

鋼管말뚝橋脚의 設計例

柳 基 松*
金 光 湜**

I. 序 論

말뚝橋脚基礎는 橋軸直角方向으로 여러개의 말뚝을 打入하고 그림 1과 같이 水面上 또는 地上에서 말뚝머리를 받침보로 結合하여 만든 基礎이다. 따라서 河川, 湖沼 또는 바다를 模斷

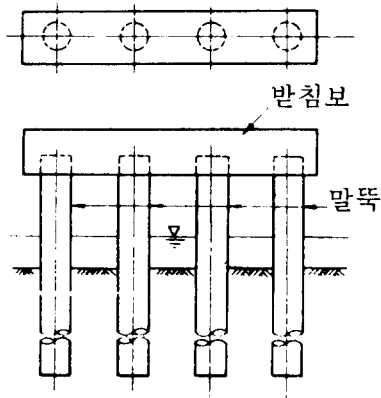


그림 1. 말뚝 橋脚基礎

하는 橋深에서는 大規模의 假물막이를 設置하고 基礎를 施工할 必要가 없으므로 基礎工事의 工費切減 및 工期短縮等의 利點을 가지고 있으며 이 基礎는 陸上部의 連續高架橋의 橋脚으로도 利用할 수 있다. 本 設計例는 農業綜合開發事業의 一環으로 全南 珍島群에 位置한 素浦地區 管內에 施工한 鸚鵡橋의 設計例로서 鋼管말뚝橋

脚에 利用된 말뚝은 表面의 腐蝕을 防止하기 위하여 탈에폭시(tar epoxy)를 塗布하였으며, 地上에 突出된 말뚝部分을 補強하기 위하여 原地盤線下 2m까지 鋼管內部의 泥土를 除去한 후 콘크리트를 말뚝上端까지 속채움을 하였으며 또한 말뚝의 先端支持力을 補強하기 위하여 말뚝先端의 두께를 10mm 增加시켜 23mm로 하였다.

II. 設計例

1. 設計條件

가. 上部構造

2車線道路橋로서 그림 2, 그림 3과 같은 4스팬, 橋長 200m의 PC Beam 橋이다.

1) 橋深等級: 2等橋(DB-18)

2) 上部構造: PC I形보($b=0.60\text{m}$, $h=1.65\text{m}$) 3個, 間隔 2.10m, 슬래브두께 0.20m

3) 橋幅: 有效幅 5.5m, 全幅 6.0m

4) 스패: 길이 50m(4스팬)

나. 下部構造

1) 받침보: 幅 1.6m, 높이 1.2m, 길이 6m의 鐵筋콘크리트

2) 基礎: 鋼管말뚝(外徑 $\phi 700\text{mm}$, 內徑 $\phi 674\text{mm}$, $t=13\text{mm}$, $L=16\text{m}$)으로서 1個橋脚當 3個(直杭 1個, 斜杭 2個)이며, 鋼管말뚝의 諸元은 表-1과 같다.

다. 地盤條件

橋深設置位置의 土質은 그림 4 및 表-2와

*正會員, 農業振興公社 首度研究員

**農業振興公社 工監所長

같이 一般의 標高 +25.2m까지는 軟弱한 粘土質실트이며 그 以下는 標準貫入試驗에 의한 N值가 50以上인 硬地盤이다.

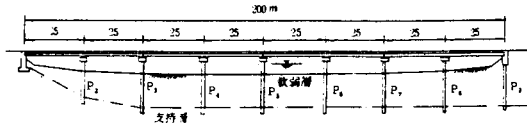


그림 2. 一般縱斷面圖

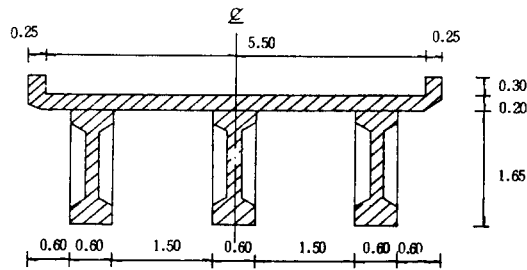


그림 3. 上部構造斷面圖

라. 其他條件

1) 말뚝머리와 받침보의 連結은 剛結로 한다.

表-1 鋼管말뚝의 諸元 및 許容應力

區 分	腐蝕前	腐蝕(2mm)後
外 徑, D_o (mm)	700	696
內 徑, D_i (mm)	674	674
두 께, t (mm)	13	11
周 長, U (m)	2.20	2.19
純 斷 面 積, A_{po} (cm ²)	280.6	236.7
先 斷 面 積, A_p (m ²)	0.407	0.403
斷 面 係 數, Z (cm ³)	3,615	3,041
斷 面 2次 모멘트, I (cm ⁴)	165,588	138,879
彈 性 係 數, E (kgf/cm ²)	2.1×10^6	
許 容 應 力, σ_{sa} (kgf/cm ²)	1,400(1,862)	
單 位 m當 重 量, w (tf/m)	0.220	0.186

* ()內는 風壓考慮時的 應力임

表-2 토질시험결과일람표

시 료 명		교 - 2
심	도 (m)	3.6~4.0
입	자 갈 (4760 μ 이상) (%)	-
도	모 래 (74~4760 μ) (%)	2.8
시	실 트 (5~74 μ) (%)	63.2
험	점 토 (5 μ 이하) (%)	34.0
조	액 성 한 계, PL(%)	33.5
도	소 성 한 계, PL(%)	19.5
시	험 소 성 지 수, PI(%)	14.0
통	일 흙 분 류	CL
흙	의 비 중, G_s	2.695
함	수 비, w (%)	45.5
습	윤 단위 중 량, γ_t (gf/cm ³)	1.650
일	측 압 측 강 도, q_u (kgf/cm ²)	0.120

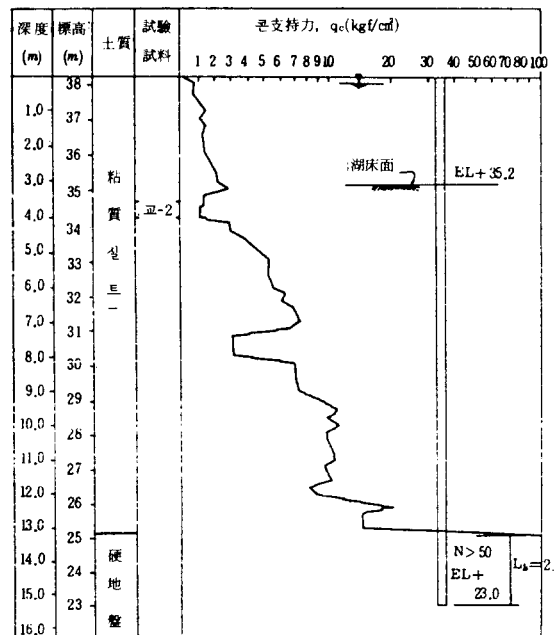


그림 4. 圓錐貫入抵抗折線圖

2) 받침보下端의 許容變位量

平常時: $\delta_a=1.0$ cm

風荷重考慮時: $\delta_a=1.5$ cm

3) 보의 伸縮에 의하여 생기는 應力檢討는 省略한다.

4) P_3 橋脚에 대하여 設計하며 여기에 作用하는 荷重 및 荷重位置는 表-3 및 그림 5와 같다.

2. 말뚝의 鉛直支持力

가. 地盤에 의한 支持力

地盤에 의한 支持力은 日本建築學會公式으로

表-3 P_3 橋脚의 作用荷重

區分	橋軸直角方向		
	鉛直荷重 V(tf)	水平荷重 H(tf)	모멘트 M(tf·m)
平常時	223.98	-	-
風壓考慮時	223.98	9.58	20.12

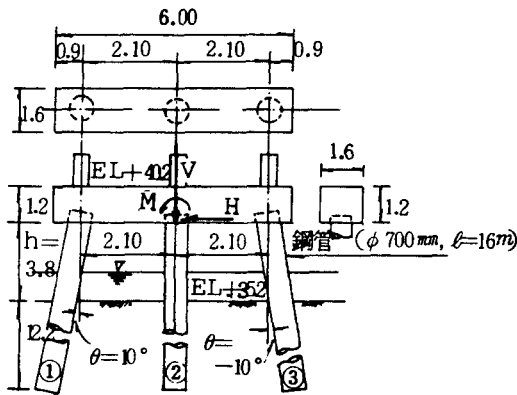


그림 5. 말뚝配置 및 받침보치수

말뚝의 周面摩擦力을 無視하고 支持말뚝으로서 다음과 같이 구한다.

$$R_u = \alpha \cdot 30 \cdot N \cdot A_p = 0.522 \times 30 \times 50 \times 0.403 = 315 \text{ tf / 個}$$

$$R_a = \frac{1}{3} R_u = \frac{1}{3} \times 315 = 105 \text{ tf / 個 (平常時)}$$

$$= \frac{1}{2} R_u = \frac{1}{2} \times 315 = 157 \text{ tf / 個 (風荷重考慮時)}$$

慮時)

여기서,

R_u : 地盤에 의한 말뚝의 極限鉛直支持力 (tf/個)

α : 開端鋼管의 閉鎖效果

$$2 < \frac{L_b}{D_1} < 5 \text{ 일 때}$$

$$\alpha = 0.16 \frac{L_b}{D_1} = 0.16 \times \frac{2.2}{0.674} = 0.522$$

L_b : 말뚝의 支持層 ($N \geq 50$) 根入깊이 (m)

D_1 : 말뚝의 內徑(m)

N : 말뚝先端地盤의 N 值(말뚝先端上部 $4D_0$ 區間 平均 N 值 및 말뚝下部 $1D_0$ 區間 平均 N 值의 平均值로서 여기서는 $N=50$ 으로 하였다.)

A_p : 말뚝先端的 斷面積(m^2)

R_a : 地盤에 의한 말뚝의 許容鉛直支持力 (tf/個)

나. 말뚝材에 의한 支持力

말뚝材에 의한 支持力은 말뚝의 腐蝕(2mm 考慮), 細長比 및 이음을 考慮하여 다음과 같이 구한다.

1) 細長比에 의한 低減

$$\mu_1 = 1 - \left(\frac{L}{D_0} - 100 \right) / 100 = 1 - \left(\frac{16.0}{0.696} - 100 \right) / 100 = 1.77 \rightarrow 1.0$$

여기서,

μ_1 : 말뚝의 細長比에 의한 低減值

L : 말뚝의 길이(m)

D_0 : 腐蝕(2mm)을 考慮한 말뚝의 外徑 (m)

2) 溶接이음에 의한 低減

$$\mu_2 = 1 - \mu_0 n = 1 - 0.05 \times 1 = 0.95$$

여기서,

μ_2 : 溶接이음에 의한 低減值

μ_0 : 溶接이음에 의한 低減率

n : 溶接이음個所數

3) 鉛直支持力

$$R_a = \mu_1 \mu_2 \sigma_{sa} A_{p0} = 1.0 \times 0.95 \times 14,000 \times 0.02367 = 314 \text{ tf / 個 (平常時)}$$

$$= 1.0 \times 0.95 \times 18,620 \times 0.02367 = 418 \text{ tf / 個 (風荷重考慮時)}$$

여기서,

R_a : 말뚝材에 의한 許容鉛直支持力(tf/個)

σ_{sa} : 鋼管의 長期 및 短期許容壓縮應力(tf/m²)

A_{po} : 鋼管의 純斷面積(m²)

다. 말뚝의 許容鉛直支持力

말뚝의 許容鉛直支持力은 表-4 와 같이 最少인 地盤에 의한 支持力을 許容鉛直支持力으로 決定한다.

表-4 말뚝의 許容鉛直支持力(R_a)

區分	地盤에 의한 支持力(tf/個)	말뚝材에 의한 支持力(tf/個)	採擇值(tf/個)
平常時	105	314	105
風壓考慮時	157	418	157

3. 말뚝의 橫方向支持力

地上에 突出된 말뚝으로서 半無限長 말뚝條件을 檢討하여 다음과 같이 橫方向支持力을 구한다.

가. 외말뚝의 支持力

$$\beta L = 0.278 \times 16 = 4.4 > 3 \text{ OK (半無限長 말뚝條件)}$$

$$\begin{aligned} H_a &= \frac{4EI\beta^3}{1+\beta h} \delta_a \\ &= \frac{4 \times 2.916 \times 10^{11} \times 0.00278^3}{1+0.00278 \times 380} \times 1.0 \\ &= 12,186 \text{ kgf/個} \rightarrow 12 \text{ tf/個 (平常時)} \\ &= \frac{4 \times 2.916 \times 10^{11} \times 0.00278^3}{1+0.00278 \times 380} \times 1.5 \\ &= 18,279 \text{ kgf/個} \rightarrow 18 \text{ tf/個 (風壓考慮時)} \end{aligned}$$

여기서,

β : 말뚝의 剛性值(m⁻¹, cm⁻¹)

$$\begin{aligned} \beta &= \sqrt[4]{K_h D_o / 4EI} \\ &= \sqrt[4]{1.0 \times 69.6 / 4 \times 2.916 \times 10^{11}} \\ &= 0.00278 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 0.278 \text{ m}^{-1} \end{aligned}$$

K_h : 橫方向地盤反力係數(kgf/cm³)

D_o : 腐蝕(2mm)을 考慮한 말뚝의 外徑(cm)

E : 말뚝의 彈性係數(kgf/cm²)

I : 말뚝의 斷面2次모멘트(cm⁴)

$$EI = 2.10 \times 10^6 \times 138,879 = 2.916 \times 10^{11}$$

kgf · cm²

H_a : 말뚝의 許容橫方向支持力(kgf/個)

h : 말뚝의 突出長(cm)

δ_a : 말뚝의 許容變位置量(cm)

나. 無리말뚝의 影響

외말뚝의 無리말뚝에 대한 影響은 다음과 같이 檢討한다.

$$\begin{aligned} L &= 2.5 D_o = 2.5 \times 0.696 = 1.74 \text{ m} \leq S \\ &= 2.10 \text{ m, OK} \end{aligned}$$

여기서,

L : 無리말뚝의 影響을 考慮하지않아도 좋은 말뚝의 最少間隔(m)

D_o : 腐蝕을 考慮한 말뚝의 外徑(m)

S : 말뚝의 最少間隔(m)

上記의 計算結果 外말뚝의 橫方向支持力은 無리말뚝의 影響을 考慮하지않아도 좋으므로 外말뚝의 支持力을 말뚝의 許容橫方向支持力으로 한다.

4. 所要말뚝

所要말뚝은 말뚝의 鉛直 및 橫方向支持力으로 구하면 다음과 같다.

가. 鉛直支持力에 의한 所要말뚝

$$\begin{aligned} N &= \frac{V}{R_a} = \frac{223.98}{105} = 2.1 \text{ 個} \rightarrow 3 \text{ 個 (平常時)} \\ &= \frac{223.98}{157} = 1.4 \text{ 個 (風壓考慮時)} \end{aligned}$$

나. 橫方向支持力에 의한 所要말뚝

$$N = \frac{H}{H_a} = \frac{5.98}{18} = 0.3 \text{ 個}$$

上記의 計算結果 所要말뚝은 3個로 決定한다.

5. 말뚝의 變位置 및 反力

말뚝의 配置는 그림 5와 같으며, 風壓考慮時 받침보에 作用하는 荷重(表-3參照)을 設計外力으로 하여 말뚝의 反力을 變位法으로 구하면 다음과 같다.

가. 말뚝의 軸方向彈性定數

$$\begin{aligned} a &= 0.027 \frac{\ell}{D_o} + 0.2 = 0.027 \times \frac{12.2}{0.696} + 0.20 \\ &= 0.6733 \end{aligned}$$

$$K_v = a \frac{A_{po} E}{\ell}$$

$$= 0.6733 \times \frac{0.02367 \times 2.1 \times 10^7}{12.2}$$

$$= 27,431 \text{ tf/m}$$

여기서,

- a : 鋼말뚝일때의 係數
- ℓ : 地盤中の 말뚝길이(m)
- D_o : 말뚝의 外徑(m)
- K_v : 말뚝軸方向의 彈性定數(tf/m)
- A_{po} : 말뚝의 純斷面積(tf/m²)
- E : 말뚝材의 彈性係數(tf/m²)

나. 말뚝의 軸直角方向彈性定數

$$K_1 = \frac{12 EI \beta^3}{(1 + \beta h)^3 + 2}$$

$$= \frac{12 \times 2.916 \times 10^4 \times 0.278^3}{(1 + 0.278 \times 3.8)^3 + 2}$$

$$= 703 \text{ tf/m}$$

$$K_2 = K_3 = \frac{1}{2} K_1 \left(h + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 703 \times \left(3.8 + \frac{1}{0.278} \right)$$

$$= 2,600 \text{ tf/rad}$$

$$K_4 = \frac{4 EI \beta}{1 + \beta h} \cdot \frac{(1 + \beta h)^3 + 0.5}{(1 + \beta h)^3 + 2}$$

$$= \frac{4 \times 2.916 \times 10^4 \times 0.278}{1 + 0.278 \times 3.8}$$

$$\times \frac{(1 + 0.278 \times 3.8)^3}{(1 + 0.278 \times 3.8)^3 + 2}$$

$$= 13,557 \text{ tf} \cdot \text{m/rad}$$

여기서, K₁, K₂, K₃, K₄ : 말뚝軸直角方向의 彈性定數

$$EI : 2.916 \times 10^{11} \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2 \rightarrow 2.961 \times 10^4 \text{ tf} \cdot \text{m}^2$$

β : 말뚝의 剛性值(m⁻¹)

h : 말뚝의 突出長(m)

다. 말뚝의 變位量

3元連立1次方程式을 利用하여 말뚝의 變位量을 구하면 다음과 같다.

$$a = \sum (K_v \cos^2 \theta_1 + K_v \sin^2 \theta_1) = 3,719.9$$

$$b_1 = a_2 = \sum (K_v - K_1) \sin \theta_1 \cos \theta_1 = 0$$

$$c_1 = a_3 = \sum \{ (K_v - K_1) \sin \theta_1 \cos \theta_1 X_1 - K_2 \cos \theta_1 \}$$

$$= 11,479.5$$

$$b_2 = \sum K_v \cos^2 \theta_1 + K_1 \sin^2 \theta_1 = 80,682.8$$

$$b_3 = c_2 = \sum \{ (K_v \cos^2 \theta_1 + K_1 \sin^2 \theta_1) X_1 + K_2 \sin \theta_1 \}$$

$$\theta_1 = 0$$

$$c_3 = \sum \{ (K_v \cos^2 \theta_1 + K_1 \sin^2 \theta_1) X_1^2 + (K_2 + K_3 (X_1 \sin \theta_1) +) K_4$$

$$= 279,298.4$$

$$a_1 \delta_x + b_1 \delta_y + c_1 \alpha = H = 9.58$$

$$b_1 \delta_x + b_2 \delta_y + c_2 \alpha = V = 223.98$$

$$c_2 \delta_x + b_3 \delta_y + c_3 \alpha = M = 20.12$$

上式을 풀면 무리말뚝中心에 대한 變位는 다음과 같다.

$$\delta_x = 0.0027 \text{ m} \rightarrow 0.27 \text{ cm} \leq \delta_a = 1.0 \text{ cm, OK}$$

$$\delta_y = 0.0028 \text{ m} \rightarrow 0.28 \text{ cm}$$

$$\alpha = -0.000038 \text{ rad} \leq \alpha_a = 0.001 \text{ rad, OK}$$

여기서,

θ₁ : 鉛直에 대한 말뚝의 傾斜角(度)

X₁ : 무리말뚝中心에서 1番말뚝中心까지의 距離(m)

δ_x : 무리말뚝中心의 水平變位(m)

δ_y : 무리말뚝中心의 鉛直變位(m)

α : 무리말뚝中心의 回轉角(rad)

라. 말뚝의 反力

말뚝의 反力은 다음式으로 計算하며 計算結果는 表-5와 같다.

$$\delta_{x1} = \delta_x \cos \theta_1 - \delta_y \sin \theta_1 - \alpha_{x1} \sin \theta$$

$$\delta_{y1} = \delta_x \sin \theta_1 + \delta_y \cos \theta_1 + \alpha_{x1} \cos \theta_1$$

$$V_{n1} = K_v \delta_{y1}$$

$$H_{n1} = K_1 \delta_{x1} - K_2 \alpha$$

$$M_{t1} = -K_3 \delta_{x1} + K_4 \alpha$$

여기서,

δ_{x1} : 1番말뚝머리의 軸直角方向變位(m)

δ_{y1} : 1番말뚝머리의 軸方向變位(m)

V_{n1} : 1番말뚝머리에 作用하는 軸直角方向力(tf)

H_{n1} : 1番말뚝머리에 作用하는 軸直角方向力(tf)

M_{t1} : 1番말뚝머리에 作用하는 모멘트(tf·m)

表-5의 計算結果 風壓考慮時 말뚝에 作用하는 말뚝軸方向力(V_{n1})과 말뚝軸直角方向力(H_{n1})은 다음과 같이 모두 許容範圍內에 있다.

$$V_{n\max} = 86.4 \text{ tf/個} \leq R_a = 157 \text{ tf/個, OK}$$

$$H_n = 2.1 \text{ tf/個} \leq H_a = 18 \text{ tf/個, OK}$$

表-5 말뚝의 反力 計算

區 分	單 位	말 뚝 番 號		
		①	②	③
X_1	m	2.10	0	-2.10
θ_1	度	10	0	-10
$\cos\theta_1$		0.985	1	0.985
$\sin\theta_1$		0.174	0	-0.174
K_1	tf / m	703		
K_2, K_3	tf / rad	2,600		
K_4	tf · m / rad	13,557		
K_v	tf / m	27,431		
δ_x	m	0.0027		
δ_y	m	0.0028		
α	rad	-0.000038		
(1) $\sin\theta_1\delta_x$	m	0.00047	0	-0.00047
(2) $\cos\theta_1\delta_y$	m	0.00276	0.0028	0.00276
(3) $\alpha x_1 \cos\theta_1$	m	-0.000079	0	0.000079
$\delta_{y1} = (1) + (2) + (3)$	m	0.00315	0.0028	0.00237
(4) $\cos\theta_1\delta_x$	m	0.00266	0.0027	0.00266
(5) $-\sin\theta_1\delta_y$	m	-0.00049	0	0.00049
(6) $\alpha x_1 \sin\theta_1$	m	0.000014	0	-0.000014
$\delta_{x1} = (4) + (5) + (6)$	m	0.00218	0.0027	0.00314
$V_{n1} = K_v \delta_{y1}$	tf	86.4	76.8	65.0
$K_1 \delta_{x1}$	tf	1.533	1.898	2.207
$-K_2 \alpha$	tf	-0.099	-0.099	-0.099
$H_{n1} = K_1 \delta_{x1} - K_2 \alpha$	tf	1.434	1.799	2.108
$-K_3 \delta_{x1}$	tf · m	-5.668	-7.020	-8.164
$K_4 \alpha$	tf · m	-0.515	0.515	-0.515
$M_{t1} = -K_3 \delta_{x1} + K_4 \alpha$	tf · m	-6.183	-7.535	-8.679

6. 負摩 擦 力 的 檢 討

負摩 擦 力 에 對 한 말뚝 的 耐 力 과 地 盤 的 支 持 力 을 檢 討 하 면 다 음 과 같 다.

가. 말뚝 材 的 耐 力 檢 討

$$R_{nr} = \pi D_o L f_s = \pi \times 0.696 \times 10 = 4.0 = 87.5 \text{ tf / 個}$$

$$V_{nmax} + R_{nr} = 86.4 + 87.5 = 173.9 \text{ tf / 個} \leq R_a = 1.5 \times 314 \text{ tf / 個, OK}$$

여 기 서,

R_{nr} : 말뚝 에 作 用 하 는 負 摩 擦 力 (tf / 個)

D_o : 腐 蝕 을 考 慮 한 말뚝 的 外 徑 (m)

L : 壓 密 土 層 的 두 께 (m)

f_s : 말뚝 的 周 面 摩 擦 力 (tf / m²)

여 기 서 는 壓 密 土 層 平 均 容 許 支 持 力 ($\bar{q}_c = 6.0 \text{ kgf / cm}^2$) 的 1 / 15 을 취 하 였 다.

V_{nmax} : 말뚝 머 리 에 作 用 하 는 最 大 軸 方 向 力 (tf / 個)

R_a : 말뚝 材 에 依 한 短 期 許 容 鉛 直 支 持 力 (tf / 個)

나. 地 盤 的 支 持 力 檢 討

$$1.2(V_{nmax} + R_{nr}) = 1.2 \times 173.9 = 208.7 \text{ tf / }$$

$$\text{個} \leq R_u = 315 \text{ tf / 個, OK}$$

여기서,

R_u : 地盤에 의한 말뚝의 極限支持力(tf / 個)

7. 말뚝材의 應力 및 變位檢討

말뚝에 作用하는 軸方向力과 휨모멘트의 分布를 구하여 가장 不利한 位置의 斷面을 檢討한다.

가. 最大 휨모멘트

말뚝머리에 軸直角方向力(H_n)과 휨모멘트(M_t)를 받는 彈性床의 보로서 말뚝머리를 剛結로 보고 地中部最大 휨모멘트를 구하면 다음과 같다.

$$\ell_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{\beta h} = \frac{1}{0.278} \tan^{-1} \frac{1}{0.278 \times 3.8}$$

$$= 2.73 \text{ m}$$

上記의 \tan^{-1} 値는 라디안으로 換算해야 한다.

$$M_m = -\frac{H_n}{2\beta} \sqrt{1 + (\beta h)^2 \exp(\beta \ell_m)}$$

$$= -\frac{2.108}{2 \times 0.278} \sqrt{1 + (0.278 \times 3.8)^2 \exp(-0.278 \times 2.73)}$$

$$= -3.791 \times 1.455 \times 0.468$$

$$= |-2.581| \text{ tf} \cdot \text{m} < M_{t_{\max}}$$

$$= |-8.679| \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$< M_{t_{\min}} = |-6.183| \text{ tf} \cdot \text{m}$$

여기서,

ℓ_m : 地中部 모멘트最大地點의 深度(m)

M_m : ℓ_m 深度의 最大 휨모멘트(tf · m)

上記의 計算에서 $\tan^{-1} \frac{1}{\beta h}$ 의 값은 라디안으로

고쳐서 計算해야 하며, 地中部最大 휨모멘트(M_m)가 表-5의 말뚝머리에 作用하는 휨모멘트보다 값이 작으므로 말뚝斷面의 應力은 表-5의 값으로 檢討를 한다.

나. 말뚝에 생기는 應力

1) 1番말뚝

$$\sigma_s = \frac{V_n}{A_{po}} \pm \frac{M_t}{I} \quad r = \frac{86,400}{236.7} \pm \frac{618,300}{138,880}$$

$$\times 34.8$$

$$= \begin{cases} 519.9 \text{ kgf / cm}^2 \leq \sigma_{sa} \\ 1.33 \times 1,400 \text{ kgf / cm}^2, \text{ OK} \end{cases}$$

$$= \begin{cases} 210.1 \text{ kgf / cm}^2 \leq \sigma_{sa} \\ 1.33 \times 1,400 \text{ kgf / cm}^2, \text{ OK} \end{cases}$$

2) 3番말뚝

$$\sigma_s = \frac{65,000}{237.6} \pm \frac{867,900}{138,880} \times 34.8$$

$$= \begin{cases} 491.1 \text{ kgf / cm}^2 \leq \sigma_{sa}, \text{ OK.} \\ 1,56.1 \text{ kgf / cm}^2 \leq \sigma_{sa}, \text{ OK.} \end{cases}$$

여기서,

σ : 말뚝斷面에 생기는 휨應力(kgf / cm^2)

V_n : 말뚝에 作用하는 軸方向力(kgf / 個)

M_t : 말뚝에 作用하는 휨모멘트(kgf · cm)

I : 말뚝材의 斷面 2次모멘트(cm^4)

r : 말뚝의 바깥 반지름(cm)

다. 말뚝머리의 變位量

$$\delta_t = \frac{(1 + \beta h)^3 + 2}{12 EI \beta^3} H_{n_{\max}}$$

$$= \frac{(1 + 0.278 \times 3.8)^3 + 2}{12 \times 2.914 \times 10^4 \times 0.278^3} \times 2.108$$

$$= 0.003 \text{ m} \rightarrow 0.3 \text{ cm} < \delta_a = 1.0 \text{ cm, OK}$$

8. 말뚝머리와 받침보結合部의 設計

가. 假想鐵筋콘크리트斷面의 應力

그림 6과같이 假想鐵筋콘크리트(斷面)을 정하고 D29鐵筋 9個를 配筋하여 3番말뚝의 콘트리트 및 鐵筋의 應力을 計算하면 다음과 같다.

$$P = \frac{A_s}{\pi \gamma_2} = \frac{45.603}{\pi \times 33.7^2} = 0.0129$$

$$e = \frac{M_t}{V_n} = \frac{8.679}{65.0} = 0.133 \text{ m} \rightarrow 13.3 \text{ cm}$$

$$\frac{e}{r} = \frac{13.3}{33.7} = 0.3947$$

$$\frac{\theta}{4} - \left(\frac{5}{12} + \frac{1}{6} \cos^2 \theta \right) \sin \theta \cos \theta + \frac{n \pi p}{2} \left(\frac{r_s}{r} \right)^2$$

$$\frac{\sin \theta}{3} (2 + \cos^2 \theta) - \theta \cos \theta - n \pi p \cos \theta$$

$$= 0.3947$$

여기서,

P : 鐵筋比

A_s : 假想鐵筋콘트리트斷面의 主鐵筋斷面積(cm^2), $A_s = 5.067 \times 9 = 45.603 \text{ cm}^2$

r : 假想鐵筋콘트리트斷面의 半徑(cm)

e : 偏心距離(cm)

r_s : 主鐵筋中心까지의 距離(cm)

n : 彈性係數比

θ : 中立軸位值를 나타내는 角(度)

上式을 滿足하도록 試算을 하여 θ 를 구하면 $\theta=126.2^\circ$ 가 된다. 이 값을 다음式에 代入하여 콘크리트 및 鐵筋의 應力을 구한다.

$$c = \frac{\sin\theta/3(2+\cos^2\theta) - \theta\cos\theta - n\pi r\cos\theta}{1 - \cos\theta}$$

$$= 1.366$$

$$\sigma_c = \frac{V_n}{r^2 c} = \frac{65,000}{33.7^2 \times 1.366}$$

$$= 41.9 \text{ kgf/cm}^2 \leq \sigma_{ca}$$

$$= 1.33 \times 80 \text{ kgf/cm}^2, \text{ OK.}$$

$$\sigma_s = n \frac{r_s/r + \cos\theta}{1 - \cos\theta} \sigma_c$$

$$= 10 \times \frac{28.7/33.7 + \cos 126.2^\circ}{1 - \cos 126.2^\circ} \times 41.9$$

$$= 68.6 \text{ kgf/cm}^2 \leq \sigma_{sa}$$

$$= 1.33 \times 1,400 \text{ kgf/cm}^2, \text{ OK}$$

여기서,

c : 係數

σ_c : 콘크리트의 應力(kgf/cm²)

σ_s : 鐵筋의 應力(kgf/cm²)

나. 받침보 콘크리트의 水平支壓應力

$$\sigma_{ch} = \frac{H_{nmax}}{D_o \ell} = \frac{2,108}{70 \times 15} = 2.0 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\leq \sigma_{ca} = 1.33 \times 50 \text{ kgf/cm}^2, \text{ OK.}$$

여기서,

σ_{ch} : 콘크리트의 水平支壓應力(kgf/cm²)

H_{nmax} : 말뚝의 最大軸直角方向力(kgf)

D_o : 말뚝의 外徑(cm)

ℓ : 말뚝의 埋設깊이(cm)

다. 鐵筋의 所要定着길이

$$L_o = \frac{\sigma_s A_{st}}{\tau_{oa} u} = \frac{1,400 \times 5.067}{1.33 \times 9.0 \times 8.0}$$

$$= 73.9 \text{ cm} \rightarrow 80 \text{ cm}$$

L_o : 鐵筋의 所要定着길이(cm)

σ_s : 鐵筋의 許容應力(kgf/cm²)

A_{st} : 主鐵筋 1個의 斷面積(cm²)

τ_{oa} : 콘크리트의 許容附着應力(kgf/cm²)

u : 主鐵筋 1個의 周長(cm)

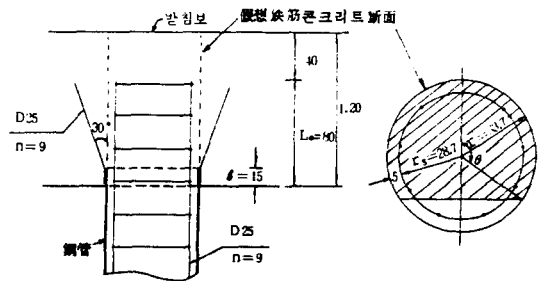


그림 6. 말뚝머리結合部斷面圖