

ANALIZA WRAŻLIWOŚCI ODPOWIEDZI UKŁADU DYNAMICZNEGO W ZAKRESIE POZASPRĘŻYSTYM NA GĘSTOŚĆ PODZIAŁU DYSKRETNEGO W MES

A. Cińcio¹ and M. Mrozek and D. Mrozek²

Abstract

In the paper the plastic–damage material model for concrete (based on continuum damage mechanics and the theory of elasto-plasticity), proposed by J. Lubliner et. al. (1988) and modified by L. Fenves et. al. (1998), is adapted to masonry structures. Some numerical results of the mesh - sensitivity seismic simulations (dynamic time history analysis) of a 2D wall models are presented. Numerical calculations were carried out with aid of computer software ABAQUS installed in the Academic Computer Center “CYFRONET” in Cracow.

1 WSTĘP

Podstawą budowy modelu obliczeniowego w Metodzie Elementów Skończonych (MES) jest zastąpienie ciągłego modelu konstrukcji pewnym zastępczym układem dyskretnym. Operacja ta określana jako dyskretyzacja układu, pozwala uzyskać stosunkowo w prosty sposób rozwiązanie nawet złożonego układu (np. pod względem geometrii lub modelu materiałowego); rozwiązanie często niedostępne na drodze analitycznej. W przypadku zadania z zakresu dynamiki budowli dyskretyzacja układu do pewnej skończonej liczby stopni swobody dynamicznej wraz z dyskretyzacją masy konstrukcji, pozwala zastąpić kłopotliwe w rozwiązaniu równania różniczkowe cząstkowe ruchu, znacznie prostszym w rozwiązaniu układem równań różniczkowych zwyczajnych. Wspomniany układ równań ruchu w danej chwili czasowej może zostać scałkowany (przyjmując dyskretyzację czasu eksperymentu), co pozwala wyznaczyć rozwiązanie.

Mankamentem metod numerycznych, w tym także MES, wynikającym bezpośrednio z dyskretyzacji ciągłego modelu układu, jest pewna dokładność uzyskiwanego rozwiązania, która nie powinna znacząco odbiegać od rozwiązania ścisłego. Dokładność ta zależy bezpośrednio od liczby niewiadomych wyznaczanych w dyskretnym modelu konstrukcji, co ma ścisły związek z doбором siatki dyskretyzacyjnej MES. Wraz ze wzrostem liczby niewiadomych w modelu uzyskiwane rozwiązanie powinno być zbieżne do rozwiązania ścisłego. W przypadku rozwiązywania zagadnień fizycznie nieliniowych opisanych sprężysto-plastycznym konstytutywnym modelem materiału, który opisuje oprócz wzmocnienia także jego osłabienie, problem ten staje się jeszcze bardziej złożony. Należy bowiem prawidłowo rozróżnić stan sprężystego odciążenia materiału, od stanu plastycznego jego osłabienia, co w obu przypadkach związane jest ze spadkiem naprężeń. Dodatkowe problemy związane z wrażliwością rozwiązania na podział dyskretyzacyjny mogą występować w modelach wywodzących się z kontynualnej mechaniki zniszczenia, w których pomija się kinematyczny opis zjawiska pęknięcia materiału. Problematyka ta została szerzej przedstawiona m.in. w pracy [1]

W artykule przedstawiono wybrane wyniki stanowiące odpowiedź dynamiczną układu tarczowego 2D, odpowiadającego ścianie konstrukcyjnej pewnego budynku niskiego, na zadane wymuszenie kinematyczne dla kilku siatek dyskretyzacyjnych MES różniących się liczbą niewiadomych, czyli wymiarami elementu

¹ Dr. inż. A.Cińcio, Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice, Akademicka 5, Poland, (48) 32 2371997, andrzej.cincio@polsl.pl.

² MSc, PhD students midm@op.pl

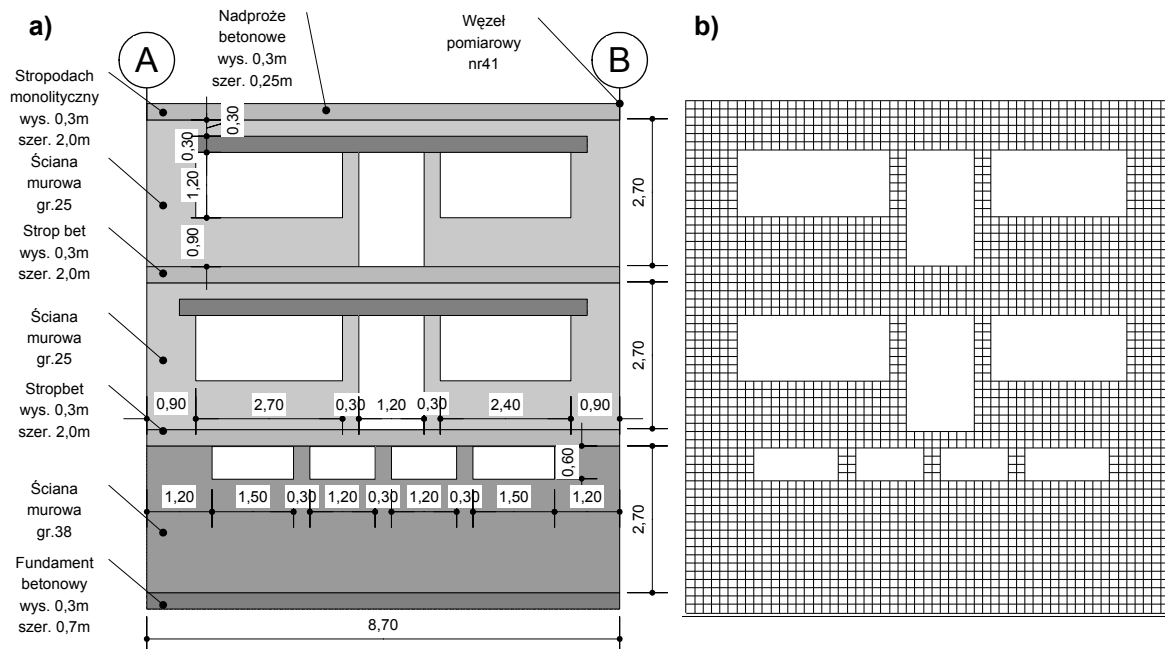
skończonego (ES) zarówno typu regularnego czworokątnego, jak również typu nieregularnego (z lokalnym zagęszczeniem siatki dyskretyzacyjnej).

2 MODEL BARCELONA

W pracy wykorzystuje się plastyczno-degradacyjny model betonu nazywany modelem Barcelona (MB), opracowany przez zespół badaczy J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller i E. Onate (1989), oraz następnie zmodyfikowany przez G.L. Fenves oraz J. Lee (1998), stosowany m.in. w numerycznych symulacjach działania wstrząsu sejsmicznego na płaski model zapory betonowej [2]. Własną propozycję adaptacji modelu Barcelona do opisu muru konstrukcyjnego przedstawiono w [3,4]. Model Barcelona wywodzi się z przyrostowej teorii plastyczności oraz kontynualnej mechaniki zniszczenia. Charakteryzuje go bidysypacyjna, izotropowa degradacja materiału, opisana dwoma zmiennymi degradacji materiału: dt i dc , odpowiednio dla stanu rozciągania i ściskania. Zmienne te, określane na podstawie niezależnych funkcji zniszczenia materiału, mogą zostać ze sobą powiązane, opisując potwierdzoną zależność degradacji materiału ściskanego dc na wielkość degradacji materiału rozciąganego dt , po zmianie znaku naprężenia. Sprężenie sprężysto - plastycznej charakterystyki materiału z opisem jego zniszczenia realizowane jest poprzez wyrażenie równań konstytutywnych teorii plastyczności za pomocą naprężeń efektywnych. Szersze omówienie MB znajduje się w pełnej wersji artykułu.

3 OPIS PRZYJĘTYCH MODELI OBLICZENIOWYCH

Analizę wrażliwości odpowiedzi układu dynamicznego na gęstość podziału dyskretnego w MES przeprowadzono na podstawie modelu płaskiej ściany (model tarczowy płaskiego stanu naprężenia) z uwzględnieniem pozasprężystej pracy materiału. Do opisu materiału konstrukcyjnego zastosowano model Barcelona w odniesieniu do muru o zmiennej grubości oraz do opisu elementów żelbetowych typu wieńce i nadproża. Dokładne wymiary oraz przypisanie materiałów przedstawiono na rys. 1a. Istotne wartości parametrów materiałowych podano w pełnej wersji artykułu.

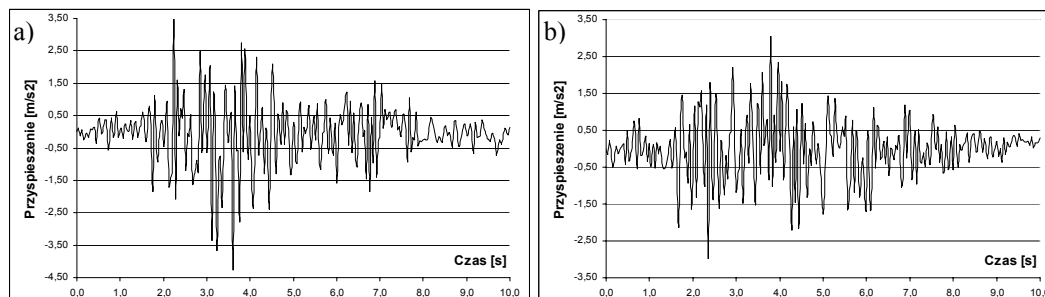


Rys. 1. a) Geometria ściany testowej 2D, b) Przykładowa siatka MES o wymiarze ES 15x15cm

W modelu MES wykorzystano czworokątne, 4-węzłowe elementy skończone (ES) płaskiego stanu naprężenia (w programie *Abaqus* ozn. jako CPS4R). Przyjęto pięć typów regularnych siatek dyskretyzacyjnych odpowiadających następującym wymiarom ES: począwszy od 2,5x2,5cm poprzez 5x5cm, 10x10cm, 15x15cm, a skończywszy na 30x30cm. Dodatkowo zastosowano nieregularną siatkę ES o wymiarze 15x15cm lokalnie

zagęszczoną wokół otworów elementami 10x10cm. Siatka najgęstsza (2,5x2,5cm) posiada 96624 ES, a najrzadsza (30x30cm) - 671 ES. Przykładową siatkę MES (15x15cm) przedstawia Rys. 1b.

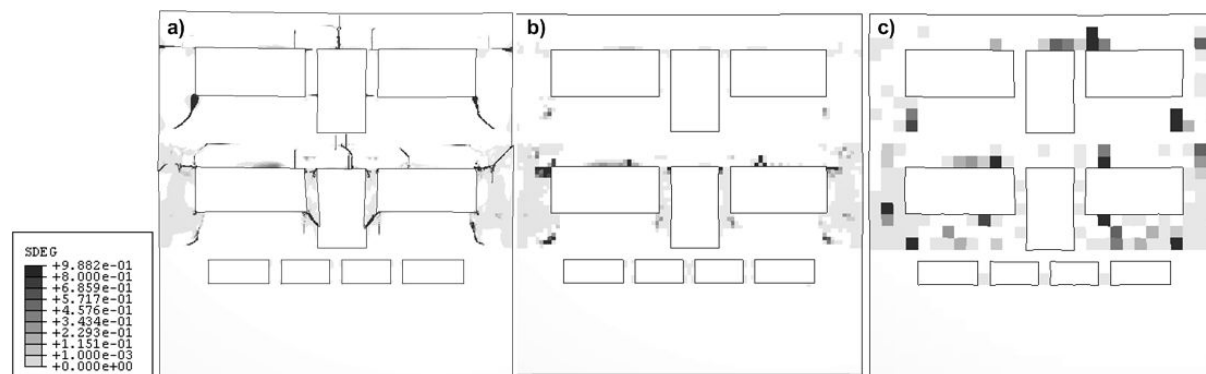
W analizach przyjęto wartość współczynnika tłumienia odpowiadającą wartości $\xi=5\%$ tłumienia krytycznego. Obciążenie dynamiczne zostało przyłożone do podpór modelu, w postaci wymuszenia kinematycznego zgodne z podanym na rys. 2 akcelerogramem, zarejestrowanym podczas trzęsienia ziemi w indyjskim mieście *Koyna* (1967r.), o magnitudzie 6,5 w skali Richtera. Obliczenia prowadzono w programie ABAQUS, przyjmując dla metody całkowania równań ruchu dyskretyzację kroku czasowego równą 0,01s.



Rys. 2. Akcelerogramy przyjęte w symulacji działania wstrząsu sejsmicznego: a) składowa pozioma, b) składowa pionowa

4 PREZENTACJA WYBRANYCH WYNIKÓW

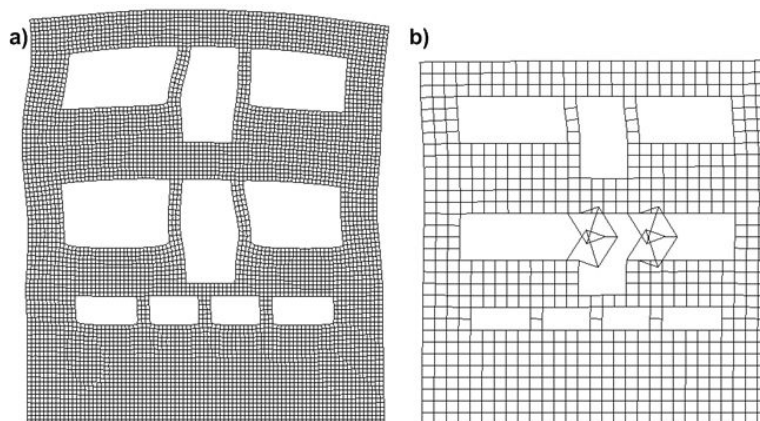
Obliczenia numeryczne, przedstawionych w poprzednim podrozdziale, modeli ściany 2D o zróżnicowanych siatkach dyskretyzacyjnych MES poprzedzała analiza modalna, na podstawie której, wyznaczono częstości oraz postacie drgań własnych. Następnie symulowano 10 sek. działanie wstrząsu sejsmicznego przykładając odpowiednie (określone akcelerogramami na rys. 2) wymuszenie kinematyczne. Odpowiedź układu dynamicznego przedstawiono w postaci: map degradacji w czasie końcowym analizy (rys.3), wykresu zmiany w czasie składowych przemieszczeń najwyższego narożnego węzła modelu (węzeł nr 41 na Rys. 1a.) oraz map naprężeń w 3.4s trwania wymuszenia, co odpowiadało ekstremum na wykresie przemieszczeń. Stosowne wykresy i mapy przedstawiono w pełnej wersji artykułu.



Rys. 3. Mapy degradacji modeli o siatce MES: a) 2,5x2,5cm, b) 10x10cm i c) 30x30cm (kolor biały – brak zniszczenia, kolor czarny pełne zniszczenie)

Wyniki przeprowadzonych analiz pozwalają stwierdzić, że gęstość siatki dyskretyzacyjnej MES nie ma w tym przypadku zasadniczego wpływu na odpowiedź modelu ściany budynku niskiego. Potwierdzają to poszczególne odpowiedzi przemieszczeniowe, których przebieg w czasie trwania wymuszenia oraz wartości przemieszczeń są do siebie bardzo zbliżone, oraz zamieszczone na rys. 3 mapy degradacji. Zniszczenia na wszystkich mapach degradacji (rys. 3a do 3c) koncentrują się w narożach otworów oraz filarkach międzyokiennych, a dodatkowo niewielkie zniszczenia pojawiają się również w nadprożach. Istnieją oczywiście pewne różnice ilościowe (por. rys. 3a i b), określone zróżnicowaną wielkością obszarów zniszczenia jednak nie są to zmiany o charakterze jakościowym. Również pewne różnice występują w odpowiedzi modelu o siatce 30x30cm (rys. 3c), w którym pojawiają się większe zniszczenia w nadprożach, a zanika degradacja w obszarze

filarków. Wiąże się to z pewnością ze zbyt dużym wymiarem ES, w porównaniu z wymiarem filarka międzyokiennego. Przypuszczenie to potwierdza analiza drugiej postaci drgań własnych (rys. 4a i b). W przypadku najrzadszej siatki dyskretyzacyjnej 30x30 cm, tylko jeden ES obejmuje szerokość filarka międzyokiennego, co ma widoczny wpływ na II postać oraz częstość drgań własnych tego modelu. Z tego też względu nie zaleca się stosowania ES, których wymiar przekracza połowę szerokości najmniejszego filara.



Rys. 4. II-ga postać drgań własnych dla modelu z siatką dyskretyzacyjną o rozmiarze: a) 10x10cm b) 30x30cm

5 WNIOSKI

- W przypadku analizowanego modelu ściany 2D budynku niskiego wymiar $ES < 30$ cm nie wpływa jakościowo na odpowiedź modelu przy zadanym wymuszeniu,
- należy unikać zbyt rozrzedzonej siatki MES, mogącej powodować znaczące błędy (przykład siatka 30x30cm),
- zalecenie: wielkość ES nie powinna przekraczać połowy wymiaru najmniejszego elementu geometrycznego ściany (tutaj mniejszego wymiaru przekroju filarka międzyokiennego).

PODZIĘKOWANIA

Publikacja powstała przy finansowym wsparciu Komitetu Badań Naukowych w Warszawie - grant nr 1505/T07/2005/28. Obliczenia numeryczne wykonano w Akademickim Centrum Komputerowym AGH-Cyfronet na podstawie przyznanego grantu obliczeniowego nr KBN/SGI2800/PŚląska/023/2003

REFERENCES

- [1] Jirásek M.: Objective modeling of strain localization, *Revue française de génie civil*, vol. 6, No. 6, 2002, p. 1119-1132.
- [2] Fenves L., Lee J., A plastic-damage concrete model for earthquake analysis of dams. *Earthquake Eng. and Structural Dynamics*, vol. 27, 1998, s. 937-956.
- [3] Cińcio A., Wawrzynek A.: Adaptation of the plastic -damage concrete model for masonry material subjected to cyclic load, 8th International Conference on Computational Plasticity - Complas 2005, Barcelona, Spain, Sept. 5-8, 2005, part II, pp.731-734.
- [4] Cińcio A., Numeryczna analiza dynamicznej odporności niskiej zabudowy na wstrząsy parasejsmiczne z zastosowaniem przestrzennych modeli wybranych obiektów. Praca doktorska, Politechnika Śl., Gliwice, 2004, s.205.