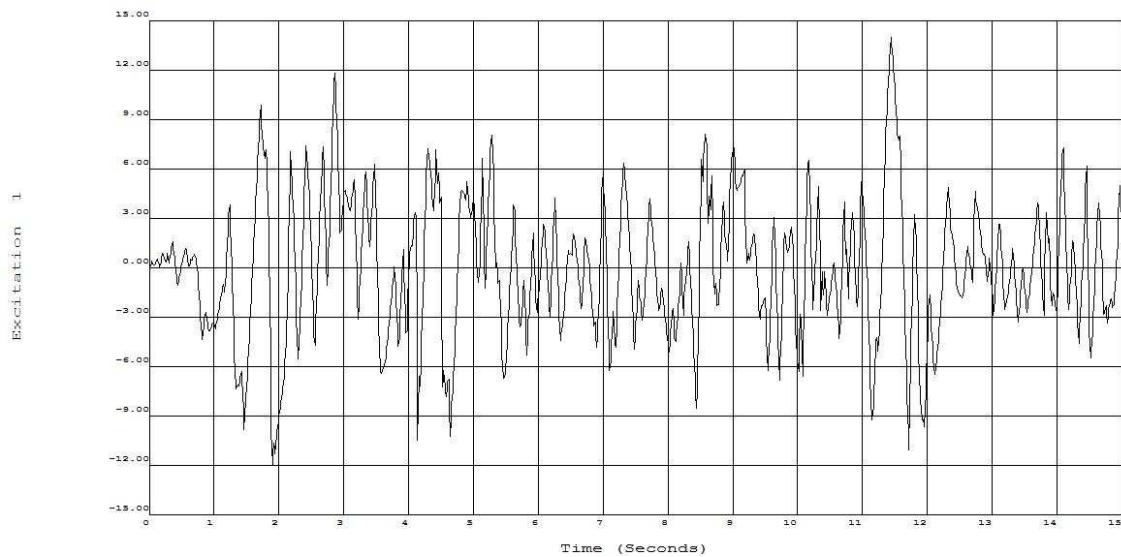


Ontwerpen van hoogbouw belast door aardbevingen: Een parameterstudie



D. Karagiannis
St.nr.:1192329

Begeleiders:
dr.ir. P.C.J. Hoogenboom
dr.ir. A. Romeijn

Voorwoord

Dit rapport is gemaakt in het kader van het vak CT3000 – Bachelor Eindwerk aan de faculteit der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft.

Graag wil ik mijn begeleiders, de heren dr.ir. P.C.J. Hoogenboom en dr.ir. A. Romeijn bedanken voor hun aanwijzingen en raadgeving die mede hebben geleid tot dit rapport.

D. Karagiannis

Samenvatting

Op veel gebieden op aarde is aardbeving een maatgevend belastinggeval. Ontwerpen in aardbeving gevoelig gebieden gebeurt ook anders dan wanneer aardbevingen niet in beschouwing hoeven te worden genomen. Er worden andere eisen gesteld aan de prestaties van het gebouw en de nadruk ligt op andere eigenschappen dan wat men normaal gesproken in andere ontwerpprocessen tegenkomt.

In deze studie zullen een paar aspecten van het ontwerpproces worden onderzocht. Voordat met het werkelijke onderzoek zal worden begonnen zal een gebouw ontworpen worden en zullen de belastingen dat dit zal moeten kunnen weerstaan worden toegelicht, het onderwerp van hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt het dynamisch rekenprogramma waarmee zal worden gewerkt en de toegepaste theorieën en aannames toegelicht. In hoofdstukken 5 en 6 wordt het eigenlijke onderzoek verricht; dit wordt in twee delen gesplitst. In het eerste deel wordt onderzocht met hoeveel aardbevingen er tenminste rekening moet worden gehouden om een betrouwbaar ontwerp te verkrijgen. In het tweede deel wordt een parameter studie verricht naar de invloed van demping, gewicht, massa en stijfheid op de respons van een gebouw.

Inhoudsopgave

Voorwoord	ii
Samenvatting	iii
1. Inleiding	v
2. Gebouw en belastingen	2
2.1 Afmetingen	2
2.1.1 Geometrie gebouw	2
2.1.2 Dimensioneren onderdelen	2
2.1.3 Verbindingen	3
2.1.4 Eigenperiode	3
2.2 Belastingen	3
2.2.1 Permanente en veranderlijke belasting	3
2.2.2 Windbelasting	4
2.2.3 Aardbeving	4
3. Ruaumoko	5
3.1 Invoerfile	5
3.2 Damping	5
3.3 Modelleren elementen (kolommen en liggers)	5
3.4 Stijfheid en sterkte	6
3.5 Tekenafspraken	6
4. Onderzoek eerste fase	7
4.1 Schaling van aardbeving accelogrammen	7
4.2 Testen op het gebouw	9
4.3 Conclusies	12
5. Onderzoek tweede fase	14
5.1 Invloed van het gewicht op de response van het gebouw	14
5.2 Invloed van een extra beuk	17

5.3 Invloed van de demping op de response van het gebouw	18
5.4 Invloed van de stijfheid op de response van het gebouw.....	19
5.5 Concusies	21
6. Aanbevelingen	23
Literatuur	24
Bijlage A1.....	27
Bijlage A2.....	33
Bijlage A3.....	34
Bijlage A4.....	65

1. Inleiding

Op veel gebieden op aarde is aardbeving een maatgevend belastinggeval. Binnen de natuurrampen zijn aardbevingen verantwoordelijk voor meer dan 60% van het verlies van menselijke levens. Aardbevingen, het resultaat van abrupte uitbarsting en van energie die opgeslagen is in de aarde, zijn moeilijk te voorspellen en te modeleren. Echter, er bestaan dynamisch rekenprogramma's die het mogelijk maken om het gedrag van een constructie tijdens een aardbeving te simuleren. Een van deze is Ruaumoko waarmee in dit eindwerk gewerkt is.

Om een aardbeving te kunnen weerstaan is het belangrijk dat een gebouw veel energie kan absorberen door plastisch te vervormen zonder dat het instort. Hiervoor is het begrip ductiliteit zeer belangrijk.

Stalen constructies bezitten veel van de benodigde eigenschappen om een aardbeving te kunnen weerstaan, ze hebben onder andere een goede ductiliteit en flexibiliteit (hoewel het laatste omgekeerde effecten kan hebben in geval van extreme verplaatsingen). Maar dit betekent niet dat er minder aandacht behoeft te worden gegeven in het ontwerpproces.

Het ontwerpproces, voor het geval dat aardbevingsbelasting in beschouwing wordt genomen, verschilt ten aanzien van andere gevallen in dat hier een extra stap moet worden gemaakt in verband met het bepalen van de benodigde ductiliteit en ziet er als volgt uit:

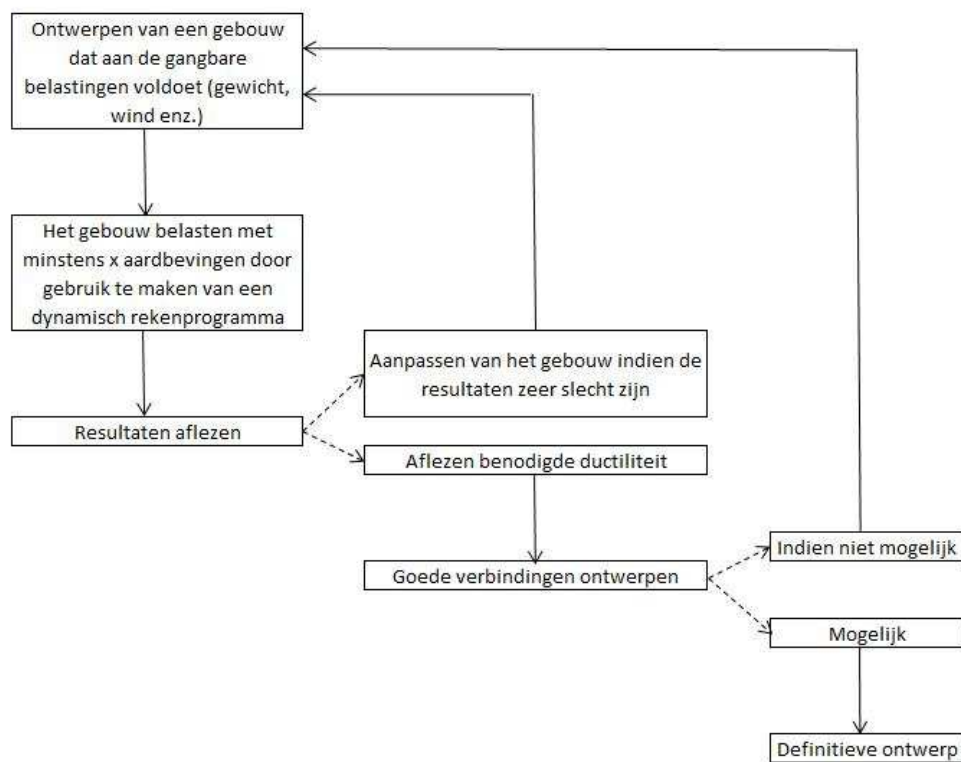


Fig. 1.1: Ontwerp proces

Het doel van dit onderzoek is om het ontwerpproces te verbeteren door in eerste instantie te bepalen met hoeveel aardbevingen minstens rekening gehouden moet worden voor een betrouwbaar ontwerp. In tweede instantie wordt door een parameterstudie meer kennis verkregen in hoe verschillende parameters de response van het gebouw op een aardbeving beïnvloeden. Hieruit volgen enkele richtlijnen waarmee de ontwerpende ingenieur minder ontwerpcycli hoeft toe te passen om tot een definitief ontwerp te komen.

2. Gebouw en belastingen

Om met het onderzoek te starten moet men eerst een model maken. Er zal dus begonnen worden met het ontwerpen van een gebouw. Uitgangspunt is dat deze 30 verdiepingen zal tellen en volledig in staal zal zijn uitgevoerd. De staalkwaliteit zal zijn S355. De bestemming zal zijn een kantoorgebouw. Met gebruik van vuistregels zal een eerste schating van de afmetingen van de elementen gemaakt worden. Vervolgens zullen de diverse soorten belastingen worden toegelicht. Die belastingen zullen daarna in eerste instantie als invoer dienen voor MatrixFrame om te controleren of het gebouw aan de gestelde eisen van sterkte en stijfheid voldoet, en uiteindelijk voor Ruaumoko om zo met het onderzoek te kunnen beginnen.

2.1 Afmetingen

2.1.1 Geometrie gebouw

Het gebouw heeft 2 beuken en is 7.2 meter diep. Een doorsnede van het gebouw ziet er als volgt uit.

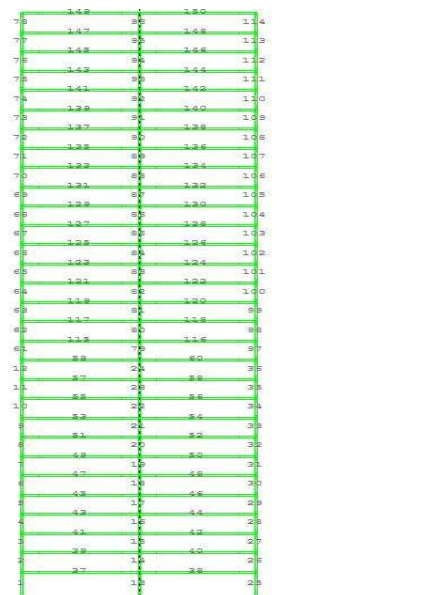


Fig. 1.1: Geometrie gebouw

Iedere verdieping is 3.5 meter hoog (met uitzondering van de begane grond die 4.5 meter hoog is) en 9,6 meter breed.

2.1.2 Dimensioneren onderdelen

Om de belasting door een aardbeving te kunnen weerstaan is het noodzakelijk voor de constructie om plastisch te kunnen vervormen. Op deze wijze wordt er veel energie gedissipeert. Hoewel staal een geschikt materiaal is door zijn grote ductiliteit is het noodzakelijk om tijdens ontwerpen daar voorzichtig mee om te gaan omdat het ook voor een omgekeerd effect kan zorgen. Als grote plastische vervormingen in de kolommen zullen optreden dan zullen de kolommen voor locale of globale bezwijking zorgen van het gebouw. Om dat te voorkomen zullen de profielen voor de kolommen zwaarder worden uitgevoerd om zo ervoor te zorgen dat alleen de liggers plastisch zullen vervormen. De liggers worden berekend met behulp van een vuistregel:

$$\text{Fuistregel voor de ligger: } h_{\text{profiel}} = \frac{\text{overspanning}}{22} = \frac{9600}{22} = 436.36$$

Hieraan voldoet de HE450A.

Voor de kolom wordt gekozen voor een profiel met een momentcapaciteit die 1.5 keer zo hoog is als die van de ligger. Over het algemeen zorgt dit voor een overdimensionering van de kolom gezien het feit dat het moment niet gelijk zal zijn aan die van de ligger. Het moment in de kolom zal over het algemeen variëren tussen 0.60 en 0.39 keer het moment in de ligger. Echter, omdat het onbekend is in hoeverre de momenten zullen toenemen tijdens een aardbeving, en omdat er in eerdere onderzoeken gebleken is dat het moment in de kolommen vaak toch de plastische grenswaarde bereikte, zal hier verder gerekend worden volgens de hoge waarde van 1.5. Dus geldt

$$M_{pl,kolom} = 1.5 \cdot M_{pl,ligger} \Rightarrow W_{kolom} = 1.5 \cdot W_{ligger} \Rightarrow W_{kolom} = 4344 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Hieraan voldoet de HE600A.

NB: Er wordt alleen voor de kolommen van de begane grond een uitzondering gemaakt zodat deze wel plastisch mogen vervormen. Dat is conform de Eurocode 8.

2.1.3 Verbindingen

Het ontwerpen van de verbindingen gebeurt, (in gevallen waarin aardbevingen worden beschouwd), pas nadat de benodigde ductiliteiten bekend zijn. Dat is nadat het gebouw in een dynamisch rekenprogramma zoals Ruaumoko is ingevoerd en daar op aardbevingen is belast.

Een verbinding moet er voor zorgen dat het gedrag van de constructie voorspelbaar is. Er wordt ernaar gestreefd om de plastische vervormingen op bij voorhand bekende plaatsen te laten optreden. Er kunnen twee gevallen worden onderscheiden, een waarin de ductiliteit uit de verbinding gehaald wordt (dat betekend dat er een flexibele verbinding ontworpen moet worden) en een waarin de verbinding sterker is dan de ligger dat deze aansluit waardoor deze dan ook voor de ductiliteit zorgt.

Wat special is voor het ontwerpen van verbindingen die bestand zijn tegen aardbevingen is dat deze aan cyclische belasting onderworpen worden. De effecten hiervan zijn moeilijk te voorspellen. waardoor het handig kan zijn om rapporten te raadplegen van eerder gemaakte onderzoeken en zo voor een geschikte oplossing zoeken. En paar hyperlinks waar men kan beginnen met het zoeken van deze informatie worden in de literatuurlijst gegeven.

In dit rapport wordt er verder geen aandacht aan het ontwerpen van de verbinding zelf besteed. Wat wel wordt gedaan is dat de invloed van verschillende parameters wordt bepaald op grootheden die bepalend zijn voor het ontwerpen van de verbinding.

2.1.4 Eigenperiode

De eigenperiode van het gebouw kan worden geschat door gebruik te maken van een empirisch

bepaalde formule. De formule is: $f_e = \frac{46}{h}$ [6]. Door gebruik te maken van de formule kan makkelijk

berekend worden dat een gebouw met een hoogte van 106m een eigenfrequentie heeft van 0.43 seconden.

2.2 Belastingen

2.2.1 Permanente en veranderlijke belasting

Permanente belasting:

Liggers: $q_{p,ligger} = 1.4 \text{ kN/m}$ Kolommen: $q_{p,kolom} = 1.8 \text{ kN/m}$

De vloeren worden uitgevoerd als staalplaatbetonvloeren met een gewicht: $q_{p,vloer} = 3 \text{ kN/m}^2$

Het gebouw heeft een diepte van 7.2m met portalen aan beide gevels. Dat betekent dat ieder portaal maar voor 3.6m belasting afdraagt. De oppervlakte belasting van de vloer kan dus als volgt naar een lijnlast worden vertaald: $q_{p,vloer} = 3kN / m^2 \cdot 3.6m = 10.8kN / m$

Veranderlijke belasting:

Aangezien het gebouw de functie heeft van een kantoorgebouw behoort deze tot veiligheidsklasse D en volgens de infomap moet men rekenen met een belasting van $3kN / m^2$. Omgerekend naar een lijnlast, $q_{ver} = 3kN / m^2 \cdot 3.6m = 10.8kN / m$.

2.2.2 Windbelasting

Het gebouw bevindt zich landinwaarts in een bebouwde kom. Volgens de indeling van de infomap in gebied 3. De waarden voor de stuwdruk en de bijbehorende factoren kunnen ook daar afgelezen worden. Het gebouw en de bijbehorende belastingen (met uitzondering van die van een aardbeving) zijn in het programma MatrixFrame ingevoerd en daar uitgerekend. Volgens het programma bedraagt de verplaatsing aan de top van het gebouw 0.44m. De maximale toelaatbare uitwijking volgens de eisen is gelijk aan 0.22m. Echter voor de doel van dit onderzoek wordt het niet noodzakelijk geacht om het gebouw aan te passen en wordt er verder gerekend met deze configuratie.

2.2.3 Aardbeving

Ontwerpen van constructies belast door aardbevingen wijkt af ten opzichte van wanneer alleen rekening wordt gehouden met de gebruikelijke belastingsgevallen zoals wind en gewicht. Dit heeft te maken met het dynamische karakter en de eisen die men stelt aan de constructie nadat deze is belast. Aardbevingsbelasting wordt gekarakteriseerd door cyclische herhalingen die moeilijk van te voren zijn te bepalen en zich niet laat standardiseren tot regels, zoals dat bijvoorbeeld met wind wel het geval is. Wat betreft de toestand van het gebouw nadat deze is belast geldt dat grote schades toelaatbaar zijn, in tegenstelling tot de andere belastinggevallen waarin zelfs kleine schade niet geaccepteerd wordt.

De belangrijkste grootheden waarmee een aardbeving beschreven wordt zijn de piekgrondversnelling en de dominante frequentie. Beide zijn terug te vinden in accelogrammen van aardbevingen.

De response op de belasting door aardbevingen zal berekend worden met een time-history analysis. Bij een time-history analysis wordt de response in de tijd berekend. Het programma Ruaumoko waarmee gerekend zal worden maakt gebruik van gemeten accelogrammen van belangrijke aardbevingen.

Voor het onderzoek zal in eerste instantie gewerkt worden met alle 15 beschikbare aardbevingen. De accelogrammen kunnen gevonden worden in bijlage A3.

Voor de aardbevingbelasting gelden de volgende aannames:

De response van een gebouw op een aardbevingbelasting is onder andere afhankelijk van het soort grond: zachte grond kan voor een vergroting van de response zorgen, zodat het als een resonator werkt. In deze studie zal daarmee geen rekening gehouden worden. Aangenomen wordt dat het gebouw op sterke ondergrond is gefundeerd.

Er zal in een richting worden belast, in het bijzonder parallel aan de portalen.

Het gebouw is alleenstaand, effecten van het botsen tegen naastliggende gebouwen wordt daarbij verwaarloosd.

3. Ruaumoko

Nu een gebouw is ontworpen moet deze als een model in Ruaumoko gezet worden. Dat gebeurt door een invoerfile te maken. Daarin worden gegevens verwerkt zoals de geometrie van het gebouw, de eigenschappen van de verschillende onderdelen en wordt vermeld welke theorieën en aannames door het programma gebruikt moeten worden. In de eerste paragraaf wordt kort ingegaan op de gebruikte invoerfile waarna in de volgende paragrafen verschillende keuzes van theorieën en aannames worden toegelicht.

3.1 Invoerfile

Een invoerfile voor Ruaumoko kan in notepad gemaakt waarna deze opgeslagen wordt als een .dat file. De geometrie van het gebouw wordt ingevoerd door voor iedere knooppunt de coördinaten te geven. De verschillende elementen worden ingevoerd door te vermelden aan welke knooppunten ze grenzen. Verschillende andere parameters worden ingevoerd door de numerieke conventie aan te geven volgens de handleiding. Een complete invoer file zoals deze gebruikt is voor de eerste fase van het onderzoek wordt weergegeven in bijlage A1.

3.2 Damping

De initiële Rayleigh of proportionele damping methode, die als de traditionele methode wordt beschouwd, zal worden gebruikt voor dit onderzoek. In deze methode wordt de dempingsmatrix van het gebouw C beschreven als: $C = \alpha M + \beta K$ waarbij M de massamatrix en K de stijfheidsmatrix van het gebouw is en α en β coëfficiënten afhankelijk van de hoekfrequentie en de fractie van kritische damping.

Gezien het feit dat damping een grote invloed heeft op de response zal deze met zorg moeten worden geselecteerd. In tegenstelling tot bv de eigenperiode van een constructie moet deze empirisch worden bepaald. Metingen hebben laten zien dat het erg afhankelijk is van de amplitude van de excitatie. Voor lage excitaties varieert deze tussen 1-2% en voor excitaties waarbij ook plastische vervorming optreedt tussen 3-10%. Stalen constructies hebben de tendens om bij de lage waarden van de twee ranges te zitten. Hier zal gekozen worden voor een kritische damping van 5% wat nogmaals een vaakgebruikte aanname is. Hierbij moet men echter in acht nemen dat: deze waarde is bedoeld voor zware aardbevingen waar ook plastische vervormingen optreden. [2]

Volgens de auteur van de handleiding van Ruaumoko wordt aangeraden om de kritische damping te specificeren voor mode 1 en een mode gelijk of een beetje kleiner met het aantal verdiepingen van het te onderzoeken gebouw. [1]

In dit geval wordt de kritische damping van 5% gespecificeerd voor mode 1 en mode 29.

3.3 Modelleren elementen (kolommen en liggers)

Voor de modellering van de kolommen en de liggers wordt gekozen voor de Giberson een-component model dat het mogelijk maakt dat plastische scharnieren optreden bij beiden einden van het element. Met dit model is het mogelijk om alle hysteresis regels te gebruiken. Het model ziet er als volgt uit:

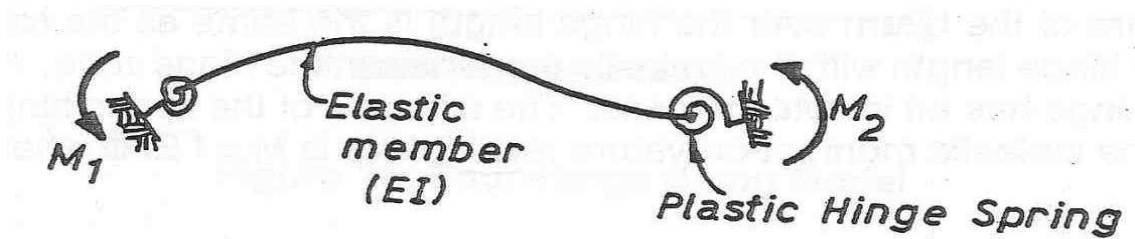


Fig. 3.1: Giberson een-component balk model [1]

3.4 Stijfheid en sterkte

Als hysteresisregel wordt gekozen voor de simpele elasto-plastische hysteresis die beschreven wordt conform de volgende figuur.

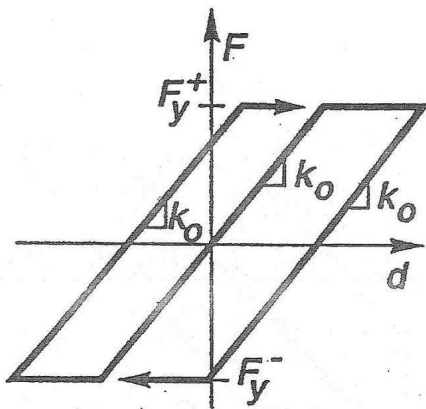


Fig. 3.2: Hysteresis regel [1]

In de figuur wordt beschreven hoe de moment-rotatierelatie zal zijn van de stalen liggers in het Ruaumoko model tijdens cyclische belasting. In eerste instantie zal het staal bij toenemende kracht elastisch vervormen. Bij het bereiken van de plastische fase zal het staal vervormen bij een gelijkblijvende kracht. Wanneer de kracht weer afneemt neemt de vervorming ook af volgens de lineaire tak. In dit onderzoek zal geen rekening worden gehouden met versteviging of sterkte achteruitgang.

3.5 Tekenafspraken

In onderstaande figuur worden de positieve richtingen dat het programma hanteert aangegeven voor de twee richtingen x en y, de rotatie om de z-as en de staafkrachten bij een balk.

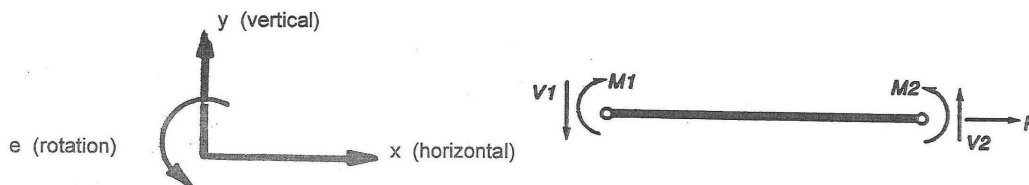


Fig. 3.3: Positieve richtingen grootheden [1]

4. Onderzoek eerste fase

In dit hoofdstuk zal de invloed van verschillende aardbevingen op het eerder ontworpen gebouw worden bestudeerd. Dit om een regel te ontwikkelen waarmee de ontwerpende ingenieur een goede keuze kan maken van het aantal aardbevingen die hij mee moet nemen in zijn ontwerp. In het algemeen is zo'n ingenieur op zoek naar de maatgevende belastingcombinaties om zo te dimensioneren zodat het gebouw bestand is tegen deze maatgevende situatie. Dat is meestal een cyclisch process van proberen. Het stochastische karakter van aardbevingen en als gevolg daarvan hun onvoorspelbaarheid en variëteit waarin ze voorkomen laat dat niet toe. Daar zullen de hier gevonden criteria een richting voor moeten geven. (Uiteraard heeft men voor ieder gebied een profiel, men weet wat ongeveer wat te verwachten is, toch moet men van alle beschikbare gegevens die uitfilteren die voor een betrouwbaar ontwerp zullen zorgen).

Eerst zal het beschikbare aantal accelogrammen van aardbevingen moeten worden geschaald. De redenen daarvoor zijn: a. Ze zijn uitgedrukt in verschillende eenheden en b. Om hun effecten op het gebouw vergelijkbaar te maken.

Vervolgens zal voor iedere test met een aardbeving in het kort opmerkende situaties worden beschreven en zal geprobeerd worden een oorzaak daarvoor te beschrijven en terug te koppelen naar specifieke karakteristieken van het desbetreffende accelogram.

In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk volgt een samenvatting van de tests en zullen conclusies worden gegeven.

4.1 Schaling van aardbeving accelogrammen

Met het programma Ruaumoko zijn 15 accelogrammen van aardbevingen beschikbaar. Die komen voor in 4 verschillende soorten bestanden. Om ze allemaal in een format te brengen zodat ze vergelijkbaar en realistisch kunnen worden toegepast hoeft iedere keer alleen maar een factor veranderd te worden, met name de ASCALE factor in de "control parameters" van de aardbeving. Er is gekozen om een series van grote aardbevingen te creëren waarbij de meeste pieken in de orde van grootte van 5m/s^2 zijn. Daardoor krijgt men accelogrammen die ongeveer in dezelfde orde van grootte liggen en die zich van elkaar onderscheiden door verschillende hoogte van de pieken op verschillende tijdstippen en van verschillende grootte en verschillende periodes.

Als voorbeeld wordt de accelogram van de El centro aardbeving voor en na de schaling weergegeven:

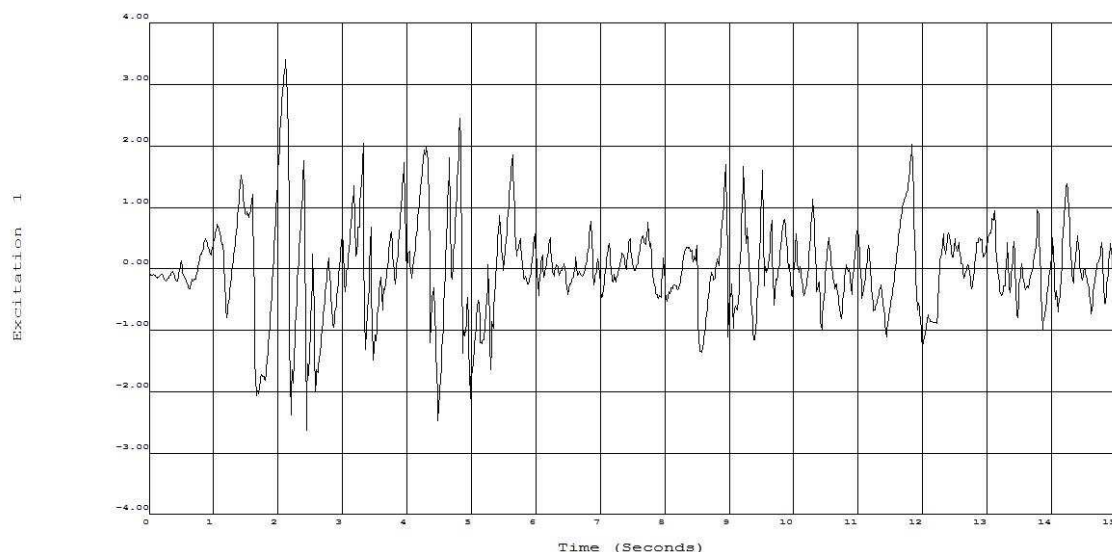


Fig. 4.1: De accelogram van de El centro aardbeving in zijn originele staat voor schaling

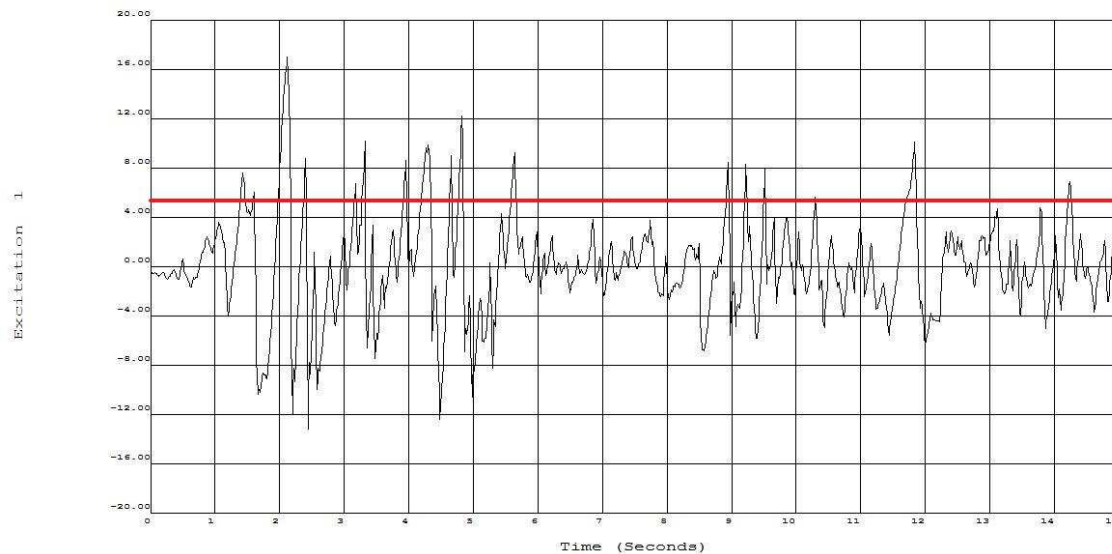


Fig. 4.2: De accelogram van de el centro aardbeving na schaling

Duidelijk is te zien dat de meeste pieken in de orde van grootte van 5m/s^2 zijn gebracht zoals de rode lijn aangeeft. Onderstaande tabel geeft aan welke schaalfactoren zijn toegepast voor iedere accelogram:

Aardbeving	Schaal factor
El centro 1	0.2
El centro 2	0.15
Buch	0.2
Pacsw	0.4
Grace	0.2
Hall	330
Kobe 1	320
Kobe 2	250
Kobe 3	290
Pac 1	300
Pac 2	290
Pac 3	300
Syl 1	190
Syl 2	190
Syl 3	190

Tabel 4.1: Toegepaste schaalfactoren

De eerste 4 accelogrammen (met de bijbehorende schaalfactoren variëren tussen 0.2 en 0.4) zijn op grootte geschaald. Bij de rest is eerst een schaal factor toegepast om ze in dezelfde eenheid te brengen (van mm/s^2 naar m/s^2) en vervolgens een schaalfactor om ze in dezelfde orde van grootte te

brengen. In de tabel wordt alleen de combinatie van de twee factoren weergegeven. Alle accelogrammen voor en na de schaling zijn te vinden in bijlage A3.

4.2 Testen op het gebouw

El centro 1:

Heeft een matige invloed op het gebouw dat nergens plastisch vervormt. Het grootste moment treedt op ter plaatse van de 4^{de} verdieping op 12 seconden na een grote piek. Opvallend is dat het niet de grootste piek is maar wel een met een lange duur. In onderstaande figuur, waarin het verloop van het moment van element 44 (het element met het maatgevende moment) geplot is boven op het verloop van de accelogram van de aardbeving, is te zien wat boven beschreven wordt. De scherpe piekken in de response komen doordat met een grote tijdstap is gerekend. Als met een kleinere tijdstap wordt gerekend zijn deze meer afgerond (niet afgebeeld).

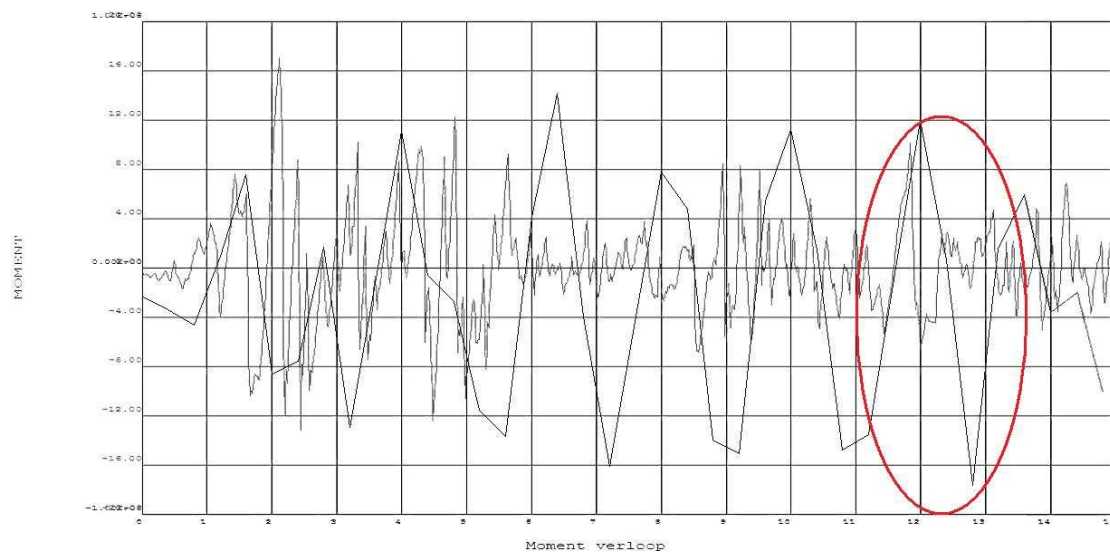


Fig. 4.3: Verloop van het maatgevende moment, geplot op de aardbeving accelogram

El centro 2:

Het gebouw vervormt wel plastisch, de scharnieren treden op tussen de 1^e en de 9^{de} verdieping. Ten opzichte van de el centro 1 heeft 2 een meer uniforme verdeling van de pieken, zonder “rustperiodes” tussen uitstaande pieken, blijkbaar zorgt dat voor grotere krachten in de constructie. Nogmaals treden de grootste momenten niet in de buurt van de grote pieken. (Treden zelfs voor de grootste piek).

Buch:

Het gebouw reageert hevig op de twee opeenvolgende pieken met lange duur in het begin van de excitatie. Keert niet meer terug in ruststand maar blijft een grote uitwijking aan de top houden ten opzichte van haar eigen fundatie. (men spreekt hier over relatieve verplaatsingen).

Opmerkelijk: Kolom 1 bereikt de maximale axiale kracht. De extreme (blijvende) vervorming van het gebouw is de mogelijke oorzaak.

Nogmaals is het momentverloop van het maatgevende moment geplot op de accelogram van de aardbeving.

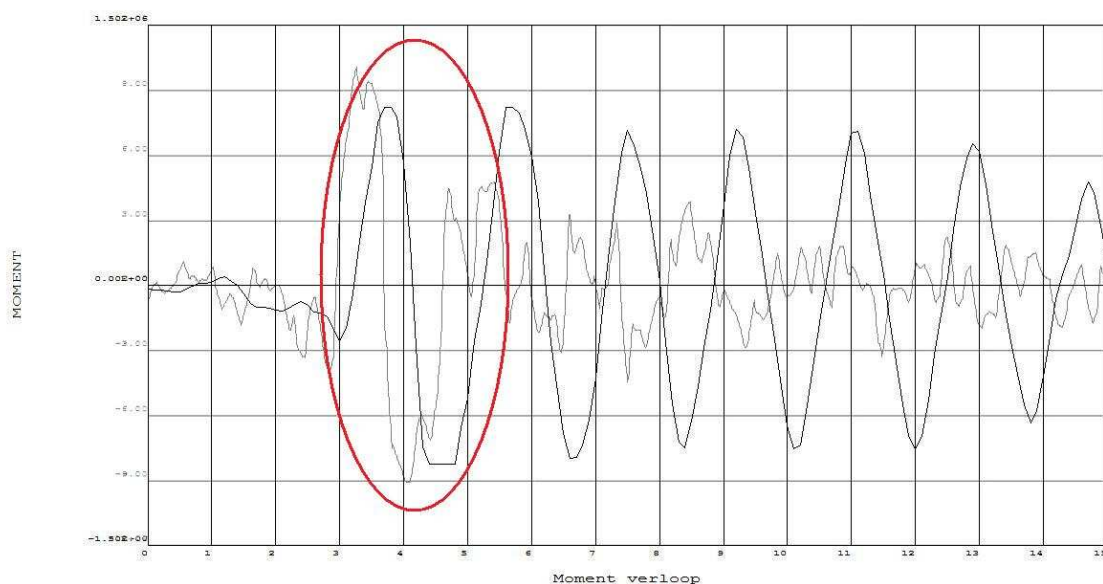


Fig. 4.4: Verloop van het maatgevende moment, geplot op de aardbeving accelogram

Pacsw:

Schommeling rond ruststand in de periode van 3-8sec waarbij mode 1 overheerst. Alsof het een 1mvd-systeem is.

De plastische momenten treden in de periode van 3-4.3 seconden. Alweer ziet men dat dat in de buurt is van pieken met een lange duur. Opvallend is dat de krachten niet zo groot zijn op tijdstippen 7.7s en 8.4s waar de grootste pieken voorkomen. De groene intervallen in onderstaande figuur accentueren de lange duur van de pieken. Opnieuw een plot van de maatgevende moment verloop boven de aardbeving excitatie.

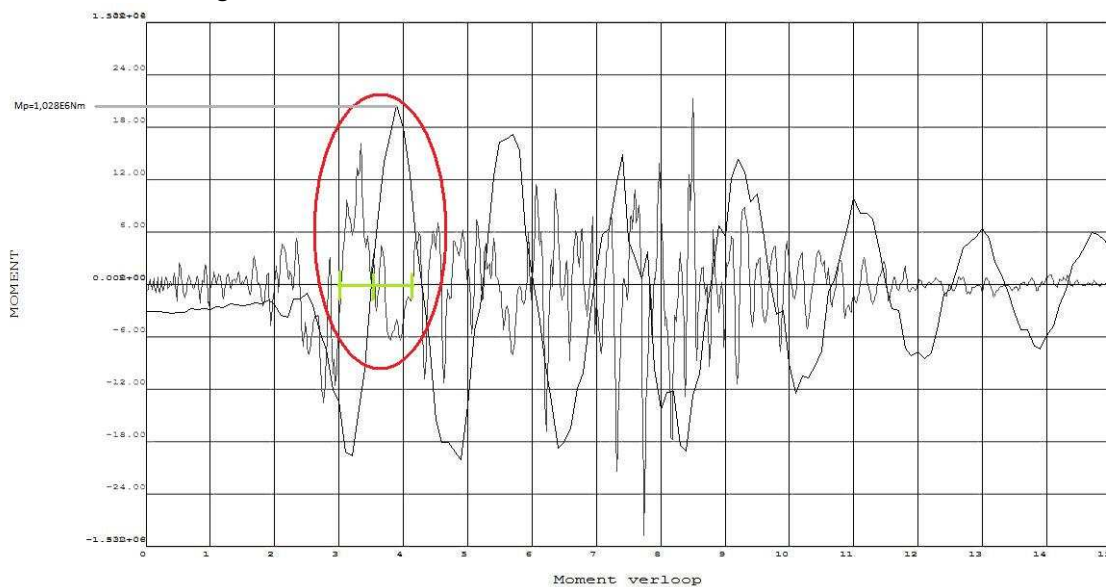


Fig. 4.5: Verloop van het maatgevende moment, geplot op de aardbeving accelogram

Grace:

De zeer kleine periode van de excitatie heeft een duidelijke invloed op het gebouw, toch wordt plasticiteit niet bereikt. Na 12 seconden begint het gebouw meer uniform te bewegen tot het einde, net zoals de periode van 3-8 seconden bij de Pacsw aardbeving.

Hall:

Net als bij de pieken van de Buch aardbeving, veroorzaakt ook hier de piek tussen 6 en 7s voor zeer grote krachten in het gebouw. Weer blijkt dus dat de response van het gebouw gevoelig is voor pieken met een grote duur.

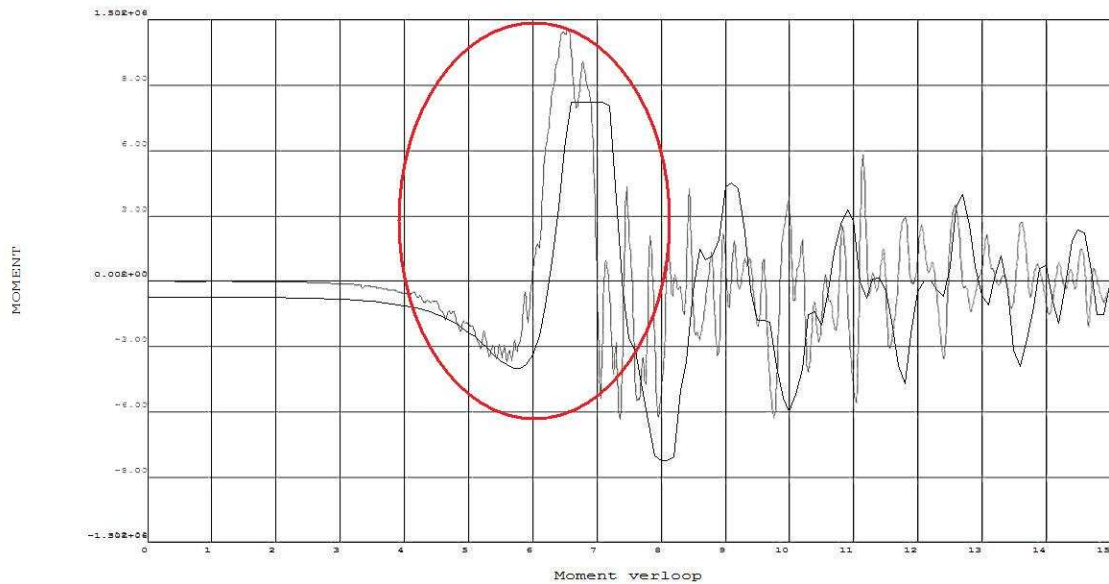


Fig. 4.6: Verloop van het maatgevende moment, geplot op de aardbeving accelogram

Kobe 1:

Het gebouw vervormt niet plastisch, het grootste moment treedt op ter plaatse van de 3^e verdieping. Het gebouw is niet gevoelig voor de 3 pieken. Waarschijnlijk heeft dat te maken met de periode van het gebouw en de dominante periode van de aardbeving.

Kobe 2:

De dominante periode wordt kleiner en in overeenstemming met wat men tot nu toe heeft gezien is de response ook geringer dan dat van als gevolg van Kobe 2. Het maximale moment is hier kleiner dan dat als gevolg van Kobe 1. Hier is een extra test uitgevoerd waarin de amplitude van alle pieken gelijkmatig werden verhoogd, het gebouw bleef elastisch.

Kobe 3 :

De accelogram van Kobe 3 is zodanig geschaald dat deze groter gemiddelde amplitudes heeft dan tot nu toe toegepast. Vergeleken met andere accelogrammen waarvoor tot nu toe grote krachten werden gevonden heeft de accelogram van Kobe 3 een kleinere dominante periode. Er zijn maar 6 plekken waar de constructie plastisch vervormt tegenover getallen zoals 44 en 54 bij de andere. De uitkomst van Ruaumoko bevestigt nogmaals dat de periode meer bepalend is voor de response dan de gemiddelde amplitude van de pieken.

Pac 1, 2, 3:

De accelogrammen van Pac 1, Pac 2 en Pac 3 zijn vrijwel hetzelfde van vorm. Geringe grootte maar met enkele zeer hoge pieken. Ondanks verwachtingen dat deze voor een hoge response zullen zorgen, blijft het gebouw elastisch. (De pieken hebben een kleine duur).

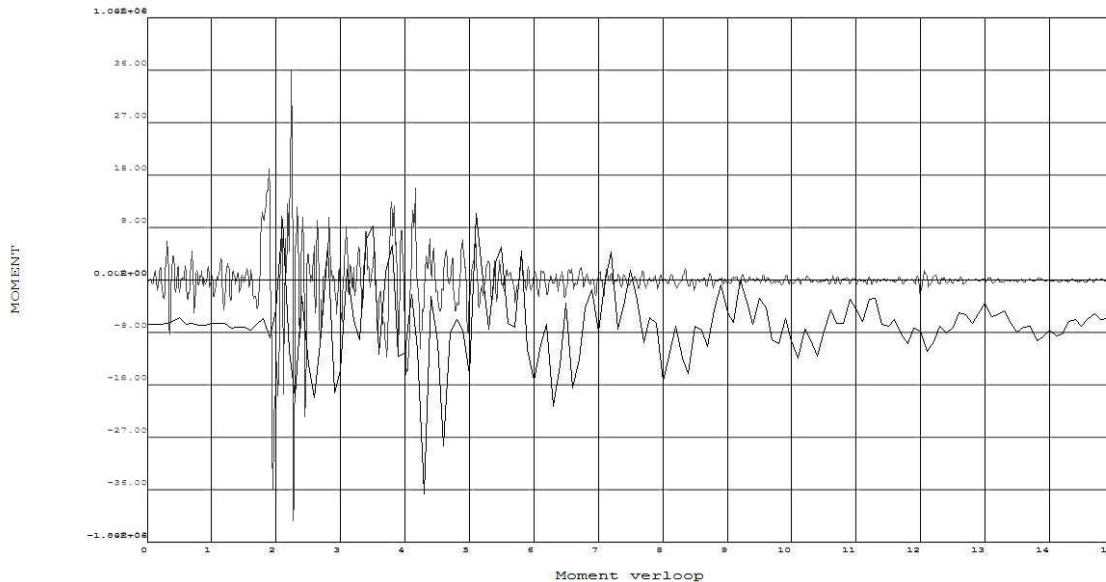


Fig. 4.7: Verloop van het maatgevende moment, geplot op de aardbeving accelogram (behoort tot de Pac 1 aardbeving)

Syl 1, 2, 3:

Bij belasting door de aardbevingen dat beschreven worden met de accelogrammen van Syl 1, 2 en 3 gebeurt er niets overwachts en is de response vergelijkbaar met de gevallen van boven.

4.3 Conclusies

Hoge pieken van korte duur hebben geen groot effect op de response van een gebouw. Pieken van lange duur, onafhankelijk van hun grootte hebben een groot effect op een gebouw. (Hoe dichters hun duur bij de eigenperiode van het gebouw liggen hoe groter.)

Dat heeft te maken met de eigenperiode van de constructie en de dominante periode van een aardbeving. Hoe dichters de eigenperiode van het gebouw op de dominante periode van de aardbeving hoe hoger de response. Het bekende fenomeen van resonantie. Dat is algemeen bekend. Wat wel opvalt aan de resultaten van de tests is dat zelfs zeer hoge pieken, die afwijken van de natuurlijke periode van het gebouw (10 keer zo hoog als het gemiddelde verloop), weinig effect hadden op de response.

Onafhankelijk van de vorm van de accelogrammen is er een tendens dat de grote krachten op bepaalde plekken voorkomen. Het feit dat deze zich laag in het gebouw bevinden is logisch, wat niet bekend is, is in hoeverre zij naar boven verder gaan. Over het algemeen is gebleken dat hoe maatgevender de excitatie hoe hoger ze naar boven voortplanten. (Er komen meer modes in aanmerking).

Bij het kiezen van de maatgevende aardbevingen voor het bepalen van de benodigde ductiliteit moet men meer aandacht besteden aan de dominante perioden van de aardbevingen dan bij de absolute waarde van de grootte van de pieken van de excitatie. Men moet aardbevingen kiezen waarvan de

dominante periode dichtbij de natuurlijke periode van het gebouw ligt. Pieken waarvan de duur dichtbij de eigenperiode liggen zorgen voor zeer grote response.

Om te kunnen achterhalen welke aardbeving maatgevende informatie geeft wordt onderstaande tabel gebruikt. Hierin wordt aangegeven, voor iedere aardbeving waarmee plasticiteit is opgetreden, hoeveel plastische scharnieren zijn ontstaan, wat de grootste ductiliteit is en hoeveel plastische scharnieren zijn opgetreden in plaatsen waar niet in de Buch aardbeving zijn opgetreden.

	aantal plastische scharnieren	grootste ductiliteit	aantal verschillende plaatsen tov buch
El centro 2	30	2.39	0
Buch	79	5.96	referentie
Pacsw	44	1.43	0
Hall	54	6.67	0
Kobe 3	6	1.01	2
Syl 1	16	1.35	0
Syl 3	2	1.03	0

Tabel 4.2: Vergelijken gegevens

Een volledige tabel met alle gevonden resultaten is te vinden in bijlage A2.

De Buch aardbeving en de Hall aardbeving moeten sowieso meegenomen worden in de tweede fase van het onderzoek. De Buch omdat deze de meeste plastische scharnieren veroorzaakt en de Hall omdat deze de grootste waarde geeft voor de ductiliteit. Omdat niet bekend is wat de invloed van de geometrie en de stijfheid van het gebouw heeft op de response, wordt gekozen om ook de El centro 2 aardbeving mee te nemen omdat deze ook voor een hoge response heeft gezorgd.

Het ontwerpen van een gebouw waarin verschillende typen verbindingen worden toegepast voor verschillende delen van het gebouw is niet aan te raden. Zoals te zien in bovenstaande tabel zou dat betekenen dat er in geval van de Kobe 3 aardbeving in twee punten in het gebouw mogelijke bezwijking zou optreden. (Aannemende dat het gebouw ontworpen zou worden rekening houdende met de maximale ductiliteit van de Hall aardbeving op de plaatsen aangegeven door de Buch aardbeving).

De beschikbare accelogrammen zijn te weinig om een goede uitspraak te kunnen doen over een preciese aantal aardbevingen dat men mee moet nemen. Wel wordt hier een voorbeeld gegeven van hoe men een selectie kan maken.

5. Onderzoek tweede fase

In de tweede fase van het onderzoek zal een parameterstudie worden verricht om het effect van verschillende parameters op de response van het gebouw te bepalen. De parameters die variëren zijn het gewicht van het gebouw, de demping, de stijfheid (door constructieve wanden als schoorstaven te modelleren) en de vorm uitgedrukt in de toevoeging van een extra beuk.

5.1. Invloed van het gewicht op de response van het gebouw

Het gewicht zal worden verhoogd in stappen van 5%, 10%, 25% en 50% ten opzichte van het referentiegewicht. Als referentiegewicht wordt het gewicht beschouwd dat ook eerder is toegepast en berekend is in paragraaf 2.2.1. Om de effecten van de gewichtsverhoging goed in kaart te brengen is het noodzakelijk om eerst een instelling te veranderen die de wijze bepaalt waarop Ruaumoko rekt. Hierdoor gaat het programma op iedere tijdstap, alle coördinaten bijwerken en opnieuw de stijfheid berekenen. Het hele proces zal voor de 3 maatgevende aardbevingen worden gedaan, namelijk de Hall, de Buch en de El centro 2 aardbevingen. (Er zal gebruik worden gemaakt van de geschaalde versies van de accelogrammen). Voor deze serie tests zijn de kolommen van het gebouw aangepast. Hier is het profiel HE800A toegepast omdat de HE600A te snel bezweek waardoor er niet genoeg resultaten konden worden gegenereerd om conclusies te kunnen trekken.

Om het effect van de verandering van de ductiliteiten tegen de verandering van het gewicht uit te drukken zijn alle resultaten gedeeld met respectievelijk de referentiewaarde van de benodigde ductiliteit en het referentiegewicht. Uiteindelijk wordt dus $\frac{\mu}{\mu_{ref}}$ uitgezet tegen $\frac{q}{q_{ref}}$. De resultaten

voor alle drie de aardbevingen worden weergegeven in onderstaande grafiek:

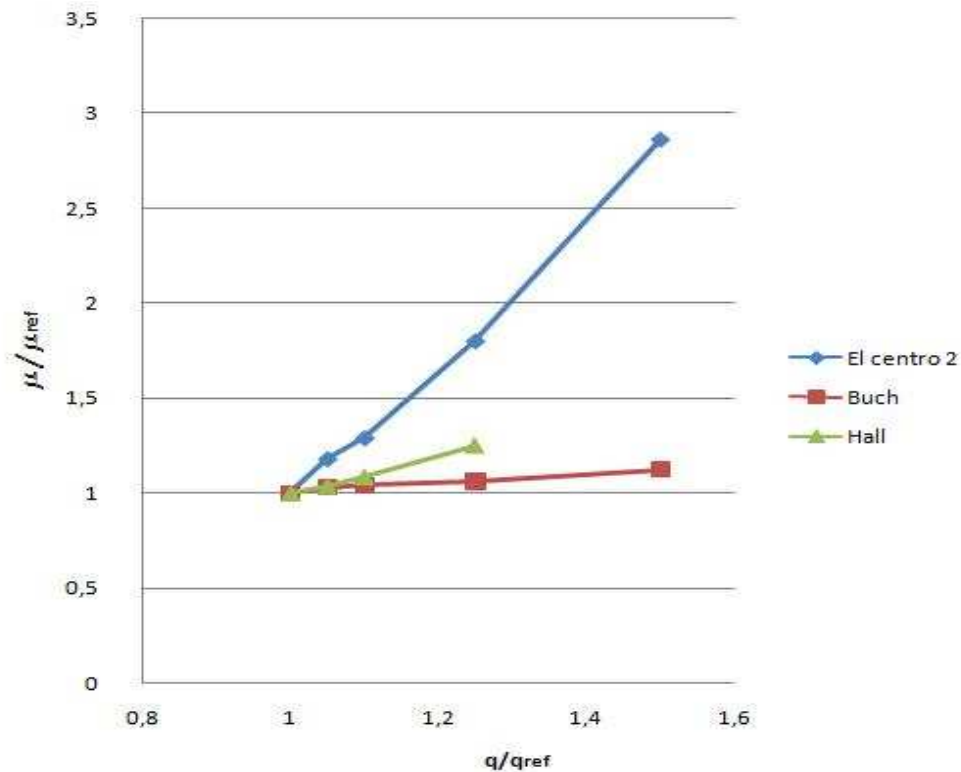


Fig. 5.1: Invloed van het gewicht toename op de maximale ductiliteit

Voor alle drie de aardbevingen is het duidelijk te zien dat de maximale optredende ductiliteit in het gebouw zal stijgen. Echter de mate waarin dat gebeurt varieert sterk. Terwijl voor de El centro aardbeving een toename van het gewicht met 50% een toename van de ductiliteit van 185.9% betekent geldt voor de Buch aardbeving een toename van alleen maar 12.33%. Voor de Hall aardbeving geldt zelfs dat het gebouw bezwijkt als het gewicht met 50% toeneemt, terwijl die voor een toename van 25% maar een toename van 28.8% vertoont tegen 80.93% van de El centro 2 aardbeving. Wat wel voor alle drie de aardbevingen gezegd kan worden is dat de toename van de maximale ductiliteit uitgezet tegen de toename van het gewicht een lineaire trend te zien geeft. Wat verandert per aardbeving is de helling.

Om te benadrukken hoe belangrijk de bovengenoemde instelling is in Ruaumoko is, voor het geval dat het gewicht met 50% is verhoogd, de verplaatsing naar de tijd uitgezet, een keer zonder de instelling (groene lijn) en een keer met de instelling (zwarte lijn).

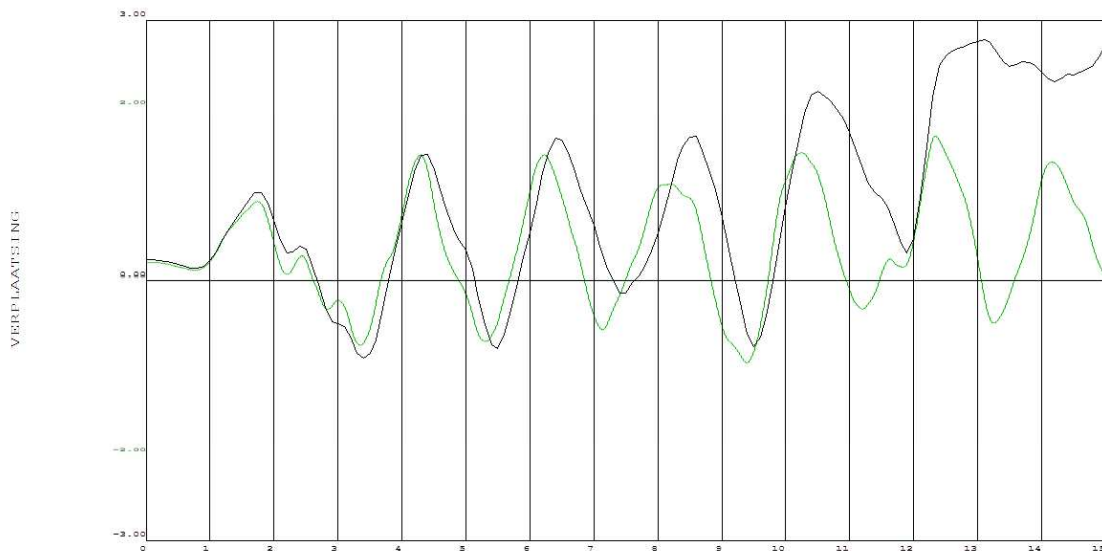


Fig. 5.2: Invloed van de instelling op de verplaatsing

Zonder de instelling is het resultaat conservatief, het gebouw keert steeds terug naar de evenwichtsstand terwijl die in werkelijkheid daarvan afwijkt en “blijft hangen” agv de grote 2^e orde effecten.

Om de invloed van de toename van het gewicht goed te kunnen zien wordt de verplaatsing geplott voor het geval met de referentie gewicht (blauwe lijn) en voor het geval met een gewichtstoename van 50% (zwarte lijn). Zoals boven ook vermeld zorgt het extra gewicht ervoor dat het gebouw op een gegeven moment niet meer naar het evenwichtsstand terugkeert.

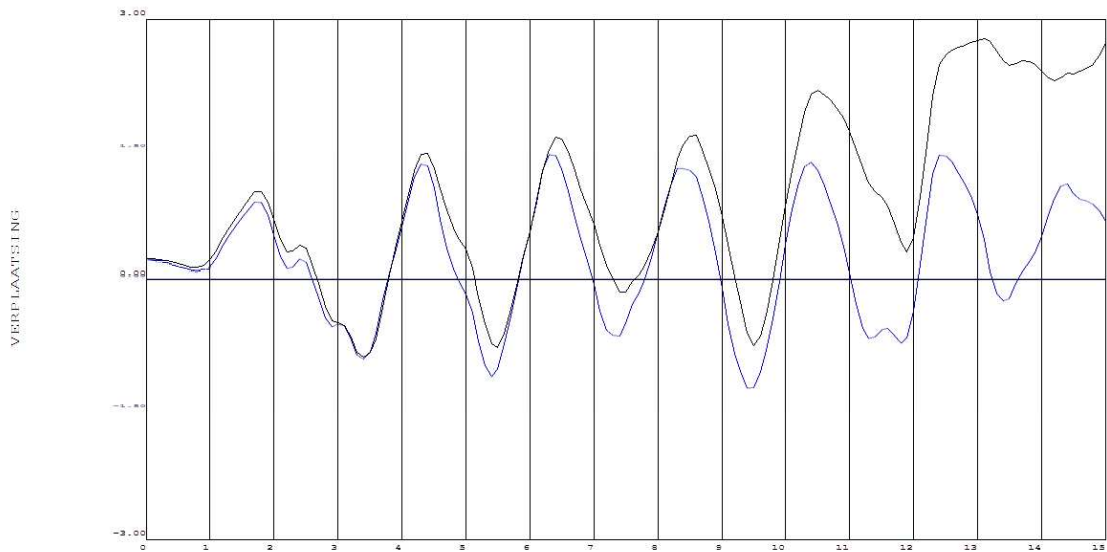


Fig. 5.3: Invloed van het gewicht op de verplaatsing

Het moment waarop dat gebeurt (gebouw keert niet meer terug naar de evenwichtsstand) hangt mogelijk van een maatgevende verplaatsing af en wanneer deze bereikt wordt, worden de 2^e orde effecten zo groot dat het gebouw niet meer terug kan keren.

Om te onderzoeken of dat echt zo is wordt de verplaatsing van het gebouw voor het geval met de gewicht toename van 50% voor een andere aardbeving geplot namelijk de Buch aardbeving (rode lijn).

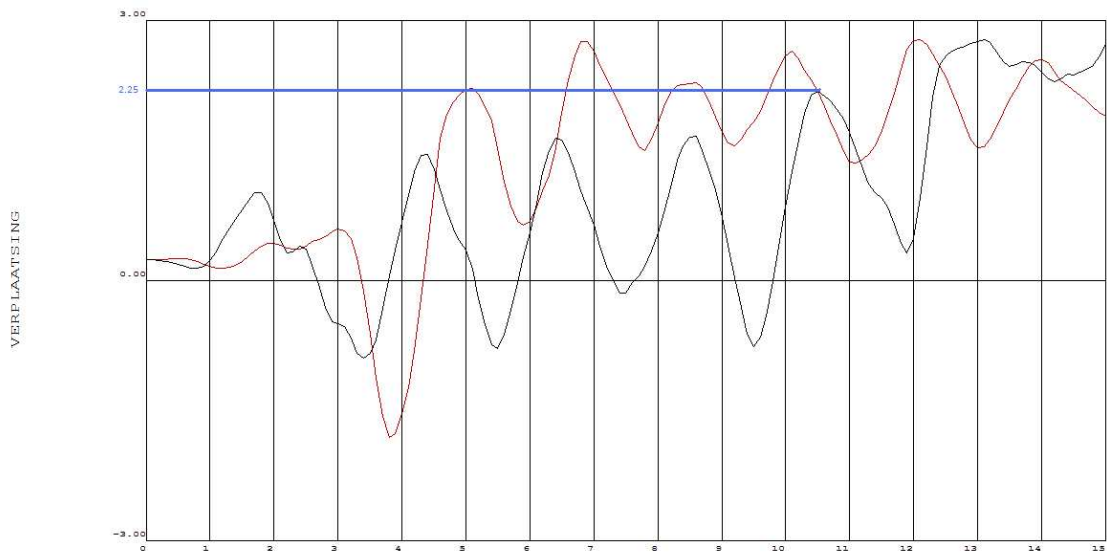


Fig. 5.4: Onderzoek naar de maatgevende verplaatsing waarna het gebouw niet meer terugkeert

Opmerkelijk is dat bij beide aardbevingen het gebouw niet meer terugkeert naar de originele evenwichtsstand nadat het een zekere verplaatsing heeft ondervonden. In plaats daarvan schommelt deze rond een nieuw evenwichtsstand zonder dat die bezwijkt. Als het gebouw geschematiseerd wordt als een starre knikstaaf met een translatieveer dan is dit geval vergelijkbaar met het

academische geval waarin de stabiliteit wordt onderzocht onder toenemende verplaatsing en een vaste verticale belasting. Daar wordt ook opgemerkt dat er een grens bestaat die alle posities waarin evenwicht mogelijk is scheidt van de posities waarin evenwicht niet mogelijk is. De grens zelf geeft de posities aan waarin evenwicht in scheefstand mogelijk is (neutraal evenwicht, elke stand kan een evenwichtsstand zijn). Het verschil hier is dat er ook een uitwendige excitatie aanwezig is, die bovendien in de tijd varieert, met als gevolg dat de grenzen hier niet meer simpelweg door een lijn getrokken kunnen worden maar veel ingewikkelder van aard zijn. Dit geval wordt hier niet verder onderzocht omdat deze buiten de kader van dit onderzoek valt.

Voor het hier beschouwde geval is deze maatgevende verplaatsing gelijk aan 2.25m (wordt aangegeven door de horizontale blauwe lijn).

5.2 Invloed van een extra beuk

Na toevoeging van een extra beuk ziet het gebouw als volgt uit:

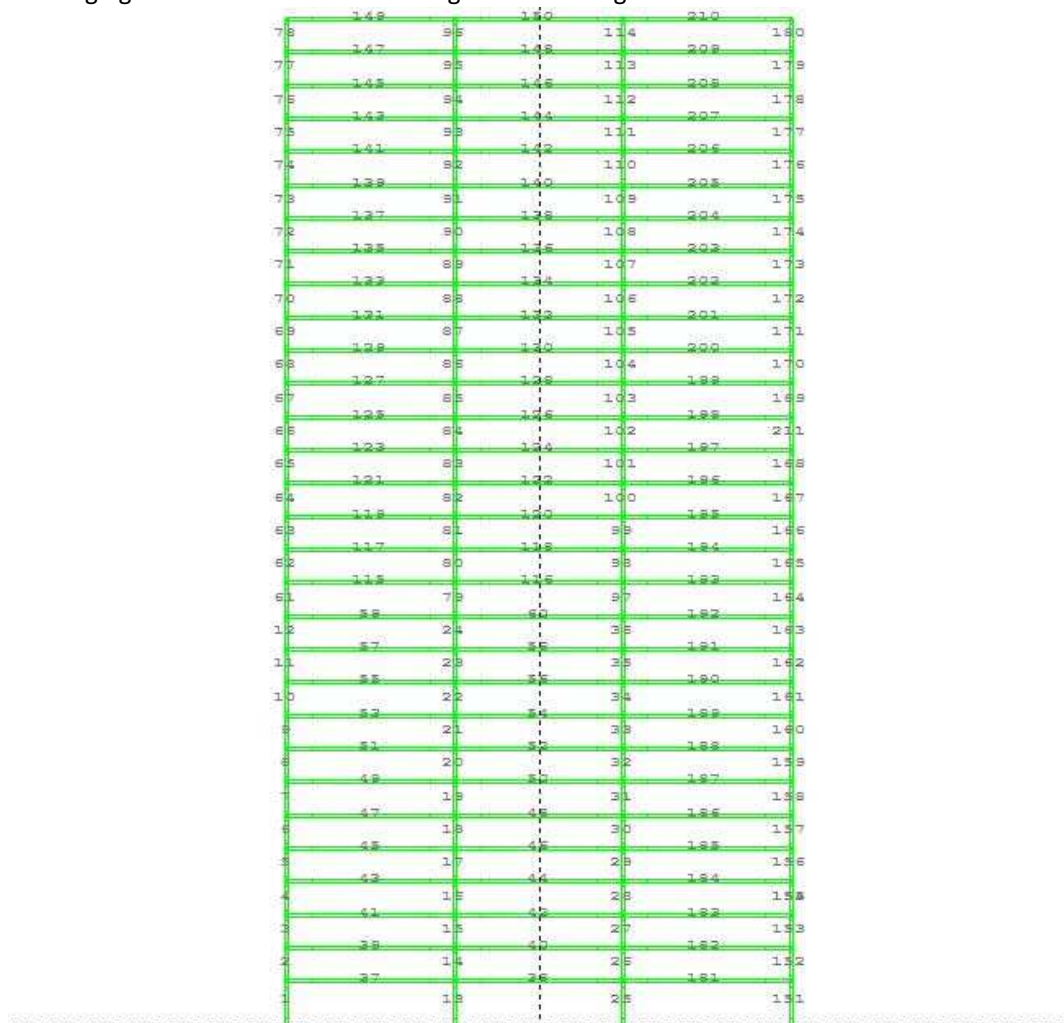


Fig. 5.5: Aangepaste vorm van het gebouw, 3 beuken ipv 2

De resultaten van een extra beuk voor drie aardbevingen zijn in onderstaande tabel gesomeerd:

	El centro 2		Buch		Hall	
	2 beuken	3 beuken	2 beuken	3 beuken	2 beuken	3 beuken
Max Ductiliteit ligger	2.39	1.3	5.96	5.72	6.67	7.26
Afname ductiliteit %	Ref	-45,6	ref	-4,03	ref	8,84

Tabel 5.1: Resultaten na aanpassing vorm gebouw

Zoals te zien in de tabel is er niet een vaste trend te onderscheiden. Voor de eerste twee aardbevingen resulteert de extra beuk in verlaging van de maximale ductiliteit, terwijl voor de derde aardbeving in een verhoging ervan. De reden ervoor is dat terwijl er meer massa aan het gebouw wordt toegevoegd ook de stijfheid verandert, in eerste instantie verandert de stijfheid voor alle drie de aardbevingen in dezelfde mate, maar als de excitatie begint geldt voor de stijfheid dat deze voor de drie gevallen anders zal veranderen doordat de verplaatsingen als gevolg van de verschillende excitaties ook anders zullen zijn. (Zoals boven vermeld wordt hier de stijfheid in iedere tijdstap herberekend). Het is dus niet mogelijk om te voorspellen hoe de ductiliteiten zullen veranderen bij een andere vorm van het gebouw. Bij iedere verandering van de vorm van het gebouw is het dus noodzakelijk om het gebouw opnieuw te testen.

5.3 Invloed van de damping op de response van het gebouw

Tot nu toe is gebruik gemaakt van de initiële Rayleigh of proportionele damping methode waarbij een kritische damping van 5% is gespecificeerd voor modes 1 en 29. Voor het modeleren van de damping bestaan er meerdere methoden: Enkele anderen zijn: a. Initiele Rayleigh damping methode maar dan met de kritische damping gespecificeerd voor modes 1 en 2, b. Zoals voor geval a maar gebruik makende van Tangentiele Rayleigh stijfheid damping.

Uiteraard kan iedere van de bovenstaande methoden gevarieerd worden door de hoeveelheid kritische damping dat aan de modes wordt gegeven te veranderen. Uiteindelijk heeft men een grote vrijheid in het modeleren van de damping. Iedere methode en iedere variatie daarin zal voor een andere response zorgen, ieder met zijn eigen voor- en nadelen. In het kader van dit onderzoek zal alleen gekeken worden naar wat het invloed is van het variëren van de kritische damping bij gebruik van de initiële Rayleigh methode. Voor de damping zullen waarden van 3%, 5%, 10% en 20% worden gebruikt. De waarden van 3% en 5% representeren damping niveaus die gevonden worden in de meeste constructies die dichtbij hun plastische capaciteit worden belast. De waarden van 10% en 20% representeren damping niveaus die bereikt kunnen worden met extra voorzieningen aan het gebouw. De excitatie zal verzorgd worden door de El centro 2 aardbeving en als frame zal het frame dat in hoofdstuk 2 is ontworpen worden toegepast. (Dus niet een van de aangepaste versies van paragrafen 5.1 en 5.2).

In onderstaande grafiek wordt voor alle vier damping niveaus de (relatieve) verplaatsing aan de top van het gebouw uitgezet tegen de tijd (zwart: 3%, rood: 5%, groen: 10%, blauw: 20%). Duidelijk is te zien dat bij toenemende damping de verplaatsingen afnemen. De afname van de verplaatsingen heeft gunstige effecten. Door de verplaatsingen te beperken is het mogelijk: a. Schade te voorkomen aan leidingen (in gebouwen zoals ziekenhuizen waar het noodzakelijk is dat het gebouw operationeel blijft na een aardbeving is dat zeer belangrijk), b. Te voorkomen dat nooduitgangen geblokeerd worden door valende objecten of bezwijken afbouwelementen.

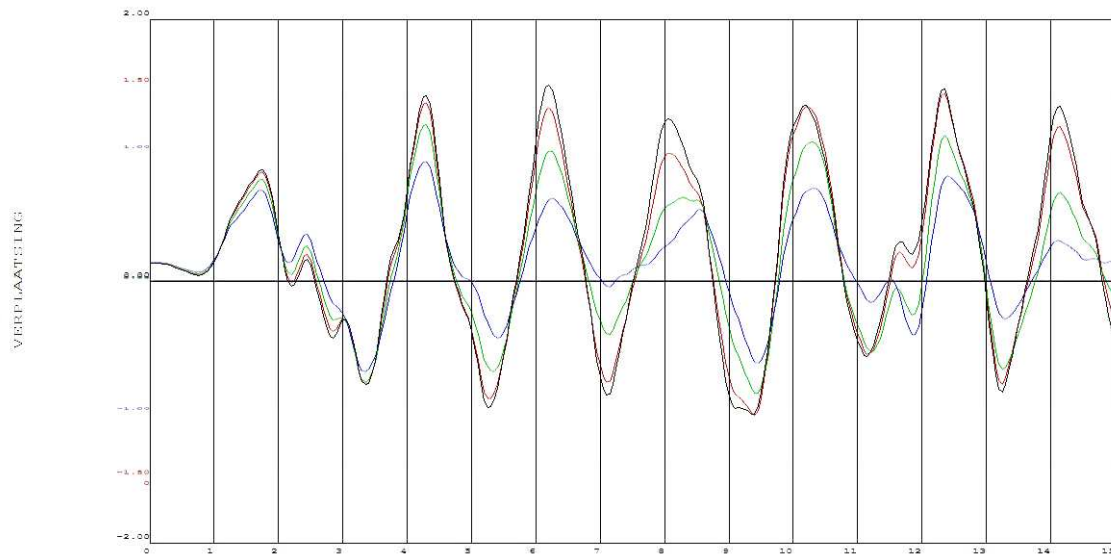


Fig. 5.6: Verplaatsing aan de top van het gebouw voor de vier damping niveaus

Omdat een afname van de verplaatsingen minder positieve effecten zou hebben als de momenten met toenemende damping zouden toenemen wordt dat ook gecontroleerd. In onderstaande grafiek wordt voor de vier dampingniveaus het momentverloop weergegeven in de tijd.

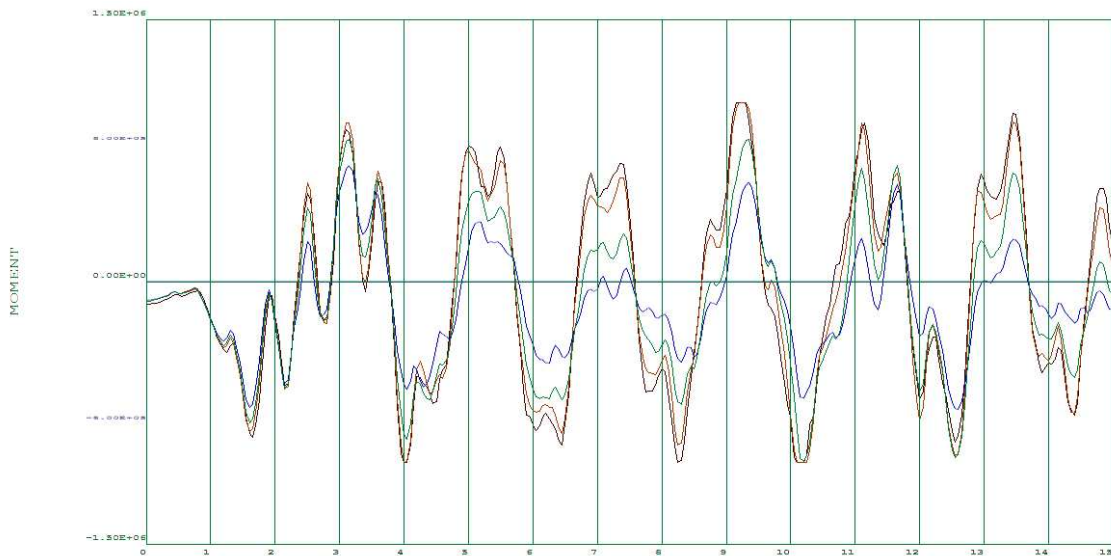


Fig. 5.7: Momentverloop in de maatgevende knoop voor de vier damping niveaus

Het verloop van de momenten in de tijd varieert per dampingsgeval. Bij toenemende damping nemen de momenten wel af. Het is dus ook in relatie tot de momenten gunstig om door middel van voorzieningen de damping van het gebouw te verhogen.

5.4 Invloed van de stijfheid op de response van het gebouw

Om de invloed van de stijfheid op de respons van het gebouw te kunnen bestuderen is het bestaande gebouw aangepast. Bij de eerste beuk zijn er schoren toegepast die een constructieve wand moeten

modelleren. De reden dat er gekozen is om de schoor als een constructieve wand te modelleren en niet als simpelweg een schoor, is dat het niet mogelijk is om zonder consequenties een element in Ruaumoko met verwaarloosbare druk capaciteit, zoals een schoor, in te voeren. Om het zo reëel mogelijk te maken hebben de elementen die de wand representeren een moment capaciteit gekregen die een factor 10000 keer zo groot is als die van de andere elementen. De axiale sterkte is gelijk genomen aan dat van een HE600A profiel met een staalkwaliteit van S355. De geometrie van het gebruikte gebouw ziet er als volgt uit:

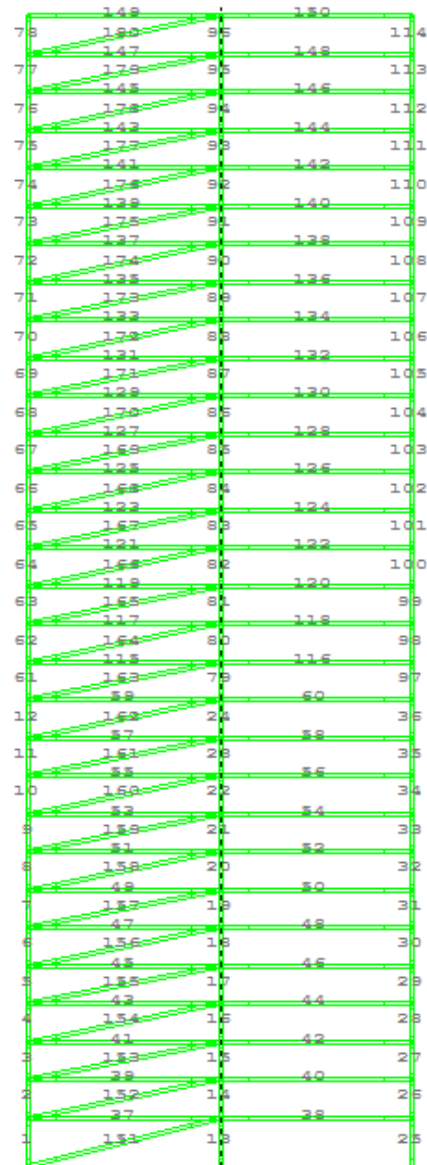


Fig. 5.8: Aangepaste vorm van het gebouw met schoren tpv de eerste beuk

De eerste tests hebben uitgewezen dat er ondanks dat er geen plastische vervorming optreedt in de liggers de kolommen toch in de axiale richting plastisch vervormen. Om te voorkomen dat de kolommen van de begane grond in de axiale richting plastisch gaan vervormen worden zij verzwaard, dat heeft als gevolg dat de kolommen van de eerste verdieping plastisch gaan vervormen. Aanpassing van alle kolommen geeft ook geen oplossing. Omdat het algemene effect van het verhogen van de stijfheid hetzelfde zal blijven ondanks het feit dat plastisch vervorming in de axiale

richting van de kolommen van de begane grond optreedt en omdat alleen een vergelijking moet worden gemaakt en niet een kwantitatieve analyse, wordt ervoor gekozen om met het originele gebouw verder te gaan.

Zoals eerder is vermeld heeft het toepassen van de schoren als gevolg dat, met uitzondering van de kolommen van de begane grond, er nergens in het gebouw plastische momenten optreden.

Zoals te zien in onderstaande figuur heeft het toepassen van schoren ook een gunstig effect op de verplaatsingen (rode lijn: met constructieve wand, zwarte lijn: zonder constructieve wand).

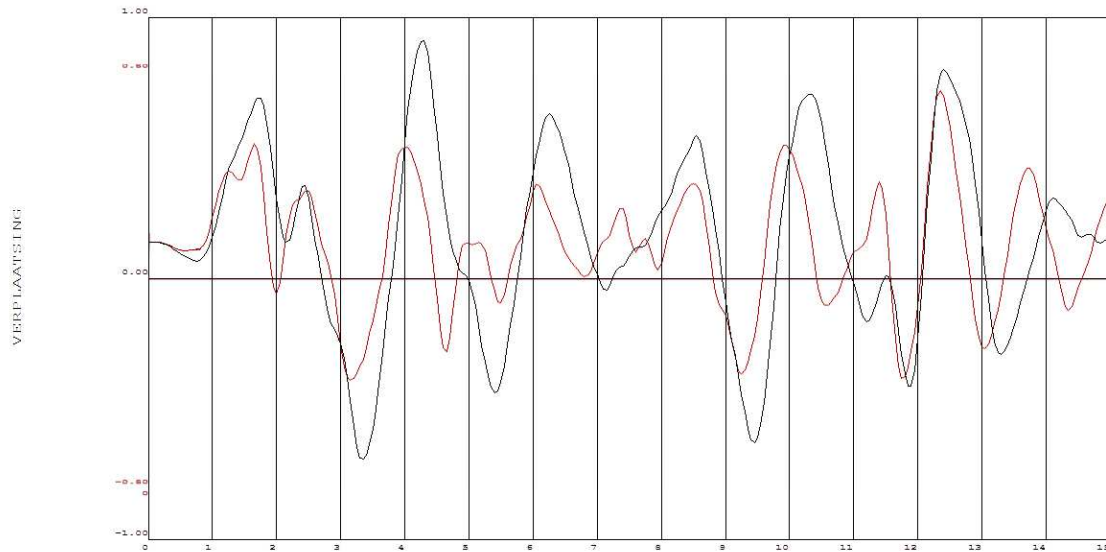


Fig. 5.9: Verplaatsing aan de top van het gebouw met en zonder toepassing van een constructieve wand

5.5 Conclusies

De maatgevende aardbevingen worden gekozen voor een soort gebouw. Wanneer iets aan het gebouw verandert, is het noodzakelijk om andere maatgevende aardbevingen te kiezen. Zoals bv in paragraaf 5.1 is gebleken, is de mate van verandering van de ductiliteit ten gevolge van verandering van het gewicht anders per aardbeving.

De toename van de maximale ductiliteit uitgedrukt tegen de toename van het gewicht heeft een lineaire trend. Per aardbeving verandert de helling daarvan.

Een simpele verandering van een instelling in het programma kan voor grote verschillen in de resultaten zorgen. Een model moet daartoe met grote zorg worden gemaakt en ingevoerd.

Er bestaat een maatgevende verplaatsing die er voor zorgt (als deze wordt bereikt) dat het gebouw niet meer terugkeert naar het originele evenwichtsstand maar in plaats daarvan rond een nieuwe evenwichtsstand schommelt.

De invloed van het vergroten van het gebouw op de response is niet mogelijk te voorspellen, de reden daarvoor is dat ook de stijfheid verandert zonder dat bekend is in wat voor mate. Bij veranderingen moet het gebouw dus opnieuw worden getest.

De toename van de damping niveaus heeft gunstige effecten tav verplaatsingen en momenten. Het is dus gunstig om door middel van voorzieningen de damping van het gebouw te verhogen.

Evenals de damping heeft ook het verhogen van de stijfheid een gunstig effect wat betreft de verplaatsingen en de momenten.

6. Aanbevelingen

In dit onderzoek is niet naar verbindingen gekeken. In een volgend onderzoek zou de nadruk alleen daarop gelegd kunnen worden. Tegelijkertijd zou ook gezocht kunnen worden naar de plaatsen waar de ductiliteit het best uitgehaald kan worden. Er bestaan veel mogelijkheden maar het is nog niet bekend wat de voor- en nadelen zijn voor elk van deze plaatsen. Er ontbreken ook gegevens van het gedrag van de verbindingen en de elementen onder cyclische belasting. In het buitenland wordt daar echter onderzoek naar gedaan. Rapporten van die onderzoeken kunnen een goed uitgangspunt vormen voor een toekomstig onderzoek. En paar hyperlinks naar sommige “abstracts” van die onderzoeken worden in de literatuurlijst gegeven.

Literatuur

- [1] *Ruaumoko computer program library*, Carr A.J., University of Canterbury 2000
- [2] *Earthquake design practice for buildings (second edition)*, Booth E., Key D., Thomas Telford 2006
- [3] *Earthquake engineering: Application to design*, Erdey C.K., John Wiley & Sons, INC 2007
- [4] *Infomap Constructie*, ir F.A.M. Soons, B.P.M. van Raaij, prof.ir L.A.G. Wagemans, Sectie Algemene Constructie Delft 2003
- [5] *Matrix Frame*, versie 4.0
- [6] *Constructie 3A Dictaat deel 1*, dr. A. Romeijn, Faculteit CITG
- [7] *Onderzoeken naar ligger-kolom verbindingen (cyclic loading)*:
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V2Y-3Y6HSGP-R&_user=10&_coverDate=09%2F30%2F1995&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=194cf97e7188d043271b9cb2a05acf7a
<http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?9305965>
<http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?0530208>
<http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build01/PDF/b01007.pdf>
- [8] *Computer program for available ductility analysis of steel structures*
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V28-49CMPMN-6&_user=499885&_coverDate=09%2F30%2F2003&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&acct=C000024500&_version=1&_urlVersion=0&_userid=499885&md5=c21cccff27d0fc80a107a6a38421d46f

Bijlagen

Bijlage A1: Invoer filevoor de eerste series tests

THIRTY STOREY FRAME - Elastic Upper Columns - Earthquake Analysis

* JURY 30 STOREY FRAME, Capacity design principles.

* RAYLEIGH Initial Stiffness Damping with 5% in MODE 1 and 5% in MODE 29

* Nodes at each level slaved horizontally - excludes girder elongation

* All Degrees of Freedom have inertia (including joint rotations)

* All girders with Bi-linear Hysteresis

* Ground Floor columns with Bi-linear Hysteresis - remainder elastic

* 15 seconds of excitation with a time-step of 0.01 seconds

* NOVEMBER 2007 data set

2 0 1 0 0 0 0 0 ! Control parameters
93 150 2 6 1 29 9.81 5.0 5.0 0.01 15 1.0 ! Structure parameters
100 10 10 3 1 10 0.7 0.1 ! Output parameters
0 0 0.05 ! Iteration parameters

NODES 1		55 0.0 64 0 0 0 56 0 0	! Level 18
1 0.0 0.00 1 1 1	! Level 0 - Ground Level	56 9.6 64 0 0 0 0 0 0	
2 9.6 0.00 1 1 1		57 19.2 64 0 0 0 56 0 0	
3 19.2 0.00 1 1 1		58 0.0 67.5 0 0 0 59 0 0	! Level 19
4 0.0 4.5 0 0 0 5 0 0	! Level 1	59 9.6 67.5 0 0 0 0 0 0	
5 9.6 4.5 0 0 0 0 0 0		60 19.2 67.5 0 0 0 59 0 0	
6 19.2 4.5 0 0 0 5 0 0		61 0.0 71 0 0 0 62 0 0	! Level 20
7 0.0 8 0 0 0 8 0 0	! Level 2	62 9.6 71 0 0 0 0 0 0	
8 9.6 8 0 0 0 0 0 0		63 19.2 71 0 0 0 62 0 0	
9 19.2 8 0 0 0 8 0 0		64 0.0 74.5 0 0 0 65 0 0	! Level 21
10 0.0 11.5 0 0 0 11 0 0	! Level 3	65 9.6 74.5 0 0 0 0 0 0	
11 9.6 11.5 0 0 0 0 0 0		66 19.2 74.5 0 0 0 65 0 0	
12 19.2 11.5 0 0 0 11 0 0		67 0.0 78 0 0 0 68 0 0	! Level 22
13 0.0 15 0 0 0 14 0 0	! Level 4	68 9.6 78 0 0 0 0 0 0	
14 9.6 15 0 0 0 0 0 0		69 19.2 78 0 0 0 68 0 0	
15 19.2 15 0 0 0 14 0 0		70 0.0 81.5 0 0 0 71 0 0	! Level 23
16 0.0 18.5 0 0 0 17 0 0	! Level 5	71 9.6 81.5 0 0 0 0 0 0	
17 9.6 18.5 0 0 0 0 0 0		72 19.2 81.5 0 0 0 71 0 0	
18 19.2 18.5 0 0 0 17 0 0		73 0.0 85 0 0 0 73 0 0	! Level 24
19 0.0 22 0 0 0 20 0 0	! Level 6	74 9.6 85 0 0 0 0 0 0	
20 9.6 22 0 0 0 0 0 0		75 19.2 85 0 0 0 73 0 0	
21 19.2 22 0 0 0 20 0 0		76 0.0 88.5 0 0 0 77 0 0	! Level 25
22 0.0 25.5 0 0 0 23 0 0	! Level 7	77 9.6 88.5 0 0 0 0 0 0	
23 9.6 25.5 0 0 0 0 0 0		78 19.2 88.5 0 0 0 77 0 0	
24 19.2 25.5 0 0 0 23 0 0		79 0.0 92 0 0 0 80 0 0	! Level 26
25 0.0 29 0 0 0 26 0 0	! Level 8	80 9.6 92 0 0 0 0 0 0	
26 9.6 29 0 0 0 0 0 0		81 19.2 92 0 0 0 80 0 0	
27 19.2 29 0 0 0 26 0 0		82 0.0 95.5 0 0 0 83 0 0	! Level 27
28 0.0 32.5 0 0 0 29 0 0	! Level 9	83 9.6 95.5 0 0 0 0 0 0	
29 9.6 32.5 0 0 0 0 0 0		84 19.2 95.5 0 0 0 83 0 0	
30 19.2 32.5 0 0 0 29 0 0		85 0.0 99 0 0 0 86 0 0	! Level 28
31 0.0 36 0 0 0 32 0 0	! Level 10	86 9.6 99 0 0 0 0 0 0	
32 9.6 36 0 0 0 0 0 0		87 19.2 99 0 0 0 86 0 0	
33 19.2 36 0 0 0 32 0 0		88 0.0 102.5 0 0 0 89 0 0	! Level 29
34 0.0 39.5 0 0 0 35 0 0	! Level 11	89 9.6 102.5 0 0 0 0 0 0	
35 9.6 39.5 0 0 0 0 0 0		90 19.2 102.5 0 0 0 89 0 0	
36 19.2 39.5 0 0 0 35 0 0		91 0.0 106 0 0 0 92 0 0	! Level 30 - Roof
37 0.0 43 0 0 0 38 0 0	! Level 12	92 9.6 106 0 0 0 0 0 0	
38 9.6 43 0 0 0 0 0 0		93 19.2 106 0 0 0 92 0 0	
39 19.2 43 0 0 0 38 0 0			
40 0.0 46.5 0 0 0 41 0 0	! Level 13		
41 9.6 46.5 0 0 0 0 0 0			
42 19.2 46.5 0 0 0 41 0 0			
43 0.0 50 0 0 0 44 0 0	! Level 14		
44 9.6 50 0 0 0 0 0 0			
45 19.2 50 0 0 0 44 0 0			
46 0.0 53.5 0 0 0 47 0 0	! Level 15		
47 9.6 53.5 0 0 0 0 0 0			
48 19.2 53.5 0 0 0 47 0 0			
49 0.0 57 0 0 0 50 0 0	! Level 16		
50 9.6 57 0 0 0 0 0 0			
51 19.2 57 0 0 0 50 0 0			
52 0.0 60.5 0 0 0 53 0 0	! Level 17		

53 9.6 60.5 000 000	
54 19.2 60.5 000 5300	

ELEMENTS 1		67 1 55 58	
1 1 1 4 1 4	! Left Column	68 1 58 61	
2 1 4 7 4 7		69 1 61 64	
3 1 7 10		70 1 64 67	
4 1 10 13		71 1 67 70	
5 1 13 16		72 1 70 73	
6 1 16 19		73 1 73 76	
7 1 19 22		74 1 76 79	
8 1 22 25		75 1 79 82	
9 1 25 28		76 1 82 85	
10 1 28 31		77 1 85 88	
11 1 31 34		78 1 88 91	
12 1 34 37		79 1 38 41	! Centre Column cont
13 1 2 5 2 5	! Centre Column	80 1 41 44	
14 1 5 8 5 8		81 1 44 47	
15 1 8 11		82 1 47 50	
16 1 11 14		83 1 50 53	
17 1 14 17		84 1 53 56	
18 1 17 20		85 1 56 59	
19 1 20 23		86 1 59 62	
20 1 23 26		87 1 62 65	
21 1 26 29		88 1 65 68	
22 1 29 32		89 1 68 71	
23 1 32 35		90 1 71 74	
24 1 35 38		91 1 74 77	
25 1 3 6 3 6	! Right Column	92 1 77 80	
26 1 6 9		93 1 80 83	
27 1 9 12		94 1 83 86	
28 1 12 15		95 1 86 89	
29 1 15 18		96 1 89 92	
30 1 18 21		97 1 39 42	! Right Column cont
31 1 21 24		98 1 42 45	
32 1 24 27		99 1 45 48	
33 1 27 30		100 1 48 51	
34 1 30 33		101 1 51 54	
35 1 33 36		102 1 54 57	
36 1 36 39		103 1 57 60	
37 2 4 5 4 5	! Level 1 Girders	104 1 60 63	
38 2 5 6 5 6		105 1 63 66	
39 2 7 8	! Level 2 Girders	106 1 66 69	
40 2 8 9		107 1 69 72	
41 2 10 11	! Level 3 Girders	108 1 72 75	
42 2 11 12		109 1 75 78	
43 2 13 14	! Level 4 Girders	110 1 78 81	
44 2 14 15		111 1 81 84	
45 2 16 17	! Level 5 Girders	112 1 84 87	
46 2 17 18		113 1 87 90	
47 2 19 20	! Level 6 Girders	114 1 90 93	
48 2 20 21		115 2 40 41	! Level 13 Girders
49 2 22 23	! Level 7 Girders	116 2 41 42	
50 2 23 24		117 2 43 44	! Level 14 Girders
51 2 25 26	! Level 8 Girders	118 2 44 45	
52 2 26 27		119 2 46 47	! Level 15 Girders
53 2 28 29	! Level 9 Girders	120 2 47 48	
54 2 29 30		121 2 49 50	! Level 16 Girders
55 2 31 32	! Level 10 Girders	122 2 50 51	
56 2 32 33		123 2 52 53	! Level 17 Girders
57 2 34 35	! Level 11 Girders	124 2 53 54	
58 2 35 36		125 2 55 56	! Level 18 Girders
59 2 37 38	! Level 12 Girders	126 2 56 57	
60 2 38 39		127 2 58 59	! Level 19 Girders
61 1 37 40	! Left Column cont	128 2 59 60	
62 1 40 43		129 2 61 62	! Level 20 Girders
63 1 43 46		130 2 62 63	
64 1 46 49		131 2 64 65	! Level 21 Girders
		132 2 65 66	

65 1 49 52	133 2 67 68	! Level 22 Girders
66 1 52 55	134 2 68 69	
	135 2 70 71	! Level 23 Girders
	136 2 71 72	
	137 2 73 74	! Level 24 Girders

138 2 74 75
 139 2 76 77 ! Level 25 Girders
 140 2 77 78
 141 2 79 80 ! Level 26 Girders
 142 2 80 81
 143 2 82 83 ! Level 27 Girders
 144 2 83 84
 145 2 85 86 ! Level 28 Girders
 146 2 86 87
 147 2 88 89 ! Level 29 Girders
 148 2 89 90
 149 2 91 92 ! Level 30 Girders
 150 2 92 93

PROPS

1 FRAME

1 0 0 1 0 1 0 ! Parameters
 21.E10 8.1E10 0.0226 7.67E-3 141.2E-5 1744.218 0 0 0. 0. ! Elastic Properties HE600A
 0.0 0.0 0.0 0.0 ! Bi-linear & Hinge
 8.023E6 -8.023E6 1.7E6 -1.7E6 1.7E6 -1.7E6 ! Yield properties
 0 0 100 100 100 100 ! Ultimate Ductilities

2 FRAME

1 0 0 1 0 1 0 ! Parameters
 21.E10 8.1E10 0.0178 5.06E-3 63.72E-5 1371.438 0 0 0. 0. ! Elastic properties HE450A
 0.0 0.0 0.0 0.0 ! Bi-linear & Hinge
 6.319E6 -6.319E6 1.028E6 -1.028E6 1.028E6 -1.028E6 ! Yield properties
 0 0 100 100 100 100 ! Ultimate Ductilities

WEIGHTS	! Weights not included in member self-weight		
1 0.0 0.0 0.0	! Level 0 - Ground Level	37 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 12
2 0.0 0.0 0.0		38 0.0 -117.12E3 0.0	
3 0.0 0.0 0.0		39 0.0 -58.56E3 0.0	
4 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 1	40 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 13
5 0.0 -117.12E3 0.0		41 0.0 -117.12E3 0.0	
6 0.0 -58.56E3 0.0		42 0.0 -58.56E3 0.0	
7 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 2	43 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 14
8 0.0 -117.12E3 0.0		44 0.0 -117.12E3 0.0	
9 0.0 -58.56E3 0.0		45 0.0 -58.56E3 0.0	
10 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 3	46 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 15
11 0.0 -117.12E3 0.0		47 0.0 -117.12E3 0.0	
12 0.0 -58.56E3 0.0		48 0.0 -58.56E3 0.0	
13 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 4	49 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 16
14 0.0 -117.12E3 0.0		50 0.0 -117.12E3 0.0	
15 0.0 -58.56E3 0.0		51 0.0 -58.56E3 0.0	
16 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 5	52 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 17
17 0.0 -117.12E3 0.0		53 0.0 -117.12E3 0.0	
18 0.0 -58.56E3 0.0		54 0.0 -58.56E3 0.0	
19 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 6	55 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 18
20 0.0 -117.12E3 0.0		56 0.0 -117.12E3 0.0	
21 0.0 -58.56E3 0.0		57 0.0 -58.56E3 0.0	
22 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 7	58 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 19
23 0.0 -117.12E3 0.0		59 0.0 -117.12E3 0.0	
24 0.0 -58.56E3 0.0		60 0.0 -58.56E3 0.0	
25 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 8	61 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 20
26 0.0 -117.12E3 0.0		62 0.0 -117.12E3 0.0	
27 0.0 -58.56E3 0.0		63 0.0 -58.56E3 0.0	
28 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 9	64 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 21
29 0.0 -117.12E3 0.0		65 0.0 -117.12E3 0.0	
30 0.0 -58.56E3 0.0		66 0.0 -58.56E3 0.0	
31 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 10	67 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 22
32 0.0 -117.12E3 0.0		68 0.0 -117.12E3 0.0	
33 0.0 -58.56E3 0.0		69 0.0 -58.56E3 0.0	
34 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 11	70 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 23
		71 0.0 -117.12E3 0.0	

35 0.0 -117.12E3 0.0	72 0.0 -58.56E3 0.0	
36 0.0 -58.56E3 0.0	73 0.0 -58.56E3 0.0	! Level 24
	74 0.0 -117.12E3 0.0	
	75 0.0 -58.56E3 0.0	

76 0.0 -58.56E3 0.0 ! Level 25
77 0.0 -117.12E3 0.0
78 0.0 -58.56E3 0.0
79 0.0 -58.56E3 0.0 ! Level 26
80 0.0 -117.12E3 0.0
81 0.0 -58.56E3 0.0
82 0.0 -58.56E3 0.0 ! Level 27
83 0.0 -117.12E3 0.0
84 0.0 -58.56E3 0.0
85 0.0 -58.56E3 0.0 ! Level 28
86 0.0 -117.12E3 0.0
87 0.0 -58.56E3 0.0
88 0.0 -58.56E3 0.0 ! Level 29
89 0.0 -117.12E3 0.0
90 0.0 -58.56E3 0.0
91 0.0 -58.56E3 0.0 ! Level 30
92 0.0 -117.12E3 0.0
93 0.0 -58.56E3 0.0

LOADS	! Loads not in member initial conditions ! i.e. transverse walls etc, columns	49 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 16
1 0.0 0.0 0.0	! Level 0 - Ground Level	50 0.0 -207.36E3 0.0	
2 0.0 0.0 0.0		51 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
3 0.0 0.0 0.0		52 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 17
4 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 1	53 0.0 -207.36E3 0.0	
5 0.0 -207.36E3 0.0		54 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
6 0.0 -103.68E3 -152.352E3		55 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 18
7 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 2	56 0.0 -207.36E3 0.0	
8 0.0 -207.36E3 0.0		57 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
9 0.0 -103.68E3 -152.352E3		58 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 19
10 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 3	59 0.0 -207.36E3 0.0	
11 0.0 -207.36E3 0.0		60 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
12 0.0 -103.68E3 -152.352E3		61 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 20
13 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 4	62 0.0 -207.36E3 0.0	
14 0.0 -207.36E3 0.0		63 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
15 0.0 -103.68E3 -152.352E3		64 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 21
16 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 5	65 0.0 -207.36E3 0.0	
17 0.0 -207.36E3 0.0		66 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
18 0.0 -103.68E3 -152.352E3		67 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 22
19 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 6	68 0.0 -207.36E3 0.0	
20 0.0 -207.36E3 0.0		69 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
21 0.0 -103.68E3 -152.352E3		70 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 23
22 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 7	71 0.0 -207.36E3 0.0	
23 0.0 -207.36E3 0.0		72 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
24 0.0 -103.68E3 -152.352E3		73 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 24
25 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 8	74 0.0 -207.36E3 0.0	
26 0.0 -207.36E3 0.0		75 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
27 0.0 -103.68E3 -152.352E3		76 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 25
28 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 9	77 0.0 -207.36E3 0.0	
29 0.0 -207.36E3 0.0		78 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
30 0.0 -103.68E3 -152.352E3		79 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 26
31 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 10	80 0.0 -207.36E3 0.0	
32 0.0 -207.36E3 0.0		81 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
33 0.0 -103.68E3 -152.352E3		82 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 27
34 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 11	83 0.0 -207.36E3 0.0	
35 0.0 -207.36E3 0.0		84 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
36 0.0 -103.68E3 -152.352E3		85 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 28
37 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 12	86 0.0 -207.36E3 0.0	
38 0.0 -207.36E3 0.0		87 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
39 0.0 -103.68E3 -152.352E3		88 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 29
40 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 13	89 0.0 -207.36E3 0.0	
41 0.0 -207.36E3 0.0		90 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
42 0.0 -103.68E3 -152.352E3		91 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 30
43 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 14	92 0.0 -207.36E3 0.0	
		93 0.0 -103.68E3 -152.352E3	

44 0.0 -207.36E3 0.0	
45 0.0 -103.68E3 -152.352E3	
46 0.0 -103.68E3 -152.352E3	! Level 15
47 0.0 -207.36E3 0.0	
48 0.0 -103.68E3 -152.352E3	

EQUAKE

0 1 0.01 0.4 0

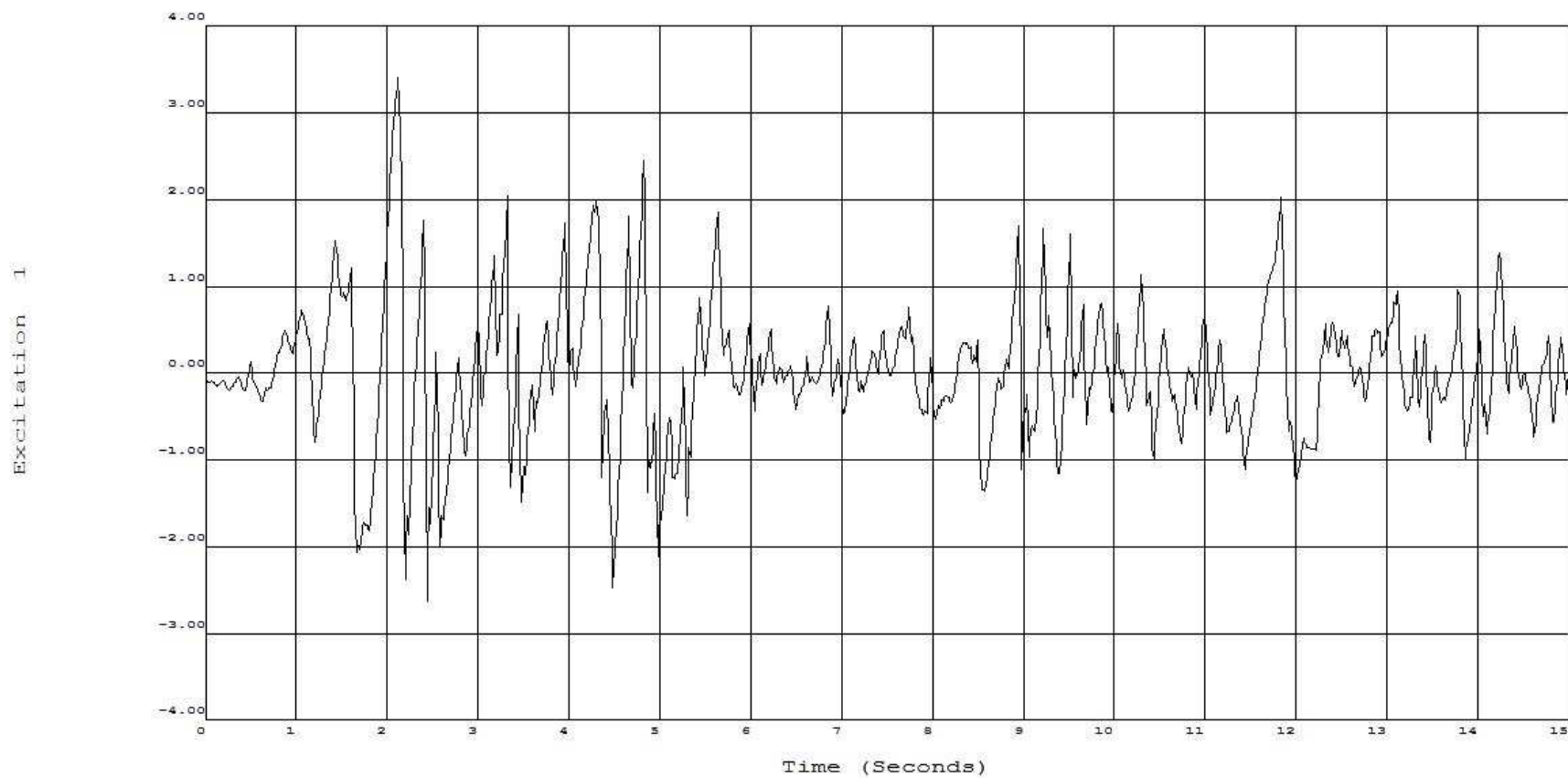
! "BERG" format accelerogram

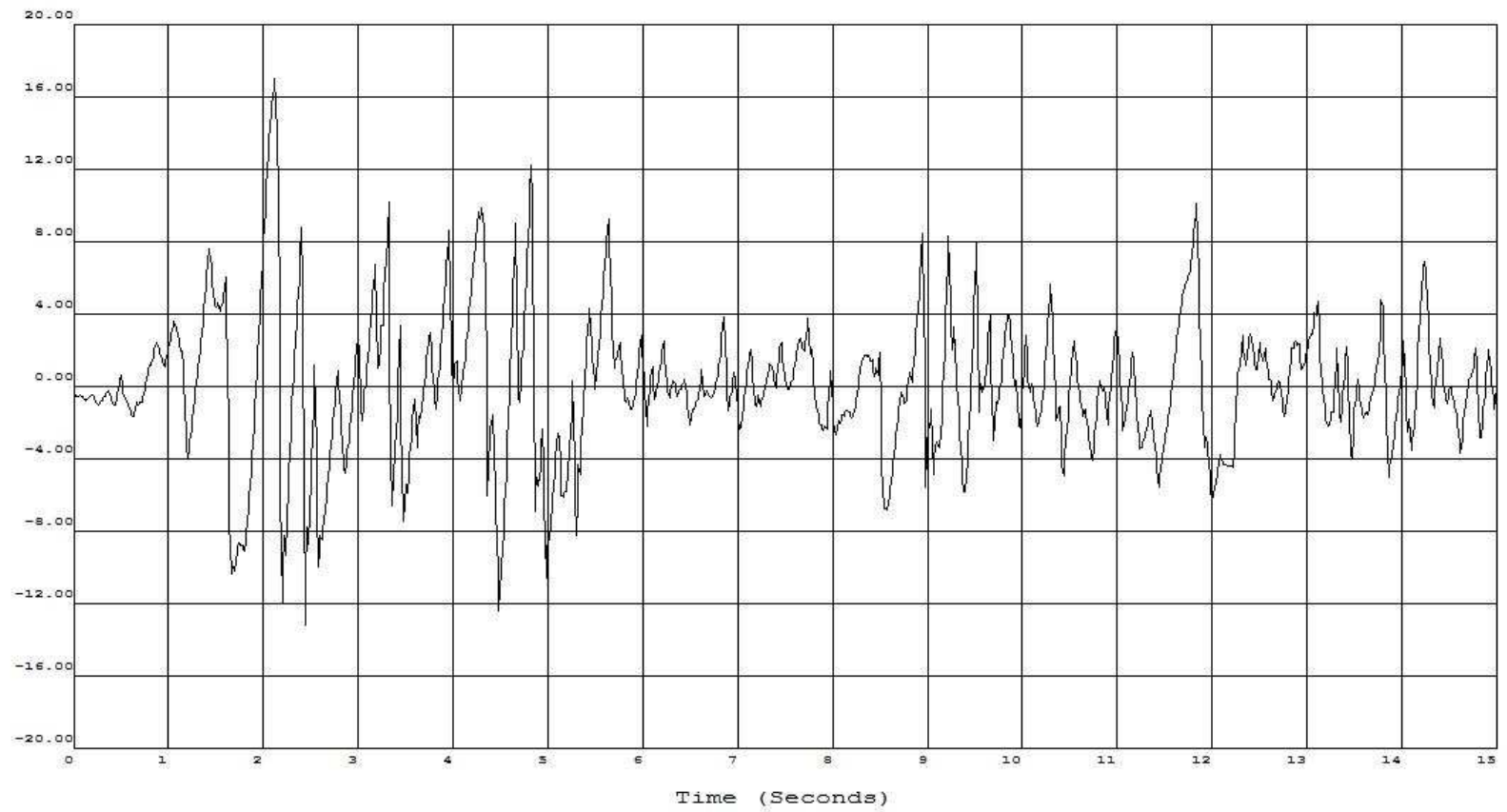
Bijlage A2: Test resultaten eerste fase en aardbeving accelogrammen

Steel frame		Berg format				Free format		NCEER format	
		el40nsc.eqb	el40ewc.eqb	buchnsc.eqb	pacmsw.eqb	grace.eqf	hallc5.eqf	kobe95ew.eqn	kobe95up.eqn
	Toegepaste schaal factor	0.2	0.15	0.2	0.4	0.2	330	320	250
	Post-file naam	El centro 1	El centro 2	Buch	Pacsw	Gracealt2	Hall	Kobe 1	Kobe 2
	Plastische vervorming	nee	ja	ja	ja	nee	ja	nee	nee
HE450A	Max Moment ligger	9.26E05 (-)	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	7.2E05	1.028E06 (cap.)	6.94E05	6.04E5
	Max Ductiliteit ligger	nvt	2.39	5.96	1.43	nvt	6.67	nvt	nvt
HE600A	Max Moment kolom	1.43E06 (-)	1.7E06 (cap.)	1.7E06 (cap.)	1.7E06 (cap.)	1.09E06	1.7E06 (cap.)	1.15E06	9.04E05
	Max Ductiliteit kolom	nvt	1.34	5.29	1.08	nvt	9.28	nvt	nvt
	Aantal hinges	0	39	79	44	0	54	0	33 ⁰
		CSMIP format						NCEER format	
		pacm941.eqs	pacm942.eqs	pacm943.eqs	sylm94d.eqs	sylm941.eqs	sylm949.eqs	kobe95ns.eqn	
	Toegepaste schaal factor	290	294.3	300	190	190	190	250	
	Post-file naam	Pac 1	Pac 2	Pac 3	Syl 1	Syl 2	Syl 3	Kobe 3	
	Plastische vervorming	nee	nee	nee	ja	nee	ja	ja	
HE450A	Max Moment ligger	8.62E05	5.03E5	6.05E05	1.028E06 (cap.)	4.88E05	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	
	Max Ductiliteit ligger	nvt	nvt	nvt	1.35	nvt	1.033	1.094	
HE600A	Max Moment kolom	1.27E06	5.9E05	9.35E05	1.7E06 (cap.)	5.51E05	1.62E06	1.7E06 (cap.)	
	Max Ductiliteit kolom	nvt	nvt	nvt	1.08	nvt	nvt	1.541	
	Aantal hinges	0	0	0	16	0	2	6	

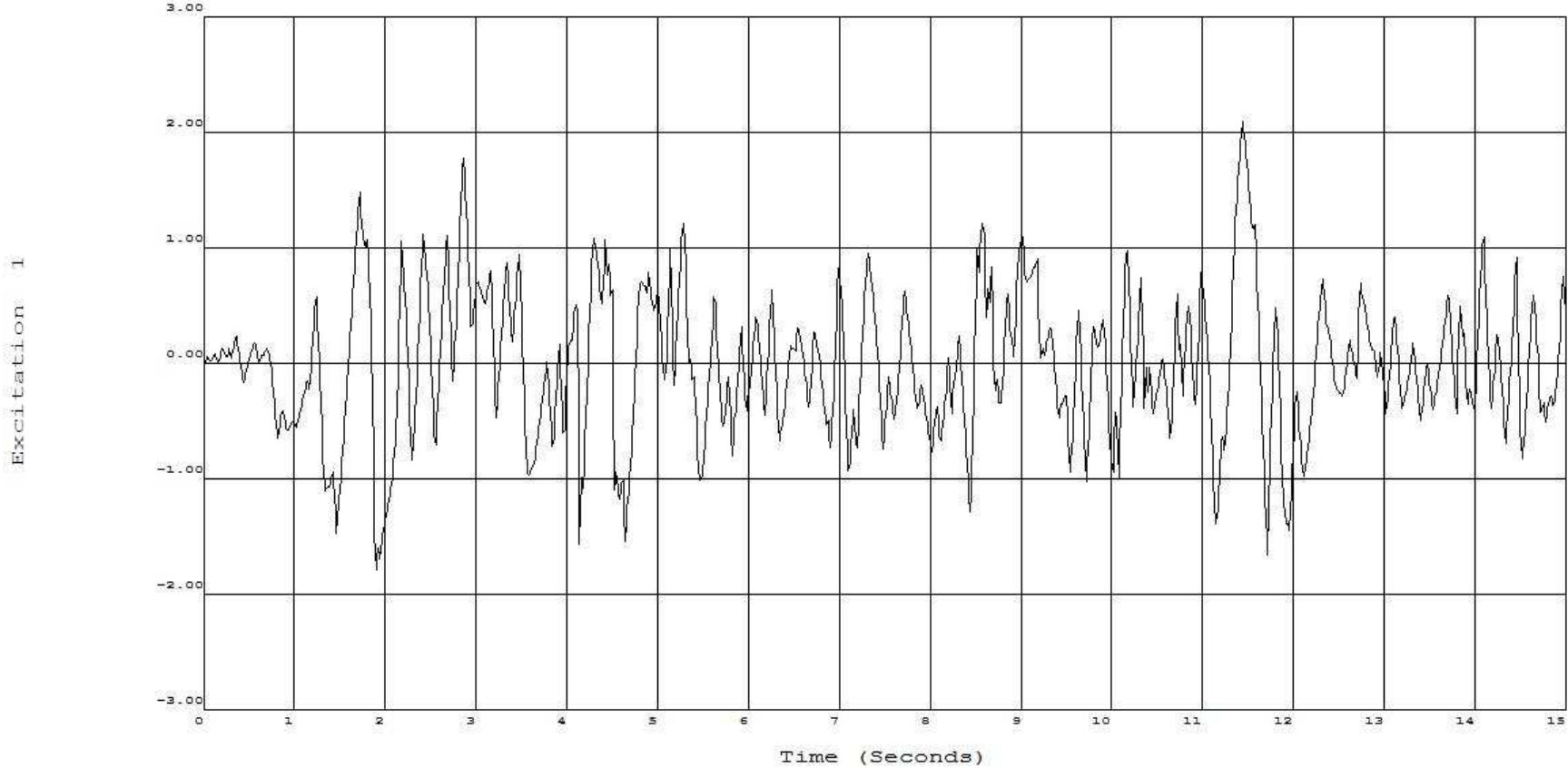
Bijlage A3: De ongeschaalde accelogrammen gevolgd door de geschalde versie (schaal factoren zoals op tabel boven vermeld)

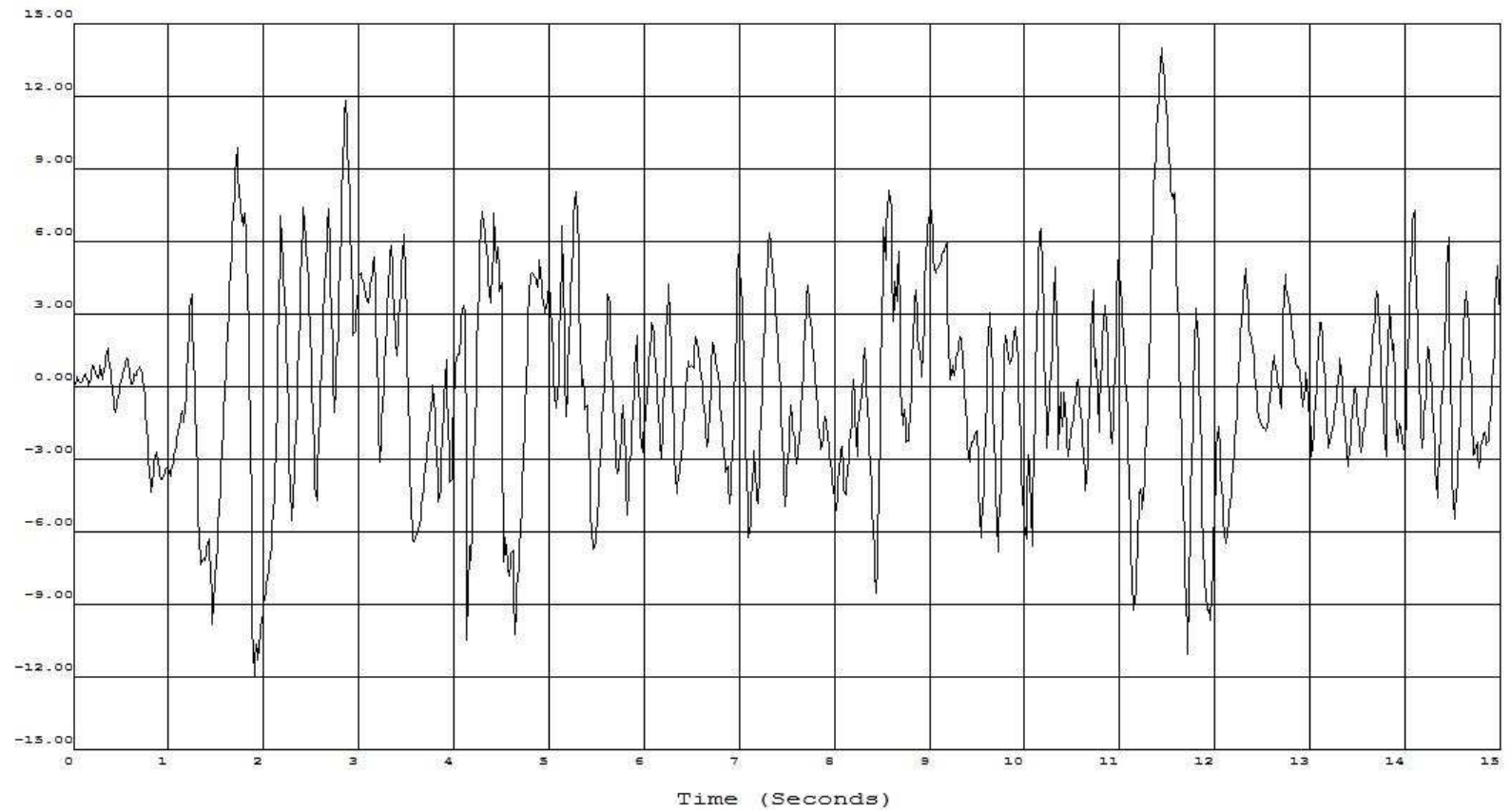
El centro 1 accelogram:



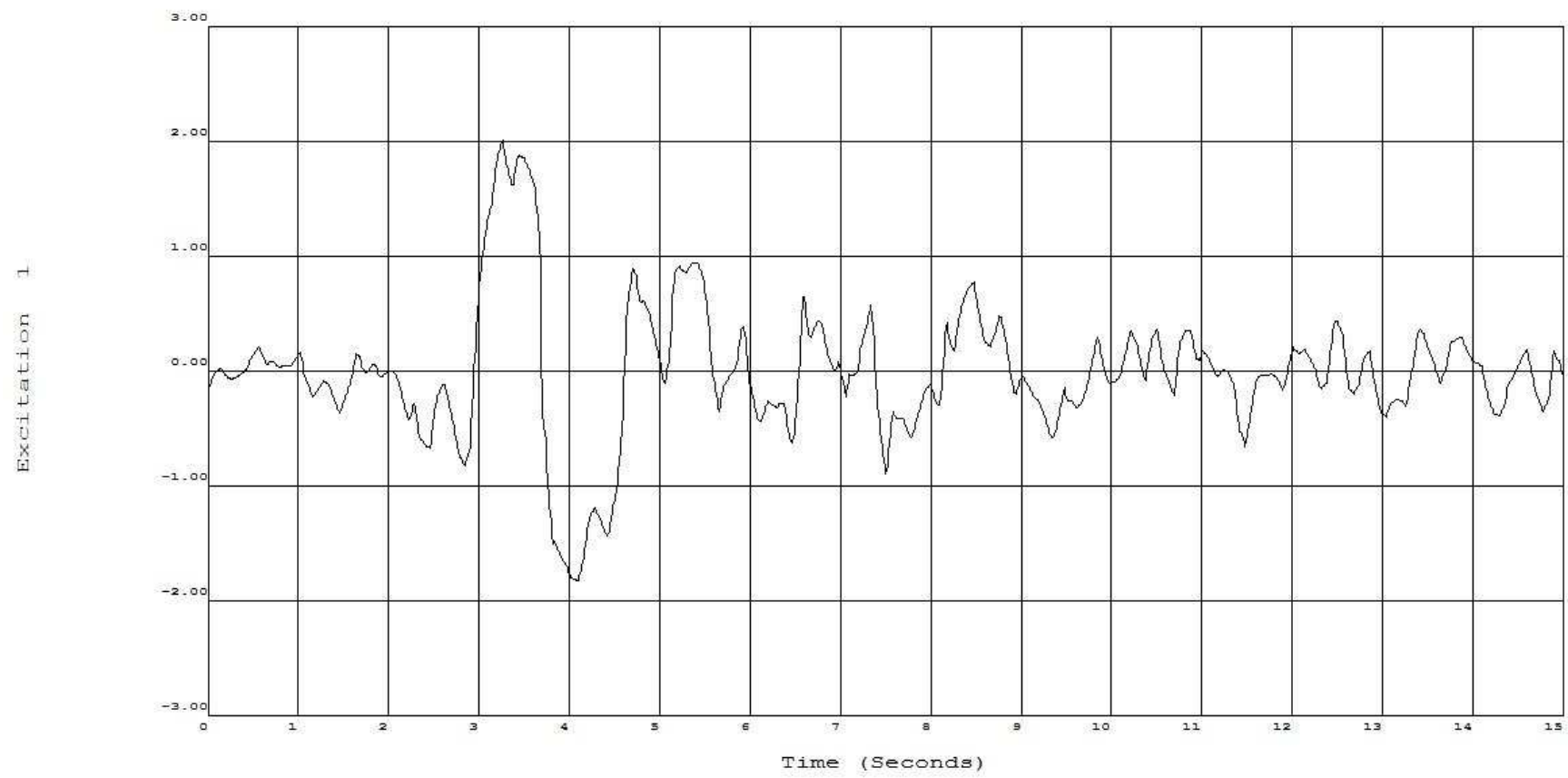


El centro 2 accelogram:

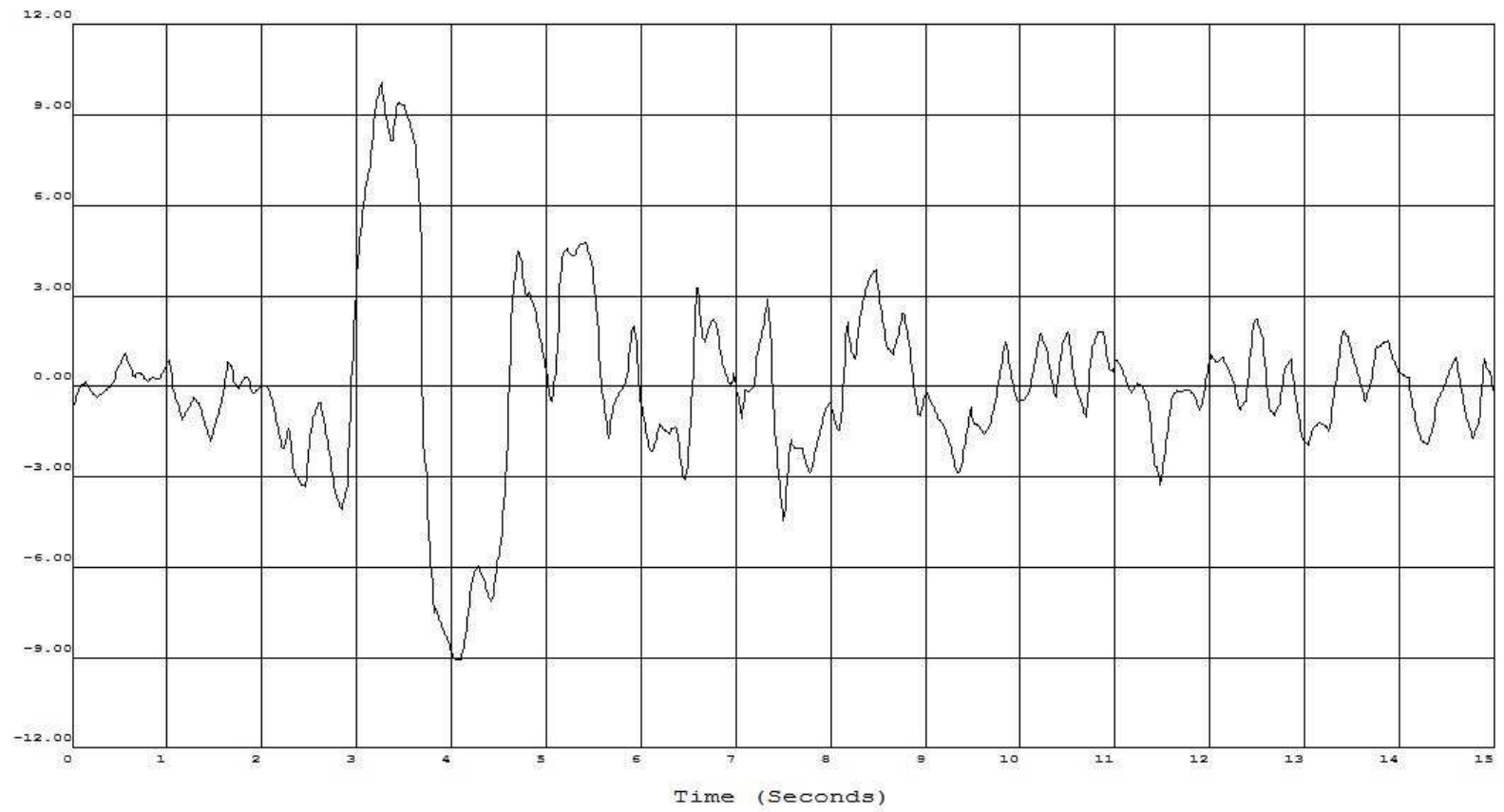




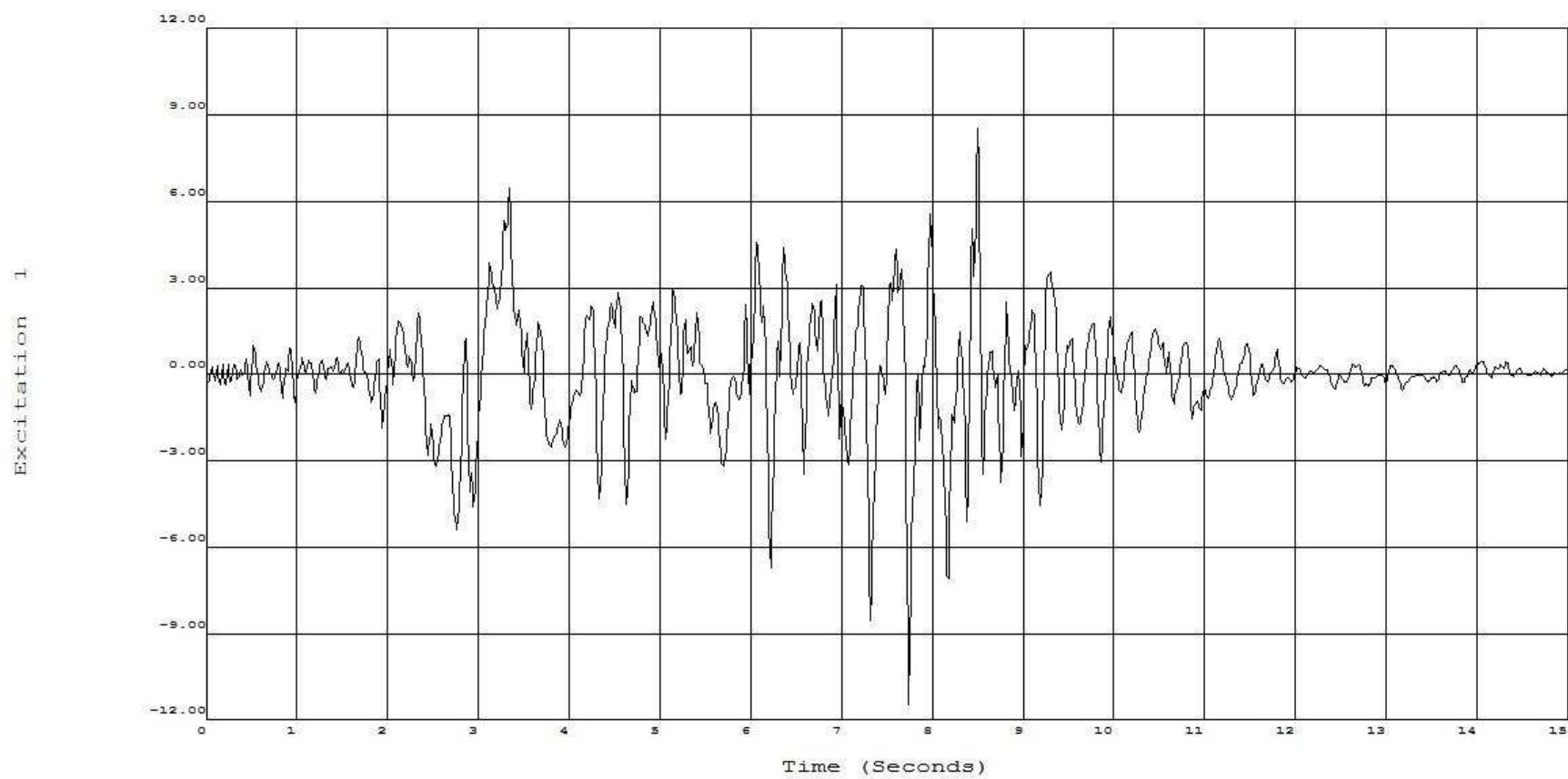
Buch accelogram:



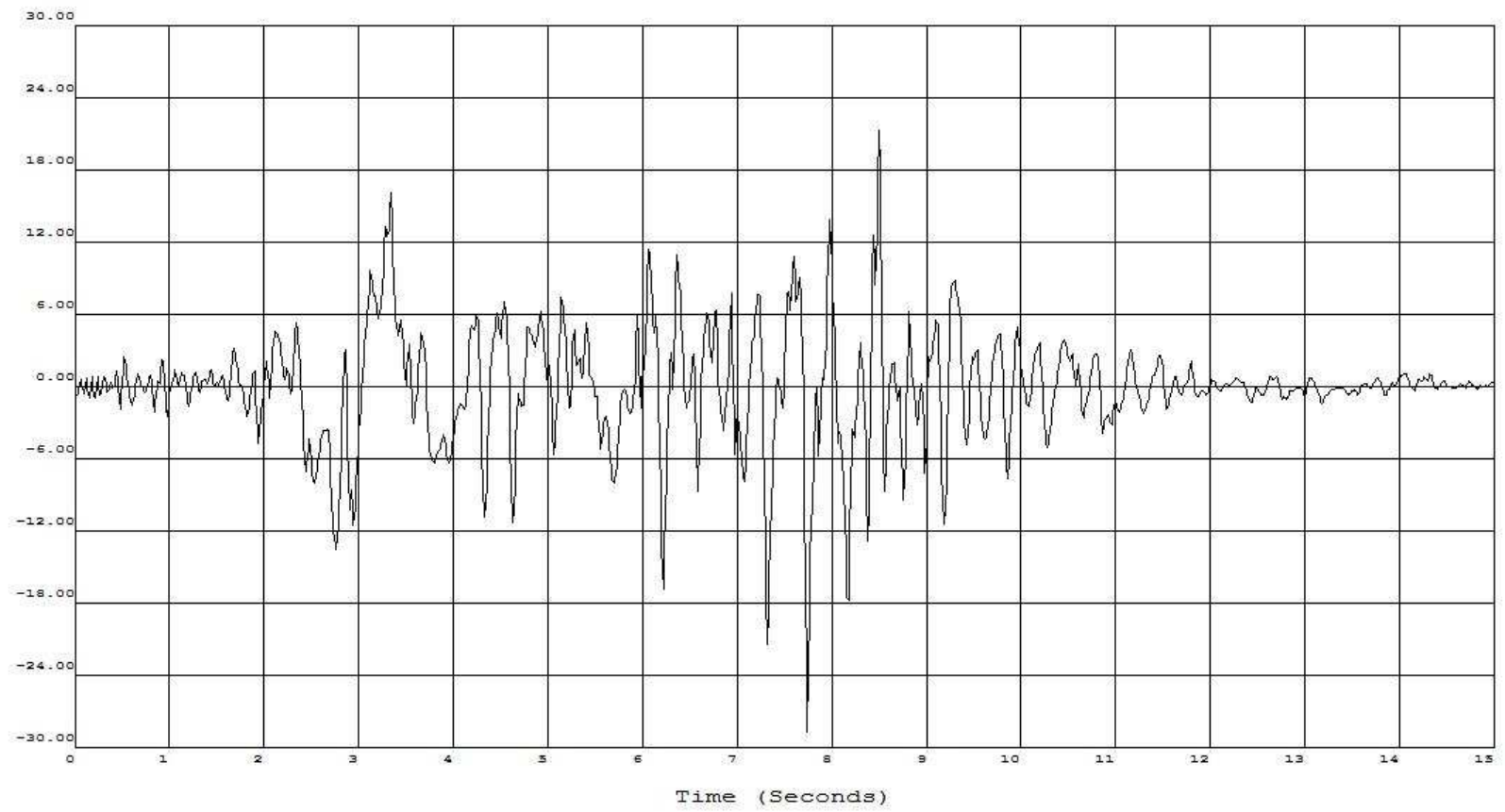
Excitation 1



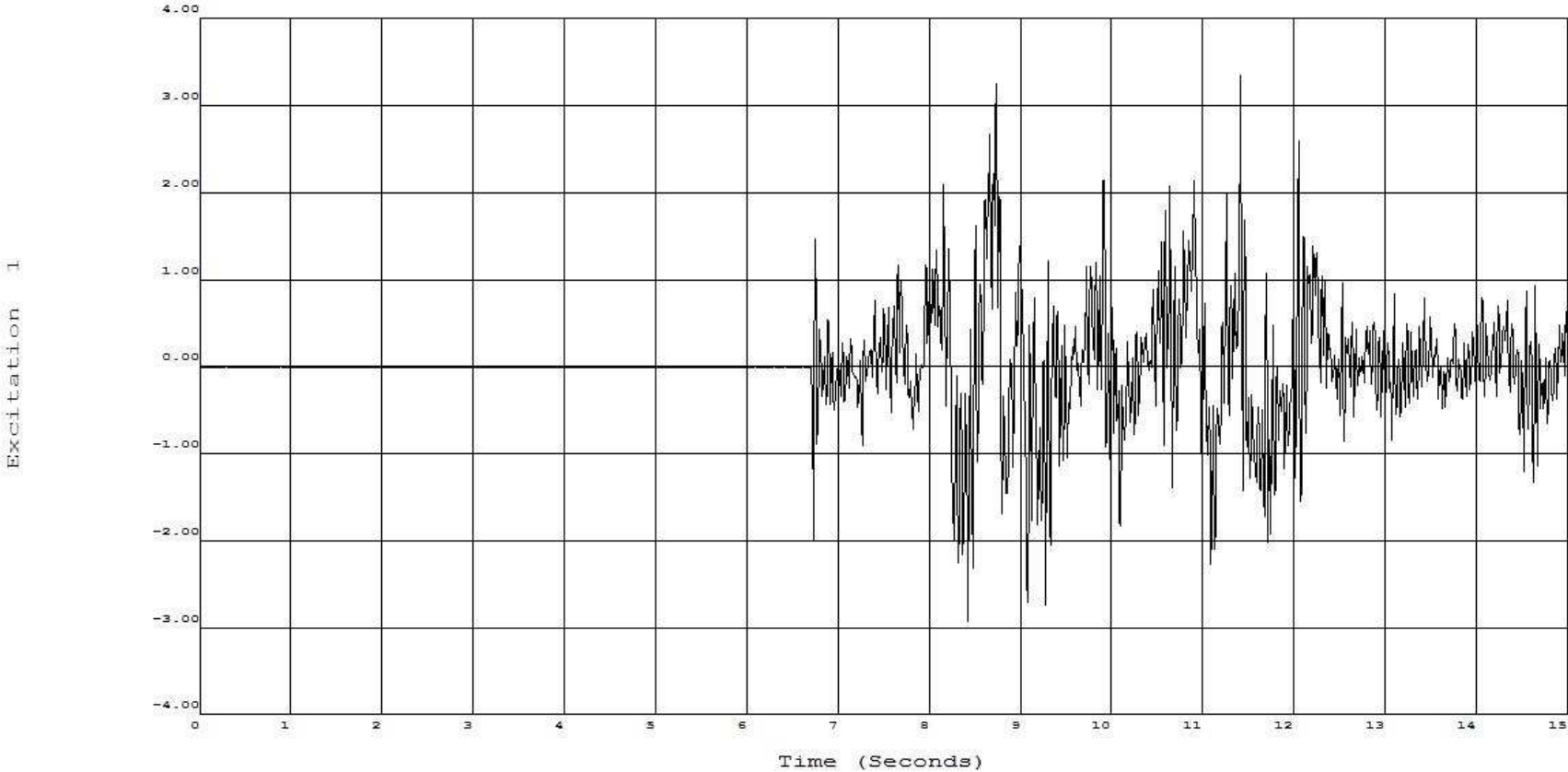
Pacsw accelogram:



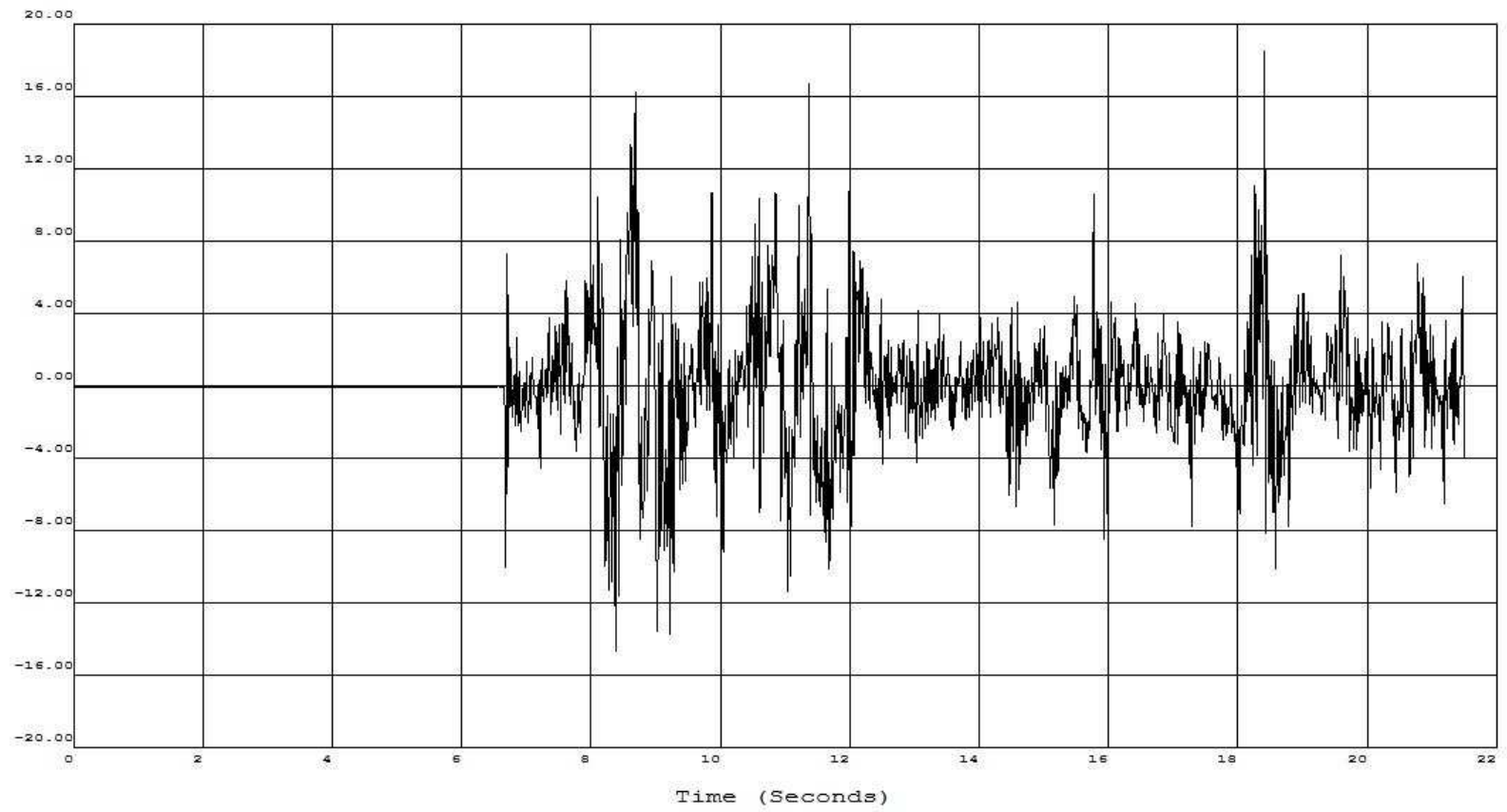
Excitation 1



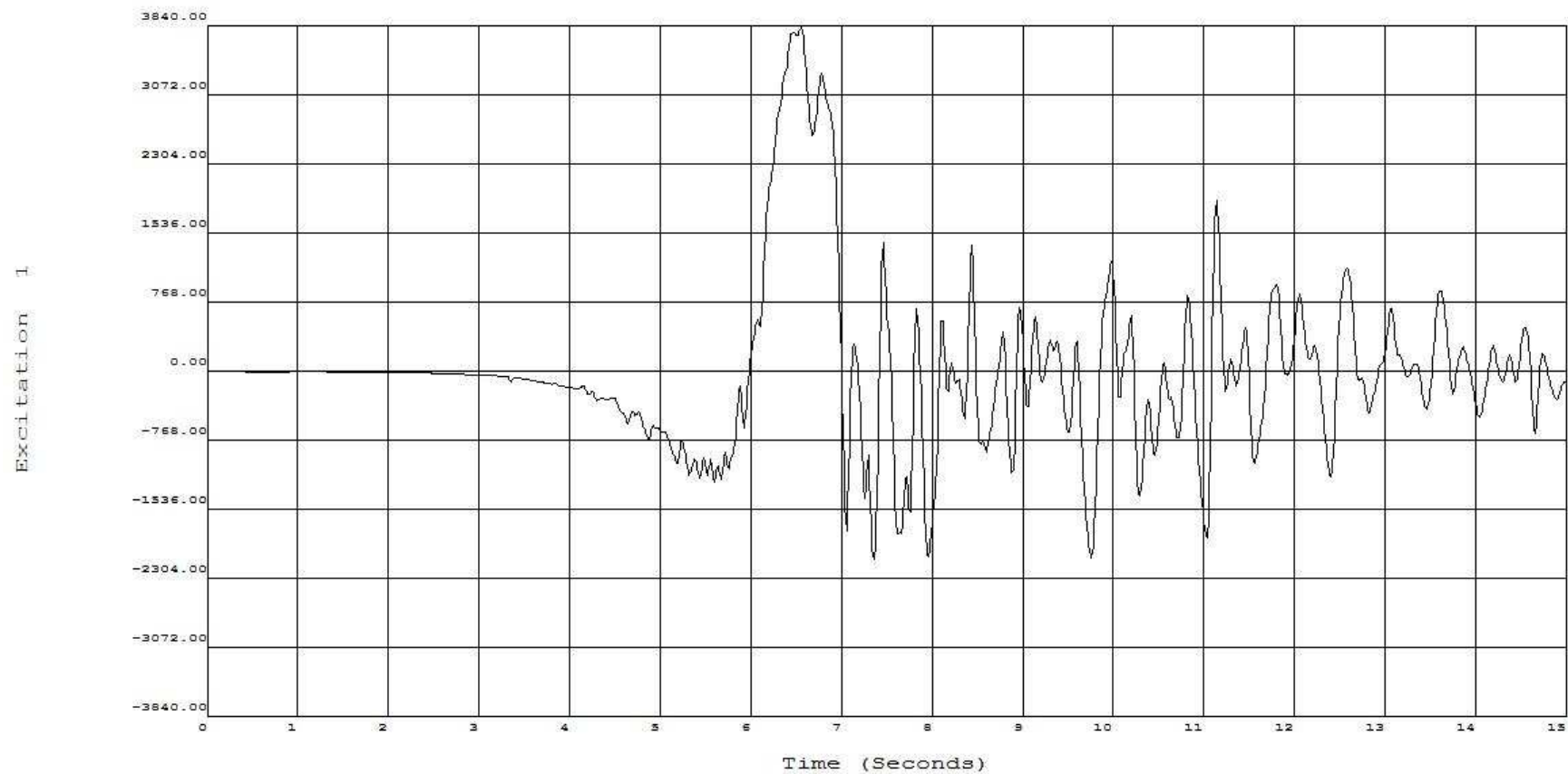
Grace accelogram:



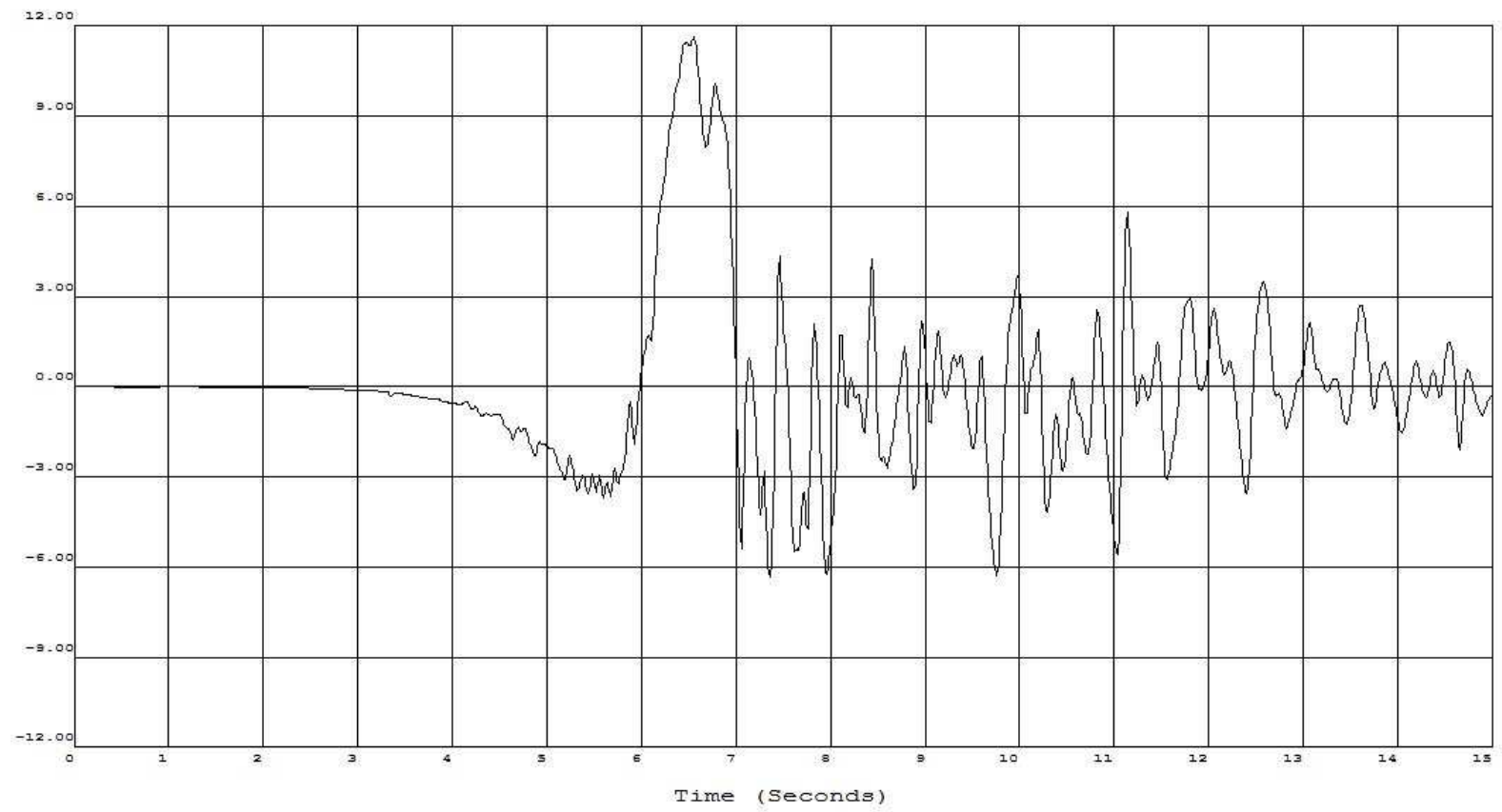
Excitation 1



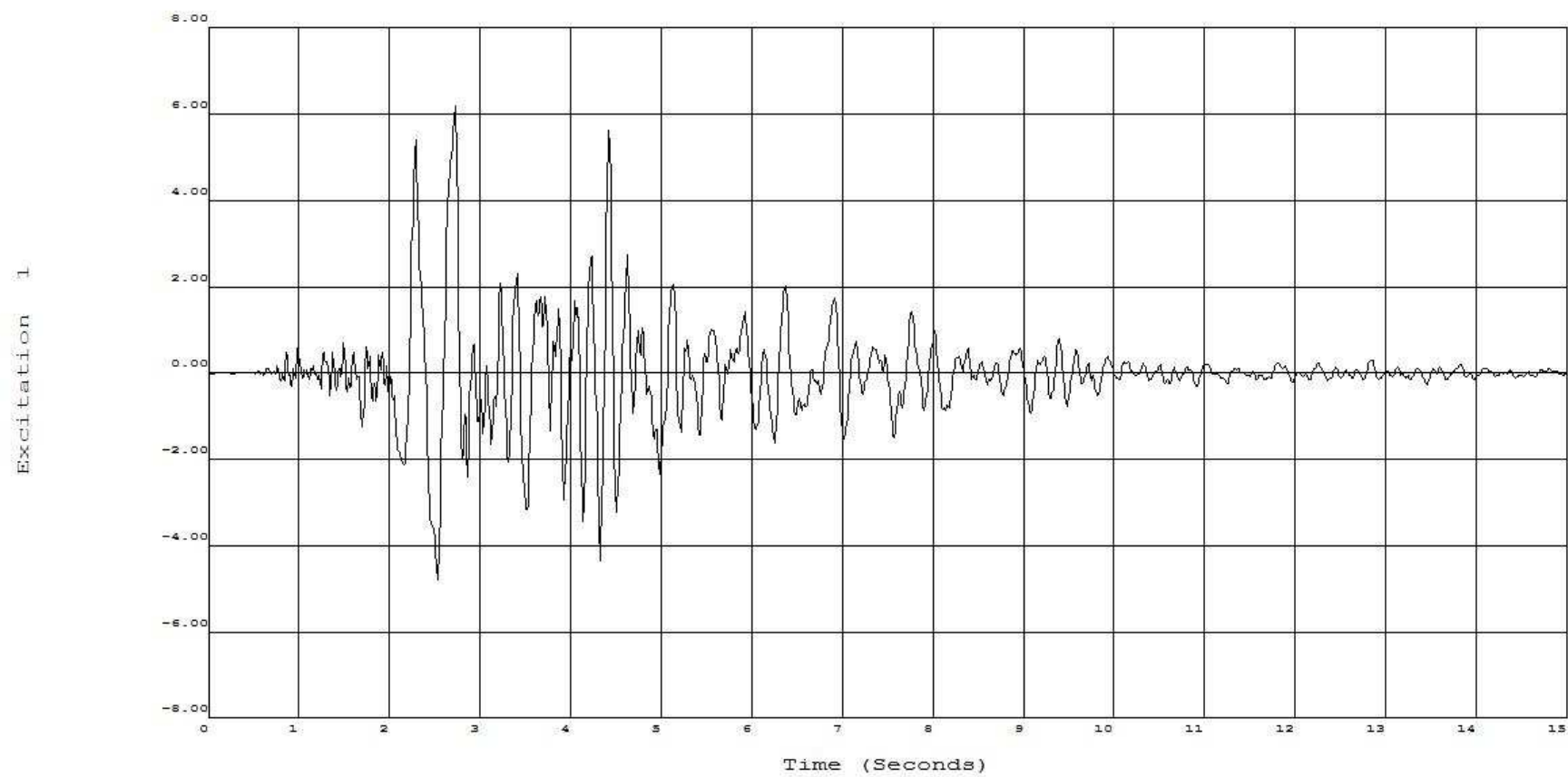
Hall accelogram:

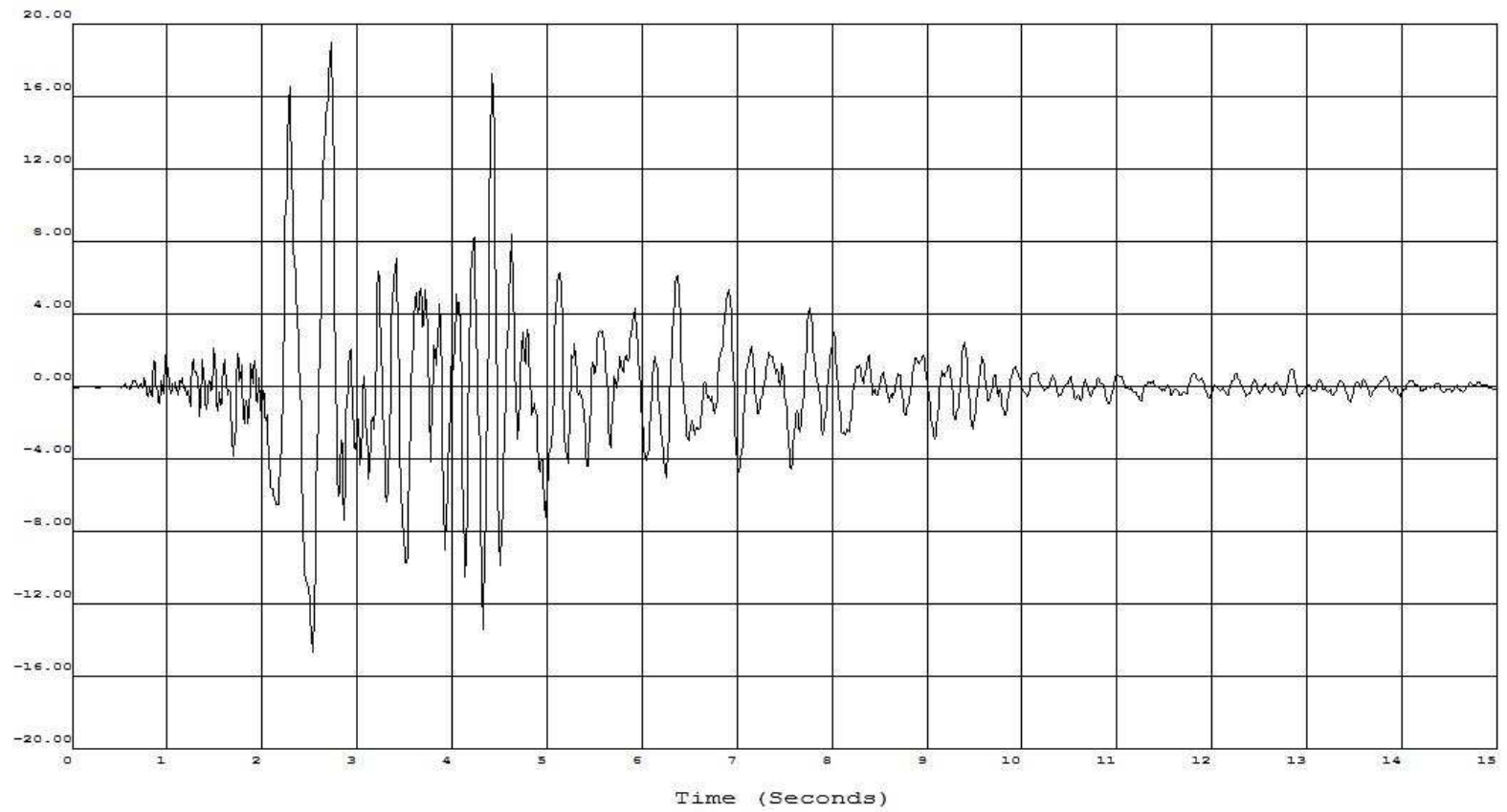


Excitation 1

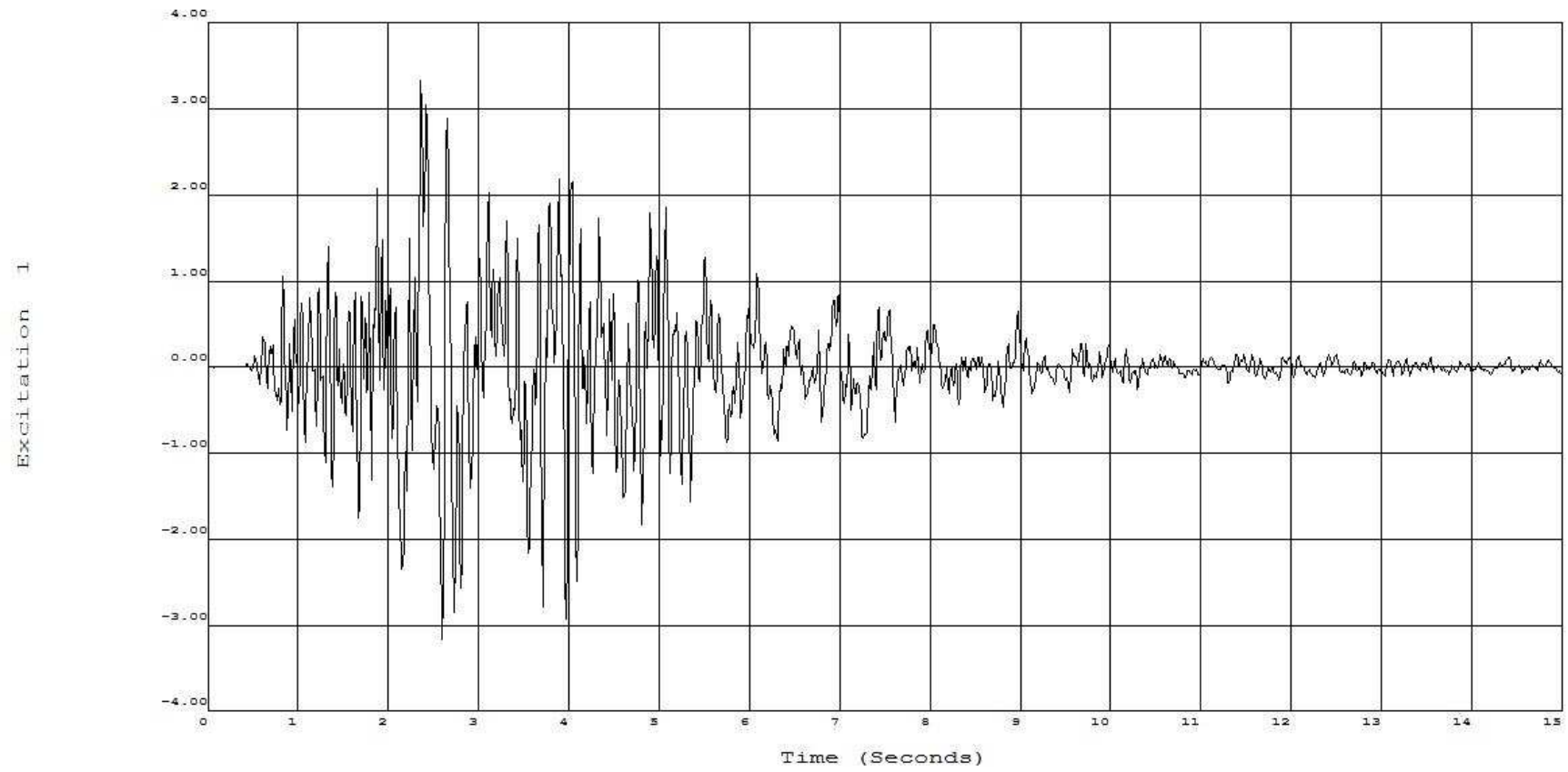


Kobe 1 accelogram:

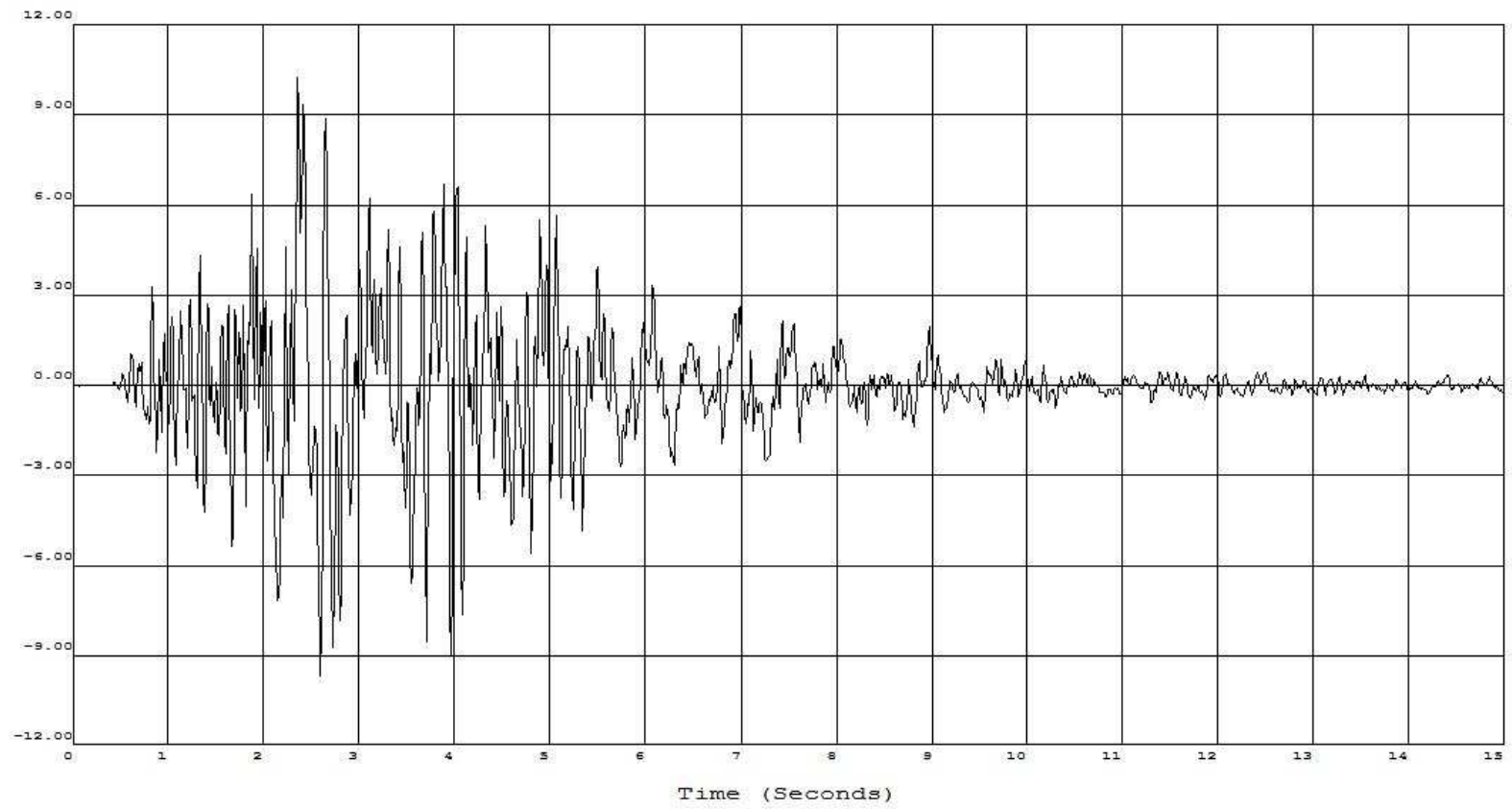




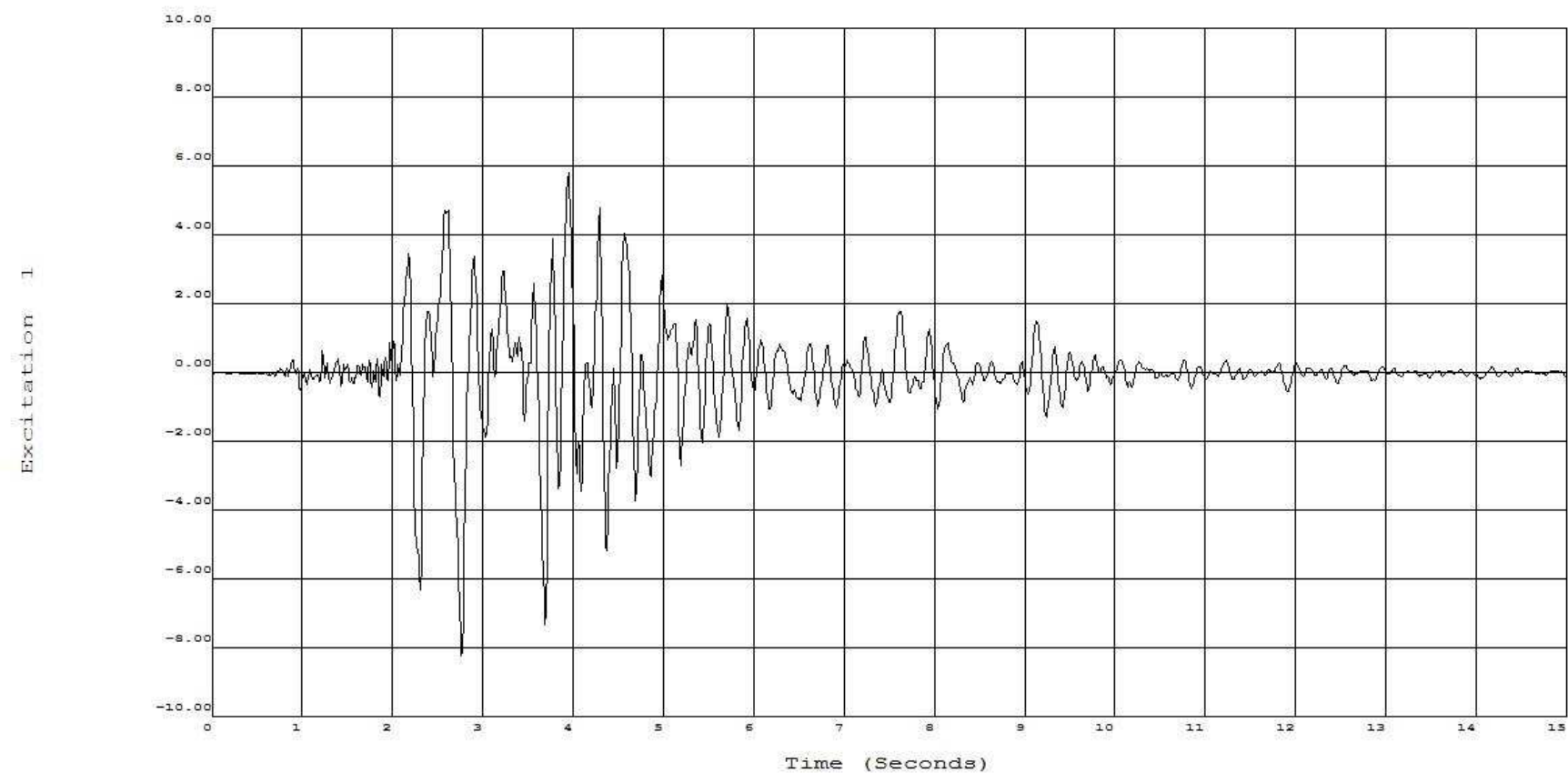
Kobe 2 accelogram:

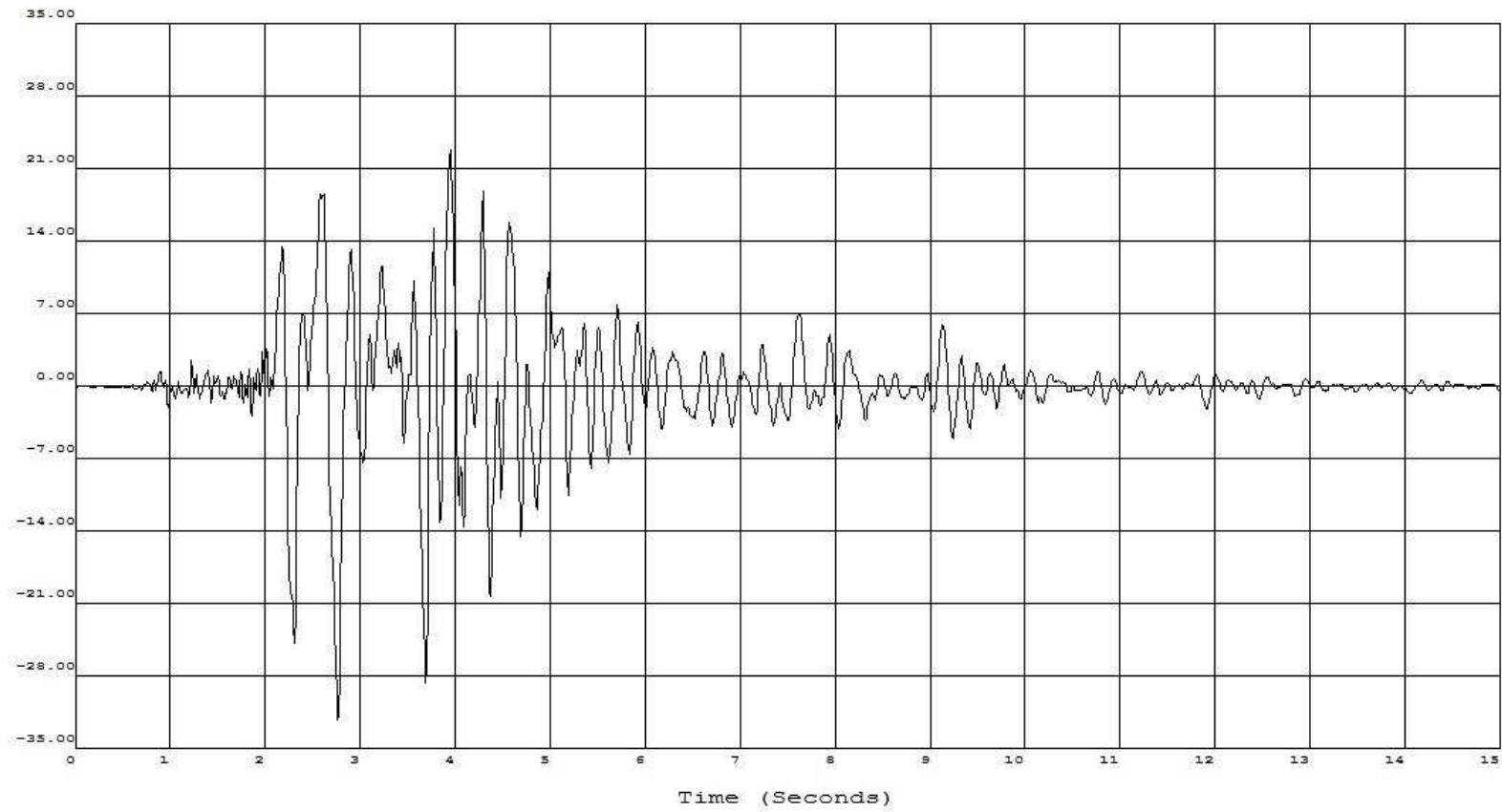


Excitation 1

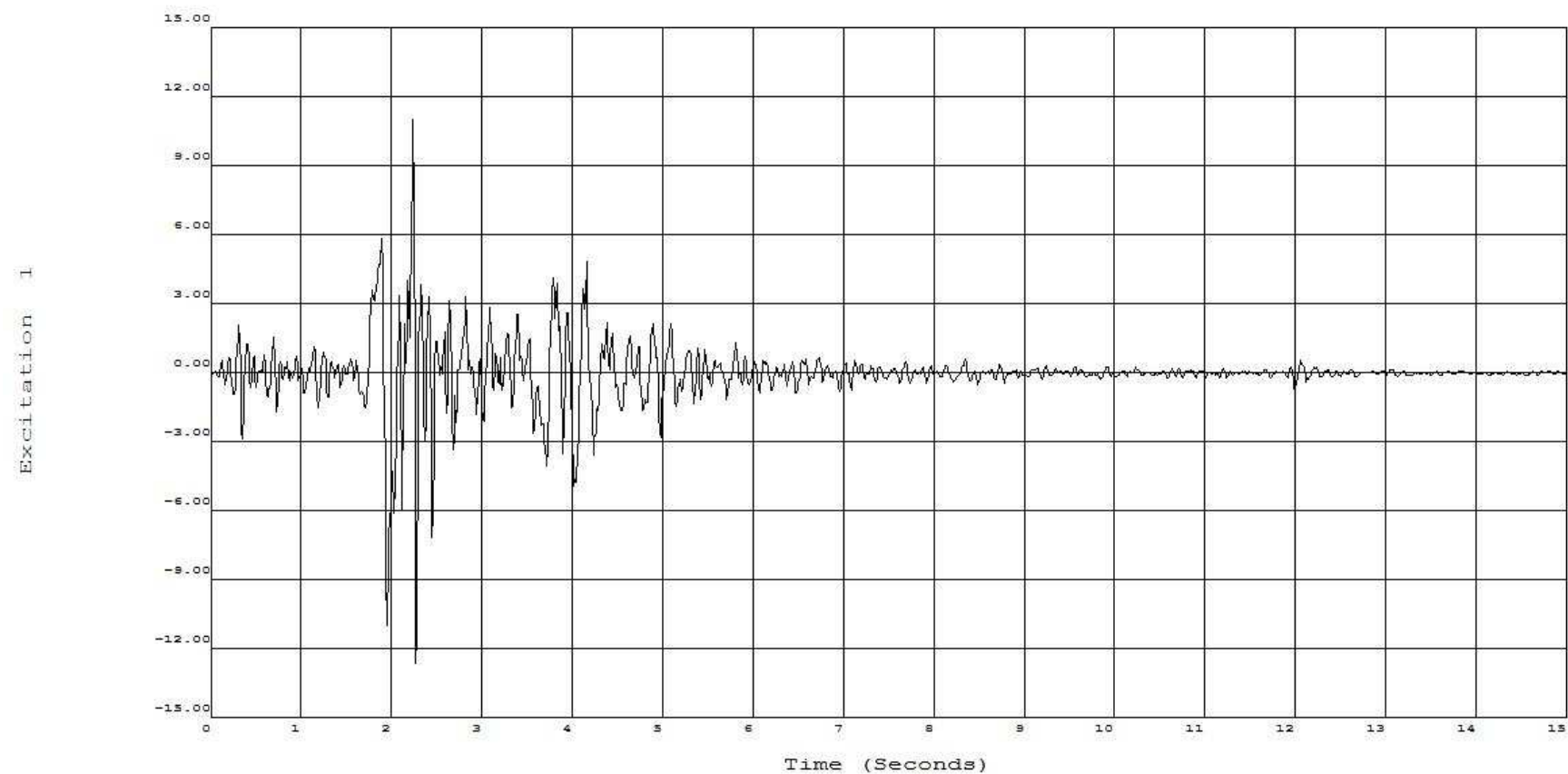


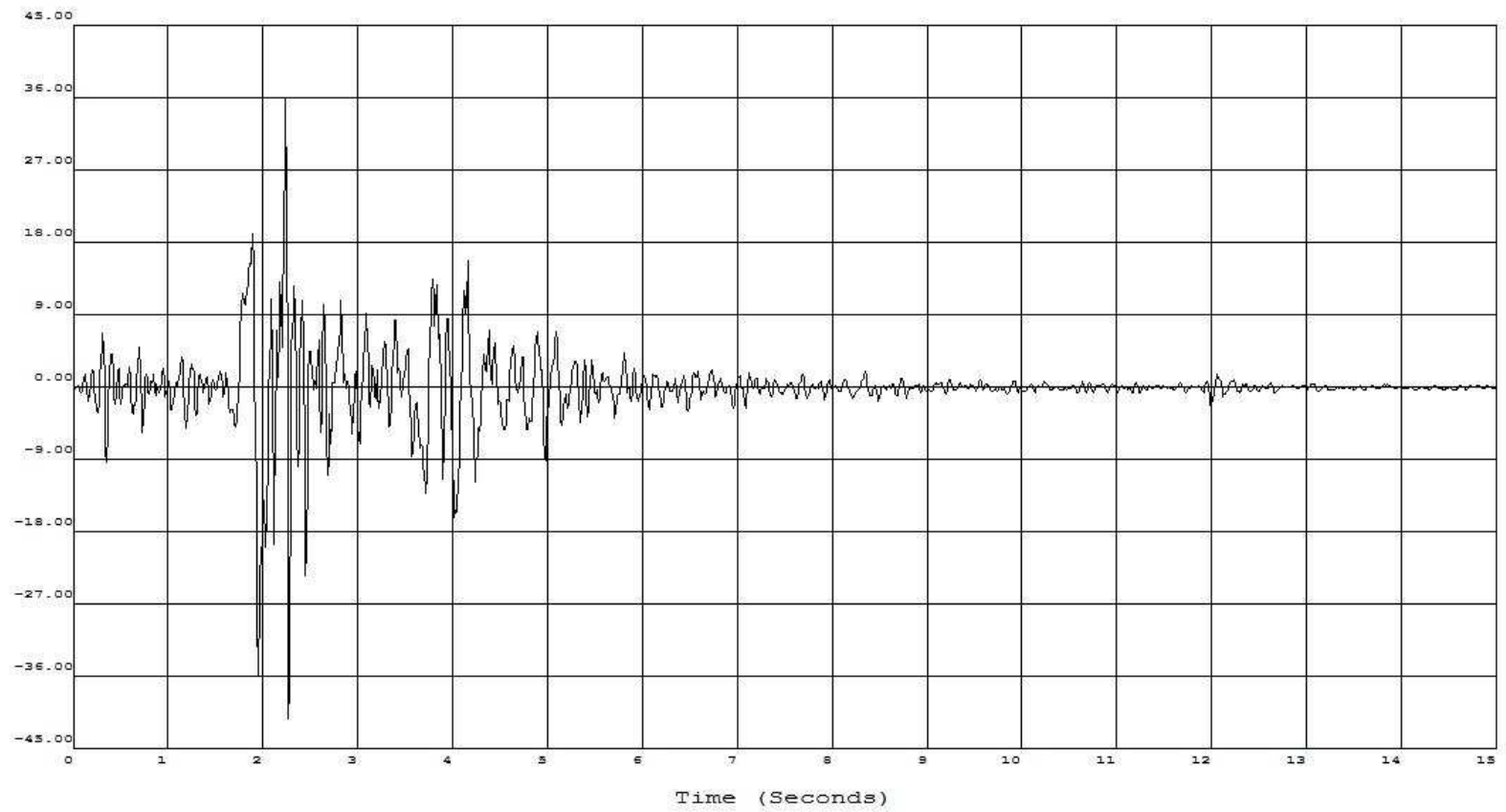
Kobe 3 accelogram:



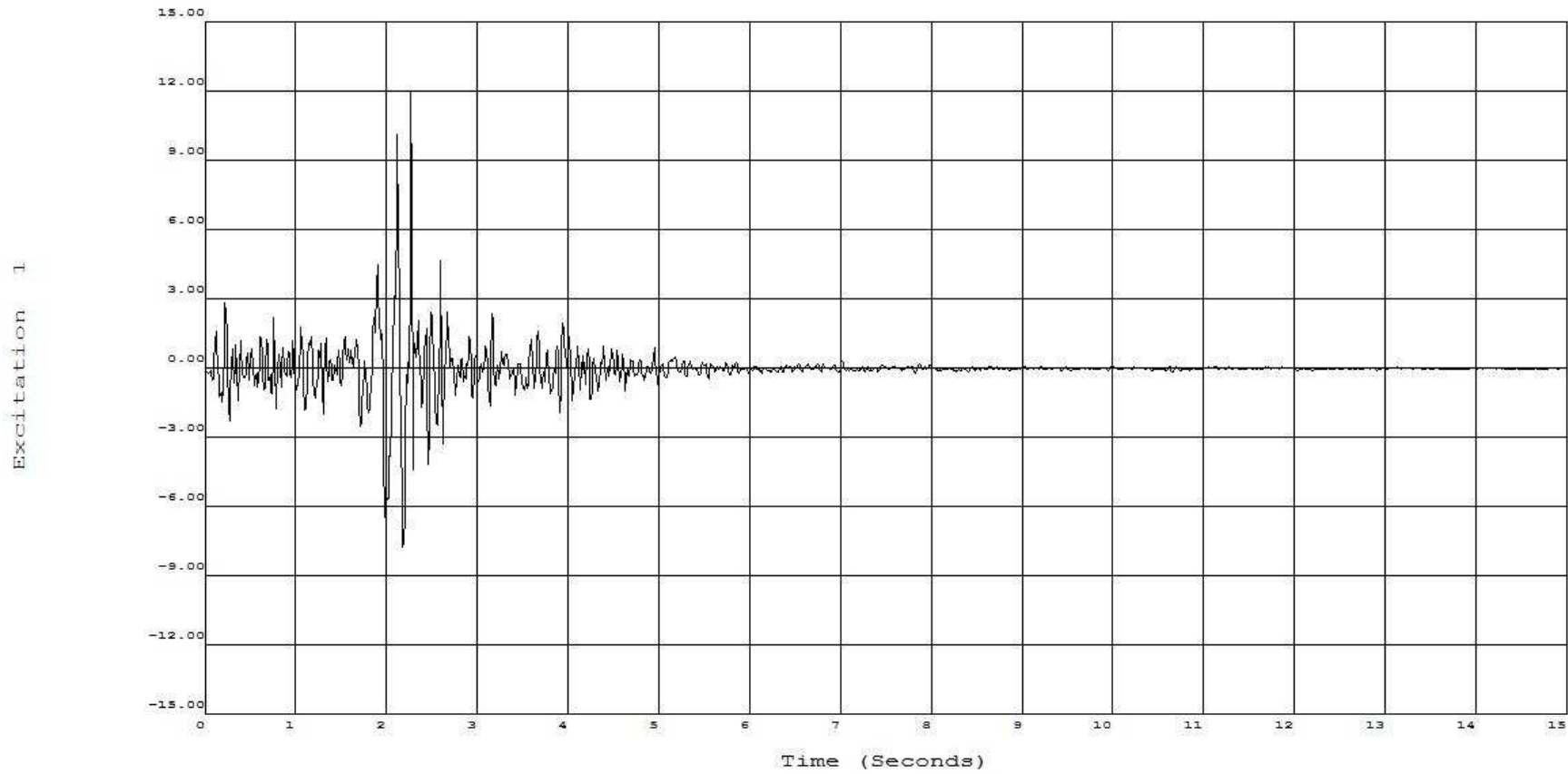


Pac 1 accelogram:

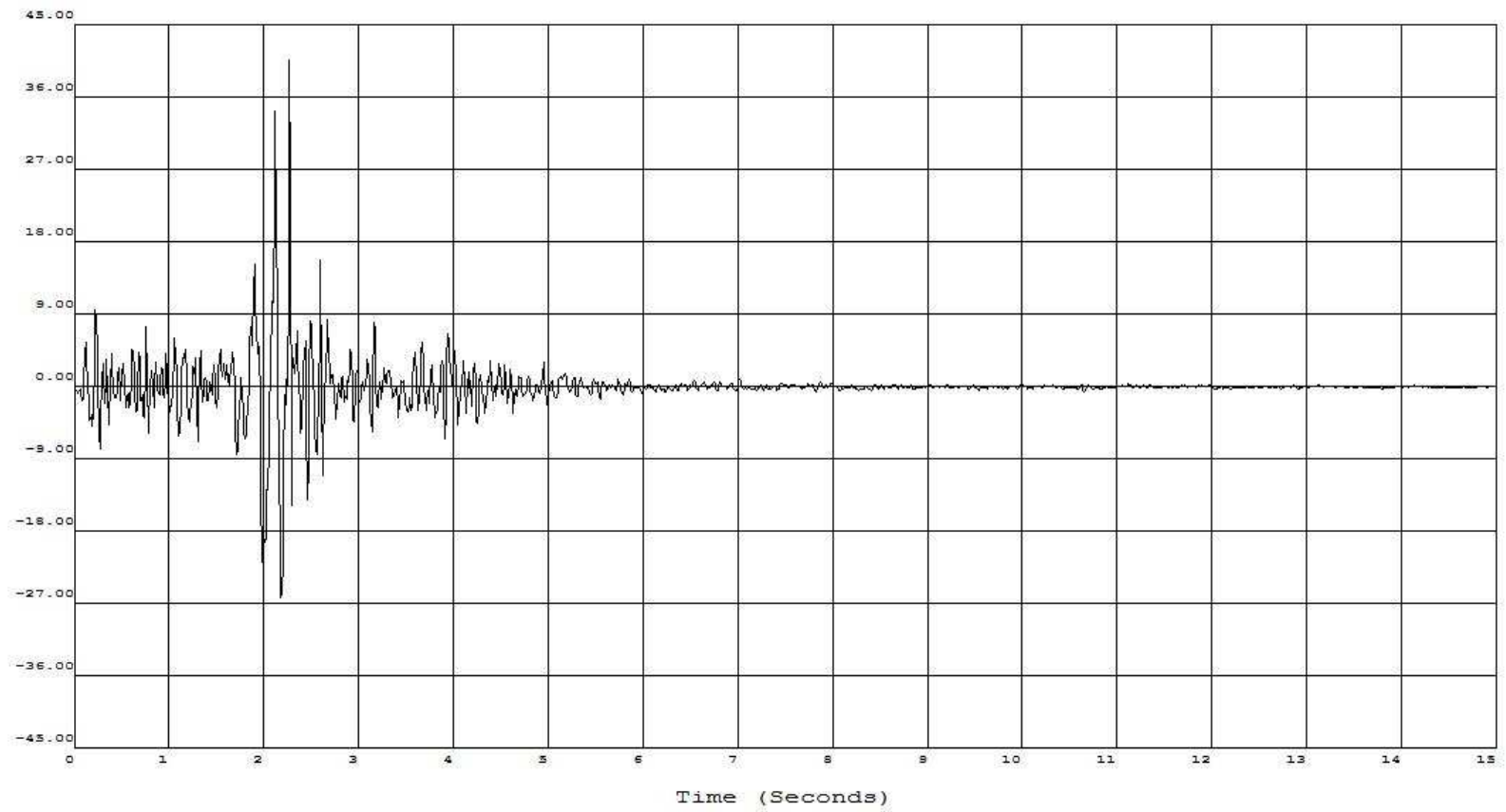




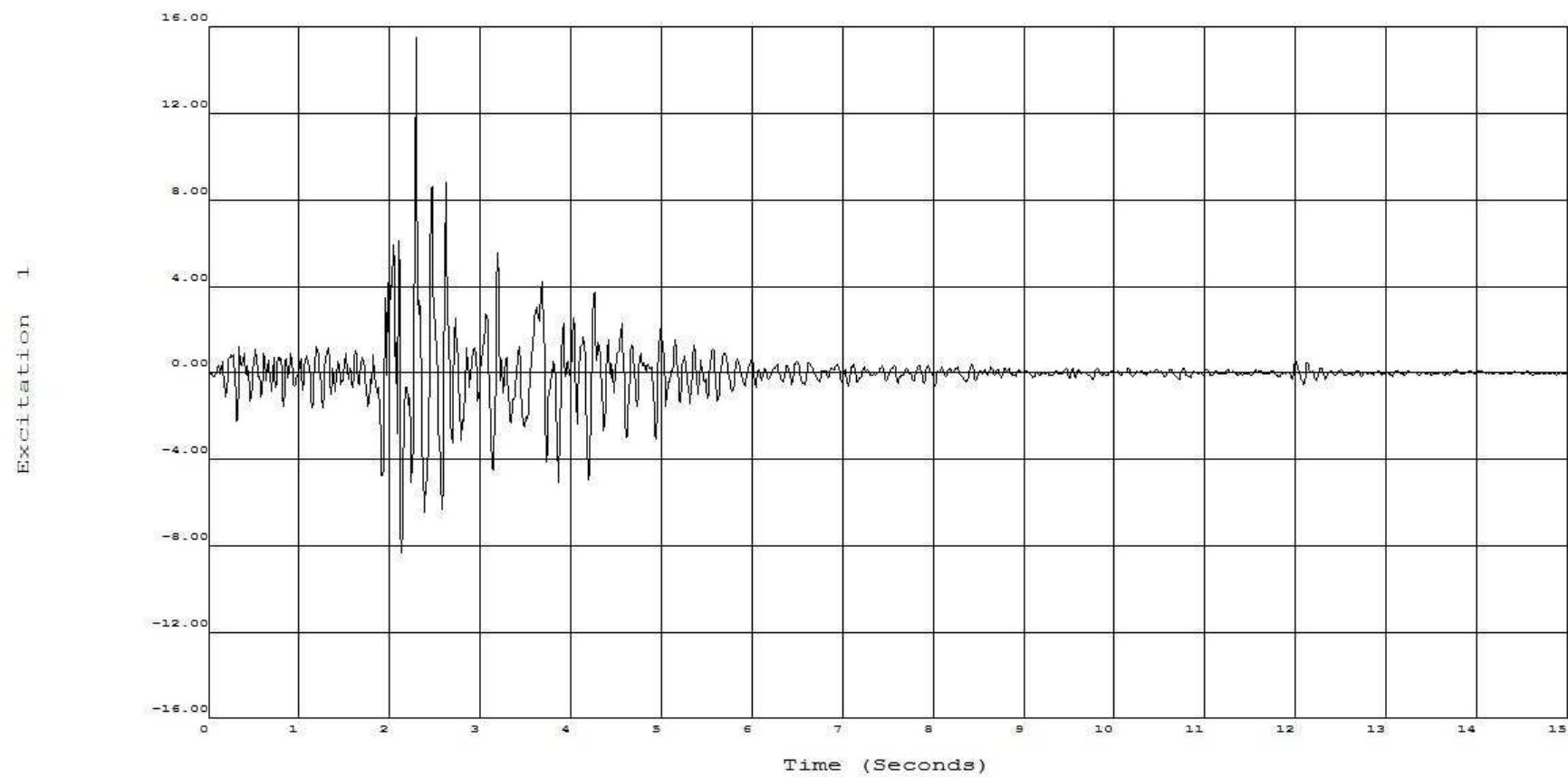
Pac 2 accelogram:

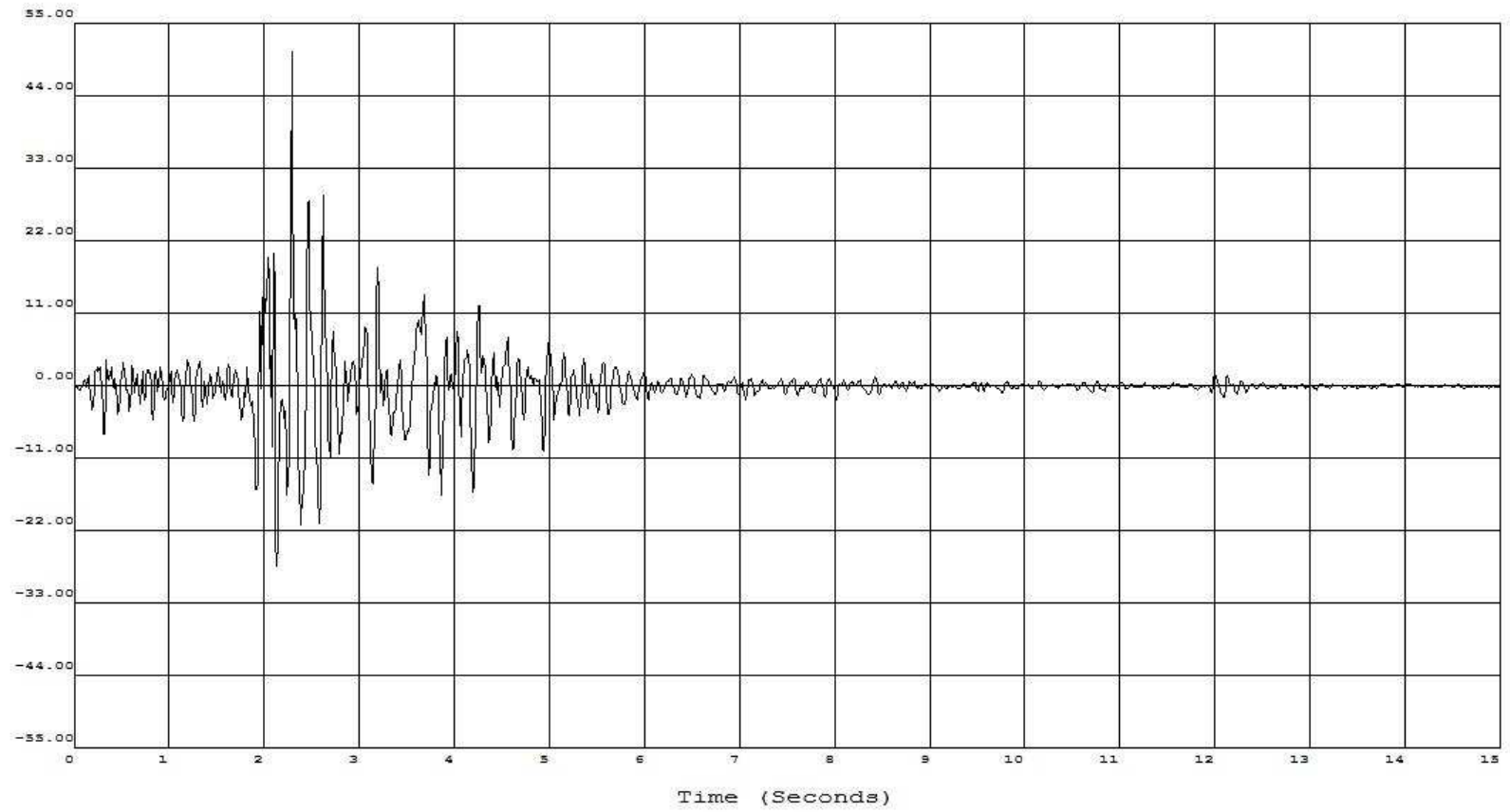


Excitation 1

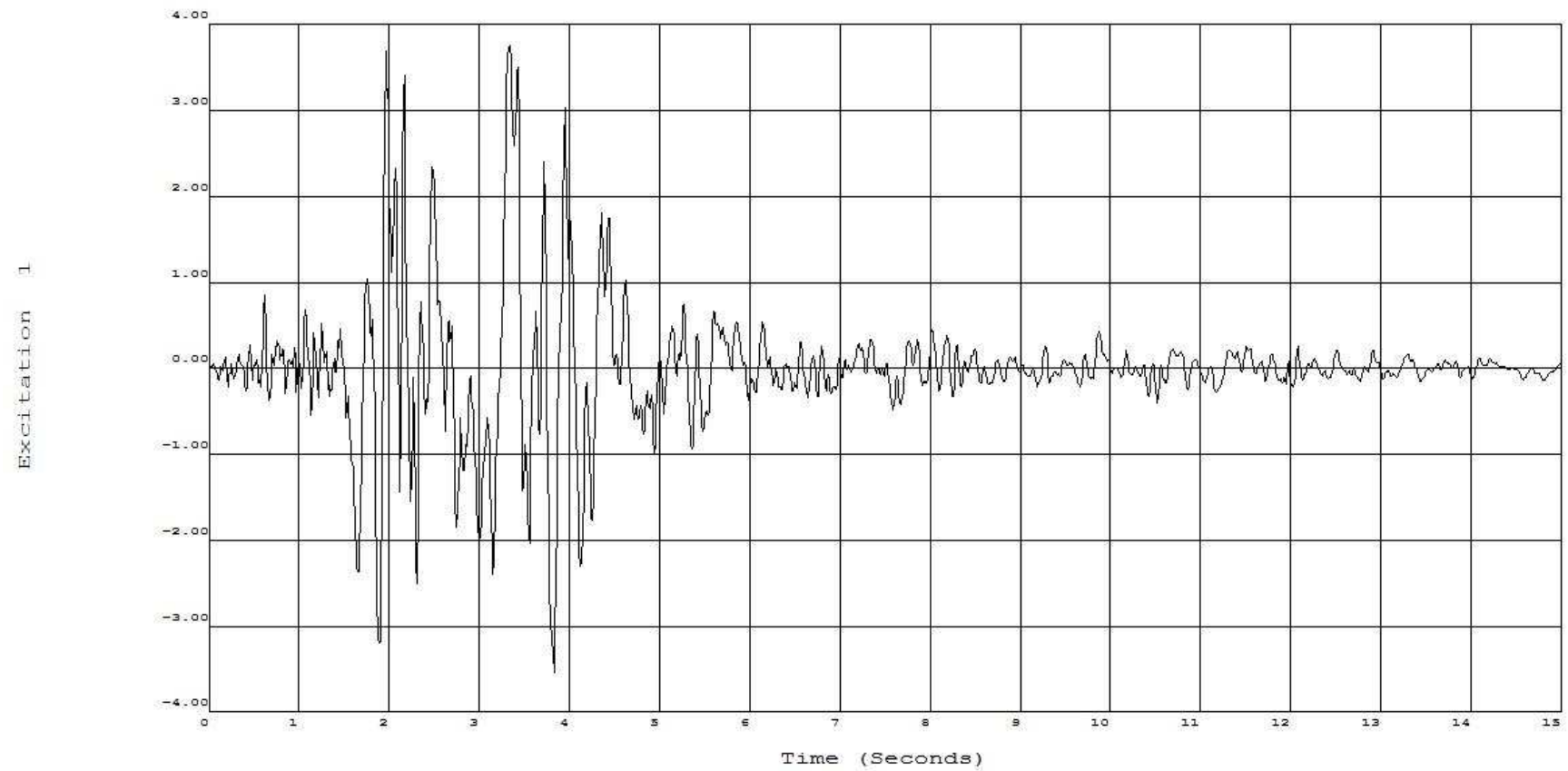


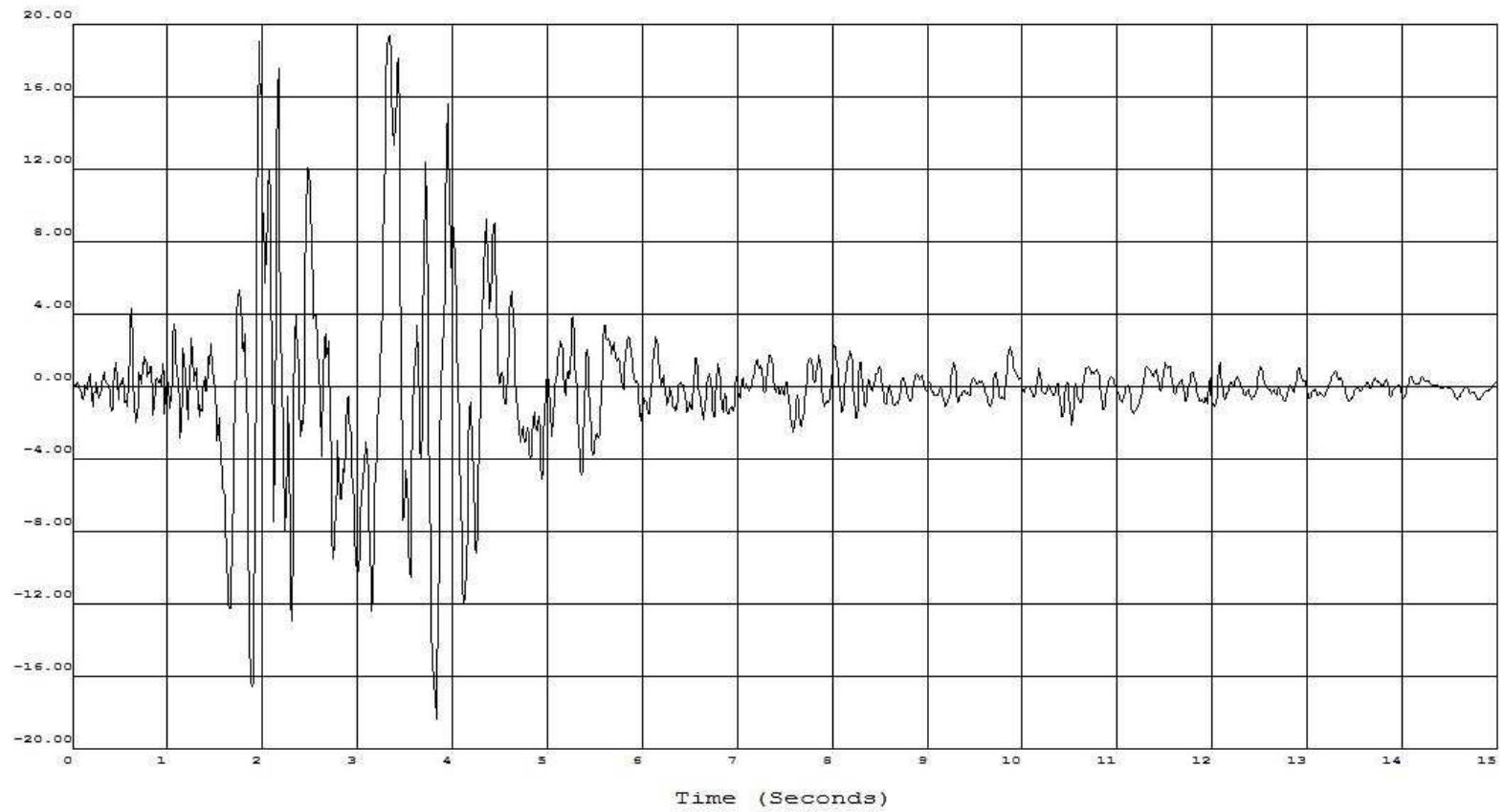
Pac 3 accelogram:



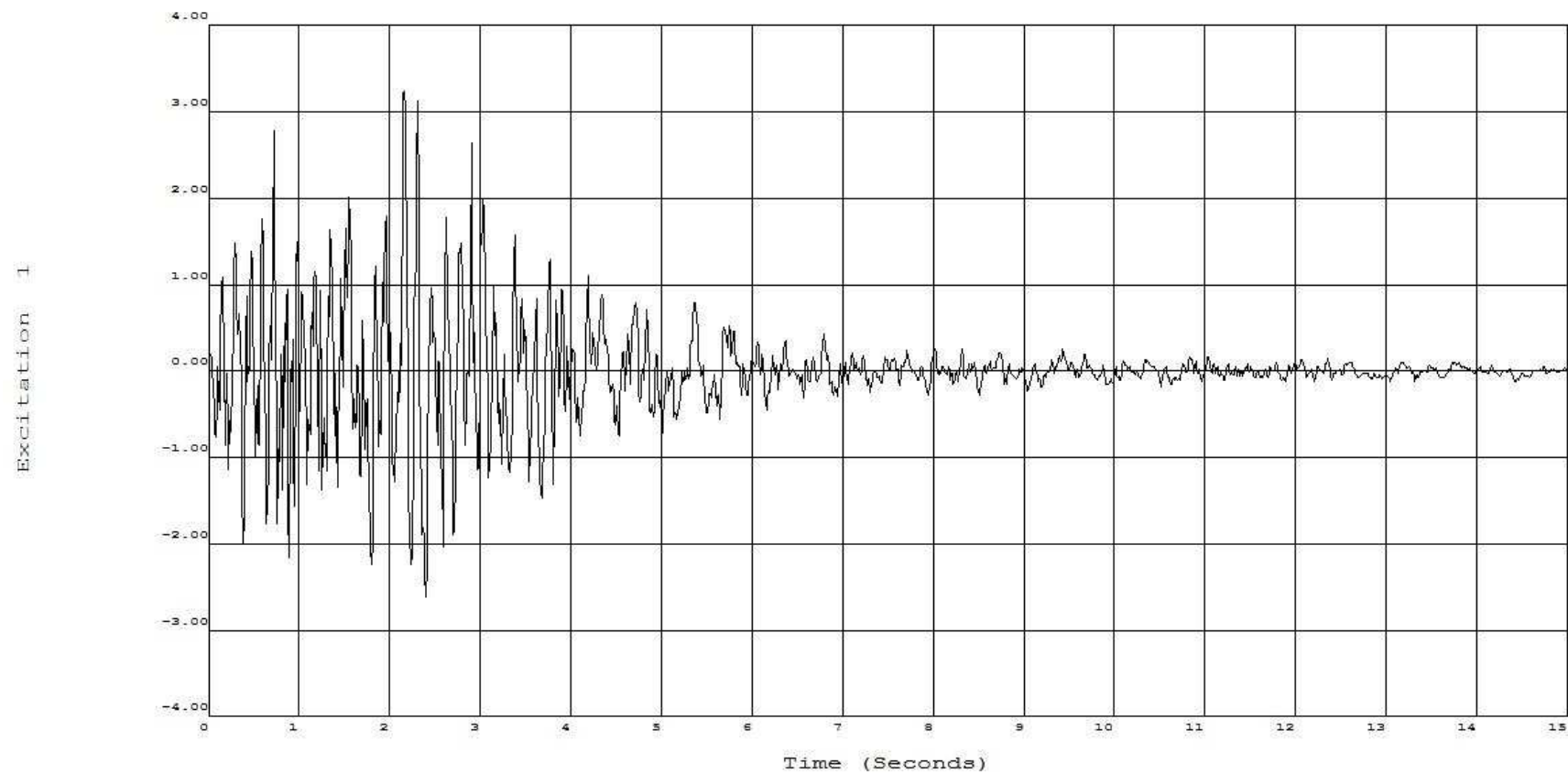


Syl 1 accelogram:

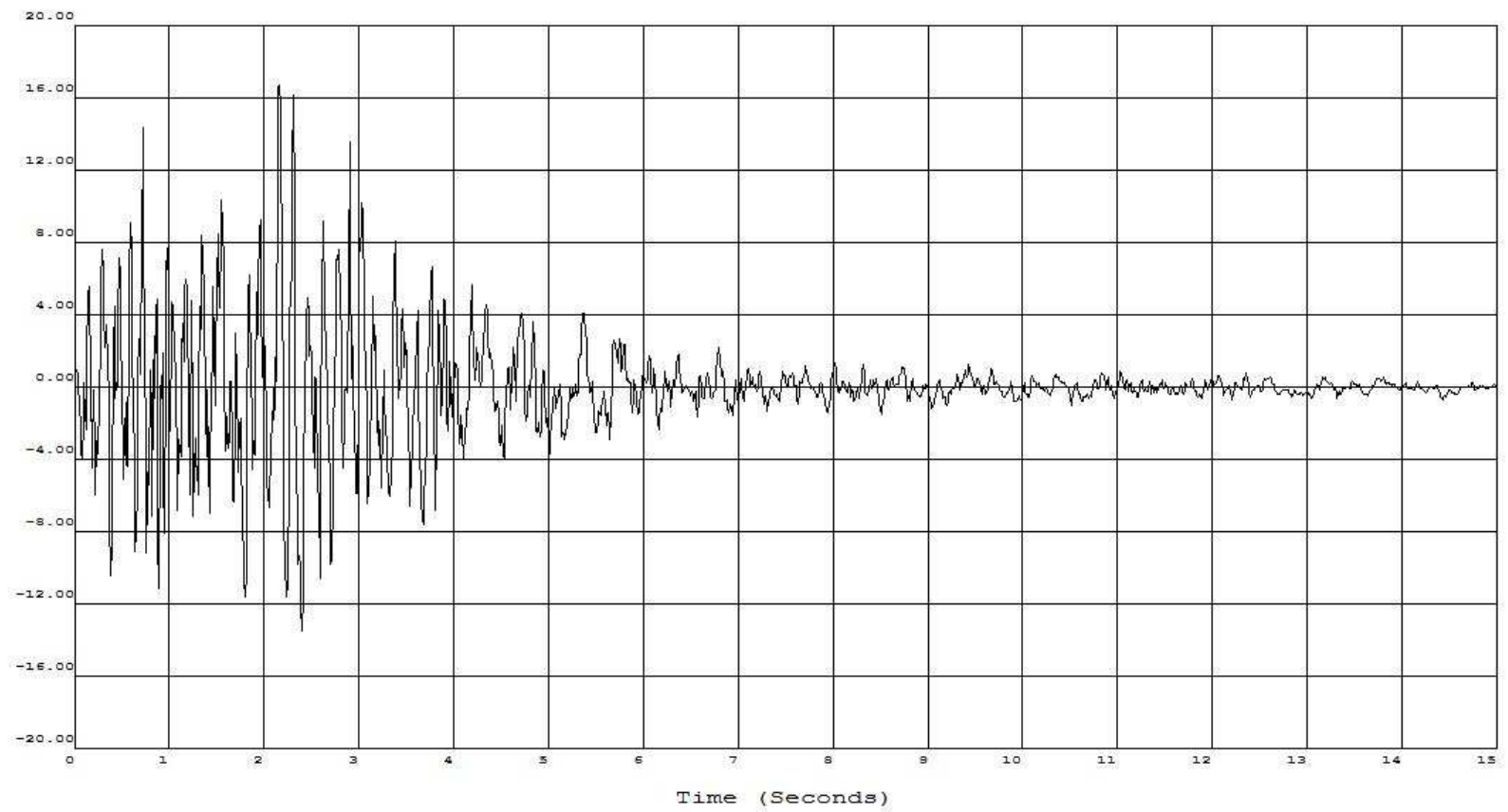




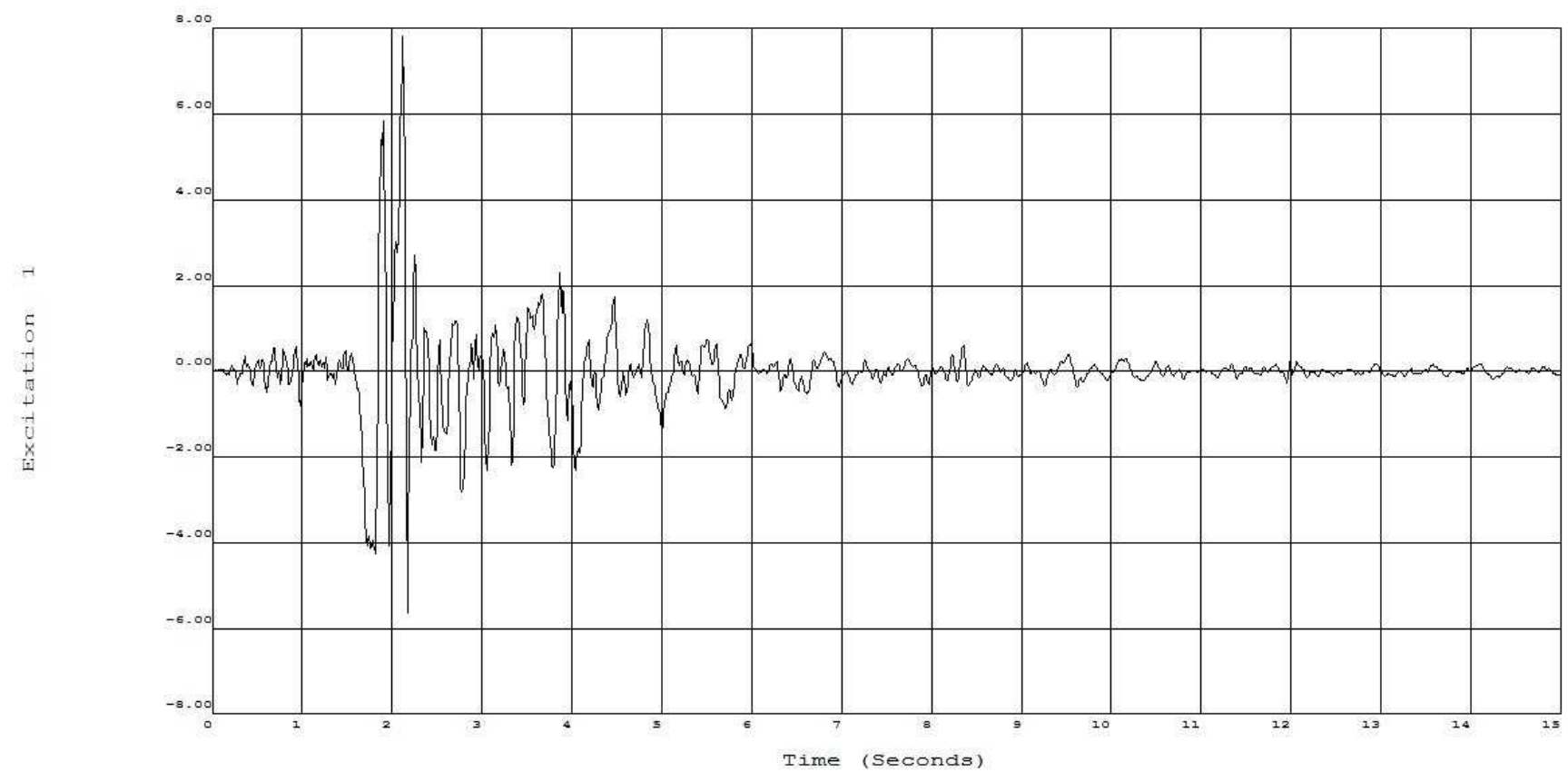
Syl 2 accelogram:

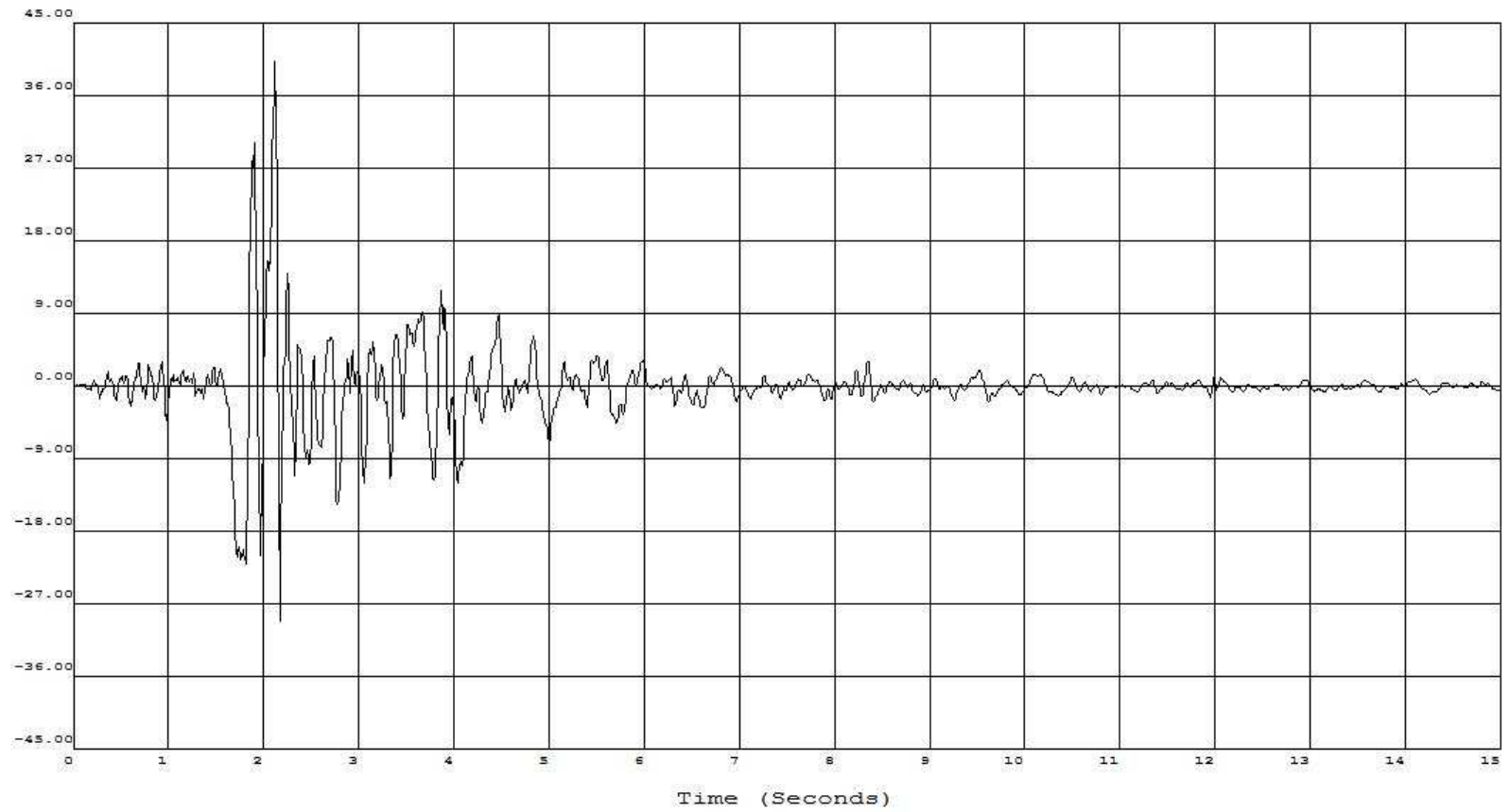


Excitation 1



Syl 3 accelogram:





Bijlage A4: Resultaten van de tests waarin de invloed van het gewicht op de response van het gebouw onderzocht wordt

		Free	Berg		
		hallc5.eqf	buchnsc.eqb	el40ewc.eqb	
Toegepaste schaal factor		330	0.2	0.15	
Post-file naam		Hall f2 ref	Buch f2 ref	El centro 2 f2 ref	
Referentie					q=21.6kN/m
HE450A	Plastische vervorming	ja	ja	ja	
	Max Moment ligger	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	
	Max Ductiliteit ligger	10.4	6.08	2.99	
	Toename ductiliteit in %	nvt	nvt	nvt	
Extra aantal hinges		nvt	nvt	nvt	
Moment tgv aardbeving					
Post-file naam		Hall f2 10	Buch f2 10	El centro 2 f2 10	
Gewicht toename 5%					q=22.68kN/m
HE450A	Plastische vervorming	ja	ja	ja	
	Max Moment ligger	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	
	Max Ductiliteit ligger	10.8	6.26	3.53	
	Toename ductiliteit in %	3.84	1.03	18.1	
Extra aantal hinges		-1	0	4	
Post-file naam		Hall f2 10	Buch f2 10	El centro 2 f2 10	
Gewicht toename 10%					q=23.76kN/m
HE450A	Plastische vervorming	ja	ja	ja	
	Max Moment ligger	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	
	Max Ductiliteit ligger	11.3	6.33	3.86	
	Toename ductiliteit in %	8.563	4.12	29.1	
Extra aantal hinges		-2	1	6	
Post-file naam		Hall f2 25	Buch f2 25	El centro 2 f 25	
Gewicht toename 25%					q=27kN/m
HE450A	Plastische vervorming	ja	ja	ja	
	Max Moment ligger	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	
	Max Ductiliteit ligger	13.4	6.45	5.41	
	Toename ductiliteit in %	28.8	6.08	80.93	
Extra aantal hinges		-4	3	8	

Post-file naam		Hall f2 50	Buch f2 50	El centro 2 f2 50	q=32.4kN/m
Gewicht toename 50%					
HE450A	Plastische vervorming	bezweken	ja	ja	
	Max Moment ligger	nvt	1.028E06 (cap.)	1.028E06 (cap.)	
	Max Ductiliteit ligger	nvt	6.83	8.55	
	Toename ductiliteit in %	nvt	12.33	185.9	
	Extra aantal hinges	nvt	3	6	