

(108) 大偏心外ケーブルP C桁の構造諸元に及ぼすスパンの影響

日本大学	大学院	正会員	○井戸 功誠
同	上	正会員	河野 弘来
住友建設(株)	技術研究所	正会員	藤田 学
日本大学	理工学部	正会員	山崎 淳

1. はじめに—目的と方法

大偏心外ケーブルP C桁にはいくつかの形式があり、力学性能の要求に過不足のない設計をした場合の構造諸元がどのようなものかを考察することを目的とする。3スパン箱桁連続梁のモノケーブル自碇式P C吊橋の中央スパン長を120,180,270mとした場合の可能な形状、即ちケーブルサグ、桁断面を道路橋を想定して比較・検討した。

力学性能の要求値として、コンクリートの許容応力度は、通常のプレストレストコンクリートに対する値を用い、ケーブル張力の死荷重の値に対する値を基準とした場合、活荷重による変動率は、通常の桁橋の場合より大きく10%までを許容することとした。

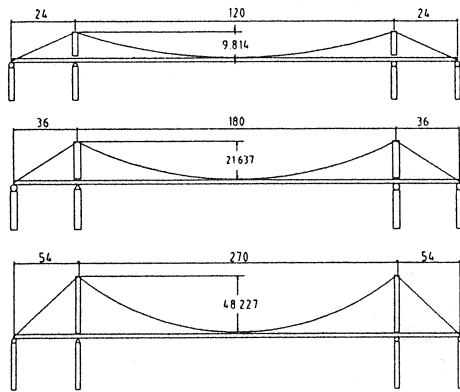


図-1 側面図

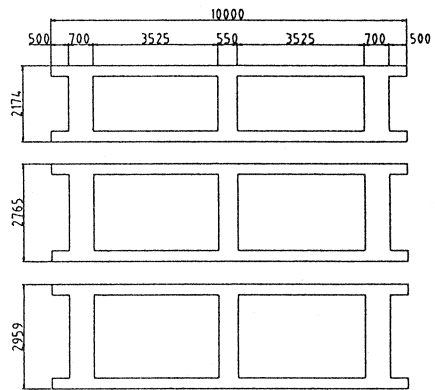


図-2 断面

2. 設計条件

この設計では活荷重の変動によるたわみが、必ず限界値に達するようにした。

以下の設計条件を設定した

- (1)道路橋の活荷重に対するたわみをスパン長の1/1000とする。
- (2)コンクリートの圧縮に対する許容応力度は、100 kgf/cm²とする。
- (3)死荷重と活荷重の1/2に対してロードバランスとなるようにする。
(ロードバランスとは、桁に曲げが働かない状態である。)
- (4)ロードバランス時の桁の圧縮応力は50 kgf/cm²とする。
- (5)ロードバランスからの活荷重による桁の応力変動は、曲げ応力度とケーブル張力の変動によ

る軸応力の和で、圧縮による許容応力度の1/2 すなわち 50 kgf/cm² をこえないようにする。

(6) 全外ケーブル方式とし、桁はRCとする。

(7) 箱桁は、等桁高さ、等断面とし、上床版厚さは30cm、腹部厚さの合計は1.95mと仮定する。即ち、桁高さを決めると、断面積と断面係数も決まる。

3. 設計方法

既報[1]のように、中央スパンに全載荷したとき、桁とケーブルのたわみはスパン中央でのみ等しい値とした。桁は通常の梁のたわみ曲線とした。ケーブルは2次放物線の形状を維持すると仮定して荷重たわみ関係を計算した。(方法は巻末数値例“ケーブルのたわみとひずみの関係”に記述)

反復収束により、桁高さを変化させ、ロードバランスからのたわみがスパン長の1/2000となるときの桁とケーブルの耐荷力が、道路橋の活荷重の1/2に等しくなるときに設計が完了したと見なす。

設計方法は、スパン120mの場合について、試行により得られた桁高さを決定した以後の諸元の決定のためのながれを巻末に数値例として示した。

4. 設計結果

以上の方法で、今回は全スパンに共通に、表1の条件値を用いて設計を行った。結果は、表2に示されている、算出値・決定値となった。

図-1に、設計した各スパンの側面図を示す。これにより、スパン長により、ケーブルサグが大きくなっていることが明らかに分かる。

表1-条件値

幅員(m)	10
腹部厚さの合計(m)	1.95
上床版厚さ(m)	0.3
コンクリート圧縮許容応力度 σ_c (kgf/cm ²)	100
桁の弾性係数 E_c (kgf/cm ²)	280000
桁の単位体積重量(tf/m ³)	2.5
たわみ制限	1000
支点モーメント/全モーメント	0.588
スパンモーメント/全モーメント	0.412
ケーブル弾性係数 E_p (kgf/cm ²)	2000000
引張強度の設計用値 f_{pud} (kgf/cm ²)	19000
許容応力度 $0.6f_{pud}$ (kgf/cm ²)	11400
公称直径(mm)	15.2
1本当たりの公称断面積(cm ²)	1.387

表2-結果

形状(桁)			
スパン長(m)	120	180	270
桁高h(m)	2.174	2.765	2.959
スパン-桁高比	55.20	65.10	91.25
形状(ケーブル)			
ケーブルサグB(m)	9.814	21.637	48.227
スパン-サグ比	12.23	8.32	5.60
本数(本)	294	334	350
桁(形状)			
断面積(m ²)	9.069	10.222	10.600
断面係数Z(m ³)	5.471	7.818	8.641
断面2次モーメント(m ⁴)	5.946	10.808	12.784
ロードバランス状態			
設計活荷重 w_L (tf/m)	4.1	3.5	3.1
上向き力 $w_D + w_L/2$ (tf/m)	24.7	27.3	28.1
導入桁応力 σ_0 (kgf/cm ²)	50	50	50
導入ケーブル張力F(tf)	4529	5110	5299
変形後の値(ロードバランスより)			
たわみ δ (mm)	60	90	135
桁応力の変化(支点断面)			
曲げ応力度(kgf/cm ²)	24.3	20.6	14.7
軸応力度(kgf/cm ²)	12.9	17.5	21.9
曲げ+軸応力度(kgf/cm ²)	37.2	38.1	36.6
ケーブル			
張力変動率	2.58%	3.50%	4.39%
張力増加 ΔF (tf)	117.08	178.88	232.57
荷重分担割合			
桁分担割合	61.31%	38.68%	15.30%
ケーブル分担割合	38.69%	61.32%	84.70%

図-2に、同様に桁断面図を示す。スパン長が延びるにつれ、桁高が大きくなり、それは3mに近づいていく。

5. 考察

3つのスパン長に対して設計した結果、スパン長が及ぼすいくつかの特徴的な結果を得た。そこで、次にあげるものについて、より細かいデータを取り考察した。

(1)スパン長によるケーブルサグの変動

(図-3)

図-3は、スパン長70m~300mの範囲について、スパン長とケーブルサグの関係を示した。桁高を各スパンにおける最適なものとし、最小断面は、設計の条件と同じ値(上床版厚さ30cm,腹部厚さの合計1.95m)を用い、最大断面は、中実断面(矩形断面)を用いた。

結果は、ケーブルサグはスパン長に対して、線形に変形するのではなく放物線に変形すること、また、断面の大きさにあまり影響されないことが分かった。

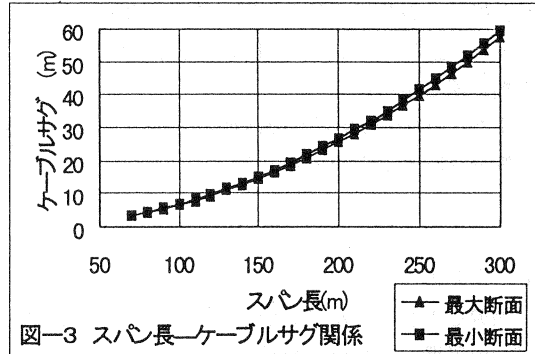


図-3 スパン長-ケーブルサグ関係

(2)スパンサグ比-張力変動率 (図-4)

図-4は、スパンサグ比の変化に対して、たわみがスパン長の1/2000となる時の張力増加を、ロードバランス時の張力に対する変動率として示した。

結果は、スパンサグ比が40~3.6付近までは3.6に近づくにつれて大きくなり、そこよりさらに小さくすると、また小さくなることが分かった。

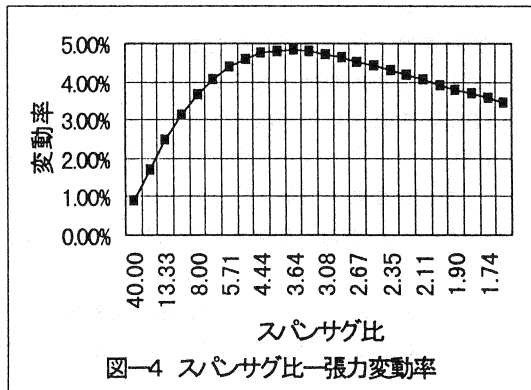


図-4 スパンサグ比-張力変動率

(3)スパン長-桁高 (図-5)

図-5は、今回の設計方法に基づいて、70~300mまでの範囲(10mごと)で設計した桁高を示した。

結果は、70mから300mにいく間に、桁高は約3mに近づくことがわかった。

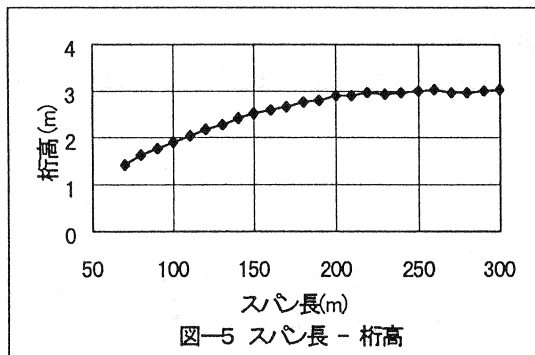


図-5 スパン長-桁高

(4) スパン長-活荷重分担割合

(図-6)

図-6は、図-5と同様にした。

結果は、スパンが長くなるにつれて、ケーブル分担割合が増え、ほとんどをケーブルが分担する斜張橋や吊橋と同じ結果になる。

逆に、短くなるにつれて桁分担割合が増え、桁橋と同じ結果になる。

また、150mのあたりで活荷重分担は、ほぼ等分されることがわかった。

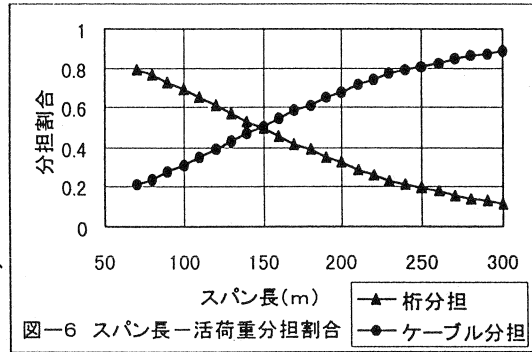


図-6 スパン長-活荷重分担割合

6. まとめ

大偏心外ケーブルPC桁の一つの形式である、モノケーブル自碇式PC吊橋の構造諸元に及ぼすスパンの影響として以下を得た。

- (1) スパンサグ比はスパンが長くなるにつれて大きくなる。
- (2) 桁高は、スパンが長くなるにつれて、3mに近づく。
- (3) ケーブル本数は、スパンが長くなるにつれて350本に近づく。
- (4) 活荷重の分担割合は、スパンが長くなるにつれ、ケーブル分担割合が大きくなる。
- (5) ロードバランスからのケーブル張力の変動率は5%をこえない。また、サグスパン比が約3.6のとき変動率は最大値となる。
- (6) ケーブル張力の死荷重の値に対する活荷重による変動率は、スパンごとに以下のようになった。

スパン	120m	180m	270m
変動率	5.06%	7.00%	8.78%

参考文献

既報[1]: 高原・山縣・藤田・山崎: 大偏心外ケーブルPC桁の設計の合理性, PC技術協会第6回シンポジウム論文集, 1996年10月, pp.427-432,

数値例

桁高の反復収縮による断面決定, ケーブルの決定, 耐荷力, 荷重分担割合。

スパン120mの場合。活荷重 $w_L=4.1 \text{ tf/m}$ 。たわみ $= \frac{120}{1000} = 0.012 \text{ m}$ 。

コンクリートの圧縮許容応力度 $\sigma_c=100 \text{ kgf/cm}^2$ 。

以下の検討は活荷重の1/2 (=2.05 tf/m)に対する諸値を考える。

$$(1) \text{ たわみ} : \delta = \frac{120}{2000} = 0.06 \text{ m}$$

桁高—反復収縮により決める。

(2) 桁高 h : 2.174 m (何回かの試行の後、2.174 m を得た。)

断面諸値

(3) 断面積 A_c : =9.069 m^2

(4) 桁自重 w_D : = $\gamma_C A_c$ = (2.5)(9.069) = 22.673 tf/m

(5) 断面二次モーメント I : =5.946 m^4

(6) 断面係数 Z : =5.471 m^3

ロードバランス

(7) 上向荷重 q : = $w_D + \frac{w_L}{2}$ = 22.673 + $\frac{4.1}{2}$ = 24.723 tf/m

(8) 桁応力 σ_0 : = $\frac{\sigma_a}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ kgf/cm}^2 = 500 \text{ tf/m}^2$

(9) プレストレス力 F : = $\sigma_0 A_c$ = (500)(9.069) = 4.535 tf

(10) ケーブルサグ B : = $\frac{q\ell^2}{8F} = \frac{(24.723)(120^2)}{(8)(4.535)} = 9.814 \text{ m}$

ケーブルのたわみとひずみの関係

サドルは水平方向に可動とする仮定とする。たわみとサドルの水平変位から、中央径間の弧長変化すなわちひずみ ϵ_L が求まる。サドルの水平変位の値を試行で与え、中央径間の弧のひずみ ϵ_L と側径間の直線部のひずみ ϵ_R を求める。両者が等しくなるようにサドルの水平変位の値を反復収束により求める。

サドルの水平変位 $u=4.024\text{mm}$ (数回の試行後得る), サグ 9.814 m, スパン 120 m のとき、たわみがスパンの $\frac{1}{2000}$ でひずみは

$$\text{弧のひずみ} : \epsilon_L = \frac{S - S_0}{S_0} = \frac{61.062321 - 61.053552}{61.053552} = 0.0001436$$

$$\text{直線部のひずみ} : \epsilon_R = \frac{u \times \cos \theta}{l_d} = \frac{4.024 \times \cos(22.24)}{25.929} = 0.0001436$$

ここで、 S_0, S : ロードバランス時, 変形後の弧長

l_d : ロードバランス時の直線部の長さ, θ : 桁と斜材とのなす角

変動応力 : $\Delta\sigma = E \times \epsilon_L = 2000000 \times 0.0001437 = 287.4 \text{ kgf/cm}^2$

初期導入応力 : = $0.6f_{\text{pu}} - \Delta\sigma = 11400 - 287.4 = 11112.6 \text{ kgf/cm}^2$

(11) ケーブルの応力変動率 (ロードバランスからの変動) : = $\frac{287.4}{11112.6} = 2.58\%$

(12) (D+L)時のケーブル張力 : $= (4535)(1+0.0258) = 4652 \text{ tf}$

(13) ケーブル上向き力 : $\frac{8FB'}{\ell^2}$

$$\text{(D+L)時} \quad \frac{(8)(4652)(9.814+0.06)}{(120)^2} = 25.52 \text{ tf/m}$$

$$\text{(D+L/2)時} \quad \frac{(8)(4535)(9.814)}{(120)^2} = 24.73 \text{ tf/m}$$

(14) ケーブル上向き力の増分

$$L/2 \text{ に対して} : 25.52 - 24.73 = 0.79 \text{ tf/m}$$

$$L \text{ に対して} : = 1.58 \text{ tf/m}$$

たわみ

$$E = (2.8)(10^6) \text{ tf/m}^2, I = 5.946 \text{ m}^4, \frac{\ell^4}{EI} = \frac{(1.2)^4(10^8)}{(2.8)(10^6)(5.946)} = 12.455$$

$$\text{たわみ } \delta = (0.294) \frac{5}{384} \frac{w\ell^4}{EI} = (0.294) \left(\frac{5}{384} \right) (12.455)w$$

$$\therefore \delta = (0.0477)w$$

(15) $\delta = 0.06\text{m}$ となるときの桁荷重 w は、

$$L/2 \text{ に対して} : w = \frac{0.06}{0.0477} = 1.26 \text{ tf/m}$$

$$L \text{ に対して} : = 2.52 \text{ tf/m}$$

桁とケーブルの荷重分担

(16) 桁の分担 2.52 tf/m

(17) ケーブル分担 1.58 tf/m

(18) 全体系の耐荷力 4.1 tf/m

活荷重 $w_L = 4.1 \text{ tf/m}$ に対し、1.00 \therefore 目標と一致

桁の曲げ応力のチェック (支承断面)

活荷重 = 1.26 tf/m

$$\text{支点モーメント} = (0.588)(1.26) \frac{(120)^2}{8} = 1.334 \text{ tf-m}$$

(19) 支点断面の曲げ応力度 = $\frac{1.334}{5.471} = 244 \text{ tf/m}^2 = 24.4 \text{ kgf/cm}^2$

$$\text{ケーブル張力増加による軸応力度} = \frac{4535 \times 0.0258}{9.069} = 12.9 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{合計} = 24.4 + 12.9 = 37.3 \text{ kgf/cm}^2$$

これは許容値 50 kgf/cm^2 の範囲内であり、 12.7 kgf/cm^2 余裕がある。桁のたわみは限界値であるが、応力に対しては少し余裕があることが示されている。