

軟弱地盤에 設置된 橋臺의 側方移動과 그의 對策工法

柳 基 松*

1. 序 論

軟弱地盤上에 盛土를 하면 盛土荷重에 의하여 地盤은 沈下와 함께 側方流動을 일으키게 된다. 이 現象은 1969年에 페(Peck)이 最初로 學論한 후 1973年 체보타리호프(Tschebotarioff)에 의하여 모스크바에서 열린 土質基礎會議에서 國際的인 課題로서 “粘性土地盤에서 水平方向土壓을 받는 말뚝의 휨問題”로 提起되었다.^{1,2)} 이 側方流動의 被害는 다른 어떤 構造物보다도 橋臺가 가장 많으며, 大部分의 橋臺가 Fig. 1과 같이 前方으로 移動되어 橋座 및 날개壁 등이 破損되며 더 나아가서 隣接 橋脚이 破壞되는 경우도 있다. 日本에서는 이 問題에 關心을 가지고 1973년부터 建設省 土木研究所, 首都高速道路公團, 日本道路公團 등에서 橋臺의 側方流動에 대한 研究

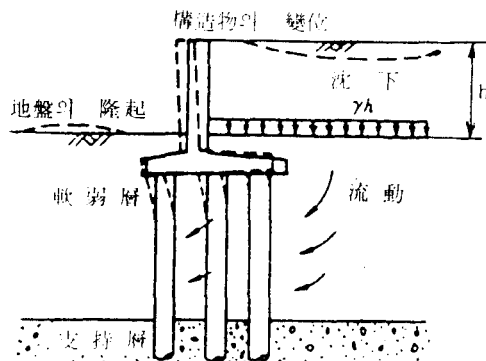


Fig. 1 橋臺의 側方流動¹³⁾

가 進行되어 研究報告書와 함께 橋臺의 側方流動에 대한 判定方法과 그 設計法, 對策工法이 發表되고 있다. 우리나라도 이제 本格的으로 西南海岸開發事業이 活潑히 進行됨에 따라 이러한 橋臺側方流動의 問題點이 많이 惹起될 것으로 생각되어 本稿에서는 日本의 各機關에서 提案되고 있는 軟弱地盤에 設置한 橋臺의 側方流動判定基準과 그의 對策工法에 대하여 參考文獻을 中心으로 簡單히 紹介하고자 한다.

2. 側方流動의 判定

가. 圓弧滑動의 安全率에 의한 判定

이 方法^{11,12)}은 建設省 土木研究所의 “偏載荷重에 의한 構造物의 水平移動에 관한 研究” 報告書에서 提案한 橋臺의 側方流動의 可能性判定方法으로서 Fig. 2와 같이 橋臺 및 말뚝基礎를 無視하고 圓弧滑動에 대한 安定計算을 하여 安

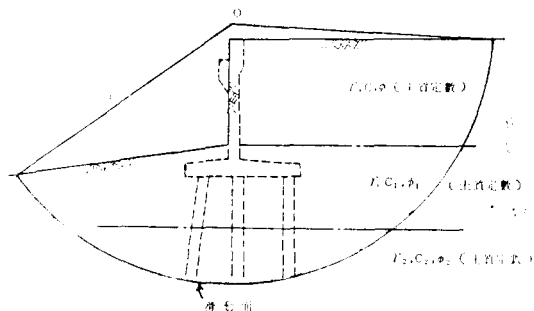


Fig. 2 圓弧滑動計算(臨界圓)¹¹⁾

* 正會員, 農業振興公社 首席研究員

全率이 1 以下이면 側方流動의 可能性이 있어 어떠한 對策工法이 必要하며, 반대로 安全率이 1 以上이면 側方移動의 可能性이 없다고 判定한다.

나. 圓弧滑動에 대한 抵抗比와 壓密沈下量에 의한 判定

이 方法¹⁾은 日本首都高速道路公團에서 提案한 것인데 Fig. 3 과 같이 橋臺와 말뚝基礎가 없는 것으로 假定, 沖積層(軟弱層)中間을 通過하는 圓弧滑動에 대한 最少安全率을 구하여 다음과 같이 壓密沈下量과 함께 側方流動의 影響을 받는 有無를 判定한다.

$F_s \geq 1.6$ 및 $s < 10\text{cm}$; 危險性 없음

$1.2 \leq F_s \leq 1.6$ 및 $10\text{cm} \leq s \leq 50\text{cm}$; 側方變位를 考慮한 設計法으로 檢討

$F_s < 1.2$ 및 $s > 50\text{cm}$; 危險性 있음(對策工法 必要)

여기서, F_s ; 圓弧滑動抵抗比(盛土端部に 中心을 두고 軟弱層中間을 通過하는 圓弧滑動面에 대한 安全率)

s ; 壓密沈下量(cm)

다. 側方流動指數에 의한 判定

이 方法⁷⁾은 日本道路公團에서 提案된 橋臺移動의 判定基準이며, Fig. 4를 利用, 다음 式으로 橋臺의 側方流動指數를 구하여 判定한다.

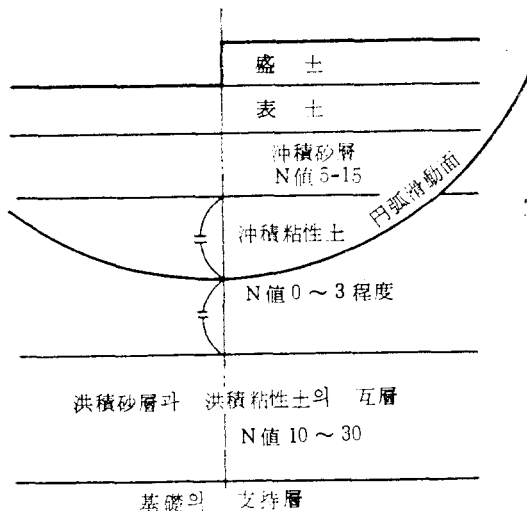


Fig. 3 圓弧滑動計算(臨界圓)¹⁾

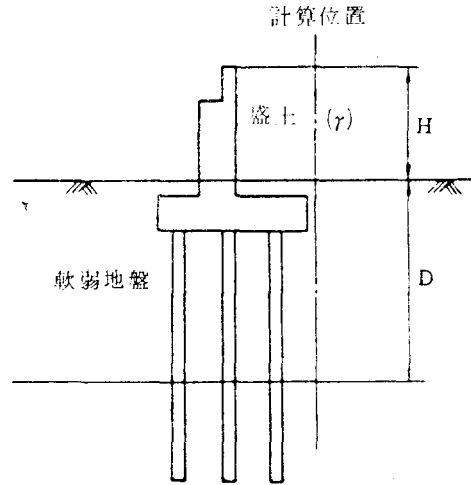


Fig. 4 側方流動指數의 計算⁷⁾

$$F = \frac{\bar{c}}{r \cdot H \cdot D}$$

여기서, F ; 側方流動指數(m^{-1})

$F \geq 0.04$; 側方流動危險性 없음

$F < 0.04$; 側方流動危險性 있음
(對策工法 必要)

\bar{c} ; 軟弱層의 平均粘着力(tf/m^2)

r ; 盛土의 單位重量(tf/m^3)

H ; 盛土의 높이(m)

D ; 軟弱層의 두께(m)

라. 側方流動判定數에 의한 判定

이 方法^{1), 12)}은 日本建設省土木研究所의 堀部等¹⁵⁾이 第36回土木學會年次學術講演會에서 提案한 橋臺側方流動의 判定基準으로서 Fig. 5를 利用, 다음 式으로 I 值를 구하여 I 值가 1.5 未滿이면 側方流動의 危險性이 없으며, I 值가 1.5 以上이면 側方流動의 危險性이 있다고 判定한다.

$$I = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \frac{r h}{\bar{c}}$$

여기서,

I ; 側方流動判定數

μ_1 ; 軟弱層두께에 관한 補正係數($\mu_1 = D/l$)

D ; 軟弱層의 두께(m)

l ; 말뚝의 根入길이(m)

μ_2 ; 말뚝自體抵抗幅에 관한 補正係數(b/B)

b ; 橋軸直角方向말뚝幅(지름)의 合計(m)

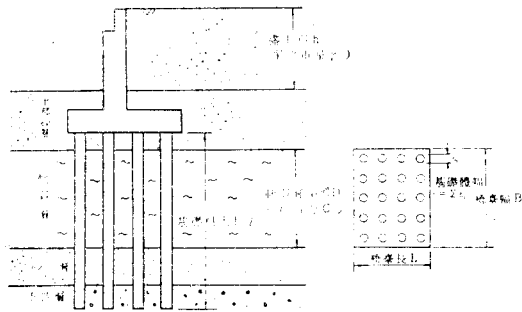


Fig. 5 그림側方流動判定數의 計算⁸⁾

- B; 橋軸直角方向基礎의 幅(m)
- μ_3 ; 橋臺길이에 관한 補正係數($D/L \leq 3.0$)
- L; 橋軸方向 基礎의 幅(m)
- r; 盛土의 單位重量(tf/m³)
- h; 盛土의 높이(m)
- c; 軟弱層의 平均粘着力(tf/m²)

마. 破壞에 대한 安全率에 의한 判定

이 方法은 日本道路公團試驗所의 石原等⁵⁾이 第26回土質工學會심포지움에서 提案한 것으로 Fig. 6을 利用, 다음 式에 의하여 F_R 值를 구하고 이 값이 3 以上이면 橋臺는 安定되어 있다고 判定한다.

$$F_R = \frac{4\bar{c} + \frac{5\bar{c}L}{D} + \frac{3}{2}\bar{r}_1BNr}{r_1H}$$

여기서,

- F_R ; 破壞에 대한 安全率
- \bar{c} ; 軟弱層의 平均粘着力(tf/m²)
- L; 橋軸方向橋臺의 幅(m)

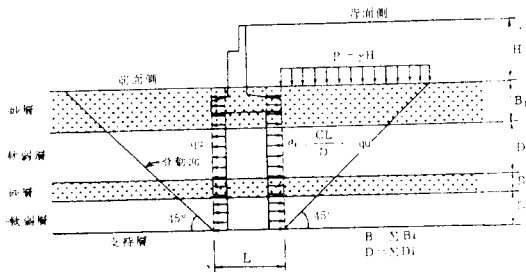


Fig. 6 橋臺와 滑動面의 假定⁵⁾

- D; 現地盤下 軟弱層두께의 合計(m)
- \bar{r}_1 ; 모래層의 平均單位重量(tf/m³)
- B; 現地盤下 모래層두께의 合計(m)
- N_r ; 모래層의 支持力係數(實用的으로는 N 值)
- r_1 ; 盛土의 單位重量(tf/m³)
- H; 盛土의 높이(m)

3. 側方流動을 考慮한 橋臺의 設計

橋臺의 側方流動에 대한 危險이 있다고 判定되는 곳에서는 盛土荷重의 輕減, 프리로딩(Preloading), 地盤改良等의 工法을 併用하여 對策을 세우는 것이 一般的이며, 側方流動이 豫想되는 橋臺의 말뚝基礎設計는 最近의 研究成果로 建設省, 首都高速道路公團 및 日本道路公團에서 提案하고 있는 設計方法의 概要를 記述하면 다음과 같다.

가. 建設省土木研究所

建設省土木研究所^{8),12)}에서는 다음 式을 滿足시키는 範圍로 設計를 하며, 이 範圍에 들지 않는 軟弱地盤에서는 他工法 또는 併用工法을 採擇하는 것이 좋다.

$$N_b = \frac{rh}{\bar{c}} \leq 3.14$$

여기서,

- N_b ; 安定係數
- r; 盛土의 單位重量(tf/m³)
- h; 盛土의 높이(m)
- \bar{c} ; 軟弱地盤의 平均粘着力(tf/m²)

말뚝에 作用하는 側方流動壓은 地盤變位를 既往의 實測值로 推定하거나 브시네스크(Boussinesq) 解法이나 有限要素法으로 推定하여 다음 式⁸⁾으로 구하며, Fig. 7과 같이 基礎底板과 말뚝으로 構成되는 라멘構造로 設計한다.

$$P_x = k B \partial_x$$

여기서,

- P_x ; x 深度의 流動土壓(kgf/cm)
- k; 橫方向地盤反力係數(kgf/cm³)
- B; 基礎의 幅(cm)
- ∂_x ; x 深度地盤의 彈性的變位量(cm)

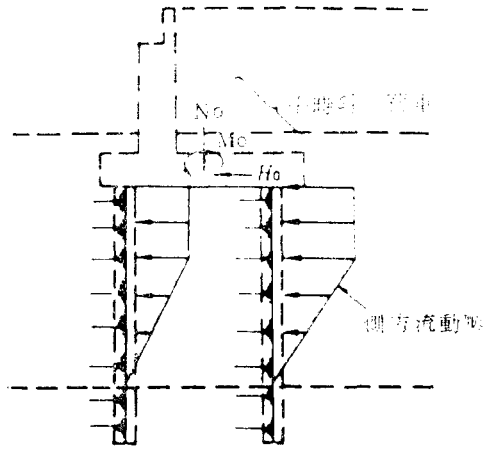


Fig. 7 말뚝基礎에 作用하는 荷重³⁾

나. 首都高速道路公團

側方變位가 豫想되는 말뚝基礎는 Fig. 8 과 같은 作用荷重에 의한 變形 및 말뚝自體應力을 말뚝머리에 作用하는 荷重과 盛土荷重에 의하여 地中部에 作用하는 荷重으로 나누어 計算하여 各 말뚝에 均等히 作用시킨다.⁵⁾

1) 말뚝머리에 作用하는 荷重

말뚝머리에 作用하는 荷重은 橋臺背面的 盛土, 上部構造 및 過載荷重, 橋臺自重 等에 의한 鉛直力(V_0), 水平力(H_0) 및 모멘트(M_0)가 있다.

2) 地中部에 作用하는 荷重

盛土荷重에 의하여 생기는 地中部水平力은 彈

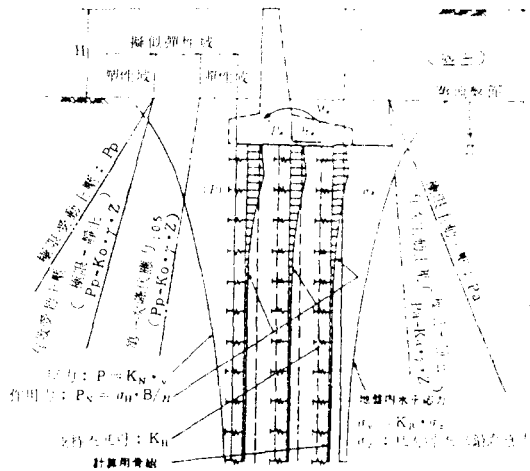


Fig. 8 말뚝에 作用하는 荷重³⁾

塑性有限要素法解析을 參考로 變位와 關係없이 다음과 같이 구한다.

가) 塑性領域(盛土下の 地表附近)

$$P_h = P_a - K_0 r Z$$

여기서,

P_h ; 地中部水平力(tf/m²)

P_a ; 盛土를 包含하는 主動土壓(tf/m²)

K_0 ; 靜止土壓係數($K_0=0.6$),

r ; 흙의 單位重量(tf/m³)

Z ; 舊地盤面에서의 深度(m)

나) 彈性領域

$$P_h = K_b \sigma_z$$

여기서,

P_h ; 地中部水平力(tf/m²)

K_b ; 브시네스크의 鉛直應力에 대한 水平應力の 比(0.6으로 한다)

σ_z ; 브시네스크의 鉛直應力(tf/m²)

前述한 말뚝머리 荷重에 대한 變位 및 地盤反力을 計算하고 그 다음 地中應力에 의한 變形에 따른 地盤反力을 더하여 이 兩荷重에 의한 地盤反力の 合計가 有效受動土壓($P_e = P_p - K_0 r Z$)을 超過하지 않는 條件으로 設計를 한다.

다. 日本道路公團

말뚝基礎에 作用하는 側方流動土壓은 Fig. 9 를 利用하여 다음 式¹⁾으로 구한다.

$$P_{max} = 0.8 r H$$

여기서,

P_{max} ; 側方流動壓의 最大荷重強度(tf/m²)

r ; 盛土의 單位重量(tf/m³)

H ; 盛土의 높이(m)

Fig. 9에서 側方流動을 考慮하는 範圍(D)는 圓弧滑動計算에 의한 安全率(F_s)이 1.25 以下로 되는 滑動面의 最大深度까지를 D 로 한다. 實際의

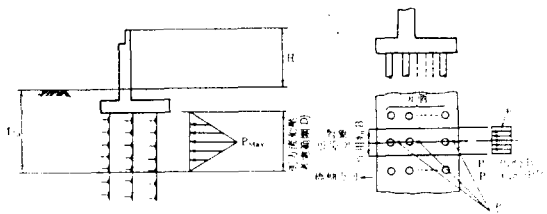


Fig. 9 側方流動壓의 考慮範圍(D)¹⁾

計算에서 말뚝 1列當 作用하는 側方流動壓은 橋軸直角方向 말뚝의 中心間隔(B)에 作用하는 것으로 計算하여 다음 式¹⁾과 같이 各말뚝에 均等하게 分擔시켜 設計를 한다.

$$P_i = \frac{P_{\max} B}{n} = \frac{0.8 r H B}{n}$$

여기서,

P_i ; 各 말뚝에 作用하는 最大荷重強度(tf/m 列)

B ; 말뚝 1列當 橋軸直角方向 側方流動壓의 作用幅(말뚝의 中心間隔)

n ; 橋軸方向 말뚝個數(個)

4. 對策工法

橋臺의 側方流動이 發生될 危險이 있다고 判斷되면 對策工法을 施工해야 한다. 基本的인 對策工^{3,4,7)}은 橋臺背面 盛土荷重을 輕減하여 地盤의 側方流動의 程度를 低減하는 工法과 盛土荷重을 改良地盤 또는 構造物의 抵抗力으로 支持하는 工法이 있다. 이들의 對策은 地盤에 作用하는 地中增加應力을 輕減함과 아울러 沈下量을 적게하는 效果가 있다. 荷重輕減工法으로서는 Fig. 10 과 같이 盛土上의 小橋臺로 하고 基礎를 말뚝基礎 또는 固化處理를 하는 工法, Fig. 11 과 같이 管 또는 箱形暗渠를 埋設하는 工法, Fig. 12 와 같이 輕量盛土材를 盛土하는 工法 또는 連續暗渠式橋臺工法 등이 있다. 地盤의 抵抗力을 增加시키는 工法으로서는 Fig. 13 과 같이 말뚝슬래브 또는 말뚝캡(cap)을 設置하고 盛土하는 工

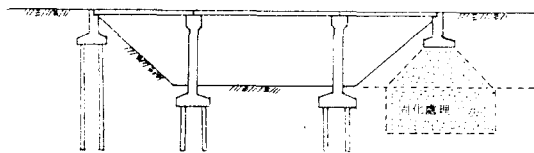


Fig. 10 盛土上의 小橋臺工法

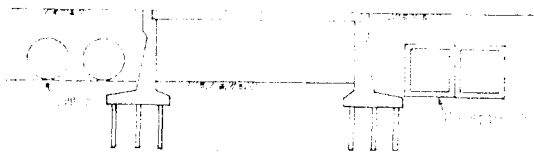


Fig. 11 橋臺背後의 管 또는 箱形暗渠埋設工法

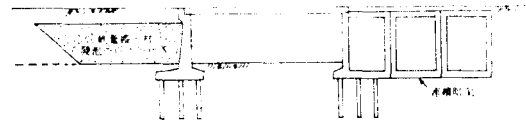


Fig. 12 輕量材의 盛土 및 連續暗渠式橋臺工法

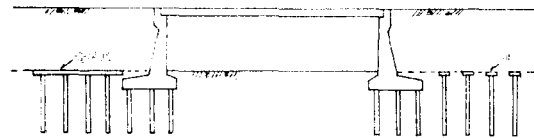


Fig. 13 말뚝슬래브 및 말뚝캡工法

法, Fig. 14 와 같은 프리로딩工法, Fig. 15 의 押盛土 및 地盤改良工法, Fig. 16 과 같은 말뚝數의 增加 및 버팀대工法 등이 있다.

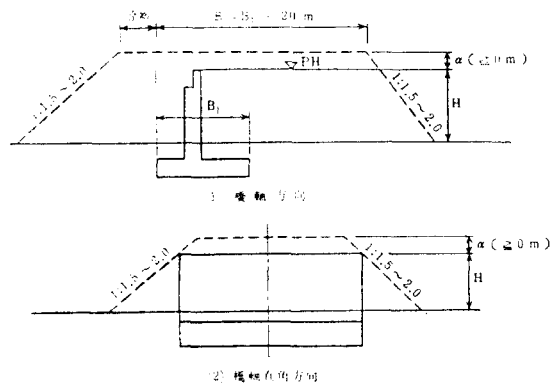


Fig. 14 프리로딩工法

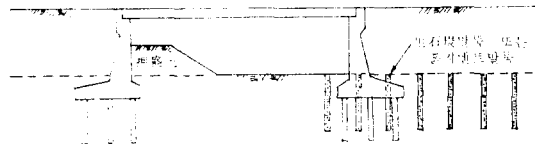


Fig. 15 押盛土 및 地盤改良工法

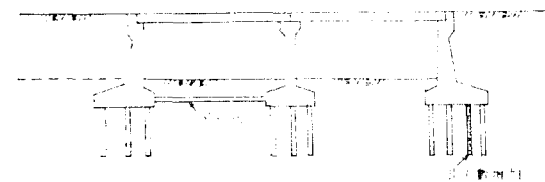


Fig. 16 말뚝數增加 및 버팀대工法

参 考 文 献

1. 土質工學會(1985)：“杭基礎の設計法とその解説”，土質工學會，東京，pp.718～731.
2. 矢作 樞(1983)：“地盤變位の原因と實情”，基礎工 総合土木研究所，Vol. 11, No. 10, pp.2～7.
3. 木村 衛(1983)：“盛土による地盤の側方流動と橋臺の安全”，基礎工，総合土木研究所，Vol. 11, No. 10, pp.31～39.
4. 木村 衛(1982)：“軟弱地盤上の橋臺の側方移動対策” 土と基礎，土質工學會，Vol. 30, No. 5, pp.33～40.
5. 石原靜夫，森 博人，木村 衛，宇都一馬，冬木 衛，櫻井 學(1981)：“軟弱地盤における橋臺水平移動の一豫測法”，第26回土質工學シンポジウム，土質工 學會，pp.15～22.
6. 山内 博(1987)：“軟弱地盤における基礎の設計上の留意點”，基礎工，総合土木研究所，Vol. 15, No. 9, pp.22～25.
7. 木村 衛(1987)：“地盤の側方流動に對應した基礎”，基礎工，総合土木研究所，Vol. 15, No. 9, pp.76～83.
8. 矢作 樞，飯島 啓秀(1985)：“最近の道路橋杭基礎の設計”，基礎工，総合土木研究所，Vol. 13, No. 11, pp.37～44.
9. 木村 衛，横山好幸，前田良刀，宇都一馬，冬木 衛，櫻井 學(1986)：“軟弱地盤における橋臺水平移動の推定”地盤の側方流動に関するシンポジウム發表論文集，土質工學會，pp.77～84.
10. 久樂 勝行(1985)：“軟弱地盤と基礎工”，基礎工，総合土木研究所，Vol. 13, No. 10, pp.1～11.
11. 建設省土木研究所(1975)：“偏載荷重による構造物の水平移動に関する調査”，土木研究所資料，第1150 號.
12. 建設省土木研究所(1981)：“橋臺の側方移動に関する研究”，土木研究所資料，第1804號.
13. 日本道路協會(1986)：“杭基礎設計便覽”
14. 堀部正文，淺沼秀彌(1983)：“軟弱地盤上の橋臺の側方流動”，橋梁と基礎，1983. 3. pp.23～30.
15. 堀部正文，鹽井幸武(1981)：“軟弱地盤上の橋臺の設計”，第36回土木學會 年次學術講演會 概要集，Ⅲ—287, pp.572～573.
16. 首都高速道路協會(1978)：極軟弱地盤における構造物設計法に関する調査研究(その3)