

京都大学工学部 正員 ○ 新谷 敬三

正員 昌昭 治郎

正員 谷本 親伯

1. ま え が き

等変位方式孔内載荷試験機は、剛板によって高荷重を地盤に与えることができ、地盤内の応力状態がかなり複雑となり、また、不連続面を含む地盤に適用する場合には測定結果に及ぼすこれらの影響の評価がきわめて重要な問題となる。さらに載荷板の曲率とボーリング孔の曲率が異なる場合、試験結果に及ぼす影響をも考慮する必要がある。そこで、有限要素法により地盤を連続体と仮定した時の地盤内の応力分布、さらに、半径方向にき裂が存在する場合について試験結果に及ぼすき裂の影響および載荷板とボーリング孔の曲率が異なる場合の影響を図して検討を行った。

2. 等変位載荷による地盤内応力

解析モデルは、外径 60 cm、内径 6 cm の平面ひずみ状態にある厚肉円筒であり、弾性係数 $E_0 = 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ とした。このモデルの周囲に注意の拘束圧 P_0 を与え、さらに載荷板の幅 $B = 3 \text{ cm}$ (載荷板曲率 $\beta = 30^\circ$) とし、孔壁内の載荷板の範囲にある節点に注意の変位 u を与え、それによって生ずる反力の総和と載荷板の面積で除した値を載荷圧 P_i とした。図-1 に $P_0 = 0 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $u = 0.01 \text{ cm}$ ($P_i = 30.3 \text{ kgf/cm}^2$) とした時の地盤内における主応力 (σ_1, σ_2) および最大せん断応力 ($\tau_{\max}$) の等応力線を示す。ここで圧縮応力を正とした。載荷板の両端で応力集中が見られ、 x 軸付近においては、ほぼ同心円状に引張応力がかかっていることがわかる。この引張応力が地盤の引張強度を越えた時き裂が発生すると考えられ、あるいは、すでにき裂が存在している場合には、き裂が開く(試験結果から得られる変形係数が減少する)と考えられる。そこで、地盤内に発生する引張応力の状態を把握するため、 x 軸上の y 方向の応力 σ_y^* とし、その分布を示したものである。さらに、 σ_y^* に及ぼす P_i の効果を検討した結果、 $P_i/P_0 = 1.5$ の時、 $\sigma_y^* = P_0$ (半径方向に無関係)となることが確認された。これらのことから σ_y^* の地盤内分布は概ね次式で表わされる。

$$\sigma_y^* = \left\{ 1 - \left(\frac{a}{r} \right)^2 \right\} P_0 - \frac{2}{3} \left(\frac{a}{r} \right)^4 P_i \quad (\beta = 30^\circ) \quad (1)$$

ここに、 a はボーリング孔の半径である。

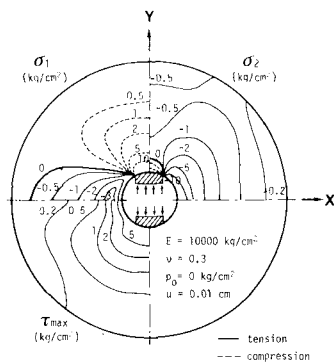


図-1 載荷時の応力状態

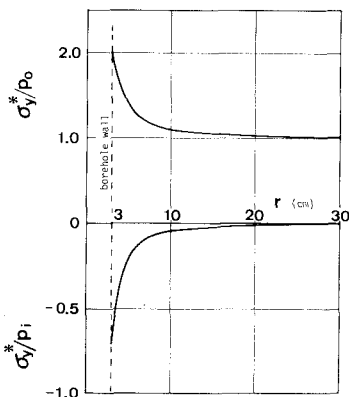


図-2 応力分布

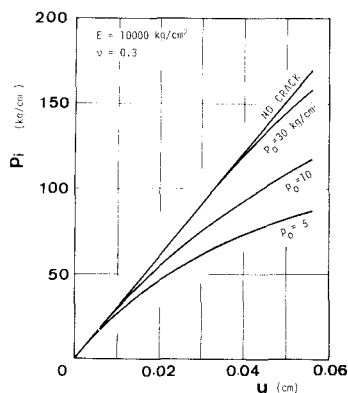


図-3 不連続面存在下の荷重-変位曲線

3. き裂が存在する時の変形係数の変化

地盤内に半径方向のき裂が存在する場合、載荷重を増加するにしたがってこのき裂が孔壁から開き始め、試験から得られた変形係数が減少することが考えられる。図-3は、軸対称に初めからき裂が存在している時、ある拘束圧のもとで得られた荷重-変位曲線である。拘束圧が低い時にはわずかな P_i でき裂が大きく開くため、著しく変形係数が低下する。この曲線の接線から Goodman 式²⁾より算出される変形係数を E_c とし、 E_c/E_0 を P_i/P_0 に対して求めると、図-4に示すような1本の曲線で表わされた。さらに、開口したき裂の長さ l と、 P_i/P_0 の関係は、図-5の実線で示すように、両対数紙上では1本の直線として表わされた。なお、この図において、破線は連続体モデルにおいて $\sigma_y^* = 0$ となる位置を示している。これらの図から、き裂の開口長さや変形係数の低下は拘束圧 P_0 および載荷圧 P_i の比によって決まり、特に、 $P_i/P_0 \geq 5$ においては、変形係数が著しく低下することがわかる。

4. 曲率が異なる載荷板を用いた時の影響

等変位載荷試験は、有効載荷率によって試験結果がかなり異なることが予想される。特に、載荷板の曲率は限られるものしかないため、ボーリング孔の曲率と異なる場合に試験結果に及ぼす影響を検討した。図-6に示すように (a) は載荷板の曲率がボーリング孔の曲率より10%小さく、 $r_1 = 27\text{ mm}$ である (b) は逆の場合であり、 $r_2 = 33\text{ mm}$ とした。この状態から徐々に載荷板に変位を与えることによって得られた荷重変位曲線は、図-7に示すようになり、荷重段階の初期において下に凸の曲線が得られた。また、載荷板の全面が孔壁に接した時の載荷圧 P_c は (a)、(b) とともに 280 kgf/cm^2 であった。

これは、載荷初期においては載荷板の一部のみが接しているにすぎないため、載荷圧力を過小評価してしまうことが原因となっている。同様なことが、孔壁が孔に対して有効載荷率が低下している場合にも考えられる。この曲線の接線から得られた変形係数を載荷圧力に対して求めると、図-8のようになる。特に、 α においては、 100 kgf/cm^2 以下の載荷圧に対して変形係数の減少が著しく、無視できないものとなってくる。

まとめ

孔内載荷試験は、池の变形試験と異なり地盤内に引張応力を作用させるため、特に岩盤を対象とする場合、地盤内に含まれる不連続面の存在によって試験結果が著しく異なるものとなる。特に拘束圧 P_0 に対して載荷圧 P_i が5倍以上になると、わずか5~6 cm から数10 cm のき裂が試験結果に及ぼす影響は極めて大きなものとなる。また、載荷圧が低い初期の段階においては有効載荷率が低くなりやすいため、地盤の弾性係数を過小評価することが考えられる。したがって、孔内載荷試験を実施する場合、ボーリング孔内を充分に観察し、き裂の分布状態および孔壁面の孔れを充分に把握し、またボーリング孔と曲率が一致する載荷板を用いて試験を行うことが望ましい。

参考文献: 1) 谷本昌彦: 孔内載荷試験結果の評価用参考表, 第14回土木学会年會論文, 1992, pp. 6~10, 2) 谷本: 孔内載荷試験, 地盤と鋼管, 1980. 1号, pp. 17~21

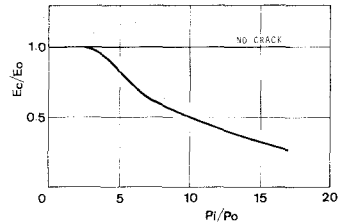


図-4 載荷圧と変形係数

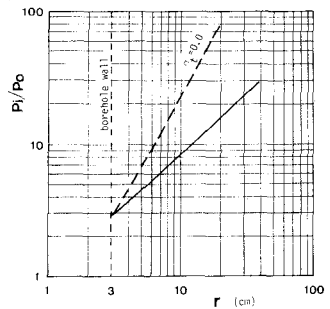


図-5 き裂の進展状況

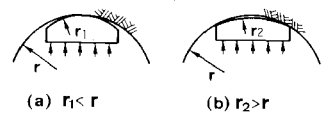


図-6 孔壁面と載荷板の曲率

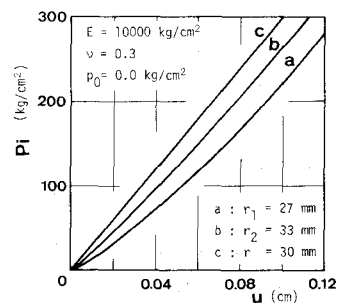


図-7 荷重-変位曲線と曲率

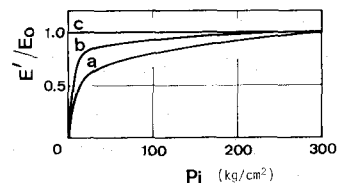


図-8 載荷板曲率を考慮した場合の変形係数の変化