ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: MECHANIKA Z.99

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"
POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ
Beskid Śląski, 1990

Andrzej Ajdukiewicz,
Alina Kliszczewicz,
Stanisław Majewski
Instytut Konstrukcji Budowlanych
Politechnika Śląska

ZACHOWANIE SIĘ ŻELBETOWYCH ŚCIAN WSPÓŁPRACUJĄCYCH ZE STROPAMI W STANIE POZASPRĘŻYSTYM, PRZY WYSTĄPIENIU KRZYWIZNY PODATNEGO PODŁOŻA W TERENIE GÓRNICZYM

Streszczenie. W ślad za przedstawionymi na XXVIII Sympozjonie PTMTS wynikami analizy sprężystej współpracy ścian i stropów w budynkach posadowionych na niepodatnym, wyginającym się podłożu, podano tu wyniki analizy stanu pozasprężystego takiego ustroju tarczowego, wprowadzając dodatkowo podłoże sprężyste. Zadaniem przedstawionego modelowania numerycznego jest ocena sztywności i nośności budynków ścianowych na terenach podlegających wpływom eksploatacji górniczej. Efektem prowadzonych analiz jest określenie szerokości współpracującej stropów.

1. Wstęp

Przy obliczaniu budynków o ścianowej konstrukcji nośnej, posadowionych na wyginającym się podłożu górniczym, mamy do czynienia z przestrzennym ustrojem złożonym z tarcz ściennych i stropowych współpracujących z podatnym podłożem. Zasady projektowania tego typu konstrukcji określa Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej nr 286 [1], która proponuje dwie metody uproszczone:

- belkową, w której przestrzenny ustrój tarczowy traktuje się jako belkę, a siły wewnętrzne działające na ten ustrój rozkłada się na poszczególne ściany proporcjonalnie do ich sztywności,
- rusztu belkowego, w której krzyżujące się ściany traktuje się jako pręty rusztu na sprężystym, wyginającym się podłożu.

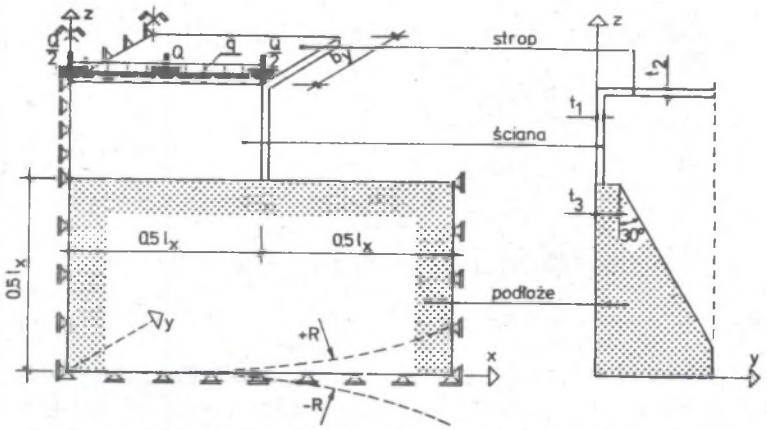
Obliczenie tymi metodami daje wystarczająco dokładne do projektowania wyniki, pod warunkiem jednak, że prawidłowo zostaną ocenione zastępcze sztywności na zginanie EI poszczególnych ścian ustroju. Przy obliczaniu tych sztywności stajemy wobec problemu współpracy stropów ze ścianami. Konieczne staje się określenie szerokości stropu, która może być efektywnie wciągnięta do współpracy.

2. Modele do wyznaczania szerokości współpracującej stropu

Do wyznaczania szerokości współpracującej stropu w pierwszym etapie zbudowano w oparciu o MES dwa modele numeryczne (patrz [2]):

- przestrzennego ustroju wyjściowego złożonego ze ściany i współpracujących z nią stropów,
- płaskiego ustroju zastępczego, złożonego ze ściany wzmocnionej na poziomie stropów prętami o zastępczej powierzchni.

Analizę prowadzono w stadium sprężystej pracy konstrukcji. Wyniki prowadzonych w tym etapie prac przedstawiono w [2]. Analiza pozwoliła określić te czynniki, od których szerokość współpracująca w istotny sposób zależy oraz wyeliminować te, których wpływ jest mało znaczący. W szczególności stwierdzono, że szerokość współpracująca stropu nie zależy od grubości stropu, grubości ściany, wysokości kondygnacji oraz perforacji ściany, w zakresie 1/3 jej całkowitej powierzchni. Stwierdzono również, że szerokość ta jest niezależna od liczby kondygnacji i w ustrojach wielokondygnacyjnych jest taka sama dla każdego stropu. Szerokość współpracująca stropu zależy natomiast od długości ściany l_w, rozpiętości stropu $2b_v$ i perforacji stropu. Uzyskane w pierwszym etapie wyniki określiły kierunki dalszych prac. W drugim etapie zrezygnowano z analizy ustrojów wielokondygnacyjnych, uwzględniono natomiast współpracę ze sprężystym podłożem, fizyczną nieliniowość materiałów ściany i stropu oraz możliwość ich zarysowania. Schemat ustroju wyjściowego pokazano na rys.1.



Rys.1 Schemat ustroju wyjściowego wraz z podłożem.

Przemieszczenia punktów węzłowych układów ściana-strop na podłożu sprężystym wyznaczano, stosując w MES, ze względu na fizyczną nieliniowość, metodę przyrostową z iteracją w każdym kolejnym kroku przyrostu obciążenia. Stosowano zawsze 6 kroków obciążenia:

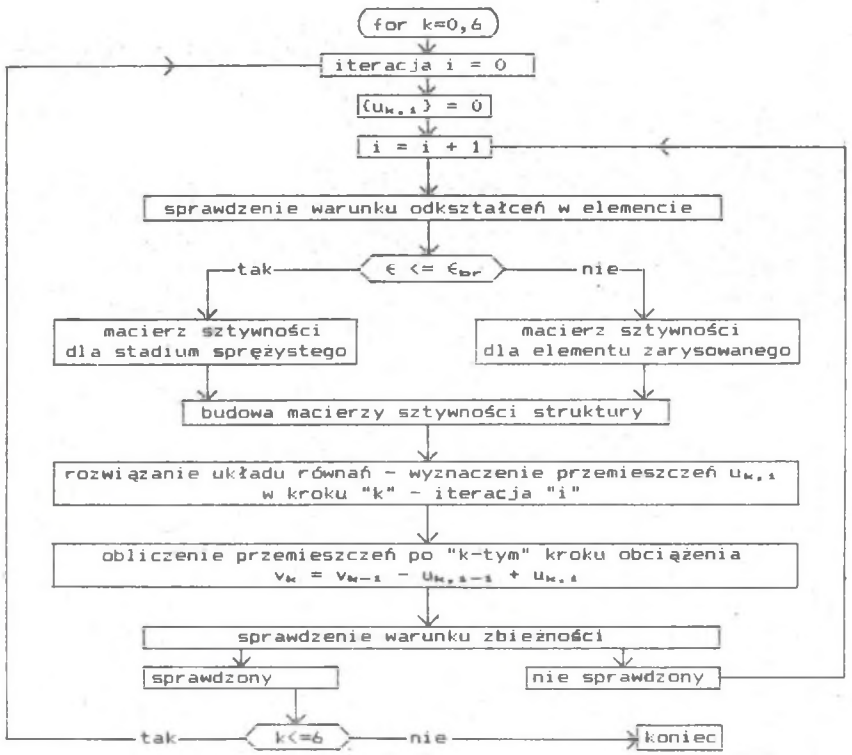
- krok 0 - obciążenie statyczne ciężarem własnym ściany i podłoża oraz obciążeniem przyłożonym do górnej krawędzi ściany,
- kroki 1 do 5 - wymuszenie pionowych deformacji punktów węzłowych na dolnej krawędzi podłoża, wynikających z krzywizny terenu.

Na poziomie każdego kroku przeprowadzano iteracyjne wyznaczanie przemieszczeń punktów węzłowych aż do spełnienia przyjętego kryterium zgodności dwóch kolejnych iteracji. Algorytm rozwiązania przedstawia schemat blokowy.

Podłoże, ścianę i strop podzielono na elementy prostokątne. Zasady obliczania macierzy sztywności tych elementów w stadium pracy sprężystej oparto na powszechnie stosowanych i opisanych w literaturze MES procedurach. Dla betonu przyjęto model ciała nieliniowo sprężysto plastycznego w strefie ściskanej i liniowo sprężystego w strefie rozciąganej. Moduł sprężystości betonu przy rozciąganiu pozostaje stały. Wartość modułu w strefie ściskanej określa zależność:

$$E_{bc} = \frac{2R_c}{\epsilon_{bc}} \left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_{bc}}\right) = E_b \cdot \beta_{p1}$$

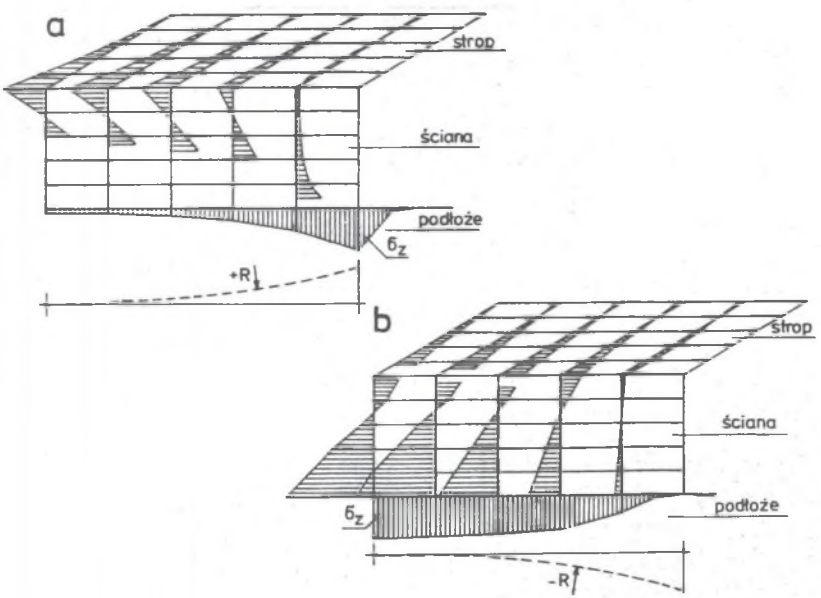
gdzie: β_{p1} - współczynnik zmniejszający zależny od aktualnych odkształceń w elemencie.



Dla stali przyjęto model ciała sprężysto-idealnie-plastycznego. Podłoże gruntowe potraktowano jako ośrodek liniowo sprężysty. Aktualny stan wiedzy pozwala na dokładne modelowanie zachowania się elementu żelbetowego po zarysowaniu betonu [3]. Ponieważ celem prowadzonych prac nie była analiza stanów granicznych tarczowych elementów żelbetowych, a jedynie wyznaczenie współpracującej ze ścianą części stropu, przyjęto najprostszy model zarysowania betonowych elementów ściany i stropu. Na podstawie uzyskanych po każdej kolejnej iteracji na poziomie danego kroku obciążenia przemieszczeń punktów węzłowych wyznacza się dla każdego elementu odkształcenia wzdłuż każdego jego boku oraz wzdłuż obydwu przekątnych. Jeżeli którekolwiek z tych odkształceń przekracza założoną wartość ε_{brmax}=0.0001, to uważa się element za zarysowany i jego macierz sztywności oblicza się dla zastępczego elementu prętowego [4].

3. Wyniki badań numerycznych

Programy na mikrokomputer IBM-PC zbudowane na podstawie powyższych założeń stanowiły podstawowe narzędzie analizy badanych układów ściana-strop oraz służyły do wyznaczenia powierzchni prętów zastępujących strop a tym samym do określenia szerokości współpracującej stropu. Przeanalizowano kilkadziesiąt różnych przykładów, uzyskując dla każdego z nich wyniki w postaci obrazu przemieszczeń punktów węzłowych, rozkładów naprężeń σ_z w podłożu oraz σ_x w ścianie i stropie dla kolejnych kroków obciążenia, co pozwalało śledzić zmianę tych parametrów w trakcie postępującego zarysowania konstrukcji. Na rys.2 przedstawiono zestawienie wykresów σ_x w stropie i w ścianie oraz σ_z w styku ściany z podłożem dla ostatniego kroku obciążenia w dwóch badanych ustrojach poddanych działaniu wklęsłej i wypukłej krzywizny terenu.

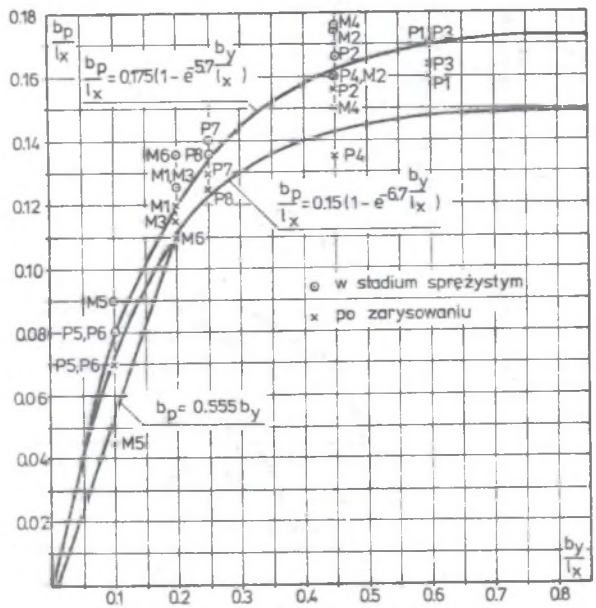


Rys.2 Przykładowe wykresy naprężeń w podłożu, ścianie i stropie przy działaniu wklęsłej (a) i wypukłej (b) krzywizny terenu.

4. Wnioski

Przeprowadzone w tym etapie pracy analizy układów ściana-strop na sprężystym podłożu z uwzględnieniem pozasprężystej fazy pracy oraz zarysowania betonu pozwalają sformułować następujące wnioski:

- Rozkład naprężeń normalnych σ_x w stropie zarówno przy wklęsłej, jak i przy przy wypukłej (przed zarysowaniem) krzywiźnie terenu ma we wszystkich krokach obciążenia taki sam charakter.
- Potwierdza się bezpośrednia zależność szerokości współpracującej stropu od długości ściany l_x oraz od wysięgu stropu b_y, a ściślej od stosunku b_y/l_x.



Rys.3 Zależność szerokości współpracującej stropu od długości ściany i wysięgu stropu - wyniki badań i krzywe teoretyczne.

- W miarę rozwoju zarysowania obserwuje się zmniejszanie szerokości współpracującej stropu. Przy krzywiźnie wklęsłej, kiedy występuje zarysowanie w dolnej części ściany, spadek ten jest nieznaczny. Podobnie dzieje się przy krzywiźnie wypukłej, jeżeli zarysowanie stropu nie obejmuje całej jego szerokości. W razie zarysowania na całym wysięgu b_v spadek szerokości współpracującej jest wyraźny. Do stanu takiego udawało się doprowadzić jedynie przy bardzo małych wysięgach stropu ($b_v < 0.21_w$).

Dla wyraźniejszego zobrazowania zależności szerokości współpracującej stropu od wyżej wymienionych czynników na rys.3 przedstawiono graficzną ilustrację uzyskanych wyników, a także proponowane wzory.

LITERATURA

[1] Instrukcja ITB nr 286. Wytyczne projektowania budynków o ścianowym układzie nośnym podlegających wpływowi eksploatacji górniczej. Warszawa 1989.

[2] Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., Majewski S.: Analiza numeryczna ściany żelbetowej współpracującej ze stropami, poddanej wpływom wyginającego się podłoża. XXVII Sympozjon PTMTS, Beskid Śląski 1989.

[3] Bazant Z.P. *et al.*: State-of-the-Art Report on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete. ASCE, New York 1982.

[4] Majewski S., Marszałek Z.: Iteracyjna metoda analizy żelbetowych belek i tarcz w zakresie fizycznie nieliniowym. Archiwum Inżynierii Lądowej, t.XXI, z.3/1985.

ПОВЕДЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТЕН СОЕДИНЕННЫХ С НЕУПРУГИМ ПЕРЕКРЫТИЕМ И СОВМЕСТНАЯ ИХ РАБОТА ПРИ ИСКРИВЛЕНИИ ПОДАТЛИВОГО ГРУНТА НА ШАХТНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Резюме

Вслед за представленными на XVIII симпозиуме ПТМС результатами упругого анализа совместной работы стен и перекрытий в зданиях расположенных на невосприимчивом, прогибающемся грунте. В работе даны результаты анализа неупругого состояния такой щитовой системы, вводя дополнительно упругий грунт. Заданием представленного числового моделирования является оценка жесткости и предельной нагрузки объектов на шахтной территории.

POST-ELASTIC BEHAVIOUR OF R.C. WALLS AND SLABS SUBJECTED TO THE INFLUENCE OF CURVATURES OF SUBSOIL IN THE MINING REGION

Summary

Folowing the former anlysis of elastic walls and slabs on the rigid subsoil subjected to bending in the mining region, the paper presents the post-elastic analysis of these structures on the elastic subsoil. The aim of this numerical model consideration is the assessment of rigidity and load-capacity of structures in the mining region.