



STRESZCZENIE

Ocena trwałości cięgien w mostach podwieszonych na podstawie danych z system monitorowania

Rozprawa przedstawia opracowanie algorytmu obliczeniowego pozwalającego ocenić trwałość zmęczeniową cięgien w mostach podwieszanych dzięki wykorzystaniu gromadzonych przez system monitorowania konstrukcji danych. Algorytm, który został stworzony w oparciu system SHM (ang. *Structural Health Monitoring*) mostu Rędzińskiego, docelowo można będzie stosować do różnych konstrukcji zbudowanych z wykorzystaniem elementów ciągnowych.

W pierwszym kroku przedstawiono sposób gromadzenia i weryfikowania danych pochodzących z monitoringu konstrukcji mostu. Wyjściową wielkością do dalszych analiz jest siła naciągu cięgien będąca efektem wszystkich oddziaływań na konstrukcję. W celu sprawdzenia wiarygodności zgromadzonych danych stworzono modele numeryczne mostu Rędzińskiego i analizowanych cięgien. Wykorzystując metody numeryczne, wyniki pochodzące z próbnych obciążeń oraz modele matematyczne w postaci równań różniczkowych elementów ciągnowych, określono wpływ obciążeń stałych, ruchomych, termicznych i podpór na wartość wypadkowej siły naciągu. Po weryfikacji danych zostały one poddane analizie statystycznej. Gromadzone dane podzielono odpowiednio latami i miesiącami. Na podstawie sił naciągu mierzonych w splotach want stworzono widma ich naprężeń. Z widm tych za pomocą szeregów Fouriera wydzielono funkcję opisującą przebieg średnich wartości naprężeń i drugą, charakteryzującą zmiany amplitud tychże naprężeń. Funkcje te pozwoliły na wyznaczenie odpowiednich rozkładów gęstości prawdopodobieństwa.

Wykorzystując procedury badań zmęczeniowych i zalecenia normowe w powiązaniu z przeprowadzoną analizą statystyczną danych, opracowano powierzchnie zmęczeniowe, będące rozszerzoną modyfikacją krzywych Wöhlera. W połączeniu z hipotezami kumulacji uszkodzeń obliczono na tej podstawie miary uszkodzeń zmęczeniowych w różnych przekrojach splotu wanty. Analiza statyczna wybranych cięgien pokazała, że zależność pomiędzy siłą osiową w splotcie a momentem zginającym w strefie jego zakotwienia jest nieliniowa, co prowadzi do zróżnicowanego poziomu wyczerpania i zużycia stali w kolejnych przekrojach splotu. W obliczeniach uwzględniono także dodatkowe modyfikacje w postaci obrotów zakotwień czy uwzględnienia więzi sprężystej w strefie zainstalowania tłumików drgań na wantach. Przeprowadzono także symulacje wystąpienia zjawisk aerodynamicznych i oceniono

zagrożenie nim dla trwałości konstrukcji. Analizy zmęczeniowe zostały równolegle poparte wyznaczeniem współczynników niezawodnościowych. W tym celu wprowadzono dwie funkcje graniczne: wytrzymałościową i zmęczeniową.

Stworzony na podstawie opisanych powyżej założeń algorytm stanowi oryginalne, wygodne narzędzie do oceny trwałości ciągów podwieszających. Może on być stosowany do oceny trwałości mostów podwieszonych o konstrukcji przęseł betonowych i stalowych oraz do mostów extradosed, czy nawet wieszaków mostów łukowych. Pozwala on sprawdzić rzeczywisty poziom wyęczenia elementów ciągnowych i wskazać ich wrażliwe z uwagi na wytrzymałość zmęczeniową punkty.

Analiza przeprowadzona w rozprawie pokazuje, że w mostach betonowych ciężar własny stanowi około 65–75% całkowitych obciążeń, dlatego wanty nie są w nich tak wrażliwe na duże zmiany naprężeń spowodowane ruchem pojazdów, a co za tym idzie, nie są narażone na uszkodzenia zmęczeniowe, do jakich należy np. kruche pękanie. W mostach stalowych o podobnej rozpiętości ciężar własny stanowi 55–60% obciążenia konstrukcji, a amplitudy zmian są w nich większe. Jednak stosując algorytm obliczeniowy zaproponowany w pracy, można pokazać, że w dużych mostach podwieszonych, w których wanty są zabezpieczone przed wzbudzeniem drgań za pomocą tłumików, zagrożenie wystąpienia uszkodzeń zmęczeniowych nie jest duże.

Muro Teichyden

Jou Brilind

SUMMARY

Durability assessment of stays in cable-stayed bridges on the basis from structural health monitoring system data

This paper presents the method of development of a computational algorithm that allows estimating the fatigue life of cables in cable-stayed bridges using the data collected via a structural health monitoring system (SHM). Ultimately, this algorithm will be available to be used for various structures made of cable elements. It was created based on the structure and the SHM of the Rędziński Bridge (a cable-stayed bridge spanning the Oder river in Wrocław, Poland).

The first step presents the data collection and verification methods leveraging the bridge monitoring system. The basic value for further analysis is the tension force, which is the effect of all loads acting on the structure. The numerical models of the Rędziński bridge and its stay cables were created in order to verify and establish the reliability of the collected data.

The influences of constant, moving and thermic loads and pylon footing displacement on the resultant tension force were determined by using a combination of the numerical methods, the results from the loading tests as well as the mathematical models in the form of differential equations of stay cables. After data verification, they were subjected to statistical analysis. The collected data was divided by years and months, respectively. The stress spectra were created on the basis of the measured tension forces in the stands of the cables. From these spectra, using the Fourier series, two functions were separated: one describing the course of average stress values and another one characterizing changes in the amplitudes of these stresses. These functions allowed to determine adequate probability density distributions.

The fatigue surfaces were developed by using the fatigue test guidelines and standard recommendations in conjunction with the statistical analysis of the data. They are an extended modification of Wöhler curves. The fatigue failure measurements in various elements and sections of the stay cables were calculated in conjunction with the failure accumulation hypothesis. The static analysis of selected cables has shown that the relationship between the axial force in the strand and the bending moment in the zone of its anchorage is non-linear. This situation leads to different levels of stress and steel wear in the subsequent strand sections. The calculations also took into account additional modifications in the form of rotation of the anchorages and the elastic support in the zone of installed vibration dampers. Wind excitation simulations were also carried out and the wind's threat to the durability of the structure was assessed. Fatigue analyses were simultaneously supported by the determination of reliability coefficients. For this purpose, the endurance and fatigue effects functions were introduced.

The algorithm created on the basis of the calculations and modifications described above is a convenient tool for assessing the durability of suspension tendons. It can be used for suspended bridges with concrete and steel decks as well as for extradosed bridges, or even for hangers of arch bridges. It also allows to check the actual level of effort in the stays and indicate their sensitive points due to the fatigue strength.

The analysis carried out in the dissertation shows that in concrete cable-stayed bridges the dead weight is about 65-75% of the total loads. Therefore, they are not too sensitive to large stress changes caused by the vehicle traffic, and thus are not exposed to fatigue damage, e. g. the brittle fracture. In steel bridges with similar spans, the self-weight constitutes 55-60% of the structure load, so their amplitude of change is greater. Using the calculation procedure proposed in the algorithm, it can be shown that in large cable-stayed bridges, in which the stays are protected against vibration excitation by dampers, the risk of fatigue damage is not high.

Mano Terchpal
Joe Mihel