

# Jordskælvsikring i Japan

af Lis Bodilsen, Sweco

Efter det katastrofale jordskælv i 1923, der lagde Tokyo i ruiner, styrke 7,9 på Richterskalaen, mere end 105.000 døde, 254.000 kollapsede bygninger 447.000 nedbrændte huse, blev der i 1924 indført krav i bygningsreglementet om jordskælvsikring:

- En vandret jordskælvs-koefficient på mindst 0,1
- Krav om udførelse af specielle forstærkninger for at øge styrke og stivhed mod vandrette kræfter, specificeret for bygninger af træ, murværk, stål og armeret beton.
- Krav om, at huse ikke måtte være højere end 31 m. Dette krav blev ophævet i 1963.

I 1968 stod det første højhus på 147 m færdigt i Japan, og siden fulgte et boom af højhuse.

Efter jordskælvet i 1968 blev et omfattende undersøgelsesprojekt igangsat med det formål at etablere en ny designmetode for jordskælvsikring og inddrage ny teknologi. Det resulterede i indførelse af en 2-faset designproces, hvor alle bygninger i 1. fase skulle beregnes i anvendelsestilstanden til at kunne modstå skader ved medium-kraftige jordskælv. Fase 2 omfattede en brudberegning, der ved ekstremt kraftige jordskælv skulle forhindre tab af menneskeliv og kollaps af bygningerne. I 1978 vedtog det japanske parlament, at en såkaldt ekspertkomite skulle nedsættes og godkende alle bygninger fremover. Den nye designmetode trådte i kraft i 1981.

I 1981 blev krav til jordskælvsikring specificeret afhængig af bygningshøjden:

1. Træbygninger
2.  $2 \text{ h} \leq 31 \text{ m}$
3.  $31 \text{ m} < \text{h} \leq 60 \text{ m}$
4.  $\text{h} > 60 \text{ m}$

Der er særlig fokus på bygninger med højde over 60 m.

Jordskælvet i 1968 medførte krav om forstærkning af forskydningsarmering i betonsøjler, idet krav til min. bøjleafstand blev ændret i 1971 fra 300 mm til 100 mm. Årsagen var, at mange betonbygninger, som man ellers troede kunne modstå jordskælv, blev alvorligt skadede.

Hyogo-ken-nanbu jordskælvet i 1995, styrke 7,2 på Richterskalaen, forårsagede omfattende ødelæggelser, 6.430 døde og 40.000 sårede, mere end 240.000 bygninger kollapsede helt eller delvist og 6.000 huse blev ødelagt af brand.

Omfanget af ødelæggelserne var ikke forventet af forskere og ingeniører, idet man mente, at kravene i byggeloven var tilstrækkelige, selv ved alvorlige jordskælv. Effekten af den nye designmetode fra 1981 havde dog vist sit værd, idet det hovedsageligt var bygninger fra før 1971, der var kollapsede. Skaderne på bygninger efter 1981 var ofte i stueetagen i bygninger med parkeringsareal og butikker, hvor der ikke forekommer så mange bærende skillevægge. Men disse skader gjorde bygningerne ubrugelige.

Seismic Retrofitting Promotion Law for jordskælvsikring af eksisterende bygninger blev fremsat i 1995.

De funktionsbaserede krav, indført i byggeloven i 1981, blev præciseret og udvidet ved en ændring af byggeloven i 2000, og nye metoder til analyse af bæreevne mod jordskælv blev udviklet og taget i brug.

Jordskælvsikring i dag består i høj grad af forskellige dæmpere, der placeres mellem fundamenter og bygningen ovenover og andre steder i etagerne, hvor det ved simulering af jordskælv og tilhørende beregninger findes optimalt.

Takenaka byggede i 2008 Sky Perfect TV Tokyo Media Center, som er designet til at kunne fortsætte produktion 24 timer i døgnet 365 dage om året, selv i tilfælde af kraftige jordskælv. Dette blev sikret ved at fordoble jordskælvsikring af fundamenter, bl.a. med 4 forskellige type dæmpere. Bygningen var designet til at kunne optage en vandret bevægelse på 50 cm. Ved jordskælvet i 2011 blev registreret en bevægelse på 17 cm, og ingen revner eller andre skader i bygning og fundamenter.

Takenaka havde anvendt følgende type dæmpere i Sky Perfect TV Tokyo Media Center:

- **Low friction sliders**, som altid anvendes sammen med en anden form for dæmpere
- **Natural rubber damper**,
- **Natural rubber damper**, med blykerne
- **Oil damper**

Eksempler ses nedenfor



Triple Pendulum™ Bearing



Concave Slider & Housing for Single Pendulum Bearing



Single Pendulum Bearing



20 million lbs. Vertical Load Capacity Concave & Slider

Single Pendulum Bearing Cross Section

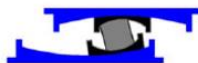
Single Pendulum Bearing Maximum Credible Earthquake



Triple Pendulum Bearing Center Position



Inner Pendulum Motion Service Level Earthquake



Lower Pendulum Motion Design Basis Earthquake



Upper Pendulum Motion Maximum Credible Earthquake

Low friction slider



**Natural rubber damper** mellem fundament og søjle



**Oil damper** mellem fundamenter

I 2000 udviklede den irakiskfødte ingeniør Imad Mualla friktionsdæmpere i forbindelse med sin Ph.D.-afhandling på DTU. Han udtænkte en dæmper, der består af en friktionssskive mellem to stålplader, som ophænges i stålwirer i en bygning. Dæmperne forhindrer eller radikalt reducerer vibrationer i bygninger og andre strukturer. Princippet bag teknologien er at omdanne kinetisk energi til varme i dæmperen. Når et jordskælv bryder løs, og bygningen begynder at svinge, bliver rystelserne absorberet som gnidningsmodstand i et særligt materiale mellem skiverne. Systemet blev verdenspatenteret og firmaet Damptech blev dannet.

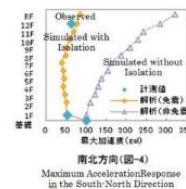
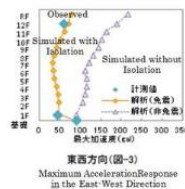
I 2006 indgik firmaet en aftale med Takenaka om sikring af bygninger og konstruktioner mod jordskælv i et område med mange jordskælv.

I 2006 var dæmperne fra Damptech allerede godkendt i Japan og indbygget i seks skyskrabere på mellem 32 og 49 etager i Osaka. I 2011 blev der installeret friktionsdæmpere fra Damptech i Japans højeste bygning på 300 m, også i Osaka. Firmaet har oven i købet udstyret en 400 år gammel japansk pagode med sine dæmpere - såkaldt retrofitting. Det er en anden af systemets fordele. I modsætning til andre former for jordskælvdæmpning, så er det relativt ubesværligt at montere systemet i gamle, bevaringsværdige bygninger - så længe bygningerne blot er bygget op af en form for indvendig gitterstruktur, der kan være af både beton, stål og selv træ. Dertil kommer, at det danske system kun er ca. halvt så dyrt som eksisterende dæmpningsteknologi, ligesom det er stort set vedligeholdelsesfrit.



Den 300 m høje bygning i Osaka med danske friktionsdæmpere

I Tokyo var en boligblok blevet jordskælvssikret med friktionsdæmpere fra Damptech, og bygningen var også blevet udstyret med accelerometre i stueetagen og øverste, 12. etage, til registrering af bygningens opførsel under jordskælv. Ved jordskælvet i 2011 kunne det konstateres, at de observerede accelerationer på stueetage og tagetage lå meget tæt på simuleringerne, og at svingninger var dæmpet med henholdsvis 50 og 40% i forhold til simulering uden dæmpere.



Boligblok i Tokyo med dæmpere fra Damptech

Det er endnu ikke muligt at forudsige jordskælv, selvom forskningen er i rivende udvikling. Man kan måle kontinentalpladernes bevægelser og ophobede spændinger, men ikke hvilket sekund, spændingen vil udløses i form af et jordskælv. Man er dog kommet så langt, at man nu med et meget fintfølede automatisk alarmsystem kan nå at afbryde el- og gasforsyningerne samt strømmen til højhastighedstog, få sekunder inden et jordskælv rammer. Det er sådan, at et jordskælv sender bølger gennem jorden, men et elektrisk signal går endnu hurtigere. Japanerne har fx bygget tunneller, som man kan flygte sikkert igennem, hvis der pludselig kommer stenregn fra en vulkan. Andre steder har man anlagt specielle evakueringsruter og grønne områder, hvor man kan være i sikkerhed for nedstyrtende genstande. Og i storbyerne står helikoptere parate til, at man hurtigt kan danne sig et overblik over en situation fra luften.