

4. 新素材を用いた橋の試設計

4.1 長大吊橋

吊橋に新素材を適用して、概略重量及び費用の試算を実施し中～超長大橋までの上部工（ケーブル、塔、補剛桁）の費用比較を行った。

試算は以下の方法によって進めた。

(1) 試算に採用した計算式

「吊形式橋梁」¹⁾の計算式を採用し概算値を求めた。

(2) 試算に用いたデータ

(a) 橋梁の形式	単径間吊橋
(b) 径間比	0.3 : 1.0 : 0.3
(c) サグ比	1 : 10
(d) 荷重	活荷重 - TL-20・TT-43等価L荷重 桁自重 - 別紙構造により試算
(e) 素材の組合せ	ケーブル : steel もしくは CFRP ハンガー : steel もしくは CFRP 補剛桁 : steel もしくは Al (アルミニウム) 塔 : steel
(f) 径間パラメータ	中央径間を 500 m～5000 mまで 500 mピッチ変化
(g) 許容応力度	steel : ケーブル 72 kgf/mm ² steel : 塔 16 kgf/mm ² CFRP : ケーブル 40 kgf/mm ²

計算結果のまとめを以下に示す

- (1) 図-4.3 より中央径間長 $l_m = 2500$ m付近から各ケース毎の費用に有意差が見られるようになる。たとえば $l_m = 5000$ mでは、全て steelを採用した場合(CASE 1)に対して、ケーブルに CFRP、桁にAl、塔に steelを採用した場合(CASE 4)のほうが、素材単価が高いにもかかわらず総費用において約70%程度費用の削減が可能となる。
- (2) 図-4. より支間が長くなるにしたがい、総費用に占めるケーブルの割合が大きくなる。たとえば $l_m = 500$ mでは10%程度であったものが、 $l_m = 5000$ mでは50～60%に増加する。また、塔も上記と同じ傾向を示す。
- (3) 図-4.4 より支間が長くなるにしたがい、総費用に占める桁の割合が減少する。たとえば、 $l_m = 500$ mでは80%程度であったものが、 $l_m = 5000$ mでは20～40%程度に減少する。

荷重は鉛直荷重とトルク荷重とに分離せず1-0法にて等価L荷重を用いて活荷重を計算する。

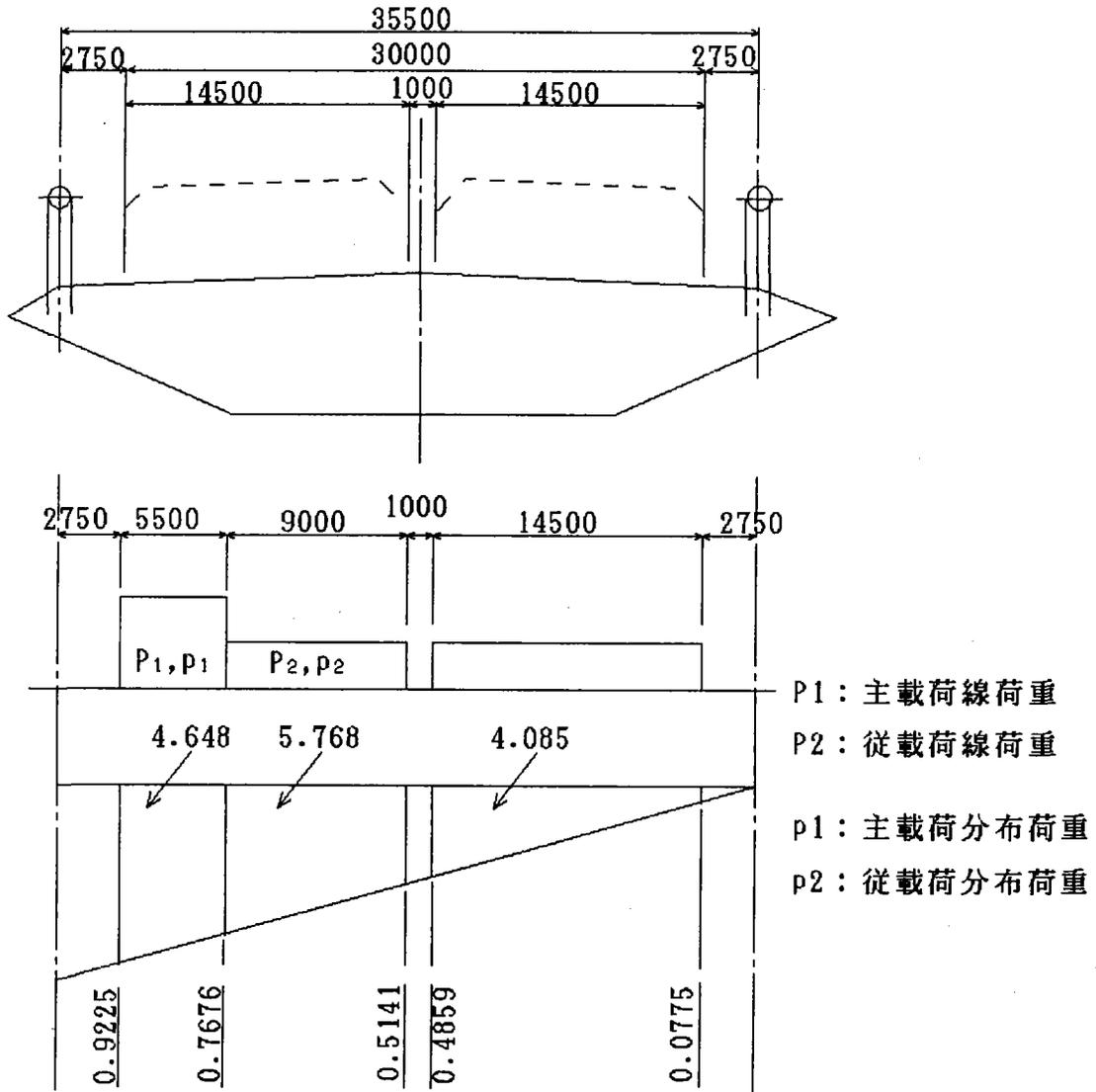


図-4.2 活荷重の載荷方法

線荷重 (tf)

$$P1 = P1 \times 4.648$$

$$P2 = P2 \times (5.768 + 4.085) = P2 \times 9.853$$

等分布荷重 (tf/m)

$$p1 = p1 \times 4.648$$

$$p2 = p2 \times (5.768 + 4.058) = p2 \times 9.853$$

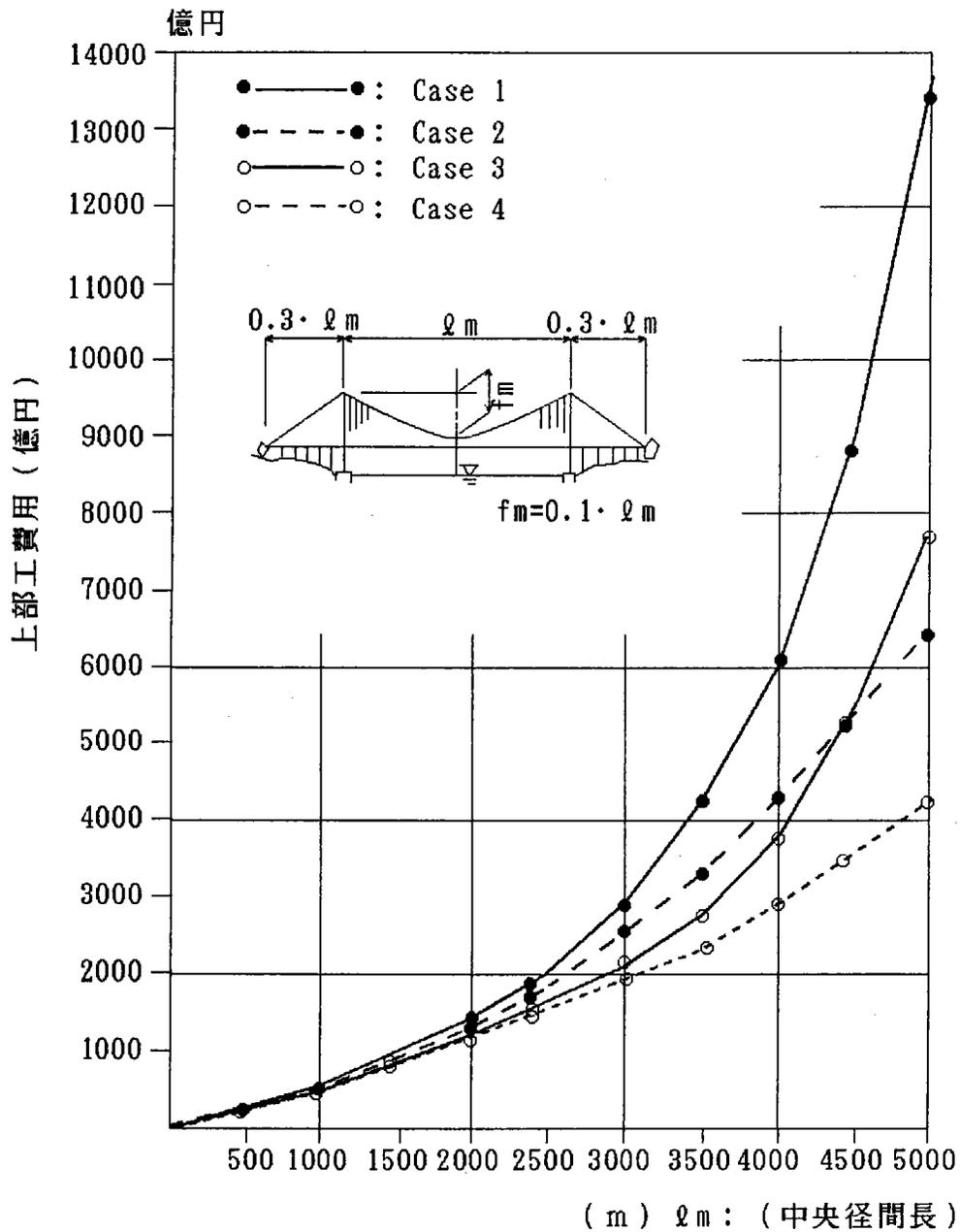


図-4.3 単径間吊橋素材別上部工製作費用 (全橋分)

	製作単価 (万円/t)			上部工素材組み合わせ表			
	steel	AL	CFRP	cable	tower	girder	
cable	120	-	400	Case 1	steel	steel	steel
tower	80	-	-	Case 2	CFRP	steel	steel
girder	60	220	-	Case 3	steel	steel	AL
				Case 4	CFRP	steel	AL

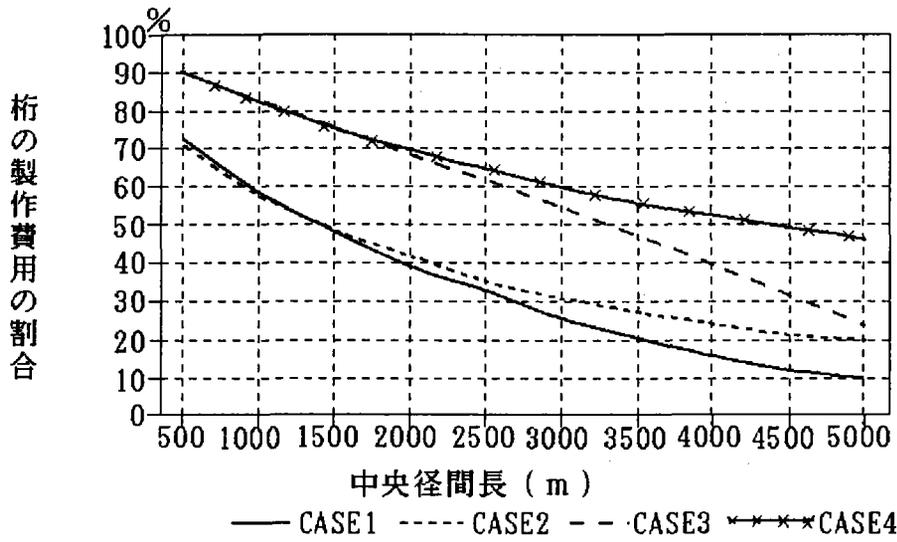


図-4.4 全製作費用に占める桁の割合

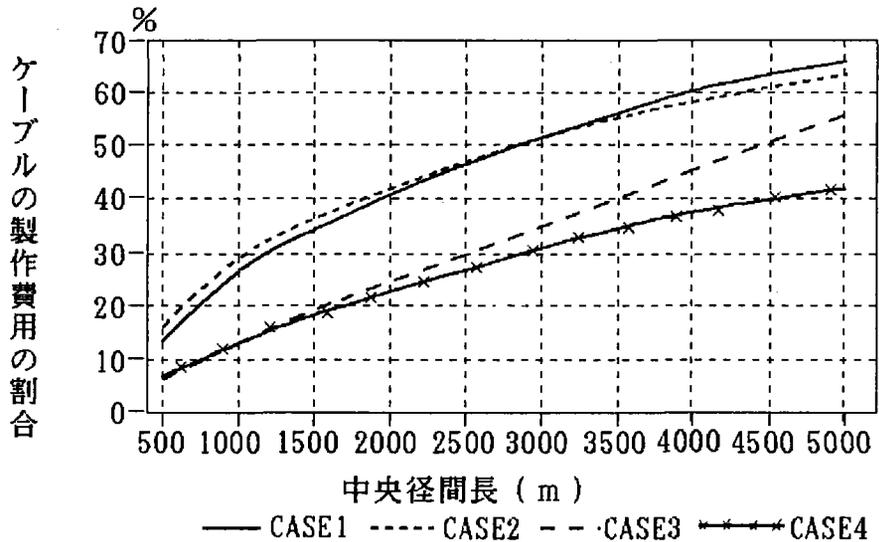


図-4.5 全製作費用に占めるケーブルの割合

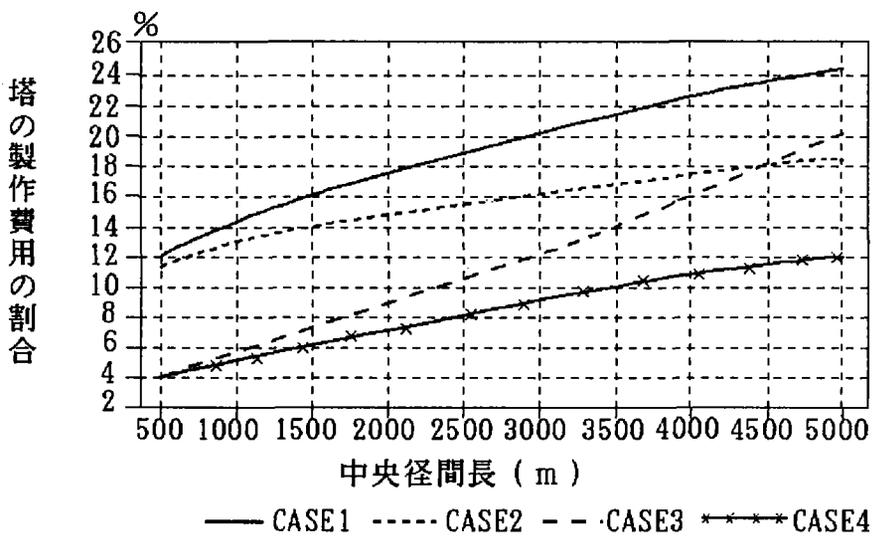


図-4.6 塔の製作費用の割合

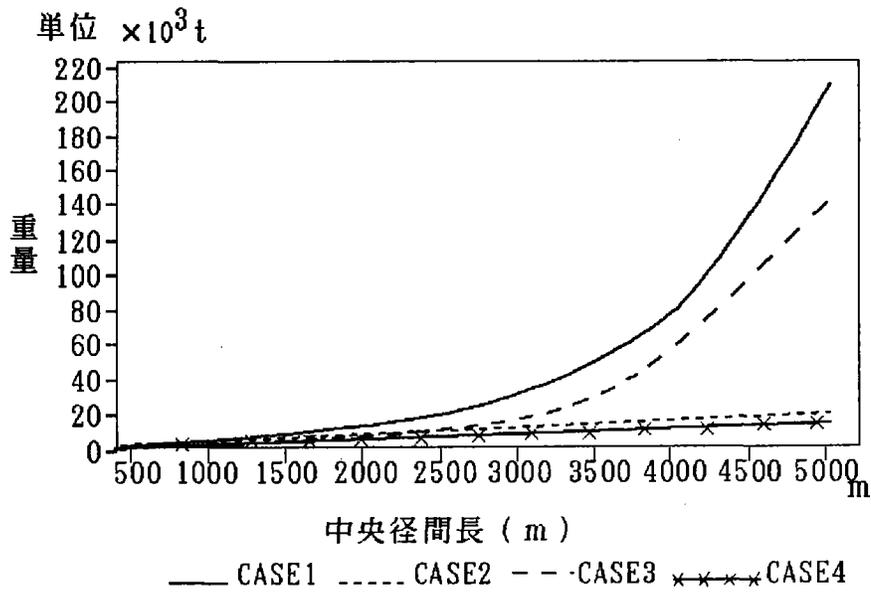


図-4.7 中央径間ケーブル重量 (片主構当り)

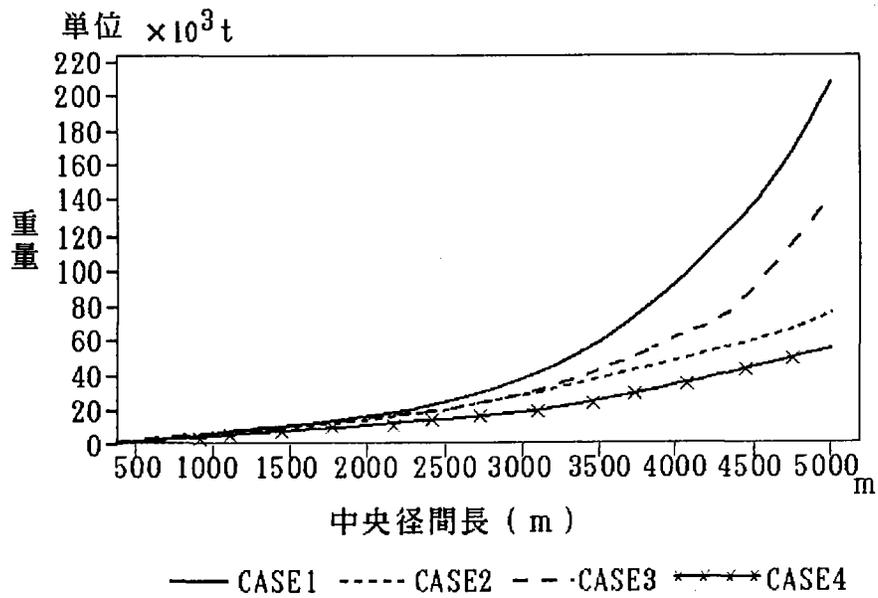


図-4.8 タワー重量 (片主構当り)

4. 2 長大斜張橋

(1) はじめに

吊橋ではハンガーの取付方法など新素材適用上の問題点が多い。一方斜張橋ではケーブル端部定着のみとなり、新素材が相対的に適用し易い。したがって、斜張橋のケーブル部材としてCFRPを適用した場合のコスト比較および設計上の問題点を探るための前段として、中央径間長をパラメーターに、総重量に占めるケーブル重量比率を求めることとした。

この比率を求めるため、文献2) 3) をベースに作成したプログラムを使用し、中央径間長 $L_c = 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000\text{m}$ の斜張橋の試設計を行った。

また、中央径間長 $L_c = 500\text{m}$ 未満のデータについては、実橋実績より求めることとした。

試設計を実施するにあたり、下記項目に留意した。

- (1) 主桁の全体座屈は考慮していない。
- (2) 主桁の断面は、軸力による応力を $\sigma_n = 1000 \text{ kg/cm}^2$ 程度とした。
- (3) 静的解析のみ対象範囲とした。
- (4) ケーブルの安全率は、プレストレス量やケーブルサグの影響を考慮し、 $SF = 2.7$ とした。
- (5) ケーブルのヤング率の補正は行っていない。

(2) 検討結果

試設計結果から、総鋼重に対するケーブル重量比率を図-4.9 に示す。

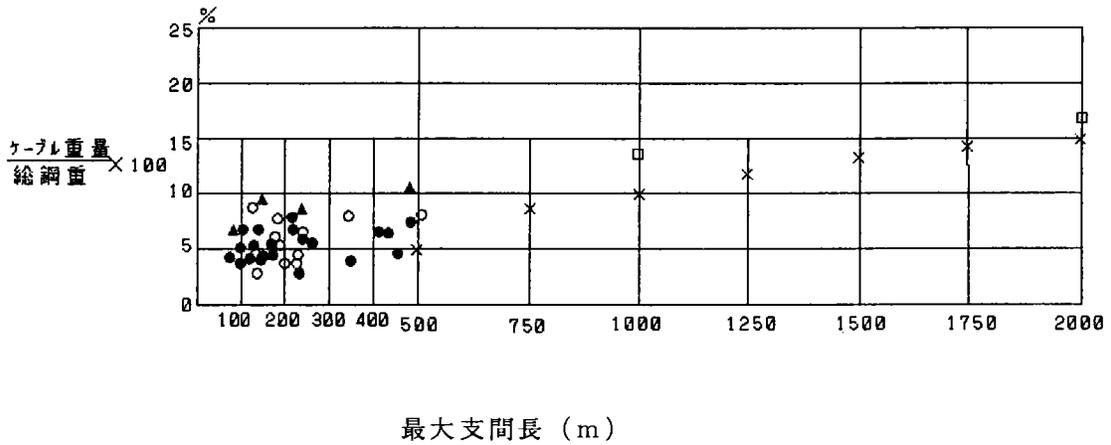
図-4.9 の図から、支間 2000m においてもケーブルの重量比率が 15% 程度となっており吊橋に比較すると低い比率であることがわかる。

仮にケーブルをCFRPに全量置き換えたとしても吊橋のケーブルの様な工費上のメリットは少ないと推定できる。

当初考えていたメリットは期待できないが、工費以外の面から斜張橋のケーブルにCFRPを用いた場合のメリットをピックアップすると下記となる。

- ・ケーブルのサグが小さくなり力学的に有利となる。
- ・ケーブルが軽くなり施工上も有利となる。

一方、デメリット面は永久構造物の対象とした場合、吊橋への適用時に問題となったものと同じであり、曲げや熱に弱いということ、また局部曲げについても弱い。したがってCFRPケーブル採用の場合、定着点付近において今後十分検討を重ねる必要がある。



- 注) ①. 最大支間長が ~500mのデータは、
 土木学会：「鋼斜張橋」による。
- ②. 最大支間長が 1000m、2000mのデータ□印は、
 Gimsing: Cable Supported Bridges による。
- 記号は
 ● : 2面吊り
 ○ : 1面吊り
 ▲ : 複合斜張橋
 × : 試設計結果

図-4.9 斜張橋総鋼重に占めるケーブルの重量比率

(3) 試設計資料 (抜粋)

荷重

① 死荷重

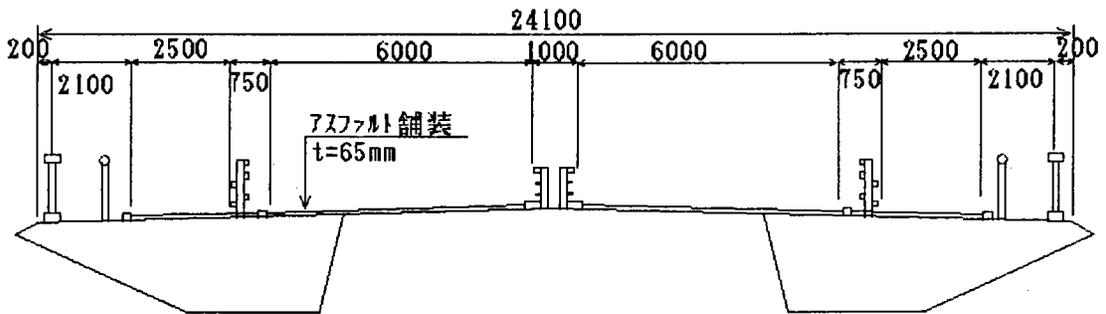


図-4.10 桁断面図

アスファルト舗装	$0.065 \times 2.3 \times 18.5$	= 2.8t/m
地覆		= 0.0
縁石	$0.200 \times 2.5 \times 0.200 \times 6$	= 0.60
高欄	0.060×8	= 0.48
鋼重		= W_s

$$W_d = 3.88 + W_s$$

② 活荷重

線荷重 $P = 5.0 \times 5.5 + 2.5 \times (12 - 5.5) = 43.8t$

等分布荷重 $p = 0.300 \times 5.5 + 0.150 \times (12 - 5.5) = 2.6t/m$

群集荷重 $q = 0.300 \times 2.5 \times 2 = 1.5t/m$

③ 衝撃

側径間 $i_s = \frac{20}{50 + \alpha_s}$

中央径間 $i_c = \frac{20}{50 + \alpha_c}$

④ 衝撃係数と荷重強度

中央径間長 (m)	衝撃係数		主桁活荷重強度 (t/m)		集中荷重	
	側径間	中央径間	側径間	中央径間	側径間	中央径間
750	0.047	0.025	4.22	4.17	45.8	44.9
1000	0.036	0.019	4.19	4.15	45.4	44.6
1250	0.030	0.015	4.18	4.14	45.1	44.5
1500	0.025	0.013	4.17	4.13	44.9	44.4
1750	0.022	0.011	4.16	4.13	44.8	44.3
2000	0.019	0.010	4.15	4.13	44.6	44.2
			4.2		45	

表-4.1 支間別の衝撃係数と荷重強度

②中央支間 1750mの試設計

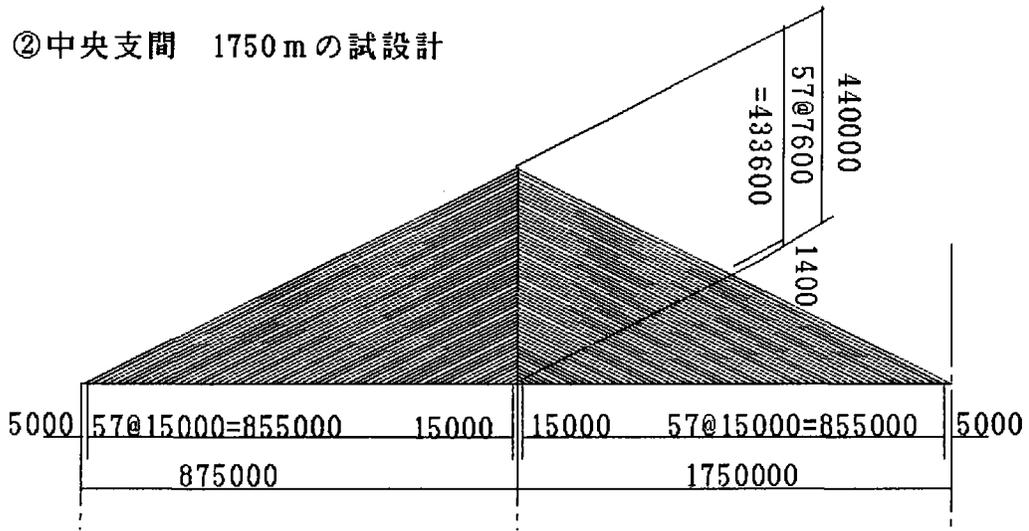


図-4.11 構造図

荷重データ

- 側径間側主桁断面二次モーメント(M4) : $AIs? 2.5$
- 中央径間側主桁断面二次モーメント(M4) : $AIs? 2.5$
- 側径間主桁死荷重強度(T/M) : $Wd? 23.35$
- 中央径間主桁死荷重強度(T/M) : $Wd'? 23.35$
- 主塔死荷重強度(T/M) : $W(TOWER)d? 12.5$
- 側径間主桁活荷重強度(T/M) : $p? 2.1$
- 中央径間主桁活荷重強度(T/M) : $p'? 2.1$
- 側径間側主桁ヤング率(T/M2) : $Es? 21000000$
- 中央径間側主桁ヤング率(T/M2) : $Ec? 21000000$
- ケーブルのヤング率 : $? 20000000$
- 側径間側集中荷重(T) : $P? 22.5$
- 中央径間側集中荷重(T) : $P'? 22.5$
- 側径間側主桁断面積(M2) : $As? 1.75$
- 中央径間側主桁断面積(M2) : $Ac? 1.75$

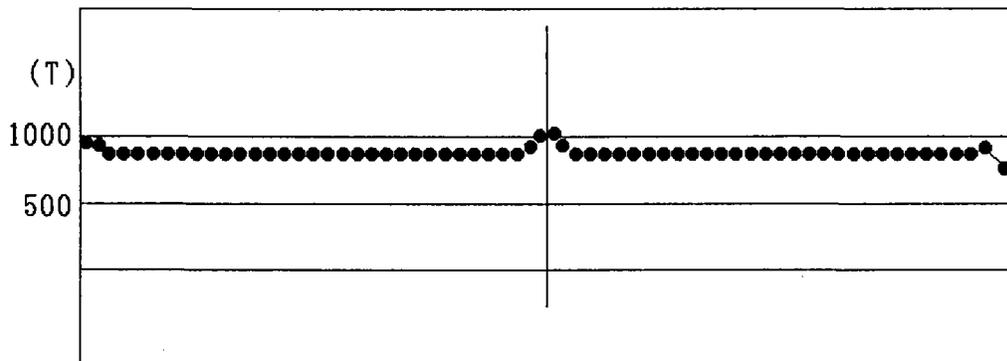
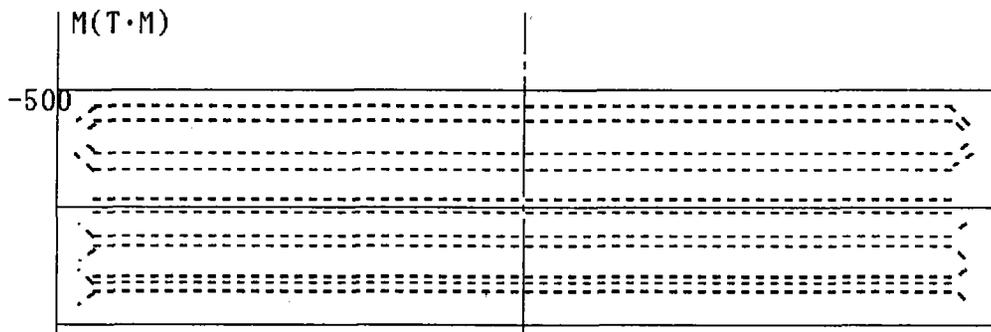


図-4.12 ケーブル張力図



500 図-4.13 完成時モーメント図 (死荷重モーメント図)

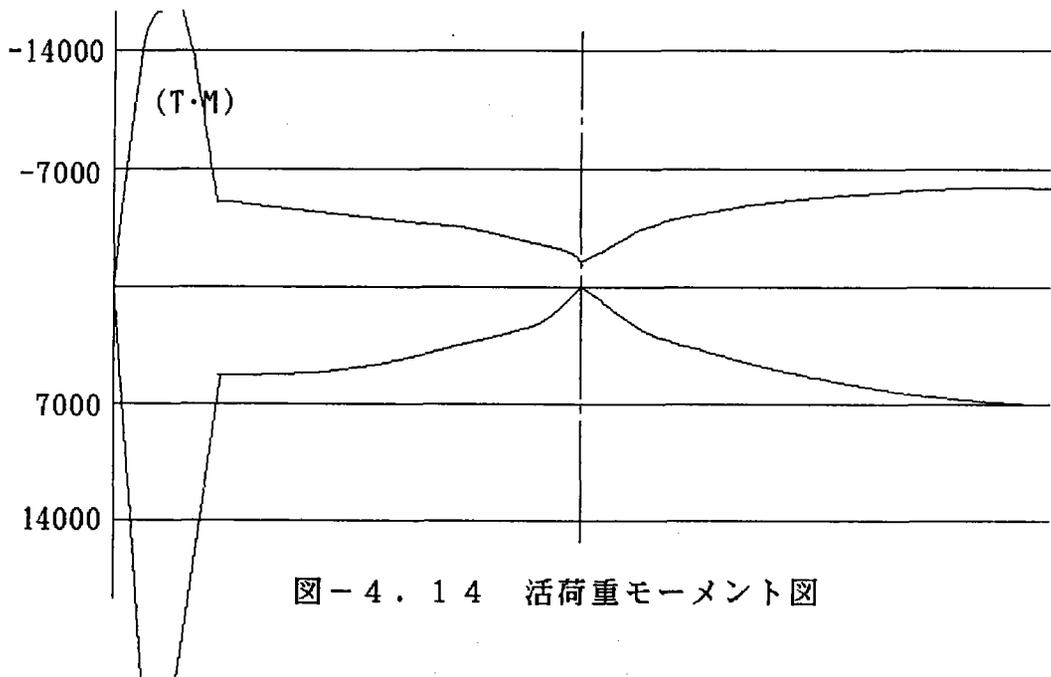


図-4.14 活荷重モーメント図

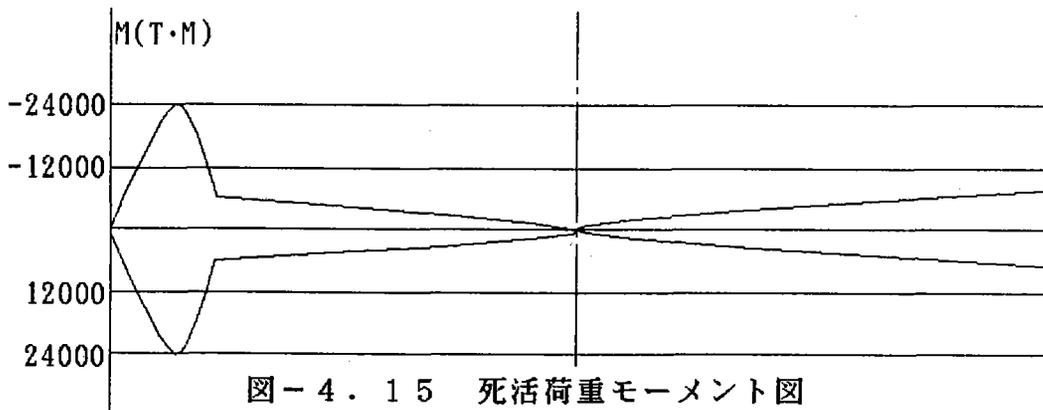


図-4.15 死活荷重モーメント図

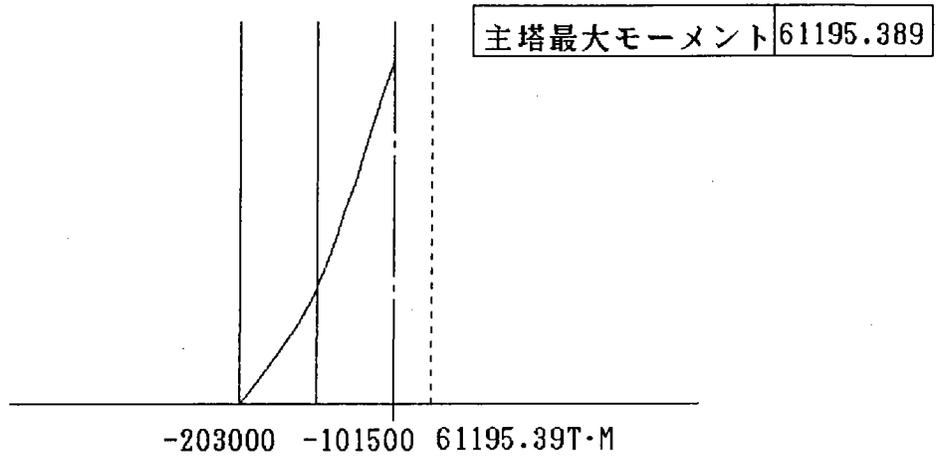


図-4.16 主塔断面力図

軸力図

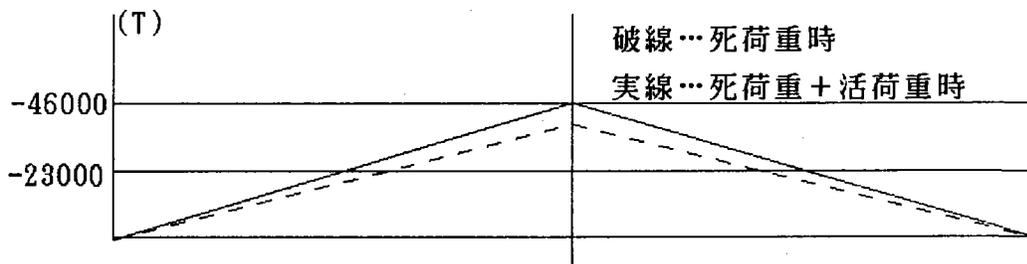


図-4.17 主桁軸力図

総鋼重に占めるケーブル重量比率

1) ケーブル重量の算出

a) ケーブル平均長さ

$$l_{\text{MAX}} = \sqrt{440^2 + 870^2} = 974.936 \text{ m}$$

$$l_{\text{MIN}} = \sqrt{6.4^2 + 15^2} = 16.308 \text{ m}$$

$$l_{\text{MID}} = \frac{974.936 + 16.308}{2} = 495.6 \text{ m}$$

b) ケーブルサイズ

張力図より、ケーブル1本当り張力は、安全率 2.7として

$$T = 900^T$$

$$T_B = 900 \times 2.7 = 2430^T$$

Hiam 397を用いる

c) ケーブル重量 (単位重量は被覆込み)

$$W_{CC} = 0.1278 \times 495.6 \times 58 \times 2 \times 2 \times 2 \\ = 29389^t$$

d) ソケット重量

$$\text{固定方 } W_{SF} = 0.562^t$$

$$\text{可動方 } W_{SM} = 1.655^t$$

$$W_{SI} = W_{SF} + W_{SM} = 1.217^t$$

$$W_S = 58 \times 2 \times 2 \times 2 \times W_{SI} = 565^t$$

e) ケーブル重量

$$W_C = W_{CC} + W_S = 29954^t$$

2) 総鋼重

a) 主桁重量

$$W_G = 46.7^t/m \times (875 + 1750 + 875)^m \\ = 163450^t$$

b) 主塔重量

$$W_T = 25^t/m \times 440 \times 2 = 22000^t$$

c) 総鋼重

$$W_A = W_G + W_T + W_C = 215404^t$$

3) 総鋼重に占めるケーブル重量比率

$$R_C = \frac{W_C}{W_A} = \frac{29954}{215404} = 13.9\%$$

<参考文献>

- 1) Niels.J.Gimsing (訳：藤野ら)：吊形式橋梁、建設図書(1989年)
- 2) 長井ら：3径間連続マルチケーブル斜張橋の基本形状決定に関する一考察、土木学会論文集、第362号、I-4、(1985年10月)
- 3) 長井ら：3径間連続マルチケーブル斜張橋の部材断面力算定法の提案、土木学会論文集、第362号、I-4、(1985年10月)