

FOTOELASTICIMETRICKÉ ŘEŠENÍ MAPJATOSTI KOTVENÝCH SKALNÍCH SVAHŮ

Ing. Josef Málek, CSc., RNDr. František Kolář
Ústav geologie a geotechniky ČSAV, Praha

Pro zajištění stability svahů - např. na lokalitě Jezeří v Krušných horách byly navrženy též velkokapacitní nepředpjaté kotvy. Jsou to v podstatě vodorovné štoly vedené s povrchu svahu, vyplněné armovaným betonem. Kotvy jsou tedy v počátečním stadiu nepředpjaté a spolupůsobí až při změnách napětí a deformací v horninovém masivu svahu, např. při dalším odtěžování.

Při modelovém určování změn v napjatosti svahů, zajišťovaných nepředpjatými kotvami, musíme dodržet vzájemný poměr tuhostí kotvy a okolního materiálu neboli zajistit na opticky citlivém modelu deformační proces podobný skutečnému deformačnímu procesu kotva - horninový masiv. Přitom uvažujeme zatížení modelů na odstředivce a zmrazení napjatosti. Pro tak velký poměr tuhostí (modulu pružnosti) kotvy a horninového masivu ($\sim 50 + 100$) nejsou již k dispozici vhodné epoxidové materiály pro model kotvy a okolního masivu svahu, které by při zmrazovací teplotě (v kaučukovité oblasti) požadavek tuhostí splňovaly. Zkoušeli jsme proto nejdříve kovové kotvy, vlepuvané do epoxidových modelů (svazek měděných drátků, případně samostatné ocelové dráty). Ukázalo se však, že tyto kotvy nejsou vhodné, neboť po ukončení zmrazovacího procesu (bez zatížení) je v modelu zafixováno značné pnutí. Jelikož pnutí podél kotvy je tahové, nedají se tyto kotvy využít ani kvalitativně (kotva má horninový masiv držet - stlačovat).

Jako funkční bez přídavných pnutí se ukázaly kotvy z epoxidového materiálu, které ale musí při zmrazovací teplotě modelu (model je již v kaučukovitém stavu) zůstat stále ve skelném stavu. Musí mít tedy teplotu skelného přechodu podstatně vyšší než materiál modelu. To lze docílit vhodným složením materiálu kotev. Jelikož $E_g \sim 100 E_0$ lze splnit i požadavek tuhosti na kotvy.

Složení a vlastnosti použitých modelových materiálů

udává následující tabulka:

označení	složení	$\alpha_g [K^{-1}]$	$\alpha_e [K^{-1}]$	$T_g [^{\circ}C]$	$E_g [MPa]$	$E_e [MPa]$
		$\times 10^5$	$\times 10^4$			
model. materiál	E15+MA+FA (100:22:18)	6,1	1,8	74	3500	18,6
lepidlo L1	E15+P1 (100:11)	-	-	65	-	-
lepidlo L2	E15+MA+FA (100:22:18)	6,08	1,85	74	3500	18,5
kotva K1	ocel	1,2	-	-	$2,1 \cdot 10^5$	-
kotva K2	E15+DDS (100:32)	6,27	-	>155	3500	-
kotva K3	E15+MA (100:45)	6,42	1,8	104	3500	40

Kovové kotvy ve zmrazovaných modelech

Na rozdíl od kovů, objevuje se při určité teplotě (teplota skelného přechodu T_g) na dilatačních křivkách polymerů víceméně ostrý zlom, neboť při ní polymer přechází ze skelného do kaučukovitého stavu. Směrnice lineárních úseků pod a nad T_g udávají příslušné hodnoty lineárních teplotních koeficientů polymeru ve skelném a kaučukovitém stavu (α_g, α_e) - viz obr.1.

Typická závislost dvojlomu na teplotě na okraji kovové kotvy K1, vlepené do modelu lepidlem L1, při teplotě T_0 je na obr.2. Při zahřívání na teplotu T ($T_0 < T < T_g$), je materiál v okolí kotvy stlačován ($\alpha_g > \alpha_{pe}$). Po dosažení teploty T_g dojde k výraznému poklesu modulu E a napětí se proto částečně uvolní. Při dalším zahřívání na teplotu zmrazovací (T_e) opět tlak v okolí kotvy vzrůstá. Uvolnění napětí v okolí T_g je nevratný proces. V ochlazovací fázi zmrazovacího cyklu je průběh závislosti dvojlomu na teplotě jiný než při zahřívání modelu. Po ochlazení na původní teplotu T_0 zůstane v okolí kotvy zmrazeno tahové napětí. Použití těchto kotev je tedy nevhodné.

Kotvy z epoxidových materiálů

Zhotovíme-li kotvy z epoxidového materiálu, jehož teplota skelného přechodu je podstatně vyšší než materiálu modelu, budou kotvy při zmrazování modelu ještě ve skelném

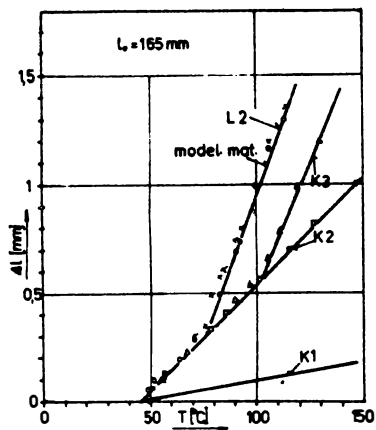
stavu a tím docílíme alespoň přibližně požadovaný poměr tuhostí - modul pružnosti kotvy ve skelném stavu je asi 100x větší než modul pružnosti materiálu modelu v kaučukovitém stavu. Chování kotvy v modelu je patrné z obr.3. Až do teploty T_{gm} nevzniká v modelu teplotní pnutí, neboť koeficienty teplotní roztažnosti kotvy a okolního materiálu jsou si blízké (hodnoty α_g epoxidových pryskyřic vytvrzených různým způsobem se příliš neliší). Jakmile však materiál přejde do kaučukovitého stavu, zvýší se jeho koeficient teplotní roztažnosti zhruba třikrát, zatímco kotva je nadále ve skelném stavu. V okolí kotvy proto vznikne tlakové napětí. Při ochlazování napětí opět klesá po téže křivce - proces je vratný a model je po zmrazení bez pnutí.

Při zmrazování je však bezpodmínečně nutné dodržet teplotní režim. Model se nesmí ani krátkodobě přehřát na teplotu vyšší než je T_{gk} . Materiál kotvy by totiž přešel do kaučukovitého stavu, kotva by změkla a přestala by plnit svou funkci. Tato změna je irreverzibilní. V ochlazovací fázi zmrazovacího cyklu klesá napětí po jiné křivce ($K3$ - obr.3). Výsledkem je tahové napětí v okolí kotvy, odpovídající poklesu tlakového napětí při změknutí kotvy (kotva $K3$ měla teplotu skelného přechodu pouze 104°C - viz tab.).

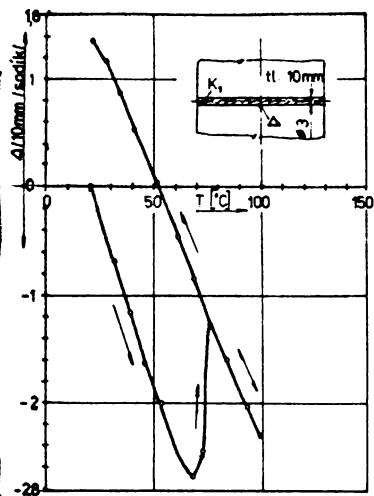
Při modelových zkouškách řešení napjatosti kotvených skalních svahů byly dále používány navržené epoxidové kotvy typu K2. Výsledky těchto zkoušek - viz /1/ prokázaly oprávněnost tohoto způsobu modelování a umožnily stanovit vliv různě umístěných nepředpjatých kotev na napjatost a stabilitu konkrétních svahů.

Literatura:

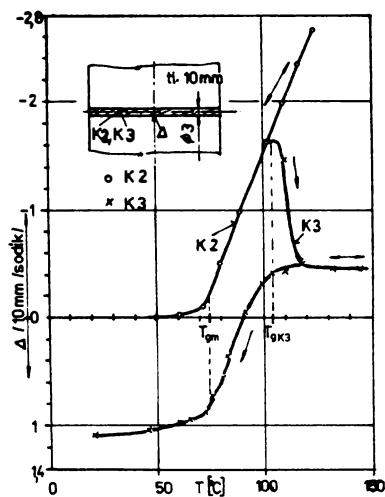
- /1/ Málek, J.: Určování napjatosti skalních svahů pomocí optickocitlivých modelů, Výzkumná zpráva ÚGG ČSAV Praha, 1984
- /2/ Kolář, F.: Různomodulové opticky citlivé hmoty pro modelování vrstevnatých prostředí, Výzkumná zpráva ÚGG ČSAV Praha, 1983



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3