

傾斜管路布設電力ケーブルの滑落防止方法

Development of the Non-Sliding Technique for Power Cables Laid in Inclined Duct

傾斜管路に布設された電力ケーブルは、熱伸縮に伴い滑落するのでこれを防止するため、上端での引留めを主体とした各種の方法が検討され実施されている。

今回、従来の方法とは全く異なり、熱伸縮を自由に行なわせながら滑落を防止できる重錘式滑落防止装置を開発した。

本装置には次に述べるような特長がある。

- (1) 熱伸縮を自由に行なわせながら滑落を防止する方法であり、従来の方法と比べその所要引留力が大幅に軽減できる。
- (2) 所要引留力を小さくできるので、ケーブルのアルミ被に補強層を付けるなどの対策が不要となり、標準設計ケーブルが適用でき経済的である。
- (3) 万一、ルート条件に合わない重錘重量を加えた場合でも簡単に調整することができる。

なお、本装置は実規模の長期ヒートサイクル試験を行なった結果、いずれも良好な性能であることが確認され、北海道電力株式会社南九条線187kVアルミ被OFケーブルルートに大量納入された。

齊藤 哲夫* Saitô tetsuo
 沢 孝雄* Sawa Takao
 海老沢 昇** Ebisawa Noboru
 水谷 禎男** Mizuya Yoshio

1 緒 言

傾斜管路に布設された電力ケーブルは、その負荷変動などの温度変化に伴い熱伸縮し、滑落することはよく知られており従来より種々の滑落防止方法が考えられ実施されてきた。しかし、従来の方法はいずれも熱伸縮挙動を一部抑制する方法をとっているため、アルミ被の許容応力を超えるような大きな引留力を必要とし、アルミ被ケーブルに補強層を入れるなどの対策が必要であった。

引留力を小さくできればこれらの対策が不要となるので、滑落現象の見直しを行なった結果、引留力が従来方式に比べ大幅に軽減できる重錘式滑落防止装置を開発し、一連の性能確認実験を行ない実線路に適用したので報告する。

2 ケーブルの熱伸縮と滑落現象

ケーブルに負荷電流が流れると、導体損失、誘電体損失及びシース損失が発生する。このためケーブルは温度上昇し、内部に熱応力が発生するので、ある点を境にして管路の両端に向かって伸び出してくる。また、負荷電流が減少すると温度が下がり今度は逆に管路口から管路内に向かって縮みを起こす。しかし、ケーブルの伸縮については完全に自由ではなく、管路内ではケーブルと管路の摩擦力が、管路口ではオフセットの抵抗力が作用するのでこれらを考慮に入れる必要がある。

図1に示す傾斜管路に布設されたケーブルの熱伸縮について考えてみると、次に述べるようになる。まず伸びのときには、ケーブルは同図、応力図に示すように不動点 x_2 を境にして矢印のように伸び出す。この場合の不動点 x_2 は、摩擦力のバランス点であるから(1)式で求まる。

$$\mu_2 W x_2 + K = \mu_1 W (L - x_2) + K$$

$$x_2 = \frac{\mu_1 L}{\mu_1 + \mu_2} \dots \dots \dots (1)$$

また、縮みのときも同様に不動点 x_1 を境にして同図、応力図に示すように縮む。

$$x_1 = \frac{\mu_2 L}{\mu_1 + \mu_2} \dots \dots \dots (2)$$

ここに L : スパン長(m)
 x_1 : 縮みのときの不動点(m)
 x_2 : 伸びのときの不動点(m)
 μ_1 : 上りの等価摩擦係数
 μ_2 : 下りの等価摩擦係数
 W : ケーブルの単位重量(kg/m)
 K : オフセット抵抗力(kg)

(1)式及び(2)式より不動点 x_1 , x_2 は伸縮時に移動していることが分かる。一方、この不動点にはさまれた部分の熱伸縮挙動を見ると、同図のハッチング部に示すように伸びのときも縮みのときも傾斜の下方に向かって移動している。これが傾斜地に布設されたケーブルの滑落現象である。すなわち傾斜管路に布設されたケーブルは、温度変化に伴う熱伸縮ごとにより「シャクトリ虫」的な滑落を繰り返すことが分かる。

この滑落量(m_s)を数式で求めると(3)式のようになる。

$$m_s = \frac{1}{EA} \int_{x_1}^{x_2} [\alpha T E A - \mu_1 W l - \mu_2 W (L - l) - 2K] dl$$

$$= \frac{(\mu_1 - \mu_2)(\alpha T E A - \mu_2 W L - 2K)}{EA(\mu_1 + \mu_2)} \cdot L \dots \dots \dots (3)$$

ここに m_s : 滑落量(cm)
 α : 導体の線膨張係数(1/°C)
 T : 温度変化(°C)
 E : ケーブルヤング率(kg/cm²)
 A : 導体断面積(cm²)

ケーブルの滑落をそのまま放置すると、傾斜下側マンホールにケーブルが落ち込み、上側マンホールでは逆に引っ張られ

* 日立電線株式会社日高工場 ** 日立電線株式会社研究所

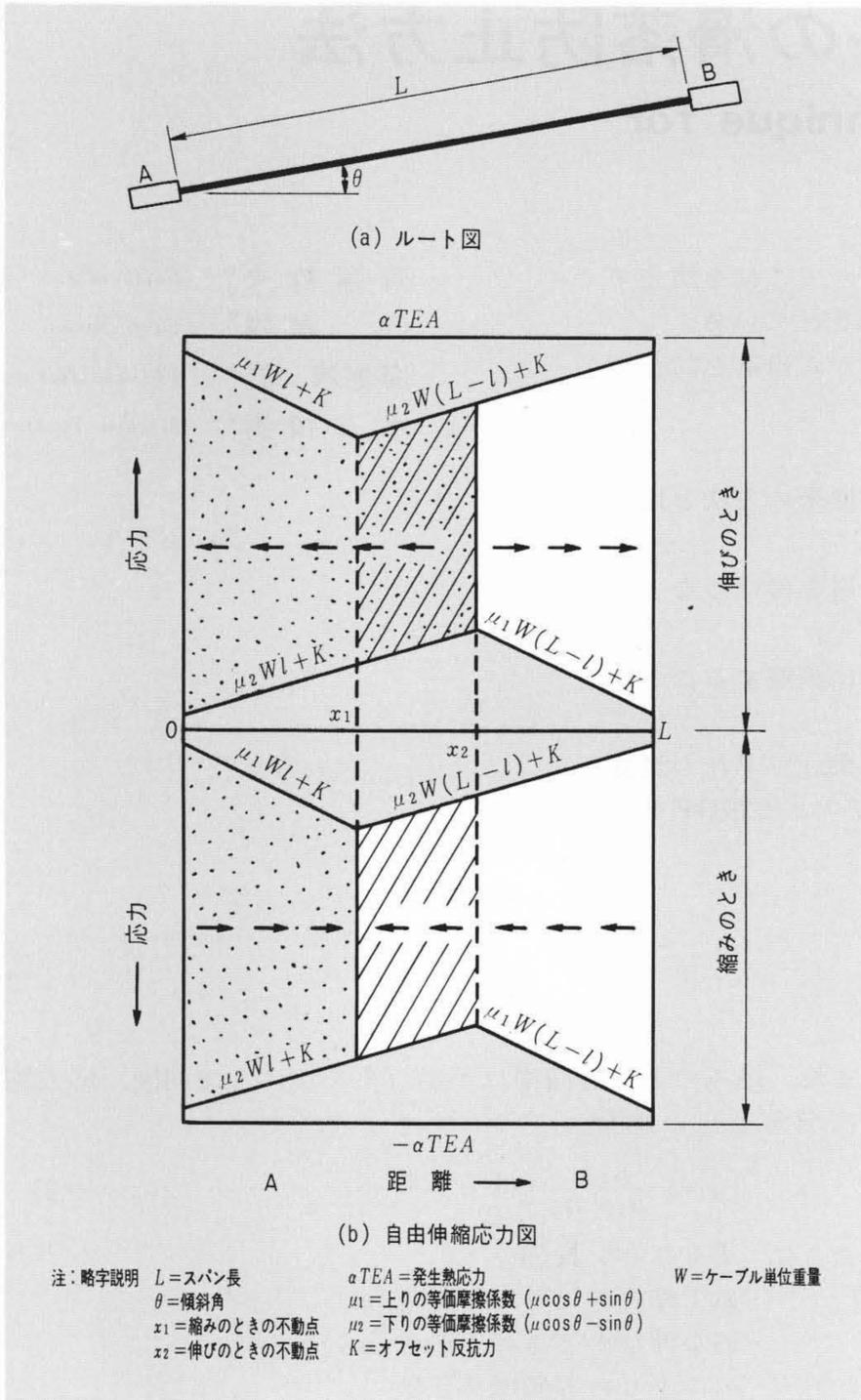


図1 傾斜管路ルート例と自由熱伸縮応力図 傾斜管路の両端はマンホールA、Bであり、ケーブル熱伸縮は、不動点x1とx2にはさまれた部分が伸縮時とも傾斜の下方に移動する。

る現象となり好ましくない。したがって、なんらかの滑落防止対策が必要となる。

3 重錘式滑落防止装置

傾斜管路に布設されたケーブルの滑落は、伸縮時の不動点x1、x2が移動することに起因しているのので、これを移動しな

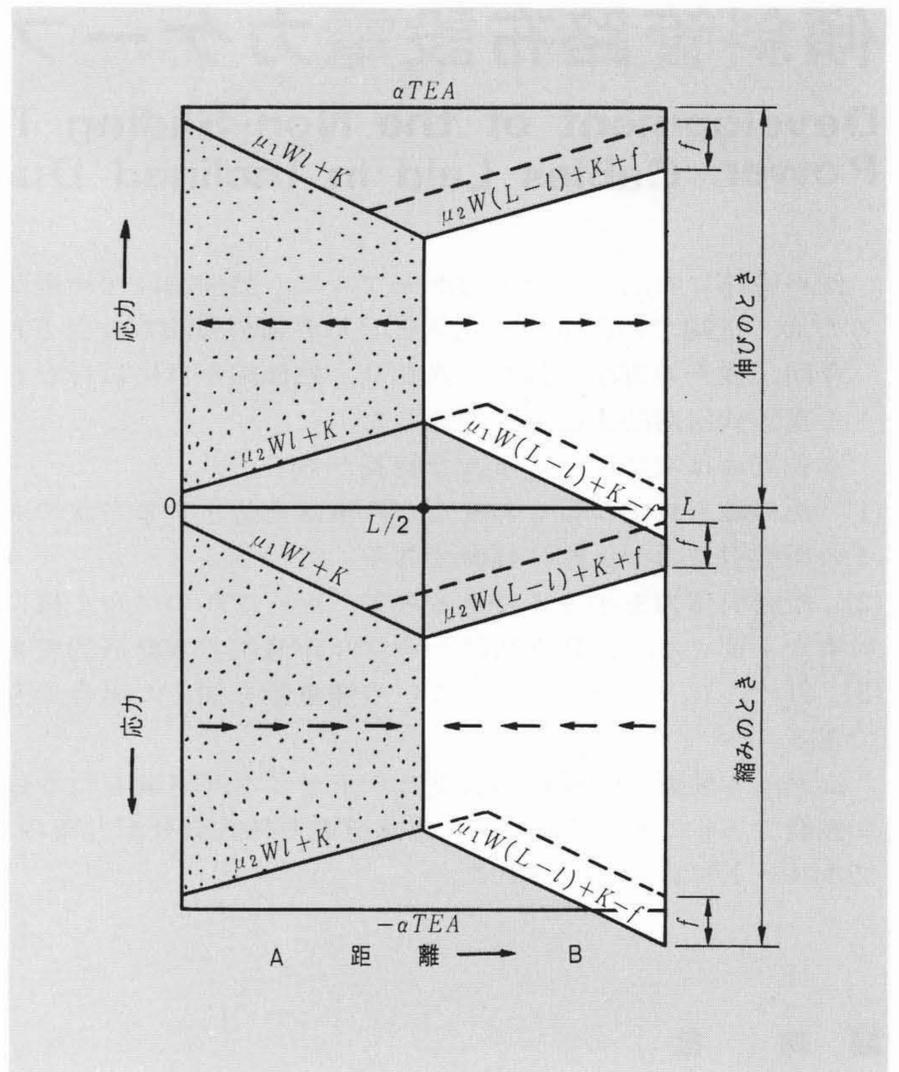


図2 外力fを与えたときの応力図 図中の破線は、自由伸縮時の応力線である。

いようにすれば滑落は防止できると考えられる。

伸縮時の不動点を移動させないようにするには、図1、応力図に示す上方向と下方向との摩擦力が同一位置で伸縮時共等しくなるようにすることができればよい。すなわち伸縮時の不動点を強制的に一致させるためには、図2に示すように外部よりfなる力を与える方法がある。この場合のケーブル熱伸縮は、平坦地布設の場合と等価な挙動を示し滑落しなくなる。

また、このfなる力は傾斜の上方に加えるもので、大きさは伸縮時共L/2の点での上りと下りの摩擦力の差であるから、次の(4)式で求まる。

$$f = \frac{1}{2}(\mu_1 WL - \mu_2 WL) = WL \sin \theta \dots\dots\dots(4)$$

ここに f: 所要引留力(kg)

theta: 傾斜角

このfなる力を常にケーブルに与えてやる手段として、重錘

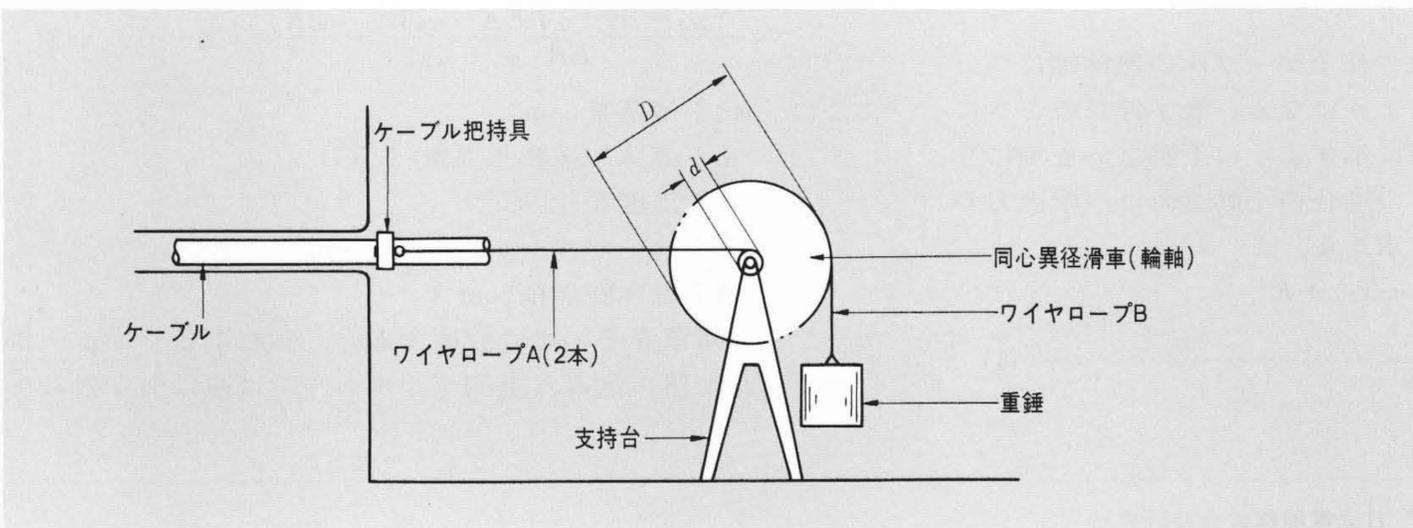


図3 重錘式滑落防止装置の概要 ケーブルと重錘は、同心異径滑車を介しワイヤロープで接続される。

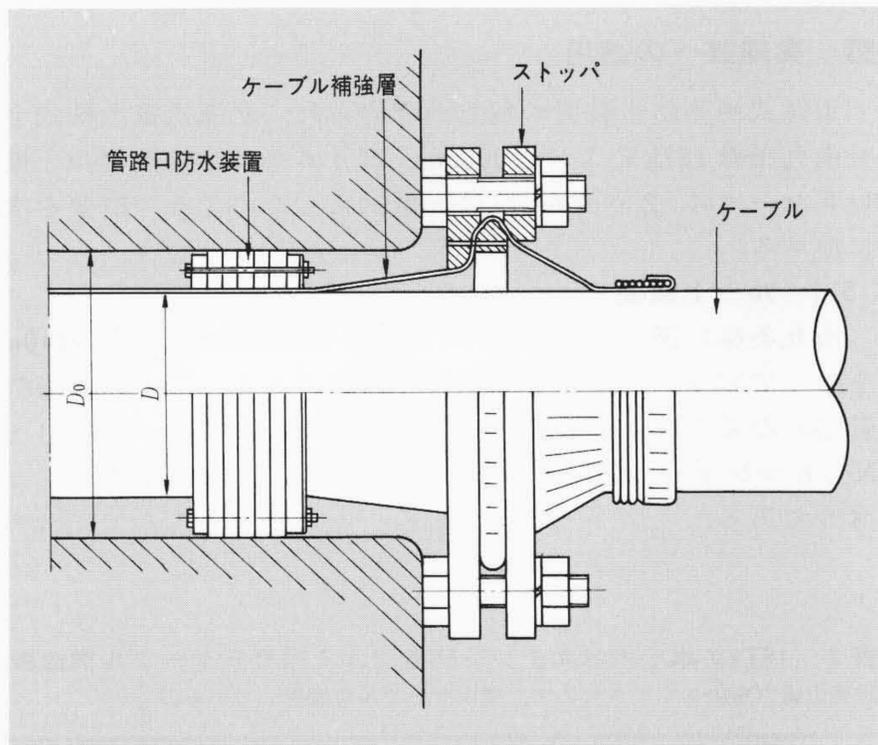


図4 上端ストップ概要 ケーブル補強層は、金属テープをロングピッチで巻き付けたもので、テンションメンバーになっている。

表1 所要引留力の比較 重錘方式は、所要引留力をストップ方式より大幅に軽減できる。

ルート長	傾斜角	$WL \sin \theta$	上端ストップ
458m	3°04'	448kg	2,333kg
379m	5°13'	641kg	2,962kg
299m	3°21'	320kg	1,959kg
313m	3°01'	313kg	2,018kg
341m	3°22'	369kg	2,235kg
388m	1°46'	217kg	1,809kg

注：この比較表は、北海道電力株式会社南九条線187kV 1×1,000mm² OFAZE (ポリエチレン防食アルミ被OFケーブル)のルート条件に基づき試算したものである。

を利用したのが重錘式滑落防止装置であり、図3にその概要を示した。図示の同心異径滑車は、重錘重量を小さくして装置をコンパクトにし、通常のマンホールに設置可能にする目的で付けたものである。

一方、従来この種の滑落防止方法としては、図4に示すストップを傾斜上側ケーブルに付ける上端ストップ方式がほと

んどの場合採用されていた。本方法は、伸びに対しては自由に伸びるが縮みに対してはストップとして働き、滑落を防止するものである。しかし、ストップとして働くときに熱伸縮の一部を抑制して滑落を防止する方法であるため、その所要引留力が大きくなる欠点をもっていた。

今回開発した重錘式滑落防止装置は、熱伸縮が自由に行なえるので、従来の上端ストップ方式の所要引留力と比較すると表1に示すように大幅な軽減が可能となる。

4 実験による性能確認

傾斜管路に布設されたケーブルの滑落現象の把握、及び重錘式滑落防止装置が理論どおり効果があるかどうかを確認する目的で実験を行なった。実験場の全景を図5に示す。

実験は管路長52m(φ150ヒューム管)傾斜角8度35分(高低差約8m)の実規模ルートを使用し、ケーブルは154kV 1×1,000mm²ビニル防食アルミ被OFケーブルによるヒートサイクル試験で熱伸縮挙動を実測した。なお、ヒートサイクルの温度変化は50°C/日を目標とし、適正重錘重量は $WL \sin \theta = 170\text{kg}$ で実施している。実験結果を図6に示す。同図より明らかのように、

- (1) 傾斜管路に布設されたケーブルは、その熱伸縮を繰り返すたびに滑落してゆく。
- (2) $WL \sin \theta$ なる重錘式滑落防止装置を適用すると、滑落は確実に停止する。
- (3) $WL \sin \theta$ より大きな重錘を加えると、逆にケーブルはせり上がり現象をみせる。ことが確認された。

また、この伸縮量を、理論計算値と比較してみた結果を図7に示しているが、滑落時(自由伸縮時)及び重錘式滑落防止装置取付時とも、ほぼ計算値と一致することも合わせて確認できた。以上の理論検討と実規模実験の結果から、重錘式滑落防止装置の特長として次のことが言える。

- (1) 引留力を小さくできるので、アルミ被への影響を考えたケーブルの補強層が不要となり、標準設計のままのケーブルが適用できる。
- (2) $f = WL \sin \theta$ なる力は、すべて実測で正確に知ることのできる数値であり(摩擦係数、ケーブルヤング率などの不確定要素を含む定数を使用していないので)、信頼性が高い。
- (3) 万一、ルート条件に合わない f を加えた場合でも、重錘重量を加減するだけで簡単に調整することができる。
- (4) 滑落が既に進行しているケーブルでも、本装置を適用すれば($f > WL \sin \theta$ を加える必要はあるが)、停電なしで引き上げることも可能である。

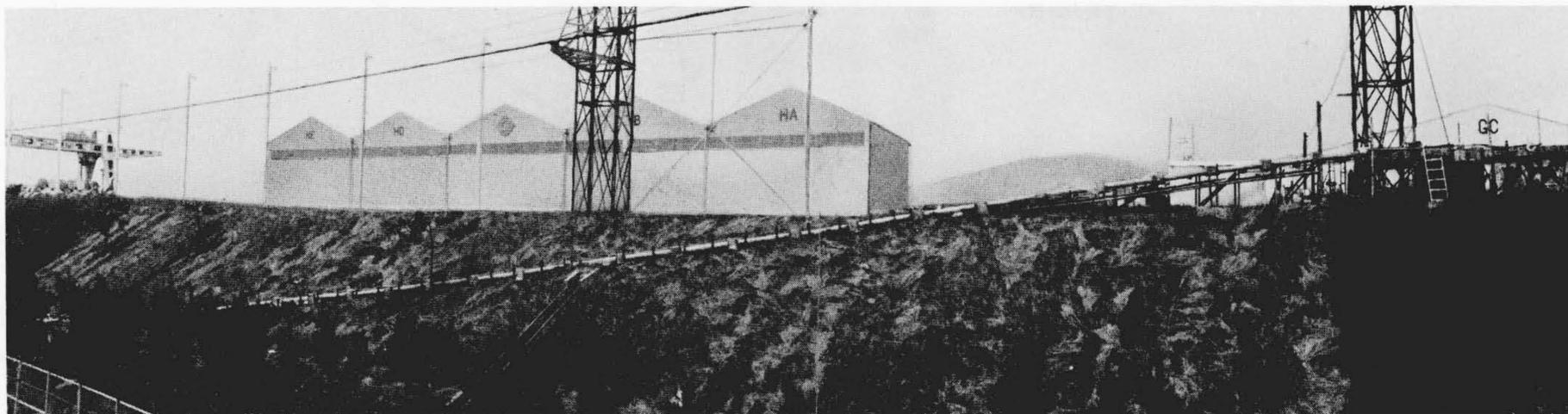


図5 実験場の全景 傾斜管路は地上に構築した。

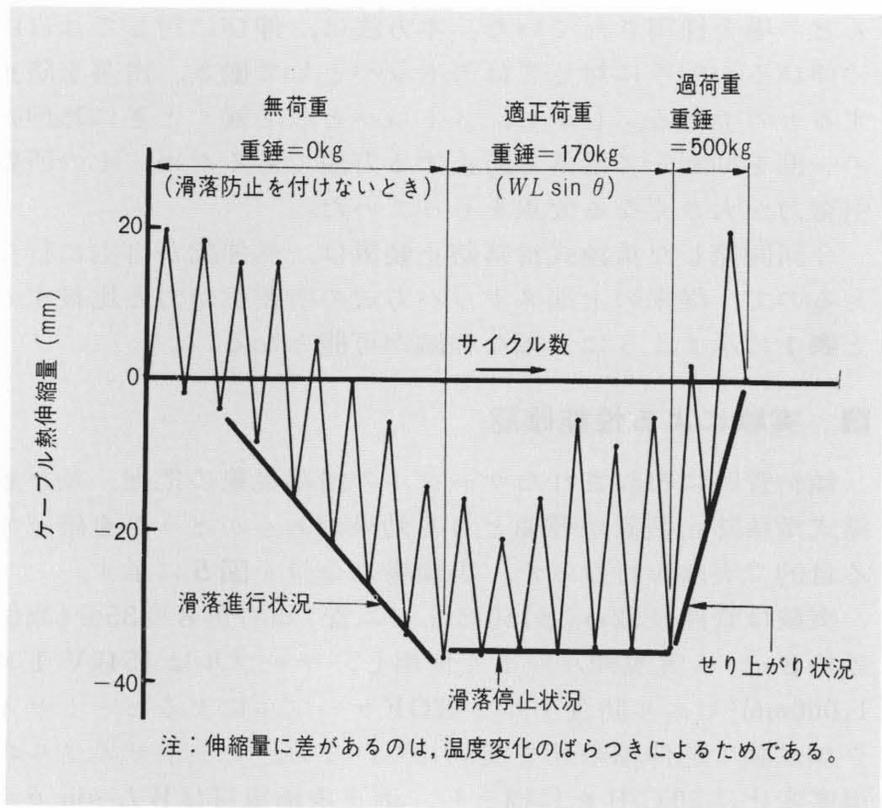


図6 ヒートサイクルによる熱伸縮実測結果 重錘式滑落防止装置が極めて効果的、かつケーブルの引上げにも適用できることが確認された。

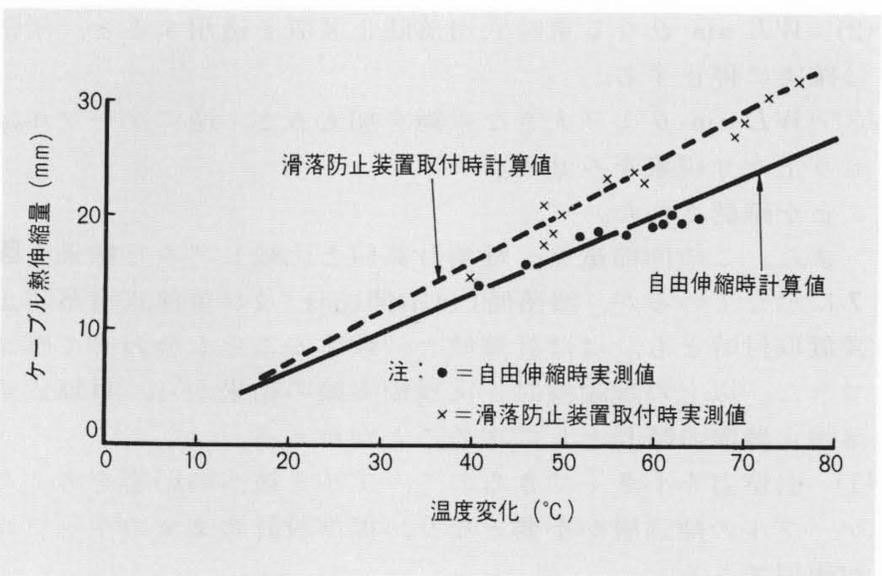


図7 ケーブル伸縮量の実測値と計算値の比較 自由伸縮時、滑落防止装置取付時とも、計算値とほぼ合っている。

5 実線路への適用

重錘式滑落防止装置の利点が認められ、北海道電力株式会社南九条線 187kV 1×1,000mm² ポリエチレン防食アルミ被 OF ケーブル(2 回線布設)に大量納入したのでその概要を次に述べる。

5.1 ルート概要

南九条線は図8に示すように、ルート長4,500m、高低差140mをもっており、大規模な傾斜管路布設である。このうち傾斜管路となるのは、円山CHS(ケーブルヘッドステーション)～No.6マンホール区間の6スパンでその詳細は表1に示すとおりである。

表2 187kV 単心ポリエチレン防食アルミ被 OF ケーブル構造表 所要引留力を小さくできたので、標準ケーブルを適用している。

項	目	数	値
油通路	内径		14.0mm
	厚さ		0.8mm
	外径		15.6mm
導体	公称断面積		1,000mm ²
	形状		6分割圧縮
	外径*		42.9mm
絶縁体厚さ**			13.5mm
しゃへい層厚さ			約 0.3mm
銅線織込布テープ層厚さ			約 0.5mm
ミア被ル	厚さ		2.1mm
	波の高さ		約 4.8mm
防食層厚さ			4.5mm
概算外径			97.0mm
概算重量			17,500kg/km
最大導体抵抗 (20°C)			0.0181Ω/km
最大静電容量 (20°C)			0.43μF/km
最小絶縁抵抗 (20°C)			18,000MΩ-km

注：* バインダ厚さを含む。
** 導体上カーボン紙及び絶縁体上カーボン紙を含む。

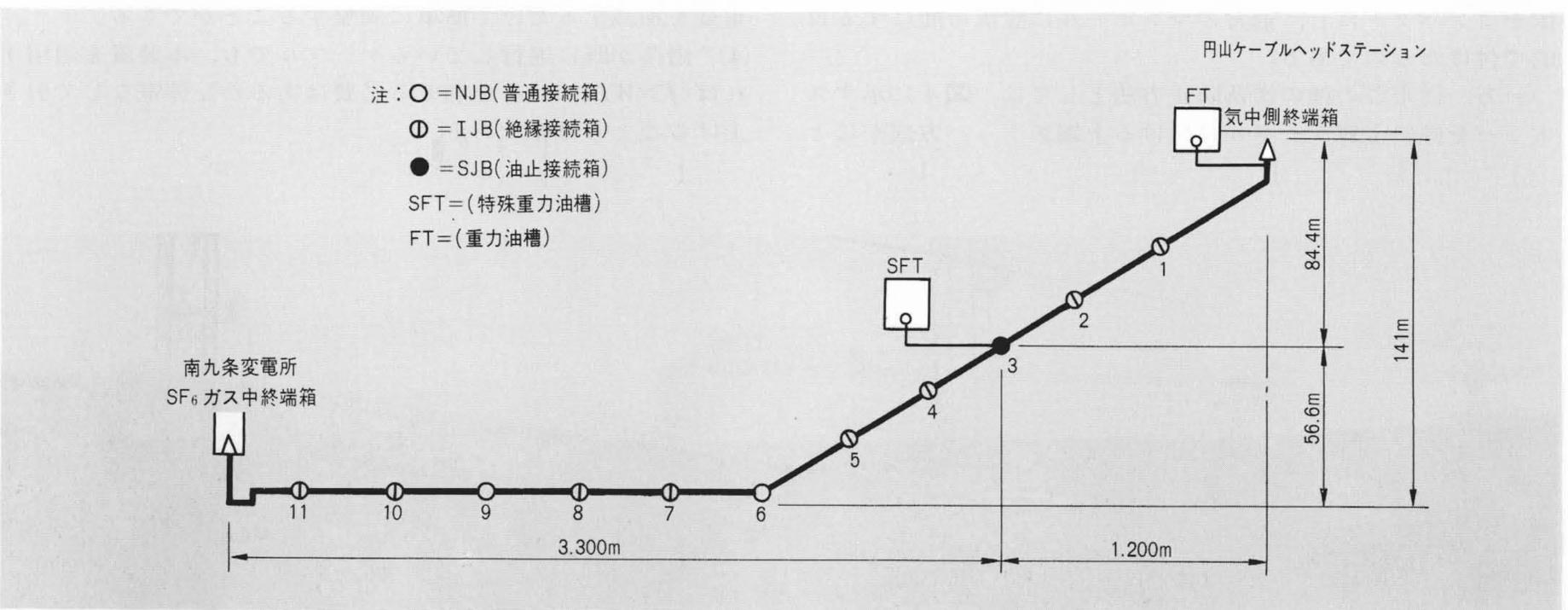


図8 南九条線187kV OFケーブルルートプロフィール 円山ケーブルヘッドステーション～No.6マンホール区間は傾斜管路布設であり、重錘式滑落防止装置を各スパンごとに取り付けている。

5.2 設計概要

本線路の重錘式滑落防止装置の設計概要は次に述べるとおりである。

(1) 標準ケーブルの適用

アルミ被OFケーブルの滑落を防止する場合、コアとアルミ被間のクリアランスを考慮し、その所要引留力はすべてアルミ被に加わるとして設計している。実際には、コアとアルミ被間の摩擦によりコアにも引留力の一部は分担されるが、その分は安全性を見込む目的で無視した。したがって、アルミ被に加わる力が大きくなれば補強層を入れるなどの対策が必要となるが、重錘式滑落防止装置の適用により最大引留力が641kgに抑えることができた。

今回のケーブルは、標準設計でアルミ被断面積が550mm²あるのでアルミ被への応力は、

$$\sigma = \frac{f}{A} = \frac{641}{550} = 1.16(\text{kg/mm}^2)$$

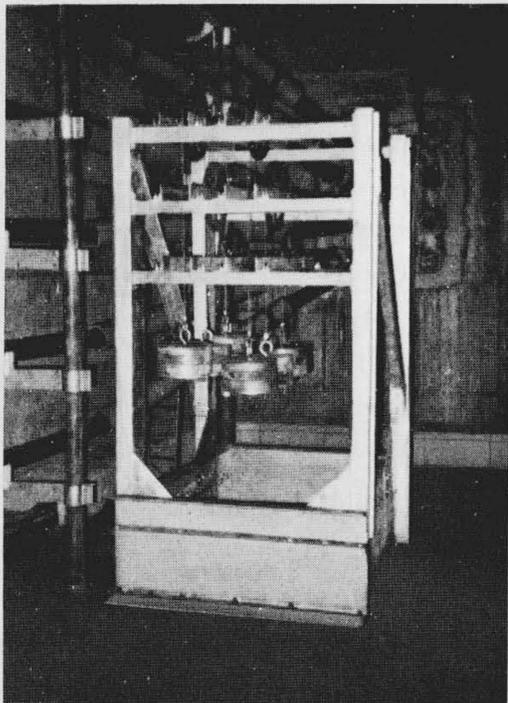
となった。

一方、通常のコルゲートアルミ被の許容応力は、過去の実験より2.0kg/mm²なので上記応力は十分許容される値といえる。

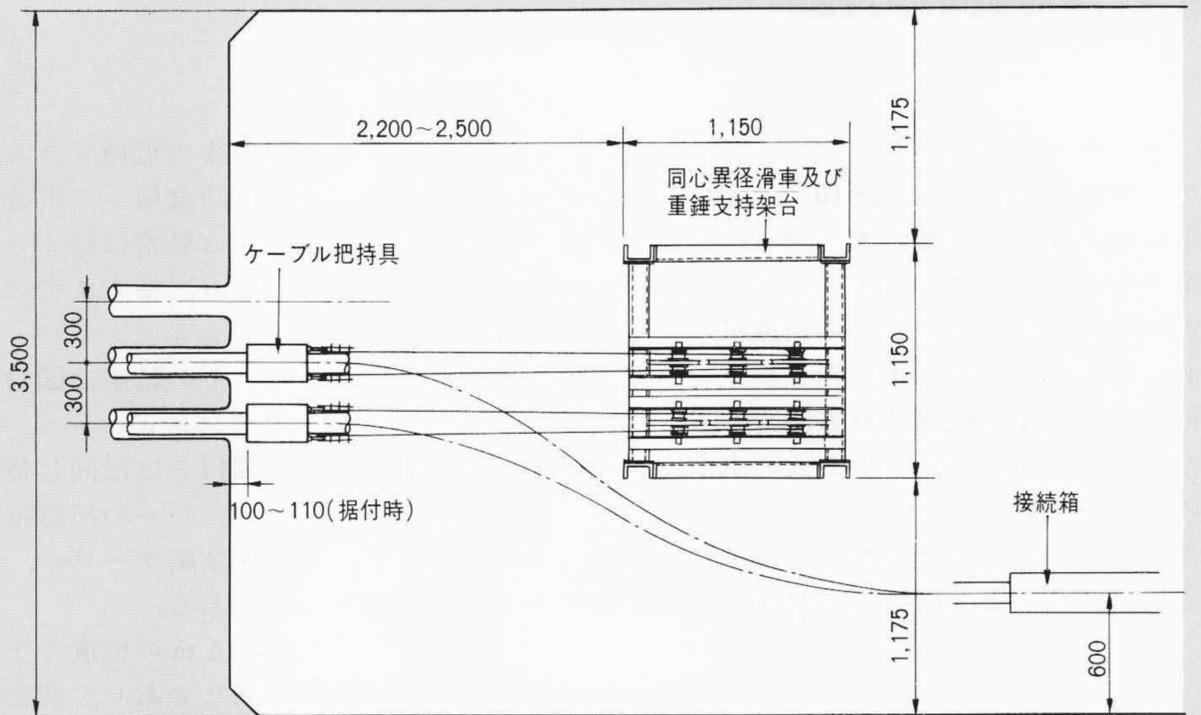
以上のことから、ケーブルは標準設計品を適用することに踏み切った。参考までに187kV 1×1,000mm²アルミ被OFケーブルの構造を表2に示した。

(2) 重錘式滑落防止装置の構造

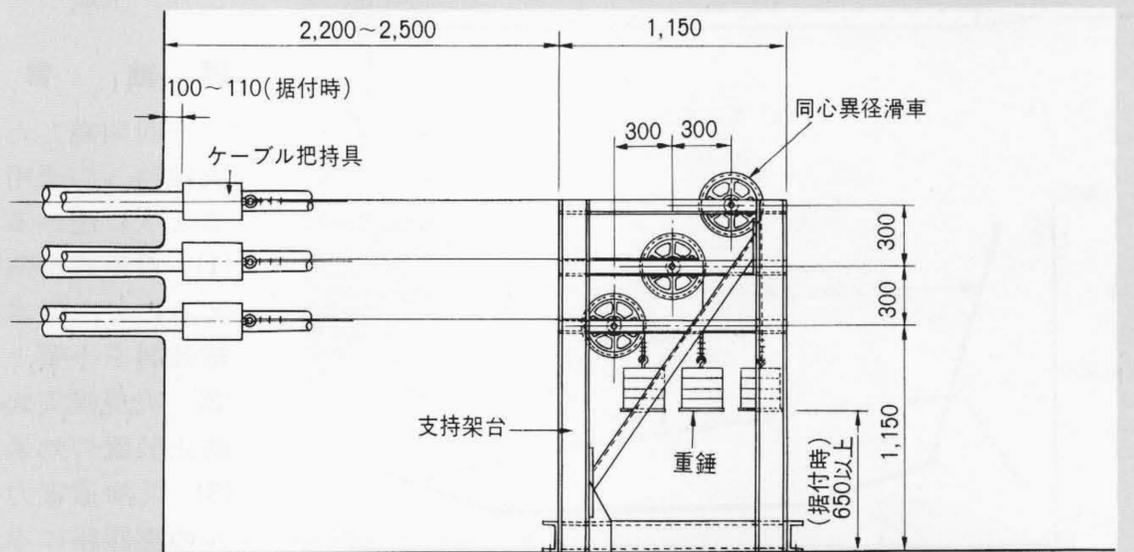
滑落防止装置は将来増設分をも考慮した3回線(9条分)取付可能な構造であり、図9に示すように各マンホールに配置されている。同心異径滑車は、ケーブルの年間最大移動量13cmを吸収するため径比を5:1で設計し、マンホール寸法を大きくすることなく収容したものである。



(a) 重錘式滑落防止装置の据付



(b) 平面図



(c) 側面図

図9 マンホール内据付状況 南九条線では、マンホール寸法を大きくすることなく重錘式滑落防止装置の据付ができた。

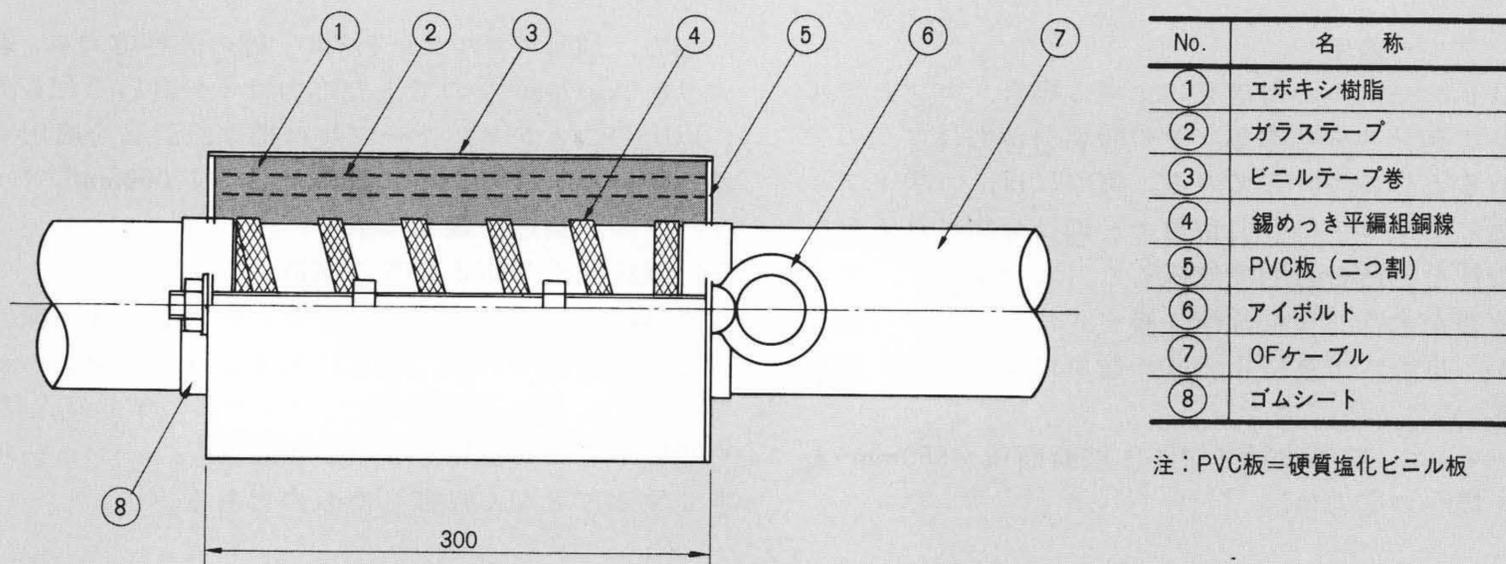


図10 エポキシブロック型ケーブル把持具 把持能力は、コルゲートアルミ被の凹凸により得られるので、アルミ被の許容引張応力まで期待できる。

(3) ケーブル把持具

ケーブル把持具には、図10に示すエポキシブロック方式を適用した。従来この種のケーブル把持には、ケーブル周囲に金属テープをロングピッチで巻き付けるテンションメンバー方式が多用されているが、その取付けは工場内で行なう心要があった。これに対しエポキシブロック方式は、現地取付けが可能な簡便かつ経済的な方法である。

なお、エポキシブロック方式の事前実験を行なった結果、次のことを確認している。

(a)エポキシブロックのケーブル把持能力は、コルゲートアルミ被の凹凸により把持しており、このためアルミ被の許容

応力まで把持できる。

(b)防食層への影響も60°Cのヒートサイクル試験結果からは、なんら異常は認められなかった。

なお、参考までに金属テープをロングピッチで巻き付けるテンションメンバー方式について把持特性確認実験を行なった。その結果は図11に示すとおりである。また、4mの位置でテンションメンバーを切断した場合について測定した結果も図11とほぼ同じ特性が得られた。このことから、テンションメンバーの把持特性として次のことが言える。

(a)金属テープが、張力の約90%を分担する長さは約3m程度である。

(b)4mの位置でテンションメンバーを切断しても把持特性が同じであり、切断以降の部分でもかなりの張力が加わっていることから、テンションメンバーは金属シースが伸びようとしているのを抑制していると言える。

したがって、テンションメンバーをケーブルに施すことにより、金属シースを補張する効果があることが確認できた。

6 結 言

今回開発した重錘式滑落防止装置の理論、実規模実験及び実線路への適用について述べたが、その技術的内容を要約すると次に述べるとおりである。

- (1) 重錘式滑落防止装置は、ケーブルの熱伸縮が自由に行なえるので、従来方式に比べその所要引留力が大幅に軽減でき、補強層を不要とし標準設計のケーブルが適用可能である。
- (2) 実規模実験によると、ケーブルの滑落現象と重錘式滑落防止装置の効果は理論どおりに挙動することが確認された。
- (3) 北海道電力株式会社南九条線187kVアルミ被OFケーブルの実線路に本装置を適用したが、マンホール寸法は標準寸法のまま収容することができた。

本開発と実験及び実線路への適用の経験が、今後の傾斜管路布設ケーブルの滑落防止対策の一助ともなれば幸いである。

終わりに、本装置開発のために種々御指導、御援助をいただいた北海道電力株式会社及び日立電線株式会社の関係各位に対し、深謝する次第である。

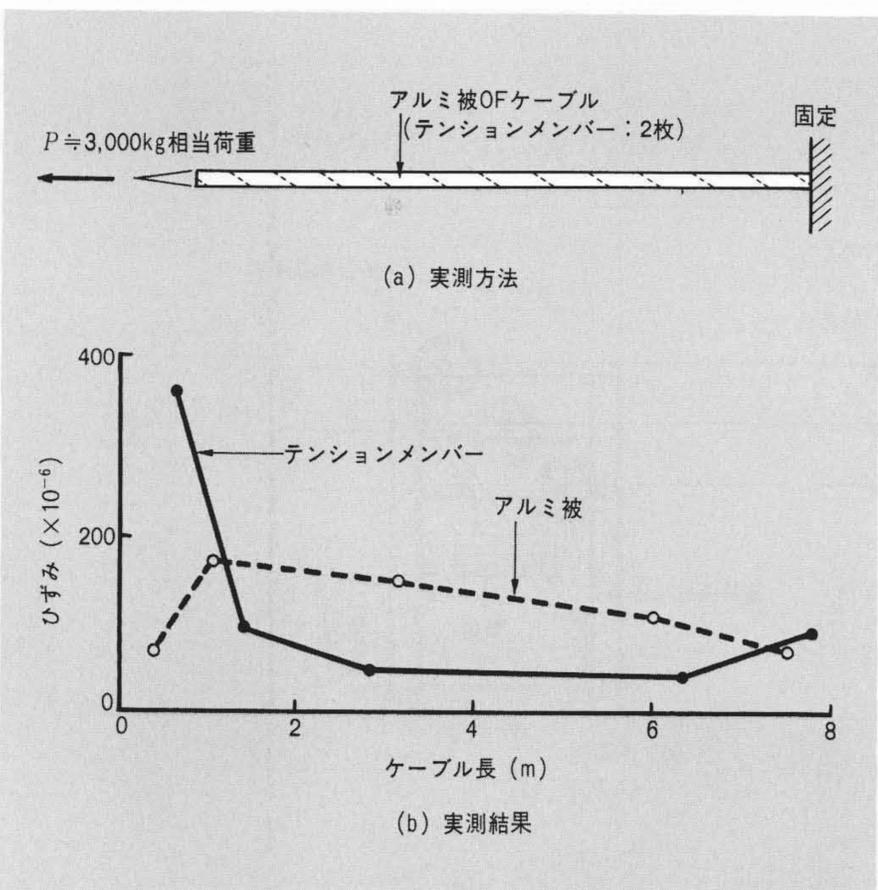


図11 テンションメンバーの張力分担実測結果 テンションメンバーを4mの位置で切断しても、ほぼ同じ測定結果が得られた。