【2】 교량 받침의 내진성능평가

▶ 받침부 평가 지진력은 교각의 단면강도와 교각 받침 전단력 중 작은 값을 적용한다.

2.1 받침 본체

1) 받침 1기당 횡방향 저항용량 f_B

- 교축방향 f^L_B = 2,180 kN
- 교축직각방향 f^T_B = 2,180 kN

2) 보유성능 : 횡방향 저항용량 $F_{B.C}$

○ 횡방향 저항용량 = 받침 1기당 횡방향 저항용량(f_B) × 지진방향에 저항하는 받침개수(n_B)

- 교축방향 $F^L_{B,C}$ = 2,180 × 2 = 4,360.0 kN
- 교축직각방향 $F^T_{B,C}$ = 2,180 × 1 = 2,180.0 kN

3) 소요성능 : 받침부 평가 지진력 $F_{B.D}$

- 교축방향 $F^L_{B,D}$ = MIN [F^L_n, $[V^L_E]_{comb,Top}$] × 기둥수(n_C)
  = MIN [3,737.1 , 3,102.0] × 1 = 3,102.0 kN
- 교축직각방향 $F^T_{B,D}$ = MIN [F^T_n, $[V^T_E]_{comb,Top}$] × 기둥수(n_C)
  = MIN [5,621.4 , 3,173.5] × 1 = 3,173.5 kN

4) 내진성능평가

- 교축방향 $\frac{F^L_{B,C}}{F^L_{B,D}} = \frac{4,360.0}{3,102.0} = 1.406 \geq 1.0$ ∴ O.K

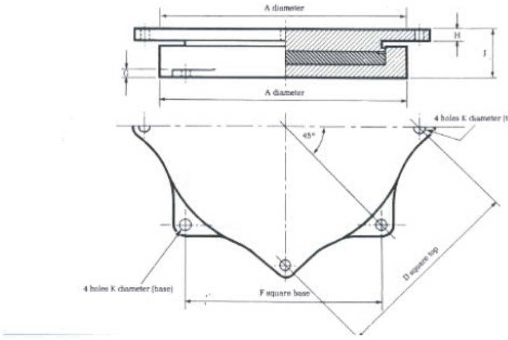
- 교축직각방향 $\frac{F^T_{B,C}}{F^T_{B,D}} = \frac{2,180.0}{3,173.5} = 0.687 < 1.0$ ∴ N.G

2.1 받침 앵커볼트

▶ 보유성능은 수평하중에 대한 앵커부의 전단강도로 한다. 보유성능을 평가할 때 각 받침에 작용하는 유효수직력(D)의 영향을 고려한다.

2.2.1 받침 관련 제원 및 재료 특성

① 본체 규격



② 콘크리트 설계기준강도 f_{ck} = 24 MPa

③ 앵커의 유효면적 A_{se} = 1,385.4 mm^2 (앵커볼트 직경 적용)

④ 앵커의 인장강도 f_{uta} = ≤ min(1,000, 860) = 860 MPa

⑤ 앵커의 유효 묻힘길이 h_{ef} = 360 mm

2.2.2 강재파괴

▶ 지진 수평력을 받는 받침 앵커의 보유성능 $V_{anc,c}$

▶ $V_{anc,c}$ = max(V_{sa}, $\mu_D D$)

여기서, V_{sa} : 앵커강재의 전단강도

μ_D : 받침 하부판과 무수축 모르타르 사이의 마찰계수, 0.45

D : 받침에 작용하는 유효수직력, 정밀지진해석을 하지 않는 경우에는 고정하중에 의한 수직력의 88%를 적용

① 보유성능 : 강재강도 $V_{anc,c}$

○ 앵커강재의 전단강도 V_{sa}

- V_{sa} = n · 0.6 · A_{se} · f_{uta} (여기서, n : 교각에 연결되는 앵커 또는 STUD의 수)
- 교축방향 V^L_{sa} = 4 × 0.6 × 1,385.4 × 860 = 2,859.6 kN
- 교축직각방향 V^T_{sa} = 4 × 0.6 × 1,385.4 × 860 = 2,859.6 kN

○ 받침부의 마찰력 $\mu_D \cdot D$

- 마찰력 $\mu_D \cdot D$ = 0.45 × 0.88 × 5,999.5 = 2,375.8 kN

○ 보유성능 $V_{anc,c}$

- 교축방향 $V^L_{anc,c}$ = max (2,859.6 , 2,375.8) = 2,859.6 kN
- 교축직각방향 $V^T_{anc,c}$ = max (2,859.6 , 2,375.8) = 2,859.6 kN

② 소요성능 : 받침 1기당 평가지진력 $V_{anc,d}$

- 교축방향 $V^{L}_{anc,d} = \frac{F^{L}_{B,D}}{n^{L}_{B}} = \frac{3,102.0}{2} = 1,551.0$ kN
- 교축직각방향 $V^{T}_{anc,d} = \frac{F^{T}_{B,D}}{n^{T}_{B}} = \frac{3,173.5}{1} = 3,173.5$ kN

③ 평가

- 교축방향 $\frac{V^{L}_{anc,c}}{V^{L}_{anc,d}} = \frac{2,859.6}{1,551.0} = 1.844 \geq 1.0$ ∴ O.K
- 교축직각방향 $\frac{V^{T}_{anc,c}}{V^{T}_{anc,d}} = \frac{2,859.6}{3,173.5} = 0.901 < 1.0$ ∴ N.G

2.2.3 브레이크아웃

▶ 묻힘콘크리트의 브레이크아웃강도 $V_{brk,ec}$

▶ $V_{brk,ec} = V_{cbg} + 0.6D \leq 1.6V_{cbg}$

여기서, V_{cbg} : 콘크리트 브레이크아웃강도

D : 받침에 작용하는 유효수직력

① 보유성능 : 콘크리트 브레이크아웃강도 $V_{brk,ec}$

○ $V_{brk,ec} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \varphi_{ed,V} \cdot \varphi_{c,V} \cdot V_b + 0.6D \leq 1.6 \cdot V_{cbg}$

여기서, A_{Vc} : 단일앵커 또는 앵커그룹의 전단력 방향 자유단면에 형성되는 전단파괴면 투영면적, ㎟

$A_{Vc} = [\, 1.5 \cdot C_{a1} + \sum S_i + 1.5 \cdot C_{a1} \,] \times 1.5C_{a1}$ ($C_{a2} \geq 1.5 \cdot C_{a1}$, $h_a \geq 1.5 \cdot C_{a1}$ 인 경우)

A_{Vco} : 연단거리 또는 부재두께에 제한을 받지 않는 단일앵커의 전단력 방향 자유단면에 형성되는 전단파괴면 투영면적, ㎟

$A_{Vco} = 4.5 \cdot C^{2}_{a1}$

$\varphi_{ed,V}$: 연단거리 영향에 대한 전단강도 수정계수

$C_{a2} \geq 1.5 \cdot C_{a1}$ 인 경우, $\varphi_{ed,V} = 1.0$

$C_{a2} < 1.5 \cdot C_{a1}$ 인 경우, $\varphi_{ed,V} = 0.7 + 0.3\,(\, C_{a2} / 1.5C_{a1} \,)$

$\varphi_{c,V}$: 콘크리트 균열 및 보조철근 유무에 따른 전단강도 수정계수

비균열 콘크리트 또는 보조철근과 100mm이하 간격의 스터럽 사용시 $\varphi_{c,V} = 1.4$

균열콘크리트 : 보조철근 사용시 $\varphi_{c,V} = 1.2$, 보조철근 미사용시 $\varphi_{c,V} = 1.0$

V_b : 균열 콘크리트에서 전단을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트파괴강도, N

$V_{b1} = (0.6\,(\, l_e / d_a \,)^{0.2} \sqrt{d_a}) \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot C_{a1}^{1.5}$ (일반식)

$V_{b1} = 0.66\,(\, l_e / d_a \,)^{0.2} \sqrt{d_a} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot C_{a1}^{1.5}$ ($d_a \geq$10㎜, 앵커직경 1/2에 해당하는 최소두께를 갖는 강재부속물에 연속 용접된 선설치 헤드스터드, 헤드볼트, 갈고리볼트)

$V_{b2} = 3.7\,\lambda_a \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot C_{a1}^{1.5}$

$V_b = MIN\,[\, V_{b1}, V_{b2} \,]$

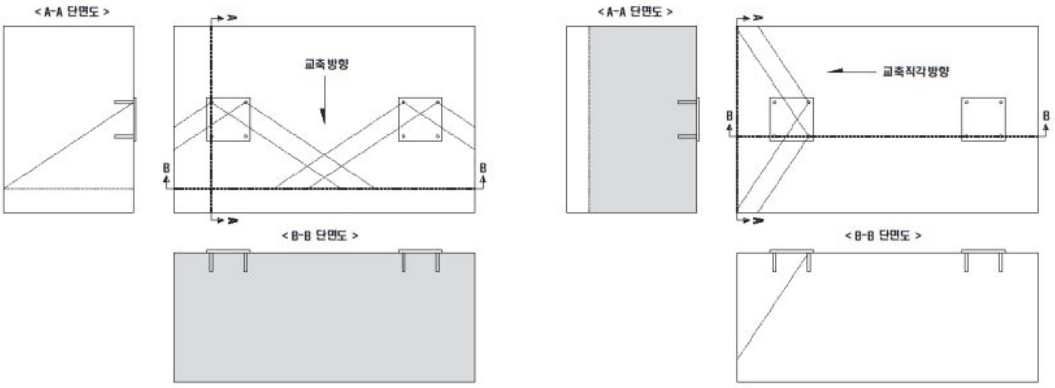
C_{a1} : 앵커볼트 중심에서 하중 작용 방향으로 콘크리트 표면까지의 수직거리, ㎜

C_{a2} : 앵커볼트 중심에서 하중 작용 직각방향으로 콘크리트 표면까지의 수직거리, ㎜

S_1 : 하중 작용 직각방향으로 배열된 앵커볼트 중심간 거리, ㎜

S_2 : 하중 작용 방향으로 배열된 앵커볼트 중심간 거리, ㎜

h_a : 앵커가 정착되는 기초(코핑)콘크리트 두께, ㎜



< 전단력에 의한 브레이크아웃 파괴강도 산정시 투영면적 산정 - 교축, 교직 방향 >

○ 교축방향

- A_{Vc} = [C_{a21} + $\sum S_i$ + C_{a22}']× h_a (단, C_{a21} 및 $C_{a22} \le 1.5 \cdot C_{a1}'$, $h_a \le 1.5 \cdot C_{a1}'$ 적용)

  = (720 + 4,360 + 720) × 2,500 = 14,500,000 mm^2

  여기서, C_{a1} = 2,130 mm , C_{a1}' = 1,667 mm

  C_{a21} = 720 mm , C_{a22} = 720 mm

  $\sum S_i$ = 4,360 mm , S_{max} = 3,040 mm , h_a = 2,500 mm

- A_{Vco} = 4.5 (C_{a1}')^2 = 4.5 × 1,667 ^{2} = 12,500,005 mm^2

∴ A_{Vc} **<** $n \cdot A_{Vco}$ = 4 × 12,500,005 = 50,000,020 mm^2

- $V_{brk,ec} = \dfrac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \varphi_{ed,V} \cdot \varphi_{c,V} \cdot V_b$ + 0.6D

  $= \dfrac{14,500,000}{12,500,005}$ × 0.786 × 1.00 × 1,233 + 0.6 × 11,999

  = 8,324.4 kN > $1.6 \cdot V_{cbg}$ = 1.6 × 1,125 = 1,800.1 kN

∴ $V_{brk,ec}$ = 1,800.1 kN

여기서, $\varphi_{ed,V}$ = 0.786 Ca2 < 1.5·Ca1 인 경우, φed,V = 0.7 + 0.3 (Ca2 / 1.5Ca1)

$\varphi_{c,V}$ = 1.000 (균열콘크리트에서 보조철근 미사용시)

V_{b1} = 0.6 $(l_e / d_o)^{0.2}$ $\sqrt{d_o} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot C_{a1}^{1.5}$ / 1000 = 2,622 kN

V_{b2} = 3.7 $\lambda_n \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot C_{a1}^{1.5}$ / 1000 = 1,233 kN

V_b = MIN [V_{b1}, V_{b2}] = 1,233 kN

l_e = MIN [h_{ef}, $8d_0$] = MIN [360 , 840] = 360 mm

d_0 = 105 mm (앵커소켓 직경) , h_{ef} = 360 mm

※ $\varphi_{c,V}$는 보조철근을 사용(준공도서, 철근탐사 확인 등) 시 1.2를 적용한다.

○ 교축직각방향

- A_{Vc} = [C_{a21} + $\sum S_i$ + C_{a22}']× $1.5C_{a1}'$ (단, C_{a21} 및 $C_{a22} \le 1.5 \cdot C_{a1}'$, $h_a \le 1.5 \cdot C_{a1}'$ 적용)

  = (1,470 + 660 + 1,470) × 2,070 = 7,452,000 ㎟

  여기서, C_{a1} = 1,380 mm , C_{a1}' = 1,380 mm

  C_{a21} = 1,470 mm , C_{a22} = 1,470 mm

  $\sum S_i$ = 660 mm , S_{max} = 660 mm , h_a = 2,500 mm

- A_{Vco} = $4.5\,(C_{a1}')^2$ = 4.5 × $1,380^2$ = 8,569,800 ㎟

∴ A_{Vc} < $n \cdot A_{Vco}$ = 2 × 8,569,800 = 17,139,600 ㎟

- $V_{brk,ec} = \dfrac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \varphi_{ed,V} \cdot \varphi_{c,V} \cdot V_b + 0.6D$

  $= \dfrac{7,452,000}{8,569,800} \times 0.913 \times 1.00 \times 929 + 0.6 \times 5,768$

  = 4,198.9 kN > $1.6 \cdot V_{cbg0}$ = 1.6 × 738 = 1,180.4 kN

∴ $V_{brk,ec}$ = 1,180.4 kN

여기서, $\varphi_{ed,V}$ = 0.913 Ca2 < 1.5·Ca1 인 경우, φed,V = 0.7 + 0.3 (Ca2 / 1.5Ca1)

$\varphi_{c,V}$ = 1.000 (균열콘크리트에서 보조철근 미사용시)

V_b = $0.6\ (l_e / d_o)^{0.2}\ \sqrt{d_o} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot C_{a1}^{1.5}$ / 1000 = 1,976 kN

V_{b2} = $3.7\ \lambda_n \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot C_{a1}^{1.5}$ / 1000 = 929 kN

V_b = MIN [V_{b1}, V_{b2}] = 929 kN

l_e = MIN [h_{ef}, $8d_0$] = MIN [360 , 840] = 360 mm

d_0 = 105 mm (앵커소켓 직경) , h_{ef} = 360 mm

※ $\varphi_{c,V}$는 보조철근을 사용(준공도서, 철근탐사 확인 등) 시 1.2를 적용한다.

② 소요성능 : 방향별 평가지진력 $V_{bear,d}$

- 교축방향 $V^L_{bear,d}$ = $F^L_{AS,D}$ × n^L_B = 1,551.0 × 2 = 3,102.0 kN (n^L_B = 2)

- 교축직각방향 $V^T_{bear,d}$ = $F^T_{AS,D}$ × n^T_B = 3,173.5 × 1 = 3,173.5 kN (n^T_B = 1)

③ 평가

- 교축방향 $\dfrac{V^L_{brk,ec}}{V^L_{bear,d}} = \dfrac{1,800.1}{3,102.0}$ = 0.580 < 1.0 ∴ N.G

- 교축직각방향 $\dfrac{V^T_{brk,ec}}{V^T_{bear,d}} = \dfrac{1,180.4}{3,173.5}$ = 0.372 < 1.0 ∴ N.G

2.2.4 프라이아웃

▶ 묻힘콘크리트의 프라이아웃 $V_{pry,ec}$

▶ $V_{pry,ec} = V_{cpg}$

여기서, V_{cpg} : 콘크리트 프라이아웃강도

① 보유성능 : 콘크리트 프라이아웃강도 $V_{pry,ec}$

○ $V_{pry,ec} = k_{cp} \cdot N_{cbg}$

여기서, k_{cp} : 콘크리트 프라이아웃 강도 계수

h_{ef} < 65mm 인 경우 : $k_{cp} = 1.0$

$h_{ef} \geq$ 65mm 인 경우 : $k_{cp} = 2.0$

N_{cbg} : 인장을 받는 앵커그룹의 콘크리트 파괴강도, N

○ $N_{cbg} = \dfrac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \varphi_{ed,N} \cdot \varphi_{c,N} \cdot N_b$

여기서, A_{Nc} : 인장강도 산정을 위한 단일앵커 또는 앵커그룹의 콘크리트 파괴면 투영면적, ㎟

$A_{Nc} = [2\times 1.5 \cdot h_{ef} + \sum S_1] \times [2\times 1.5 \cdot h_{ef} + \sum S_2]$ ($C_{a1} \geq 1.5 \cdot h_{ef}$, $C_{a2} \geq 1.5 \cdot h_{ef}$ 인 경우)

A_{Nco} : 연단거리 또는 간격에 제한을 받지 않는 경우에 인장강도 산정을 위한 단일앵커의 콘크리트 파괴면 투영면적, ㎟

$A_{Nco} = 9 \cdot h^2_{ef}$

$\varphi_{ed.N}$: 연단거리 영향에 대한 인장강도 수정계수

$C_{a,min} \geq 1.5 \cdot h_{ef}$ 인 경우, $\varphi_{ed,N} = 1.0$

$C_{a,min} < 1.5 \cdot h_{ef}$ 인 경우, $\varphi_{ed,V} = 0.7 + 0.3\ (C_{a,min} / 1.5h_{ef})$

$\varphi_{c.N}$: 균열유무에 따른 인장강도 수정계수 (균열제어 철근 배근시 비균열 콘크리트로 간주)

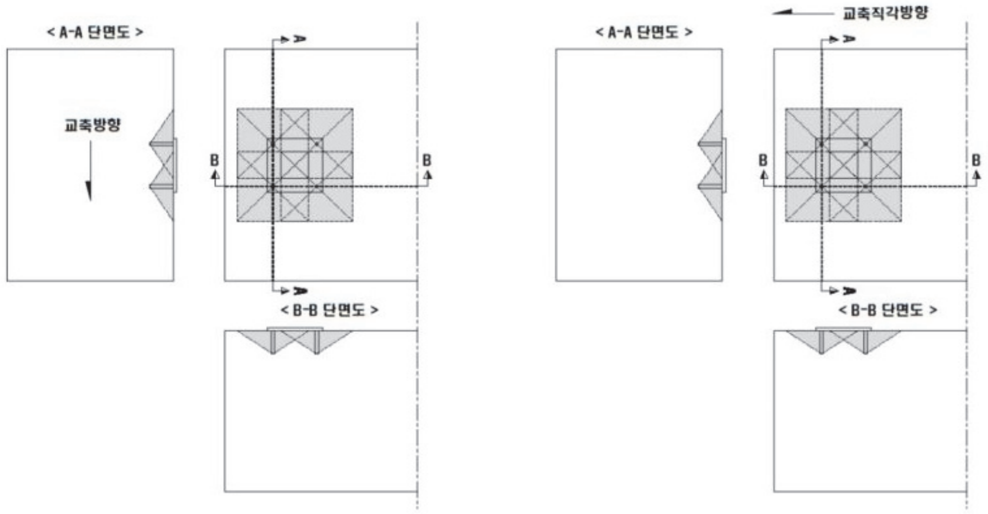
비균열 콘크리트의 경우, $\varphi_{c,N} = 1.25$: 선설치 앵커, $\varphi_{c,N} = 1.40$: 후설치 앵커

균열(폭 0.3mm초과) 콘크리트의 경우, $\varphi_{c,N} = 1.0$

N_b : 인장력을 받는 단일앵커의 기본 콘크리트 파괴강도, N

$N_b = k_c \sqrt{fck} \cdot h^{1.5}_{ef}$ (k_c = 10 : 선설치앵커, k_c =7 : 후설치앵커)

$N_b = 3.9 \sqrt{fck} \cdot h^{5/3}_{ef}$ (280 ≤ h_{ef} ≤ 635㎜ 인 헤드스터드와 헤드볼트)



< 전단력에 의한 프라이아웃 강도 산정시 투영면적 산정 - 교축, 교직 방향 >

○ 교축방향

- A_{Nc} = $[2\times1.5\cdot h_{ef}' + \sum S_1] \times [2\times1.5\cdot h_{ef}' + \sum S_2]$ (단, 각방향 C_a , S > $1.5\cdot h_{ef}'$ 인 경우, C_a , S=$1.5h_{ef}'$)

  = 3,027,600 mm^2

  여기서, C_{a11} = 1,470 mm , C_{a12} = 1,470 mm , $\sum S_1$ = 660 mm

  C_{a21} = 720 mm , C_{a22} = 1,520 mm , $\sum S_2$ = 660 mm

  h_{ef} = 360 mm , h_{ef}' = 360.0 mm

  (상기 모든 값은 인장을 받는 앵커에 한하여 산정함.)

- A_{Nco} = $9\cdot h_{ef}^2$ = 9 × 360.0^2 = 1,166,400.0 mm^2

∴ A_{Nc} < $n\cdot A_{Nco}$ = 4 × 1,166,400.0 = 4,665,600.0 mm^2

- $N_{cbg} = \dfrac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \varphi_{ed,N}\cdot\varphi_{c,N}\cdot N_b = \dfrac{3,027,600}{1,166,400} \times 1.000 \times 1.00 \times 348.1 = 903.5$ kN

  여기서, $\varphi_{ed,N}$ = 1.000 (Ca,min ≥ 1.5·hef 인 경우, φed,N = 1.0)

  $\varphi_{c,N}$ = 1.000 (균열(0.3mm초과) 콘크리트의 경우)

  $N_b = 3.9\ \sqrt{fck} \times hef^{5/3} = 3.9 \times \sqrt{24} \times 360.0^{5/3} = 348.1$ kN

- $V_{pry,ec}$ = $k_{cp}\cdot N_{cbg}$ = 2.0 × 903.5 = 1,807.0 kN

○ 교축직각방향

- A_{Nc} = $[2\times1.5\cdot h_{ef}' + \sum S_1] \times [2\times1.5\cdot h_{ef}' + \sum S_2]$ (단, 각방향 C_a , S > $1.5\cdot h_{ef}'$ 인 경우, C_a , S=$1.5h_{ef}'$)

  = 3,027,600 mm^2

  여기서, C_{a11} = 720 mm , C_{a12} = 1,520 mm , $\sum S_1$ = 660 mm

  C_{a21} = 1,470 mm , C_{a22} = 1,470 mm , $\sum S_2$ = 660 mm (1열의 경우)

  h_{ef} = 360 mm , h_{ef}' = 360 mm

  (상기 모든 값은 인장을 받는 앵커에 한하여 산정함.)

- A_{Nco} = $9\cdot h_{ef}^2$ = 9 × 360.0^2 = 1,166,400.0 mm^2

∴ A_{Nc} < $n\cdot A_{Nco}$ = 4 × 1,166,400.0 = 4,665,600.0 mm^2

- $N_{cbg} = \dfrac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \varphi_{ed,N}\cdot\varphi_{c,N}\cdot N_b = \dfrac{3,027,600}{1,166,400} \times 1.000 \times 1.00 \times 348.1 = 903.5$ kN

  여기서, $\varphi_{ed,N}$ = 1.000 (Ca,min ≥ 1.5·hef 인 경우, φed,N = 1.0)

  $\varphi_{c,N}$ = 1.000 (균열(0.3mm초과) 콘크리트의 경우)

  $N_b = 3.9\ \sqrt{fck} \times hef^{5/3} = 3.9 \times \sqrt{24} \times 360.0^{5/3} = 348.1$ kN

- $V_{pry,ec}$ = $k_{cp}\cdot N_{cbg}$ = 2.0 × 903.5 = 1,807.0 kN

② 소요성능 : 방향별 평가지진력 $V_{bear,d}$

- 교축방향 $V^L_{bear,d} = F^L_{AS,D} \times n^L_B$ = 1,551.0 × 1 = 1,551.0 kN (n^L_B = 1)
- 교축직각방향 $V^T_{bear,d} = F^T_{AS,D} \times n^T_B$ = 3,173.5 × 1 = 3,173.5 kN (n^T_B = 1)

③ 평가

- 교축방향 $\dfrac{V^L_{pry,ec}}{V^L_{bear,d}} = \dfrac{1,807.0}{1,551.0} = 1.165 \geq 1.0$ ∴ O.K
- 교축직각방향 $\dfrac{V^T_{pry,ec}}{V^T_{bear,d}} = \dfrac{1,807.0}{3,173.5} = 0.569 < 1.0$ ∴ N.G

▶ 받침에 작용하는 유효수직력(D)이 $V_{pry,ec}$ 의 25% 이상이면 프라이아웃 파괴 검토 불필요

- 받침부 유효수직력 : D = 0.88 × 5,999.5 = 5,279.560 kN
- 교축방향 $0.25V_{pry,ec}$ = 0.25 × 1,807.0 = 451.750 kN < D ∴ 평가불필요
- 교축직각방향 $0.25V_{pry,ec}$ = 0.25 × 1,807.0 = 451.750 kN < D ∴ 평가불필요

2.2.5 앵커볼트 평가 요약

▶ 이 예제의 경우 프라이아웃파괴에 대해서는 평가가 불필요하지만, 참고용으로 평가에 대해서도 수록

구분	교축방향				교축직각방향			
	보유 성능	소요 성능	안전율	판정	보유 성능	소요 성능	안전율	판정
강재파괴(kN)	2,859.6	1,551.0	1.844	O.K	2,859.6	3,173.5	0.901	N.G
브레이크아웃(kN)	1,800.1	3,102.0	0.580	N.G	1,180.4	3,173.5	0.372	N.G
프라이아웃파괴(kN)	1,807.0	1,551.0	1.165	O.K	1,807.0	3,173.5	0.569	N.G

【3】 받침지지길이의 내진성능평가

1) 보유성능 : 교각의 받침지지길이 Nc

- N_C = 1600.0 mm (현장 실측값)

2) 소요성능 N_D

○ N_D = MAX [응답(소요)변위, N_{min}] = MAX [191.49 , 1,008.00] = 1,008.00 mm

▶ 응답(소요)변위 = 조합탄성변위 $[\Delta_E^L]_{comb}$ = 191.490 mm

▶ N_{min} = $(200 + 1.67 \cdot L + 6.66 \cdot H) \times (1 + 0.000125 \cdot \theta^2)$ = 1,008.00 mm

여기서, L = 350.00 m (연속경간장)

H = 33.56 m (교각 높이)

θ = 0.00 ° (사각)

3) 내진성능평가

$$\frac{N_C}{N_D} = \frac{1,600.0}{1,008.0} = 1.587 \geq 1.00$$

∴ 0.K