

首都高速道路公団 正員 中川 誠志

(株) 鴻光組 , ○ 福岡 啓内

1. きえがき

温度変化にともなう上部工の伸縮の影響を受ける橋脚の基礎グイは、地盤のクリープ・リラクゼーションの複雑に組み合わされた挙動を示す。このようなクイ基礎の設計にあたって、横方向地盤反力係数K値には荷重の載荷速度、載荷時間、変位の大きさ等の影響を考慮しなければならぬと思われる。ここではこの問題へのアプローチの一として、ボーリング孔を利用した孔内水平載荷試験(L.L.T)によりK値の時間依存性(クリープテスト)、非線形性をしるべ、K値を時間および変位の関数でありかつ $K(y, t) = \alpha \beta F(y) G(t)$ (α, β 係数)と変数分離型で表現できるとして、クイ・地盤系の解析にとり入れ、実況(大宮場所打グイ)の水平載荷試験のシミュレーションを試み良好な結果を得たのでこの報告する。

2. 非線形性を考慮したK値

L.L.T試験における載荷重量 $P (=P_e - P_0)$ と変位量 y (ゴムチューブの半径の増加量) の測定例を図-1に示す。この測定値も二本の漸近線をもち双曲線関数であらわし

$$P = ay + b - \sqrt{cy^2 + dy + e} \quad (1)$$

測定結果に最も適するよう a, b, c, d, e を選定する。(図-1の破線に示す)。これより測定K値 K_m は次式で与えられる。

$$K_m = P/y = F(y) \quad (2)$$

これにL.L.Tの載荷様式と実グイのそれとを等なることによる補正 $\alpha = \pi/2$ クイ径の相異による補正 $\beta = (\pi r_0/B)^{1/2}$ をおこなひ、K値をもとめた。

$$K = \alpha \beta F(y) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{\pi r_0}{B} \right)^{1/2} F(y) \quad (3)$$

但し πr_0 : ゴムチューブの初期半径 B : 実グイのクイ径
地盤が砂質にわたる場合には、所帯の各層において同様の寸法により、各層のK値をもとめる。

3. クリープ性状を考慮したK値

L.L.T試験を長時間にわたっておこなひ、その測定結果を、図-2 L.L.T長期載荷測定例 $y \sim t$ 変位と時間について表わしたものを図-2に示す。これらの結果を粘弾性モデルとの対応を考慮して下記に表わす。

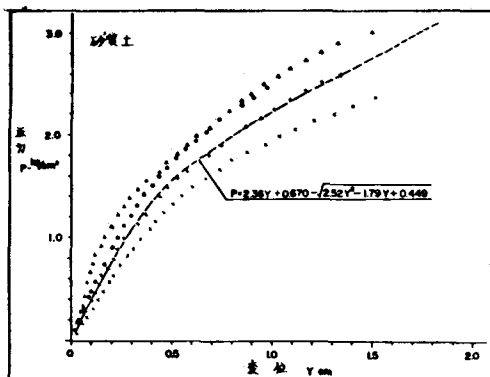
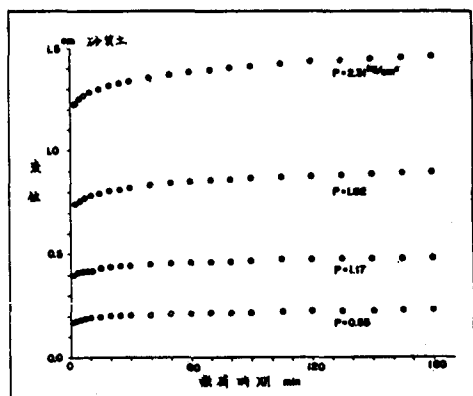
$$y(t) = y_0 + \sum_{i=1}^n y_i (1 - e^{-t/\tau_i}) \quad (4)$$

ここに $y(t)$: 全変位量 y_0 : 初期変位量 τ_i : 遅延時間 y_i : クリープ変位量
 $y \sim t$ の実験データから $\tau_i (i=1 \sim 3)$ を適当にさだめて Collocation 法により $y_i (i=0 \sim 3)$ を決定する。しかしながら $y(t)$ は載荷応力レベルにより異なるため、単位応力レベルに相当する(クリープコンプライアンスに相当) $D_c(t)$ に変換すると (5)式が得られる。

$$D_c(t) = \frac{y(t)}{P} = D_0 + \sum_{i=1}^n D_i (1 - e^{-t/\tau_i})$$

$$\text{但し } D_i = \frac{y_i}{P} \quad (5)$$

K値のクリープ性状 $G(t)$ は $K_0(t)$ をラプラス変換により (6)式のように表わし、その初期K値の比として求める。

図-1 L.L.T試験測定例(通算) $P \sim y$ 図-2 L.L.T長期載荷測定例 $y \sim t$

$$K_n(t) = 1/D_n(t) = K_0 + \sum_{i=1}^n K_i e^{-\beta_i t} \quad (6)$$

$$G(t) = K_n(t)/K_n(0) \quad (7)$$

図-3 はこれらの結果からえられた $G(t)$ の一例である。図-3 には室内三軸クリープテストについて同様に処理したものもあわせて示したが、これとみると応力レベルによる $G(t)$ の差はわずかであるのでここでは $G(t)$ を応力レベルによる差はないとして図中の数式で代表させた。以上により変位および時間の関数としての K 値は(8)式でもとめられる。

$$K(y, t) = \alpha \beta F(y) G(t) \quad (8)$$

4. 解析手法

以上により地盤は非線形性とクリープ性状を考慮した K 値としてあらわされたが、地盤は多層であることと、クイ体に生ずる応力によりコンクリートにクラックが生ずれば断面剛性が大幅に減少することを考慮して、地中層を適当に層分割し各層示の ch ang の方程式を立てる。 $\beta_i = \sqrt{\frac{K_i D_i}{4(EI)_i}}$ その一般解は下記で与えられる。

$$\text{地上部 } y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad \text{地中部 } y_i = e^{\beta_i x_i} (H_i \cos \beta_i x_i + I_i \sin \beta_i x_i) + e^{-\beta_i x_i} (J_i \cos \beta_i x_i + K_i \sin \beta_i x_i) \quad (9)$$

これに境界条件および連続条件より $A, B, C, D, H_i, I_i, J_i, K_i$ に関する連立一次方程式が得られる。これにより解が得られるが K 値が変位と時間の関数であり EI がひびわれ発生状況により異なるため実際の計算は次の手順による。

①目標荷重 H_{max} (時間 t の関数) を決定する。② $H_{max}(t)$ を時間を考慮して適当に N 分割しそれぞれの増分荷重を ΔH_j とする。③荷重 $H = \sum_{j=1}^N \Delta H_j$ の状態から載荷時間 $(t - t_{j-1})$ を考慮した ΔH_{Hj} の増分値に対する各層の K_i 値を仮定する。④荷重 H と仮定した K_i 値に対して ch ang の式を解いて各層の変位を求め $y_i = \sum_{j=1}^N \Delta y_i$ ⑤変位 y_i と時間 t に対する K_i 値を求めこれが③で仮定した値に一致すれば手順⑥へ移行するがそうでなければ手順③にもどって K_i 値を再仮定し再度④⑤を行う。⑥各層の曲げモーメント M_i を計算し各断面のひびわれ発生の有無を調べる。ひびわれが発生しておればその断面の剛性を低下させて手順④にもどる。ひびわれ発生がなければ荷重を ΔH だけ増分して手順③に戻り H が目標荷重になるまで上記の手順をくり返す。

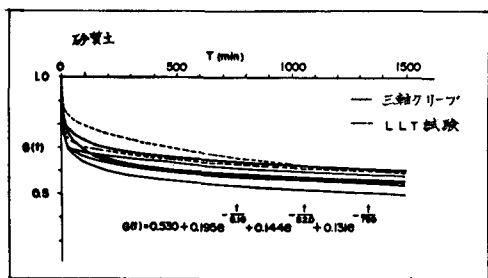


図-3 K 値の時間依存性 $G(t)$ 曲線

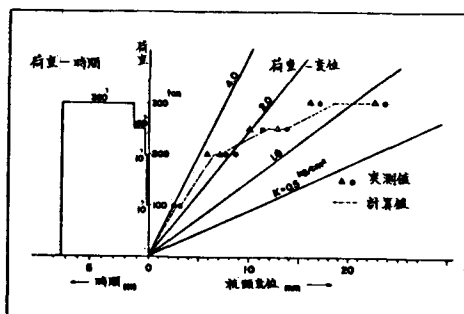


図-4 水平載荷試験の実測値と計算値の比較

5. 実測値と解析結果の比較

クイ径はクイ長約4.0mの場所打グイの単グイ水平載荷試験の実測値と解析値の比較を図-4, 5に示す。図-4は300^{cm}載荷試験の例で荷重～時間、荷重～クイ頭変位の関係を示す。100^{cm}, 200^{cm}, 250^{cm}載荷時の各クリープ量を考慮した解析値は実測値と比較的よく一致している。図-5は長期クイ頭変位一定試験の例でクイ頭変位を2.76^{cm}と1.27^{cm}にそれぞれ固定させた場合のクイ頭荷重が時間とともにどのように低下するかを示している。実測値と計算値は非常によく一致していることがわかる。

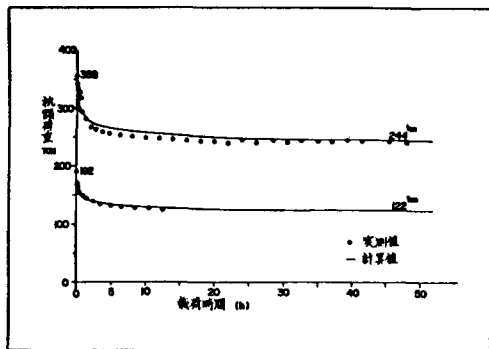


図-5 長期変位一定試験の実測値と計算値の比較

6. おわりに

K 値の非線形性および時間依存性を現内水平載荷試験より求め、実グイ(4.0m場所打枕)の水平載荷試験に適用してみたところ、良好一致を見た。