



انجمن صنفی
کارفرمایی مهندسی
زمین‌ساز (ژئوسنتیک) تهران



IRAN CHAPTER



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

کاربرد ژئوسنتیک‌ها در کاهش خطرات سوانح طبیعی و مدیریت خطرات محیطی

کارایی دیوارهای حائل انعطاف‌پذیر در کاهش خسارات به زیرساخت‌ها در هنگام زلزله

دکتر آرش نیری

شرکت کیسون



فهرست مطالب

- مروری بر عملکرد حائل‌های خاک مسلح
- روند تحلیل و طراحی استاتیکی
- مروری بر طراحی لرزه‌ای
- توصیه دستورالعمل‌ها در طراحی لرزه‌ای
- عملکرد لرزه‌ای حائل‌های خاک مسلح – مشاهدات میدانی
- جمع‌بندی و توصیه‌های اجرایی

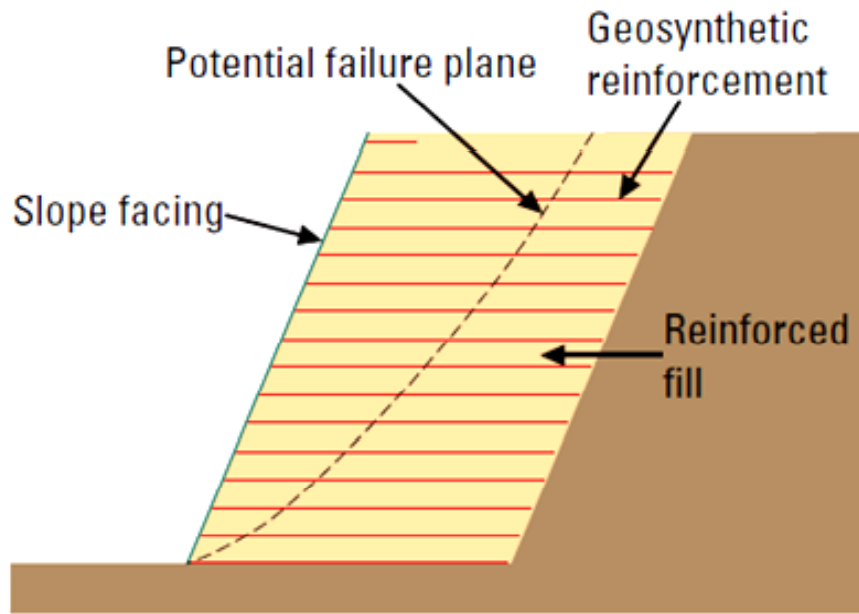
مروری بر عملکرد حائل‌های خاک مسلح

کاربردهای عمومی خاک مسلح

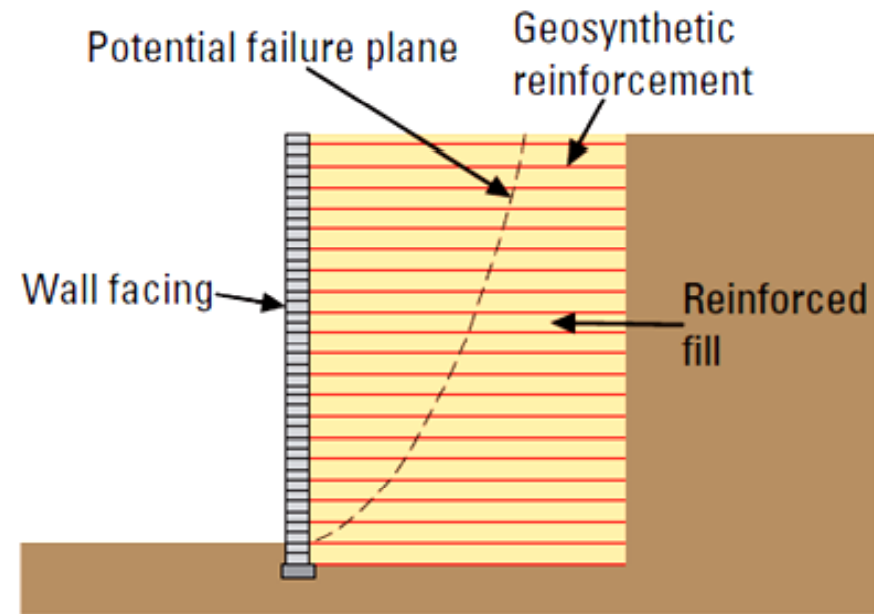
- تثبیت بسترهای نرم و لجنی
- پایدارسازی خاکریزهای مستقر بر حفره و گودال
- تسلیح شیب شیروانی‌های طبیعی و مصنوعی
- جلوگیری از خزش شیب‌های خاکی
- پوشش محوطه‌های دفن زباله
- اجرای انواع دیوارهای حائل و کوله‌های خاک مسلح

کاربرد خاک مسلح در حایلها

دیوارها و شیبها

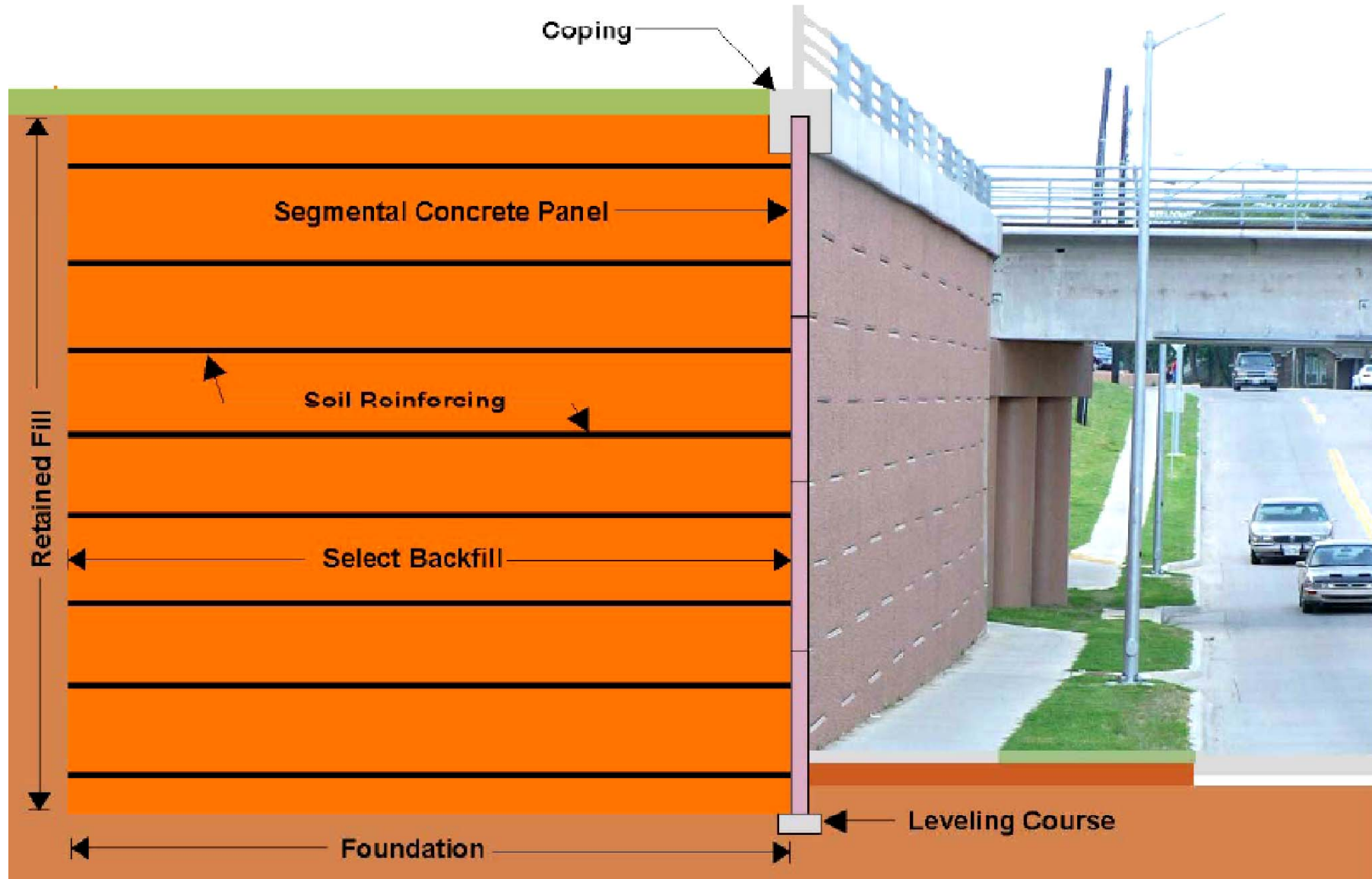


Reinforced fill slopes



Reinforced soil walls

مقطع عمومی کوله خاک مسلح



دیوار خاک مسلح

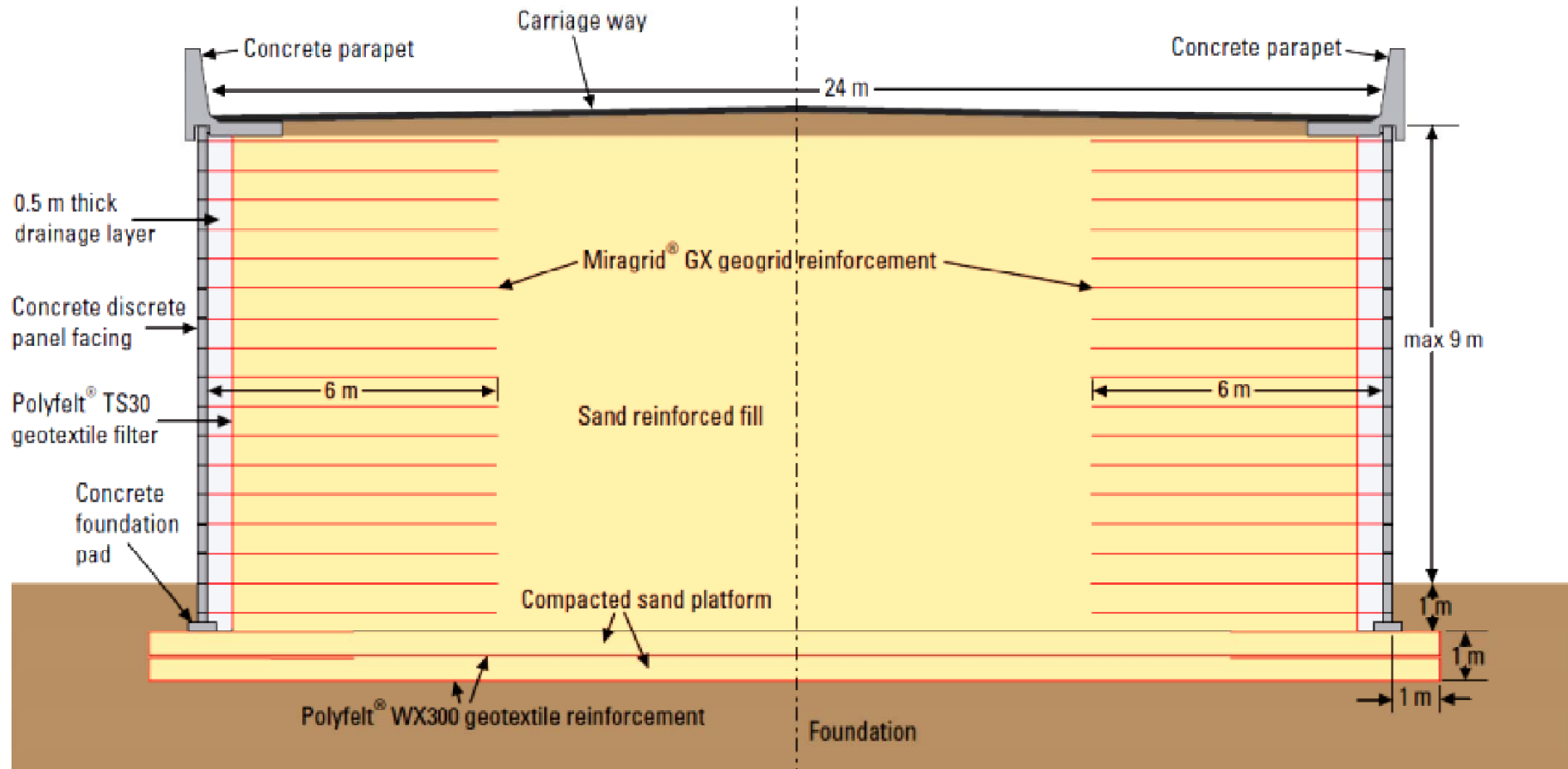


کوله خاک مسلح



کاربرد خاک مسلح در حایلها

کوله پلها



Typical section through the reinforced soil walls

شیب خاک مسلح



اصطلاحات

GRS (Geosynthetic Reinforced Soil)

خاک مسلح با ژئوسنتتیک

MSE (Mechanically Stabilized Earth)

توده خاک تثبیت شده مکانیکی

MSEW (Mechanically Stabilized Earth Wall) دیوار تثبیت شده مکانیکی

SRW (Segmental Retaining Wall)

دیوار حائل با نمای قطعه‌ای - مجزا

RSS (Reinforced Soil Slope)

شیب خاک مسلح

مزایای دیوارهای MSE

- سادگی و سهولت نسبی در اجرا
- عدم نیاز به تدابیر ویژه در آمادگی ساختگاه اجرایی
- فضای محدود اجرایی مورد نیاز در جلو دیوار
- قابلیت اجرا روی بسترهای سست و ضعیف
- **عملکرد مناسب در برابر بارهای دینامیکی و آثار زلزله**
- محدودیت کم در رواداری نشست
- هزینه‌های اجرایی مناسب
- قابلیت اجرا در ارتفاع بیش از ۳۰ متر
- سازگاری با ابنیه شهری نظیر پل‌ها و نماسازی شهری



معایب دیوارهای MSE

- نیاز به فضای نسبتاً زیاد در پشت دیوار برای اجرای مسلح کننده
- نیاز دیوارهای MSE به مصالح خاکریز نسبتاً مرغوب (A-1-a)
- انحصاری بودن طراحی این نوع سازه‌ها در بعضی موارد
- عدم همسان بودن قیمت‌های طراحی و اجرا (در مواردی بدون فهرست بهاء)

Reinforced fill slopes: Landslide restoration, Langkawi, Kedah, Malaysia



روند تحلیل و طراحی حائل‌های خاک مسلح

روش های تحلیل و طراحی خاک مسلح

- ۱- روش دستی براساس آیین نامه ها و دستورالعمل ها
- ۲- استفاده از نرم افزارهای تجاری
- ۳- مدلسازی عددی با نرم افزارهای تخصصی (اجزای محدود و ...)

منابع تحلیل و طراحی دستی



U. S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Publication No. FHWA-NHI-10-024
FHWA GEC 011 – Volume I
November 2009

NHI Courses No. 132042 and 132043

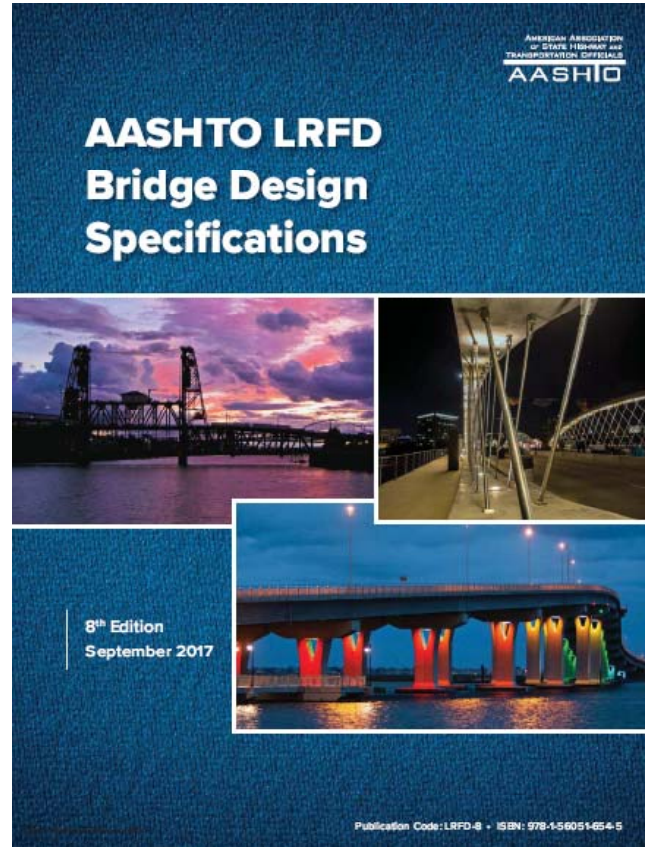
Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I

Developed following:

*AASHTO LRFD Bridge Design
Specifications, 4th Edition, 2007,
with 2005 and 2009 Interims.*

and

*AASHTO LRFD Bridge Construction
Specifications, 2nd Edition, 2004, with
2005, 2007, 2008, and 2009 Interims.*



NCHRP

REPORT 611

NATIONAL
COOPERATIVE
HIGHWAY
RESEARCH
PROGRAM

Seismic Analysis and Design
of Retaining Walls,
Buried Structures, Slopes,
and Embankments

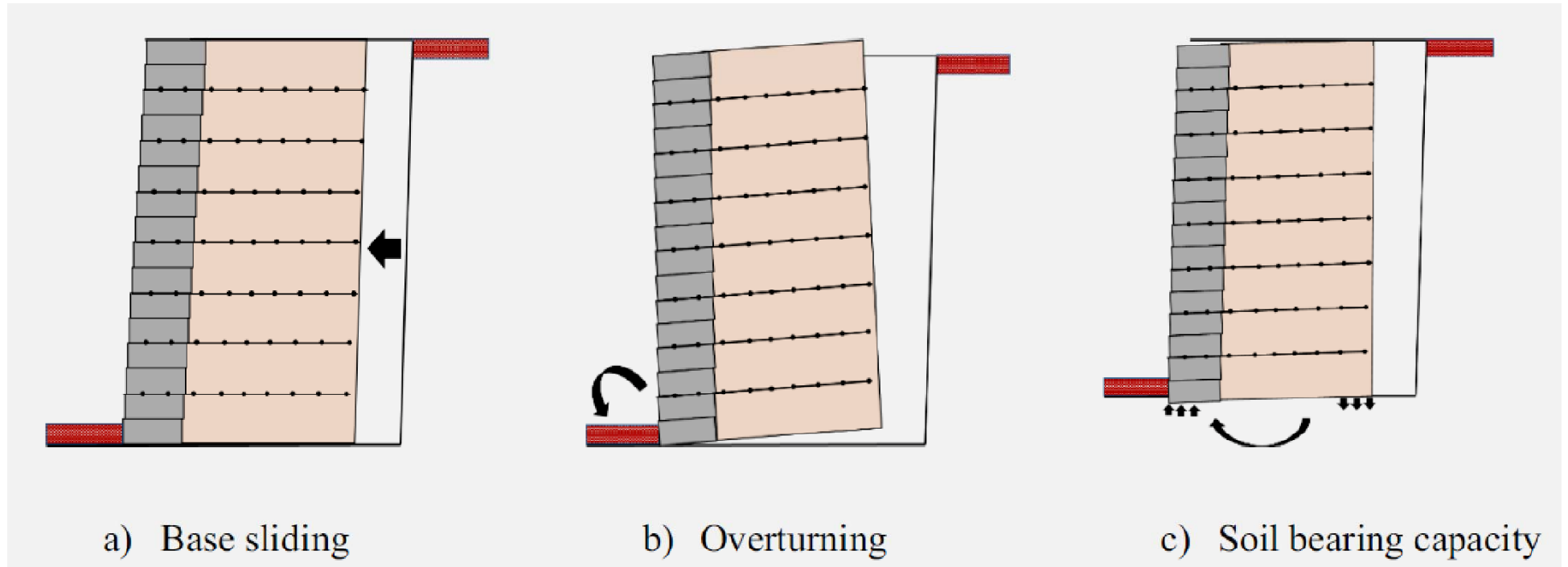
TRANSPORTATION RESEARCH BOARD
OF THE NATIONAL ACADEMIES

روند طراحی حائل‌های خاک مسلح

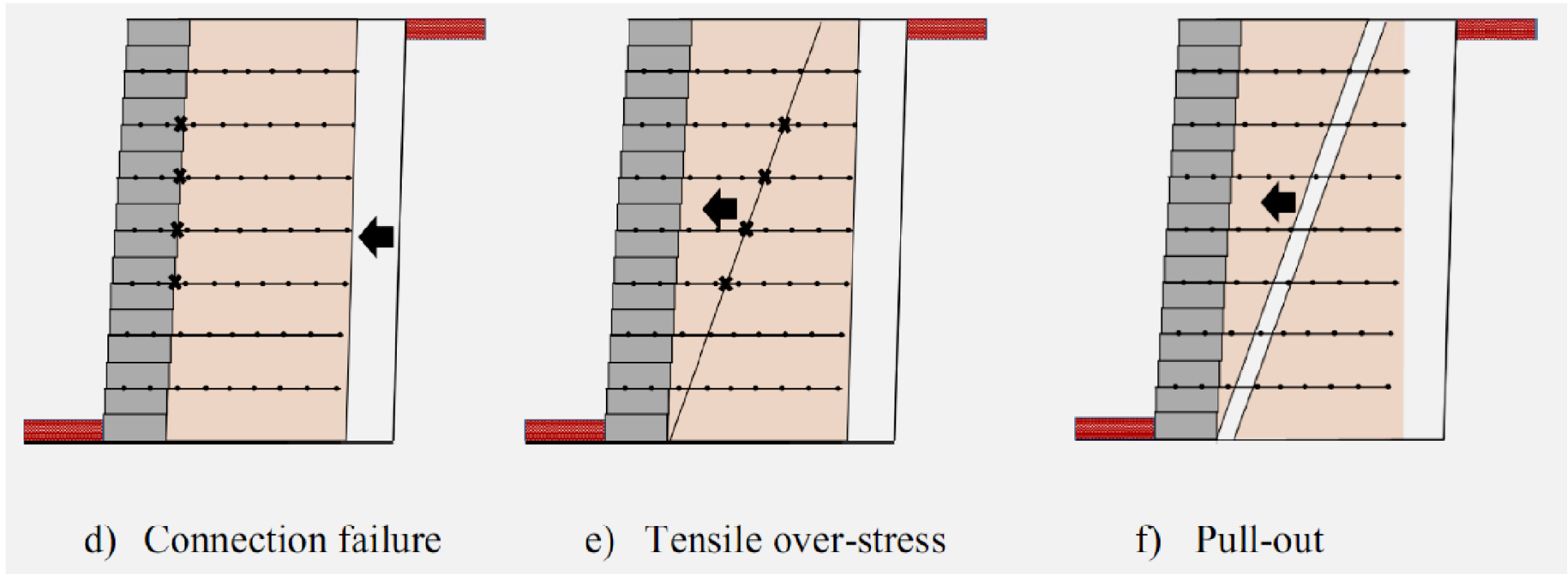
- بارگذاری برای فشار خاک – سربار – بارهای اتفاقی – بارهای ترافیک – بار زلزله
- کنترل پایداری بیرونی و داخلی (مدهای گسیختگی) برای بارهای استاتیکی
- **کنترل پایداری بیرونی و داخلی برای بارهای لرزه‌ای**
- کنترل نشست و تغییر شکل
- کنترل نشت و زهکشی
- کنترل پایداری عمومی برای بارهای استاتیکی و لرزه‌ای

مود ناپایداری دیوار خاک مسلح

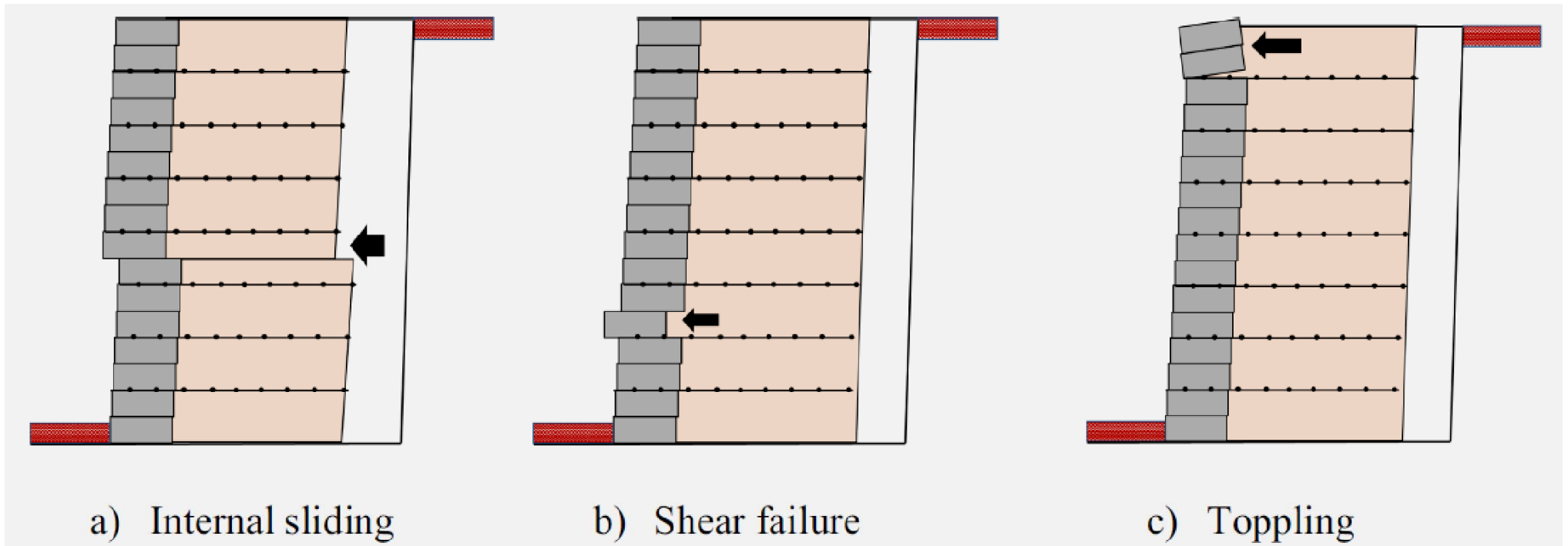
(ناپایداری توده دیوار)



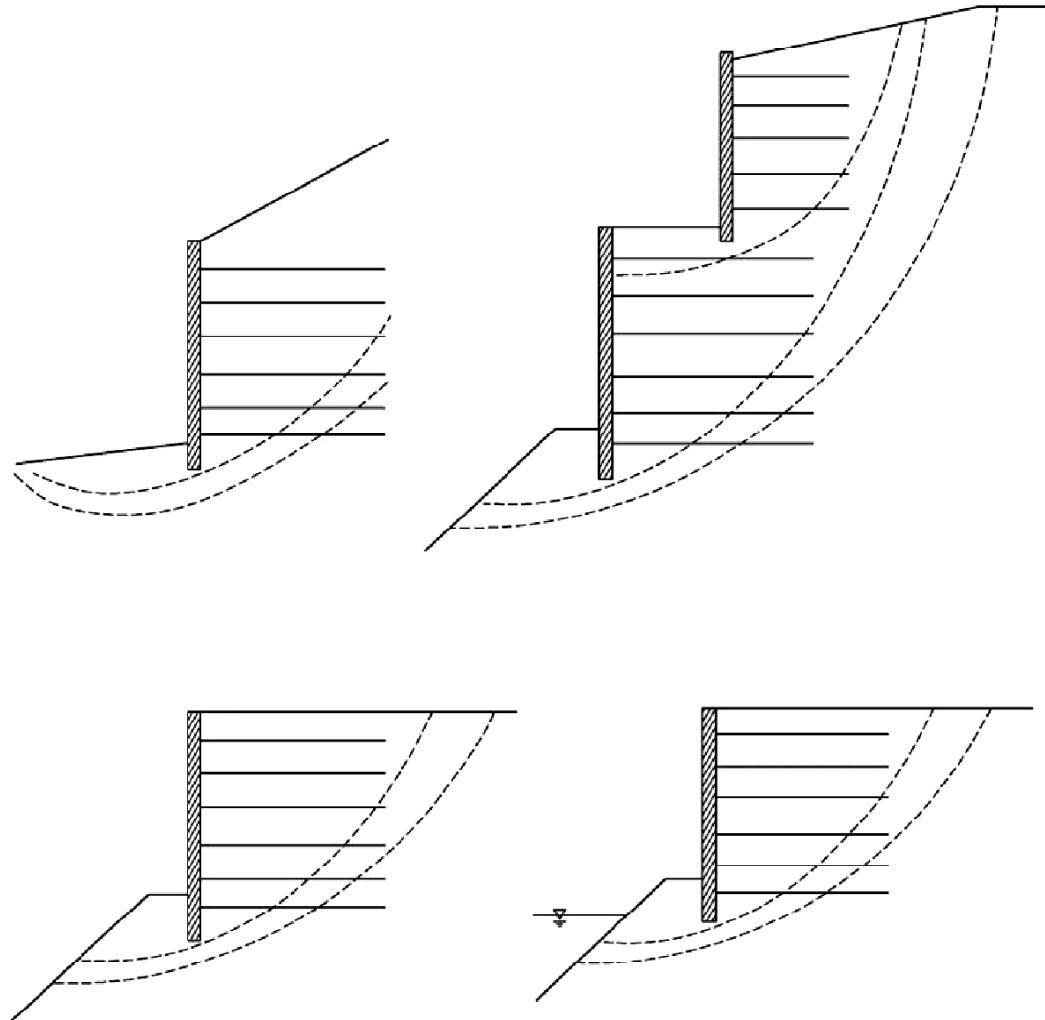
مود ناپایداری دیوار خاک مسلح (ناپایداری داخلی-مسلح کننده)



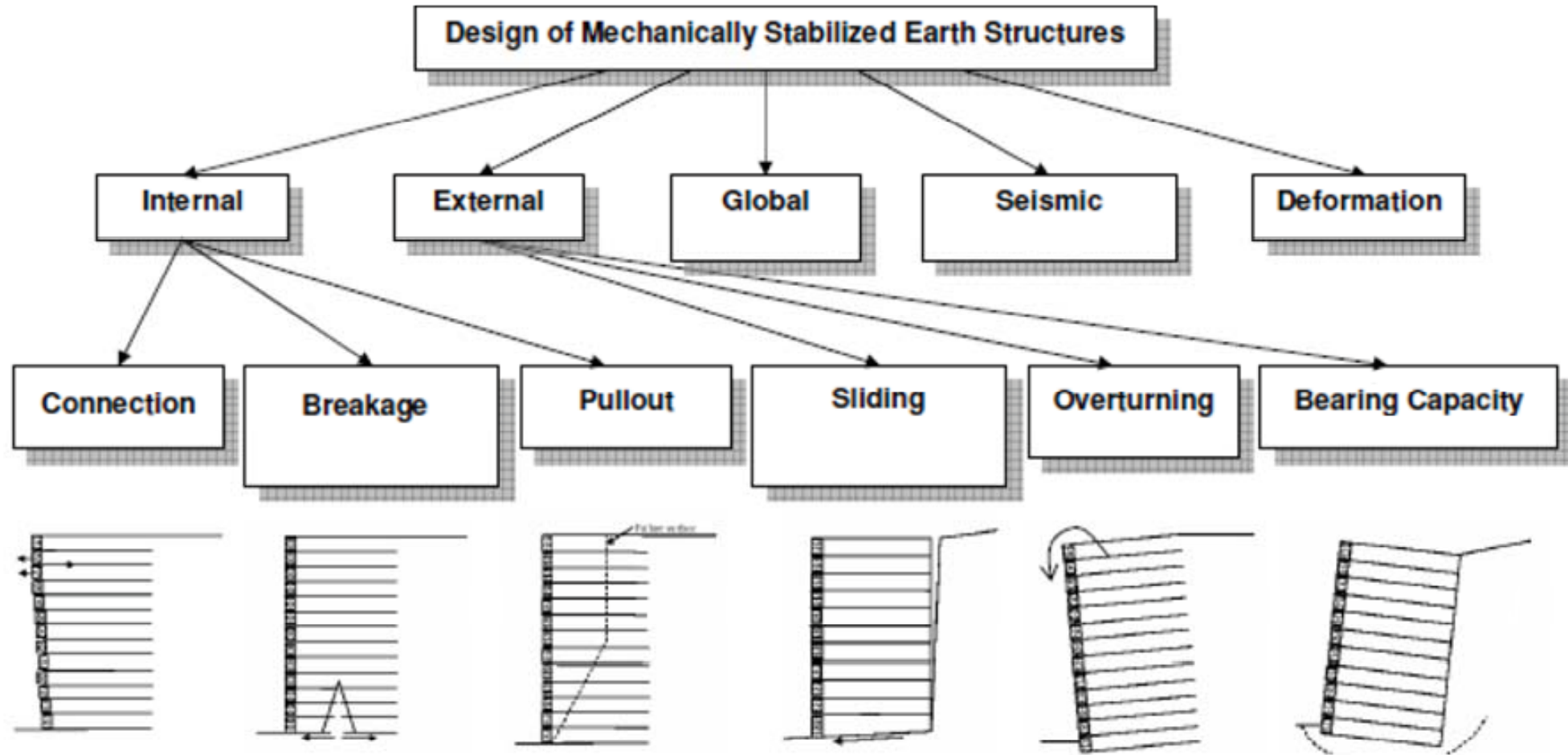
مود ناپایداری دیوار خاک مسلح (ناپایداری نما)



کنترل پایداری عمومی



روند طراحی حائل های خاک مسلح



مراحل تحلیل و طراحی لرزه‌ای

۱- انتخاب مشخصه‌های لرزه‌ای:

✓ شتاب افقی حداکثر PGA

✓ ضریب شتاب افقی k_h

✓ ضریب شتاب قائم k_v

✓ سرعت موج لرزه‌ای V

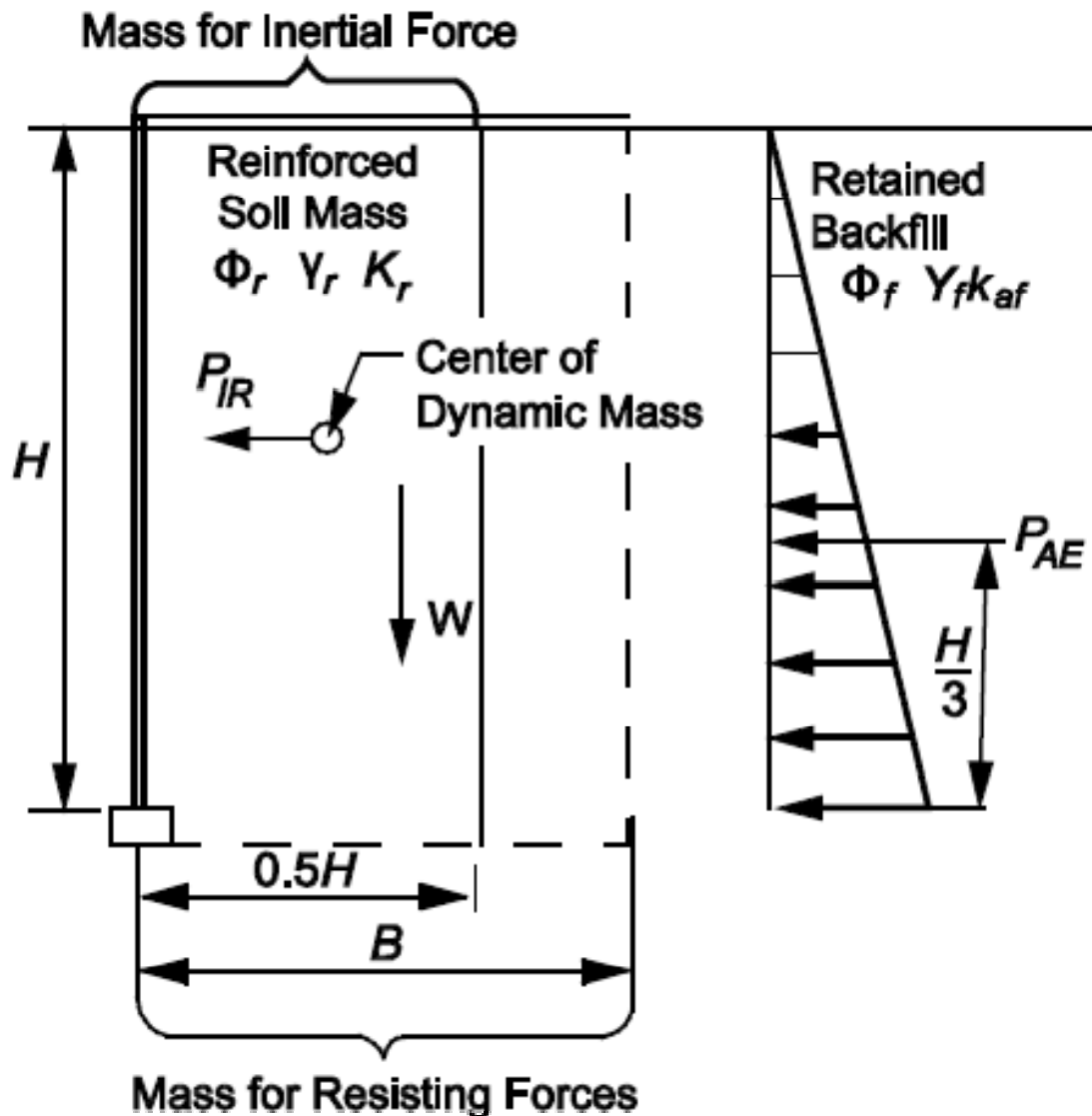
۲- انتخاب معیارهای پذیرش

۳- کنترل پایداری بیرونی و داخلی براساس روابط

۴- مدلسازی عددی و تحلیل‌های شبه‌استاتیکی یا دینامیکی

(کنترل پایداری عمومی - کنترل تنش در خاک و مسلح کننده - کنترل تغییرشکل)

یادآوری روابط لرزه‌ای - کنترل پایداری بیرونی



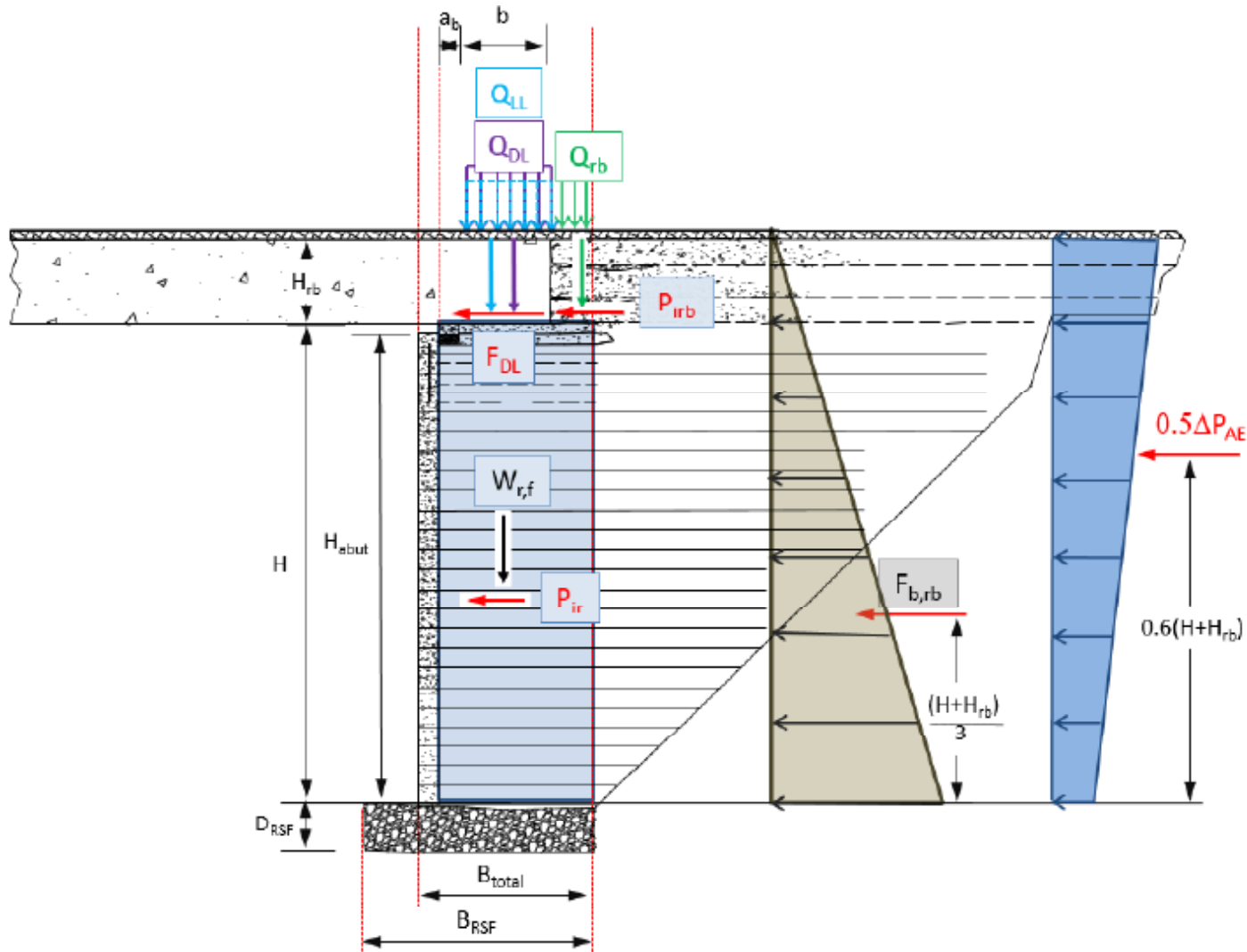
$$A_m = (1.45 - k_h)k_h$$

$$P_{IR} = 0.5A_m\gamma_r H^2$$

$$P_{AE} = 0.375A_m\gamma_f H^2$$

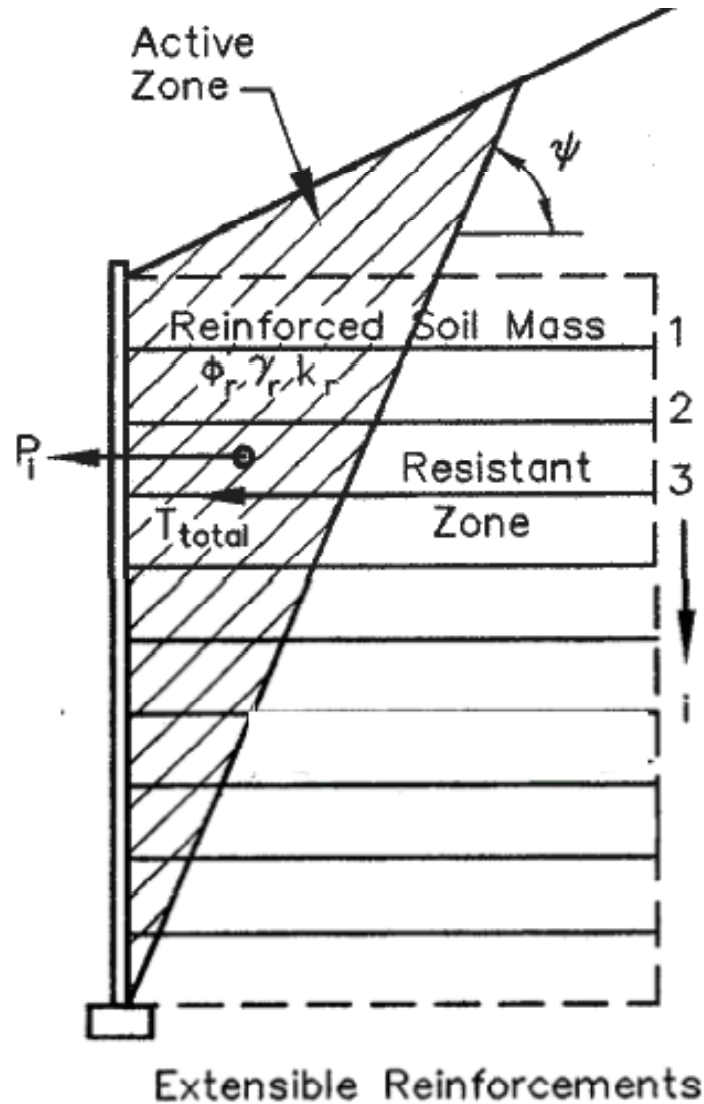
خاکریز مسطح

کوله‌های خاک مسلح



Source: FHWA.

یادآوری روابط لرزه‌ای - کنترل پایداری داخلی

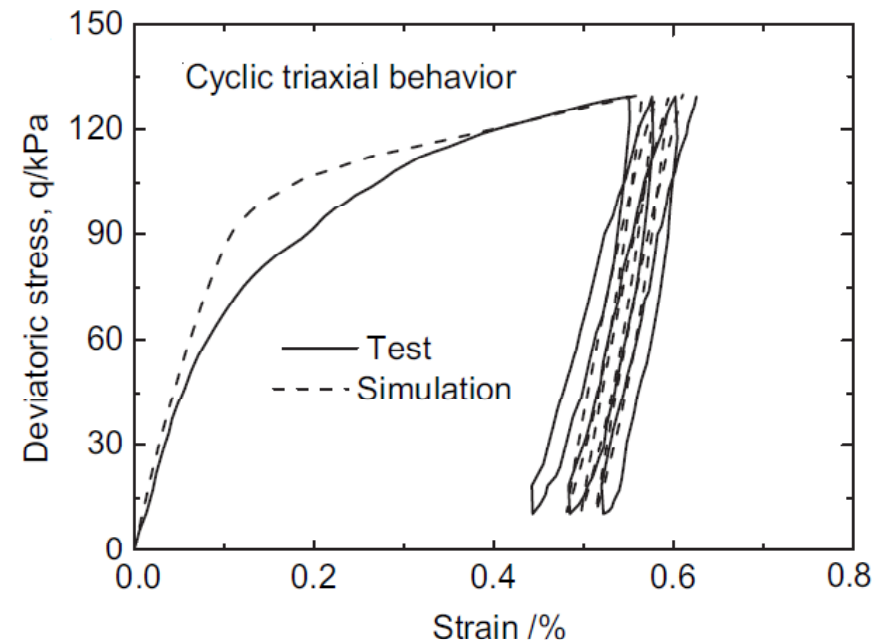
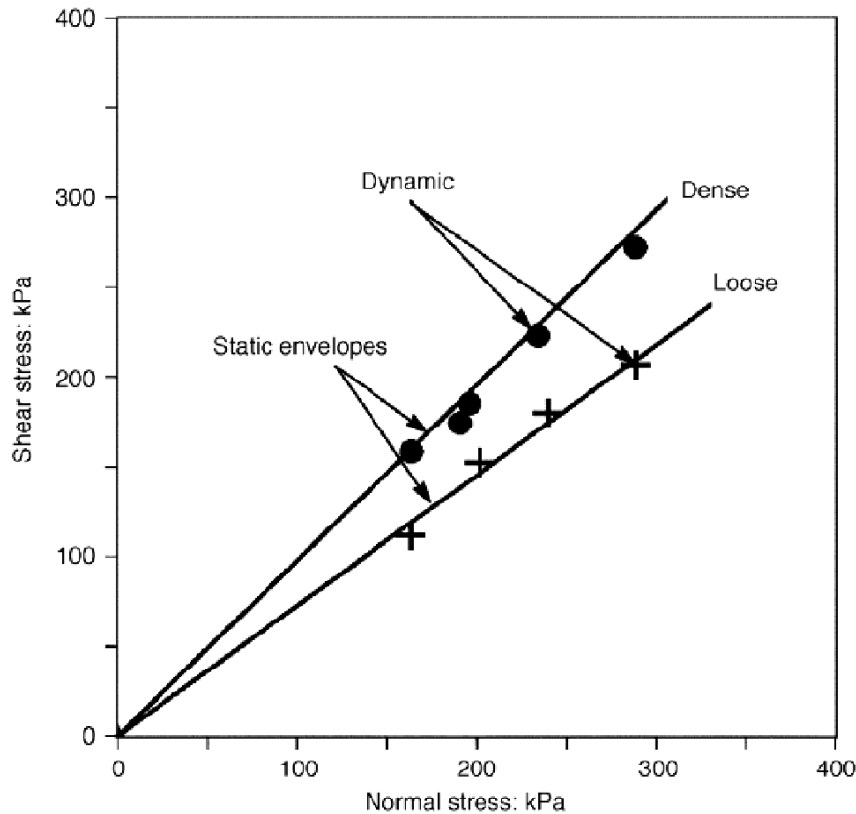


$$T_{md} = \gamma \left(\frac{P_i}{n} \right) \quad P_i = K_h W_a$$

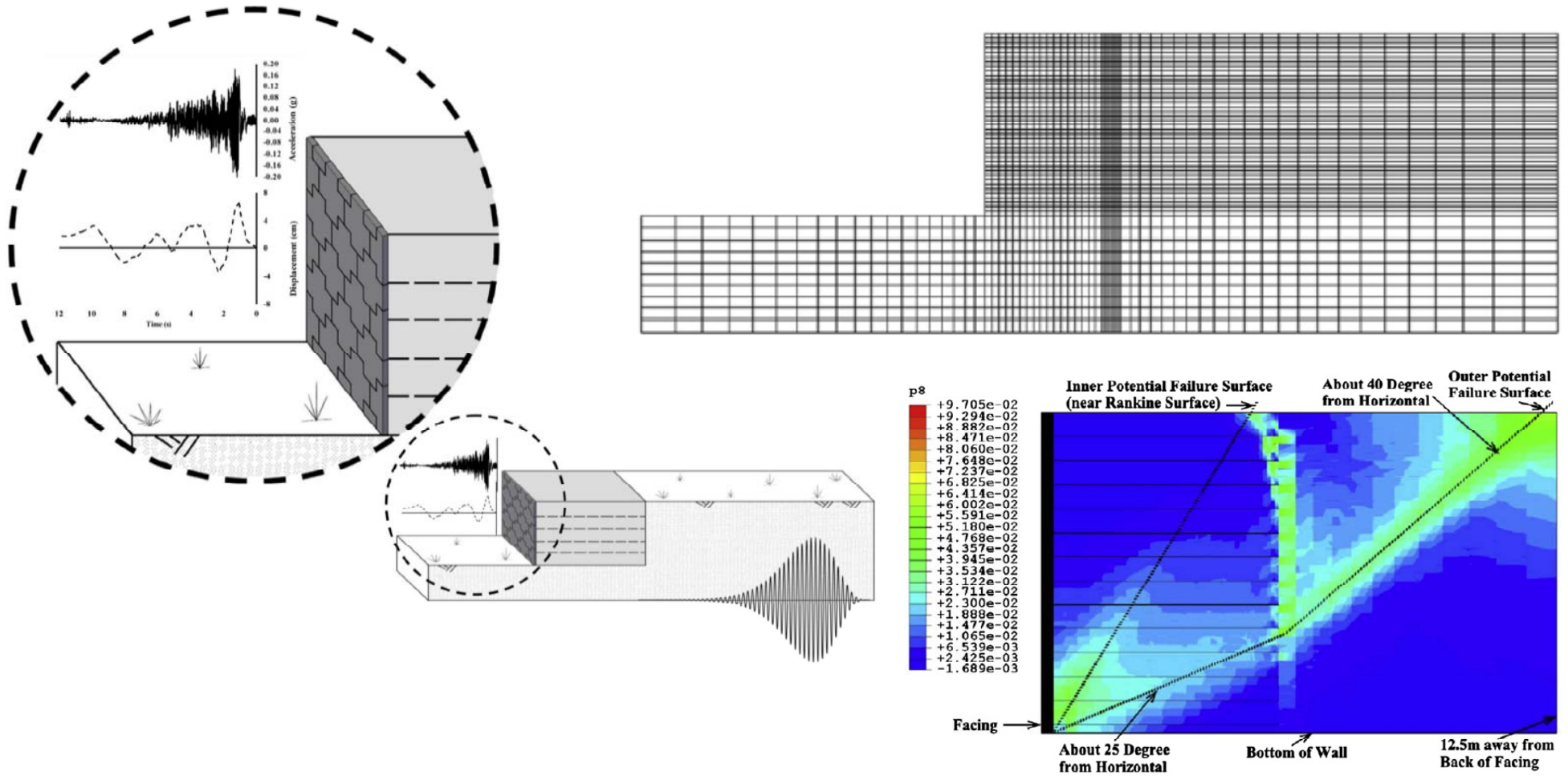
where:

- T_{md} = factored incremental dynamic inertia force at Layer i
- γ = load factor
- P_i = internal inertia force due to the weight of backfill within the active zone, i.e., the shaded area on Figure 11.10.7.2-1 (kips/ft)
- $K_h W_a$ = where W_a is the weight of the active zone
- n = total number of reinforcement layers in the wall
- L_{ei} = effective reinforcement length for layer i

در تحلیل عددی انتخاب مشخصات
دینامیکی خاک و مسلح کننده
ضروری است.

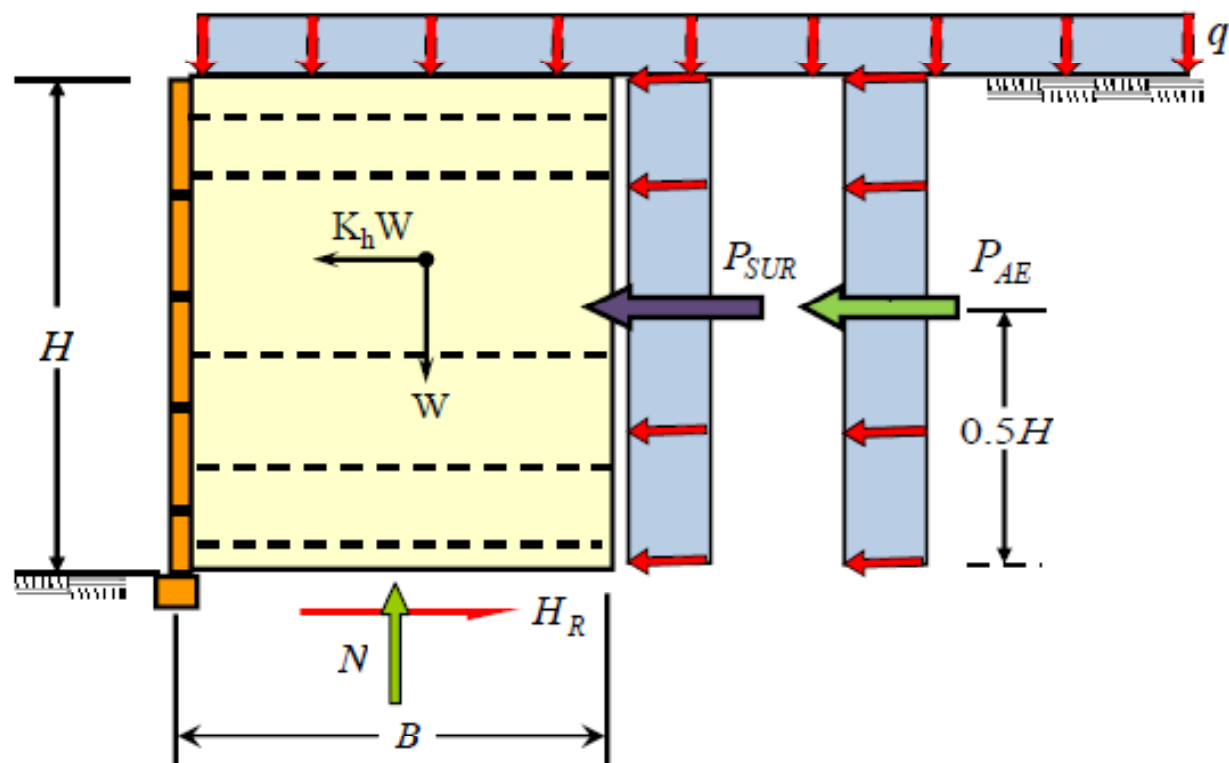


تحلیل عددی



ضریب شتاب افقی k_h

۱- نتایج تحلیل شبه استاتیکی وابسته به مقدار ضریب شتاب افقی است.



۲- در اکثر دستورالعملها این ضریب تابعی از مشخصات زلزله و به ویژه شتاب حد اکثر افقی (PGA) است.

$$k_h = f(\text{Seismic Performance})$$

$$k_h = \frac{1}{3} \sqrt[3]{\frac{a_{max}}{g}}$$

$$k_h = \left[1.45 - \frac{a_{max}}{g} \right] a_{max}$$

AASHTO-2007

AASHTO-2014

-Kavazanjian et al., (1997)

$$k_h = 0.74 A_S \left(\frac{A_S}{d} \right)^{0.25}$$

- A_S = earthquake ground acceleration coefficient
 k_h = horizontal seismic acceleration coefficient
 d = lateral wall displacement (in.)

برای تغییرمکان افقی کمتر از ۱ اینچ و بیشتر از ۸ اینچ کاربرد ندارد.

طبق نتایج تحلیل‌های دینامیکی و آزمایش‌های میز لرزان:

مقدار نیروی اینرسی دینامیکی در ارتفاع دیوار متغیر است.

ضریب شتاب افقی علاوه بر مشخصات زلزله به ارتفاع و طول مسلح‌کننده‌ها وابسته است و در روابط جدید این ضریب تابعی از ارتفاع و تغییر مکان افقی دیوار نیز خواهد بود.

$$k_h = f(a_{max}, d, H)$$

AASHTO-2017

$$k_{av} = \alpha k_{max}$$

k_{max} = peak seismic coefficient at the ground surface = F_{pga} PGA

α = fill height-dependent reduction factor.

$$\alpha = 1 + 0.01H [(0.5\beta) - 1]$$

H = fill height in feet

$$\beta = F_v S_1 / k_{max}$$

با فرض شتاب حداکثر زلزله معادل $0.3g$ و جنس خاک بستر از نوع II یا III

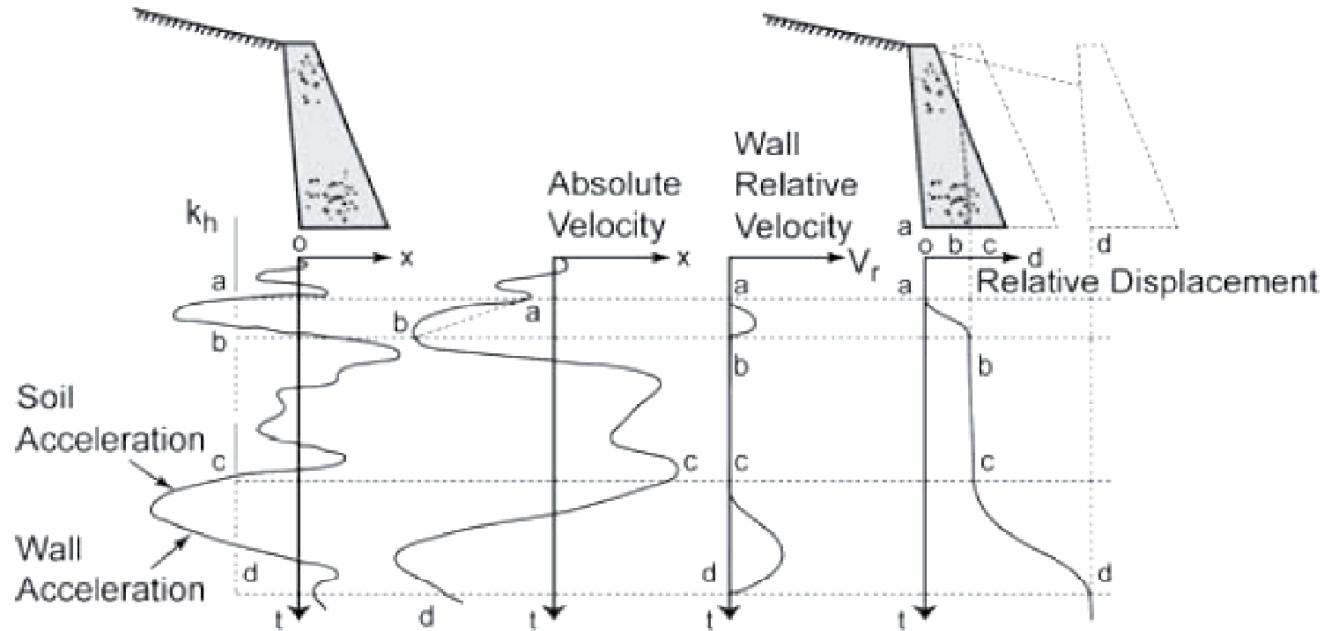
براساس روابط قدیمی

$$k_h = 0.25 \sim 0.35$$

براساس روابط جدید

با فرض دیواری به ارتفاع متوسط ۱۰ متر و تغییر مکان متوسط ۱۰ سانتیمتر

$$k_h = 0.16 \sim 0.31$$



$$d = 0.087 \frac{V^2}{A_g} \left(\frac{N}{A} \right)^{-4}$$

**Concept of Newmark sliding block analysis
(AASHTO, 2007).**

توصیه دستورالعملها در طراحی لرزه‌ای

بارگذاری و تحلیل

- طراحی دیوارهای MSE در مناطق با لرزه خیزی پایین ضروری نیست.
- عملکرد توده خاک مسلح در قبال زلزله صلب نیست، بنابراین:
محاسبه جرم موثر در زلزله با ۵۰ درصد طول مسلح کننده انجام می شود.
- محاسبه فشار لرزه ای خاک براساس k_h تعدیل شده متناسب با ارتفاع دیوار و تغییر مکان دیوار مدنظر باشد.
- طراحی براساس **تغییر شکل های ماندگار (پلاستیک)** انجام شود.

- دیوارهای کوتاهتر از ۱۰ متر یا با فرکانس طبیعی بیش از ۱۰ هرتز، اثر کمتری از زلزله می پذیرند.
- طراحی برای دیوارهای با فرکانس طبیعی بزرگتر از ۳ هرتز ضروری است.

مسلح کننده

- در محاسبه نیروی مجاز طراحی مسلح کننده در زلزله، خزش لحاظ نمی شود.
- مسلح کننده با حداقل طول $0.7H$ منجر به عملکرد لرزه ای بهتر خواهد شد. افزایش طول دو ردیف فوقانی کمی بیش از $0.7H$ باعث رفتار تغییرشکلی بهتر خواهد شد.
- در صورت وجود سازه صلب، خاکریز سخت یا توده سنگی مقابل دیوار خاک مسلح، احتمال ترک خوردگی در هنگام زلزله به دلیل اختلاف سختی دو سازه زیاد است. در این شرایط طول مسلح کننده بیش از $0.7H$ لحاظ گردد.
- اضافه نمودن مسلح کننده بیش از مقدار لازم در طراحی، نتیجه معکوس دارد

عناصر نما و اتصالات

- شتاب قائم زلزله منجر به کاهش ظرفیت برشی اتصال مسلح کننده به نما می گردد.
کنترل کفایت اتصال به عناصر نما در زلزله نیاز به تجربه و قضاوت مهندسی دارد
- استفاده از شن درشت در نمای قطعه‌ای با بلوک و به دلیل عملکرد قفل و بست، به تامین ظرفیت برشی کمک می کند.

عملکرد حائل‌های خاک مسلح در هنگام زلزله مشاهدات میدانی

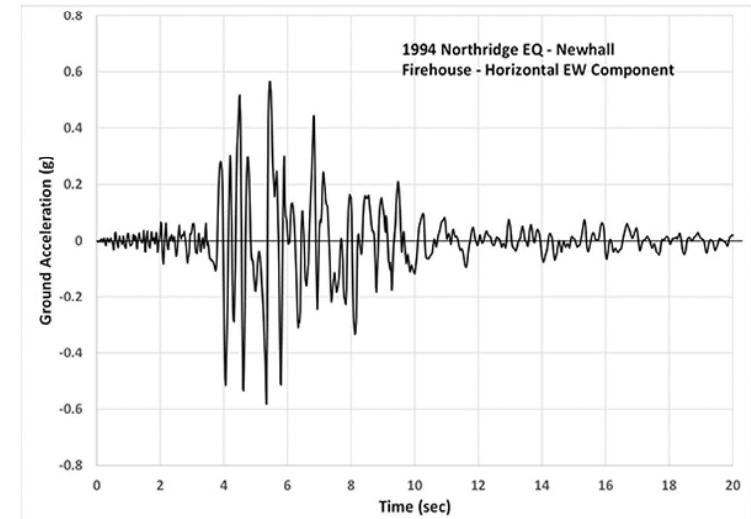
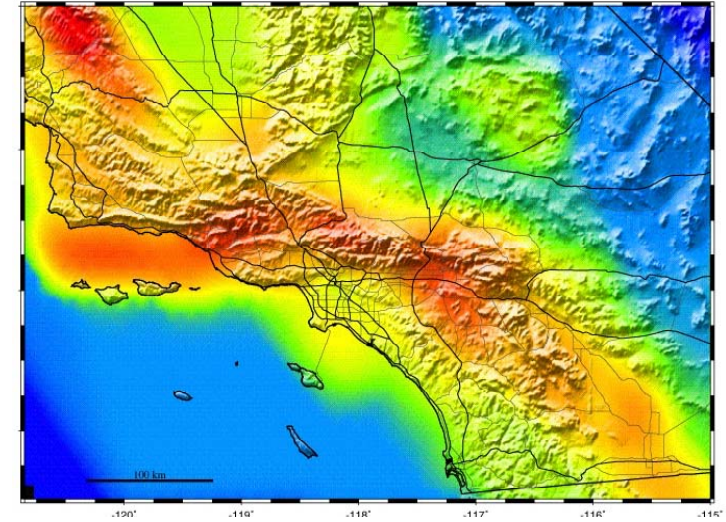
تا قبل از زلزله نورتریج (لوس آنجلس - ۱۹۹۴)

خلاصه عملکرد سازه‌های خاک مسلح در زلزله‌های مختلف

Earthquake, Country, & Year	Mag (M _L)	Dist. to Epicenter (km)	Horiz Accel (g)	No. of Walls	Wall Type	Wall Height (m)	Seismic Design?	Reported Damage
Gemona, Italy 1976 ¹	6.4	25-40		3	RE TM	4-6	no	None
Leige, Belgium 1983 ¹	5	0.8	0.15-0.2	2	RE TM	4.5-6	no	None
Honshu, Japan 1983 ¹	7.7	80-275	0.1-0.3 at 140 km	49	RE TM			one wall-few cm of settlement
Edgecumbe, NZ 1987 ¹	6.3	30		1	RE TM	6		none
Chiba-Ken Toho-Oki Japan 1987 ^{8,9}	6.7	40	0.22-0.33	2	nonwoven geotextile	5.5		none
Loma Prieta, CA, USA 1989 ^{1,2,3}	7.1	11-100	0.1-0.55	20	RE TM	5-10	some	none
		11-130	0.1-0.4	> 1	geogrid	3-24	yes	one wall-0.2%H movement (top)
Kushiro-Oki Japan 1993 ⁸	7.8	40	0.30	1	geogrid	4.4		none

Northridge Earthquake (1994)

M=6.7

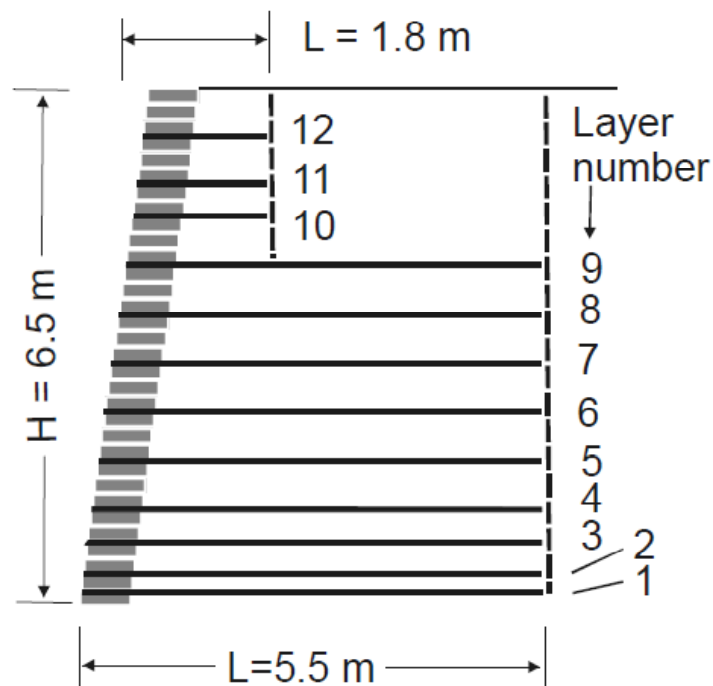


- شتاب قائم و افقی زلزله هر دو قدرتمند و تخریب زلزله بسیار زیاد بود.
- تعداد ۲۳ دیوار GRS در فاصله ۱۳ تا ۸۳ کیلومتری از کانون زلزله بررسی شدند.
- ۲۵٪ دیوارها بلندتر از ۱۰ متر بودند و ۵۰٪ آنها برای زلزله طراحی نشده بودند.
- ۷۵٪ دیوارها شتابی بزرگتر از شتاب طراحی را تجربه کردند.

فقط در ۲ دیوار آسیب ظاهری مشاهده شد.

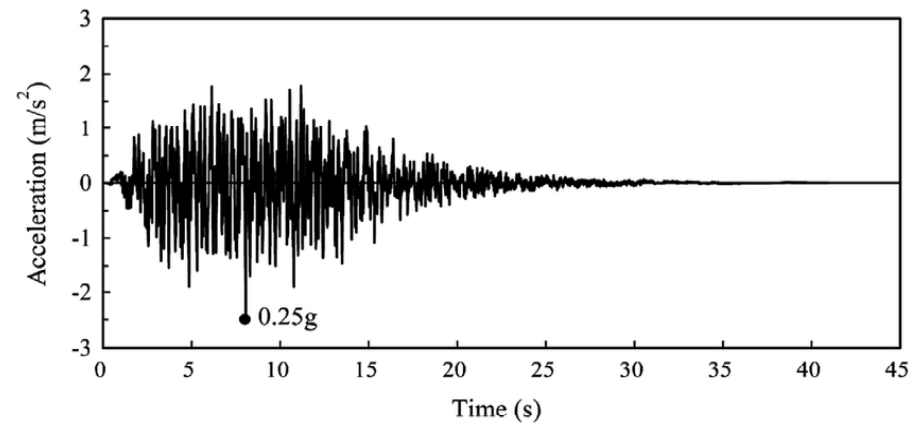
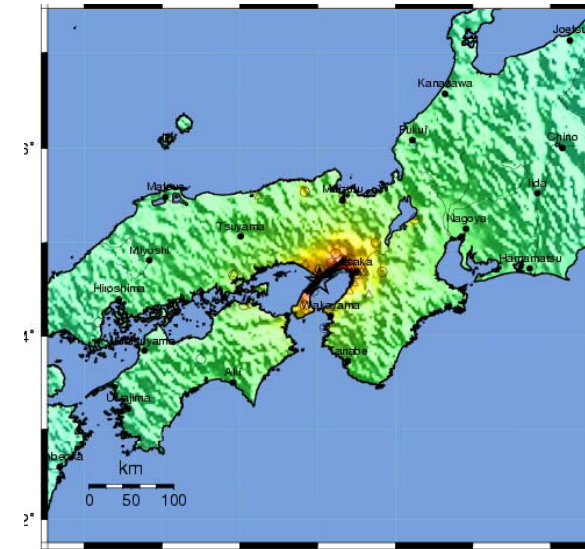
دیوار تصفیه خانه والنسیا

- شتاب $0.5g$ را تحمل کرد ولی برای $0.3g$ طراحی شده بود.
- ترک‌هایی در ناحیه مسلح کننده‌های کوتاه با عرض کمتر از ۶ میلیمتر مشاهده شد.
- در تحلیل دقیق این ترک‌ها قابل پیش‌بینی بودند.
- تغییر شکل ماندگار مشاهده نشد ← اتصال مناسب مسلح کننده به نما



Kobe Earthquake (1995)

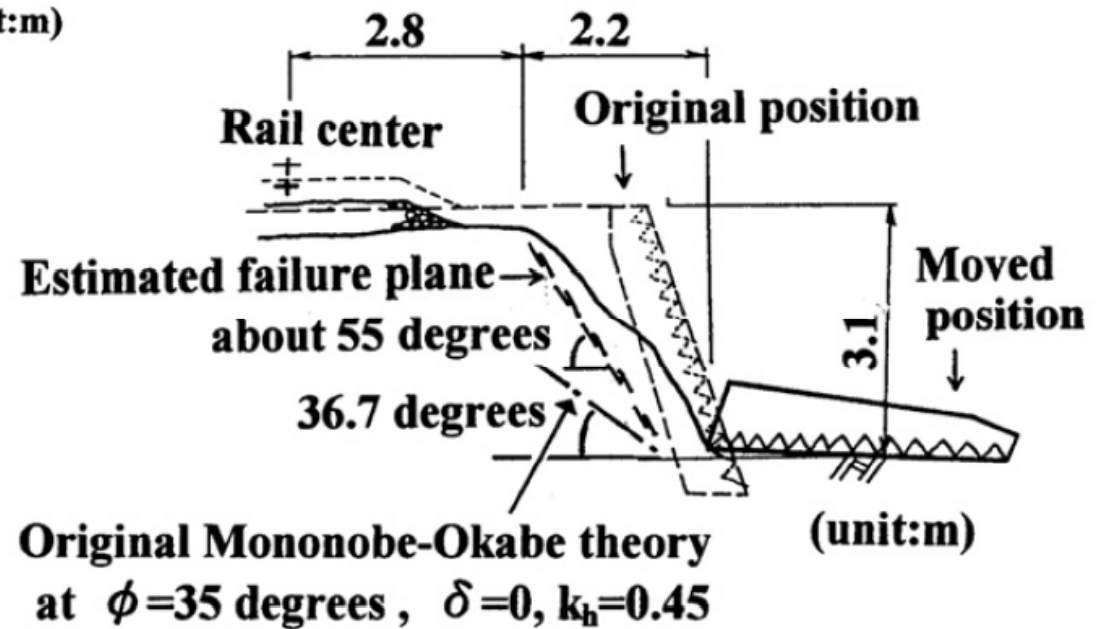
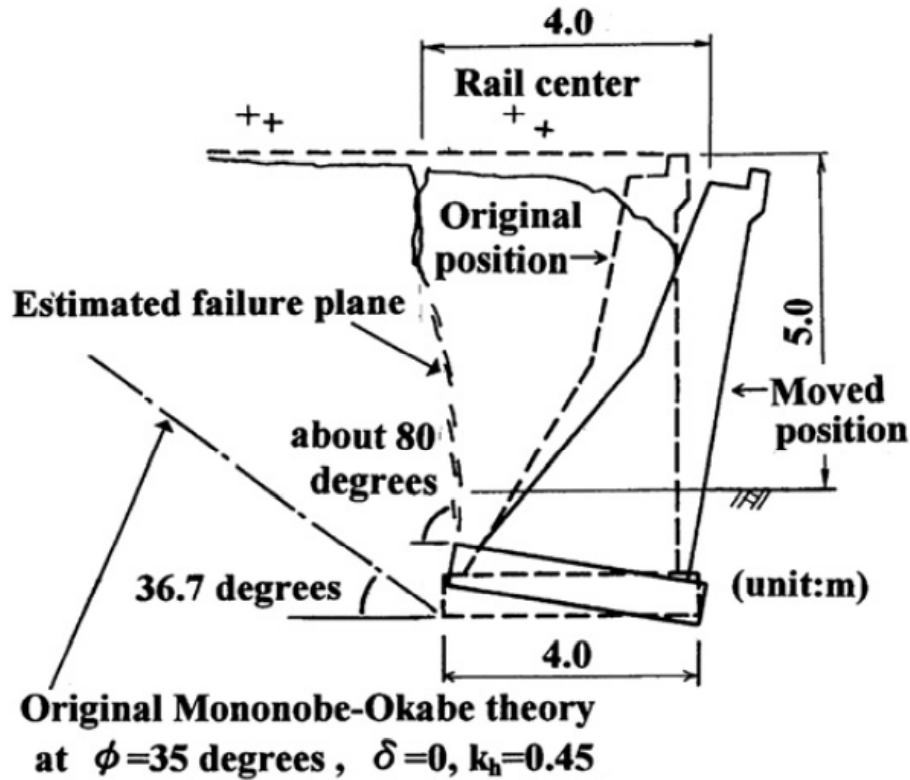
M=7.2



- شتاب قائم زلزله بزرگ بود.
- سازه‌های حائل زیادی آسیب دیدند.
- کلیه دیوارهای وزنی فروریختند. دیوارهای طره بتنی آسیب جدی دیدند.
- ۱۲۰ دیوار GRS بعد از وقوع زلزله بررسی شدند.
- ۷۰٪ آنها بلندتر از ۵ متر و ۱۵٪ آنها بلندتر از ۱۰ متر بودند.
- دیوارها تغییرمکان‌هایی بین ۴ تا ۱۰۰ میلیمتر تجربه کردند.
- شتاب حداکثر 0.27g را تجربه کردند درحالی‌ه برای شتاب 0.15g طراحی شده بودند.

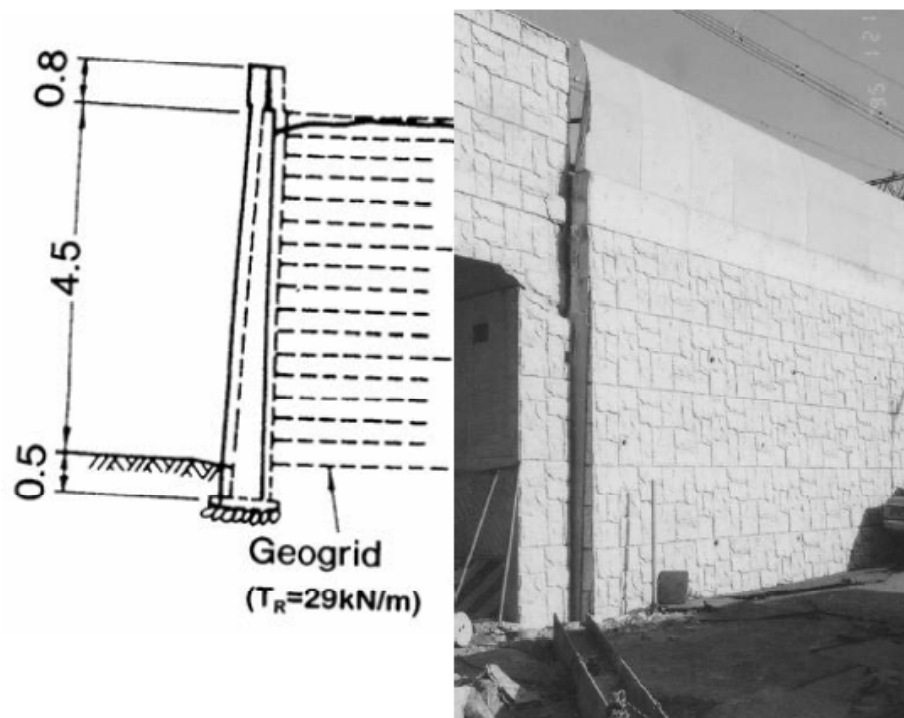
کلیه دیوارهای GRS در شرایط بهره‌برداری باقی ماندند

خرابی دیوارهای حائل متعارف در زلزله کوبه



دیواری در Tanata

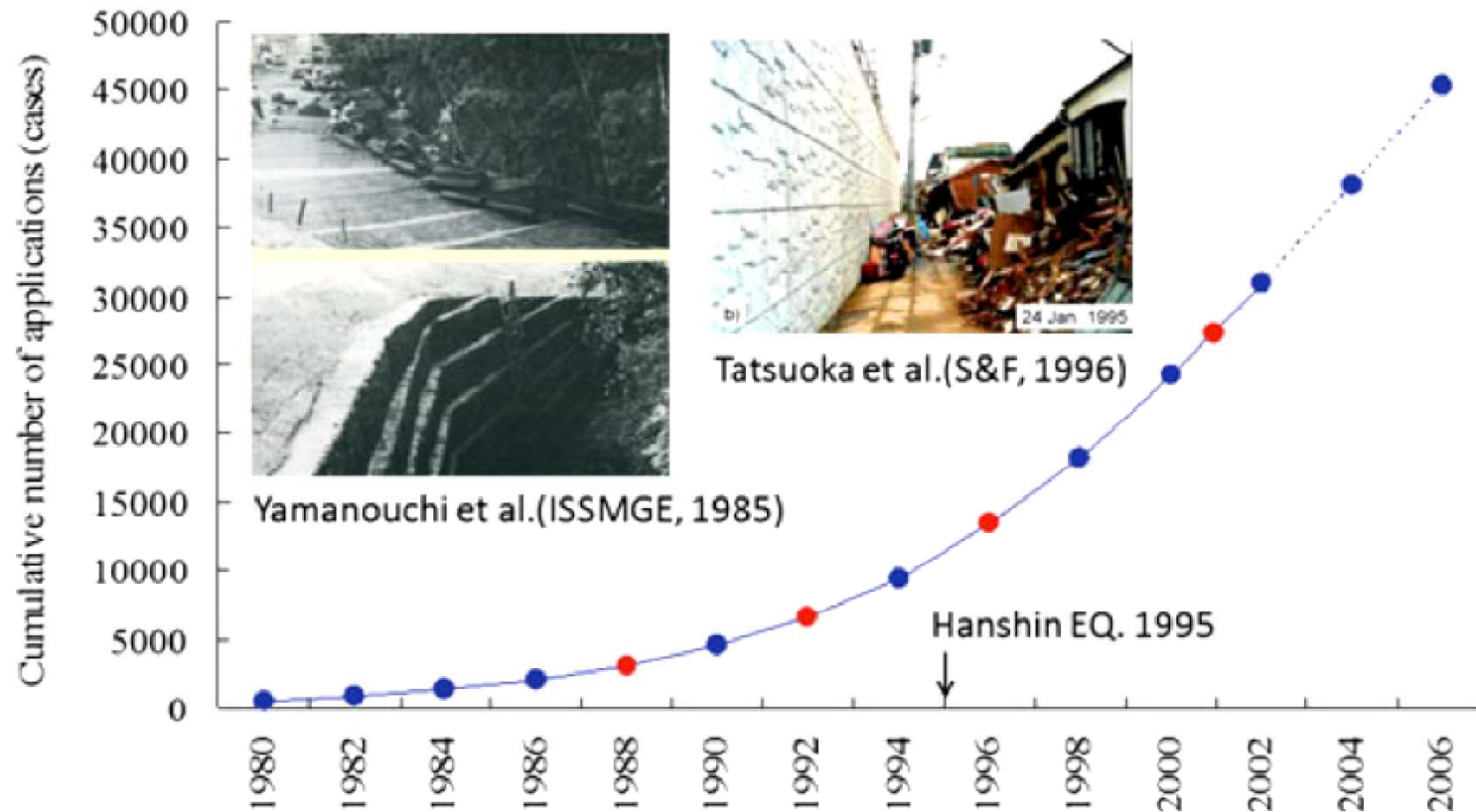
- شتاب $0.7g$ را تحمل کرد ولی برای $0.2g$ طراحی شده بود.
- آسیب وارد بر دیوار با نمای صلب تمام ارتفاع، سبک بود.
- تغییر مکان 250 میلیمتر در بالا و حدود 100 میلیمتر در پای دیوار اتفاق افتاد.



a) cross-section

b) photograph taken after 1995 Kobe earthquake

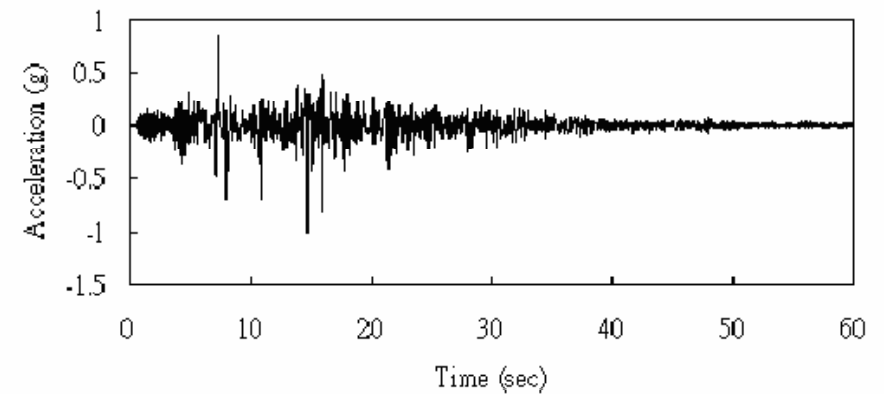
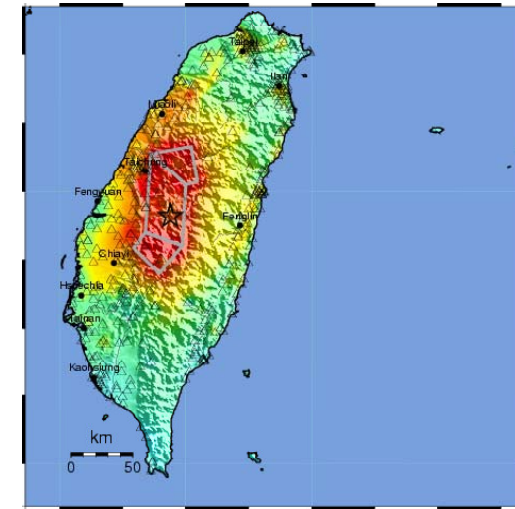
بعد از زلزله کوبه (۱۹۹۵) تعداد زیادی از دیوارهای طره‌ای با دیوار خاک مسلح جایگزین شدند و اجرای دیوارهای GRS با نمای تمام صلب افزایش یافت



Chi-Chi Earthquake-Taiwan (1999)

M=7.3

$a_{max} = 1g$



- به دلیل وضعیت توپوگرافی، تمرکز جمعیت و هزینه بالای زمین، دیوارهای بلندتر از ۴۰ متر در این منطقه معمول بود.
- طراحی و اجرای دیوارها توسط تولیدکنندگان مسلح کننده انجام شده بود.
- تخریب سازه های خاک مسلح به دلیل طراحی غیراصولی زیاد بود.
- اغلب طراحی ها بدون کنترل لرزه ای بودند.
- فاصله بین مسلح کننده ها در طراحی و اجرا زیاد بوده است.
- در مواردی خاکریز پشت دیوار بی کیفیت بوده است.

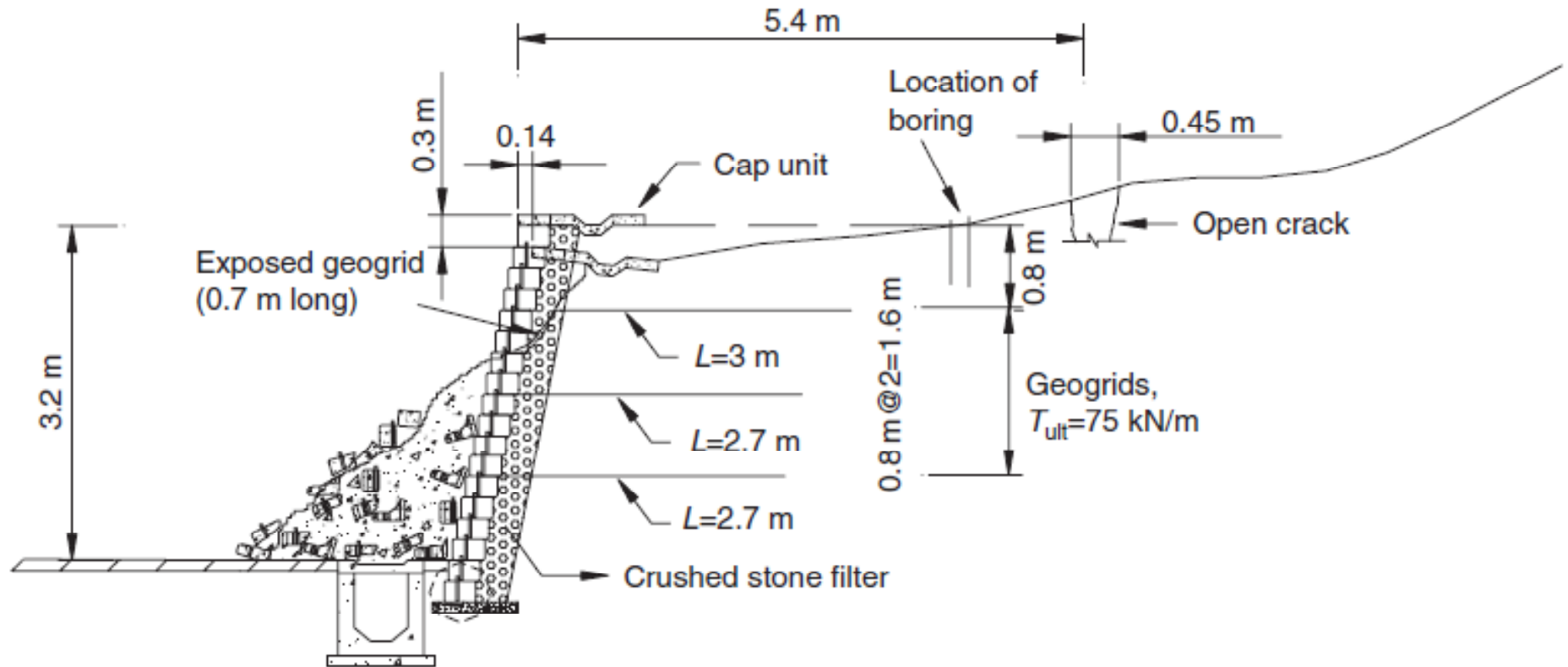
عامل اصلی در اکثر تخریبها، تغییر شکل زیاد عناصر نما بوده است.



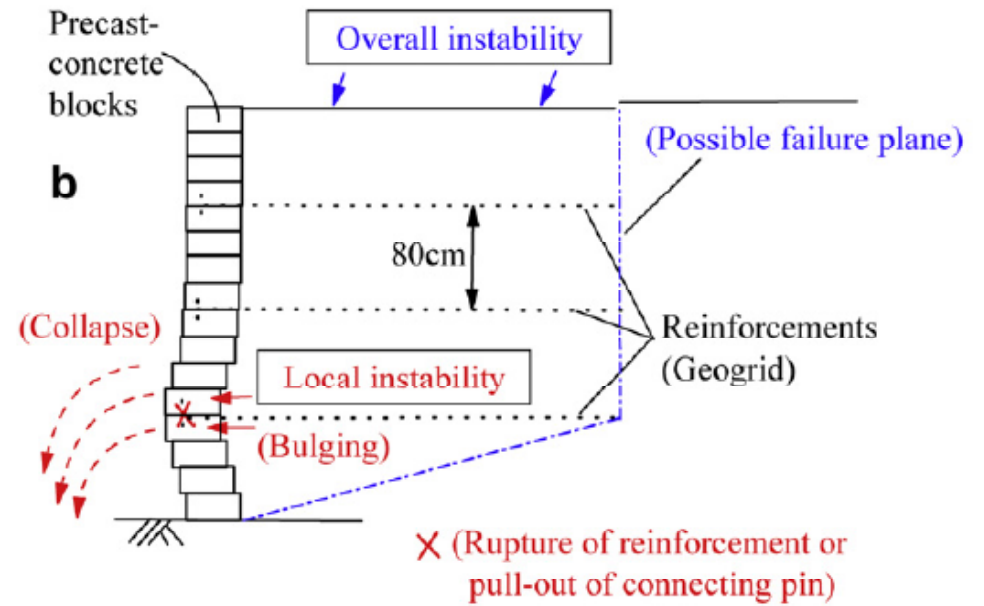
تغییر شکل بزرگ نما و خرابی دیوار



تخریب دیوار خاک مسلح با نمای قطعه‌ای - نمای جلو

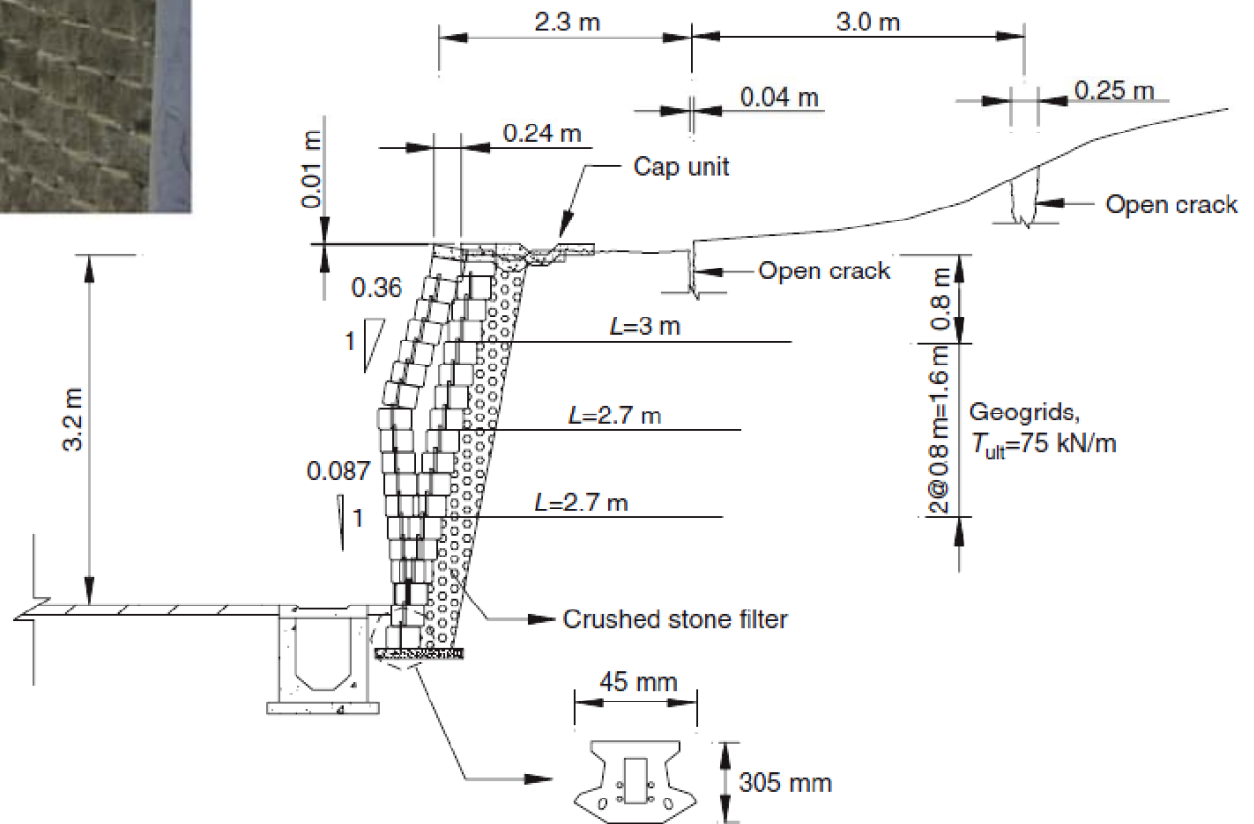


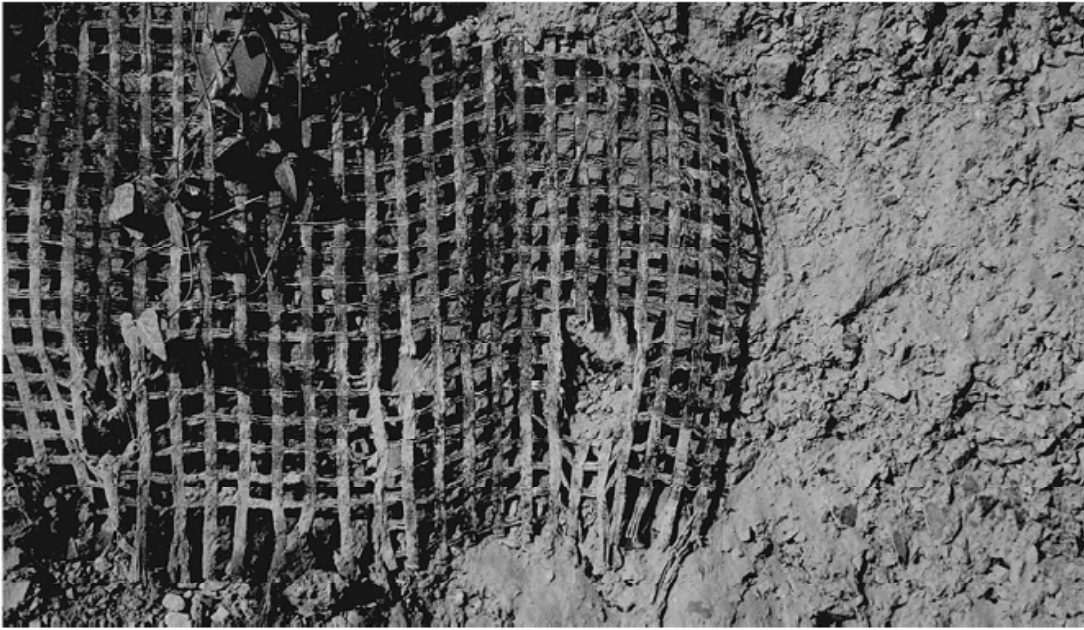
تخریب دیوار خاک مسلح با نمای قطعه‌ای - نمای جلو



تخریب دیوار خاک مسلح - دید کنار
ضعف عناصر نما

تغییر شکل شدید دیوار خاک مسلح





گسیختگی ژئوگرید



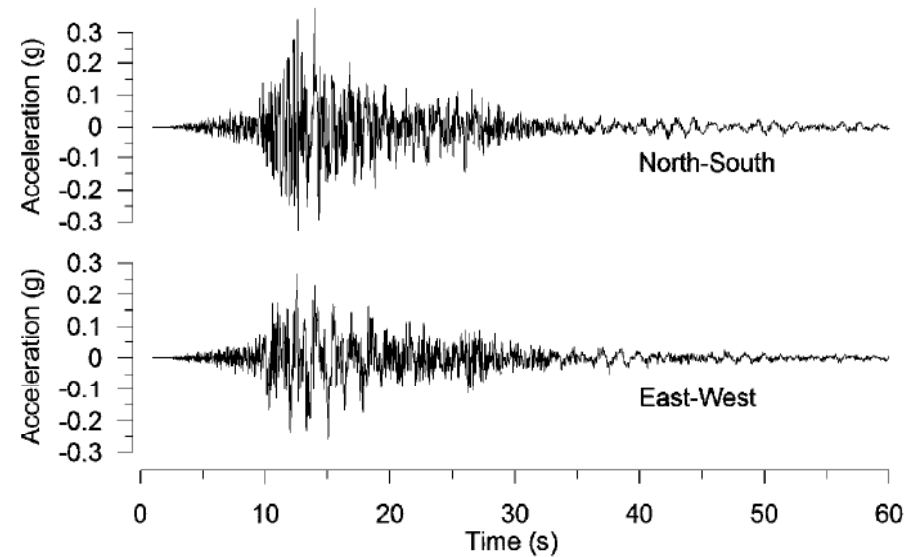
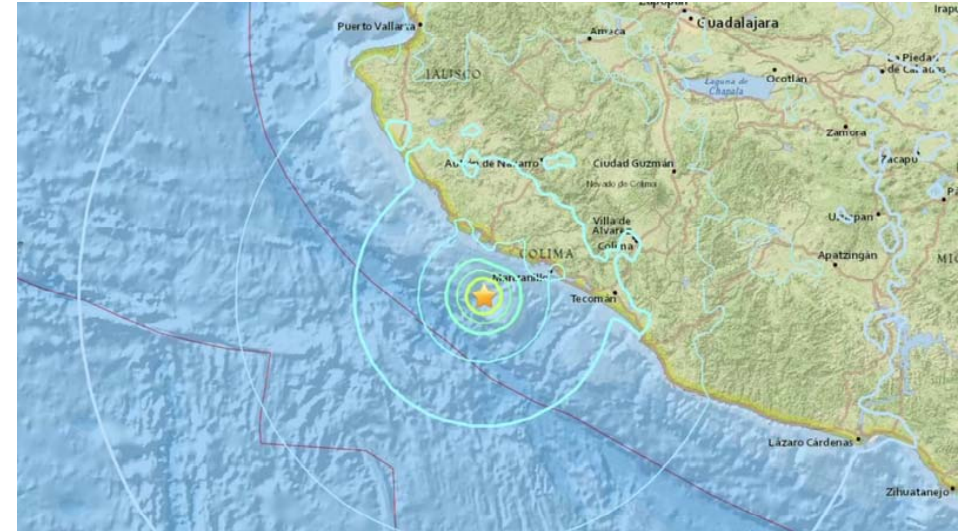
گسیختگی پین اتصال نما به ژئوگرید

افزایش فاصله مسلح کننده ← تغییر شکل افقی بیشتر
تغییر شکل نما ← لغزش، گسیختگی اتصال و شکم دادگی بخش تحتانی دیوار

اتصال مناسب عناصر نما به مسلح کننده بسیار مهم است
استفاده از نمای تمام صلب در عملکرد لرزه‌ای دیوار موثر است

Tecomán, Mexico Earthquake (2003)

M=7.8



- دیوارهای MSE عملکرد بسیار خوبی در زلزله داشتند.
- همه دیوارها بعد از زلزله در شرایط بهره برداری باقی ماندند.
- دیوارها برای $0.15g$ طراحی شده بودند ولی شتاب $0.3g$ را تحمل کردند.
- سطح آب زیرزمینی پایین بوده است.
- خاکریز پشت دیوار و کوله از نوع دانه ای با دانه بندی خوب و تراکم مناسب بوده است.

کوله های خاک مسلح عملکرد بسیار مطلوبی در قبال زلزله داشتند.

کوله پل با ارتفاع ۹ متر از نوع خاک مسلح با تسمه و نمای صلب کاملاً سالم مانده است.



کوله خاک مسلح در فاصله ۹ کیلومتری از کانون زلزله کاملاً سالم مانده است.

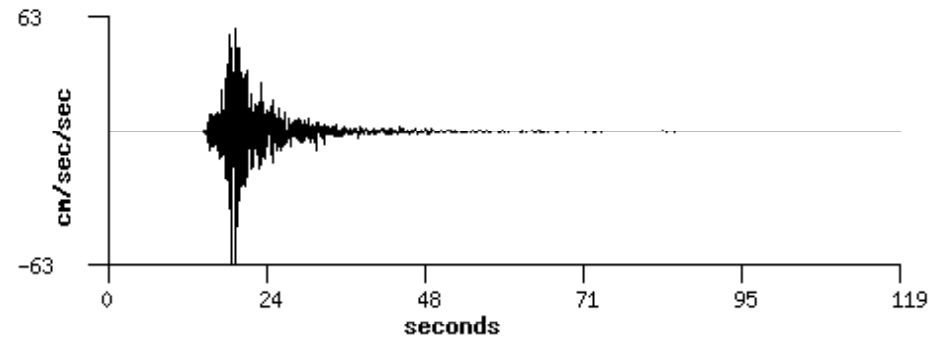
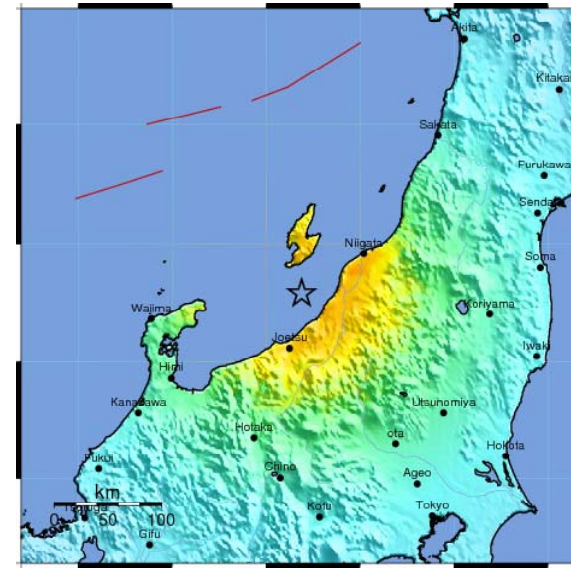


وقوع ترک به عرض ۸ سانتیمتر در محل اتصال به عرشه



Niigataken-Chuetsu Earthquake (2004 & 2007)

M=6.6 ~ 6.7

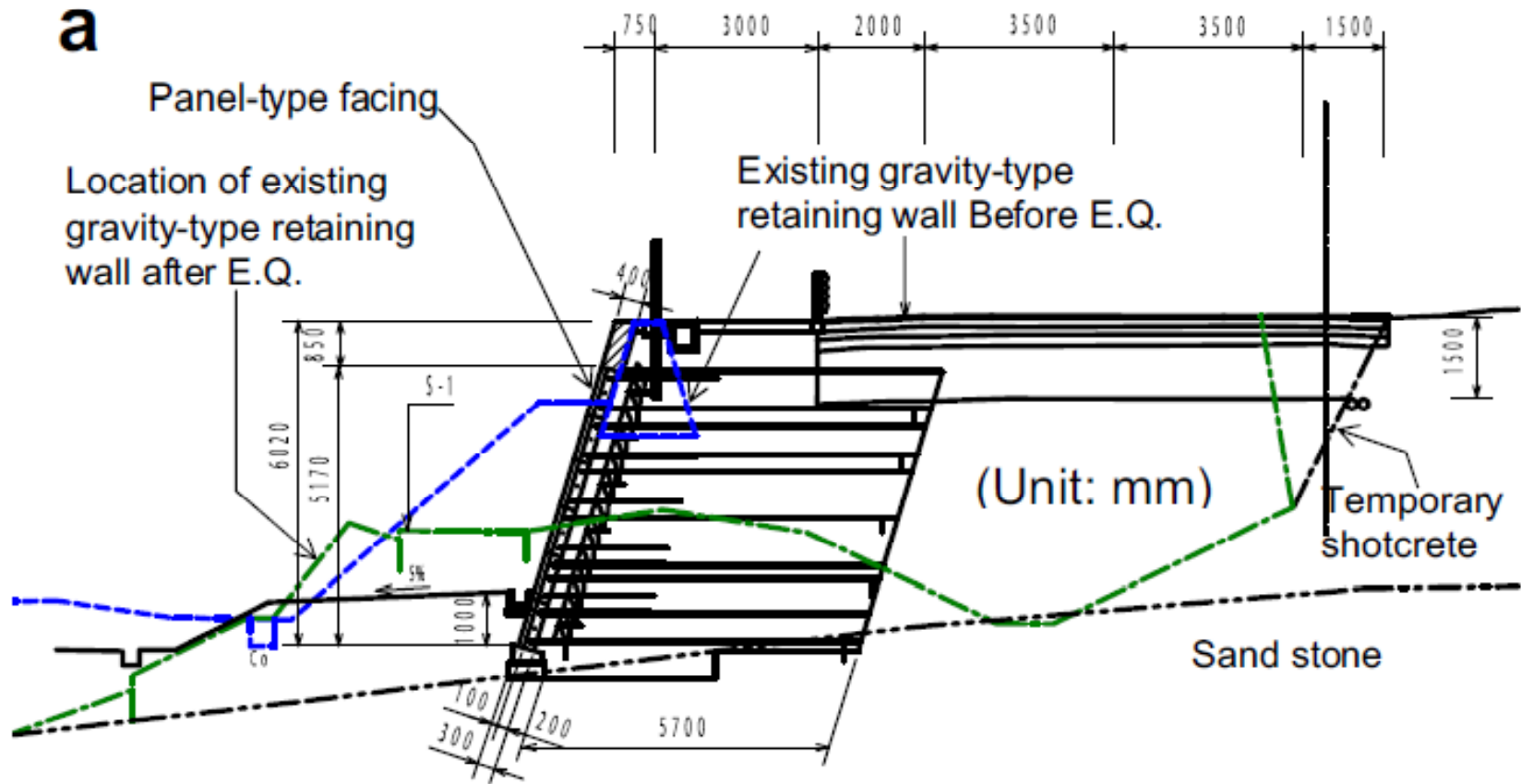


- هر دو زلزله باعث خسارت‌های زیادی به زیرساخت‌های راه و راه‌آهن شدند.
- اختلاف بین آسیب سازه‌های متعارف و خاک مسلح مشهود بود.

پس از زلزله، تعدادی از سازه‌ها و حائل‌های آسیب دیده با استفاده از خاک مسلح ترمیم و بازسازی شدند.



تخریب دیوار حائل وزنی و خاکریز راه آهن



بازسازی دیوارحائل با استفاده از GRS



برای جلوگیری از آسیب
به عناصر نما حین
تراکم، خاکریز با استفاده
از پوشش‌های برگشتی
از نما جدا شده است.

بازسازی دیوارحائل با استفاده از GRS

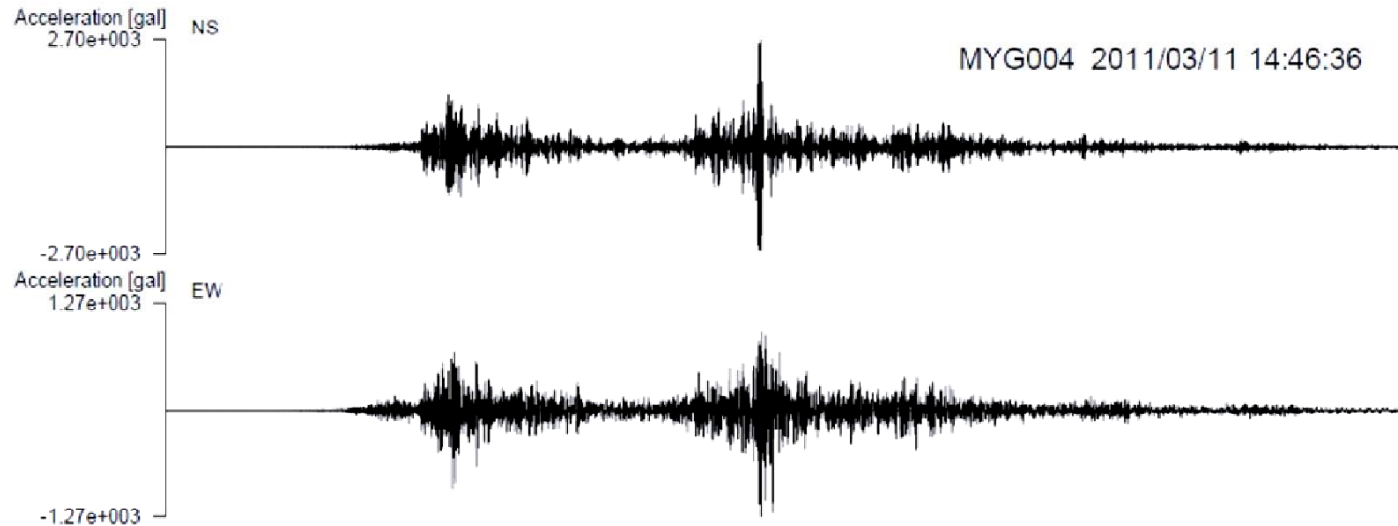
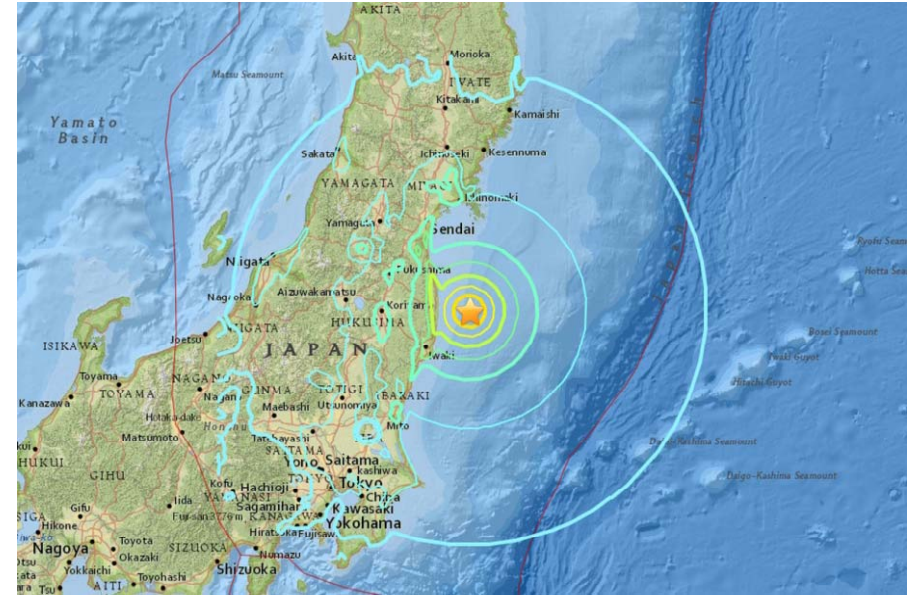


دیوار حائل بتنی در بالای تپه آسیب دیده، درحالیکه شیب GRS در پایین تپه بعد از زلزله سالم مانده است.



Tohoku-Japan Earthquake (2011)

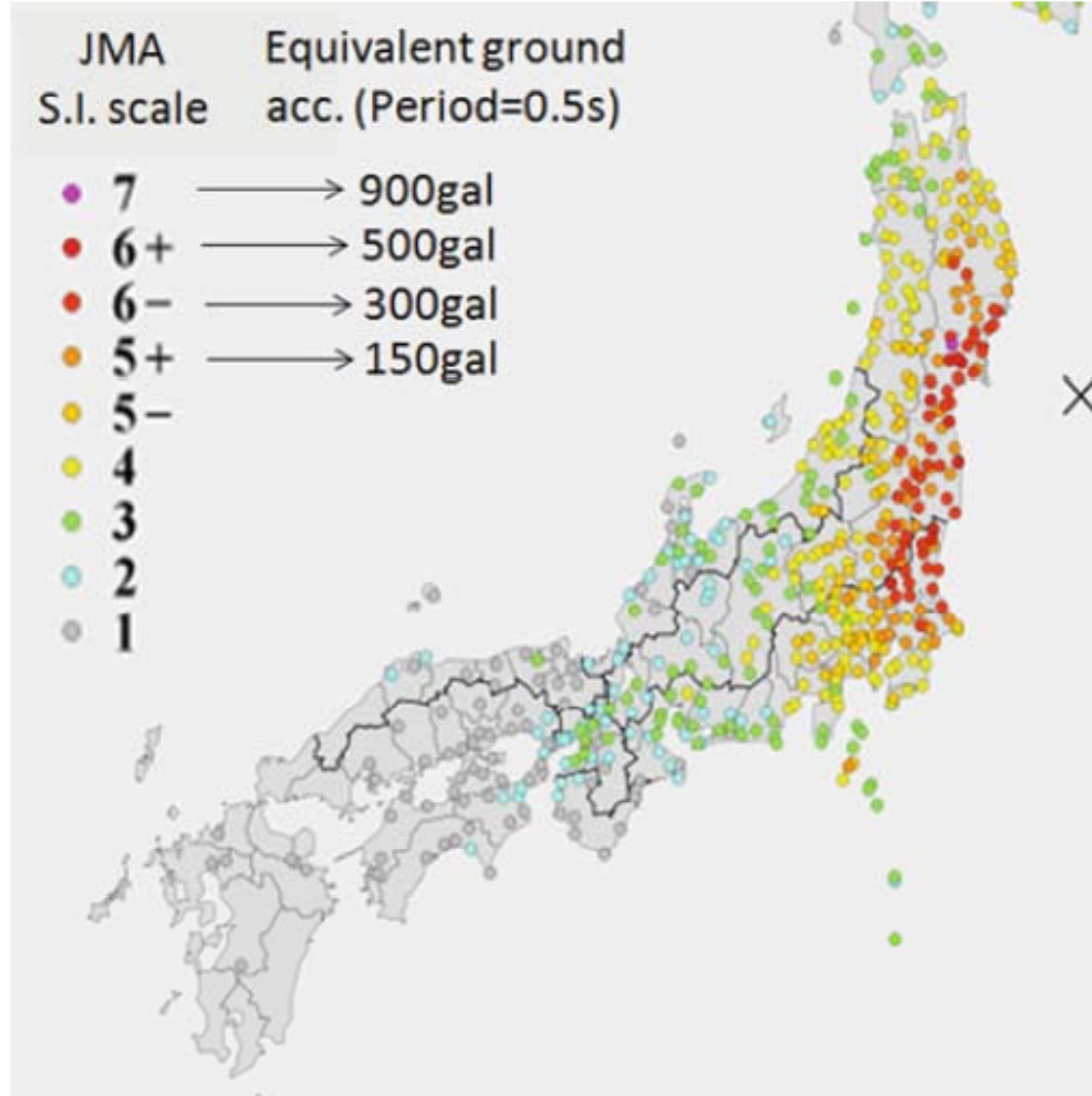
M-9.1 PGA - 2.7g



- شدیدترین زلزله ثبت شده در ژاپن و یکی از ۵ زلزله قدرتمند جهان از سال ۱۹۰۰ میلادی
- این زلزله در حدود ۱۰۰ ثانیه با قدرت بالا تداوم داشت.
- این زلزله منجر به سونامی در نواحی ساحلی شد.
- نیروهای شدید این زلزله هرگز در طراحی سازه‌ها لحاظ نشده بود.
- دیوارهای GRS و شیب‌های RSS عملکرد بسیار مطلوبی داشتند.

عملکرد دیوارهای GRS بالاتر از اهداف طراحی بوده است.



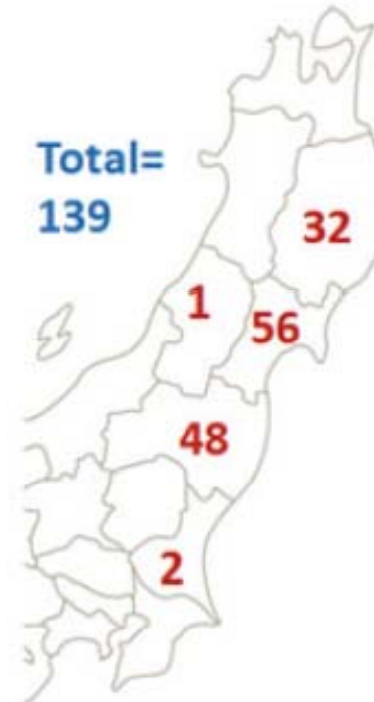
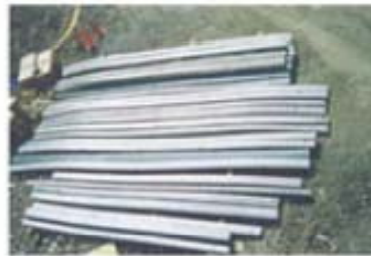


شدت زلزله توهوکو (۲۰۱۱)
در نقاط مختلف ژاپن

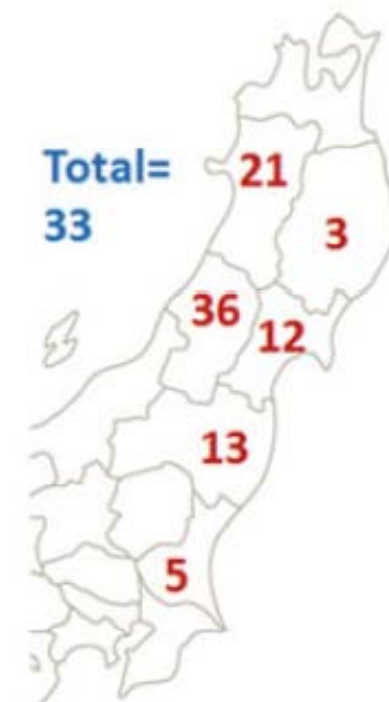
در برنامه تحقیقاتی عملکرد لرزه‌ای حدود ۱۶۰۰ دیوار بررسی شد.



Steel Strip walls



Geogrid walls



Multi-anchor walls



چهار سطح خسارت تعریف شد:

- تخریب کامل (کمتر از ۱٪)
- قابل تعمیر
- قابل بهره برداری
- بدون آسیب (بیش از ۹۰٪)

	Steel strip walls (%)	Geogrid walls (%)	Multi-anchor walls (%)
Ultimate limit state	0.3	0.7	0
Restorability limit state	1.0	4.3	0
Serviceability limit state	7.0	0.7	3.0
No damage	91.7	94.3	97.0

- دیوار GRS با ژئوگرید و نمای غیرصلب به ارتفاع ۵ متر
- حداکثر شتاب افقی تجربه شده معادل $0.3g$
- **خرابی کامل** به دلیل بالا بودن سطح آب و عدم زهکشی مناسب دیوار



- دیوار خاک مسلح با تسمه فولادی به ارتفاع ۱۰ متر
- حداکثر شتاب افقی تجربه شده معادل $0.3g$
- وقوع لغزش افقی معادل ۷ متر
- **خرابی کامل** به دلیل کیفیت نامناسب خاک زیر پی دیوار



- دیوار GRS با ژئوگرید و نمای غیرصلب به ارتفاع ۵/۴ متر
- حداکثر شتاب افقی تجربه شده معادل 0.3g
- وقوع تغییرشکل جانبی زیاد
- **قابل تعمیر** - آسیب به دلیل بالا بودن سطح آب و ریزدانه زیاد در خاکریز پشت دیوار



- دیوار خاک مسلح با تسمه فولادی، نمای پانلی صلب و ارتفاع متغیر
- حداکثر شتاب افقی تجربه شده معادل $0.3g$
- **قابل بهره برداری** - آسیب به نمای پانلی. تعمیر با تزریق دوغاب به ناحیه خرابی



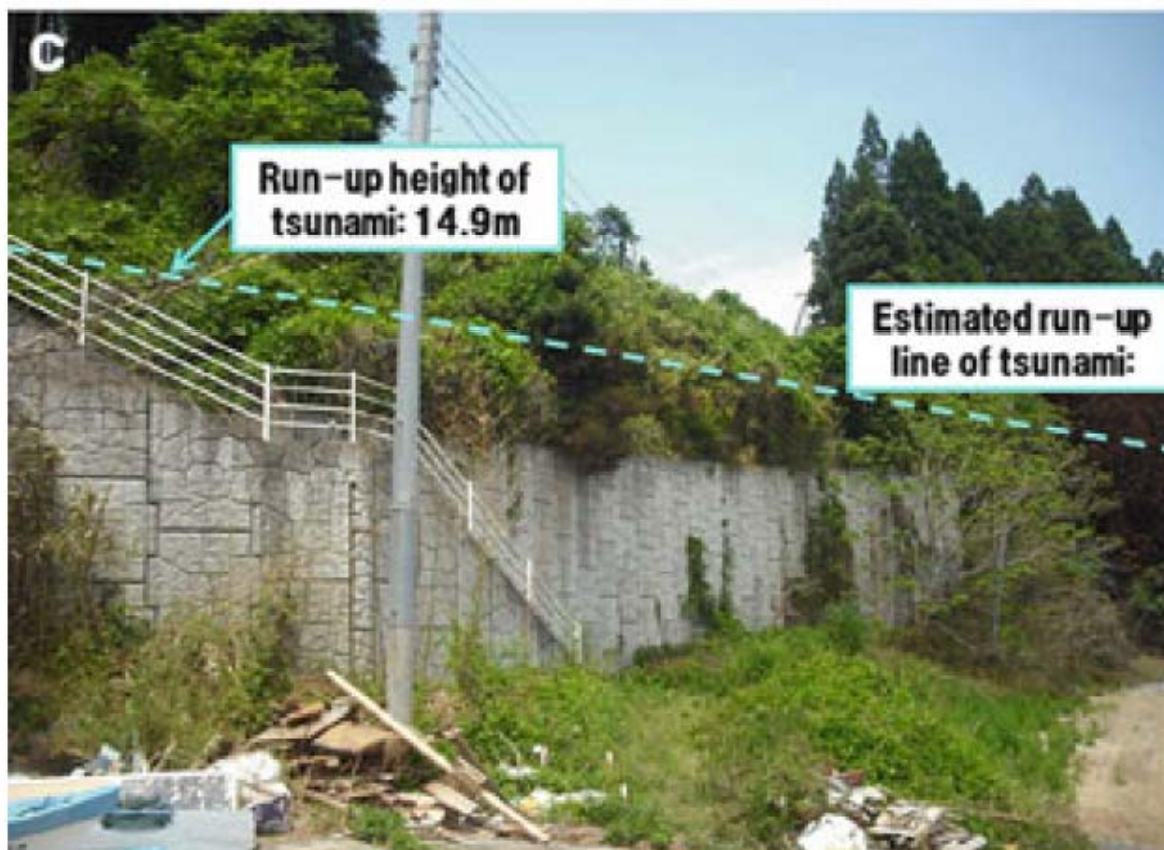
- دیوار GRS با ژئوگرید و نمای غیرصلب به ارتفاع ۶/۲ متر
- حداکثر شتاب افقی تجربه شده معادل 1g
- وقوع تغییرشکل جانبی زیاد
- بدون آسیب - در زلزله ۲۰۰۸ نیز آسیب ندیده است.



- دیوار خاک مسلح با تسمه فولادی، نمای پانلی صلب و ارتفاع متغیر
- حداکثر شتاب افقی تجربه شده معادل $0.5g$
- **تخریب کامل** - ناپایداری به دلیل **آبشستگی** ناحیه فوقانی دیوار در اثر سونامی



- دیوار خاک مسلح با تسمه فولادی، نمای پانلی صلب و ارتفاع ۱۵ متر
- حداکثر شتاب افقی تجربه شده معادل $0.4g$
- بدون آسیب - ریشه درختان بالای دیوار در عدم آبشستگی دیوار در سونامی موثر بودند



از جمله گزینه‌های مطلوب برای ترمیم سازه‌های حائل و خاکریزها پس از زلزله، کاربرد خاک مسلح است.

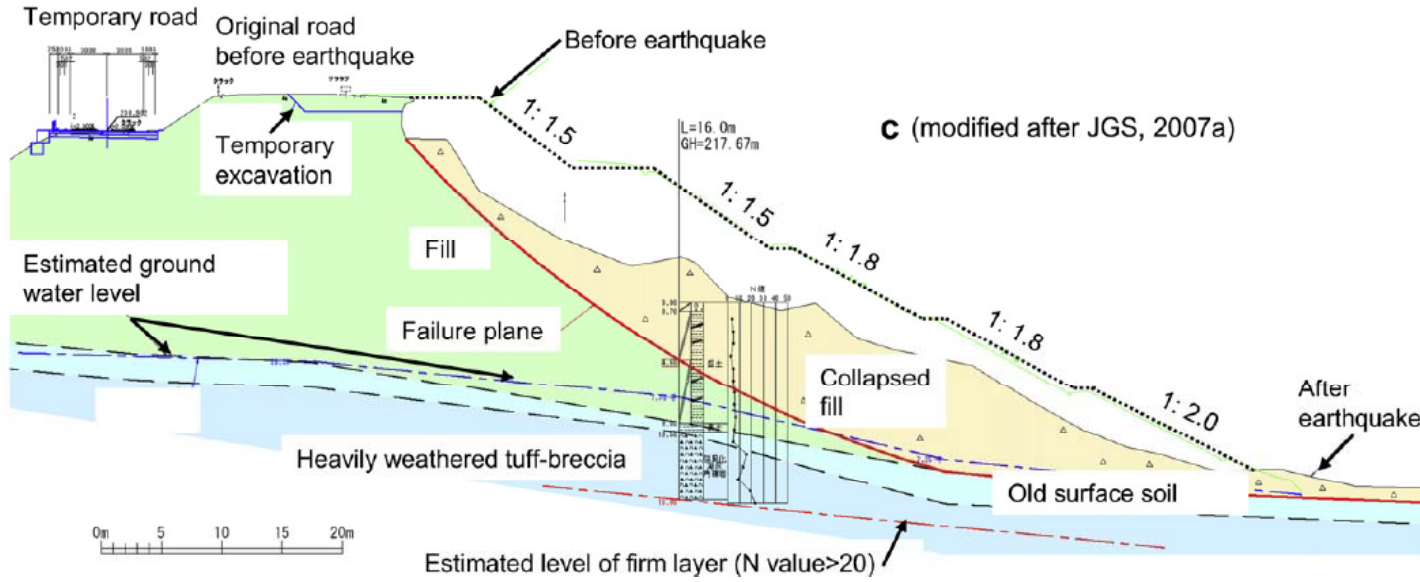
- عملیات اجرایی با خاک مسلح سریع است
- عملکرد آنها در زلزله‌های بعدی مناسب و تایید شده است.
- نسبت هزینه/منفعت سازه‌های خاک مسلح نسبت به روش‌های متعارف بسیار مطلوب است.

Damaged geo-structures due to earthquake



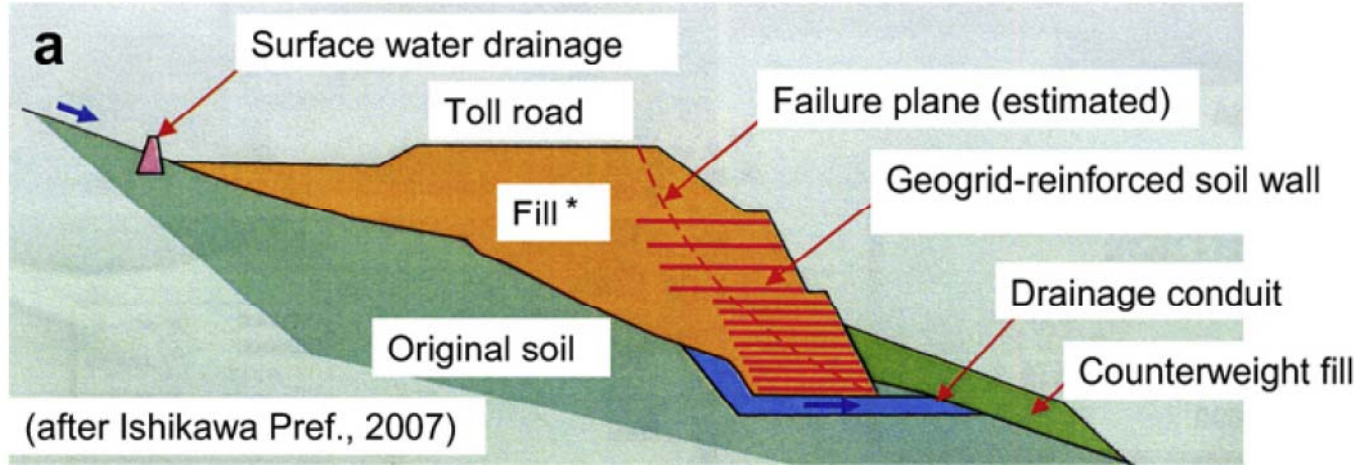
Restored geo-structures by soil reinforcement technology

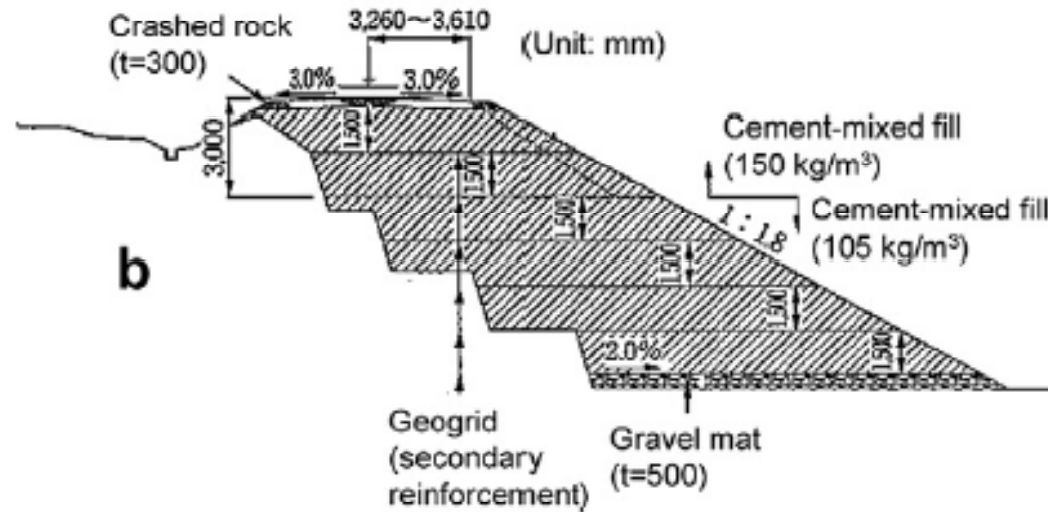




Failure of an embankment of Noto toll road (at site No. 32) caused by 2007 Noto-hanto earthquake.



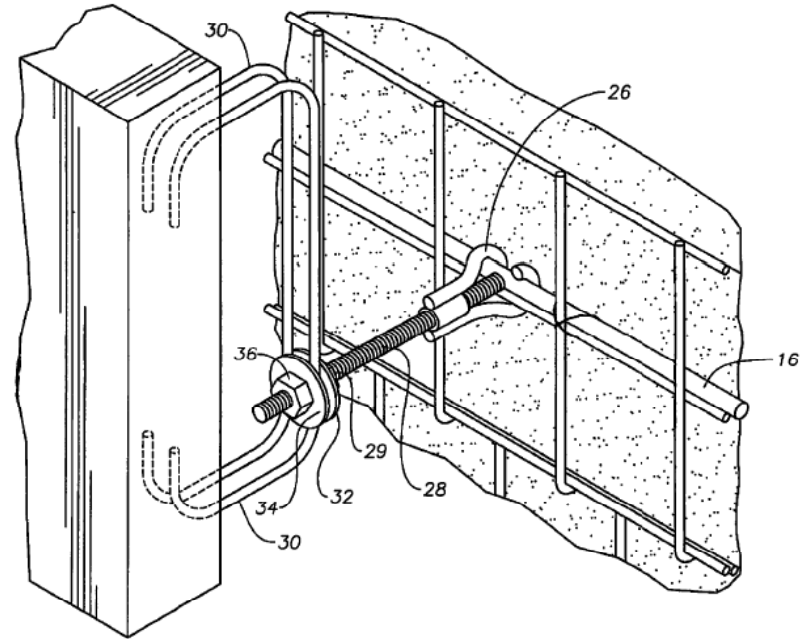
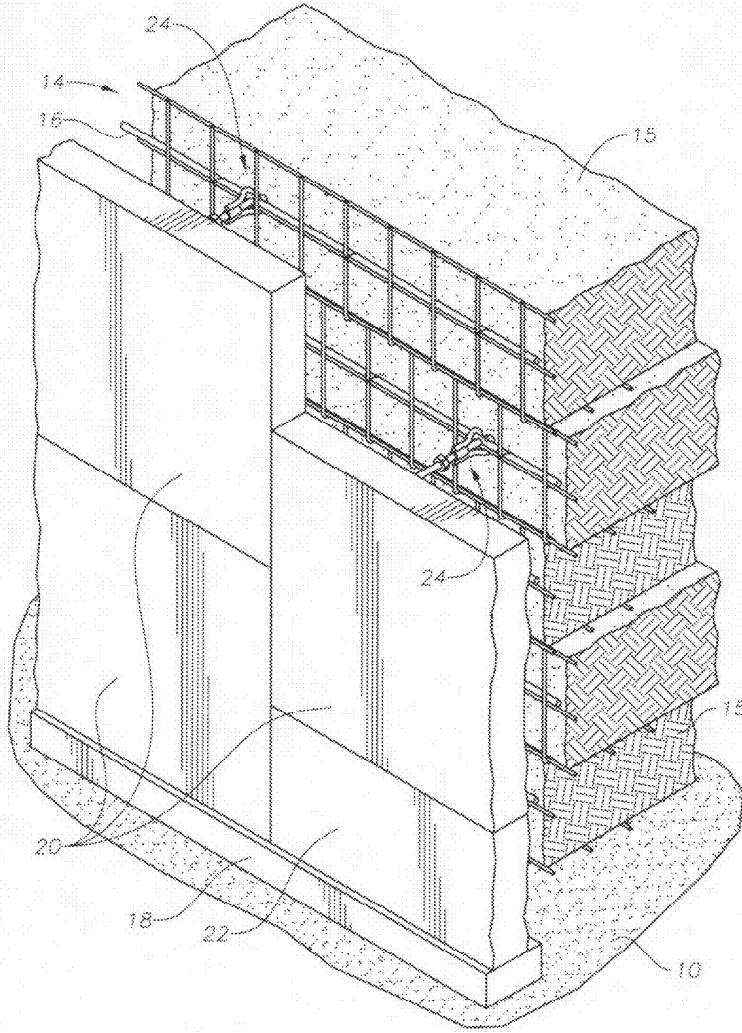




جمع بندی و توصیه های کاربردی

عناصر نما

- نمای صلب باعث افزایش فشار جانبی، افزایش فشار همه جانبه، کاهش تغییر شکل و افزایش پایداری دیوار می گردد.
- نمای قطعه ای در هنگام زلزله خطر ناپایداری موضعی را به همراه دارد.
- ضعف اتصال مسلح کننده به نمای قطعه ای بیشتر است.
- توزیع اضافه نیروی کششی در مسلح کننده با وجود نمای صلب بهتر انجام می شود.
- از کاربرد دیوارهای با نمای دو مرحله ای (two stage MSE walls) در مناطق با لرزه خیزی شدید اجتناب شود.



مسلح کننده

- در صورت طراحی اصولی، تغییر جنس مسلح کننده (انعطاف پذیر) تاثیر قابل توجه بر چرخش یا ناپایداری لرزه‌ای ندارد.
- به دلیل آسیب پذیری لرزه‌ای دیوارها در کنج یا در انحنا کم، **مسلح کننده در هر دو امتداد ادامه یابد.**
- اجرای مسلح کننده در **پشت عناصر نمای رابط بین کنجها** ضروری است.
- **وجود پی یا هر نوع سازه در محدوده گوه گسیختگی** و کاهش طول مسلح کننده، پتانسل خرابی در زلزله را افزایش می دهد.

خاکریز

- در حد امکان خاکریز پشت از مصالح دانه‌ای با دانه‌بندی مناسب باشد.
- وجود سطح آب در خاکریز پشت، ناپایداری لرزه‌ای را افزایش می‌دهد.
- افزایش تراکم خاکریز منجر به افزایش مقاومت بیرون کشش مسلح کننده، کاهش تغییرشکل و افزایش پایداری لرزه‌ای می‌گردد.
- تراکم خاکریز در کنجها در مناطق لرزه خیز ضروری است، در غیراینصورت به نقطه ضعف دیوار تبدیل می‌شود.

خاک بستر

- بستر ضعیف و بی کیفیت در پای دیوار و به ویژه در زیر نمای دیوار، منجر به افزایش تغییرشکل برشی خاک و کاهش ناپایداری لرزه‌ای می‌گردد.

با تشکر از توجه شما