

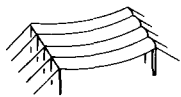
## 第14章 ケーブル構造物

### 14.1 適用範囲

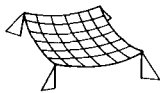
この章は、ケーブルを基本部材とする構造物、および、ケーブル部材とそれを支持するか、あるいはそれによって支持される構造部材とからなる構造物等、ケーブルを主要部材として含む構造物の設計に適用する。

**【解説】** ケーブルを基本部材とする構造物としては、解説図14.1に示すように、ケーブル・ネット、ケーブル・ガーダーによるもの等があり、ケーブルによって構成される屋根構造すなわち吊屋根構造として一般的に使用される。

#### 1) プレストレス非導入タイプ



(一方向ケーブル)



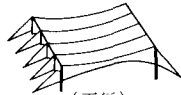
(二方向)



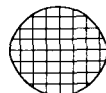
(放射)

#### 2) プレストレス導入タイプ

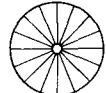
##### ケーブルガーダー



(平行)

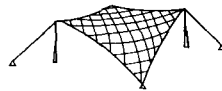


(交差)



(放射)

##### ケーブルネット



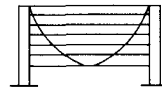
(周辺ケーブル)



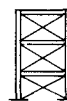
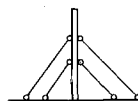
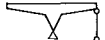
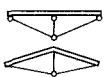
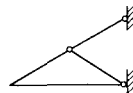
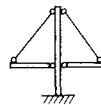
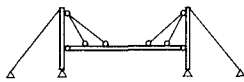
(周辺剛)

解説図14.1 ケーブルを基本部材とする構造物

#### (曲線)



#### (直線)



解説図14.2 ケーブル部材と支持構造部材とからなる構造物

ケーブル部材とそれを支持するか、あるいはそれによって支持される構造部材とからなる構造物としては、解説図 14.2 に示すように、吊床形式によるものが一般的であり、吊構造建築の他、橋梁分野における吊橋、斜張橋もその一種である。また、支線式鉄塔もその一種であるといえる。

この章では、これらの構造物を対象とするが、現時点で設計に関するすべての細目の妥当な必要条件を列挙できるほどには、ケーブル構造物一般の静的、動的構造特性は明確にされていない<sup>1)</sup>。したがって、この章は、ケーブル構造物に関するこれまでの知識の範囲内で示すことができる設計方針および留意すべき要件を可能な形式で述べるものであり、個々のケーブル構造物における未記述の設計細目については設計者の責任と裁量権に委ねられるものであることを明記する。また、架設部材としてケーブルを使用する場合は対象としない。

## 14.2 ケーブル部材

### 14.2.1 材料の種類

ケーブルの材料は、JSS II 03~06、および、HBS G 3504 に適合する

- 1) 構造用ストランドロープ (St. R.—IWSC 型, CFRC 型)
- 2) 構造用スパイラルロープ (Sp. R.)
- 3) 構造用ロックドコイルロープ (L. C. R.)
- 4) 平行線ストランド (P. W. S.)

の 4 種類を標準とし、JIS G 3506 あるいは JIS G 3502 に適合する線材を伸線して亜鉛メッキを施した素線を使用することを原則とする。

**【解説】** ケーブルの材料について、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、素線に関する JIS 規格が規定されているのみである。ここでは、「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>で標準とされている「構造用ケーブル材料規格」<sup>4)</sup>の JSS II 03~06 に適合するもの、および、構造用ストランドロープについては文献 4) の規格に含まれる IWSC (Independent Wire Strand Core) 型の他に、本州四国連絡橋公団「ケーブル材料規格」<sup>5)</sup>の HBS G 3504 に適合する CFRC (Center Fit Rope Core) 型を加えて標準とした。ただし、ロープを対象とした唯一の JIS 規格である JIS G 3525 に適合する IWRC (Independent Wire Rope Core) 型のストランドロープは、わが国では主として動索に用いられるものであり、構造用ケーブルの材料としては麻芯のものと同様に標準としなかった。

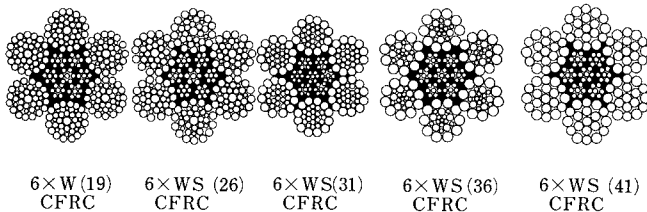
これらの材料の中から、吊橋、斜張橋、吊屋根等の主ケーブルとしては、一般にそれらの規模によって適切なものがストランドロープを除き選択されている。吊橋のハンガーとしては、一般にストランドロープあるいはスパイラルロープが用いられ、長大吊橋の場合に CFRC 型のストランドロープが多用されている。その他、吊橋のストームロープ、主ケーブルのハンドロープ等には、同様にそれらの規模によって、ストランドロープ (IWSC 型) あるいはスパイラルロープが使用されている。

参考のために、文献 4) の材料の規格、素線、標準的な構成、および、文献 5) の CFRC 型ロープの例を解説表 14.1、および、解説図 14.3 に示す。

なお、これらの材料の他にも同等以上の品質を有する新型のものが提供されつつあり、メーカー規格などを参考にして設計者の適切な判断の下に使用してもよい。また、素線の亜鉛メッキについては、疲労強度の低下を避けるために、十分な防食下で裸使用された例もあることから、ここでは原則とするに止めた。

解説 表 14.1 構造用ケーブル材料の規格と構成

構造用 ストランドロープ (JSS II 03-1978)	構 成	7本軸6より 中心ストランド	19本軸6より 中心ストランド	37本軸6より 中心ストランド	素線 JIS G 3506		
	構成記号	7×7	7×19	7×37	SWRH 62~82		
	断 面				JIS G 3502 SWRS 62~82		
構造用 スパイラルロープ (JSS II 04-1978)	構 成	19本より	37本より	61本より	91本より	127本より	素線 JIS G 3506
	構成記号	1×19	1×37	1×61	1×91	1×127	SWRH 62~82
	断 面						JIS G 3502 SWR 62~82
構造用 ロックドコイル ロープ (JSS II 05-1978)	素線構成 本数	丸線層 +T線1層 +Z線1層	丸線層 +T線1層 +Z線2層	丸線層 +T線2層 +Z線2層	丸線層 +T線2層 +Z線3層	素線 JIS G 3506	
	構成記号	C 形	D 形	E 形	F 形	SWRH 62~82	
	断 面					JIS G 3502 SWRS 62~82	
平行線ストランド (JSS II 06-1978)	(正六角形)					素線 JIS G 3502 SWRS 77B	
	素線構成 本数	19	37	61	91	127	
	構成記号	P.W.S.-19	P.W.S.-37	P.W.S.-61	P.W.S.-91	P.W.S.-127	
	断 面						
	(変形六角形)						
	素線構成 本数	24	30	44	52		
	構成記号	P.W.S.-24	P.W.S.-30	P.W.S.-44	P.W.S.-52		
	断 面						
	素線構成 本数	70	80	102	114		
	構成記号	P.W.S.-70	P.W.S.-80	P.W.S.-102	P.W.S.-114		
断 面							



注) 太線のものには  
8,9ストランド  
ロープもある。

解説 図 14.3 CFRC 型ロープの例

### 14.2.2 材料の定数

#### (1) ヤング係数

ケーブルのヤング係数は、初期構造伸びを除去して使用することを原則とし、有効断面積に対して表 14.1 の値を標準としてよい。

#### (2) 線膨張係数

ケーブルの線膨張係数は、すべての材料について、表 14.1 の値を標準としてよい。

表 14.1 ヤング係数と線膨張係数

材料の種類	ヤング係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	線膨張係数 (°C <sup>-1</sup> )
構造用ストランドロープ	1.4×10 <sup>6</sup>	12×10 <sup>-6</sup>
構造用スパイラルロープ	1.6×10 <sup>6</sup>	
構造用ロックドコイルロープ	1.6×10 <sup>6</sup>	
平行線ストランド	2.0×10 <sup>6</sup>	

#### (3) 外径と単位重量

ケーブルの外径、および、単位体積当りの重量は、JSS II 03~06、および、HBS G 3504 に付記された値を基に、責任技術者の判断により決定するものとする。ただし、これらの概略値を必要とする場合には、空隙率、および比重として、表 14.2 の値を標準としてよい。

表 14.2 空隙率と比重

材料の種類	空隙率： $\alpha$ (%)	比重： $\rho^{注}$
構造用ストランドロープ	0.38~0.42	8.2~8.4
構造用スパイラルロープ	0.23~0.25	8.0~8.4
構造用ロックドコイルロープ	0.10~0.14	8.1~8.2
平行線ストランド (スキューニング後)	0.16~0.22	7.85

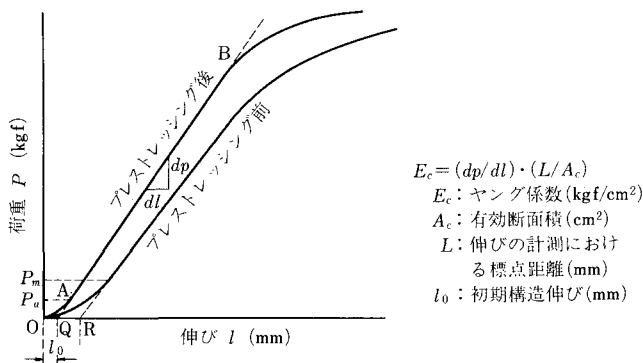
注) 実断面積は有効断面積より大きいので、一般に鋼の比重を上回っている。

**【解 説】** (1) ここで規定したケーブルのヤング係数の標準値は、これらの値を用いて引張応力を計算するための材料そのものの伸びひずみに対応するものであり、サグの変化に伴う見かけのヤング係数の変化は考慮していない。これらの値は、平行線ストランドについては、素線の平均値を示している。ロープ類については、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>、「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>のプレストレスング（プレテンションング）後の標準値と同じものであり、「構造用ケーブル材料規格」<sup>4)</sup>に規定するプレストレスング後のその最小値を示している。ただし、定性的な荷重一伸び線図はプレストレスングの前後で解説 図 14.4 に示すようであり、プレストレスング後も初期構造伸び  $l_0$  を完全には除去できないが、架設時の長さ調整によって吸収されるべきものと考え、初期構造伸びを除去して使用することを原則とした。

なお、特にストランドロープをヤング係数の誤差が構造特性に大きく影響する部材に使用するような場合には、十分に検討して適正な値を選定する必要がある。また、使用するケーブル材料のヤング係数があらかじめ測定されているような場合には、その値を設計に用いてもよい。

(2) ここに規定したケーブルの線膨張係数の標準値は、「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>の標準値と同じであり、素線のそれと大差なく、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>における鋼の標準値に等しい。ただし、文献 3) では、実測値を基に有効数字 2 桁で標準値を定める一方、特に施工上の精度、誤差を問題にするような場合には、11.5×

$10^{-6} (\text{°C}^{-1})$  を用いるべきであると解説している。



解説 図 14.4 荷重-伸び線図

(3) ケーブルの外径や単位体積当たりの重量と有効断面積との関係は材料の種類、構成によって異なり、正確な関係を定めたいが、「構造用ケーブル材料規格」<sup>4)</sup>の付表には、ロープ類の径、標準断面積、(参考) 単位重量、および、平行線ストランドの六角形断面の形状寸法、断面積、単位重量が記されている。また、本州四国連絡橋公団「ケーブル材料規格」<sup>5)</sup>の付表には、CFRC 型ロープの径、および、(参考) 単位重量が記されている。したがって、これらの値を参考値として、メーカーとの協議等により設計者が決定することとした。

さらに、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、表 14.2 の諸値を用いて式 (解 14.1) および式 (解 14.2) により概略値を計算してよいとしている。これは、メーカーのカタログにたよらないで一応の設計ができるように規定したものであり、概略検討等に有用であるので、ここでも同時に規定した。

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi(1-\alpha)} \cdot A} \dots\dots\dots (\text{解 14.1})$$

$$W = \rho \cdot A \dots\dots\dots (\text{解 14.2})$$

ここに、 $D$  : 外径 (cm)

$A$  : 有効断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$\alpha$  : 空隙率 (%)

$W$  : 単位長さ当たりの重量 (gf/cm)

$\rho$  : 比重

### 14.2.3 材料の強度

ケーブル部材の設計強度は表 14.3 に示す値を標準とする。

表 14.3 素線の引張強さと設計強度

材料の種類	構造用 ストランドロープ	構造用 スパイラルロープ	構造用 ロックドコイルロープ		平行線ストランド
素線の種別	JIS G 3506 SWRH 62~82 JIS G 3502 SWRS 62~82	JIS G 3506 SWRH 62~82 JIS G 3502 SWRS 62~82	JIS G 3506 SWRH 62~82 JIS G 3502 SWRS 62~82		JIS G 3502 SWRS 77B
素線の引張強さ ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ )	150~175	150~175	丸線	150~175	160~180
			T線	140~165	
			Z線	130~155	
切断荷重 ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ )	130~150	135~160	丸線	135~160	150~170
			T線	125~150	
			Z線	115~140	

設計強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )	74~86	77~91	丸線	76~89	86~97
			T線	71~84	
			Z線	66~79	

【解 説】 鋼材の設計強度を定めるにあたっては、5.2の解説にもあるように、保証降伏点における応力度を基にするのが一般的である。しかしながら、ケーブル材料には降伏点は存在せず、それに相当する応力として0.7%全伸び耐力(14.6.2, 解説 図 14.9 参照)や切断荷重を一定の値で除した値をケーブル材料の限界状態の照査の強度とすることとした。切断荷重は「道路橋示方書」<sup>2)</sup>を参考にして、素線の引張り強さに、ストランドロープには0.85を、スパイラルロープとロックドコイルロープには0.90を、平行線ストランドには0.95を乗じて求めた。表 14.3 の設計強度は、この切断荷重を基に決められた「道路橋示方書」<sup>2)</sup>のケーブルに対する許容応力度と安全率をもとに、第7章の限界状態の照査に整合するよう逆算して求めた。

ケーブルの切断荷重と有効断面積との関係は14.2.2(3)項に規定した単位重量と同様に、材料の種類、構成によって異なり正確な関係を定めたいが、「構造用ケーブル材料規格」<sup>4)</sup>の付表には、ロープ類、および、平行線ストランドの切断荷重も記されている。また、本州四国連絡橋公団「ケーブル材料規格」<sup>5)</sup>の付表には、CFRC型ロープの最小切断荷重も記されている。文献4)の付表における切断荷重の値を、外径、標準断面積等、あるいは、形状寸法、断面積等とともに解説表 14.2 に示す。道路橋とは大きく異なる構造物や、支間が200mを超える道路橋に対して、責任技術者が本条文と異なる設計強度を用いることが適切と判断したとき、これらの値が参考となろう。

解説表 14.2 構造用ロープ、および、平行線ストランドの切断荷重

構造用ストランドロープ				切断荷重 tf (kN)			
	ロープの径 mm	最外層素線径 mm	標準断面積 mm <sup>2</sup>	A 級		B 級	
				1種	2種	1種	2種
7 ×	9	1.00	39.4	5.32 (52.17)	5.67 (55.60)		
	10	1.10	48.7	6.57 (64.43)	7.01 (68.74)		
	12	1.32	70.1	9.46 (92.77)	10.1 (99.05)		
	14	1.54	95.5	12.9 (126.5)	13.7 (134.4)		
	16	1.78	125	16.9 (165.7)	18.0 (176.5)		
	18	2.00	158	21.3 (208.9)	22.7 (222.6)		
	20	2.20	195	26.3 (257.9)	28.1 (275.6)		
	22	2.42	236	31.9 (312.8)	34.0 (333.4)	30.9 (303.0)	33.0 (323.6)
	24	2.66	281	37.9 (371.7)	40.4 (396.2)	36.8 (360.9)	39.2 (384.4)
	26	2.86	329	44.4 (435.4)	47.4 (464.8)	43.1 (422.7)	46.0 (451.1)
7	28	3.12	382	51.6 (506.0)	55.0 (539.4)	50.0 (490.3)	53.4 (523.7)
	30	3.30	438	59.1 (578.6)	63.0 (617.8)	57.4 (562.9)	61.3 (601.1)
	32	3.55	499	67.4 (661.0)	71.9 (705.1)	65.3 (640.4)	69.7 (683.5)
	34	3.75	563	76.0 (745.3)	81.1 (795.3)	73.7 (722.7)	78.7 (771.8)

7 × 19	28	1.88	374	49.7 (487.3)	53.0 (519.8)			
	30	2.00	429	57.1 (559.0)	60.9 (597.2)			
	32	2.14	488	64.9 (536.5)	69.2 (678.6)			
	34	2.27	551	73.3 (718.8)	78.2 (766.9)			
	36	2.40	618	82.2 (806.1)	87.7 (860.0)	80.2 (786.5)	85.7 (840.4)	
	38	2.55	689	91.6 (898.3)	97.7 (958.1)	89.3 (875.7)	95.5 (936.5)	
	40	2.66	763	101 (990.5)	108 (1059)	99.0 (970.9)	106 (1040)	
	42	2.81	841	112 (1098)	119 (1167)	109 (1069)	117 (1147)	
	44	2.94	923	123 (1206)	131 (1285)	120 (1177)	128 (1255)	
	46	3.07	1010	134 (1314)	143 (1402)	131 (1285)	140 (1373)	
	48	3.21	1100	146 (1432)	156 (1530)	143 (1402)	152 (1491)	
	50	3.35	1190	158 (1549)	169 (1657)	155 (1520)	165 (1618)	
	52	3.47	1290	172 (1687)	183 (1795)	167 (1638)	179 (1755)	
	7 × 37	40	1.88	758	99.3 (973.8)	106 (1040)		
		42	1.99	836	110 (1079)	117 (1147)		
		44	2.09	918	120 (1177)	128 (1253)		
		46	2.18	1000	131 (1285)	140 (1373)		
		48	2.28	1090	143 (1402)	153 (1500)		
		50	2.37	1190	156 (1530)	166 (1628)	153 (1500)	163 (1598)
52		2.46	1280	168 (1648)	179 (1755)	166 (1628)	176 (1726)	
54		2.56	1380	181 (1775)	193 (1893)	179 (1755)	190 (1863)	
56		2.66	1490	195 (1912)	208 (2040)	192 (1883)	205 (2010)	
58		2.75	1590	208 (2040)	222 (2177)	206 (2020)	219 (2148)	
60		2.86	1710	224 (2197)	239 (2344)	220 (2157)	235 (2305)	
62		2.94	1820	238 (2334)	254 (2491)	235 (2305)	251 (2461)	
64		3.03	1940	254 (2491)	271 (2658)	251 (2461)	267 (2618)	
66		3.13	2060	270 (2648)	288 (2824)	267 (2613)	284 (2785)	
68		3.22	2190	287 (2815)	306 (3001)	283 (2775)	302 (2962)	
70		3.32	2320	304 (2981)	324 (3177)	300 (2492)	320 (3138)	

構造用スパイラルロープ

	ロープ の 径 mm	最外層 素線径 mm	標 準 断面積 mm <sup>2</sup>	切断荷重 tf (kN)			
				A 級		B 級	
				1 種	2 種	1 種	2 種
1 × 19	14	2.80	117	16.4 (160.8)	17.5 (171.6)	15.9 (155.9)	17.0 (166.7)
	16	3.20	153	21.4 (209.9)	22.8 (223.6)	20.8 (204.0)	22.2 (217.7)
	18	3.60	193	27.0 (264.8)	28.0 (274.6)	26.2 (256.9)	27.2 (266.7)
	20	4.00	239	33.5 (328.5)	35.7 (350.1)	32.5 (318.7)	34.7 (340.3)
	22	4.40	289	40.5 (397.2)	43.2 (423.6)	39.3 (385.4)	42.0 (411.9)
	24	4.80	344	48.2 (472.7)	51.4 (504.1)	46.8 (459.0)	50.0 (490.3)
1 × 37	20	2.86	240	33.1 (324.6)	35.3 (346.2)	32.3 (316.8)	34.5 (338.3)
	22	3.16	290	40.0 (392.3)	42.6 (417.8)	39.0 (382.5)	41.6 (408.0)
	24	3.45	345	47.6 (466.8)	50.7 (497.2)	46.5 (456.0)	49.6 (486.4)
	26	3.70	400	55.2 (541.3)	58.8 (576.6)	53.9 (528.6)	57.5 (563.9)
	28	4.05	477	65.8 (645.3)	70.1 (687.4)	64.3 (630.6)	68.6 (672.7)
	30	4.28	539	74.3 (728.6)	79.2 (776.7)	72.6 (712.0)	77.5 (760.0)
	32	4.60	614	84.7 (830.6)	90.3 (885.5)	82.7 (811.0)	88.3 (865.9)
	34	4.87	693	95.6 (937.5)	101 (990.5)	93.4 (915.9)	98.8 (968.9)
1 × 61	28	3.14	472	64.4 (631.5)	68.6 (672.7)	63.2 (619.8)	67.4 (661.0)
	30	3.38	547	74.6 (731.6)	79.5 (779.6)	73.2 (717.8)	78.1 (765.9)
	32	3.60	621	84.7 (830.6)	90.3 (885.5)	83.1 (814.9)	88.7 (869.8)
	34	3.81	695	94.8 (929.7)	101 (990.5)	93.0 (912.0)	99.2 (972.8)
	36	4.05	786	107 (1049)	114 (1118)	105 (1030)	112 (1098)
	38	4.28	878	119 (1167)	126 (1236)	116 (1138)	123 (1206)
	40	4.49	966	131 (1285)	139 (1363)	128 (1255)	136 (1334)
	42	4.72	1067	145 (1422)	154 (1510)	142 (1393)	151 (1481)
1 × 91	40	3.67	963	130 (1275)	138 (1353)	127 (1245)	135 (1324)
	42	3.85	1059	142 (1393)	151 (1481)	139 (1363)	148 (1451)
	44	4.04	1167	157 (1540)	167 (1638)	154 (1510)	164 (1608)
	46	4.22	1273	171 (1677)	182 (1785)	167 (1638)	178 (1746)
	48	4.40	1384	186 (1824)	198 (1942)	182 (1785)	194 (1902)
	50	4.58	1499	202 (1981)	215 (2108)	198 (1942)	211 (2069)
	52	4.77	1626	219 (2148)	233 (2285)	214 (2099)	228 (2236)
	54	4.95	1751	236 (2314)	251 (2461)	231 (2265)	246 (2412)

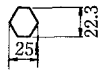
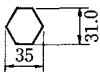
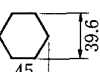


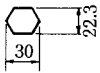
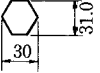
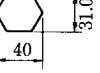
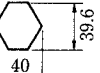
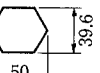
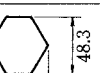




I × 127	46	3.60	1293	172 (1687)	183 (1795)	169 (1657)	180 (1765)
	48	3.76	1410	188 (1844)	200 (1961)	185 (1814)	197 (1932)
	50	3.91	1525	203 (1991)	216 (2118)	199 (1952)	212 (2079)
	52	4.07	1652	220 (2157)	234 (2295)	216 (2118)	230 (2256)
	54	4.22	1776	237 (2324)	252 (2471)	233 (2285)	248 (2432)
	56	4.38	1914	255 (2501)	272 (2667)	251 (2461)	268 (2628)
	58	4.54	2056	274 (2687)	292 (2864)	269 (2638)	287 (2815)
	60	4.69	2194	292 (2864)	311 (3050)	287 (2815)	306 (3001)
	62	4.85	2346	313 (3069)	333 (3266)	308 (3020)	328 (3217)

構造用ロックドコイルロープ

	ロープの径 mm	標準断面積 mm <sup>2</sup>	切断荷重 tf (kN)		ロープの径 mm	標準断面積 mm <sup>2</sup>	切断荷重 tf (kN)
C 形	34	804	104 (1020)	D 形	74	3760	453 (4442)
	36	898	116 (1138)		76	3960	479 (4697)
	38	999	129 (1265)	E 形	78	4250	504 (4943)
	40	1110	135 (1324)		80	4460	530 (5198)
	42	1220	149 (1461)		82	4680	557 (5462)
	44	1340	164 (1608)		84	4980	584 (5727)
	46	1460	179 (1755)		86	5130	613 (6011)
	48	1580	195 (1912)		88	5360	641 (6286)
	50	1710	211 (2069)		90	5610	672 (6590)
	52	1840	228 (2236)		92	5850	701 (6874)
	54	1980	245 (2403)		94	6100	732 (7178)
	D 形	56	2200		260 (2550)	96	6360
		58	2350	279 (2736)	98	6610	795 (7796)
		60	2510	299 (2932)	100	6870	827 (8110)
62		2670	318 (3119)	F 形	92	5960	692 (6786)
64		2840	340 (3334)		94	6210	722 (7080)
66		3000	359 (3521)		96	6470	753 (7384)
68		3190	383 (3756)		98	6740	785 (7698)
		70	3380	406 (3981)	100	7000	817 (8012)
	72	3570	430 (4217)				

## 平行線ストランド

	素線構成 本数	構成記号	断面の形状 および寸法 mm	断面積 mm <sup>2</sup>	切断荷重 tf (kN)
正 六 角 形	19	P.W.S.-19		373	58.5 (573.7)
	37	P.W.S.-37		727	144 (1 118)
	61	P.W.S.-61		1 200	188 (1 844)
	91	P.W.S.-91		1 790	280 (2 746)
	127	P.W.S.-127		2 490	391 (3 834)
変 形 六 角 形	24	P.W.S.-24		471	73.9 (724.7)
	30	P.W.S.-30		589	92.4 (906.1)
	44	P.W.S.-44		864	135 (1 324)
	52	P.W.S.-52		1 020	160 (1 569)
	70	P.W.S.-70		1 370	215 (2 108)
	80	P.W.S.-80		1 570	246 (2 412)
	102	P.W.S.-102		2 000	314 (3 099)
	114	P.W.S.-114		2 240	351 (3 442)

## 14.2.4 曲線部

ケーブルの曲線部では、サドル、シーブ等を配置して滑らかな曲率を保持し、曲げ、側圧による強度低下、および、曲げによる2次応力を軽減するものとする。

**【解説】** ケーブルは、サドル、シーブ（滑車）等を配置して滑らかな曲率を保持し、曲げ、側圧による強度低下、および曲げによる2次応力等を軽減しなければならない。なお、ケーブルバンド上のハンガーの曲線部分の支持部は、一種のサドルによる支持である。また、エアスピニング工法で一般に用いられるアンカレイジの定着調整機構であるネジタイプ、および、支圧タイプのストランドシュー（14.3.6、解説 図 14.8 参照）も、それぞれ一種のサドル、および、シーブによる支持である。

サドル、シーブ等の材料としては鍛造鋼品が使用され、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>には、支承その他に用いる材料として JIS 規格が規定されている。また、本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>では、サドル、ストランドシューを含む支承材料の一般的なものとして、文献 2) に規定した以外のものも含め規定している。そして、その一方で、「鍛造鋼品製作基準」<sup>7)</sup>に、吊橋に用いるサドルおよびその付属品の製作要領を規定し、JIS 規格の鍛造鋼品によるもの他、鋳鋼と鋼板との溶接構造の場合には、「鋼材規格」<sup>8)</sup>の HBS G 3107 の鋼上部構造用超極厚鋼板の規格（案）を適用または準用すると規定している。さらに、支線式鉄塔を対象構造物の一つとする「塔状鋼構造設計指針」<sup>9)</sup>においては、「鋼構造設計基準」<sup>10)</sup>の規定をそのまま適用して文献 2) と同様に JIS 規格の鍛造鋼品を用いることが規定されている。

解説 表 14.3 曲率半径

	曲線半径/直径	備 考
ケーブル	8 以下	サドル上で
ハンガー	5.5 以上	
ワイヤ	50 以上	ストランドシュー上で

また、文献 2) では、解説 表 14.3 に示すように曲率半径の最小値を規定しているが、数値的根拠は薄く、経験的に一応の制限を示したものである。これに対し、「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、長大吊橋のハンガーロープなどの切断荷重の低下率についての実験データを基に、曲がりの強い場合（(曲率直径/直径)=2×(曲率半径/直径)<10）には強度の低下が著しいとしている。さらに、ケーブルの曲線部分には溝底の側圧が発生するので、解説 表 14.4 の値を上回らないように設計上留意する必要があるとし、溝底の側圧は解説 図 14.5 に示す接触係数（接触幅の直径に対する比）を用いて、式（解 14.3）で与えるものとしている。

$$\sigma_p = \frac{2T}{kDd} \dots\dots\dots (解 14.3)$$

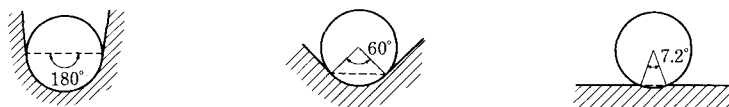
ここに、 $\sigma_p$ ：溝底側圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)

T：張力

解説 表 14.4 締付側圧

材料の種類	締付側圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )
構造用ストランドロープ	500 以下
構造用スパイラルロープ	600 以下
構造用ロックドコイルロープ	700 以下
平行線ストランド	700 以下

- 1) U形溝での理想接触状態 k=1      2) U形溝での普通接触状態 k=1/2      3) 平溝での普通接触状態 k=1/4



解説 図 14.5 接触係数

$D$ ：曲率直径

$d$ ：直径

$k$ ：接触係数

なお、解説表 14.4 について、同指針の解説では、ストランドロープとスパイラルロープは層間の素線相互が点接触になるので、表 14.2 に示した空隙率と密接に関連させて上限値を低減しているが、ロックドコイルロープの場合には、異形線の組合せによって側圧による変形を無視できることから特に低減していないとしている。

#### 14.2.5 定着部

##### (1) 中間定着部

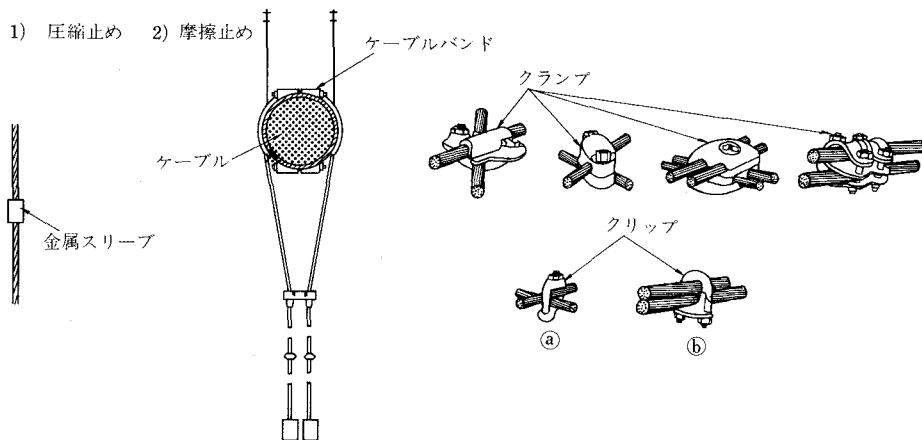
ケーブルの中間定着は、金属スリーブによる圧縮止め、および、ケーブルバンド、クランプによる摩擦止めを標準とし、側圧による強度低下等に十分配慮して締付け力、締付け長等を決定するものとする。

##### (2) 端部定着部

ケーブルの端部定着は、圧縮止め、アイ圧縮止め、および、ソケット止めを標準とし、アイ圧縮止めでは、デッドアイシンプル等を装着して、曲げ、側圧による強度低下等を避けるものとする。

**【解説】** (1) 中間定着は、断面形状の保持、サドル上での滑り防止の補助、および、交差、平行ケーブルの分離、張力の伝達等を目的とする。

圧縮止めの例、および、摩擦止めの代表的な例を解説図 14.6 に示す。摩擦止めには、ケーブルバンドによるもの他、ケーブル断面形状の円形あるいは多角形を二つ割りにしたクランプ金具を高力ボルトで締付けるものと、ワイヤクリップのようにUボルトで締付けるものがあり、それらの形状は様々で、設計者の意図に合致したものが選択される。



解説 図 14.6 中間定着方式

金属スリーブによる圧縮止めは、ストランドロープおよびスパイラルロープに使用される。金属スリーブは工場でのプレス加工を原則とし、強度のバラツキを避けなければならない。また、摩擦止めのうち、ワイヤクリップ(解説図 14.6(a), (b))については永久構造物への使用は望ましくなく、ケーブルネットの交差部の押さえ等のような余り大きな滑り抵抗力を必要としない軽微な場合に、クロスクリップと呼ばれる(a)の形状のものが例外

的に用いられる程度であることから、ここでは標準としなかった。

さらに、摩擦止めにおいては、ケーブルを均一に締付けるようにし、適切な空隙率とするとともに、止め部分の内面とケーブル表面とは密着するようにならなければならない。また、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では締付け力は次にあげる要因によって一般に減少するので注意を要すると解説している。

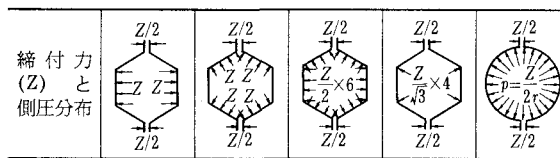
- 1) 締付けボルトのレラクセーション
- 2) 応力によるケーブルの細り
- 3) 締付け側圧による素線亜鉛被膜のクリープ
- 4) 止め部分とケーブルとの温度差

したがって、文献2)では、締付け力の減少を小さくするために、締付けボルトはなるべく高材質のものを用い、締付け長はケーブル径の80%以上を標準として十分長くとることが望ましいとしている。

本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>では、支承の一種にケーブルバンドを加えてJIS規格の一般的な材料を規定している。さらに、その一方で、「鑄鍛鋼品製作基準」<sup>7)</sup>に、吊橋に用いるケーブルバンドおよびその付属品の製作要領も具体的に規定している。また、「ケーブルバンド設計要領(案)」<sup>11)</sup>では、締付けボルトとして高力ボルトを用い、締付け長はケーブル径の70%以上を標準としている。

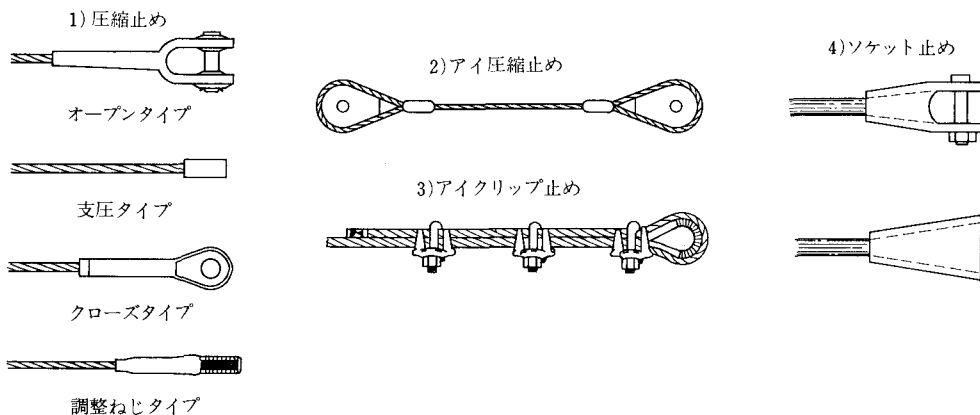
「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、同様に締付けボルトとして高力ボルトを用い、クランプ材、バンド材およびその付属材等のJIS規格の摩擦止め材料を規定するとともに、摩擦止めの締付け力に対する側圧分布を解説表14.5で仮定でき、これらによって算定される側圧が解説表14.4の値を上回らないようにしている。

解説表 14.5 締付け力と側圧分布



なお、文献3)では、圧縮止めのように均等な側圧の期待できる場合には、解説表14.4によらなくてもよく、鋼スリーブの場合で5000~10000 kgf/cm<sup>2</sup>程度のかかなり大きい値まで許されると解説している。

(2) 端部定着方式としての圧縮止め、アイ圧縮止め、アイクリップ止め、および、ソケット止めの代表的な例を、解説図14.7に示す。圧縮止めはストランドロープおよびスパイラルロープに、アイ圧縮止めはストランドロープおよびスパイラルロープに、アイクリップ止めはストランドロープのみにそれぞれ使用されるが、アイクリップ止めは軽微な場合を除いて永久構造物等に使用することは望ましくない。したがって、ここでは、前2



解説図 14.7 端部定着方式

者にソケット止めを加えて標準としたが、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、ソケット止めのみを標準としている。

ソケット止めの鋳込材としては、付着力が大きいこと、溶融点が低く、流動性に優れていること、クリープ変形が少ないことなどの条件を満足するものが望ましく、一般に Zn 98 Cu 2 の合金が用いられている。また、最近では疲労強度の低下の防止などを目的として常温鋳込みをするとともに、まわりの悪さによる空隙の除去などを図った新しい形式のものなども使用され始めている。

本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>では、支承の一種にソケットを加えて JIS 規格の鋳鍛鋼品を一般的な材料として規定している。「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>、および、「塔状鋼構造設計指針」<sup>9)</sup>でも、ソケット止め材料として同様に JIS 規格のものを標準に規定している。また、文献 3) では、アイ圧縮止めにおける曲げ、側圧によるケーブルの強度の低下について、ループ内に JIS 規格のデッドアイシンプル等を装着して対処するものと解説している。

#### 14.2.6 防食と防護

ケーブルは、設計において、その防食法を十分検討するものとする。またケーブルは、使用時に損傷を受ける可能性のある場合には、特別に防護するものとする。

**【解 説】** ケーブルはケーブル構造物の根幹をなすものであり、腐食の防止策を十分検討しなければならない。また、吊橋や斜張橋では防護壁を設けて自動車の衝突からケーブルを防護している例が少なくなく、他のケーブル構造物についても、同様の防護が必要となる場合が十分に予測できる。さらに、立地条件によっては、火災などによる高熱に耐えるための防護も必要と思われる。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、吊橋の主ケーブル、斜張橋のケーブルにはラッピングを施すのを原則とし、バンド部分、サドル部分、定着部分においては防水に対して十分な配慮をしなければならないとしている。ただし、個々のロープが分散して配置され、水切り、通風などが良好と認められるような場合には、塗装のみでラッピングを施さなくてもよいとしている。また、ラッピングの切れ目となるバンド部分においては、コーキングなどによって、サドル部分においては、サドル覆いによってそれぞれ十分な防水をしなければならないとしている。さらに、定着部は、雨水や塵芥がたまって腐食の原因にならないよう、防水、排水、防塵には十分注意をはらった設計にしなければならないとしている。

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>でも同様の規定をしており、塗装、ラッピングの他に建築ケーブル構造の防食法の実例としてチューブ被覆の例も挙げている。また、定着部における防水について、特別の配慮を行うものとし、雨水の侵入や結露を防ぐとともに万一に備え排水にも留意すべきであるとしている。さらに、防護の実例についても記述している。また、想定した火災に対する防護策として、耐火被覆の設計を行うものとし、ケーブル材料、および、その定着材料などの耐火温度の仮定値を規定するとともに、耐火試験方法などについても解説している。

なお、最近使用され始めた防食法として、被覆管内に充填材を注入するものがあり、設計者の適切な判断によって適宜使用してもよい。また、将来の点検、補修を考慮して、局部腐食を生じやすい箇所などを点検可能な構造とすること、および、ケーブルの取替えが構造上、強度上で可能なものとするなどとも検討に値すると思われる。

### 14.3 支持構造部材

#### 14.3.1 一般

本節では、ケーブルを支持するか、あるいはケーブルによって支持される構造部材に関するそ

の構造形式に特有の項目について規定するが、その他の種々の規定は、該当する他の示方書、指針、規格等の定めに基づいて準拠するものとする。

**【解説】** ケーブルを支持するか、あるいはケーブルによって支持される構造部材に関する種々の規定は、ケーブル構造物に特有のものを除いて、ここでは規定しない。それらは、本指針の前章までの該当する規定、および、他の示方書、指針、規格等に定めがあるものに準拠するものとする。

### 14.3.2 有効幅

ケーブル張力によるせん断おくれ現象を生じる支持構造部材の限界状態の照査を行う場合には、必要に応じて適切な有効幅を設定し、その設定方法は、類似の構造物に基準等の定めがある場合にはそれに準拠し、ない場合には責任技術者の判断によるものとする。

**【解説】** ケーブル構造物の場合、せん断おくれ現象には、死荷重、活荷重、および、支承反力による一般的なものの他に、ケーブル張力によって生じるものがある。

「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>では、これらのせん断おくれ現象を各々求めて重ね合わせることができるとし、簡易計算法による斜張橋主桁の有効幅の設定法を示している。

また、「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>では、マルチケーブル形式では等価支間長という概念は適用し難いとして、種々の数値計算の結果を基にせん断おくれ現象による付加モーメントを考慮した有効幅の算定式を与えている。

なお、個々の構造物について、実験の他、有限要素法などの計算手法により、設定した有効幅の妥当性を確認しておくことが望ましい。

### 14.3.3 有効座屈長

ケーブルと弾性支持状態にある支持構造部材の限界状態の照査を行うには、必要に応じて適切な有効座屈長を設定し、その設定方法は、類似の構造物に基準等の定めがある場合にはそれに準拠し、ない場合には責任技術者の判断によるものとする。

**【解説】** ケーブル構造物の場合、支持構造部材はケーブルと弾性支持状態にあり、より合理的な照査を行うためには適切な有効座屈長の設定が必要となる場合が少なくない。

本州四国連絡橋公団「吊橋主塔設計要領(案)」<sup>14)</sup>では、塔面外および塔面内における有効座屈長の算定式を規定し、塔面内の照査を有限変形解析によって行う場合に、固有値、固有モードにより最小座屈荷重を求めて有効座屈長を計算するものとしている。

これに対して、「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>では、斜張橋の塔の設計に際して、対象構造物を特定できることから、塔面外については全体平面骨組、および、塔面内については塔平面骨組の弾性座屈モードより求めた、有効座屈長を具体的に規定している。

### 14.3.4 定着構造

ケーブル定着構造は、応力集中に十分配慮して、支持構造部材の各部に円滑な力の伝達が行えるような構造とし、必要に応じて適切な補強を行うものとする。また、ケーブルの施工性、およ

び、端部での折曲げによる2次応力の低減についても十分に留意するものとする。

**【解説】** ケーブル定着構造には大きな集中荷重が作用するために、この力を支持構造部材の各部に円滑に伝達できるような構造とし、必要に応じて適切な補強を行わなければならない。

本州四国連絡橋公団「吊橋主塔の塔頂補強構造解析要領(案)」<sup>15)</sup>では、塔頂補強構造の解析要領を具体的に規定し、塔頂補強部を変形性状の等価な格子に置換することによって求めた格子接合点の格点力を、着目する板に載荷して2次元有限要素法により計算を行うものとしている。

また、「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>では、有限要素法などにより応力集中状況を計算して検討することと規定している。また、その場合、応力部材、補剛材ならびにソケットあるいはスプレーサドルなどの配置に際しては架設、定着、調整作業に支障のないように注意することとしている。

「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>でも同様の規定がされており、定着構造に発生する応力の分布状況を有限要素法などによって計算し、応力集中、応力伝達について検討しておかなければならないとしている。また、ケーブルの施工性、防水性についても十分に検討し、支障のないようにしておかなければならないとしている。

なお、従来の規準等に具体的な規定はみられないが、定着されるケーブルの端部、例えば支圧タイプのソケット止めにおけるソケット前面等では、折曲げによる2次応力が生じやすく、定着構造の設計に際してはこの2次応力を軽減するための適切な処置が必要となる場合が少なくないことから、十分に留意すべきであることをここでは特に規定した。

#### 14.3.5 水平支承

支持構造部材の水平支承においては、必要に応じて大きな移動量に十分対処できるように配慮しておくものとする。

**【解説】** 支持構造部材の水平支承においては、大きな移動量が生じやすく、その場合には十分な配慮が必要である。

吊橋、斜張橋の中間支承、端支承としてリンク支承、斜張橋の端支承としてペンデル杓が一般的な支承の他によく用いられるが、本州四国連絡橋関係では、「吊橋リンク・支承構造設計指針(案)」<sup>6)</sup>、および、「材料規格(リンク・支承関係規格)」<sup>17)</sup>も作成されている。また、斜張橋に関して、「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>および「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>で本規定と同様の規定がされている他、ケーブル、バネ等を用いた弾性支持による移動量の低減の実例も報告されている。

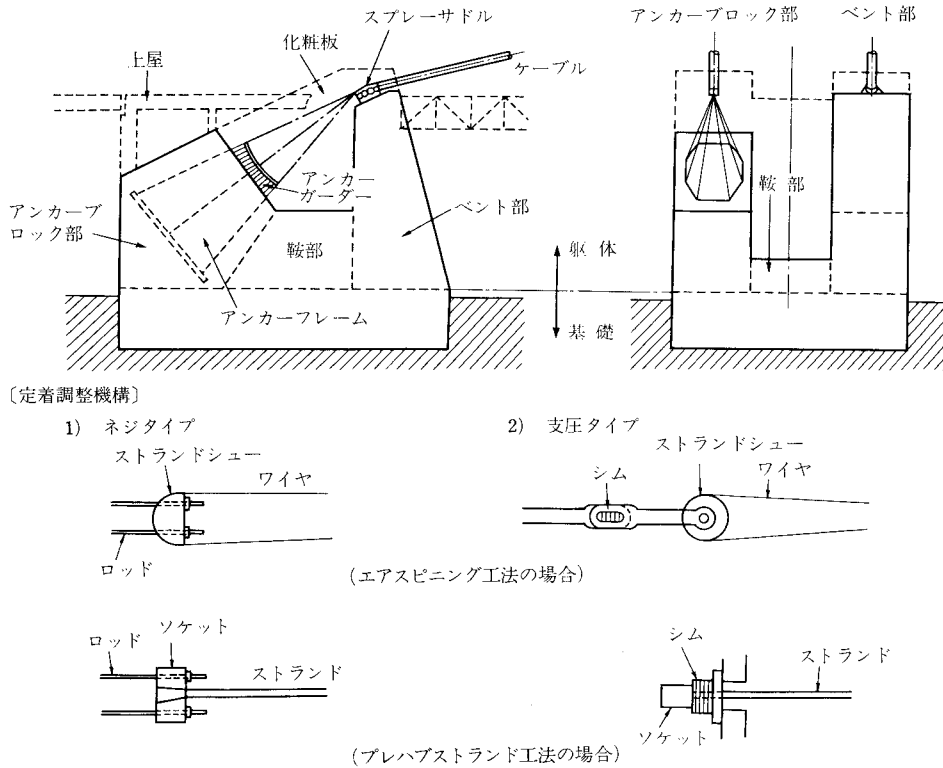
なお、移動量の大きい方向と直角方向の水平支承として独特のものにウィンド杓があり、長大吊橋などで多用されている。

#### 14.3.6 アンカレイジ

ケーブルのアンカレイジは、重力式を標準とし、アンカーフレームについてはアンカーブロック全体に円滑な力の伝達が行えるような構造とする。また、施工性についてはもちろんのこと、維持管理の容易さ、および、美観等にも十分配慮するものとする。

**【解説】** アンカレイジはケーブル構造物の最重要な部分の一つであり、重力式、アースアンカー形式の他、トンネルアンカー形式のものもあるが、最も一般的な重力式を標準とした。アンカレイジの構成要素としては、**解説 図 14.8**に示すように、鉄筋コンクリート製のアンカーブロックの他に、スプレーサドル、定着調整機構、





解説 図 14.8 アンカレイジの構成要素

アンカーガーダー、および、アンカーフレーム等の鋼構造物がある。

特に、アンカーフレームについては、アンカーブロック全体に力が伝達されるような構造にしなければならない。「鋼構造架設計針」<sup>18)</sup>では、仮設構造物のアンカーフレームに対してではあるが、基本構造について具体的に規定している。

また、本州四国連絡橋関係では、長大吊橋用ではあるが、「ケーブルアンカーの設計マニュアル(案)」<sup>19)</sup>、および、「重力式直接基礎アンカレイジ設計要領(案)」<sup>20)</sup>が作成されている。そして、文献20)では、特に吊橋アンカレイジは大規模なマスコンクリート構造物となるためその施工方法についても十分に検討しなければならないと解説している。さらに、経済性、施工性はもちろんのこと、維持管理の容易さ、美観等にも十分留意しなければならないとしている。

## 14.4 荷 重

### 14.4.1 荷重の種類

ケーブル構造物の設計にあたって考慮すべき荷重の種類は、類似の構造物に基準等の定めがある場合にはそれに準拠し、ない場合には責任技術者の判断によるものとする。

**【解 説】** 構造物の設計基準では、原則として、実際に作用する荷重が設計に用いる荷重を超えることがほとんどないと考えられる十分に大きな値を荷重値として規定している。具体的には、作用する荷重の最大値が明らかとなるときにはその値が、必ずしも最大値が明らかでないが、ある程度の精度で超過確率の十分に小さな値が計算

されるときや予測できるときは、それらの値に多少の余裕を持たせようえ、荷重値としている。風や地震に代表される自然環境荷重の場合にも、同じ原則が用いられているが、経済性に対する配慮から、他の荷重に比べて少し小さ目の値が規定されていることもある。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup>の規定を解説表 14.6 に示すが、この表におけるプレストレスは主にプレストレストコンクリートに導入するものを対象としており、一般的なものについては単に設計に考慮するものとする規定しているのみである。

解説表 14.6 荷重の種類 (文献2)

荷 重 の 種 類		(記号)
主 荷 重 (P)	1. 死 荷 重	(D)
	2. 活 荷 重	(L)
	3. 衝 撃	(I)
	4. プレストレス力	(PS)
	5. コンクリートのクリープの影響	(CR)
	6. コンクリートの乾燥収縮の影響	(SH)
	7. 土 圧	(E)
	8. 水 圧	(HP)
	9. 浮力または揚圧力	(U)
従 荷 重 (S)	10. 風 荷 重	(W)
	11. 温度変化の影響	(T)
	12. 地震の影響	(EQ)
主荷重に相当する 特殊荷重 (PP)	13. 雪 荷 重	(SW)
	14. 地盤変動の影響	(GD)
	15. 支点移動の影響	(SD)
	16. 波 圧	(WP)
	17. 遠 心 荷 重	(CF)
特殊荷重 (PA)	18. 制 御 荷 重	(BK)
	19. 施 工 時 荷 重	(ER)
	20. 衝 突 荷 重	(CO)
	21. そ の 他	

支点移動の影響、施工時荷重などの特殊荷重については文献2)でも規定されているが、本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>5)</sup>では、解説表 14.7 に示すように、さらに製作および架設誤差の影響も荷重として規定されている。

また、「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>および「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>では、解説表 14.8 および、解説表 14.9 に示すように、斜張橋のケーブルのプレストレスを荷重として明確に規定している。

解説表 14.7 荷重の種類 (文献6)

荷 重 の 種 類		記 号
1	死 荷 重	D
2	活 荷 重	L
3	衝 撃	I
4	遠 心 荷 重	CF
5	車両横荷重および車輪横圧荷重	LF
6	制動荷重および始動荷重	BK
7	ロングレール縦荷重	LR
8	風 の 影 響	W
9	温度変化の影響	T
10	地震の影響	EQ
11	支点移動の影響	SD
12	衝 突 荷 重	CO
13	架設時荷重	ER
14	製作および架設誤差の影響	E
15	そ の 他	

解説 表 14.8 荷重の種類 (文献12))

荷 重 の 種 類		記 号
主 荷 重	(1) 死 荷 重	D
	(2) 活 荷 重	L
	(3) 衝 撃	I
	(4) プレストレス	P.S.
従 荷 重	(5) 温 度 変 化	T
	(6) 風 荷 重	W
	(7) 地 震 荷 重	EQ
特 殊 荷 重	(8) 架 設 時 荷 重	ER
	(9) 架 設 誤 差	$\delta_{ER}$
	(10) 支 点 移 動 の 影 響	$\delta_{SD}$

解説 表 14.9 荷重の種類 (文献13))

荷 重 の 種 類		記号
主 荷 重	(1) 死 荷 重	D
	(2) 活 荷 重	L
	(3) 衝 撃	I
	(4) プレストレス	P.S.
従 荷 重	(5) 温 度 変 化	T
	(6) 風 荷 重	W
	(7) 地 震 荷 重	EQ
特 殊 荷 重	(8) 架 設 時 荷 重	ER
	(9) 架 設 誤 差	$\delta_{ER}$
	(10) 支 点 移 動 の 影 響	$\delta_{SD}$
(水 中 部)	(11) 波 圧	WP
	(12) 衝 突 荷 重	CO
	(13) 動 水 圧	$W_{EQ}$

解説 表 14.10 荷重区分 (文献3))

荷 重	長 期	短 期
固定荷重	G	—
積載荷重	P	—
雪荷重	S	—
風荷重	—	W
地震荷重	—	K
プレストレス力	$P_s$	—

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、荷重を長期および短期荷重に区分して解説 表 14.10 に示すものを標準とし、温度変化、衝撃荷重、繰返し荷重およびその他の荷重は実情に応じて考慮するものとしている。そして、この解説 表 14.10 は「建築物荷重基準 (案)」<sup>21)</sup>の規定にプレストレスの項を加えたものである。

なお、ケーブルのクリープ、レラクセーションについて、荷重として規定したものはない。しかしながら、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、コンクリート部材に対するプレストレスは、コンクリートのクリープ、乾燥収縮、および、PC鋼材のレラクセーションの影響を考慮して算出するものとしている。したがって、ケーブルのプレストレスを荷重として取扱うのであれば、クリープ、レラクセーションの影響も、文献2)の区分でいえば、主荷重ではないにしても主荷重に相当する特殊荷重の一種として取扱うべきであると思われる。

#### 14.4.2 荷重の組合せと安全率

ケーブル構造物を構成する各部材の限界状態の照査を行う場合、考慮すべき荷重の組合せ、および、それらの各組合せに対応する安全率は、類似の構造物に基準等の定めがある場合にはそれに準拠し、ない場合には責任技術者の判断によるものとする。

**【解 説】** ケーブル構造物を構成する各部材の限界状態の照査を行うに際して、考慮すべき荷重の組合せ、および、各組合せに対応する安全率は既往のものに準拠することを標準とした。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup> (解説 表 6.1 に対応)、および、橋梁構造物でケーブルが多用される各種設計基準の荷重の組合せと安全率を許容応力度と限界強度の比から逆算し、0.05 おきに数字を丸めた結果を解説 表 14.11~14.14 に示す。

解説 表 14.11 荷重の組合せと安全率 (文献 2))

荷 重 の 組 合 せ	安 全 率 <sup>注)</sup>
(1) 主荷重+主荷重に相当する特殊荷重+温度変化の影響	1.50
(2) 主荷重+主荷重に相当する特殊荷重+風荷重	1.35
(3) 主荷重+主荷重に相当する特殊荷重+温度変化の影響+風荷重	1.25
(4) 主荷重+主荷重に相当する特殊荷重+制動荷重	1.35
(5) 主荷重+主荷重に相当する特殊荷重+衝突荷重 鋼部材に対して	1.00
鉄筋コンクリート部材に対して	1.15
(6) 風荷重のみ	1.40
(7) 制動荷重のみ	1.40
(8) 活荷重および衝撃以外の主荷重+地震の影響+温度変化の影響	1.00
(9) 施工時荷重	1.35

注) 主荷重および主荷重に相当する特殊荷重に対する安全率は1.70

解説 表 14.12 各部材別の荷重の組合せと安全率 (文献 6))

荷重の組合せ	吊 橋							吊 橋 以 外						
	安 全 率	1	2	3	4	5	6	7	安 全 率	8	9	10	11	12
		補剛桁	塔	主ブケル	ハンガ	主トラス	横構	補剛支桁		主主桁	アーチ <sup>1)</sup>	床版 <sup>2)</sup>	横対傾	支承
1. D+L	1.70					○	○		1.70	○	○	○	○	○
2. D+L+T+(SD+E) <sup>3)</sup>	1.70	○	○	○				○	1.50		○			○
3. D+L+T+EM+EE+BE	1.70				○									
4. D+L(F)	1.70	○				○			1.70	○	○	○		
5. D+L+LR	1.70					○	○		1.70	○	○	○	○	○
6. D+W(L)+L(W)+T	1.25	○	○			○	○		1.25	○	○			
7. D+W+T+(SD+E) <sup>3)</sup>	1.15	○	○					○	1.25 (1.15) <sup>4)</sup>	○	○			○
8. D+EQ+T									1.00	○	○		○	○
9. D+EQ+L(EQ)+T+(SD+E) <sup>3)</sup>	1.15	○	○					○	1.00 (1.15) <sup>4)</sup>	○	○		○	○
10. EQ	1.15						○							
11. ER	1.35	○	○		○	○		○	1.35	○	○	○	○	○
12. W	1.15						○		1.40 (1.15) <sup>4)</sup>				○	
13. D+L+BK+LR	1.35					○	○		1.35	○	○	○	○	○
14. BK+W(L)	1.35								1.35				○	
15. LF+W(L)	1.35								1.35			○	○	
16. D+W(L)+L(W)+LR	1.20								1.20			○	○	○
17. D+W(L)+L(W)+LF	1.20								1.20	○		○	○	
18. D+W(L)+L(W)+BK	1.20								1.20			○	○	
19. D+W(L)+L(W)+BK+LR	1.15								1.15			○	○	○
20. D+L+CO	1.00								1.00					

- 注: 1) アーチの吊材・支材を含む。  
 2) 吊橋の床版・床組にも適用。  
 3) ( )内は吊橋については、塔、補剛桁および補剛桁の支承にのみ適用する。  
 4) ( )内は支間200mを超える橋梁の主桁、主構およびアーチリブに適用する。  
 5) 組合せ5および13番においてLRを主荷重として扱った。

[記号の説明]

- L : 活荷重 (衝撃を含む。また、曲線桁については、遠心荷重も含む)。  
 L(F) : 疲労検算活荷重。  
 L(W) : 風荷重載荷時の活荷重。  
 L(EQ) : 地震時の活荷重。  
 T : 温度変化の影響 (±30°C, ただし、吊橋のケーブルについては-30°Cの場合のみを考慮すればよい。また、組合せ7番においては35°Cとしてよい)。  
 W(L) : 活荷重載荷時の風荷重 (吊橋については、橋面位置における風速30m/s時のもの)。  
 EM : 製作誤差の影響 (ハンガの製作長誤差およびケーブルバンドの製作誤差の影響等)。  
 EE : 架設誤差の影響 (補剛トラスのそりの誤差およびケーブルバンドの設置誤差の影響等)。  
 BE : ハンガの曲げの影響 (ケーブルバンドに鞍がける場合の曲げの影響—14.6.3の解説参照)。

解説 表 14.13 荷重の組合せと安全率 (文献12)

系	荷重の組合せ		安全率
完成系	1	$D_1+L$	1.70
	2	$D_1+L+T_{35}$	1.50
	3	$D_1+W+T_{15}$	1.25
	4	$D_1+L_W+W_L+T_{15}$	1.25
	5	$D_1+EQ+L_{EQ}+T_{15}$	1.00
架設系	6	$D_2+ER$	1.35
	7	$D_2+ER+EQ_{ER}+T_{15}$	1.00
	8	$D_2+ER+W_{ER}+T_{15}$	1.25

$T_{35} : t = \pm 35^\circ\text{C}$

$T_{15} : t = \pm 15^\circ\text{C}$

W : 固定荷重 (基本風速 50 m/s)

$L_W$  : 影響線載荷, 荷重強度 1/2

$W_L$  : 固定荷重 (路面高にて 30 m/s)

EQ : 設計加速度 200 gal

$L_{EQ}$  : 全橋長固定荷重  
荷重強度 1/2

$EQ_{ER}$  : 設計加速度 100 gal

$W_{ER}$  : 固定荷重

$D_1$  は P. S.,  $\delta_{ER}$ ,  $\delta_{SD}$  を含む.

$D_2$  は P. S.,  $\delta_{ER}$  を含む. L は I を含む.

解説 表 14.14 荷重の組合せと安全率 (文献13)

構造系	組合せケース	荷重の組合せ	安全率
完成系	1	$D_1+L$	1.70
	2	$D_1+L+T_{35}$	1.50
	3	$D_1+W+T_{15}$	1.25
	4	$D_1+L_W+W_L+T_{15}$	1.25
	5	$D_1+EQ+L_{EQ}+T_{15}$	1.00
架設系	6	$D_2+ER$	1.35
	7	$D_2+ER+EQ_{ER}+T_{15}$	1.00
	8	$D_2+ER+W_{ER}+T_{15}$	1.25

$D_1$  : P. S.,  $\delta_{ER}$ ,  $\delta_{SD}$  を含む.

$D_2$  : P. S.,  $\delta_{ER}$  を含む.

L : I を含む.

$T_{35}$  : 温度昇降  $t = \pm 35^\circ\text{C}$ , 上・下フランジの温度差  $\Delta t = 15^\circ\text{C}$ ,  
または, 主桁, 塔・橋脚およびケーブルの相互の温度差  
 $\Delta t = \pm 15^\circ\text{C}$

$T_{15}$  : 温度昇降  $t = \pm 15^\circ\text{C}$

$L_W$  : 風時の活荷重

影響線載荷で荷重強度は 1/2 とする.

$W_L$  : 活荷重載荷時の風荷重

$L_{EQ}$  : 地震時の活荷重

全橋長固定荷重満載で荷重強度は 1/2 または 0 とする.

$EQ_{ER}$  : 架設時の地震荷重

$W_{ER}$  : 架設時の風荷重

解説 表 14.15 荷重の組合せ (文献3)

荷重状態		ケーブル及び定着部, 付属金具等	ケーブル関係以外の 構造部分
長期	常時	$G+P+P_s$	常用の荷重組合せに 従う.
	積雪時	$G+P+P_s+S$	
短期	暴風時	$G+P+P_s(+S)+W$	
	地震時	$G+P+P_s(+S)+K$	

解説 表 14.16 短期、終局状態の安全率（文献3）

荷重状態	ケーブル及び定着部、付属金具等	ケーブル関係以外の構造部分
短期	長期安全率の0.75倍	解説 表 6.3と同じ
終局	長期安全率の0.60倍	

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、使用時の安全度検定のための荷重の組合せは解説 表 14.15 に示すものを用いることと規定している。短期の荷重状態に対しては解説 表 14.16 に示すように、安全率を低減することとしている。さらに、終局時の安全度検定を必要に応じて行うものとし、解説 表 14.16 に示す安全率の低減が規定されているが、その際の荷重組合せは荷重、構造形状および部材使用箇所などにより異なるとして具体的に規定されていないことから、この規定は参考資料に止めざるをえない。

また、「塔状鋼構造設計指針」<sup>9)</sup>では、支線式鉄塔の支線関係以外の構造部分については文献3)と同様に短期の許容応力に対する常用の割増し（「鋼構造設計規準」<sup>10)</sup>の規定を準用すれば50%）を行うが、支線に使用される構造用ワイヤロープおよび定着部については、その重要性から割増しを行わないものと規定している。この割増し率から、解説 表 14.11～14.14、14.16と同様に容易に安全率を逆算することができる。

## 14.5 構造解析

### 14.5.1 解析法

ケーブル構造物の設計計算にあたっては、有限変位理論を用いて静的弾性解析を行うことを標準とするが、責任技術者が必要と認める場合には塑性解析、および、動的解析なども行うものとする。また、電算機を使用する際には、計算に用いるプログラムの適合性について十分配慮するものとする。

**【解説】** ケーブル構造物は比較的変形が大きく、ケーブルに高い張力が導入されていることなどから、解析には有限変位理論を用いることを標準とする。試算段階では微小変位理論を適用することも考えられるが、不安定架構を形成するような場合には解を得ることができない。また、耐荷力、終局時の安全性の照査、および、動的荷重に対する詳細な検討などを行うような場合には、静的弾性解析のみならず、塑性解析、および、動的解析なども必要となる場合があり、責任技術者の判断によるものとした。

吊橋については有限変位理論を用いるのが一般的であるので、特に規定したものはない。これに対して斜張橋に関する「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>および「安治川橋梁上部工設計指針（案）」<sup>13)</sup>では、完成系は微小変位理論によるものを標準とするが、架設系は有限変位理論によっても照査しておかなければならないとし、その際には初期軸力、初期変位などを考慮するものとしている。そして、平面モデルの他、立体モデルの使用も規定している。

さらに、ケーブル構造物は一般に複雑で規模が大きく、その設計計算にあたっては、電算機の使用が不可欠である。電算機の使用に際しては、設計目的に合致したプログラムを選択することはいうまでもないが、膨大な入出力データを効率よく処理できるように前、後処理プログラムが整備されたものを使用することが望ましい。特に、後処理プログラムについては、編集機能、および、図化機能を有し、そのまま設計図書として成果品となる出力結果が得られるようなものであれば、より効率的な設計が可能である。

### 14.5.2 計算上の仮定

ケーブル構造物の設計計算にあたっては、ケーブル部材の曲げ剛性の影響、および、伸び剛性

に対する微小なサグの影響は無視できるという仮定を標準とする。また、支持構造部材については、類似の構造物に基準等の定めがある場合にはそれに準拠し、ない場合には責任技術者の判断によるものとする。

**【解 説】** 太径のケーブル部材が局部的な曲げを受ける場合、および、導入張力の小さい状態で伸び変形する場合には、ケーブル部材の曲げ剛性、および、伸び剛性に対するサグの影響は無視できない。しかしながら、これらは特殊な場合であり、標準的な仮定としては、これらの影響を無視できるものとした。

伸び剛性に対するサグの影響について、吊橋の有限変位解析では、一般にハンガー定着点で主ケーブルの部材がリンク状に連結されることから考慮する必要はなく、特に規定したものはない。これに対して、斜張橋に関する「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>および「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>では、式(解14.4)に示す修正弾性係数を用いてサグによる低下を考慮するように規定している。

$$E = \frac{E_c}{1 + \frac{(\gamma l)^2}{12 \sigma^3} E_c} \dots\dots\dots \text{(解 14.4)}$$

ここに、 $E_c$ ：真直なケーブルのヤング係数

$$2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

$E$ ：サグのあるケーブルのヤング係数 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\gamma$ ：ケーブルの単位体積重量 (kgf/cm<sup>3</sup>)

$l$ ：ケーブルの水平投影長 (cm)

$\sigma$ ：ケーブルの引張応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、本規定とはほぼ同様の規定が定められているが、その一方で、曲げ剛性、サグの影響を考慮した解析法を解説で列挙し、標準とした仮定の適用範囲についても言及している。また、非抗圧の仮定についても触れている。

他方、支持構造部材については、文献13)で、斜張橋の主桁のせん断おくれ現象に伴う有効幅に関して、局部的なものであることから断面力、変位の計算には全幅有効と仮定してもよいとしている他は、特に規定されていない。そこで、ここでは、類似の構造物に規定がある場合にはそれに準拠するものとして、具体的には規定しなかった。

## 14.6 限界状態の照査

### 14.6.1 一般

本節では、ケーブル構造物に特有の限界状態の照査について規定するが、その他の種々の規定は、該当する他の示方書、指針、規格等の定めに準拠するものとする。

**【解 説】** ケーブル構造物の限界状態の照査に関する種々の規定は、その構造形式に特有のものを除いて、ここでは規定しない。それらは、本指針の前章までの該当する規定、および、他の示方書、指針、規格等に定めがあるものに準拠するものとする。

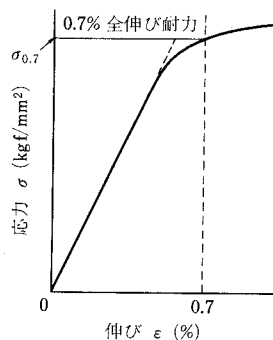
### 14.6.2 部材の照査

ケーブル構造物の設計にあたっては、式(7.1)によるほか、構造特性を十分に把握し、既往の基準等に準拠して疲労等を考慮した適切な安全率を定め、それを用いてケーブル部材の限界状

態の照査を行うものとする。また、支持構造部材については、特殊あるいは特別に重要な構造物を除き、適切な有効幅、有効座屈長を用いた通常の構造物に対する照査方法により部材の限界状態の照査を行うものとする。

**【解 説】** 前章までの各種構造物における限界状態の照査と同じく、14.2.3に示した設計強度を限界強度として用い、14.4.2に基づく荷重の組合せと安全率を用いて限界状態の照査を行うこととした。

降伏点に相当する応力として解説 図 14.9 に示す 0.7% 全伸び耐力をとり、この耐力に対して 2.0 の安全率をとれば、引張強さに対する安全率の値は約 2.8 となる。「道路橋示方書」<sup>2)</sup> では、この値を基準として、ケーブルが構造用鋼材に比べて素線間の応力の不均一が生じやすく、また曲げ剛性などによる 2 次応力も考えられることから、引張り強さに 14.2.3 の解説に示す係数を乗じて求めた切断荷重をもとに主荷重および主荷重に相当する特殊荷重に対する許容値に対する安全率を 3.0 と定めている。14.2.3 の設計強度は、これらの値と解説 表 6.1 の安全率とを考慮して決めたものである。それに加えて、吊橋のハンガーに対しては、死荷重応力の占める割合が小さく、また活荷重応力の発生頻度も大となることから、疲労を考慮して、直線上のハンガーに対して安全率 3.5 を規定している。したがって、このハンガーに対しては解説 表 6.1 の安全率を 1.17 倍するのが適当である。ただし、死荷重応力に対する活荷重応力の比が比較的大きい場合の斜張橋のケーブルに対しては同様の考慮が必要であるとする一方で、支間長 500 m を越えるような吊橋の主ケーブルに対しては、死荷重応力の占める割合が大きくなるので安全率を低減してもよいとしている。



解説 図 14.9 伸び耐力

これに対し、本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup> では、次のような条件により、吊橋の主ケーブルの許容引張応力度を 6 400 kgf/cm<sup>2</sup> と定め、斜張橋のケーブルにも適用している。

- 1) 引張強さに対して少なくとも 2.5 の安全率を確保する。
- 2) 降伏点に対して約 2.0 の安全率を確保する。
- 3) 2 次応力を含めた最大応力は引張強さに対して約 2.0 の安全率を有する。

「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup> および「安治川橋梁上部工設計指針 (案)」<sup>13)</sup> では、斜張橋のケーブルの引張応力度は許容応力度  $\sigma_{0a} = 6\,400$  kgf/cm<sup>2</sup> を規定している。14.2.3 の規定を用いるとき、これらの値をもとに、限界状態に用いるべき安全率を容易に逆算することができる。

さらに文献 12) および文献 13) では、活荷重応力  $\sigma_L$  による疲労については、式 (解 14.5) により疲労許容 (限界) 応力度を算定し、これ以下にケーブルの変動応力をおさえなければならないとしている。ただし、このときの応力変動としては設計活荷重の変動分の 50% を想定し、これを死荷重応力  $\sigma_D$  に加えることによって応力変動比  $K$  も算定している。式 (解 14.5) による照査の規定は、「DIN 1073」<sup>22)</sup> の規定に準拠したものであり、疲労の影響を受ける領域では DIN と同一の曲線で許容限界値を定めている。応力変動比  $K$  も同様に DIN に準拠し



て定めたものである。

$$\sigma_w \leq \sigma_f \dots\dots\dots (解 14.5)$$

ここに、 $\sigma_w = \sigma_D + 0.5 \sigma_{L,max}$  : 作用応力度 (疲労照査用)

$$\sigma_f = \begin{cases} \frac{2500}{1-0.895K} & (K < 0.681) \\ 6400 & (K \geq 0.681) \end{cases} : \text{疲労許容 (限界) 応力度}$$

$$K = \frac{\sigma_D + 0.5 \sigma_{L,min}}{\sigma_D + 0.5 \sigma_{L,max}} : \text{応力変動比}$$

なお、疲労許容 (限界) 応力度については実験により同式の値を確保できることを検証すると同時に、実験後の静的引張強さが実験前のその少なくとも 80 % を有していることも確認することが望ましいとしている。

他方、支持構造部材の限界状態の照査については、14.3.2、14.3.3に規定した適切な有効幅、有効座屈長を用いて、通常の構造物に対する照査方法により行うことを基本とした。ただし、特殊あるいは特に重要なケーブル構造物においては、その限りではないことを明記した。

### 14.6.3 曲線部の照査

ケーブルの曲線部においては、ケーブル、および、それが滑らかな曲率を保持するために配置されるサドル、シーブ等の限界状態の照査を、2次応力、強度低下等に十分配慮した適切な安全率により行うものとする。

**【解 説】** ケーブルの曲線部においては、ケーブルのみならず、それが滑らかな曲率を保持するために配置されるサドル、シーブ等についても限界状態の照査を行うものとし、安全率は、既往の基準等に準拠して2次応力、強度低下に十分配慮した適切な値を定めることを標準とした。したがって、ともに従来の許容応力度算定のための安全率から逆算して、限界状態の照査に適用する安全率を定めてよい。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、ケーブルの強度低下に関する具体的な記述はないものの、曲線部を有する長大吊橋のハンガーの安全率を4.0として通常のハンガーに対するものより0.5大きくとるよう規定している。したがって、曲線部を有するハンガーに対しては解説表6.1の安全率を1.33倍するのが適当である。一方、そのような場合には可とう性に富むCFRC型ローブを用いるのが望ましいとしている。

これに対し、本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>9)</sup>では、バンドにU字状態で掛ける方式のハンガーの安全率を3.0としているが、これは張力をより正しく評価できる全体系による設計方法(「ハンガー設計要領(案)」<sup>23)</sup>参照)を採用したからであり、慣用計算法を適用した従来の安全率は4.0であった。なお、文献23)では、曲げの影響による2次応力を荷重(繊維芯のローブに対する実験結果に基づく実験式を準用して算定する)として見込んでおり、疲労による影響も大きくないことから、文献2)と比較した場合に3.0以下の値を採ってもよいが、過去に類をみない長大吊橋に適用されることを考慮し余裕をみて3.0を採用したと解説している。

また、「鋼構造架設設計指針」<sup>18)</sup>においては、JIS G 3525に適合する主に架設部材の動索として使用されるワイヤーローブに対する規定であるが、曲げ使用を付加応力の発生原因と考え、その使用条件により付加荷重として算出し、安全に対する検討を行うこととしている。この安全の検討を行う規定を、本指針で採用している設計荷重と切斷荷重の比0.57を用い、限界状態照査式に書き換えた結果を式(解14.6)、式(解14.7)に示す。

$$\nu \frac{T + T_w}{F} \leq 1 \dots\dots\dots (解 14.6)$$

$$T_w = \frac{\alpha}{100 - \alpha} \cdot T \dots\dots\dots (解 14.7)$$

ここに、 $F$  : 14.2.3に示す設計強度

$T$ ：ワイヤーロープに作用する引張荷重

$T_w$ ：ワイヤーロープに生ずる付加荷重

$\nu$ ：安全率， $\nu=0.57 K_0$

$K_0$ ：「鋼構造架設計指針」<sup>18)</sup>に規定されているワイヤーロープの安全率

$\alpha$ ：付加荷重の増加率（%）

であり，付加荷重の増加率  $\alpha$  は，各箇所では求められるもののうちで引張荷重  $T$  との合計値が最大となる  $T_w$  に対して考慮され，シーブを使用した場合には，シーブ径とロープ径の比を  $R_D$  として式（解 14.8），式（解 14.9）で表わされるものである。

$$R_D \geq 10 \quad \alpha = 250/R_D \dots\dots\dots (\text{解 14.8})$$

$$R_D < 10 \quad \alpha = 55 - 3 R_D \dots\dots\dots (\text{解 14.9})$$

なお，「塔状鋼構造設計指針」<sup>9)</sup>では，ケーブルの途中で折曲げ部がある場合は，その部分の曲げ応力の計算のために曲げ応力弾性係数が必要であり，引張弾性係数と同様に実験によって定めることを原則とするとしている。ただし，式（解 14.10）に示す慣用の公式によって最大曲げ応力を計算する場合は，その値を知る必要がないとしている。

$$\sigma_b = \frac{Q\xi}{4} \sqrt{\frac{E}{I_T T}} \dots\dots\dots (\text{解 14.10})$$

ここに， $\sigma_b$ ：素線に発生する最大曲げ応力

$Q$ ：ケーブル軸に直交方向の力

$\xi$ ：素線の径

$E$ ：素線のヤング係数

$I_T$ ：素線が自由に動き得るとしたときのケーブルの断面 2 次モーメント

$T$ ：ケーブルの張力

また，応力検討にあたっては，サドル部や荷重支持部での曲率による曲げ応力とともに，側圧によるロープの耐力低下を考慮することと解説している。

他方，サドル，シーブ等については，「道路橋示方書」<sup>2)</sup>には，支承その他に用いる材料として JIS 規格の鑄鍛鋼品の許容応力度が具体的に規定されている。この規定を参考にした，本指針に用いる設計強度は 5.2.4 に示されている。また，本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>では，サドル，ストランドシューを含む支承材料の一般的な材料として規定し，鑄鍛鋼品の許容応力度のうち，文献 2) に規定のあるものはそれに従い，ないものについてはその考え方に従って具体的な値を定めている。これらの材料に対しても，5.2.4 の解説をもとに，本指針に用いる設計強度を決めることができる。

さらに，「塔状鋼構造設計指針」<sup>9)</sup>においては，「鋼構造設計規準」<sup>10)</sup>の規定をそのまま適用し，JIS 規格の鑄鍛鋼品の許容応力度は文献 2) と同様にそれぞれ相当する圧延鋼材のものを用いることができるとしているが，基準とする材料強度が異なることから，値そのものは文献 2) に比べて少し高めになっている。

#### 14.6.4 定着部の照査

##### (1) 摩擦止め

ケーブル定着部のうち，摩擦止めについては，滑りを生じる状態を限界状態として適切な安全率により照査するものとする。

##### (2) 圧縮止め

圧縮止め，および，アイ圧縮止めについては，切断を生じる状態を限界状態として適切な安全率により照査するものとする。

## (3) ソケット止め

ソケット止めについては、切断あるいは引抜きを生じる状態を限界状態として適切な安全率により照査するものとする。

**【解説】** (1) 摩擦止めについては、ケーブル定着部が滑りを生じる状態を限界状態と規定した。「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、滑りに対する安全率は4.0を標準とすると規定しているが、締付け力減少の要因について十分検討を加え、安全性が確かめられたときは、安全率を最低3.0まで下げてよいと解説している。また、本州四国連絡橋公団「ケーブルバンド設計要領(案)」<sup>11)</sup>では、平行線ストランドについて、摩擦係数は0.15を標準とし、滑りに対する安全率は3.0を標準としている。ただし、締付け力の減少を30%見込み、かつ架設完了までの数回の再締付けに加えて完成後も再締直しを含む十分な維持管理がなされることを前提として、実質的な安全率は架設完了時4.0以上確保されるという考えからである。

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、締付け後に新たにケーブルに張力が負荷されるような場合には増し締めが必要であるとし、摩擦係数0.15を標準として、締付け側圧の上限値の範囲内であれば安定した値を維持できるとしている。安全率については、長期許容耐力として滑り耐力の1/3を標準としているが、摩擦止めは個別に設計されることも多く、それぞれについて実験等によってその特性の確認が望ましいとしている。

なお、止め部分の内面とケーブルの表面を密着させて摩擦係数をより大きくするために、内面にロープ溝を切ったり、フィラーを介することなどを中小吊橋等で行っており、そのような場合には、標準値を0.15より少し大きくとってもよいと思われる。

(2) 圧縮止め、および、アイ圧縮止めについては、ケーブル定着部が切断を生じる状態を限界状態と規定した。切断に対する安全率について、「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、ケーブルあるいはスリーブそのものが切断する切断形式を想定し、応力伝達試験より求められる試験耐力の1/3を長期許容耐力の標準としている。また、中間部に使用する場合について、圧縮止め金具の付いたワイヤーロープに対する繰返し引張疲労試験結果を引用して耐力低下の問題はほとんどないという一方、特殊な場合には影響を確認するための応力伝達試験が必要であるとしている。

「鋼構造架設設計指針」<sup>18)</sup>では、14.6.3に規定した曲線部の照査における場合と同様に、端部加工を付加応力の発生原因と考え、その加工条件により付加荷重として算出し、安全に対する検討を行うこととしている。すなわち、式(解14.7)に示した付加荷重の増加率 $\alpha$ の値として、アイ圧縮止めで10%、アイクリップ止めで20%を規定している。

さらに、「塔状鋼構造設計指針」<sup>9)</sup>では、同様の種々の端部定着方式を列挙する一方で、支線式鉄塔における支線の端部定着部の重要性を考慮し、定着方式に関係なく定着強さに対してケーブルと同じ安全率3.5をとり、短期応力に対する割増しも行わないと規定している。

(3) ソケット止めについては、ケーブルあるいはソケットそのものの切断、あるいは、素線の引抜きを生じる状態を限界状態と規定した。切断に対する安全率について、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、ソケットの強度はケーブルの強度以上とすると規定し、定着部の安全率はケーブルまたはハンガーの安全率より小さくしてはならないとしている。また、鋳込材の鋳込み寸法の算定法として、鋳込材と素線との間の付着応力度とソケット内壁面上での圧縮応力度とを考慮した、JIS F 3432-1968の船用ワイヤーソケットの規格の解説に記された方法に準じるのが一つの標準であろうとしている。なお、他に合金円すい側面の圧縮応力度を考える際に摩擦係数を取入れる方法もあり、また、その圧縮応力度の値から予想されるクリープ速度の大きさに基づいて鋳込み寸法を定める考え方も提案されているが、いずれの方法をとるにしても十分な調査が必要であるとしている。

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、鋳込材(Zn 98 Cu 2)の許容圧縮応力度の標準として、「構造用ケーブル材料規格」<sup>4)</sup>の解説にある試験結果より採用した実測値を参照し、長期許容耐力の観点からクリープ特性に配慮した400 kgf/cm<sup>2</sup>の値を採用している。また、鋳込材-素線間の応力伝達は付着作用によるものとし、その

長期許容付着応力度の標準として、実測の平均付着応力度から実用付着応力度を  $180 \text{ kgf/cm}^2$  と見なし、ケーブルと同じ安全率 3.0 を設定して  $60 \text{ kgf/cm}^2$  を採用している。さらに、ソケット内面における応力伝達は面圧および摩擦作用によるものとし、摩擦係数は安全側を採って 0.2 と仮定できるとしている。

## 14.7 構造設計

### 14.7.1 一般

本節では、ケーブル構造物の構造設計におけるその構造形式に特有の項目について規定するが、その他の種々の規定は、該当する他の示方書、指針、規格等の定めに従って準拠するものとする。

**【解説】** ケーブル構造物の構造設計に関する種々の規定は、その構造形式に特有のものを除いて、ここでは規定しない。それらは、本指針の前章までの該当する規定、および、他の示方書、指針、規格等に定めがあるものに準拠するものとする。

### 14.7.2 形状決定

ケーブル構造物においては、完成時に、ケーブルがプレストレスを含む所定の張力状態で、構造全体が所定の形状となるように、必要に応じて事前に形状決定を行うものとする。

**【解説】** ケーブル構造物が完成時に所定の張力状態、形状にならなければならないという規定は、一般構造物のその規定に対応するものである。

本州四国連絡橋公団「上部構造設計規準」<sup>6)</sup>では、「道路橋示方書」<sup>2)</sup>の規定にならい、主構、主桁および吊橋の補剛桁には、死荷重によるたわみに対して道路面が所定の高さになるように、そりをつけなければならないとしている。そして、吊橋の補剛桁については、死荷重のうち後死荷重によるたわみに対応するそりをつけなければならないとしている。

一般に、吊橋については、補剛桁のそりの決定、および、それに伴う主ケーブル、主塔等を含む全体系の形状決定は比較的容易である。しかしながら、斜張橋については、所定のプレストレスの導入問題があり、ケーブル張力に見合う外荷重を載荷して主桁のそりを実際には求めているが、「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>、「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>には特に規定されていない。さらに、ケーブルネット等では、所定の形状を得るために、複雑な組合せのケーブルの無応力長をサグに対応するたるみも考慮して算定する必要があるため、種々の形状決定法が提案されているが、「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>には特に規定されていない。

### 14.7.3 プレストレス

プレストレスの導入に際しては、支持構造部材の断面力の低減を図り、かつ、ケーブル構造物の構造特性を生かすようにその量を決定し、各部材の設計にこれを考慮するものとする。また、プレストレスの導入方法および管理方法についても、十分に検討しておくものとする。

**【解説】** ケーブル部材にプレストレスを導入して、支持構造部材の応力改善を図れるということは、ケーブル構造物の最大の利点の一つであり、プレストレスの導入いかんによってその特長が大きく左右される場合もある。したがって、その量の決定については、導入方法および管理方法を含めて、十分に検討されなければならない。

斜張橋のケーブルのプレストレスについて、「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>では、これを考慮すると規定し

たのみであるが、「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>では、本規定とほぼ同じ規定がなされている。

「建築構造ケーブル設計指針」<sup>3)</sup>では、プレストレスに関する解説として、通常の荷重状態でケーブル部材にゆるみが生じ、構造に直接障害がなくとも構造全体の剛性低下を招くようなことのないように、プレストレスを導入することが多いとのみ述べている。

#### 14.7.4 たわみと負反力

ケーブル構造物のたわみは、構造物の性状を考慮して十分に検討し、構造物の使用性を損なうことなどがないようにするものとする。また、負反力に対しても、同様に十分に検討して安全性を確認し、必要に応じてカウンターウェイト等を配置するものとする。

**【解説】** ケーブル構造物の設計荷重によるたわみは比較的大きく、吊橋、斜張橋などでは、車両の安全走行を損い、通行者の不快感を生む可能性がある。また、吊橋構造では、仕上げ材、建具等の損傷、建物利用者には不快感などの使用上の障害を生じる可能性がある。さらに、変位が過大であると、ケーブルの定着部あるいは定着金具の近傍において局所的な曲げを生じて、ケーブルの曲げ疲労の原因にもなり得る。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、解説表 14.17 に示すように、吊橋、斜張橋を含む各種形式橋梁の活荷重(衝撃を含まない)によるたわみの限界値を規定している。

本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>では、文献2)の適用範囲を超える道路橋の鉛直たわみは、橋の性状を考慮して設計するものと規定している。また、鉄道、道路併用橋の主桁に対して、解説表 14.18 に示す鉛直たわみの限界値を規定し、支間長が150mを超え、特に詳細な検討を行った場合には表の値を緩和することができるとしている。そして、列車の走行性、牽引力への影響を考え、折れ角の限界値を規定すると同時に、特に吊橋については角折れ部の構造も含めて検討しなければならないとしている。さらに、水平たわみについては、それによる水平折れ角の影響も考慮し、下部構造を含めて検討しなければならないと規定している。

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、文献2)の吊橋、斜張橋のたわみの限界値、および、「鋼構造設計規準」<sup>10)</sup>のはり部材の限界値(L/300)などを解説に引用して、本規定とほぼ同様の規定をしているが、具体的な限界値は定めていない。

解説表 14.17 たわみの限界値(文献2))

橋の形式		桁の形式	単純支持桁および連続桁	ゲルバー桁の片持部
		プレート形式	鉄筋コンクリート床版をもつプレートガーダー	$L \leq 10$
$10 < L \leq 40$	$\frac{L}{20\,000/L}$			$\frac{L}{12\,000/L}$
$40 < L$	$L/500$			$L/300$
その他の床版をもつプレートガーダー			$L/500$	$L/300$
吊橋形式			$L/350$	
斜張橋形式			$L/400$	
その他の形式			$L/600$	$L/400$

L: 支間長 (m)

解説表 14.18 たわみの限界値(文献6))

桁数	支間 L (m)			
	$0 < L \leq 35$	$35 < L \leq 60$	$60 < L \leq 100$	$100 < L$
2 週間以上を連続する場合	$L/1\,100$	$L/1\,600$	$L/1\,300$	$L/1\,200$
単径間の場合	$L/800$			

他方、ケーブル構造物の場合、支持構造部材の端支承では大きな負反力を生じやすく、安全性を確認するとともに、必要に応じてカウンターウェイト、適切な補強等を施さなければならない。また、ケーブルのアンカレイジの作用力も一種の負反力であり、支持、転倒、滑動、および、引抜き等に対して十分安全でなければならない。

文献6)では、規定した荷重による反力を組合わせた吊橋補剛桁の負反力の算定式を規定し、吊橋以外のものについては文献2)の規定によればよいが、吊橋についてはそれにより安全性を確かめなければならないとしている。これは、文献2)の規定によれば負反力を過大に評価する可能性があるからであり、同様の理由から、斜張橋についても吊橋用の算定式を準用しているようである。また、文献6)では、反力が常時交番することは支承構造上好ましくないとして、算定式を別途示し、それにより負反力を生じる場合にはこれを打消すカウンターウェイトを桁に付加しなければならないと解説している。

アンカレイジに作用する負反力に対する安全性の確認について、「鋼構造架設設計指針」<sup>18)</sup>では、仮設構造物の設計に対してではあるが、アンカーフレーム、アンカブロック、および、アースアンカー(案)の設計法について記述している。また、本州四国連絡橋関係では、長大吊橋用ではあるが、「重力式直接基礎アンカレイジ設計要領(案)」<sup>20)</sup>が作成されており、設計法が詳述されている。

#### 14.7.5 動的効果

ケーブル構造物の設計にあたっては、衝撃、風、および、地震等による動的効果を構造物の性状に留意して十分に検討し、実情に応じて適切な措置を講じるものとする。

**【解説】** ケーブル構造物は、一般に固有振動数が低く、その設計にあたっては、構造物の性状を考慮して動的効果を十分に検討し、必要に応じて適切な措置を講じなければならない。特に風による動的効果については、風洞実験などによる実証実験が必要であることも多い。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup>においては、活荷重による衝撃係数について、斜張橋の主桁、ケーブル、および、吊橋のハンガー、連続桁、その支点、および、床桁の支間長にそれぞれ準じて同一の式により係数を算定し、吊橋の補剛桁、主ケーブルは衝撃を考慮しないものとして規定している。ただし、斜張橋については、過大に評価されることがあるので、影響線の形状などを参考にして別途検討するのが望ましいと解説している。

また、地震に対しては、「同・耐震設計編」<sup>24)</sup>に静的および動的解析法を規定し、動的解析を適用すべき橋梁として、吊橋などで、上部構造が橋脚の剛性に比較して変形性に富む橋をその一つに挙げている。さらに、風に対して、文献2)では静的風荷重を規定すると同時に、吊橋、斜張橋および特に可とう性に富む部材については動的な変形、応力などを考慮して設計しなければならないとしている。

本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>では、文献2)の活荷重の衝撃係数を準用しているが、吊橋について、主ケーブル、主塔は同様に衝撃を考慮しないのに対して、列車荷重による補剛桁の衝撃については考慮するものとしている。また、地震に対しては、吊橋以外の200m以下の支間長のものには文献24)を準用し、同じく支間長200mを超えるものには本州四国連絡橋公団「耐震設計基準」<sup>25)</sup>を、および、吊橋には文献25)に加えて「吊橋上部構造耐震設計要領(案)」<sup>26)</sup>をそれぞれ適用するものとしている。さらに、風に対しては、海峡部の橋梁であることを考慮し、長径間吊橋はもとより、支間長200m以上のいかんにかかわらず「耐風設計基準」<sup>27)</sup>によるものとし、「風洞試験要領」<sup>28)</sup>によって風洞試験についても具体的な試験要領を示している。

「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>では、斜張橋の主桁の衝撃係数は文献2)の3径間連続桁のそれに準じ、ケーブル、塔についても衝撃を考慮している。一方、「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>では、マルチ形式の斜張橋であることから、別途に理論的に走行車による動的増幅率を計算し、文献2)で3径間連続桁とした場合の値と比較した結果を参照して、衝撃係数を具体的な数値で規定している。さらに、両斜張橋では架橋地点が限定されることもあり、地震および風に対しては、「大和川橋梁上部工耐震設計指針」<sup>29)</sup>および「大和川橋梁耐風設計

指針<sup>30)</sup>、「安治川橋梁上部工耐震設計指針(案)」<sup>31)</sup>および「安治川橋梁耐風設計指針(案)」<sup>32)</sup>によって独自に設計することとしている。

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、本規定とほぼ同様の規定をするのみで、具体的な設計要領については触れられていないが、種々の解法、および、対策等を文献を列挙して解説している。

#### 14.7.6 温度変化

ケーブル構造物の設計にあたっては、ケーブル部材、支持構造部材の各部の温度変化の影響を考慮して十分に検討し、実情に応じて適切な措置を講じるものとする。

**【解説】** ケーブル構造物の場合、一般構造物における温度変化の影響の他に、太径のケーブル部材の断面平均温度が表面温度で必ずしも代用できないこと、および、比較的大規模であることから各部材に温度差が生じやすいこと等による影響を考慮する必要がある。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、温度変化の範囲は $-10^{\circ}\text{C}$ から $+50^{\circ}\text{C}$ まで、特に気候寒冷地方においては $-30^{\circ}\text{C}$ から $+50^{\circ}\text{C}$ までとし、温度差の影響は、タイドアーチ、補剛桁を有するアーチ、ランガー、連続鋼床版橋等についても考慮するものとしている。また、本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>においても文献2)を準用し温度変化の範囲を $-10^{\circ}\text{C}$ から $+50^{\circ}\text{C}$ としているが、基準温度を $20^{\circ}\text{C}$ と定めている。

「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>および「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>では、架橋地域が限定されていることから、温度変化の範囲は $\pm 35^{\circ}\text{C}$ を基本とし、荷重の組合せによっては $\pm 15^{\circ}\text{C}$ とする場合も考えられると規定している。また、鋼床版の上フランジと下フランジとの温度差は $15^{\circ}\text{C}$ 、および、主桁、塔、橋脚、ケーブルの相互の温度差は $\pm 15^{\circ}\text{C}$ と規定している。

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、本規定とほぼ同様の規定をしており、温度変化の影響を荷重として取扱っていないことから、安全度検定、動的効果およびたわみの検討の各項目について温度変化を考慮すべきであるとしている。また、P.W.S.127の平均温度の日変動の測定結果を引用して、文献2)の温度変化の範囲の妥当性を解説している。さらに、ケーブル部材の平均温度に与えるケーブル径、空隙率、風速の影響に関する計算結果を引用し、径100mm以下の場合には、風速が零の状態を除いて、平均温度は外気温にほぼ追随するとしてよいとしている。

#### 14.7.7 クリープ、レラクセーション

ケーブル構造物の設計にあたっては、ケーブル部材のクリープ、レラクセーションの影響を考慮して十分に検討し、実情に応じて適切な措置を講じるものとする。

**【解説】** ケーブル部材のクリープ、レラクセーションは、材料の種類によっては無視できないものであり、それに伴うプレストレスの導入量の低下や、変形の増大の問題もあって、ケーブル構造物の全体系にも大きな影響を及ぼすことが考えられる。

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、「DIN 1073」<sup>22)</sup>、および、これまでに公表されているクリープひずみのデータを参照し、設計計算において、解説表14.19に示す量を仮定できると規定している。

なお、最近、特に斜張橋のケーブルなどでかなり大きいクリープの実測結果が報告されており、それらを反映して長大吊橋はもちろん、斜張橋についても、平行線ストランドが多用されるようになってきている。また、ソケット止めにより定着されている場合には、ソケットそのもの、あるいは、鋳込材のクリープにも、維持管理上は留意する必要があると思われる。

解説 表 14.19 クリープひずみ

ケ ー ブ ル	クリープひずみ (%)
構造用ストランドロープ	0.025
構造用スパイラルロープ	0.015
構造用ロックドコイルロープ	0.015
平行線ストランド	0.007

#### 14.7.8 支点移動

ケーブル構造物においては、各支点の不等沈下などによる支点移動の影響を、必要に応じて設計に考慮して十分に検討するものとする。

**【解 説】** ケーブル構造物においては、不静定構造物であること、および、特にケーブル部材のアンカレージの移動による影響を受けやすいことなどから、必要に応じて支点移動の影響を十分に検討しておかなければならない。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、不静定構造物において、地盤の圧密沈下などのため長期にわたり生じる支点の移動および回転の影響を考えなければならない場合には、その最終移動量を推定して断面力を算出しなければならないと規定している。

本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>では、文献2)と同様に規定すると同時に、吊橋についてその最終変位量の推定が困難な場合として、アンカレージのサドル位置の水平変位、塔基面における回転角の算定式を規定している。

「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>および「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>では、架橋地域が限定されていることから、鉛直方向の不等沈下量の値を具体的に規定し、不等沈下量は各橋脚について考慮して各部材に最も不利となる組合せを考えるものとしている。

#### 14.7.9 架設系

ケーブル構造物においては、必要に応じて架設時での安全性を照査し、設計に考慮するものとする。また、その際には、架設工法の特長、機材の配置等にも、十分に配慮するものとする。

**【解 説】** ケーブル構造物の場合、架設工法によっては、架設系での変形が大きくなったり、不安定な状態となることが多い。したがって、必要に応じて架設系での安全性の照査を、架設機材の配置等にも留意して実施しなければならない。

「道路橋示方書」<sup>2)</sup>では、橋梁の施工時には施工方法と施工中の構造とを考慮して、自重、施工機材、風、地震などの影響に対して必要な検討を行わなければならないと規定している。本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>、および、「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>においても、全く同様の規定が定められている。

「安治川橋梁上部工設計指針(案)」<sup>13)</sup>でも、全く同様の規定が定められているが、その他に、架設完了時に残留する架設時荷重による断面力は死荷重の一部と見なし、これを考慮すると規定している。

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では、架設時の安全度検定は、必要に応じて、使用時の安全度検定に準拠して行うものとする規定している。そして、架設時の過大な荷重集中、衝撃荷重の可能性、および、荷重伝達機構の実情について十分留意するものとしている。



### 14.7.10 製作誤差，架設誤差

ケーブル構造物においては，製作誤差，架設誤差の影響を，必要に応じて設計に考慮するものとする。また，施工時の管理方法についても，十分に配慮するものとする。

**【解 説】** ケーブル構造物においては，たとえば，ケーブル部材の製作誤差，支持構造部材の製作，架設誤差を調整シム等により補正したとしても完全には除去できず，施工上避けられない最低限の製作，架設誤差の影響を設計に考慮する必要のあるような場合は少なくない。

本州四国連絡橋公団「上部構造設計基準」<sup>6)</sup>では，吊橋の塔の設計に，塔基面の水平度の誤差，塔柱の製作，架設誤差，サドルの据付誤差，ケーブルの製作，架設誤差等を含めて塔頂変位に換算した誤差値を規定している。また，補剛桁の設計には，ケーブルの製作，架設誤差等を含めて主ケーブルのサグに換算した誤差値を規定している。さらに，ハンガーの設計には，ハンガーの製作長誤差，ケーブルバンドの製作誤差等を考慮し，架設誤差として，補剛桁のそりの誤差，および，ケーブルバンドの設置誤差等の影響を考慮するものとしている。なお，長大吊橋では，ハンガーの製作長は，補剛桁の完成形状の誤差の低減を目的として，主ケーブル架設後のサグ測量結果の実測値から最終決定されるのが一般的である。

「大和川橋梁上部工設計指針」<sup>12)</sup>では，斜張橋の設計において，塔が橋軸方向ならびに橋軸直角方向に塔頂で架設偏心誤差を有するとして，架設誤差の算定式を規定している。また，塔，サドルなどの架設精度，ケーブルのヤング係数，プレストレスの導入量などは計算値と施工値との間に誤差が生じるものと考えられるので，その影響が管理許容範囲内であることを照査しなければならないと規定している。そして，14.3.4においても解説したように，架設現場における調整作業に支障のない定着構造とするものとしている。

「安治川橋梁上部工設計指針（案）」<sup>13)</sup>では，塔頂の架設偏心誤差の他，主桁についても，閉合直前における2つの突出桁先端での橋軸直角方向ならびに鉛直方向各10cmの架設ずれ誤差を考慮して設計することを規定している。また，施工上生じる誤差については，完成系のみならず，架設系についても十分に検討しなければならないと規定している。そして，詳細な施工計画に合わせて，「形状管理法」，「応力管理法」あるいは「部材管理法」等の架設管理方針を明確にするとともに，それに応じた許容誤差に従って十分な架設計算を行い，その安全性を確認しておかなければならないと解説している。

解説 表 14.20 初期構造伸び

ケーブル材料	初期構造伸び (%)
構造用ストランドロープ	0.1 ~ 0.2
構造用スパイラルロープ	0.05 ~ 0.1
構造用ロックドコイルロープ	0.05 ~ 0.1
平行線ストランド	0

「建築構造ケーブル設計施工指針」<sup>3)</sup>では，14.2.2で解説したケーブルの初期構造伸びに対し考慮を怠らないようにするものと規定し，解説 表 14.20 のプレストレス後の初期構造伸びの値を目安としてよいとしている。また，載荷によるたるみの考慮も規定し，部材の製作，架設誤差によって，所定の形状と張力が得られずに一部の部材がゆるむようなことすら起り得ることから，そのような場合には張力の調整が必要であり，あらかじめそれが可能であるようにケーブル端末部分の設計が必要であると解説している。

### 参 考 文 献

- 1) 日本鋼構造協会：吊構造，コロナ社，1975。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I. 共通編，II. 鋼橋編，1980。
- 3) 日本鋼構造協会：建築構造ケーブル設計施工指針・同解説，JSSC，Vol. 19，No. 207，1983。

- 4) 日本鋼構造協会：構造用ケーブル材料規格, JSSC, Vol.14, No.149, 1978.
- 5) 本州四国連絡橋公団：ケーブル材料規格, 海洋架橋調査会, 1979.
- 6) 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説, 海洋架橋調査会, 1980.
- 7) 本州四国連絡橋公団：鑄鍛鋼品製作基準・同解説, 海洋架橋調査会, 1980.
- 8) 本州四国連絡橋公団：鋼材規格, 海洋架橋調査会, 1978.
- 9) 日本建築学会：塔状鋼構造設計指針・同解説, 1980.
- 10) 日本建築学会：鋼構造設計規準・同解説, 1980.
- 11) 本州四国連絡橋公団：ケーブルバンド設計要領(案), 海洋架橋調査会, 1978.
- 12) 阪神高速道路公団：大和川橋梁上部工設計指針, 主塔設計指針・同解説, 1975.
- 13) 阪神高速道路公団：安治川橋梁上部工設計指針(案), 主塔設計指針(案)・同解説, 1982.
- 14) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領(案)・同解説, 海洋架橋調査会, 1980.
- 15) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔の塔頂補強構造解析要領(案), 海洋架橋調査会, 1977.
- 16) 本州四国連絡橋公団：吊橋リンク・支承構造設計指針(案), 海洋架橋調査会, 1980.
- 17) 本州四国連絡橋公団：材料規格(リンク・支承関係規格), 海洋架橋調査会, 1985.
- 18) 土木学会：鋼構造架設計指針・同解説, 1978.
- 19) 本州四国連絡橋公団：ケーブルアンカーの設計マニュアル(案), 海洋架橋調査会, 1974.
- 20) 本州四国連絡橋公団：重力式直接基礎アンカレッジ設計要領(案)・同解説, 海洋架橋調査会, 1980.
- 21) 日本建築学会：建築物荷重規準(案)・同解説, 1975.
- 22) Deutscher Normenausschuß：Deutsche Normen, DIN 1073, 1974.
- 23) 本州四国連絡橋公団：ハンガー設計要領(案), 海洋架橋調査会, 1978.
- 24) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, V. 耐震設計編, 1980.
- 25) 本州四国連絡橋公団：耐震設計基準・同解説, 海洋架橋調査会, 1977.
- 26) 本州四国連絡橋公団：吊橋上部構造耐震設計要領(案), 海洋架橋調査会, 1980.
- 27) 本州四国連絡橋公団：耐風設計基準・同解説, 海洋架橋調査会, 1976.
- 28) 本州四国連絡橋公団：風洞試験要領・同解説, 海洋架橋調査会, 1980.
- 29) 阪神高速道路公団：大和川橋梁上部工耐震設計指針・同解説, 1976.
- 30) 阪神高速道路公団：大和川橋梁耐風設計指針・同解説, 1976.
- 31) 阪神高速道路公団：安治川橋梁上部工耐震設計指針(案)・同解説, 1982.
- 32) 阪神高速道路公団：安治川橋梁耐風設計指針(案)・同解説, 1982.