

Modelowanie konstytutywne sprzężenia plastyczności i degradacji sprężystej materiałów kruchych

Streszczenie

Rozprawa doktorska dotyczy konstruowania spójnego termodynamicznie modelu materiału sprężysto-plastycznego z uszkodzeniem w ramach teorii małych odkształceń. Wynikiem jest opracowanie modelu konstytutywnego odpowiedniego do opisu materiałów kruchych, w szczególności betonu. Przedstawiony model materiałowy jest zbudowany na podstawie potencjału Helmholtza i potencjału dyssypacji. Zawiera oryginalny, czteroparametrowy warunek plastyczności/uszkodzenia, niestowarzyszone prawo płynięcia oraz energię swobodną Helmholtza zależną od trzech skalarnych parametrów uszkodzenia.

Podstawowymi celami rozprawy doktorskiej były przedstawienie nowego modelu konstytutywnego betonu oraz metody prowadzącej do przyjęcia konkretnych postaci funkcji dyssypacji i potencjału Helmholtza, korzystając ze znanej z literatury ścieżki konstrukcji modelu spójnego termodynamicznie. Zadanie podzielone zostało na konsekwentnie zrealizowane etapy.

Po krótkim wprowadzeniu do tematyki rozprawy, zostały podsumowane wyniki doświadczeń dostępnych w literaturze i naświetlone podstawowe cechy odpowiedzi betonu na obciążenie, aby móc zbudować adekwatny model.

Rozdziały 3 i 4 stanowią wprowadzenie do problematyki konstrukcji modeli spójnych termodynamicznie oraz zawierają oryginalne wprowadzające przykłady formułowania takich modeli. Szczegółowo opisana została zaczerpnięta z literatury procedura, którą należy wykonać przy konstrukcji relacji konstytutywnych łączących sprężystość, plastyczność i uszkodzenie.

W kolejnym rozdziale beton był modelowany jako materiał sprężysto-plastyczny. Rozpatrywane były potencjały dyssypacji i dualne warunki plastyczności, połączone transformacją Legendre'a-Fenchela dla obrotowych i nieobrotowych powierzchni plastyczności. Przedstawione zostały nowatorskie formuły dotyczące dyssypacji szczególnej postaci, zawierających funkcje kształtu Ottosena.

Rozdział 6 traktuje o materiale sprężystym z uszkodzeniem. Przedstawiony został model takiego materiału, zbudowany na funkcji Helmholtza i potencjale dyssypacji, przy czym wprowadzono trzy skalarnie parametry uszkodzenia, które odpowiadają obserwowalnym efektom uszkodzenia betonu.

W rozdziale 7 został zaproponowany model konstytutywny łączący sprężystość, plastyczność oraz uszkodzenie, przy wykorzystaniu elementów opracowanych w rozdziałach poprzedzających. Przedstawiono obliczenia, które pozwoliły wyznaczyć równania konstytutywne materiału na podstawie znajomości dwóch oryginalnych potencjałów. Opisany model zawiera 10 parametrów i 2 funkcje materiałowe, określające wzmocnienie. Dwa z tych parametrów to stałe sprężystości (moduł Younga i współczynnik Poissona). Pozostałe parametry dzielą się na dwie grupy: takie, które można wyznaczyć za pomocą zamkniętych formuł na podstawie znanych wyników testów wytrzymałościowych i takie, które są trudniejsze do oszacowania, ale mają klarowne interpretacje fizyczne, co jest zdecydowaną zaletą modelu. Prezentowany model dobrze opisuje wyniki doświadczeń dla testów jednoosiowych i trójosiowych, dowodem czego są wyniki prostych symulacji, wykonanych przy pomocy programu Mathematica.

Słowa kluczowe: beton, materiały kruche, sprężystość, plastyczność, uszkodzenie, parametr uszkodzenia, potencjał dyssypacji, warunek plastyczności, warunek uszkodzenia, niestowarzyszone prawo płynięcia, potencjał Helmholtza, model termodynamicznie spójny, transformacja Legendre'a, transformacja Legendre'a-Fenchela