

III-80 北上大坑の柱基礎構造の設計と試験について

東北地方建設局 正員 会津正人

1. まえがき

現在、東北地方建設局で工事施工中の北上大坑の柱基礎構造物のうち、左岸の7号柱は地形及び地質条件により、傾斜岩盤上の有限長くいの構造を決定した。

この傾斜岩盤は約45度の急傾斜を有する硬質粘板岩で、長い長の特長を有する2列は水平力によるくいの先端滑動防止のため大口至ボーリングにより岩盤アンカーとし、比較的長い他の2列はアンカーなしの特長基礎構造としたものである。

本発表はこれらの特長基礎構造の解法と岩盤アンカーした場合のくいの先端の境界条件と実際の試験について検討したものである。

2. 北上大坑の概要

北上大坑はかんがい用水の確保、旧北上川への維持流量の分派、及び塩害防止等の目的で従前の飯野川可動坑に代えて新に新北上川河口より17.2 km地奥に築造するものである。工事は昭和44年夏に着工し、昭和49年夏に総額約60億円をもって完成する大規模工事である。

工事規模は可動坑の總延長約340 mで恒水路（スパン 50 m）3内、高水路（スパン 38 m）3内の計6内があるもので、そのうち恒水路の50 mローラーゲートは本邦最大の規模を有するものである。工事施工は工事量及び治水上の理由により、全長を5ブロックに分割施工とし、毎年10月より6月までの非洪水期間に施工するもので、昭和49年6月現在で2ブロックまで完成しているものである。

3. 地質概況

北上大坑設置地奥の地質構成は砂岩及び粘板岩よりなる中世代三疊紀の稻井戸部のU字型の基礎として広く分布し、その上部はカ4紀で構成されている。カ4紀は下部の砂礫層と上中部を占める粘性土層及び砂質土が分布している。断面構成の一般的特徴は基礎である稻井戸が急峻な谷を形成し、その谷の約45度の急傾斜で深く河床に入りこんでいる。傾斜岩盤上には位置によって若干の相違はあるが約1.0 m～数mの崖線が広く分布している。粘性土層或は砂層は谷戸或はブロック状に入り混り河川堆積物に特有な傾向である垂直方向の変化が激しい。上下掘方向も砂質土中に粘性土、或は粘性土中に砂質土がミックス状に分布し、連続性に乏しい特性を有している。これらの粘性土層のN値は全て10以下であり特に河床附近の粘性土はN値が殆んど零に近い軟弱地盤である。

4. 傾斜岩盤上の有限長くいの設計

傾斜岩盤上の有限長くいの設計項目は1). 間座効果の検討 2). 円筒方向座屈の検討 3). 岩盤変入の検討、4). 弾性床上の梁としての解法と有限長くいとしての弾性方程式を解く方法の合成法の4

項目であるが、このうち4)の弾性床としての梁の解法と有限長くいの弾性方程式で解く方法の合成法について述べる。

1) 弾性床上の梁の解法

横方向地盤係数 K 、変位 y 、とあると弾性床上の梁としての微分方程式は一般に(1)式で表される。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + K D y = f(x) \dots\dots\dots (1)$$

$\beta = \sqrt[4]{\frac{KD}{4EI}}$ とあると(1)式の一般解は(2)式で表される。

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \dots\dots\dots (2)$$

傾斜岩盤上にアンカーされた状態、即ちくいの先端境界条件はくいの頭固定、くいの先端剛結(3)式、及びくいの頭固定、くいの先端ヒンジ(4)式で積分定数 A, B, C, D を求めると各々次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{-\frac{P}{2EI\beta^3} \left[e^{-2\beta l} - \{2 \sin^2 \beta l + (\sin \beta l + \cos \beta l)^2\} \right]}{-4 \sinh 2\beta l - 4 \sin 2\beta l} \\ B &= \frac{-\frac{P}{2EI\beta^3} \left[e^{-2\beta l} - \{2 \sin^2 \beta l + (\sin \beta l - \cos \beta l)^2\} \right]}{-4 \sinh 2\beta l - 4 \sin 2\beta l} \\ C &= \frac{\frac{P}{2EI\beta^3} \left[e^{-2\beta l} + \{2 \sin^2 \beta l - (\sin \beta l + \cos \beta l)^2\} \right]}{-4 \sinh 2\beta l - 4 \sin 2\beta l} \\ D &= \frac{-\frac{P}{2EI\beta^3} \left[e^{-2\beta l} - \{2 \cos^2 \beta l - (\sin \beta l + \cos \beta l)^2\} \right]}{-4 \sinh 2\beta l - 4 \sin 2\beta l} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

以上により変位 y が求まれば撓み角、モーメント、及び剪断力は(5)式で求められる。

$$\theta = \frac{dy}{dx}, \quad M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2}, \quad S = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} \dots\dots\dots (5)$$

以上でくいの先端が岩盤アンカーされた場合のくいの設計は可能であるが、アンカーされたくいの先端の境界条件が固定であるかヒンジであるか不明であり、又本邦でもこのような試験ぐいの例がなかったため設計としては一応固定とヒンジとして設計したものである。

2) 有限長くいとしての弾性方程式の解法

これらの解法については一般論のものであり(6)式で求められる。

$$\text{地表面変位 } \bar{y}_0 = A + C \dots\dots (6)$$

A, C は(2)式でくいの頭の境界条件のみで求めた積分定数とその式について一般の式があるのがある。

なお、横方向地盤係数は採り方向、くいの長さ D 、及び変位 y の函数と考え(7)式により求められる。

$$\left. \begin{aligned} \text{常時} \quad K_0 &= \frac{1}{1.2} E_p \sqrt[3]{\frac{1}{D}} \cdot y^{-\frac{1}{3}} \\ \text{地震時} \quad K_0 &= \frac{1}{1.2} E_p \sqrt[3]{\frac{1}{D}} \cdot y^{-\frac{1}{3}} \end{aligned} \right\} \quad (7) \quad \begin{aligned} E_p &: L, L, T \text{ 或はアレシオメーター等より求められる} \\ &\text{土の変形係数} \end{aligned}$$

図-1, 圧柱基礎ぐいの構造

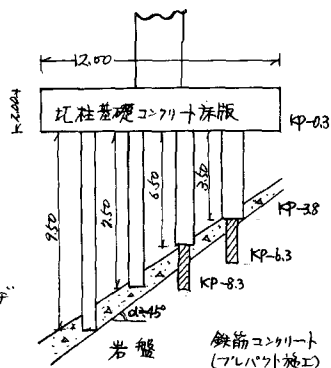
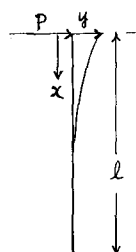


図-2



$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{-\frac{P}{2EI\beta^3} \left[2 \cos^2 \beta l - (\cos \beta l - \sin \beta l)^2 + e^{-2\beta l} \right]}{4 (\cos^2 \beta l - \sin^2 \beta l + \cosh 2\beta l)} \\ B &= \frac{\frac{P}{2EI\beta^3} \left[2 \cos^2 \beta l - (\cos \beta l + \sin \beta l)^2 + e^{-2\beta l} \right]}{4 (\cos^2 \beta l - \sin^2 \beta l + \cosh 2\beta l)} \\ C &= \frac{\frac{P}{2EI\beta^3} \left[2 \cos^2 \beta l - (\cos \beta l + \sin \beta l)^2 + e^{-2\beta l} \right]}{4 (\cos^2 \beta l - \sin^2 \beta l + \cosh 2\beta l)} \\ D &= \frac{\frac{P}{2EI\beta^3} \left[2 \cos^2 \beta l - (\cos \beta l - \sin \beta l)^2 + e^{-2\beta l} \right]}{4 (\cos^2 \beta l - \sin^2 \beta l + \cosh 2\beta l)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

3) 合成法

前述のようにくい先端をアンカーした場合としない場合について杭頭変位量の計算乃至は各くいの長さが異なるので一般にくい頭変位量がすべて異なって算定される。しかし、実際にはくい全体はフーテンで結合されて一体として変位するのでこのような現象はみこり得ない。従ってこれらの計算の手法(合成法)として次の分配率を考えた。

ア) 剛性荷重分配率 R_i

こゝで各くいの変位量が異なることとは各くいのバネ定数が異なることを示される。即ち、変位が小さいということは横方向バネ定数が大である事と同様に考えられる。そこで各変位量の逆数をもって横方向バネ定数とし、水平荷重を横方向バネ定数の比で分配した。こゝでくい頭変位量の逆数の比を剛性荷重分配率 R_i と名づけた。

$$R_i = \frac{\frac{1}{y_i}}{\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} + \frac{1}{y_3} + \frac{1}{y_4}} \dots\dots(8)$$

イ) 群ぐい効果荷重分配率 G_i

くい間隔を或程度以上に密に打つとくいが相対的に密してその効果を減らす。本設計に於いては群ぐいとなるのでその支持力効果も考えなければならぬ。従って、支持力低下を横方向バネ定数の低下と考えると同時に水平荷重も横方向バネ定数の比に分配あるものと考えた。群ぐい効果については1列目1.0, 2列目0.8, 3列目^{1/2}0.6とした。

$$G_i = \frac{1.0(0.8 \text{ or } 0.6)}{1.0 + 0.8 + 0.6 \times n} \dots\dots(9) \quad n: \text{くい列数}$$

エ) 組合荷重分配率 F_i

以上の剛性荷重分配率 R_i と群ぐい効果分配率 G_i を組合せたものを^{組合}組合荷重分配率 F_i と名づけた。水平荷重はこの組合せ荷重分配率 F_i をもって各くいに分配してくいの設計を実施したものである。

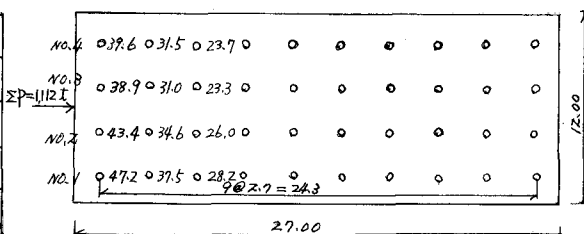
$$P_i = \sum P \cdot F_i = \sum P \cdot G_i \cdot R_i \dots\dots(10)$$

その計算結果、各くいに分配した水平荷重は図へ3のとおりである。

表-1. R_i, G_i による荷重分配

列別 No	R_i	G_i	地震時 LL=100% $\Sigma P=1112 \text{ t}$	摘 要
No.1	0.279	0.152	47.2	
No.2	0.257	"	43.4	
No.3	0.230	"	38.9	
No.4	0.234	"	39.6	

図へ3 分配された水平荷重



5. 試験ぐい

1) 試験目的

7号ピアのくい基礎構造は前述のように傾斜岩盤上の有限長のくい構造となり、くい先端の滑動防止の目的でくい先端水平力に十分耐え得る深さ(約1.5m)まで岩盤アンカーするに決定したものの

である。しかも有限長のくいの解法はくい先端の境界条件（剛結或はヒンジ）によるくい頭変位量が異なることになる。しかも、図へしに示したような有限長くいの岩盤アンカーした場合としない場合のくい先端条件については、1) 剛結、2) ヒンジ、3) 剛結とヒンジの中間の3ケースが考えられる。このくい先端条件の把握は主眼をとり、試験ぐいを実施したものである。

2) 試験方法

試験ぐいの配置は図へ4、表へ2、のとおりであるが試験方法を簡単に述べると次のとおりである。

1. $\phi 800$ の鋼管を打込む。（ストレンゲージ付）
2. 鋼管内の土砂排除をし $\phi 70$ mm の大口至ボーリングを行う。
3. 鉄筋を挿入しプレバットコンクリート（早強ポルトランドセメント使用）を打設する。
4. 1 週間後水平載荷試験（最大 40 ton、繰返載荷方法）を行う。
5. くい頭変位量及びストレンゲージの記録より解析。

3) 試験解析結果

1. 降伏荷重

降伏荷重については NO.3 と NO.4 がほぼ同一のくい長さであるが、岩盤アンカーされたくいは大きい降伏荷重を享受しており、あたかもくい長が増加したような挙動を示している。これは鉄筋コンクリートの埋込により岩盤アンカーの効果が有効に伝わるものと考えられる。

2. 中詰コンクリート

プレバット施工した中詰コンクリートは荷重の小さい段階において有効であるが、荷重が大になると全般的にあまり有効でない。この事は鋼管表面とコンクリート付着条件があまりよくない等、又コンクリート自体曲げ強さがないため、荷重の増加に伴う変位量の増大に伴い合成ぐいの機能も失ってゆくものと考えられ、計算上は期待しない方が安全である。

3. くい先端境界条件

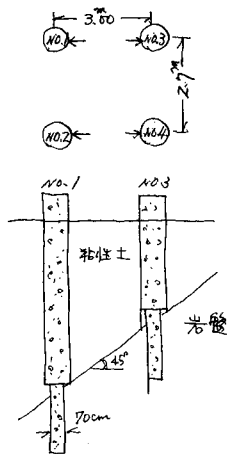
くい先端境界条件は図へ6に示したような計算値と試験ぐい結果の荷重～変位量を比較すると約 30 ton 以下の小さい荷重のうちにはほぼ剛結の状況であるが、30 ton を越えと急激にヒンジに近づいてゆく傾向がある。

従って設計のように 40 ton 程度の水平荷重を受ける場合はヒンジとして設計するのが妥当であると考えられる。

表へ2 試験ぐい諸元

機号	形状寸法	くい	種類
1	812.8×12.7×1156	コンクリート	くい先端アンカー
2	" " 1126	中詰	アンカーなし
3	" " 7120		くい先端アンカー
4	" " 7830		アンカーなし

図へ5 試験ぐい配置図



図へ6 荷重～変位量

