

I-224 ケーブル用大型ソケットの静的耐力特性

首都高速道路公団 恵谷 舜吾
 首都高速道路公団 ○高野 晴夫
 新日本製鐵（株） 坂本 良文

1. まえがき ワイヤロープ、ストランド等の端末定着（ケーブル用ソケット）には亜鉛銅合金止めが広く用いられ、その設計は、等分布内圧を受ける厚肉円管として設計荷重に対する許容応力の照査を行うのが一般的であり（図-1）、ケーブル破断荷重が小さい場合には特に問題なかった。大規模化にある斜張橋では、ケーブルも太径化（破断荷重増大）し、一方でソケットは、定着部への取合いから出来る限りの小型化が要望されている。著者らは、横浜港横断橋の太径ケーブルの最大サイズ（7φ×421本、直径175mm、破断荷重；約2800ton）について引張破断実験を実施した結果、静的耐力特性は、従来の設計に基づくソケットと異なる性状を示す事が分り、新しい合理的な設計の考え方が必要であるとの識見を得たので報告する。

2. 実験概要 本橋のケーブルは、7mmφの亜鉛めっき鋼線を平行に集束しながら、引張強度および弾性係数を低下させない程度に捻りを加え、ケーブル表面に工場で防食被覆を施した後、両端を高疲労強度のソケット付加工したものである。破断実験に用いた供試体は表-1に示す3タイプの大型ソケットである。前面定着型ソケットのケース1の肉厚は、従来設計法に基づいており、ケース2は肉厚を上げたものである。一方、背面定着型ソケットの肉厚は、従来設計法をベースにした上に、隅角部の局所応力と合成応力の照査により定められたものである。

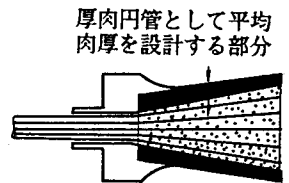


図-1 ソケット構造

以上の各ソケットとケーブル破断強度との関係等を把握くする為に引張破断実験を8000ton引張試験装置で実施した。

3. 実験結果 ケーブル破断荷重、破断位置等の実験結果を表-2に示す。ケース1の薄肉な前面定着型ソケットでは、破断荷重が規格値（表-2のA）を満足したが、その下限値に極めて近く、さらに破断位置が前面定着型ソケット内の亜鉛銅合金前面の特定位置に集中するという今迄にない特異な破断パターンが現われ、破断強度効率（C/B）は4%程低下した。この原因は、破断荷重時に前面定着型ソケットの大部分が外表面まで降伏しソケット変形（半径の増加量）が数mm程度までに達し、亜鉛銅合金がケーブル方向に極端に大きく抜け出した為であると考えられる。

一方、厚肉なソケットのケース2では、破断荷重時においても前面定着型および背面定着型ソケットの局部的塑性化はあるものの、ソケット本体の大部分は弾性域にあり、ソケット変形量も0.2~0.3mm程で抜け出し量も小さく、破断位置は両ソケットのワイヤ平行部となり一箇所に集中しなかった。破断効率の低下は、わずかに1~2%であり、破断荷重の規格値を十分満足した。また、薄肉ソケットを用いたケース1でのケーブル破断伸びは、3~4%程となり、ワイヤ単独の破断伸び（5~6%）に比べて低下した。これに対して、厚肉ソケットを用いたケース2では、ケーブル破断伸びはワイヤ単独の値とほぼ等しい5%程に達した。

実験後の解体調査により、抜け出し量が多いケース1では、ソケット内の亜鉛銅合金前面付近のワイヤが絞り込まれて局部的変形を受けている近傍に破断が集中していたことが分かった。以上の結果から、抜け出し量と破断パターン及び破断強度効率との間には密接な関係が存在するものと推定し、細径サイズのケーブルを用いたモデル化（ソケット肉厚を変化させ、意図的に抜け出し量を大きくした場合とそうでないモデル）による引張破断実験を加えて実施し、実験的にこれらの関係（図-2）を確認した。

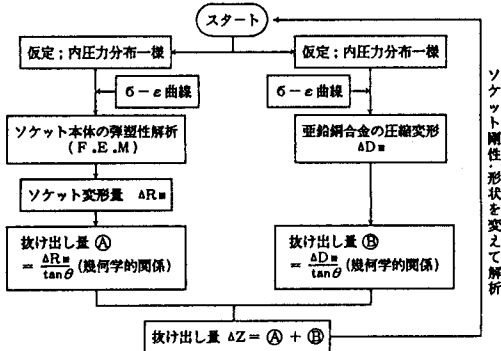
表-1 引張破断実験 供試体

ケース	ケーブル諸元			ソケット諸元(材質S45C)		数 長
	サイズ	断面積	単重	前面定着型	背面定着型	
1	7φ×421	16202 (mm ²)	131.8 (kg/m)			2本 各 4.6m
2	7φ×421	16202 (mm ²)	131.8 (kg/m)		同上 (析間)	2本 各 4.6m

4. 抜け出し量の解析 表-2のC/Bで定義

されるケーブル破断強度効率に影響する抜け出し量と、ソケット剛性（平均肉厚/鑄込部平均直径Dm）、形式との関係を定量的に把握する為に、下記のフローに従って弾塑性解析を行った。

抜け出し量解析フロー
ソケット変形による抜け出し量 ④ 亜鉛銅合金の変形による抜け出し量 ⑤



ΔD_m および ΔR_m は、亜鉛銅合金コーンの平均直径の変形量と同位置でのソケット内半径の変形量であり、 θ はソケット内壁面のテーパ角度である。

解析値は、図-3に示す通り実験値と良く合っており、抜け出し量算出フローの妥当性が得られた。

図-4に考えられる種々の定着形式に対する理論解析結果を示す。前面定着型では剛性（平均肉厚/Dm）が、0.22~0.23以下になると抜け出しが急増し、ケーブルの破断強度効率が低下すると推定出来る。背面定着型は、剛性と抜け出し量の関係が鈍感であり、又後面定着型は薄肉でも抜け出し量がさ程増大しない事が分った。

従って、必要条件としての高い破断強度効率を満足させながら、ソケット重量及び形状寸法の小型化を図る為には、特に、広く用いられている前面定着型のソケットにおいて、その大型化に対しては、適切な剛性を持たせる事が重要である事と言える。また、各形式の最適な剛性を求めるに当っては、弾性解析では不十分であり弾塑性解析による必要性があると考えられる。

5. まとめ 大型ソケットの設計において、従来通り許容応力に対して照査する方法のみを適用すると、ケーブル破断強度効率が低下する事が発生し得る為、ケーブル破断荷重時に対する検討項目として、抜け出し量あるいはソケット変形量の制約を考慮し、終局状態を踏まえた設計の考え方を導入することが必要となると考えられる。現在、より具体的かつ詳細な研究を進めており機会を見て報告したい。

表-2 破断実験結果

	ケース 2 7φ×421		ケース 3 7φ×421	
NO.	1	2	3	4
A * 規格値	2592ton	同左	同左	同左
B ** 計算破断荷重	2706ton	同左	2811ton	同左
C 実験破断荷重	2610ton	2598ton	2771ton	2743ton
C/A	1.01	1.00	1.07	1.06
C/B	0.96	0.96	0.99	0.98
前面定着ソケット 抜け出し量	48mm	56mm	8mm	11mm
*** 破断時伸び	121mm	97mm	234mm	188mm
破断位置	亜鉛銅合金の前面に集中。	同左	ワイヤー平行部	ワイヤー平行部

* 規格値=160kg/mm²×ケーブル断面積
** 計算破断荷重=ワイヤー引張強さ×ケーブル断面積
*** 破断時伸び=実破断荷重時のケーブル部の伸び
背面定着型ソケットの抜け出し量はいずれも10mm程度

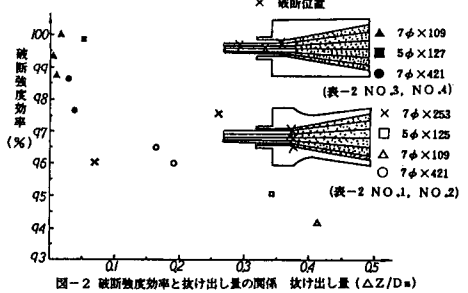


図-2 破断強度効率と抜け出し量の関係 抜け出し量 (ΔZ/Dm)

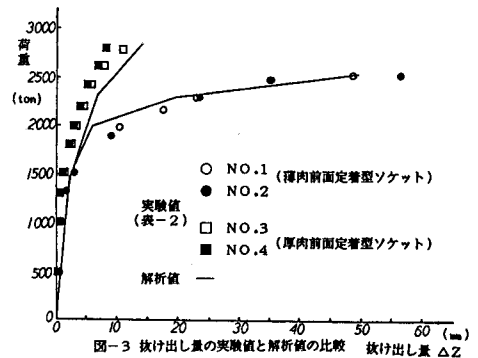


図-3 抜け出し量の実験値と解析値の比較 抜け出し量 ΔZ

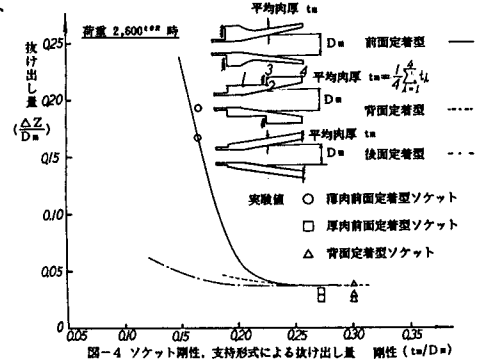


図-4 ソケット剛性、支持形式による抜け出し量 剛性 (tm/Dm)