

18

Ejemplo de anclajes adheridos post instalados solicitados por corte y momento simultáneos.

Nota preliminar.— Ejemplo similar al Ejemplo 6

Como se aprecia en la figura, los solicitaciones son la mitad del ejemplo citado. Obsérvese que el detalle del anclaje de la placa de acero es diferente.

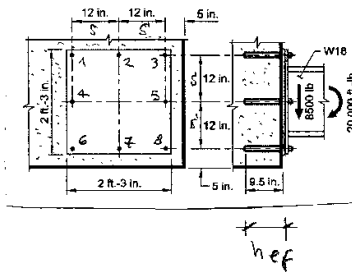
Por tanto, en el desarrollo del presente ejemplo se indicará convenientemente los semejanzas y diferencias por tratarse de un caso común y en la práctica de la Ingeniería civil.

Datos

solicitaciones

Reacciones de la viga de acero:

$M_u = 2265 \text{ mkgf}$
 $V_u = 3856 \text{ kgf}$



Perfil de acero

W 18 x 55 Acero A36
 $d = 18.11 \text{ plg (460 mm)}$ $t_w = 0.370 \text{ plg (9.91 mm)}$
 $b_f = 7.53 \text{ plg (198.9 mm)}$ $t_f = 0.630 \text{ plg (16.02 mm)}$

Placa de acero

Dimensiones $24 \times 36 \times 1.5 \text{ plg (605.8 \times 685.8 \times 38.1 mm)}$
 Acero A36 $F_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$

Concreto

Concreto de agregado de peso normal; $\lambda_c = 1.0$
 $F_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$
 Anchura de la viga de concreto, $b = 20 \text{ plg (50 cm)}$
 se detalla acero de refuerzo suplementario para resistir las solicitaciones de la conexión.

Anclajes

2/12

Anclajes ASTM F1554 Grado 36

$$F_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_{uta} = 4080 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_{uta} < 1.9 F_y$$

Anclajes adhesivos a posttensionados de 5/8 plg diám.

Como se muestra en la figura:

reparación de anclajes, en/dirección, $s = 12 \text{ plg}$ (30.5 cm)

Distancia al borde de la primera fila de anclajes,

$$c_{a1} = 5 \text{ plg} (12.7 \text{ cm})$$

$$c_{a2} = 5 \text{ plg} (12.7 \text{ cm})$$

Profundidad del anclaje, $h_{ef} = 9.5 \text{ plg}$ (24.13 cm)

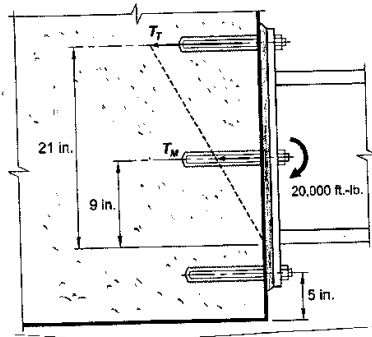
reparación o caso de refuerzo suplementario

Solución

1. Criterios de proyecto

Hipótesis

con los mismos del ejemplo ⑤; varíe la pag 2/12 del citado ejemplo.



Fuerzas en los anclajes adhesivos

Acción de grupo

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

$$3 \times 24.13 = 72.39 \text{ cm} \geq rep = 12 \text{ ply} (30.5 \text{ cm})$$

Para incluir los anclajes susceptibles a la misma modalidad de falla (resistencia por adherencia) se calcula

$$C_{Na} = 10d_a \sqrt{\frac{T_{uncc}}{F_{F31}}} \quad (17.4.5.1c)$$

con $T_{uncc} = 147.64 \text{ g/cm}^2$ tomado del Certificado de aprobación, apartado por el fabricante

$$C_{Na} = 21.93 \text{ cm}$$

$$\text{reparación crítica} = 2C_{Na} = 43.86 \text{ cm} > S = 30.5 \text{ cm}$$

Los anclajes actuarán como un grupo.

SOLICITACIONES

Para el cálculo de los fuerzas en cada uno de los anclajes, se adopta, conservadoramente, el método elástico, como se esquematiza en la figura de la página 2/
Entonces, análogamente a como se hizo en los págs 3 y 4/12 del ejemplo ⑥

$$T_T = T_1 = T_2 = T_3$$

$$T_M = T_4 = T_5$$

Tomando momentos en el ala comprimida del W 18 x 55

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow 53.34 (3 T_T) + 22.86 (2 T_M) - 276500 = 0 \quad (1)$$

Por elasticidad

$$\frac{\Delta T}{\Delta M} = \frac{53.34}{22.86} = 2.33$$

$$T_T = \Delta T K = 2.33 \Delta M K$$

$$T_M = \Delta M K$$

reando K la rigidez del anclaje
 Δ el desplazamiento del anclaje

restituyéndolo en (1):

$$53.34 \times 3 \times 2.33 T_M + 22.86 \times 2 T_M - 276500 = 0$$

resolviendo

$$T_M = 659.98 \times 660 \text{ kgf} = T_4 = T_5$$

$$T_T = 1539.5 \times 1540 \text{ kgf} = T_1 = T_2 = T_3$$

$$N_{ua} = 3 T_T + 2 T_M = 5940 \text{ kgf}$$

Igualmente al Ejemplo 6 se verifica que la
 placa permanece elástica (Ver pag 4/12, Ejemplo 6)

$$\text{Módulo elástico} = 5 \times F_y = \frac{b t^3}{6} < M_{\text{cara}} = \sum T_T a$$

según la Subsección 17.3.1.1, el grupo de anclajes
 debe satisfacer los siguientes requerimientos

$$N_{ua, g} \leq \begin{cases} \phi N_{sa} \\ \phi N_{cbg} \\ \phi N_{ag} \end{cases}$$

$$V_{ua, g} \leq \begin{cases} \phi V_{sa} \\ \phi V_{cbg} \\ \phi V_{cpg} \end{cases}$$

con $N_{ua, g} = 3 T_T + 2 T_M = 5940 \text{ kgf}$ a tracción

$$V_{ua, g} = V_u = 3856 \text{ kgf}$$

$$\gamma \frac{N_{ua, g}}{\phi N_t} + \frac{V_{ua, g}}{\phi V_t} \leq 1.2 \quad (\text{Ecu. 17.6.3})$$

Ductilidad del anclaje

Los anclajes ASTM F1554 Grado 36 son dúctiles porque

23% alargamiento en 2 plg de longitud > 14%
40% reducción de diámetro > 30%

TRACCIÓN2. Capacidad a tracción del anclaje

Rotura a tracción del anclaje

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

con $\phi = 0.75$ según 17.3.3a(i)

$$\text{con } A_{se,N} = 0.226 \text{ plg}^2 \quad (1.458 \text{ cm}^2)$$

La diferencia con respecto al ejemplo ⑥, es que el área de un anclaje con cabeza es distinta a un anclaje químico (véanse los respectivos tablos en Ajustes para el proyecto).

$$\phi N_{sa} = 4461.48 \text{ yf} \text{ por anclaje individual}$$

$$\phi N_{sa} > N_{ua,g} = T_T = 1540 \text{ yf}$$

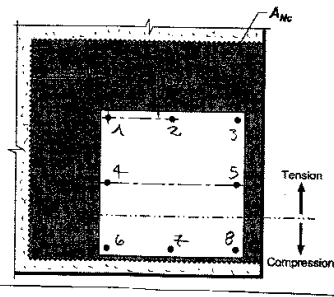
3. Capacidad del concreto a la rotura por tracción

$$\phi N_{cb,g} = \phi \frac{A_{nc}}{A_{nc0}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (Fórm. 17.4.2.1b)$$

con $\phi = 0.65$ según 17.3.3c(ii) por la Condición A, Categoría 2

Como la geometría de la conexión es la misma del ejemplo ⑥, los cálculos son los mismos de los párrafos 5 y 6/12 del citado ejemplo, excepto que N_b se calculará con $k_c = 7$

6/12



Idealización de la geometría de la rotura del concreto por tracción.

(igual al de la pág 5/12 del Ejemplo ⑥)

$$\phi N_{cbg} = 15249.40 \text{ kgf} > N_{ua,g} = 5940 \text{ kgf} \quad \text{Verifica}$$

4. Resistencia por adherencia

La referencia es el cálculo de los pags 5 y 6 del ejemplo ⑥

$$\phi N_{ag} = \phi \frac{A_{na}}{A_{na0}} \psi_{ec,na} \psi_{ed,na} \psi_{cp,na} N_{ba} \quad (17.4.5.1b)$$

con $\phi = 0.65$ por la condición A, categoría 2 (17.3.3C(ii))

$$c_{na} = 10 da \sqrt{\frac{f_{uer}}{f_{f34}}} \quad (17.4.5.1c)$$

$$c_{na} = 21.93 \text{ cm} \quad (\text{Ver pág 3/12})$$

Para la geometría del área de influencia del anclaje adherencia mostrada

$$A_{na} = (c_{a2} + s_2 + s_2 + c_{na}) (c_{na} + s_1 + c_{na})$$

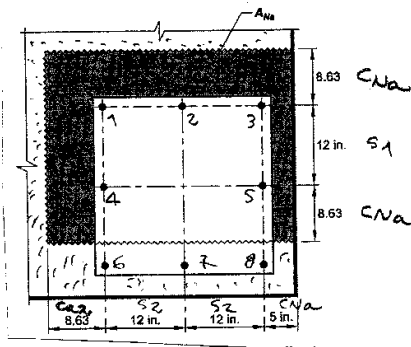
$$\text{con } c_{a2} = c_{na} = 8.63 \text{ plg } (21.93 \text{ cm})$$

$$s_1 = s_2 = 12 \text{ plg } (30.5 \text{ cm})$$

$$A_{n0} = (2c_{na})^2$$

$$A_{na} \leq n A_{n0} \quad \text{con } n = 5 \text{ (anclajes en tracción)}$$

Verifica



requiere 17.4.5.3

$$\Psi_{ec,Na} = \frac{1}{1 + \frac{e'N}{C_{Na}}} \leq 1.0 \quad (17.4.5.3)$$

$$\Psi_{ec,Na} = \frac{1}{1 + \frac{5.41}{21.93}} = 0.802$$

como se calculo en la pag 9/12 del Ejemplo 6

Dos anclajes en tracción están localizados cerca de los bordes y como $e'N = \frac{2s_y}{5} \frac{(T_1 + T_2)s_y}{N_{ua}}$
 $C_{a1} = C_a, \min < C_{Na}$

$$\Psi_{ed,Na} = 0.7 + 0.3 \frac{C_{a,\min}}{C_{Na}} \quad (17.4.5.6)$$

$$\Psi_{ed,Na} = 0.7 + 0.3 \frac{12.7}{21.93} = 0.874$$

requiere 17.4.5.5 por concreto fisurado debidamente reforzado $\Psi_{cp,Na} = 1.0$

$$N_{ba} = \lambda_a \tau_{cr} \pi d_a h_{ef} \quad (17.4.5.2)$$

con $\tau_{cr} = 66.00 \text{ kgf/cm}^2$ Informe de ensayos aportados por el fabricante

Por ser $F_c > 315 \text{ kgf/cm}^2$ no aumenta en un porcentaje del 6% en la resistencia (Ver pag 9/9, Ejemplo 17)

$$\phi N_{ba,g} = 14313.60 \text{ kgf} > N_{ua,g} = 5940 \text{ kgf}$$

5. Capacidad por desplazamiento lateral del concreto (side-face blowout) Verifica

No aplica en anclajes adhesivos

6. Resistencia del concreto (splitting failure)

No aplica por los razones dados en pag 8/12 del Ejemplo 6. Tampoco controlará por corte.

Conclusiones de la modalidad de falla por tracción

Modalidad de falla Relación $N_{ua,g} / \phi N_t$

Anclaje, $\phi N_{sa} = 4461.48 \text{ kgf}$ $\frac{1540}{4461.80} = 0.345$

Rotura del concreto, $\phi N_{cbg} = 15249.40 \text{ kgf}$ $\frac{5940}{15249.40} = 0.389$

Adherencia del grupo de anclajes, $\phi N_{ag} = 14313.60 \text{ kgf}$ $\frac{5940}{14313.60} = 0.415$

CORTE

controla

F. Capacidad a corte del anclaje

Previamente se verificó la acción de grupo de los anclajes a corte. según la Tabla de la subsección 17.2.1.1, para lo cual

$3c_{a1} > s$
 $3 \times 12.7 = 38.1 \text{ cm} > 30.5 \text{ cm}$

Los anclajes actúan en grupo

$\phi V_{sa} = \phi A_{seV} F_{uta}$ (17.5.1.2b)

con $A_{seV} = 0.226 \text{ plq}^2$ (1.458 cm²)

$\phi = 0.65$ según 17.3.3a(14)

[non-shrink
 grout pad]
 almohadilla

se incorpora un factor de reducción adicional de 0.8 porque se ha dispuesto una capa de mortero no retráctil entre la plancha de acero y la viga de concreto [Ver pag 12/19 del Ejemplo 8]

$\phi V_{sa} = 1856 \text{ kgf/anclaje} > V_{uag} = \frac{3856}{3} = 1285.33 \text{ kgf}$

Conservadoramente se supone que los anclajes 1, 2 y 3 resisten todo el corte (Ver pag 8/12 Ejemplo 8)

Verifica

8. Rotura del Concreto por Corte

Los arandelos de los anclajes están soldados a la plancha de acero, por lo que de acuerdo con la Figura R17.5.2.1b el corte será resistido por los anclajes más alejados del borde en la dirección de la fuerza cortante.

se supone que la rotura del concreto se inicia en la fila más alta de la configuración de anclajes y que se propaga a partir de esta fila vertical y horizontalmente a 35° desde los bordes de los anclajes. Ver pag 9/12 del Ejemplo 6

$$\phi V_{cbg} = \phi \frac{A_{vc}}{A_{vc0}} \psi_{ec,v} \psi_{ed,v} \psi_{c,v} \psi_{h,v} V_b \quad (17.5.2.1b)$$

con $\phi = 0.75$ según 17.3.3(c) porque los anclajes adhesivos con acero suplementario se consideran Condición A.

La distancia al borde C_{a1} se calculará en la fila de los anclajes 1, 2 y 3

$$C_{a1} = 2s_y + recubrimiento \quad C_{a2} = rec = 5 \text{ plg (12.7 cm)}$$

$$C_{a1} = 2(30.5) + 12.7 = 73.7 \text{ cm}$$

$$A_{vc} = (1.5 C_{a1} + 2s_y + C_{a2}) h_a$$

$$A_{vc} = (1.5 \times 73.7 + 2 \times 30.5 + 12.7) 90 = 9212.50 \text{ cm}^2$$

$$A_{vc0} = 4.5 C_{a1}^2 = 4.5 \times 73.7^2 = 24442.61 \text{ cm}^2$$

$$A_{vc}/A_{vc0} = 0.377$$

según 17.5.2.5 para no tener corte excentrico, $\psi_{ec,v} = 1.0$

$$\text{Como } C_{a2} < 1.5 C_{a1}$$

$$\psi_{ed,v} = 0.7 + 0.3 \frac{C_{a2}}{1.5 C_{a1}} \quad (17.5.2.6b)$$

10/12

$$\psi_{ed,v} = 0.7 + 0.3 \frac{12.7}{1.5 \times 73.7} = 0.734$$

Por caso de refuerzo suplementario detallado para la conexión

$$\psi_{c,v} = 1.2 \quad (\text{Subsección 17.5.2.7})$$

regulada Subsección 17.5.2.8, como $h_a < 1.5c_{a1}$

$$\psi_{h,v} = \sqrt{\frac{1.5c_{a1}}{h_a}} \geq 1.0 \quad (17.5.2.8)$$

Con $c_{a1} = 73.7 \text{ cm}$ y $h_a = 50 \text{ cm}$, $\psi_{h,v} = 1.47$

Con $l_e = h_{ef} = 24.13 \text{ cm}$ y $l_e \leq 8d_a$

V_b será el menor valor entre:

$$V_b = \left(1.9 \left(\frac{l_e}{d_a} \right)^{0.2} \sqrt{d_a} \right) \lambda_a \sqrt{f_c} (c_{a1})^{1.5}$$

$$V_b = 3.8 \lambda_a \sqrt{f_c} (c_{a1})^{1.5} \quad (\text{Fórm. 17.5.2.2a})$$

con lo cual $\phi V_{cbg} = 18147.45 \text{ kg} > V_{uag} = 3856 \text{ kg}$
 9. Rotura del concreto por cabeceo de los nodos Verifica

$$\phi V_{cpq} = \phi K_{cp} N_{cpq} \quad (17.5.3.1b)$$

con $\phi = 0.75$ regulada 17.3.3(c) por Condición A

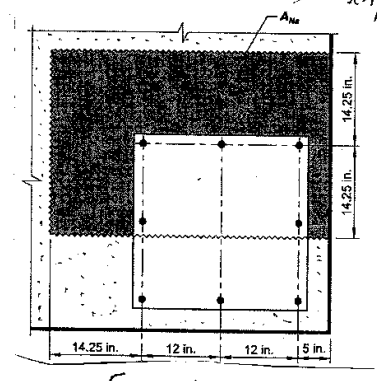
Como $h_{ef} \geq 6.35 \text{ cm}$ $K_{cp} = 2.0$

N_{cpq} será el menor valor entre N_{cbg} y N_{ag}

Entonces $N_{cpq} = N_{cbg}$ (17.4.2.1b)

que se calculará con la geometría de la siguiente figura

11/12



$$A_{nc} = \frac{(1.5h_{ef} + 2s_x + C_{az})}{(2(1.5)h_{ef})}$$

$$A_{nc} = 7952.40 \text{ cm}^2$$

$$A_{nc0} = 9h_{ef}^2 = 5240.31 \text{ cm}^2$$

según 1E.4.2.4 $\psi_{ec,N} = 1.0$

$$\text{según 1E.4.2.5, } \psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{C_{a,min}}{1.5h_{ef}} = 0.805$$

con $C_{a,min} = 12.7 \text{ cm}$ y $h_{ef} = 24.13 \text{ cm}$

Por 1E.4.2.7 $\psi_{cp,N} = 1.0$

$$N_{cbg} = \frac{A_{nc}}{A_{nc0}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (1E.4.2.1b)$$

$$N_{cbg} = 18962.92 \text{ kgf}$$

Desarrollando $N_{cpq} = N_{ag} \quad (1E.4.5.1b)$

$$\text{con } A_{na} = 2C_{na}(C_{az} + s_y + s_y + C_{na})$$

$$N_{ag} = 12990.36 \text{ kgf} \quad (\text{controla})$$

$$\phi V_{cpq} = 19504.46 \text{ kgf} > V_{uag} = 3856 \text{ kgf}$$

Conclusión de la modalidad de falla por corto Verifica

Modalidad de falla Relación $V_{uag}/\phi V_t$

Anclaje, $\phi V_{sa} = 1856 \text{ kgf}$ $1285.33/1856 = 0.697$

Rotura del concreto, $\phi V_{cbg} = 18147.95$ $3856/18147.95 = 0.212$

Rotura del concreto por cabeceo, $\phi V_{cpq} = 19504.46 \text{ kgf}$ $3856/19504.46 = 0.198$

Controla la capacidad del anclaje

10. Interacción corte - tracción

12/12

Con los solicitaciones que controlan se verifican las condiciones de las Secciones 17.6.1 a 17.6.3

$$\frac{V_u}{\phi V_t} = \frac{3856}{1856} = 0.697 > 0.2$$

$$\frac{N_u}{\phi N_t} = \frac{5940}{14313.60} = 0.415 > 0.2$$

$$\frac{N_u}{\phi N_t} + \frac{V_u}{\phi V_t} = 0.415 + 0.697 = 1.112 < 1.20$$

Verifica

La conexión es adecuada para resistir los esfuerzos aplicados.