FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 1997, március 21-23

Csővezetékek tervezési földrengésének meghatározása

Szücs László - Valenta László

Bevezetés

Annak ellenére, hogy a szerkezeteket nagyon sok különböző forrásból származó dinamikus terhelések - szél, hullámozás, gépjármű mozgása - érik, kétségkívül a földrengésnek van a legnagyobb jelentősége. A földrengések következményeinek jelentősége a sűrűn lakott területeken a legnagyobb. Korunkban azonban a földrengés-állósági problémák már nemcsak a közvetlenül veszélyeztetett területeken merülnek fel. Az atomenergia-ipar számára készülő tervek elkészítése során egyre szigorúbb szeizmikus kritériumokat kell kielégítenie a tervezőknek. Ezen igények miatt fokozott érdeklődés övezi a szerkezetek dinamikájával foglalkozó elméleti megfontolásokat ill. azok gyakorlati alkalmazásait. A földrengések rendszeresen kihozzák a szerkezet tervezése és gyártása során elkövetett hibákat, s ez teszi igazán nagy kihívássá a tervezésnek ezt a válfaját.

A tervezés nélkülözhetetlen alapja maga a földrengés. A földrengések és működési mechanizmusuk részletes vizsgálata a geológia területéhez tartozik, de most egy másik szemszögből vizsgáljuk a problémát. A geológusok elsősorban globális ill. a hosszú távú hatásait vizsgálják a földrengéseknek, ebből következik, hogy a kis amplitúdójú földmozgásokkal foglalkoznak, melyek a szerkezetekre nincsenek jelentős hatással. A tervező másrésről főleg a nagy földrengések lokális hatásaiban érdekelt, amikor a földmozgások elég nagyok ahhoz, hogy a szerkezetekben kárt okozzanak. Ezek az ún. *strong-motion earthquakes*, melyek túl erősek ahhoz, hogy az általános földrengésjelző műszerek rögzíthessék őket. Ezért kellett kifejleszteni a szeizmográfok egy speciális típusát, mely alkalmas erre a feladatra. Mindamelllett, hogy a mérnök a geológustól eltérő szemszögből vizsgálja a földrengéseket, sok szeizmológiai téma tartozik a közvetlen érdeklődésébe.

A földrengés

Nagyon sok egymástól eltérő elmélet született arra vonatkozóan, hogy a földkéreg alatt milyen törvényszerűségek szerint keletkeznek a földrengések. A jelen téma szemszögből nézve a problémát elegendő megállapítani, hogy a földrengések alapvető okai a tektonikus folyamatok, melyek hatására napjainkban is változik a Föld felszíne.

Nyilvánvalóan, ha egy szerkezet tervezett élettartama ötven év, akkor ezen élettartam többszörösére visszamenőleg rendelkezésre kell állniuk a földrengések előfordulását rögzítő statisztikáknak ahhoz, hogy a földrengések valószínűségét meg lehessen határozni a tervezett élettartamra. Az utóbbi néhány évben készülnek ún. földrengés térképek, melyekről leolvasható hogy az adott területen milyen valószínűséggel következik be földrengés megadott időn belül.

Az amerikai kontinensen a földrengések szempontjából legaktívabb terület a kaliforniai partvidék, mely a Szent András törésvonal mentén helyezkedik el. Ez a törésvonal és a belőle kiinduló kisebb törésvonalak voltak a Kaliforniában bekövetkezett földrengések nagy részéért, közöttük az

emlékezetes 1906-os San Franciscói földrengésért is. Napjainkban ez a terület a legaktívabb és a legtöbbet vizsgált része a Földnek.

Az itt elvégzett vizsgálatok és mérések nagyban hozzájárultak a földrengések kialakulásának megértéséhez. A geodéták mérései szerint a törésvonal nyugati oldala mintegy 5 cm/év sebességgel mozog északi irányban a keleti oldalhoz képest. Ez az elmozdulás nemcsak a földrengések során kialakuló törésekből adódik, hanem a köztes időszakban mintha *kúszna* a tektonikus lemez.

A földrengések rugalmas visszatükröződésének elmélete

Az 1906-os San Francisco-i földrengés tapasztalataiból kiindulva H. F. Reid azt a következtetést vonta le, hogy a földrengések a valamiképp összefüggésben állnak a törésvonalakkal. Reid kutatásai - melyek az 1906-os földrengés nagy amplitúdójú nyíró elmozdulásaival foglalkoztak - bizonyították,

hogy a földrengések rezgési energiája a földkéregben felhalmozott rugalmas energia felszabadulásából adódik és ezzel magyarázható a földkéreg nyíró jellegű törése. Az elmélet alapvető gondolatmenetének megértését segíti elő a 3-1 ábra.

A törésvonal közepén látható és tegyük fel, hogy a bal oldal észak felé mozog állandó sebességgel úgy, ahogy a Szent-András törésvonal esetén. Ha a törésvonalra merőlegesen kerítések sorát építenénk fel (3-1/a), akkor azok

az 3-1/b ábrán látható módon deformálódnának. Ugyanezen az ábrán látható egy út is amelyet a kerítésekhez képest később építettek. Természetesen a tektonikus lemezek mozgásából adódó - a földkéregben ébredő feszültség - egy idő után eléri a határértéket és ekkor a törésvonal néhány pontján repedések indulnak meg, amelyek gyorsan terjednek. A földrengés utáni állapot az 3-1/c ábrán látható. A feszültségmentes alapra épített kerítések kiegyenesedtek, míg a később épített műút vonala lokálisan görbült.

Földrengés hullámok

A töréskor két alapvetően különböző hullám keletkezik. A dilatációs hullámokat szokás elsődlegesnek is nevezni, mert gyorsabbak a nyíró hullámoknál, melyeket az előzőeknek megfelelően másodlagosnak neveznek. A földrengésfigyelő állomásokon a két hullámfajta áthaladása között eltelt időből, a hullámok terjedési sebességének ismeretében, a földrengés keletkezési helyének távolsága meghatározható. A földrengést a világon több állomáson is észlelik az adatok egyeztetése után meghatározható a pontos helye. Mivel csak a törés közvetlen közelében okoz a földrengés károkat az épületekben és ebben a körzetben a földrengések felfoghatók pontszerű törések sorozataiként.

A földrengés nagyon sok ilyen apró forrásból ered, melyek különböző helyen, különböző időben jönnek létre és ezek eredőjét tudják a mérőműszerek rögzíteni. Érdeemes megemlíteni, hogy a geológusok a földrengés epicentrumát az első törés helyének a Föld felszínére vett vetületeként definiálják.

A földrengések karakterisztikájának mérése

A mérnök szempontjából a földrengésnek a szerkezetekre gyakorolt hatása az érdekes. A

$$\log E = 11.8 + 1.5 M$$

Egyenlet 5-1

földrengés pusztító hatása nem csak a földrengés "méretétől" függ. A földrengés nagyságát a geológusok a felszabaduló energiához kötik és numerikusan a magnitúdóval fejezik ki. A magnitúdó a maximális amplitúdó - mikrométerekben, Wood-Anderson-féle szeizmográfal

mérve, 100 km-es távolságra vonatkoztatva - tízes alapú logaritmus. A gyakorlatban azonban az 5-1 összefüggést alkalmazzák, ahol E a felszabaduló energia és M a magnitúdó.

A mérnökök szempontjából azonban fontosabb az a tény, hogy az 5-ös magnitúdónál kisebb földrengések nem okoznak kárt a szerkezetekben. A magnitúdó azonban nem definiálja egyértelműen a földrengés erősségét, ezért definiálják a földrengés intenzitását, mely az epicentrumtól távolodva csökken. Az intenzitás mérőszáma a földrengés során keletkezett károktól függ. Az USA-ban a Módosított Mercalli skálát használják, melyen az I. -es a legkisebb földrengés, csak a műszerek érzékelik és a XII.-es a legnagyobb, ami totális pusztulást okoz. A megfigyeléseket ún. izoszeizmikus térképeken ábrázolják.

A földrengésálló szerkezetek építéséhez szükséges a földrengés időbeli lefolyásának ismerete. Az első ilyen információt a USA-ban telepített földrengésjelző hálózat adta. A diagramok információt adnak az amplitúdóról, a frekvenciáról és a földrengés időtartamáról. Az így kapott adatok azonban nem elég pontosak ahhoz, hogy megállapítható legyen, hogy a földrengés mekkora kárt okoz.

Sokkal pontosabb eredményt kapunk, ha a vizsgálatot egy szimpla oszcillátoron végezzük el. A SDOF szerkezet válaszát a megadott gyorsulás-idő függvényre egy Duhamel- integrál fejezi ki. Ha élünk azzal a gyakorlati megfigyeléssel, hogy a szerkezet csillapítása kisebb, mint a kritikus csillapítás 20%-a valamint a csillapított és csillapítatlan saját frekvenciák nagyon közel esnek egymáshoz.

Végül, ha a földhöz képest a maximális elmozdulás érték az intenzitás mérőszáma, akkor a maximum kifejezhető

$$x_{\max} = \frac{S_v}{\omega}$$

Egyenlet 5-2

$$S_v(\xi, \omega) = \left[\int_0^t \ddot{x}_g(\tau) \cdot e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) d\tau \right]_{\max}$$

Egyenlet 5-3

S_v a SDOF szerkezet spektrális sebesség-válasza.

Mint az 5-3 egyenletből látszik az S_v függ a szerkezet csillapításától és a frekvenciától. Így tetszőleges,

Ábra 5-1 Sebesség-válaszspektrum, El Centro 1940. május 18.(Észak -Dél komponens)

előre definiált gerjesztésre az adott szerkezet esetén S_v a teljes frekvencia tartományon számítható. Ha ez így kapott értékeket a frekvencia függvényében ábrázoljuk, akkor kapjuk a szerkezet sebesség-válaszspektrumát. Ebben a diagrammban a csillapítás paraméterként szerepel.

Természetesen definiálható a szerkezet spektrális-elmozdulás és spektrális-gyorsulás válasza is.

Ha a három mennyiséget egyetlen diagramban ábrázoljuk logaritmus skálán, akkor megkapjuk a földrengés egyik komponensének válasz-spektrumát (5-1 ábra).

Az 5-1 ábrán látható diagram megadja, hogy a SDOF rendszer hogyan reagálna az adott földrengésre. (A diagram alkalmazásának határt szab a szerkezet viselkedése, ugyanis nonlinearis esetben nem használható.) Mivel a válasz-spektrum a szerkezet maximális elmozdulását adja meg különböző frekvencián, a függvény integrálja valószínűleg a legjobb mérőszáma az intenzitásnak.

A tervezési földrengés kiválasztása

A tervező mérnök szempontjából a legfontosabb információ az a spektrum, melyet a szerkezet tervezésekor alapul kell vennie. Mivel a földrengések extrém terhelést jelentenek, azonban a tervezett

élettartam alatt igen kicsi a valószínűsége egy földrengésnek, a tervezőnek egy két pontból álló kritérium rendszert kell figyelembe vennie.

- I. Egy kisebb földrengés valószínűleg be fog következni a szerkezet élettartama alatt és annak minden károsodás nélkül el kell azt viselnie.
- II. Egy erősebb földrengés valószínűsége igen kicsi, a tervező gazdasági megfontolások miatt kénytelen elfogadni, hogy ebben az esetben a szerkezet komolyabb sérüléseket szenved, de az alapfunkcióját nem veszítheti el.

Ábra 6-1 Tervezési válaszspektrum

A tervezési földrengés spektrumának meghatározásához szükséges a régió földrengés-történelmének a lehetőségekhez képest legpontosabb ismerete. A földrengések ismétlődésének statisztikai becslése azonban csak durva közelítést ad, ezért meg kell még vizsgálni a régió geológiai szerkezetét is. Ezen vizsgálatok eredményeként áll elő a tervezési válasz-spektrum, a magnitúdó és a szerkezettől mért távolság függvényeként. Például meghatározható, hogy egy 7 erősségű földrengés a szerkezettől 25 km-es távolságra az élettartam alatt egyszer nagy valószínűséggel be fog következni. A tervezéskor azt is figyelembe kell venni, hogy egy maximum 8.5 erősségű földrengés a szerkezettől 10 km-re is bekövetkezhet. Igaz,

hogy ennek a valószínűsége igen kicsi, mert egy ekkora földrengés ismétlődési periódusa a szerkezet élettartamának többszöröse, de ezt az extrém esetet sem szabad figyelmen kívül hagyni.

A tervezőnek igen sok paramétert kell figyelembe vennie, ezért G. W. Housner kifejlesztett egy átlagos tervezési válasz-spektrumot, mely az 6-1 ábrán látható.

A diagramm megalkotásakor négy különböző földrengés kétirányú spektrumát vette figyelembe és ezek normalizálása, átlagolása és simítása után kapta a fenti összefüggést. A spektrum felhasználásával meg lehet becsülni a maximális gyorsulás, sebesség és elmozdulás értékeket. Ha a lokális értékeket rendre $\bar{a}$, $\bar{v}$ és $\bar{d}$ jelöli, akkor az ábrán folytonos vonallal jelölt spektrum a relatív kis csillapítású oszcillátor tervezési-spektruma.

Ha a szerkezet nonlineáris, akkor szükséges a gerjesztés idő függvényként való megadása, mert ebben az esetben a válasz-spektrum nem használható fel.

Irodalom

Ray W. CLOUGH - Joseph PENZIEN. Dynamics of structures, ISBN J-07-011392-0

Joan R. Westlake: A handbook of numerical mátrix inversion and solution of linear equations, John Wiley & Sons, Inc., New York 1968

Szücs László,
Knorr-Bremse Hungaria Kft.
1201 Budapest Helsinki út. 86
Tel:(36-1)-4211115, Fax:(36-1)-4211192
email:szuecs@kbu.mhs.compuserve.com

Valenta László
BME Finommechanika Optika Tanszék
1111 Budapest, Egy J. u. 6. III. Em
Tel:(36-1)-4632280
email:valenta@fot.bme.hu