

b. 하부구조(P5)

1) 검토 제목 : P5

2) 설계조건

콘크리트 설계기준 강도 (f_{ck}) : 24 MPa
철근 항복강도 (f_y) : 300 MPa
강재 항복강도 (f_{sy}) : 0 MPa
콘크리트 탄성계수 (E_c) : 29220 MPa
철근 설계피복두께 (d') : 100.0 mm
횡방향 철근 형태 : 띠 철근

3) 중공 사각형단면 검토조건

외부 단면 폭 (B_o) : 5000.00 mm
외부 단면 높이 (H_o) : 6800.00 mm
내부 단면 폭 (B_i) : 3200.00 mm
내부 단면 높이 (H_i) : 5000.00 mm
비지지 길이 (L_u) : 44328.00 mm
유효길이계수 (K_x) : 2.10
유효길이계수 (K_y) : 2.10

4) 사용 강재량

(1) 사용 철근량

- 1단 철근 : $D29 \times 182ea = 116916.8 \text{ mm}^2$ (외측, $d_c = 100.0 \text{ mm}$)
 $D29 \times 138ea = 88651.2 \text{ mm}^2$ (내측, $d_c = 100.0 \text{ mm}$)
- 총 사용 철근량 : $A_{st} = 205568.0 \text{ mm}^2$

5) 공칭 강도 검토

(1) Load Case 1

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 55305.122 \text{ KN}$
계수모멘트(X) : $M_{ux} = 10642.638 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.s} = 10642.638 \text{ KN}\cdot\text{m}$
X축 세장비 : $\lambda_x = 40.0$
Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.2$
지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$
 $\beta_{dy} = 1.000$
X축 확대계수 : $\delta_{x.ns} = 1.000$
 $\delta_{x.s} = 1.128$
Y축 확대계수 : $\delta_{y.ns} = 1.000$
 $\delta_{y.s} = 1.240$

X축 확대모멘트 : $\delta M_{ux} = 12004.126 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Y축 확대모멘트 : $\delta M_{uy} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

합성 확대모멘트 : $\delta M_u = 12004.126 \text{ KN}\cdot\text{m}$

중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 0.000^\circ$

최 소 편 심 : $e_{min} = 745.90 \text{ mm}$

작 용 편 심 : $e = 217.05 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 4466.667 \text{ mm}$

평 형 편 심 : $e_b = 2321.33 \text{ mm}$

최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.0015$

강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 136729.03 \text{ KN}$

평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 317393.43 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$\therefore e \leq e_{min} \rightarrow$ 최소편심 구간

③ 단면강도 검토

사용철근비 : $P_{used} = 1.142 \%$

$\alpha P_n = \alpha \times \{0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} = 339741.400 \text{ KN}$

$M_n = \alpha P_n \times e_{min} = 253413.888 \text{ KN}\cdot\text{m}$

강도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

축력 감 소 계 수 : $\alpha = 0.800$

설계축하중강도 : $\alpha \phi P_n = 220831.938 \text{ KN} \geq P_u = 55305.122 \text{ KN} \therefore \text{O.K}$

설 계 휨 강 도 : $\phi M_n = 164719.027 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 12004.126 \text{ KN}\cdot\text{m} \therefore \text{O.K}$

(2) Load Case 2

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 48866.745 \text{ KN}$

계수모멘트(X) : $M_{ux} = 72274.708 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{ux,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{ux,s} = 72274.708 \text{ KN}\cdot\text{m}$

계수모멘트(Y) : $M_{uy} = 26055.523 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy,s} = 26055.523 \text{ KN}\cdot\text{m}$

X축 세장비 : $\lambda_x = 40.0$

Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.2$

지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$

: $\beta_{dy} = 1.000$

X축 확대계수 : $\delta x.ns = 1.000$
 : $\delta x.s = 1.111$
 Y축 확대계수 : $\delta y.ns = 1.000$
 : $\delta y.s = 1.207$
 X축 확대모멘트 : $\delta Mux = 80324.388 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 Y축 확대모멘트 : $\delta Muy = 31437.487 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 합성 확대모멘트 : $\delta Mu = 86257.306 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 33.766^\circ$
 최 소 편 심 : $e_{min} = 724.97 \text{ mm}$
 작 용 편 심 : $e = 1765.15 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 5552.783 \text{ mm}$
 평 형 편 심 : $e_b = 1878.88 \text{ mm}$
 최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.00148$
 강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$
 평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 146405.63 \text{ KN}$
 평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 275079.06 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $\therefore e_{min} < e < e_b \rightarrow$ 압축지배 구간

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.
 중립축 $x = 5741.124 \text{ mm}$ 로 가정하면...
 $e' = M_n/P_n = 1765.154 \text{ mm} \approx e = 1765.154 \text{ mm} \rightarrow \text{say O.K.}$
 사용철근비 : $P_{used} = 1.142 \%$
 최외단 철근의 순인장변형률 $\epsilon_t = 0.00133$
 $\epsilon_t = 0.00133 \leq \epsilon_y = 0.0015 \rightarrow$ 압축지배단면
 강도 감소 계수 : $\phi = 0.650$
 설계축하중강도 : $\phi P_n = 152693.385 \text{ KN} \geq P_u = 48866.745 \text{ KN} \therefore \text{O.K}$
 설 계 휨 강 도 : $\phi M_n = 269527.264 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 86257.306 \text{ KN}\cdot\text{m} \therefore \text{O.K}$

(3) Load Case 3

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 52759.717 \text{ KN}$
 계수모멘트(X) : $M_{ux} = 42572.437 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.s} = 42572.437 \text{ KN}\cdot\text{m}$

계수모멘트(Y) : $M_{uy} = 13027.762 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy.s} = 13027.762 \text{ KN}\cdot\text{m}$

X축 세장비 : $\lambda_x = 40.0$

Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.2$

지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$

: $\beta_{dy} = 1.000$

X축 확대계수 : $\delta_{x.ns} = 1.000$

: $\delta_{x.s} = 1.121$

Y축 확대계수 : $\delta_{y.ns} = 1.000$

: $\delta_{y.s} = 1.227$

X축 확대모멘트 : $\delta M_{ux} = 47737.559 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Y축 확대모멘트 : $\delta M_{uy} = 15981.730 \text{ KN}\cdot\text{m}$

합성 확대모멘트 : $\delta M_u = 50341.734 \text{ KN}\cdot\text{m}$

중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 29.766^\circ$

최 소 편 심 : $e_{min} = 730.82 \text{ mm}$

작 용 편 심 : $e = 954.17 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 5521.743 \text{ mm}$

평 형 편 심 : $e_b = 1936.84 \text{ mm}$

최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.00148$

강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 145427.09 \text{ KN}$

평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 281668.46 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$\therefore e_{min} < e < e_b \rightarrow$ 압축지배 구간

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.

중립축 $x = 7341.106 \text{ mm}$ 로 가정하면...

$e' = M_n/P_n = 954.17 \text{ mm} \approx e = 954.17 \text{ mm} \rightarrow \text{say O.K.}$

사용철근비 : $P_{used} = 1.142 \%$

최외단 철근의 순인장변형률 $\epsilon_t = 0.00037$

$\epsilon_t = 0.00037 \leq \epsilon_y = 0.0015 \rightarrow$ 압축지배단면

강도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

설계축하중강도 : $\phi P_n = 205216.480 \text{ KN} \geq P_u = 52759.717 \text{ KN} \therefore \text{O.K}$

설 계 휨 강 도 : $\phi M_n = 195811.390 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 50341.734 \text{ KN}\cdot\text{m} \therefore \text{O.K}$

(4) Load Case 4

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 52759.717 \text{ KN}$
계수모멘트(X) : $M_{ux} = 6435.083 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{ux.s} = 6435.083 \text{ KN}\cdot\text{m}$
계수모멘트(Y) : $M_{uy} = 61340.710 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{uy.ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $M_{uy.s} = 61340.710 \text{ KN}\cdot\text{m}$
X축 세장비 : $\lambda_x = 40.0$
Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.2$
지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$
 : $\beta_{dy} = 1.000$
X축 확대계수 : $\delta_{x.ns} = 1.000$
 : $\delta_{x.s} = 1.121$
Y축 확대계수 : $\delta_{y.ns} = 1.000$
 : $\delta_{y.s} = 1.227$
X축 확대모멘트 : $\delta M_{ux} = 7215.823 \text{ KN}\cdot\text{m}$
Y축 확대모멘트 : $\delta M_{uy} = 75249.351 \text{ KN}\cdot\text{m}$
합성 확대모멘트 : $\delta M_u = 75594.530 \text{ KN}\cdot\text{m}$
중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 86.787^\circ$
최 소 편 심 : $e_{min} = 551.13 \text{ mm}$
작 용 편 심 : $e = 1432.81 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 3512.171 \text{ mm}$
평 형 편 심 : $e_b = 1843.48 \text{ mm}$
최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.0015$
강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$
평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 134692.52 \text{ KN}$
평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 248302.95 \text{ KN}\cdot\text{m}$
 $\therefore e_{min} < e < e_b \text{ ----> 압축지배 구간}$

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.

중립축 $x = 4205.956 \text{ mm}$ 로 가정하면...

$e' = M_n/P_n = 1432.808 \text{ mm} \quad \therefore \quad e = 1432.808 \text{ mm} \text{ ----> say O.K.}$

사용철근비 : $P_{used} = 1.142 \%$

최외단 철근의 순인장변형률 $\epsilon_t = 0.00075$

$\epsilon_t = 0.00075 \leq \epsilon_y = 0.0015$ -----> 압축지배단면

강도 감소 계수 : $\phi = 0.650$

설계축하중강도 : $\phi P_n = 157470.272 \text{ KN} \geq P_u = 52759.717 \text{ KN} \therefore \text{O.K}$

설 계 휨 강 도 : $\phi M_n = 225624.622 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 75594.530 \text{ KN}\cdot\text{m} \therefore \text{O.K}$

(5) Load Case 5

① 작용하중

계수축하중 : $P_u = 46987.255 \text{ KN}$

계수모멘트(X) : $M_{ux} = 69494.911 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{ux,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{ux,s} = 69494.911 \text{ KN}\cdot\text{m}$

계수모멘트(Y) : $M_{uy} = 84034.839 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$M_{uy,s} = 84034.839 \text{ KN}\cdot\text{m}$

X축 세장비 : $\lambda_x = 40.0$

Y축 세장비 : $\lambda_y = 52.2$

지속 계수하중비 : $\beta_{dx} = 1.000$

: $\beta_{dy} = 1.000$

X축 확대계수 : $\delta_{x,ns} = 1.000$

: $\delta_{x,s} = 1.107$

Y축 확대계수 : $\delta_{y,ns} = 1.000$

: $\delta_{y,s} = 1.197$

X축 확대모멘트 : $\delta M_{ux} = 76905.549 \text{ KN}\cdot\text{m}$

Y축 확대모멘트 : $\delta M_{uy} = 100593.692 \text{ KN}\cdot\text{m}$

합성 확대모멘트 : $\delta M_u = 126623.672 \text{ KN}\cdot\text{m}$

중립축 회전각 : $\theta_{rot} = 65.890^\circ$

최 소 편 심 : $e_{min} = 625.13 \text{ mm}$

작 용 편 심 : $e = 2694.85 \text{ mm}$

② 평형상태 계산

중립축 $x = 600 / (600 + f_y) \times d = 4824.659 \text{ mm}$

평 형 편 심 : $e_b = 1683.99 \text{ mm}$

최외단철근변형률 : $\epsilon_t = 0.00148$

강 도 감 소 계 수 : $\phi = 0.650$

평 형 축 하 중 : $\phi P_b = 143258.20 \text{ KN}$

평 형 모 멘 트 : $\phi M_b = 241244.82 \text{ KN}\cdot\text{m}$

$\therefore e_b < e$ -----> 인장지배 구간

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.

중립축 $x = 3385.234 \text{ mm}$ 로 가정하면...

$$e' = M_n/P_n = 2694.851 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad e = 2694.851 \text{ mm} \quad \text{----> say O.K.}$$

$$\text{사용철근비} : P_{used} = 1.142 \%$$

$$\text{최외단 철근의 순인장변형률} \epsilon_t = 0.00338$$

$$\epsilon_y = 0.0015 < \epsilon_t = 0.00338 < 0.005 \quad \text{-----> 변화구간단면}$$

$\epsilon_y < \epsilon_t < 0.005$ 이므로 0.65 ~ 0.85 사이에서 강도감소계수를 보간한다.

$$\text{강도 감소 계수} : \phi = 0.758$$

$$\text{설계축하중강도} : \phi P_n = 107302.280 \text{ KN} \geq P_u = 46987.255 \text{ KN} \quad \therefore \text{O.K.}$$

$$\text{설 계 힘 강 도} : \phi M_n = 289163.703 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 126623.672 \text{ KN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K.}$$

(6) Load Case 6

① 작용하중

$$\text{계수축하중} : P_u = 52759.717 \text{ KN}$$

$$\text{계수모멘트(X)} : M_{ux} = 40935.036 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ux,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ux,s} = 40935.036 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{계수모멘트(Y)} : M_{uy} = 71508.145 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$M_{uy,ns} = 0.000 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$M_{uy,s} = 71508.145 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{X축 세장비} : \lambda_x = 40.0$$

$$\text{Y축 세장비} : \lambda_y = 52.2$$

$$\text{지속 계수하중비} : \beta_{dx} = 1.000$$

$$: \beta_{dy} = 1.000$$

$$\text{X축 확대계수} : \delta_{x,ns} = 1.000$$

$$: \delta_{x,s} = 1.121$$

$$\text{Y축 확대계수} : \delta_{y,ns} = 1.000$$

$$: \delta_{y,s} = 1.227$$

$$\text{X축 확대모멘트} : \delta M_{ux} = 45901.499 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Y축 확대모멘트} : \delta M_{uy} = 87722.192 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{합성 확대모멘트} : \delta M_u = 99005.710 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\text{중립축 회전각} : \theta_{rot} = 72.970^\circ$$

$$\text{최 소 편 심} : e_{min} = 594.67 \text{ mm}$$

$$\text{작 용 편 심} : e = 1876.54 \text{ mm}$$

② 평형상태 계산

$$\text{중립축 } x = 600 / (600 + f_y) \times d = 4445.015 \text{ mm}$$

$$\text{평 형 편 심 : } e_b = 1713.72 \text{ mm}$$

$$\text{최외단철근변형률 : } \epsilon_t = 0.00148$$

$$\text{강 도 감 소 계 수 : } \phi = 0.650$$

$$\text{평 형 축 하 중 : } \phi P_b = 141013.95 \text{ KN}$$

$$\text{평 형 모 멘 트 : } \phi M_b = 241659.03 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\therefore e_b < e \text{ ----> 인장지배 구간}$$

③ 단면강도 검토

중립축을 가정하여 Trial & Error Method로 검토한다.

중립축 $x = 4174.109 \text{ mm}$ 로 가정하면...

$$e' = M_n/P_n = 1876.54 \text{ mm} \quad \text{즉} \quad e = 1876.54 \text{ mm} \text{ ----> say O.K.}$$

$$\text{사용철근비 : } P_{used} = 1.142 \%$$

$$\text{최외단 철근의 순인장변형률 } \epsilon_t = 0.00177$$

$$\epsilon_y = 0.0015 < \epsilon_t = 0.00177 < 0.005 \text{ -----> 변화구간단면}$$

$\epsilon_y < \epsilon_t < 0.005$ 이므로 0.65 ~ 0.85 사이에서 강도감소계수를 보간한다.

$$\text{강도 감 소 계 수 : } \phi = 0.666$$

$$\text{설계축하중강도 : } \phi P_n = 135239.128 \text{ KN} \geq P_u = 52759.717 \text{ KN} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\text{설 계 휨 강 도 : } \phi M_n = 253781.608 \text{ KN}\cdot\text{m} \geq M_u = 99005.710 \text{ KN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K}$$