

# 美材料試驗協會(ASTM)에 의한 波形鋼管的 構造設計

柳 基 松

(農漁村振興公社 農漁村研究院 材料土質試驗研究室長)

波形鋼管(KS D 3590)은 道路, 鐵道 등을 橫斷하는 排水暗渠에 주로 利用되고 있는데 이것은 耐腐蝕性이 있는 溶融亞鉛鍍金鋼板을 波形으로 만들어 剛性을 높였기 때문에 一般의 큰 上載荷重을 支持할 수 있다.

이러한 波形剛管의 設計는 우리나라의 建設部의 日本土質工學會에서는 理論과 經驗을 바탕으로 作成한 表를 利用하여 被覆두께에 따라서 波形鋼管規格을 決定하게 되어 있으며, 美 波形鋼管協會와 美材料試驗協會에서는 構造計算을 하게 되어 있는데 本稿에서는 美材料試驗協會(ASTM A 796-90)에 의한 波形鋼管의 構造設計에 대하여 紹介하고자 한다.

## 1. 設計荷重

管體頂部에 作用하는 荷重에는 鉛直土壓, 活荷重 및 衝擊荷重이 있는데 여기서 鉛直土壓은 管體直上부의 破壞土柱 荷重이 管體頂部에 作用하는 것으로 考慮한다.

活荷重은 車輛의 車輪荷重이 被覆土를 통하여 管體頂部에 傳達되는 荷重, 衝擊荷重은 移動車輛의 衝擊에 의한 荷重을 말하며, 設計荷重은 式(1)로 구한다.

$$P_t = P_d + P_l + P_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

여기서,  $P_t$  : 設計荷重(kgf/m<sup>2</sup>)

$P_d$  : 管體頂部에 作用하는 鉛直土壓 (kgf/m<sup>2</sup>)

$$P_d = \gamma_t H$$

$\gamma_t$  : 管體頂部 被覆土의 單位重量 (kgf/m<sup>3</sup>)

$H$  : 管體頂部 被覆土의 두께(m)

$P_l$  : 活荷重(kgf/m<sup>2</sup>)

$P_i$  : 衝擊荷重(kgf/m<sup>2</sup>)

## 2. 斷面決定

### 가. 링(ring)壓縮力

管體의 單位길이에 대한 縱方向 管壁斷面에 作用하는 링壓縮力은 式(2)로 구한다.

$$P_c = \frac{P_t D}{2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

여기서,  $P_c$  : 管壁에 作用하는 링壓縮力 (kgf/m)

$P_t$  : 波形鋼管頂部에 作用하는 設計荷重(kgf/m<sup>2</sup>)

$D$  : 波形鋼管의 呼稱지름(m)

### 나. 管壁斷面積

管體의 單位길이에 대한 縱方向 管壁의 所要斷面積은 式(13)으로 구하며, 이 값과 같거나 큰 단면적을 가진 波形鋼管을 선정한다.

$$A_c = \frac{P_c F_s}{\sigma_y} \quad \dots\dots\dots(3)$$

여기서,  $A_c$  : 管壁의 所要斷面積(cm<sup>2</sup>/m)

$P_c$  : 管壁에 作用하는 링壓縮力 (kgf/m)

Fs : 管壁斷面에 대한 安全率  
 $\sigma_y$  : 管壁材의 最小降伏點應力  
 (kgf/cm<sup>2</sup>)

만약 크면 所要이음強度보다 1段階 큰 極限  
 이음強度를 가진 波形鋼管을 選定한다.

$$Ss = Pc Fs \leq Su \dots\dots\dots(5)$$

여기서, Ss : 所要이음強度(kgf/m)  
 Pc : 管壁에 작용하는 링壓縮力  
 (kgf/m)  
 Fs : 이음強度에 대한 安全率  
 Su : 波形鋼管의 極限이음強度  
 (kgf/m)

### 3. 應力檢討

#### 가. 座屈應力

管壁의 限界座屈應力( $\sigma_c$ )은 앞서 選定한 管  
 壁斷面을 利用하여 式(4)로 구하는데 이때 限  
 界座屈應力이 式(3)의 計算에 適用한 最小降伏  
 點應力( $\sigma_y$ ) 보다 적으면  $\sigma_y$  대신에  $\sigma_c$ 를 이용  
 하여 所要 管壁斷面積을 再計算해서 波形鋼管의  
 規格을 選定한다.

$$D < \frac{r}{K} \sqrt{\frac{24E}{\sigma_t}} \text{ 일때 : } \sigma_c = \sigma_t - \frac{\sigma_t^2}{48E} \left(\frac{KD}{r}\right)^2 \geq \sigma_y$$

$$D < \frac{r}{K} \sqrt{\frac{24E}{\sigma_t}} \text{ 일때 : } \sigma_c = \frac{12E}{\left(\frac{KD}{r}\right)^2} \geq \sigma_y \dots\dots\dots(4)$$

여기서, D : 波形鋼管의 呼稱지름(cm)  
 r : 波形鋼管 管壁斷面의 回轉半徑  
 (cm)  
 K : 癖의 剛性係數  
 E : 波形鋼管材의 彈性係數(kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_c$  : 波形鋼管 管壁의 限界座屈應力  
 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_t$  : 波形鋼管材의 最小引張強度  
 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_y$  : 管壁材의 最小降伏點應力  
 (kgf/cm<sup>2</sup>)

#### 다. 取扱 및 設置強度

波形鋼管은 取扱 및 設置時에 作用하는 荷重  
 에 견딜 수 있는 剛性和 鋼管形狀을 維持하기  
 위한 버팀대 없이 뒷채움재 다짐에 抵抗할 수  
 있는 適切한 強度가 있어야 한다. 이를 위해서는  
 所要韌性係數가 許容韌性係數보다 작아야 하  
 며, 만약 크면 式(6)이 成立하는 規格의 波形  
 鋼管을 選定한다.

$$FF = \frac{D^2}{EI} \leq FFa \dots\dots\dots(6)$$

여기서, FF : 所要韌性係數(cm/kgf)  
 D : 鋼管의 呼稱지름(cm)  
 E : 波形鋼管材의 彈性係數  
 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 I : 選定된 波形鋼管 管壁의 斷面2  
 次 모멘트(cm<sup>4</sup>/cm)  
 FFa : 許容韌性係數(cm/kgf)

#### 나. 이음強度

工場製作의 螺線形 록심이음(Lockseam)과  
 熔接이음은 縱方向이음이 없으므로 이 規程을  
 適用하지 않아도 되며, 리벳, 點溶接 및 볼트로  
 縱方向이음을 하여 組立한 波形鋼管은 式(5)로  
 구한 所要이음強度가 앞서 選定한 波形鋼管의  
 極限이음強度보다 작아야 한다.

### 4. 其 他

#### 가. 最小被覆두께

剛性鋪裝의 경우 波形鋼管의 被覆두께는 管  
 體頂部에서 鋪裝表面까지, 韌性鋪裝의 경우는  
 管體頂部에서 路床 上端面까지 말하는데 道路  
 下에 埋設되는 波形鋼管의 最小被覆두께는 式  
 (7)로 구하며, 그 最小値는 0.30m로 한다.

$$\left. \begin{aligned} & \sqrt{\frac{AL \cdot d}{EL}} > 0.45 \text{ 일때 : } H_{\min} = \frac{D}{4} \geq 0.3\text{m} \\ & 0.45 > \sqrt{\frac{AL \cdot d}{EL}} > 0.23 \text{ 일때 : } \\ & H_{\min} = 0.55 D \sqrt{\frac{AL \cdot d}{EL}} \geq 0.3\text{m} \\ & \sqrt{\frac{AL \cdot d}{EL}} < 0.23 \text{ 일때 : } H_{\min} = \frac{D}{8} \geq 0.3\text{m} \end{aligned} \right\} \cdot (7)$$

여기서, AL : 車輛最大軸荷重(kgf)

d : 鋼管의 波깊이(cm)

E : 波形鋼管材의 彈性係數  
(kgf/cm<sup>2</sup>)

I : 管壁斷面의 斷面2次 모멘트

(cm<sup>4</sup>/cm)

H<sub>min</sub> : 最小被覆 두께(m)

D : 波形鋼管의 呼稱지름(cm)

한편 施工中에 重裝備가 管體頂部 또는 管體에 近接될 念慮가 있을 경우 最小被覆두께는 1.2m程度가 바람직하며, 이 값은 現場條件 및 經驗에 의하여 加減하면 좋다.

#### 나. 摩耗 및 腐蝕에 대한 對策

波形鋼管은 摩耗 및 腐蝕을 考慮하여 그 表面에 코팅을 하거나 構造計算에 의한 두께에 別途의 두께를 加算한다.