الفصل السادس : تسيل التربة Soil Liquefacion

6. 1 مفهوم تسيل التربة

تحدث ظاهرة التسيل عادة في الترب الرملية المخلخلة المشبعة لأن الرمل المفكك يميل إلى الانضغاط عند تطبيق حمولة عليه حيث ينتقل جزء من الإجهادات إلى الماء وبالتالي يزداد ضغط الماء المسامي ومن أجل تبدد زيادة الضغط المسامي يحاول الماء التسرب باتجاه المناطق ذات الضغط المنخفض (عادة نحو الأعلى باتجاه سطح التربة). في حال تطبيق حمولة ذات مطال كبير بشكل سريع ومتكرر (حالة الزلازل) بحيث أن ضغط الماء المسامي الزائد لا يجد الزمن الكافي للتبدد قبل حلقة التحميل التالية وبالتالي يزداد ضغط الماء المسامي باطراد ويخفض إجهادات الاحتكاك بين جزيئات التربة وبالتالي تنخفض مقاومة التربة حتى تنعدم وتسلك التربة سلوك السائل اللزج بدلاً من سلوك الجسم الصلب وعندها نقول أن التربة قد تسيلت.

تعطي مقاومة القص للرمل على طول مستوٍ ما بالعلاقة التالية :

$$\tau_f = \sigma'_n . \tan\phi'$$

$\sigma'_n = \sigma_n - u$: الاجهاد الناظمي الفعال على أي مستوي يقع على عمق z من سطح التربة

σ'_n: الاجهاد الناظمي الفعال على أي مستوي يقع على عمق z من سطح التربة

ϕ': زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة للتربة

u ضغط الماء

$$\tau_f = (\sigma_n - u). \tan\phi'$$

6. 2 الأضرار الناتجة عن تسيل التربة

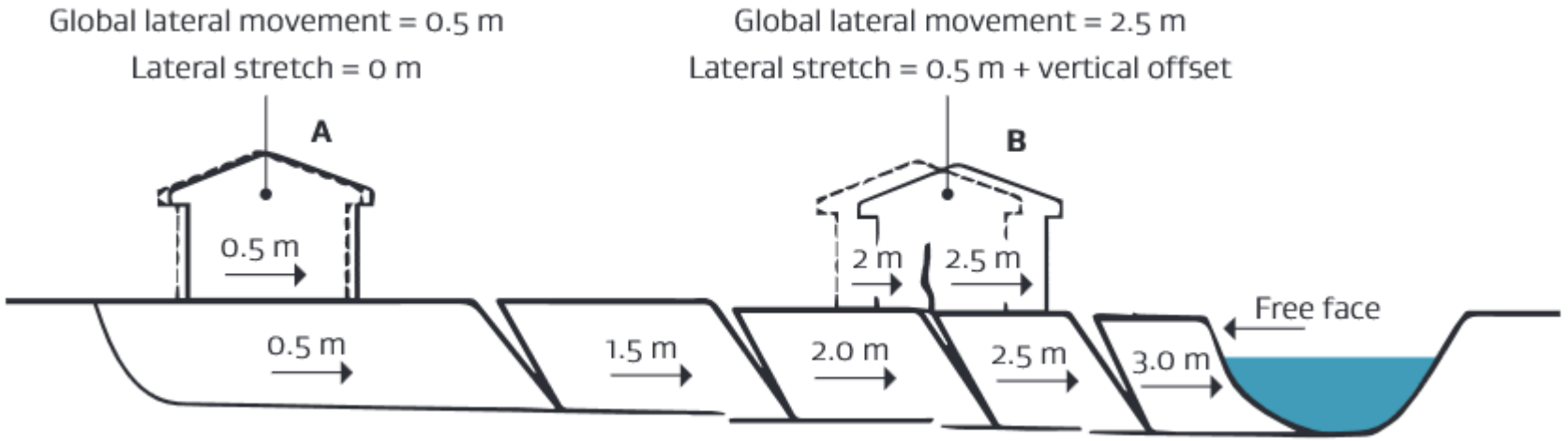
1. فقدان قدرة التحمل (Loss of bearing capacity): يمكن أن يؤدي تسيل تربة التأسيس تحت المنشآت وفقدانها لمقاومتها إلى غوص هذه المنشآت في التربة المتسيلة أو ميلانها بدرجة كبيرة تؤدي إلى فقدان استقرارها الإنشائي (الشكل).

مثال عن الأضرار الناتجة عن ظاهرة تسيل التربة (حصل في تركيا 1999).

2. الهبوط الزائد (Excessive settlement): يترافق هذا الهبوط عادة مع فقدان قدرة تحمل التربة حيث يتمايل المنشأ المقام فوق التربة المتسيلة ويهبط بشكل كبير وقد يغوص في التربة. بشكل معاكس، يمكن أن تعوم المنشآت المطمورة كالأحواض وخطوط الأنابيب وتطفو نحو الأعلى عبر التربة المتسيلة.

3. الانتشار الجانبي (Lateral spreading): يتضمن الانتشار الجانبي الانتقال الأفقي لكتل ضخمة وسليمة من التربة السطحية نتيجة حدوث تسيل كبير في طبقات التربة تحت السطحية مع وجود سطح حر، وقد لوحظ حدوث دورانات وانخفاسات ويحدث تكسر في الطبقة السطحية للتربة وتتحول إلى كتل منفصلة عن بعضها بشقوق وتحرك باتجاه السطح الحر كما هي الحالة بالقرب من البحيرات والأنهار (الشكل).

عملياً، تم ملاحظة وتسجيل حدوث انتقالات دائمة تتراوح من بضعة سنتيمترات وحتى ما يزيد عن 10م في اليابان والولايات المتحدة الأمريكية وغيرها من الدول، نتج عنها أضرار في الطرقات، الردميات، أساسات الأبنية، شبكات الأنابيب المطمورة، القنوات، الجسور وغيرها من المنشآت.

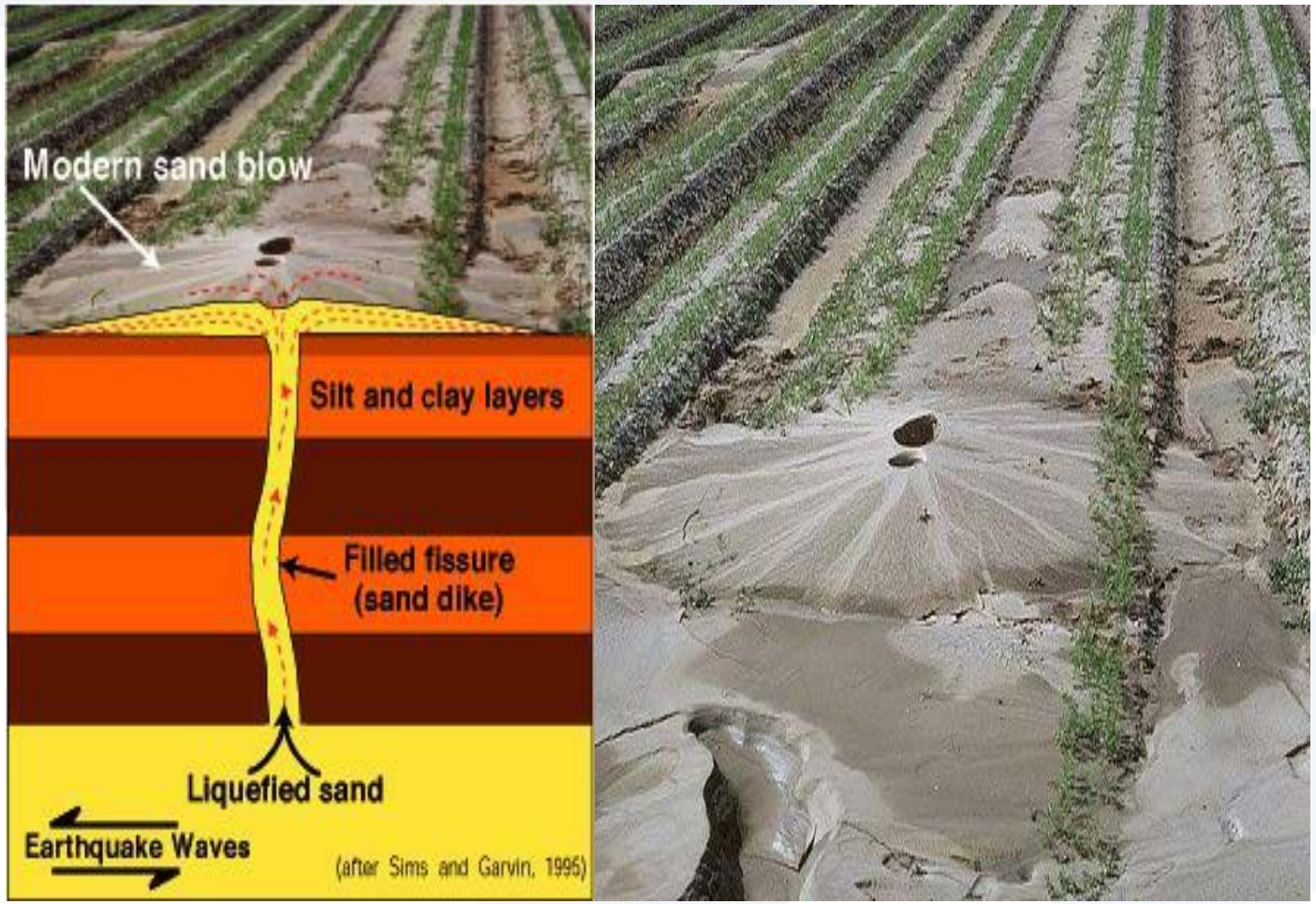


الانتشار الجانبي نتيجة لتسيل التربة بالقرب من البحيرات

4. غليان الرمل (Sand boils): يحدث عندما يتم تسيل طبقة رملية عميقة مع وجود إمكانية لصعود الرمل المتسيل المضغوط عبر الطبقات العلوية نحو سطح الأرض حيث يخرج عند سطح التربة على شكل نافورة كما هو مبين في الشكل التالي. تتسبب ظاهرة غليان الرمل عادة في أضرار ثانوية ولكن تأثيرها يصبح أوضح في حالة حدوثها بالقرب من أساسات المنشآت حيث يمكن أن تؤدي إلى فراغات تحت أرضية وبالتالي هبوطات غير محسوبة للمنشآت.

5. انهيار الجريان (Flow failure): يحدث في المناطق الشاطئية ويعتبر أخطر أنواع الانهيارات الكارثية التي يسببها التسيل. يحدث انهيار الجريان عندما تفقد تربة حبيبية مفككة مقاومتها بعد التسيل الأولي وتجري مثل سائل ثقيل مسببة تشوهات كبيرة جداً. حيث يتضمن حركة كتل كبيرة من التربة لمسافة بعيدة تصل أحياناً إلى عدة كيلومترات وبميول أكبر من 3 درجات. يمكن أن يشمل الجريان التربة المتسيلة تماماً أو كتل سليمة من الأرض الواقعة فوق طبقة التربة المتسيلة.

6. انهيار المنحدرات: يمكن أن يسبب التسيل حركات كبيرة لكتلة التربة نحو أسفل المنحدر.
7. انهيار الجدران الاستنادية: نتيجة تزايد الضغط الجانبي الناتج عن تسيل تربة الردم خلف الجدار أو نتيجة فقدان مقاومة تربة التأسيس للجدار.



شكل توضيحي لظاهرة غليان الرمل (Sand boils).

6 . 3 العوامل المؤثرة على التسيل

1- الكثافة النسبية الأولية للتربة
2- مستوى إجهاد القص الديناميكي
3- إجهاد التطويق الأولي الفعال
4- شروط التصريف
5- عدد حلقات إجهاد القص المطبقة على التربة
6- نسبة المواد الناعمة وقرينة اللدونة
7- خواص حبيبات التربة كالحجم والشكل والتدرج الحبي
8- درجة إشباع التربة
9-العمق تحت سطح الأرض

1. الكثافة النسبية الأولية

تعتبر الكثافة النسبية الأولية أحد أهم العوامل المؤثرة على تسيل الترب الرملية، فكلما زادت الكثافة النسبية الأولية للرمل كلما قل مقدار الانخفاض في حجمه أثناء القص، وبالتالي كلما قل ضغط الماء المسامي المتولد، أي كلما قل احتمال التسيل. بشكل عام، يمكن القول بأن احتمال تسيل الترب الرملية التي كثافتها النسبية الأولية أكبر من 80% قليل جداً.

2. مقدار إجهاد القص الديناميكي

تتعلق زيادة ضغط الماء المسامي الناتجة عن تطبيق حلقات من إجهاد القص الديناميكي، تحت شروط غير مصرفة، بتشوه القص الذي يرتبط بدوره بشدة حلقات القص هذه، حيث يزداد احتمال التسيل بزيادة إجهاد القص الديناميكي المطبق على التربة.

3. إجهاد التطويق الأولي الفعال

تتعلق مقاومة التربة للتسيل تحت تأثير التحميل الحلقي بإجهاد التطويق الفعال للتربة حيث تتناقص قابلية التسيل مع ازدياد إجهاد التطويق الفعال للتربة كما سنرى لاحقاً. وبما أنه من الصعب تحديد الاجهاد الجانبي حقلياً فإنه يتم عادة استخدام الاجهاد الشاقولي الفعال من أجل التعبير عن مستوى التطويق.

4. شروط التصريف

تلعب سرعة تبدد ضغط الماء المسامي في التربة دوراً أساسياً في حدوث التسيل أو عدمه. بما أن سرعة تبدد الضغط المسامي تابع لجذر أطول مسار تصريف فإنه من المهم تحديد تفاصيل المقطع الجيوتكنيكي وسماكات طبقات الترب النفوذة التي تلعب دور المصارف . على سبيل المثال إذا كان المصرف مكون من طبقة رمل ناعم كبيرة السماكة فإن طول مسار التصريف سيكون كبيراً. بالنتيجة، تحت تأثير تحميل سريع كحالة الزلازل يمكن أن يسلك الرمل الناعم سلوكاً غير مصرف وبالتالي فإمكانية التسيل تزداد. اقترح بعض الباحثين استخدام مصارف من البحص من أجل توازن الترب التي يمكن أن تتسيل، ويمكن أن تكون تلك المصارف فعالة إذا كانت نفاذيتها أكبر بـ 200 مرة نفاذية التربة المحيطة.

5. عدد حلقات إجهاد القص المطبقة على التربة

تتكون حركة الأرض الزلزالية من عدد من حلقات الإجهاد ذات مطالات مختلفة وموزعة عشوائياً. يتعلق هذا العدد بشكل أساسي بشدة الزلزال وبالمحتوى الترددي وبمدة الحركة الزلزالية. بشكل عام، تزداد إمكانية التسيل بزيادة عدد هذه الحلقات وبزيادة مطالاتها.

5. نسبة المواد الناعمة وقرينة اللدونة

ينخفض احتمال التسيل بزيادة نسبة المواد الناعمة وبزيادة قرينة اللدونة، وقد أشار البعض إلى أنه إذا احتوت التربة على أكثر من 15% من وزنها مواداً ناعمة (قطرها أقل من 0.005 mm) حد سيولتها أكبر من 35% ورطوبتها أقل من 90% من حد سيولتها فاحتمال تسيل هذه التربة ضئيل.

7. خواص حبيبات التربة كالحجم والتدرج الحبي

يؤثر حجم حبيبات الرمل وتدرجه الحبي على احتمال تسيله، فالرمل الناعم أكثر عرضة للتسيل من الرمل الخشن لأن زيادة ضغط الماء المسامي تتلاشى بسهولة وبسرعة أكبر في الرمل الخشن بسبب نفاذيته المرتفعة. كما أن الترب جيدة التدرج عموماً أقل قابلية للتسيل من الترب سيئة التدرج وذلك لأن تعبئة الفراغات بين الحبيبات الكبيرة بواسطة الحبيبات الأصغر في الترب جيدة التدرج تنتج احتمالية تغير حجمي أقل تحت الظروف المصرفة و بالتالي، ضغوط مسامية زائدة أقل تحت الظروف الغير مصرفة.

8. درجة إشباع التربة

رغم أن الترب غير المشبعة تتسيل فإنه يجب ألا تقل درجة إشباع التربة عن %(80-85) كي تكون عرضة للتسيل. في أغلب المواقع هناك تغير فصلي لمنسوب المياه الجوفية، لذلك يجب اعتبار منسوب المياه الأعلى في دراسة التسيل.

9. العمق تحت سطح الأرض

بشكل عام، بينت الملاحظات الحقلية أن التسيل يقتصر على الطبقات السطحية للتربة بحيث يتراوح عمق الطبقة المعرضة للتسيل m(15-20) تحت سطح الأرض، كما أن الأساسات السطحية غالباً لا تتأثر بالتسيل إذا حصل على عمق يزيد عن 15m.

6. 4 تقييم قابلية التسيل في الرمل المشبع

يوجد طرق متعددة لتقييم قابلية التسيل للترب الرملية المشبعة سنبين فيما يلي إحدى أكثرها استخداماً وهي الطريقة المبسطة التي اقترحت في الأصل من قبل Seed and Idriss عام 1982 ثم طورت لاحقاً. تتلخص مراحل هذه الطريقة بالتالي:

1- اعتماداً على التحريات الجيوتكنيكية يتم إعداد دراسة جيوتكنيكية مفصلة يتم فيها تحديد طبقات التربة ومنسوب المياه الجوفية وخواص كل طبقة، ويجب أن تتضمن هذه الخواص على الأقل ما يلي:

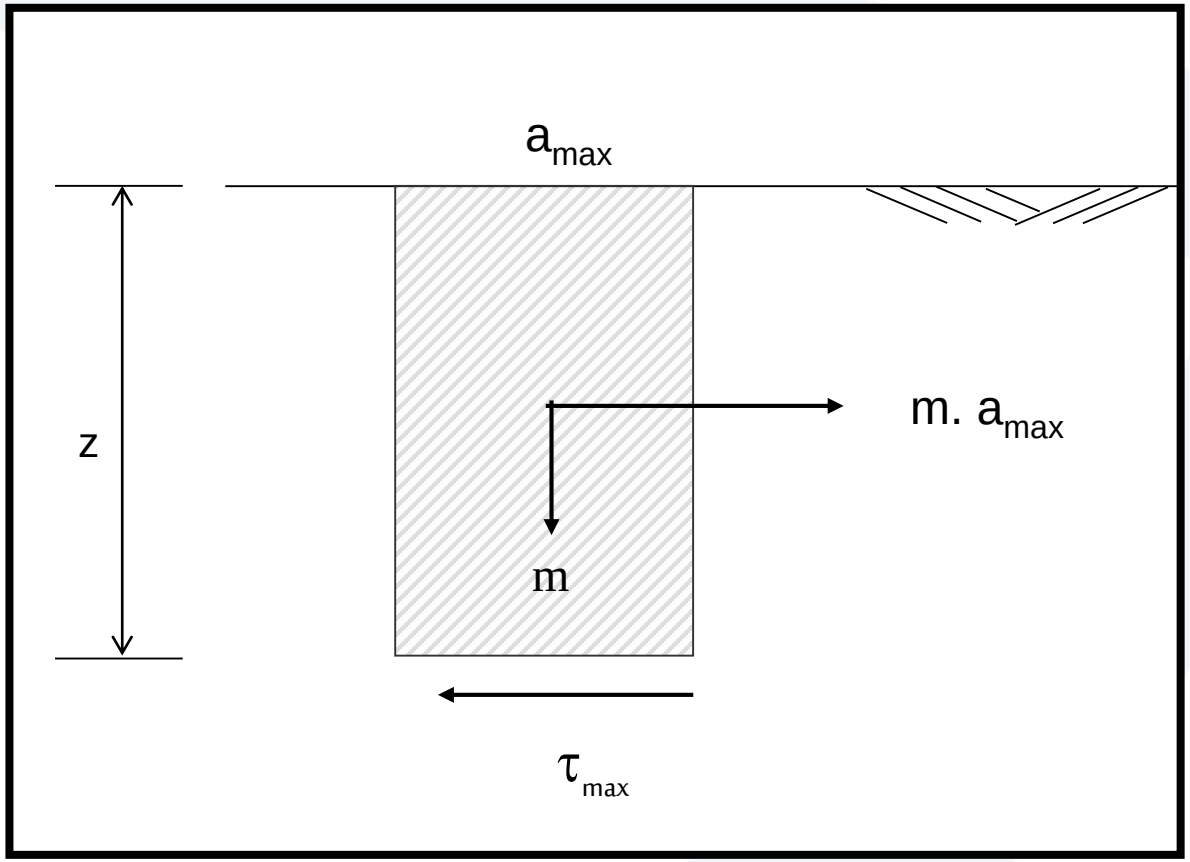
أ- مقاومة الاختراق النظامية N_{60} (من تجربة الـ SPT)
ب- الوزن الحجمي
ت- نسبة المواد الناعمة (نسبة المار من المنخل 200)

2- حساب الاجهاد الشاقولي الكلي $(\sigma_{v0})_z$ والإجهاد الشاقولي الفعال$(\sigma'_{v0})z$ لجميع الطبقات التي يحتمل أن تكون عرضة للتسيل.

3- حساب عامل الإجهاد الحلقي **(Cyclic Stress Ratio Caused by the Earthquake)** CSR الناتج عن الزلزال التصميمي:
يعرف عامل الإجهاد الحلقي CSR على عمق z من سطح الأرض بنسبة إجهاد القص الحلقي الوسطي τ_{av} الناتج عن الزلزال إلى الإجهاد الشاقولي الفعال σ'_{v0} عند هذا العمق.
تتولد الاجهادات القاصة ضمن التربة نتيجة لانتشار الأمواج الاهتزازية الناتجة عن الزلزال. إذا كان عمود التربة الواقع فوق عنصر متوضع على عمق z يتصرف كجسم صلب، وإذا كان تسارع التربة الأعظمي عند السطح a_{max} (الشكل المبين لاحقاً)، فإنه يمكن أن يحسب إجهاد القص الأعظمي على عمق z في التربة بالعلاقة التالية :

تتولد الاجهادات القاصة ضمن التربة نتيجة لانتشار الأمواج الاهتزازية الناتجة عن الزلزال.

إذا كان عمود التربة الواقع فوق عنصر متوضع على عمق z يتصرف كجسم صلب، وإذا كان تسارع التربة الأعظمي عند السطح a_{max} (الشكل المبين جانباً)، فإنه يمكن أن يحسب إجهاد القص الأعظمي على عمق z من سطح التربة بالعلاقة التالية :



الإجهادات القاصة في التربة الناتجة عن تسارع a_{max} عند سطح الأرض

$$\tau_{max} = m \cdot a_{max}$$

$$m = \rho \cdot (z \cdot 1 \cdot 1) = \frac{\gamma}{g} \cdot (z \cdot 1 \cdot 1) = \frac{(\sigma_{v0})_z}{g}$$

$$\tau_{max} = \frac{(\sigma_{v0})_z}{g} a_{max}$$

حيث: $(\sigma'_{v0})_z$: الإجهاد الشاقولي الأولي الكلي على عمق z
بما أن التربة تتصرف كوسط قابل للتشوه فإن إجهاد القص على عمق z سوف يكون أقل من الإجهاد المحسوب بالعلاقة السابقة.
يمكن حساب الإجهاد القاص المكافئ بالعلاقة :

$$\left(\tau_{max}\right)_{z,d} = \left(\tau_{max}\right)_{z,r} \cdot r_d$$

r تعني (rigid) وترمز إلى أن الاجهادات القاصة هي لحالة حركة الجسم الصلب
d تعني قابل للتشوه (deformable)

حيث: r_d:عامل تخفيض، يمكن أن يحدد بشكل تقريبي بالعلاقة: $r_d=1-0.015z$
بما أن السجل الزمني للحركة الزلزالية له شكل غير منتظم فإن الإجهاد الوسطي يؤخذ عادة مساوياً 65%الإجهاد الأعظمي. بالنتيجة يمكن كتابة الإجهاد القاص الوسطي بالشكل التالي:

$$(\tau_{av})_{z,d} = 0.65\,(\tau_{max})_{z,d} = 0.65.\frac{a_{max}}{g}(\sigma_{v0})_z\,.r_d$$

بالنتيجة، يمكن كتابة عامل الإجهاد الحلقي الناتج عن الزلزال التصميمي بالشكل:

$$CSR = \frac{(\tau_{av})_{z,d}}{(\sigma'_{v0})_z} = 0.65\frac{a_{max}}{g}r_d\frac{(\sigma_{v0})_z}{(\sigma'_{v0})_z}$$

4- حساب عامل المقاومة الحلقي **(Cyclic Resistance Ratio)** CRRالمقاوم لتسيل للتربة:

يمكن حساب عامل المقاومة الحلقي إما مخبرياً (بواسطة تجارب القص ثلاثي المحاور أو تجربة القص البسيط) أو حقلياً (بواسطة تجربة الاختراق النظامية SPT، أو تجربة الاختراق بالمخروط CPT، أو بواسطة تجربة الطاولة الهزازة)، ويمكن تلخيص خطوات حساب عامل المقاومة الحلقي CRR اعتماداً على تجربة الاختراق النظامية SPT بالتالي:

أ- حساب مقاومة الاختراق المصححة $(N1)_{60}$: يتم حساب $(N_1)_{60}$بالعلاقة:

$$(N_1)_{60} = N_{60}\,.C_N$$

أ- حساب مقاومة الاختراق المصححة $(N_1)_{60}$:

يتم حساب $(N_1)_{60}$ بالعلاقة:

$$(N_1)_{60} = N_{60} \cdot C_N$$

حيث: N_{60} عدد الضربات المقاسة في الحقل، اللازمة لغرز ارتفاع مقداره 1 قدم من الاسطوانة ضمن التربة

C_N: عامل تصحيح يمكن حسابه باستخدام إحدى العلاقتين التاليتين :

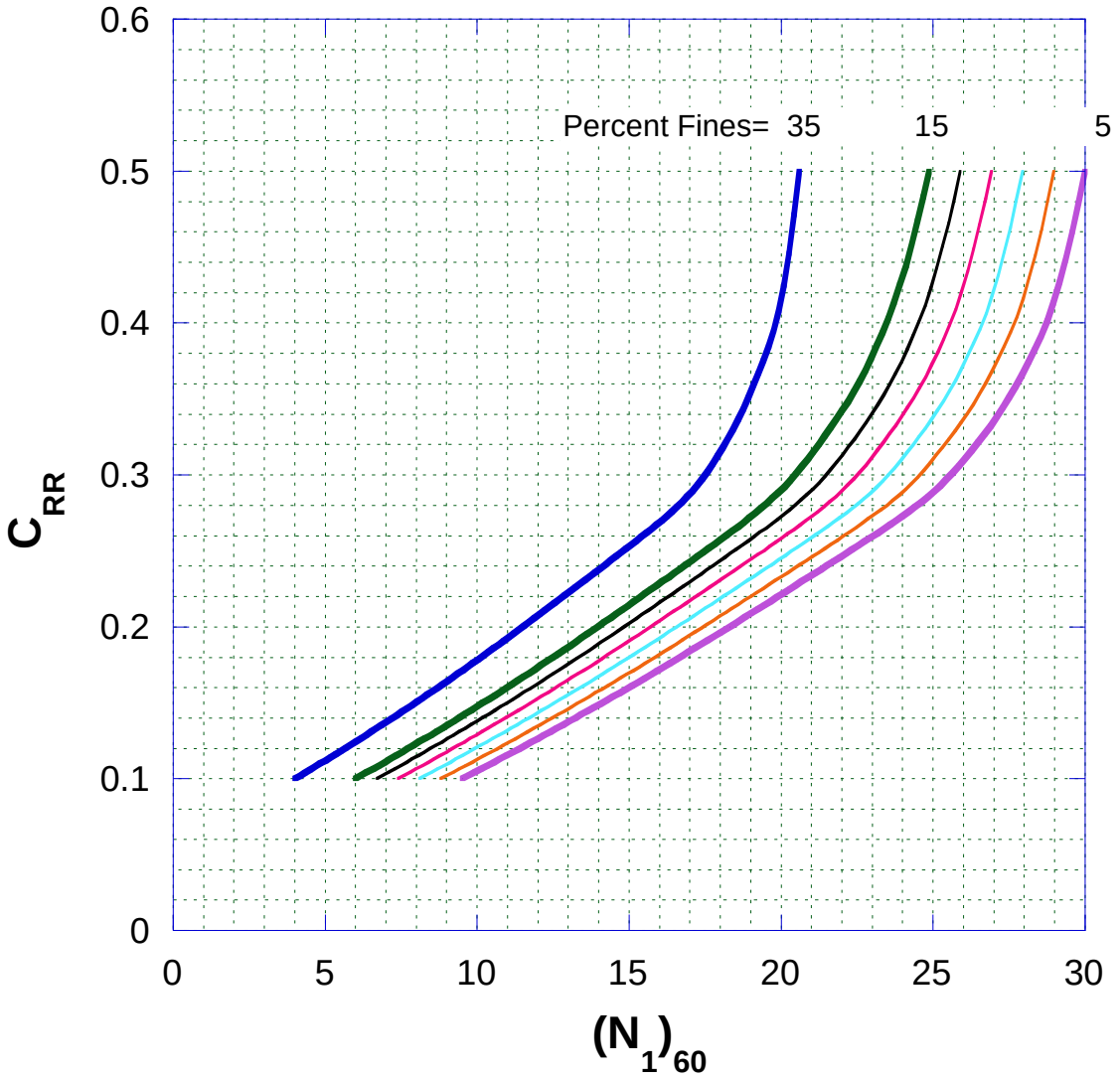
$$C_N = 0.77 \log \frac{2000}{(\sigma'_{v0})_z} \leq 2$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{v0}}\right)^{\frac{1}{2}} \leq 2$$

$(\sigma'_{v0})_z$ الإجهاد الفعال الأولي (kN/m^2) عند المستوي الذي تقاس عنده N_{60}.

ب- تحديد نسبة النواعم في التربة (أي نسبة المار من المنخل 200)

ت- حساب عامل المقاومة الحلقي CRR المقاوم لتسيل التربة لزلزال شدته 7.5



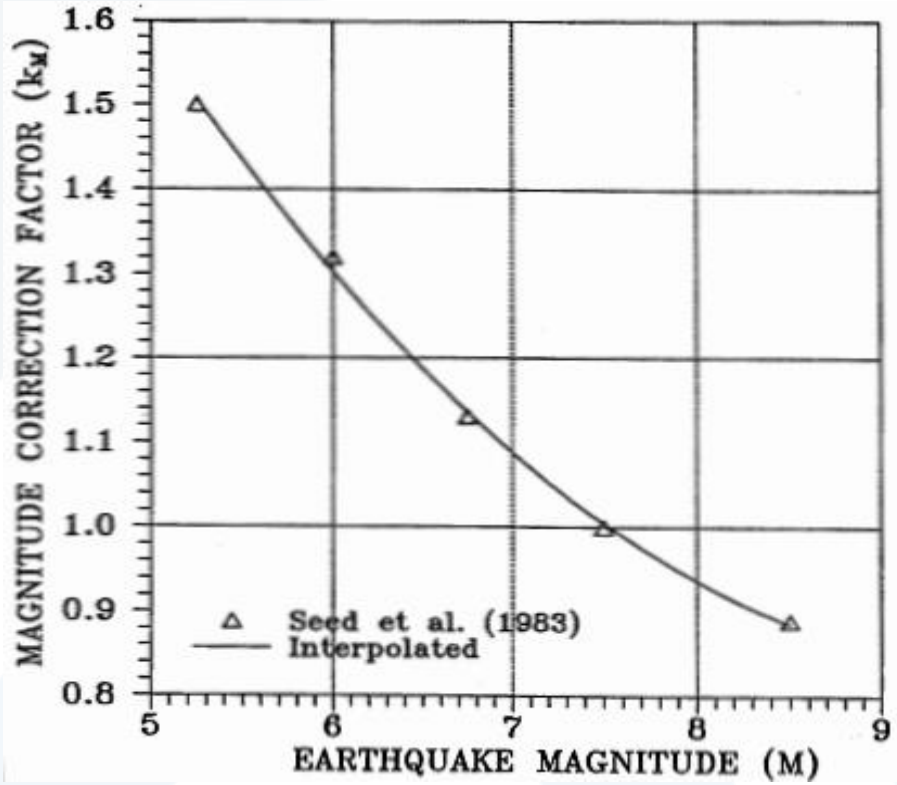
عامل المقاومة الحلقي CRR المقاوم للتسيل للتربة بدلالة $(N_1)_{60}$ ونسبة المواد الناعمة (المارة من المنخل 200) لزلزال شدته Mw=7.5 درجة

بعد تحديد مقاومة الاختراق المصححة $(N1)_{60}$ و تحديد نسبة النواعم في التربة فإنه يمكن حساب عامل المقاومة الحلقي CRR المقاوم لتسيل للتربة لزلزال شدته 7.5 بواسطة الشكل المبين جانباً. كما هو مبين بالشكل فإن الرمل النظيف لن يتسيل إذا كانت $(N1)_{60} \geq 30$، أي أن الرمل المتراص أو عالي التراص لا يتسيل وذلك لأنه يميل نحو التوسع الحجمي أثناء القص. أما الرمل الحاوي على مواد ناعمة فإمكانية تسيله أقل حيث يبين الشكل أنه إذا احتوى الرمل على نسبة 35% من النواعم فإنه لا يتسيل إذا كانت $(N1)_{60} \geq 21$.

ث- تصحيح قيمة CRR إذا اختلفت شدة الزلزال التصميمي عن Mw=7.5 درجة
يتم هذا التصحيح عن طريق ضرب CRR المحسوبة لزلزال شدته 7.5 درجة بعامل التصحيح MSF الموافق لشدة الزلزال التصميمي (الجدول أو الشكل)، أو بالعلاقات الواردة أدناه

شدة الزلزال Mw	عامل تصحيح الشدة MSF
8.5	0.89
7.5	1
6.75	1.13
6	1.32
5.25	1.5

الجدول : قيم عامل تصحيح الشدة MSF بدلالة شدة الزلزال Mw
(Seed and Idriss)



الشكل : عامل تصحيح إجهاد المقاومة الحلقي CRR حسب شدة الزلزال

كما اقترح (Idriss and Boulanger) العلاقة التالية لحساب MSF :

$$MSF = 6.9\, e^{(-Mw/4)} - 0.058 \leq 1.8$$

وأيضاً اقترح (Andrus and Stokoe) العلاقة التالية لحساب MSF :

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-2.56}$$

5- حساب عامل الأمان ضد التسيل **(Factor of Safety against Liquefaction)**

يعطى عامل الأمان ضد التسيل بالعلاقة التالية:

$$F_{SL} = \frac{CRR}{CSR}$$

معظم المصممين يكتفون بعامل أمان ضد التسيل أكبر أو يساوي 1

نشير إلى أن **الطريقة المبسطة تستخدم لحالة الحركات الأرضية متوسطة الشدة** $\mathbf{0.2g<a_{max}<0.5g}$. أما إذا زاد التسارع الأعظمي عند سطح الأرض عن 0.5g فيجب استخدام طرق أكثر دقة في تقييم احتمال التسيل.

6. 5 طرق التخفيف من أضرار التسيل

هناك ثلاث إمكانيات أساسية للتخفيف من مخاطر التسيل عند تصميم وبناء مباني جديدة أو منشآت مدنية كالسدود والأنفاق والطرق وهي:

1. تجنب التأسيس على الترب القابلة للتسيل:

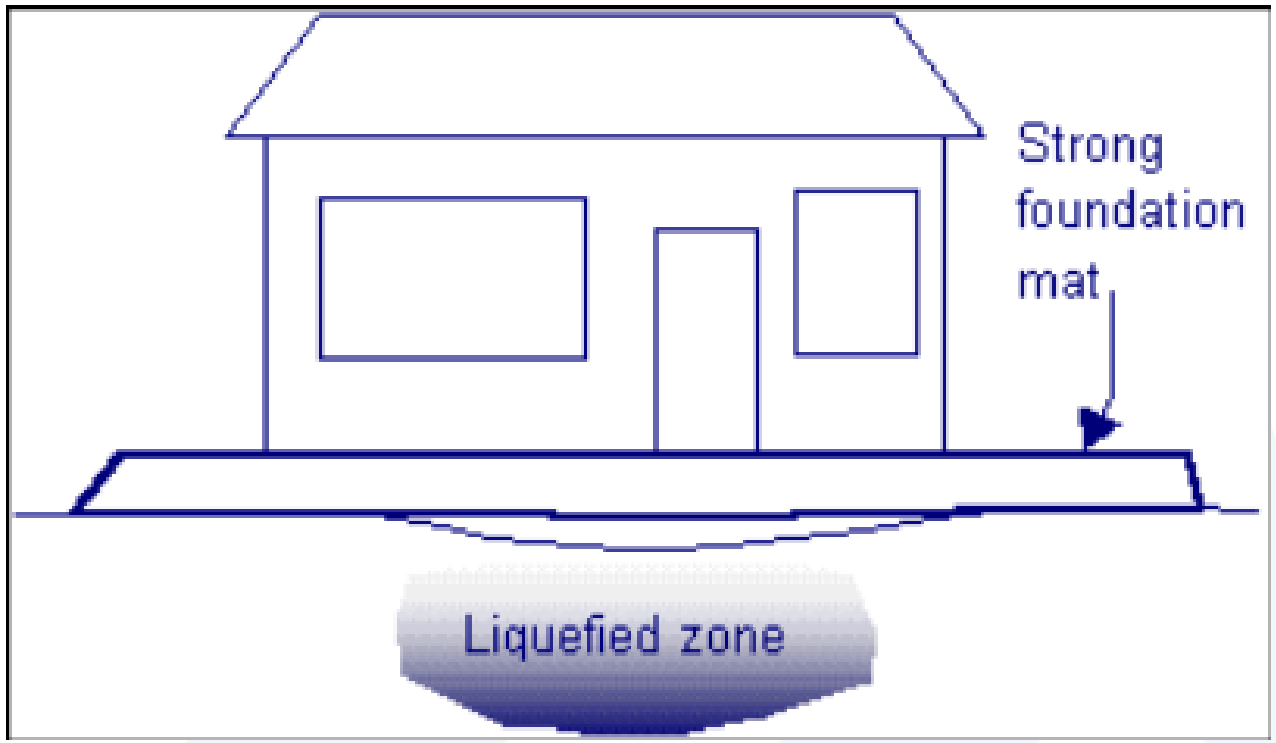
يتم ذلك بعد تحديد قابلية التسيل للتربة تحت المنشأ المزمع إنشاؤه باعتماد طريقة تقييم مناسبة تتوافق مع متطلبات كودات البناء المعتمدة في المنطقة.

2. بناء منشآت مقاومة للتسيل:

إذا لم نستطع تجنب التأسيس على تربة قابلة للتسيل نتيجة اشتراطات معينة يمكن عندها تصميم عناصر أساسات المبنى بشكل يجعل منه مقاوماً لتأثيرات التسيل المحتمل. يعرف المنشأ المقاوم للتسيل بأنه منشأ يمتلك مواصفات خاصة مثل المطاوعة، القدرة على تحمل التشوهات الكبيرة، مزود بمساند خاصة تتكيف مع الهبوطات التفاضلية، وأساساته مصممة بطريقة تضمن تجاوز مناطق الضعف التي تتشكل في تربة التأسيس نتيجة التسيل. من أجل تحقيق هذه المواصفات في البناء يجب الأخذ بعين الاعتبار التدابير التالية:

أ- فيما يخص الأساسات السطحية:

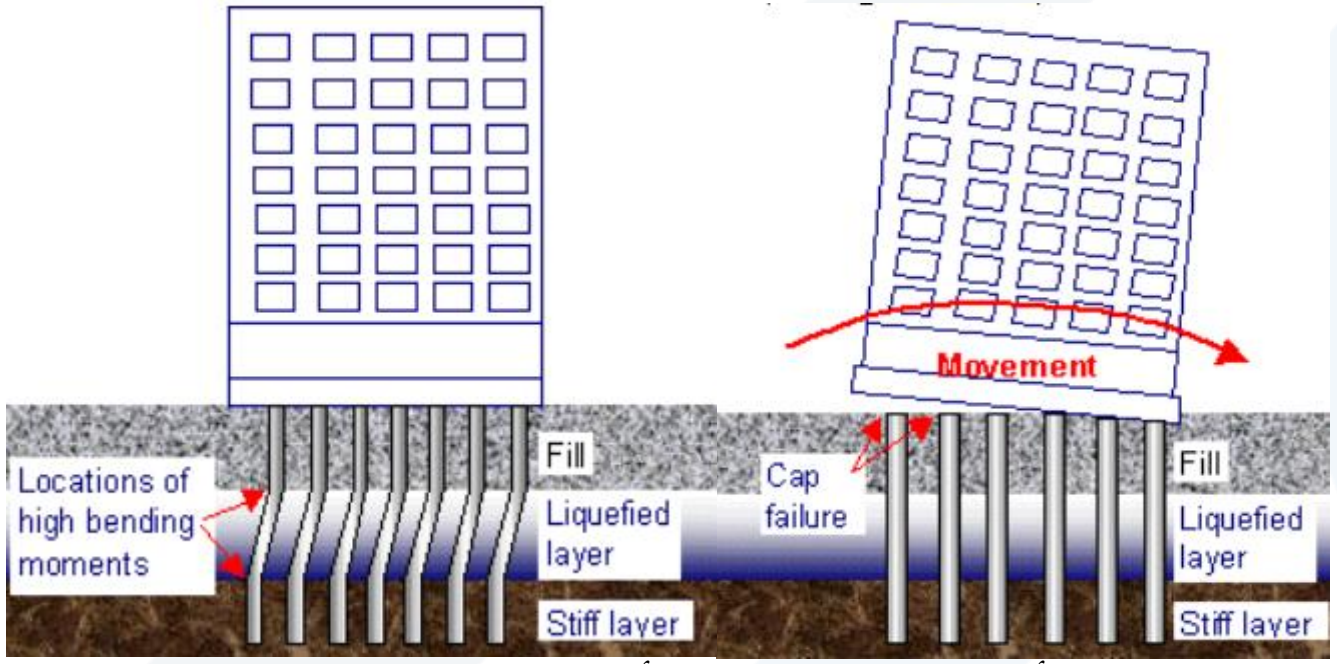
من المهم ربط جميع عناصر الأساسات السطحية مع بعضها لجعل الأساس يتحرك أو يهبط بشكل متجانس وبذلك يتم تخفيض مقدار قوى القص المتولدة في عناصر المنشأ الواقعة فوق الأساس. من جهة أخرى، تشكل الحصيرة الصلبة نموذجاً جيداً للأساسات السطحية التي يمكن أن تنقل الحمولات من المنطقة المتسيلة إلى التربة المجاورة القوية غير المتسيلة (الشكل).



الشكل : استخدام أساس حصيرة صلبة للتخفيف من خطر التسيل.

ب- فيما يخص الأساسات العميقة:

يمكن أن يؤدي تسيل التربة إلى تطبيق حمولات جانبية كبيرة على الأوتاد. لذلك فإن الأوتاد التي تمر بطبقة ضعيفة قابلة للتسيل قبل أن تصل إلى طبقة التأسيس القوية في الأسفل يجب أن تتحمل بالطبع الحمولات الشاقولية المنقولة من المنشأ العلوي، ولكن أيضاً يجب أن تكون قادرة على مقاومة الحمولات الأفقية وعزوم الانعطاف المتولدة نتيجة الحركة الأفقية في حال تسيل الطبقة الضعيفة. يمكن تأمين مقاومة كافية باستخدام أوتاد ذات أبعاد كبيرة و/أو تسليح أكبر. كما يجب أن تكون الأوتاد متصلة مع القبعة بطريقة مطاوعة (ductile) تسمح بالدوران دون انهيار الاتصال. في حال انهيار الاتصال ما بين الأوتاد والقبعة فإن القبعة لا يمكن أن تقاوم عزوم الانقلاب من المنشأ العلوي بسبب فقدان قدرة الأوتاد على تحمل القوى الأفقية وعزوم الانقلاب (الشكل)



تأثير التسيل على مجموعة أوتاد متصلة بقبعة.

3. تحسين التربة:

يمكن التخفيف من خطر التسيل وحتى إلغاؤه أحياناً بتحسين التربة وذلك بتصريفها أو باستخدام واحدة أو أكثر من تقنيات تحسين التربة الحقلية المعروفة مما يضمن زيادة خواص التصريف و/أو زيادة كثافة وقدرة تحمل التربة.
إن تصريف ماء التربة يزيد من الإجهاد الفعال ومقاومة القص ويخفض بالمقابل من درجة إشباع التربة وكل ذلك يزيد من مقاومة التربة للتسيل. لكن في الواقع هناك صعوبة كبيرة في عملية تصريف ترب التأسيس حيث يمكن أن تتطلب ضخاً مستمراً مع تأمين تصريف الماء المضخوخ من الموقع مما يجعل العملية مكلفة جداً كما أنها غير ممكنة في بعض الحالات (توضعات رسوبية من الطمي مثلاً).

تقنيات تحسين التربة الحقلية

1. إذا كانت طبقة التربة المعرضة للتسيل واقعة على سطح الأرض وسماكتها لا تزيد عن 3.5m فإن الحل الأكثر اقتصادية يمكن أن يكون هو إزالة هذه التربة واستبدالها بتربة أخرى مناسبة مرتصة وغير قابلة للتسيل.
2. أما في الحالات الأخرى التي تقع فيها طبقات التربة القابلة للتسيل على عمق أكبر من 3.5m من سطح الأرض فإن استخدام إحدى تقنيات تحسين التربة (كالرص الديناميكي أو الأعمدة الحجرية المرصوصة أو الحقن أو الخلط أو تسليح التربة....) يمكن أن يكون هو الحل الأمثل.

يجب الانتباه إلى أن العاملين الأكثر أهمية الذين يجب أخذهما بعين الاعتبار عند اختيار طريقة تحسين للتربة هما إمكانية التحقق من تحسين وثبات التربة أولاً وعدم وجود مشاكل ملموسة تتعلق بسلامة العمال أثناء التنفيذ ثانياً.