U.D.C. 625.5-59

ケーブルカー制動装置

Brake Equipments of Cable Car

大橋　剛*

内容梗概

現用されているケーブルカーの制動装置には，その基本型式として三種があるが，いずれも国産化後日なお浅いという点もあつて，それら三種の比較検討はもとより，制動装置そのものについての考え方も十分確立しているとはいい得なかつた。

日立製作所は一昨年6月，ケーブルカー試験装置を設置し，これら三種の制動装置を有する各台車について諸種の現車試験を行つてその構造，性能を解析しつぎの結果をえた。

（1） 制動装置の動作時間はきわめて小であるが，各型式により相当の差異がある。

（2） 錠装置の設計々算方式を確立した。

（3） 各型式の制動装置効率を見出した。

（4） 制動子と軌条との摩擦は諸条件により相当異り今後明確にしておく要があることがわかつた。

なお，最終的にはこれら三種の型式についての特長を比較して，今後の制動装置選定の指針をうることができた。

〔I〕 緒　　言

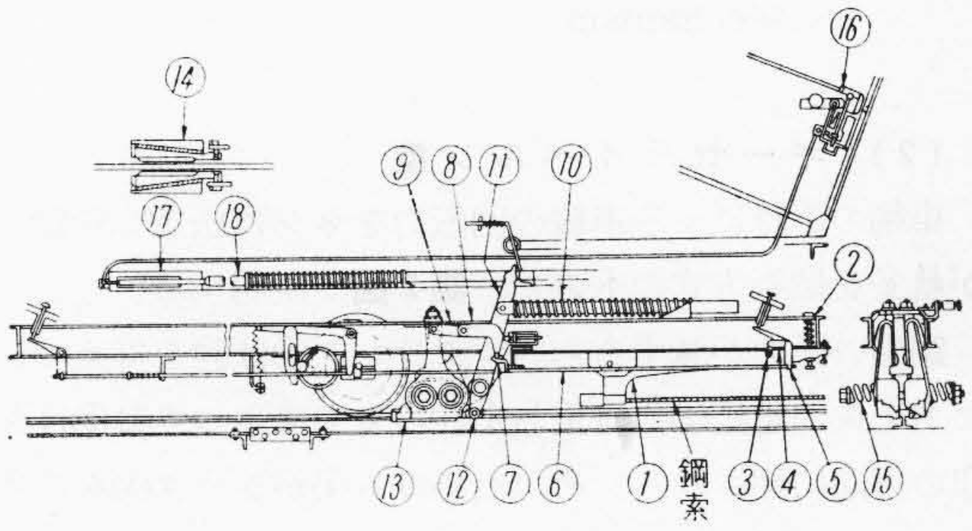
ケーブルカーの制動装置として現在使用されているのは，テオドルベル型，ギーセライベルン型およびセレッチタンフアニー型で，いずれも戦前欧洲から輸入されたものであるが，戦後国内でケーブルカー台車が製作されるようになつてからも，これら三種の制動装置ないしはその一部を改造したものが使用されている。

しかしながら国産後日なお浅い現在，制動装置としての考え方，各種制動装置の得失およびそれによる現地諸条件との適合などの点については研究を要する多くの問題があり，相模湖遊覧船顚覆など最近相ついで起きた重大事故はケーブルカーについても強くその安全性の再検討を要望されるに至つた。たまたま運輸省関係筋の推進により索友会ブレーキ調査委員会主催で，我国初めての大掛りな制動試験(1)が昨年2月日立製作所笠戸工場の試験設備を使用して行われたことは，この方面の研究に大きく一歩を進めたものとして意義深いものであつた。

日立製作所は現在までに各種のケーブルカーを設計製作し，いずれもその納入に先立つて工場内で現地と同等の条件を与えた試験を行つてその安全性を確認していたのであるが，さらに制動装置の諸特性を根本的に解析するため一昨年6月専用のケーブルカー試験装置を設置し，各型式の台車について諸種の試験研究を行つて来た。この研究は各種制動装置機構の検討および制動作用に関係する諸因子を追究したもので，制動子と軌条との摩擦係数などに未解決の点はあるが一応取纏めを行つて諸賢の批判を仰ぐ次第である。

〔II〕 制動装置の構造

ケーブルカーの制動装置はつぎの場合に作用する。



第1図　テオドルベル型制動装置

Fig.1.　Type Theodole-Bell Brake Mechanism

（1） 鋼索が切断または弛緩した場合（自動）

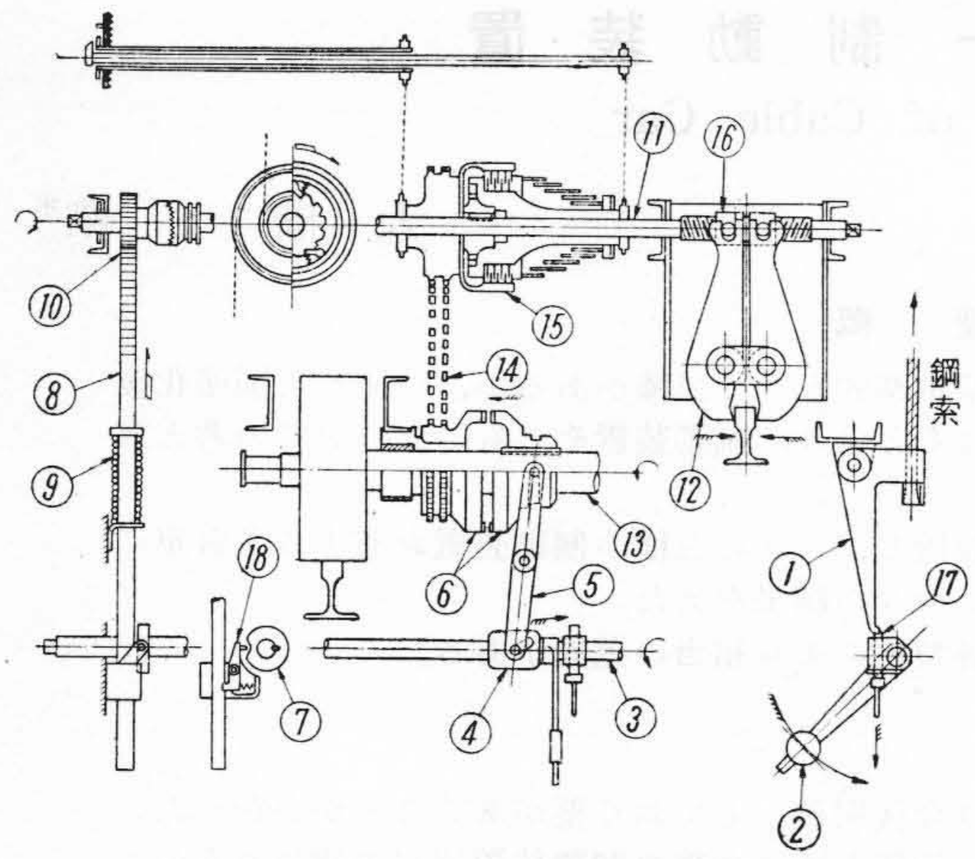
（2） 乗務員が急停車を必要と認めペダルまたは引紐を動作せしめた場合（他動）

現用されている制動装置は，テオドルベル型，ギーセライベルン型およびセレッチタンフアニー型を基本としているが，それらの構造および作用の概略はつぎの通りである。

（1） テオドルベル型

圧縮された強力なバネを有し，その鎖錠を解けば，バネ力により制動子が軌条を摑むようにした方式である。**第1図**において鋼索が弛むと，ロープレバー①の自重とバネ②によりリンク③は下方へ引かれ，リンク④⑤を経てブレーキ引棒⑥が右方へ引かれて錠⑦を外す。ブレーキテコ⑪は常時クロージングバネ⑩を圧縮して錠⑦で鎖錠されているので，錠が外れると強く押出され他端で楔⑬を右方へ引く。楔の表面に制動子が取付けられてあり，その裏面は勾配になつているので，楔の移動によりブレーキバネ⑮は圧縮され，その締付力が軌条と制動子間の圧力として与えられる。制動は油ポンプ⑯により緩解され，油圧はシリンダ⑰に入り押棒⑱を押してブレーキテコ⑪を旧位置に復帰せしめ，錠⑦を鎖錠する。

* 日立製作所笠戸工場



第2図　ギーセライベルン型制動装置
Fig. 2.　Type Gieserei-Bern Brake Mechanism

(2)　ギーセライベルン型

車輛の下降による車輪の回転力をネジに伝えて制動子が軌条を摑む方式のもので，**第2図**で説明する。

鋼索の張力が減ずるとベルクランク①は⑰を抑えていた力を失い重錘②の自重およびバネ力によつて軸③は矢印の方向に廻される。そのためカム④がシフタ⑤を作用してクラッチ⑥が噛合う。したがつて車輪の回転は鎖⑭を経て摩擦クラッチ⑮に伝えられ摩擦板を経てブレーキ軸⑪が回転させられる。軸③が廻るとその他端に固定されたカム⑦によりテコ⑱とラック軸⑧の鎖錠が解かれるので，ラック軸はバネ⑨により矢印の方向に押出されピニオン⑩によりブレーキ軸⑪を回転せしめる。ブレーキ軸⑪が回転すれば，ブレーキトング⑫の下端に固定された制動子は軌条を把握する。

制動を解くのは，まず鋼索に張力を与え，ついで軸③およびブレーキ軸⑪をその一端にスパーナーをかけて反対方向に廻し⑰で①を鎖錠することにより行われる。

第3図　セレッチタンフアニー型制動装置
Fig. 3.　Type Ceretti-Tanfani Brake Mechanism

(3)　セレッチタンフアニー型

圧縮空気の圧力にて油圧を生じ，それを制動筒に導いて軌条を制動子が摑むようにしたもので，**第3図**によりその代表的な構造および作用を説明する。

鋼索が弛むとロープレバー①の先端が下がりブレーキ引棒⑤が右方へ引かれるのはテオドルベル型同様であるが，このためレバー⑥⑦は右方へ廻され，バネ⑧で抑えられているレバー⑯は下に下がつて作用弁⑨内の弁棒⑰を押し弁⑱は開く。油槽⑩には圧縮空気が込められているので作用弁の開放により油はパイプを通つて制動筒⑪に流入し，ピストンを押して楔⑫をローラ⑬の間に強力に押込む。上側のローラには外制動靴，下側のローラには内制動靴が取付けられているのでお互の制動靴の運動により軌条は上下に強く摑まれる。制動の緩解は，ネジ⑮を廻してレバー⑲でピストンを押戻し，作用弁レバーを鎖錠して弁を閉じることによつて行われる。

以上の基本型に対して，車輛の連結運転のために連動機構を追加したものなどあり，またいわゆる錠装置（鋼索弛緩を検出し伝達する機構）においては多種多様である。

〔III〕　現車の制動過程

ケーブルカーの鋼索切断前後における運動の状態を**第4図**に示す。角 α なる斜面を重量 W なる車輛が V_0 なる一定速度で鋼索につながれて下降しているとき，その鋼索が切断すると車輛は 0–1–2 の過程により停止する。こゝに t_1 は制動装置の動作時間でありこれに相当する空走距離が S_1 である。この間に車輛は V_1 なる速度に達し，この点において制動が作用し初め，t_2 時間後に S_2 なる制動距離を以て停止する。

鋼索切断後制動開始までの車輛の運動は

$$\frac{W}{g}\ddot{x}=W\sin\alpha-f \quad \cdots\cdots(1)$$

で与えられ，制動作用後の運動は

$$\frac{W}{g}\ddot{x}=-(B-W\sin\alpha+f) \quad \cdots\cdots(2)$$

で与えられる。たゞし

f＝車輛の走行抵抗（一定と考える）

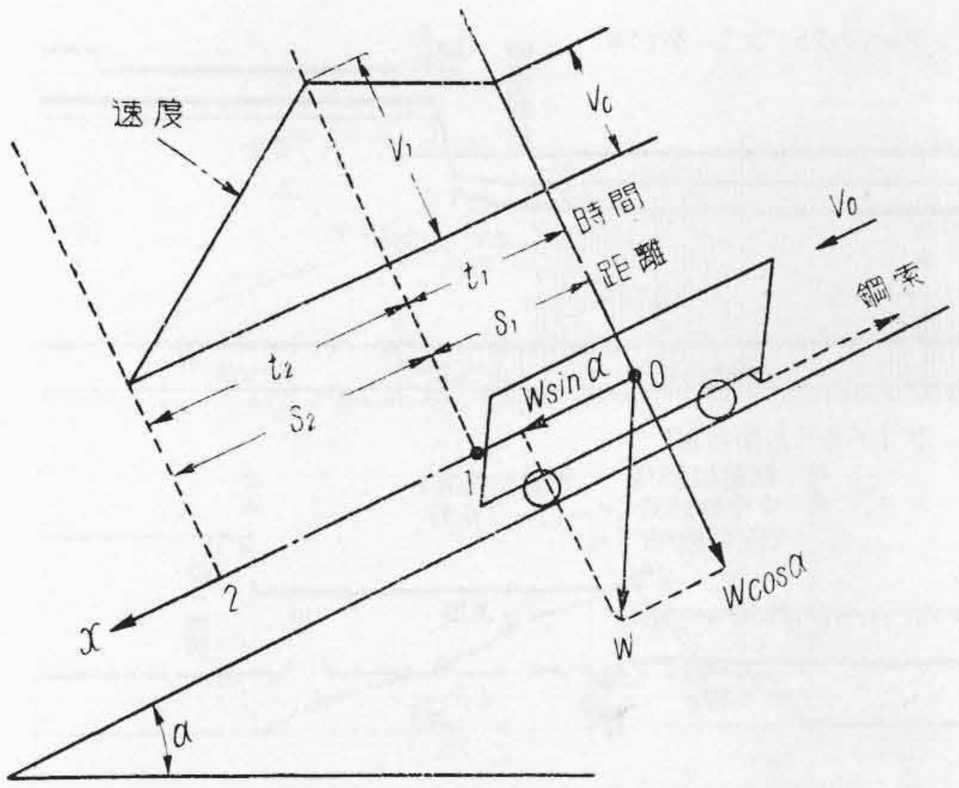
B＝制動力

制動力は制動子の軌条把握力とその間の摩擦係数との積であつて，一般には速度，圧力などの函数であるが，これを常数と考え

（1）式にて　$t=0;\ x=0,\quad \dot{x}=V_0$

（2）式にて　$t=0;\ x=S_1,\ \dot{x}=V_1$

とおいてこれらを解いて次式が求まる。



第4図 制動過程図
Fig.4. Process of Braking

$$\left.\begin{aligned} V_1&=V_0+gt_1(\sin\alpha-\mu)\\ S_1&=V_0t_1+\frac{1}{2}gt_1^2(\sin\alpha-\mu)\\ S_2&=\frac{V_1^2}{2g\left(\frac{B}{W}-\sin\alpha+\mu\right)}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots(3)$$

たゞし $\mu=\frac{f}{W}$

運転速度 V_0 は約 3 m/s のものが最も多く，最高は 3.5 m/s 最低は約 1.5 m/s で，V_1 が 4 m/s を超えないように選ばれているのが現状である。

路線の縦断面は一般に抛物線に近い形状で，山上に近い程勾配が急でありその値は 20°～30° であるが，12° 程度のものもある。α としては最急勾配角をとる。

走行抵抗係数 μ の値は車輪径，軸受の種類，曲線など路線の状況により異るが，0.005～0.015 程度で，一般には 0.010 と考えれば間違なく，かつ制動性能の検討に際しては省略して良い程度のものである。

動作時間 t_1 は斜面を走行する車輛にとつては重要なもので，各型式によりはなはだ異る。小なる程良いことはいうまでもない。

制動力 B は軌条と制動子の摩擦係数に関係すると同時に各制動型式固有の効率に関係する。

以上のほかに鋼索張力が正常値より弛緩する場合できるだけ早く制動を作用させるために錠装置の感度は敏感でなければならない。

〔IV〕 試 験 の 方 法

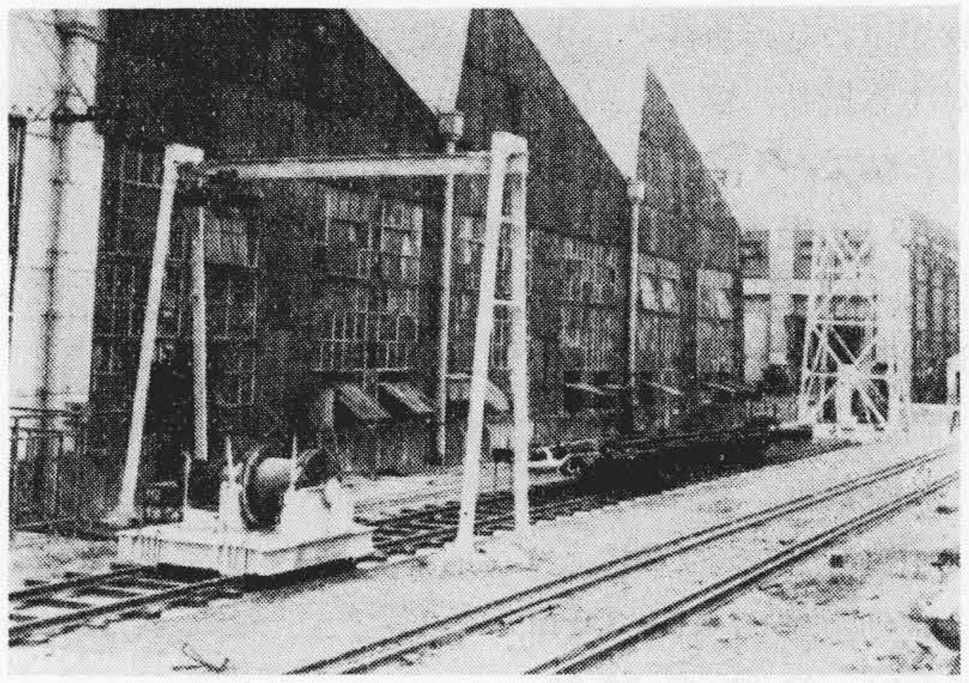
前述の諸問題を研究する方法として現車による試験を選び，工場内の試験設備により行つた。

(1) 供 試 台 車

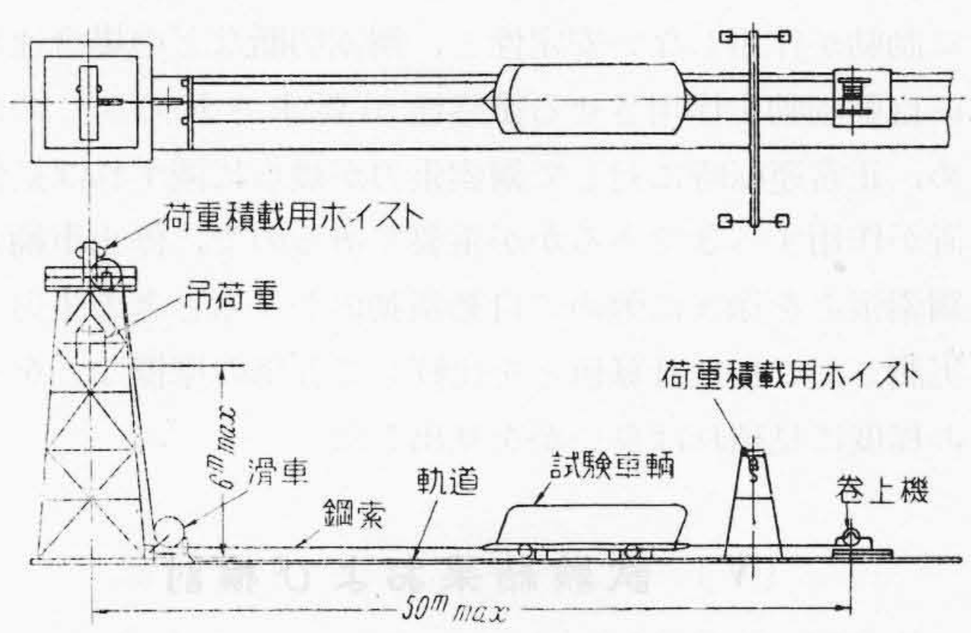
各型式について**第1表**に示す諸元のものを使用した。

第1表 供試台車の諸元
Table 1. Specifications of Test Trucks

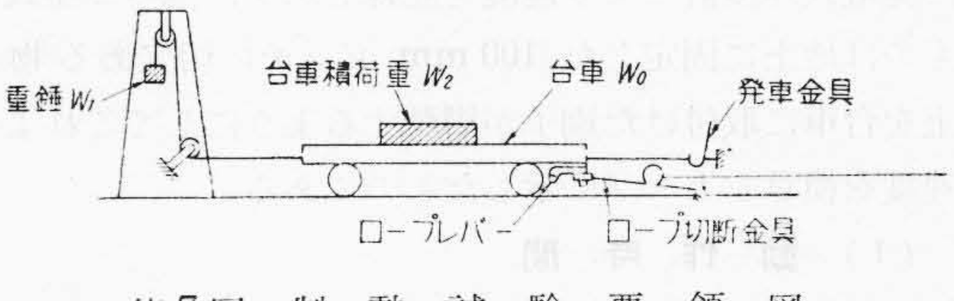
諸元 ＼ 型式	テオドルベル	ギーセライベルン	セレツチタンフアニー
軌間 (mm)	1,067	1,067	1,067
軸距 (mm)	6,800	6,800	4,100
車輪径 (mm)	620	620	550
台車自重 (kg)	5,900	5,800	3,700
制動力 (kg) (計算上)	19,000	19,000	14,500
相当勾配 (%)	55	55	54



第5図 ケーブルカー制動試験装置
Fig.5. Cable Car Brake Tester



第6図 ケーブルカー制動試験装置の構造
Fig.6. Structure of Cable Car Brake Tester



第7図 制動試験要領図
Fig.7. Mechanism of Brake Test

(2) 制動試験装置

外観を**第5図**，構造の概略を**第6図**に示す。この装置による試験の方法[2]はすでに発表[3]されているので詳細には触れないが，**第7図**と**第4図**とを比較して，荷重条件を

$$W_1 = W \sin\alpha$$
$$W_2 = W - (W_0 + W_1)$$

のように選択して**第7図**のようにまず台車を固定する。ついで発車金具を解くと車輛は重錘のために加速される。現地運転速度になつたときに錠装置を作用さすようあらかじめ弛めロープが備えてあるので，その速度になつたときに車輛には自動的に制動が作用し停止する。この間の速度，時間などをオッシロなどで測定するのである。

この試験方法によれば現地と同一条件で簡単に制動試験が行われ，重錘と台車とをロープで結んでいることに対する振動，慣性に対してわずかな修正を施すだけで満足な結果がえられることがわかつている。

(3) 走行制動試験

前述の方法によりつぎの条件の諸組合せに対して 2～3 回ずつ行つた。

荷　　重：空車，定員乗車，満員乗車各相当荷重
軌条状況：塗油，塗油＋細砂，撒水，乾燥
相当勾配：約 30°
制動距離：0.5～3.0 m

(4) 錠装置試験

鋼索が切断したことを検出し，制動装置の鎖錠を解放する機構を含めて錠装置と称す。正常の運転時には勝手に制動が作用しない安定性と，鋼索切断などの場合速かに自動制動を作用させる敏感性が要求される。このため，正常運転時に対して鋼索張力が幾らに減ずれば錠装置が作用すべきであるかが重要であるので，停止車輛の鋼索張力を徐々に弛めて自動制動のかゝるときの張力を実測し，これと計算値とを比較して各部の摩擦などをどの程度に見積れば良いかを見出した。

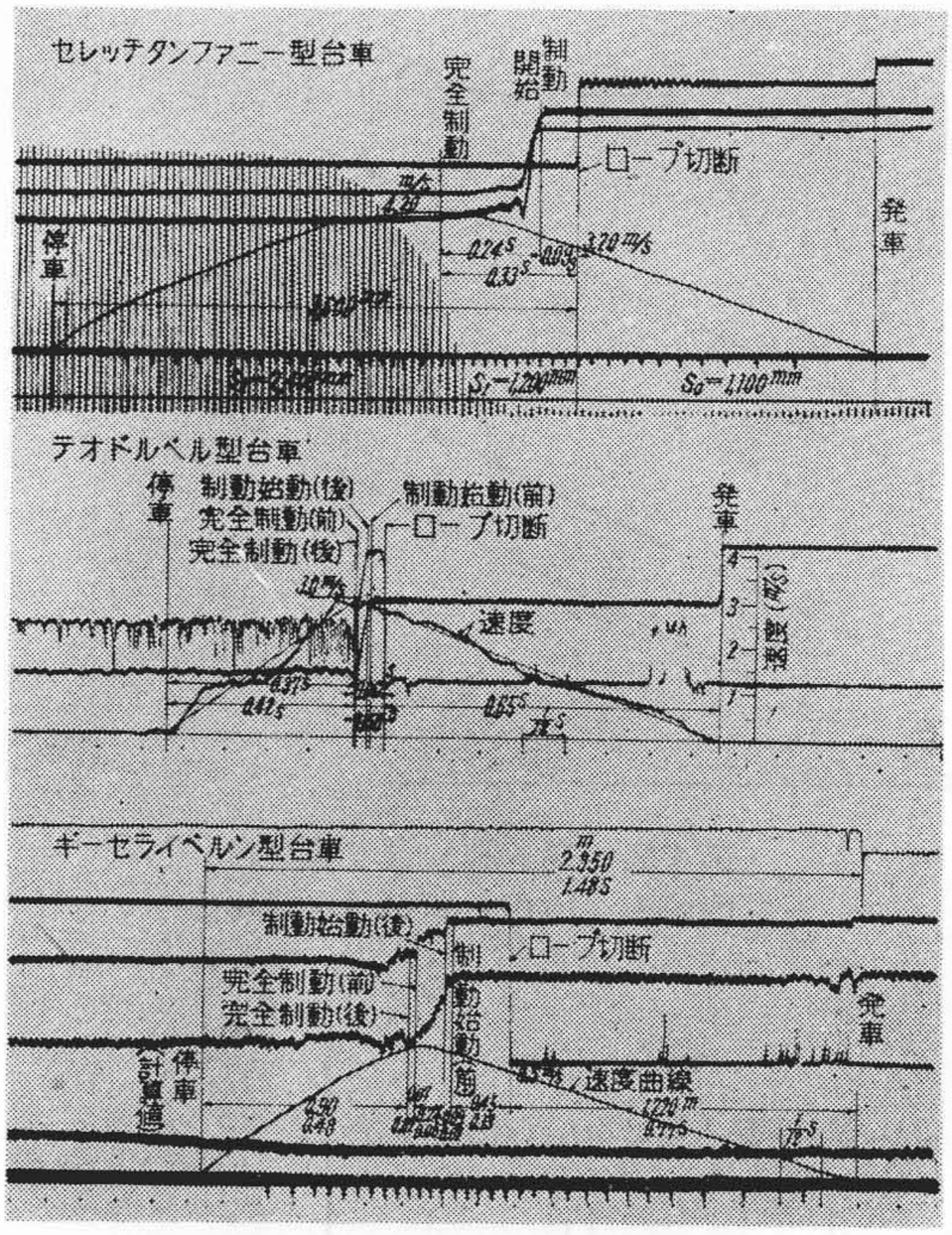
〔V〕 試験結果および検討

第8図は走行制動試験におけるオッシロ記録例を示す。同図でテオドルベル型においては，車輛にとりつけた発電式速度計により速度を記録したが，他の二型式のものは地上に固定した 100 mm ピッチの切欠ある物差上を台車に取付けた刷子が摺動するようにしてこれより速度を換算しカーブに示したものである。

(1) 動作時間

動作時間の測定はロープレバー動作開始より制動子が動き止むまでの時間をオッシロに入れて行われ，これは例に示すように，鋼索切断後制動装置始動すなわち錠装置の作動時間と，その後制動装置が完全に作用するまでの時間に分けて考えられる。動作時間を現車試験結果から求めると**第2表**に示す通りである。

表中，セレッチタンファニー型における t_1 は作用弁開放後油圧が制動筒に達してピストンが動き始めるまでの時間を含んでいるので，実際の t_1 としては 0.05～0.07 秒程度と推定される。また（A），（B）とあるは配管系統をやゝ異にし，（A）は既述の通りの構造であるが，（B）は特に動作時間を小にするため油圧と空気圧とが同時に制動筒に作用するように改造したものについての結果である。



第8図　制動試験記録例（オシログラム）
Fig. 8. Braking Performance on Oscillogram

第2表　動作時間
Table 2. Brake Acting Time

制動型式＼動作時間	鋼索切断後鎖錠解放まで t_1 (sec)	解錠後制動作用まで t_2 (sec)	計 t (sec)	制動子軌条間の遊間 片側(mm)
セレッチタン(A)ファニー型	0.09～0.12	0.15～0.24	0.27～0.36	5～7
セレッチタン(B)ファニー型	0.07～0.10	0.04～0.06	0.11～0.15	5～7
テオドルベル型	0.04～0.05	0.03～0.04	0.07～0.09	3～5
ギーセライベルン型	0.12～0.15	0.13～0.20	0.25～0.35	5～7

以上の結果より動作時間についてつぎのことが判明した。

（A）　動作時間は各型式により著しく差があるが，すべて 0.36 秒以下であつてたとえば電車用空気ブレーキが約2秒[4]を要するのに比べて格段の差がある。

（B）　ギーセライベルン型では t_1 が特に大であるが，これは速動部分の慣性，重錘およびバネの大きさに関係するので相当思い切つた改造を実施しても 0.10 秒以下にするのは困難と思われる。

(C) セレッチタンファニー型の (A), (B) 両結果を比較すると t_2 において著しい差異があり，流体（油および空気）の抵抗を減ずるための努力はなおいつそう続ける必要のあることが立証された。

(2) 錠装置の安定度および感度

鋼索が切断したとき，車輛締結部の鋼索引張力がどのような値になるかということについては未だ疑問の点があるが，場合によつては必ずしも零にはならぬものと思われる。したがつて自動制動装置の作用しなければならない鋼索張力は，常時運転中起りうる最小張力よりも小であり，かつできるだけそれに近い値であることが望ましい。すなわち最緩勾配において，下り側に空車が発車する場合や，極端でない運転拙劣のために考えられる張力の減少に対して車輛に勝手に自動制動が作用するのはよろしくない。

錠装置の計算はつぎの二方法により行つていた。

(A) 伝達機構の効率 100%，各部に摩擦なく，バネ類は取付時強さでもつて計算する。

(B) 伝達機構の効率 80%，各部に摩擦係数 0.2 を考慮し，バネ類は作用時強さをもつて計算する。

このように計算されたものは (A) においては自動制動作用の可能性ある最大鋼索張力を示し，(B) においては，かならず自動制動が作用する最小鋼索張力を示すものと考えられていたが，これについての実測と計算を比較すれば**第3表**の通りである。

測定値に幅があるのは鋼索の弛め速度によると思われ，結果として，$\mu=0.20$ を含む (B) 計算は，設計に使用して妥当なものであることが確認された。

(3) 制動装置の効率および制動力の計算

制動源が実際制動作用にあずかる有効度合をいい，それは錠装置から先の構造に関係する。効率は実制動距離を計算値と比較して求めたが，軌条と制動子間の摩擦係数には相当のバラツキがみられるので，同一の軌条条件とみられるものについて，各型式の試験結果をテオドルベル型の結果と比較し，その効率を推定した。

(A) テオドルベル型

制動力は楔が一杯に働いた位置における制動バネの圧縮力により計算され，効率は 100% とみられる。

第9図 (a) においてバネ圧縮力を P とすれば

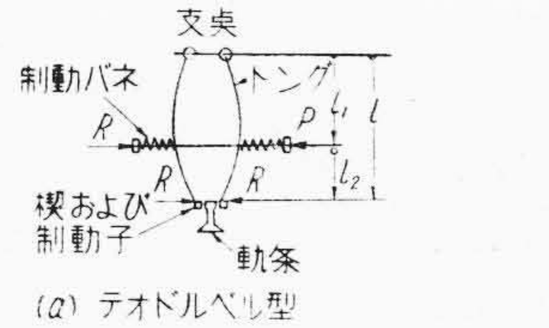
$$\text{制動力}=\mu R=\mu\frac{l_1}{l}P$$

(B) セレッチタンファニー型

ローラピン部の摩擦係数を μ とすれば，楔の位置における相当摩擦係数は $\mu\frac{d_1}{d_2}$，したがつてシリンダーにおける抵抗を f とすれば (**第9図**(b))

第3表 錠装置作用鋼索張力
Table 3. Rope Tension Influencing the Brake Equipment

	セレッチタンファニー型	テオドルベル型
計算値 (A) kg	816	1,430
計算値 (B) kg	375	900
実測値 kg	430～550	980～1,120



(a) テオドルベル型

(b) セレッチタンファニ型

(c) ギーセライベルン型

第9図 軌条把握部構造
Fig. 9. Constructions of Rail Catching Devices

第4表 軌条と制動子間の摩擦係数
Table 3. Frictional Coefficients between Rail and Brake Shoe

材質	乾燥	撒水	塗油	塗油+砂塵
SF 制動子	0.209～0.301	0.228～0.324	0.208～0.366	0.171～0.219
AB 制動子	0.187～0.271	0.203～0.276	0.170～0.223	0.180～0.210

$$R\fallingdotseq\frac{P-f}{\tan\alpha+\mu\frac{d_1}{d_2}}$$

圧力の作用していないときの f の値は 20 kg と実測され，圧力が作用しても f の値は $P\fallingdotseq 6{,}000$ kg に対して省略できる程度と思われる。この供試台車の効率について実測の結果，セレッチタンファニー型についてはつぎの近似式で効率が表わされることがわかつた。

$$\eta=\frac{\tan\alpha}{\tan\alpha+0.05\frac{d_1}{d_2}}$$

(C)　ギーセライベルン型

ネジ部の摩擦が問題で，セレッチタンファニー型同様の検討結果つぎの近似式で効率が表されることがわかつた。

$$\eta=\frac{\tan\alpha}{\tan\alpha+0.10}$$

(4)　軌条表面状況と摩擦係数

制動子と軌条間の摩擦係数は諸条件により異つた値を示し，特に制動初期と停止の瞬間とでは著しい差がみとめられる。これらについては既述の索友会ブレーキ性能調査委員会の報告(1)に詳報されている。

軌条の表面状況も現地において色々と変るので，下記の条件における試験を行い，車輛が停止するまでの平均摩擦係数を求めると**第4表**の通りである。

軌条表面乾燥の場合
軌条表面に撒水の場合
グリース塗布の場合
グリースと砂塵を混合塗布の場合

制動子は鍛鋼(SF 55)，アームスブロンズ(A B)を使用し，既述の各条件において約 60 回の試験を行つた。たゞし軌条の表面はグラインダーされて錆のない状態におけるものである。

これらの結果は各測定値について有意差検定を行つた結果，SF 制動子の場合はグリースと砂塵を混合した場合，AB 制動子の場合はグリースが塗布されると摩擦係数が低下することがわかつた。

摩擦係数に関係する要素はこれらのほかに軌条表面粗さ，錆の有無なども考えられるので，ケーブルカーの安全のキーポイントとして今後究明してゆくつもりである。

〔VI〕 各種制動装置の特長

以上のほかに各型式の特長を簡単に纏めるとつぎの通り，

(1)　テオドルベル型

(A)　制動力の調整は容易であるが，確認のためにはバネテスターなど用いるので厄介である。

(B)　制動子は自由に取付けられてはいるが，軌条との遊間が小であるので磨耗が大で保守に注意を要する。

(C)　鎖錠部を除き構造簡単で点検が楽である。

(D)　動作時間が極度に小でありかつ効率が良い。

(2)　ギーセライベルン型

(A)　制動源として車輪の回転力すなわち車輛自重をうまく利用しているので軽量である。

(B)　制動力の調整は摩擦クラッチの調整で可能であるが確認が困難である。

(C)　動作時間が割合大でありかつ速動部の点検には十分注意する要がある。

(D)　制動の緩解はすこぶる容易である。

(E)　両車輪が一軸につながれているので，固定軸距の大なるのと合せて曲線軌条における車輪踏面の磨耗が大きい。

(3)　セレッチタンフアニー型

(A)　圧縮空気圧力の加減により制動力の変化は自由でありかつ圧力計により絶えず確認できる。

(B)　空気および油の漏洩に対して絶えず注意を要する，また保守を十分に行う要がある。

(C)　制動緩解作業はさほど困難ではないが，手続上やゝ複雑となるので，確認の方法を要する。

(D)　動作時間が比較的大である。

(E)　力の伝達に流体を利用しているので，連結運転の場合，制動の連動が円滑である。

〔VII〕 結　　言

ケーブルカーの制動装置の諸特性を調べる目的で制動試験装置を設置してその研究の推進を計つてきたが，現在までに判明した事項は既述のごとく主として直接構造に関係した部分のみであつて，制動子と軌条との摩擦係数，鋼索の張力などについてなおいつそう突込んだ調査研究が必要であることが痛感される。今後かゝる方面の研究を推進してよりすぐれたより安全なケーブルカーの設計製作の資とするつもりである。

終りに，この報告は運輸省科学技術応用研究補助金の交付をうけて行われた研究の結果によるものであることを附記するとともに，絶えず御指導を賜つている運輸省運転車輛課河崎課長，秀平技官に深く感謝の意を捧げるものである。

参　考　文　献

(1)　新井：鋼索鉄道車輛制動機試験報告（昭30-5 索友会）
(2)　特許 201950 (昭28-10)
(3)　森脇，東島，多賀：日立評論 **32** 982 (昭25-12)
高森，東島：日立評論 **34** 1099 (昭27-9)
(4)　野村：電車用空気ブレーキ（電気車研究会）

「日立評論」既刊号在庫案内

本誌「日立評論」の既刊号が少部数ながら在庫しております。
御入用の方は下記へお問合せ下さい。

日　立　評　論　社
東京都千代田区丸の内1ノ4
(新丸の内ビルデイング7階)