

連続ケタの新しい型式

—新箸別橋について—

正員 小西輝久*
 " 青木弘**
 " 〇斎藤紘***

1 概 説

標記橋梁は、二級国道札幌留萌線増毛町地内に昭和39年8月完成をみた二径間連続鋼鉄ケタ橋である。

本橋の特徴は、橋脚上支点に於いて、主ゲタが横梁を介して弾性的に支えられていることである。(図-1参照)

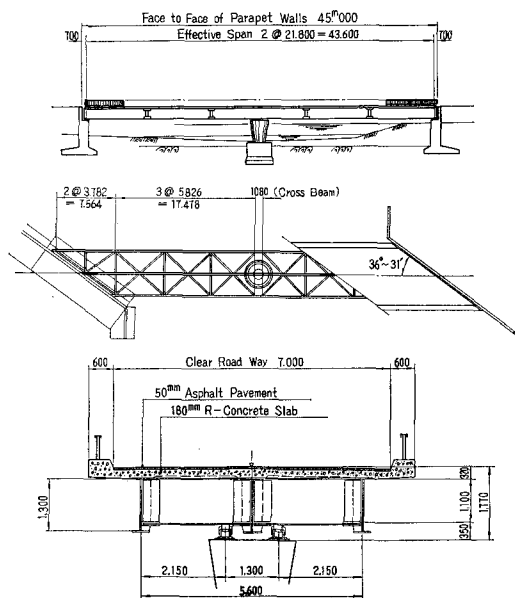


図-1

本型式を採用した理由は

- 1) 洪水量が多く、ケタ高に制限をうけ、経済的観点より二径間連続ケタとした。
- 2) 架橋位置が海岸線に近く、流心が不安定であるため円形橋脚とした。
- 3) 斜角右 36°31' の斜橋であることより、合成桁並びに箱ケタ型式をさげ、I 型非合成三主桁とした。

などであるが、ここでは、上部構造の問題点として橋脚上支点の弾性度、支点没下に伴う主ゲタのトルク、中間対傾構の剛性、並びに橋脚上支承の浮上り等を検討したので報告する。

2 橋脚上主ゲタ支点の弾性度

2-1 慣用的な検討

外主ゲタ、内主ゲタ及び横梁の平均断面二次モーメントは、それぞれ 7.5×10^{-3} 、 7.1×10^{-3} 、 17.6×10^{-3} (単位 m^4) となり、横梁の曲げ剛度が主ゲタのそれに比し極端に大きいので、支点沈下のない二径間連続ケタとして設計を進め支点沈下の影響を次の方法で求め、これを考慮した。

まず中間支点が、 Δh だけ沈下した場合の附加モーメント M_x は、次のようにあらわされる。

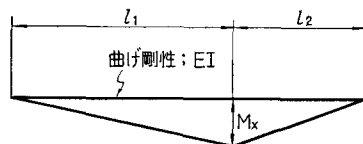


図-2

$$M_x = \frac{3EI}{l_1 \cdot l_2} \cdot \Delta h$$

次に橋脚上の横梁を取り出し、主ゲタ支点に集中荷重が作用した場合の主ゲタ支点のタワミー一般式は、次式のようにになる。

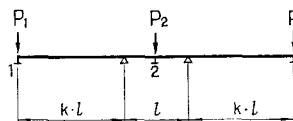


図-3

$$\delta_1 = \frac{l^3}{48EI_F} \left\{ (16K^3 + 16K^2) P_1 - 3KP_2 + 8K^2P_3 \right\}$$

* 北海道開発局札幌開発建設部 道路第1課長補佐

** 北海道開発コンサルタント株式会社

$$\delta_2 = -\frac{l^3}{48EI_F} \{P_2 - 3K(P_1 + P_3)\}$$

但し $P_1 \geq P_3$

EI_F ; 横梁の曲げ剛性

一例として、死荷重による支点上の撓み及び附加モーメントを $l = 130 \text{ cm}$, $K = 2.15/1.3 = 1.654$, $I_F = 17.6 \times 10^6 \text{ cm}^4$, $P_1 = P_3 = 76.0 \text{ t}$ ($w_1 = 2.75 \text{ t/m}$), $P_2 = 50.4 \text{ t}$ ($w_2 = 1.85 \text{ t/m}$) として求めると

$$\delta_1 = \{143.8274P_1 - 6.1449P_2 + 27.1198P_3\} \times 10^{-8} \text{ cm/kg}$$

$$\delta_2 = \{-6.1449P_1 + 1.2384P_2 - 6.1449P_3\} \times 10^{-8} \text{ cm/kg}$$

より, $\delta_1 = 0.127 \text{ cm}$, $\delta_2 = -0.009 \text{ cm}$ (上向き), $M_{x1} = 1.30 \text{ t}\cdot\text{m}$, $M_{x2} = -0.08 \text{ t}\cdot\text{m}$ となる。

2-2 格子理論による検討

慣用計算との比較のため、格子理論による検討を行ったので、これが理論展開並びに数値例を述べる。

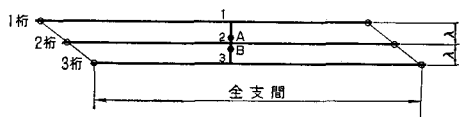


図-4

一本横ゲタを有する斜格子ゲタが、AB二点に於いて、不静定に支持された骨組構造として解を進める。

任意荷重によるAB点のタワミ及び、これと相等の不静定反力 R_A, R_B を求め、任意荷重及びこれに伴う不静定反力による格子点のタワミ差を求める。

文献¹⁾に従うと、点对称の位置に一本横ゲタを有する斜格子ゲタの各ゲタに W_1, W_2, W_3 の荷重が作用した時の格子点力の一般式は、次のようにあらわされる。

$$\beta \cdot \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} W_1 & \delta_{1x} \\ W_2 & \delta_{2x} \\ W_3 & \delta_{3x} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix} \quad (2-1)$$

但し

$$\beta = \left\{ \delta_{11} + 4\delta_{22} + \delta_{33} + \frac{2\lambda^3}{3EI_F} \right\}^{-1}$$

1 ケタに単位荷重が作用した場合 (2-1) 式より

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= (1 - \beta\delta_{11}) \delta_{1x} \\ \delta_2 &= 2\beta\delta_{22} \delta_{1x} \\ \delta_3 &= -\beta\delta_{33} \delta_{1x} \\ q_2 &= -2\beta\delta_{1x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-2)$$

(2-2) 式より A, B 点のタワミは次のようになる。

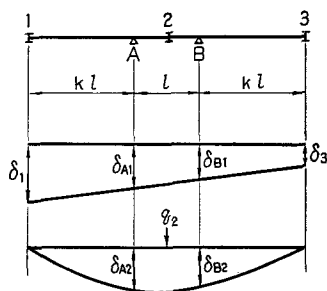


図-5

$$\delta_{A1} = \delta_3 + \frac{1+K}{1+2K} (\delta_1 - \delta_3) = \left(\frac{1+K}{1+2K} - \beta\delta_{11} \right) \delta_{1x}$$

$$\delta_{B1} = \delta_3 + \frac{K}{1+2K} (\delta_1 - \delta_3) = \left(\frac{K}{1+2K} - \beta\delta_{11} \right) \delta_{1x}$$

$$\begin{aligned} \delta_{A2} = \delta_{B2} &= \frac{q_2(1+2K)^2 l^3}{16EI_F} \left\{ \frac{K}{1+2K} - \frac{4}{3} \left(\frac{K}{1+2K} \right)^3 \right\} \\ &= -\frac{(1+2K)^2 l^3}{8EI_F} \beta \left\{ K - \frac{4}{3} \cdot \frac{K^3}{(1+2K)^2} \right\} \delta_{1x} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_A &= \left[\frac{1+K}{1+2K} - \beta\delta_{11} - \frac{(1+2K)^2 l^3}{8EI_F} \times \right. \\ &\quad \left. \beta \left\{ K - \frac{4}{3} \cdot \frac{K^3}{(1+2K)^2} \right\} \right] \delta_{1x} \\ \delta_B &= \left[\frac{K}{1+2K} - \beta\delta_{11} - \frac{(1+2K)^2 l^3}{8EI_F} \times \right. \\ &\quad \left. \beta \left\{ K - \frac{4}{3} \cdot \frac{K^3}{(1+2K)^2} \right\} \right] \delta_{1x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-3)$$

同様に、2 ケタに単位荷重が作用した場合 (2-1) 式より

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= 2\beta\delta_{11} \delta_{2x} \\ \delta_2 &= (1 - 4\beta\delta_{22}) \delta_{2x} \\ \delta_3 &= 2\beta\delta_{33} \delta_{2x} \\ q_2 &= 4\beta\delta_{2x} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-4)$$

(2-4) 式より A, B 点のタワミは次のようになる。

$$\begin{aligned} \delta_{A1} = \delta_{B1} &= 2\beta\delta_{11} \delta_{2x} \\ \delta_{A2} = \delta_{B2} &= \frac{(1+2K)^2 l^3}{4EI_F} \beta \left\{ K - \frac{4}{3} \cdot \frac{K^3}{(1+2K)^2} \right\} \delta_{2x} \\ \delta_A = \delta_B &= 2\beta \left[\delta_{11} + \frac{(1+2K)^2 l^3}{8EI_F} \times \right. \\ &\quad \left. \left\{ K - \frac{4}{3} \cdot \frac{K^3}{(1+2K)^2} \right\} \right] \delta_{2x} \dots\dots\dots (2-5) \end{aligned}$$

次に不静定反力 R_A, R_B が作用した時の A, B 点のタワミは、次のように求められる。

R_A, R_B による格子点荷重は 図-6 より

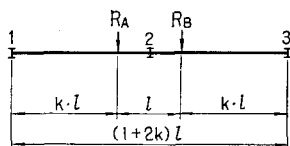


図-6

$$W_1 = \frac{1}{1+2K} R_A,$$

$$W_2 = \frac{2K}{1+2K} (R_A + R_B)$$

$$W_3 = \frac{1}{1+2K} R_B$$

となり (2-1) 式より格子点力は (2-6) 式となる。

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= \frac{\beta}{1+2K} (\delta_{11} - 4K\delta_{22}) (R_A + R_B) \\ q_2 &= -\frac{2\beta}{1+2K} (\delta_{11} - 4K\delta_{22}) (R_A + R_B) \\ q_3 &= \frac{\beta}{1+2K} (\delta_{11} - 4K\delta_{22}) (R_A + R_B) \end{aligned} \right\} \quad (2-6)$$

$W_i = p_i + q_i$ 但し W_i = 格子点荷重

p_i = 主ゲタに作用する荷重

q_i = 横ゲタに作用する荷重

より、主ゲタに作用する荷重は次のようにあらわされる。

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= W_1 - q_1 = \frac{R_A}{1+2K} - \frac{\beta}{1+2K} \times \\ &\quad (\delta_{11} - 4K\delta_{22}) (R_A + R_B) \\ P_2 &= W_2 - q_2 = \left\{ \frac{2K}{1+2K} + \frac{2\beta}{1+2K} \times \right. \\ &\quad \left. (\delta_{11} - 4K\delta_{22}) \right\} (R_A + R_B) \\ P_3 &= W_3 - q_3 = \frac{R_B}{1+2K} - \frac{\beta}{1+2K} \times \\ &\quad (\delta_{11} - 4K\delta_{22}) (R_A + R_B) \end{aligned} \right\} \quad (2-7)$$

$\delta_1 = P_1\delta_{11}$, $\delta_3 = P_3\delta_{33}$ 及び (2-6) 式より δ_A , δ_B は次のようになる。

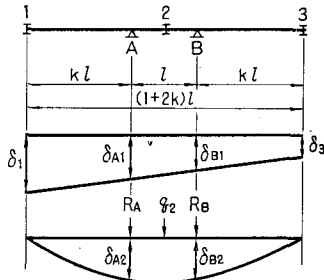


図-7

$$\left. \begin{aligned} \delta_{A1} &= \delta_3 + \frac{1+K}{1+2K} (\delta_1 - \delta_3) \\ &= \frac{\delta_{11}}{1+2K} \left[\left\{ \frac{1+K}{1+2K} - \beta(\delta_{11} - 4K\delta_{22}) \right\} R_A \right. \\ &\quad \left. + \left\{ 1 - \frac{1+K}{1+2K} - \beta(\delta_{11} - 4K\delta_{22}) \right\} R_B \right] \\ \delta_{B1} &= \delta_3 + \frac{K}{1+2K} (\delta_1 - \delta_3) \\ &= \frac{\delta_{11}}{1+2K} \left[\left\{ \frac{K}{1+2K} - \beta(\delta_{11} - 4K\delta_{22}) \right\} R_A \right. \\ &\quad \left. + \left\{ 1 - \frac{K}{1+2K} - \beta(\delta_{11} - 4K\delta_{22}) \right\} R_B \right] \end{aligned} \right\} \quad (2-8)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_{A2} &= \frac{2\beta}{1+2K} (4K\delta_{22} - \delta_{11}) (R_A + R_B) \times \\ &\quad \delta_{A2} + R_A\delta_{AA} + R_B\delta_{AB} \\ \delta_{B2} &= \frac{2\beta}{1+2K} (4K\delta_{22} - \delta_{11}) (R_A + R_B) \times \\ &\quad \delta_{B2} + R_A\delta_{BA} + R_B\delta_{BB} \end{aligned} \right\}$$

但し、 δ_{ij} ; 支間 $(1+2K)l$ の横梁の j 点に単位荷重が作用した場合の i 点のタワミ。

(2-3), (2-5) 式と (2-8) 式を等値とおき、 R_A , R_B が δ_{1x} , δ_{2x} の関数として求められる。

単位荷重及びこれに伴う R_A , R_B による格子点のタワミ差を数値解析した結果は次のようになる。

$$\delta_1 = 0.002085 \delta_{1x} - 0.000152 \delta_{2x} + 0.000428 \delta_{3x} \quad (\text{m/t})$$

$$\delta_2 = -0.000171 \delta_{1x} + 0.000075 \delta_{2x} - 0.000171 \delta_{3x} \quad (\text{m/t})$$

死荷重による支点上の撓み、及び附加モーメントは計算の結果、 $\delta_1 = 0.190 \text{ cm}$, $\delta_2 = -0.023 \text{ cm}$ (上向き), $M_{x^1} = 1.9 \text{ t}\cdot\text{m}$, $M_{x^2} = -0.2 \text{ t}\cdot\text{m}$ となる。

2-3 考 察

一般に橋脚上の支点間隔を負反力の生じない様小さくすると、横梁の曲げ剛性は予想外に大きくなり、主ゲタ支点のタワミによる影響は本橋の場合 0.3% 程度であり、ほとんど考慮する必要がなく、弾性度の検討も慣用計算で充分である。なお、さらに橋脚上支点を 1 箇とした場合も検討したが、外タケは単純支持ゲタにほとんど近くなり不利である。但し、横綾構を強固にし、振り剛性を考慮すると、より連続ゲタに近くなると考えられる。

3 主ゲタのねじり応力

3-1 概 要

橋脚上支点部の主ゲタは、横梁の撓みにより、回転角 θ を生ずる。即ちトルクを与えられた状態となる。ここでは橋脚支点部、外ゲタ断面について、 $\theta = 0$ なる点を、中間支点最寄りの対傾構にとり、単純ねじり及び曲げねじりについて検討する。

なお、回転角を算出するのに横梁の撓みは二次の放物線とみなした。

回転角と τ 及び σ_w の関係は文献^{2), 3)} によると次式のようになる。

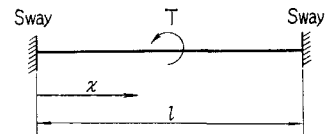


図-8

$$\tau = G \cdot \theta' \cdot t = \frac{T}{J} t \quad (3-1)$$

$$\theta_{x=l/2} = \frac{T}{GJ} \left\{ \frac{l}{4} - \frac{\sinh \alpha l/2}{2\alpha \cosh \alpha l/2} \right\} \quad (3-2)$$

$$\theta'' = -\frac{T}{GJ} \cdot \alpha \cdot \tanh \frac{\alpha l}{2} \quad (3-3)$$

$$\sigma = E \cdot W \cdot \theta'' \quad (3-4)$$

但し G = せん断弾性係数 $8.1 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$

J = ねじり剛性係数 $\Sigma \frac{1}{3} b t^3 (I \text{ 型})$

$$\alpha = \sqrt{\frac{GJ}{EC_w}}$$

$$W; -\int_0^s r_s ds$$

$$C_w; \Sigma \frac{t_i l_i}{3} (W_i W_{i+1} + W_i^2 + W_{i+1}^2)$$

3-2 数値解析

主ゲタ断面を図-9(a)とすると、水平せん断流(せん断中心)及び反り函数は、それぞれ図-9(b)(c)となり、断面諸数値は、固定間距離 $l = 12.7 \text{ m}$ とすると、次のようになる。

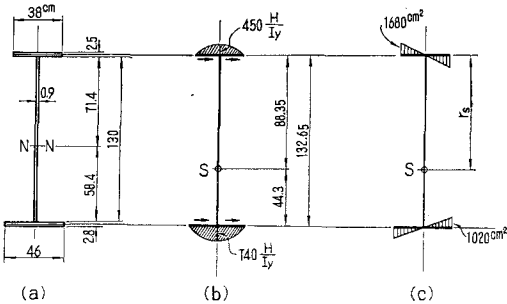


図-9

$$\theta = 0.0025$$

$$J = \frac{1}{3} \left\{ 38 \times 2.5^3 + 130 \times 0.9^3 + 46 \times 2.8^3 \right\} = 565 \text{ cm}^4$$

$$C_w = \frac{1}{3} \left\{ 46 \times 2.8 \times 1020^2 + 38 \times 2.5 \times 1680^2 \right\} = 1.34 \times 10^8 \text{ cm}^6$$

$$\alpha = 1.28 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$$

応力計算の結果、最大応力は $\sigma_w = 145 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\tau = 107 \text{ kg/cm}^2$ となる。

3-3 考察

局部応力の検討に対する一方法を述べたが、対傾構の固定度は実際には弾性固定であり固定支間はかなり大きいと考えられる。従って計算応力より小さい応力が作用すると考えてよい。主ゲタの回転による突縁の水平変位分の水平曲げを想定し、これによる曲げ応力により局部応力を検討するのも一方法と考える。

4 中間対傾構の剛性

4-1 対傾構の応力

本橋は斜橋で、中間対傾構は主ゲタに直に設けられている。従って床版打設時に、外、内ゲタの撓み差によって対傾構に大きな力が作用する。内ゲタを基準として、対傾構

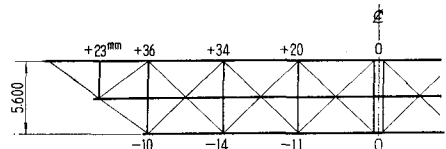


図-10

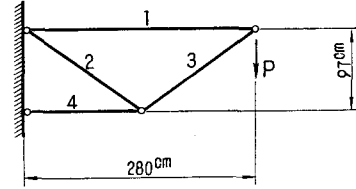


図-11

取付け位置における外、内ゲタの撓み差は図-10 のようになる。

部材 ① ④ 1-L 90×90×10 ($A_g = 19.0 \text{ cm}^2$)、部材 ② ③ 1-L 75×75×9 ($A_g = 12.7 \text{ cm}^2$)、最大撓み量 $\delta = 3.6 \text{ cm}$ とし、次式より部材力を求めると $N_1 = N_4 = \pm 123 \text{ t}$ 、 $N_2 = N_3 = \pm 75 \text{ t}$ となる。

$$\delta = \Sigma \frac{N \cdot \bar{N} \cdot l}{EA}$$

この時、仮想外力は $P = 43 \text{ t}$ となる。

4-2 考察

突トラスとしての解析を行なったが、極端に大きな力が作用する事が判る。しかし実際には、ピン部のずれ、主ゲタの回転、部材の細長比などの影響で部材力は相当小さく考えられる。対傾構と主ゲタの結合は 22φ 高張力ボルトを用い、ボルト孔は 26.5φ と大きくとり、床版打設時には仮締めし、床版コンクリート硬化後、本締めした。

以上の工法を採ることにより、主ゲタに作用する荷重が理論的となり、主ゲタのねじり応力を、てい減し、対傾構に無理な力が作用する事を打開する事が出来る。

反対に、対傾構の剛性を大きくすると、以上のことがらに留意しなければならない。

5 後記

本稿で最も問題となるのは、橋脚上沓の間隔と中間対傾構の曲げ剛性である。沓間隔は、死荷重による正反力と、最も危険な活荷重(30% 増し) 載荷による負反力の合計によっても浮き上りのないよう計画し、さらに横梁と基礎間に引張材を設け浮き上りに対する安全を確保した。

中間対傾構は最も複雑な問題が多い。設計上表面にあらわれるのは、風荷重等の横荷重の伝達であるが、断面形状保持のための必要剛性、対傾構の剛性と主ゲタのトルク応力の関係、対傾構による格子作用、対傾構の部材力などがあげられる。

特に斜橋で対傾構が主ゲタに直に設けられている場合は

対傾構に仿く作用力が大きく、それだけ格子作用が大きく
仿くと考えねばならない。

本橋の場合は、これから逃がれる工法を採ったが、対傾
構による格子作用を考慮し、剛性も充分大きく採る方法が
当然考えられる。この場合、中間支点部における主ゲタの
トルクに充分配慮する必要がある。

この型式の場合、構造的に箱ゲタも考えられるが、斜橋
となると問題点が多く文献⁴⁾などを参照し、さらに検討を
加えてゆきたい。

参 考 文 献

- 1) 青木：“格子桁の一解法,” 土木学会北海道支部技術資
料第 20 号.
- 2) 小西・小松：“合成箱桁橋の応力解析と設計々算法,”
土木学会論文集第 25 号.
- 3) 安宅：“橋梁構造の立体化,” 橋梁工学の最近の諸問題.
- 4) Hoeland: “Der Kraftverlauf in Schiefen Hohl-
kästen,” Der Stahlbau Heft 3.