



Doctoral Thesis

The Effect of flowing water on cohesive beds

Author(s):

Abdel-Rahman, Naim Mohamed

Publication Date:

1963

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000088475> →

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](#).

Prom. Nr. 3263

The Effect of Flowing Water on Cohesive Beds

THESIS

PRESENTED TO

THE SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ZURICH

FOR THE DEGREE OF

DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

BY

Naim Mohamed Abdel-Rahman

B. Sc. Civil Eng.

Citizen of the U.A.R.

Accepted on the Recommendation of
Prof. G. Schnitter and Prof. Dr. H. Grubinger

VIII. Summary

1. The results obtained in the presented work were achieved by constructing a special model and by developing a suitable procedure for carrying out the required experiments.

2. The study concerning the effect of the flowing water on the beds of open channels laid out in pure cohesive soils was found to depend on two main factors:

- a) The active force, from the fluid.
- b) The passive force, from the soil. This force was considered to be the vane shear-strength of the bed material.

Other factors which might have an effect on the erosion phenomenon, e. g. grain-shape and the specific gravity of the soil, were not taken into consideration in our investigations.

3. The erosion in such channels was found to be due to the cavitation and abrasion actions.

4. The results of the experiments with nearly constant tractive stresses of water during the flow period showed that the erosion of such beds reaches a constant value when the steady state is attained. In the light of the results obtained a satisfactory explanation for such phenomenon was given.

5. The resulting mean eroded depth (t_m) at the steady state could be determined by substitution in the following obtained equation:

$$\frac{(\gamma_w R_m J_e)^2}{S} = P + b' \gamma_w t_m. \quad (a)$$

Where: $(\gamma_w R_m J_e)$ represents the given tractive stress of water, and S denotes the final vane shear-strength of the bed soil.

According to the conditions of our experiments the most satisfactory applicable ranges of equation (a) are:

$$\begin{aligned} (\gamma_w R_m J_e) & \text{ between } 0.746 \cdot 10^{-4} \text{ and } 4.40 \cdot 10^{-4} \text{ t/m}^2, \\ S & \text{ between } 0.90 \text{ and } 2.81 \text{ t/m}^2, \\ \text{and } J_s & \text{ greater than zero.} \end{aligned}$$

According to our case: $P = 0.20 \cdot 10^{-8} \gamma_w \text{ t/m}^2$ and $b' = 4.57 \cdot 10^{-6}$.

6. From the following relation:

$$\tau_k^2 = P S, \quad (b)$$

the tractive resistance of such beds could be determined. This gives the critical

value of the tractive stress of the flowing water at the beginning of the bed erosion. In our case $P = 0.20 \cdot 10^{-8} \gamma_w$.

7. Since our experiments were with constant tractive stresses of water during the flow period, the applicability of the obtained equation (a) to natural channels with variable discharges throughout the year could be the subject of further studies.

8. It was observed that the bed surface at the steady state attains a certain form of roughness. According to the resulting surface the energy of water capable of erosion is annihilated. Therefore, an attempt was made to find a condition for the stability of these types of beds depending on the absolute roughnesses (ϑ_m) of their surfaces. The obtained condition is represented by:

$$\frac{\rho u_*^2}{S} = 0.83 \cdot 10^{-4} + 2.90 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\gamma_e'' \vartheta_m J_s}{\frac{\mu u_*}{\vartheta_m}} \right). \quad (c)$$

Where: J_s , and ϑ_m are greater than zero.

9. Considering the important factors which affect the coefficient of bed roughness (K_s), namely ϑ_m , R_m and J_s , substitution in the following equation gives satisfactory results:

$$K_s = 7.14 \cdot \frac{g^{1/2}}{(\vartheta_m R_m J_s)^{1/12}}. \quad (d)$$

10. Before generalizing the end formulæ, two facts should be here emphasized:

- a) The above-mentioned results were obtained from experiments made on a certain type of clay, namely Opalinuston, which belongs to the illite group.
- b) The used value of the shear-strength of the bed was determined with a vane borer. Other methods which are known in soil mechanics may lead to different values of this shear-strength. This circumstance should be taken into consideration when we apply the obtained formulæ to other similar problems.

Zusammenfassung

1. Die Resultate der vorliegenden Arbeit wurden an Hand von Versuchen in einem Spezialmodell und mit einer besonders für das kohäsive Sohle-Material entwickelten Arbeitsweise erhalten.

2. Die Untersuchungen über die Wirkung von fließendem Wasser auf reinen

kohäsiven Sohlen wurden in Abhängigkeit der folgenden, für den erwähnten Vorgang als hauptsächlich maßgebend erkannten Faktoren betrachtet:

- a) Die aktive Kraft, welche von der Flüssigkeit ausgeübt wird (genannt die Schleppspannung).
- b) Die passive Kraft, oder der Widerstand des Bodens. Als maßgebend für diese Kraft wurde die Flügelscherfestigkeit des Bodens angenommen.

Weitere Faktoren mit möglichem Einfluß auf das Erosionsphänomen, wie z. B. die Kornform und das spezifische Gewicht, wurden in der Untersuchung nicht einbezogen.

3. Man hat festgestellt, daß die Erosion oder Abtragung eines Kanalbettes aus reinem kohäsiven Material infolge der Einwirkungen der Kavitation und des Abriebs entsteht.

4. Die Ergebnisse von Versuchen mit annähernd konstanter Schleppspannung zeigten, daß die Erosion einem Ende zustrebt und dann in einen Beharrungszustand übergeht.

Auf Grund der erhaltenen Resultate konnte eine befriedigende Erklärung dieses Phänomens gegeben werden.

5. Für den Beharrungszustand kann die entstehende mittlere Erosionstiefe durch die folgende Gleichung ermittelt werden:

$$\frac{(\gamma_w R_m J_e)^2}{S} = P + b' \gamma_w t_m, \quad (a)$$

wobei $(\gamma_w R_m J_e)$ die gegebene Schleppspannung
und (S) die gegebene Endflügelscherfestigkeit des Bodens darstellen.

Die durch die Versuche belegten Gültigkeitsbereiche liegen für:

$$\begin{aligned} (\gamma_w R_m J_e) & \text{ zwischen } 0.746 \cdot 10^{-4} \text{ und } 4.40 \cdot 10^{-4} \text{ t/m}^2, \\ (S) & \text{ zwischen } 0.90 \text{ und } 2.81 \text{ t/m}^2 \\ \text{und } J_s & \text{ größer als null.} \end{aligned}$$

Für unseren Fall: $P = 0.20 \cdot 10^{-8} \gamma_w \text{ t/m}^2$, $b' = 4.57 \cdot 10^{-6}$.

6. Durch die Gleichung:

$$\tau_k^2 = P S \quad (b)$$

kann man bei bekanntem (S) die kritische Schleppspannung ermitteln, bei welcher die Erosion des Bettes anfängt. Für unseren Fall $P = 0.20 \cdot 10^{-8} \gamma_w$.

7. Da die Untersuchungen nur bei zeitlich konstant bleibenden hydraulischen Bedingungen durchgeführt wurden, bleibt der Nachweis der Gültigkeit der Gleichung (a) bei Kanälen mit variablem Abfluß weiteren Forschungen vorbehalten.

8. Es wurde beobachtet, daß beim Erreichen des Beharrungszustandes die

Oberfläche der Sohle eine bestimmte Rauheitsform annimmt. Aus dieser resultiert eine die Erosionsenergie aufhebende Energievernichtung. Es wurde deshalb versucht eine von der absoluten Oberflächenrauigkeit (ϑ_m) abhängige Stabilitätsbedingung aufzustellen. Diese Bedingung lautet:

$$\frac{\rho u_*^2}{S} = 0.83 \cdot 10^{-4} + 2.90 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\gamma_e'' \vartheta_m J_s}{\mu u_*} \right), \quad (c)$$

wobei: $J_s > 0$ und $\vartheta_m > 0$.

9. Eine befriedigende Resultate ergebende Gleichung für den Rauheitskoeffizienten (K_s), in welcher die wesentlichsten diesen Wert beeinflussenden Größen (ϑ_m , R_m und J_e) berücksichtigt wurden, lautet:

$$K_s = 7.14 \cdot \frac{g^{1/2}}{(\vartheta_m R_m J_e)^{1/12}}. \quad (d)$$

10. Bevor zur Verallgemeinerung der Endformeln geschritten wird, sollen hier zwei Punkte hervorgehoben werden:

- a) Die oben erwähnten Resultate erhielten wir mittels Versuchen an einer bestimmten Tonart, dem Opalinuston der Illit-Gruppe.
- b) Der in dieser Arbeit verwendete Wert für die Scherfestigkeit des Bodens wurde mittels der Flügelsonde bestimmt. Andere bekannte Methoden der Bodenmechanik könnten zu verschiedenen Werten der Scherfestigkeitsgröße führen. Diesem Umstand ist bei der Anwendung auf andere Beispiele Rechnung zu tragen.

References

1. *Sundborg, Åke*. "The River Klaräven. A study of fluvial process." Meddelanden Från Uppsala Universitets Geografiska Institution, Ser. A. No. 115, Särtryck Ur Geografiska Annaler, Häfte 2—3, Essette Aktiebolag, Stockholm 1956.
2. *Irving, S. Dunn, A. M.*, ASCE. "Tractive Resistance of Cohesive Channels." Journal of The Soil Mechanics and Foundation Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering, Vol. 85, No. SM (3), June 1959.
3. *Daryl, B., Simons, M., Maurice, L., Albertson, M.*, ASCE. "Uniform Water Conveyance Channels in Alluvial Material." Journal of The Hydraulic Division, Proc. of The American Society of Civil Engineering, Vol. 86, No. HY (5), May 1960.
4. *Bogárdi, John L.* "Channel Stability and Sediment Movement." Amministrazione Energia Elettrica, No. (9), Milano 1959.
5. *Samarin, E. A.* „Strömungs-Untersuchungen in Kanälen.“ Verlag Technik, Berlin 1952, Moskau 1951.