

Udarne sile v sistemu več razmaknjenih teles z dušenjem

Guillaume Ricciardi
CEA Cadarache, Francija

Udarne sile, ki nastanejo zaradi stika med telesi v primeru seizmičnega dogodka, lahko povzročijo škodo. Ocena največje sile, ki se lahko pojavi v primeru potresa, je zato pomembna pri projektiranju konstrukcij. Članek opisuje vpliv razmika in drugih parametrov na največje udarne sile, ki se lahko pojavijo v sistemu več teles. Podan je predlog brezdimenzijske enačbe za opis dinamike sistema. Opravljene so bile tudi numerične simulacije nad širokim območjem parametrov ob predpostavki, da se vitke konstrukcije upogibajo le s prvo lastno frekvenco.

Obravnavan je preprost sistem, sestavljen iz masnih teles, ki so s tlemi povezana z vzmetjo in viskozni blažilnikom. Pomiki tal ustrezajo seizmičnim dogodkom. Telesa so razmaknjena in ob stiku se pojavijo udarne sile na levi oz. na desni strani telesa. Udarne sile ob stikih so modelirane z linearnimi vzmetmi, s čimer je upoštevana togost stika, ki se lahko razlikuje od togosti sistema. Za to študijo je bila izbrana linearna vzmet za opis lokalnih deformacij vitkega telesa na mestu stika, ki so mnogo večje od upogibne togosti.

Numerični rezultati kažejo na obstoj treh različnih področij. V prvem področju ni nobenih stikov med telesi. Za drugo področje je značilen zvezen razvoj koncentracije udarnih sil na mejah. Ko je v stiku le nekaj teles, število teh teles ni odvisno od skupnega števila stikov in zato je tudi hitro dosežena asimptotična vrednost.

Vedenje sistema v zadnjem področju z najpomembnejšimi udarnimi silami pa je kaotično in velja za manjše vrednosti zračnosti. Bifurkacijski diagram za prvo telo ilustrira razna vedenja nelinearnega sistema. Periodična rešitev preide v bifurkacijo z dvojno periodo in nato v kaos. Razviden je tudi zelo neenakomeren razvoj največjih udarnih sil kot funkcije zmanjšane frekvence z nenadnimi padci. Največje udarne sile v področju kaosa so veliko pomembnejše od teh sil v zveznem področju.

Na osnovi lineariziranega sistema in empirične formule za prvo lastno frekvenco je podan predlog zgornje meje verjetnih največjih udarnih sil. Kriterij je izpolnjen v zveznem področju, medtem ko so v kaotičnem področju določena odstopanja. Kriterij je vseeno primeren za ocenjevanje. Rezultat brezdimenzijske analize je, da je največja udarna sila sorazmerna z maso, pospeškom, razmerjem togosti in obratno vrednostjo koeficienta dušenja. Podan je predlog teoretične zgornje meje za največje sile ter primerjava z rezultati numerične simulacije in eksperimentov.

Eksperiment je bil zasnovan s stresalno mizo, na kateri je bila nameščena vrsta 46 vertikalnih vitkih konstrukcij (gorivnih sestavov), vpetih v podnožju. Konstrukcije lahko vibrirajo s prvo upogibno lastno frekvenco. Meritve udarnih sil so pokazale, da se največje sile pojavijo na skrajnem koncu. Največja reducirana udarna sila je bila manjša od sile, ocenjene s teoretično analizo. Poenostavljena analiza torej zagotavlja konzervativno zgornjo mejo. Razliko je mogoče pojasniti z dejstvom, da telesa niso sistemi z eno prostostno stopnjo in da se del disipacije energije lahko zgodi pri višjih frekvencah, poleg tega pa vzbujanje v eksperimentu ni harmonično in zato lahko nastopijo nekateri prehodni pojavi.

V prihodnjih študijah bi bilo mogoče preučiti še vpliv nehomogenosti razmikov in togosti ter nelinearne kontaktne togosti za boljši opis realnih sistemov. V prihodnosti bo opravljena tudi analiza sistema več nosilcev in primerjava s tukajšnjimi rezultati.

Ključne besede: sistem več teles, udarec, razmik, nelinearnost, kaos, dušenje