

Joanna KALABIŃSKA*
Politechnika Krakowska

METODY OCENY WPŁYWU WSTRZĄSÓW GÓRNICZYCH NA KONSTRUKCJĘ MOSTU ŻELBETOWEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono wpływ wstrząsów górniczych na konstrukcję dwuprzęsłowego mostu żelbetowego o rozpiętości 40 m. Zastosowano dwie metody obliczeń odpowiedzi dynamicznej obiektu na wymuszenie kinematyczne:

- metodę bezpośredniego całowania równań ruchu (THA),
- metodę spektrum odpowiedzi (RSA).

Przeanalizowano odpowiedź dynamiczną obiektu na wstrząsy z terenu LGOM. W obliczeniach odpowiedzi dynamicznej przyjęto równomierne i nierównomierne wymuszenie kinematyczne. Porównano wartości sił podłużnych i momentów zginających w wybranych punktach konstrukcji, uzyskane ww. metodami. Wielkości sił otrzymane z zastosowaniem metody spektrum odpowiedzi są mniejsze o około 10% w stosunku do wielkości uzyskanych na drodze bezpośredniego całowania równań ruchu.

EFFECT OF MINING TREMOUR ON REINFORCED CONCRETE BRIDGE

Summary. The paper presents comparison of two different methods of evaluation of mining tremor influence to 2-spans, 40 m long, reinforced concrete bridge structure:

- Time History Analysis (THA),
- Response Spectrum Analysis (RSA).

There was analyzed dynamic response of structure to mining shock from LGOM area. In calculations of dynamic response uniform and non-uniform kinematic excitation were assumed. Longitudinal forces and bending moments values which was obtained with methods mentioned above were compared in chosen points of bridge. The forces obtained with RSA are lower about 10% then forces obtained with THA.

1. Wstęp

W klasycznej analizie odpowiedzi dynamicznej na wstrząsy sejsmiczne i parasejsmiczne zakłada się równomierne wymuszenie kinematyczne. Oznacza to, że

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Joanna Dulińska.

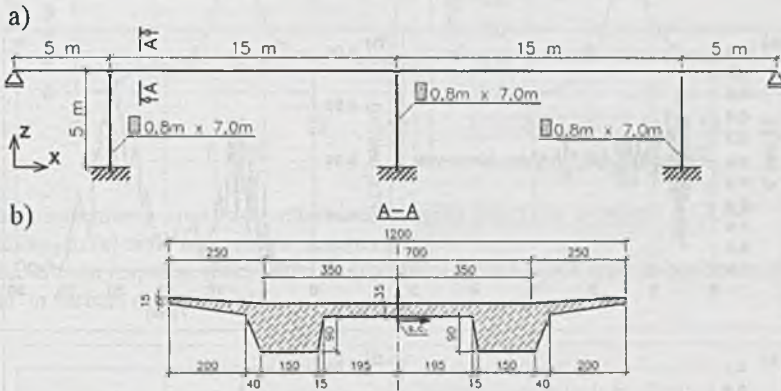
ruch gruntu pod budowlą jest jednakowy we wszystkich punktach, tj. zachodzi tam zgodność amplitud i faz wymuszenia kinematycznego. Przyjęcie takiego modelu ruchu gruntu okazuje się być zbyt daleko idącym uproszczeniem w przypadku analizowania budowli wielkogabarytowych. O ile bowiem w przypadku budowli o małych wymiarach fundamentu można założyć jednakowe wymuszenie kinematyczne w każdym punkcie, o tyle, w przypadku gdy długość fundamentu jest porównywalna z długością fali w podłożu, należy się liczyć z wystąpieniem różnych wartości amplitud i faz charakteryzujących wymuszenie kinematyczne w poszczególnych punktach podparcia. Typowymi przykładami takich budowli są mosty, wiadukty i estakady.

Odpowiedź dynamiczną budowli na wymuszenia kinematyczne można wyznaczyć m.in. metodą bezpośredniego całkowania równań ruchu (THA) oraz metodą spektrum odpowiedzi (RSA). Metoda spektrum odpowiedzi jest metodą przybliżoną, dającą z reguły oszacowanie wielkości odpowiedzi (przemieszczeń i sił wewnętrznych) od góry. Maksymalne wielkości sił i przemieszczeń otrzymane metodą bezpośredniego całkowania równań ruchu są mniejsze w przypadku założenia równomiernego wymuszenia kinematycznego. Uzyskanie odpowiedzi na pytanie: *Czy metoda spektrum odpowiedzi daje również większe wartości odpowiedzi dynamicznej w stosunku do wartości otrzymanych, przy założeniu nierównomiernego wymuszenia kinematycznego wymaga przyjęcia modelu wymuszenia kinematycznego, obliczenia odpowiedzi dynamicznej metodami THA i RSA oraz przeprowadzenia analiz porównawczych tych odpowiedzi?* Wyznaczanie odpowiedzi dynamicznej mostów na nierównomierne wymuszenie kinematyczne pochodzenia sejsmicznego jest przedmiotem wielu publikacji [2, 4, 6]. Brak jest natomiast oszacowań wielkości odpowiedzi dynamicznej mostów posadowionych na terenach aktywności górniczej, poddanych nierównomiernemu wymuszeniu parasejsmicznemu.

2. Opis konstrukcji i modelu obliczeniowego mostu żelbetowego

Analizę odpowiedzi dynamicznej przeprowadzono na przykładzie dwuprzęsłowego mostu żelbetowego o całkowitej rozpiętości 40 m. Wymiary i parametry materiałowe konstrukcji przyjęto na podstawie literatury [5]. Schemat statyczny mostu oraz geometrię przekroju przedstawia rys. 1. Przyjęte charakterystyki podłoża odpowiadały własnościom podłoża piaszczysto-żwirowego, w którym prędkość propagacji fali wynosi ok. 800 m/s. Obliczenia odpowiedzi dynamicznej mostu na wymuszenia parasejsmiczne wykonano programem ABAQUS. Zastosowano elementy belkowe,

uwzględniające parametry przekrojów poszczególnych elementów mostu. Tłumienie obiektu przyjęto na poziomie $\xi = 5\%$.



Rys. 1. Schemat statyczny mostu (a) oraz przekrój poprzeczny przęsła (b)
Fig. 1. Static schema of reinforced concrete bridge (a) and cross section of span (b)

3. Dane o wymuszeniu kinematycznym

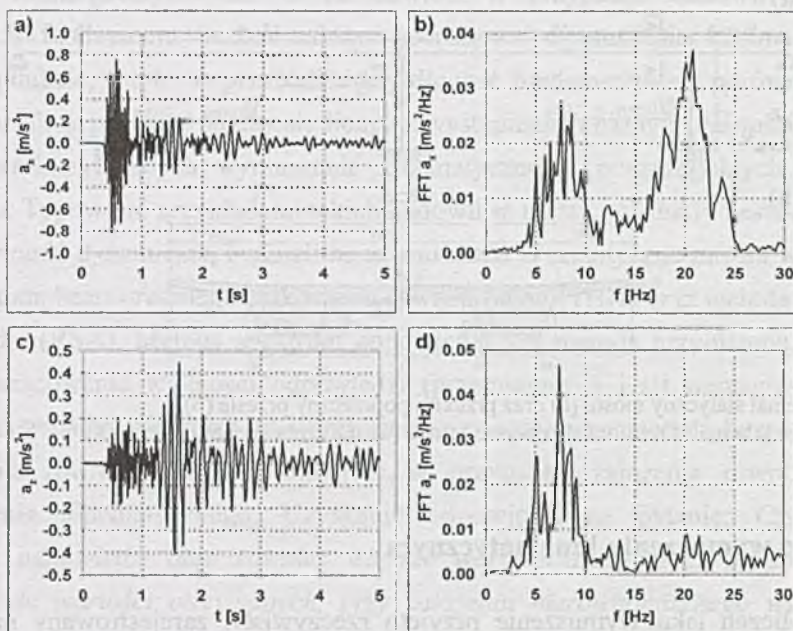
Do obliczeń jako wymuszenie przyjęto rzeczywisty, zarejestrowany na terenie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) przebieg przyspieszeń drgań powierzchniowych, będący następstwem wstrząsu górniczego. Uwzględniono działanie dwóch składowych wymuszenia oraz założono propagację fali wstrząsowej równoległą do osi podłużnej mostu. Przebiegi przyspieszeń drgań gruntu w kierunku poziomym i pionowym oraz ich strukturę częstotliwościową przedstawia rys. 2. Wstrząsy górnicze w LGOM charakteryzuje wartość energii dochodząca do ok. 1010 J oraz krótki czas trwania intensywnej fazy ($0,5 \leq t \leq 2,5$ s). Są to wielkości znacznie mniejsze niż przy wstrząsach sejsmicznych. Przy uwzględnianiu nierównomierności wymuszenia w przypadku wstrząsów górniczych istotne znaczenie ma tłumienie geometryczne w gruncie. Redukcję amplitud drgań wynikającą z rozszerzania się frontu falowego na terenach LGOM wyznaczono ze wzoru:

$$a(r) = a_e \cdot H(r) \quad (1)$$

gdzie: $a(r)$ – przyspieszenie drgań w odległości r , a_e – przyspieszenie drgań w strefie epicentralnej, r – odległość epicentralna, $H(r)$ – funkcja spadku przyspieszeń drgań

poza obszarem epicentralnym, gdzie dominuje zjawisko tłumienia geometrycznego. Dla wstrząsów w rejonach LGOM funkcja $H(r)$ przyjmuje postać [3, 4]:

$$-H(r) = 0,8575 \cdot r^{-1,0098} \quad (2)$$



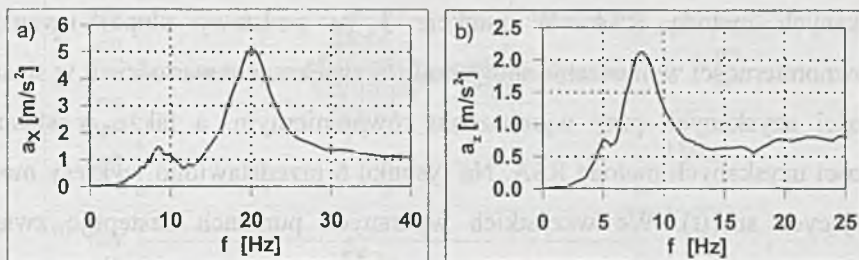
Rys. 2. Przebieg czasowy (a) i struktura częstotliwościowa (b) przyspieszeń drgań w kierunku x i z
Fig. 2. Time history (a) and frequency spectrum (b) of vibration accelerations in x and z direction

4. Metody obliczania odpowiedzi dynamicznej mostu

Do wyznaczania odpowiedzi dynamicznej mostu zastosowano dwie metody: metodę bezpośredniego całkowania równań ruchu (THA) oraz metodę spektrum odpowiedzi (RSA). Metoda THA pozwoliła na realizację modelu nierównomiernego wymuszenia. Model wymuszenia kinematycznego uwzględniał efekt przejścia fali pod budowlą i redukcję amplitud drgań ze zwiększeniem odległości od źródła (por. wzór 1). Wymuszenie stanowił przebieg czasowy przyspieszeń (rys. 2). W metodzie RSA [1] jako wymuszenie przyjęto wartości przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi oscylatora na przebieg przyspieszeń drgań (rys. 3).

$$S_a(\omega_0, \xi) = \max_t \left| \ddot{q}(t, \omega_0, \xi) \right|, \quad \omega_{0d} = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2} \quad (3)$$

gdzie: \ddot{q} – przyspieszenie drgań, ω_0 – częstość kołowa drgań własnych, ξ – tłumienie.

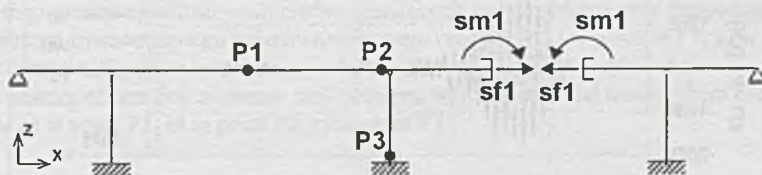


Rys. 3. Przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi zapisu wstrząsu z rejonu LGOM: w kierunku poziomym (a) oraz w kierunku pionowym (b)

Fig. 3. Acceleration response spectrum of the rockburst from LGOM area: in horizontal direction (a) and in vertical direction (b)

5. Analiza odpowiedzi dynamicznej

Na rysunku 4 przedstawiono wybrane punkty, w których przedstawione zostaną wyniki, czyli wartości sił przekrojowych (sił podłużnych $sf1$ i momentów zginających $sm1$).



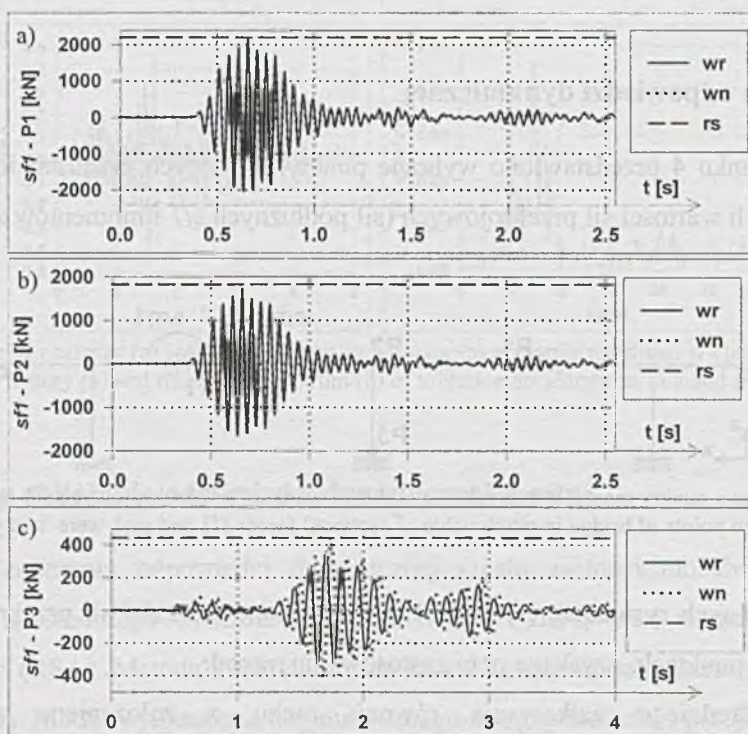
Rys. 4. Wybrane punkty mostu, w których analizowano wartości sił przekrojowych $sf1$ i $sm1$
 Fig. 4. Chosen points of bridge in which value of sectional forces $sf1$ and $sm1$ were analyzed

Na kolejnych rysunkach (rys. 5, 6) przedstawiono wartości sił przekrojowych w wybranych punktach, uzyskane przy zastosowaniu metod:

- bezpośredniego całkowania równań ruchu z założeniem wymuszenia równomiernego,
- bezpośredniego całkowania równań ruchu z założeniem wymuszenia nierównomiernego (przy prędkości propagacji fali równej 800 m/s),
- spektrum odpowiedzi.

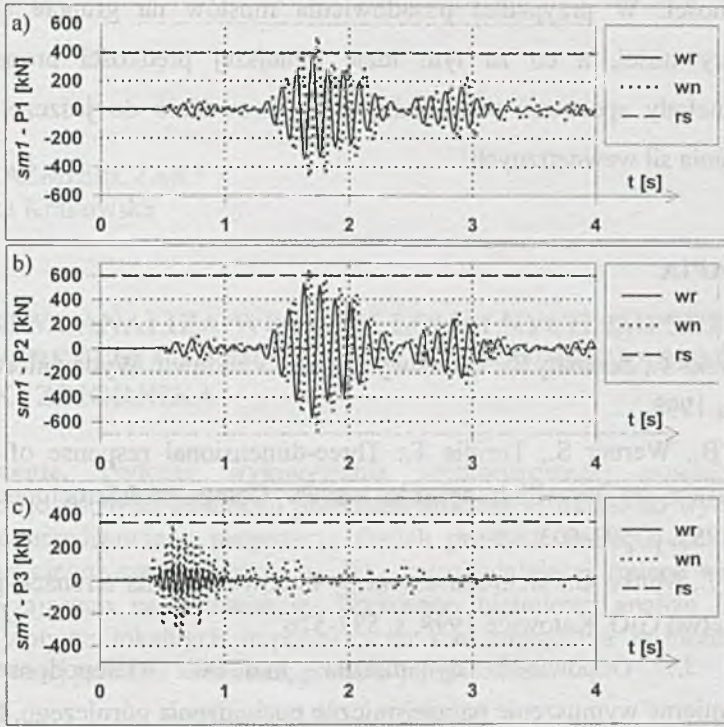
Rysunek 5 przedstawia wykresy sił podłużnych $sf1(t)$. W punkcie 1 (w środku przęsła mostu) oraz w punkcie 2 (nad podporą) wartości sił uzyskane przy zastosowaniu metody nierównomiernego wymuszenia kinematycznego są znacznie

mniejsze od wartości odpowiedzi na wymuszenie równomierne oraz od wartości uzyskanych metodą RSA. W punkcie 3 (u podstawy słupa) uwzględnienie nierównomierności wymuszenia spowodowało zwiększenie wartości sił w stosunku do wartości uzyskanych przy wymuszeniu równomiernym, a także w stosunku do wartości uzyskanych metodą RSA. Na rysunku 6 przedstawiono wykresy momentów zginających $sml(t)$. We wszystkich wybranych punktach następuje zwiększenie wartości momentów będących odpowiedzią na wymuszenie nierównomierne w stosunku do wartości będących odpowiedzią na wymuszenie równomierne oraz w stosunku do wartości momentów uzyskanych metodą spektrum odpowiedzi.



Rys. 5. Przebiegi czasowe wartości sił sfi , uzyskane przy zastosowaniu metod wymuszeń równomiernego i nierównomiernego oraz RSA: a) w punkcie P1, b) w punkcie P2, c) w punkcie P3

Fig. 5. Time history of forces sfi obtained with uniform and non-uniform excitation and RSA: a) in point P1, b) in point P2, c) in point P3



Rys. 6. Przebiegi czasowe wartości momentów zginających $sm1$, uzyskane przy zastosowaniu metod wymuszeń równomiernego i nierównomiernego oraz RSA: a) w punkcie P1, b) w punkcie P2, c) w punkcie P3

Fig. 6. Time history of bending moments $sm1$ obtained with uniform and non-uniform excitation and RSA: a) in point P1, b) in point P2, c) in point P3

6. Wnioski

W analizowanych punktach metoda spektrum odpowiedzi szacuje wartości odpowiedzi dynamicznej od góry w przypadku przyjęcia równomiernego wymuszenia kinematycznego. Jednak w przypadku uwzględnienia nierównomierności wymuszenia może prowadzić do niedoszacowania momentów zginających w środku przęseł mostu oraz przy podporach. Niedoszacowanie dotyczyć może również sił osiowych w słupach. Efekt nierównomierności wymuszenia jest szczególnie istotny w tych obiektach, w których następuje wzmocnienie odpowiedzi dynamicznej przy założeniu modelu nierównomiernego wymuszenia kinematycznego w stosunku do odpowiedzi dynamicznej otrzymanej przy zastosowaniu wymuszenia równomiernego. Prędkość fali 800 m/s jest stosunkowo dużą prędkością propagacji fali, związaną z gruntami o

dużej sztywności. W przypadku posadowienia mostów na gruncie słabszym o mniejszej sztywności, a co za tym idzie mniejszej prędkości propagacji fali, stosowanie metody spektrum odpowiedzi może prowadzić do jeszcze większego niedoszacowania sił wewnętrznych.

BIBLIOGRAFIA

1. Chmielewski T., Zembaty Z.: Podstawy dynamiki budowli. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1998.
2. Dendrou B., Werner S., Toridis T.: Three-dimensional response of a concrete bridge system to travelling seismic waves. *Computers&Structures*, Vol. 20, No. 1/3, 1985, p. 593-603.
3. Dubiński J., Mutke G.: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wydawnictwo GIG, Katowice 1998, s. 533-576.
4. Dulińska J.: Odpowiedź dynamiczna budowli wielopodporowych na nierównomierne wymuszenie parasejsmiczne pochodzenia górniczego. Monografia 338, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
5. Furtak K., Wrana B.: Mosty zintegrowane. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
6. Wang J., Carr A., Cooke N., Moss P.: Effect of spatial variation of seismic input on bridge longitudinal response. 13th Conference on Earthquake Engineering, No. 640, Vancouver 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Weseli, prof. w Politechnice Śląskiej