

AARDBEVINGS- VEILIGHEID VAN STAAL- CONSTRUCTIES

BELGISCH LUXEMBURGSE STAALINFORMATIECENTRUM
Willemsstraat 67, B-1040 Brussel
Tel. 02/509 14 11, Fax 02/511 12 81

bl. 0038 2509 14 11

AARDBEVINGSVEILIGHEID VAN STAALCONSTRUCTIES

INHOUD

VOORWOORD.	
• Opkomst van een paraseïsmische architectuur en engineering.	3
BESCHRIJVING VAN HET PARASEISMISCHE FENOMEEN.	4
• Paraseïsmisch design.	4
• Wat is een aardbeving?	5
• Hoofdschok, voorschok en naschok.	6
• Typen golven.	7
• Aardbevingen in de XIXe en XXe eeuw.	8
HOE REAGEERT EEN STRUCTUUR?	11
• Architectuur voor seïsmische zones.	13
• Vademecum voor het ontwerpen van structuren.	13
STRUCTUURSTAAL VERSUS SEISMISCHE KRACHTEN.	14
• Paraseïsmische draagconstructies.	14
• Paraseïsmische stalen gebouwen rondom de wereld.	17
ONDERZOEK.	18
PARASEISMISCHE BOUWCODES.	19
GLOSSARIUM.	21

tel. 0032 2509 14 11

OPKOMST VAN EEN PARASEISMISCHE ARCHITECTUUR EN ENGINEERING

VOORWOORD

Een beter begrip van de aardbevingen en hun uitwerkingen samen met een toenemende gevoeligheid voor de menselijke en economische gevolgen hebben de nood aan een nieuwe paraseismische architectuur gepaard aan veilige bouwontwerpen en constructiemethodes in het licht gesteld.

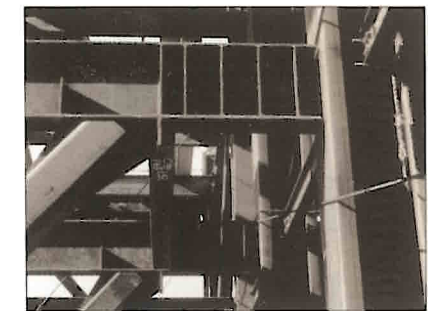
Deze scherpere bewustwording heeft geleid tot een toenemende interesse voor paraseismisch ontworpen stalen gebouwen. De redenen hiervoor zijn vanzelfsprekend. De stalen bouw heeft unieke eigenschappen: boven licht gewicht, grote sterkte en taaheid, ligt zij aan de basis van een grote verscheidenheid van vooruitstrevende constructies, die hun weerstand bij aardbevingen bewezen hebben.

Vandaag de dag worden aardbevingen, gepaard gaande met hun verliezen in mensenlevens en verwoestingen van eigendommen, niet langer aanzien als toevallige gebeurtenissen die voorkomen in geografisch afgelegen gebieden. Veel van 's werelds snelst groeiende bouwzones liggen in gebieden met hoge seismische activiteit. Er bestaat een groeiende erkenning dat de snelle bevolkingsaan groei in zulke gebieden nieuwe standaards voor seismische beveiliging vereist. Terzelfdertijd groeit de bewustwording dat gevaar voor ernstige aardbevingen ook bestaat buiten de traditionele zones met hoog aardbevingsrisico.

De gevolgen van aardbevingen moeten niet alleen geraamd worden in termen van onmiddellijke verliezen in mensenlevens en vernielde gebouwen. Men dient ook rekening te houden met de sociale en psychologische gevolgen en hun uitwerking op de nationale economie door het productieverlies, de kosten voor het vervangen van de infrastructuur, de fabrieken en de sleutelinstallaties.

In de huidige stand van kennis is het onmogelijk aardbevingen accuraat te voorspellen. Daarom is het ook noodzakelijk een filosofie voor preventief ontwerp aan te wenden, zowel om het herhalen van fouten te vermijden bij het heropbouwen na een aardbeving als om plannen van nieuwe constructies uit te voeren. Een manier om de veiligheid in het design te bevorderen is het wereldwijd aanwenden en gebruiken van seismische ontwerp codes en, niet minder belangrijk, het ter beschikking stellen van aangepaste codebepalingen.

Deze publicatie onderzoekt in het kort de relaties tussen aardbevingen en gebouwen. Dit sluit in de reacties van de bouwstructuren op seismische activiteiten, raadgevingen voor het ontwerpen en het bouwen van paraseismische werken en de unieke voordelen van staal voor het beperken van het aardbevingsrisico. Ze richt zich niet alleen tot architecten en ingenieurs maar ook tot promotoren, investeerders, verzekeringsmakelaars, bankiers, opvoeders, planningsdeskundigen, reglementeringsoverheden, gemeente- en regeringsvertegenwoordigers; kortom tot iedereen die geïnteresseerd is in het plannen en het ontwerpen van paraseismische gebouwen.



BESCHRIJVING VAN HET PARASEISMISCHE FENOMEEN

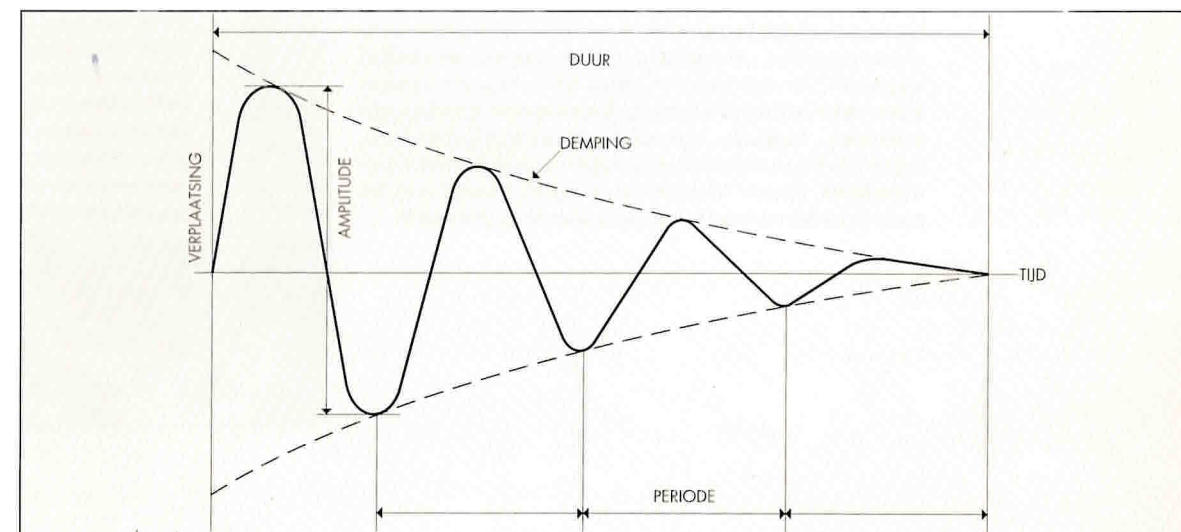
PARASEISMISCH DESIGN

Gebouwen ontwerpen bestand tegen aardbevingen omhelst het scheppen van structuursystemen met een optimale combinatie van eigenschappen die hen ertoe in staat stellen weerstand te bieden aan de fysische krachten waaraan ze worden onderworpen. Deze eigenschappen omvatten sterkte, starheid, het vermogen om energie op te slorpen en te verspreiden en de elastische vervormbaarheid. Deze kwaliteiten zorgen ervoor dat een structuur zonder significante schade weerstand kan bieden aan herhaalde aardbevingen van matige kracht en aan uitzonderlijk hevige aardbevingen zonder zijn stabiliteit, zijn inhoud noch de mensenlevens in gevaar te brengen.

Om zulks te bereiken is wel veel meer nodig dan het gewoon naleven van de reglementen. Dit vergt het begrip van de factoren die aan de basis liggen van de reactie van een structuur op een seïsme. Bovendien vereist dit de vaardigheid om systemen te creëren die de nodige eigenschappen vertonen om de schade onder een zeker peil te houden, zodanig dat de extra-kosten voor het ontwerp, de bouw en de financiering die de schade hadden moeten voorkomen, door de herstellingskosten niet overschreden worden.

Aardbevingen worden vermeld sinds het begin der geschreven geschiedenis. Oorspronkelijk ondergaan met vrees en bijgeloof is het pas recent dat ze wetenschappelijk werden bestudeerd. Toch is het zelfs vandaag nog verrassend moeilijk een aardbeving te beschrijven aan iemand die zoiets nooit persoonlijk heeft meegemaakt. In film en science-fiction worden aardbevingen meestal beschreven als oorzaak van grote kloven in de grond die mensen, auto's, treinen en gebouwen verslinden. In werkelijkheid gebeuren deze dingen heel zelden. De meest significante vernielende factoren van een aardbeving zijn de trillingen. Voor iemand die zich in de nabijheid bevindt kan een lichte aardbeving per vergissing overkomen als een dof geluid door een vrachtwagen in de verte weerkaatst.

Meestal wordt de ernst van een aardbeving gemeten en uitgedrukt door de gradatie van de grondtrillingen in termen van verplaatsing en tijd. Bij de aardbeving van Mexico City in 1985 bijvoorbeeld bedroeg de horizontale beweging van de aarde ongeveer 23 cm elke 2 seconden.



Figuur 1: Relatie verplaatsing versus tijd tijdens een trilling. De damping zorgt voor een vermindering van de amplitude van de trilling met het verstrijken van de tijd.

Ingenieurs houden zich regelmatig bezig met "vervormbare lichamen" en zijn nauw betrokken bij "elastisch gedrag". Iedereen kent de "vervorming" die een rubberen band ondergaat wanneer een kracht wordt toegepast en hij wordt uitgerokken.

We beschrijven ze eveneens als "elastisch" omdat ze haar oorspronkelijke afmetingen terugvindt eens de kracht weggenomen wordt. Maar het is niet algemeen erkend dat alle stoffen: staal, beton en zelfs de aarde, zich op dezelfde manier gedragen.

Iedereen kan een verrijkend experiment doen door een blok gelatineachtig dessert op een bord te leggen en het bord snel over de tafel heen en weer te bewegen. Wanneer de beweging ophoudt zal de gelatine nog enkele ogenblikken door blijven trillen alvorens tot rust te komen.

Veronderstel dat het blokje gelatine een gebouw is op het aardoppervlak, op zijn beurt voorgesteld door het bord waarop het ligt. Vanzelfsprekend zal de beweging van de gelatine het type beweging weergeven dat werd opgelegd aan de tafel. Deze beweging kan worden weergegeven als een curve verplaatsing versus tijd. (Figuur 1).

Enkele van de meest gebruikte termen in grafieken zoals deze zijn:

AMPLITUDE: de totale verplaatsing gedurende één enkele cyclus van de beweging.

PERIODE: tijd verstreken gedurende één cyclus, voorgesteld door de afstand van de piek van één curve tot de volgende.

DUUR: tijd verstreken tussen het begin en het einde van de trillingen.

DAMPING: het verminderen van de amplitude met het verstrijken van de tijd.

Elk van deze karakteristieken zal niet alleen variëren volgens het type en de intensiteit van de beweging van het bord, maar eveneens volgens de afmetingen, de vorm en de densiteit van de gelatine (of de structuur van het gebouw).

WAT IS EEN AARDBEVING?

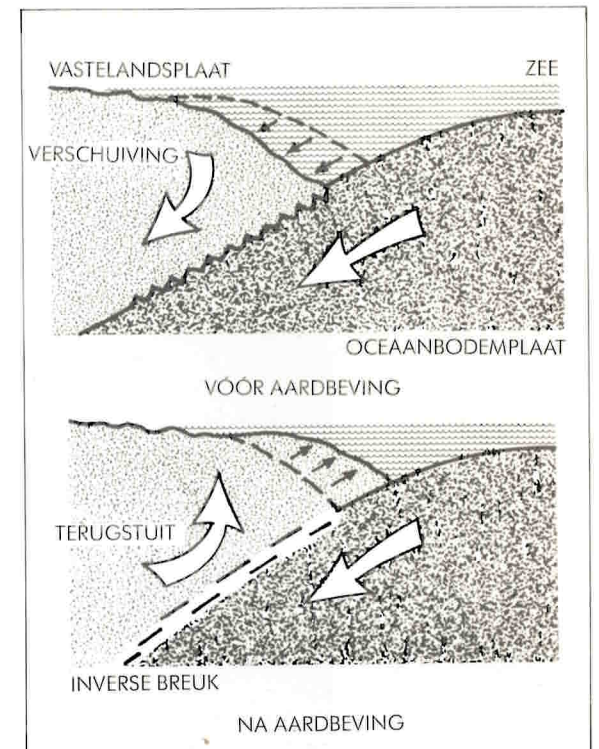
Een aardbeving is een plotse beweging of beter gezegd een combinatie van bewegingsgolven die een trilling in de aarde veroorzaakt. Haar oorzaak wordt omschreven als het brutaal vrijkomen van energie wanneer een wrijving optreedt langs een breuklijn of een scheur ergens diep in de buitenste aardkorst, of lithosfeer.

Eigenlijk is er niets in de aarde dat niet constant, op een zeker niveau, in beweging is. Zekere gebieden op het aardoppervlak zijn onderhevig aan meer of minder belangrijke, dikwijls vernielende energieuitbarstingen. In geofysica, beschrijft de algemeen erkende theorie van de tektoniek der platen het aardoppervlak als zijnde verdeeld in series van steeds schuivende schollen. (Figuur 2).

Langs de grenzen van deze platen treden één van deze drie fenomenen op:

1. Magma -gesmolten gesteente- dat oprijst uit het midden van de aarde en stolt, dwingt de platen uit elkaar te gaan, zoals gebeurt langs de Mid-Atlantische Bergrug;
2. De platen van de oceaانبodem schuiven geleidelijk onder de platen van het vasteland, zoals de Pacifische plaat schuift onder de Euraziatische plaat in de nabijheid van Japan. (Figuur 3);
3. De platen glijden horizontaal langs elkaar en veroorzaken verschuivingen (breuklijnen) langs hun grenzen, zoals bij de San Andreas breuk in Californië.

Wanneer de stuwkracht van één van deze fenomenen de wrijvingsweerstand tussen de platen overschrijdt treedt een plotse beweging op: de plaat stuit terug en genereert energiegolven, hierbij een aardbeving veroorzakend.



Figuur 3: Verschuiving van een oceaانبodemplaat onder een vastelandsplaat veroorzaakt een energieopstapeling en -uitbarsting.

1. Caraïbische plaat
2. Cocos plaat
3. Nazca plaat
4. Zuid-Amerikaanse plaat
5. Noord-Amerikaanse plaat
6. Pacifische plaat
7. Beringplaat
8. Euraziatische plaat
9. Chinese plaat
10. Filipijnse plaat
11. Indo-Australische plaat
12. Antarctica plaat
13. Scotiaplaat
14. Afrikaanse plaat
15. Somaliaanse plaat
16. Arabische plaat
17. Iranese plaat



Figuur 2: Aardplaten en richting van hun bewegingen.



San Andreas breuk

HOOFDSCHOK, VOORSCHOK EN NASCHOK

De meeste grote aardbevingen veroorzaken voorschokken en naschokken samen met hoofdschokgolven. Voorschokken komen niet altijd voor. Maar wanneer dit wel gebeurt zijn ze meestal van kleinere omvang en meer frequent. Ze wijzen op een buitengewone opstapeling van spanningen in de aarde en voorspellen het naderen van het hoofdeïseme. Het meten van de spanning van de aarde en van de voorschokken wordt gebruikt om aardbevingen te voorspellen, evenals hun verwachte ernst.

Het vrijkomen van de opgestapelde energie dat de hoofdschok vertegenwoordigt kan gemakkelijk die van een kernbom van 10 megaton overschrijden. De magnitude van een aardbeving, een aanduiding van de hoeveelheid vrijgekomen energie, wordt meestal uitgedrukt in termen van de schaal van Richter. De volgende vergelijking toont het verband tussen seïsmische energie (E) en de magnitude (M):

$$\log_{10} E = 11,8 + 1,5 M.$$

Omdat het verband logaritmisch is uitgedrukt, stelt iedere eenheidsverhoging van de magnitude een 30-voudige verhoging van de energieuitbarsting voor.

De hoofdschok van een ernstige aardbeving wordt meestal gevolgd door naschokken van tamelijk grote magnitude. Daardoor worden gebouwen die reeds door de eerste golf werden verzwakt onderworpen aan bijkomende spanningen. Zo bijvoorbeeld had de aardbeving van Mexico in 1985 een

hoofdschok van magnitude (M) 8,1 volgens de schaal van Richter. Ongeveer 36 uur later werd ze gevolgd door wat beschouwd wordt als de zwaarste naschok: M gelijk aan 7,5, hetgeen de schade nog vergrootte en bijkomende instorting van gebouwen veroorzaakte.

De energieuitbarsting die vrijkomt bij een aardbeving kan niet samengebundeld worden tot een speldekop. Alhoewel haar epicentrum (geometrisch centrum) geïdentificeerd wordt als het punt op het aardoppervlak juist boven het middelpunt van de aardbeving (plaats van de breuk in de aardkorst), kan deze epicentrumzone zich uitspreiden over een lengte van verschillende honderden kilometer en over een breedte van ongeveer 20 kilometer. De aardbeving van Mexico City in 1985 had twee epicentra die achtereenvolgens trilden in een korte tussentijd van 30 seconden.

Het is belangrijk te weten dat er twee aardbevingsfactoren zijn die in nauw verband staan met elkaar. De ene is de magnitude, een constante die de hoeveelheid vrijgekomen energie bij de aardbeving aangeeft. De andere is de intensiteit, de zichtbare gevolgen van een aardbeving op een gegeven plaats. De intensiteit kan verschillen naargelang de afstand van het epicentrum, de diepte van het middelpunt, de bodemgesteldheid en zelfs naargelang het type constructie. Afhankelijk van deze factoren kan zelfs een aardbeving met een kleine magnitude uitzonderlijk vernielend zijn.

TYPEN GOLVEN

Aardbevingen bewegen zich volgens een complex schema in alle richtingen door de aardkorst en langs de oppervlakte (Figuur 4).

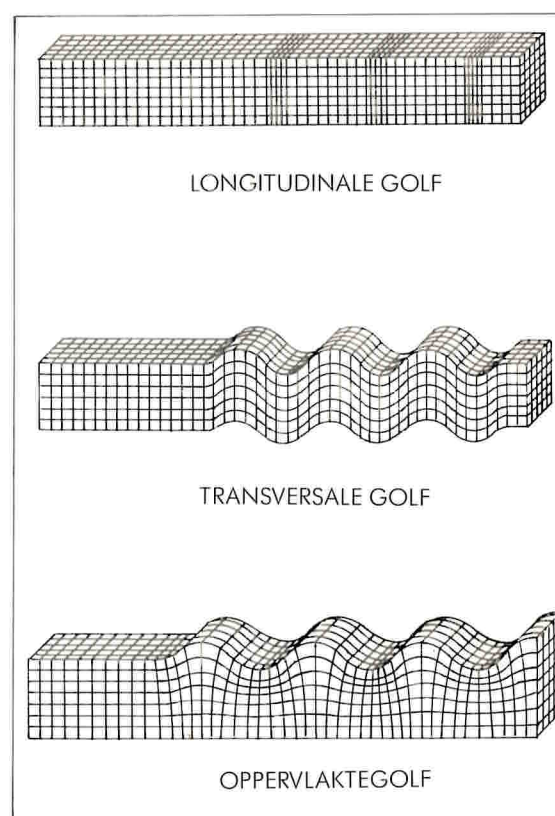
Globaal genomen, worden ze meestal gerangschikt in longitudinale golven die alternatief een samentrekking en een uitzetting in de richting van de voortplanting van de golf veroorzaken, en in transversale afschuivingsgolven die dwarsgerichte bewegingen van de aarde veroorzaken (loodrecht op de richting van de schokgolf).

Zoals vastgesteld op seïsmogrammen, worden schokgolven meestal gedefinieerd volgens het ogenblik van hun optreden. De snelste worden P (primaire) golven genoemd. Ze worden gevolgd door trager bewegende S (secundaire) golven. Gewoonlijk zijn P-golven longitudinaal en S-golven transversaal. In een grote aardbeving zijn de meest vernielende krachten de S-golven.

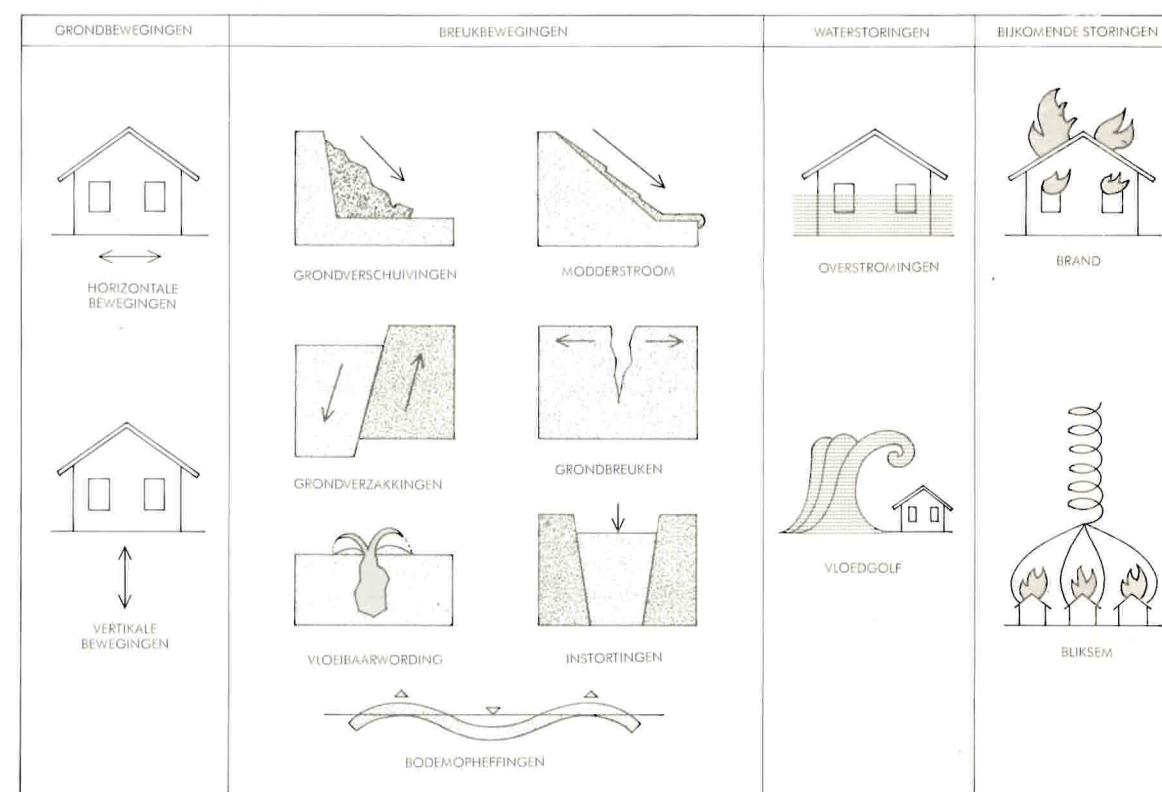
Aardbevingen gaan gepaard met verschillende storingen (Figuur 5).

Deze omvatten:

1. grondbewegingen (zowel horizontaal als vertikaal);
2. grondbreken (grondverschuivingen, breukbewegingen, instortingen, vloeibaarwording, modderstroom, grondverzakkingen, bodemopheffingen);
3. waterstoringen (vloedgolven, overstromingen);
4. bijkomende storingen (brand, bliksem).



Figuur 4: Schokgolven vormen een diversiteit van complexe grondtrillingen.



Figuur 5: Een aardbeving kan gepaard gaan met verscheidene storingen.

AARDBEVINGEN
IN DE XIXe EN
XXe EEUW

Datum	Plaats	Magnitude Intensiteit	Kenmerkend aspect
16/12/1811 23/01/1812 07/02/1812	New Madrid, Missouri, V.S.	8.6/XII	Eén van de grootste aardbevingen in Noord-Amerika; topografische wijzingen over een oppervlakte van 78.000 tot 128.000 km².
18/04/1906	San Francisco, Californië, V.S.	8.3/XI	600 doden; brandschade 500 miljoen \$. Het rampen-gebied strekte zich uit over een afstand van 650 km.
29/12/1908	Messina, Italië	/VI	30.000 doden, grotendeels ten gevolge van een vloedgolf veroorzaakt door de onder de zeebodem ontstaan aardbeving.
01/09/1923	Tokio, Japan	7.9/IX tot X	142.800 doden of vermisten, 254.500 gebouwen ingestort, 442.100 gebouwen opgegaan in de vlammen; schade: 3 miljard \$.
29/02/1960	Agadir, Marokko	5.6/VI tot X	Epicentrum 3 km verwijderd van de stad; ondiep middelpunt; stad bijna volledig verwoest, 12.000 doden.
26/07/1963	Skopje, Joegoslavië	6/VIII tot X	10% van de gebouwen ingestort; 65% onherstelbaar verwoest.
27/03/1964	Anchorage, Alaska	8.4	Seïsmische vloedgolf langs de kust en lawines.
16/06/1964	Niigata City, Japan	7.5	Veroorzaakte een belangrijke vloeibaarwording van de bodem met als gevolg verzakkingen van verschillende gebouwen.
29/07/1967	Caracas, Venezuela	6.5	Eerste gedetailleerd onderzoek naar het verband tussen de trillingen van de aarde, de bodemgesteldheid en de schade aan de gebouwen.
16/01/1968	Belice, Italië	5.6/VI tot X	De meest verwoeste steden waren: Salapurata (100%), Gibellina (100%), Montevago (98%), S. Margherita Belice (80%).
23/12/1972	Managua, Nicaragua	5.6/VIII tot IX	85% van de stad verwoest; 10.000 doden; de lichtgewicht industriële stalen structuren bleven goed overeind.
06/05/1976	Friuli, Italië	IX tot X	De stalen draagconstructies hebben met succes hun weerstand bij de aardbeving bewezen. Het gebrek aan windverband bij enkele constructies werd gecompenseerd door de in geprofileerde thermisch verzinkte platen samenwerkende bedekking die de rol van diafragma speelde.
28/07/1976	Tang Shan, China	7.8/IX tot XI	Epicentrum nabij een stad van 1 miljoen inwoners, 160 km ten oosten van Beijing; alle woningen en 90% van de publieke en industriële gebouwen werden verwoest; 242.000 doden, 164.000 zwaar gewonden, 1,2 miljoen evacués.
10/10/1980	El Asnam, Algerië	VII tot VIII	20.000 doden, 300.000 daklozen. 75% van de gebouwen verwoest.

Datum	Plaats	Magnitude Intensiteit	Kenmerkend aspect
23/11/1980	Irpinia, Italië	7.9/IX tot X	Grote oppervlaktes van Campania en Basilicata werden door de aardbeving getroffen. Studies en onderzoek binnen het geodynamische eindproject van CNR hebben aanleiding gegeven tot een nieuwe seïsmische indeling van het Italiaanse grondgebied.
08/11/1983	Luik, België	4.5/VII	Gescheurde metselwerk. De stalen gebouwen hebben een goede weerstand bewezen.
03/03/1985	Santiago, Chili	7.8/VIII	Eveneens gevoeld in torengebouwen in Buenos Aires, Argentinië en São Paulo, Brazilië.
19/09/1985	Mexico City, Mexico	8.1/VII tot IX	Voorafgaande grondbewegingen met een spectrale versnelling van 1,17 g per periode van 2 seconden en een demping van 5%.
10/10/1986	San Salvador, Salvador	5.4 tot 7	Talrijke achtereenvolgende schokken; vele gebouwen en scholen ingestort met als gevolg de dood van honderden mensen.
07/12/1988	Spitak, Leninakan, Armenia, USSR	6.9	25.000 doden, 500.000 daklozen. Aardbeving met 2 schokken in een tussentijd van 4 minuten. Gebouwen in geprefabriceerde gewapend beton. Drie redenen voor zware verwoestingen, in de orde: 1 ^o slechte uitvoering, 2 ^o lage kwaliteit van de projecten en conceptiefouten, 3 ^o hoge intensiteit.
17/10/1989	Loma Prieta, Californië, V.S.	7.1	Werd gevoeld op een afstand van 645 km. 62 doden, 3.757 gewonden, 18.306 woningen en 2.575 andere gebouwen beschadigd. Talrijke bruggen verwoest of beschadigd. De gebouwen met paraseïsmische draagconstructies in overeenstemming met moderne voorschriften hebben géén of weinig schade ondergaan. Dit werd vooral voor het staal bevestigd. De meeste ernstige problemen kwamen voor bij bruggen met betonnen structuur.
21/06/1990	Menjil, Iran	7.3	40.000 doden, 200.000 gewonden, 100.000 woningen verwoest.
16/07/1990	Luzon, Philippijnen	7.3	1.600 doden.
05/04/1991	Noordgewest, Perou	VII.	

AARDBEVINGEN IN DE RECENTE GESCHIEDENIS



San Francisco, Californië - 1906



Agadir, Marokko - 1960



Skopje, Joegoslavië - 1963



Anchorage, Alaska - 1964



Niigata City, Japan - 1964



Caracas, Venezuela - 1967



Managua, Nicaragua - 1972

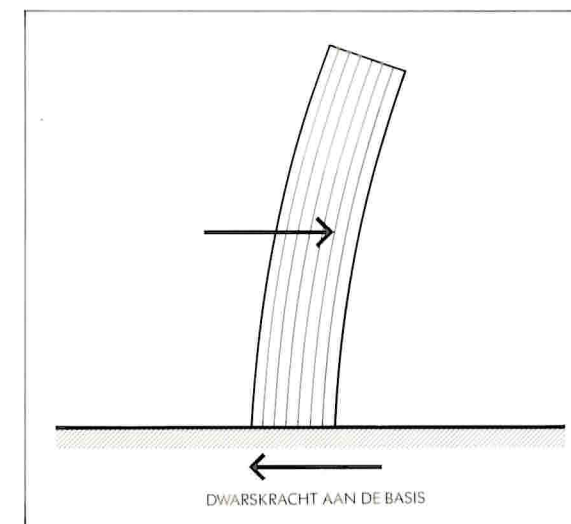


Mexico City D.F. - 1985.

HOE REAGEERT EEN STRUCTUUR?

Alhoewel bij een aardbeving de trillingen in alle richtingen optreden blijkt het paraseïsmisch ontwerp van structuren meer belang te hechten aan de horizontale krachten dan aan de verticale. Daar gebouwen steeds onderhevig zijn aan verticale krachten wegens de zwaartekracht worden ze ontworpen om aan deze lasten te weerstaan met een veiligheidsfactor die voldoet om de bijkomende verticale krachten van de aardbeving te doorstaan zonder enige schade. Bovendien worden de krachten waaraan de gebouwen gewoonlijk worden blootgesteld meestal veroorzaakt door de wind. Terwijl beide, de kracht van de wind en die van een aardbeving, lateraal zijn,

Figuur 6: Dwarskracht aan de basis in een gebouw resulteert uit de traagheid aangewend door de grondbeweging.



handelen ze op een totaal verschillende manier. Daarom dienen de structuren voor ieder van deze krachten specifiek berekend te worden.

De horizontale kracht (of last) door een aardschok op een gebouw uitgeoefend noemt men "dwarskracht aan de basis" (Figuur 6).

In de bouwreglementen worden regels voorgeschreven voor het berekenen van deze krachten. Voor ons doeleinde is enkel van belang het feit dat de richting horizontaal is en dat magnitude voldoende belangrijk is om in acht genomen te worden. Beschouwen we volgende formule die in vele reglementen voorkomt (mits enkele wijzigingen):

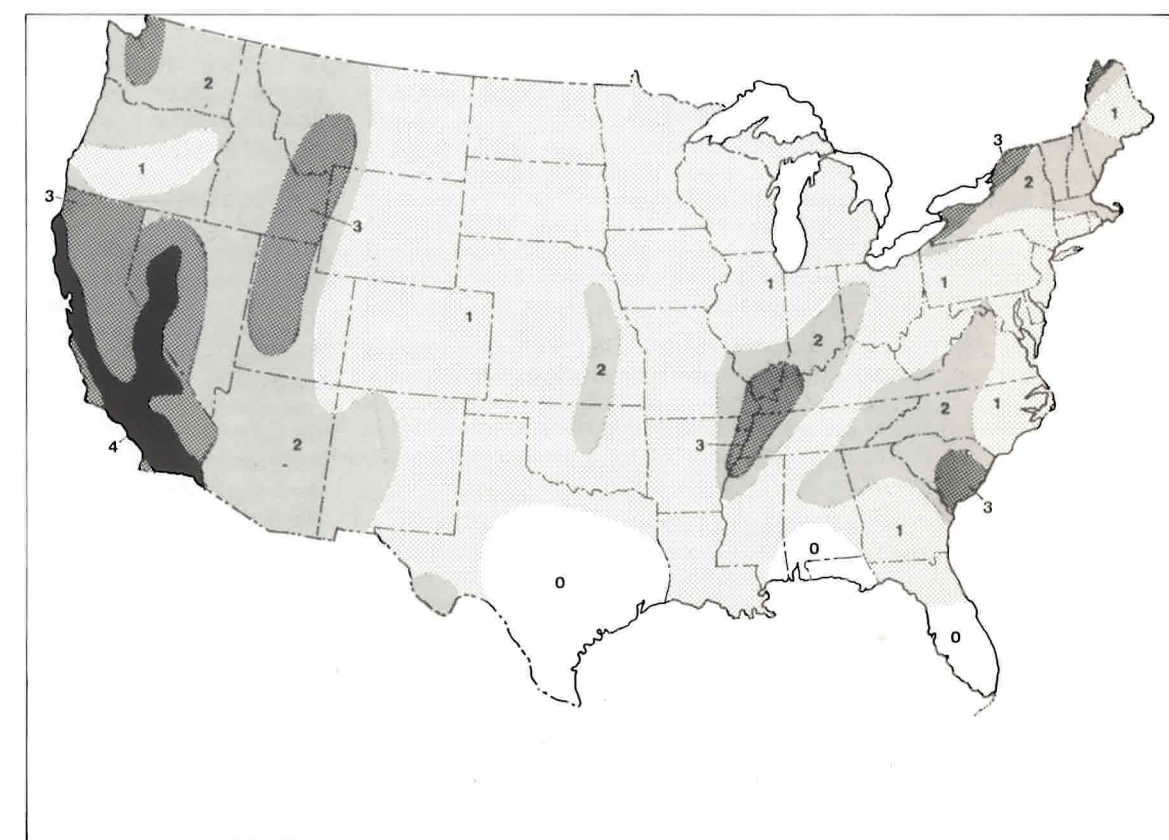
$$V = ZIKCSW$$

Laten we elke letter in volgorde nemen. V is de dwarskracht aan de basis, de totale horizontale kracht waarvoor de structuur zal worden berekend. Dit is het eerste gegeven dat de ingenieur zal willen vastleggen. Terwijl de seïsmische krachten waaraan een gebouw moet weerstaan, voortkomen uit een cyclische, dynamische golf, hebben de bouwkundige ingenieurs ze kunnen herleiden tot een statische kracht zoals het eigengewicht. De overblijvende letters van de formule staan allemaal in verband met de magnitude van V.

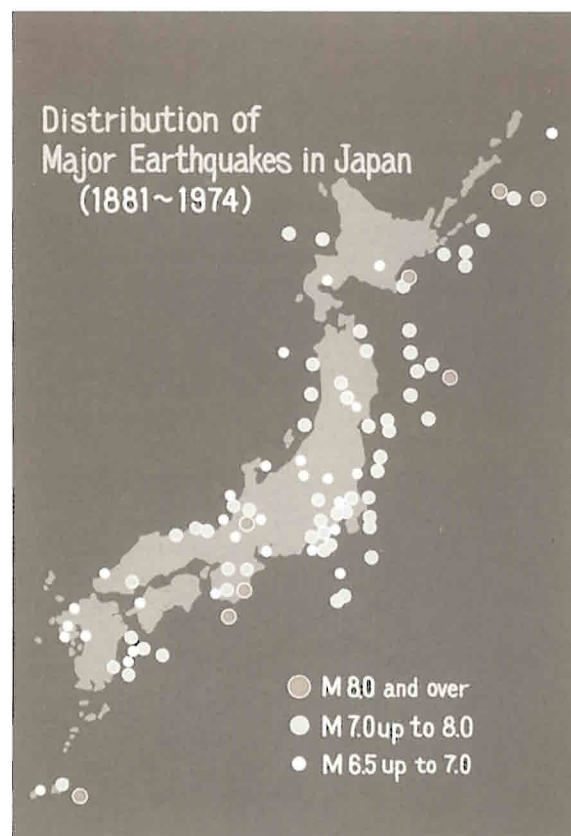
De letter Z stelt de frekwentie en de ernst van de aardbeving voor in de streek of het seïsmisch gebied waar het gebouw is gelegen. (Figuur 7).

In de werkelijkheid is dit een schatting van de kans op een aardbeving in de aangewezen zone gedurende de levensduur van het gebouw.

- ZONE 0
Geen schade
- ZONE 1
Geringe schade; verwijderde aardschokken kunnen schade berokkenen aan de structuren met fundamentele trillingsperioden langer dan 1,0 seconde; stemt overeen met een intensiteit V en VI van de M.M. schaal*.
- ZONE 2
Matige schade; stemt overeen met intensiteit VII en meer van de M.M. schaal*.
- ZONE 3
Belangrijke schade; stemt overeen met intensiteit VIII en meer van de M.M. schaal*.
- ZONE 4
Deze zones binnen de zone 3 worden bepaald door de nabijheid van sommige belangrijke breuklijnen.
- * = Gewijzigde Mercalli intensiteitsschaal van 1931.



Figuur 7: Seïsmische risicozones in de Verenigde Staten.



Verspreiding van de zware aardbevingen in Japan (1881-1974).

- M 8,0 en meer
- M 7,0 tot 8,0
- M 6,5 tot 7,0.

Z bijvoorbeeld zou een relatief grote waarde hebben in Japan of Californië. Maar, aangezien de kansen voor mogelijke gevallen verschillen in de verscheidene zones is er geen enkele plaats op aarde die met zekerheid gevrijwaard kan blijven van een aardbeving. Belangrijke aardbevingen werden genoteerd in streken die meestal beschouwd werden als "aardbevingsvrij" zoals de Atlantische kuststreek van Canada en van de Verenigde Staten en Oost-België. Een aardstok van de grootste magnitude deed zich voor in Noord-Amerika in het begin van de vorige eeuw (1811-1812) in de Mississippivallei in de Verenigde Staten. Indien dit vandaag opnieuw zou gebeuren in datzelfde gebied -actueel heel dicht bevolkt- zou dit een ware catastrofe kunnen zijn.

De letter **I** is de factor belangrijkheid. Het is klaarblijkelijk van heel groot belang dat urgentieinfrastructuren zoals ziekenhuizen, brandweerkazernes en communicatiecentra weerstand bieden aan ernstige aardbevingen en operationeel blijven. Aan dat soort structuren wordt een grotere waarde voor **I** toegekend.

De letter **K** stelt het type draagconstructie voor. Ze is omgekeerd evenredig met de aanleg van een bouwstructuur om de energie op te slopen. Sommige draagconstructies hebben meer aanleg voor het opslorpen van aardbevingsenergie dan andere. Een kleinere waarde van **K** wordt gebruikt om ze voor te stellen.

De letter **C** is omgekeerd evenredig met de eigen vibratieperiode van het gebouw. Tijdens een aardstok reageert een gebouw een beetje zoals een kind op een schommel. Indien men de schommel regelmatig een duw geeft zal het kind gemakkelijk hoger en hoger gaan. Gebouwen, evenals schommels, hebben een eigen trillingsfrequentie. Deze bepalen is een heel complex probleem dat de hoogte van het gebouw

omvat, evenals de verdeling van de massa en de starheid. De trilling van een aardstok kan overeenstemmen of niet met de eigen periode van het gebouw. Metingen bij verschillende aardbevingen hebben aangetoond dat gebouwen met een langere natuurlijke periode het minst worden aangetast omdat ze de trillingen van grote amplitude (resonantie), die voorkomen wanneer de periodes overeenstemmen, mijden.

De letter **S** stelt de factor bodemrespons voor. Zoals voor elk materiaal is de bodem waarop een gebouw staat elastisch en heeft, net zoals het gebouw, een natuurlijke frequentie. Algemeen wordt aangenomen dat een grote diepte bodem boven harde rots neiging heeft het aardbevingseffect op het gebouw te verkleinen. De grootste schade bij de aardbevingen in Caracas, Venezuela, in 1967 en in Mexico City in 1985 bijvoorbeeld trad op in gebieden met een arme bodemgesteldheid.

De letter **W** stelt het gewicht van het gebouw voor. De horizontale kracht die inwerkt op een gebouw is werkelijk een inertiekracht, d.w.z. de neiging van een stilstaand lichaam om blijven stil te staan. Hoe groter het gewicht van het gebouw, hoe groter de inertiekracht. Een van de beste manieren voor een bouwontwerper om de gevolgen van een aardbeving te verminderen is het gebouw zo licht mogelijk te houden.

Over alle zopas besproken punten heeft de ontwerper/ingenieur geen controle wat betreft het seismisch gebied (**Z**), of de belangrijkheid van het gebouw (**I**), en heel weinig over de bodemgesteldheid (**S**). Hij moet dus zijn inspanningen toespitsen op de overblijvende factoren die het gebouw beïnvloeden. Om de horizontale kracht (**V**) tot een minimum te herleiden moet hij het type draagconstructie (**K**), de eigenschappen van de trillingen (**C**) en het gewicht van het gebouw (**W**) in overweging nemen.

ARCHITECTUUR VOOR SEISMISCHE ZONES

VADEMECUM VOOR HET ONTWERPEN VAN STRUCTUREN

Een paraseismische architectuur kan vandaag de dag gekenmerkt worden door het gebruik van lichtgewicht materialen, vooruitstrevende draagconstructies en gemakkelijk vervormbare lichtgewicht scheidingswanden, adequaat beschermd tegen kostelijke beschadigingen opgelopen bij matige aardbevingen. Zware decoratieve elementen, in de hoogte geplaatst, moeten vermeden worden. Ook de bekleding moet licht zijn en een scheiding van de structuur garanderen teneinde de bewoners te vrijwaren tegen vallende brokstukken. Dezelfde voorzorgen zullen genomen worden met vensters en muren.

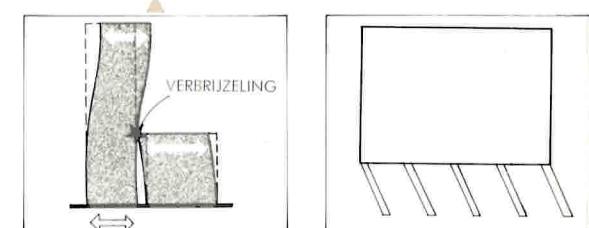
Staal biedt een betrouwbaar en degelijk alternatief voor dit vooruitstrevend architecturaal concept en het verschaft één van de meest solide garanties van professionele verantwoordelijkheid in de paraseismische constructies.

Een architect of een ingenieur beschikt over geen enkel middel waardoor een structuur met een slechte vorm zich veilig gaat gedragen tijdens een aardbeving. Terwijl er geen universeel ideaal paraseismisch formaat bestaat voor een bepaald type structuur, zijn er toch zekere principes die architecten, ingenieurs, promotoren en urbanisten in gedachten moeten houden. (Figuur 8):

1. Eenvoud bewaren, complexe structuren en ontwerpconfiguraties tot een minimum herleiden;
2. Aandringen op een symmetrisch design, L- of T- plannen vermijden, eveneens uitkragingen;
3. Vermijdt plannen van gebouwen die lang en smal zijn;
4. Verspreidt de sterkte en de rekbaarheid uniform en doorlopend;
5. Voorzie horizontale elementen die scharnieren kunnen vormen vooraleer deze voorkomen in de verticale elementen;
6. Breng de stijfheid in verband met de eigenschappen van de ondergrond;
7. Een "tweede verdedigingslijn" opstellen bestand tegen een deel van de seismische krachten.

Indien deze richtlijnen, in het bijzonder de eerste drie, niet worden nageleefd bij het ontwerpen van paraseismische constructies, kan zelfs een aardbeving van matige intensiteit zeer vernielend zijn.

Onderlinge afstand der structuren om het hameren te vermijden



Een zachte benedenverdieping is gevaarlijk.

HORIZONTALE DOORSNEDE		VERTIKALE DOORSNEDE	
JUIST	FOUT	JUIST	FOUT

Figuur 8: Staal kan helpen bij het tegemoetkomen aan de eisen van vorm, afmeting en proportie in verband met paraseismische ontwerpen.

STRUCTUURSTAAL VERSUS SEISMISCHE KRACHTEN

Van met zijn creatieve rol die het gespeeld heeft bij de geboorte van de wolkenkrabber bij het einde van de 19e eeuw, is het structuurstaal een keuzemateriaal gebleven voor hoge gebouwen, fabrieken, energiecentrales, bruggen, offshore platformen en een grote verscheidenheid andere structuren. De draagconstructie van een stalen gebouw verschaft de sterkte en de stijfheid nodig om tegemoet te komen aan een groot aantal ontwerpparameters zoals lange overspanningen, zware lasten, grote hoogten en schokbelastingen. Zowel de rekbaarheid en de hoge sterkte van het staal ten overstaan van zijn gewicht verlenen aan de ontwerper een maximum aan flexibiliteit en veiligheid bij het beantwoorden aan de architecturale en functionele vereisten zoals hierboven beschreven. Over het algemeen kan men zeggen dat hoe gecompliceerder de functie van een structuur wordt, hoe beter het is ze in staal te vervaardigen.

In alle landen beantwoordt de staalbouw aan strenge specificaties, opgesteld en op punt gesteld door organen van openbaar belang of van de regering. Van bij zijn productie als gesmolten metaal en doorheen de opeenvolgende stadia van het walsen, het bewerken, het monteren, is structuurstaal onderhevig aan een constante en strikte keuring en controle. Hierdoor is de gebruiker verzekerd een kwaliteitsproduct te hebben met welbepaalde eigenschappen en kenmerken.

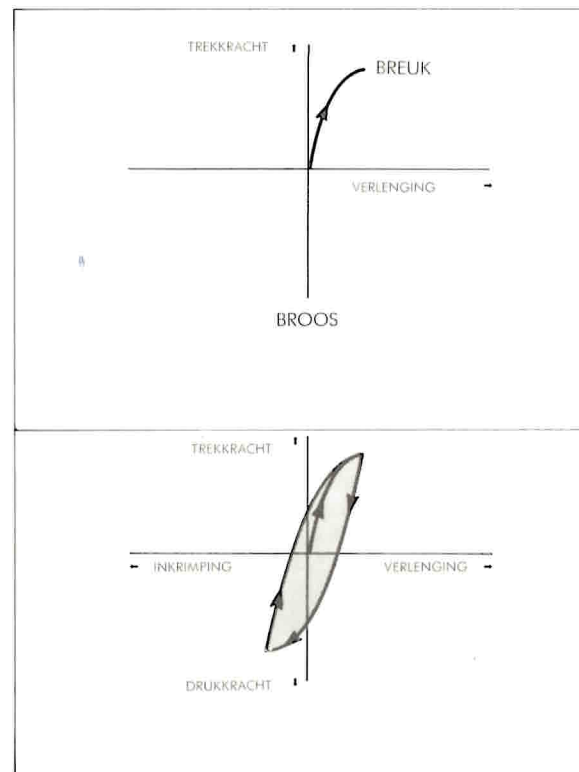
Zoals hiervoor genoteerd, worden horizontale aardbevingskrachten die inwerken op een gebouw, voor berekeningsdoeleinden beschouwd als een statische belasting. Indien dit werkelijk het geval zou zijn, dan zouden alle constructiematerialen -gewapend beton, metselwerk, hout, staal, enz.- moeten beschouwd worden in het bezit te zijn van een ekwiva-

lente waarde onder seismische voorwaarden, als hun respectieve waarden in een aardbevingsvrije omgeving. In werkelijkheid niettemin zijn aardbevingskrachten dynamisch, cyclisch en dikwijls van zulke magnitude dat het economisch onmogelijk is een draagconstructie voor een gebouw te ontwerpen dat weerstand kan bieden zonder een permanente vervorming aan de draagconstructie op te lopen. Wanneer met deze factoren bij het berekenen rekening wordt gehouden, maken verscheidene karakteristieken van het staal -die niet gedeeld worden door andere materialen- het tot het meest begeerde materiaal voor het bouwen van een draagconstructie. Deze karakteristieken zijn de bevoegdheid van staal om:

1. vervormd te worden op een rekbaar manier tot een grote uitrekking alvorens te breken;
2. energie op te slorpen - de energie die door de aardbeving overgeheveld wordt op de structuur;
3. trek- en drukkrachten te doorstaan met dezelfde vervormingseigenschappen;
4. tenslotte, verschillende lastencyclusen te doorstaan vóór de breuk.

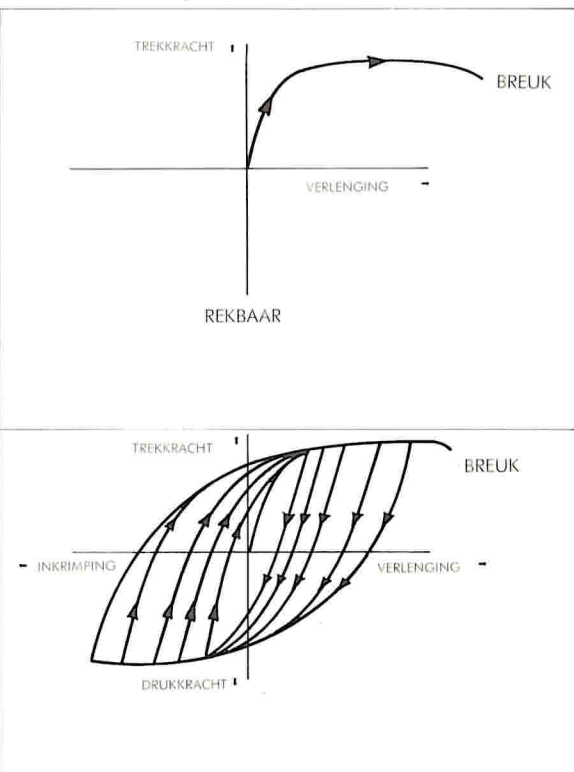
Het is tamelijk gemakkelijk om de aanleg van staal voor al deze gewenste prestaties aan te tonen. Buig snel de staaldraad van een kleerhanger voor- en achterwaarts. Ten eerste toont het feit dat hij kan geplooid worden en een sterk misvormde gedaante kan behouden de rekbaarheid aan van het staal. Daarna toont het feit dat het metaal warm wordt daar waar het werd geplooid, de aanleg aan van staal om energie op te slorpen. Wanneer men de draad naar vóór en naar achter buigt wordt één zijde uitgerokken en de andere zijde ingedrukt (druk). Het is tenslotte slechts na verschillende buigingscyclusen dat de draad zal breken, daar waar hij het hevigst werd geplooid.

Figuur 9A: Last/vervormingscurve van een broos materiaal.



Figuur 10A: Bij een steigende last en lastinversie vervormt een rekbaar materiaal zich voor- en achterwaarts.

Figuur 9B: Last/vervormingscurve van een rekbaar materiaal (Staal).



Figuur 10B: Een groot aantal lastencyclusen bij een rekbaar materiaal met een stijgende vervorming en later een breuk.

Hierboven illustraties van rekbaarheid, energie opslorping, wisselbelasting en vermoeiing. Broze materialen zullen zich vervormen evenredig met de verhoging van de last totdat ze breken met een kleine of geen stijging van de last (Figuur 9A). Staal, een rekbaar materiaal, vervormt zich evenredig met de toename van de last (Figuur 9B). Vervorming gaat door zolang de last stijgt. Op een zeker punt (meestal gekend als de elasticiteitsgrens), zal de vervorming in hoofdzaak toenemen bij een kleine stijging van de last; later zal een breuk optreden na tal van vervormingen.

Figuur 10A toont hoe bij een toenemende last en een lastinversie een rekbaar materiaal zich voor- en achterwaarts vervormt, volgens een hoeveelheid binnen de last/vervormingscurve (geschaduwde) die de energieopslorping capaciteit voorstelt van het materiaal. Deze figuur toont eveneens aan dat staal kan overgaan van trek naar druk met eenzelfde vervormingsgraad in beide gevallen voor éénzelfde last. Figuur 10B toont een typisch cyclische belasting waarbij het staal vele cyclussen trek/druk doorstaat alvorens te breken (hysteresis).

Door deze inherente eigenschappen van staal volledig te erkennen, kan de bouwkundig ingenieur een ver doorgedreven ontwerp maken bij hetwelk de draagconstructie van een gebouw:

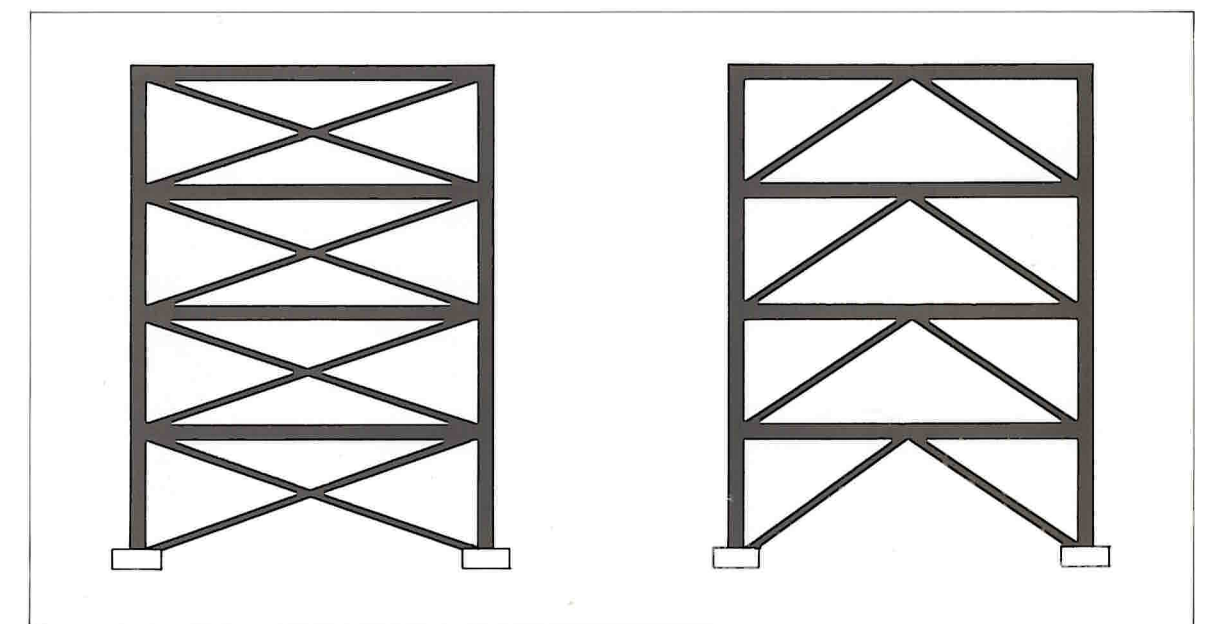
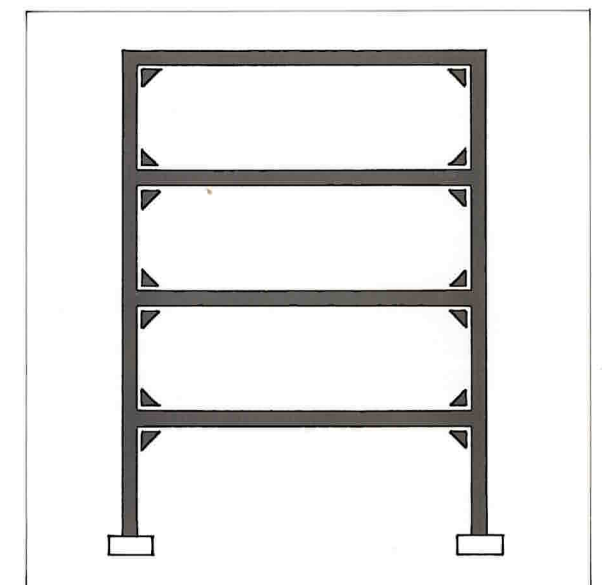
1. bestand is tegen seismische krachten en zijn stevigheid bewaart onder de slechtste omstandigheden;
2. de seismische energie opslorpt zodat de seismische cyclische krachten zich niet opstapelen in de structuur;
3. de vervorming beperkt tot een peil dat de schade beperkt tot niet-structurele elementen (liften, loodgieterij, enz...) en aangrenzende structuren.

Aangezien metselwerk, beton en hout een beperkt vermogen hebben betreffende rekbaarheid en energieopslorping en hun eigenschappen in trek nogal verschillen van deze in druk, kunnen ze meestal geen lastinversie doorstaan na het bereiken van de elasticiteitsgrens. Staal daarentegen is het ideale materiaal voor blootstelling aan seismische krachten.

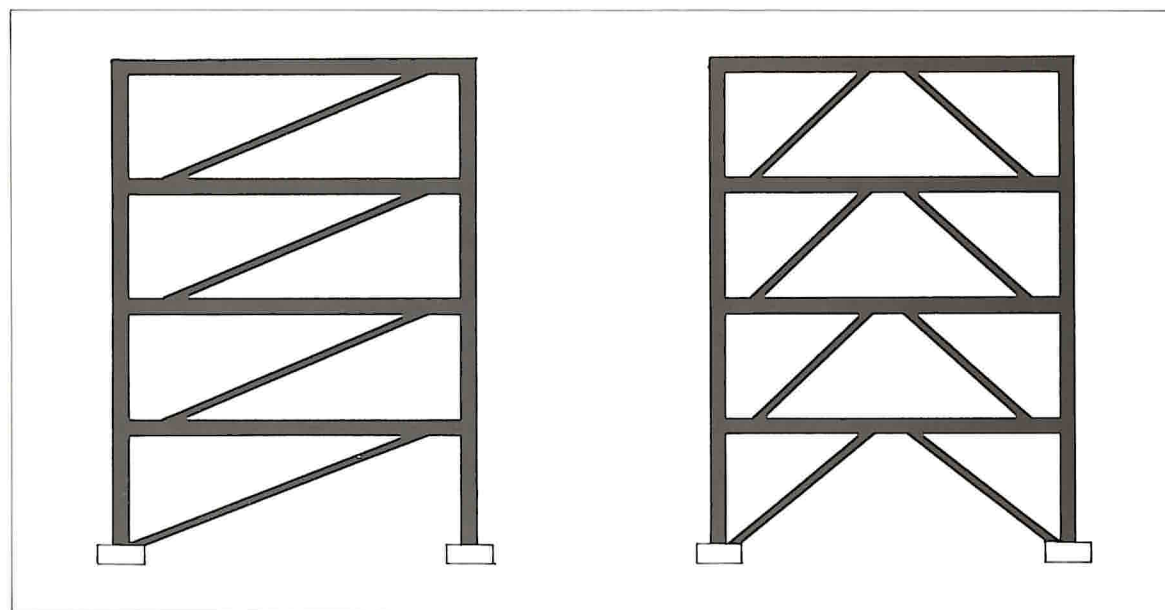
Van seismisch belang is eveneens een andere eigenschap van staal: het is mogelijk door de keuze van een systeem in structuurstaal om in de draagconstructie van een gebouw gewenste

niveaus van rekbaarheid en energieabsorptie in te rekenen. De meest voorkomende stalen draagconstructies zijn portaalverstijvingen en stijve portalen. De portaalverstijving is zeer efficiënt, bezit een grote stijfheid en werd met succes gebruikt in een groot aantal gebouwen (Figuur 11). Toch betekent zijn starheid een beperking van zijn vermogen om energie op te slorpen zoals zou kunnen vereist zijn bij een zware aardbeving. Zoals reeds vroeger besproken geven de codes de voorkeur aan draagconstructies zoals stijve portalen die grote vervormingen kunnen ondergaan en die hierdoor aanzienlijke hoeveelheden energie kunnen opslorpen (Figuur 12). Deze draagconstructies kregen de voorkeur in gebieden van seismische activiteit.

Figuur 12: stijf portaal.



Figuur 11: schematische voorstelling van een klassieke portaalverstijving.



Figuur 13: excentrische portaalverstijving.

Een relatief nieuwe ontwikkeling is de excentrische portaalverstijving (Figuur 13), een hybride systeem dat de gewenste eigenschappen van portaalverstijvingen en stijve portalen combineert.

Het werd op het punt gesteld dankzij onderzoeken gedeeltelijk gefinancierd door het American Iron & Steel Institute. De waarde van het systeem werd experimenteel bewezen aan de hand van modellen door Professor Egor P. Popov en zijn associés in het Departement van burgerlijk ingenieurs aan de Universiteit van Californië in Berkeley (Verenigde Staten). Dit systeem werd gebruikt in verschillende gebouwen opgericht in Californië tijdens de laatste jaren.

De stalen draagconstructie biedt andere voordelen, namelijk bij het ontwerpen van verbindingen. Het is gemakkelijk om in een stalen draagconstructie enkele of alle verbindingen zo te ontwerpen en te fabriceren dat ze even sterk of sterker zijn dan welke balk, ligger of kolom dan ook. Met andere woorden, het voorbarige breken van een verbinding kan vermeden worden. Dit is van groot belang in draagconstructies van gebouwen ontworpen voor seismische lasten.



Excentrische portaalverstijvingen in een ziekenhuis in Californië.

Nog een ander voordeel van de staalstructuur is zijn overdimensionering. Wanneer een aardbeving overbelasting en kruip van delen van de structuur veroorzaakt worden de bijkomende lasten van de aardbeving overgenomen door andere delen van de structuur die nog niet werden aangesproken. Vaak werden deze delen niet berekend als onderdeel van de paraseïsmische draagconstructie, maar ze zijn in ieder geval aanwezig als een soort "reserve".

Tenslotte, in de herleving na een aardbeving, is de inspectie, de controle en, indien nodig, het herstellen van de schade aan een stalen gebouw dat nog rechtstaat, relatief gemakkelijk. Overweeg dit vanzelfsprekende feit: die delen van de draagconstructie die erg vervormd werden en die aan vervanging toe zijn, zijn gemakkelijk te identificeren en tamelijk gemakkelijk weg te nemen en te vervangen. Er is geen sprake van verborgen, moeilijk te bepalen scheuren afkomstig van de lastinversiebeweging van de aardbeving. Een element van de structuur dat geen permanente vervorming vertoont behoudt zijn oorspronkelijke eigenschappen; het bevindt zich in even goede staat als bij de dag van zijn opbouw. Andere bouwmaterialen, in het bijzonder beton, die een voorname lastinversie hebben ondergaan, vertonen scheuren, afsplintering of gebogen wapeningsstalen die onderzocht, verwijderd en vervangen moeten worden.



Verbindingsbreuk en afsplintering.

PARASEISMISCHE STALEN GEBOUWEN RONDOM DE WERELD



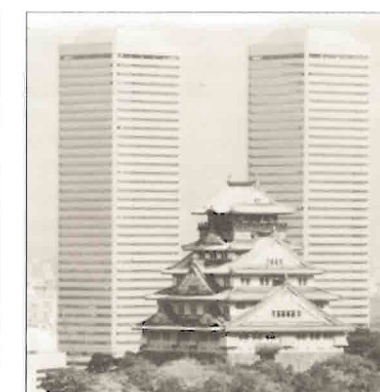
Shinjuku Centrum - Tokio



Latijns-Amerikaanse toren - Mexico City



Moffit ziekenhuis - Californië



Tweelingtorens 21, Osaka - Japan



Paraseïsmisch gebouw in Chili



School met stalen draagconstructie in Italië



Kantoren in Los Angeles



Paraseïsmische woningen - Algerië

ONDERZOEK

Effectieve maatregelen voor paraseïsmische veiligheid in gebouwen zijn gebaseerd op voortdurende en wereldwijde onderzoeksprogramma's. Zo goed als elk land dat onderhevig is aan frekwente en vernielende aardbevingen raakt hoe langer hoe meer betrokken bij seïsmische studies. En zelfs in landen die enkel minimaal te lijden hebben, ontstaat een groeiende interesse en betrokkenheid in werken aangaande aardbevingen.

Het toenemend aantal paraseïsmische onderzoeken heeft de basis gevormd voor een relatief nieuwe engineering discipline. Elke vernielende aardbeving die optreedt vergroot de nood voor het bouwen van buildings met vooruitstrevend paraseïsmisch design. Het is belangrijk dat architecten, ontwerpers, planners en allen die betrokken zijn bij het bouwproces op de hoogte zijn van de vooruitgangen en gebruik maken van de nieuwe gegevens. Gebouwen die zorgvuldig werden ontworpen voor paraseïsmische veiligheid zullen in staat zijn, op een optimaal niveau, weerstand te bieden aan aardbevingen.

JAPAN - VERENIGDE STATEN

Vanaf 1980 werden de testen voor paraseïsmische weerstand van de stalen constructies gezamenlijk door Japan en de Verenigde Staten uitgevoerd. Ze gebruikten voor het eerst een 6-verdiepingen hoge test-structuur op ware grootte. Het was een coöperatief onderzoeksproject van de National Science Foundation in de Verenigde Staten en het Japans Building Research Institute. Het programma werd voorafgegaan door experimenten op een structuur van gewapend beton met scheidsmuren van 1.184 net ton.

Vóór het hoofdexperiment werden testen uitgevoerd in beide landen aangaande de sterkte van de elementen en de vlakheid van de structuren. Het hoofdexperiment zelf had plaats in de laboratoria van het Building Research Institute in de wijk van Tsukuba en maakte gebruik van een gesimuleerde seïsmische responstechniek om aan te tonen hoe een gebouw, ontworpen overeenkomstig de Amerikaanse en Japanse reglementering, zich gedraagt tijdens een aardbeving. De test gebruikte een pseudo-dynamisch belastingssysteem samengesteld uit muren en vloeren die toelieten de teststructuur voorzichtig heen en weer te schudden door tussenkomst van een computer en een belaster om de omstandigheden van een aardbeving na te bootsen. Belastingen en verplaatsingen op verschillende plaatsen van de draagconstructie konden simultaan geanalyseerd worden, hetgeen toeliet voor de eerste maal een structuur op ware grootte van deze afmetingen dynamisch te testen. Testen aan de hand van een klassieke trillende tafel konden niet worden uitgevoerd door de afmetingen en het gewicht van de draagconstructie en de behoefte aan een reële tijd-analyse.

Alhoewel beiden, zowel de structuren in staal als die in gewapend beton, bewezen een goede weerstand te hebben bij een aardbeving, toonde het onderzoek aan dat de rekbaarheid van staal verreweg superieur was bij het weerstaan aan herhaalde belastingen van ernstige aardbevingen.

VERENIGDE STATEN

De staalindustrie in de Verenigde Staten raakte behoorlijk betrokken bij het seïsmisch onderzoek rond 1933, periode van de aardbeving in Long Beach, Californië. Sinds die tijd, heeft zij steeds haar bijdrage aan studies voor paraseïsmische ontwerpen uitgebreid. Dit omvat publieke instructie, onderzoek en ontwikkeling van stalen draagconstructiesystemen, onderzoek op de plaats van de aardbeving en deelname aan de ontwikkeling van een paraseïsmische reglementering.

Dit werk heeft verbeteringen gebracht in de klassieke draagconstructiesystemen onder de vorm van een beter concept voor het ontwerpen van concentrische portaalverstijvingen en rekbare stijve portalen.

Daarbij komt nog dat het werk van de staalindustrie geholpen heeft bij de ontwikkeling van nieuwe draagconstructiesystemen. Dit omvat:

- systeem van vakwerkliggers in dambordvorm
- excentrische portaalverstijvingen
- een scheidswand in staalplaat
- scheidsmuren in staal-beton.

Deze nieuwe systemen bieden aan de ontwerper de voordelen van de superieure rekbaarheid van staal, samen met de starheid die meestal niet verbonden is aan zeer rekbare systemen.

ITALIE

Na de aardbevingen van Campania en Basilicata in 1980 werd een theoretisch-experimenteel onderzoeksprogramma opgesteld door NUOVA ITALSIDER in samenwerking met de Universiteit van Genua en de hulp van de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal. De studie spitte zich toe op aardchokbestendige balk-kolom verbindingen voor het gebruik in lichte stalen draagconstructiesystemen voor woongebouwen ontworpen voor gebieden onderhevig aan aardbevingen. Deze verbindingen waren ontworpen om geïntegreerde elementen te gebruiken samengevoegd door middel van bouten met een hoge weerstand. De testen hebben aangetoond dat het prototype verbindingen voldeed aan de weerstand, de rekbaarheid en de verspreiding van de seïsmische energie, parameters vastgelegd door de Europese Conventie voor Staalbouw. Het onderzoek vestigt de aandacht op het aanzienlijke economische voordeel door het gebruik van bouten in de plaats van laswerk, evenals door standaardisatie en de mogelijke massaproductie van de bestanddelen.

NIEUW ZEELAND

De paraseïsmische berekeningscodes in dit land met een hoge frekwentie aardbevingen geven de voorkeur aan structuurstaal boven hout, gewapend beton, voorgespannen beton en gewapend metselwerk. Dit vloeit voort uit de eigenschappen van staal als materiaal voor seïsmische omstandigheden en uit het relatieve gemak van het ontwerpen van rekbare draagconstructies met een voldoende aantal breukbeveiligende mechanismen. De laatste jaren heeft het seïsmisch onderzoek zich toegelegd op het punt stellen van steeds meer vooruitstrevende ontwerpen met een minimale kwetsbaarheid. Naast het lopende werk op balk-kolom verbindingen werden grote inspanningen geleverd op de toepassing van de bouwreglementeringen op industriële vestigingen, hoofdzakelijk in de sectoren van de petrochemie en het staal. Gesponsord door de National Society for Earthquake Engineering werd het werk aangevat om de nadruk te leggen op symmetrie in de structuur, de inplanting en de verankering van de inrichtingen en het gebruik van flexibele verbindingen tussen het controlesysteem en de inrichtingen. Het accent werd gelegd op de verzekering dat kritische controlesystemen werkzaam blijven tijdens zware aardbevingen om te zorgen voor een veilig tot stilstand komen van de fabriek.

Een belangrijke vooruitgang in het ontwerpen werd eveneens gemaakt door het samenstellen van een aanzienlijk aantal reglementeringen. Een ervan is het gebruik van energiever spreiders om het vrijkomen van de seïsmische energie op te vangen en om de inwerking van laterale seïsmische krachten op de structuur te beperken.

PARASEISMISCHE VOORSCHRIFTEN

Het onderliggende doel van een bouwcode is de bescherming van het leven, de gezondheid en het publieke welzijn. Dit is ook de voornaamste zorg en bedoeling van paraseïsmische voorschriften, evenals het streven naar de bescherming van het eigendom als bijkomend doel. De methode om bouwreglementeringen te ontwikkelen en in voege te stellen verschillen niet alleen van land tot land, maar vaak ook binnen de nationale rechtspraak. Door de verschillende varianten betreffende natuur, uitgestrektheid en frekwentie van de aardbevingskrachten, zouden de voorzorgsmaatregelen om een totale veiligheid bij aardbevingen te bekomen, peperduur zijn. Daarom weerspiegelen paraseïsmische voorschriften een zeker niveau van compromis.

In het algemeen zijn de doeleinden van de paraseïsmische voorschriften de volgende:

1. lichte aardbevingen doorstaan zonder schade;
2. matige aardbevingen doorstaan zonder structurele schade, maar enige niet-structurele schade kan optreden;
3. zware aardbevingen doorstaan zonder in te storten, maar enige structurele, evenals niet-structurele schade kan optreden.

Fundamenteel zullen paraseïsmische voorschriften minimumstandaarden vastleggen die de structuur van een gebouw toelaten weerstand te bieden aan een groundbeweging veroorzaakt door een aardbeving. Voor een bepaalde locatie hangt de natuur van die beweging af van een aantal factoren, die vroeger werden besproken, zoals:

- de magnitude van de aardbeweging (grootte),

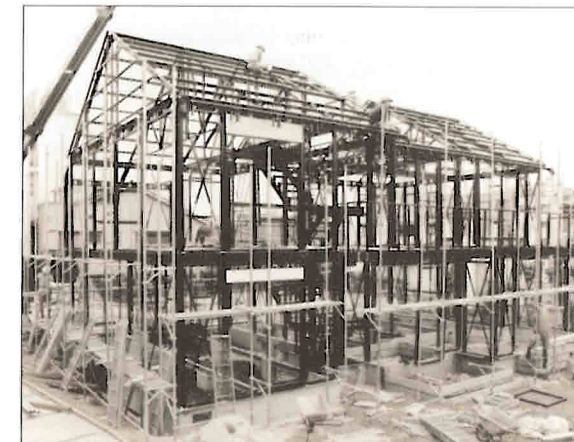
- de duur van de grondtrilling,
- de afstand tot het epicentrum van de aardbeving (d.w.z. daar waar de grondverschuiving begint),
- de aard van de grond, hard (rots) of zacht,
- de diepte onder het oppervlak waar de oorspronkelijke verschuiving begint.

Het ontwerpen en oprichten van een gebouw hangen af van de krachten die erin zullen ontstaan en waaraan het zal moeten weerstaan. De belangrijkste structurele eigenschappen zijn:

- het gewicht (of de grootte van het gebouw),
- het bouwkundig ontwerp van zijn structuur,
- zijn architecturaal concept (vorm en proporties),
- zijn bouwmaterialen,
- zijn bouwkwiteit.

Omdat ze hoofdzakelijk begaan zijn met de respons van de structuur verwaarlozen de meeste paraseïsmische voorschriften de architecturale vorm en proporties en niet-structurele elementen zoals water- en elektriciteitsleidingen. De vraag blijft gesteld of een meer formele definitie van zulke functies een bijkomende veiligheidsfactor kan verschaffen door het benadrukken van het verband tussen de architecturale, structurele en mechanische delen van de taak van het ontwerpen.

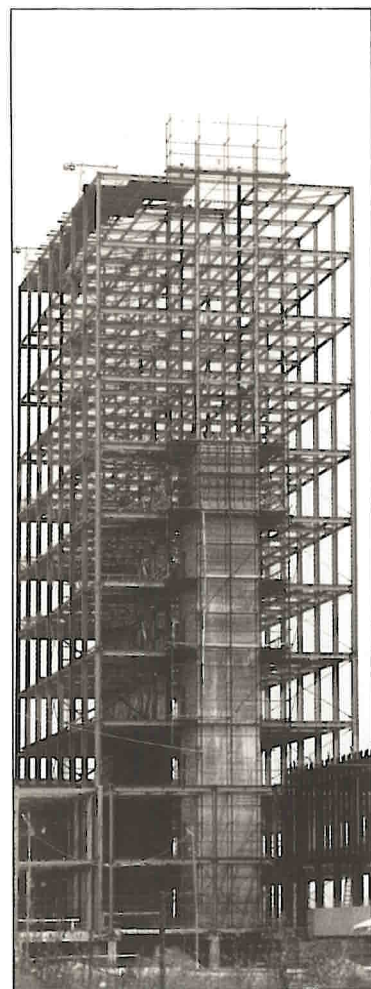
Uiteindelijk is het niet van belang hoe goed een code is opgesteld; om doeltreffend te zijn moet zij toegepast worden. Dit vergt gekwalificeerde agenten die gevormd zijn om ontwerpen te onderzoeken en goed te keuren, maar ook om zich ervan te verzekeren dat de gebouwen precies zó worden gebouwd overeenkomstig met de vereisten.



Japans huis met stalen draagconstructie.



Woongebouwen in Zuid-Italië.



Kantoorgebouw in het Napelse: stalen draagconstructie met verticale stabiliteit door gewapend betonkernen verzekerd.



Woongebouw in Friuli: gedeeltelijk zicht van de structuur met prefab betonvloeren.



Nieuwe brandweerkazerne in Napels: met het oog grote ruimte op het gelijkvloers vrij te maken, werd de structuur van de bovenverdiepingen opgehangen aan een stalen raster door gewapend beton torens ondersteund.

GLOSSARIUM

A

AANSLUITING Punt waar verschillende structurele elementen met elkaar of met de grond verbonden zijn.

AFSPLINTERING Oppervlakescheurvorming in een materiaal dat het afbreken van segmenten van zijn oppervlak of van zijn kant veroorzaakt.

AFSCHUIVING Vervorming waarbij evenwijdige plannen verschuiven ten opzichte van mekaar en evenwijdig blijven.

AMPLITUDE Omvang van een trilbeweging (zie figuur 1).

B

BASIS Bodemniveau waarop laterale (horizontale) seismische golven verondersteld worden in contact te komen met de structuur van een gebouw.

BLIJVENDE BELASTING Zwaartekracht die ontstaat uit het gewicht van alle permanente structurele en niet-structurele elementen van een gebouw.

BREUK Scheur in de aardkorst gepaard gaande met een verplaatsing van één kant van de scheur ten opzichte van de andere kant en in evenwijdige richting met de scheur.

D

DEMPING Verzachtende of verdovende invloed waardoor de amplitude van trillingen vermindert.

DIAFRAGMA Elementen van een structuur berekend om de laterale krachten over te brengen naar de verticale elementen van een paraseismisch systeem.

DOORBUIGING Feit van afgeleid te worden van een rechte lijn. Zie Uitwijking.

DUUR Meetbare tijdsperiode tijdens dewelke iets bestaat, duurt of zich afspeelt.

E

ELASTISCH Aanleg om zijn grootte en vorm terug te vinden na vervorming.

ELASTOMEER DEMPER Voorziening die zich bijna gedraagt als een elastiek door het verzachten of doven van een trillende schommeling.

EPICENTRUM Deel van het aardoppervlak dat juist boven de haard van de aardbeving is gelegen.

G

GOLVEN Grondbeweging, het best beschreven als een trilling, die ontstaat of geboren wordt uit een breuk in een breuklijn. Aardbevingen bestaan uit een snelle opeenvolging van 3 typen golven: de "P" of primaire golven, gevolgd door zowel "S" of secundaire golven als oppervlaktegolven.

H

HAARD Plaats van de aardkorst waar een aardbeving ontstaat.

HYPOCENTRUM Plaats op het aardoppervlak juist onder het epicentrum van een aardbeving gelegen.

HYSTERESIS Vertraging van het effect wanneer krachten uitgeoefend op een lichaam gewijzigd worden. Een evenwichtig hysteresisch gedrag of een aangepaste taaiheid worden beschouwd als verworven in een element of component wanneer zijn weerstand niet vermindert na verschillende lastinversies met een amplitude die overeenstemt met de verplaatsingsrekbaarheid verwacht voor het gebouw.

I

INTENSITEIT Het zichtbare effect van een aardbeving op een gegeven plaats. In de Verenigde Staten wordt de intensiteit vaak gemeten aan de hand van de gewijzigde Mercalli schaal (M.M.I.). De meest gebruikte schaal in Europa is de Rossi-Forel schaal; een gewijzigde Mercalli schaal wordt gebruikt in de Sovjet Unie.

L

LITHOSFEER Vast gedeelte van de aarde; het is voornamelijk de buitenste mantel samengesteld uit rotsen gelijksoortig met die van het aardoppervlak. Ze wordt verondersteld een diepte te hebben van ongeveer 50 km.

M

MASSA hoeveelheid of hoop materiaal. Het is de eigenschap van een lichaam dat een maatstaf is voor zijn inertie, beschouwd als een maatstaf van de hoeveelheid materiaal dat het bevat en dat het zijn gewicht geeft.

MERCALLI (SCHAAL) Genoemd naar Guiseppe Mercalli, een Italiaans priester en geoloog. Het is een willekeurige schaal van de seismische intensiteit in verband met de berokkende schade. Ze gaat van I voor een aardbeving die enkel wordt waargenomen op seismograaf, tot XII voor een aardshok die de volledige vernieling van de gebouwen voor gevolg heeft.

MOMENT Neiging of maatstaf van een neiging om een torsie te veroorzaken, in het bijzonder rond het punt van een as.

MORFOLOGIE Studie van het structuursysteem van een gebouw in zijn geheel.

N

NASCHOK Lichte of bijkomende schok die volgt na de hoofdschok van een aardbeving.

O

OPVANG Wijziging van uitrusting om de veranderingen aangebracht in latere modellen in te sluiten.

ORTHOTROOP Structuur elementen of systemen die verschillende elastische en/of gedragseigenschappen hebben in Noord-Zuid en Oost-West richtingen (orthogonaal).

P

PERIODE: Verstreken tijd van één enkele cyclus van een trillende beweging of schommeling.

PORTAALVERSTIJVING: Deel van een paraseïsmisch structureel draagconstructiesysteem, meestal een verticale vakwerkligger, waar de laterale weerstand bekomen wordt door axiaalspanning in de elementen.

R

REKBAARHEID: Aanleg om uitgerokken te worden zonder breken of scheuren. Buigzaamheid is een nauw synoniem.

RESONANTIE: Vergroting van een trillbeweging die optreedt wanneer het rythme van een impuls of periodieke stimulus overeenstemt met het rythme van de schommeling (periode). (Zoals wanneer een kind op een schommel geduwd wordt met de natuurlijke frekwentie van de schommel).

RICHTER (SCHAAL): Genoemd naar zijn uitvinder, de Amerikaanse seismoloog Charles R. Richter. Het is een logaritmische schaal die de magnitude van een seïsmische storing (aardbeving) uitdrukt in termen van zijn verspreide energie. Magnitude 1.5 duidt de laagste graad aan van een aardbeving die kan gevoeld worden, 4.5 duidt een schok aan die lichte schade veroorzaakt, en 8.5 stemt overeen met een uiterst vernielende aardbeving.

ROSSI-FOREL SCHAAAL: Genoemd naar M.S. De Rossi, een Italiaans geoloog, en F.A. Forel, een Zwitsers naturalist. Het is een willekeurige numerieke schaal van de intensiteit van seïsmische storingen, gaande van één (I), een nauwelijks voelbare trilling, tot tien (X) voor een aardbeving van de hoogste intensiteit.

RUIMTE DRAAGCONSTRUCTIE: Structuursysteem samengesteld uit gekoppelde elementen, anders dan dragende muren. De elementen moeten niet coplanair zijn. Zulk systeem is in staat verticale lasten te dragen met een potentieel van weerstand tegen seïsmische krachten.

S

SEISMISCH: In verband met, onderhevig aan, of veroorzaakt door een aardbeving of een trilling van de aarde.

SEISMISCHE ZONE: Gebieden van het aardoppervlak bepaald door het optreden van aardbevingen van relatief uniforme frekwentie, intensiteit en magnitude. Zulke zones worden bepaald door globale divisies en nationale onderdivisies.

SNELHEID: Bewegingsgraad. Bij aardbevingen wordt ze meestal berekend in duim/seconden of centimeter/seconden.

STERKTE: Aanleg van een materiaal of een structuurelement om weerstand te bieden aan inwerkende krachten of om ze te ondergaan.

STIJFHEID: Weerstand tegen vervorming van een structuurelement of systeem.

STIJF PORTAAL: Structuursysteem waar de weerstand tegen laterale krachten afhankelijk is van de aanleg weerstand te bieden aan het moment van de balk-kolom verbindingen.

T

TAAIHEID: Aanleg van staal om een stabiel hysteresisch gedrag te behouden als het resultaat van zijn aanleg om energie te verspreiden.

TEKTONIEK DER PLATEN: Afdeling van de geologie begaan met de vervorming van de aardkorst en de krachten betrokken bij de oorzaak van zulke vervormingen samen met de vormen die eruit voortkomen.

TIJDELIJKE BELASTING: Mobiele of verplaatsbare externe belasting die inwerkt op een structuur: omvat het gewicht van mensen, meubilering, uitrustingen en andere zaken die geen verband hebben met de structuur. Ze omvat niet de belasting door winddruk.

U

UITWIJ KING: Laterale doorbuiging van een gebouw veroorzaakt door de windbelasting of door andere krachten.

V

VERBINDING: Punt waar verschillende structurele elementen met elkaar worden verbonden tot één element.

VERSNELLING: Percentage van de snelheidsverhoging van de bodem terwijl de seïsmische golven zich voortplanten in de aarde. De bodem beweegt voorwaarts en achterwaarts; versnelling is evenredig met snelheid en verplaatsing.

VLOEIBAARWORDING: Omzetting van een vaste toestand naar een vloeibare toestand door de warmte, de druk of een hevige beweging.

W

WRINGING: Vervorming van een structuurelement rond zijn longitudinale as, meestal veroorzaakt door twee gelijke en tegengestelde wringingsmomenten, één aan elk eind.

WRINGINGSMOMENT: Actie of kracht die neigt een rotatie te veroorzaken. In zekere zin is het het gevolg van een kracht en een hefboomarm, zoals in de actie van een sleutel die een bout aanspant.

REDACTIE-
COMITE

PRESIDENT:

R.L. Flucker, Vice President
AISC Marketing, Inc.
Pittsburgh, Pennsylvania, United States.

Giuseppe de Martino, Direttore
Centre Sviluppo e Promozione
Federacciai
Milano, Italia.

Kenjiro Fujita, General Manager on Special Assignment
Nippon Steel Corporation
Tokyo, Japan.

Arnaldo Gutierrez, Gerencia Técnica de Comercio
CVG - Siderurgica del Orinoco C.A.
Caracas, Venezuela

Harry W. Martin, Regional Director
American Iron and Steel Institute
Newcastle, California, United States.

Enrique Martínez Romero, Director General
Enrique Martínez Romero S.A.
Mexico City, Mexico.

André Schiltz, Directeur
TradeARBED
Luxembourg, G.D. Luxembourg

CREDIET

Fotos:
Pag. 3, AISC Marketing; Pag. 6, U.S. Geological Survey (Courtesy USIA); Pag. 10, (aardbeving) San Francisco en Anchorage/USIA - Agadir, Skopje, Caracas, Managua/Bethlehem Steel - Niigata/K. Fujita - Mexico City/ Enrique Martínez Romero; Pag. 12, K. Fujita (naar Earthquake Disaster Precautions and Countermeasures, Kajima Institute Publishing Company); Pag. 13 (boven) E.M. Romero (beneden) Bethlehem Steel; Pag. 16, Mark Saunders, Five Papers on Steel in Buildings, IISI, (verbindingen) E.M. Romero, (afsplintering) Bethlehem Steel; Pag. 17, Japan Iron and Steel Federation, E.M. Romero, AISC, JISF, ILAFA, Federacciai, Bethlehem Steel, Federacciai; Pag. 19, Federacciai, Kozai Club; Pag. 20, Federacciai.

Illustraties:
Figuren van Silas Snider Associates, naar volgende bronnen: Fig. 1, 9 en 10, R.L. Flucker; Fig. 2, AISI; Fig. 3, Mechanism of Earthquakes, Koufou-Sha Co; Fig. 4, Building Seismic Safety Council; Fig. 5, K. Fujita, Nippon Steel; Fig. 6, AISI; Fig. 7, AISI (uit International Conference of Building Officials); Fig. 8, 11, 12 en 13, Federacciai.

