

⑦ Ejemplo de anclajes mecánicos instalados solicitados por tracción excéntrica respecto a sus dos ejes de simetría.

Verificar los anclajes de la plancha de acero mostrada, fijada a un muro estructural de una edificación clasificada como Categoría de Diseño Sísmico (SDC) A.

Datos

Solicitaciones

En el Estado Límite de Servicio
 $CV = 90 \text{ k}2 \text{ yf}$

Plancha de acero

Dimensiones (16x9.5x1.5 plg)
 $406 \times 241 \times 38 \text{ mm}$
 Acero A36

Anclajes

Pernos de cabeza hexagonal ASTM A29

$F_{ut} = 4570 \text{ kpf/cm}^2$
 $F_y = 3585 \text{ kpf/cm}^2$
 $F_{ut} < 1.9 F_y$

Diámetro $3/4 \text{ plg}$ (19.1 mm)

separación, $s \pm 6.5 \text{ plg}$ (16.5 cm) en φ dirección

Longo anclaje = $7 \text{ } 1/16 \text{ plg}$ (17.9 cm); $t_{ns} = 3/8 \text{ plg}$ (9.52 mm)

Excentricidades (Pto de aplicación de la carga)

$e_{cx} = 1.5 \text{ plg}$ (3.80 cm)

$e_{cy} = 2.5 \text{ plg}$ (6.35 cm)

Concreto

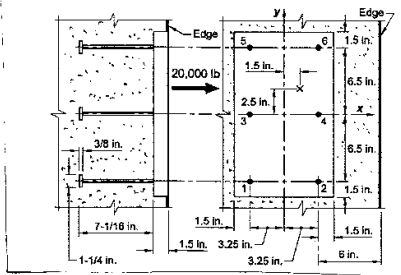
Concreto de apogado de peso normal; $\lambda_a = 1.0$

$F_c = 350 \text{ kpf/cm}^2$

Exposen de la pared donde se fija la

plancha de acero, $b = h_a = 24 \text{ plg}$ (61 cm)

La pared se detalla con acero de refuerzo suplementario para la transferencia de los esfuerzos



Solución1. Criterios de proyectoHipótesis

El análisis elástico de la conexión se basa en:

- La plancha de acero es infinitamente rígida
- Las solicitaciones se transmiten a través de la plancha de acero a cada uno de los anclajes, individualmente
- Los anclajes son del mismo Tipo, dimensiones, y profundidad de anclaje
- Los anclajes en la zona comprimida del concreto no resisten fuerzas de tracción

Acción de grupo

según la tabla de la subsección 17.2.1.1, para la rotura del concreto en tracción, la separación crítica es de $3h_{ef}$, con

$$h_{ef} = l_e - t_{ms} + t_{pl} - \text{reducción por efecto de soldadura}$$

Por efecto de la soldadura, el anclaje reduce su longitud. Para diámetros entre $1/4$ y $1/2$ ply, es de $1/8$ ply. Para diámetros entre $5/8$ y 1 ply, es de $3/16$. Para 1 ply es de $1/4$ ply. Se adopta $3/16$ ply (4.8 mm x 5.0 mm)

$$h_{ef} = 17.5 - 0.95 + 3.00 - 0.50 = 20.25 \text{ cm} \approx 20.3 \text{ cm}$$

$$\text{Como } s = 16.5 \text{ cm} \leq 3h_{ef} = 60.9 \text{ cm}$$

Los anclajes actúan como un grupo.

Solicitaciones

según la Tabla 5.3.1 de la Sección 5.3.1

$$U = 1.6 CV = 1.6 \times 9072 = 14515.20 \text{ yf}$$

La condición sísmica no es dominante, además que la estructura ha sido clasificada como SDC A.

La reacción en cada anclaje se calcula tomando momentos alrededor del centro en las dos direcciones:

$$N_{u,i,g} = \frac{U}{n} + \frac{(U e_{cx}) x_i}{\sum e_{x_i}^2} + \frac{(U e_{cy}) y_i}{\sum e_{y_i}^2} \quad (1)$$

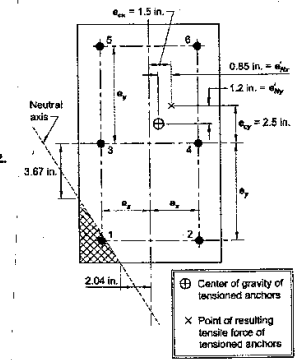
$$\text{con } \frac{U}{n} = \frac{14515.20}{6} = 2419.20 \text{ yf}$$

Como se observa en la figura

$$\sum e_{y_i}^2 = 4 \times 16.5^2 = 1089 \text{ cm}^2$$

$$\sum e_{x_i}^2 = 6 \times 8.25^2 = 408.375 \text{ cm}^2$$

número de pasmos



La fórmula (1) se puede sistematizar en tablas tipo Excel.

se verificará que $N_{u,i,g} = \sum_{i=1}^n N_{u,i}$

En la figura se muestra la posición del eje neutro, pero en el documento SP-17(11) 2 de donde se ha tomado el ejercicio no se

de una metodología para su cálculo. En el Anexo Ayudas para el Proyecto: Carpeta Posición del eje neutro se entregan los trabajos ligeros como calcular la posición del e.n en una sección cualquiera de columna de concreto reforzado. Entonces se pueden asimilar los cables como anclajes.

Retornando al ejemplo,

Anclaje	Coordenadas, cm		Nua kgf
	X_i	Y_i	
1	-8.25	-16.5	-92.986
2	8.25	-16.5	2140.047
3	-8.25	—	1302.716
4	8.25	—	3535.250
5	-8.25	16.5	2698.418
6	8.25	16.5	4930.999
	$\sum_{i=1}^6$		14514.944

$$\approx U = 14515.20 \text{ kgf}$$

El signo negativo indica fuerza de compresión

El anclaje 1, de compresión, se ignora en los subsecuentes cálculos.

El sistema de anclajes debe satisfacer los requisitos de la subsección 1E.3.1-1

$$N_{ua, g} \leq \begin{cases} \phi N_{sa} & \text{resistencia del anclaje} \\ \phi N_{cbg} & \text{rotura del concreto} \\ \phi N_{pn} & \text{desprendimiento de anclajes} \end{cases}$$

Ductilidad de onclejos

El acero ASTM A29 con las siguientes propiedades, cumple con el requisito de ductilidad

$$20\% \text{ alargamiento a } 2 \text{ plg} > 14\%$$

$$50\% \text{ reducción de área} > 30\%$$

Distancias y separaciones

según las Secciones 18.7.1 a 18.7.4

$$s_{\min} \geq 4d_a = 4 \times 1.91 = 7.64 \text{ cm} < 16.5 \text{ cm} \quad \text{Verifica}$$

La menor distancia al borde satisface el requerimiento mínimo exigido en la subsección 20-6.1.3

$c_a = 6 \text{ plg} (15.2 \text{ cm})$ de la Figura de la pag 1/9 es mayor que el req. min de $1.5 \text{ plg} (3.8 \text{ cm})$.

TRACCIÓN2. Capacidad a tracción del onclejo

Rotura a tracción del onclejo (onclejo individual)

$$\phi N_{sa} = \phi A_{se} F_{uta} \quad (17.4.1.2)$$

con $\phi = 0.75$ según 17.3.3a(i)

$$\text{con } A_{se,N} = 0.44 \text{ plg}^2 (2.84 \text{ cm}^2)$$

$$\phi N_{sa} = 9734.25 \text{ yf} > N_{ua,g} = N_{ua,6} = 4930.999 \times 4931 \text{ yf} \\ \text{(ver tabla pag 4/5)}$$

3. Capacidad del concreto a la rotura por tracción 6/9

$$\phi N_{cbg} = \phi \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (17.4.2.1b)$$

con $\phi = 0.75$ para la Condición A de 17.3.3 c(cw)

A_{NC} se calcula con los anclajes en tracción con $s = 6.5 \text{ plg (16.5 cm)}$ y $h_{ef} = 20.3$ (pag 2/9)

En los anclajes 2, 4 y 6: $C_{a1} = 6 \text{ plg (15.2 cm)} < 1.5 h_{ef}$

A_{NC} se calculará con ayuda del siguiente esquema.

$$A_{NC} = (1.5 h_{ef} + s_1 + 1.5 h_{ef}) (C_{a1} + s_2 + 1.5 h_{ef}) + (C_{a1} + 1.5 h_{ef}) (1.5 h_{ef} - (1.5 h_{ef} - s_1))$$

$$A_{NC} = 5574.18 \text{ cm}^2$$

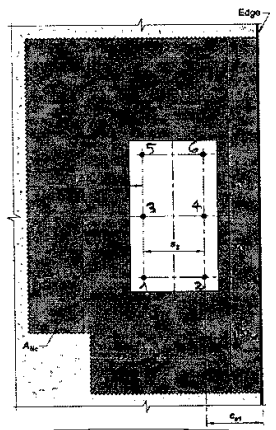
$$A_{NCO} = 9(h_{ef})^2 = 3708.91 \text{ cm}^2$$

según 17.4.2.1

$$A_{NC} \leq n A_{NCO}$$

con $n = 5$ anclajes a tracción.

Verifica



Para el cálculo de $\psi_{ec,N}$ según la subsección 17.4.2.4 es necesario calcular e'_N de la figura de la página 3/9

$$e'_N x = e_{cy} - (x_i - \bar{x})$$

$$e'_N y = e_{cy} - (y_i - \bar{y})$$

Tomando momentos alrededor de una línea a través de los anclajes 2-4-6

$$\bar{x} = \frac{2 \times 16.5}{5} = 6.60 \text{ cm}$$

Tomando momentos alrededor de una línea a través de los anclajes 5 y 6

$$\bar{y} = \frac{2(16.5) + 1(16.5 + 16.5)}{5} = 13.20 \text{ cm} \quad z/g$$

reemplazando:

$$e'_{N_x} = 3.80 - (8.25 - 6.60) = 2.15 \text{ cm}$$

$$e'_{N_y} = 6.35 - (16.5 - 13.2) = 3.05 \text{ cm}$$

Entonces, en cada dirección:

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + \frac{2e'_{N_x}}{3h_{ef}}} \quad (17.4.2.4)$$

$$\psi_{ec,N_x} = 0.943$$

$$\psi_{ec,N_y} = 0.909$$

$$\psi_{ec,N} = (\psi_{ec,N_x})(\psi_{ec,N_y}) = 0.857$$

Como tres de los overlaps en tracción están localizados cerca del borde sin suficiente espacio para completar el prisma de rotura del concreto. Entonces según 17.4.2.5, como $s_{a,min} = 15.2 \leq 1.5h_{ef} = 1.5 \times 20.3$
→ pag 5/9 ← pag 2/9

$$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{s_{a,min}}{1.5h_{ef}} \quad (17.4.2.5b)$$

$$\psi_{ed,N} = 0.85$$

Por concreto fisurado con refuerzo suplementario, según 17.4.2.6 $\psi_{c,N} = 1.0$

Por 17.4.2.7 para rebajas preinstaladas, $\psi_{cp,N} = 1.0$

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f_c} h_{ef}^{1.5} \quad (17.4.2.2a)$$

$$\text{con } k_c = 10, \quad N_b = 17136.40 \text{ yf}$$

$$\text{Entonces } \phi N_{cbg} = 13867.90 \text{ yf} < N_{uag} = 14515.20 \text{ yf} \quad (\text{pag } 3/9)$$

No verifica

se requiere acero de refuerzo en el concreto 8/9
según la subsección 17.4.2.9

$$A_s \geq \frac{U}{9F_y}$$

Con acero de refuerzo de $F_y = 42009 \text{ psi}$

$$A_s \geq \frac{14515.20}{0.75 \times 4200} = 4.61 \text{ cm}^2$$

También vamos con los límites de las subsecciones 25.4.3.1 y 25.4.3.2 si la longitud de transferencia del acero de refuerzo excede a la de los anclajes.

$$l_{dk} \geq \left[\frac{0.075 \psi_e F_d}{\sqrt{F_c}} \right] d_b$$

Con $\psi_e = 1.0$ y barra N° 3 (9.525 mm dia), $A_s = 0.71 \text{ cm}^2$

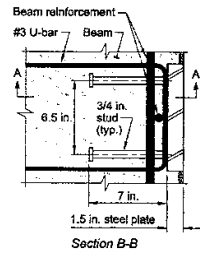
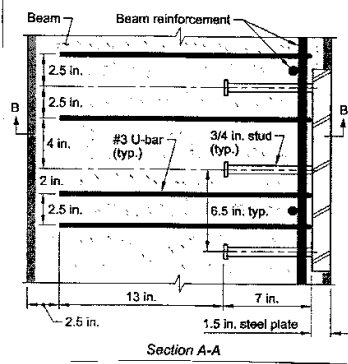
$$l_{dk} = 15.24 \text{ cm} < 17.8 \text{ del anclaje} \quad \text{Verifica}$$

según 25.4.10.1 y la tabla 25.4.2.2 resulta

$$l_d = 33 \text{ cm}$$

Con 8 N° 3

$$\phi A_s F_y = 0.75 \times 8 \times 0.71 \times 4200 = 17892 \text{ psi} > 14515.20 \text{ psi} \quad \text{Verifica}$$



Detalles de la conexión
con acero de refuerzo
suplementario

A. Capacidad por desprendimiento del concreto (pullout)

$$\phi N_{pm} = \phi \Psi_{c,p} N_p \quad (17.4.3.1)$$

$$\text{con } \phi = 0.75 \quad \text{Condición A, 17.3.3 c)}$$

$$\Psi_{c,p} = 1.0 \quad \text{Concreto fisurado}$$

$$N_p = 8 A_{brg} F_c \quad (17.4.3.4)$$

$$\text{con } A_{brg} = 0.78 \text{ m}^2 \quad (5.03 \text{ cm}^2)$$

$$\phi N_{pm} = 10659.41 \text{ kgf/onclaje} > N_{ua, g} = 4930.99 \text{ kgf}$$

2. pag 4/9

Conclusión

Modalidad de falla

Relación $N_{ua, g} / \phi N_{pm}$

$$\text{Anclaje, } \phi N_{sa} = 9734.25 \text{ kgf} \quad 4931 / 9734.25 = 0.51$$

Control

$$\text{Rotura del concreto, } \phi N_{cb, g} = 17892 \text{ kgf} \quad \text{Detalle de conexión de refuerzo incorporado.}$$

$$\text{Desprendimiento del concreto, } \phi N_{pm} = 10659.41 \quad 4931 / 10659.41 = 0.46$$

El sistema de anclaje propuesto es apropiado cuando se suministra acero de refuerzo suplementario.