

POTRES V KOBEJU JANUARJA 1995

VPLIV POTRESA NA STAVBE

Miha Tomaževič*, Matej Fischinger**

UDK 550.34 (520 Kobe):699.841

3Članek obravnava posledice potresa Hyogoken-Nanbu, ki je 17. januarja 1995 prizadel mesto Kobe z okolico, na stavbe. Izredno močno gibanje tal med potresom je povzročilo porušitev ali hude poškodbe na približno 107 000 stavbah. Čeprav so po številu v večini tradicionalno zgrajene lesene hiše, pa je potres prizadel tudi veliko objektov, ki so bili grajeni po inženirskih principih. Analize poškodb kažejo, da so stavbe, zgrajene po letu 1981, ko so na Japonskem zadnjič revidirali potresne predpise, potres prenesle zelo dobro. To ugotavljamo tudi za visoke stavbe, za katere veljajo posebni postopki projektiranja. Potres opozarja na nujnost ojačitve stavb, ki niso bile projektirane in grajene z upoštevanjem današnjega znanja, ter pomembnost upoštevanja temeljnih načel potresno varnega projektiranja pri novogradnji.

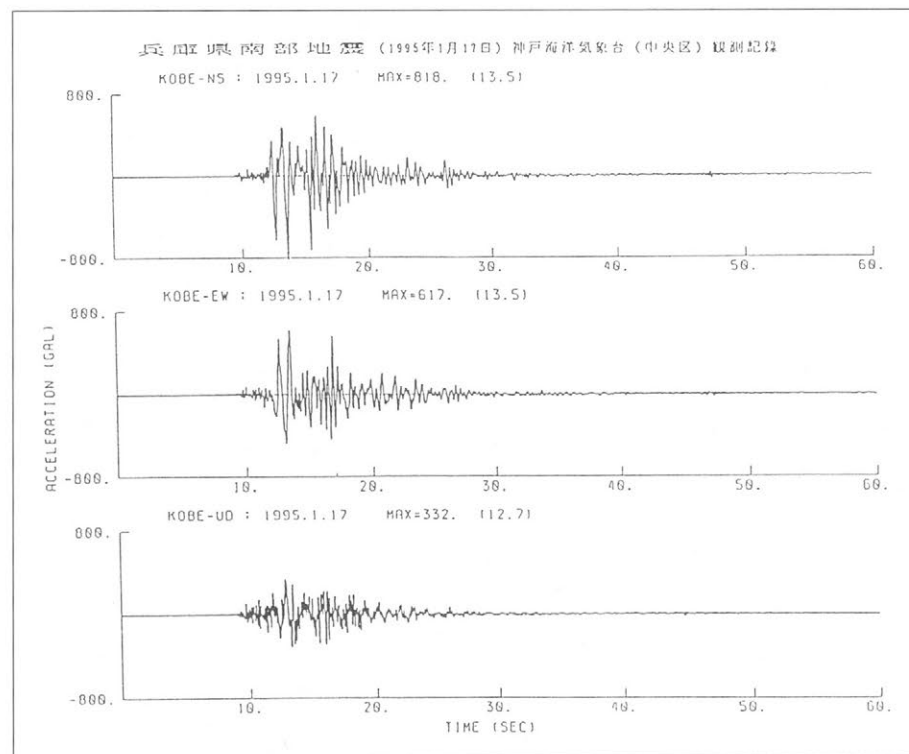
Potres

Ker je bilo žarišče potresa Hyogoken-Nanbu, ki je 17. januarja 1995 prizadel območje mesta Kobe v prefekturi Hyogo na Japonskem, manj kot 20 km globoko, je bila za japonske razmere "skromna" magnituda potresa, ki jo je japonska meteorološka agencija – JMA ocenila na 7,2, dovolj, da so največji izmerjeni pospeški tal v najbolj prizadetem območju dosegali vrednosti 0,8 g (80% vrednosti pospeška prostega pada), hitrost gibanja tal pa je

preseгла 50 cm/s. V glavni smeri širjenja potresa so pospeški tal celo na razdalji več kot 50 km od epicentra dosegali vrednosti 0,3 g. Močno gibanje tal z več zelo močnimi sunki je trajalo skoraj 20 sekund (slika 1), zato so posledice potresa morale biti hude. Intenziteta potresa na površini je bila po ocenah japonskih strokovnjakov med VI. in VII. stopnjo po japonski sedemstopenjski potresni lestvici (1, 2). Po dvanajstopenjski lestvici MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik), ki se uporablja pri nas, bi to pomenilo potres vsaj X. stopnje.

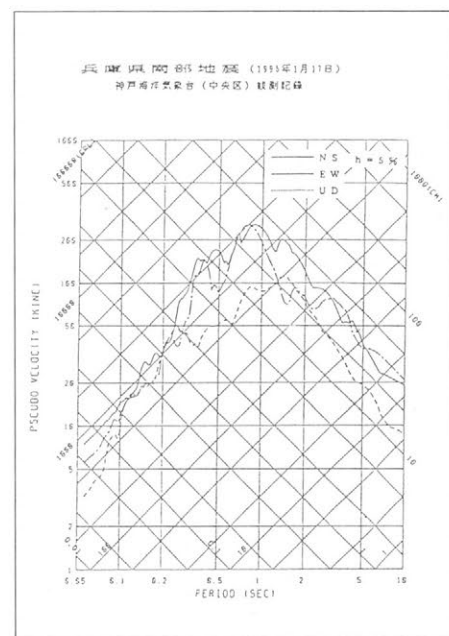
Merilo za vpliv potresa na gradbene konstrukcije predstavlja spekter odziva, ki pove, kako se na potres odzove konstrukcija z določeno nihajno dobo (slika 2). Kot je videti, spektralne vrednosti psevdopospeškov odziva pri 5% kritičnega dušenja na območju period nihanja med približno 0,4 do 1,0 s dosegajo vrednosti 2,0 g, vrednosti psevdohitrosti pa se gibljejo med 100 in skoraj 300 cm/s!

Območje, kjer so bile posledice potresa najhujše, je omejeno na ne več kot dva do tri kilometre širok pas, ki se razteza od Sannomiye, središča mesta Kobe kot najbolj prizadetega območja, slabih 15 kilometrov daleč v smeri proti severovzhodu in manj kot 5 kilometrov daleč proti ju-



Slika 1. Registracija časovnega poteka pospeškov tal glavnega sunka 17. 1. 1995 na opazovalnici Japonske meteorološke agencije JMA v Kobeju (z dovoljenjem T. Fujiwara z DPRI univerze v Kioto; 1 gal = 1 cm/s²)

Figure 1. Ground acceleration record of the main shock of January 17, 1995, recorded at Japan Meteorological Agency observation station in Kobe (courtesy of T. Fujiwara, DPRI, University of Kyoto. 1 gal = 1 cm/s²)

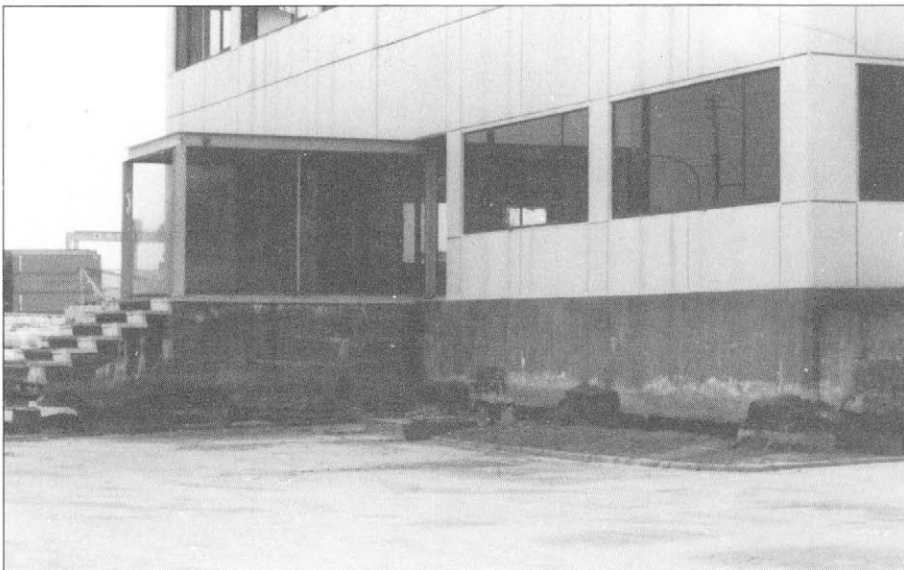


Slika 2. Spekter odziva registracije glavnega sunka potresa 17. januarja na opazovalnici JMA (z dovoljenjem T. Fujiwara z DPRI univerze v Kioto)

Figure 2. Response spectra of JMA record of January 17, 1995, main shock (courtesy of T. Fujiwara, DPRI, University of Kyoto)

* prof. dr., Zavod za gradbeništvo - ZRMK, Dimičeva 12, Ljubljana

** prof. dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Jamova 2, Ljubljana



Slika 3. Veliki posedki tal, nastali zaradi likvefakcije ob upravni zgradbi v pristanišču Kobe na otoku Port Island

Figure 3. Ground subsidence due to soil liquefaction around an administration building on Port Island

gozahu. Takšno razporeditev poškodb na površju je delno pripisati seizmotektonskim značilnostim območja, delno pa tudi strukturi tal. Mesto Kobe je namreč v glavnem stisnjeno v razmeroma ozek ravninski pas med morjem (Osaka Bay) in hribi (gora Rokko z 932 m nadmorske višine), kjer globoki mehki sedimenti ob obali, podvrženi likvefakciji, prehajajo v trdnejša tla in skalo ob vznožju hribov.

Ravninsko območje se zoži proti jugozahodu in razširi v smeri proti Osaki in Kiotu. Skozi zožitev ravninskega pasu na območju mesta Kobe tečejo tudi vse prometnice: na sredini tri železniške proge, severno od njih, predvsem v predoru skozi goro Rokko, znana superekspresna proga Shinkansen, južno pa obe avtomobilski cesti, Hanshin Expressway, ki je zaradi

porušitve med potresom postala svetovno znana, in najnovejša Harbor Highway, ki povezuje enega od umetnih otokov pristanišča Kobe, otok Rokko, s pristaniščem Osaka.

Vpliv potresa na stavbe

Splošne ugotovitve

Potres je porušil in močno poškodoval približno 107 000 stavb. Poškodbe so sistematično začele popisovati ekipe Japonskega inštituta za arhitekturo (Architecture Institute of Japan – AIJ) šele mesec dni po potresu. Strokovnjaki Inštituta za raziskave preprečevanja naravnih nesreč (Disaster Prevention Research Institute – DPRI) pri univerzi v Kiotu, ki akcijo AIJ vodijo, so pred njenim začetkom analizirali vzorec 20 karejev v osrednjem delu Kobeja v skupni površini približno 10 km². V ozkih pasovih, ki potekajo v smeri sever-jug med morjem in hribi, so našli 1638 poškodovanih stavb z armiranobetonsko in 1032 stavb z jekleno nosilno konstrukcijo. Čeprav ni podatka o celotnem številu stavb, pa že samo dejstvo, da so na razmeroma majhnem območju našli 2600 poškodovanih objektov, ki so bili grajeni po inženirskih principih z upoštevanjem potresnih predpisov, med katerimi je bilo 350 porušeni ali hudo poškodovanih, kaže, da je bil potres res močan.

Za lesene hiše še ni številčnih podatkov. Iz delovnih analiz pa je videti, da je razmerje med številom porušeni in "preživelih" lesenih hiš vsaj v najbolj prizadetih karejih precej bolj v škodo "preživelih" kot pa v primeru armiranobetonskih in jeklenih konstrukcij. V najbolj prizadetih karejih je namreč porušeni 50% hiš!

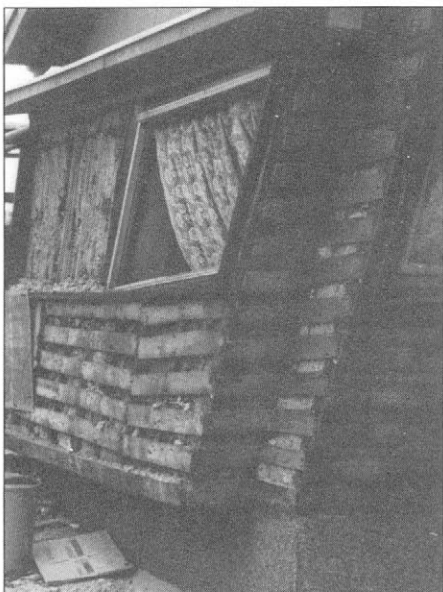
Pri večjih stavbah ni bilo opaziti znakov porušitve ali popuščanja temeljev, čeprav je v mestu teren slab. Vse večje stavbe so temeljene na pilotih do trdnih tal, ki so svojo nalogo dobro opravili. Na več mestih je bilo neposredno ob stavbi sicer opaziti posedanja okoliškega terena, vendar se to na konstrukciji ni poznalo (slika 3).

Poškodbe tradicionalno grajenih lesenih hiš

Lesene konstrukcije veljajo kot ene potresno najbolj odporne, zato je bilo veliko število porušeni ali zelo poškodovanih hiš na območju, ki ga je prizadel potres, veliko presenečenje. Požari, ki so nastali kot posledica potrganih plinskih in električnih napeljav, so bili bolj pričakovani, saj kljub varnostnim ventilom, ki ustavijo dovod plina v trenutku močnega potresa, v ceveh ostane dovolj plina za katastrofo.

Povprečne japonske stanovanjske hiše so za naše pojme neverjetno majhne, v tlorisu omejene na velikost srednje velike dnevne sobe, po višini pa na pritličje in nadstropje. Njihove strehe so zaradi močnih vetrov prekrte s težkimi keramičnimi strešniki, ki niso posebej pritrjeni na strešno konstrukcijo, pač pa so le položeni v sloj blatne malte. Barve strešnikov, večinoma modra in temnosiva, vmes pa tudi oker, rdeča in zelena, in njihova glazura dajejo japonskim mestom značilen "japonski" videz.

Že površen pregled pokaže, da je bilo rušenje lesenih hiš pri tako močnem potresu pravzaprav neizogibno. Temeljni razlog je v konstrukciji ogrodja sten, ki jo sestavljajo leseni stebrički in vodoravni tramovi, ki so med seboj povezani le s suhimi lesnimi zvezami ali z vrvjo. Na nosilno ogrodje so bodisi z žebli pribite vodoravne deske bodisi bambusova rešetka, ki je ometana



Slika 4. Brez bočnih ojačitev so se lesene stene spremenile v paralelograme
Figure 4. Without lateral bracing between posts, walls changed to parallelograms



Slika 5. Porušene lesene hiše
Figure 5. Collapsed wooden houses

126 s slabim ometom ali pa kako drugače obložena. Ker pri veliki poletni vlagi in vročini les ni bil ustrezno zaščiten, je z leti strohnjel, ali pa postal črviv. Za hude poškodbe hiš so bili velikokrat krivi tudi neustrezni temelji na slabih tleh, saj stene stojijo na večjih kamnih ali betonskih blokih, ki niso vkopani prav globoko v temelj na tla. Le pri novejši gradnji so kamnite hiše včasih postavljene na betonski zid.

Rušenju lesenih hiš je v veliki meri pripomogla tudi težka kritina. Zaradi masivnih streh so nastale velike potresne sile, ki jih neoporna lesena konstrukcije brez dodatnega zavetrovanja ni mogla prevzeti. Lesene stene so se iz pravokotnika spremenile v paralelogram (slika 4), ali pa so hiše preprosto razpadle (slika 5).

Velikokrat so bila tudi pri lesenih hišah pritličja "mehka". Posledica oslabitve zaradi garaž ali prostorov za opravljanje obrtnih dejavnosti v delu pritličja je bila, da se je hiša prevrnila (slika 6), ali pa se je nadstropje sesedlo na porušeno pritličje. Zaradi neustrezne bočne togosti se je porušilo tudi nekaj svetlišč (slika 7).

Seveda ni bilo malo hiš, ki so kot otok ostale nepoškodovane sredi razvalin. To potrjuje prepričanje o ustreznosti lesene gradnje na potresnih območjih. Potres je lepo pokazal, da so zavetrovanje osnovne lesene konstrukcije z diagonalami, sidranje nosilne konstrukcije v temelje, ustrezne zveze med nosilnimi elementi ter uporaba panelnih plošč na notranji in zunanji strani nosilnega ogrodja namesto lesenih deščic pogoji, ki jih mora izpolnjevati potresno varna lesena hiša.

Poškodbe inženirsko grajenih stavb

Japonci gradijo z upoštevanjem potresnih predpisov že več kot 70 let (3 in 4). Seveda so se predpisi v tem času že zelo spremenili. Tako je bila šele leta 1964 omiljena zahteva, da stavbe ne smejo biti višje od 31 m. Višinska meja za stavbe, za katere se uporabljajo določila predpisov, je bila takrat povečana na 45 m. Projekte stavb, višjih od 45 m, računanih po metodah dinamike konstrukcij, so morale odobriti stroge državne revizijske komisije. Predpisi so zadnji dve reviziji, pri katerih so bili predpisani novi detajli konstruiranja, predvsem povezani s prenosom strižnih sil, doživeli leta 1971 in 1981. V sodobnih japonskih predpisih po letu 1981 so spremenjena tudi temeljna načela projektiranja. Pri pogostejših, zmerno močnih potresih mora ostati konstrukcija stavbe v elastičnem območju, kar pomeni, da poškodbe niso dopustne. Pri izjemnih potresih pa se preverja tudi mejno stanje porušitve, pri čemer predpisi določajo detajle, ki konstrukcijam omogočajo duktilno obnašanje in disipacijo energije s poškodbami, ki ne ogrožajo njihove stabilnosti.

Tudi višinska meja stavb, za katere niso potrebni posebni postopki in dovoljenja, je bila povečana na 60 m. Čeprav ni dolgo, odkar so se tudi Japonci lotili gradnje

nebotičnikov (prvi, 147 m visoki 36-nadstropni nebotičnik Mitsui-Kasumigaseki v Tokiu je bil zgrajen leta 1967), pa je samo do leta 1987 posebna komisija Ministrstva za gradnjo pregledala že nekaj več kot 500 projektov (5). Za stavbe, ki so višje od 60 m, je treba pripraviti analizo neelastičnega odziva na potresno gibanje tal z največjo hitrostjo 40 – 50 cm/s. To, da se predpisani vplivi potresa približno ujemajo z največjimi izmerjenimi med potresom v Kobeju, je lahko eden od razlogov, zakaj se sodobne stavbe med potresom niso porušile. Pravzaprav je presenetljivo, da jih večina nima niti vidnejših poškodb, ki bi jih po prej opisanih načelih projektiranja pričakovali. Razloga za to sta vsaj dva. Prvič so bile obremenitve povprečno precej manjše od izmerjenih izjemnih vrednosti. Drugič pa je dejanska nosilnost stavb lahko tudi precej večja od izračunane.

Do danes pa je višinska meja 31 m ali približno 10 nadstropij ostala kot meja, kjer se potresna odpornost lahko preverja na preprostejši način. Japonska je sicer razdeljena na tri seizmična območja, vendar razlika v velikosti osnovnega potresnega koeficienta med območjem z največjo in najmanjšo stopnjo seizmičnosti ni večja od 20%. Že samo to zanika namigovanja medijev, da Japonci v Kobeju, ki po karti spada na območje z najvišjo potresno nevarnostjo, niso pričakovali potresa in da so bile zato posledice potresa tako hude.

Stavbe z armiranobetonsko konstrukcijo

Brez temeljnih podatkov o konstrukciji lahko ugotovimo, da višina porušeni armiranobetonskih stavb praktično nikoli ni presegla meje 31 m. To pomeni, da so zanje veljale osnovne zahteve za konstruiranje, določene v japonskih standardih za



Slika 6. Nagnjena lesena hiša zaradi porušitve pritličja

Figure 6. Wooden house tilted because of first storey collapse

armiranobetonske konstrukcije, njihova potresna odpornost pa se je preverjala po preprostih postopkih.

Razen nekaterih izjem so se na prizadetem območju armiranobetonske stavbe in stavbe z mešano jekleno in armiranobetonsko konstrukcijo rušile na dva načina:

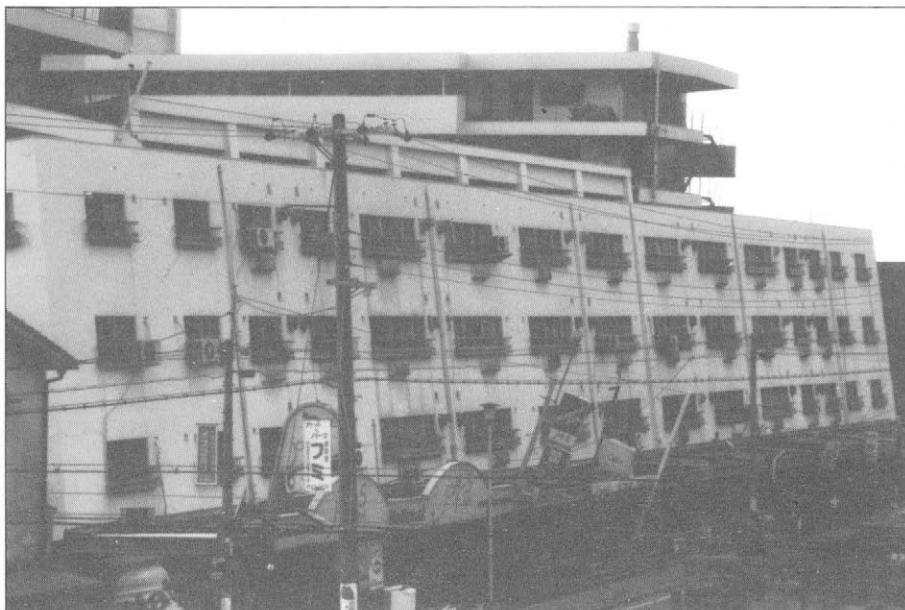
- zaradi porušitve pritličja (slika 8)
- zaradi porušitve enega od višjih nadstropij (sliki 10 in 13).

Če upoštevamo, da so japonski predpisi šele leta 1971 omejili razdaljo med stre-

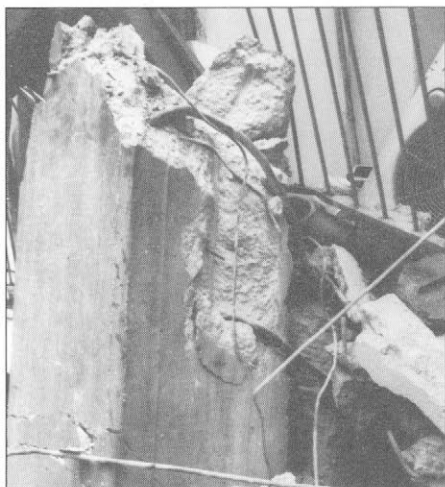


Slika 7. Porušena streha templja

Figure 7. Collapsed roof of a temple



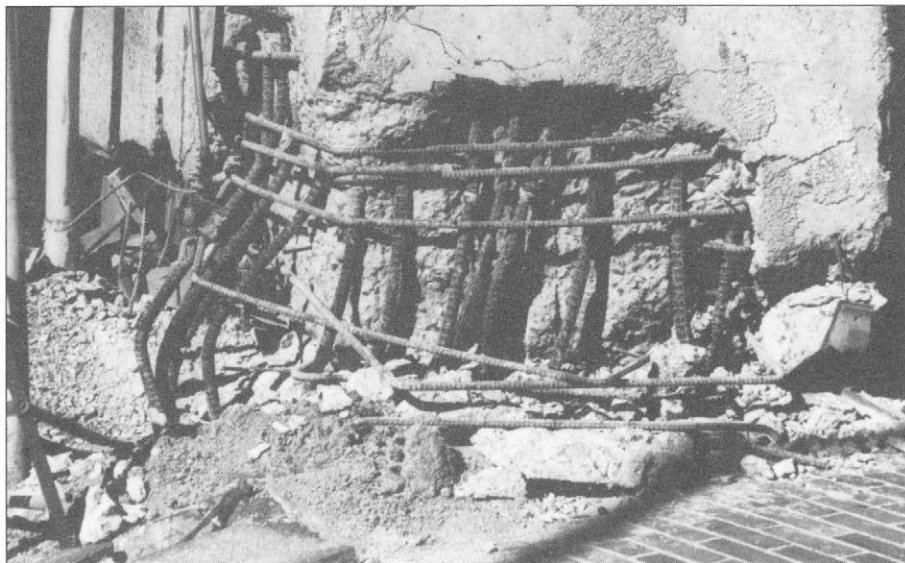
Slika 8. Armiranobetonska stanovanjska stavba se je nagnila zaradi porušitve mehkega pritličja
Figure 8. Residential building tilted because of soft first storey collapse



Slika 9. Šibka armatura stebrov brez stremen je povzročila porušitev pritličja
Figure 9. Light reinforcement of r.c. columns without stirrups caused first storey collapse

meni na 15 cm ter jo zgostili na 10 cm v območju vozlišč (pred letom 1971 je bila običajna razdalja med stremen 30 cm), in da so šele z zadnjimi spremembami predpisov leta 1981 uvedli dodatne detajle za zagotavljanje duktilnega obnašanja kritičnih območij konstrukcije, lahko ugotovimo, da so bile vse stavbe s porušnim pritličjem, ki smo jih pregledali, zgrajene pred letom 1971.

Stanovanjska stavba na sliki 8 se je nagnila zaradi strižne porušitve stebrov v pritličju, oslabiljenem zaradi trgovin ali garaž. Stebri so bili armirani s šibko in z neustrezno stikovano gladko armaturo brez stremen za prevzem strižnih sil (slika 9). Že samo dejstvo, da so bili stebri armirani z gladko armaturo, govori o starosti stavbe. Čeprav je od daleč videti cela, vitka devetnadstropna stavba ni daleč od porušitve. Razporeditev armature v stebrih pritličja, ki nosijo zgornji del,



Slika 10. Močno poškodovan stebel pritličja devetnadstropne vitke stavbe
Figure 10. Severely damaged r.c. column in first storey of a nine storey building

kaže, da je stavba grajena že po letu 1971 (slika 10). Neustrezna zasnova konstrukcije pa ni omogočila dobrega obnašanja med potresom.

Do hanšinskega potresa so se celotna višja nadstropja v velikem številu primerov porušila le v Mexico Cityju po potresu leta 1985, kjer so jih pripisali delno vplivu višjih tonov nihanja konstrukcij, delno pa trkom med dvema sosednjima stavbama. V Kobeju ni bilo opaziti, da bi dve sosednji stavbi med potresom udarjali druga ob drugo, vpliv višjih tonov nihanja pa razen v primerih, kjer so se porušila višja nadstropja, tudi ni mogel biti razlog za porušitev.

V primerih, ko so stavbe izgubile nadstropja v višini spremembe tlora ali prislonežnih nižjih sosednjih stavb, je bilo jasno videti, da je porušitev nadstropja posledica nagle spremembe togosti. V primerih, ko je tlora na prvi pogled enak, ni pa niti sosednjih stavb, ki bi lahko ovirale nihanje stavb, razlog za slabo obnašanje ni tako očiten. Vendar je šlo tudi tu za posledico nezveznosti konstrukcije. Kot pravijo japonski strokovnjaki (1 in 2), je večina poškodb nastala na mestih, kjer so se spremenile dimenzije nosilnih elementov v soglasju z zahtevami seizmičnega računa, ali pa se je spremenil nosilni sistem konstrukcije. Tako npr. strižne stene, ki prevzemajo potresne sile v spodnjem delu stavbe, niso potekale po celi višini konstrukcije. Dolga leta je tudi veljala praksa, da se je kompozitna konstrukcija iz jeklenih profilov, obdanih z armiranim betonom (Japonci takemu načinu gradnje pravijo Steel Reinforced Concrete), zaradi ekonomskih razlogov izvajala le v spodnjem delu višine stavbe, v zgornjem pa jo je zamenjala klasična armiranobetonska konstrukcija brez jeklenih profilov.

Porušena nadstropja torej lepo kažejo lego spremembe dimenzij ali sistema konstrukcije. Pri stavbi na sliki 11 se je porušilo šesto nadstropje, medtem ko je posledica očitne spremembe nosilnega sistema predstavljena na sliki 12, kjer zgornji del stavbe stoji že na zunaj drugačni in očitno močnejši konstrukciji spodnjih dveh nadstropij.

Japonski strokovnjaki pravijo, da so bile v vseh primerih porušitve nadstropij prizadete stavbe, zgrajene pred letom 1981. Da je res tako, dokazujejo številne nove stavbe, ki so ostale nepoškodovane.

Praviloma so bile hujše poškodbe, ki še niso bile kritične za obstoj konstrukcije, posledica napak, ki si jih pri potresno varnem grajenju ne smemo privoščiti. Pogoste so strižne poškodbe kratkih stebrov (kot npr. stebra na sliki 10), sten in prečk, precej je pa tudi upogibnih porušitev navpičnih nosilnih elementov.

Seveda pa celo vrsto poškodb armiranobetonskih konstrukcij lahko uvrstimo tudi v kategorijo pričakovanih. Konstrukcije so pač morale seizmično energijo disipirati na način, kot je bilo predvideno v projektih. Iluzorno bi bilo pričakovati, da bi vse pra-



Slika 11. Porušitev šestega nadstropja armiranobetonske stavbe
Figure 11. Sixth storey collapse of a r.c. building

vilno projektirane in grajene konstrukcije pri tako močnem potresu ostale nepoškodovane.

Stavbe z jekleno konstrukcijo

Stavb z jekleno konstrukcijo, ne samo najvišjih, ki so praviloma jeklene, je na Japonskem skoraj tretjina. Seveda je za fasado težko ugotavljati, katera stavba normalne višine je armiranobetonska in katera jeklena. Pri ugotavljanju je pomagal potres, ki je konstrukcijo pri tem, ko jo je poškodoval, tudi razgalil.

Kot so pokazali številni primeri porušeni ali napol porušeni stavbi, je jeklena konstrukcija šest- ali sedemnadstropnih stavb zelo podajen, lahek okvir, ki je pri starejših stavbah lahko tudi brez zavetrovalnih elementov – diagonal, ki bi zmanjšali deformacije in sodelovale pri prenosu potresnih sil. Jekleni profili konstrukcij, zgrajenih v šestdesetih letih, nimajo dimenzij, ki bi dopuščale nastanek plastičnih členkov pri vzdolžnih pred lokalnim izbočenjem. Veliko je konstrukcij, kjer so glavni elementi sestavljeni iz manjših profilov, ki so med seboj spojeni z zakovicami (slika 13). Pri novejših konstrukcijah jekleni profili ustrezajo modernim zahtevam za plastično projektiranje, elementi pa so sestavljeni bodisi z varjenjem bodisi s kombinacijo varjenja in stikovanja z vijaki. Pri tem je večina zvez projektiranih tako, da se varjenje opravi v delavnici, na gradbišču pa se elementi sestavijo z vijaki.

Stavb z jekleno konstrukcijo, ki so se zaradi porušitve stebrov nagnile in grozijo, da bodo padle na ulico, je v Sannomiiji precej. Veliko se jih je prevrnilo in padlo na ulice, vendar so mesec dni po potresu ruševine že odstranili. Slika 14 predstavlja novejšo stavbo, ki se je nagnila zato, ker so popustili zvari ob priključku stebra na prečko (slika 15). Na sliki 16 je prikazana enako visoka stavba v bližini, kjer je bila jeklena okvirna konstrukcija zavetrovana s šibkimi ploščatimi diagonalami, ki so se med potresom strgale.



Slika 13. Porušitev jeklenega stebra sestavljenega prereza
Figure 13. Failure of a steel column with composite section



Slika 12. Porušitev zgornjega nadstropja zaradi hipno spremenjenega sistema nosilne konstrukcije
Figure 12. Collapse of upper storey as a result of abruptly changed structural system



Slika 14. Nagnjena sedemnadstropna stavba jeklene konstrukcije
Figure 14. Tilted seven storey building with steel structural system



Slika 15. Porušitev zvara na stiku stebra z nosilcem
Figure 15. Weld rupture at beam to column connection



Slika 16. Potrgane diagonale in poškodbe vozlišč
Figure 16. Broken diagonal braces and damage to joints

Ob analizi stanja številnih starih stavb z lahko jekleno okvirno konstrukcijo lahko ugotovimo, da so podobno vlogo, kot so jo imela v Mehiki leta 1985 pri armiranobetonskih okvirih zidana polnila, imele pri jeklenih konstrukcijah v Kobeju lahke predelne stene in fasadne obloge. Polnilni elementi, katerih odpornost nihče ni upošteval v računu, so velikokrat preprečili popolno porušitev stavbe, včasih pa tudi učinkovito zamenjali pomanjkljivo zavetrovanje. Po drugi strani pa bi bile odpadle, neustrezno pritrjene fasadne obloge zelo nevarne. Če bi bil potres v času, ko so ulice polne, bi bile posledice padanja oblog s konstrukcije gotovo zelo hude.

Primer moderne jeklene konstrukcije predstavljajo stanovanjske stavbe v Ashiyahami, ki so že same po sebi tako z arhitektonskega kot s konstruktorskega stališča zanimivost. Štirinadstropne stanovanjske

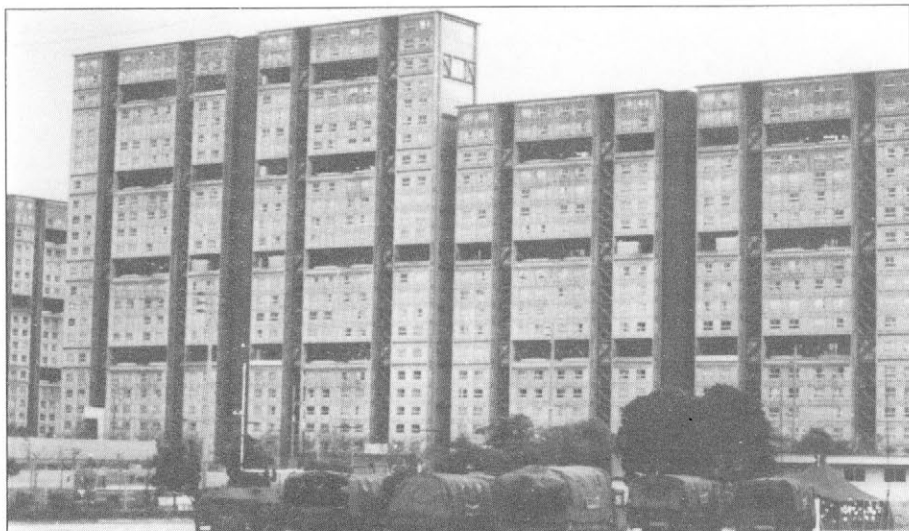
povzročilo krhko trganje zvarov, bodo 129 opravili trajno sanacijo.

Dejstvo, da so pri jeklenih konstrukcijah popuščali zvari, vzbuja med japonskimi strokovnjaki veliko zaskrbljenost. Ni še razloga za strah, da bi bile napake sistematične narave, vendar bi pred dokončno, za sedaj več kot dobro oceno o obnašanju novih jeklenih konstrukcij med hanšinskim potresom japonski strokovnjaki radi preverili dejansko stanje konstrukcij. To bo drago, saj bo za raziskave in analize treba odstraniti protipožarne in druge obloge in kritične zveze podrobno pregledati. Vendar Japonci zaradi posledic, ki bi jih sistematične napake zvarov lahko imele na potresno odpornost visokih jeklenih konstrukcij, ne bodo smeli skopariti.

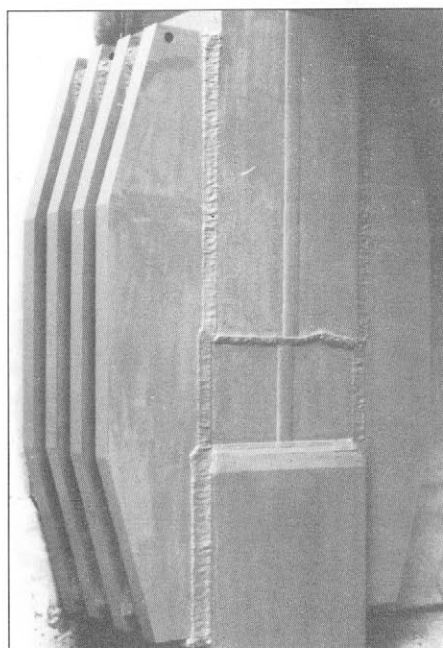
Sklep

Večina ugotovitev po velikem hanšinskem potresu kljub drugačnim razmeram na Japonskem velja tudi pri nas. Ko govorimo o Japonski, ne smemo misliti na eno gospodarsko najmočnejših držav na svetu, pač pa se moramo zavedati, da je bila po drugi svetovni vojni Japonska porušena, še v petdesetih letih zelo revna država, ki je hotela svoje gospodarstvo čim hitreje in čim ceneje obnoviti.

Kot najpomembnejši nauk, ki nam ga ponuja tudi potres Hyogoken-Nambu, je ugotovitev, ki jo pri nas marsikdo, ki potresno varnost gradbenih objektov izenačuje z gradnjo po predpisih, težko sprejema. Kakor ni nujno, da so vse stavbe, ki niso bile grajene z upoštevanjem potresnih predpisov, potresno neodporne, moramo sprejeti tudi dejstvo, da sama gradnja po



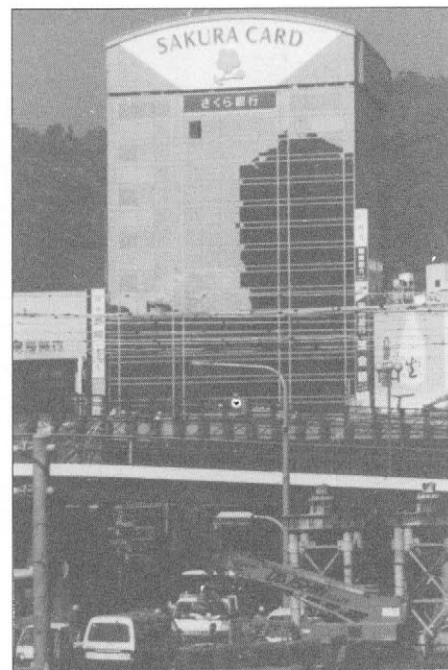
Slika 17. Moderne stanovanjske stavbe z jekleno konstrukcijo
Figure 17. Modern residential buildings with steel structural system



Slika 18. Velike razpoke v jeklenih stebrih so bile že sanirane z navaritvijo močnih reber
Figure 18. Severe cracks in steel columns have been already repaired by welding strong webs

enote armiranobetonske konstrukcije so kot kletke obešene druga nad drugo na glavno nosilno konstrukcijo, ki je v navpični smeri čisto jekleno, v vodoravni pa sovprežno paličje (slika 17). Stanovanjske stavbe predstavljajo redko izjemo med novejšimi stavbami, kjer je glavna nosilna konstrukcija utrpela hude poškodbe. Ugotovitev je seveda relativna, saj stavbam z izjemo nekaj poškodb armiranobetonskih fasadnih elementov in pretrganja stebrov glavnega navpičnega paličja ob priključku na temelje na zunaj ni bilo nič. Potres so "preživele", zato ljudje v njih normalno živijo in čakajo, da bodo popravili vodovodno in plinovodno omrežje. Vendar so stavbe imele srečo: posledice pretrganja stebrov glavne jeklene nosilne konstrukcije bi bile lahko katastrofalne.

Poškodbe niso bile več vidne, saj so do takrat, ko smo si stavbe ogledali, Japonci popravili že vse poškodovane stebre (slika 18). Na pripombo, da bo način sanacije zvarov z navaritvijo močnih reber pri naslednjem potresu samo premaknil poškodbe za pol metra navzgor, so odgovorili, da je sanacija začasna in predvsem psihološka. Šele ko bo jasno, kaj je



Slika 19. Večina modernih stavb je prestala veliki hanšinski potres brez vidnih poškodb
Figure 19. Many modern buildings survived the Great Hanshin Earthquake without visible damage

130 katerihkoli potresnih predpisih še ni jamstvo za potresno varnost konstrukcij. V Kobeju so bile vse stavbe, ki so se rušile, razen tradicionalno grajenih lesenih hiš, grajene po predpisih, ki so v obdobju njihove gradnje veljali za najboljše!

Obseg znanja, s katerim znamo projektirati in graditi potresno varne objekte, se z vsakim letom večja. Potresno inženirstvo je razmeroma mlada veja tehniških znanosti, za katero je vsak katastrofalen potres dobra šola. Predpisi za potresno varno gradnjo so le odraz znanja, zbranega v posameznem časovnem obdobju. Ker pa so se v zadnjih letih na temelju številnih eksperimentalnih raziskav in študij vpliva potresov na stavbe spreminjali ne le detajli, pač pa celo načela potresno varne gradnje, je razvrščanje objektov na potresno odporne in neodporne le po tem, ali so v času njihove gradnje že veljali potresni predpisi, lahko zelo neodgovorno početje.

Veliki hanšinski potres je zgovoren dokaz za to trditev. Hkrati pa, kot vsi drugi potresi podobne jakosti, tudi hanšinski ponovno odpira vprašanje potresne ranljivosti objektov, ki so "stari" po merilih današnjega znanja, in poudarja nujnost ukrepov, potrebnih za povečanje njihove potresne odpornosti. Med potresi se večinoma rušijo in zelo poškodujejo stari objekti, pa čeprav so bili projektirani z upoštevanjem predpisov, ki so v obdobju njihove gradnje veljali za najboljše. V mestu Kobe so bile po takšnih merilih "stare" že stavbe, grajene pred 15 leti!

Novejše stavbe so se obnašale celo bolje, kot bi lahko pri tako močnem potresu pričakovali (slika 19). To seveda zbuja zaupanje v današnje znanje in tehnično usposobljenost za graditev potresno varnih konstrukcij. Ker so ustreznost dokazali tudi veljavni potresni predpisi, japonski strokovnjaki zaenkrat ne razmišljajo o njihovi celostni reviziji. Ne zanikajo pa možnosti manjših sprememb. Tako bodo na podlagi opozoril hanšinskega potresa preučili zahteve o varjenju jeklenih elementov konstrukcij in čelnem stikanju armature. Kot smo že omenili, se sicer ne bojijo, da so bile porušitve zaradi potrganih zvarov pri jeklenih konstrukcijah in čelno stikovani armaturi v armiranobetonskih elementih sistematične, vendar je bilo primerov toliko, da jim bo treba posvetiti vso pozornost in jih natančno analizirati.

Hanšinski potres tudi ni bil prvi, ki je dokazal, da se konstrukcije z oslabljenim pritličjem ne obnašajo ustrezno, pa čeprav je ideja o "mehkem pritličju" še pred tridesetimi leti veljala za enega najustrežnejših načinov, kako se izogniti nastanku velikih potresnih sil. Seveda se v mestih ne moremo izogniti zahtevam arhitektov po odprtem prostoru v spodnjih nadstropjih. Kljub temu pa moramo pred-

videti dovolj nosilnih elementov in njihove-
mu konstruiranju na teh, za stavbo kritičnih
mestih, posvetiti še posebno pozornost.

Ob upoštevanju potresa v Kobeju ni treba preveč ugovarjati, kakšna usoda čaka številne stare zidane hiše v Ljubljani, katerih pritličja so postala "mehka" zaradi nestrokovnih adaptacij, bodisi zaradi preboja zidovja za arkade bodisi za lokale za storitvene dejavnosti. Morda pa bo kdo celo rekel, da se je nosilnost stavbe med adaptacijo izboljšala, saj zgornji del stavbe namesto zidu po adaptaciji podpira močnejši betonski steber!

Dejstvo, da so se celotna nadstropja porušila na mestih sprememb dimenzij ali sistema konstrukcije, kaže na to, kako pomembno je konstrukcijo zasnovati in izdelati tako, da bo omogočala konstanten ali pa vsaj zvezen pretok inducirane seizmične energije po višini stavbe. Za zagotovitev obstoja stavb po potresu je torej še kako pomembno upoštevati temeljna načela potresno varne gradnje o ustreznih temeljih in zveznem spreminjanju togosti in nosilnosti konstrukcije po tlorisu in višini. Vse drugo je stvar ustreznih detajlov za zagotavljanje nosilnosti in disipacije energije.

Poudariti je treba, da cilj potresnega inženirstva sploh ni gradnja objektov, ki bi ostali brez najmanjših poškodb tudi med najmočnejšimi potresi. To bi bilo glede na redkost takšnih dogodkov ekonomsko neupravičeno. Seveda pa morajo biti nastale poškodbe kontrolirane in ne smejo ogroziti življenj in primarnih funkcij objekta. Žal nekateri posamezni primeri nekontroliranih in nepričakovanih poškodb sodobnih konstrukcij v Kobeju, kot je predvsem popuščanje na videz solidno izvedenih zvarov, opominjajo, da niti vrhunsko potresno inženirstvo s tehnologijo gradnje, kot jo poznajo na Japonskem, še zdaleč ni popolno. Pri nas pa smo, kljub objektivno različnim okoliščinam, še vedno razmeroma daleč od Japonske.

Fotografije: sliko 15 je prispeval M. Fischinger, preostale M. Tomažević.

1. Fujiwara, T. in sod. "Overview of building damage from the 1995 great Hanshin Earthquake", delovni osnutek poročila za News Letter of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Feb. 1995.
2. Fujiwara, T., Nakashima, M. pogovori in delovni materiali.
3. Muto, K., 1974. Aseismic design analysis of building", Maruzen, Tokyo.
4. "Earthquake resistant regulations. A world list - 1992", International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, 1992.
5. Uchida, N., 1987. Structural design and construction of high-rise buildings in Japan, 5th Seminar on Seismology and Earthquake Engineering, IISEE, Building Research Institute, Tsukuba.

**Miha Tomažević,
Matej Fischinger**

The Kobe Earthquake of January 1995

The Consequences of Earthquakes in Buildings

The article discusses the effects on buildings of the of Hyogo-ken Nanbu Earthquake of January 17, 1995, which struck the City of Kobe, Japan. Strong ground motion during earthquake caused the collapse of or heavy damage to 107,000 buildings. Although heavily damaged and collapsed traditional wooden houses outnumber engineered reinforced-concrete and steel structures, the amount of damage to modern construction was substantial. However, adequate seismic behaviour of buildings, designed by the Japanese seismic code of 1981, as well as of tall buildings, where specific design procedures are required by law, is also noted. The need for retrofitting existing engineered buildings, old by criteria of modern aseismic design, was recognized after the earthquake. The importance of observing the basic principles of earthquake resistant design in the case of new construction has been also underlined.

UJMA

UJMA

UJMA

UJMA

UJMA

UJMA