

新型式の車両を用いて速度向上を行った 鋼索鉄道の制動試験について

交通システム部

千島 美智男 佐藤久雄 細川 成之

1. はじめに

我が国の鋼索鉄道は、一般的にはケーブルカーと呼ばれており、平成12年3月末現在、全国で22事業者25路線⁽¹⁾⁽²⁾で運行されているが、施設の多くは、昭和40年以前に建設されており、既に40年以上が経過している。

最近では、施設の老朽化に伴い設備の更新が行われている。更新に際しては、車体、軌道等一部を対象に行われている場合が多いが、車両、軌道及び原動設備等を含めた施設全体のリニューアルを実施した施設もある。

リニューアルに際して、車両とロープの接続方法、台車構造、車体及び自動ブレーキの構造等に新しい方式を採用した新型式の車両を導入し、速度向上した例がある。

今回、この新しい型式の車両を用いて速度向上した施設において、制動試験を行ったので、試験方法の考え方等を中心に試験結果例を含めて報告する。

2. 試験実施施設の特徴的な事項

本施設は設備の更新に際して、運転速度の向上のほか、自動ブレーキ装置として従来より広く用いられてきた機械式のテオドルベル型から油圧解放型のばね力を用いた新しい方式であるスプリングブレーキ型に変更している。また、ロープ端末の車両への接続方式にも従来のソケット方式ではなく、端末固定巻き取りドラムに取り付けてクランプで固定する方式等いくつかの新しい技術を導入している。本施設の車両に関する新旧比較表を表1に示す。

3. 試験実施時におけるブレーキ装置に関する規則について

鋼索鉄道のブレーキ装置については、特殊鉄道

表1 新旧比較表

項目	旧	新
最高運転速度	3.0m/s	5.0m/s
両数	2	
最大乗車人員	116人(115+1)	112人(111+1)
空車質量	9,800 kg	11,000 kg
寸法	長さ	12,000 mm
	幅	2,750 mm
	高さ	3,375 mm
固定軸距離	6,000 mm	6,400 mm
車輪直径	550 mm	
車体傾斜	22 %	20 %
自動ブレーキ装置	テオドルベル型	スプリングブレーキ型
ロープ接続方式	ソケット方式	ドラム巻取方式
制御方式	間接制御	サイリスタレオナード

構造規則⁽³⁾(以下、「構造規則」と言う)で詳細に規定されており、索条が切断若しくはし緩したときまたは運転速度が著しく高くなった時に自動的に作用する自動ブレーキ及び留置ブレーキ装置を設けること等が他の鉄道と異なる点である。

今回、試験を行った施設のブレーキ装置については、構造規則のうち、以下の二つの事項が、構造規則に対する特別構造となったものである。

車両の速度が毎秒四メートルを超えるまでに作用するものであること。

積載状態の車両が、最も急なこう配の線路で三・五メートル以内に停止できること。

つまり、本施設の最高運転速度は5m/sであり、自動ブレーキが作用しなければならない14m/sを超えていること及び申請時における自動ブレーキ動作時の停止距離が15.26mであり、規則上の3.5mを超えることの二点である。

このうち、停止距離が長くなった理由は、最高運転

速度が5 m/sであり、従来の鋼索鉄道より高いため、5 m/s以上の制動初速度から3.5m以内で停止できる制動装置を設けた場合、車両の減速度がこれまでより大きくなり、乗客および乗務員に危険をおよぼす可能性があること、自動ブレーキ動作時にレールおよびレール締結装置に及ぼす影響が増大する可能性があるためである。

4 . 制 動 試 験 の 概 要

4 . 1 . 制 動 試 験 に お け る 検 討 事 項

今回の制動試験における主な検討事項は以下のとおりである。

(1) 制 動 モ ー ド

本施設の制動モードとしては、原動装置に作用する自動運転停止、常用停止および原動滑車に作用する非常停止の他、車両側においては自動ブレーキ停止、手動レバー停止および留置ブレーキ動作の6種類がある。

このうち、自動運転停止は通常運行時のモードであり、通常の運転で確認できること、自動ブレーキ停止と手動レバー停止は、自動と手動の違いだけであること等から制動試験は、非常停止、常用停止、留置ブレーキ動作および自動ブレーキ停止の4種類について行うこととした。

(2) ロープを接続した状態で試験を行った場合の停止距離等への影響

自動ブレーキ停止は、ロープ破断時等に動作する制動であり、制動力の確認に際してはロープ張力の影響を排除するためにロープを車両から切り離れた状態で実施することが望ましいと考えられる。しかしながら、この方法は危険等を伴うため、これまでの実施例でもロープを接続した状態で実施しているのが現状である。

ロープを接続した状態での試験では、制動開始直後においてロープ張力が停止距離等に影響を与えると考えられるため、影響の度合いを確認するためロープ張力を測定することとした。

(3) 制 動 初 速 度

自動ブレーキ停止は、ロープ破断時の他、運転速度が120%を超えた場合にも動作することから、制動初速度6 m/sでの試験についても行う必要がある。

そこで、本施設の原動設備で6 m/sでの運転が可能

かどうかについて検討したが、原動設備能力から6 m/s運転を行うまでの余裕はなかった。

そこで、制動初速度5 m/sで試験を行うこととし、制動初速度が6m/sの場合の自動ブレーキ停止の停止距離については、本試験で得られた平均減速度から算出することとした。

(4) 各制動モードでの試験実施場所

試験実施場所については、自動ブレーキに関する規則等から最急こう配(山上ホーム山麓側180m地点)を基本としたが、自動ブレーキおよび非常停止については、車両同士の接触の可能性のある分岐部および車止等への接触を考慮して山麓ホーム手前の最緩こう配(山麓ホーム山上側150m地点)においても実施することとした。また、留置ブレーキは最急こう配部である山上駅ホーム内で行った。

(5) 荷 重 条 件

試験実施時の荷重条件は、最急こう配、分岐部および最緩こう配のいずれにおいても制動装置に不利となる条件を基本に行うことが望ましいと考えられる。そこで、原動滑車停止に必要なトルク等からいずれの試験実施場所においても制動装置に不利となる荷重条件の検討を行った。その結果、下り満車、上り空車(100-0)が不利な条件となることからこの荷重条件を基本としたが、制動モードによっては他の荷重条件についても実施した。

4 . 2 . 試 験 実 施 施 設 の 概 要

本施設は、旅客の利便性の向上、運行時間短縮等を目的として、運転速度を現行の3m/sから5m/sへ速度向上するために、昭和32年の開業以来44年が経過していた旧施設を更新したものである。

施設の主要諸元を表2に示す。

4 . 3 . 試 験 方 法 お よ び 試 験 条 件

各制動試験は、留置ブレーキを除き、いずれもロープを接続した状態で制動初速度5 m/sで行い、所定の項目について測定を行った。測定項目および制動モード等の一覧を表3に示す。なお、試験実施時のレール面は雨によりかなりの湿潤状態となっており、滑りやすい状態にあった。

(1)非常停止

非常停止は、最急こう配、分岐部および最緩こう配において行い、荷重条件は3力所ともに

1) 測定車両空車、対向車両空車(0-0)

2) 測定車両満車、対向車両空車(100-0)

3) 測定車両空車、対向車両満車(0-100)

での測定車両が上り方向と下り方向で行った。

(2) 常用停止

常用停止は、電気制動により所定の減速度となるように制御されているため、線路のこう配、荷重条件に依存しないと考えられる。このため、最急こう配における測定車両空車、対向車両空車(0-0)での試験のみを行った。

(3) 留置ブレーキ動作

留置ブレーキ動作試験は、最急こう配である山上駅ホーム内において行った。試験方法は、留置ブレーキを動作させた後、予備原動機を用いて試験車両のロープ張力を弛緩させる方向で微速度運転を行い、ロープ張力をゼロとした状態で車両の挙動について観察を行った。なお、測定車両の荷重条件は満車状態とした。

(4) 自動ブレーキ停止

自動ブレーキ停止は、最急こう配、分岐部および最緩こう配の3カ所において行った。荷重条件に対する検討結果から、一番厳しい条件である測定車両満車、対向車両空車(100-0)での測定車両下り方向で行った。

自動ブレーキ停止による停止距離の測定は、インクを染み込ませたローラを制動開始と同時にレール踏面に落下させることでレール面に制動開始位置を記録できるスタンプ装置を用いた。

試験に使用した車両を図1に示す。



図1 測定車両

表2 施設の主要諸元

運行	最高運転速度	5.0 m/s
	一行程所要時間	4分31秒
	毎時輸送力(片道)	1300人/秒
線路	水平距離	1100 m
	斜距離	1190.96 m
	高低差	441.20 m
	線路こう配(最急、最緩)	52.8%・20.6%
	軌条	40kgNレール
	軌間	1067 mm
鋼索	構成	異形線 6×P・F(△)A種
	直径	38mm
車両	両数	2
	最大乗車人員	112人(111+1)
	空車質量	11,000 kg
	寸法(長さ×幅×高さ)	12,450×2,740×6,400 mm
	固定軸距離	3,375 mm
	車輪直径	550 mm
	車体傾斜	20%
	自動ブレーキ装置	スプリングブレーキ型
	ロープ接続方式	ドラム巻取方式
	電動機	直流電動機(340kW)
原動装置	予備原動装置	油圧モータ
	常用制動装置	ディスクブレーキ
	非常用制動装置	ディスクブレーキ
	制御方式	サイリスタレオナード
	原動滑車(直径・溝数)	3800 mm (2溝×1枚)
対動滑車(直径・溝数)	3800 mm (2溝×1枚+1溝×1枚)	

表3 制動モード及び測定項目等

制動モード	測定項目	制動位置	適用
常用停止	・運転速度 ・車両振動加速度(上下、左右、前後) ・車体振れ角(ローリング、ピッチング、ヨーイング) ・停止距離	山上ホーム山麓側180m地点(最急こう配)	電気制動・常用制動機が動作
非常停止	・運転速度 ・車両振動加速度(上下、左右、前後) ・車体振れ角(ローリング、ピッチング、ヨーイング) ・停止距離	・山麓ホーム山上側150m地点(最緩こう配) ・分岐部 ・山上ホーム山麓側180m地点(最急こう配)	発電制動・常用制動機・非常用制動機が動作
自動ブレーキ停止	・運転速度 ・車両振動加速度(上下、左右、前後) ・車体振れ角(ローリング、ピッチング、ヨーイング) ・索条張力 ・停止距離	・山麓ホーム山上側150m地点(最緩こう配) ・分岐部 ・山上ホーム山麓側180m地点(最急こう配)	車両に設置の自動ブレーキ装置が動作
留置ブレーキ動作	ブレーキ動作時の車両の挙動	山上駅ホーム内(最急こう配)	車両に設置の留置ブレーキが動作(自動ブレーキ装置)

5. 試験結果

本施設の制動試験の結果は以下のとおりである。荷重条件別の測定値を表4～7に示す。なお、各測定値は、測定波形の片振幅の最大値であり表中の値の正負の記号は図2に示す座標系とした。

また、各条件での減速度の最大値と停止距離及び平均減速度と停止距離を図3、図4に示す。

(1) 非常制動停止

非常制動停止における各条件での停止距離の最大の値は14.45mであり、設計値(25.00m)以内であった。

各条件での減速度での最大の値は、 3.20m/s^2 であり、荷重条件が測定車両、対向車両ともに空車(0-0)及び測定車両空車、対向車両満車(0-100)の測定車両下り方向の最緩こう配での値であった。また、平均減速度についても、一部で設計値(1.50m/s^2)を超えるものもあるが、これを除けば平均減速度は $0.50\text{m/s}^2 \sim 1.50\text{m/s}^2$ の範囲にあった。

表4 ブレーキ試験測定値(最大値)

荷重条件:測定車両空車、対向車両空車(0-0)

ブレーキ種別	非常停止	非常停止	非常停止	非常停止	非常停止	非常停止	非常停止	
運転速度(m/s)	5.0		5.0		5.0		5.0	
測定車両位置	最急こう配		分岐部		最急こう配		最急こう配	
測定車両の方向	上り	下り	上り	下り	上り	下り	下り	
車両振動加速度(m/s^2)	前後(x')	-2.9 (+2.0)	-3.2 (+2.0)	-2.6 (+1.9)	-1.9 (+2.6)	-2.6 (+1.9)	-2.6 (+2.0)	-0.7 (+0.7)
	前後(x)	-2.3 (+3.9)	-2.9 (+2.0)	-2.3 (+1.9)	-1.9 (+2.6)	-2.3 (+1.9)	-2.6 (+2.6)	-0.7 (+0.7)
	左右(y)	-	-	-	-	-	-	-
	上下(z)	+1.4	-1.0	-0.7 (+0.7)	-1.0	-0.7 (+0.7)	-1.0 (+0.7)	-
車両の振れ角(度)	ヨーイング	-	-	-	-	-	-	-
	ピッチング	-	-	-	-	-	-	-
	ローリング	-	-	-0.3	-	-	-	-0.5
制動初速度(m/s)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
停止距離(m)	10.02	9.62	9.68	9.80	9.08	10.48	34.53	
平均減速度(m/s^2)	1.25	1.30	1.29	1.28	1.38	1.19	0.36	

表5 ブレーキ試験測定値(最大値)

荷重条件:測定車両空車、対向車両満車(0-100)

ブレーキ種別	非常停止	非常停止	非常停止	非常停止	非常停止		
運転速度(m/s)	5.0		5.0		5.0		
測定車両位置	最急こう配		分岐部		最急こう配		
測定車両の方向	上り	下り	上り	下り	下り		
車両振動加速度(m/s^2)	前後(x')	-2.5 (+2.0)	-2.5 (+2.0)	-2.3 (+1.3)	-2.9 (+2.3)	-2.3 (+2.3)	-3.2 (+2.0)
	前後(x)	-2.3 (+2.0)	-2.3 (+2.0)	-2.3 (+1.3)	-2.6 (+2.3)	-2.3 (+1.9)	-3.2 (+2.0)
	左右(y)	-	-	-	-	-	-
	上下(z)	-0.7 (+0.7)	-1.0 (+0.7)	-0.7 (+0.7)	-1.0 (+0.7)	-0.7 (+0.7)	-1.4 (+0.7)
車両の振れ角(度)	ヨーイング	-	-	-	-	-	-
	ピッチング	-	-	-	-	-	-
	ローリング	-	-	-	+0.5	-	-
制動初速度(m/s)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
停止距離(m)	10.69	9.35	12.19	8.66	13.68	7.77	
平均減速度(m/s^2)	1.17	1.34	1.03	1.44	0.91	1.68	

非常停止においては、制動後に車両が揺れ戻される現象が認められた。特に、最緩こう配において顕著であり、減速度の最大値に比較して最大で170%程度の値であった。また、揺れ戻しの際にはローブが軌道と接触する現象が確認された。この現象は、非常停止が原動滑車に作用する制動であるため、原動機停

表6 ブレーキ試験測定値(最大値)

荷重条件:測定車両満車、対向車両空車(100-0)

ブレーキ種別	非常停止	非常停止	非常停止	非常停止	非常停止		
運転速度(m/s)	5.0		5.0		5.0		
測定車両位置	最急こう配		分岐部		最急こう配		
測定車両の方向	上り	下り	上り	下り	下り		
車両振動加速度(m/s^2)	前後(x')	-2.9 (+2.0)	-2.6 (+1.3)	-2.6 (+3.1)	-1.9 (+1.0)	-2.3 (+3.9)	-3.1 (+1.3)
	前後(x)	-2.6 (+2.0)	-2.4 (+1.3)	-2.6 (+2.8)	-1.9 (+1.0)	-2.3 (+3.7)	-2.7 (+1.3)
	左右(y)	-	-	-	-	-	-
	上下(z)	-0.7 (+0.9)	-0.9	-0.7 (+0.7)	-0.7	-1.4 (+0.7)	-0.9 (+0.7)
車両の振れ角(度)	ヨーイング	-	-	-	-	-	-
	ピッチング	-	-	-	-	-	-
	ローリング	-	-	-	-	-	-
制動初速度(m/s)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
停止距離(m)	6.59	14.45	7.85	13.09	9.11	10.82	
平均減速度(m/s^2)	1.98	0.78	1.59	0.95	1.37	1.16	

表7 ブレーキ試験測定値(最大値)

荷重条件:測定車両満車、対向車両空車(100-0)

ブレーキ種別	自動ブレーキ			
運転速度(m/s)	5.0			
測定車両位置	最急こう配	分岐部	最急こう配	
測定車両の方向	下り	下り	下り	
車両振動加速度(m/s^2)	前後(x')	-7.7	-6.8	-8.1
	前後(x)	-7.1	-6.1	-7.1
	左右(y)	-	-	-
	上下(z)	-2.5	-2.1	-2.4
車両の振れ角(度)	ヨーイング	-	-1.0	-
	ピッチング	-	-1.0	-
	ローリング	-	-	-
制動初速度(m/s)	5.0	5.0	5.0	
停止距離(m)	8.04	7.10	3.50	
平均減速度(m/s^2)	1.55	1.76	3.57	

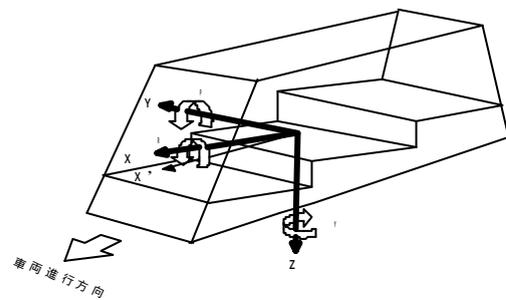


図2 座標系

止後も車両は慣性力によって動き続けて、ロープの張力等と釣り合ったところで一旦停止した後、ロープの弾性による復元力で車両が逆方向に揺れ戻され、減衰するまでこの現象が継続したものと考えられる。また、本施設では、駆動用ロープに張力を負荷し車両を平衡させるための緊張設備を持たないためこの現象が顕著になったものと考えられる。揺れ戻しが顕著であった測定波形例を図5に示す。

車体の振れ角については、ピッチング角0.5度（山上側）、ローリング角0.8度（車両進行方向左）であり、接触限界角度6.0度以内であった。

（2）常用制動停止

常用停止における、減速度は 0.7m/s^2 であり停止距離は34.53mであった。また、平均減速は 0.36m/s^2 であり、目標減速度である 0.5m/s^2 に近い値となっていた。

（3）留置ブレーキ動作

留置ブレーキの試験は、最急こう配部である山上駅ホーム内において満車状態で実施したが、車輪の転動は認められなかった。

（4）自動ブレーキ停止

自動ブレーキ停止の停止距離については、各条件での最大の値は8.04mであった。また、減速度については、各条件での最大の値は 8.1m/s^2 であり、平均減速度については、各条件での最大の値は 3.57m/s^2 、最小の値は 1.55m/s^2 であった。この時の平均減速度(1.55m/s^2)を用いて算出した、最急こう配での制動初速度が6 m/sの場合の停止距離は11.61 mとなり、申請時の停止距離（15.26 m）以内であった。

分岐部における平均減速度(1.76m/s^2)を用いて算出した、制動初速度が6 m/sの場合の停止距離は10.23 mであった。また、最急こう配での平均減速度(1.55m/s^2)を用いて算出した停止距離は11.61 mとなり、いずれの場合も、分岐部での設計上の停止距離である16.19m（この時の両車両が接触する地点までの余裕距離は4.36 m）以内であった。また、ローリング角は0.5度未満の微小な値であり、車両の接触限界角度（6度）以内であった。ローリング角が微小であったのは、シングルホイールサスペンションと呼ばれる左右方向の剛性が高い台車構造を採用しているためと考えられる。

最緩こう配についても、分岐部と同様に、最緩

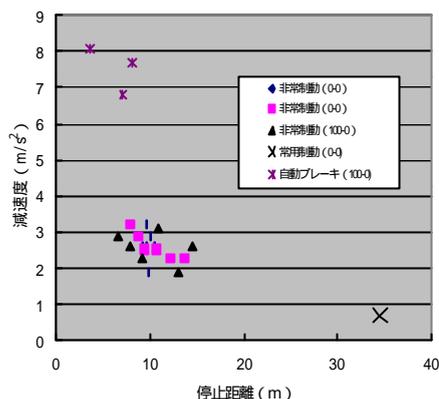


図3 減速度の最大値と停止距離

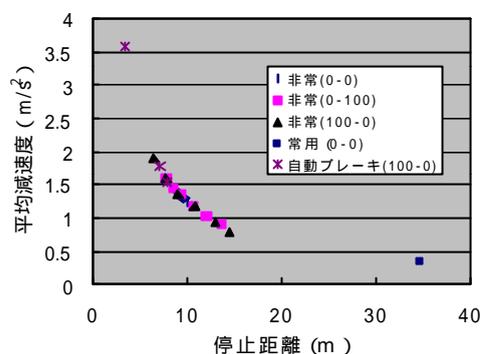


図4 平均減速度と停止距離

こう配での平均減速度(3.57m/s^2)及び最急こう配での平均減速度(1.55m/s^2)を用いて算出した制動初速度6 m/sにおける停止距離は、それぞれ5.04mと11.61 mであり、いずれの場合においても、過速度検出位置から車止までの距離（41.63m）以内であった。

自動ブレーキ停止はロープを接続した状態で実施した。このため、ロープ張力の影響を把握することを目的として、ロープにひずみゲージを貼付して張力の測定を試みたが、制動時のロープの振動等によりゲージが剥離して所定の成果が得られなかった。そこで、ロープ支持装置にひずみゲージを貼付して張力の測定を行った。しかながら、この方法も測定結果を見ると、支持装置とロープの接触状態によっては、精度の良い測定が行えないことがわかった。したがって、正確な話はできないが、比較的信頼できると思われる測定波形で見ると、減速度に対して平均で3割程度の影響はあるものと考えられ、平均減速度 1.55m/s^2 での制動初速度が6m/sの時の停止距離を算

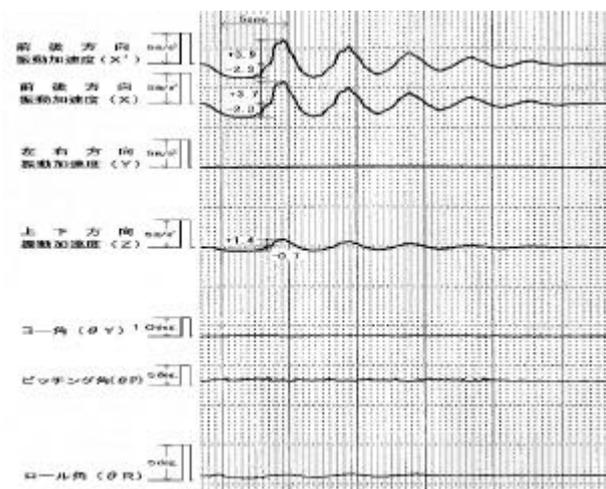


図5 測定波形例
(100-0、上り、非常停止)

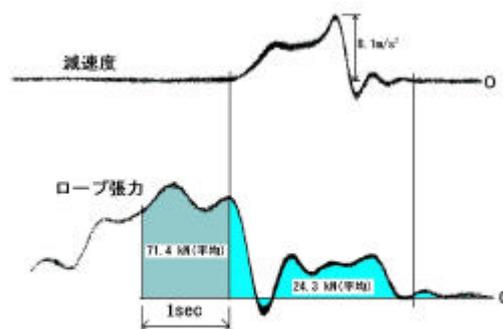


図6 ロープ張力の測定波形例
(100-0、下り、自動ブレーキ停止)

出すると16.51mとなる。この値は、申請時の15.26mを超えるが、分岐部における車両同士の接触および山麓ホームでの車止までの距離に対しては余裕のある値であった。ロープ張力測定波形例を図6に示す。

なお、各条件での自動ブレーキ停止の試験では、ロープが軌道に設置された導車から外れる現象が確認された。特に、最緩こう配での試験において顕著であった。

6. おわりに

今回、施設の更新に際し、新形式の車両を用いて速度向上を行った鋼索鉄道の制動試験の試験方法ならびに試験結果等について報告した。

前にも述べたように多くの施設が更新時期をむかえており、今後、このような新しい技術を導入した施設が建設される可能性がある。

これまでの規則では、制動装置については、停止距離で規定していたが、停止時の減速度が大きい場合には乗客等へ危険を及ぼす可能性がある。したがって、今後は停止距離以外の評価方法についても検討が必要であると考えられる。また、試験方法、ロープ張力の測定方法等残された課題も多く、さらなる検討が必要であると考えられる。

最後に、本試験の実施に際しご協力いただいた索道メーカー、事業者の方々ならびに停止距離測定に必要なスタンプ装置を提供していただいた当所自動車審査部に謝意を表します。

参考文献

- (1)平成12年度 鉄道要覧 運輸省鉄道局監修
- (2)鋼索鉄道設備概要 財団法人日本鋼索交通協会
- (3)注解 鉄道六法平成10年版 運輸省鉄道局監修 第一法規