

出國報告（出國類別：開會）

## 第 12 屆台美日自來水設施耐震對策 研討會

服務機關：台灣自來水公司

姓名職稱：李丁來副總經理

歐尚鑫工程師

吳鍾青工程員

派赴國家/地區：日本(熊本市)

出國期間：112 年 1 月 29 日至 112 年 2 月 2 日

報告日期：112 年 4 月 21 日

## 公務出國報告提要

頁數：96

含附件：是

報告名稱：112 年度經濟部台灣自來水公司「第 12 屆台美日耐震研討會」(12th JWVA/WRF/CTWWA Water System Seismic Conference)

出國報告書

主辦機關：經濟部台灣自來水公司

聯絡人：楊鈞浩 (04-22244191-757)

出國人員：李丁來、歐尚鑫、吳鍾青

台灣自來水公司出國類別：會議

出國地區：日本(熊本)

出國期間：112 年 1 月 29 日~111 年 2 月 2 日

報告日期：112 年 4 月 21 日

日分類號/目：770 環境保護

關鍵詞：自來水、耐震、國際合作

內容摘要：

2023 年第 12 屆台美日耐震研討會是一個專注於地震災害的國際性學術研討會，本次會議在 2016 年曾遭遇熊本大地震的日本熊本市舉行，對於台灣、美國和日本的專家學者能夠交流和分享最新的耐震技術和經驗，進而促進各國之間在耐震技術和防災管理方面的合作與發展，更具有重大的意義。本次會議主題著重於先進的耐震設計理念和技術、探討降低複雜地震災害損失的措施、災後供水系統評估與重建、應用於自來水公用事業地震對策的相關研究發展等。整體而言此行不論汲取新知，參考各國案例，及結識從事耐震業務相關的自來水事業人員，均有助本公司推動及精進相關業務。

## 摘要

2023 第 12 屆台美日耐震研討會是一個專注於地震災害的國際性學術研討會，2023 年在日本熊本市舉行。此次研討會的主要是提供一個平台，讓來自台灣、美國和日本的專家學者能夠交流和分享最新的耐震技術和經驗，進而促進各國之間在耐震技術和防災管理方面的合作與發展。此次研討會將涵蓋多個主題，包括地震工程、建築結構、土壤動力學、地震風險評估、地震應急管理、耐震設計等等。除了學術研討之外，此次研討會也安排技術參訪活動，探討日本熊本市在 2016 年發生的熊本地震後的災後重建和耐震防災工作。

此次研討會的重要性在於，台美日三國之間的耐震技術和經驗雖隨著地域不同有很大的差異，但地震災害是一個跨國性的議題，需要各國共同努力和合作。因此，此次研討會將為各國之間的合作和交流提供一個重要的平台，並且有望推動全球耐震技術和防災管理的進步和發展。特別本次台美日耐震協研討會舉辦地點為日本熊本市，為 2016 年 4 月熊本大地震發生地點，其震央位於日本熊本縣熊本市，因此造成嚴重的人員傷亡和財產損失，除了對當地及整個日本造成重大的影響，地震亦導致了水管斷裂、水壓不足等問題，部分地區甚至無法供應自來水，需要居民自行取水或借助救援單位的支援。熊本市於災後立即進行自來水系統的維修和恢復工作，包括對損壞管線的修復、供水設施的清理和維護等措施，以維持居民基本的用水需求。此外，為了更好地應對類似的災害，當地政府和相關機構也積極加強了自來水系統的防災和應急措施，包括建設備蓄水池、籌備應急水源和研擬緊急配水計劃等，以提高自來水系統的抗災能力和應急韌性。

本次研討會發表的內容包含抗震設計與風險管理、水資源供應系統之災害防治、水池及配水管道之抗震改善、水資源供應系統之應急應變、管線抗震設計與施工、災後水資源供應系統服務恢復等面向，藉由汲取自來水設施耐震新知及各國提出之案例學習經驗，將有助本公司後續相關耐震相關業務。

# 目錄

壹、目的 .....	1
貳、過程與內容 .....	3
2.1 出國行程 .....	3
2.3 研討會內容 .....	13
2.4 熊本市自來水系統概要及相關設施建置現況 .....	61
參、心得及建議 .....	86

## 圖目錄

圖 1 本次研討會論文發表單位合影留念.....	1
圖 2 各國代表與熊本市長會面 .....	13
圖 3 Yuji Matsuoka 研討會中主題演講投影片 .....	14
圖 4 預測管道破壞的模型(左圖為管線損壞預測，右圖為歷史漏水區域).....	15
圖 5 本公司李副總經理丁來於研討會中進行主題演講.....	16
圖 6 Winston Chai 於研討會中進行主題演講 .....	17
圖 7 本公司吳工程員演講.....	18
圖 8 美國 Michael 經理演講 .....	20
圖 9 焊接檢查(上-Double Lap Welded Joint；下-Butt Welded Joint) .....	21
圖 10 本公司歐工程師演講.....	23
圖 11 防震拉桿構造圖及實體圖 .....	23
圖 12 模擬 ERDIP 接頭與套環三軸相互作用的 ABAQUS 彈簧模型 .....	24
圖 13 Casa Loma Siphon No.1 管線配置及模擬圖.....	25
圖 14 Casa Loma 斷層穿越的溝槽部分採用 EPS GEOFORM 填充材進行回填	25
圖 15 日本岡本先生演講.....	26
圖 16 稻川自來水廠處理水蓄水池柱加固方式 .....	28
圖 17 美國 Craig 先生演講 .....	29
圖 18 評估架構示意圖(a)及三個階段說明的框架步驟(b) .....	29
圖 19 LADWP 水管網和地震災害圖.....	32
圖 20 基於人工智能的水系統服務區之一的抗震管網.....	33
圖 21 分析區域中受災基地醫院分佈及床位數量 .....	34
圖 22 細胞自動機法應急供水數值分析模型圖 .....	35
圖 23 南海海槽地震中應急供水站至災害基地醫院應急供水數值分析結果 (蒙特卡羅法，N = 100) .....	35
圖 24 2016 年熊本地震大規模破壞前的熊本城 .....	36
圖 25 熊本城戌亥櫓左側的石垣於 2016 年熊本地震後倒塌情形 .....	37
圖 26 熊本城因 2016 年熊本地震受損情形 .....	37
圖 27 熊本城修復參觀路線.....	38
圖 28 熊本城修復技術導覽路徑 .....	39
圖 29 特別見學通路 .....	39
圖 30 石垣的耐震補強技術.....	40
圖 31 熊本城天守閣耐震補強的安全措施.....	40
圖 32 阿蘇火山區域伏流水示意圖 .....	42
圖 33 解說人員說明阿蘇區域相對位置.....	42
圖 34 南阿蘇村地震遺構地理位置圖 .....	43
圖 35 斷層位移造成地面裂痕 .....	44

圖 36	地震對教室造成嚴重損害 .....	45
圖 37	舊東海大學阿蘇校舍 1 號館及地表斷層 .....	45
圖 38	舊東海大學阿蘇校舍 1 號館震災影響說明看板 .....	46
圖 39	大學阿蘇校舍 1 號館西側耐震補強結構 .....	46
圖 42	土石崩塌致阿蘇大橋損壞 .....	48
圖 43	重新修整後的山坡與紀念碑 .....	49
圖 44	健軍水源地配置 .....	50
圖 45	健軍水源地自來水設施 .....	51
圖 46	5 號井參訪點 .....	51
圖 47	編號 5 水井內部及外觀 .....	52
圖 48	建軍水源地位置圖 .....	52
圖 49	熊本市水資源利用圖 .....	53
圖 50	比較了熊本自來水和商業瓶裝水中的一些礦物質 .....	55
圖 51	現場提供井水試喝 .....	55
圖 52	配水方式及震災作業活動資料看板 .....	56
圖 53	熊本地震應急給水活動 .....	57
圖 54	熊本地震相關的應急復舊與漏水調查作業 .....	58
圖 55	配水池現地照片 .....	59
圖 56	配水池及緊急遮斷閥簡介(左)及應急給水塔及災害供水作業介紹 (右) .....	60
圖 57	熊本市自來水系統架構 .....	62
圖 58	熊本市自來水供水人口及普及率變化 .....	62
圖 59	熊本市主要自來水供水設施概況 .....	63
圖 60	熊本市主要自來水供水設施位置圖 .....	64
圖 61	熊本的水循環 .....	65
圖 62	從植木高原和金浦山脈等其他水系雨水滲入地下流入熊本市示意 .....	66
圖 63	熊本市上下水道局前貯水機能付給水管 .....	67
圖 64	貯水機能付給水管說明看板 .....	68
圖 65	熊本縣廳廣場前水滴造型飲水台 .....	69
圖 66	熊本縣廳廣場前不鏽鋼取水站及地下貯槽 .....	70
圖 67	熊本市道路上的關閥栓蓋 .....	70
圖 68	熊本市道路上的土地界標釘 .....	71
圖 69	與人行道共構的設置方式 .....	71
圖 70	熊本市可見的塑膠制水量計箱 .....	72
圖 71	熊本市政府前的飲水台 .....	72
圖 72	水前寺江津湖公園(左)及本妙寺飲水台(右) .....	73
圖 73	公共空間消防送水管 .....	73
圖 74	消防資材室 .....	73

圖 75 工區版式圍籬與交通錐連桿 .....	74
圖 76 熊本市上下水道震災恢復重建計劃架構 .....	75
圖 77 鑄鐵管(左)與球墨鑄鐵管(右)的顯微照片 .....	77
圖 78 NS 型耐震接頭延性鑄鐵管 .....	78
圖 79 延性鑄鐵管 NS 型耐震接頭防脫性示意 .....	78
圖 80 以往管線漏水位置(左)與根據斷層位置所預測管線損傷結果(右) .....	79
圖 81 熊本市上下水道局送水車 .....	80
圖 82 1995 年阪神淡路大地震(左)與 2011 年東日本大地震(右)緊急供水情形	80
圖 83 熊本市上下水道局使用水箱於緊急供水情形 .....	81
圖 84 熊本市上下水道局使用消防栓作為臨時供水站情形 .....	81
圖 85 使用消防栓向臨時供水站給水 .....	82
圖 86 健軍水源地緊急供水車供水的設施 .....	82
圖 87 具有抗震結構的蓄水設施 .....	83
圖 88 具有蓄水功能的供水管 .....	83
圖 89 具有蓄水功能的供水管操作演練 .....	84
圖 90 熊本市健軍有兩個配水池 .....	84
圖 91 健軍在水池之間安裝緊急遮斷閥 .....	85

## 表目錄

表 1 2016 年日本熊本地震震度 5 弱以上的地區之前震情形 .....	2
表 2 2016 年日本熊本地震震度 5 弱以上的地區主震情形 .....	2
表 3 出席「2023 第 12 屆台美日耐震研討會」行程 .....	3
表 4 2023 年 1 月 30 日台美日耐震研討會議程.....	6
表 5 2023 年 1 月 31 日台美日耐震研討會議程.....	9
表 6 2023 年 2 月 1 日台美日耐震研討會技術參訪行程	12
表 7 地震危害表 .....	20
表 8 高液化潛勢區域和陡峭斜坡區域地震危害分級表.....	21
表 9 池狀結構物的抗震性能表現及抗震性能要求.....	27
表 10 (a)應用適應時的用戶類型和最大可管理 BSC 恢復持續時間；(b)應 用適應時表 7a 中的關鍵用戶和最短 BSC 恢復持續時間。 .....	30
表 11 需要延長或調整實施的目標供水恢復時間.....	30
表 12 不同社會影響程度的比較及其目標供水恢復時間.....	30
表 13 供水系統示範例的彙整結果 .....	31
表 14 按材料類型和直徑分類的 LADWP 管道長度 .....	33
表 15 美味水的要求 .....	54
表 16 導、送、配水管的各管種、口徑的受災件數和受災率（熊本市） .....	76
表 17 熊本市上下水道局自來水管材使用情形 .....	77



- 附錄 1 大會手冊
- 附錄 2 第 12 屆台美日耐震研討會出席名單
- 附錄 3 李副總經理演講簡報
- 附錄 4 歐工程師尚鑫簡報資料
- 附錄 5 吳工程員簡報資料
- 附錄 6 熊本城遺跡簡介投影片
- 附錄 7 技術參訪行程
- 附錄 8 熊本災遺構 dm

## 壹、 目的

台灣、日本及美國同屬環太平洋地震帶，近年發生之大規模地震，對公共給水系統造成的傷害甚大，一旦受損將嚴重影響民生、醫療、消防救災，故各國投入自來水系統耐震性與震後應變之研究，一向不遺餘力。

台灣、日本、美國為交流自來水設施耐震之技術與經驗，每隔 2 年由美國自來水協會研究基金會(WRF)、日本水道協會(JWWA)以及中華民國自來水協會(CTWWA)輪流主辦「台美日自來水設施耐震對策研討會」，這次第 12 屆研討會由日本熊本市上下水道局擔任主辦單位，邀請自來水學者及自來水協會人員參加並發表論文，並有與日本水道局合作之設備商展示設備，透過研討會及展覽的平臺及交流場所，共同致力於研究和分享水處理設備、耐震技術及抗震的解決方案，期能相互學習、廣泛交流與增進情誼。

此次研討會地點選擇在日本熊本市舉行，係因 2016 年 4 月 16 日上午 1 時 25 分 10 秒（當地時間）發生在九州島的地震，震央位於九州中部的熊本縣上益城郡益城町附近，震源深度推測約 12 公里，規模為日本氣象廳地震規模 7.3、地震矩規模 7.0。其前震、主震及餘震於九州各地引發災情。日本氣象廳將該地震命名為「平成 28 年(2016 年)熊本地震」。本次前震與主震最大震度皆為震度 7，益城町在本次前震與主震中均有測得（亦為前震中唯一觀測到震度 7 之區域），西原村則只在主震中觀測到，是日本自 1949 年設立震度 7 以來，繼 1995 年的阪神大地震、2004 年的新潟縣中越地震和 2011 年的 311 大地震後第四、五度觀測到震度 7 的地震，同時也是日本自 1949 年來第一次數日內在同一區域連續兩次觀測到震度 7，因此日本熊本市也累積了許多震災預防及應變經驗可供各國參考。

表1 2016年日本熊本地震震度5弱以上的地區之前震情形

震度	都道府縣	市區町村
7	熊本縣	益城町
6弱	熊本縣	玉名市 西原村 宇城市 熊本市東區·西區·南區
5強	熊本縣	菊池市 宇土市 大津町 菊陽町 御船町 美里町 山都町 冰川町 合志市 熊本市中央區·北區
5弱	熊本縣	高森町 阿蘇市 南阿蘇村 八代市 長洲町 大津町 甲佐町 和水町 上天草市 天草市
	宮崎縣	椎葉村

表2 2016年日本熊本地震震度5弱以上的地區主震情形

震度	都道府縣	市區町村
7	熊本縣	益城町 西原村
6強	熊本縣	南阿蘇村 菊池市 宇土市 大津町 嘉島町 宇城市 合志市 熊本市中央區·東區·西區
6弱	熊本縣	阿蘇市 八代市 玉名市 菊陽町 御船町 美里町 山都町 冰川町 和水町 熊本市南區·北區 上天草市 天草市
	大分縣	別府市 由布市
5強	福岡縣	久留米市 柳川市 大川市 三山市
	佐賀縣	佐賀市 上峰町 神埼市
	長崎縣	南島原市
	熊本縣	南小國町 小國町 產山村 高森町 山鹿市 玉東町 長洲町 甲佐町 蘆北町
	大分縣	豐後大野市 日田市 竹田市 九重町
5弱	宮崎縣	椎葉村 高千穗町 美鄉町
	愛媛縣	八幡濱市
	福岡縣	福岡市南區 遠賀町 八女市 筑後市 小郡市 大木町 広川町 筑前町
	佐賀縣	白石町 三養基町 小城市
	長崎縣	諫早市 島原市 雲仙市
	熊本縣	荒尾市 南關町 人吉市 朝霧町 山江村 水俣市 津奈木町
	大分縣	大分市 白杵市 津久見市 佐伯市 玖珠町
	宮崎縣	延岡市
鹿兒島縣	長島町	

## 貳、 過程與內容

自 1999 年以來，水研究基金會(Water Research Foundation, WRF) 持續與日本和台灣的合作夥伴合作舉辦雙年工作坊，以交換有關準備和應對地震的知識和研究。第 12 屆台美日耐震研討會原定於 2022 年 1 月在日本熊本市舉行，因受 Covid-19 疫情影響，順延至 2023 年舉行。本次研討會由熊本市上下水道局和日本水道協會主辦，並由 WRF 和中華民國自來水協會共同贊助。本次研討會核定行程為 112 年 1 月 30 日至 2 月 1 日，共計 5 日，由於 1 月 20 至 29 日適逢春節連假，因此本公司成員各自預定班機前往日本熊本市。

### 2.1 出國行程

本次行程詳如表 3 所示。

表3 出席「2023 第 12 屆台美日耐震研討會」行程

日期	行程內容
1 月 29 日 (日)	由桃園國際機場搭乘長榮航空至日本福岡國際機場 由福岡國際機場搭乘巴士/地鐵至博多車站 由博多車站搭乘九州新幹線至熊本
1 月 30 日 (一)	參加研討會開幕式 參加主題講座 (李副總丁來應邀擔任演講者、歐工程師尚鑫及吳工程員鍾青進行論文發表，參加問題與討論)
1 月 31 日 (二)	參加主題講座 參加問題與討論
2 月 1 日 (三)	參加大會針對國際參觀者提供的技術導覽行程 (阿蘇地區大觀峰、熊本地震紀念館、舊阿蘇大橋倒塌橋樑的遺跡)
2 月 2 日 (四)	由熊本搭乘九州新幹線至博多車站 由博多車站搭乘巴士/地鐵至福岡國際機場 由日本福岡國際機場搭乘長榮航空至桃園國際機場

## 2.2 研討會概要

本次會議的主軸在於地震耐震設計及實踐、風險管理、如何在地震期間教育公眾和傳遞信息（使用社交網絡服務等）、減少複雜地震損害的緩解措施、地震案例研究，以捕捉重建/修復工作和社區參與的最佳實踐、研究新進展以及如何將研究成果應用於實踐中（例如，使用物聯網或人工智能方法）以及其他相關主題（例如，供水公用事業的地震對策）等。

此屆研討會本公司李副總經理丁來應邀以「台灣自來水公司的防震抗災策略」為題，提供台灣近期遭遇震災時，在面臨了自來水設施及管線遭破壞以致民生用水供應困難，自來水公司如何透過水車的支援及調度，緊急提供自來水之民生使用，並同時緊急修復損壞設施之作為，進行專題演講；歐工程師尚鑫以「水池抗震方法及伸縮接頭」為題，分享自來水公司正在應用的水池耐震方法，包含伸縮縫材料、規範及實務做法；吳工程員鍾青說明「板新二期工水改善專案計畫」之規劃過程及執行成果，說明建置供水調度系統內容，達到降低供水區域僅依賴單一水源之風險等。

研討會論文發表單位，台灣部分包含本公司、中華民國自來水協會、台北自來水事業處以及國家地震工程研究中心；日本部分，包括東京都水道局(Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government)、仙台市自來水廳(Sendai City Waterworks Bureau)、橫濱市自來水廳(Yokohama Waterworks Bureau)、大阪市水道局(Osaka Municipal Waterworks Bureau)、阪神水道企業團(Hanshin Water Supply Authority)、名古屋市上下水道局(Nagoya City Waterworks & Sewerage Bureau)、熊本市上下水道局(Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau)、(Kobe City Waterworks Bureau)神戶市水道局、Meta Water 株式會社(Meta Water Co., Ltd., Japan) 及日本水道環境技術株式會社(Nihon Suido Consultants Co., Ltd ; NSC)；美國部份，包括特阿拉廷山谷自來水區(Tualatin Valley Water District)、南加州都會水區(Metropolitan Water District of Southern California)、東灣市政公用事業區(East Bay Municipal Utility District)、洛杉磯市水電局(Los Angeles Department of Water and Power)、SPA 風險有限責任公司(SPA Risk LLC)、科羅拉多大學博爾德分校(University of Colorado Boulder)及 C.A. Davis 工程公司(C.A. Davis

Engineering)。

研討會期間透過與與會代表的交流及互動，瞭解其他國家在自來水設施耐震方面做的研究及實務做法，將提供本公司日後規劃相關耐震設施及推動提升供水安全。

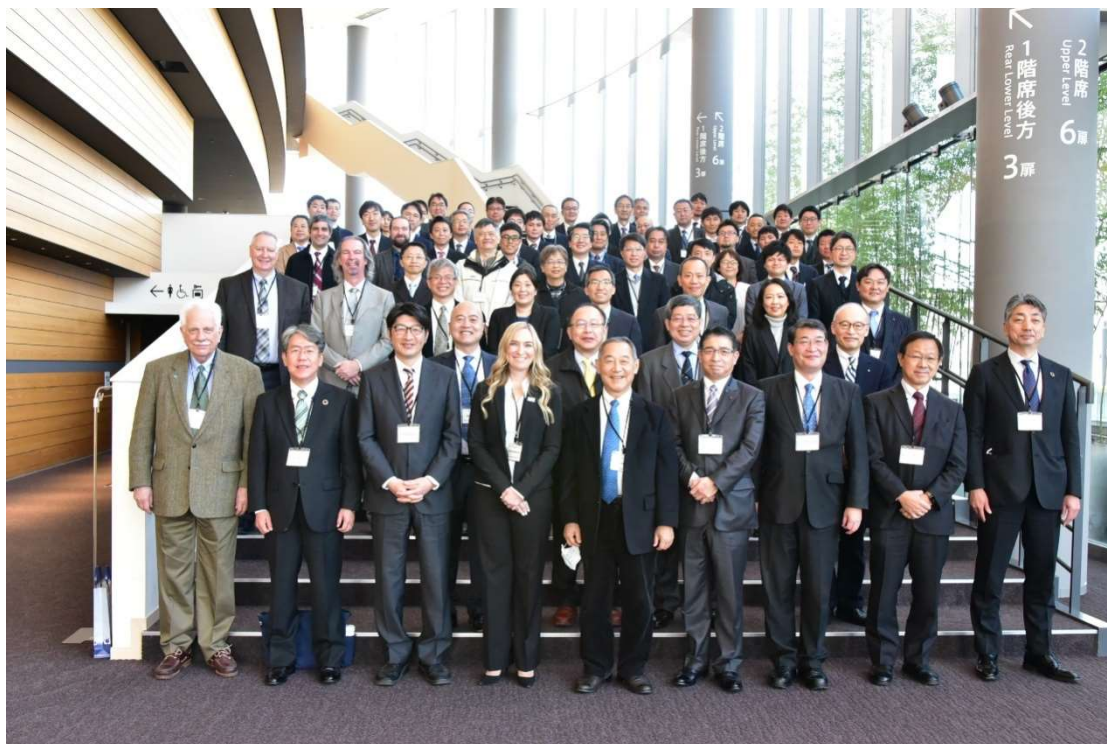


圖1 本次研討會論文發表單位合影留念

研討會全程共 3 天，前 2 天的行程為有 3 場專題演講及 31 篇來自日本、美國及台灣的學者或工程人員，分為 7 個場次的研究發表。第 2 天午後穿插至鄰近熊本城導覽震災後的復原工作。第 3 天為技術參訪行程，包含阿蘇地區大觀峰集水區、熊本地震紀念館、舊阿蘇大橋倒塌橋樑的遺跡與建軍水源地。詳如表 4、表 3、表 4 所示。

表4 2023 年 1 月 30 日台美日耐震研討會議程

<b>DAY 1 – Monday, January 30, 2023</b>	
<b>1. REGISTRATION 報到</b>	
08:30 – 09:30 Conference Room A1 in KUMAMOTO-JO HALL 在熊本城市體育館 A1 會議室	
09:10 – Meeting with Mayor of Kumamoto City (National Representatives) 與熊本市市長（國家代表）會面	
<b>2. OPENING CEREMONY 開幕式</b>	
09:30 – 09:35 <u>Kazufumi Onishi</u> , Mayor of Kumamoto City 熊本市市長小西和文致詞	
09:35 – 09:40 <u>Hideyuki Aoki</u> , Executive Director of Japan Water Works Association 日本自來水協會執行理事青木英之致詞	
09:40 – 09:45 <u>Yang-Long Wu</u> , Secretary General of Chinese Taiwan Water Works Association 臺灣自來水協會秘書長吳陽龍致詞	
09:45 – 09:50 <u>Brenley McKenna</u> , Chief of Subscriber Services of Water Research Foundation 水研究基金會使用者服務主任布倫利·麥肯納致詞	
<b>3. KEYNOTE SPEECHES 專題演講</b>	
時間	講者/題目
09:50 – 10:10	<u>Yuji Matsuoka</u> Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau 熊本市上下水道局 “Water Supply System Infrastructure-Issues and Lessons Learned from the Kumamoto Earthquake” (Japan) 「熊本地震對供水系統基礎設施的影響與教訓」
10:10 – 10:30	<u>Tin-Lai Lee</u> 李丁來 Vice President of Taiwan Water Corporation 台灣自來水公司副總經理 “Earthquake-resilience and Mitigation Strategies for Taiwan Water Corporation” (Taiwan) 「台灣自來水公司的防震抗災策略」
10:30 – 10:50	<u>Winston Chai</u> Manager of Metropolitan Water District of Southern California 南加州都會水區經理 “Comprehensive Strategies to Mitigate Seismic Risks of Large-Diameter Pipelines”(US) 「綜合策略以減輕大型管道地震風險」
<b>4. PRESENTATION PART I 發表會議程 I</b>	
<b>SESSION 1</b>	
時間	講者/題目
11:10 – 11:30	<u>Mizuki Uemura</u> Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government 東京都水道局 “Duplexing of Conveyance Facilities (Raw Water Connection Pipes) and Development of the “Second Asaka-Higashimurayama Lines”” (Japan) 「輸水設施的雙重化（原水連結管）及「第二淺草東村山線」的發展」

11:30 – 11:50	<u>Michael J. Britch</u> Tualatin Valley Water District 特阿拉廷山谷自來水區 “Seismic Design Quality Control Practice to Improve Overall Seismic Performance of Large Water Transmission System Pipelines and Facilities” (US) 「地震設計質量控制實踐以提高大型水輸送系統管道和設施的整體抗震性能」
11:50 – 12:10	<u>Jung Ching Wu 吳鍾青</u> Taiwan Water Corporation 台灣自來水公司 “The Risk management of water supply system – Ban-xin water supply improvement project” (Taiwan) 「水供應系統風險管理-板新供水改善工程」
12:10 – 12:30	<u>Shunichi Hayasaka</u> Sendai City Waterworks Bureau 仙台市水道局 “Efforts of the Project for Providing Information of Earthquake Disaster Provision in Sendai City” (Japan) 「仙台市地震災害預防信息計畫的努力」
<b>SESSION 2</b>	
時間	講者/題目
13:30 – 13:50	<u>Shang-Hsin Ou 歐尚鑫</u> Taiwan Water Corporation 台灣自來水公司 “A Study of Anti-seismic Measures for Expansion Joints of Water Tanks” (Taiwan) 水池伸縮縫耐震對策之研究
13:50 – 14:10	<u>Rintaro Okada</u> Yokohama Waterworks Bureau 橫濱自來水廳 “Fabrication of special equipment for filling water trucks and receiving tanks from municipal water supplies” (Japan) 「市政供水車、水箱供水專用設備製造」
14:10 – 14:30	<u>Tao Peng</u> Metropolitan Water District of Southern California 南加州都市水務局 “Design of Casa Loma Siphon for Fault Crossing and Ground Subsidence” (US) 「Casa Loma Siphon 的斷層穿越及地面沉降設計」
14:30 – 14:50	<u>Kuo-Chun Chen 陳國俊</u> Taipei Water Department 台北市自來水事業處 “An Earthquake Effect on Network Consumptions & Pumping Behaviors” (Taiwan) 「地震對自來水管網用水量及抽水行為之影響」
14:50 – 15:10	<u>Takashi Nakai</u> Osaka Municipal Waterworks Bureau 大阪市水道局 “2nd Version of Earthquake Resistance Measures Reinforcement Plan of Osaka Municipal Waterworks Bureau” (Japan) 「大阪市水道局地震對策強化計畫 第2版」
<b>SESSION 3</b>	



時間	講者/題目
15:40 - 16:00	<u>Tomohisa Okamoto</u> Hanshin Water Supply Authority 阪神水道企業団 “Evaluation of seismic performance of reservoir-like structures and measures to increase their earthquake resistance” (Japan) 「水池構造物抗震性能評價及抗震加固對策」
16:00 - 16:20	<u>Raffi Moughamian</u> East Bay Municipal Utility District 東灣市政公用事業局 “Large Diameter Steel Pipeline Response to Fault Creep” (US) 「大口徑鋼管在斷層蠕變下的反應」
16:20 - 16:40	<u>Hiroki Oiwa</u> Nagoya City Waterworks & Sewerage Bureau 名古屋市上下水道局 “Earthquake Resistant Renovation of Water Conduit” (Japan) 「給水管道抗震改造」
16:40 - 17:00	<u>Bing-Ru Wu 吳秉儒</u> National Science and Technology Center for Disaster Reduction 國家災害防救科技中心 “Mesh-based Damage Assessment on the Water Supply System - Case Studies for Two Major Earthquakes in Taiwan” (Taiwan) 「基於網格的供水系統損壞評估—以台灣兩次大地震為例」
17:00 - 17:20	<u>Craig A. Davis</u> C.A. Davis Engineering C.A. Davis 工程 “A Framework to Establish Post-Earthquake Water System Service Recovery Goals” (US) 「建立地震後水系服務恢復目標的架構」
17:20 - 17:40	<u>Kazumitsu Tashiro</u> Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau 熊本市水道局 “Response to Newly Actualized Damage Following the 2016 Kumamoto Earthquake” (Japan) 應對 2016 年熊本地震後新實現的損壞

表5 2023年1月31日台美日耐震研討會議程

<b>DAY 2 – Tuesday, January 31, 2023</b>	
<b>6. PRESENTATION PART II 發表會議程 II</b>	
<b>SESSION 4</b>	
時間	講者/題目
09:00 – 09:20	<p><u>Kouhei Mizobuchi</u> Kobe City Waterworks Bureau 神戶市自來水局 “Evaluation of the effect of Seismic Resistant Measures and verification of prioritized Facilities Improvement Measures of Basic Plan of Earthquake Resistance” (Japan) 抗震措施的效果評估和基本地震抗性計劃優先設施改善措施的驗證”</p>
09:20 – 09:40	<p><u>Michael J. Britch</u> Tualatin Valley Water District Tualatin Valley 水務 “Practical Applications for Transient Ground Shaking in the Design of Earthquake Resistant Welded Steel and Ductile Iron Pipelines” (US) 地震時鋼管和可塑鑄鐵管設計中瞬時地震搖動的實用應用</p>
09:40 – 10:00	<p><u>Nagahisa Hirayama</u> Nagoya University 名古屋大學 “Development of Evaluation Procedure for Opportunity Loss of Economic Activities due to Damage on Water Distribution System After Earthquake” (Japan) 開發水配管系統損壞後經濟活動機會損失評估程序</p>
10:00 – 10:20	<p><u>Chin-Hsun Yeh</u> 葉錦勳 National Center for Research on Earthquake Engineering 國家地震工程研究中心 “Prioritization of Seismic Hazards and Vulnerabilities of Water Distribution Mains in Taipei” (Taiwan) 台北市供水管線地震危害及脆弱性優先順序評估</p>
<b>SESSION 5</b>	
時間	講者/題目
10:40 – 11:00	<p><u>Gee-Yu Liu</u> 劉季宇 National Center for Research on Earthquake Engineering 國家地震工程研究中心 “On Seismic Design and Assessment of Rectangular Water Containing Reinforced Concrete Structures” (Taiwan) 關於矩形水池鋼筋混凝土結構的地震設計和評估</p>
11:00 – 11:20	<p><u>Yuya Oshikiri</u></p>

	Sendai City Waterworks Bureau 仙台市自來水事務所 “Development of Educational Materials for Human Resource Development Training Utilizing Disaster Ethnography Surveys in the Great East Japan Earthquake” (Japan)利用災害民族志調查進行人力資源開發培訓的教育材料開發 -以東北大震災為例
11:20 – 11:40	<u>Jianping Hu</u> Los Angeles Department of Water and Power 洛杉磯市水電局 “Development of Water System Seismic Resilience Pipe Network” (US)水系統地震彈性管網的開發
11:40 – 12:00	<u>Shogo Kaneko</u> Kubota Corporation 久保田公司 “Design Method of Pipeline in Shield Tunnel against Fault Displacement” (Japan)盾構隧道中的管道設計方法，以抵抗斷層位移
12:40 – 14:05	<b>Kumamoto Castle Tour</b> 熊本城參觀 Technical tour to Kumamoto Castle, where the restoration projects are ongoing after the devastating damage caused by the Kumamoto earthquake. 技術考察熊本城，該城正在進行修復項目，以應對熊本地震造成的嚴重損害。
<b>SESSION 6</b>	
時間	講者/題目
14:20 – 14:40	<u>Nagahisa Hirayama</u> Nagoya University 名古屋大學 “Development of Numerical Simulation Model for Emergency WaterSupply” (Japan)應急供水數值模擬模型的開發
14:40 – 15:00	<u>Yu-Hsiang Wang</u> 王郁翔 Sinotech Engineering Services LTD. 中興程顧問股份有限公司 “Establishing Criteria for Water Distribution Mains Replacing Prioritization with Earthquake-Resistance Factors” (Taiwan)建立水配管更換優先順序的標準，以地震防護因素為主
15:00 – 15:20	<u>Yuji Kawase</u> Meta Water Co., Ltd. META 水有限公司 “Introducing the case studies of ICT utilization to accelerate the recovery of the water supply service after natural disasters and the daily troubleshooting operations in Arai City” (Japan)介紹 ICT 利用案例，以加速災後供水服務的恢復和荒尾市的日常疑難排解工作

15:20 – 15:40	<u>Charles Scawthorn</u> SPA Risk LLC SPA 風險有限責任公司 “Effect of Major Stress Events on Buried Pipe Service Life” (US) 主要應力事件對埋地管道使用壽命的影響
<b>SESSION 7</b>	
時間	講者/題目
16:00 – 16:20	<u>Satoshi Iwatsubo</u> Nihon Suido Consultants Co., Ltd (NSC) 日本水道環境技術株式會社 “Earthquake-induced damages on water supply facilities and recommendations to seismic design in Japan” (Japan) 地震對供水設施的損害及在日本地震設計方面的建議
16:20 – 16:40	<u>Bard P. Wham</u> University of Colorado Boulder 科羅拉多大學波德分校 “Evaluation of Assessment Procedures for Hazard-Resilient Expansion Joints” (US) 評估耐災擴展接縫的評估程序
16:40 – 17:00	<u>Yang-Long Wu</u> 吳陽龍 Chinese Taiwan Water Works Association 中華民國自來水協會 “Evaluate Liquefaction Risk to Taipei Water Supply System” (Taiwan) 評估台北自來水系統液化風險
17:00 – 17:20	<u>Shigeru Imai</u> Japan Water Works Association 日本自來水協會 “Mutual Support against great disaster by water utilities and JWWA” (Japan) 自來水公用事業和日本自來水協會在大災害中的互助合作
<b>7. CONCLUDING REMARKS</b> 結論發言	
17:20 – 17:25	<u>Hiroshi Nagaoka</u> – Tokyo City University (Japan) 永岡博 - 東京城市大學 (日本)
17:25 – 17:30	<u>Brenley McKenna</u> – Water Research Foundation (US) Brenley McKenna - 水研究基金會 (美國)
17:30 – 17:35	<u>Tin-Lai Lee</u> – Taiwan Water Corporation (Taiwan) 李丁來 - 台灣自來水公司 (台灣)
<b>8. 13TH WATER SYSTEM SEISMIC CONFERENCE</b> 第 13 屆水系結構抗震研討會	
17:35 – 17:40	<u>Yang-Long Wu</u> (Taiwan) 吳陽龍 - 中華民國自來水協會
<b>SPEAKERS' BANQUET</b> 講者晚宴	

表6 2023年2月1日台美日耐震研討會技術參訪行程

<b>DAY 3 – Wednesday, February 1, 2023</b>	
<b>10. TECHNICAL TOUR FOR INTERNATIONAL PARTICIPANTS</b>	
國際參觀者的技術導覽	
07:45	Meet at Sakuramachi Bus Terminal 在櫻町巴士站集合
10:00 - 10:20	Daikanbo (the best viewing spot in Aso area) 大觀峰 (阿蘇地區集水區最佳觀景點)
11:00 - 11:40	The Kumamoto Earthquake Memorial Museum 熊本地震紀念館
11:50 - 12:20	Remains of the collapsed bridge girders of the old AsoOhashi Bridge 舊阿蘇大橋倒塌橋樑的遺跡
12:30 - 13:30	Lunch 午餐
14:30 - 15:20	Kengun Water Source 建軍水源地
15:30	End of TECHNICAL TOUR 賦歸

## 2.3 研討會內容

### 一、 開幕式及主題演講

本次研討會之歡迎會於主會場 KUMAMOTO-JO HALL 之小型會議室舉行，先由熊本市長與各國代表進行會面，如下圖 2。



圖2 各國代表與熊本市長會面

開幕典禮首先由熊本市長及各國代表致詞，隨後各國進行 20 分鐘的主題演講。本次主題演講就震災發生後的實務經驗分享、提升抗震韌性與減災策略及及降低地震造成損害的風險等議題進行主題演講及交流，其演講內容概述如下：

#### **(一) .Water Supply System Infrastructure-Issues and Lessons Learned from the Kumamoto Earthquake (熊本地震對供水系統基礎設施的影響與教訓)**

**Yuji Matsuoka, Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau**

**松崗熊次，熊本市上下水道局**

在研討會上，日本熊本市上下水道局的松岡熊次先生分享了他們在 2016 年熊本地震中所面臨的水資源問題以及從中學到的教訓(如圖 3)。熊本市的純淨地下水提供了市民所需的所有飲用水，使其成為日本頂尖的地下水城市之一。然而，

地震造成了東部地區主要管道的斷裂，導致該地區 63%的飲用水供應中斷，令 326,000 個家庭失去了供水。這次事件凸顯了水資源基礎設施老化和抗震能力的重要性，以及急救水供應系統脆弱性的局限性。因此，熊本市計劃在解決熊本地震中遇到的問題和學到的教訓的基礎上建立一個抗震能力強、可持續、安全且堅固的水資源供應系統，以應對類似或更大規模的地震，包括南海海溝地震。具體措施包括建立東部地區備用水源系統，加固每個水配送站的柔性供水管道和安裝輔助分配管道，開發預測管道破壞的模型(如圖 4)，以及在城市內建立多個緊急儲水設施和建造一座新的供水基地水塔，以加速水的分配速度。這些措施將有助於建立一個更強大、更可靠的水資源供應系統，確保市民能夠長期享受高品質的自來水服務。

3 ISSUES AND LESSONS LEARNED FROM THE KUMAMOTO EARTHQUAKE		
3.1 Issues Raised by the Kumamoto Earthquake		
4 main issues learned by the experience of Kumamoto Earthquake		
Lessons	Issues	Attempts
① Water management that relies too much on the eastern water distribution area	1. Earthquake Resistance & Renewal of Aging Crucial Water Supply Facilities and Pipelines	➢ Identify areas that should be prioritized for renewal based on the status of aging pipelines and pipeline damage prediction results, and promote earthquake resistance.
② Damage due to aging of important water supply facilities and pipes	2. Dispersion of Water Outage Risk	➢ Develop water accommodation pipes and supply pipes for each water distribution area
③ Difficulties in emergency water supply activities due to shortages of personnel and equipment	3. Water Supply to important facilities in the event of a disaster	➢ Earthquake-resistant pipes to disaster prevention bases and main hospitals
➔ Major damage and chaos	4. Strengthening the Supply System	➢ Installation of emergency shut-off valve ➢ Expansion of Water Filling Bases ➢ From hub water supply to transportation water supply

"Building a Water Supply System Utilizing Issues and Lessons Learned by the Kumamoto Earthquake."

Ministry of the Kumamoto City Waterworks and Sewerage Bureau, "WOTTA" 15

圖3 Yuji Matsuoka 研討會中主題演講投影片

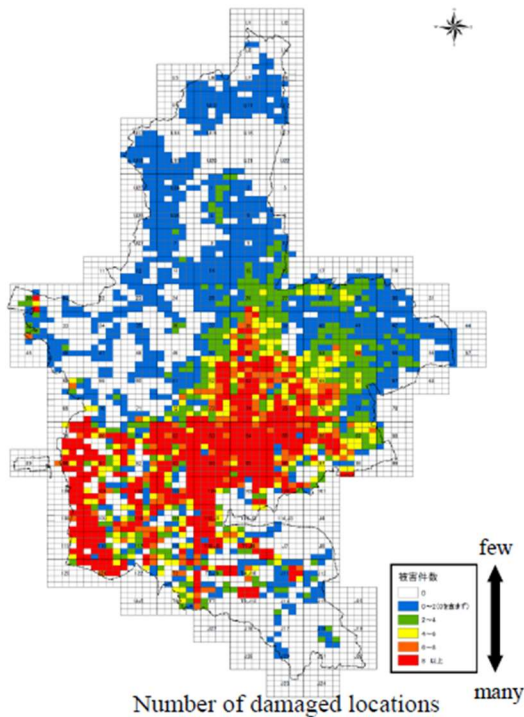


Fig. 9 Pipeline damage prediction results

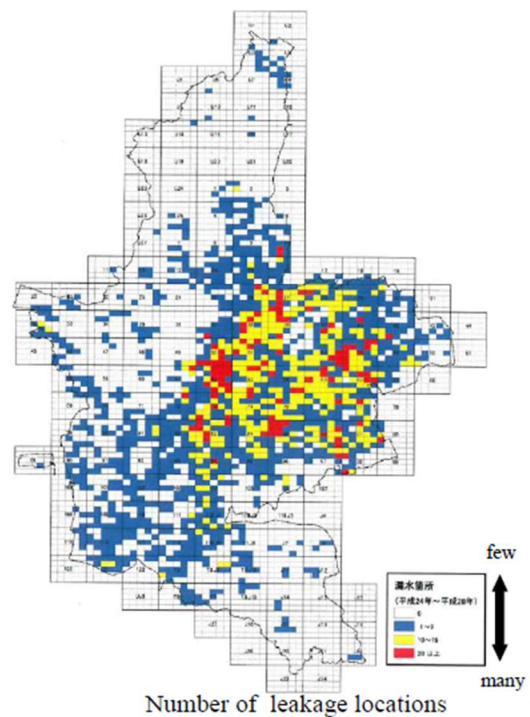


Fig. 10 Past water leakage locations (2012-2016)

圖4 預測管道破壞的模型(左圖為管線損壞預測，右圖為歷史漏水區域)

## (二) Vice President of Taiwan Water Corporation Earthquake-resilience and Mitigation Strategies for Taiwan Water Corporation (台灣自來水公司的防震抗災策略)

**Tin-Lai Lee, Vice President of Taiwan Water Corporation**

李丁來，台灣自來水公司副總經理

本公司李副總經理丁來於研討會中來分享了自來水公司在臺灣多次地震中所採取的應對策略以及未來的發展前景(圖 5)。包含面對臺灣多次地震，例如 1999 年 921 大地震、2016 年台南地震、2018 年花蓮地震等，台水公司一直致力於保障民眾的飲用水安全和供水系統的穩定運行。除了立即啟動應變機制，積極透過全省水車的支援及調度緊急調度自來水供民生使用，也同時調度全台工程人員及合作廠商到受災地區緊急修復損壞之設施，加速地震後供水管線損壞的修復



工作，以恢復正常供水。

李副總經理丁來提到，由於台水公司目前在除台北市外的全國各地運營超過 875 萬立方米/天的水量，因此肩負保障供水系統的穩定運行和民眾的飲用水安全的重大責任。本次演講除了回顧 TWC 的抗震減災策略，並亦討論未來的發展前景，包括物聯網進行供水設施操控、結合大數據進行供水分析、運用水量水壓資料庫發展人工智慧進行漏水偵測等，以提高供水系統的穩定性和可靠性。此外，公司持續進行管線的汰換及增加供水管線備援調度的容量，進一步提高客戶的滿意度和安全感。



圖5 本公司李副總經理丁來於研討會中進行主題演講

### **(三) Comprehensive Strategies to Mitigate Seismic Risks of Large-Diameter Pipelines (綜合策略以減輕大型管道地震風險)**

**Winston Chai, Manager of Metropolitan Water District of Southern California**

**Winston Chai, 南加州都會水區經理南加州都會水區經理**

在 Winston Chai 的研究中，他介紹了南加州都會區水務局的供水系統(圖 6)，該系統擁有 830 英里的幾乎全是大口徑管道的運輸和分配管線，而該地區又是世界上地震風險最高的地區之一，因此地震風險的降低成為確保水務基礎設施可靠

性的重要任務。Winston Chai 提出了一系列的策略，以提高大口徑管道的地震抗性。這些策略包括評估地震風險、優先考慮降低風險、開發降低風險的措施以及規劃後事件恢復等。其中包括在新的管道設計中納入抗震設計要素，以及通過自定義設計來維修現有的管道以應對不同的地震風險。Winston Chai 的研究討論了開發大口徑管道地震韌性策略的過程，評估區域分配系統地震風險的方法，以及防止新的和現有的大口徑管道地震損害的減災措施。文章提供了案例來證明所提出方法的有效性，強調了減輕由大規模地面位移造成的風險的措施。該研究還討論了美國其他地區水務機構近期所採取的努力，並確定了需要進一步研究以增強水運輸系統地震韌性的領域。面對相似的地震風險的地區水務機構，將受益於該研究提出的累積知識，以便有助於他們開發地震韌性策略。



圖6 Winston Chai 於研討會中進行主題演講

## 二、 研討會發表論文

本次研討會發表論文部分，共分為為七個場次，除了本公司歐工程師尚鑫及吳工程員有研究發表，台灣部分尚有台北市自來水事業處(陳國俊)、國家災害防救科技中心(吳秉儒)、國家地震工程研究中心(葉錦勳、劉季宇)、中興程顧問股份有限公司(王郁翔)及中華民國自來水協會(吳秘書長陽龍)，以下則針對研討會本公司及美、日數篇研究進行描述。

### (一) The Risk management of water supply system - Ban-xin water supply improvement project(水供應系統風險管理-板新供水改善工程)

**Jung Ching Wu, Taiwan Water Corporation**

**吳鍾青，台灣自來水股份有限公司**

本公司吳工程鍾青員指出(圖 7)，隨著氣候變化和極端天氣的日益嚴重，水資源供應變得越來越具有挑戰性。台灣每年的降雨量約為 2,200 毫米，因此水資源在工業和家庭用水方面已經足夠。然而，由於降雨分配不均，加上產業結構和人口的變化，某些地區的水使用量增加了。



圖7 本公司吳工程員演講

因此，實現重新分配水資源和建立水資源分配系統是很重要的。此外，互相支援的供水系統可以減輕因地震造成的供水影響。吳鍾青介紹了板新自來水供水改善計畫，此計畫旨在解決新北市用水需求急遽增加的問題。他提到，在 2021

年，新北市的用水量已達到每日 810,000 立方米，石門水庫的水資源將不再足夠。因此，台灣自來水公司計畫從翡翠水庫引水，並建立五個加壓站和 30 公里的管道系統，並且搭配供水監控系統。在 2020 年此項計畫完成時，翡翠水庫的水可以經由五處接水點送達新北市。此外，當翡翠水庫面臨低水位問題時，水資源也可以透過這個系統從石門水庫供應給台北市。換句話說，如果地震造成新北市自來水資源中斷，台北市的水資源可以支援新北市的日常用水需求。

最後，吳鍾青指出，2021 年台灣也受到氣候變化的影響。在這一年，一月到四月的降雨量比平常低得多，而雨季也提早結束，這使得台灣面臨缺水問題。但是，由於實施了此水供應改善計畫，水資源不僅可以被合理分配，而且還可以幫助減輕不同地區的水資源短缺問題。目前，台灣自來水公司仍在持續於適宜的地區建置互相備援的供水系統，以降低旱災、或地震對供水穩定性之影響。

## **(二) Seismic Design Quality Control Practice to Improve Overall Seismic Performance of Large Water Transmission System Pipelines and Facilities(地震設計質量控制實踐以提高大型水輸送系統管道和設施的整體抗震性能)**

**Michael J. Britch, Tualatin Valley Water District**

**Michael J. Britch，特阿拉廷山谷自來水區**

Michael J.在研討會上發表的研究主題為「地震設計品質控制實務以提升大型水力輸送系統管線和設施的整體地震性能」(圖 8)。他指出，若能針對地震設計採取周詳的品質控制措施，可以有效提升水力輸送系統的整體地震抗力。然而，大型水力輸送系統的地震設計相當複雜，尤其是當項目涵蓋面積龐大，位於地震活躍區域且地質條件多變、地震危害類型不一時。有關考慮地震的危害，如下表 7。



圖8 美國 Michael 經理演講

表7 地震危害表

TABLE 1. TYPES OF SEISMIC HAZARDS

Hazard Category	Subcategory/Description	
A. Ground Shaking	Transient Ground Motions and Ground Strain	
B. Permanent Ground Deformation	1. Liquefaction	a. Liquefaction-Induced Settlement
		b. Lateral Spreading
	2. Soft or Weak Soils below Infrastructure	
	3. Seismically-induced Landslides	
	4. Abrupt Offsets	a. Transitions to Structures
		b. Soil Transitions
c. Surface Fault Ruptures		
C. Nearby Infrastructure by Others Designed to Lesser Standards		
D. Other Applicable Hazards		

本次發表研究提到的大型水力輸送系統項目位於美國太平洋西北部，該區域存在一個重要的俯冲帶斷層，對該地區及相關的水利結構設施造成重大風險。為了應對這種風險，該項目開發和實施了多種品質控制措施，包括特定項目的最低地震設計要求，其中包括對焊接鋼管道的極限狀態的限制、由工程師使用檢查表來確定各種項目的位置存在哪些地震危害，以及為了滿足最低抗震設計要求所採取的措施。此外，還進行了水泥砂漿兩層焊接接頭的可用性檢查(如表 8)，並在高液化潛勢區域和陡峭斜坡區域開發應用地理資訊系統 (GIS) 工具(如表 8)，以確定其他潛在的附近地震危害，還特別考慮了在特定情況下瞬間地震振動的措施等等。

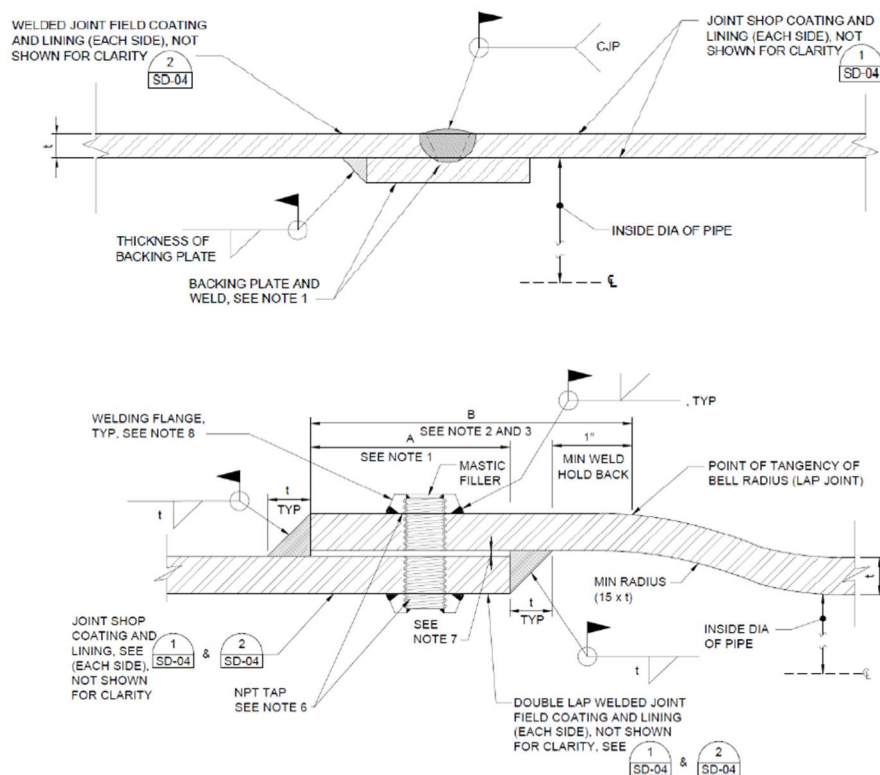


圖9 焊接檢查(上-Double Lap Welded Joint；下-Butt Welded Joint)

表8 高液化潛勢區域和陡峭斜坡區域地震危害分級表

Seismic Hazard	Slope $\leq 3\%$	Slope $> 3\% - 6\%$	Slope $> 6\% - 9\%$	Slope $> 9\% - 12\%$	Slope $> 12\%$
LDI $< 2$ ft	Low	Low	Low	Medium	Medium
LDI 2 - 6 ft	Low	Medium	High	High	Very High
LDI $> 6$ ft	Medium	High	Very High	Very High	Very High

### **(三) A Study of Anti-seismic Measures for Expansion Joints of Water Tanks Shang-HsinOu, Taiwan Water Corporation(水池伸縮縫耐震對策之研究)**

**歐尚鑫，台灣自來水股份有限公司**

本公司歐工程師研討會發表的研究題目為「水池伸縮縫耐震對策之研究」(圖 10)，主要探討在建造大型混凝土水池時，由於混凝土硬化收縮、溫度變化等因素，導致結構易出現裂縫，因此必須設置伸縮縫以控制裂縫產生，避免漏水的情況。然而，若伸縮縫損壞，將會影響水箱的主要功能，造成不良後果。而台灣地處菲律賓海板塊和歐亞板塊的交界處，地震頻繁發生，而許多供水設施建立在易受地震危害的地點，若未考慮抗震設計，即使是輕微地震引起的伸縮縫裂縫也可能造成漏水，更不用說當大地震來臨時，相鄰水池結構位移，大規模漏水不可避免，不僅造成水資源浪費，更可能帶來經濟或人命損失。

因此，研究中針對現有水池和新建大型水箱的伸縮縫進行比較分析，提出抗震加固措施(如圖 11)。並指出維護伸縮縫的重要性不僅在於確保可持續的供水，更為災後緊急生命支援系統作出貢獻。在台灣，中央地質調查所於 2013 年調查顯示台灣共有 37 條斷層帶，因此水池伸縮縫抗震措施的研究成果對於確保供水安全，避免漏水事故的發生，有著重要的意義。此外，本研究透過對不同伸縮縫材料、施工方式及連接方式等進行分析比較，提出了一些可行的抗震加固方案。例如，使用彈性高、耐磨耗的橡膠材料作為伸縮縫的填充材料，並加裝金屬固定件和支撐結構，能夠有效提高擴接縫的抗震性能。

而在伸縮縫的設計和施工過程中，須考慮水箱結構的整體性，以及與其他結構的連接方式等因素。因此，對於大型水箱的建造，建議在設計階段就應考慮伸縮縫的抗震設計，以減少後續的抗震加固成本和風險。



圖10 本公司歐工程師演講

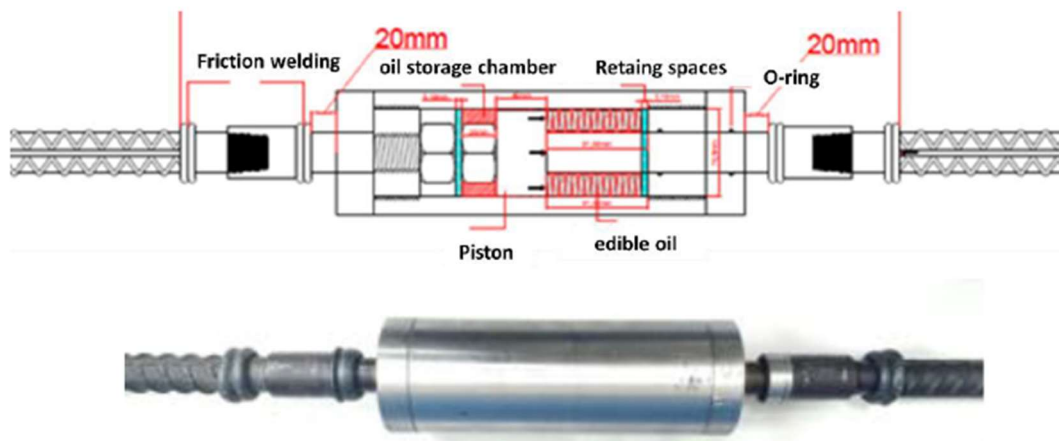


圖11 防震拉桿構造圖及實體圖

**(四) Design of Casa Loma Siphon for Fault Crossing and Ground Subsidence(Casa Loma Siphon 的斷層穿越及地面沉降設計)**

**Tao Peng, Metropolitan Water District of Southern California**

**Tao Peng，南加州都市水務局**

該研究探討了南加州都市水務局（Metropolitan）所擁有和運營的一個複雜水運輸、儲存、處理和分配系統，該系統涵蓋了 5200 平方英里（13468 平方公



里)的服務區域，可滿足 Metropolitan 服務區內的 1900 萬居民約 1.5 年年用水量需求的水源。Metropolitan 的基礎設施包括科羅拉多河導水管 (Colorado River Aqueduct, CRA)，其全長 242 英里 (389 公里)，沿途穿越多個斷層帶。

此外，Tao Peng 提到此研究是第 11 屆 WRF / JWVA / CTWWA 水系統地震會議上發表“大口徑管道斷層位移和地面沉降的緩解措施(Mitigation of Fault Displacement and Ground Subsidence for Large Diameter Pipeline)”的相關論文。先前的論文主要關注了 Casa Loma 斷層段的 Casa Loma Siphon 1 號管的地質災害特徵，此次研究旨在針對 Casa Loma Siphon 1 號管的設計，以滿足 Metropolitan 設定的抗震韌性標準。

這次的研究著重於以下三點：(1)採用結合了抗震型 ERDIP 管和焊接鋼管的組合，以最大化管道的抗震性能，同時最小化項目成本；(2)使用特殊的回填材料，以允許地震位移的大變形，但也要確保在正常運行條件下，管道變形足夠小，以在正常運行條件下維持服務性；(3)需要特別設計的接頭連接現有的混凝土管道，以確保管道的連續性並且在管道回填前完成施工。

研究中所提到的 Casa Loma Siphon 1 號管配置以及採用的 ABAQUS 模型，如圖 12 及圖 13。管溝使用的回填材料如 0。

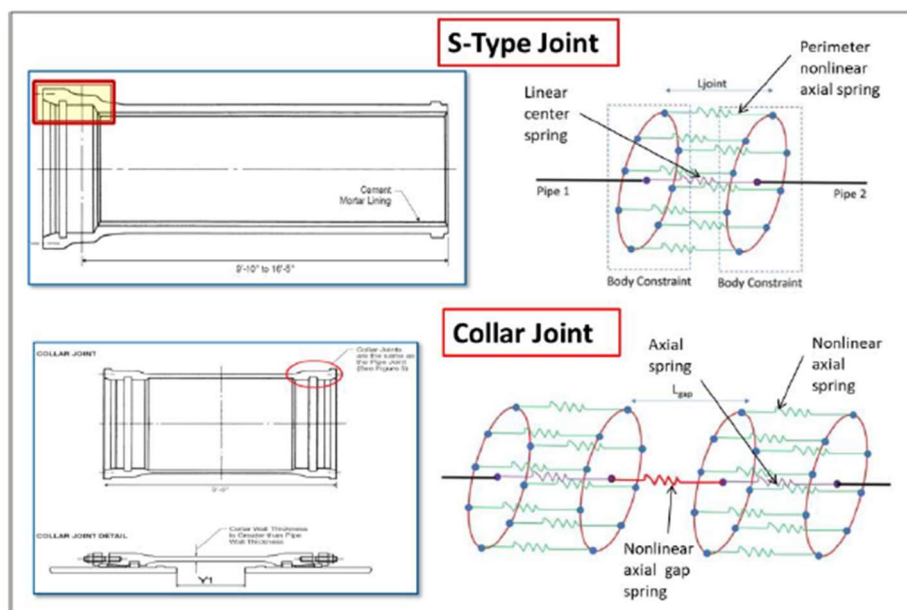


圖12 模擬 ERDIP 接頭與套環三軸相互作用的 ABAQUS 彈簧模型

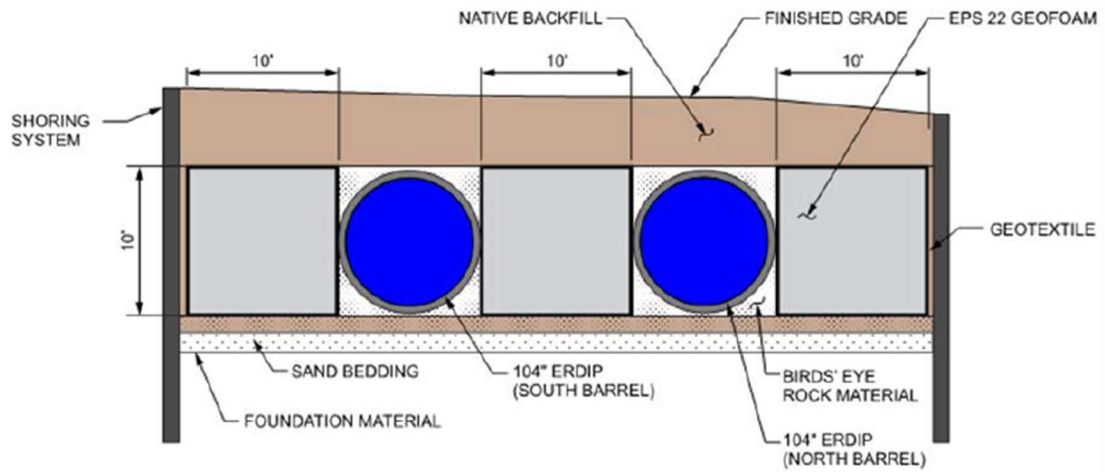


圖13 Casa Loma Siphon No.1 管線配置及模擬圖

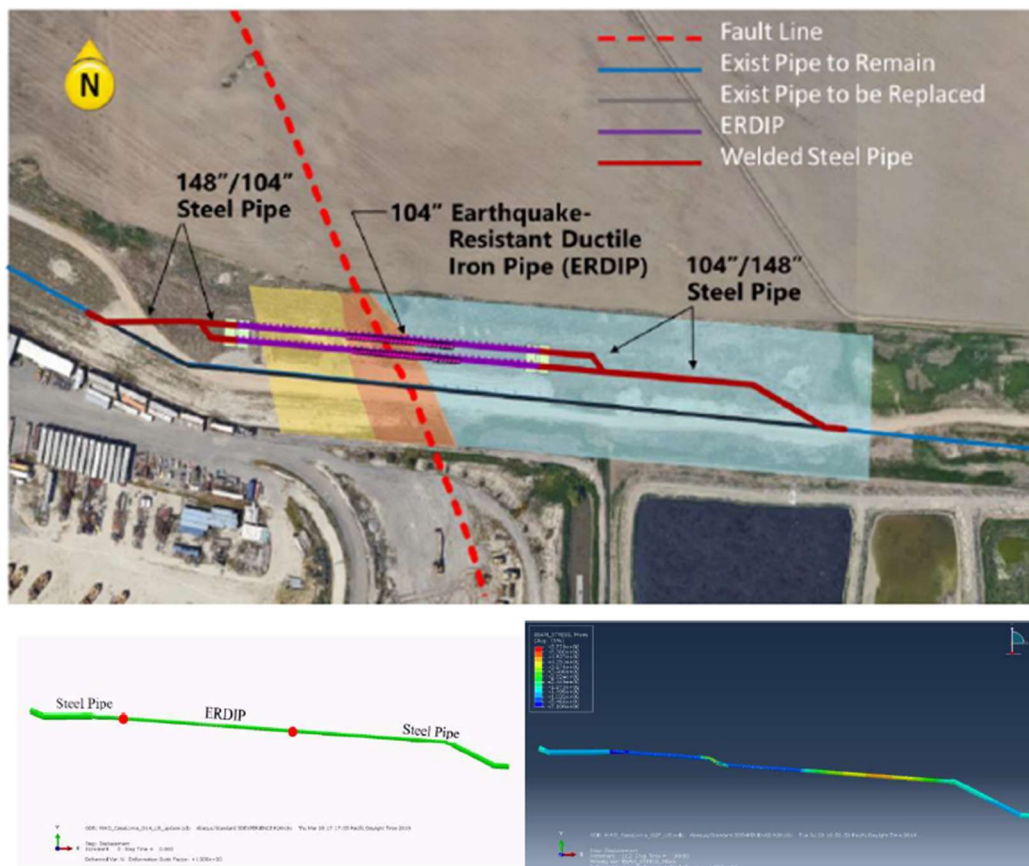


圖14 Casa Loma 斷層穿越的溝槽部分採用 EPS GEOFORM 填充材進行回填

**(五) Evaluation of seismic performance of reservoir-like structures and measures to increase their earthquake resistance(水池構造物抗震性能評價及抗震加固對策)**

**Tomohisa Okamoto, Hanshin Water Supply Authority 阪神水道企業團**

**Tomohisa Okamoto，阪神水道企業社**

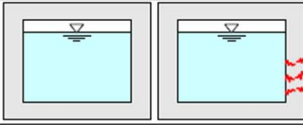
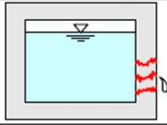
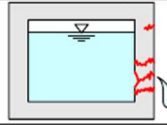
Tomohisa Okamoto 在研討會發表的研究主要是關於評估類似水庫結構的耐震性能和增強其抗震能力的措施(如圖 15)。首先，阪神水道企業社於 2009 年評估了 1972 年或之前建造的舊結構的地震性能。根據 2009 年評估結果，Hanshin 水道局一直在持續加強其設施，以提高其抗震能力。之後，在 2019 年，檢測了 1978 年之後建造比較新結構物的地震性能。在 2009 年的地震性能評估中，以非線性靜態分析評估結構損壞，而以非線性動態分析評估結構位移。另一方面，在 2019 年的地震性能評估中，採用了土壤-結構相互作用模型，同時診斷結構的損壞和位移，Tomohisa Okamoto 提到，由於技術進步和池狀結構容易受到地震運動的放大，因此分析已變得更加容易。表 9 為評估池狀結構物抗震性能表現及抗震性能要求。



圖15 日本岡本先生演講

此外，在 2009 年的地震性能評估中，許多地方因底部板中出現大的軸向拉力而被判定為不合格。由於此結果與過去評估的相鄰結構物的趨勢不同，因此對原因進行了調查。其中一個原因被認為是過去分析未考慮結構和土壤的滑移。因此在此研究中，Tomohisa Okamoto 介紹了 2019 年的地震診斷結果，並報告不同分析方法對損壞估算和修復方法的影響。目前阪神水道企業社評估的工作已經都完成，而耐震補強的工作則目標於 2037 年完成，圖 16 為 Tomohisa Okamoto 舉稻川自來水廠處理廠為例，其蓄水池柱加固的方式。此研究與目前公司辦理中的自來水池狀構造物耐震評估委託研究案性質較為接近，可做為參考。

表9 池狀結構物的抗震性能表現及抗震性能要求

Seismic performance	Seismic performance 1	Seismic performance 2	Seismic performance 3
Critical state	Critical state 1 (less than yield resistance)	Critical state 2 (less than maximum yield resistance)	Critical state 3 (less than ultimate displacement, less than shear capacity)
Damage state	 <p>Facility is neither damaged nor suffering from water leakage even when cracks occur, and thus requires no repair work.</p>	 <p>Facility may suffer from slight water leakage that can be repaired quickly.</p>	 <p>Facility is suffering from water leakage with increasing width of cracks; however, the entire facility has not collapsed and can be restored.</p>
Level 1	Rank A1, A2	Rank B	—
Level 2	—	Rank A1	Rank A2

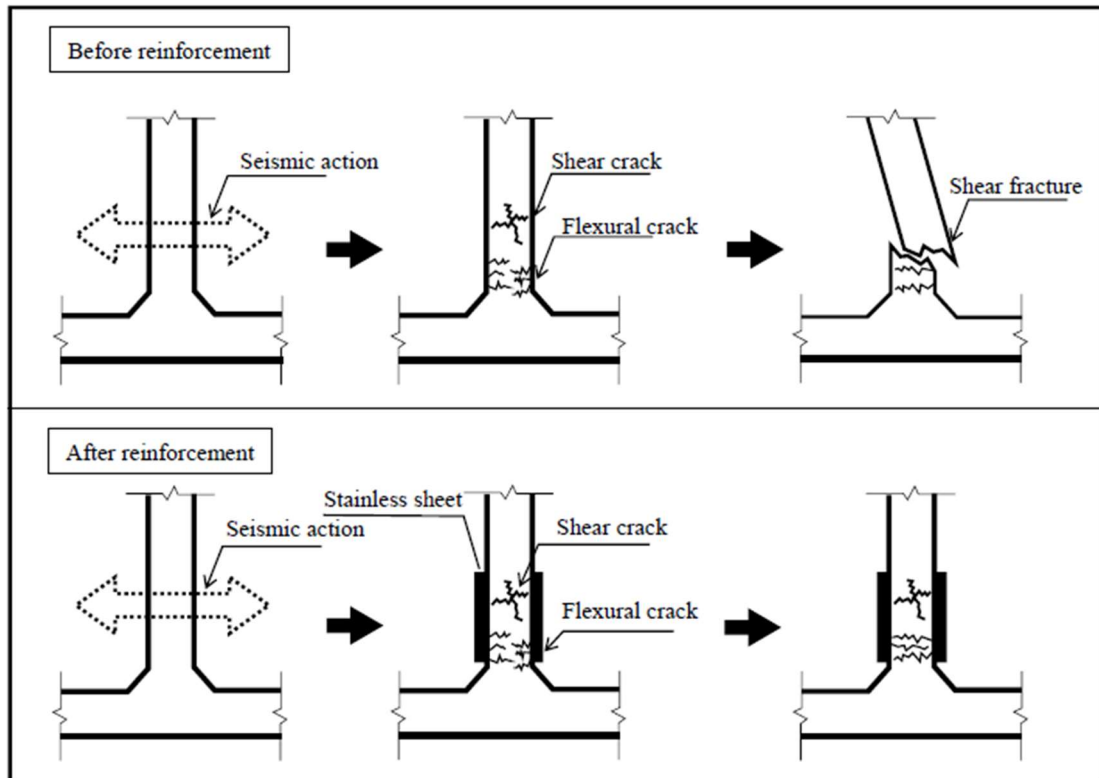


圖16 稻川自來水廠處理水蓄水池柱加固方式

**(六) Seismic Design Quality Control Practice to Improve Overall Seismic Performance of Large Water Transmission System Pipelines and Facilities(建立地震後供水服務恢復目標的架構)**

**Craig A. Davis, C.A. Davis Engineering**

**Craig A. Davis, C.A. Davis 工程公司**

在研討會上，Craig A. Davis 發表了一個架構(如圖 17)，以建立基本恢復供水的時間，並根據停止供水的後果和使用者在停止供水期間的適應能力進行調整。停止供水的後果取決於當時的環境條件、提供的服務和使用者的用途。地震事件及其位置決定了供水停止的情況。使用者和用戶對停止供水的後果進行評估時，分為三個階段及七個步驟，分別為(1)如何識別關鍵元素，包括目標社會影響等級，(2)評估單個用戶對停止供水的影響，以及(3)通過彙總個別停水後果到整體停水的社會後果，來確認目標恢復供水時間(如表 10 至表 13)。

Craig A. Davis 提到當建立了典型水系統的典型條件時，可以將其應用為基準條件。應用基準條件可以使結果的基本服務恢復時間目標對幾乎所有供水系統有用，並可以通過使用架構來評估特定條件，以改進應用於任何水系統。該架構可以擴展到識別與社會影響程度相關的潛在地震危害程度，例如以地震重現期表示，並用作開發或改進能夠滿足目標地震後恢復供水目標的系統設計標準。



圖17 美國 Craig 先生演講

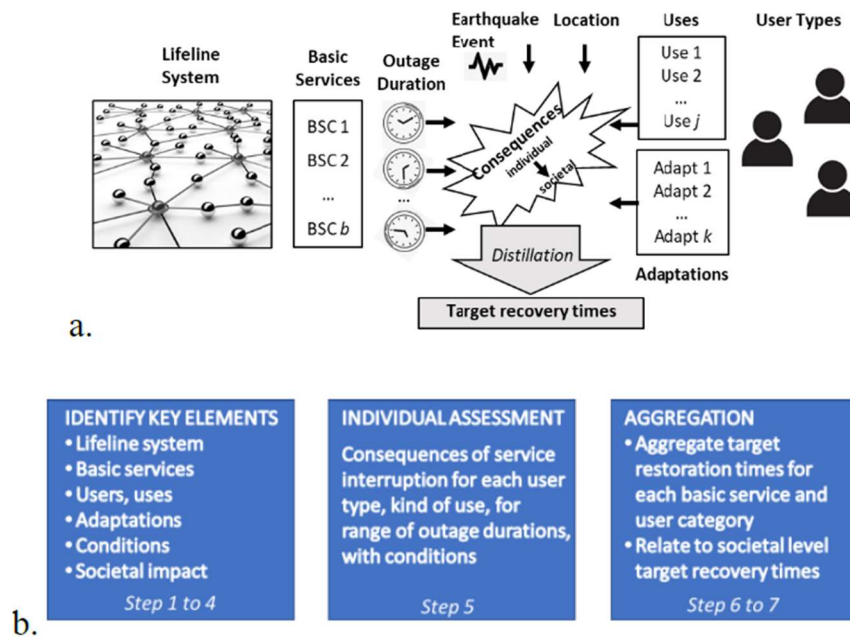


圖18 評估架構示意圖(a)及三個階段說明的框架步驟(b)

表10 (a)應用適應時的用戶類型和最大可管理 BSC 恢復持續時間；(b)應用適應時表 7a 中的關鍵用戶和最短 BSC 恢復持續時間。

User Type	Critical User	BSC recovery times (days)			
		Delivery	Quality	Quantity	Fire Protection
Healthcare facilities (critical)	A	7<30	7<30	>90	7<30
Emergency Operations Facilities (inc. gov. needed for Emerg. Resp.)	A	7<30	7<30	>90	7<30
Emergency Evacuation Center (designated locations)	A	7<30	7<30	>90	7<30
First Responders (Police/Fire Stations)	A	7<30	7<30	>90	7<30
Jail & Mass detention facilities (including animal - shelter, zoo, ...)	A	7<30	7<30	>90	7<30
Elem. to Univ. schools (not designated as evac. cntr.; excluding dorms)	B	30<90	30<90	>90	30<90
Schools (not designated as evacuation center; including dorms)	A	30<90	30<90	>90	7<30
Commercial	B/C	30<90	30<90	>90	30<90
Industrial/manufacturing facility (non-toxic or non-explosive)	B/C	>90	>90	>90	30<90
Industrial/manufacturing facility (toxic or explosive)	A	>90	>90	>90	30<90
Hotel/Motel	A/B	30<90	30<90	>90	30<90
Restaurant	B	30<90	30<90	>90	30<90
Grocery store serving produce etc.	A/B	7<30	7<30	>90	30<90
Single Family Residential (domestic/personal)	B	>90	>90	>90	30<90
Multi-Family Residential	B	7<30	>90	>90	7<30
Nursing homes/Mental health Facilities	A	7<30	7<30	>90	7<30
Oil and Gas (refineries, transfer and distribution stations)	A	7<30	30<90	>90	7<30
Fuel stations	A	>90	>90	>90	30<90
Electric Power Generation (not nuclear)	A	7<30	30<90	>90	7<30
Electric Power converter, switching, ... sites	A	>90	>90	>90	30<90
Telecommunications Central Office, ... sites	A	7<30	>90	>90	7<30
Water/Wastewater treatment, pump, ... sites (not source waters)	A	>90	>90	>90	30<90
Ports & Stations (e.g., air & sea ports)	A	7<30	7<30	>90	7<30
Debris/waste management sites	A	>90	>90	>90	>90
Stadiums, Arenas, theaters, etc. (not designated as evac. cntr.)	B	30<90	30<90	>90	7<30
Park (not designated as emergency evac. site)	C	>90	>90	>90	>90
Agriculture (cutting/packing)	B/C	7<30	7<30	>90	7<30
Agriculture (including nurseries)/farming/ranching	B/C	7<30	>90	>90	>90
Sensitive environmental sites	B/C	30<90	>90	>90	>90

	Critical User		
	A	B	C
Delivery	7<30	7<30	30<90
Quality	7<30	30<90	>90
Quantity	>90	>90	>90
Fire protection	7<30	7<30	30<90

Note: Dual critical user classifications in Table 7a like A/B and B/C indicate the exact user type definition cannot be determined in general and are based on specifics to the user type at the local level.

表11 需要延長或調整實施的目標供水恢復時間

BSC	Service Description	No Adaptations	With Adaptations	With extended adaptation (Table 8)	Maximum Manageable
Delivery	Restore to all customers	3 days	7 days	14 days	30 days
Quality	Restore to all customers	3 days	15 days	30 days	60 days
	Restore to all Critical A users	<1 day	3 days	7 days <sup>1</sup>	14 days <sup>1</sup>
	Restore to all Critical B users	2 days	7 days	14 days <sup>1</sup>	21 days <sup>1</sup>
Quantity	Restore to pre-event normal demand (rationing removed)	7 days	30 days	60 days	>90 days
Fire Protection	Restore to all hydrants and customers having fire service at main service connections	<1 day	20 days	30 days	60 days

<sup>1</sup>Recovery time varies based on community redundant facilities.

表12 不同社會影響程度的比較及其目標供水恢復時間

BSC	Service Description	Target Recovery Time
Delivery	Restore to all customers	14 days
	Restore to 80% hotels, motels, restaurants	7 days
Quality	Restore to all customers	30 days
	Restore to 90% of all Critical A Users (if there are redundant facilities)	7 days
	Restore to 90% of all Critical B Users (if there are redundant facilities)	14 days
	Restore to 100% of all Critical A Users (if there are no redundant facilities)	7 days
	Restore to 100% of all Critical B Users (if there are no redundant facilities)	14 days
Quantity	Restore to high-volume commercial, industrial, and institutional users	15 days
	Restore average winter day demand (AWD) to all customers	30 days
	Restore to pre-event normal demand (rationing removed)	60 days
Fire Protection	Restore to all hydrants within ½ mile of Critical A users and multi-resident users	7 days
	Restore to Critical A and B users having fire service at main service connections	7 days
	Restore to 90% of hydrants	20 days
	Restore to all hydrants	30 days

表13 供水系統示範例的彙整結果

Event Level		Target Societal impact Level	Recovery Times for each BSC
I	Earthquake hazard intensities are sufficiently low to cause limited to no water system damages resulting in very few to no service outages.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No user experiences high consequences from a water service outage</li> <li>Few users are required to implement adaptations.</li> <li>Critical A users implement few to no adaptations.</li> <li>Critical B users implement few to no adaptations.</li> </ul>	See Table 9 Column 3
II	Earthquake hazard intensities are sufficiently large and widespread enough to cause significant water system damages resulting in service outages.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No user experiences high consequences from a service outage when implementing adaptations.</li> </ul>	See Table 9 Column 4
III	Earthquake hazard intensities are sufficiently large and widespread enough to cause serious water system component damages resulting in prevalent service outages.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Users may experience high consequences but no user experiences serious impacts when implementing adaptations.</li> <li>Use of adaptations remains manageable</li> <li>System-wide water rationing enforced for 2 months</li> </ul>	See Table 8 and Table 9 Column 5
IV	Earthquake hazard intensities are sufficiently large and widespread enough to cause severe and a large number of water system component damages resulting in extensive service outages.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No user experiences irrecoverable consequences from a water service outage when implementing adaptations.</li> <li>Use of adaptations begin to reach an unmanageable stage</li> <li>System-wide water rationing enforced for 3 months or more</li> </ul>	See Table 9 Column 6

**(七) Development of Water System Seismic Resilience Pipe Network (供水系統地震韌性管網的開發)**

**Jianping Hu, Los Angeles Department of Water and Power**

**Jianping Hu，洛杉磯市水電局**

在 Jianping Hu 的報告中，介紹的是美國洛杉磯市計畫發展一個系統性的地震韌性管網，以確保在地震發生後能夠持續分配飲用水，進而支援社區復原工作。特別是，該研究強調將水分配到負責公共健康與安全的關鍵用戶，例如醫院、疏散中心和消防局，以及提供社區復原服務的客戶，例如學校和社區中心特別重要。

Jianping Hu 提到，然而由於管網的複雜性、地震風險的空間變異和關鍵客戶的位置，以及基礎設施升級所能使用的有限資源，使得規劃問題變得複雜。因此在研究中開發了優化方法，以策略性地確定舊管道應該被哪些地震韌性管管線取代，同時保障關鍵用戶的連通性限制和住宅區域的覆蓋限制。適當佈局具有地震韌性的管線，將使得管網能夠在滿足可支援社區復原供水的目標下，在容許的成本效益承受地震造成的損壞。



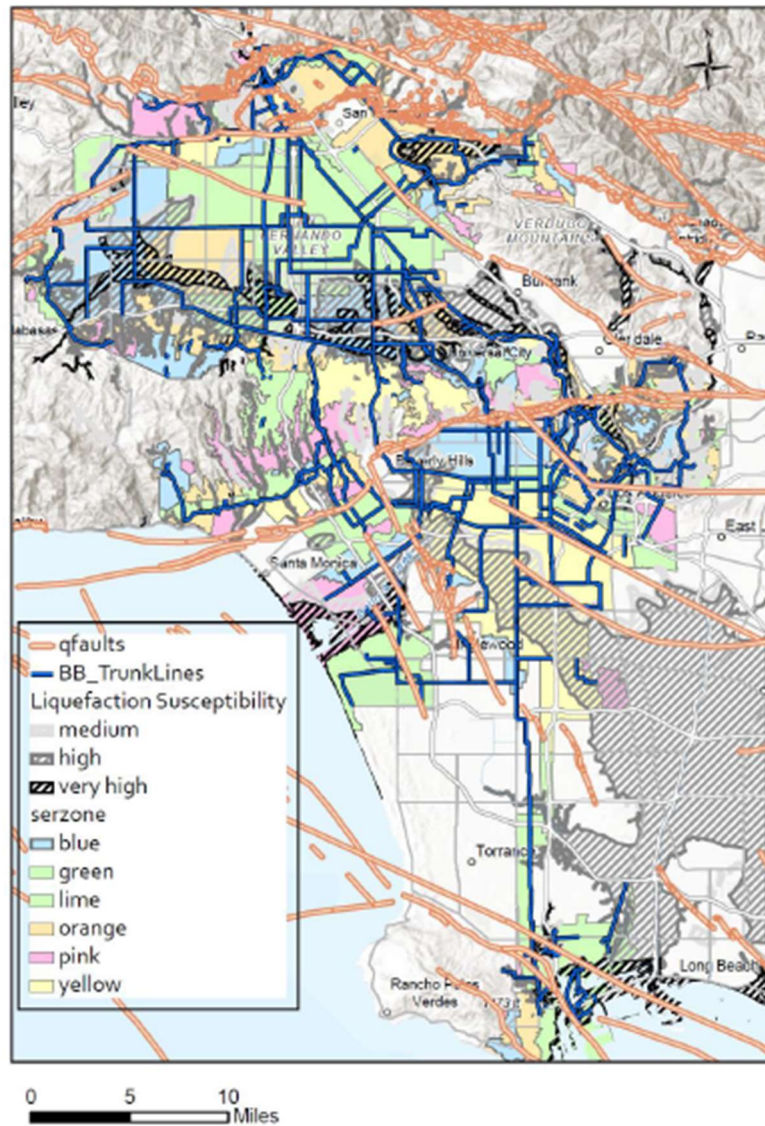


圖19 LADWP 水管網和地震災害圖

圖 19 顯示了以藍色突出顯示供水幹管。按長度計算，大約 93.1%的管道與配水系統相關，只有大約 5.2%的管道是屬於供水幹管。儘管預期供水幹管遭受地震危害的可能性最小，但對其造成的損壞和中斷可能會產生更重大的影響（即供水幹管的損壞將導致大量水源無法提供給用戶，供水幹管的修復也將花費更長的時間）。

在此研究中 Jianping Hu 首先利用地理資訊系統工具建立和實施了識別具有地震韌性管線的標準(如表 14 )，並識別管網可能遭到的危害種類(如斷層帶、滑動邊坡、土壤液化區等)及區域如圖 20 。此外，基於優化算法的人工智慧模型被

開發出來，以找到最小成本的升級方案，以保證在管道升級週期內，所有關鍵用戶都能連接到主幹線或位於危險區外的管道。AI 模型應用於一個供水服務區，與 GIS 工具的結果進行了比較，證明了優化方法在大規模實際應用中的有效性。

表14 按材料類型和直徑分類的 LADWP 管道長度

Pipe Material	Diameter Category <sup>1</sup>			Total Length	Percent of Total
	Small	Medium	Large		
Asbestos Cement (AC)	571.33	33.12	0.28	604.73	8.04%
Brass (BRS)	0.01	-	-	0.01	0.00%
Cast Iron (CI)	3,815.38	741.58	1.29	4,558.25	60.62%
Corrugated Metal (CM)	0.19	0.20	0.28	0.67	0.01%
Concrete (CONC)	1.62	20.62	87.08	109.32	1.45%
Copper (COP)	29.78	0.00	-	29.78	0.40%
Ductile Iron (DI)	779.62	229.23	18.78	1,027.63	13.67%
High Density Polyethylene (HDPE)	0.64	10.27	1.83	12.74	0.17%
Polyolefin (PP)	0.11	-	-	0.11	0.00%
Polyvinyl Chloride (PVC)	1.53	0.69	0.04	2.26	0.03%
Steel (STL)	495.05	341.30	330.69	1,167.04	15.52%
(blank)	3.75	1.40	2.25	7.40	0.10%
<b>Grand Total</b>	<b>5,699.0</b>	<b>1,378.4</b>	<b>442.5</b>	<b>7,519.9</b>	<b>100.0%</b>
<b>Percent of total</b>	<b>75.79%</b>	<b>18.33%</b>	<b>5.88%</b>	<b>100.0%</b>	

Note 1: Small: diameter between 0 and 12 inches; Medium: diameter between 12 and 36 inches; Large: diameter exceeding 36 inches.

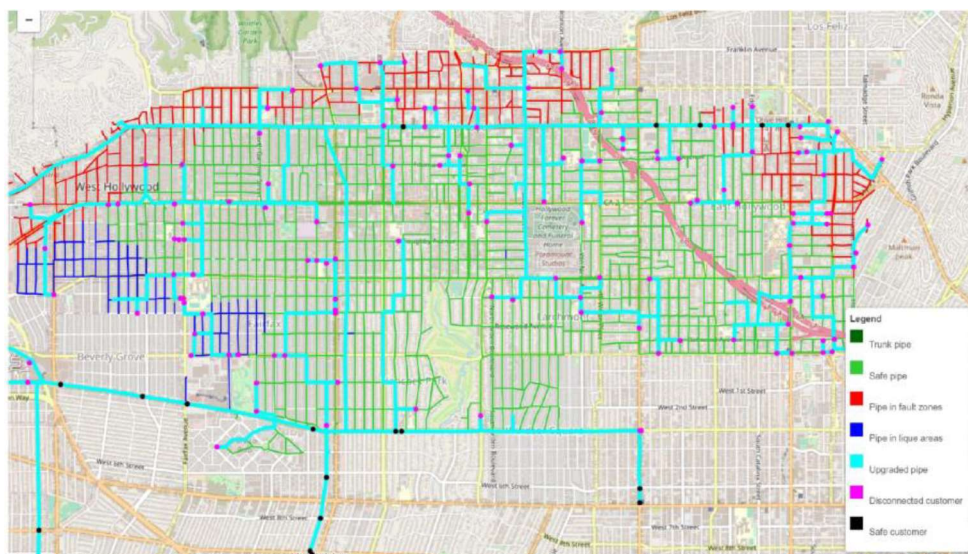


圖20 基於人工智能的水系統服務區之一的抗震管網

## (八) Development of Numerical Simulation Model for Emergency Water Supply(應急供水數值模擬模型的開發)

**Nagahisa Hirayama, Nagoya University**

**Nagahisa Hirayama，名古屋大學**

本次研討會的主題為《應急供水數值模擬模型的開發》，演講人 Nagahisa Hirayama 講述了他們使用細胞自動機方法開發數值模擬模型，以解決地震等災害對供水系統造成的中斷問題，並在模型中考慮了供水基地、應急供水站和道路等因素，利用 GIS 的網格數據來實現模型。該研究首先應用於 2016 年熊本地震災後的熊本市，模擬災後的應急供水活動，並成功展示了數值分析模型對於應急供水活動的提高效率方面所帶來的幫助。接著，該模型也應用於南海海溝地震中，對災難基地醫院的應急供水活動進行了數值模擬(如圖 21 至圖 23)。該研究計算出，醫院平均應急供水量為 26.3m<sup>3</sup>/天，最大值為 93.5 m<sup>3</sup>/天，應急供水站至災害基地醫院送水頻率為 15.6 次/天，平均每張床位供水 56.0 升/床。研究結果表明，南海海溝地震中，需要針對有關外部支援的應急供水策略進行研究，並指出需要從水處理廠到災難基地醫院的抗震管線有設置的必要。

最後，Nagahisa Hirayama 強調，他們所開發的細胞自動機方法的應急供水數值分析模型，可以作為與災害預防信息共享系統相結合的應急供水策略制定的有用而強大的工具。而經查細胞自動機（英語：Cellular automaton），又稱格狀自動機、元胞自動機，是一種離散模型，在可計算性理論、數學及理論生物學都有相關研究，因此此研究亦讓人印象深刻。

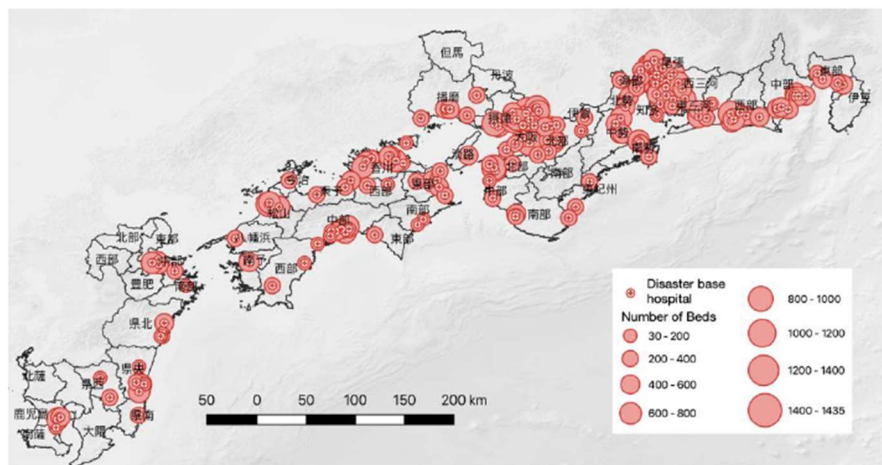


圖21 分析區域中受災基地醫院分佈及床位數量

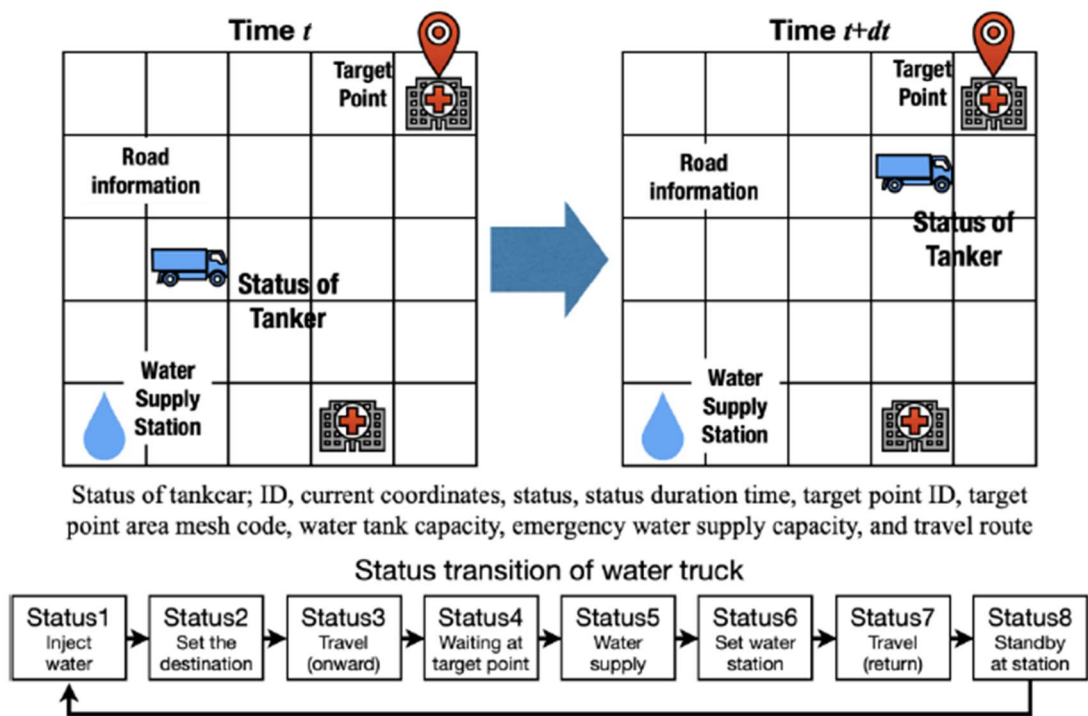


圖22 細胞自動機法應急供水數值分析模型圖

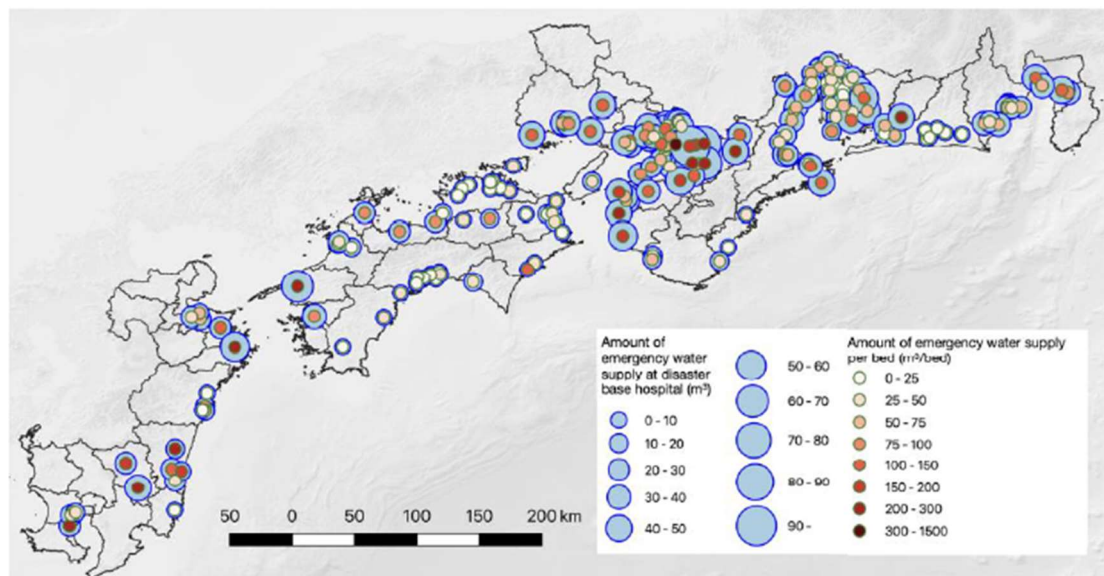


圖23 南海海槽地震中應急供水站至災害基地醫院應急供水數值分析結果(蒙特卡羅法,  $N = 100$ )

### 三、 技術參訪

#### (一) 熊本城

本次研討會地點於熊本市 KUMAMOTO-JOHALL 舉行，因鄰近熊本城，因此在第二天的研討會形成，大會在第二天中餐時間穿插安排 90 分鐘的導覽行程。熊本城是一座安土桃山時代至江戶時代的日本城堡，是加藤清正所改建的平山城(1607)，在主城建成的慶長 12 年（1607）更名為現在的「熊本城」，也是熊本藩細川家的居城。在明治時代，熊本城成為了西南戰爭(1877)的戰場。因此，熊本城的本丸建築群在西南戰爭前遭受了焚毀，但幸存的櫓、城門和塀等建築物仍然存在。事實上，它們中的 13 棟（包括 11 棟櫓、1 棟門和 1 棟塀）被指定為國家重要文化財。熊本城的城址也被指定為國家特別史跡，也以別名「銀杏城」為人熟知。

現代的熊本城在 1950 年由「國寶建造物」改稱為「重要文化財產」，於 1955 年熊本城全區域被指定為「特別史跡」，並於 1960 年以鋼骨鋼筋混凝土結構重建天守。並在 1998 年開始修復熊本城修建工程啟動。1960 年（昭和 35 年）以鋼骨鋼筋混凝土結構進行重建後，又在 2016 年（平成 28 年）因熊本地震造成房瓦震落及石垣崩壞，建築物也部分遭到損害。其中大小天守經過修復工程，於令和 3 年（2021）春天完成修復。熊本城亦從令和元年（2019）開始已特別公開參觀，但修復作業至今仍進行中。



圖24 2016 年熊本地震大規模破壞前的熊本城



圖25 熊本城戌亥櫓左側的石垣於 2016 年熊本地震後倒塌情形



圖26 熊本城因 2016 年熊本地震受損情形

2016 年的熊本地震除了對人員造成了嚴重的傷亡，對古蹟熊本成也造成了重大的損害，主辦單位詳細地解說熊本城在震災後損壞的情況，熊本城也為我們提供了一個關於耐震設計和防災措施的重要案例。然而，除了天守閣外，其餘受到震災損壞的城牆結構等部分仍需長時間修復。主要原因是當初建造時，城牆大多以石頭堆砌而成，因此修復工程更加繁瑣。具體而言，修復工程需要先將石頭進行編號，然後根據震災前的照片進行復原，將石頭還原至原本的堆放位置及樣貌。而整體的復舊計畫，也從原訂需要 20 年修復完成，持續滾動檢討，在 2022 年度的計畫執行期間，再將整體修復計畫延長至需要 35 年。從這些細節中，可以看出日本人對於修復工程的謹慎與嚴謹。在熊本城的參觀中，可體驗到日本城堡的建築風格和歷史背景，還可以感受到這座城堡所蘊含的文化和精神價值。



圖27 熊本成修復參觀路線

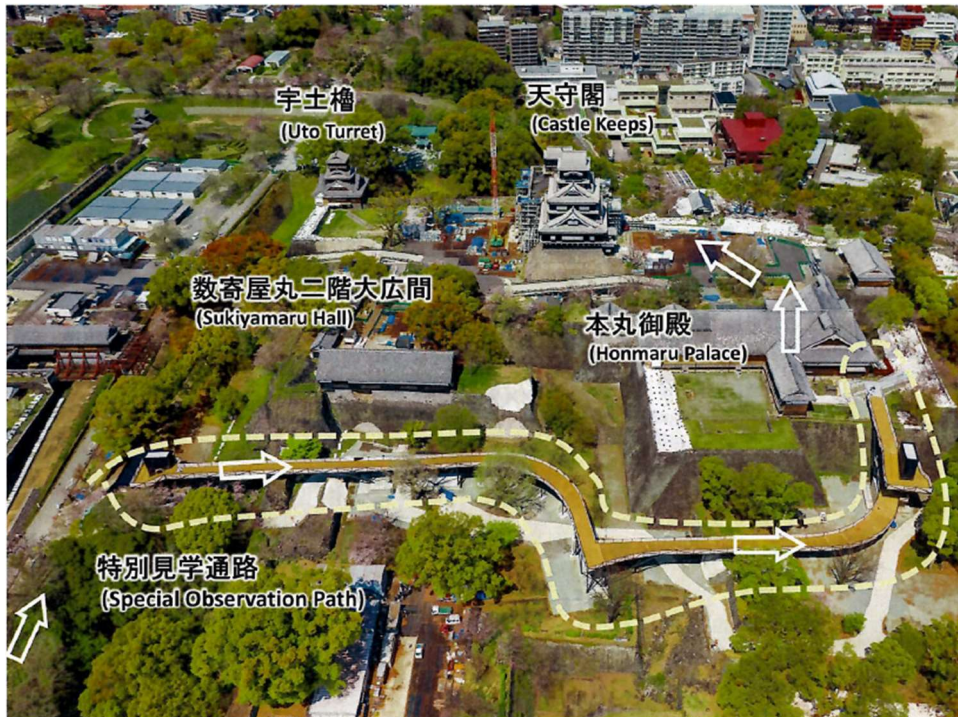


圖28 熊本城修復技術導覽路徑



圖29 特別見學通路





圖30 石垣的耐震補強技術



圖31 熊本城天守閣耐震補強的な安全措施

天守閣內部採用的油壓減震器可以對所有地震起到減震作用。摩擦減震器在中小地震時有耐震性能，在大地震時有減震作用。這兩種減震器交叉設置的方式達到了節省空間的目的。在石垣上，為了防止落石傷及到來城內的參觀者，還安裝了高強度的金屬網，入口處也鋪設了網狀的加固材料，進行結構加固。

## (二) 大觀峰(Daikambo (the best viewing spot in Aso area))

熊本市是日本唯一一個供應其 74 萬居民所飲用的自來水完全來自地下水的城市。而熊本市所在的阿蘇地區總共有 11 個自治市，約有 100 萬人口，幾乎所有自來水都來自地下水。因此，保護地下水資源的重要性十分突出。熊本市與其他自治市合作，共同努力保護地下水資源。由於熊本市的成果在海外也受到關注，因此該市於 2013 年獲得了聯合國頒發的「水資源最佳實踐獎」。

根據官方網站上的說明，由於熊本市的工業經濟增長和地下水補充率下降，水位下降和污染物如硝酸鹽對水質產生危害。為了解決這個問題，熊本市一直與熊本地區其他市町村合作進行各種地下水保護項目，自 1973 年開始推行地下水保護計劃，並在 1977 年通過了《熊本市地下水保護條例》。該計劃包括測量地下水，了解其使用情況，研究土地利用和土壤調查對地下水流動機制的影響。此外，熊本市還實施了一系列節水計劃和水位保護項目，例如水田地下水再生計劃和維護流域保護森林的項目。2008 年 6 月，水前 100 強評選將熊本市的水源酸泉池湖榮獲平成百名水之一。

熊本地區被由阿蘇外環山西側山麓組成的基岩所環繞，形成了一個巨大的盆地，難以滲透水分。在這個基岩之上，有火山碎屑流沉積和沙質土壤，可以收集地下水，覆蓋了盆地內的大部分平坦區域，如圖 32。

本次參訪的大觀峰是阿蘇山最好的觀景地，可將阿蘇外環山麓及街道一覽無遺，根據解說員的介紹，在熊本地區，地下水流動有三個主要方向。主要方向是從覆蓋西阿蘇外環山的火山碎屑流高地，例如菊池高原(Kikuchi Plateau)流向中白川河流域(Mid Shirakawa River Basin)。地下水在這些高地中得到補充，進入中白川河流域，在坡度緩和且流速緩慢的“地下水池”處聚集。水位逐漸降低，直到到達西南方的湖泊，例如江津湖(Lake Ezu)，繼續流向西

方的熊本平原。地下水也從東北方的金峰山脈(Mt. Kinpo)的上野高地(Ueki Plateau)和東南方的三船山脈(Mifune)向南流向熊本平原(圖 33)。雨水滲透地面並變成地下水，但這需要多年時間，因為水分逐漸通過土層中的裂縫和縫隙。在通過土壤時，水分會吸收一定量的礦物質和碳酸化物，使水質健康美味。從西阿蘇外環山約需要 20 年，從中白川河流域約需要 5 至 10 年，地下水才能到達熊本居民手中。

此外，根據解說員的描述，加藤清正在 430 年前於熊本進行了大量的公共工程，建造了水壩和灌溉渠道，使得米田地區成為了水源補充地，進一步促進了熊本市地下水資源。因此，保護熊本市地下水資源，是相當重要的議題，熊本市也因其對於地下水資源的保護和管理而受到國際間的高度評價和肯定。



圖32 阿蘇火山區域伏流水示意圖



圖33 解說人員說明阿蘇區域相對位置

### (三) 熊本地震紀念館(The Kumamoto Earthquake Memorial Museum)－東海大學阿蘇校區

2016 年 4 月，熊本發生了兩次震級為 7 級的大地震，南阿蘇村也發生了巨大的損失。日本人為了將熊本地震的經驗傳給後代，也將本次參觀的將南阿蘇村納入「熊本地震地震博物館」的一部分，並持續傳達受災情況的地震遺蹟的保護和整頓工作給民眾(圖 34)。



圖34 南阿蘇村地震遺構地理位置圖

本次參觀的校園遺跡，屬於 1946 年創校的東海大學，其校本部位於東京澀谷，在南阿蘇村則為阿蘇校區，在地震發生之前，這是一個約有 1,000 名來自全國的學生學習的「牧場農場一體型校園」。在熊本地震的主震中，斷層(布田川斷層)經過了鋼筋混凝土結構的 1 號樓的正下方，並在廣場上出現了長約 50 米的地表斷層(右橫移斷層)，如圖 35。由於地震發生在深夜，

因此人員沒有遭受傷害，但除了部分實習設施外，校園已經搬遷。現在，1 號樓的一部分和地表的斷層裂面已成為一個可以觀察建築損壞和斷層關係的公共開放場所(圖 36 及圖 37)。

1 號館從上空看呈字母 Y 形，由鋼筋混凝土製成，高 45.5 米（到鐵塔頂端），於昭和 48 年（1973 年）竣工(圖 38)。值得一提的是，熊本地震時，地表地震斷層通過 1 號館正下方，因此造成基礎部分樁頭的巨大破壞，且因斷層偏移而破壞正上方建築基礎的事例在世界上也極少見。依照現場看板的說明，日本建築學會小委員會的建築物損失調查結果顯示，所有樓層都確認有地板損傷、柱子傾斜、建築物本身的彎曲和下沉。據推測，斷層附近晃動也很大，但 1 號館建築物兩翼的部分，因為在熊本地震之前進行了抗震加固，因此沒有造成太大的損失(圖 39)。



圖35 斷層位移造成地面裂痕



圖36 地震對教室造成嚴重損害



圖37 舊東海大學阿蘇校舎1號館及地表斷層



圖38 舊東海大學阿蘇校舎 1 號館震災影響說明看板



圖39 大學阿蘇校舎 1 號館西側耐震補強結構

#### (四) 舊阿蘇大橋倒塌橋樑的遺跡(Remains of the collapsed bridge girders of the old AsoOhashi Bridge)

2016 年熊本地震中，南阿蘇村發生了許多土石流和地滑，導致許多主要道路如「阿蘇大橋」、「阿蘇長陽大橋」、「俵山隧道」和「國道 57 號」等無法連結熊本市和南阿蘇村、宮崎以及阿蘇市、大分方向，也讓鐵路路線「JR 豐肥本線」和「南阿蘇鐵道」中斷。之後，「俵山隧道」於 2016 年 12 月復原，「長陽大橋」於 2017 年 8 月復原，並於 2020 年完成大規模斜面崩塌的斜面對策工程，使得「JR 豐肥本線」和「國道 57 號」分別於 2020 年 8 月和 10 月重啟。

本次參訪的據點之一為，舊的阿蘇大橋，在 2016 年 4 月 16 日 1 點 25 分，熊本地震發生本震後發生的強烈地震動和山腰大坍塌，阿蘇大橋的橋墩，落橋於立野峽谷。現在還剩下的一部分橋臺，以穩定的形態掛在立野峽谷半山腰的岩石上(圖 42)。根據告示牌的說明，阿蘇大橋是村子裏重要的基幹道路，從國道 57 號分支到南阿蘇村中心高森町的國道 325 號的一部分，於 1967 年 4 月動工，1970 年 12 月竣工。橋長 205.96 米，寬 8 米，距黑川谷底為 76 米，當時總工程費為 3 億 1300 萬日元。



圖40 2016 年熊本地震倒塌前的阿蘇大橋



圖41 2016 年熊本地震倒塌後的阿蘇大橋遺址





圖42 土石崩塌致阿蘇大橋損壞

阿蘇大橋的另一側為「數鹿流崩塌」遺構，寬約 200m、砂石滑坡約 700 公尺。過去這個地方是國道 325 號和國道 57 號通過阿蘇大橋相交，連接熊本市街和南阿蘇村的交通要地。但是 2016 年 4 月 16 日熊本地震(本震)導致山頂附近發生大規模斜坡崩塌，吞沒了國道 57 號和豐肥本線，阿蘇大橋也坍塌了。當時，也造成 57 號國道上行駛的 1 名遇難者在此犧牲。

此後，經過利用最尖端無人化施工技術的艱苦施工，歷時 4 年半完成了斜坡、國道、鐵路的修復工作。這座大坍塌是日本用來向後代講述險峻的自然和人們挑戰歷史的遺蹟，自古以來就流傳在這片土地上，因此被命名為「數鹿流坍塌」(圖 43)。

根據解說員的描述，震災後的 2021 年 3 月，日本興建新的阿蘇大橋代替舊的阿蘇大橋，在距離 600 米下游的位置開通，全長 525 米，橋墩最高 97 米，最大支跨長度 165 米，成為抗震能力強大的大橋，也作為災後復興的象徵，提供了居民和遊客交通上的便利。南阿蘇鐵道的修復工程仍在進行中，目標是在 2023 年左右完全開通。



圖43 重新修整後的山坡與紀念碑

### (五) 健軍水源地(Kengun Water Source)

熊本市的水源主要來自地下水，可提供 74 萬市民所需的自來水。市政府共使用 99 口井，每天提取約 22 萬立方米的地下水（截至 2021 年 3 月 31 日），不需要依靠水壩和淨水廠。水源為地下水，經由最低法定氯量處理後，再分送至調節池，最終供應市民家中使用。其中，始於 90 多年前的「刷毛宮水源地 (Hakenomiya Suigenchi)」被評為日本現代百選水道之一，其水道博物館也被列為國家登錄文化財。另外，熊本市最大的地下水來源「建軍水源地」(圖 48)，共有 11 口井，其中 7 口井天然涌出水源，其中 5 號井每天產出 15,000 立方米，足以供應超過 60,000 人所需。而 Kengun Suigenchi 是熊本最大的地下水來源，其中有 7 口井天然地流出水。其中第 5 號井每天可輸出 15,000 立方米的水，足以供應超過 60,000 人的用水需求，現場照片如圖 47。

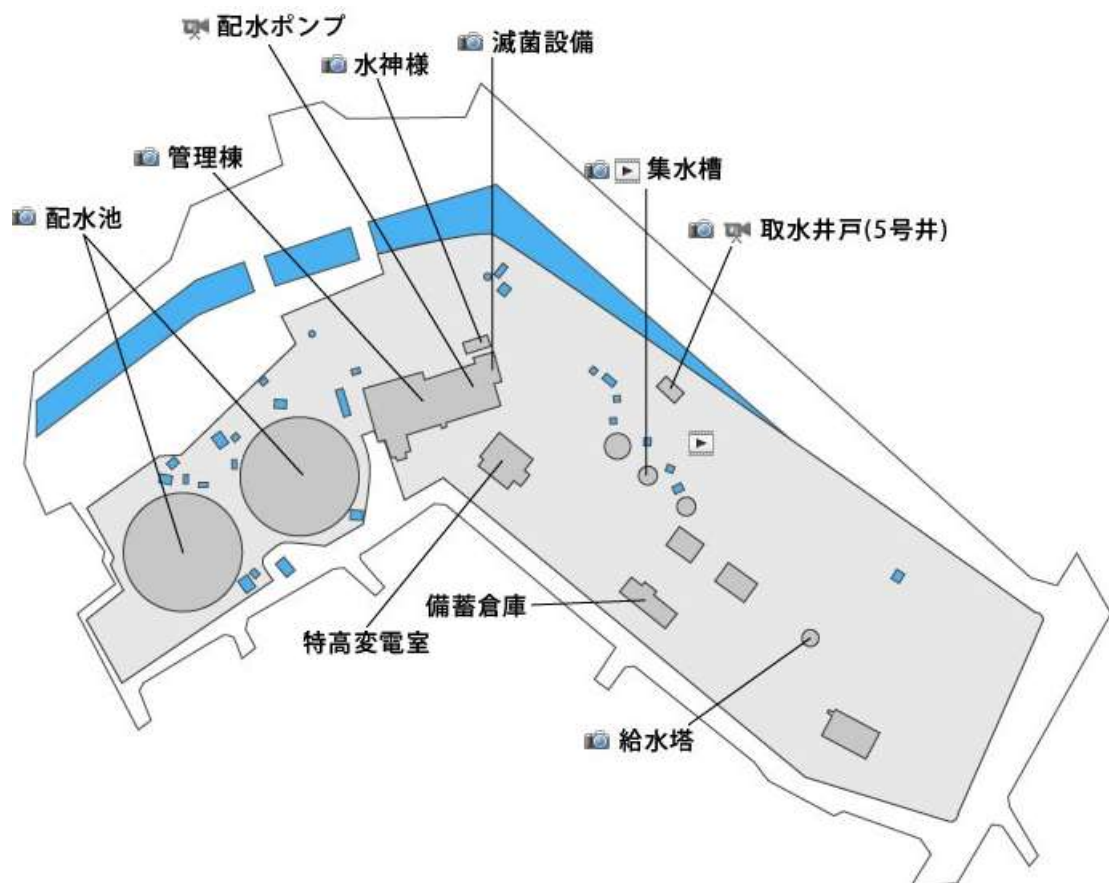


圖44 健軍水源地配置



圖45 健軍水源地自來水設施



圖46 5號井參訪點



圖47 編號 5 水井內部及外觀

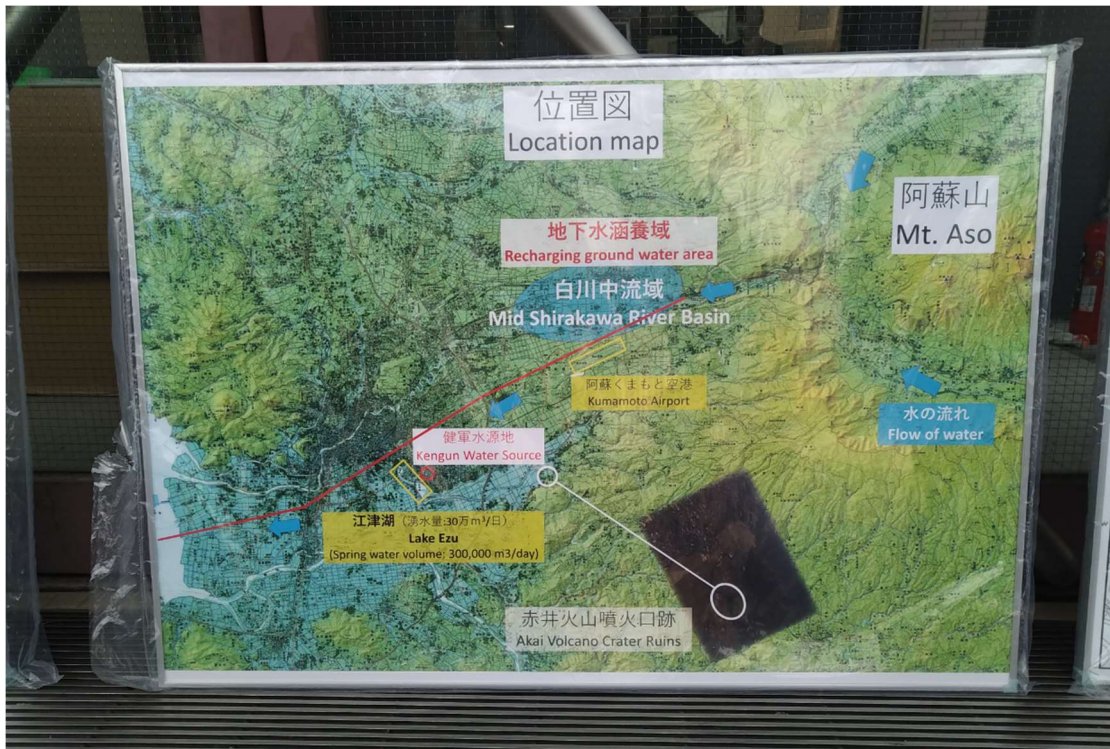


圖48 建軍水源地位置圖

在建軍水源地中，也有告示牌展示了熊本市整體的水資源利用圖，說明森林的作用(森林產生豐富而乾淨的水)及稻田的作用(水田裏的水使地下水變得豐富)，提供參訪者了解應用概況，如圖 49。



圖49 熊本市水資源利用圖

根據熊本市官方網站的說明，熊本市的自來水含有身體健康所需的理想礦物質平衡，如鈣和鉀，這使得熊本市的自來水既健康又美味，於 1984 年被厚生省“美味的水”研究組評為日本第 3 位，號稱「美味的自來水(おいしい水道水)」，如下表。

熊本的自來水也含有大量的矽，有助於保持血管健康。簡而言之，熊本的自來水不是普通的自來水，而是天然礦泉水。0 比較了熊本自來水和商業瓶裝水中的一些礦物質。從圖表可以看出，熊本的自來水相當於高品質的礦泉水。一些國家的礦泉水含有極高的礦物質含量，但這種水往往不符合日本人的口味。相較於高礦物質含量的礦泉水，商業瓶裝水中僅含有熊本自來水含量的十分之一。熊本的自來水是既美味又對身體有益的天然礦泉水，參訪的現場也提供自井內取出的水供參訪者品嚐飲用，顯見熊本市對其優良水質的自信，如圖 51。

表15 美味水的要求

水質項目	美味的水	健軍水源地 (浄水)	上下水道局 (給水栓水)	
蒸發殘留物	30~200 毫克/升	184	187	主要表示礦物質的含量，量多則苦味澀味增加，量適中則口感醇厚。
硬度	10~100 毫克/升	81	81	表示鈣和鎂的含量，鎂多於鈣的水味道更苦。
游離碳酸	3~30 毫克/升	-	3.2	它賦予水清爽的味道，但越多，刺激越強。
高錳酸鉀消耗量	≤3 毫克/升	<0.3 ※有機物 (TOC) 值	<0.3 ※有機物 (TOC) 值	表示有機物的量，倘含有量大，則會影響氯的消耗量，並破壞水的味道，例如使水產生苦味。 * 由於高錳酸鉀消耗量未包含在當前水質標準中，以有機物 (TOC) 的值替代。
氣味強度	≤3	≤1	≤1	根據水源的狀況，會散發出各種難聞的氣味。
餘氯	≤0.4mg 毫克/升	0.3 毫克/升	0.3 毫克/升	它給水帶來味道，並且在高濃度下它會使水味道變差。
*1985 年 4 月 25 日(昭和 60 年)厚生省(現厚生勞動省)“美味水研究組”發表				

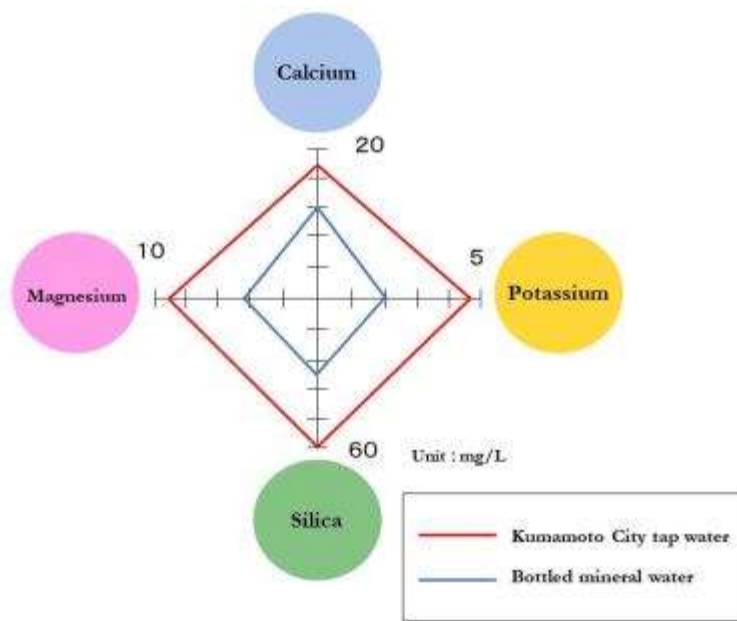


圖50 比較了熊本自來水和商業瓶裝水中的一些礦物質



圖51 現場提供井水試喝



在參觀完抽水井之後，日方亦引導大家到建軍水源地的抽水機房裡參觀，裡面除了展示正在運作的抽水機資料之外，也有展示一些跟熊本地震發生時有關的應急供水作業，以及在後續復舊設備時所做的漏水調查等相關資料看板。



圖52 配水方式及震災作業活動資料看板

依照資料顯示，健軍水源地有 6 台配水泵，根據用水量進行操作。健軍水源地的配水泵可以提供大約每天 60,000 立方米的自來水供應到家庭等地方。配水泵依據送水的方式有分為自然流下式(しぜんりゅうかしき)及ポンプ前任式(ほんぶかあつき)。自然流下式是一種利用高低落差的自然力量，從高位的配水池中自然地輸送水道水到客戶家中的方法，例如，立田山配水池、高遊原配水池、岩倉山配水池等。ポンプ前任式則從地面上的配水池利用配水泵抽取水道水的方式，例如，建軍水源地、秋任配水場、川際配水場等。

水源地的設備全部由電力驅動，當遇到停電等緊急情況時，約 40 秒內自家發電機就會自動啟動，可以為整個水源地提供電力。水源地的自家發電機採用燃氣渦輪發電機，功率為 3,620kW，電壓為 6,600V，能夠提供 2,400kW 的電力。

日本對於災害資料統計的部分做的非常詳細，當熊本地震發生之後，日本在熊本內各地設立了應急集水據點。在地震發生後的 15 日之內，也就是 5 月 2 日

的統計資料，其中在熊本市應急供水區域總共劃分成中央區、東區、西區、南區、北區等，除了熊本市政府以及建軍水源地，大部分均為各地的中、小學學校。而有關其他都市的緊急支援量能，光是應急給水的部分，有來自 97 個城市，總共 105 個團體投入支援。截至 5 月 6 日的統計資料，已有超過 4000 人次參與支援。

有關在地震發生後，恢復供水的進度部分也有詳細的記錄。從地震發生當天(4 月 16 日)凌晨 1 點 25 分，整個熊本市內完全停水。在 4 月 18 日早上 9 點恢復供水的比例為 68.2%，12 點已經恢復到 76%，下午 4 點為 76.4%，下午 6 點已經達到 82.2%。4 月 21 號早上 7 點已經可以恢復供水 99.7%。而到 4 月 30 日號的下午 6 點，幾乎只花了短短 2 個星期，熊本已完全恢復供水（圖 53）。



圖53 熊本地震應急給水活動

有關管線漏水的統計，直到 6 月 22 日所有的修漏作業都完成，總共有 3,597 件，這個數量幾乎是熊本市短短在一個月內執行了一年份的修漏件數。而在漏水調查及復舊的部分，光是到 5 月 17 日的統計數字，當時總共有 54 個團體，75 家業者，合計超過 5000 人次以上參與。有關地震發生後，看板上亦顯示，當初所發出的「今後的措施」聲明（圖 54），內容大致如下：「關於供水設施的復原和重建，我們會繼續聆聽接受城市居民和其他支持城市發展的團體的意見，並採取相應的措施。我們將致力於加強災害防範工作，但詳細的計劃仍在制定中。我們已經向國家申請補貼，用於上水道管線的修復和更新，並要求擴大補助範圍，包括每戶的總水管維修和現場水量測量等。我們希望得到衛生福利部和財政部的支持。」

由此可見日本人在災害發生之後，對於民眾及用戶可能存在的疑惑，以及後續應該讓民眾所知道的作為，都有很具體的方式表現，這是值得學習的地方。



圖54 熊本地震相關的應急復舊與漏水調查作業

健軍水源地的水庫有兩個，直徑 40 公尺，高度 10 公尺，總周長 125 公尺。池壁厚度有 30 公分，使用預應力混凝土建造，即使發生震度 7 級的地震也不會破壞。從井戶打出的地下水會先被收集到集水槽，經過滅菌後送到池子裡。為了在用水需求高峰時也能保持穩定的供水，配水池儲存了大量的水。由於在大地震發生時，水道管道可能會破裂，這時水會流失，因此像健軍水源地這樣的配水池就裝設了緊急切斷開關。當發生 6 級以上的地震時，自動切斷閥門會關閉，停止配水池的水流，並讓配水池成為水道停水時的第二水槽(供備用水)。

水塔及水車設施位於水源池附近，是供應水車裝載水源的地方。供水點包括健軍水源池的兩個、上下水道局的兩個、西部和北部上下水道中心各一個。

根據解說，熊本市上下水道局每年都會進行防災訓練，以確保市民在災害時的生活用水和加速復原。在訓練中，他們會使用應急給水塔來將自來水輸送到給水車的水箱中。同時，他們也會設置應急給水設備。為了向市民提供穩定的飲用水，熊本市上下水道局擁有五輛給水車，可用於災害時向市民提供飲用水。給水車裝備了噴水裝置，可用於向高處噴灑水源或將水源抽到低處。此外，它還裝備了導航系統，可用於支援其他城市的災害救援，也可用於應對其他市鎮的乾旱或災害斷水。



圖55 配水池現地照片

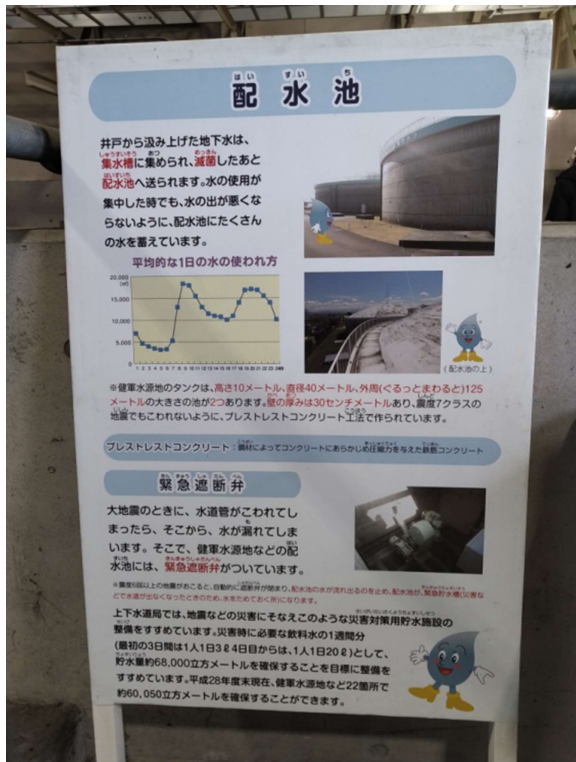


圖56 配水池及緊急遮斷閥簡介（左）及應急給水塔及災害供水作業介紹（右）

為了防範像地震等災害，上下水道局積極推動這樣的災害對策貯水設施的建設。熊本市的目標是確保一周所需的飲用水(頭 3 天為每人每日 34 公升，之後為每人每日 20 公升)，儲水量約為 68,000 立方公尺。截至平成 28（2016）年底，在健軍水源地等 22 個地點，已確保了大約 60,050 立方公尺的儲水能力。

## 2.4 熊本市自來水系統概要及相關設施建置現況

本次出國行程適逢年節假期，因此在提早抵達熊本市後，亦搭乘電車前往數個公用設施據點，亦有許多水資源相關設施可供參考。

### (一) 熊本市自來水系統概述

自古以來，有水的地方就聚集著人們，創造了文明。即使在熊本地區，純淨的地下水也在山腳下補充。到了江戶時代，人們日常的供水由泉水改為比較衛生的井水。當佩里在江戶時代末期（黑船襲擊）到達浦賀時，他給日本帶來了新的西方文化，但與此同時，他也帶來了可怕的流行病，例如通過飲用水傳播的霍亂，從此以後，每隔幾年就會爆發流行病，奪去數十萬人的生命。因此，明治政府為預防這一流行病推動了現代自來水廠的發展，並於 1887 年在橫濱市建成了日本第一座自來水廠。1897 年成為“熊本市”的本町，發展成為九州第二大城市（人口 6 萬），但生活用水仍是井水。此外，熊本市氣候炎熱潮濕，井水傳染的傳染病很常見。因此，唐島市長（第 3 代）認為建設健康城市是當務之急，並於 1908 年預算了 1000 日元（目前約為 1000 萬日元）用於供水調查費用，至 1909 年唐島市長宣布了供水建設計劃，幾經周折，1922 年 3 月，以八景水穀為水源、立田山為蓄水池的草圖獲得許可，於 1923 年 6 月開工建設。之後，於 1924 年 11 月 27 日，終於實現了盼望已久的通水目標。

熊本市供水的一大特點是所有水源都使用地下水，目前熊本市的自來水系統包括 99 口井、配水池和連接配水池之間的管道，總長度相當於整個日本列島的長度（截至 2021 年 3 月 31 日為止為 3,550 公里）。該系統由自來水和下水道運營中心 24/7 監控和控制。

自 1924 年開辦供水事業以來，全市供水事業通過與周邊鄉鎮的合併和工業的發展帶動了城市的發展。已經對地區的擴大和隨之而來的人口增加做出了回應。

目前供水人口約 74 萬市民，每天提取約 22 萬立方米的地下水（截至 2021 年 3 月 31 日），規劃日最大供水量為 27.5 萬立方米/天，普及率為 95.6%。不需要依靠水壩和淨水廠，所取地下水經由最低法定氯量處理後，再分送至調節池，最終供應市民家中使用。地下水從取水井抽出，經過消毒，然後輸送到配水池。而從配水池到家庭的配水方式有兩種：利用高差從高處的配水池輸水的重力流式

和從平地的配水水池輸水的泵增壓式以配水泵為動力之配水方式。為了確保向所有人供應的飲用水是安全的，自來水和下水道局對自來水系統進行嚴格的水質檢查，從井到用戶水龍頭，涉及 94 個不同方面（截至 2021 年 4 月 1 日為止）的檢項。

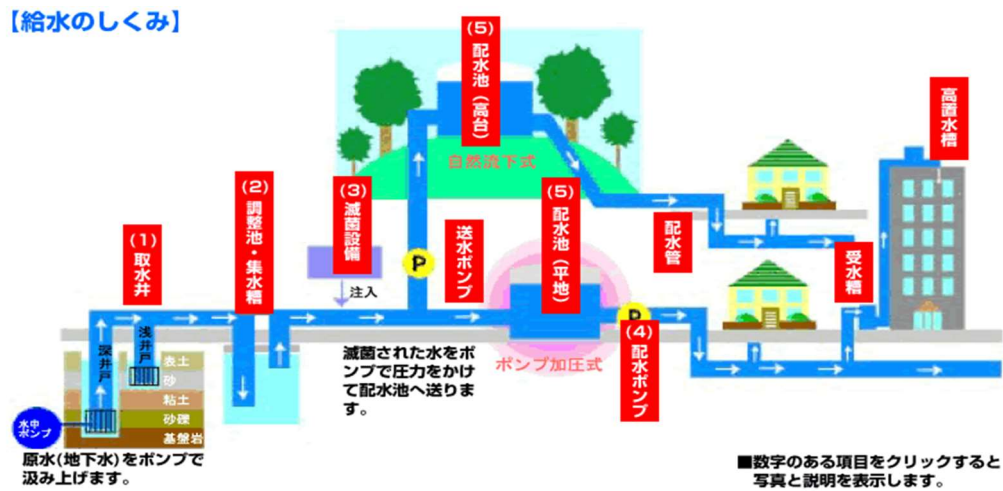


圖57 熊本市自來水系統架構

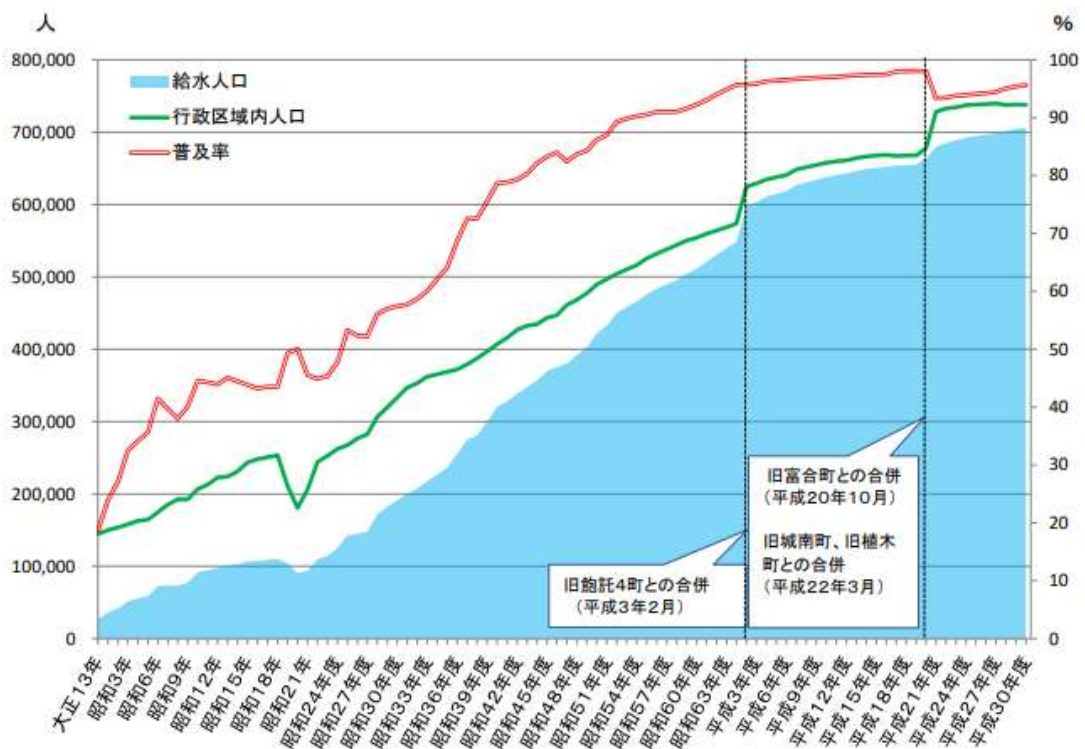


圖58 熊本市自來水供水人口及普及率變化



取水井内部取水井外觀



自噴井集水槽次氯酸鈉消毒設備



送配水加壓設備高地供水配水池



熊本市平地加壓供水配水池熊本市上下水道局水運營中心

圖59 熊本市主要自來水供水設施概況



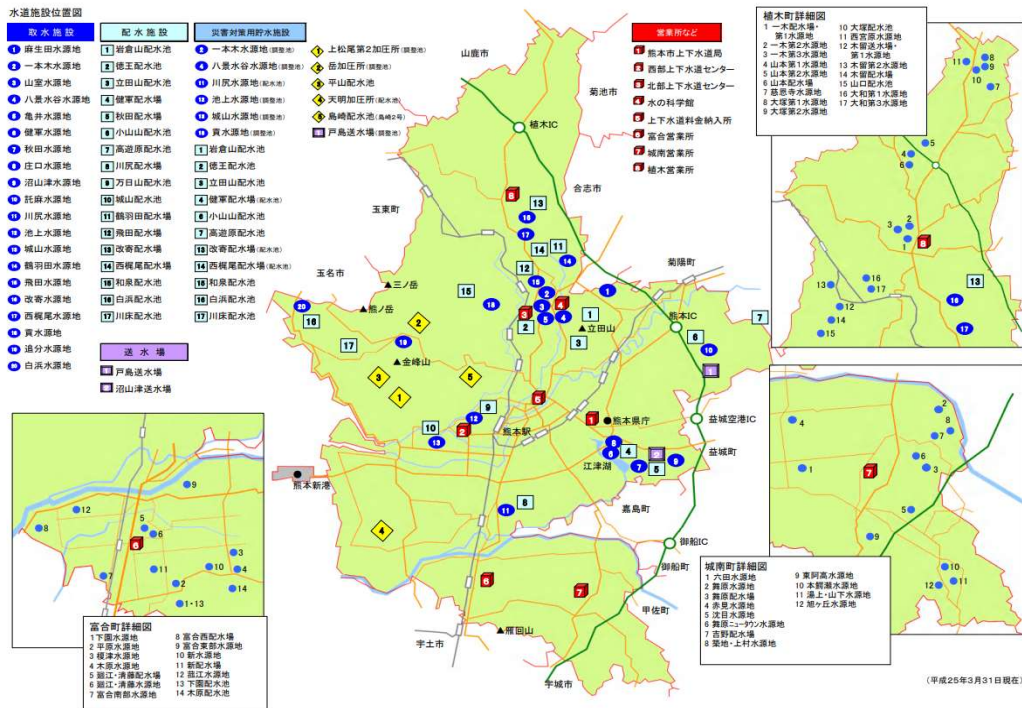


圖60 熊本市主要自來水供水設施位置圖

## (二)熊本市自來水的水環境及水源保育概述

熊本市的自來水源主要來自天然降雨，落在阿蘇山西麓的雨水流入河流、蒸發，然後通過森林和田野滲入地下，而熊本地區是古代阿蘇山噴發沉積物形成的滲透性極強、易於蓄水的地層，使這些地區的地下形成巨大的水庫，稱為地下水池。這裡蓄積的豐富水流通過被稱為十川熔岩的地層，該地層有許多小孔和裂縫，滲出的水充滿了泥土與石頭之間的縫隙，過濾掉水中所含的雜質，同時溶解岩石中的礦物質，成為美味的地下水，流入熊本市，然後湧出到熊本市水前寺和江津湖周圍的地表。使江津湖、八景水穀等地甚至湧出地下水在水源處的水井就可抽取這些水。

# 熊本市の水道と下水道

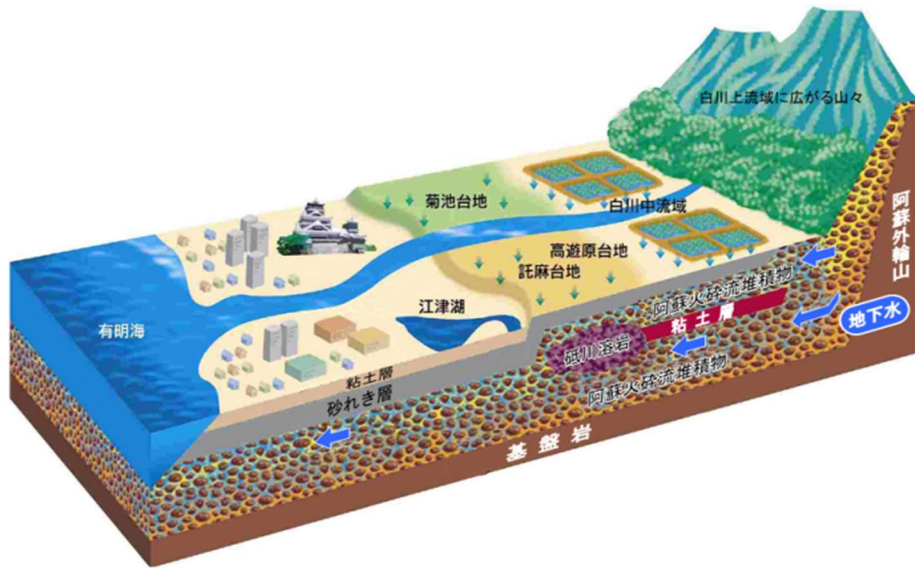
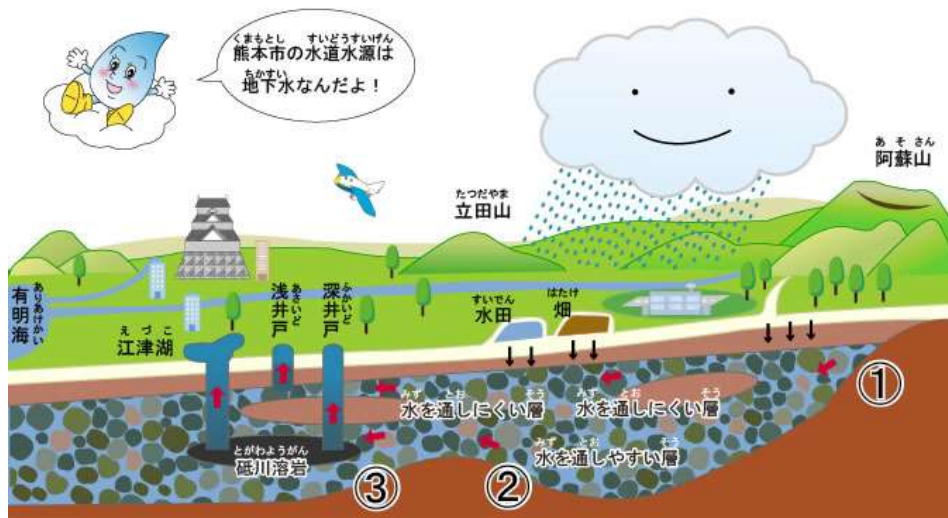
水は、海や陸から蒸発して雲となり、雨や雪となって、再び地上に降りそそぎ、河川水や地下水として自然に恵みを与え、再び海へと流れていきます。水はこのように姿を変えながら、絶えず自然の中で循環しています。



圖61 熊本的水循環

熊本的水從海洋和陸地蒸發，形成雲、雨和雪，落回地面，又以河水和地下水的形式流回大海，給予熊本大自然的恩惠，水在自然界中不斷循環，同時改變著它的面貌。

“供水”將這種在自然界中循環的水作為“自來水”輸送給客戶，“污水”將客戶使用的水（廢水）淨化後還給大自然。為了進一步保護這種水循環，上下水道局旨在“形成環境友好的水循環社會”。



熊本地域の地下水の流れ

圖62 從植木高原和金浦山脈等其他水系雨水滲入地下流入熊本市示意

### (三)熊本市上下水道局

在熊本市上下水道局前有災害用給水タンク（貯水機能付給水管）的設施，在平常時作為通常的給水管使用，但在發生地震等斷水情況時，該水槽的容量可以確保 6m（相當於 2 千 500 毫升的瓶子 3,000 個）的自來水作為緊急飲用水使用。此外，與用於儲存水的貯水槽不同，此類給水管嵌入於中途，因此可以持續存儲新鮮的水。



圖63 熊本市上下水道局前貯水機能付給水管

熊本市上下水道局為保護市民的安全飲用水，即使發生災害，也會確保乾淨的自來水。在這個球體內部有一條流動的乾淨自來水管道，即使在地震等災難發生時斷水，也可以用作飲用水。

在看板上也記載了上下水道局的宣誓誓言，其內容如下：

「我們不會忘記在 2016 年 4 月 14 日和 16 日發生的兩次震級為 7 級的大地震中，市內全區斷水、市民長龍等待緊急給水和全國事業體的無私援助。因此，我們必須將這次災難的經驗傳承給後代，不能讓其風化。

作為市民的生命線，上下水道局在這次地震的契機下，承諾結合市民力量、地方力量和行政力量，以達到“安全，可靠，持續”的目標，全體員工將全力以赴，致力於建設抗災城市。」



圖64 貯水機能付給水管説明看板

#### (四)熊本縣廳

在熊本縣廳廣場前也有展示，有關熊本地區環境內的地下水狀況、地質斷面圖之電子看板，可察看即時監測地下水位。看板說明這個地下水位顯示設施是為了讓民眾關注看不見的地下水，了解地下水狀況並保護它而設立的。熊本地區的深層地下水主要是在阿蘇外環山西麓台地的旭志和天津附近營養，一度儲存在白川中游地下水池中。然後，從這裡向南穿過讓賀台地，在江津湖附近向西轉彎，經過熊本平野最終流入有明海。此外，一年中水位的季節變化在秋季（約 10 月至 11 月）達到最高點，在梅雨前（約 5 月至 6 月）達到最低點。在顯示板上，以海拔高度顯示了菊陽町辛川和熊本市水前寺這兩個代表性的地下水位觀測井的水位變化，包括當前值和去年同期的值。



圖 46. 熊本縣廳廣場前地下水位顯示設施

另在廣場前尚有可供生飲的水滴造型飲水台，開啟後水可沿造型本體流下，順便達到清潔本體的效果，設計也很巧妙。



圖65 熊本縣廳廣場前水滴造型飲水台

在廣場側面還有不鏽鋼取水站，旁邊地下貯槽設有不鏽鋼子母蓋，可依操作維護需求進行不同範圍大小的啟閉作業。



圖66 熊本縣廳廣場前不鏽鋼取水站及地下貯槽

### (五)熊本道路上的供水相關閥栓蓋

熊本市街道上有許多不同大小的閥栓蓋，針對用戶的需求無論是水量計箱和制水閥也都有不同的規格。有關消防栓的開關蓋，大部分都有醒目的顏色標示。對於道路以及私有土地也有明顯的市界標釘，可明確劃分土地界線。值得一提的是可以發現部分水量計箱前面有特別小的制水閥蓋，在提供最小的可操作性，優可提高閥蓋的抗壓強度。



圖67 熊本市道路上的關閥栓蓋

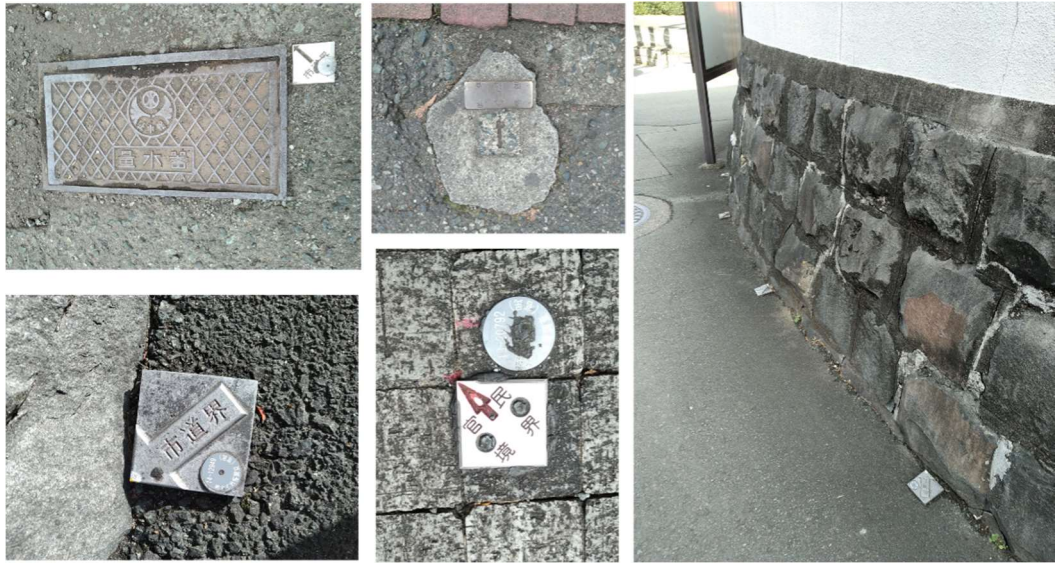


圖68 熊本市道路上的土地界標釘

當管線位置遭遇人行道時，則可與人行道及路沿石共構，在閥栓蓋上方與人行道共構的不鏽鋼壓紋蓋，以利後續的操作維護。



圖69 與人行道共構的設置方式



## (六) 塑膠製的水量計箱

塑膠製的水量計箱蓋在日本也使用相當普遍，特別在非提供車輛行駛的人行道上或私有土地都會選擇塑膠的水量計箱，有些塑膠的水量計箱蓋上面會顯示「積載禁止」的字樣，以提醒不可在其上方重壓



圖70 熊本市可見的塑膠制水量計箱

## (七) 公用飲水台

熊本市因為有甘甜的水質，因此在公用空間都可見飲水台。以下如熊本市政府前、水前寺江津湖公園、本妙寺公園等都設有飲水台。



圖71 熊本市政府前的飲水台



圖72 水前寺江津湖公園(左)及本妙寺飲水台(右)

### (八)公共空間消防送水管及資材室

在許多開放的空間，亦設置有消防送水管，並以不鏽鋼方式設置，旁邊則以止水栓進行啟閉，不但可大大減少設置空間，亦可降低私自操作的機率。在市區邊緣區域則有消防資材室。

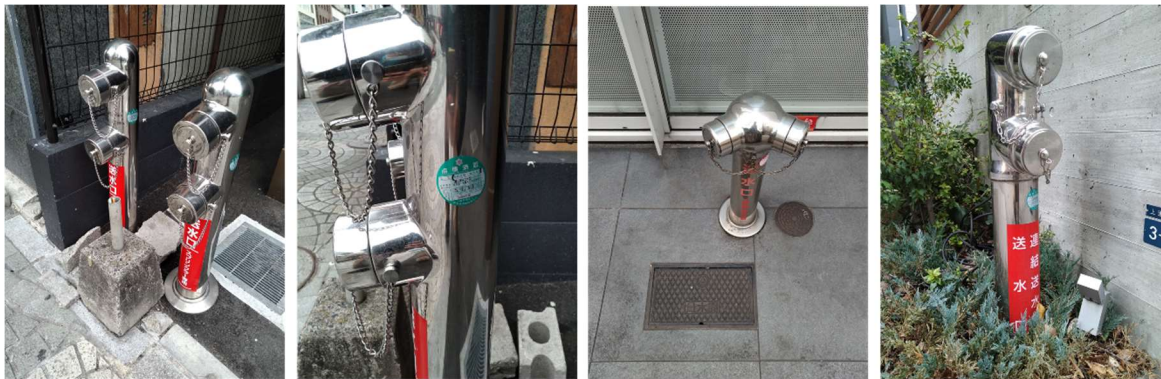


圖73 公共空間消防送水管



圖74 消防資材室

### (九)工區版式圍籬與交通錐連桿

熊本市作為一觀光城市，市區可見的建設工事，均有完善的安全圍籬設施，特別的是，許多圍籬都使用版式支撐，不僅兼具功能性，也可依不同構造附掛電線。版式的構造，相較一般交通錐也可以有較佳的收納及運送效果。此外，不同的造型也可以兼具美觀及城市行銷。



圖75 工區版式圍籬與交通錐連桿

## (十)熊本市上下水道局災難恢復和重建計劃

熊本市上下水道局係主管熊本市上水道(即自來水)及下水道(即兩污水處理)業務，該局針對 2016 年 4 月 14 日(前震)和 4 月 16 日(主震)發生的熊本地震，於 2017 年 6 月研訂災難恢復和重建計劃，旨在實現在地震中受損的供水和污水設施的早期恢復和重建，提出基本思路，應採取的“基本方針”(建設“安心”、“強韌”和“可持續”的供水和污水處理系統)和“恢復重建的五項主要措施”(1.早日恢復供水和工業供水設施，2.儘早修復污水處理設施，3.給水及工業給水設施抗震，4.下水道設施抗震改造，5.加強災害應對能力)，闡述了供水和排水事業恢復重建的思路和每項主要措施的力度(如附圖)，穩步推進業務。



圖76 熊本市上下水道震災恢復重建計劃架構

## (十一) 熊本市上下水道局自來水管的耐震化措施

### 1. 2016 年熊本地震中不同管道類型的損壞率

熊本市所使用自來水管有鑄鐵管、球墨鑄鐵管、鋼管、硬質 PVC 管等。其中，使用最多的管型是“球墨鑄鐵管”。在 2016 年熊本地震中，管道類型的損壞率（每 1 公里管道長度的損壞件數）為鑄鐵管 0.40 件/公里，鋼管（焊接接頭）0.12 件/公里，鋼管（其他形式接頭）0.55 件/公里、氯乙烯管(PVCP)0.18 件/公里，球墨鑄鐵管為 0.05 件/公里，新進採用的球墨鑄鐵管（抗震接頭）則沒有發生破損。

表16 導、送、配水管的各管種、口徑的受災件數和受災率（熊本市）

表 5.2.4 導・送・配水管の管種・口径別被害件数と被害率（熊本市）

区分	管種	鑄鉄管 (CIP)	ダクタイル鉄管 (DIP)		鋼管 (SP) <sup>(注1)</sup>		塩化ビニル管 (VP)	ポリエチレン管 (PE)		その他	計(件)	管路延長 (km)	被害率 (件/km)
			前壁	その他	溶接	その他		融着	その他				
管 路 本 体	口径 (mm)												
	φ65・50以下	0	0	0	0	45	34	0	1	0	80	417	0.19
	φ75・80	3	0	27	1	7	23	0	0	2	63	706	0.09
	φ100～φ150	26	0	38	1	12	14	0	0	0	91	1634	0.06
	φ200～φ250	0	0	7	0	5	0	0	0	1	13	300	0.04
	φ300～φ450	7	0	0	3	0	0	0	0	0	10	188	0.05
	φ500～φ900	0	0	0	3	2	0	0	0	0	5	142	0.04
	φ1000以上	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	8	0.13
	口径不明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0.00
	計(件)	36	0	72	8	72	71	0	1	3	263	3414	0.08
管路延長(km) <sup>(注2)</sup>	90	628	1881	69	132 <sup>(注3)</sup>	400 <sup>(注3)</sup>	104 <sup>(注3)</sup>	49 <sup>(注3)</sup>	62	3414			
被害率(件/km)	0.40	0.00	0.04	0.12	0.55	0.18	0.00	0.02	0.05	0.08			
被 害 形 態	継手漏水	27	0	68	0	55	64	0	1	3	218		
	被害率(件/km)	0.30	0.00	0.04	0.00	0.42	0.16	0.00	0.02	0.05	0.06		
	管体破損	9	0	0	2	11	7	0	0	0	29		
	被害率(件/km)	0.10	0.00	0.00	0.03	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01		
	その他	0	0	4	6	6	0	0	0	0	16		
被害率(件/km)	0.00	0.00	0.00	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			

注1) 鋼管の被害は伸縮管、伸縮可とう管を含む。なお、本表では溶接鋼管の被害のうちフランジや伸縮管等の漏水は鋼管(その他)として集計した。

注2) 過去の大震災の被害調査では主にφ75以上を対象とした統計がとられてきたが、本報告ではφ50以下の被害を含めて集計した。

注3) φ50以下の延長は次の通り。鋼管(その他):110km, 塩化ビニル管:159km, ポリエチレン管(融着):93km, ポリエチレン管(その他):47km

### 2.熊本市球墨鑄鐵管安裝情況

1979 年，熊本市採用球墨鑄鐵管並開始鋪設管道，從 2003 年起，直徑 150mm 以上的管道使用球墨鑄鐵管（抗震接頭），2005 年起，直徑 75mm 以上的管道使用球墨鑄鐵管（抗震接頭），截至令和第 2 年末，熊本市供水管道（鉛管、輸水管和配水管的總和）約 3,550 公里中，有 2,654 公里或約 74.7% 為球墨鑄鐵管。

鑄鐵是由鐵、碳（含量在 2%以上）和矽組成的鐵合金，它具有較高的強度和耐腐蝕性，也比較容易切割。但是，因為碳是條狀的，鑄鐵有易受衝擊的缺點，而球墨鑄鐵管是通過球化鑄鐵管中所含的碳，來增加韌性和抗衝擊性而製成的，較具“延展性”及耐受衝擊。

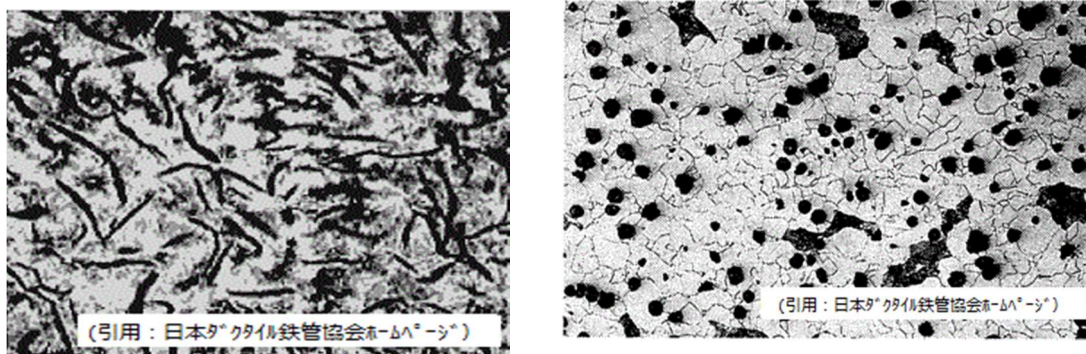


圖77 鑄鐵管(左)與球墨鑄鐵管(右)的顯微照片

表17 熊本市上下水道局自來水管材使用情形

管種	長度（公里）	比率（%）
鑄鐵管	74	2.1
球墨鑄鐵管	2,654	74.7
（包括抗震接頭）	（795）	（22.4）
鋼管	174	4.9
硬質氯乙烯管(PVCP)	380	10.7
混凝土管	0	0
鉛管	0	0
聚乙烯管(PE)	227	6.4
不銹鋼管	7	0.2
其他	34	1.0
合計	3,550	100

此外，除管材外，鑄鐵管之接頭類型，可根據地震引起的地面晃動和位移靈活“彎曲”具這些特性的耐震接頭，可使球墨鑄鐵管具有極強的抗震能力。



圖78 NS 型耐震接頭延性鑄鐵管

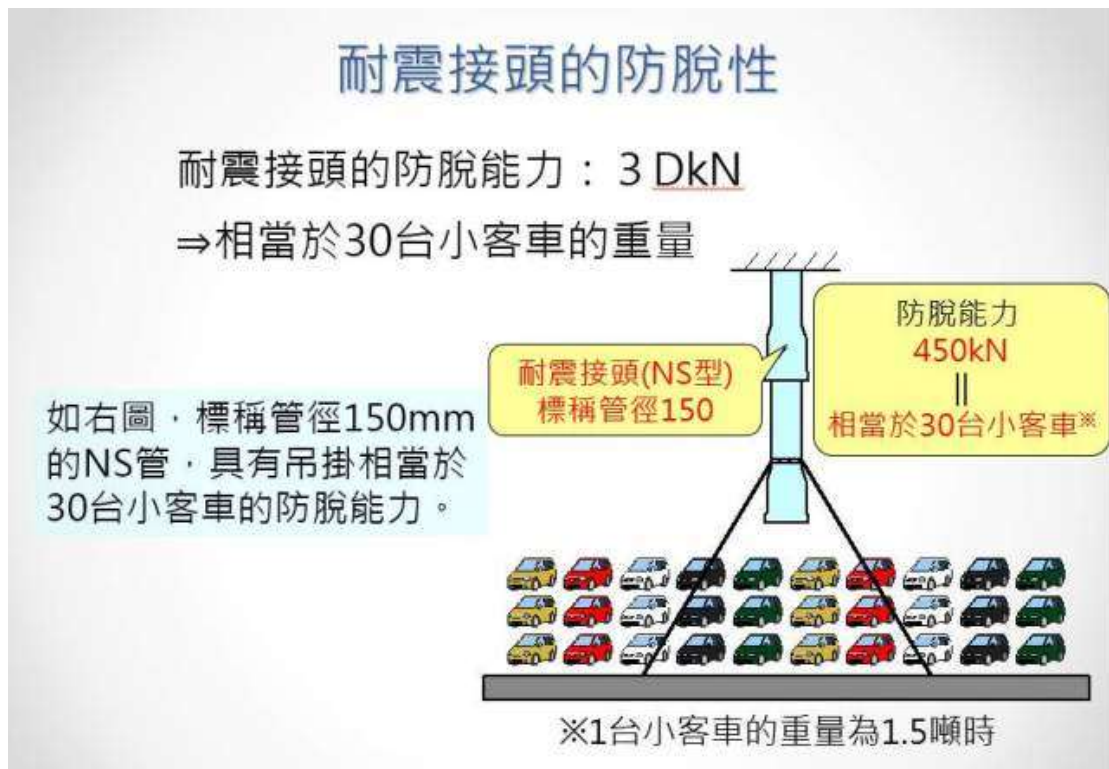


圖79 延性鑄鐵管 NS 型耐震接頭防脫性示意

### 3.熊本市上下水道局自來水管耐震化之推動

熊本市的一些主要管道一直使用抗震管，但從 2005 年開始採用抗震管（帶有抗震接頭的球墨鑄鐵管等）。此外，從 2020 年起，根據熊本市區域防災計劃中規定的假設地震，來預測水管的損壞情況，評估漏水次數等，確定管道更新的優先順序，並促進抗震能力。截至 2020 年末，幹線管道抗震合格率達到 79.6%，而管道整體抗震率為 29.5%。此外，由於 1960 年代和 70 年代安裝的管道將到期更換，預計更換老化管道的需求將會增加，使這些管道抗震和更換舊管道都需要經費，將適時調整水價，增收水費用於耐震化之推動。

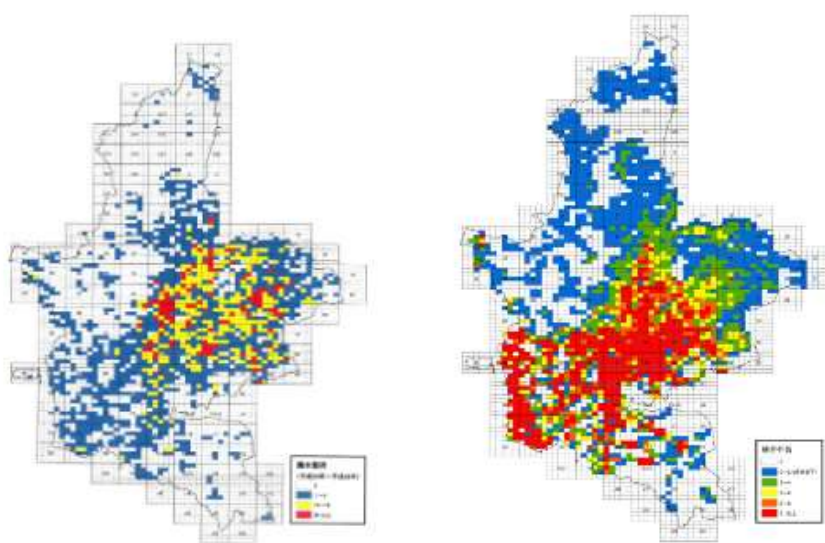


圖80 以往管線漏水位置(左)與根據斷層位置所預測管線損傷結果(右)



## (十二)熊本市上下水道局因應災害等導致停水時的緊急供水措施

### 1.運搬給水

運搬供水是使用運水車、水箱（車載式）將飲用水輸送到停水區、避難所、主要設施、醫院等重要設施的供水方式，由於具有敏捷性和機動性，通常在發生災難時，針對管末或高地區域，第一反應是採取此種運水方式來供水。

#### (1)緊急送水車

發生災害時，水道局會派出運水車為市民運送飲用水，並配備水泵，可將水送至高處的接水槽或低處抽水，並依熊本市上下水道局與東京都與政令指定城市，簽定 21 個主要城市發生災害時的相互支援協定，提供災害支援其他水道局的救災工作。



圖81 熊本市上下水道局送水車



圖82 1995 年阪神淡路大地震(左)與 2011 年東日本大地震(右)緊急供水情形

## (2)緊急供水水箱

這是一種可以安裝在卡車等上，用於在發生災害時供應運輸用水的水箱。水道局有 34 個 1 立方米的水箱（包括 17 個折疊式水箱）。



圖83 熊本市上下水道局使用水箱於緊急供水情形

## 2.消防栓的使用

消防栓是在道路上每隔 100 米至 200 米設置的用於滅火的設施一旦發生災害，它不僅可以用於滅火等滅火活動，還可以用於應急供水。

### (1)設置臨時供水站

在發生災害等情況，可以使用路上的消防栓，連接一個特殊的裝置，作為臨時供水站使用。



圖84 熊本市上下水道局使用消防栓作為臨時供水站情形

### (2)向運水車等供水

可以用來給水車供水。即使不是發生災難，例如在馬拉松比賽期間使用消防栓向臨時供水站給水。



圖85 使用消防栓向臨時供水站給水

### 3.實施應急供水的場所

災害期間應急供水的地點、方式和時間，根據災害的類型、規模、破壞程度和停水程度而有所不同。實施應急供水活動時，採用宣傳車進行當地宣傳（普及應急供水方式、實施地點、供水時間等），醫療活動據點醫院、透析治療醫院等重要醫療設施、養老院等重度殘疾、易受災設施、重要公共設施（市政府、區役所等）、避難所等的緊急供水（小學、公園等）等）列為優先供水對象。

#### (1)緊急供水基地（水池或水塔）

水池或水塔是向緊急供水車供水的設施，熊本市上下水道局於健軍水源地設置2處、熊本市上下水道局局內設置2處、舊西武供水及下水道中心設置1處、川尻配水站、改寄配水站、城山調整池各1處，共8處供水站，這些設施將作為發生災害時應急供水的基地。



圖86 健軍水源地緊急供水車供水的設施

## (2)災害對策用蓄水設施

災害對策用蓄水設施旨在運用具有抗震結構的蓄水設施中，安裝緊急關閉閥，在發生災難等情況下蓄水。



圖87 具有抗震結構的蓄水設施

## (3)熊本市上下水道局門設置具有蓄水功能的供水管

具有蓄水功能的供水管，平時是普通的供水管，但在發生地震等災害時供水管被切斷時，可以確保水箱容量的自來水，提供應急飲用水。於 2018 年 3 月 29 日，在上下水道局前安裝了容量為 6 立方米（相當 3000 個 2L 寶特瓶）的具有蓄水功能的供水管。此外，熊本市的中小學也安裝了類似的具有蓄水功能的供水管，平常也進行具蓄水功能供水管之操作培訓！



圖88 具有蓄水功能的供水管

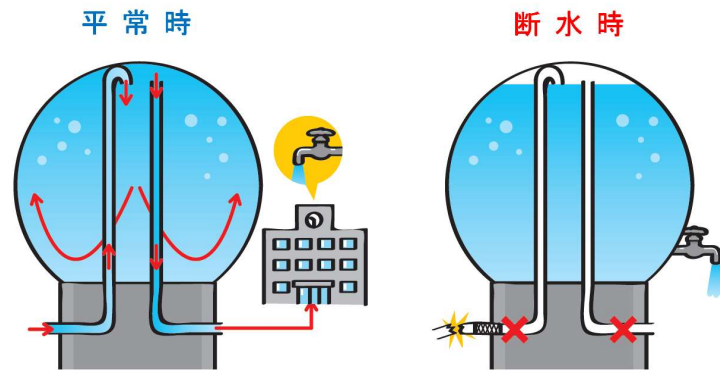


圖89 具有蓄水功能的供水管操作演練

### (十三)熊本市上下水道局配水池和蓄水設施的抗震災害對策

#### 1.配水池的耐震化

一天中，供水區有時用水量大，有時用水量少，因此，在供水區域設置蓄水用配水池，即使在用水集中的時候也不會缺水。例如，在熊本市健軍有兩個配水池。高 10 米，周長 125 米，直徑 40 米，壁厚 30 厘米，每座水池可蓄水 12000 立方米。此水池採用預應力混凝土工法建造，可承受 7 級地震，在熊本地震中並未受損。截至 2021 年底，熊本市配水池抗震率（已採取抗震措施的配水池蓄水容量與配水有效蓄水容量之比）為 91.2%。



圖90 熊本市健軍有兩個配水池

## 2.開發蓄水設施作為災害對策

一旦發生地震等災害，供水區域通往住戶的水管可能會破損而漏水。為了在發生災難時確保配水池的用水，在健軍的兩個水池之間安裝了緊急遮斷閥，當地震發生 6 級以下或以上地震時，緊急切斷閥自動關閉，阻止水流出配水池。熊本上下水道局為應對地震等災害，開發蓄水設施作為災害對策。為熊本縣約 740,000 名居民提供了約 68,000 立方米的水，以在災害期間供應至少一周的飲用水（災後前 3 天 3 升，第 4 天起 4 天 20 升）已於 2021 年底完成災害對策蓄水設施 24 座，蓄水量 66950 立方米！



圖91 健軍在水池之間安裝緊急遮斷閥

## 參、心得及建議

- (一) 本次自來水耐震設施研討會的主題相當多元，包含跨區域自來水備援管線或系統之建置、自來水耐震管材及閥類的試驗及實際應用、震災發生後的緊急應對策略、藉由 GIS 系統及數值模型分析管線汰換順序等，上述內容均作為本公司日後就進行自來水工程研議耐震策略之參考資料。研討會中也提到了美國和日本有關管線汰換結合耐震考量之研究，台北自來水事業處也針對其管線汰換順序進行評估，因此我們未來耐震策略之方向也可考量管線汰換優先順序進行研議。但我們的轄區甚大，因此應就斷層帶分布或液化潛勢高區域擇一處進行管線汰換之研析，並於該路段採用部分採用耐震管材或耐震回填材料作為示範案例，以提高經濟性及可行性。管線汰換是否採用耐震管材及回填材料，仍應審慎評估。
- (二) 在熊本地震中，震波不僅僅是最初發生的那次，還有 28 小時後發生的更強烈的震波。因此，我們不應認為最初的震波就是主震，而應該保持警惕。此外，由於餘震持續時間很長，很多人無法留在建築物內，被迫過著在室外過夜的生活，因此在災害期間的供水，亦須考慮到民眾用水的實際環境及需求。
- (三) 根據 2016 年 2 月底的統計數據，南阿蘇村當時有 11,652 人口和 4,744 戶。然而，最近發生的地震和暴雨災害對當地造成了嚴重的影響。有 31 人死亡，31 人重傷，120 人輕傷。建築物方面，699 戶全毀，989 戶半損毀，1,173 戶部分損壞。這些數字都是令人驚訝的。這次的災害不僅對當地人民的生命造成了威脅，也對維生管線、交通基礎設施、農業和觀光業等多個領域造成了嚴重的影響。當時全村停電，大約 80% 的家庭沒有供水。JR 豐肥本線和南阿蘇鐵路無法通行，主要道路也被截斷。這些因素極大地阻礙了災區的救援工作。此外，農業和觀光業也受到了影響。農地出現裂痕，農業用水渠受災，而人力不足的情況更加惡化。觀光設施也受到了災害的波及，訪客量急劇下降，進一步加劇了當地經濟困難的局面。整體而言，南阿蘇村在這次災難中受到了極大的影響，各個領域都需要投入大量的資源和努力來恢復正常運作。此次災難也再次提醒我們，地震和其他自然災害的威脅永遠存在，我們需要加強預防和應對的能力，為未來做好充分的準備。

(四) 臺灣跟日本，同樣都是亞洲海島型的國家。因此，在許多的技術以及法規都能夠互相借鑒學習。同樣的，我們所面臨的天災，無論是颱風、海嘯或地震，都可能對我們的供水系統造成威脅。因此，在本次研討會，有許多單位都分享了有關震災過程的地震災害發生過程的詳細記錄以及量化數據。他們的目的是希望後代面對同樣的災害威脅時能夠有充分的準備或者有經驗的應對。此外，有關災害的遺址也有妥善的保存以及規劃作為教育的場所。未來，這都是我們可以學習的地方。

(五) 最後，本次出國經驗對自來水公司來說是一次寶貴的學習機會。除了透過研討會和參觀當地供水系統的方式了解國外的自來水工程發展及管理方式，更重要的是，這次經驗也讓我們更深刻地體會到地震對供水系統的嚴重影響和重要性，並進一步加強了我們對耐震設計和災害應變措施的認識和重視。在未來的自來水工程發展及管理中，將會更加謹慎和嚴謹，積極尋求國內外的經驗和知識，以確保我們的供水系統在面對自然災害時能夠更加堅強和穩健。