Badania przyczepności podwodnych betonów naprawczych do powierzchni pionowych

Dr hab. inż., prof. ZUT Elżbieta Horszczaruk, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, mgr inż. Piotr Brzozowski, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, dr inż. Tomasz Rudnicki, Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

1. Wprowadzenie

Remonty i naprawy betonowych konstrukcji hydrotechnicznych należą do jednych z bardziej skomplikowanych prac budowlanych ze względu na rodzaje oddziaływań zewnętrznych na konstrukcje i wynikającą z tych oddziaływań oraz funkcji użytkowych specyfikę konstrukcji obiektów hydrotechnicznych. Dynamiczny rozwój technologii betonu spowodował, że w przypadku remontu obiektów hydrotechnicznych wymagających zastosowania okładzin żelbetowych coraz częściej wykorzystuje się betony układane pod wodą [8, 9]. Ze względu na specyfikę środowiska oddziałującego na elementy konstrukcji hydrotechnicznych narażone na stałe oddziaływanie wody, podwodne prace naprawcze należą do najtrudniejszych zarówno pod względem wykonania, jak i projektowania materiałów i systemów naprawczych, opartych w dużej mierze na betonach i zaprawach cementowych.

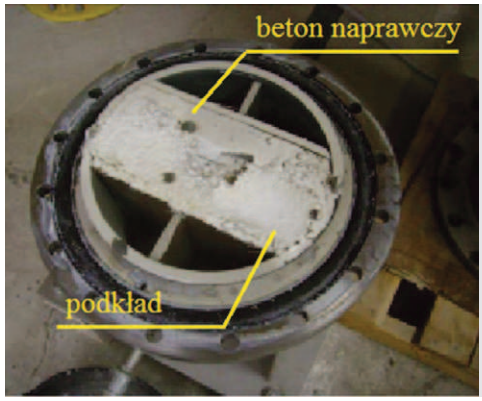
Jednym z najistotniejszych czynników warunkujących skuteczność i trwałość naprawy jest odpowiedni dobór materiału naprawczego [3–5]. Powinien on zapewnić dobrą współpracę wszystkich komponentów układu naprawczego, co prowadzi do konieczności analizy wielkowymiarowej przestrzeni dobrej współpracy w układzie naprawczym [6]. Lepsza jakość zespolenia i wynikające z niej zwiększenie przyczepności warstwy naprawczej do podłoża betonowego traktowane jest jako czynnik zwiększający tolerancję na pewną niekompatybilność układu naprawczego [1, 2, 6]. Zapewnienie właściwej jakości zespolenia jest więc podstawowym wymogiem przy wykonywaniu naprawy.

2. Metodyka prowadzenia badań

W badaniach przyczepności podwodnego betonu naprawczego do powierzchni pionowych (złącze pionowe) zastosowano dwa rodzaje obróbki powierzchni podkładów pionowych imitujących pionową ścianę naprawianego elementu betonowego: obróbkę powierzchni przez kucie ręczne młotem pneumatycznym – na głębokość 1–2 cm oraz obróbkę powierzchni poprzez piaskowanie na głębokość około 1 cm. Wiek podkładów pionowych w momencie badania wynosił około 3 miesięcy, a powierzchniowa wytrzymałość betonu na rozciąganie oznaczona metodą pull-off wg normy PN-EN 1542 wynosiła powyżej 3 MPa.

Skład betonu naprawczego (ilość składników na 1 m3 betonu) stosowanego w badaniach przyczepności b ył następujący: cement CEM I 42,5N – 429 kg, woda – 171 kg, piasek –754 kg, żwir 2/8 mm – 1115 kg, domieszka stabilizująca – 4,3 kg, superplastyfikator – 11,5 kg.

Zastosowano specjalny zbiornik ciśnieniowy umożliwiający dojrzewanie betonu podwodnego w warunkach oddziaływania zmiennego ciśnienia hydrostatycznego. Konstrukcję zbiornika i metodykę prowadzenia badań opisano szczegółowo w pracy [7]. Podkład pionowy wraz z szalunkiem umieszczano na dnie formy zbiornika ciśnieniowego i układano warstwę naprawczą grubości około 50 mm. W celu zapewnienia stabilizacji położenia podkładu i całego złącza po zabetonowaniu, w formie PVC zastosowano specjalny szalunek, wykonany z wodoodpornej sklejki. Po zamknięciu zbiornika



Rys. 1. *Element próbny po zakończeniu badań w zbiorniku ciśnieniowym*

Rys. 2. *Element próbny przygotowany do badań przyczepności metodą pull-off*

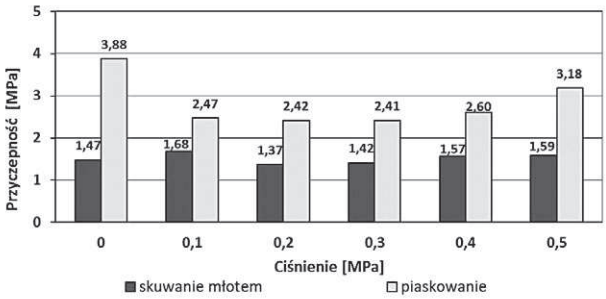
napełniano go wodą i zadawano ciśnienie hydrostatyczne od 0,1 do 0,5 MPa. Czas badania w zbiorniku każdorazowo wynosił 7 dni.

Po 7 dniach elementy próbne (rys. 1) wyjmowano ze zbiornika i po rozformowaniu umieszczano w wannie z wodą o temperaturze 20±2°C. Po 28 dniach od nałożenia warstwy naprawczej elementy osuszano powierzchniowo. Przed naklejeniem krążków stalowych do badań pull-off powierzchnia elementów była przycinana i wyrównywana poprzez szlifowanie. Liczba krążków naklejanych na warstwie naprawczej wynosiła każdorazowo 6 sztuk (rys. 2).

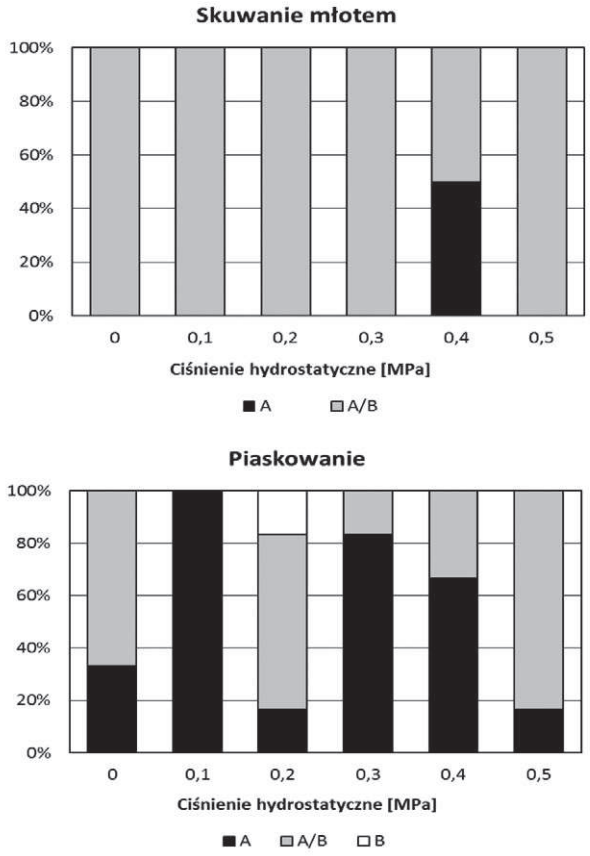
Badania przyczepności wykonano zgodnie z normą PN-EN-1542. Uzyskane wyniki badań przyczepności betonów naprawczych w złączu pionowym w warunkach oddziaływania ciśnienia hydrostatycznego porównano z wynikami uzyskanymi dla betonów naprawczych badanych w laboratorium w warunkach oddziaływania ciśnienia atmosferycznego.

3. Wyniki badań i ich omówienie

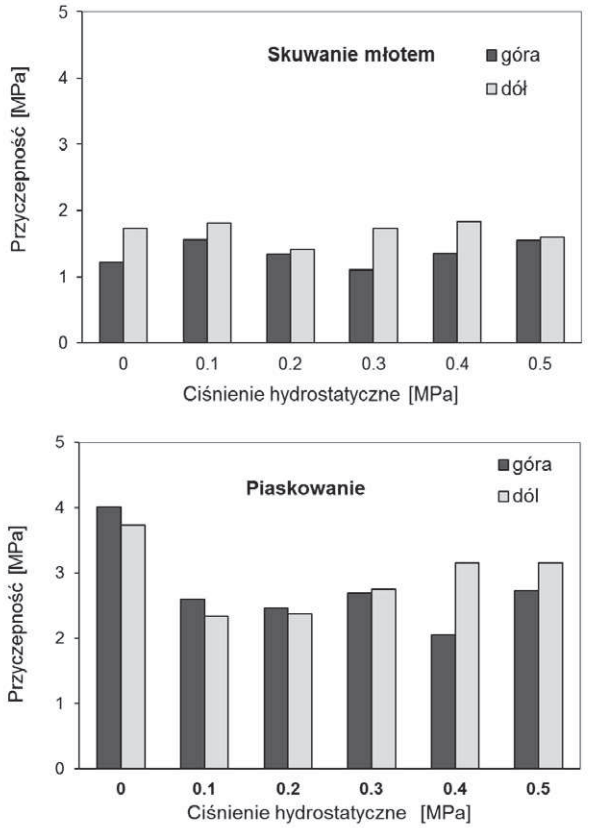
Średnie wartości przyczepności betonu naprawczego do podkładów pionowych kutych i piaskowanych, przy różnych wartościach ciśnienia hydrostatycznego przedstawiono na rysunku 3. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w przypadku powierzchni piaskowanych przyczepność badanych betonów naprawczych była znacznie wyższa niż w przypadku powierzchni skuwanych młotem. W obu przypadkach zaobserwowano negatywny wpływ ciśnienia hydrostatycznego na przyczepność podwodnego betonu naprawczego do powierzchni pionowych. Szczególnie jest to widoczne w przypadku pionowych podkładów piaskowanych, gdzie przyczepność do podłoża betonu naprawczego niezależnie od wartości ciśnienia hydrostatycznego spada nawet ponad 30% w stosunku do próbek referencyjnych (ciśnienie atmosferyczne). Pomimo zaobserwowanego wyraźnego spadku przyczepności dla podkładów piaskowanych w warunkach oddziaływania ciśnienia hydrostatycznego, dla wszystkich wartości ciśnienia beton naprawczy uzyskał przyczepność powyżej 2 MPa. Obserwowany spadek przyczepności betonu naprawczego do podłoża piaskowanego można tłumaczyć mniejszym rozwinięciem powierzchni niż dla powierzchni kutych, co przy naprężeniach ścinających powstających w płaszczyźnie styku na skutek oddziaływania ciśnienia, może mieć istotne znaczenie dla uzyskania większej przyczepności. Dla powierzchni kutych młotem przyczepność betonu naprawczego do podłoża nieznacznie spadła przy ciśnieniu hydrostatycznym 0,2 i 0,3 MPa, a w przypadku pozostałych wartości ciśnienia zaobserwowano bardzo niewielki wzrost przyczepności betonu do podłoża w porównaniu do elementu referencyjnego (ciśnienie atmosferyczne). Znacznie niższa wartość sił przyczepności



Rys. 3. *Wyniki badań przyczepności betonu naprawczego do podkładów pionowych*



Rys. 4. *Typy zerwań w badaniu przyczepności metodą pull-off w złączu pionowym: A – zniszczenie kohezyjne w podłożu betonowym, A/B – zniszczenie adhezyjne na powierzchni rozdziału pomiędzy podkładem a materiałem naprawczym, B – zniszczenie kohezyjne w warstwie naprawczej*



Rys. 5. *Wpływ lokalizacji miejsca zerwania w złączu pionowym na przyczepność do podłoża betonu naprawczego*

uzyskana w przypadku zastosowania podkładów kutych może być wynikiem większej liczby mikrozarysowań i spękań powierzchni, jakie występują przy obróbce w trakcie kucia młotem niż w przypadku powierzchni piaskowanych.

Wyniki wizualnej oceny sposobu zniszczenia w badaniu przyczepności podwodnego betonu naprawczego do powierzchni pionowych przedstawiono na rysunku 4. Dla betonów naprawczych ułożonych na podkładach pionowych kutych młotem zanotowano w większości przypadków zniszczenia adhezyjne w płaszczyźnie zespolenia. W przypadku betonów naprawczych ułożonych na podkładach o powierzchniach piaskowanych zaobserwowano znaczący wzrost liczby zerwań kohezyjnych w podkładzie. Nie stwierdzono wyraźnej zależności między ilością zniszczeń kohezyjnych w podkładzie a ciśnieniem hydrostatycznym działającym na układ naprawczy.

Uzyskane wyniki badań przyczepności podwodnego betonu naprawczego do powierzchni pionowych poddano szczegółowej analizie z uwzględnieniem ich położenia w złączu pionowym (rys. 5). Stwierdzono, że w przypadku podłoża młotkowanego przyczepność betonu naprawczego w górnej części złącza była każdorazowo niższa niż przyczepność w części dolnej. W przypadku powierzchni piaskowanych zjawisko to zaobserwowano dopiero przy wartości ciśnienia hydrostatycznego 0,3 MPa, a dla ciśnienia 0,5 MPa zanotowano spadek przyczepności w części górnej złącza o ponad 50% w stosunku do przyczepności betonu dla elementu referencyjnego (ciśnienie atmosferyczne) w górnej części złącza. W dolnych częściach złącza pionowego zaobserwowano tendencję wzrostu przyczepności betonu naprawczego wraz ze wzrostem ciśnienia hydrostatycznego.

4. Podsumowanie

Badania laboratoryjne potwierdziły obserwowane w praktyce inżynierskiej różnice w przyczepności betonu naprawczego w zależności od jego położenia w złączu pionowym. Jako wytłumaczenie niższego poziomu adhezji w górnych częściach złącza pionowego można podać różnice w gęstości materiałów podkładu i mieszanki betonowej, co przy działaniu ciśnienia hydrostatycznego podczas betonowania pod wodą powoduje powstanie dodatkowych naprężeń ścinających na powierzchni zespolenia. W następstwie oddziaływania ciśnienia hydrostatycznego w górnej części złącza pionowego może dochodzić nawet do całkowitego odspojenia betonu naprawczego. Dlatego oprócz starannego przygotowania powierzchni naprawianego betonu, w górnej części złącza pionowego zaleca się zastosowanie dodatkowego zbrojenia w celu zwiększenia przyczepności betonu naprawczego do podłoża.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy nr N N506 233139

BIBLIOGRAFIA

[1] Courard L., Parametric study for the creation of the interface between concrete and repairs products, Materials and Structures, Vol. 33/2000
[2] Courard L., Garbacz A., Piotrowski T., Effects of concrete surface quality on adhesion of repair mortars, CCC 2008 – Challenges for Civil Construction, Porto 2008
[3] Czarnecki L., Adhesion – A challenge for concrete repair, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II. (Alexander et al eds.), Taylor&Francis Group, London 2007
[4] Czarnecki L., Emmons P., Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Wyd. Polski Cement, Kraków 2002
[5] Czarnecki L., Głodkowska W., Piątek Z., Estimation of compatibility of polymer and polymer-cement composites with ordinary concrete under short-time load conditions, Archives of Civil Engineering, nr 1/2004
[6] Garbacz A., Courard L., Bissonnette B., A surface engineering approach applicable to concrete repair engineering, Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, nr 1/2013
[7] Horszczaruk E., Brzozowski P., Rudnicki T., Urządzenie do badań betonów podwodnych w warunkach oddziaływania ciśnienia hydrostatycznego, Przegląd Budowlany nr 6/2012
[8] Kańka S., Doświadczenia z betonowania fundamentu cylindrycznej wieży ujęcia wody z zastosowaniem betonu podwodnego, Inżynieria i Budownictwo nr 10/2011
[9] Kańka S., Sołtysik R., Przykłady zastosowania technologii betonowania pod wodą w remontach budowli hydrotechnicznych. Przegląd Budowlany nr 7-8/2010