

斜張橋ケーブルとアンカーについて

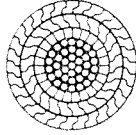
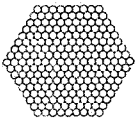
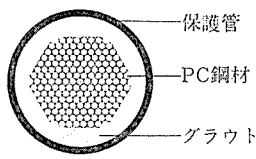
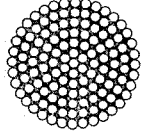
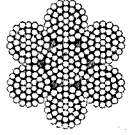
田 中 義 人*

1. はじめに

吊構造物のケーブルには、従来はストランドロープと称する一般のワイヤロープが使用されていた。ストラ

ドロープは柔軟性があり、取扱いも容易であるが、構造上の伸びが大きく弾性係数が低いこと、防錆処理が困難であるなどの欠点を有している。したがって、特に斜張橋のケーブルとしては、ヨーロッパでは、比較的弾性係

表-1 吊構造物用ケーブル比較表

ケーブルの種類	ケーブル断面の例	最大ケーブル容量 ¹⁾ (ton)	ケーブルの平均引張強さ ²⁾ (kg/mm ²)	弾性係数 ³⁾ (kg/mm ²)	防錆処理の例
L.C.R.	 <p>丸線層 +T線1層 +Z線2層</p> <p>ロックドコイル D形</p>	827 (100mm)	116 ~ 130	16 000	塗装
P.W.S.	 <p>φ5mmめっき 鋼線使用</p> <p>P.W.S.-217</p>	668 (P.W.S.-217)	157	20 000	プラスチックカバリング, テーピング, 等
PC	 <p>保護管 PC鋼材 グラウト</p>	2 673 (HiAm 421)	165 ~ 190	19 000~20 500	コンクリート, 鋼管+ グラウト, プラスチック管+ グラウト, 等
スパイラルロープ	 <p>1×127</p>	333 (62mm)	133 ~ 146	16 000	塗装
ストランドロープ	 <p>7×37</p>	324 (70mm)	130 ~ 140	14 000	塗装

注 1) メーカーによって異なるが、ロープ類は JSSC 規格による最大値を示す。
 2) 切断荷重/断面積の値である (表-2~表-4 参照)。
 3) 2.1 項参照

* 神鋼鋼線工業(株) 研究開発部第2研究室

数が高く、防食上も有利なロックドコイルロープ（以下 L.C.R. と略記する）が、また日本では、吊橋用に開発された平行線ケーブル（以下 P.W.S. と略記する）がそれぞれ主として用いられている。また、最近になって、PC 鋼材を用い、その周囲にコンクリートをまきプレストレスを導入したもの、ケーブルにパイプをかぶせてその空隙にグラウトを注入したもの、HiAm アンカーケーブルと呼ばれるポリエチレン管とグラウトによりケーブルを保護し、かつアンカーにまったく新しい定着方式を採用したものなどが使用されてきている¹⁾。

ところで、斜張橋も含めた一般の吊構造物に用いられるケーブルに関する国内の公共規格（たとえば JIS）は未だ存在しないので、日本鋼構造協会吊構造小委員会ケーブル研究班において、“構造用ケーブル材料規格”（以下 JSSC 規格と略称する）が検討され、本文および解説も含めた全文が公表された²⁾。

ここでは、斜張橋に今後広く使用されていくと考えられる L.C.R., P.W.S. および PC 鋼材を用いたケーブルを主体として、ケーブルの種類、製造方法、特性およびアンカーについて紹介し、橋梁設計におけるケーブルの選定の参考に供したい。表-1 は吊構造用の各種ケーブルの概要について比較したものである。

2. ケーブルの種類と特性

2.1 ケーブルの種類

JSSC 規格によると、L.C.R. はその構成によって C 形、D 形、E 形および F 形の 4 種類があり、また、P.W.S. は断面形状によって正六角形と変形六角形の 2 種類に区分し、構成によってそれぞれ 5 種類、8 種類に区分されている。

L.C.R. の構成区分は、異形線（T 線および Z 線）の層数によるもので、丸線層の上により合わされる異形線の層数が 2 層のものを C 形、3 層のものを D 形、4 層のものを E 形、5 層のものを F 形とそれぞれ呼ばれる。表-2 に L.C.R. の特性値を示す。

P.W.S. は、その構成素線の本数によって構成記号で表わされる。すなわち、たとえば素線数が 91 本のは構成記号として P.W.S.-91 で表わす。表-3 に P.W.S. の特性値を示す。

PC ケーブルには各種工法があり、使用する PC 鋼材にも多くの種類がある。主な工法としては、フレッシュナー、ディビダーク、VSL, BBRV, SEEE, CCL 等があり、現地で PC 鋼材を束ねる場合と工場にてケーブルを組立てる場合とがある。PC 鋼材の構成本数は自由に選べるため、他のケーブルと比較して 1000 トンを超える大形ケーブルも可能である。表-4 に、PC 鋼線 ϕ 7 mm

表-2 L.C.R. の特性値一覧

構成	ロープの径 (mm)	標準断面積 (mm ²)	切断荷重 (t)	単位重量 (kg/m)
C 形	34	804	104	6.71
	36	898	116	7.50
	38	999	129	8.34
	40	1110	135	9.26
	42	1220	149	10.2
	44	1340	164	11.2
	46	1460	179	12.2
	48	1580	195	13.2
	50	1710	211	14.3
	52	1840	228	15.4
D 形	54	1980	245	16.5
	56	2200	260	18.3
	58	2350	279	19.6
	60	2510	299	20.9
	62	2670	318	22.3
	64	2840	340	23.7
	66	3000	359	25.0
	68	3190	383	26.6
	70	3380	406	28.2
	72	3570	430	29.8
E 形	74	3760	453	31.4
	76	3960	479	33.1
	78	4250	504	35.4
	80	4460	530	37.2
	82	4680	557	39.0
	84	4900	584	40.9
	86	5130	613	42.8
	88	5360	641	44.7
	90	5610	672	46.8
	92	5850	701	48.3
F 形	94	6100	732	50.9
	96	6360	764	53.1
	98	6610	795	55.2
	100	6870	827	57.3
	92	5960	692	49.7
	94	6210	722	51.8
	96	6470	753	54.0
	98	6740	785	56.2
100	7000	817	58.4	

表-3 P.W.S. の特性値一覧

断面形状	素線数	計算寸法 (頂点距離× 対辺距離) (mm)	標準断面積 (mm ²)	切断荷重 (t)	単位重量 (kg/m)
正六角形	19	25 × 22.3	373	58.5	2.92
	37	35 × 31.0	727	114	5.69
	61	45 × 39.6	1200	188	9.38
	91	55 × 48.3	1790	280	14.0
	127	65 × 57.0	2490	391	19.5
変形六角形	24	30 × 22.3	471	73.9	3.69
	30	30 × 31.0	589	92.4	4.61
	44	40 × 31.0	864	135	6.76
	52	40 × 39.6	1020	160	7.99
	70	50 × 39.6	1370	215	10.8
	80	50 × 48.3	1570	246	12.3
	102	60 × 48.3	2000	314	15.7
114	60 × 57.0	2240	351	17.5	

表-4 HiAm アンカーケーブルの特性値

索線数	PE管外径 (mm)	標準断面積 (mm ²)	切断荷重 (t)	単位重量 (kg/m)	
				PC鋼線のみ	グラウト充てん後
37	87	1 424	234	11.2	18.8
55	110	2 116	349	16.6	29.2
61	110	2 347	387	18.4	30.6
73	110	2 809	463	22.0	33.8
85	125	3 271	539	25.7	40.9
91	125	3 502	577	27.5	42.1
109	125	4 194	692	32.9	46.3
121	125	4 656	768	36.5	51.3
127	140	4 887	806	38.4	55.8
151	140	5 810	958	45.6	61.6
163	140	6 272	1 035	49.2	64.2
187	160	7 196	1 187	56.5	79.8
199	160	7 658	1 263	60.1	82.1
211	160	8 119	1 339	63.7	84.7
223	160	8 581	1 416	67.3	87.0
241	180	9 274	1 530	72.8	99.1
253	180	9 735	1 606	76.4	102
265	180	10 197	1 682	80.0	105
283	180	10 890	1 797	85.5	109
301	180	11 580	1 911	90.9	113
313	180	12 044	1 987	94.5	116
349	200	13 430	2 216	105.4	134
367	200	14 122	2 330	110.8	139
379	225	14 584	2 406	114.5	155
421	225	16 200	2 673	127.1	165

を使用し工場生産される HiAm アンカーケーブルの特性を一例として示す。

2.2 弾性係数

ケーブルの弾性係数 E_e は、4項で後述する製造方法の違いによって異なるものである。すなわち、表-1に示すように、設計上の E_e は L.C.R. で $1.6 \times 10^6 \text{ kg/mm}^2$ (JSSC 規格), P.W.S. で $2.0 \times 10^6 \text{ kg/mm}^2$ (同解説および DIN-1073), PC ケーブルで $1.9 \times 10^6 \sim 2.05 \times 10^6 \text{ kg/mm}^2$ となっている。しかし、斜張橋ケーブルについては、ケーブル自身の弾性係数 E_e よりもむしろ斜めに張ったとき、すなわちサグを考慮したときのみかけ上の弾性係数 E_c の方が実用上価値がある。 E_c についてはつぎの計算式が提唱されている³⁾。

$$E_c = E_e / \left(1 + \frac{r^2 l_0^2 E_e}{12 \sigma^3} \right)$$

ここに、 E_e : 直線状のケーブルの弾性係数 (kg/mm^2), r : ケーブルの単位重量 (kg/mm^3), l_0 : ケーブルの水平長さ (mm), σ : 引張応力 (kg/mm^2)

上式に設計上の E_e を適用して計算し、実用規模の斜張橋ケーブルについて、ケーブルの長さをパラメータとして σ と E_c の関係を示したものが図-1 である。た

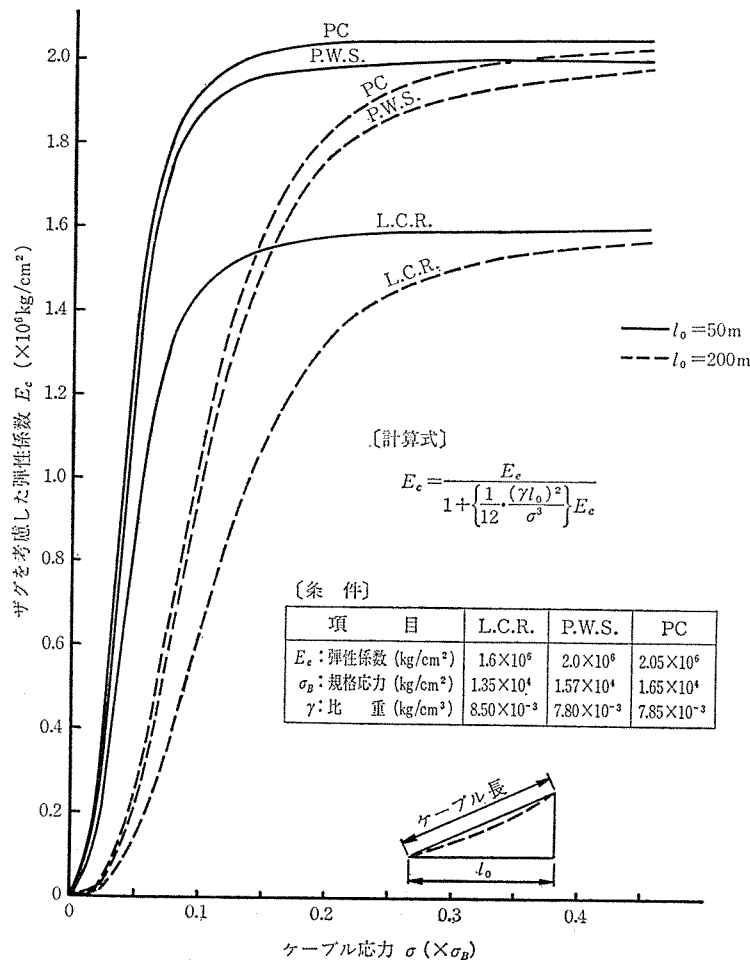


図-1 サグを考慮したケーブルの弾性係数

だし、ここでは保護被覆材の重量は計算に入れていない。

2.3 疲労強度

一般にケーブル類の疲労設計では、その定着部を含めた部分片振り引張疲労に関して、 2×10^6 回以上の繰返し回数に耐える応力の範囲（上限応力と下限応力の差、いわゆる全振幅）をもって疲労限度としている。DIN-1073 では、L.C.R. に対して疲労限度 $\sigma_R = 15 \text{ kg/mm}^2$ 、P.W.S. に対しては、計算応力が許容応力を越える場合、すなわち、平均応力が高い場合は $\sigma_R = 15 \text{ kg/mm}^2$ 、計算応力が許容応力以下の場合、すなわち、平均応力が低い場合は $\sigma_R = 20 \text{ kg/mm}^2$ としている。なお、PC ケーブルの定着具部における疲労強度は一般に $\sigma_R = 10 \text{ kg/mm}^2$ 程度であるが、HiAm アンカーの場合は $\sigma_R = 20 \sim 25 \text{ kg/mm}^2$ の疲労強度を有している。

3. ケーブルの製造方法

3.1 ロックドコイルロープ (L.C.R.)

素線は JIS G 3506 (硬鋼線材) に規定する SWRH 62~82 の線材または JIS G 3502 (ピアノ線材) に規定する SWRS 62~82 の線材を用いる。また、素線のめっきに用いる亜鉛は、JIS H 2107 (亜鉛地金) に規定する普通亜鉛地金、特種亜鉛地金または最純亜鉛地金を用いる。素線の製造方法はつぎのとおりである。すなわち、線材にパテンティングと称する熱処理を施したのち、常温で伸線（冷間引抜き加工）し、亜鉛めっきを施す。ただし、異形線は亜鉛めっきを施したのち、さらに成形のために伸線する。

このようにして製造した素線を全長を通じて径、よりの長さなどが均一になるようにより合わせるが、各層のよりの方向は原則として交互に逆方向としている。なお、より合わせの際にはロープグリース、煮あまに油あるいは特殊塗料などを防錆剤として塗布するが、架設場所の雰囲気や架設後の防錆処理方法に応じて種々の方法がとられている。

よりあげたロープは、プレストレッシングと称する物理的処理がなされる。すなわち、ロープを引張装置で徐々に引張り、所定の荷重、維持時間および回数を保つのであるが、これはロープの全長にわたって所定の張力を均一に負荷することによってロープの構造上の伸びを除去し、弾性係数を高め、かつ安定させるものである。

このようにして製造される L.C.R. はより合わせによって素線が一体化されているために他のケーブルに比べて取り扱いが容易であり、可とう性を有している。また、外層部が異形線で構成されているので表面が平滑であり、水密性にすぐれており塗装も容易である点から防

錆処理が簡単な点が特長としてあげられる。その反面、より合わせによって素線強度が低下し、弾性係数が小さくなるのが欠点といえる。

3.2 平行線ストランド (P.W.S.)

素線は、JIS G 3502 (ピアノ線材) に規定する SWRS 77 B の線材を用い、また、素線のめっきに用いる亜鉛は L.C.R. の場合と同じである。素線の製造方法も L.C.R. と同じである。なお、P.W.S. の素線は、原則としてめっき後の径は 5 mm である。

製造した素線を平行に集束し、六角形に成形したのち、約 1.5 m 間隔にシージングテープを巻きつけてストランドとする。なお、原則として、ストランドの六角形の 1 頂点の素線は、あらかじめ全周全長にわたり着色したものを使用する。ただし、P.W.S. では L.C.R. とは異なり、防錆剤塗布およびプレストレッシングは行わない。

このようにして製造される P.W.S. は、素線の機械的性質がそのまま有効に反映されるという特長を有する反面、集束がばらけやすいため取り扱い難さや、防錆処理として、架設後にプラスチックカバリング⁴⁾などを施す場合の現場管理上の問題はある。

3.3 PC ケーブル

PC 鋼線および PC 鋼より線の場合は、P.W.S. と同種の JIS G 3502 (ピアノ線材) の SWRS 72 B~82 B を用いるが、通常亜鉛めっきは施さず、伸線およびより線後の最終工程においてブルーイングと称する低温熱処理を施している。

PC 鋼棒は、炭素鋼あるいは低合金鋼の熱間圧延丸鋼を使用し、焼入・焼もどし、ストレッチ・ブルーイングあるいは引抜き・ブルーイングにより製造される。

PC 鋼材は他のケーブルに比較して、降伏点が高く、クリープが小さいのが特徴である。防錆処理は、コンクリートやセメントグラウトによるのが一般的であり、グラウトの場合は、ケーブルに鋼管あるいはプラスチック管をかぶせ、その空隙をグラウトで充填する。PC 鋼材は平行に配置されるので、P.W.S. の一種といえるが、裸で高強度の PC 鋼材を用い、防錆処理をグラウトで行っている点が一般の P.W.S. と異なっている。

4. ケーブルのアンカー (ソケット止め)

4.1 L.C.R. および P.W.S.

ソケット止めに用いるソケットメタルは、通常亜鉛銅合金であるが、場合によっては亜鉛地金も用いられる。ソケット止めに際しては、ソケットメタルを鑄込む前に、端末の素線を茶せん状に解いた後、ソケット中に引き込み、ソケットを約 100°C に予熱する。溶融したソ

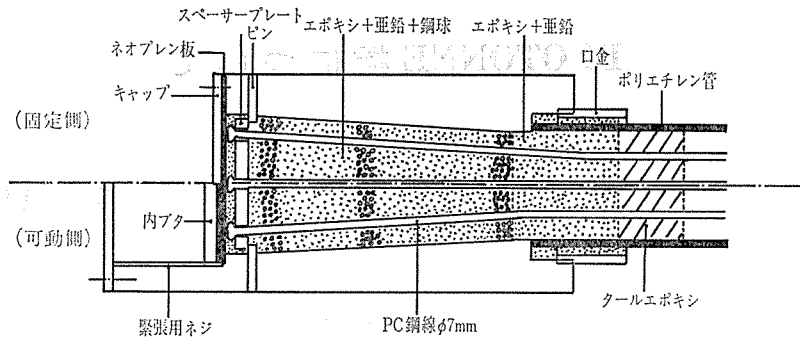


図-2 HiAm アンカーの断面

ケットメタルを約 460°C の温度でソケットに流し込む。鑄込みを完了し、冷却によってソケットメタルが常温に達した後、ソケットの背面からソケットメタルにプレス荷重を加える。この作業をプレコンプレッション（プレコンと略称される）といい、ソケットメタルの冷却にともなう収縮などによる L.C.R. もしくは P.W.S. の抜け出しをあらかじめ行っておくものである。

4.2 PC ケーブル

PC ケーブルの定着は、L.C.R. や P.W.S. と異なり、PC 鋼材をくさびやねじにより機械的に 1 本ずつ定着する方法がほとんどである。したがってこのままでは、疲労強度は一般に 10 kg/mm² 程度しか期待できないが、定着部近辺をコンクリートでまき、PC 鋼材とコンクリートの間に付着力を働かせると、定着具に直接かかる荷重は小さくなり定着具自体の疲労はほとんど問題でなくなる。

HiAm アンカーは、L.C.R. や P.W.S. と類似のソケットを用い、亜鉛合金の代りにエポキシ樹脂、亜鉛粉末および鋼球を鑄込む、まったく異なった定着方式である。その構造は図-2 に示すようなもので、PC 鋼線の端部をスベーサープレートに通して等間隔に配列し、端末

はヘッディング加工されている。定着は、エポキシ樹脂の接着力、鋼球のくさび効果、および端部ヘッディングの 3 つから成り、常温で鑄込まれるため、熱影響による鋼線の静的強度および疲労強度の低下などの問題がなく、熱収縮も生じないためプレコン処理も不要である。HiAm アンカーケーブルは特に耐疲労性にすぐれており、ソケット部で断線を生じないのでケーブル自体の疲労強度を 100% 発揮できる点で注目されている⁵⁾。

参 考 文 献

- 1) Leonhart, F.: "Zuggleider aus Parallel-drahtbündeln und ihre Verankerung bei hoher Dauerschwellbelastung.", Die Bautechnik, Heft 8 u. 9, (1969), s. 1
- 2) 日本鋼構造協会 技術委員会安全性分科会 吊構造小委員会 ケーブル研究班: "構造用ケーブル材料規格", JSSC Vol. 14, No. 149, '78年5月
- 3) Ernst, H.J.: "Der E-Modul von Seilen unter Berücksichtigung des Durchhanges." Der Bauingenier, 40 (1965), s. 52
- 4) 角岡, 田崎, 梶原, 若山: "斜張橋ケーブルのプラスチックカバリング", R&D 神戸製鋼技報, Vol. 27, No. 1, (1977), p. 80
- 5) 小松, 黒山, 長井: "大川橋のケーブル定着方法について", 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, I-52-1, 昭和 53 年 5 月