

土 木 研 究 所 資 料

第 3 9 7 号

平 行 線 ケ ー ブ ル 架 設 調 査

中小橋の平行線ケーブルによる施工例

昭 和 4 3 年 7 月

建 設 省 土 木 研 究 所

本州四国連絡架橋調査

材料構造調査

平行線ケーブル架設調査

ー 中小吊橋の平行線ケーブルによる施工例ー

機械研究室

佐々木輝夫

目 次

1	まえがき	1
2	調査の内容	4
[1]	主要諸元	4
(1)	吊橋の仕様	4
(2)	ケーブルの仕様	4
(3)	機械設備、作業用足場、作業員配置その他の概要	4
[2]	架設作業	4
(1)	架線方法	4
(2)	架線速度と架設実績	15
(3)	架線状況	20
(4)	作業人員と配置	23
(5)	通信方式	23
(6)	架線中の風と作業性	24
(7)	作業用足場（フートブリッジ）	24
(8)	架設機械と運転状況	27
(9)	現場継手	28
(10)	ケーブルのスクイジング、ラッピング	29
(11)	リーリング	32
3	問題点	34
4	あとがき	38

I ま え が き

長径間吊橋に用いられる平行線ケーブルの架設方法については、本州四国連絡架橋調査の一環として昭和36年度以来調査が行なわれている。

機械研究室においては、平行線ケーブル架設方法について

- (1) 素線に要求される諸特性の把握
- (2) 架設用機械設備の開発
- (3) 架設手順の研究、工法の修得
- (4) 施工費用の積算資料の入手
- (5) 施工条件（特に風）と作業工期の推定

などを目的とする調査を昭和39年度より実施しており、調査、実験の経過は表-1に示すとおりである。

わが国では、吊橋のケーブルに平行線ケーブル方式によるケーブル架設が行なわれた例がなかったことから、諸外国の施工例についての文献調査、架設実橋の現地調査、中央径間7.5mの模型による架設の機構の把握、さらに実際に使用される素線のスピニングできる中央径間150mの架設装置を用いた架設実験による架設上の問題点の整理、解明と調査が進められた。

また国内の他の試験、研究の状況も同表に示すが、昭和41年頃よりいわば実験室内での架設実験の域を脱し、長径間吊橋に対応するケーブル架設方法開発のための一段階としての中小吊橋の実橋架設が行なわれはじめた。

本報告書は、これら41～42年度に架設された中小吊橋の実橋実施3例の概要を紹介し、施工上の問題点をとりまとめたものである。

これらの実橋実施例は、40年度以降に土木研究所ならびに他の機関で行なわれた架設実験に近い規模のもので、中央径間が150～200m前後であるが、調査結果から問題点としては次のようなことがあげられる。

- (1) 計画したサイクルタイムに対して実際には大巾に増加している。
- (2) 架設中の風による影響が風速10～15m/s程度で現われている。
- (3) 現場継手の作業性が悪い。
- (4) 架設作業用小道具類の開発が必要である。

表-1 平行線ケーブル架設技術に関する調査・実験の経過

年度	土 木 研 究 所	国内の他の試験、研究
36 38	1. 文献調査。(報告書一本・四資料12空中架線法による平行線ケーブルの架設、37-3) 2. Verrazano Narrows橋の架設調査。(報告書一葉報第23号ベラザノ・ナロウズ吊橋のケーブル架設について、38-10) (橋梁研)	
39	1. 中央径間7.5mの模型製作。 2. 1,500m級吊橋の曳索駆動設備の動力等の試算を行なう。(報告書一37年度調査概要) 3. 実験設備の設計検討。	プレハブストランドの製作検討(神鋼)
40	1. 中央径間150mの屋外実験設備を製作し、292本の素線構成による単ストランドの架設実験を2回実施。 2. 神鋼の委託による素線292本の単ストランドの架設実験を1回実施。	1. エアスピニング装置の製作、単ストランドの架設実験(神鋼)、40-12 2. 土研委託、単ストランドの架設実験(神鋼) 41-3
41	1. 40年度の実験結果の整理検討。 (報告書一土研資料第189号平行線ケーブル架設調査一架設試験一、41-6) (報告書一土研資料第193号、平行線ケーブル架設試験、長大橋平行線ケーブルのスピニング装置に関する実験報告書、41-7) 2. 中小橋の施工例の調査。 3. 国内の研究の現状を調査し、平行線ケーブル架設に関する技術的な討論を行なうため、関係者による検討会を催す。 (報告書一土研資料第281号、平行線ケーブル架設調査、平行線ケーブル架設法の現状と問題点、42-4)	1. エアスピニング装置の製作、単ストランドの架設実験(八幡)、41-7 2. 「金谷橋」のエアスピニングによるケーブル架設(八幡)、41-10 3. スライジングマシン及びラッピングマシンの製作ならびに同作業実験(神鋼)、41-9 4. エアスピニングによる多ストランドの架設実験(八幡)、42-1 5. プレハブストランド基礎アンカ索に使用(神鋼)、41-4 6. プレハブストランドの製作検討(鋼管)、41-9 7. プレハブストランド屋根吊索に使用(神鋼) 41-11
42	中小橋の施工例の調査。	1. 「金谷橋」のプラスチックカバリング施工(神鋼、八幡)、42-4 2. 「箱ヶ瀬橋」のエアスピニングによるケーブル架設(八幡)、42-9 3. プレハブストランドに関するベツレヘム社(米)との技術提携(富士鉄)、42-7 4. プレハブストランドによる架設実験(八幡、神鋼)、42-8 5. プレハブストランドによる架設実験(鋼管) 6. プレハブストランド屋根吊索に使用(神鋼) 42-8、42-11 7. プレハブストランドによる歩道橋架設(富士鉄)、43-1 8. 「金比羅橋」プレハブストランドによるケーブル架設(鋼管)、43-2

(5) 現場リーリング、架設中の素線の取扱い方法の検討を要する。

しかし、これら実橋実施例は規模も小さく、実験的なものであるから、長大径間吊橋の施工の場合とは作業条件その他相当異なっていることが考えられ、将来800m、1,500m級の吊橋の架設に対して問題点を明らかにし、これを解決するためには基本的な調査研究とともに、1,500m級までに段階的な試験施工を行ない、問題点を検討していくことが必要であろう。

2 調査の内容

[1] 主要諸元

(1) 吊橋の仕様

平行線ケーブルによるケーブル架設が行なわれた吊橋のうち、41年度には金谷橋（エアスピニング工法による単ストランド形式）を、42年度には箱ヶ瀬橋（エアスピニング工法による多ストランド形式）及び金比羅橋（工場製作ストランドいわゆるプレハブストランドによる多ストランド形式）の調査を行なった。

これらの吊橋の仕様を表-2、図-1に示す。

(2) ケーブルの仕様

表-1 参照

(3) 機械設備、作業用足場、作業員配置その他の概要

表-3に示す。

[2] 架設作業

(1) 架線方法

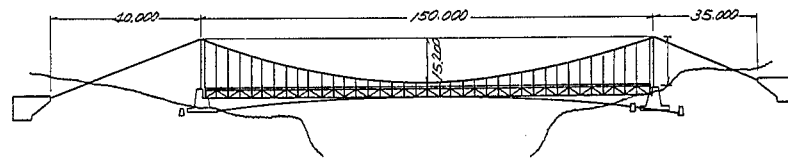
- 1) 金谷橋 スピニング機械及び各装置の配置を図-2に、各装置を写真-1～-12に示すが、曳索1ループにスピニングホイール（2車式）1台を取付けたもので、リールスタンドは右岸側アンカー上に設けられている。

ケーブルの架設順序は上、下流側各ケーブルの素線432本のうち、半数の216本（54サイクル）ごとに交互に段取換（曳索のループを上流側ケーブル架設位置から下流側ケーブル架設位置に移す）を行ないながら架線をすすめる。

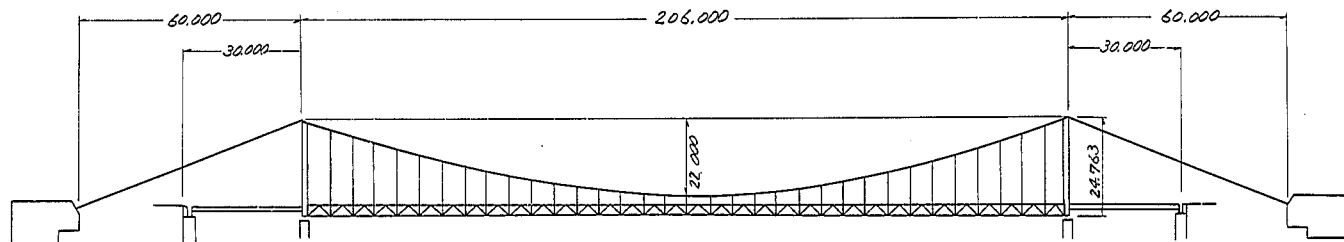
素線のサグ調整作業は架線中（スピニングホイール運行中）には主塔が揺れるため行なわず、スピニングホイールが左岸に到着停止後に作業を行なう。

表-2 調査した吊橋(平行線ケーブル使用)の概要

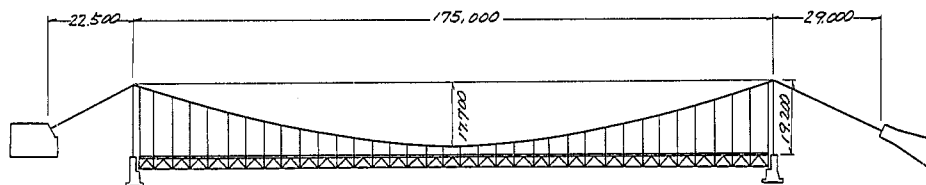
諸 元	金 谷 橋	箱 ケ 瀬 橋	金 比 羅 橋
架 橋 場 所	長野県北安曇郡小谷村	福井県大野郡和泉村	群馬県多野郡鬼石町
企 業 者	林野庁長野営林局	電 源 開 発 K. K.	水 資 源 公 団
河 川 名	浦 川	九 頭 竜 川	神 流 川
工 事 名	治山事業による林道工事	長 野 ダム 附 帯 工 事	下久保ダム 附 帯 工 事
施 工 業 者	八幡製鉄 K. K.	K. K. 宮地鉄工所 八幡製鉄 K. K.	日 本 鋼 管 K. K.
ワイヤ製造業者	八幡製鉄・鈴木金属・ 神鋼鋼線	同 左	日 本 鋼 管 K. K.
型 式	二絞補剛構吊橋	同 左	同 左
荷 重	T-9	T L-14	T L-14
橋 長 (m)	150	266	175
中央径間 (m)	150	206	175
(ケーブルスパン)(m) 側 径 間 (m)	— (35) (40)	30 (60)	— (22.5左) (29 右)
巾 負 (m)	3.6	4.1	4.5
ケ ー ブ ル 本 数	2	2	2
ケ ー ブ ル 断 面	114mmφ、432本	143mmφ、672本	146mmφ、703本
ケ ー ブ ル 構 成	ストランド数1、 432本/ストランド	ストランド数4、 168本/ストランド	ストランド数19、 37本/ストランド
ケ ー ブ ル ワ イ ヤ	5mmφ亜鉛メッキ鋼線	同 左	同 左
ケ ー ブ ル 長 (m)	216.9	342.9	240
ケーブルサグ (m)	15.2	22	17.7
サ グ 比	1/9.87	1/9.36	1/9.9
ケーブル架設年月	41年8日	42年9月	43年2月
ケーブル架設所要日数	— (実働12日)	—	20日 (実働15日)



(a) 金谷橋



(b) 箱ヶ瀬橋



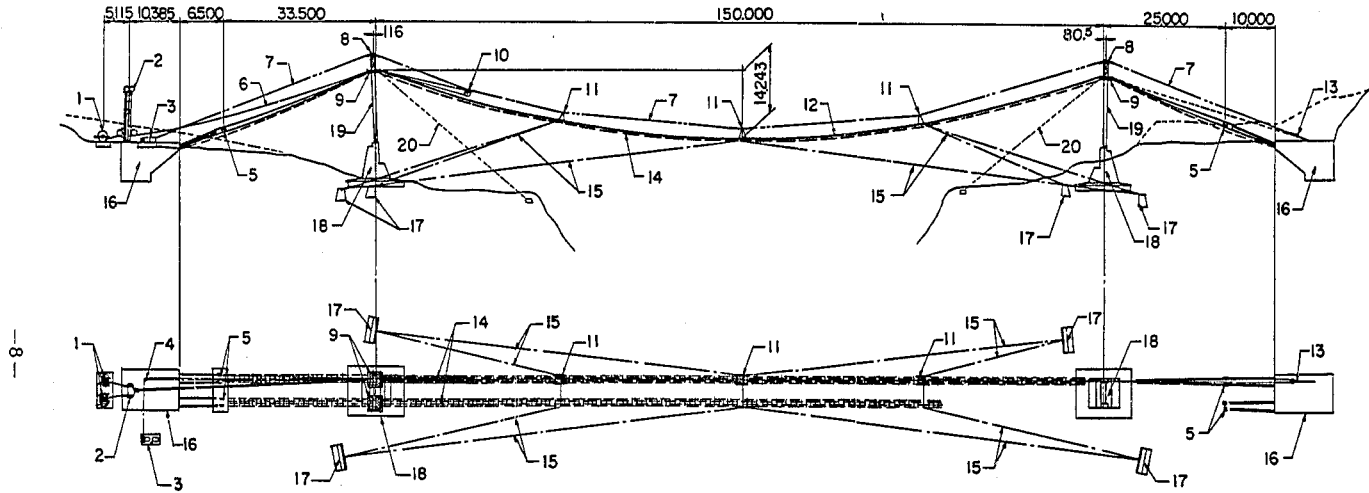
(c) 金比羅橋

図-1. 吊橋一概図

表-3 機械設備、作業用足場その他の概要

項 目		金 谷 橋	箱 ケ 瀬 橋	金 比 羅 橋
曳 索 駆 動 装 置	呼 称	いすゞDA220ディーゼル機関	同 左	エンドレスウインチ1式
	出 力	75PS	45PS	ケーブルクレーン(15t) 2台
	定格回転速度	2,400rpm	1,400rpm	ウインチ(15PS)3台
	変 速 装 置	トルクコンバータ 岡村PM1619T/C 4要素 1段	同 左	ガイドリック(20PS) 1台
	逆転、減速装置	1/23.5逆転クラッチ付	同 左	
リールブレーキ装置		リールごと手動制御	油圧機構による集中手動制御	
リ ー リ ン グ 方 式		工場リーリング(ドラム)	現場リーリング(ドラム)	工場リーリング(8の字型)
スクイジングマシン		—	20tジャッキ4台型	10tジャッキ3台型
ラッピングマシン		0.2kw ボビン数2 巻線張力40~50Kg	ボビン数2	(ラッピングせず)
作 業 用 足 場	巾 員	1.5m	2.2m	左岸スパン(ストランド
	金 網	20#亀甲金網	5#×50×70溶接金網	引出し側)のみ2~3m
	横 梁 材 間 隔	約1m	1.5m(中間に補網)	間隔にワイヤロープを張
	クロスウォーク	なし	1ヶ所(センター)	渡す。
通 信 方 式		2系統 { 有線(並列)電話 (架線、サグ調整用) トランシーバ (メガホン含む) (指揮、タイム スタディ用) }	1系統 { 有線(並列)電話 (作業員配置全 個所) }	1系統 { トラスシーバ (サグ調整用の み) }
架設中のサグ調整		作業足場上にて直接測定	同 左	トランシットによる測定
作 業 員 配 置	指 揮	1+3(サグ担当)	2	2
	オペレータ	1	2	1
	リールスタンド	2	1	2
	アンカー	2×2=4	3×2=6	3
	タワ ー	2×2=4	4×2=8	2
	トラムウェイベント	2×3=6	2×5=10	—
	そ の 他	0	0	2
計		21	29	12

図-2 スビニング装置配置図（金谷橋）



第2図の説明

- | | | |
|--------------------|----------------------|------------------|
| 1. 鋼線リールおよびリール制動装置 | 8. 曳索支持塔（ギヤフレーム） | 15. 架設用耐風索 |
| 2. 鋼線平衡塔 | 9. 塔頂作業台 | 16. 主索用アンカーブロック |
| 3. 曳索駆動装置 | 10. スビニングホイール | 17. 耐風索用アンカーブロック |
| 4. 曳索方向変換用シーブ | 11. 中間支持柱（トラムウェイベント） | 18. 橋台 |
| 5. アンカーシーブ | 12. スビニングされたケーブル | 19. 塔柱 |
| 6. 引き出される索線 | 13. シーブおよび曳索張力装置 | 20. 架設用仮トラ |
| 7. 曳索 | 14. キャットウォーク | |

2) 箱ヶ瀬橋 スビンギン機械及び各装置の配置を図-3に、各装置を写真-

13~24に示すが、主な架設機械は金谷橋の架設に使用されたものである。同図にみられるように、箱ヶ瀬の場合は上、下流両ケーブル中心位置を結ぶ1ループの曳索に2台のスビンギンホイール(2車式)が取付けられており、リールスタンドは左岸アンカー上に設置されている。

実際の架線作業を図-4にて説明する。同図(a)のように曳索ループにNa1、Na2スビンギンホイールが取付けられているが、上下流両ケーブルを同時に架設しないで、作業対象ケーブル側の1ストランドごとに架設を行なう。

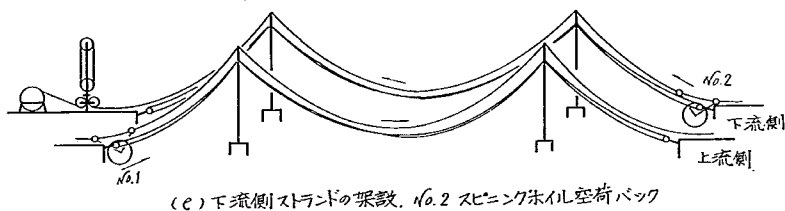
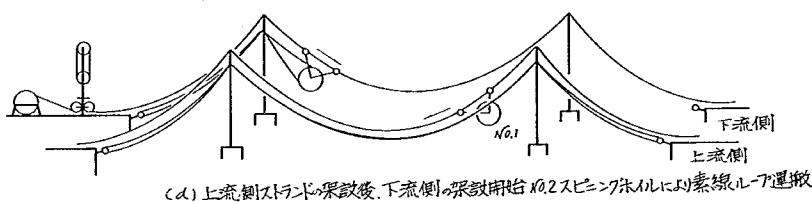
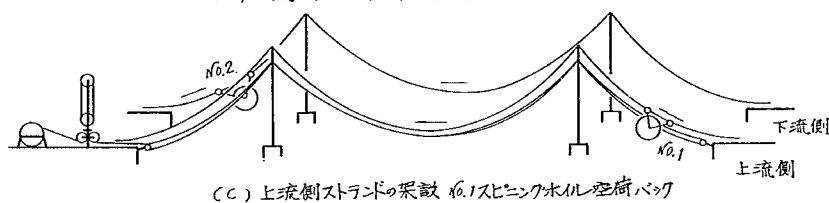
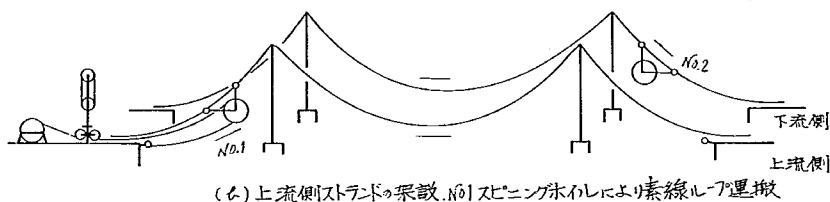
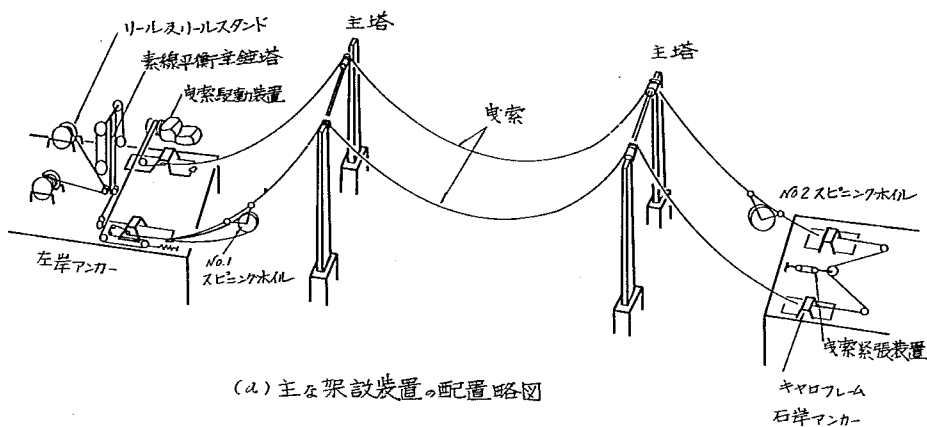
同図(b)に示す例えば上流側ストランドの架設の場合、Na1スビンギンホイールの往路(左岸→右岸側)に素線ループを選び、右岸側ストランドシュールに素線ループを引掛けたのち、Na1スビンギンホイールは同図(c)のように空荷にてバックする。

このように(b)、(c)の動作を繰返し所定の素線数に達すると、次に素線シープ類の段取替えを行ない、下流側ストランドの架設を開始する。以下、上流側の場合と同じような作業を行なうもので、同図(d)に示すようにNa2スビンギンホイールにより素線ループを運搬し、左岸側ストランドシュールに素線ループを掛けたのち、空荷にてバックするという動作(同図(e))を繰返してストランドの架設が行なわれる。架線作業状況を写真-25~27に示す。

金谷橋の場合に比較すると、架線作業そのものには相違はないが、曳索を移動することなどの段取替えの必要がなく、この規模のものでは両ケーブルを1ループで結ぶ箱ヶ瀬橋方式が合理的と云えよう。

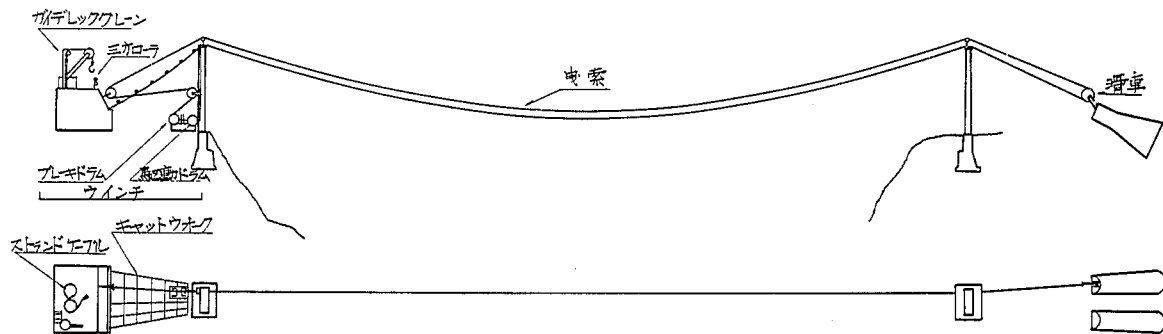
素線のサグ調整作業はスビンギンホイールが空荷後進し、左岸に到着後に行っており、サグ調整作業中はスビンギンホイールの運行を停止する。写真-28にサグ測定状況を示す。金谷橋及び本例にみられるように小規模な橋の施工では、スビンギンホイールの運行によって主塔及び作業用足場の揺動が避けられないことや素線張力の関係から、スビンギン作業とサグ調整作業を分離しなければならない。

3) 金比羅橋 工場製作ストランドいわゆるプレハブストランドによるケーブル架設が行なわれた金比羅橋では、架設用機械として特に専用機械は使用されていない。写真-29~34に架設中及架設後の状況を示す。

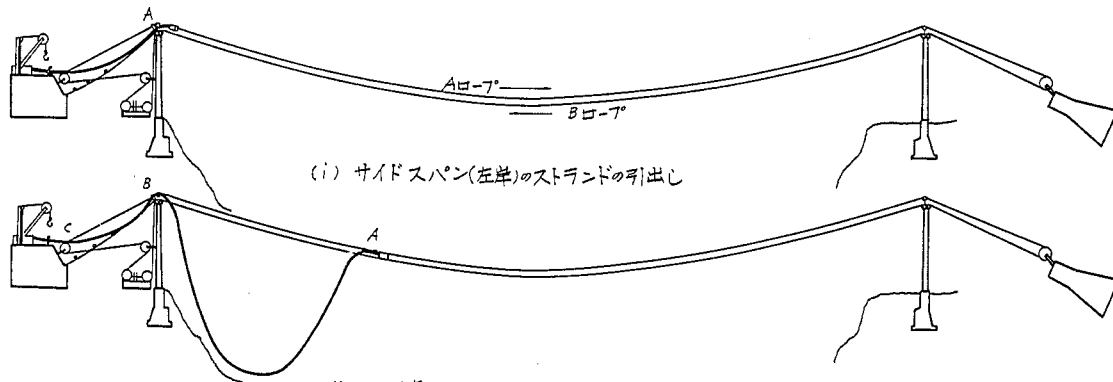


以上の工程を所定ストランド数に達するまでストランドごと交互に作業を繰返す

図-4 箱ヶ瀬橋におけるエアスピニングによる架線方法



(a) 架設装置配置図



(ii) B, C 点を交互に B ロープに クリッププレキを掛けながらストランドを繰出す。(1回の繰出量 23m)

(b) 架設方法

図-5 プレハブストランド架設装置及び架設方法 (A方式)

当初の架設方法は図-5に示すとおり、ケーブル中心位置に左、右兩岸を結ぶ曳索ループを設け(同図(a))、左岸アンカー上のリーリングされたストランドの右岸ソケット部を引き側ロープ(Aロープ)にクリップし、ウインチにより引出し架設する。その際、センタースパンでストランドの自重によるストランドのたれ下りを防ぐため、同図(b)に示すように左サイドスパンのC点(アンカー部)で、引出し中のストランドを曳索ループの返り側ロープ(Bロープ)の一端にクリップし、ウインチのブレーキドラムによりブレーキを掛ける作業を行なう。

このブレーキ作業は、ストランドの引出しにしたがってC点のクリップがB点に達すると、再び、C点でストランドをクリップすると同時にB点のクリップを開放するという作業手順で、ストランドの引出し約23mごとに行なわれることになる。このように曳索ループを使ってストランドを架設する方式(A方式)がとられた。

このA方式によるNo.1ストランド架設中に、曳索とストランドの径が異なることから、ブレーキ用のクリップが効かず、プレハブストランドがセンタースパン側に暴走する事故があり、図-6に示す方式(B方式)に変更された。

B方式によるストランドの架設は

- (i) 左岸スパン引出し用のNo.1ウインチで左岸アンカー上のケーブルストランドを左岸側主塔まで引出す。(図-6(a)、作業状況写真-35~41)
- (ii) ガイドローラにストランドを移したのち、ケーブルクレーンで右岸側主塔まで引出す。その際、プレハブストランドの自重によるたれ下りを防ぐため、A方式と同じく左岸サイドスパンでNo.1ウインチを利用して図-6(b)のB、C間にブレーキを掛けながら、1回に約23mずつ繰出す。(作業状況写真-42~46)
- (iii) 右岸側主塔にプレハブストランドが到着後、ガイドローラに移し替えたケーブルストランドを右岸アンカー部のNo.2ウインチで右岸アンカーまで引出し、ソケットを固定する。(図-6(c)、作業状況写真-47)

という作業手順である。このB方式によりNo.2~No.38ストランドの架設が行われた。

ストランドのサグ調整作業はガイドローラに乗せた状態で、あらかじめ張渡さ

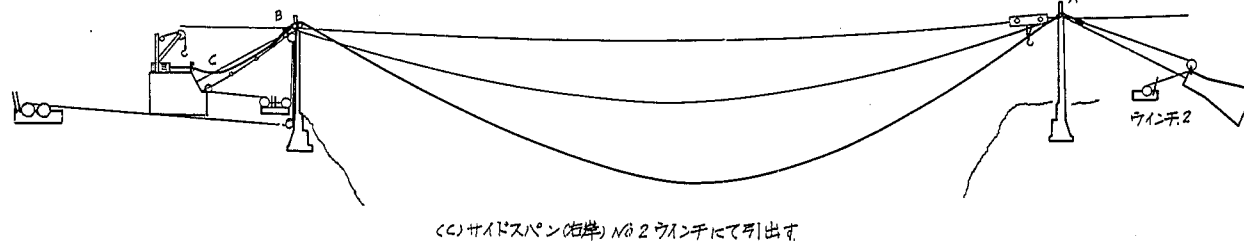
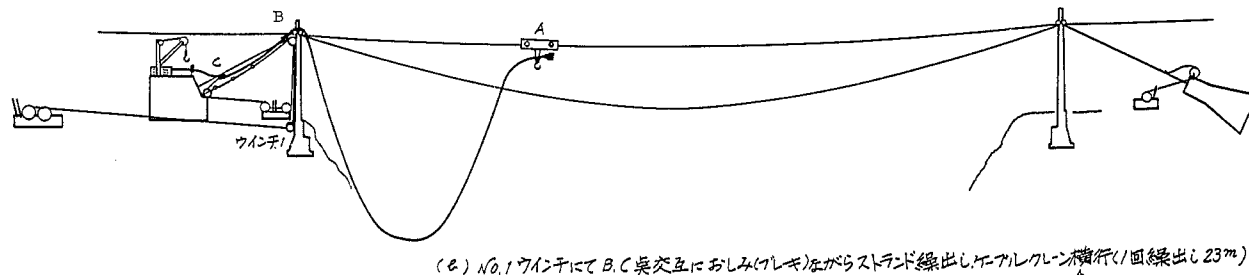
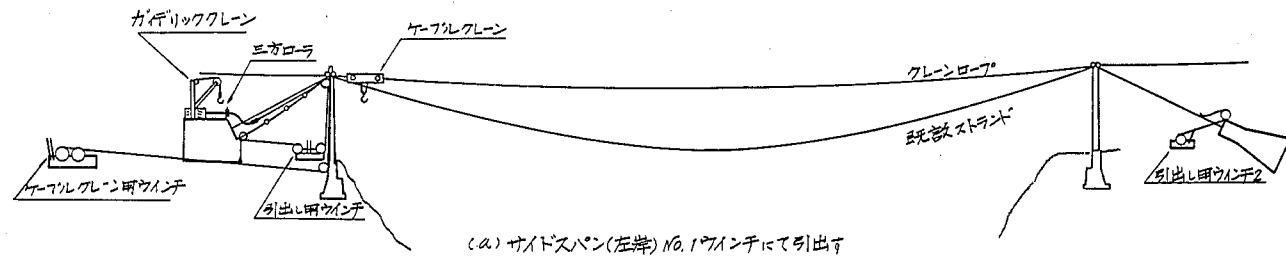


図-6 プレハブストランド架設方法(B方式)

れたガイドワイヤを規準としてサグ調整を行なう。作業状況を写真-48に示す。

サグ調整完了後に各主塔上の塔頂金物及び吊具（ヒッパ）でストランドを吊上げ、サドルの所定の位置に配列する。

上、下流側各19ストランドの架設は、下流側10ストランドの架設後に、上流側に段取替えを行ない、19ストランド全部を架設し、また下流側に移して残り9ストランドを架設するという順序で行なわれた。

このB方式による架設方法は施工段階で変更されたもので

(i) 引出し用ワイヤを3回（No.1ウインチ、ケーブルクレーン、No.2ウインチ）

も掛替えなければならない。

(ii) ストランド先端が写真-49に示す状態で引出されるので、各ガイドローラ

通過時に、人力によるソケットの移し替えが必要である。

(iii) ブレーキ用ワイヤのクリップ、同取外しにかなりの時間を要する。

(iv) 索線に損傷を与えるおそれの多い作業がある。

ことなど検討を要する問題がある。

(2) 架線速度と架設実績

- 1) 金谷橋 上流側ケーブル架設中のNo.47～54サイクルのサイクルタイム及び架線速度の測定結果を表-4に示す。各平均速度はセンタースパン150m、サイドスパン40m及び35m計225mの水平長に対する所要時間から、その平均速度を求めたものである。

曳索速度としては、これらの値よりやや高くなるが、スピニング速度は90～100m/min、後進速度は130～140m/minであり、サグ調整時間を除く1サイクルの平均速度は約110m/minである。

表-4 架線サイクルタイムと平均速度(金谷橋)

ストランド No.		上 流 側					
サイクル No.		47	48	51	52	53	54
サイクルタイム (min-sec)		10-00	10-30	7-25	7-30	8-34	8-30
内 訳 サイクルタイム	前進 (m-s)	-	-	2-17	2-15	2-30	2-33
	サグ調整 (m-s)	-	-	3-28	-	4-20	4-22
	後進 (m-s)	-	-	1-40	-	1-44	1-35
前進 平均 速度 (m/min)	全 区 間	-	-	99	100	90	88
	リール側→リール側 アンカー→タワー	-	-	-	60	-	48
	リール側→センター タワー	-	-	-	113	-	100
	センター→対岸側 タワー	-	-	-	150	-	150
	対岸側→対岸側 タワー→アンカー	-	-	-	83	-	74
後進 平均 速度 (m/min)	全 区 間	-	-	135	-	130	142
	対岸側→対岸側 アンカー→タワー	-	-	-	-	-	140
	対岸側→センター タワー	-	-	-	-	-	132
	センター→リール側 タワー	-	-	-	-	-	172
	リール側→リール側 タワー→アンカー	-	-	-	-	-	120

注 1. サグ調整はスピニングホイール運行中は実施しない。

2. 平均速度は水平スパン長に対して求めたもの(40+150+35m)

- 2) 箱ヶ瀬橋 エアスピニングによる多ストランド形式としては初めて架設するもので、ストランドの配列及び調査時点での架設実績を図-7に示すが、ストランドを積重ねるNo.5~8ストランドの施工段階に至らなかったため、多ストランド架線上の問題点は指摘できなかった。

上流側ケーブル

下流側ケーブル



ストランドNo.	架 設 月 日	正味日数	時 間
1	42. 9. 3~9. 5	2	—
2	9. 6~9. 7	1. 5	—
3	9. 8~9. 9	1. 5	—

図-7 ストランド架設順序と実績(箱ヶ瀬橋)

当初の計画では日当たり(約10時間)1ストランドの架設が考えられたが、No.1ストランド2日(約20時間)、No.2~3ストランドで1.5日(約15時間)要している。

ストランドNo.3、4架設中の一部のサイクルタイム及び平均速度の測定結果を表-5に示すが、サイクルタイムは13~18分とかなりばらつており、計画のサイクルタイム10分に対して大巾に増加している。これはサグ調整時間によるものと考えられるが、センタースパンで2分前後、サイドスパンで1~1.5分が平均のサグ調整所要時間であり、これ以上の時間短縮は望めないであろう。

表-5 架設サイクルタイムと平均速度(箱ヶ瀬橋)

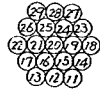
ストランド No.		3			4				
サイクル No.		38	39	40	5	7	12	13	14
サイクルタイム (min-sec)		13-53	14-00	12-58	18-35	17-58	18-14	18-37	17-22
サイクル内訳	前進 (m-s)	3-12	3-10	3-13	—	—	—	—	2-55
	後進 (m-s)	1-55	2-13	2-47	—	3-28	—	—	2-45
	サグ調整その他(m-s)	8-46	8-37	6-58	—	—	—	—	8-30
前進平均速度 (m/min)	全 区 間	107.2	108.3	106.6	—	—	—	—	112.6
	サイドスパン(左)	7.20	—	7.20	—	—	—	—	—
	タワー(左)→No.2トラム	111.6	—	12.47	151.4	99.4	—	—	—
	No.2トラム→センター		—	—	162.4	151.4	—	—	—
	センター→No.4トラム	181.7	—	17.67	17.67	167.4	—	—	—
	No.4トラム→タワー(右)	—	—	—	187.1	138.3	—	—	—
	サイドスパン(右)	80.4	—	71.3	—	84.0	—	—	—
後進平均速度 (m/min)	全 区 間	179.0	154.7	162.0	—	98.8	—	—	124.7
	サイドスパン(右)	114.5	—	—	—	113.6	—	—	—
	センタースパン	222.1	—	—	110.6	126.0	—	—	—
	サイドスパン(左)	156.9	—	—	63.0	65.8	—	—	—

注 平均速度はワイヤ長に対して求めたもの(センタースパン212m, 左サイド68m, 右サイド63m)

スピニング速度及び後進速度は表-5にみられるように、それぞれ110m/分及び150m/分であり、サグ調整時間を除く1サイクルの平均速度は約110～120m/分となっている。金谷橋の場合よりやや平均速度が早く上がっているが、機械装置は殆ど同じものが使用されており、平均速度の上昇は各スパン長が長くなったことによるものと考えられる。

3) 金比羅橋 ストランドの架設順序とその実績を図-8に示す。

図-8 ストランドの架設順序と実績(金比羅橋)

	上流側ケーブル	下流側ケーブル
		
架設日	上流側ケーブル	下流側ケーブル
2.3		(1)
2.4		(2)
2.5		(3)(4)
2.6		(5)(6)
2.7		(7)
2.8		(8)(9)(10)
2.9	(1)(2)	
2.10	(3)(4)(5)	
2.11	(6)(7)(8)	
2.12	(9)(10)(11)	
2.13	(12)(3)(4)	
2.14	(5)(6)(7)	
2.15	(8)(9)	
2.19		(11)(2)
2.21		(3)(4)(5)(6)
2.22		(7)(8)(9)

ストランドの架設方法については前述のとおり、かなり問題があるが、B方式によるNo.5ストランドの架設時間と架設作業内容は次のとおりである。

(i) 左岸サイドスパン引出し時間(t_1) 35分

(リールスタンドよりストランド引出し、引出しワイヤにストランド緊結、No.1ウインチによる引出し、ガイドローラに移し替え、ケーブルクレーンにストランド掛替え、ワイヤ自重による人力繰り出し約40m、プレーキワイヤにストランドをクリップする)

(ii) センタースパン引出し時間(t_2) 1時間15分

(プレーキワイヤクリップ、同取外し、ストランドの引出し(1回23m)、ケーブルクレーン横行の各作業の繰返し、左岸側ソケットの取付)

(iii) 右岸サイドスパン引出し時間(t_3) 46分

(右岸ガイドローラへの移し替え、No.2ウインチにストランド掛替え、No.2ウインチによる引出し、右岸側ソケットの取付)

(iii) サグ調整時間 (t_4)

1時間17分

(ガイドワイヤによるストランドサグの調整、サドルへの移し替え、再調整)

(iv) 合計時間 ($t_1 + t_2 + t_3 + t_4 =$)

3時間53分

ストランドの引出し作業は、上記のとおり連続的な作業ではないが、センタースパン水平長175mに対してストランドの引出し作業に75分要しており、これから平均的な引出し速度を求めると $175 / 75 = 2.3 \text{ m/min}$ となる。

架設開始当初は日当たり1~2ストランドの架設速度であったが、図-8にみられるようにNo.12~13ストランドから日当たり3~4ストランドと作業に慣れるにしたがって向上しており、架設方法の改良検討が加えられるとさらに架設速度の向上は期待できる。

ここで、エアスピニング工法とプレハブストランド工法による架設速度を比較するために、エアスピニングの場合は素線サグ調整作業を含む平均のサイクルタイムと全ワイヤ長から、その平均架設速度を求め、一方プレハブストランドの場合は、1ストランドの架設時間をエアスピニング工法によるサイクルタイムに直して、全ワイヤ長に対する平均架設速度を求めると

(i) エアスピニングの場合(箱ヶ瀬橋)

ワイヤ長 $342.9 \text{ m} \times 2 = 685.8 \text{ m}$ 、サイクルタイム 15.5分

架設速度 $V_A = 685.8 / 15.5 = 44.2 \text{ m/min}$

(ii) プレハブストランドの場合(金比羅橋)

ワイヤ長 $240 \text{ m} \times 2 = 480 \text{ m}$ 、サイクルタイム 25.3分

架設速度 $V_P = 480 / 25.3 = 19.0 \text{ m/min}$

となり、エアスピニングの場合がかなり速いという結果がでている。プレハブストランドの場合、作業が順調に進んでいるNo.12ストランド以降も、その平均速度は 24.6 m/min 前後であり、スピニング工法による架設速度が大である。

これらの原因としては、プレハブストランド工法の場合前述のとおり架設方法に問題があることや作業に慣れていないことなど、プレハブストランドの利点が十分に活かされていないことが考えられる。

(3) 架線状況

- 1) 金谷橋 スベニング後の素線のばらつきは、センタースパンで2 Dを基準として上流側41本、下流側38本の切継を行なっている。さらにサイドスパンでは3 Dを基準として上流側11本、下流側6本の切継が行なわれた。スクイジング前のストランドの形状は縦長で長径230mmの楕円となった。架線中の状況を写真50～52に示す。
- 2) 箱ヶ瀬橋 架設調査を行なったNo.1、2ストランドのストランド形状を図9に示すが、素線のばらつきは小さく、切継を要した素線数もNo.1ストランド5本（うち2 Dを出たもの2本）、No.2ストランド4本、No.3ストランド1本であった。

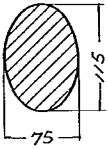
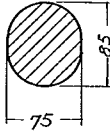
ストランドNo	2	1	1
場 所	センター	左岸側 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{8}$ 点	センター
作業状態	架線調整後（仮止）	仮バンド後	仮バンド後
形状寸法			

図-9 ストランド形状（箱ヶ瀬橋）

これには金谷橋の場合に、長大吊橋でのサグのばらつきの許容範囲といわれる2 D～3 Dの範囲に、全素線が入るように調整したところスクイジング作業後にも素線にたわみ（ふくらみ）が残ったことから、箱ヶ瀬橋ではサグのばらつきの範囲をきびしくしたことになるものと考えられる。箱ヶ瀬橋におけるサグ調整作業の基準は図-10に示すとおり、ストランド径を上下方向に6等分し、各層中心位置から±4.6mm以内としたものである。

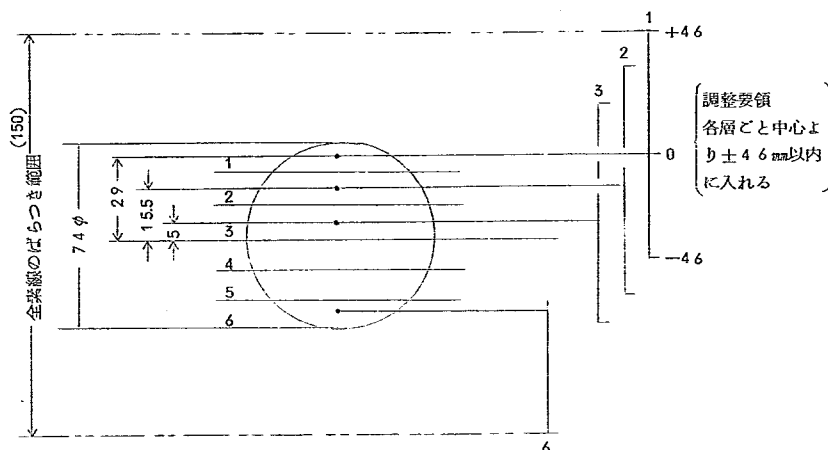


図-10 素線サグ調整の規準(箱ヶ瀬橋)

しかし、仮バンド後の素線は必ずしも平行な状態ではなく、写真-53、54にみられるように素線が交錯した部分や素線がたわみとび出している部分もみられた。架線中の素線の配列状況を写真-55～57に示す。

3) 金比羅橋

- (I) サグ調整 ストランドのサグ調整は前後3回行なっている。第1回はストランドを引出し架設したのち、ガイドローラに乗せた状態で、あらかじめ張り渡されたガイドワイヤを規準として行ない、2回目は塔頂サドルにストランドを移したのち、地上に設置したトランシットにより行なう。3回目は全ストランド架設後、トランシットによる再調整を行なっている。

これらは本例が多分に実験的なものであり、慎重を期したことや風の影響による手戻りのなものも考えられる。

このほかストランドサグ調整作業上の問題点としては

- イ) 素線数が少ない(37本)こともあり、単ストランドの場合特に温度管理、補正は行っていない。
- ロ) ガイドローラ上で行なうサグ調整は、その後にストランドをサドルに移し替えた状態でサグが変わるので、余り意味がなかった。
- ハ) ストランドをサドルに積重ねた状態では、対象ストランド以外にも影響し共ずれが起きることや全ストランド架設後の再調整はワイヤの自重によって

サドル上で締付けられ、下層のストランドが動きにくく、調整が充分にできなかった。

- 二) ストランド製作時に、サグ調整を行なうための各サドル位置やケーブルハンガ取付位置などを地上で測長し、そのマーキングが工場で行なわれるが、その工場マーキングは殆んど利用されなかった。

ことなどがあげられよう。

ストランド架設後のケーブル形状は縦長の断面となりスパン中央で約 210×190 ㎜となった。

- (ii) サドルの断面形状とストランドの配列 サドル形状とストランドの配列は図-11(a)のように計画されたが、ストランドの形くずれを防ぐための対策が特にとられなかったのでサドル上で偏平につぶされ、順次配列されたストランドは同図(b)のようになり、計画どおりに配列できなかったようである。写真-58・59にストランド架設後のサドル上の素線の配列状況を示す。

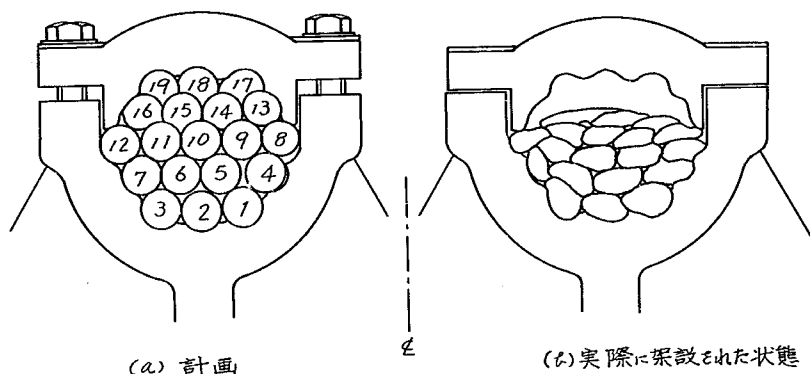


図-11 塔頂サドルとストランドの配列

- (iii) 素線のばらつき、ストランドのねじれ ストランドのサグ調整完了後にも写真-60に示すように素線のばらつきがみられるが、特にサイドスパン側に多く、右岸側で35本の素線にたわみがでている。これらの原因としては、ストランドが形くずれした状態でサドルに配列されること、同一素線長をもつストランドがサドルで曲げられ長さに不均衡を生じることなどによるものと考えら

れる。

ストランドを引出す際のストランドのねじれ状態は各ストランドの着色された1本の素線を目印しとして調べられた。この結果、架設作業でねじれ防止の対策はとられていなかったが、殆んどのは90度以内におさまっているといわれる。なお、部分的なねじれ状態は詳細な測定を行なっていないので不明である。

(4) 作業人員と配置

各実橋施工上の作業員配置は表-2のとおりである。箱ヶ瀬橋の場合は当初計画の24名に対して、リールスタンド及び各主塔部で増加したものであるが、トラムウェイイベント部の減が考えられる以外は最低必要数であろう。

金比羅橋の例ではプレハブストランド形式であるから、作業員の一部が両主塔兼用の形で配置されているが、作業用足場を架設していないので、作業員の移動が円滑にいていないように思われた。

(5) 通信方式

架設作業中の機械の運転、サグ調整等各作業の指示連絡を行なう通信方式は表-2のとおりである。

エアスピニングによる架設作業では各作業ステーションの作業員が作業の進行状況を把握する必要があり、各作業ステーションを結ぶ並列の有線電話方式が用いられている。金谷橋の例では、有線電話系統以外にトランシーバ(ラウドスピーカを含む)による1系統が設けられていたが、直接作業には関係しないタイムスタディに使用されたものと思われる。

一方、プレハブストランドの架設が行なわれた金比羅橋では、サグ調整作業のみにトランシーバを用いた通信方式がとられた。ストランドの架設方法や架設規模にもよるが、作業の安全性の面からも、エアスピニング工法の場合と同様に各作業ステーション間に何らかの通信手段を設ける必要がある。

これまでの実験、施工例では有線(並列)電話方式に特に問題はなく、長大吊橋の場合も有線(並列)電話方式で充分と思われるが、その際電話1系統の単位としては曳索ループを単位としたものが考えられ、回線や切換へについての検討が必要

であろう。

(6) 架線中の風と作業性

架線作業中の風の影響を3実施例についてまとめたものが表一6である。これらの風はいずれもケーブル軸と直角な方向のものであり、ケーブル軸方向のものは資料がなく、その影響は不明である。

表一6 実橋施工例における風と作業性

作業場所	金谷橋	箱ヶ瀬橋	金比羅橋
風の程度(風速)	約10m/s	約10m/s	約15m/s(max 27m/s)
作業用足場	揺動少く 影響なし	上流側と下流側を横 梁で緊結し揺動を防 止。	
架線作業	影響なし	同 右	同 右
サグ調整作業	不 明	素線、ガイドワイヤと ともに揺動したため一 時作業を中断。	ガイドワイヤの揺動 により作業の中断、 手戻りもあり

エアスピニング工法による場合、10m/s前後の風ではスピニングホイールなど機械の運転には影響を受けないようであるが、箱ヶ瀬橋の例ではサグ調整時にガイドワイヤ、素線ともに上下方向に約20～30cm揺動したので、作業員から指揮者にもどりの有無を問合せる場面があり、作業が一時中断された。

金比羅橋の場合は15m/s(一時27m/s)の風でストランドの引出し作業が行なわれているが、前述のガイドワイヤ方式による第1回目のストランドサグの調整作業では、ガイドワイヤの揺れがひどく、結果的には手戻りになっており、この間に架設されたNo.1～No.4ストランドは調整作業が完了した翌日に再調整が行なわれている。

(7) 作業用足場(フットブリッジ)

架設された作業用足場の主な構造は表一2のとおりである。

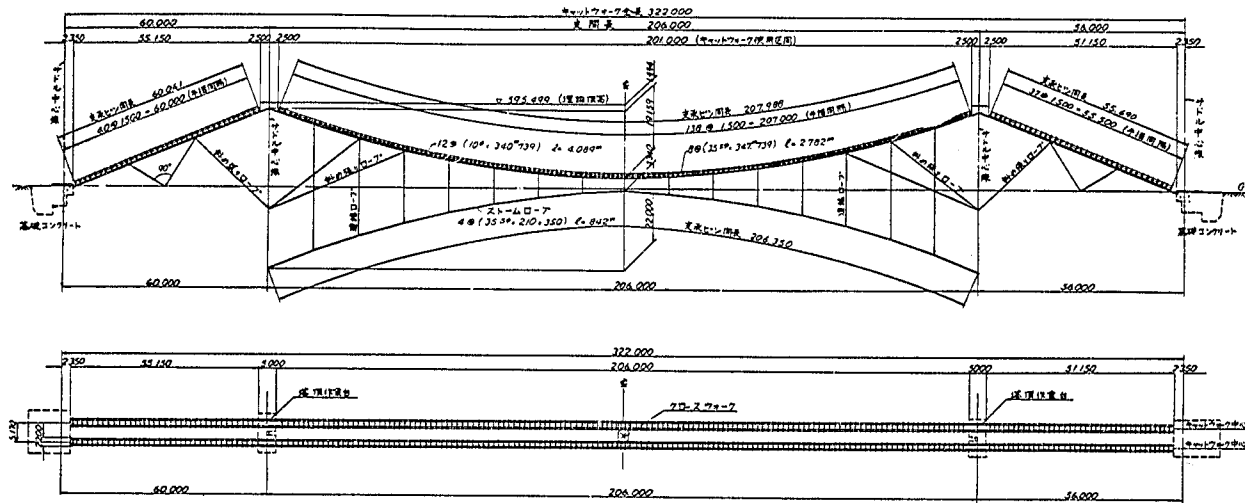
金谷橋の例では、床材に20番亀甲金網が、1m間隔に設けられた横梁材の上に張られていることから、写真一61にみられるように金網に剛性がなく、歩行性が

悪いことが構造上の問題となろう。現場の状況からストームケーブルを張るための固定場所には恵まれており、風(10m/s)による揺れは余り感じなかったが、主塔の構造上からも作業用足場の揺動を防ぐことができないので、サグ調整作業時には作業員の歩行は制限されている。

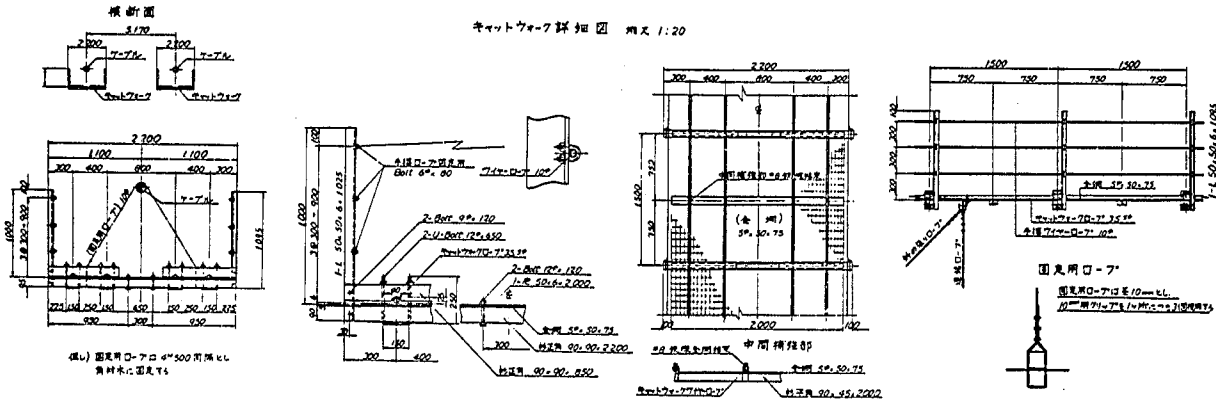
箱ヶ瀬橋では図-12に示すように、長大スパンに用いられる方式のストームケーブルが張られ、作業用足場の安定性についての実験が行なわれた。耐風安定性について当初計画では、中央径間のセンターにクロスウォーク1個所を設けて連絡路を確保するとともに揺動に対する安定が計られたが、架設段階ではさらに各トラムウェイイベント部に横梁材を仮締めして、上下流両足場を結び揺れを防止する対策がとられた。(写真-62)これらの結果、10m/s前後の風に対してはかなり安定していたが、索線サグ調整時には、主塔の構造の関係等から金谷橋の場合と同様に、作業員の歩行によってもスパン中央でのサグ測定が不能になるなどの状況がみられた。

なお、床材には5mmφ溶接金網が使用されており、金谷橋のものに比べて金網にかなり剛性があり、写真-63に示すように良好な足場が得られている。

図-12 キャットウォーク一般図



キャットウォーク詳細図 例尺 1:20



(8) 架設機械と運転状況

- 1) 金谷橋 曳索駆動装置は八幡製鉄・相模原での実験に使用されたもので、運転に特に問題はみられなかった。(写真-3)

リールブレーキの制御は、写真-64に示すようにリールスタンドに各1名のブレーキ操作員を配置し、素線平衡重錘を見ながら直接手動で行っており、自動化は試みられていない。

架線中のスピニングホイール、曳索及び素線ともに安定しており脱索等はなく、特に風(10~15m/Sによる影響)もあまりみられなかった。

装置の関係では、スピニングホイール及びストランドシューなど素線を扱う作業場所の高さに問題があり、例えば写真-65にみられるように曳索位置を現場合せするなどの手直しが行なわれている。

また、各作業台と作業用足場の取付部の段差が大きいことなど、架線作業手順や作業内容によって素線と作業台の相対高さの検討も必要と思われる。写真-66、67にストランドシュー及主塔上の作業台を示す。

- 2) 箱ヶ瀬橋 架設機械は金谷橋の施工に使用されたもので、表-2のとおり仕様に大きな相違はなかったが、リールブレーキの制御は油圧機構による遠隔集中制御方式を取り入れ、2リールを1名の操作員で手動によって操作されており、自動化はとり上げていない。写真-68に運転制御盤を示す。

架線中のスピニングホイール、曳索及び素線の安定性については、曳索が空荷時(後進)に№2トラムウェイベント部でしばしば脱索していたが、風や曳索速度によるものではなく、装置の欠陥によるものと思われる。

機械装置の問題としては次のようなことがあげられる。

- (i) 各作業台と作業用足場の取付部に段差があること。
- (ii) 曳索シーブ類の耐久性を増す試みとして、材料に鋳銅を使用し、焼入加工が施されたが、その結果曳索自身に異状とも云える摩耗が起きており、曳索の耐久性とシーブの摩耗(交換)の関係を検討する必要がある。
- (iii) サグ調整その他の作業に使用される小道具類は、素線張力が小さい(約40kg)こともあり特に問題はないが、長大吊橋を対象とする場合は素線張力が大きくなることなどから、新しく開発する必要もあろう。

3) 金比羅橋 プレハブストランドの架設が行なわれた本例では、前述のとおり架設方法にも問題があるが、架設用機械及び小道具類については特に専用機具は使用されていない。架設方法にも関連するが、ガイドローラからサドルにストランドを移し替えるための吊具、ストランドを引出すためのつかみ具、ストランドにブレーキをかけるためのクリップ方法及び金具、ソケットをアンカーバに取付けるための工法とその機具などの開発が必要である。

当初、主塔上に設けられたガイドローラは、写真-69に示すものであったが、ストランドの素線がくずれてガイドローラにからむなどの現象があり、写真-70に示すような巾広なガイドローラに改造されている。写真-71にソケットの取付け作業状況を示す。

(9) 現場継手

1) 箱ヶ瀬橋 現場継手にはプレス方式が用いられている。継手機械としては、写真-72、73に示すジャッキ式プレスと、写真-74に示すローラ式電動プレスの2種類の機械が使用された。

継線作業の要員は、ジャッキ式プレスによるもの7名、ローラ式プレスの場合は4名で編成されていたが、ジャッキ式のもので1～2名の減は可能と思われる。

継線所要時間の測定結果を表-7に示す。現場継手の作業性は余りよくない。特にジャッキ式プレスを使用したものには写真-75にみられるように、継手個所が曲っているものもみられた。

表-7 継線作業所要時間

(min-sec)

場 所	センタースパン		サイドスパン	
	ジャッキプレス	ローラプレス	ジャッキプレス	ローラプレス
作業員	7名	4名	7名	4名
1	7-45	5-10	7-30	4-30
2	7-30	4-20	5-10	
3	5-25	4-10	5-00	
4	5-00	4-10		

- 2) 金比羅橋 現場継手としてはねじ継手方式が予定されていたが、継手の信頼性の問題から、これらの継手方式による実験を行ない、実験結果によって可否を決定するという段階であり、調査時点では現場継手は行なわれていなかった。

切継作業はケーブルに全死荷重を掛けたのち、ばらついた素線のうち必要なもの（本数未定）について実施する予定といわれるが、全素線数1,406本に対して前述の35本の場合でも約2%であり、切継を行なわなくても強度的には問題がないと考えているようである。

(10) ケーブルのスクイジング、ラッピング

- 1) 金谷橋 ケーブルのスクイジング及びラッピング作業状況は資料がなく不明である。

本例の場合、素線のばらつきの範囲を長大吊橋でいわれる2D～3Dとして作業が行なわれているが、スクイジング後にこれら素線のばらつきはケーブルのふくらみとなって現われている。

スクイジング後の断面は、114mmφの計画断面に対して、ケーブルハンガ部では116×118mmの横長となり、各ケーブルハンガの中間部では逆に126×124mmの縦長の断面となっている。

- 2) 箱ヶ瀬橋 素線のばらつきの範囲は、金谷橋の経験から前述のとおり、かなりきびしくしている。

この結果、スクイジング後の断面にふくらみも起らず、真円に近い断面が得られている。

ケーブルのラッピングは、補構トラスの組立、床版の舗装ののち、交通開放後の43年5月に行なわれた。

ラッピング作業及びラッピング機械の概要を示すと次のとおりである。

- | | |
|-----------------|--------|
| (i) ラッピングワイヤ径 | 2.3mmφ |
| (ii) 作業員 | 6名 |
| (iii) 機械使用台数 | 2名 |
| (iv) ラッピング機械の仕様 | |
| (1) 電動機出力 | 0.4kw |

(ロ) ボビン数	2 個
(ハ) 本体回転速度	2 7.2 rpm
(ニ) ラッピングワイヤ張力	5 0 Kg
(ホ) 送り送度	0.1 2 m/min
(ヘ) 重 量	7 0 Kg (本体)

ラッピング作業はケーブルバンドスパン (6 m) ごとに次のような作業手順で行なわれる。

- (i) ケーブルバンド内側に手巻きにより 2 ～ 3 巻分巻込む。
- (ii) № 1 機械でスパン中央まで (3 m) 機械巻き。
- (iii) № 1 機械からボビンを外し、№ 2 機械につけ替えたのち、残りの半スパン分 3 m を機械巻きする。
- (iv) № 2 機械巻き終り部分のワイヤを熔接止めしたのち、巻き残し部分 (1 5 ～ 2 0 mm) を手巻きし、ケーブルバンド内に巻込み端末をケーブルバンドに熔接付けする。

同一スパン (ケーブルバンドスパン) 内で № 1 機械から № 2 機械に段取替する理由は、図 - 1 3 に示すようにラッピング機械の構造上から、ケーブルバンド前後が機械巻きできないことによるもので、ボビン回転体からガイドローラ間約 5 0 cm が巻残りとなる。したがって、№ 1 機械では図から後退姿勢による作業を行なうとすれば、№ 2 機械は取付け方向を逆にして、№ 1 機械のボビンのワイヤを切らないで、№ 2 機械につけ替えて前進姿勢による作業を行ない、機械による巻残しを少なくする方法がとられたものである。

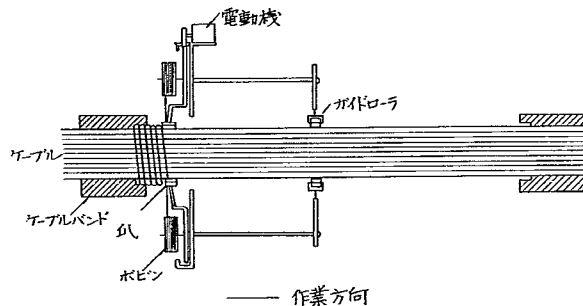


図 - 1 3 ラッピング作業

ラッピング速度は、機械の能力 7.5 m/h に対して、 4.5 m/h 前後といわれる。これらは前述のように手巻き部分があること、機械の段取替による作業能率の低下などによるものと思われる。

ラッピング後のケーブルの形状には

- (i) スプレイスドルの断面の関係から、スプレイスドルからかなりの長さにわたって、円形断面とならずバットをそう入して断面を補正しているが、かなりの不同がある。

- (ii) 表面に出ている継手箇所、素線の交錯あるいは素線のたわみ部分では、ラッピング表面にかなり凹凸ができており、特に継手部分では隙も生じている。などの部分もみられ、これらのケーブルに対する影響とともに、スクイジング作業の方法手順、またラッピングワイヤ張力等の検討も必要と思われる。

なお、スクイジング後の仮バンドはラッピング前に取外されている。

このほか、ラッピング作業上の問題として

- (i) 巻残しを少なくするための機構の開発が必要である。

本例にみられるように、ケーブルバンド前後、短スパンの場合などに、手巻き部分が多いことまた同一スパン内を2台以上の機械で作業しなければならない。

- (ii) ワイヤラッピングの作業基準の検討。

ラッピング機械の送り機構にも関連するが、箱ヶ瀬橋の場合、巻込んだラッピングワイヤに隙が生じている部分もみられた。許容されるワイヤ間隙及びその検査方法の検討も必要と思われる。

- (iii) ラッピングワイヤの端末処理方法の検討。

ラッピング機械による巻残し部分は、手巻き作業の前のワイヤのゆるみを防止するため、熔接止めされているが、ケーブル素線への影響も考えられる。同一スパン内でのラッピングワイヤの切継や部分的な熔接止めを要しない作業方法確立するとともにワイヤ端末の処理方法の検討が必要であろう。

写真-76～79にラッピング機械及び作業状況を示す。

- 3) 金比羅橋 本橋の場合、ケーブルラッピングを行なわないことにも関連して、スパン中央部ではスクイジングマシンを使用せず、直接ケーブルバンドによる締

付けが行なわれた。

また、ケーブルバンドの取付順序についても特に考慮していなかったこと、さらに作業用足場が設けられていないことから、スパン中央から主塔に向ってケーブルバンドの取付け作業が行なわれている。

この結果、主塔に近い20～30mの部分に、サグのばらつきによるふくらみ（たわみ）が生じ、一部のケーブルバンドを取外してこれらのたわみを逃し、さらにスクイジングマシンによる締付けを行なうなどの手戻りの作業が行なわれている。

ケーブルのふくらみは146mmφの計画断面に対して、主塔に近い30m部分で220×170mmの楕円断面となり、素線が2層に分けられた状態になったものである。

ケーブルバンド取付後のこれらの部分は、5mのケーブルバンド間隔の中間にやゝふくらみがみられる。

(11) リーリング

1) 金谷橋 写真-80に示すように、素線は工場リーリングされ、重量7.5tのドラムとして現場に搬入された。

2) 箱ヶ瀬橋 本橋の場合は現場リーリングが行なわれた。素線は重量400Kgの coilsとして現地に搬入し、1ドラム4.6tの巻取りを行なうもので、1ドラムに約10時間要している。リーリング機械及び作業状況を写真-81～-83に示す。

これら小規模の現場リーリングは設備の点で問題があり、特に素線 coilsの取扱いについて

(i) キンクを発生させるおそれがある。

(ii) 素線に損傷を与える。

などの作業状況もみうけられ、工場リーリングが望ましい。

3) 金比羅橋 工場製作されたケーブルストランドは、これまでのドラムリーリングに対して図-14に示す「8の字型リーリング」という方式がとられている。

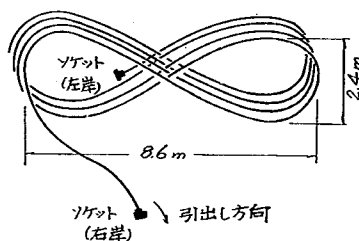


図-14 8の字型リーリング

このリーリング方式は、全長240mのストランドを約1mの半径で8の字型に巻込み、曲げによる素線の長さの差異を吸収させながらリーリングするものである。リーリングストランドの大きさは全長8.6m及び全巾2.4mで、1ストランド約1.5tの重量である。

このリーリングされたストランドは6ストランド分(1,440m、約9t)を1台のトレーラに積み込み、工場から架設地点まで運搬されている。

ストランドの引出しスタンドとなる左岸アンカーブロック上への荷卸しは、同ブロック上に設置したガイデリッククレーンと専用吊具によって6ストランド分を同時に積重ねられている。写真-84～87にストランドの積重ね状況及びストランドの状況を示す。

「8の字型リーリング」方式では、ドラム方式に比べて素線にキズがつき易いこと、架設方法によってはストランド自身にブレーキをかける必要もあるがドラム方式であれば容易であることなどの問題が考えられる。

3 問題点

(1) 気象条件と作業性、施工速度

エアスピニングによる平行線ケーブル架設作業について、これまでの外国の施工例から気象条件特に雨、風により大きな影響を受けることが指摘されているが、わが国の場合外国の例よりさらにきびしい条件が予想されている。風速何 m/s まで作業が可能かを見きわめることは施工計画に重要なことであり、これは実橋での経験により得る以外に方法はないと云えるが、これまでの中小橋施工例では風速 $10 \sim 15 m/s$ で特にサグ調整作業に影響が現われている。

実際にこれらの条件下で架設するためには施工速度の向上を計り、工期を短くして影響を少なくすることが考えられる。その一方法としては架線速度をあげることを考えなければならない。これまでの実験及び実橋施工例では表-8に示すような架線速度が得られている。

表-8 架設実験、実橋施工例におけるスピニング速度 (単位 m/min)

作業場所	土木研究所の架設実験		神戸製鋼受託実験	八幡製鉄実験	金谷橋	箱ヶ瀬橋
	第1回	第2回				
架設規模 (中央スパン長)	150 (m)	150 (m)	150 (m)	150 (m)	150 (m)	206 (m)
目標最高速度	320	320	378	180	180	(90) 180
平均速度	119	111	160~180	110~120	95	(80) 110
最高速度	152	156	372	180	180	192

注) () はサイドスパン

これらの結果はいずれも規模が小さく、工期も短かいので、長大吊橋の施工計画に直接応用することはできないが、実際の場合も風の影響としては風速 $10 \sim 15 m/s$ で現われ、サグ調整作業中心に影響を受けることが考えられる。

また、架線速度はこれまでの施工規模に対して、索線張力が大きくなること、スピニングホイールに加減速の制限を受けない、サグ調整作業が架線と併行して可能であることなどから大巾な向上が期待できるが、さらに架線速度向上のための検討が必要となるらう。

[2] 継線作業

これまでの実験及び実橋架設例についても現場継手の作業性が悪いこと、また信頼性の少いことが問題としてあげられる。信頼性のある作業方法の開発、作業性のよい継線機の開発とともに現場継手の検査方法の検討も必要であろう。

[3] 作業用足場（フートブリッジ）その他の仮設備

作業用足場に対する作業性向上のための試みもいくつかなされていたが、径間の違いや、風の問題等規模に大きな相違があり、実際の場合の問題は今後に残されている。作業性のよい、風に対しても安定した足場の架設方法、各作業ブロックの作業台の広さ、各作業台間の相対高さなどの検討が必要となろう。

[4] 架設機械と作業用小道具

実際のケーブル架設に使用する機械設備については架線速度の向上、運転制御、部品の耐久性及び保安設備など多くの検討すべき事項があげられる。

施工例で曳索シーブに焼入れ加工を行ない、耐久性の向上が試みられたが、曳索に異常とも云える摩耗がみられた例がある。リールブレーキ制御の自動化もその要否とともに実用化の検討が必要と思われる。

作業用小道具類についても施工例では実際の場合に比べて素線張力が小さく、実用のものとしては今後開発しなければならない。

[5] プレハブストランド形式の平行線ケーブル

プレハブストランドによるケーブル架設は、風などの気象条件にエアスピニング工法ほどの制限を受けない、工期を短縮できることなどから、新しい方法として開発研究が行なわれているものである。

金比羅橋の施工例では

(1) ストランド架設方法は小道具（クリップ）の問題から計画どおりの施工ができず、施工段階で変更されたが、これら架設方法、ストランドを移し変えるための吊具などの小道具の開発が必要である。

(2) サドル上のストランドの配列にあたって、実際にはストランドが偏平につぶされ、

配列も計画どおりにできなかった。さらにサドル部分でストランドに曲げを受けることから、素線長が変り素線にばらつきを生じている。これらの原因でサグ調整後にも素線の交錯しているものや素線がたわみストランドからとび出しているなどの例があり、サドルの形状、配列順序、作業手順の検討が必要であろう。

- (3) ストランドのサグ調整作業は、3段階で行なわれたが、工場マーキングは利用されていない。他のストランドケーブル架設に関する実験^{*}で、工場マーキングを最初に架設するストランドに利用し、以後のものは既設のストランドをガイドとした架設実験が行なわれているが、調整後の各ストランドのマーキングのずれは小さく、またセンタースパンのワイヤ長は殆んど変らないという結果がでている。

これらのことからストランド全部にマーキングする必要のないことも考えられ、合理的な作業方法の確立を計るとともにマーキングの要否も検討されよう。

- (4) ストランドからケーブルにまとめる作業で素線のばらつきによる手戻りを生じた。これはサドルでの形くずれ及び曲げによる素線のばらつきやストランドサグのばらつきによるものが原因となっており、これら各素線のばらつきを少なくするための検討とともにスクイジング及びラッピングの作業手順を検討しなければならない。
- (5) ストランドのリーリングに「8の字型リーリング」方式が使われているが、素線に損傷を与え易いこと、架設工法の問題とともに長径間になると積重ね層数が多くなり型くずれや取扱いが困難になるなどの問題があるのではないか。

などの問題が考えられる。長大吊橋の場合はストランドの工場製作、運搬などの問題があり、さらに作業手順についての検討が必要と思われる。

[6] リーリング、架線時の素線の取扱い上の問題

平行線ケーブルに使用される素線としては、強度と耐久性から種々の検討が加えられているが、防錆その他の目的で銅線に亜鉛メッキが施され、素線製造工程の重要なチェックポイントとして、その品質が管理される。

これまでの施工例で現場リーリング作業やプレハブストランドの架設作業時の素線の取扱い上から、キンクや亜鉛メッキ部分にかなりキズをつけるおそれのある作業状況もみられた。これらを解決するには機械設備の検討とともに、作業上の管理も必要

^{*} プレハブパレル・ワイヤ・ストランドの実橋大架設実験 八幡製鉄(株)、(株)神戸製鋼所 42-8

と思われる。

エアスピニング、プレハブストランド両方式ともに、架設方法に全自動化は望めないから、人手による作業も多く、管理する基準によっては作業速度にも影響を与えよう。

したがって、これら問題となる素線のキズ発生防止のための作業基準、キズの判定方法さらには除去の基準等の検討も必要と考えられる。

4 あとがき

平行線ケーブル架設技術に関する調査は昭和36年度より始められ、外国の施工例の調査から、基礎的な模型実験、小規模ながらエアスピニングによる実橋施工、さらにプレハブストランド形式による実橋架設と長大吊橋への一段階に進んだと云えるが、まだまだ解決しなければならない問題点が多い。

平行線ケーブルによる吊橋の架設技術は特に新しいものではないが、わが国の場合気象条件特に台風や季節風の影響など諸外国に比べて、きびしい条件とも考えられており、理論の解析、基礎実験とともに中規模段階での今後の架設技術の積上げによって、長大吊橋の場合の問題点を整理、解明していくことが必要であろう。

おわりに、本調査に御指導、御協力頂いた電源開発㈱、八幡製鉄㈱、㈱神戸製鋼所、水資源公団下久保ダム建設所ならびに日本鋼管㈱の関係各位に厚く感謝するものであります。

参考文献

土木研究所：平行線ケーブル架設調査（平行線ケーブル架設法の現状と問題点）

土木研究所資料第281号 昭42-4

八幡製鉄㈱：金谷橋平行線ケーブルスピニング 昭41-10

八幡製鉄㈱：箱ヶ瀬橋工事概要（平行線ケーブルを使った吊橋） 昭42-8

㈱神戸製鋼所：神戸製鋼技報Vol. 18 昭43-4

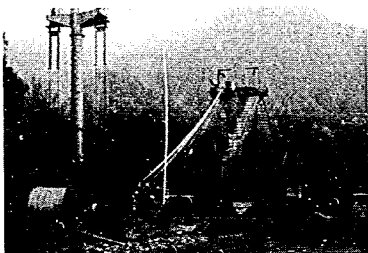


写真-1 金谷橋ケーブル架設装置全景

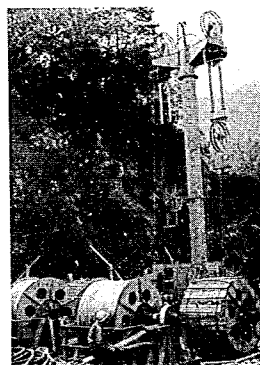


写真-2 リールスタンド及素線平衡塔

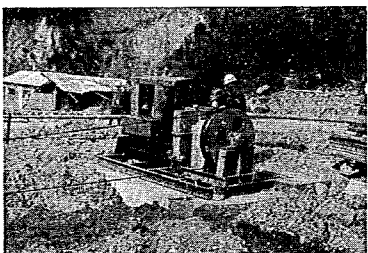
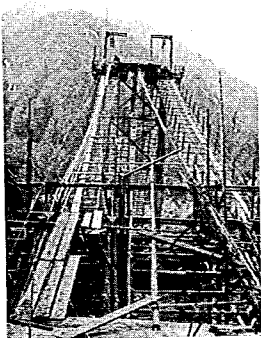


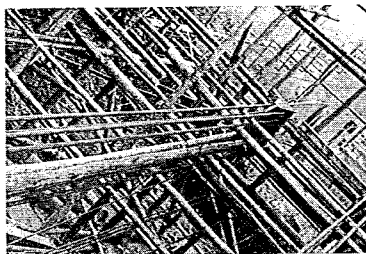
写真-3 曳索駆動装置



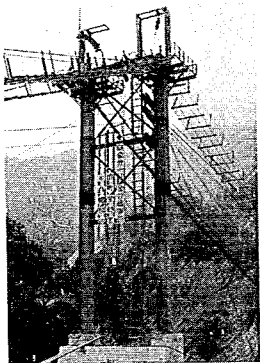
写真-4 右岸側アンカーとストランドシュー



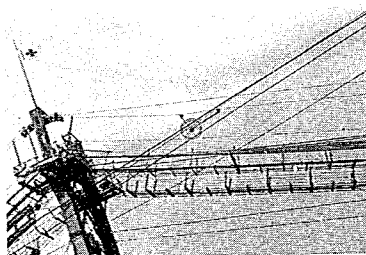
写真一五 右岸側サイドスパン



写真一六 スtrandシューの取付状況



写真一七 右岸側主塔



写真一八 架線中のスピニングホイール



写真-9 中央径間各トラムウェイベント

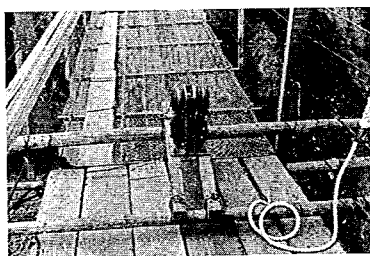


写真-10 トラムウェイベント部の素線ガイドローラ

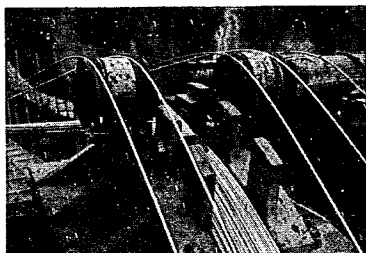


写真-11 塔頂サドルと素線ガイドローラ



写真-12 左岸側アンカー部



写真-13 箱ヶ瀬橋架設現場全景

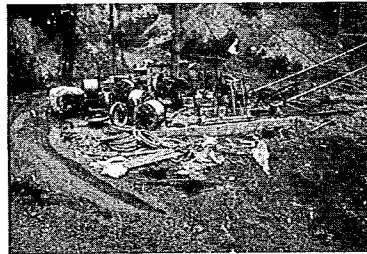


写真-14 左岸側リーリスタンド及び現場
リーリング場



写真-15 左岸側サイドスパン

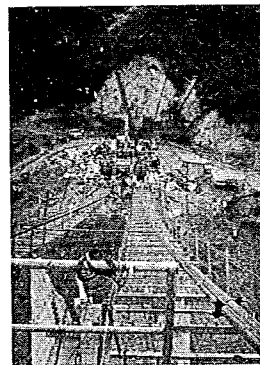


写真-16 左岸側サイドスパン

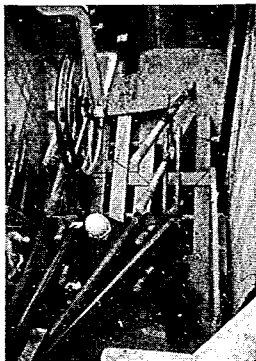


写真-17 左岸側アンカー

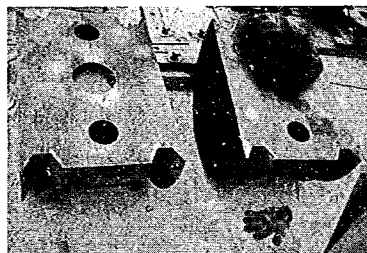


写真-18 スtrandシュー

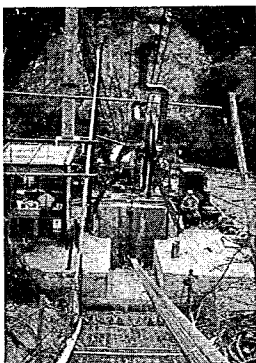


写真-19 ギャロフレーム
(スプレイサドル)

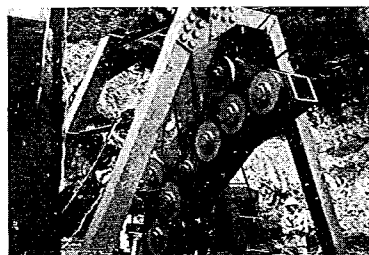


写真-20 曳索ガイドローラ



写真-2 1 スプレイスドル



写真-2 2 塔頂曳索ガイドローラ及び塔頂サドル



写真-2 3 スピーニングホール
(2車式)



写真-2 4 右岸アンカー及びサイドスパン

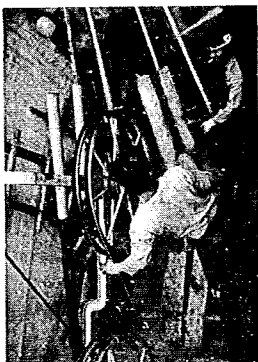


写真-25 左岸アンカーで素線ループをスピニングホイールに掛ける作業

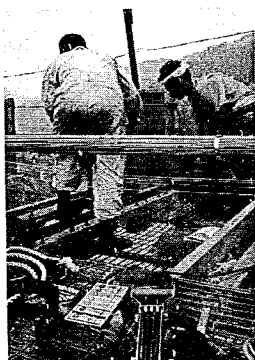


写真-27 活素線をガイドローラに入れる作業

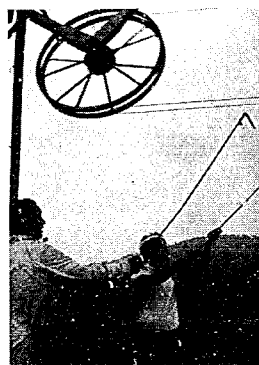


写真-26 活素線(素線ループの上側素線)をガイドローラに引き入れる作業



写真-28 センタースパン中央でのサグ測定状況

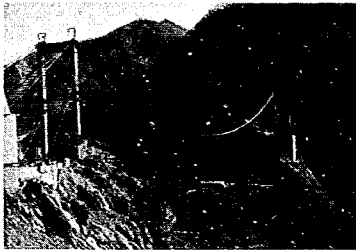


写真-29 ストランド架設中の金比羅橋

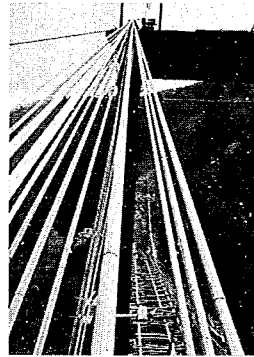


写真-30 左岸スパン、下流側
ケーブル

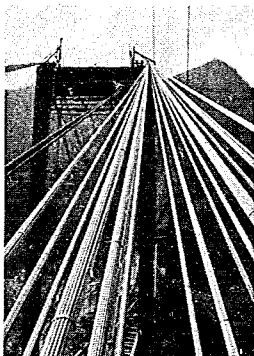


写真-31 左岸スパン、上流側
ケーブル

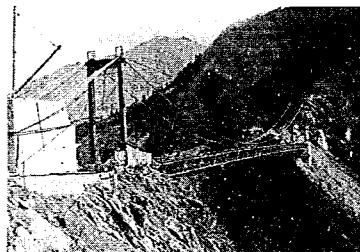


写真-32 ケーブル架設後の金比羅橋

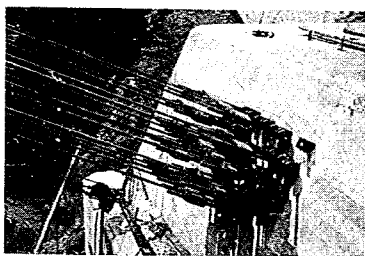


写真-33 左岸アンカーとストランドの取付状況

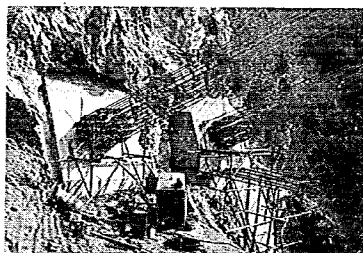


写真-34 右岸アンカーとストランドの取付状況

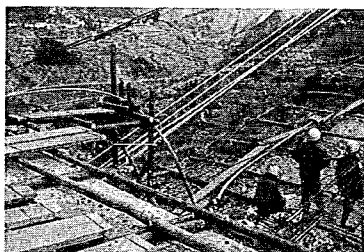


写真-35 ストランド及びソケットの人力による引出し状況(1)

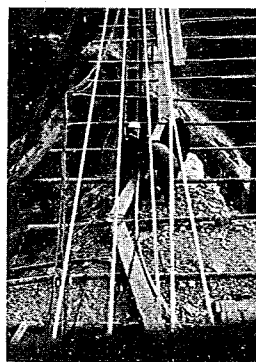


写真-36 No.1ウインチ引出しワイヤにストランドを緊結

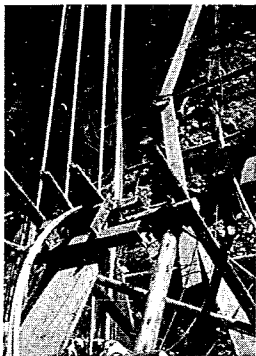


写真-37 引出しスタンドの
案内用三万ローラ



写真-39 ストランドの人力
による繰出し作業



写真-38 サイドスパンのストラ
ンド引出し状況(2)



写真-40 引出しスタンド上のス
トランドの型くずれ状況

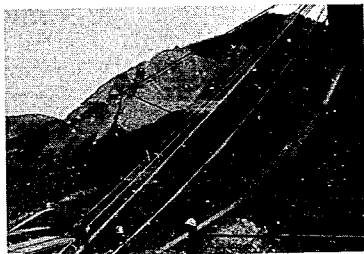


写真-4 1 サイドスパンのストランドの引出し状況(5)

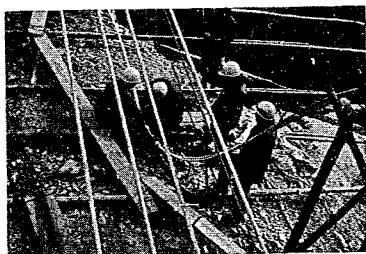


写真-4 3 ストランドのブレーキ用クリップ作業

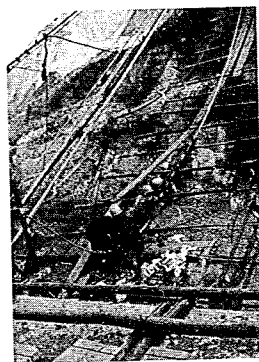
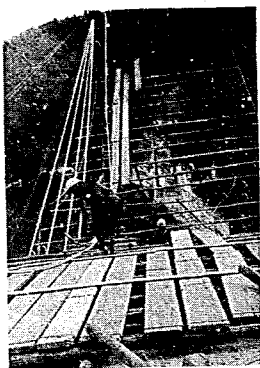


写真-4 2 ストランドの引出し
(センタースパンワイヤ自重による繰出し)
状況(4)



写真-4 4 ストランドの引出し作業(5)



写真一45 ストランドの引出し作業(6)



写真一46 ストランドのブレーキ用クリップの掛替え作業



写真一47 ソケット取付作業



写真一48 ストランドサグ調整作業

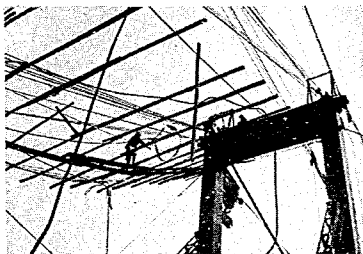


写真-49 引出されるストランド先端の状態



写真-50 ストランドシュの素線の配列状況

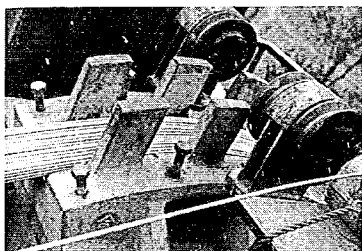


写真-51 主塔サドルの素線の配列状況

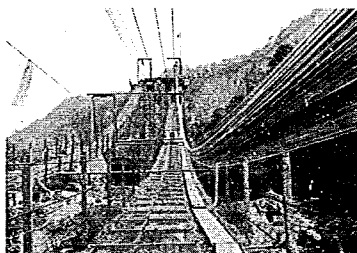


写真-52 スパン中央部の素線の状況

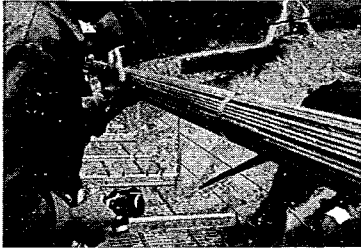


写真-53 仮バンド後の素線の交錯状況



写真-54 仮バンド後の素線の
ばらつき状況

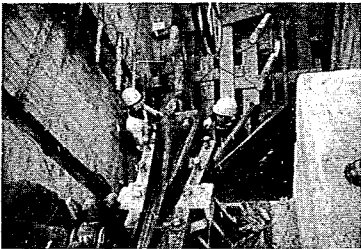


写真-55 アンカースパンの素線のばらつき
(架線中)



写真-56 スプレィサドルの素線の配列状況
(架線中)

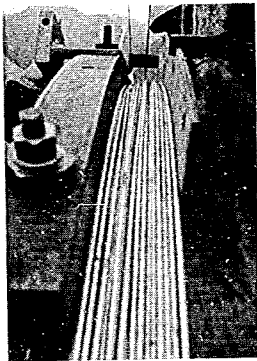


写真-57 主塔サドルの素線の
配列状況(架線中)

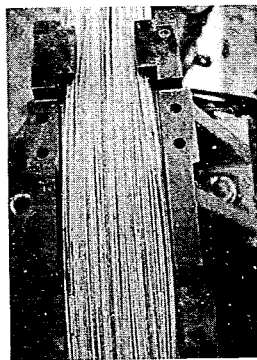


写真-58 サドル上の素線の
配列状況(1)



写真-59 サドル上の素線の
配列状況(2)

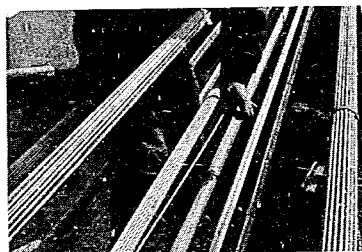
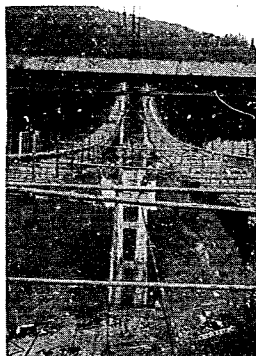


写真-60 スtrandサグ調整後の素線のば
らつき(左岸サイドスパン)



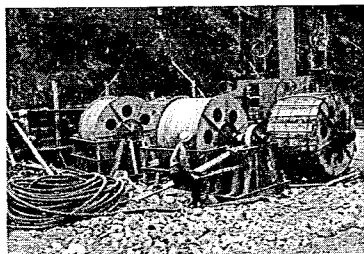
写真一61 金谷橋の作業用足場



写真一62 作業用足場と横梁材



写真一63 作業用足場の床金網



写真一64 リールブレーキ操作状況

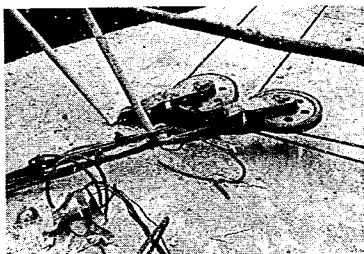


写真-65 曳索取付高の変更状況

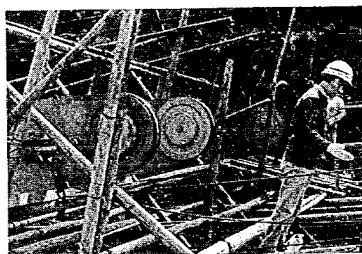


写真-66 ストランドショーの作業台

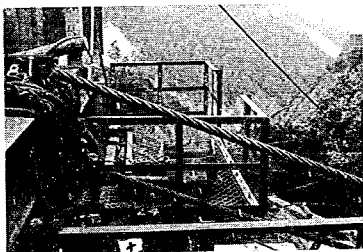


写真-67 主塔上の作業台



写真-68 運転制御盤



写真-69 ガイドローラ(1)

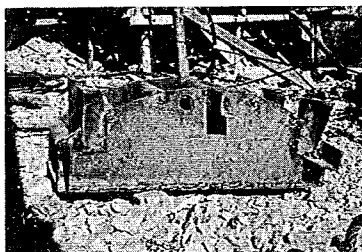


写真-70 ガイドローラ(2)



写真-71 ソケット取付け作業状況

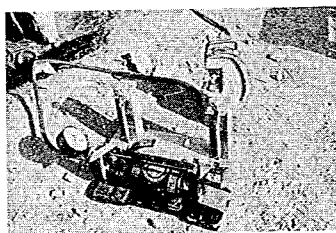


写真-72 ジャッキ式プレス(溶接機)



写真-7 3 プレス

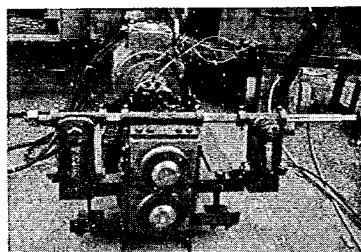


写真-7 4 ローラ式電動プレス

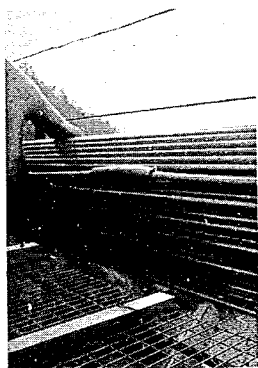


写真-7 5 ジャッキ式プレスに
よる縦線状況

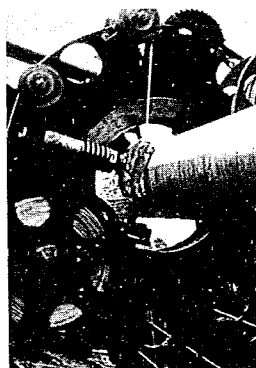


写真-7 6 ラッピングマシン



写真-77 ラッピング後のケーブル

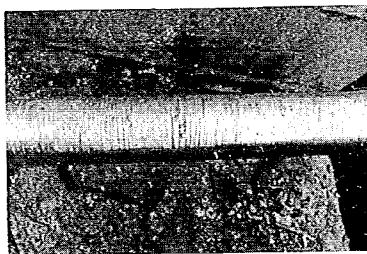


写真-78 ラッピングワイヤーの熔接状況

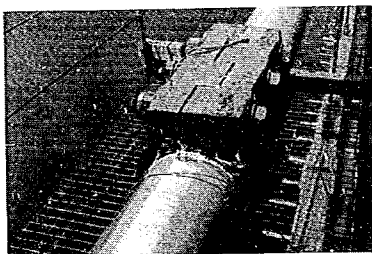


写真-79 ケーブルバンド部の機械の巻残し状況 (20mm)

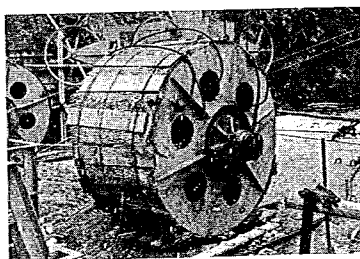


写真-80 工場リーリングされた素線 (金谷橋)



写真-81 現場リーリング(1)
コイルの扱い状況

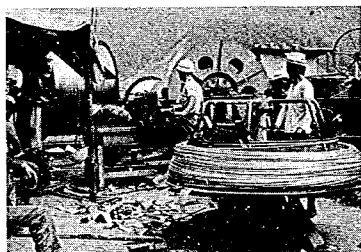


写真-82 現場リーリング(2)
リーリング機械及び作業状況



写真-83 現場リーリング(3) 素線の継線機

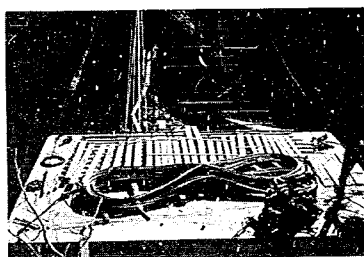


写真-84 積重ねられた「8の字リーリング」
ストランド



写真-85 ストランドの形くずれ状況



写真-86 ストランドソケット

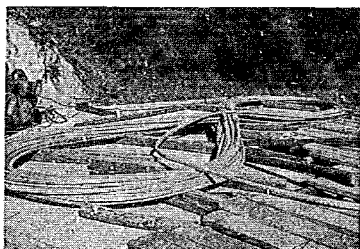


写真-87 ストランドの引出し状況