

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Modelowanie numeryczne i badania eksperymentalne betonu wysokowartościowego z włóknami ze stopu z pamięcią kształtu

mgr inż. Alireza TABRIZIKAHOU

Beton zbrojony włóknami (w j. ang. Fiber-Reinforced Concrete, w skrócie FRC) charakteryzuje się istotnie lepszymi właściwościami mechanicznymi, jednak konwencjonalne włókna (np. stalowe lub syntetyczne) pozostają bierne. Uwagę zyskują natomiast aktywne sposoby wzmacniania betonu takie jak włókna ze stopów z pamięcią kształtu (w j. ang. Shape Memory Alloy, w skrócie SMA), które po aktywacji termicznej mogą wstępnie sprężać elementy betonowe. Dzięki odwracalnej, termosprężystej przemianie fazowej (efekt pamięci kształtu) włókna SMA odzyskują pierwotny kształt po podgrzaniu, wywołując w matrycy betonowej naprężenia ściskające. Pełne zrozumienie wpływu stosowania ekonomicznego wariantu SMA—takiego jak SMA na bazie żelaza Fe-SMA o niższej cenie w porównaniu do innych typów SMA—na zachowanie FRC wymaga połączenia badań eksperymentalnych z zaawansowanym modelowaniem numerycznym.

Celem niniejszej pracy było wyznaczenie wpływu zastosowania włókien Fe-SMA na właściwości mechaniczne betonu. W ramach części eksperymentalnej określono wytrzymałość na wyrywanie włókien Fe-SMA dla różnych wariantów: geometrii włókna (proste, zakończone hakiem), mieszanek betonowych o różnej wytrzymałości na ściskanie, temperatur aktywacji oraz prędkości przyłożenia obciążenia. Ponadto przeprowadzono badania wytrzymałości na zginanie próbek betonowych zawierających włókna Fe-SMA, aby ocenić skuteczność wstępnego sprężenia betonu. Dodatkowo opracowano model numeryczny metodą elementów skończonych (MES), uwzględniający losowe rozproszenie włókien, nieliniowe zachowanie betonu oraz odzyskiwanie kształtu włókien poprzez wprowadzenie ujemnego współczynnika rozszerzalności termicznej. Model skalibrowano i zweryfikowano na podstawie wyników badań eksperymentalnych, a optymalny rozmiar siatki został określony na podstawie wyników numerycznych badań wrażliwości siatki. Otrzymane wyniki potwierdzają, że dodatek włókien Fe-SMA poprawia właściwości mechaniczne betonu dzięki generowaniu wstępnych naprężeń ściskających podczas aktywacji termicznej, co przekłada się na wyższą nośność elementu. Model MES poprawnie odwzorował krzywe siła–przemieszczenie próbek poddanych zginaniu, wykazując zgodność z danymi z badań eksperymentalnych.

Sformułowane wnioski wskazują, że wykorzystanie włókien Fe-SMA jako elementu sprężającego stanowi efektywną metodę zwiększenia nośności elementu betonowego. Opracowana metodologia badawcza oraz model obliczeniowy mogą być wykorzystane do projektowania nowej generacji inteligentnych kompozytów betonowych o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych.

Abstract of doctoral dissertation

Numerical modeling and experimental investigation of high-performance concrete with shape memory alloy fibers

mgr inż. Alireza TABRIZIKAHOU

Fiber-reinforced concrete (FRC) is characterized by significantly improved mechanical properties; however, conventional fibers (e.g., steel or synthetic) remain passive. Consequently, there is growing interest in the use of smart materials such as shape memory alloy (SMA) fibers, which, upon thermal activation, can prestress concrete elements. Through a reversible, thermoelastic phase transformation (shape memory effect), SMA fibers recover their original shape when heated, inducing compressive stresses in the surrounding concrete matrix. A comprehensive understanding of the impact of employing an economical SMA variant—iron-based SMA (Fe-SMA), which is less expensive than other SMA types—on FRC behavior requires a combination of experimental investigations and advanced numerical modeling.

The aim of this study was to determine the influence of Fe-SMA fibers on the mechanical properties of concrete. In the experimental phase, the pull-out strength of Fe-SMA fibers was determined for various configurations—fiber geometry (straight and end-hooked), concrete mixes of differing compressive strengths, activation temperatures, and loading rates. Additionally, flexural strength tests were performed on concrete specimens containing Fe-SMA fibers in order to assess the effectiveness of concrete prestressing. Moreover, a finite element method (FEM) numerical model was developed, incorporating random fiber distribution, nonlinear concrete behavior, and fiber shape recovery through the introduction of a negative coefficient of thermal expansion. The model was calibrated and validated against the experimental results, and the optimal mesh size was determined based on numerical mesh sensitivity analyses. The findings confirm that the addition of Fe-SMA fibers enhances the mechanical performance of concrete by generating prestress compressive forces during thermal activation, thereby increasing the element's load-bearing capacity. The FEM model accurately replicated the force–displacement response of the flexural tests, demonstrating agreement with the experimental data.

The conclusions drawn indicate that employing Fe-SMA fibers as prestressing elements is an effective method for increasing the load-bearing capacity of concrete elements. The developed experimental methodology and computational model can be used to design the next generation of intelligent concrete composites with enhanced strength characteristics.