

川崎重工業(株)	正員	○長井	正嗣
"	"	井澤	衛
"	"	佐野信一郎	
"	"	赤尾	宏

1. まえがき

近年、我国では支間400～600m級の長大斜張橋が計画あるいは施工中である。この種の長大斜張橋のケーブル張り形式としては、主にケーブル定着点構造の簡単化及び張り出し架設を容易にする立場から、マルチケーブルタイプが選定されている。

本文では、マルチケーブル斜張橋の主要構成部材(主塔、主桁)が完成時軸力部材になることを意図したケーブルの張り形式について考察を加え、そのような構造形式を示す。その際、以下の条件を課せる。

- ① 主塔は完成時軸力部材とする(曲げモーメントを発生させない)。
- ② 完成時に主桁に発生する曲げモーメントはケーブル取付け点を支点とした“連続桁の曲げモーメント”とそれを差し引いた曲げモーメント(“不釣り合いモーメント”と呼ぶ)に分解して取り扱われ、不釣り合いモーメントを極力0に近づけるという立場から軸力部材に近づけることとする。

2. 不釣り合いモーメント

ケーブルで吊られた主桁の死荷重による曲げモーメントは、ケーブル張力次第で任意に変化する。今、図-1に示すケーブルで吊られたはりを考える。任意に選定したケーブル張力(不静定力 $\{X_i\}$)は図-2に示す連続桁としての反力 $\{R_i\}$ と両者の差 $\{X_i - R_i\}$ に分解して考えることができる。また、不静定力 $\{X_i\}$ と死荷重によるモーメントは、死荷重が作用する連続桁のモーメントと、 $\{X_i - R_i\}$ によるモーメントの和として求まる。本文では、図-2(C)に示すモーメントを“不釣り合いモーメント”と定義する。

3. 構造形式と不釣り合いモーメント

3-1 鋼製主桁を有する斜張橋

(1) ケーブル配置の対称化を意図した設計-側径間と中央径間のケーブルの桁定着位置を主塔を中心に対称配置する場合を考える。我国の多くの例がそうであるように、一般の斜張橋では対称配置が基本となっている。しかしながら、支間長が大きくなると、側径間長の選定にもよるが、中央径間のケーブルで吊られていない区間が長くなり非対称配置になるケースが多くなると予想される。

図-3に示す通り、塔を中心に極力対称にケーブル配置を行ない、その区間でケーブル張力の鉛直成分を死荷重とつり合わせておく($f' = W_d'$)。すると、塔に曲げモーメントを生じさせない条件から側径間の端支点近傍では $f'' = W_d''$ なる不釣り合い力に起因して図-3(破線)に示す不釣り合いモーメントが発生することになる。

次に、この不釣り合いモーメントを0に近づける方法を考えてみる。図-4(a)は不釣り合い力 $f'' = W_d''$ の合力が支点上に作用するよう端支点を移動させて不釣り合いモーメントを減少させる方法である。この場合、アプローチ区間を斜張橋部と連続構造とすると、アプローチ区間の死荷重曲げモーメントが斜張橋に持ち込まれるため架け違い構造としている。なお連続構造とすると、側径間部の剛度を増加させる上で効果的である

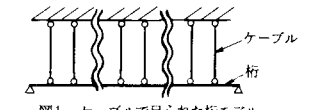
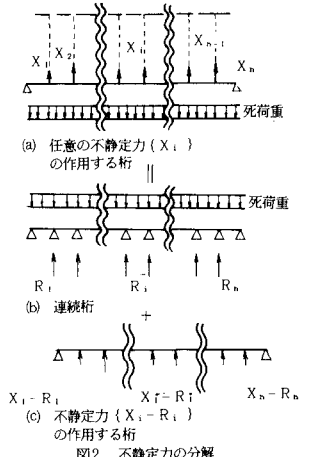


図1. ケーブルで吊られた桁モデル



ことはよく知られている。図-4(b)は不釣り合い力 $f'' - W_d$ にみあうカウンターウェイトを採用する方法で、従来端支点で発生する負反力を解消するために考えられていたアイディアであるが、本文では桁曲げモーメントの消去にも応用しようとするものである。図-4(c)は不釣り合い力 $f'' - W_d$ の作用支間を短くして不釣り合いモーメントを小さくする手法である。

(2) ケーブル配置を中央径間と側径間で任意とする設計-図-5に示すように、側径間のケーブル配置を対応する中央径間側のケーブル配置を無関係に行なう。いま、側径間、中央径間一対のケーブルのつり合い状態を考える。まず、中央径間側のケーブル張力を、

$$T_{s,i} = W_d L_{D,i} / \sin \alpha_i \quad (1)$$

とする(連続桁状態を想定)。

主塔に曲げモーメントを生じさせない条件を考えると、対応する側径間側のケーブル張力 $T_{s,i}$ は、

$$T_{s,i} = W_d L_{D,i} \cos \alpha_i / \sin \alpha_i / \cos \beta_i \quad (2)$$

となる。したがって、側径間部で桁を吊り上げるケーブル力 $V_{s,i}$ は、

$$V_{s,i} = T_{s,i} \sin \beta_i = W_d L_{D,i} X_i / X_{s,i} \quad (3)$$

となる。

さて、側径間での死荷重とのつり合い状態を考えると、鉛直方向の不釣り合い力は、

$$V_{su,i} = W_d L_{D,i} X_i / X_{s,i} - W_{sd} L_{SD,i} \quad (4)$$

となる。

この不釣り合い力が作用すると、死荷重時図-6に示す不釣り合いモーメントが発生することになる。

次に、この不釣り合いモーメントを減少させることを考える。一つは側径間の死荷重を意図的に増大させる(側径間部にコンクリート桁を採用)方法があるが、もう一つの方法は、側径間部に中間橋脚を設ける方法である。中間橋脚は斜張橋の全体曲げ剛性を増加させる効果の他に以上の対策として利用できる。

3-2 側径間にコンクリート桁を採用する斜張橋

側径間のケーブル張力と死荷重のつり合い関係から検討を加える。今、 $W_{sd} > W_d$ とすれば、式(4)より、 $V_{su,i} = 0$ を満足するケーブル配置を行なえばよいことになる。このような観点から、側径間がかなり短いケースに対してつり合い状態が満足できると考える。一方、側径間長が長くなる場合には、図-7に示す中間橋脚を設ける必要がある。

4. まとめ

周知の通り、不静定力であるケーブル張力の選定次第で主構部材の断面力は大幅に変動するが、本文では、死荷重とケーブル張力のつり合いを念頭においてケーブル張り形式に注意を払えば、完成時主要構成部材を軸力部材に近づけることが可能であることを示した。更に、地理条件等によりそのような張り形式が困難な場合でも、本文中に示す対策により極力主要部材を軸力部材に近づけることが可能であることを示した。

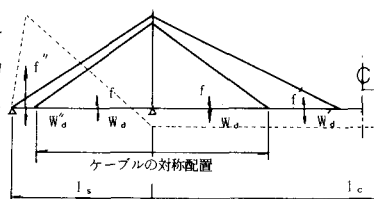


図3 ケーブル力と死荷重のつり合い

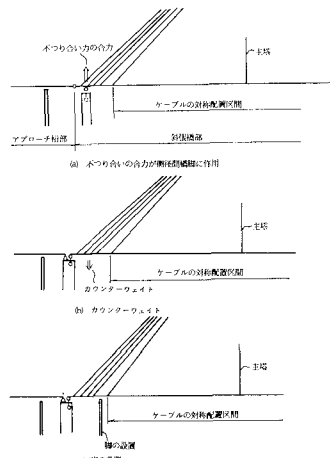


図4 主塔を軸力部材にする構造形式

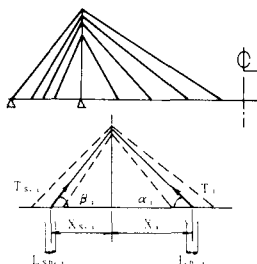


図5 ケーブル配置を任意とするケース

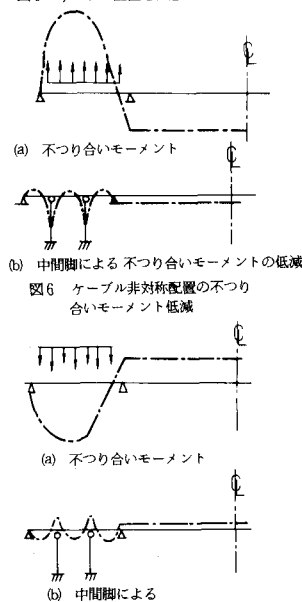


図6 ケーブル非対称配置の不釣り合いモーメント低減

図7 複合斜張橋の不釣り合いモーメント低減