

出國報告（出國類別：其他）

## 赴日本參加 GEOMATE 國際研討會並 參訪東京工業大學出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：陳麒任 助理研究員

謝孟修 助理工程師

派赴國家：日本

出國期間：104 年 11 月 15 日~104 年 11 月 21 日

報告日期：104 年 12 月 16 日



## 摘 要

本所執行台電公司委託之「營運中核能電廠地質穩定性及地震危害度在評估計畫」之技術服務計畫，於 104 年 11 月 15 日至 11 月 21 日執行赴日本觀摩地震法規執行現況工作，執行方法為參加研討會及參訪。參與第五屆國際大地、營建材料暨環境研討會 (Fifth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, GEOMATE)，蒐集地震、海嘯、隧道工程、土木工程國際研究成果資料，並以海報發表本所地震研究成果。另外，亦訪問東京工業大學建築環境所盛川仁教授，並參訪隔震建築(isolated building)，進行技術交流，並蒐集該建築在 2011 年東日本大地震後的研究資料。本次國外公差在 GEOMATE 研討會獲益良多，實際交流議題包含明隧道的頂拱出的隧道緩衝防護層材料試驗研究，日本目前所採用的 EPS 工法，未來若能引進台灣於公共空程上使用，可有效降低隧道的建造及維護成本，將 EPS 材料用於許多公共工程的保護及緩衝接合；了解阿爾卑斯地震帶的地震及海嘯空間研究；了解土壤液化後，單樁及群樁的自然頻率與阻尼值之變化，有助於工程設計上考量液化設計時可採用。在東京工業大學亦建立學術交流管道及人脈，認識盛川仁教授的博士生 Dr. Liyama。建議本所未來可進行地震引致岩體裂隙位移實驗研究，加強技術宣傳或行銷，隔年度邀請盛川仁教授參訪。

# 目錄

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 摘 要.....                                                                                                                                   | i  |
| 目錄.....                                                                                                                                    | ii |
| 一、目的.....                                                                                                                                  | 3  |
| 二、過 程.....                                                                                                                                 | 5  |
| (一) 參加國際大地、營建材料暨環境研討會(GEOMATE).....                                                                                                        | 5  |
| 1. Experimental EPS-base shock Absorbing Material for the Rock-shed.....                                                                   | 7  |
| 2. Earthquake and spatial tsunami modelling for the south Java coastal<br>area-Indonesia.....                                              | 10 |
| 3. Simulation of damping ratio and elastic modulus changes during the<br>earthquake occurrence in a sandy slope by numerical modeling..... | 15 |
| 4. Stability of Undrained Twin Circular Tunnels.....                                                                                       | 19 |
| 5. Effect of Soil Liquefaction on The natural Frequency and Damping of Pile<br>Supported Structure.....                                    | 22 |
| (二) 參訪東京工業大學隔震建築.....                                                                                                                      | 25 |
| 三、心得.....                                                                                                                                  | 33 |
| 四、建議事項.....                                                                                                                                | 35 |

## 一、目的

本所執行台電公司委託之「運中核能電廠地質穩定性及地震危害度在評估計畫」之技術服務計畫，鑑於日本曾有實際地震災害而具備豐富的經驗，原規劃計畫執行期間，需派員赴日本觀摩地震法規執行現況，以供計畫執行期間審查機關之參考，俾利未來國內法規之制定與推動。本次出國公差規劃參加國際大地、營造建材料暨環境研討會(GEOMATE)，此研討會包括地震及海嘯複合性災害議題，因此，可以蒐集國際上地震災害之相關研究，本所陳麒任助理研究員亦於研討會上以海報方式，發表本所最新地震研究。另外訪問東京工業大學盛川仁教授及參訪 J2、J3 隔震建築，了解建築基礎之隔震設計，並取得 2011 年東日本大地震時，隔震建築的地震加速度紀錄的論文，可供未來進行耐震評估分析之應用，公差地理位置如圖 1。

公差人員為陳麒任助理研究員及謝孟修助理工程師，陳員負責規劃執行技術內容，了解計畫目標與需求，謝員亦執行地盤反應分析多年，於地震危害度領域經驗豐富，專業知能足堪此任；對討論議題已有準備。與國際研討會同儕交流研究成果，有助於擴展本所之國際視野；可蒐集目前國際間累積之重要研究成果，並與與會專家討論交流，藉此了解最新國際技術，拓展計畫研究深度與地震危害度分析能力。



圖 1 公差地點為大阪國際會議中心及東京工業大學

## 二、過程

此行於 2015 年 11 月 16 日至 18 日參加國際大地、營建材料暨環境研討會(GEOMATE)，11 月 19 日為行程，從大阪坐新幹線希望號列車至東京，並於隔日 11 月 20 日，參訪日本東京工業大學。本次於 GEOMATE 國際研討會以海報方式(poster)發表本所地震危害相關研究的最新成果，並蒐集研討會資料及國際議題。在東京工業大學，和 Dr. Liyama 討論橫濱校區隔震示範建築，並進入建築物基礎參觀 Rubber bearing、Steel Damper 及 Oil Damper。

### (一) 參加國際大地、營建材料暨環境研討會(GEOMATE)

第五屆 GEOMATE 研討會本次於大阪國際會議中心舉辦，如圖 2，囊括的 17 項議題如下：

- Computational Mechanics
- Foundation and Retaining Walls
- Slope Stability
- Soil Dynamics
- Soil-Structure Interaction
- Pavement Technology
- Tunnels and Anchors
- Site Investigation and Rehabilitation
- Ecology and Land Development
- Water Resources Planning
- Environmental Management
- Public Health and Rehabilitation
- Earthquake and Tsunami Issues
- Safety and Reliability
- Geo-Hazard Mitigation
- Case History and Practical Experience

本次 GEOMATE 研討會陳麒任助理研究員發表地震研究成果，會場如圖 3，陳麒任與謝孟修在研討會期間，針對特定議題，分頭參與不同場次的會議室，俾資料蒐集最佳化，議題包括「Experimental EPS-base shock Absorbing Material for the Rock-shed」、「Stability of Undrained Twin Circular Tunnels」、「Effect of Soil Liquefaction on The natural Frequency and Damping of Pile Supported Structure」、「Earthquake and spatial tsunami modelling for the south Java coastal area-Indonesia」、「Simulation of damping ration and elastic modulus changes during the earthquake occurrence in a sandy slope by numerical modeling」，分別簡述於下列章節。

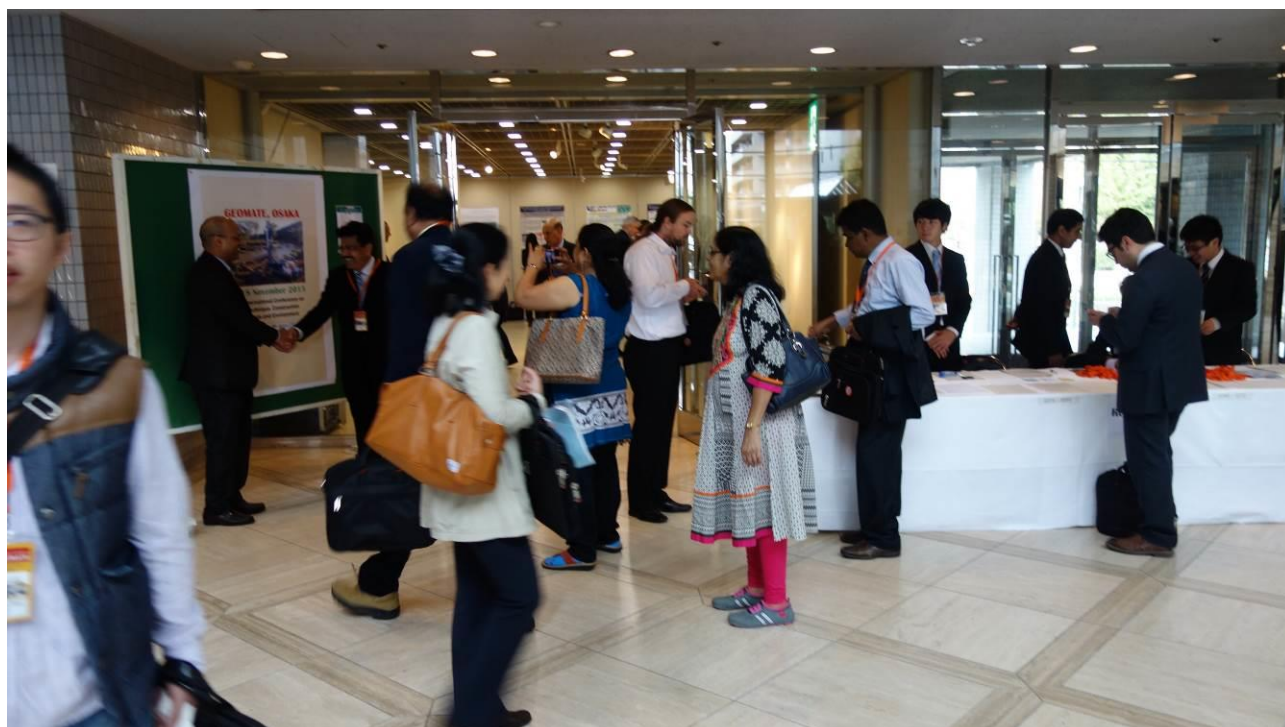


圖 2 大阪國際會議中心



圖 3 海報展場

## 1. Experimental EPS-base shock Absorbing Material for the Rock-shed

此篇海報論文主要針對明隧道的頂拱出的隧道緩衝防護層材料進行試驗研究，在台灣這類的明隧道多集中在東部，如蘇花公路或太魯閣的公路，在山路開挖邊坡、易造成土石掉落處，會設置這類明隧道，但就台灣的明隧道頂拱防護，幾乎都是以沙包搭配邊緣簡易的鐵絲網做為圍欄，對於小落石或鬆土崩落石，在隧道頂部結構上足以達到保護作用；但若是尺寸較大(大於 1 公噸以上之落石)，則會直接損壞到隧道頂部，對於隧道的結構及穩定性造成危害。

而在日本過去則一直使用約 0.9m 厚的砂層做為緩衝，但近期已逐漸採用聚苯乙烯的塊體 (EPS)作為隧道頂部的緩衝及保護層，但由於每次的落石掉落撞擊，都將損壞 EPS 的完整性，故需定期進行 EPS 更換，長期下來對於隧道維護上造成不少的開支。故此研究針對 EPS 的塊體進行改良，於將塊體外層先包覆一層鋼絲網做為圍束，在於塊體上方鋼製的格欄(如圖 4)，進行塊體掉落試驗，測試改良後之 EPS 的緩衝效果及耗損率。試驗主要以掉落的落石重量及高度換算為能量(位能)，並於 EPS 底部放置感測器，可量測隨掉落時間所接受到的衝擊力。

落石掉落試驗分三種能量(如圖 5)，分別為 DE1- 490.0kJ (重 2.5t 落距 20m)、DE2- 627.2kJ (重 3.2t 落距 20m)及 DE3-1029.0kJ (重 4.2t 落距 25m)，試驗結果(如圖 6)顯示三組改良後的 EPS 底部的衝擊力，皆較僅 0.9m 砂層對於隧道頂部衝擊力小，三組試驗都在約略相同的時間點有衝擊力的峰值，其中 DE1 及 DE2 於此峰值後衝擊力即逐漸消散，但 DE3 由於能量過大，於此峰值過後待落石回壓又出現第二次更高的峰值，且已有 EPS 損壞的跡象。結果顯示掉落能量在 490.0 kJ ~ 627.2 J 的能量 EPS 能有效的吸收能量不使隧道損壞，而能量大於 1029.0 kJ，EPS 可能無法完全吸收掉落能量，但仍可由隧道本身結構強度進行抵抗，而三組試驗皆較僅 0.9m 降低衝擊力超過 50%以上，圖 7為謝孟修先生及作者在海報展場討論。

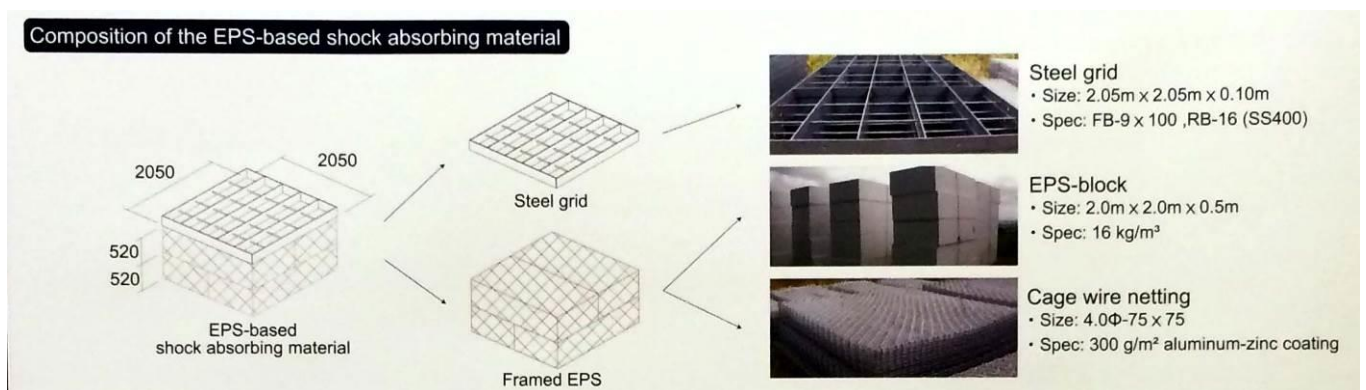


圖 4 EPS 組成材料與結構

## Impact Load Tests

### Method:

The impact load tests are carried out by dropping a block vertically onto a test specimen, which generate 490.0kJ (2.5t-20m), 627.2kJ (3.2t-20m), and 1029kJ (4.2t-25m) falling energies.

### Material:

Specimen composition:

- 0.5m thick sand cushion
- 6 pieces of bolt-connected steel grids
- Framed EPSs assembled in a 3x3 way and piled up crisscross with two layers

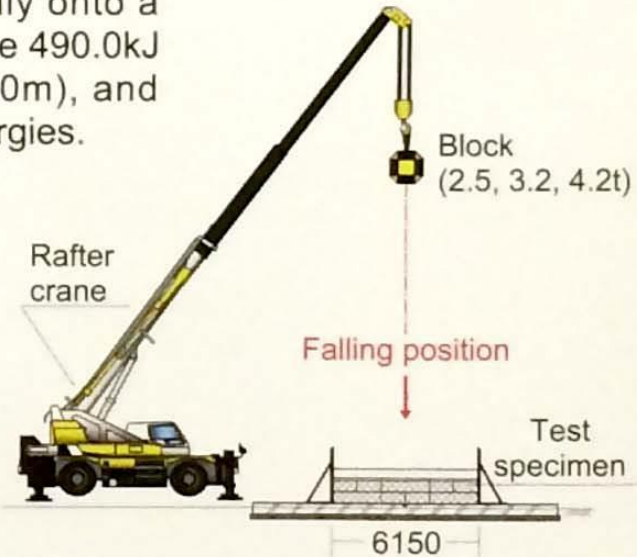
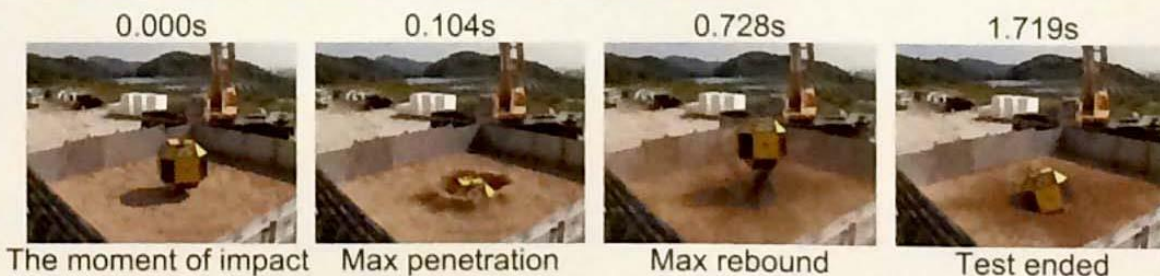


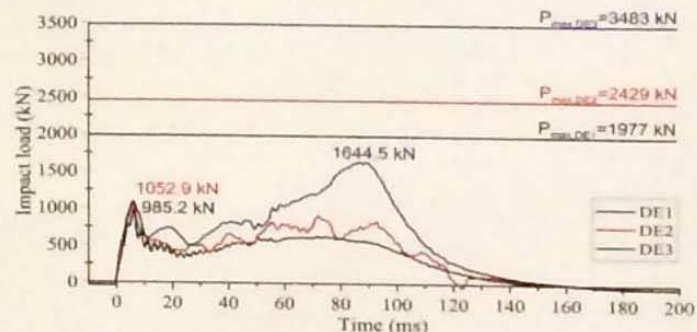
圖 5 EPS 不同能量落石掉落試驗

### Image of impact load test of case No. DE-1:



### Results:

1. The limit capacity of energy absorption amount in the EPS-based shock absorbing material was around 490.0~627.2 kJ.



2. The impact loads on the EPS-based shock absorbing material were 985.2, 1052.9, and 1644.5 kN, which indicated 50% less than on a 0.9m sand cushion calculated by the following empirical formula:  

$$P_{max} = 2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \cdot \alpha$$

圖 6 EPS 落石掉落試驗結果

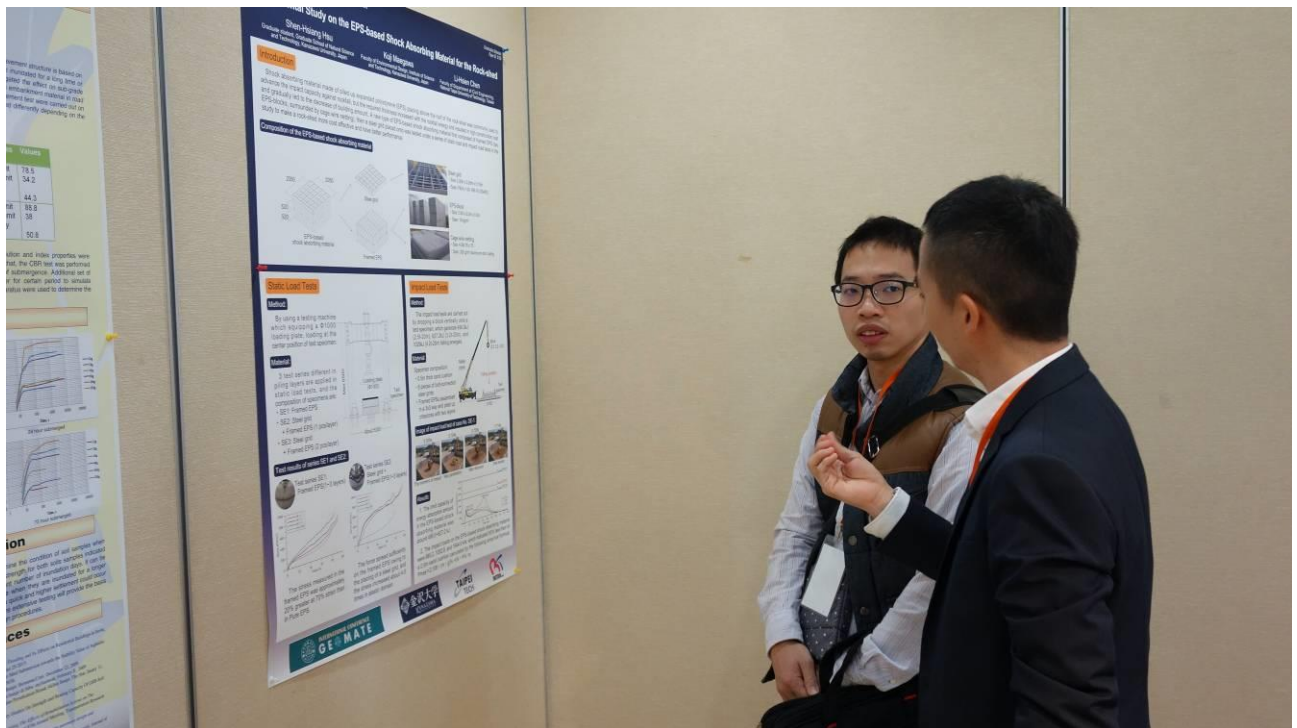
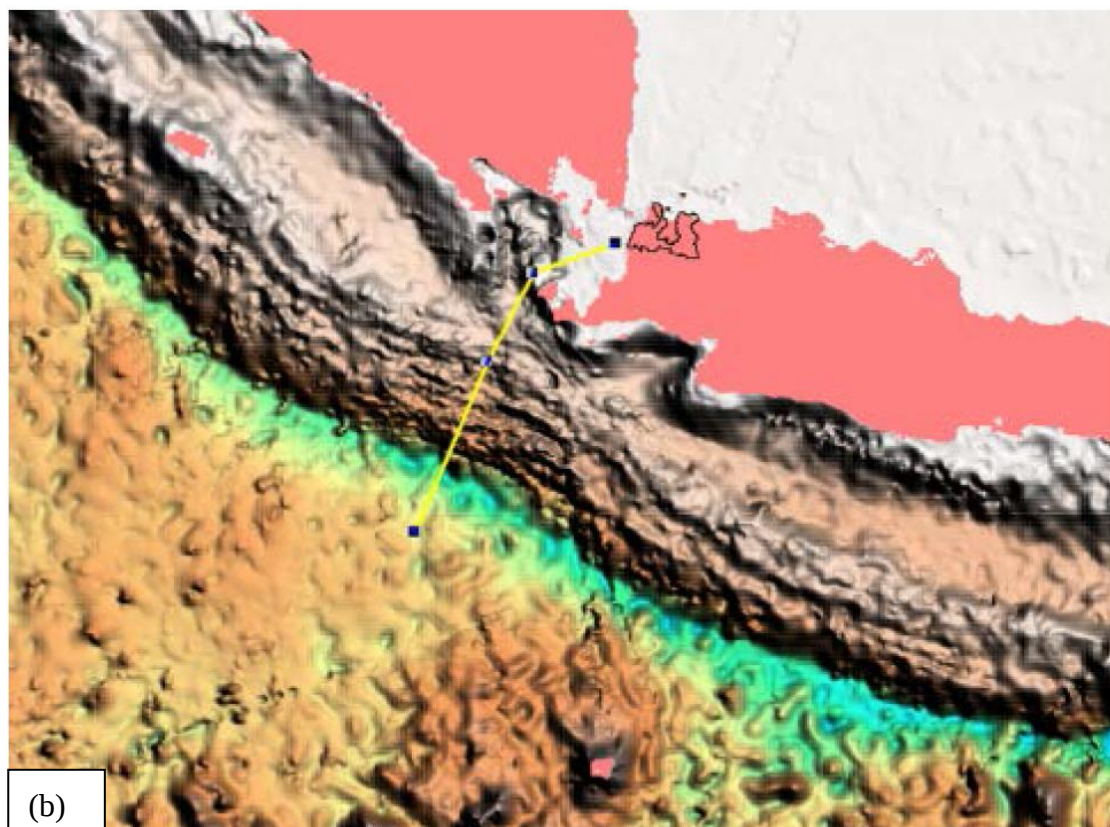


圖 7 討論 EPS

## 2. Earthquake and spatial tsunami modelling for the south Java coastal area-Indonesia

印尼為全球最大島國，位處於環太平洋地震帶跟阿爾卑斯帶(地中海-喜馬拉雅山火山地震帶)的交界處，換句話說，也正是因为位處於板塊構造相當活躍的地帶，由印度板塊及澳洲板塊隱沒到歐亞板塊之下，因而產生了由沿著爪哇海溝(隱沒帶)噴發的火山，構成的約 2500 公里長的島嶼陸地，印尼相當頻繁地受到火山、地震、海嘯等災害的影響。2004 年南亞海嘯事件，地震震央正是位於印尼蘇門答臘島西方 160 公里。

本次 GEOMATE 研討會，有來自印尼中爪哇迪波內戈羅大學的 Dr. Agus Hartoko，其研究題目為印尼南爪哇海岸的地震和海嘯空間模擬，如圖 8，使用 MIKE-21 軟體進行海嘯波模擬，結果顯示西蘭西部 231.63 公里沿岸(如圖 9)、班圖爾沿岸(如圖 10)、外南夢沿岸(如圖 11)受到海嘯的影響較大，其中萬丹西蘭地區剛好是人口最密集的地方，每公頃約 6413-8437 人，如圖 12。



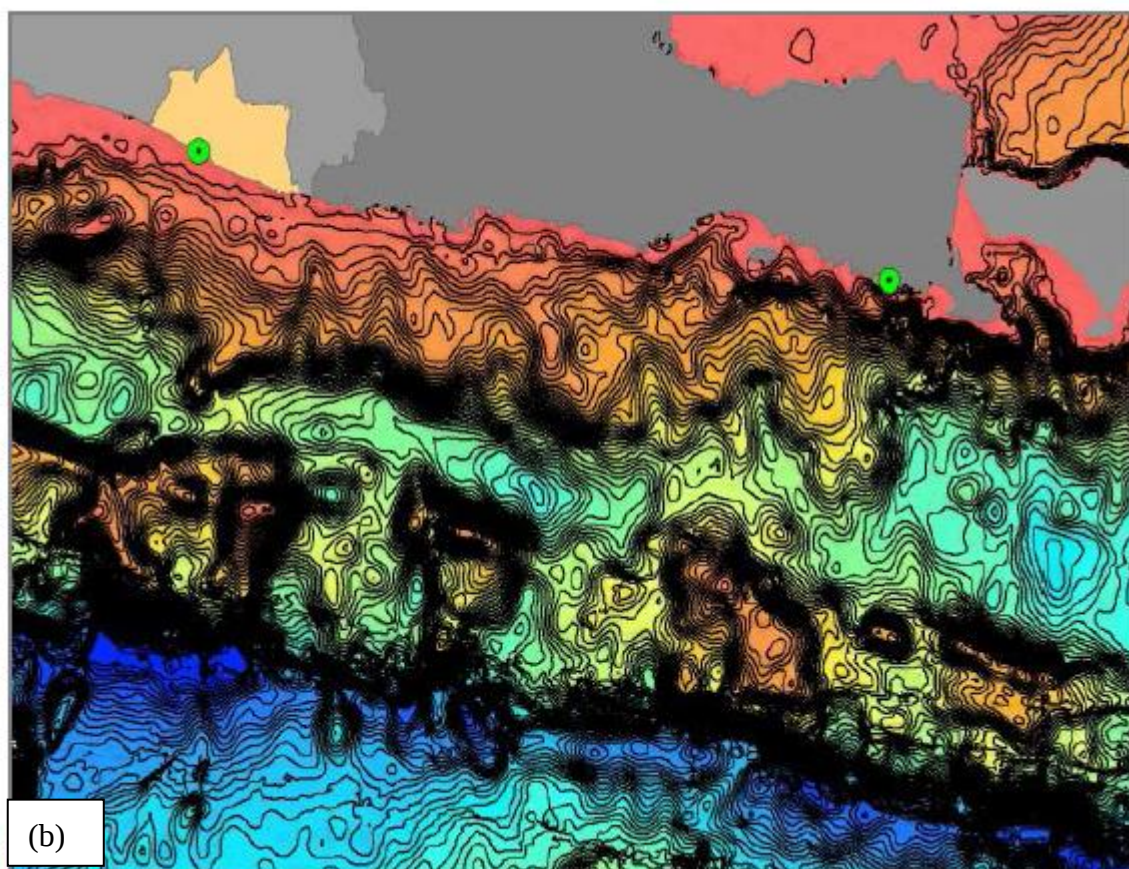


圖 8 研究區域(a) 西蘭沿岸，(b)班圖爾沿岸、外南夢沿岸 (摘自 Agus Hartoko et al. 2015)

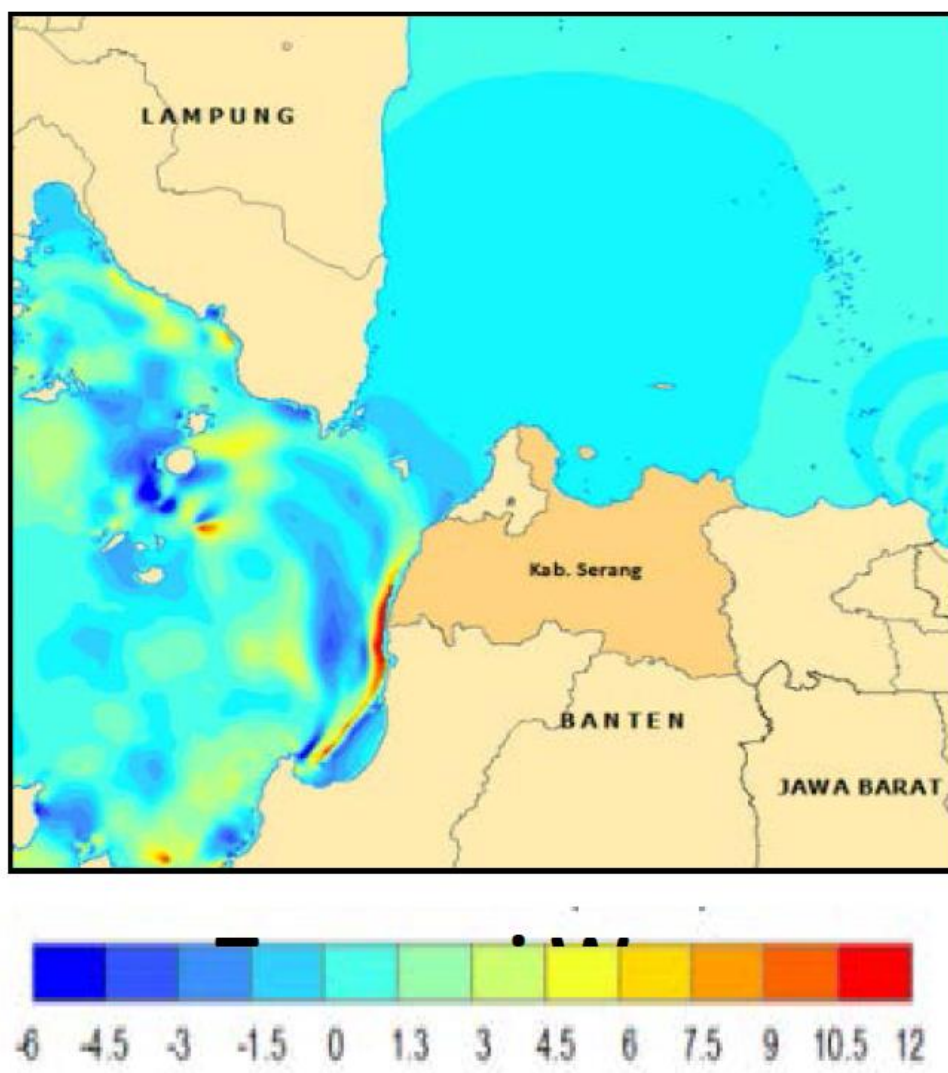


圖 9西蘭沿岸海嘯溯上高度分布圖 (摘自 Agus Hartoko et al. 2015)

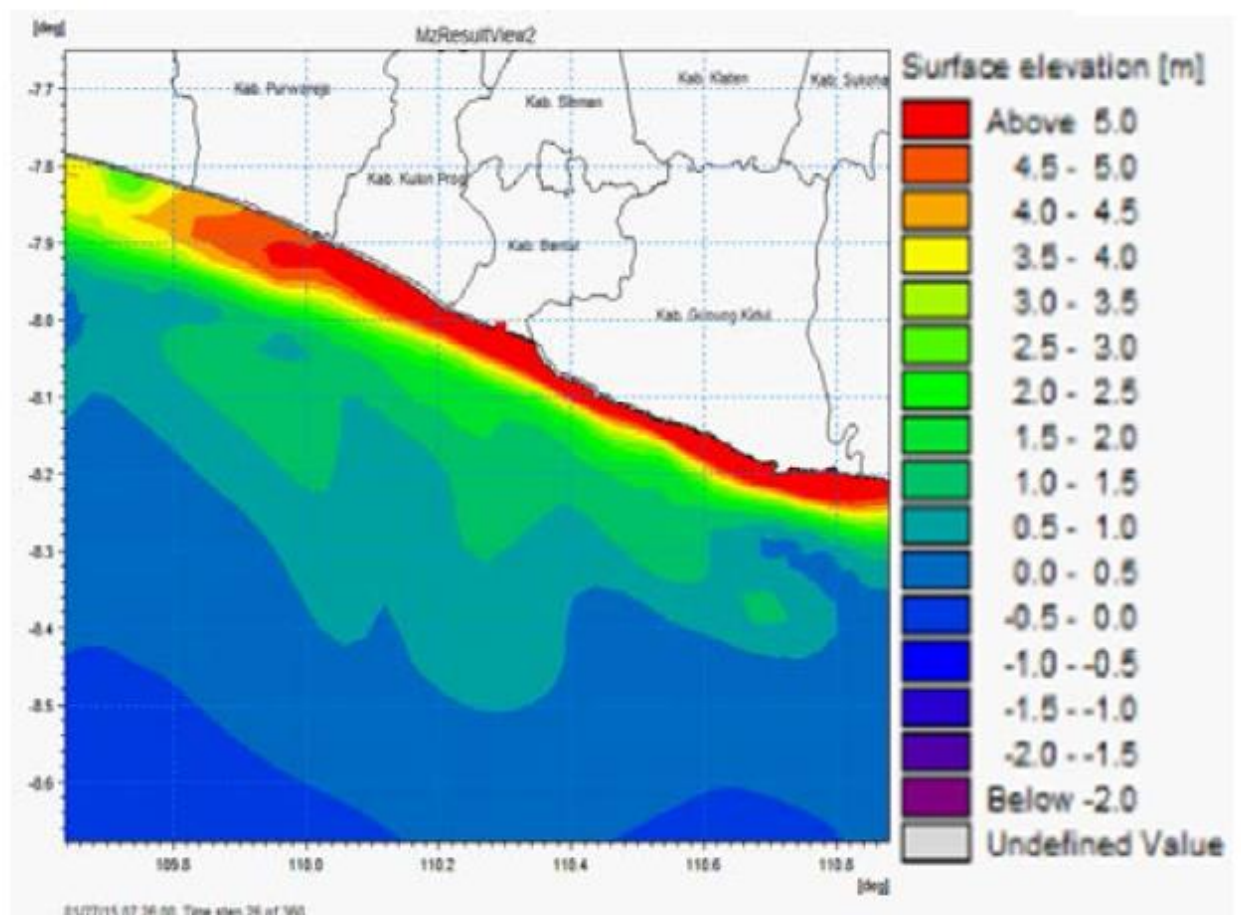


圖 10 班圖爾沿岸海嘯溯上高度分布圖 (摘自 Agus Hartoko et al. 2015)

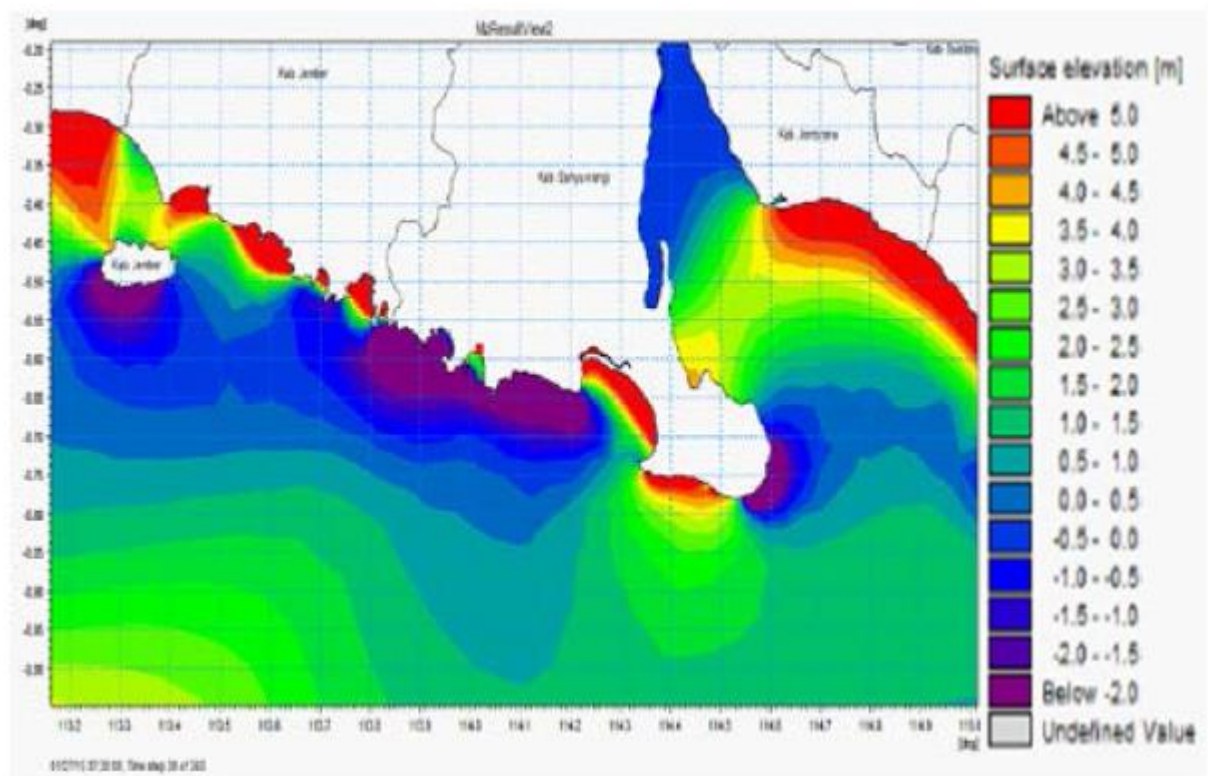


圖 11外南夢沿岸海嘯溯上高度分布圖 (摘自 Agus Hartoko et al. 2015)

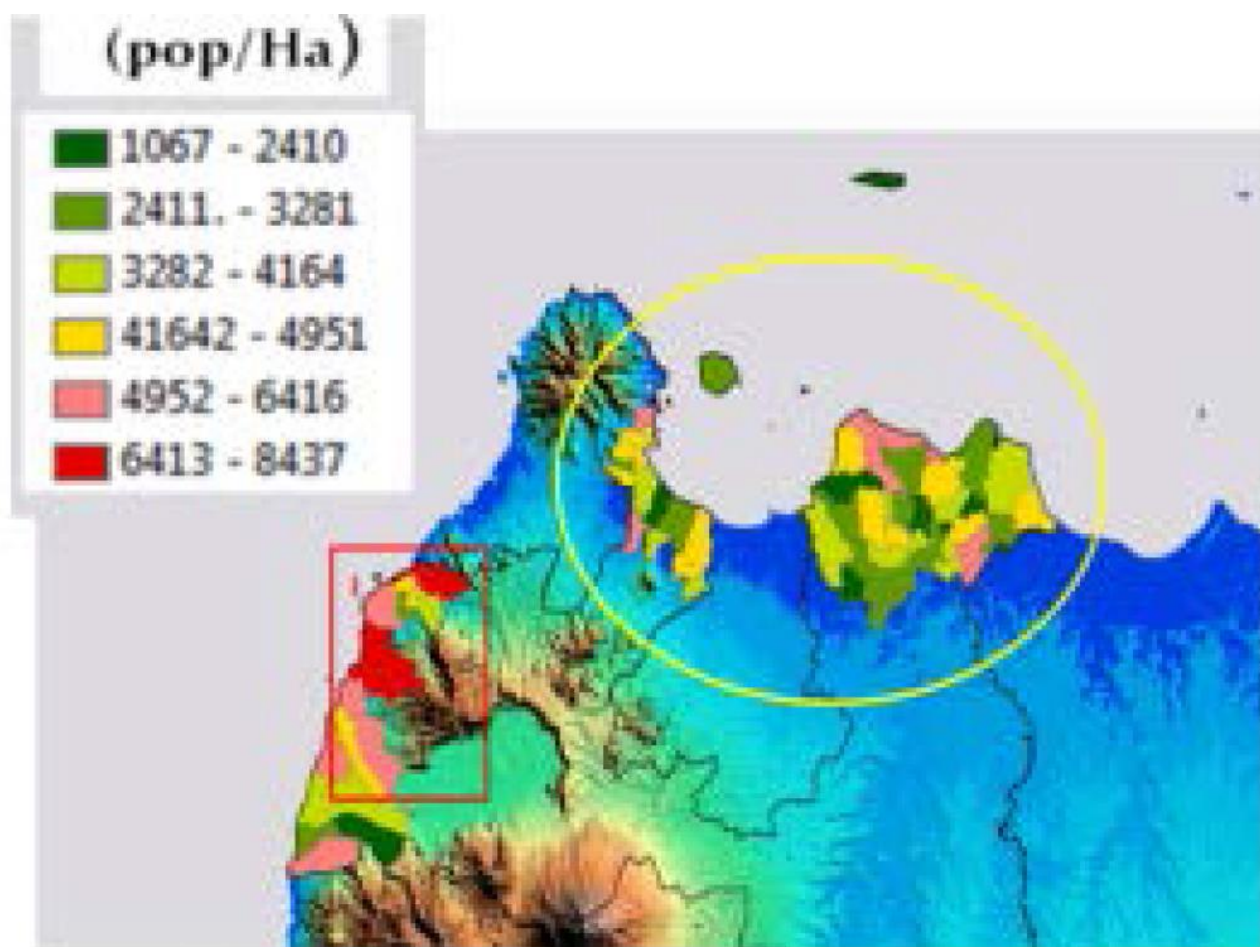


圖 12 萬丹西蘭人口密度圖 (摘自 Agus Hartoko et al. 2015)

### 3. Simulation of damping ratio and elastic modulus changes during the earthquake occurrence in a sandy slope by numerical modeling

此議題來自伊朗 Sharif 科技大學的地震研究，伊朗位於阿爾卑斯地震帶，介於歐亞板塊和阿拉伯板塊的碰撞帶，南邊亦有 Makran 海溝，因此，曾經發生地震矩規模 7.8 的地震，地震分布如圖 13，地震危害度如圖 14。

可以見得地震災害是伊朗所必須面臨的天然災害之一，而本議題主要探討的是複合型災害(地震引致山崩)模擬議題，所謂的複合型災害也就是地震所引發的後續天然作用，如海嘯、山崩、土石流等等。而伊朗國土以山脈、高原為主，較少平原、盆地，因此地震引致山崩研究是伊朗重要的研究課題之一。

此議題嘗試去比較數值模擬跟實驗室試驗結果，並以實驗室試驗去探討校正數值模型的驗證及分析。

室內實驗係以沙箱縮尺邊坡(圖 15)，布置加速度儀及 LVDT 的相對位置如圖 16，地震波使用簡諧運動 5 HZ，震幅 0.33g，25 個週期，來模擬 7.5-8.5 規模的地震。

數值模型使用的軟體是 ABAQUS 有限元素軟體，並且考慮隨著深度不同，土壤力學參數也會跟著改變，把土壤的彈性模數及阻尼比，分 3 層給予，土壤的彈性模數分別為 10、14、20 MPa，阻尼比有兩種，分別為 5、10、10 %及 5、10、15 %。在多次嘗試比對下發現，把最底層的土壤彈性模數設定為 20 MPa，把頂部土層的阻尼比設為 15 %最為符合室內實驗結果(如圖 17及圖 18)。

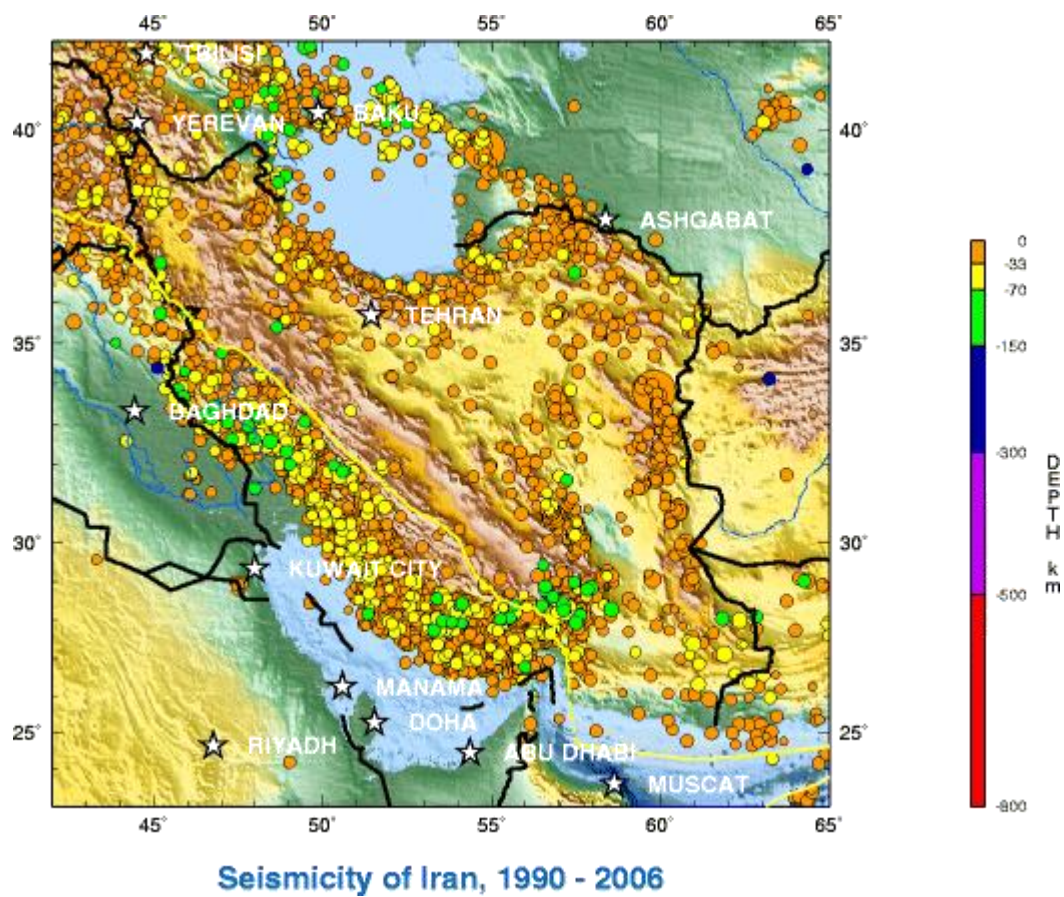


圖 13 伊朗地震分布圖(USGS)

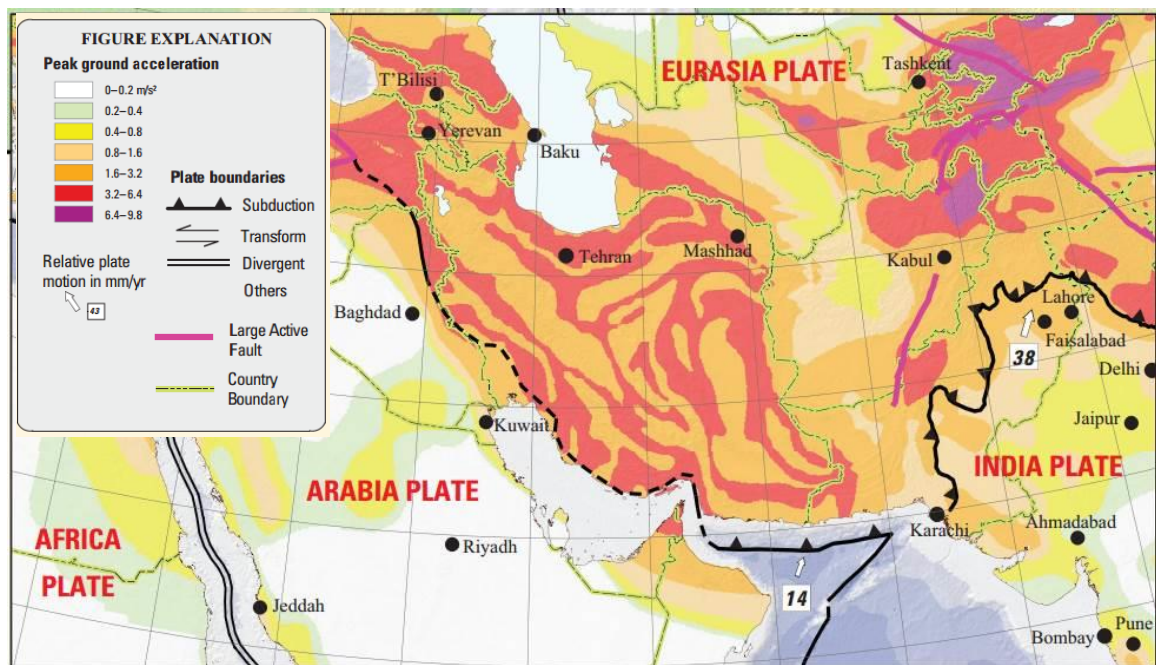


圖 14 伊朗地震危害度圖(USGS)



圖 15 沙箱邊坡 (摘自 Jafarzadeh, et al. 2015)

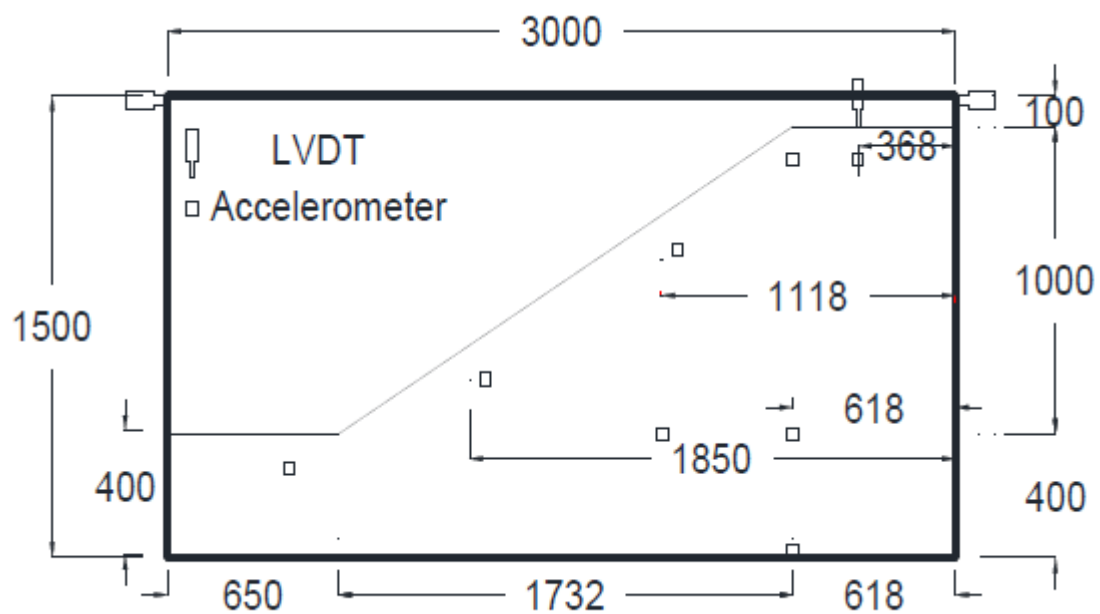


圖 16 沙箱感測器(加速度儀[accelerometer]及 LVDT)配置 (摘自 Jafarzadeh, et al. 2015)

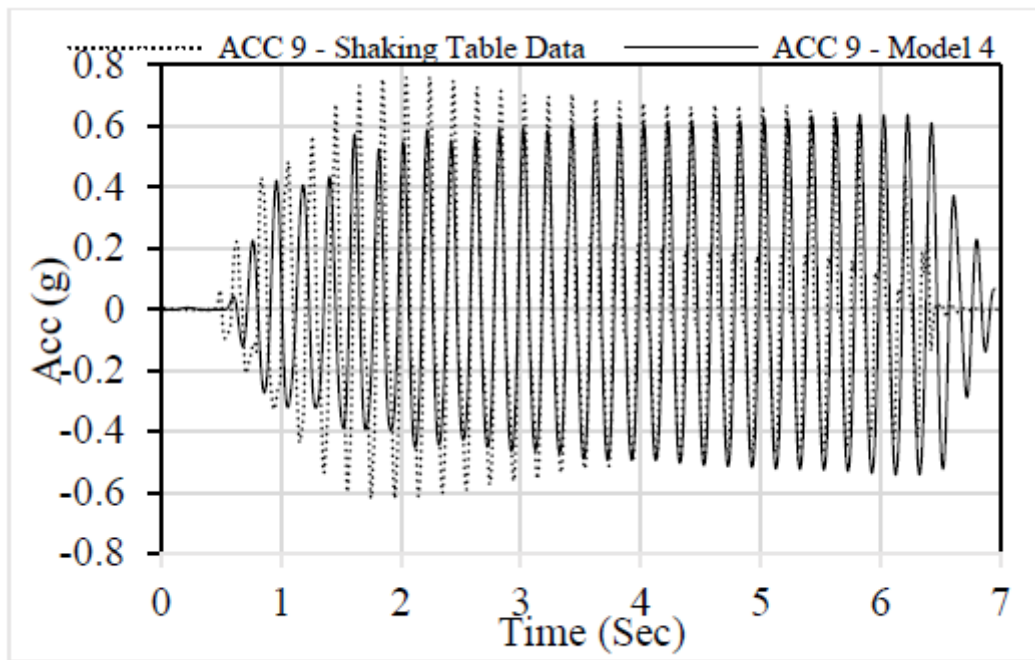


圖 17 ACC9 加速度比較(虛線為實驗，實線為模擬) (摘自 Jafarzadeh, et al. 2015)

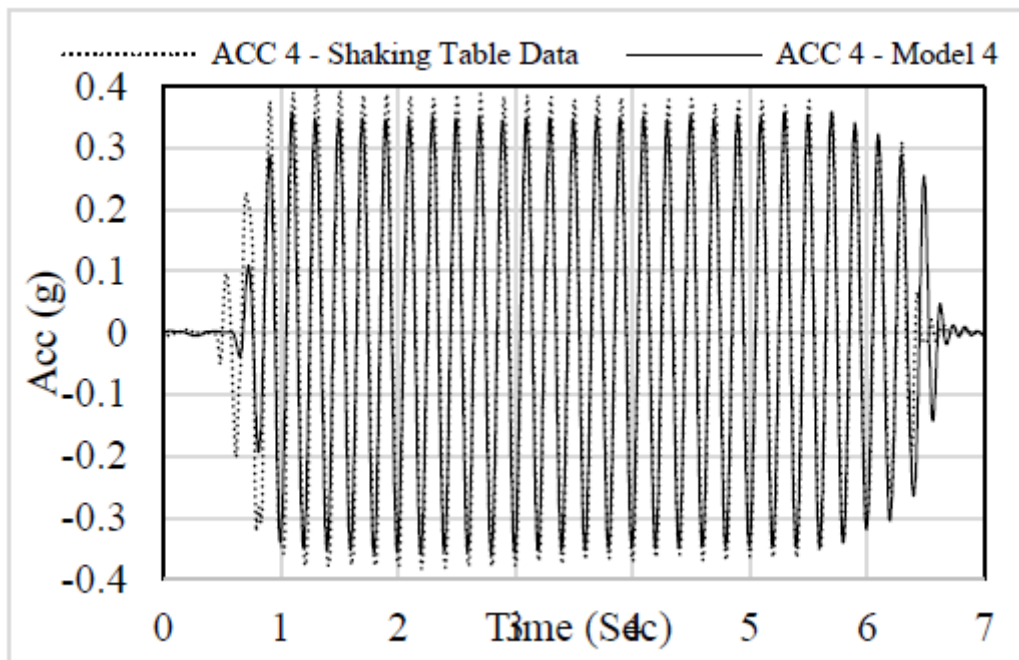


圖 18 ACC4 加速度比較(虛線為實驗，實線為模擬)((摘自 Jafarzadeh, et al. 2015)

#### 4. Stability of Undrained Twin Circular Tunnels

此研究以二維有限元素軟體，進行並行的雙隧道穩定性分析(如圖 19)，相對於一般隧道數值穩定分析，最大的不同在於所用的材料性質是採塑性分析，分析案例為黏性土壤摩擦角維  $0^\circ$ ，並以 Uper bound 及 lower bound 的概念做為安全係上下限的範圍，安全係數則分別與深度、隧道間距及材料地不排水強度等參數據有關連性，探討範圍包含深度為 1~6 倍的隧道直徑，隧道間距為 1~14 倍的隧道直徑，不排水建立強度為 0.05~2 倍的現地應力。研究結果顯示，隧道深度越深安全係數將隨之降低，則安全係數也隨之提高，不排水.1 剪力強度越高隧道間隔越遠安全係數則越高，但相對的越深的雙隧道間距對於安全係數之影響則漸減(如圖 20)，而隧道間距也將影響隧道之破壞型態，當間距較近時隧道將較易發生雙隧道破壞(如圖 21)，而間距較遠彼此影響之效應漸減則較易發生單隧道破壞，此一間距之臨界歲深度而遞增(如圖 22)。

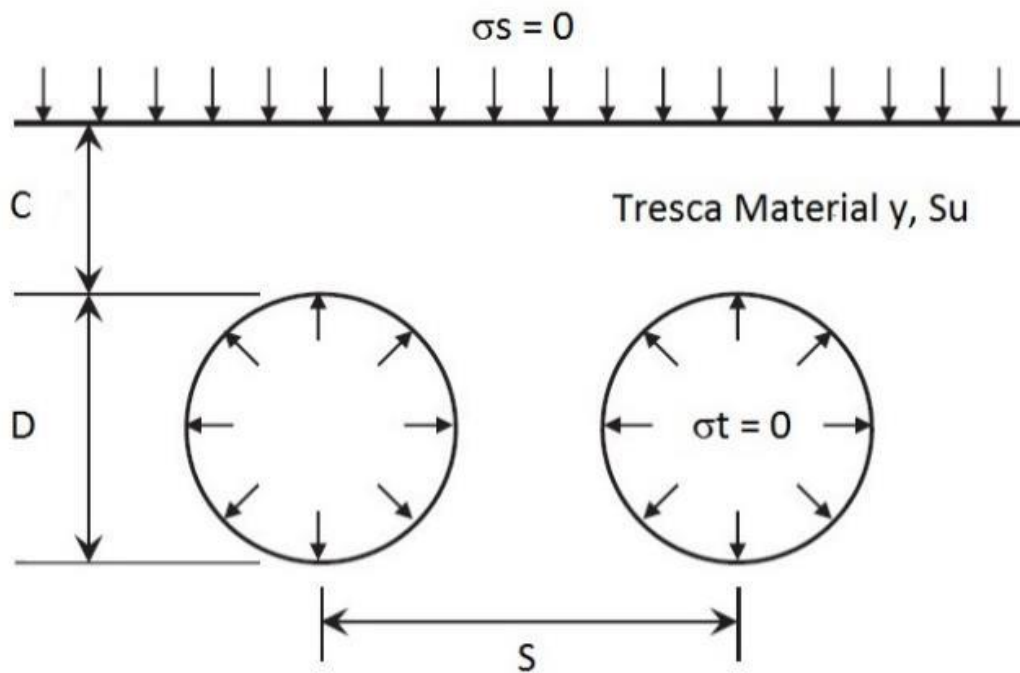


圖 19 雙隧道相關參數圖

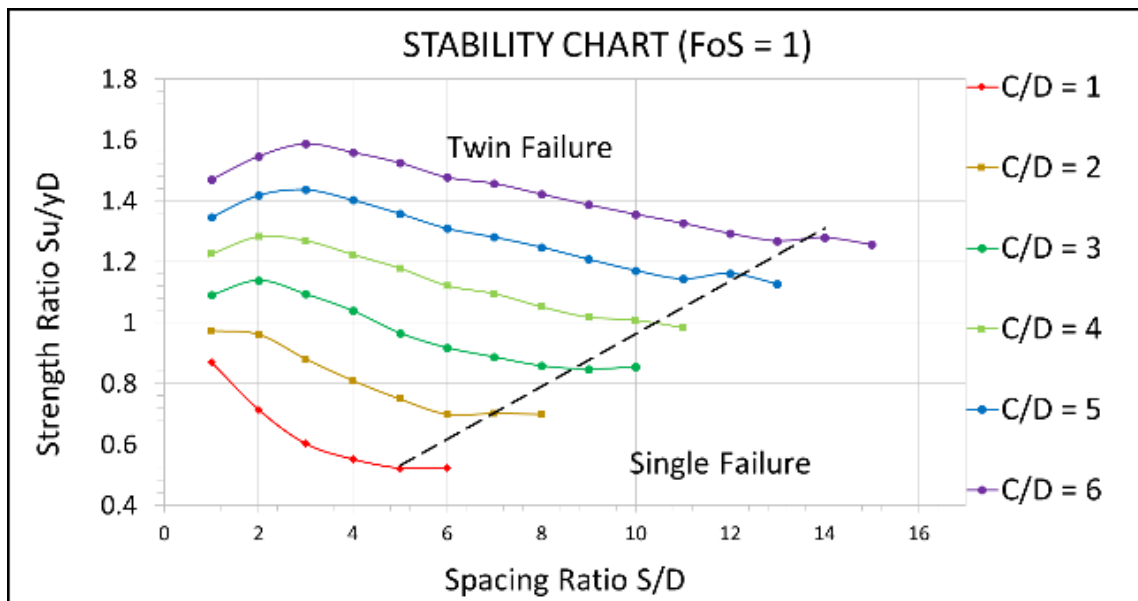


圖 20 破壞狀態之各項參數關係圖

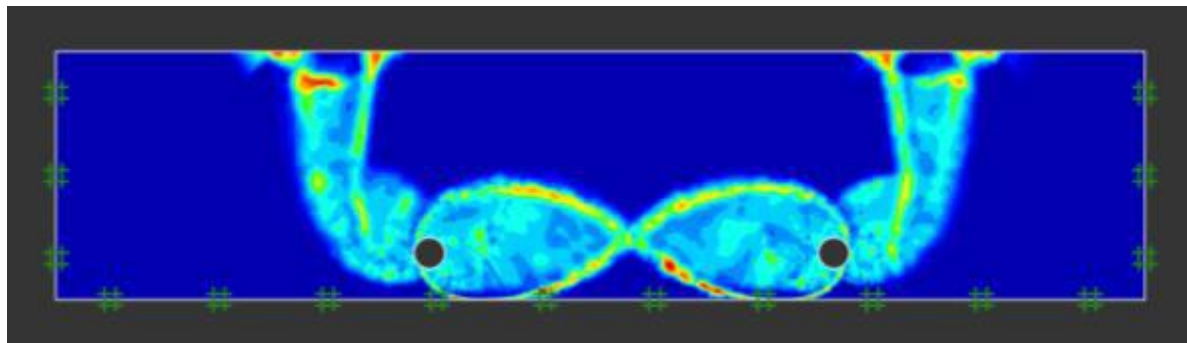


圖 21 雙隧道塑性破壞圖

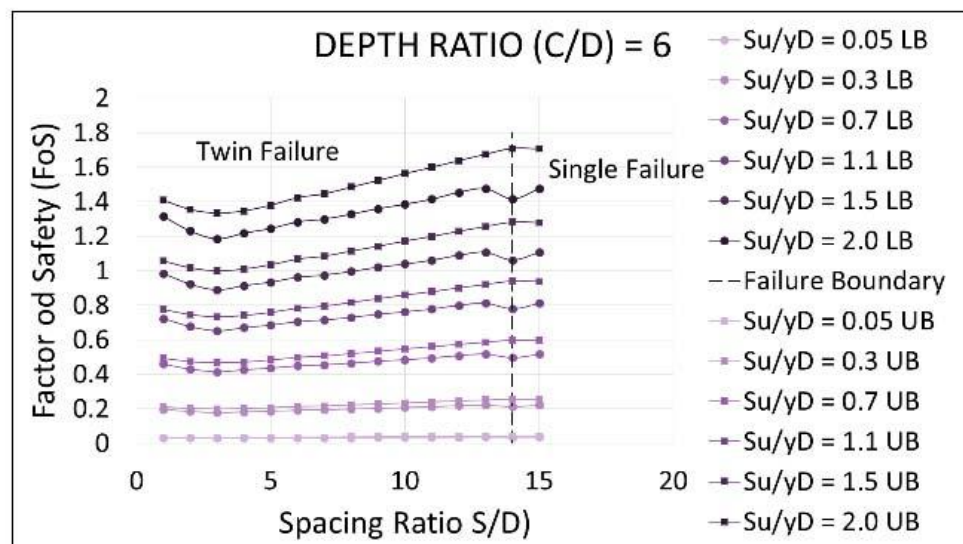
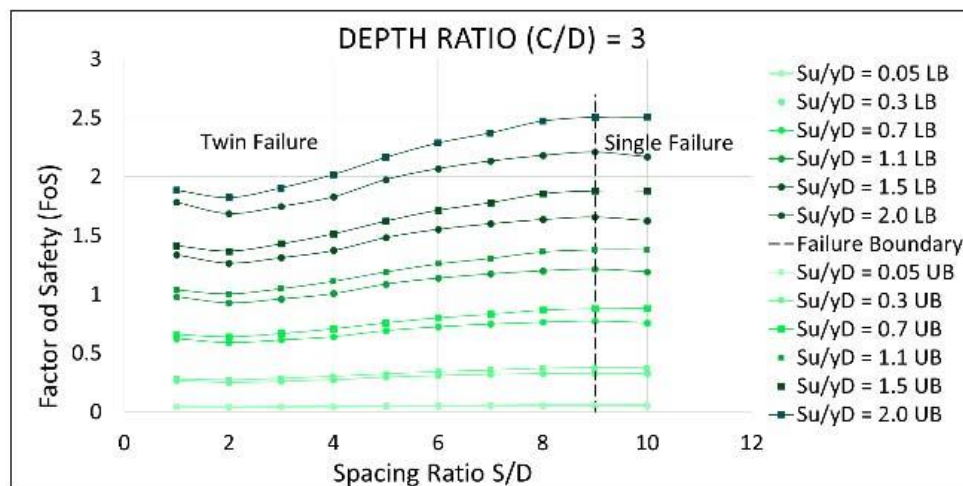
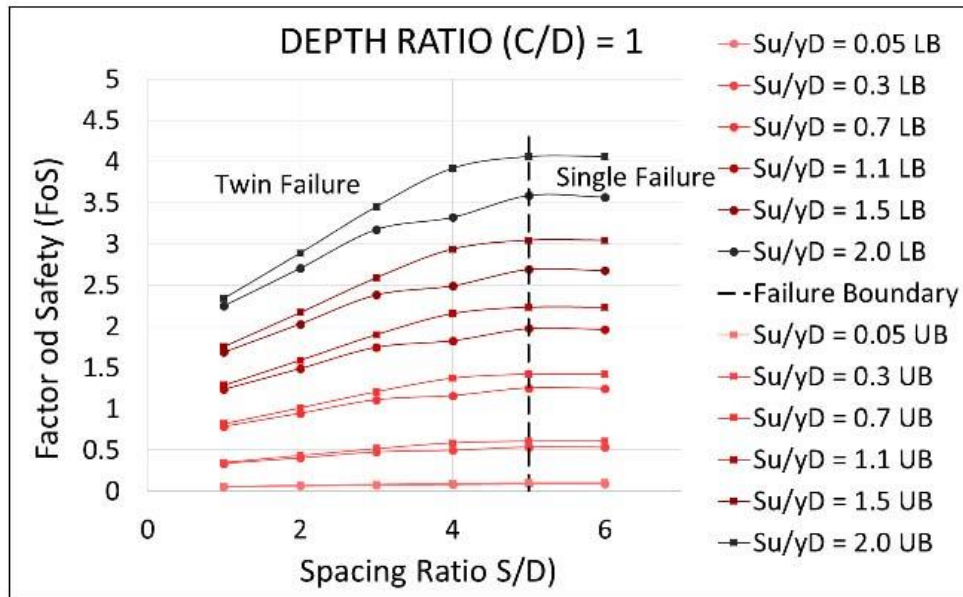


圖 22 隧道破壞型態臨界深度圖

## 5. Effect of Soil Liquefaction on The natural Frequency and Damping of Pile Supported Structure

此研究採用 1g 的單樁及群樁於震動台進行受震液化試驗(如圖 23)，並討論於受震後液化時支撐結構的動態行為，即自然頻率與阻尼反應，所採用的試驗樁，分別有單樁及群樁，並考量上部有結構質量及上部無結構質量，實驗的目的在於量測這四種不同的基礎(如圖 24)於各種孔細水壓即完全液化的條件下自然頻率與阻尼的變化。

試驗結果顯示(如圖 25)，當土壤發生液化後四種樁基礎的自然頻率都有下降的趨勢，而阻尼值也有明顯的上升，而液化後之加速度反應譜也較液化前有明顯降低的趨勢(如圖 26)。故液化的影響將使得樁的自然頻率降低，而阻尼值將隨著液化後增加超過 20%，故此一現象對於低週期(高頻率)的結構體或建築物，將有明顯的降低譜加速度的效果。

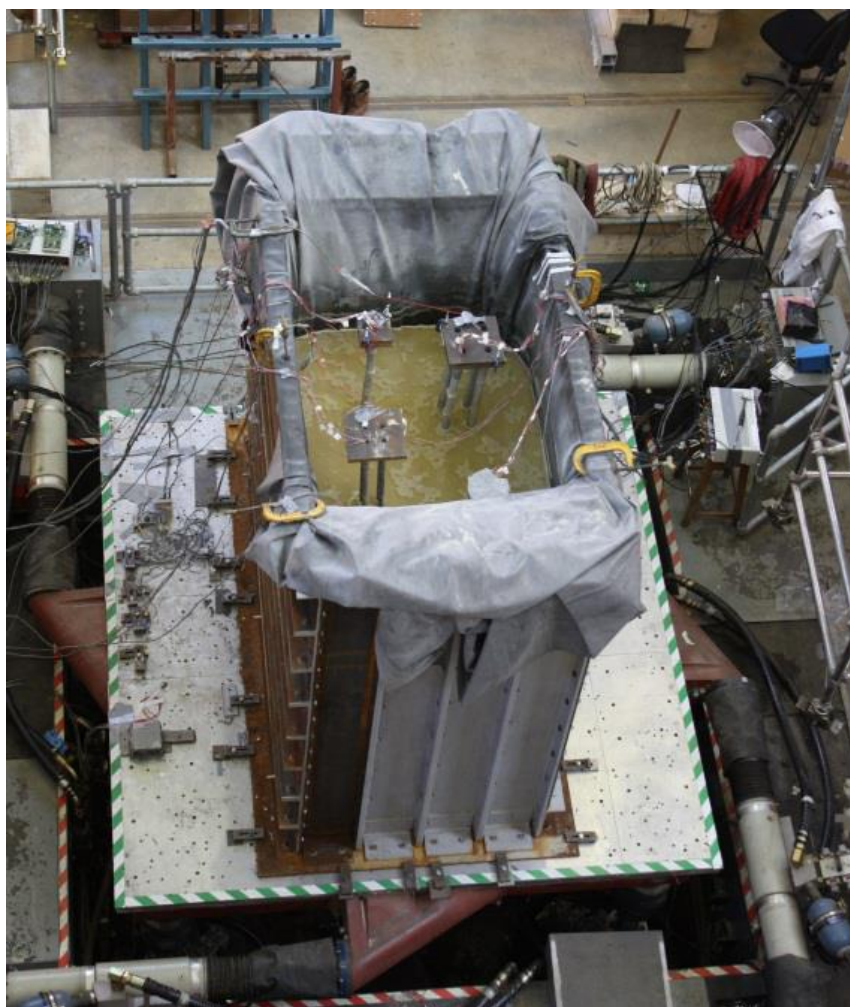


圖 23 振動台試驗及四種試驗裝配置

| Model ID      | Outer diameter<br>[mm] | EI<br>[Nm <sup>2</sup> ] | Pile-cap weight<br>[kg] |
|---------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Single pile 1 | 25.4                   | 294                      | 1.9                     |
| Single pile 2 | 41.275                 | 1305                     | 8.44                    |
| Group pile 1  | 25.4                   | 294                      | 13.08                   |
| Group pile 2  | 41.275                 | 1305                     | 22.72                   |

圖 24 兩組單樁及兩組群樁之參數

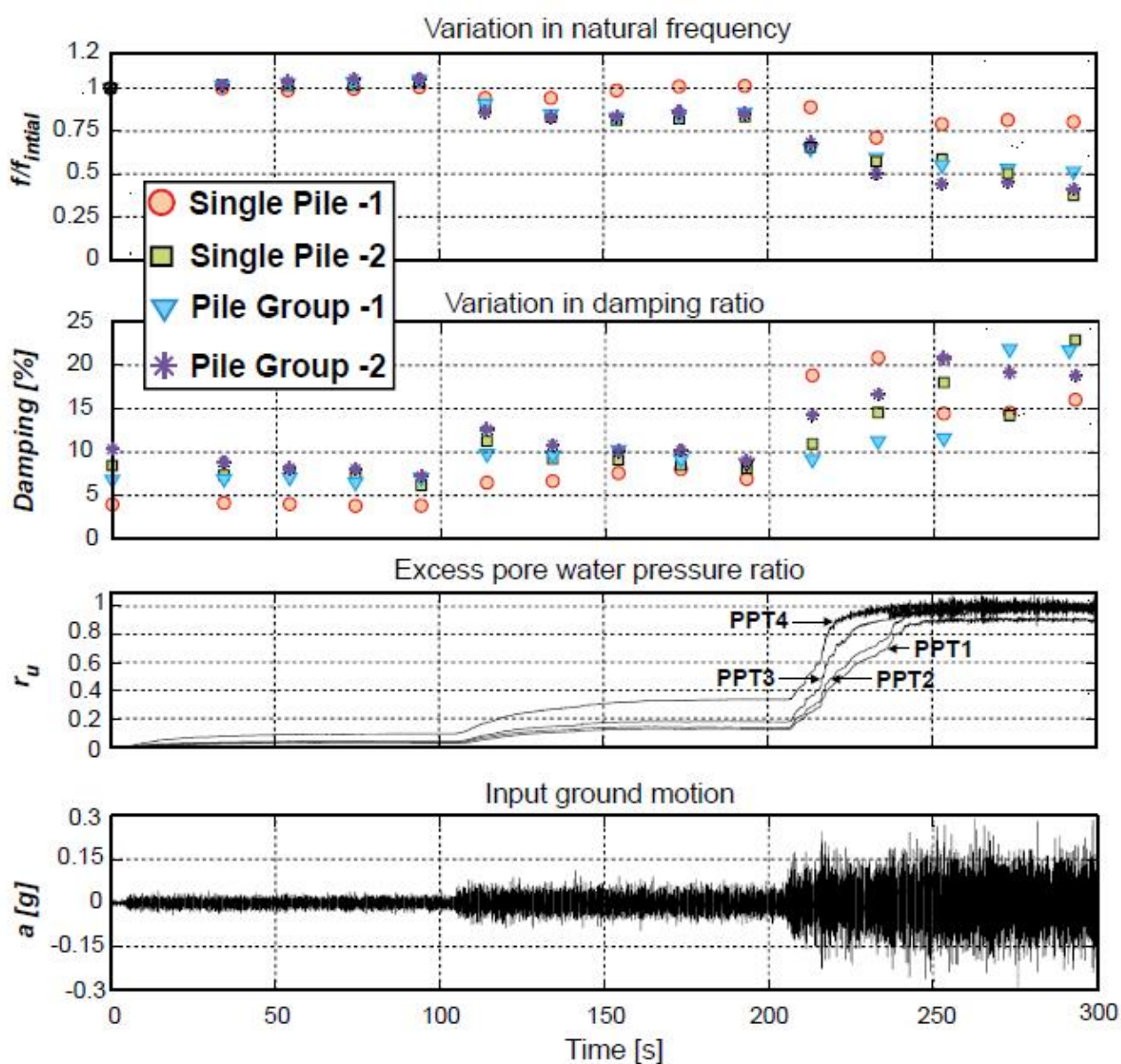


圖 25 受震後之自然頻率及組尼值之變化

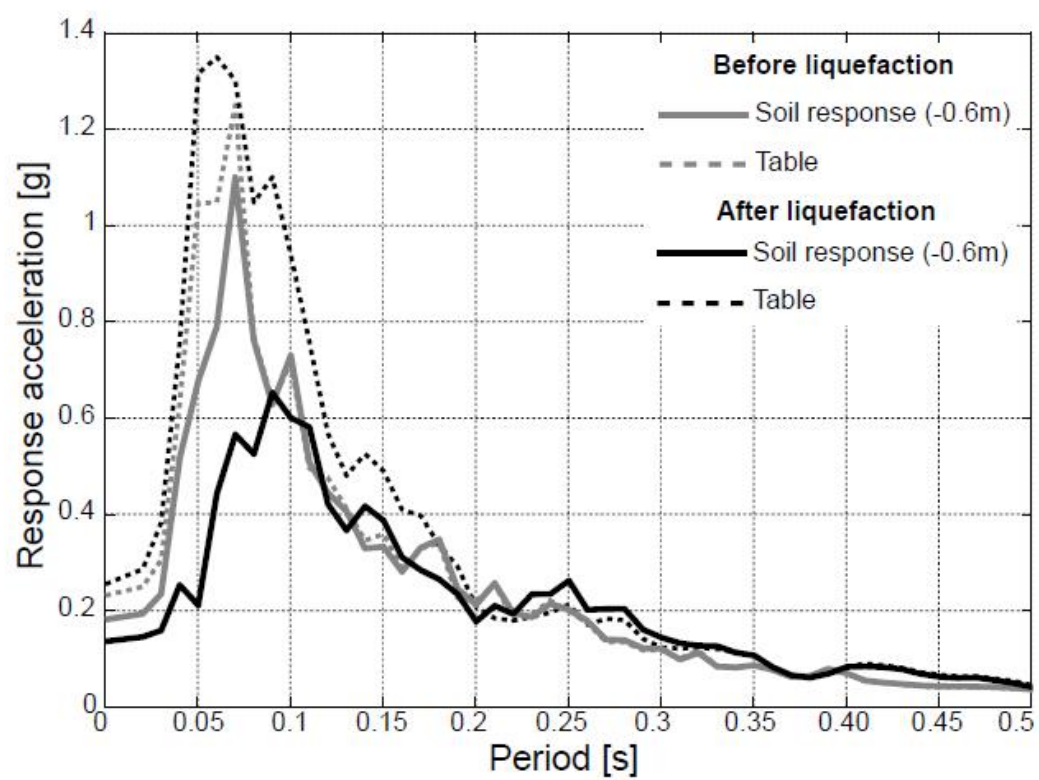


圖 26 受震前後加速度反應譜之變化

## (二) 參訪東京工業大學隔震建築

本次行程安排拜訪東京工業大學(圖 27)盛川仁教授，但由於這段期間盛川仁教授在國外參加學術會議，故此次的參訪由盛川仁教授的助理 Dr. Liyama 帶我們參訪(如圖 28)橫濱校區的隔震建築(Isolated Building)，橫濱校區的 J2 及 J3 樓。

J2 建築總樓層 20 層，高 91 公尺，建於 2005 年，結構扁平(長寬比為 5)，J3 建築是在 J2 完成後才建造的，並以栓的方式跟 J2 建築連結。

J2 及 J3 大樓為橫濱校區隔震示範建築，建物的主要的柱都由隔震阻尼與基礎連接而非一般的基礎固接的方式，而阻尼器有多種形式，分別為 Rubber bearing、U-shape steel damper 及 Oil damper，分別分布於兩棟建築的特定位置，進行特定方向及外力的阻隔，而所有隔震阻尼的配置，皆根據原始力學分析的結果進行配置。阻尼器和柱的組合方式，依據不同的支撐需求而有所不同，由於 Rubber bearing 無法承受拉伸，因此在建築物的四個會發生拉伸的角落 Rubber bearing 加上 conical spring 的設計，因此，Rubber bearing 可以抬升(up-lift)來避免大地震而導致的拉伸力，如圖 29。大部分設計是由 Rubber bearing 和 4 支相互垂直的 U-shape steel damper 所組成(圖 30)。少部分為 4 支相互垂直的 U-shape steel damper(圖 31)、Rubber bearing 和 2 方向 U-shape steel damper 所組成(圖 32)。

透過 steel damper 作為能量消散的設施，隔震樓板可以看見雙線性的自然反應，如圖 33，因此可以有效的抵擋大地震的威脅。

除了基礎的阻尼外，完整的隔震建築亦需組閣可能由地表傳遞過來來的震動，故於建築物與地邊的銜接處並非完全接合，而是透過一可動的的摺疊地板(如圖 34)，可與受震時收摺，避免地震波由地表傳遞到建築物，另外還配置有可伸縮作動的欄杆與地面銜接(如圖 35)，受震時可伸縮及轉動進行震波的隔絕。

由於 J2 及 J3 大樓為隔震示範建物，故於基礎及建物各處皆有埋置感測器，可量測受震時的位移及加速度，不分基礎底部除感測紀錄器(圖 36)外亦有震動軌跡測繪的平板(如圖 37)，可於受震後拆下紀錄震動的軌跡，而於 311 福島地震，此建築物更完整記錄下基礎及建物各處的地震歷時，記錄結果顯示，儘管隔震建築於受震時的位移量和減震建築差距不大，但隔震建築的加速度 PGA 僅一般減震建築的一半，如圖 38。以 J2 為例，分為 20 層樓，受震時的基礎與頂樓地受震反應不同，震波傳遞到頂樓皆有放大效應，但隨著地震震度增加，頂樓放大的幅度則隨之遞減，充分達到阻隔大地震對於高樓層建物的損壞。



圖 27 東京工業大學橫濱校區

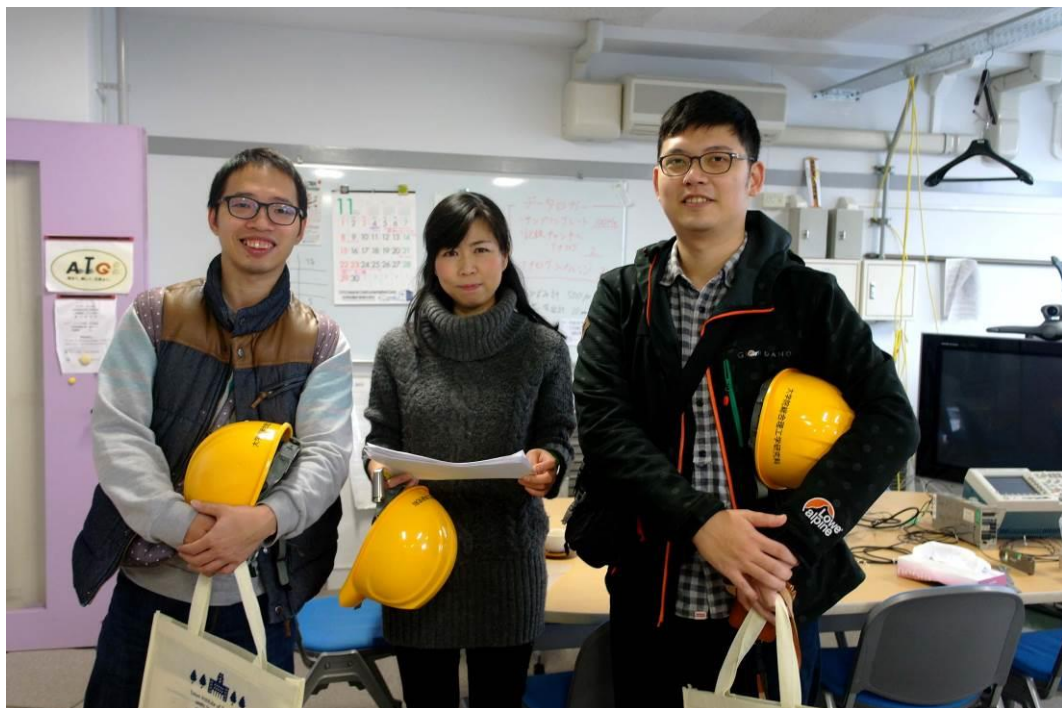


圖 28 參訪東京工業大學與 Dr.liyama 合影

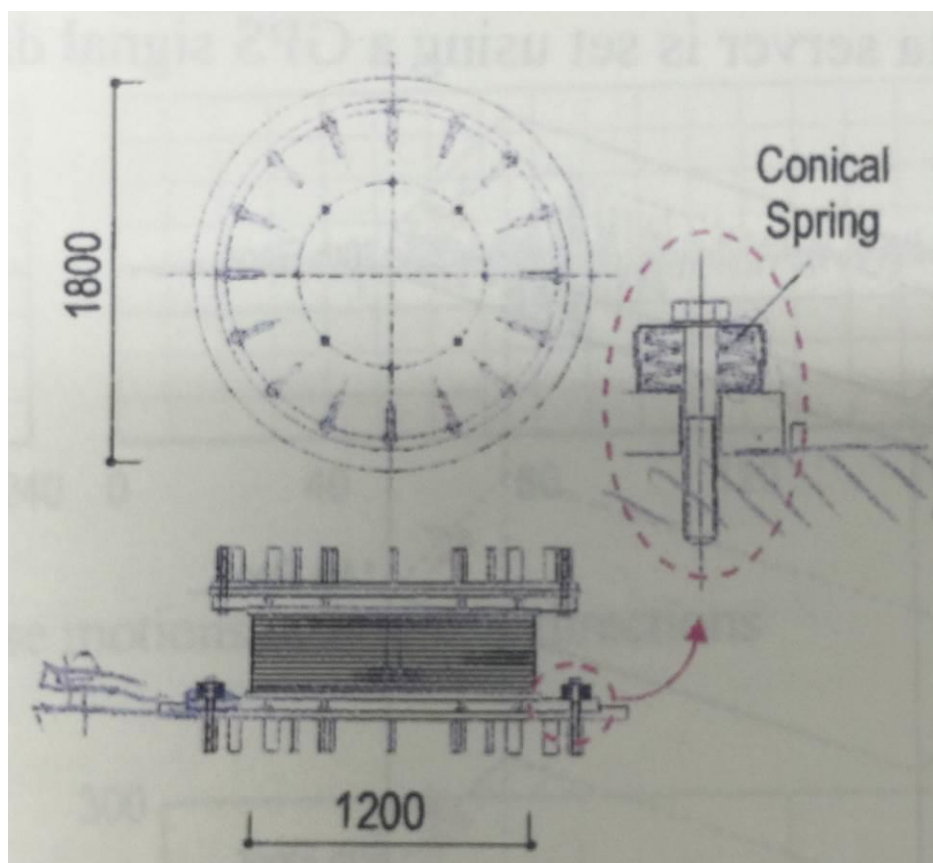


圖 29 Conical spring



圖 30 Rubber bearing 和 4 支相互垂直的 U-shape steel damper



圖 31 僅 U-shape steel damper



圖 32 Rubber bearing 和 2 方向 U-shape steel damper

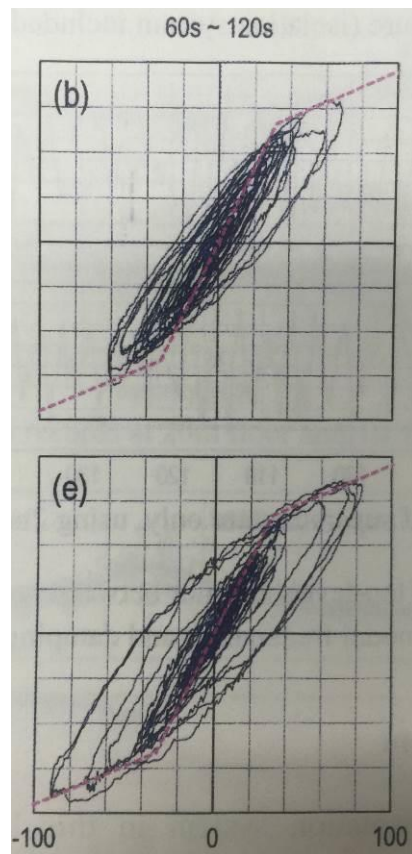


圖 33 U-shape steel damper 跟 rubber bearing 的雙線性變形功能

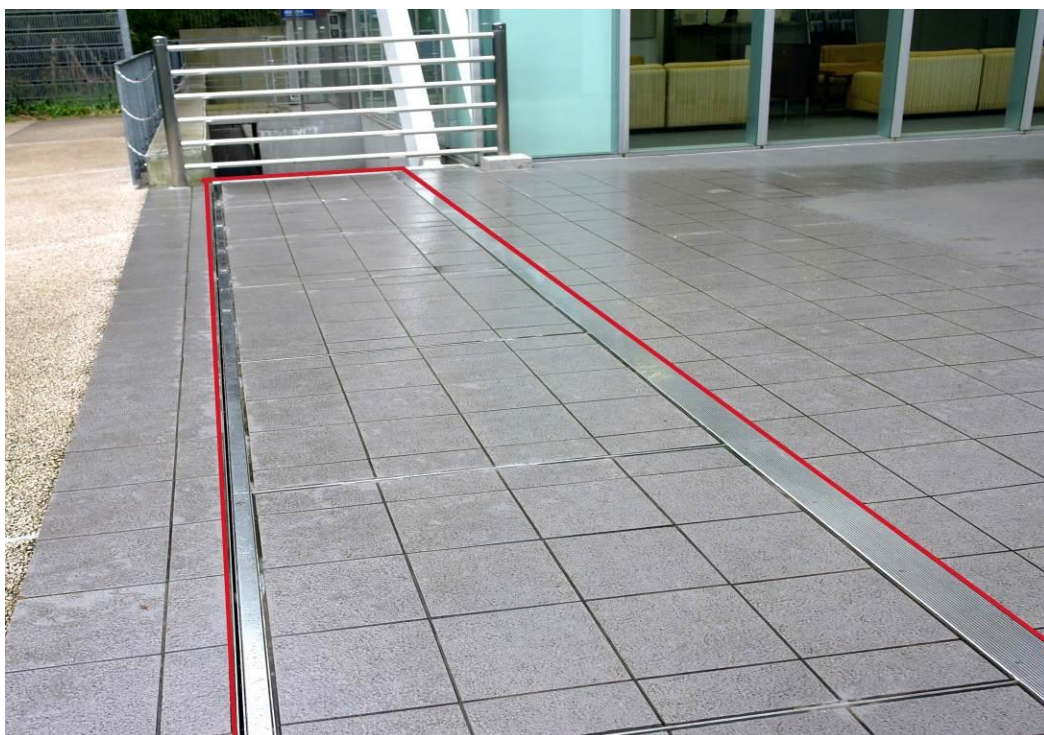


圖 34 J2 大樓可動式地板

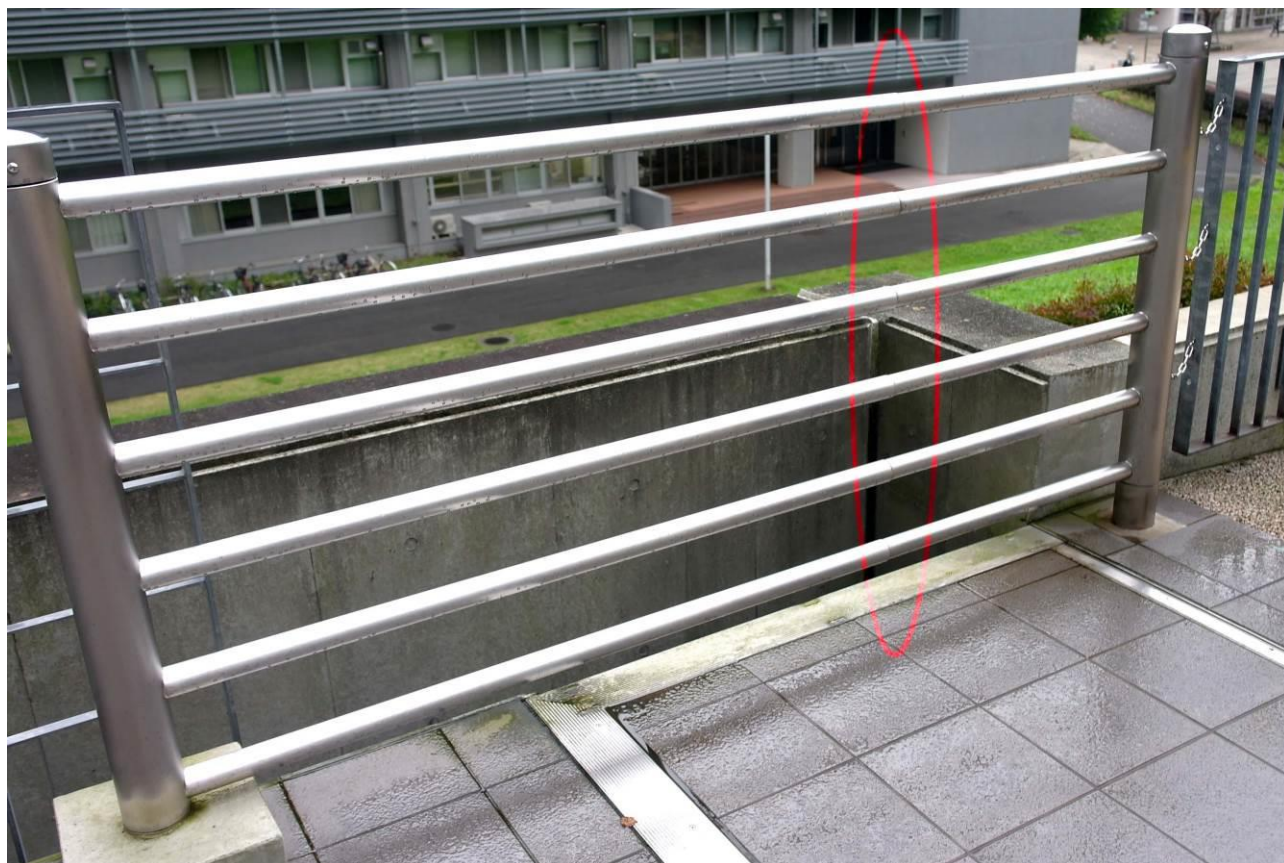


圖 35 可伸縮式欄杆

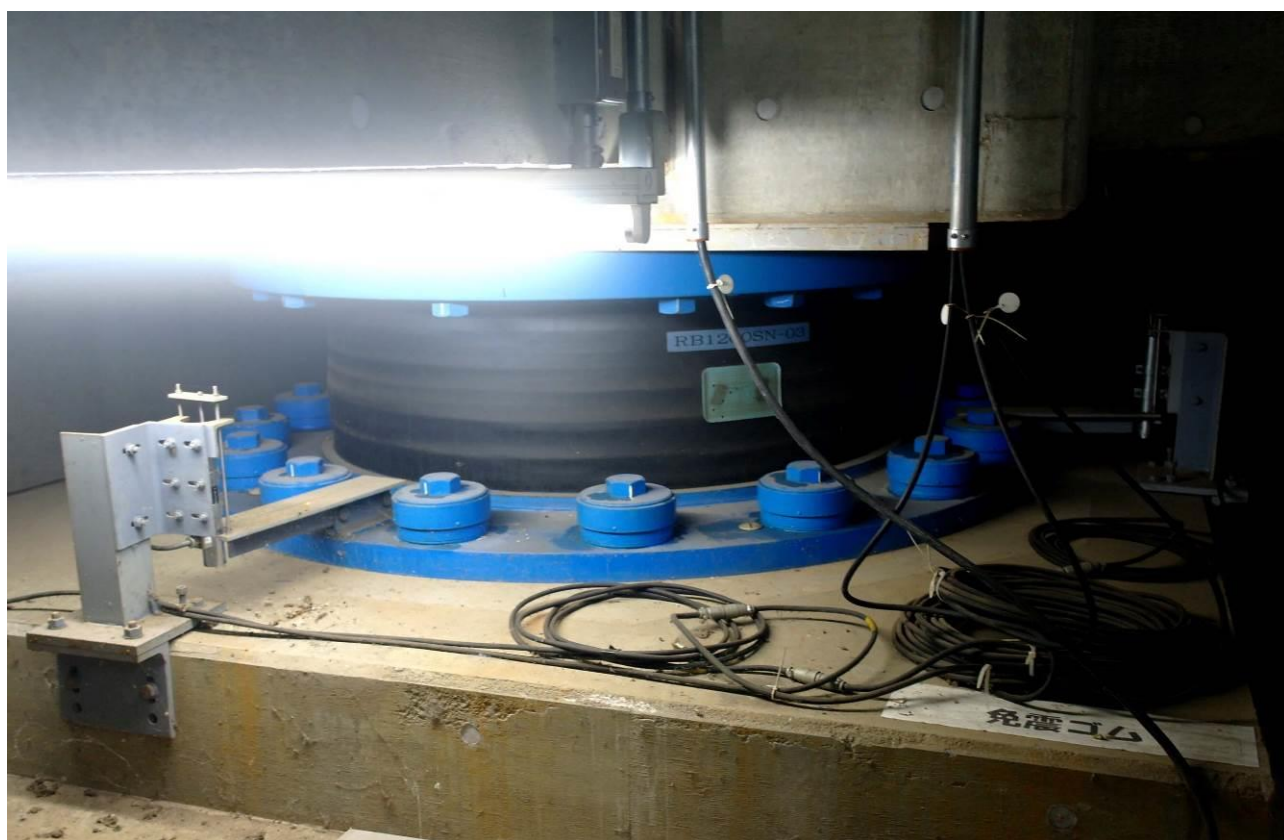


圖 36 基礎隔震阻尼及監測器



圖 37 震動軌跡測繪的平板

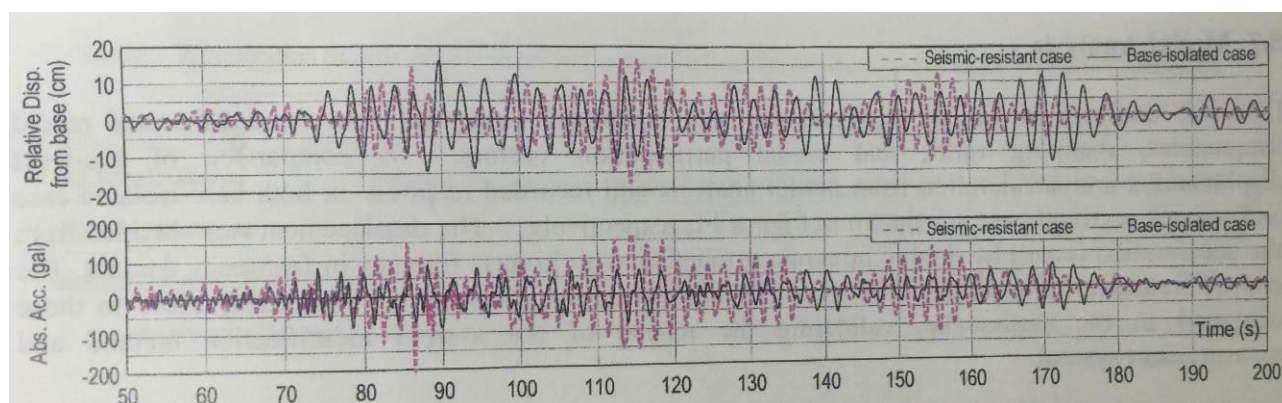


圖 38 頂樓 x 方向，隔震-耐震建築比較

### 三、心得

#### (一) GEOMATE 國際研討會

##### 1. Experimental EPS-base shock Absorbing Material for the Rock-shed

對於明隧道的隧道頂部緩衝工法，台灣目前所使用的方式對於隧道的長期使用上是需要精進的，隧道損壞需修補或拆除重建的非用將遠高於採用緩衝材料的費用，且若能有效的降低落石的衝擊，亦可間接將隧道厚度的設計值降低，亦可將工程經費降低。

日本目前所採用的 EPS 工法，未來若能引進台灣於公共空程上使用，不但能增加隧道頂部的緩衝及保護，亦可有效降低隧道的建造及維護成本，未來亦可將 EPS 材料用於許多公共工程的保護及緩衝接合，將可提升台灣工程的競爭力。

##### 2.地震及海嘯空間模擬議題

台灣位處於環太平洋地震帶海嘯亦有歷史記載，曾經發生於台灣。本次 GEOMATE 研討會，看見不同國家，使用不同軟體進行海嘯波模擬(MIKE-21)，以後若有機會，可以參考比較印尼的做法。

##### 3. 模擬地震導致阻尼比和彈性模數改變議題

台灣都以環太平洋地震帶周圍國家(日本、美國)的研究，作為主要交流對象，此次來自阿爾卑斯地震帶，伊朗 Sharif 科技大學的地震研究，了解研究的多元性，未來可參考其京研強化研究內容。尤其是以複合型災害(地震引致山崩)作為研究對象，並建立以真實地震波的實驗能力，採用 PFC 軟體進行更佳的分析。

##### 4. Stability of Undrained Twin Circular Tunnels

此研究雖然所針對的案例為黏性土壤，故考量是不排水的狀態下之穩定性，雖然相較於一般岩石隧道安全係數低上許多，但整體的分析結果所欲討論到的深度及隧道間距等參數對於安全係數之影響趨勢相似，對於核能發電的永續發展的願景下，用過核燃料的最終處置方式中，深層的岩石隧道是處置的方式之一，而雙隧道甚至是多隧道的穩定性問題勢必也會是未來會面對的問題，進而將影響隧道的間距及配置。

##### 5. Effect of Soil Liquefaction on The natural Frequency and Damping of Pile Supported Structure

台灣身處環太平洋地震帶，地震發生頻繁，故對於地震可能引致的災害也多有研究，而地震後於砂質地層因孔隙水壓受震激發而常有土壤液化及噴砂的現象，若是筏式基礎就會因液化導致差異沉陷而使建築物發生損壞，故於有液化潛能之地層建物所採用的機出設計會採用樁基礎，使基樁坐落於岩盤上可將上部的承載力傳遞到岩盤上，而不會因液化導致的土壤承載力喪失而造成沉陷。

但雖採用樁基礎可有效的降低因地震導致的土壤液化之影響，但當土壤以發生液化時將導致基樁的無支撐長度增加，而影響到基樁的側向承載力以及基樁本身結構的自然頻率，若因液化後基樁的自然頻率改變而與地震發生共振，仍可能對於上部結構造成損壞，故此研究針對受震後的單樁及群樁進行受震反應量測，並探討受震液化後單樁及群樁的自然頻率與阻尼值之變化，有助於工程設計上考量液化設計時可採用。

## (二) 參訪東京工業大學隔震建築

此行參訪東京工業大學橫濱校區，雖然 Prof. Morikawa 無法一同討論及交流，但其助理 Dr. Iiyama 亦提供過去 J2 大樓相關的紀錄數據及即將發表的研究成果，並以一樓的展示模型為我們一一介紹各種隔震阻尼，及實地了解 J2 及 J3 大樓基礎機房一探隔震阻尼與基礎連接的設計狀況，以及各基礎阻尼監測的儀器，可接每一次的受震反應皆轉化成最為實際可做為數值分析比對的量測數據，其研究方式與設計方法可供本所在地震工程研究上參考。

## 四、建議事項

### (一)進行地震引致岩體裂隙位移實驗

本次參加 2015-GEOMATE 國際研討會，日本的研究方法和目的非常實務、務實和謹慎，建議未來地震危害度研究可以加強實驗及觀測方面的研究，例如最近的地震斷層位移危害度研究，可以參考 NUREG/CR-6404 的報告，在地震台上裝上人造岩體，試驗地下岩體的位移量，並結合電腦模擬成果，以及研究成果的應用面，而且必須考量成本效益，研究成果才能得以被應用。

### (二)成立技術宣傳或行銷小組

本次參訪東京工業大學橫濱校區的隔震建築由 Dr. Liyama 負責導覽，提供資料包含論文及該校的英文簡介，整個導覽過程，完全展現其嚴謹及專業素養。更重要的是她將研究、應用及東京工業大學完整的包裝，變成一個間接行銷東工大的工程實力。因此，我國的科技研究應該也要有這類的科技行銷手段，以便行銷全世界，在世界舞台發光發熱。

### (三)核研所 2016 年接待盛川仁教授及 Dr. Liyama

盛川仁教授及 Dr. Liyama 於 105 年度將訪問台灣，因此，可以藉此保持聯繫。建議後續必須追蹤，並了解盛川仁教授及 Dr. Liyama 確切來台時間，以便安排參訪、演講或技術交流。