EAN 93
31. konference o experimentální analýze napětí
25.–27.5.1993 Měřín ČESKÁ REPUBLIKA

CONTROL LOADING FOR THE LOAD CAPACITY OF THE CONSTRUCTION
KONTROLNÍ ZATÍŽENÍ PRO ÚNOSNOST KONSTRUKCE

Crha M., Dočkal P.

The reliability approach is used to determine control loading of existing construction. Is given the procedure for determination the internal forces. It is alleged the consideration about the importance of the parts of the structure.

Zjištění únosnosti existujících konstrukcí je nutným předpokladem pro (a) vypracování projektu zesílení konstrukce, (b) novou výrobní technologii, (c) posouzení konstrukce postižené např. požárem nebo vykazující fyzické opotřebení. Ovšem nutným předpokladem je, že konstrukce nevykazuje významné poruchy.

1. Ověření únosnosti a spolehlivosti stávajících stavebních konstrukcí je vícevrstevnatá úloha. Může se jednat o spolehlivost spojů, průřezů, stručně řečeno určitých prvků konstrukce a nebo o spolehlivost celé konstrukční soustavy. Důležitá přitom je klasifikace významnosti konstrukcí, resp. klasifikace významnosti jednotlivých částí téže konstrukce. Zjednodušenou klasifikaci způsobů zhroucení uvádí např. /1/.

Třída zhroucení	Popis	Důsledek
I Velmi významná	Zhroucení mostu, budovy	$10^0=1$
II Významná	Částečné zhroucení konstrukce s možností opravy	10^{-2}
III Středně významná	Zhroucení jednoho konst. prvku, který nevede ke zhroucení konstrukce nebo její části	10^{-4}
IV Málo významná	Zhroucení jednoho prvku	10^{-6}

Na základě významnosti tvarů zhroucení lze sestavit algoritmus identifikace.

2. Efektivní způsob zjištění únosnosti je zkouška konstrukce zkušebním zatížením, které respektuje významnost částí konstrukce. Plánování testů únosnosti žádá : (a) volbu hodnoty kontrolního zatížení, (b) stanovení výběrové hodnoty n z celkové množiny N prvků konstrukce stejného typu a významu. Tento výběr je důležitý, neboť tak se lze vyhnout velkým nákladům a složitostem při zatěžování celé konstrukce. Z literárních pramenů např. /2/ vyplývá, že $n/N \ll 1$ a $n \approx 4$. Problémem určení kontrolního zatížení se zabývali různí autoři. Kontrolní zatížení (Q_K) je větší jak výpočtové zatížení (Q). Můžeme položit :

$$Q = G + L, \quad Q_K = G + (1+\alpha)L, \tag{1}$$

kde G je existující zatížení (vlastní tíha), L je proměnná část zatížení (mění se během zkoušky), $(1+\alpha)$ je součinitel zvětšení zkušebního zatížení. Nechť je

$$Q_K = Q + (\beta_0 + \beta_S)\sigma, \tag{2}$$

potom s pomocí (1) je

$$\alpha = (\beta_0 + \beta_S)\sigma/L. \tag{3}$$

Potom podle (3) je

$$\beta_0 \equiv \phi^{-1}(p_L) = [V_R\beta_R + V_Q\beta_Q + \ln\gamma](V_R^2 + V_Q^2)^{-1/2}, \tag{4}$$

kde $\phi^{-1}(x)$ je kvantil normového normálního rozdělení, x je požadovaná úroveň spolehlivosti, $\beta_R \equiv \phi^{-1}(p_R)$, $\beta_Q \equiv \phi^{-1}(p_Q)$, V_R, V_Q jsou variační součinitelé charakteristik pevnosti $R = R_N \gamma_m^{-1}$ (R_N je normová pevnost, γ_m je součinitel bezpečnosti materiálu), resp. zatížení $Q = Q_N \cdot \gamma_f$ (Q_N je normová hodnota zatížení, γ_f je součinitel bezpečnosti zatížení, γ je součinitel spolehlivosti ve výpočtové nerovnosti

$$\gamma Q \leqq R. \tag{5}$$

Rovnici (5) lze přepsat, je-li $\gamma = \gamma_n/\gamma_c$, kde γ_n je součinitel spolehlivosti a γ_c je součinitel pracovních podmínek.

Dále

$$\beta_S \equiv \phi^{-1}(1 - \delta^{1/n}), \tag{6}$$

kde δ je přípustná hodnota rizika porušení.

Součinitel σ/L v (3) se stanoví ze vztahu $\sigma^2 = \sigma_R^2 + \sigma_G^2 + \sigma_L^2$, který po opravě na výběr n prověřovaných prvků z množiny N je $\sigma^2 = (\sigma_R^2 + \sigma_G^2)(1 - nM^{-1}) + \sigma_L^2$. Uvážíme-li, že platí

$$V_Q^2 = (\sigma_G^2 + \sigma_L^2)/(G+L)^2 = V_G^2(1-k)^2 + V_L^2 k^2, \tag{7}$$

kde $k = L/(G+L)$, V_G a V_L jsou odpovídající součinitelé variace. Potom platí

$$\sigma/L = \sqrt{(1/R^2)[v^2 V_R^2 + (1-k)^2 V_G^2](1-n/N) + V_L^2}, \tag{8}$$

kde součinitel bezpečnosti ν určený jako podíl středních hodnot m_r/m_Q lze přibližně vypočíst takto

$$\nu = 1 + \beta_0 \sqrt{V_R^2 + (1-k)^2 V_G^2 + k^2 V_L^2} \; . \qquad (9)$$

PŘÍKLAD. Nechť $k = 1$, $n = 1$, $\gamma_n/\gamma_c = 0{,}9$. Uvažme také dostatečně charakteristické hodnoty parametrů : $V_R = 0{,}08$, $V_G = 0{,}2$, $V_L = 0{,}05$, $\gamma_m = 1{,}1$, $\gamma_f = 1{,}2$, $\delta = 0{,}05$, $n/N \ll 1$.
Potom z (7) $V_Q^2 = 0{,}0025$.
Předpokládáme-li zabezpečení pevnosti 0,95 (kvantil 1,645), potom je

$$\beta_R = \Phi^{-1}(p_R) = \frac{1{,}645}{\gamma_m} + \frac{1}{V_R} - \frac{1}{\gamma_m V_R} = 2{,}631 .$$

Předpokládáme-li zabezpeční zatížení 0,9 (kvantil 1,282), potom je

$$\beta_Q = \Phi^{-1}(p_Q) = 1{,}282\,\gamma_f + \frac{\gamma_f}{V_Q} - \frac{1}{V_Q} = 5{,}5384 .$$

Potom je

$$\beta_0 = (2{,}631 \cdot 0{,}08 + 5{,}5384 \cdot 0{,}05 + \ln 0{,}9)(0{,}8^2 + 0{,}025)^{-1/2} = 2{,}161$$

$$\beta_S = \Phi^{-1}(1 - 0{,}05^1) = 1{,}64$$

$$\nu = 1 + \beta_0 \sqrt{0{,}08^2 + 0 + 1 \cdot 0{,}05^2} = 1{,}204$$

$$\frac{\sigma}{L} = \left\{ \frac{1}{1} \left[1{,}204^2 \cdot 0{,}08^2 + 0 \right] \cdot 1 + 0{,}05^2 \right\}^{1/2} = 0{,}109$$

$$\alpha = (\beta_0 + \beta_S)\,\sigma/L = (2{,}161 + 1{,}64) \cdot 0{,}109 = 0{,}414$$

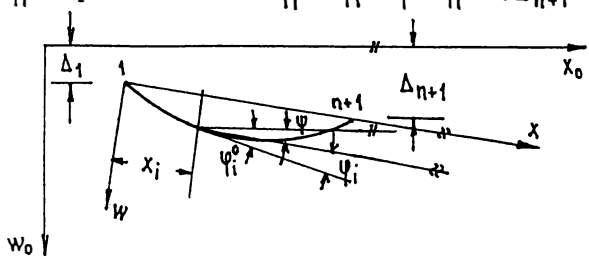
3. Zároveň se stupňovitě rostoucím zatížením Q_K se snažíme změřit nejen posuvy, ale určit i vnitřní síly. Metodika takového postupu vychází z diferenciální rovnice ohybové čáry $d^2w/dx^2 = M(x)/K(x)$. Spojení mezi posuvy v jednotlivých bodech horního (dolního) pásu např. železobetonového nosníku $w_i = w(x_i)$, $\varphi_i = \varphi(x_i)$ a silami M, T a tuhostí K(x) lze založit na aproximaci ohybové čáry prutu kubickým splajnem

$$\varphi_i = \varphi_1 - M\frac{\ell}{n}\left(\frac{1}{2K_1} + \frac{1}{2K_i} + \sum_{j=2}^{i-1}\frac{1}{K_j}\right) - T\frac{\ell^2}{n^2}\left(\frac{i-1}{2K_i} + \sum_{j=2}^{i-1}\frac{j-1}{K_j}\right)_i$$

$$w_i = \varphi_1\frac{\ell(n-1)}{n} - M\frac{\ell^2}{n^2}\left(\frac{3i-4}{6K_1} + \frac{1}{6K_i} + \sum_{j=2}^{i-1}\frac{i-j}{K_j}\right) - T\frac{\ell^3}{n^3}\left[\frac{i-1}{6K_i} + \sum_{j=2}^{i-1}\frac{(i-j)(j-1)}{K_j}\right] ,$$

kde i = 1,2,...,n+1, φ_i - úhel pootočení v i-tém průřezu, y_i - posun v i-tém průřezu, M - ohybový moment v počátku prutu. Jestliže zapíšeme tyto rovnice pro každý (kromě prvního) (n+1) bod, dostaneme soustavu obsahující 2n rovnic s (n+3) neznámými K_i (i=1,2,...,n+1) a vnitřními silami M a T. Tedy pro n = 3, lze dostat 6 rovnic pro 6 neznámých.

Pro n = 6 budou výsledky přesnější s chybou kolem 2,5%. Při n = = 3 bude soustava rovnic přeurčitá a lze ji řešit /4/. Pokud zavedeme omezení na parametry M, T, K_i a minimalizujeme sumu čtverců chyb rovnic, úlohu můžeme svést k úloze kvadratického programování. Postup předpokládá i měření pootočení, měří se však většinou ne úhly φ_i , ale plné úhly pootočení φ_i^0 - viz obr. Přechod od φ_i^0 k φ_i se provádí takto $\varphi_i = \varphi_i^0 - \psi = \varphi_i^0 - (\Delta_{n+1} - \Delta_1)/\ell$.



LITERATURA

/1/ Thoft-Christensen,P.: Consequence modified β - unzipping of plastic structures. Structural Safety, 7 (1990), 191-198

/2/ Znamenskij,E.M., Suchov,J.D.: O rasčetě konstrukcij s zadanym urovněm naděžnosti. Strojitělnaja mechanika i rasčet sooruženij, 2 (1987), 7-9

/3/ Gromackij,V.A.: O metodike naznačenija kontrolnych nagruzok i oceňke naděžnosti konstrukcij po resultatam ispytanij. Strojitelnaja mechanika i rasčet sooruženij, 5 (1984), 7-10

/4/ Abdelmalek,N.N.: Computing the strict Chebyshev solution of overdetermined linear equations. Math. Comput., 31 (1977)

Miloslav Crha, Doc., Ing., CSc.
Pavel Dočkal, Ing., CSc.
Vysoké učení technické Brno, fakulta stavební,
ústav stavební mechaniky
662 37 Brno, Veveří 95
telefon 748050