

5. 鋼斜張橋・エクストラード橋のケーブル安全率

目 次

5.1	はじめに	5- 1
5.2	ケーブル安全率の検討要領	5- 1
5.2.1	終局限界状態の検討要領	5- 1
5.2.2	疲労限界状態の検討要領	5- 2
5.3	鋼斜張橋のケーブル安全率の検討	5- 3
5.3.1	検討モデル	5- 3
5.3.2	終局限界状態の検討	5- 6
5.3.3	終局限界状態の検討結果	5- 6
5.3.4	疲労限界状態の検討	5- 9
5.3.5	疲労限界状態の検討結果	5- 9
5.4	エクストラード橋のケーブル安全率の検討	5-11
5.4.1	検討モデル	5-11
5.4.2	終局限界状態の検討	5-14
5.4.3	終局限界状態の検討結果	5-14
5.4.4	疲労限界状態の検討	5-17
5.4.5	疲労限界状態の検討結果	5-17
5.5	まとめ	5-20
5.6	添付資料	5-21
5.6.1	エクストラード橋のケーブル設計法の概要	5-21
5.6.2	鋼斜張橋モデル添付資料	5-22
5.6.3	エクストラード橋添付資料	5-31

5.1 はじめに

鋼斜張橋の場合、道路橋示方書(以下、道示)Ⅱにしたがってケーブルの安全率を 2.5 として設計している。一方、PC 斜張橋においても道示Ⅲから斜材の安全率を 2.5 としているが、エクストラドーズド橋(以下、ED 橋)の場合には、斜材を桁外ケーブルとして扱い、道示Ⅲの外ケーブル構造に準じて許容値を $0.6 f_{pu}$ 、すなわちケーブルの引張強度に対する安全率として 1.67 を採用している。また、文献 1) では PC 斜張橋と ED 橋の両者を明確に区分しないで、活荷重による変動応力に応じて斜材の安全率を $0.4 f_{pu} \sim 0.6 f_{pu}$ の間で設定することを提案している。

このように鋼、PC という違いはあるものの、鋼斜張橋、ED 橋は同じような吊り形式橋梁でありながら現状ではケーブル安全率の設定が異なっている。

本検討では、同規模の鋼斜張橋、ED 橋を対象とした検討モデルを設定し、これらのケーブル部材の終局限界状態および疲労限界状態に対するケーススタディを実施して、両橋のケーブル安全率について考察する。

5.2 ケーブル安全率の検討要領

5.2.1 終局限界状態の検討要領

文献 2) では、吊り形式橋梁を対象とした橋梁ケーブルの限界状態設計法について提案しており、その中で終局限界状態に関する設計法を提示している。本検討では、この設計法に基づいて鋼斜張橋、ED 橋の終局限界状態に対するケーブル安全率を照査するものとし、以下にこの設計法の概要について示す。

(1) 照査基本式

ケーブルの終局限界状態の照査基本式は次式とする。

$$\Sigma(\nu_i P_i) \leq N_u \quad (5.1)$$

$$N_u = F_u A_n \quad (5.2)$$

ここに、

ν_i : 終局限界に対する荷重係数	P_i : 設計荷重
N_u : ケーブルの設計強度	F_u : 設計基準強度
A_n : ケーブルの設計断面積	

(2) 終局設計荷重

終局限界状態に対するケーブルの設計荷重は次式とする。

$$\text{鋼斜張橋} : \nu_1(D+PS) + \nu_2(L+I) \quad (5.3a)$$

$$\text{ED 橋} : \nu_1(D+PS) + \nu_2(L+I) + \nu_3 D' \quad (5.3b)$$

ここに、

D : 死荷重	PS : ケーブルプレストレス	D' : D, PS 以外の永久荷重
L : 活荷重	I : 衝撃	

また、 ν_1 および ν_2 は式(5.1)に示す荷重係数であり、文献 2) においては $\nu_1=1.3$ 、 $\nu_2=2.5$ を採用している。本検討では、これに加えて $\nu_1=1.7$ 、 $\nu_2=1.7$ とした設計荷重についても検討する。これら 2 つ

の荷重係数は、道示Ⅲに示される終局荷重作用時の照査式の係数に相当する。なお、ED橋の場合、式(5.3a)に示す設計荷重の他に桁内ケーブルプレストレスやクリープ・乾燥収縮などの永久荷重が作用するが、これらの荷重係数は $\gamma_3=1.0$ として付加した式(5.3b)を採用する。

(3) 設計基準強度

設計基準強度は、3種類の降伏強度に対応した降伏相当強度の最小値として定義した降伏強度に対して、ケーブルの種類、施工法、防食、形状を考慮した安全係数を用いて設定する。

まず、ケーブルの降伏強度を次のように定義する。

$$F_y = \min(F_1, F_2, F_3) \quad (5.4)$$

ここに、

F_y : ケーブルの設計基準強度

F_1 : 0.2%残留ひずみに対する耐力

F_2 : 0.7%全伸びに相当する耐力

F_3 : $0.85 F_t$ (F_t は素線の引張強度)

そして、ケーブルの設計基準強度は次式とする。

$$F_u = F_y / (\phi_1 \phi_2 \phi_3 \phi_4) \quad (5.5)$$

ここに、

F_u : ケーブルの設計基準強度

また、 $\phi_1 \sim \phi_4$ は表-5.2.1 に示す安全係数である。

表-5.2.1 ケーブルの設計基準強度に影響する安全係数

ϕ_1	ケーブルの種類	平行線ケーブル :1.05
		スパイラルケーブル:1.10
		ストランドケーブル:1.15
		CFRCケーブル :1.20
ϕ_2	ケーブルの施工	工場製作:1.00, 現場製作:1.05
ϕ_3	ケーブルの防食	工場防食:1.00, 現場防食:1.10
ϕ_4	ケーブルの形状	直線 :1.00, 曲線 :1.20

5.2.2 疲労限界状態の検討要領

ケーブルの疲労限界状態については、鋼斜張橋、ED橋ともに文献 3) および 4) に準じて照査する。疲労設計活荷重によるケーブルの変動応力は、検討モデルのケーブル影響線を用いて、各車線ごとに荷重載荷して得られた断面力から算出する。そして、式(5.6)に示すように、この変動応力と文献 3) に示される一定振幅応力の打ち切り限界との比較を、疲労限界状態の基本照査式とする。一定振幅応力の打ち切り限界値についてはケーブルの平均応力の影響を考慮するが、文献 3) にはケーブル部材に関する平均応力の影響値 CR が示されていないため、文献 4) に示される式(5.7)を採用した。

$$\Delta \sigma_{\max} \leq \Delta \sigma_{ce} \cdot CR \quad (5.6)$$

$$CR = (1 - R) / (1 - 0.9R) \quad R : \text{応力比} \quad (5.7)$$

ここに、

$\Delta \sigma_{\max}$: 各車線ごとの疲労設計活荷重によりケーブルに生じる最大応力範囲

$\Delta \sigma_{ce}$: ケーブルの一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界

CR : ケーブルの平均応力の影響値

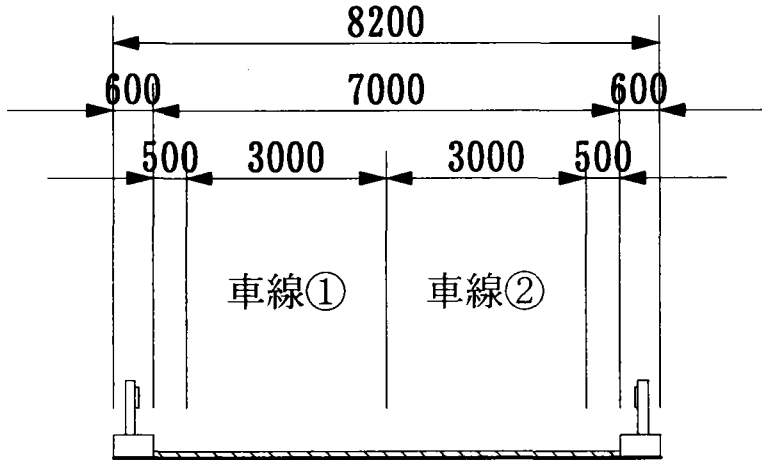
5.3 鋼斜張橋のケーブル安全率の検討

5.3.1 検討モデル

検討モデルは平面骨組モデルとし、プロポーシヨンとケーブル配置は、支間長 100.0m+205.0m+100.0m、主塔高さ 44.0m のマルチケーブル形式 (片側 8 段×2 面吊り) とした。幅員については対面交通 2 車線からなる幅員構成 (有効幅員=7.0m) を設定し、主桁形式は鋼床版箱桁 (I-BOX)、主塔形状は 2 本柱形式 (H 形) の鋼製箱断面とした。また、ケーブルはプレファブ型 (工場製作) の準平行線ケーブルとした。なお、検討に用いる断面力は線形解析により算出し、架設系の影響やケーブルのサグによるヤング係数の低減は考慮していない。

鋼斜張橋モデルの構造諸元、検討モデルを表-5.3.1 および図-5.3.1~5.3.4 に示す。

表-5.3.1 鋼斜張橋：構造諸元

プロポーシヨン	支間長；100.0m+205.0m+100.0m、主塔高さ；44.0m
ケーブル配置	マルチケーブル形式 (ファン型)、片側 8 段×2 面吊り
部材諸元	ヤング係数 ; 主桁&主塔: $E=2.00 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ケーブル ; $E=1.95 \times 10^5 \text{N/mm}^2$
	主桁断面① ; $A=0.330\text{m}^2$, $I=0.384\text{m}^4$ ② ; $A=0.383\text{m}^2$, $I=0.463\text{m}^4$ ③ ; $A=0.351\text{m}^2$, $I=0.414\text{m}^4$
	主塔断面① ; $A=0.446\text{m}^2$, $I=0.282\text{m}^4$ ② ; $A=0.556\text{m}^2$, $I=0.552\text{m}^4$ ③ ; $A=0.922\text{m}^2$, $I=1.302\text{m}^4$
	ケーブル断面① ; $A=0.007004\text{m}^2/2$ 面 ② ; $A=0.004696\text{m}^2/2$ 面 ③ ; $A=0.004234\text{m}^2/2$ 面 ④ ; $A=0.002848\text{m}^2/2$ 面
支点条件	主桁橋軸方向 ; A1:FREE P1:FIX P2:FIX A2:FREE 主塔回転 ; P1:FIX P2:FIX
荷重	主桁鋼重 ; 45kN/m 主塔鋼重 ; 70kN/m/塔 橋面荷重 ; 28.04kN/m (舗装, 地覆, 高欄を考慮) ケーブル自重 (2 面分) ; 572N/m, 388N/m, 350N/m, 238N/m B 活荷重 ; p1 荷重は 10.0kN/m^2 ; p2 荷重の主載荷 (側径間は 3.30kN/m^2 , 中央径間は 3.00kN/m^2) ; 衝撃 (ケーブルの衝撃係数は全て $i=0.133$ とした)
幅員構成	
注記:	1) 解析は、平面骨組モデルによる線形解析とする。 2) ケーブルのサグによるヤング係数の低減は考慮ない。 3) ケーブルの衝撃係数は、側径間長 $L=100.0\text{m}$ を用いて、全て $i=20/(50+L)$ で設定している。

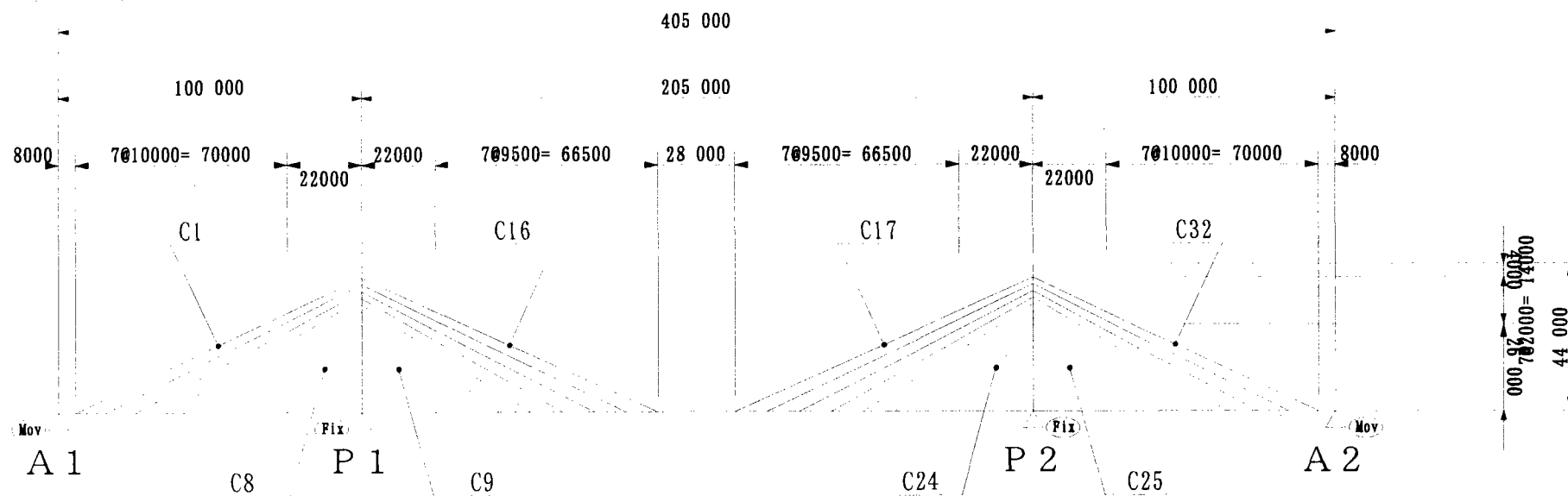
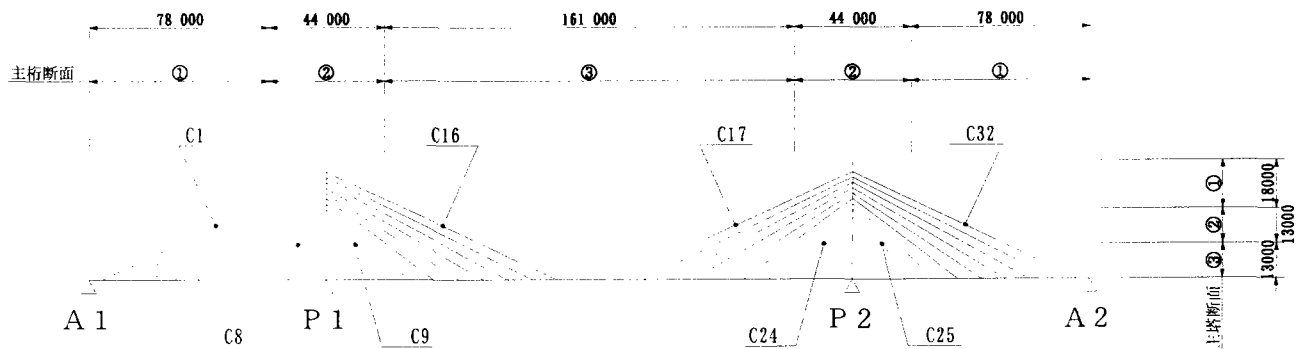
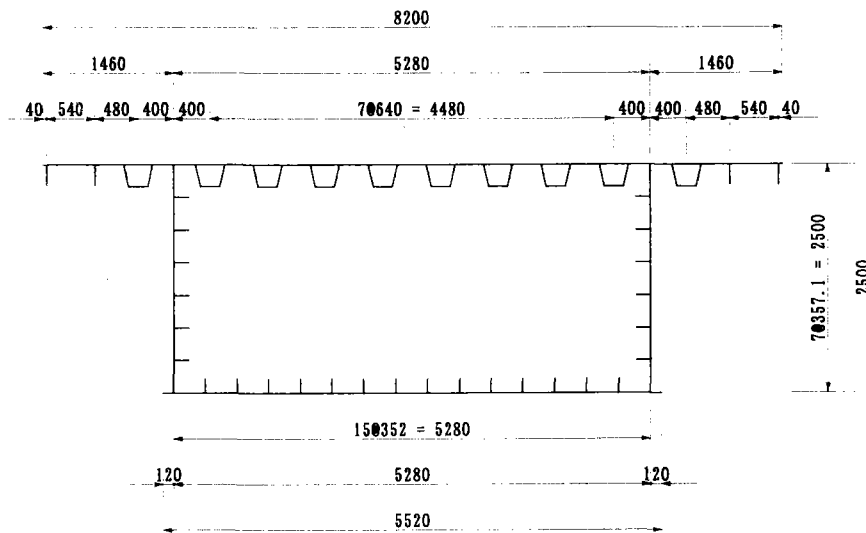


図-5.3.1 鋼斜張橋：検討モデル



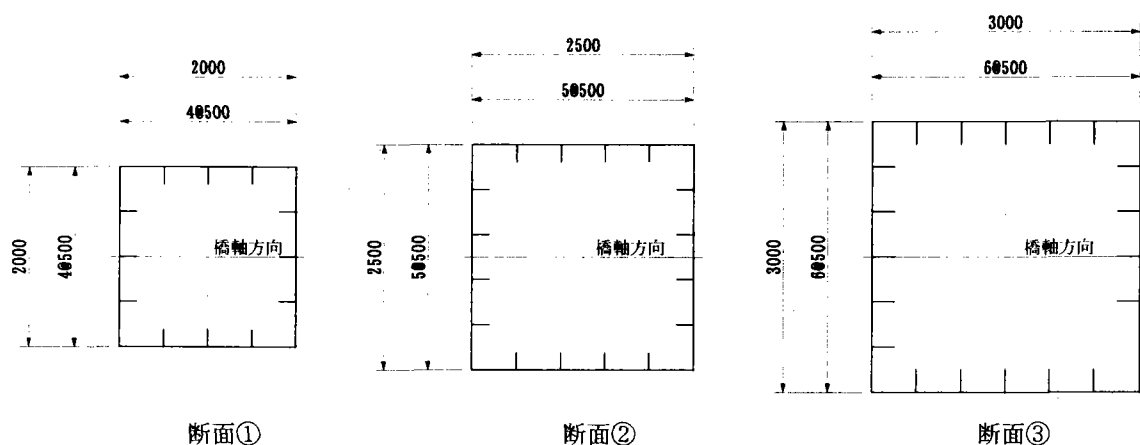
ケーブル	断面①	C1, C16, C17, C32
	断面②	C13, C20
	断面③	C4, C29
	断面④	上記以外

図-5.3.2 鋼斜張橋：部材断面番号



主桁	種別	部材断面	材質
断面①	鋼床版	1-DECK. PL 8200×12	SM490Y
		10-U. RIB 320×240×6	
		4-RIB. PL 220×22	
	腹板	2-WEB. PL 2500×10	
		1-FLG. PL 5520×10	
		14-RIB. PL 160×16	
断面②	鋼床版	1-DECK. PL 8200×12	SM490Y
		10-U. RIB 320×240×6	
		4-RIB. PL 220×22	
	腹板	2-WEB. PL 2500×14	
		1-FLG. PL 5520×16	
		14-RIB. PL 160×16	
断面③	鋼床版	1-DECK. PL 8200×12	SM490Y
		10-U. RIB 320×240×6	
		4-RIB. PL 220×22	
	腹板	2-WEB. PL 2500×12	
		1-FLG. PL 5520×12	
		14-RIB. PL 160×16	

図-5.3.3 鋼斜張：主桁断面



主塔	種別	部材断面	材質
断面①	フランジ	2-FLG. PL 2000×22	SM490Y
		6-RIB. PL 190×19	
	腹板	2-WEB. PL 2000×22	
		6-RIB. PL 190×19	
断面②	フランジ	2-FLG. PL 2500×22	SM490Y
		8-RIB. PL 190×19	
	腹板	2-WEB. PL 2500×22	
		8-RIB. PL 190×19	
断面③	フランジ	2-FLG. PL 3000×28	SM490Y
		10-RIB. PL 250×25	
	腹板	2-WEB. PL 3000×28	
		10-RIB. PL 250×25	

図-5.3.4 鋼斜張橋：主塔断面

5.3.2 終局限界状態の検討

まず、検討モデルでの死荷重完成系(D+PS)および活荷重(L+I)の断面力を算定した。活荷重はB活荷重とし、衝撃係数は道示Ⅰの鋼橋に対する適用式により算出しているが、このときの支間長は側径間長(=100.0m)を採用し、全てのケーブルについて同じ値とした。また、検討モデルのケーブル断面は、常時荷重による最大断面力に対して安全率が2.50程度となるように設定した。その結果、本検討モデルにおける各ケーブルの安全率は2.41~2.63となっている(5.6添付資料の表-5.6.1参照)。なお、PSについては、死荷重完成系で主桁曲げモーメントをできるだけ均等化し、主塔基部曲げモーメントを生じさせないという条件で設定している。

次に、5.2.1で述べた検討要領にしたがってケーブルの終局限界状態を検討した。終局設計荷重に対応した作用断面力は、上記解析から得られた断面力に荷重係数を乗じて算出した。照査式(5.1)において、この作用断面力の比較対象となるケーブル設計強度は、ケーブル安全率 α を変化させた2.20, 2.30, 2.40, 2.50の4ケースとした。このとき、各ケースのケーブル設計強度を算出するときのケーブル断面積 A_n は、ケーブル切断荷重(=平面骨組解析による最大断面力×安全率)をケーブル引張強度 F_t で除した値とした。ケーブルはプレファブ型準平行線ケーブル(引張強度 $F_t=1570\text{N/mm}^2$)であり、降伏相当強度 F_y は0.7%全伸びに対応する耐力から $F_y=1160\text{N/mm}^2$ となる。さらに、設計基準強度を決定するための安全係数は、 $\phi 1=1.05$ (準平行線ケーブル)、 $\phi 2=1.00$ (工場製作)、 $\phi 3=1.00$ (工場防食)、 $\phi 4=1.00$ (直線)であり、これらを考慮して設計基準強度は $F_u=1105\text{N/mm}^2$ となる。

検討対象とするケーブルは全橋の半分に相当するケーブル番号C1~C16とした。

5.3.3 終局限界状態の検討結果

検討結果を表-5.3.2と表-5.3.3(A),(B)に示す。表-5.3.2は、ケーブル設計強度を安全率 $\alpha=2.20$ とした設定したときのケーブル番号C1に着目した終局限界照査例を示しており、荷重係数 $\nu_1=1.3$ 、 $\nu_2=2.5$

の場合を CASE-A, $\nu_1=1.7$, $\nu_2=1.7$ の場合を CASE-B としている. 表-5.3.3(A)は終局荷重による作用断面力を示しており, 表-5.3.3(B)は各々 $\alpha=2.20\sim 2.50$ に対するケーブルの設計強度と式(5.1)の判定結果を一覧表の書式で表している.

CASE-A の場合, 安全率 α が 2.30 で式(5.1)を満足するケーブルがあるが, 最終的には $\alpha=2.50$ のケースで全てのケーブル設計強度が終局断面力を上回った. また, CASE-B の場合, α が 2.50 未満では式(5.1)をどのケーブルも満足しておらず, CASE-A と同様に全てのケーブル設計強度が $\alpha=2.50$ で終局断面力を上回る結果となった.

表-5.3.2 鋼斜張橋：終局限界状態の照査例

ケーブルの設計強度を安全率 $\alpha=2.20$ として設定し, ケーブルC1に着目した場合の検討	
ケーブル設計強度算出用のケーブル断面積の設定 (作用断面力に対して安全率を $\alpha=2.20$ とした場合)	1) ケーブル種類: プレファブ型準平行線ケーブル 2) ケーブル引張強度: $F_t = 1570\text{N/mm}^2$ 3) D+PS+L+I のケーブル断面力 D+PS : $P_1 = 3314\text{kN}$ L+I : $P_2 = 1245\text{kN}$ ΣP_i : $P_3 = 4559\text{kN}$ 4) ケーブル切断荷重: $T_u = N_3 \times \alpha$ $T_u = 4559 \times 2.20 = 10030\text{kN}$ 5) ケーブル断面積: 設計断面積 $A_n = T_u / F_t$ $A_n = 10030 \times 10^3 / 1570 = 6389\text{mm}^2$
ケーブルの降伏相当強度	降伏相当強度: $F_y = \min(F_1, F_2, F_3) \rightarrow F_y = F_2 = 1160\text{N/mm}^2$ ・ F_1 : 0.2% 残留伸びに対応する耐力 ・ F_2 : 0.7% 全伸びに対応する耐力 ・ F_3 : $0.85F_t$ (F_t はケーブルの引張強度)
ケーブルの設計基準強度	設計基準強度 F_u : $F_u = F_y / (\phi_1 \phi_2 \phi_3 \phi_4)$ $\rightarrow F_u = 1160 / 1.05 / 1.00 / 1.00 / 1.00 = 1105\text{N/mm}^2$ ϕ_1 : ケーブルの種類に関する安全係数 平行線, 準平行線ケーブル: 1.05 スパイラルケーブル: 1.10 ストランドケーブル: 1.15 CFRC ケーブル: 1.20 ϕ_2 : ケーブルの施工に関する安全係数 (工場製作: 1.00, 現場製作: 1.05) ϕ_3 : ケーブルの防食に関する安全係数 (工場防食: 1.00, 現場防食: 1.10) ϕ_4 : ケーブルが曲げられる場合の安全係数 (直線: 1.00, 曲線: 1.20)
CASE-A $\nu_1 = 1.3$ $\nu_2 = 2.5$	検討要領 1) 照査基本式: $\Sigma(\nu_i P_i) \leq N_u$ ・ P_i : 設計荷重 $\rightarrow P_1 = D+PS, P_2 = L+I$ ・ ν_i : 終局限界状態に対する荷重係数 $D+PS \rightarrow \nu_1 = 1.3, L+I \rightarrow \nu_2 = 2.5$ ・ N_u : ケーブル部材の設計強度 $N_u = F_u \times A_n$ 2) 終局設計荷重: $1.3 \times (D+PS) + 2.5 \times (L+I)$
	検討結果 1) 終局荷重での作用断面力 $1.3 \times (D+PS)$: $N_1 = 4308\text{kN}$ $2.5 \times (L+I)$: $N_2 = 3313\text{kN}$ $\Sigma(\nu_i P_i)$: $N_3 = 7621\text{kN}$ 2) ケーブル設計強度 $N_u = F_u \times A_n = 1105 \times 6389 / 10^3 = 7060\text{kN}$ 3) 検討結果 $\Sigma(\nu_i P_i) = 7621\text{kN} \geq N_u = 7060\text{kN} \leftarrow \text{OUT}$
CASE-B $\nu_1 = 1.7$ $\nu_2 = 1.7$	検討要領 1) 照査基本式: $\Sigma(\nu_i P_i) \leq N_u$ ・ P_i : 設計荷重 $\rightarrow P_1 = D+PS, P_2 = L+I$ ・ ν_i : 終局限界状態に対する荷重係数 $D+PS \rightarrow \nu_1 = 1.7, L+I \rightarrow \nu_2 = 1.7$ ・ N_u : ケーブル部材の設計強度 $N_u = F_u \times A_n$ 2) 終局設計荷重: $1.7 \times (D+PS) + 1.7 \times (L+I)$
	検討結果 1) 終局荷重での作用断面力 $1.7 \times (D+PS)$: $N_1 = 5634\text{kN}$ $1.7 \times (L+I)$: $N_2 = 2117\text{kN}$ $\Sigma(\nu_i P_i)$: $N_3 = 7751\text{kN}$ 2) ケーブル設計強度 $N_u = F_u \times A_n = 1105 \times 6389 / 10^3 = 7060\text{kN}$ 3) 検討結果 $\Sigma(\nu_i P_i) = 7751\text{kN} \geq N_u = 7060\text{kN} \leftarrow \text{OUT}$

表-5.3.3(A) 鋼斜張橋：終局限界状態の検討結果（終局時の作用断面力）

ケーブル 番号	引張強度 F _t (N/mm ²)	基準強度 F _u (N/mm ²)	常時の断面力 (kN)			CASE-A				CASE-B			
			D+PS	L+I	ΣP _i	終局時の断面力 (kN)			換算 安全率 β	終局時の断面力 (kN)			換算 安全率 β
						1.3(D+PS)	2.5(L+I)	Σ(ν _i P _i)		1.7(D+PS)	1.7(L+I)	Σ(ν _i P _i)	
C1	1570	1105	3314	1245	4559	4308	3113	7421	2.31	5634	2117	7750	2.42
C2			1351	416	1767	1756	1040	2796	2.25	2297	707	3004	2.42
C3			1320	381	1701	1716	953	2669	2.23	2244	648	2892	2.42
C4			1955	640	2595	2542	1600	4142	2.27	3324	1088	4412	2.42
C5			1212	488	1700	1576	1220	2796	2.34	2060	830	2890	2.42
C6			1185	542	1727	1541	1355	2896	2.38	2015	921	2936	2.42
C7			1158	616	1774	1505	1540	3045	2.44	1969	1047	3016	2.42
C8			1139	632	1771	1481	1580	3061	2.46	1936	1074	3011	2.42
C9			1138	606	1744	1479	1515	2994	2.44	1935	1030	2965	2.42
C10			1166	614	1780	1516	1535	3051	2.44	1982	1044	3026	2.42
C11			1196	591	1787	1555	1478	3032	2.41	2033	1005	3038	2.42
C12			1221	556	1777	1587	1390	2977	2.38	2076	945	3021	2.42
C13			1971	867	2838	2562	2168	4730	2.37	3351	1474	4825	2.42
C14			1329	501	1830	1728	1253	2980	2.31	2259	852	3111	2.42
C15			1360	469	1829	1768	1173	2941	2.28	2312	797	3109	2.42
C16			3335	1079	4414	4336	2698	7033	2.26	5670	1834	7504	2.42

注記：換算安全率 β は、許容応力度法に相当するケーブルの引張強度に対する安全率に換算した値であり、次式で計算した。

$$\beta = F_t \cdot \Sigma(\nu_i P_i) / (F_u \cdot \Sigma P_i)$$

設定安全率 α が換算安全率 β を上回れば、終局限界の照査式 (5.3a) を満足することになる。

表-5.3.3(B) 鋼斜張橋：終局限界状態の検討結果（設計基準強度と判定）

ケーブル 番号	安全率 α	切断荷重 T _u (kN)	設計断面積 A _n (mm ²)	設計強度 N _u (kN)	CASE-A		CASE-B		安全率 α	切断荷重 T _u (kN)	設計断面積 A _n (mm ²)	設計強度 N _u (kN)	CASE-A		CASE-B	
					比率	判定	比率	判定					比率	判定	比率	判定
C1	2.20	10030	6388	7059	0.951	OUT	0.911	OUT	2.30	10486	6679	7380	0.995	OUT	0.952	OUT
C2		3887	2476	2736	0.978	OUT	0.911	OUT		4064	2589	2860	1.023	OK	0.952	OUT
C3		3742	2384	2634	0.987	OUT	0.911	OUT		3912	2492	2754	1.032	OK	0.952	OUT
C4		5709	3636	4018	0.970	OUT	0.911	OUT		5969	3802	4201	1.014	OK	0.952	OUT
C5		3740	2382	2632	0.942	OUT	0.911	OUT		3910	2490	2752	0.984	OUT	0.952	OUT
C6		3799	2420	2674	0.924	OUT	0.911	OUT		3972	2530	2796	0.966	OUT	0.952	OUT
C7		3903	2486	2747	0.902	OUT	0.911	OUT		4080	2599	2872	0.943	OUT	0.952	OUT
C8		3896	2482	2742	0.896	OUT	0.911	OUT		4073	2594	2867	0.937	OUT	0.952	OUT
C9		3837	2444	2700	0.902	OUT	0.911	OUT		4011	2555	2823	0.943	OUT	0.952	OUT
C10		3916	2494	2756	0.903	OUT	0.911	OUT		4094	2608	2881	0.944	OUT	0.952	OUT
C11		3931	2504	2767	0.913	OUT	0.911	OUT		4110	2618	2893	0.954	OUT	0.952	OUT
C12		3909	2490	2752	0.924	OUT	0.911	OUT		4087	2603	2877	0.966	OUT	0.952	OUT
C13		6244	3977	4394	0.929	OUT	0.911	OUT		6527	4158	4594	0.971	OUT	0.952	OUT
C14		4026	2564	2834	0.951	OUT	0.911	OUT		4209	2681	2962	0.994	OUT	0.952	OUT
C15		4024	2563	2832	0.963	OUT	0.911	OUT		4207	2679	2961	1.007	OK	0.952	OUT
C16		9711	6185	6835	0.972	OUT	0.911	OUT		10152	6466	7145	1.016	OK	0.952	OUT
ケーブル 番号	安全率 α	切断荷重 T _u (kN)	設計断面積 A _n (mm ²)	設計強度 N _u (kN)	CASE-A		CASE-B		安全率 α	切断荷重 T _u (kN)	設計断面積 A _n (mm ²)	設計強度 N _u (kN)	CASE-A		CASE-B	
					比率	判定	比率	判定					比率	判定	比率	判定
C1	2.40	10942	6969	7701	1.038	OK	0.994	OUT	2.50	11398	7260	8022	1.081	OK	1.035	OK
C2		4241	2701	2985	1.067	OK	0.994	OUT		4418	2814	3109	1.112	OK	1.035	OK
C3		4082	2600	2873	1.077	OK	0.994	OUT		4253	2709	2993	1.122	OK	1.035	OK
C4		6228	3967	4383	1.058	OK	0.994	OUT		6488	4132	4566	1.103	OK	1.035	OK
C5		4080	2599	2872	1.027	OK	0.994	OUT		4250	2707	2991	1.070	OK	1.035	OK
C6		4145	2640	2917	1.007	OK	0.994	OUT		4318	2750	3039	1.049	OK	1.035	OK
C7		4258	2712	2997	0.984	OUT	0.994	OUT		4435	2825	3121	1.025	OK	1.035	OK
C8		4250	2707	2992	0.977	OUT	0.994	OUT		4428	2820	3116	1.018	OK	1.035	OK
C9		4186	2666	2946	0.984	OUT	0.994	OUT		4360	2777	3069	1.025	OK	1.035	OK
C10		4272	2721	3007	0.986	OUT	0.994	OUT		4450	2834	3132	1.027	OK	1.035	OK
C11		4289	2732	3019	0.995	OUT	0.994	OUT		4468	2846	3144	1.037	OK	1.035	OK
C12		4265	2716	3002	1.008	OK	0.994	OUT		4443	2830	3127	1.050	OK	1.035	OK
C13		6811	4338	4794	1.014	OK	0.994	OUT		7095	4519	4994	1.056	OK	1.035	OK
C14		4392	2797	3091	1.037	OK	0.994	OUT		4575	2914	3220	1.080	OK	1.035	OK
C15		4390	2796	3089	1.051	OK	0.994	OUT		4573	2912	3218	1.094	OK	1.035	OK
C16		10594	6748	7456	1.060	OK	0.994	OUT		11035	7029	7767	1.104	OK	1.035	OK

注記：「比率」は、N_u/Σ(ν_iP_i)を示す。なお、Σ(ν_iP_i)は表-5.3.3(A)を参照。

5.3.4 疲労限界状態の検討

まず、検討モデルのケーブル部材の影響線を利用して、疲労設計活荷重による断面力を算出した。次に、検討モデルでの死荷重完成系(D+PS)の断面力と組み合わせて、ケーブル部材に生じる応力比Rおよび平均応力の影響値CRを算出した。そして、各車線ごとに式(5.6)を適用して、疲労設計活荷重による最大振幅応力と一定振幅応力の打ち切り限界を比較した。なお、振幅応力を算出するときのケーブル断面積は、終局限界状態の検討におけるケーブル設計強度を安全率 $\alpha=2.20$ とした場合の断面積 $A_n \times 1/2$ を用いた。ここで、 A_n を1/2倍としたのは、終局限界でのケーブル断面積 A_n は2面分の値であるが、疲労限界状態の検討ではケーブル1本分の振幅応力を用いるためである。また、疲労設計活荷重は各車線①、②の中央に載荷するが、検討モデルが平面モデルであることから、本検討では活荷重の車線位置によるケーブル断面力の補正係数 k_f を導入し、活荷重の載荷車線位置による影響を考慮した。ケーブルの疲労強度等級については、文献3)より平行線ケーブル(新定着法)として強度等級K1を採用した。

本検討における疲労限界状態の検討条件を表-5.3.4に示す。また、検討モデルのケーブルC1～C16の影響線を5.6添付資料の図-5.6.9～5.6.12に示す。

5.3.5 疲労限界状態の検討結果

表-5.3.5に各ケーブルの平均応力の影響値CRを示す。また、疲労限界状態の照査結果(一定振幅応力に対する照査)を表-5.3.6に示す。本検討では、終局限界の検討で安全率を $\alpha=2.20$ で設定したケーブル断面積で振幅応力を算出したが、疲労設計活荷重に対するケーブルの発生応力は、全てのケーブルC1～C16において一定振幅応力の打ち切り限界値以下となった。

表-5.3.4 鋼斜張橋：疲労限界状態の検討条件

疲労設計活荷重	T-20とする(P20 = 200kN)。
活荷重補正係数	$\gamma_T = \gamma_{T1} \times \gamma_{T2} = 3.00 \times 1.00 = 3.00$ ・最大縦距を有する影響線の基線長：LB1 ・T荷重補正係数： γ_{T1} $\gamma_{T1} = \log(LB1) + 1.50$ ただし、 $2.00 \leq \gamma_{T1} \leq 3.00$ ※本橋のケーブル部材の場合、全てのケーブルで $\gamma_{T1}=3.00$ となる。 ・同時載荷係数： $\gamma_{T2} = 1.00$ (正負交番)
衝撃係数	$i_f = 10 / (50 + \text{支間長}) = 10 / (50 + 100.0) = 0.067$ ※衝撃係数算出時の支間長は、側径間長を使用。
構造解析係数	$\gamma_a = 1.00$
載荷活荷重強度	$P_f = P20 \times \gamma_T \times (1 + i_f) \times \gamma_a$ $= 200\text{kN} \times 3.00 \times (1 + 0.067) \times 1.00$ $= 640.2\text{kN}$
車線位置による断面力の補正係数： k_f	道路中心位置を0.5として、幅員全体に対する各車線中央での位置に応じて活荷重断面力を補正する。 車線①： $5600/8200 = 0.683$ 車線②： $2600/8200 = 0.317$
平均応力の影響CR	上記の載荷活荷重強度 P_f および車線位置による断面力の補正係数(車線①、②)を考慮して、平均応力の影響CRを算出する。 ・応力比： $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ ・ $CR = (1 - R) / (1 - 0.9 \times R)$
ケーブルの疲労強度等級	使用ケーブル：平行線ケーブル(新定着法) 強度等級：K1 (傾き $m=5$) ・ 2×10^6 回基本応力範囲 $\sigma_f = 270\text{N/mm}^2$ ・一定振幅応力打ち切り限界 $\sigma_{ce} = 270\text{N/mm}^2$ ・変動振幅応力打ち切り限界 $\sigma_{ve} = 170\text{N/mm}^2$

表-5.3.5 鋼斜張橋：平均応力比による影響

ケーブル番号	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8	
ケーブル	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
載荷車線	1657.0		675.5		660.0		977.5		606.0		592.5		579.0		569.5	
ケーブル D+PS	1657.0		675.5		660.0		977.5		606.0		592.5		579.0		569.5	
断面力	192.4		62.9		46.7		101.9		94.7		116.0		130.1		132.5	
(kN)/本	-98.9		-17.3		-6.2		-6.1		-4.0		-13.7		-28.5		-46.2	
L.max	1849.4		738.4		706.7		1079.4		700.7		708.5		709.1		702.0	
L.min	1538.1		658.2		653.8		971.4		602.0		578.8		550.5		523.3	
MAX	1538.1		658.2		653.8		971.4		602.0		578.8		550.5		523.3	
MIN	1538.1		658.2		653.8		971.4		602.0		578.8		550.5		523.3	
断面積(mm ²)/本	3194		1238		1192		1818		1191		1210		1243		1241	
ケーブル D+PS	518.8		545.6		553.7		537.7		508.8		489.7		465.8		458.9	
応力	60.2		50.8		39.2		56.1		79.5		95.8		104.7		106.8	
(N/mm ²)	-31.0		-14.0		-5.2		-3.3		-3.3		-11.4		-22.9		-37.3	
L.max	579.0		596.5		592.9		593.7		588.3		585.5		570.5		565.7	
L.min	487.8		531.6		548.5		534.3		505.5		478.3		442.9		421.6	
MAX	487.8		531.6		548.5		534.3		505.5		478.3		442.9		421.6	
MIN	487.8		531.6		548.5		534.3		505.5		478.3		442.9		421.6	
応力比R	0.8425		0.8913		0.9251		0.9000		0.8592		0.8169		0.7763		0.7454	
CR	0.651		0.549		0.447		0.526		0.621		0.691		0.742		0.774	

ケーブル番号	C9		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16	
ケーブル	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
載荷車線	569.0		583.0		598.0		610.5		985.5		664.5		680.0		1667.5	
ケーブル D+PS	569.0		583.0		598.0		610.5		985.5		664.5		680.0		1667.5	
断面力	125.2		123.7		114.0		103.3		152.7		82.6		73.8		164.2	
(kN)/本	-46.2		-29.9		-16.9		-7.9		-11.6		-9.3		-11.4		-32.7	
L.max	694.2		706.7		712.0		713.8		1138.2		747.1		753.8		1831.7	
L.min	522.8		553.1		581.1		602.6		973.9		655.2		668.6		1634.8	
MAX	522.8		553.1		581.1		602.6		973.9		655.2		668.6		1634.8	
MIN	522.8		553.1		581.1		602.6		973.9		655.2		668.6		1634.8	
断面積(mm ²)/本	1222		1247		1252		1245		1989		1282		1282		3093	
ケーブル D+PS	465.6		467.5		477.6		490.4		495.6		518.3		530.6		539.2	
応力	102.5		99.2		91.1		83.0		76.8		64.4		57.6		53.1	
(N/mm ²)	-37.8		-23.9		-13.5		-6.4		-5.9		-7.2		-8.9		-10.6	
L.max	568.1		566.7		568.7		573.3		572.4		582.8		588.2		592.3	
L.min	427.9		443.6		464.1		484.0		489.7		511.1		521.7		528.6	
MAX	427.9		443.6		464.1		484.0		489.7		511.1		521.7		528.6	
MIN	427.9		443.6		464.1		484.0		489.7		511.1		521.7		528.6	
応力比R	0.7531		0.7828		0.8161		0.8442		0.8556		0.8770		0.8870		0.8925	
CR	0.766		0.735		0.693		0.649		0.628		0.584		0.560		0.546	

注記： 1)ケーブル断面力「D+PS」は、検討モデルで得られた値×1/2としている（ケーブル1本分に換算）。
2)ケーブル断面積については、終局限界状態の検討においてケーブル安全率を $\alpha=2.20$ で設定したときの設計断面積×1/2を採用している。
3)活荷重によるケーブル断面力・応力については、衝撃の影響($i=0.067$)および活荷重を載荷する車線位置に伴う補正係数 k_f を考慮している。

表-5.3.6 鋼斜張橋：疲労限界状態の照査結果

ケーブル番号	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8	
載荷車線	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
載荷活荷重強度 (kN)	640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2	
車線位置補正係数	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317
ケーブル start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第1セグメント	-98.9	-45.9	9.2	4.3	38.5	17.9	101.9	47.3	91.2	42.3	116.0	53.8	130.1	60.4	132.5	61.5
第2セグメント	192.4	89.3	-17.3	-8.0	-3.9	-1.8	45.3	21.0	-4.0	-1.8	-13.7	-6.4	-28.5	-13.2	-46.2	-21.5
第3セグメント	-25.5	-11.8	62.9	29.2	46.7	21.7	-6.1	-2.8	14.9	6.9	1.6	0.8	1.0	0.5	2.0	0.9
第4セグメント	0.0	0.0	-8.3	-3.9	-6.2	-2.9	0.0	0.0	-2.1	-1.0	-0.4	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
end	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
断面積 (mm ²)	3194		1238		1192		1818		1191		1210		1243		1241	
ケーブル start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第1セグメント	-31.0	-14.4	0.0	3.5	32.3	15.0	56.1	26.0	76.5	35.5	95.8	44.5	104.7	48.6	106.8	49.6
第2セグメント	60.2	28.0	-14.0	-6.5	-3.2	-1.5	24.9	11.6	-3.3	-1.5	-11.4	-5.3	-22.9	-10.6	-37.3	-17.3
第3セグメント	-8.0	-3.7	50.8	23.6	39.2	18.2	-3.3	-1.5	12.5	5.8	1.3	0.6	0.8	0.4	1.6	0.8
第4セグメント	0.0	0.0	-6.7	-3.1	-5.2	-2.4	0.0	0.0	-1.8	-0.8	-0.3	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
end	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAX	60.2	28.0	50.8	23.6	39.2	18.2	56.1	26.0	76.5	35.5	95.8	44.5	104.7	48.6	106.8	49.6
MIN	-31.0	-14.4	-14.0	-6.5	-5.2	-2.4	-3.3	-1.5	-3.3	-1.5	-11.4	-5.3	-22.9	-10.6	-37.3	-17.3
①: Δσ・max	91.2	42.3	64.8	30.1	44.4	20.6	59.4	27.6	79.9	37.1	107.2	49.8	127.6	59.2	144.0	68.9
Δσ・ce	270		270		270		270		270		270		270		270	
CR	0.651	0.456	0.549	0.358	0.447	0.272	0.526	0.340	0.621	0.431	0.691	0.507	0.742	0.565	0.774	0.602
②: Δσ・ce・CR	175.9	123.2	148.3	96.7	120.8	73.5	142.1	91.7	167.7	116.4	186.7	136.8	200.4	152.7	208.9	162.6
判定	0.52	0.34	0.44	0.31	0.37	0.28	0.42	0.30	0.48	0.32	0.57	0.36	0.64	0.39	0.69	0.41
①/②	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

ケーブル番号	C9		C10		C11		C12		C13		C14		C15		C16	
載荷車線	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
載荷活荷重強度 (kN)	640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2	
車線位置補正係数	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317
ケーブル start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第1セグメント	-46.2	-21.4	-29.9	-13.9	-16.9	-7.9	-7.9	-3.7	8.0	3.7	11.1	5.1	17.3	8.0	57.5	26.7
第2セグメント	125.2	58.1	123.7	57.4	114.0	52.9	103.3	47.9	-3.6	-1.7	82.6	38.3	-2.0	-0.9	-19.1	-8.9
第3セグメント	-0.3	-0.2	0.0	0.0	-3.2	-1.5	-5.0	-2.3	152.7	70.9	-9.3	-4.3	73.8	34.2	164.2	76.2
第4セグメント	-1.4	-0.6	-2.0	-0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-11.6	-5.4	0.0	0.0	-11.4	-5.3	-32.7	-15.2
end	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
断面積 (mm ²)	1222		1247		1252		1245		1989		1282		1282		3093	
ケーブル start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
第1セグメント	-37.8	-17.5	-23.9	-11.1	-13.5	-6.3	-6.4	-3.0	4.0	1.9	8.6	4.0	13.5	6.3	18.6	8.6
第2セグメント	102.5	47.6	99.2	46.0	91.1	42.3	83.0	38.5	-1.8	-0.9	64.4	29.9	-1.5	-0.7	-6.2	-2.9
第3セグメント	-0.3	-0.1	0.0	0.0	-2.6	-1.2	-4.0	-1.9	76.8	35.6	-7.2	-3.4	57.6	26.7	53.1	24.6
第4セグメント	-1.1	-0.5	-1.6	-0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.9	-2.7	0.0	0.0	-8.9	-4.1	-10.6	-4.9
end	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAX	102.5	47.6	99.2	46.0	91.1	42.3	83.0	38.5	76.8	35.6	64.4	29.9	57.6	26.7	53.1	24.6
MIN	-37.8	-17.5	-23.9	-11.1	-13.5	-6.3	-6.4	-3.0	-5.9	-2.7	-7.2	-3.4	-8.9	-4.1	-10.6	-4.9
①: Δσ・max	140.3	65.1	123.1	57.1	104.6	48.5	89.3	41.5	82.6	38.4	71.7	33.3	66.5	30.8	63.7	29.5
Δσ・ce	270		270		270		270		270		270		270		270	
CR	0.766	0.592	0.735	0.556	0.693	0.507	0.649	0.460	0.628	0.438	0.584	0.392	0.560	0.369	0.546	0.356
②: Δσ・ce・CR	206.9	159.9	198.5	150.1	187.0	137.0	175.1	124.1	169.5	118.2	157.6	106.0	151.3	99.7	147.5	96.1
判定	0.68	0.41	0.62	0.38	0.56	0.35	0.51	0.33	0.49	0.32	0.45	0.31	0.44	0.31	0.43	0.31
①/②	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

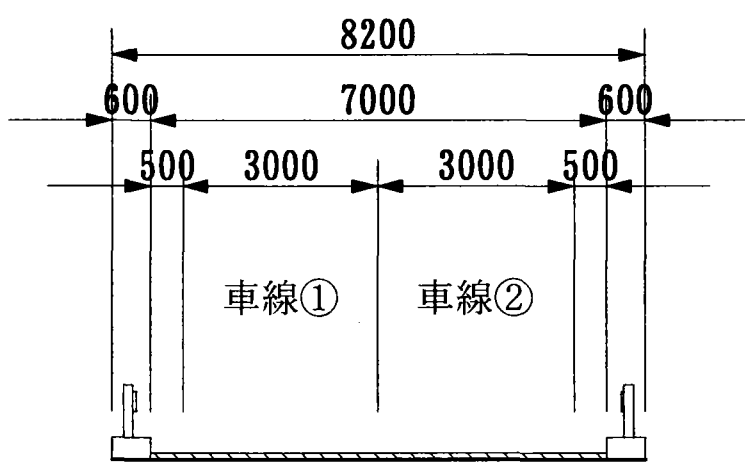
5.4 エクストラードスド橋のケーブル安全率の検討

5.4.1 検討モデル

検討モデルは平面骨組モデルとし、支間長は 100.0m+205.0m+100.0m、幅員構成は2車線(有効幅員=7.0m)と鋼斜張橋モデルと同様である。主塔の高さは上段・中段部が 22.0m、下段部は 24.5m(P1)、23.5m(P2)とし、上段・中段部は2本柱形式、下段部は1本中形式とした。主桁は1箱桁形式で、桁高を径間部で5.0m、主塔部で7.5mとした。ケーブル配置はファン形式で片側11段×2面吊りとし、ケーブルの種類はストランドケーブル(19S15.2)とした。また、検討に用いる断面力は線形解析により算出し、ケーブルのサグによるヤング係数の低減は考慮していない。

ED橋モデルの構造諸元、検討モデルを表-5.4.1 および図-5.4.1～5.4.3 に示す。なお、死荷重完成系は図-5.4.4 に示すような架設ステップを考慮した。

表-5.4.1 ED橋：構造諸元

プロポーシオン	支間長；100.0m+205.0m+100.0m、主塔高さ；46.5m(P1)、45.5m(P2)	
ケーブル配置	ファン形式、片側11段×2面吊り	
部材諸元	ヤング係数 ; 主桁 : $E=3.10 \times 10^4 \text{N/mm}^2$; 主塔(上・中段部) : $E=3.10 \times 10^4 \text{N/mm}^2$; 主塔(下段部) : $E=2.80 \times 10^4 \text{N/mm}^2$; ケーブル : $E=2.00 \times 10^5 \text{N/mm}^2$	
	主桁断面 ; 側径間部 : $A=12.84\text{m}^2, I=42.06\text{m}^4$; 中央径間部 : $A=10.63\text{m}^2, I=34.62\text{m}^4$	
	主塔断面 ; 塔上部 : $A=12.77\text{m}^2, I=10.86\text{m}^4$; 塔下部 : $A=14.18\text{m}^2, I=14.84\text{m}^4$; 脚部 : $A=30.35\text{m}^2, I=47.56\text{m}^4$	
	ケーブル断面 ; $A=0.005271\text{m}^2/2\text{面 (SWPR7B 19S15.2)}$	
	主桁橋軸方向 ; A1:FREE P1:剛結 P2:剛結 A2:FREE 主塔脚部 ; P1:FIX P2:FIX	
荷重	主桁重量 ; 360kN/m(平均) 主塔重量 ; 塔部:343kN/m/塔(平均)、脚部:860kN/m/塔(平均) 橋面荷重 ; 28.0kN/m(舗装、地覆、高欄を考慮) ケーブル自重(2面分) ; 750N/m B活荷重 ; p1荷重は10.0kN/m ² ; p2荷重の主載荷(側径間は3.30kN/m ² 、中央径間は3.00kN/m ²) ; 衝撃(ケーブルの衝撃係数は全て <i>i</i> =0.080とした)	
	幅員構成	
		
	注記： 1) 解析は、平面骨組モデルによる線形解析とする。 2) ケーブルのサグによるヤング係数の低減は考慮ない。 3) ケーブルの衝撃係数は、側径間長L=100.0mを用いて、全て <i>i</i> =10/(25+L)で設定している。	

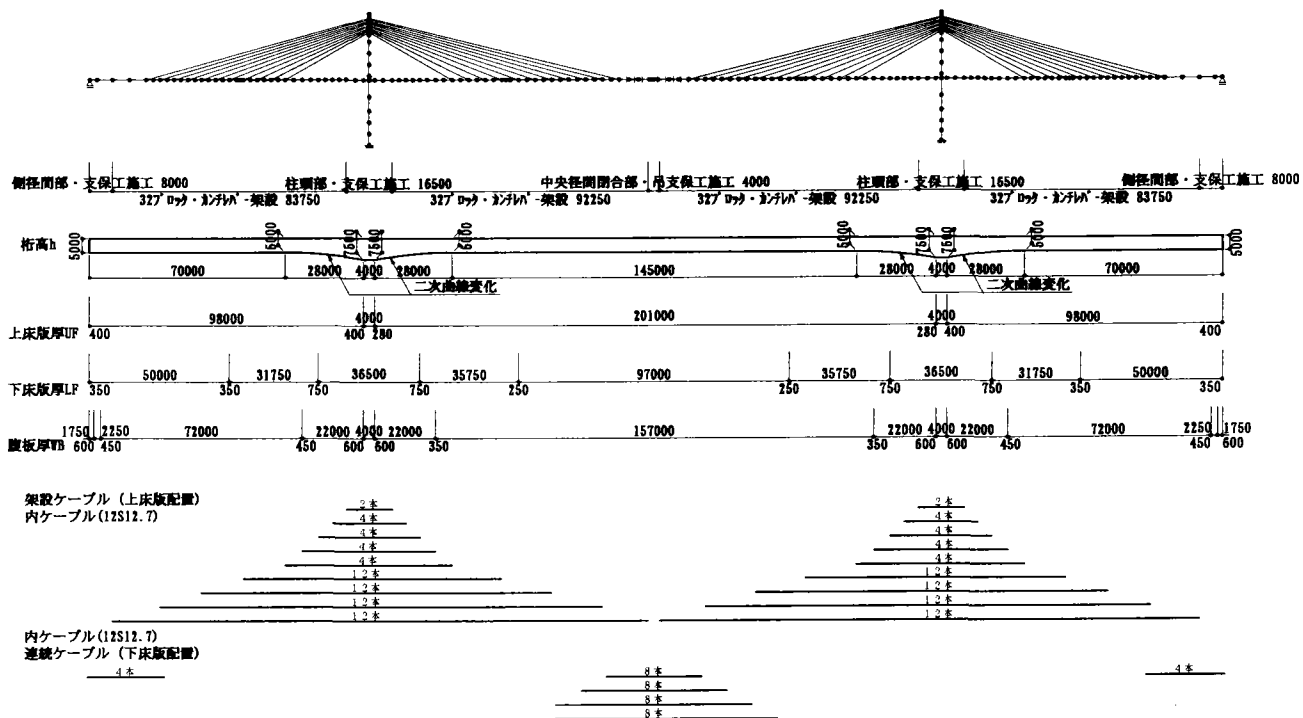


図-5.4.3 ED橋：主桁断面配置図

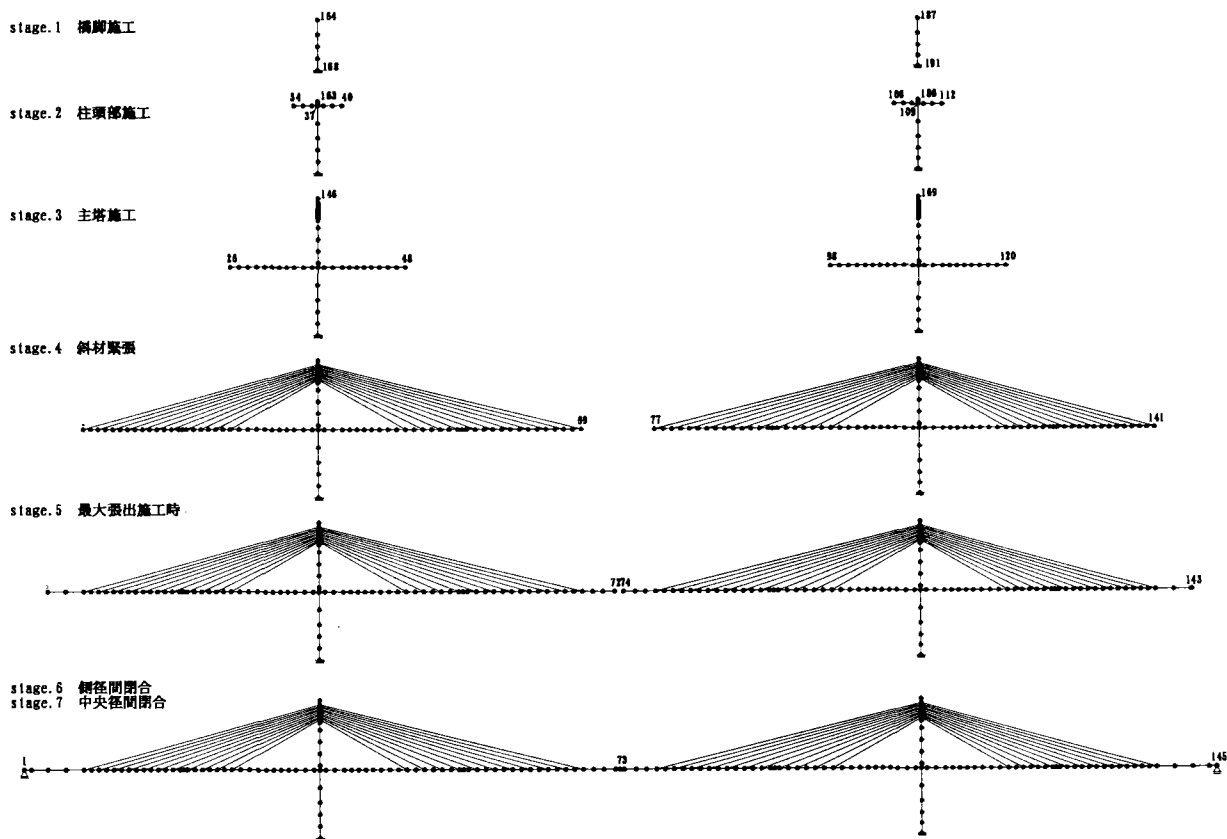


図-5.4.4 ED橋：架設ステップ

5.4.2 終局限界状態の検討

検討要領は、基本的に鋼斜張橋モデルの場合と同様である。衝撃係数は道示ⅠのPC橋に対する適用式により算出しているが、衝撃係数を算出するときの支間長は側径間長(=100.0m)を採用し、全てのケーブルについて同じ値とした。検討に考慮した荷重は、橋体自重 D1、橋面荷重 D2、架設荷重 D3、桁内ケーブルプレストレス D4、クリープおよび乾燥収縮 D5、ケーブル(斜材)プレストレス PS、活荷重 L+I であり、終局設計荷重における荷重係数と設計荷重の組み合わせを表-5.4.2 のように設定した。鋼斜張橋モデルと同様に、荷重係数 $\nu_1=1.3$ 、 $\nu_2=2.5$ の場合を CASE-A、 $\nu_1=1.7$ 、 $\nu_2=1.7$ の場合を CASE-B としており、 ν_3 はどちらも 1.0 とした。なお、PS については、断面 19S15.2 に設定したケーブルの常時荷重によるケーブル張力が許容引張力のほぼ上限値 ($0.6 f_{pt}$ 、つまり安全率 1.67) になるように設定した (5.6 添付資料の表-5.6.2 参照)。

表-5.4.2 終局設計荷重における荷重係数と設計荷重

荷重係数		設計荷重
CASE-A	CASE-B	
$\nu_1=1.3$	$\nu_1=1.7$	P 1=D+PS (D=D1+D2)
$\nu_2=2.5$	$\nu_2=1.7$	P 2=L+I
$\nu_3=1.0$	$\nu_3=1.0$	P 3=D' (D'=D3+D4+D5)

終局設計荷重に対応した作用断面力は、検討モデルでの平面骨組解析から得られた断面力に荷重係数を乗じて算出した。照査式 (5.1) において、この作用断面力の比較対象となるケーブル設計強度は、ケーブル安全率 α を 1.67, 2.00 の 2 ケースとした (加えて、後述する $\alpha=2.20, 2.90$ についても明示した)。各ケースのケーブル設計強度を算出するときのケーブル断面積 A_n は、ケーブル切断荷重 (=平面骨組解析での最大断面力 $\times$ 安全率 α) をケーブル引張強度 F_t で除した値とした。ケーブルは PC 鋼より線 (引張強度 $F_t=1882\text{N/mm}^2$) であり、降伏相当強度 F_y は 0.2% 永久伸びに対応する耐力から $F_y=1600\text{N/mm}^2$ となる。さらに、設計基準強度を決定するための安全係数は、 $\phi 1=1.15$ (ストランドケーブル)、 $\phi 2=1.05$ (現場製作)、 $\phi 3=1.10$ (現場防食)、 $\phi 4=1.00$ (直線) であり、これらを考慮して設計基準強度は $F_u=1205\text{N/mm}^2$ となる。

鋼斜張橋モデルと同様に、全橋の半分に相当するケーブル番号 C1～C22 を検討対象とした。

5.4.3 終局限界状態の検討結果

表-5.4.3 にケーブル番号 C1 に着目した終局限界状態の照査例を示す。また、CASE-A および CASE-B の終局設計荷重による断面力を表-5.4.4(A) に、ケーブル安全率 $\alpha=1.67, 2.00, 2.20, 2.90$ でのケーブル設計強度と式 (5.1) の判定結果を表-5.4.4(B) に示す。本検討モデルの場合、CASE-A で $\alpha=2.20$ 、CASE-B で $\alpha=2.90$ のときに全てのケーブルが照査式 (5.1) を満足する結果となった。

表-5.4.3 E D橋：終局限界状態の照査例

ケーブルの設計強度を安全率 $\alpha=1.67$ として設定し、ケーブルC1に着目した場合の検討		
ケーブル設計強度算出用のケーブル断面積の設定 (作用断面力に対して安全率を $\alpha=1.67$ とした場合)	1)ケーブル種類：PC鋼より線	
	2)ケーブル引張強度： $F_t = 1882\text{N/mm}^2$	
	3) D+PS+L+D' のケーブル断面力 $D+PS : P_1 = 6207\text{kN}$ (死荷重+斜材 ϕ レストレス) $D' : P_3 = -331\text{kN}$ (架設荷重+桁内ケーブル ϕ レストレス+CR+SH) $L+I : P_2 = 73\text{kN}$ (活荷重+衝撃) $\Sigma P_i : P_4 = 5949\text{kN}$	
	4)ケーブル切断荷重： $T_u = P_4 \times \alpha$ $T_u = 5949 \times 1.67 = 9935\text{kN}$	
	5)ケーブル断面積：設計断面積 $A_n = T_u / F_t$ $A_n = 9935 \times 10^3 / 1882 = 5279\text{mm}^2/\text{本}$	※検討におけるケーブルの設計断面積は、 $A_n = T_u / F_t$ とする。
ケーブルの降伏相当強度	降伏相当強度： $F_y = \min(F_1, F_2, F_3) \rightarrow F_y = F_1 = 1600\text{N/mm}^2$ ・ F_1 : 0.2%残留伸びに対応する耐力 ・ F_2 : 0.7%全伸びに対応する耐力 ・ F_3 : $0.85F_t$ F_t はケーブルの引張強度	
ケーブルの設計基準強度	設計基準強度 F_u ： $F_u = F_y / (\phi_1 \phi_2 \phi_3 \phi_4)$ $\rightarrow F_u = 1600 / (1.15 \times 1.05 \times 1.10 \times 1.00) = 1205\text{N/mm}^2$ ϕ_1 ：ケーブルの種類に関する安全係数 平行線，準平行線ケーブル：1.05 スパイラルケーブル：1.10 ストランドケーブル ：1.15 CFRCケーブル ：1.20 ϕ_2 ：ケーブルの施工に関する安全係数（工場製作：1.00，現場製作：1.05） ϕ_3 ：ケーブルの防食に関する安全係数（工場防食：1.00，現場防食：1.10） ϕ_4 ：ケーブルが曲げられる場合の安全係数（直線：1.00，曲線：1.20）	
CASE-A $\nu_1 = 1.3$ $\nu_2 = 2.5$ $\nu_3 = 1.0$	検討要領	1)照査基本式： $\Sigma(\nu_i P_i) \leq N_u$ ・ P_i ：設計荷重 $\rightarrow P_1 = D+PS, P_2 = L+I, P_3 = D'$ ・ ν_i ：終局限界状態に対する荷重係数 $D+PS \rightarrow \nu_1 = 1.3, L+I \rightarrow \nu_2 = 2.5, D' \rightarrow \nu_3 = 1.0$ ・ N_u ：ケーブル部材の設計強度 $N_u = F_u \times A_n$
	検討結果	2)終局設計荷重： $1.3 \times (D+PS) + 2.5 \times (L+I) + 1.0 \times D'$
		1)終局荷重での作用断面力 $1.3 \times (D+PS) = 8069\text{kN}$ $2.5 \times (L+I) = 183\text{kN}$ $1.0 \times (D') = -331\text{kN}$ $\Sigma(\nu_i P_i) = 7921\text{kN}$
		2)ケーブル設計強度 $N_u = F_u \times A_n = 1205 \times 5279 / 10^3 = 6361\text{kN}$ 3)検討結果 $\Sigma(\nu_i P_i) = 7921\text{kN} \geq N_u = 6361\text{kN} \leftarrow \text{OUT}$
CASE-B $\nu_1 = 1.7$ $\nu_2 = 1.7$ $\nu_3 = 1.0$	検討要領	1)照査基本式： $\Sigma(\nu_i P_i) \leq N_u$ ・ P_i ：設計荷重 $\rightarrow P_1 = D+PS, P_2 = L+I, P_3 = D'$ ・ ν_i ：終局限界状態に対する荷重係数 $D+PS \rightarrow \nu_1 = 1.7, L+I \rightarrow \nu_2 = 1.7, D' \rightarrow \nu_3 = 1.0$ ・ N_u ：ケーブル部材の設計強度 $N_u = F_u \times A_n$
	検討結果	2)終局設計荷重： $1.7 \times (D+PS) + 1.7 \times (L+I) + 1.0 \times D'$
		1)終局荷重での作用断面力 $1.7 \times (D+PS) = 10552\text{kN}$ $1.7 \times (L+I) = 124\text{kN}$ $1.0 \times (D') = -331\text{kN}$ $\Sigma(\nu_i P_i) = 10345\text{kN}$
		2)ケーブル設計強度 $N_u = F_u \times A_n = 1205 \times 5279 / 10^3 = 6361\text{kN}$ 3)検討結果 $\Sigma(\nu_i P_i) = 10345\text{kN} \geq N_u = 6361\text{kN} \leftarrow \text{OUT}$

表-5.4.4(A) E D橋：終局限界状態の検討結果（終局時の作用断面力）

ケーブル 番号	引張強度 F _t (N/mm ²)	基準強度 F _u (N/mm ²)	常時の断面力(kN)					CASE-A					CASE-B				
			D+PS	L+I	D'	Σ P i	終局時の断面力(kN)			換算 安全率β	終局時の断面力(kN)			換算 安全率β			
							1.3(D+PS)	2.5(L+I)	1.0(D')		Σ(ν i P i)	1.7(D+PS)	1.7(L+I)		1.0(D')	Σ(ν i P i)	
C1	1882	1205	6207	73	-331	5949	8069	183	-331	7921	2.08	10552	124	-331	10345	2.72	
C2			6241	73	-367	5947	8113	183	-367	7929	2.08	10610	124	-367	10367	2.72	
C3			6276	75	-405	5946	8159	188	-405	7942	2.09	10669	128	-405	10392	2.73	
C4			6316	77	-447	5946	8211	193	-447	7957	2.09	10737	131	-447	10421	2.74	
C5			6361	79	-495	5945	8269	198	-495	7972	2.09	10814	134	-495	10453	2.75	
C6			6408	81	-544	5945	8330	203	-544	7989	2.10	10894	138	-544	10487	2.76	
C7			6455	83	-593	5945	8392	208	-593	8007	2.10	10974	141	-593	10522	2.76	
C8			6506	84	-647	5943	8458	210	-647	8021	2.11	11060	143	-647	10556	2.77	
C9			6554	86	-693	5947	8520	215	-693	8042	2.11	11142	146	-693	10595	2.78	
C10			6598	86	-738	5946	8577	215	-738	8054	2.12	11217	146	-738	10625	2.79	
C11			6639	85	-777	5947	8631	213	-777	8067	2.12	11286	145	-777	10654	2.80	
C12			6302	93	-475	5920	8193	233	-475	7951	2.10	10713	158	-475	10397	2.74	
C13			6363	110	-556	5917	8272	275	-556	7991	2.11	10817	187	-556	10448	2.76	
C14			6419	124	-627	5916	8345	310	-627	8028	2.12	10912	211	-627	10496	2.77	
C15			6473	133	-692	5914	8415	333	-692	8056	2.13	11004	226	-692	10538	2.78	
C16			6524	138	-748	5914	8481	345	-748	8078	2.13	11091	235	-748	10577	2.79	
C17			6575	139	-801	5913	8548	348	-801	8095	2.14	11178	236	-801	10613	2.80	
C18			6631	138	-855	5914	8620	345	-855	8110	2.14	11273	235	-855	10652	2.81	
C19			6681	135	-902	5914	8685	338	-902	8121	2.14	11358	230	-902	10685	2.82	
C20			6725	131	-941	5915	8743	328	-941	8130	2.15	11433	223	-941	10714	2.83	
C21			6766	124	-977	5913	8796	310	-977	8129	2.15	11502	211	-977	10736	2.84	
C22			6795	118	-996	5917	8834	295	-996	8133	2.15	11552	201	-996	10756	2.84	

注記：換算安全率βは、許容応力度法に相当するケーブルの引張強度に対する安全率に換算した値であり、次式で計算した。

$$\beta = F_t \cdot \Sigma(\nu i P i) / (F_u \cdot \Sigma P i)$$

設定安全率αが換算安全率βを上回れば、終局限界の照査式(5.3b)を満足することになる。

表-5.4.4(B) E D橋：終局限界状態の検討結果（設計基準強度と判定結果）

ケーブル 番号	安全率 α	切断荷重 T _u (kN)	設計断面積 A _n (mm ²)	設計強度 N _u (kN)	CASE-A		CASE-B		安全率 α	切断荷重 T _u (kN)	設計断面積 A _n (mm ²)	設計強度 N _u (kN)	CASE-A		CASE-B	
					比率	判定	比率	判定					比率	判定	比率	判定
C1	1.67	9935	5279	6361	0.803	OUT	0.615	OUT	2.00	11898	6322	7618	0.962	OUT	0.736	OUT
C2		9931	5277	6359	0.802	OUT	0.613	OUT		11894	6320	7615	0.960	OUT	0.735	OUT
C3		9930	5276	6358	0.801	OUT	0.612	OUT		11892	6319	7614	0.959	OUT	0.733	OUT
C4		9930	5276	6358	0.799	OUT	0.610	OUT		11892	6319	7614	0.957	OUT	0.731	OUT
C5		9928	5275	6357	0.797	OUT	0.608	OUT		11890	6318	7613	0.955	OUT	0.728	OUT
C6		9928	5275	6357	0.796	OUT	0.606	OUT		11890	6318	7613	0.953	OUT	0.726	OUT
C7		9928	5275	6357	0.794	OUT	0.604	OUT		11890	6318	7613	0.951	OUT	0.724	OUT
C8		9925	5274	6355	0.792	OUT	0.602	OUT		11886	6316	7610	0.949	OUT	0.721	OUT
C9		9931	5277	6359	0.791	OUT	0.600	OUT		11894	6320	7615	0.947	OUT	0.719	OUT
C10		9930	5276	6358	0.789	OUT	0.598	OUT		11892	6319	7614	0.945	OUT	0.717	OUT
C11		9931	5277	6359	0.788	OUT	0.597	OUT		11894	6320	7615	0.944	OUT	0.715	OUT
C12		9886	5253	6330	0.796	OUT	0.609	OUT		11840	6291	7581	0.953	OUT	0.729	OUT
C13		9881	5250	6327	0.792	OUT	0.606	OUT		11834	6288	7577	0.948	OUT	0.725	OUT
C14		9880	5250	6326	0.788	OUT	0.603	OUT		11832	6287	7576	0.944	OUT	0.722	OUT
C15		9876	5248	6324	0.785	OUT	0.600	OUT		11828	6285	7573	0.940	OUT	0.719	OUT
C16		9876	5248	6324	0.783	OUT	0.598	OUT		11828	6285	7573	0.938	OUT	0.716	OUT
C17		9875	5247	6323	0.781	OUT	0.596	OUT		11826	6284	7572	0.935	OUT	0.713	OUT
C18		9876	5248	6324	0.780	OUT	0.594	OUT		11828	6285	7573	0.934	OUT	0.711	OUT
C19		9876	5248	6324	0.779	OUT	0.592	OUT		11828	6285	7573	0.933	OUT	0.709	OUT
C20		9878	5249	6325	0.778	OUT	0.590	OUT		11830	6286	7574	0.932	OUT	0.707	OUT
C21		9875	5247	6323	0.778	OUT	0.589	OUT		11826	6284	7572	0.931	OUT	0.705	OUT
C22		9881	5250	6327	0.778	OUT	0.588	OUT		11834	6288	7577	0.932	OUT	0.704	OUT
ケーブル 番号	安全率 α	切断荷重 T _u (kN)	設計断面積 A _n (mm ²)	設計強度 N _u (kN)	CASE-A		CASE-B		安全率 α	切断荷重 T _u (kN)	設計断面積 A _n (mm ²)	設計強度 N _u (kN)	CASE-A		CASE-B	
					比率	判定	比率	判定					比率	判定	比率	判定
C1	2.20	13088	6954	8380	1.058	OK	0.810	OUT	2.90	17252	9167	11046	1.395	OK	1.068	OK
C2		13083	6952	8377	1.057	OK	0.808	OUT		17246	9164	11042	1.393	OK	1.065	OK
C3		13081	6951	8376	1.055	OK	0.806	OUT		17243	9162	11041	1.390	OK	1.062	OK
C4		13081	6951	8376	1.053	OK	0.804	OUT		17243	9162	11041	1.388	OK	1.059	OK
C5		13079	6950	8374	1.050	OK	0.801	OUT		17241	9161	11039	1.385	OK	1.056	OK
C6		13079	6950	8374	1.048	OK	0.799	OUT		17241	9161	11039	1.382	OK	1.053	OK
C7		13079	6950	8374	1.046	OK	0.796	OUT		17241	9161	11039	1.379	OK	1.049	OK
C8		13075	6947	8371	1.044	OK	0.793	OUT		17235	9158	11035	1.376	OK	1.045	OK
C9		13083	6952	8377	1.042	OK	0.791	OUT		17246	9164	11042	1.373	OK	1.042	OK
C10		13081	6951	8376	1.040	OK	0.788	OUT		17243	9162	11041	1.371	OK	1.039	OK
C11		13083	6952	8377	1.038	OK	0.786	OUT		17246	9164	11042	1.369	OK	1.036	OK
C12		13024	6920	8339	1.049	OK	0.802	OUT		17168	9122	10992	1.383	OK	1.057	OK
C13		13017	6917	8335	1.043	OK	0.798	OUT		17159	9118	10987	1.375	OK	1.052	OK
C14		13015	6916	8333	1.038	OK	0.794	OUT		17156	9116	10985	1.368	OK	1.047	OK
C15		13011	6913	8331	1.034	OK	0.791	OUT		17151	9113	10981	1.363	OK	1.042	OK
C16		13011	6913	8331	1.031	OK	0.788	OUT		17151	9113	10981	1.359	OK	1.038	OK
C17		13009	6912	8329	1.029	OK	0.785	OUT		17148	9111	10979	1.356	OK	1.035	OK
C18		13011	6913	8331	1.027	OK	0.782	OUT		17151	9113	10981	1.354	OK	1.031	OK
C19		13011	6913	8331	1.026	OK	0.780	OUT		17151	9113	10981	1.352	OK	1.028	OK
C20		13013	6914	8332	1.025	OK	0.778	OUT		17154	9115	10983	1.351	OK	1.025	OK
C21		13009	6912	8329	1.025	OK	0.776	OUT		17148	9111	10979	1.351	OK	1.023	OK
C22		13017	6917	8335	1.025	OK	0.775	OUT		17159	9118	10987	1.351	OK	1.021	OK

注記：「比率」は、N_u/Σ(ν i P i)を示す。なお、Σ(ν i P i)は表-5.4.4(A)を参照。

5.4.4 疲労限界状態の検討

鋼斜張橋モデルの場合と同様に、検討モデルのケーブル部材の影響線を利用して、疲労設計活荷重による断面力を算出し、この断面力と死荷重完成系(D+D'+PS)のケーブル断面力と組み合わせて、ケーブル部材に生じる応力比Rおよび平均応力の影響値CRを算出した。そして、各車線ごとに疲労設計活荷重による最大振幅応力と一定振幅応力の打ち切り限界を比較した。振幅応力を算出するときのケーブル断面積は、終局限界状態の検討においてケーブル設計強度を安全率 $\alpha=1.67$ とした場合の断面積 $A_n \times 1/2$ を用いた(1/2倍した理由は鋼斜張橋の検討と同様)。また、鋼斜張橋モデルと同様に、補正係数kfを用いて疲労設計活荷重の載荷車線位置による影響を考慮した。文献3)ではP C鋼より線の疲労強度等級について明確に示されていないため、本検討ではP C鋼より線の疲労強度等級をK 3相当とした。

本検討における疲労限界状態の検討条件を表-5.4.5に示す。また、検討モデルのケーブルC1~C22の影響線を5.6添付資料の図-5.6.21~5.6.26に示す。

5.4.5 疲労限界状態の検討結果

表-5.4.6に各ケーブルの平均応力による影響値CRを示す。また、疲労限界状態の照査結果(一定振幅応力に対する照査)を表-5.4.7に示す。本検討では終局限界の検討で安全率を $\alpha=1.67$ で設定したケーブル断面積で振幅応力を算出したが、疲労設計活荷重に対するケーブルの最大振幅応力は、全てのケーブルC1~C22において一定応力振幅の打ち切り限界以下となった。ただし、ED橋の場合は鋼斜張橋に比べて疲労設計荷重による応力変動が小さいが、そのため平均応力の影響値CRも小さくなり、一定振幅応力の打ち切り限界が大きく低下している。

表-5.4.5 ED橋：疲労限界状態の検討条件

疲労設計活荷重	T-20とする(P20 = 200kN)。
活荷重補正係数	$\gamma T = \gamma T1 \times \gamma T2 = 3.00 \times 1.00 = 3.00$ ・最大縦距を有する影響線の基線長：LB1 ・T荷重補正係数： $\gamma T1$ $\gamma T1 = \log(LB1) + 1.50$ ただし、 $2.00 \leq \gamma T1 \leq 3.00$ ※本橋のケーブル部材の場合、全てのケーブルで $\gamma T1=3.00$ となる。 ・同時載荷係数： $\gamma T2 = 1.00$ (正負交番)
衝撃係数	$if = 10/(50 + \text{支間長}) = 10/(50 + 100.0) = 0.067$ ※衝撃係数算出時の支間長は、側径間長を使用。
構造解析係数	$\gamma a = 1.00$
載荷活荷重強度	$Pf = P20 \times \gamma T \times (1 + if) \times \gamma a$ $= 200\text{kN} \times 3.00 \times (1 + 0.067) \times 1.00$ $= 640.2\text{kN}$
車線位置による断面力の補正係数：kf	道路中心位置を0.5として、幅員全体に対する各車線中央での位置に応じて活荷重断面力を補正する。 車線①： $5600/8200 = 0.683$ 車線②： $2600/8200 = 0.317$
平均応力の影響CR	上記の載荷活荷重強度Pfおよび車線位置による断面力の補正係数(車線①, ②)を考慮して、平均応力の影響CRを算出する。 ・応力比： $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ ・ $CR = (1 - R) / (1 - 0.9 \times R)$
ケーブルの疲労強度等級	使用ケーブル：P C鋼より線 強度等級：K 3 (傾きm=5) 相当とする。 ・ 2×10^6 回基本応力範囲 $\sigma f = 150\text{N/mm}^2$ ・一定振幅応力打ち切り限界 $\sigma ce = 148\text{N/mm}^2$ ・変動振幅応力打ち切り限界 $\sigma ve = 68\text{N/mm}^2$

表-5.4.6 E D橋：平均応力の影響値CR

ケーブル番号		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10		C11	
載荷車線		①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
ケーブル 断面力 (kN)/本	D+D'+PS	2938.0		2937.0		2935.5		2934.5		2933.0		2932.0		2931.0		2929.5		2930.5		2930.0		2931.0	
	L.max	12.3	5.7	12.0	5.6	11.7	5.4	11.4	5.3	11.0	5.1	10.6	4.9	10.3	4.8	9.9	4.6	10.6	4.9	11.0	5.1	10.9	5.0
	L.min	-4.0	-1.8	-3.1	-1.4	-2.3	-1.1	-1.7	-0.8	-1.2	-0.6	-0.8	-0.4	-0.6	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.4	-0.2
	MAX	2950.3	2943.7	2949.0	2942.6	2947.2	2940.9	2945.9	2939.8	2944.0	2938.1	2942.6	2936.9	2941.3	2935.8	2939.4	2934.1	2941.1	2935.4	2941.0	2935.1	2941.9	2936.0
	MIN	2934.0	2936.2	2933.9	2935.6	2933.2	2934.4	2932.8	2933.7	2931.8	2932.4	2931.2	2931.6	2930.4	2930.7	2929.2	2929.3	2930.3	2930.4	2930.0	2930.0	2930.6	2930.8
断面積(mm ²)/本		2640		2639		2638		2638		2638		2638		2638		2637		2639		2638		2639	
ケーブル 応力 (N/mm ²)	D+D'+PS	1113.1		1113.1		1112.8		1112.4		1112.0		1111.7		1111.3		1110.9		1110.7		1110.7		1110.9	
	L.max	4.7	2.2	4.6	2.1	4.4	2.1	4.3	2.0	4.2	1.9	4.0	1.9	3.9	1.8	3.8	1.7	4.0	1.9	4.2	1.9	4.1	1.9
	L.min	-1.5	-0.7	-1.2	-0.5	-0.9	-0.4	-0.6	-0.3	-0.5	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
	MAX	1117.7	1115.3	1117.7	1115.2	1117.2	1114.8	1116.7	1114.4	1116.2	1114.0	1115.7	1113.5	1115.2	1113.1	1114.7	1112.7	1114.7	1112.5	1114.9	1112.6	1115.0	1112.8
	MIN	1111.6	1112.4	1112.0	1112.6	1111.9	1112.4	1111.7	1112.1	1111.6	1111.8	1111.3	1111.5	1111.1	1111.2	1110.8	1110.9	1110.6	1110.6	1110.7	1110.7	1110.7	1110.8
応力比R		0.9945	0.9974	0.9949	0.9976	0.9952	0.9978	0.9956	0.9979	0.9958	0.9981	0.9961	0.9982	0.9963	0.9983	0.9965	0.9984	0.9963	0.9983	0.9962	0.9983	0.9962	0.9982
CR		0.052	0.025	0.049	0.023	0.046	0.022	0.043	0.020	0.040	0.019	0.038	0.018	0.036	0.017	0.034	0.016	0.035	0.017	0.036	0.017	0.037	0.0175

ケーブル番号		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18		C19		C20		C21		C22	
載荷車線		①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
ケーブル 断面力 (kN)/本	D+D'+PS	2913.5		2903.5		2896.0		2890.5		2888.0		2887.0		2888.0		2889.5		2892.0		2894.5		2899.5	
	L.max	15.7	7.3	18.0	8.3	19.6	9.1	20.7	9.6	21.4	9.9	21.5	10.0	21.3	9.9	20.8	9.7	20.0	9.3	19.1	8.9	18.0	8.3
	L.min	-0.1	0.0	-0.2	-0.1	-0.7	-0.3	-1.1	-0.5	-1.5	-0.7	-1.8	-0.8	-2.1	-1.0	-2.4	-1.1	-2.6	-1.2	-2.7	-1.3	-2.9	-1.3
	MAX	2929.2	2920.8	2921.5	2911.8	2915.6	2905.1	2911.2	2900.1	2909.4	2897.9	2908.5	2897.0	2909.3	2897.9	2910.3	2899.2	2912.0	2901.3	2913.6	2903.4	2917.5	2907.8
	MIN	2913.4	2913.5	2903.3	2903.4	2895.3	2895.7	2889.4	2890.0	2886.5	2887.3	2885.2	2886.2	2885.9	2887.0	2887.1	2888.4	2889.4	2890.8	2891.8	2893.2	2896.6	2898.2
断面積(mm ²)/本		2627		2625		2625		2624		2624		2624		2624		2624		2625		2624		2625	
ケーブル 応力 (N/mm ²)	D+D'+PS	1109.3		1106.1		1103.2		1101.6		1100.6		1100.4		1100.6		1101.2		1101.9		1103.3		1104.6	
	L.max	6.0	2.8	6.8	3.2	7.5	3.5	7.9	3.7	8.1	3.8	8.2	3.8	8.1	3.8	7.9	3.7	7.6	3.5	7.3	3.4	6.8	3.2
	L.min	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	-0.4	-0.2	-0.6	-0.3	-0.7	-0.3	-0.8	-0.4	-0.9	-0.4	-1.0	-0.5	-1.0	-0.5	-1.1	-0.5
	MAX	1115.2	1112.0	1112.9	1109.3	1110.7	1106.7	1109.5	1105.2	1108.8	1104.4	1108.6	1104.2	1108.7	1104.4	1109.1	1104.9	1109.6	1105.5	1110.6	1106.7	1111.4	1107.8
	MIN	1109.2	1109.3	1106.0	1106.1	1103.0	1103.1	1101.1	1101.4	1100.0	1100.3	1099.7	1100.1	1099.8	1100.2	1100.3	1100.8	1100.9	1101.5	1102.3	1102.8	1103.5	1104.1
応力比R		0.9946	0.9975	0.9938	0.9971	0.9930	0.9968	0.9925	0.9965	0.9921	0.9963	0.9920	0.9963	0.9920	0.9963	0.9920	0.9963	0.9922	0.9964	0.9925	0.9965	0.9929	0.9967
CR		0.051	0.025	0.059	0.028	0.066	0.032	0.070	0.034	0.073	0.035	0.075	0.036	0.075	0.036	0.074	0.036	0.073	0.035	0.070	0.034	0.067	0.032

注記： 1) ケーブル断面力「D+D'+PS」は、検討モデルで得られた値×1/2としている（ケーブル1本分に換算）。
 2) ケーブル断面積については、終局限界状態の検討においてケーブル安全率を $\alpha=1.67$ で設定したときの設計断面積×1/2を採用している。
 3) 活荷重によるケーブル断面力・応力については、衝撃の影響(if=0.067)および活荷重を載荷する車線位置に伴う補正係数kfを考慮している。

表-5.4.7 E D橋：疲労限界状態の照査結果

ケーブル番号		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10		C11	
車線		①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
載荷活荷重強度 (kN)		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2	
車線位置補正係数		0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317
ケーブル 断面力 (kN)/本	start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	第1ビーク	0.5	0.2	1.6	0.8	3.1	1.4	4.6	2.1	6.1	2.8	7.6	3.5	8.8	4.1	9.9	4.6	10.6	4.9	11.0	5.1	10.9	5.0
	第2ビーク	-4.0	-1.8	-3.1	-1.4	-2.3	-1.1	-1.7	-0.8	-1.2	-0.6	-0.8	-0.4	-0.6	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	第3ビーク	12.3	5.7	12.0	5.6	11.7	5.4	11.4	5.3	11.0	5.1	10.6	4.9	10.3	4.8	9.9	4.6	9.5	4.4	9.1	4.2	8.7	4.1
	第4ビーク	-1.1	-0.5	-1.0	-0.5	-0.9	-0.4	-0.8	-0.4	-0.7	-0.3	-0.5	-0.2	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	-0.2
	第5ビーク	1.9	0.9	1.8	0.8	1.7	0.8	1.5	0.7	1.3	0.6	1.1	0.5	0.9	0.4	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
end		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
断面積 (mm ²)		2640		2639		2638		2638		2638		2638		2638		2637		2639		2638		2639	
ケーブル 応力度 (N/mm ²)	start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	第1ビーク	0.2	0.1	0.6	0.3	1.2	0.5	1.7	0.8	2.3	1.1	2.9	1.3	3.4	1.6	3.8	1.7	4.0	1.9	4.2	1.9	4.1	1.9
	第2ビーク	-1.5	-0.7	-1.2	-0.5	-0.9	-0.4	-0.6	-0.3	-0.5	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	第3ビーク	4.7	2.2	4.6	2.1	4.4	2.1	4.3	2.0	4.2	1.9	4.0	1.9	3.9	1.8	3.7	1.7	3.6	1.7	3.4	1.6	3.3	1.5
	第4ビーク	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
	第5ビーク	0.7	0.3	0.7	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.5	0.2	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
end		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAX		4.7	2.2	4.6	2.1	4.4	2.1	4.3	2.0	4.2	1.9	4.0	1.9	3.9	1.8	3.8	1.7	4.0	1.9	4.2	1.9	4.1	1.9
MIN		-1.5	-0.7	-1.2	-0.5	-0.9	-0.4	-0.6	-0.3	-0.5	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
①: $\Delta \sigma_{\max}$		6.2	2.9	5.7	2.6	5.3	2.5	5.0	2.3	4.6	2.2	4.4	2.0	4.1	1.9	3.9	1.8	4.1	1.9	4.2	1.9	4.3	2.0
$\Delta \sigma_{ce}$		148		148		148		148		148		148		148		148		148		148		148	
CR		0.052	0.025	0.049	0.023	0.046	0.022	0.043	0.020	0.040	0.019	0.038	0.018	0.036	0.017	0.034	0.016	0.035	0.017	0.036	0.017	0.037	0.017
②: $\Delta \sigma_{ce} \cdot CR$		7.8	3.7	7.2	3.4	6.7	3.2	6.3	3.0	5.9	2.8	5.6	2.6	5.3	2.5	5.0	2.4	5.3	2.5	5.4	2.5	5.5	2.6
判定		0.79	0.77	0.79	0.77	0.79	0.77	0.78	0.77	0.78	0.77	0.78	0.76	0.78	0.76	0.78	0.76	0.78	0.76	0.78	0.76	0.78	0.76
①/②		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

ケーブル番号		C12		C13		C14		C15		C16		C17		C18		C19		C20		C21		C22	
車線		①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②	①	②
載荷活荷重強度 (kN)		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2		640.2	
車線位置補正係数		0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317	0.683	0.317
ケーブル 断面力 (kN)/本	start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	第1ビーク	3.0	1.4	3.6	1.7	4.1	1.9	4.6	2.1	5.1	2.3	5.4	2.5	5.8	2.7	6.1	2.8	6.4	3.0	6.7	3.1	6.9	3.2
	第2ビーク	-0.1	0.0	0.2	0.1	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	-0.5	-0.2	-0.7	-0.3	-0.9	-0.4	-1.3	-0.6	-1.6	-0.7	-2.0	-0.9	-2.5	-1.1
	第3ビーク	15.7	7.3	18.0	8.3	19.6	9.1	20.7	9.6	21.4	9.9	21.5	10.0	21.3	9.9	20.8	9.7	20.0	9.3	19.1	8.9	18.0	8.3
	第4ビーク	-0.1	0.0	-0.2	-0.1	-0.7	-0.3	-1.1	-0.5	-1.5	-0.7	-1.8	-0.8	-2.1	-1.0	-2.4	-1.1	-2.6	-1.2	-2.7	-1.3	-2.9	-1.3
	第5ビーク	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
end		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
断面積 (mm ²)		2627		2625		2625		2624		2624		2624		2624		2624		2625		2624		2625	
ケーブル 応力度 (N/mm ²)	start	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	第1ビーク	1.1	0.5	1.4	0.6	1.6	0.7	1.8	0.8	1.9	0.9	2.1	1.0	2.2	1.1	2.4	1.1	2.4	1.1	2.5	1.2	2.6	1.2
	第2ビーク	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.2	-0.1	-0.3	-0.1	-0.4	-0.2	-0.5	-0.2	-0.6	-0.3	-0.8	-0.4	-0.9	-0.4
	第3ビーク	6.0	2.8	6.8	3.2	7.5	3.5	7.9	3.7	8.1	3.8	8.2	3.8	8.1	3.8	7.9	3.7	7.6	3.5	7.3	3.4	6.8	3.2
	第4ビーク	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	-0.4	-0.2	-0.6	-0.3	-0.7	-0.3	-0.8	-0.4	-0.9	-0.4	-1.0	-0.5	-1.0	-0.5	-1.1	-0.5
	第5ビーク	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
end		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAX		6.0	2.8	6.8	3.2	7.5	3.5	7.9	3.7	8.1	3.8	8.2	3.8	8.1	3.8	7.9	3.7	7.6	3.5	7.3	3.4	6.8	3.2
MIN		0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.3	-0.1	-0.4	-0.2	-0.6	-0.3	-0.7	-0.3	-0.8	-0.4	-0.9	-0.4	-1.0	-0.5	-1.0	-0.5	-1.1	-0.5
①: $\Delta \sigma_{\max}$		6.0	2.8	6.9	3.2	7.7	3.6	8.3	3.9	8.7	4.0	8.9	4.1	8.9	4.1	8.8	4.1	8.6	4.0	8.3	3.9	7.9	3.7
$\Delta \sigma_{ce}$		148		148		148		148		148		148		148		148		148		148		148	
CR		0.051	0.025	0.059	0.028	0.066	0.032	0.070	0.034	0.073	0.035	0.075	0.036	0.075	0.036	0.074	0.036	0.073	0.035	0.070	0.034	0.067	0.032
②: $\Delta \sigma_{ce} \cdot CR$		7.6	3.6	8.7	4.2	9.7	4.7	10.4	5.0	10.9	5.3	11.1	5.4	11.1	5.4	11.0	5.3	10.7	5.2	10.4	5.0	9.9	4.8
判定		0.79	0.77	0.79	0.77	0.80	0.77	0.80	0.77	0.80	0.77	0.80	0.77	0.80	0.77	0.80	0.77	0.80	0.77	0.80	0.77	0.80	0.77
①/②		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

注記：ケーブル断面積については、終局限界状態の検討においてケーブル安全率を $\alpha=1.67$ で設定したときの設計断面積 $\times 1/2$ を採用している。

5.5 まとめ

本検討では、中央支間長が 200m 程度の鋼斜張橋とエクストラードズド橋について、両者の検討モデルを設定し、ケーブル部材に関する終局限界および疲労限界の検討を行った。以下に、本検討で得たケーブル安全率に関する知見を述べる。

- 1) 鋼斜張橋モデルの場合、終局限界状態の検討では、ケーブル安全率を $\alpha=2.50$ としたときに CASE-A, B の両者の終局設計荷重に照査式を満足した。また、疲労限界状態の検討では、安全率を $\alpha=2.20$ としても照査式を満足していた。したがって、本検討モデルと同規模の準平行線ケーブルを用いた鋼斜張橋の場合、ケーブルの安全率は疲労限界よりも終局限界に対して決定され、安全率としては現行の $\alpha=2.50$ 程度を確保する必要がある。
- 2) エクストラードズド橋モデルの場合、終局限界状態の検討では CASE-A, B の両者を満足するケーブル安全率は $\alpha=2.90$ となる。また、疲労限界状態の検討では安全率を $\alpha=1.67$ でも照査式を満足した。したがって、本検討モデルと同規模の P C 鋼より線を使用したエクストラードズド橋の場合、ケーブルの安全率は疲労限界よりも終局限界で決定され、安全率としては現行の $\alpha=1.67$ よりも大きく 2.90 程度の設定が必要と言える。

ただし、本検討における終局限界状態での終局設計荷重は常時荷重をベースにしたものであり、ケーブル安全率の設定については、地震荷重などの偶発荷重に対する終局限界状態も考慮しなければならない。また、材料非線形や幾何学的非線形を考慮したより精度の高い解析での検証も必要と考える。

5.6 添付資料

5.6.1 エクストラードスド橋のケーブル設計法の概要

ED橋におけるケーブルの設計は、一般的に文献 1) にしたがって実施されることが多い。そこで、本節ではED橋のケーブル設計法として、文献 1) に示される設計法の概要について述べる。なお、ここでは「ケーブル」を「斜材」として表現する。

文献 1) に示される斜材の設計フローを図-5.6.1 に、斜材の設計基準を図-5.6.2 に示す。

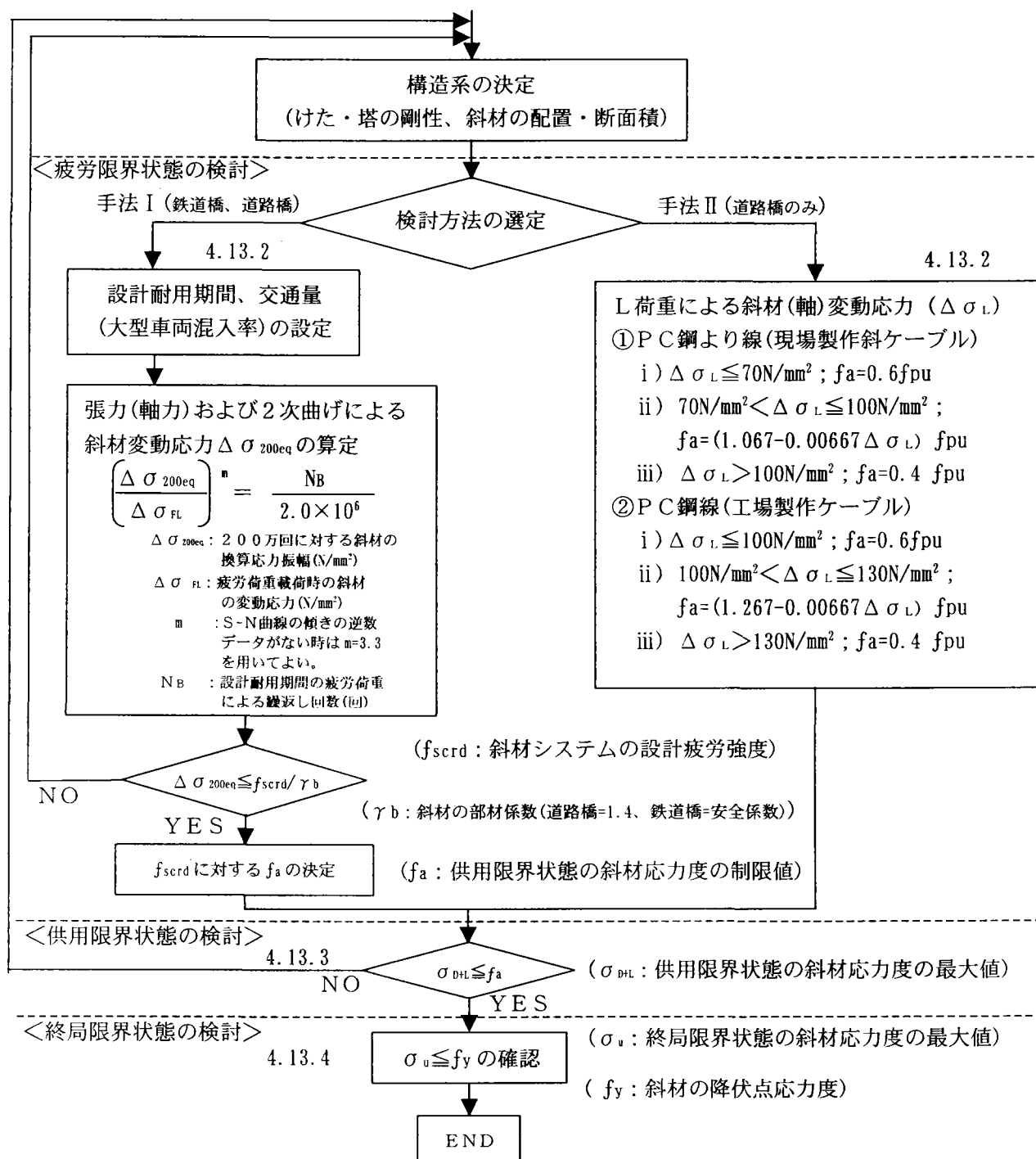


図-5.6.1 文献 1) : 斜材の設計フロー

4.13 斜材の設計

4.13.1 一般

斜材の設計は、橋りょうの耐用年数の間に要求される安全性・使用性および耐久性を維持できるように行わなければならない。また、設計にあたっては疲労限界状態・供用限界状態・終局限界状態について検討するものとする。

4.13.2 疲労限界状態の検討

- (1) 斜材の疲労に対する安全性の検討は、設計変動応力度が、設計疲労強度を部材係数で除した値以下であることを確かめることによって行うことを原則とする。
- (2) 設計変動応力度は、適切な方法により求めなければならない。
- (3) 疲労に対する安全性の検討は、斜材ごとに行うことを標準とする。
- (4) 斜材の疲労に対する安全性の検討に用いる部材係数 γ_b は、疲労強度や設計手法の不確定要素を考慮して適切に定めなければならない。

4.13.3 供用限界状態の検討

- (1) 斜材の供用限界状態に対する検討は、変動荷重作用時の斜材の応力度 σ_{DH} が制限値 f_a 以下であることを確かめることにより行うものとする。
- (2) 使用性を損なう斜材の有害な振動は、適切な方法で制御しなければならない。
- (3) コンクリートのクリープにより斜材の張力が増加する場合は、クリープ係数のばらつきを考えて不利な条件で検討を行うことを原則とする。
- (4) 斜材を取り替える場合は、変動荷重の条件を別途定めて検討を行うことを原則とする。

4.13.4 終局限界状態の検討

斜材の終局限界状態に対する検討は、一般に省略してよい。

図-5.6.2 文献 1)：斜材の設計基準

文献 1) で特徴的なことは、まず斜材の設計に限界状態設計法を採用していることである。その背景には、コンクリート斜張橋の斜材の安全率が道示Ⅲにおいて規定されていた当時と比較して、制振技術や防錆技術の発達したこと、ならびに ED 橋の出現により斜張橋と外ケーブル橋が構造的に連続し、斜材の安全率に対する考え方を見直す必要が出てきたことなどがある。また限界状態設計法を適用し、変動応力に応じて斜材ごとに安全率を変えろという合理的な設計思想を取り入れている。

斜材の設計順序としては、図-5.6.1 の設計フローに示されるように、まず斜材の疲労設計を最初に行い、さらにそこから導き出された制限値を使用して供用限界状態の照査を行うという手順を踏んでいる。これは、大きな設計変動応力を受ける斜材は基本となる応力度を低く設定しなければならないが、そうでない斜材は逆に高く設定できるということを利用して、斜材ごとに供用限界状態の制限値を規定しようとするものである。

このときの基本となっている疲労限界状態の検討は、交通量予測が明確な場合（手法Ⅰ）と、そうでない場合（手法Ⅱ）に分けて検討方法の使い分けを行っている。手法Ⅰは理想的ではあるが、遠い将来の交通予測が困難な場合が多く、一般的には照査方法が簡素化されている手法Ⅱが用いられる。

手法Ⅰは、斜材変動応力が斜材システムとしての疲労強度以下であることを照査する手法である。斜材システムとしての疲労強度とは、下記の要因を考慮して単線の疲労強度を低減して設定した斜材の疲労強度である。

- ① 素線をケーブルとして束ねることによる素線破断確率の上昇。
- ② 切断加工時の素線毎の長さ誤差による素線破断確率の上昇。
- ③ 素線が疲労破断して応力増加することによる２次的な疲労強度の低下。
- ④ 定着具付近での素線の分散定着にともなう角折れなどの影響。
- ⑤ 貫通固定する場合の腹圧力によるフレティング。

文献 1) では、P C 鋼材単線の疲労試験から得られた特性値を用いて、上記要因を考慮した斜材システムとしての疲労強度を推定する方法が示されており、この方法の概念を図-5.6.3 に示す。

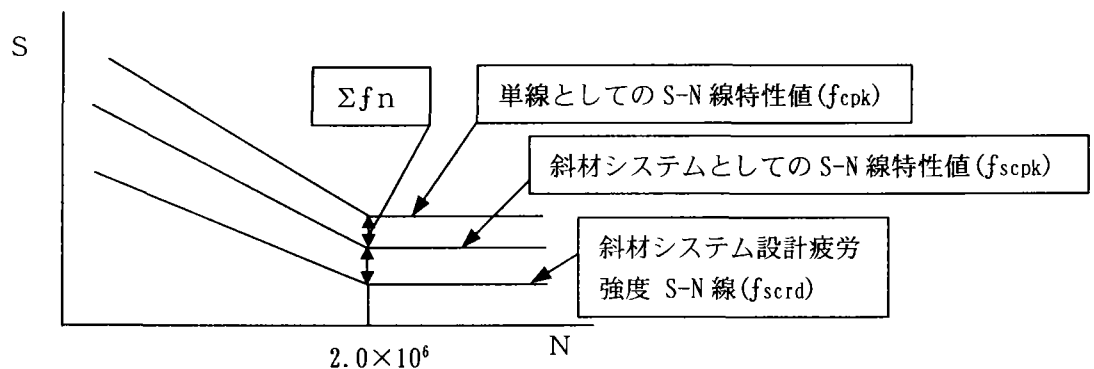
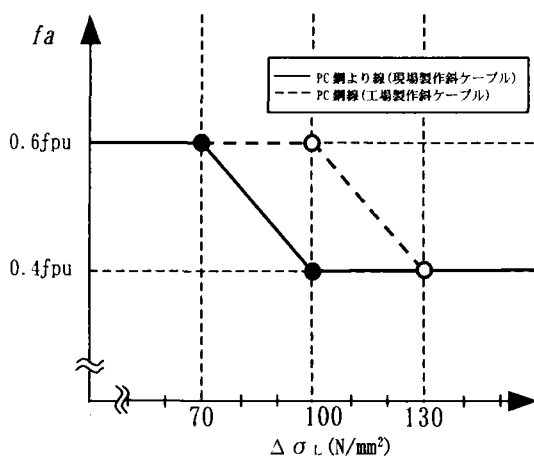


図-5.6.3 文献 1)：斜材システムとしての疲労設計強度

手法Ⅱは、疲労設計における変動応力が L 荷重による変動応力 ($\Delta \sigma_L$) と線形関係にあることを利用して、 $\Delta \sigma_L$ の値から供用限界状態の制限値 (f_a) を設定する手法である。 $\Delta \sigma_L$ と f_a の関係を図-5.6.4 に示す。



ここに f_{pu} は P C 鋼材の引張強度である。したがって、P C 鋼材の安全率は、L 荷重による変動応力の違いにより、
 $1/0.6 = 1.67$
 $1/0.4 = 2.50$
 の 2 種類に定義されている。

図-5.6.4 文献 1)： $\Delta \sigma_L$ と f_a の関係

斜材の終局限界状態の検討について、文献 1) では一般に省略してもよいとしている。この理由は以下を考慮したことによる。

- ・永久荷重と変動荷重が作用する場合は、供用限界状態に比べて張力が増加するが、斜材の応力度が降伏点に達するかそうでないかだけの問題である。
- ・仮に部分的に斜材が破断しても、構造全体の崩壊につながらないため、斜材は取り替えることを前提にすればよい。

ただし、主桁の設計において荷重係数倍された終局限界状態の斜材張力は、降伏応力度を最大値として主桁の終局曲げモーメントを算出しなければならない、すなわち、主桁の終局状態では斜材の応力が降伏応力度以下であることを確認するようにしている。

5.6.2 鋼斜張橋モデル添付資料

(1) 検討モデルで設定したケーブルの断面と安全率

表-5.6.1 鋼斜張橋：検討モデルで設定したケーブルの断面と安全率

ケーブル 番号	断面 番号	断面積 A (mm ²)	引張強度 F _t (N/mm ²)	ケーブル強度 T _u (kN)	ケーブル断面力 (kN)					安全率
					D	PS	D+PS	L+I	Σ P _i	
C1	①	7004	1570	10996	1979	1335	3314	1245	4559	2.41
C2	④	2848	1570	4471	886	465	1351	416	1767	2.53
C3	④	2848	1570	4471	962	358	1320	381	1701	2.63
C4	③	4234	1570	6647	1517	438	1955	640	2595	2.56
C5	④	2848	1570	4471	1048	164	1212	488	1700	2.63
C6	④	2848	1570	4471	1021	164	1185	542	1727	2.59
C7	④	2848	1570	4471	909	249	1158	616	1774	2.52
C8	④	2848	1570	4471	669	470	1139	632	1771	2.52
C9	④	2848	1570	4471	900	238	1138	606	1744	2.56
C10	④	2848	1570	4471	1109	57	1166	614	1780	2.51
C11	④	2848	1570	4471	1213	-17	1196	591	1787	2.50
C12	④	2848	1570	4471	1246	-25	1221	556	1777	2.52
C13	②	4696	1570	7373	2029	-58	1971	867	2838	2.60
C14	④	2848	1570	4471	1175	154	1329	501	1830	2.44
C15	④	2848	1570	4471	1082	278	1360	469	1829	2.44
C16	①	7004	1570	10996	2346	989	3335	1079	4414	2.49
C17	①	7004	1570	10996	2346	989	3335	1079	4414	2.49
C18	④	2848	1570	4471	1082	278	1360	469	1829	2.44
C19	④	2848	1570	4471	1175	154	1329	501	1830	2.44
C20	②	4696	1570	7373	2029	-58	1971	867	2838	2.60
C21	④	2848	1570	4471	1246	-25	1221	556	1777	2.52
C22	④	2848	1570	4471	1213	-17	1196	591	1787	2.50
C23	④	2848	1570	4471	1109	57	1166	614	1780	2.51
C24	④	2848	1570	4471	900	238	1138	606	1744	2.56
C25	④	2848	1570	4471	669	470	1139	632	1771	2.52
C26	④	2848	1570	4471	909	249	1158	616	1774	2.52
C27	④	2848	1570	4471	1021	164	1185	542	1727	2.59
C28	④	2848	1570	4471	1048	164	1212	488	1700	2.63
C29	③	4234	1570	6647	1517	438	1955	640	2595	2.56
C30	④	2848	1570	4471	962	358	1320	381	1701	2.63
C31	④	2848	1570	4471	886	465	1351	416	1767	2.53
C32	①	7004	1570	10996	1979	1335	3314	1245	4559	2.41

(2) 断面力図とケーブル影響線図

断面力M z 図

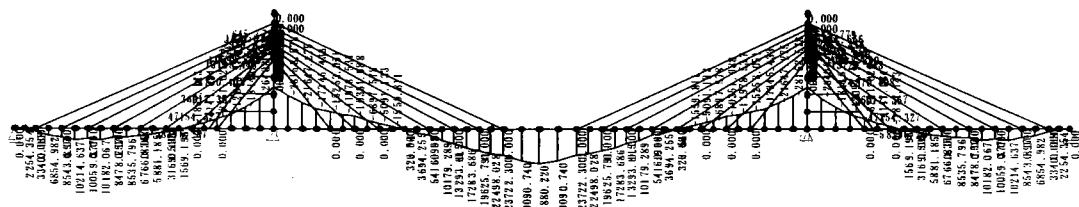


図-5.6.5 鋼斜張橋：曲げモーメント図【D】(単位:kN.m)

断面力M z 図

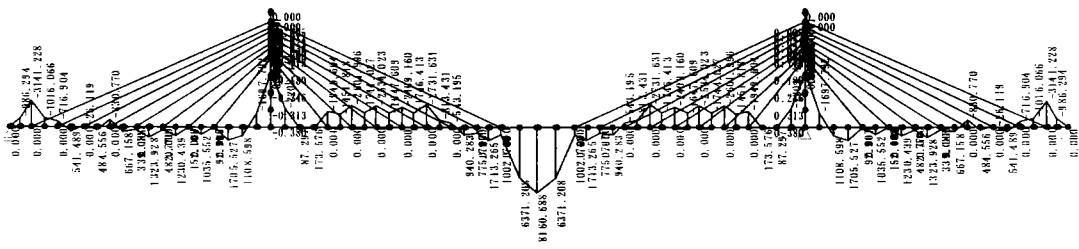


図-5.6.6 鋼斜張橋：曲げモーメント図【D+P S】(単位:kN.m)

面内断面力M z 図

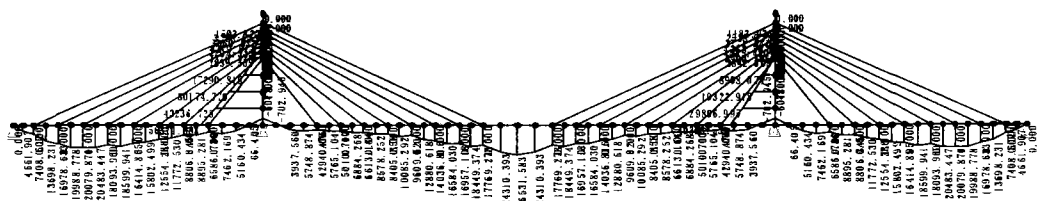


図-5.6.7 鋼斜張橋：曲げモーメント図【D+PS+L(M.max)】(単位:kN.m)

面内断面力M z 図

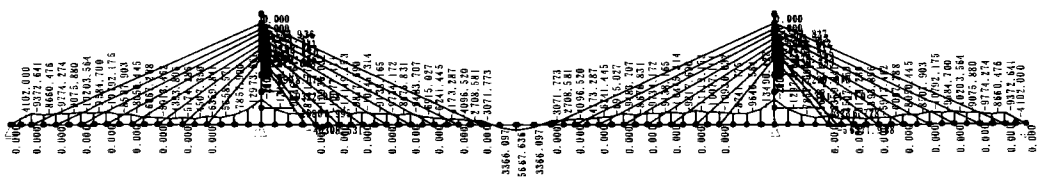
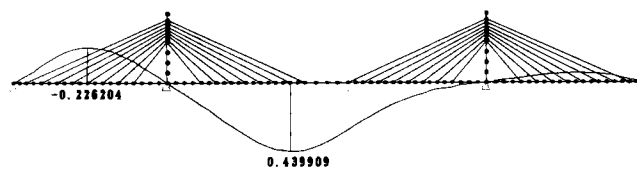
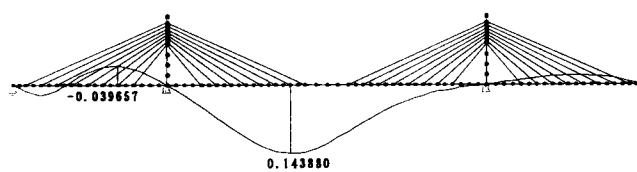


図-5.6.8 鋼斜張橋：曲げモーメント図【D+PS+L(M.min)】(単位:kN.m)

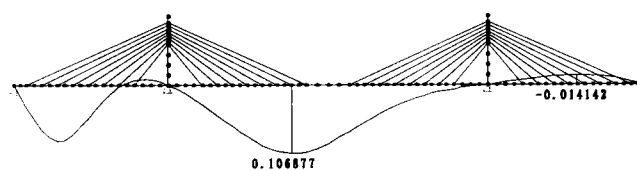
【C1 ケーブル】影響線図



【C2 ケーブル】影響線図



【C3 ケーブル】影響線図



【C4 ケーブル】影響線図

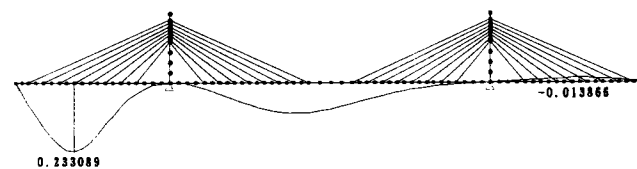
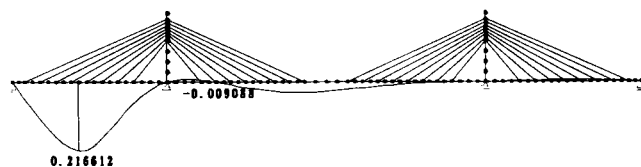
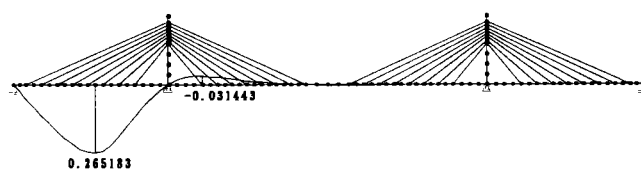


図-5.6.9 鋼斜張橋：ケーブルC1～C4の影響線図

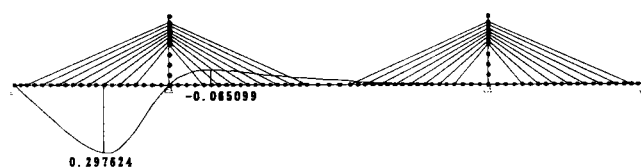
【C5 ケーブル】影響線図



【C6 ケーブル】影響線図



【C7 ケーブル】影響線図



【C8 ケーブル】影響線図

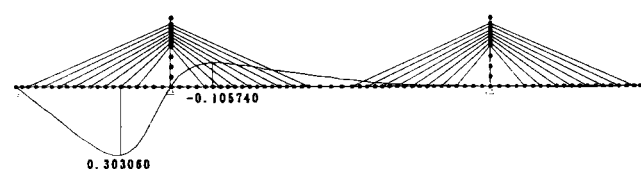
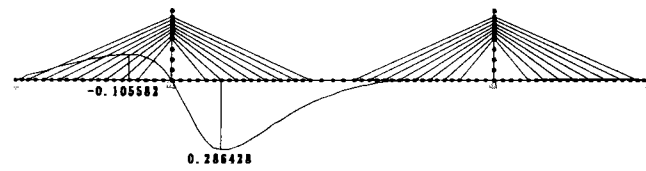
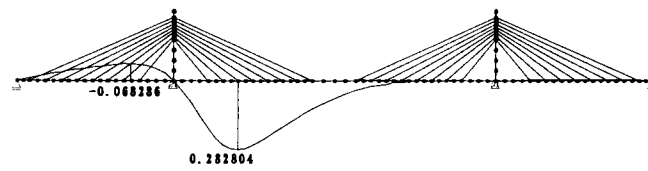


図-5.6.10 鋼斜張橋：ケーブルC5～C8の影響線図

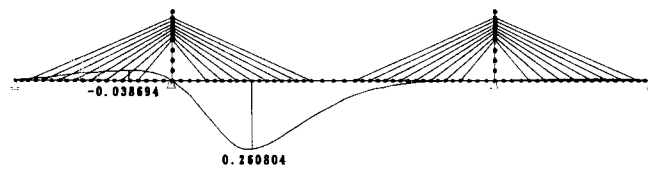
【C9 ケーブル】 影響線図



【C10 ケーブル】 影響線図



【C11 ケーブル】 影響線図



【C12 ケーブル】 影響線図

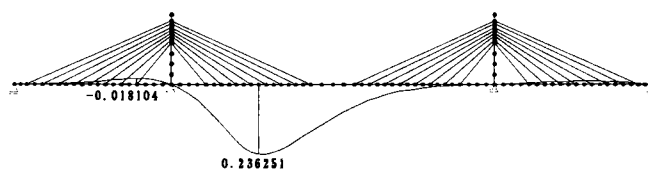
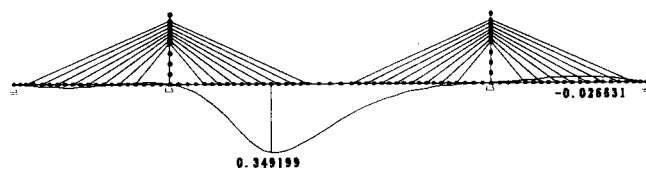
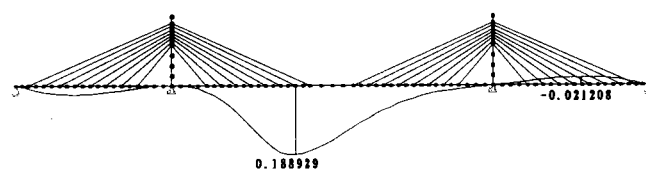


図-5.6.11 鋼斜張橋：ケーブルC9～C12の影響線図

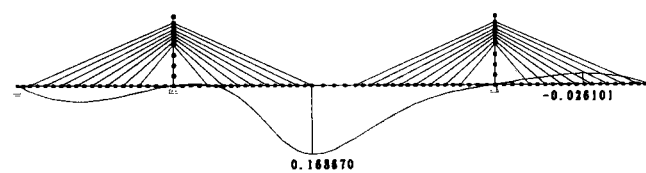
【C13 ケーブル】影響線図



【C14 ケーブル】影響線図



【C15 ケーブル】影響線図



【C16 ケーブル】影響線図

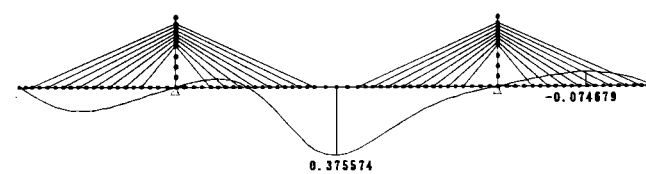


図-5.6.12 鋼斜張橋：ケーブルC13～C16の影響線図

5.6.3 エクストラドーズド橋モデル添付資料

(1) 検討モデルで設定したケーブルの断面と安全率

表-5.6.2 E D 橋：検討モデルで設定したケーブルの断面と安全率

ケーブル 番号	断面積 A(mm ²)	引張強度 F _t (N/mm ²)	ケーブル 強度 T _u (kN)	ケーブル断面力(kN)										安全率
				D1	D2	小計 D	D3	D4	D5	小計 D'	PS	L+I	Σ P i	
C 1	5271	1882	9920	814	66	880	-15	-182	-134	-331	5327	73	5949	1.67
C 2	5271	1882	9920	796	71	867	-18	-174	-175	-367	5374	73	5947	1.67
C 3	5271	1882	9920	772	75	847	-21	-167	-217	-405	5429	75	5946	1.67
C 4	5271	1882	9920	744	80	824	-23	-160	-264	-447	5492	77	5946	1.67
C 5	5271	1882	9920	712	84	796	-26	-153	-316	-495	5565	79	5945	1.67
C 6	5271	1882	9920	675	88	763	-28	-146	-370	-544	5645	81	5945	1.67
C 7	5271	1882	9920	633	91	724	-29	-139	-425	-593	5731	83	5945	1.67
C 8	5271	1882	9920	583	93	676	-31	-133	-483	-647	5830	84	5943	1.67
C 9	5271	1882	9920	527	95	622	-32	-126	-535	-693	5932	86	5947	1.67
C10	5271	1882	9920	465	94	559	-33	-120	-585	-738	6039	86	5946	1.67
C11	5271	1882	9920	397	92	489	-34	-114	-629	-777	6150	85	5947	1.67
C12	5271	1882	9920	369	102	471	-36	-62	-377	-475	5831	93	5920	1.68
C13	5271	1882	9920	442	121	563	-48	-98	-410	-556	5800	110	5917	1.68
C14	5271	1882	9920	507	134	641	-57	-132	-438	-627	5778	124	5916	1.68
C15	5271	1882	9920	565	142	707	-64	-167	-461	-692	5766	133	5914	1.68
C16	5271	1882	9920	617	146	763	-69	-201	-478	-748	5761	138	5914	1.68
C17	5271	1882	9920	658	146	804	-71	-233	-497	-801	5771	139	5913	1.68
C18	5271	1882	9920	695	143	838	-72	-265	-518	-855	5793	138	5914	1.68
C19	5271	1882	9920	726	138	864	-71	-295	-536	-902	5817	135	5914	1.68
C20	5271	1882	9920	751	130	881	-68	-319	-554	-941	5844	131	5915	1.68
C21	5271	1882	9920	771	122	893	-64	-340	-573	-977	5873	124	5913	1.68
C22	5271	1882	9920	785	112	897	-58	-355	-583	-996	5898	118	5917	1.68
C23	5271	1882	9920	785	111	896	-58	-353	-573	-984	5898	117	5927	1.67
C24	5271	1882	9920	770	121	891	-63	-338	-564	-965	5873	124	5923	1.67
C25	5271	1882	9920	751	130	881	-67	-318	-546	-931	5844	130	5924	1.67
C26	5271	1882	9920	725	137	862	-70	-293	-530	-893	5817	134	5920	1.68
C27	5271	1882	9920	694	142	836	-71	-264	-512	-847	5793	137	5919	1.68
C28	5271	1882	9920	658	145	803	-71	-232	-492	-795	5771	138	5917	1.68
C29	5271	1882	9920	617	146	763	-68	-200	-476	-744	5761	137	5917	1.68
C30	5271	1882	9920	565	142	707	-64	-166	-461	-691	5766	132	5914	1.68
C31	5271	1882	9920	507	134	641	-57	-132	-441	-630	5778	123	5912	1.68
C32	5271	1882	9920	442	121	563	-48	-98	-416	-562	5800	110	5911	1.68
C33	5271	1882	9920	369	102	471	-36	-63	-386	-485	5831	94	5911	1.68
C34	5271	1882	9920	397	92	489	-34	-114	-619	-767	6150	85	5957	1.67
C35	5271	1882	9920	465	94	559	-33	-120	-580	-733	6039	86	5951	1.67
C36	5271	1882	9920	527	95	622	-32	-127	-533	-692	5932	86	5948	1.67
C37	5271	1882	9920	583	94	677	-31	-133	-481	-645	5830	85	5947	1.67
C38	5271	1882	9920	633	92	725	-29	-140	-426	-595	5731	83	5944	1.67
C39	5271	1882	9920	675	89	764	-28	-147	-373	-548	5645	82	5943	1.67
C40	5271	1882	9920	712	85	797	-26	-154	-321	-501	5565	80	5941	1.67
C41	5271	1882	9920	745	80	825	-24	-161	-269	-454	5492	78	5941	1.67
C42	5271	1882	9920	773	76	849	-21	-169	-223	-413	5429	76	5941	1.67
C43	5271	1882	9920	796	71	867	-19	-176	-181	-376	5374	75	5940	1.67
C44	5271	1882	9920	815	67	882	-16	-184	-143	-343	5327	75	5941	1.67
備考	D1：橋体自重 D2：橋面荷重 D3：架設荷重 D4：桁内ケーブルプレストレス D5：クリープおよび乾燥収縮 D：D1+D2 D'：D3+D4+D5 PS：斜材プレストレス L：活荷重+衝撃													

(2) ED橋モデルの曲げモーメント図とケーブル影響線図

— DEAD LOAD
— ERECTION LOAD

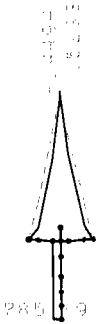
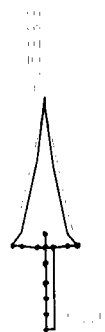


図-5.6.13 架設時曲げモーメント図 STAGE 2 【D+D' +PS】 (単位:kN.m)

— DEAD LOAD
 - - - ERECTION LOAD

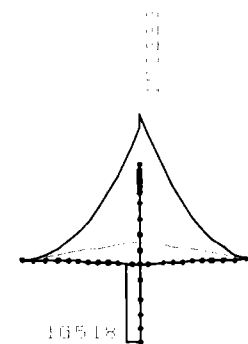
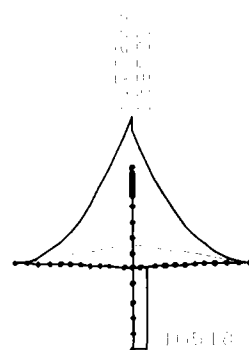


図-5.6.14 架設時曲げモーメント図 STAGE 3【D+D' +PS】(単位:kN.m)

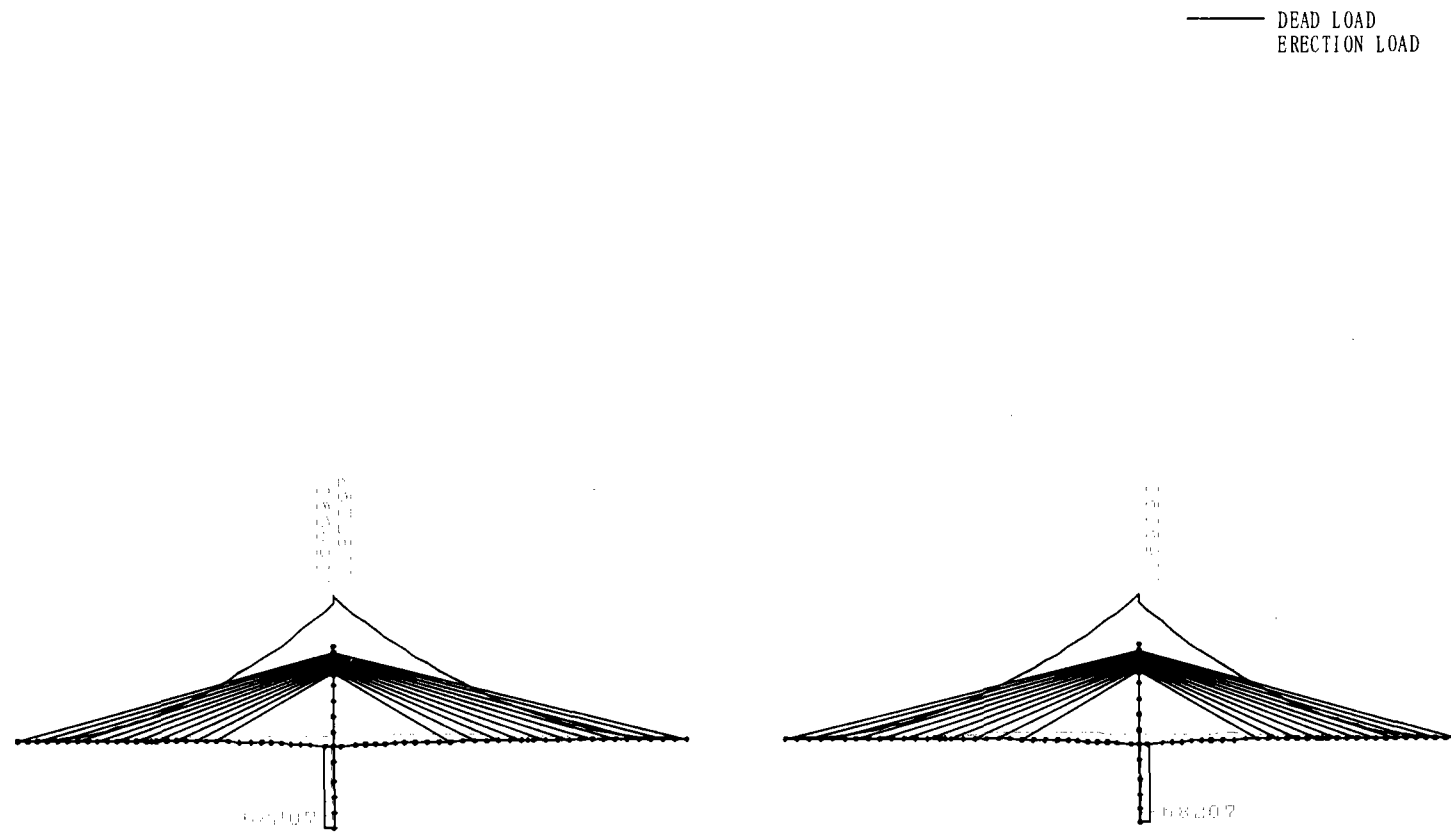


図-5.6.15 架設時曲げモーメント図 STAGE 4 【D+D' +PS】 (単位:kN.m)

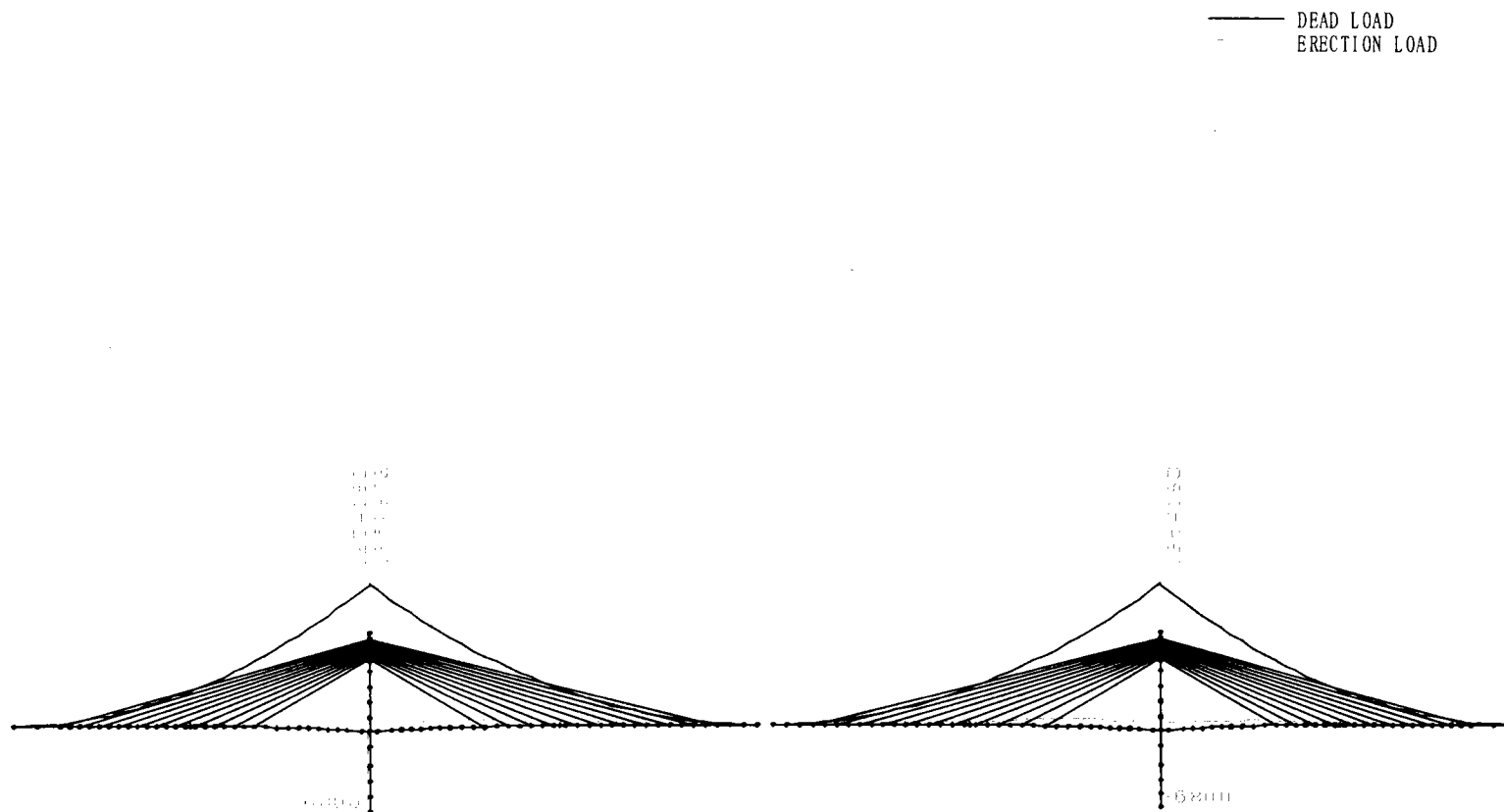


図-5.6.16 架設時曲げモーメント図 STAGE 5【D+D' +PS】(単位:kN.m)

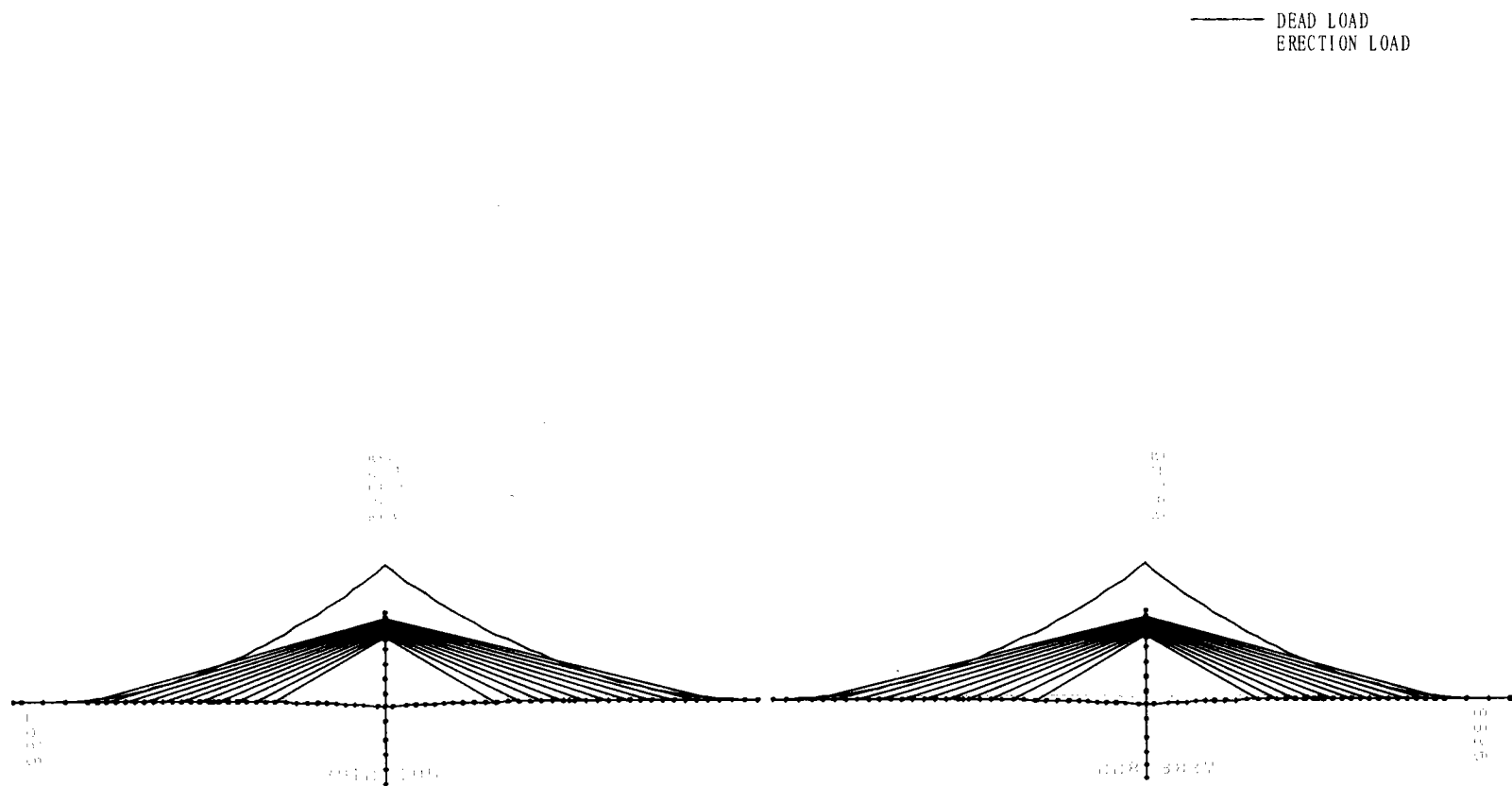


図-5.6.17 架設時曲げモーメント図 STAGE 6 【D+D' +PS】 (単位:kN.m)

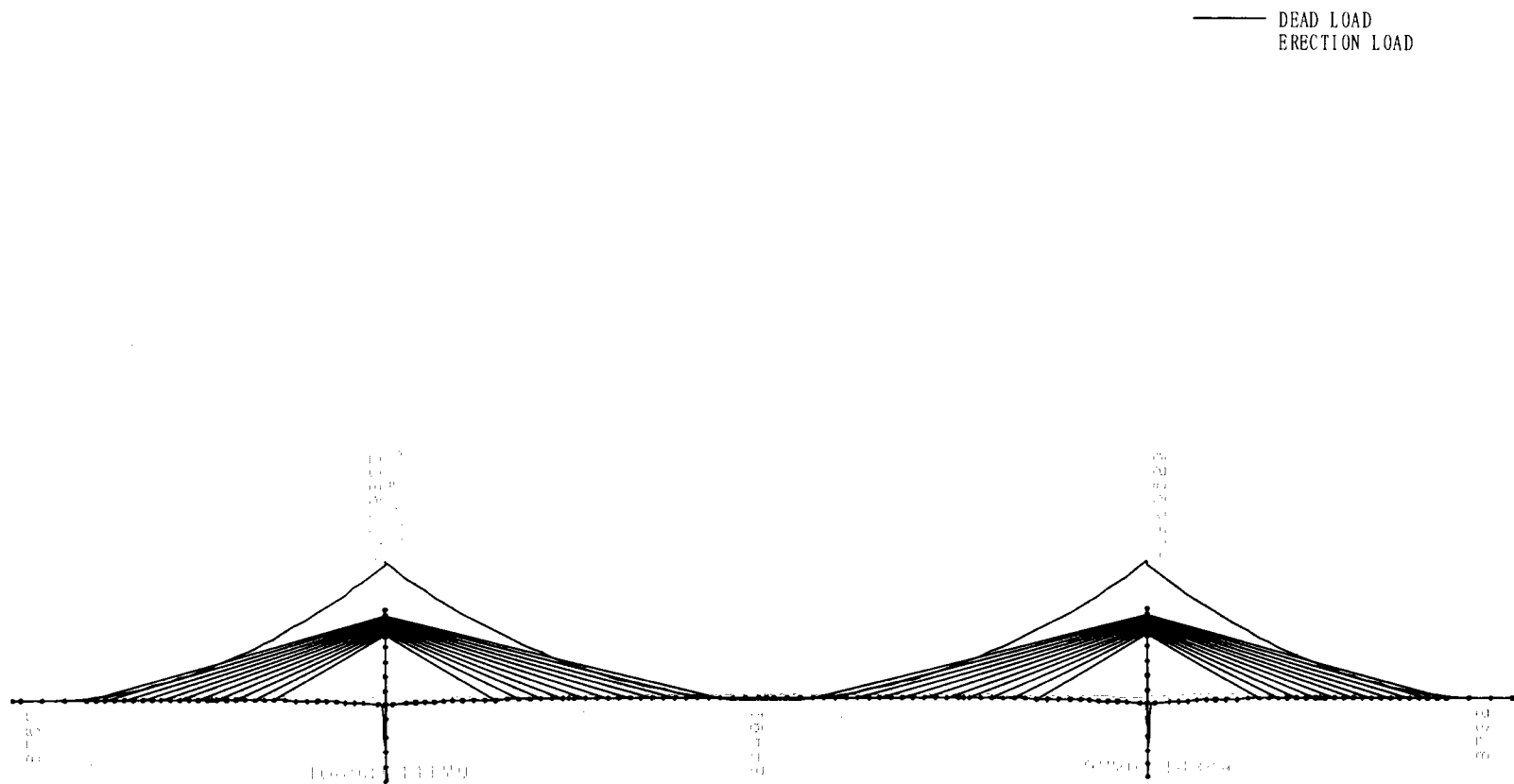


図-5.6.18 架設時曲げモーメント図 STAGE 7【D+D' +PS】(単位:kN.m)

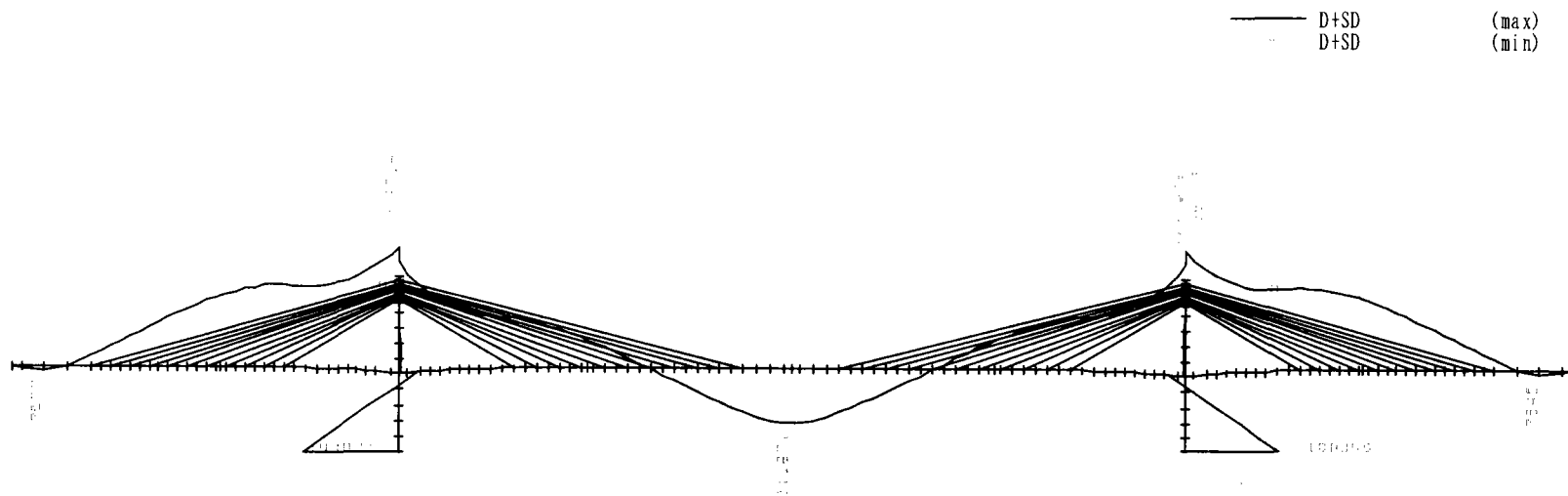


図-5.6.19 完成後曲げモーメント図 【 $D+D'+PS$ 】 (単位:kN.m)

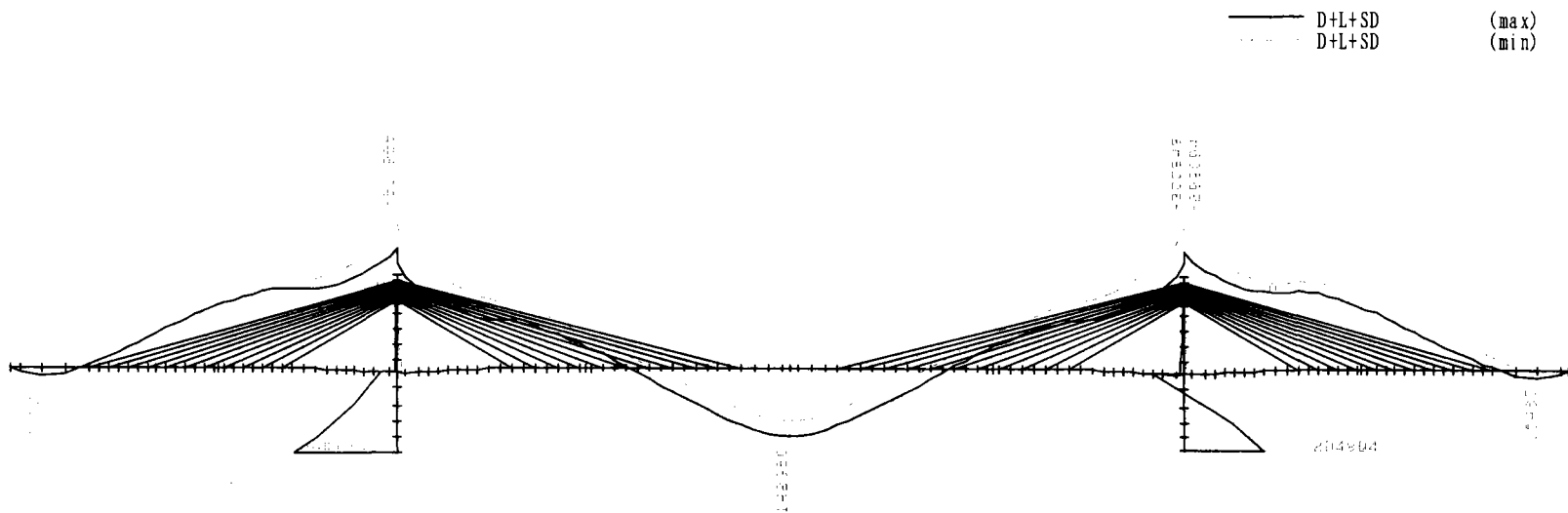
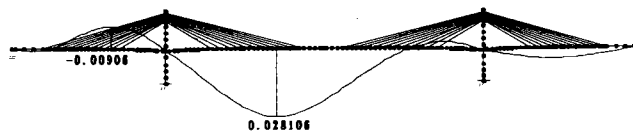
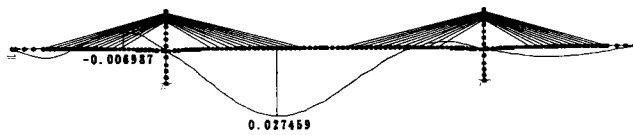


図-5.6.20 完成後曲げモーメント図 【 $D+D'+PS+L$ 】 (単位:kN.m)

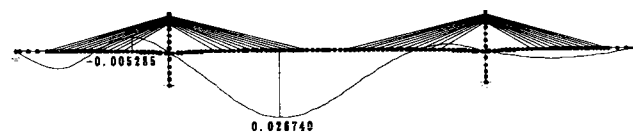
【C1 ケーブル】影響線図



【C2 ケーブル】影響線図



【C3 ケーブル】影響線図



【C4 ケーブル】影響線図

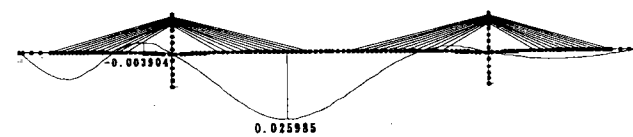
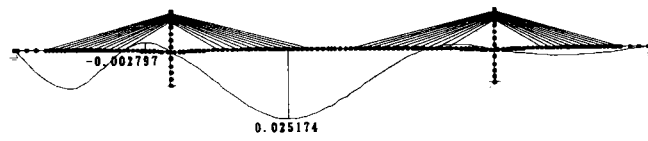
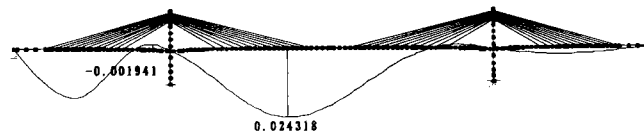


図-5.6.21 E D 橋 : ケーブル C1～C4の影響線図

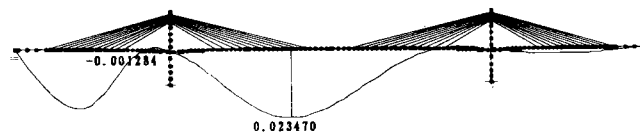
【C5 ケーブル】影響線図



【C6 ケーブル】影響線図



【C7 ケーブル】影響線図



【C8 ケーブル】影響線図

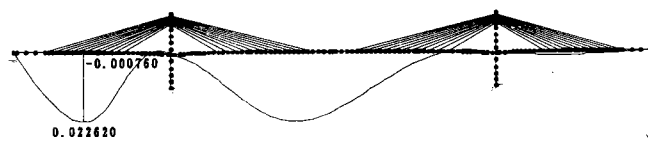
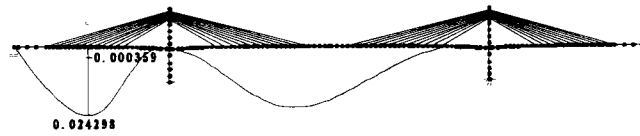
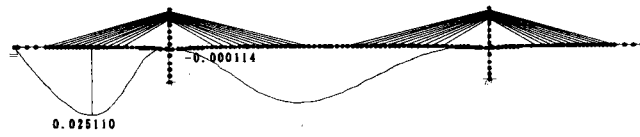


図-5.6.22 E D 橋 : ケーブル C5～C8 の影響線図

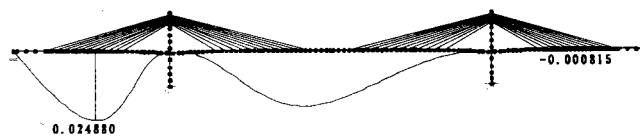
【C9 ケーブル】影響線図



【C10 ケーブル】影響線図



【C11 ケーブル】影響線図



【C12 ケーブル】影響線図

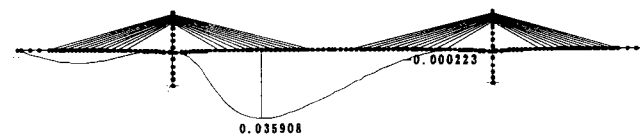
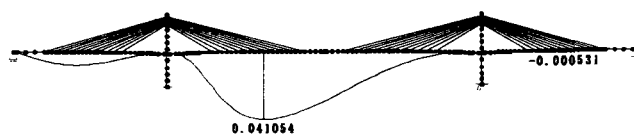
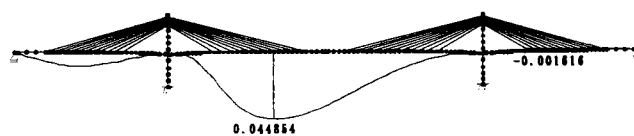


図-5.6.23 E D 橋 : ケーブル C8~C12 の影響線図

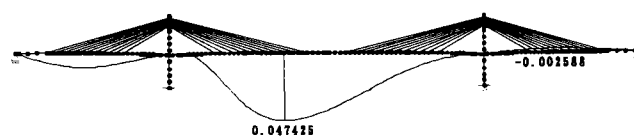
【C13 ケーブル】影響線図



【C14 ケーブル】影響線図



【C15 ケーブル】影響線図



【C16 ケーブル】影響線図

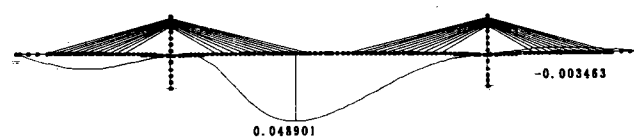
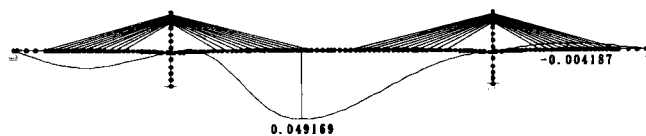
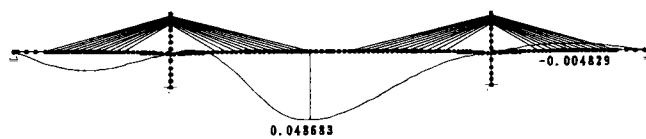


図-5.6.24 E D 橋 : ケーブル C13～C16 の影響線図

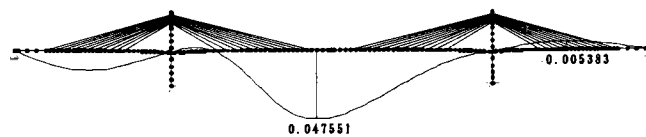
【C17 ケーブル】影響線図



【C18 ケーブル】影響線図



【C19 ケーブル】影響線図



【C20 ケーブル】影響線図

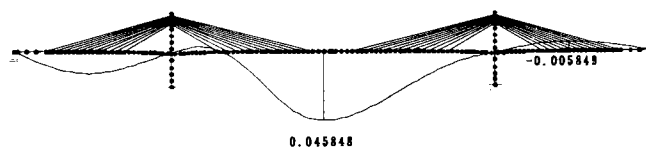
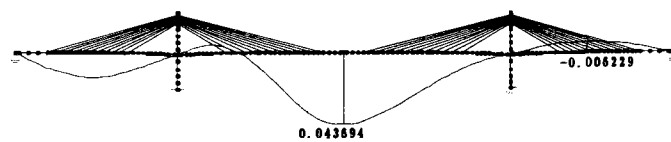


図-5.6.25 E D 橋 : ケーブルC17～C20の影響線図

【C21 ケーブル】影響線図



【C22 ケーブル】影響線図

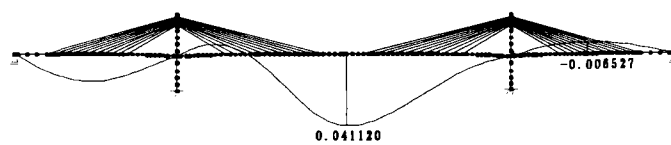


図-5.6.26 E D 橋 : ケーブル C21, C22 の影響線図

参考文献

- 文献 1) (社)プレストレストコンクリート技術協会, P C 斜張橋・エクストラードズド橋設計施工基準(案),
平成 12 年 11 月
- 文献 2) 中村俊一, 橋梁ケーブルの限界状態設計法に関する一提案,
構造工学論文集, Vol. 47A, pp1247~1254 (2001 年 3 月)
- 文献 3) (社)日本道路協会, 鋼道路橋の疲労設計指針, 平成 14 年 3 月
- 文献 4) (社)日本鋼構造協会, 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 1993 年 4 月
- 文献 5) (社)日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 I 共通編, II 鋼橋編, III コンクリート橋編,
平成 14 年 3 月