

優質學術期刊研究分享

台灣混凝土學會 編輯部

Construction and Building Materials (簡稱 CBM) 期刊主要收錄有關建築和維修材料創新使用的科學論文。該期刊領域 5 年 Journal Impact Factor (IF) 為 6.841, 2021 年度 IF 為 6.141, 按 Quartile by Category 分類, 在 Construction & Building Technology 和 Engineering, Civil 領域皆屬 Q1 等級的頂級

期刊。本次優質期刊將介紹由高雄科技大學潘煌錕教授及朝陽科技大學鄭家齊教授所屬研究團隊, 分別在 2022 年及 2021 年於 CBM 所發表對鋼筋混凝土結構物進行非破壞性的健康檢測及監測之創新精進的研究成果簡短介紹, 詳細資訊請參考 CBM 期刊^[1,2]。

Stress and strain behavior monitoring of concrete through electromechanical impedance using piezoelectric cement sensor and PZT sensor

Huang Hsing Pan and Jia-Cing Guan

使用不同材料作為感測體的感測器是一項高科技的量測技術, 以貼附或埋設方式將感測體安裝在受測物體的表面或內部, 經由感測器輸出的訊號與連結物體的應力或應變資料, 能夠反映結構的振動控制、交通監測、負載變動與災害預防。傳統的測量元件, 如線性可變差動變壓器、電阻應變計、光纖和壓力計等, 有時也會在混凝土內添加鋼纖維或碳微絲材料做為感測體, 常用於局部監測結構部件的表面和內部應力和應變, 但使用上仍有它的局限。壓電感測器的量測技術是利用具壓電性材料所組成的元件感測器之特性來判斷結構物的損傷或應力分佈, 而壓電材料具有重量輕、耐用、能量轉換率高、電磁干擾少及可製成任意形狀的優點, 已廣泛應用在結構動態分析、醫學與微機電系統並可使用於公共設施的結構健康監測與檢測。

國立高雄科技大學土木工程系潘煌錕教授研究團隊, 提出壓電感測器 (piezoelectric sensor) 配合機電阻抗量測來監測混凝土應力-應變關係的非破壞檢測方法。研究中使用兩種壓電感測器—鈦鉍酸鉛 (PZT) 感測器和壓電水泥 (PEC) 感測器—分別進行三種混凝土強度的應力和應變行為監測, 並進行單軸壓縮試驗以電阻應變計 (strain gage) 測量混凝土 28 天齡期的應力-應變曲線; 試驗過程中, 在每 $0.1 f'_c$ 負載增量時測量嵌入混凝土中的壓電感測器的阻抗頻譜。結果顯示, 隨著負載的增加, PEC 和 PZT 感測器在適用頻率 (有效監測頻率) 下測量的混凝土電導 (conductance) 依序下降, 因此這兩種壓電感測器都可用於監測加載過程中的混凝土應力和應變。監測混凝土應力和應變的適用頻率範圍, 以 PZT 感測器測量是位於第二個共振峰附近, 以 PEC 感測器測量則是在超過 800 kHz 以上的高頻範圍; PEC 感測器的適用頻率範圍比 PZT 感測器更寬, 使用 PEC 感測器具有電導頻譜波動小和分析時間短的優勢。經迴歸分析適用頻率範圍內之電導的均方根差 (root-mean-square deviation, RMSD) G_R 與混凝土應力-應變關係, 混凝土應力與 G_R 有對數 (或指數) 關係, 應變則與 G_R 呈線性關係, 可做為進行混凝土應力和應變之監測依據。總體而言, 所提出的監測方法可用於即時監測 (real-time monitoring) 混凝土的應力-應變行為。

1

學術資訊

A quick method to construct 3-D velocity contour map for assessing anomalies in concrete

Chia-Chi Cheng, Yung-Chiang Lin, Chih-Peng Yu and Keng-Tsang Hsu

鋼筋混凝土結構，內部缺陷的傳統非破壞檢測方法包括敲擊回音法、透地雷達、紅外線檢測、超音波等，而表面層的劣化可通過表面波方法評估，例如 SASW（表面波譜法）和 MASW（多頻道表面波譜法）。SASW 和 MASW 方法主要用於評估分層厚度和材料性質、混凝土板的表面劣化、隧道混凝土襯砌或瀝青混凝土路面的火災損壞等。而超音波的低能量限制了測試對象的適用厚度，最近常用於混凝土的陣列乾點式超音波雖檢測深度大，但需要很長時間才能形成覆蓋大面積的 3D 掃描圖像。透地雷達可構建 3-D 鋼筋及缺陷圖像，但該方法對裂縫檢測不敏感，無法區分介質中 $1/4$ 波長範圍內的間隙開口，例如，2.4 GHz 天線的 GPR，可分辨之空氣間隙約為 100 mm，含水間隙約為 30 mm。而敲擊回音法所產生之應力波，可分辨之空氣間隙寬度約在 0.1 mm，但此法為單點施作，需要大量的檢測來呈現大範圍混凝土內部損傷狀況。

朝陽科技大學營建工程系鄭家齊教授研究團隊提出一種快速評估混凝土板內部瑕疵的方法。由單一可感測時間原點的敲擊源及單一接收器，在至少兩倍板厚度的敲擊間距進行檢測，其記錄之波形通過短時傅立葉變換（STFT）和再分配法（Reassigned method），取得高解析度之時頻譜，進而從時譜圖中提取板波基本反對稱模態（A0 模態）群波波速的頻散曲線。研究中並提出一種快速而系統化的檢測及分析程序，從設置測試線的佈局開始，通過來自網格排列測試線的多個波速頻散曲線，求取在固定波長下網格交點的平均波速，以內插方式構建波速等高線圖，並合併不同波長之等高線圖繪製成 3-D 波速影像。本篇探討的混凝土內部瑕疵包括不同深度及尺寸的層隙裂縫、表面開口裂縫和蜂窩，並以兩種方式表示等高線圖：第一種方法是使用原始群速度顯示（方法 1），另一種方法是以相同波長的無缺陷區域波速作為基準值，以變化率影像呈現（方法 2）。可以得出以下三個結論：一、兩種等高線圖均可有效呈現缺陷區域的波速變化。波速通常在大約 2 倍缺陷深度的波長開始下降。對於層隙裂縫，缺陷位於較淺處或範圍較大，波速降低較為明顯；由於蜂窩存在大量空隙，速度的降低也非常明顯；表面裂縫會導致較小波長處即產生較低速度。二、由於在無瑕疵混凝土板之 A0 頻散曲線，在短波長的波速會較長波長波速低，因此方法 2 以正規化的方式來表現波速等高線圖更能表徵缺陷。三、由於測試的網格線可能通過多個缺陷，3-D 等高線圖中的低速區域僅能顯示該處可能存在缺陷，而不是精確的深度和位置。但由於本技術可減少檢測人力和時間的消耗，可應用於大面積定位缺陷位置，之後可針對潛在缺陷區域進行更詳細的測試和確定，減低檢測所需成本。

參考文獻

1. Huang Hsing Pan and Jia-Cing Guan, "Stress and strain behavior monitoring of concrete through electromechanical impedance using piezoelectric cement sensor and PZT sensor", *Construction and Building Materials*, Vol. 324, 21 March 2022, 126685. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126685>.
2. Chia-Chi Cheng, Yung-Chiang Lin, Chih-Peng Yu, Keng-Tsang Hsu, "A quick method to construct 3-D velocity contour map for assessing anomalies in concrete", *Construction and Building Materials*, Volume 285, 24 May 2021, 122765. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122765>.
3. <https://www.sciencedirect.com/journal/construction-and-building-materials> 