

복현 3교 P1 두부보강

- 설계조건

1. PHC말뚝 제원

말뚝직경 (D) : 500 mm

말뚝두께 (t) : 80 mm

* 말뚝두부는 콘크리트 내부에 근입되므로 부식치는 고려하지 않음

2. 확대기초 콘크리트 제원

단면두께 (H) : 2300 mm

말뚝매입길이 (l) : 100 mm

수직유효두께 (h) : 2200 mm

수평유효두께 (h') : 400 mm 최외곽의 말뚝중심에서 기초 연단까지의 거 : 650 mm

설계기준강도 (f_{ck}) : 27 MPa

지압응력면적비 ($\sqrt{A_2 / A_1}$) : 1

콘크리트 허용수직지압응력 (f_{ca}) : 6.75 MPa 상시 / 8.98 MPa 지진시

콘크리트 압발(편칭) 전단응력 (τ_{a3}) : .95 MPa 상시 / 1.26 MPa 지진시

콘크리트 허용부착응력 (v_{oa}) : 1.70 MPa 상시 / 2.26 MPa 지진시

3. 보강철근 제원

보강철근의 종류 : H16(SD40) 보강철근 적용수량 8 개

보강철근 1개의 공칭단면적 (A_{st}) : 198.6 mm² 보강철근량 (A_s) : 1588.8 mm²

보강철근 1개의 공칭직경 (d) : 15.9 mm

보강철근 1개의 공칭둘레 (U) : 50 mm

보강철근의 허용인장응력 (f_{sa}) : 180.0 MPa 상시 / 239.4 MPa 지진시

4. 말뚝머리에 작용하는 하중

① 평상시

최대수직력 (PNmax) : 562.536 kN

최소수직력 (PNmin) : 266.596 kN

최대수평력 (Hmax) : 38.537 kN

최대휨모멘트 (Mmax) : 68.739 kN-m

② 지진시

최대수직력 (PNmax) : 691.250 kN

최소수직력 (PNmin) : 80.246 kN

최대수평력 (Hmax) : 65.105 kN

최대휨모멘트 (Mmax) : 94.847 kN-m

* 말뚝머리 작용하중은 도로교설계기준에 명시된 변위법에 의거함

- 구조계산결과

1. 확대기초에 대한 검토

1) 수직력에 대한 검토

① 기초 콘크리트의 수직방향 지압응력

a. 평상시

$$\begin{aligned} f_{cv} &= P_{nmax} / (\pi \times D^2 / 4) \leq f_{ca} \\ &= 562.5 / (\pi \times 0.5^2 / 4) \\ &= 2.86 \text{ MPa} \leq 6.75 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

b. 지진시

$$\begin{aligned} f_{cv} &= P_{nmax} / (\pi \times D^2 / 4) \leq f_{ca} \\ &= 691.25 / (\pi \times 0.5^2 / 4) \\ &= 3.52 \text{ MPa} \leq 8.98 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

② 기초 콘크리트의 수직방향 압발(편칭) 전단응력

a. 평상시

$$\begin{aligned} \tau_v &= P_{nmax} / (\pi \times (D + h) \times h) \leq \tau_{a3} \\ &= 562.54 / (\pi \times (0.5 + 2.2) \times 2.2) \\ &= .03 \text{ MPa} \leq .95 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

b. 지진시

$$\begin{aligned} \tau_v &= P_{nmax} / (\pi \times (D + h) \times h) \leq \tau_{a3} \\ &= 691.25 / (\pi \times (0.5 + 2.2) \times 2.2) \\ &= .04 \text{ MPa} \leq 1.26 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

2) 수평력에 대한 검토

① 기초 콘크리트의 수평방향 지압응력

a. 평상시

$$\begin{aligned} f_{ch} &= H_{max} / (D \times l) \leq f_{ca} \\ &= 38.537 / (0.5 \times 0.1) \\ &= .77 \text{ MPa} \leq 6.75 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

b. 지진시

$$\begin{aligned} f_{ch} &= H_{max} / (D \times l) \leq f_{ca} \\ &= 65.105 / (0.5 \times 0.1) \\ &= 1.30 \text{ MPa} \leq 8.98 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

② 기초 콘크리트의 수평방향 압발(편칭) 전단응력

a. 평상시

$$\begin{aligned}\tau_h &= H_{\max} / (h' \times (2l + D + 2h')) \leq \tau_{a3} \\ &= 38.537 / (0.4 \times (2 \times 0.1 + 0.5 + 2 \times 0.4)) \\ &= .06 \text{ MPa} \leq .95 \text{ MPa} \quad 0.K\end{aligned}$$

b. 지진시

$$\begin{aligned}\tau_h &= H_{\max} / (h' \times (2l + D + 2h')) \leq \tau_{a3} \\ &= 65.105 / (0.4 \times (2 \times 0.1 + 0.5 + 2 \times 0.4)) \\ &= .11 \text{ MPa} \leq 1.26 \text{ MPa} \quad 0.K\end{aligned}$$

2. 가상철근 콘크리트 단면의 응력검토

1) 이론식

콘크리트의 응력은 원형 단주의 응력계산식을 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$f_c = (M' / r^3) C \leq f_{ca} (= 0.4f_{ck}) \quad - \text{식(1)}$$

단, 콘크리트의 휨압축응력계수(C)는 다음과 같다.

$$C = \frac{1 - \cos \phi}{2\sin^3 \phi / 3 - \phi \cos \phi + \sin \phi \cos^2 \phi + \phi / 4 - k} \quad - \text{식(2)}$$

$$k = \sin \phi \cos \phi / 4 + \sin^3 \phi \cos \phi / 6 - \pi n p (0.5(rs/r)^2 - \cos \phi)$$

위 식에서 ϕ 는 아래의 식에서 구한다.

① 말뚝머리에 작용하는 축방향력, $P \neq 0$ 인 경우

$$e/r = \frac{/4 - \sin \phi \cos \phi (5/12 - \cos^2 \phi / 6) + 0.5\pi n p (rs/r)^2}{\sin \phi (2 + \cos^2 \phi) / 3 - \phi \cos \phi - \pi n p \cos \phi} \quad - \text{식(3)}$$

② 말뚝머리에 작용하는 축방향력, $P=0$ 인 경우

$$0 = \sin \phi (2 + \cos^2 \phi) / 3 - \phi \cos \phi - \pi n p \cos \phi \quad - \text{식(4)}$$

단, $0 \leq \phi \leq \cos(-rs/r)$

그리고 보강철근의 응력은 다음과 같이 구한다.

$$f_s = (M/r^3) S \times n \leq f_{sa} \quad - \text{식(5)}$$

단, 보강철근의 휨인장응력계수(S)는 다음과 같다.

$$S = C \times \frac{rs/r + \cos \phi}{1 - \cos \phi} \quad - \text{식(6)}$$

2) 최대 수직력과 최대 휨모멘트의 조합하중

a. 평상시

$$P_{nmax} = 562.54 \text{ kN}$$

$$M_{max} = 68.74 \text{ kN-m}$$

$$r \text{ (가상 단면의 반경)} = D/2 + 100 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

$$r_s \text{ (가상단면 중심에서 보강철근 중심까지의 거리)} = r - (30+100+80) = 60 \text{ mm}$$

$$r_s/r = 0.222$$

$$e = M / P = 68.739 / 562.536 = 122.20 \text{ mm}$$

$$e / r = 0.453$$

$$n = 15, \quad A_s = 1588.8 \text{ mm}^2 \quad (\text{H16(SD40)} \times 8 \text{ 개})$$

$$p \text{ (가상단면 철근비)} = A_s / (\pi \times r^2) = 1588.8 / (\pi \times 270^2) = 0.00694$$

$$n_p = 15 \times 0.00693732 = 0.1041$$

$$r_s / r = 0.222, \quad e/r = 0.453 \quad \text{이므로}$$

식(2) 및 (6)에 의해

$$C = 0.7343$$

$$M' = M_{max} + P_{nmax} \times r = 68.74 + 562.54 \times 0.27 = 220.624 \text{ kN-m}$$

따라서 콘크리트 휨압축응력은

$$f_c = M' / r^3 C = 220624000 / 270^3 \times 0.7343 = 8.23 \text{ MPa} \leq 10.80 \text{ MPa} \quad \text{O.K}$$

b. 지진시

$$P_{nmax} = 691.25 \text{ kN}$$

$$M_{max} = 94.85 \text{ kN-m}$$

$$r \text{ (가상 단면의 반경)} = D/2 + 100 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

$$r_s \text{ (가상단면 중심에서 보강철근 중심까지의 거리)} = r - (30+100+80) = 60 \text{ mm}$$

$$r_s/r = 0.222$$

$$e = M / P = 94.85 / 691.25 = 137.21 \text{ mm}$$

$$e / r = 0.508$$

$$n = 15, \quad A_s = 1588.8 \text{ mm}^2 \quad (\text{H16(SD40)} \times 8 \text{ 개})$$

$$p \text{ (가상단면 철근비)} = A_s / (\pi \times r^2) = 1588.8 / (\pi \times 270^2) = 0.00693732$$

$$n_p = 15 \times 0.00693732 = 0.1041$$

$$r_s / r = 0.222, \quad e/r = 0.508 \quad \text{이므로}$$

식(2) 및 (6)에 의해

$$C = 0.7832$$

$$M' = M_{max} + P_{nmax} \times r = 94.85 + 691.25 \times 0.27 = 281.485 \text{ kN-m}$$

따라서 콘크리트 휨압축응력은

$$f_c = M' / r^3 C = 281485000 / 270^3 \times 0.7832 = 11.20 \text{ MPa} \leq 14.36 \text{ MPa} \quad \text{O.K}$$

3) 최소수직력과 최대휨모멘트의 조합하중

a. 평상시

$$P_{nmin} = 266.60 \text{ kN}$$

$$M_{max} = 68.74 \text{ kN-m}$$

$$r \text{ (가상 단면의 반경)} = D/2 + 100 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

$$r_s \text{ (가상단면 중심에서 보강철근 중심까지의 거리)} = r - (30+100+80) = 60 \text{ mm}$$

$$r_s/r = 0.222$$

$$e = M / P = 68.74 / 266.60 = 257.84 \text{ mm}$$

$$e / r = 0.955$$

$$n = 15, \quad A_s = 1588.8 \text{ mm}^2 \quad (\text{H16(SD40)} \times 8 \text{ 개})$$

$$\rho \text{ (가상단면 철근비)} = A_s / (\pi \times r^2) = 1588.8 / (\pi \times 270^2) = 0.00693732$$

$$\rho_p = 15 \times 0.00693732 = 0.1041$$

$$r_s / r = 0.222, \quad e/r = 0.955 \quad \text{이므로}$$

식(2) 및 (6)에 의해

$$C = 1.166, \quad S = 0.4794$$

$$M' = M_{max} + P_{nmax} \times r = 68.74 + 266.60 \times 0.27 = 140.72 \text{ kN-m}$$

따라서 콘크리트 휨압축응력은

$$f_c = M' / r^3 C = 140720000 / 270^3 \times 1.166 = 8.34 \text{ MPa} \leq 10.80 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

보강철근의 휨인장응력

$$f_s = M' / r^3 S n = 140720000 / 270^3 \times 0.4794 \times 15 = 51.42 \text{ MPa} \leq 180.00 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

b. 지진시

$$P_{nmin} = 80.25 \text{ kN}$$

$$M_{max} = 94.85 \text{ kN-m}$$

$$r \text{ (가상 단면의 반경)} = D/2 + 100 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

$$r_s \text{ (가상단면 중심에서 보강철근 중심까지의 거리)} = r - (30+100+80) = 60 \text{ mm}$$

$$r_s/r = 0.222$$

$$e = M / P = 94.85 / 80.25 = 1181.95 \text{ mm}$$

$$e / r = 4.378$$

$$n = 15, \quad A_s = 1588.8 \text{ mm}^2 \quad (\text{H16(SD40)} \times 8 \text{ 개})$$

$$\rho \text{ (가상단면 철근비)} = A_s / (\pi \times r^2) = 1588.8 / (\pi \times 270^2) = 0.00693732$$

$$\rho_p = 15 \times 0.00693732 = 0.1041$$

$$r_s / r = 0.222, \quad e/r = 4.378 \quad \text{이므로}$$

식(2) 및 (6)에 의해

$$C = 1.1852, \quad S = 0.5037$$

$$M' = M_{max} + P_{nmax} \times r = 94.85 + 80.25 \times 0.27 = 116.51 \text{ kN-m}$$

따라서 콘크리트 휨압축응력은

$$f_c = M' / r^3 C = 116513000 / 270^3 \times 1.1852 \\ = 7.02 \text{ MPa} \leq 14.36 \text{ MPa} \quad 0.K$$

보강철근의 휨인장응력

$$f_c = M' / r^3 S_n = 116513000 / 270^3 \times 0.5037 \times 15 \\ = 44.73 \text{ MPa} \leq 239.40 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3. 보강철근의 정착길이

1) 사용철근 : H16(SD40) × 8 개

2) 정착길이 산정 : 다음중 큰 값을 정착길 이로 한다.

$$Ld1 = f_{sa} \times A_{st} / (v_{oa} \times U) = 180 \times 198.6 / (1.7 \times 50) = 420.6 \text{ mm}$$

$$Ld2 = 35d = 35 \times 15.9 = 556.5 \text{ mm}$$

정착길이는 556.5 mm 이상이어야 함

3) 말뚝머리속채움 콘크리트에 매설되는 보강철근 길이 산정

$$L_i = L_o + 50d_p = 557 + 50 \times 9 = 1007 \text{ mm}$$

매설길이는 1007 mm 이상이어야 함