

土 木 研 究 所 資 料

第 2 8 1 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

昭和 42 年 4 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—平行線ケーブル架設法の現状と問題点

機 械 研 究 室

中 野 俊 次

目 次

1	まえがき	1 頁
2	昭和 39 年度～昭和 41 年度調査の経緯、概況	1
3	平行線ケーブル架設法に関する検討会	5
4	実橋調査	30
5	問題点	38
6	あとがき	39

正 誤 表

頁	誤	正	行 数
1 頁	調 差	調 査	下から 6 行
1 4 頁	東京精鋼	東京製鋼	上から 8 行
1 6 頁	側径門	側径間	下から 6 行
3 2 頁	横造	構造	上から 1 8 行
3 6 頁	(湧 索 線)	(活 索 線)	図 - 6

1. 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法については、昭和39年度以来調査が行われており、昭和40年度には千葉支所構内においてスパン150mの野外実験が行われた。

昭和41年度にはこれらの実験の結果を整理するとともに、国内の他の試験、研究の状況を調査し、さらに将来第二関門橋、本州四国連絡橋などスパン800m、1500m級に対応するケーブル架設法の開発のための一段階として、中小吊橋での実橋調査実施の計画などに参加した。

本報告書は昭和41年度末におけるわが国の平行線ケーブル架設法の現状と問題をまとめたものであり、今后長径間吊橋実施までに明かにすべき問題点としては、次のようなことが考えられる。

- (1) 気象条件（特に風の影響）と作業性の関連の解明
- (2) 同時に多ストランドの架線実施上の問題点の整理、解明
- (3) 信頼性ある継線作業の確立
- (4) ストランドをケーブルに完成する上での問題点の整理、確明
- (5) 作業性のよい仮設備（フートブリッジなど）の開発
- (6) 機械設備の実用化
- (7) プレハブの平行線ケーブルの検討

2. 昭和39年度～昭和41年度調査の経緯、概要

本州四国連絡架橋調査の一部として機械研究室においては、平行線ケーブル架設法について

- (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年度より実施している。

当初考えられた調査の進め方は

- (1) 文献調査、模型などによる原理、理論の調査研究
- (2) 20～30mの架設を行なう簡単な設備の開発
- (3) 100～150mの架設を行なう実用的な設備を開発し、工法、素線の性質などについての調査
- (4) 200～300mの実橋で試験施工を行ない、工法、手順の調査を行うとともに施工上の資

料(工程、費用)の入手

(5) 800~1,000 mの実橋を施工し、1,500 mの橋に対する資料を得るとともに工期短縮の方法などの調査

(6) 1,500 mの橋に対する施工

というように計画されていた。

この計画に基き昭和39年度には(1)の項、すなわち、架設の機構を把握するために実際に架線できる中央径間7.5 mの模型を製作するとともに、1,500 m級の吊橋を対象とし、索線の張力と曳索張力の関係を求め、曳索速度及び索線張力を外国の例より仮定し、曳索駆動設備の動力およびリール駆動機構についての概略試算を行った。

昭和40年度には(3)の項、すなわち、中央径間150 mの屋外実験設備を千葉支所構内に架設し、41年1月に5mmφの索線292本で構成されるストランドの架設実験を2回行った。

架設装置の開発については(株)神戸製鋼所においても進められており、同社の開発した架設装置の性能試験が同社より委託され、41年3月、千葉支所構内の架設試験設備に同社の架設装置を組合せ5mmφの索線292本で構成されるストランドの架設試験が行われた。委託試験の項目としては

- (1) 駆動系を自動化してワンマンコントロールを行う
 - (2) ウィンチ能力を増し、作業可能な最大速度をつかむ
- の2項であるが、このほかに神戸製鋼所としては
- (3) 架線作業手順、特にサグ調整法の研究
 - (4) 架線作業に必要な人員及び作業時間の研究
 - (5) キャットウォークの強度および作業性の研究
 - (6) 継線作業、シーリング作業の研究
 - (7) スピニングにおける問題点の抽出

などの調査を行っている。

41年1月および3月の2回にわたる土木研究所千葉支所構内における実験の結果より

- (1) 曳索速度は駆動装置の改良により最高速度として300m/min以上を期待しうる。
- (2) 曳索駆動装置の構造としては動力を伝達した状態で速度を変化しうる構造が望ましい。
- (3) 索線リールの駆動、制動の自動化についてはまだ問題点が残されている。
- (4) 1個所当りの索線サグ調整所要時間は手順、工具の改良により限界が求められ1~1.5 minを期待しうる。

などの点が明かにされた。

また、八幡製鉄(株)においては41年10月に長野県北安曇郡大谷村において平行線ケーブルを使用する中央径間150m、幅員3.6mの吊橋(金谷橋、施主:林野庁長野営林局)を架設することとなり、それに先立ち7月に神奈川県相模原市の同社建材開発研究室において

- (1) 平行線ケーブル架設装置の性能試験
- (2) 架線作業要領
- (3) 架線作業人員構成
- (4) キャットウォークの剛性および曳索緊張との関係
- (5) 円形サドルの場合の索線配列法
- (6) 平行線ケーブルの力学的特性
- (7) 平行線ケーブルのシーシング、ラッピング

などを解明することを目的とする実験を行っており、7月27日に実験が公開された。

以上の3実験の概要を表-1に示す。

これらの実験はいずれも中央径間150mで、実験場内の地上に設けられた試験設備での実験であり、また架設されたものもストランドであるなどの点で実際の長大吊橋の場合とは相当条件が異なると考えられる。実験場内での実験である程度基本的なことは解明されたとしても実際の施工上の問題は相当に残されており、将来800m、1,500m級の吊橋の架設に對しての問題点を明かにし、またこれをどのように解決していくかということは非常に重要なことであり、41年1月~7月の実験を基盤として、わが国で平行線ケーブル架設法の開発に関係していると考えられる財団法人日本橋梁建設協会、(株)神戸製鋼所、八幡製鉄(株)および建設省の関係者が集り

- (1) わが国の平行線ケーブル架設技術の現状
- (2) 今後進めるべき研究の方向

などについて技術的討論を行うための検討会が41年9月20日に行われ、将来実橋実施までに解決しなければならない問題点などが明かにされた。

中小吊橋の実施例としては、八幡製鉄(株)施工の金谷橋があり、41年10月に平行線ケーブルの架設を行っており、41年10月12日に見学会が開催された。

試験施工の計画としては上吉野川橋(高知県)を予定しており、第二関門、本州四国えのステッとして平行線ケーブルを採用し、また中小吊橋における平行線ケーブルの指針の作成にも役立つものと思われる。

表-1

平行線ケーブル架設実験の概要

			土 木 研 究 所 41年1月 於千葉	土 木 研 究 所 (株)神戸製鋼所委託 41年3月 於千葉	八 幡 製 鉄 (株) 41年7月 於相模原
実 験 設 備	形成される ストランド	中央径間 側径グ サグ 素線水平張力 素線線数 ストランド数	150m 20m 5m 1/30 5mmφ亜鉛メッキ鋼線 約 90kg 292本 1本	同 左 " " " " " "	150m 40m 15m 1/10 5mmφ亜鉛メッキ鋼線 約 30kg 432本および72本
		原呼称 動出力 機定格回転速度	三菱JH4ガンリン機関 定格40PS(JIS D1005準用) 2400rpm	神鋼造機 Z312ディーゼル機関 102PS(JIS B8014準用) 2,100rpm	いすゞDA220ディーゼル機関 定格40PS(JIS D1005適用) 1,400rpm
	曳索駆動装置	作業クラッチ	乾式単板足踏式	—	—
		変速装置および 逆転機構	すべりかみあい歯車式 前進 4段 後進 1段	トルクコンバータ 神鋼造機 SC-0.75 3要素 1段 逆転クラッチ付	トルクコンバータ 岡村 PM 1619T/C 4要素 1段 逆転クラッチ付
		減速装置	第一段減速 Vベルト 1段 終減速 平歯車 1段	遊星歯車	
	曳索速度および張力差		前進1速 47m/min 3,060kg 2速 93 " 1,550 (3速 190 " 760) (4速 320 " 450) 後進 46 " (註) 3,4速は実用不能	0~約 390m/min 0~約 3,100kg	0~150m/min
	リールブレーキ装置		操作員が重錘の動きを監視しながらブレーキを操作	素線緊張用のブレーキは素線平衡重錘の位置に応じて自動制御	ほぼ同左
実 験 お よ び 内 結 果	ストランド架線数 素線の性質 1回の架線素線数 作業員 期待されるサイクルタイム		2本 直線性 普通および良 各1種 4本 16人 9 min	1本 直線性 普通 1種 4本 23人 5 min	素線432本および72本 各1本 4本 16人 7 min

また、別に箱ヶ瀬橋（福井県）においても平行線ケーブルが採用され、42年8～9月頃にはケーブル架設が行われる予定である。

ブレハブの平行線ケーブルは、吊橋についてはまだ実施例はないが、本州四国の基礎試験工事のアンカー索としての使用例はあり、また最近は建築の吊構造に用いられている例もある。

3. 平行線ケーブル架設法に関する検討会

(1) 議 事 録

日 時 昭和41年9月20日 14時～18時

場 所 私学会館

議事次第 1. あいさつ 土木研究所長 14.00 ～ 14.15

2. 議 題

(1) わが国の平行線ケーブル架設技術の現状 14.15 ～ 15.30

(2) 今後進めるべき研究の方向 15.30 ～ 17.00

(3) その他 17.00 ～ 18.00

出席者 日本橋梁建設協会（横河工事） 田 中 五 郎

“ （日本橋梁） 久 末 達 雄

“ （横河工事） 池 田 肇

“ （日本鋼管） 若 井 純 雄

“ （東京鉄骨橋梁） 菅 原 正 一

“ （宮地鉄工所） 仙 台 剛

“ （浦賀重工業） 小 鮒 正 明

“ （トビー工業） 猪 爪 重 善

“ （松尾橋梁） 奥 谷 忠

“ （横河工事） 菊 野 日出男

“ （ “ ） 安 里 喜代秀

（株）神戸製鋼所 第一鉄鋼事業部開発部 肥 後 春 生

“ “ 中 島 保 彦

“ “ 渡 理 宙

八幡製鉄（株）建材開発部 石 井 靖 丸

“ “ 内 田 駿一郎

“ “ 杉 山 道 彦

八幡製鉄(株)	建材開発部	津山繁昭
建設省 道路局	道路企画課	田尻文宏
" 関東地建	道路部長	川崎偉志夫
" 近畿地建	道路計画課	黄瀬雅弘
" "	本州四国連絡道路 調査事務所長	相良正次
" "	本州四国連絡道路 調査事務所	松本克巳
" "	"	村上巳里
" 九州地建	北九州国道工事事務所	大橋昭光
" 土木研究所長		村上永一
(司会) " 土木研究所 企画室長		桑垣悦夫
" " 企画室		開沼貞夫
" " 機械施工部長		永盛峰雄
" " 構造橋梁部長		多田安夫
" " 橋梁研究室長		国広哲男
" " 橋梁研究室		佐伯彰一
" " "		大石潔
" " 機械研究室長		中野俊次
" " 機械研究室		鈴木隆
(記録) " " "		佐々木輝夫
(") " " "		渡辺勝男

- 配布資料 1. 平行線ケーブル架設調査(架設試験)土木研究所資料第189号 土木研究所
2. 平行線ケーブル架設試験(長大橋平行線ケーブルのスピンギ
装置に関する実験報告書) 土木研究所資料第193号 "
3. 平行線ケーブル架設試験報告書 (株)神戸製作所
4. 長大吊橋平行線ケーブルワイヤの2.3の問題について "
5. 長大吊橋平行線ケーブル用鋼線継手に関する開発経過およ
び実験報告集 "
6. Studies on the parallel wire cable of long
span suspension bridge "
7. 平行線ケーブルスピンギ実験概要 八幡製鉄(株)
8. 吊橋における平行線ケーブルの架設実験 "

議 事 概 要

(注 肩の*の番号は補足資料の番号を示す)

司会 (榮垣) ただいまから、平行線ケーブル架設法に関する検討会を開催いたします。はじめに土木研究所長より、あいさつをお願いいたします。

所長 最近、長大吊橋の計画が各所にあります。長大吊橋といえ、ケーブルの架設が問題となり、そのために平行線ケーブルが採用されます。平行線ケーブルはアメリカで発達し、ごく最近までアメリカ以外には用いられていない方法である。

本州四国連絡橋のような長大吊橋では、上部構造ではケーブル架設方法、下部構造では、水流が速く、深いところに大きな基礎を作るための工法、これらが施工上の問題点とされている。

平行線ケーブル架設方法について土木研究所においては、昨年以来2回の実験を行ない、また神戸製鋼、八幡製鉄各社でも独自の実験を行っており、これらから問題点の究明を行っているが、いずれも中央径間150m前後の実験であつた。将来300mないし1,500mのものについて、どのように研究を進めていくかということは非常に注目するところである。

これらいくつかの実験結果について検討を行ない充分技術的な面の掘下げをして頂ければ幸いである。

司会 議題に入り、議題1「我が国の平行線ケーブル架設技術の現状」については、土木研究所で本年1月及び3月に行つた実験結果の報告を土木研究所で、神戸製鋼、八幡製鉄各自の実験の状況を各社に願ひする。

議題2「今後の進めるべき研究の方向」については「本州四国」ならびに「第2関門」等で、どのような要求事項があるかという事を概略話して頂き、さらに神戸製鋼、八幡製鉄各社で開発されている面があれば話して頂きたいと思う。

議題3「その他」の項では平行線ケーブル架設に関しての全般の問題点の検討を、お願いする。

では、はじめに土木研究所の実験結果について機械研究室長から説明願ひます。

中野 資料1(平行線ケーブル架設調査—架設試験)について説明する。これは本年1月、土木研究所千葉支所構内で主径間150mの試験設備で実験したもので、施工手順、施工工費の積算の基礎資料を得ることを目的とした。実験は、橋建協の手で行なわれ、その際、土木研究所も所要の測定をし、所要のデータを得たものである。この実験については別

に橋建協から報告書^{*1}も出ているが、測定した範囲について説明する。

この実験に期待したものは機械設備の計算上どういうことに気を付けなければならないかという事、架線作業における作業手順を明らかにし、長径間における歩掛の基礎資料を得るということである。歩掛りについては別に計算しているが、発表の段階でないので、省略させて頂き、機械設備関係について、実験結果明らかにされた点について述べてみたい。

機械設備のうち曳索駆動装置は内燃機関に直結に自動車の変速機を用い、ウインチにつなぐ構造としたものであるが、負荷特性^{*2}の選び方に問題があり、資料1の27頁、図-4に示すとおり、変速段の途中の段階があくような設計になってしまった。したがって実験の時は慣性力が足りないから加速ができないのではないかと考えたが、2速と3速の間に全然運転不可能な点があり、途中で速度段を変えることができなかった。逆に云えば、加速するためには、クラッチを滑らさなければならないという事になる。クラッチが自動車のものであり、クラッチ容量が足りないということで、当初設備設計時には240m/minまで運転が可能ないように考えたが、結果的には速度のフクタの占める実験ができず、この実験結果としては、連続して負荷の掛った状態で速度交換のできるものが必要であるということが定性的に判っていたが、それをもう一度確認した訳である。それから加速度の状況についても、今述べたようにクラッチ容量などに問題があり、正確な測定はできなかったが、一応架線速度の測定ができたので、架線の抵抗からの所要動力の計算だけは可能となった。

次に曳索緊張重錘は、ストランドが1本であつたので、それ程、曳索張力のために重錘が上下動しないので、これの検討はむしろストランドの数、その他から現地的に直すという方法が適当と思われる。

スピニングホイールの連結金具で実験中折損事故を起したが、これらの実験設備を作る際に機能的に満足するような考慮は充分であつたが、設備の耐久性、その他に検討不足のところがあつたようであり、実際の場合には、これらの点も検討する必要があると思われる。

それから索線平衡用重錘塔では、ブレーキマンが見ながら調整したが、リールの抵抗などのバランスが悪くてストロークいっぱい使っている。この点について、人間でやるからストロークいっぱい使うのか、あるいは他の方法が良いのか、ということは、検討を要するところと思われる。

機械設備については以上で、次に作業性その他については、キャットウォークの剛性の問題、主塔の作業台の大きさ、サドルとの高さの問題などに、2.3の問題点がみられた。

サイクルタイム、基準作業の点については、先に述べたように曳索駆動装置の方に割合と時間の余裕があるので、追いかけられる作業が少ないことと、小道具その他の手配が充分でなかったこと、などから、作業に対する基準作業の数が非常に増えている。例えばワイヤを締め付ける場合には下にある工具を手で取ってきて、スパナでナットを弛めてまた締めて、工具を下に置くというように非常に基準作業数が増えたことから、各所の調整時間が増えているという点がみうけられた。

基準作業数を減らす専用工具を開発すれば、1ヶ所当り、90秒ないし、120秒の所要時間が、60秒ないし90秒に短縮できるようにも考えられる。1月の実験結果については以上である。

次に3月に神戸製鋼所の委託で実験を行つたが、当所の委託された範囲が、駆動系を自動化し、ワンマンコントロールを行なうことと、ウインチ能力を増し、作業可能な最大速度をつかむことの2点であつたので、当所では機械装置に関する検討の結果を述べる。

神戸製鋼所の曳索駆動装置は、ディーゼルエンジンの次にトルクコンバータが組合され、一応負荷の全域にわたり連続的な速度変換ができる機構になつている。この負荷特性^{※3}を図示したものが資料2(平行線ケーブル架設試験長大橋平行線ケーブルスピニング装置に関する実験報告書)の図-19である。図中、太い線でa、b、c、d、およびeと斜めに入っている線が、各エンジンスロットルを変えた場合、このウインチが示す負荷(張力差)一速度の曲線である。この曲線がなだらかに下つていることは負荷が多少変ると速度は相当変るということであるが、150m位の径間では、出発側と対岸側で摩擦抵抗が余り変わらないので、このような特性のものでも、速度コントロールは、できること、それからスロットルを変えることによつて非常に敏感に効くが、速度コントロールができることが明らかになつた。しかし、この敏感に変るという点と負荷の変動が考えられる長径間の場合の速度コントロールをどのようにするかということについては、エンジンとトルコンの容量選定の問題、それから希望する速度に設定するときの難易差ということについての検討が必要と考えられる。次に素線平衡用重錘の自動制御の問題についてであるが、制御用ピックアップの重錘の上下動の変位の方をみて、リールのブ

ブレーキ操作をする機構がよいのではないと思うが、この装置では位置によつてブレーキが掛かかっているの、上り側の位置でも下り側位置の場合にもブレーキが掛つたり、弛めたりしており、手動の場合と同じように全域を使つてゐるので、この程度のことであれば自動化した意味が余りないのではないかと考えられる。それから、リールの軸受の差が非常に敏感に効いており、左右のアンバランスが出ていたようで自動化する場合には、これら関連の機械設備全般にそれ相当の精度を上げなければならないと思つてゐる。

司会
中島

討論は後にまとめてやつて頂き、続いて神戸製鋼の実験報告をお願いする。

(資料3、P127~133について説明)

実験の結果、ウインチは実験に用いた型式で充分と思う。エンジン馬力についても予想した通りであつた。曳索ブレーキは曳索の走行抵抗がかなり大きいので、容量としては小さく、作動が除々に行なわれるものが良いと思う。

曳索駆動装置構成の機器に不具合の点はなかつたと思うが、ウインチの巻胴の溝をもう少し深くして、2胴とも同期駆動するのがより良いと思う。次にリール、リールスタンド、リールブレーキについての問題点はまず、ディスクとシユウの摩擦係数が初期に不ぞろいで左右の重錘の上下が均等に行なわれなかつた。これは摩擦係数のバラツキが少なくともリールは1秒間に約3回転するので、重錘の上下量としては大きくなるようで、この点改良を要すると思われる。ディスクブレーキ、ディスクの温度については問題ないと思う。また摩耗についても問題なかつたと思う。

リールスタンドについて実験では、リール、索線、フレームを合せると重量は6t位であるが、実験中にスタンド基礎が浮いており、危険が感じられた。実際の場合は充分に強度を検討する必要がある。それからリールの軸受は、ころがり軸受を使用し、良好なようであつたが、リールの交換を容易にするためには軸受関係の改造が望まれる。またリールとブレーキのカップリングも同様である。

次に重錘塔関係について、索線平衡重錘塔の高さは充分であつたと思うが、重錘塔緩衝シユウのスプリングのところは多少長くして、余裕を持たせた方が良いと思う。これは、停止の場合に重錘を下げてワイヤのテンションを下げているが、その時ワイヤが外れることがままあつたから、このようにすればワイヤの外れることが少なくなるのではないかと思う。

曳索重錘塔は、土木研究所の設備そのままを使つたが、実験の場合は各ストランドシ

ユーの高さに応じてベンドシーブを移動する必要があるので、この形式のものでは塔の高さを高くする必要がある。

実験では、曳索のプリテンションが行われなかつたので非常に伸びが生じており、これら曳索張力の調整にはウインチを使う方法もあるが、その場合はその都度張力を固定する必要があるので、実際の場合は曳索張力の調整にウインチ方式と重錘方式を併用するのが良いのではないかと考えている。

ギヤフレームについてはスピニングホイールが通過する時、曳索張力の変動が大きくなるので、曳索の損傷を防ぐためにも、この振動を少なくする必要があり、シーブ径、溝の形状あるいは配列についても検討を加える必要がある。

次に索線平衡用重錘の制御装置であるが、相当問題があつた。この装置は自動と手動の両方に使える構造であるが、実験では自動操作が殆んどであつた。自動制御方式では加速および低速運転時には問題がなかつたが、対岸側アンカにスピニングホイールが到着して索線の張力を下げるときの作動に問題があり、そのときのリールブレーキ開放の際は手動操作によつた。これについてはブレーキ関係について緊張用と停止用との油圧配管系統を別にすることも考えられる。また、実際の場合には停電や油圧系統の故障なども考えられ、これらの対策も検討を要するであろう。

次に曳索連結金物について、土研方式で折損事故があり構造を変えたが、さらに同一個所での繰返し疲労をさけるために、位置をずらせるようにすべきではないかと考えられる。さらに曳索については非常にクリープし、曳索張力は1.73tしか掛つていないが、700mmも伸びている。このワイヤについても構造を検討し、プリテンションしたものを使うべきではないかと思われる。

それからキャットウォークについて、ホースロードで使つたものと同じ形式のものを使つたが、作業し易かつたと思う。しかしキャットウォーク用のワイヤは非常に伸びの少ないIWRDをさらにプリテンションを掛けて使うべきであろう。実際の場合は後でハンガローブに使うなどの転用も考えられ、その構造も自然に定まるであろうが、実験の場合はワイヤが伸びて困つた。それから架設作業関係でサグ調整については、作業に慣れるに従つて、所要時間は一定になつたが、ワイヤの識別や連絡方法などが重要だろうと思う。

サグの調整について実験の結果バラツキが縦長の陥凹でなく横長の陥凹になつた。

次に作業工具で、ワイヤストツバは良好であつたが、レパーブロックは非常に作業が

やりにくかつたので、今後はギヤードモータ付の電動工具で微調整が簡単にできるものが望まれる。トッグは実際の場合も充分使えると思う。

継線作業では最初非常に時間がかかったが、慣れてくると大体7min位で、できたように思う。継線用プレスのヘッドについて、ヘッドの形状を加圧量で加減するのではなく、変形量を加減するように変えたところ、その方が良好であつた。

最後に作業員の訓練であるが、実験の場合も予行演習を行つており、比較的スムーズな作業ができたが、教育訓練ということは将来実際の橋の場合、相当多数の人が何交替かで作業を行なうものであり、重要なことと思われる。

(その他資料4.5.6について説明……………略)

司会 以上土木研究所および神戸製鋼で行つた実験は、土研の試験設備を使用し、土研の場合は2ストランド、神鋼の場合は1ストランドの実験結果である。

次に八幡製鉄の実験について説明願います。

内田 載荷試験中でデータもまとまつていないが…、試験設備は神奈川県相模原に作つた。諸元は中央スパンが、150m各サイドスパン40m計230m、塔の高さ15mサグ比 $1/10$ ストランドは112mmφのもの(素線数432本)、45mmφのもの(素線数72本)各1本、素線は5mmφ メッキ鋼線、架設速度150m/min、1回の架線本数4本、素線の水平張力約30kg、キャットウォークの幅1.5m継手は英国のものを使用した。

この装置の特色はサグ比が $1/10$ であること、素線の平衡塔が土研のものより少し違つている。またサグ調整装置を開発して、人員のさく減を計つた。

その結果はデータを解析検討中であり、またこの試験設備と同じ仕様で長野県金谷橋で架設を計画しており、現在そこでタワーの組立中で10月初旬に架設を始めるので、これらの実験をあわせて、レポート^{*4}にまとめる予定であるが、実験結果の概要を述べると、この装置の性能は架線速度が最高160m/minで予定どおりであつたこと、それから架線平均速度が80m/minであつた。また架線作業の確立がある程度でき、この作業配置計画を金谷橋にアプライする予定である。シーリングは資料B(吊橋における平行線ケーブルの架設実験)P5の写真のような治具を使い、空隙率19.7%の結果を得た。それからクランプのスベリ試験も実施中である。

司会 この半年に行われた実験は3件であるが、八幡ではサグ比 $1/10$ 、サグ15mであり、土研の場合はサグ比 $1/30$ 、サグ5mで、この点が違つている点である。さらにサグ調整装置が土研のものと構造的に違つており、いろいろと新しい面の検討が進められており

興味あることだと思う。八幡では金谷橋という実橋でやっているということですが、実橋での結果を我々の方にも、御指導頂けば幸いです。

以上概要は終わりましたが、土研での実験を橋建協で直接担当されたので、これまでの報告にあらわれていない御意見があれば、橋建協からお願いします。

菊野 ウインチについては中野さんの発言のとおりである。素線平衡重錘塔は、差しつかえなければ現場としてはできるだけ高くとりたいと思う。次に曳索の導輪の関係で、ストランドの位置と導輪との位置が少し離れていましたので、とてもやりづらかった。これは水平方向は問題とならないが、高さ方向ではできるだけすぐそばにもつてきたいと思う。曳索のクランプについては、再度中島さんからやりなおした結果もまずかつたということとで、2,3のタイプの試験をやつてみたいと思う。架線作業について、神戸製鋼の試験でもスピニングホイールの往復時間に作業工程が支配されているということで、サグ調整についてあまり変っていないと思う。ストランドのできあがり形状については2倍の直径を基準にしたが、実際はとび離れたものをカットしたのが現況である。空隙率が22%程度であり、八幡では19.8というデータが得られており、それがサグ比によるものか、その他によるものか研究したい。

空隙率は問題にしないで、むしろ真円にしたいと考えたが、その基準についても研究したい。ワイヤの直線性の異なつたものについて試験したが、経線作業以外については直線性のあるワイヤを選ぶ必要はなかつた。この実験については、ストランド1本毎実験が行なわれたのであるが、少なくとも3本以上のストランドを架設できる実験を今後実施したい。

司会 現在までの実験結果の報告について質問ありましたらどうぞ。

相良 1ストランドのバラツキの度合はどうか。……

ザグでも応力のバラツキでも良いが……

中野 第1回目のストランドについては上側8本、下側8本がバラツキついていたが、架線中と架設完了後のバラツキがちがつていました。

司会 ただ今のはサグ比についてですが、束ねるとき切縫をやりましたか。

中野 第1回目のもので中央径間、上側8本、下側8本をやりました。側径間での切つめについては経線作業のときドッグで引張るので、そのために中央径間に影響して引張られる状態もみられた。^{*5}

司会 1ストランド分(292本)について破断試験を行なわれたようですが、その概要について橋梁研究室からお願いします。

大石 架設試験後各ストランドより長さ4mのもの3本ずつ切断し、東京製鋼で実験した。始めは直線性の悪いワイヤのストランドの切断に当つて副木を用いながつたので切断中に曲がつてしまい、ふふぞろいになり、実験に失敗した。2回目の直線性の良いワイヤの切断に当つては副木を用いた。その試験結果は98%の効率を得たが、その効率とは、次のような仮定をしたものである。

このストランドには神戸製鋼と東京精鋼のものが半分ずつ入っているので、各メーカーの1本当りの強度の平均値に292本の各半分の本数をかけ、破断力とした。試験における破断力はストランドがある程度伸びて1ないし2本のワイヤが切れはじめる状態での最大の破断力を取り計算で求めた破断力に対する効率を求めた。その効率の求め方について次のような問題がある。

その一つは計算による破断力は各メーカーの平均値にワイヤ本数をかけたものである事、それからワイヤ自身にもバラツキがあり、この効率がストランドとしてのものか、それからワイヤのバラツキによるかはつきりしないことである。

中島 私どもの測定結果^{*6}について、シーシング前では高さ方向では2倍の直径(約180mm)以内に収まりましたが、横方向には相当ひろがりをもっており、シーシング後も横方向に太い形状となつた。それから引張破断試験では、ストランドシニューにまきつけた状態でしかもシニューの直径を450、600、750、900mmにかえて試験をしましたが、直径による影響はありませんでした。これは静的引張だから当然かと思えます。切断効率は97%ぐらいであつたが、それは片方を垂鉛によるソケット付をしたので、その点がまずかつたのではないかと思います。

相良 今の質問のねらいは設計上の問題としてシーシングやラッピングにバラツキによる影響があるか、ないかということですが、これらの影響についてはいかがですか。

津山 この件については、金谷橋の架設があり、検討がいそがれておりますが、先の実験での索線72本のストランドについて、そのサグ調整は3倍の直径以内にとどめて、応力一杯の載荷をし、その後のストランドの形状、クランプとクランプ間のワイヤのたるみ具合、その外、索線の応力の測定をし、また荷重をかけることによつてバラツキがどのように変化するかを調べましたが、だいたい良好な収斂性を示したようです。これはストランドの径が小さいものの結果であり、大きいものについて予測できませんが……

池田 金谷橋のメインケーブル索線432本の構成ですが、ストランド数はどうですか。

津山 432本の索線を1ストランド、1ケーブルとして施工します。

司会 今まで実験について報告して頂きまして、さらに金谷橋ではケーブル架設の計画があるようですが、現在までの試験を行なった時点においての意見は……。

仙台 土研での試験ではワイヤストッパーが完全でなく、サグ調整後もたるみがでたが、神鋼および八幡ではいかがでしたか。

津山 新しい構造でドッグとレバーブロックを兼ねたものを使用しましたが、リールブレーキの自動制御により架線したため、ワイヤ張力にむらがあり、クランプ自体がずり、調整後のサグの変化も生じたことがありました。架線中のワイヤ張力については張力計を用いるなどかなり気をつかいましたが、サグのバラツキは不安定であり、3倍の直径の中には89%しかは入りませんでした。これらはストッパー自身によるものか、サグが大きいためか、又は索線張力による死荷重が約30kgですが、これらによるものかはつきりしておりません。

司会 サグが違いますため、八幡の場合索線張力が30kg土研の約90kgであり、八幡で使われたサグ調整機構は調整量が少ないのではないかと思います。索線張力が小さいので大きな調整は手ではできないのでしょうか。土研の場合は索線張力が大きいのでストッパーとウインチを併用するかたちにならざるを得ないのではないかと。

津山 サグ調整機構のストロークは30cmとりました。これは自動制御がうまくいけば、調整量が少なくすむと考えたからです。実際はサグのバラツキが大きく検討を要すると思います。

司会 八幡の場合もテークアップタワーの自動制御は最高最低によられたと思いますが、これらの自動制御方式によつてキャットウォークの人手は少なくできないかと思いますが……。

池田 風とか温度にもよるのでオートマテックはむりではないか。

司会 議題(1)の予定時間がまいりましたが、以上で土研、神鋼、八幡の現状をご承知いただいたと思います。次に「今後の進めるべき研究方向」の議題にはいります。我々は大型模模型の実験を終り、将来の目標である「第2関門」「本州四国」などの大規模なものに向つていくのですが、はかに研究方法があるか、あるいは八幡のように実橋にとりかかった方がよいのか、ということになるかと思っています。ここで「本州四国」ならびに「第2関門」から来ておられるので、ご要望、意見を聞かせていただきたいと思います。

その後に神鋼ならびに八幡両社で現在の機械をさらに開発されている点がありましたら聞かせていただきたい。

相良 今までの実験でエアスピニングの原理や作業手順についてはある程度判つたと思いますが、実際の現場での作業でいちばん心配されるのは風の影響だと思います。これについて例えばベラザノナローズでは風速 10 m/s 以下では影響なく、 $10\sim 15\text{ m/s}$ ではだんだん影響がで、 15 m/s 以上では全然不可能であつたようで、もちろん雨の場合はだめであつたということです。それから瞬間 30 m/s 以上にもなると相当手もどりがあつたようです。ホースロード橋の場合でも瞬間 $22\sim 23\text{ m/s}$ で2、3回手もどりを受けているようです。本州四国の海上の風は充分つかまえてはおりませんが、 $10\sim 15\text{ m/s}$ の風が吹かない週は殆んどなく、瞬間 20 m/s の風は殆んど毎月あります。この辺が、施工の工程にどう影響するか心配である。スピニング作業もさることながらキャットウォークがもつかという事も心配である。それから実際には相当長いものであり、海上でもあつて温度の影響などが考えられると思いますが、これらは今後検討していただきたいと思います。次に規模が大きくなると台風はさけられないと思われます。これには施工はスピーディな作業が必要で、ダブルケーブルにした場合、同時に4本の架線ができるかということが問題であり、狭いケーブル間隔で同時にこのような作業ができるかどうか疑問です。それからセットバックをやらないでスピニングをしようと思うと特に初期にはセンタースパンとサイドスパンのケーブルの応力を変えないという事で、そのような調整ができるかどうかという事も問題です。

それからいろいろな調整については天候が悪いとか、風による横ぶれの場合にその調整方法をどのようにするか考える必要がある。そのほかスクイジング、ラッピングなどもありますが、今後検討していきたい。なお、もしエアスピニングが不可能な時は現場でパラレルワイヤを架設することも並行して考えていきたいと思います。

大橋 第2関門道路橋の計画は現在港湾との調整及び海底の地質の調査中ですが、昨年12月の橋の基本計画では中央径間 712 m 、側径間 178 m 、計 1068 m のスパン割及び全長で、4車線の道路橋であり、ケーブルは $3,800\sim 4,000\text{ ton}$ 、ケーブルの直径は 56 cm 、ストランドの数37本(スクイジング前のストランドの径、約 $100\text{ }^{\phi}\text{ mm}$)、ケーブル方式は現在、平行線ケーブルでエアスピニングを考えている。風では関門でも 15 m/s 以上の風がかなり心配されます。エアスピニングでは雨は非常に危険であり、気象関係の調査中である。それからエアスピニングの全工程のフルオートマテイツクはむり

にする必要はないと思う。

したがって雨、風を考えると外国の場合に比して良いとは考えられないので、天候の良い時に、3交代制をしき能率をあげる必要がある。そのため3倍の人員が必要で安全側に見積つて300人ぐらいの人員が必要と考えられる。そのためには人員の確保と教育の方法が心配になると思われる。これまでの実験でも問題になったようですが、機械の配置とか、施工段階における機械のリセットが出来るような方法で配置しておくことも重要であろう。曳索を引張る動力装置が大規模になるときの連絡はどうするかという検討も必要と思われる。閥門にかぎらず、人員の確保ができて、いろいろ実験の経験があつても、実橋架設時には、1ストランド分は実験用とする位に注意深くとり組む事が必要と考えられる。

○ 司会
中島

次に神鋼で開発されている点がありましたらお願いします。

先ほどのフルオートマティックの問題についてですが、実験時のタイムスタディの結果では、キャットウォーク上の作業員はかなりいそがしく、平均50%以上働いていることで、これらの作業のフルオートマティックは、むずかしいと思われます。それから風の影響ですが、これらの対策として、ワイヤテンションを一定とし、かなり高速で引張ることを考えており、少なくともワイヤテンション150kg 速度300m/min程度として脱索を防ぎたい。これ以外のもつと基本的な問題としてキャットウォークのストームケーブルの張り方が問題だと思う。

○ 次に開発事項^{*7}に触れますと現在スクイジングマシンを製作中で、600 ϕ mmのケーブルのものを実験できますが、11月にこの実験を予定している。次にケーブルバンドは600 ϕ mmを対象として鋳鋼1ヶ(重量800kg)で製作した。これはボルトの締付けが問題と考えられるが、11月中に締付けの実験を行なう予定である。次にラッピングマシンですが、テンションが一定になるようなものを製作中であり、11月中に実験を行なう予定です。この問題はケーブルバンドを越えることであり、現在、3つ割になるように考えている。エアスピニング以外の工法として、パラレルワイヤの工場製作についても検討しており、実験設備を製作した。これには定着が問題となりますが、実験測定での強度は100%でした。^{*8} それら防錆問題ですが、アメリカではプラスチックラッピングが使われておりまして、我々も各種のプラスチックラッピングについて暴露試験中であります。

司会

八幡での御意見は……。

津山 多ストランドについて実験的な事を進めたい。^{*9} そのほかラッピング、スタイジングについても今後進める予定である。

司会 以上で両事務所及び神鋼、八幡の説明を聞きましたが、橋建協の方ではいかがですか。

池田 橋建協では机上での調査ならびに検討中です。

司会 風の問題ですが、千葉で行なつた時はどの位の風がありましたか。

池田 最高18m/s 吹きました。

司会 その時、作業はやりましたか。

池田 架設調整をしていたのですが、あの時は支障なく作業が続行できました。

司会 風の方向はどちらですか。

中野 スピニングの方向です。

司会 風が常時15m/s 吹いた場合には……

相良 心配なのは手もどりですね。

司会 本四の場合15m以上吹いているようですが、そのための対策はどうですか。

相良 今の場合10m以下で作業をするという考えですが、これでは稼働率は $\frac{1}{3}$ で、その時に能率を上げ、風の強い時に手もどりを少なくする方法があるかどうか、1,500mの場合、台風期から台風期までの工期を考えて4ケーブルにしていますが、ケーブル間隔が小さいので多くの問題があると考えられ、できれば2ケーブルにしたい。その場合手もどりのなくすること、スピードを上げること以外にはないと思います。

司会 スピードアップの話がでましたが、実験の結果は……

中野 架線速度の最高は神鋼の場合約6m/s、372m/minですね。

司会 これは大橋さんが見てこられたものと似かよつたスピードですか。

大橋 平均200m/minですね。

司会 だからウインチのスピードではなくサグ調整に左右されておりませんか。

大橋 支配的なものはスピニングホイールの運転時間で、これはスピニングホイールが1スパンだけ先に走っており、サグ調整はそれを追いかけていくので、慣れれば調整には時間がかからないので、やはりスピニングホイールの運転時間です。

司会 千葉での実験には限度的なスピードがでたものではありませんか。

中野 サイクルタイムについて、サグ調整などを考えてみますと、大橋さんの話のようにスピニングホイールが1つ、次のスパンを走つておればよいのですから、中央径間でのスピードアップを考える必要があり側径間ではそれほど問題にならないようです。

司会 スピードアップの方法として4ホイールにできますか。

池田 英国では行っています。

田中 ホース橋では4ホイールのものを使っておりますが、セパンでは原因はわからないが2ホイールにもしております。

司会 なかなか速度を上げるのもむずかしいですね。

中島 資料 の133Pに試験結果を示しておりますが、800、1,500mについては往きの時間は4.8minと9.2minとになる。これにサグ調整などを入れてサイクルタイムの試算したものを136Pに示していますが、800mの場合13min、1,500mでは22minになります。これは塔頂アンカー部を除き速度6m/sで計算したものです。

相良 私のところも21.5minで考えていますが、それでも4ケーブルの場合でもむずかしいと思つています。

田中 土研などで行なわれた実験から本四などの現場にアプライする場合には室内的なもの、屋外での違いでサグの問題、それから調整、その他のいろいろな作業についても充分検討が必要であろう。

中野 実験結果の数値の取扱いには注意が必要で、その平均値も時間を縮める側には限度があり、延びる側には大きな幅があるようです。

司会 それから先程の話で目のとどかないところの作業はどのようにするかということはリモートコントロールすることも一つの方法だと思いますが、この点いかがですか。

多田 先ほど田中さんから話がありましたが、現場の作業の能率の低下しないように要因を一つずつあげて検討しては……。

田中 現場の規模で物を考えることが必要で、例えば風についても実験では風速18m/sでありましたが、これが海上の場合の影響、それから機械設備の高さ、ワイヤの径にしましても実験、研究段階では起らない問題もあると思います。これらスケールの違いを想定して試験研究を進めることが必要と思う。

相良 ある程度以上になると体でやらないと机上では限界があると思います。

多田 人の問題ですが、訓練することと機械化を進めて人手をてい減することも考えなければならぬ。

田中 米国では多くの経験があるが、日本ではそれ以上のシリアスな環境があると思う。

多田 人の問題が大きいようですが、例えば機械化を進めるとか、プレハブケーブルにするとかしてそのようなファクタを除くことも研究の目標であろう。それからワイヤを高強

度にして量を少なくすることも考えられますが、例えば強度を1割増しても安全率を3にとっておりますから3%しか減らすことはできません。やはり機械化か、プレハブにするかまよっているところです。

川崎 機械化というのは限度がありますね。

司会 それでは今後の進める研究の方向さらに一般の問題に入っていきたいと思います。

所長 風の問題については、風速何mまで作業が可能かという課題について高所作業での経験と先の実験から検討ができないか。さらに架設途中で台風などをむかえた場合に、ストランドとか、ケーブルの形状にこだわらない伸縮性のある仮バンドも考える必要があるのではないか。

池田 高所作業での作業性についての経験を述べますと、若戸大橋の例ではケーブルを約半数ひきだし中、小型台風にあい、塔上で風速21m/s、キャットウオーク上で18m/sの風があつたが、全長400mの数箇所結束し、さらにキャットウオークに20m間隔で結びつけたが、比較的危険は少なく風速20m/sまで作業が可能ではないかと思つた。ただしこの作業とは仕事を進めるためでなく、台風対策のような応急的な作業ですが…。天草一号橋の例では16m/s以上の風では作業が困難であつたようです。この作業はトラスの部材をクレーンで吊上げ組付けるもので、部材が風にゆさぶられたことによると思う。西海橋の例では、架設につかつたホワードケーブルの撤去の時、水面上約30mの50mmφのケーブル撤去にあたつて、その時の風速が、17m/s(1月10日頃)であつたが作業は可能であつた。

以上3件の例では地上(水面上)25~40mぐらいであつたが、若戸の経験から洋上では風速20m/sまで可能と思う。次に通信の問題であるが、若戸の例では1400m離れている所での指揮を電話による通信で解決した。また別の例では14mのトラスの組立てに当つて約600m離れているところから電話連絡で作業に支障はなかつた。これらのことから信号によるものでなく言葉による通信ではほぼ解決されると思う。

所長 作業は可能であつても精度が問題だと思う。設備の撤去では問題でないであろうが。

田中 素線のバラツキの範囲を3倍の直径にすることが妥当かどうか応力の面から検討することも必要と考えられるが。

相良 応力の問題よりむしろスクイジングや、バンディングなどケーブル仕上までに影響する限度があるかどうかその方が重要と思う。

所長 これについてはある程度の荷重をかけてラッピングなどの仕上も考えられるが。

大橋 バンドの方法について、ナローズの例では3mおきにストランドを仮バンドしているが、スクイジング寸前まで形を保っているようです。このバンドは、スクイジング後は形をなくし、ワイヤの間に入ってしまうようで、したがってバンドの材質が問題になると思います。

相良 エアスピニングとプレハブのパラレルワイヤについては並行して研究を進めてほしい。両方にはそれぞれ特徴が考えられプレハブのパラレルワイヤの場合300~400mが限度かと思います。我々が考えている本四では、パラレルワイヤのショッピンングに利用できる長い道路があるので例外かと思いますが……。

池田 むずかしい話ですが、能率とか作業方法など、未解決な問題が多いので、もう一段階のものをやってみては……。

司会 300m程度のものが必要ですか。

所長 実験という段階ではないね。800mでもやれると思うが。

田中 2ケーブルの場合、ワイヤ架設をパラレルでやる場合には、利点もあり、又かなり制約を受けるとは思います……。

相良 実際にはできないと思います。台風期を避けるため、このように考えているが、実際には1ケーブルにしたいと思う。

所長 ナローズの4ケーブルの場合は……。

大橋 同時に施工していますが、それぞれ2本について交互に架設しており、実際は4本のうち2本しか仕事をしていません。

池田 片側ダブルにすることは作業能率の点から非常に利点が多いと思うが。

相良 実際では足場が狭いのでむずかしいと思う。

台風の対策、それから手もどりを最少にする方法は常に準備していないといけないうでしょう。

所長 関門の風の記録は……。

大橋 現在調査中ですが、佐世保の風と似ており、1~4月まで西からの季節風は非常に強いようです。

司会 土研でもかねがね300~400mの架線をやることについて検討しておりますが、サグはどうするかということが問題で、例えば1/10のサグ比では、5mmφのピアノ線でいいか、ということも疑問である。

相良 ピアノ線の径と強度についてはどうですか。

大橋 米国で使用されている線材の径は5mmφのようです。それと供給される線材は9～10mmφであつて160kg/mm²の強度を得るには、5mmφぐらいのものになりそうです。

所長 例えば、6mmφの太さにすれば……。

大橋 6mmφになりますと、もうすこし大きな線材から引くことになりますが、引張強度を一定にしてもその他の機械的性質がかわりますし、機械のキャパシティの方からおさえられると思います。

所長 PC鋼線は……。

中島 PC鋼線は7～8mmφで150kg/mm²のものがありますが、これらの強度は熱処理によるもので、製法が違います。それから6mmφの線で160kg/mm²もだすこともできますが、この場合にパテンディングという熱処理をし12mmφで線引します。したがってバラツキが大きくなり、技術的にはかなりむずかしいと思う。また8mmφのものをつくろうとすれば15～16mmφのものを使うことになり、ますます熱処理がむずかしくなります。またスピニングの作業性が問題になります。それとストランドシユアの直径も非常に大きくなると思います。

所長 中間の段階(300mくらい)の時々mmの径のものを使用するかということですが……。

中島 外国の実例では4.2mmφからはじまつてだんだん大きくなり、5mmφになつています。

大橋 5mmφになつたのは比較的早いですね。

司会 今までのお話では素線は一応5mmφぐらい、スパンが短くてもやるということで……。目標としては第2関門ぐらいですが、その機械設備はウインチについては能力を大きくする、シープ類に耐摩耗性を持たせる。連絡事項は電話でやればよいということで、架設機械についてはいかがですか。

所長 ダムでの連絡は……。

中野 打設現場とクレーンの連絡は、一般には有線が使用されるが、下久保ダムではジブクレーンを使いましたので無線を使つております。スピニングの連絡について有線では回線とか切換えが問題になると思う。

池田 作業用の足場についてですが、我々は若戸大橋では失敗したと思つております。これにはストームケーブルの検討が必要であり、主ケーブルと足場との高さの保持、風によるゆれの大きさの限度などを検討して、ストームケーブルの配置を考える必要がある。また大変長いものですから、温度による影響が考えられ、定テンションにするかあるいは、長さを一定とするということも考慮する必要がある。これらのことから極言すれば、

タワーの上部またはサドルなどの形の設計にも関連してくるのではないか。

所長 今の話では下から張るもので横に張るものではありませんね。

池田 ビヤーの幅の中で張ることになります。下から張るだけでなく、斜のケーブルもつけることにもなりますし、航路の関係で理想的な形がつくれないと思います。若戸の場合は形状が全く平行にならず、ストリンガーを仮使用し、部分的に形を補正した訳です。そうするとストームケーブルがゆるんできますが、そのままにしておきました。

田中 吊橋の構成法が応用できないか。

相良 基礎の幅が狭いため、ここから張ると船の航行にじやまになります。そうかといつてベースを上まで上げることはたいへんですから。

所長 いくぶんは利用できますね。

相良 わずかは利用できるでしょう。

田中 ブリストレスを横方向に入れられれば横方向に対する剛性がますと思いますが。

相良 ワイヤトラスという形では張れると思いますが、なにぶんにも幅が30mくらいしかありません。

田中 フランスなどの例では張りだしをつけてやつていますがそういうものができるかどうかですね。

相良 そうするとそうとう大きな力ですね。

池田 ゴールデンゲートではおもいきつたことをやつていますね。温度影響がつよかつたのか、一部ではカウンターウェイトを吊り下げて定テンションにしていたようです。

司会 ではこのへんで終りたいと思います。

(2) 補 足 資 料

* 1. 日本橋梁建設協会 鋼構造物施工調査報告書

第3分冊 p. 2 ~ p. 28 3-1 スピーニング実験

2. 曳索駆動装置(土研)性能曲線 - 図-1

(平行線ケーブル架設調査(土木研究所資料第189号)p. 27 図-4より)

3. 曳索駆動装置(神鋼)性能曲線 - 図-2

(平行線ケーブル架設試験(土木研究所資料第193号)p. 39 図-19より)

4. 八幡製鉄(株)のレポートは42年2月に発表の予定とさいていたが、まだ公表されていないようである。概要は次のとおり。

平行線ケーブルの力学的性質に関する実験的研究

1. まえがき
 2. 実験の目的
 3. 相模原におけるケーブルの载荷実験
 4. 金谷橋における応力及び変形量の測定
 5. 平行線ケーブルのスピンング時に許容される径間中央でのサグのばらつきに関する考察
 6. 平行線ケーブルの弾性係数について
 7. ケーブルバンド及びケーブルスクイジングの予備試験
 8. あとがき
5. サグの調整量と調整前のサブ、バンド前後のストランドの形状（土研）図-3、図-4
（平行線ケーブル架設調査（土木研究所資料第189号）p.24、表-8、p.25、表-9より）
6. バンド前後のストランドの形状（神鋼）図-5
（平行線ケーブル架設試験報告書 p.126より）
7. （株）神戸製鋼所においてはスクイジングマシン、ケーブルバンド、ラッピングマシンについて41年5月頃より開発研究を進めており、42年1月16日に土木研究所長に対して成果の説明をされた。これらの結果については次の報告書がだされている。
「パラレルワイヤケーブルのスクイジング、ケーブルバンド、ラッピング実物大実験について」1697-1（株）神戸製鋼所 市場開発部
- 実験の対象としたケーブルは5mm ϕ ×276本×37ストランドであり、第二関門橋用と考えられる。
8. 基礎試験工事アンカー用のパラレルワイヤストランド（5mm ϕ 27本）の端部ソケットの効率を調べるための実験であり、荷重86.2tでワイヤ部で1本目が切断した。（保証荷重80t）
9. 相模原において42年1～2月3ストランドの架設を行い、ストランドのサグ調整の実験を行い、手順およびストランドの挙動などについて調査している。

曳
索
張
力
差

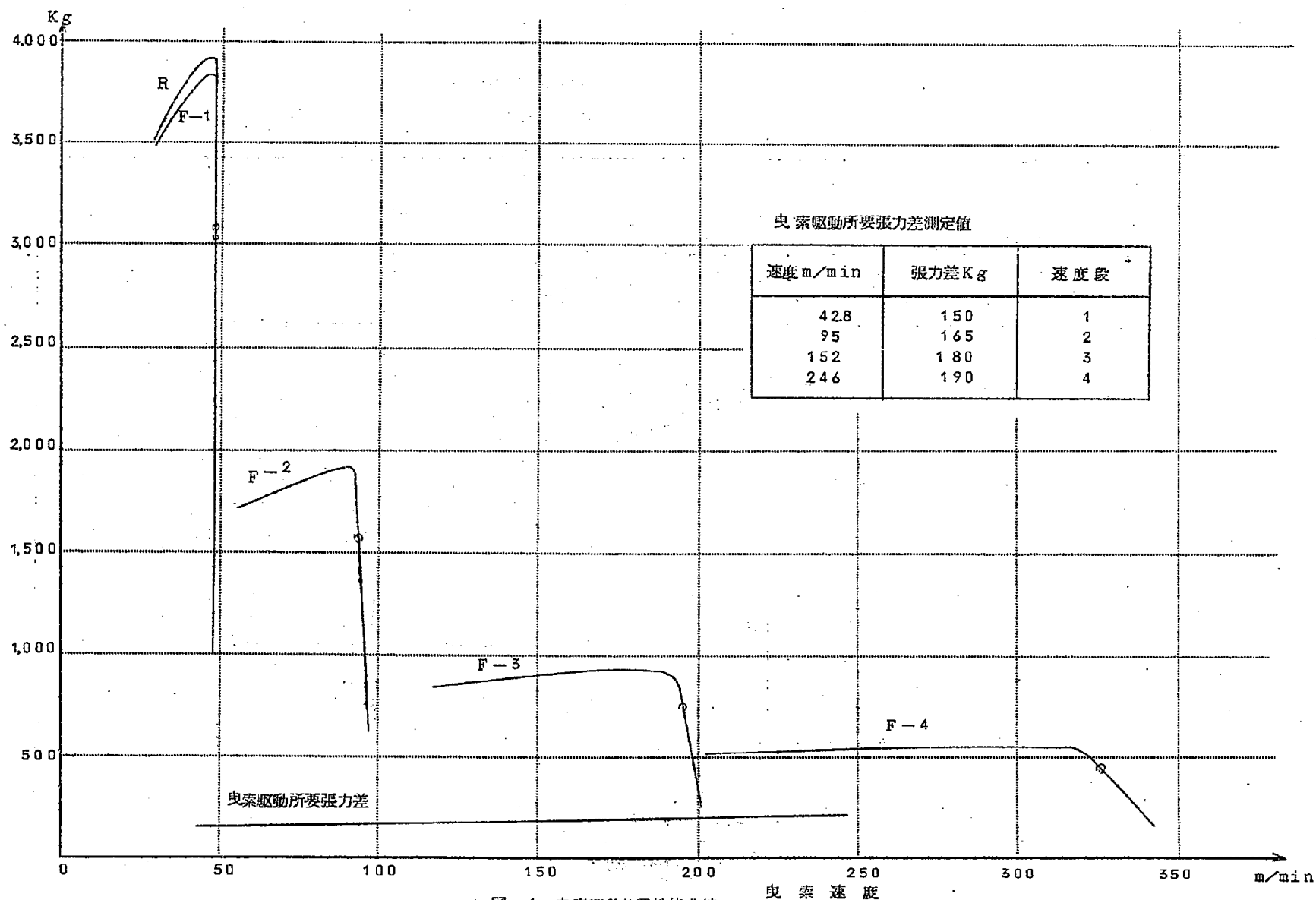


圖-1 曳索驅動裝置性能曲線

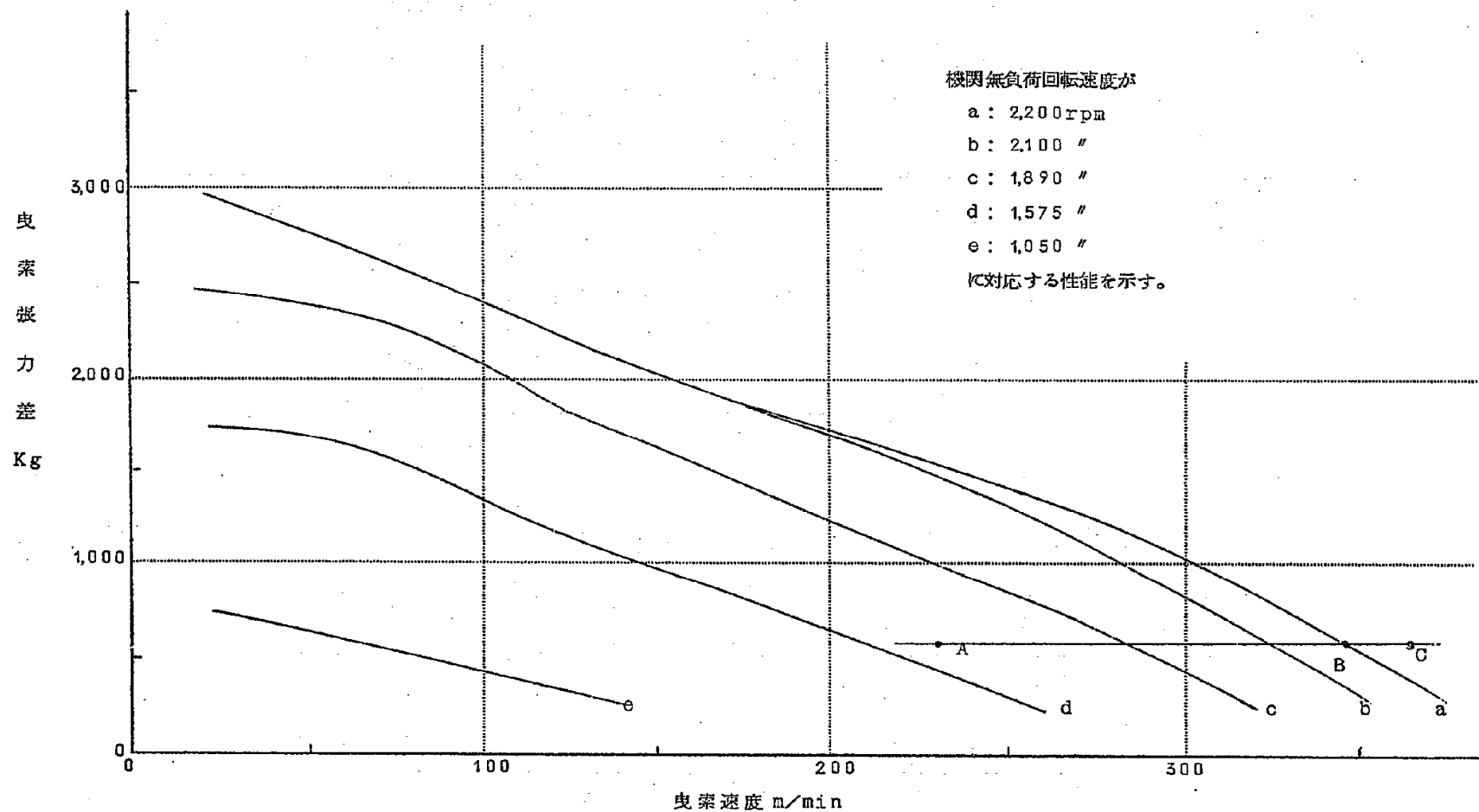


図-2 曳索駆動装置性能曲線

図-3 サグの調整量と調整前のサグ

第 1 ストランド			第 2 ストランド		
サ グ	調 整 量	備 考	サ グ	調 整 量	備 考
+200	40	上側 8 本	-55	11	下側 8 本
+160	35		-50	10	
+145	29		-35	7	
+140	28		-35	7	
+125	25		-30	6	
+120	24		-25	5	
+115	23		-20	4	
+105	21		-10	2	
-160	35	下側 8 本			
-135	27				
-130	26				
-125	25				
-120	24				
-120	24				
-115	23				
-115	23				

注：1. サグはストランドをゆすった後の値

2. 調整量とは切りつめ、あるいは延ばした素線の長さ

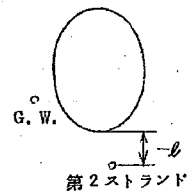
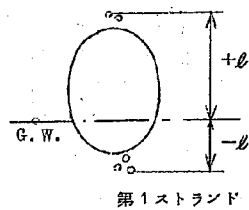


図-4 バンド前後のストランドの形状

単位: mm

測定位置	架線終了後			バンド締付後		
	形状	第1回	第2回	形状	第1回	第2回
リール側側面 サドルより 1,200		a 115 b 110	105 95		a 98 b 97	101 95
" " 1,800		a b	110 115		a 99 b 99	101 99
" " 2,400		a 150 b 145 c 55	110 130 70		a 99 b 99	96 101
" " 3,000		a 120 b 180 c 20 d 90	113 165 13 87		a 84 b 123 c	83 117 10
" " 3,600		a 130 b 210 c 30 d 90	126 185 20 89		a 66 b 71 a' 72 b' 65 c	69 69 75 62 12
" " 4,800		a 140 b 250 c 20 d 100 e 80	130 280 30 100 80		a 52 b 52 a' 44 b' 44 c	69 66 79 59 66
中央径間 リール側サドルより 2,000		a	95		a	91
"		b	105		b	103
"		a	120		a	99
1/8点		b	120		b	99
"		a	140		a	97
1/4点		b	101		b	99
"		a	150		a	97
1/2点		b	210		b	95
"		a	140		a	96
3/4点		b	110		b	96
"		a	115		a	99
7/8点		b	110		b	99
リール反対側 サドルより 2,000		a	100		a	90
		b	95		b	104

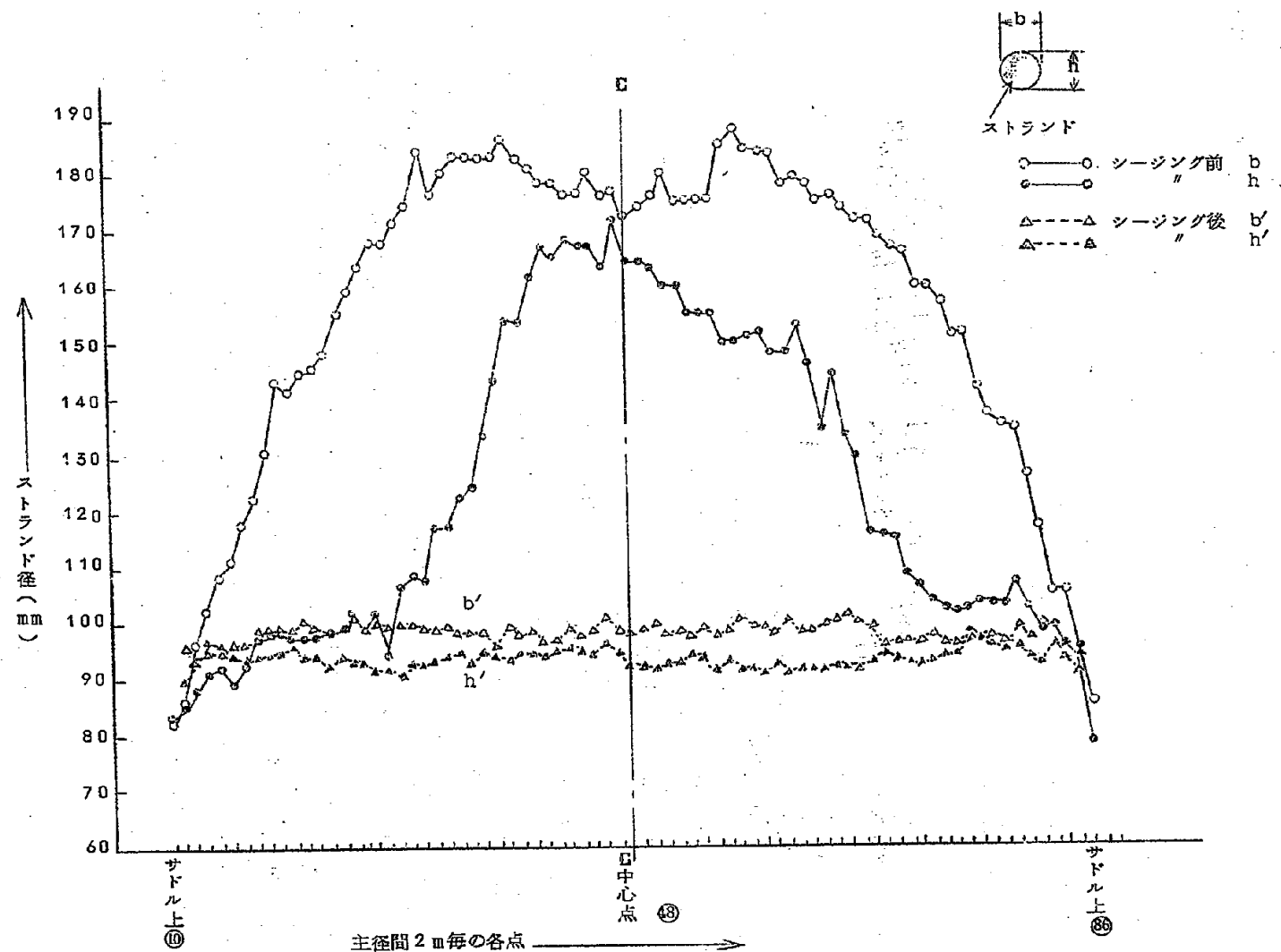


図-5 ストランドの形状(神鋼)

4. 実 橋 調 査

(1) 金 谷 橋

金谷橋架設のための予備実験である相模原の実験は41年8月27日、鈴木研究員が、また金谷橋におけるケーブル架設は41年10月12日、鈴木研究員、佐々木技官の両名が調査を行つている。

金谷橋についての調査報告は次のとおりである。

1) 金谷橋の概要

形 式	二鉸補剛構吊橋
荷 重	T-9 補剛構およびケーブルに対して 200 kg/m^2
橋 長	148.4m 40m+150m+40m=230m
塔柱間隔	150m
サ グ	15.2m
幅 員	3.6m
補剛構	H型钢を用いたワーレンストラス
主 索	平行線ケーブル片側 1ストランド114mmφ (5mmφメッキ硬鋼線432本)
塔 柱	H型钢を用いた揺柱
床 版	鉄筋コンクリート

2) 平行線ケーブル架設装置の架設

架線装置の架設については詳細な資料は得られなかつたが、素線平衡重錘塔(1基)、リール受台(2基各1リール用)、キャットウオーク、ターンシープおよび曳索緊張装置(1基)、トラムウェイベント(6基)、ガローフレーム(4基)、ストームケーブル、曳索、曳索駆動装置を含めて約30tの鋼重があるということであつた。これらの架設歩掛りは基礎施工後で

キャットウオーク (15人×2日)	60(工数)
リール受台、素線平衡重錘塔(5人×1日)	5
トラムウェイベント、ガローフレーム(1基当り3人×1h)	5
ストームケーブル、その他(10人×4日)	40

程度を要したということである。なお、架設に当つてはケーブルクレーン等を使用している。

3) 架線作業中の観察事項及び所見

(i) 架線方法

1 ケーブル 1 ストランド素線数 432 本のもの 2 ケーブルの架線にあたって片側 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から下流側ケーブルに移す) して架線を行なう計画であり、丁度見学中に 54 サイクルに達し、段取換が行なわれた。(所要時間 25 人 × 2 h)

(ii) サイクルタイム (中央 150m サイド 40m、35m 計 225m 水平) と平均速度

min-sec						
サイクル	4 7	4 8	5 1	5 2	5 3	5 4
合計時間	10-00	10-30	7-25	7-30	8-34	8-30
前進 (平均速度) m/min	-	-	2.17 (99)	2-15 (100)	2-30 (90)	2-33 (88)*
サグ調整	-	-	3-28	-	4-20	4-22
後進 (平均速度) m/min	-	-	1-40 (135)	- (-)	1-44 (130)	1-35 (142)
前進時間	リール側 リール側 アンカー～タワー (水平長 m 40)			0-40 (60)		0-50 (48)
内訳 min-sec	リール側 タワー～中央 (75)			0-40 (113)	-	0-45 (100)
(平均速度)	中央～タワー (75)			0-30 (150)		0-30 (150)
m/min	タワー～アンカー (35)			0-25 (83)		0-28 (74)
後進時間	アンカー～タワー					0-15 (140)
内訳 min-sec	タワー～中央					0-24 (132)
(平均速度)	中央～リール側 タワー			-	-	0-26 (173)
m/min	リール側 リール側 タワー～アンカー					0-20 (120)

(サグ調整は架線後に行つたもので、架線中、後進中は主塔の揺れのため調整は行なわな
い。)

(3) 架線中の人員配置

指 揮	1 + 3 (サグ担当)	4	
ウインチ	1	1	
リール	2	4	
アンカー	2 × 2	4	
タワ ー	2 × 2	4	
トラムウェイイベント	2 × 3	6	計 21人

(4) 通信方式

トランシーバ 1系統 トランジスタメガホン、ラウドスピーカを含む(指揮タイムスタディ用)
有線(並列) 1系統 (ウインチ運転、サグ調整)

(5) 架線中の事故

ワイヤクランプが土研方式であるためセットスクリューが折損し、ワイヤがZより、クランプ右ネジであることも加わり、クランプにゆるみが生じ、作業(54サイクル)中に2回修理を要した。

(6) 架線中の風

架線方向と直角(南北方向で、上流より下流え)に約10m/secの風があつたが、作業には影響を与えていないようにみうけられた。

(7) キャットウオークの横造

キャットウオーク金網に亀甲金網#20を使用しているが、横材間隔が約1mもあり、非常に歩きにくい。金網にもある程度剛性を持たせることが、作業能率上必要と考えられる。

(8) キャットウオークの揺れ

架線中の風(約10m/sec)の影響によるキャットウオークの揺れは余り大きくないように思われた。これは現場が谷間のため、ストームケーブルを張るための固定位置に恵まれていることも考えられる。

(9) 曳索駆動装置

八幡製鉄、相模原での実験に使用したものと同一の装置で、実橋架設においても正常な運転が行なわれていた。

(10) リールブレーキの制御方法

リールブレーキの制御は相模原の実験では自動制御であつたが、実橋では1リール当り1名、計2名の作業員により索線平衡用重錘の動きをみながら手動で制御していた。自動

制御に比し、スムーズな運転がなされていた。

(1) スピニングホイールの安定性、曳索、素線の脱索について

スピニングホイールはアンカー出発時に多少横に傾くようであつたが、これはアンカー側の素線ガイドシーブの位置によるものであろう。架線中、かなり強い風(約10~15m/s)があつたが、横揺れもなく安定して運行しており、曳索、素線の脱索等もなかった。これらは相模原での実験に比し、キャットウォークにかなりのストームケーブルを張渡しているので、キャットウォークが安定したことにもよると思われる。

(2) 曳索の緊張方法

相模原での実験と同様に曳索重錘塔を用いず、対岸側アンカーにターンシーブと簡単な調整装置を用いている。現場担当者の話によると張力は適当にとつたということである。

(3) リール側アンカーのスピニングホイール、ストランドシー、素線の相対位置

土研の実験でも問題になつたが、この実橋の場合もスピニングホイールがリール側のストランドシーの位置で高くなり過ぎるので曳索の位置を現場の状況に合わせたようである。これらは装置の設計時に充分検討しなければならない点であろう。

上吉野川橋

(2) 上吉野川橋は早明浦ダム建設に伴う水没架替県道橋で、中央径間250mと予定されている。

第二関門、本州四国への1段階として、また中小径間吊橋への平行線ケーブルの適用の指針をうるために、平行線ケーブルを採用し、所要の調査を行う予定である。

上吉野川橋の設計、施工計画のうち、当研究室では平行線ケーブルの架設計画の素案を作成した。

上吉野川橋平行線ケーブル架設施工計画メモ(機械研究室案、41年10月)

1) 架線作業

ケーブル数 2本

ストランド数 7本/ケーブル×2本=14ストランド

素線数 200本/ストランド

サイクルタイム 7min とする(平均速度150m/min)

1回引出素線数 4本×2スピニングホイール=8本

(半サイクル交互引出、2ケーブル各1ストランド同時架設、作業工程は図-6のとおり。)

1 ストランド架線所要時間

回数 $\frac{200 \text{ 本}}{4 \text{ 本}} = 50 \text{ サイクル}$

時間 $50 \text{ サイクル} \times 7 \text{ min} = 350 \text{ min} / 60 = 5.84 \text{ h}$

作業効率を0.7とすれば $\frac{5.84}{0.7} = 8.4 \text{ h}$

したがって、1ストランド約1日とする（ただし、2ケーブル各ストランド同時架設するから1日当り2ストランドとなる）

2) 継線作業（1ストランド当り）

1ストランド当り20本継線するものとする。

1回当り 5 min とすれば

$20 \text{ 本} / \text{ストランド} \times 5 \text{ min} = 100 \text{ min} / 60 = 1.7 \text{ h}$

1クルーで作業するとすれば 1.7 h

作業効率を0.7とすれば $\frac{1.7}{0.7} = 2.5 \text{ h}$

3) 仮バンド作業（1ストランド当り）

1ケーブル全長 410 m

個 数 3 m 当り 1 箇所とすれば

$\frac{410}{3} = 140 \text{ 箇所}$

1箇所当り 5 min とすると

$140 \times 5 = 700 \text{ min} / 60 = 11.7 \text{ h}$

4クルーで作業とすれば

$\frac{11.7}{4} = 2.9 \text{ h}$

作業効率を0.7とすれば $\frac{2.9}{0.7} = 4.2 \text{ h}$

4) ストランドサグ調整

1ストランド当り 60 min = 1 h

作業効率を0.7とすれば $\frac{1}{0.7} = 1.4 \text{ h}$

以上1ストランドの継線、仮バンド、サグ調整所要時間は

継 線 2.5 h (1クルー)

仮バンド 4.2 h (4クルー)

ストランドサグ調整 1.4 h

計 8.1 h

となり約1日とする。これから架線作業の工程は図-7のようになる。

5) スクイジング作業 (2 ケーブル)

作業全長 約 410m (260+75×2)/ケーブル

作業速度 7 min/m

作業時間 $410\text{m} \times 7\text{min/m} = 2,870\text{min} / 60 = 47.9 \text{ h}$

作業日数 $\frac{47.9\text{h}}{6\text{h/日}} = 8 \text{ 日}$
ケーブル

2 クルーで作業すれば所要日数は 8 日となる。(1 ケーブル、1 クルーの作業)

作業効率を 0.7 とすれば $\frac{8}{0.7} = 12 \text{ 日}$

6) ラッピング作業

スクイジング作業と同じ

図-6 作業分析図

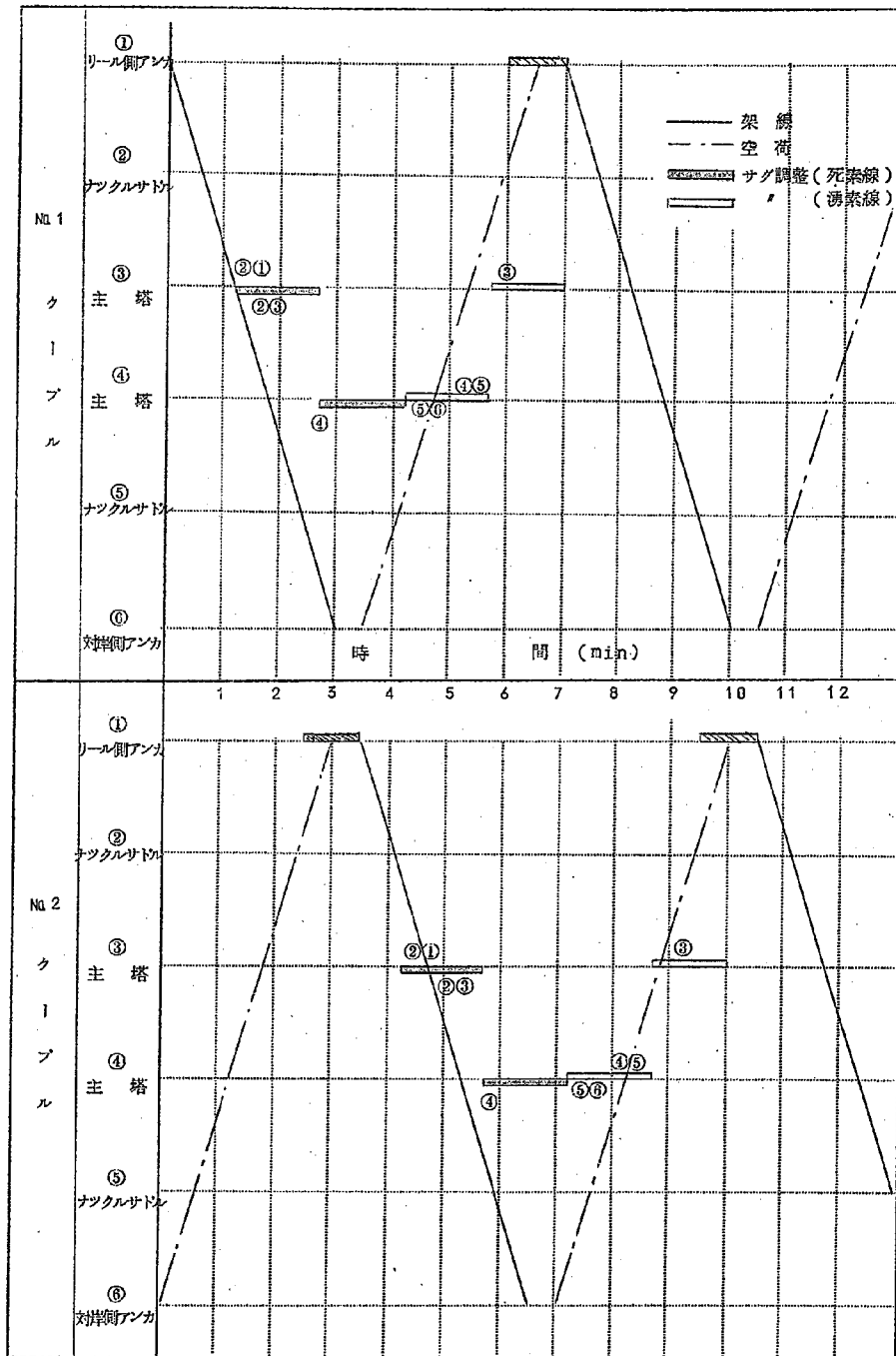


図-7 作業工程表

区 分	作 業 名	作 業 工 程 (日)																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
No. 1 ケ ー ブ ル	架 線	1		2		3		4		5		6		7																	
	継線、仮バンドストランドサグ調整																														
	スクイジング																														
	ラッピング																														
No. 2 ケ ー ブ ル	架 線	1		2		3		4		5		6		7																	
	継線、仮バンドストランドサグ調整																														
	スクイジング																														
	ラッピング																														

5. 問 題 点

(1) 気象条件（特に風の影響）と作業性、施工速度の向上

41年に行われた実験は、いずれもいわば実験室内での実験ともいうべきで、天然の気象条件特に風と雨の影響を受けることも少く、また実橋に比して規模も小さく工期も短かいので、これらの結果を実橋の施工計画に応用するためには現場のスケールで物を考えねばならない。

施工速度を向上させるためには、作業可能の日を多くする。作業可能の日に能率を上げる。強風による手戻りを少なくすることが当然考えられねばならない。

風速何m/s まで作業可能かを見極めることは、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であろう。

作業可能の日に能率をあげるためには架線速度をあげる。同時に架線する本数を増すなどの方法もあるが、これらにはいずれも限界があり、結局3交替の作業ということになるが、この場合には作業員の確保、訓練が問題となろう。台風、冬季の季節風を考えると外国の例よりきびしい条件と考えられるので、強風に対する対策は充分考えねばならない。

(2) 多ストランドの架線作業

実験では1ストランドの架設であつたが、実橋では同時に2本のストランドの架設を行い、またストランドの上にストランドを架設する場合もあるので、サグ調整に当つてのワイヤの識別、連絡方法、サドル上でのストランドの配列法、形状、ワイヤの配列の検討も必要であろう。

ストランドの仮バンドの材料、また仮バンド後の形状はどのようなものを目標とするか、などもこれらをまとめて形成されるケーブルの形状に関係してくるものと思われる。

(3) 継線作業

実験の段階でも相当問題があり、現場継手の信頼性の少いことが明かにされた。現場継手は当然必要なものであり、実橋では径間の長いことなども関連して、小型軽量の継線機の開発、信頼性のある作業法の開発が期待される。また現場継手の検査法も必要となろう。

(4) ストランドからケーブルへ

ストランドのサグ調整、スクイーミング、ケーブルバンドの架設、ラッピングなどについて問題点を整理する必要がある。

(5) 作業性のよい仮設備

平行線ケーブル架設の作業を全自動化することは、とうてい不可能であり、作業員個々の

作業の積み重ねが、直接できあがったケーブルの質に関係するわけであるから、作業員の訓練、技術の向上とあいまって作業環境の整備も重要なことであり、これが作業能率、作業精度に影響するところ大である。

剛性のあるフートブリッジ、主塔やアンカーブロックなどの上の作業台の広さ、フートブリッジ、作業台とストランドとの相対高さなどが検討されよう。

(6) 機 械 設 備

長径間ではスピニングホイールの位置により抵抗が変ると予想されるので、曳索駆動装置の負荷特性、速度制御の方法などもさらに検討する必要がある。

索線リールのブレーキの自動化のためには機械全般の精度をあげることが必要であり、多数のリールを用いてその軸受の抵抗をそろえるなど、まだまだ実用化するにはほど遠いと思われる。

部品の耐久性、保安設備など実用機として備えねばならない基本的な事項も検討されよう。

(7) プレハブの平行線ケーブルの検討

空中架線法による平行線ケーブルの架設が真その他の条件より工期的にみて不可能な場合、他の方法によるケーブル架設法の検討も必要なことであろう。

すでに40年にBethlehem Steel Co.にて工場製作の平行線ケーブルを現場架設する方法は中規模の橋では可能であると発表しているが、1,500m級の橋では選搬その他より工場製作の平行線ケーブルは不可能と思われる。橋梁架設位置附近にヤードを設け、こゝで平行線ケーブルを製作し、架設する方法も考えられるが、ストランドの引出し、サグの調整方法などさらに検討を要するものと思われる。

6. あ と が き

わが国における平行線ケーブル架設技術は、実験室の域をようやく脱し、中小吊橋で小手調べという段階であり、まだまだ解決しなければならない問題点も多い。

外国の施工技術を勉強し、わが国の施工に役立てるために吸収し、そのための機械設備の開発、工法の確立という業務にたずさわってみて感じたことは、技術を導入する糸口として模型による機構の解明、理論の解析、構内実験などまでは研究室で行いうるとしても、その後の試験施工ともなるとやはり研究室の域をでて、その実施は「現場」ということになるのではないだろうか。もちろん、施工計画の原案作成や、調査にタッチすることは可能であり、当然なすべきことと考えるが…。

今后平行線ケーブル架設技術が、わが国の施工技術として成長することを期待したい。