

電車用特別高圧ケーブルおよびケーブルヘッド

Extrahigh-Voltage Power Cables and Pothead for Electric Car

浜田 義雄* 市毛 敏明* 水庭 隆*
 Yoshio Hamada Toshiaki Ichige Takashi Mizuniwa
 坂田 史朗* 石原 正能**
 Shirō Sakata Tadayasu Ishihara

要 旨

本論文は東海道新幹線電車および交直流電車用として使用されている主幹電力ケーブルおよびケーブルヘッドの開発経過を報告したものである。絶縁材料の進歩に伴い従来使用されてきたブチルゴムに代わって、エチレンプロピレンゴムがケーブル絶縁体として採用され、可とう性などの機械的特性はもとより、耐サージレベルを示す衝撃電圧繰返し課電特性、交流長時間破壊特性など電気的特性も良好であることを示した。

また、ケーブルヘッドはそのがい管構造の決定にあたって種々の汚損試験を行ない適正な構造寸法のものにすることができた。

1. 緒 言

現在、特高圧電車用ケーブル（ここで電車用ケーブルとはパンタグラフと電車床下部のトランスを結ぶケーブルをいう）は東海道新幹線電車の単相 25 kV および交直流電車の単相 20 kV の回路に使用され、現在まで良好に運転が続けられている。

特高圧電車用ケーブルとしては、各、交流対地電圧 30 kV、20 kV（三相回路の線間電圧 52 kV、35 kV にそれぞれ相当する）の特高圧ケーブルとなるので、電気特性がすぐれていることはもちろんのこと、電車床下部の各機器の間をぬって配線されるので、可とう性が必要となる。このため、従来までブチルゴム電力ケーブル（略号 BN）が使用されてきた。

近年、ブチルゴムに代わる飽和性ゴム絶縁材料としてエチレンプロピレンゴム（以下 EP ゴムと略す）が開発され、各方面で実用されてきている⁽¹⁾。EP ゴムはブチルゴムに比べ、耐コロナ性が格段にすぐれ、かつ、可とう性があるので、特高圧電車用ケーブルとして最適な絶縁材料と考えられる。

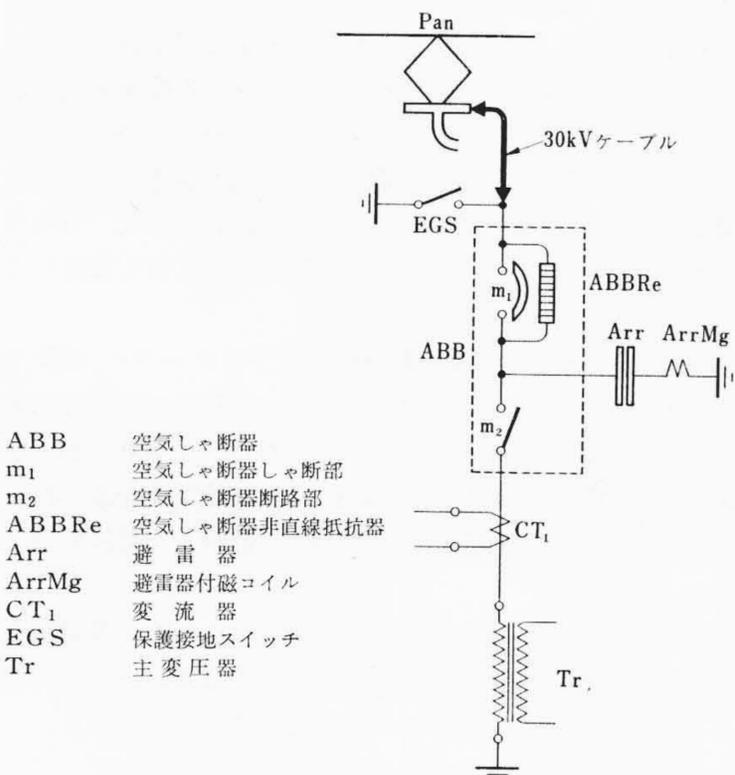
EP ゴム電車用ケーブルは昭和 42 年より BN ケーブルに代わり、現在まで良好な成績を収めているので、ここで報告したい。

2. 使用条件

電車用ケーブルはパンタグラフより電車床下部のトランスまでの給電線に使用されている。東海道新幹線の結線図および布設状況を図 1、図 2 に示す。ケーブル布設長は約 18m、床下の屈曲部はビニルパイプで保護されている。ケーブルとしての使用条件は表 1 に示

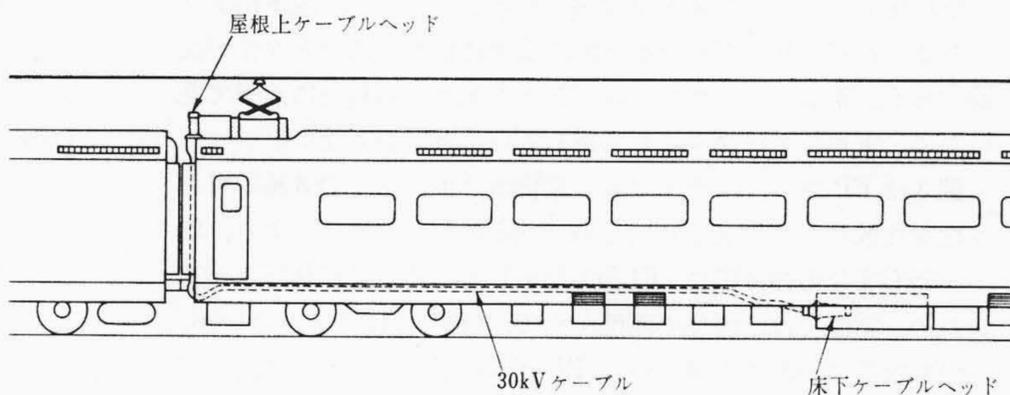
表 1 使用条件

項 目	使 用 条 件	
	東 海 道 新 幹 線 用	交 直 車 用
最大交流使用電圧 (対地間)	30 kV	23 kV
平均負荷電流	58 A	48 A
異常電圧	衝 撃 波 130 kV 0.5 μs 120 kV 1 μs (1×200 μs)	—
	交 流 36 kV 1 min	100 kV 1 s
	開 閉 サ ー ジ 130 kV (200~1,000 μs)	106 kV (200~1,000 μs)
絶 縁 階 級	絶 縁 階 級	電 車 用 30 号
	商用周波試験電圧	70 kV 1 min
	衝撃波試験電圧 (全波)	175 kV (1×40 μs)
	衝撃波試験電圧 (さい断波)	200 kV
避雷器の動作状況	1~2 回/1 d	—
屈 曲 半 径	400 mm	250 mm
振 動 加 速 度	1 G (10~50 c/s)	—
静 電 容 量	極力小さくすること	極力小さくすること



特高回路ツナギ図(新幹線電車の例)

図 1 30 kV 電車用ケーブル結線図および布設図



新幹線電車 特高ケーブル布設ルート図

図 2 30 kV 電車用ケーブル布設状況

* 日立電線株式会社日高工場
** 日立電線株式会社本社

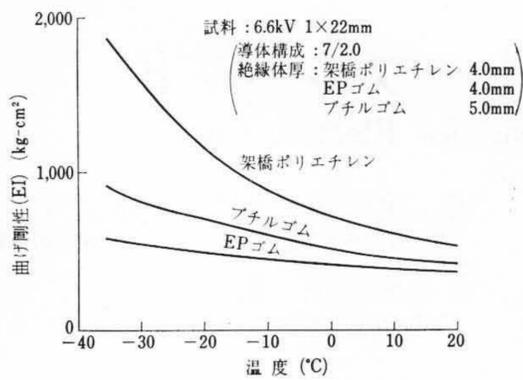


図3 ケーブル曲げ剛性特性

すとおりである。

電車用ケーブルとして、特に留意すべき点は異常電圧に対する対策である。異常電圧は車両が運転所などにあるとき、車両のしゃ断器で負荷を切り離れたのち、パンタグラフを降下する際、あるいは列車が架線の絶縁セクションを通過する際などに発生する。パンタグラフ降下時には、ケーブルの充電電流を切ることになり、架線とパンタグラフ間で繰返し再点弧が行なわれ、サージが架線分岐点で反射し重畳して異常電圧が発生する。ケーブルの静電容量も、この点より極力小さいことが望ましい。

ケーブルヘッドの使用条件は電車用として走行使用されることにより定められるが、まず第1に、高速で、しかも重化学工業地帯、海岸付近を運行するのでじゅうぶんな耐汚損性能を持つことである。さらに電車の高速化という要求からできるだけ軽量、小形にする必要がある。

以上より電車用ケーブルの基本条件として、次の三つをじゅうぶんに考慮する必要がある。

- (1) 電気特性がすぐれていること。
(特に耐サージ特性が良いこと)
- (2) 可とう性が良く、引込みが容易なこと。
- (3) ケーブルヘッドは耐汚損特性が良いことはもちろん、軽量小形であること。

3. ケーブル

3.1 絶縁材料

特高圧電力ケーブル用のゴム、プラスチック絶縁材料として、現在、主として使用されているものは、架橋ポリエチレン、プチルゴム、EPゴムであり、これらのうち、架橋ポリエチレンが電気特性、化学特性、経済性の点から最も多く使用されている⁽²⁾。以下、電車用ケーブルとして、3種の特性比較をし、電車用ケーブルの特殊性について述べる。

3.1.1 曲げ特性

電車用ケーブルは図2の布設図にも示したように、床下部トランスまで複雑な屈曲部をパイプ内に引き込むために可とう性が必要である。架橋ポリエチレンは可とう性がゴム系材料に比べて悪いので、電車用ケーブルとして適しているとはいえない。

図3はEPゴム、プチルゴム、架橋ポリエチレンの3種の可とう性を比較した結果を示したものである。片持ばり法により、20～-35°Cまでの曲げ剛性(EI値)を示している。絶縁体厚さが薄いため、常温では、導体の剛性が出て、3種の差はあまりないが、低温になるにつれ差が現われ、EPゴムが最も可とう性に富んでいる。実際の30kV EPゴム電車用ケーブルの曲げ剛性は常温で約 9×10^3 (kg-cm²)であり、これに対して、一般の架橋ポリエチレン電力ケーブルは 10^5 (kg-cm²) (6.6kV CV 3×150 mm² で 4×10^5)程度であるので、現在の電車用ケーブルは非常に曲げやすくなっている。

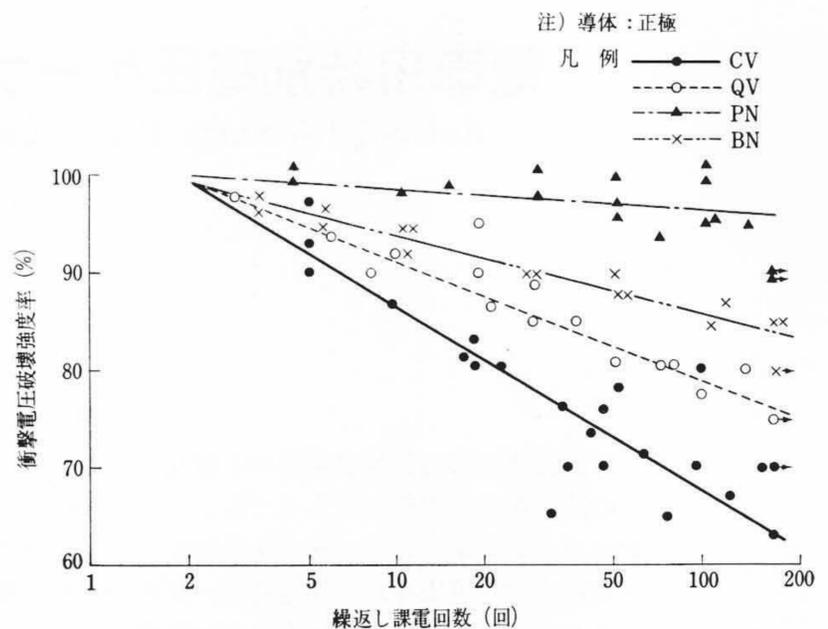


図4 衝撃電圧破壊強度の繰返し課電特性

表2 衝撃電圧繰返し課電特性

衝撃電圧	200 kV (導体負極)		初期値	
	繰返し課電回数	500回		1,000回
交流長時間破壊電圧		290 kV/1 min, 230 kV/3 min	230 kV/3 min, 210 kV/7 min	200~220 kV

注: 1. 試料ケーブル 30 kV 1×60 mm² PN
2. 交流長時間破壊試験昇圧法 140 kV/10 min + 10 kV/10 min 昇圧

3.1.2 繰返し課電特性

FPゴムの一般電気特性についてはすでに報告⁽²⁾⁽³⁾済みであるので、ここでは特に問題になる耐サージ特性について述べる。

現在まで実測された異常電圧の大きさとしては、最大波高値で約95kVであるが、実際には避雷器の破壊事故があり、避雷器の100% 衝撃放電開始電圧(規格値120kV以下)以上の異常電圧が出ていると推定されている。

この異常電圧がケーブルに与える影響を確認するため、標準衝撃電圧(1×40 μs)を繰返し課電した場合の課電回数とケーブル破壊強度の関係を測定した結果は図4に示すとおりである。図4は22kVまでのケーブルを用いたものであり、図中、ポリサーモ(QV)とは充てん剤入り架橋ポリエチレンの日立電線株式会社の商品名である。本特性は課電3回以内で破壊する値を破壊強度100%として表わしたものである。架橋ポリエチレンの低下率が最も大きく、初期破壊値より低い電圧でも繰返し課電すれば破壊に至ることを示している。EPゴムはほとんど低下せず、現有のゴム、プラスチック材料の中でも最も繰返し課電に対し安定している。

実際の電車用ケーブル30kV 1×60 mm² PNケーブル(EPゴム絶縁クロロプレキシースケーブル)について行なった結果は表2に示すとおりである。200kVの標準衝撃電圧を500回および1,000回繰返し課電し、その後、交流長時間破壊電圧を求めた。この場合でも衝撃電圧の加わらない初期値と比較して特性低下は見られない。

以上示したようにEPゴムは衝撃電圧繰返しに対し、非常に安定しており、電車用ケーブルなどサージがひんぱんにはいる可能性のある回路には最適な絶縁材料と考えられる。

3.2 ケーブル構造

東海道新幹線用および交直流電車用として、現在使用されているEPゴムケーブルの構造は表3に示すとおりである。

従来のBNケーブルに比べ変更になった点は導体断面積の縮小である。というのは、BNケーブルの場合、性能に対してさらに裕度

表3 ケーブル構造表

項目	単位	仕様	
用途	—	新幹線用	交直流電車用
交流公称電圧 (対地間)	kV	30	20
線心数	No.	1	1
導体	公称断面積	mm ²	60
	構成	No./mm	19/20/0.45
	外径	mm	11.7
EPゴム絶縁体厚 (内部半導電層を含む)	mm	16.0	12.0
半導電性布テープ巻厚	mm	0.35	0.35
しゃへい編組厚	mm	0.5	0.65
布テープ巻厚	mm	0.35	0.35
クロブレンシース厚	mm	3.0	3.0
仕上り外径	mm	52.1	41.8
概算重量	kg/km	3,850	2,300

を上げるため、導体断面積を電流容量上から決まる値より大きくし、導体上電位傾度を下げるよう考慮を払っており、 $D/d=e$ (D : 絶縁体外径, d : 導体外径) より導体断面積を決定したためである。EPゴムの場合については、電流容量、布設上の張力より導体断面積を決めることができる。

3.2.1 絶縁設計

ケーブル絶縁体厚さを決めるにあたって特に考慮した点は次のとおりであり、東海道新幹線用 30 kV ケーブルの場合について述べる。使用年数 10 年との条件を与えられたが、10 年経過後の特性値の要求条件に対し 50% の裕度をもつものと考えた。

- (1) 最大交流使用電圧 30 kV × 1.5 = 45 kV
- (2) 標準衝撃電圧 175 kV × 1.5 = 260 kV^(*)
- (3) 開閉サージ 130 kV × 1.5 = 195 kV

(*) : さい断波はエネルギーが小さいので全波をとった。

この要求条件に対し、初期必要特性として、次の交流長時間耐圧、衝撃耐電圧より絶縁体厚さを決定した。

- (1) 交流長時間耐電圧 45 kV × 3.82^(*) = 170 kV
- (2) 衝撃耐電圧 260 kV / 0.65^(**) = 400 kV

(*) : 劣化係数 3.82 は交流時間特性が $1/\sqrt{t}$ (t : 時間) に比例すると考え、交流長時間耐電圧試験の耐電圧時間 30 分を 10 年後に換算した値である。

(**) : 衝撃波の劣化係数として、温度、繰返しサージ、取扱い布設などの各要因を考え、0.65 とした。

3.2.2 ケーブル構造

そのほか、ケーブル構造として、留意した点は次のとおりである。

- (1) 導体は可とう性のある細線複合より線構成を採用した。
- (2) 導体上内部半導電層は押し混和物形とし、絶縁体と同時に押し出しを行ない、電気特性向上をめざしている。
- (3) 遮蔽(しゃへい)はスズメッキ軟銅線編組、シースはクロブレンであり、いずれも取扱い性を考慮している。
- (4) ケーブル布設中、ケーブルねじれが発生しやすいので、シース上に黄線を直線印刷し、取扱いの管理がされている。なお、ねじれについては、実験上より 20~25 度/m までを許容限度としている。

3.3 ケーブル特性

前項で述べたケーブル構造に対するおもな初期電気特性を示したのが表 4 である。交流長時間破壊電圧、衝撃破壊電圧とも、初期目標値をじゅうぶん満足する結果が得られている。交流については使

表4 ケーブル特性

項目	単位	30 kV PN 1×60 mm ²	30 kV BN 1×100 mm ²	20 kV PN 1×38 mm ²
交流長時間破壊電圧*	kV	200~220	140~160	170~180
衝撃破壊電圧	kV	480~520	540~600	360~380
絶縁抵抗 (常温)	MΩ-km	12,000~14,000	10,000~15,000	8,000~9,000
誘電正接 (常温)	%	0.3~0.4	0.7~0.85	0.3~0.4
コロナ開始電圧*	kV	50<	—	40<

注 1. * 屈曲 (屈曲半径 250 mm, 屈曲回数往復 30 回) 後も特性変化なし。

- 2. 交流長時間破壊試験昇圧法
30 kV : 70 kV / 1 h + 10 kV / 1 h 昇圧
20 kV : 50 kV / 1 h + 10 kV / 1 h 昇圧
- 3. 衝撃電圧破壊試験昇圧法
30 kV : 240 kV / 3 回 + 20 kV / 3 回 昇圧
20 kV : 180 kV / 3 回 + 20 kV / 3 回 昇圧

用電圧に対し、約 6 倍の裕度をもっている。

そのほか、誘電正接、絶縁抵抗の値も特高圧ケーブルとして、なら問題のない値を示している。表 4 には参考のため従来の BN ケーブルのデータをのせたが、BN に対し、初期値においてもすぐれており、衝撃電圧繰返し課電特性、耐コロナ性が良いことを考えると、格段に裕度をもつことになり、信頼性をいちだんと向上させることができた。

4. ケーブルヘッド

電車用ケーブルヘッドとして要求される性能は電氣的、機械的性能が良好であることはもちろんであるが、特に電車用として特殊な条件が課せられている。まず電車が高速で移動することによる振動の問題、また重化学工業地帯、海岸地帯を走行することによる汚損の問題、さらに線路などの経済性および高速化の要求からくる寸法小形化、軽量化など一般のケーブルヘッドに対するものよりも、よりいっそう過酷な条件を解決しなくてはならない。以下これら諸問題について、主として新幹線電車用ケーブルヘッドの例を中心として述べる。

4.1 汚損特性

電車の走行地帯は当然ながら種々雑多である。これらのうちには重化学工業地帯、海岸地帯が含まれる場合が多く、電車外面部に対する汚損量は相当に激しいものがある。しかも、前者は主として煙塵(えんじん)、各種ガスなど電解性物質から成る汚損であり、後者は海水からの塩分汚損であり、これらが複雑に混ざり合った汚損状態である。したがって電車用ケーブルヘッドの設計、製作にあたっては、この汚損問題を第一に考慮しなくてはならない。

4.1.1 耐汚損設計

耐汚損設計にあたっては、汚損物の種類、汚損量などを決定しなくてはならない。汚損物の種類は先に述べたように、塵埃(じんあい)、電解性物質、塩分などの組合せであるが、これら多数の組合せを完全に満足させる人工汚損物はなく、従来一般的に採用されている塩分およびトノコとの組合せで代表させた。また、汚損量は実測値をもとにして定めた値である。電車のように被汚損物体が高速で移動する場合、汚損量は速度の 2 乗に比例するといわれるが⁽⁴⁾、たとえば、新幹線電車用 30 kV ケーブルヘッドの汚損量は等価塩分付着に換算して 0.3 mg/cm² にも達する。ケーブルヘッドに要求された汚損条件を示したのが表 5 である。

汚損条件を考慮して、ケーブルヘッドの諸寸法を決定するにあたっては、まず適切な表面漏えい距離の決定を行なう。がい管の汚損せん絡特性⁽⁵⁾より (ケーブルヘッドの内部絶縁補強寸法、機械的強度を考慮したがい管の平均胴径を仮定して)、所要漏えい距離を求めると表 6 の値を得る。一方、がい管寸法を変えることによるせん絡電圧の変化および汚損耐電圧印加条件によるせん絡

表5 新幹線電管用ケーブルヘッド(屋根上)の必要特性

項目	必要特性
定 格 電 圧	30 kV
耐汚損性能	等価塩分付着量 0.1 mg/cm ² , 0.3 mg/cm ² 最低せん絡値 37.5 kV, 35 kV 試 験 法 霧中繰返し定印法
絶縁耐力	商用周波(乾燥) 70 kV/1 min
	商用周波(注水) 70 kV/10 s
	衝撃波(乾燥) 175 kV (正および負極)
	衝撃波(注水) 175 kV (正および負極)
曲げ耐荷重	150 kg-m/1 min

表6 新幹線電管用ケーブルヘッド(屋根上)のがい管諸寸法

項目	寸 法
平均直径	170 mm
表面漏えい距離	1,600 mm
せん絡距離	530 mm

電圧の変動は後述する各種汚損試験により確認した。

4.1.2 汚損試験

汚損せん絡電圧は電圧印加条件によって大きく変動するが、電車への給電線に発生する異常電圧がかなり高いことを考慮すると、汚損耐圧は最も過酷な条件にて決定しておく必要がある。この点より本ケーブルヘッドの汚損試験は霧中繰返し定印法⁽⁶⁾を採用したが、実線路における汚損せん絡のメカニズムからみても本試験法は適切なものといえよう。

(1) 試験方法

汚損液の塩分付着量は 0.03~0.5 mg/cm² の範囲とした。汚損液は規定量を刷毛(はけ)にて均一に塗布した。印加電圧、水蒸気量の調節は次の方法によった。

(a) 最初、乾燥状態で電圧印加を調整する。

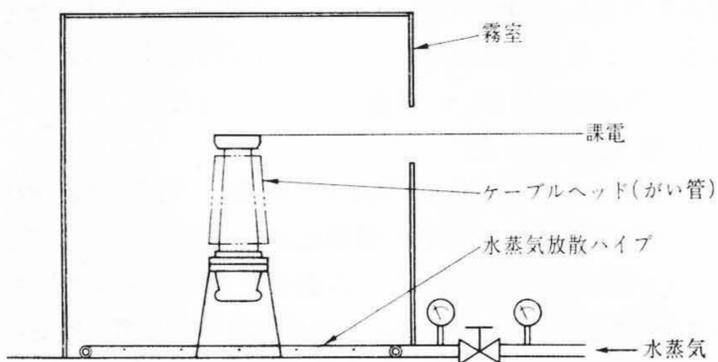


図5 汚損試験状況

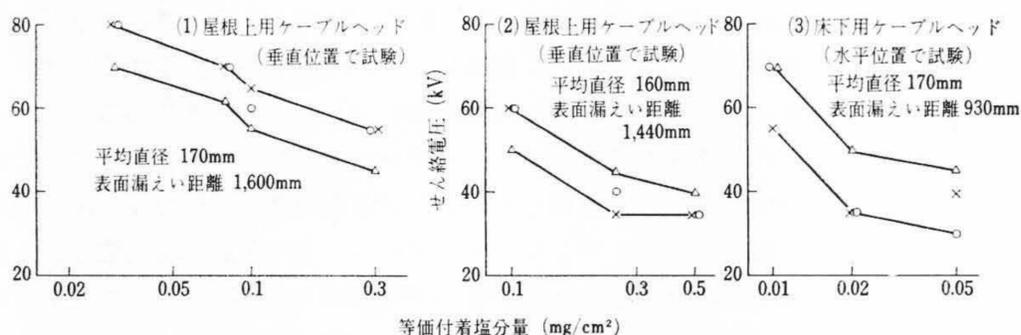


図6 霧中繰返し定印法による汚損特性

(b) 霧室中に 50 cc/min の割合で水蒸気を放出してせん絡までの時間を測定する。

(c) 3回目以降は上記の状態のまま行なう。

汚損試験状態は図5に示すとおりである。

(2) 試験結果

霧中繰返し定印法による試験結果をがい管寸法の異なった3例について示したのが図6である。採用品(図6-(1))は 0.3 mg/cm² の汚損量に対してせん絡電圧は 45 kV で規定値 35 kV を 30% ほど上回っている。比較のため等価霧中上昇法によっても試験したが、霧中繰返し定印法に比べ約 10% の高い値を示しているので、後者の試験条件が過酷であることが確認された。

このように良好な耐汚損性能を示したが、実際の運転にあたっては、一定回数の走行後、がい管表面の清掃を行ない安全度を高めるよう保守されている。

4.2 ケーブルヘッドの構造

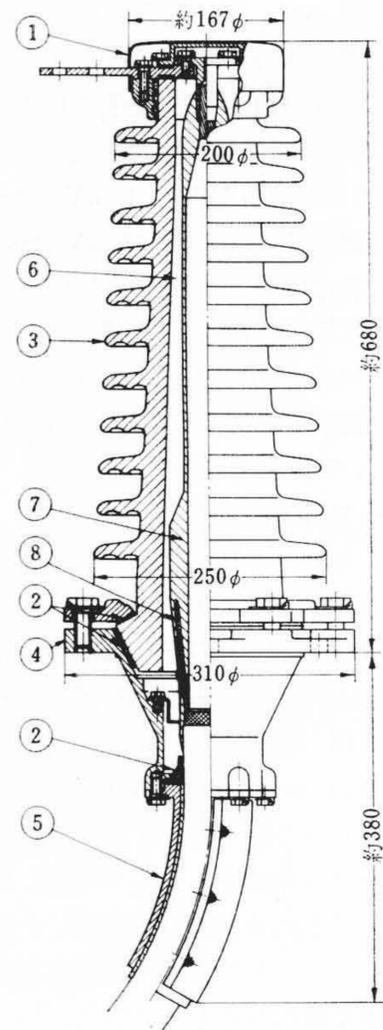
ケーブルヘッドの構造は図7に示すとおりであるが性能上重要な点は、

- (1) ケーブル遮蔽端の電界緩和補強方法
- (2) 防水、機械的保護用とう管

である。

4.2.1 絶縁補強方法

ケーブル外部遮蔽層の端部に集中する電界を緩和する方法としてはストレスコーン補強方式(遮蔽形)とコンデンサ補強方式があげられるが、従来から固定布設用ケーブルヘッドに実績の多いストレスコーン補強方式をとることにした。しかし、電管用ケーブルの回路電圧は直接対地電圧を示しており、固定用ケーブルの回路電圧が線間電圧を示すのに比べて、過酷な条件で使用されることになるので慎重な検討を必要とする。特に新幹線用 30 kV ケ



- ① 雨おおい ② パッキン ③ がい管 ④ 下部金具
- ⑤ ケーブル締付金具 ⑥ 絶縁コンパウンド
- ⑦ 絶縁テープ ⑧ ストレスリリーフコーン

図7 屋上ケーブルヘッド構造図

ケーブルヘッドの場合は固定使用ケーブルの回路電圧 50 kV 級に相当する絶縁耐力が要求されることになる。このためケーブルヘッドは初期絶縁耐力のほか、長期実負荷試験を行なってその性能を確認することになった。公称回路電圧 30 kV に対して 1.5 倍の電圧 45 kV が連続印加され、さらにケーブル電流 350 A 8 時間通電/日のヒートサイクルが課せられた。この実負荷試験は 167 日間 (4,008 時間) 続けられ、その後の試験の結果、ケーブル、ケーブルヘッドにはなんら異常のないことを確認したのち、電車用として採用された。

以上述べたように、ケーブルヘッドにはストレスコーン絶縁補強方式を採用したが、さらに性能向上、小形化をめざして、最近開発実用化が進められている、いわゆるそう入形ケーブルヘッドの適用が、現在、検討されている⁽⁷⁾。

4.2.2 外部とう管

電車用として要求される耐汚損性、耐候性を満足させるものに、現在のところ磁器製とう管以外にはない。しかし電車走行中の風圧振動に耐えるためじゅうぶんな強度を持たなくてはならない。このためとう管に対して時速 210 km 走行中の風圧を考慮した曲げ耐荷重試験が行なわれた。試験結果は曲げ破断荷重 500 kg-m で規定値 150 kg-m の値に比べじゅうぶん余裕のあることが確認された。

5. 結 言

以上、新幹線電車用をはじめ交直流電車の主幹電力ケーブルおよびケーブルヘッドの諸性能について報告した。ケーブルは新しい材料である EP ゴムを採用したが、可とう性はもとより、電気特性、特に異常電圧に対する裕度をもたせることができた。またケーブルヘッドは耐汚損特性を向上させるための考慮が払われている。本主幹ケーブルは昭和 39 年以降多数の使用実績を持ち、今後ますます広く使用される見通しである。最後に、終始有益なご助言をいただいた日本国有鉄道車両設計事務所の関係者各位に厚くお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 須貝, 橋本ほか: 日立評論 47, 1721 (昭 40-10)
- (2) 大堀, 浜田ほか: 日立評論 51, 371 (昭 44-4)
- (3) 佐藤, 大熊ほか: 昭 43, 電学東支大 No. 280
- (4) 浜田, 高橋ほか: 昭 40, 電学東支大 No. 369
- (5) 三田, 竹村ほか: 電学誌 77, 1207 (昭 32-9)
- (6) 電気学会編: 高電圧試験専門委員会資料
- (7) 浜田, 坂田ほか: 昭 45, 電四学連大 No. 920



特 許 の 紹 介



特許 第 414653 号 (特公昭 38-15083 号)

高 谷 通・桑 山 越 夫・岡 崎 政 枝

球 状 重 合 体 の 製 造 法

この発明は、粒度のそろった球状重合体を容易に製造しうる方法に関するものであり、種々の用途が考えられるが特に水処理などに用いられる、イオン交換樹脂の母体として使用すれば有効である。この種の球状重合体は一般に懸濁重合方法により得られ、これまでも幾つかの製造方法が知られているが、いずれも粒子径のばらつきが多く、均一な粒度を有するものは得られがたかった。この発明者

らは、粒度のばらつきが懸濁重合時に使用する分散剤の種類に原因することを突き止め、きわめて有効な分散剤を見いだしたことにより、この発明を生み出したものである。すなわちこの発明は重合可能な芳香族炭火水素またはその混合物を水中に懸濁し、これに分散剤としてリン酸ジルコンまたはリンモリブデン酸アンモニウムを添加し加熱、重合を行なうことを特徴とするものである。(涌井)

Vol. 31

日 立 造 船 技 報

No. 4

目 次

■ 論 文

- NC 化 パイプベンダー「HYNUP」の開発
- 波浪による船体の運動および船体と係船構造物との衝撃力について

- 二塩化エタン精製に関する基礎物性値
- 噴流層における環状粒子層の粒体の軌跡
- 噴流層内部の気柱に関する実験
- 含銅シルミンの時効硬化と疲れ強さの関係

……………本誌に関する照会は下記に願います……………

日立造船株式会社 技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60 郵便番号 554