

低桁高橋梁の選定

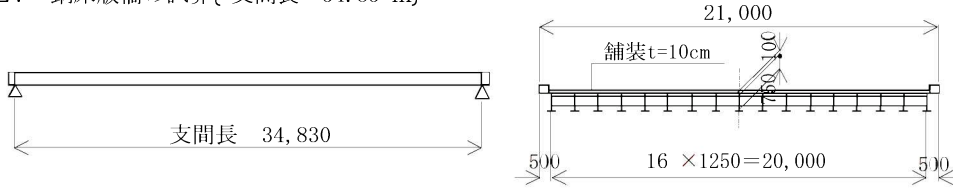
2010. 6. 25

S. T.

1. まえがき

客先から桁高の小さい人道橋の構造提案を依頼された。条件として、支間・幅員などの構造条件以外に、速く・安くすることの必要性を感じとり対処した。人道橋として、最小限必要とされる場所に言及した所存であり、同種業務の参考になればと思い報告する。

2. 鋼床版橋の試算〔支間長：34.83 m〕



	A (mm <sup>2</sup> )	y (mm)	A · y	I <sub>x</sub> (mm <sup>4</sup> )
1-PL 1,250 × 22	= 27,500	347.5	9,556,000	3,321 × 10 <sup>6</sup>
2-PL 160 × 12	= 3,840	256.5	985,000	253 "
1-PL 673 × 10	= 6,730			508 "
1-PL 450 × 55	= 24,750	364.0	9,009,000	3,279 "
	62,820		1,532,000	7,361 × 10 <sup>6</sup>

$$\delta = 1,532,000 / 62,820 = 24.4 \text{ mm}$$

$$I_x = 7,361 \times 10^6 - 62,820 \times 24.4^2 = 7,323 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$y_u = 673 / 2 + 22 - 24.4 = 334.1 \text{ mm}$$

$$y_\ell = 673 / 2 + 55 + 24.4 = 415.9 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = \frac{M_y}{I_x} y_u = \frac{2,350 \times 10^6}{7,323 \times 10^6} \times 334.1$$

$$= 107.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{ca} = 140 \text{ N/mm}^2 \text{ —— OK}$$

$$\sigma_t = \frac{M_y}{I_x} y_\ell = \frac{2,350 \times 10^6}{7,323 \times 10^6} \times 415.9$$

$$= 133.5 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{ta} = 140 \text{ N/mm}^2 \text{ —— OK}$$

$$\tau = \frac{S}{A_w} = \frac{270 \times 10^3}{6,730}$$

$$= 40.1 \text{ N/mm}^2 < \tau_a = 80 \text{ N/mm}^2 \text{ —— OK}$$

1) 荷重 (主桁間隔：1.25 m 当り)

① 死荷重

・ 舗装 (有効幅員に載荷)  $25.0 \text{ kN/m}^3 \times 0.10 \times 1.25 = 3.13 \text{ kN/m}$

・ 桁自重  $6.40 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 = 8.00 \text{ "}$

$$W_d = 11.13 \text{ kN/m}$$

② 活荷重 (群集荷重)  $W_\ell = 3.50 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 = 4.38 \text{ kN/m}$

2) 作用力

平均支間長： $\ell = 34.83 \text{ m}$  の単純桁として解析する。

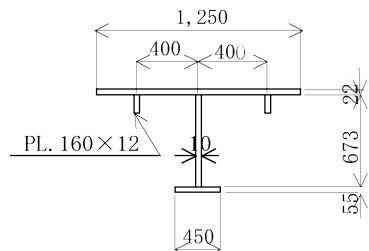
$$S = \frac{W \cdot \ell}{2} = \frac{[11.13 + 4.38] \times 34.83}{2} = 269.9 \text{ kN}$$

$$M = \frac{W \cdot \ell^2}{8} = \frac{[11.13 + 4.38] \times 34.83^2}{8} = 2,350.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3) 支間中央部の応力照査

$$S = 270 \text{ kN}$$

$$M = 2350 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



(使用材質：SM400)

フランジの有効幅：B

等価支間長： $\ell = 34.83 \text{ m}$

・ ウェブ間フランジの有効幅

$$\frac{b}{\ell} = \frac{625}{34,830} = 0.018 < 0.05$$

ゆえに全幅有効である。

4) 剛性の照査

① 死荷重たわみ

$$\delta_d = \frac{5 q_d \ell^4}{384 E I} = \frac{5 \times 11.13 \times 34.83^4 \times 10^{12}}{384 \times 2.0 \times 10^5 \times 7,323 \times 10^6} = 145.6 \text{ mm}$$

② 活荷重たわみ

$$\delta_\ell = \frac{5 q_\ell \ell^4}{384 E I} = \frac{5 \times 4.38 \times 34.83^4 \times 10^{12}}{384 \times 2.0 \times 10^5 \times 7,323 \times 10^6} = 57.2 \text{ mm}$$

$$\delta_a = \ell / 600 = 34.83 \times 10^3 / 600 = 58.1 \text{ mm} > \delta_\ell = 57.2 \text{ mm} \text{ —— OK}$$

③ 振動

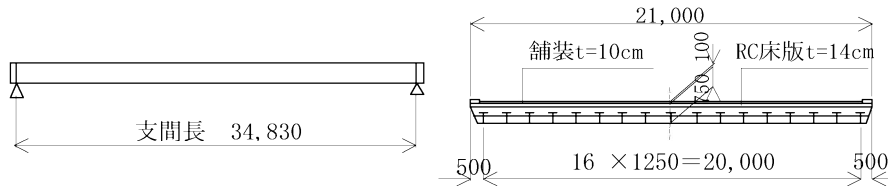
活荷重による桁の振動が、利用者に不快感を与えるとされる  $f = 1.5 \sim 2.3 \text{ Hz}$  にならないことを確認する。

$$f_1 = \frac{5.66}{\sqrt{\delta_d}} = \frac{5.66}{\sqrt{14.56}} = 1.48 \text{ Hz} < 1.5 \text{ Hz} \text{ —— OK}$$

ここで、 $\delta_d$ ：死荷重による支間中央のたわみ (cm)

$$f_2 = 4 f_1 = 5.93 \text{ Hz} > 2.3 \text{ Hz} \text{ —— OK}$$

3. 合成床版橋の設計〔支間長：34.83 m〕



1) 荷重 (主桁間隔：1.25 m 当り)

① 死荷重

・ 舗装	22.5 kN/m <sup>3</sup> × 0.10 × 1.25 = 2.81 kN/m
・ RC床版	24.5 kN/m <sup>3</sup> × 0.14 × 1.25 = 4.29 "
・ 桁自重 (充填材含む)	4.31 kN/m <sup>2</sup> × 1.25 = 5.39 "
	合成前 = 9.68 kN/m
	合成後 = 2.81 kN/m

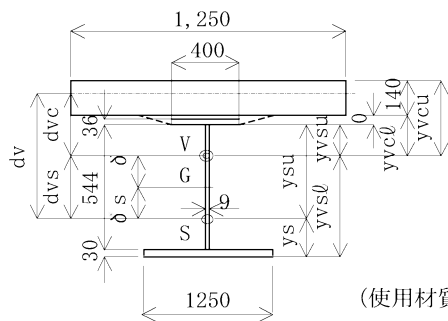
② 活荷重 (群集荷重)  $W\ell = 3.50 \text{ kN/m}^2 \times 1.25 = 4.38 \text{ kN/m}$

2) 作用力

平均支間長： $\ell = 34.83\text{m}$ の単純桁として解析する。

$$S = \frac{W \cdot \ell}{2} \quad M = \frac{W \cdot \ell^2}{8}$$

3) 応力度の照査



設計断面力

合成前死荷重 D(PRE)	$M_s = 1,467 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $S_s = 168 \text{ kN}$
合成後死荷重 D(PST)	$M_{vd} = 426 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $S_{vd} = 49 \text{ kN}$
合成後活荷重 L	$M_{v\ell} = 663 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $S_{v\ell} = 76 \text{ kN}$
後死+後活 D+L	$M_v = 1,089 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $S_v = 125 \text{ kN}$

(使用材質：SM490Y、底鋼板：SM400)

① 断面性能

	$\Lambda (\text{mm}^2)$	$y (\text{mm})$	$\Lambda \cdot y (\text{mm}^3)$	$I_x (\text{mm}^4)$
1-Slab	1,250 × 140 × 1/7	25,000	378.0	9,450,000
1-U.Flg	400 × 36	14,400	290.0	4,176,000
1-Web	544 × 9	4,896		121 "
1-L.Flg	1,250 × 30	37,500	287.0	10,763,000
鋼断面	56,796	-6,587,000		4,421 × 10 <sup>6</sup>
合成断面	81,796	2,863,000		8,034 × 10 <sup>6</sup>

$$\delta_s = \frac{\sum \Lambda_s \cdot y}{\sum \Lambda_s} = \frac{-6587000}{56796} = -116.0 \text{ cm}$$

$$\delta_v = \frac{\sum \Lambda_v \cdot y}{\sum \Lambda_v} = \frac{2863000}{81796} = 35.0 \text{ cm}$$

$$I_s = 4,421 \times 10^6 - 56,796 \times 116.0^2 = 3,657 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_v = 8,034 \times 10^6 - 81,796 \times 35.0^2 = 7,933 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$y_{su} = 544 / 2 + 36.0 + 116.0 = 424.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = 544 / 2 + 30.0 - 116.0 = 186.0 \text{ mm}$$

$$d_{vc} = y(\text{Slab}) - \delta = 378.0 - 35.0 = 343.0 \text{ mm}$$

$$d_{vs} = \delta_s + \delta_v = 116.0 + 35.0 = 151.0 \text{ mm}$$

$$d_v = d_{vc} + d_{vs} = 343.0 + 151.0 = 494.0 \text{ mm}$$

$$y_{vcu} = d_{vc} + t_s/2 = 343.0 + 70.0 = 413.0 \text{ mm}$$

$$y_{vc\ell} = d_{vc} - t_s/2 = 343.0 - 70.0 = 273.0 \text{ mm}$$

$$y_{vsu} = y_{su} - d_{vs} = 424.0 - 151.0 = 273.0 \text{ mm}$$

$$y_{vs\ell} = y_{sl} + d_{vs} = 186.0 + 151.0 = 337.0 \text{ mm}$$

② 合成前応力度 D(PRE)

$$\sigma_{su} = \frac{Md_1}{I_s} \cdot y_{su} = \frac{1467 \times 10^6}{3,657 \times 10^6} \times 424.0 = 170.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{sl} = \frac{Md_1}{I_s} \cdot y_{sl} = \frac{1467 \times 10^6}{3,657 \times 10^6} \times 186.0 = 74.6 \text{ N/mm}^2$$

③ 合成後応力度 (D+L)

$$\sigma_v = \frac{M_v}{I_v} \cdot y_{vcu} \times \frac{1}{7} = \frac{1089 \times 10^6}{7,933 \times 10^6} \times 413.0 \times \frac{1}{7} = -8.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vdu} = \frac{M_v}{I_v} \cdot y_{vsu} = \frac{1089 \times 10^6}{7,933 \times 10^6} \times 273.0 = 37.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{vd\ell} = \frac{M_v}{I_v} \cdot y_{vs\ell} = \frac{1089 \times 10^6}{7,933 \times 10^6} \times 337.0 = 46.3 \text{ N/mm}^2$$

④ クリープ CR (6. 参考資料による)

$$\sigma_{su} = -16.1 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{sl} = 1.7 \text{ N/mm}^2$$

⑤ 乾燥収縮 SH (6. 参考資料による)

$$\sigma_{su} = -14.6 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{sl} = 1.5 \text{ N/mm}^2$$

⑥ 温度差 (6. 参考資料による)

$$\sigma_{su} = -14.4 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{sl} = 1.4 \text{ N/mm}^2$$

⑦ 組合せ応力度の照査

組合せ	コンクリート応力度		鋼桁上縁応力度		鋼桁下縁応力度	
	作用値	許容値	作用値	許容値	作用値	許容値
②+③			207.6	210.0	120.9	140.0
②+③+④+⑤	-8.1	10.0	238.3	241.5	124.1	140.0
②+③+④+⑤+⑥			252.7	273.0	125.5	161.0

⑧ せん断応力の照査

・桁端部

$$\tau = \frac{S}{A_w} = \frac{293.0 \times 10^3}{4,896} = 59.8 \text{ N/mm}^2 < \tau_a = 120 \text{ N/mm}^2 \text{ --- OK}$$

4) 剛性の照査

① 死荷重たわみ

$$\delta_d = \frac{5 q_d \ell^4}{384 E I} = \frac{5 \times 9.68 \times 34.83^4 \times 10^{12}}{384 \times 2.0 \times 10^5 \times 3,657 \times 10^6} + \frac{5 \times 2.81 \times 34.83^4 \times 10^{12}}{384 \times 2.0 \times 10^5 \times 7,933 \times 10^6} = 287.5 \text{ mm}$$

② 活荷重たわみ

活荷重による桁の振動が、利用者に不快感を与えるとされる  $f = 1.5 \sim 2.3 \text{ Hz}$  にならないことを確認する。

$$\delta_l = \frac{5 q_l \ell^4}{384 E I} = \frac{5 \times 4.38 \times 34.83^4 \times 10^{12}}{384 \times 2.0 \times 10^5 \times 7,933 \times 10^6} = 52.8 \text{ mm}$$

$$\delta_a = \ell / 600 = 34.83 \times 10^3 / 600 = 58.1 \text{ mm} > \delta_l = 52.8 \text{ mm} \text{ --- OK}$$

③ 振動

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \left( \frac{n\pi}{\ell} \right)^2 \times \sqrt{\frac{EIg}{m}}$$

ここに：

$n = 1$  次

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \left( \frac{\pi}{34.83} \right)^2 \times \sqrt{\frac{2.1 \times 10^7 \times 7,933 \times 10^{-6} \times 9.8}{1.27}} = 1.46 \text{ Hz} < 1.5 \text{ Hz} \text{ --- OK}$$

$n = 2$  次

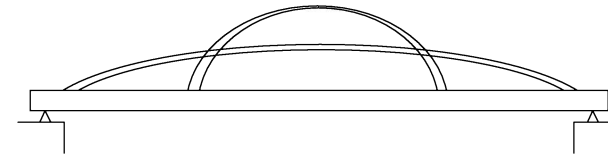
$$f = 4 \times 1.46 = 5.86 \text{ Hz} > 2.3 \text{ Hz} \text{ --- OK}$$

4. たわみ・振動対策

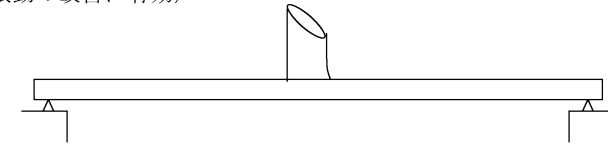
前頁までの概略設計の結果、鋼床版形式が経済性において若干優れるものとなっている。合成床版橋は、合成後荷重が大きな道路橋等で有利になることがあるが、合成後荷重の小さな当形式では鋼床版に対して経済性で劣るものとなる。

また両形式とも、桁を構成する断面はたわみ剛性によって決定されており、応力的には余裕があるまたは止むを得ず低材質を採用している。よって、下記対策を講じることで、鋼床版橋で4割、合成床版橋で2割程度を限度に、鋼重減を図ることが可能であると思われる。

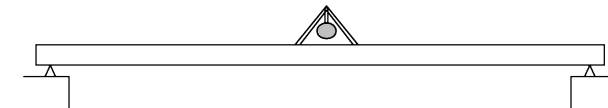
対策 1. 桁の2箇所ほどに高欄或は単弦の桁を配して、たわみ特性を改善する。  
(活荷重たわみの低減、振動の改善に有効)



対策 2. 支間中央に質量のあるオブジェを置いて周有周期を長くする。  
(振動の改善に有効)



対策 3. 支間中央にダンパーを設置して振幅を軽減する。  
(振動の改善に有効)



5. あとがき

本ケースのように与えられた条件をそのままに基準に照らして計画すると、不経済なものを強いられることになる。前述対策案に示すように多少工夫を凝らすことでより経済的なものを提案できる可能性が多分にある。また、活荷重たわみが多少大きく ( $\delta_l = L/400$  程度に) なっても、振動を抑えることで快適使用性を確保するなど、種々の策を検討する必要がある。用途に適い、経済的で美しい構造を提案するのが我々技術者の責務ゆえ。