

W artykule *Rama stalowa wypełniona murem z autoklawizowanego betonu komórkowego*, który został zaprezentowany podczas V Międzynarodowej Konferencji „Autoklawizowany Beton Komórkowy” (2011 r., Bydgoszcz), przedstawiono badania mające na celu ocenę proponowanych przez amerykański Komitet ds. Norm Murowych zasad określania sztywności i wytrzymałości konstrukcji szkieletowych wypełnionych murem z ABK.

dr inż. Shiv Shanker Ravichandran*
prof. dr inż. Richard E. Klingner**

Rama stalowa wypełniona murem z autoklawizowanego betonu komórkowego

Steel frame infilled with AAC masonry

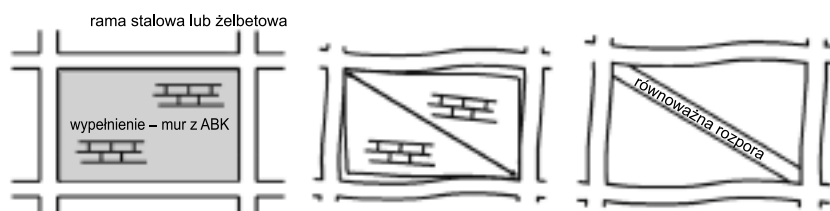
W ramach prac amerykańskiego Komitetu ds. Norm Murowych (MSJC) przygotowywany jest projekt przepisów dotyczących projektowania konstrukcji szkieletowych z murowanymi ścianami wypełniającymi. Ściany takie zwiększają sztywność i wytrzymałość na oddziaływanie poziome konstrukcji szkieletowej. W ten sposób zwiększa się również odporność całej konstrukcji budynku na oddziaływanie sejsmiczne. Przepisy zawierają zasady określania sztywności i wytrzymałości takich konstrukcji.

Celem przeprowadzonych badań była weryfikacja projektu MSJC pod kątem zastosowania wypełnienia murem z ABK. Przebadano ramy stalowe najpierw bez, a następnie z wypełnieniem z ABK. Na tej podstawie określono sztywność, wytrzymałość oraz model histerezy w przypadku wypełnienia murem z ABK.

Konstrukcje szkieletowe są często poddawane badaniom doświadczalnym i analitycznym. Wypełnienie jest zastępowane równoważną rozporą (rysunek 1) [1 – 6].

Badania

Stanowisko badawcze było typową dla konstrukcji szkieletowych ramą stalową zakotwioną w betonowej płycie podłogi laboratorium. W poziomie środka ciężkości górnego ryglu przykładowo obciążenie (2 siłowniki hydrauliczne

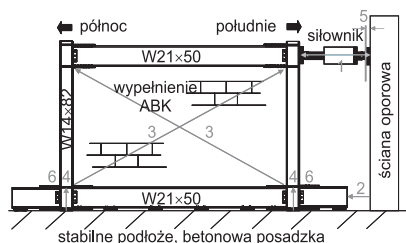


Rys. 1. Zasada zastępowania wypełnienia murem przez równoważną rozporę

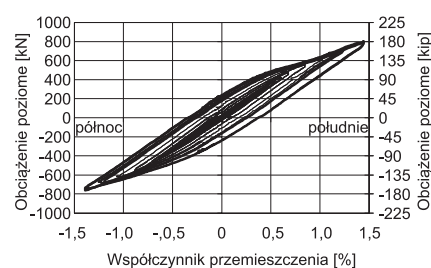
ne 445 kN, umieszczone symetrycznie w stosunku do osi podłużnej ramy. Podczas badań mierzono (rysunek 2):

- 1) odkształcenia ramy na poziomie środka ciężkości górnego ryglu w kierunku działania obciążenia;
- 2) przemieszczenia ramy w stosunku do podłoża;
- 3) deformację ramy;
- 4) pionowe przemieszczenia podstaw obydwu słupów;
- 5) przemieszczenia zestawu obciążeniowego w stosunku do ściany oporowej.

Na rysunku 3 pokazano wyniki badania ramy niewypełnionej. W czasie trwania i po zakończeniu badania zaobserwowano przemieszczenia stóp słupów (1,04%) w miejscach oznaczonych na rysunku 2 jako 6.



Rys. 2. Stanowisko badawcze i oprzyrządowanie próbki badawczej



Rys. 3. Przemieszczenia niewypełnionej ramy od obciążenia poziomego

Po zakończeniu badania ramy niewypełnionej przywrócono jej położenie do pozycji wyjściowej i wypełniono murem z bloczków z ABK klasy 4 o wymiarach 200 x 200 x 610 mm. Korzystając z ASTM C1386, uzyskano średnią wytrzymałość na ściskanie ABK wynoszącą 4,5 MPa, czyli wyższą niż wartość podana dla klasy 4 (4 MPa). Warstwę wyrównawczą zaprawy pod pierwszą warstwą bloczków wykonano zgodnie z ASTM C270 jako Typ S, cementowo-wapienną (wg proporcji) i wymieszano z niewielką ilością zaprawy cienkowarstwowej. Kolejne warstwy bardzo dokładnie murowano na zaprawie cienkowarstwowej z wypełnionymi spoinami pionowymi. Przestrzenie po-

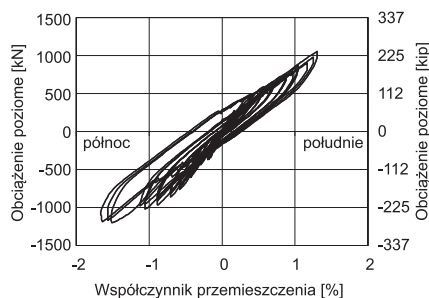
* Nabih Youssef Associates, Los Angeles, California, USA

** University of Texas, Austin, Teksas, USA

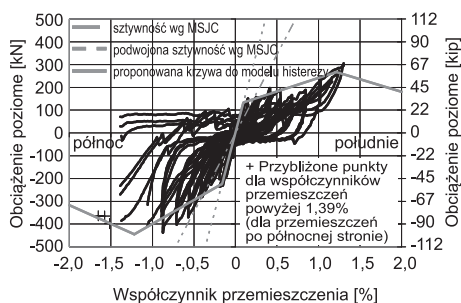
między ramą a murem wypełniano zaprawą użytą do wykonania warstwy wyrównawczej. Ubytki bloczków i pozostałe szczeliny wypełniono zaprawą naprawczą oraz cienkowarstwową.

Badania przeprowadzono po upływie miesiąca od czasu wykonania wypełnienia. Chociaż wypełnienie wyraźnie popękało we wszystkich narożach, a w pojedynczych miejscach uległo odkształceniu, to nie zaobserwowano jego odkształcenia z płaszczyzny. Badanie przerwano przed wystąpieniem oznak zniszczenia wypełnienia, aby ograniczyć odkształcenie stalowego szkieletu. Podczas badania nastąpiły przemieszczenia stóp słupów. Tensometry strunowe mierzące odkształcenie ramy na poziomie górnego rygla (oznaczone 1 na rysunku 2) poruszyły się, a zatem miało to wpływ na ich dalsze odczyty. Natomiast potencjometry strunowe mierzące odkształcenie ukośne wypełnienia (oznaczone jako 3 na rysunku 2) nie poruszyły się. Wyniki badania ramy wypełnionej przedstawiono na rysunku 4.

W celu określenia odpowiedzi samego wypełnienia murem z ABK (rysunek 5), odjęto wyniki dla ramy niewypełnionej (rysunek 3) od wyników dla ramy wypełnionej murem z ABK (rysunek 4).



Rys. 4. Przemieszczenia ramy wypełnionej murem z ABK od obciążenia poziomego



Rys. 5. Odpowiedź wypełnienia murem z ABK na poziome przemieszczenia oraz proponowana krzywa dla modelu histeretycznego Ibarry-Krawinklera

Ocena projektu MSJC

Rozwiązania zawarte w projekcie opracowanym przez MSJC opierają się na pojęciu rozporu równoważnej zilustrowanej na rysunku 1. Projekt ten zawiera równania do obliczania sztywności i wytrzymałości rozporu równoważnej. Określona na podstawie badań sztywność jest zbliżona do sztywności określonej wg projektu MSJC. Podczas badania wypełnienie nie uległo zniszczeniu, a jego wytrzymałość osiągnęła optimum dla współczynnika przesunięcia 1,39%. Zmierzone wytrzymałości wypełnienia z ABK były o 2,5 – 3,5 razy większe od wytrzymałości przewidywanej w projekcie MSJC. Oznacza to, że projekt MSJC określa sztywność i wytrzymałość z odpowiednim zapasem bezpieczeństwa.

Wnioski

Proponowane w projekcie MSJC wartości sztywności i wytrzymałości zostały porównane z wynikami badań ramy z wypełnieniem murem z ABK. O ile istnieje duża zgodność w przypadku sztywności, to wytrzymałość określana na podstawie projektu MSJC ma zapas bezpieczeństwa o współczynnika co najmniej 2,5 w odniesieniu do wytrzymałości uzyskanej w badaniach. W związku z tym wstępnie można uznać, że propozycje MSJC powinny znaleźć zastosowanie przy projektowaniu konstrukcji szkieletowych wypełnionych murowanymi ścianami z ABK. Jednak wiarygodne potwierdzenie tego zdecydowanie wymaga dalszych badań.

Analityczny model dla wypełnień murem z ABK zaproponowano w oparciu o metodę równoważnej rozporu, stosując model histerezy Ibarry-Krawinklera [7].

Streszczenie

Celem pracy było wyznaczenie sztywności bocznej, wytrzymałości i modelu histerezy ram stalowych wypełnionych autoklawizowanym betonem komórkowym (ABK). W pierwszym etapie stalowa rama została poddana cyklicznym obciążeniom od monotonicznie wstępujących przemieszczeń. Następnie ramę wypełniono murem z ABK i poddano takiej samej serii obciążeń. Porównanie uzyskanych w obu etapach wyników umożliwiło określenie modelu histerezy dla wypełnienia z ABK. Te informacje były pomocne przy weryfikacji pro-

jektu sposobu określania sztywności i wytrzymałości ścian wypełniających opracowanego przez Komitet ds. Norm Murowych (MSJC) w Stanach Zjednoczonych, a także umożliwiają kalibrację analitycznego modelu dla wypełnień z muru z ABK opartego na założeniu równoważnej rozporu.

Słowa kluczowe: ramy z wypełnieniem; ABK, autoklawizowany beton komórkowy; trzęsienie ziemi; projektowanie.

Abstract

The objective of the work was to determine in-plane lateral stiffness, strength and hysteric behavior of steel moment frames infilled with AAC. In the first step steel frame was tested under cycles of reversed loading to monotonically displacements. The frame was then infilled with ACC and was subjected to the same loading history. Comparison of the results on both steps enabled to extract hysteric model of the AAC infill. These informations were useful to verify draft equations for stiffness and strength of infills developed by the Masonry Standard Joint Committee (MSJC) in the United States. It is also used to calibrate an analytical model for ACC infills based on equivalent strut approach.

Literatura

- [1] Chiou Y.J., Tzeng J.C., Liou Y.W., 1999. Experimental and analytical study of masonry infilled frames", J. of Structural Engineering, ASCE, October, 1109 – 1117.
- [2] Flanagan R.D., Bennett R.M., 1999. In-plane behavior of structural clay tile infilled frames. J. of Structural Engineering, Vol. 125, No. 6, 590 – 599.
- [3] Flanagan R.D., Bennett R.M., 2001. In-plane analysis of masonry infill materials, Practice periodical on Structural Design and Construction, Vol. 6 No. 4, 176 – 182.
- [4] Liu Y., Li G., 2005. Experimental and theoretical research on lateral load resistance of steel frames with infilled walls, Jianzhu-Jiegou Xuebao (J. of Building Structures), Vol. 26, No. 3, 78 – 84, ISSN 0529-1399, China Academic Journal Electronic Publishing House, Beijing.
- [5] Mehrabi A.B., Shing P.B., 1997. Finite element modeling of masonry infilled RC frames, J. of Structural Engineering, ASCE, May, 604 – 613.
- [6] Memari A.M., Aghakouchak A.A., Ghafoory Ashtiany M., Tiv M., 1999. Fullscale dynamic testing of a steel frame building during construction, Engineering Structures, Vol. 21, 1115 – 1127.
- [7] Ibarra L.F., Medina R.A., Krawinkler H., 2005. Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 34, 1489 – 1511.