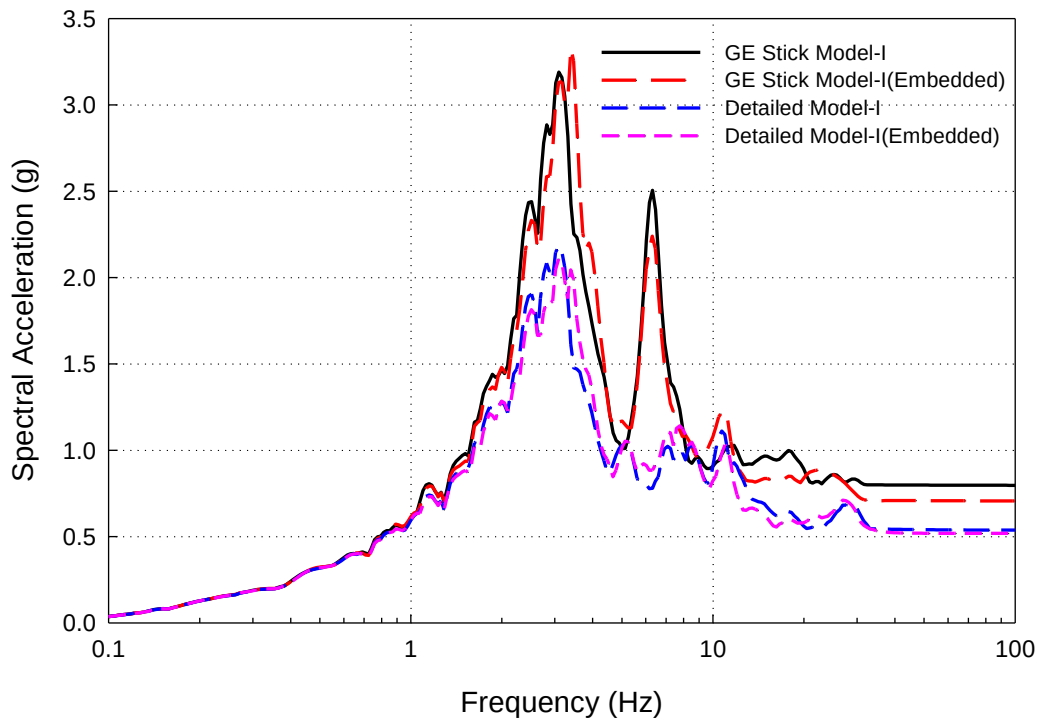


圖 4.83 Shield Wall 頂部節點 86(2439)之加速度反應譜-EW 向

Node 86 (2439) ($\xi=5\%$,EW-Direction)

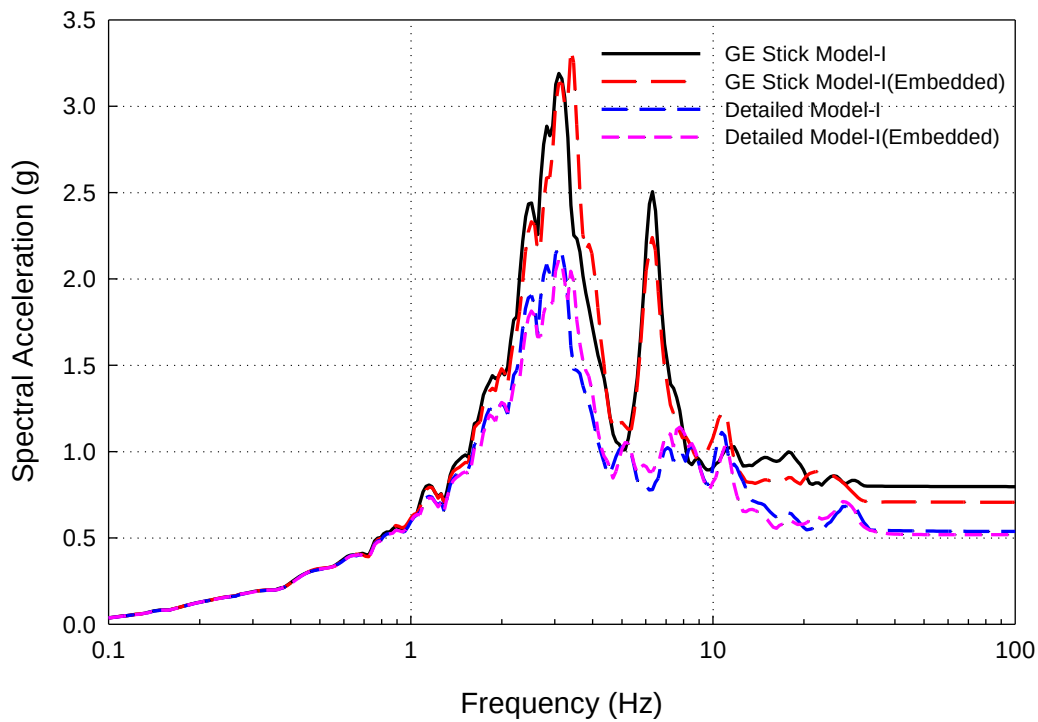


圖 4.84 RPV 底部節點 18 之加速度反應譜-EW 向

Node 59 ($\xi=5\%$,EW-Direction)

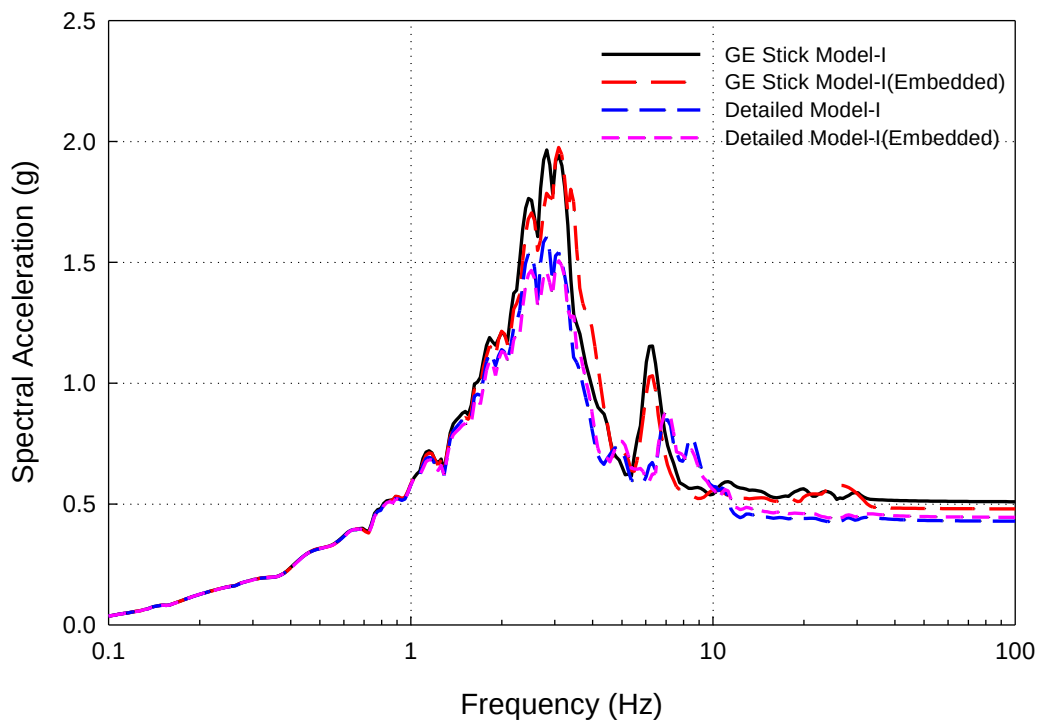


圖 4.85 RPV 地表節點 59 之加速度反應譜-EW 向

Node 38 ($\xi=5\%$,EW-Direction)

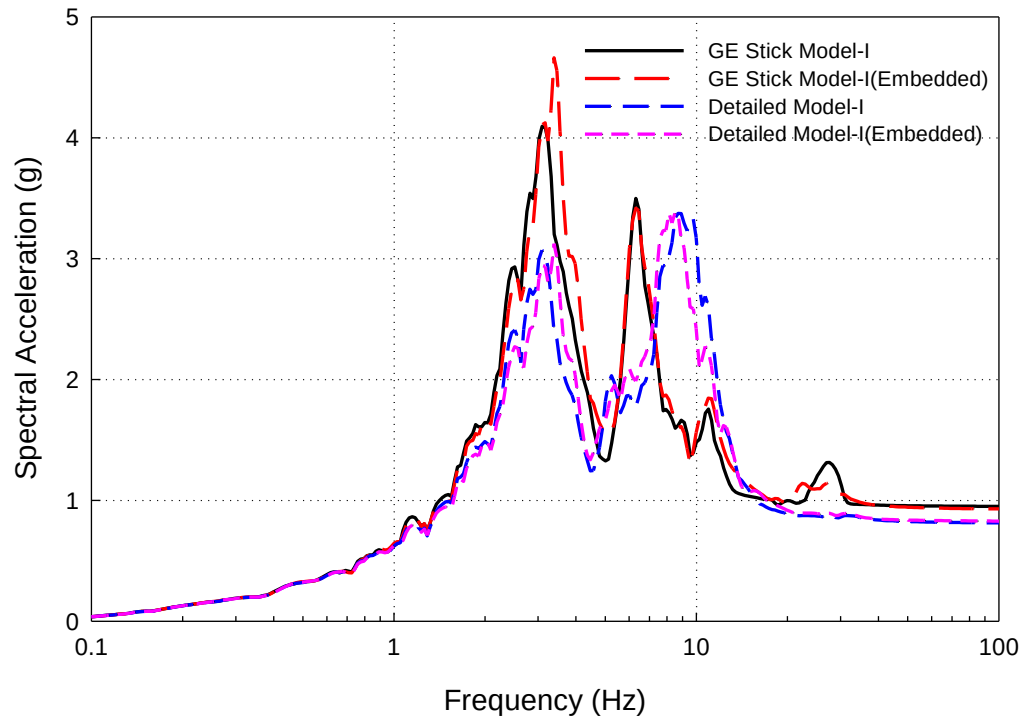


圖 4.86 RPV 頂部節點 38 之加速度反應譜-EW 向

Node 97 (I152) ($\xi=5\%$, UD-Direction)

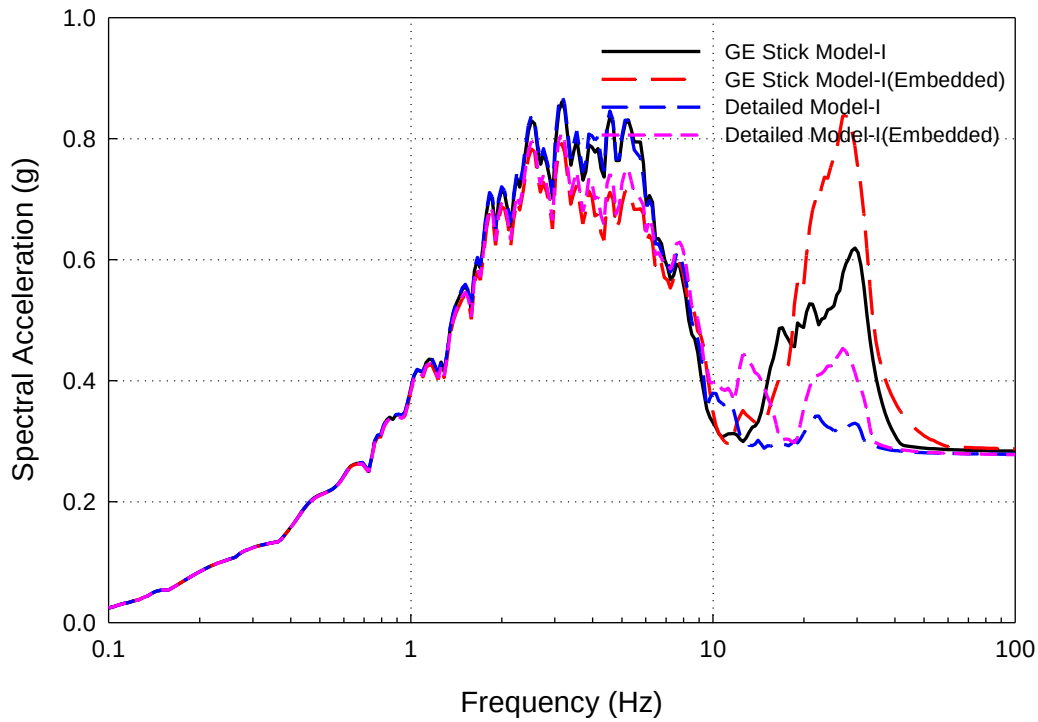


圖 4.87 基礎版底部節點 97(I152)之加速度反應譜-UD 向

Node 96c (657) ($\xi=5\%$, UD-Direction)

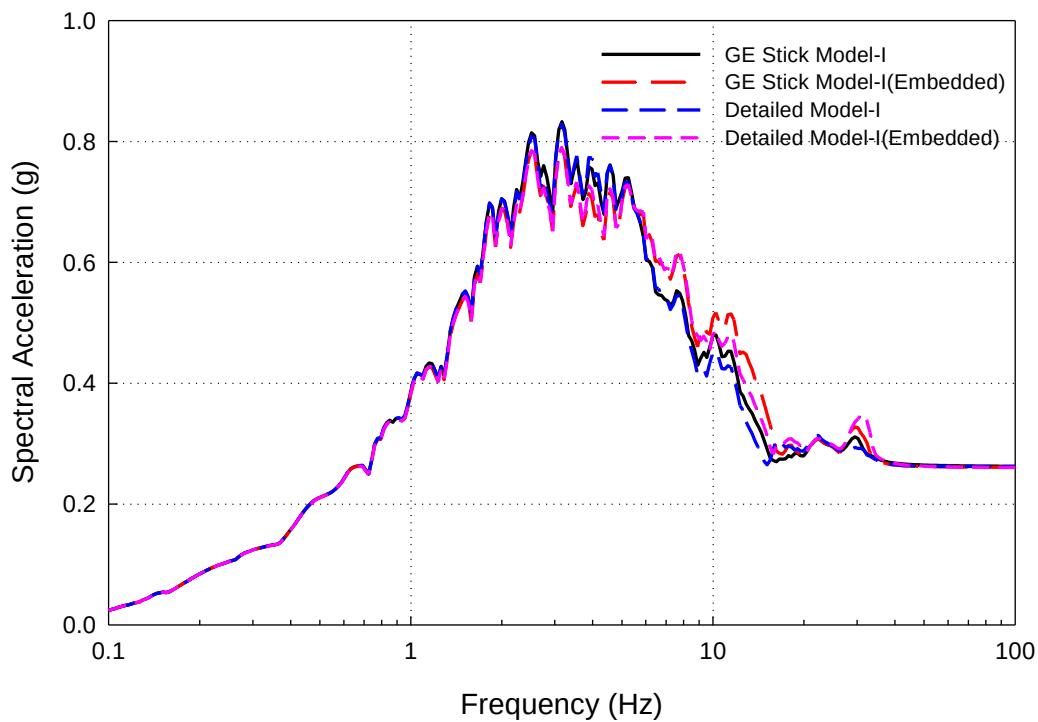


圖 4.88 基礎版頂部節點 96(657)之加速度反應譜-UD 向

Node 76 (1467) ($\xi=5\%$, UD-Direction)

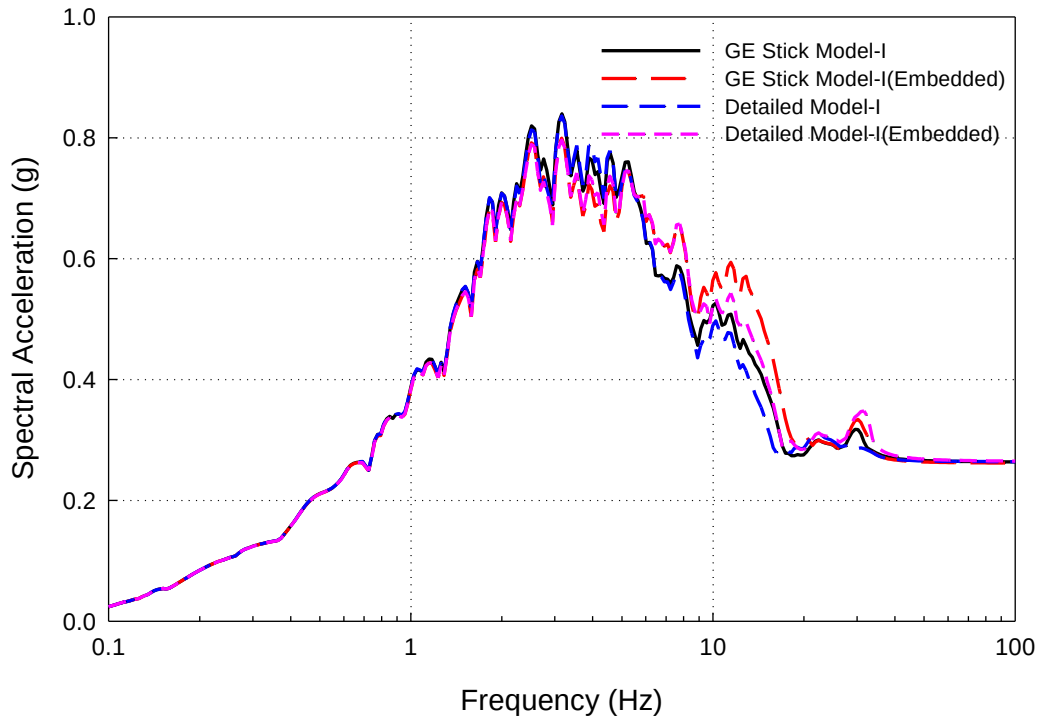


圖 4.89 Containment 地表節點 76(1467)之加速度反應譜-UD 向

Node 68 (3854) ($\xi=5\%$, UD-Direction)

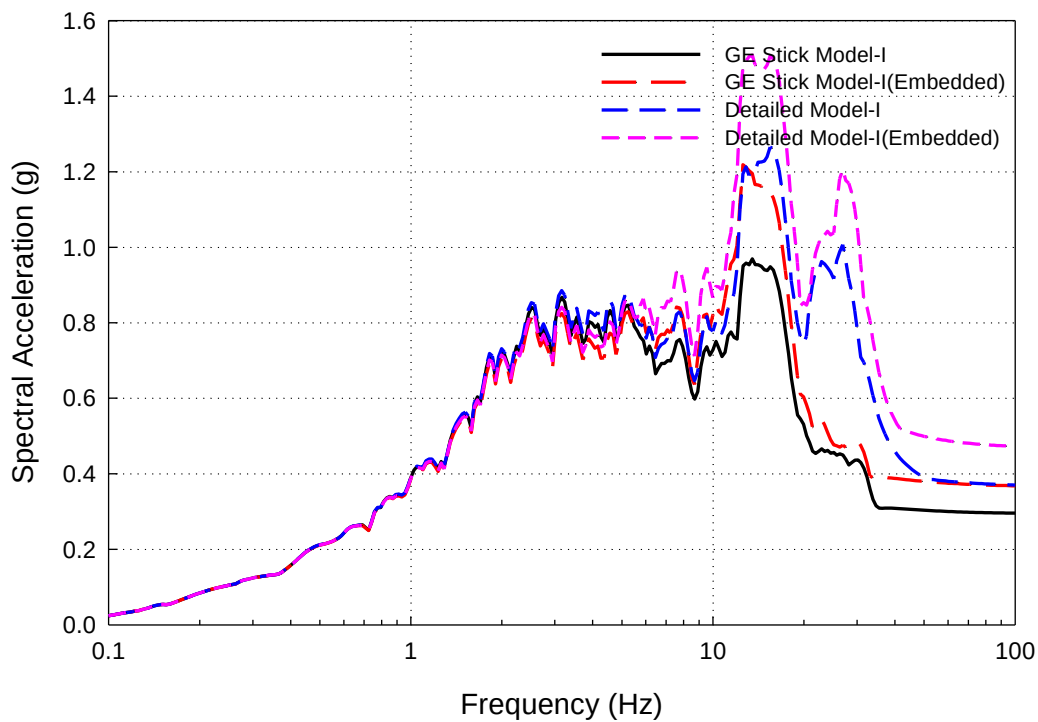


圖 4.90 Containment 頂部節點 68(3854)之加速度反應譜-UD 向

Node 83 (1462) ($\xi=5\%$, UD-Direction)

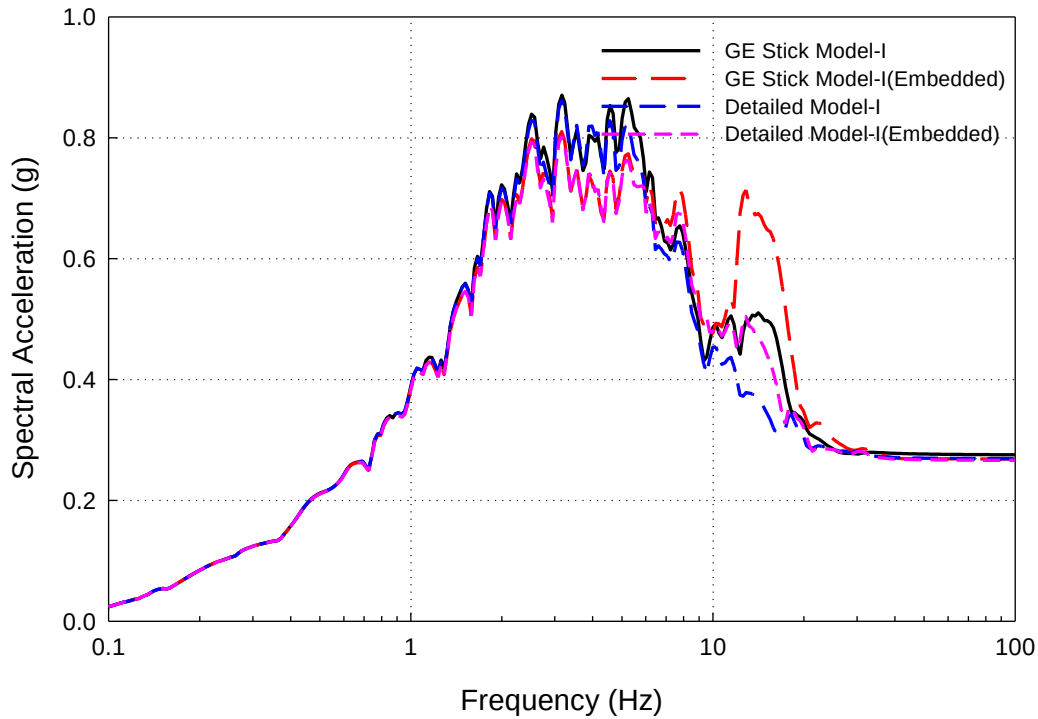


圖 4.91 Drywall 地表節點 83(1462)之加速度反應譜-UD 向

Node 79 (3270) ($\xi=5\%$, UD-Direction)

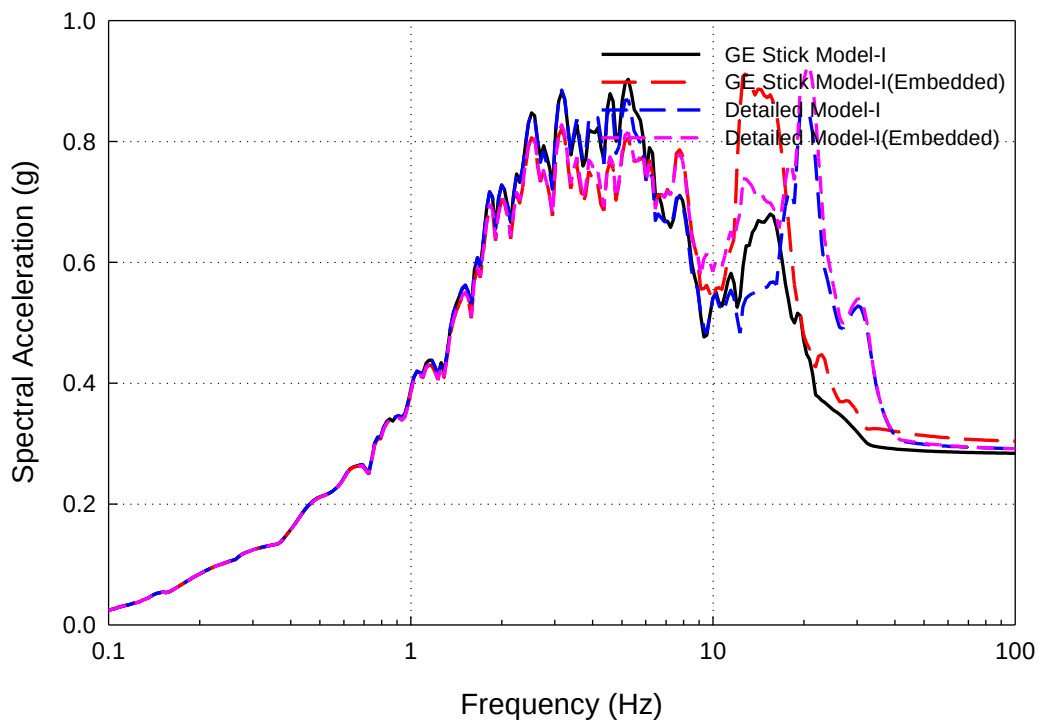


圖 4.92 Drywall 頂部節點 79(3270)之加速度反應譜-UD 向

Node 91 (1355) ($\xi=5\%$, UD-Direction)

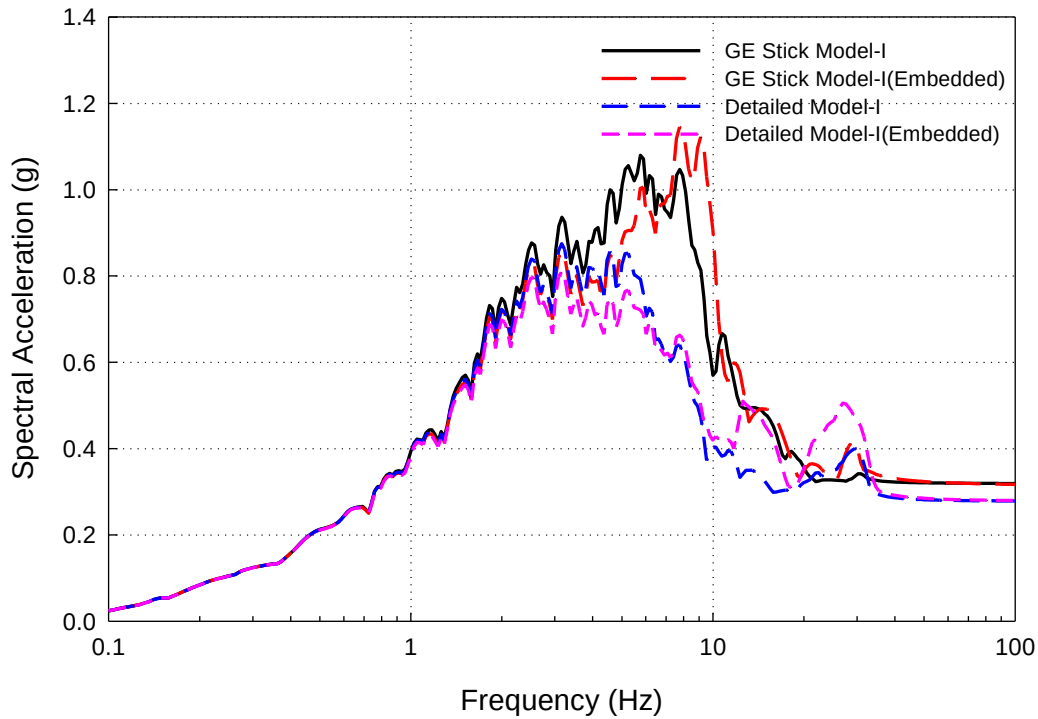


圖 4.93 Shield Wall 地表節點 91(1355)之加速度反應譜-UD 向

Node 86 (2439) ($\xi=5\%$, UD-Direction)

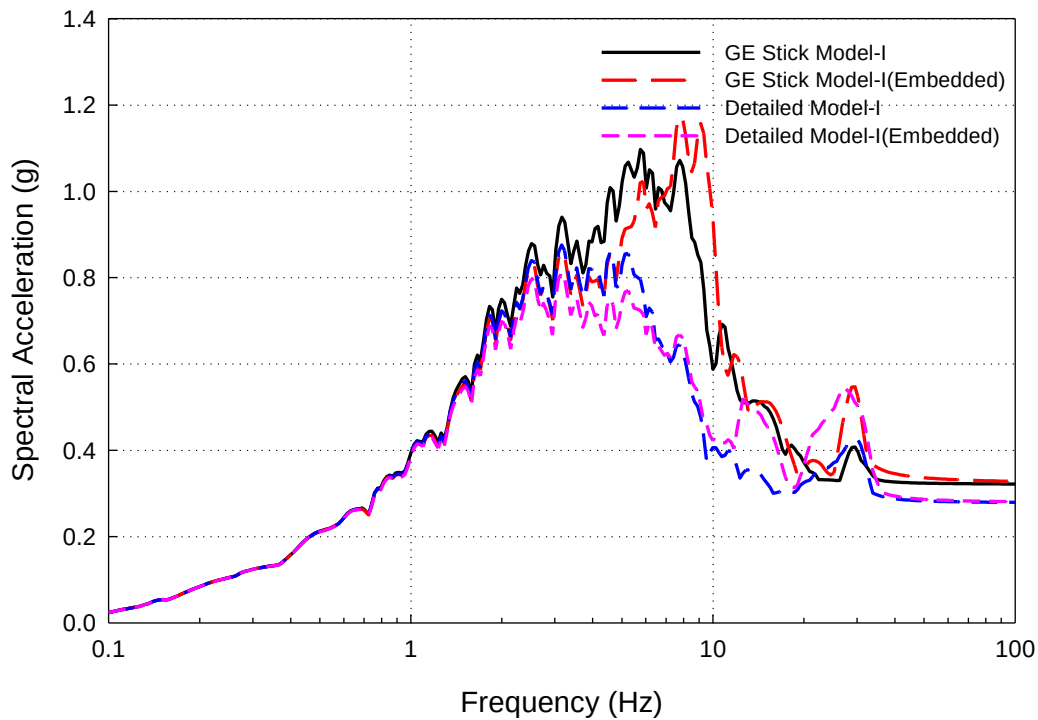


圖 4.94 Shield Wall 頂部節點 86(2439)之加速度反應譜-UD 向

Node 18 ($\xi=5\%$,UD-Direction)

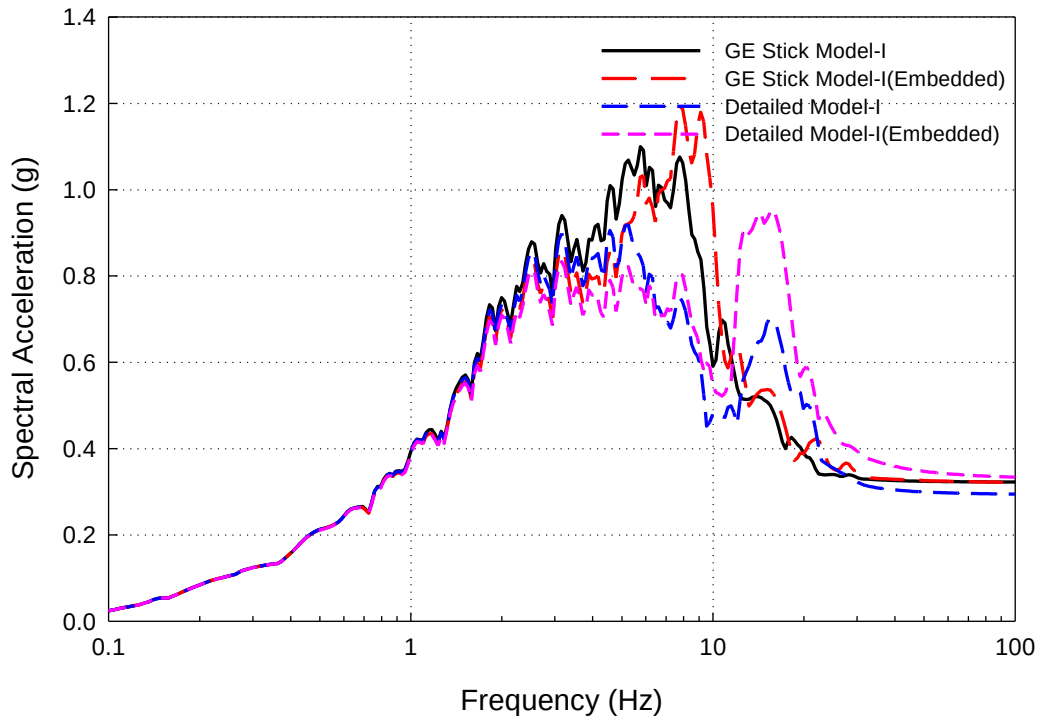


圖 4.95 RPV 底部節點 18 之加速度反應譜-UD 向

Node 59 ($\xi=5\%$,UD-Direction)

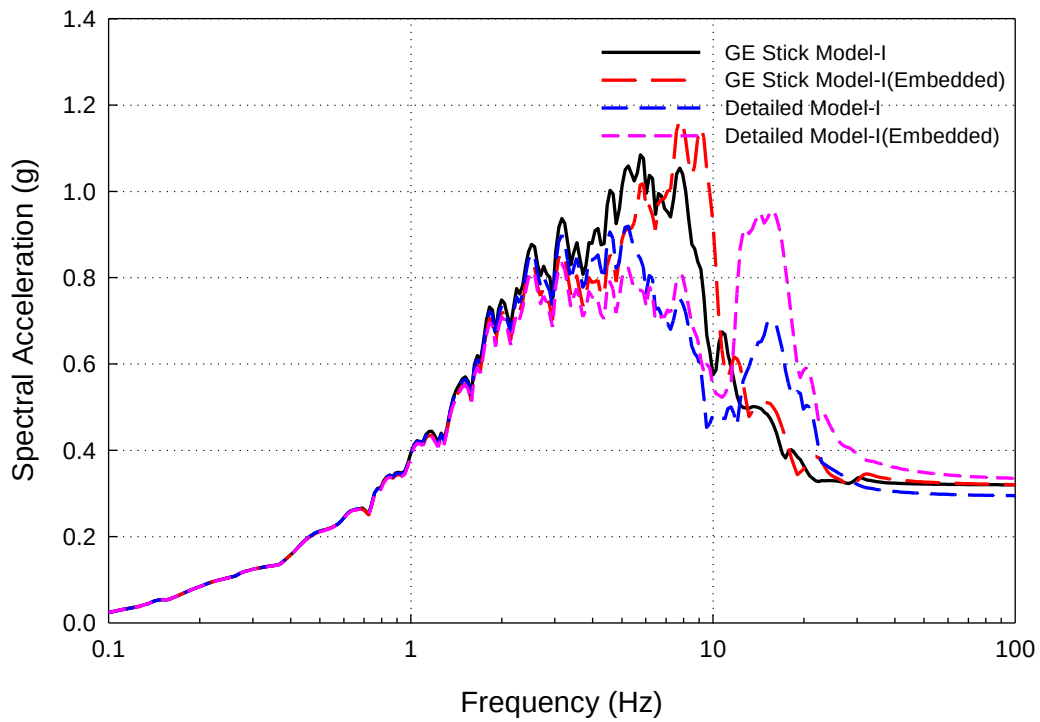


圖 4.96 RPV 地表節點 59 之加速度反應譜-UD 向

Node 38 ($\xi=5\%$, UD-Direction)

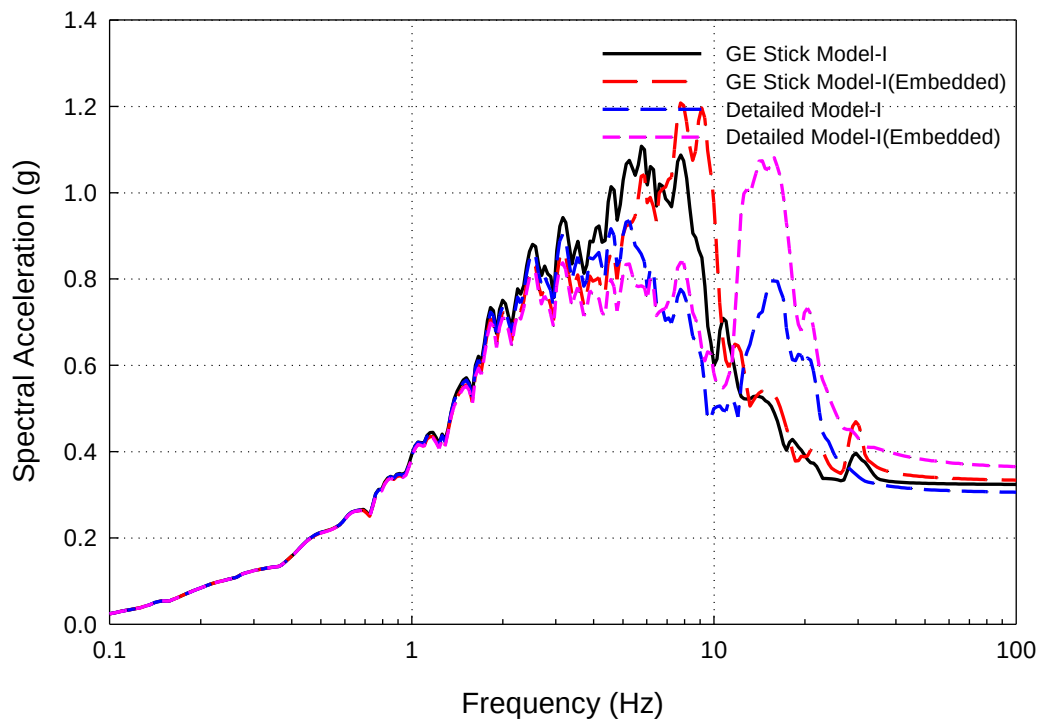


圖 4.97 RPV 頂部節點 38 之加速度反應譜-UD 向