

## Streszczenie

Niewystarczającą odporność niezbrojonych ścian murowych na wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne zwiększa się stosując skrępowanie elementami żelbetowymi, polegające na trwałym zespoleniu muru z betonowymi elementami pionowymi i poziomymi współpracującymi w jednej płaszczyźnie. Zagadnienie jest kluczowe w ścianach usztywniających wykonanych z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) charakteryzujących się podatnością na uszkodzenia i niewielką sztywnością. Liczne badania ścian obciążonych cyklicznie potwierdzają, że idealnym rozwiązaniem pozwalającym zminimalizować niekorzystną degradację sztywności i rozwój zarysowań jest zastosowanie skrępowania. Natomiast w literaturze brakuje adekwatnych badań poświęconych zachowaniu się ścian skrępowanych poddanych obciążeniom monotonicznym, gdzie skrępowanie stosuje się tylko ze względu na poprawę nośności oraz odkształcalności. Aktualne normy (EC-6) ograniczają się tylko do informacji o konstruowaniu ścian skrępowanych, brakuje jednak wskazówek o metodyce projektowania. W pracy podjęto próbę odpowiedzi na dwa kluczowe pytania: (1) jaki wpływ na zachowanie się ścian bez otworów i z otworami poddanych poziomemu ścinaniu będzie mieć skrępowanie umieszczane wzdłuż obwodu ściany i wzdłuż pionowych krawędzi otworów?, (2) czy stosowanie skrępowania wzdłuż pionowych krawędzi otworów o połu powierzchni  $1,5\text{m}^2$  zgodnie z normą EC-6 wpłynie korzystnie na mechaniczne parametry muru poddanego poziomemu ścinaniu? Niewielkie rozpoznanie zjawiska ścinania ścian skrępowanych poddanych monotonicznemu ścinaniu pozwoliło sformułować zasadniczy cel pracy, którym była: doświadczalna i teoretyczna analiza, oraz określenie wpływu skrępowania na nośność i odkształcalność skrępowanych ścian murowych poddanych poziomemu ścinaniu.

Analiza dostępnych badań oraz rozważań teoretycznych pozwoliła na postawienie następujących tez pracy:

1. Stosowanie skrępowania korzystnie wpływa zarówno na rysoodporność, nośność, jak i odkształcalność ścian murowych poddanych poziomemu ścinaniu.
2. Czynnikiem determinującym stan naprężeń i odkształceń są wstępne naprężenia ściskające.
3. Skrępowanie powoduje zmiany morfologii zarysowań oraz mechanizm zniszczenia w porównaniu z poziomo ścinanymi ścianami nieskrępowanymi.

4. Analiza numeryczna pozwala na dość dobre odwzorowanie zachowania się muru skrępowanego i wyjaśnienie wpływu skrępowania na stan naprężeń i odkształceń oraz morfologię zarysowań ściany poddanej poziomemu ścinaniu.

Praca swoim układem odzwierciedla zakres wynikający z postawionego celu i tezy. W rozdziałach pierwszym i drugim przedstawiono wprowadzenie oraz podano cel, zakres i tezy pracy. W rozdziale trzecim przedstawiono analizę aktualnego stanu wiedzy w zakresie badań ścian zbrojonych, wypełniających oraz skrępowanych i zapisów normowych, co pozwoliło określić zakres i program zasadniczych badań oraz sformułować tezy pracy. W rozdziale czwartym przedstawiono wyniki zasadniczych badań 16. ścian skrępowanych bez otworów i z otworami poddanych poziomemu ścinaniu. Zasadnicze badania ścian podzielono na trzy serie: ściany bez otworów skrępowanych wzdłuż pionowych i poziomych krawędzi (skrępowanie obwodowe), ściany z otworem okiennym (o polu powierzchni  $A = 1,5\text{m}^2$ ) zlokalizowanym w środkowej części ściany z obwodowym skrępowaniem oraz ściany z otworem okiennym ( $A = 1,5\text{m}^2$ ) zlokalizowanym w środkowej części ściany z dodatkowym (oprócz obwodowego) skrępowaniem występującym wzdłuż pionowych krawędzi otworu. Rozdział piąty poświęcono analizie uzyskanych wyników badań z wykorzystaniem numerycznego modelu MES wykorzystującego sprężysto-plastyczno-kruchy model muru i betonu z elementami kontaktowymi zastosowanymi w spoinach wspornych, czołowych i na styku z elementami krępującymi. W rozdziale szóstym wykonano analizy ścian skrępowanych z wykorzystaniem bilinearnego modelu analitycznego. Model zdefiniowano przez sztywność w chwili zarysowania, przemieszczenie maksymalne oraz dyssypowaną energię. W rozdziale siódmym przedstawiono podsumowanie i wynikające wnioski z przeprowadzonych w pracy badań studialnych, badań doświadczalnych oraz obliczeń numerycznych i analitycznych. Na zakończenie zaproponowano kierunki dalszych prac badawczych w zakresie ścinania.

Przeprowadzone w pracy analizy studialne, badania doświadczalne oraz obliczenia numeryczne w zakresie postawionych pytań oraz tezy pracy, pozwoliły wyciągnąć następujące wnioski końcowe:

- skrępowanie w modelach bez otworów nie wpłynęło istotnie na wartości naprężeń rysujących w odniesieniu do modeli nieskrępowanych, zaobserwowano wzrost odkształceń postaciowych w chwili zarysowania i kątów deformacji postaciowych w chwili zniszczenia,

- w ścianach z otworami i obwodowym skrępowaniem wykazano istotny wzrost naprężeń rysujących w odniesieniu do modeli nieskrępowanych, widoczny był także wzrost odkształceń i deformacji postaciowych,
- wprowadzenie żelbetowych elementów krępujących wzdłuż pionowych krawędzi otworów wyeliminowało powstanie wczesnych zarysowań w rozciąganych narożach otworów, co skutkowało wyraźnym wzrostem sztywności ścian,
- skrępowanie zwiększyło wartość przemieszczeń plastycznych  $u_y$  średnio o 17%, a wartość maksymalnych przemieszczeń  $u_{\max}$  o 18%,
- morfologia zarysowań ścian skrępowanych bez otworów oraz z otworami i obwodowym skrępowaniem nie różniła się istotnie od zarysowań ścian bez skrępowania. Rysy powstawały w rozciąganych narożach otworów a następnie w dolnych narożach filarków okiennych. Wyraźne różnice zaobserwowano w modelach z otworami, w których zastosowano skrępowanie biegnące wzdłuż pionowych krawędzi otworów, ponieważ pierwsze zarysowania powstawały w dolnych narożach filarków okiennych,
- stosując w mikromodelach numerycznych modeli ścian metodykę homogenizacji empirycznej oraz kontaktowe elementy skończone zastępujące spoiny wsporne i czołowe można z zadowalającą zgodnością dokonać predykcji morfologii zarysowań i wybranych parametrów mechanicznych ścian skrępowanych,
- zaproponowany bilinearny model zachowania się ściany ścinanej pozwolił wykazać, że w modelach skrępowanych wzrost wartości wstępnych naprężeń ściskających powodował wyraźny wzrost wartości dyssypowanej energii w odniesieniu do modeli nieskrępowanych (68–77%),
- w ścianach skrępowanych zaobserwowano wzrost ciągliwości ścian w stosunku do ścian nieskrępowanych (7–26%).

Przeprowadzone badania, obliczenia i analiza wyników nie wyczerpuje tematyki skrępowanych ścian murowanych poddanych poziomemu ścinaniu. Można je potraktować, jako podstawę do walidacji własnych modeli teoretycznych.

Tomasz Gąsiorowski  
23.06.2023 r.