

(1) 鋼板コンクリート桁について

倉西 茂

名誉会員 東北大学名誉教授 (E-mail:kuranishis@u01.gate01.com)

本論文は、橋台または橋脚間に張り渡された鋼板上に、コンクリート床版と結合するウエブコンクリートを設けて一体化し複合構造とする桁の提案を行っている。こうする事により、桁はいわゆる等応力構造に近いものとなり鋼板は全応力状態で使用され、合理的な複合構造となる。このような構造とするにもなういくつかの問題点について検討を行っている。

Key Words : steel plate, tension, concrete, self anchor, curved flange, composite

1. まえがき

ここで鋼板コンクリート桁と呼んでいる形式は図 1 に示したように、支点間に鋼板をあるサグをもって張り渡し、その上にコンクリートを打設して桁構造とするものである。図では連続構造となっているので、上面が円筒形か、それに近い形をした張り出しのある下部工を超えて鋼板が張り渡し、その上に、コンクリートを打ち、さらに鉄筋コンクリート床版を打設して橋梁構造としている。鋼板は現場で全溶接をこないながら引き出すか、上面が円筒状をし、スタッドが通過でき、しかも後でグラウトし易いように溝が掘られた下部構とし、高力ボルト摩擦接合をしながら引き出す。

張り出された鋼板上にコンクリートを打設する。コンクリート桁に働くせん断力は小さいことを考えると、おび鉄筋に働く応力は低いものと考えられるが、スラブ止めを兼用させた U 字形をした帯鉄筋を配する。鋼板は足場としても利用することもできる。断面が図左側のように、忠実断面の場合は鋼板はコンクリート断面の側面より突出させ、支保工の支えとして利用する。

ここで問題になるのは、極めて変形を起こしやすい鋼板上にコンクリートを打設しなければならないことである。まず、転倒防止用のフレームを桁間に設ける。鋼板と、桁コンクリートも放物線分布をなしている部分と、等厚部分よりなっており、それぞれ、それらがなす形状に違いがある。また、対称にコンクリートを打設しなければならない。プレキャスト・コンクリートの利用も考えられる。ボックス断面で構成する場合にも同様な考慮が必要であるが、底版のコンクリートの厚さを変えて等分布荷重に近い形にすることもできる。クリートが硬化した後に、碇着力を開放し鋼板張力をコンクリート部に移行させる。

鉄筋コンクリート床版を打ち、橋脚上面のグラウトなどを行い桁を完成させる。

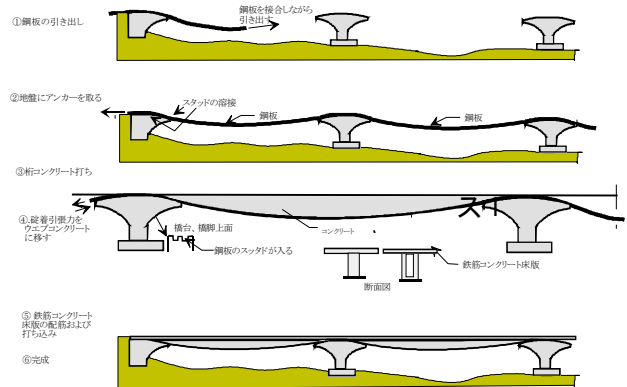


図 1 架設順序概念図

このように合成けたを構成させ、架設法とるならば、このけた構造は極めて合理的なものとなりかつ経済的に架設されることが考えられる。しかも、新しい景観を持った橋構造を提供することになる。

2. 構造計算のアウトライン

まず、ゲルバー桁の吊支間として構造計算を行う。吊り構造であるから、鋼板の強度の許す限り長い支間のものが有利と考えられる。鋼板のサグは支間の $1/15 \sim 1/12$ とし、端部付近の曲げ、および、せん断強度に対応するために等厚の部分設ける。

断面形状を仮定する。

張り出し鋼板に働く張力を求め、鋼板の碇着

に必要な力を求める。
 コンクリート桁部分の荷重による形状変化を求める。
 必要に応じてプリロードする荷重を求める。
 また、全体の安定性も照査する。
 鉄筋コンクリート床版打設による応力を求める。ただし、床版打設による碇着力の増加は行わない。
 碇着力をコンクリート桁に移すことによる応力を求める。

活荷重による応力を求める。

吊径間の鋼板に接し、円弧部分の高さが、桁の等圧部分と等しくなるように下部工上面の設計をおこなう。なお上面に平面部分を設け張り出し支間を調整することもできる。
 全径間に対し応力の精査を行い必要な断面の変更をおこなう。

3．形状の検討

張り渡された鋼板上にコンクリートを打設すると、その荷重と平衡するように鋼板は形状を変える。本形式ではコンクリート・ウェブは放物線形に近い分布と等分布の部分が生じる。等分布部分は支間 1/4 点での曲げ強度不足を補うためと、支点上の円筒部のライズにすりつけるために必要となる。

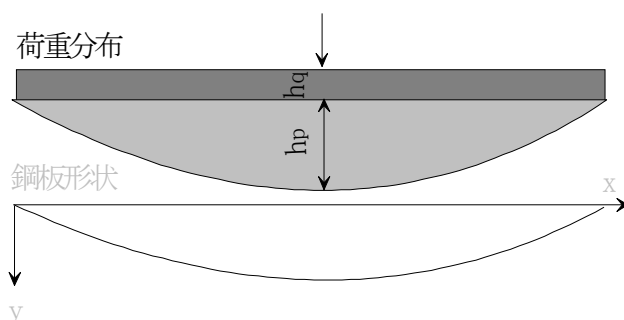


図2 コンクリートウェブの重量分布

ここで鋼板の曲げ剛性は無視してその形状を求める。
 図2に示したようにそれぞれのコンクリート部分の高さを h_q 、 h_p とし、鋼板の垂距を y とし、橋軸の沿って x 軸を取ると次式が得られる。

$$Hl^2 \frac{d^2 y}{dx^2} = w_c b l^2 \left\{ h_q + h_p \left(\frac{x}{l} \right) \left(1 - \frac{x}{l} \right) \right\} \quad (1)$$

ここで H は鋼板に働く水平力、 l は支間長、 w_c はコンクリートの密度である。これを解き支間中央部でのウエ

の高さを f とすると、結局鋼板の形状は次式で与えられる。

$$y = \frac{w_c}{2H} b_w h_q x(l-x) + \frac{w_c}{3H} b_w h_p (x^4/l^2 - 2x^3/l + lx) \quad \dots (2)$$

さらに、このとき鋼板が受けている水平反力は

$$H = \frac{w_c b l^2}{H} \left(\frac{h_q}{8} + \frac{5h_p}{48} \right) \quad \dots (3)$$

となる。このように鋼板の上に載るコンクリートの重量分布により、その形状が異なっているために施工に当たっては、コンクリートの打設順序等に細心の注意が必要となってくる。

4．フランジ鋼板の突出部の幅厚比の検討

シェル状をなした鋼板の突出長に対しては今の所特に基準値は見当たらない。フランジの突出長をに影響を与える要素の一つとして、フランジに働くせん断力によるせん断おくれの現象がある。本形式のけたのように荷重による連力線図に近い形状をもつではフランジでは、軸方向に等応力状態に近く、せん断おくれは小さく、その意味での有効幅の問題は無い。次に座屈による突出長の制限があるが、この場合は働いている応力は引張応力であり、この問題は生じない。ここで問題になるのが、フランジの断面内の変形による影響である。そこで、ある仮定の下に算出を行ってみる。

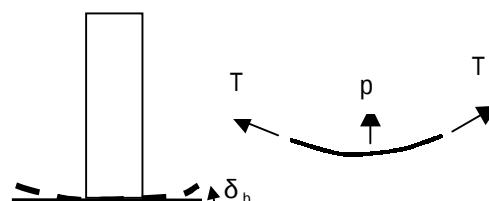


図3 鋼板のもつ曲率による張力の分力

鋼板はコンクリートウェブ等の荷重を受けてあるたわみが生じているとき、張力を受けている鋼板は、その曲率により図3に示したとおり、面外方向の分力が生じる。この分力により鋼板は片持ち梁としてのたわみが生じる。このために鋼板に生じている引張力が減少することになる。この減少の原因となるこのたわみが鋼板の全体としてのたわみよりある値だけ小さくするという仮定で突出

長と板厚の決定する。

張力を T 、曲率を τ とすると鋼板は放物線形をなしているとするば面外方向の分力 p は

$$p = T\tau \quad \dots\dots (4)$$

で与えられ、さらにその曲率 τ は近似的に

$$\tau = d^2y/dx^2 = -8f/l^2 \quad \dots\dots (5)$$

となる。

断面は図4に示した通りとする。支間中央部で考え、

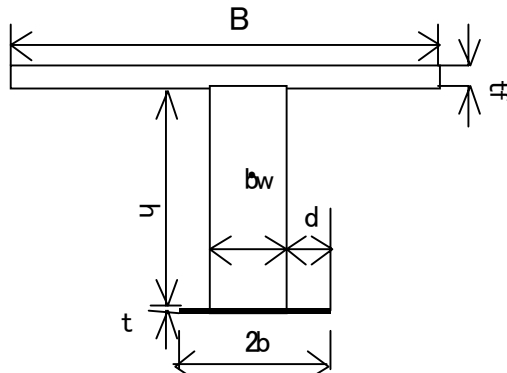


図4 断面形状と寸法

単位幅の片もち梁の先端のたわみ δ_b は突出長を d とし

$$\delta_b = pd^4/8EI \quad \dots\dots (6)$$

で与えられる。ここに、 I は単位幅あたりの鋼板の曲げ剛性であり、板厚を t とすれば、

$$I = t^3/11$$

で与えられる。

一方、鋼板のたわみを η とすると放物線ケーブルのケーブル方程式を適用ようして、次式が得られる。

$$\frac{TL_c}{EA} + \frac{d^2y}{dx^2} \int_0^l \eta dx = 0 \quad \dots\dots (7)$$

ここで、 η はケーブルのたわみである。

支間中央でのたわみを δ_c とし、 $\eta = \delta_c \sin \pi x/l$ と仮定すれば δ_c は結局

$$\delta_c = \frac{TI^2}{Et} \frac{\pi}{16f} \quad \dots\dots (8)$$

となる。よって

$$\frac{\delta_b}{\delta_c} = \frac{11 \times 16}{\pi} \left(\frac{f}{l} \right)^2 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \left(\frac{d}{t} \right)^2 \quad \dots\dots (9)$$

いま $\delta_c/\delta_b = r$ とおけば

$$\begin{aligned} \frac{d}{t} &= \sqrt{r \times \frac{\pi}{11 \times 16} \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{l}{f} \right)} \quad \dots\dots (10) \\ &= 0.134 \sqrt{r} \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{l}{f} \right) \end{aligned}$$

いま $l=60m, f=5m, d=0.8m$ とすれば、

$$\frac{d}{t} = 120.6 \sqrt{r} \quad \dots\dots (11)$$

$r=0.1$ とすると

$$d/t=38$$

となる。ただし、通常はこの張り出し部分上に、変形防止と防錆のためのコンクリートが打たれることを考えると、この値はさらに大きくすることが可能である。

5. 鋼コンクリート桁架設時転倒モーメントの検討

張り渡されたコンクリート上にウェブ・コンクリートが打設されると、このコンクリート部分はねじれ剛性の低い鋼板で支えられているために、転倒の危険性が生じる。実際の施工に当たっては転倒防止のための足場等が設けられることが考えられるが、ここで、鋼板単独で、転倒に堪えられるか検討を行ってみる。いまここで、安全がわに仮定し、コンクリート重量は軸線に沿って等しいとする。

いま、

コンクリートウェブの中心部の単位長さ当りの重量： W

コンクリートウェブの重心までの高さ： h_c

鋼板幅： $2b$

鋼板厚： t

単位幅あたりの鋼板張力： h

ケーブルサグ： f

形状：放物線、 y

初期張力： H

で表示する。

鋼板が θ 傾くことにより生じるたわみ v による張力 h はケーブル方程式より

$$h = \frac{Et}{L_c} z \times \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) \int_0^l \theta dx \quad \dots\dots (12)$$

ここで、 $v=\theta z$ で与えられる。

鋼板の繊維に蓄えられるひずみエネルギー P は

$$P = \frac{1}{2} \frac{Et}{L_c} \int_{-b}^b z^2 dz \left\{ \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) \int_0^l \theta dx \right\}^2 \quad \dots\dots (13)$$

と書ける。

よって全エネルギー V は、反りねじれ、ねじれ剛度、初期張力のなす仕事を合わせ

$$V = -\int_0^l W d\theta^2 dx + \frac{EC_w}{2} \int_0^l \left(\frac{d^2\theta}{dx^2}\right)^2 dx + \frac{1}{2} \left(GK + \frac{2b^2H}{3}\right) \int_0^l \left(\frac{d\theta}{dx}\right)^2 dx + \frac{1}{2} \frac{Et}{l} \frac{2b^2}{3} \times \left\{ \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) \int_0^l \theta dx \right\}^2 \quad \dots (14)$$

ただし、ここで鋼板のサグは小さいので、その前兆を支間は等しいとして

$$L_c \approx l$$

と置いている。

$$\theta = A \sin \frac{\pi}{l} x \quad \dots (15)$$

と置くと、結局次式が得られる

$$W \times h_c = EC_w \left(\frac{\pi}{l}\right)^4 + \left(GK + \frac{2b^2H}{3}\right) \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 + \frac{1024Et b^3 f^2}{3\pi^2 l^4} \quad \dots (16)$$

ここに、それぞれの断面に関する定数は

$$C_w = \frac{2t^3 b^3}{36}, K = \frac{2bt^3}{3}$$

で与えられる。

(16)式は、転倒に対する限界値であり、左辺の値が右辺の値より小さければ、転倒にたいして安全とすることができる。

6 結論

張り鋼板を用いて合理的な複合構造けたを提案できた

参考文献

平井敦著：鋼橋、pp. 424-426、技報堂、1967

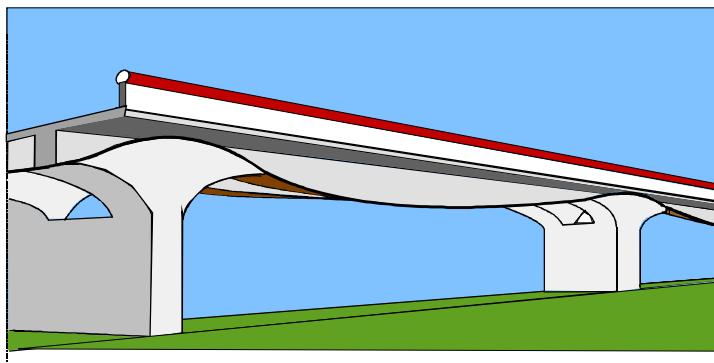


図5 完成想像図

STEEL PLATE CONCRETE COMPOSITE GIRDER

Shigeru KURANISHI

This paper is presenting a new type of composite girder. The structural system is that as follows:

1. A steel plate is spanned over the abutments and piers which have rounded head.
 2. Concrete is place over the spanned steel plate and it has a role of webs.
 3. Having been placed concrete bridge deck slabs, the composite girder is completed.
- This type of composite girder is considered very rigorous and economical. Some problems concerning this type of girders are discussed here.