



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Normalkonsolideret og lettere forkonsolideret materiale**

Thorsen, Grete; Knudsen, Børge; Kristensen, P. S.; Du-Thinh, Kien

*Published in:*  
Laboratoriehåndbogen

*Publication date:*  
2001

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

### *Citation for published version (APA):*

Thorsen, G., Knudsen, B., Kristensen, P. S., & Du-Thinh, K. (2001). Normalkonsolideret og lettere forkonsolideret materiale. I Dansk Geoteknisk Forening (red.), *Laboratoriehåndbogen* Lyngby. DGF-bulletin Nr. 15

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

## Normalkonsolideret og lettere forkonsolideret materiale.

Grete Thorsen  
Aalborg Universitet

Børge Knudsen  
Geoteknisk Institut

Per Sandgaard Kristensen  
COWI

Kien Du-Think  
Danmarks tekniske Universitet

### FORMÅL:

Bestemme en normalkonsolideret jordarts deformationsegenskaber i form af tøjningsindeks,  $Q$  (%)

Bestemme materialets forkonsoliderings-spænding,  $\sigma'_{pc}$  (kPa)

Bestemme materialets krybningsegenskaber i form af krybningstøjningsindeks,  $Q_s$  (%).

Bestemme materialets konsolideringskoefficient,  $c_k$  ( $m^2/s$ ), hvorudfra den hydrauliske ledningsevne kan beregnes for den aktuelle belastningssituation.

### MÅLTE VÆRDIER:

Sammenhørende værdier af deformation og tid for hvert belastningstrin.

### VÆSENTLIGE BEGRÆNSNINGER:

Kun egenskaberne i det éndimensionale tilfælde bestemmes.

Drænvejen i apparatet kan ikke gøres identisk med forholdene in situ, hvilket indebærer usikkerhed på bestemmelsen af den hydrauliske ledningsevne.

Friktion mellem apparat og prøve kan bewirke, at den vertikale spænding og spændingsvariation gennem et lasttrin ikke er helt kendt.

## 1. BAGGRUND OG FORMÅL

Formålet er at bestemme de éndimensionale konsolideringsegenskaber for en bestemt jordart, sammenhæng mellem effektiv spænding og tøjning samt mellem tid og tøjning.

Ved normalkonsolideret og lettere forkonsolideret jord anvendes ofte kun stamkurven

og en aflastningsgren. Ud fra stamkurven bestemmes tøjningsindekset,  $Q$ , og materialets konsolideringstilstand

Ud fra tidskurverne bestemmes konsolideringstøjningen, krybningstøjningen og konsolideringskoefficienten,  $c_k$ .

For at kunne udnytte forsøgsresultaterne direkte ved en senere sætningsberegning, bør planlægning af forsøget altid ske på grundlag af den aktuelle opgave, således at der kan tages hensyn til alle forekommende ændringer i spændingstilstand.

## 2. UDSTYR

Det bedste udstyr er det danske konsolideringsapparat, udviklet af Moust Jacobsen. (Moust Jacobsen, 1967, Konsolideringsapparat, manual, 1977)

Apparatet består af en celle, hvori prøven sidder, samt en vægtarmspresse.

Prøvestørrelsen er  $H \times D = 30 \times 60$  mm eller  $35 \times 70$  mm

Cellens fodstykke udgøres af en bundplade, der samtidig er nedre trykhoved, bund i den skål, som prøven befinder sig i og fastgørelsessted for de to deformationsmålere, der måler øvre trykhoveds bevægelse i forhold hertil.

Filterstenen i det nedre trykhoved er i forbindelse med et lille rør, der rager op i bundpladen. Cellen består desuden af et øvre trykhoved, en meget tyk ring omkring prøven, to deformationsmålere med holdere samt en plexiglas cylinder, der sammen med bundpladen danner en tæt skål for bassinet omkring prøven. Tætningen udgøres af en O-ring, der ligger i en rille på siden af bundpladen. Ringen omkring prøven

svømmer i bassinet, for at minimere friktion mellem prøve og ring, fig. 1 .

Vægtarmen er udført i et RHS-profil, udvekslingsforholdet er 1:10 og justerbart. Lodvægten overføres til vægtstangen gennem knive, men vægtstangen er iøvrigt ophængt i kuglelejer. Vægtarmen kan monteres under et bord, således at kun selve belastningsåget og den plade, hvorpå cellen står, er synlig over bordet, fig. 2.

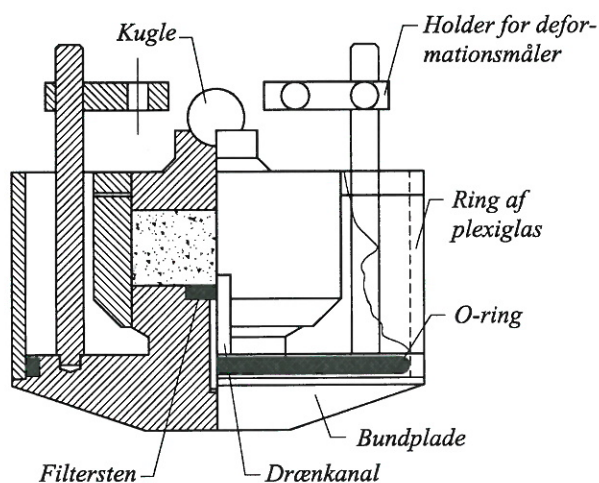


Fig. 1. Konsolideringscellen.  
(Moust Jacobsen, 1967)

### 3. FORSØG

Prøven tildannes omhyggeligt. For meget bløde jordarter, hvor tildannelse er umulig, kan prøven forsigtigt presses direkte fra prøveoptager til konsolideringsring, såfremt den indre diameter i prøveoptager og ring er identiske.

Forsøget udføres med trinvis forøgelse af den vertikale effektive spænding. For hvert belastningstrin registreres sammenhørende værdier af tid og deformation. Tidsforløbet bør have en varighed, så krybningsdekadehædningen,  $\epsilon_s$ , kan bestemmes.

Belastningsforøgelsen bør for hvert trin være så stor, at deformationen ved konsolideringsprocessen overskrider krybnings-

deformationen i det foregående trin. Ofte anvendes en fordobling af belastningen ved hvert trin.

De vertikale spændinger på prøven bør forøges så meget ud over forbelastnings-spændingen, at tøjningsindekset,  $Q$ , og dermed materialets stamkurve kan bestemmes.



Fig. 2. Konsolideringsapparat

### 4. RESULTATER

#### 4.1 Tidskurver

For hvert belastningstrin optegnes en tidskurve som vist på fig. 3. Da tøjningerne under de første 70% af konsolideringsprocessen stort set varierer retlinet med  $\sqrt{t}$ , og krybningen er en logaritmisk funktion, afsættes første del af tidskurven som funktion af  $\sqrt{t}$  og sidste del som funktion af  $\log t$ . Herved opnås, at tidskurven kan tilnærmes ved to rette linier. En forudsætning er, at skæringspunktet mellem de to rette linier ligger i overgangen mellem  $\sqrt{t}$  og  $\log t$  skalaen. (Brinch Hansen, 1961)

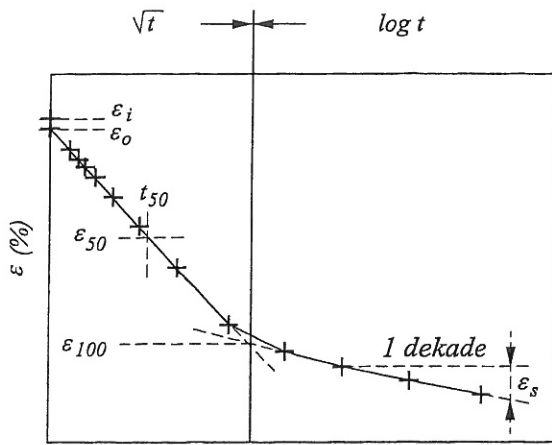


Fig. 3. Tidsskurve.

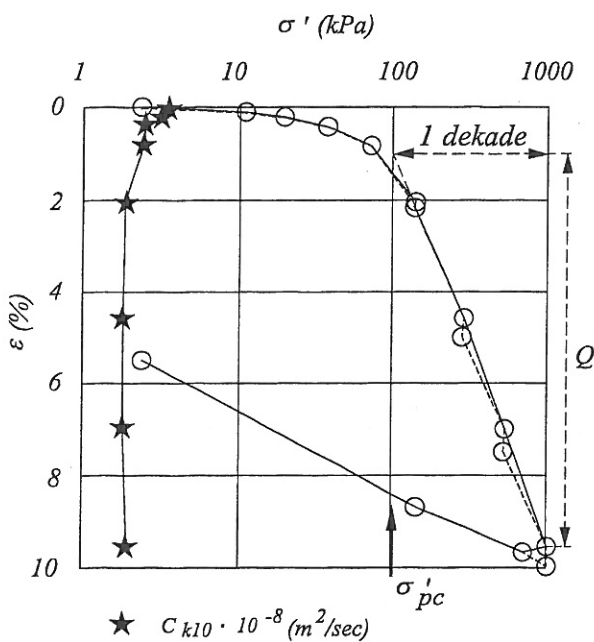


Fig. 4. Arbejdskurve. Sammenhørende værdier af log  $\sigma'$  og  $\epsilon$  %.

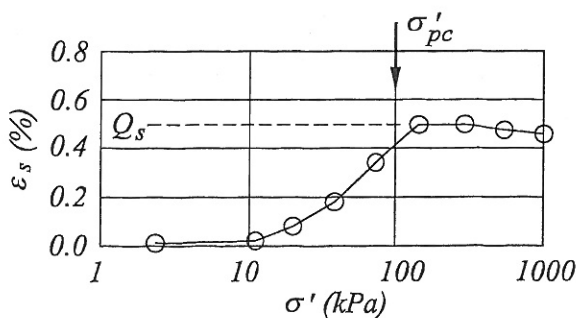


Fig. 5. Variation af  $\epsilon_s$  med  $\log \sigma'$ .

Ud fra tidsskurverne bestemmes (Brinch Hansen, 1961, Hansen, 1978):

- \*initial tøjning :  $\epsilon_i$  (%)
- \*konsolideringens starttøjning :  $\epsilon_0$  (%)
- \*tøjning ved 100% konsolidering :  $\epsilon_{100}$  (%)
- \*krybningsdekadehældningen :  $\epsilon_s$  (%)
- \*konsolideringskoefficienten :  $c_k$  ( $m^2/s$ )

$$c_k = 0.2H_D^2/t_{50} = kK/\gamma_w$$

$H_D$  = drænvejen, som er afhængig af filterstenenes størrelse og placering, jfr. afsnit 5.1.2

$t_{50}$  = tiden for 50% konsolideringstøjning

$K$  = konsolideringsmodul (kPa),

$k$  = hydraulisk ledningsevne (m/s) kan for et belastningstrin beregnes ud fra  $c_k$  og  $K$ , hvor  $K = \Delta\sigma' / (\epsilon_{100} - \epsilon_0)$

#### 4.2 Arbejdskurver

Ud fra de ved tidsskurverne for hvert belastningstrin bestemte værdier optegnes:

- en kurve med sammenhørende værdier af  $\log \sigma'$  og konsolideringstøjning,  $\epsilon_{100}$ , samt variationen af konsolideringskoefficienten ved  $10^0$  C,  $c_{k10}$ , med spændingsniveauet, jfr. fig. 4.
- en kurve over variationen af krybningsdekadehældningen,  $\epsilon_s$ , med den effektive spænding, jfr. fig. 5.
- en kurve over variationen af konsolideringsmodulen,  $K$ , med den effektive spænding.  $K$  beregnes som sekanten for hvert belastningstrin:  
 $K = (\sigma_{i+1} - \sigma_i) / (\epsilon_{100,i+1} - \epsilon_{100,i}) \sim$  tangenten til kurven ved middelspændingen for det aktuelle belastningstrin, jfr. fig. 6.

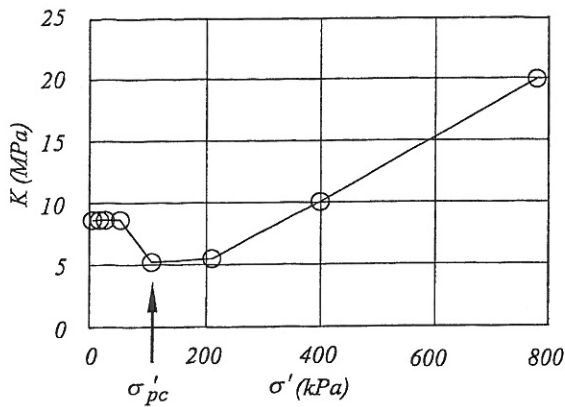


Fig. 6. Variation af konsolideringsmodul med den effektive spænding

Ud fra forsøgets arbejdskurver bestemmes:

1) Tøjningsindeks (Dekadehældning)  $Q$  = tilvækst i konsolideringstøjning pr. dekade for spændinger over forbelastningsspændingen.

2) Forbelastningsspændingen  $\sigma'_{pc}$  = den tilsyneladende maksimale spænding, som materialet har været udsat for. En spænding, som er opnået dels ved belastning af materialet dels ved krybning i materialet. Den tilsyneladende forbelastning kan bestemmes på flere måder (Thorsen, 1995):

- fra fig. 4 - indenfor det belastningstrin, der er umiddelbart før den retlinede variation mellem  $\log \sigma'$  og  $\epsilon_{100}$ , og en samtidig ændring i  $c_{k10}$ .
- fra fig. 5 - indenfor det belastningstrin, der er umiddelbart før  $\epsilon_s$  opnår den maksimale værdi,  $Q_s$ .
- fra fig. 6 - indenfor det belastningstrin, hvor konsolideringsmodulen,  $K$ , fra en næsten konstant værdi bliver mindre for derefter at vokse med spændingen (svarende til normalkonsolideret tilstand).

3) Krybningstøjningsindeks,  $Q_s$  = den maksimale værdi for  $\epsilon_s$ , bestemt som krybningsdekadehældningen på det belastningstrin,

hvor den tilsyneladende forbelastningsspænding overskrides, fig. 5.

4) En aktuel værdi for den hydrauliske ledningsevne ved  $10^0$  C,  $k_{10}$ , som beregnes ud fra de angivne værdier for  $c_{k10}$  (fig. 4), og den aktuelle værdi for  $K$ .

## 5. RAPPORT

Rapporten bør indeholde de i afsnit 5.1 nævnte oplysninger om udstyr, prøvemateriale og klassifikationsparametre.

Af direkte forsøgsresultater bør rapporten indeholde de arbejdskurver, der er omtalt på foregående side, og vist på fig. 4 - 6, samt en angivelse af de parametre, der er fundet herfra, tøjningsindeks,  $Q$ , forbelastningsspænding,  $\sigma'_{pc}$ , og krybningstøjningsindeks,  $Q_s$ .

Herudover bør rapporten indeholde en skematisk oversigt over de for hvert belastningstrin (både be- og aflastningstrin) bestemte værdier for:

konsolideringstøjning	$\epsilon_{100}$	(%)
konsolideringskoefficient	$c_{k10}$	( $m^2/s$ )
krybningsdekadehældning	$\epsilon_s$	(%)
konsolideringsmodul	$K$	(kPa)

Rapporten bør desuden indeholde retningslinier for anvendelse af forsøgsresultaterne i forbindelse med den konkrete opgave, der har givet anledning til forsøgets udførelse.

## 6. REFERENCER

Se afsnit 5.3

## 7. NØGLEORD

Dekadehældning, forkonsolideringsspænding, hydraulisk ledningsevne, konsolideringskoefficient, krybningsdekadehældning, krybningstøjningsindeks, tøjningsindeks.