



Széchenyi István Egyetem

Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék

TMDK Dolgozat

**Épületek célszerű szerkezeti kialakítása
földrengésből származó terhelésre.
Feladatok, együttműködés az építő és
építészmérnöki munkában**

Szabó Zoltán

Építőmérnök BSC

5. évfolyam

Konzulens:

Szép János

Egyetemi tanársegéd

2012 április

Előszó

Tartószerkezetek tervezésben jelenleg hazánkban is az Európai Unióban egységesen elfogadott Eurocode szabványsorozat van érvényben. A szabványsorozat bevezetésére 2011. január 1-én került sor. Az Eurocode szabvány egy különálló fejezetben foglalkozik az építmények földrengésre történő tervezésével, ezek alapján gyakorlatilag minden épületünk földrengési teherre történő tervezése/ellenőrzése szükséges. A korábban érvényben lévő szabvány (MSZ), csak kiemelt jelentőségű épületek esetén írta elő a földrengéssel szembeni méretezést, ebből adódóan a téma a Magyarországon csak kevesek által ismert, hazánkban nincs hagyománya az ilyen jellegű tervezésnek.

Az épületek földrengésre való vizsgálata nem csak tartószerkezeti, hanem építész feladat is. Az építészeti koncepció jelentősen meghatározza a méretezés bonyolultságát, a szerkezetkialakítás gazdaságosságát. Az építész és a szerkezettervező mérnök együttműködése, közös gondolkodása, szerkezetválasztása, jelentősen leegyszerűsítheti a földrengésre történő tervezés problematikáját, anélkül, hogy az építész alkotói szabadsága csorbulna. Egy kedvezőtlen épületkialakítás a bonyolult számítások ellenére is gazdaságtalan építéshez vezethet.

Dolgozatom célja az épületek célszerű szerkezeti kialakításának bemutatása földrengés teherrel szembeni ellenállás szempontjából. Ez mind az építő-, mind az építészmérnökök számára már a tervezés korai szakaszában nagy jelentőséggel bír, amikor is az alapvető formai és szerkezeti megoldások felmerülnek.

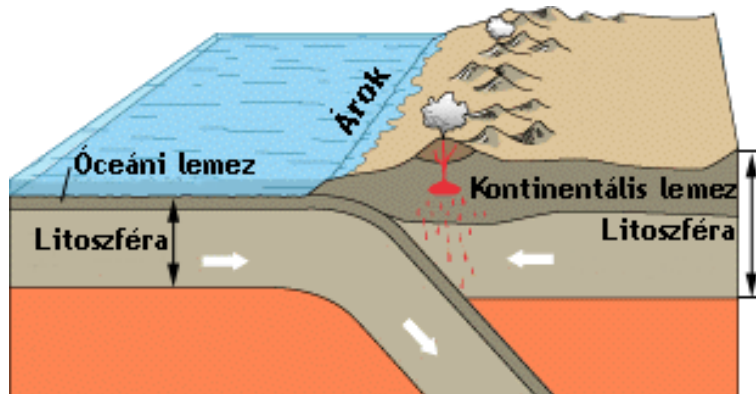
A dolgozat további célja, olyan optimális szerkezetkialakítási irányelvek bemutatása, melyek alkalmazásával, az esetlegesen bekövetkező földrengések esetén, azon az alapvető követelményen túl, hogy emberélet ne kerüljön veszélybe, az épület károsodása is minimális legyen, további használhatósága csekély anyagi ráfordítással biztosítható legyen.

Tartalomjegyzék

1.	Földrendések kialakulása, természete, tulajdonságai.....	1
2.	Épületek viselkedése földrengésre, épületek reakciói.....	10
2.1.	Épület tömeg:.....	11
2.2.	Sajátrezgésidő:.....	11
2.3.	Csillapítás.....	13
2.4.	Duktilitás, azaz képlékeny viselkedés.....	13
3.	Alapozások földrengés szempontjából.....	16
4.	Épületek horizontális és vertikális szerkezetei földrengés szempontjából.....	18
4.1.	Vízszintes szerkezetek.....	18
4.1.1.	Födém áttörések.....	21
4.2.	Függőleges szerkezetek.....	23
4.2.1.	Merevítő falak.....	24
4.2.2.	Keresztmerevített keretek.....	29
4.2.3.	Nyomatékbíró keretek.....	31
4.2.4.	Vegyes szerkezetek.....	34
5.	Szerkezetek kialakítási problematikái.....	35
5.1.	Horizontális konfiguráció problematikái.....	35
5.1.1.	Csavarás.....	35
5.1.2.	Födémek folytonosságának megszakadása.....	39
5.3.	Vertikális konfiguráció problematikái.....	42
5.3.1.	Puha szintek.....	42
5.3.2.	Rövid oszlopok.....	45
6.	Nem tartószerkezeti elemek földrengéssel szembeni megfelelése, kialakítási koncepciók.....	47
6.1.	Kitöltő falazatok.....	48
6.2.	Lépcső szerkezetek.....	52
7.	Összefoglalás.....	54
	Irodalomjegyzék.....	56

1. Földrengések kialakulása, természete, tulajdonságai

A föld átmérőjéhez képest a földkéreg meglehetősen vékony, a kontinentális lemezek vastagsága átlagosan 35 km az óceáni lemezeké nagyjából 7 km vastag. A lemezek egymáshoz képest mozognak, a mozgások évente körülbelül 50 mm-t tesznek ki. A kéreglemezek a törésvonalak mentén, egyes helyeken elcsúsznak egymás mellett, másutt például az óceáni és kontinentális lemezek találkozásánál egymásnak nyomódnak és a vékonyabb óceáni lemez alá csúszik a kontinentális lemeznek. Ezt a folyamatot szubdukciónak nevezzük (1. ábra).



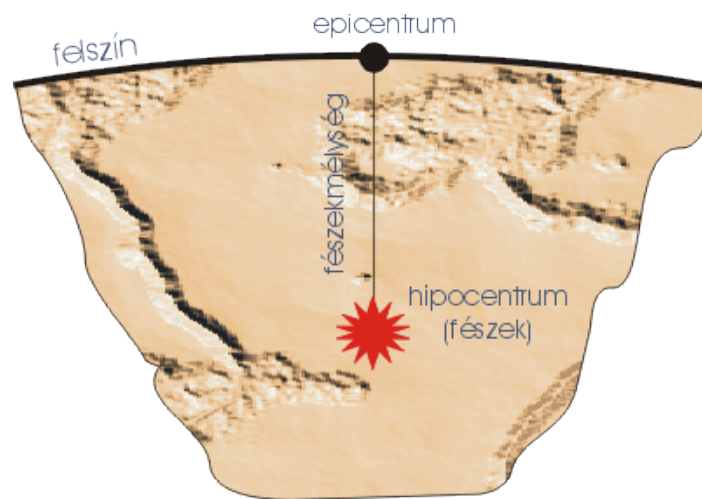
(1. ábra) szubdukció

A törésvonal két oldalának relatív mozgása miatt a szikla deformálódik és ennek következtében egyre növekvő rugalmas energia halmozódik fel benne. A deformáció növekedtével a sziklában kialakuló feszültségek is nőnek, de az elcsúszás csak akkor jön létre, amikor a feszültség meghaladja a törésvonal mentén a „súrlódási” ellenállást. Ezt elérve a törésvonal két oldala hirtelen megcsúszik, a rugalmas energia felszabadul ennek a hirtelen mozgásnak a következtében földrengés keletkezik.

A törésvonalak számos földrengés során láthatók a felszínen, ezen deformációk olykor méterekben mérhetőek. A törésvonalak hossza kapcsolatban van a földrengések magnitúdójával. Például: egy hat magnitúdójú rengés törésvonal hossza 10 és 15 km között van egy 8-as magnitúdójú rengésé 100-200 km hosszú is lehet.

A földrengésekkel kapcsolatos néhány fogalom definíciója:

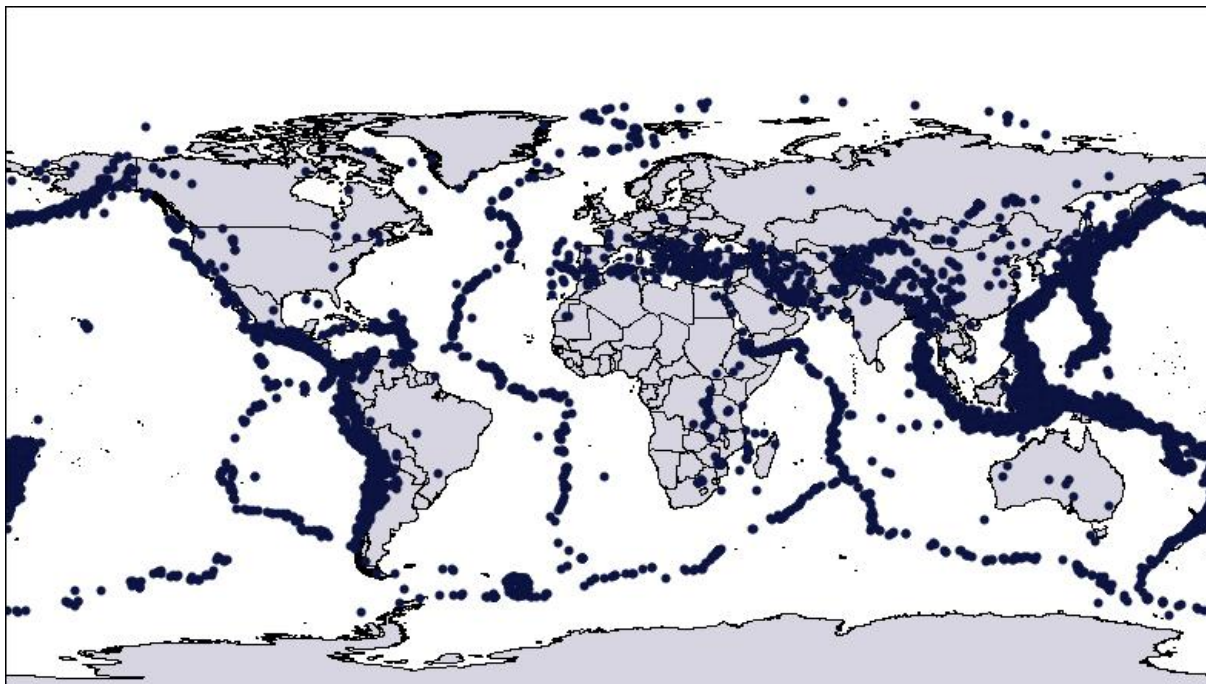
- Hipocentrum: azt a Föld mélyében levő pontot, ahol a kőzet törése vagy a kőzettestek egymáshoz képesti elmozdulása megindul, hipocentrumnak, magyarul fészeknek nevezik.
- Epicentrum: a földrengés fészke fölött merőlegesen a Föld felszínén elhelyezkedő pont az epicentrum.
- Fészekmélység: a hipocentrum és epicentrum távolsága a földrengés fészekmélysége.



(2. ábra) hipocentrum, epicentrum, fészekmélység

A földrengés károsító potenciálját a fészekmélység befolyásolja. A fészekmélység néhány száz km mély is lehet, ezek a rengések nem okoznak komoly felszíni rázkódásokat, de a mélyen fekvő rengések nagy területekre hatnak. Ezzel szemben a sekély mélységű rengések az energiájukat az epicentrum környékén adják le. Ezek sokkal pusztítóbbak, mint a mélyebbek, amikor is beépített területen lépnek fel. Például: a 2003-as iráni (Bam) földrengés fészekmélysége nagyjából 7 km mélyen volt és körülbelül 40000 ember halálát okozta, ezzel ellentétben 1994-es kaliforniai földrengés fészekmélysége 18 km volt, de csak 57 áldozattal járt. Ez köszönhető a nagyobb fészekmélységnek illetve a sokkal kevésbé sérülékeny épületeknek.

A földrengések leginkább a tektonikus lemezek relatív mozgásából fakadnak. A rengések 70%-a az óceáni lemez kerületén alakul ki, 20%-a déli peremén az eurázsiai lemeznek a maradék 10% megjósolhatatlan. A jelenlegi lemeztektónikai elméletek szerint ezek a rengések nagyon messze is kialakulhatnak a lemez szélektől (3. ábra).

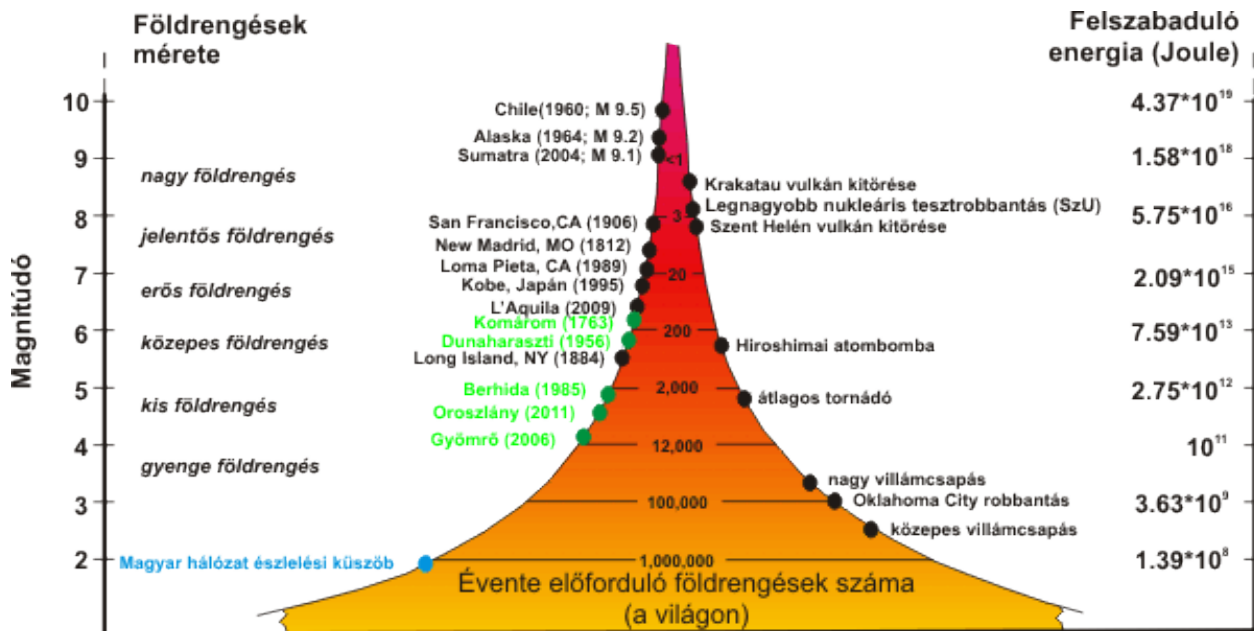


(3. ábra) Földrendések földrajzi eloszlása

Egy közepes vagy egy nagy erősségű földrengés után órákkal vagy akár hónapokkal később is észlelehetőek utórendések. Az intenzitásuk idővel csökken, de az ezeket megelőző földrengés hatására meggyengült szerkezetekben további károkat okozhatnak. Az utórendések figyelembevétele fontos a földrengés utáni mentési és javítási munkálatok során is. Egy épület élettartama (L) alatt a valószínűsége egy földrengésnek egy adott visszatéri periódus szerint (T) a Poisson egyenletből számítható: $p = 1 - e^{-L/T}$. Például ha a tervezett élettartamban $L=50$ év a visszatéri periódus $T=500$ év, akkor az esemény bekövetkezésének valószínűsége az épület élettartama alatt 0,095 vagyis 9,5%. Speciális épületeket, például kórházakat vagy tűzoltóságokat fokozott földrengés elleni védelemmel kell ellátni. Ebben az esetekben a visszatérési periódus 1000 vagy több év. Megfigyelések szerint, minél nagyobb egy földrengés, annál ritkábban fordul elő.

A szeizmológusok a szeizmográf által rögzített adatok alapján meg tudják határozni a rengés epicentrumát és magnitúdóját. A rengés magnitúdója a felszabaduló energia alapján a logaritmikus Richter-skála szerint határozható meg. Egy egység lépés a skálán 30-szor annyi energiát jelent, kétszeres lépés pedig 900 szoros energiát. A földrengések nagysága a felszabaduló energiától függ, ez pedig a törésvonal hosszával arányos. Minél nagyobb a törés hossza, annál nagyobb a földrengés magnitúdója. A legtöbb halálos áldozatot követelő földrengés az 1976-os Tangshan földrengés volt Kínában, nagyjából 650000 halálos

áldozattal, ennek magnitúdója 7,7 volt, a legnagyobb magnitúdójú földrengés, amit feljegyeztek az 1960-ban Chilében történt 9,5-ös magnitúdójú volt, de sokkal kevesebb emberi életet követelt. Tehát a magnitúdó önmagában nem határozza meg a rengés kihatását. A másik osztályozási lehetősége a földrengések intenzitása alapján történik.

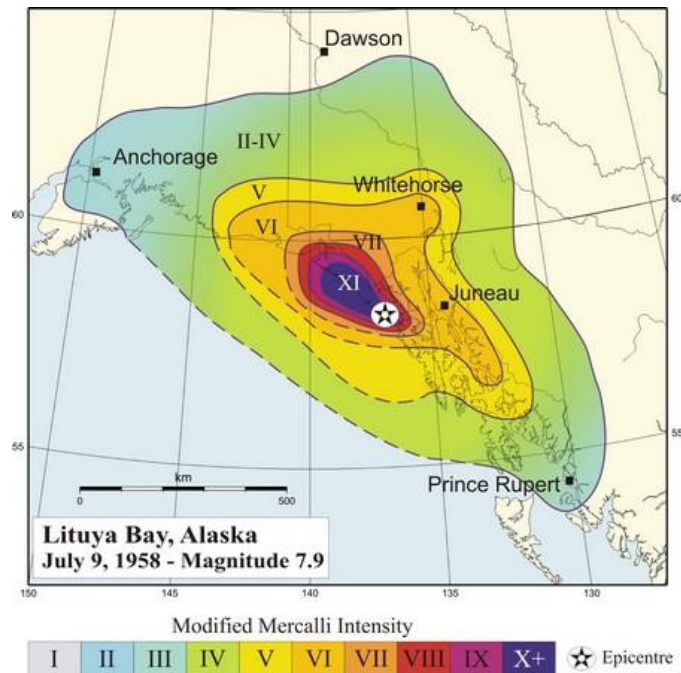


(4. ábra) Magnitúdó diagram, az évente előforduló földrengések száma

Míg a magnitúdó egy konkrét fizikai értékkel (a maximális amplitúdóval) jellemzi a földrengéseket, addig az intenzitás vagy erősség attól függ, hogy hol észleljük azt. A földrengés általában az epicentrumban okozza a legnagyobb földmozgást. Ahogy távolodunk az epicentrumtól, úgy veszít energiájából.

Tehát a különbség a magnitúdó és az intenzitás között, hogy a magnitúdó a szeizmográf adataiból konkrétan meghatározható, míg az intenzitás mértéke az adott földrengést átélő emberek visszajelzéseiből és a rengés okozta károk fokából következtethető. Az intenzitás leírására a többször módosított Mercalli skálát használják, mely a felszíni hatásokat jellemzi. A skála a fent említett szubjektív emberi tapasztalatokon, az rengés okozta károk fokán alapul. Ezen skála értékeket a rengés zónájára vetítve isoszeizmikus vonalakat kapunk melyek jól elhatárolják az egyes intenzitás zónákat, ezt isoszeizmikus térképnek hívjuk (5. ábra). Ezek a térképek hasznosak tudnak lenni jövőbeni földrengés vizsgálatoknál, (Habár az intenzitás skálák hátránya, hogy nem arányosak a földrengések tényleges fizikai nagyságával, hanem csak a földrengés hatásait írják le szubjektív módon.) mivel ad egy képet a földrengés irányítottságáról, a károk fokának

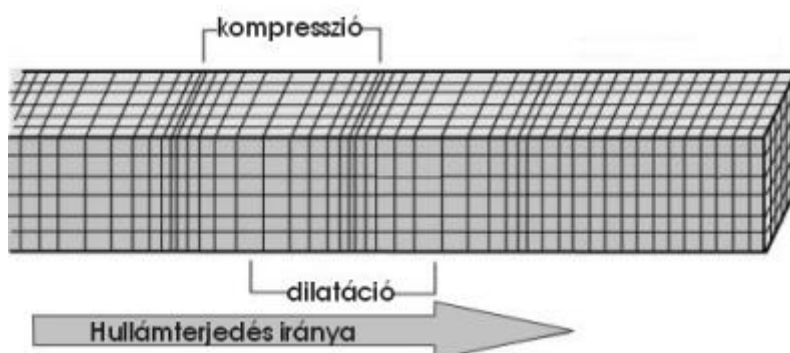
változásáról az epicentrumtól távolodva, és a puha talajok befolyásáról a rengésre vonatkozóan.



(5. ábra) isoszeizmikus térkép, a római számok az intenzitás értékei a módosított Mercalli intenzitás skála alapján.

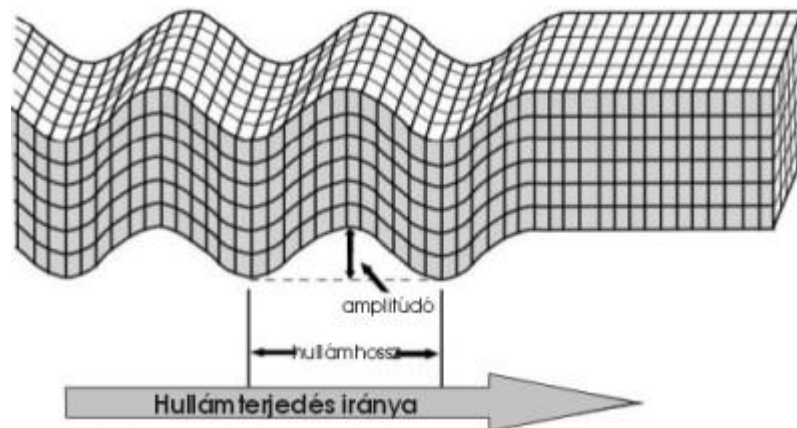
A földrengés hullámai a hipocentrumból terjednek szét, mint a víz hullámai miután egy tóba kavicsot dobunk, persze sokkal nagyobb sebességgel. Ezek a hullámok három csoportra oszthatóak, az első kettő a talajban halad a harmadik a felszínen fejt ki hatását.

A P-hullámok (Primary waves, 6. ábra) haladnak a leggyorsabban, oly módon, mint a hanghullámok a levegőben. A talaj sűrűsödésével és nyúlásaival a terjedés irányába eső mozgásokat eredményeznek. Azért hívjuk primer hullámoknak, mivel ezeket érzékeli legelőször a szeizmográf



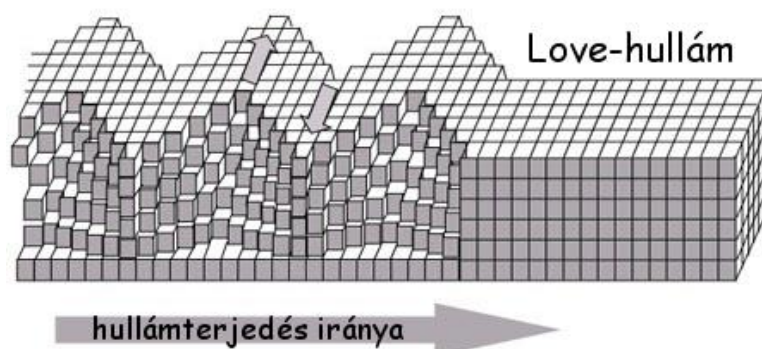
(6. ábra) P-hullám

Az S-hullámok (Secondary vagy Shear wave, 7. ábra) a legmeghatározóbbak az épületek szempontjából, mivel ebben az esetben a részecskék terjedési iránya merőleges a hullám haladási irányára, és elsősorban vízszintes mozgásokat továbbítanak a szerkezetekre. Ezek a hullámok érkeznek meg a primer hullámok után a szeizmográfhoz. Terjedésük során a közegben csak nyíróerők lépnek fel, ezért nyíróhullámnak is nevezik. Terjedési sebességük kisebb, mint a P-hullámoké, nagyjából 3 km/s.



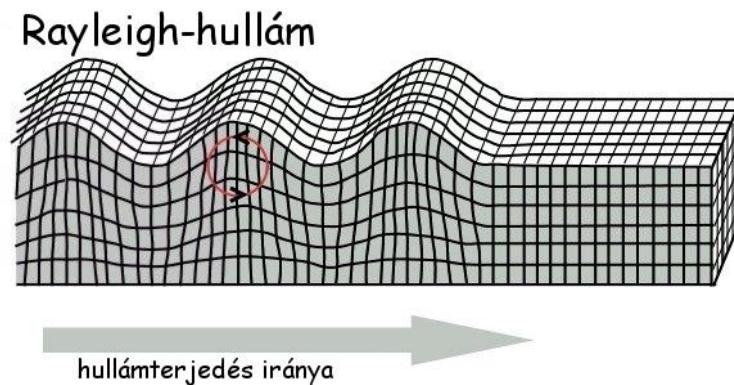
(7. ábra) S-hullám

A harmadik csoport a felszíni hullámok. Nevüket az azokat felfedező tudósokról kapták. A Love-hullámok a felszín felső vízszintes síkjában a terjedés síkjára merőlegesen haladnak. Kialakulásának feltétele, hogy a felszínen legalább egy véges vastagságú réteg legyen, amelyben a transzverzális hullám sebessége kisebb, mint az alatta lévő térben (8. ábra).



(8. ábra) Love-hullám

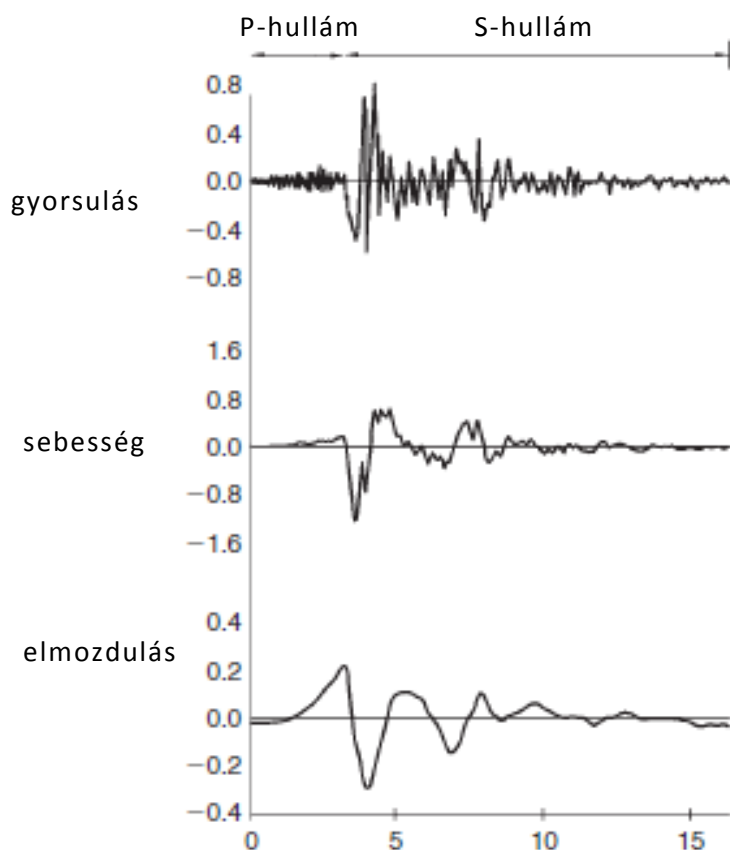
A másik felszíni hullámtípus a Rayleigh-hullám. A Rayleigh-hullámban a részecskemozgás a terjedés irányával egybeeső függőleges síkban, egy függőlegesen elnyúlt ellipszispálya mentén, retrográd (az ellipszis felső részén a terjedési iránnyal ellentétes) irányban történik. A mozgás nagyon hasonló a tenger hullámainak mozgására (9. ábra).



(9. ábra) Rayleigh-hullám

Az épületekben a legnagyobb kárt, a talajt vízszintesen ide-oda mozgató hullámok okozzák. Az épületek a vízszintes mozgásokra a legérzékenyebbek. A legfontosabb dolog a földrengés elleni védekezésben, ill. tervezésben hogy ezekkel a horizontális hatásokkal szemben az épületeket ellenállóvá tegyük.

A földrengés álló épületek tervezésének szempontjából a földmozgásoknak három fontos jellemzője van: a legnagyobb talajgyorsulás, az erős rengés időtartama és a rengés frekvencia tartama. A feljegyzett legnagyobb felszínen mért talajgyorsulás (peak ground acceleration PGA) értékek $0,2g$ és $1,0g$ közé estek (g a gravitációs gyorsulás értéke). Az épületre ható $1g$ gyorsulás úgy fogható fel, mintha az épületet 90 fokkal elforgatnánk, és így egy konzolként viselkedne. Minél nagyobb a talajgyorsulás annál nagyobbak a szerkezetben keletkező belső erők. A gyorsan változó gyorsulásokat (és a sebességeket) szeizmográfok rögzítik a rengés időtartama alatt. Ezeknek a feljegyzett szeizmográf adatok matematikai átalakításával kapjuk a sebesség-idő, ill. elmozdulás-idő grafikonokat. A földmozgásokat a legkönnyebben a elmozdulás-idő grafikonnal szemléltethetjük a legjobban (10. ábra).



(10. ábra) gyorsulás-idő, sebesség-idő, elmozdulás idő grafikon (fentről lefelé)

Az erős rengések időtartama is befolyásolja, hogy a szerkezet mekkora károkat szenved el. A hosszabb időtartamú rezgés egyre több és több energiát táplál az épületbe, melyet annak el kell viselnie, miközben a károk mértéke és súlyossága egyre nő. Például miután egy épület vasbeton pillérei és gerendái megrepedeznek az újabb periódusai a rengésnek a beton további repedését indukálják, minek következtében a szerkezet egyre flexibilisebb lesz. Az erős rengések összefüggnek a magnitúdóval és a talaj típusokkal. Az időtartam a magnitúdóval növekszik. Például egy 6-os magnitúdójú földrengés esetén az erős rengés időtartama 12 másodperc, egy 8-as magnitúdójú rengés esetén ez több mint 30 másodperc. Ha a terület kőzet helyett talajon fekszik, akkor az időtartam megduplázódik.

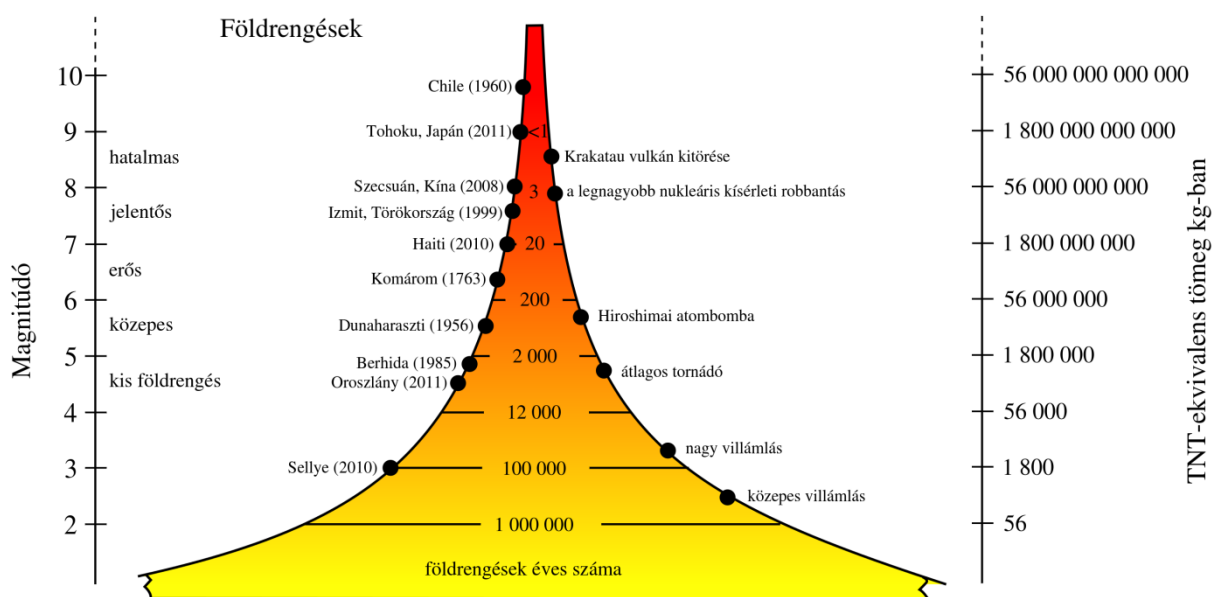
A földrengések frekvencia tartományát szintén nagyban befolyásolják a földtani adottságok. Egy sziklás területen a rengés frekvencia tartománya 1 és 6 Hz közé esik. Ezzel szemben az átlagos altalajú területek csökkentik a frekvencia tartományt.

Magyarországon Az első rengés, amiről tudomásunk van 456-ban keletkezett a mai Szombathely közelében. Napjainkig több mint húszezer földrengést sikerült főleg korabeli feljegyzések, leírások alapján azonosítani és katalogizálni.

Ismereteink szerint a legnagyobb, a mai Magyarország területén valaha kipattant földrengés Komáromban keletkezett 1763. június 28-án, magnitúdója 6.3 érték körül becsülhető. E rengésnek hatvannál több halálos áldozata is volt Komáromban, az épületkárok pedig számottevőek voltak.

Magyarország belső területén a szeizmicitás mérsékelt, megjegyezve, hogy ennek ellenére erősebb földrengések (5-6-os magnitúdó, az epicentrum környékén komoly épületkárok) kis számban, de előfordulnak, meglehetősen rendszertelen területi eloszlásban. A szeizmikus aktivitás területi eloszlása nem homogén, vannak az átlagnál egyértelműen aktívabbnak nevezhető területek (Komárom, Móri-árok, Kapos-vonal, Eger, Jászság, Zala megye északi része).

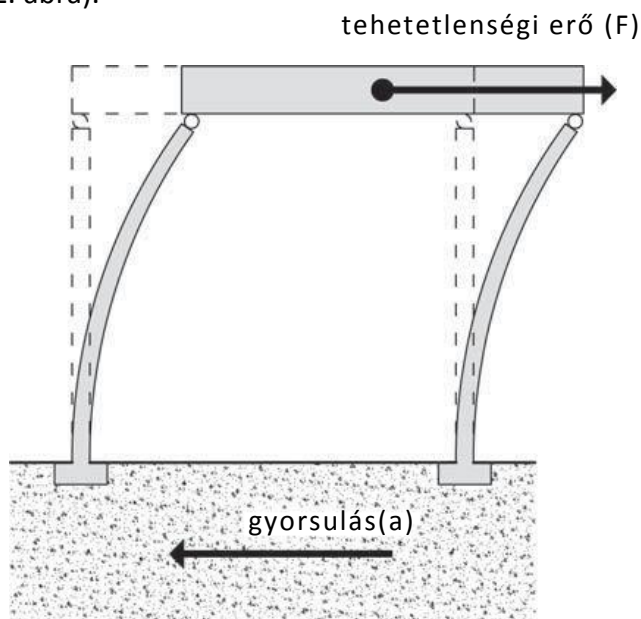
A XIX. század közepétől napjainkig terjedő időszak rengéseinek gyakorisága alapján, az ország területén gyakorlatilag évente négy-öt 2.5-3.0 magnitúdójú, az epicentrum környékén már jól érezhető, de károkat még nem okozó földrengésre kell számítani. Jelentősebb károkat okozó rengésre 15-20 évenként, míg erős, nagyon nagy károkat okozó, 5.5-6.0 magnitúdójú földrengésre 40-50 éves intervallumban kell számítani.



(11. ábra) földrengések magnitúdójának és a felszabaduló energiának kapcsolata

2. Épületek viselkedése földrengésre, épületek reakciói

A szeizmikus erők tehetetlenségi erők, melyek lehetnek függőlegesek és vízszintesek is. Magyarországon szeizmikus tehetetlenségi erők közül csak vízszintesek lépnek fel (illetve azok a mértékadóak) a tektonikus adottságok miatt. A tehetetlenségi erők D’Alambert-elv alapján ($F = m * a$) számíthatók. A földrengésre való tervezésnek ez az alap egyenlete. Ahogy a talaj megrázkódik az épület alatt, a vízszintes gyorsulás úgy ébreszt tehetetlenségi erőket a szerkezetben (12. ábra).



(12. ábra) tehetetlenségi erő kialakulása, a talajgyorsulás hatására

Az erők minden elemre hatnak, és ezeket az egyes elemek tömegközéppontjára redukálhatjuk, akár a súly erőket. Egy épületben a legtöbb tömeg a födémekben és a tetőszerkezetben összpontosul. Itt meg kell említeni, hogy habár a szél teher is (általában) horizontális tehernek minősül, annak nagysága épület tömegétől nem függ. A tehetetlenségi erők szintén dinamikus terhek, mint a szél teher, de míg egy földrengésből származó erő a másodperc töredékéig hat addig egy széllökés több másodpercig is tarthat. Egy másik különbség a tehetetlenségi erők és a szél teher között, hogy a tehetetlenségi erő ciklikusan hat a szerkezetre.

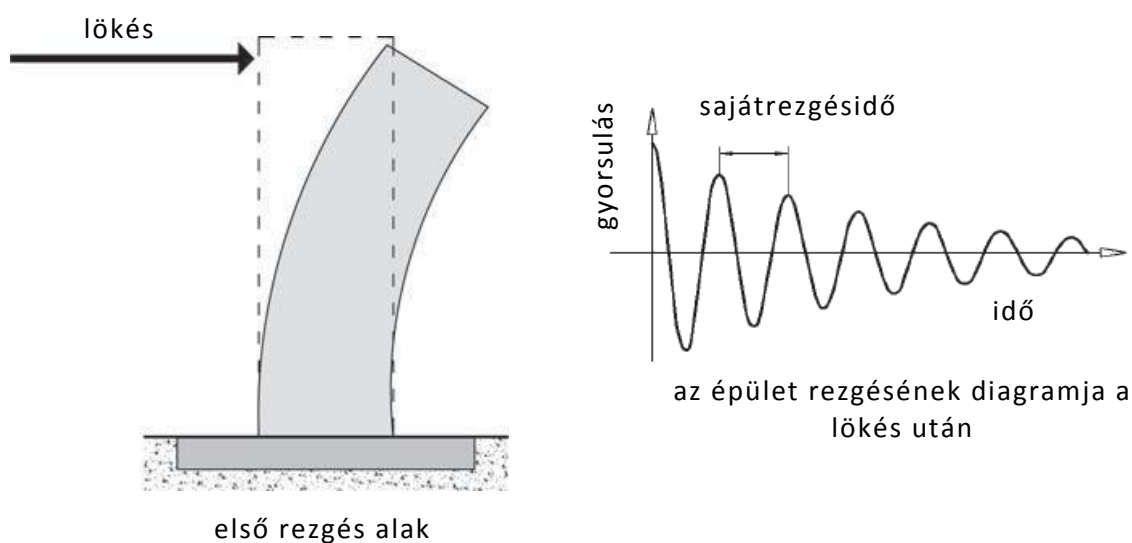
Tényezők, amik nagyban befolyásolják a súlyosságát a földrengési terheknek: az épület tömege, a sajátrezgésideje, a szerkezet csillapítása és a duktilis tulajdonságai.

2.1. Épület tömeg:

A legegyszerűbb, de egyben legfontosabb dolog, ami meghatározza a tehetetlenségi erők nagyságát az a tömeg, ugyanis az egyenesen arányos a tehetetlenségi erő nagyságával. Ugyanakkora gyorsulás mellett a nagyobb tömeg nagyobb erőket indukál. Az épületek földrengéssel szembeni ellenállását tehát a szerkezetek tömegének csökkentésével elő tudjuk segíteni. Törekedni kell a nehéz szerkezeti elemek kerülésére, helyettesítésére acél vagy akár fa szerkezetű elemekkel, észben tartva a gazdaságosság és fenntarthatóság kérdését is.

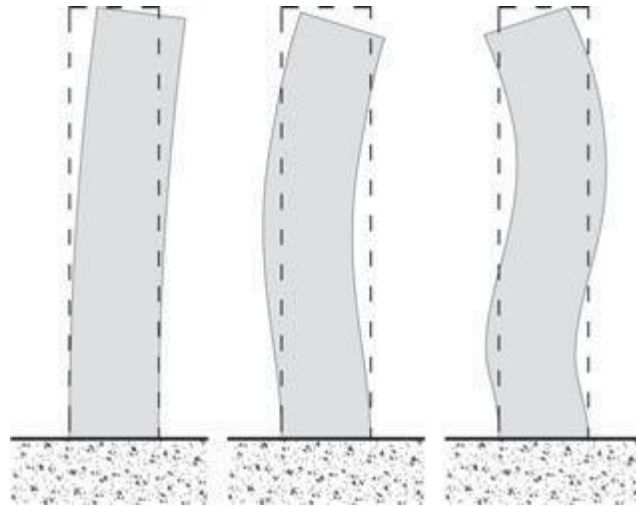
2.2. Sajátrezgésidő:

Ha egy viszonylag egyszerű rugalmas épület modellt a legfelső pontján vízszintes pillanatnyi erőhatás ér, akkor egy konstans periódus idővel el kezd rezegni, lengeni. Egy teljes rezgés megtétele a sajátrezgésidő, amit másodpercekben mérünk. Minden előzetesen elkészített modellnek vagy megépített épületnek van egy sajátrezgésideje, ami meghatározza az első rezgés alakot (13. ábra).



(13. ábra) első rezgésalak és sajátrezgésidő (csillapított rezgés esetén)

Az épület magasságától és szint számától függően több sajátrezgésidő és ez által több rezgés alak is van. Az első néhány rezgés alak általában a meghatározó, a magasabb számú rezgésalakok kisebb elmozdulásokkal járnak így kisebb dinamikus energiát feltételeznek (14. ábra).



(14. ábra) egy épület első 3 rezgésalakja

Alacsony és közepes magasságú épületek első rezgés alakja azért adja a legnagyobb terhelést mivel, ilyenkor az egész szerkezet egy irányba mozdul el. Az épület sajátrezgésideje a következő tényezőktől függ:

- Az épület magassága befolyásolja a legnagyobb mértékben. Magasabb épületeknek nagyobb a sajátrezgésideje. Egy nagyon hozzávetőleges kalkuláció a sajátrezgésidő számítására, ha az épület szintszámát megszorozzuk 0,1-gyel. Tehát egy 10 emeletes épület sajátrezgés ideje körülbelül 1,0 másodperc.
- Az épület súlya. Egy nehezebb épületnek nagyobb a sajátrezgésideje.
- A földrengésből származó terheket viselő szerkezet kialakítása. Egy rugalmas vagy kevésbé merev szerkezet nagyobb sajátrezgésidővel rendelkezik. Egy keretszerkezetű épület sokkal rugalmasabb, mint egy merevítő falas szerkezet így annak nagyobb a sajátrezgésideje.

Gyakorlatban a sajátrezgésidő körülbelül egy egyszintes merev épület esetén 0,05s, míg például egy 101 emeletes épületé 7s.

2.3. Csillapítás

A csillapítás egy másik fontos bár kevésbé kritikus tulajdonsága egy épületnek. A csillapítás csökkenti a vízszintes rezgéseket, egymást követő periódusok során. A csillapítást tulajdonképpen az épület egyes elemeinek belső súrlódása jelenti (ha nincs külön csillapító szerkezet). A csillapítás foka függ az épület földrengésnek ellenálló szerkezetek és egy elemeinek anyagától és szerkezeti részleteitől.

Vasbeton szerkezeteknek több a csillapítása, mint az acél szerkezeteké, de kevesebb, mint a fa szerkezeteknek. A csillapítás felemészti földrengés energiáját és csökkenti a rezonanciát, ami nagyon kedvező. Ha a csillapítás egy vasbeton szerkezet esetén a felére csökken, akkor a szerkezet szeizmikus válasza 30%-kal nő, azaz 30%-kal nő a rá ható terhek nagysága.

2.4. Duktilitás, azaz képlékeny viselkedés

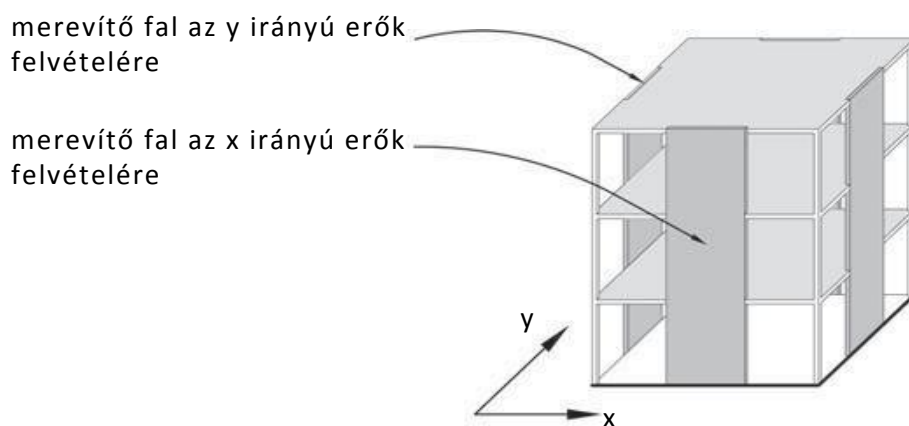
A duktilitás nagyban befolyásolja, hogy hogyan tervezzünk meg egy épületet adott talajgyorsulásokra. Egy duktilis szerkezet földrengés terhe $1/6$ -ra csökkenthető egy nem duktilis szerkezethez képest. Ha egy nem duktilis anyagot például üveget vagy betont megnyújtunk, akkor hirtelen elszakadnak. Egy duktilis anyag, például az acél, ha eléri a rugalmas teherbírását, akkor utána képlékenyen alakváltozik.

Duktilis szerkezeti anyagok nem feltétlen jelentenek duktilis szerkezetet. A kritikus keresztmetszeteket és kapcsolatokat képlékeny módon kell méretezni, hogy ki tudjuk használni az anyagok duktilis tulajdonságait.

Ha egy földrengés hatására kimerül egy merev szerkezet teherbírása, akkor az elem hirtelen tönkre megy, és valószínűleg az épület összeomlását okozza, de ha a szerkezeti elem duktilis, akkor anyaga képlékeny állapotba kerül és alakváltozik. A képlékeny alakváltozás során a duktilis szerkezeti elem szeizmikus energiát nyel el, és egyben az épület csillapítását is növeli.

Azokat a helyeket ahol képlékeny alakváltozás létrejöhet, képlékeny csuklóknak nevezzük. Ezeken a helyeken az alakváltozások károsodásokat okoznak, de a szerkezet nem veszíti el teherbírását.

Az épület tartószerkezetének elegendő teherbírással kell rendelkezniük, hogy a földrengésből származó igénybevételeket elviseljék. A nyomatékok és nyíróerők az épület tetejétől nőnek az alapokig, melyek a terheket átadják a talajnak. Ha az épület két egymásra merőleges főirányában biztosítjuk a megfelelő teherbírást, akkor a szerkezet biztosítva lesz a földrengés változó irányú hatásaival szemben (15. ábra).



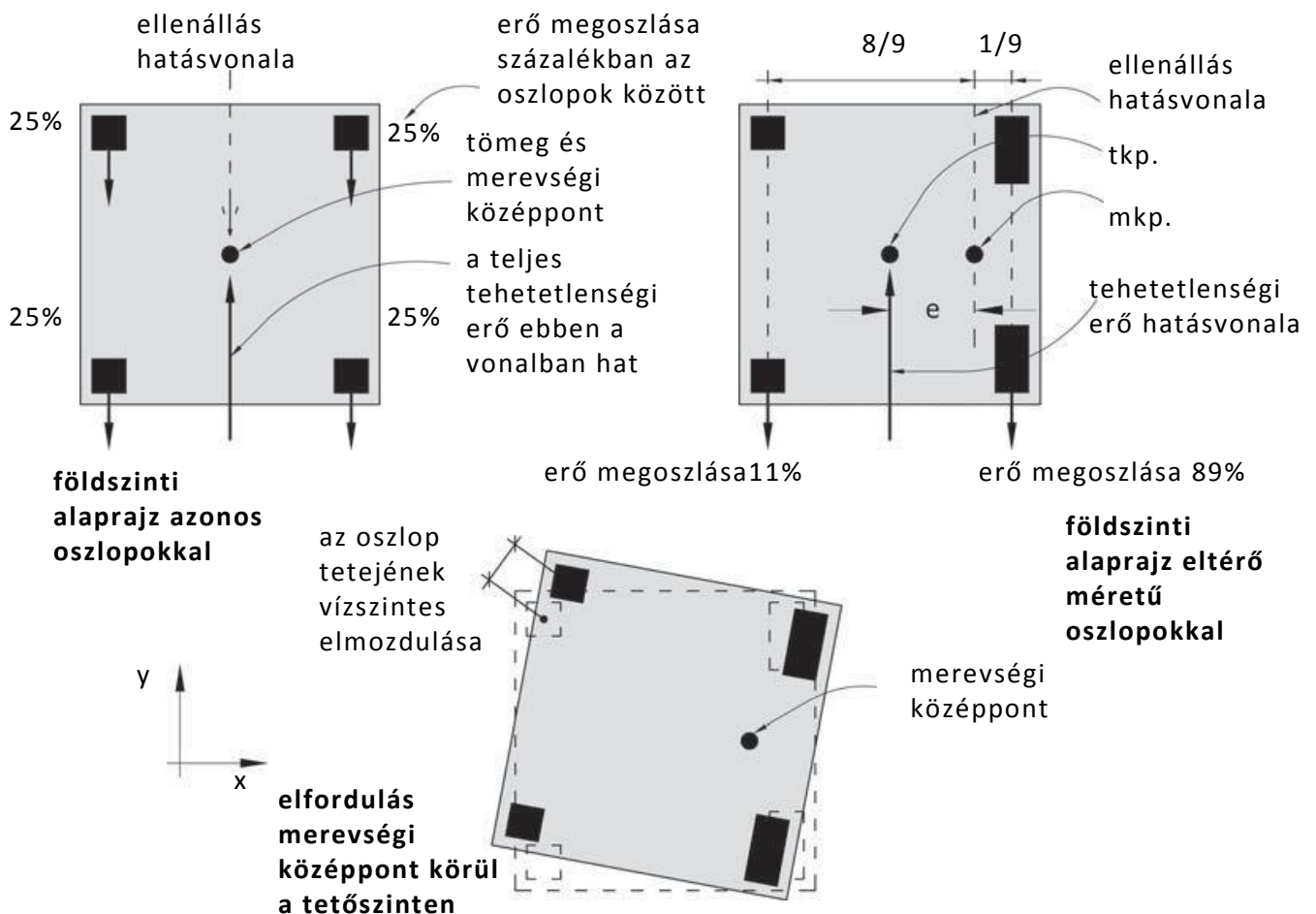
(15. ábra) 2 merevítő fal az y és 2 az x irányú erők felvételére

A merevség hasonlóképpen fontos. Egy merevebb szerkezet kisebb mértékben hajlik ki szeizmikus (és szél) terhek hatására, és így a kisebb sajátrezgésidő miatt nagyobb terheket tud elviselni. Ha a szerkezet nem rendelkezik megfelelő merevséggel, akkor a nagy alakváltozások miatt a nem teherbíró szerkezetek súlyosan károsodhatnak. Minél nagyobb a teljes szerkezet kihajlása, a tömegközéppontja annál inkább eltolódik, és az elmozduló tömeg instabilitást okoz. Ha két egymásra merőleges főirányban elhelyezett merevítő szerkezetek merevsége nem azonos, akkor a rájuk eső terheket merevségük arányában viselik. Az egyik főirányban működő szerkezeteknek lehetőleg egy vonalba kell lenniük, mivel a falak (vagy egyéb merevítő szerkezetek) síkban egymástól eltolt elrendezése csavaró hatásnak teszi ki az épületet. Csavaró hatás akkor lép fel, ha a tömegközéppont és a merevségi középpont nem esik egybe.

- A merevségi középpontot (nyírási középpont, csavarási középpont) úgy értelmezhetjük, hogy ha az erő az épület merevségi középpontjában hat, akkor az épület el fog tolódni, de nem fog elcsavarodni, illetve ha az épületre csavaró nyomaték hat, akkor az épület el fog csavarodni, de a nyírási középpont nem fog eltolódni.
- A tömegközéppont az a pont, mely sok szempontból úgy viselkedik, mintha a rendszer tömege ebbe a pontba volna koncentrálna.

Ez a csavaró igénybevétel az épület merevségi középpontjától legtávolabb eső szerkezeti elemeiben indukálja a legnagyobb igénybevételt, jellemzően az épület sarkainál található pillérekben.

A csavaró hatás elkerülhető, ha a tömegközéppont és a merevségi középpont távolságát a lehető legkisebbre csökkentjük. Még a szimmetrikusan elrendezett szerkezetekre is hat csavaró hatás, tehát azoknak is rendelkezniük kell csavaró hatással szembeni ellenállással.



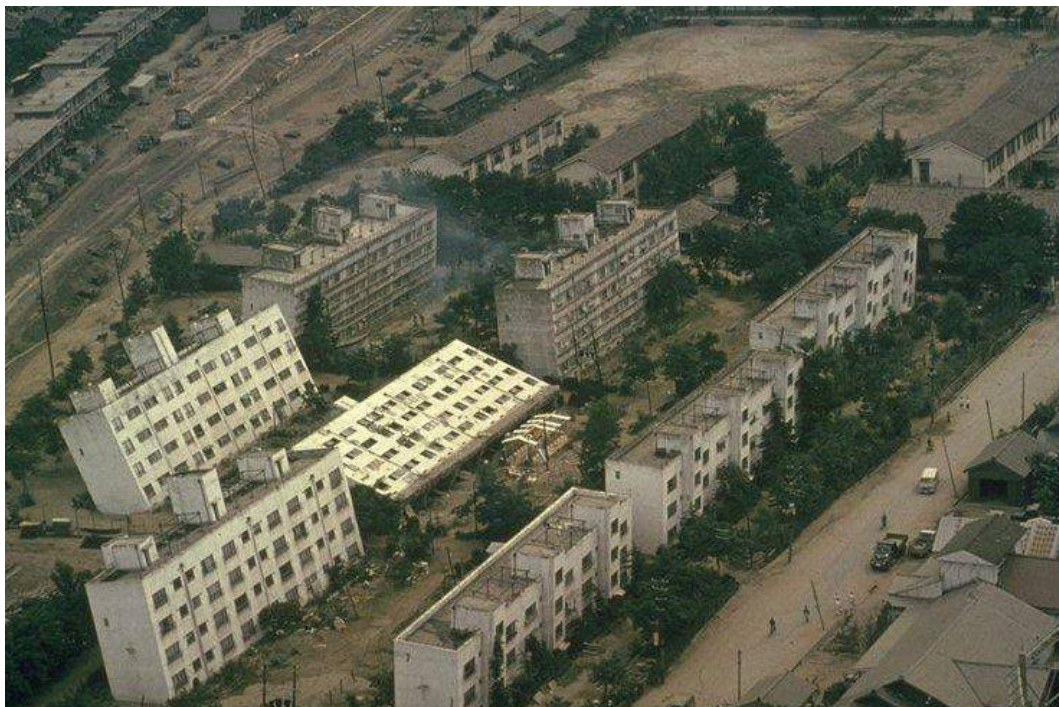
(16. ábra) aszimmetrikus méretű merevítő szerkezet csavaró hatása egy szimmetrikus épületre

3. Alapozások földrengés szempontjából

A földrengésből származó gyorsulás az épületre az alapozáson keresztül jut el az épület felső részeire, ezért nagyon fontos elsősorban az építési területen levő talaj pontos ismerete, másodsorban ennek a függvényében a megfelelő alapozás megválasztása.

Földrengés hatására a talaj, különböző módokon tud az épület szempontjából tönkre menni. Ilyen például a talajfolyósodás, süllyedés, földcsuszamlás, stb.

A talajfolyósodás nagy probléma az épület állékonysága szempontjából. A talajfolyósodás jelensége akkor keletkezik, amikor földrengések során keletkező hullámok hatására a talaj tömörödni kezd, a szemcsék közötti hézagok térfogata lecsökken. Ha ezek a pórusok korábban vízzel voltak telítve, akkor a pórusvíz nyomása megnő. Amennyiben ez a terhelés rövid időn belül többször is előfordult, akkor a pórusvíz nyomása elérheti a felette lévő talajrétegek nyomását és a talaj úgy kezd viselkedni, mint egy viszkózus folyadék. A folyósodás hatására a talaj elveszti teherhordó szilárdságát és nagy deformációkat szenved, melynek hatására az épület felborulhat (17. ábra).



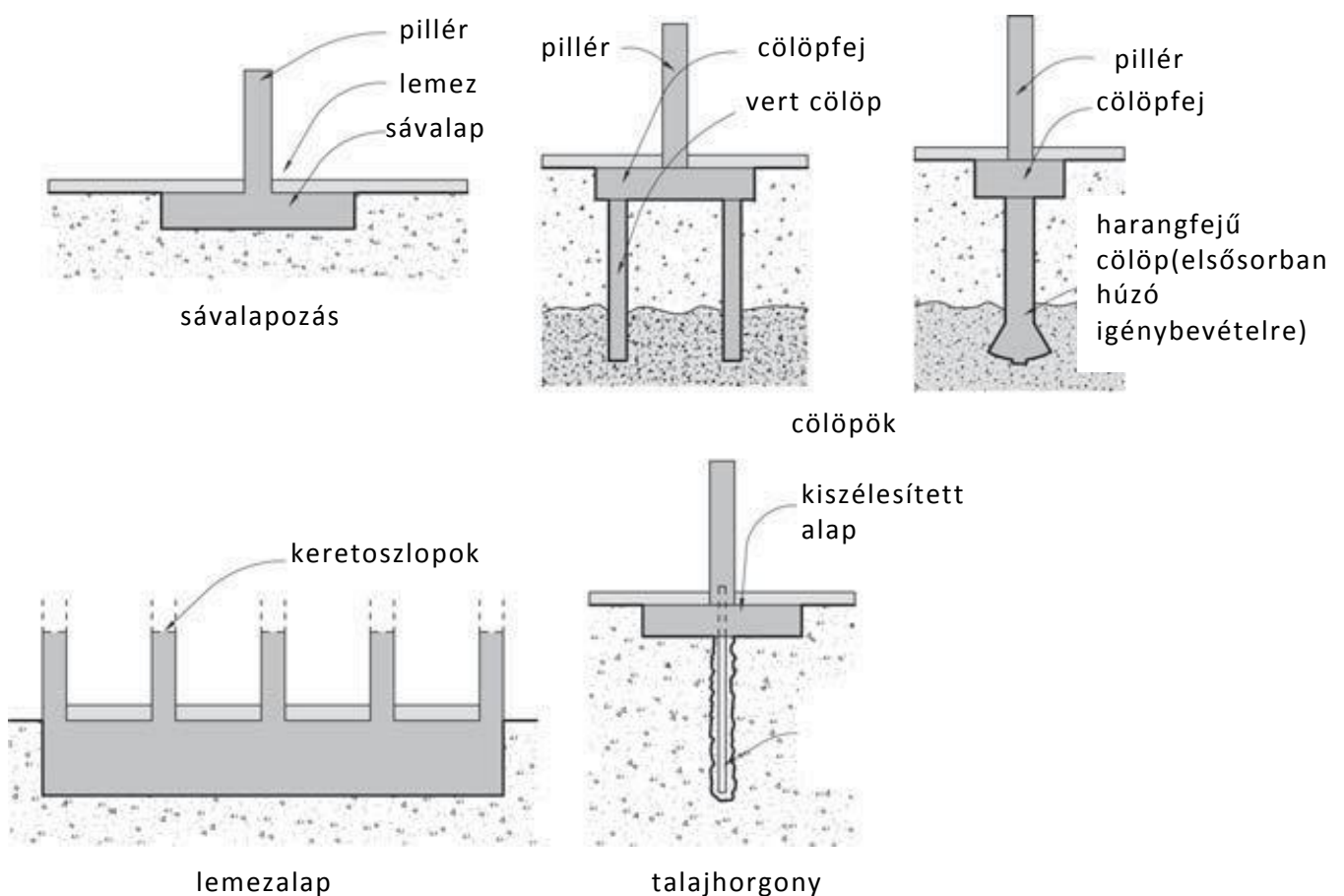
(17. ábra) talajfolyósodás (1964 Niigata, Japán)

Erre megoldást jelenthet, ha cölöpalapozást alkalmazunk. Hozzá kell tenni, hogy ez továbbra sem teremt olyan helyzetet, mintha az épület teherbíró talajra vagy kőzetre épülne, mivel a csatlakozó közművek továbbra is nagy deformációkat lesznek kénytelenek elviselni, és így el is törhetnek. A cölöpök is sérülékenyek a talajrétegek elmozdulásai miatt.

Ezeket a problémákat kiküszöbölve fordulhatunk talajjavító technológiákhoz is. A talaj tömörítése, erősítése történhet vibroflotációval (vibroszondával), felszíni döngöléssel, injektálással, stb.

Az alapozások, ha alulméretezettek még jó talajviszonyok mellett is sérülhetnek. Az épület mozgásainak visszahatása az alapozásra jelentős. Kevésbé földrengés érzékeny területeken a megfolyósodás és földcsuszamlás nem nagyon fordul elő.

Földrengési hatásokra tervezett épületek alapozás típusai (18. ábra):



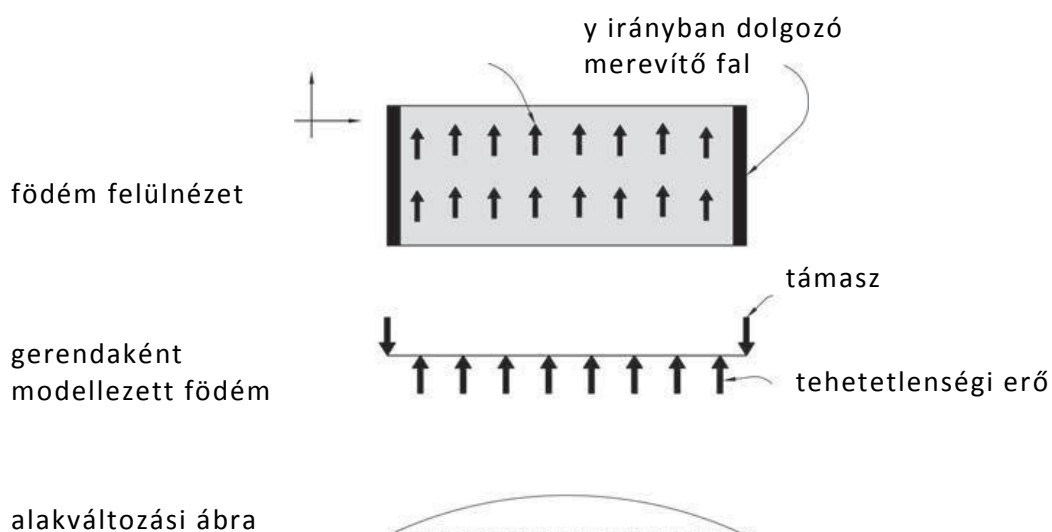
(18. ábra) Földrengési hatások elleni alapozás fajták

4. Épületek horizontális és vertikális szerkezetei földrengés szempontjából

4.1. Vízszintes szerkezetek

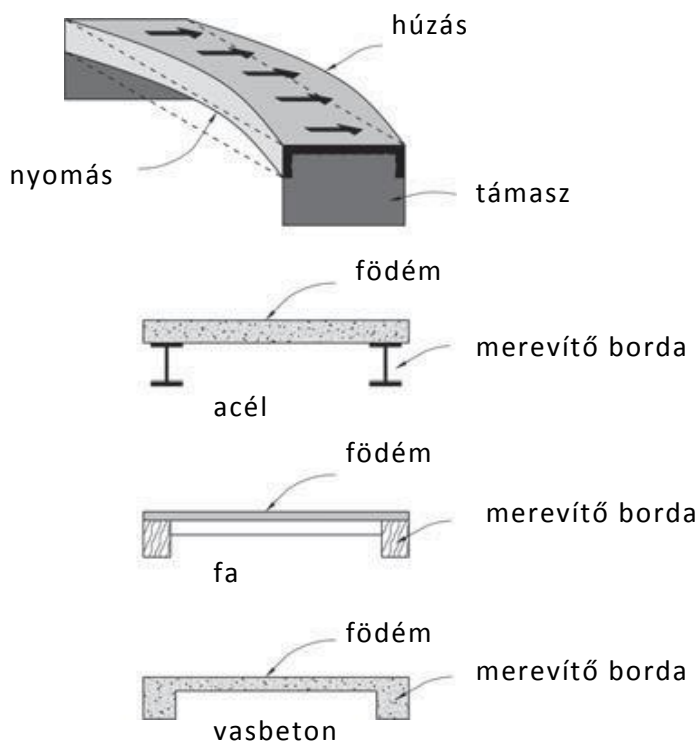
Egy földém az élettartama alatt állandó és ideiglenes terheket visel, melyek jellemzően függőlegesek, de egy földrengés során vízszintes erők is hatnak rá, még ha csak viszonylag rövid ideig is. Ilyen esetekben diafragmaként, vízszintesen merevítő elemként tekinthetünk rá. A földrengés esetén tehetetlenségi erők keletkeznek a külső és belső falakban és a földemben egyaránt. A tehetetlenségi erő, ami a földémre hat a hozzá kapcsolódó falakra továbbítódik, amit azok a hozzájuk kapcsolódó szerkezetekre, például az alapokra közvetítenek. A földém és a fal csatlakozásoknak erősnek ugyanakkor duktilisnak is kell lenniük. Ha a kapcsolat gyenge vagy túl merev, például egy erősítetlen téglafal esetében, akkor a fal a rengés hatására fellépő vízszintes erők miatt kidőlhet.

Amikor egy földém diafragmaként működik, akkor nagyon hasonlít egy vízszintes síkban működő gerendához (19. ábra). Ugyan úgy nyomatók és nyíró erők hatnak rá a földrengéskor létrejövő horizontális erőkből (vagy hasonló módon a szélteherből). Ugyanúgy szükséges a megfelelő szilárdság és merevség biztosítása a horizontális alakváltozások elkerülése érdekében, ezek az alakváltozások jóval kisebbek, mint a függőlegesek, de jelentősen befolyásolják a függőleges szerkezetekre ható terheket.



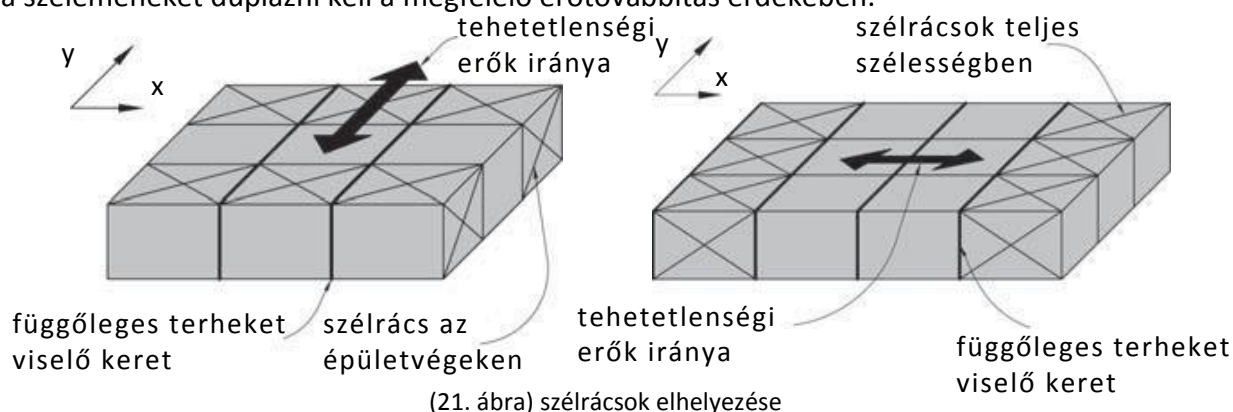
(19. ábra)

A fent említett alakváltozások meggátolására acél és a fa szerkezetű födémek esetén, oly módon van lehetőség, hogy a födém széleken merevítő bordákat helyezünk el. Vasbeton födémek esetén ezt a merevítés a födém széleken plusz vasalás elhelyezésével tudjuk elérni (20. ábra). Nagy terhelésű vasbeton födémek esetében is szükséges a födém széleken merevítő borda képzése, mely segít korlátozni a deformációkat.



(20. ábra) födém-szél merevítések

Könnyű acélszerkezetek esetén szélrácsokat alkalmazunk a merevítés érdekében. Ilyen szerkezetek például acélvázaz csarnokok tetői (21. ábra). A tetőszerkezetekről érkező erőket a függőleges, keresztmerevítésekkel ellátott oldalfalakra továbbítódnak. A szelemenek és a szélrácsok kapcsolatainak olyan erősségűnek kell lenniük, hogy a keletkező tehetetlenségi erőket megfelelően tudják közvetíteni a függőleges szerkezetek felé. Sokszor a szelemeneket duplázni kell a megfelelő erőtovábbítás érdekében.



(21. ábra) szélrácsok elhelyezése

A szélrácsok száma és mérete egy irányban a terhelő hatások mértékétől függ. Kisebb keresztmetszetű merevítések alkalmazhatóak ha azok számát növeljük.

Az igénybevételektől függően lehetnek csak húzott vagy húzott és nyomott szerkezetűek a szélrácsok. A csak húzásra igénybe vett szerkezetek esetében dupla rácsozást kell alkalmazni a kisebb keresztmetszeti méretek miatt, a húzásra és nyomásra is igénybe vehető szerkezetekkel ellentétben. Szélrácsok vagy szélrácsokhoz hasonló szerkezetek alkalmazhatók födém megszakítások esetében is, hogy természetes fény bejutása lehetséges legyen illetve gépészeti szerkezetek átvezetése esetében is (22. ábra).

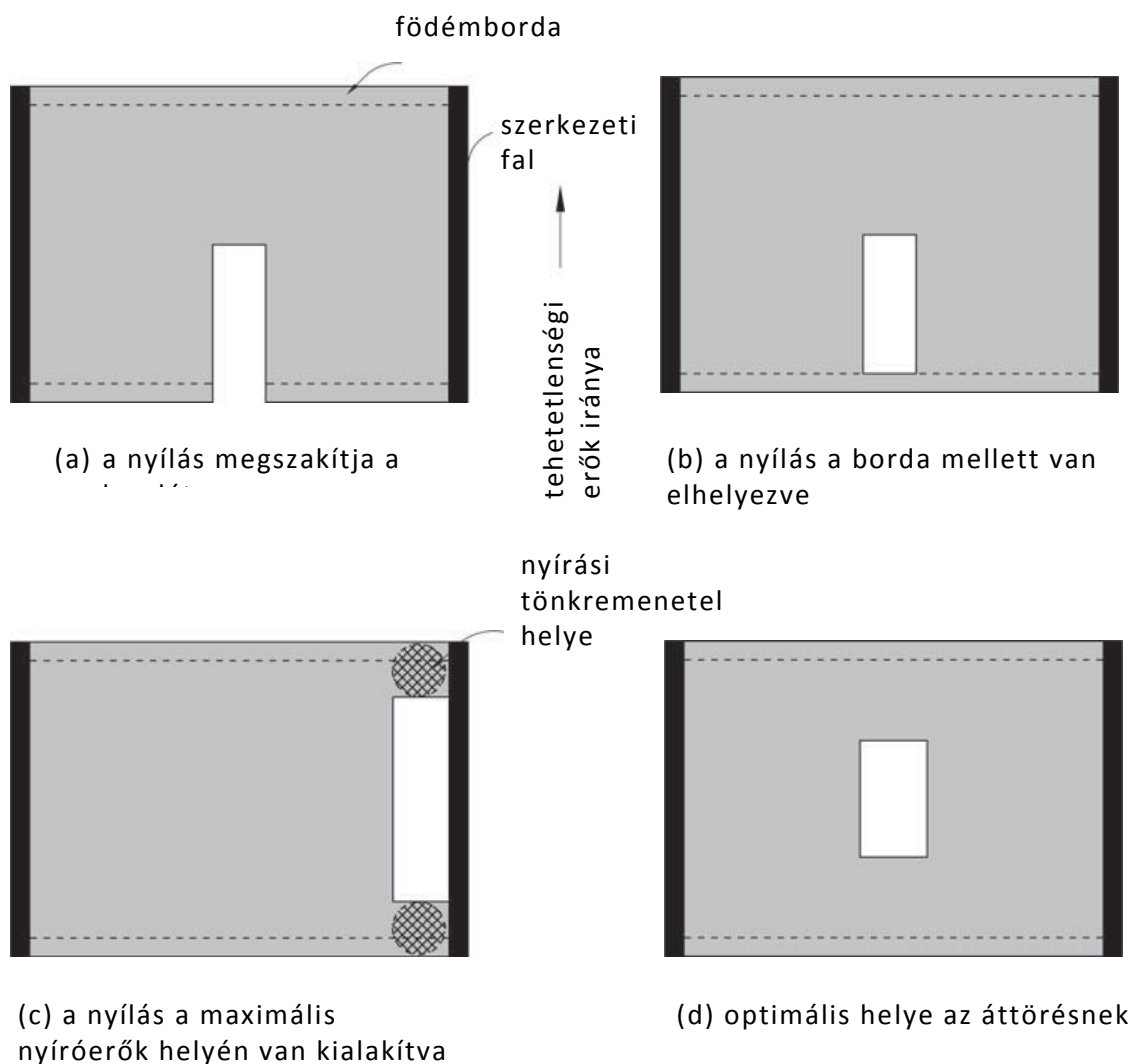


(22. ábra)

4.1.1. Födém áttörések

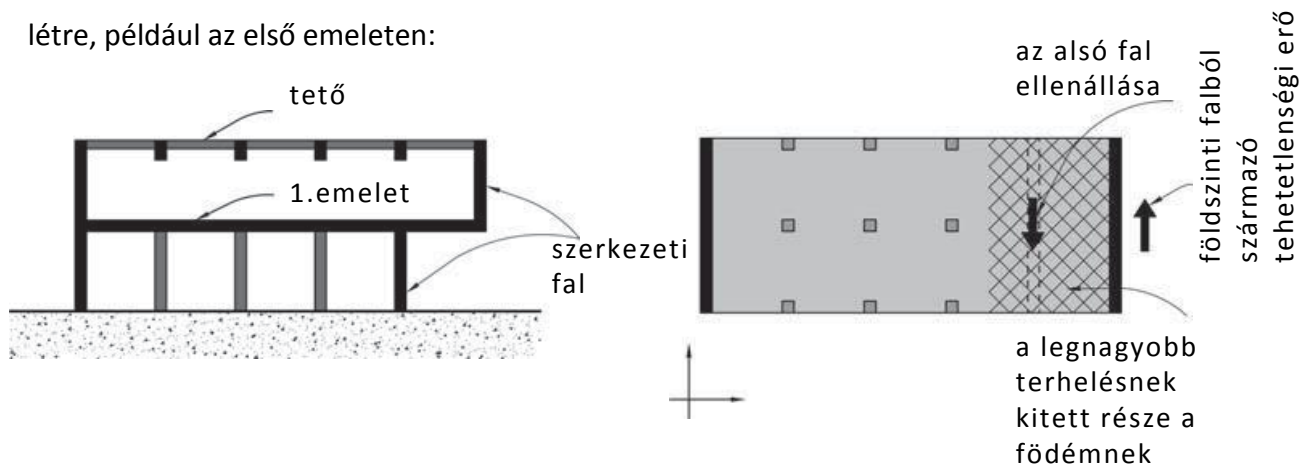
Az építészek több okból is terveznek födém áttöréseket, de a legáltalánosabb ok a függőleges átjárás a födémek között (lépcsők, liftek, gépészet). A belső elszívások gépészeti átvezetéseinek illetve galériás kialakítások során is szükség lehet nagy födémáttörések kialakítására. A kisebb gépészeti áttörések a födém merevítő szerepét döntően nem befolyásolják.

A nagyobb áttöréseket célszerűen ott kell elhelyezni, ahol azok nem akadályozzák az erőátadást a függőleges szerkezetekre. Tehát a legkedvezőbb helyek a kialakításra azok ahol kis nyíróerők és nyomatékok hatnak.



- a) A borda átvágása a lehető legrosszabb eset.
- b) Ha az áttörés a merevítés mellett helyezkedik el az még egy jobb választás
- c) A képen látható esetben szintén rendkívül kedvezőtlen az áttörés elhelyezése, mivel az a maximális nyíróerők helyén van. A földém ebben az esetben csak rövid szakaszokon kapcsolódik a szerkezeti falakhoz, így nagy a veszélye a nyírási teherbírás kimerülésének. Ilyen esetekben csökkenteni kell az áttörés méretét, növelni kell a földém vastagságát, és plusz, erősítő vasalást kell alkalmazni, hogy elkerüljük a tönkremenetelt.
- d) A képen látható az áttörés optimális elhelyezésének esete.

A földémek kialakításának másik problémás esete, amikor egy kiugró szintet hozunk létre, például az első emeleten:



(23. ábra) kiugró szint

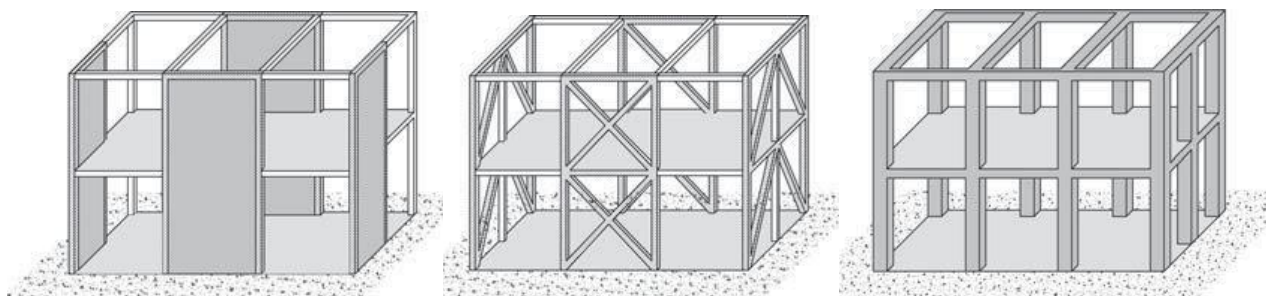
Ilyenkor a merevítő szerkezet, ami az épület két végén végighúzódnó merevítő fal, a kiugrásnál nem folytonos, nem ér le az alapokig. Ez esetben a vízszintes erőket a földémnek kell közvetítenie az alatta levő, de a fal széléhez képest eltolódott merevítő falnak. Ezen részének a földémvastagság növelésre szorul és plusz vasalást is el kell helyezni, mivel a földém konzolosan kinyúló része a felette levő falak vízszintes terheiből származó igénybevételeket is viselnie kell. Ha a földém erre nem képes, akkor a földém sarkainál pillérekkel alá kell támasztani. Ha ez építészeti nem lehetséges, akkor a konzolos kinyúlás mögé benyúló merevítő gerendákat kell elhelyezni.

Mivel ez a szerkezeti kialakítás egyfajta szabálytalanságot képez, tervezésénél körültekintően kell eljárni, a szeizmikus értelemben vett nagyobb sérülékenységi miatt.

4.2. Függőleges szerkezetek

A földrengési hatásoknak ellenálló szerkezet típusok megválasztásánál nincs túl sok lehetőségünk, a következő megoldások lehetségesek (24. ábra):

- merevítő falak
- kereszt merevített falak
- nyomatékbiró keretek



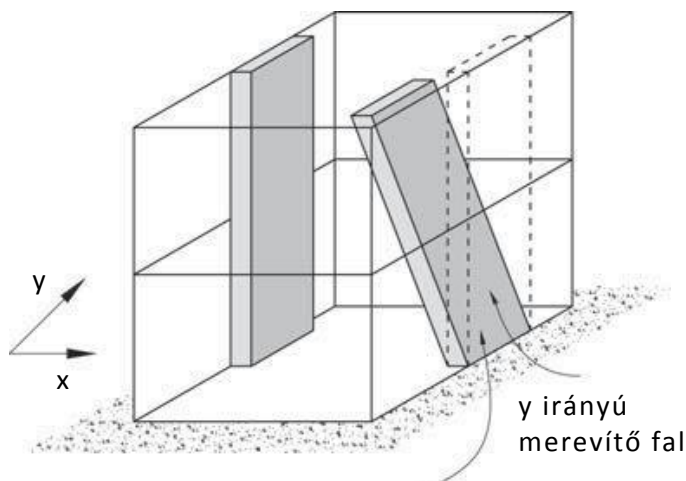
(24. ábra) balról jobbra: merevítő falak, keresztmerekített keretek, nyomatékbiró keretek

Habár mindegyik szerkezet képes függőleges terhekből származó igénybevételek viselésére elsődleges funkciójuk itt a vízszintes erők felvétele. Mindhárom szerkezettípus az alapoktól a legfelső szintekig kell, hogy tartson. A keresztmerekített szerkezetek legalapvetőbb kialakítása a pillérek, gerendák és a köztük elhelyezett átlós merevítések. Ezek a szerkezetek függőleges rácsostartónak is tekinthetők. Az összes csomópont lehet csuklós szerkezeti kialakítású. Az átlós merevítések csak húzó vagy húzó és nyomó erők viselésére is alkalmasak lehetnek. Ezzel a kialakítással szemben a merevítő keretek kapcsolatainak nyomatékbiróknak kell lennie. A három szerkezet típus közül egynek a tervezett épület mindkét egymásra merőleges főirányában meg kell jelennie. Ajánlott ezek közül egy fajtát választani, mivel a típusok keverése rendkívül bonyolult erőjátékot eredményezhet. Az építész tervezőknek figyelembe kell venniük, hogy ha kevesebb merevítő szerkezetet alkalmaznak, akkor a terheket azoknak ugyan úgy el kell viselnie, tehát nagyobb keresztmetszetek szükségesek. Fontos, hogy ezeket a szerkezetek integrálni kell a csak függőleges terheket viselő szerkezetek rendszerébe, és egyúttal bele kell illeszkedniük az építészeti koncepcióba is.

4.2.1. Merevítő falak

A függőleges merevítő fal szerkezeti falak, melyek a vízszintes erőket hivatottak felvenni. Elsődleges szerepük a fellépő nyíró igénybevételek elviselése, ezért nyíró falaknak is nevezik őket.

A földrengési hatások elleni védelem szempontjából a legjobb adottságokkal rendelkező szerkezet. A merevítő falas épületek a legjobb választás földrengés veszélyeztetett területeken. A jellemző merevségük minimalizálja a szintközi kitéréseket és ebből kifolyólag a szerkezeti károkat, a teherbíró és nem teherbíró szerkezeteket is beleértve. Az építészeti tervezésnél javasolt ezen szerkezetek alkalmazása. A merevítő falak elég hosszúnak kell lenniük alaprajzi elrendezésben, hogy azelőtt el kezdjenek működni, mielőtt más nem földrengés elleni szerkezeti elemek (pillérek, gerendák) károsodást szenvednének. Ahol merevítő falakat akarunk alkalmazni földrengés ellen, ott az alapozástól a tető födémig folytonosságukat biztosítani kell. Lehetőség van a falak alakjának megváltoztatására, akár síkjukban akár azon kívül is, merevítő szerepüket ekkor sem veszítik el (25. ábra).



(25. ábra) paralelogramma alakú fal

Enye ív is kerülhet a falba, de akár „L” „C” vagy „I” keresztmetszetűek is lehetnek, ha szerkezetileg adott helyzetben megvalósítható.

A falak csak síkjukban, hosszirányukban ébredő erők ellen hatékonyak, síkjukra merőleges erők esetén nagyon gyengék, labilisak illetve sérülékenyek. Ezt kiküszöbölendő a merevítő falak a szinteken elhelyezkedő födémekhez rögzítésre kell kerülniük.

A tehetetlenségi erőket a födémek továbbítják a falakra minden egyes szinten. A tetőtől az alapozásig nőnek a falakra ható terhek. Az esetleges áttörések képzése (ajtó, ablaknyílások) a falakon csökkentik a nyírószilárdságát a falaknak, így az ezek kialakítása alapozáshoz közel nem javasolt.

A falakra ható erők továbbítódnak az alapozásokra. A fal elcsúszását az alapozás és a talaj közötti súrlódás és földnyomás gátolja meg.

A merevítő fal anyagát és kialakítását nagyban befolyásolja az épület magassága.

anyag	szintek száma	megjegyzések
acél	4-8	acéllemez falak nagyon ritkán használatosak
vasbeton	1-20	a megfelelőbb anyag közepes és magas épületekhez. Duktilitási képességei lehetővé teszik a tervezőknek, hogy a lehető legrövidebb falhosszakat alkalmazzanak. Leginkább monolit szerkezetek.
erősített falazat (26. ábra)	1-6	vasbetétekkel erősített falazat kialakítására számos mód van
merevítetlen tégla falazat	1-4	csak alacsony földrengés veszélyű országokban elterjedt, csekély duktilis képességei miatt
zárt/merevített tégla falazat (27. ábra)	1-6	vasbeton oszlop és gerenda keret közé beépített falazat. először a falazat készül el majd az ezt bezáró vasbeton gerenda és oszlop
fa	1-5	könnyűszerkezetes épületekhez alkalmasak. a relatív kis teherbírásuk és merevségük (vasbetonhoz képest) miatt néhány hosszabb vagy több rövidebb falazat kell a földrengés elleni védelemhez.



(26. ábra) erősített falazat



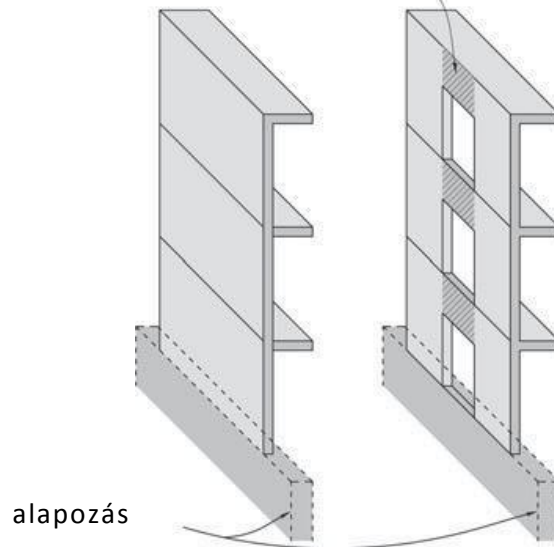
(27. ábra) zárt/merevített falazat

A vasbeton szerkezettel erősített téglafalak abban különböznek a kitöltő téglafalas szerkezetektől, hogy míg a kitöltésnek nincs teherbírasi feladata addig az zárt/erősített téglafalnak van. Az építés során először a téglafalat készítik el, majd az ezt merevítő vasbeton szerkezetet, így egy egységet alkotva a vízszintes teher fellépésekor a téglafal átlós nyomott szerkezetként viselkedik. Ennél a kialakításnál áttörések képzése nem lehetséges, hiszen így megszüntetnénk a „nyomott rudak” kialakulásának lehetőségét, és a vasbeton merevítés önmagában nem olyan erős, mint mondjuk egy nyomatékbiro keret. Előnye a szerkezetnek, hogy kisebb vasbeton keresztmetszeteket igényel, hiszen a teherbírasi képességeit kiegészíti a téglafal. Az erősített téglafalak csak mérsékelt terhelést képesek elviselni, és ezek is nagyban függnék a téglá és az azokat összekötő habarcs szilárdsági tulajdonságaitól. A merevítő falak duktilis tulajdonságait a következő táblázat foglalja össze.

merevítőfal anyaga	a duktilitás foka
acél	közepes-nagy
vasbeton	nagy
erősített falazat	közepes-kis
zárt/merevített téglafalazat	kis
merevítetlen falazat	nincs
fa	közepes-nagy

A merevítő falak egy másik lehetséges szerkezeti típusa az un. kapcsolt merevítő falak. Lényegük, hogy két (jellemzően vasbeton) merevítő fal egy nagy magasságú, de szokásostól eltérő vasalású gerendával van összekötve. Az összeköttetés biztosítja az együtt dolgozást, a gerenda alatti nyílás pedig a normál kialakítású merevítő falnál (teherbírasi és merevségi problémák miatt) nem ajánlott áttörését képezi. A két egymástól független fal összeköttetését biztosító gerenda magasságának a felének kell lennie az áthidalt nyílásméretnek. A hagyományosan áthidalókkal vagy „normál” magasságú vasbeton gerendákkal és földem kapcsolatokkal összekötött falak sokkal lágyabbak és merevítő szerepük is kisebb. Az összekötő gerendák egyben biztosítják a képlékeny csuklók kialakulási helyét is, mely a duktilitást hivatott biztosítani. Vasalásuk kialakítása miatt, a földrengésakor keletkező sérülések a rengés után javíthatóak, teherbírásukat továbbra is szavatolt (28. ,29. ábra).

összekötő gerenda, ami
képlékeny csuklóként működik



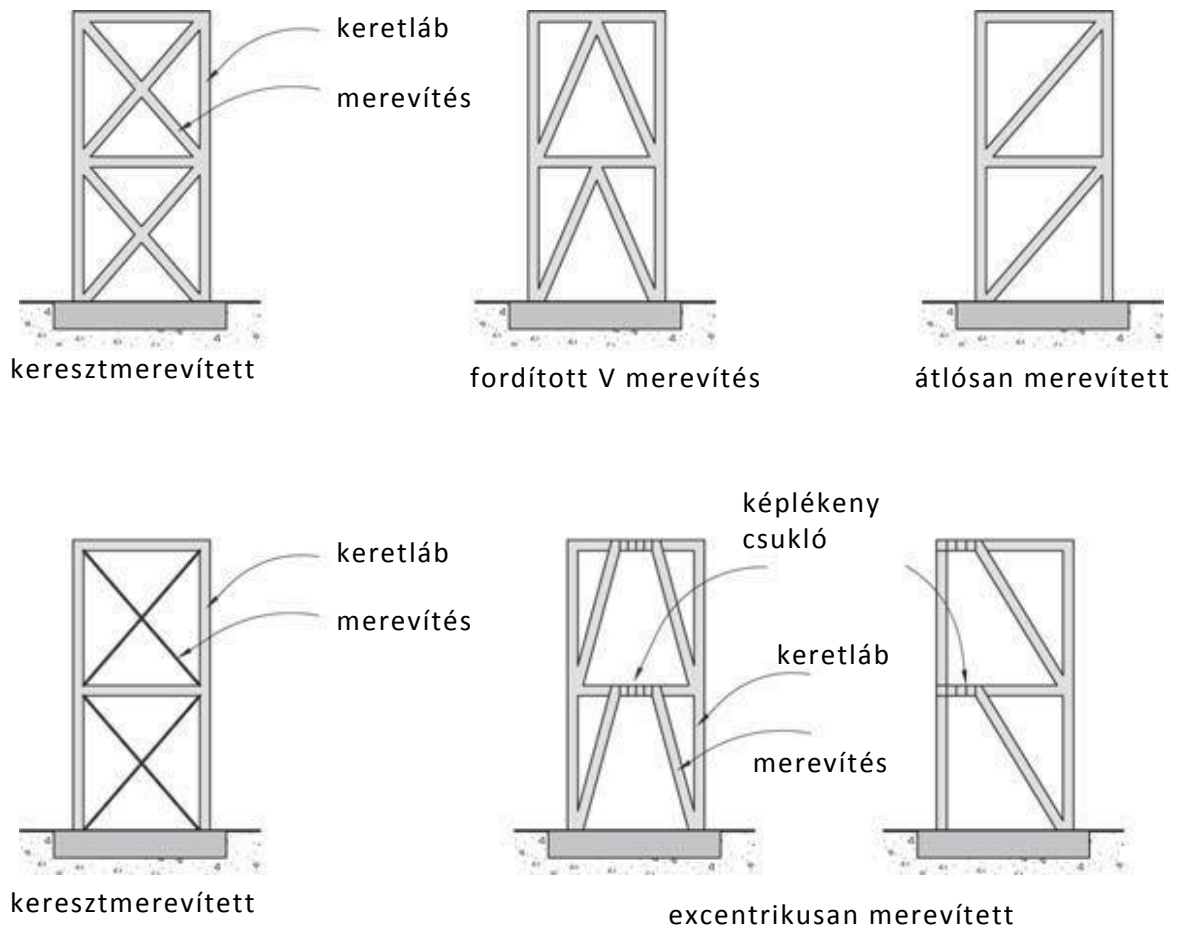
(28. ábra) kapcsolt merevítőfal



(29. ábra) kapcsolt merevítőfal és az összekötő gerenda vasalás kialakítása

4.2.2. Keresztmervített keretek

Ezeket a szerkezeteket gyakran falak közé rejtik. Típusai a 30. ábrán láthatóak.



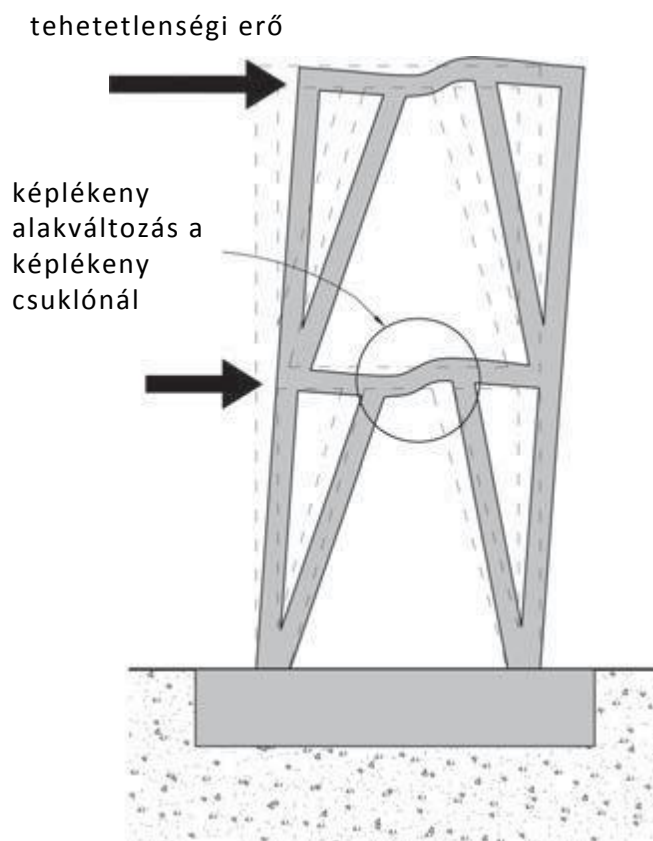
(30. ábra) a keresztmervített keretek típusai

Az átlós mervítő elemek húzásra és nyomásra is igénybe vehetőek. Többszintes épületek mervítése esetén az alkalmazott keresztmetszeti méretek miatt a rácsozás nyomást is képes felvenni. A csak húzásra igénybevett keresztmervítések, alacsony épületeknél például egyszintes ipari csarnokoknál alkalmazhatóak. A mervítő elemek keresztmetszeti mérete 20-30mm átmérőjű lehet, az épület tömegétől és a mervítések számától függően. Az excentrikusan mervített keretek duktilitása a legnagyobb a mervített keretek közül. A keretgerendák képlékeny zónája a keresztmervítők kapcsolatai között alakul ki leginkább (31. ábra). A keretgerendák gerincét ezeken a helyeken lokális horpadás

elkerülése érdekében diafragmákkal erősíteni kell. A keretgerenda és oszlop kapcsolata lehet csuklós kialakítású is, de a gerendáknak toldás nélkülinek kell lenniük.

A keresztmerezített keretek elemeit biztosítani kell kifordulással szemben is.

A keretek anyaga jellemzően acél, de fából is készülhetnek. Fa használata csak alacsony épületeknél javasolt. Acél keresztmerezített keretek magas épületek esetén is alkalmazhatók, és leginkább ez a típus használatos. Ilyen kereteket vasbetonból is lehet készíteni, de bonyolult tervezésük, szerkezeti kialakításuk és kivitelezésük miatt nem túl gyakoriak.



(31. ábra) képlékeny zónák kialakulása excentrikus merevítés esetén

4.2.3. Nyomatékbíró keretek

Alapvető követelménye a kereteknek, hogy az oszlopaiknak elegendő vastagsággal kell rendelkezniük, a fellépő nyomatékok felvételére. Az keretoszlopoknak és a keretgerendáknak azonos szélességűnek kell lenniük, és sarokmerv kapcsolatokkal kell rendelkezniük. A kereteknek nagy, a földrengésből származó mozgások miatt kialakuló nyomatékokat kell elviselniük. Természetesen a hajlító nyomatékok mellett nyíró erők is ébrednek a keretben. A keretoszlopok különösen sérülékenyek a nyíró igénybevételekkel szemben, miközben (mint a nem földrengés ellen dolgozó oszlopokban) ugyan úgy hatnak rájuk nyomó és húzó erők is. Minél nagyobb szerkezeti magasságuk, az igénybevételeik annál jobban nőnek.

Ahogy a merevítő falak úgy a nyomatékbíró keretek is csak a síkjukban ható erők ellen tudnak hatékonyan dolgozni. Egy keretoszlop a keret irányára merőleges másik keret oszlopa is lehet, ilyenkor nyilván a másik irányban is szavatolni kell a megfelelő teherbírást.

A keretek formájának kialakítására számos lehetőség van. Többhajós épületek esetén, a derékszögű geometria szabadon variálható, például csarnok szerkezetek kereteinél a keretgerendák lehetnek lejtősek is. A keretek nyílás méretei építészeti kritériumoknak megfelelően választhatóak, szem előtt tartva a megfelelő teherbírási és alakváltozási követelményeket.

Egy földrengési hatásoknak ellenálló keret alapvető követelménye a nagy szélességű oszlop. A szélesség a keret síkjában értendő méret. A keretek jellemzően két irányban kapcsolódnak egymáshoz, így a keretoszlopok négyzet vagy kör keresztmetszeti kialakításúak, hogy mindkét irányban azonos teherbírással rendelkezzenek. Egy irányban teherhordó, merevítő keretek esetében téglalap keresztmetszetű is lehet az oszlop. Az keretoszlopoknak az alapoktól a tetőig folytonosnak kell lenniük.

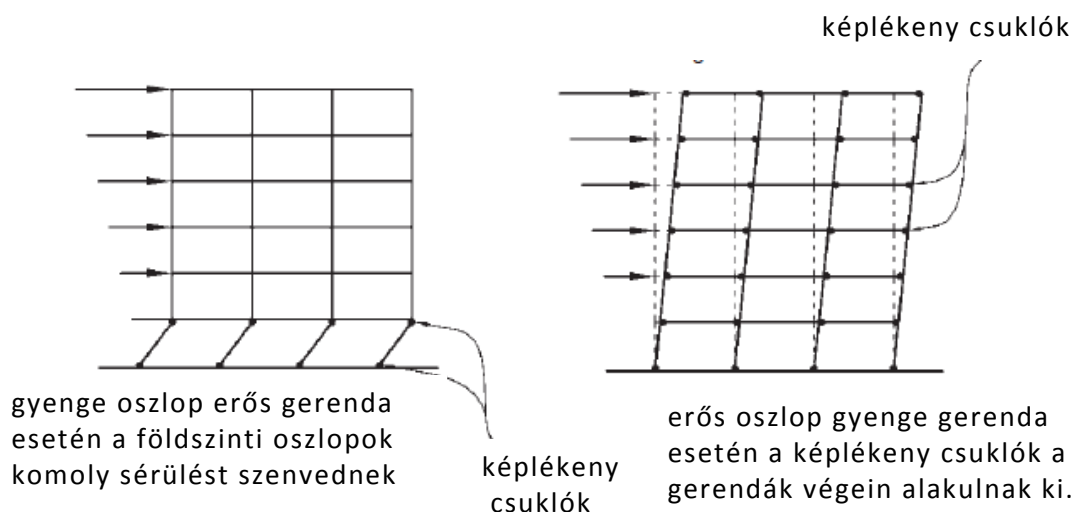
A keretgerendáknak hasonló méretűnek kell rendelkezniük, mint az oszlopoknak a minél jobb erőátadás érdekében. A magasságuknak a csatlakozó födémek vastagságánál nagyobbak kell lennie, általában a fesztáv 1/12-ének. Ideális esetben a keretgerendák tengelyének alaprajzi elrendezésben egy vonalba kell esniük, az esetleges eltolásokat el kell kerülni. Enyhe ív lehet a gerendákban, de nem szerencsés.

A keretsarkoknak merevnek kell lenniük, minél nagyobb merevséggel rendelkezik annál nagyobb a vízszintes erőkkal szembeni ellenállása. Egyszintes épületek esetén az oszlopok lehetnek csuklós kialakításúak az aljuknál, hogy kisebb alaptestek legyenek szükségesek. Ennek hátránya a merev befogással szemben, hogy így sokkal lágyabb szerkezetet kapunk.

Szabályos alaprajzi, és szintenkénti elrendezésű keretek adják a legjobb teljesítmény földrengéssel szemben. Tapasztalatok azt mutatják, hogy a pillérek tengelyei közti távolság 5-8m között ideális. 8m fesztáv feletti keretnyílás esetén szükséges a keretgerenda keresztmetszeti méretének növelése.

A keret anyaga lehet fa, acél, vagy vasbeton. Fa keretek alkalmazása hazánkban a gyakorlatban nem fordul elő. A sarok kapcsolat, az idővel fellazuló fa rostjai miatt a kezdeti merevségét elveszíti. Acél keretek alkalmazása a könnyűszerkezetes ipari létesítményektől a magas épületekig lehetséges. Vasbeton keretek magasépületek esetén is képesek a megfelelő földrengés elleni védelem biztosítására, de ebben az esetben kiegészítő szerkezetek is kell alkalmazni.

Hogy egy keret duktilis szerkezet legyen, két dolog szükséges: az elemek duktilisak legyenek, és a kialakítás is duktilis legyen. Földrengési károk megfigyelései azt mutatják, hogy a keretek gyenge kialakítása az egyes elemekre koncentrálja a földrengésből származó energiákat, melyek azokat nem tudják elviselni, így súlyosan károsodnak. Ezek a károsodások az épület összeomlásához vezethetnek. Tanulmányok azt mutatják, hogy a keretek két tönkremeneteli módon sérülhetnek meg (32. ábra).



(32. ábra) tönkremeneteli módok

Az egyik mód, ha a képlékeny csuklók az oszlopok végein alakulnak ki. Ekkor azok teherbíró képessége nagyban csökken. A földszinten történő fent említett mechanizmus a szerkezet összeomlásához vezet. A másik mechanizmus, ami kialakulhat (ez a legkedvezőbb), ha a gerendák végein alakulnak ki a képlékeny csuklók. Ez azért szerencsésebb, mert a csuklók kialakulása nem vezet a teherbírás kimerüléséhez. A függőleges terheket továbbra is el tudja viselni a gerenda, így az nem befolyásolja negatívan az épület biztonságát. Az oszlopokban egyetlen helyen megengedett a képlékeny csukló kialakulás, mégpedig az alapba való befogásnál. A második esetben a gerendák, mint feláldozható elemek szerepelnek, ezek emésztik fel a földrengés energiáját mielőtt az oszlopok megsérülnének. Ebből kifolyólag minden szerkezeti elem erősebbre van tervezve, mint a gerendák. Az oszlopok erősebbek, mint a gerendák, és az alapozás erősebb, mint az oszlopok (az alapozások sérüléseit észlelni és javítani is sokkal nehezebb).

Tehát a gyenge oszlop erős gerenda kialakításokat el kell kerülni. Az oszlopok szélességi méretének egyenlőnek vagy nagyobbaknak kell lennie a gerenda magasságánál.

A statikai határozatlanság szintén növeli a szerkezetek duktilitását. A képlékeny csuklók kialakulásánál az acél megfolyik és a beton berepedt állapota után a betontakarás lepattogzik a vasalásról, de a helyesen kialakított sűrű vasalás megakadályozza a keresztmetszet belsejében levő beton kihullását, mely szerkezet így továbbra is ellenáll a terheléseknek, képlékeny módon dolgozik tovább. Egy rosszul kialakított képlékeny csukló esetében az acél megfolyása után a beton teljesen széttöredezik és ki is pereg a vasalások közül, a szerkezet teherbírása megszűnik (33. ábra). Ez a probléma hatványozódik akkor, amikor utórengések követik a fő sérülést okozó földrengést.



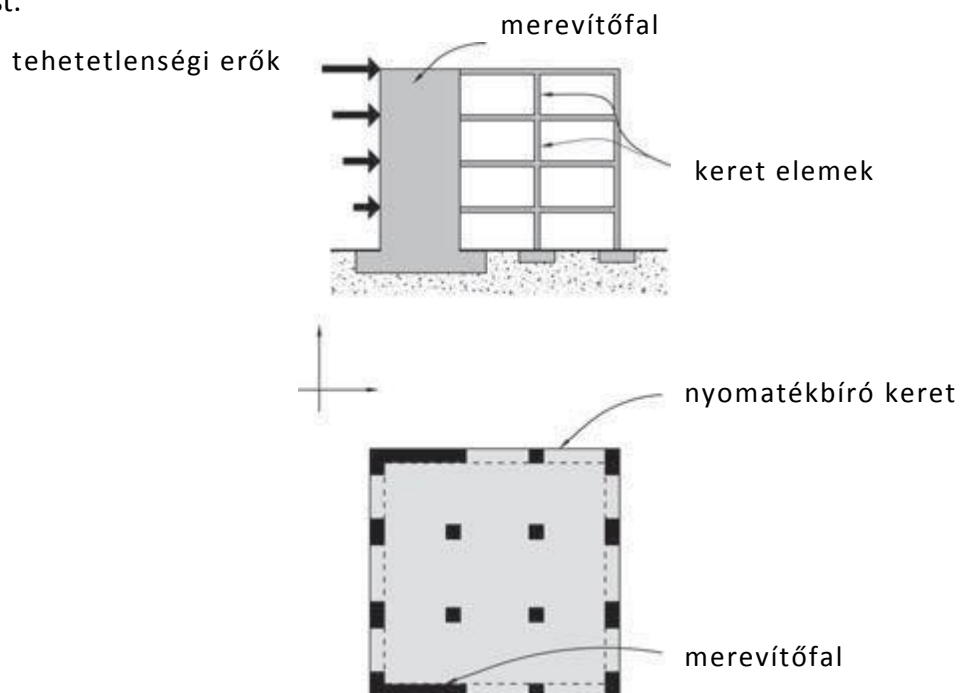
(33. ábra) gyengén kengyelezett képlékeny csukló zónája



(34. ábra) gyengén kengyelezett, oszlop végen kialakult képlékeny csukló zónája

4.2.4. Vegyes szerkezetek

A vegyes rendszereket (35. ábra) lehetőleg kerülni kell, bonyolult erőjátékuk miatt. Ez alól kivételt képeznek a magasházak vagy toronyépületek, ahol merevítő falak és keretek együtt dolgoznak a földrengési hatások ellen. A másik ok, amiért mégis alkalmazhatóak, az ilyen rendszerek statikai határozatlansága. Egy jól kialakított vegyes (földrengési hatások ellen védő) rendszer gátolja az elmozdulásokat, növeli a szerkezet csillapítását és fokozza a teherbírást.



(35. ábra) vegyes rendszerű merevítő szerkezetek

5. Szerkezetek kialakítási problematikái

5.1. Horizontális konfiguráció problematikái

A vízszintes szerkezetek megfelelő alaprajzi elrendezése önmagában nem akadályozza meg az épület károsodását, de nagyban hozzájárul annak elkerüléséhez.

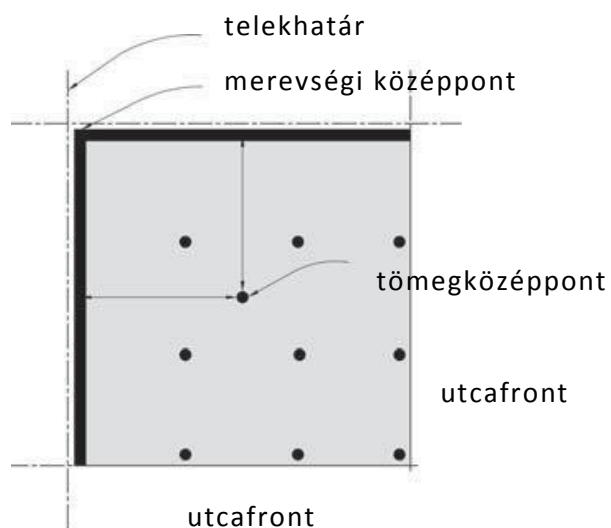
Az építészek nem feltétlenül szeretnek szabályos, derékszögű épületeket tervezni. A megrendelők sem ilyen formájú épületekről álmodnak. A helyszínrajzi adottságok, az építészeti koncepció mind a szabályos elrendezés ellen szólhatnak. A szerkezetépítő mérnökök teljesen ellentétesen gondolkodnak a legtöbb esetben. Egyszerű és lehetőségekhez mérten szimmetrikus szerkezeteket terveznének. Az európai szabványok a szerkezettervező mérnököket igazolják: a szerkezeteknek a lehető legjobban kell közelíteniük a szabályos és szimmetrikus formákhoz, alaprajzi és magassági elrendezésben is. Ha szükséges, ezen kívánalmak elérhetőek az épület dinamikailag független részekre bontásával is. A nem szabályos elrendezés szerkezeti hátrányokhoz vezethet és nagyobb terhekre is kell méretezni a szerkezeteket. A Kapcsolatoknak a szabványos kialakításhoz képest erősebbnek kell lenniük, ami persze költségesebb is.

5.1.1. Csavarás

Mint már korábban említettem a földrengési terhekből származó csavaró hatás elkerülhető, ha a merevségi középpont és a tömegközéppont távolsága a lehető legkisebb.

Szimmetrikus kialakítás esetén, az egymással párhuzamos merevítő falak (vagy egyéb már ismertetett merevítő szerkezetek) közötti távolságok a lehető legnagyobbak kell lennie. Abban az esetben, ha a merevítő szerkezetek az alaprajzi elrendezés peremén az épület kerülete mentén helyezkednek el a leghatékonyabb a csavarás elleni védelem. Ha az egymással párhuzamos merevítő szerkezetek egymáshoz közel vannak, akkor többszörös csavaró hatásnak vannak kitéve, és ha ezt a szerkezetek méretének növelésével nem kompenzáljuk, akkor a megnövekedett csavarásból származó elfordulás és elmozdulások a

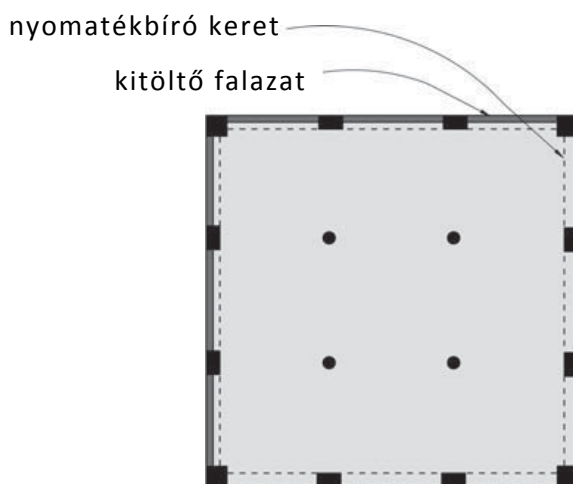
merevségi középponttól legtávolabb eső szerkezetekben komoly károkat okoznak, és összeomláshoz vezethetnek. A csavarási teher szempontjából a 36. ábrán látható elrendezés az egyik legrosszabb.



(36. ábra)

Ehhez hasonló sarok épületek tervezésénél a következő lehetőségek alkalmazhatók a csavaró hatás csökkentésére:

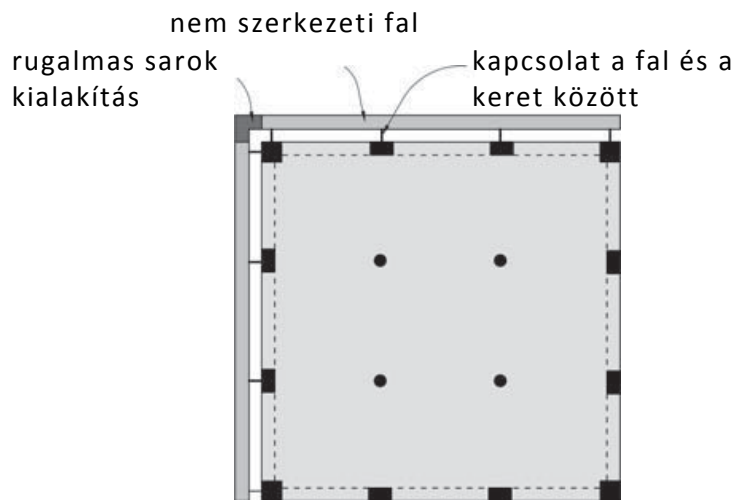
Az erős hátsó falak kerülendőek, helyettük az épület kerületén körbe nyomatékbíró kereteket (37. ábra) kell elhelyezni kitöltő falazattal (természetesen az utcafronton kitöltés nélkül).



(37. ábra)

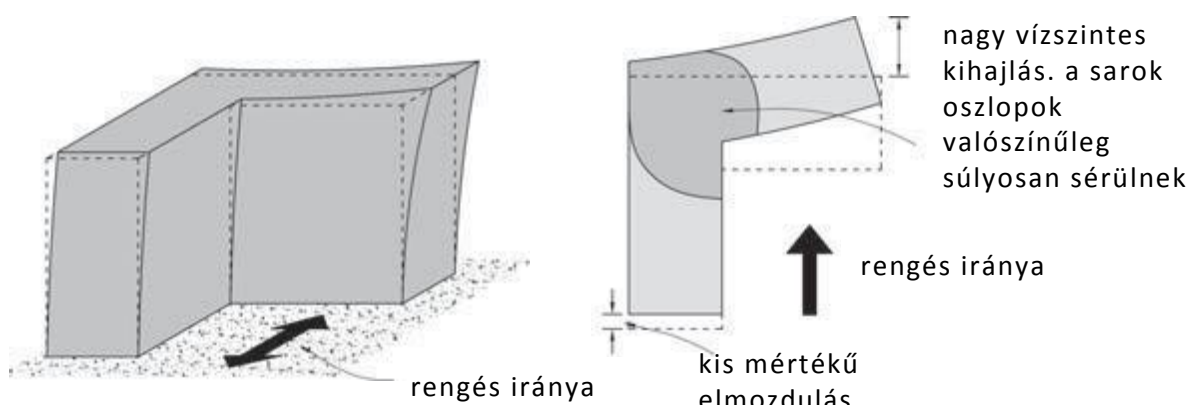
A másik lehetőség (38. ábra), hogy ha az erős falak megmaradnak, de azok el vannak szeparálva a földrengési szerkezetektől, így azokra nem jut a földrengési hatásokból erő,

hanem falakon belüli merevítő szerkezet viseli azokat. Ez a lehetőség nem túl kedvező a fal és a merevítő szerkezetek kapcsolatainak kialakításának bonyolultsága és költségei miatt.



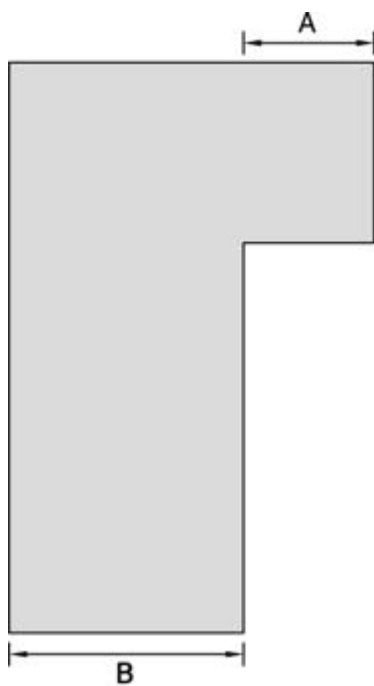
(38. ábra)

Földrengés esetén egy „L” alaprajzi elrendezésű épület két szárnya különböző módon viselkedik (39. ábra). Míg az egyik szárny ellenáll az irányába eső hatásnak, addig a másik elhajlik és jelentős csavarási igénybevétel keletkezik benne. A szárnyak találkozásánál a földem szerkezetek is károkat szenvednek (40. ábra). Ez elkerülhető, ha (ököl szabály szerint) az alaprajzi mérete az egyik szárnynak a másik szárny szélességi méretének 15%-át nem haladja meg (41. ábra), illetve ha az épületszárnyak egymástól szeizmikusan el vannak választva (42. ábra). Így két egymástól elkülönített épületet kapunk melyek saját egymásra merőleges főirányaikban ellenállóak földrengés szempontjából.

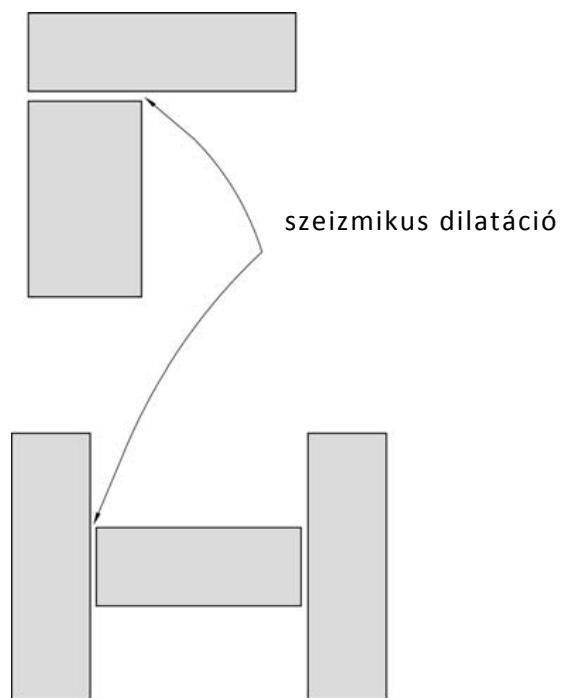


(39. ábra)

(40. ábra)



(41. ábra) $A \leq B * 0,15$



(42. ábra)

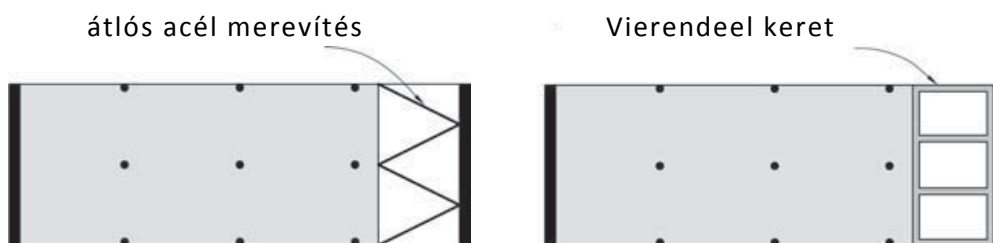


(43. ábra) a csavarás és a gyenge kengyelezés hatására a szélső oszlopok jelentősen sérültek

5.1.2. Födémek folytonosságának megszakadása

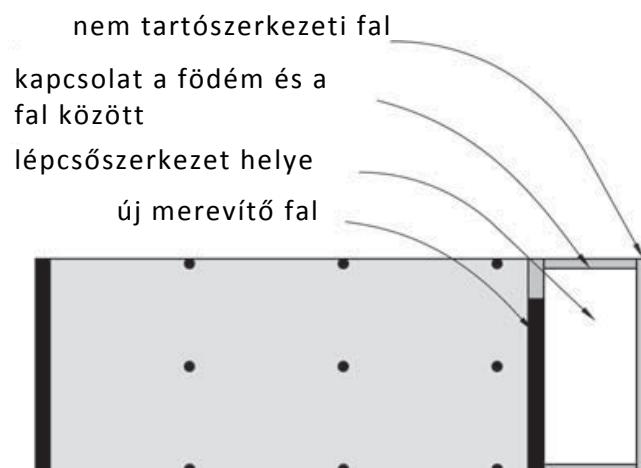
Födém áttörések lehetnek olyan helyzetűek és méretűek, hogy a födém folytonossága teljesen megszakad. Ha ilyen eset áll fenn, például födém szélén, akkor a födém nem hidalja át a nyílást teljesen a két merevítő fal között, így saját merevítő szerepe is megszűnik. A kialakult szabad födémcsél megtámasztására vagy folytonosságának biztosítására több megoldás lehetséges:

ha „csak” fénybeeresztés illetve gépészeti átvezetés a folytonosság megszüntetésének oka, akkor a födém merevítő hatását visszaadva acél merevítéseket vagy Vierendeel tartókat tehetünk az áttörésbe (44. ábra).



(44. ábra) balra egy acél rácsozással van kiváltva a szakadás jobbra Vierendeel tartókkal

Ha az födém megszakítás lépcső elhelyezése miatt készült, akkor a meg nem támasztott födémcsél merevítő fallal történő megtámasztása a megoldás. Ilyenkor a másik fal, melyhez nem ért át a födém, helyettesíthető egyszerű teherhordó fallal (45. ábra).



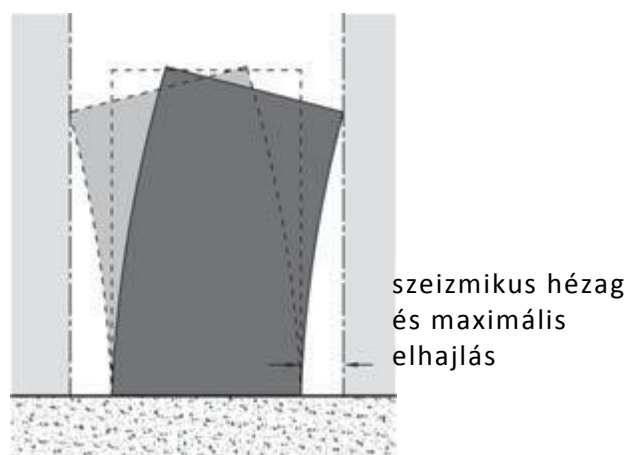
(45. ábra)

Foghíjbeépítés esetén, amikor is két meglévő épület közé tervezünk egy újat, tekintettel kell lennünk az új (és régi) épület(ek) horizontális kilengésire. Ez esetben az új épület kilengése során kalapácsütés szerűen ütközik neki a szomszédos épületeknek

(46. ábra.). Ez úgy kerülhető el, ha megfelelő távolságot biztosítunk az épületek között (47. ábra). Az általánosan meghatározott maximális vízszintes kilengés $0,02 \times$ az szintmagasság. Ez egy 3,5m szintmagasságú 10 emeletes épület esetén 700mm-t jelent. Ha a szintek az új épületben „futnak” szomszédos épületek szintjeivel akkor ez az érték 50%-al csökkenthető, mivel ha a födémek egy szinten vannak a különböző épületekben, akkor az egymásra mért kalapácsütések (mivel a síkjukban a födémek nagyon merevek) nem olyan súlyosak mintha az eltérő födém szint miatt az ütések a födémeket alátámasztó pilléreknek csapódnának. Az ütések hatására a pillérek súlyosan károsodhatnak. Ez egy jó példa arra, hogy ha valami duktilis és ez által jobban ellenáll a földrengésnek, a mozgásokból kialakuló hatások károsak lehetnek. Az épületek közti szeizmikus dilatációs hézag csökkenthető, ha merevebb szerkezetet tervezünk.



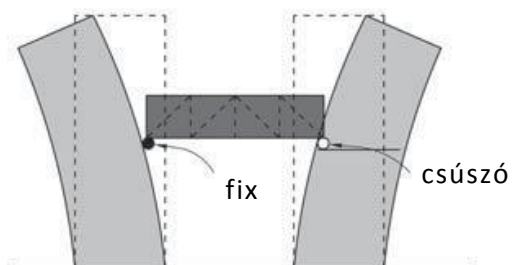
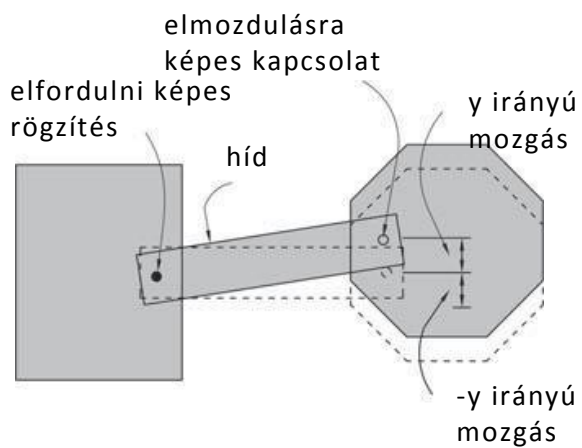
(46. ábra)



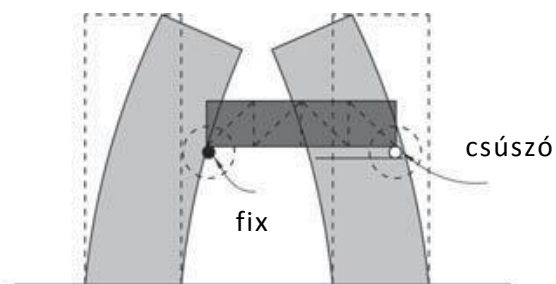
(47. ábra)

Ha két épület között (például, ahogy az egyetemen is) egy „híddal” biztosítjuk az gyalogos összeköttetés akkor, annak is biztosítani kell a megfelelő földrengés elleni védelmet. Nyilvánvaló, hogy nem rögzíthetjük mereven mindkét épülethez a hidat. Az egyik épülethez fixen (de elfordulási képességekkel felruházva) rögzítjük a hidat, a másik épületben csúszó, vagy görgős támaszokkal biztosítjuk az elmozdulni képes kapcsolatot (48. ábra). A két épület egymással ellentétes elmozdulásának mértékében biztosítani kell a híd hosszát, nehogy az kicsússzon a másik épületből. A másik irányban, amikor az épületek

egymás felé mozdulnak, akkor a nem fixen rögzített felén a hídnak, biztosítani kell az épületbe befelé való mozgás helyigényét, azaz hogy becsúszhasson az épületbe (49. ábra).



(48. ábra)



(49. ábra)

5.3. Vertikális konfiguráció problematikái

A függőleges merevítő szerkezetek nem megfelelő kialakítása számos problémát okozhat, mint építő, mint építészmérnöki szempontból. Közülük a legfontosabbakról lesz most szó (a teljesség igénye nélkül).

5.3.1. Puha szintek

A puha szint azt jelenti, hogy az épület egy emelete sokkal lágyabb és/vagy gyengébb, mint a többi szint, földrengési hatások vonatkozásában. Földrengéskor az energia a puha szintre koncentrálódik (50., 51., 52., 53. ábra). A szinten a pillérek nagymértékben károsodnak és a felette levő szerkezetek súlyától a szint (a sérülések miatt) összeomlik. Sokszor a szint megsemmisülése után a felette levő szerkezet sértetlennek tűnhet, hisz a rengésből származó energia nem továbbítódott a puha szintről. Az összes lehetséges hibás függőleges szerkezeti kialakítás közül a puha szint a legkomolyabb, és a leggyakoribb okozója a többszintes épületek összeomlásának. A legsérülékenyebb kialakítás, ha a földszinten van a puha szint. jellemzően a gyenge-oszlop erős-gerenda hatás okozza a problémát.

Egy másik kialakítás, ami puha szintet eredményez, ha nyitott földszinti részt kombinálunk felette levő kitöltő falazatos kerettel. A puha szint kiküszöbölésére a következő módszerek lehetségesek:

Elszigeteljük szeizmikusan a problémát okozó magas gerendákat illetve kitöltőfalakat, hogy ne tudják a pillérek földrengés során károsítani.

A másik lehetőség, hogy a földrengési és a hagyományos szerkezetet külön választjuk egymástól és mindegyik csak a saját feladatát látja el.



(50. ábra) a puha szint miatt a földszint teljesen megsemmisült



(51. ábra) a puha szint miatt súlyos károkat szenvedtek a földszinten levő pillérek. Jól látszik, hogy a felső szintek látszólag alig sérültek a rengés során



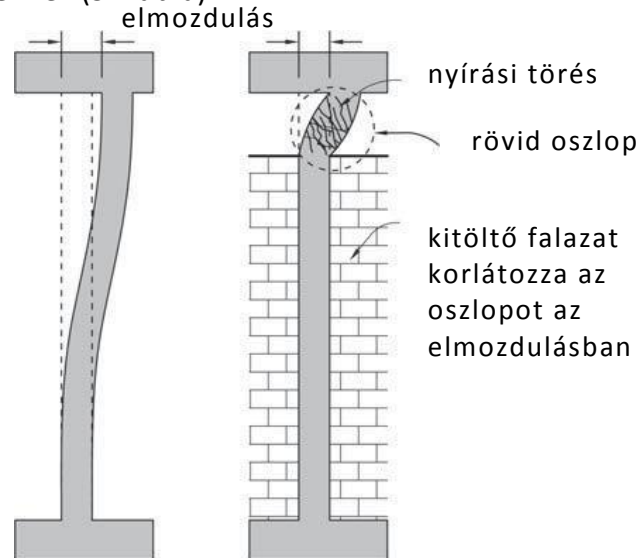
(52. ábra) puha szint nem csak a földszinten lehet



(53. ábra) a puha szint összeomlása után az épület felső része szinte sérülések nélkül megúsza a rengést

5.3.2. Rövid oszlopok

A rövid oszlopok épp úgy kerülendők, mint a lágy/gyenge oszlopok. A rövid pilléreknél a problémát az jelenti, hogy a hosszúságuk miatt a képlékeny csuklók nem tudnak kialakulni, így nyírásra tönkre mennek (54. ábra).



(54. ábra) balra a „szabad” oszlop, jobbra a rövid oszlop elmozdulása

Ez a tönkremenetel gyakran vezet összeomláshoz. Két típusa van a tönkremenetelnek:

- ha egy pillér rövidebb, mint a többi egy nyomatékíró keretben
- ha olyan rövidek az oszlopok, hogy már túl ridegek (55., 56., 57. ábra)



(55. ábra)



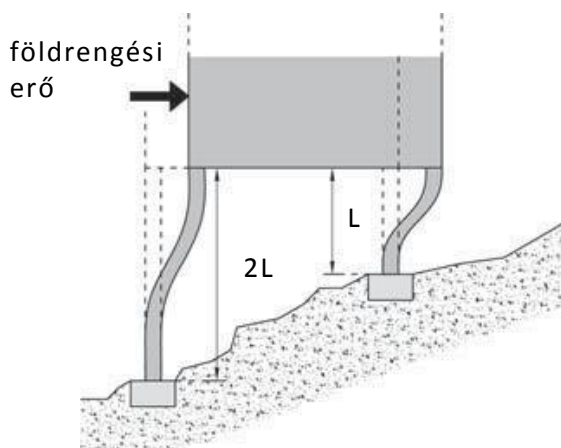
(56. ábra)



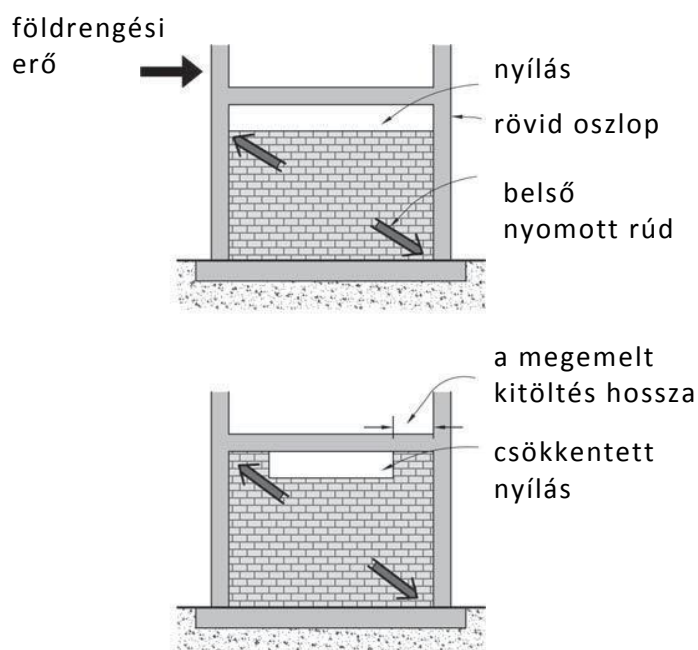
(57. ábra)

Az első eset, amikor egy rézsús terepen építkezünk (58. ábra).

A második típus jellemzően, akkor jön létre, ha a normál hosszúságú pillérek között részben kitöltő falazattal látjuk el. Megoldást jelenthet, ha a nem teljes magasságig felfalazott falat a pillérek mellett, kis szélességben a gerendák aljáig teljesen felfalazzuk (59. ábra).



(58. ábra)



(59. ábra)

6. Nem tartószerkezeti elemek földrengéssel szembeni megfelelése, kialakítási koncepciók

A nem tartószerkezeti elemek, ahogy a nevükben is van, nem vesznek részt a teherviselésben. A következő elemek tartoznak ide:

- burkolati panelek, mennyezetek, üvegezés, válaszfalak
- gépészeti és villamos szerkezetek pl.: liftek
- belső építészeti és használati elemek.

Amiért fontos ezekről az épületelemekről beszélni, az hogy egyrészt az épületeken kívül és belül is veszélyt jelentenek az emberi életre, másrészt pedig károsodásaik jelentők anyagi kárt okozhatnak.

A nem tartószerkezeti elemek költsége a teljes épületre vetítve (nem számolva a telekárát) egy ipari vagy raktár csarnoknál kevés gépészeti szerkezettel 20-30%-a, egy nagy mennyiségű gépészettel és berendezéssel ellátott épület esetén 85%-át is elérheti az teljes épület költségeinek, de például múzeumok, vagy kutató központok esetében a teljes épület költségeit is meghaladhatják. Tehát ezeket az elemeket meg kell védeni a földrengési hatásoktól. Egy 27 emeletes épületről készített tanulmány (Los Angeles) kimutatta, hogy a földrengéskor keletkezett szerkezeti károk költsége a nem tartószerkezeti károk költségének 1/6-a volt. De napjainkban nem csak az épületkárok jelentenek veszteséget, a funkció illetve működés kiesés is rendkívül kritikus lehet egy épületkár esetében, például kórházak vagy hasonló funkciójú létesítményeknél.. Fontos, hogy egy földrengés után ezek a létesítmények ne álljanak le, működésük ne szakadjon meg. Gazdasági és termelő objektumok működési kiesése hatalmas pénzügyi veszteségeket is okozhat.

Egy földrengés alatt és után a nem tartószerkezeti elemek sérülése meghatározó szerepet játszik az emberi sérülésekben. Például üvegezés, álmennyezetek leesése, gázcsövek törése, falak kidőlése, burkolatok lezuhanása.

A károk keletkezésének oka, hogy az épületek a magasságuk miatt a földrengés hatásait felerősítik és az épületen felfelé haladva egyre nagyobb gyorsulásokat kell elviselnie az épületeknek és azok elemeinek. A nem tartószerkezeti elemekre is ugyan úgy hatnak tehetetlenségi erők, melyek az elemek kiborulása, rögzítések eltörése, tartószerkezeti elemek elmozdulása miatt, károkat okoznak bennük. Ezek kiküszöbölhetőek, ha az elemek képesek elviselni a saját tömegből adódó tehetetlenségi erőket, illetve ha ezeket az elemeket megfelelően rögzítjük az azokat tartó szerkezetekhez.

A másik ok a szintközi eltolódás. Ilyenkor a tartószerkezetek vízszintes elmozdulásait, a hozzájuk kapcsolt/rögzített szerkezetek többnyire nem képesek elviselni. Ezt kiküszöbölendő a nem teherviselő szerkezeti elemeket megfelelően el kell választani a tartószerkezetektől.

Mindamellett, hogy a fő tartószerkezet károsíthatja a nem tartószerkezeti elemeket ugyanúgy azok visszafelé is károsodásokat okozhatnak. Ezek a sérülést okozó elemek többnyire kitöltő falazatok és lépcsőszerkezetek.

6.1. Kitöltő falazatok

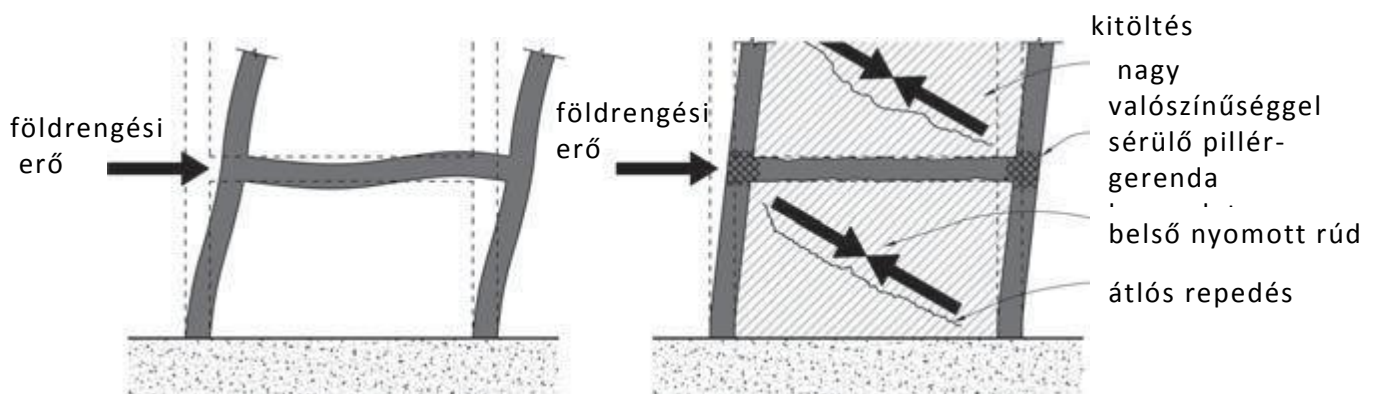
A kitöltőfalakat a pillérek közé építik be, mint egy részét a külső burkolatnak. A falakat körbeveszik a pillérek oldalt, és a gerendák vagy födémek alul és felül. Az hogy nem tartószerkezeti elemként definiáljuk ezeket a falakat, bizonyos értelemben téves, hiszen függőleges és vízszintes erőket is viselnek, habár ezekre nincsenek méretezve.

Mivel a síkjukban ezek a szerkezetek is elég merevek és teherbíróak, nem kerülhető el, hogy ne vegyenek fel terheket. Miközben ellenállóak a földrengés okozta hatásokkal szemben, komoly károkat okoznak a fő tartószerkezetekben.

Ahogy már korábban az 4.2.1. pontban szóvolt róla, a kitöltő falazatok (erősített téglafalak) képesek elviselni a földrengési hatásokból keletkező erőket, földrengés védelmi szerkezetként is funkcionálhatnak, ha nincs más merevítő szerkezet, de ahogy már említve volt, csak alacsony épületek esetén, ha folytonosak alaptól a tetőig, nincsenek nyílások bennük stb. Ezeknek a kritériumoknak a kitöltőfalak többsége nem felel meg.

A problémát a következő dolgok okozzák:

A kitöltőfalazat is merevíti az épületet. Ez a merevség csökkenti a sajátrezgésidőt, amely növeli a gyorsulásokat és így a tehetetlenségi erőket, és ahogy erősödik egy földrengés úgy egyre nagyobb a valószínűsége a tartószerkezeti és nem tartószerkezeti elemek károsodásának. Másrészt a kitöltőfalak megakadályozzák, a merevítő keret szabad oldalirányú elmozdulását. Ebben az esetben a fal és a tartószerkezet is megsérül. A kitöltőfalak síkjukban nagyon merevek, sokkal merevebbek, mint a merevítő keret elemei. Amikor a földrengési hatások miatt elmozdul a szerkezet, a kitöltő falazatban átlós repedések keletkeznek, mivel a keret elmozdulásakor átlós nyomott rúdként viselkedik a fal (mint az erősített téglafalaknál). A kis húzószilárdság miatt reped szét a fal, paralelogrammaként alakváltozik (60. ábra). A keresztirányú repedések a földrengés ciklikussága miatt keletkeznek (61. ábra).



(60. ábra) üres keret és kitöltő falazattal kiegészített keret



(61. ábra) jól látszódnak a keresztirányú repedések.

A nyomott rúd teherbírása és a földrengési erők nagysága az energiákat a keret sarokkapcsolataira koncentrálja, és ez nyírási törést okoz az oszlop felső végében, mely végül összeomláshoz vezethet.

Amikor egy ilyen kitöltőfalazat a keresztirányú repedések miatt elveszti merevségét és teherbírását nagyon sérülékennyé válik. Ez veszélyezteti a felette levő még esetlegesen nem károsodott szinten a kitöltőfalakat és szerkezeteket, mivel egy azokhoz képest puha szint jön létre. Ez az 5.3.1. pontban leírtak miatt nagyon veszélyes.

A sérült kitöltőfalazat sokkal kiszolgáltatottabb a síkjára merőleges erőknek. Mivel elveszíti viszonylagos fix kapcsolatát a környező szerkezetekkel, így leomolhat/kidőlhet, mely nagy veszélyt jelent az emberi életre.

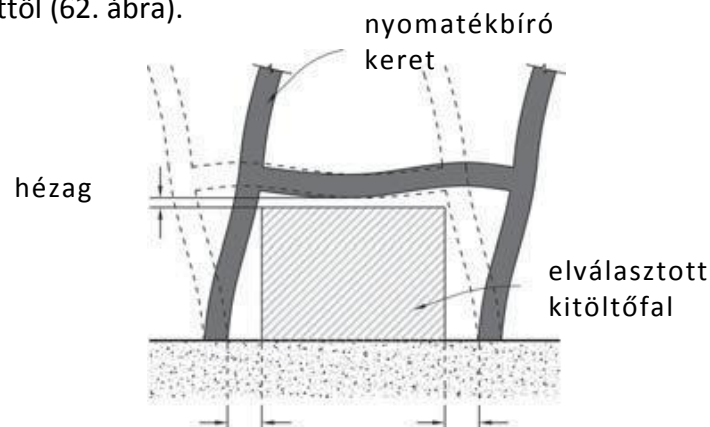
Az épület csavarási hatásait is nagyban befolyásolja a kitöltőfalazat alaprajzi elrendezése. Ha nem szimmetrikusan vannak elhelyezve, akkor (merevségüknek köszönhetően) eltolják az épület merevségi középpontját, és így csavaró igénybevétel keletkezik az épületben, ha földrengési hatás éri. Ennek hatásáról korábban foglalkozott az 5.1.1. pont.

Megoldások:

Megoldás, ha a kitöltőfalakat merevített falként készítjük el, ahogy az a 4.2.1. pontban volt.

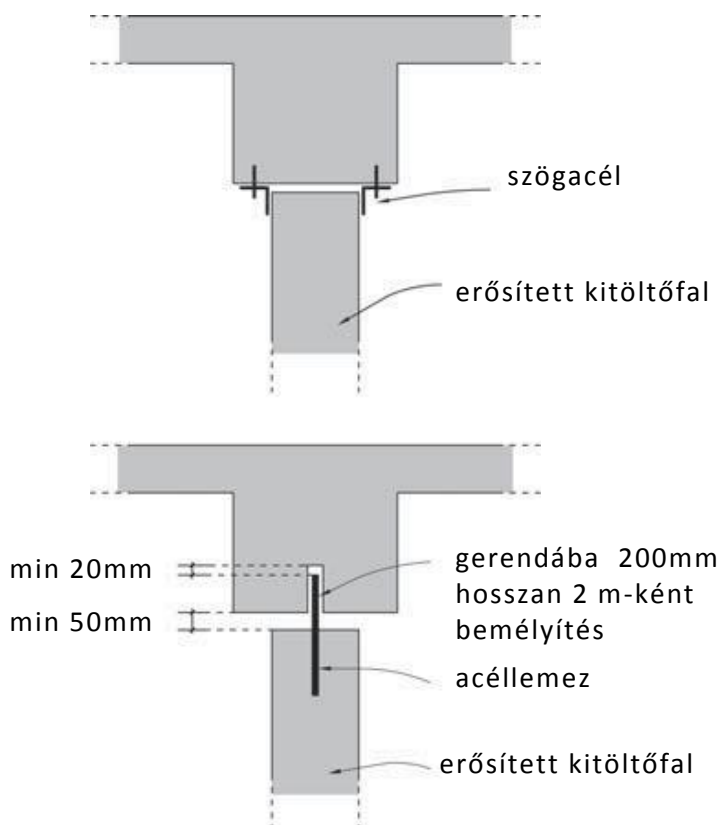
Egy másik alternatíva, ha a földrengés elleni merevítő szerkezetet olyan merevvé tesszük, hogy annak elmozdulásai ne okozzanak kárt a kitöltőfalazatban. Ez jelentős szerkezeti méret és költségnövekedéssel jár.

Ezekon kívül megoldást jelenthet a hézagokkal való elválasztása a falazatnak, a merevítő szerkezettől (62. ábra).



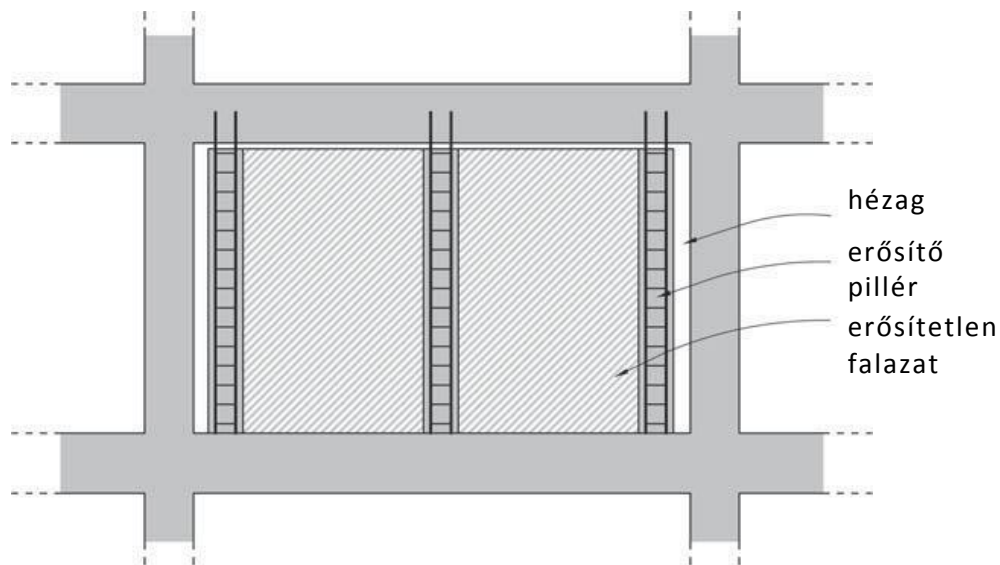
(62. ábra) kitöltőfal hézagokkal elválasztva. Az merevítő szerkezet elmozdulásai nem hatnak rá

Ez lehetővé teszi, hogy a merevítő szerkezetek elmozdulhassanak anélkül, hogy kárt tennének a falzatban. Az elválasztási hézagok kialakítása kihívásokat rejt: akusztikai, tűzvédelmi, esztétikai és vízszigetelés szempontjából. A hézagoknak átlagosan 20-80mm közöttinek kell lenniük a fal oldalain és tetején, a merevítő szerkezet elmozdulásaitól függően. Ez ugyanakkor további problémát vet fel, ugyanis a síkra merőleges erőkkel szemben így még kiszolgáltatottabb lesz a fal. Ezt kiküszöbölendő viszonylag rugalmas rögzítésekkel, fixálnunk kell a falakat az alatta illetve felette levő szerkezetekhez (63. ábra).



(63. ábra) kitöltőfal rögzítése szögacél és lemez segítségével

Ha a falak vasalás nélküli téglafalak, akkor kis keresztmetszetű vasbeton pillérekkel tudjuk síkra merőleges erőkkel szembeni ellenállásukat javítani (64. ábra).



(64. ábra)

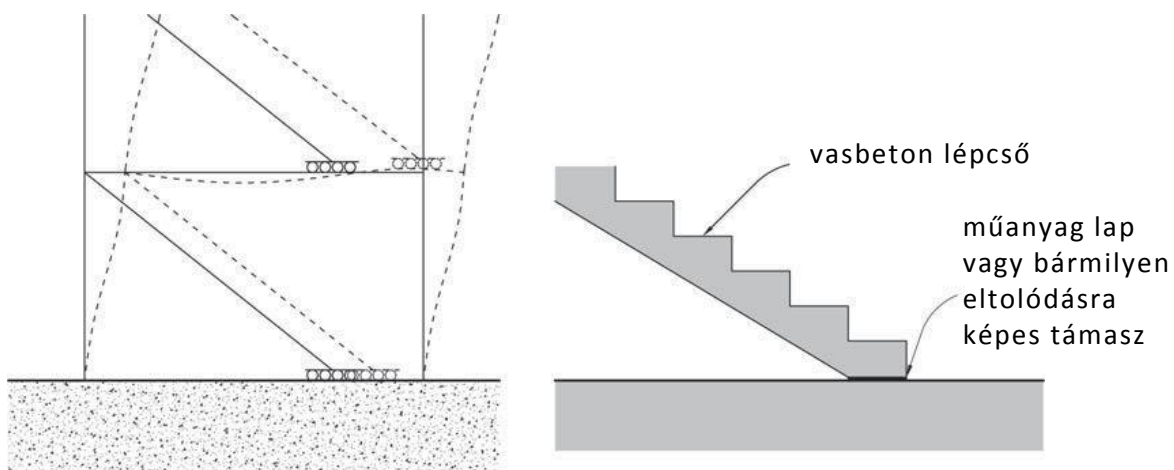
A nem teljes nyílásban felfalazott kitöltő falak is megerősítésre szorulnak kiborulással szemben. Például egy a falat körülvevő, de a fő merevítő szerkezettől hézaggal elválasztott vasbeton kerettel.

6.2. Lépcső szerkezetek

A lépcsőszerkezetek, ugyanúgy károkat okozhatnak a merevítő szerkezeteknek, ahogy a kitöltőfalak, és azok is megsérülhetnek a földrengés hatására. Ha a lépcső erősen rögzítve van az épület tartószerkezetéhez, akkor az úgy működik, mint egy átlós merevítés.

Az így kialakult szerkezet nagyon merev, a merevítő szerkezethez képest, így azok komoly károkat szenvedhetnek és ennek következtében az épületben tartózkodó emberek nem tudnak azokon elmenekülni földrengés után. Az aszimmetrikusan elhelyezett lépcsők csavaró hatásnak is kiteszik az épületet.

Ezeknek a problémáknak a megoldása, ha a lépcsőket szerkezetileg elválasztjuk a teherhordó szerkezetektől, például csúszó kapcsolatokkal. Így például egy szintközi eltolódás esetén nem jut rájuk a saját tömegük által indukált tehetetlenségi erőn kívül semmi földrengésből származó erő. (65. ábra).



(65. ábra) lépcső statikai váza, és sematikus kialakítási ábrája

7. Összefoglalás

A dolgozatban bemutatott földrengésből származó hatások és azok következményei az épületek szerkezeteire, szemléltetik, hogy mennyire veszélyes is tud lenni egy földrengés, ha annak lehetőségével nem foglalkozunk.

Az építésztervezőknek is ismerniük kell az alapvető szerkezetkialakítási szempontokat. Már az építészeti koncepció megtervezésének korai szakaszában az építésmérnöknek célszerű bevonnia egy, a földrengési hatásokra való tervezésben jártas szerkezetépítő mérnököt is a tervezésbe. Közös munkával, együttgondolkodással megelőzhetnek olyan problémákat, amelyek később csak nagyon költséges módon oldhatók meg. Egy épület utólagos szeizmikus hatásokkal szemben való ellenállóvá tétele, az eredeti építészeti koncepciót, az épület külső megjelenését, illetve a teljes projekt költségeit jelentős mértékben befolyásolhatja. Jól látható, hogy alapvető szabályokat betartva, a későbbi problémák nagy része megelőzhető.

Az alapvető épületszerkezet kialakítási szempontok:

- Az épületnek könnyűnek kell lennie. Törekedni kell a lehető legkönnyebb szerkezetek alkalmazására, mind tartószerkezeti mind nem tartószerkezeti elemek vonatkozásában.
- Az épületnek egyszerűnek, szimmetrikusnak, alaprajzi és magassági elrendezésében szabályosnak kell lennie, hogy a csavaró hatások elkerülhetőek legyenek.
- Az épület tömegeloszlásának egyenletesnek kell lennie, rendelkeznie kell a megfelelő merevséggel és duktilitással.
- Kerülni kell a konzolos kiugró tartószerkezeteket
- A nem tartószerkezeti elemeket el kell választani a tartószerkezetektől. Nem szabad, hogy azok a tartószerkezetekre ható erőkből számottevő igénybevételt kapjanak.

- A tartószerkezeteknek kiegyensúlyozott merevséggel, és szilárdsággal kell rendelkezniük, hogy elkerüljük a földrengés energiájának konkrét szerkezeti pontokra való koncentrációját.
- Az épület alapjának és felszerkezetének összhangban kell lennie merevség és szilárdság szempontjából.

Gazdasági szempontból a bemutatott példák szemléltetik, hogy egyes hibás szerkezeti vagy építészeti megoldások milyen nagy mértékben tudják károsan befolyásolni az épület további használhatóságát egy esetlegesen bekövetkező földrengéssel szemben, így hatást gyakorolva annak javítási vagy teljes újjáépítési költségeire. Stratégiaileg fontos létesítményeknél (kórházak, tűzoltóság, stb.), az épületek földrengéssel szembeni ellenállósága alapvető fontosságú, a funkciójuk folyamatos üzemelésének és így az emberi élet szempontjából.

Fontosnak tartom, hogy az építész szakmával a dolgozatban (a terjedelmi korlátok miatt) érintőlegesen bemutatott problémák, megoldások, koncepciók megismerésre és megértésre kerüljenek. Az építész és építőmérnöki ilyen téren való együttműködésének szorosabbá tétele véleményem szerint a jövőre nézve (akár gazdasági akár emberéletekre gondolva) kifizetődő lehet. Nem kell az építészeknek lemondani álmaikról, csak be kell tartani a fent említett szabályokat, melyek betartásában a legjobb partnerek az építőmérnökök kollégáik lehetnek.

Irodalomjegyzék

- Andrew Charleson: Seismic Design for Architects [2008]
- Dulácska Endre, Joó Attila, Kollár László: Tartószerkezetek tervezése földrengési hatásokra. [2008]
- www.foldrenges.hu
- Richard P. Ray: Széchenyi István Egyetem Doktori Iskola előadás anyaga [2012]

Képek:

- A sematikus ábrák többsége az Seismic Design for Architects (az irodalomjegyzékben feltüntetett) könyvből származik. A földrengésekben károsodott épületek képei az interneten megtalálható földrengés témában közölt képek közül kerültek ki.
- www.foldrenges.hu
- <http://www.world-housing.net/whereport1view.php?id=100108>