

Borehole creep and relaxation tests in ice-rich permafrost. Discussion

H. ECKARDT

Centre d'ingénierie nordique, École Polytechnique, Campus de l'Université de Montréal,
C.P. 6079, Succursale A, Montréal, Québec, Canada H3C 3A7

The following comment relates to the paper on borehole dilatometer creep tests under well-controlled laboratory conditions (Ladanyi 1982). The preliminary typical test results shown here are from pressuremeter creep tests with a Ménard pressuremeter, type G-C. It is the same instrument which was used in 1971 by Ladanyi and Johnston (1973) for *in situ* creep tests.

Figure 1 shows a typical pressuremeter curve obtained from a multistage short-term creep test at constant temperature. Readings were taken after 5, 15, and 30 minutes and these periods are the controlling parameters for the curves. The duration of each loading stage was 30 minutes. The vertical axis shows the quantity of the injected fluid and the horizontal axis gives the cell pressure corrected by the membrane resistance and the piezometric pressure. In this particular test, the external confining pressure p_0 was zero and the cover of the test container was open to watch the development of radial cracks. The curves show three typical sections: in the first section at low stresses the probe has to get in good contact with the borehole and this contact improves with an increasing time of load; the second section is a nearly linear part of all curves and shows the elastic material behavior; this is followed by the third section which is curved and gives the plastic behavior at higher stresses. Finally radial cracking occurred at high cell pressure, after more than five minutes of loading time. This shows that most part of the test results are valid for an unbroken material. With a confining pressure the point of cracking can be extended to higher internal pressures.

The elastic and plastic range of material behavior can be seen better in a semi log-plot for the same curves (Figure 2). Here the elastic material behavior is characterized by the first curved part, whereas the plastic behavior is represented by the straight line portion of the curves until radial cracking occurs.

Figure 3 shows creep curves in a double-log plot from the multistage creep test 6, as well as from the one-stage creep test 9. The duration of each loading stage was 30 minutes in test 6 and 24 hours in test 9. The controlling curve parameter is the corrected stress difference ($p_c - p_0$) between the external confining pressure and the internal borehole pressure. In the investigated range of stresses and time, the creep curves are approximately straight lines, as it was assumed in the theory by Ladanyi and Johnston (1973). The slope of the curves seems to be stress-dependent and increases with an increasing value of ($p_c - p_0$). Further tests have to be made to control whether or not the curves become parallel after a certain test period.

The influence of the confining pressure on the creep behavior of a thick-walled cylinder is shown in Figure 4. Again the creep curve of test 10 is fairly linear in a log-log plot under constant test conditions. After three hours of loading time the confining pressure was increased from 100 to 300 kPa. This produced a small decrease in the slope of the creep curve, but in this range of confining pressure its influence on the creep rate did not seem to be very strong.

La discussion suivante concerne les essais de fluage effectués au moyen d'un dilatomètre pour trous de sondage, dans les conditions bien contrôlées du laboratoire (d'après Ladanyi 1982). Je désire donner quelques résultats préliminaires typiques obtenus avec une capsule manométrique de Ménard de type G-C. Il s'agit du même instrument que celui employé en 1971 par Ladanyi et Johnston (1973) lors d'essais de fluage *in situ*.

La figure 1 présente un graphique typique donné par une capsule manométrique lors d'un essai de fluage fractionné de courte durée, effectué à température constante. On a fait des lectures au bout de 5, 15, et 30 minutes; ces périodes sont les paramètres déterminants pour l'établissement des graphiques. La durée de chaque essai de charge a été de 30 minutes. L'axe vertical montre la quantité de fluide injecté et l'axe horizontal la pression de la cellule, corrigée en fonction de la résistance de la membrane et de la pression piézométrique. Dans cet essai particulier, la pression triaxiale extérieure p_0 était nulle et la partie supérieure de l'enceinte expérimentale était laissée libre, de façon à ce qu'on puisse observer le développement de fissures radiales. Les graphiques comportent trois portions typiques: dans la première, aux contraintes faibles, l'éprouvette doit bien toucher les parois du trou de sondage et le contact augmente avec la durée de la charge; la seconde portion est presque linéaire sur tous les graphiques et indique un comportement élastique, suivi dans la troisième portion d'allure courbe, d'un comportement plastique aux contraintes plus élevées. Finalement, lorsque la pression est suffisamment élevée dans la cellule, apparaissent des fissures radiales, après plus de 5 minutes de charge. Ceci montre que la plupart des résultats expérimentaux sont valides dans le cas d'un matériau non fracturé. Sous l'effet d'une contrainte triaxiale, le point de fissuration peut être repoussé jusqu'à des niveaux de contraintes internes plus élevés.

On peut mieux concevoir les domaines d'élasticité et de plasticité avec un tracé semi-logarithmique des mêmes courbes, comme le montre la figure 2. Le comportement élastique est caractérisé par la première portion courbe du graphique, le comportement élastique par la portion linéaire jusqu'au point de fissuration radiale.

La figure 3 montre les courbes de fluage obtenues avec un tracé logarithmique, pour l'essai fractionné de fluage n° 6, ainsi que pour l'essai de fluage simple n° 9. La durée de chaque étape de charge a été de 30 minutes dans l'essai n° 6; la durée d'application de la charge a été de 24 heures dans l'essai n° 9. Le paramètre déterminant du graphique est la différence corrigée des contraintes ($p_c - p_o$) entre la pression triaxiale extérieure et la pression intérieure du trou de sondage. Dans la gamme étudiée de contraintes et de temps, les courbes de fluage sont approximativement rectilignes, comme le laissait prévoir la théorie de Ladanyi et Johnston (1973). La pente des courbes semble dépendre des contraintes et augmente en même temps que ($p_c - p_o$). D'autres essais ont été faits pour vérifier si les courbes tendent à devenir parallèles après un certain temps d'expérimentation.

La figure 4 montre l'influence de la pression triaxiale sur la tendance au fluage d'un cylindre à épaisseurs parois. Là aussi, la courbe de fluage obtenue pour l'essai n° 10 est plutôt linéaire, si l'on effectue un tracé log-log dans des conditions expérimentales stables. Après 3 heures de charge, on a augmenté la pression triaxiale de 100 kPa à 300 kPa. On a alors constaté une légère diminution de la pente de la courbe, mais dans cet intervalle de pressions triaxiales, ceci n'a guère eu d'influence sur la vitesse de fluage.

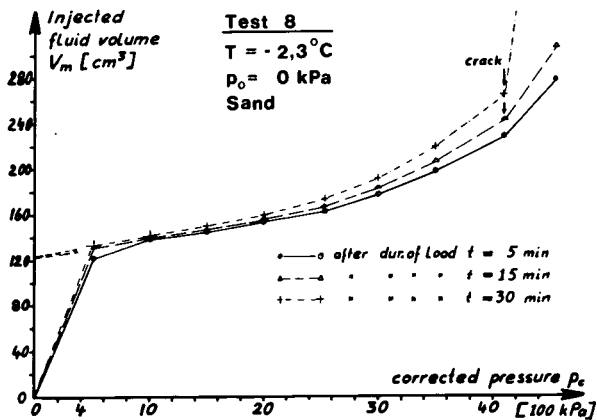


FIGURE 1. Typical pressuremeter curve obtained from a multistage short-term creep test at constant temperature.

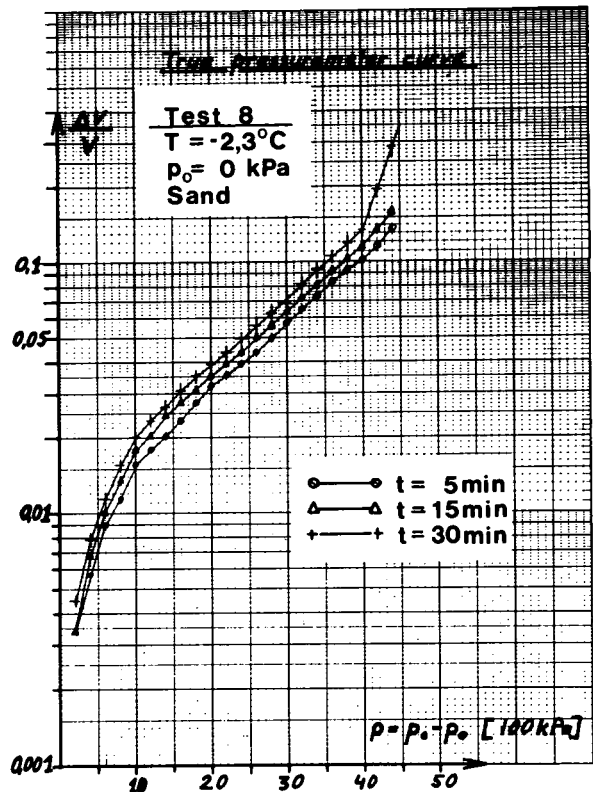


FIGURE 2. True pressuremeter curve from a multistage short-term creep test replotted in a semi-log plot.

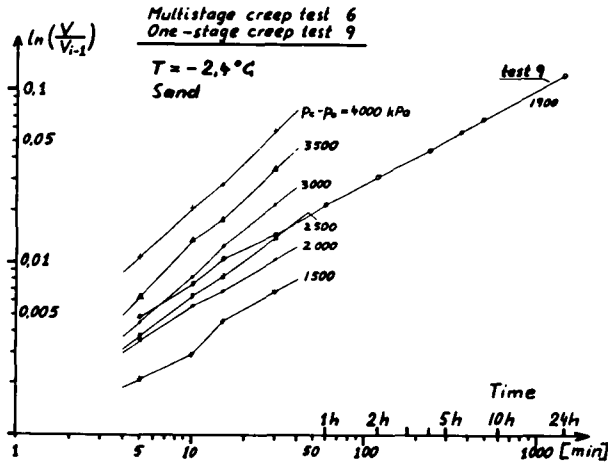


FIGURE 3. Results of a multistage and a one-stage creep test in frozen sand.

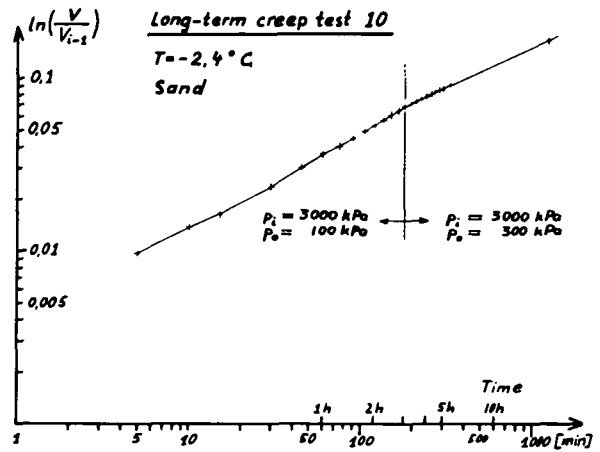


FIGURE 4. Result of a long-term pressuremeter creep test on a thick-walled cylinder of frozen sand with different confining pressures.

References

LADANYI, B. 1982. Borehole creep and relaxation tests in ice-rich permafrost. Proc. 4th Can. Permafrost Conf., Calgary, Alberta, 1981, pp. 406-415.

LADANYI, B. AND JOHNSTON, G.H. 1973. Evaluation of In-Situ Creep Properties of Frozen Soils with the Pressuremeter. Proc. 2nd Int. Conf. Permafrost, Yakutsk, North Amer. Contrib. pp. 310-318.