

水平地盤反力係数 K 値測定について

— L.L.T法 —

渡 辺 恒 喜* 野 口 義 教**
永 井 俊 一*** 成 田 健 一***

ま え が き

くいおよびウエルなど基礎構造物の水平力に対する安定性を検討する場合に、水平地盤反力係数 K 値（以下 K 値という）の算出が必要となる。K 値は地盤の変形特性だけでなく、基礎の形状および剛性にも関係があり、一概に決めることができない。さらに、地盤の不均一さ、また、非弾性的性質を有する地盤に、弾性理論を適用させていることなどの要素も、K 値の算出を困難にさせている。

当研究室では、今まで孔内水平載荷試験の一種である、土研式ゴムチューブ法による K 値測定を行ない、測定方法、とその結果の適切な利用方法および、K 値の性質の把握など、実用化の方向づけの検討をし、ある程度の成果を得てきたが、試験方法が緩速載荷試験のため試験に要する時間が長く、装置が大型かつ、使用例が少ないため、昭和45年度に L.L.T (Lateral Load Tester) を購入し計測を行なっている。

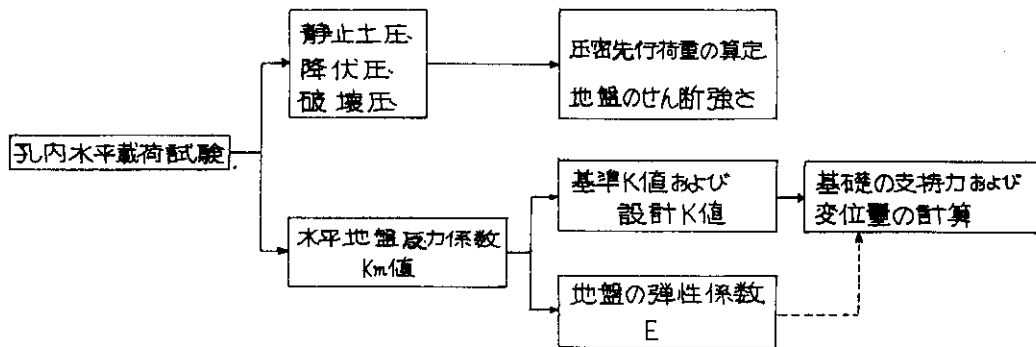
本報告は、L.L.T 法の概要と実施した試験のうち大曲くい試験場の結果について述べるものである。

1. 各種測定法と問題点

現在、K 値を求める方法を大別すると次に述べるように分類することができる。

- イ) ボーリング孔を利用してその孔壁に側圧を作用させ求める方法
- ロ) 試験くいの水平載荷試験を実施しその結果から求める方法
- ハ) サウンディングなどの地盤調査結果から求める方法

以上の3つであるが、イ) はボーリング孔にゴムチューブを挿入してこれに圧力を加えて地盤に変位を与え圧力と変位の関係から K 値を知るものである。その代表的なものとして、土研式ゴムチューブ法、L.L.T 法、プレッショメーター法、K.K.T 法があり、図—1 に示すような手順で解析が行なわれている。



図—1 ブロックダイアグラム

ロ) は地盤にくいを打設し、水平載荷試験を実施して荷重 H と変位 y (回転角 θ など) の関係を求めて、Y. L. chang の式により、K 値を逆算して求める方法である。

ハ) は N 値などの現位置調査試験結果と K 値との相関々係がある程度明らかにされているので、その関係式を

使用し求めるものである。

先に述べたように、くいおよびウエルの安定計算は、現在弾性床上のはりとして解く理論が適用 (Y. L. chang) されていることから、K 値を求める一番良い方法は、ロ) の方法、すなわち、試験くいの載荷試験を実施し K 値を求める方法であると考えられる。

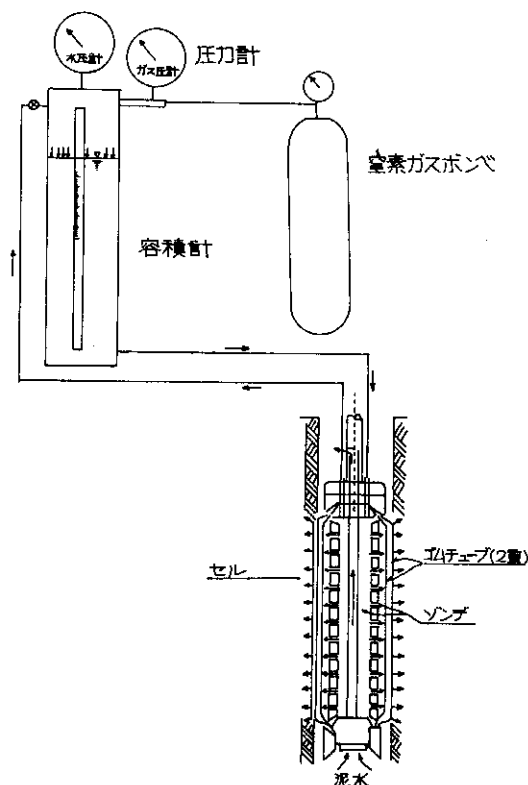
*基礎工研究室長 **同副室長 ***同室員

しかし、試験に要する費用、実施時期などの諸制約があるので、実際上きわめて重要な構造物に用いられる基礎などの場合を除き、よほどのことがない限り基礎工の設計前に試験を実施する例は少ないのが現状である。一般には、イ) とハ) が簡便であり、経験的な考えと合わせて使用されている。

2. L.L.T法による測定の概要

(1) 測定装置

L.L.Tは、図—2に示すように、ガスボンベ(窒素)、圧力計～容積計(タンク)、ゾンデおよび連結用ナイロンパイプから構成されており、仕様は、表—1に示した。

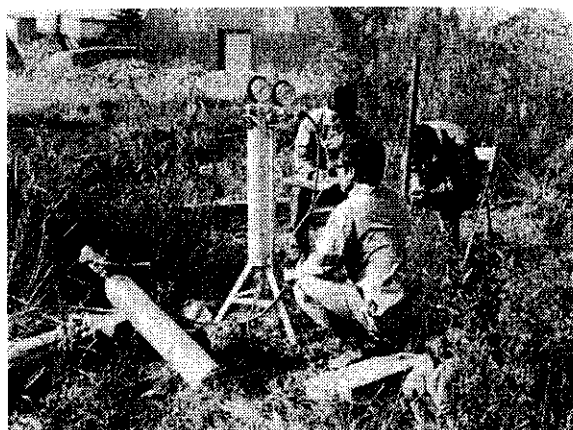


図—2 孔内水平載荷試験器
— L.L.T —

表—1 装置の仕様

名 称	規 格
許 容 耐 圧 強 度	25kg
使 用 ガ ス	N
外 径 通 常	セ ル 80mm
膨 張 時 最 大	140mm
測 定 区 間 長	600mm
重 量	圧 力 容 積 計 27kg
	ゾ ン デ 13kg

圧力計は、ガス圧を測定するガス圧計と、セル内の水圧を測定する水圧計の2種類からなり、水位の変化は容積計前面のスタンドパイプの読みで示される。セルは、ゾンデとゴムチューブから構成されており、ゴムチューブは二重になっている。材質は、内筒にアメゴム、外筒にハイカーを使用して、土質により使いわける。L.L.T測定実施状況は、写真—1に示したとおりである。



写真—1 L.L.T法実施状況

(2) 測定方法

容積計(タンク)内に窒素ガスを注入し、ナイロンパイプを通じてセル内(ゴムチューブ)に加圧を行ない、ゴムチューブの膨張量(ボーリング孔内の膨張量)を容積計(タンク)前面のスタンドパイプ内の水位低下として読取る。スタンドパイプ(タンク内)の水位変化を Δh とすると、 Δh だけスタンドパイプの水位変化がおきた場合、ゴムチューブの膨張量、すなわち、孔内の水平方向の変位、 Δr はどの程度になるか実験室においてあらかじめ求めてあり、その関係を用いてボーリング孔内の水平方向の変位、 Δr を求めるものである。また、セル内の圧力は水圧計により読取る。

(3) 測定結果の整理

L.L.Tの測定結果は、圧力 P とボーリング孔内変位(孔内の膨張半径) r の関係図として図—3に示される。

L.L.Tは、掘削されたボーリング孔中にセルが挿入された状態で開始される。この状態において孔壁地盤は、孔壁背面の主働土圧によって押しだされており、掘削した時点の孔径より小さくなっている。載荷の進行につれ、セルの膨張と地盤の状態は次のような過程をたどる。

P_0 : 静止土圧 (kg/cm^2)

P_y : 降伏圧 (kg/cm^2)

P_d : 破壊圧 (kg/cm^2)

P_e : 孔壁に作用する有効圧 (kg/cm^2)

r : セルの半径 (cm)

r_0 : セルの初期半径 (cm)

ΔH : 変形速度 (cm/90")

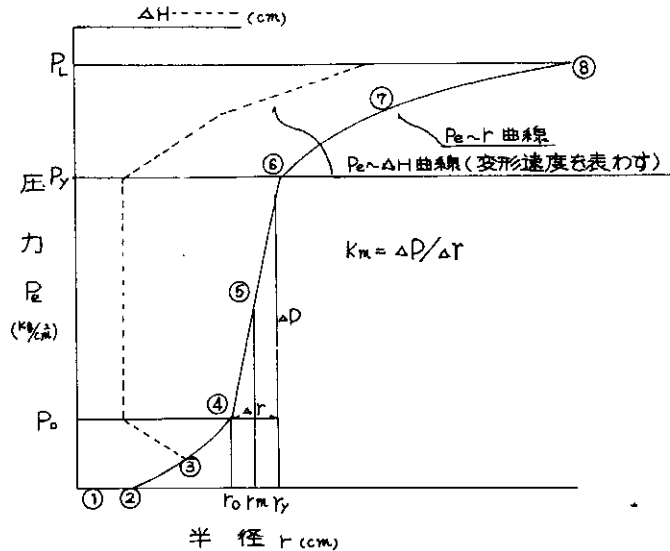
(各圧力段階における120"時のスタンドパイプの読みと30"時のスタンドパイプ読みの差である。)

ΔP : 擬似弾性領域内での圧力の増分 (kg/cm²)

Δr : 擬似弾性領域内での半径の増分 (cm)

K_m : 測定K値 (kg/cm²)

r_m : K_m 値を求めたゴムチューブの中間半径



P_0 : 静止土圧 (kg/cm²)
 P_y : 降伏圧 (kg/cm²)
 P_e : 破壊圧 (kg/cm²)
 P_a : 孔壁に作用する有効圧 (kg/cm²)
 r : セルの半径 (cm)
 r_0 : セルの初期半径 (cm)
 ΔH : 変形速度 (cm/90")
 (各圧力段階における120"時のスタンドパイプの読みと30"時のスタンドパイプ読みの差)
 ΔP : 擬似弾性領域内での圧力の増分 (kg/cm²)
 Δr : 擬似弾性領域内での半径の増分 (cm)
 K_m : 測定K値 (kg/cm²)
 r_m : K_m 値を求めたゴムチューブの中間半径 (cm)

図-3 L.L.T 測定結果の表示例

- ① セル (ゴムチューブ) 自身の自由膨張過程で孔壁にはまだ接していない。
- ② セルが孔壁に接する点
- ③ 押しだされた孔壁を主働土圧に抗して押しもどす孔壁の再圧縮過程で、地盤反力は徐々に増大し変形速度 ΔH は減少する。
- ④ 初期の孔壁に達して地盤の静止土圧 P_0 と均衡を保つ点で、この時の圧力を静止土圧とみなすことができる。この状態で地盤反力は急激に増大する変曲点をなし変形速度は最小値を示す。
- ⑤ 地盤の擬似弾性領域であり、 $P_e \sim r$ 曲線はほぼ直線をなし、変形速度は一定値をとる。
- ⑥ 地盤の降伏点で $P_e \sim r$ 曲線は、上記の直線区間 (擬似弾性領域) をはずれて右に曲がり、変形速度、 ΔH 曲線は、はっきりと折点を示す (降伏圧 P_y)。
- ⑦ 変形が急激に増大進行し破壊にいたる過程である。
- ⑧ 地盤の破壊点 (破壊圧 P_L)。

以上、変形過程を述べてきたが、 K_m 値は図で示される、初期半径 r_0 以後の擬似弾性領域のこう配として決定する。

$$K_m = \frac{\Delta P}{\Delta r} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

応用地質調査事務所の今井氏は、L.L.T 法により求めた K_m 値を使用し、くい の 水平変位を推定するには K_m 値にくいと L.L.T 法の載荷様式の相違に基づく補正を加えな

ければならないことを述べ次式を提唱している。

i) 比K値

$$k_0 = \sqrt{2 r_0 (r_m - r_0)^2} \cdot K_m$$

ii) 基準K値

$$K_0 = \frac{k_0}{\sqrt{B}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2 r_0 (r_m - r_0)^2}{B}} \cdot K_m$$

iii) 一般K値

$$K_0 = \frac{K_0}{\sqrt{y}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{2 r_0 (r_m - r_0)^2}{B y^2}} \cdot K_m$$

B : くい幅 (cm)

y : 変位 (cm)

比K値とは、土質のみに支配されるK値であり、基準K値とは変位 $y = 10\text{mm}$ の時幅 B の影響を考慮したK値である。一般K値は、任意の変位量の場合、ある幅 B を有するくいのK値を求めることができる。

しかし、変位 $y = 10\text{mm}$ の時のK値を求める場合は、ii) 式の基準K値の式で求めてもよい。また、変形係数 E_L は、弾性理論から2次元平面ひずみとして次式から求まる。

$$E_L = (1 + \nu) \cdot r_m \cdot K_m$$

ν : 地盤のポアソン比 (0.3~0.5)

その他、地盤の静止土圧、降伏圧および破壊圧などの力学特性は、先に述べたように $P_e \sim r$ 曲線の形状および変形速度から決定される。

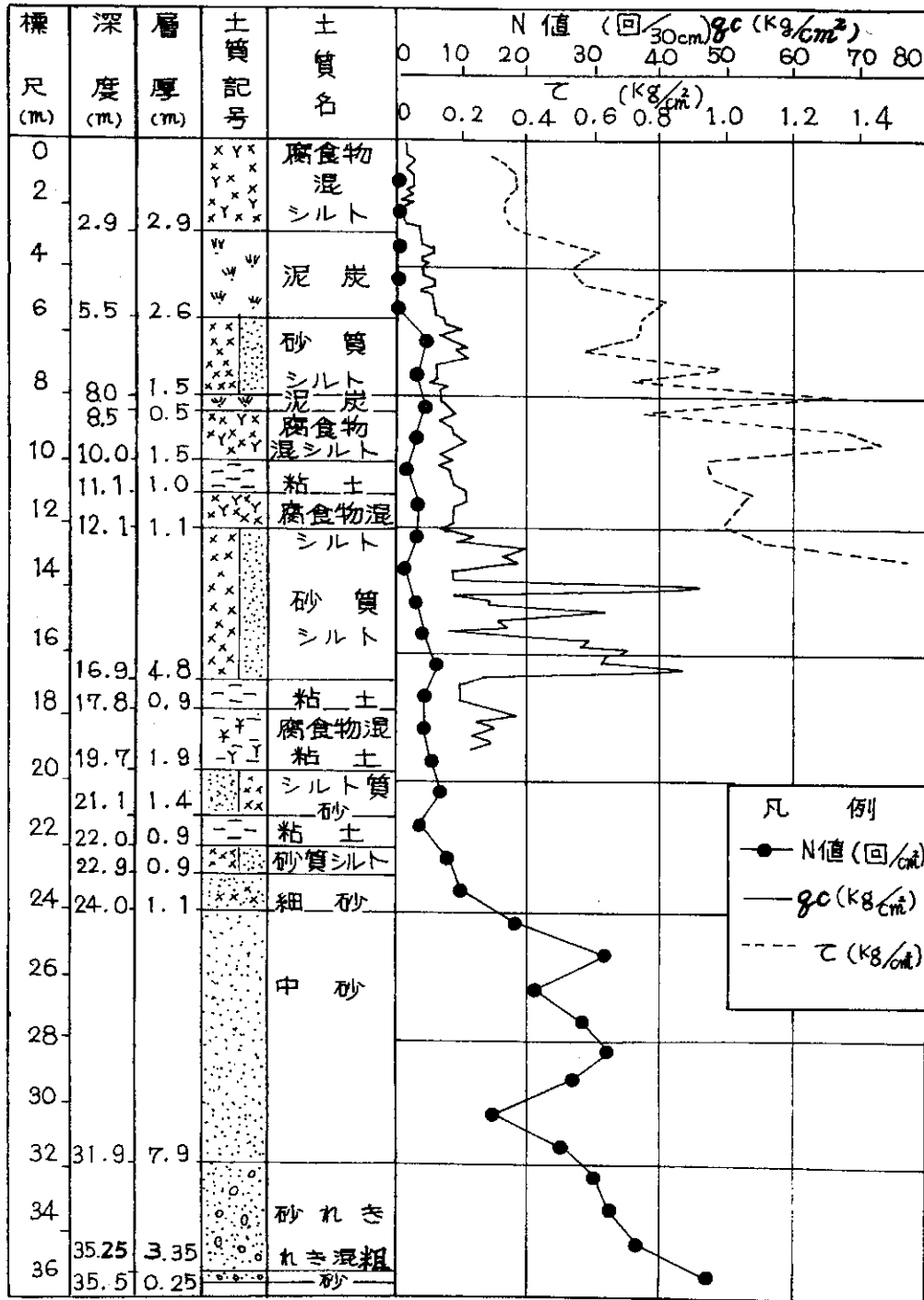
3. L.L.T法による現地測定結果

以上述べてきたような考え方に基づき、大曲くい試験場で実施した試験結果を中心に述べる。

試験現場周辺の地盤は図一4に示したような、土層構成で、深さ約20~22m付近までN値=0~5程度の泥炭と粘土および砂質シルトなどの互層からなっている軟弱地盤である。

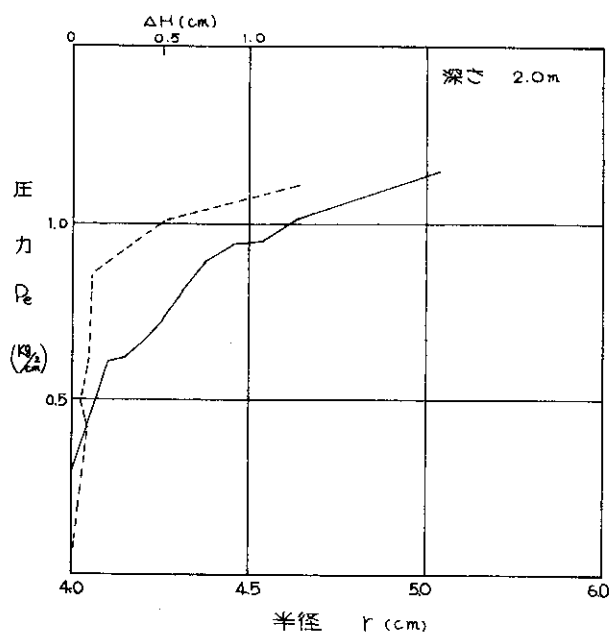
当現場において、深さ2.0mと4.0mでL.L.T法による測定を実施したが、図一5、6に深さ2.0mでの測定結

果を示す。図一5は加圧ステップ0.2, kg/cm^2 , 圧力計容量 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ を使用して試験を行なった結果である。先に示した図一3と同図を比較すると、 $P=0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 付近、およびそれ以下の状態がはっきり表われていないが、 $P=0.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 付近に変形速度 ΔH 曲線が折線をなし地盤の降伏状態ははっきりわかる。L.L.Tにより求める K_m 値は、先に述べたように $P_e \sim r$ 曲線上の擬似弾性領域のこう配で示されることから、その付近を明確に測定するこ

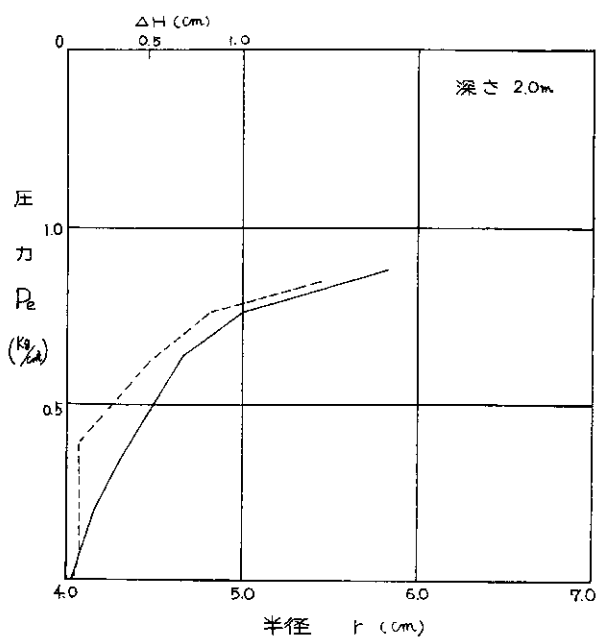


(注)..... N値=標準貫入試験値 q_c =コーン指数 τ =せん断強度

図一4 大曲くい試験場原位置試験測定結果図



図—5 L.L.T 試験 結果 図



図—6 L.L.T 試験 結果 図

とが不可欠になってくる。

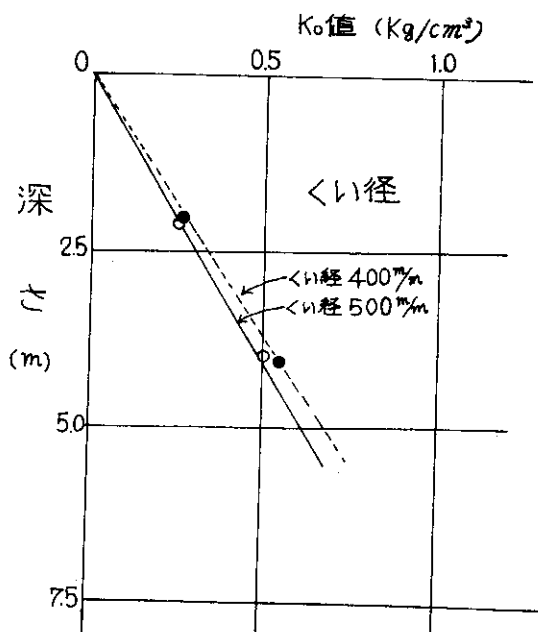
このことから、加圧ステップを小さくし、圧力計容量を小さくすることにより、読取り精度をあげ試験を実施した結果を図—6に示す。図—6は、図—5と同一条件（地盤、深さ）のもとで実施し、加圧ステップは0.05 kg/cm²、圧力計の容量2 kg/cm²を使用して行なったものである。この図において $P_e \sim r$ 曲線が明確に測定できる。

以上の試験結果から判断すると、N値=0～1程度の泥炭性軟弱地盤の場合、圧力計の容量は2～5 kg/cm²を使用し、加圧ステップを0.05～0.1 kg/cm²にすることにより良い結果が得られる。

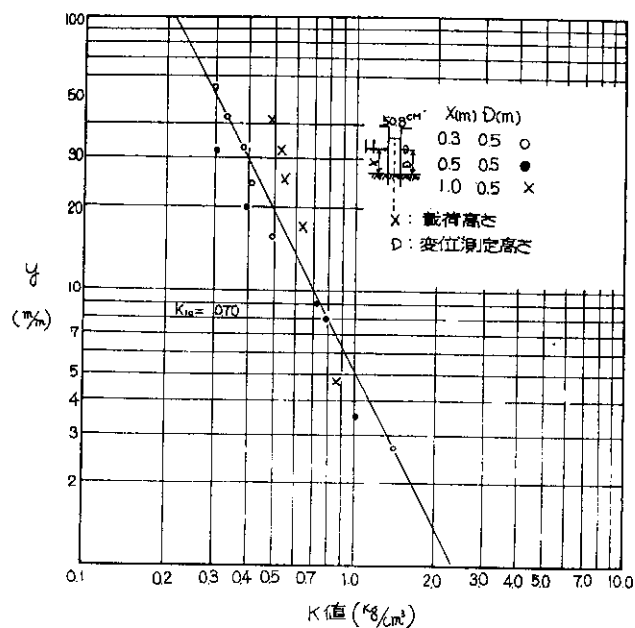
次に測定深さについてであるが、今井氏は、「適当な深度間隔で試験を実施し、くいの第1曲げモーメント零点の位置の約1.5倍程度までのものを、地質条件と考えあわせ採用する。」と述べている。

このようにして、L.L.Tから求めた基準K値とくいの水平載荷試験から得られたK値を比較すると次のようになる。図—7がL.L.Tによる基準K値を示したもので深さ方向に2点実施している。若干問題はあるが、5.5～6.0m付近の K_0 をとると $K_0=0.75$ を得た。

図—8はくいの水平載荷試験から求めたK値で、この図から変位 $y=10$ mmの時のK値を K_{10} 値とすると、 $K_{10}=$



図—7 L.L.TによるK値（基準K値 K_0 ）



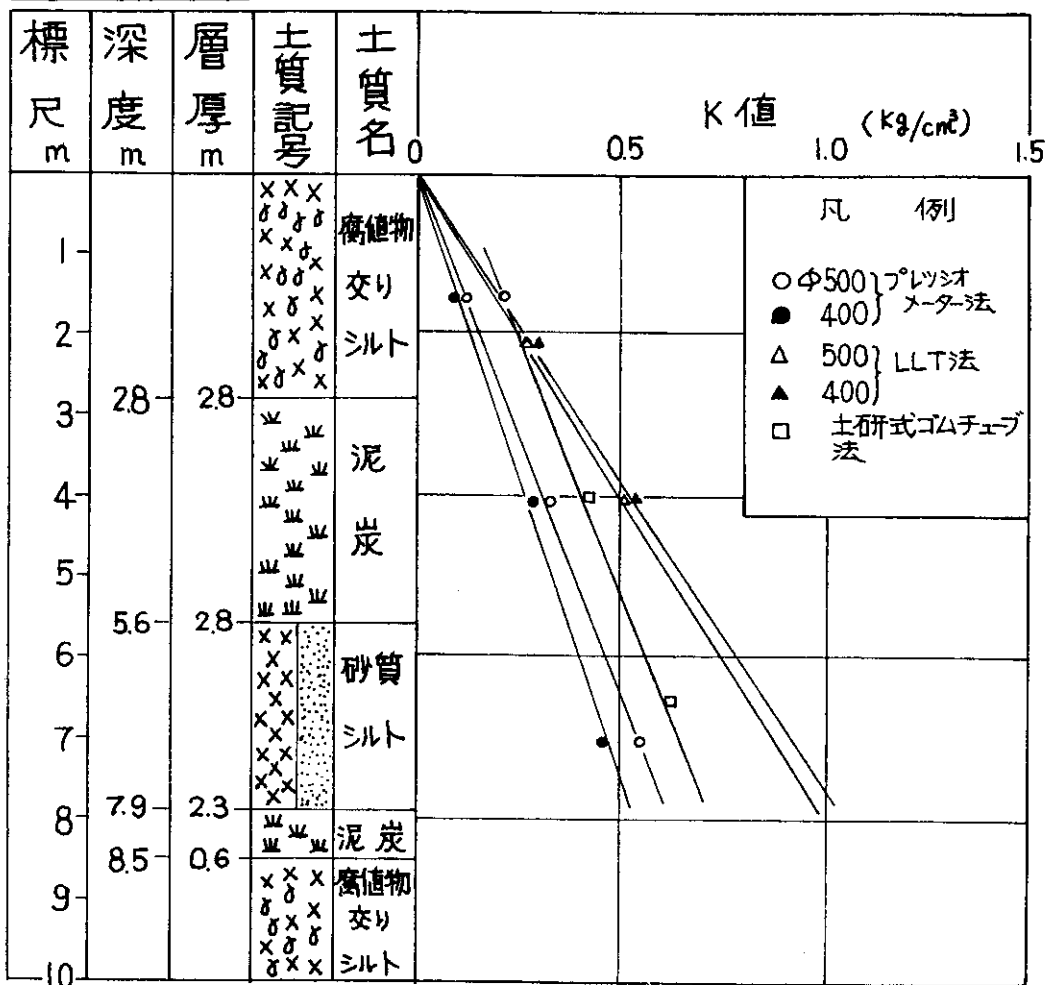
図—8 くいの載荷試験から求めたK値

0.70を得る。 $k = K_0/K_{10} = 1.07$ となり、かなり良い一致を示すようである。今後さらに検討を重ね、究明していく方針である。

図-9は土研式ゴムチューブ法とプレッショメーター法、そしてL.L.T法の試験結果を同図にプロットしたも

のである。三者とも基本原理（Kögeler の考え方にそっている）は同じであり、ある文献においてこの三者の測定を実施し、特に値自体に大きな差は認められなかったとの報告もされているが、図-9のような多少ばらつきのある結果を得た。

大曲い試験場



(プレッショメーター、ゴムチューブ、L.L.T法)

図-9 水平地盤反力係数測定結果図

あとがき

以上昭和45年度購入したL.L.Tの概要および試験結果の1部を紹介してきた。

孔内水平載荷試験は、K値を求める1つの簡便法として実用的手法であり、重要視されつつある試験方法である。

当研究室では、今後さらに調査件数を増加して資料を多く収集し、

- i 測定方法およびその結果の適切な利用方法
- ii K_0 値と土質常数の関係ならびに単ぐいとの関係

などについて検討を進め基礎の安定計算への反映を計っていく方針である。

参考文献

- 1) 陶山国男、今井常雄他；「地盤の横方向K値の研究」(1), (2), (3), (4) 土と基礎, Vol.14. No.10. 1966年10月, Vol.14. No.11. 1966年11月, Vol.17. No.11. 1969年11月, Vol.18. No.1. 1970年1月
- 2) 応用地質調査事務所；「L.L.T取扱説明書」昭和42年12月