

Y. Hu, H.-G. Kempfert

Numerische Modellierung der Langzeitverformungen von wassergesättigten bindigen Böden unter zyklischer Belastung

Zusammenfassung Das Langzeitverhalten von Bauwerken unter zyklischen Belastungen wird durch zeitabhängige plastische Verformungen im Untergrund beeinflusst. Der vorliegende Beitrag berichtet über eine quasi-statische Vorgehensweise zur Erfassung bzw. numerischen Modellierung der Langzeitverformungen von vollständig wassergesättigten bindigen Böden unter zyklischer Belastung. Die Anwendbarkeit des entwickelten Rechenmodells wird durch ein Berechnungsbeispiel im Eisenbahnbau gezeigt.

Numerical modeling of the long-term deformation of saturated clayey soils under cyclic loading

Abstract The long-term behaviour of building structures is influenced by the time-dependent plastic deformations of soils resulting from cyclic loading. This paper presents a quasi-static procedure modeling the long-term deformation of saturated clayey soils under cyclic loading conditions. For illustrating the applicability of the developed calculation model, an example of a railway foundation is given.

1 Einleitung

Wiederholte Belastungen des Untergrundes treten bei zahlreichen Anwendungen in der Geotechnik auf. Dies können z. B. sein: Einwirkungen aus dem Straßen- und Eisenbahnverkehr, Wellenbelastungen oder Untergrundbeanspruchungen aus Maschinenfundamenten, Windbeanspruchungen oder ähnliches. Bei der wiederholten Belastung ist die Frequenz ein wesentlicher Parameter. Zu unterscheiden sind dynamische Einwirkungen im höheren Frequenzbereich und Einwirkungen mit niedrigen Frequenzen, bei denen Trägheitskräfte näherungsweise vernachlässigt werden können. Letzteres wird hier als zyklische Belastung bezeichnet. In diesem Beitrag wird der Sonderfall wassergesättigter, normalkonsolidierter bindiger Böden betrachtet, wobei die Porenwasserüberdruckentwicklung unter der zyklischen Belastung von entscheidender Bedeutung für das Trag- und Verformungsverhalten ist. Unter diesen Randbedingungen wird als Anwendungsschwerpunkt der Verkehrswegebau auf verformungsintensiven Böden behandelt.

2 Modellvorstellung

2.1 Allgemeine Beschreibung zum Verformungsverhalten

Das mechanische Verhalten von bindigen Böden unter zyklischer Belastung ist abhängig von einer Vielzahl von Faktoren. Hier werden nur die Böden behandelt, die wassergesättigt sind und sich unter Scherbelastung kontraktant verhalten. Dies bedeutet, dass unter zyklischer Belastung nur Porenwasserüberdruck zu erwarten ist. Anhand einer Dreiaxialprobe unter zyklischen

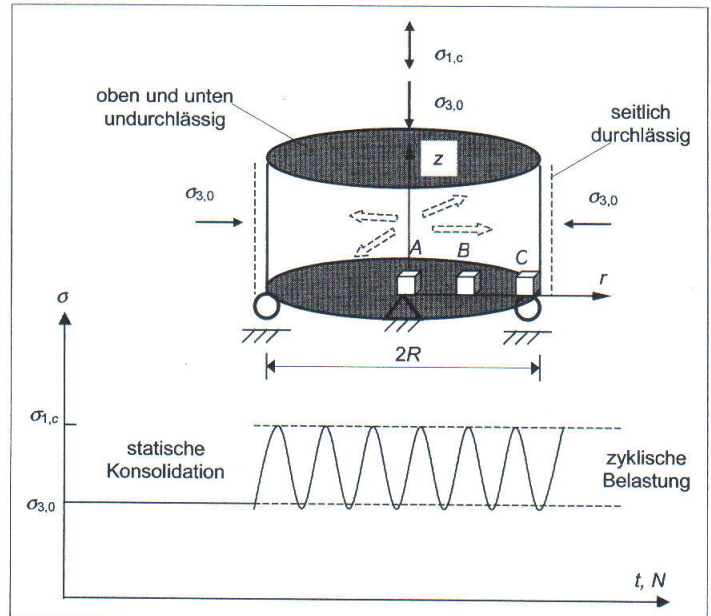


Bild 1. Systembedingungen an einer zyklisch belasteten Bodenprobe mit seitlicher Entwässerungsmöglichkeit

Fig. 1. System of a soil sample under cyclic triaxial condition with lateral drainage boundary

Belastungsbedingungen (**Bild 1**) wird das Verformungsverhalten beschrieben.

Dabei wird angenommen, dass die Probe vor der zyklischen Belastung mit $\sigma_{3,0}$ statisch isotrop auskonsolidiert und danach einer gleichmäßig verteilten, zyklischen Vertikalspannung $\sigma_{1,c}$ ausgesetzt ist. Während der zyklischen Belastung ist eine seitliche Entwässerung möglich.

Abhängig von der Lastzyklenzahl bzw. der Belastungszeit tritt ein Porenwasserüberdruck auf, der sich aus reversiblen und bleibenden Anteilen zusammensetzt ($u = u^r + u^b$). Hier bezieht sich der bleibende Porenwasserüberdruck auf den Anteil, der durch plastische Scherverformungen verursacht wird. Der Abbau dieses bleibenden Porenwasserüberdruckes ist jedoch bei vorgegebenen Entwässerungsbedingungen möglich. Wie in **Bild 2** schematisch dargestellt, nimmt der bleibende Porenwasserüberdruck u^b zuerst zu- und dann ab. Dieser bleibende Porenwasserüberdruck u^b ist maßgeblich für die plastischen Verformungen. Mit zunehmendem bleibenden Porenwasserüberdruck nach Belastungsbeginn stellt sich zuerst undrainede plastische Scherverformung ($\epsilon_v = 0$) ein. Abhängig von der Durchlässigkeit k und der Entfernung zum Entwässerungsrand ($R-r$) erreicht u^b nach einer gewissen Zeit t_p sein Maximum. Anschließend beginnt der Abbau von u^b bzw. die entsprechende drainede plastische Volumenverformung.

Gemäß **Bild 2** ist t_p am Punkt A größer als am Punkt B, da der Punkt A weiter von dem Entwässerungsrand entfernt ist als der Punkt B und dadurch später zu dränieren beginnt. Dies hat einen höheren bleibenden Porenwasserüberdruck im Punkt A zur Folge ($u^b_A > u^b_B$). Das

Dr.-Ing. habil. Yifeng Hu

LGA Nürnberg,
Tillystraße 2,
90431 Nürnberg;
vormals Universität
Gh Kassel

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Hans-Georg Kempfert

Fachgebiet Geotechnik
der Universität Gh Kassel,
Mönchebergstraße 7,
34125 Kassel