

氏名	波平宜敬
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和54年3月27日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学位論文題目	光ファイバの伝送特性に及ぼす応力効果に関する 研究
指導教官	東北大学教授 虫明 康人
論文審査委員	東北大学教授 虫明 康人 東北大学教授 西田 茂穂 東北大学教授 安達 三郎 東北大学助教授 石曾根孝之

論文内容要旨

第1章 緒言

近年，光ファイバの低損化に伴ない光ファイバによるケーブル化が本格的に検討されるようになってきた。光ファイバのケーブル化に際して，光ファイバに種々の外力が加わることが予想される。

本研究は，外力と光ファイバの伝送特性との関係を光弾性効果の立場とマイクロベンディングの立場から明らかにするものである。

本論文では，光ファイバに加わる外力として，これまで具体的に検討されていなかった一様外圧，一方向の外力，進行方向に周期的な外力，及びねじり力の4つの基本的な外力を考え，それぞれの外力が光ファイバの伝送特性に及ぼす影響について理論的に検討を行うと共に，実験的検証の困難な一様外圧の場合を除いて実験的にも検討を加える。

第2章 被覆光ファイバに一様な外圧及び熱応力が加わった場合の伝送特性

本章では，被覆された光ファイバに周囲から圧縮力が加わる場合の伝送特性について述べている。その圧縮力には，外部から加わる一様外圧と温度変化によってファイバ素線と被覆層の熱膨張率の違いにより生じる熱応力の2つが考えられる。まず，被覆光ファイバに一様外圧及び熱応力が加わった場合の主応力成分と変位を求め，次に，主応力成分と光弾性効果の関係より光ファ

イバ内部の屈折率変化を求めた。又、その屈折率変化が光ファイバの単一モード条件に及ぼす影響についても検討を行い、さらに、光学的異方性に着目して固有値を求めた。その数値例を図1、図2に示す。その結果、次のようなことが分った。光ファイバの伝送特性に及ぼす圧縮力の影響は、第3章で述べる一方向の外力に比べて小さい。又、一様外圧と温度変化による熱応力の影響とを相対的に比較すれば、一様外圧よりも熱応力の方が大きい。

第3章 光ファイバに一方向から外力が加わった場合の偏波特性

本章では、第2章と同様に光弾性効果の立場から、光ファイバに一方向から外力が加わった場合の偏波特性について述べている。先に、実験的検討を行い、次に、実験結果を説明するために、簡単なモデルを用いることにより理論的にも検討を加えた。その測定例及び数値例を図4、図5に示す。なお、外力に起因して発生する楕円偏波面の座標系を図3に示す。図4より入射モードの偏波角 θ_i が加重方向に対して 0° と 90° 以外では、入射偏波成分に対して直交偏波成分が発生し、特に、 $\theta_i = 45^\circ$ の場合には、円偏波が発生することが分った。又、図5より、楕円偏波面の主軸は、入射偏波角 θ_i が $0^\circ < \theta_i < 45^\circ$ の場合には、 θ_i の負の方向に変化し、 $45^\circ < \theta_i < 90^\circ$ の場合には、 θ_i の正の方向に変化することが分った。

第4章 周期的な外力が加わった光導波路の伝送特性

本章では、周期的な外力が加わった光導波路の伝送特性について、主に外力が加わった場合に生じるコア壁面のマイクロベンディングを中心にして理論的及び実験的に検討を行っている。まず、導波路に不均一な外力が加わったときの導波路中心軸の変位に関するグリーン関数を求め、そのグリーン関数を用いることによって中心軸の変位を求めた。さらに、その中心軸の変位と、変位に関する境界条件からコア径の両側の変位を求めた。次に、外力によってできたコア壁面の微小変形によって生じる基本モードから他の導波モード間へのモード変換の様子を明らかにし、さらに、基本モードから放射モードへモード変換することによって起こる放射損失を求めた。その数値例及び測定結果を図6(a)、(b)に示す。図6より、外力の周期(A)が短くなれば放射損失が減少することが分った。

第5章 光ファイバをねじった場合の偏波特性

本章では、光ファイバ素線をねじった場合の偏波特性について、光弾性効果の立場から述べている。第3章と同様に、先に実験的検討を行い、次に、実験結果を説明するために簡単なモデルで近似し、光ファイバをねじった場合の比誘電率テンソルを求め、理論的にも検討を加えた。その結果を図8、図9に示す。なお、図7には、偏波面の座標系を示す。図8より、第3章と同様に、入射偏波に対して直交偏波成分が発生することが分った。図9には、ねじり角 ϕ_L に対する楕円偏波面の主軸の変化を示すが、ねじりによる異方性だけでは完全に説明できず、コアの楕円化やその他の要因による座標系の回転に伴う偏波面の回転を考慮する必要があるように思われる。これは、今後の課題である。

第6章 結 言

本章は、本論文の結論である。光ファイバの伝送特性に及ぼす応力効果について検討を行ったが、外力に起因する応力に着目して詳細に光ファイバの伝送特性のメカニズムを解明したものは、本論文以外ではあまり見当たらないようである。

近年、長波長領域で単一モード光ファイバによるケーブル化が本格的に検討されているが、本論文で得られた成果が基礎資料を与えることができれば幸いである。

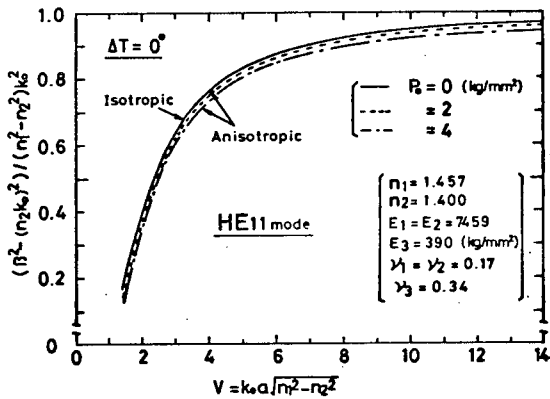


図1 正規化位相定数に及ぼす
一様外圧 P_0 の影響

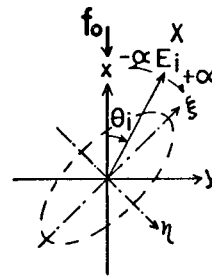


図3 偏波面の座標系

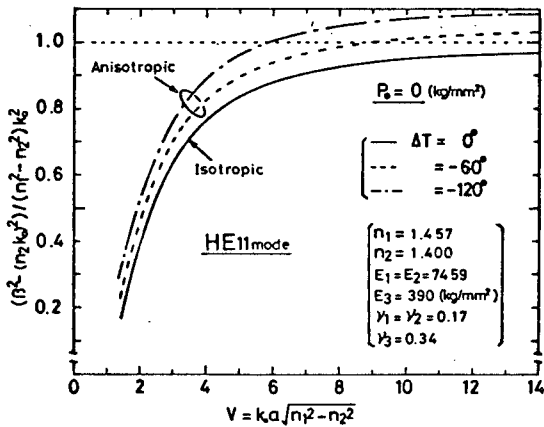


図2 正規化位相定数に及ぼす
温度変化 ΔT の影響

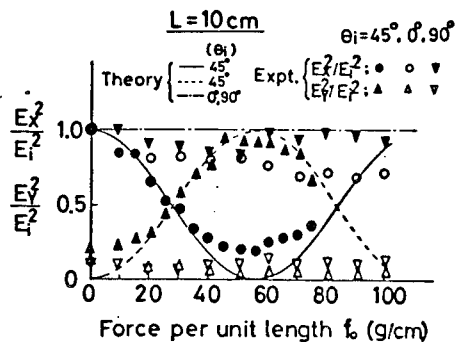


図4 外力に対する入射偏波
成分と直交偏波成分

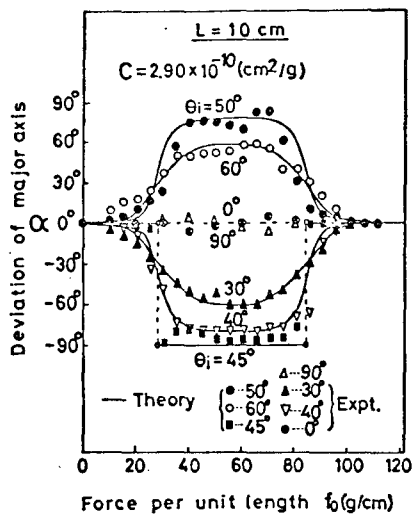


図5 外力に対する楕円偏波面の
の主軸変化

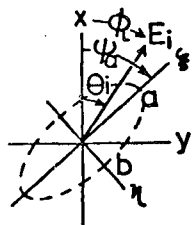
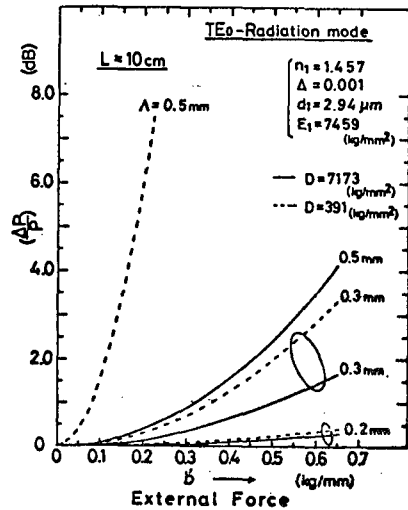
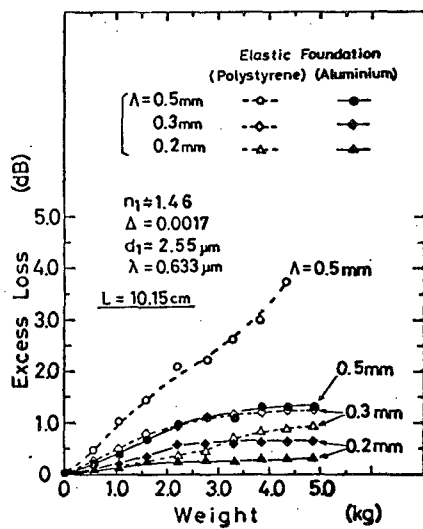


図7 偏波面の座標系



(a)



(b)

図6 -(a), (b) 外力に対する放射損失
(理論及び測定結果)

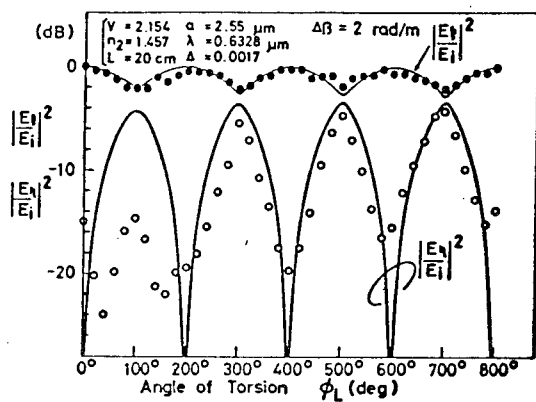


図8 ねじり角 ϕ_L に対する入射偏波成分と直交偏波成分の受信電力

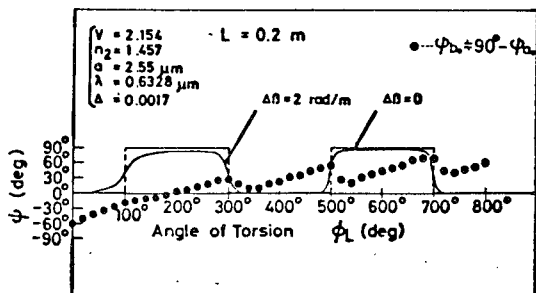


図9 ねじり角 ϕ_L に対する楕円偏波面の主軸変化

審査結果の要旨

光ファイバに関する研究は、最近急速に進展したが、これをケーブル化して実用通信回線に使用する様な場合には、種々の外部環境に起因する機械的な力が加わることが考えられる。このような場合の応力がファイバの伝送特性に及ぼす影響については、まだ十分研究されていなかった。本論文は、その影響について種々の立場から検討して得られた一連の研究成果をまとめたもので、全文6章から成る。

第1章は緒言であり、第2章は、光ファイバに一様な外圧、あるいは熱応力が加わった場合の伝送特性について、理論的に検討した結果を述べたものである。著者はここで、この様な一様な力による誘電率変化に基づく伝送特性の変化を数値的に求めているが、これは重要な設計指針を与えるものである。

第3章は、光ファイバに一方から外力が加わった場合の偏波特性について、理論と実験の両面から検討した結果を述べたものである。単一モード光ファイバについて、外力と偏波特性の関係を実験的に詳細に明らかにし、さらにそれを理論的計算によって明快に説明したのは著者が最初であって、この成果は内外の研究者から高く評価されている。

第4章は、光ファイバのマイクロベンディングによって生ずる伝送損失の性質に関する基礎研究として、スラブ導波路に空間的に周期的な外力が加わった場合の放射損失についての理論と、同様な力がファイバに加わった場合の実験結果について述べたものである。この研究の成果として、光導波路の各部の寸法、材料のヤング率、外力の空間的周期などの諸パラメータがモード結合と放射損に及ぼす影響を明らかにしているが、これは評価すべき成果である。

第5章は、光ファイバをねじった場合の偏波特性について論じたものである。著者はまず実験的に詳細な検討を行って、ねじり角により出力側の偏波面が複雑な変化をすることを示し、つぎに、モデルによる近似理論でその現象の大略を説明している。この種の研究を本格的に行ったのは著者が最初であり、その成果は光ファイバの実用化に際し考慮すべき新しい資料を与えるものである。

第6章は結言である。

以上要するに、本論文は種々の外因によって生ずる応力の影響による光ファイバの伝送特性の変化を、あり得る数種の場合について解析し、その偏波特性、モード結合、放射損失などについて多くの新しい知見を加えたもので、通信工学上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。