EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

DEFORMATION CHARACTERISTICS OF ROCKS ON CONDITION OF TRIAXIAL STRESS CYCLIC LOADING ABOVE THE ELASTICITY LIMIT
PŘETVÁRNÉ VLASTNOSTI HORNIN ZA MEZÍ ELASTICITY PŘI CYKLICKÉM ZATĚŽOVÁNÍ V TROJOSSÉM STAVU NAPJATOSTI

Z. Rambouský, L. Sosnovec

Abstract

Behaviour of sandstones on condition of triaxial stress cyclic loading is observed in this contribution. Importance of deformation characteristics and it's dependence on residual longitudinal and transversal straining is explained.The dependence mentioned above can be measured by described method. Apparatus for measurement is described in detail. This research work has been done thanks to financial support of grant project of Czech Republic number 105/93/2409.

ÚVOD

Při plánování výstavby důlních i povrchových inženýrských děl hraje nejdůležitější roli stabilita masivu. Horniny v masivu jsou v převážné míře podrobeny zatěžovacím podmínkám přesahujícím jejich mez pevnosti a celý systém zatížení sledované oblasti je nutné matematicky řešit jako složitou kontaktní úlohu, kde největším problémem jsou kriteria pevnosti a konstituční vztahy hornin v oblasti. Pro zabezpečení kvalitních vstupů pro matematické modelování takovýchto problémů je velmi důležité měření přetvárných vlastností v závislosti na trvalé podélné a příčné deformaci příslušných hornin. Trojossé zatěžování umožňuje zjednodušeně modelovat podmínky v zemské kůře a ve spojení s cyklickým zatěžováním zmapovat výše zmiňovanou závislost pro konkrétní typy hornin. Konstituční vztahy mezi tenzorem napětí a deformace vzniklé na základě deformačně závislých přetvárných charakteristik jsou sice velmi zjednodušené, ale dovedou přesně definovat historii a stupeň zatížení daného typu horniny. Metoda cyklického osového zatěžování za vysokých bočních tlaků nebyla u nás dosud na horninách v odborných kruzích prezentována. Náš příspěvek si vzal za cíl popsat experimentální uspořádání experimentu a ukázat, že získané výsledky jsou věrohodné a na jednoduchých typech hornin i očekávané a vysvětlitelné. K tomuto účelu bylo použito vzorku jemnozrnného pískovce, který se jeví jako homogenní a chování kterého lze dobře vysvětlit použitím modelu homogenního izotropního kontinua.

TEORETICKÝ ZÁKLAD

Byly použity podmínky nepravého trojossého zatěžování. Zkušební těleso je hydrostaticky zatíženo potřebným plášťovým tlakem a poté deformováno rozdílem osového napětí a pláš-

ťového tlaku. Při takovýchto podmínkách zatěžování plyne ze zobecněného Hookova zákona pro homogenní izotropní kontinuum, že ze závislosti rozdílového napětí na podélné a příčné deformaci lze získat Youngův modul a Poissonovo číslo stejně jako v případě zatěžování jednoosséhо (viz [1]). Deformační cyklování pak umožňuje, stejně jako v případě jednoosséhо zatěžování, zmapovat závislost těchto modulů na trvalých deformacích, a tudíž také deformačně závislý konstituční vztah (viz obr. 1,2). V horninách dochází již ve fázi hydrostatického stlačování k dalším efektům, jako je uzavírání trhlin a pórů, drcení kontaktů mezi zrny apod., což samo o sobě vnáší do zkušebních těles změnu přetvárných vlastností. Deformační závislosti výše zmiňovaných modulů pak mohou v případě trojosséhо zatěžování přinést zcela nové informace, které lze spolu s dalšími podpůrnými metodami použít pro hodnocení podílu plastické a elastické deformace, stupně a mechanismu porušení v jednotlivých stadiích trvalých deformací (viz [2] a obr. 3).

POPIS APARATURY

Měření byla provedena na nepravém triaxiálním lisu GTA 20/32, který byl vyroben polskou firmou Unipres. Stěžejním faktorem ovlivňujícím přesnost měření je hydrostatický tlak kapalného media v měřící a zatěžovací komoře. Obě komory jsou odděleny trojitým pracovním pístem, jehož hlavní funkcí je osové zatěžování zkušebního tělesa. Zatěžovací systém je dvoukomorový, oddělený multiplikátorem. Základem multiplikátoru je dvojitý píst o rozdílných plochách na každé jeho straně, což umožňuje vyvolat poměr tlaků v horní a spodní komoře rovný poměru ploch na jednotlivých stranách pístu. Médiem nízkotlakého okruhu je syntetický olej Hydin, výrobce Paramo Pardubice, o kinematické viskozitě 20 cst při pokojové teplotě. Médiem vysokotlakého okruhu je tlumičový olej od téhož výrobce. Tlak v nízkotlakém okruhu je vyvolán elektrickou hydraulickou pumpou s možností spojité regulace tlaku. Snižování tlaku je zabezpečováno jehlovými ventily. Vysokotlaký okruh je vybaven kompenzační komorou, která umožňuje zatěžovat hydrostaticky zkušební těleso, aniž by došlo k posuvu zatěžovací čelisti. Zároveň tato komora umožňuje zatěžování a odtěžování zkušebního tělesa, aniž by se podstatně měnil plášťový tlak (blíže viz [3]). Obvykle jsou měřeny podélná a příčná deformace, teplota kapalného media a tlaky v měřící a zatěžovací komoře. Podélná deformace zkušebního tělesa je měřena z posuvu pracovního pístu, přičemž je brána v úvahu tuhost lisu. K měření je použito induktivního snímače 0 až 15 mm s tolerancí 1 procento z vlastního vývoje ÚGN. Příčná deformace je měřena tensometrickým snímačem, který je výsledkem tříletého vývoje v ÚGN. Snímač byl v uplynulém období podroben testům které potvrdily jeho základní parametry (viz obr. 4):

1. Rozsah deformace 32 až 37 mm (nedestruktivní rozsah 32 až 42 mm)
2. Prostředí: hydraulický olej o tlaku až 350 MPa
3. Linearita ± 0.6 %
4. Tlaková závislost ve výše uvedeném rozsahu tlaků a deformací přibližně lineární, +0.05mm na 100 MPa.

Teplota je měřena polovodičovou sondou z vývoje ÚGN, u které je v současnosti prokazována nezávislost na hydrostatickém tlaku prostředí při obvyklých pracovních teplotách 20 až 30 stupňů Celsia. Tlaky olejového média jsou měřeny standartními tensometrickými tlakovými snímači firmy Siemens. Snímače uvedených fyzikálních vlastností jsou připojeny na aparaturu s počítačem PMD 85, která zabezpečuje čtení a registraci hodnot, zobrazení a vykreslení grafů.

EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY

K měření bylo užito zkušebních těles tvaru válce o průměru 32 mm a výšce 63 mm ze vzorku jemnozrnného pískovce, odebraného z hloubky 873 m v oblasti pestrých vrstev. Měření byla provedena pro plášťové tlaky 50 MPa až 200 MPa. Při těchto plášťových tlacích bylo na ÚGN deformováno několik desítek vzorků po pěti zkušebních tělesech jemnozrnného pískovce a ve všech případech zanechal mechanismus porušení a podíl plastické deformace některé shodné stopy pro shodné plášťové tlaky, ale různé typy vzorků. Při plášťovém tlaku 50 MPa to byl zřetelný vznik smykové plochy a při plášťovém tlaku nad 200 MPa to byl vznik soudečkovitého tvaru bez patrných stop porušení, které by při absenci plastické deformace tomuto novému tvaru nutně musely odpovídat. Ve všech případech byly jako nejlepší fity Mohrových obálek shledány složené lineární závislosti. Tyto závislosti odpovídají Coulombovu případně McClintockovu modelu porušení homogenního a izotropního kontinua v trojossém stavu napjatosti. Závislost Youngova modulu a Poissonova čísla na trvalé deformaci jemnozrnných pískovců také odpovídá závislosti homogenního a izotropního kontinua. Analýzou porušení kontinua totiž plyne, že by po vzájemném přizpůsobení čelistí tyto parametry měly být nezávislé. Poissonovo číslo by se mělo asymptoticky blížit hodnotě 0.5 pro dokonale plastickou látku pro plášťový tlak 200 MPa a dosáhnout hodnot vyšších než 0.5 pro plášťový tlak 50 MPa. Tato skutečnost je způsobena vznikem smykové plochy. V takovém případě ztrácí pojem Poissonova čísla smysl a hodnota vypočtena na základě stejné definice by byla přibližně rovna tangetě odklonu smykové plochy od osy zkušebního tělesa. Všechny doposud provedené experimenty cyklování podporují výše uvedený model. Jejich smyslem však není jednoznačně přiřazovat modely porušení daným typům horniny, ale pouze ukázat, že naměřené závislosti jsou rozumné a dávají metodicky nové informace.

POZNÁMKA

Výše uvedená výzkumná práce byla provedena díky finanční podpoře grantového projektu České Republiky číslo 105/93/2409.

Literatura

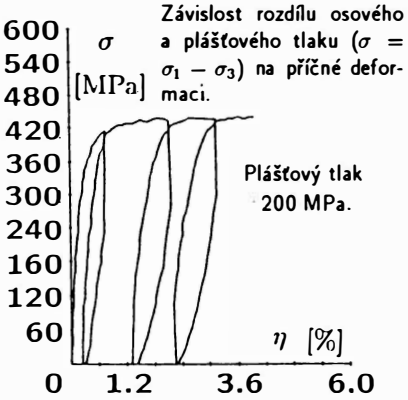
[1] Rambouský, Z., Sosnovec, L.: Chování hornin při jednoossém cyklickém zatěžování za mezí pevnosti. Sborník přednášek z mezinárodní konference Fyzikálne vlastnosti hornín a ich využitie v geológii a geofyzike, Bratislava, červen, 1993, SR.

[2] Jaeger J. C., Cook N. G. W. : Fundamentals of Rock Mechanics. John Willey and Sons, New York, 1976.

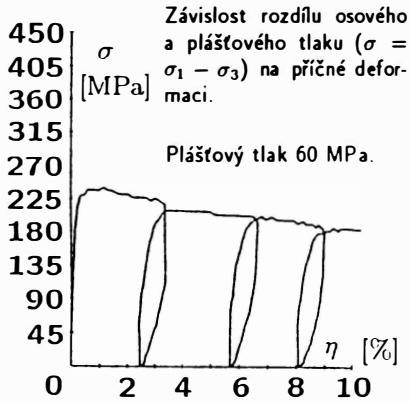
[3] Urzadzenie do badania skal w trojosiowym stanie naprezenia typu GTA-20. Instrukcja obslugi. Polská akademie věd, Warszawa, 1985.

[4] Hoffman K.: An Introduction to Measurements using Strain Gages. HBM, BmbH, Darmstadt, 1989.

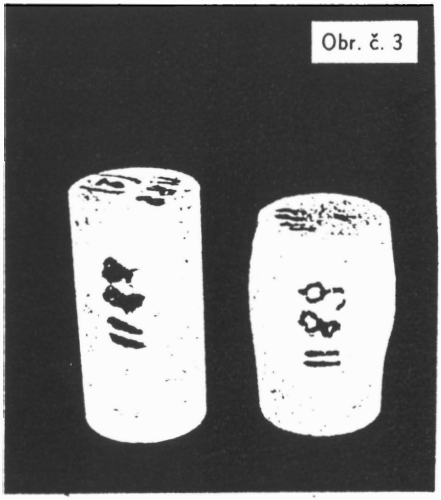
[5] Rambouský Z.: Návrh snímače posunutí do prostředí o vysokém hydrostatickém tlaku. Sborník konference Experimentální analýza napětí 1992, ČR.



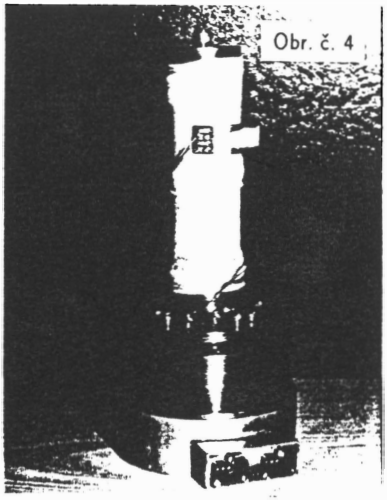
Obr. č. 1



Obr. č. 2



Vzorek jemnozrnného pískovce před a po 10 % podélné trvalé deformaci, plášťový tlak 350 MPa.



Zkušební těleso se snímačem příčné deformace připravené k experimentu.

Zdeněk Rambouský/Ing.
Luděk Sosnovec/RNDr.
ÚGN AV ČR, Studentská 1768, Ostrava – Poruba, PSČ 708 00
Telefon: (069) 691 86 51, Fax.: (069) 691 94 52