

最近の建設機械用および橋梁用ワイヤロープについて

新 保 超 夫*

1. 土木用ロープの変遷

戦前および戦時中、土木工事に使用されたロープは雑用としては 6×24 G/0, 機械用としては 6×19 G/0, 6×37 G/0 であった。

もちろんメッキしたものも、またラシングよりも使用され、また港湾のしゅんせつ用にはフラットンド ストランド型のものも使用されたことがあったが、これらの中にはむしろ例外的のものであった。戦後米国より各種の建設機械が入ってから上記のロープは損傷が早く使用に耐え得ないことがわかった。建設省土木研究所で当時の構造室長 猪瀬技官が中心となりきわめて広範囲な実地試験をドラグ ライン用ロープを対象として行なった。その結果一群の平行よりロープが最も適しており、特に I.W.R.C. 型と称せられるものがよいことがわかり、その使用は現在におよんでいる。一般にロープの中心は麻であるが、この麻の代りに針金でよられた小さいロープを使用する型式のロープを総称して Independent Wire Rope Center (または Core) と呼び I.W.R.C. と略称している。この試験結果からただちにドラグ ライン以外の機種に対しても、それぞれ適当した平行より型のロープが採用されるようになった。

以上の経過により動索としては平行よりロープに集約されたがタワー エキスカベーターあるいはケーブル クレーンの支索 (あるいは主索) についても研究が進められた。タワー エキスカベーターの主索はもっぱら建設省の努力により実地試験が行なわれ、その結果ロープの種類およびその使用方法など多くの成果が得られた。ロープの型としては平行よりのラシングよりも適当であることがわかったことは大きな成果であった。なお、後述するごとくロックド コイル型のロープはさらにすぐれていることが最近庄川の例で実証されている。

ダム工事用ロープで一番われわれを悩ましたのはケーブル クレーン用ロープの主索であった。特に初期においては主索の生命が短いことであった。主索としては主

としてヘルクレス型およびセンター フィット型、あるいはフライヤー型の共心を使用したが、いずれも仕事量 $6 \sim 15$ 万 m³ くらいの生命であった。しかしながらロックド コイル型が使用されてから完全に問題は解決した。現在では横行索、巻上索などの補助索に問題が残っている。橋梁用ロープもまた近来新しい用途が開ける様子が見えてきた。橋とロープの関係は従来吊橋に限られていたのであるが、わが国では吊橋は山間の小型のもののみで従来は 7×19 G/0, 7×37 G/0 などのものを使用していたが、若戸橋にはストランド型のロープを使用するに至った。そして素線の性能もきわめて高度のものを要求されたため、線材から特別に製作した。吊橋用ロープとしてはきわめて意義のある事がらであった。

1960 年頃より新しい様式の橋梁として北海道の神納橋、大阪市の千島橋にロックド コイル型ロープが使用されることになり新しいロープ使用の分野が展開されるに至った。

以上が戦後における土木用ロープ発展の概略である。

2. 挖削用建設機械用ロープ

1.でロープ発展の概略を述べたが以下やや詳細に記述することにする。

(1) ドラグ ライン用ロープ

当時の状況は、機械は米国より入ったがロープが無く、國産のロープを従来の慣行で 6×24 G/0、または 6×19 G/0 を使用した。このロープははなはだしい場合は数時間、長くとも 1 週間ともたなかつた。そこで建設省土木研究所構造研究室長 猪瀬寧雄技官および高田孝信技官が昭和 25 年に計画をたて、昭和 26 年数種の平行よりのロープを北海道を除く全国 20 カ所の工事現場に送り試験をした。途中 猪瀬室長の転任により谷藤正三室長ならびに竹内一雄技官が引き継ぎ試験を行なつた。使用したロープは $\phi 16$ mm で、構造は $6 \times Fi(25)\%$, $6 \times Fi(21)\%$, $6 \times W(19)\%$ の麻心のものと I.W.R.C. 型のもの 6 種類であつて、その結果は意外に複雑で簡単に結論はくだしえなかつた。これは機械のオペレーターの熟練度、

* 東京製鋼 KK 技術部長

表-1 ロープ1本の掘削量(m³)

① 砂+砂利

	I.W.R.C.+6×Fi(25)	I.W.R.C.+6×Fi(21)	I.W.R.C.+6×W(19)
紀の川	9 050	大阪高速軌道	1 742
揖保川	2 424		揖保川 2 140 ¹
吉井川	2 800		" 2 420 ²
最上川上流立谷川	5 060		
"	2 780		
"	5 100		
"	1 770		

② 砂利+玉石

	I.W.R.C.+6×Fi(21)	I.W.R.C.+6×W(19)
常願寺川三瀬	2 228	高岡統一用水 2 160
"	2 112	小丸川四日市 1 659
吉野川	2 259	" 979
"	3 068	" 1 931
常願寺川日俣	2 067	揖保川 2 140

③ 粘土質

	I.W.R.C.+6×Fi(25)	I.W.R.C.+6×Fi(21)	I.W.R.C.+6×W(19)
足羽川	1 860	猪名川 550	足羽川 775
"	3 000	" 1 715	
"	1 085		
"	2 600		
"	3 600		
"	1 600		

③' 粘土質

	麻心+6×Fi(21)	麻心+6×W(19)
狩野川江間放水	4 900	足羽川 2 290
"	2 750	" 1 594
		" 2 158
		" 2 058

地質により相違があり、成績と地質との関係では砂、玉石または栗石、粘土の順に困難を増す傾向があった。そして玉石または栗石では I.W.R.C. 型が良く粘土質では麻心のものがかえって良い傾向が認められた。このことは注意を要する点で現在では I.W.R.C. 型が万能のごく考えられがちであるが再考の余地がある。

ロープ1本当りの掘削量からロープの優劣をみると、唯一の例であるが砂、砂利はきわめて結果がよく紀の川では I.W.R.C.+6×Fi(25) を使用して 9 050 m³ を出している。資料が不十分であるが I.W.R.C.+6×Fi(25) 型が最もすぐれていると判断される。

表-1 ②の砂利と玉石混りの地質では I.W.R.C.+6×W(19) より I.W.R.C.+6×Fi(21) がすぐれおおむね 2 000~3 000 m³ の掘削量となっている。また ③の粘土質では I.W.R.C.+6×Fi(25) がすぐれている。以上の傾向はロープの素線の径とシーブあるいはドラムの径の関係より生ずるものであろう。素線径は 6×Fi(25) が最も細く、次に 6×Fi(21), 6×W(19) の順になっている。従って曲げ応力がその順に大きくなるからである。③' は麻心ロープの比較である。6×Fi(21) がすぐれている。なお面白いことは ③ の I.W.R.C. 型と比較する

と粘土質では麻心がまさっている。これは粘土の粘着力に関係があるように思われる。

以上は条件の異なる使用の比較であるが、富士川で麻心入りの 6×Fi(25)%, 6×W(21)%, 6×Fi(19)% につき試験した例では 6×Fi(25)% は 2 395 回, 470 m³; 6×Fi(21)% は 2 770 回, 750 m³; 6×W(19)% は 1 034 回, 250 m³ であった。これらを総合してみるとウォリンソン型 6×W(19)% は適していない。6×Fi(21)%, 6×Fi(25)% は同等であると判断して良い。詳細は建設機械化協会発行の〔ワイヤ ロープの試作について〕および〔建設機械用ワイヤ ロープの建設省現場実験用試験資料〕、〔建設機械用ワイヤ ロープに関する研究〕を参照されたい。

3. タワー エキスカベーター用ロープ

(1) 主索(支索)

タワー エキスカベーターはわが国では大正年間に新潟鉄工所製のものがあり、現在なお富山県庄川で稼動している。戦後昭和 24~26 年にかけて常願寺川、庄川、黒部川、手取川など 2 m³ 容量のもの 4 カ所、1 m³ 容量が 6 カ所、建設省で使用した。1 m³ のものは大きな問題は無かったが 2 m³ のものは意外に主索の損傷がはなはだしかった。そこで主として常願寺川の 4 基のタワーにつき研究が始まられた。種々の経過を経て結局わかったことは、ロープの構造により決定的に左右されるものであって、結論としては平行よりの Filler 型(ラングよりも)であればよいことである。その間の変遷の様子は次の表-2 より想像できる。

この表は年代別にロープの成績の向上を示しており種々の型が淘汰されて 6×Fi(25) になる様子を示している。この主索はストッパーより 40 m の間に主として傷つく。そして損傷の程度はロープの自転性と大いに関係があることがわかった。

自転性があるとロープは不規則な回転の往復運動をするため、滑車とロープ面の接觸位置が変わるのでロープの生命がのがる。この事実は東大教授 水田博士の論文でもわかっていたことであるが現実に直面するまで気がつかなかつた。ロープのよりはラングにより限るのは当然である。新潟県岩崩のダム工事で事務手続きの間違いからオージナリよりロープを使用したことがあったが、ラングよりロープの 30% くらいの生命であった。運転方法、取扱いもまた大きな影響があり、富山県において建設省が最もよく研究し大体の方式を確立された。当時の橋本所長、高見、片岡、水野技官の功績は大きい。ロープの損傷はストッパーより 40 m の間に限られるので適当に使用したのち、ロープ両端の位置を交換する。この方法を巧みにくり返すとロープの生命は大変のびる。

表-2 常願寺川タワー エキスカベーター主索作業量

機械番号	ロープ	使用始年/月	ロープ構造	径m/m	作業量 m ³		
					正常	天地交換	合計
一 号 機 2 m ³	R ₁	24/8	A+6×F(4 4+12+15)C/L	53	74 152	—	74 152
	R ₂	25/11	A+6 Fi(25)C/L	〃	105 127	61 096	166 223
	R ₃	27/9	〃	〃	122 890	149 966	272 856
	R ₄	30/4	〃	〃	201 192	282 810	484 002
	R ₅	35/1	37+25 T+26 Z+36 Z	52	使用中	—	—
二 号 機 2 m ³	R ₁	24/9	A+6×F(4 4+12+15)C/L	53	48 608	—	48 608
	R ₂	25/7	A+6×F((3×2+3)+12+15) C/L	〃	16 827	43 926	60 753
	R ₃	26/8	A+6×Fi(25)C/L	〃	112 198	278 446	390 644
	R ₄	30/4	A+6×LC ₁ (19+16 Z)%	〃	28 685	22 034	50 719
	R ₅	30/11	A+6×Fi(25)C/L	〃	使用中	—	—
三 号 機 2 m ³	R ₁	25/2	A+6×F(4 4+12+15)C/L	53	14 352	—	14 352
	R ₂	25/5	ヘルクレス 19×7 C/L	〃	13 356	—	13 356
	R ₃	25/6	A+6 F((3×2+3)+12+15) C/L	〃	19 481	75 833	95 314
	R ₄	26/4	〃	〃	12 922	—	12 922
	R ₅	26/7	〃	〃	23 148	—	23 148
	R ₆	26/9	A+6×Fi(25)C/L	〃	142 184	222 803	364 987
	R ₇	29/6	〃	〃	223 002	175 642	398 644
四号機 1.6 m ³	R ₁	27/9	A+6×Fi(25)C/L	56	224 552	255 811	480 363
	R ₂	32/11	〃	〃	187 672	使用中	—

これを天地交換と称している。表-2 でもわかるように作業量数万 m³ のものが 20~30 万 m³ に達している。

次に麻心と I.W.R.C. 型の成績であるが、黒部川、手取川で使用した実績では差異は認められない。しかし、特に注意すべき点は、手取川で使用した I.W.R.C. 型の例では中心の小ロープがはなはだしく傷んでいたことである。従って I.W.R.C. 型は長期にわたり使用する場合は心の強度の弱化を考えて麻心ロープと同様に考えるのが安全である。庄川では容量 1 m³ のタワー エキスカベーターに昭和 30 年 2 月、ロックドコイル型を使用した。結果は大変よく 277 379 m³ 使用して 34 年以後機械が休止している。その後常願寺川、黒部川でロックドコイルロープを採用したが現在まだ日数が浅いので結果は明らかでない。フラットンド系およびヘルクレス系のロープが不適当であったことはロープウェイ、ケーブルクレーンなどの支索にも不適当であった事実と一致している。

なお 2 号機に使用した R₄=6×LC(19+16 Z)% はロックドコイルをストランドした特殊型であるが、オージナリよりのため成績不良であった。結論としては平行よりのフライヤー型で麻心、さらに望むならばロックドコイル型がよい。長い間の努力の結果、ロープは平行よりのラングよりもよく、そしてロープは必要に複雑な構造のものは避けるべきである。また、使用方法は損傷箇所を巧みに移動させて使用することである。

以上の 3 点が究明されたことは今後のロープ構造選定上の貴重な資料となり最も大きな収穫となった。

4. ケーブルクレーン用ロープ

(1) 主 索

現在ではコンクリート打設量 5 万 m³ 以下の小さいダムではヘルクレスまたは平行よりのストランド心でよいが、それ以上のコンクリート打設量のダムではロックドコイル型を使用しなければならない。

筆者が知る範囲では戦前三浦ダムでは、昭和 12 年石川島製 9 t ケーブル クレーン用機械でロープはヘルクレス型 φ 55 mm を 2 本使用した。使用後間もなく断線が多数発生した。そこでフライヤー型のストランド心(共心) Fi(25)+6×Fi(25) C/L φ 55 mm に取りかえ

た。結果は良く打設終了後さらにほかの場所で一時使用された。このようにフライヤー型の方がヘルクレス型よりすぐれていることはあとで述べる打保ダムの場合でも同様明らかになった。

昭和 26 年 2 月、香川県塩江の近く内場ダムの打設が始まられたがケーブル クレーンは 3 t, 1.2 m³ でロープはヘルクレス 19×7 φ 44 mm であった。約 3 カ月コンクリート量 8 500 m³ 回数にして 7 100 回で断線はなはだしく使用に耐えなくなった。

昭和 11 年塚原ダムではヘルクレス型で 10 数万 m³ 使用できた例に比し問題になったが原因不明で終った。26 年に新潟県三面川の中流に岩崩ダムと高知県物部川のダム建設が前後して始った。なお少し遅れて岡山県の旭川ダムも始められた。機械はいずれも日立製作所岩崩のみがヘルクレス型 φ 55 mm を 2 本使用しほかはロックドコイル B 型 φ 46 mm を使用した。岩崩、物部川は同じ機械で 9 t, 旭川は 4.5 t であった。物部川、旭川は完全に無事故で完了したのに反し、岩崩ではコンクリート量約 60 000 m³ を打設した時 50~100 mm の間に 1 本の割合で多数の断線を生じた。そこでロープの両端を振りかえた。すなわち天地振りかえをし、損傷の位置を変えて使用した。さらに約 80 000 m³, すなわち合計 140 000 m³ のコンクリート量を打設し、ついにストランド 1 本が切断して使用不能になった。そこで、ロックドコイル型 φ 46 mm に取りかえて工事を完了した。その後このロープを解いて調べたことがあったが多少の摩耗以外なんら異状なく内部に十分な油を保有していた。

以上の結果より主索はロックドコイルがよいことが実証されたが、価格の点でなにか中間的のロープを求め

図-1 旧フェルテン型(柳腰型)

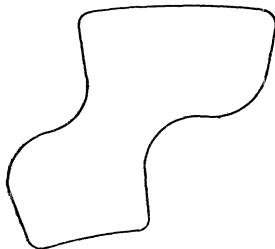
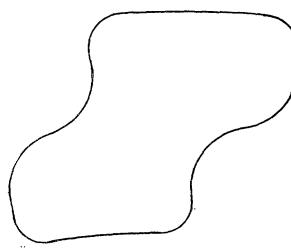
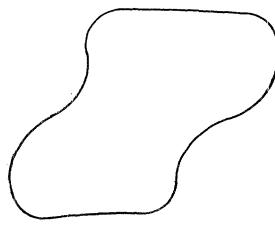
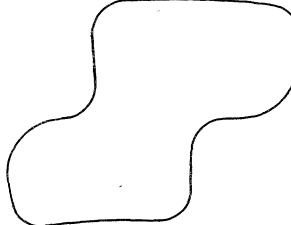


図-3 東京製鋼改良型

図-2 フェルテン改良型
(小河内ダムに使用)図-4 米国製ロープ
(揚原ダムに使用)

る努力が払われた。昭和 28 年に只見川水系の上田、本名ダムおよび神通第一ダムがそれである。これらはセンター フィット型のロープが使用されたがいずれもコンクリート打設量数万 m³で使用中止となり、ロックド コイル型に取りかえられた。この経過よりコンクリート打設量 6 万 m³ 以下ならばヘルクレスまたはフライヤー共心でもよいが、それ以上ではロックド コイル型にすることが絶対的に必要である。小さいダムの例としては打保にフライヤー共心とヘルクレス型の比較がある。2 台のクレーンで比較した。フライヤー型は 30 本以内の断線であったがヘルクレス型は無数の断線を生じた。三浦ダムの例と一致する。大体主索としては曲げ剛さの大きいロープがよく、柔軟なロープはよくない。この点誤解しないよう、注意が必要である。器物運搬用の機械の主索はヘルクレス型でよい。最も強力なロープとしてはセンター フィット型が有利である。天竜、上田、本名など実例は多い。ロックド コイル型についてもその能力および製作の考え方方に変化があった。

a) L 線の型 戦前より昭和 27 年頃までは主としてドイツのフェルテン社の型を採用していた(図-1~4 参照)。当時の型は L 線の中央部の巾が狭くほっそりした感じのものでわれわれは社内で柳腰型と称していた。丸山ダムの経験より狭部に割れが入ることがわかり、その対策として中央部の巾を広くした。感じはづんぐりしたものでだるま型と称していた。なお、断線が生じた場合端末が飛び出さないように、かみ合いの度を十分にすることを考えた。

28 年小河内ダム用としてフェルテンの φ 90 mm ロープが入った。不思議にもこの L 線の型はわれわれの改良

型と良く似ていた。ただいくぶん曲線の曲率半径が大きく、かみ合いの程度はわれわれのものより甘い感じであった。29 年に中国電力揚原ダム用として米国製のロックド コイル型 φ 70 mm の試片を入手した。この L 線の型はかみ合いがきわめて鋭く、あまりにも曲線の曲率半径が小さく線引による残留応力の点を考えると、心配なくらいであった。われわれのものはフェルテンと米国の中間のものである。北海道糠平、小河内ダムでフェルテンのロープは一部断線したとき、折れた端末が飛び出して使用不能となった。われわれのものおよび米国のは断線が生じてもまだ飛び出して使用不能になった例はない。このことは使用者にとって重要なことである。

b) 異型線の抗張力 ロックド コイル ロープの抗張力について述べると、藤原ダムおよびそれ以前は線材は円断面の一般材より線引と焼鉈を重ねて、L 線または T 線を作った関係上、高い抗張力のものができなかった。L 線では 100~110 kg/mm² であった。できた線も局部的に加工度が異なるので抗張力も局部的に異なり、従って残留応力も相当あると考えられていた。28 年より神戸製鋼所で異型の型にでき上った線材を作るおよび線引加工は都合よくなつた。その結果抗張力は向上し、現在では大きさにより異なるが L 線では 125~140 kg/mm² 程度になった。次にその変遷を示す。

表-3

製作または 入手年	ダム名	製作所	ロープ径 (m/m)	R.B.S. (*A.B.S.) (t)	L 線抗張力 (kg/mm ²)	炭素量 (約) (%)
昭和 27	上椎葉	フェルテン	76	*406	—	0.4
” 28	藤原	T.S.K.	76	432	110	0.6
” 28	小河内	フェルテン	90	610	132~143	0.6
” 29	”	T.S.K.	76	500	120	0.6
” 30	”	T.S.K.	90	697	130	0.6
” 31	有峰	T.S.K.	100	830	130	0.6
” 32	田子倉	T.S.K.	100	830	130	0.6
” 34	黒四	T.S.K.	100	830	130	0.6

注: R.B.S. とはロープの破断耐力
A.B.S. とは素線の破断耐力の総和

このように素線抗張力の上昇によりロープの耐力も高くなつたが、支索として使用する場合はロープの曲げ剛性 EI を小さくすると曲げ応力が大きくなる。従つて耐力が大きいからといってロープの径をそれだけ小さくすることは再考の余地がある。ロープの耐力をさらに高くするため素線を細くして素線の抗張力を大きくする場合も、EI の減少、すなわちロープが柔軟になることは好ましくない。

c) ロックド コイル ロープの生命 米国では通常 25t ケーブル クレーンでコンクリート打設量 100 万 m³,

注意深く管理すれば 200 万 m³ といわれているそうであるが、わが国ではまだ 1 台で 200 万 m³ 以上打設するほど大きな工事がない。ただ一回の工事中使用不能または困難を生じた例はフェルテン製で小河内、糠平の例だけである。これは多数の断線ではなく折れ口の飛び出しによる。有峰ダムでは 1 台で約 20 万回ほど打設したから約 120 万 m³ である。宮川ダムでは使用後間もなく 2 本断線したが以後発生しなかった。丸山ダムでも断線数本で止った。藤原ダムでは 33 万 m³ 打設した時 21 本断線があった。これが最も多数断線した例である。佐久間ダムでは米國の中古ロープを使用し約 10 本程度断線していたがなお 100 万 m³ の保証をして使用し、ついに断線の増加の話は聞かないで終った。G. Broton の話では佐久間を完遂すれば、このロープは最初より通算して、約 300 万 m³ に達するといっていた。

一般にロックドコイルロープは素線の加工の困難さから素線の内に不均一な点を有するワイヤがいくらかあるであろう。そのワイヤは初期に不均一な所で断線し、ほかは健全な生命を保つのではなかろうかと思われる。藤原ダム以後は異型材ができるようになった関係上、素線に関する品質上の心配は少なくなっている。有峰、田子倉、黒四ダムなどよりロックドコイルロープの寿命は 100~200 万 m³ と推定される。断線を生ずると折れ口が離れ 5~10 cm くらいすき間が生ずることがある。このすき間は本来有害があるのでなんらかの方法で埋めることができ望ましい。米国では銅片を押し込み、端末を銀蠅で接着するというが実地にやると下から油が浸出して上手にいかない。押込むだけでは不十分で例えば藤原ダムでは 5 カ所押込んだうち 2 カ所が脱落した例がある。もし 3 日間ロープを休止できるなら樹脂系のもの、例えばドラミックスを入れ硬化後使用するとよい。タワー エキスカベーターでは庄川で正月休みにドラミックスを埋めて成功した例がある。

5. 橋梁用ロープ

従来橋梁用としてはロープは吊橋に限られていたが、35 年大阪市の千島大橋(プレストレスト鋼橋)ではロックドコイルロープを使用してガーダーの補強を行なった。現在この型式の橋の計画は数橋におよんでいる。このほか北海道ではノルトブリッケ型式の橋が計画され現在製作進行中である。このようにロープも構築物の中の一つのメンバーとして使用される傾向にある。従って近い将来建築方面にも進出の可能性がある。

吊橋用ロープについて説明すると、主索としては 7×19, 7×37 などが使用される。最近の例としては小鳴戸の吊橋では 7×37 G/0, 径 54 mm, 長さ 253 m があり現在この種のロープを使用したものとしてはわが国最大のものであろう。製作中ロープの長さを正確に測ることは、案外困難で、吊橋のように長さの正確さを必要とする場合は幾分長くロープを作り現場で測定していたが、戦後ロープの弾性率を高める必要と、長さを正確にする必要上、ロープを製作したのちプレテンションを行なうことになった。

その結果、従前にくらべて架設が容易になった点は大きな進歩である。小鳴戸橋程度までは複より型ロープでよいがさらに大きな橋では、ロープの伸び、弾性係数などの点より片よりロープを使用しなければならない。わが国における例としては大渡橋があり、ロープは 127 ply, φ 58 mm, 173 m である。これは若戸大橋建設のパイロットとして作られた。

(1) 若戸大橋用ロープ

目下建設中であるがロープ関係は終ったので参考までに大要を述べる。

a) ロープ規格 ロープは主索と吊索およびハンドロープの 3 種類である。その仕様は表-4, 5 に示す。

主索はケーブルのねじりをさけるため、Z よりと S より

表-4 若戸大橋用主索

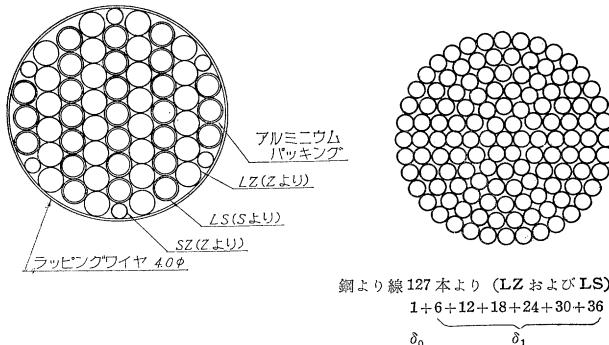
索型	構成記号および層のより	ワイヤ本数	径 (m/m)	断面積 (m ² /m)	保証破断力 (t)	弾性係数 (kg/mm ²)	よりピッチ
L.Z.	S S S Z S Z より 1+6+12+18+24+30+36	127	61 φ	2 177	310 以上	16 000 以上	(層径×)11
L.S.	Z Z Z S Z S より 1+6+12+18+24+30+36	127	61 φ	2 177	310 以上	16 000 以上	"
S.Z.	Z S S Z より 1+6+12+18+24	61	36.6 φ	780	100 以上	16 000 以上	"

表-5 若戸大橋用ハンガーソ

構成記号およびより	索 (m/m) 径	断面積 (m ² /m)	保証破断力 (t)	弾性係数	ロープのピッチ
Z より Z より $\{7+6\times(\overbrace{d_1+d_2}^{Z \text{より}})\}+6\times S.W.\cdot\{1+9+9+(9+9)\}$ $d_3 d_4 d_5 d_6 d_7$	40 φ	852	100 (1本) 以上 180 (2本) 以上	14 000 以上	(ロープ径)×8

注：保証破断力で（1本）とは通常の試験法による。（2本）とはクランプのまわりに 180° 曲げて引張る場合である。

図-5 ワイヤ ロープ断面図



りを使用する。記号 L.Z., L.S. がそれである。主索の配列の空間を満たすため、記号 S.Z. なる細いロープがある。これらの主索は LZ 28 本、LS 27 本、SZ 6 本が一把に集められて使用される。この配列は 図-5 に示す。

吊索は特殊構造のロープで、シール ウオリントンの I.W.R.C. 型である。

b) 弹性係数 ロープとして最も重要視されることとは使用中クリープの少ないことと弾性係数が大きくかつその値にばらつきが少ないとある。要求された弾性係数は主索では $16\,000\text{ kg/mm}^2$ 以上である。通常、この種の片よりは製作のままで $14\,000\sim15\,000\text{ kg/mm}^2$ であるからプレテンションの必要がある。プレテンションは保証破断力の 50% の予定であるから試片としては 150 t の予荷重を加えたのち測定をした結果、 $16\,000\text{ kg/mm}^2$ 以上であった。 E を大きくするにはプレテンションの大きさと時間の関係を確かめる必要がある。

荷重を次のように $5\rightarrow10\rightarrow5\rightarrow20\rightarrow5\rightarrow60\rightarrow5\rightarrow80\rightarrow5\rightarrow100\rightarrow5\rightarrow120\rightarrow5\rightarrow140\rightarrow5\rightarrow160\rightarrow5\text{ t}$ 載荷しては 5 t にもどすことを行なった。その結果、 E の値は荷重が破断力の 30% くらいになるまでは増加するが、それ以上では大きさには関係なくほぼ一定である。荷重を 5 t より増加する時の測定値よりも、荷重を減少する時に測定した E の値がいくくらか大きい傾向がある。

図-6

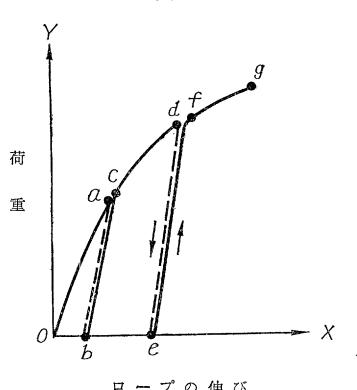


図-6 で荷重減少の場合の cb, fe 直線の方が荷重増加の場合の ab, de 直線よりいくぶん大きい E を与える。

次に維持時間の影響であるが、従来のわれわれの経験では、ロープの伸びは大体 30 分以内で大きく伸びそれ以後はきわめて微々たるものである。今回 150 t まで引張り 2 時間維持し荷重を 5 t まで下げ、次に 150 t まで荷重を加えた。すなわちプレテンション前の E_0 と、2 時間維持のプレテンション後の E_1 の測定をした。図-7 に示す。

表-6 に測定の例を示す。

なお、先に述べた 5 t より 160 t 間のくり返し荷重の場合は $E=16\,570\sim16\,770\text{ kg/mm}^2$ の値が得られている。これと表-6 の値を比較しても差異は認めがたい。これは当然なことで E を高める

最も有効な方法は相当大きな荷重をくり返し作用させることであって時間はあまり長くする必要はない。

この点はあとの神納橋の例で述べる。ここで確かめ得られたことは、プレテンションにより $E=16\,600\text{ kg/mm}^2$ くらいで偏差は 5% くらいであって、目標に十分合致し得るということであった。吊索も破断力の 50% のプレテンションを加えた。

図-7 若戸橋主索維持試験

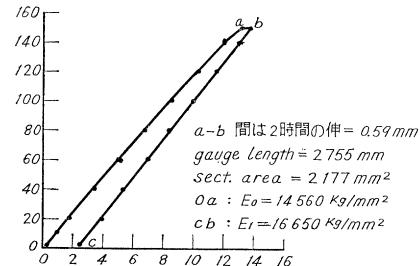


表-6 61φ 主索の E

試片 No.	プリテン前 $E_0\text{ kg/mm}^2$	プリテン後 $E_1\text{ kg/mm}^2$	E_1/E_0
3	14560	16650	1.14
5'	14780	16250	1.10
5	15000	16650	1.11
11	14450	16800	1.16
14	14900	16500	1.11
16	14800	16800	1.14
23	14500	17100	1.18
25	15200	16600	1.09
\bar{X}		16668	1.13
Range R	750	750	—
$R/\bar{X}\%$	5.07	4.5	—

表-6, 7 の $R/\bar{X}\%$ を見ると E_0 より E_1 の方が変動が少ない。すなわちロープの性格がまとまったことを現わしている。これは弾性係数の値を大きくするばかりではなく、その値もばらつきが少なくなる。すなわちよる時の未知の因子の影響が少なくなることを示す意味で重大なことである。

次に素線について要點を述べる。主索用線材は JIS G 3502 ピアノ線材 2 種甲と決まり、特に良質のものを神

表-7 吊索 36.6ϕ の E

試片 No.	プリテン前 E_0 kg/mm ²	プリテン後 E_1 kg/mm ²	E_1/E_0
1	11 200	14 700	1.31
2	11 400	14 900	1.31
3	11 700	14 900	1.27
4	11 800	14 500	1.23
5	11 500	14 300	1.24
6	11 700	14 900	1.27
7	11 700	14 600	1.25
8	11 800	14 700	1.24
9	11 600	14 900	1.28
10	12 600	14 600	1.16
\bar{X}	11 600	14 700	1.26
Range R	1 400	600	—
$R/\bar{X} \times 100$	11.1	4.08	—

戸製鋼所で作った。素線1本の重量を考え、特にビレットの大きさはその整倍数に決定して作った。

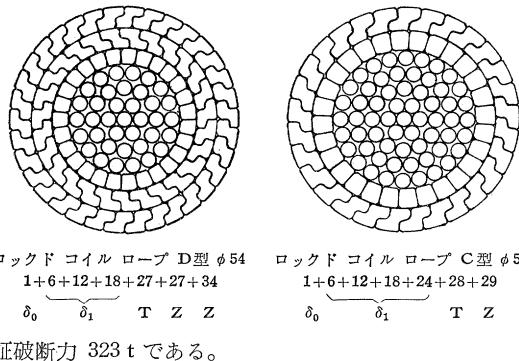
c) 素線 従来メッキ線は抗張力 150 kg/mm^2 が普通であったが、今回は 160 kg/mm^2 以上である。メッキのため抗張力が減少するから引抜きのままでは 180 kg/mm^2 以上が必要である。実際にでき上ったものは、抗張力は $167 \sim 173 \text{ kg/mm}^2$ のものが多かった。降伏点は 0.2% の永久伸びを生ずる応力として測定した。抗張力の $80 \sim 82\%$ くらいで約 138 kg/mm^2 が多い。素線の弾性係数は $18 450 \sim 19 700 \text{ kg/mm}^2$ である。主としてメッキ層の厚さによる見かけ上の減少をふくんだ数値であって、平均値は $E_w = 18 700 \text{ kg/mm}^2$ である。ロープの平均 $E_1 = 16 668 \text{ kg/mm}^2$ であって、よりの影響は大体 $E_1/E_w = 16 668/18 700 = 0.89$ 、すなわち 11% の減少となる。

表-8 主索用素線規格

項目	L.Z. および L.S. 型		S.Z. 型		摘要
	d_0	d_1	d_0	d_1	
線径 m/m	4.98	4.67	4.31	4.03	
引張強 kg/mm ²	>160	>160	>160	>160	
降伏点 "	>115	>115	>115	>115	
ねじり回数	>18	>18	>18	>18	
伸び %	>4	>4	>4	>4	標点 250 m/m
巻解	良	良	良	良	
メッキ付着量 g/m ²	>300	>300	>300	>300	1分間浸漬
硫酸銅回数	>5	>5	>5	>5	
巻付	良	良	良	良	

(2) 神納橋斜吊橋試験用ロープ

この橋については、36年春名古屋の土木学会で北海道開発局外崎技官が発表されている。従って重複することになるがロープ製造者の立場から主としてプレテンションに関する事項を述べることにする。若戸の場合、時間と伸びの関係は十分明らかでなかった。われわれの考えでは、時間よりもむしろ変動荷重を加える方が有効であると思うので、これらの点を明らかにする目的で計画を立てた。実験に使用したロープはロックドコイルD型、径 62 mm 、構成記号 $1 \delta_0 + 60 \delta_1 + 33 T + 33 Z_1 + 39 Z_2$ 保

図-8 ロックドコイル例
(ワイヤロープ断面図)

証破断力 323 t である。

その断面図は図-8のD型に属し素線数がさらに多いものである(実際の橋は多少変更が生じたため、ロープはロックドコイルD型 $1 \delta_0 + 36 \delta_1 + 27 T + 27 Z_1 + 34 Z_2$, $\phi 54 \text{ mm}$ に変わったが、以下試験をした $\phi 62 \text{ mm}$ について記述する)。図-8 $\phi 54 \text{ mm}$ は実際に使用されるロープである。

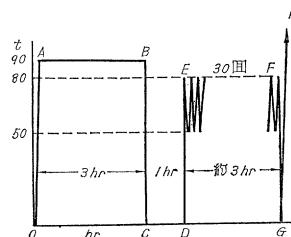
時間と伸びの関係、くり返しと伸びの関係を知るために次の3段階の試験をした。

表-9 神納橋素線

線種	絶高または径 m/m	素線断面積 m ² /m ²	本数	標準引張強 kg/mm ²	$\tan \theta$ $\theta = \text{ねじり角}$
Z_2	5.0	21.92	39	130	4.5
Z_1	5.0	21.41	33	130	4.5
T	4.0	13.87	33	135	4.5
δ_1	3.77	11.16	60	160	4.5
δ_0	4.16	13.59	1	—	—
計		27.03	166		

a) 荷重 90 t 維持3時間とその後30回のくり返し荷重を与える。図-9に示すとく初め 90 t で3時間保持して伸びの測定をなし、その後荷重を取り去り1時間後荷重を 80 t にあげ、それより 80 t と 50 t の間を30回動かす。その間 80 t の伸び、 50 t の伸びをそれぞれ測定した。

図-9 神納橋主索



その結果は図のOABCの維持試験では \overrightarrow{OA} の弾性係数は $E = 16 280 \text{ kg/mm}^2$, \overrightarrow{BC} では $E = 17 050 \text{ kg/mm}^2$ である。3時間の維持AB間の伸びの変化は図-10, 11に示す。

図-10 神納橋主索の3時間維持試験

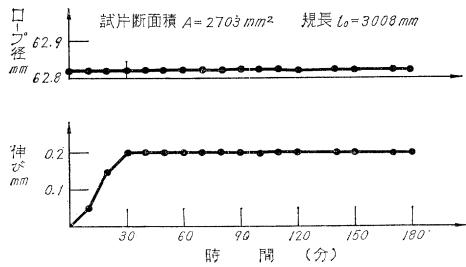
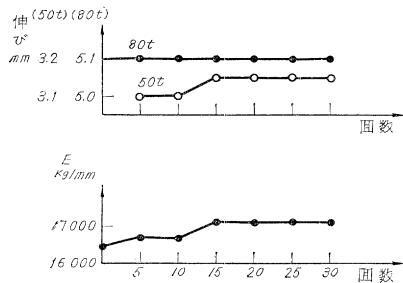


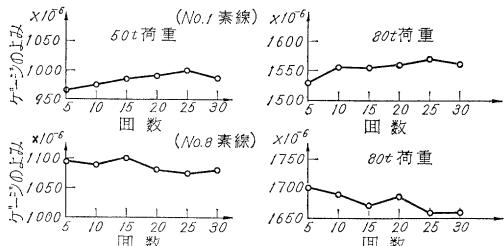
図-11 3時間維持後のくり返し荷重試験



維持 30 分で伸びは終っている。これは各素線の張りが均一化し終ったのではなく強い摩擦力のためにつりあっているためである。それは素線につけたストレーンゲージの値の不同からわかる。次にくり返し DEFG については \overrightarrow{DE} に沿って $E = 16\,490 \text{ kg/mm}^2$, FG に沿って $E = 16\,600 \text{ kg/mm}^2$ である。

測定は 5 回振動ごとに行なった。すなわち図-8 で初め 80t に達した E 点で 80t の伸びを測り 5 回振動してそれぞれ 80t と 50t の測定をした。以下同様くり返し測定した。10~15 回のくり返しにより大体安定する様子を示している。この実験には素線にストレーンゲージを張りつけてあった。ゲージの数値には相当考慮すべき点が多くあるが、変化の傾向を知るには役立つ。図-12 にその例を示す。

図-12 くり返し荷重とゲージのよみ変化



素線 No. 1 と No. 8 が荷重がくり返されるにつれひずみの変化を測定した例である。No. 1 素線は、ゲージの位置ではゆるみ加減であったものが荷重の変動につれ、摩擦力に打勝って安定の方向に滑って行く。No. 8 素線ではゲージの位置では少し引きつれていたがくり返

し荷重により滑り張力を減じて安定すると解してよい。

以上をまとめると、ロープには構造にゆるみがあるため、高い E をうるにはプレテンションの必要がある。しかし、プレテンションの効果は、強い摩擦力があるから単に時間を長くかけただけでは不十分である。器に砂を詰める場合ゆりながら入れるようにプレテンションの場合では張力を変動を与えながら引張る必要がある。ある張力の間を変動している時は構造伸びがない状態で変動により摩擦に打勝って滑らせているからこのときが最も高い E を示す。従って橋のメンバーとして働くときは静的試験値より高い E となるであろうことが考えられる。長さ 40 m の試料をプレテンション装置で 24 時間維持引張りを行なった。野外試験であるため十分なことはできなかったが、伸びの変化を温度による補整をすると、伸びは変化が少ないことが認められた。この試片より切取った試料で先に述べたと同様に 30 回くり返し試験をしたがその結果は 3 時間維持の場合と同様であった。従って維持時間はあまり重大視する必要はない。

図-13 24時間維持後くり返し荷重試験

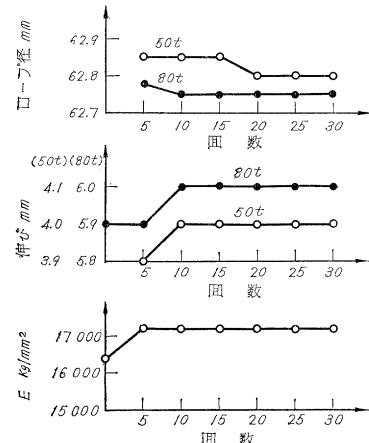
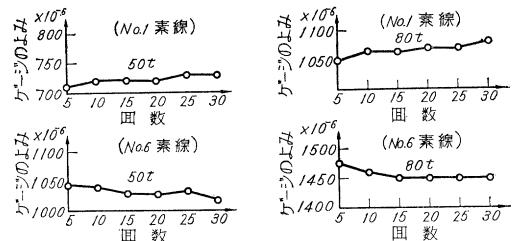


図-14 くり返し荷重とゲージのよみ



以上よりクリープの少ないロープをうるにはプレテンション後、変動荷重を加える必要がある。その回数は実験結果より 15 回くらいで伸びおよび E が一様になるが 20 回が適当である。今回の試験よりプレテンション方式の方針が決まったことは大きな進歩であった。

(3) 大阪市千島大橋用ロープ

この橋は鋼橋にロックドコイルロープを補強に使用した。わが国でも鋼棒を使った例はあったがロックドコイルロープを使用したのは最初である。使用したロープは次のときものである。

表-10 千島大橋用ロープ

ロープ構成記号	径	保証破断	断面積
1+18+22 T+24 Z	38φ	124t	1015mm ²
1+60+28 T+29 Z	56φ	261t	2165φ

表-11 千島大橋用ロープ素線

	38φ	56φ
Z	高さ 5.0 標準引張強さ 130	高さ 6.0 標準引張強さ 125
T	〃 4.0 〃 135	〃 5.0 〃 130
δ	径 3.96 〃 160	径 3.77 〃 160
δ ₀	〃 4.37 —	〃 4.16 —

われわれが研究的実験に供したのは φ30 mm のものであった。この件については、36年5月名古屋における土木学会で大阪市大橋教授が発表されている。ロープに関する試験および結果は神納橋の場合と同様であったから省く。

しかしソケットに関し、かなり注意すべきことがわかった。ソケットにストレーンゲージを張りロープの引張り試験をしたところ、その応力は全く目茶苦茶で理論どころか傾向すら示さないものであった。そこで 0.6 t から 40 t までの荷重を 3 回加えてから測定した結果は理論は別として、傾向は明らかに示された。この点は何によるものか大きな問題である。これは想像するに溶融された合金が溶けた状態より固体となるとき相当大きな収縮をする。そのため、ソケット内面と合金表面は完全には一致しない。その結果ソケットと合金は粗面の接触となっている。そのため最初ロープに張力を加える時は全面接觸ではないがくり返し引張りにより粗面はつぶれて当たりが良くなる。

そこで初めてソケット応力は常態を示すものと考えられる。従って伸びをはなはだしく嫌う鋼橋については合金とソケットが粗面接觸では、架設時は良くとも使用後粗面がつぶれることによりクリープを生ずる恐れがあることは絶対に許されない。

この粗面を避けるには、ソケットの予熱およびソケットの寸法の余裕、ソケット内面の仕上げ加工など考えねばならない。従来ソケット内面は摩擦を望むあまりに荒仕上げにしたがこれは考え直す必要がある。むしろ仕上げを良くして合金内圧を小さくとるよう設計すべきである。千島大橋ではこの点を参考にして余裕あるソケットを作ったが、なお橋教授の意見により次のようにした。ロープはプレテンションとして φ38 mm ロープには 87 t, φ56 mm ロープには 150 t の荷重をくり返し加える。そ

の後このロープの一端を切斷して合金する（他端はプレテンション前に合金したままである）。次に両端のソケットをつかんでプレテンションと等しい荷重を加え 5 分維持する。そして 5 t まで下げる。この方法を 9 回くり返す。この操作により合金とソケットの面当たりを良くする方法を取った。その結果は φ38 mm ロープではロープ長さ約 26410 mm で最少 11.5 mm, 最大 22 mm, 平均 17.7 mm, φ56 mm では 11.5 mm × 23 mm のクリープが生じた。この量は幾分ロープのクリープもふくまれているかもしれないが、すでに前にプレテンションを施してあるから少ないのである。ロープ、ソケットとともに大きな摩擦を有するものは、架設の最後に張力振動を与えて調整しなおすことが望ましい。

(4) ロープの性格の比較

若戸の場合、スパイラルロープかロックドコイルロープか一応比較したが決定的な差異は見出せなかった。ドイツではロックドコイルロープを使用するのが普通のようである。

簡単に“あらゆる点にロックドコイルロープが最も適している”といっている。定性的な比較は簡単であろうが数値を比較して優劣を決めるにはなお幾多の実験が必要であろう。内部腐食に対しては当然ロックドコイルロープがすぐれていることは明らかである。素線径の相違も大型ロープでは大差はないし特に細い異型線を用意することも難事でない。従って曲げ応力に関しては、ロックドコイルロープには二次曲げがない。これに反しスパイラルロープでは相当の二次曲げがあるのである。従ってサドル上の応力に関しては必ずしもスパイラル型が優位とはいえない。ショートとの接触圧でロープの耐力の減少はロックドコイルロープが有利であることは明らかである。斜吊橋の実験で 1.5 m 半径のサドル上で曲げ引張りを行なった。真直ぐに引張った場合 363.5 t で切斷した。サドル上で引張った場合 360 t まで引張ったがなんら異状はなかった。恐らくほとんど影響ないのである。これより表面の素線とサドル間の圧力および各層間の素線と素線の圧力など心配は無用と考えられる。

これに反しスパイラルロープでは、これらの圧力の影響は無視できないものである。各層の素線間の圧力は点接觸であるから、降伏点を越す機会は十分考えられる。例え素線の切斷は生じなくともロープの径の減少を生ずるとすればただちにロープのクリープをともなう。従って吊橋程度では心配なくとも斜吊橋とか、鋼桁とともに使用される場合はロックドコイルロープがすぐれているように思える。この点御批判を頂ければはなはだ幸いである。

（原稿受付：1961. 11. 1）