



Doctoral Thesis

Bodenmechanische Eigenschaften Schweizerischer Tone und toniger Kiese bei Kontakt mit Deponiesickerwässern

Author(s):

Maha, Dariusch

Publication Date:

1994

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000959358> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 10737

**Bodenmechanische Eigenschaften Schweizerischer Tone
und toniger Kiese bei Kontakt mit Deponiesickerwässern**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

vorgelegt von

Dariusch Maha
Dipl. Geologe, Universität Zürich

geboren am 5. Januar 1954
Iran



Angenommen auf Antrag von:
Prof. H.-J. Lang, ETH Zürich, Referent
Dr. F. T. Madsen, ETH Zürich, Korreferent

1994

4.7.94

U. J. [Signature]

12. Juli 1994

Zusammenfassung

Für den Aufbau von Basis- bzw. Oberflächenbarrieren in Kehrrechtdeponien wurden verschiedene, hauptsächlich aus der Schweiz stammende, Materialien und Materialgemische ausgewählt. Diese Barrieren sollen langfristig den Schutz des Grundwassers vor dem Zutritt von Sickerwasser aus Deponien gewährleisten. Bei den untersuchten Grundmaterialien handelte es sich um einen tonigen Kies und um einen siltigen Kies. Zur Verbesserung der hydraulischen Eigenschaften und der Diffusion wurden diesen Materialien verschiedene Tone in unterschiedlichen Dosierungen zugemischt. Als Tone kamen ein Calcium-Bentonit (Montigel), die einheimischen Tone Opalit und Lohnton sowie ein mechanisch entwässerter Kieswaschschlamm zum Einsatz.

An allen Ausgangsmaterialien wurden die mineralogischen, bodenmechanischen und hydraulischen Kennwerte ermittelt. Die Untersuchungen wurden ebenfalls für die Mischungen aus dem tonigen Kies bzw. dem siltigen Kies mit einer bestimmten Tondosierung durchgeführt. Weiter wurden Proctorversuche durchgeführt, um den optimalen Wassergehalt und das maximale Trockenraumgewicht der Materialien zu bestimmen. Durch mechanische Verdichtung der Proben wurde eine Verminderung der Durchlässigkeit und der Setzungsempfindlichkeit angestrebt, um so die bodenmechanischen Eigenschaften der eingesetzten Böden zu verbessern. Es war damit möglich, die Probenkennwerte in Abhängigkeit des optimalen Verdichtungszustandes und der Tondosierung darzustellen.

Durchlässigkeitsversuche wurden sowohl mit Wasser als auch mit zwei synthetischen Deponiesickerwässern durchgeführt. Die synthetischen Sickerwässer entsprachen in den Hauptkomponenten den Analysen vergleichbarer Sickerwässer aus Kehrrechtdeponien.

Mit den synthetischen Sickerwässern wurden auch Batch-Versuche durchgeführt, um festzustellen, ob aus den Materialien Ionen ausgelaugt oder angelagert wurden. Nach Versuchsablauf wurden die Materialien auf Veränderungen der Mineralogie, der Kornverteilung, der Plastizität, der Durchlässigkeit sowie des Scherverhaltens hin untersucht.

Am tonigen Kies, am siltigen Kies und an den Tonen Calcium-Bentonit, Opalit und Lohnton sowie am mechanisch entwässerten Kieswaschschlamm wurden Diffusionsversuche mit den synthetischen Sickerwässern durchgeführt, um in den untersuchten Materialien die Rückhaltefähigkeit und Eindringgeschwindigkeit von Chemikalien feststellen zu können.

Die erhaltenen Werte aus den Batch-Versuchen zeigten, dass der Calcium-Bentonit aus kaliumreichem Sickerwasser bis zu ca. 34 % der Kaliumionen, die Tone Opalit, Lohnton und der mechanisch entwässerte Kieswaschschlamm ca. 10 - 20 % der Kaliumionen adsorbieren.

Die Untersuchungen ergaben weiter, dass der Opalit, der Lohnton und der mechanisch entwässerte Kieswaschschlamm 10 - 24 % der Natrium- und Kalium-Ionen sowie 78 - 99 % der Eisen- und Zink-Ionen adsorbieren. In den beiden Kiesen weist die Fraktion < 0.063 mm eine etwas geringere Ionensorptionsfähigkeit auf.

Die Resultate aus den Ödometerversuchen zeigten, dass sich die Durchlässigkeit der untersuchten Materialien nur in geringem Masse verändert, wenn verschiedene Sickerwässer eingesetzt werden.

Der Vergleich zwischen den beiden untersuchten Grundmaterialien zeigte, dass die Durchlässigkeit des tonigen Kieses schon mit kleinen Tondosierungen wesentlich reduziert werden kann. Um eine gleiche Reduktion der Durchlässigkeit des siltigen Kieses zu erreichen, sind grössere Tondosierungen notwendig.

Die Barrierenwirkung des mechanisch entwässerten Kieswaschschlammes ist äusserst gering. Der siltige Kies weist bei einer Dosierung von 20 % des mechanisch entwässerten Kieswaschschlammes eine noch zu hohe Durchlässigkeit von $k > 10^{-9}$ m/s auf. Der Grund hierfür liegt im kleineren Anteil an der Tonfraktion (< 0.002 mm) dieses Materials im Vergleich zu Calcium-Bentonit und Opalit. Ausserdem weist der mechanisch entwässerte Kieswaschschlamm eine kleinere spezifische Oberfläche und eine kleinere Kationenaustauschkapazität auf.

Die Resultate aus den Durchlässigkeitsversuchen ergaben, dass der tonige Kies bei einer Tondosierung von 3.3 % Calcium-Bentonit bzw. 3.7 % Opalit, der siltige Kies bei einer Tondosierung von 4.7 % Calcium-Bentonit bzw. 14.8 % Opalit einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k \leq 10^{-9}$ m/s erreichen. Mit der Mischung aus tonigem Kies und 5.8 % Calcium-Bentonit sowie der Mischung aus siltigem Kies und 9.0 % Calcium-Bentonit konnten sogar Werte im Bereich von $k \leq 10^{-10}$ m/s erzielt werden. Alle Angaben über die Dosierung sind in Gewichtsprozenten angegeben.

Die unterschiedlichen Auswirkungen der zugemischten Tone auf die Eigenschaften der Mischungen resultieren aus ihrem unterschiedlichen Anteil an der Fraktion < 0.002 mm und an quellfähigen Tonmineralien (Smectit), von denen der Calcium-Bentonit den grössten Anteil aufweist.

Ein theoretischer Porenverfüllungsgrad von $PVG = 100\%$ wird im tonigen Kies GC mit einer Ca-Bentonitdosierung von 6.8 % bzw. mit einer Opalitdosierung von 22.5 % erreicht. Im siltigen Kies GM sind Tondosierungen von 7.4 % Ca-Bentonit bzw. 25.0 % Opalit erforderlich, um einen Porenverfüllungsgrad von $PVG = 100\%$ zu erhalten.

Für die Mischung aus tonigem Kies GC und Ca-Bentonit wurden bei einer Tondosierung von 5 % ein maximaler Reibungswinkel von 40.1° und ein Restscherwinkel von 39.0° gemessen. Beim Einbau des Materials in die Triaxzelle wurde ein Porenverfüllungsgrad von 71.3 % ermittelt.

Die Mischung aus tonigem Kies GC und 10 % Ca-Bentonit erreichte einen maximalen Reibungswinkel von 23.3° und einen Restscherwinkel von 22.4° . Der Porenverfüllungsgrad beim Einbau des Materials in die Triaxzelle betrug 105.5 %.

Für die Mischung aus siltigem Kies GM und 5 % Ca-Bentonit wurden ein maximaler Reibungswinkel von 41.3° und ein Restscherwinkel von 36.4° gemessen. Beim Einbau des Materials in die Triaxzelle betrug der Porenverfüllungsgrad 66.8 %.

Die Mischung aus siltigem Kies GM und 10 % Ca-Bentonit erreichte einen maximalen Reibungswinkel von 36.6° und einen Restscherwinkel von 36.3° . Der Porenverfüllungsgrad beim Einbau des Materials in die Triaxzelle betrug 97.7 %.

Für den tonigen Kies GC und einer Opalitdosierung von 20 % wurde ein maximaler Reibungswinkel von 25.2° gemessen. Der minimale Reibungswinkel erreichte 24.1° . Die Restscherfestigkeit dieser Mischung ist etwa gleich gross wie die maximale Scherfestigkeit von reinem Opalit. Der Porenverfüllungsgrad beim Einbau des Materials in die Triaxzelle betrug 84.1 %.

Für die Mischung aus siltigem Kies GM und einer Opalitdosierung von 20 % resultierte ein maximaler Reibungswinkel von 38.1° und ein Restscherwinkel von 37.7° . Beim Einbau des Materials in die Triaxzelle wurde ein Porenverfüllungsgrad von 86.0 % ermittelt.

Für die Mischungen, in denen aufgrund der Tondosierung ein Porenverfüllungsgrad von $PVG \geq 100\%$ erreicht wird, ergeben sich zwangsläufig kleinere Scherfestigkeiten, da in diesem Bereich die tonige Matrix für die Festigkeit massgebend wird.

Es hat sich erwiesen, dass das Zumischen von Calcium-Bentonit bzw. Opalit die Höchst- und Restscherfestigkeit des siltigen Kieses in viel geringerem Masse reduziert, als dies beim tonigen Kies der Fall ist.

Dieser unterschiedliche Einfluss der Tondosierung auf die Scherfestigkeitseigenschaften der beiden Grundmaterialien ist auf die unterschiedliche Korngrössenverteilung des tonigen Kieses GC bzw. siltigen Kieses GM zurückzuführen. Auch weist der tonige Kies GC schon einen höheren Tonanteil < 0.002 mm von 3.9 % auf. Der geringere Tonanteil < 0.002 mm des siltigen Kieses GM beträgt 2.3 %.

Summary

Different materials and material mixtures occurring in Switzerland have been selected to investigate their potential qualification for the construction of barriers at the base and surface of waste depositories. These materials should guarantee the long term protection of groundwater against the leaking of water from the depositories. The investigated basic materials were an argillaceous gravel and a silty gravel. Different clays were added in proportional amounts to improve the hydraulic properties. The investigated clays were Calcium-Bentonite (Montigel), the local Opalinus-Clay, Lohn-Clay and mechanically drained gravel-silt.

For each original material the mineralogical, soilmechanical and hydraulic data were determined. The same experiments were made with mixtures consisting of argillaceous gravel and silty gravel, in each case with different amounts of clay. This proceeding permitted to display the data of the samples in relation to the optimum compaction state and amount of clay.

Proctor compaction tests were made to determine the optimum water content and dry density of the materials. To reduce the hydraulic conductivity and to improve the soilmechanical properties, the investigated samples were mechanically compacted.

Hydraulic conductivity experiments have been carried out with water as well as with two synthetic leachates. To investigate the speed of absorption and the capacity of retention of chemicals in the tested materials, diffusion experiments have been performed with the two gravels and the added clays Calcium-Bentonite, Opalinus-Clay, Lohn-Clay and mechanically drained gravel-silt in contact with the leachates.

The results from the Batch-experiments showed that Calcium-Bentonite absorbs approximately 34 % of the potassium ions from the leachates. Opalinus-Clay, Lohn-Clay and the mechanically drained gravel-silt can absorb 10 - 20 % of these ions.

The data yielded by the oedometer experiments showed, that the hydraulic conductivity of the original materials is not significantly affected by the two synthetic leachates, except for Calcium-Bentonite.

The hydraulic conductivity of the argillaceous gravel can be significantly reduced by adding only little quantities of clay. In the silty gravel, higher quantities of clay are required to reach a similar reduction in hydraulic conductivity.

A hydraulic parameter of $k \leq 10^{-9}$ m/s was obtained in the argillaceous gravel by adding 3.3 % Calcium-Bentonite or 3.7 % Opalinus-Clay and in the silty gravel by 4.7 % Calcium-Bentonite or 14.8 % Opalinus-Clay.

In the argillaceous gravel a grade of porosity filling of 100 % was reached by adding 6.8 % Calcium-Bentonite or 22.5 % Opalinus-Clay. For the silty gravel 7.4 % Calcium-Bentonite or 25.0 % Opalinus-Clay were required to obtain the same grade of porosity filling.

The mixture of argillaceous gravel and 10 % Calcium-Bentonite reached a maximum shear strength of 23.3° and a residual shear strength of 22.4°. The grade of porosity filling at the beginning was 105.5 %. The mixture with 5 % Calcium-Bentonite yielded a maximum shear strength of 40.1° and a residual shear strength of 39.0°. The grade of porosity filling at the beginning amounted to 71.3 %.

The mixture of silty gravel and 5 % Calcium-Bentonite yielded a maximum shear strength of 41.3° and a residual shear strength of 36.4°. The grade of porosity filling at the beginning amounted to 66.8 %.

The mixture of silty gravel and 10 % Calcium-Bentonite reached a maximum shear strength of 36.6° and a residual shear strength of 36.3°. The grade of porosity filling at the beginning was 97.7 %.

The addition of 20 % Opalinus-Clay to the argillaceous gravel resulted in an increase of the maximum shear strength to 25.2°. The grade of porosity filling was 84.1 %. The minimum shear strength reached 24.1°. The residual shear strength of this mixture is equivalent to the maximum shear strength of pure Opalinus-Clay.

The mixture of silty gravel and 20 % Opalinus-Clay reached a maximum shear strength of 38.1° and a residual shear strength of 37.7°. The grade of porosity filling at the beginning was 86.0 %.

In mixtures in which by the addition of clay the grade of proosity filling reaches $PVG \geq 100\%$ the shear strenght is automtically low. As in these mixtures the argillaceous matrix influences the stability of the materials.

Calcium-Bentonite and Opalinus-Clay reduced the maximum shear strenght of the silty gravel less than the shear strength of the argillaceous gravel.

This is due to the different grain-size distribution of the two basic materials. The argillaceous gravel has also a higher quantity of clay than the silty gravel.