

Verformungsverhalten bei zyklischer Erddruckbeanspruchung (Displacements cyclic earth pressure loading)

Andre Filipe Pires Fernandes

Einleitung

Zyklische Erddruckbeanspruchungen waren unter anderem auch an der TU-Dresden Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Beanspruchungen dieser Art lassen sich rund um Gründungselemente der Windkraftanlagen, wo durch veränderte Windlasten und -intensitäten zyklische Belastungen auftreten, vorfinden. Im Rahmen dieser Projektarbeit wurden Böden unter zyklischer Beanspruchung untersucht. Hierbei wurden für vorgegebene horizontale Verschiebungen von Wänden, das Kraft- und Verformungsverhalten des Bodens unter Verwendung eines Erddruckmodells bestimmt (Abb. 1). Zudem wurden die Randbedingungen des Versuchskastens untersucht. Aufgrund der zahlreichen und umfangreichen Randbedingungen wurden diese letztendlich ausgiebig untersucht und zum Schwerpunkt der Arbeit. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe von fotografischen Aufnahmen. Verschiebungen einzelner Zyklen wurden zunächst festgehalten und im Nachgang mit der PIV („Particle Image Velocimetry“) – Methode ausgewertet. Hierbei wurde das im Jahre 2015 entwickelte Programm GeoPIV-RG genutzt.

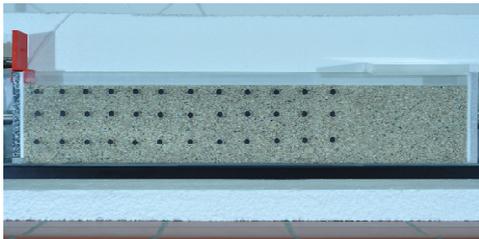


Abb. 1: eingebauter Versuchsstand

„Particle Image Velocimetry“ - Methode

Die „PIV“- Methode ist eine ursprünglich aus der Strömungsmechanik kommende Messmethode, die 1991 durch R.J. Adrian entwickelt wurde. Wie bei anderen photogrammetrischen Verfahren handelt es sich hierbei um eine berührungslöse optische Messmethode. Für dieses Verfahren werden, unter Anwendung verschiedener Algorithmen, Partikelpositionen in aufeinanderfolgenden Bildern gesucht und miteinander verglichen (Abb. 2). Aus der resultierenden Positionsveränderung lassen sich Verschiebungsvektoren bestimmen. Dieses Verfahren wird vor allem bei sehr kleinen Verformungen und Verformungsbereichen angewendet.

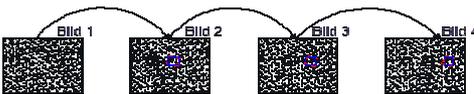


Abb. 2: Funktionsweise der „PIV“- Methode [1]

Erddruckversuche

Versuchsböden

Für die Erddruckversuche wurden zwei verschiedene Sande verwendet. Zum einen der „Dresdner Sand“ (DS) und zum anderen der „Filtersand“ (FS). Beide Sande ließen sich als enggestufte Sande (SE) klassifizieren. Wobei der Dresdner Sand einen größeren Feinsandanteil (57% zu 0,7%) besitzt.

Versuchsstand und -durchführung

Die durchgeführten Experimente wurden mit dem im Institut für Geotechnik vorhandenen Erddruckkasten durchgeführt. Zur Überprüfung der Messgenauigkeiten von GeoPIV-RG und zur Untersuchung der Randbedingungen des Versuchskastens wurden insgesamt vier monotone Erddruckversuche, im dichten Lagerungszustand, durchgeführt. Dafür wurden beide Bodenmaterialien, Filtersand und Dresdner Sand, in Kombination mit Schleifpapier (mSP) bzw. ohne Schleifpapier (oSP) untersucht. Für die Erddruckversuche wurden in 0,5 mm Intervallen ein Weg von insgesamt 25 mm pro Strecke gefahren. Die Auswertung erfolgte über Bildaufnahmen die während des Versuches automatisiert aufgenommen wurden.

Versuchsauswertung

Genauigkeitsüberprüfung

Für die Genauigkeitsüberprüfung wurden der von der Verschiebungswand zurückgelegte Weg, einmal mit Hilfe von Wegaufnehmern und zum anderen mit Hilfe von GeoPIV-RG, gemessen. Aus beiden Werten wurden zur quantitativen Bewertung die relative Abweichung aus der Differenz zwischen den Messergebnissen der Wegaufnehmer und der Subsetverschiebung aus GeoPIV-RG bestimmt (Abb. 3).

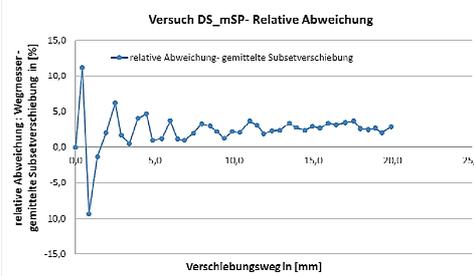


Abb. 3: relative Abweichung Wegaufnehmer – geoPIV-RG (DS_oSP)

Reibungsuntersuchung – Fußplatte

Mit Hilfe von GeoPIV-RG wurden die Randbedingungen des Versuchskastens ermittelt. In den durchgeführten Versuchen wurde der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit des Versuchskastens auf horizontale Verschiebungen des Versuchsbodens untersucht. Im ursprünglichen Zustand besaß der Versuchskasten eine sehr glatte Oberfläche, die im späteren Verlauf der Versuchsreihe durch das Einsetzen von Schleifpapier aufgeraut wurde. Hier werden diese beiden Ausgangssituationen (ohne Schleifpapier und mit Schleifpapier) verglichen (Abb. 4).

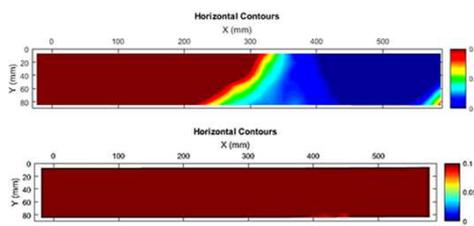


Abb. 4: : Dresdner Sand: oben: mit Schleifpapier
unten: ohne Schleifpapier

Zur Veranschaulichung der horizontalen Verschiebungen wurde mit Hilfe von GeoPIV-RG Verschiebungsbereiche dargestellt. Die Verschiebungen können der Farbskala entnommen werden. Alle dunkelrot dargestellten Flächen (obere Ende der Farbskala) haben dabei Verschiebungen von 0,1 mm oder größer. Das Einsetzen von Schleifpapier verringert daher die horizontalen Verschiebungen. Im hinteren Bereich sind beim Versuch ohne Schleifpapier wesentlich höhere Verformungen als im Versuch mit vorhanden. Die Erhöhung der Verschiebungen im rechten unteren Eck könnte an einem programmbedingten numerischen Problem liegen.

Passiver Erddruck

Mit Hilfe der im Versuchsaufbau eingebauten Kraftmessdose wurden die im Versuch entstehenden Kräfte gemessen. Die ermittelte Kraft sollte dabei mit dem passiven Erddruck verglichen werden. Ziel war es die in der Erddrucktheorie ermittelte Erddruckkraft mit der im Erddruckmodell gemessenen Kraft zu vergleichen. Um diese zu ermitteln wurde zunächst mit GeoPIV-RG die Scherfuge bzw. die Gleitfläche ermittelt. Aus dieser Fläche ließ sich die Wandreibung im Erddruckkasten berechnen. Diese Kraft wurde zu der aus der Theorie errechneten passiven Erddruckkraft addiert und mit der im Versuch gemessenen Kraft verglichen. Es zeigte sich, dass der Anteil der Reibungskraft mit lediglich 5% keinen großen Anteil an der gemessenen Kraft einnimmt. Die aus der Theorie ermittelten und die im Versuch gemessenen Werte lagen nah beieinander. Es konnten Unterschiede in der Gleitfläche festgelegt werden (Abb.5). Hierbei ließ sich im Versuch eine etwas größere und während des Versuchs progressiv ansteigende Gleitfläche erkennen.

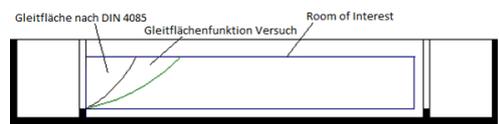


Abb. 3: Vergleich der passiven Gleitflächen aus DIN 4081 und Versuch

Zusammenfassung

In vielen Universitäten ist die Verschiebungsberechnung mit Hilfe von, auf der PIV-Methode basierenden Programmen, üblich. Bei den Programmuntersuchen von GeoPIV-RG ließ sich feststellen, dass die Qualität der Ergebnisse maßgeblich von der Kalibrierungsqualität des Programmes abhängig ist. Es sollte daher darauf geachtet werden, dass bei der Kalibrierung der Standardfehler nicht den Wert von 0,5 Pixel überschreitet. Im Allgemeinen ließen sich jedoch gute Resultate mit GeoPIV-RG erzielen. Die Untersuchungen der Randbedingungen des Erddruckkastens zeigten auf, dass durch das Einsetzen von Schleifpapier die Verschiebungen vermindert werden konnten. Dies führt dazu, dass sich das Erddruckverhalten im Versuchskasten dem tatsächlichen Verhalten des Bodens annähert. Dies konnte auch beim Vergleich der im Versuch erhaltenen Werte mit der aus der Erddrucktheorie stammenden passiven Erddruckkraft bestätigt werden.

Quellen

[1] S. A. Stainer, J. Blaber, W.A. Take, D.J. White: Improved image-based deformation measurement for geotechnical applications, NRC Research Press, 2015

Projekt
Projektarbeit

Hochschullehrer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden

Wissenschaftliche Betreuung
Dipl. Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

Abgabe
Februar 2018