Promjene dinamičkih svojstava armiranobetonskoga okvira ispitanog na potresnom stolu

Cerovečki, Adriana; Kraus, Ivan

Source / Izvornik: **Zajednički temelji '17 : zbornik radova, 2017, 229 - 235**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2017.14

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:522285

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

UDRUGA HRVATSKIH GRAĐEVINSKIH FAKULTETA
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET
ZAJEDNIČKI TEMELJI '17.

DOI: https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2017.14

Promjene dinamičkih svojstava armiranobetonskoga okvira ispitanog na potresnom stolu

Adriana Cerovečki, Ivan Kraus

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet
kontakt: acerovecki@gfos.hr

Sažetak

U radu je promatrana armiranobetonska konstrukcija eksperimentalno ispitana na potresnome stolu. Fizički je model konstrukcije ispitan u četiri faze, pri čemu je svaka faza uključivala potres snažnijega intenziteta. To je omogućilo istraživanje utjecaja oštećenja konstrukcije na njezina dinamička svojstva: prigušenje i osnovni period osciliranja. Za promatranu je konstrukciju napravljena procjena prigušenja i osnovnoga perioda osciliranja nakon svake završene faze ispitivanja primjenom vremenskih zapisa pomaka dostupnih autorima. Rezultati dobiveni na stvarnoj konstrukciji uspoređeni su s preporučenim vrijednostima prigušenja te proračunanim vrijednostima osnovnoga perioda osciliranja uz primjenu analitičkih izraza iz dostupne literature. Osim toga, u radu je prikazan i jednostavan način filtriranja i zaglađivanja vremenskih zapisa koji sadrži visoko frekvencijski šum.

Ključne riječi: *eksperiment, prigušenje, osnovni period osciliranja, armiranobetonska konstrukcija*

Changes in dynamic properties of reinforced concrete frame experimentally tested on a shaking table

Abstract

This paper observes reinforced concrete structure experimentally tested on a shaking table. The physical model of the structure was tested in four phases where each phase involved shaking of higher intensity. This allowed study of the influence of structural damage on its dynamic properties. For the observed structure an estimation of the damping and the natural period of oscillation was made after each completed phase of the test using displacement time history records available to the authors. The results obtained from the real structure were compared with the recommended values of damping and calculated values of the fundamental period of oscillation using analytical expressions provided in available literature. Besides that, the paper shows simple way of filtering and smoothing of time histories that comprises high frequency noise.

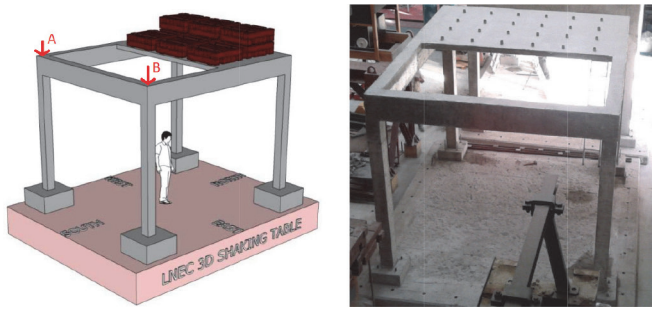
Keywords: *experiment, damping, fundamental period of oscillation, reinforced-concrete structure*

1 Uvod

Ako pogledamo potresnu kartu svijeta, možemo primijetiti da su veliko područje Europe, Kalifornija, Japan, Novi Zeland i mnoga druga područja izrazito potresno aktivna. U tom svjetlu i s ciljem zaštite ljudskih života norme za projektiranje konstrukcija zahtijevaju potresni proračun (npr. [1-4]). Kako bi se takav složeni proračun mogao provesti, treba poznavati ili dobro procijeniti osnovna dinamička svojstva konstrukcije: osnovni period osciliranja te prigušenje. U literaturi (npr. [1-5]) mogu se pronaći izrazi za procjenu osnovnoga perioda osciliranja konstrukcija te preporučene vrijednosti prigušenja konstrukcija. No, dani izrazi za procjenu osnovnoga perioda osciliranja daju vrijednost perioda za elastični (tj. neoštećeni) konstrukcijski sustav, što se također odnosi i na prigušenje. Kako bi se pomoću složenijih, nelinearnih potresnih proračuna u vremenu moglo dobro procijeniti potresni odziv konstrukcije te ju pravilno dimenzionirati s ciljem zaštite ljudskih života u potresno aktivnim područjima, treba moći dobro procijeniti promjene vlastitih perioda osciliranja konstrukcije te prigušenja tijekom djelovanja snažnih podrhtavanja tla. Kako bi se doprinijelo razumijevanju promjene prigušenja te perioda osciliranja konstrukcija u ovom je radu provedena analiza dinamičkoga odziva eksperimentalno ispitane armiranobetonske konstrukcije koja je ispitana na potresnome stolu pri djelovanju dinamičke pobude čiji je intenzitet postupno rastao.

2 Opis eksperimenta

Godine 2012. u sklopu 15. svjetske konferencije o potresnom inženjerstvu u laboratoriju za građevinarstvo u Lisabonu u Portugalu eksperimentalno je ispitana prostorna armiranobetonska konstrukcija. Konstrukcija se sastojala od četiri stupa presjeka 20/20 cm, temelja tlocrtnih dimenzija 50/50 cm i debljine 20 cm, greda 20/40 cm te betonske ploče debljine 10 cm. Konstrukcija je u smjeru sjever-jug (eng. *north-south*) bila duljine 4 m, a u smjeru istok-zapad (eng. *east-west*) 3,5 m. Visina stupova iznosi 3 m. Više informacija o eksperimentu dano je u [6-8]. Konstrukcija je izrađena od betona razreda C 25/30, dok je za armiranje bio upotrijebljen čelik kvalitete S500. Na ploči je postavljeno dodatno stalno opterećenje (slika 1.-lijevo). Stalno je opterećenje dodano u iznosima od 1200 kg i 2400 kg te se prilikom ispitivanja konstrukcije nije mijenjalo.



Slika 1. Trodimenzionalni prikaz modela konstrukcije s nanesenim opterećenjima (lijevo) [6] te prikaz dovršene konstrukcije prije ispitivanja (desno) [8]

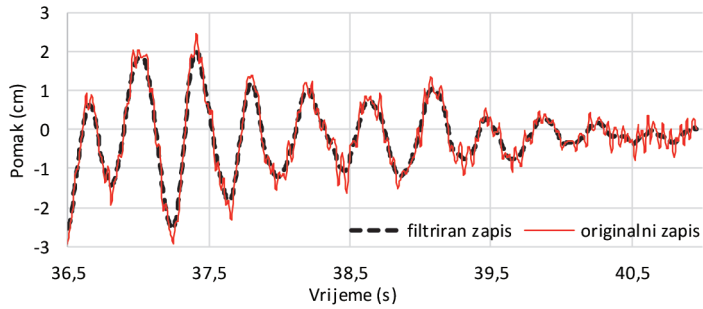
Konstrukcija je istodobno bila pobuđivana u dva horizontalna smjera dinamičkom pobudom koja je simulirala stvarno podrhtavanje tla. Podrhtavanje tla bilo je simulirano u četiri uzastopna koraka, pri čemu je intenzitet podrhtavanja rastao sa svakim korakom: niski intenzitet, srednji intenzitet, referentni intenzitet te, na kraju, visoki intenzitet. Konstrukcija je pobuđena snažnijim intenzitetom podrhtavanja tek nakon što se cijela smirila. Između dva simulirana potresa konstrukcija nije bila sanirana. Rezultat eksperimenta zapisi su pomaka dviju točaka (A i B) za smjer x i y. Točka A bila je smještena na vrhu sjeverozapadnoga stupa, a točka B na vrhu sjeveroistočnog stupa (slika 1.-lijevo). Smjer x predstavlja uzdužni smjer (tj. sjever-jug), dok je smjer y poprečni smjer (tj. istok-zapad).

3 Filtriranje signala

Zapisi pomaka sadržavali su šum visoke frekvencije (slika 2.) te su prije uporabe za procjenu osnovnoga perioda osciliranja i prigušenja filtrirani, tj. očišćeni primjenom jednostavnoga matematičkog zaglađivanja [5]:

$$S_k = 0,25S_{k-1} + 0,50S_k + 0,25S_{k+1} \tag{1}$$

gdje je S_k vrijednost pomaka u promatranom vremenskom trenutku. Postupak zaglađivanja na svakom je zapisu ponovljen pedeset puta. U literaturi [5] je pokazana primjena ovoga postupka uz ponavljanja i do sto puta.



Slika 2. Primjer originalnoga i filtriranog zapisa pomaka

4 Procjena perioda osciliranja i prigušenja

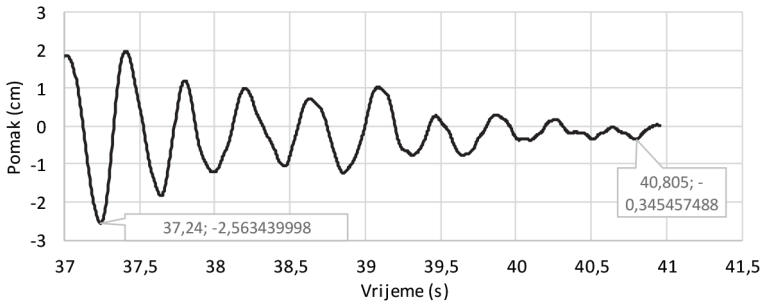
Za određivanje osnovnoga perioda osciliranja konstrukcije te prigušenja upotrebljavaju se slobodni pomaci konstrukcije koji se događaju nakon djelovanja vanjske pobude, tj. pri slobodnim vibracijama [4]. Vremenski zapisi pomaka konstrukcije dostupni autorima nisu sadržavali slobodne vibracije te je ovdje za potrebe istraživanja pretpostavljeno da prilikom smirivanja umjetno induciranoga potresa konstrukcija pseudoslobodno oscilira. Naime, budući da gornji ustroj konstrukcije sadrži veliku masu i da je na takvu masu do približno 39 s djelovala razmjerno velika dinamička pobuda, autori smatraju da konstrukcija pri razmjerno slabom podrhtavanju potresne platforme, tj. nakon 39 s, slobodno prigušeno oscilira. Stoga su dijelovi signala potresnoga zapisa nakon približno 39 s upotrijebljeni za procjenu osnovnoga perioda osciliranja konstrukcije te prigušenja. Prema prijedlogu danom u literaturi [4] primijenjen je izraz (2) za proračun prigušenja konstrukcije, dok je izraz (3) primijenjen za procjenu osnovnoga perioda osciliranja konstrukcije:

$$\xi = \frac{1}{2\pi j} ln \frac{u_i}{u_{i+j}} \tag{2}$$

$$T_1 = \frac{t_{i+j} - t_i}{j} \tag{3}$$

gdje su j broj valova između promatranih točaka, u_i pomak konstrukcije u prvoj promatranoj točki, a u_{i+j} pomak u drugoj promatranoj točki. Nadalje, t_i se odnosi na vremenski trenutak prve točke, a t_{i+j} druge promatrane točke.

Na primjeru je u nastavku pokazana primjena izraza (2) i (3). Vremenski je zapis pomaka konstrukcije prikazan na slici 3. filtriran, čime je omogućeno lakše očitavanje podataka potrebnih za primjenu u izrazima (2) i (3). Na slici 3. označena su dva trenutka između kojih je uočeno smanjivanje pomaka konstrukcije, te je taj dio bio razmotren u skladu s prethodno opisanom pretpostavkom.



Slika 3. Zapis slobodnih pomaka konstrukcije

Za primjer prikazan na slici 3. dobivene se sljedeće vrijednosti perioda i prigušenja:

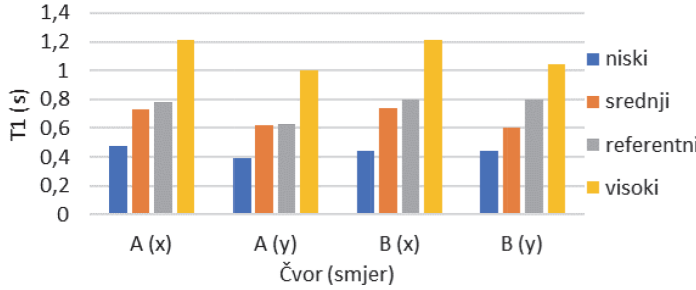
$$T_1 = \frac{40,805 - 37,24}{9} = 0,395s,\ \xi = \frac{1}{2\pi 9} ln \frac{2,563}{0,345} = 0,035$$

Ovaj je postupak proveden za oba čvora (A i B) i oba smjera djelovanja potresa te za sva četiri intenziteta podrhtavanja, a rezultati su dani na slikama 4. i 5. Slika 4. sadrži osnovne periode osciliranja konstrukcije, dok slika 5. sadrži prigušenja konstrukcije pri pobudama različitoga intenziteta.

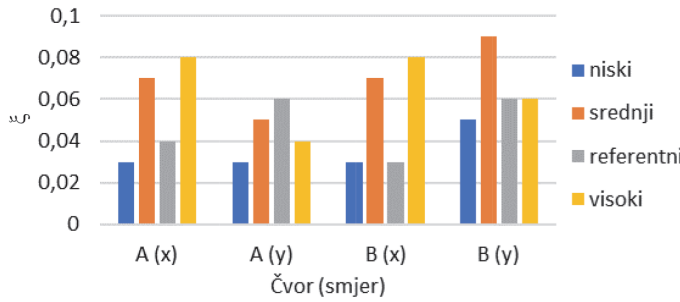
Promatrajući samo fazu ispitivanja koja uključuje podrhtavanje niskoga intenziteta proračunane su srednje vrijednosti osnovnoga perioda osciliranja i prigušenja koje redom iznose T_1= 0,425 s i ξ = 3,5 %, što se smatra prikladnim vrijednostima za elastični model konstrukcije. Naime, pri podrhtavanjima razmjerno niskoga intenziteta na konstrukciji se ne javljaju značajna oštećenja, te se vrijednosti osnovnoga perioda osciliranja i prigušenja mogu smatrati odgovarajućima za elastičnu konstrukciju. Budući da autori nisu imali uvid u razinu oštećenja ispitane konstrukcije, ovo je provjereno uz primjenu numeričkih proračuna, o čemu ovdje nije dano više informacija zbog ograničenoga prostora. Nadalje, primjenom izraza (4) [3] za procjenu osnovnoga perioda osciliranja dobiva se iznos od 0,5 s.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \tag{4}$$

gdje je *m* ukupna masa konstrukcije, a *k* krutost konstrukcijskih elemenata. U literaturi [4] se kao preporučano prigušenje za armiranobetonske konstrukcije navodi 3-5 %, pri čemu je donja preporučena vrijednost vrlo bliska vrijednosti dobivenoj proračunom.



Slika 4. Osnovni periodi osciliranja T_1(s) za četiri različita intenziteta potresa



Slika 5. Prigušenje ξ za četiri različita intenziteta potresa

Promatranjem preporučenih vrijednosti u literaturi te vrijednosti dobivenih iz rezultata eksperimenta uočava se dobra podudarnost, osobito kada je riječ o prigušenju. Nadalje, na slici 4. može se uočiti porast osnovnoga perioda osciliranja s porastom intenziteta potresa. To se može objasniti postupnim porastom oštećenja konstrukcije te stvaranjem plastičnih zglobova čija je posljedica porast perioda osciliranja. Gledajući prigušenje (slika 5.), u većini se slučajeva uočava porast s povećanjem intenziteta podrhtavanja, jer oštećena konstrukcija troši više energije zbog trenja koje se javlja unutar plastičnih zglobova. Pojedine vrijednosti prigušenja na slici 5. ne prate trend porasta s porastom intenziteta podrhtavanja, što se dijelom može objasniti pogrešnim ulaznim podacima. Naime, filtriranje zapisa, pa i odabir točaka za proračun perioda i prigušenja, dijelom su uvjetovani subjektivnim odlukama i odabirom. S druge strane, kako je spomenuto i ranije u radu, za procjenu dinamičkih svojstava konstrukcije upotrijebljeni su vremenski zapisi pseudoslobodnih pomaka.

5 Zaključak

Armiranobetonska okvirna konstrukcija ispitana je na potresnom stolu uz primjenu četiri potresa različitih intenziteta. Vremenski zapisi pomaka konstrukcije zaglađeni su primjenom jednostavne metode kako bi se iz njih uklonio šum koji sadrži visoke frekvencije. Pomoću filtriranih zapisa proračunani su period osciliranja i prigušenje nakon svake od četiri faze ispitivanja te je uočen porast vrijednosti oba dinamička svojstva s porastom oštećenja konstrukcije. Oštećena konstrukcija troši više energije prilikom vibriranja što rezultira povećanjem prigušenja, a osnovni period osciliranja se povećava zbog stvaranja plastičnih zglobova. Pojedine vrijednosti prigušenja konstrukcije odstupale su od očekivanih, što je objašnjeno utjecajem odabira točaka za proračun. Dinamička svojstva konstrukcije dobivena analizom vremenskih zapisa najslabijega intenziteta uspoređena su s preporučenim vrijednostima u dostupnoj literaturi te je uočeno njihovo dobro slaganje. Smatra se da prilikom djelovanja zapisa niskog intenziteta konstrukcija ostaje unutar područja elastičnog ponašanja.

Zahvala

Autori se zahvaljuju organizatorima 15. svjetske konferencije o potresnom Inženjerstvu na ustupanju eksperimentalnih rezultata. Autori se također zahvaljuju Građevinskom fakultetu Osijek za financiranje internog znanstveno-istraživačkog projekta PENDULARUM 15-04, u čijem je okviru izrađen ovaj rad.

Literatura

[1] EN 1998-1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC), 2004.

[2] Čaušević, M.: Dinamika konstrukcija: potresno inženjerstvo, aerodinamika, konstrukcijske euronorme. Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2010.

[3] Sigmund, V., Guljaš, I., Stanić, A.: Nelinearni odgovor konstrukcija dimenzioniranih hrvatskim i europskim normama, Građevinar, 54 (2002) 1, pp. 1-13

[4] Chopra, A.K.: Dynamics of structures, 3. izdanje, Pearson Education, 2007.

[5] Towhata, I.: 9.12 Spectrum Analysis by Fourier Series, Geotechnical Earthquake Engineering, 1. izdanje, Springer, 2007.

[6] 15WCEE Blind Test Challenge - Design report, 2012.

[7] 15WCEE Blind Test Challenge - Preliminary Test report, 2012.

[8] 15WCEE Blind Test Challenge - Material Data and Construction report, 2012.