

MASTERARBEIT

Ermittlung des statischen Lastabtragungsverhaltens des Schotters



Bearbeitung:
cand.-Ing. Ke Deng

Betreuung:
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler
Dr.-Ing. Ulf Gerber

1. Aufgabenstellung

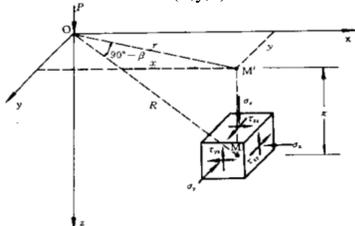
Die vertikale Tragfähigkeit des Eisenbahnschotters wird durch den inneren Reibungswinkel wesentlich beeinflusst. Dieses Verhalten soll an einem Schüttkegel aus Sand experimentell nachgewiesen und quantifiziert werden. Dazu sind folgende Einzelaufgaben zu lösen:

- Beschreibung der Grundlagen des Tragverhaltens von Schotter in einem Schüttkegel:
 - Beschreibung der vertikalen Festigkeit in Abhängigkeit von der horizontalen Stützspannung
 - Vereinfachte Beschreibung der vertikalen Lastabtragung auf der Grundlage eines Lastabtragungskegels. Die horizontale Verteilung der vertikalen Spannungen im Lastabtragungskegel ist durch einen analytischen Ansatz phänomenologisch zu beschreiben.
- Um den Zusammenhang zwischen der Druckkraft und dem Widerstand zu klären, findet ein Experiment statt. Es ist die Funktion dieses Messsystems darzustellen, insbesondere die erforderliche Kalibrierung der Drucksensoren. Und Beschreibung dieses Zusammenhangs durch einen Ansatz.
- Beschreibung der Grundlagen des Messsystems des statischen Lastabtragungsverhaltens im Schüttkegel. Das Messsystem besteht aus 20 Drucksensoren am Fuß und 19 Drucksensoren am Kopf des Schüttkegels zur Ermittlung der vertikalen Spannungsverteilung.
- Versuchsdurchführung unter einer quasistatischen Belastung, wobei die äußere Belastung, die äußere vertikale Verschiebung sowie die inneren vertikalen Spannungen mittels der 39 Drucksensoren zeitsynchronisiert aufzuzeichnen sind.
- Rechnen und Analyse

2. Theorie

Boussinesqslösung

Von Boussinesqstheorie kann man wissen, dass die vertikale Spannung σ_z in Abhängigkeit zu den Koordinaten (x,y,z) steht.

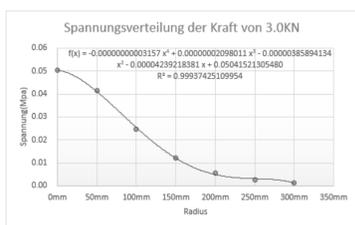


Und die vertikale Spannung σ_z :

$$\sigma_z = \frac{P}{2\pi} \left[\arctan \frac{m}{n\sqrt{1+m^2+n^2}} + \frac{mn}{2\sqrt{1+m^2+n^2}} \left(\frac{1}{m^2+n^2} + \frac{1}{1+n^2} \right) \right]$$

$m=L/B$; $n=z/B$
L:Längsseite des Rechtecks
B:Kurzseite des Rechtecks
I :Einflusskoeffizient

Mit Hilfe des Überlagerungssatzes können wir die vertikale Spannung jedes Punktes berechnen. Dann mit dieser Spannungspunkte können wir eine Trendlinie darstellen.



$$\sum F = 2\pi \int_0^{300} xf(x)dx = 3179.17N = 3.18kN$$

Sowie die Fehler:

$$f = \frac{3.18 - 3.00}{3.00} = 0.06 = 6\%$$

Dieses Ergebnis ist erträglich.

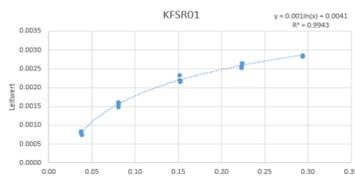
3. Kalibrierung

Zusammenhang zwischen dem Widerstand des Sensors und Leitwert (Sensor 01)

$$L = \frac{1}{R}$$

L: Leitwert
R: Widerstand des Sensors

Zusammenhang zwischen der vertikalen Spannung und Leitwert (Sensor 01)



Nennen wir diese Parameter a und b.

$$y = a \cdot \ln(x) + b$$

Parameter jedes Sensors

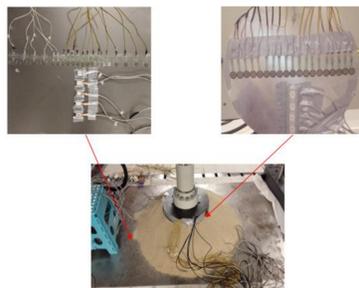
FSR	1	2	3	4	5	6	7
a=	0.0009	0.0011	0.0011	0.0012	0.0011	0.0012	0.0010
b=	0.0040	0.0042	0.0044	0.0044	0.0046	0.0044	0.0043
FSR	8	9	10	11	12	13	14
a=	0.0011	0.0010	0.0011	0.0012	0.0011	0.0012	0.0009
b=	0.0045	0.0046	0.0043	0.0047	0.0048	0.0049	0.0045
FSR	15	16	17	18	19	20	21
a=	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0011	0.0012	0.0012
b=	0.0048	0.0047	0.0046	0.0045	0.0045	0.0047	0.0044
FSR	22	23	24	25	26	27	28
a=	0.0011	0.0010	0.0013	0.0012	0.0013	0.0013	0.0013
b=	0.0048	0.0039	0.0046	0.0047	0.0049	0.0052	0.0046

Zusammenhang zwischen der vertikalen Spannung und Leitwert

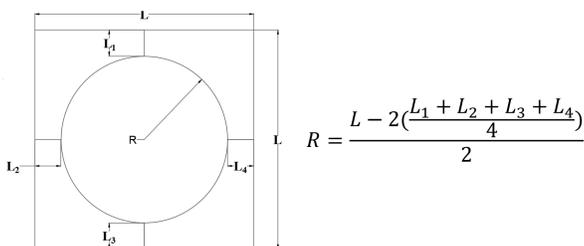
$$\bar{a} = 0.00115; \bar{b} = 0.00455 \rightarrow y = 0.00115 \cdot \ln(x) + 0.00455$$

4. Aufbau des Experiments

Aufbau des Versuchs

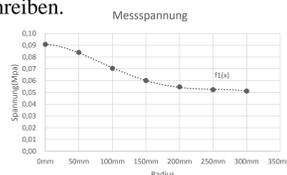


Radius der Grundfläche des Sandkegels



5. Optimierung des Messwertes

Mit Hilfe der Messspannung können wir ein Punktdiagramm erstellen und mit den dargestellten Messspannungen können wir eine Trendlinie finden. Wir nehmen den Ansatz $f_1(x)$, um diese Trendlinie zu beschreiben.



Die Messkraft F_1 :

$$\sum F_1 = 2\pi \int_0^{180} xf_1(x)dx$$

Dann vergleichen wir die Messkraft F_1 und die tatsächliche Kraft F .

Wir können nun den Korrekturfaktor k bestimmen.

$$k = \frac{F_1}{F}$$

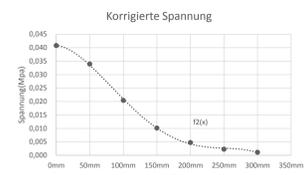
Mit diesem Korrekturfaktor k können wir die Spannungen korrigieren.

$$\sigma_k = \sigma_m / k$$

σ_k : korrigierte Spannung

σ_m : Messspannung

Daraus erhalten wir eine neue Abbildung der korrigierten Spannung. Auch hier finden eine Trendlinie und beschreiben sie mit dem Ansatz $f_2(x)$.

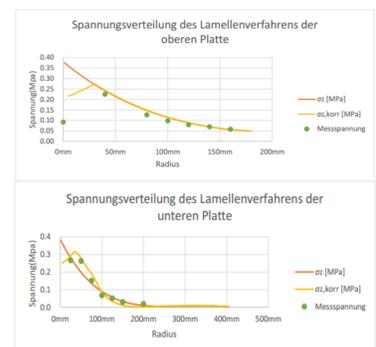


Danach berechnen wir die korrigierte Kraft F_2 und vergleichen diese Kraft mit der tatsächlichen Kraft F . Wenn die korrigierte Kraft F_2 fast gleich ist wie die tatsächliche Kraft F , ist der Ansatz $f_2(x)$ eine optimale Lösung für die vertikale Spannungsverteilung.

6. Ergebniskorrektur

Lamellenverfahren

Der Sandkegel ist ähnlich wie das Straßenbett aus Erde, das ebenfalls keine Kohäsion besitzt. Daher probieren wir das Lamellenverfahren, um diese Spannungsverteilung zu erklären.

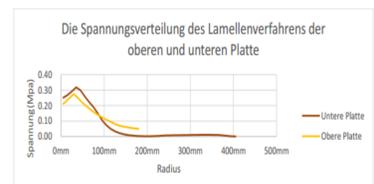


Das Ergebnis des Lamellenverfahrens passt zu diesem Experiment.

7. Zusammenfassung

Wir ermittelten die Spannungsverteilung der oberen und unteren Platte.

Diese Verteilung sieht man in den folgenden Diagrammen.



Aus der Abbildung erkennen wir, dass die Spannungen der oberen Platte im Radius von 0mm bis 75mm größer als die Spannungen der unteren Platte im Radius von 0mm bis 75mm sind. Allerdings sollte die Spannung der oberen Platte immer größer als die Spannung der unteren Platte sein, weil es bei der Druckkraftübertragung eine Dämpfung gibt. In diesem Verfahren gibt es allerdings zu viele mathematische Vermutungen, weil der Messfehler des FSR-Sensors zu groß ist und es fehlen uns auch die Spannungsverteilungen der unteren Platte im Radius von 0mm und von 150mm bis 450mm und die Spannungsverteilung der oberen Platte im Radius von 0mm und 180mm. Beim Vergleich zwischen der Messspannung im gleichen Radius haben wir auch viele große Fehler gefunden. Das bedeutet, dass wir die echte Spannungsverteilung der oberen und unteren Platte nicht bestimmen können. Bisher passt das Lamellenverfahren am besten zu unserer Messspannung und ist mindestens ein durchführbares Verfahren. Wenn wir ein besseres Ergebnis erlangen möchten, müssen wir das Experiment und das Rechnungsverfahren verbessern.