

Jan JARGIEŁŁO

Politechnika Lubelska

OBRAZ POLA ODKSZTAŁCENIŃ BETONU ROZCIĄGANEGO  
W PRZEKROJACH ZARYSOWANIA

1. Wstęp

Wśród publikacji, odnoszących się do betonu rozciąganego, znaczna ich część dotyczy zdefiniowania zależności  $\sigma - \xi$  w funkcji narastającego obciążenia. Zależność ta, ważna do momentu zarysowania, dalej podawana jest najczęściej w postaci związku  $\sigma - w$  ( $w$  - szerokość rozwarcia rysy) - [1]. Uważa się, że w elemencie rozciągany odkształcenia koncentrują się w ograniczonym obszarze, zwanym przez Glücklich'a [2] strefą "licznych mikrorys" (multitude of microcracks), gdzie w końcowej fazie, po utworzeniu się rysy głównej, następuje zniszczenie (zerwanie) elementu badawczego. Podobny mechanizm zniszczenia betonu rozciąganego przyjmowany jest przez liczne grono badaczy - np. [3], [4] i [5].

Ponieważ w miarę wzrostu obciążenia może się pojawić kilka "stref mikropęknięć" a w nich więcej niż jedna rysa wiodąca - możliwość wyselekcjonowania do obserwacji przekroju w którym, w ostatniej chwili, nastąpi zerwanie - jest całkowicie przypadkowa. Stąd przedmiotem badań niektórych autorów [6], [7] . [8] są doświadczenia wymuszające powstanie, w założonym z góry

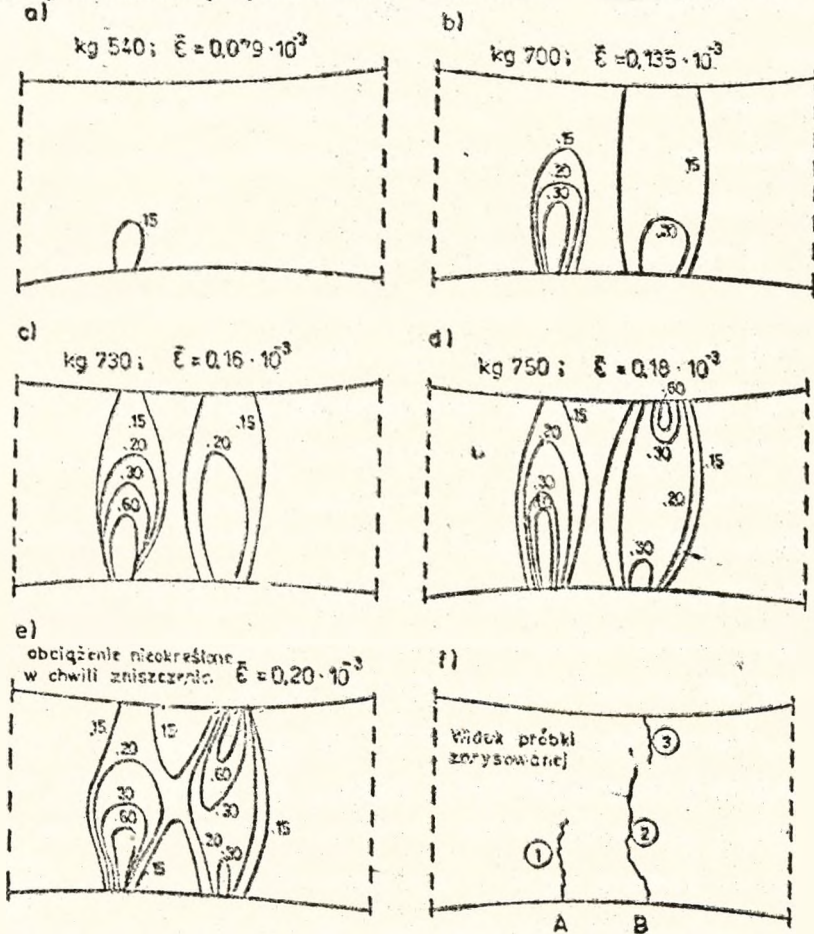
przekroju, jednej rysy - rysy dyskretnej - możliwej do wnikliwej oceny. Obserwacja rozwoju rys w "strefie mikropęknięć" oraz rysy dyskretnej - na podstawie badań [8], są przedmiotem tego artykułu.

## 2. Mechanizm zniszczenia próbek rozciąganych o stałym przekroju

W badaniach betonu rozciąganego przy pomocy różnego rodzaju tensometrów otrzymuje się uśrednione wartości odkształceń z określonego obszaru próbki a rejestracja wydłużenia jest praktycznie możliwa do chwili zarysowania betonu. Możliwość orientacji w którym przekroju nastąpi zniszczenie próbki - jak to już wyżej powiedziano - jest zupełnie przypadkowa. Uniemożliwia to dokładniejszą obserwację przekroju krytycznego z obszarem do niego przyległym. Studia pola odkształceń na bocznych powierzchniach rozciąganych próbek pryzmatycznych, prowadzone techniką interferometryczną w świetle laserowym wykazały, że pole to - przed zniszczeniem - staje się nieregularne i zmienne. Po pojawieniu się pierwszej strefy koncentracji odkształceń możliwe jest pojawienie się drugiej i więcej takich stref - w bliskiej lub dalszej odległości od pierwszej. Problem przedstawiono, w oparciu o badania [8], na rys 1. Próbka betonowa o przekroju ca 80/80 mm osiowo rozciągana. Brak informacji o klasie betonu.

Kolejno powstające strefy koncentracji odkształceń A i B oraz rysy 1, 2 i 3 przyporządkowano określonym wielkościom siły rozciągającej. Rozwój pola odkształceń obserwowany techniką interferometryczną w świetle laserowym przedstawiono przy pomocy charakterystycznych linii, tworzących linie jednakowych od-

kształceń (izodeformacji) w przedziałach  $\bar{\epsilon} = 0,15 \cdot 10^{-3}$ ;  $0,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $0,3 \cdot 10^{-3}$  i  $0,6 \cdot 10^{-3}$ . Wyboru początkowej charakterystycznej wartości odkształcenia  $\bar{\epsilon} = 0,15 \cdot 10^{-3}$  dokonano w oparciu o badania [9] gdzie stwierdzono, że odkształcenie odpowiadające pierwszej zauważonej rysie miało wartość  $\bar{\epsilon} \geq 0,135 \cdot 10^{-3}$ .



Rys.1. Różwój odkształceń i zniszczenia w próbce betonowej o stałym przekroju.

Również Kaplan [10] podaje, że odchylenie od prostej na wykre-

sie  $\epsilon - \xi$ , będące początkiem zarysowania, objawia się przy  $\xi \gg 0,12 \cdot 10^{-3}$ .

Wg autorów [8] odkształcenie odpowiadające wartości  $\xi \leq 0,15 \cdot 10^{-3}$  po odciążeniu próbki - wskazuje na tendencję regresji nawet do wartości zerowej. Pozostałe linie izodeformacji charakterystycznych o podanych na rys.1 wartościach dobrano tak by czytelnie przedstawić rozwój i wielkość odkształceń w przekrojach krytycznych. Linia izodeformacji  $0,6 \cdot 10^{-3}$  jest, wg autorów [8], potwierdzeniem wyników uzyskanych wcześniej w badaniach [9].

Z rys.1a wynika, że w strefie A, przy obciążeniu  $\sim 540$  kg, pojawia się pole odkształceń które przy kolejnym obciążeniu  $\sim 700$  kg obejmuje już  $3/4$  wysokości próbki - osiągając wartość charakterystyczną izodeformacji  $0,3 \cdot 10^{-3}$  - przy średnim odkształceniu obszaru  $\xi = 0,135 \cdot 10^{-3}$ . Przy tym obciążeniu pojawiła się druga strefa koncentracji odkształceń - B, obejmująca całą wysokość przekroju.

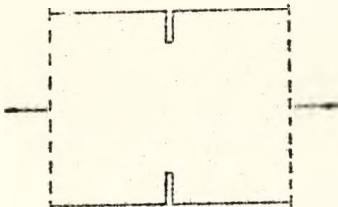
Kolejne obciążenia, odpowiadające im linie izodeformacji a przy tym odkształcenia średnie, zarejestrowane na tensometrach elektrooporowych podano na rys.1c+1e. Rys.1f informuje o kolejności pojawiania się rys w obu strefach. Ostatecznie zerwanie próbki nastąpiło w strefie B, w przekrojach przez rysy 2 i 3.

### 3. Rozwój zarysowania w próbkach z przekrojem naciętym

Przez próbki z przekrojem naciętym, omawiane w nin. pracy, należy rozumieć próbki betonowe rozciągane z dwustronnym sy-

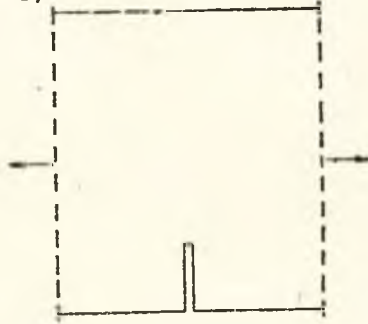
metrycznym nacięciem (rys.2a) lub nacięciem jednostronnym (rys.2b). Badania zależności  $\sigma - \varepsilon$  na próbkach z symetrycznym nacięciem dwustronnym prowadził Reinhardt [6] oraz Gopalaraman i Shah [7]. W obu przypadkach pomiar odkształceń betonu przeprowadzono przy pomocy tensometrów elektrooporowych.

a)



Rys.2a. Próbką z nacięciem dwustronnym [7].

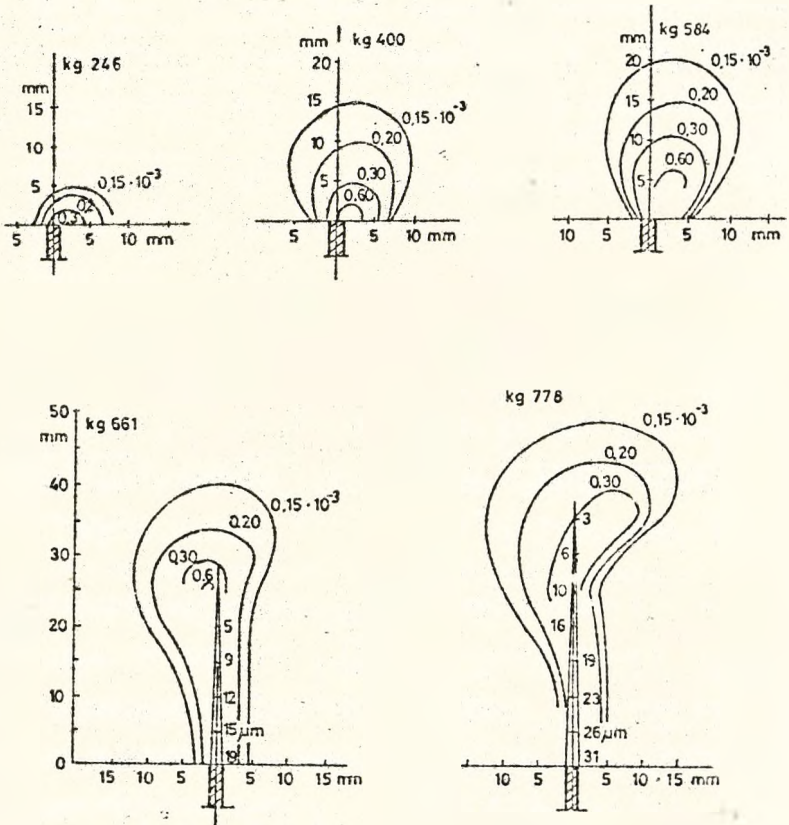
b)



Rys.2b. Próbką z nacięciem jednostronnym [8].

Badania na próbkach betonowych, z nacięciem jednostronnym, rozciąganych prowadzili autorzy [8], których pewne spostrzeżenia w tym zakresie omówiono w dalszej części opracowania. Nacięcie przekroju - jak to na wstępie stwierdzono - ma na celu "wymuszenie" powstania rysy dyskretnej (pojedynczej). Obserwacje pola odkształceń w przekroju naciętym, pod obciążeniem narastającym, prowadzono przy pomocy tensometrów elektrooporowych oraz techniką laserową - otrzymując średnie wartości odkształceń (tensometry) oraz rozkład pola odkształceń w sąsiedztwie przekroju zarysowanego w postaci linii jednakowych odkształceń (izodeformacji) - uzyskane techniką laserową. Obraz rozwoju pola odkształceń, obserwowany techniką interferometryczną w świetle laserowym, pod narastającym obciążeniem - przedstawiono na rys.3 na przykładzie jednej próbki badaw-

część z betonu o przekroju 80/80 mm, naciętej jednostronnie na głębokość  $a=18$  mm i szerokości nacięcia  $w=2$  mm (rys 2b).



Rys.3. Linie odkształceń (izodeformacji) i szerokości rozwarcia rys przy różnych stopniach obciążenia.

#### 4. Podsumowanie

Prezentowany wyżej materiał można uzupełnić dodatkowymi, wynikającymi z badań, uwagami:

a. rozwój rys w betonie rozciągany następuje przy odkształ-

- eniach betonu  $\epsilon \geq 0,12 \cdot 10^{-3}$ , przy czym w badaniach autotrów [8] odkształcenie na poziomie  $0,15 \cdot 10^{-3}$  charakteryzuje już strefę mikropęknięć od obciążeń zewnętrznych,
- b. sposób badania pola odkształceń nie ujawnia mikrozarysowań w betonie powstałych wcześniej, np. w wyniku skurczu,
- c. największe naprężenie - odkształcenie obserwuje się w wierzchołku rysy - przy szerokości rozwarcia  $w=0$ .

## Literatura

- [1]. Fehling E., König G., Scheidler D.: Use of tensile strength of concrete in design. CEB.Bulletin d'Information N° 178/179 - 1987.
- [2]. Glücklich J.: Fracture of plain concrete. Proc. ASCE, Eng. Mech. Div. - 1963.
- [3]. Lott J.L., Kesler C.E.: Crack propagation in plain concrete. T.A.A.M. Report N° 648. University of Illinois - 1964.
- [4]. Welch G.B., Haisman B.: The application of fracture mechanics to concrete. Materiaux e. Constructions. - 1969.
- [5]. Kochanow L.M.: Time of the rupture process under creep conditions. Izd.Akd.Nauk SSSR - 1958.
- [6]. Reinhardt H.W.: Verhalten des Betons im verformungsgesteuerten axialen Zugversuch. Fortschritte im konstruktiven Ingenieurbau. Rehm - Festschrift. Okt/1984.
- [7]. Gopalaratnam V.S., Shah S.P.: Softening response of plain concrete in direct tension. Forschungsbericht des Technological Institute, Northwestern University, Illinois 60201 June - 1984.

- [8]. Dei Poli S., Iori I.: Osservazione e rilievi sul comportamento a trazione del calcestruzzi, analisi di risultanze sperimentali. Studi Ricerche - Vol.8, 1986. Politecnica di Milano.
- [9]. Evans R.H., Marathe M.S.: Microcracking a. stress-strain curves for concrete in tension. Materiaux e. constructions - 1968.
- [10]. Kaplan M.F.: Strains a. stresses of concrete at initiation of cracking a. near failure. ACI Journal - 1963.