U. D. C. 621.315.24:621.863

長径間海峡横断送電線架線用1輪式ループ延線車

One-Drum Type Cable Loop Hauling Machine for Stringing Long Span Aerial Transmission Lines

星野弘之* 森幸治**
Hiroyuki Hoshino Kôji Mori

内容梗概

河川，海峡などを横断して長径間架空送電線を架線する場合には特殊な問題点がある。このような架線工事機械として1輪式のループ延線車を開発し中国—四国連絡線海峡横断部架線工事に使用した。

この延線車は従来の2輪式ループ延線車に検討を加え，その欠陥を解消できるよう計画したものである。

本報告は2輪延線車の検討結果と1輪延線車の特性について概要を述べたものである。

1. 緒言

長径間架空送電線の架線方式については各種の工法が考えられるが1線引またはループ延線工法は有力な工法である。関門海峡横断送電線，鳴門海峡横断送電線についてはこれらの工法が行なわれた。また最近完成した中国—四国連絡線の海峡横断部の架線工法としてはループ延線が用いられた。

長径間送電線，とくに海峡横断の場合には延線張力が大きいため延線に使用する延線車，その他の機器類の設計上大きな問題点がある。従来この種の目的の延線車としては2輪キャプスタン機構を基本としたものが使用されている。

日立電線株式会社では中国—四国連絡線海峡横断部用の電線としてはアルミ被鋼線を応用したAS-170の開発を進めるとともに日立製作所と協同して架線用延線車の研究開発を行なった。従来一般に用いられている各種の延線車に検討を加え，それらの欠点を改良してオーネゾルゲのシューチエーン方式の巻胴[1]の機構を基本とした新方式の1輪式延線車を製作し，これを中国—四国連絡線海峡横断部の架線に使用した。実際上工事に使用した結果予想どおりの好結果をうることができたが，この延線車の方式は今後の送電線架線工事上大いに参考となる点があると考えられるので大要を紹介する。

2. ループ延線工法の採用

海峡横断架線工法としては大別して4種類の方法が考えられ世界各地で行なわれた海峡横断ないしは河川横断架線にそれぞれ応用されている。それらは次のようなものである。

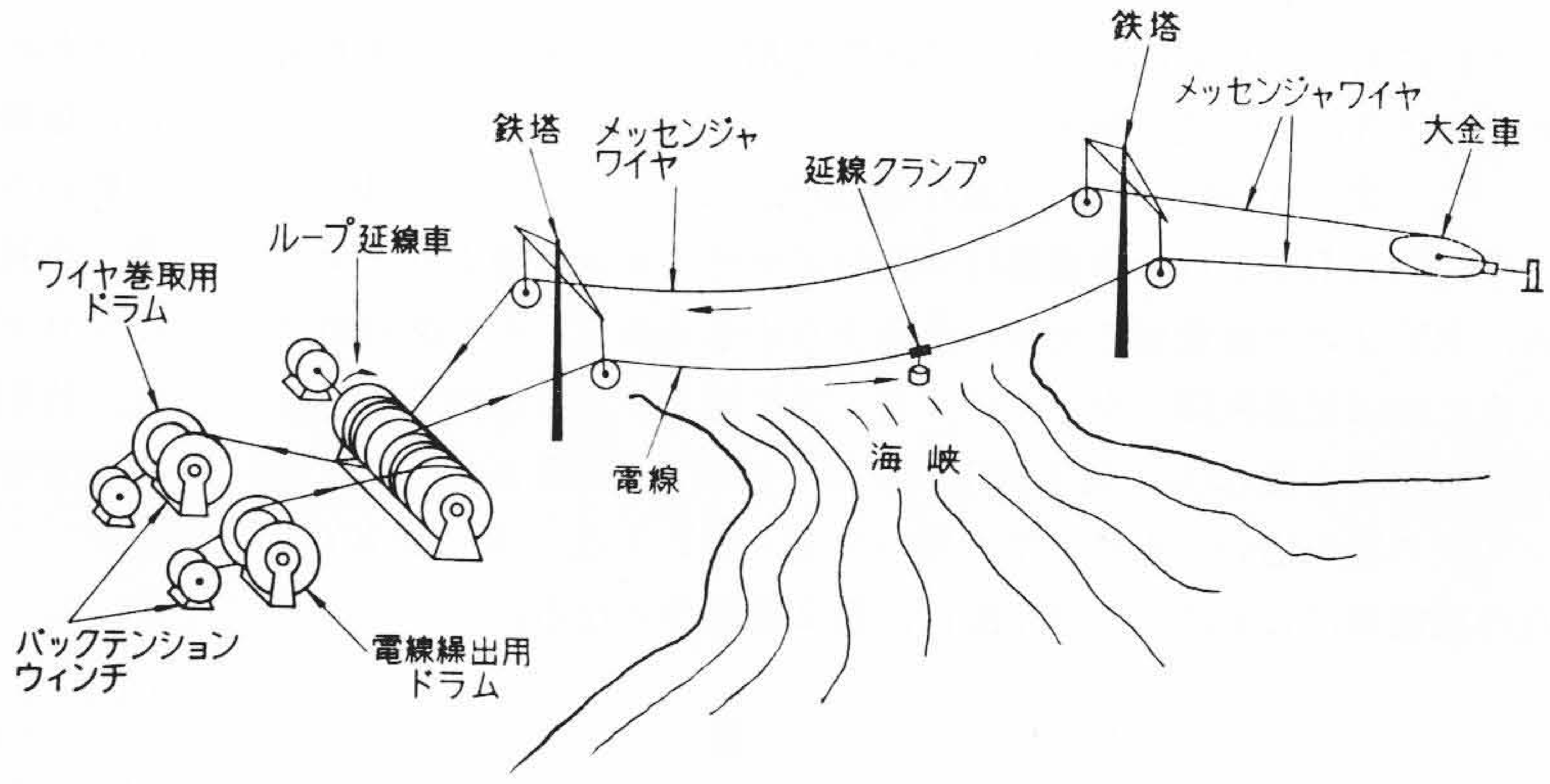
(i) 1線引工法(関門海峡横断架線)

(ii) 索道による延線工法(セバン河横断架線，テームズ河横断架線)

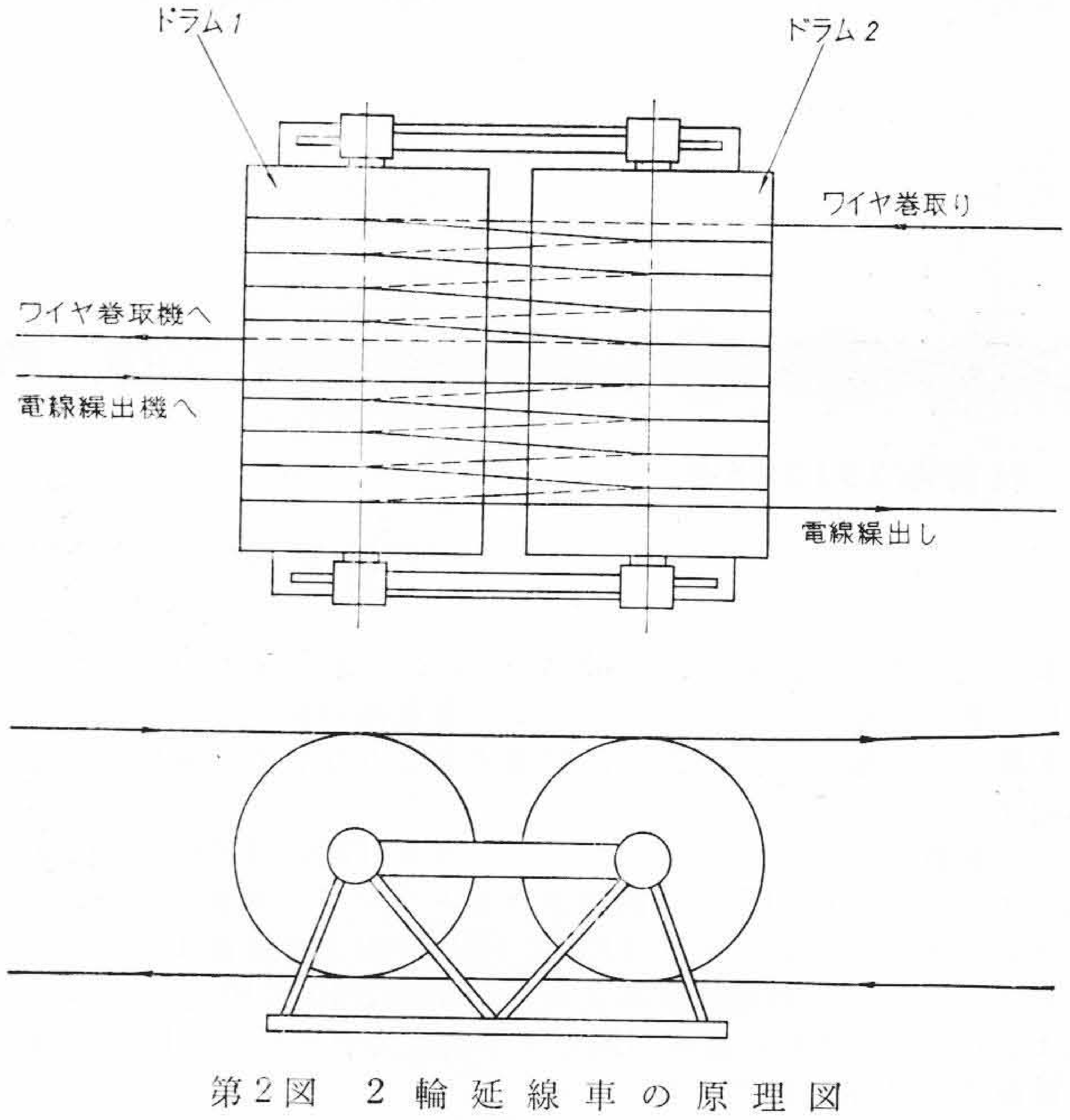
(iii) 直接延線工法(ジャビス海峡横断架線，セントローレンス河横断架線)

(iv) ループ延線工法(鳴門海峡横断架線，メッシナ海峡横断架線)

これらの各工法は架線される地点の潮流，地形，架線される電線の構造などから総合的に判断し決定されるものである。中国—四国連絡線の場合海峡部の架線には最終的にループ延線工法が行なわれることとなった。



第1図 ループ延線工法

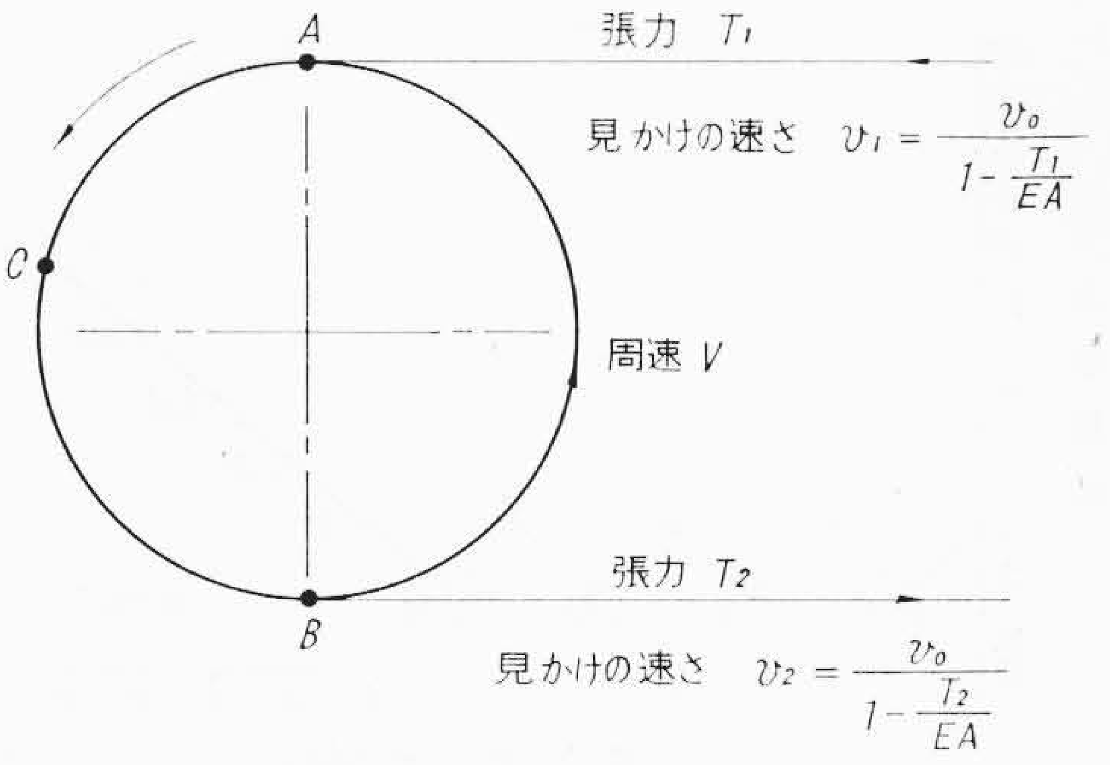


第2図 2輪延線車の原理図

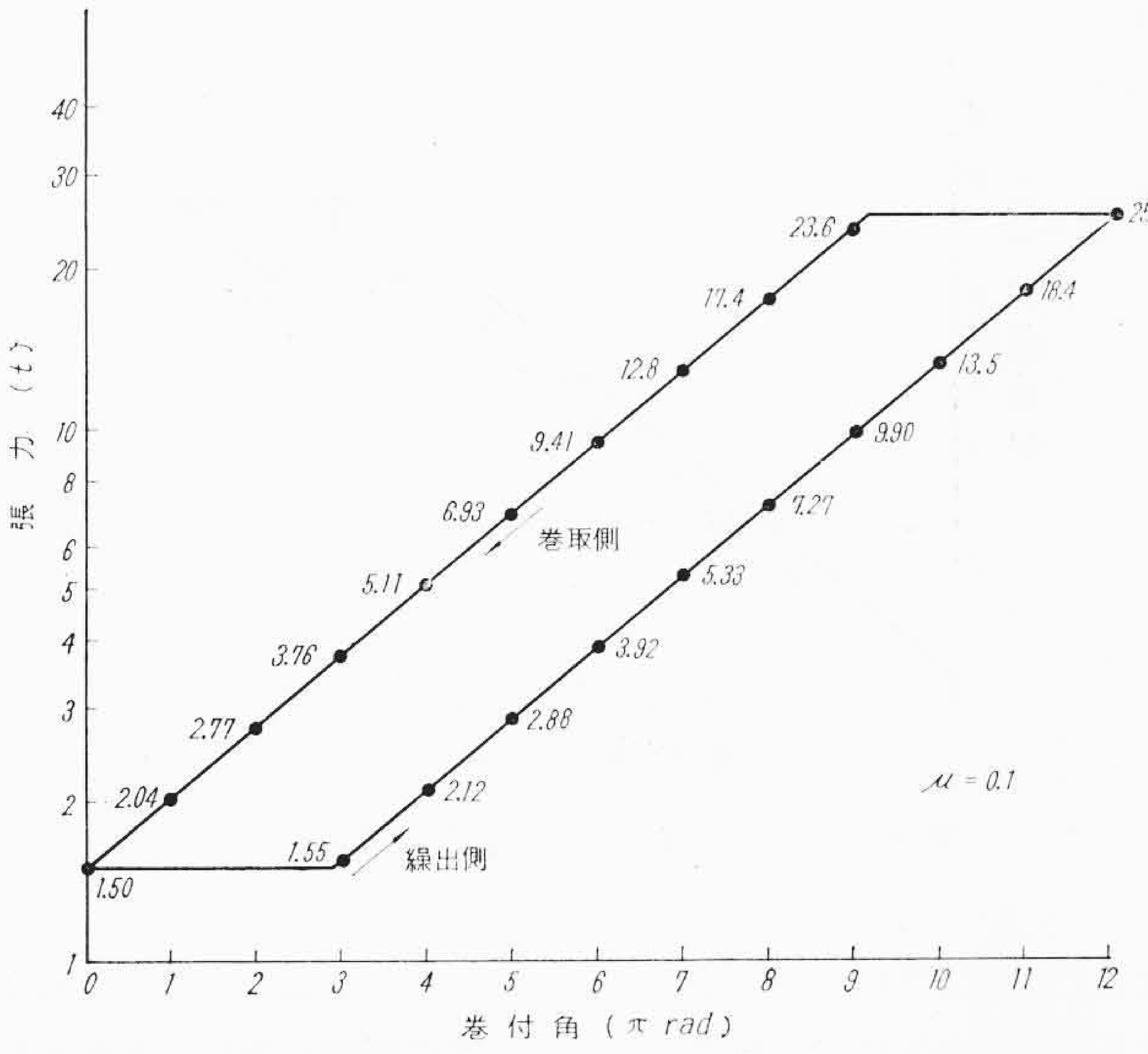
2.1 ループ延線工法の概要

第1図にループ延線工法の概要を示す。最初海峡を1往復するだけのメッセンジャワイヤを用意し仮上状態とする。メッセンジャワイヤは対岸で大金車にかけ反転した形とする。メッセンジャワイヤの一端に電線を接続して繰り出し他端を巻き取る方法である。この方法では巻き取りと繰り出しが同一地点で行なわれるので巻取側の所要動力に繰出側の発生動力をあてがうことが可能であり，しかも

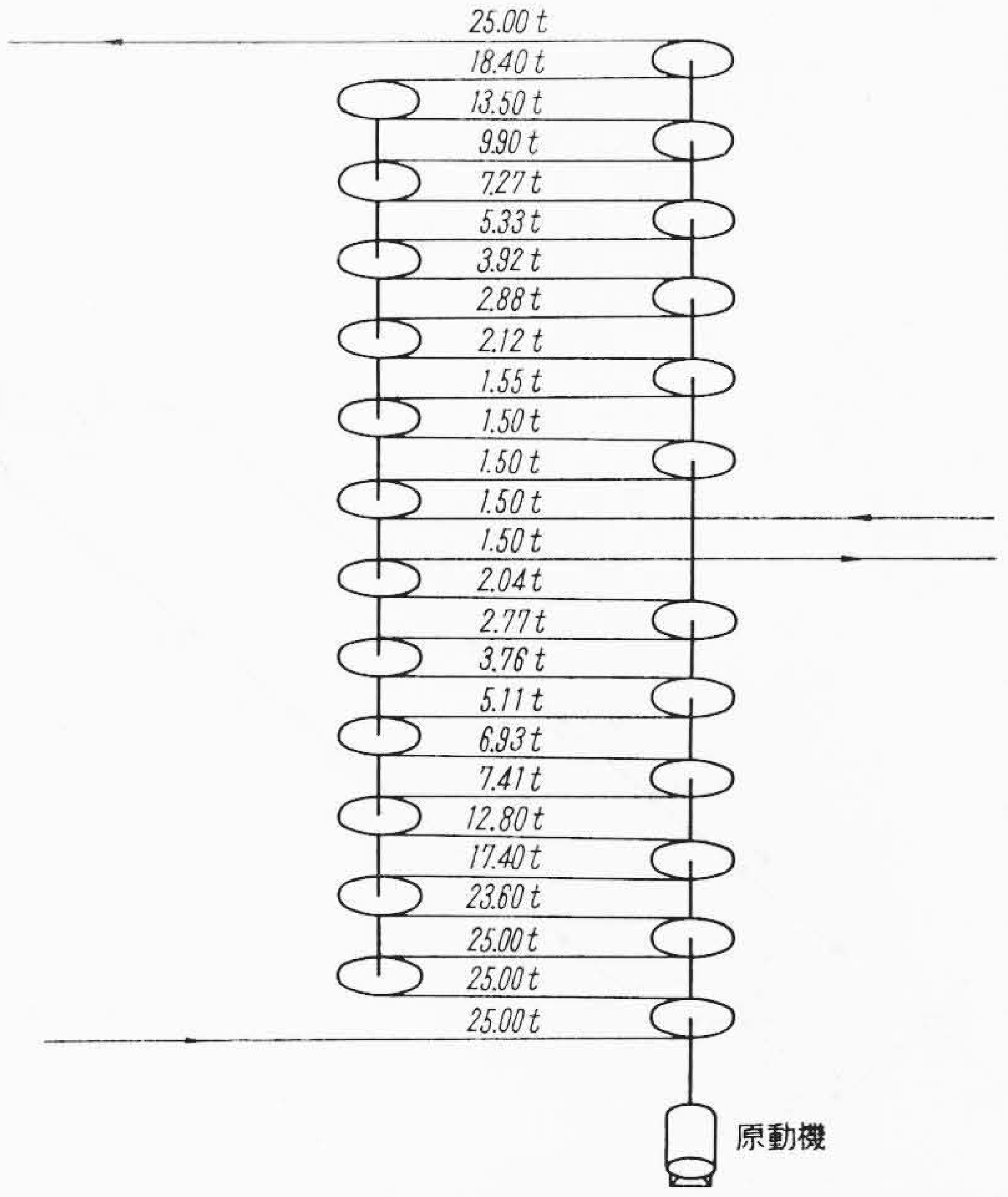
* 日立電線株式会社電線工場
** 日立製作所亀有工場



第3図　シーブに接触して送られる電線の張力変化



第4図　2輪延線車内の張力変化（その1）



第5図　2輪延線車内の張力変化見取図（その1）

その力は延線途中の摩擦力を無視すると等しくなる。それゆえ巻取側と線出側の軸を結合させるかまたは同一巻胴に巻き付けるようにすれば電線の線出速度とワイヤの巻取速度を正確に一致させることが可能であり，延線に必要な動力は中間に配置された金車と延線車内部の摩擦力に打ち勝つ大きさであればよい。電線の線出速度とワイヤの巻取速度が一致することから電線の海上高は一定に保たれる。メッセンジャワイヤは延線終了時ワイヤ巻取ドラムに自然に回収されるので海峡架線工法としては有利である。架線の成否は延線車の良否に依存することとなる。

3.　2輪延線車における諸問題

2輪キャプスタン機構を基本としてループ延線車を考えると**第2図**のようなものが考えられる。ループ延線車を進行させるためにはループ延線車を動力によって駆動することが必要である。駆動力を**第2図**のドラム1または2のみに与える方法とドラム1および2に与える方法とが考えられる。一方のドラムだけを駆動する場合には原動機，減速歯車装置が一組でよい。両方のドラムを駆動する場合には2組必要である。両ドラムを歯車で結合し一組の駆動装置で駆動する方法も考えられるが両ドラムの直径の微小な差が原因となり歯車に大きな力が生ずることが考えられる。これらの考察から**第2図**でドラム1のみを駆動する方式について詳細に検討してみる。

3.1　単独シーブ上での張力変化

2輪延線車内部では電線，ワイヤが個々に各シーブ上に巻き付いたような状態になっているため延線車内を電線，ワイヤが通過していく時どのような張力経過をたどるかという点を解析するためには単独シーブ上での張力変化をまず知る必要がある。

第3図に示すようにシーブに電線が一定の角度 θ_{AB} だけ巻き付けられている場合を考える。電線には弾性伸びがあるため長手方向について張力変化があれば見かけの移動速度が変化する。しかし定常状態では電線の長手方向各部について無張力時の電線長さに換算した速度 v_0 は同一であるから v_0 を基本として考える。v_0 から各張力における電線の見かけの速度を求めると**第3図**に示したようになる。

ここで次に述べる3通りの場合について電線の張力変化を検討する。

3.1.1　$V = v_1$ の場合

この場合は T_1 側の電線とシーブの接触点ではすべりが生じない。それゆえA点からシーブの反時計方向へ微小長さだけはいった点でも張力は T_1 である。B点については $T_1 = T_2$ でない限り電線とシーブの間には微小なすべりが生ずる。$T_1 < T_2$ ならば $v_1 = V < v_2$，$T_1 > T_2$ ならば $v_1 = V > v_2$ となる。電線とシーブの間にすべりがあればB点より時計方向に進むにしたがって張力変化がある。シーブ上での張力を T_s とすれば $T_1 < T_2$ の場合は $T_s = T_2 e^{-\mu\theta}$，$T_1 > T_2$ の場合 $T_s = T_2 e^{\mu\theta}$ となる。μ は電線とシーブ間の動摩擦係数である。いずれの場合にも T_s はシーブ上で時計方向に進むにしたがって T_1 に近くなる。$\overparen{AB}$ 間のある点では $T_s = T_1$ となる。この点をCとすると $\overparen{AC}$ 間ではすべりはなく，したがって張力 $T_s = T_1$ である。C点の位置は T_1，T_2 と μ の値によって $\overparen{AB}$ 間を変動する。$T_2 > T_1 e^{\mu\theta_{AB}}$ または $T_1 > T_2 e^{\mu\theta_{AB}}$ となった時はC点は $\overparen{AB}$ 間になくなり電線とシーブが全面的にすべりあうことになる。

3.1.2　$V > v_1$ の場合

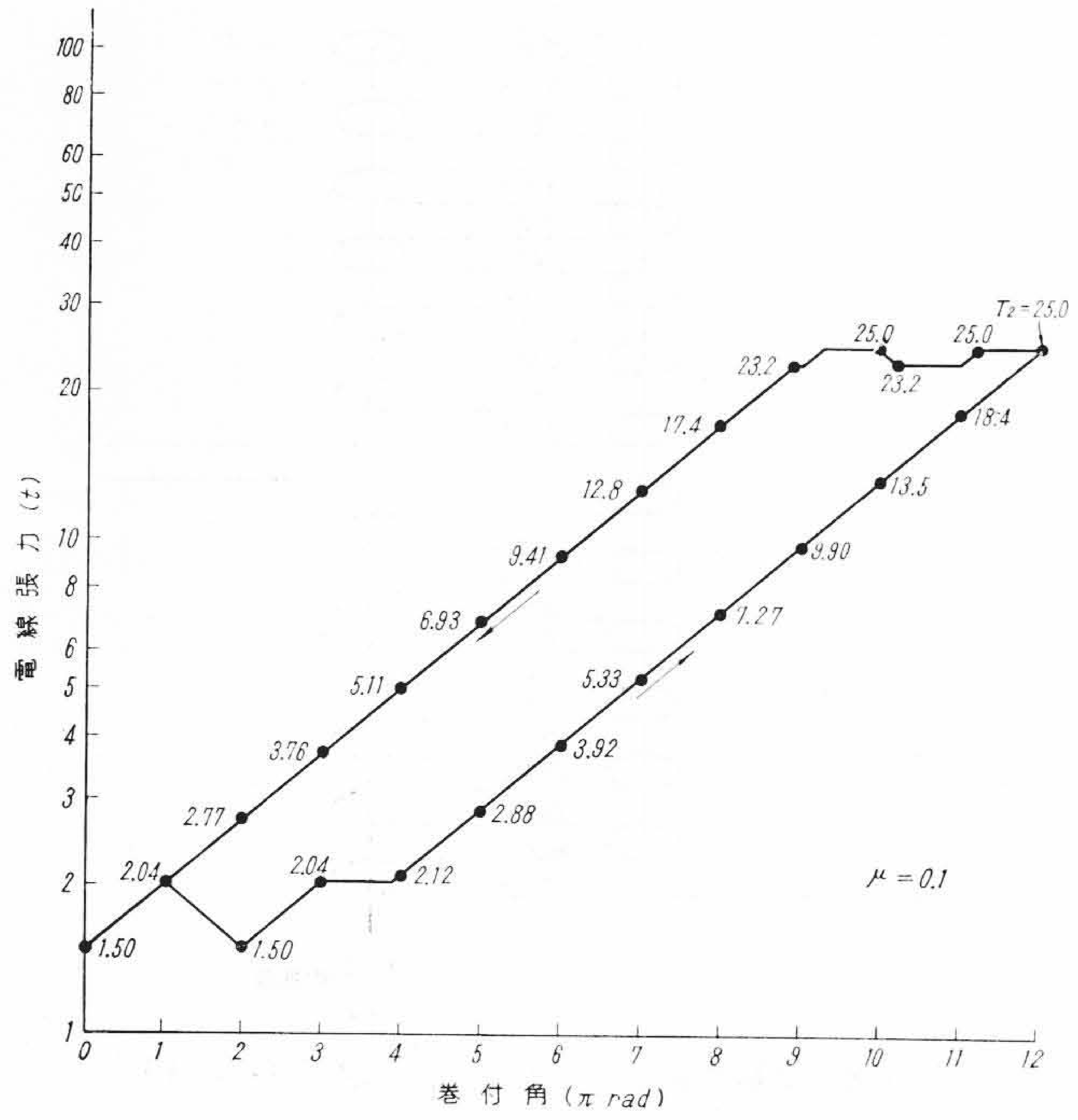
A点より反時計方向に進むにしたがって $T_s = T_1 e^{-\mu\theta}$ と張力が減少する。張力が減少すると見かけの速度は減少するので $\overparen{AB}$ 間全体ですべりが生じ $T_2 = T_1 e^{-\mu\theta_{AB}}$ となる。

3.1.3　$V < v_1$ の場合

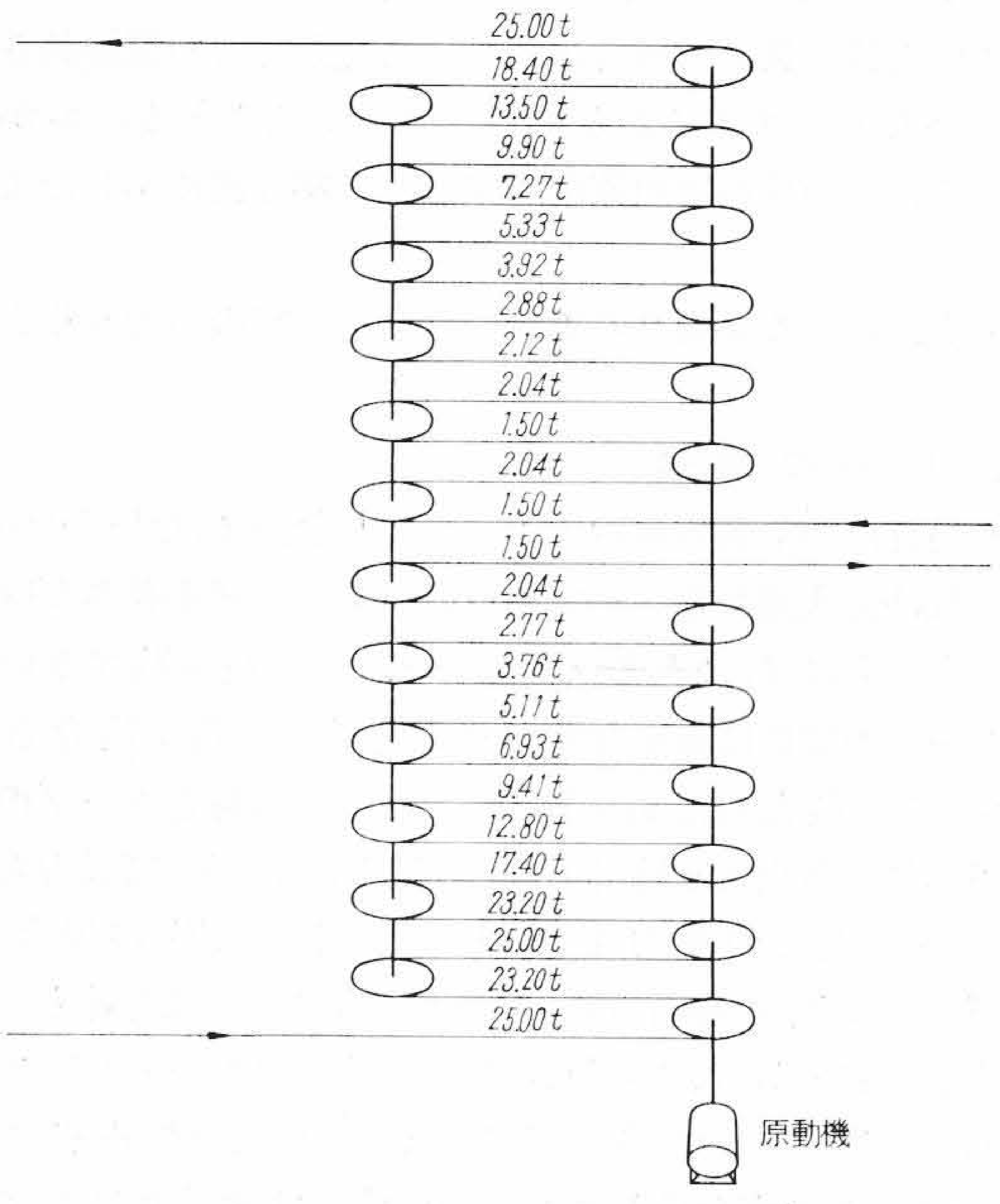
この場合は $V < v_2$ と考えてもよい。$T_2 = T_1 e^{\mu\theta_{AB}}$ となる。

3.2　ループ延線車内の張力変化

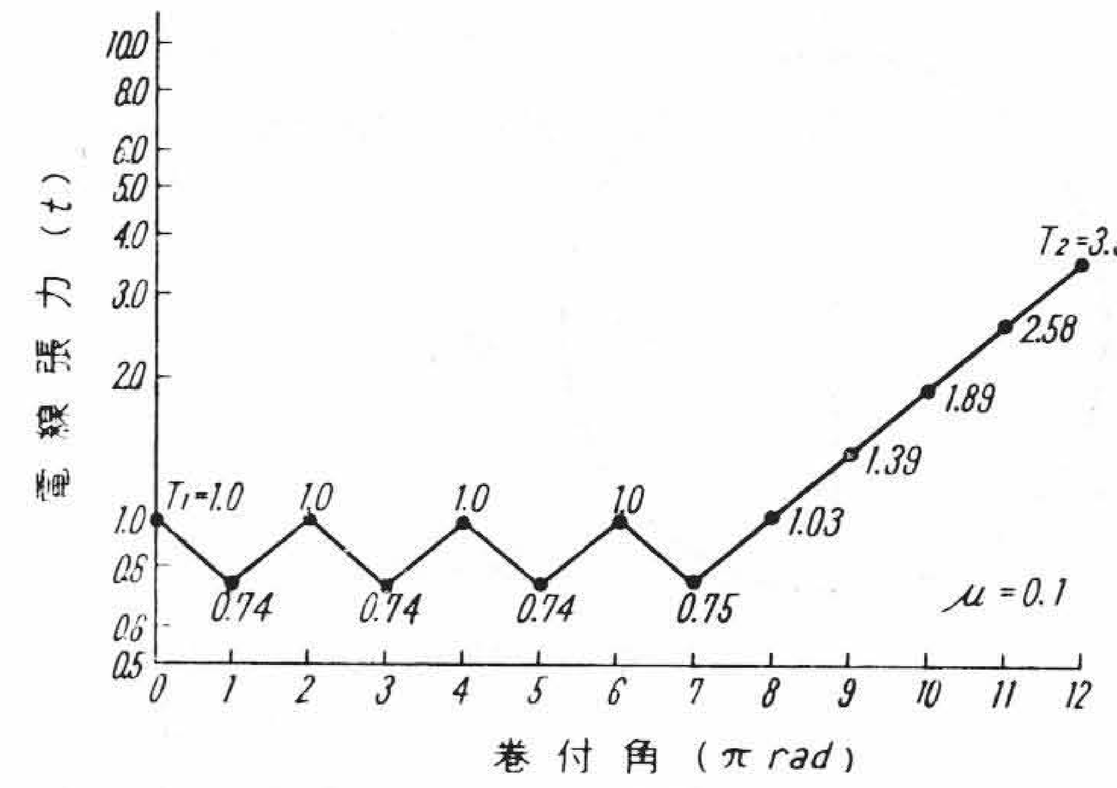
第2図のような延線車でドラム1のみを駆動する方式としドラム2は一体となった遊動車となっているものを考える。海峡横断部の延線張力を25 t としバックテンション（バックテンションウインチと延線車の間の張力）を1.5 t とする。ドラム1，ドラム2の点の



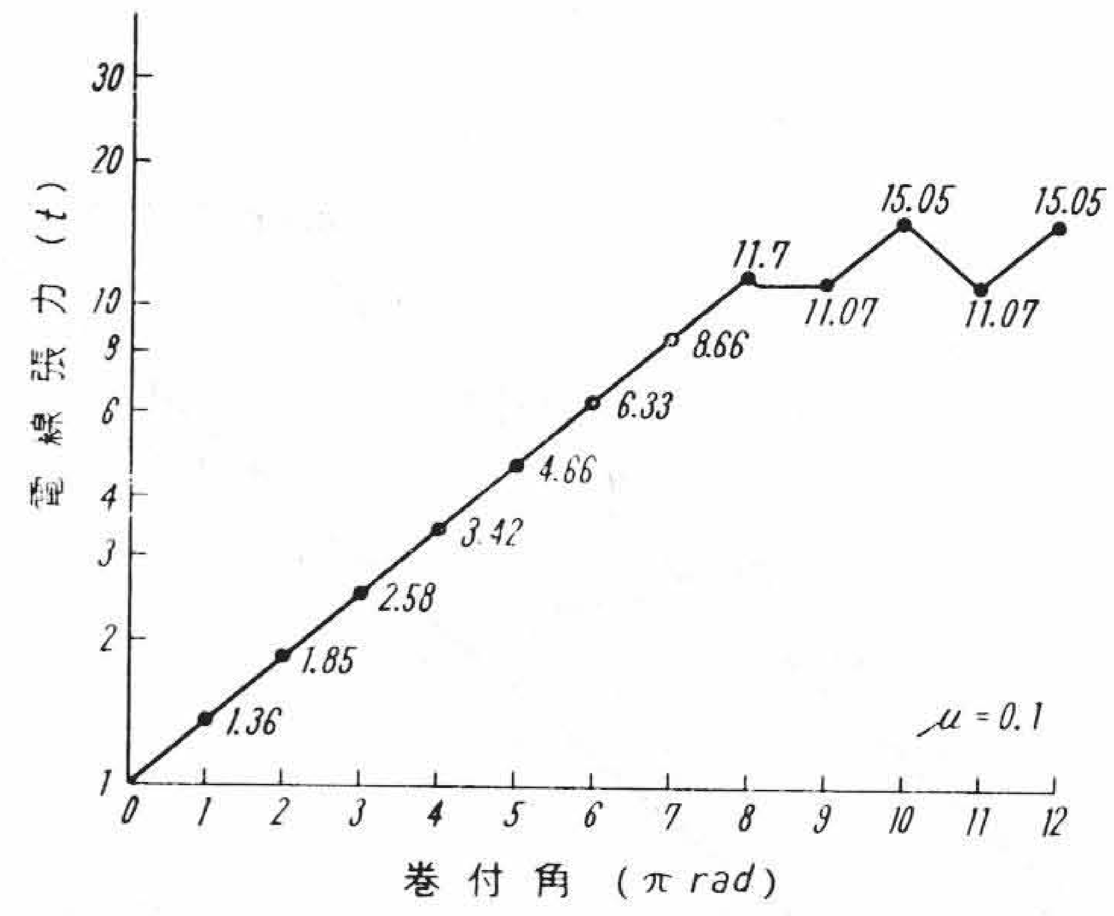
第6図　2輪延線車内の張力変化（その2）



第7図　2輪延線車内の張力変化見取図（その2）



第8図　1線引時の張力変化（巻戻時）



第9図　1線引時の張力変化（巻取時）

各みぞの径を等しいものとする。

μを0.1，線出側，巻取側の巻付数をおのおの6回として延線車内での張力変化を推定する。ドラム1，2の各みぞの周速を全部等しいと仮定すると多数のシーブが連結された場合も**第3図**の関係がθに関して成立すると考えられ，**第4図**のような巻付角と張力変化の曲線となる。この張力変化について見取図を書くと**第5図**のようになる。**第5図**の場合についてみるとドラム2は遊動車であるから軸受部分の摩擦を無視すると繰出側，巻取側の各巻き付けごとの電線，ワイヤによってドラム2に与えられるトルクの総和が零とならなければならない。**第5図**で半径をrとしてトルクを計算すると，

$$r\{(2.04-1.50)+(3.76-2.77)+(6.93-5.11)+(12.8-9.41)+(23.6-17.4)+(1.50-1.55)+(2.12-2.88)+(3.92-5.33)+(7.27-9.90)+(13.5-18.4)\}=3.19\,r$$

となる。このようにドラム2についてのトルクが零とならないのは**第4, 5図**の張力変化の計算でドラム1，2の周速を等しいと仮定したからであるが実際には若干回転速度が異なっていることがわかる。ドラム1の周速よりドラム2の周速を若干遅いものとするとドラム2のトルクが零となる点が見いだされる。この時の張力変化を図示すると**第6図**のようになる。またこの張力変化状態を見取図に示すと**第7図**のようになる。

同様な方法を反復すればμの値の異なる場合についての張力変化を計算することができる。2輪延線車の場合には電線張力は延線車の中で複雑な増減をくり返しながら送られていくことがわかる。

3.3　1線引時の張力変化

第2図に示したような延線車でループ延線を行なう場合には2本の電線，ワイヤに等しい張力が加わっているため**第6, 7図**に示した張力変化となるが，2本のうち1本の張力が零となった場合には一般の延線工法のように1線引延線車となる。

ループ延線工法を行なう場合には最初メッセンジャワイヤを海峡に張り渡す必要があるがこのメッセンジャワイヤは電線を直接延線できる程度のものが好ましい。細いワイヤを延線するとワイヤを順次太いものに引きかえてゆく必要があり工事に使用するワイヤの数量が増加し経済的でない。それゆえ太いワイヤを最初から延線すると海上に延線したワイヤを空中に引き上げるに要する張力がかなり大きくなる。このワイヤの引き上げ作業は延線車の巻胴を利用して行なうのが最も簡単で安全性がある。ワイヤはこの際1本ずつ引き上げることになるから延線車はちょうど1線引工法のような形で運転される。

2輪延線車内の張力変化を求めたと同様にして1線引状態での延線車内の張力変化を求めると**第8, 9図**のようになり，1線引状態でバックテンションを1t とすると巻取時15.05 t，巻戻時3.5 t となり大きな差がある。この現象は2輪のうちの一方を遊動車にすることに起因しており2輪車の各線みぞの直径を個々に変化させるなど

第1表　2輪延線車の軸にかかる荷重

動摩擦係数	繰出側の軸の荷重(t)	巻取側の軸の荷重(t)	総合した軸荷重(t)
0.100	93.9	156.6	250.5
0.125	81.7	190.1	271.8
0.150	71.5	213.0	284.5
0.175	69.2	224.1	293.3
0.200	63.8	234.5	298.3
0.220	59.3	217.0	276.3

の手段を講じても改善することが困難である。

以上の検討によると1線引時には極端に2輪延線車の能力が低下するので海上に延線したワイヤを延線車で引き上げることは困難である。それゆえ別途に巻き上げ装置を用意するかまたは2輪延線車の両巻胴を駆動することが必要である。

3.4 ドラムの軸にかかる荷重

2輪延線車の両ドラムの軸には電線，ワイヤによって大きな荷重が与えられることが考えられる。その荷重は延線車の両巻胴にかかっている全電線，ワイヤの張力の総和となる。この荷重はドラム1の方が大きくなる。その値を延線張力25 t，バックテンション1.5 tとして計算すると第1表のようになる。

第1表の計算結果からすると2輪延線車の軸受けの設計は非常に重要な点であることがわかる。特に巻取側の軸受けは1箇所で200 t程度の荷重をうけて運転される。この軸受けの良否は延線車の死命を制することになるので強制給油などのような完全な配慮が望ましい。

3.5 接続部通過方法

ループ延線工法についてメッセンジャワイヤの延線からループ延線の終了までの各工程を考えると，延線車の中を接続部が通過することが数回起きる。

これらの接続部は電線径の約3倍の太さとなることはさけられない。この接続部を張力状態のままで直接延線車の中を通過させると局部的に延線車のドラムのみぞ径が大きくなったような作用があり第6,7図の張力変化が不整となる。このため延線車の軸，巻胴，接続部に大きな応力の発生する可能性がある。特に接続部の破損は重大な事故をまねくおそれがあるため接続部を無張力状態で通過させなければならない。

無張力状態で接続部を通過させる方法の一例を示すと第10図のようになる。(1)のようにしてつるべ金車とワイヤを装置し(2)のようにしてつるべ金車に張力を移す。延線車への張力を零として接続部を通過させる。(3)の段階で金車から延線車に張力を移し(4)の状態となる。これらの各作業を要約すると“一時的につるべ金車にループ延線車の作用をさせる”ことでありA点，B点の距離を大きくとればつるべ金車でかなり延線が進行する。またこの接続部の通過は実施上はかなりの作業時間を費すと考えられる。

3.6 2輪式ループ延線車についての結論

上述した諸検討結果を要約し架線工事上重要とされる点に対する適応性を考えると次のようになる。

(i)　ループ延線は電線，ワイヤと巻胴上のみぞとの間の動摩擦係数が0.1以上であれば2輪方式の延線車で巻取側，繰出側とも6巻とし，ドラム1のみを駆動することによりループ延線が可能である。

(ii)　ドラム1のみを駆動する方式では海上に延線したメッセンジャワイヤを延線車で巻き上げて空中に引き上げる時の一線引能力が極度に低下する。

(iii)　2輪延線車の軸には大きな力がかかる。それゆえ大規模の軸受が必要となり設計上の重要点となる。

(iv)　2輪延線車では接続部を無張力状態で通過させる必要がある。

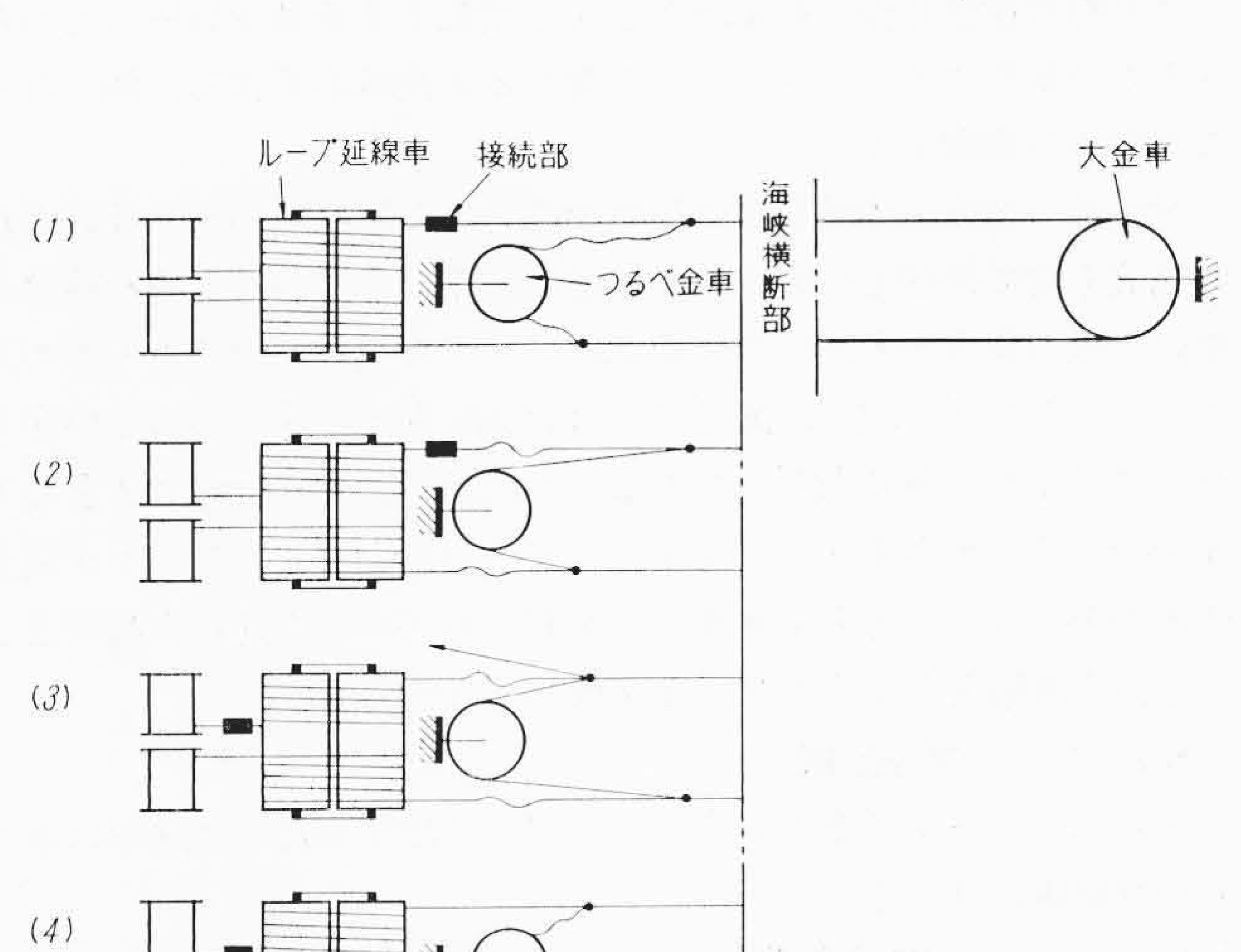
このように2輪延線車ではかなり多くの問題点があるので1輪延線車について検討する。

4.　1輪延線車における諸問題

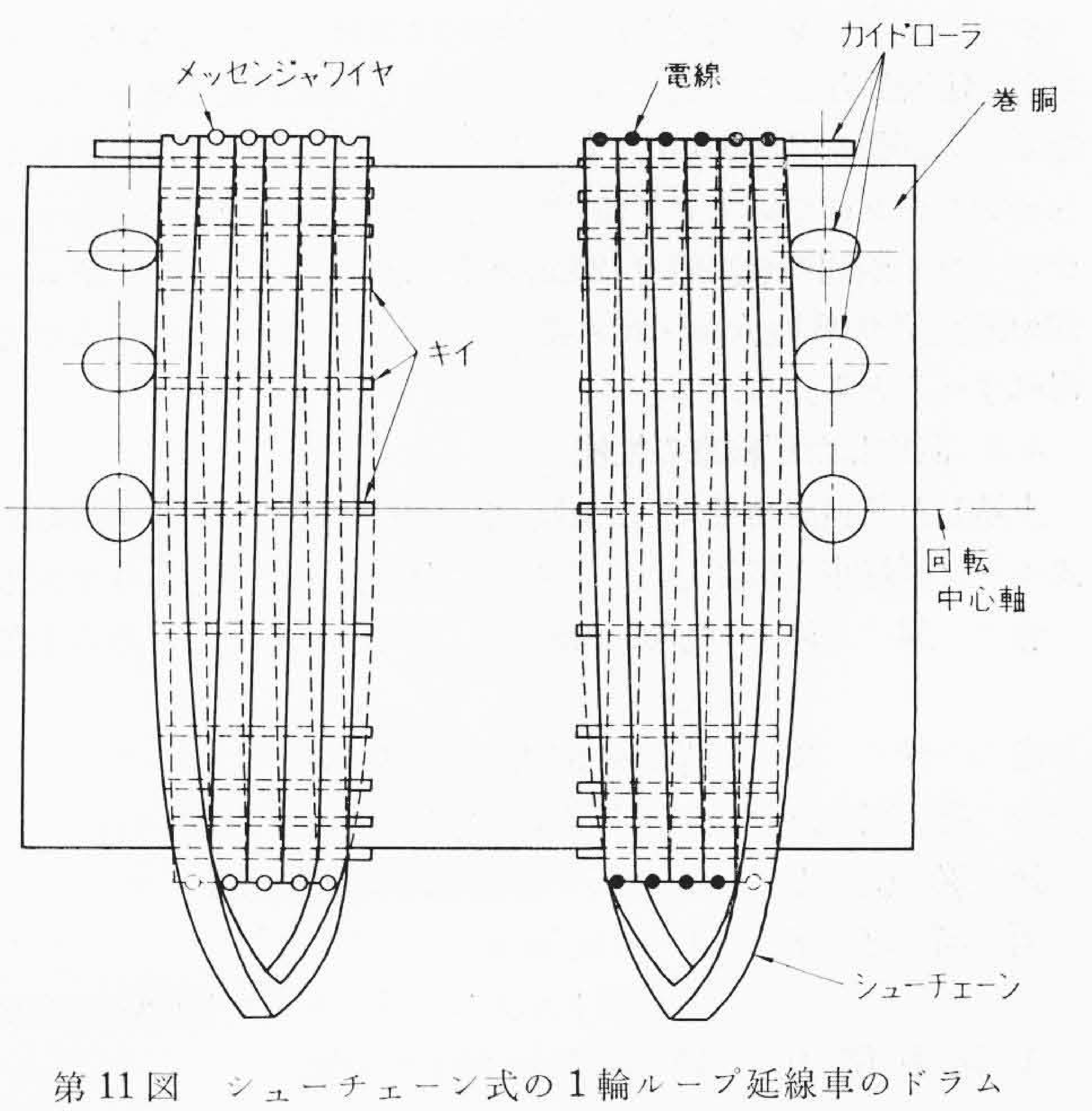
1輪式延線車を考えると上述した諸問題点はすべて解決される。しかし通常のACSR架線用1輪延線車で経験されているように巻胴上で電線が横すべりする。このため電線に損傷が生ずる傾向がある。長径間架線のような場合延線張力が大きくなるためこの傾向は特にいちじるしいと考えられる。電線と巻胴の接触圧力は巻胴の直径に反比例するから610 mm^2 ACSR（延線張力最大3.0 t）を直径2 mの延線車で延線している現状から考えて25 tの延線張力とするためには直径16 m以上となる。このような大きさは実用上大きな支障となるので対策が必要である。

4.1 シューチエーン方式の採用

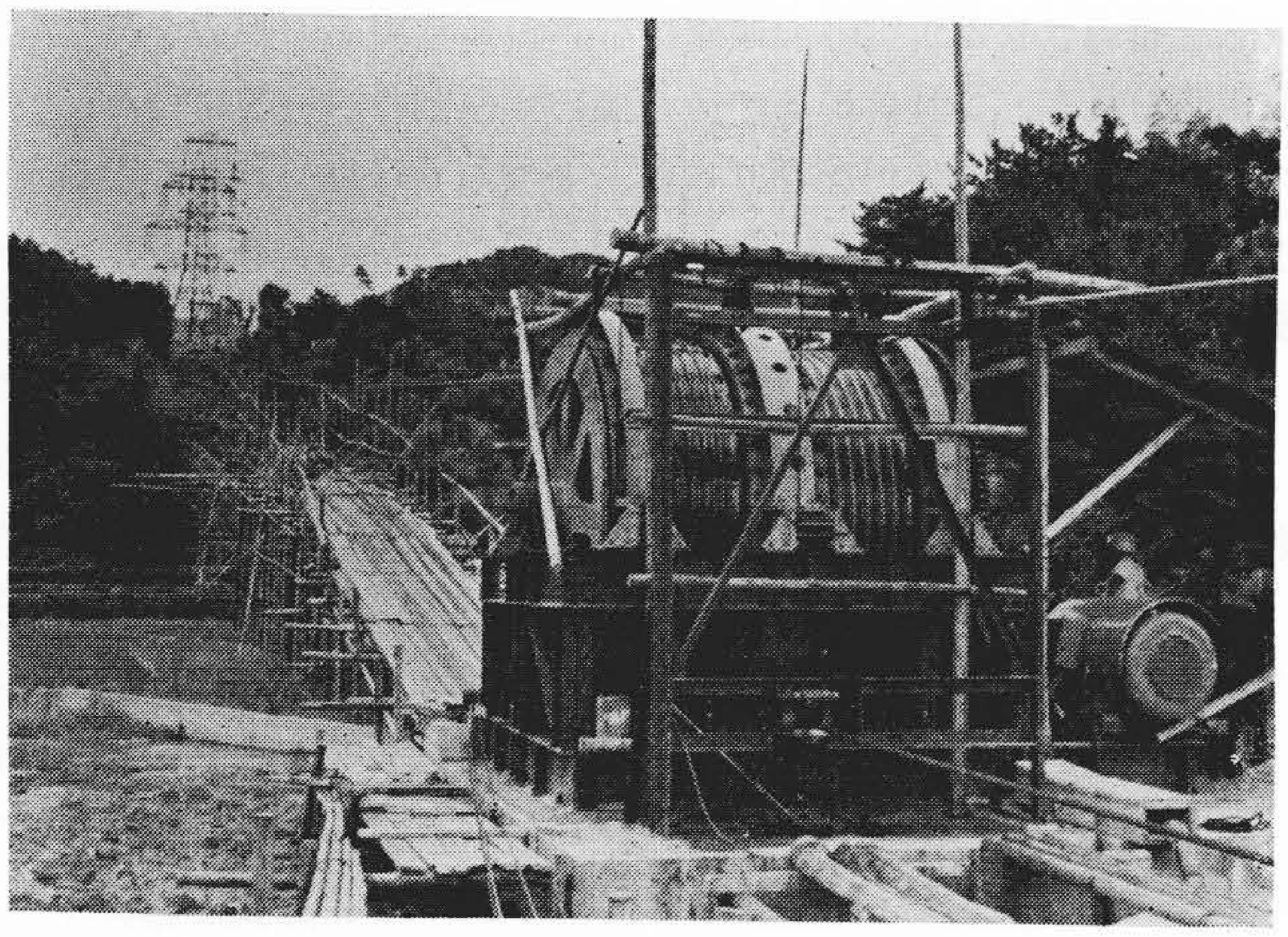
電線の損傷を防止するためには巻胴を通過する際電線に紙，布，ゴムなどのテープを巻きつけておき通過後除去することが考えられる。また電線に巻かないまでも巻胴と電線の間に介在物を入れ電線と介在物を密着させ介在物を巻胴に対して横すべりさせる方法があ



第10図　2輪延線車に接続部を通過させる方法



第11図　シューチェーン式の1輪ループ延線車のドラム



第12図　波止浜―大島―中渡島間架線工事に使用中の一輪式ループ延線車

る。

この様な方法を機械的に連続的に確保できるようにしたものとしてオーネゾルゲのシューチエーン式の巻胴(1)がある。この機構をループ延線車に応用すると**第11図**のようになる。20個に分割された円弧の形をしたシューチエーンがあり巻胴にはこのチエーンとかみ合うよう20個のキーが配置されている。チエーンとキーはかみ合いながら巻胴上に巻き付いている。チエーンの巻始めと巻終わりとはドラムからはなれたたるみの部分で結合されている。キーは巻胴の回転軸と平行でありかみ合ったチエーンは横方向にはすべりうる。チエーンが巻き付けられている部分の側方にはチエーンを一定の割合で横方向にすべらせるようなガイドローラが配置されている。巻胴が回転すると巻き始めの部分から巻き込まれたシューチエーンはキーとかみ合いながら巻胴とともに回転し，1回転ごとに丁度シューチエーンの幅だけ巻胴上を横方向にすべる。電線，メッセンジャワイヤはシューチエーン上にあるため一般の1輪キャプスタンで起こる電線と巻胴の間の横すべりはシューチエーンと巻胴の間の横すべりに置換され電線の損傷は防護される。

4.2 横すべり運動の検討

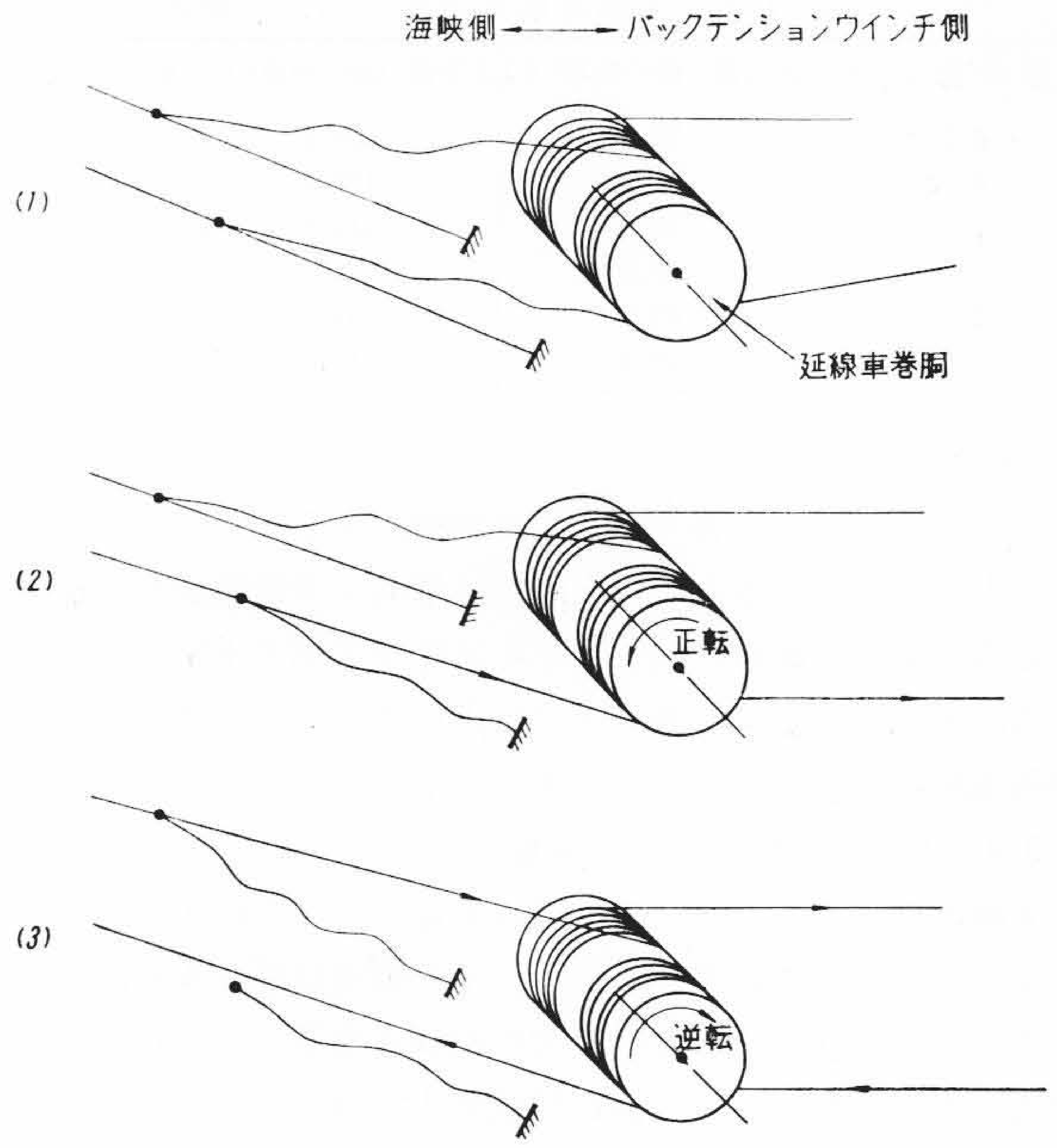
上述したようなシューチエーン方式により問題点は解決されるがシューチエーンと巻胴とのすべりが確実に行なわれることが前提となる。

シューチエーンと巻胴の間の接触力は電線張力に比例すると考えられ，延線張力を25tとすると延線車から電線が出る部分で最大となる。巻胴径を2,500mm，素子を円周で20個として設計されたシューチエーンについてPV値(2)(圧力，速度係数)を求めるとシューチエーン巻胴間の最高値0.12kg/cm²•m/s，キーとシューチエーン間の最高値0.08kg/cm²•m/s程度となり十分低い値であるので円滑にすべると考えられる。

4.3 試作した延線車の性能

上述した諸検討結果にしたがってシューチエーン方式巻胴の1輪式ループ延線車を製作した。そのおもな仕様は次のとおりである。

巻胴径	2,500mm(シューチエーン外側のみぞ底にて)
巻付数	繰出側5回，巻取側4回
みぞ底形	半径18mmの円弧
延線張力	常用25t(試験は30tで実施)
延線速度	0～14m/min 可動翼トルクコンバータ(3)で無段階に可変
1線引能力	13t(試験は20tで実施)



第13図　ループ構成の方法

延線車のほかに延線に要する付属設備としてバックテンションウインチ(電線繰り出し，ワイヤ巻き取りをバックテンション約1,5tを与えながら行なうものである)，大金車(延線車の設置された対岸部にあってループ状となって電線，メッセンジャワイヤが反転する部分に用いる。**第1図**参照)。大金車ウインチ(大金車の位置を調整し海峡部の弛度を調整する)が付属している。

第12図に中国―四国連絡線海峡架線工事現場で運転中の延線車を示す。

5. 実用運転結果

上述した1輪式ループ延線車を中国―四国連絡線海峡横断部，大三島―大久野島間，波止浜―馬島―中渡島の架線に使用した。

5.1 海上延線

メッセンジャワイヤは最初海上に延線される。対岸に到達するだけのワイヤを海岸に用意し，20m間隔で浮子を取り付けひき船によって海上にワイヤを引き出す。対岸のワイヤとの接続を行なってから延線車で中間のたるみをとり海上から空中に引き上げる。

これらの作業は海上の潮流が弱まり反転する時期をねらって行なうものでありワイヤの引き上げが遅れると潮流が変化し，強くなるので作業が困難となる。

波止浜―馬島―中渡島間の延線の場合は2海峡にわたる延線となり潮流も特にはげしいところであるため条件は悪いが1輪延線車の場合1線引能力が大きいので順調にワイヤを引き上げることができた。ワイヤの巻き取りは通常は10m/min程度の速度で行ない海上からワイヤが次第に上がってくるようになると5～2m/minとして浮子をワイヤから順次取りはずしながら引き上げる。ワイヤが完全に水面からはなれると延線車の力を利用してループ延線上必要とされる海上離隔となるまでワイヤを仮り上げする。

5.2 ループ延線

メッセンジャワイヤが対岸に対して1往復するだけ延線されるとループ延線にはいる。

5.2.1 ループ構成作業

海上延線によって仮り上げされた2本のワイヤはそれぞれカムアロングで仮り止めされている。このワイヤの張力を延線車に移す作業が必要である。この作業は1線引能力の小さい2輪延線車

では2本のワイヤの張力を完全に同時に延線車に移さなければ危険性を伴うので第10図に示したようなつるべ金車を用いなければならない。

1輪延線車の場合には第13図に示すように延線車を正転，逆転方向に寸動させることによって容易にループ延線の準備が終了できる。

5.2.2 延線中のたるみ調整

ループ延線を進行させるとメッセンジャワイヤの重量より電線の重量が大きいため電線側のたるみが増加する。このたるみの変化は大金車の位置を大金車ウインチで調整することにより補正できる。しかし現地の地形や用地事情によって大金車の調整距離を大きくとることができない場合には延線車の側でたるみの調整をする必要がある。この作業の場合にもつるべ金車を用いることなく簡単にたるみ調整を行なうことができた。

5.2.3 接続部通過作業

ワイヤ—ワイヤ，ワイヤ—電線の接続にはアルミ合金スリーブによって相互を平行に重ねて圧縮するトヨロック方式を用いた。この方式は接続部にある程度のたわみ性があるので延線車を通過させるのに好都合である。接続部は延線車を2～5 m/minの速度で通過させた。1輪延線車の場合接続部通過のために特別な作業を必要としないので大いに作業時間を短縮できた。

6. 結　　言

以上に述べた諸点を要約すると次のような点があげられる。

（1）　2輪キャプスタンを応用したループ延線車ではループ延線は可能であるが1線引能力の低下，ドラムの軸にかかる荷重が大きいこと，接続部の通過作業が複雑となることなど種々の問題点がある。

（2）　1輪キャプスタンを応用したループ延線車ではこれらの問題点を解決できる。

（3）　1輪キャプスタンの場合には巻胴上で電線の横すべりがあるのでオーネゾルゲのシューチエーン式巻胴を応用することによって解決した。

この延線車の方式は多くの利点をもっているので今後汎用機として一般の送電線架線に利用されれば成果があると思われる。

終わりに当たり本延線車の計画，運転に関しご協力をいただいた電源開発株式会社，東光電気工事株式会社，日立製作所，日立電線株式会社の関係各位にあつくお礼申し上あげる。

参　考　文　献

（1）　西岡：　エンジンニャリング 46，68（1959-2）
（2）　日本機械学会編：　機械工学便覧，7-68，改訂第4版
（3）　関：　日立評論 44，1217（昭37-8）

新　案　の　紹　介

登録新案第560353号

栗山　卓・大竹　正
平野三百里

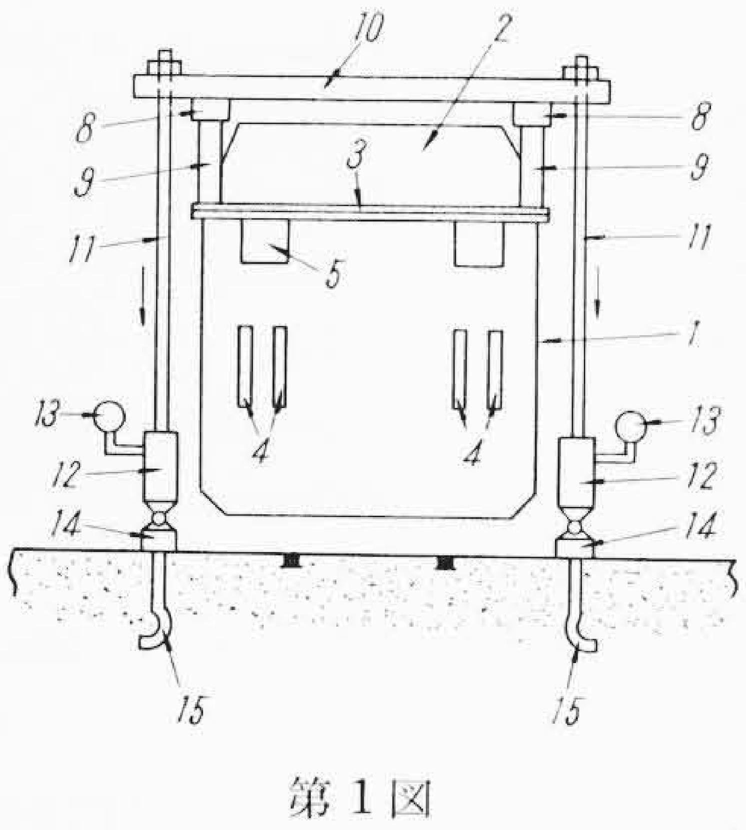
変圧器つりかけ輸送車の荷重試験装置

変圧器つりかけ輸送車においては，輸送中の安全をはかるため外箱1をつり梁（はり）6につりかけた状態において，中身を含んだ外箱1の重量が台車7に与える荷重の程度を試験するため，従来は外箱1内に油を充てんしかつ鋼材ブロックなどを外箱のふた2上に積載して荷重試験を行なっていた。

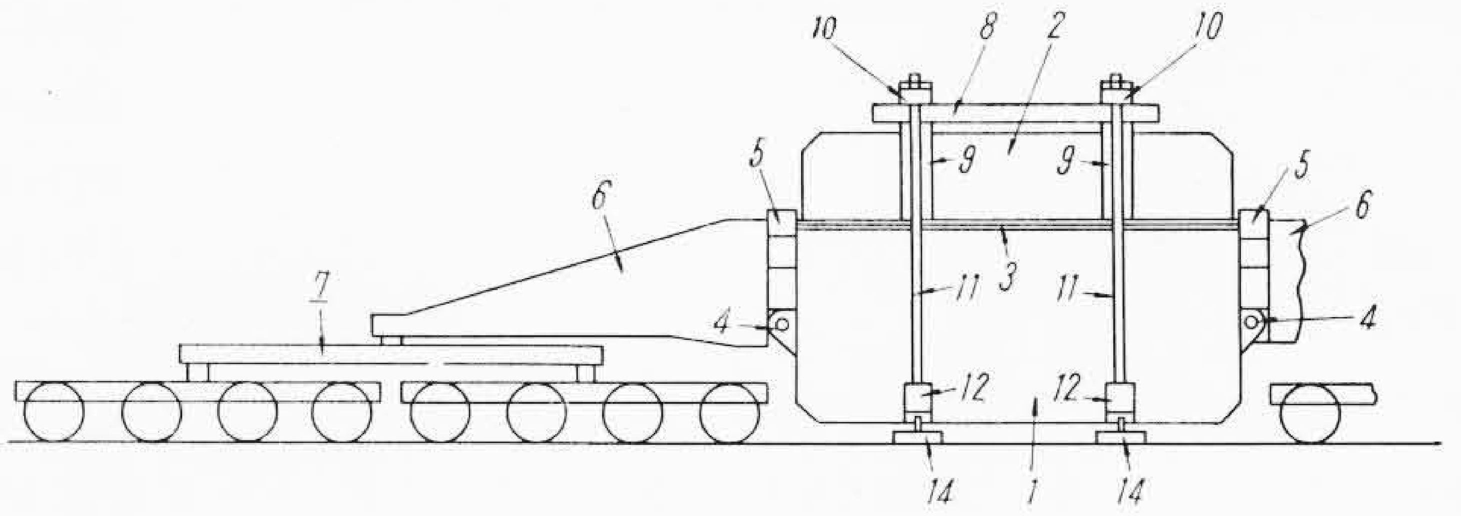
この考案はこうした荷重試験を簡単かつ確実に行なう荷重試験装置を提案するもので，外箱1の接手フランジ3上に脚9によりささえられた縦梁8，横梁10よりなる架台を乗せ，横梁10に荷重かん11の上端を取り付け，この荷重かん11の下端は油圧シリンダ12内のピストンに連結し，油圧シリンダ12内へ圧油を送入することによりピストンを圧下し，このピストンに連結した荷重かん11を矢印の方向へけん引して外箱1に加重し得るようにしたものである。

このような構成とすれば油圧計13の目盛を読みながらシリンダ12への送入圧油の油圧を加減することにより外箱1に対し，任意の値の加重操作を行なうことができるから，輸送車の荷重試験を簡単かつ正確に行なうことができる。

（須田）



第1図



第2図