

嘉南藥理大學114年度 研究計畫成果報告

校內專題研究整合型計畫

總計畫名稱：空調建築之通風效能與火災避難策略評估

子計畫名稱：校園體育場館疏散策略模擬

個人型產學合作研究計畫

計畫名稱：

執行期間：114年06月09日至114年12月31日

總計畫主持人：黃小林

本（子）計畫主持人：王煊丞

本（子）計畫協同主持人：徐睦淵

中華民國115年02月21日

目錄

一、研究動機與研究問題	1
二、文獻回顧與探討	2
三、研究方法與步驟	4
四、開學典禮情境分析	7
五、體育賽事情境分析	15
六、結論與建議	23
七、參考文獻	25



一、 研究動機與研究問題

隨著大專院校舉辦大型活動的頻率增加，如何確保人員安全成為關鍵議題。根據消防署《大型群聚活動安全管理作業指引》[1]，任何超過千人的群聚活動均需進行風險評估與安全管理，特別是在場地管理、消防防災、緊急應變與疏散策略等方面應有完善規劃，以確保突發事件發生時能有效應對。

以本校（嘉南藥理大學）為例，每年入學新生約2000餘名，扣除境外生及部分未出席學生，加上工作人員，每年開學典禮時，體育館內保守估計至少有1500名以上人員聚集。如此大規模人員於封閉空間內活動，若發生火災、地震或其他突發狀況，可能因疏散不當導致人群推擠、逃生效率低落，甚至引發踩踏等事故，危及師生安全。因此，建立有效的體育場館疏散策略，以提升緊急應變能力，對於校園安全至關重要。

根據指引，大型活動應建立「緊急應變計畫」，內容涵蓋風險評估、應變組織架構、作業流程及資源配置等。然而，目前校園體育場館的疏散計畫多以靜態規劃為主，未充分考量人流分布、建築結構與實際逃生行為的影響，使得現有應變措施在突發事件中可能無法發揮最佳效能。此外，指引中特別強調「群眾管理」對於活動安全的重要性，活動主辦方需考量人員組成、行為模式與空間規劃，以降低緊急狀況發生時的混亂與傷害。例如，境外生、高齡教職員或行動不便者對場館環境的熟悉度與反應能力不同，應設置清楚的緊急出口標示、無障礙逃生通道與人員引導機制。此外，當人群處於高壓環境時，可能出現遲疑或推擠行為，影響疏散效率。

本研究將透過 Pathfinder 人流模擬軟體，針對本校紹宗體育館進行人員疏散模擬分析，以評估並優化疏散策略，確保人員能在最短時間內安全撤離。透過模擬緊急情境，分析人流疏散時間、瓶頸區域與擁擠程度，進行比較與優化建議，確保疏散策略符合實際需求。

本研究將透過 Pathfinder 模擬不同群眾組成、出口配置與場地變數下的人流疏散狀況，分析疏散動線與人員配置方式，提升緊急應變效率，確保不同人群皆能順利撤離。研究成果將可提供校方作為未來應變計畫的參考，提高校園大型活動的安全性，並作為其他學校體育場館規劃疏散機制的依據，進一步提升校園的防災應變能力。



二、 文獻回顧與探討

根據《大型群聚活動安全管理作業指引》，大型活動應建立「緊急應變計畫」，涵蓋風險評估、應變組織架構、作業流程及資源配置，以確保突發事件發生時能有效應對。指引強調「群眾管理」對於活動安全的重要性，主辦單位應考量人員組成、行為模式與空間規劃，以降低緊急狀況發生時的混亂與傷害。特別是大型體育館等封閉空間，因人員高度集中，若疏散規劃不當，可能導致群眾推擠、逃生效率低落，甚至引發踩踏事故。因此，指引建議應透過人流模擬分析不同疏散路徑與策略，評估瓶頸區域與人員撤離效率，以優化應變計畫[1]。

游家懿針對大型體育館的避難行為與安全管理進行研究，分析建築設計中的避難規劃與實際人員疏散行為之間的差異。他利用官方要求的避難演練機會，透過問卷調查、錄影觀測，並結合 Simulex 與 buildingEXODUS 兩款模擬軟體，評估人員避難特性與風險承受值。研究引入「Hot Area」概念，選取建築物內最危險區域進行局部避難演練，以提升研究的可行性與準確性。研究顯示避難設計應考量真實人群行為，並結合動態模擬以優化疏散策略[2]。

避難時間是評估建築物疏散安全性的重要指標，主要透過 ASET (Available Safe Egress Time) 與 RSET (Required Safe Egress Time) 進行衡量。ASET 是指從火災發生到環境條件惡化至人員無法忍受、無法安全撤離的時間，其長短受火災發展狀況、建築物防火防煙設計等因素影響。例如，若建築內設有完善的防火區劃與排煙系統，可延長 ASET 時間，使人員有更多時間撤離；但若建築物存在煙囪效應等不良設計，則可能加速火勢與濃煙蔓延、縮短 ASET 時間，增加避難風險。RSET 則指人員從發現火災、聽到警報、心理反應、開始避難行動，到最終抵達安全區域所需的時間。其影響因素包括人員對災害的反應速度、行進速度、場館內部空間配置、出口寬度、擁擠程度等。在大型體育館內，因人員密集且空間結構較為複雜，RSET 可能受到群眾推擠、行動不便者移動速度較慢等因素影響而延長，進而增加疏散困難度。避難計畫的基本原則是確保 RSET 小於 ASET，使人員能夠及時撤離至安全範圍。若 RSET 接近或超過 ASET，將導致人員無法順利逃生，增加傷亡風險。透過優化出口配置、增加逃生標示、調整人流動線等策略，可有效縮短 RSET，提升疏散效率，確保人員能在最短時間內安全撤離[3]。避難時間軸如圖1所示。

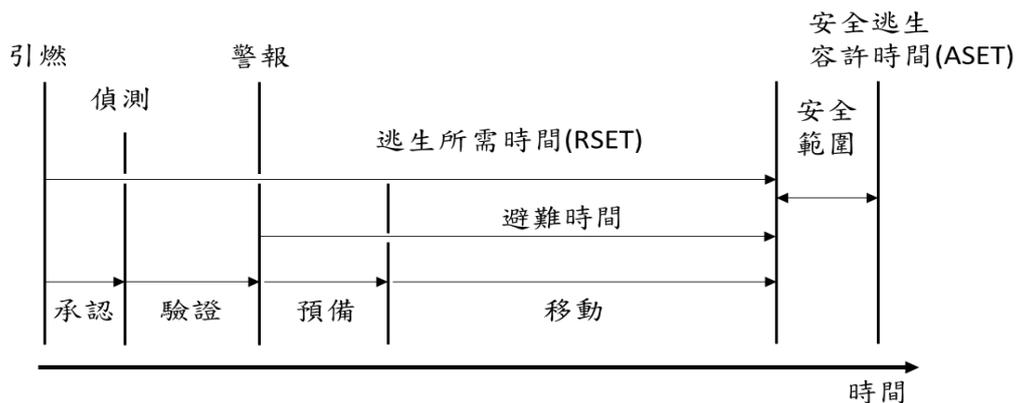


圖1 避難時間軸[3]

近年來，人流模擬軟體被廣泛應用，透過數值計算模擬人員在特定空間內的逃生動態與疏散時間。常見的避難模擬工具包括 FDS+Evac[4,5]、Simulex[6]、Pathfinder[7]、building EXODUS [8]等等，這些軟體可用於分析不同情境下的人流行為與避難效率，以優化疏散策略。表1為各類人流模擬軟體並依照特色進行比較。

表1 人員避難模擬軟體之簡介與比較

軟體名稱	開發公司	特色介紹
FDS+ Evac[4,5]	美國國家標準局與技術研究院NIST及芬蘭科技研究院 (VTT Technical Research Center of Finland) 所開發。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 免費使用。 2. 同時模擬火場狀況與人員避難模式，判斷人員於火場中逃生狀況。 3. 能設定逃生指示燈，模擬不熟悉出口之情形。 4. 現已無更新支援。
Simulex[6]	英國愛丁堡大學學者以C++程式語言研發。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軟體考量個體超越及倒退的行為。 2. 以人員間的距離決定步行速度。 3. 建置不同屬性的人群避難資料庫，供使用者設定。
Pathfinder[7]	美國Thunderhead Engineering公司所開發。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能匯入圖片、FDS檔、AutoCAD方便建置模型。 2. 使用操作顯而易學，運算速度較快。 3. 能夠模擬升降機與使用輪椅、病床的待救人員。
building Exodus[8]	英國Greenwich大學的防火安全工程小組所研發。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可結合火場的溫度及有毒氣體等之參數設定。 2. 考量避難時人與人之間的相互影響。 3. 模擬逃生指示對人員的影響。

將 Pathfinder 與 Fds+Evac、Simulex 及 building Exodus 之模擬比較結果如圖2，可以看出軟體模擬結果中，Pathfinder 與其他避難常用軟體比較，門與走廊的計算皆較保守。

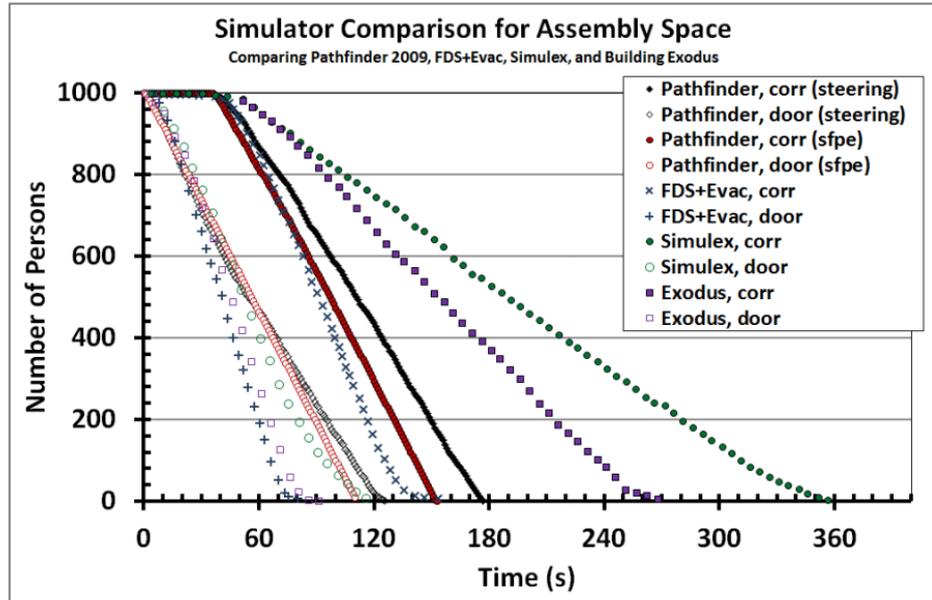


圖2 各類模擬軟體模擬結果比較[9]

綜合以上比較結果，本研究選擇 Pathfinder 作為人員避難模擬工具。該軟體可匯入建築圖面，便於建立電腦模擬模型，同時具備快速運算與直觀操作的優勢，適合進行大規模案例的分析與比對。此外，Pathfinder 支援電梯使用與避難弱者的模擬，使後續研究能在相同模型基礎上進一步探討不同避難因素，提升模擬的適用性與準確性。

三、 研究方法與步驟

本研究選擇 Pathfinder 作為人員避難模擬工具，其提供兩種移動仿真模式：Steering 模式與 SFPE 模式[7]。在 Steering 模式下，個體間會保持適當距離，且門口不會限制人群流動，使避難行為更接近自然移動狀況。而 SFPE 模式則模擬高密度環境下的人員行為，人群會相互擁擠，且門口會形成流量限制，人員的移動速度則受空間內的密度影響。由於 Steering 模式相較 SFPE 模式避難時間較長，屬於較保守的模擬方式，且為 Pathfinder 常見的應用模式，因此本研究採用 Steering 模式作為行為模擬基礎，以確保避難時間的評估更加嚴謹。

Pathfinder 採用社會力模型，將人員的行為反應量化為作用力，並透過設置不同參數（如步行速度、人員屬性、出口熟悉度及反應時間等），將個體添加至建立好的疏散模型中。軟體透過運動方程式計算每位人員的行為，使其在模擬環境中選擇最近或最適當的逃生路徑，進行動態避難模擬，模擬示意圖如圖 3 所示。

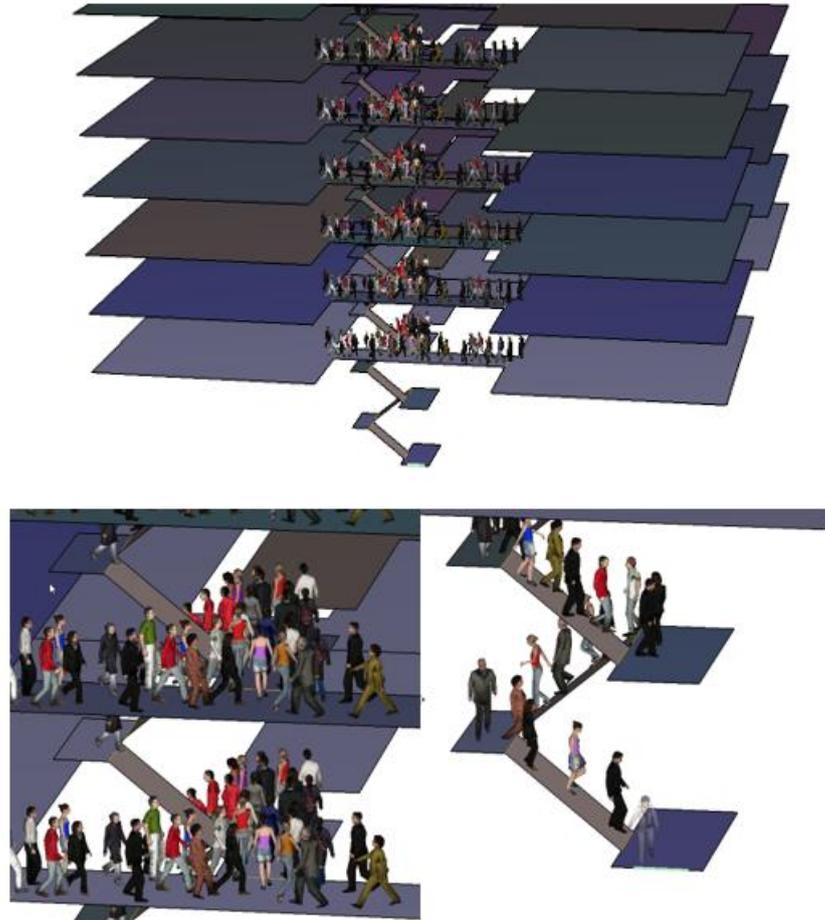


圖3 Pathfinder 模擬示意圖[10]

本研究以本校紹宗體育館進行探討與模擬分析。紹宗體育館為本校最重要的集會場館，除了承辦日常體育教學與訓練外，更是舉辦大型活動的核心場地，包括每學年的開學典禮、校慶、畢業典禮等重要儀式皆安排於此。這些活動往往聚集大量人員，對於場館的疏散能力與安全管理提出了極高的要求。

以開學典禮為例，每年新生人數約 2000 餘名，扣除境外生及部分未出席學生，加上校方工作人員，體育館內在典禮期間的保守估計人數至少達 1500 名以上。此外，體育館的設施與座位配置使其成為各類大型活動

的理想場地，除了校內活動，亦經常承辦外部賽事與表演活動。

紹宗體育館曾是國內職業籃球聯盟——台灣頂級職業籃球大聯盟（簡稱：T1 聯盟、T1 League）球隊臺南台鋼獵鷹隊的主場館，當時規劃 2 樓座位區 1600 席、場邊席 500 席，總計可容納 2100 名球迷入場觀賽[11]。紹宗體育館的場地全景圖如圖 4 所示。



圖4 紹宗體育館場地全景圖

本研究將以本校紹宗體育館為研究場域，針對開學典禮（約 1500 人）及體育賽事（約 2100 人）兩種不同人員分布情境進行避難模擬與分析。透過 Pathfinder 人流模擬軟體，建立體育館的建築模型，並根據不同活動的實際人員配置，模擬疏散過程，評估人員逃生所需時間（RSET）。本研究將探討不同疏散策略對疏散效率的影響，透過對比兩類活動的人流特性與疏散模式，分析場館在人員密集時可能面臨的避難瓶頸區域，並提出管理建議，以提升體育場館的安全管理與緊急應變能力。

為便於模擬，本研究簡化部分舞台區、機電室與廁所等非人員避難行經路徑，以紹宗體育館建築圖輔以 Pyrosim 程式建設1:1大小之體育館模型，如圖5所示。



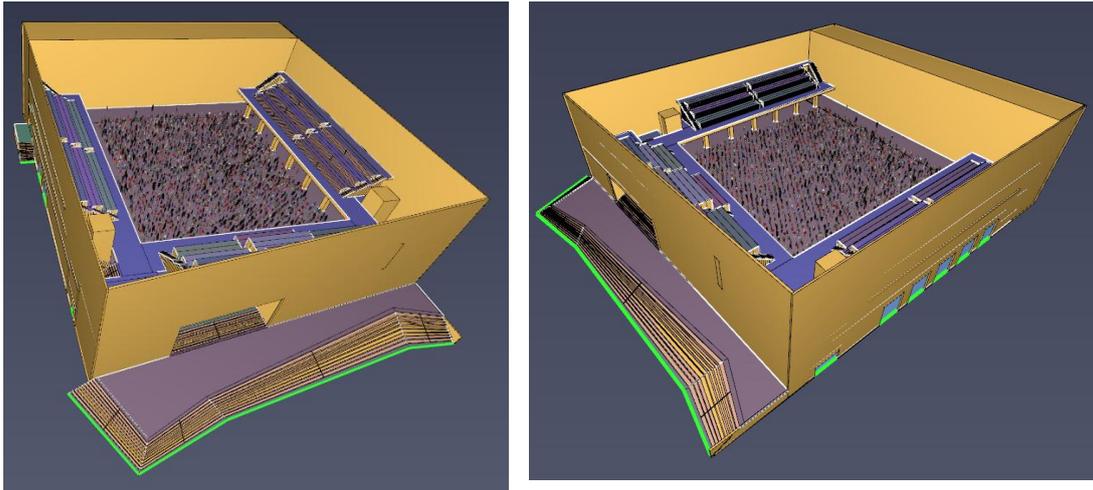


圖5 本研究建構之紹宗體育館模型圖

本研究模擬設定以人員離開建築物抵達地面層視為避難成功，依據紹宗體育館建築規劃，設置 A~K 等11處出口(綠底處)，如圖6所示。

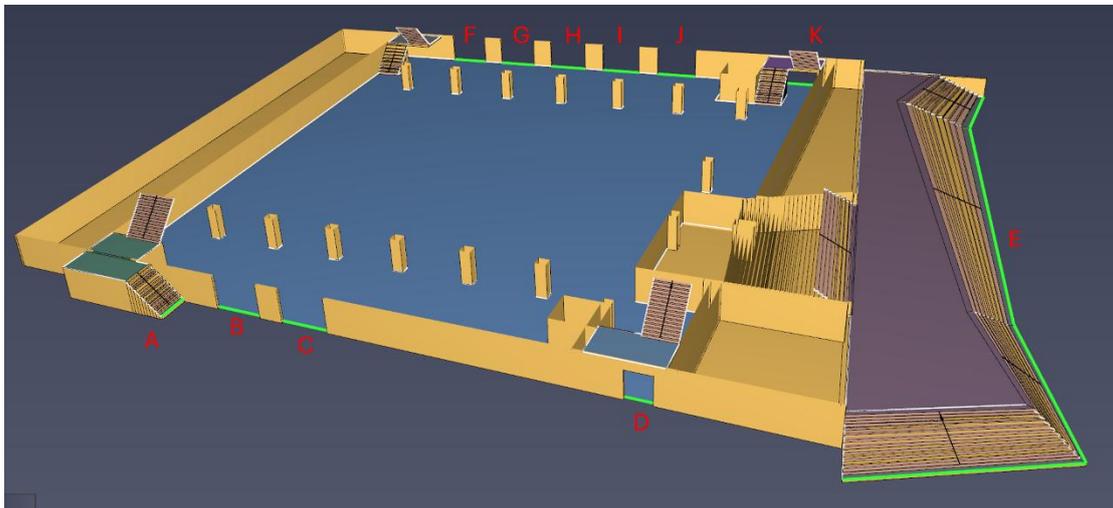


圖6 紹宗體育館模型一樓避難出口示意圖

四、開學典禮情境分析

本章節聚焦於開學典禮情境下之避難效果評估，並據以提出可行之改善建議。考量本校每年新生人數約2000餘名，惟典禮實際出席人數會受境外生比例、請假與未出席等因素影響；另需納入校方工作人員與支援人力，故推估體育館於典禮期間之保守在場人數約為1500名。基於此一人數假設，本研究於模擬情境中設定1450名學生主要集中於場地中央之觀禮區（體育館二樓），以反映典禮集會時人員密集、座位集中之特性；另配置50名工作人員隨機分布於場地周邊與主要動線附近，象徵服務台、秩序維護、引導與緊急應變等角色，並檢視其對疏散流線與匯流位置之影響。整體人員分布概況如圖7所示，後續將以此配置作為比較不同出口策略與瓶頸位置

之基礎。

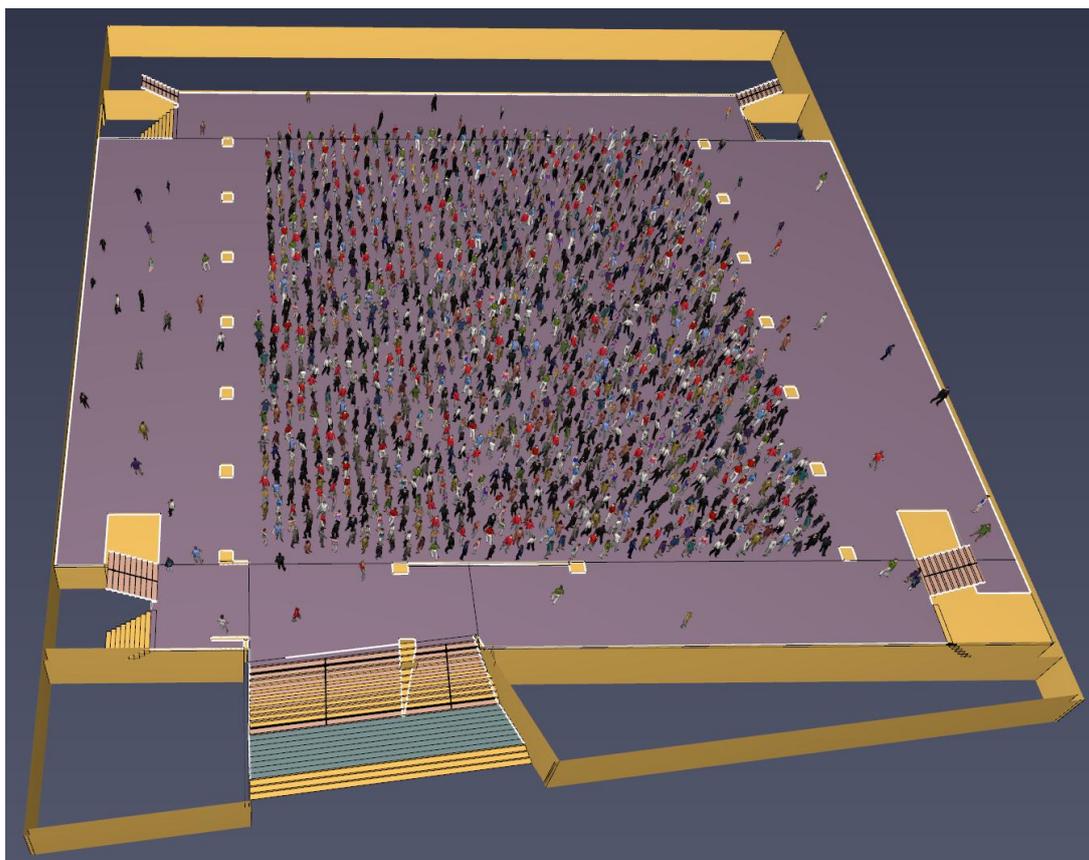


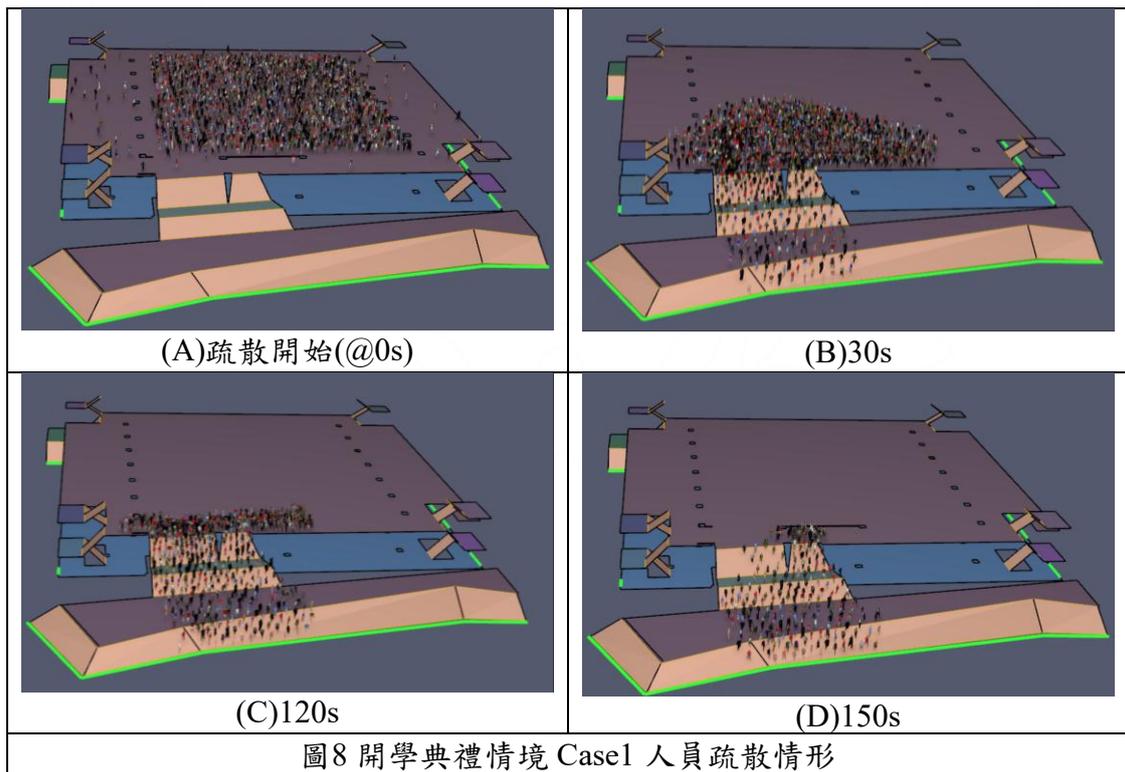
圖7 開學典禮情境人員於體育館二樓分布情形

考量人員疏散之特殊性與不確定性，一般情況下可採「出口全開」原則，以分散人流、降低單一動線壓力並縮短整體撤離時間。然而在火災情境中，出口選擇需同時納入起火位置、煙熱擴散路徑與建築空間特性綜合判斷。就本場館而言，起火點較高機率發生於舞台區域，因此距離舞台較遠之 E 出口，通常可避免人員朝高風險區域聚集，並降低遭受煙熱影響之可能性，具備較佳之安全性與可行性。若起火點位於1樓，因大空間開放特性使火熱煙更易沿樓梯間等垂直通道快速向上蔓延，導致樓梯井空間可能在短時間內充滿高溫與濃煙、能見度下降，並增加墮傷與迷失方向之風險；因此，連接1至2樓之樓梯勢必不適合作為避難路徑，應避免人員使用該垂直動線。此時，若可直接由2樓連通至室外之 E 出口方向撤離，可在減少穿越煙熱影響區域的前提下，形成相對安全且連續之避難路徑，因此仍可視為較佳選擇。

基於上述假設與風險判斷，本研究以開學典禮情境下共1500名人員為

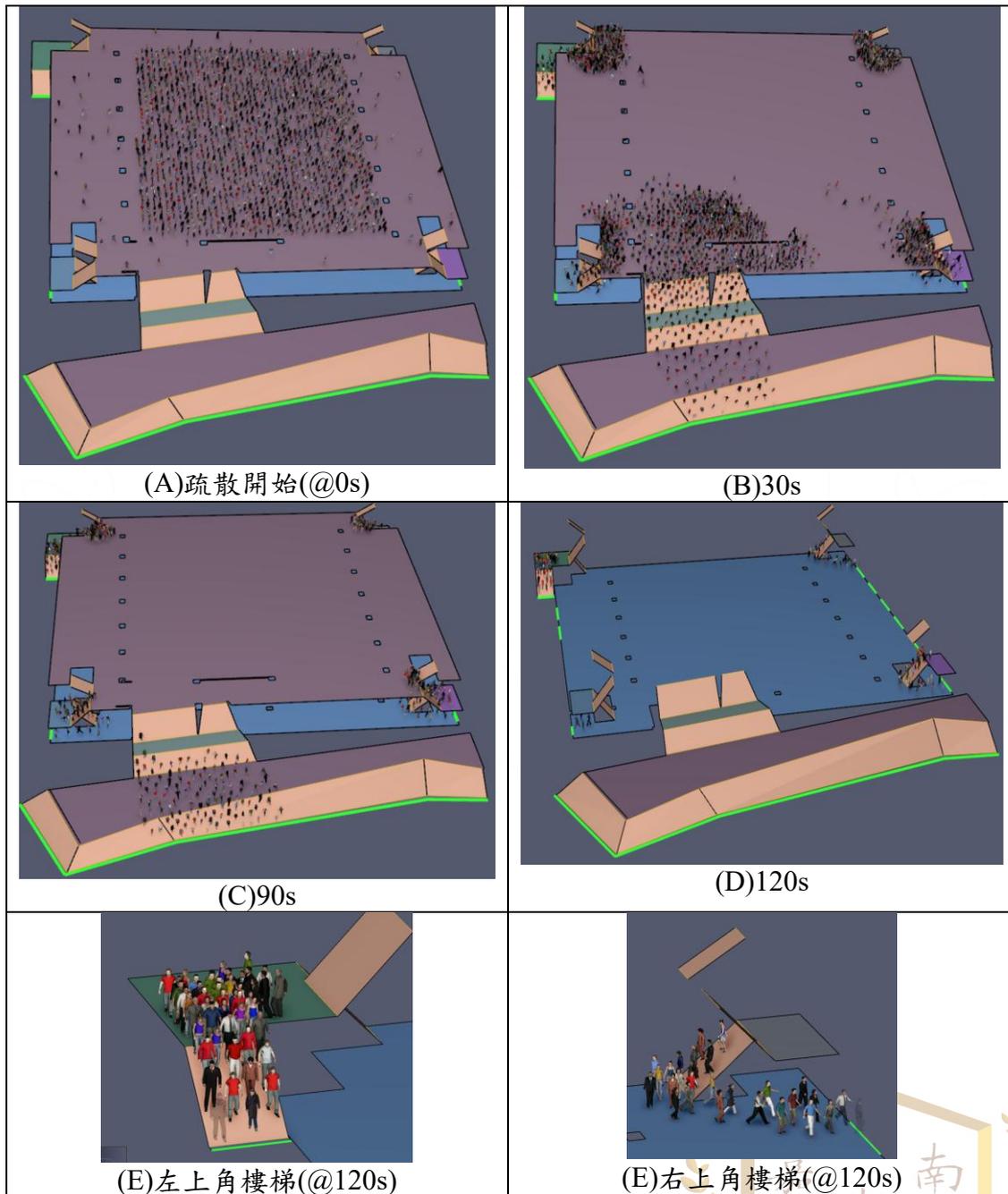
對象，設定兩種出口開放策略進行比較，藉以探討不同分流方式對疏散效率、排隊形成位置與可能瓶頸之影響。案例一（Case 1）為僅開放 E 出口，所有人員統一由 E 出口疏散，以檢視單一出口集中流量時之通行能力與壅塞程度；案例二（Case 2）為出口全開，採就近出口疏散，以評估分散動線對整體撤離時間與局部瓶頸的改善幅度，並作為後續提出疏散管理與引導策略之依據。

經模擬結果顯示，Case 1之總疏散時間為179秒，人員疏散情形如圖8所示。由於本案例僅開放 E 出口，疏散開始後人員即在第一時間朝 E 出口方向集中移動，導致出口前方及其銜接階梯迅速形成高密度人流與短暫壅塞，瓶頸主要發生於出口匯流處。然而，E 出口本身開口面積較大、通行寬度充足，使人員仍能維持相對有序的隊列通行，未出現長時間停滯。於疏散進行約120秒時，多數人員已完成室內撤離；至150秒左右，室內幾乎已無滯留人員，剩餘人流主要轉移至室外階梯及外部空間持續疏散與分散。整體而言，Case 1呈現「集中出口先壅塞、後續快速消散」的疏散特徵。



Case 2之總疏散時間為142秒，人員疏散情形如圖9所示。由於本案例採出口全開並以「就近疏散」為原則，疏散開始後人員即朝各自最近之出口移動，整體人流因此被有效分散，避免大量人員同時湧向單一出口所造成的集中壅塞。由模擬可見，約90秒時二樓大多數人員已完成離開主要集

會空間，並進入各處避難樓梯向下疏散；至120秒時，體育館四角落之避難樓梯仍可見少量人員尚未完全撤離，顯示角落樓梯可能因匯流點較集中、樓梯寬度或行進速度差異而形成局部瓶頸。相較之下，E出口前之階梯（可由二樓直接通往戶外）未出現人員滯留，顯示其動線連續且通行能力充足，能有效承擔分流後之人潮。整體而言，Case 2透過多出口分散與縮短行走距離，使總疏散時間較Case 1明顯縮短，疏散效率亦更為均衡。



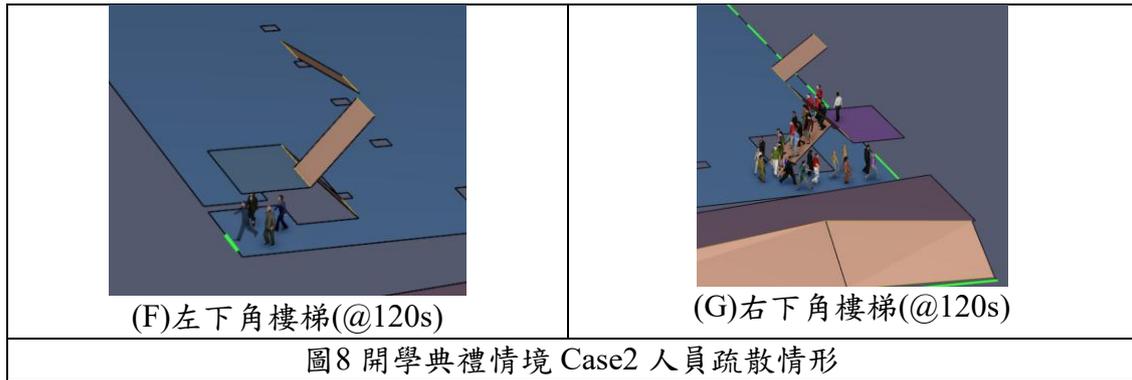


圖8 開學典禮情境 Case2 人員疏散情形

Case 1採「僅開啟 E 出口」之策略，所有人員皆須由同一出口離開建築。通過 E 出口之成功疏散人員統計如圖9所示，可明顯觀察到自第22秒起出現第一位人員完成撤離後，累積疏散人數曲線隨時間增加幾乎呈固定斜率之直線型態，顯示出口自早期即進入穩定輸送狀態，且其通行能力已接近飽和。換言之，在人員供給量充足、隊列持續形成的情況下，E 出口之利用率已達最高，後續疏散速度主要受出口有效寬度、階梯通行能力與匯流秩序所限制，而非受人員是否能抵達出口所影響。此結果亦意味著，只要維持入口引導與隊列秩序，疏散效率將與出口尺寸呈高度相關；若需進一步縮短總疏散時間，應優先考量增加可用出口、強化分流，或改善出口前階梯之瓶頸條件。

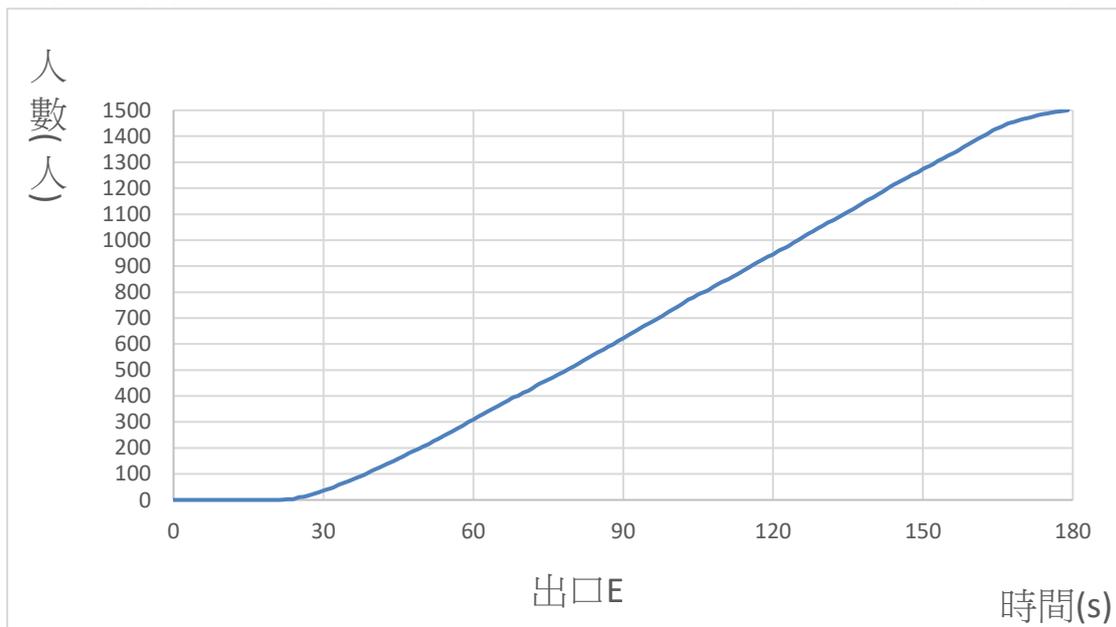


圖9 開學典禮情境 Case1 由 E 出口成功疏散人數曲線圖

Case 2採「出口全開、就近疏散」策略，疏散啟動後人員依自身所在

位置選擇最近出口撤離。模擬結果顯示，第一位成功疏散人員於16秒時由 A 出口離開建築；其後各出口陸續開始出現通行人流，顯示多出口分流可有效降低單一出口之集結壓力並提前產生疏散成效。然而在11處出口中，C、G、H、I、J 等五處出口因與主要垂直動線（避難樓梯）距離較遠，且相對不在多數人員的最短路徑上，於本情境下幾乎未被選用，呈現「出口雖開放但利用率偏低」之現象。

就實際撤離量而言，多數人員仍由 E 出口完成疏散，反映 E 出口在空間配置上具有明顯優勢（如動線連續、通行寬度較佳或可由二樓直接通往室外等特性），因此承擔主要輸送功能。各出口累計疏散人數分別為：A 出口252位、B 出口16位、D 出口151位、E 出口710位、F 出口189位、K 出口182位（如圖10所示）。其中，B 出口與 A 出口相鄰，疏散初期 A 出口前方人流較密集時，約有16位人員因前方短暫壅塞或排隊等待而改選鄰近之 B 出口撤離，顯示在多出口並存下，人員會依即時擁擠程度產生「動態改道」行為，對於分散局部瓶頸具有一定效果。

此外，F 出口雖有189位人員使用，但其疏散完成時間相對較晚，主要原因在於 F 出口與避難樓梯之距離較其他出口為長，導致行走距離增加、抵達出口時間延後。整體而言，Case 2的疏散特徵呈現「多出口分流但使用不均」：核心出口（尤其 E 出口）仍為主要承載點，而距離不利或動線不直觀之出口利用率偏低。此結果亦提示，若欲進一步提升全開出口策略之效益，除開放出口外，仍需透過現場引導、標示與人員分派等措施，提高低利用率出口之可見性與可達性，方能更有效分散人流並降低局部壅塞風險。



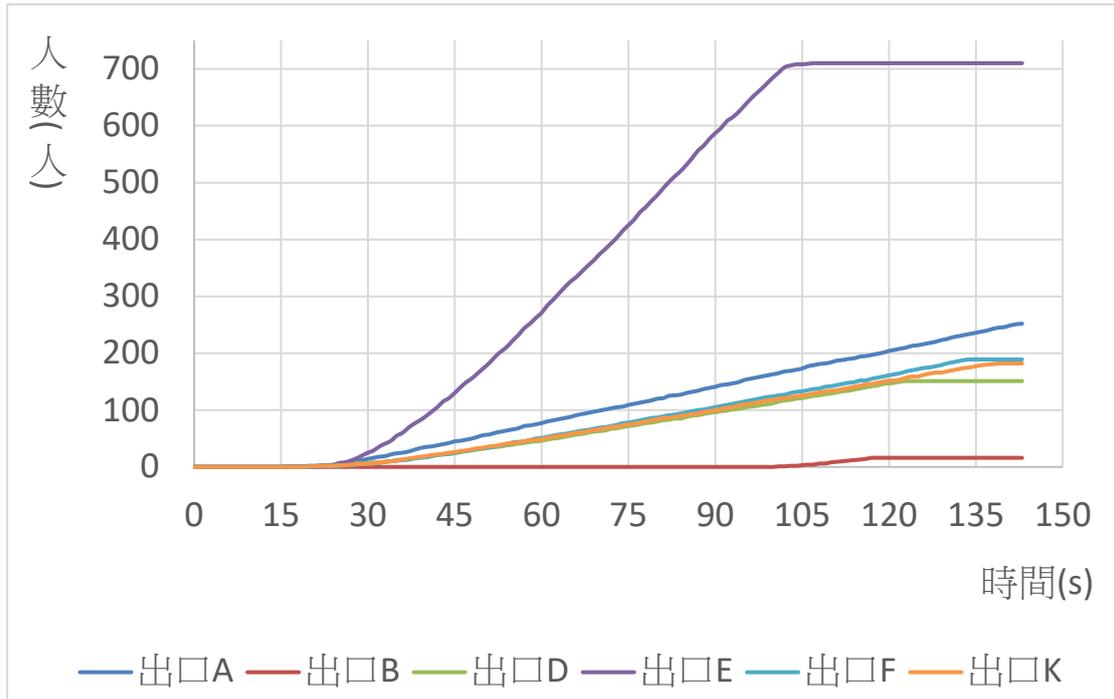


圖10 開學典禮情境 Case2 由各出口成功疏散人數曲線圖

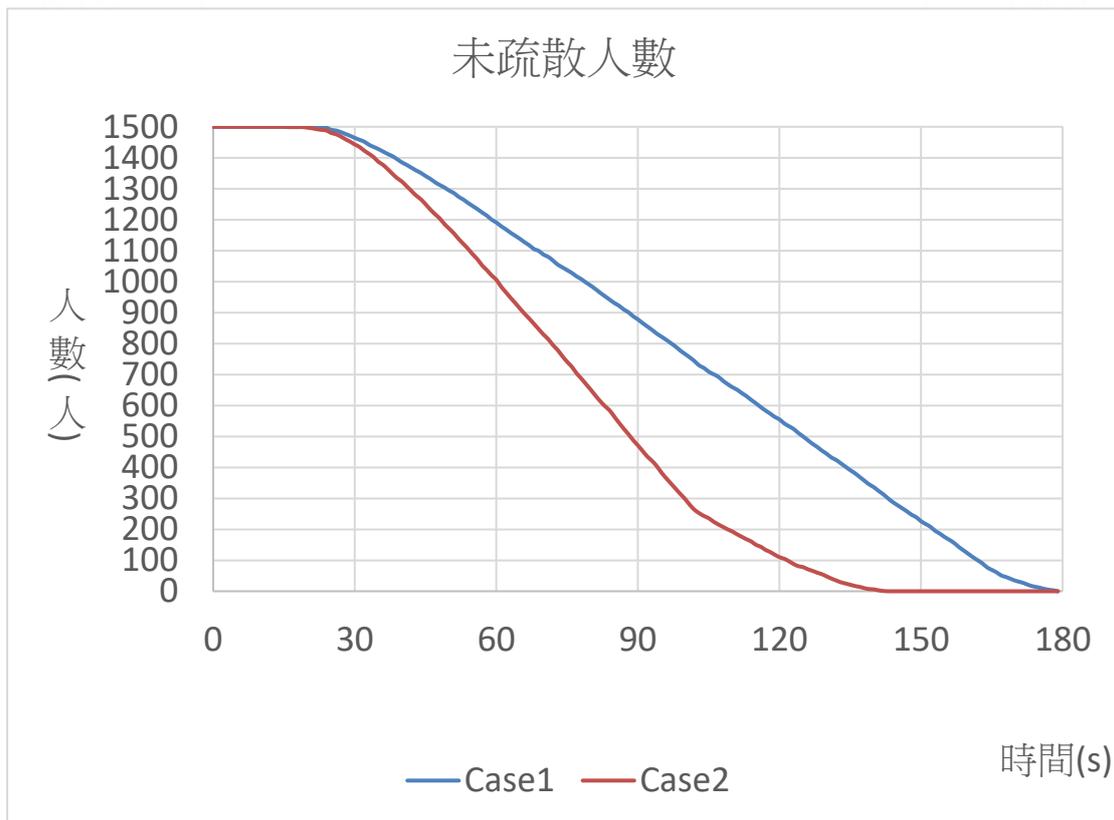


圖11 開學典禮情境未疏散人數曲線圖



圖11彙整並比較開學典禮情境下兩個案例之疏散結果。Case 1採「僅開放 E 出口」的單一出口策略，所有人員需匯集至同一動線後再依序通行，因而在疏散初期即於出口前方與銜接階梯處形成高密度人流與排隊現象；儘管 E 出口本身開口較寬、通行能力充足，使人員仍能維持相對有序的輸送並呈現近似固定斜率的穩定疏散曲線，但整體仍受限於單一出口的最大通行量，最終需時179秒方能完成全員撤離。相較之下，Case 2採「出口全開、就近疏散」策略，人員可依距離與可達性分散至多處出口，降低單一出口的集中壓力與前段擁塞，使總疏散時間縮短至142秒；由先前各出口使用分布亦可看出，雖然多數人仍偏向利用動線連續、可直接通往室外且通行能力較佳的 E 出口（承擔主要撤離量），但 A、D、F、K 等出口亦分擔了部分人流，整體形成較均衡的分流效果。由此可知，在出口數量與可用動線增加的前提下，確實有助於縮短 RSET（Required Safe Egress Time，所需安全疏散時間），並降低因單點瓶頸造成的壅塞風險；然而，Case 2亦顯示「出口數量多」不必然等同「出口使用均勻」。例如 C、G、H、I、J 等出口在本情境中因距離主要避難樓梯較遠、路徑不直觀或不在最短路徑上而未被使用，反映疏散行為高度受空間配置、垂直動線位置、視覺可見性與引導策略影響。因此，提升疏散效能除硬體出口數量外，更需檢討出口可達性、指標引導、動線連續性與人流分派機制，才能讓「全開出口」的效益被充分發揮。

儘管兩案例在總疏散時間上存在明顯差距（179秒 vs. 142秒），但在本次設定之1500人規模下，兩者皆可於3分鐘內完成整體疏散任務。就性能式評估的觀點而言，若以RSET約3分鐘作為本情境的疏散需求時間，需再與ASET（Available Safe Egress Time，可用安全避難時間）相互對照，方能判斷是否具備足夠安全裕度。體育館屬挑高且大空間之建築型態，於火災初期通常具備較大的蓄煙容量，煙層下降至危害高度所需時間可能相對較長，因而有機會提供較長的ASET；在此條件下，對應本研究模擬所得約3分鐘內之RSET，整體可初步視為相對安全的情況。然而亦需注意，大空間「蓄煙」的優勢並非無條件成立：一旦起火位置靠近主要疏散動線、或建築存在樓梯間等垂直通道，火熱煙仍可能快速沿垂直空間上竄並污染上層路徑。先前已指出，若起火點位於1樓，在開放大空間特性下火熱煙更易沿樓梯間等垂直通道迅速蔓延，此時連接1-2樓之樓梯可能在短時間內轉為高風險區域，不宜作為避難路徑；相對地，二樓若具備可直接通往

室外之出口（如 E 出口動線），即可降低穿越煙熱層與垂直通道的暴露風險。換言之，即使總疏散時間滿足3分鐘門檻，仍應將「起火位置、煙控條件、垂直通道受污染的可能性」納入情境化檢討，避免僅以時間達標即判定全面安全。

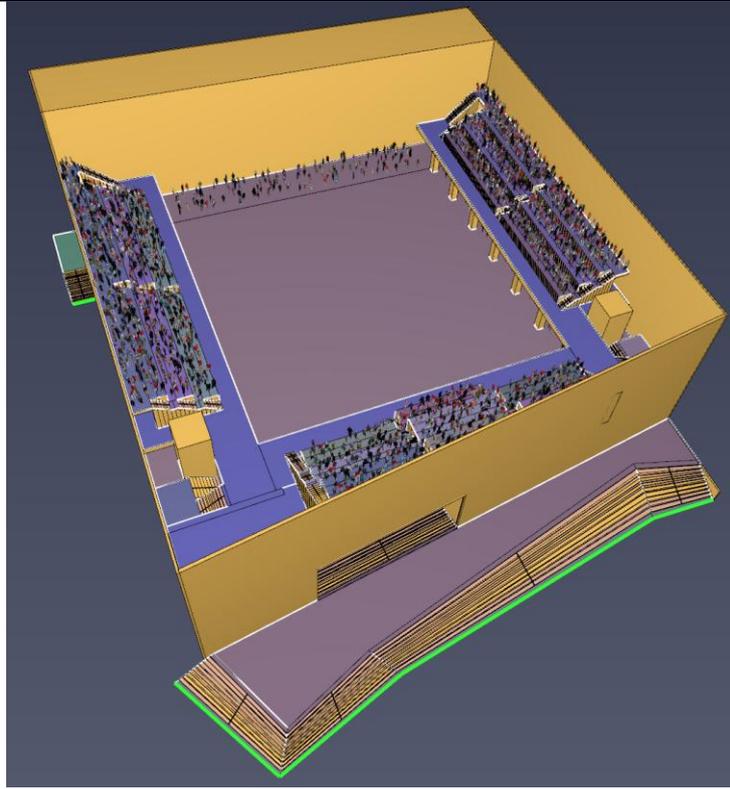
綜合而言，圖11所示結果支持以下結論：多出口與有效分流可顯著縮短疏散時間並降低壅塞風險；但出口利用率是否充分，仍取決於出口配置、樓梯/走道之銜接、路徑直觀性及引導管理。建議後續除維持「出口全開」原則外，可進一步針對未被使用或使用率偏低之出口強化指標、照明與廣播引導，並於典禮人流高峰前預先配置引導人員於匯流點進行分派；同時針對可能形成瓶頸之角落避難樓梯與轉折處，檢討其通行寬度、障礙物管理與人流管制方式，以確保在不同起火位置與不同可用動線條件下，仍能維持足夠的 ASET - RSET 安全裕度。

五、體育賽事情境分析

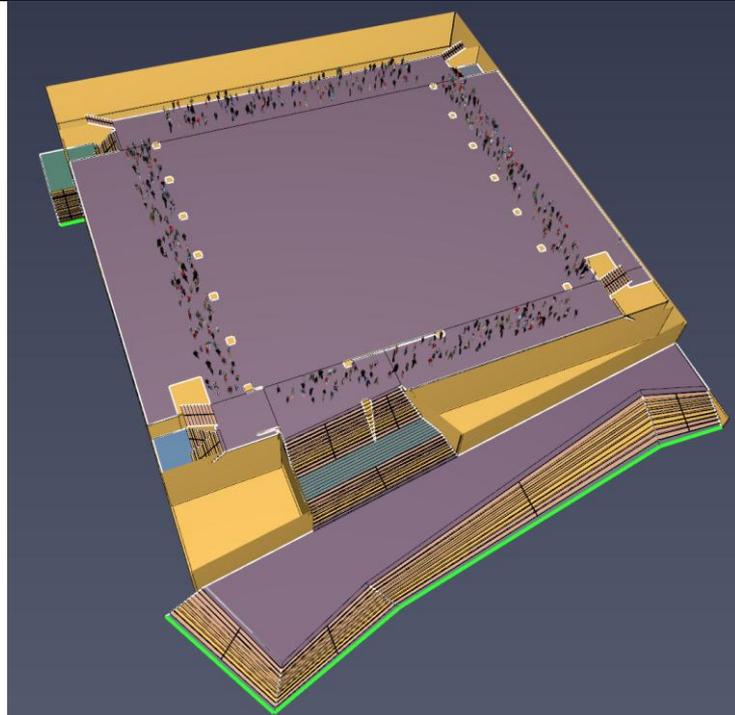
紹宗體育館曾為臺南台鋼獵鷹隊之主場館，過去賽事期間之觀眾量體具有代表性。依當時座位規劃，二樓座位區（體育館二樓球場上層看台區）約1600席，另於二樓球場邊配置場邊席約500席，合計可容納約2100名球迷入場觀賽。相較於一般校內集會，本情境之人數更高、分布更廣，且賽事期間人員行為可能更為動態，故具有作為高負載疏散評估案例之價值。

本章節將以上述容量作為基礎進行探討，於模擬中假設人員以密度 $0.5 \text{ m}^2/\text{人}$ 之條件均勻分布於指定區域，以近似反映觀眾在入座、觀賽與候場時之空間占用情形；其中上層看台區配置觀眾1600位，二樓球場邊配置觀眾500位，總計2100位人員。藉由此設定，評估當突發緊急事件發生、需要立即啟動避難程序時，整體人流由不同區域匯集至出口及避難樓梯所需之疏散時間，並進一步觀察可能形成之瓶頸位置（如看台出入口、走道匯流點、樓梯口與出口前階梯等）及其對疏散效率之影響。整體人員配置與分布概況如圖12所示。





(A)上層看台區



(B)球場層

圖12 體育賽事情境人員分布示意圖

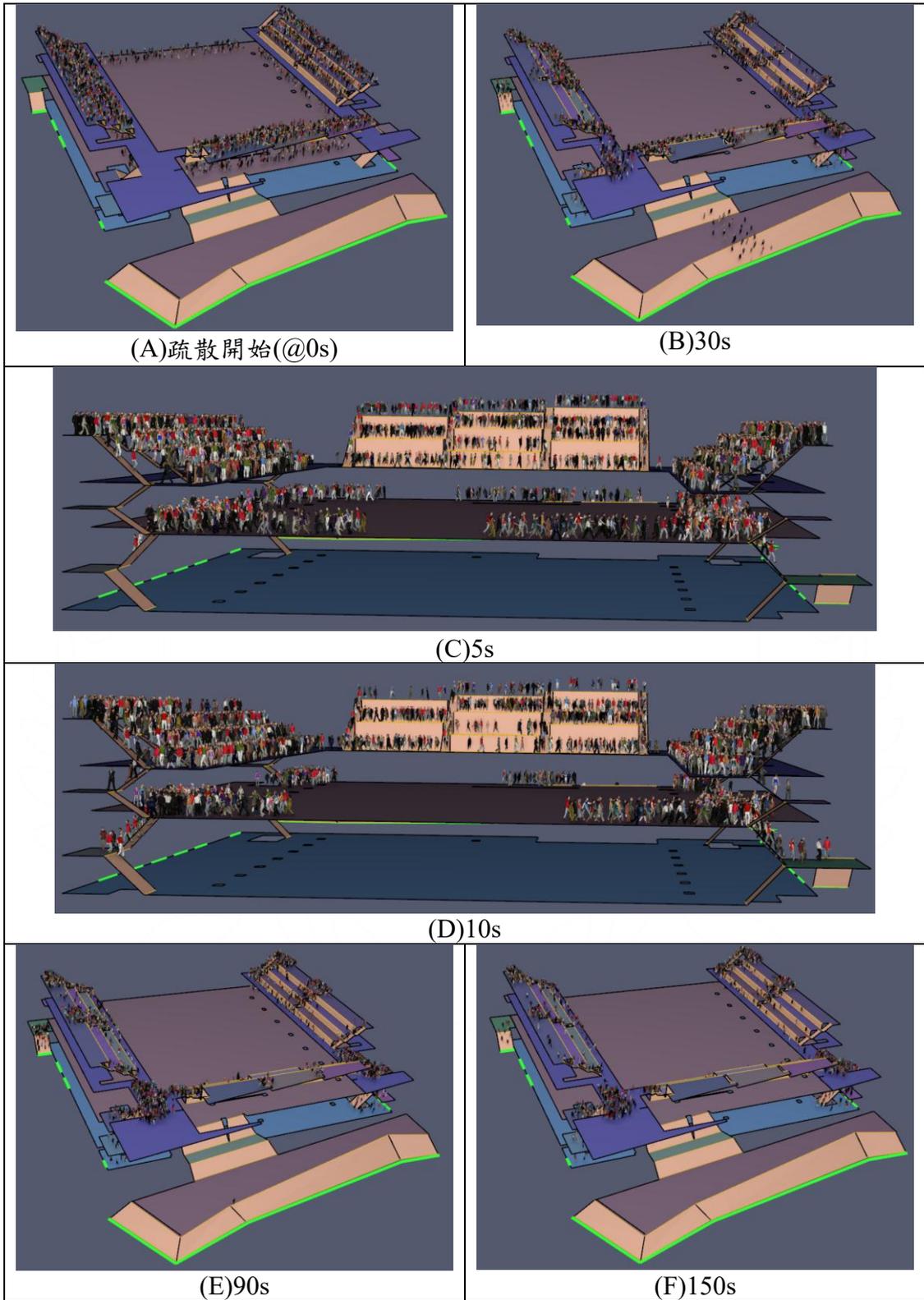


模擬結果顯示，在體育賽事情境（總人數2100人）下，總疏散時間為371秒，人員疏散動態如圖13所示。由於本情境之人員組成呈現明顯的空間集中：上層看台觀眾約1600位、二樓球場場邊席觀眾約500位，因此疏散效率高度受限於「上層看台如何下到可通往出口的主要動線」以及「垂直動線（樓梯）通行能力」兩項因素。就空間配置而言，上層看台主要仰賴體育館四個角落處之避難樓梯進行下樓疏散；當疏散指令發布後，上層看台人員迅速朝最近之樓梯口移動並在樓梯入口處形成聚集，顯示角落樓梯為上層看台之關鍵瓶頸節點。

相較之下，二樓球場場邊席觀眾之起始位置較接近二樓周邊動線，疏散路徑選擇更具彈性。由圖13可觀察到，場邊席人員多呈現較均勻之分流：部分人員前往四座角落樓梯下樓，另有部分人員改走聯通E出口之階梯動線。由於通往E出口之階梯具備動線連續、匯流點較少且可較快銜接至戶外之特性，前往該處之觀眾很快便完成疏散，顯示此一路徑的通行能力與效率相對較高；然而，選擇角落樓梯下樓之場邊席觀眾，則在樓梯口與上層看台大量下樓人流相互匯聚，形成典型的「平面人流+垂直人流」交織之匯流點壅塞，使得隊列延伸、等待時間增加，整體疏散速度轉為緩慢且呈現明顯排隊現象。

其中，左上角與右上角兩處樓梯的壅塞最為嚴重。其可能原因包含：上層看台在該兩區域之席位密度較高、水平走道匯入樓梯口之路徑更集中、樓梯前平台或轉折處容量不足，以及下樓人流與二樓平面人流在同一位置交錯，導致局部摩擦與通行效率下降。模擬結果亦反映此一瓶頸效應：兩處樓梯所服務之上層看台觀眾，直到330秒左右才得以順利離開上層看台區域，顯示「離開看台」本身即已耗費大量時間，後段下樓與通往出口的時間則進一步拉長了總疏散時程。換言之，本情境的疏散控制點並非僅在建築出口，而是更早地出現在「看台出入口—走道—樓梯口」的連續動線上，且樓梯口作為匯流節點，對全場疏散效率具有決定性影響。

綜合而言，體育賽事情境之總疏散時間顯著高於開學典禮情境，主因在於人數規模增加、上層看台高度集中，以及上層看台對四角樓梯的高度依賴，使垂直動線通行能力成為瓶頸；另一方面，E出口聯通階梯能快速消化部分二樓人流，顯示若能有效引導更多人員利用高效率路徑、或降低樓梯口匯流干擾（例如分流場邊席人員避免與看台下樓人潮於同一樓梯口交會），可望改善局部壅塞並縮短整體疏散時間。



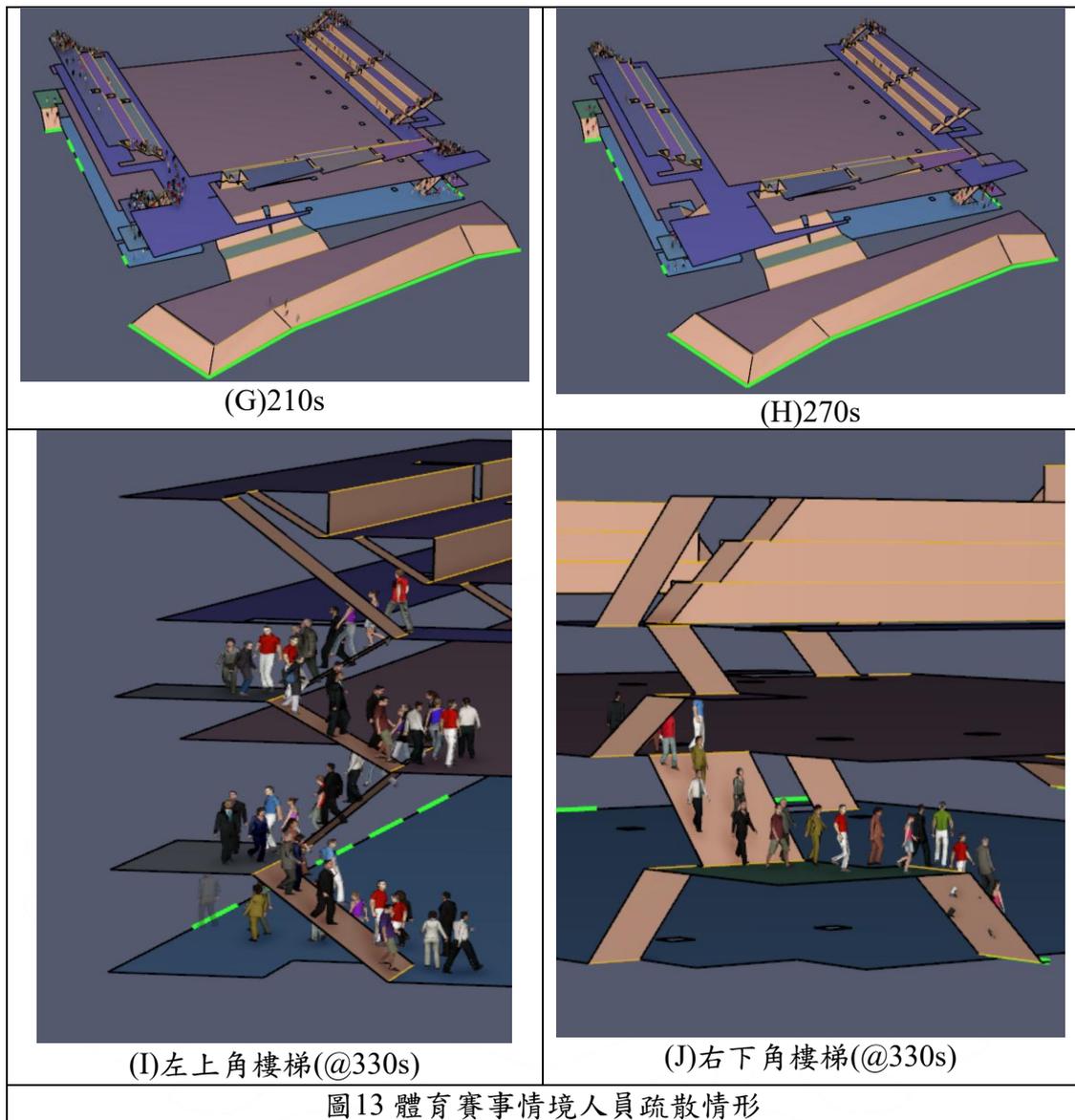


圖13 體育賽事情境人員疏散情形

體育賽事情境下，各出口成功疏散之時間歷程與累積人數如圖14所示。整體而言，自疏散啟動後第16秒即出現第一位人員由 A 出口成功離開，顯示在初期仍有部分人員可迅速抵達臨近出口完成撤離；隨後各出口陸續出現通行人流，並逐漸形成穩定的疏散輸送模式。值得注意的是，A、F、D、K 等四處出口之累積疏散人數曲線，隨時間增加幾乎呈固定斜率之直線型態，代表這些出口在疏散早期便已進入「穩定輸送」階段，且其通行能力接近飽和。換言之，在樓梯端持續供給人流的條件下，出口端呈現近似固定流率的排隊通行現象，此時疏散效率主要受限於瓶頸處的通行能力（出口有效寬度、出口前空間與階梯銜接等），而非受限於人員是否能抵達出口。

從時間後段的曲線變化來看，D 與 K 兩處出口於約320秒後逐漸趨於

平緩，之後幾乎不再增加，顯示其服務範圍內的可疏散人流已大致消化完畢，或是後續人流因動線選擇、樓梯壅塞與匯流干擾而改由其他出口完成撤離。相對地，A 與 F 兩處出口的曲線則持續上升直至全員疏散完成，反映其上游供給的人流並未在320秒附近完全消散。此一現象與前述上層看台角落樓梯之壅塞分布相互呼應：由於左上角與右上角樓梯為壅堵最嚴重之兩處，上層看台觀眾下樓時間被顯著拉長，導致後段仍有源源不絕的人流抵達與其相連之出口（A 與 F），使兩出口持續承擔末段疏散量並拖長整體疏散尾端時間。換句話說，本情境的「最後一批」疏散人員，主要受制於上層看台下樓所形成的垂直瓶頸，而非出口本身通行能力不足；出口在此階段更像是持續消化樓梯端排隊人流的終端節點。

E 出口的使用特性則呈現不同型態。E 出口主要供球場層或較接近二樓球場周邊動線之觀眾使用，因其路徑相對直接且匯流干擾較少，故在疏散初期可快速消化一批人流；但當球場層觀眾大多完成撤離後，E 出口的新增通行量便明顯下降，後續僅零星使用。此結果意味著 E 出口雖具備良好效率，但其可服務之人群範圍在本配置下較集中於球場層與鄰近區域，對上層看台大量人潮的貢獻相對有限；若希望提升其對總疏散效率的影響，需思考如何讓更多上層看台人員能更順暢地銜接至通往 E 出口之動線（例如改善連通走道、增設引導與分流管制等）。

B 出口則呈現「鄰近替代出口」的角色。由於 B 出口位置接近 A 出口，當 A 出口前方因人流集中而產生短暫壅塞時，部分觀眾會選擇改由 B 出口撤離，形成少量分流效果。雖然 B 出口累積疏散量僅8位，但此仍反映在多出口開放情境下，人員會依即時擁擠程度產生動態改道行為；然而在整體規模達2100人的疏散情境中，此類小幅度的鄰近分流，對總疏散時間的貢獻相對有限，主要瓶頸仍在上層看台至角落樓梯的垂直輸送能力與樓梯口匯流管理。

此外，圖14亦再次呈現「出口雖開放但利用率偏低」之現象。在11處出口中，C、G、H、I、J 等五處出口因距離主要垂直動線（四角避難樓梯）較遠，且相對不在多數人員的最短路徑或直覺路徑上，在本情境下幾乎未被選用。此結果說明，出口可用性除了「是否開放」之外，更取決於其是否能有效銜接主要人流來源（特別是上層看台）以及路徑是否清楚、連續且不需額外繞行。若缺乏足夠的可達性與引導，出口數量增加未必能轉化為實質分流效益。



就最終疏散量統計，各出口累計疏散人數分別為：A 出口501位、B 出口8位、D 出口468位、E 出口111位、F 出口511位、K 出口501位（如圖14所示）。整體分布顯示，A、F、K 三處出口為主要承載點，D 出口次之，E 出口負責球場層之快速消化，B 出口提供鄰近替代；其餘出口雖開放但未形成有效貢獻。此一結果可作為後續改善方向之依據：若欲縮短371秒的總疏散時間，關鍵應聚焦於上層看台人流如何更有效率地分配至不同樓梯與出口、降低左上角與右上角樓梯的匯流壅塞，並透過引導與動線調整提升未使用出口的可達性，才能真正發揮「多出口」配置在高人數賽事情境中的分流效益。

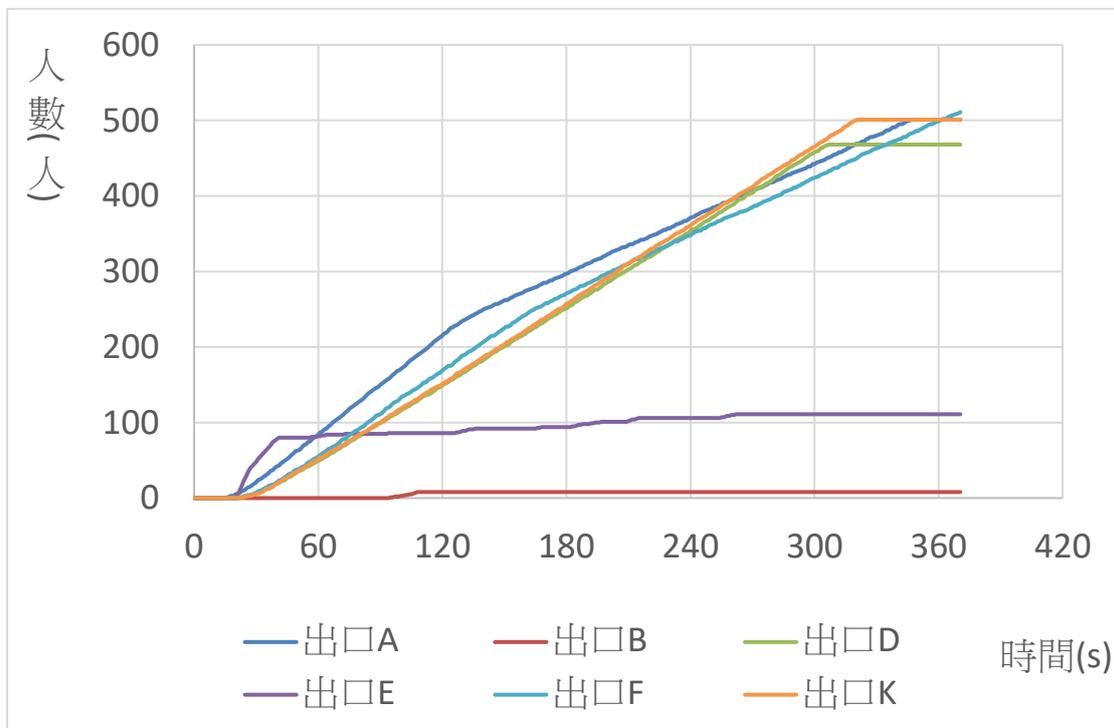


圖14 體育賽事情境由各出口成功疏散人數曲線圖



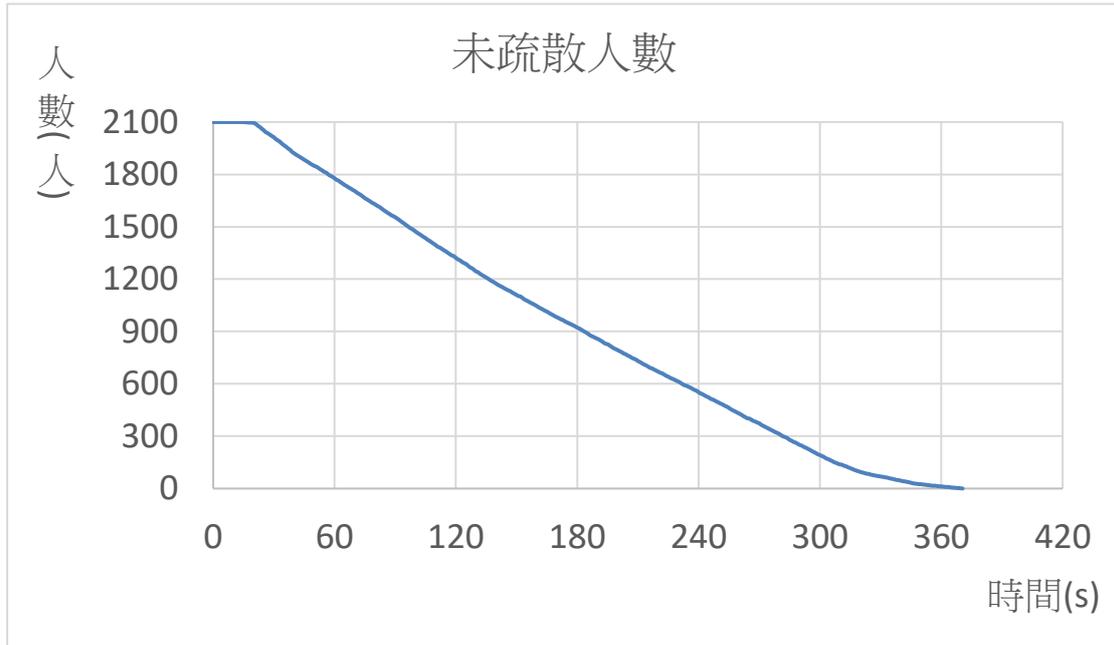


圖15 體育賽事情境未疏散人數曲線圖

由圖15之體育賽事情境未疏散人數曲線可清楚呈現整體疏散歷程：疏散啟動後，未疏散人數雖隨時間持續下降，但在中後段下降斜率明顯趨緩，顯示人流逐步受到瓶頸限制而進入排隊通行狀態。此結果與前述分析相互呼應——上層看台大量人潮需仰賴四角樓梯下樓，且於樓梯口與二樓平面人流匯聚形成壅塞，尤其左上角與右上角樓梯最為堵塞，使末段疏散時間被拉長，最終全員撤離所需之 RSET (Required Safe Egress Time) 至少為 371 秒。

然而，371 秒僅代表「開始移動至全員離開危險區域」的疏散時間；若再納入火災或緊急事件發生後的偵測時間、警報傳遞與人員反應時間（包含辨識狀況、起身集合、尋找路徑與啟動移動等），從事件發生至避難完成的總時間往往會顯著增加。在高密度賽事人群情境下，前述時間加總後，整體恐接近 10 分鐘，則是否能於不利條件下仍有效完成疏散，需以 ASET (Available Safe Egress Time) 與 RSET 之比較作為判斷基礎。基於此，本情境之安全策略除需設法延長 ASET（如強化排煙、抑制煙層下降與改善煙氣擴散路徑），亦應透過管理與引導措施降低 RSET，例如提升出口與替代動線之使用率、加強樓梯口匯流管制、優化指標與廣播分流，從而減輕局部瓶頸並縮短總疏散時間。



六、 結論與建議

本研究因應《大型群聚活動安全管理作業指引》對千人以上群聚活動之風險評估與安全管理要求，以嘉南藥理大學紹宗體育館為研究對象，採用 Pathfinder 人流模擬軟體，針對校園常見之兩類高密度使用型態（開學典禮與體育賽事）進行疏散策略評估。研究重點在於透過動態模擬量化疏散時間（RSET）、檢視人流匯集與瓶頸位置、比較不同出口策略下的出口使用率差異，並以 ASET（可用安全避難時間）與 RSET（所需安全疏散時間）之概念作為安全檢核的基本框架，提供校方未來擬定大型活動緊急應變計畫與群眾管理措施之依據。

模擬結果顯示，在開學典禮情境（約1500人）下，疏散效率高度受出口分流策略影響。相較於僅開放單一主要出口的作法，多出口開放並採就近疏散可有效降低單點匯流與排隊，縮短總疏散時間：單一出口情境之總疏散時間約179秒，而全出口開放情境可縮短至142秒，顯示「出口可用性」若能轉化為「實際分流」，將能提升整體輸送效率並降低壅塞風險。然而，出口是否被使用並非僅由出口數量決定，仍取決於其可達性、路徑直觀性與現場引導程度；因此，單純開放出口若欠缺引導，仍可能導致人流集中於少數熟悉或直覺路徑。

在體育賽事情境（約2100人）下，總疏散時間顯著上升至371秒，整體疏散效率主要受「垂直動線通行能力」與「樓梯口匯流干擾」所制約。由於上層看台人員高度集中且需依賴四角避難樓梯下樓，疏散啟動後人流迅速向角落樓梯口聚集並形成排隊，且下樓人流與二樓平面人流在樓梯口、平台與轉折處交織，導致局部密度升高與通行效率下降。其中左上角與右上角樓梯壅塞最為嚴重，上層看台該區人員約至330秒左右方能完全離開看台區，反映「離開看台—進入樓梯—完成下樓」本身即為末段延遲的主要原因，出口端則呈現長時間飽和輸送。出口使用分析亦顯示明顯不均：A、F、K、D 等與角落樓梯銜接之出口承擔大部分疏散量並維持近似固定流率；E 出口主要服務球場層早期人流，後段使用量迅速下降；而 C、G、H、I、J 等出口雖開放但因距離主要垂直動線較遠、非多數人員最短或最直覺路徑，幾乎未被選用，呈現「名義可用但實務閒置」的狀態。

就避難安全意涵而言，本研究所得371秒為純疏散移動時間（開始移動至全員撤離完成），實務上仍須加計偵測、通報/警報與人員反應時間。於高密度賽事活動中，因噪音干擾、資訊不確定、群體遲疑與同行者等待

等因素，總避難完成時間可能進一步拉長，致使 RSET 接近 ASET 的風險上升。故本研究結論指出：校園大型活動之疏散安全，不應僅以出口數量或靜態法規檢核作為充分條件，而應透過動態人流特性辨識真正瓶頸（尤其是上層看台垂直動線與匯流點），並將「引導與群眾管理」視為決定 RSET 的關鍵手段。

針對後續研究與管理提出以下幾點建議：

1. 建立分區疏散與分流引導原則，將「就近疏散」落實為可執行的管制方案

建議校方針對不同活動型態，預先制定分區疏散指令（如上層看台分象限指派至特定樓梯與出口；球場層/場邊席優先導向 E 出口或其他可快速銜接之路徑），並於疏散初期透過廣播口令與工作人員定點引導，避免二樓平面人流與上層下樓人流在同一樓梯口交會，降低匯流摩擦與排隊延伸。

2. 強化關鍵瓶頸點之現場管理（四角樓梯口、平台與出口前匯集區）

體育賽事情境顯示疏散成敗高度取決於角落樓梯口之通行秩序與匯流控制，建議於活動期間在左上角、右上角等壅塞熱點配置引導人員，採用欄帶或臨時隔離帶形成單向流動、分道下樓或分批放行，並避免逆行、停留拍照、等待同伴等造成流率下降的行為。

3. 活化低利用率出口，提升其可見性、可達性與被選用機率

對於 C、G、H、I、J 等未被選用出口，建議檢討其動線是否被遮蔽、標示是否不足、照明是否不清或門扇管理是否造成「看起來不可用」的心理障礙；可於大型活動時增設臨時導引標示（地貼/立式指示牌/閃燈）、調整部分通道開放方式，並在廣播指令中明確點名替代出口，將閒置出口轉化為有效分流能力。

4. 將模擬成果納入緊急應變計畫與演練，縮短非移動時間以降低整體 RSET

建議把本研究辨識之瓶頸點、主要出口負載分布與建議分流方案納入校方 EAP（緊急應變計畫），包含工作人員位置、口令腳本、集合點配置與動線封控原則；並定期辦理含「替代出口導引」的演練，以降低人員遲疑與反應時間，提升指令遵循率。



5. 後續研究與精進方向：以 ASET-RSET 整合評估建立安全裕度

為使安全檢核更完整，建議後續可結合火災煙氣情境（例如以 FDS 評估煙層下降、能見度與溫度條件）推估 ASET，並搭配不同人群組成（境外生熟悉度差異、高齡者、行動不便者比例）與引導遵循率之敏感度分析，建立不同活動規模下的安全裕度與可操作之管理門檻（如每區最大容留量、每處樓梯口可接受密度等）。

七、 參考文獻

- [1] 內政部消防署，大型群聚活動安全管理作業指引，2023年。
- [2] 游家懿，大規模建築物避難時間評估方法之研究—以臺北市立體育館為例，國立臺灣大學土木工程學研究所，博士論文，2010年。
- [3] Klote, J. H., Ferreira, M. J., Kashef, A., Turnbull, P. G., & Milke, J. A., Handbook of smoke control engineering. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012.
- [4] Timo Korhonen & Simo Hostikka, Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User's Guide, VTT Technical Research Centre of Finland, 2009.
- [5] NIST, FDS-SMV, <https://pages.nist.gov/fds-smv/>
- [6] IES, Simulex, <https://www.iesve.com/software/virtual-environment/applications/egress/simulex>
- [7] Thunderhead Engineering, Pathfinder User Manual, Thunderhead Engineering, 2024.
- [8] University of Greenwich, Exodus, https://fseg.gre.ac.uk/exodus/exodus_products.html



- [9] Thunderhead Engineering, Pathfinder Verification and Validation, Thunderhead Engineering, 2021.
- [10] 黃雨濤，高層建築物全棟緊急疏散策略分析-以 C 大樓為例，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士班，碩士論文，2018年。
- [11] ETtoday 運動雲，台南獵鷹最神秘主場曝光2100人嘉藥紹宗體育館中選，<https://sports.ettoday.net/news/2124152#ixzz91hfzzKjP>。

