|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | جامعة دمشق  كلية الهندسة المدنية  قسم الهندسة الجيوتكنيكية  الدراسات العليا | Damascus university  Faculty of civil eng.  Geo-technical dp.  grad studies |   damascus logo.jpg |
| **استخدام طرائق الرص العميق لتحسين مواصفات الترب القابلة للتميع** |
| Deep Compaction Methods for Liquefiable Soil Remediation  إعداد  سامر سحتوت  06-2010 |
|  |
|  |
|  |

الفهرس

[1.مقدمة: 3](#_Toc263975291)

[2.عوامل التميع و الأضرارو المخاطر: 4](#_Toc263975292)

[3.تقنيات تقليل الأضرار و المخاطر: 5](#_Toc263975293)

[4.التحسينات في الموقع In-situ Improvements: 6](#_Toc263975294)

[4.1 استبدال التربة Soil Replacement : 6](#_Toc263975295)

[4.2 الرص بالاهتزاز Vibro-Compaction: 6](#_Toc263975296)

[4.3 الاستبدال بالاهتزاز (الأعمدة الحبيبية) Vibro-Replacement (Granular Columns): 8](#_Toc263975297)

[4.3.1 أعمدة الاستبدال بتقنية ضخ الماء: 9](#_Toc263975298)

[4.3.2 أعمدة إزاحة بتقنية الهواء المضغوط: 10](#_Toc263975299)

[4.3.3 الأعمدة الصغيرة: 10](#_Toc263975300)

[4.3.3 الأعمدة الكبيرة: 10](#_Toc263975301)

[4.4 الرص الديناميكي: 11](#_Toc263975302)

[4.5 الرص بالتفجير 12](#_Toc263975303)

[4.5.1 خطوات العمل: 13](#_Toc263975304)

[4.5.2 أنواع الشحنات الممكن استعمالها: 13](#_Toc263975305)

[4.5.3 الارشادات و التوجيهات 13](#_Toc263975306)

[4.6 أنظمة التصريف: 13](#_Toc263975307)

[5. الخلاصة: 15](#_Toc263975308)

[6. المراجع 16](#_Toc263975309)

**الملخص:**

مع التزايد السكاني الحاصل والتطور العمراني تزداد الحاجة إلى الأراضي الصالحة للبناء ومع ارتفاع أسعار الأراضي بشكل كبير فإن النظرة الاقتصادية أصبحت تأخذنا إلى تحسين مواصفات الترب التي كنا نبتعد عنها بالسابق نظراً لصعوبة التأسيس عليها، مثل الترب الانتفاخية و العضوية و الردمية و الترب القابلة للتميع. في هذا البحث سندرس أهم طرائق الرص العميق المستخدمة في تحسين الترب القابلة للتميع مع تحديد مجال وحالات استخدام كل طريقة.

لن نتطرق إلى طرائق التحسين الكيميائية أو الطرائق الحقن و التي يمكن أن تدرس في بحث منفصل.

**الكلمة المفتاح:**

تميع التربة، تحسين التربة، الرص العميق

Soil Liquefaction, Soil remediation, soil improvement, deep compaction

تحسين التربة القابلة للتميع

# مقدمة:

يحدث التميع عندما يختل التوازن الستاتيكي في التربة نتيجة لالتحميل الدوري والمتكرر، مما يجعل التربة تتجه في سلوكها نحو الأوساط السائلة أكثر من السلوك الصلب. يؤثر ضغط الماء المسامي في مدى انضغاط حبيبات التربة مع بعضها. في الترب المشبعة، و بتأثير التحميل الدوري السريع، لا يتوفر الوقت الكافي لكي يتبدد الضغط المائي المسامي الإضافي المتشكل. و هذا يؤدي إلى تقليل قوى التماسك بين حبيبات التربة مما يؤدي إلى عدم قدرة التربة على تحمل الحمولات المطبقة.

يعتمد التميع على طبيعة و سعة و نوع التحميل الديناميكي. يمكن أن يحدث التميع في كامل الطبقة في نفس الوقت تحت حمل مفاجئ، أو يمكن أن يبدأ التميع من الأعلى و ينتقل باتجاه الأسفل. يمكن أن تتميع الترب التي تميعت سابقاً و ذلك بناءاً على مدى الارتصاص في كل من الطبقات السفلية و المجاورة و مدى الاشباع الحاصل بعد الزلزال و سعة الاهتزاز من الحركة الزلزالية السابقة.

يمكن إجراء التحريات الجيوتكنيكية التي تتضمن الحفر borings و أخذ العينات sampling و عمل السبور sounding و حفر الاختبار test pits و تجارب الانزلاق slip failure tests و تجارب النفاذية في الموقع insitu permeability tests و رسم المقطع بالاعتماد على سرعة موجة القص shear wave velocity profiling و ذلك لتحديد مدى قابلية التميع. يقيم احتمال التميع عن طريق مقارنة الاجهادات الناتجة عن الزلزال مع تلك التي تتحملها التربة. يجب دراسة قابلية التميع لكل طبقة من التربة و ذلك لما لطبقات التربة من تأثير على مدى انتشار التميع في التربة.

تحدد طريقة التحسين المتبعة فقط بعد الدراسة المعمقة للموقع بما في ذلك عمق المياه الجوفية و الطبقات المشلكة للموقع، نوع و قدرة تحمل التربة لكل طبقة، خواص الإنضغاطية لكل طبقة، النفاذية، مقاومة التميع، و خواص التشوه الديناميكي. قد يتطلب الأمر عمل دراسات إضافية لتحديد قدرة تحمل التربة و توازن المنحدرات و ذلك لتحديد طريقة التحسين الأمثل.

# عوامل التميع و الأضرارو المخاطر:

تؤثر العديد من العوامل على امكانية حدوث التميع. يعد السجل التاريخي للمنطقة ذو أهمية بالغة عند دراسة إمكانية التميع. تعتبر الترب الترسيبية المتشكلة عن طريق الرياح أو تلك المواقع المتشكلة بشكل رئيسي من الرسوبيات معرضة لخطر التميع أكثر من غيرها.

ومن العناصر الهامة أيضاً تركيب التربة ( التدرج الحبي، الحجم و الشكل و النوع ). فالحبيبات ذات التركيب الحبي الجيد و الشكل الحاد تساعد على تسريع عملية التخلص من ضغط الماء المسامي الإضافي و بالتالي هذه التربة أقل عرضة للتميع من غيرها.

و أيضاً درجة تراص التربة و الاجهادات القاصة الموجودة مسبقاً و درجة الاشباع هي أيضاً من العوامل الهامة في تحديد قابلية التميع. فالترب ذات درجة التراص الأعلى و الأقل اشباعاً تعتبر غير معرضة للتميع و أيضاً تلك التي لا تملك اجهاد قص سابق. و بالرغم من أن التربة الرملية المشبعة هي الاكثر عرضة للتميع، فإن التميع يمكن أن يحدث أيضاً في الترب الغضارية و الناعمة.

قد يولد ضغط الماء الإضافي في الترب المتميعة ضغطاً إضافياً غير محسوب على المنشآت و الأساسات في التربة المتوضعة ضمن الطبقة المتميعة، مما يؤدي إلى انهيار إنشائي أو هبوطات تفاضلية كبيرة غير مقبولة. إن الجريان باتجاه الأعلى قد يؤدي إلى رفع المنشآت المطمورة و هذا ما يعرف بفوران التربة. الأضرار الجيوتكنيكية عادة تكون : التوسع الجانبي، عدم توازن المنحدرات، انزلاق التربة، هبوطات إضافية، نقصان في قدرة تحمل التربة بسبب نقصان الضغط الفعال، أو فوران التربة.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Fig1الأضرار: توسع جانبي، هبوط، فوران التربة

# تقنيات تقليل الأضرار و المخاطر:

يمكن تجنب تأثير التميع على المنشآت و الطرق و ذلك بعدم إقامة هذه المنشآت على هذه الترب، و لكن هجر أو إعادة التمركز في الموقع قد لا يكون ممكن. إضافة إلى أن بعض المالكين يكونون مستعدين لتحمل مخاطر حدوث التميع و إصلاح الأضرار بينما البعض الآخر يفضل إيجاد طريقة لتحذير الشاغلين للموقع بحدوث زلزال وشيك.

تتضمن الطرق المتبعة لتخفيض أثر التميع على المنشآت ما يلي:

* تأمين مطاوعة أكبر لاستيعاب التشوهات
* استخدام أساسات قابلة للتعديل و ذلك لتلافي أثر الهبوطات التفاضلية
* استخدام ركائز و أوتاد ارتكاز ضخمة مقاومة للحمولات الجانبية
* استخدام أساسات ذات قساوة أعلى
* ربط الاساسات المنفردة مع بعضها باستعمال جوائز رابطة

التحسينات في الموقع تحسن من الأداء أثناء التحميل الدوري و هي تتضمن:

* استبدال التربة Soil replacement
* الرص بالاهتزاز Vibro-compaction
* الاستبدال بالاهتزاز Vibro-replacement
* الرص الاديناميكي Dynamic compaction
* الرص بالتفجير Explosive compaction
* أنظمة التصريف Drain systems

إن بقية هذا البحث تفصل تقنيات التحسين هذه. و بما أنه يمكن استعمال أكثر من طريقة معاً، فلا بد من دراسة التراكب لإعداد برنامج معالجة للتربة. من المهم أثناء تنفيذ العمل وجود اتصال دائم بين المتعهد و المهندس حيث لابد من ظهور بعد المتغيرات الصغيرة التي تؤثر على اختيار طريقة التحسين.

لم نتطرق في هذا البحث إلى طرق التحسين الكيميائي.

# التحسينات في الموقع In-situ Improvements:

الفكرة الأساسية لعملية التحسين هو أن زيادة تراص التربة سوف تقلل من قابليتها للتميع. العوامل المؤثرة على اختيار طريقة المعالجة تتضمن: التأثيرات البيئية، نوع المنشأ، التسامحات في الهبوط، نفاذية التربة، مسار التصريف، و طبعاً الكلفة الاقتصادية.

## استبدال التربة Soil Replacement :

تعتمد قابلية استبدال التربة بشكل كبير على مدى عمق الطبقة القابلة للتميع. تعتبر هذه الطريقة فعالة من الناحية الاقتصادية عندما تكون هذه الطبقة قريبة من سطح الأرض و قليلة التوسع الجانبي. لابد من المراقبة الفعالة والدائمة لمدى ارتصاص الطبقة الجديدة الموضوعة. زيادة عمق ومدى الطبقة القابلة للتميع يجعل هذه الطريقة عير فعالة و غير ملائمة اقتصادياً.

## الرص بالاهتزاز Vibro-Compaction:

يؤمن الرص بالاهتزاز حل اقتصادي و فعال لرص الطبقات العميقة من الترب الحبيبة قليلة التماسك. في هذه الطريقة يتم ادخال مسبر الاهتزاز ضمن التربة و يتم رفعه و انزاله ضمن التربة مما يؤدي إلى تميع موضعي في التربة، و خلال هذا التميع الموضعي فإن قوى الاحتكاك و التماسك بين الحبيبات تنعدم و تبقى القوى المسيطرة هي قوى الجاذبية التي تعيد ترتيب الحبيبات بشكل اكثر تراص و بدون وجود اجهادات متبقية و هذا يؤدي إلى تقوية التربة بصورة دائمة. لا يمكن أن يحدث تميع في التربة إلا في حال حصول اهتزاز ديناميكي ذو شدة أكبر من تلك المطبقة أثناء عملية الرص.

اثناء مرحلة التميع المؤقت يتم حقن المواد و رصها في الفراغات الحاصلة نتيجة التميع مما يؤدي إلى تشكيل عمود متراص من الرمل. يجب أن تكون المواد الجديدة ذات تدرج حبي جيد مثلاً رمل خشن مع حبيبات ناعمة بكمية صغيرة. عادة ما يتم استخدام هذه الطريقة بصورة مترافقة مع ضخ الماء من رأس المسبر و لك لتأمين توازن الحفرة. يمكن إضافة المواد عند سطح الارض بدل راس المسبر.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| تشكل العمود الرملي المتراص | إضافة مواد الملء | ادخال مسبر الاهتزاز |

Fig2عملية الرض بالاهتزاز

عادة ما تمتد المنطقة المتميعة موضعياً إلى ما يقارب 30 إلى 60 سم حول القطر الخارجي للمسبر. إن مدى التميع المتوقع مترافقاً مع حجم الحبيبات و المياه الجوفية و تردد الاهتزاز يحدد التباعد بين الحفر الواجب تنفيذها. حيث يتراوح التباعد عادة من 150 إلى 400 سم من المركز. ولابد من إجراء عملية رص للسطح لتأمين الاجهاد اللازم لعملية الرص.

يصل العمق الممكن رصه حتى 30 متر ولابد من ملاحظة أن فعالية الرص تتناقص مع العمق و كلما ابتعدنا عن السبر. و على الرغم من أن الارتصاص عند مركز الاهتزاز (رأس المسبر) هو أقل من الارتصاص في المنطقة المجاورة فإن هذا الفرق عادة ما يهمل. إن الوصول إلى الارتصاص الأعظمي عادة يتطلب مدة حوالي 2 إلى 5 دقائق من الاهتزاز، و زيادة المدة لاتزيد من الاترصاص بشكل ملحوظ. بملاحظة مدى التميع الحاصل فإنه يمكن القول بأن الاهتزاز الأفقي المتولد عن طريق المسبر (Vibrofloats) أكثر فعالية من الاهتزاز الشاقولي المتولد عن طريق وتد الاهتزاز القياسي (Standard vibratory pile driver/extractor)، على الرغم من أن الطريقتين مستعملتين. أعلى قيمة لدرجة التراص يمكن الوصول إليها هي حوالي 70-90% مع العلم أن درجة التراص تكون أعلى في حال كانت التربة متطبقة بشكل أفقي و ليس مائل.

Vibrofloats: عبارة عن أنبوب معدني مفرغ بداخله ثقل غير مركزي قابل للدوران و عند دورانه يولد حركة اهتزازية افقية تتراوح الأقطار 30-46 سم ويصل طوله 2-5 متر حيث يولد اهتزاز 1200-3000 دورة بالدقيقة بسعة اهتزاز 13-38 مم ووزنه حوالي 13-22 كيلو نيوتن. تستعمل أيضاً انابيب بقطر أصغر لإيصال عملية الرص إلى أعماق أكبر و عادة يحمل هذا الرأس بواسطة رافعة (crawler crane) و يتم وصل الأنابيب مع رأس الاهتزاز بواسطة وصلات مرنة تمنع انتقال الحركة الاهتزازية بالعكس أي تمنع وصولها إلى الرافعة.



Fig3آلية العمل

تستعمل هذه الطريقة في الترب التي تحوي على نسبة من النواعم (0.02-0.06 مم) اقل من 30-40% و النسبة العملية هي بحدود 12-15%. فالترب التي تحوي على نسبة عالية من النواعم تخمد الاهتزاز بسرعة مما يعيق عملية الارتصاص. ولابد من تقريب المسافات بين مراكز الرص في الترب الناعمة.

هذه الطريقة لا تؤدي إلى موجات صدم ضارة على المنشآت المحيطة.

اجراء تجارب للتأكد بعد الرص يعزز من موثوقية التصميم.

مراقبة الانزياحات الشاقولية لسطح الأرض هو أمر مهم بالنسبة للترب الناعمة.

و هناك العديد من الطرق الأخرى التي تعتمد على توليد الاهتزاز الشاقولي و تستخدم المعدات مثل

Terra-Probe, Vibro-Wing and Tri-Star or Y-Probe (ASCE 1997)

## الاستبدال بالاهتزاز (الأعمدة الحبيبية) Vibro-Replacement (Granular Columns):

بشكل عام فإن الترب المتماسكة و المختلطة و المتشكلة بشكل طبقات لا ترتص بسهولة عند تعريضها للاهتزاز فقط. إن طريقة الاستبدال بالاهتزاز تزيد من أنواع الترب الممكن رصها بطريقة الاهتزاز العميق. طورت هذه الطريقة في ألمانية في فترة الخمسينيات لتعزيز عملية الرص بالاهتزاز. إن عملية الاستبدال بالاهتزاز مشابه جداً لعملية الارص بالاهتزاز ما عدا أنه عوضاً عن استخدام الرمل يتم استخدام الحصى مما يعطي للتربة نسبة قليلة من التسليح و يؤمن التصريف للمياه بآن واحد. إن هذه الطريقة مناسبة و ملائمة للترب المتماسكة و الترب المشبعة التي تزيد نسبة النواعم فيها عن 12%. حيث في الترب التي لا تحوي على هذه النسبة من النواعم يتم عادة استعمال طريقة الرص بالاهتزاز.

إن مدى فعالية هذه الطريقة يعتمد بشكل كبير على نوع التربة و تقنية صب العمود و التباعد النسبي ما بين الأعمدة و قطر العمود. خلال عملية صب العمود يخترق رأس الاهتزاز التربة حتى العمق المطلوب، يتم إضافة الحصى و تستمر عملية الهز حتى الوصول إلى درجة الرص المطلوبة.

بشكل عام تتراوح اقطار الأعمدة من 30-42 انش، و يصل الارتفاع حتى 100 انش. اعمدة الحصى تزيد من قدرة التربة على التحمل على الضغط، و تزيد من خصائص الهبوط (تقليل الهبوط) و مقاومة القص للترب الغضارية الناعمة. العمق الحرج للتأثير و ذلك بملاحظة زيادة قدرة تحمل التربة على الضغط هو بحدود 4 أضعاف قطر العمود.

يمكن أن توزع الأعمدة بطريقتين إما مثلثية أو مربعة:



Fig4توزيع الاعمدة في طريقة الاستبدال بالاهتزاز

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| انتهاء عملية تنفيذ العمود | إضافة مواد الردم من الأعلى | ضغط الهواء لتشكيل الحفرة | إدخال راس الاهتزاز |

Fig5عملية الاستبدال بالاهتزاز

لاتؤمن أعمدة الحصى أي مقاومة لقوى الرفع و لا تعمل في الترب التي لا توفر الحد الأدنى من السند الجانبي لهذه الأعمدة، مثل الترب العضوية الناعمة Soft peat، أو الترب الغضارية التي تصل الرطوبة فيها إلى/أو تزيد عن حد السيولة.

إذا كان من المفضل تأمين تصريف إضافي فلا بد من الانتباه إلى أن مسار التصريف الطبيعي لم يتأثر أثناء عملية تنفيذ الأعمدة الحصوية لأن لك يعني عدم الحصول على تصريف إضافي.

يجب استعمال مادة ردم ذات تدرج حبي جيد و حبيباتها ات أشكال حادة. ففي حال كان التدرج الحبي سيء ولم يعمل كفلتر فمكن الممكن أن تسد الفراغات و يصبح العمود غير قابل للعمل كمصرف للمياه، و يمكن أن تملأ هذع الفراغات بالغضار مما يقل من فعالية عملية الرص.

بشكل عام تتم عملية تنفيذ الأعمدة الحصزية إما بالماء أو الهواء المضغوط.

### أعمدة الاستبدال بتقنية ضخ الماء:

طريقة ضخ الماء هي الطريقة الأكثر شيوعاً و الاقل كلفة من طرق الرص العميق المتوفرة، وتعتبر الطريقة الأنسب للترب الناعمة جداً و الترب المتماسكة المشبعة و كذلك في حال منسوب المياه الجوفية للمرتفع. يتم ضخ الماء بضغط مناسب عبر الحفر بواسطة رأس مخروط الاهتزاز. يساعد الماء الإضافي على حدوث التميع في التربة المحيطة برأس الاهتزاز مما يسبب في تراص الترب المجاورة بنفس الوقت الذي يتم فيه إضافة مواد الردم من الفتحة حول انبوب الاهتزاز.

بما أن كمية المياه الجارية أساسية ( Flushing water is substantial) يمنع استعمال هذه الطريقة في الترب التي قد تكون ملوثة (may be contaminated). كمية الانجارف (Spoil) الكبيرة تجعل هذه الطريقة غير مناسبة للترب المحصورة أو التي تؤدي إلى تلوث بيئي.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| صب مواد الردم من أعلى الحفرة | إدخال راس الاهتزاز |

Fig6الاستبدال بالاهتزاز

### أعمدة إزاحة بتقنية الهواء المضغوط:

تنشأ أعمدة الازاحة في الحفر المشكلة بشكل افرادي أثناء اختراق رأس الاهتزاز للتربة عن طريق الانزياح القطري للتربة المحيطة بالانبوب. في هذه العملية لا يتم إزالة نواتج الحفر و التي تكون مفيدة في المواقع الملوثة. يؤمن الهواء المضغوط الاستقرار لجوانب الحفرية وكما يسهل عملية الاختراق. تؤمن عملية الضغط الفراغ الازم في الحفرة لإضافة المزيد من مواد الردم حتى الوصول إلى التوازن المطلوب.

تحسن هذه الطريقة التربة بشكل معتدل في حال كانت هذه التربة تحتوي على الغضار بنسبة أكثر من 5% أو إذا زاد محتوى التربة من السيلت اكثر من 30%.

في الترب الناعمة الناعمة يكون متوسط الأعماق 80 قدم و استخدام طريقة استشعار القاع (The bottom feel method).

تتضمن الطرق الإضافية مثل أعمدة الحجر المرصوص (الاستبدال الديناميكي) rammed stone columns، والتي تتم بوضع الحصى في الحفر المحاطة بالقمصان و من ثم يتم رصها ديناميكياً (كما في الفقرة التالية) أثناء سحب هذه القمصان. إن الفائدة الاساسية من هذه الطريقة هي ارتصاص التربة ما بين الاعمدة.

### الأعمدة الصغيرة:

و هي اعمدة صغيرة بقطر 10-14 انش و التي تنفذ بشكل اسرع وبمعدل تكلفة 20-25% من تكلفة الأعمدة التقليدية.

### الأعمدة الكبيرة:

و تستعمل عندما تكون المواد في الطبيعة ذات سند جانبي قليل بحيث لا نتمكن من إنشاء الأعمدة التقليدية. و يتم إنشاؤها باستعمال ثلاث أو اربع رؤوس اهتزاز بنفس الوقت لتشكيل عمود حجري ضخم تصل مساحته حتى 15 انش مربع. و بشكل مشابه لعملية استبدال التربة، فلا ينصح باستخدام هذه الطريقة في المواقع الحاوية على طبقات عميقة من السيلت العضوي أو الغضار أو الخث (peat).

## الرص الديناميكي:

يحدث الرص الديناميكي عندما يرمى وزن ثقيل على سطح الأرض، مشكلاً بذلك اهتزازات تسبب التميع المؤقت للطبقات السفلية. ترمى اوزان بثقل حتى 40 طن من ارتفاع 30-120 قدم بحسب العمق المراد رصه. لايؤثر شكل الثقل على الرص. هذه الطريقة مناسبة عملياً للرمل المخلخل، الردميات، مخلفات المناجم، الترب القابلة للانهيار و مناطق ردم النفايات.

تعتبر هذه الطريقة اقتصادية حتى عمق 40 قدم.

لتحديد مسار الطرق(Tamping pattern) الصحيح لا بد من توفر معلومات التجارب الحقلية (In-Situ tests) و مقطع في التربة (Stratographic) يبين توضع الطبقات. و لتأمين الارتصاص المستمر للطبقات (Progressive consolidation of the strata) لابد من وجود عدة مسارات للرص (Multiple passes). تحدد مسارات الطاقة بدايةَ للطبقة الأعمق القابلة للتميع، و تستعمل طريقة (Ironing passes) اللاحقة. أحياناً لتأمين توازن سطح الأرض في الترب المخلخلة جداً لابد من استعمال الردم الحبيبي (Granular Fill) و ذلك قبل البدء بعملية الرص. أكبر حد اقتصادي لعملية الضرب هو 10 ضربات للموقع. الضرب المتكرر يزيد من التراص إلى حد معين فقط.

من المفضل أن يكون منسوب المياه الجوفية إما 6 اقدام تحت الطبقة التي يتم رصها أو 2 قدم تحت قعر الحفرة المتشكلة. يجب ايضاً توفر مصارف أفقية أو مضخات لتخفيف ضغط الماء الإضافي المتشكل. بحسب منسوب المياه الجوفية و طاقة الضرب فقد يحدث فوران حول المنطقة المعرضة للضرب. و لايظهر الرص إلا بعد تصريف ضغط الماء الإضافي المتشكل.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Fig7عملية الرص الديناميكي

بالرغم من الوفر الاقتصادي فإن طريقة الرص الديناميكي طريقة يمكن القول عنها أنها عدائية. و لا يفضل استعمالها في المناطق المأهولة لأنها تؤدي إلى اهتزازات قوية نسبياً و من المفضل تأمين مسافة أمان بين الموقع و اقرب منشأ بحيث لا تقل عن 100-150 قدم.

قبل اعتماد طريقة الرص الديناميكي لرص التربة يجب عمل دراسة للموقع من ناحية تأثير الاهتزازات.

يجب إجراء معالجة للسطح مثل الرص السطحي و الإضافات الحبيبية للسطح و ذلك بعد بعد انتهاء عملية الرص الديناميكي.

لأن الرافعات عادة غير مصممة لعملية الرص (إلقاء الأوزن من ارتفاع ما و بشكل متكرر) لذلك لابد من اعداد برنامج عمل للرافعات بحيث يؤمن الحماية و الأمان للمعدات و العمال. و أيضاً يجب اخلاء الموقع من طواقم العمل الغير ضرورية لتلافي الإصابات و الأضرار الناتجة عن الحطام المتطاير.

تتطلب هذه الطريقة مراقبة جدية و مستمرة للمنشآت المحيطة قبل خلال و بعد انتهاء عملية الرص الديناميكي.

## الرص بالتفجير

تعتبر طريقة التفجير من طرق معاجلة التربة حيث من خلالها يتم تحرير الطاقة من خلال احداث تفجيرات مسيرط عليها بشكل كامل ضمن كتلة التربة. في الترب المخلخلة و الغير متماسكة و الترب المتميعة بشكل كامل فإن الطاقة تولد تميع مؤقت يؤدي إلى إعادة ترتيب حبيبات التربة بشكل أكثر تراص. توفر هذه الطريقة عدة حسنات من الناحية الاقتصادية و من حيث انواع الترب التي يمكن معالجتها و عمق التأثير للرص.

تتضمن هذه العملية غرس عدة شحنات متفجرة بشكل اعمدة قصيرة ضمن التربة و التي تسمى (Decks) في حفرات التفجير. يولد التفجير نوعين مختلفين من الضغوط. ضغط التفجير و هو عبارة عن الاجهاد المطبق بالموجة الصادمة المتولدة نتيجة تردد رد فعل الانفجار و ينتشر بشكل اسرع من الصوت. ضغط الغاز و هو الاجهاد الناتج عن ازدياد حجم الغاز ضمن الفراغ و الذي يستمر في الازدياد حتى يصل إلى التوازن مع ضغط الحصر الموجود. رد الفعل المتولد نتيجة الغاز يولد اهتزازات إضافية ضمن التربة القابلة للتميع مما يعزز من قابلية التميع. يزداد هذا التأثير عندما يسمح لضغط الماء المسامي بالتسرب الجزئي مابين نقاط التفجير و مع ابقاء زمن لا يقل عن دقيقة واحدة ما بين التفجير و الذي يليله.



Fig8عملية الرص بالتفجير – ظاهرة الفوران

لتأمين الفعالية القصوى من التفجير يجب أن تكون التربة بحالة اشباع تام و أيضاً تأمين المصارف اللازمة. و من المهم اجراء تحليل ملائم للتربة و ذلك لكامل الطبقة المراد رصها حيث أن الحبيبات الصغيرة قد تؤدي إلى إعاقة التصريف و أيضاً فإن طبقة رقيقة من الغضار أو كمية من مادة ذات تماسك قد تؤدي إلى منع التسرب المطلوب للماء المسامي و تمنع حركة الجزيئات. العمق الفعال للرص عادة مساوي لطول الشحنة المتفجرة.

### خطوات العمل:

1. يتم ادخال الأنابيب في الموقع و إلى العمق المطلوب باستعمال احدى الطرق كالاهتزاز أو الضخ أو أية طريقة مناسبة.
2. يتم زرع الشحنات المتفجرة ضمن الأنابيب.
3. تردم الحفر.
4. يتم تفجير الشحنات وفق تسلسل مدروس مسبقاً.

### أنواع الشحنات الممكن استعمالها:

* شحنات نقطية موضعية
* شحنات بشكل عمود يمتد على كامل طول الطبقة المراد رصها
* شحنات بشكل أعمدة قصيرة تسمى Dicks

إن الاجراءات الواجب اتباعها و مخطط التفجير و توزيع المتفجرات و التسلسل الزمني هي بشكل عام تجريبية.

### الارشادات و التوجيهات

قدم Hansbo (1983) الارشادات التالية:

1. يجب وضع المتفجرات على عمق 1/2 – 3/4 من العمق المراد رصه و لا تقل بأي حال عن 1/4 هذا العمق.
2. يترواح التباعد بين حفر التفجير 5-15 متر و لا يقل بأي حال عن 3 متر.

## أنظمة التصريف:

إن التفكير المسبق في تأمين مسارات تصريف مناسبة و إدخالها ضمن برنامج تحسين التربة للموقع المدروس يساعد بشكل كبير على التخلص من مشاكل ضغط الماء المسامي المتزايد أثناء الزلزال. و بما أن الاشباع هو شرط أساسي لحدوث التميع فإن تجفيف الموقع يمكن أن يلغي امكانية حدوث التميع كلياً. و للتقليل من امكانية حدوث التميع لابد أن تتمكن مسارات التصريف من تبديد ضغط الماء المسامي بشكل أسرع من عملية توليده. و تستعمل هذه الطريقة عادة مع إحدى الطرق السابقة و ذلك لزيادة فعالية الطريقة المعتمدة و تقليل الأضرار.

المصارف تؤمن مسارات تصريف صنعية تعزز المسارات الطبيعية للتصريف و ذلك لتسريع عملية تصريف الضغط و لتقصير المسارات لجعل المياه تصعد إلى سطح التربة. تتضمن الخيارات المتاحة للتصريف كل من deep pumping المضخات العميقة، pressure relief wells آبار تخفيف الضغط، ditches الأقنية و الخنادق، Upstream blanket، plastic liners، بالإضافة إلى أنظمة التصريف مثل Wick drains، Prefabricated drains، و المصارف الرملية أو البحصية sand or gravel drains.

يجب أن تكون نفاذية مسار التصريف أكبر من نفاذية التربة المحيطة حتى يعمل المصرف بالشكل الصحيح. و تختلف نفاذية التربة عادة ما بين نفاذية شاقولية و نفاذية افقية لذلك فإن مسارات التصريف يجب أن ترتب حسب الحجم بحيث لا تمنع فقط piping في التربة المحيطة بل لتؤمن أيضاً امكانية الحركة للجزيئات بدون إعاقة.عادة ما تنفذ المصارف بشكل شبكة و تنفذ أيضاً شبكة تصريف علوية لتأمين تصريف المياه الصاعدة أثناء حدوث الزلازل. لابد من مراقبة المصارف بحيث لا تنسد اثناء عملية التنفيذ و التأكد من أنها قادرة على تصريف الكمية المطلوبة من المياه و بالسرعة المطلوبة.



Fig9مسارات التصريف

إن استعمال أنظمة التصريف لتقليل مخاطر التميع لا يكون كافي في حال: النفاذية قليلة، التربة ذات انضغاطية عالية، مقاومة ضعيفة على التميع، احتمال وقوع زلازل شديدة، أو في حال كانت الطبقة القابلة للتميع ذات سماكة كبيرة.

و بما أن التصريف لا يحسن من مواصفات التربة و هي فقط طريقة للتخلص من ضغط الماء المسامي فلابد من توقع هبوطات تفاضلية بعد حدوث الزلازل. و المنشآت المقامة على ترب تعتمد على المصارف بشكل رئيسي للتخلص من ضغط الماء المسامي يجب أن تصمم بحيث تملك المطاوعة اللازمة لمقاومة أثر الهبوطات الكبيرة و التفاضلية.

# الخلاصة:

تم في هذا البحث استعراض أهم طرائق الرص العميق المستخدمة لتحسين مواصفات الترب القابلة للتميع و يتضح مما سبق أن لكل طريقة ميزاتها و عيوبها و مجال استخدام ولاختيار طريقة دون غيرها لابد من أخذ العوامل التالية في الحسبان:

* إجراء التجارب الحقلية والتحريات الجيوتكنيكية للموقع المدروس.(SPT, CPT، تجارب التحميل...)
* الأثر البيئي للطريقة المختارة.
* التأثيرات على المنشآت المجاورة.
* الكلفة الاقتصادية
* تكنولوجيا التنفيذ و مدة توفرها و سهولة تطبيقها.
* درجة الموثوقة المطلوبة أو بعبارة أخرى أهمية المنشأ.
* عمق المعالجة المطلوب.
* ملائمة الطريقة المختارة لخواص التربة المطلوب معالجتها.

# المراجع

Practical Foundation Engineering Handbook, Brown, Robert Wade, McGraw-Hill, Inc., New York, NY 1995

Soil Remediation Techniques for Reduction of Earthquake-Induced Liquefaction, Barbara S. Moffat, PE, Jacobs Civil Inc. American Society of Civil Engineers2006

Handbook on Liquefaction Remediation of Reclaimed Land, *Edited by Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Japan; Translated by US Army Corps of Engineers, USA*, A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands (1997).