

Jarðskjálftasvörun brúa á stauraundirstöðum

Bjarni Bessason, prófessor
Verkfræðideild Háskóla Íslands, Hjarðarhaga 2-6, 107 Reykjavík
Netfang: bb@hi.is

Jón Snæbjörnsson, verkfræðingur
Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, Ármúla 4, 108 Reykjavík
Netfang: js@vst.is

Bakgrunnur

Samvirkni jarðvegs, staura og burðarvirkis (*e. soil-pile-structure interactions*) í jarðskjálfta er flókið fyrirbæri og margir þættir hafa þar áhrif. Fjöldi vísindagreina er til um efnið og margvísleg reiknilíkön og reikniaðferðir hafa verið sett fram. Skilningur og þekking á þessari samvirkni er mikilvæg öllum þeim sem fást við grundun mannvirkja á stauraundirstöðum.

Margar brýr Vegagerðarinnar eru grundaðar á staura. Sumar þessara brúa eru staðsettar á jarðskjálftasvæðum Suðurlands og Norðurlands. Fyrir tilstuðlan Vegagerðarinnar var ákveðið að setja af stað rannsóknarverkefni í formi meistaraverkefnis við verkfræðideild Háskóla Íslands um jarðskjálftasvörun brúa á stauraundirstöðu. Verkefnið hófst á haustmánuðum 2004 og lauk í febrúar 2005 [1]. Meginmarkmið verkefnisins var að finna hentuga og áreiðanlega aðferðafræði sem nota mætti til að skilgreina hreyfðarfræðilega kennistuðla í stauraundirstöðu fyrir brú. Skilgreiningin á kennistuðlunum skyldi miðast við að hægt væri að nota stuðlana sem inngögn í venjuleg einingaförri (*e. finite element model*).

Aðferðafræði

Í hefðbundinni hreyfðarfræðilegri greiningu (*e. dynamic analysis*) burðarvirkis vegna bylgjuhreyfingar yfirborðs af völdum jarðskjálfta er frjálssviðs yfirborðshreyfing (*e. free-field ground motion*) yfirleitt ákvörðuð á byggingarstað og hún síðan notuð til að örva fastan grunn burðarvirkisins (*e. fixed-base structure*). Þetta á vel við þar sem mannvirkið er grunduð á klöpp. Þegar burðarvirki er hins vegar grundað á staurum í mjúkum jarðvegi (*e. soft soil*) breytir tilvist stauranna frjálssviðs hreyfingunum jarðvegs vegna eðlismunar á stífni stauranna og jarðvegsins. Staurarnir ná ekki að fylgja eftir hreyfingum jarðvegsins. Þessi samvirkni á sér stað jafnvel þótt mannvirkið ofan á staurunum sé massalaust. Þetta kallast hreyfisvörun (*e. kinematic response*). Fyrir raunveruleg mannvirki með gefna stífni og massa bætist svo við tregðusvörun mannvirkisins. Framangreind samvirkni milli jarðvegs, staura og burðarvirkis leiðir af sér svörun er getur verið allólik svörun sem reiknuð er fyrir mannvirki sem hvílir á föstum grunni og er örvað af frjálssviðs yfirborðshreyfingu. Oftast eru áhrif tregðusvörunar mun meiri en áhrif hreyfisvörunar.

Byggt á niðurstöðum heimildakönnunar var, í því verkefni sem hér er kynnt, valin aðferðafræði sem byggist á því að nálgast hreyfðarfræðilega kennistuðla stauraundirstöðunnar með tíðniháðum jafngildum línulegum gormum og dempurum. Nánari umfjöllun um aðferðafræðina má finna í [1] og [2].

Brú á Brúará

Hagnýting aðferðarinnar var sýnd með því beita henni í ólínulegri jarðskjálftagreiningu á nýrri brú yfir Brúará hjá Efri-Reykjum í Bláskógabyggð. Brúin er 40 m löng steipt eftirspennit bitabré á tveimur höfum 22 og 18 m löngum. Heildarbreidd brúar er 8,5 m. Á landstöplum eru sérstakar jarðskjálftalegur, þ.e. gúmmilegur með blýkjarna, en venjulegar gúmmilegur eru á millistöpli. Brúin er grunduð á staura sem ná niður á klöpp. Dýpi á klöpp er á bilinu 8 til 10 m, en minni ef miðað er við sökkulbotn undir stöplum.

Jarðskjálftagreining

Jarðskjálftasvörun var gerð með ólínulegri tímaraðagreiningu í SAP2000 einingaforritinu [3]. Notast var við mældar tímaraðir frá Hellu úr Suðurlandsskjálftunum árið 2000. Beitt var svokallaðri hraðvirkri ólínulegri greiningu (*e. fast nonlinear analysis*) þar sem fléttuð eru saman sveifluform burðarvirkis og frelsisgráður sem tengjast ólínulegum legueiningum og síðan tegrað skref fyrir skref. Þessi aðferðafræði er mun fljótlegra en hefðbundin skref fyrir skef tegrun á kerfisjöfnunum í fullri stærð.

Tvö misflókin ólínuleg reiknilíkön af brúnni voru sett upp, einfalt bitalíkan og ýtarlegt kubballíkan. Niðurstöður frá þessum tveimur líkönum voru mjög svipuð sem þýðir að hægt er með góðum árangri að styðjast við bitalíkanið.

Þrjú mismunandi afbrigði af reiknilíkönunum voru skoðuð varðandi hermun á færslum yfirbyggingar. Í fyrsta lagi fullt líkan, þar sem yfirbyggingin, stöplar og stauraundirstöður eru með í líkaninu. Í öðru lagi líkan þar sem staurar voru fjarlægðir úr reiknilíkani og stöplarnir festir beint við yfirborð jarðvegs. Í þriðja lagi tilvik þar stöplar og staurar voru fjarlægðir og legurnar, sem yfirbyggingin situr á, láttnar standa beint á jarðveginum. Mismunur á niðurstöðum keyrslu þessara þriggja tilvika var hverfandi lítill og er meginástæðan sú að hreyfðarfræðilega stífni og deyfni stauraþyrpinganna neðan stöpla er hlutfallslega mjög há miðað við stífni jarðskjálftalega. Svörunin ræðst því nær eingöngu að eiginleikum leganna.

Í framhaldi af þessu var athugað með að fækka staurum og þannig minnka stífni stauraundirstöðunnar. Hér er rétt að undirstrika að vegna samvirkniáhrifa milli nærliggjandi staura að þá minnkar stífni ekki línulega við fækkun staura. Til dæmis ef staurum er fækkað um helming frá því sem er í núverandi hönnun lækkar lárétt stífni aðeins um u.þ.b. 20%. Það verður þó að hafa í huga að lóðréttur burður stauranna ræðst hins vegar beint af fjölda þeirra. Fram kom að jafngildi lárétt heildarstífni staura þarf að vera af svipaðri stærð og lárétt heildarstífni lega til þess að áhrif staura fari að gæta í svörun yfirbyggingar. Nánari umfjöllun má finna í [1].

Samantekt og niðurstöður

Aðalmarkmið verkefnisins náðist, þ.e. að finna aðferðafræði sem nota mætti til að ákvarða kennistærðir stauraundirstöðu brúar í tölvutækt reiknilíkan. Meginniðurstaðan varðandi brúna sem greind var í verkefninu var sú að eðliseiginleikar jarðskjálftalega voru ráðandi varðandi svörun yfirbyggingar brúar og að stífni stauraundirstöðu réði litlu þar um. Heildarstífni staura og heildarstífni lega þarf að vera af svipaðri stærð til að áhrif staura á svörun yfirbyggingar gæti. Eftir stendur þó að taka verður tillit til bylgjumótunar jarðvegs á yfirborðshreyfinguna sem notuð er til að örva mannvirkid. Meistararitgerðin er aðgengileg á heimasíðu verkfræðideildar Háskóla Íslands [1] en einnig mun birtast grein í næstu Árbók VFÍ/TFÍ [2] um verkefnið.

Verkefnið var styrkt af Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar.

Heimildir:

- [1] Jón Snæbjörnsson, *Jarðskjálftagreining brúar á stauraundirstöðu*, Meistararitgerð, Verkfræðideild Háskóla Íslands, Febrúar 2005. Pdf-skrá: <http://www.hi.is/page/msublst>
- [2] Jón Snæbjörnsson og Bjarni Bessason, *Jarðskjálftagreining brúar á stauraundirstöðum*, Grein sem mun birtast í *Árbók VFÍ/TFÍ*, 2005.
- [3] Computers and Structures, Inc.; *SAP 2000 Analysis reference manual*; Computers and Structures, Inc.; Berkeley; July 2002.