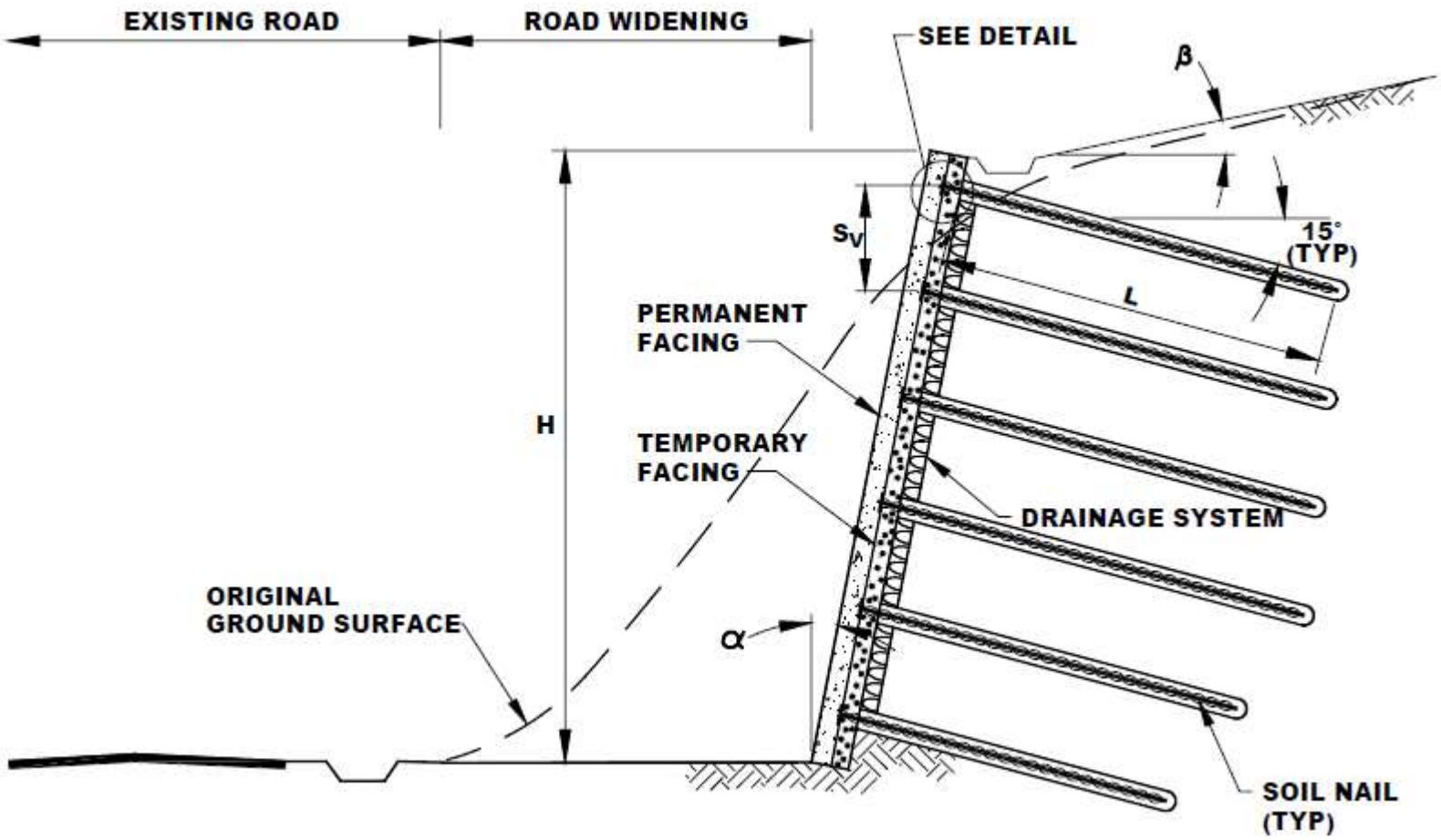
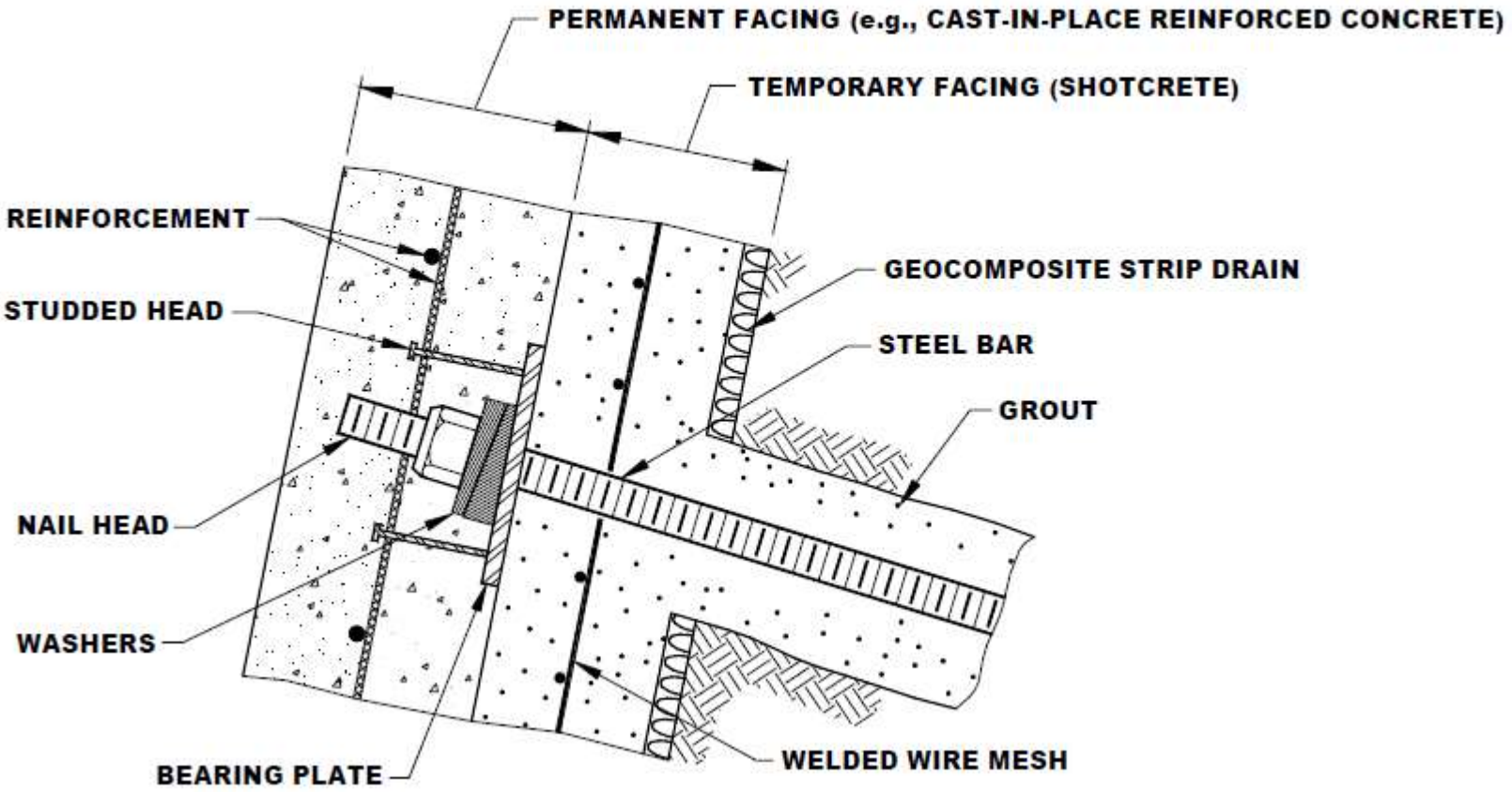
ارائه دهنده:
مصطفی عابدی
کارشناس ارشد ژئوتکنیک

اصول و ضوابط طراحی نیلینگ (Nailing) بر اساس استاندارد FHWA

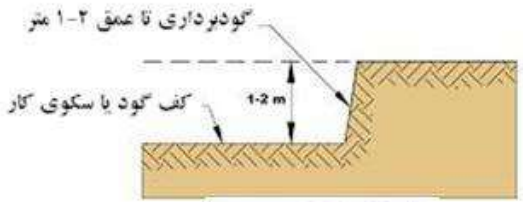
بخش های مختلف نیلینگ



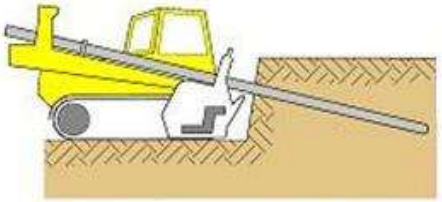
بخش های مختلف نیلینگ



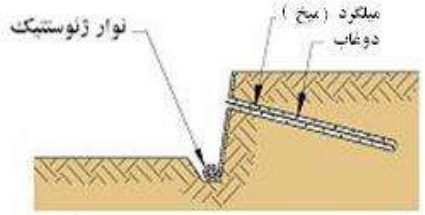
روش اجرای نیلینگ



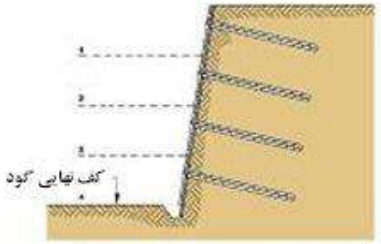
مرحله۱- گودبرداری کم عمق



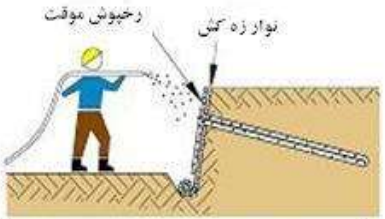
مرحله۲- حفر گمانه برای میخ



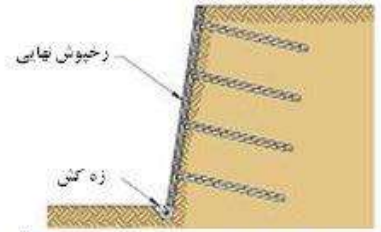
مرحله۳- نصب و تزریق میخ همراه با نصب زه کش



مرحله۵- اجرای ترازهای پله های بعدی



مرحله۴- اجرای رخپوش موقت
(شامل شاتکریت، مش، صفحه زیرسری، مهره و واشر)



مرحله۶- اجرای رخپوش نهایی
(در گودبرداری های دائمی) همراه با اجرای زه کش پنجه

روش اجرای نیلینگ

۱. حفاری گود : حفاری گود تا سطح اجرای اولین نیل با توجه به این نکته که عمق گود برداری نباید از ۲ متر بیشتر باشد.(حدود ۱ الی ۲ متر)

البته شایان ذکر است که می توان برای عمق گود برداری ایمن از رابطه گودبرداری ایمن بدون استفاده از مهار استفاده نمود:

$$\sigma_3 = (q + \gamma z)K_a - 2c\sqrt{K_a} = 0$$

$$z = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma}$$

۲. حفاری محل های نیلینگ: با توجه به طول ، قطر و زاویه نیل

۳. قرار دادن نیل ها و گروت (دوغاب سیمان) ریزی داخل حفره ها

۴.ساخت روکش موقت از میلگرد های به هم جوش داده شده پس از قرار دادن زهکش ژئوسنتتیک، به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر و شاتکریت کردن بتن بر روی آن (مقاومت ۳ روزه بتن باید حد اقل ۱۰.۵ مگاپاسکال باشد.)

۵. ساخت مراحل بعد تا سطح مورد نظر گودبرداری

۶. ساخت روکش دائم در صورت لزوم : این روکش می تواند به صورت درجا و یا با استفاده از روشک های پیش ساخته باشد.

خاک های مناسب جهت استفاده از نیلینگ

۱. **ریزدانه ها سفت یا سخت**: (عدد SPT آن حدود 9 blows/30 mm)

مانند : رس های سفت تا سخت ، رس سیلتی و سیت های رسی ، ماسه رس دار ، ماسه سیلتی و یا ترکیبی از خاک های ذکر شده

نکته : خاک های ریزدانه باید دارای نشانه خمیری پایینی باشند.(PI<15)

۲. **خاک های درشت دانه متراکم و بسیار متراکم با مقداری ریزدانه چسبنده**:عدد SPT آن حدود ۳۰ و مقدار ریزدانه ۱۰٪ الی ۱۵٪ باشد. چسبندگی این خاک ها باید بیش از 5kPa باشد.

۳. **سنگ های هوازده بدون سطح سست**

۴. **خاک های منجمد**

خاک های نامناسب جهت استفاده از نیلینگ

۱. خاک های غیر چسبنده سست و کاملا خشک بدون ریزدانه و حتی بدون استفاده از مصالح تثبیت کننده سیمانی

۲. خاک ها با سطح آب زیر زمینی بالا: باید تمهیداتی جهت پایین آوردن سطح آب ایجاد کرد که هزینه بر است. در صورت ایجاد این تمهیدات می توان از نیلینگ استفاده نمود.(آب باعث ریزش حفره ها و نیز مشکل کردن عمل شاتکریت می شود.)

۳.خاک های مستقر بر سنگ های سخت: در صورتی که سنگ سخت کوچک باشد با انحراف

خاک های نامناسب جهت استفاده از نیلینگ

۴. ریزدانه های سست : ریزدانه هایی که عدد SPT آن ها کم تر از ۴ باشد.

نکته: خاک ها با خاصیت خمیری بالا در اثر پدیده خزش و تورم آنها می تواند دراثر گودبرداری عمیق باعث ریزش گود شود.

۵. خاک های نباتی: به علت ناشناخته بودن و متغییر بودن خواص آن

۶. خاک های بسیار خورنده و حاوی خاکستر بادی و آهک

۷. خاک های بادرفتی

خاک هایی که پتانسیل خزش دارند:

استفاده و بکارگیری نیلینگ در این خا ک ها توصیه نمی شود در غیر اینصورت می توان با افزایش طول نیل ها و کم کردن فاصله نیل ها از نیلینگ استفاده کرد. اما اقتصادی نیست.

مشخصات اینگونه خاک ها:

LL (Liquid Limit) > 50

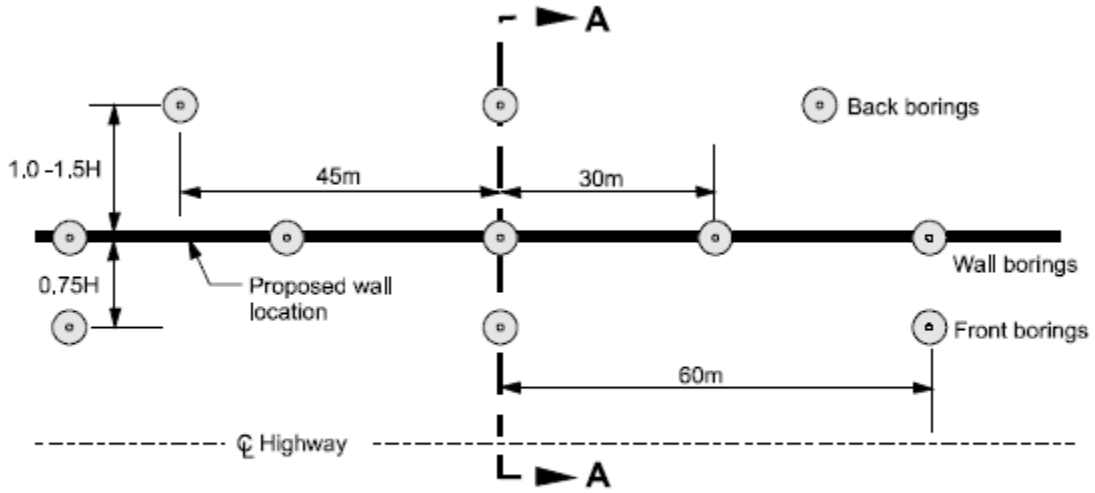
PI (Plasticity Index) > 20

Undrained Shear Strenghts <50 kPa

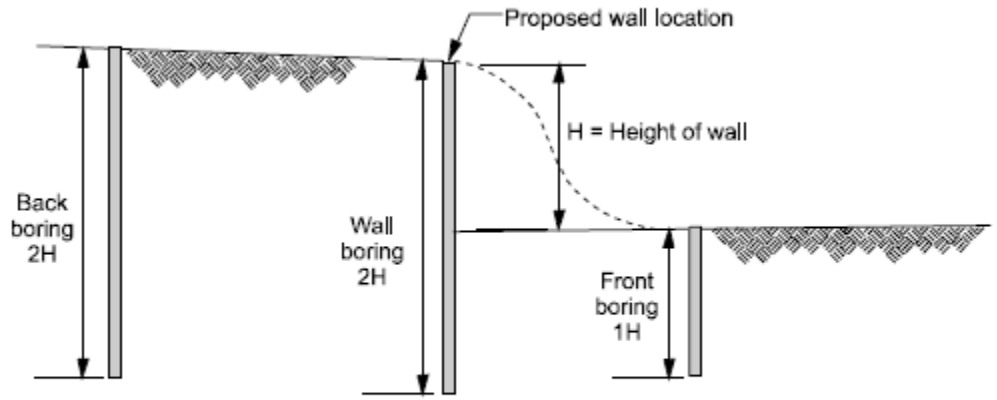
LI (Liquidity Index) > 20

Organic Soil

گمانه زنی جهت انجام آزمایشات لازم



Note: Distances shown are recommended maximums.



Section A - A

تعیین نوع خاک با آزمایش SPT

Table 3.2: Cohesionless Soil Density Description Based on SPT N-Values.

(Source: Terzaghi et al., 1996)

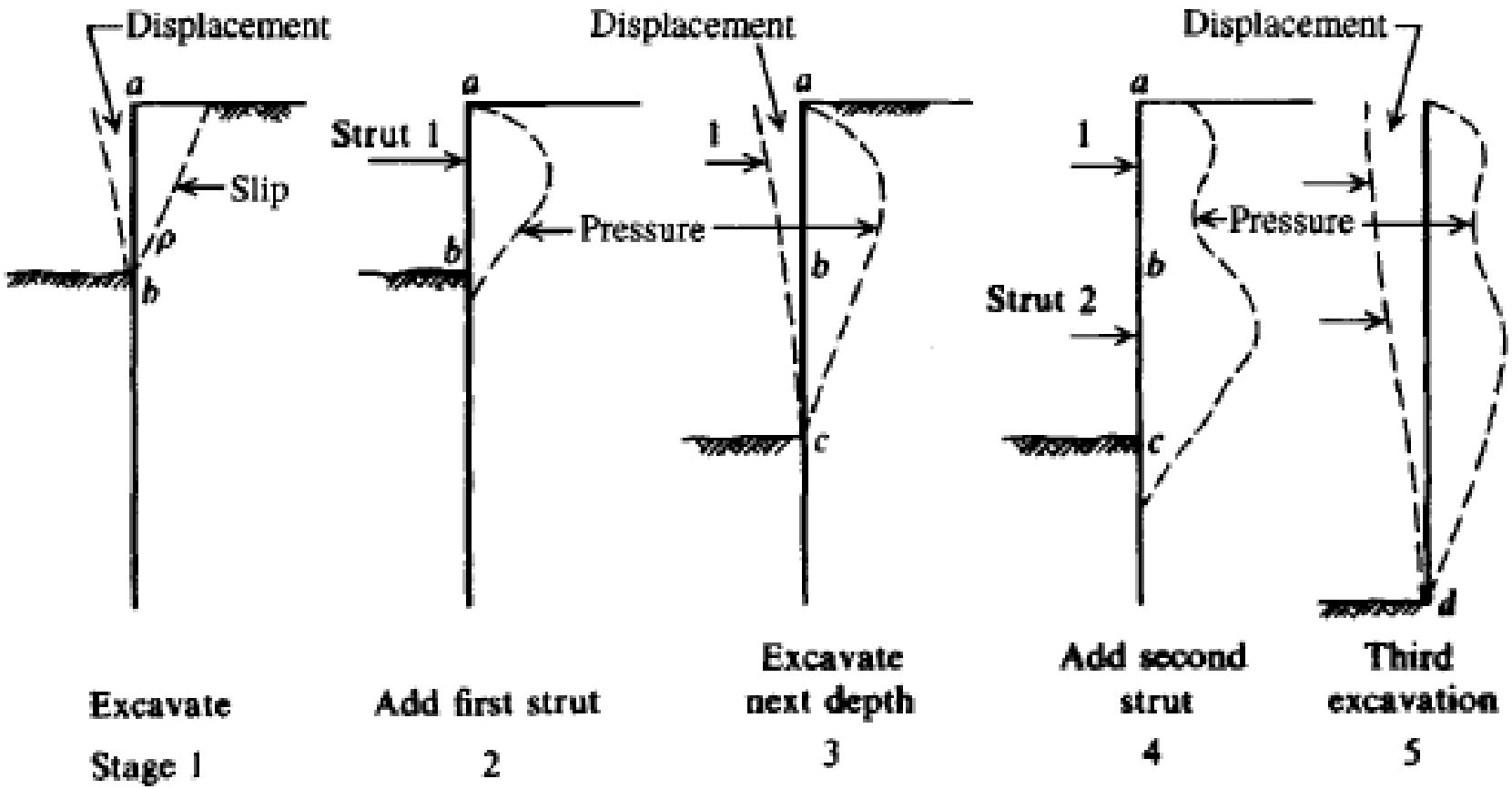
Relative Density	SPT N_{meas} (blows/300 mm or blows/ft)
Very loose	0–4
Loose	5–10
Medium Dense	11–30
Dense	31–50
Very Dense	>51

Table 3.3: Fine-Grained Soil Consistency Description Based on SPT N-Values.

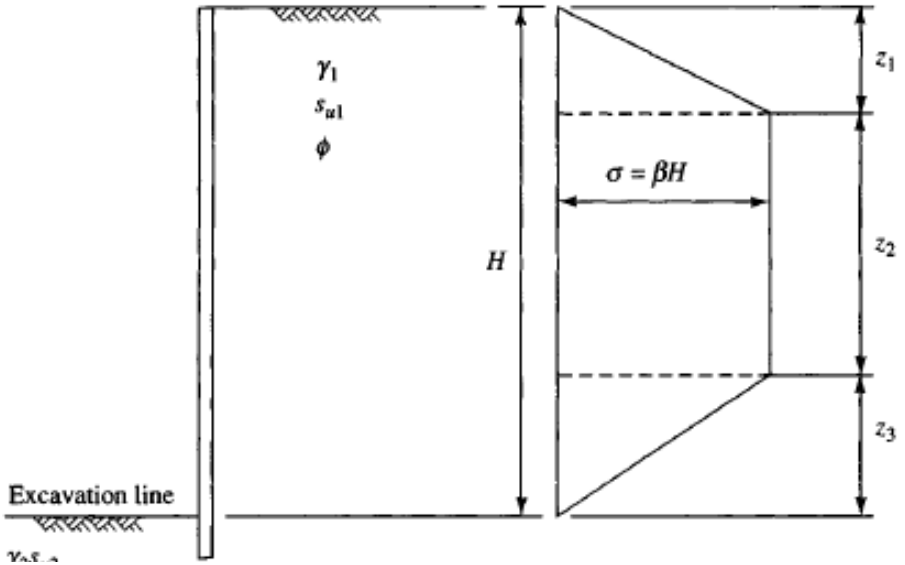
(Source: Terzaghi et al., 1996)

Consistency	SPT N_{meas} (blows/300 mm or blows/ft)
Very Soft	0–1
Soft	2–4
Medium Stiff	5–8
Stiff	9–15
Very Stiff	16–30
Hard	31–60
Very Hard	>61

فشار فعال خاک در گود های مهار شده



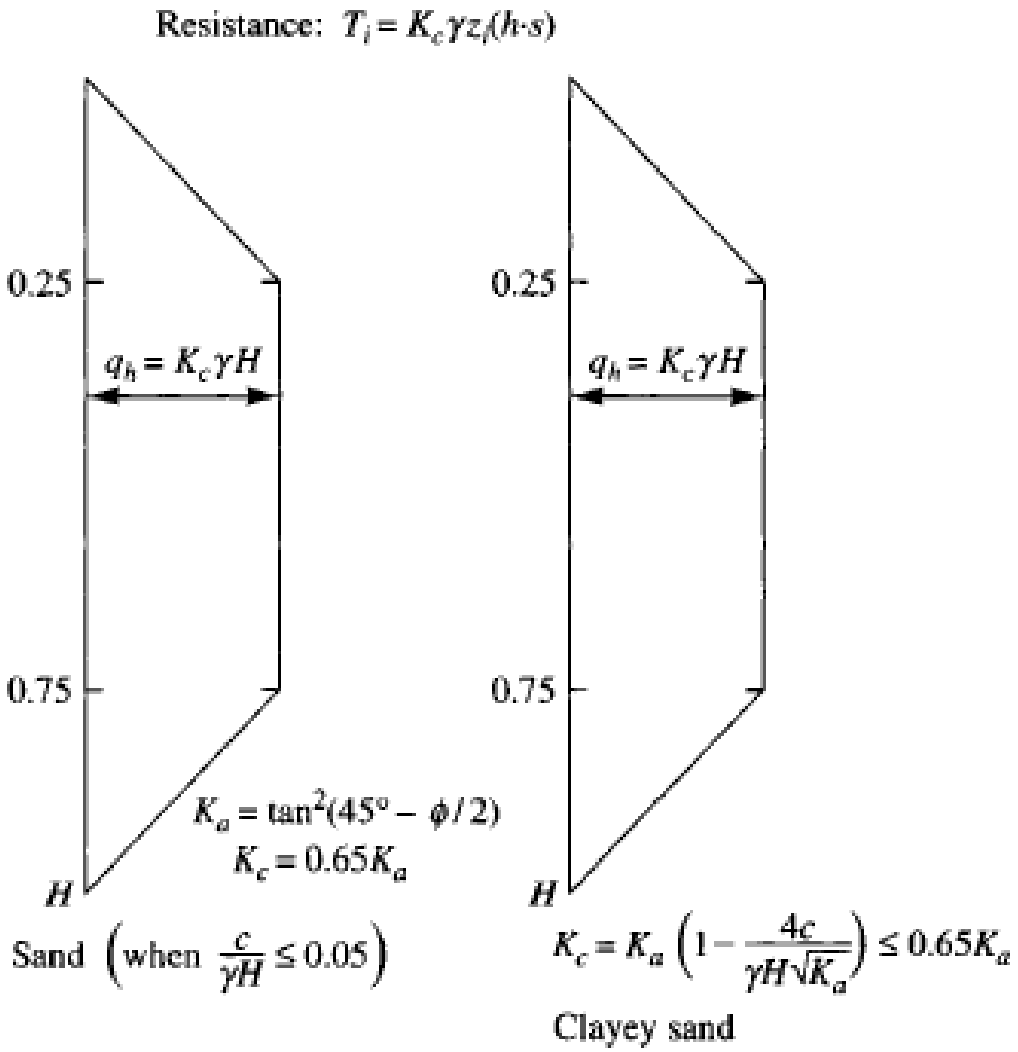
فشار فعال خاک در گود های مهار شده



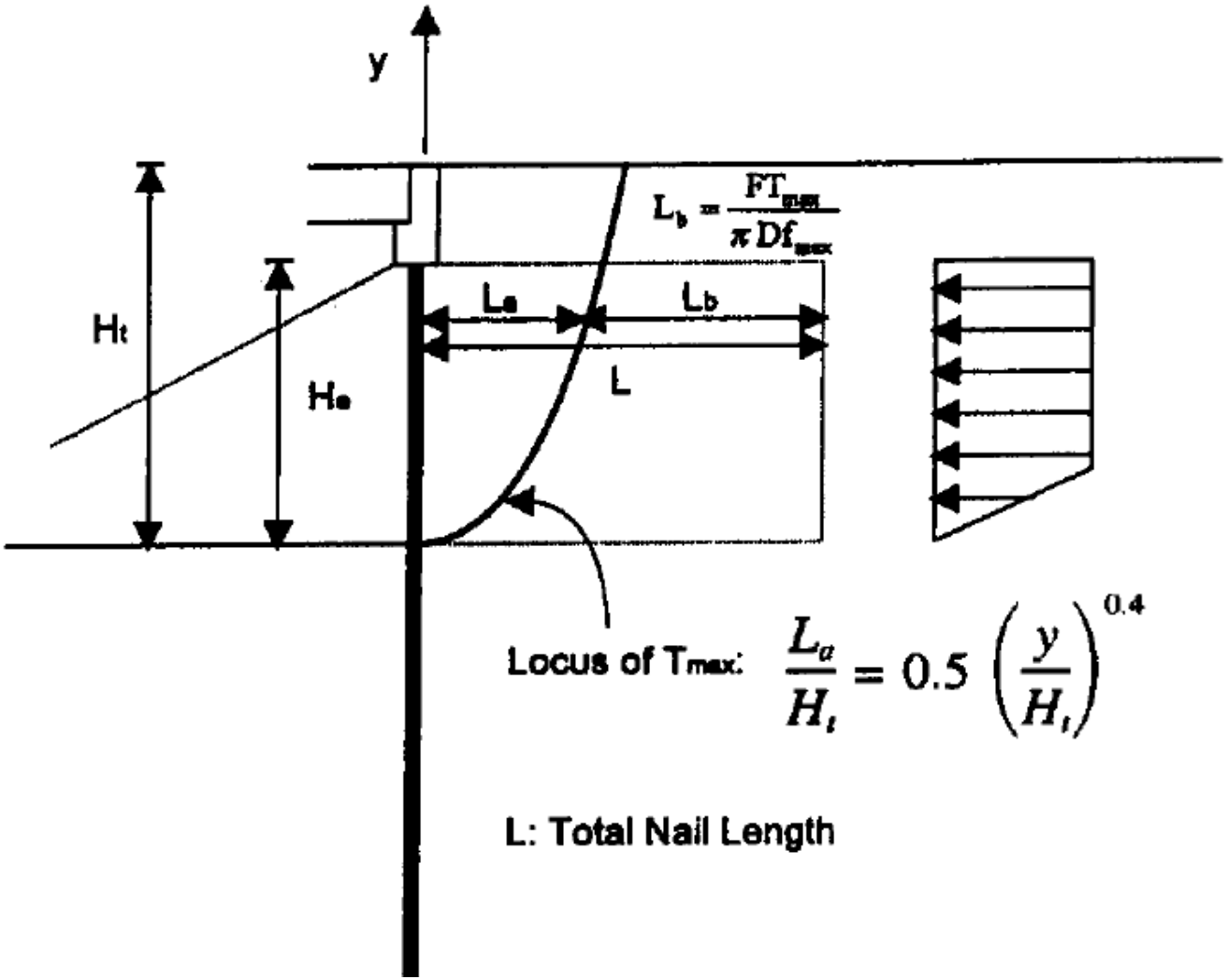
Soil Type	Author	z_1	z_2	z_3	β
Sand	P	0	1.0	0	$0.65_\lambda K_a$
Sand	T	0.	0.7	0.2	0.25_λ
Soft-to-Medium Clay	P	0.25	0.75	0	λK_{ap}*
Temp. Support Medium Clay	T	0.6	0	0.4	0.3λ
Stiff fissured Clay	P	0.25	0.50	0.25	K_{ap}†
Perm. Support Medium Clay	T	0.75	0	0.25	0.375λ

* K_{ap} = 0.4 to 1.0
† K_{ap} = 0.2 to 0.4
Source: P = Peck (1969); T = Tschebotarioff (1973).

فشار فعال خاک در گود های مهار شده

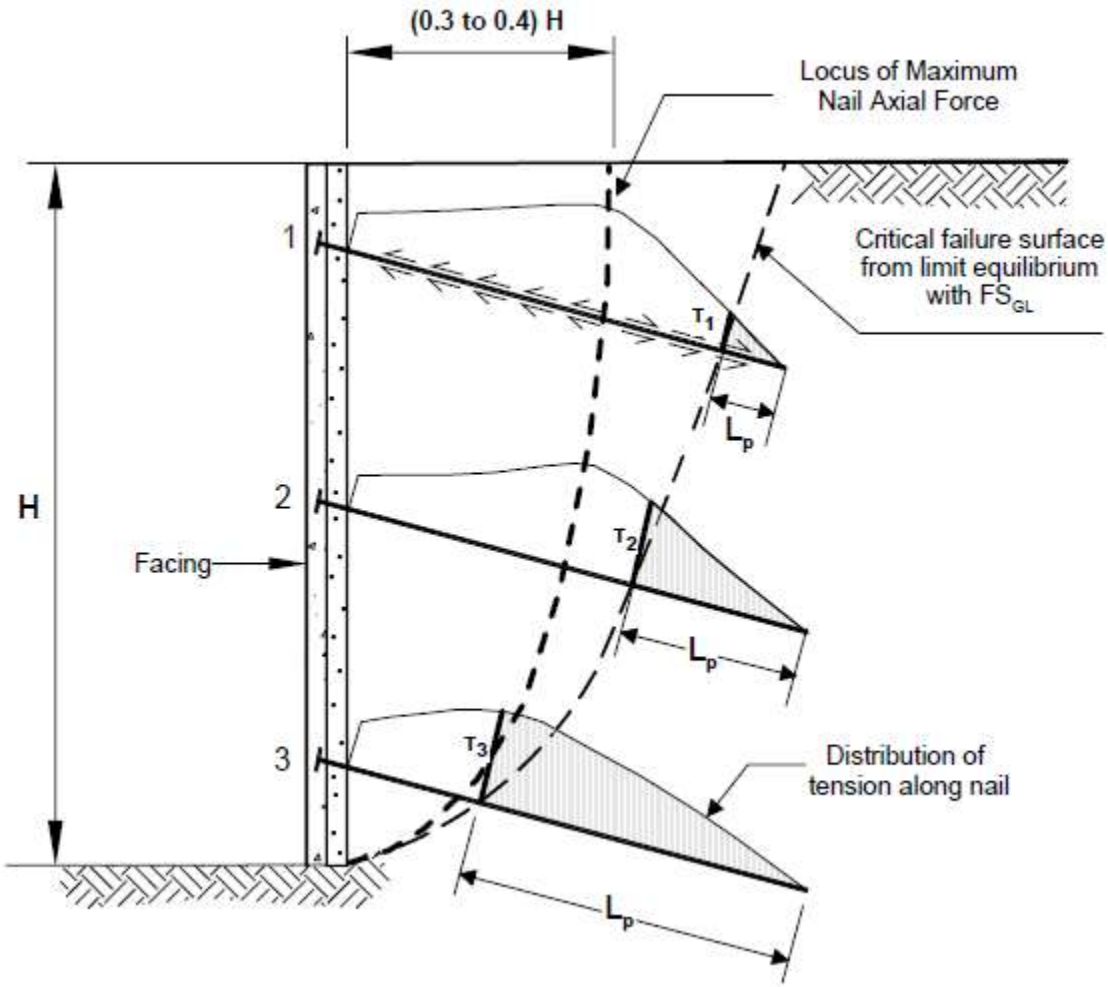


منحنی گسیختگی خاک در گود های مهار شده

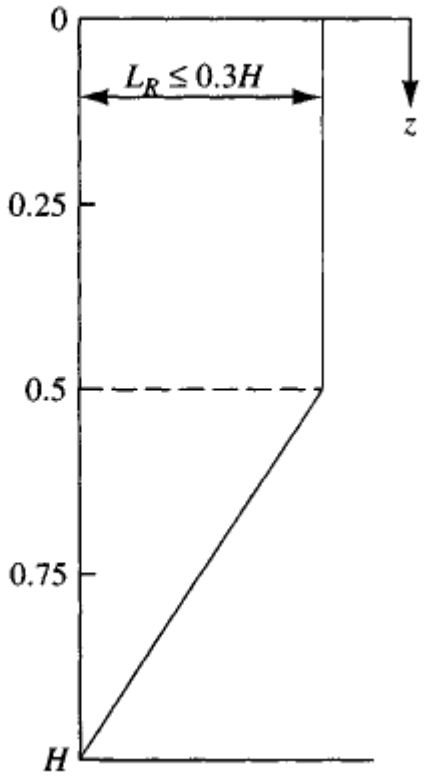


Jean-Louis Briaud,[1] Fellow, ASCE, and Yujin Lim,[2] Student Member, ASCE

منحنی گسیختگی خاک در گود های مهار شده



FHWA



J.Bowles

تعیین مقاومت چسبندگی بین خاک و نیل در خاک ها و شرایط مختلف (q_u)

Material	Construction Method	Soil/Rock Type	Ultimate Bond Strength, q_u (kPa)
Rock	Rotary Drilled	Marl/limestone	300 - 400
		Phyllite	100 - 300
		Chalk	500 - 600
		Soft dolomite	400 - 600
		Fissured dolomite	600 - 1000
		Weathered sandstone	200 - 300
		Weathered shale	100 - 150
		Weathered schist	100 - 175
		Basalt	500 - 600
		Slate/Hard shale	300 - 400
Cohesionless Soils	Rotary Drilled	Sand/gravel	100 - 180
		Silty sand	100 - 150
		Silt	60 - 75
		Piedmont residual	40 - 120
		Fine colluvium	75 - 150
	Driven Casing	Sand/gravel	
		low overburden	190 - 240
		high overburden	280 - 430
		Dense Moraine	380 - 480
		Colluvium	100 - 180
	Augered	Silty sand fill	20 - 40
		Silty fine sand	55 - 90
		Silty clayey sand	60 - 140
	Jet Grouted	Sand	380
		Sand/gravel	700
Fine-Grained Soils	Rotary Drilled	Silty clay	35 - 50
	Driven Casing	Clayey silt	90 - 140
	Augered	Loess	25 - 75
		Soft clay	20 - 30
		Stiff clay	40 - 60
		Stiff clayey silt	40 - 100
		Calcareous sandy clay	90 - 140

Notes: Convert values in kPa to psf by multiplying by 20.9
Convert values in kPa to psi by multiplying by 0.145

روش های مختلف اجرای نیلینگ

انواع روش های اجرای نیلینگ:

۱. مته کاری و دوغاب ریزی به همراه میلگرد گذاری: ایجاد حفره هایی با قطر ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیمتر و فاصله حداکثر ۱.۵ متر از یکدیگر

۲. میلگرد های فرورانده شده : میلگرد در قطر ۱۸ تا ۲۵ میلیمتر با فشار و به فاصله ۱ تا ۱.۲ متر به داخل خاک فرو می رود. به دلیل وجود عوامل خوردنده کمتر استفاده می شود.

۳. میلگرد خود حفار: میلگردی که توخالی است و با حفاری از داخل آن نیز تزریق دوغاب شکل می گیرد و از بالا به پایین دوغاب ریزی می شود.

۴. شلیک میلگرد: میلگرد به قطر ۱۸ الی ۲۵ و طول حداکثر ۸ متر با نیرو داخل خاک شلیک می شود.

مشخصات مصالح بکاربرده شده در نیلینگ

۱.میلگرد:

اکثر میلگرد های موجود در بازار را می توان استفاده کرد ولی دقت شود که قطر میلگرد کمتر از ۲۵ میلیمتر نباشد.

۲.دوغاب:

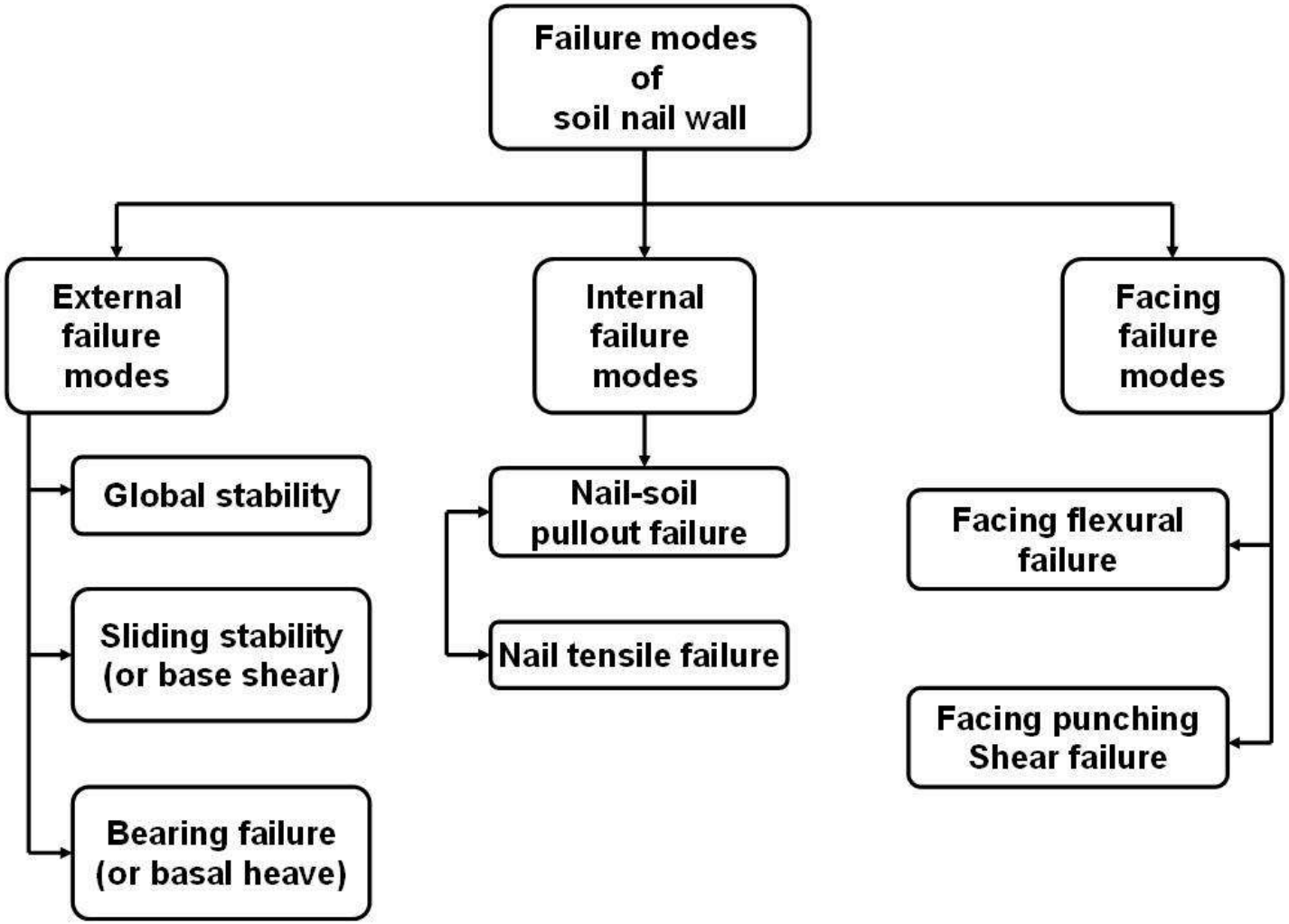
دوغاب مورد استفاده از نوع دوغاب سیمانی و یا ماسه سیمان با نسبت آب به سیمان ۰.۴ تا ۰.۵ و با اسلامپ ۳۰ میلیمتر می باشد. که مقاومت ۲۸ روزه آن ۲۱ مگاپاسکال باشد.

۳. متمرکز کننده (Centerlizer) :

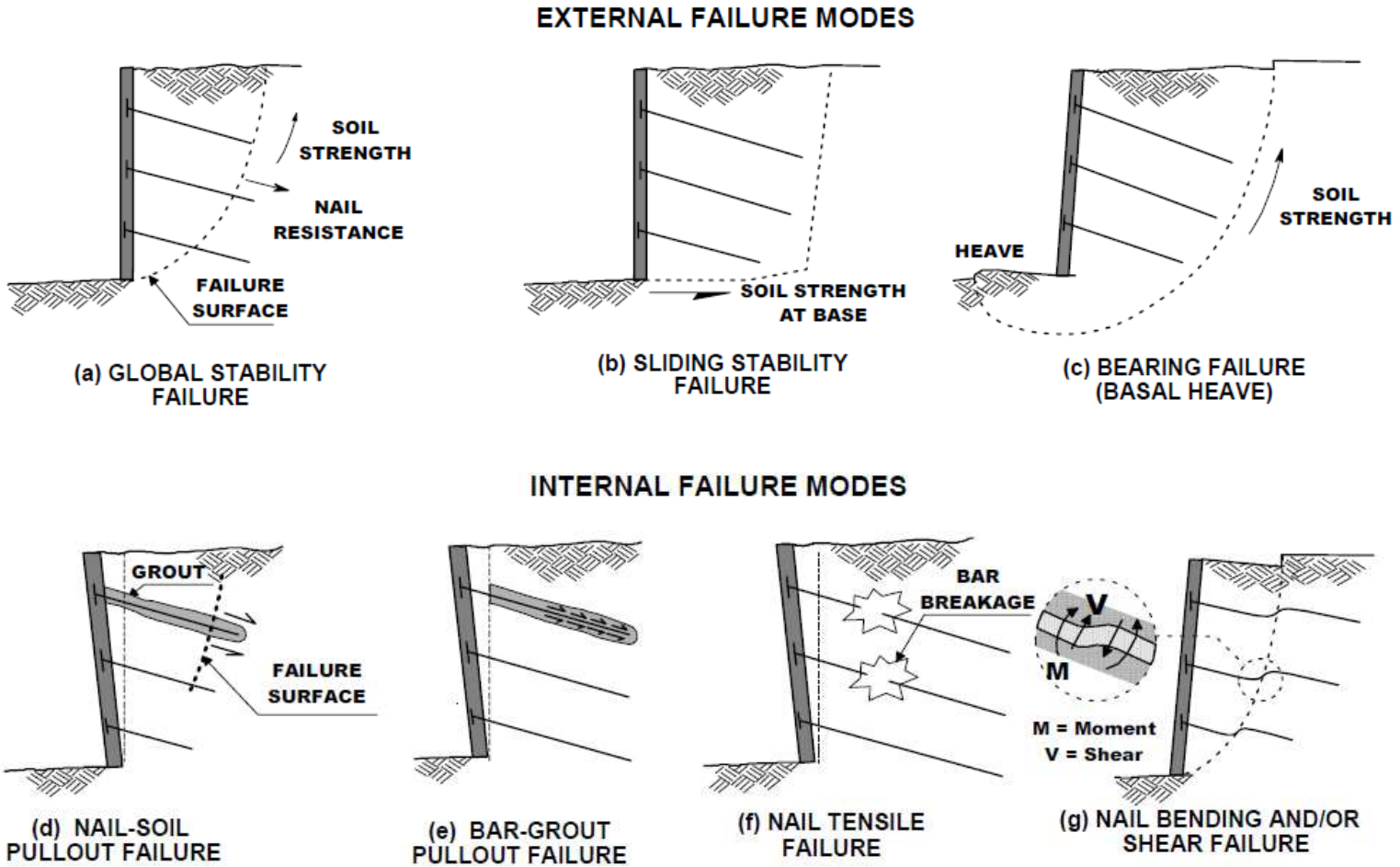
نرکیبی از مواد مصنوعی و پلی ونیل که با فاصله حداکثر ۲.۵ متر بر روی میلگرد قرار میگیرد.

مشخصات مصالح بکاربرده شده در نیلینگ

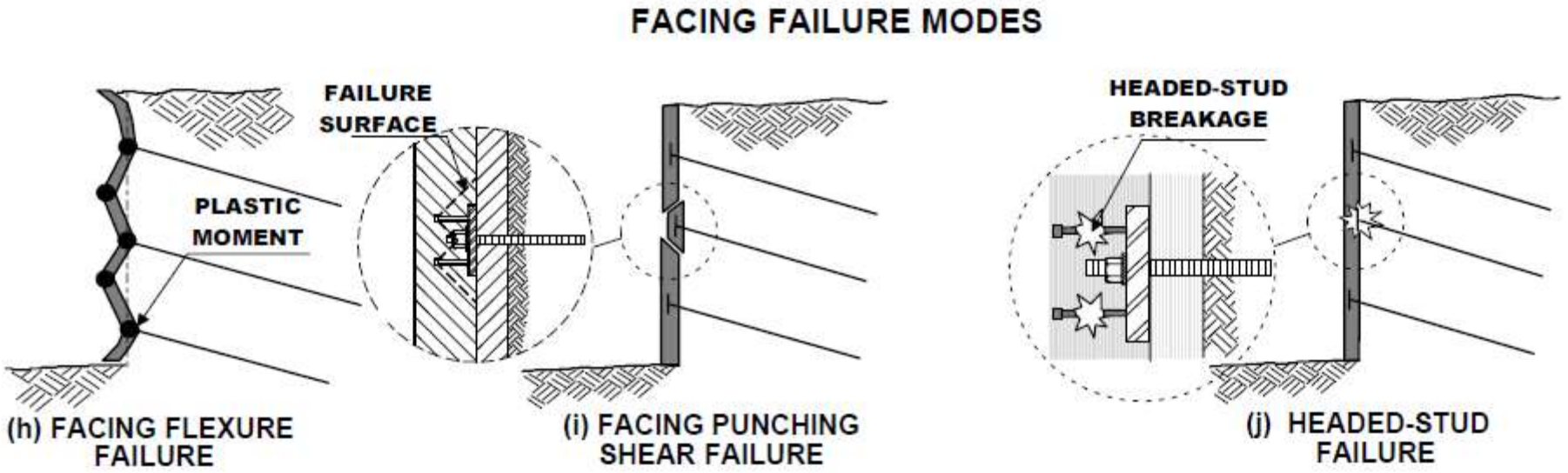
طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

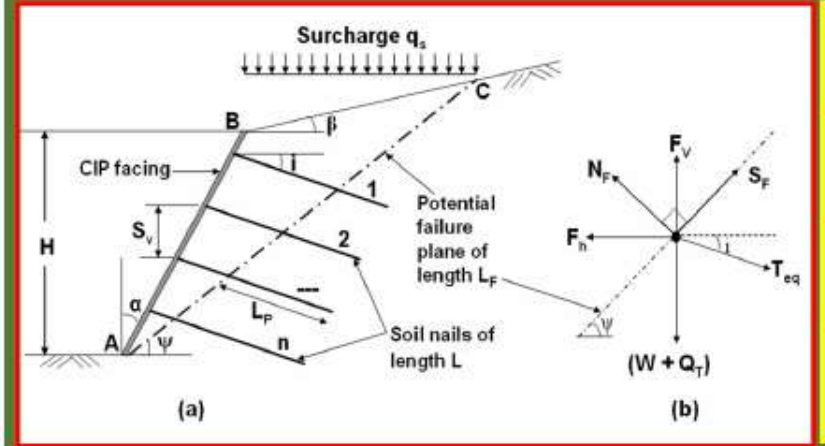


طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

Global Stability Failure



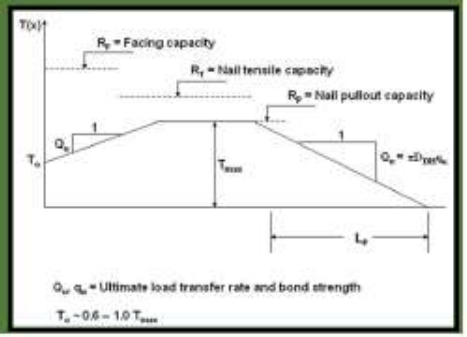
Minimum recommended factor of safety for global stability, FS_G			
Temporary walls		Permanent Walls	
Static	Seismic	Static	Seismic
1.35	1.10	1.35	1.10

$$FS_G = \frac{\sum R}{\sum D} = \frac{cL_F + T_{eq}\cos(\psi - i) + \left[(W + Q_T - F_v)\cos\psi + T_{eq}\sin(\psi - i) - F_h\sin\psi\right]\tan\phi}{(W + Q_T - F_v)\sin\psi + F_h\cos\psi}$$

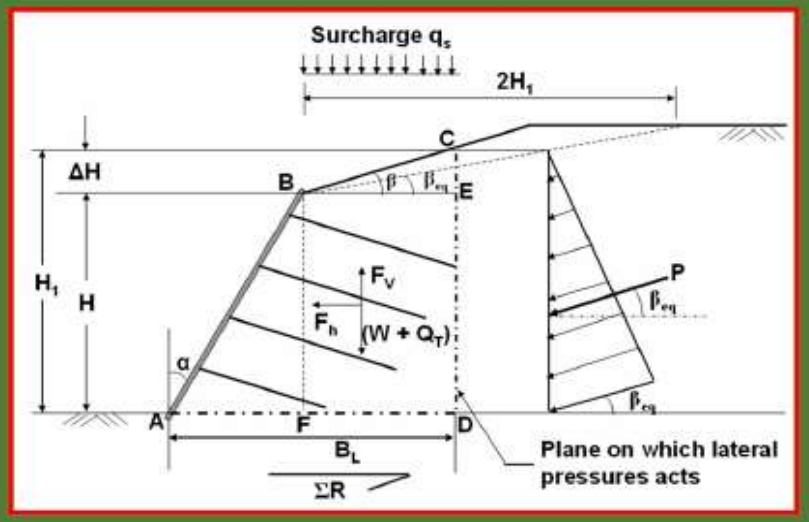
$\psi = 45 + (\phi/2)$ (Sheahan and Ho 2003; FHWA 2003)

$$T_{eq}[\text{kN/m}] = \frac{1}{S_h}\sum_{j=1}^{n}(T_{all})_j \qquad T_{all} = \min.\text{of } R_T \text{ and } R_P$$

$$(R_P)_z[\text{kN}] = (\pi D L_P q_u)/1000 \qquad (R_T)_z[\text{kN}] = (0.25\pi d^2 f_y)/1000$$



طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



Sliding Stability Failure

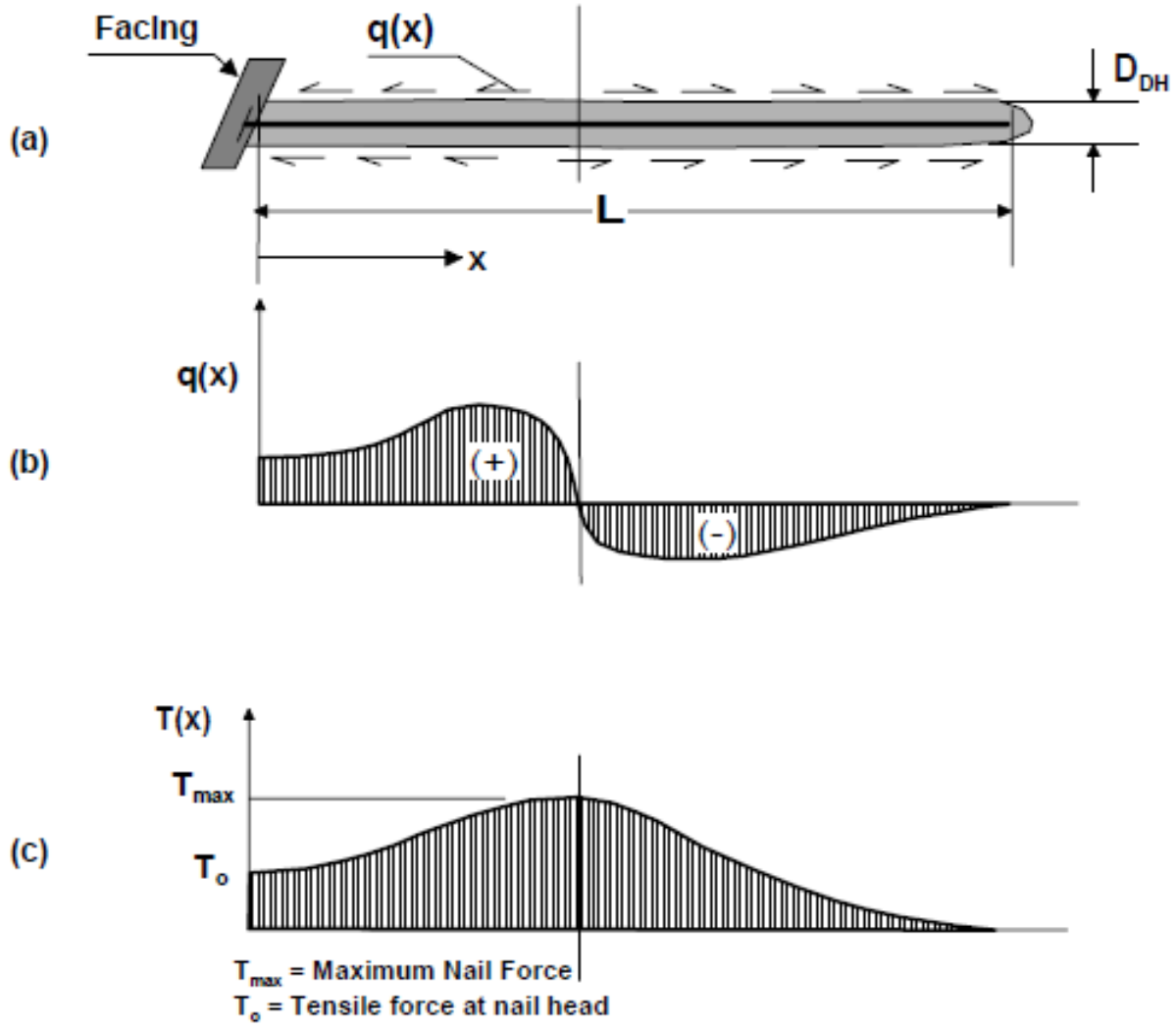
$$FS_{SL} = \frac{\sum R}{\sum D} = \frac{c_b B_L + \left(W + Q_T - F_v + P\sin\beta_{eq}\right)\tan\phi_b}{F_h + P\cos\beta_{eq}}$$

$$P = \frac{\gamma H_1^2}{2} K(1-k_v)\left\{1 + \frac{2q_s}{\gamma H_1}\left[\frac{\cos\alpha}{\cos(\beta-\alpha)}\right]\right\} \qquad \omega = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$$

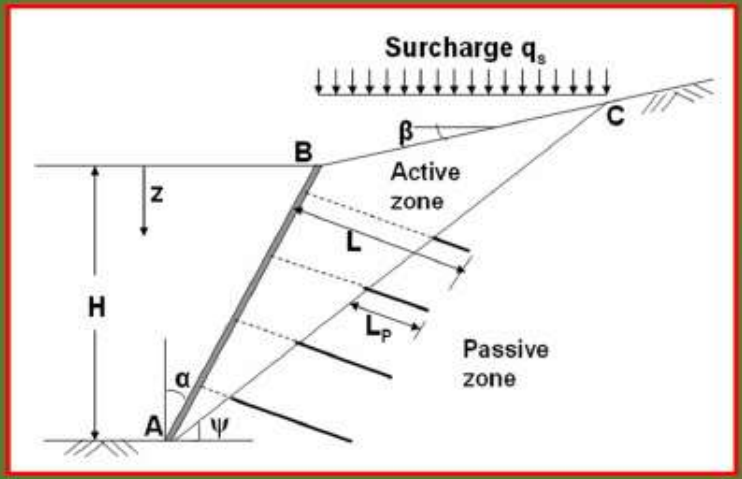
$$K = \frac{\cos^2(\phi-\alpha-\omega)}{\cos\omega\cos^2\alpha\cos(\alpha+\beta+\omega)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\beta)\sin(\phi-\beta-\omega)}{\cos(\alpha+\beta+\omega)\cos(\beta-\alpha)}}\right]^2}$$

Minimum recommended factor of safety for sliding stability, FS_{SL}			
Temporary walls		Permanent Walls	
Static	Seismic	Static	Seismic
1.30	1.10	1.50	1.10

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



Nail Soil Pullout Failure

$$(FS_P)_z = \frac{(R_P)_z}{(T_{max})_z} = \frac{(Q_u L_P)_z}{(T_{max})_z}$$

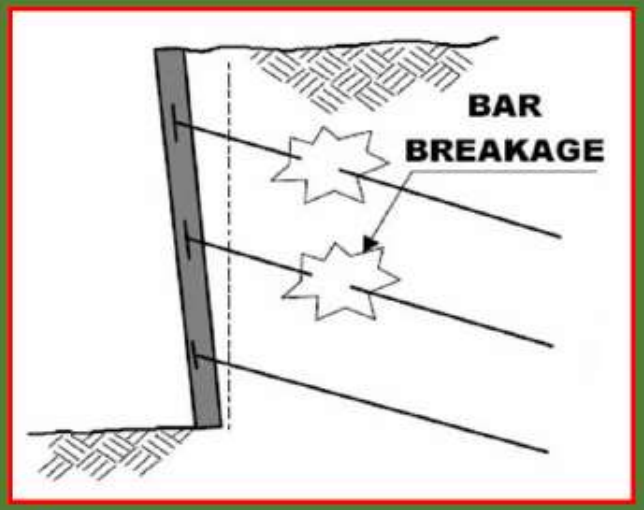
$$(T_{max})_z = K(q_s + \gamma z) S_H S_V$$

$$Q_u = \pi q_u D_{DH}$$

$$(L_P)_z[m] = L - \left[\frac{(H-z)\cos(\psi+\alpha)}{\cos\alpha \sin(\psi+i)}\right]$$

Minimum recommended factor of safety for pullout failure, FS_P			
Temporary walls		Permanent Walls	
Static	Seismic	Static	Seismic
2.00	1.50	2.00	1.50

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



Nail Tensile Strength Failure

$$(FS_T)_z = \frac{(R_T)_z}{(T_{max})_z}$$

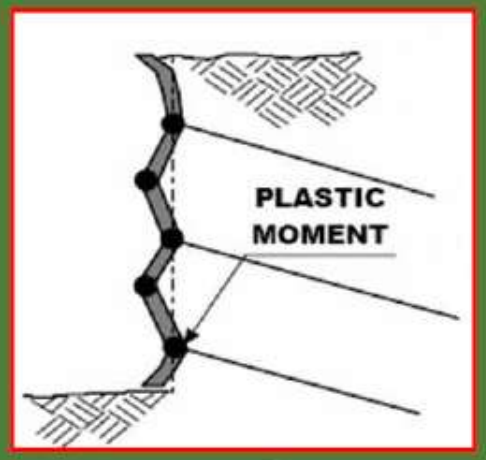
Minimum recommended factor of safety for pullout failure, FS_T			
Temporary walls		Permanent Walls	
Static	Seismic	Static	Seismic
1.80	1.35	1.80	1.35

where: $R_T = A_t f_y$ = maximum axial tensile load capacity of nail

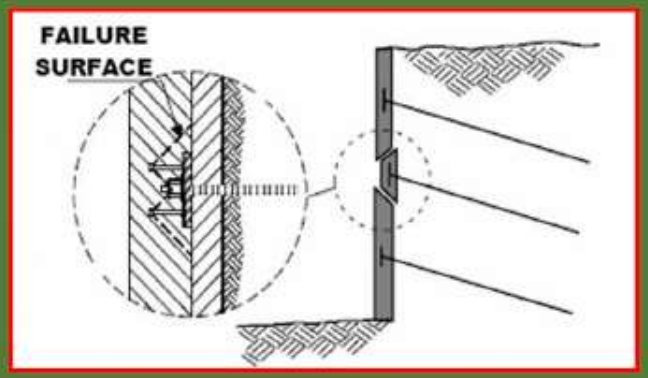
A_t = c/s area of nail

f_y = yield strength of nail

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



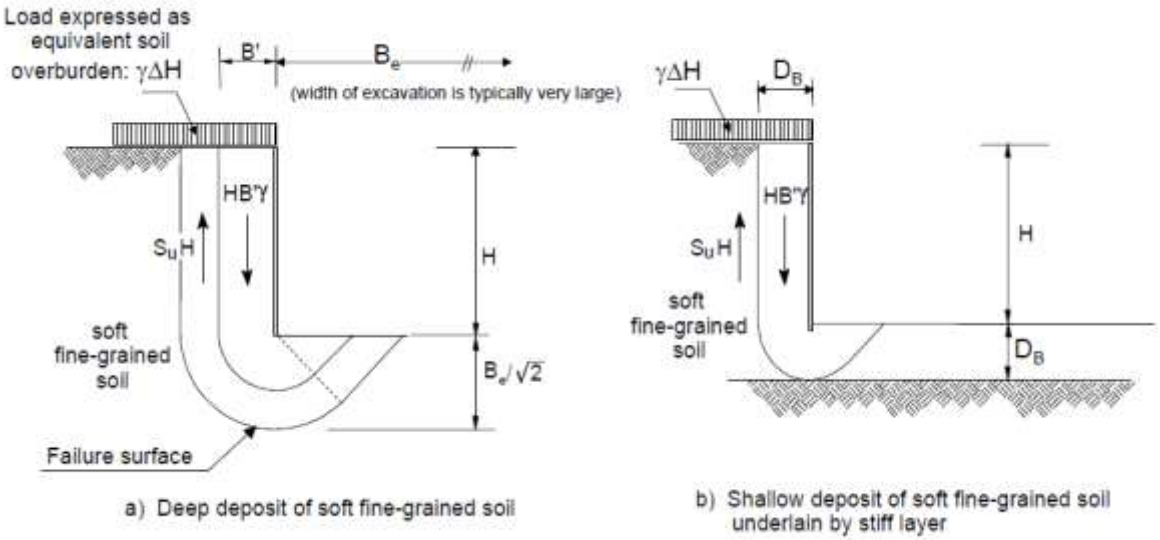
$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_o}$$



$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_o}$$

Minimum recommended factor of safety (FHWA 2003)			
Failure mode	Static loading		Seismic loading
	Temporary walls	Permanent walls	Both temporary and permanent walls
Facing flexure failure, FS_{FF}	1.35	1.50	1.10
Facing punching shear failure, FS_{FP}	1.35	1.50	1.10

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ کنترل بالازدگی گود

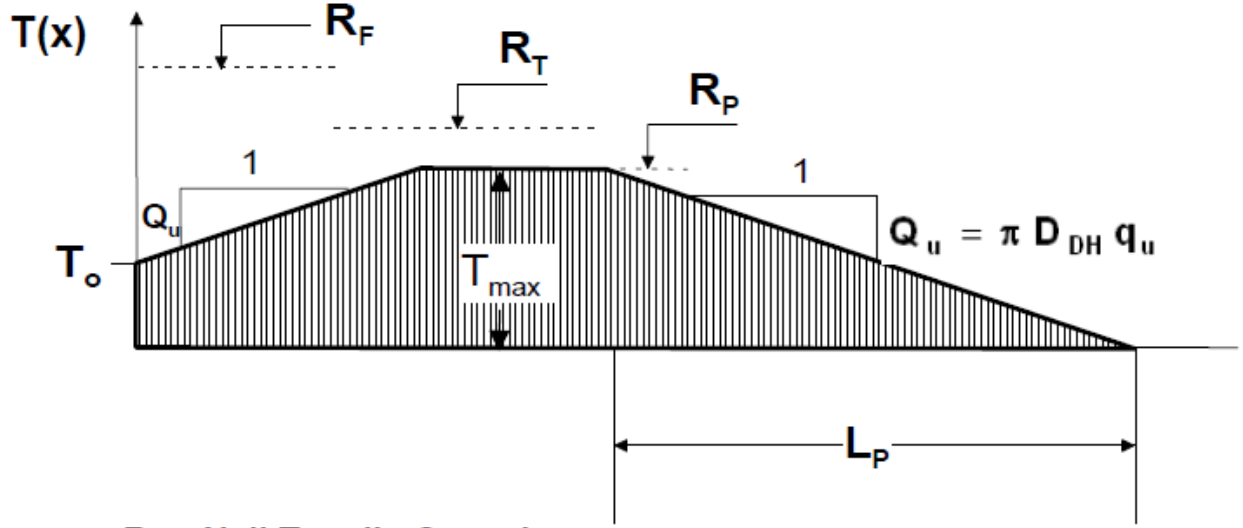


a) Deep deposit of soft fine-grained soil

b) Shallow deposit of soft fine-grained soil underlain by stiff layer

$$FS_H = \frac{S_u N_c}{H_{eq}\left(\gamma - \frac{S_u}{B'}\right)}$$

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



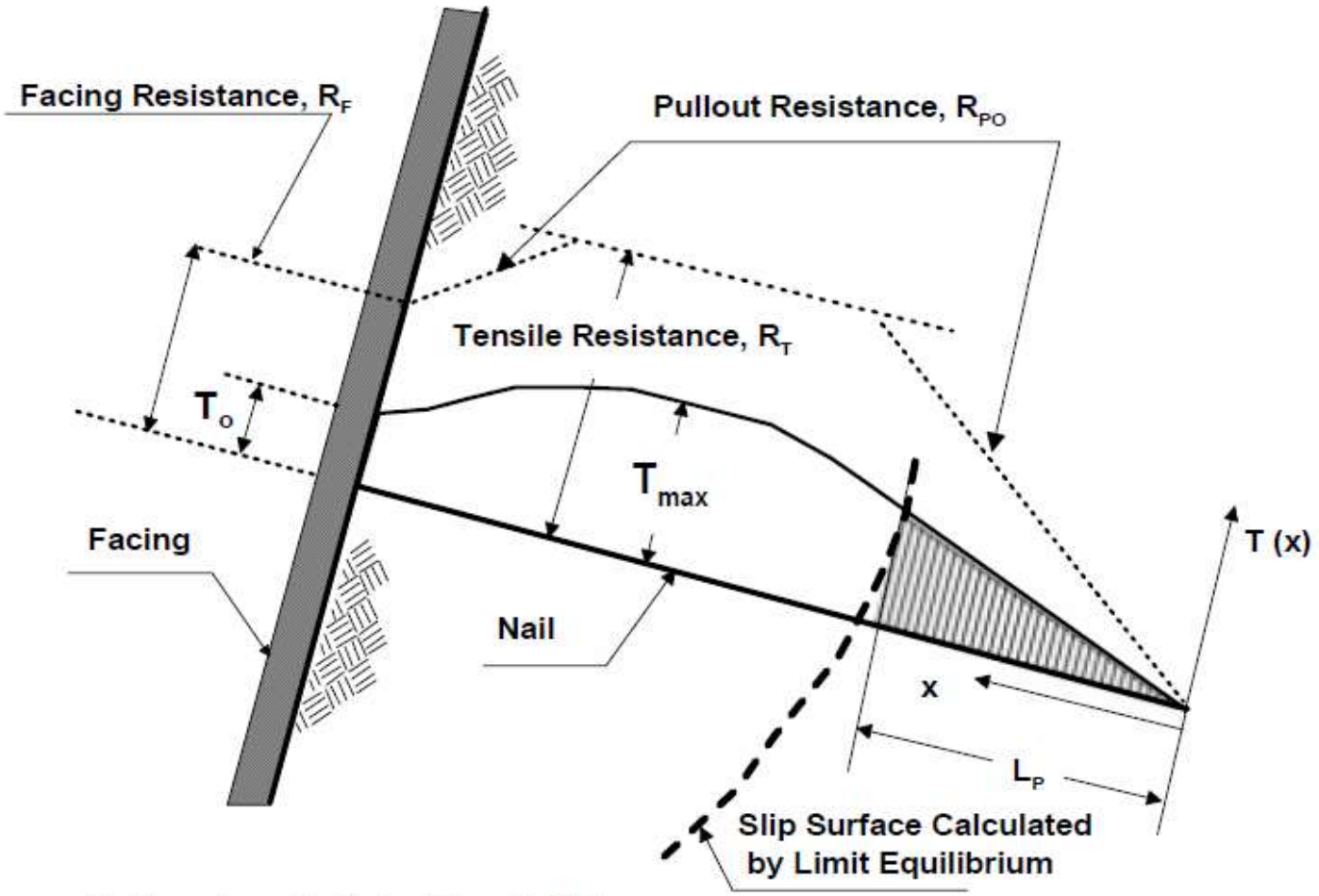
R_T = Nail Tensile Capacity
R_F = Facing Capacity
R_P = Pullout Capacity

Q_u, q_u = Ultimate load transfer rate and bond strength

$T_O \sim 0.6\text{-}1.0\ T_{max}$

1) $R_P < R_T < R_F$ (pullout controls, shown in example above)
2) $R_T < R_P < R_F$ (tensile failure controls)
3) $R_F < R_P$ or R_T (facing failure may control depending on T_o/T_{max})

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (Facing):

۱. تعیین نیروی اعمالی به روکش (T_o):

$$T_0 = T_{\max} \quad (KN).[0.6 + 0.2(S_{max} - 1)]$$

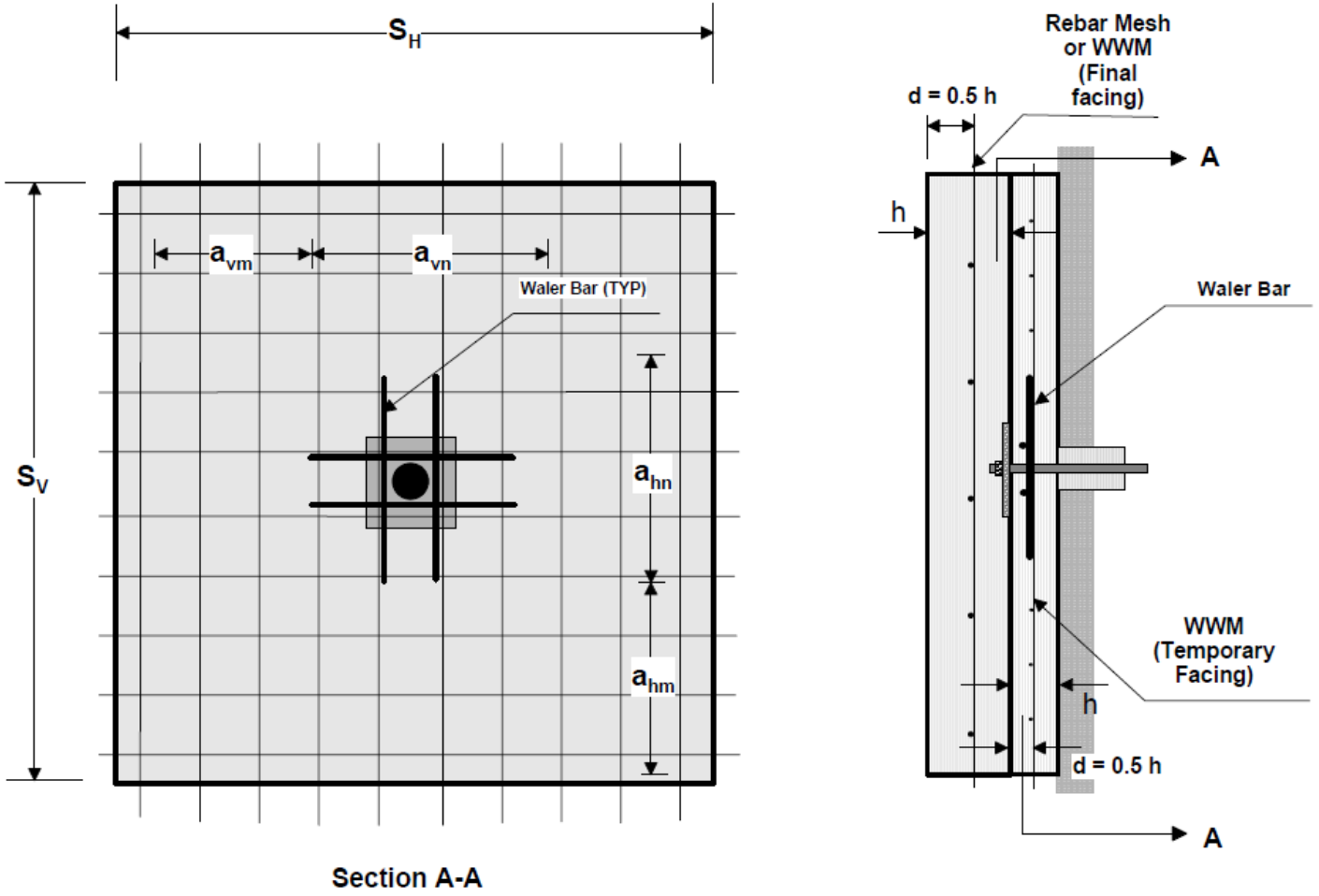
$$S_{max}=\max(S_v,S_h)$$

۲. تعیین ضخامت روکش:

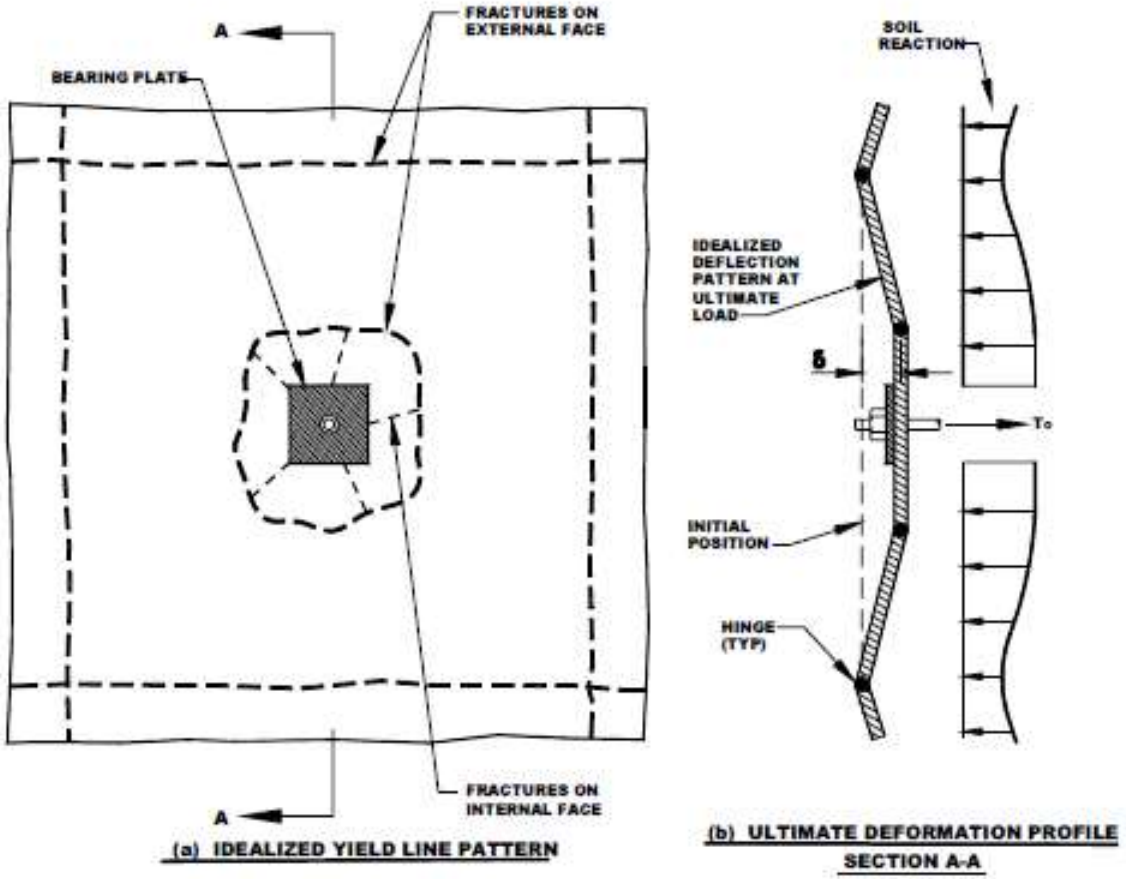
روکش موقت (Temporary Facing) : $h_2=[100,150,200\ mm]$

روکش دائم (Permanent Facing): $h_1=[200mm,e.g]$

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (Facing):

۳. تعیین کمترین و بیشترین مقدار میلگرد مجاز:

$$\rho_{min}(\%) = 20 * \frac{\sqrt{f_c(MPa)}}{f_y(MPa)}$$

$$\rho_{max}(\%) = 50 * \frac{f_c(MPa)}{f_y(MPa)} \left(\frac{600}{600 + f_y(MPa)}\right)$$

۴. تعیین مقدار میلگرد در هر بخش موثر هر نیل:

$$a_{v_n} = a_{v_m} + \frac{A_{v_w}}{S_h} \quad , \quad a_{h_n} = a_{h_m} + \frac{A_{h_w}}{S_v}$$

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (Facing):

۳. کنترل مقدار مجاز میلگرد بکار رفته:

$$\rho_n(\%) = \frac{a_n}{0.5h} * 100$$

$$\rho_{min} \leq \rho_n \leq \rho_{max}$$

$$\rho_{min} \leq \rho_m \leq \rho_{max}$$

۴. تعیین مقاومت انعطافپذیری روکش:

$$a_{v_n} = a_{v_m} + \frac{A_{v_w}}{S_h} \quad , \quad a_{h_n} = a_{h_m} + \frac{A_{h_w}}{S_v}$$

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (**Facing**):

$$R_{FF}\,[kN] = \frac{C_F}{265} \times (a_{vn} + a_{vm})\,[mm^2/m] \times \left(\frac{S_h\,h[m]}{S_v}\right) \times f_y\ [MPa]$$

$$R_{FF}\,[kN] = \frac{C_F}{265} \times (a_{hn} + a_{nm})\,[mm^2/m] \times \left(\frac{S_v\,h[m]}{S_H}\right) \times f_y\ [MPa]$$

C_f : ضریب تصحیح

$$C_f = \begin{cases} Permanent\ Facing \rightarrow Cf = 1 \\ Temporary\ Facing \rightarrow \begin{cases} t = 100mm \rightarrow Cf = 2 \\ t = 150mm \rightarrow Cf = 1.5 \\ t = 200mm \rightarrow Cf = 1 \end{cases} \end{cases}$$

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (Facing):

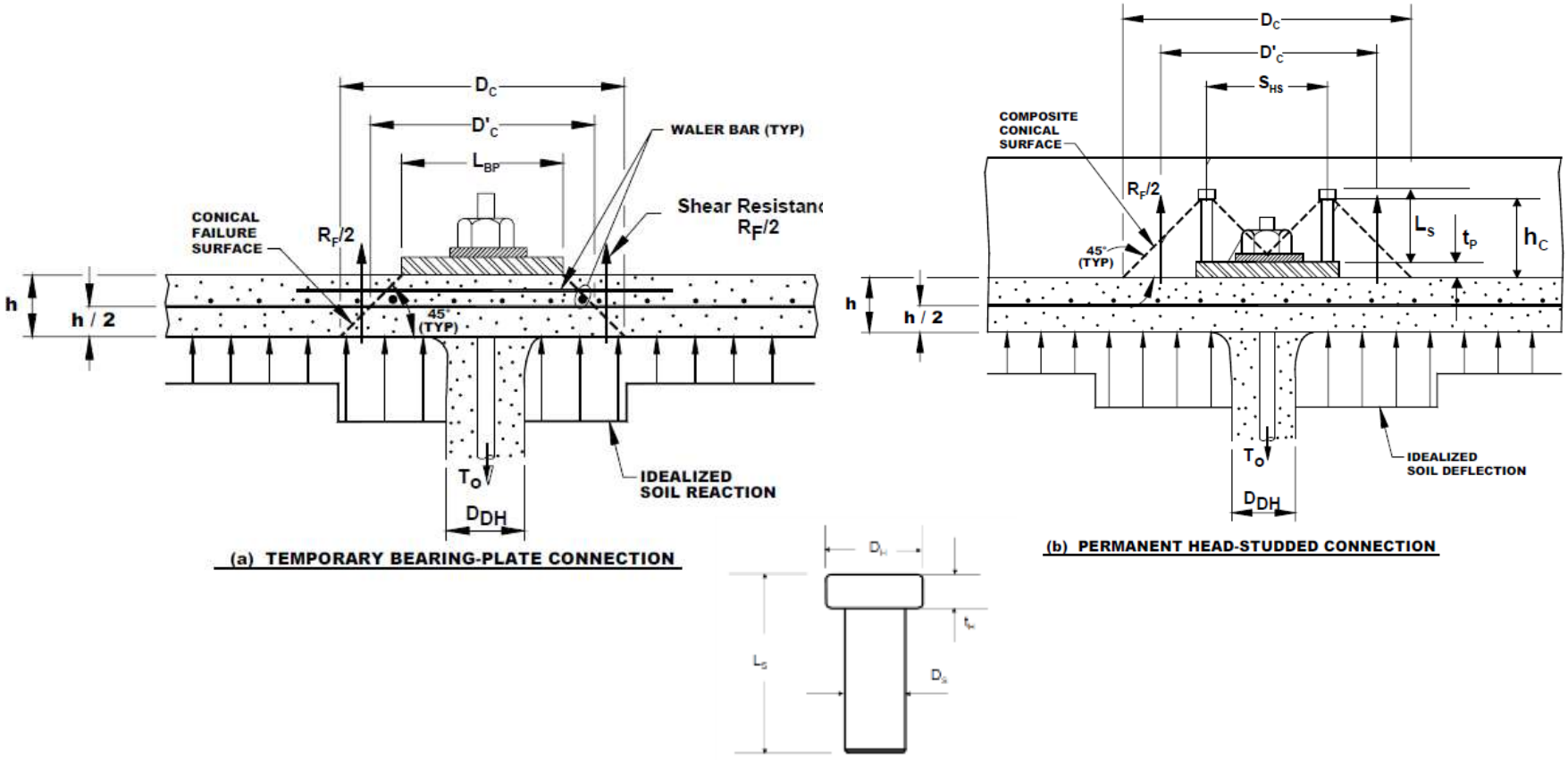
تعیین ضریب اطمینان برای رویه انعطافپذیر:

$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_o}$$

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (Facing):

۵. تعیین مقاومت و ضریب اطمینان پانچ رویه (فقط برای رویه های دائمی):



طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (Facing):

۵. تعیین مقاومت و ضریب اطمینان پانچ رویه (فقط برای رویه های دائمی):

$$R_{FP} = C_P V_F$$

$$V_F\ [kN] = 330 \sqrt{f_c'\ [MPa]}\ \pi\ D_c'[m] h_c[m]$$

$$D'_C = L_{BP} + h \qquad h_C = h$$

ویا

$$D'_C = \text{min of } (S_{HS} + h_C \text{ and } 2h_C) \qquad h_C = L_S - t_S + t_P$$

برای کاربری های عملی $C_p=1$ (ضریب تصحیح فشار خاک پشت روکش) در نظر گرفته شده است.

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (Facing):

۵. تعیین مقاومت و ضریب اطمینان پانچ رویه (فقط برای رویه های دائمی):

$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_o}$$

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ

طراحی روکش (Facing):

۵. تعیین مقاومت و ضریب اطمینان گل میخ ها (فقط برای رویه های دائمی):

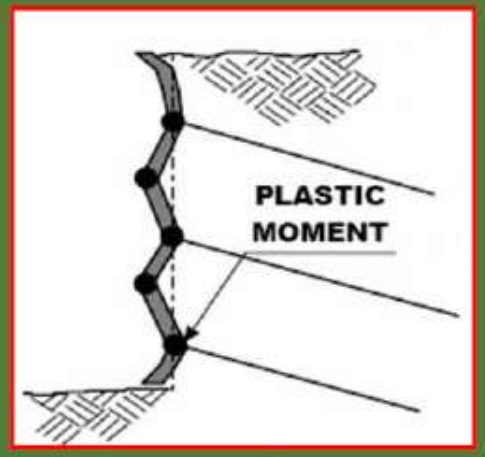
$$R_{HT} = N_H \, A_{SH} \, f_y$$

N_H: تعداد گل میخ (معمولا ۴ عدد)

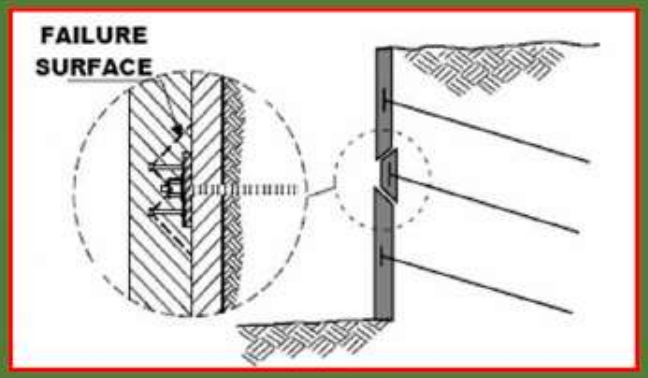
A_{SH} : سطح مقطع گل میخ ها

$$FS_{HT} = \frac{R_{HT}}{T_o}$$

طراحی دیوارهای مسلح شده با نیلینگ



$$FS_{FF} = \frac{R_{FF}}{T_o}$$



$$FS_{FP} = \frac{R_{FP}}{T_o}$$

Minimum recommended factor of safety (FHWA 2003)			
Failure mode	Static loading		Seismic loading
	Temporary walls	Permanent walls	Both temporary and permanent walls
Facing flexure failure, FS_{FF}	1.35	1.50	1.10
Facing punching shear failure, FS_{FP}	1.35	1.50	1.10

خلاصه ای از ضرایب اطمینان در طراحی نیلینگ

Failure Mode	Resisting Component	Symbol	Minimum Recommended Factors of Safety		
			Static Loads[1]		Seismic Loads[2] (Temporary and Permanent Structures)
			Temporary Structure	Permanent Structure	
External Stability	Global Stability (long-term)	FS_G	1.35	1.5[1]	1.1
	Global Stability (excavation)	FS_G	1.2-1.3[2]		NA
	Sliding	FS_{SL}	1.3	1.5	1.1
	Bearing Capacity	FS_H	2.5[3]	3.0[3]	2.3[5]
Internal Stability	Pullout Resistance	FS_P	2.0		1.5
	Nail Bar Tensile Strength	FS_T	1.8		1.35
Facing Strength	Facing Flexure	FS_{FF}	1.35	1.5	1.1
	Facing Punching Shear	FS_{FP}	1.35	1.5	1.1
	H.-Stud Tensile (A307 Bolt)	FS_{HT}	1.8	2.0	1.5
	H.-Stud Tensile (A325 Bolt)	FS_{HT}	1.5	1.7	1.3

Notes: (1) For non-critical, permanent structures, some agencies may accept a design for static loads and long-term conditions with $FS_G = 1.35$ when less uncertainty exists due to sufficient geotechnical information and successful local experience on soil nailing.

(2) The second set of safety factors for global stability corresponds to the case of temporary excavation lifts that are unsupported for up to 48 hours before nails are installed. The larger value may be applied to more critical structures or when more uncertainty exists regarding soil conditions.

(3) The safety factors for bearing capacity are applicable when using standard bearing-capacity equations. When using stability analysis programs to evaluate these failures modes, the factors of safety for global stability apply.

تعیین جابجایی های مجاز در گود برداری

۱.جابجایی افقی:

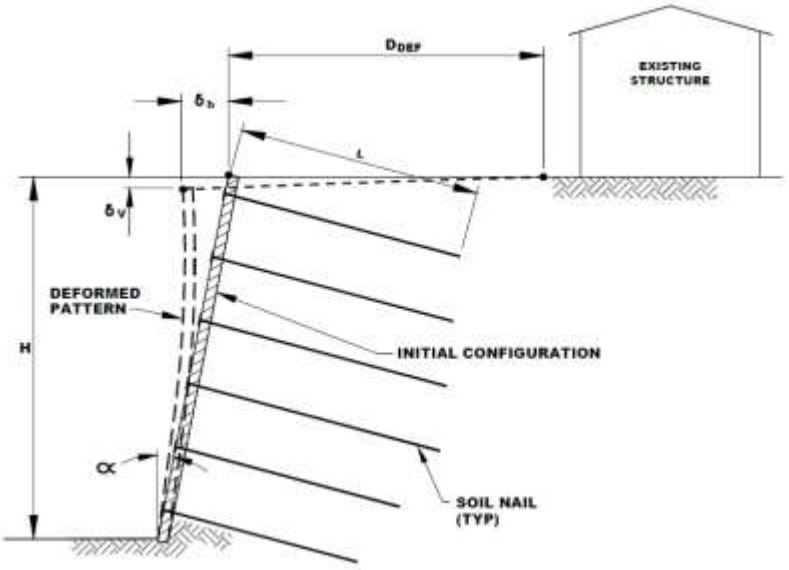
جهت تعیین جابجای مجاز از رابطه ذیل استفاده می شود:

$$\delta_h = \left(\frac{\delta_h}{H}\right)_i \times H$$

و نیز عرضی که جابجایی گود می تواند موثر و بر روی سازه های مجاور خاصیت مخربی داشته باشد از رابطه ذیل استفاده می شود:

$$\frac{D_{DEF}}{H} = C\,(1 - \tan\alpha)$$

تعیین جابجایی های مجاز در گود برداری



Values of $(\delta_h/H)_i$ and C as Functions of Soil Conditions

Variable	Weathered Rock and Stiff Soil	Sandy Soil	Fine-Grained Soil
δ_h/H and δ_v/H	1/1,000	1/500	1/333
C	1.25	0.8	0.7

موفق و شاد باشید

زندگی صحنه یکتای هنرمندی ماست

هر کسی نغمه خود خواند و از صحنه رود

صحنه پیوسته بجاست

خرم آن نغمه که مردم بسپارند به یاد