

Author:	Grzegorz Sadowski
Title:	Influence of geometrical and physical parameters of a profiled interface on the static behaviour of reinforced concrete composite beams
Pages	183
Figures	134
Tables	28
References	136
Supplements	0
Appendixes	0
Keywords:	composite concrete beam, indented interface, bearing capacity of interface, digital image correlation, numerical simulation

The subject of this dissertation is related to the influence of the geometrical and physical parameters of a profiled indented interface on the static behaviour of reinforced concrete composite beams. The current procedures for calculating the load-bearing capacity of composite structures with an indented interface are imprecise. The procedures do not take into account the influence of spacing between the notches profiled on a precast element's surface. The aim of this study is to develop a modification of the *fib* Model Code 2010 calculation procedure dedicated to designing interfaces between indented surfaces in concrete composite elements. Such interface is subjected to a complex stress state, and therefore the proposed modification is aimed to consider to the higher degree the impact of previously omitted parameters.

The dissertation is of a theoretical and experimental nature. It includes the analysis of the state of knowledge related to undertaken research task; the description of own laboratory tests of composite beams in semi-technical scale and their results; and numerical simulations of the laboratory tests.

The literature review focuses on: the phenomena that occur at the interface of concrete-to-concrete joints, the research models used to determine the load-bearing capacity of the interface between concrete layers, and the computational models used to predict this capacity. Composite structures made of concrete are described in a general way as well. In turn, an extended analysis of the reported small-scale test of indented concrete interfaces was carried out regarding the geometry and number of the notches, and the ratio of the area of notches to the total shear area.

The next part of the dissertation concerns the own laboratory tests of composite beams of a semi-technical scale. The tests were divided into two stages. In the first stage, a series of elements with a spacing of 80 mm and 120 mm between notches was made (without stirrups connecting concrete layers), while in the second stage, elements with a spacing of 80 mm between notches were made (with joining stirrups). In addition, homogenous reference beams were prepared in both stages. The obtained test results were compared with the results of calculations carried out on the basis of the principles given in PN EN 1992-1-1:2008 (EC2-1-1), and in the *fib* Model Code 2010 (MC2010).

In order to understand the phenomena occurring at the intended interface between the two concrete layers in the composite beams, the adequate numerical models were created in ABAQUS software. The geometry and material parameters of the elements were assumed to be the same as those in the laboratory tests. In addition, numerical simulation of the composite beam with the joining stirrups and the spacing between notches of 120 mm, were carried out in ABAQUS. Such a beam was not tested.

The conducted research and analysis of its results showed that local cracking in the indented interface between two concrete layers in composite beams is influenced by the spacing between notches profiled in the precast element surface, and also by the existence of joining reinforcement. The calculation procedures for determining the load-bearing capacity of such interfaces, which are included in PN EN 1992-1-1:2008 and the *fib* Model Code 2010, do not take into account the effect of spacing between notches. Moreover, in the *fib* Model Code 2010 guidelines, coefficients that refer to the adhesion existing in the interface are assumed as in the case of a “rough” surface. This assumption seems to be questionable. Adhesion between concrete layers depends on the roughness degree of the notches’ surface. The smoother the surface of the precast concrete, the lower the tangential force for which the cracking of an interface can occur. After interface cracking (breaking of the adhesion), mechanical interlocking phenomenon starts to have a clear effect on the possibility of carrying the shear force by the interface. The effectiveness of the mechanical interlocking is determined by the spacing between the notches and the strength of the concrete which the notches are made.

Numerical analysis of the composite beams showed that the effect of phenomena identified as „*dowel action*” and „*shear-friction*” becomes largely visible after the interface cracking. This is demonstrated with an increase in stresses in the stirrups, and also the concentration of stresses on the surface of notches (these effects were observed near the stirrups). These phenomena were taken into consideration in the own modification of MC2010 procedure by adopting adhesion coefficients, that take into account the roughness of the notches’ surface.

The author’s own research demonstrated and confirmed the observations of other researchers, which state that cracking of the interface between concrete layers is influenced by diagonal beam cracking. It was observed that the cracking of the composite beams due to shear forces, and the location of the joining stirrups, determine the location of the interface cracking, as well as the load magnitude for which it can occur. Moreover, the location of the local interface cracking influences the location and progress of new diagonal cracks.

Conclusions from the conducted laboratory tests, the literature review, and the numerical analyses enabled the own modified *fib* Model Code 2010 procedure to be formulated and written down. A comparative analysis of the load-bearing capacity of the indented interface, which was determined according to the modified MC2010 procedure and obtained during laboratory tests showed that there is a correlation between the spacing between notches of a prefabricated element’s surface and the load-bearing capacity of the interface. The proposed modification of MC2010 procedure will allow the design of concrete composite beams with indented interface to be optimised. The procedure takes into account the roughness of the notches’ concrete surface. By knowing the strength parameters of the concretes from which different parts of the composite element are meant to be made, the load-bearing capacity of the interface can be changed by adjusting the spacing between notches. In addition, it was found that the complex stress state that occurs in the interface between concretes leads to the occurrence of local cracking of the interface, which is taken into account in the proposed modified MC2010 procedure.

Autor: Grzegorz Sadowski
Tytuł: Wpływ parametrów geometrycznych i fizycznych profilowanej powierzchni styku na pracę statyczną żelbetowych belek zespolonych

Stron 183
Rysunków 134
Tabel 28
Pozycji bibliograficznych 136
Dodatków 0
Załączników 0

Słowa kluczowe: betonowa belka zespolona, powierzchnia styku z wrębami, nośność styku, cyfrowa korelacja obrazu, symulacja numeryczna

Przedmiotem rozprawy są zagadnienia związane z wpływem parametrów geometrycznych i fizycznych profilowanej powierzchni styku na pracę statyczną żelbetowych belek zespolonych. Obecne procedury obliczeniowe nośności styków konstrukcji zespolonych z powierzchnią prefabrykatu ukształtowaną z wrębami są nieprecyzyjne. Procedury nie uwzględniają wpływu rozstawu wrębów. Celem pracy było opracowanie modyfikacji procedury obliczeniowej *fib* Model Code 2010 dla styków z powierzchnią prefabrykatu z wrębami. Takie styki pracują w złożonym stanie naprężeń, dlatego proponowana zmiana ma lepiej uwzględniać wpływ pomijanych dotychczas parametrów.

Rozprawa ma charakter pracy teoretyczno-doświadczalnej, w której przeanalizowano istniejący stan wiedzy w zakresie zagadnienia stanowiącego zadanie badawcze, przeprowadzono badania belek zespolonych w skali półtechnicznej oraz wykonano modele numeryczne odwzorowujące badania laboratoryjne.

W części stanowiącej przegląd literatury skupiono się na zjawiskach występujących na styku w połączeniach typu „beton-beton”, modelach badawczych stosowanych do wyznaczania nośności styku oraz modeli obliczeniowych służących do prognozowania nośności styku pomiędzy betonami. W sposób ogólny opisano konstrukcje zespolone wykonywane z udziałem betonu oraz przeprowadzono poszerzoną analizę badań styków z powierzchnią prefabrykatu z wrębami w odniesieniu do geometrii wrębów, wpływu udziału wrębów w całej powierzchni ścinanej oraz liczby wrębów w próbkach małej skali.

W części badawczej testowano belki zespolone w skali półtechnicznej. Badania podzielono na dwa etapy: w pierwszym etapie wykonano serie elementów z rozstawem wrębów 80 mm oraz 120 mm bez zbrojenia zszywającego pomiędzy betonami wykonywanymi w różnych terminach, natomiast w drugim etapie wykonano elementy z rozstawem wrębów 80 mm i z zastosowaniem zbrojenia zszywającego. Dodatkowo w obu etapach wykonano monolityczne belki referencyjne. Uzyskane wyniki badań zostały wykorzystane do analiz porównawczych z wynikami obliczeń przeprowadzonych na podstawie zasad podanych w normie PN-EN 1992-1-1:2008 (EC2-1-1) i procedury zgodnej z *fib* Model Code 2010 (MC2010).

W celu poznania zjawisk występujących na styku dwóch betonów w belkach z powierzchnią prefabrykatu z wrębami, wykonano adekwatne modele numeryczne zrealizowane w programie ABAQUS. Geometrię oraz parametry materiałowe elementów przyjęto takie jak w badaniach laboratoryjnych. Dodatkowo w programie ABAQUS przeprowadzono obliczenia symulacyjne belki zespolonej z rozstawem wrębów 120 mm ze zbrojeniem zszywającym. Belka o takich parametrach nie była wykonana i zbadana w badaniach laboratoryjnych.

Badania i analizy wykazały, że wpływ na lokalne zarysowanie styku w belkach zespolonych ma rozstaw wrębów prefabrykatu oraz fakt zastosowania zbrojenia zszywającego pomiędzy betonami. W procedurach obliczeniowych służących do określania nośności styku w EC2-1-1 oraz *fib* Model Code 2010 nie uwzględniono wpływu rozstawu wrębów. Dodatkowo w wytycznych *fib* Model Code 2010 współczynniki odzwierciedlające efektywność styku zostały przyjęte jak dla powierzchni „szorstkiej”, co budzi wątpliwości. Siły adhezji pomiędzy betonami uzależnione są bowiem od stopnia szorstkości betonu na powierzchni wrębów. Im gładsza powierzchnia betonu tym mniejsza siła styczna, przy której może powstać zarysowanie styku. Po zarysowaniu styku (zaniknięciu adhezji) zazębienie mechaniczne wyraźnie zaznacza swój wpływ na przenoszenie sił ścinających styk. O efektywności wytrzymałości zazębienia mechanicznego decyduje rozstaw wrębów oraz wytrzymałość betonu, z którego wykonane są wręby.

Analiza numeryczna belek zespolonych wykazała, że efekty zjawisk identyfikowanych jako „*dowel action*” oraz „*shear-friction*” w znacznym stopniu stają się widoczne w pobliżu zbrojenia zszywającego po zarysowaniu styku, jako wzrost naprężeń w zbrojeniu zszywającym oraz koncentracja naprężeń na powierzchni wrębów. Zjawiska te uwzględniono we własnej modyfikacji procedury MC2010, przyjmując współczynniki adhezji zależne od szorstkości betonu na wrębach.

Badania własne wykazały i potwierdziły słuszność spostrzeżeń innych badaczy, że na zarysowanie pomiędzy betonami w styku ma wpływ ukośne zarysowanie belki. Zaobserwowano, że na zarysowanie belek zespolonych od ścinania i lokalizacja zbrojenia zszywającego determinują miejsce powstawania zarysowania lokalnego pomiędzy betonami oraz wielkość obciążenia, przy jakim może się ono pojawić. Ponadto miejsce lokalnego zarysowania styku wpływa na lokalizację oraz przebieg nowych rys ukośnych.

Wnioski z przeprowadzonych badań laboratoryjnych, studiów literaturowych oraz analiz numerycznych pozwoliły na sformułowanie zapisu zmodyfikowanej procedury *fib* Model Code 2010. Analiza porównawcza nośności styku wyznaczonej według własnej zmodyfikowanej procedury MC2010 oraz uzyskanej w badaniach laboratoryjnych wykazała korelację pomiędzy rozstawem wrębów na prefabrykacie a nośnością styku. Zaproponowane zmiany w sposobie obliczania nośności styku z powierzchnią prefabrykatu z wrębami pozwolą na zoptymalizowanie projektowania złączy z różnym rozstawem wrębów z uwzględnieniem szorstkości betonu na wrębach. Znając parametry wytrzymałościowe betonów, z których mają być wykonane poszczególne części elementu zespolonego, można wpłynąć na nośność styku rozstawem wrębów. Ponadto, jak stwierdzono, złożony stan naprężeń występujący w styku prowadzi do powstania lokalnych zarysowań złącza, co uwzględniono w zaproponowanej zmodyfikowanej procedurze MC2010.