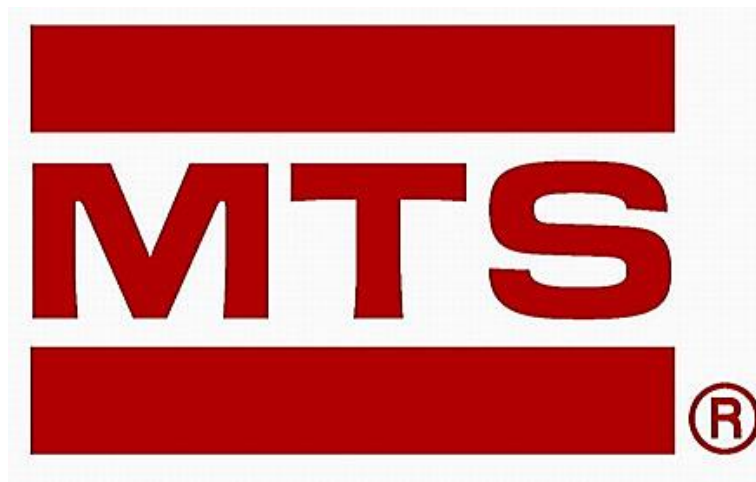




國立成功大學土木工程學系

MTS STEX Pro 教學手冊



撰寫：

賈博宇(第一版，2015/04/23)

呂仲岳(第二版，2016/07/27)

指導教授：

朱聖浩、朱世禹



振動台概要介紹

工程技術暨材料實驗室

李永峰 博士

2021.05.06

課程議程

時間	課程名稱	組別	地點
9:00~9:10	報到		
9:10~10:00	振動台概要介紹		階梯講堂
10:00~12:00	操作課程	第一組	結材室 振動台控制室
13:30~15:30	操作課程	第二組	結材室 振動台控制室
15:30~	學員操作 (每人20分鐘)	依照排程	



訓練課程&認證考試

訓練課程

- 下學期：地震工程
- 教育訓練

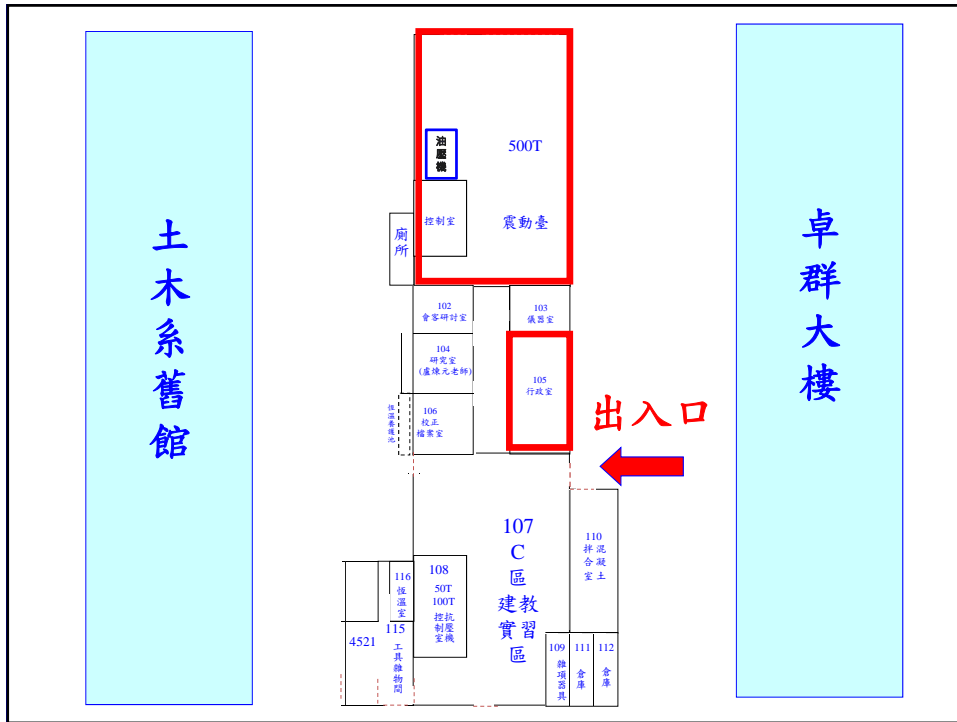
認證考試

- 教育訓練之後



簡報綱要

- 振動台硬體簡介
- 振動台軟體簡介
- 注意事項
- 試驗案例介紹



振動台試驗區

A區 500T

B區 震動臺

控制室

廁所

102 會客研討室

103 儀器室

104 研究室 (盧鍊元老師)

105 行政室

106 校正 檔案室

107 C 區 建教實習區

110 拌合機室

111 倉庫

112 倉庫

109 儀器器具

116 儀器室

115 工具雜物間

4521

108 50T 100T 控制壓室機



振動台硬體

- 振動台系統
- 油壓機系統
- PC控制系統



振動台系統

- 鋁製桌面
- 致動器
- 蓄壓器
- 感測計：
 - 加速度計
 - 位移計
 - 壓差計





振動台規格

- 桌面尺寸：1.52m×1.52m
- 桌面螺栓孔：144-M16（間距12.5mm）
- 桌面重量：925 kg（鋁製）
- 最大承載重量：2000 kg
- 最大傾倒力矩：10 m-ton
- 致動器最大出力：± 42kN
（在壓差21MPa）

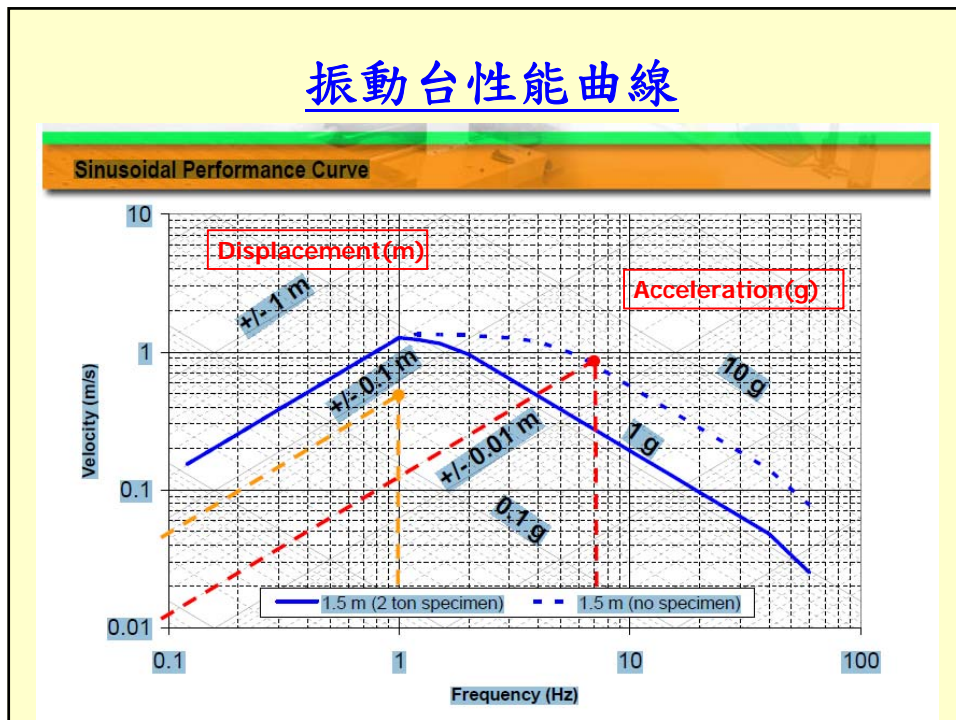


振動台規格

- 動態行程：406.4mm
- 靜態行程：495.3mm
- 頻率範圍：0~50 Hz
- 動態位移：±200 mm
- 最大速度：±1000 mm/s
- 滿載最大加速度：1.1g
- 空載最大加速度：2.9g



振動台性能曲線

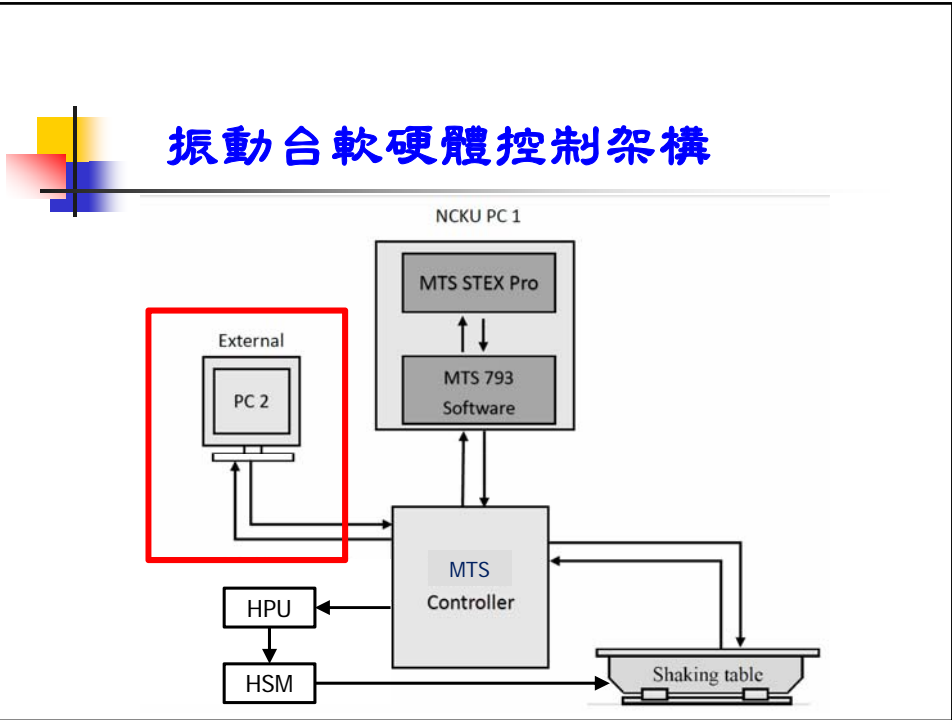


油壓機系統

- 油壓機 (HPU)
- 分歧座 (HSM)
- 冷卻水塔
- 電源開關







振動台軟體



Station Manager (793) --- 初級

- Basic Test Ware(BTW)



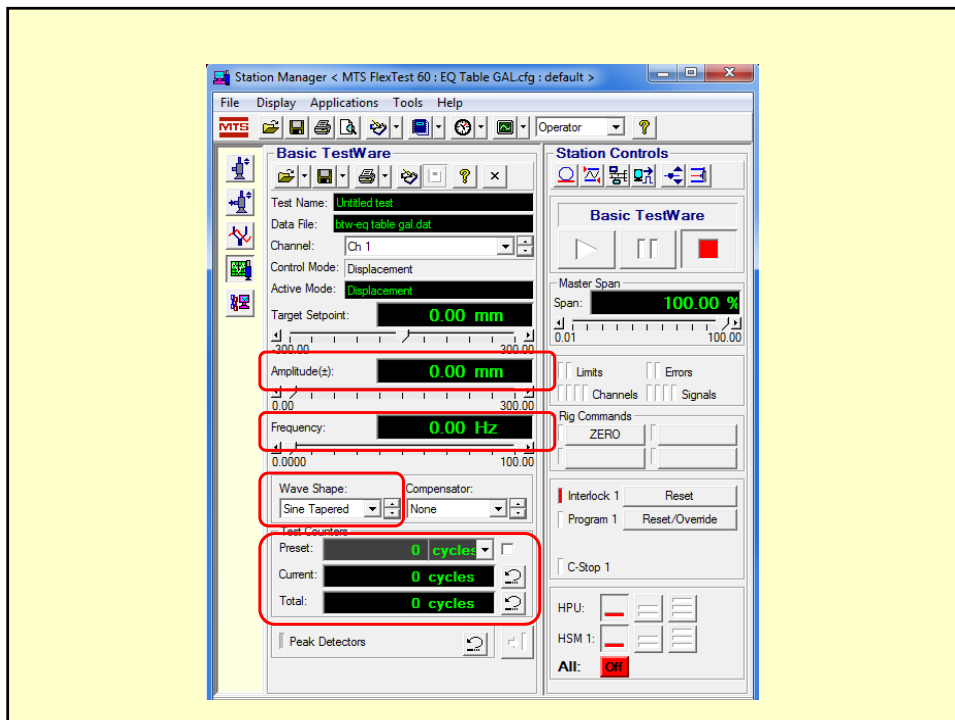
STEX Project Manager --- 中級

- 地震歷時



Basic Test Ware (BTW)---初級

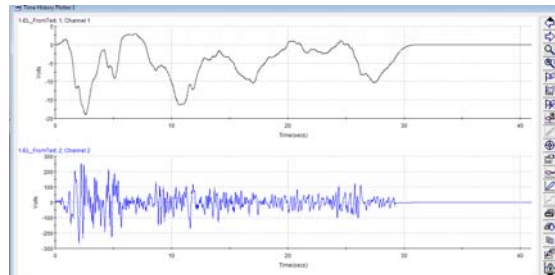
- 用來產生簡易的控制命令，並收集試驗資料
- 波形：正弦波、方波、三角波
- 輸入：頻率、振幅、迴圈數



STEX Project Manager (STEX) -中級

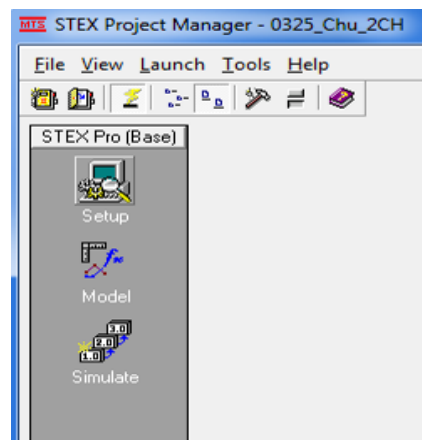
- 可提供位移、加速度或兩者之歷時資料，模擬各種實際地震或複雜之振動。

- 位移 (mm)
- 加速度 (gal)



STEX Project Manager (STEX)

- 基本設定 (Setup)
- 建立模型 (Model)
- 波形模擬 (Simulate)





注意事項

- 防止人體或設備的傷害。
- 嚴禁穿拖鞋及涼鞋進入實驗室。
- 實驗中進入大型結構及振動台試驗區，應戴安全帽、穿安全鞋及著長褲等防護用具。
- 熟悉緊急開關位置，在狀況發生時，以最短時間按下。
- 當油壓或控制器電源開啓時，不要拆裝任何信號接頭。
- 完全了解系統的操作，避免調整不明功能的電子或機械元件。
- 試驗前先試跑一次確定正常。



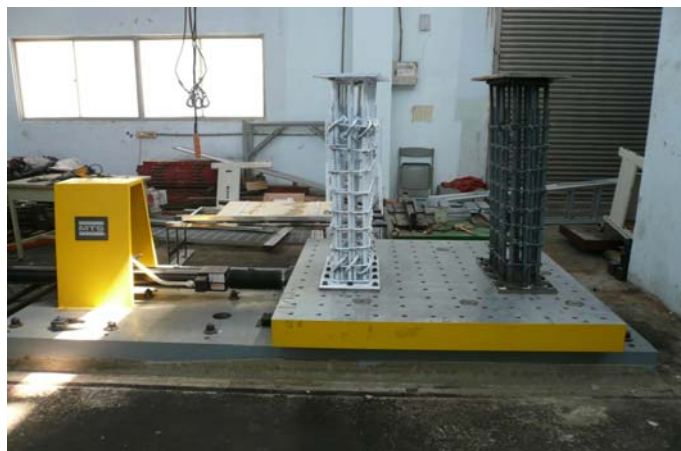
振動台使用申請

- 工程技術暨材料實驗室網頁：
etm-lab.civil.ncku.edu.tw 之「場地設備申請」。
- 每次申請原則為二週為限。

試驗案例介紹

- 箍筋固定器耐震測試
- 台車震動測試

箍筋固定器耐震測試



台車震動測試



敬請指教

目錄

一、	振動台初級操作流程	1
A.1.1	振動台油壓開啟步驟	1
A.1.2	BTW 基本試驗介面操作步驟	3
A.1.3	STEX PRO 介面重現迭代後之震波操作步驟	10
二、	振動台中級操作流程	13
A.2	STEX PRO 回饋步驟	13
三、	參考文獻	34

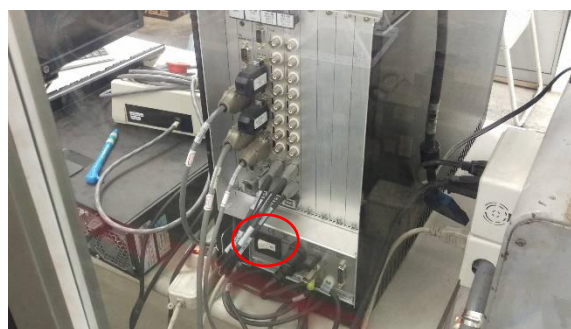
一、振動台初級操作流程

A.1.1 振動台油壓開啟步驟

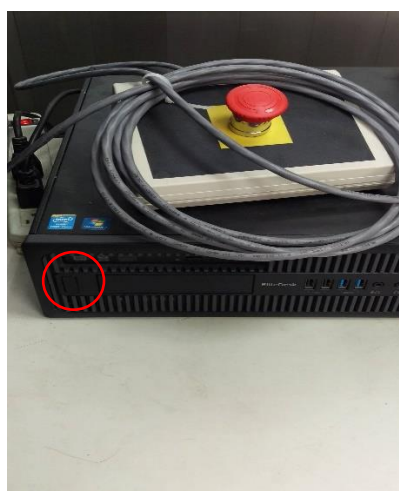
- 1.開啟油壓電源(順時針轉動)→按下 Reset 按鈕(藍色按鈕) →檢查實驗室外冷卻水塔是否有運轉



- 2.開啟資料擷取機電源(白色按鈕)



- 3.開啟電腦主機電源(註:紅色按鈕為緊急停止按鈕，非緊急狀況請勿觸碰!!)



- 4.開啟 MTS793 振動台控制系統，並選擇對應之硬體驅動程式，如圖 2-1 及圖

2-2 所示。

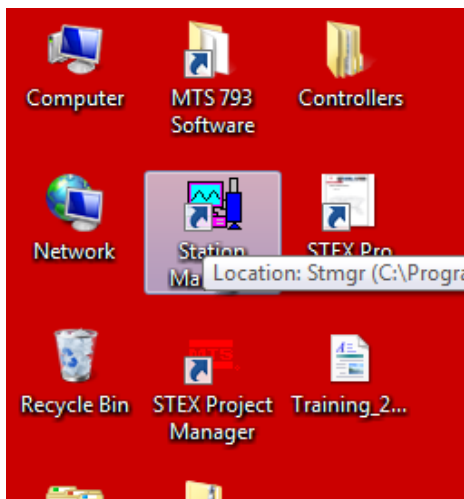


圖 2-1 開啟控制軟體

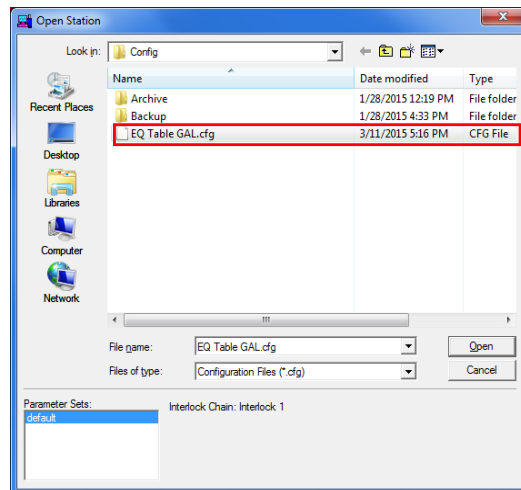


圖 2-2 選擇振動台驅動檔案

5. 首先點選 **Reset** 鍵解鎖系統並開啟油壓(依序為低速油壓→高速油壓→伺服閥低速油壓→伺服閥高速油壓)，之後點選 zero 鍵將振動台之起始位移歸零。

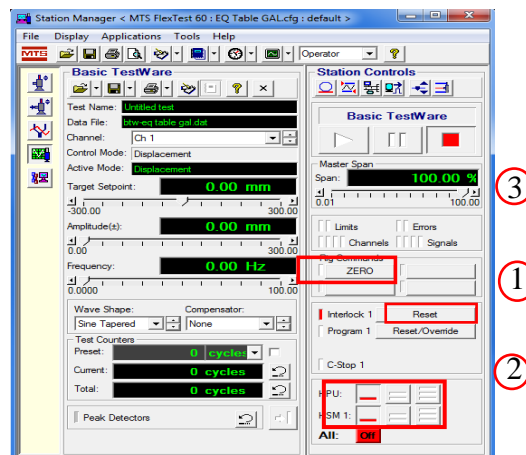





圖 2-3 啟動油壓

面板內各按鈕詳細介紹請參考表 2。

A.1.2 BTW 基本試驗介面操作步驟

1. 使用 Basic Test Ware 介面選擇欲呈現之控制頻道、控制方式、頻率、振幅、波形及補償方法，確定後按  此鍵，振動台將會開始執行使用者所給予之命令直至設定圈數結束，若遇狀況則可參考說明按  暫停或按  停止。

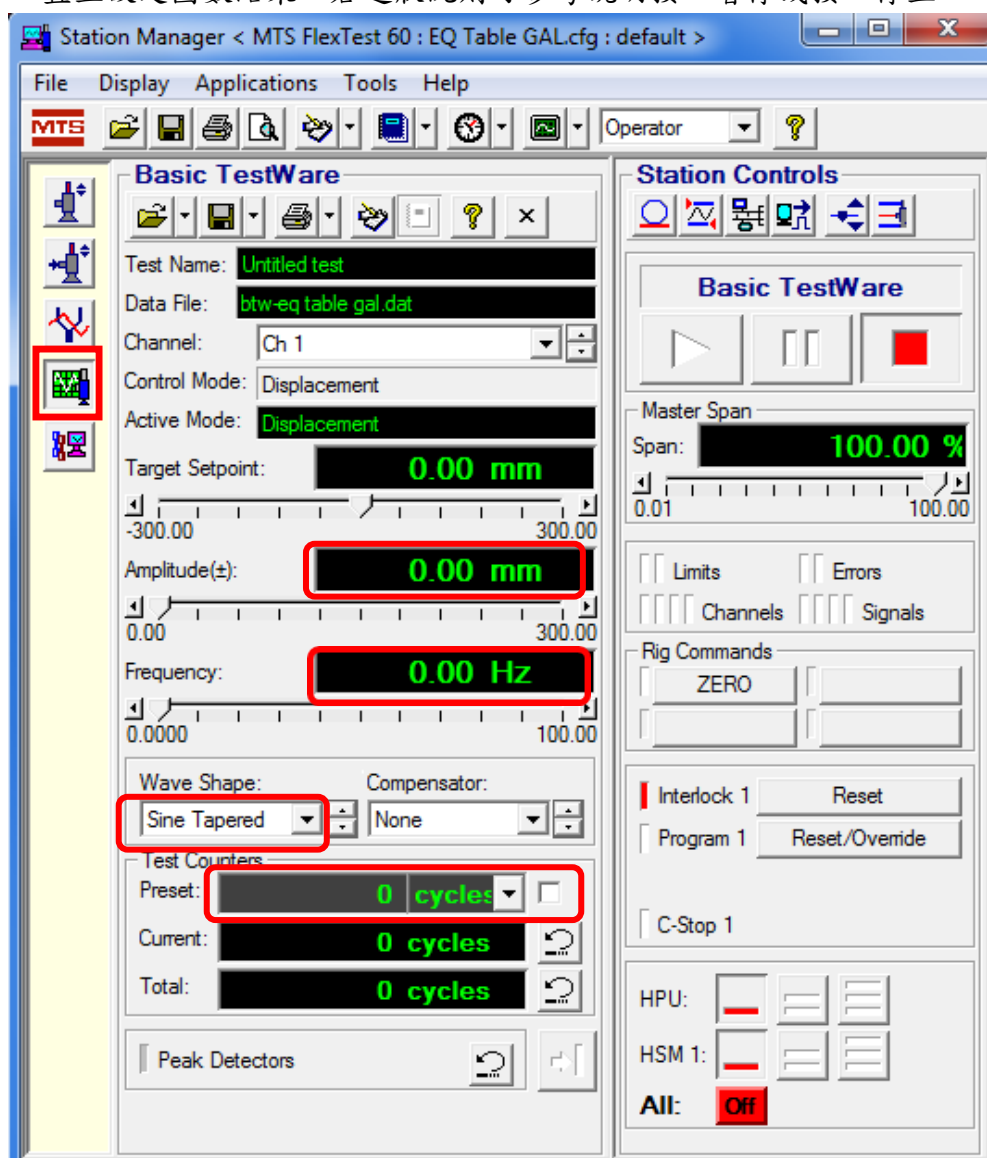




圖 2-4 設定 Basic Test Ware

面板內各按鍵詳細介紹請參考表 1。

2. 點選進行資料存取設定，Type 選擇 time，再選擇存取形式為 Displacement 並點選鍵選擇存取頻道。

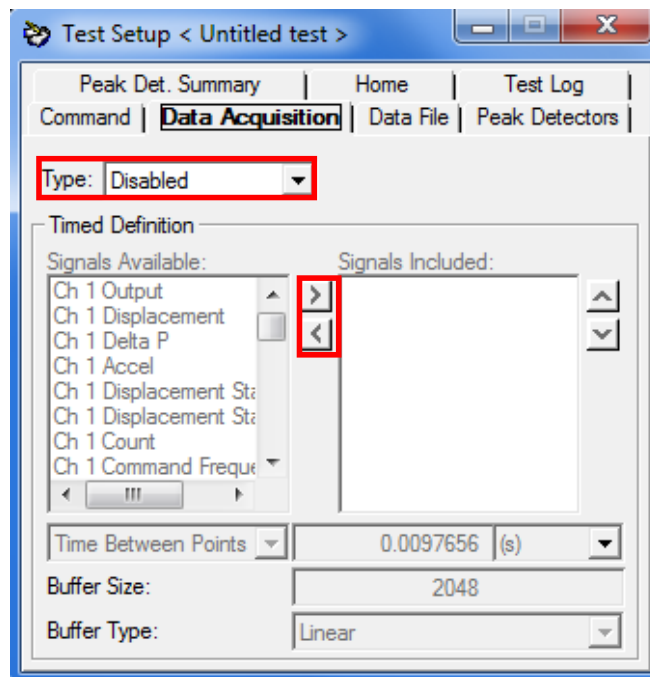


圖 2-5 資料存取設定

3. 點選 Data File 進行資料存取路徑設定，先在 Destination File 選擇 User Specified，按下 Browse 鍵選擇存取路徑(路徑統一設置在桌面 user 內)。

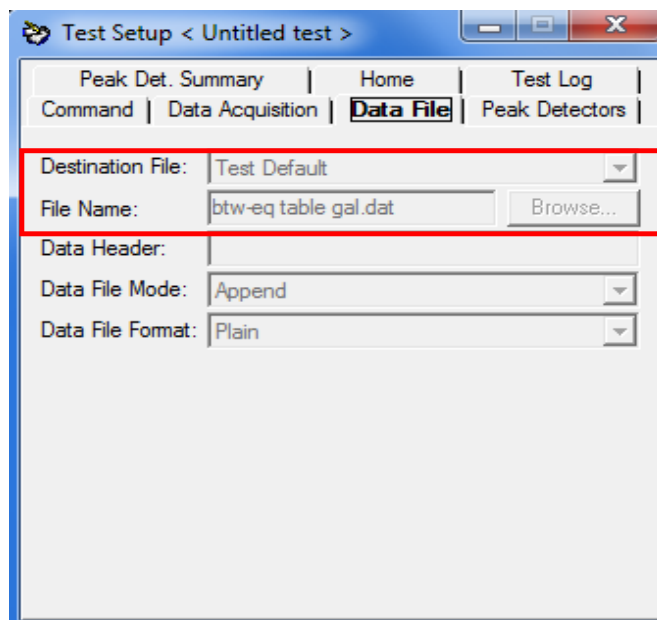

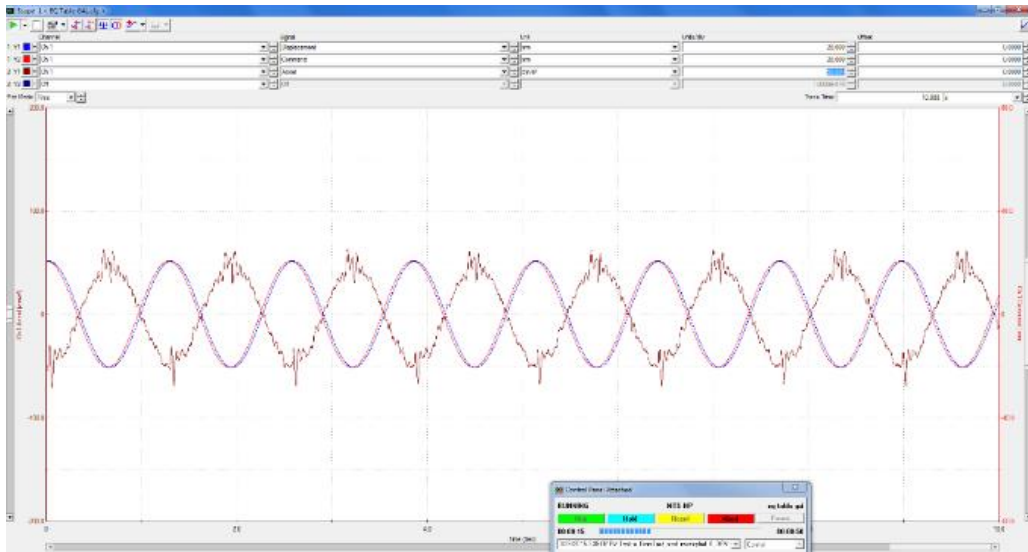


圖 2-6 資料存取路徑設定

資料擷取路徑統一設置在『桌面/user』內!!!!










4. 點選, 即可觀看振動台模擬之量測結果。



參數設定區說明

(取自 P.326^[A-1])





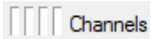
表 1

參數設定區		
選項	圖示	說明
Channel		選擇控制頻道
Control Mode		設定控制模式
Active Mode		顯示目前的控制模式
Command Type		選擇控制形式，分別有 Cyclic(循環)，Sweep(掃頻)及 Random(隨機)
Target Setpoint		設定振動台移動之目標位置點
Amplitude(mm)		設定振動台做動之振幅
Frequency(Hz)		設定振動台做動之頻率
Wave Shape		選擇波型，分別有 Square(方波)，Ramp(階梯函數)，Sine(正弦波)，Square Tapered(緩和方波)，Sine Tapered(緩和正弦波)
Compensator		選擇補償方法



操作面板選擇區說明

(取自 P.115^[A-1])

表 2

圖示	名稱	說明
	Program Run	此鍵可使振動台執行給予之命令
	Program Hold	此鍵可暫時停止執行之命令，再次執行則會繼續未完成之命令
	Program Stop	此鍵為停止所有給予之命令
圖示	名稱	說明
	Upper/Lower Limit Detectors	此燈號分別顯示振動台設定之上限值(左)或下限值(右)，如超出上限值或低於下限值則該區間之燈號將會轉為紅色
	Inner/Outer Error Detectors	此燈號分別顯示振動台外在(左)或內在(右)之錯誤，如出現外在或內在錯誤，則該區間之燈號將會轉為紅色
	Channel Feedback Signals	此區燈號顯示控制頻道之訊號回饋情況，從左至右分別為超出範圍(黃色)，訊號飽和(紅色)，訊號無效(紅色)及無法使用(黑色)

	<p>Signals</p>	<p>此區燈號顯示控訊號之情況，從左至右分別為超出範圍(黃色)，訊號飽和(紅色)，訊號無效(紅色)及無法使用(黑色)</p>
	<p>Rig Commands</p>	<p>此區為給予控制頻道預先定義之控制選項，而本振動台預先設定之控制命令為歸零</p>
	<p>Interlock Reset</p>	<p>Interlock 燈號顯示振動台之油壓已停止 Reset 為解鎖 Interlock 的限制</p>
	<p>Program Reset/Override</p>	<p>Program 燈號顯示停止做動程序但不停止振動台之油壓 Reset/Override 為暫時覆蓋鎖定程序，當油壓被要求解除鎖定狀態時，則可使用此按鈕</p>
	<p>C-Stop</p>	<p>為另一種使振動台停止作用之按鈕，當執行 C-Stop 時左側會出現黃色燈號</p>

圖示	名稱	說明
	<p>油壓致動器狀態鈕</p>	<p>控制致動器的運轉，由左而右分別為油壓停止，低速油壓及高速油壓</p>
	<p>液流伺服閥狀態鈕</p>	<p>控制伺服閥的運轉，由左而右分別為停止接收油壓，接收低速油壓及接收高速油壓</p>

(取自 P.113^[A-1])

圖示	說明
	開啟振動台參數設定檔案
	將振動台控制參數存檔
	列印當前設定參數
	預覽列印
	建立/顯示振動台設定
	建立/顯示訊息紀錄
	建立/顯示計時器
	建立/顯示示波器
	設定使用者操作權限
	線上支援

A.1.3 STEX PRO 介面重現迭代後之震波操作步驟

如需重現已迭代過後之震波，可依照以下步驟快速呈現。

1. 開起油壓機，啟動油壓並手動將振動台歸至零點(圖 2-3)
2. 設定-打開 STEX Project Manager

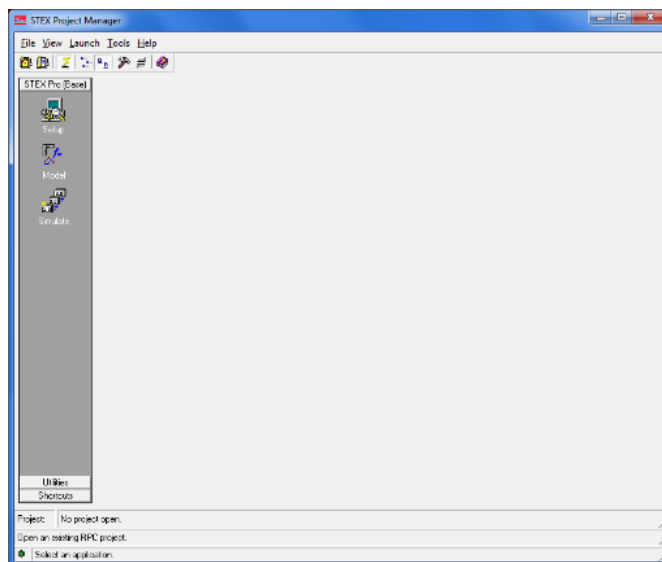


圖 2- 7 STEX PRO 開啟介面

3. 設定-打開現有之 project

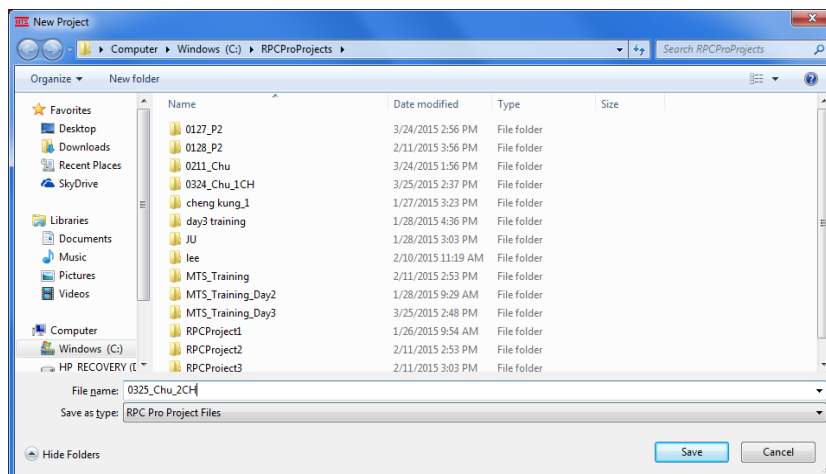


圖 2- 8 選擇 project

4. 開啟 Simulate

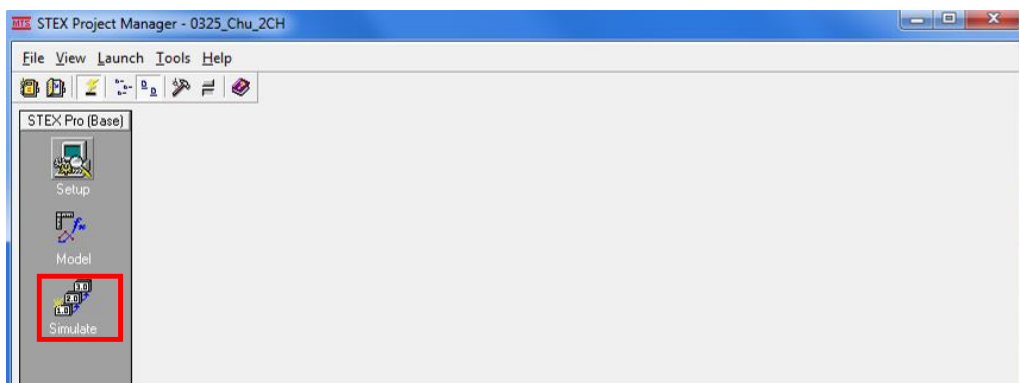


圖 2-9 開啟 Simulate

5. 選擇欲呈現之迭代震波編號(編號定義：第 1 次為 0，第 2 次為 1 以此類推)

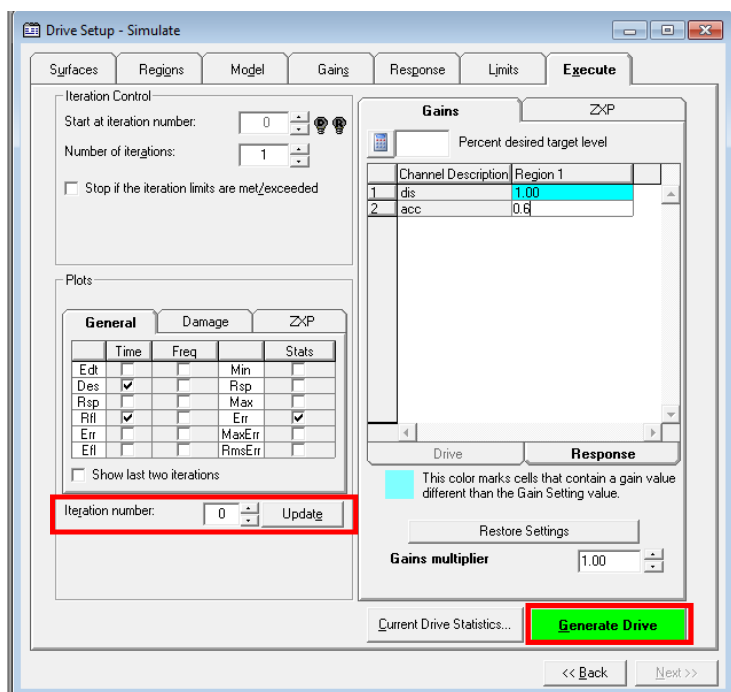


圖 2-10 雙頻回饋之迭代次數編號選擇

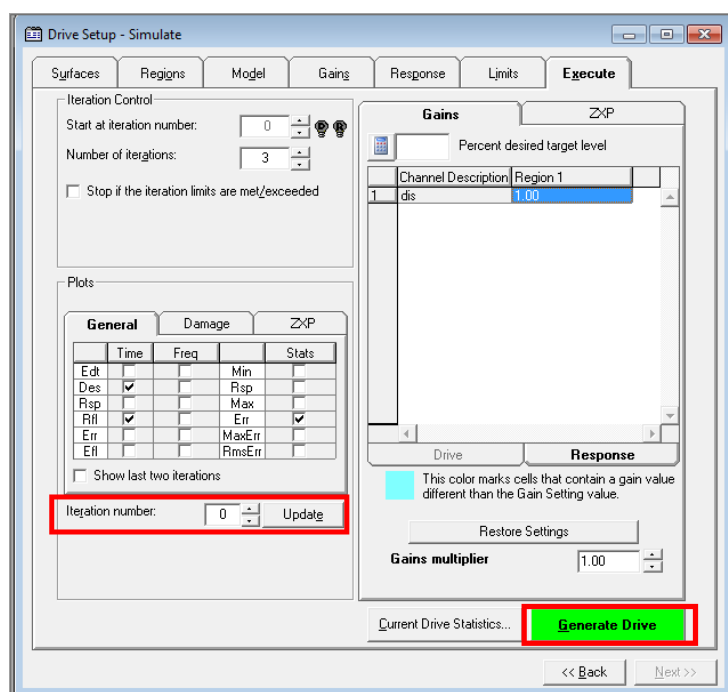


圖 2-11 單頻回饋之迭代次數編號選擇

6. 點選 Load 檢查安全範圍點選 OK 後並點選 Run，即可重現迭代過後的震波

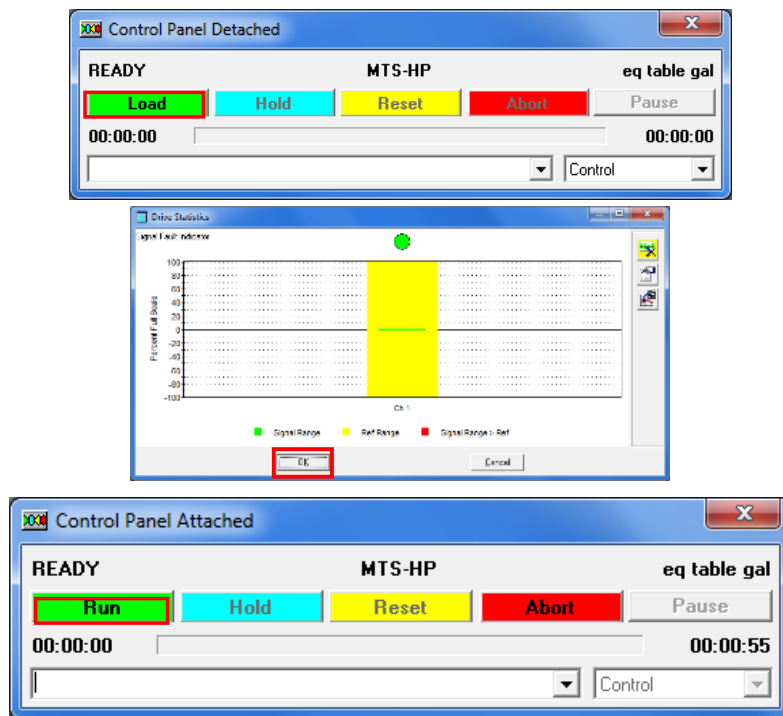


圖 2-12 震波產生

二、振動台中級操作流程

A.2 STEX PRO 回饋步驟

STEX PRO 運行分為三大流程三十個步驟，首先進行 STEX PRO 運行的設定，此為流程第一項。接著第二項流程為建立 STEX PRO 運行的模型。最後的流程則是進行 STEX PRO 震波的模擬。

前置步驟為基本操作步驟第 1 步及 2 步。

1. 設定-打開 STEX Project Manager

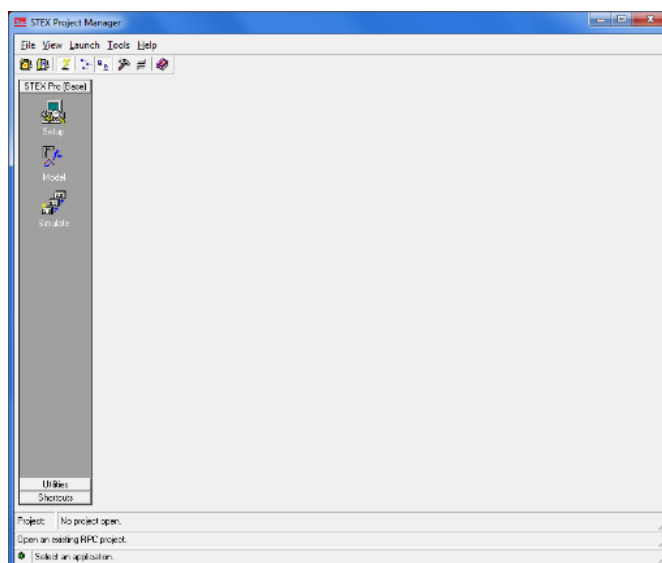


圖 A- 1 STEX PRO 開啟介面

2. 設定-打開現有之 project 或是產生 new project。

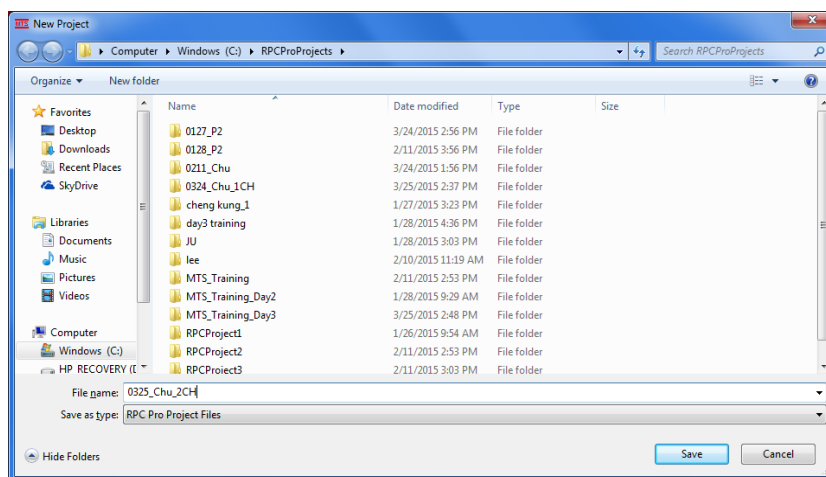


圖 A- 2 建立或選擇 project

3. 設定-開啟Setup，產生新的project，下一步之後選擇attach，並選擇所對應之 controller。

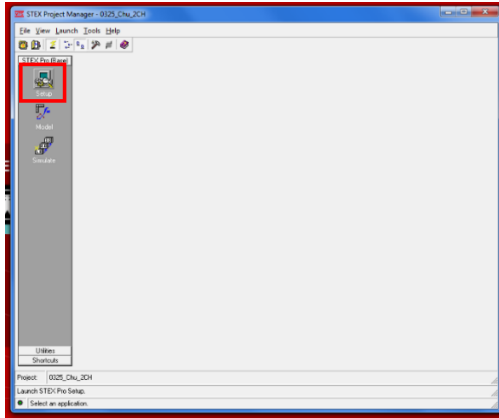


圖 A-3 project 設定

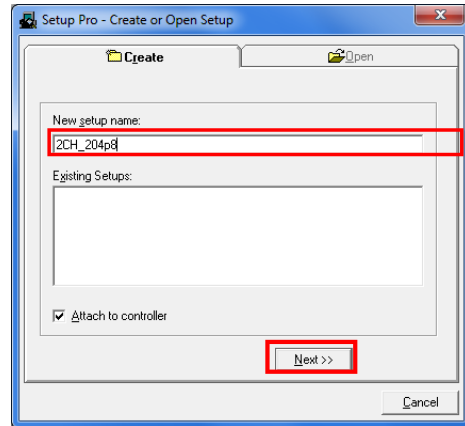


圖 A-4 建立設定檔

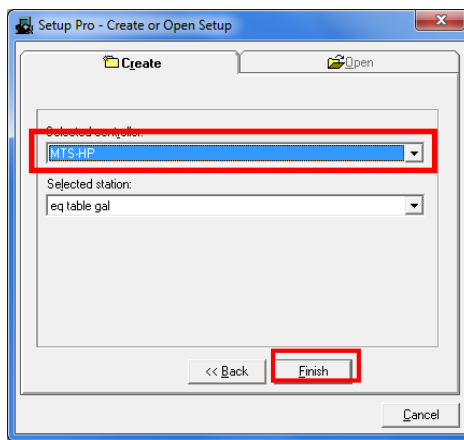


圖 A-5 選擇對應之 controller

4. 設定-選擇取樣頻率及步階(MTS recommendation for sample rate is 204.8Hz and frame size is 1024pts)，並選擇設備及反應頻道。依照需求進行單頻控制或是雙頻控制，雙頻道控制同時回饋位移及加速度訊號進行震波的迭代請參考圖 A-6。單頻道回饋即位移或是加速度單一回饋進行震波迭代請參考圖 A-7 及圖 A-8。

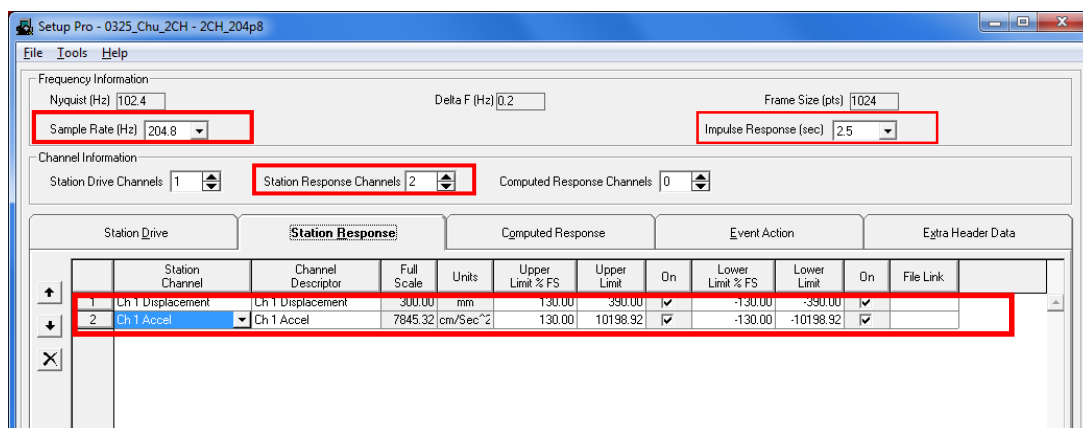


圖 A-6 頻率設定及頻道回饋設定(雙頻回饋)

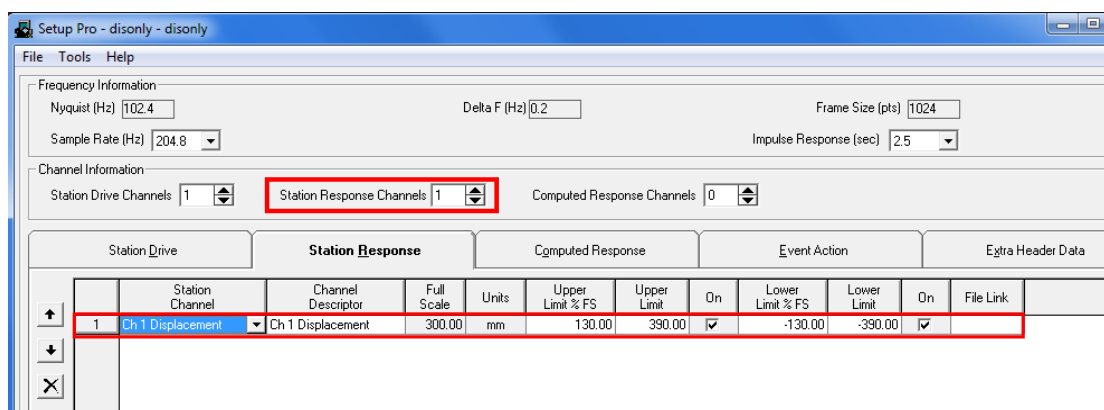


圖 A-7 單頻回饋之頻道設定(位移回饋)

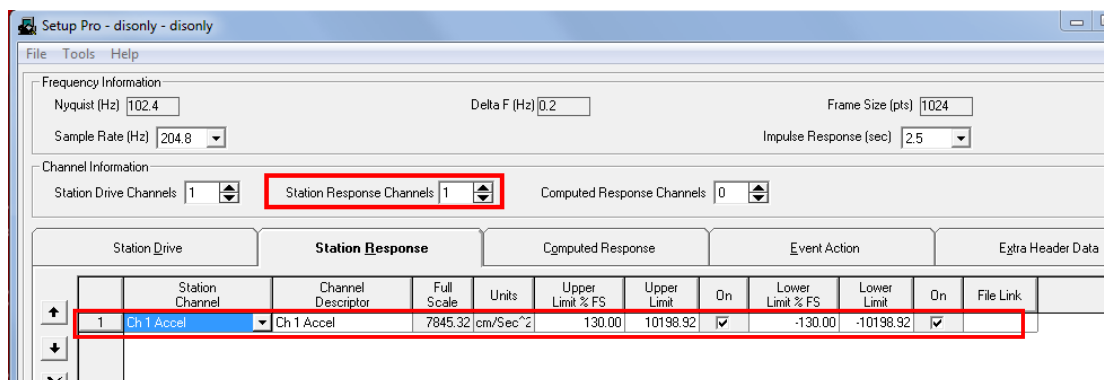


圖 A-8 單頻回饋之頻道設定(加速度回饋)

5. 設定-以上步驟皆設定完成後存檔，並離開(File > Save > Exit)。

6. 建立模型-建立 STEX PRO 模型。

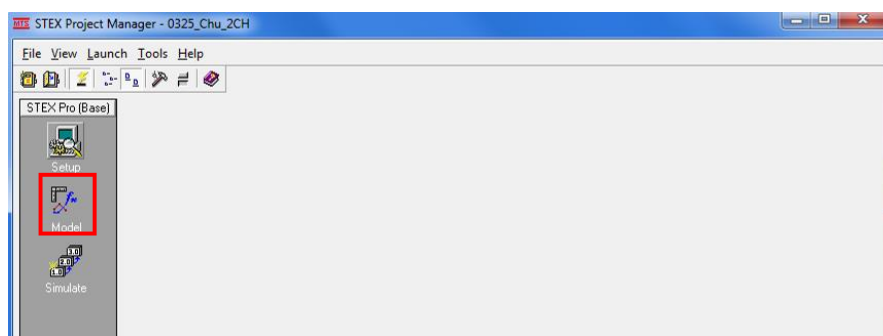


圖 A-9 開啟 Model

7. 建立模型-Create new workspace and dataset for importing earthquake files(其中，selected setup 步驟選擇起始所設定之 setup 檔名稱)，參考圖 A-10 至圖 A-12。

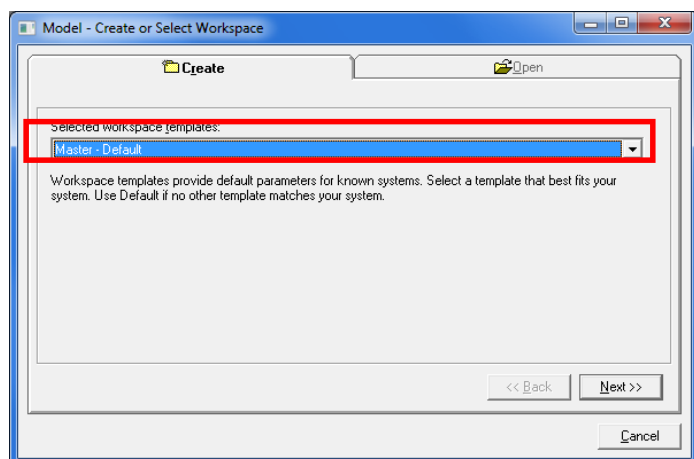


圖 A-10 模型選擇

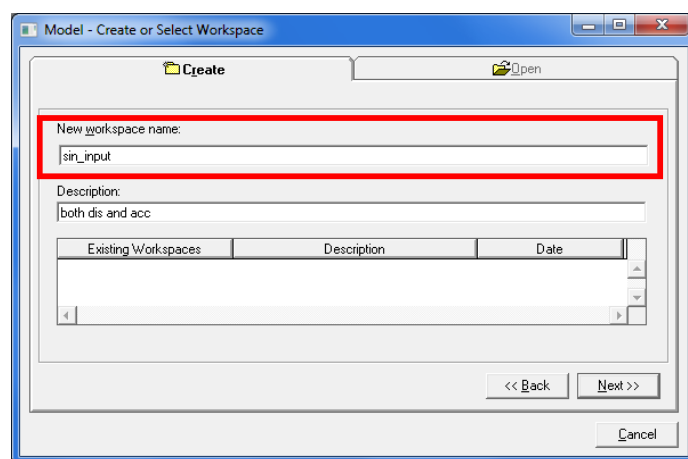


圖 A-11 工作區命名

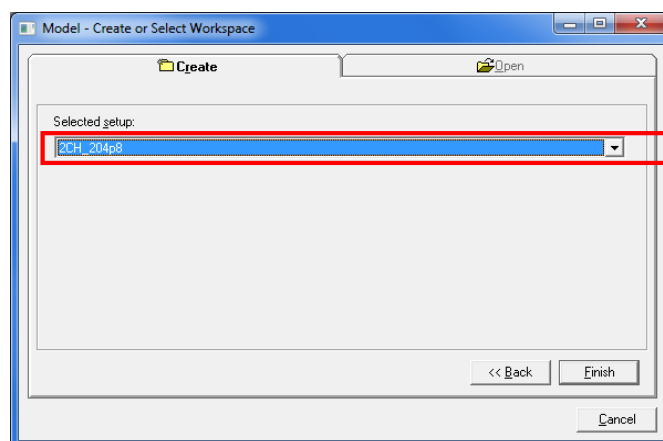


圖 A-12 選擇一開始設定之檔案名稱

8. 建立模型-選擇 **ASCII Conversion** 轉換資料型式，並選擇所需之震波檔案，設定該震波之取樣頻率 sample rate 及 Frame size(與步驟 4 之 Frame size 必須相同)，參考圖 A- 13。

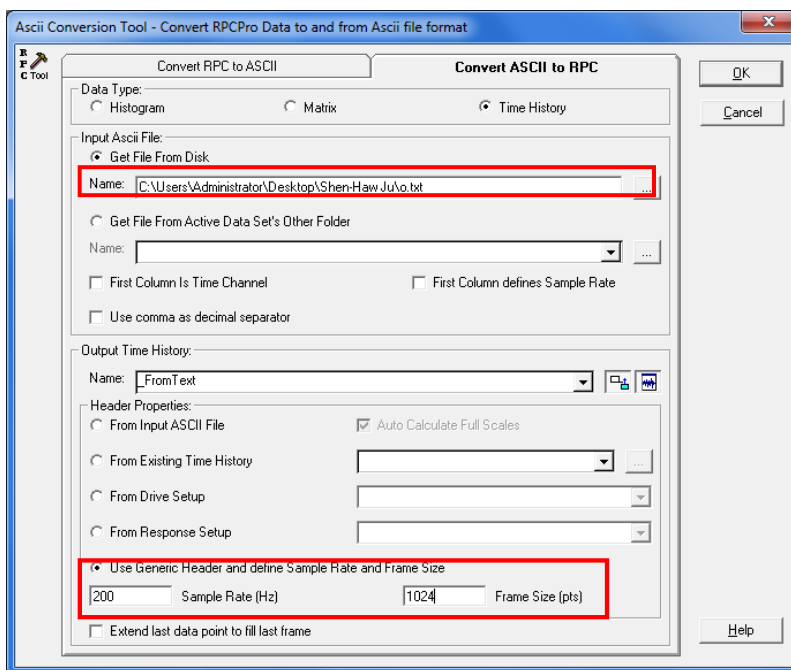


圖 A- 13 資料型式轉換

之後將會看到所匯入之震波加速度及位移歷時，參考圖 A- 14。

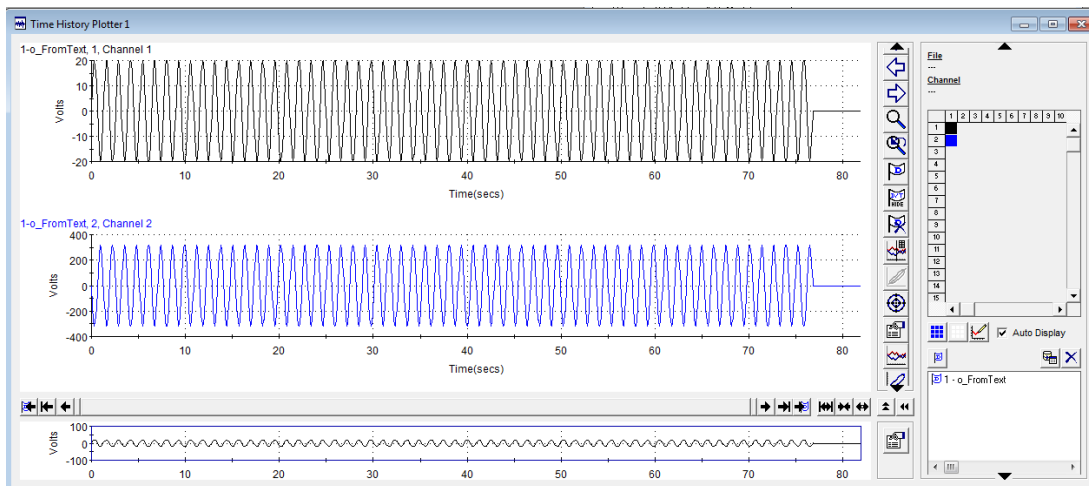


圖 A- 14 震波歷時顯示

9. 建立模型-選擇 **Header Modification** 修改資料標題首先選則輸入的檔案後，依照匯入資料之單位改變每個頻道之描述及單位，參考圖 A-15。

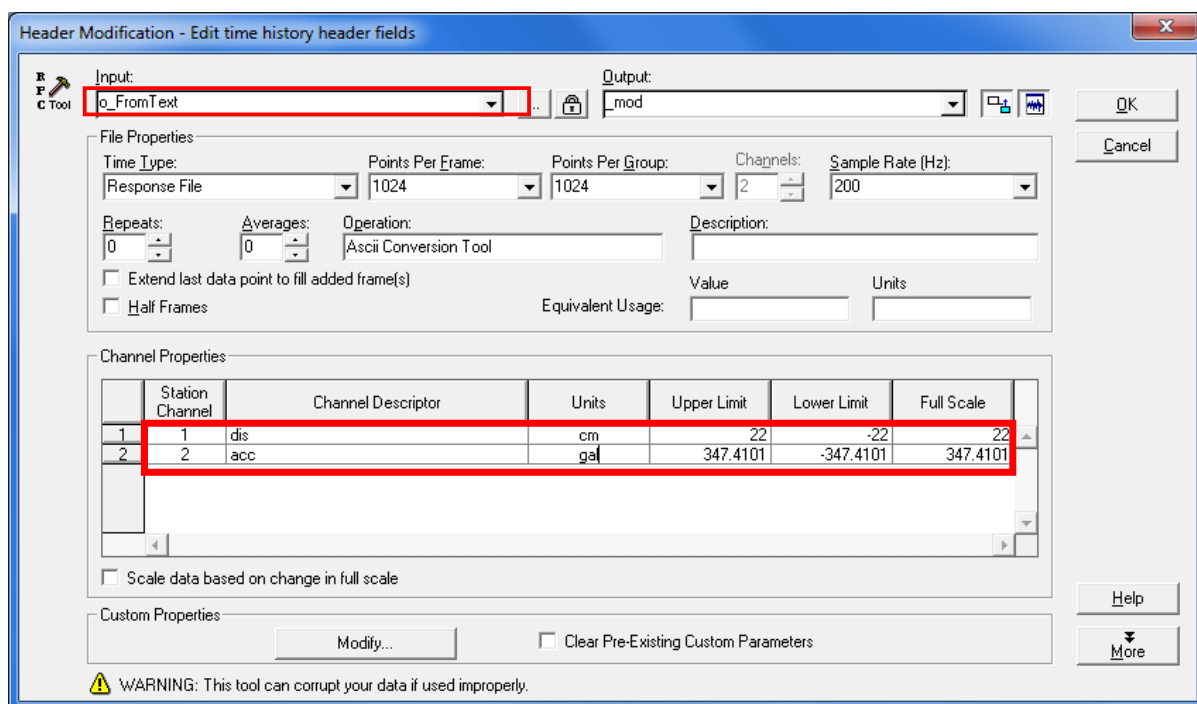


圖 A-15 標題修改

之後將會有擁有 4 筆資料歷時圖，右邊之色塊區由左至右第一行為原始之歷時資料，第二行為改變單位後之歷時資料，資料排序(位移或加速度)與前面所設定之排序相同。

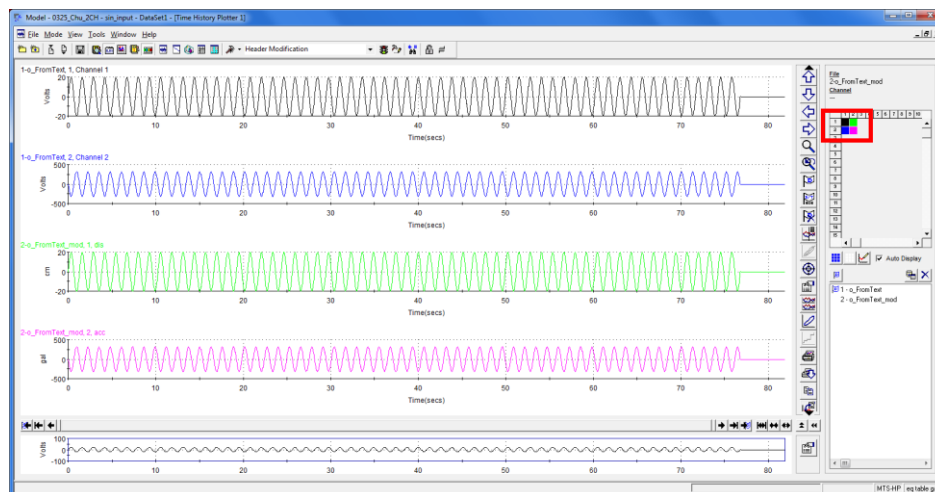


圖 A-16 修改後之資料顯示

10. 建立模型-選擇 **Resample** 重新採樣資料吻合設定檔案(取樣頻率與前面步驟之設定相同)。

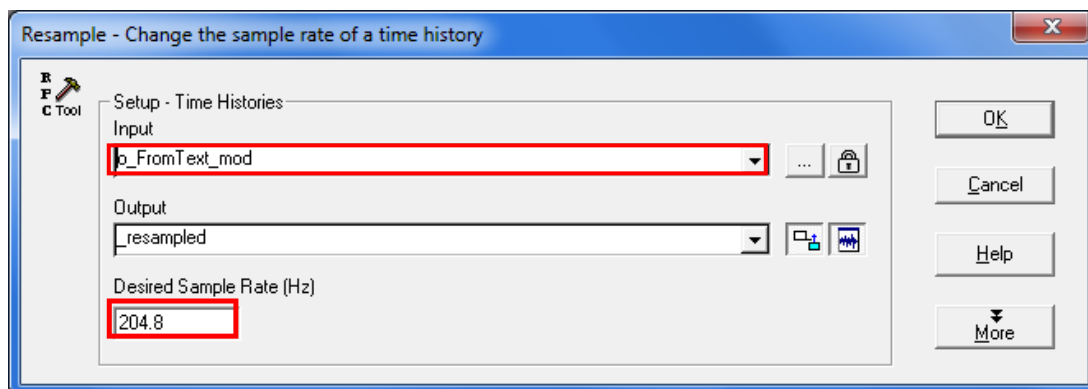


圖 A-17 重新採樣檔案及頻率選擇

11. 建立模型-如果同時使用加速度及位移頻道雙回饋，則跳過此步驟。而如果使用加速度或位移單獨控制，由於須讓震動台呈現位移訊號，因此選擇 **Channel Extract Tool** 匯出 **位移** 頻道，注意選擇之檔案為 Resample 過後之檔案。

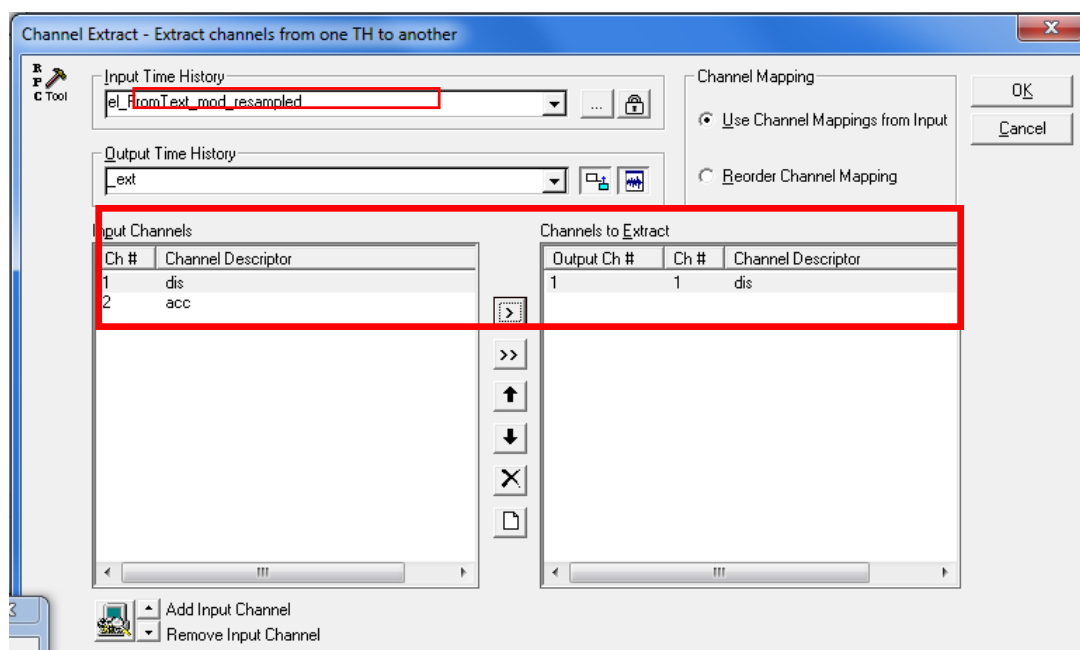


圖 A-18 選擇振動台顯示之訊號(位移)

12 建立模型-雙頻回饋者此步驟選擇檔名為 resampled 之檔案而單頻回為饋則選擇檔名為 resampled_ext 之檔案，請參考圖 A-19 及圖 A-20，對該檔案按右鍵 >open>open editor，請參考圖 A-21。

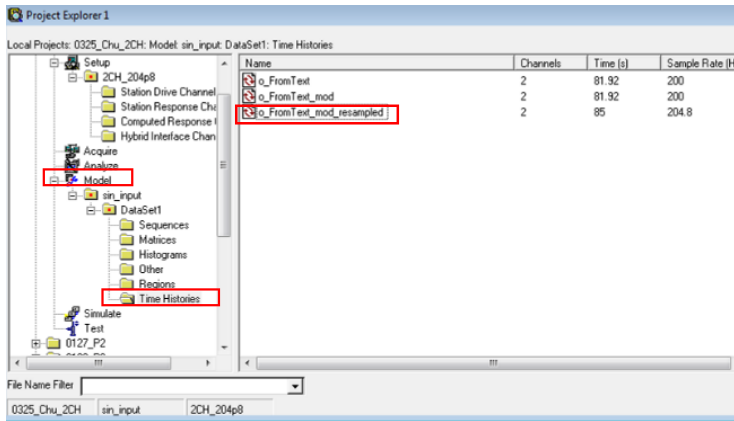


圖 A-19 重新採樣之檔案確認(雙頻回饋)

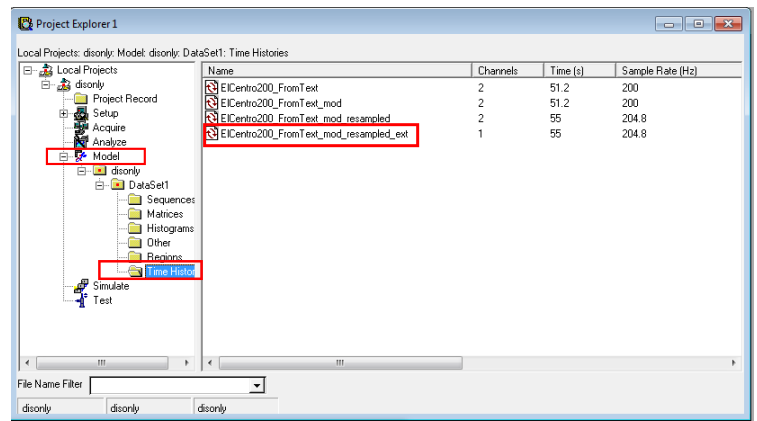


圖 A-20 重新採樣之檔案確認(單頻回饋)

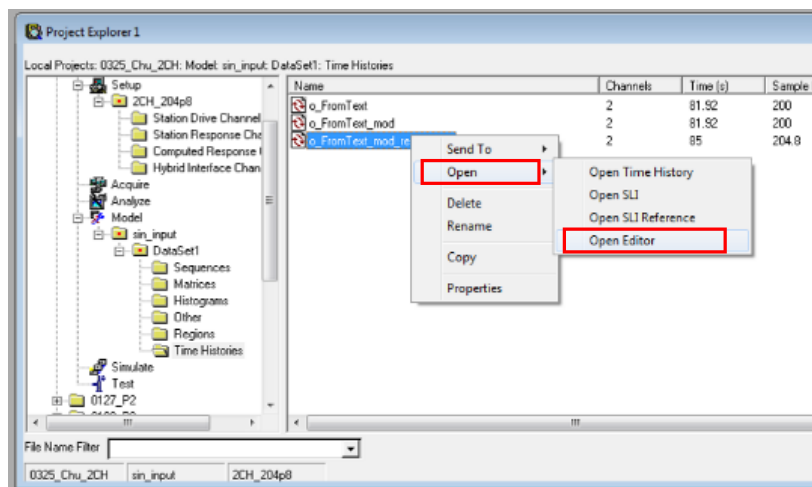



圖 A-21 對檔案進行編輯

13. 建立模型-選擇右上角之  號圈選過長之資料歷時，參考圖 A-22。

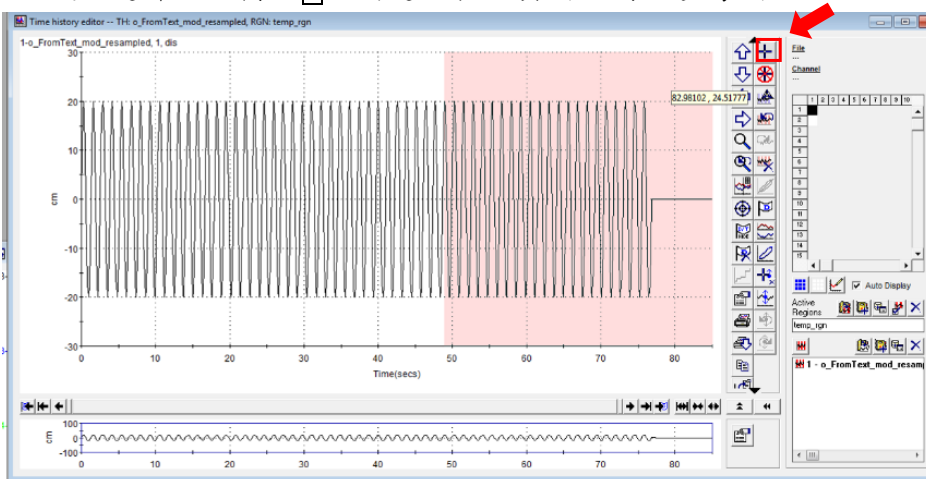


圖 A-22 圈選欲修改資料長度

14. 建立模型-選擇 **Cut** 去除多餘的資料(檔案選擇副檔名『最長』的檔案)，參考圖 A- 23。

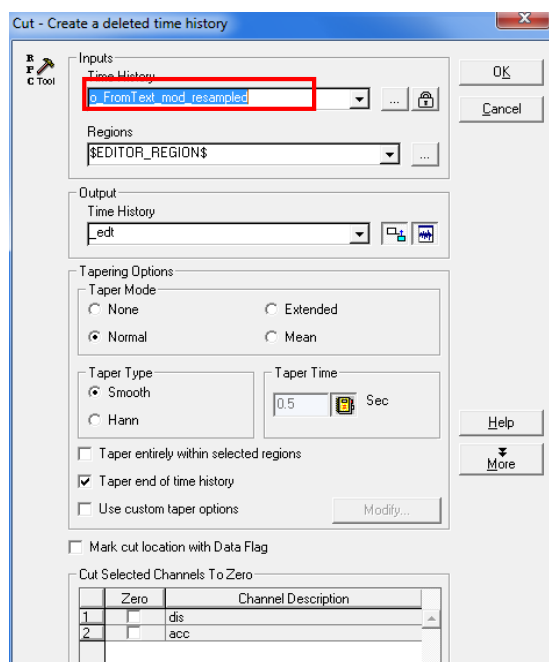


圖 A- 23 確認修改資料

15. 建立模型-cut tool 結束後可由此視窗檢查是否成功切除(歷時長度)，參考圖 A- 24，之後 File>Save workspace。

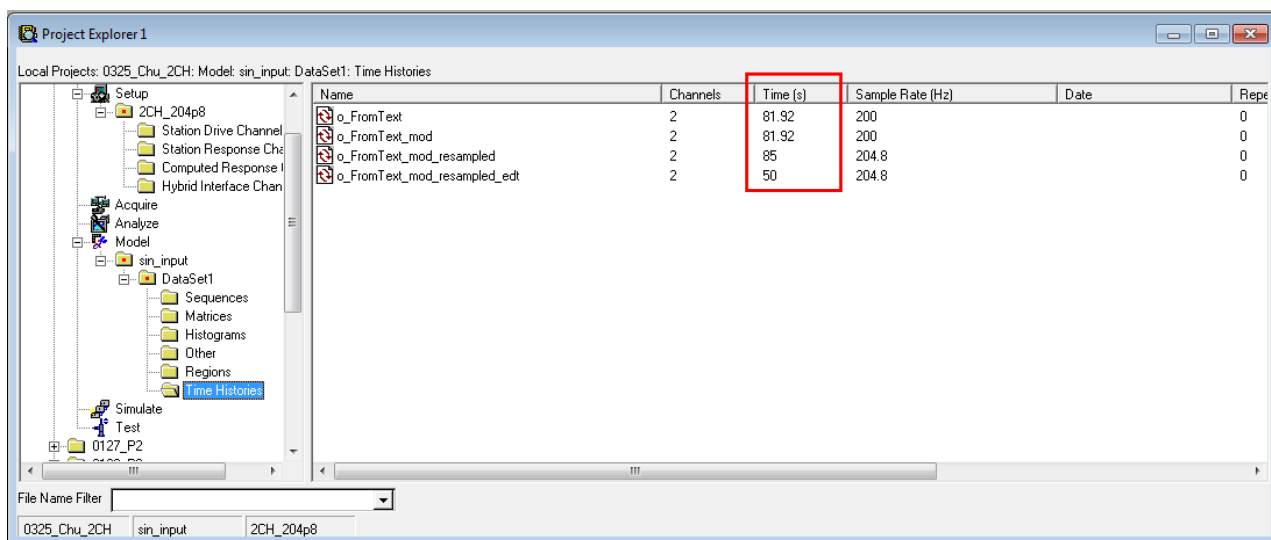


圖 A- 24 震波長度檢查

16. 建立模型-MTS Recommendation for drive shape is: Lower Cutoff: 0Hz, Break 1Hz, Exponent 2, Upper Cutoff 50Hz.(此視窗使用 MTS 建議值，因此不用改)參考圖 A- 25，並選擇 Next。

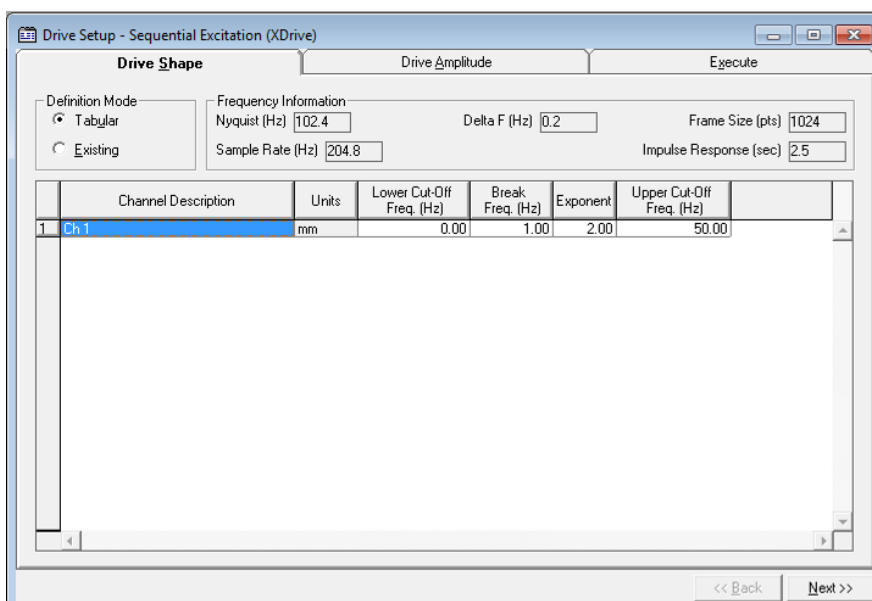


圖 A- 25 頻率上下界設定

17. 建立模型-此視窗 MTS recommendation for drive amplitude is 3mm(其中，3 Sigma(EU)值可調整系統模擬 FRF 之震幅)參考圖 A- 26，並選擇 Next。

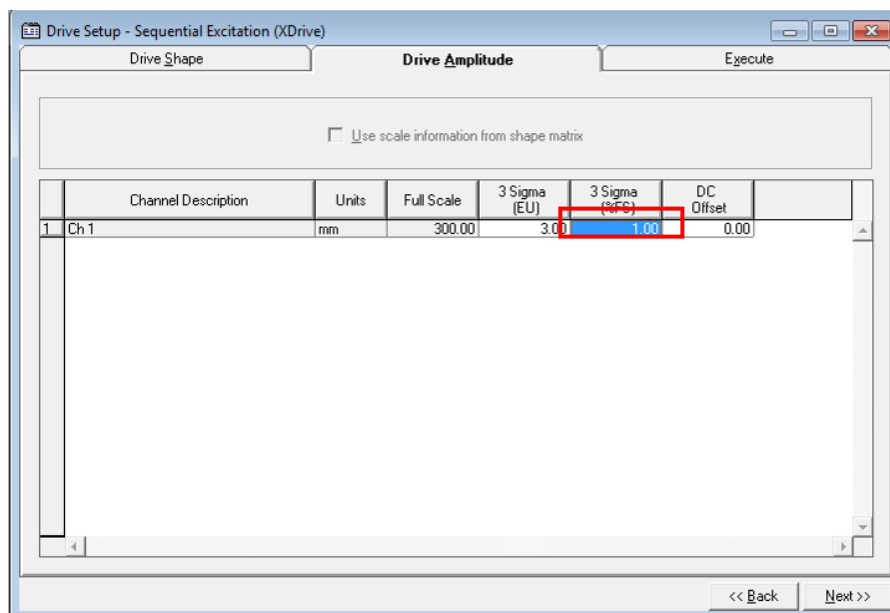


圖 A- 26 FRF 振幅設定

18. 建立模型-此視窗為進行輸入輸出平均，MTS 建議的次數為 5 次，設定後按 Generate Drive，參考圖 A-27。

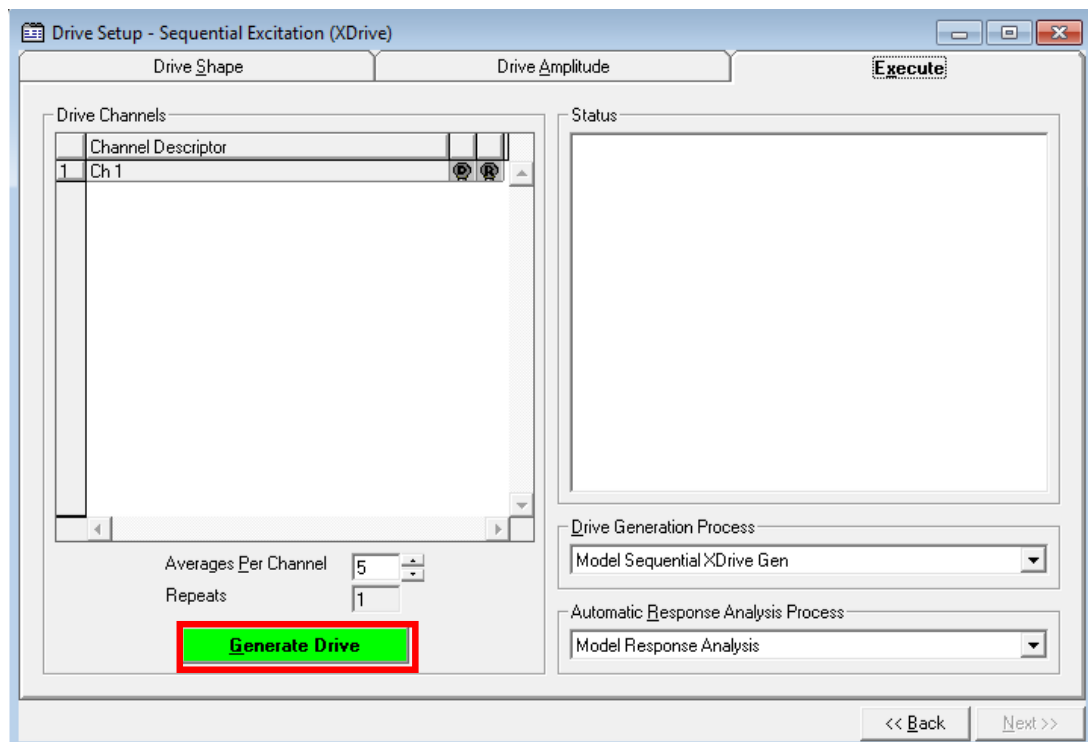


圖 A-27 選擇進行白雜訊震波的次數

經過步驟 18 的設定後，檢查是否有一檔案為 seqx_drv 被產生，參考圖 A-28。

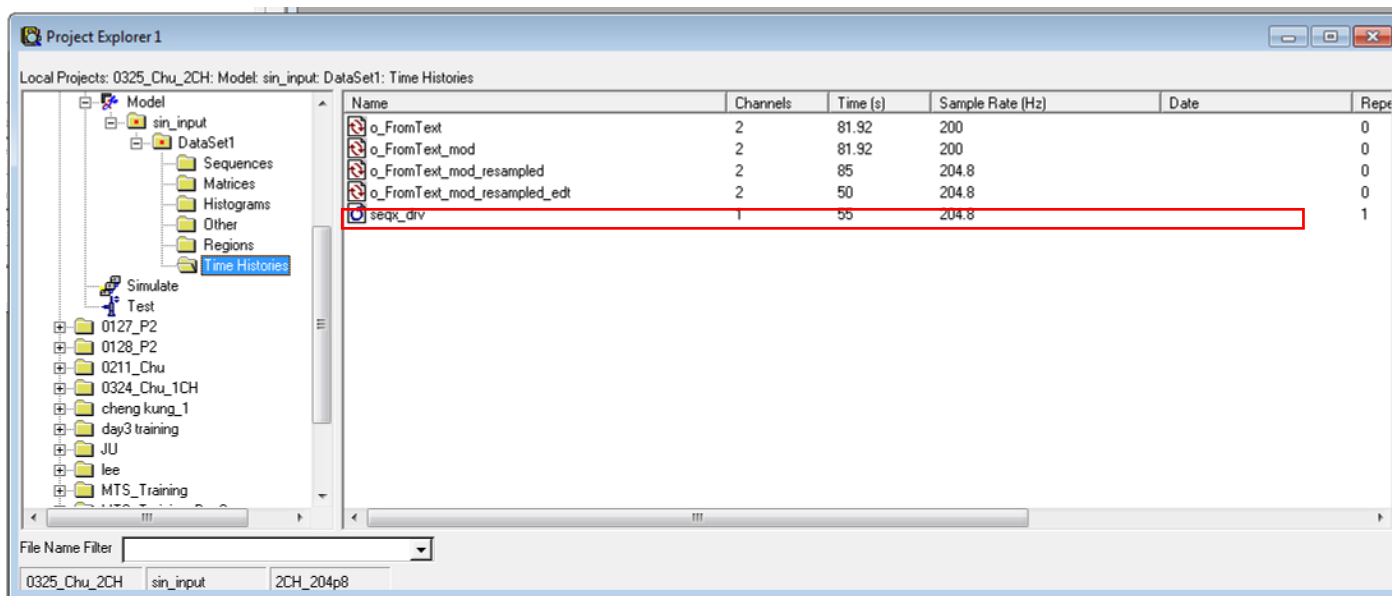


圖 A-28 檢查檔案是否正確產生

19. 建立模型-點選 load>ok>run.(此步驟第 2 張圖可以看到振動台可模擬的範圍(黃色區間)以及所設定之範圍(綠色範圍)), 參考圖 A-29。

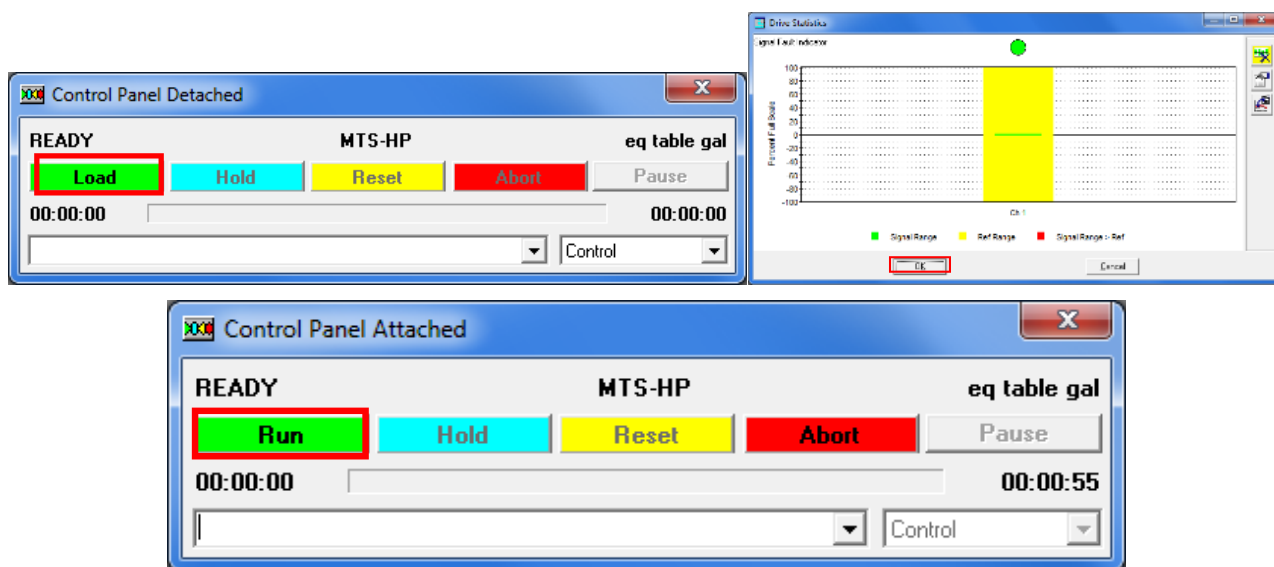


圖 A-29 進行白雜訊震波

之後振動台開始進行 white noise 震波產生 FRF(此 FPF 為振動台的頻率響應函數), 可用 station manager 的 monitor 觀看模擬情況, 參考圖 A-30。

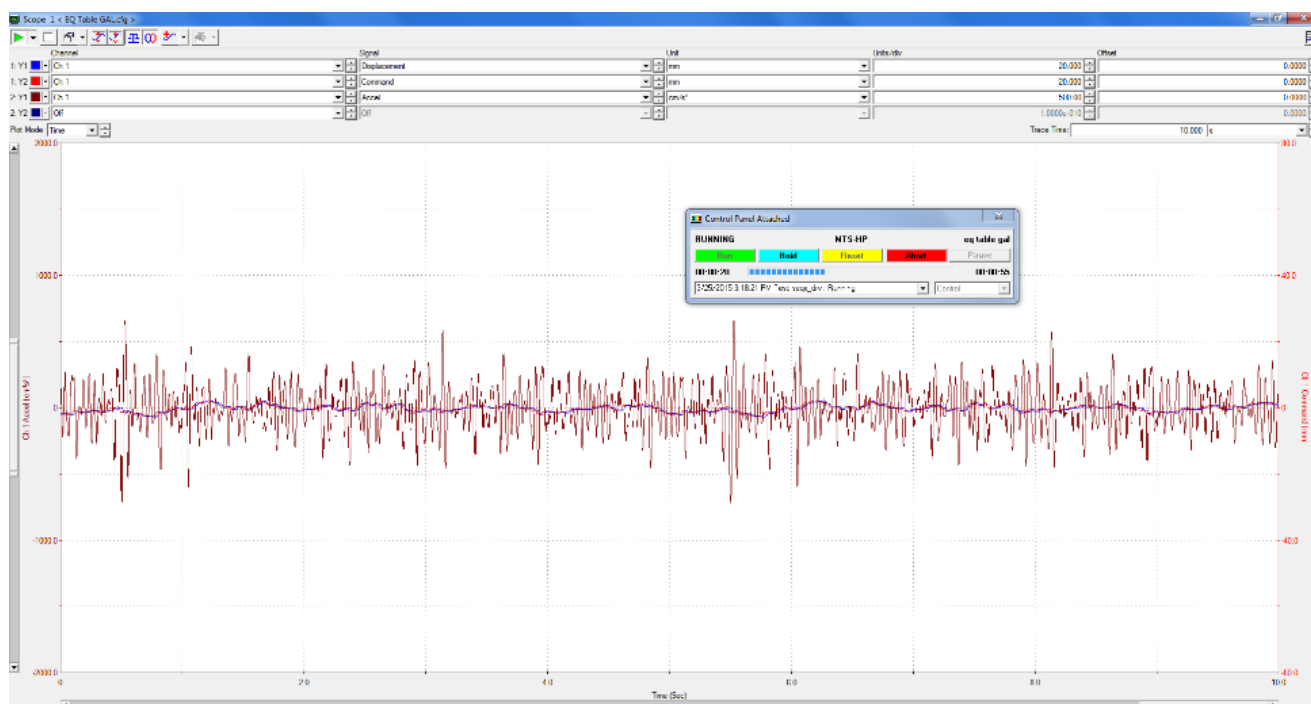


圖 A-30 白雜訊作用之過程顯示

20. 建立模型-當模擬結束後系統將會自動產生FRF的圖形檔案名稱 (seqx_h1_70)，此檔案將會在名為matrices 的資料夾裡，參考圖A- 31。

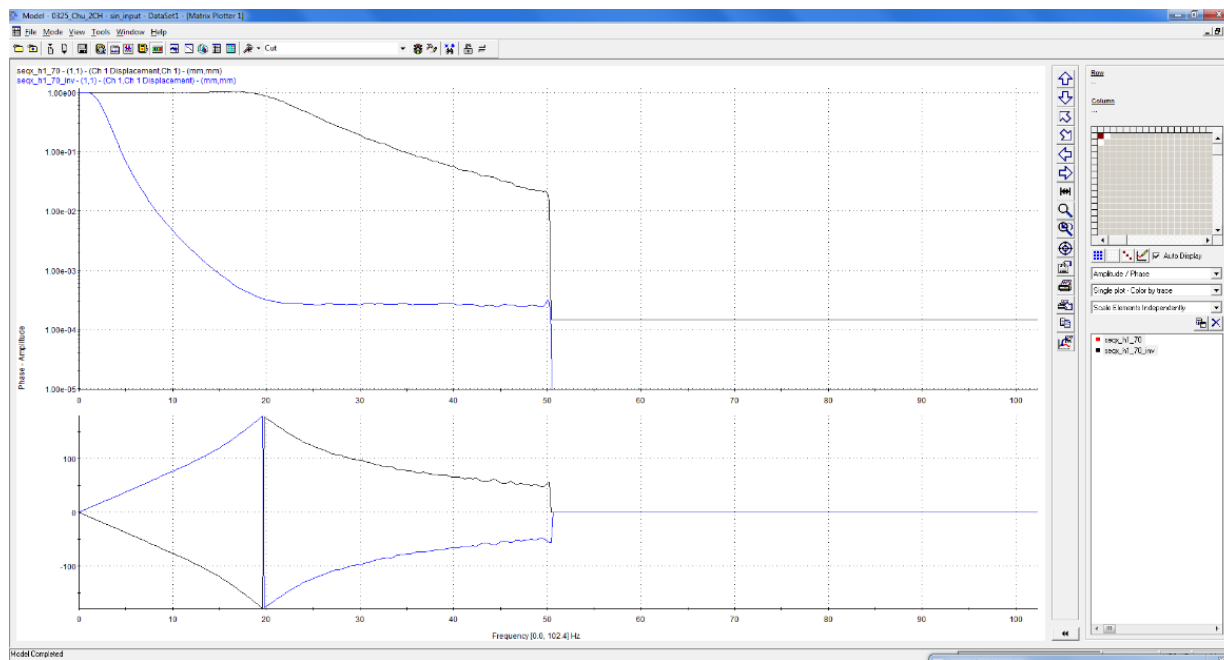


圖 A- 31 FRF 結果

21. 建立模型-選擇 **inverse tool**，此步驟中可以選擇 inverse 的頻率區間，首先選擇名稱為 seqx_h1_70 的檔案，如是單頻回饋，此時只有一個頻率區間的選項 (MTS 建議位移單頻回饋區間為 0~50Hz 而加速度單頻回饋區間為 0.6~50Hz)。雙頻回饋則有選擇兩個頻率區間，**第一個頻率區間只需位移回饋，第二個頻率區間為加速度與位移皆回饋**，主要的原因是為了不讓加速度在低頻的時後回饋，點選 OK 後，就可得到所要的 FRF 圖形之後 Save workspace>Exit，參考圖 A-32 及圖 A-33。

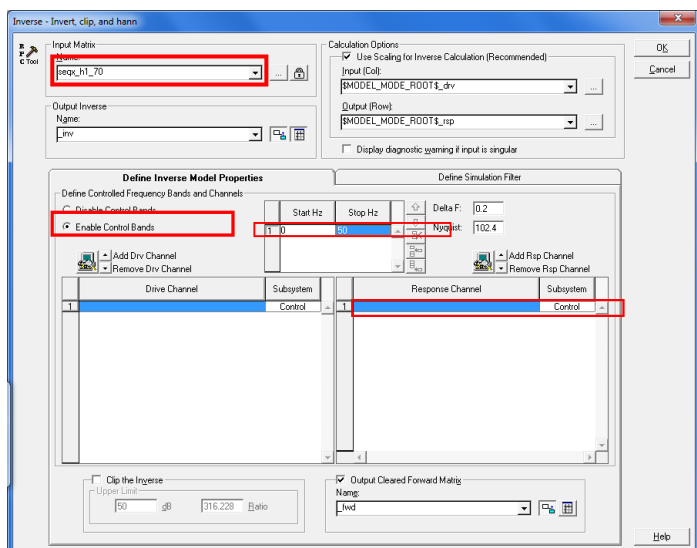


圖 A-32 單頻回饋頻率區間設定

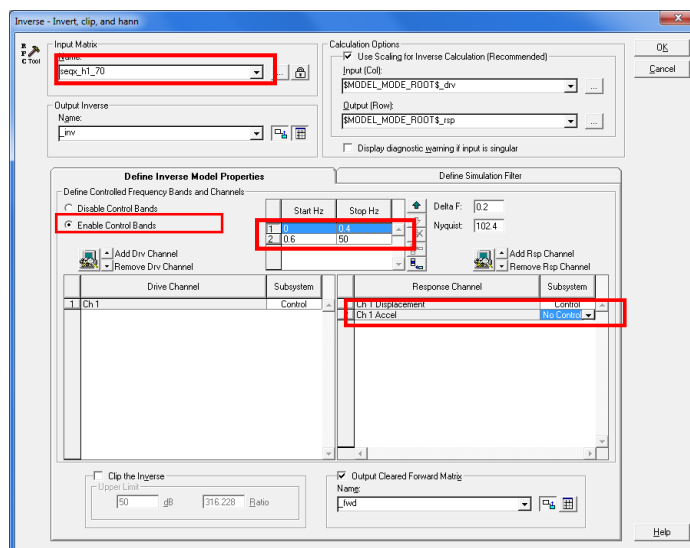


圖 A-33 雙頻回饋頻率區間設定

22.震波模擬-Open Simulate - Create new Workspace(建議與 setup 與 model 的 workspace 名稱相同。 selected setup 步驟選擇一開始自己所設定之 setup 檔名稱)，參考圖 A- 34 至圖 A- 36。

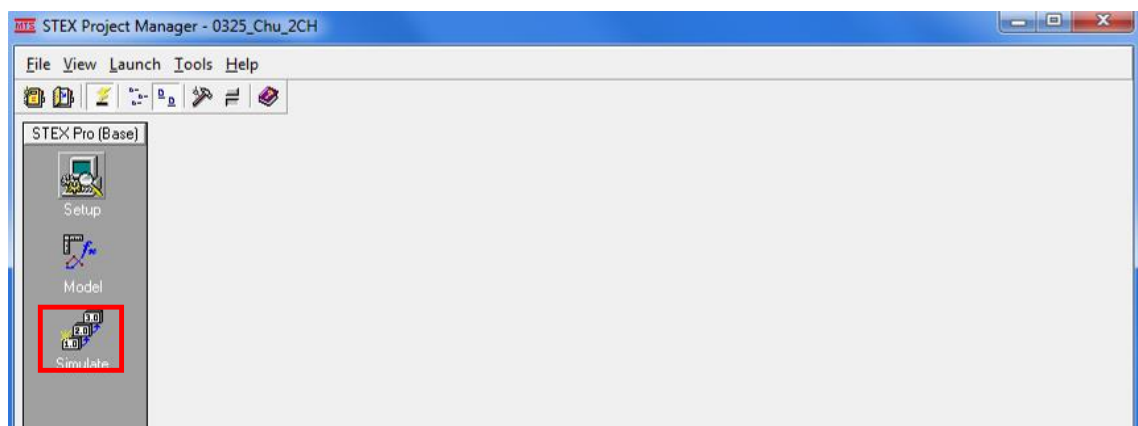


圖 A- 34 開啟 Simulate

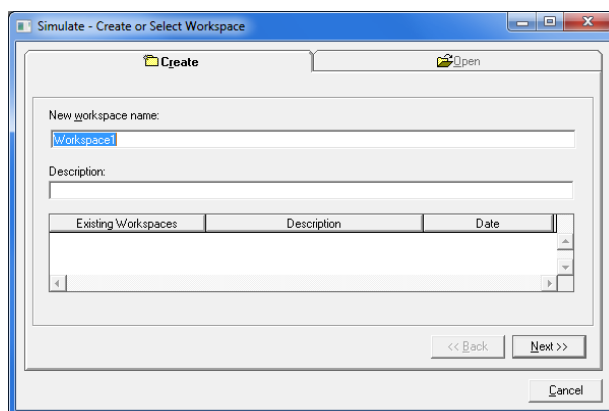


圖 A- 35 工作區設定

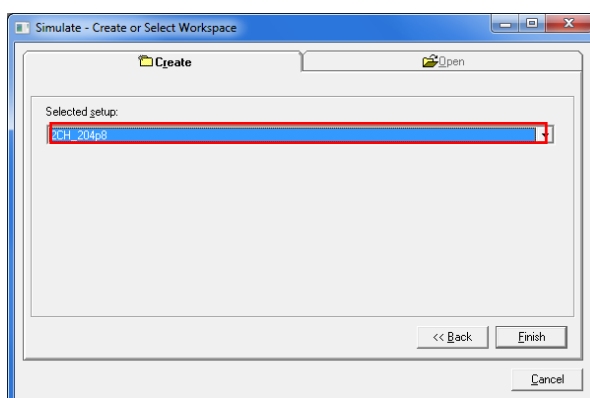


圖 A- 36 選擇起始之設定檔

23.震波模擬-打開Model folder找到自己的設定的workspace資料夾內的Time history資料夾將副檔名為.edt的檔案複製到Simulate folder找到自己的設定的workspace資料夾內的Time history資料夾，參考圖A- 37及圖A- 38。

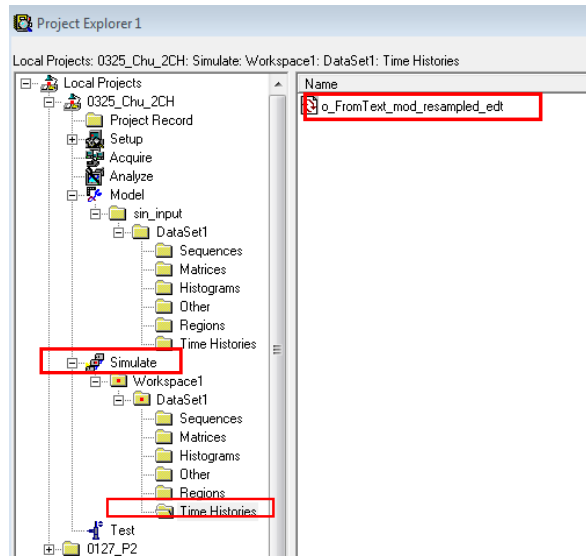
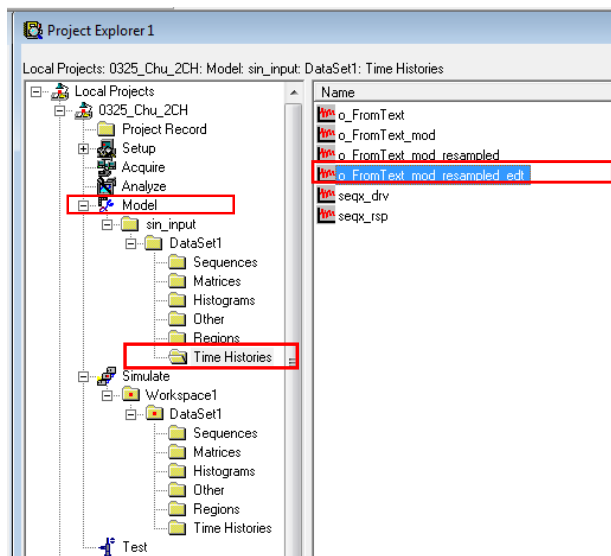


圖 A- 37 複製 Model 內編輯過之歷時

圖 A- 38 於 Simulate 內貼上編輯過之歷時

24.震波模擬-Surfaces，選擇自己的震波資料，並選擇 Next(在這裡按 NEXT 的好處為如果設定有誤，系統會自動通知，因此建議按 next)，參考圖 A- 39。

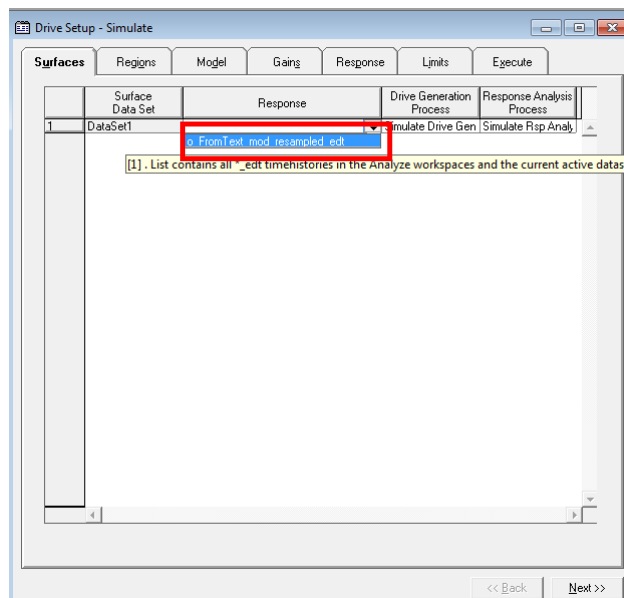


圖 A- 39 選擇自己的震波資料

25.震波模擬-Regions，此步驟為確定震波時間不用更改，選擇 Next，參考圖 A-40

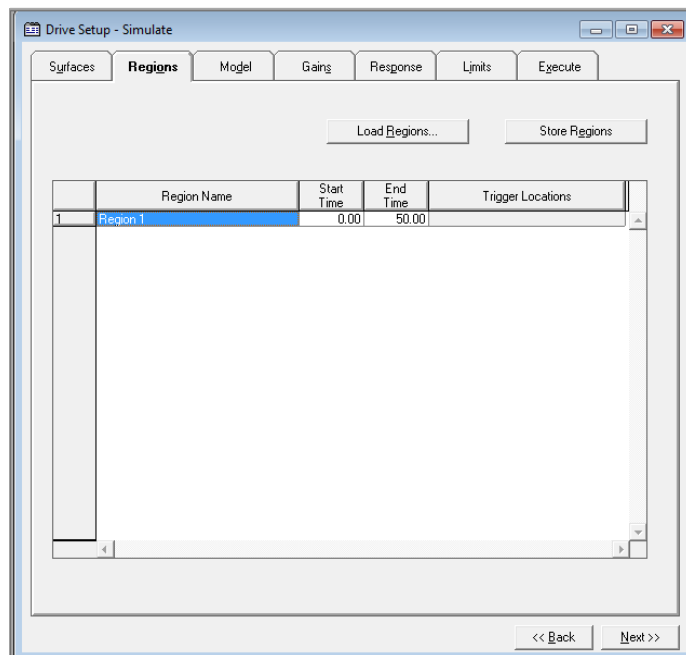


圖 A-40 確定震波時間

26.震波模擬-Model，選擇自己所設定的 inverse model，並選擇 Next，參考圖 A-41。

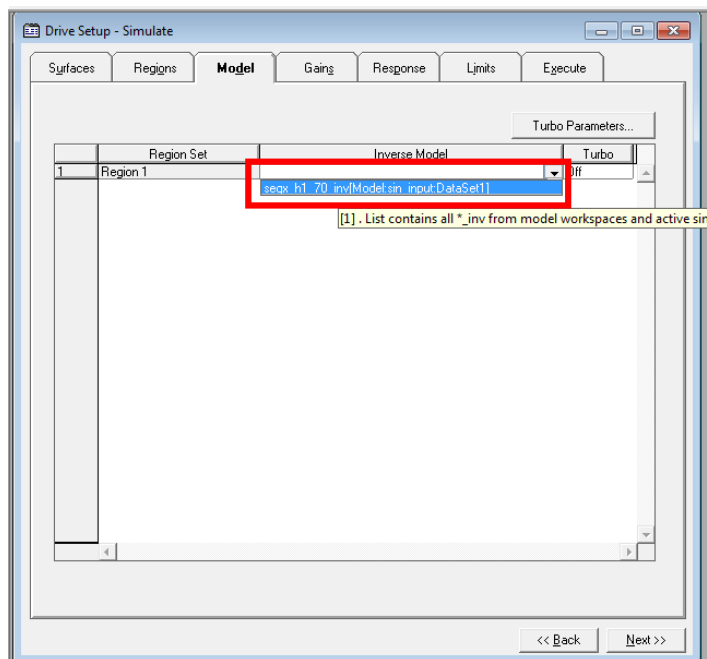


圖 A-41 選擇所設定的 inverse model

27.震波模擬-Gains，此步驟為確認設定檔是否正確，如有錯誤，將無法繼續下一步驟，選擇 Next，參考圖 A-42。

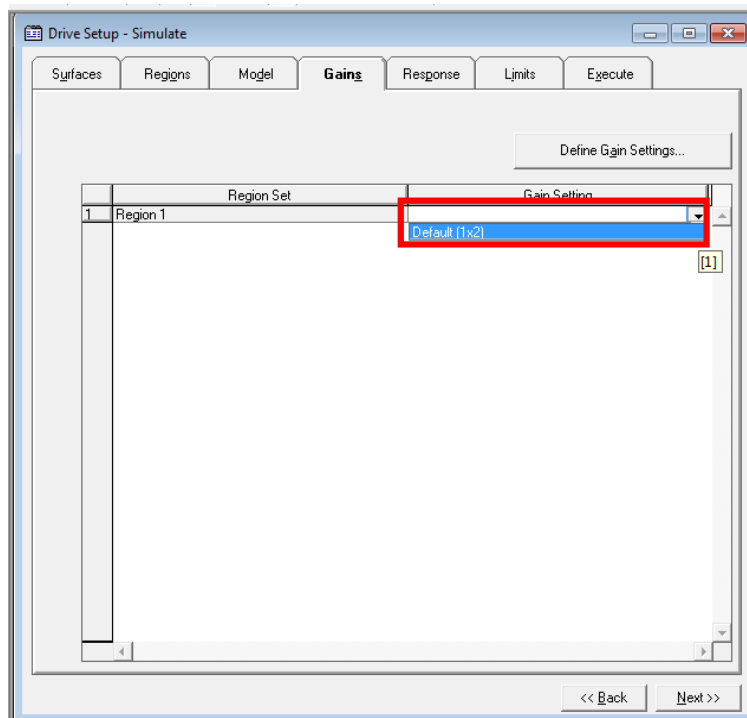


圖 A-42 確認設定檔

28.震波模擬-Filter，選擇自己所創建之 Model，可藉由視窗檢查檔案是否從一個變成三個。並與地震檔案進行比較，參考圖 A-43 至圖 A-46。

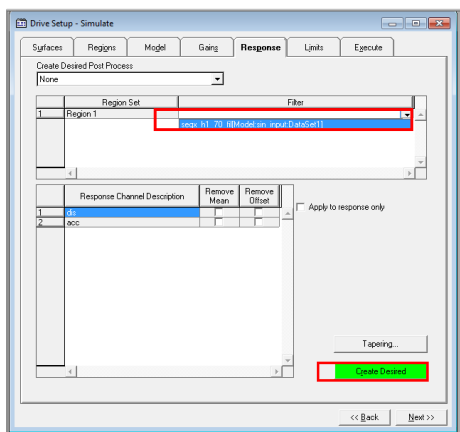


圖 A-43 選擇所創建之 Model

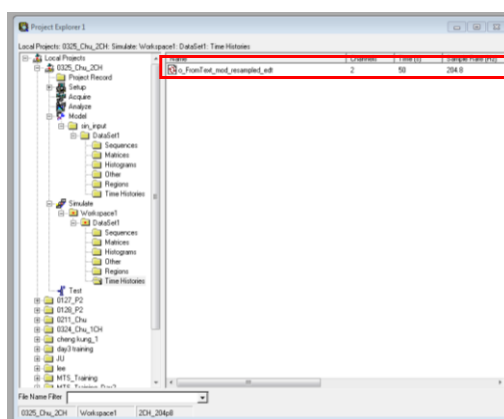


圖 A-44 檢查檔案

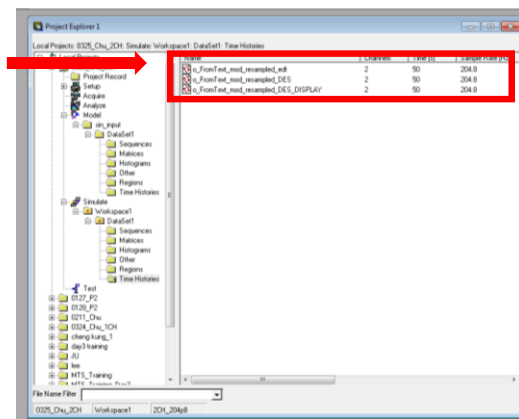


圖 A-45 確認檔案是否正確產生

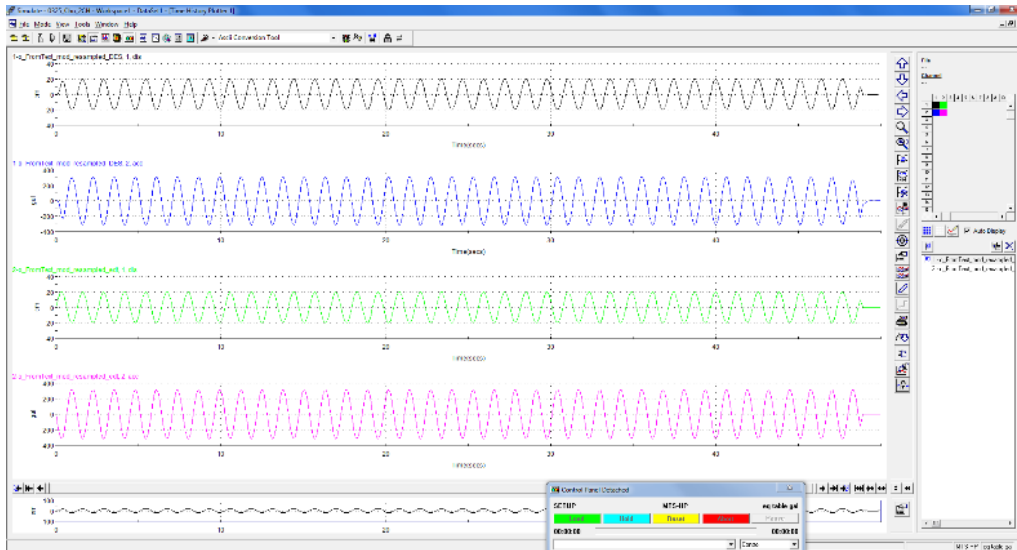


圖 A-46 結果顯示

28.震波模擬-Limits，此步驟之限制由於並不適用於地震力之測試，因此無限制，選擇 Next，參考圖 A-47。

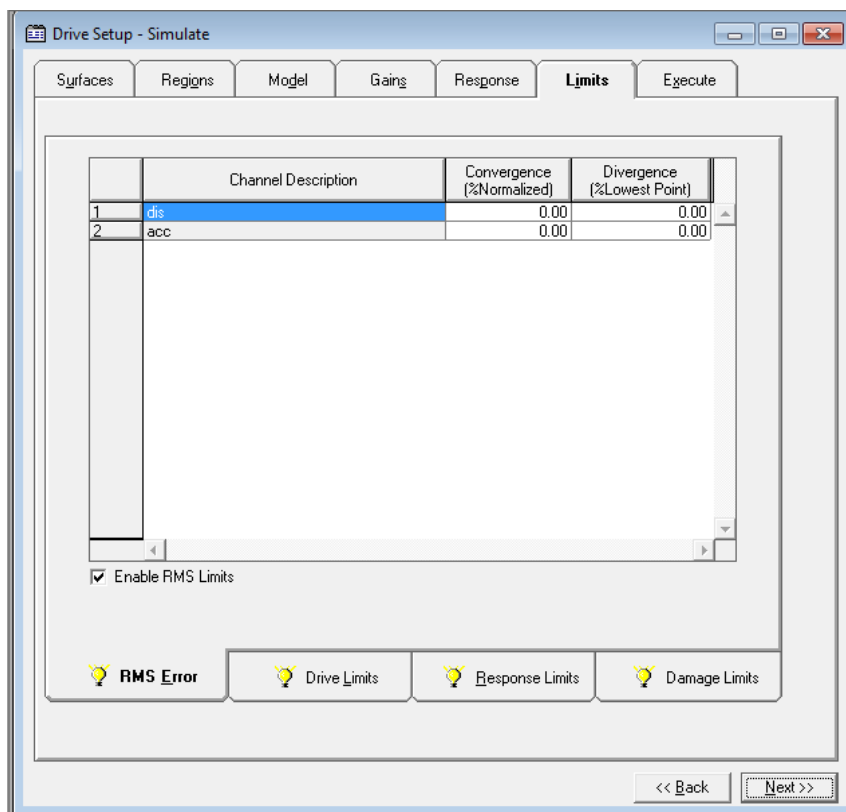


圖 A-47 收斂及差異之限制設定

29.震波模擬-Execute，選擇頻道的 gain 值。MTS 建議位移的值介於 0.8~1.0。
MTS 建議加速度的值介於 0.4~0.6。依照需求可以調高或降低(Number of iteration：迭代次數，Gains multiplier：改變原始訊號的大小)，參考圖 A-48 及圖 A-49。

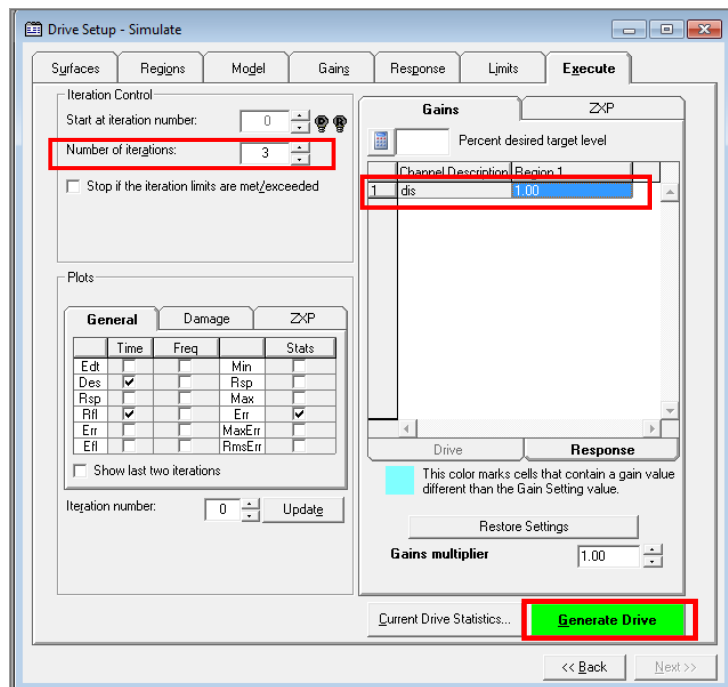
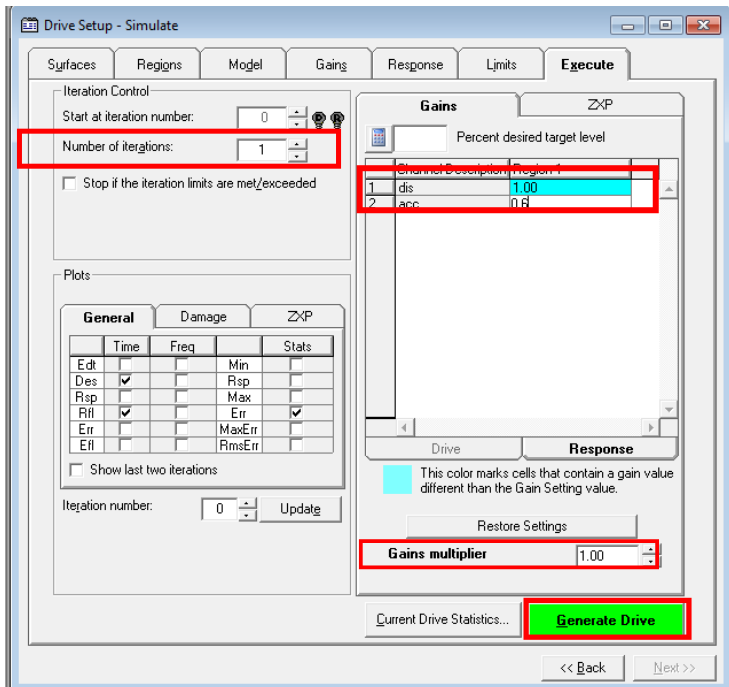


圖 A-48 雙頻回饋之迭代次數及倍率選擇

圖 A-49 單頻回饋之迭代次數及倍率選擇

30.震波模擬-點選 load>ok>run.(此步驟第 2 張圖可以看到振動台可模擬的範圍(黃色區間)以及所設定之範圍(綠色範圍))，參考圖 A-50 及圖 A-51。

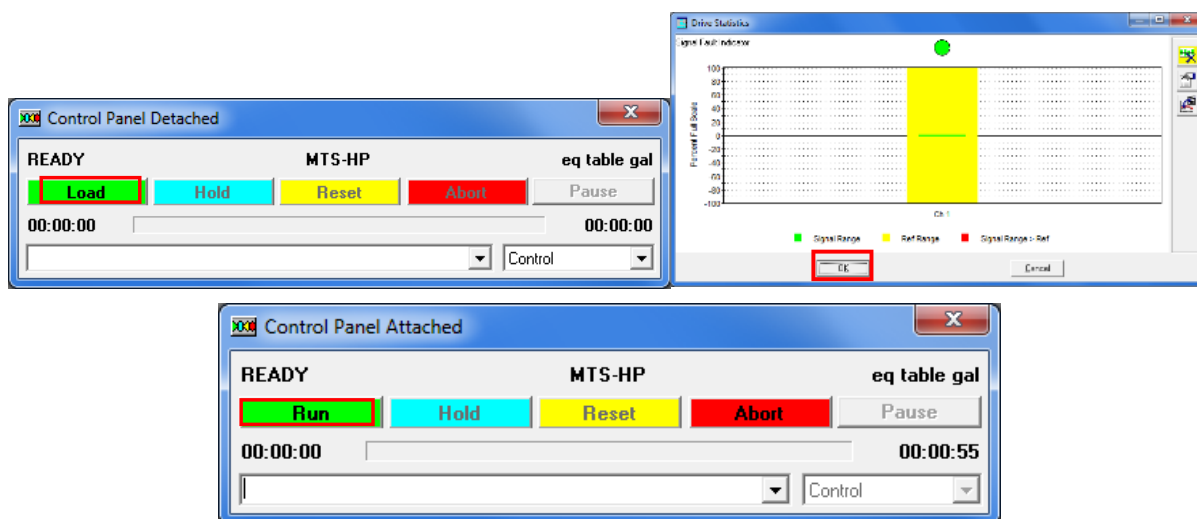


圖 A-50 震波產生

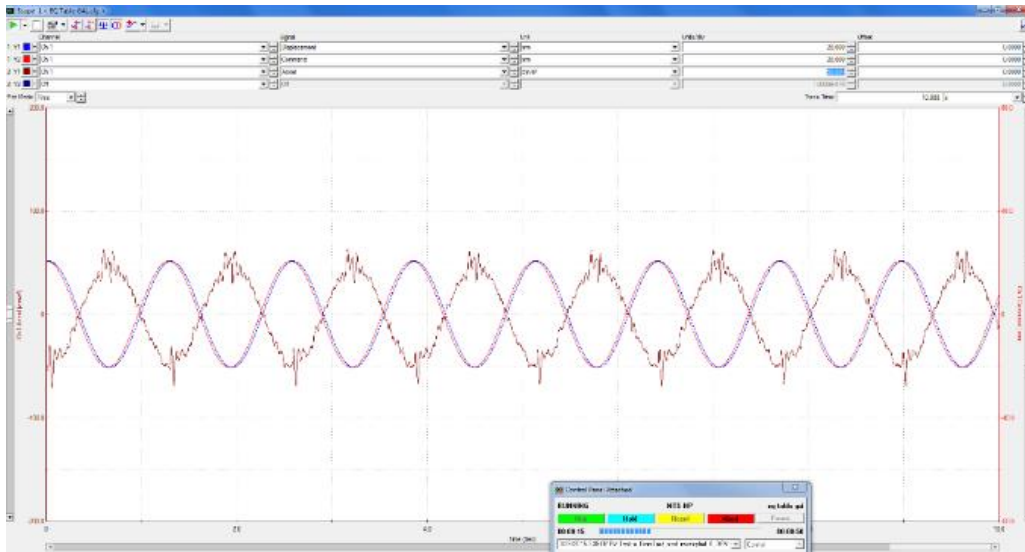


圖 A- 51 觀看震波產生結果

31. 震波模擬-持續迭代直到訊號達到所期望之誤差百分比內(每完成一次迭代就會出現輸入訊號及迭代出來訊號的組合圖)，參考圖A- 52。

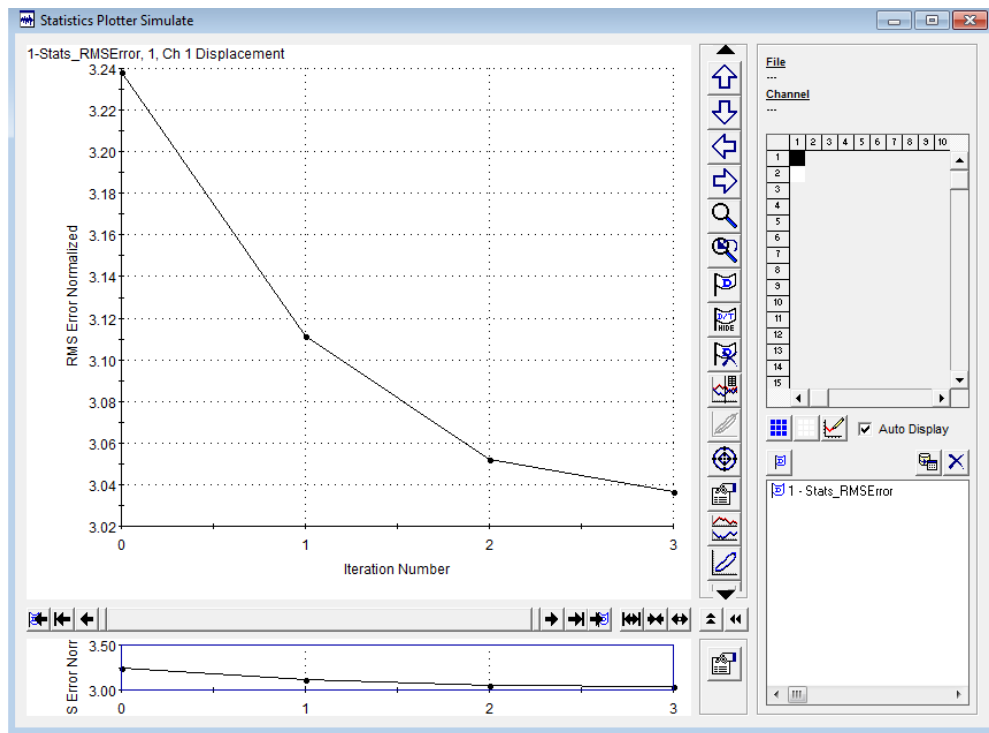


圖 A- 52 RMS 誤差趨勢

三、參考文獻

- [A-1] MTS Series 793 Control Software, MTS Systems Corporation, (2014)
- [A-2] MTS Model 793.10 Multipurpose TestWare and Series 793 Application software, MTS Systems Corporation, (2014)
- [A-3] STEX Pro(Seismic Test Execution) Software User's Manual, MTS Systems Corporation, (2014)
- [A-4] STEX Pro Software Reference, MTS Systems Corporation, (2014)
- [A-5] 賈博宇,「振動台效能對 PFCMD 即時複合實驗之影響探討」, 國立成功大學土木研究所, 碩士論文, (2016)