

NOVÁ METODA URČOVÁNÍ ZÁVISLOSTI NAPĚTÍ A DEFORMACE NA FYZIKÁLNÍCH MODELECH

Ing. Ferydun Nazari, CSc.

VUT FAST Brno, katedra geotechniky

Analytické řešení napětí a deformace při spolupůsobení konstrukce a horninového masívu je obtížné a nespolehlivé. Spolehlivost a přesnost výpočtové metody a výsledků modelových zkoušek lze prokázat srovnáním výsledků s výsledky měření in situ. Prakticky dokonalé shody se skutečností se dosáhne kombinací metody fyzikálních modelů s metodou konečných prvků (MKP). Na fyzikálních modelech se změří okrajové podmínky a doplní údaje o konstitučních vztazích napětí, přetvoření a čas. Takto získané vstupní hodnoty se použijí při formulaci úlohy pro řešení metodou konečných prvků (Geo-Brno-PK). Jednou z výhod fyzikálních modelů je, že při splnění podmínek podobnosti si okrajové podmínky vytvářejí samy. Proto na základě teorie podobnosti a dimenzionální analýzy byla vypracována technologie výroby modelů Geo-Brno-PK z ekvivalentních materiálů (EM) v laboratorní fyzikálního modelování katedry geotechniky v Brně. Obecná formulace problému (Geo-Brno-PK) při posuzování pažíciích konstrukcí pilotových nebo podzemních stěn stavebních jam je založena na metodě elastického a plastického. Při návrhu stěny (stanice - Metro Praha) byl model 1:10 zhotoven z plexikla (dovoz NSR). Stavba modelu se prováděla ve standu (150x190x180 cm). Pro co nejvěrnější vystižení průběhů napjatosti a deformace bylo rozhodnuto osadit model 110 měřicími místy. Pro tento model byla důležitá volba vhodného ekvivalentního materiálu. Byl stanoven vhodný modelový materiál (70% křemičitého písku, 15% cementu 250 a 15% vápenného hydrátu a 2% vlhkost) a jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti. Sérií laboratorních triaxiálních zkoušek CID ekvivalentního materiálu byly zjišťovány vlastnosti pro vztah napětí a deformace v EM. Základní model pochází z původní Kondnerovy práce, v níž bylo teoreticky ukázáno, že nelineární závislost mezi napětím a deformací lze popsat obecně hyperbolou. Kondnerův model upravili jako první Duncan a Chang, kteří se závislosti odvodili výraz pro tangenciální modul pružnosti a použili tu-

to závislost s Mohrovým kriteriem mezní plastické rovnováhy pro vytváření obecnějšího matematického modelu zeminy. Jejich model tedy lze označit pružně plastickým, kdežto Kondnerův model je nelineárně pružný. Vhodnost tohoto modelu experimentálně ověřil autor (soubor 420 kombinací jednotlivých komponent EM) a použil pro konkrétní model Geo-Brno-EK. Vztah napětí a deformace v EM je možno vyjádřit funkcí E_t jak v efektivním, tak v totálním systému napětí:

$$E_t = K \cdot \frac{P}{a} \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n \cdot \left[1 - \pi_f \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)(1 - \sin \varphi)}{2C \cdot \cos \varphi + 2\sigma_3 \sin \varphi} \right]^2 =$$

$$= [i \cdot f]^2$$

Přičemž E_t je hodnota počátečního tečného modulu, t.j. směrnice tečny pracovní křivky v počátku souřadnice. Těchto pět ($\varphi=39^\circ$, $C=0,05$ MP, $R_f=0,9$, $K=550$, $n=1,22$) základních parametrů bylo stanoveno sérií standardně prováděných triaxiálních zkoušek CID (přístroji zn. Wykecam a Parame) při různých komorových napětích ($\sigma_3=0,5$ až $1,5$ MPa a P_a je atmosferický tlak).

Metoda vyhodnocení předpokládá, že závislost napětí-deformace je při 44% až 90% mobilizaci pevnosti hyperbolická, což bylo při tlakových zkouškách splněno. Tím byla splněna i nutná a postačující podmínka k transformaci hyperbolické závislosti napětí-deformace. Přímkou v transformované závislosti značí strmost přírůstek parametru b , který určuje poměr mezi skutečným deviátorem na mezi porušení a teoretickým, daným asymptotou hyperboly, t.j. $R_f=0,9$. Konstanta $b=0,22$ je převrácenou hodnotou deviačního napětí, při kterém teoreticky deformace nabývá nekonečně velké hodnoty. Převrácená hodnota $a=0,0025$ je počáteční tečný modul pro dané komorové napětí. Modul E_t zjištěný pro různá komorová napětí vyneseme do logaritmických souřadnic a jejich přímkové spojnice určující směrnici parametru $n=1,22$ a konstantu $K=550$. Z rovnice E_t , která vyjadřuje závislost deformace parametru na měnícím se deviátoru napětí a na úrovni napětí, bylo zjištěno snížení počátečního tečného modulu pro mez porušení asi o 89%. Vedle modulu E_t je druhou důležitou charakteristikou Poissonovo číslo, které lze získat ze vzorce:

$$\mu \left[1 - \frac{d(\sigma_1 - \sigma_2)}{E_t \cdot r} \right]^2 = G - f \cdot \log \left(\frac{G_2}{F_c} \right)$$

Výsledky všech provedených experimentů prokazují jasný vliv smykových napětí na hodnotu Poissonova čísla. Pro smykové deformace lze vyjádřit tečnový smykový modul G_t jako E_t . Z měření je zřejmé, že u EM Poissonovo číslo roste s rozdílem napětí (zjišťovány byly Poissonovy konstanty experimentálně kde d , f jsou konstanty. Bylo vyvinuto katedrou geotechniky VUT Brno nové zařízení Geo-Brno-PO). Při cyklickém namáhání je Poissonovo větší při odtížení, než při opětovném zatížení.

Závěr: Tento výsledek umožňuje zavést vyhodnocení vlastností EM pro obor pružné a plastické deformace do formy využitelné pro vstupní údaje MKP (Geo-Brno-PK). Základním výsledkem napětí a deformace na fyzikálních modelech jsou údaje o velikosti a rozložení vnějších sil působících na konstrukce v různých fázích výstavby (čtyři zatěžovací stavy hloubené jámy) a v závislosti na čase. Stejně významné je i zjištění průběhu napětí v konstrukci. Získané údaje jsou natolik úplné, že umožňují posouzení skutečného namáhání paží stěny.

Literatura

- 1 - Nazari, F.: Přístroje a zařízení na pozorování deformací a napětí, EAN 1962, Karlom Vary
- 2 - Nazari, F.: Geotechnika I, skripta VUT Brno 1981
- 3 - Nazari, F.: Posouzení skutečné bezpečnosti a mezního zatížení podzemní stěny při výstavbě hluboké jámy stanice metro Praha, konference geotech. problémy, Bratislava 1984
- 4 - Nazari, F.: Praktická aplikace modelování pro zjištění zatížení paží konstrukce zemina a horninovým tlakem. Sborník geotechnické problémy při výstavbě hl. m. Prahy, 1982
- 5 - Nazari, F.: Řešení mechanického chování systému konstrukce a skalní horniny, konference ing. staveb s podloží a stavby, ÚSVTS Ostrava 1981