

運用智慧科技降低營造業職業災害風險的系統作法

李秉展 | 全國營造業職業安全衛生促進聯合總會 秘書長



◎ 壹、前言

運用智慧科技降低職業災害風險（以下簡稱科技減災），是職業安全衛生領域的國際發展趨勢，且在疫情所造成的衝擊下，引起更高的討論度與需求度。此外，科技減災對於具有高風險作業特性的營造業有其迫切需求，因而也成為營造業數位轉型的重點議題。

營造業常見的智慧科技包括：建築資訊模型、地理資訊系統、物聯網科技、智慧攝影系統、沉浸式科技、無人機、人工智慧等[1]。特別是近期 ChatGPT 等生成式人工智慧（generative artificial intelligence）工具的快速發展，更具有改變營造業產業型態的巨大潛力[2]。因此，對事業單位而言，如何選擇合適於工程特性且能有效降低職業災害風險的智慧科技，是推動科技減災時的關鍵問題。

因此，從先進國家的經驗可知，推動營造業科技減災的首要任務，不是去發展特定的智慧科技，而是要建立一套系統作法，引導事業單位能藉由風險評估表、風險處理對策清單、風險處理對策案例集（以下簡稱案例集）、資訊應用平台等工具，選擇合適的智慧科技並獲得具體可行的參考案例。

因此，本文將綜整先進國家營造業科技減災的經驗，並根據國內營造業特性，提出適用於國內營造業科技減災的系統作法，再以墜落、碰撞兩種職災類型為例，說明事業單位如何使用此系統作法以找到合適的智慧科技，進而強化其風險管理能力。

◎ 貳、先進國家的經驗

一、日本

根據國際數據資訊公司（International Data Corporation, IDC）對全球 12 個國家的調查報告，日本是營造業數位轉型（digital transformation, DX）成熟度最高的國家，因此各國都會將其經驗作為參考學習對象，包括科技減災方面。

日本是以風險評估為基礎進行科技減災 [3]，當特定作業風險在現有防護設施下仍不可接受時，可考慮引入智慧科技作為風險處理對策，降低其風險。這個作法不僅能將智慧科技與風險評估緊密連結，且能評估智慧科技運用於降低職災風險的效果。

而為使事業單位能選擇出合適的智慧科技，日本建設業勞動災害防止協會（以下簡稱建災防）更提供不同的檢索類別可進行組合 [4]，包括：

- （一）應用領域類型：無人化與省力化、人與行動感應、機器感應、能力支援。
- （二）工程類型：土木工程、建築工程、設備工程、其他工程。
- （三）職災類型：墜落、滾落、崩塌、倒塌等 22 種類型。
- （四）應用目的類型：危險作業對策、有害作業環境、職場環境改善。
- （五）智慧科技類型：人工智慧、智慧型裝置、施工機械、軟體與應用程式、無人機、物聯網、測量、船舶、機器人、攝影機。

隨後，事業單位可根據上述檢索結果在建災防的資訊應用平台中查詢到科技減

災案例集（<https://www.kensaibou.or.jp/index.html>），以獲得科技減災的具體、可執行做法，強化事業單位的風險管理能力。

二、英國

相較於日本的類別檢索方式，英國安全衛生執行署（HSE）提出一個更直覺的營造工程風險處理對策清單，且其對策包括所有控制層級（hierarchy of control），更有利於全面思考風險處理對策，而不僅限於智慧科技應用。

英國 HSE 的風險對策處理清單是英國探索安全計畫（Discovering Safety Programme）的一部分 [5]，其目的在於協助事業單位提出更有效的風險處理對策。該風險處理對策清單採用標準化表格，包括處理對策名稱、處理對策詳述（可連結外部資源，例如案例集等）、處理對策適用階段（初步設計、細部設計、施工規劃、施工）、處理對策類型（即控制層級類型）、風險類型（即職災類型）、風險位置、構件類型等欄位。

英國的風險處理對策清單中包括許多智慧科技應用，且對策涵蓋控制層級的不同類型，是目前國際上最完整的風險處理對策清單。

三、新加坡

新加坡也是積極推動數位轉型與科技減災的國家，且在其減災策略計畫（WSH 2028）中提出營造業科技減災的發展藍圖 [6]。新加坡同樣是以風險評估為基礎來推動科技減災，運用下列智慧科技以實現對工作場所安全衛生風險的即時監視、監測

與管制 (real-time surveillance, monitoring and management of WSH risks)，包括：

- (一) 運用穿戴式裝置 (wearable devices) 與物聯網 (IoT) 以偵測工作者是否處於風險之中，例如熱危害、疲勞、心律異常或接近危險區域。
- (二) 運用無線監視設備 (wireless surveillance equipment)，例如具有攝影機及感測器的無人機，以偵測不安全環境或行為，或對高空作業進行安全檢查。
- (三) 運用生物識別技術 (biometric technology) 將工作者的工作場所安全衛生資訊 (例如培訓資格) 與數位化工作流程 (例如電子工作許可證系統) 以及出入控制系統進行結合，以驗證工作者在高風險工作中的能力 (verify workers' competency in high-risk work)。
- (四) 運用預鑄化 (Prefabricated Prefinished Volumetric Construction) 以減少現場所需工作者與高空作業。
- (五) 運用雲端平台 (cloud platforms) 以協助業主、建築師、工程顧問公司、承攬商與分包商共享資訊與數據以管理安全風險。

此外，新加坡亦使用風險描述、可能事故、可行控制措施等欄位以建立科技減災標準化表格案例集，有效累積科技減災的知識與經驗。

◎ 參、營造業科技減災的系統作法

從上述先進國家的經驗可知，營造業科技減災的系統作法應以風險評估為基礎，針對現有防護設施下仍不可接受的風險，將智慧科技視為風險處理對策的選項，再利用風險處理對策清單從資訊應用平台中尋找合適的參考案例集，以提高科技減災的有效性。

因此，本文歸納先進國家的系統作法，並結合國內營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台 (以下簡稱資訊應用平台) 及其資源，提出國內營造業科技減災的系統作法流程供事業單位參考，如圖 1 所示。此系統作法的步驟說明如下：

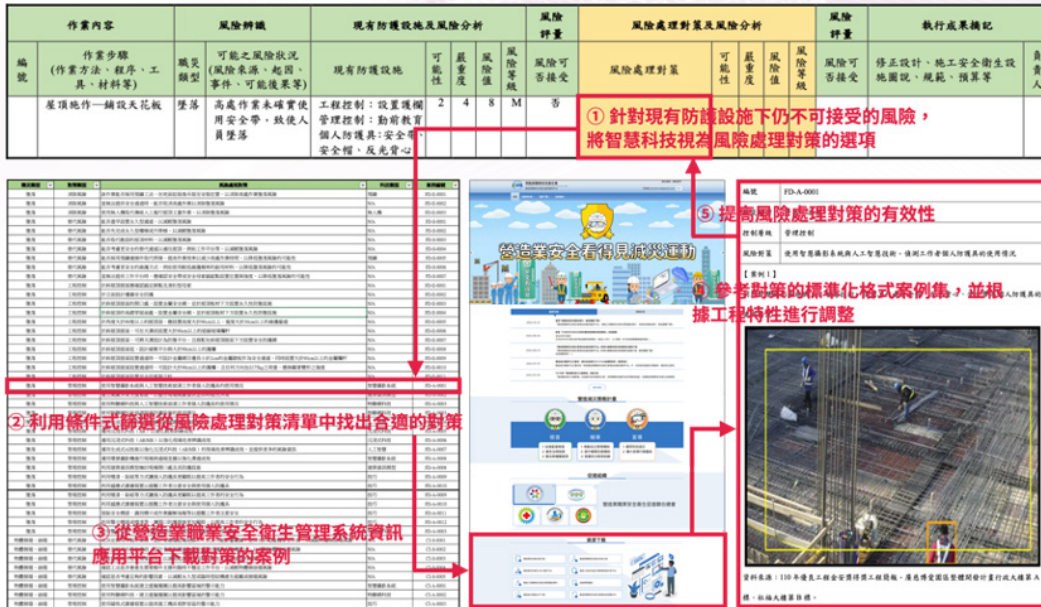
一、檢視風險評估表

事業單位首先需要檢視風險評估表，找出現有防護設施下仍不可接受的風險，以進行風險處理對策的研擬，並將智慧科技視為風險處理對策的一種選項。

二、查詢風險處理對策清單

本文參考先進國家的經驗，使用職災類型 (依據職業安全衛生統計的職災類型)、對策類型 (消除風險、替代風險、工程控制、管理控制、個人防護具)、風險處理對策、科技類型 (自動化與機器人、預鑄、無人機、智慧攝影系統、建築資訊模型、沉浸式科技、人工智慧、技巧等)、案例集編號的欄位來建立風險處理對策清單。

風險處理對策清單蒐集國內外的優良作法，事業單位可根據風險特性進行職災類型與對策類型進行篩選，找出可行、合



▲ 圖 1：營造業科技減災的系統作法流程

適的風險處理對策。若事業單位希望推動科技減災，則可再篩選科技類型，以取得該對策的案例集編號。

三、參考案例集

事業單位此時可依據對策的案例集編號從資訊應用平台進行查詢，以瞭解該對策的具體、可執行做法。資訊應用平台已累積許多國內外科技減災案例與知識，包括國內優良工程金安獎科技創新作為電子書以及營造業職業安全衛生科技新知等。

案例集亦參考先進國家的經驗，使用案例編號、職災類型、控制層級、案例說明等欄位，將這些案例集進行標準化與表格化，以更好地累積與組織案例集，並提高案例集查詢與分享的便利性。

四、風險處理對策再評估

確認風險處理對策後，事業單位應進行風險再評估的過程，藉由該對策在可能

性、嚴重度、風險值、風險等級的影響來判斷對策的有效性。

肆、應用範例

為協助使用者更好地理解科技減災的系統作法，本文以墜落、碰撞兩種職災類型為例進行說明：

一、墜落科技減災應用

假設某屋頂組立作業的風險評估如表 1 所示，該作業可能因工作者未確實使用安全帶而致使墜落發生，然此風險在現有防護設施下仍屬於中度風險（使用 5x5 風險矩陣），因此需要進一步研擬風險處理對策。

此時，若希望藉由智慧科技來降低此風險，則可在風險處理清單中進行職災類型與科技類型的篩選，以獲得墜落風險的智慧科技處理對策列表，如表 2 所示。

表1 墜落風險評估案例

作業內容		風險辨識		現有防護設施及風險分析				風險評量	風險處理對策及風險分析				風險評量		
編號	作業步驟 (作業方法、程序、工具、材料等)	職災類型	可能之風險狀況 (風險來源、起因、事件、可能後果等)	現有防護設施	可能性	嚴重度	風險值	風險等級	風險可否接受	風險處理對策	可能性	嚴重度	風險值	風險等級	風險可否接受
	屋頂組立作業	墜落	高處作業未確實使用安全帶，致使人員墜落	工程控制：設置護欄 管理控制：勤前教育 個人防護具：安全帶、安全帽、反光背心	2	4	8	M	否						

表2 墜落風險的智慧科技處理對策列表

對策類型	對策類型	風險處理對策	科技類型	案例集編號
墜落	消除風險	該作業能否採用預鑄工法，在地面組裝後吊裝至安裝位置，消除高處作業墜落風險	預鑄	FD-E-0001
墜落	消除風險	使用無人機取代傳統人工進行屋頂丈量作業，以消除墜落風險	無人機	FD-E-0003
墜落	替代風險	能否採用預鑄連接件取代焊接，提高作業效率以減少高處作業時間，以降低墜落風險的可能性	預鑄	FD-S-0005
墜落	管理控制	使用智慧攝影系統與人工智慧技術偵測工作者個人防護具的使用情況	智慧攝影系統	FD-A-0001
墜落	管理控制	建立風險決策支援系統，整合現場風險資訊並即時做出決策	建築資訊模型	FD-A-0002
墜落	管理控制	使用物聯網科技與人工智慧技術偵測工作者個人防護具的使用情況	物聯網科技	FD-A-0003
墜落	管理控制	使用物聯網科技偵測現場防護設施的使用情況	物聯網科技	FD-A-0003
墜落	管理控制	使用生成式AI技術協助現場危害辨識與防護設施評估	人工智慧	FD-A-0004
墜落	管理控制	運用沉浸式科技(XR)化教育訓練效	沈浸式科技	FD-A-0005
墜落	管理控制	運用沉浸式科技(AR/MR)強害成	沈浸式科技	FD-A-0006
墜落	管理控制	運用生成式AI技術強化沉浸式科技(AR/MR)的現場危害辨識成效，並提供更多的風險資訊	人工智慧	FD-A-0007
墜落	管理控制	運用環景攝影機進行現場與遠端直播以強化溝通成效	智慧攝影系統	FD-A-0008
墜落	管理控制	利用建築資訊模型檢討現場開口處及其防設施	建築資訊模型	FD-A-0008
墜落	管理控制	利用噴漆、貼紙等方式讓個人防護具更顯眼提高工作者的安全行為	技巧	FD-A-0009
墜落	管理控制	利用感應式廣播裝置提醒工作注意安全與使用個人防護具	技巧	FD-A-0010
墜落	管理控制	張貼安全標語、識別標示或作業圖解海報等以提醒工作者注意安全	技巧	FD-A-0011
墜落	管理控制	利用警示標語或噴漆等，讓開口防護措施更加顯眼，以提高工作者的安全行為	技巧	FD-A-0012
墜落	管理控制	使用警示裝置(例如閃燈或蜂鳴器)提醒現防設施的使用情況	物聯網科技	FD-A-0013

風險處理對策可單獨實施，亦可組合以發揮更大的成效。事業單位可從列表中選擇合適的對策並參考其案例集，舉例來說：

- (一) 使用智慧攝影系統與人工智慧技術，偵測工作者個人防護具的使用情況
- 該對策屬於管理控制類型，主要使用科技為智慧攝影系統，常見用以偵測工作者安全帽、反光背心、安全帶等個人防護具的使用情況。該對策可警示工作者使用個人防護具，以降低墜落風險的可能性。

該對策在國內已有許多應用案例，如圖2所示。

在國外應用方面，新加坡工作場所安全衛生研究所(WSH Institute)在其「科技作為改善工作場所安全衛生的助力(Technology as an Enabler to Improve Workplace Safety and Health)」報告中，建議除了「工作者使用掛鉤與安全帶的偵測」之外，「工作者接近開口邊緣偵測」也是建議的應用場景 [7]。



▲ 圖 2：智慧攝影系統在降低墜落風險的國內應用案例

資料來源：優良工程金安獎得獎工程科技創新作為電子書—廣慈博愛園區整體開發計畫行政大樓第 A 標、社福大樓第 B 標 [8]

(二) 使用物聯網科技與人工智慧技術，偵測工作者個人防護具的使用情況

智慧攝影系統雖然是一個有效降低墜落風險的智慧科技，但在某些條件下（例如高覆蓋率需求或者現場遮蔽物影響大時），物聯網科技就是強化管理控制的可行選項。

由於未使用或未正確使用安全帶是導致墜落的其中一個關鍵因素，因此日本利用

物聯網科技來感應安全帶的使用狀況，當工作者進入工作場域而未進行鉤掛動作時，就會發出聲音警告通知工作者，同時也將訊息發送給現場管理者，如圖 3 所示。

(三) 使用生成式 AI 工具協助現場危害辨識與防護設施評估

生成式 AI 工具的問世創造了許多的想像，甚至更改變了許多產業或領域的型態，其中也包括營造安全應用。這份影響力在 2023 年的 GPT-4 之後更加明顯，且在微軟的「GPT-4 初步探索 (Preliminary Explorations with GPT-4)」報告中 [9] 指出，安全檢查 (safety inspection) 是 GPT-4 的一個巨大潛力的新興應用。

新加坡已積極探索生成式 AI 在現場危害辨識的應用，可根據現場照片判斷個人防護具使用狀況與辨識不安全行為，並提出解決方案建議。生成式 AI 在相關案例與報告中，都顯示其巨大的發展潛力。

本文根據現場管理者需求與國際最新研究趨勢，在 GPT Store 上創建「營造安



▲ 圖 3：物聯網科技在降低墜落風險的國外應用案例

資料來源：建災防一 [ICT 研究開發事例] FUJITSU Manufacturing Industry Solution COLMINA スマート安全帯

全 GPT」以說明 GPT-4 在營造安全的應用潛力。事業單位只需要拍照上傳，GPT 就會自動進行危害辨識與分析現有防護設施情況，並據此進行施工安全風險評估，再自動依據營造業安全衛生設施標準等規定對現有防護設施不足之處提供改善建議。同時，GPT 也會自動上網搜尋該風險的可能風險處理對策及案例，再依序以消除風險、替代風險、工程控制、管理控制、個人防護具的類別進行分類。營造安全 GPT 已在許多工程進行運用，且獲得良好的回饋意見。

（四）利用感應式廣播設備提醒工作者注意安全與使用個人防護具

日本、新加坡、英國等先進國家除了運用智慧科技之外，也提倡藉由巧思活用一些技巧或簡易設備以達到職災風險降低的效果。因此，本文在風險處理清單中亦增加「技巧」類別，提供事業單位簡易好用的選擇。

感應式廣播設備就是其中一項常見的技巧。在日本厚生勞動省舉辦的安全看得見運動中（<https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzenproject/concour/sakuall.html>），就常見在高風險作業處（例如施工架、開口、電梯井等）安裝感應式廣播設備，隨時提醒工作者留意安全注意事項。

感應式廣播設備由於簡易有效且易安裝拆除，在國內也有許多的應用，如圖 4 所示，也常見與營造安全識別標示或警示燈搭配使用 [10]。



▲ 圖 4：感應式廣播設備在降低墜落風險的國內應用案例

資料來源：資訊應用平台—北區促進會安全看得見案例集

（五）張貼安全標語、識別標示或作業圖解海報以提醒工作者注意安全

張貼安全標語、識別標示或作業圖解海報是最簡單有效的技巧，而從日本與新加坡的經驗可知，統一化的識別標示更有助於提高工作者的安全認知。國內營造安全識別標示可在資訊應用平台下載，根據預防的職災類型，張貼於合適的位置以提醒工作者。

二、碰撞科技減災應用

智慧科技在碰撞風險降低方面具有應用的潛力，且在公共工程委員會的「公共工程採用自動化及預鑄化之規劃設計參考指引」也提到可研擬施工機具搭載 AI 以避免碰撞的應用。

假設某工區整備作業的風險評估如表 3 所示，該作業可能因機具倒退撞擊到人員，雖然已規劃物理圈圍、安全通道等現有防護設施，但該風險仍屬於中度風險，需要進一步研擬風險處理對策。

表3 碰撞風險評估案例

作業內容		風險辨識		現有防護設施及風險分析				風險評量	風險處理對策及風險分析				風險評量		
編號	作業步驟 (作業方法、 程序、工具、 材料等)	職災 類型	可能之風險狀況 (風險來源、起 因、事件、可能 後果等)	現有防護設施	可 能 性	嚴 重 度	風 險 值	風 險 等 級	風 險 可 否 接 受	風 險 處 理 對 策	可 能 性	嚴 重 度	風 險 值	風 險 等 級	風 險 可 否 接 受
	鋼便橋工程— 工區整備	碰 撞 被 撞	作業期間因機具 倒退撞擊人員	工程控制：物理圍圍 管理控制：教育訓練、 規劃人員安全通道及 機具進出動線	2	4	8	M	否						

同樣地，在風險處理對策清單中進行職災類型與科技類型的篩選，可獲得碰撞風險的智慧科技處理對策列表，如表4所示。事業單位可從列表中選擇合適的對策並參考其案例，例如：

(一) 使用物聯網科技建立虛擬圈圍以提醒工作者侵入事件

物聯網是常見於偵測工作者與施工機具間安全距離的智慧科技，藉由建立虛擬圈圍以提醒工作者侵入的事件，屬於強化管理控制的類型。物聯網科技在國內已有許多應用案例，如圖5所示，在施工機具安裝發送器、在工作者身上配戴感應器，隨後即可設定警報距離以形成虛擬圈圍進行侵入偵測。由於工作者身上配戴感應器是物聯網科技應用的必要條件，因此安全

帽、反光背心、手環等都是常見安裝感應器的方式。

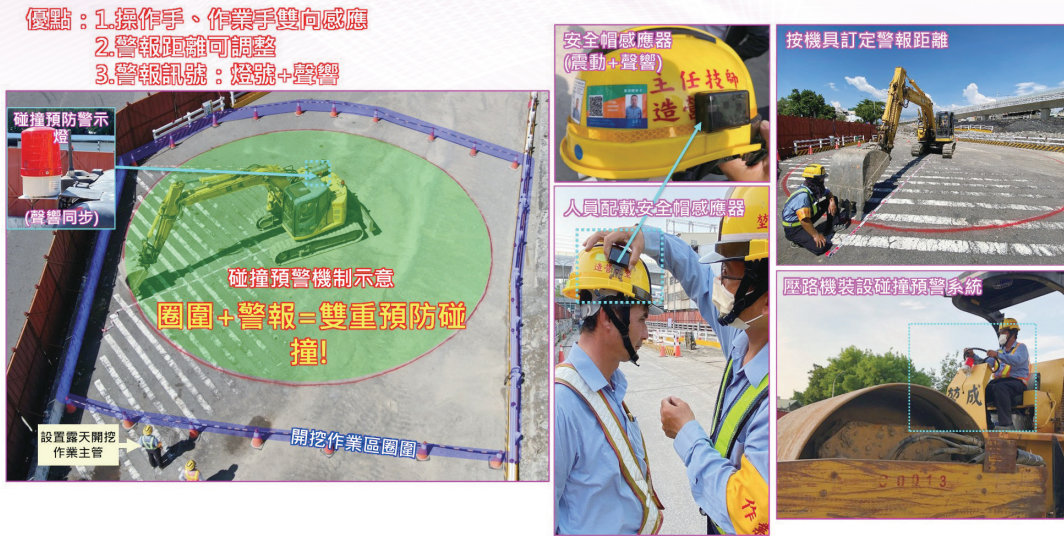
(二) 使用智慧攝影系統與影像識別技術建立虛擬圈圍以提醒工作者侵入事件

除了物聯網科技之外，智慧攝影系統與影像辨識技術結合也是偵測工作者侵入事件的有效方法，且由於工作者不用配戴感應器，具有較高便利性，在國外已有許多應用案例（例如在日本建災防資訊應用平台中就可以查詢到許多施工機械周邊偵測的案例：https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/ict/entry/003296.html）。

智慧攝影系統在國內也有越來越多降低碰撞風險的應用案例，如圖6所示，顯示出其應用的潛力。

表4 碰撞風險的智慧科技處理對策列表

對策類型	對策類型	風險處理對策	科技類型	案例集編號
衝撞/被撞	管理控制	使用物聯網科技建立虛擬圈圍以提醒工作者侵入事件	物聯網科技	CD-A-0001
衝撞/被撞	管理控制	使用智慧攝影系統與影像識別技術建立虛擬圈圍以提醒工作者侵入事件	智慧攝影系統	CD-A-0002
衝撞/被撞	管理控制	建立風險決策支援系統，以整合現場風險資訊並即時做出決策	建築資訊模型	CD-A-0003
衝撞/被撞	管理控制	運用沉浸式科技(XR)強化訓練	沉浸式科技	CD-A-0004
衝撞/被撞	管理控制	利用建築資訊模型模擬施工機械的可能碰撞位置	建築資訊模型	CD-A-0005
衝撞/被撞	管理控制	利用LiDAR監測起重機吊臂伸展時是否會碰撞上方電纜	物聯網科技	CD-A-0006
衝撞/被撞	管理控制	利用磁吸式感應廣播裝置以提醒工作者注意施工機具接近	技巧	CD-A-0007
衝撞/被撞	管理控制	利用LED燈以提醒工作者注意施工機具接近	技巧	CD-A-0008



▲ 圖 5：物聯網科技在降低碰撞風險的國內應用案例

資料來源：優良工程金安獎得獎工程科技創新作為電子書—臺中都會區鐵路高架捷運化沿線 5 處地下道填平工程—第二標



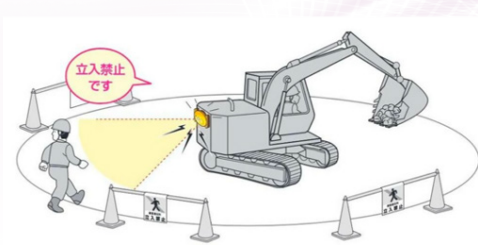
▲ 圖 6：智慧攝影系統在降低碰撞風險的國內應用案例

資料來源：優良工程金安獎得獎工程科技創新作為電子書—臺中市烏日竹地區區段徵收光竹橋改建工程

(三) 利用磁吸式感應廣播裝置以提醒工作者注意施工機具接近

雖然物聯網科技與智慧攝影系統都具有降低碰撞風險的潛力，但對於中小型營造工程而言，簡易有效的設備會有較高的使用意願。例如日本建災防推廣的磁吸式

感應廣播設備，讓事業單位可以自行錄音與調整設定，且磁吸式設計可隨時安裝拆除 [11]，如圖 7 所示。當工作者侵入感應範圍時，就會廣播警告以降低碰撞風險的可能性。



▲ 圖 7：磁吸式感應廣播設備在降低碰撞風險的日本應用案例
資料來源：建設業労働災害防止協会

伍、結論與建議

本文彙整先進國家的經驗以及國內資訊應用平台的資源，提出營造業科技減災

的系統作法，讓事業單位能逐步從風險評估表、風險處理對策清單、資訊應用平台、案例集中，選擇出合適、有效的智慧科技。本文雖僅以墜落、碰撞兩個職災類型的部分風險處理對策為例，但已展現出系統作法的實用性與有效性。

因此，未來將持續發展風險處理對策清單的內容，引導事業單位更好地從風險管理的角度來運用智慧科技。同時，也將持續累積與分享案例集，為營造業科技減災建立良好基礎。

參考文獻

- Okpala, I., Nnaji, C., & Karakhan, A. A. (2020). Utilizing emerging technologies for construction safety risk mitigation. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(2), 04020002.
- Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Salami, B. A., Ajayi, S., Akande, K., & Kazemi, H. (2023). GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation. *Developments in the Built Environment*, 100300.
- 厚生労働省. (2009). IT を活用した新しい安全衛生管理手法のすすめ方について応用システム例に沿った導入の手引き. URL: <https://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anken/0810-2.html>
- 建設業労働災害防止協会. (2019). 労働災害防止のための ICT 活用データベース. URL: https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/ict/index.html
- HSE Science and Research Centre. (2021). Discovering Safety - Construction Risk Library project. URL: <https://www.discoveringsafety.com/index.php/works/construction-risk-library-project>
- Singapore Ministry of Manpower. (2019). WSH 2028: A Healthy Workforce in Safe Workplaces; A Country Renowned for Best Practices in Workplace Safety and Health.
- WSH Institute (2023). Technology as an Enabler to Improve Workplace Safety and Health. STAS-WSH Council Workplace Safety Forum 2023.
- 營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台. 優良工程金安獎得獎工程科技創新作為電子書. URL: <https://coshms.osha.gov.tw/resc/tech>
- Yang, Z., Li, L., Lin, K., Wang, J., Lin, C. C., Liu, Z., & Wang, L. (2023). The dawn of Imms: Preliminary explorations with gpt-4v (ision). *arXiv preprint arXiv:2309.17421*, 9(1).
- 營造業職業安全衛生管理系統資訊應用平台. 營造業安全看得見減災運動案例集. URL: <https://coshms.osha.gov.tw/activity/dll/all>
- 建設業労働災害防止協会. (2023). 安全衛生図書・用品カタログ. URL: https://www.kensaibou.or.jp/book_supplies/files/catalog_2023_rev/index_h5.html#29