

## BADANIA NOŚNOŚCI BETONU NA PRZECINANIE

Grzegorz GREMZA  
Politechnika Śląska, Gliwice

### 1. Wprowadzenie

Problem przecinania w monolitycznych konstrukcjach żelbetowych lub określania nośności na rozwarstwienie styku betonowego lub żelbetowego w żelbetowych konstrukcjach zespolonych był już wielokrotnie podejmowany przez różnych autorów. Badania te prowadzono dotychczas na różnorodnego typu elementach, o różnym sposobie ukształtowania. Generalnie największym problemem w tego typu badaniach jest zapewnienie możliwie równomiernego rozkładu obciążenia rozwarstwiającego, zwłaszcza na dłuższych odcinkach, a także uniknięcie spiętrzenia naprężeń.

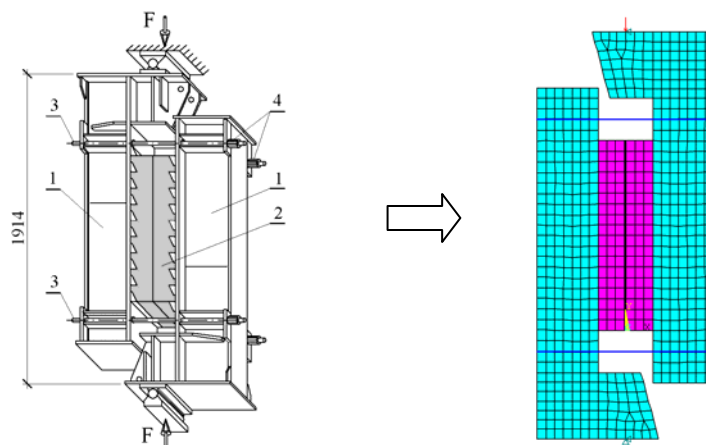
Planując własne badania elementów monolitycznych i zespolonych na przecinanie przedstawione w [1], starano się między innymi uzyskać możliwie równomierny rozkład obciążenia przecinającego wzdłuż styku oraz zminimalizować wpływy mimośrodków przypadkowych. Starano się przynajmniej częściowo wyeliminować wady, które posiadały badania prowadzone na dotychczas stosowanych elementach próbnych. W tym celu zaprojektowano własne stanowisko badawcze. W zastosowanym rozwiązaniu własnym siła przecinająca przykładana była do zewnętrznych powierzchni badanych elementów za pomocą specjalnie do tego celu zaprojektowanych i wykonanych stalowych ramion. Miały one zapewniać możliwie równomierne rozłożenie obciążenia przecinającego wzdłuż styku dzięki swojej dużej sztywności oraz odpowiednio skonstruowanym zębom, przekazującym obciążenie na badany element wzdłuż jego przeciwległych boków. Ramiona realizowały jednocześnie umiejscowienie kierunku działania zewnętrznej siły obciążającej. Obydwa ramiona spięte zostały czterema ściągamami  $\varnothing 25$ , bez wywoływania wstępnego napięcia. Szkic stanowiska z zabudowanym elementem pokazano na rysunku 1.

### 2. Sposób modelowania numerycznego stanowiska badawczego

Modelując stanowisko starano się oddać w prawidłowy sposób zarówno sztywność jego ramion, jak również pola przekroju i styku próbki. Dla uproszczenia jednak (zwłaszcza wobec uwzględnienia w obliczeniach kryteriów uplastycznienia, co wymaga kilkakrotnie dłuższych obliczeń niż w przypadku stosowania prawa Hooke'a), do zamodelowania próbki i ramion zastosowano elementy tarczowe (por. rys. 1).

Grubość tarczy zastępującej badany element przyjęto równą jego szerokości, z uwzględnieniem przewężenia w płaszczyźnie działania siły. Dla ramion dobrano przekrój prostokątny tarczy w taki sposób, aby zachować moment bezwładności ramienia

i wysokość jego przekroju, co było istotnym parametrem na odcinku ramienia od siły do początku elementu próbnego. W obliczeniach przyjęto płaski stan naprężeń.



Rys. 1. Stanowisko badawcze i jego model komputerowy: 1 – ramię obciążające, 2 – element próbny, 3 – ściągi, 4 – siłomierze.

Fig. 1 Test arrangement and computational model: 1 – loading arm, 2 – test element, 3 – bowstrings, 4 – dynamometer.

### 3. Model sprężysto-plastyczny Druckera – Pragera dla betonu

W obliczeniach numerycznych, w celu ustalenia niezbędnych współczynników określających powierzchnię plastyczności, wykorzystano zależności pomiędzy „naprężeniami płynięcia” w jednoosiowym teście rozciągania i ściskania, czyli w rozpatrywanym przypadku wytrzymałościami betonu na rozciąganie  $f_t$  i na ściskanie  $f_c$ , a współczynnikami  $k$  i  $\alpha$ , opisującymi powierzchnię stożkową Druckera – Pragera [2]:

$$\alpha = \frac{f_c - f_t}{\sqrt{3}(f_t + f_c)}, \quad k = \frac{2f_c f_t}{\sqrt{3}(f_t + f_c)}. \quad (1)$$

W pracy [3] zawierającej przykład obliczeń przy zastosowaniu dla betonu modelu Druckera – Pragera zawarto powiązanie parametrów  $\alpha$  i  $k$ , z wymaganym przez program współczynnikiem „kohezji”  $c$  i „kąta tarcia wewnętrznego”  $\varphi$ :

$$c = \frac{\sqrt{3}k(3 - \sin \varphi)}{6\sqrt{1 - \sin^2 \varphi}}, \quad \varphi = \arcsin\left(\frac{3\sqrt{3}\alpha}{\sqrt{3}\alpha + 2}\right). \quad (2)$$

Wartości współczynnika „kohezji”  $c$  i „kąta tarcia wewnętrznego”  $\varphi$ , które podać należy w programie Ansys, obliczono posługując się wzorami pochodnymi od wzorów (1) i (2):

$$c = \frac{f_c f_t}{\sqrt{6f_c f_t - 2f_t^2}}, \quad \varphi = \arcsin\left(\frac{3(f_c - f_t)}{3f_c + f_t}\right). \quad (3)$$

Wartości  $c$  i  $\varphi$  wykorzystywane w obliczeniach określono na podstawie znanych średnich wytrzymałości betonu na ściskanie i na rozciąganie, uzyskanych w badaniach

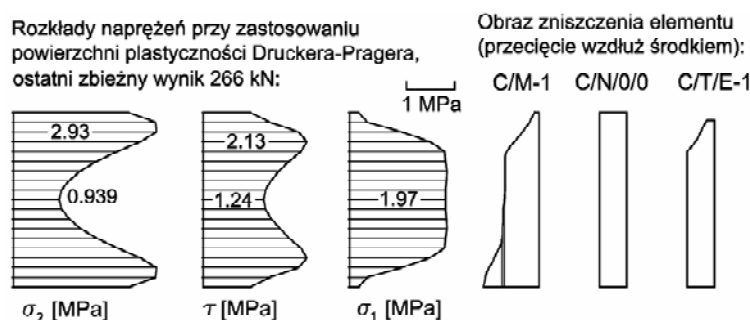
próbek betonowych, pobieranych w trakcie produkcji elementów próbnych. W programie Ansys podstawiono  $c = 2,54\text{MPa}$  i  $\varphi = 61^\circ$ .

Ponieważ w wykorzystanym modelu nie było możliwe zastosowanie nieliniowych zależności naprężenie – odkształcenie przed osiągnięciem przez naprężenie w danym punkcie powierzchni plastyczności, zróżnicowano moduły  $E$ , przyjmując  $E = 18,03\text{GPa}$  poza strefą zwężenia, zaś dla strefy zwężonej  $E = 10,12\text{GPa}$ . Współczynnik Poissona przyjęto równy  $\nu = 0,2$ .

#### 4. Wyniki numeryczne a sposób zniszczenia elementu próbnego

Na rysunku 2 przedstawiono wykresy naprężeń w płaszczyźnie działania siły przecinającej (główne ściskające  $\sigma_2$ , główne rozciągające  $\sigma_1$  oraz styczne  $\tau$ ) dla elementu imitującego monolityczny element próbny. Przedstawiony rozkład naprężenia uzyskano przy ostatnim zbieżnym rozwiązaniu. Przy tym rozwiązaniu nie pojawiły się jeszcze siły w ściągach. W badaniu rzeczywistym siły w ściągach pojawiały się po zarysowaniu, stąd też utrata zbieżności rozwiązania odpowiada prawdopodobnie chwili zarysowania elementu. Wskazuje na to również fakt, że wartość maksymalnej siły uzyskanej w badaniu numerycznym jest tego samego rzędu, co wartość siły rysującej w badaniu.

Na rysunku 2, oprócz wspomnianych wykresów naprężeń, przedstawiono przekroje elementów próbnych po badaniu. Są to przekroje w płaszczyźnie symetrii stanowiska, z ograniczeniem powstałą powierzchnią przecięcia. W płaszczyźnie tej zasięg rys ukośnych (o ile wystąpiły) był nieco większy niż na bocznych krawędziach styku.



Rys. 2. Porównanie rozkładu naprężeń wzdłuż styku z wybranymi przekrojami podłużnymi elementów po zniszczeniu (opis w tekście)

Fig. 2 Comparison between stress pattern and cross-sections of elements after investigation (see text)

Na rysunku 2: C/M-1 – element monolityczny, C/N/0/0 – element zespolony z powierzchnią styku przecinanego naturalnie szorstką, C/T/E-1 – element ze sklejonnych połówek betonowych.

Analizując rysunek 2 można przedstawić następujące spostrzeżenia:

- położenie obszaru ścicia w płaszczyźnie działania siły przecinającej w elemencie monolitycznym pokrywa się z obszarem dominacji głównych naprężeń rozciągających nad głównymi naprężeniami ściskającymi (tam, gdzie wartość naprężenia  $\sigma_1$  wynosi od 0,94 do 2,10 wartości  $\sigma_2$ );

- we wspomnianym obszarze wartość naprężenia ścinającego  $\tau$  zawiera się pomiędzy 0,94 a 1,32 wartości głównego naprężenia ściskającego  $\sigma_2$ ;
- na odcinku równomiernego rozkładu głównego naprężenia rozciągającego, ścięcie następuje w płaszczyźnie działania siły przecinającej. Sugerować to może dominujące znaczenie tego naprężenia.

Dotychczasowa analiza może, zdaniem autora, wskazywać na dopuszczalność wykorzystywania prezentowanych wyników numerycznych i eksperymentalnych w dalszych pracach dotyczących badanego zagadnienia.

### Oznaczenia symboli

$f_t$	– wytrzymałość betonu na rozciąganie, tensile strength of concrete, [MPa],
$f_c$	– wytrzymałość betonu na ściskanie, compressive strength of concrete, [MPa],
$c$	– współczynnik kohezji, cohesion, [MPa],
$\varphi$	– kąt tarcia wewnętrznego, angle of internal friction, [°],
$E$	– sieczny moduł sprężystości, secant modulus of elasticity, [GPa],
$\nu$	– współczynnik Poissona, Poisson's ratio,
$\sigma_1, \sigma_2$	– główne naprężenia rozciągające i ściskające, principal stresses, [MPa],
$\tau$	– naprężenie styczne, shear stress, [MPa].

### Literatura

- [1] Gremza G.: Nośność i odkształcalność połączeń zespolonych typu beton - beton, Praca doktorska, Gliwice, 2006.
- [3] Majewski S.: Sprężysto-plastyczny model betonu, XL KN KILiW PAN I KN PZiTB Krynica 1994, str. 129-136.
- [3] Krykowski T.: Zastosowanie MES do wyznaczania czasu degradacji otuliny w konstrukcjach żelbetowych, Proceedings of the 4th International Conference on New Trends in Static and Dynamics of Buildings, STU Bratislava, October 2001.

## ANALYSIS OF INVESTIGATION METHOD OF SHEAR TRANSFER IN CONCRETE

### Summary

In this article the originally test arrangement for investigation of shear transfer in concrete was presented. The abbreviation of numerical analysis this arrangement including concrete specimens behavior was described. Some of numerical results from Ansys was presented connected with view of test specimen.