10. 전단연결재 설계

10.1 상부바닥판 전단연결재

1) 합성후 하중에 의한 수평 전단력

(☞ 도.설.해 3.9.5.2)

※ 고려하는 단면의 휨모멘트의 부호에 관계없이 바닥판 콘크리트의 단면을 유효로 하여 전단연결재의 계산을 하는 것으로 한다. (☞ 도.설.해 3.9.5.7)

$$S_v = \frac{V \cdot Q_{vc}}{I_v}$$

$$Q_{vc} = \frac{A_c}{n} \cdot d_{vc}$$

여기서, S_v = 설계 대상 단면의 슬래브와 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/㎜)

V = 합성후 하중에 의한 수직전단력[활하중 포함] (N)

Q_{vc} = 정모멘트부 콘크리트의 환산단면 또는 부모멘트부 철근면적의 합성단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (㎜^{3})

A_c = 바닥판 콘크리트 또는 철근의 단면적 (㎜^{2})

I_v = 합성단면의 단면2차모멘트 (㎜^{4})

d_{vc} = 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 또는 철근 도심까지 거리(㎜)

※ V_d : 합성후 고정하중에 의한 수직전단력, V_A : 합성후 고정하중에 의한 수직전단력을 제외한 전단력 (충격계수를 포함한 활하중 포함)

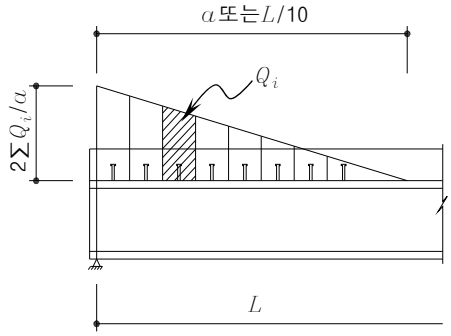
절점	단면 TYPE	A_c/n (㎜^{2})	d_{vc} (㎜)	Q_{vc} (㎜^{3})	I_v (㎜^{4})	V_d (kN)	V_a (kN)	V_d+V_a (kN)	S_v (N/㎜)
1	1	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	493.4	897.0	1,390.4	506.4
2	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	441.8	744.7	1,186.5	380.4
3	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	374.9	674.4	1,049.4	336.4
4	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	307.5	619.0	926.5	297.0
5	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	223.0	555.5	778.5	249.6
6	2	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	138.5	495.5	634.0	189.9
7	2	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	53.8	440.1	493.9	147.9
8	3	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	31.0	389.8	420.8	126.1
9	3	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	115.2	396.0	511.2	153.1
10	4	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	198.8	447.6	646.4	186.4
11	4	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	281.5	504.9	786.4	226.8
12	5	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	363.9	567.4	931.3	278.9
13	6	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	446.6	636.7	1,083.3	344.4
14	8	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	531.2	717.1	1,248.2	355.8
15	8	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	624.9	810.1	1,435.0	409.0
16	9	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	744.4	974.0	1,718.4	426.9
17	10	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	901.1	1,350.2	2,251.3	491.1
18	11	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	905.2	1,594.1	2,499.3	447.1
19	11	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	766.6	1,180.9	1,947.5	348.4
20	12	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	643.8	964.6	1,608.5	336.5
21	13	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	547.3	849.6	1,396.9	332.1
22	14	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	459.1	765.2	1,224.2	391.2
23	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	374.2	691.4	1,065.6	401.6
24	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	290.6	627.0	917.6	345.8
25	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	207.5	566.9	774.5	291.9
26	17	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	123.8	511.4	635.2	243.0
27	17	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	39.6	460.9	500.5	191.5
28	17	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	44.6	415.4	460.0	176.0
29	17	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	128.4	451.8	580.2	222.0
30	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	211.6	508.1	719.7	271.2
31	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	295.3	569.6	864.8	325.9
32	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	380.0	638.2	1,018.1	383.7
33	14	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	467.1	715.0	1,182.1	377.7
34	13	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	559.3	819.2	1,378.5	327.7

절점	단면 TYPE	A_c/n (mm^2)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm^3)	I_v (mm^4)	V_d (kN)	V_a (kN)	V_d+V_a (kN)	S_v (N/mm)
35	12	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	665.5	1,006.6	1,672.1	349.8
36	11	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	795.6	1,378.9	2,174.5	389.0
37	11	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	962.5	1,483.9	2,446.4	437.7
38	10	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	827.2	1,095.6	1,922.8	419.5
39	9	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	707.6	937.0	1,644.6	408.6
40	8	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	607.7	847.6	1,455.3	414.8
41	8	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	524.4	759.4	1,283.8	365.9
42	6	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	442.1	684.8	1,126.9	358.2
43	5	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	363.3	617.6	980.8	293.8
44	4	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	282.3	555.3	837.6	241.5
45	4	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	198.4	499.6	698.0	201.3
46	3	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	114.6	448.6	563.2	168.7
47	3	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	30.6	402.5	433.1	129.7
48	2	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	53.6	381.0	434.6	130.2
49	2	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	137.7	437.9	575.7	172.4
50	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	223.1	501.6	724.7	232.3
51	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	306.4	571.9	878.3	281.6
52	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	372.3	629.7	1,002.0	321.3
53	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	428.3	722.8	1,151.1	369.1
54	1	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	483.4	853.6	1,337.0	486.9
55	1	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	501.6	945.9	1,447.5	527.1
56	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	440.6	757.5	1,198.1	384.1
57	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	373.0	677.5	1,050.6	336.8
58	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	306.0	624.7	930.8	298.4
59	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	222.5	560.9	783.4	251.2
60	2	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	138.8	499.8	638.6	191.3
61	2	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	55.6	445.1	500.6	149.9
62	3	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	27.7	395.6	423.2	126.8
63	3	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	111.6	408.4	520.0	155.8
64	4	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	196.4	462.8	659.2	190.1
65	4	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	282.1	524.3	806.5	232.6
66	5	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	368.5	591.1	959.6	287.4
67	6	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	454.7	662.4	1,117.1	355.1
68	8	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	539.2	744.8	1,284.0	366.0
69	8	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	614.7	820.2	1,434.9	409.0
70	9	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	664.7	922.8	1,587.5	394.4
71	10	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	677.8	1,163.8	1,841.6	401.7
72	11	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	667.8	1,382.7	2,050.5	366.8
73	11	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	670.8	1,101.5	1,772.3	317.1
74	12	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	623.9	964.6	1,588.6	332.3
75	13	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	550.8	875.5	1,426.4	339.1
76	14	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	469.4	798.0	1,267.4	405.0
77	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	384.6	720.7	1,105.4	416.6
78	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	298.5	650.5	949.0	357.7
79	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	211.9	582.8	794.6	299.5
80	17	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	125.9	522.2	648.1	247.9
81	17	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	40.3	468.4	508.7	194.6
82	17	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	45.3	420.3	465.7	178.1
83	17	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	131.3	476.4	607.7	232.4
84	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	218.0	540.0	758.0	285.7
85	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	304.2	607.3	911.4	343.5
86	16	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	389.3	680.0	1,069.3	403.0
87	14	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	472.1	751.5	1,223.5	390.9
88	13	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	549.8	833.6	1,383.3	328.8

절점	단면 TYPE	A_c/n (mm^2)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm^3)	I_v (mm^4)	V_d (kN)	V_a (kN)	V_d+V_a (kN)	S_v (N/mm)
89	12	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	613.5	959.5	1,573.0	329.1
90	11	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	653.3	1,186.2	1,839.5	329.1
91	11	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	798.6	1,333.2	2,131.9	381.4
92	10	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	764.0	1,053.3	1,817.3	396.5
93	9	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	713.9	959.7	1,673.5	415.7
94	8	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	643.9	892.9	1,536.8	438.1
95	8	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	557.4	803.4	1,360.8	387.9
96	6	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	469.8	724.3	1,194.1	379.6
97	5	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	378.7	646.8	1,025.5	307.2
98	4	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	289.8	577.2	867.0	250.0
99	4	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	203.8	518.1	721.9	208.2
100	3	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	117.7	463.3	581.0	174.0
101	3	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	31.8	414.0	445.8	133.5
102	2	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	53.9	399.9	453.8	135.9
103	2	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	139.7	460.2	599.9	179.7
104	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	224.2	524.1	748.4	239.9
105	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	310.9	600.6	911.5	292.2
106	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	380.8	666.5	1,047.3	335.8
107	1	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	460.8	801.2	1,262.0	404.6
108	1	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	516.8	921.5	1,438.3	523.8

2) 건조수축 및 온도차에 의한 수평전단력

(☞ 도.설.해 3.9.5.3)



주거더 간격 a = 2.200 m (시점부)

L / 10 = 257.000 / 10 = 25.700 m

∴ 전단 분포폭 = 2.200 m (시점부)

주거더 간격 a = 2.200 m (종점부)

L / 10 = 257.000 / 10 = 25.700 m

∴ 전단 분포폭 = 2.200 m (종점부)

※ L을 취하는 방법 : (1) 단순합성거더의 경우 L : 지간

(2) 연속합성거더의 경우 L : 지간의 합계

▪ 건조수축에 의한 전단력(GIRDER 계산 단면 TYPE -1 참조) (시점부)

$n_2 = n\cdot(1 + \phi_1/2)$ = 7.0 × (1 + 4.0 / 2) = 21.0

A_s = 115,600.0 mm² I_s = 1.344E+11 mm⁴

A_c = 2,097,000.0 mm² I_c = 3.795E+10 mm⁴

d = 1,829.7 mm (강재도심과 Con'c중심간 거리)

$p_2 = E_s\cdot\varepsilon_s\cdot A_c/n_2$ = 205,000×0.00027×2,097,000/21.0 = 5.527E+06 N

E_s = 205,000.0 MPa (강재의 탄성계수)

ε_s = 0.000270 (콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율)

$$F_2 = \frac{1}{1+\frac{A_c}{n_2\cdot A_s}+\frac{A_c\cdot d^2}{I_c+n_2\cdot I_s}}$$

F_2 = 1 + [1 + {2,097,000/(21×115,600)} + {(2,097,000×1,830²)
/ (37,948,011,000 + 21.0×134,412,784,178)}] = 0.232

$N_{cs} = p_2 \cdot F_2$ = 5,527,092.9 × 0.232 = 1.280E+06 N

$S_s = 2\cdot N_{cs} / a$ = 2 × 1,280,052.1 / 2.200 = 1,163.7 N/mm

▪ 건조수축에 의한 전단력(GIRDER 계산 단면 TYPE -1 참조) (종점부)

$n_2 = n\cdot(1 + \phi_1/2)$ = 7.0 × (1 + 4.0 / 2) = 21.0

A_s = 115,600.0 mm² I_s = 1.344E+11 mm⁴

A_c = 2,097,000.0 mm² I_c = 3.795E+10 mm⁴

d = 1,829.7 mm (강재도심과 Con'c중심간 거리)

$p_2 = E_s\cdot\varepsilon_s\cdot A_c/n_2$ = 205,000×0.00027×2,097,000/21.0 = 5.527E+06 N

E_s = 205,000.0 MPa (강재의 탄성계수)

ε_s = 0.000270 (콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율)

$$F_2 = \frac{1}{1+\frac{A_c}{n_2\cdot A_s}+\frac{A_c\cdot d^2}{I_c+n_2\cdot I_s}}$$

F_2 = 1 + [1 + {2,097,000/(21×115,600)} + {(2,097,000×1,830²)
/ (37,948,011,000 + 21.0×134,412,784,178)}] = 0.232

$N_{cs} = p_2 \cdot F_2$ = 5,527,092.9 × 0.232 = 1.280E+06 N

$S_s = 2\cdot N_{cs} / a$ = 2 × 1,280,052.1 / 2.200 = 1,163.7 N/mm

▪ 온도차에 의한 전단력 (시점부)

n = 7.0

A_s = 115,600.0 mm^2 I_s = 1.344E+11 mm^4

A_c = 2,097,000.0 mm^2 I_c = 3.795E+10 mm^4

d = 1,829.7 mm (강재도심과 Con'c중심간 거리)

$p_1 = E_s \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot A_c / n$ = 205,000×0.000012×10.0×2,097,000/7.0 = 7.369E+06 N

E_s = 205,000.0 MPa (강재의 탄성계수)

α = 0.000012 (강재 및 콘크리트의 선팽창계수)

Δt = 10.0 °C (바닥판 콘크리트와 강재와의 온도차)

$$F_1 = \frac{1}{1+\frac{A_c}{n \cdot A_s}+\frac{A_c \cdot d^2}{I_c + n \cdot I_s}}$$

F_1 = 1 + [1 + {2,097,000/(7×115,600)} + {(2,097,000×1,830²) / (37,948,011,000 + 7.0×134,412,784,178)}] = 0.093

$N_{cs} = p_1 \cdot F_2$ = 7,369,457.1 × 0.093 = 6.847E+05 N

$S_t = 2 \cdot N_{cs} / a$ = 2 × 684,682.7 / 2.200 = 622.4 N/mm

▪ 온도차에 의한 전단력 (종점부)

n = 7.0

A_s = 115,600.0 mm^2 I_s = 1.344E+11 mm^4

A_c = 2,097,000.0 mm^2 I_c = 3.795E+10 mm^4

d = 1,829.7 mm (강재도심과 Con'c중심간 거리)

$p_1 = E_s \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot A_c / n$ = 205,000×0.000012×10.0×2,097,000/7.0 = 7.369E+06 N

E_s = 205,000.0 MPa (강재의 탄성계수)

α = 0.000012 (강재 및 콘크리트의 선팽창계수)

Δt = 10.0 °C (바닥판 콘크리트와 강재와의 온도차)

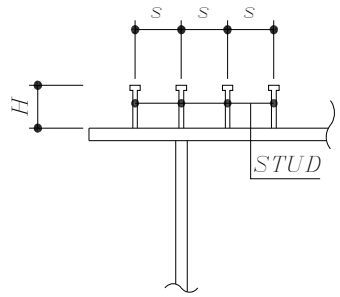
$$F_1 = \frac{1}{1+\frac{A_c}{n \cdot A_s}+\frac{A_c \cdot d^2}{I_c + n \cdot I_s}}$$

F_1 = 1 + [1 + {2,097,000/(7×115,600)} + {(2,097,000×1,830²) / (37,948,011,000 + 7.0×134,412,784,178)}] = 0.093

$N_{cs} = p_1 \cdot F_2$ = 7,369,457.1 × 0.093 = 6.847E+05 N

$S_t = 2 \cdot N_{cs} / a$ = 2 × 684,682.7 / 2.200 = 622.4 N/mm

3) STUD의 설계



s = 100.0 mm (s : STUD의 횡방향 배치간격)
d = 25.0 mm (d : STUD의 직경)
H = 150.0 mm (H : STUD의 전높이)
n = 8 본 (n : STUD의 횡방향 개수)

▪ STUD의 허용전단력 (☞ 도.설.해 3.9.5.6)

※ 전단연결재의 허용전단력은 다음 식으로 계산하고 바닥판 콘크리트와 강재 주거더의 플랜지 사이의 부착력은 무시한다.

H/d = 150.0 / 25.0 = 6.000 ≥ 5.50

Q_a = 9.50 × d^2 × $\sqrt{(f_{ck})}$ = 30,852.2 N/본 ∵ f_{ck} = 27.0 MPa

$\sum Q_a$ = 30,852.2 × 8.0 = 246,817.2 N

여기서, Q_a : 전단연결재의 허용전단력(N)
H : 스터드의 전 높이로서 150mm 정도를 표준으로 한다. (mm)
d : 스터드의 줄기의 지름으로서 19mm, 22mm, 25mm로 한다. (mm)
f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도 (MPa)

4) 하중조합 및 STUD의 배치

▪ STUD의 배치간격

$d_o = \sum Q_a / S$ (S : 수평전단력)

절점	하 중 조 합 (N/mm)					횡방향 개수 n	소요 간격 d_o	배치 간격	비 고	
	S_v	S_s	S_t	S_v+S_t	S_s+S_t					
1	506.4	1,163.7	622.4	1,128.8	1,786.1	8	138.2mm	125.0mm	O.K	A1
2	380.4	0.0	0.0	380.4	0.0	8	648.8mm	250.0mm	O.K	
3	336.4	0.0	0.0	336.4	0.0	8	733.6mm	450.0mm	O.K	
4	297.0	0.0	0.0	297.0	0.0	8	830.9mm	450.0mm	O.K	
5	249.6	0.0	0.0	249.6	0.0	8	988.9mm	450.0mm	O.K	
6	189.9	0.0	0.0	189.9	0.0	8	1299.7mm	450.0mm	O.K	
7	147.9	0.0	0.0	147.9	0.0	8	1668.5mm	450.0mm	O.K	
8	126.1	0.0	0.0	126.1	0.0	8	1958.1mm	450.0mm	O.K	
9	153.1	0.0	0.0	153.1	0.0	8	1611.8mm	450.0mm	O.K	
10	186.4	0.0	0.0	186.4	0.0	8	1324.1mm	450.0mm	O.K	
11	226.8	0.0	0.0	226.8	0.0	8	1088.4mm	450.0mm	O.K	
12	278.9	0.0	0.0	278.9	0.0	8	884.8mm	450.0mm	O.K	
13	344.4	0.0	0.0	344.4	0.0	8	716.7mm	450.0mm	O.K	
14	355.8	0.0	0.0	355.8	0.0	8	693.7mm	450.0mm	O.K	
15	409.0	0.0	0.0	409.0	0.0	8	603.4mm	450.0mm	O.K	
16	426.9	0.0	0.0	426.9	0.0	8	578.2mm	450.0mm	O.K	
17	491.1	0.0	0.0	491.1	0.0	8	502.5mm	450.0mm	O.K	
18	447.1	0.0	0.0	447.1	0.0	8	552.0mm	450.0mm	O.K	P1
19	348.4	0.0	0.0	348.4	0.0	8	708.4mm	450.0mm	O.K	
20	336.5	0.0	0.0	336.5	0.0	8	733.5mm	450.0mm	O.K	
21	332.1	0.0	0.0	332.1	0.0	8	743.3mm	450.0mm	O.K	
22	391.2	0.0	0.0	391.2	0.0	8	631.0mm	450.0mm	O.K	
23	401.6	0.0	0.0	401.6	0.0	8	614.6mm	450.0mm	O.K	

절점	하 중 조 합 (N/mm)					횡방향 개수 n	소요 간격 d_o	배치 간격	비 고	
	S_v	S_s	S_t	S_v+S_t	S_s+S_t					
24	345.8	0.0	0.0	345.8	0.0	8	713.7mm	450.0mm	O.K	
25	291.9	0.0	0.0	291.9	0.0	8	845.6mm	450.0mm	O.K	
26	243.0	0.0	0.0	243.0	0.0	8	1015.9mm	450.0mm	O.K	
27	191.5	0.0	0.0	191.5	0.0	8	1289.2mm	450.0mm	O.K	
28	176.0	0.0	0.0	176.0	0.0	8	1402.7mm	450.0mm	O.K	
29	222.0	0.0	0.0	222.0	0.0	8	1112.0mm	450.0mm	O.K	
30	271.2	0.0	0.0	271.2	0.0	8	910.0mm	450.0mm	O.K	
31	325.9	0.0	0.0	325.9	0.0	8	757.2mm	450.0mm	O.K	
32	383.7	0.0	0.0	383.7	0.0	8	643.2mm	450.0mm	O.K	
33	377.7	0.0	0.0	377.7	0.0	8	653.5mm	450.0mm	O.K	
34	327.7	0.0	0.0	327.7	0.0	8	753.2mm	450.0mm	O.K	
35	349.8	0.0	0.0	349.8	0.0	8	705.6mm	450.0mm	O.K	
36	389.0	0.0	0.0	389.0	0.0	8	634.4mm	450.0mm	O.K	
37	437.7	0.0	0.0	437.7	0.0	8	563.9mm	450.0mm	O.K	P2
38	419.5	0.0	0.0	419.5	0.0	8	588.4mm	450.0mm	O.K	
39	408.6	0.0	0.0	408.6	0.0	8	604.1mm	450.0mm	O.K	
40	414.8	0.0	0.0	414.8	0.0	8	595.0mm	450.0mm	O.K	
41	365.9	0.0	0.0	365.9	0.0	8	674.5mm	450.0mm	O.K	
42	358.2	0.0	0.0	358.2	0.0	8	689.0mm	450.0mm	O.K	
43	293.8	0.0	0.0	293.8	0.0	8	840.1mm	450.0mm	O.K	
44	241.5	0.0	0.0	241.5	0.0	8	1021.9mm	450.0mm	O.K	
45	201.3	0.0	0.0	201.3	0.0	8	1226.2mm	450.0mm	O.K	
46	168.7	0.0	0.0	168.7	0.0	8	1463.0mm	450.0mm	O.K	
47	129.7	0.0	0.0	129.7	0.0	8	1902.6mm	450.0mm	O.K	
48	130.2	0.0	0.0	130.2	0.0	8	1896.0mm	450.0mm	O.K	
49	172.4	0.0	0.0	172.4	0.0	8	1431.4mm	450.0mm	O.K	
50	232.3	0.0	0.0	232.3	0.0	8	1062.3mm	450.0mm	O.K	
51	281.6	0.0	0.0	281.6	0.0	8	876.5mm	450.0mm	O.K	
52	321.3	0.0	0.0	321.3	0.0	8	768.3mm	450.0mm	O.K	
53	369.1	0.0	0.0	369.1	0.0	8	668.8mm	250.0mm	O.K	
54	486.9	1,163.7	622.4	1,109.3	1,786.1	8	138.2mm	125.0mm	O.K	A2
55	527.1	1,163.7	622.4	1,149.6	1,786.1	8	138.2mm	125.0mm	O.K	A1
56	384.1	0.0	0.0	384.1	0.0	8	642.6mm	250.0mm	O.K	
57	336.8	0.0	0.0	336.8	0.0	8	732.8mm	450.0mm	O.K	
58	298.4	0.0	0.0	298.4	0.0	8	827.1mm	450.0mm	O.K	
59	251.2	0.0	0.0	251.2	0.0	8	982.7mm	450.0mm	O.K	
60	191.3	0.0	0.0	191.3	0.0	8	1290.4mm	450.0mm	O.K	
61	149.9	0.0	0.0	149.9	0.0	8	1646.1mm	450.0mm	O.K	
62	126.8	0.0	0.0	126.8	0.0	8	1946.9mm	450.0mm	O.K	
63	155.8	0.0	0.0	155.8	0.0	8	1584.5mm	450.0mm	O.K	
64	190.1	0.0	0.0	190.1	0.0	8	1298.4mm	450.0mm	O.K	
65	232.6	0.0	0.0	232.6	0.0	8	1061.3mm	450.0mm	O.K	
66	287.4	0.0	0.0	287.4	0.0	8	858.7mm	450.0mm	O.K	
67	355.1	0.0	0.0	355.1	0.0	8	695.0mm	450.0mm	O.K	
68	366.0	0.0	0.0	366.0	0.0	8	674.4mm	450.0mm	O.K	
69	409.0	0.0	0.0	409.0	0.0	8	603.5mm	450.0mm	O.K	
70	394.4	0.0	0.0	394.4	0.0	8	625.9mm	450.0mm	O.K	
71	401.7	0.0	0.0	401.7	0.0	8	614.4mm	450.0mm	O.K	
72	366.8	0.0	0.0	366.8	0.0	8	672.8mm	450.0mm	O.K	P1
73	317.1	0.0	0.0	317.1	0.0	8	778.4mm	450.0mm	O.K	
74	332.3	0.0	0.0	332.3	0.0	8	742.7mm	450.0mm	O.K	
75	339.1	0.0	0.0	339.1	0.0	8	727.9mm	450.0mm	O.K	

절점	하 중 조 합 (N/mm)					횡방향 개수 n	소요 간격 d_o	배치 간격	비 고	
	S_v	S_s	S_t	S_v+S_t	S_s+S_t					
76	405.0	0.0	0.0	405.0	0.0	8	609.5㎜	450.0㎜	O.K	
77	416.6	0.0	0.0	416.6	0.0	8	592.5㎜	450.0㎜	O.K	
78	357.7	0.0	0.0	357.7	0.0	8	690.1㎜	450.0㎜	O.K	
79	299.5	0.0	0.0	299.5	0.0	8	824.2㎜	450.0㎜	O.K	
80	247.9	0.0	0.0	247.9	0.0	8	995.5㎜	450.0㎜	O.K	
81	194.6	0.0	0.0	194.6	0.0	8	1268.5㎜	450.0㎜	O.K	
82	178.1	0.0	0.0	178.1	0.0	8	1385.6㎜	450.0㎜	O.K	
83	232.4	0.0	0.0	232.4	0.0	8	1061.8㎜	450.0㎜	O.K	
84	285.7	0.0	0.0	285.7	0.0	8	864.0㎜	450.0㎜	O.K	
85	343.5	0.0	0.0	343.5	0.0	8	718.5㎜	450.0㎜	O.K	
86	403.0	0.0	0.0	403.0	0.0	8	612.5㎜	450.0㎜	O.K	
87	390.9	0.0	0.0	390.9	0.0	8	631.3㎜	450.0㎜	O.K	
88	328.8	0.0	0.0	328.8	0.0	8	750.6㎜	450.0㎜	O.K	
89	329.1	0.0	0.0	329.1	0.0	8	750.1㎜	450.0㎜	O.K	
90	329.1	0.0	0.0	329.1	0.0	8	750.0㎜	450.0㎜	O.K	
91	381.4	0.0	0.0	381.4	0.0	8	647.1㎜	450.0㎜	O.K	P2
92	396.5	0.0	0.0	396.5	0.0	8	622.5㎜	450.0㎜	O.K	
93	415.7	0.0	0.0	415.7	0.0	8	593.7㎜	450.0㎜	O.K	
94	438.1	0.0	0.0	438.1	0.0	8	563.4㎜	450.0㎜	O.K	
95	387.9	0.0	0.0	387.9	0.0	8	636.3㎜	450.0㎜	O.K	
96	379.6	0.0	0.0	379.6	0.0	8	650.2㎜	450.0㎜	O.K	
97	307.2	0.0	0.0	307.2	0.0	8	803.5㎜	450.0㎜	O.K	
98	250.0	0.0	0.0	250.0	0.0	8	987.1㎜	450.0㎜	O.K	
99	208.2	0.0	0.0	208.2	0.0	8	1185.5㎜	450.0㎜	O.K	
100	174.0	0.0	0.0	174.0	0.0	8	1418.4㎜	450.0㎜	O.K	
101	133.5	0.0	0.0	133.5	0.0	8	1848.6㎜	450.0㎜	O.K	
102	135.9	0.0	0.0	135.9	0.0	8	1815.9㎜	450.0㎜	O.K	
103	179.7	0.0	0.0	179.7	0.0	8	1373.6㎜	450.0㎜	O.K	
104	239.9	0.0	0.0	239.9	0.0	8	1028.7㎜	450.0㎜	O.K	
105	292.2	0.0	0.0	292.2	0.0	8	844.6㎜	450.0㎜	O.K	
106	335.8	0.0	0.0	335.8	0.0	8	735.1㎜	450.0㎜	O.K	
107	404.6	0.0	0.0	404.6	0.0	8	610.0㎜	250.0㎜	O.K	
108	523.8	1,163.7	622.4	1,146.2	1,786.1	8	138.2㎜	125.0㎜	O.K	A2

5) STUD 배치 간격 검토 (☞ 도.설.해 3.9.5.4, 3.9.5.5)

▪ STUD의 최대간격

※ 전단연결재의 최대 간격은 바닥판 콘크리트의 두께의 3배로 하고 600㎜를 넘지 않도록한다.
다만, 연속교의 내부지점부의 경우 높은 인장응력이 발생되는 곳의 전단연결재 설치를 피하기 위해 이 간격을 넓힐 수도 있다.

최대 간격 ⇒ 바닥판 두께의 3배 = 470.0 × 3 = 1,410.0 ㎜ 또는 600.0 ㎜ ⇒ 600.0 ㎜ 적용

적용 최대 간격 = 450.0 ㎜ ≤ 600.0 ㎜ ····· **O.K !!**

▪ STUD의 최소간격

- 교축방향 : 5 · d = 125.0 ㎜ 또는 100.0 ㎜ ≤ 125.0 ㎜ ····· **O.K !!**
- 교축직각방향 : d+30 = 55.0 ㎜ ≤ 100.0 ㎜ ····· **O.K !!**
- 최소연단순간격 : 25.0 ㎜ ≤ 130.0 - 12.5 = 117.5 ㎜ ····· **O.K !!**

6) 전단연결재의 피로설계 (☞ 도.설.해 3.9.5.9)

▪ 수평전단력 범위

$$S_r = \frac{V_r \cdot Q}{I_v}$$

여기서, S_r = 설계 대상 단면의 슬래브와 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/mm)

V_r = 합성후 하중에 의한 수직전단력[활하중 포함] (N)

Q = 정모멘트부 콘크리트의 환산단면 또는 부모멘트부 철근면적의 합성단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (mm^3)

A_c = 바닥판 콘크리트의 단면적 (mm^2)

I_v = 합성단면의 단면2차모멘트 (mm^4)

d_{vc} = 합성단면의 도심에서 바닥판 콘크리트 도심까지의 거리 (㎜)

▪ 허용수평전단력 범위

$Z_r = \beta \cdot d^2$ ⇒ 39.0 × 25.0 ² = 24,375.0 N (DB 하중의 경우)

⇒ 74.0 × 25.0 ² = 46,250.0 N (DL 하중의 경우)

여기서, Z_r : 전단연결재의 허용수평 전단력 범위 (N)

β : 39.0 (하중 반복회수 : DB 하중 = 2,000,000이상)

74.0 (하중 반복회수 : DL 하중 = 500,000.0)

▪ 피로를 고려한 전단연결재의 필요간격

$d_o = \sum Z_r / S_r$

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DB하중에 대한 검토)

절점	A_c/n (mm^2)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm^3)	I_v (mm^4)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	ΣZ_r (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비고	
1	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	5.141E+05	187.2	8	1.950E+05	1041.6mm	125.0mm	O.K	A1
2	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	5.212E+05	167.1	8	1.950E+05	1167.0mm	250.0mm	O.K	
3	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	5.038E+05	161.5	8	1.950E+05	1207.1mm	450.0mm	O.K	
4	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	4.840E+05	155.2	8	1.950E+05	1256.5mm	450.0mm	O.K	
5	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	4.577E+05	146.7	8	1.950E+05	1329.0mm	450.0mm	O.K	
6	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.403E+05	131.9	8	1.950E+05	1478.7mm	450.0mm	O.K	
7	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.412E+05	132.2	8	1.950E+05	1475.5mm	450.0mm	O.K	
8	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.521E+05	135.4	8	1.950E+05	1439.9mm	450.0mm	O.K	
9	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.629E+05	138.7	8	1.950E+05	1406.3mm	450.0mm	O.K	
10	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	4.743E+05	136.8	8	1.950E+05	1425.7mm	450.0mm	O.K	
11	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	4.821E+05	139.0	8	1.950E+05	1402.7mm	450.0mm	O.K	
12	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.871E+05	145.9	8	1.950E+05	1336.7mm	450.0mm	O.K	
13	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	4.929E+05	156.7	8	1.950E+05	1244.5mm	450.0mm	O.K	
14	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	5.027E+05	143.3	8	1.950E+05	1361.0mm	450.0mm	O.K	
15	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	5.302E+05	151.1	8	1.950E+05	1290.4mm	450.0mm	O.K	
16	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	5.454E+05	135.5	8	1.950E+05	1439.3mm	450.0mm	O.K	
17	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	5.569E+05	121.5	8	1.950E+05	1605.0mm	450.0mm	O.K	
18	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	5.601E+05	100.2	8	1.950E+05	1946.1mm	450.0mm	O.K	P1
19	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	5.326E+05	95.3	8	1.950E+05	2046.4mm	450.0mm	O.K	
20	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	5.297E+05	110.8	8	1.950E+05	1759.8mm	450.0mm	O.K	
21	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	5.139E+05	122.2	8	1.950E+05	1596.2mm	450.0mm	O.K	
22	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	4.936E+05	157.7	8	1.950E+05	1236.3mm	450.0mm	O.K	
23	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	4.756E+05	179.2	8	1.950E+05	1088.0mm	450.0mm	O.K	
24	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	4.567E+05	172.1	8	1.950E+05	1132.8mm	450.0mm	O.K	
25	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	4.490E+05	169.2	8	1.950E+05	1152.3mm	450.0mm	O.K	
26	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	4.505E+05	172.3	8	1.950E+05	1131.5mm	450.0mm	O.K	
27	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	4.564E+05	174.6	8	1.950E+05	1116.8mm	450.0mm	O.K	
28	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	4.638E+05	177.4	8	1.950E+05	1099.0mm	450.0mm	O.K	
29	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	4.714E+05	180.3	8	1.950E+05	1081.3mm	450.0mm	O.K	
30	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	4.778E+05	180.1	8	1.950E+05	1082.8mm	450.0mm	O.K	
31	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	4.920E+05	185.4	8	1.950E+05	1051.7mm	450.0mm	O.K	
32	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	5.039E+05	189.9	8	1.950E+05	1026.7mm	450.0mm	O.K	
33	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	5.185E+05	165.7	8	1.950E+05	1177.1mm	450.0mm	O.K	
34	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	5.310E+05	126.2	8	1.950E+05	1545.0mm	450.0mm	O.K	
35	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	5.235E+05	109.5	8	1.950E+05	1780.4mm	450.0mm	O.K	
36	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	5.349E+05	95.7	8	1.950E+05	2037.7mm	450.0mm	O.K	
37	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	5.621E+05	100.6	8	1.950E+05	1939.2mm	450.0mm	O.K	P2
38	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	5.423E+05	118.3	8	1.950E+05	1648.2mm	450.0mm	O.K	
39	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	5.076E+05	126.1	8	1.950E+05	1546.3mm	450.0mm	O.K	
40	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	4.781E+05	136.3	8	1.950E+05	1430.9mm	450.0mm	O.K	
41	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	4.693E+05	133.8	8	1.950E+05	1457.8mm	450.0mm	O.K	
42	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	4.621E+05	146.9	8	1.950E+05	1327.3mm	450.0mm	O.K	
43	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.582E+05	137.3	8	1.950E+05	1420.7mm	450.0mm	O.K	
44	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	4.503E+05	129.9	8	1.950E+05	1501.7mm	450.0mm	O.K	
45	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	4.475E+05	129.0	8	1.950E+05	1511.1mm	450.0mm	O.K	
46	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.506E+05	135.0	8	1.950E+05	1444.9mm	450.0mm	O.K	
47	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.548E+05	136.2	8	1.950E+05	1431.5mm	450.0mm	O.K	
48	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.609E+05	138.1	8	1.950E+05	1412.4mm	450.0mm	O.K	
49	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	4.750E+05	142.3	8	1.950E+05	1370.6mm	450.0mm	O.K	
50	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	4.963E+05	159.1	8	1.950E+05	1225.6mm	450.0mm	O.K	
51	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	5.055E+05	162.1	8	1.950E+05	1203.2mm	450.0mm	O.K	
52	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	5.080E+05	162.9	8	1.950E+05	1197.3mm	450.0mm	O.K	
53	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	4.855E+05	155.6	8	1.950E+05	1252.9mm	250.0mm	O.K	
54	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	5.212E+05	189.8	8	1.950E+05	1027.3mm	125.0mm	O.K	A2

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DB하중에 대한 검토)

절점	A_c/n (mm^2)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm^3)	I_v (mm^4)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	ΣZ_r (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비고	
55	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	7.285E+05	265.3	8	1.950E+05	743.1mm	125.0mm	O.K	A1
56	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	6.379E+05	204.5	8	1.950E+05	978.5mm	250.0mm	O.K	
57	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	6.382E+05	204.6	8	1.950E+05	953.0mm	450.0mm	O.K	
58	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	6.373E+05	204.3	8	1.950E+05	954.4mm	450.0mm	O.K	
59	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	6.287E+05	201.6	8	1.950E+05	967.5mm	450.0mm	O.K	
60	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.233E+05	186.7	8	1.950E+05	1044.4mm	450.0mm	O.K	
61	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.258E+05	187.4	8	1.950E+05	1040.3mm	450.0mm	O.K	
62	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.282E+05	188.2	8	1.950E+05	1036.3mm	450.0mm	O.K	
63	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.311E+05	189.0	8	1.950E+05	1031.5mm	450.0mm	O.K	
64	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	6.345E+05	183.0	8	1.950E+05	1065.6mm	450.0mm	O.K	
65	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	6.375E+05	183.8	8	1.950E+05	1060.7mm	450.0mm	O.K	
66	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.420E+05	192.3	8	1.950E+05	1014.0mm	450.0mm	O.K	
67	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	6.456E+05	205.2	8	1.950E+05	950.1mm	450.0mm	O.K	
68	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	6.555E+05	186.9	8	1.950E+05	1043.6mm	450.0mm	O.K	
69	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	6.652E+05	189.6	8	1.950E+05	1028.5mm	450.0mm	O.K	
70	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	6.601E+05	164.0	8	1.950E+05	1189.1mm	450.0mm	O.K	
71	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	6.646E+05	145.0	8	1.950E+05	1345.0mm	450.0mm	O.K	
72	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	7.508E+05	134.3	8	1.950E+05	1451.7mm	450.0mm	O.K	P1
73	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	7.107E+05	127.1	8	1.950E+05	1533.7mm	450.0mm	O.K	
74	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	6.900E+05	144.4	8	1.950E+05	1350.9mm	450.0mm	O.K	
75	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	6.819E+05	162.1	8	1.950E+05	1202.9mm	450.0mm	O.K	
76	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	6.702E+05	214.1	8	1.950E+05	910.6mm	450.0mm	O.K	
77	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	6.537E+05	246.4	8	1.950E+05	791.5mm	450.0mm	O.K	
78	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	6.404E+05	241.4	8	1.950E+05	807.9mm	450.0mm	O.K	
79	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	6.345E+05	239.1	8	1.950E+05	815.4mm	450.0mm	O.K	
80	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	6.313E+05	241.5	8	1.950E+05	807.5mm	450.0mm	O.K	
81	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	6.301E+05	241.0	8	1.950E+05	809.1mm	450.0mm	O.K	
82	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	6.305E+05	241.2	8	1.950E+05	808.5mm	450.0mm	O.K	
83	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	6.324E+05	241.9	8	1.950E+05	806.1mm	450.0mm	O.K	
84	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	6.364E+05	239.9	8	1.950E+05	813.0mm	450.0mm	O.K	
85	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	6.481E+05	244.3	8	1.950E+05	798.3mm	450.0mm	O.K	
86	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	6.604E+05	248.9	8	1.950E+05	783.5mm	450.0mm	O.K	
87	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	6.694E+05	213.9	8	1.950E+05	911.7mm	450.0mm	O.K	
88	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	6.729E+05	160.0	8	1.950E+05	1219.1mm	450.0mm	O.K	
89	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	6.717E+05	140.5	8	1.950E+05	1387.8mm	450.0mm	O.K	
90	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	6.545E+05	117.1	8	1.950E+05	1673.5mm	450.0mm	O.K	
91	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	7.317E+05	130.9	8	1.950E+05	1514.7mm	450.0mm	O.K	P2
92	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	6.712E+05	146.4	8	1.950E+05	1331.8mm	450.0mm	O.K	
93	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	6.747E+05	167.6	8	1.950E+05	1163.3mm	450.0mm	O.K	
94	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	6.738E+05	192.1	8	1.950E+05	1015.3mm	450.0mm	O.K	
95	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	6.588E+05	187.8	8	1.950E+05	1038.4mm	450.0mm	O.K	
96	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	6.509E+05	206.9	8	1.950E+05	942.4mm	450.0mm	O.K	
97	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.446E+05	193.1	8	1.950E+05	1010.0mm	450.0mm	O.K	
98	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	6.395E+05	184.4	8	1.950E+05	1057.3mm	450.0mm	O.K	
99	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	6.371E+05	183.7	8	1.950E+05	1061.3mm	450.0mm	O.K	
100	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.342E+05	189.9	8	1.950E+05	1026.6mm	450.0mm	O.K	
101	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.321E+05	189.3	8	1.950E+05	1030.0mm	450.0mm	O.K	
102	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.298E+05	188.6	8	1.950E+05	1033.7mm	450.0mm	O.K	
103	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	6.340E+05	189.9	8	1.950E+05	1026.9mm	450.0mm	O.K	
104	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	6.439E+05	206.4	8	1.950E+05	944.6mm	450.0mm	O.K	
105	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	6.468E+05	207.4	8	1.950E+05	940.3mm	450.0mm	O.K	
106	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	6.418E+05	205.8	8	1.950E+05	947.7mm	450.0mm	O.K	
107	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	6.363E+05	204.0	8	1.950E+05	955.8mm	250.0mm	O.K	
108	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	7.274E+05	264.9	8	1.950E+05	736.2mm	125.0mm	O.K	A2

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DL하중에 대한 검토)

절점	A_c/n (mm^2)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm^3)	I_v (mm^4)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	ΣZ_r (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비고	
1	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	9.717E+05	353.9	8	3.700E+05	1045.6mm	125.0mm	O.K	A1
2	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.944E+05	286.8	8	3.700E+05	1290.3mm	250.0mm	O.K	
3	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.495E+05	272.4	8	3.700E+05	1358.4mm	450.0mm	O.K	
4	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.088E+05	259.3	8	3.700E+05	1426.8mm	450.0mm	O.K	
5	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	7.668E+05	245.8	8	3.700E+05	1505.0mm	450.0mm	O.K	
6	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.369E+05	220.7	8	3.700E+05	1676.4mm	450.0mm	O.K	
7	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.187E+05	215.3	8	3.700E+05	1718.8mm	450.0mm	O.K	
8	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.108E+05	212.9	8	3.700E+05	1737.8mm	450.0mm	O.K	
9	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.137E+05	213.8	8	3.700E+05	1730.7mm	450.0mm	O.K	
10	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	7.268E+05	209.6	8	3.700E+05	1765.2mm	450.0mm	O.K	P1
11	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	7.503E+05	216.4	8	3.700E+05	1710.0mm	450.0mm	O.K	
12	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.847E+05	235.0	8	3.700E+05	1574.2mm	450.0mm	O.K	
13	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	8.278E+05	263.2	8	3.700E+05	1405.9mm	450.0mm	O.K	
14	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	8.848E+05	252.2	8	3.700E+05	1467.0mm	450.0mm	O.K	
15	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	9.585E+05	273.2	8	3.700E+05	1354.3mm	450.0mm	O.K	
16	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	1.084E+06	269.4	8	3.700E+05	1373.5mm	450.0mm	O.K	
17	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	1.368E+06	298.4	8	3.700E+05	1239.9mm	450.0mm	O.K	
18	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	1.549E+06	277.1	8	3.700E+05	1335.0mm	450.0mm	O.K	P1
19	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	1.252E+06	224.0	8	3.700E+05	1652.1mm	450.0mm	O.K	
20	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	1.079E+06	225.7	8	3.700E+05	1639.1mm	450.0mm	O.K	
21	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	9.888E+05	235.1	8	3.700E+05	1574.1mm	450.0mm	O.K	
22	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	9.237E+05	295.1	8	3.700E+05	1253.6mm	450.0mm	O.K	
23	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.711E+05	328.3	8	3.700E+05	1127.1mm	450.0mm	O.K	
24	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.311E+05	313.2	8	3.700E+05	1181.3mm	450.0mm	O.K	
25	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.029E+05	302.6	8	3.700E+05	1222.7mm	450.0mm	O.K	
26	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	7.842E+05	300.0	8	3.700E+05	1233.4mm	450.0mm	O.K	
27	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	7.755E+05	296.6	8	3.700E+05	1247.3mm	450.0mm	O.K	
28	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	7.770E+05	297.2	8	3.700E+05	1244.9mm	450.0mm	O.K	
29	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	7.885E+05	301.6	8	3.700E+05	1226.8mm	450.0mm	O.K	
30	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.099E+05	305.2	8	3.700E+05	1212.2mm	450.0mm	O.K	
31	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.431E+05	317.8	8	3.700E+05	1164.4mm	450.0mm	O.K	
32	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.879E+05	334.6	8	3.700E+05	1105.7mm	450.0mm	O.K	
33	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	9.447E+05	301.9	8	3.700E+05	1225.8mm	450.0mm	O.K	
34	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	1.025E+06	243.6	8	3.700E+05	1518.6mm	450.0mm	O.K	
35	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	1.167E+06	244.1	8	3.700E+05	1516.1mm	450.0mm	O.K	
36	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	1.491E+06	266.7	8	3.700E+05	1387.3mm	450.0mm	O.K	
37	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	1.453E+06	260.0	8	3.700E+05	1423.2mm	450.0mm	O.K	P2
38	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	1.123E+06	244.9	8	3.700E+05	1510.7mm	450.0mm	O.K	
39	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	9.995E+05	248.3	8	3.700E+05	1490.1mm	450.0mm	O.K	
40	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	9.247E+05	263.6	8	3.700E+05	1403.8mm	450.0mm	O.K	
41	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	8.619E+05	245.7	8	3.700E+05	1506.0mm	450.0mm	O.K	
42	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	8.111E+05	257.9	8	3.700E+05	1434.9mm	450.0mm	O.K	
43	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.696E+05	230.5	8	3.700E+05	1605.1mm	450.0mm	O.K	
44	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	7.380E+05	212.8	8	3.700E+05	1738.6mm	450.0mm	O.K	
45	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	7.175E+05	206.9	8	3.700E+05	1788.2mm	450.0mm	O.K	
46	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.067E+05	211.7	8	3.700E+05	1747.9mm	450.0mm	O.K	
47	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.062E+05	211.5	8	3.700E+05	1749.1mm	450.0mm	O.K	
48	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.167E+05	214.7	8	3.700E+05	1723.5mm	450.0mm	O.K	
49	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.390E+05	221.4	8	3.700E+05	1671.5mm	450.0mm	O.K	
50	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	7.759E+05	248.8	8	3.700E+05	1487.3mm	450.0mm	O.K	
51	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.156E+05	261.5	8	3.700E+05	1415.0mm	450.0mm	O.K	
52	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.492E+05	272.3	8	3.700E+05	1359.0mm	450.0mm	O.K	
53	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.716E+05	279.4	8	3.700E+05	1324.1mm	250.0mm	O.K	
54	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	9.385E+05	341.8	8	3.700E+05	1082.6mm	125.0mm	O.K	A2

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DL하중에 대한 검토)

절점	A_c/n (mm^2)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm^3)	I_v (mm^4)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	ΣZ_r (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비고	
55	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	1.036E+06	377.2	8	3.700E+05	981.0mm	125.0mm	O.K	A1
56	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	9.100E+05	291.8	8	3.700E+05	1268.2mm	250.0mm	O.K	
57	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.591E+05	275.4	8	3.700E+05	1343.4mm	450.0mm	O.K	
58	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.178E+05	262.2	8	3.700E+05	1411.2mm	450.0mm	O.K	
59	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	7.776E+05	249.3	8	3.700E+05	1484.2mm	450.0mm	O.K	
60	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.487E+05	224.3	8	3.700E+05	1649.8mm	450.0mm	O.K	
61	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.331E+05	219.6	8	3.700E+05	1685.0mm	450.0mm	O.K	
62	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.276E+05	217.9	8	3.700E+05	1697.8mm	450.0mm	O.K	
63	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.328E+05	219.5	8	3.700E+05	1685.6mm	450.0mm	O.K	
64	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	7.479E+05	215.7	8	3.700E+05	1715.5mm	450.0mm	O.K	P1
65	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	7.736E+05	223.1	8	3.700E+05	1658.5mm	450.0mm	O.K	
66	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	8.105E+05	242.8	8	3.700E+05	1524.0mm	450.0mm	O.K	
67	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	8.542E+05	271.6	8	3.700E+05	1362.5mm	450.0mm	O.K	
68	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	9.114E+05	259.8	8	3.700E+05	1424.2mm	450.0mm	O.K	
69	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	9.759E+05	278.2	8	3.700E+05	1330.1mm	450.0mm	O.K	
70	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	1.032E+06	256.3	8	3.700E+05	1443.6mm	450.0mm	O.K	
71	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	1.166E+06	254.4	8	3.700E+05	1454.2mm	450.0mm	O.K	
72	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	1.379E+06	246.6	8	3.700E+05	1500.3mm	450.0mm	O.K	P1
73	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	1.162E+06	208.0	8	3.700E+05	1779.2mm	450.0mm	O.K	
74	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	1.084E+06	226.8	8	3.700E+05	1631.4mm	450.0mm	O.K	
75	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	1.024E+06	243.5	8	3.700E+05	1519.5mm	450.0mm	O.K	
76	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	9.679E+05	309.3	8	3.700E+05	1196.4mm	450.0mm	O.K	
77	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	9.129E+05	344.1	8	3.700E+05	1075.4mm	450.0mm	O.K	
78	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.679E+05	327.1	8	3.700E+05	1131.2mm	450.0mm	O.K	
79	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.326E+05	313.8	8	3.700E+05	1179.1mm	450.0mm	O.K	
80	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	8.106E+05	310.1	8	3.700E+05	1193.3mm	450.0mm	O.K	
81	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	8.009E+05	306.4	8	3.700E+05	1207.7mm	450.0mm	O.K	
82	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	8.032E+05	307.2	8	3.700E+05	1204.3mm	450.0mm	O.K	
83	154,285.7	653.3	1.008E+08	2.635E+11	8.176E+05	312.8	8	3.700E+05	1183.0mm	450.0mm	O.K	
84	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.452E+05	318.5	8	3.700E+05	1161.6mm	450.0mm	O.K	
85	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	8.830E+05	332.8	8	3.700E+05	1111.8mm	450.0mm	O.K	
86	154,285.7	683.6	1.055E+08	2.798E+11	9.296E+05	350.3	8	3.700E+05	1056.1mm	450.0mm	O.K	
87	154,285.7	965.8	1.490E+08	4.663E+11	9.791E+05	312.8	8	3.700E+05	1182.7mm	450.0mm	O.K	
88	154,285.7	1,546.7	2.386E+08	1.004E+12	1.032E+06	245.2	8	3.700E+05	1508.8mm	450.0mm	O.K	
89	154,285.7	1,778.7	2.744E+08	1.312E+12	1.098E+06	229.6	8	3.700E+05	1611.5mm	450.0mm	O.K	
90	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	1.216E+06	217.6	8	3.700E+05	1700.4mm	450.0mm	O.K	
91	154,285.7	1,918.8	2.960E+08	1.655E+12	1.324E+06	236.8	8	3.700E+05	1562.2mm	450.0mm	O.K	P2
92	154,285.7	1,779.9	2.746E+08	1.259E+12	1.079E+06	235.4	8	3.700E+05	1571.5mm	450.0mm	O.K	
93	154,285.7	1,111.8	1.715E+08	6.905E+11	1.019E+06	253.0	8	3.700E+05	1462.2mm	450.0mm	O.K	
94	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	9.554E+05	272.3	8	3.700E+05	1358.6mm	450.0mm	O.K	
95	154,285.7	1,110.4	1.713E+08	6.010E+11	8.918E+05	254.2	8	3.700E+05	1455.6mm	450.0mm	O.K	
96	154,285.7	805.3	1.242E+08	3.908E+11	8.405E+05	267.2	8	3.700E+05	1384.7mm	450.0mm	O.K	
97	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.961E+05	238.5	8	3.700E+05	1551.7mm	450.0mm	O.K	
98	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	7.635E+05	220.2	8	3.700E+05	1680.5mm	450.0mm	O.K	
99	154,285.7	970.9	1.498E+08	5.195E+11	7.424E+05	214.1	8	3.700E+05	1728.3mm	450.0mm	O.K	
100	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.309E+05	218.9	8	3.700E+05	1690.1mm	450.0mm	O.K	
101	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.305E+05	218.8	8	3.700E+05	1691.1mm	450.0mm	O.K	
102	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.398E+05	221.6	8	3.700E+05	1669.8mm	450.0mm	O.K	
103	154,285.7	911.0	1.406E+08	4.693E+11	7.622E+05	228.3	8	3.700E+05	1620.7mm	450.0mm	O.K	
104	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	7.961E+05	255.2	8	3.700E+05	1449.6mm	450.0mm	O.K	
105	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.415E+05	269.8	8	3.700E+05	1371.5mm	450.0mm	O.K	
106	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	8.839E+05	283.4	8	3.700E+05	1305.6mm	450.0mm	O.K	
107	154,285.7	810.2	1.250E+08	3.899E+11	9.778E+05	313.5	8	3.700E+05	1180.3mm	250.0mm	O.K	
108	299,570.0	509.5	1.526E+08	4.191E+11	1.039E+06	378.3	8	3.700E+05	978.2mm	125.0mm	O.K	A2

7) 전단연결재의 극한강도검토

(☞ 도.설.해 3.9.5.10)

▪ 전단연결재의 극한강도

$V_u = 0.4 \cdot d^2 \cdot \sqrt{(f_{ck} \cdot E_c)}$

$= 0.4 \times 25.0^2 \times \sqrt{(27.0 \times 28{,}693.4)}$

$= 220{,}045.7\ N > A_{sc} f_u = \pi/4 \cdot d^2 \cdot f_u = 490.9 \times 410.0 = 201{,}258.3\ N$

여기서, V_u : 전단연결재의 극한강도 (N) 단, $V_u \le A_{sc} f_u$

d : 전단연결재의 지름 (mm)

f_{ck} : 콘크리트의 28일 압축강도 (MPa)

A_{sc} : 전단연결재의 단면적 (mm^2)

f_u : 전단연결재의 인장강도 (MPa)

▪ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘

※ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘은 다음 두 식의 값 중 작은 값을 취한다.

$P_1 = A_s \cdot f_y$

$P_2 = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_s$

여기서, A_s : 덮개판을 포함하는 강재 단면의 총면적(mm^2)

f_y : 사용된 강재의 최소 공칭항복응력(MPa) [345.0 MPa]

f_{ck} : 콘크리트의 28일 압축강도(MPa)

b : 슬래브의 유효폭(mm)

t_s : 콘크리트 슬래브의 두께(mm) [240.0 mm]

▪ 최대 부모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘

$P_3 = A_r \cdot f^r_y$

여기서, A_r = 내부지점부 유효 슬래브 폭 내에 설치된 종방향 철근의 총단면적(mm^2)

f^r_y = 철근의 최소 항복응력(MPa) [400.0 MPa]

▪ 전단연결재 필요개수

$N_1 = P/(\Phi V_u)$

$N_2 = (P+P_3)/(\Phi V_u)$

여기서, N_1 : 최대 정모멘트부와 인접한 교대 지점부 사이의 전단연결재 개수

P : 슬래브에 작용하는 힘 P_1 또는 P_2중 작은값(N)

Φ : 감소계수 [0.85]

N_2 : 최대 정모멘트부와 인접한 최대부모멘트부 사이의 전단연결재 개수

※ 구간별 전단연결재 필요개수 및 설치개수 검토

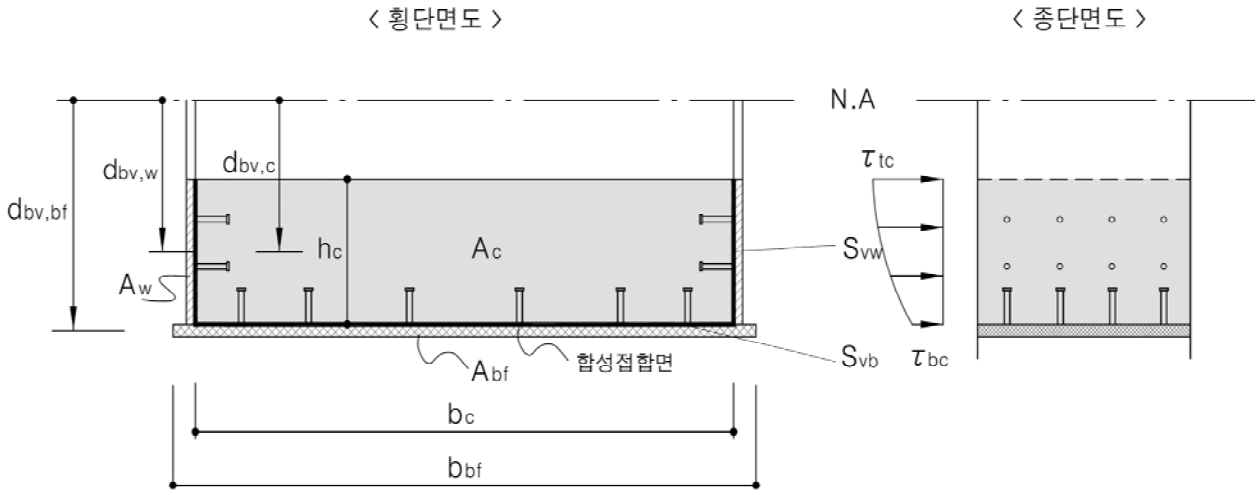
위 치 (절점번호)	b (mm)	A_s (mm^2)	A_r (mm^2)	P_1 (N)	P_2 (N)	P_3 (N)	필 요 개 수		설치 개수	비고
							N_1	N_2		
1 ~ 9	4,500.0	154,400.0	0.0	5.327E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	808	O.K
9 ~ 18	4,500.0	154,400.0	36,482.4	5.327E+07	2.479E+07	1.459E+07	-	230	936	O.K
18 ~ 27	4,500.0	108,400.0	36,482.4	3.740E+07	2.479E+07	1.459E+07	-	230	784	O.K
27 ~ 37	4,500.0	108,400.0	36,482.4	3.740E+07	2.479E+07	1.459E+07	-	230	872	O.K
37 ~ 46	4,500.0	154,400.0	36,482.4	5.327E+07	2.479E+07	1.459E+07	-	230	832	O.K
46 ~ 54	4,500.0	154,400.0	0.0	5.327E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	872	O.K
55 ~ 62	4,500.0	154,400.0	0.0	5.327E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	896	O.K
62 ~ 72	4,500.0	154,400.0	36,482.4	5.327E+07	2.479E+07	1.459E+07	-	230	848	O.K
72 ~ 81	4,500.0	108,400.0	36,482.4	3.740E+07	2.479E+07	1.459E+07	-	230	784	O.K
81 ~ 91	4,500.0	108,400.0	36,482.4	3.740E+07	2.479E+07	1.459E+07	-	230	872	O.K
91 ~ 100	4,500.0	154,400.0	36,482.4	5.327E+07	2.479E+07	1.459E+07	-	230	928	O.K
100 ~ 108	4,500.0	154,400.0	0.0	5.327E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	784	O.K

※ b, A_s, A_r 값은 구간내에서 가장 큰 값을 사용합니다.

10.2 하부슬래브 전단연결재

1) 단일합성후 고정하중에 의한 수평전단력

(☞ 도.설 3.9.5.7~9)



① 수평전단력 산정 기본식

• $Sv = V \cdot Qv / Iv$ (N/mm) , • $Qv = A \cdot dv / n$ (mm^3)

여기서, Sv : 수평전단력 (N/mm)

Iv : 단일합성 중립축에서의 단면2차모멘트(mm^4)

V : 단일합성후 작용하중에 의한 수직전단력(N)

Qv : 단일합성단면 중립축에 대한 접합면 기준 단면1차모멘트(mm^3)

dv : 단일합성단면 중립축에서 접합면 외측 단면의 도심까지의 거리(mm)

② 하부플랜지와 콘크리트 최하단과의 접합면 수평전단력 산정

• $Svb = V_{d1} \cdot Q_{v,bf} / Iv$ (N/mm)

여기서, V_{d1} : 단일합성후 상부바닥판 자중에 의한 수직전단력(N)

$Q_{v,bf}$: 하부플랜지의 단일합성단면 중립축에 대한 단면1차모멘트(mm^3)

$= A_{bf} \cdot d_{bv,bf}$

$d_{bv,bf}$: 하부플랜지 도심에서 단일합성단면 중립축까지의 거리(mm)

③ 복부하단부와 콘크리트 접합면 수평전단력 산정

• $Svw = 2 \cdot (\tau_{tc} + \tau_{bc}) \cdot hc / 2$

여기서, τ_{tc} : 복부측 접합면 최상단의 전단응력(MPa)

$= V_{d1} \cdot (Q_{v,c} + Q_{v,bf} + Q_{v,w}) / (bc \cdot Iv)$

τ_{bc} : 복부측 접합면 최하단의 전단응력(Mpa)

$= V_{d1} \cdot Q_{v,bf} / (bc \cdot Iv)$

$Q_{v,c}$: 하부콘크리트의 단일합성단면 중립축에 대한 단면1차모멘트(mm^3)

$= Ac/n \cdot d_{bv,c}$

$Q_{v,bf}$: 하부플랜지의 단일합성단면 중립축에 대한 단면1차모멘트(mm^3)

$= A_{bf} \cdot d_{bv,bf}$

$Q_{v,w}$: 양측 복부의 단일합성단면 중립축에 대한 단면1차모멘트(mm^3)

$= 2 \cdot A_w \cdot d_{bv,w}$

$d_{bv,c}$: 하부콘크리트 도심에서 단일합성단면 중립축까지의 거리(mm)

$d_{bv,bf}$: 하부플랜지 도심에서 단일합성단면 중립축까지의 거리(mm)

$d_{bv,w}$: 복부 도심에서 단일합성단면 중립축까지의 거리(mm)

④ 위치별 전단응력 산정

절점	단 면	A_c / n (mm^2)	A_bf (mm^2)	A_w (mm^2)	d_bv,c (mm)	d_bv,bf (mm)	d_bv,w (mm)	τ_tc (MPa)	τ_bc (MPa)	비 고
16	단면9	128,857	39,600	13,120	1,192	1,406	1,192	0.41053	0.10162	
17	단면10	154,000	43,200	15,680	811	1,065	811	0.23459	0.05878	
18	단면11	188,571	52,800	19,200	959	1,270	959	0.21484	0.05410	
19	단면12	166,571	43,200	16,960	846	1,120	846	0.19974	0.04746	
20	단면13	147,714	43,200	13,160	760	1,004	760	0.18445	0.04830	
21	단면14	121,000	39,600	10,780	1,000	1,202	1,000	0.34784	0.09227	

절점	단 면	Q_v,c (mm^3)	Q_v,bf (mm^3)	Q_v,w (mm^3)	Iv (mm^4)	V_{d1} (kN)	S_vw,d1 (N/mm)	S_vb,d1 (N/mm)	∑S_v,d1 (N/mm)	비 고
16	단면9	1.54.E+08	5.57.E+07	1.56.E+07	3.18.E+11	1,274.68	210.0	223.6	433.6	
17	단면10	1.25.E+08	4.60.E+07	1.27.E+07	5.51.E+11	1,548.38	143.8	129.3	273.1	
18	단면11	1.81.E+08	6.70.E+07	1.84.E+07	8.64.E+11	1,533.78	161.4	119.0	280.4	
19	단면12	1.41.E+08	4.84.E+07	1.43.E+07	6.14.E+11	1,324.33	131.0	104.4	235.4	
20	단면13	1.12.E+08	4.34.E+07	1.00.E+07	4.58.E+11	1,122.84	109.4	106.3	215.6	
21	단면14	1.21.E+08	4.76.E+07	1.08.E+07	2.21.E+11	944.46	169.4	203.0	372.4	

2) 이중합성후 고정하중 및 활하중에 의한 수평 전단력

※ "1) 단일합성후 고정하중에 의한 수평전단력 "과 수평전단력 산정방식은 동일하나, 단면강성과 하중이 변화 됨.

V_{d2}: 이중합성후 2차고정하중(DL3)에 의한 수직전단력, Va: 이중합성후 활하중(LL+SET)에 의한 수평전단력

절점	단 면	A_c / n (mm^2)	A_bf (mm^2)	A_w (mm^2)	d_bv,c (mm)	d_bv,bf (mm)	d_bv,w (mm)	τ_tc (MPa)	τ_bc (MPa)	비 고
16	단면9	128,857	39,600	13,120	1,456	1,670	1,456	0.49831	0.12078	
17	단면10	154,000	43,200	15,680	949	1,203	949	0.39704	0.09687	
18	단면11	188,571	52,800	19,200	1,074	1,385	1,074	0.39552	0.09762	
19	단면12	166,571	43,200	16,960	974	1,248	974	0.35324	0.08185	
20	단면13	147,714	43,200	13,160	889	1,133	889	0.32513	0.08290	
21	단면14	121,000	39,600	10,780	1,255	1,456	1,255	0.60678	0.15690	

절점	단 면	Q_v,c (mm^3)	Q_v,bf (mm^3)	Q_v,w (mm^3)	Iv (mm^4)	V_{d2} (kN)	V_a (kN)	$S_{\_vw,d2+a}$ (N/mm)	$S_{\_vb,d2+a}$ (N/mm)	$\sum S_{\_v,d2+a}$ (N/mm)
16	단면9	1.88.E+08	6.61.E+07	1.91.E+07	4.21.E+11	744.40	948.53	253.8	265.7	519.5
17	단면10	1.46.E+08	5.20.E+07	1.49.E+07	6.74.E+11	1,548.38	1,214.32	242.0	213.1	455.1
18	단면11	2.03.E+08	7.31.E+07	2.06.E+07	9.91.E+11	1,533.78	1,376.33	295.9	214.8	510.7
19	단면12	1.62.E+08	5.39.E+07	1.65.E+07	7.32.E+11	1,324.33	1,120.44	230.6	180.1	410.7
20	단면13	1.31.E+08	4.89.E+07	1.17.E+07	5.54.E+11	1,122.84	941.38	191.8	182.4	374.2
21	단면14	1.52.E+08	5.77.E+07	1.35.E+07	2.97.E+11	944.46	835.07	294.0	345.2	639.2

3) 건조수축 및 온도차에 의한 지점부 수평전단력

① 전단력의 분포길이 산정 : (☞ 도.설 3.9.5.3)

- 하부콘크리트 폭 : 2.2 m

∴ 전단분포폭은 하부콘크리트 폭으로 함. a= 2.20 m

② 건조수축에 의한 수평전단력 : (☞ 도.설.편 p506-173)

(☞ 강교설계의 기초 p.262, 건설도서)

n_2 : 21

Ac : 하부콘크리트 단면적, mm^2

As : 강재 단면적, mm^2

d : 강재도심과 하부콘크리트 중심간 거리, mm

Is : 강재 단면2차모멘트, mm^4

Ic : 하부콘크리트 단면2차모멘트, mm^4

Es : 205,000 MPa (강재의 탄성계수)

εs : 0.00027 (콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율)

$P2 = Es \cdot \varepsilon s \cdot Ac/n_2$ (N)

$$F_2 = \frac{1}{1 + \frac{Ac}{n_2 \cdot As} + \frac{Ac \cdot d^2}{Ic + n_2 \cdot Is}}$$

Ncs = P2 · F2 = N

Ss = 2 · Ncs / a = N/mm

- 각위치별 건조수축에 의한 수평전단력 :

절점	단 면	Ac (mm^2)	As (mm^2)	d (mm)	Is (mm^4)	Ic (mm^4)	P2 (N)	F2	Ncs (N)	Ss (N/mm)	비고
16	단면9	902,000	201,640	1,192	3.53.E+11	1.26.E+10	2.377E+06	0.722	1.72E+06	1559.7	**경계부**
17	단면10	1,078,000	198,392	1,436	3.74.E+11	2.16.E+10	2.841E+06	0.649	1.84E+06	0.0	
18	단면11	1,320,000	248,680	1,670	5.81.E+11	3.96.E+10	3.479E+06	0.644	2.24E+06	2035.5	**교각부**
19	단면12	1,166,000	209,256	1,509	4.07.E+11	2.73.E+10	3.073E+06	0.635	1.95E+06	0.0	
20	단면13	1,034,000	185,332	1,360	3.08.E+11	1.90.E+10	2.725E+06	0.641	1.75E+06	0.0	
21	단면14	847,000	152,924	1,000	1.77.E+11	1.05.E+10	2.232E+06	0.670	1.50E+06	1360.4	**경계부**

※ "경계부"는 단일합성과의 경계 단부 임.

③ 온도차에 의한 수평전단력 :

n = 7

Ac : 하부콘크리트 단면적, mm^2

As : 강재 단면적, mm^2

d : 강재도심과 바닥판 중심간 거리, mm

Is : 강재 단면2차모멘트, mm^4

Ic : 하부콘크리트 단면2차모멘트, mm^4

$P1 = Es \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot Ac/n$ (N)

Es = 205,000 MPa (강재의 탄성계수)

α = 0.000012 (강재 및 콘크리트의 선팽창계수)

Δt = 5 °C (바닥판 콘크리트와 강재와의 온도차)

※ 하부콘크리트는 강박스 내부에 위치하여 온도영향이 미미하므로 5°C 만을 고려함.

$$F_1 = \frac{1}{1 + \frac{Ac}{n \cdot As} + \frac{Ac \cdot d^2}{Ic + n \cdot Is}}$$

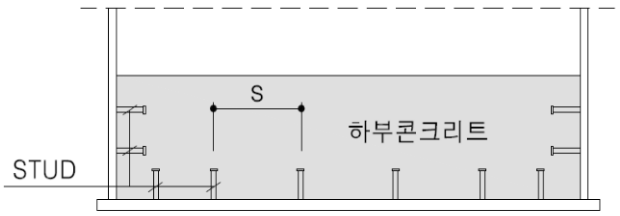
Ncs = P1 · F1 = N

St = 2 · Ncs / a = N/mm

- 각위치별 온도차에 의한 수평전단력 :

절점	단 면	Ac (mm^2)	As (mm^2)	d (mm)	Is (mm^4)	Ic (mm^4)	P1 (N)	F1	Ncs (N)	St (N/mm)	비고
16	단면9	902,000	201,640	1,192	3.53.E+11	1.26.E+10	1.585E+06	0.464	7.35E+05	668.5	**경계부**
17	단면10	1,078,000	198,392	1,436	3.74.E+11	2.16.E+10	1.894E+06	0.382	7.23E+05	0.0	
18	단면11	1,320,000	248,680	1,670	5.81.E+11	3.96.E+10	2.319E+06	0.377	8.73E+05	794.0	**교각부**
19	단면12	1,166,000	209,256	1,509	4.07.E+11	2.73.E+10	2.049E+06	0.368	7.54E+05	0.0	
20	단면13	1,034,000	185,332	1,360	3.08.E+11	1.90.E+10	1.817E+06	0.374	6.79E+05	0.0	
21	단면14	847,000	152,924	1,000	1.77.E+11	1.05.E+10	1.488E+06	0.405	6.02E+05	547.4	**경계부**

4) STUD의 배치 간격



H = 150 mm (h : stud 의 전높이)

d = 25 mm (d : stud 의 직경)

① STUD의 허용전단력 : (☞ 도.설 3.9.5.6)

H / d = 150 / 25 = 6.000 > 5.5 이므로

$Qa = 9.5 \cdot d^2 \sqrt{fck} = 9.5 \times (25)^2 \times \sqrt{40} = 37,552$ N/본

- 단일합성 경계부 : Qa' = n(횡방향 스터드 갯수) x Qa(본당허용전단력 12 × 37,552 = 450,624 N
- 일반부 : Qa' = n(횡방향 스터드 갯수) x Qa(본당허용전단력 10 × 37,552 = 375,520 N
- 교각부 : Qa' = n(횡방향 스터드 갯수) x Qa(본당허용전단력 14 × 37,552 = 525,728 N

② STUD의 배치간격 :

d_o = Qa' / S (S : 수평전단력)

5) 하중조합에 따른 STUD 의 배치

절점	하 중 조 합 (N/mm)					소요간격	배치간격	비 고	
	Sv(고정하중+활하중)	Ss(건조수축)	St(온도차)	조합력(Sv+St)	조합력(Ss+St)	do=Qa'/S			
16	953.1	1,559.7	668.5	1,621.6	2,228.3	202 mm	150 mm	O.K	**경계부**
17	728.2	0.0	0.0	728.2	0.0	516 mm	150 mm	O.K	
18	791.0	2,035.5	794.0	1,585.0	2,829.5	186 mm	150 mm	O.K	**교각부**
19	646.1	0.0	0.0	646.1	0.0	581 mm	150 mm	O.K	
20	589.8	0.0	0.0	589.8	0.0	637 mm	150 mm	O.K	
21	1,011.6	1,360.4	547.4	1,559.1	1,907.9	236 mm	150 mm	O.K	**경계부**

① STUD 배치 간격 검토 : (☞ 도.설 3.9.5.4, 3.9.5.5)

- stud의 최대간격 검토

  바닥판콘크리트 두께의 3배 (3 × 385 = 1155 mm) 이고, 600 mm 이하

  ⇒ 150 mm 이하 사용 O.K

- stud의 최소간격 검토

  교축방향 : 5 · d = 125 mm or 100 mm ⇒ 150 mm 사용 O.K

  교축직각방향 : d + 30 = 55 mm ⇒ 75 mm 사용 O.K

  플랜지연단 순간격 : 25 mm ⇒ 150 - 25 / 2 = 138 mm 사용 O.K

6) 전단연결재의 피로설계 (☞ 도.설 3.9.5.9)

① 수평전단력 범위 :

$$Sr = \frac{Vr \cdot Q}{I}$$

Sr : 설계대상 단면의 슬래브와 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/mm)

Vr : 충격을 포함하는 활하중에 대한 전단력의 범위 (N)

Q : 정모멘트부 ⇒ 합성단면의 중립축에 대한 접합면의 단면1차모멘트(mm^3)

부모멘트부 ⇒ 합성단면의 중립축에 대한 철근의 단면1차모멘트(mm^3)

I : 합성단면의 단면2차모멘트(mm^4) - 부모멘트부의 경우 철근 고려

② 허용수평전단력 범위 :

$Zr = \beta \cdot d^2$ ⇒ 55 × 25.0^2 = 34375 N (DB 하중의 경우)

⇒ 74 × 25.0^2 = 46250 N (DL 하중의 경우)

Zr : 전단연결재의 허용수평전단력 범위 (N)

d : 25 mm (stud 의 지름)

β : 55 (하중 반복회수 : DB 하중 - 200만이상)

74 (하중 반복회수 : DL 하중 - 50만)

③ 피로를 고려한 전단연결재의 필요간격 :

$$do = \frac{\Sigma Zr}{Sr}$$

do : $\Sigma Zr = n \cdot Zr$

n : 한 단면에 설치된 전단연결재의 총 개수

④ 활하중 피로에 의한 전단연결재 간격 검토

- 단면특성

절점	단 면	A_c / n (mm^2)	A_bf (mm^2)	A_w (mm^2)	d_bv,c (mm)	d_bv,bf (mm)	d_bv,w (mm)	Iv (mm^4)	Q_v,c (mm^3)	Q_v,bf (mm^3)	Q_v,w (mm^3)
16	단면9	128,857	39,600	13,120	1,456	1,670	1,456	4.21.E+11	1.88.E+08	6.61.E+07	1.91.E+07
17	단면10	154,000	43,200	15,680	949	1,203	949	6.74.E+11	1.46.E+08	5.20.E+07	1.49.E+07
18	단면11	188,571	52,800	19,200	1,074	1,385	1,074	9.91.E+11	2.03.E+08	7.31.E+07	2.06.E+07
19	단면12	166,571	43,200	16,960	974	1,248	974	7.32.E+11	1.62.E+08	5.39.E+07	1.65.E+07
20	단면13	147,714	43,200	13,160	889	1,133	889	5.54.E+11	1.31.E+08	4.89.E+07	1.17.E+07
21	단면14	121,000	39,600	10,780	1,255	1,456	1,255	2.97.E+11	1.52.E+08	5.77.E+07	1.35.E+07

- DB24에 대한 전단연결재 간격 검토

절점	단 면	Vr (kN)	τ_tc (MPa)	τ_bc (MPa)	$S_{-vw,r}$ (N/mm)	$S_{-vb,r}$ (N/mm)	∑Sr (N/mm)	횡갯수 n	∑Zr (N)	소요 간격 do(mm)	배치 간격 (mm)	비 고
16	단면9	436.30	0.12842	0.03113	65.4	68.5	133.9	12	4.125E+05	3081	150	O.K.
17	단면10	434.19	0.06240	0.01522	38.0	33.5	71.5	10	3.438E+05	4806	150	O.K.
18	단면11	473.81	0.06440	0.01589	48.2	35.0	83.1	14	4.813E+05	5788	150	O.K.
19	단면12	460.52	0.06654	0.01542	43.4	33.9	77.4	10	3.438E+05	4444	150	O.K.
20	단면13	460.23	0.07249	0.01848	42.8	40.7	83.4	10	3.438E+05	4121	150	O.K.
21	단면14	434.41	0.14813	0.03830	71.8	84.3	156.0	12	4.125E+05	2644	150	O.K.

- DL24에 대한 전단연결재 간격 검토

절점	단 면	Vr (kN)	τ_tc (MPa)	τ_bc (MPa)	$S_{-vw,r}$ (N/mm)	$S_{-vb,r}$ (N/mm)	∑Sr (N/mm)	횡갯수 n	∑Zr (N)	소요 간격 do(mm)	배치 간격 (mm)	비 고
16	단면9	436.30	0.12842	0.03113	65.4	68.5	133.9	12	5.550E+05	4145	150	O.K.
17	단면10	434.19	0.06240	0.01522	38.0	33.5	71.5	10	4.625E+05	6466	150	O.K.
18	단면11	473.81	0.06440	0.01589	48.2	35.0	83.1	14	6.475E+05	7788	150	O.K.
19	단면12	460.52	0.06654	0.01542	43.4	33.9	77.4	10	4.625E+05	5979	150	O.K.
20	단면13	460.23	0.07249	0.01848	42.8	40.7	83.4	10	4.625E+05	5544	150	O.K.
21	단면14	434.41	0.14813	0.03830	71.8	84.3	156.0	12	5.550E+05	3557	150	O.K.

7) 전단연결재의 극한강도검토 (☞ 도.설 3.9.5.10)

① 전단연결재의 극한강도 :

$Vu = 0.4\ d^2\ \sqrt{fck \cdot Ec}$

$= 0.4 \times 25^2 \times \sqrt{40 \times 30891}$

$= 277899\ N > Asc\ fu$

Vu : 전단연결재의 극한강도 (N) 단, Vu ≤Asc fu

d : 전단연결재의 지름 (mm)

fck: 콘크리트의 28일 압축강도 (MPa)

$Asc\ fu = \pi/4 \times 25^2 \times 410 = 201258\ N$

⇒ Vu = Asc fu = 201258.3 N

Asc: 전단연결재의 단면적 (mm²)

fu : 전단연결재의 인장강도 (MPa) (☞ 도.설 3.9.5.11)

② 최대 부모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘 (P) : P_1,P_2 중 작은 값을 취한다.

$P_1 = As \cdot fy$

$P_2 = 0.85\ fck\ b\ ts$

As : 덮개판을 포함하는 강재 단면의 총면적 (mm²)

fy : 사용된 강재의 공칭항복응력 380 (MPa)

fck: 콘크리트의 28일 압축강도 (MPa)

b : 슬래브의 유효폭 (mm)

ts : 콘크리트 슬래브의 두께 600 (mm) (최대두께)

③ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘 :

$P_3 = As^r \cdot fy^r$

As^r: 지점부 유효슬래브 폭 내에 설치된 종방향 철근의 총면적 (mm²)

fy^r: 철근의 최소 항복응력 400 (MPa)

④ 전단연결재 필요개수 :

$$N_1 = \frac{P}{\Phi\ Vu}$$

$$N_2 = \frac{P + P_3}{\Phi\ Vu}$$

N_1 : 최대 부모멘트부와 인접한 교각 지점부 사이의 전단연결재 필요개수

P : P1,P2 중 작은 값

Φ : 감소계수 (0.85)

N_2 : 최대 부모멘트부와 인접한 최대정모멘트부 사이의 전단연결재 필요개수

⑤ 구간별 전단연결재 필요개수 및 설치개수 검토결과

위치 (절점)	b	ts	As	As^r	P_1	P_2	P_3	필 요 개 수		설치개수	비 고
	(mm)	(mm)	(mm^2)	(mm^2)	(N)	(N)	(N)	N_1	N_2		
16~18	2,200	600	248,680	0	94,498,400	44,880,000	0	262	-	780	O.K.
18~21	2,200	600	248,680	0	94,498,400	44,880,000	0	262	-	1176	O.K.