

出國報告（出國類別：開會）

參加SECED 2023 國際研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：營建處專員 方順弘

派赴國家/地區：英國

出國期間：112年 9月12日至17日

報告日期：112年 11月 3日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加 SECED 2023 國際研討會

頁數 32 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司人資處/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

方順弘/台灣電力公司/營建處/專員/(02)2366-6953

出國類別：1考察 2進修 3研究 4實習 5開會 6其他

出國期間：112 年 9 月 12 日至 112 年 9 月 17 日

派赴國家/地區：英國

報告日期：112 年 11 月 3 日

關鍵詞：SECED、地震工程、耐震設計

內容摘要：

本次赴英國劍橋大學參加 SECED(Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics)舉辦之國際研討會，該協會成立於1969年，旨於促進地震工程和結構動力學的研究和實踐，同時也關注大地震對社會和經濟影響的研究。研討會邀請專家學者及業界工程師分享設計案例探討與研究成果，共涵蓋17項主題及150篇以上之研究。本報告以橋梁相關、耐震評估及補強、阻尼器及創新制震系統、基礎隔震等為主題節錄相關研究，並簡述摘要及成果，如地基沖刷對橋梁抗震性能的影響、預力混凝土高架橋於地震時倒塌的防治、適用於斯里蘭卡典型加強磚造校舍的耐震補強方案、隔震層阻尼應用於廠房結構補強，對日後相關建築結構耐震規劃、設計及建築物耐震初步評估時，有助於提升專業能力並提供寶貴經驗。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網(<http://report.nat.gov.tw>)

摘要

本次赴英國劍橋大學參加 SECED(Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics)舉辦之國際研討會，該協會成立於1969年，旨於促進地震工程和結構動力學的研究和實踐，同時也關注大地震對社會和經濟影響的研究。研討會邀請專家學者及業界工程師分享設計案例探討與研究成果，共涵蓋16項主題及150篇以上之研究。本報告以橋梁相關、耐震評估及補強、阻尼器及創新制震系統、基礎隔震等為主題節錄相關研究，並簡述摘要及成果，如地基沖刷對橋梁抗震性能的影響、預力混凝土高架橋於地震時倒塌的防治、適用於斯里蘭卡典型加強磚造校舍的耐震補強方案、隔震層阻尼應用於廠房結構補強，對日後相關建築結構耐震規劃、設計及建築物耐震初步評估時，有助於提升專業能力並提供寶貴經驗。

目次

一、 目的.....	5
二、 過程.....	6
(一) 出國行程紀要.....	6
(二) 研討會概述.....	6
(三) 橋梁相關研究.....	8
(四) 耐震評估及補強.....	14
(五) 阻尼器及創新制震系統.....	19
(六) 基礎隔震.....	23
三、 心得與建議.....	30
附錄.....	31

一、 目的

台灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊之交界地帶，平均每年大小地震超過兩萬個，其中有感地震(規模4以上)可達約四百個。近期2023年2月6日土耳其發生規模7.8地震，震源深度17.9公里，已造成超過15000人死亡及大量建物毀損，故地震工程為所有結構工程師必須研究的重點。

本次赴英國劍橋大學參加 SECED(Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics)舉辦之國際研討會(Earthquake Engineering and Dynamics for a Sustainable Future)，為地震工程及結構動力相關之學術研討會，將邀請業界工程師與學界分享設計案例探討與研究成果，諸如橋梁耐震設計、耐震評估及補強、基礎隔震等亦與本公司相關。

藉由參與國際大型地震工程研討會，向世界各國最優秀之地震工程專家取經，獲取專業意見回饋，即時掌握最新研究成果及發展趨勢，提升耐震設計相關人員之專業深度與視野，對日後本公司相關建築結構耐震規劃、設計及建築物耐震初步評估時，有助於提升專業能力並提供寶貴經驗。

二、 過程

(一) 出國行程紀要

- 9月12日 抵達英國倫敦
- 9月13日 前往劍橋大學
- 9月14日~9月15日 研討會
- 9月16日~9月17日 返程

(二) 研討會概述

SECED 全名為 Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics，成立於1969年，該協會旨於促進地震工程和結構動力學的研究和實踐，包括爆炸、衝擊載重和其他振動問題，同時也關注大地震對社會和經濟影響的研究。本次會議於劍橋大學邱吉爾學院舉辦，主題為 Earthquake Engineering and Dynamics for a Sustainable Future，意即結合地震工程與結構動力於永續發展。

本次會議舉辦型式由數名主講人於大廳演講，其餘時段由專家及學者依研究主題類別於各會議室發表，涵蓋主題如下，論文發表多達150篇以上，會議議程詳附錄，因主題眾多本次報告以橋梁相關、耐震評估及補強、阻尼器及創新制震系統等為主題節錄相關研究，並於第三節至第六節簡述研究摘要及成果。

1. 非結構構材及設計規範 (Non-structural Components and Design Codes)
2. 耐震評估及補強 (Seismic Assessment and Retrofitting)
3. 地震危害度分析及工程地震學 (Seismic Hazard and Engineering Seismology)
4. 大地地震工程學 (Geotechnical Earthquake Engineering)
5. 地震巨災風險評估模型 (Catastrophe Risk Modelling for Earthquakes)
6. 鋼筋混凝土、木構造及磚結構 (RC, Timber and Masonry Structures)
7. 爆炸、衝擊和振動載重分析 (Blast, Impact and Vibration)
8. 易損性、脆弱度及基礎設施韌性 (Fragility, Vulnerability & Infrastructure Resilience)
9. 土耳其及敘利亞地震 (Turkey and Syria Earthquake)
10. 阻尼器及創新制震系統 (Dampers and Innovative Seismic Protective Systems)
11. 基礎設施的複合災害、低碳和氣候韌性 (Multi-Hazard, Low Carbon and Climate Resilience of Built Infrastructure)
12. 核能安全設計 (Design for Nuclear Safety)
13. 地震災害風險降低、勘查與復原 (Earthquake Disaster Risk Reduction, Reconnaissance and Recovery)

14. 土壤結構互制效應 (Soil Structure Interaction)
15. 基礎隔震 (Base Isolation)
16. 鋼結構韌性及耐震設計 (Resilient Steel Structures and Seismic Design Methodologies)
17. 已開發國家的風險評估 (Risk Assessment in Developing Countries)

(三) 橋梁相關研究

1. 地基沖刷對橋梁抗震性能的影響

(Sebastiano Foti et al., Influence of Scour of Foundations on The Seismic Performance of Bridges)

基礎設施惡化和老劣化在全球氣候變遷下成為日益嚴峻的挑戰，尤其對許多橋梁來說，氣候變遷對淤積事件增加的地區，地基沖刷是一個重大問題，事實上地基沖刷不僅是現有橋梁倒塌的主要原因，而且還降低了橋梁抵禦地震等災難性事件的能力。本研究的目的是探討地基沖刷對橋梁地震性能的影響，使用土壤-結構互制作用的複雜模型(Figure 2.&3.)，來準確評估橋梁的殘餘應力和地震承載能力。研究還探討了使用動態測試和振動監測技術評估橋梁當前狀況及評估基礎沖刷對橋梁的影響。

研究人員進行了一系列的實驗和數值模擬(Figure 7.)，以評估沖刷對橋墩的影響。研究人員發現，經水力試驗校正後回饋至數值模擬(Figure 8.)，可以有效地模擬沖刷對橋墩的影響，並且可以用來評估橋梁的耐震性能。研究結果表明，不論局部或整體沖刷皆會導致橋墩的撓曲強度下降、沉陷量增加、旋轉勁度下降(Figure 10.)，進而影響橋梁的地震性能如承載能力和穩定性的損失。因此對於橋梁的設計和維護，建議需要考慮基礎沖刷的影響，從經濟及環境永續性角度，合理利用資源採取相應的措施來提高橋梁的耐震能力和安全性。

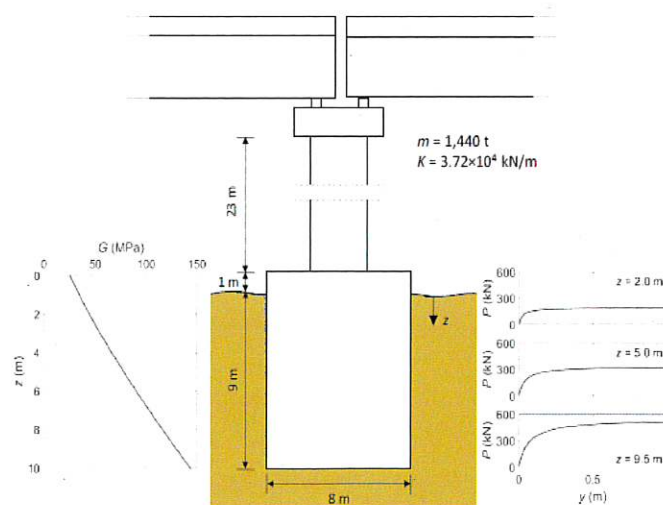


Figure 2. Case study with main information about geometry, structural and soil parameters. Description of soil behaviour is provided both in terms of G profile and p-y curves at different depths.

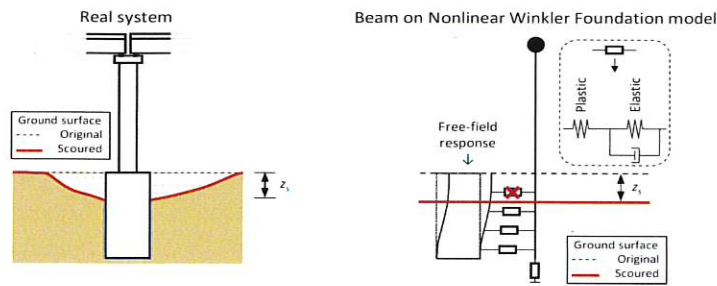


Figure 3. Real system vs. Beam on nonlinear Winkler foundation model.

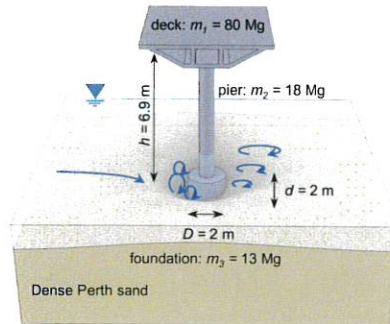


Figure 7. Problem definition of the validation study: SDOF bridge pier subjected to flood-induced scour (from Ciancimino, Jones, et al. 2022).

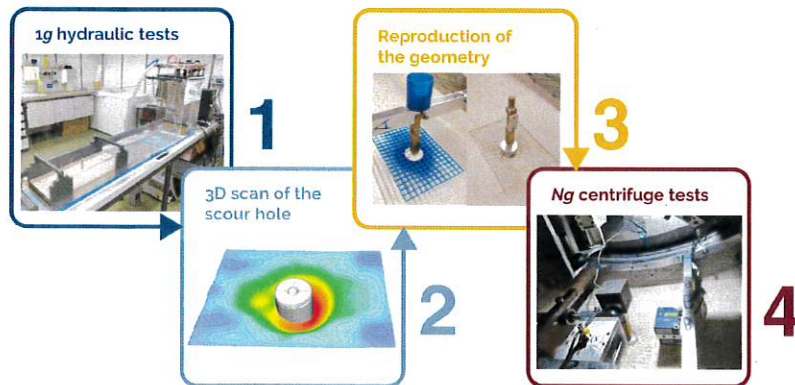


Figure 8. Experimental methodology: (1) development of the scour hole through the MTG; (2) 3D scanning of the scour hole; (3) reproduction of the scour hole geometry; and (4) study of the mechanical part of the problem through centrifuge model testing.

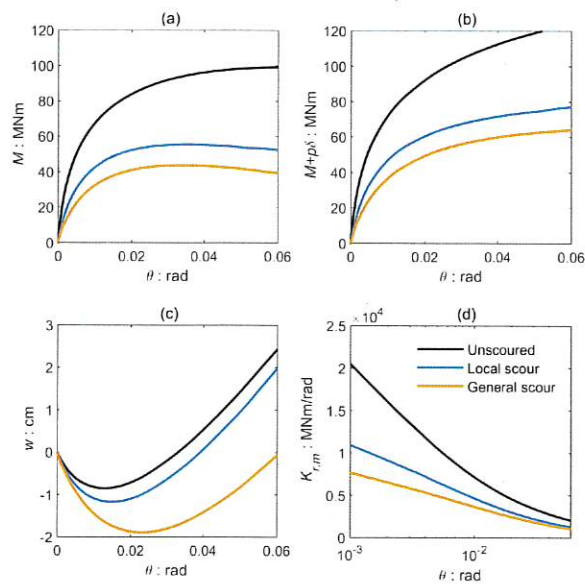


Figure 10. Results of the numerical simulations: (a) moment-rotation; (b) moment-rotation considering explicitly second-order effects; (c) settlement-rotation; and (d) secant rocking stiffness-rotation response.

2. 預力混凝土高架橋於地震時倒塌的防治

(Alfinna Mahya Ummati, Chung-Yue WANG, Bridge Falling Prevention of a Prestressed Concrete Viaduct Under Earthquakes)

橋梁支承之功能在於將上部結構重量與活載重傳遞至下部結構與基礎，並提供橋梁上部結構常時變位需求，且於地震來臨時給予適當之束制與消能，因此對於橋梁結構其為非常重要之組件。本文研究目的是探討如何選擇適當的橡膠支承來防止預力混凝土高架橋在地震中倒塌，研究者使用一種名為 GFBM 的模型來分析橡膠支承的性能，並進行了實驗和數值模擬。

GFBM 代表 General Functional Bearing Model，是一種用於分析橡膠支承性能的模式。相較於傳統的設計方法，GFBM 的不同之處在於它考慮了純變形能力和剛體運動這兩個獨立機制來確定橡膠支承的消能能力(Figure 2.)。GFBM 將傳統模型中箱型梁、墩柱與橡膠支承的連接點假設為摩擦彈簧作為邊界條件，以反映摩擦面參數和錨定點位置，並可分別檢測橡膠支承的變形能力、滑動狀態(Figure 3.&4.)。

研究者對台灣中部地區位於高速公路上的預力混凝土高架橋進行了案例研究(Figure 6.&7.)，因該橋梁存在過度變形和裂縫問題(Figure 8.)，故在最大彎曲變形處增設 NC20a 柱以克服進一步的損壞，採用不錨定至箱型梁之橡膠支承，NC17、NC21 兩橋台亦採用同支承形式(Figure 9.&10.)。研究者使用 GFBM 模型分析 1999 年集集地震和 2022 年台東地震下 NC17-NC21 的橡膠支承和滑動性能(Figure 11.&12.)，依分析結果可評估支承座尺寸，並檢查其它橡膠支承條件(Table 2.)。

研究結果顯示，使用 GFBM 模型可以更好地分析橡膠支承的性能，並提供更多的資訊應用於橋梁評估，以選擇適當的橡膠支承類型。此外，藉由評估變形能力可設計足夠的支承座尺寸防止滑動，以免橋梁倒塌，提高橋梁的耐震能力。

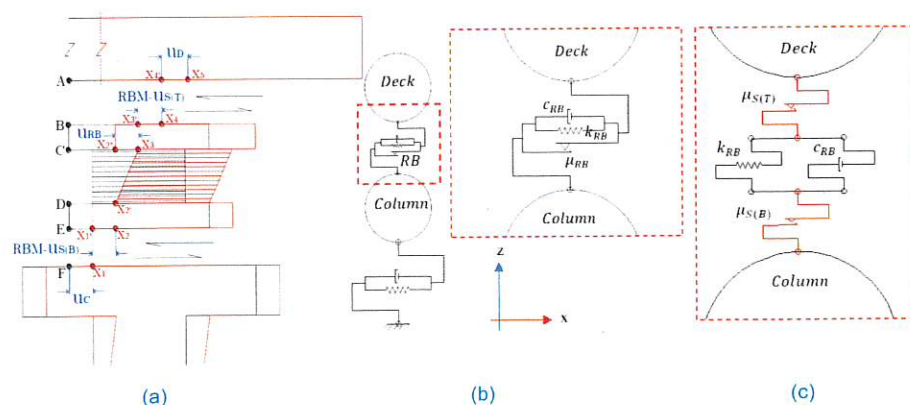


Figure 2 (a). Sliding path in a rubber bearing, (b). Conventional model, (c). GFBM.

Rubber bearing in Conventional Design

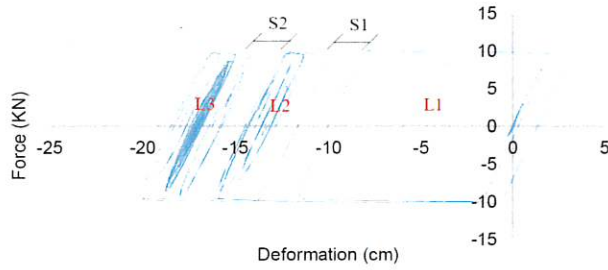


Figure 3 Rubber bearing link hysteretic loop using conventional design

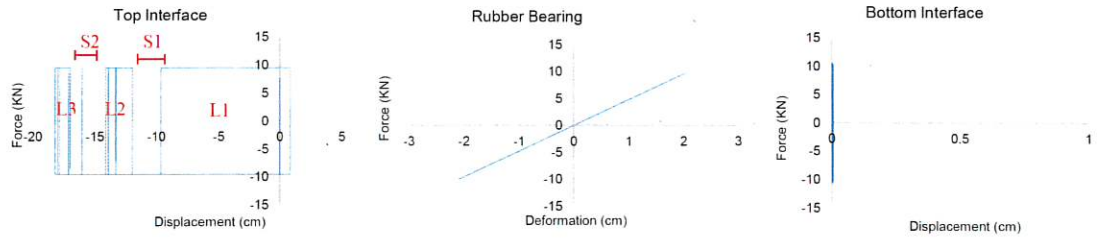


Figure 4 Hysteretic loop of each element using GFBM analysis.

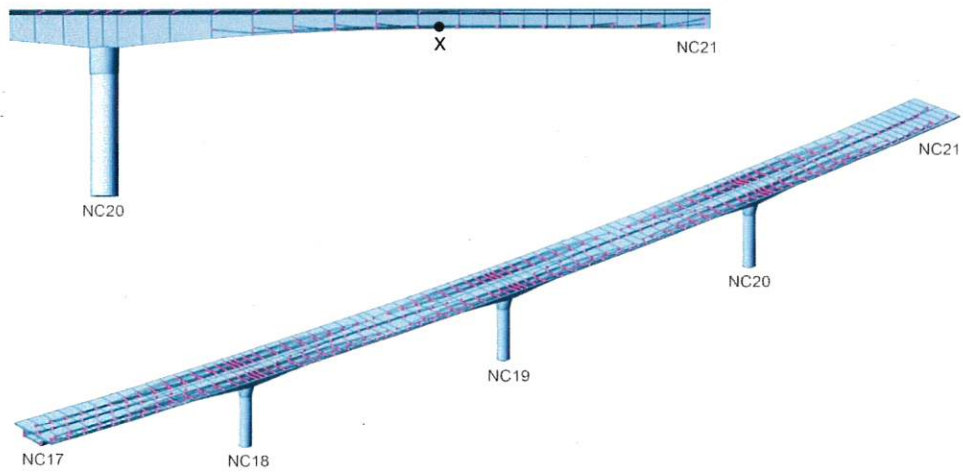


Figure 6 Prestressed concrete viaduct numerical model

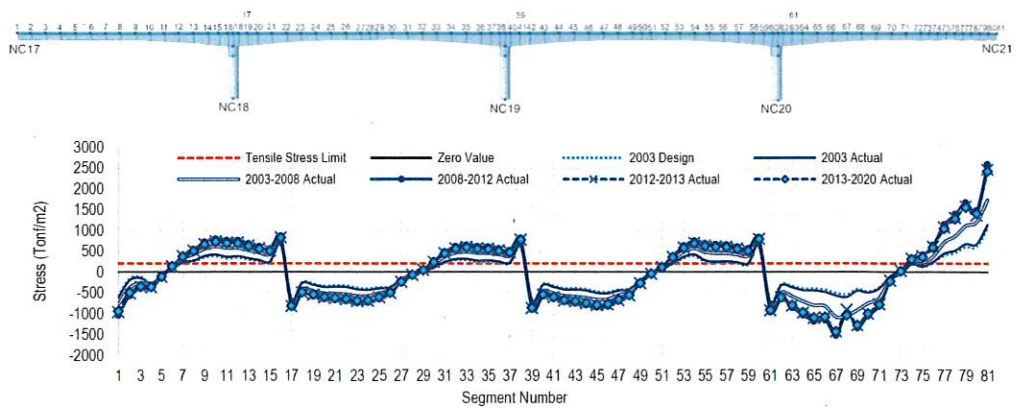


Figure 7 Stress analysis of NC17-NC21

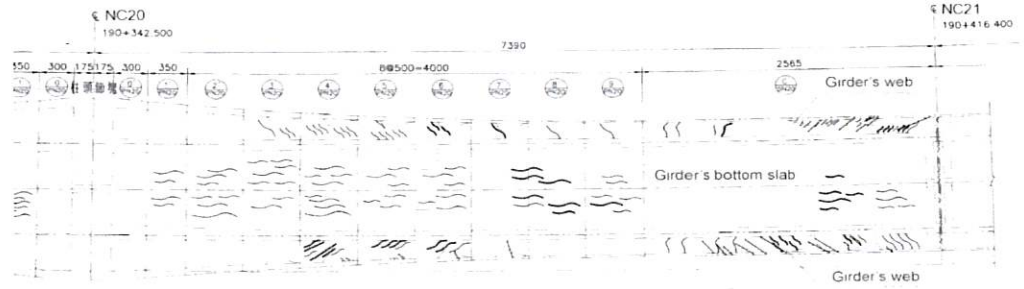


Figure 8 Cracks identification of NC20-NC21 in 2020

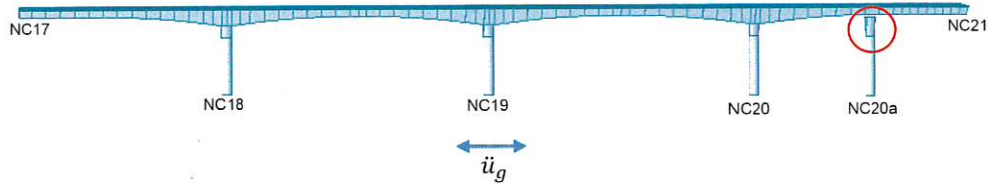


Figure 9 Additional column marked by NC20a

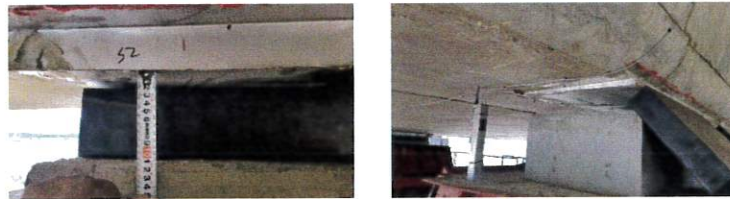


Figure 10 The unanchored bearing of NC20a

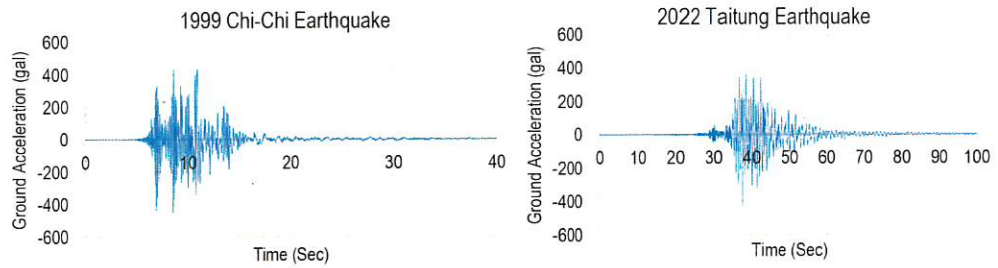
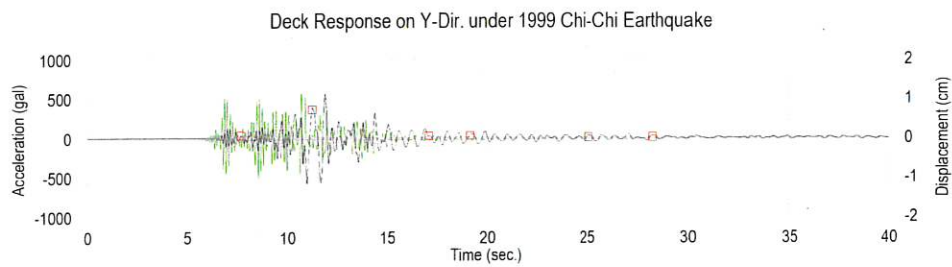
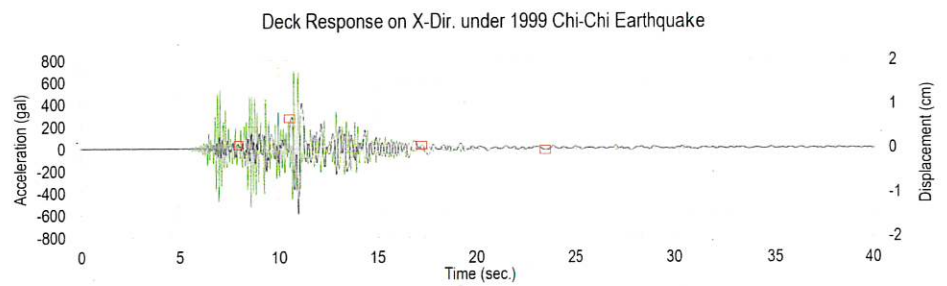


Figure 11 (Left) 1999 Chi-Chi Earthquake 454 gal, (Right) 2022 Taitung Earthquake 437 gal



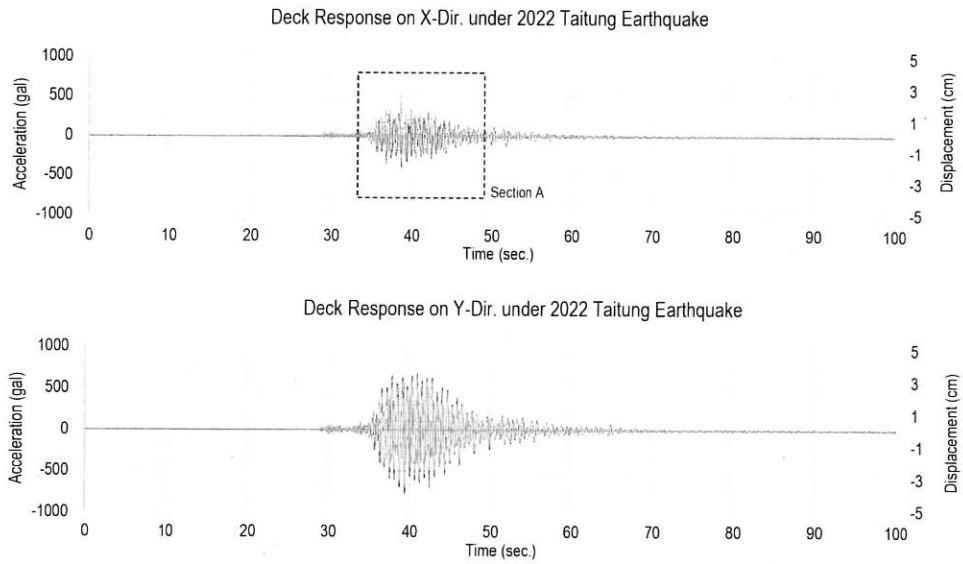


Figure 12 Comparison of the deck acceleration (green) and displacement (black)

1999 Chi-Chi Earthquake						
Bearing Location	NC17		NC20a		NC21	
Direction	Dx	Dy	Dx	Dy	Dx	Dy
Top Interface (cm)	-0.983	0.523	-0.052	0.003	0.895	0.577
Rubber Bearing (cm)	-0.001	0.001	0	0	0.001	0.001
Bottom Interface (cm)	-0.983	0.523	-0.052	0.003	0.895	0.577
2022 Taitung Earthquake						
Bearing Location	NC17		NC20a		NC21	
Direction	Dx	Dy	Dx	Dy	Dx	Dy
Top Interface (cm)	0.864	1.585	0.095	0.004	-0.944	2.023
Rubber Bearing (cm)	0.001	0.002	0	0	-0.001	0.002
Bottom Interface (cm)	0.864	1.585	0.095	0.004	-0.944	2.023

Location of NC17, NC20a, and NC21 described on Figure 9

Table 2 Rubber bearing deformation and sliding displacement estimation

(四) 耐震評估及補強

適用於斯里蘭卡典型加強磚造校舍的耐震補強方案

(Mathavanayakam Sathurshan et al., Suitable Seismic Retrofitting Solutions for Typical Masonry Infilled Reinforced Concrete School Buildings in Sri Lanka)

斯里蘭卡有許多未依照現代耐震設計規範設計和建造的學校建築，僅承受重力載重組合並未考量地震力，惟其地震危害度低至中度風險地區可達475年回歸期地表加速度0.1g 至0.25g，因此本文的研究目的是評估斯里蘭卡現有學校建築的地震易損性，並提出可行的補強方案。斯里蘭卡典型的加強磚造校舍(RC-IMW)，即鋼筋混凝土構架結構(RC)，並採用填充磚牆(IMW)的建築結構(Figure 1.)，其普遍存在平立面不規則(Figure 2.)、開放式低樓層、柱抗彎及抗剪強度不足的軟弱層現象。

研究評估現有校舍及五種補強方案的耐震能力(Figure 3.)，各方案簡述如下：

- (1) O1方案：在原有的 RC 構架上填充磚牆，並將填充磚牆改成中間開窗型式，以減少短柱效應。該方案可減輕地面層的軟弱層現象，同時減少建築物立面和平面的不對稱性。
- (2) O2方案：對地面層 RC 柱進行擴柱補強，以增強其耐震能力。
- (3) O3方案：結合 O1和 O2方案，以實現更好的耐震效果。
- (4) O4方案：對建築物各層 RC 柱進行擴柱補強。
- (5) O5方案：結合 O1和 O4方案。

將各補強方案使用數值分析方法可得到側推分析、易損性曲線、能耐曲線的結果(Table 1.& Figure 5.&6.)，並使用多準則決策方法來確定最適合的補強方案(Figure 4.)。

MCDM 是多準則決策方法 (Multi-Criteria Decision Making) 的縮寫，可以幫助決策者在多個準則之間進行權衡和比較，以便做出最佳的決策。本研究採用共6個準則，用於評估不同補強方案的耐震性能和經濟可行性。這些準則包括三個工程參數 (側向承載力 C1、達到損壞限制 C2和重大損壞狀態 C3) 和三個經濟考慮因素 (初始成本 C4、維護成本 C5和補強工期 C6) (Table 2.&3.)。

研究結果顯示，只對底層柱子進行鋼筋混凝土擴柱(O2)是最適合的補強方案(Figure 7.&Table 4.)，無論是在耐震性能還是經濟可行性方面。研究人員建議需要進一步研究將這些分析擴展到該國現有的其他學校建築類型，進行敏感度分析，以驗證所使用的 MCDM 標準的可靠性。

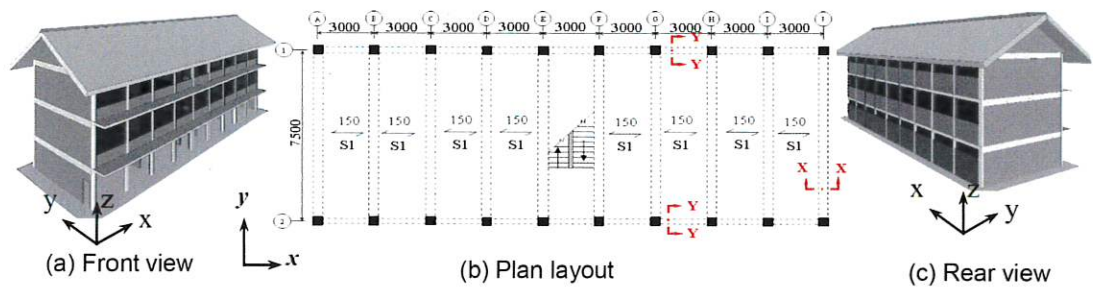


Figure 1: RC frame typologies used in Sri Lankan school buildings (dimensions are in mm).

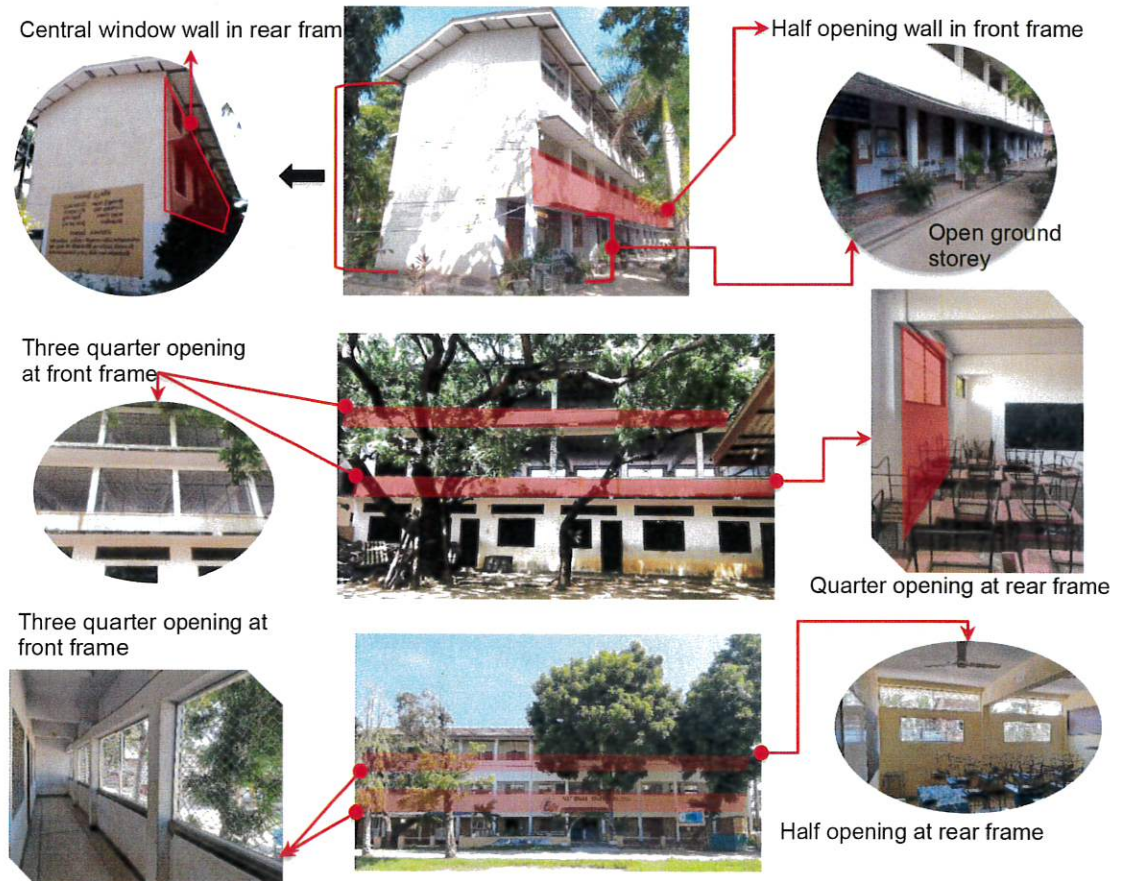
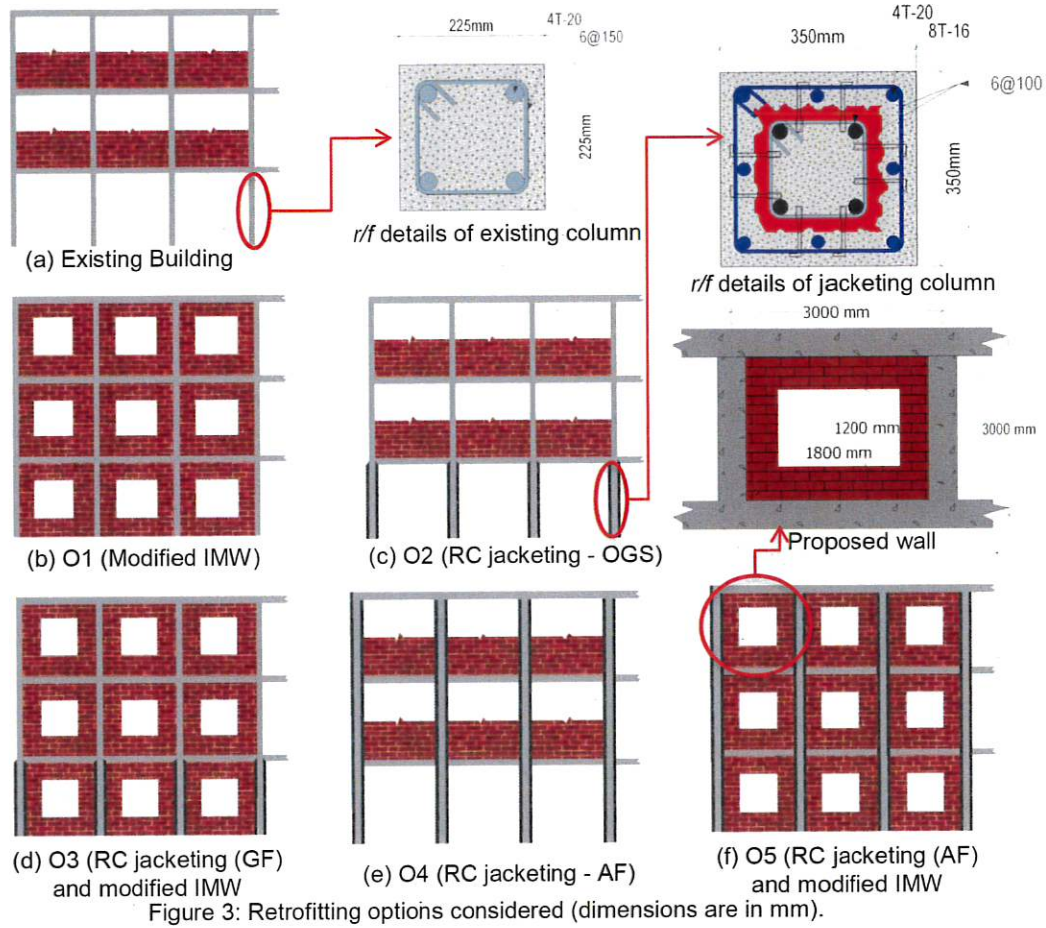


Figure 2: RC-IMW school buildings with irregularities.



Cases	T (s)	V_s (kN)	K_{in} (kN/mm)	DR_{DL} (%)	DR_{SD} (%)	DR_{NC} (%)
T1-Existing	0.76	1130	18.6	0.29	0.61	0.80
T1-O1	0.67	1632	40.3	0.33	0.50	0.97
T1-O2	0.63	1367	21.1	0.40	0.74	1.24
T1-O3	0.54	1889	53.8	0.35	0.92	1.63
T1-O4	0.53	2315	42.9	0.42	0.89	1.52
T1-O5	0.52	2729	63.2	0.48	0.87	1.67

Table 1. Parameters determined from the pushover curves of the existing and retrofitted buildings analysed.

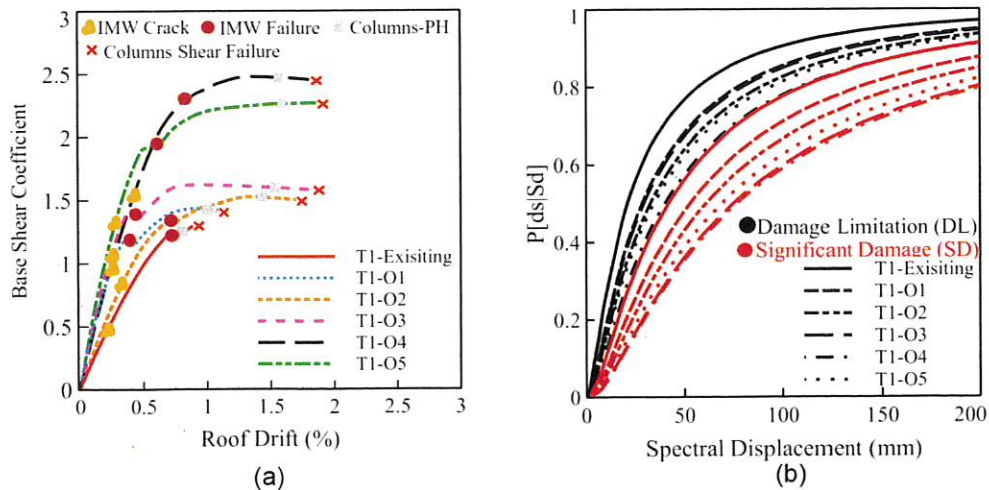


Figure 5. (a) Pushover curves of existing and retrofitted school buildings and (b) the seismic fragility curves for DL and SD.

Criterion	Initial cost (C1)	Maintenance cost (C2)	Retrofitting duration (C3)	Lateral capacity (C4)	Damage limitation (C5)	Significant damage (C6)	Weight
Initial cost (C1)	1.0	9.0	7.0	1.0	1.0	1.0	0.233
Maintenance cost (C2)	0.11	1.0	1.0	0.2	0.14	0.11	0.030
Retrofitting duration (C5)	0.14	1.0	1.0	0.2	0.14	0.11	0.031
Lateral capacity (O4)	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	0.33	0.164
Damage limitation (C5)	1.0	7.0	7.0	1.0	1.0	0.33	0.184
Significant damage (C6)	1.0	9.0	9.0	3.0	3.0	1.0	0.357

Table 2. Selected MCDM criteria and the determined weights ($\lambda_{max} = 6.132$, CR = 2.13%)

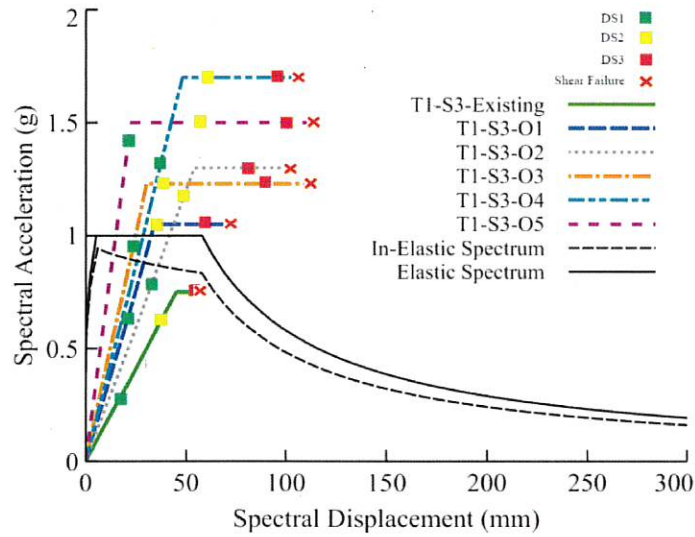


Figure 6. PGA capacity measurements according to N2 method.

	C1 (\$)	C2 (\$)	C3 (days)	C4	C5	C6
O1	2749	326	12	0.699	0.0350	0.0189
O2	4437	521	25	0.654	0.0305	0.0168
O3	7186	647	37	0.617	0.0340	0.0133
O4	13461	963	76	0.405	0.0289	0.0144
O5	16211	1099	88	0.440	0.0249	0.0130

Table 3. Decision Matrix (D)

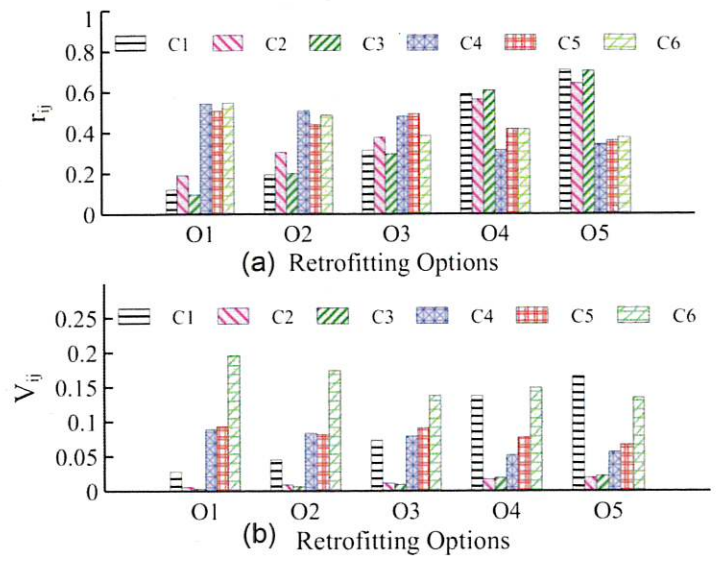


Figure 7. (a) Normalised performance (r_{ij}) and (b) weighted normalised performance (V_{ij}) with respect to comparison among options and criteria

Options	Si-	Si*	Ci*
O1	0.139	0.076	0.645
O2	0.124	0.056	0.691
O3	0.110	0.059	0.653
O4	0.068	0.112	0.377
O5	0.075	0.139	0.348

Table 4. Relative closeness to the ideal solution of retrofitting options

(五) 阻尼器及創新制震系統

用於鋼結構韌性設計的超彈性摩擦阻尼

(Amedebrhan ASFAW et al., Superelastic Friction Dampers for Resilient Design of Steel Frame Buildings)

本篇研究介紹了一種新型的超彈性摩擦阻尼器(SFD)在鋼結構建築物中的應用，並評估其對建築物耐震性能的影響。研究者通過實驗測試和數值模擬，詳細分析了超彈性形狀記憶合金（SMA）鋼纜的性能，並開發了新型的超彈性摩擦阻尼器，以實現建築物的穩定消能特性和高度自復位能力。

超彈性摩擦阻尼器由超彈性形狀記憶合金 SMA 鋼纜、內外鋼件、摩擦墊、槽狀端板和連接板組成(Figure 1.&2.)。SMA 鋼纜與類似尺寸的 SMA 鋼棒相比，SMA 鋼纜可提供較大的軸向力，而且成本顯著降低。由於其固有的超彈性材料特性，用於 SFD 時可整合了多種功能，例如良好消能的阻尼效應、彈性應變佳且經濟實惠，研究人員對 SFD 進行反覆載重試驗(Figure 3.)，以驗證其具有自復位能力、高變形性和可重複使用性，並評估加載頻率對阻尼器特性的影響(Figure 4.&5.)。

數值模擬採用四層鋼構架建築(Figure 6.)，由特殊鋼抗彎矩構架（SMRF）和特殊鋼同心斜撐構架（SCBF）組成，研究人員將安裝 SFD 的構架與反覆載重試驗結果進行分析(Figure 7.)，以驗證阻尼器在控制構架加載反應的功效，再透過側推分析(Figure 8.)及非線性歷時分析來評估和比較所設計的結構系統的耐震性能(Figure 9.)。

研究結果顯示，超彈性摩擦阻尼器表現出完全穩定、可重複使用、無強度和勁度退化，並且不受加載頻率的影響，實驗過程中無觀察到任何阻尼器零件損壞，安裝在結構中受地震加載後將表現良好而無需更換或大量維修。主要結構構件如柱梁等可維持彈性，同時地震後可回復到原點，減少結構損傷以及殘留變形，可以有效地提高建築物的耐震性能，並且具有良好的可行性和實用性，可以在地震中提供有效的保護。因此，本研究為鋼結構建築物的耐震設計提供了一種新的思路和方法，研究人員建議未來的研究可以進一步探討該阻尼器的應用範圍和性能優化。

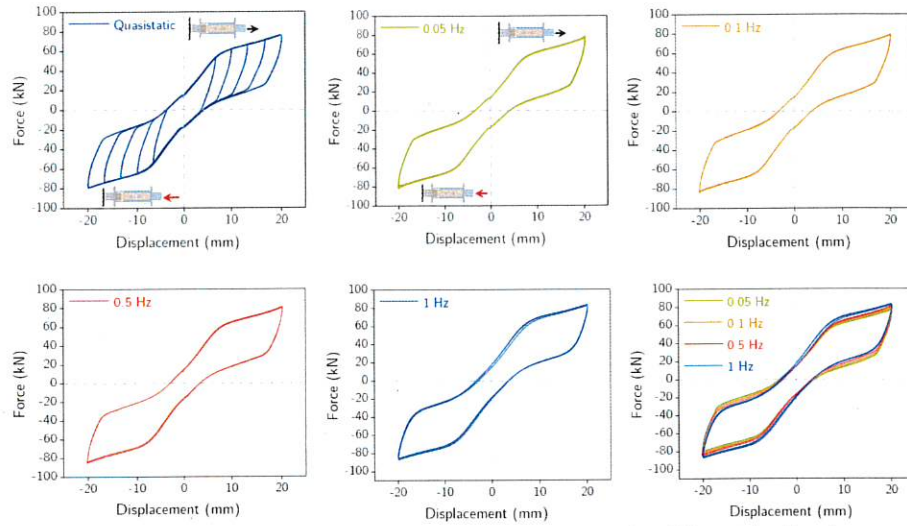


Figure 5. Force-displacement hysteresis responses of SFD under different loading frequencies

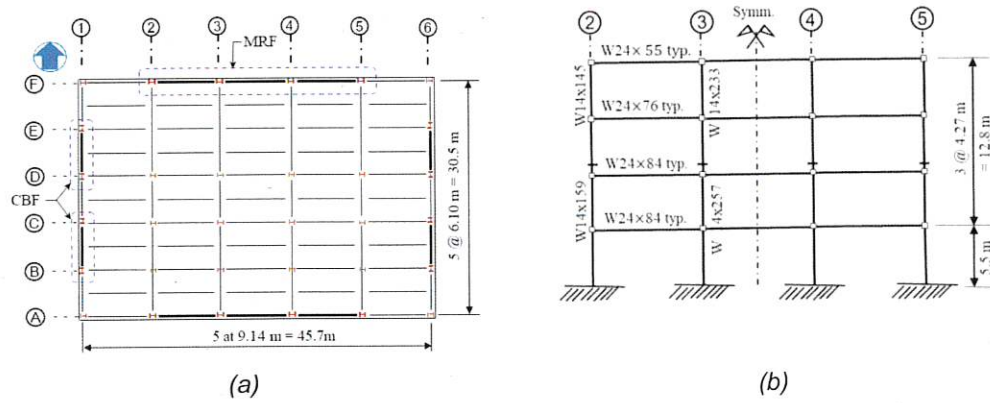


Figure 6. Four-story steel frame building: (a) Floor plan and (b) elevation

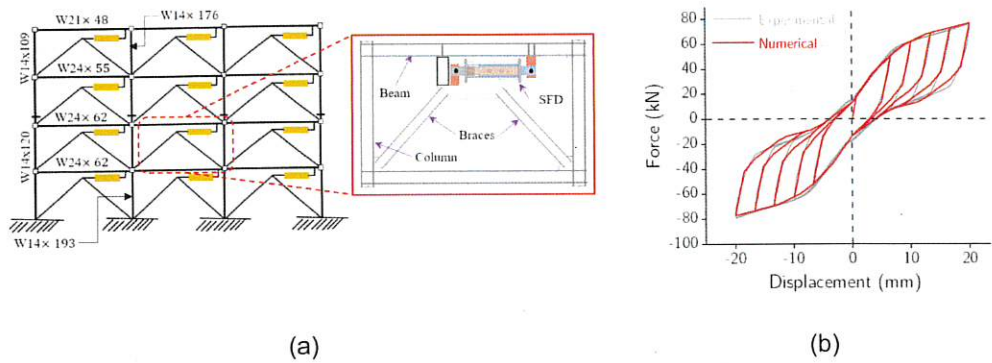


Figure 7. (a) A four-story steel moment resisting frame installed with SFDs; (b) comparison between experimental result and proposed model prediction.

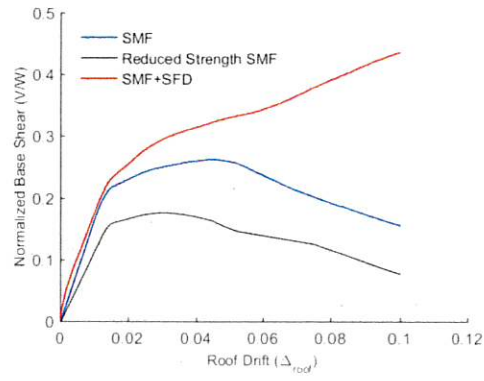


Figure 8. Pushover curves of original steel frame, reduced strength frame, and steel frame with SFD

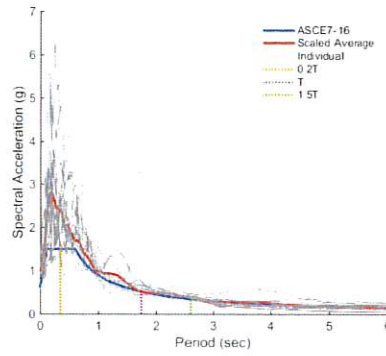


Figure 9. Acceleration response spectra for scaled ground motions and average spectrum

(六) 基礎隔震

隔震層和阻尼應用於既有廠房設備更新

(Michael Angelides, Use of Base Isolation with Damping in an Industrial Structure Retrofit)

本研究報告介紹了在希臘的水泥生產工廠中，既有鋼筋混凝土預熱塔因需增加設備重量，並進行補強的成功案例(Figure 1.&2.)。因既有預熱塔建於 1970 年代，當時設計地表加速度僅 0.06 g，為了將結構提升至現今耐震設計標準 (EN1998，設計地表加速度為 0.24 g)，研究團隊進行了多種方案的調查和研究，最終選擇隔震層和阻尼的解決方案，以相對簡單的措施補強結構，並提高其耐震能力。然而，由於現有設備和管道空間侷限，以及對現有結構干涉的不確定性，該方案面臨了一些挑戰。因此，研究團隊採用了3D 技術，從現有結構的初始測量到 BIM 模型的設計和界面的協調，全面實施了3D 技術，以幫助解決這些挑戰。

設計過程由於案例的複雜性和空間限制，需要進行仔細的準備和緊密的協調程序。為了實現這一目標，研究團隊採用了建築資訊模型(BIM)技術，並通過光學掃描測量現有結構和設備，建立了一個3D模型，這個模型成為了不同介面進行設計的基礎，介面之間的協調由 TITAN 水泥公司的技術部門負責。通過這種方式，研究團隊成功地實現了在有限的空間和生產線不間斷的情況下，對預熱塔進行補強的目標。(Figure 3.&4.)

預熱塔為一平面尺寸25.90m×15.70m，離地高度53m 之混凝土結構(Figure 5.)，有6個主要中間層，配有 RC 版、附屬鋼構平台和屋頂層 RC 版。現有設備重量約為1185噸，為配合工廠需求將燃煤轉換為燃燒垃圾衍生燃料(RDF)，將使建築物內的設備總重量增加至約1960噸，故需於預熱塔前規劃了一座新構架，用於支撐現有預熱塔外的新設備 (Figure 6.)。新構架的需求使設計過程更加複雜，因為預熱塔周圍的可用空間將大幅減少。因此，施工順序需要在安裝新構架及其設備時，同時進入預熱塔中間層和屋頂層進行安裝。

隔震層的設計為透過切斷預熱塔的 RC 屋頂版，並在既有的周圍牆上使用19個彈性支承來支撐周邊鋼梁，進而將新的上部結構及新的設備與現有結構進行隔震(Figure 7.&8.)。此外，還使用了15個額定容量為100 kN 的摩擦阻尼器，來減緩上部結構的地震能量，降低了對現有結構的影響。研究團隊選擇了六個實際的地震加速度紀錄進行比較，包括土耳其 Kocaeli 地震、伊朗 Tabas 地震和兩個美國和希臘地震記錄(Table 1.)，通過非線性動力歷時分析，確定了地震輸入能量及阻尼器消能情形(Figure 9.)。細部設計部分，研究團隊使用了 ETABS、DLUBAL 和 TEKLA 等軟體進行結構分析和設計(Figure 10.-15.)，以確保結構的安全性和可靠性。

研究成果顯示在廠房結構補強中，隔震層和阻尼技術的有效性，通過非線性動力歷時分析得到的最大位移及載重可確定適當的設計阻尼比及有效週期，從而提高結構的耐震能力。此外，在有限的空間和生產線不間斷的情況下，可以通過分階段進行施工和安裝，實現廠房結構的補強(Figure 16.&17.)。

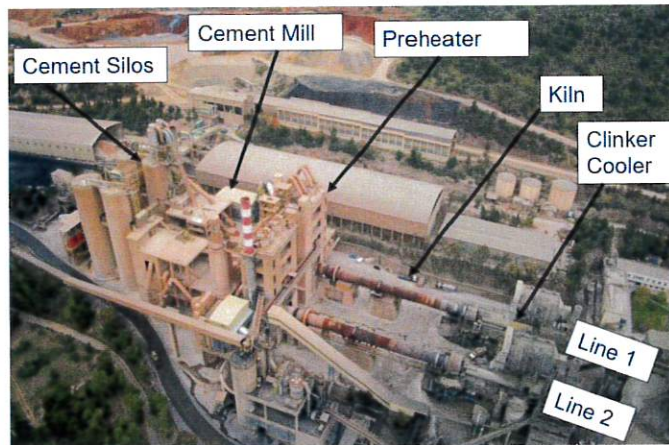


Figure 1. Aerial view of the 2 production lines of the plant (photo from AMTE archives).

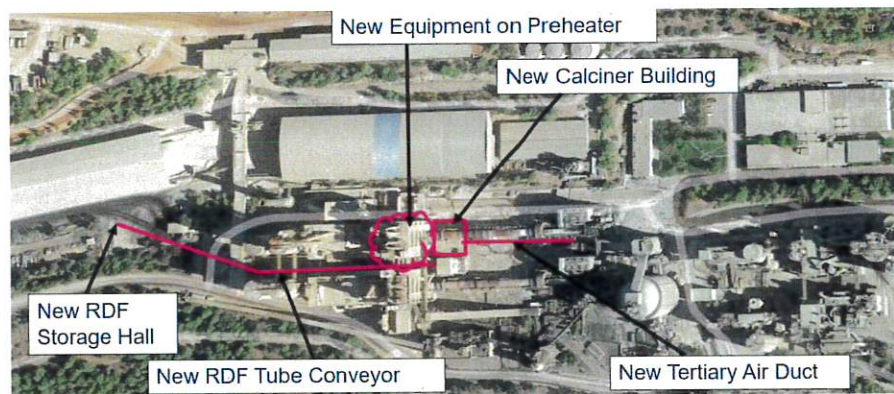


Figure 2. View of the plant with marked major interventions (photo from Google Earth).

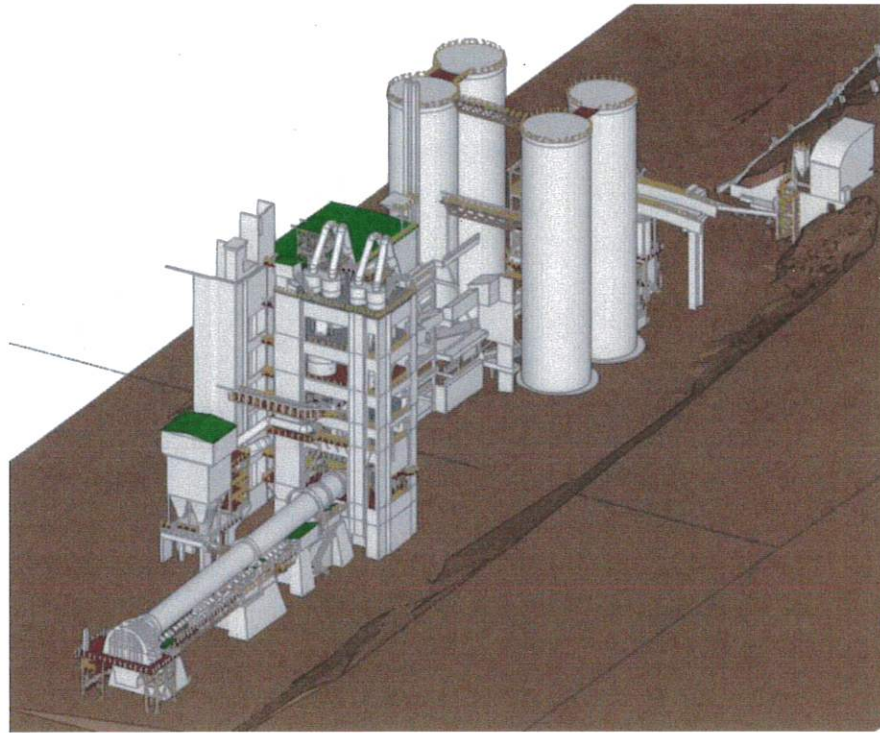


Figure 3. BIM model of scanned existing structures & equipment.

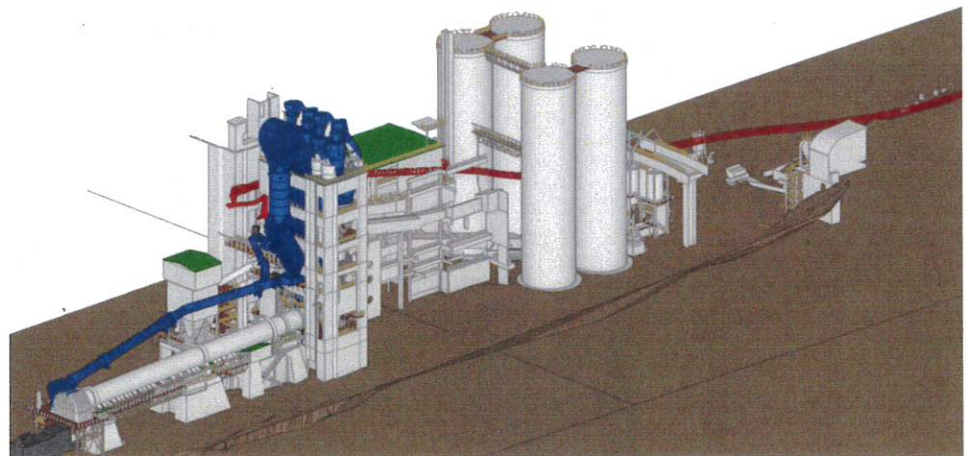


Figure 4. BIM model of scanned existing situation with planned new equipment (in blue & red).



Figure 5. Preheater buildings for Lines 1 & 2 (Line 1 on the right).

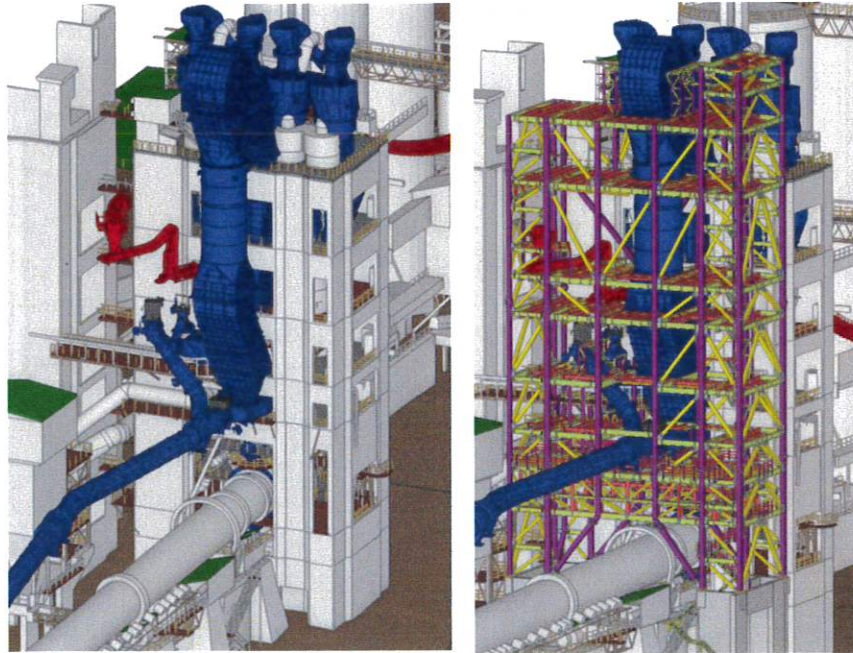


Figure 6. Preheater building with planned new equipment (left) & new structure planned for the support of equipment outside the preheater building (right).

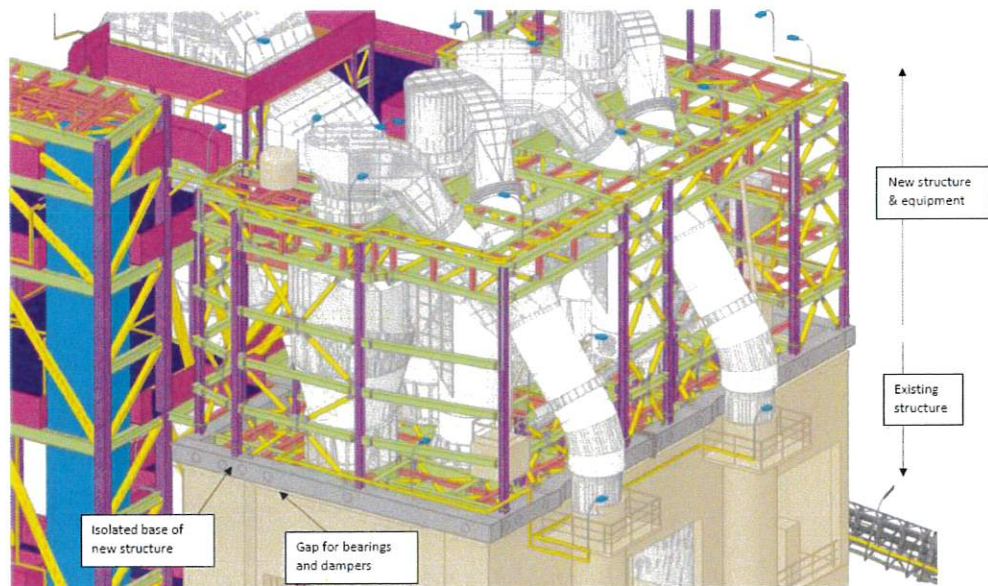


Figure 7. Overview of base-isolated superstructure.

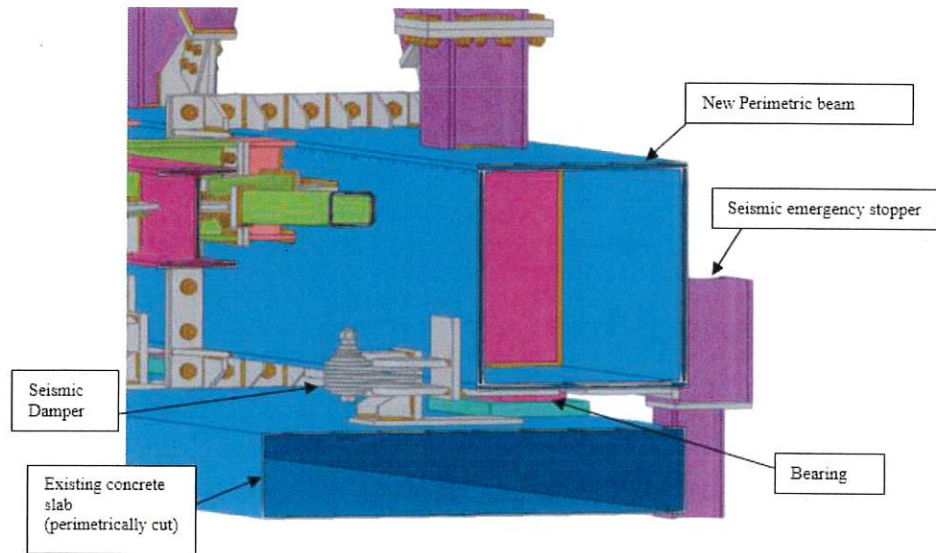


Figure 8. Base isolation concept – Vertical section.

Location	Year	Magnitude	Peak Ground Acceleration	Spectral peak	Achieved Damping
Kalamata, Greece	1986	6.0 R	0.24 g	0.85 g	76%
Thessaloniki, Greece	1978	6.5 R	0.14 g	0.47 g	81%
Kocaeli, Turkey	1999	7.6 R	0.16 g	0.71 g	89%
Tabas, Iran	1978	7.4 R	0.33 g	1.40 g	92%
Loma Prieta, USA	1989	6.9 R	0.46 g	2.00 g	98%
Northridge, USA	1994	6.7 R	0.27 g	0.81 g	84%

Table 1. Acceleration records selected and achieved damping.

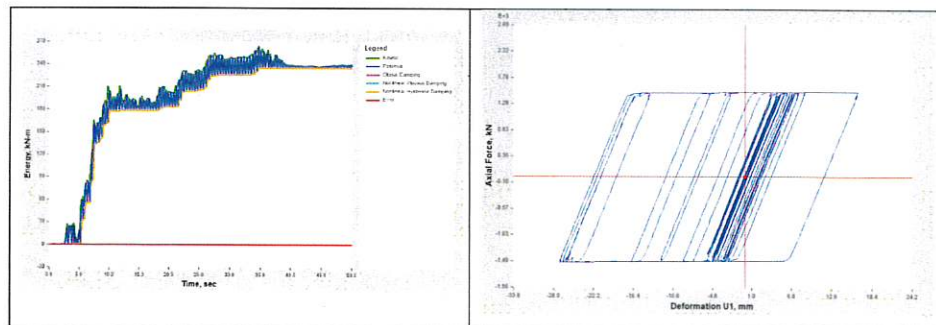


Figure 9. Kocaeli record: Energy graph (left) & Damper load displacement curve (right).

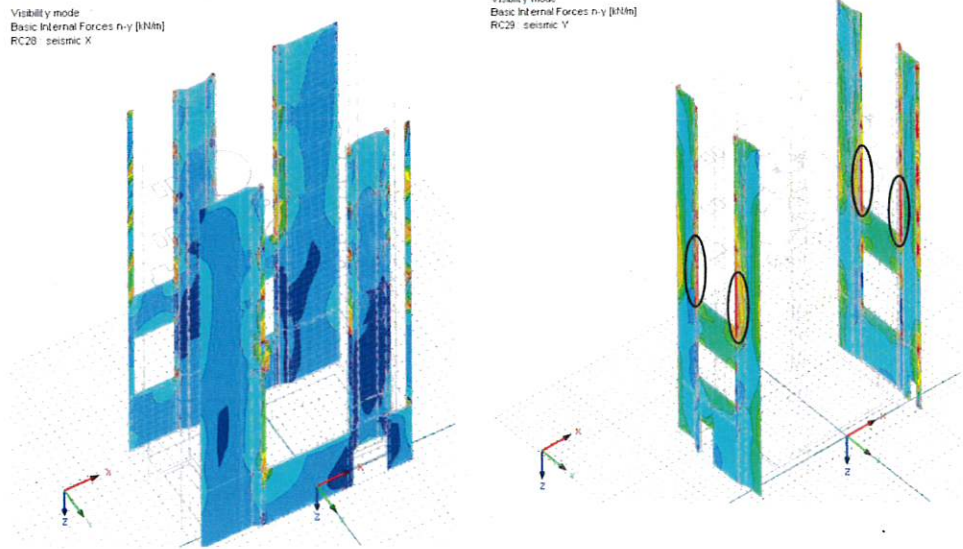


Figure 10. Seismic vertical forces on shear walls. Regions requiring reinforcing highlighted (right).

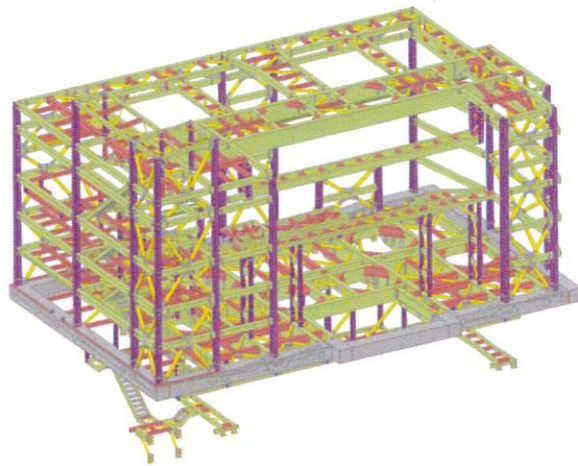


Figure 11. Fabrication model of the steel superstructure.

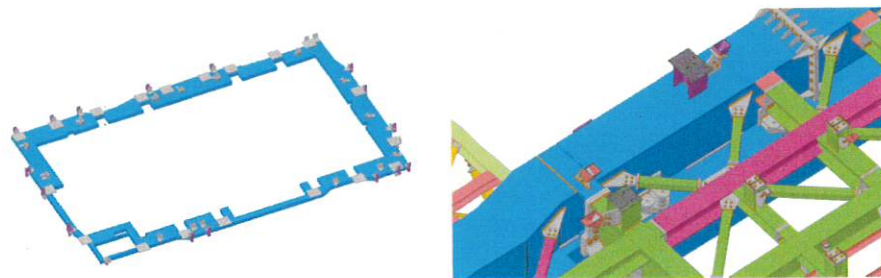


Figure 12. Fabrication model details: Bearings, dampers, stoppers (left), Perimetric beam connections (right).

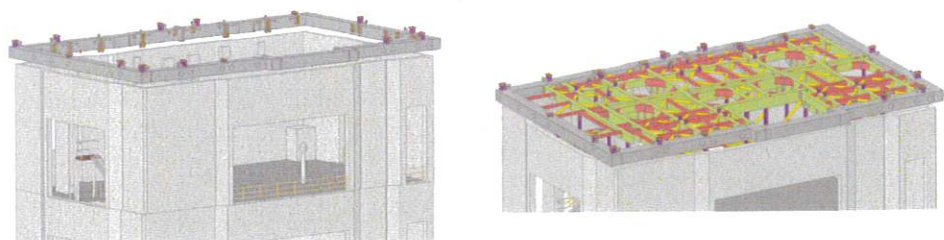


Figure 13. Erection: Perimetric beam (left), Superstructure up to perimetric beam (right).

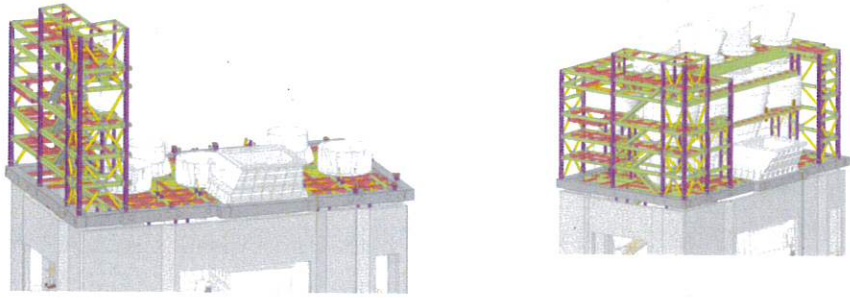


Figure 14. Erection of large lift units equipment (left), completion of erection (right).

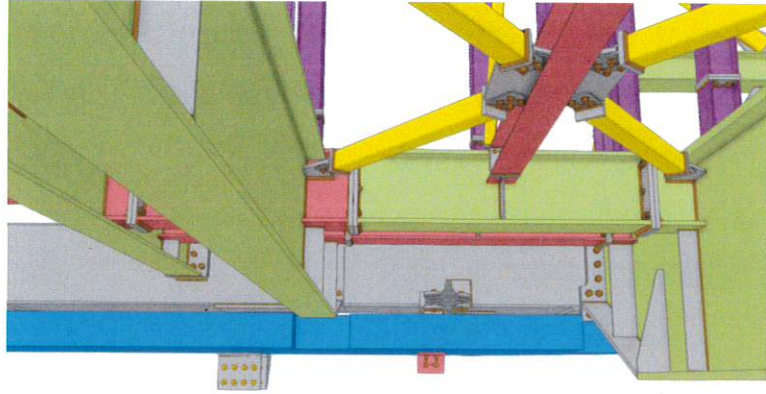


Figure 15. Detailed view near perimetric beam (corresponds to the photograph in Fig. 15).



Figure 16. Overview of preheater building (left) and completed superstructure (right).

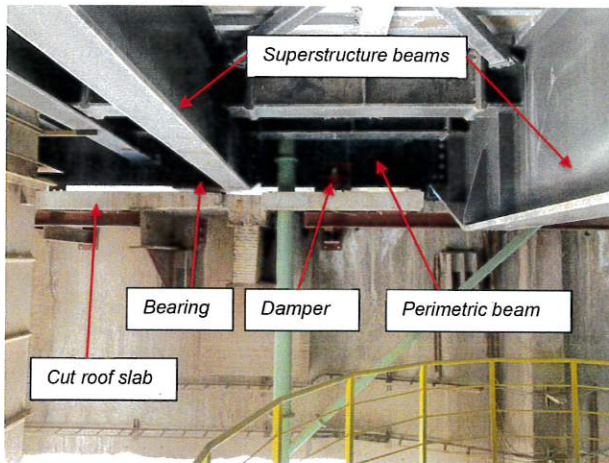


Figure 17. Inside view of characteristic base isolation elements.

三、心得與建議

(一) 橋梁相關研究

目前本公司「武界壩排洪設施改造及更新工程」與壩頂橋梁更新及改造有關，壩頂橋梁之下部結構為閘墩，型式雖與研討會案例不同，但其分析方法仍值得參考，尤其氣候變遷導致極端沖刷及淤積增加的地區，如鄰近武界壩工區之新武界橋，在今年8月卡努颱風帶來的豪雨影響下，其橋墩遭洪水不斷沖刷，出現疑似橋墩受損導致橋面凹陷，建議設計可參考學者 Sebastiano 所提研究方法，在建模分析時考慮土壤-結構互制作用，並將水力試驗成果回饋至數值模擬，可以有效地模擬沖刷對橋墩的影響，並關注橋梁補強工法之發展；而學者 Alfinna 使用的 GFBM 模型可以選擇適當的橡膠支承類型，可作為評估橡膠支承之變形能力及設計支承座尺寸的參考。

(二) 耐震評估及補強

在耐震評估及補強方面，本公司有諸多建物因早期設計地震力不足需進行耐震補強，目前經內政部營建署認可之建築物耐震能力詳細評估法如 SERCB 及 TEASPA 等，主要依建物構件塑性鉸性質及側推分析結果等工程參數提出補強方案，尚未納入學者 Mathavanayakam 於研究中所提之多準則決策方法 (Multi-Criteria Decision Making, MCDM)，將初始成本、維護成本和工期等經濟因素一併納入權重比較，建議可持續關注國內外耐震評估方法之發展及 MCDM 方法納入技術手冊與否，將可幫助決策者在多個補強方案之間做出最佳的選擇。

(三) 阻尼器及創新制震系統

韌性設計可使主要結構構件如柱梁等可維持彈性，減少結構損傷以及殘留變形，學者 Amedebrhan 所採用的超彈性摩擦阻尼具有穩定消能、可重複使用等特性，建議於本公司鋼結構一般建築工程結構設計時可將制震系統之維護性納入考量，地震後可無需更換或大量維修，以達減碳及永續之功效。

(四) 基礎隔震

本公司目前規劃中之離島發電廠機組汰換、新建工程，依環保法規須設置 SCR 等防空污機組，惟既有廠房早期設計地震力不足，故於加裝設備時必須進行耐震評估及補強。學者 Michael 在案例中採用隔震層及阻尼作為既有廠房設備更新方法，可在有限的空間和生產線不間斷的情況下，透過分階段進行施工和安裝完成設備更新及廠房結構補強，建議相關工程於規劃設計階段時，依個案特性可將隔減震方法作為設備更新方案。

附錄

(一) 研討會議程表

The SECED 2023 Conference programme overview

Thursday 14th September						
08:30 - 09:00	Registration					
09:00 - 09:15	Welcome address					
09:15 - 09:50	Keynote - Andrew Mair; Chair - Andreas Nielson The Need for a Controlling Mind in Seismic Engineering					
09:55 - 10:30	Keynote - Sebastiano Foti; Chair - Ahmed Elghazouli Influence of scour of foundations on the seismic performance of bridges					
10:30 - 11:00 Coffee break and Poster viewing						
	Wolfson Hall	Club Room	Jock Colville Hall	Bevin Room	Fellows Dining Room	Room 6
11:00 - 13:00	Session 1a: Non-structural Components and Design Codes	Session 2a: Seismic assessment & retrofitting	Session 3a: Seismic Hazard and Engineering Seismology	Session 4a: Geotechnical Earthquake Engineering	Session 5a: Catastrophe risk modelling for earthquakes	
13:00 - 14:00	Lunch					
14:00 - 14:35	Keynote - Emily So; Chair - Tiziana Rossetto Building for safety from earthquakes: the global challenge					
14:40 - 15:15	Keynote - Irmela Zentner; Chair - Peter Ford How to make best use of numerical simulation, experience feedback and expert judgement in seismic fragility analysis for nuclear installations					
15:15 - 15:45 Coffee break and Poster viewing						
	Wolfson Hall	Club Room	Jock Colville Hall	Bevin Room	Fellows Dining Room	JCR TV Room
15:45 - 17:45	Session 1b: RC, Timber and Masonry Structures	Session 2b: Seismic assessment & retrofitting	Session 3b: Seismic Hazard and Engineering Seismology	Session 4b: Blast Impact and Vibration	Session 5b: Fragility, vulnerability & infrastructure resilience	Session 6a: Turkey and Syria Earthquakes
19:00 - 22:00	Conference dinner at Kings College Cambridge					

Friday 15th September						
09:00 - 09:35	Keynote - Stavroula Kontoe; Chair - Guillermo Aldama-Bustos Dynamic response of offshore foundations - from pile installation to seismic performance					
09:40 - 10:15	Keynote - Dimitrios Vamvatsikos; Chair - Damian Grant Stranger things in seismic response and statistical tools to resolve them					
10:15 - 10:45 Coffee break and Poster viewing						
	Wolfson Hall	Club Room	Jock Colville Hall	Bevin Room	Fellows Dining Room	
10:45 - 12:45	Session 7a: Dampers and Innovative Seismic Protective Systems	Session 8a: Multi-hazard and climate change resilience of built infrastructure	Session 9a: Design for Nuclear Safety	Session 10a: Earthquake Disaster Risk Reduction, Reconnaissance and Recovery	Session 11a: Soil Structure Interaction	
12:45 - 13:45	Lunch					
13:45 - 14:20	Keynote Eduardo Miranda; Chair - Guillermo Aldama-Bustos Recent Research on Directionality of Earthquake Ground Motions					
14:25 - 15:00	Keynote Ellen Rathje; Chair - Barnali Ghosh Applying the SSHAC Framework to Account for Uncertainties in Site Response Analysis					
15:00 - 15:30 Coffee break and Poster viewing						
	Wolfson Hall1	Club Room	Jock Colville Hall	Bevin Room	Fellows Dining Room	
15:30 - 17:30	Session 7b: Base Isolation	Session 8b: Resilient Steel Structures and Seismic Design Methodologies	Session 9b: Risk Assessment in Developing Countries	Session 10b: Earthquake Disaster Risk Reduction, Reconnaissance and Recovery	Session 11b: Fragility, vulnerability & infrastructure resilience	
17:30 - 17:45	Closing of Conference and presentation of awards					

(二) 研討會相關照片



Figure 1. 邱吉爾學院



Figure 2. 研究成果展示



Figure 3. 沃佛森大廳

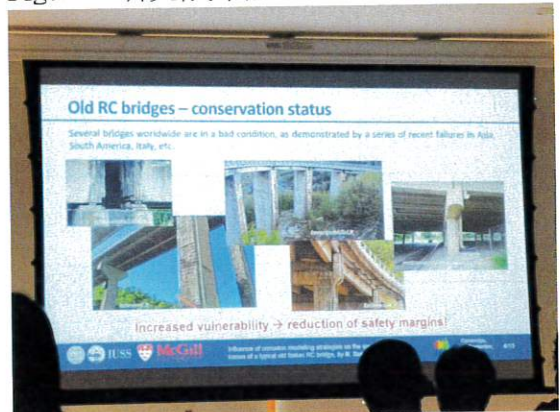


Figure 4. 會議室研究發表(a)

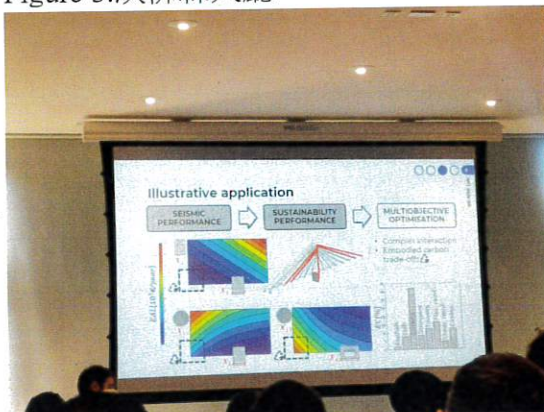


Figure 5. 會議室研究發表(b)

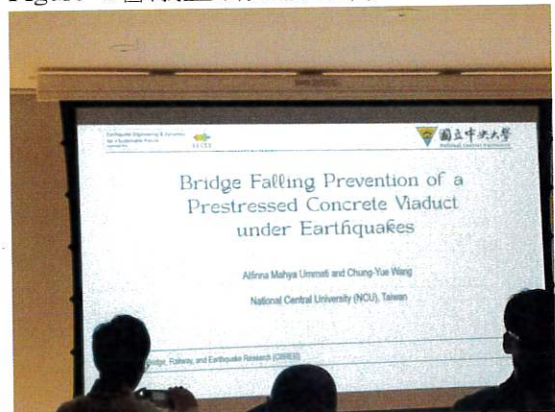


Figure 6. 會議室研究發表(c)

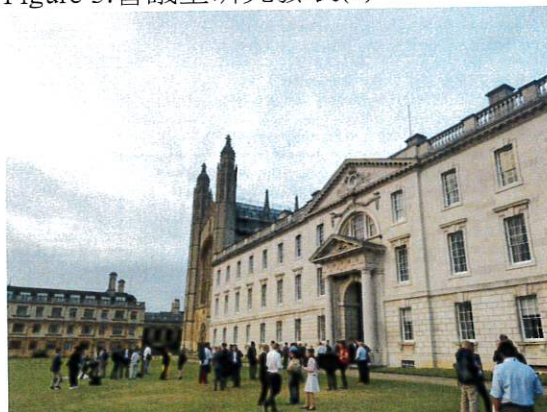


Figure 7. 國王學院

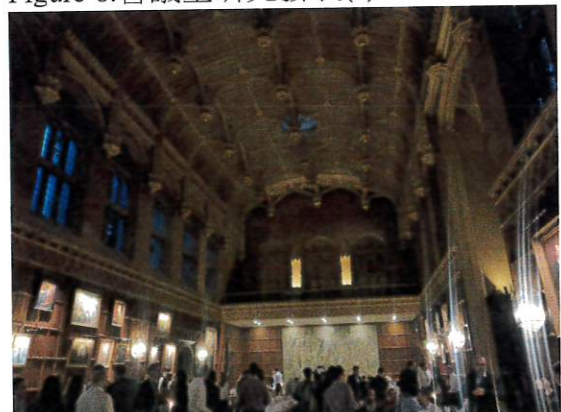


Figure 8. 研討會晚宴