

DYNAMICKÁ SIMULACE LOMU TLAČENÉHO VZORKU

DYNAMIC SIMULATION OF CRACK PROPAGATION OF COMPRESSED SPECIMEN

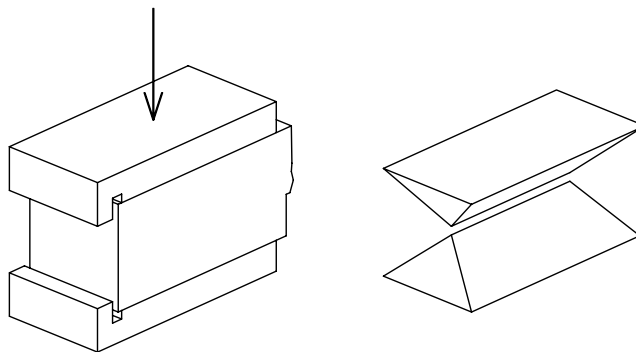
Petr Frantík¹

Abstract

The paper is focused on the results of the numerical simulation of crack propagation during a compression test of a specimen of quasibrittle material. An effective numerical method is used which is based on physical discretisation of the specimen material. The model produces several qualitatively different crack patterns depending on its parameters.

1 Úvod

Na Ústavu stavební mechaniky FAST VUT v Brně je dlouhodobě vyvíjena metoda i její implementace pro fyzikální diskretizaci kontinua, viz např. [1,2]. Implementace této metody (v jazyce C a Java) se již dostala do podoby schopné modelovat lomové procesy v kvazikřehkých materiálech. Tento článek se věnuje prvním výsledkům modelování tlakové zkoušky na vzorcích z cementových malt. Jedná se rovněž o volné navázání na článek [3] pojednávající o vlivu okrajových podmínek při modelování tlakové zkoušky. Konkrétně jde o průběh lomového procesu a vznik tlakových/smykových klínů pod ocelovými příložkami zatěžovacího zařízení, viz obr. 1.



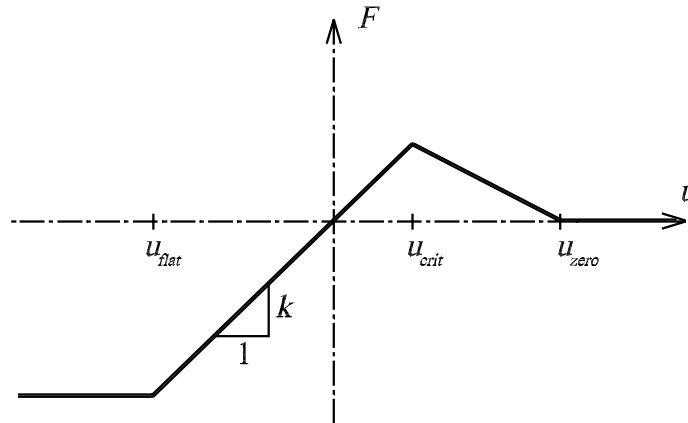
Obr. 1: Tlačený vzorek z cementové malty a klínové útvary zbylé po zkoušce

2 Model

Model tlačeného vzorku tvaru je tvořen hmotnými body, které v sobě koncentrují jeho hmotnost. Tyto body na sebe navzájem působí prostřednictvím sítě interakčních pružin s definovanou silovou funkcí. Přístup se podobá netradičním výpočetním metodám, kterými jsou částicové modely a příhradové „lattice“ modely. Vlastnosti interakční funkce souvisí s fyzikálními vlastnostmi materiálu a volbou sítě hmotných bodů a pružin. Pro modelování tlačeného vzorku z cementové malty je vybrána interakční funkce užívaná pro vystižení kvazikřehkých materiálů. Lineární chování je omezeno

¹ Ing. Petr Frantík, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: kitnarf@centrum.cz

v tlačené oblasti konstantní hodnotou odpovídající maximální tlakové síle v pružině, viz obr. 2; v tažené oblasti je po dosažení kritického posunutí (resp. maximální tahové síly) použita lineární sestupná závislost až do dosažení nulové hodnoty tahové síly. Poté je pružina považována za přetrženou. Odlehčení probíhá paralelně se vzestupnou větví.



Obr. 2: Použitá interakční funkce (F je síla v pružině, u je protažení pružiny)

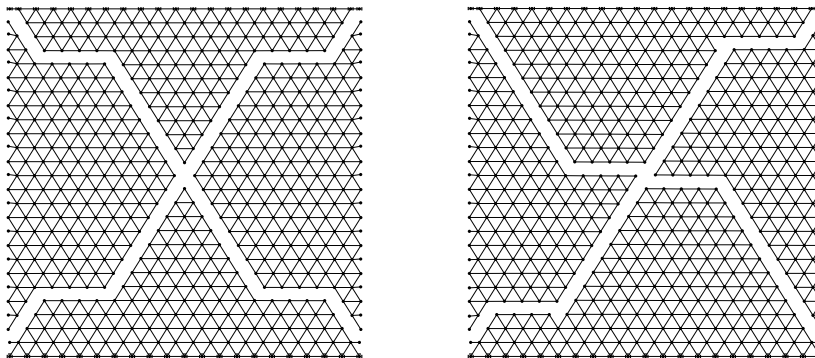
Numerický model vzorku je formulován pomocí klasické mechaniky jako nelineární dynamický systém soustavou obyčejných diferenciálních rovnic ve tvaru:

$$\begin{aligned} \frac{dx_i}{dt} &= v_{xi}, & \frac{dv_{xi}}{dt} &= \frac{1}{m_i} (R_{xi} - c_i m_i v_{xi}), \\ \frac{dy_i}{dt} &= v_{yi}, & \frac{dv_{yi}}{dt} &= \frac{1}{m_i} (R_{yi} - c_i m_i v_{yi}), \end{aligned} \tag{1}$$

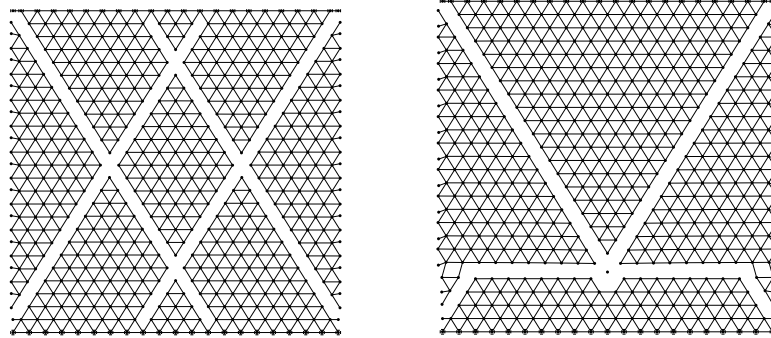
kde x_i a y_i jsou souřadnice i -tého hmotného bodu, v_{xi} , v_{yi} jsou složky aktuální rychlosti, R_{xi} , R_{yi} jsou složky aktuální výslednice interakčních sil $R_i = \Sigma f(u)$, kterou pružiny působí na hmotný bod, m_i je jeho hmotnost, c_i je součinitel útlumu a t je čas. Tato soustava je řešena základními numerickými metodami (Euler, Runge-Kutta).

3 Průběh lomu

Modelován byl homogenní čtvercový vzorek rozdělený na 559 hmotných bodů situovaných do pravidelné, dokonale symetrické „trojúhelníkové“ sítě pružin. Při spodním okraji byl uchyten neposuvně v obou směrech; při horním okraji byl uchyten neposuvně v horizontálním směru, přičemž svislý posuv se měnil konstantní rychlostí. Úloha byla řešena s ohledem na kvalitativní hodnocení průběhu lomu. V závislosti na hodnotách parametrů interakční funkce vznikaly různé obrazce porušení, viz obr. 3 a 4.



Obr. 3: Charakteristické obrazce porušení modelu při iniciaci ze středu vzorku



Obr. 4: Charakteristické obrazce porušení modelu při iniciaci z rohu vzorku

Z obrazců porušení je patrné, že dochází k očekávanému formování klínových útvarů, které je do jisté míry dáno i strukturou sítě pružin. Navzdory tomu však model vykazuje překvapivou variabilitu a citlivost na zvolené parametry interakční funkce. U obrazců na obr. 3 se lom inicioval ve středu vzorku; obrazce na obr. 4 odpovídají iniciaci v rozích vzorku.

Iniciace lomu ve středu vzorku

Různé obrazce porušení vzorku byly získány parametrickou studií opřenu o proměnlivost parametrů interakční funkce u_{crit} , u_{zero} a u_{flat} . Bylo zjištěno, že dosažení iniciace lomu ve středu vzorku je v modelu možné jen v malé podmnožině těchto parametrů.

První podmínkou je dostatečná velikost přetvárné práce nutné k přetržení pružiny, která je dána parametrem u_{zero} . Musí platit $u_{zero} > u_{crit}$.

Druhá podmínka omezuje poměr mezi parametry u_{crit} a u_{flat} . Pokud $u_{zero} = 20 u_{crit}$ pak musí pro daný model přibližně platit $u_{flat} / u_{crit} = -2 \pm 10\%$.

Pokud tyto podmínky splněny nebyly, pak docházelo k iniciaci lomu z rohů vzorku.

4 Závěr

Příspěvek prezentoval první výsledky modelování lomu tlačенého vzorku pomocí popsané fyzikální diskretizace. Ukázalo se, že model umožňuje dva různé způsoby iniciace lomu: z rohů vzorku a ze středu vzorku. Při lomu se formují očekávané klínové útvary, přičemž se objevila překvapivá bohatost na různé lomové obrazce v závislosti na parametrech modelu. Otázkou zůstává význam geometrie sítě hmotných bodů a pružin.

Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] Frantík, P. DISKRÉTNÍ ŘEŠENÍ VZPĚRU PRUTU, seminář Problémy modelování, VŠB-TU Ostrava, 2002
- [2] Frantík, P. SIMULACE ZTRÁTY STABILITY ŠTÍHLÉHO PRUTU PŘI KROUCENÍ, konference Modelování v mechanice 2006, VŠB-TU Ostrava
- [3] Frantík, P., Keršner, Z., Štancl P. VLIV OKRAJOVÝCH PODMÍNEK PŘI MODELOVÁNÍ TLAKOVÉ ZKOUŠKY, konference Modelování v mechanice 2005, VŠB-TU Ostrava