

氏 名	桑 原 恒 夫
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 3 年 3 月 15 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 51 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業
学 位 論 文 題 目	通信ケーブル用外被の伝送媒体保護機能向上に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 安達 三郎 東北大学教授 中鉢 憲賢 東北大学教授 千葉 二郎 東北大学教授 前川 一郎

論 文 内 容 要 旨

電気通信の技術開発は通信の迅速化，長距離化，大容量化，多様化，高信頼化を目的として通信方式，送受信機，交換機，各種端末装置，有線伝送路に関する各種の研究が絶え間なく行われてきた。ここで特に有線伝送路の技術開発の歴史を概観する。有線伝送路の技術開発の歴史の上で画期的な出来事は1891年にアメリカで発明された紙絶縁鉛被ケーブルである。これは銅線の周囲に紙を被覆した伝送媒体（紙絶縁メタル心線）を多数束ね，その外周に鉛の外被を施したものであり，それまで使用されてきた裸線に比べ小さい容積の中に多数の回線を収容でき，かつ高い信頼性が確保できるという特徴を有している。その後，通信の長距離化は装荷ケーブル，光ファイバケーブルの開発，大容量化は無装荷ケーブル伝送方式，同軸ケーブル，光ファイバケーブルの開発，高信頼化は絶縁材料のプラスチック化技術，ケーブル内への圧縮ガス封入化技術，ケーブル内への防水材料充填技術，外被の伝送媒体保護機能の向上化技術により実現されてきた。

本論文は，有線伝送路の高信頼化技術の中で外被の伝送媒体保護機能の向上化技術に関して行った研究をまとめたものである。

通信ケーブル用外被は各種の外力より伝送媒体を保護する目的で施されるものである。このうち歴史的に最も重要視されてきたのは水分の侵入防止技術である。これは水分の侵入によってメタル心線では短絡や伝送損失の増加，光ファイバ心線では破断確率の増加や伝送損失の増加が発生するなど，水分の侵入は通信用ケーブルにとって重大な障害を引き起こすからである。水分の内，液体状の水の侵入は外被に穴が開かない限り防げるので，外被の水分侵入防止技術は水蒸気の侵入防止技術（透湿防止技術）に主眼が置かれて研究されてきた。歴史的に通信用ケーブル用外被として最初

に使用されたのは、水蒸気の侵入を完全に防止できる鉛外被であった。しかし鉛外被は機械的強度の不足、振動による亀裂、電食・腐食、重量の点で問題があった。この様な欠点を大幅に改善できる特徴を有するものとして開発されたのがプラスチック層と薄肉金属層を組み合わせた多層構造外被である。その構造を図1に示す。この外被はプラスチックの透湿性（水蒸気を透過する性質）という材料としての本質的な欠点を薄肉金属層によって補うものであり、いくつかの種類の外被が提案されている。

しかしこれらの外被の薄肉金属層はいずれも長手方向に連続した接合部分（つなぎ目）を有しているため、構造上水蒸気の侵入を完全に防止するものではなかった。またその透湿特性の評価も、従来の測定法の測定感度の不足から十分には行われていなかった。

一方、通信用ケーブルは種々の環境で使用されるため、使用する場所によっては特殊な外力が加わる場合がある。即ち電力線、電気鉄道の近傍では電磁誘導が、多雷地域では高電圧が、森林・山岳地域では散弾銃撃や動物による穿孔行為が、とう道では火災が、直埋地域では昆虫（蟻）による穿孔行為が加えられる。この様な場所で使用されるケーブルの外被には特殊な性能が要求され、従来も使用環境毎に種々の構造に外被が提案されている。しかしこの様な特殊地域用の外被はその設計根拠が明確でなかったり、特性が十分でないものが存在していた。

本論文は、この様な背景の基に行った多層構造外被の透湿特性の実態評価と特性改善法、特殊地域用外被の内で散弾被害、動物被害といった機械的衝撃対策用外被及び火災対策用外被の設計根拠の明確化並びに特性改善法についての研究結果をまとめたものである。

第2章では現在の汎用多層構造外被である LAP 外被の透湿特性の実態評価と特性改善法について述べる。LAP 外被とは、図1に示したケーブル構造において薄肉金属層にアルミニウム層を使用し、その接合部分の接合はアルミニウム層に予め積層しておいたプラスチックの接着性フィルムによって行っているものである。ここではまず、高感度の測定が可能な条件下での外被の気体透過量の測定結果（高温水中での透湿量測定結果、He ガスの透過量の測定結果）を基に、プラスチッ

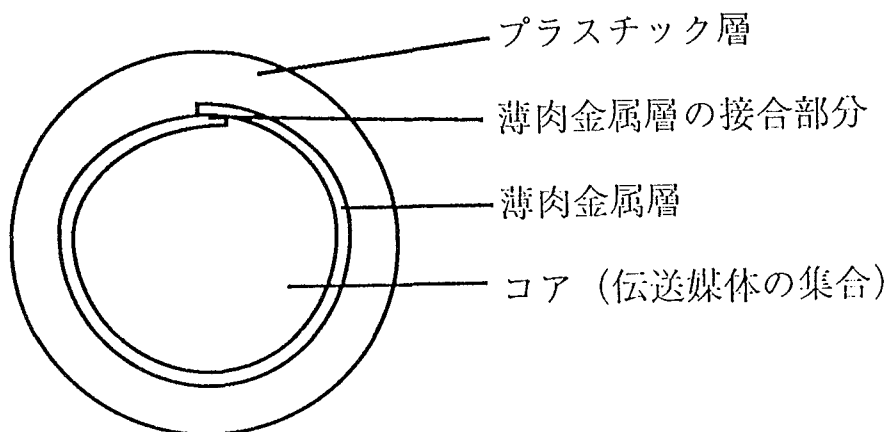


図1. 通信ケーブルの構造

ク材料の気体透過率の換算により常温水中での透湿量を算出する方法を提案した。これによって常温水中での外被よりの透湿量の測定感度を2-4桁向上された。この改良した測定法によって従来十分な測定ができなかった現用のLAP外被よりの透湿量を実験的に明らかにし、これが従来理論的に考えられていた量より大幅に大きい事(平均で約5.4倍)を見いだした。またその原因がアルミニウム層の接合部分の接着不良にあり、アルミニウム層の両側に接着性フィルムを積層することによりこの接着性を改善し、透湿量を理論値とほぼ等しく出来ることを明らかにした。なお本研究の波及効果としては、外被に対する任意の気体の透過性の推定法の確立が挙げられ、この結果は光ファイバケーブルの水素による損失増加特性の推定の際に引用・利用されている。

第3章ではもう一つの汎用多層構造外被であるスタルペス外被の透湿量の実態評価と特性改善性について述べる。スタルペス外被とは図1に示す構造において、薄肉金属層として錫メッキ鉄層を用い、その接合部分の接合は半田付によって行っているものである。温水中での評価の結果、スタルペス外被を長期間水中に設置した場合に、外被の錫メッキ鉄層に孔食が生じて透湿量が大幅に増加する現象を発見した。そしてその透湿量の時間的変化を、水温をパラメータとして推定する方法を明らかにした。さらに薄肉金属層を錫メッキ鉄層から銅層に変更して透湿量の時間的増加を防ぐと共に、薄肉金属層の内側に剛性層を設けて金属層の接合部分の半田付け性を改善し、初期的にも透湿量の少ない改良型のスタルペス外被を提案した。

第4章ではスタルペス外被を施した紙絶縁メタル心線ケーブルの透湿に起因する電気的特性の経時的な変化について述べる。検討の結果、まず紙絶縁メタル心線の電気的特性の中で透湿により最も大きな影響を受けるのは絶縁抵抗である事を確認した。そして従来示されていた絶縁抵抗に対する絶縁紙の吸湿率の影響に加え、湿度の影響も考慮に入れた絶縁抵抗の総合的な評価式を提案した。また外被の透湿によりケーブル内に水分が侵入した場合の絶縁紙の吸湿率の偏差について実験的に把握した。そしてこれらの結果と第3章で明らかにしたスタルペス外被の透湿量の時間的変化の推定法を基に、スタルペス外被を施した紙絶縁メタル心線ケーブルが実際の環境下に設置された時のメタル心線の電気的特性を、設置場所の気象データ、ケーブル種類、水中設置区間長及び設置年数をパラメータとして予測する方法を提案した。

第5章では鳥獣の穿孔行為に耐える外被の設計法について述べる。従来この種の外被の設計・評価は主に動物実験によって行われており、動物の種類が変更された時にも適用できる汎用的な外被の設計法は提案されていなかった。ここではまず薄肉金属層に繰り返してせん断を印加した場合の破壊特性をせん断エネルギー破壊モデルに基づいて解析し、破壊が生じるまでの繰り返し回数をせん断1回当りに加えるエネルギーの関数として算出する方法を導いた。またせん断の印加回数を100回以下に限定した場合(この限定は動物の穿孔行為の習性からほぼ妥当である)、せん断1回当りのエネルギーがある値より小さい間は薄肉金属層は破壊しない事を明らかにした。また、このエネルギー(非破壊エネルギーと呼ぶ)は薄肉金属層の機械的性質(降伏点伸び歪、破断点応力)及び厚さに基づいて推定できる事を明らかにした。この結果、外被に用いる薄肉金属層の非破壊エネルギーを鳥獣の1回の穿孔行為により印加されるエネルギーより大きくする事により、鳥獣の穿孔行為に耐える外被の汎用的な設計ができるようになった。またこの設計法を耐キツッキ用外被の設計に応用し、その

有効性を動物実験により確認した。

第6章では散弾銃の銃撃に耐える外被の設計法について述べる。従来はこの種の外被の設計は完成品としての外被の衝撃試験によって行われ、材料段階からの評価・設計法は提案されていなかった。ここではまず、高速飛翔体による薄肉金属層、プラスチック層の破壊特性を実験的に解析し、金属層の破壊に必要なエネルギー（破壊エネルギーと呼ぶ）は金属層の機械的性質（破断点伸び歪、破断点応力）及び厚さに基づいて推定できることを明らかにした。またプラスチック層と金属層を積層した複合層の破壊エネルギーはプラスチック層、金属層各々単層の場合の破壊エネルギーの和に比べて減少し、その減少の程度は使用するプラスチック層の破断点伸び歪が大きく、厚さが小さいほど大きいことを明らかにした。さらにその複合層の破壊エネルギーをプラスチック層、金属層各々単層の場合の破壊エネルギー、プラスチック層の破断点伸び歪及び厚さから算出する実験式を導いた。この実験式に基づいて、外被に使用する金属・プラスチック複合層の破壊エネルギーを散弾銃の銃撃により印加されるエネルギーより大きくすることにより、散弾銃の銃撃に耐える外被を設計できる。次に外被のプラスチック層に高強度プラスチック材料（EVA-gr-VC）を使用した新しい耐散弾銃撃用外被を提案し、上述した設計法によりそのプラスチック層と金属層の厚さを設計した。また設計した外被を実際に作製し、新提案の外被が従来の耐散弾銃撃用外被と同等の耐散弾銃撃特性を有し、かつ外被厚、外被重量、曲げ剛性が大幅に減少できる事を確認した。

第7章では火災対策用外被の性能向上法について述べる。まず、最外層を薄肉のステンレス層で構成した新しい難燃通信ケーブル用外被を提案し、本外被の難燃性が難燃高分子材料を用いた従来の難燃通信ケーブル用外被に比べて著しく向上することを実験的に示した。また燃焼防止を目的とした単なる難燃ケーブルから火災中の情報伝送用ケーブルへ発展させるためには、本外被をそのまま光ファイバケーブルに適用しただけでは要求条件を満足することはできなかったものの、要求条件を満足させるための指針（熱変形温度の低い心線被覆材料の使用と外被の熱伝導率の減少）を得た。

またステンレス層に施す適切な防蝕塗装法を明らかにした。

審 査 結 果 の 要 旨

情報化社会を迎えて通信の信頼性向上に対する要求は益々高まっている。通信ケーブルは一般に悪環境下で使用されることが多いため、外被の伝送媒体保護機能の向上は通信の高信頼化のための重要な課題である。本論文はプラスチック層と薄肉金属層より構成された多層構造外被の透湿特性の究明と改善法、散弾被害や動物被害などの機械的衝撃対策用外被の設計および火災対策用外被の特性改善について行った研究の成果をまとめたもので全編8章よりなる。

第1章は、緒論で、本研究の目的と意義について述べている。

第2章では、透湿防止用の薄肉金属層としてアルミニウムを用いた多層構造外被（LAP外被）の透湿特性の評価と改善法について述べている。まず、新たに考案した高温水を用いる高感度透湿量測定法によって、従来のLAP外被の透湿量が理論的に考えられる量よりもはるかに大きいことと、その原因がアルミニウム層の接合部分の接着不良にあることを見出し、その対策としてアルミニウム層の両側に接着性フィルムを積層することにより、透湿量を理論値のそれとほぼ等しくできることを示している。

第3章では、薄肉金属層として、接合部を半田付けにした錫メッキ鉄層を用いたスタルベス外被の透湿特性について検討している。透湿は錫メッキ鉄層に生ずる孔食によって経時的に増大することを見出すと共に、透湿量の経時変化を水温を基に推定する方法を確立している。また、透湿特性を改善する幾つかの有効な方法を提案している。

第4章では、スタルベス外被を施した紙絶縁メタル心線ケーブルについて、まず絶縁紙の吸湿性と温度依存性を考慮に入れた紙絶縁心線の絶縁抵抗の評価式を導き、次にこれと第3章で明らかになった外被の透湿特性とから実際の環境下でのケーブルとしての電気的特性の経時変化を予測する手法を与えている。これは有用な知見である。

第5章では、鳥獣の穿孔行為に耐える外被の設計法について述べている。まず、薄肉金属層に繰り返してせん断力を負荷した場合の破壊特性をせん断エネルギー破壊モデルに基づいて解析し、せん断力の負荷回数を100回以下に限定した場合、せん断負荷1回当りのエネルギーがある値より小さい間は薄肉金属層は破壊しないことを明らかにしている。更に、このエネルギーは金属層の機械的性質と厚さによって推定できることを示して外被の設計法を与え、その有効性を動物実験によって確認している。

第6章では、高速飛翔体による薄肉金属層、プラスチック層の破壊特性を実験的に解析し、金属層の破壊に必要なエネルギー（破壊エネルギー）は金属層の機械的性質と厚さによって推定できることを明らかにし、次にプラスチック層と金属層の複合層の破壊エネルギーを算出するための実験式を導いて、耐散弾銃撃用外被の設計法を与えている。

第7章では、火災対策用ケーブルとして、最外層を薄肉のステンレス層で構成した新しい難燃性光通信ケーブルを提案し、難燃高分子材料を用いた従来のものに比べて著しく難燃性を向上できることを実験的に示している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、通信用ケーブルの高信頼化を目的として外被の伝送媒体保護機能の向上のための研究を行い、耐透湿性外被並びに特殊環境用外被の設計法を与え、かつ多くの有用な知見を加えたもので、通信工学の進歩に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。