

Overzicht

Aardbevingen en constructies

Wim Voskamp

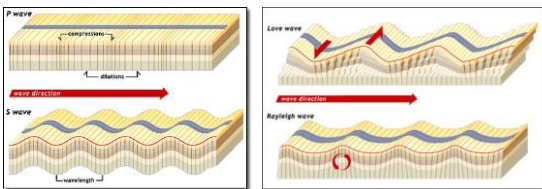
NGO creatieve sessie: Aardbevingen

April 2017

1

- Aardbevingsgolven
- Effecten op grondconstructies
 - Liquefaction
 - Micro en macro stabiliteit van taluds, kruindaling van dijk
 - Hoe wordt er in Japan mee omgegaan
 - Elevated highways
 - Reinforced embankments and slopes
 - Blockwalls
 - Bridge abutment
 - Drainage
- Massaveer systemen
- Effecten op gebouwen
 - Vervorming van constructies, opslingeren
 - Maatregelen
- Aardbevingen in Nederland
 - Groningen
 - Aankpak en maatregelen
 - Aardbevingsbestendige gebouwen – ervaring in buitenland
 - Versterking van bestaande gebouwen
 - Stabiliteit verbetering
 - Conclusie

Aardbevingsgolven



De P-golven reizen het snelst, gevolgd door de S-golven. Daarna volgen de twee typen oppervlaktgolven. Love-golven zijn net als een slang: de aarde gaat naar links en dan weer naar rechts. Bij Rayleigh-golven beweegt de aarde op en neer.

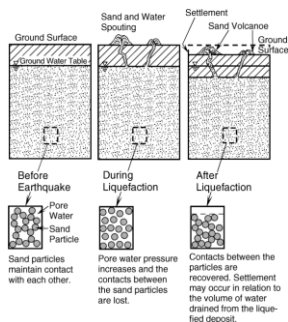
Afbeelding: © SMS-Tsunami-Warning.com

Effecten op (grond)constructies

- Liquefaction of verweking van de ondergrond
- Verlies van stabiliteit van de taluds
- Kruindaling, bij een dijk gevolgd door overslag of overloop tijdens de herstelperiode.
- Scheurvorming in toplaag
- Overbelasting van kadeconstructie, vervorming van damwanden e.d.
- Bezwijken van bovengrondse constructies

Effecten op grondconstructies

Liquefaction



Liquefaction



Liquefaction is the rapid loss of shear strength in saturated, cohesionless soils when subjected to a dynamic load, such as from an earthquake (Coduto, 1999). If the shear strength of the soil drops below the shear stress placed on the soil (e.g. from a building with foundations on the soil) this will lead to shear failure of the soil. This can lead to severe damage or even collapse of the structure.

Bron: <https://youtu.be/Now8X-bvDgM>

Voorbeelden van liquefaction

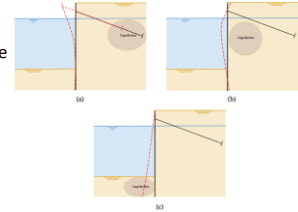
1964 Niigata, Japan Earthquake.

Turkey, 2001



Liquefaction – damwandconstructie Eemshaven

(a). Failure of the anchor because of decreased soil strength.
 (b). Structural failure of the sheet pile wall due to load increase in the (partly)liquefied layer.
 (c). Loss of stability of sheet pile wall because of decrease of passive soil strength



Bron: W.A. Van Elsland July 2016

Liquefaction onder dijk



Dike Embankment Failure at Capitol Lake
Nisqually Earthquake, February 2001



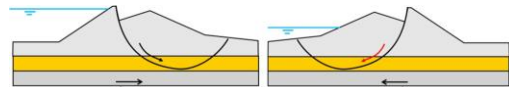
Hanshin Earthquake, 1995

Maatregelen tegen verweking:

- Grondverbetering, mix in place
- Verdichten
- Drainage: gravelcolumns, drainpijpen, Prefabricated Vertical Drains

Macro-instabiliteit taluds

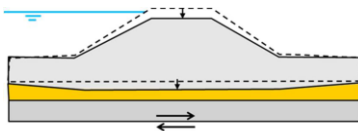
Doorgaande macro-instabiliteit door aardbevingen. Dat wil zeggen een **afschuiving die gepaard gaat met grote verplaatsing.**



Afschuiven talud aan landzijde (binnenwaarts) of waterzijde (buitenwaarts), onder invloed van **aardbevingsbelasting**, met **gereduceerde sterkte in de zandlaag door wateroverspanningen** en met invloed van **hydraulische kortsluiting** bij een dunne effectieve deklaag.

Bron: Deltares, 2014

Kruindaling, gevolgd door overslag of overloop tijdens de herstelperiode.



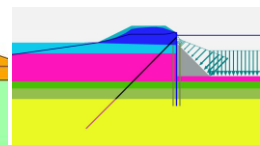
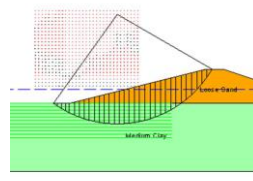
Kruindaling door een combinatie van vervorming van de zandlaag (wegdrukken en compactie) en niet-doorgaande afschuiving.

Bron: Deltares, 2014

Stabiliteit

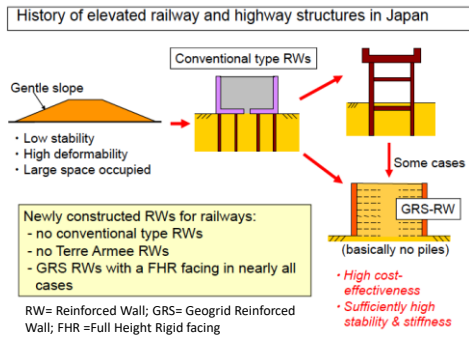
Extra horizontale kracht in stabiliteitsberekening.
 Verweking van losgepakte zandlagen en daardoor lagere schuifweerstand

Aardbeving als extra horizontale kracht invoeren
 Controleer effect van mogelijke verweking op anker en damwand



Factor of Safety: 1.00

Ervaring in Japan



Elevated highways

1989 Loma Prieta, California

Kobe, 1995



Elevated highways, Japan



Testembankments Reinforced Walls, Japan

The first test embankment at the University of Tokyo, clay backfill reinforced with a non-woven geotextile with wrapped-around wall face

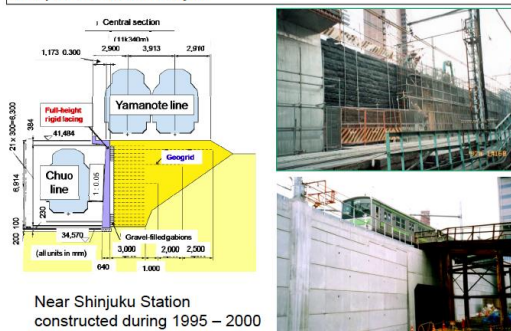


Two full-scale test GRS RWs with staged-constructed FHR facing, Railway Technical Research Institute, Japan (constructed 1987 - 1989)



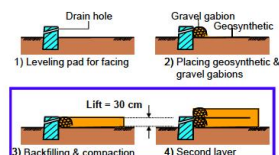
Bron van deze en de andere Japanse dia's: FumioTatsuoka, Bologna, 2009

A GRS RW with a full-height rigid (FHR) facing supporting a rapid transit in Tokyo



Staged construction - 1:

- Construction with a help of gravel gabions placed at the shoulder of each soil layer



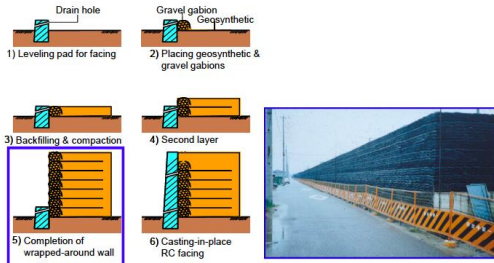
Good compaction of the backfill can be achieved by:

- 1) a small lift resulting from a small vertical spacing of reinforcement layers; and
- 2) no rigid facing during backfill compaction

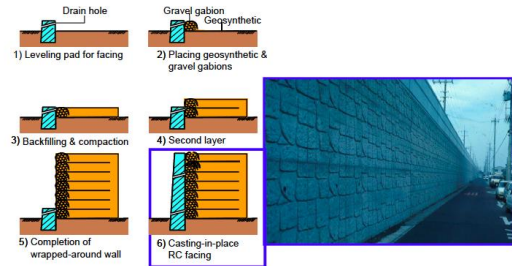


Staged construction - 2:

- Construction with a help of gravel gabions placed at the shoulder of each soil layer

**Staged construction - 3:**

- After sufficient compression of backfill and supporting ground has taken place, a full-height rigid facing is cast-in-place directly on the wrapped-around wall.



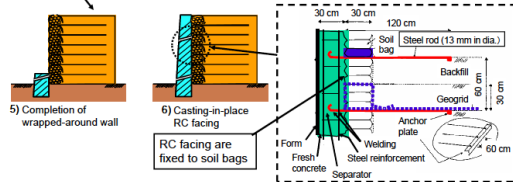
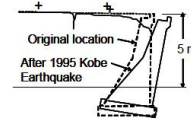
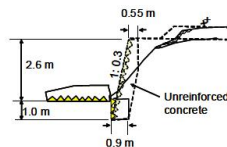
Firm connection between facing and reinforcement by casting-in-place fresh concrete directly on geogrid wrapping-around the wall face.

→ No damage to the connection during & after construction.

→ Construction using compressive backfill on a compressive soil layer becomes possible



Typical polymer geogrid

**(G) Gravity type wall at Ishiyagawa site****(L) Leaning (gravity) type wall at Sumiyoshi site****Immediately after completion, 1992**

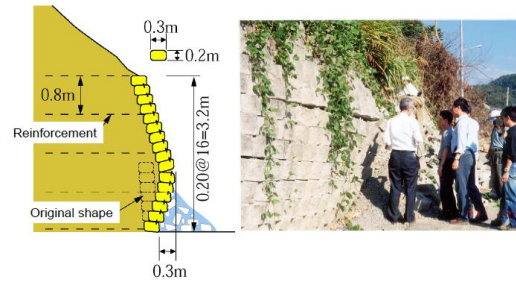
GRS RW with a FHR facing for a rapid transit at Tanata

A week after the 1995 Kobe Earthquake



The wall survived!

Failure of modular block walls during the 1999 ChiChi Earthquake, Taiwan, showing the importance of connection between geogrid and facing



A too large vertical spacing between the reinforcement layers;

designed without paying due attentions to the stability of block facing, assuming nearly no earth pressure acting at the back of the facing

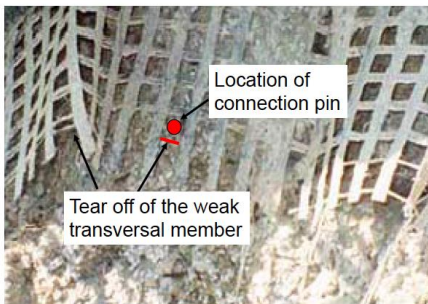


80 cm for four blocks !, which made the blocks very unstable during the earthquake.

Too short connection pins;



Too low connection strength,



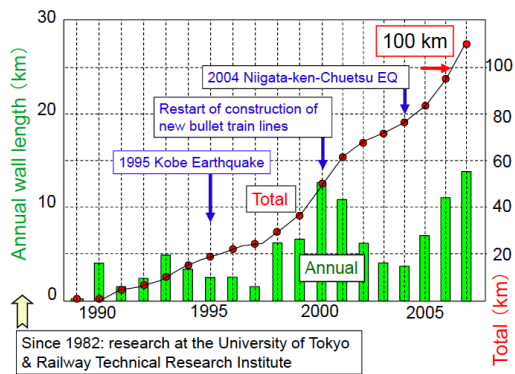
Summary:

A great number of conventional type RWs & embankments failed during recent major earthquakes in Japan. Many of them were reconstructed to GRS RWs, in particular those having a staged constructed FHR facing.

It was shown that the GRS RW technology is relevant to construct stable RWs under very difficult design conditions requiring:

- 1) a very short construction period;
- 2) construction on steep slope at a water collecting place;
- 3) high stability against heavy rainfalls & severe earthquakes; and
- 4) low construction cost.

Significant importance of: a) facing rigidity with sufficient connection strength; b) good drainage; and c) good compaction of the backfill for high seismic performance of GRS RWs were also reconfirmed.



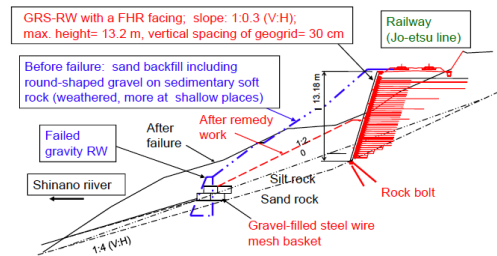
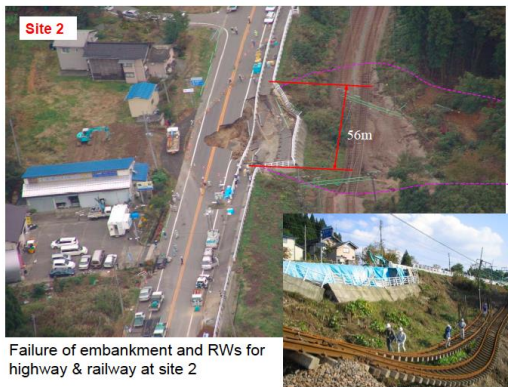
2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake

Mainshock (M= 6.8), 17:56PM 23 October 2004

A heavy rainfall immediately before the earthquake

A great amount of embankments, RWs on slope and natural slopes failed.

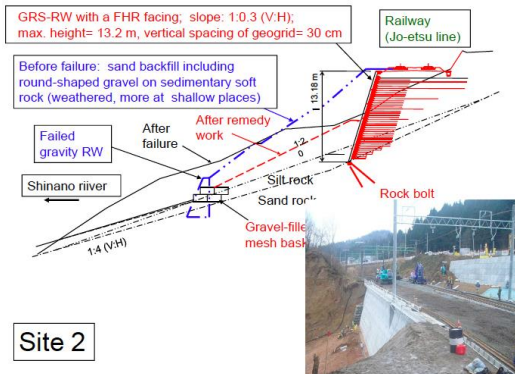
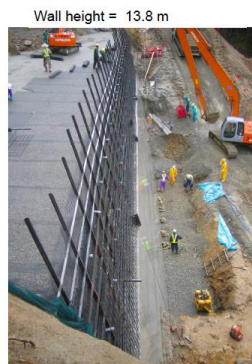
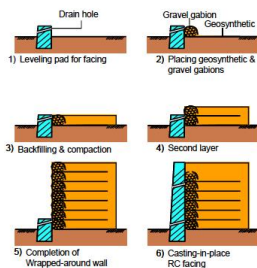
Several of them were reconstructed to GRS RWs with a stage-constructed FHR facing



Site 2

Reconstruction to a GRS RW on slope, by stabilizing the slope supporting the RW using rock bolts

Staged construction of GRS RW having a staged-constructed FHR facing



Site 2

A Terre Armee wall constructed in a water-collecting place, seriously damaged during the 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake

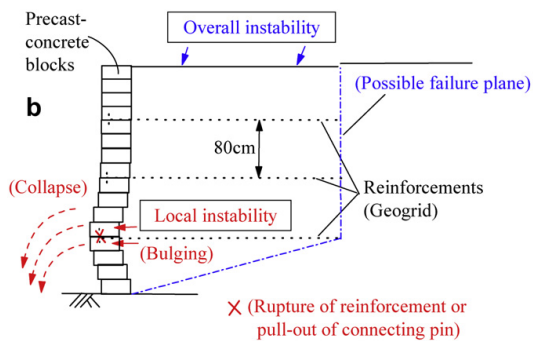
Many openings between adjacent panels
Good vegetation on the wall face by good water supply!



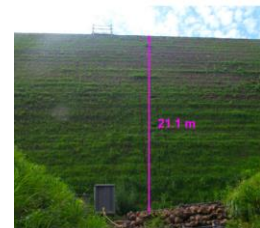
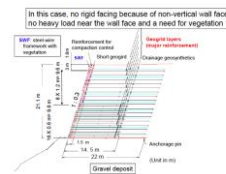
Deformed wall face
No drain holes on the wall face, aesthetically good, but



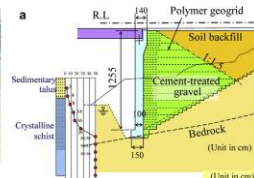
So large amount, showing the wall was like a water tank at the time of the earthquake!



Vegetated slope with reinforcement

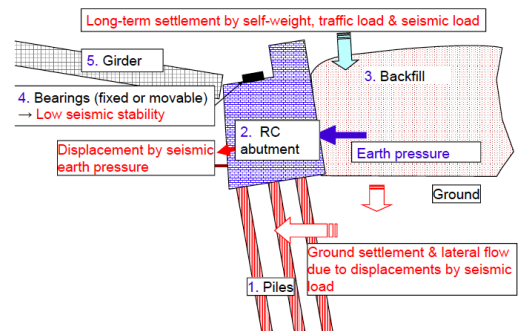


Bridge abutment



GRW with concrete facing and cement treated gravel directly behind the wall

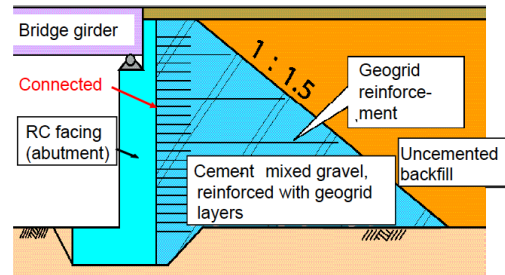
Technical problems with conventional type bridge



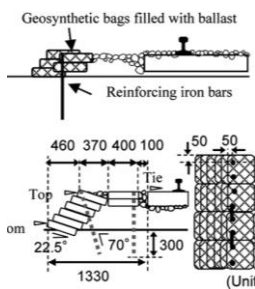
1995 Kobe Earthquake, Kobe line (railway)



Standardized bridge abutment type for railways,
a number of this type of abutment were constructed or
are being planned.

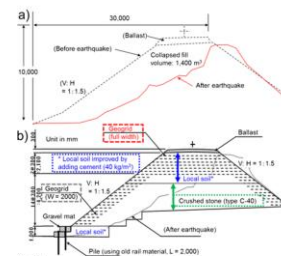


Geosynthetics bags in Railways gravel bed



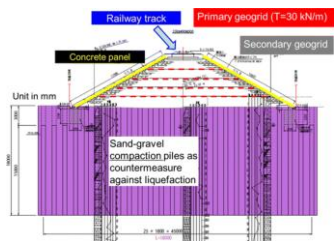
Prevention of sideways break out of gravel bed with tracks

Geogrid reinforced top layers of embankment



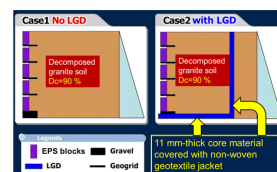
a Collapsed unreinforced embankment and **b** reconstructed geogrid-reinforced embankment for Senzan line (railway), Sendai city, Miyagi Prefecture [12, 14]

Sand-gravel compaction piles as counter measure against liquefaction



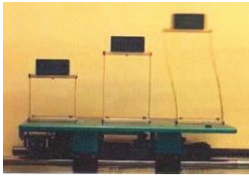
Typical cross-section of reconstructed geogrid-reinforced embankment for North Rias Line, Sanriku Railway at Tanohata village, Iwate Prefecture (courtesy of Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency)

L- shaped geosynthetic drainage mat



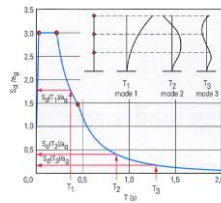
Geosynthetic drainage mat as drainage in reinforced embankment to prevent liquefaction

Massaveersystemen



Op de verticale as van zo'n elastisch responspectrum is de verhouding tussen de piekgrondversnelling a en de responsversnelling van de constructie bij aanname van lineair-elastisch constructiegedrag S_e aangegeven. Op de horizontale as is de natuurlijke trillingsperiode van het constructieve systeem uitgezet.

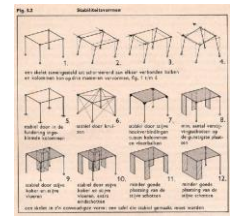
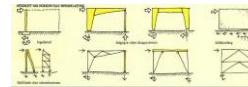
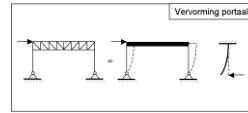
De maximale kracht op de constructie wordt hiermee:
 $F = m \times a \times S_e / g$



4. Modale analyse van een drie-massa-systeem.

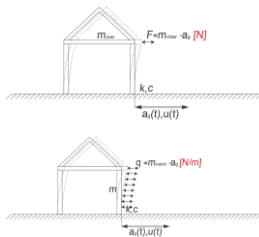
Bron: Bouwen met staal 248, 12-2015

Vervorming van constructies



Bron: juth.info en jellema

Aardbevingsbelasting in woningen

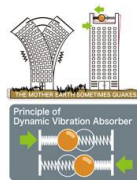


De belasting wordt gegenereerd door massa-tragheid. De massa-tragheid van de vloer resulteert in een puntlast, de -traagheid van de wand resulteert in een over de hoogte verdeelde massa.

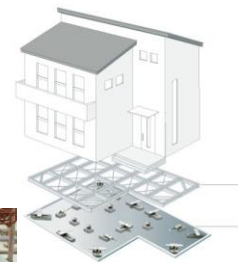
Bron: M. Meijers, De invloed van vloer stijfheid en vloermassa op het dynamisch gedrag van C-vormige kalkzandsteen wanden.

Maatregelen in gebouwen

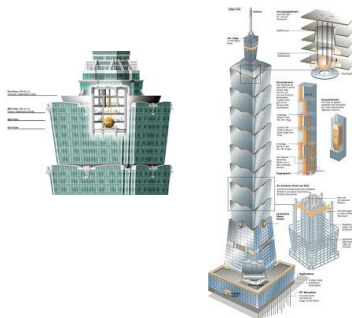
Reduceer eigen frequentie



Loskoppelen van fundatie

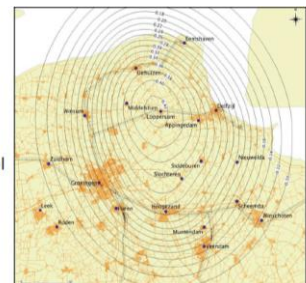


Actieve slinger



Grondversnelling voor Groningen

- Loppersum 0,42 g
- Randgebied 0,10 g
- Schaal van Richter niet heel hoog
- Grondversnelling wel heel hoog



Stappen sinds 2012

- Oorzaak en aansprakelijkheid vaststellen
 - afhandelen van schade
 - uiteindelijk Nationaal Coördinator Groningen
- Reparatie of vervanging van gebouwen
- Vaststellen te verwachten zwaarte van toekomstige aardbevingen, waarmee gerekend moet worden.
 - Ontwerputgangspunt
- Ontwikkelen en vaststellen nieuwe ontwerprijlijnen voor bouwwerken
 - Aardbevingsbestendig bouwen
- Inventarisatie van te versterken bestaande gebouwen
- Uitvoeren van versterkingen in kritische, veel gebruikte gebouwen.
- Aanpak uitwerken van het versterken van bestaande huizen

Aanpak en maatregelen Groningen

- Aardbevingsbestendige dijken en keermuren
 - Aanpassen constructies
- Aardbevingsbestendige gebouwen
 - Nieuwbouw: NEN 1998-1
 - Bestaande gebouwen: versterking

Type gebouw	0,10<PGA<0,15 Aantal huizen	0,15<PGA<0,20 Aantal huizen	0,20<PGA<0,25 Aantal huizen
Baksteen	18.190	12.640	14.920
Beton	1.540	590	420
Hout	10	5	40
Staal	20	25	50

Waarom grotere schade in Groningen?



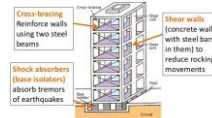
- Veel los staande gebouwen
- Metselwerk wanden met losse vloeren
- Relatief zware kapconstructie op metselwerk
- Geen goede verbinding vloer /wand
- Geen stabiliteitsvoorzieningen
- Bezijken van de ondergrond en daardoor grote vervormingen in constructie => scheuren



Aardbevingsbestendige gebouwen – ervaring in buitenland



Earthquake Resistant Building



Homebuilders' Guide to Earthquake Resistant Design and Construction

FEMA 352 - June 2006



Gebouwen in Groningen

Kenmerken:

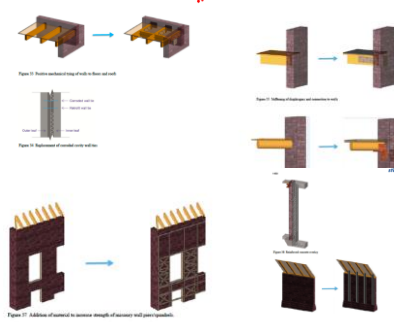
- Metselwerk wanden, vaak spouwmuuren
- Hoge kopgevels, veel ramen
- Geen stijve fundering
- Geen goede verbinding vloer / wand
- Geen voorziening om horizontale krachten op te nemen

Conclusie: niet aardbevingsbestendig en moeilijk aardbevingsbestendig te maken!
De constructie is niet in staat grote horizontale krachten op te nemen.

Belangrijkste vraag bij **aardbevingsbestendig maken**:
Hoe neem ik de extra dynamische horizontale belasting op?



Versterken van gebouwen; preventieve maatregelen (Arup)



Versterken van gebouwen; preventieve maatregelen (Arup)

Clearly, this level of intervention may require extensive disruption and cost, and probably temporary relocation of inhabitants or loss of business continuity.

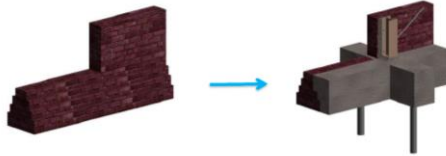


Figure 43 Increasing strength and/or stiffness of existing foundation system.

Bron: Typologie versterkingsopties Bm5 TC 13 Aardbevingsbestendig ontwerpen 2014 v1

Oplossingen in Nederland bedacht

- [De spouwdonut](#)
- [Wij versterken gebouwen](#)
- [Staarke Hoez'n maken](#)
- [Bevingsspider](#)
- [Constructieve dakgoot](#)
- [Doos-in-does](#)
- [IsoBorg](#)
- [Nova-ankers](#)
- [Stalen voorzetwanden](#)
- [Voorgespannen muren](#)



Bron: De Ingenieur, 2017

Stabiliteit van bestaande huizen vergroten.

Oudere huizen in Groningen bestaan uit:

- Metselwerk wanden, veelal 1 verdieping hoog
- Relatief grote kap constructie
- Onvoldoende verankerde balken van vloeren in wand
- Geen stabiliteitsvoorziening
- Fundering op staal of houten palen

Oplossingen (Arup) voor verhoging van de stabiliteit van het gebouw worden gezocht in het verbeteren van de wanden/vloeren en de verbinding ervan

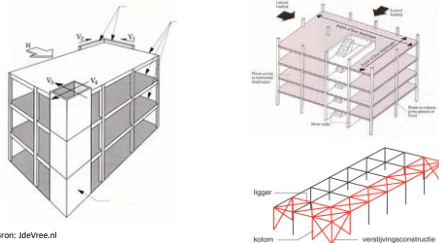
- Wanden zijn kritisch, dus stabiliteit niet verkrijgen uit verbinding gevel/vloer, maar uit een stabiliteitskern die de horizontale aardbevingsbelasting over kan dragen naar de fundering.
- Controleer de draagkracht van de grond onder de fundering.

Opmerkingen n.a.v. Ove Arup Study, 2014 voor de verbetering van gebouwen

1. "As the inner leaf is generally thinner and more slender than a solid wall, even considering beneficial effects of the outer leaf, **buildings with cavity walls are more vulnerable than those with solid walls**."
 - Bij dragende eindwanden – dit zijn wanden die de eindoplegging van een vloer vormen, maar die geen dragend binnenblad van een spouwmuur zijn – **variëren de opneembare plekgroondversnellingen van 0 tot waarden die uitstijgen boven het niveau dat in Groningen wordt aangetroffen. Bij dragende binnenbladen van spouwmuuren is het gedrag dat bij een niet-lineaire push-over-berekening wordt gevonden, vanwege het ontbreken van een significante capaciteit in het niet-dragende buitenblad, gelijk aan het gedrag van een dragende eindwand.**
(Hageman Notitie 2-12-2015 Dossier 8550 NPR 9998 – Metselwerkwanden belast uit het vlak)
2. The studies indicated that most buildings are likely to generate **soil stresses in the region of the ultimate limit state capacity at a PGA of approximately 0.25g, and overstress the soil under the foundations at a PGA of 0.5g.** Studies to determine the implications of short-term soil over-stress are underway. Foundations with shallow embedment were found to be particularly susceptible to overstress.
 - Dus verklaring voor de scheurvorming. Er moet dus wat aan de fundering gedaan worden om de krachten over te kunnen brengen naar de ondergrond
3. Initial liquefaction analyses indicate that discrete layers of sand and silt in the region are **potentially susceptible to liquefaction** under the expected ground motion hazard levels caused by earthquakes with magnitude Mw= 5 that could potentially occur in the region.
 - Hiervan is niets meer terug te vinden in de methoden voor verbetering van gebouwen.
 - Er wordt geen onderzoek gedaan naar de draagkracht van de grond, zie vorige punt

Vergroten van stabiliteit van gebouw

Stabiliteit naar kern i.p.v. wanden of windverbanden



Bron: JdeVree.nl

Stabiliteit



Voorom torsie door het gebruik van dichte hoeken en verdeling van openingen.



Zorg voor een stabiliteitsvoorziening in het zwartepunt.



Beperk de lengte/breedte verhouding tot maximaal 3:1.

Het is belangrijk om in beide richtingen voor stabiliteit te zorgen en zo torsie te voorkomen.

Bron: Het slimme bouwen, NAM 2016

Stabiliteit verbetering van bestaande gebouwen

- In plaats van het controleren van de stabiliteit van bestaande gebouwen met geavanceerde rekenmethodes en dan na te gaan hoe het gebouw versterkt kan worden door de vloeren, de wanden en de verbindingen ertussen te versterken:
 - Direct concentreren op “waar haalt het gebouw zijn stabiliteit vandaan” en het creëren van een stabiliteitskern van loodrecht op elkaar staande binnenwanden in het zwaartepunt van het gebouw (inwendig!) door deze wanden te versterken.
 - Nagaan of de extra horizontale aardbevingsbelasting door de grond opgenomen kan worden zonder grote verticale vervorming, anders fundering van deze kern verbeteren (met bijv. renovatie palen).
 - De kap met verdieplingsvloer stijf geheel maken en dit geheel afstempelen op de stabiliteitswanden / kern.
 - Als dit niet kan dan functiescheiding toepassen en afdracht horizontale belasting van kap via buiten de gevels geplaatste (stalen) kolommen op nieuwe fundering.
 - Kopgevels en binnenbladen van spouwmuuren zijn minder geschikt om stabiliteit te leveren.
 - Door belasting af te voeren naar de stabiliteitswanden of kolommen zal ook de additionele belasting onder de gevels afnemen, waardoor zettingen onder de gevels en daardoor scheuren in de wanden verminderd worden.

Conclusie

- Aardbevingsbestendig maken van bestaande huizen zonder veel hinder voor de bewoners is grote technische uitdaging
- Bestaande huizen zijn slecht aardbevingsbestendig te maken
- Vereist een overall stabiliteitsanalyse van het gebouw door een constructeur
- Zoek een robuuste aanpak en niet te snel verzanden in detailoplossingen
- Creëer geen verwachtingen die niet waar gemaakt kunnen worden
 - Wat is aardbevingsbestendig?
 - Mogelijk alleen oplosbaar door functiescheiding en externe constructie
 - Kijk ook naar de fundering

Nieuwbouw, Loppersum, 2017



Schokdempers:
2 cilindervormige schalen met een discusvormige kogel ertussen. Maximale uitslag 10 cm

Bron: Ned Dagblad 25 maart 2017

Stanford engineers build, test earthquake-resistant house

<https://youtu.be/Z30rcg3buuw>

The engineers outfitted their scaled-down, boxy two-story house with sliding “isolators” so it skated along the trembling ground instead of collapsing

The engineers shook the table at three times the intensity of the ground shaking during Loma Prieta, which measured 6.9 magnitude

Deierlein estimated that building a house on this type of seismic isolators would add about \$10,000 to \$15,000 to the total cost of a 1,500- to 2,000-square-foot house; and it would take contractors about four extra days to install them before building the home on top.

