

【報 告】

赤城山鋼索鉄道建設工事

隈 部 毅 一 郎*

要 旨 従来交通不便と、気候条件に恵まれないために開発が遅れていた赤城山に昭和 32 年 7 月 21 日、鋼索鉄道その他が建設されたので、この鋼索鉄道の計画、設計の概要について鋼索鉄道の特異な点を主として取りまとめたものである。

1. 赤城山の開発計画について

昭和 32 年 7 月 21 日、群馬県赤城山に鋼索鉄道線 1.1 km が建設されたが、これは東武鉄道 KK の赤城山総合開発計画の一環として 31 年 8 月に着工されたものである。

赤城山は東京を去る 130 km、関東平野の西北部に位置し、標高 1828 m の黒檜山を中心とした外輪山と、1673 m の地藏岳等を有する広大な山塊である。山頂には平坦地が多く春から秋にかけてのハイキング、キャンプ、あるいは冬季のスキー、スケートと人々に親しまれ群馬県立公園に指定されている。それにもかかわらず在来見るべき施設もなく、ことに交通面においては外輪山にはばまれて、前橋口から外輪山の一角、新坂平(標高 1428 m)まで定期バスが開通したばかりで、東口桐生方面に対しては利平茶屋、鳥居峠間は最も急峻で、主として下山路に利用されている程度にすぎなかつた。

よつて開発計画の当面の主体を交通路の整備開発を第一とし、新坂平、大洞、鳥居峠間 4.4 km の道路新設、大洞中央駐車場の建設、また利平茶屋水沼口間の道路改修並びに延長を行うとともに、利平茶屋、鳥居峠間の急峻部に鋼索鉄道を敷設することとした。その他大沼湖畔大洞にロッジを、また、地藏岳にロープウェイを建設するとともに、大洞スキー場に年間を通じて使用可能の特殊索道を計画中等である。

2. 鋼索鉄道建設計画の経緯

本路線は一貫した周遊コース中にあり、できうればこの鋼索鉄道に、乗用車を積んで上げ下ろしの可能なものを取りつきたいと考え、31 年 1 月以来専門メーカーの協力を得て種々検討したが、高度の安全性を要求するケーブルカーの特殊設計としては、さらに一段の研究を要するとの結論に達し、今回は採用を見合わせた。

当初の計画概要は次のとおりであつた。

線路延長	水平長	1 034.924 m
	傾斜長	1 101.206 m

両端高低差	361.190 m
勾配	最急 586 %
	最緩 255 %
最大輸送能力	上り下りとも 960人/h
客車最大乗車人員	121 名
付随車荷重	2 500 kg
運転速度	3.25 m/sec
乗用車積込みまたは取り下ろし作業	いずれも 1 分 30 秒以内

おもな未解決点は車台と乗用車との、短時間内での確実な緊定方法であり、ひいては非常制動時の減速度とも関連するものである。

よつて 31 年 5 月改めて客扱いのみの構想で設計をやりなおし、最終案として次の要項によつた。ただし、線路構造物、並びに山頂駅内巻上機室は将来付随車を運転する際に、そのまま使用できる大きさと強度を有するものとした。

線路延長	水平長	1 033.000 m
	傾斜長	1 100.518 m
両端高低差	363.420 m	
勾配	最急 586 %	
	最緩 255 %	
最大輸送能力	上り下りとも 960人/h	
客車自重	9.5 t	
最大乗車人員	121 名	
運転速度	3.25 m/sec	
車両制動方式	テオドルバル式	
鋼索	直径 38 mm	

3. 設計の概要

1. 輸送量の査定

赤城登山客は当時、年間約 15 万人程度であつたが、月別に分類すると大半が夏季に集中しており、最高は 8 月の約 5 万人である。このうちで利平茶屋方面よりは上り下りの 1 日の最高は通常 1 000~1 500 人程度と推定される。鋼索鉄道およびバス路線網の完成後の利用者予想については議論のあるところであるが、近く 3 倍程度に達するものとし、年間上下利用者を 35 万人程度と推定した。鋼索鉄道線と国鉄や私鉄駅とは、最小限度で 30 分ないし 50 分のバス連絡となり、ちょうど日光鋼索鉄道と日光駅との関係に類似しており、この経験も加えて毎時片道 960 人を最大輸送能力とした。

2. 路線の選定

最近の乗合自動車の発達はめざましいものがあり、か

* 正員 東武鉄道 KK 工務部

つてはとうてい不可能と思われた山峽急峻の道も楽々と運行しうる状態であり、本計画においても自動車路線との比較については当初から論議された。現地踏査に当つては、予定線利平茶屋口はもちろん、赤城山南面の梨木口、大胡口についても各方面から研究したが、いずれも赤城山独特の悪地盤と、幅の狭い溪谷にさえぎられて長径間の橋梁と路線の大延長を必要とするのはもちろん、山腹う回に際しては山崩れを横断せねばならぬ状況で、開通後の保守を考慮すれば莫大な出費となり、さらに所要時分の増大は、全体計画に致命的なものとなるので、鋼索鉄道建設に決定した。

鋼索鉄道は一般に高冷地にあるが当路線では特に標高が大で、日照の良好な南斜面を主として通過することとしたが、直接に荷重を受けるロープの安全性と車両の非常制動装置の確実性のために、地形に応じて適当にカーブしながら放物線に近い縦断面を有しなげならず、また比較的少数の人員で保守せねばならぬ等、制約されるところの多い輸送機関である。すなわち山麓利平茶屋駅と山頂烏居峠駅間なるべく直線に近く路線を設けることとしたが、現地は集塊溶岩と集塊凝灰岩の接触部上の沢に沿った狭小な地で、集塊溶岩上に設けたかつたが、最小曲線半径による制約のためにきわめて一部分しか利用できず、大半が凝灰岩または大転石上を通過する結果となり、さらに中央交換場所約100mが北斜面部に位置することとなつた。

鋼索鉄道とバスとの接続についてはすべて両端駅までバス路線を新設し、乗り継ぎに便利なようにした。

3. 線路平面

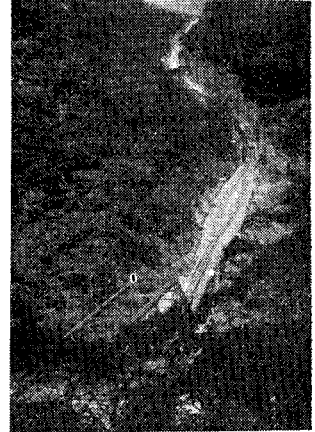
鋼索鉄道線形は、運転上からは直線が望ましいが、縦断面よりの制約から地形上不可能の場合が多く、また乗客の心理上からも、両端駅の見とおせることは不安感をいだけせやすく好ましくない。

曲線半径の大きさについては、鋼索鉄道車両は原則として固定軸2軸あるいは固定輪4コよりなり、この固定軸距が比較的大(本例では6m、日光では7m、一般に車体長の1/2くらい)であること、片側は上下とも両フランジつき車輪であること、また最近のような高速大型車で車両非常制動機の制動力の大きなものでは非常制動装置制動力(鋼索鉄道の非常制動装置は機構が多様であるが、最終的にはレール頭部に制動力を押しつけて制動力を発生させる)が長大となり、これらのためにレールの曲線半径は300m程度以上を必要とする。これは路線の選定上はなほだ好ましくないがやむをえない。本路線では車両制動力に特殊案内輪を設け半径300mを採用した。このため曲線数は4カ所、実測延長534.929mとなり、総延長1100.518mの48.5%におよんだ。既設鋼

写真一(a)

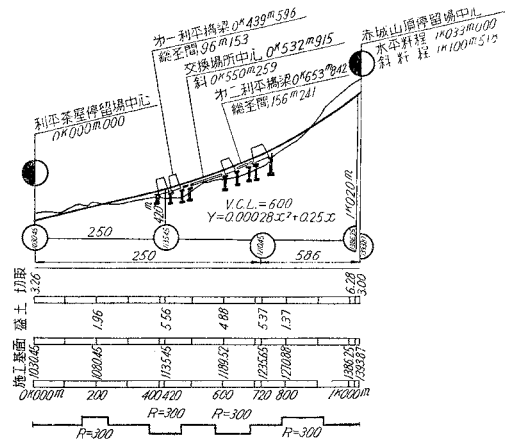


写真一(b)



索鉄道に例をみないもので、今後の鋼索の寿命等については十分調査したい考えである(図-1, 写真-1)。

図-1



4. 線路縦断

縦断勾配は全線を通じてなるべく車両が一定の速度で、また一定の動力で運転せられるのが理想であり、このため、つるべ式運転から考えて山下勾配と山上勾配との比は1:2.5以下であつて、山上勾配が急で山頂部と山麓部の勾配の和が直線勾配(全線を一勾配に結んだもの)の2倍となり、また車両並びに鋼索の重量に応じた放物線形の縦断が好ましいが、一般にはこの放物線に似た幾つかの勾配を基本にし、この勾配のvarietyに適当な放物線形を入れ縦断を決定する。この縦断曲線は鋼索を最大張力で引張つたときに線路から浮き上がらないようにすればよいが、この最大張力については、計算値と実際の運転状態の多少の違いをみて安全をとり、計算値の1.7倍以上を考へるように監督官庁において指導されている。

当路線においては全線を一放物線形になるように縦断を求めると、山麓、山頂部の勾配が現地の地盤より浮き上り、ほう大な構造物が必要となるので、まづ両端部の

勾配を設定し、この間に1コの縦断曲線を挿入して、なるべく地形に沿わせた。鋼索の浮上りに対する安全率をなるべく大きくとるため、交換場所分岐が縦断線中に入る結果となつたが(縦断曲線の)水平長 600 m とした。

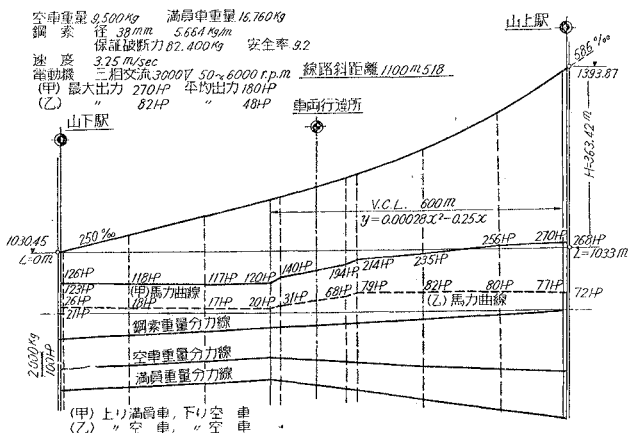
鋼索鉄道では将来とも縦断線形の維持についてはきわめて高い精度が要求されるものであり、特に曲線部、分岐部における路盤の不等沈下は、わずか 1 cm 程度でも鋼索の浮上りその他のために運転不能になる場合が本例では考えられるので、絶対に盛土工をさけなければならない。この結果、交換場所は 1 m 程度の盛土であるが、すべて鉄筋コンクリート ラーメン 構造とし、その他の区間でも後記のようにすべて沈下防止桁を埋込んだ。

なお縦断曲線の曲率半径が小さすぎると、平面曲線と同じように制動子とレールとが故障する場合がある。

5. 運転示力図(運転馬力)

以上の諸要素を総合して、つるべ式に線路上を交互に移動する車両重量の種々な組合わせに応じて、必要な巻上機の馬力を決定するのであるが、これには運転示力図が利用される。当路線について求めたものは図一2のとおりである。

図一2 運転示力図



4. 線路

1. 土工

盛土区間 208 m にはすべて沈下防止のため鉄筋コンクリート桁を埋め殺しにし、これを軌道逼進防止のための固定装置に兼用させた。切取り面は練石積の石垣工で、また盛土区間ノリ面にはすべて石張工を施し、急傾斜地において降雨のために土砂の流出するのを防止した。

土工工事においてはもちろんであるが、その他構築物を含めて最も設計施工に際し留意した一つに凍上対策があつた。

在来地盤は標高 1 300 m 程度まで凝灰岩または溶岩塊であり、それ以上は主として噴出された火山礫または砂

質で、雨期以外には地下水層のみるべきものはなく、自然湧水はすべて 1 300 m 以下にのみ見られたが、施工上の切取面においては降雪が地下にとけこみ、季節風のために氷結する場合があつた。山麓部は比較的温かく、山頂部では地下水位がはるかに下にあつた結果、工事中の検測では凍上と称するほどのものは生じなかつた。しかし工事竣工後の排水路の変化を考えれば、当初の計画を変更する必要はないと認め、季節風を考慮して基礎根入深、埋殺し鉄筋コンクリート桁下面の空間埋戻し方法等については十分留意した。

2. 橋梁

活荷重の小さなこと、急勾配中に架設すること等から新橋桁を設計するのが好ましいが、当時手持ち鋼桁で、比較的強度の低いものがあつたために、これらのできるだけ利用することにした。また全体の工期がかなり短期間に限定され、ちょうど厳冬季に架設し始める工程となつたが、本線土工の終了を待たずに工用仮道路を設けて運搬する方法を採用した。

橋梁区間は総延長 340.372 m に達し、支間 37.64 m 下路鋼構桁 3 連、支間 62.74 m 下路鋼構桁 1 連、支間 22.4 m 上路鋼構桁 2 連を使用するとともに、支間 10 m の鉄筋コンクリート桁 4 連と交換場所鉄筋コンクリートラーメン橋梁延長 95 m を設けた。

最も急なものは支間 62.74 m のトラスを勾配 22°14' に架設したが、橋桁自重分力と車両制動力の和は、最大水平力 90 t 以上となり橋脚頭部に支承部のすべりどめを場所打ちコンクリートで設け、桁支承のアンカーボルトにのみ受けさせないようにしたが、桁架設に有効であつた。活荷重による衝撃率は全部材に 30% を採用したが、これは鋼桁の強度が KS-12 以上であるために特別に問題とならないので、簡単に定めたものである。

3. 軌道

急勾配中の道床については、従来より砂利道床とコンクリート道床が併用されているが、砂利道床の安定な限界は 350% までとされている。赤城山においては、たまたま橋梁が位置したため 250% 区間のみ、現地産の砕石道床をあらめなものを使用し、その他はすべて標準厚み 35 cm のコンクリート道床を用いた。砕石の大きさは、6 cm より 3 cm の程度とし、クラッシャーで発生する細粒は施工基面上に最初に撒布突固めを行つた上に、タイタンパーを利用して締固めた。これは保線要員が少なく、道床突固めの周期を延ばすために特に粗粒にしたが最初に安定するまでにはかなりの人工を必要とした。

4. レール

鋼索鉄道の車両の非常制動方式には、テオドルベル

式、ギーゼライン式、セレッタタンファニー式等があるが、いずれも制動子がレールを把握する方式である。このためにレールも軌道負担力よりも、各方式による制動子の構造に適した特殊な形を必要とする。赤城山鋼索鉄道においてはテオドルベル式を採用したが、この方式はレール頭部を両側から締めつける構造であり、設計に際しては頭部側面の大きなることを考え、また多少の摩擦にも交換の必要がないように 37 kg レールを使用した。

最近では旅客の乗心地を改善するために、長尺レールが鋼索鉄道にも使用されるようになったが、現在 30 m が標準でトンネルのなか等特殊なカ所が 60 m 程度まで使用されている。本工事ではあらかじめ 30 m に溶接されたものを敷設、全線に使用した。本鉄道においてはコンクリート道床区間ではもちろんのこと、砂利道床区間でも追進防止のため、コンクリート塊を 7.5m ごとに設けたレール固定装置が設けられているから、今後保守の結果によつては敷設レールを、その後さらに溶接して 30 m 以上の長尺レールとすることも困難でないと考ええる。

5. 線路導滑車

車両の運転はすべて、山上機械室内の動力により上下される鋼索によるもので、鋼索の円滑な運行は鋼索鉄道の生命である。このために軌間内に適当な間隔に小溝車を配置し、線路の形状に応じて鋼索を誘導するのが線路導滑車である。各点における鋼索張力は、乗客の多少、車両の位置、運動方向等により常に変化しており、最大値は最小値の 2 倍近くになる。この設計上最も注意を要するのは、軽量で十分に機械的強度を要するのはもちろんとして、曲線始終端部、および交換場所等の反向曲線部における、曲線路用導滑車と直線路用導滑車との間の移り変わり目のものである。本路線においても現地敷設後試運転の結果、各種の非常制動装置の働かずにともなう鋼索の異常張力並びに振動の際、鋼索の安定性に対して最も懸念されたカ所は前記の点であり、取付調整に対して非常な手数を要し一部は設計変更を必要とした。曲線路の影響を受ける範囲には、鋼索の過張力による浮上りに対してたとえ十分の余裕があつても、直立フランジのものを用いるべきではない。

5. 車両

1. 仕様

最大乗車人員 121 名 自重 9.5 t

軌間	1 067 mm	車体傾斜	22°
制動装置	型式	テオドルベル式	
	種類	自動、足踏、過速、手用	
運転速度	3.25 m/sec		
寸法(最大)	長さ 12 000 mm	幅	2 750 mm
	高さ	3 600 mm	
固定軸距	6 000 mm	車輪直径	550 mm

2. 構造

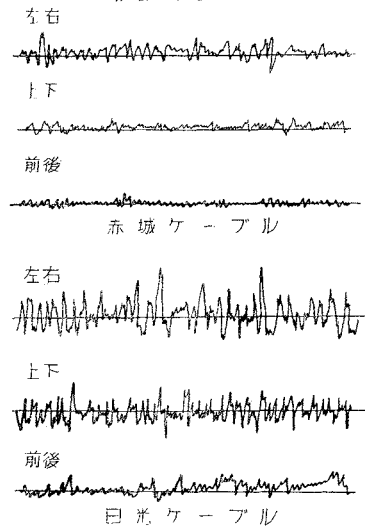
車体はリノリューム張り床板を除いて全金属製で、座席は日光ケーブルと同様、客扱い上の便宜のためロングシートとした。観光上展望のため窓を大きくとるとともに、鉄柱や架線を視界から除くため、車両と山上巻上機との間の保安装置に後述の誘導無線方式を採用した。

車軸と台ワ

クの間には、垂直荷重に対して防振ゴムを利用したが振動試験の結果は図-3のごとく防振ゴムを用いない日光ケーブルにくらべていちじるしく乗心地を改善した。しかし荷重の変化にともなう防振ゴムのセン断弾性係数の変化

図-3

振動加速度



については、軸受部分の構造とともに、いま一段の研究余地があると考ええる。

制動機構の詳細は省略するが、車両を非常の際速やかに停止させるための制動力の根源となるものは、最大荷重 10.45 t のブレーキ バネ 8 コでありこれと常時 4.62 t のバネ力を有するクロージング バネを組合わせレールに制動子を押しつけ、この間の摩擦係数(一般に 0.15 ~ 0.4 と考える)に応じ 9 ~ 27 t の制動力を発生させる。

これにともない非常制動時の減速度は最大 2.5 g におよぶ場合がある。ロープ切断より制動力発生までの時間

表-1

車両荷重状況 線路勾配 実制動距離 (mm)	A 号 車						B 号 車				
	満員車 最急	満員車 最急	満員車 最急	満員車 最急	空車 最急	空車 最急	空車 最急	空車 最急	満員車 最急	満員車 最急	満員車 最急
前ブレーキ	1 655	1 325	885	940	390	380	290	290	1 130	1 120	1 410
後ブレーキ	1 660	1 330	885	945	390	380	290	290	1 130	1 120	1 410
ブレーキシューとレールの隙間(mm)	5	5	3	3	3	3	3	3	5	5	5
レールの状況	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	乾燥	湿潤 (降雨)	湿潤 (降雨)	湿潤 (降雨) マシン 油塗布

は大体0.075秒で、工場内制動試験によれば実制動距離は表-1のとおりである。

前述の摩擦係数の変化と線路勾配の変化等にもなる減速度の変化に対して、制動力を調整することは現在できないが、将来大型高速化、あるいは縦断勾配の変化の急な場合等に対し、制動子材料の進歩とあいまつて、なんらかの方法で減速度の最大をもつと小さな値に制限しなければならない。次に本車両の制動子は長さ400mmであるが、車両が曲線を通過するとき、レール頭側面に接触し摩耗する傾向があるので写真-2に示すごとく、特にブレーキトング案内輪を設けた。これはわが国で始めて用いられたものだが、使用の状況は良好である。

写真-2 (a)

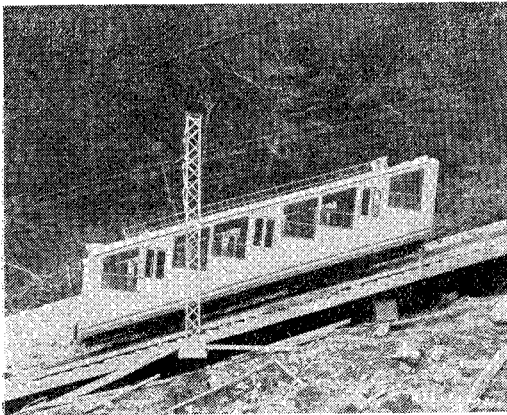
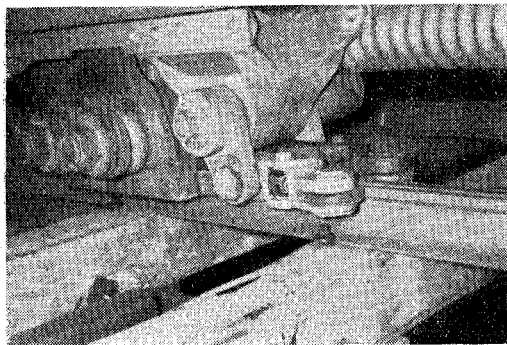


写真-2 (b)



6. 巻上機

1. 構造

巻上機は2台(うち1台は予備)の電動機により減速歯車2段を経て主索輪を回転させ、これに巻きついた鋼索の両端に緊定された車両を交互に上下させるもので、これを地下機械室に据付け、運転室より操作する。

2. 仕様

最大鋼索張力	9 050 kg	不平衡張力最大	5 200 kg
主索輪直径	3 800 mm	溝数	3 溝
従	3 800 mm		3 溝および1 溝

常用制動機	ポスト型手動遠隔操作式
非常制動機	ポスト型電磁石、押上機併用式
主電動機	200 HP 三相誘導電動機 3 000 V 50~600 rpm
予備電動機	150 HP 三相誘導電動機 3 000 V 50~500 rpm

7. 誘導無線信号装置

巻上機上の運転室からは全路線を注視することは不可能であり、すべて車両からの信号により運転室で巻上機を操作する。これが車両と巻上機との保安装置であるが、今回はこれに誘導無線信号装置を採用した。

巻上機運転室の固定局と各車両の移動局の間の信号は線路に沿って架設した架空電線を利用し、誘導無線装置によつた。なお、車両内の各種電源には蓄電池を用いたので架空電車線は必要なく、展望をさまたげられない。

信号は出発合図、緩停止合図、非常停止信号の3種類で、使用周波数および動作は次のとおりである。

固定局(山上運転室)

送信周波数	170 kc
受信周波数	150 kc, 190 kc

移動局(A号車)

移動局(B号車)

送信周波数	150 kc	190 kc
受信周波数	170 kc	170 kc
緩停止合図	400 c/s	1 000 c/s

出発合図: 移動局より送信搬送波を送り固定局のスケルチリレーを動作させ自動的に巻上機の運転制御回路を運転側に形成する。

緩停止合図: 移動局で緩停止合図スイッチの操作により周波数変調を行い、固定局のスピーカーを鳴らして連絡する。

非常停止信号: 移動局で搬送波送信を停止すれば、固定局のスケルチリレーを自動的に off とし、主回路油入遮断器を開放し、巻上機の非常制動機を動作させる。

8. 施工

現場の土木工事は31年8月着工し、32年7月21日営業開始したが、8月9月の例年になく長雨のために、主構造物のコンクリート工を冬期に打設しなければならなくなつたことと、測量の精度についてはもつとも心配した。全期間を通じて10数回基本測量を行つたが、曲線や橋梁が多いため、精度は1/50 000以上とした。地形の急傾斜と、そのための測点の増加、さらに濃霧と吹雪にさえぎられて3人の当社現場監督員は、測量に半ば以上の時間を費いやしている。

資材輸送については、ほぼ山麓山頂駅付近まで既設道路がそれぞれ水沼、前橋より到達していたのでトラック輸送によつたが、セメント、鉄骨材その他の運搬でほとんど道路を専用し、また自動車交換可能な場所が限定さ

れているために、コンクリート用骨材はすべて現地採集とした。

細粗骨材の製造にはインペラ ブレーカー 2台を昼夜運転した。インペラ ブレーカーへの投入原石は径 10~15 cm に小割りしたものをを用いたが、セメント使用量はウオーカ ビリチー 等からかなり増加し、川砂利使用の場合よりも 1 m³ のコンクリートにつき 30~50 kg の増加となった。工程上厳冬期にも鉄筋コンクリート工を施工しなければならなかつたため、コンクリート混合材料は骨材および混合用水を加熱するとともに、苗代温床ケーブルを型ワク外面に添加予熱、コンクリート打込後は、シートその他でおおつた上で炭火で加熱したが、最低温度の記録はミキサー出口で 5°C、打込直後 2°C、ただちに覆工加熱、型ワク内養生日数 30 日で σ_{ss} は 190 kg/cm² 程度であつた。このような寒地（工事中の最低気温は -18°C）で、かつ強風のたえ間ない場所では、型ワク板間のすき間からのペーストもれは特に注意を要し、このために型ワク板を冷凍し、コンクリート表面約 3 mm 程度が凍害を受けた例がある。巻上機、車両、鋼索等の搬入については前述のごとく両端駅まで、道路が延長されたので、特に運搬上問題はなく、車両を除いてはすべて山頂駅に前橋口から搬入した。

9. その他の工事

鋼索鉄道建設と併行して道路改良延長を行つたほか、ロープウェイを建設するとともに、現在特殊索道を建設中であるが、おもな仕様は次のとおりである。

赤城平一地蔵岳間普通索道（ロープウェイ）

型式	三線交走式旅客索道		
距離	斜長	586.6 m	水平長 530 m
高低差	220.5 m		
中間支柱	4 基（高さ 10 m, 11 m, 12 m, 17 m）		
使用ロープ	支索	径 45 mm シングル ロックド コイル	
	曳索	径 20 mm 19×6 シール型	
	尾索	径 16 mm 19×6 シール型	

動力	主原動機	75 HP 三相誘導電動機
	予備原動機	25 HP ガソリン エンジン
運転速度	3.3 m/sec	
定員	1両 21 人乗り 計 2 車両	
特殊索道（リフト）		
方式	乙種特種索道（単線循環固定式）	
延長	0.27 km	
動力	主原動機	20 HP 三相誘導電動機
運転速度	1.3 m/sec	
搬器	鉄製、椅子式 1 人乗 57 コ使用	

10. 建設費


鋼索鉄道、架空索道の建設費概要は次のとおりである。

1. 鋼索鉄道

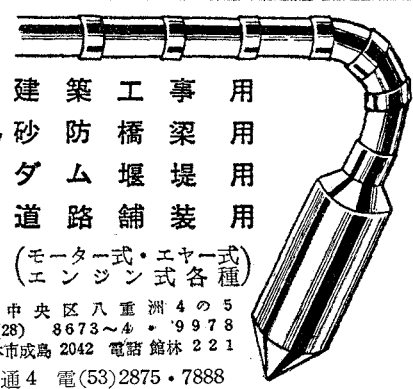
建物費	21 146 687 円
構築物費	
軌道	21 256 634
停車場	4 460 720
土工	52 176 473
橋梁およびこう橋	39 701 533
伏せびおよび排水こう	1 698 828
通信施設	3 353 340
電力線施設	3 156 288
小計	125 803 816
車両費	17 270 287
機械装置費	23 281 548
工具器具備品費	686 946
電気、ガス供給施設利用権	3 216 224
合計	191 405 508

2. 架空索道


建物費	14 169 175 円
構築物費	
線路	3 020 391
電路	7 061 760
車両費	3 787 235
機械装置費	37 264 098
工具器具備品費	235 995
合計	65 538 654



コンクリート パイプ



建築工事用
砂防橋梁用
ダム堰堤用
道路舗装用
 （モーター式・エヤー式
 エンジン式各種）



三笠産業株式会社

本社 東京都中央区八重洲 4 の 5
 営業所 TEL (28) 8673~4・9978
 工場 群馬県館林市成島 2042 電話 館林 221

西部地区総発売元 三笠建設機械株式会社 大阪市西区立売堀北通 4 電(53)2875・7888