ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: BUDOWNICTWO z. 60 Nr kol. 841

Wiesław ZAMOROWSKI

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE BETONU DOJRZEWAJĄCEGO POD DZIAŁANIEM DŁUGOTRWAŁYCH NAPRĘŻEŃ ROZCIĄGAJĄCYCH

Streszczenie. Przeprowadzono porównawcze badania wytrzymałości betonu na rozciąganie osiowe (po 28 dniach) R_z^{28}, na próbkach dojrzewających przy działaniu długotrwałych naprężeń rozciągających $\sigma(T)$ oraz na próbkach swobodnych. Wykazano, że zachodzi istotny związek między wytrzymałością R_z^{28} a poziomem długotrwałego obciążenia $\eta = \sigma(T)/R_z(T)$. Najkorzystniejszy wpływ długotrwałych rozciągań na R_z^{28} występuje dla η zawartych w przedziale 0,28÷0,56, wyraźny zaś spadek wytrzymałości R_z^{28} zaznacza się już dla η = 0,70.

1. WSTĘP

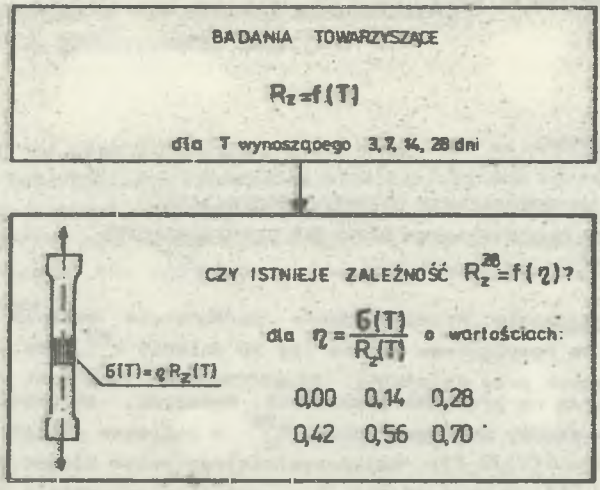
Wyniki badań dostępne w przedmiotowej literaturze wskazują, że istnieje wyraźny efekt wzmocnienia betonu pod działaniem długotrwałych naprężeń ściskających [1, 3, 7]. Autorzy tych badań określają przedział optymalnych wartości naprężeń długotrwałych, przy których wzmocnienie jest największe. W przypadku betonu rozciąganego literatura dostarcza jedynie ogólnych informacji na ten temat [2, 4, 5].

Celem badań własnych było rozpoznanie, czy rozwój wytrzymałości betonu na rozciąganie w elemencie poddanym działaniu długotrwałych rozciągań przebiega podobnie jak w elemencie swobodnym. W przypadku stwierdzenia różnic należało określić zależność tej wytrzymałości od poziomu długotrwałych naprężeń. Badania stanowiły część składową kompleksowych doświadczeń dotyczących odporności betonu na zarysowanie skurczowe [9].

2. METODA, PLAN I OPIS EKSPERYMENTU

Badania wytrzymałości betonu na rozciąganie przeprowadzono na elementach próbnych, które dojrzewały pod działaniem długotrwałych obciążeń rozciągających przez okres 27 dni od czasu ich rozformowania. Próbki wyjęto z formy po upływie jednej doby od chwili ich zabetonowania. Naprężenia utrzymywano na takim poziomie, by $\eta = \frac{\sigma(T)}{R_z(T)}$ = const.

Badaniami objęto sześć grup próbek, przy czym dla każdej grupy przewidziana była inna wartość stosunku η. Przebieg wytrzymałości na rozciąga-

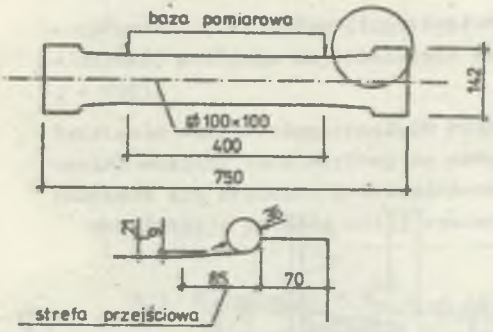


Rys. 1. Plan badań wpływu długotrwałych rozciągań na wytrzymałość R_z^{28}

nie $R_z(T)$ - potrzebny do ustalenia poziomu naprężeń, które wymuszano w próbkach - określano zawsze z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym. Ideowy schemat badań przedstawiono na rys. 1, a liczby elementów próbnych zamieszczono w tablicy 1. Ze względu na dużą liczbę próbek należało wykonać kilka zarobów. Próbki rozdzielano na poszczególne terminy i grupy na podstawie wyboru losowego. Elementy doświadczalne przechowywano i badano w pracowni laboratoryjnej przy temperaturze otoczenia 20 ± 1°C i wilgotności względnej powietrza 85 ± 2%. Skład 1 m^3 mieszanki betonowej przedstawiał się następująco: cement portlandzki 35-243 kg, kruszywo (pospółka i piasek rzeczny) - 2084 kg, woda - 134 l.

Tablica 1

Nr zarobu	Liczby próbek do określenia $R_z^{(T)}$ dla poszczególnych terminów T [dni]					
	3	7	14	28		
1	3	3	3	3		
2	3	3	3	3		
3	3	3	3	3		
	Liczby próbek do określenia R_z^{28} dla poszczególnych poziomów η					
	0,00	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70
4	3	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3



Rys. 2. Kształt elementu doświadczalnego

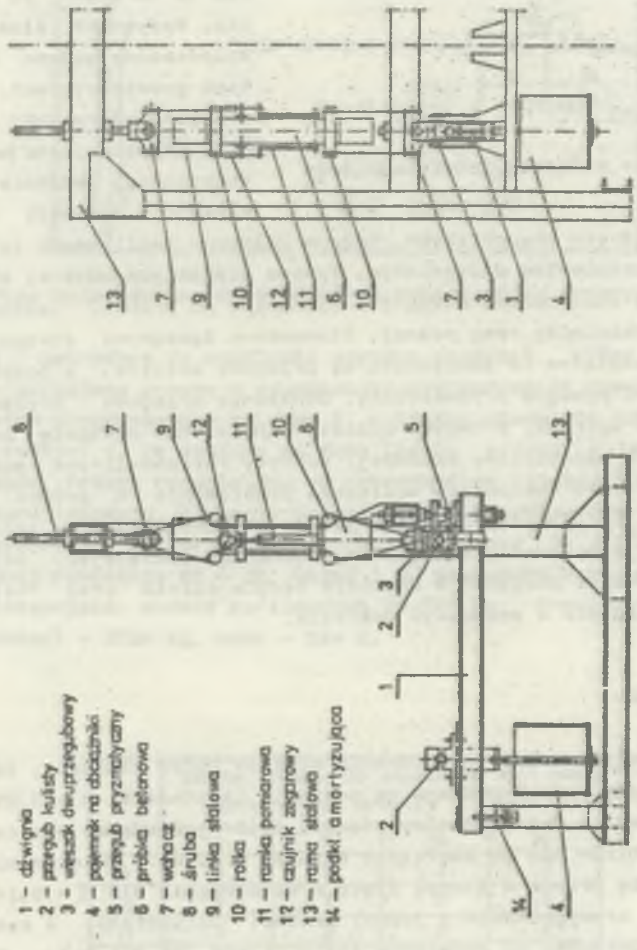
Kształt elementu doświadczalnego przedstawiono na rysunku 2. Badania wytrzymałości na rozciąganie elementów dojrzewających pod obciążeniem polegało na ich dociążeniu (w 28 dniu) aż do zerwania. Wszystkie elementy doświadczalne badano w pełzarkach grawitacyjnych. Przedstawiona na rysunku 3 pełzarka[1)] przystosowana jest do jednoczesnego badania sześciu elementów próbnych zamocowanych w niezależnych stanowiskach. Siła w pełzarce realizowana jest grawitacyjnie z przełożeniem dźwigniowym. Typowe stanowisko pełzarki składa się z pojemnika na obciążenie, dźwigni i wieszaków do próbek. Całość zabudowana jest w szkielecie ramy nośnej. Elementami łączącymi dźwignie z wieszakiem i pojemnikiem na obciążniki są przeguby kuliste, a podporę stałą dźwigni stanowi przegub pryzmatyczny. Obniżenie przegubu pryzmatycznego względem linii łączącej przeguby kuliste zabezpiecza dźwignię przed wychyleniem jej z płaszczyzny pionowej. Uchwyty rolkowo-linowe połączone z wahaczami nie tylko wykluczają możliwość powstawania w próbce momentów utwierdzenia, lecz również umożliwiają (po nałożeniu warstwy smaru) samoczynną regulację osiowości obciążenia. Mechanizm obciążający pełzarki umożliwia utrzymanie obciążeń w dowolnie długim czasie oraz realizowanie prędkości obciążania w pożądanym zakresie.

3. WYNIKI BADAŃ

Przed przystąpieniem do opracowania wyników badań założono, że analizy statystyczne będą przeprowadzane na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Sprawdzono, czy materiał doświadczalny stanowi zbiór jednorodny oraz czy skrajne wartości wyników nie są obarczone błędami grubymi. Różnice między zaplanowaną liczbą próbek a liczbą ujętą w opracowaniu dla $\varphi = 0,14$ wynikła z konieczności zrezygnowania z jednej próbki, uszkodzonej w czasie rozformowywania. Odrzuceń na podstawie testu Dixona [8] nie było. Jednorodność zbioru elementów doświadczalnych, wyprodukowanych z sześciu zarobów, sprawdzono stosując analizę wariancji dla wytrzymałości R_z^{28} próbek dojrzewających bez obciążenia. Obliczona wartość statystyki $F = 1,69$ w porównaniu z $F_{0,05;5;12} = 3,11$ oznacza, że nie istniał dodatkowy czynnik między grupami próbek wykonanych z poszczególnych zarobów.

---

1) Współautorem projektu pełzarki jest doc. dr inż. Z. Sulimowski.



Rys. 3. Schemat dźwigniowej pełzarki wielostanowiskowej

Zgodnie z celem badań należało:

- sprawdzić, czy wpływ długotrwałych rozciągań na R_z^{28} jest istotny oraz
- uzyskać możliwie najpełniejsze informacje o funkcji odpowiedzi $R_z^{28} = f(\eta)$.

Istotność wpływu długotrwałych rozciągań na R_z^{28} sprawdzono przed wykonaniem analizy korelacyjnej za pomocą testu t. Wybrano dwie najbardziej różniące się średnie, które porównano ze średnią dla $\eta = 0,00$.

Weryfikacji poddano niżej wymienione hipotezy zerowe:

$$H_o: \; R_z^{28}(\eta=0,0) = R_z^{28}(\eta=0,421) \tag{1}$$

$$H_o: \; R_z^{28}(\eta=0,0) = R_z^{28}(\eta=0,702) \tag{2}$$

Uprzednio dowiedziono równości oszacowanych wariancji testem Bartletta. Weryfikując hipotezy (1) i (2) rozpatrzono również hipotezy alternatywne ($H_1: X_1 \neq X_2$), stosując przy tym test dwustronny. Obliczone wartości statystyk wynosiły: dla (1) $t = 2,14$, a dla (2) $t = 2,88$ wobec $t_{0,05;16} = 2,12$. Hipotezy zerowe H_o należało zatem odrzucić i przyjąć hipotezy alternatywne, co oznacza, że między rozpatrywanymi średnimi w obydwu przypadkach jest istotna różnica. Powyższy wniosek wskazuje na potrzebę przeprowadzenia analizy korelacyjnej.

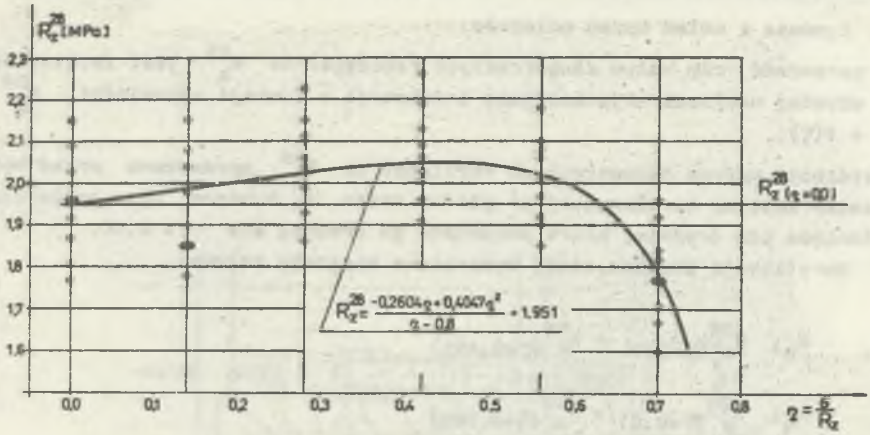
Wyniki badań naniesione na układ współrzędnych O, η, R_z^{28} wskazują, że istnieje maksimum poszukiwanej funkcji w objętym badaniami przedziale η. Ponadto na podstawie literatury [2] należy sądzić, że długotrwałe naprężenia $\sigma \cong 0,8\, R_z$ (R_z - wytrzymałość doraźna) powodują zniszczenie badanego elementu. Oznacza to gwałtowny spadek wartości funkcji dla η zbliżających się do 0,8 (asymptota pionowa). Niżej przedstawioną funkcję poddano analizie korelacyjnej [6]. Przebieg jej może spełniać określone powyżej warunki:

$$R_z^{28} - 1,951 = \frac{a_1\eta + a_2\eta^2 + a_3\eta^3}{\eta - 0,8} \tag{3}$$

Wartość 1,951 znajdująca się po lewej stronie wyrażenia jest średnią wytrzymałością w (MPa) próbek nie obciążonych ($\eta = 0$). Po wyeliminowaniu z (3) nieistotnego współczynnika a_3 uzyskano funkcję, która dość dobrze wpisuje się w wyniki badań - rysunek 4. Funkcja ta przyjmuje postać:

$$R_z^{28} = \frac{-0,2604\eta + 0,4047\eta^2}{\eta - 0,8} + 1,951 \tag{4}$$

Wartości testu t dla współczynników regresji wynoszą: dla a_1: $t = 4,94$, dla a_2: $t = 5,24$ wobec $t_{0,05;51} = 2,01$ - co oznacza, że oba współczyn-



Rys. 4. Zależność wytrzymałości R_z^{28} od stosunku η

niki są istotne. Współczynnik korelacji przyjmuje wartość R = 0,64, statystyka F = 17,4 jest większa od wartości $F_{0,05;2;51}$ = 3,18 - co oznacza że funkcja regresji jest istotna mimo niezbyt dużej wartości R.

Udowodniony powyżej za pomocą testu F wpływ czynnika potwierdza rezultat przeprowadzonego wcześniej testu t dla różnicy między dwiema średnimi.

4. WNIOSKI

Analiza wyników badań próbek dojrzewających przy działaniu długotrwałych naprężeń rozciągających $\sigma(T)$ wykazała, że zachodzi istotny związek między wytrzymałością na rozciąganie R_z^{28} a stosunkiem $\eta = \frac{\sigma(T)}{R_z(T)}$. Na podstawie przedstawionych na rys. 4 rezultatów doświadczeń można wnioskować, że najkorzystniejszy wpływ długotrwałych rozciągań na R_z^{28} występuje dla η zawartych w przedziale od 0,28 do 0,56. Wyraźny zaś spadek wytrzymałości R_z^{28} zaznacza się już dla η = 0,70.

LITERATURA

[1] Berg O.J., Hromiec J.N.: Wlijanie dlitel'nogo zagruźenija na procznostnye i deformatiwnye swojstwa betona. Trudy WNIITS, wyp. 60, Moskwa 1966.

[2] Gruszko I.M., Il'in A.G., Raszewskij S.T.: Procznost' betonow na rastjażenie. Izd. Charkowskogo Uniwersiteta, Charkow 1973.

[3] Król M.: Wytrzymałość betonu w warunkach długotrwałego nacisku. Inżynieria i Budownictwo nr 2, 1984.

[4] Makarenko L.P., Fanko G.A.: Wlijanie usadki i polzuczesti pri dlitelnoe obżatii betonow na ich treszczinostojkost' i procznost' pri posledujuszczem rastjażenii. Polzuczest i usadka betona, Moskwa 1969.

[5] Maĭcow K.A., Dubjago W.D., Szirjaewa L.A.: O dlitelnoj procznosti betona pri rastjażenii. Trudy WNIIG, WYP 99, Energija, Leningrad 1975.

[6] Mańczak K.: Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971.

[7] Satalkin A.W.: Rannee nagrużenie betona i jego prakticzeskoje primenenie. Szestaja Leningr. Konferencija po betonu i żelezobetonu. Strojizdat 1971.

[8] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1973.

[9] Zamorowski W.: Odporność na zarysowanie skurczowe elementów betonowych dojrzewających bez swobody odkształceń. Praca doktorska. Gliwice 1983.

ПРОЧНОСТЬ НА РАСТЯЖЕНИЕ БЕТОНА ЗАТВЕРДЕВАЮЩЕГО ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Р е з ю м е

Проведены сравнительные исследования прочности бетона на осевое растяжение (после 28 дней) R_z^{28} на образцах, затвердевающих при воздействии длительных растягивающих напряжений $\sigma(T)$, а также на ненагруженных образцах. Показано, что имеется существенная связь между прочностью R_z^{28} и величиной длительной нагрузки $\eta = \frac{\sigma(T)}{R_z(T)}$. Наиболее благоприятное влияние длительных растяжений на R_z^{28} имеет место для величин η от 0,28 до 0,56. Резкое падение прочности R_z^{28} отмечается уже при $\eta = 0,7$.

TENSILE STRENGTH OF CONCRETE SUBJECTED TO LONG-TERM TENSILE STRESSES WHILE MATURING

S u m m a r y

Comperative teste of ultimate strength under exial tension R_z^{28} have been carried out on two groups of samples (each after 28 days): the first group maturing under long-term tensile stresses $\sigma(T)$ and the others left free from tensions. An evident relation between R_z^{28} and the level of long-term load $\eta = \frac{\sigma(T)}{R_z(T)}$ has been proved. Long-term tensions characterised by a value of η belonging to the interval 0,28÷0,56 had the most positive influence on R_z^{28}, while those of $\eta \geq 0,70$ lead to a noticable decrease of R_z^{28}.