

個別要素法によるソケット部でのケーブル素線抜け出し解析

NKK 正員 〇今井聡一郎 京都大学工学部 正員 渡邊英一
京都大学工学部 正員 古田 均 京都大学工学部 正員 杉浦邦征
京都大学工学部 正員 宇都宮智昭

1. はじめに

高強度ケーブルの開発とあいまって、その定着部であるソケットでも各種の新しい形式が開発された。しかし、ケーブル素線に加わる張力によるソケット内の挙動、特に、素線と鋳込み金属との境界面における滑り・剥離の問題に関してはまだまだ不明確な点が多く、その問題に関して解析した例も非常に少ない。本研究では、ソケット部に着目し、ソケットからのケーブルの抜け出し特性について考察を行った。解析手法としては、対象媒体を独立した非連続な小要素の集合体として取り扱い、素線と鋳込み金属との境界面における滑り・剥離現象を容易に表現することができる個別要素法を用いた。

2. 解析手法

個別要素法¹⁾では、要素間の荷重伝達を図1 (a), (b)に示すような法線方向バネ及び接線方向バネで行っている。しかし、要素間の接触は点でなく面であり、この接触面には非軸対称な内圧分布を生じる。このような内力の合力としてのモーメント伝達を可能とするため図1 (c)に示すような回転方向バネを新たに導入した。ここで、三つのバネは、初期において接触状態にある要素と要素の間に配置し、すべて引張力（法線方向バネ (a)法線方向 (b)接線方向 (c)回転方向

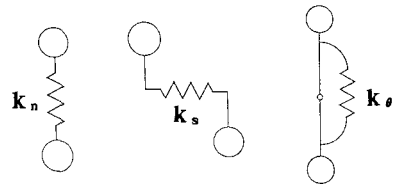


図1 要素間バネの設定

また、降伏は鋳込み金属要素と素線要素との間に配置したせん断バネ（接線方向）で起きるものと仮定した。ここで、境界面でのせん断強度は、要素間の圧縮力の増加とともに線形に増加すると仮定し、図2に示すような降伏条件を与えた。一方、図3に示すように、要素間力が降伏レベルに達した後は、勾配 βk_s で劣化し、塑性変位 u_s^p が、限界値 $u_s^p{}_{cr}$ に達するとバネが切れるものと仮定した。なお、従来の個別要素法は動的解析に用いられていたが、本研究ではそれを静的解析に適用した。

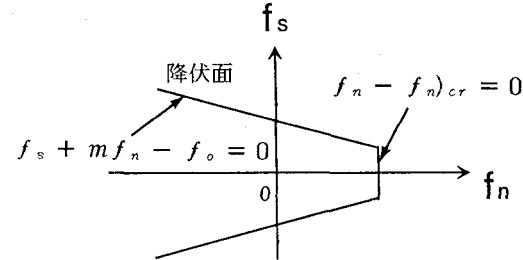


図2 要素間挙動の降伏条件

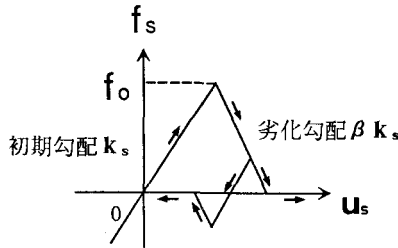


図3 要素間力-変位関係

3. 解析モデルおよび数値実験結果

ソケット内の素線定着部に着目した解析モデルⅠ(図4 (a)を参照)，および実際のソケット形状を考慮した解析モデルⅡ(図4 (b)を参照)を設定した。解析モデルⅠにおいては、劣化勾配 β の値を0.0, 0.5, 1.0, 2.0と変化させることにより、それが最大引張力と付着長（本数値実験では、付着長として40, 60, 80(mm)を設定）との関係にどのような影響を及ぼすか検討する。また、解析モデルⅡでは、引張力-抜け出し量に及ぼすテーパ角およびm（せん断バネの降伏条件における垂直圧縮力依存性を表すパラメータ）の影響を検討する。解析モデルⅠの境界条件としては、鋳込み金属要素のx方向を固定、y方向を自由、回転方向

Soichiro IMAI Eiichi WATANABE Hitoshi FURUTA Kunitomo SUGIURA Tomoaki UTSUNOMIYA

を固定した。次に、素線要素の x 方向を自由、y 方向および回転方向を固定した。解析モデルⅡの境界条件としては、鑄込み金属要素の x 方向、y 方向、回転方向すべてを自由とし、素線要素の x 方向を自由、y 方向および回転方向を固定した。また、外壁要素に対しては x 方向、y 方向、回転方向すべてを固定した。ここで用いた力学諸量を表 1、2 および 3 に示す。

表 1 降伏条件に用いたパラメータ

f_o (tonf)	0.03
u_s^p (mm)	0.01875

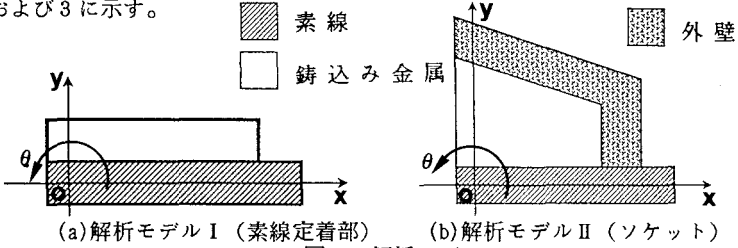


表 2 解析に用いたバネ定数

対象媒体間	k_n (tonf/mm)	k_s (tonf/mm)	k_θ (tonf)
鑄込み金属と素線	13.0	3.2	108.3
素線と素線	21.5	8.3	179.2
鑄込み金属と鑄込み金属	13.0	3.2	108.3

表 3 分割数

対象媒体	付着長(mm)			テーパ角	
	45	60	80	45°	90°
素線	5	7	9	6	6
鑄込み金属	4	6	8	10	8
外壁	--	--	--	5	6

図 5 に解析モデルⅠの結果を示す。付着長が長くなるにつれて最大引張力も大きくなる。しかし、劣化勾配が急になるにつれて、付着長を長くしてもその効果を望めないことがわかる。

つぎに、図 6 および 7 に解析モデルⅡの結果を示す。m が小さいときは、テーパ角の違いによる引張力－抜け出し量関係には有為な差がない。しかし、m を大きくすると外壁に角度をつけた効果（くさび効果）により最大引張力に有為な差を生じることがわかる。

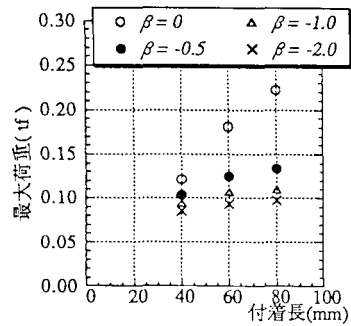


図 5 最大引張力－付着長

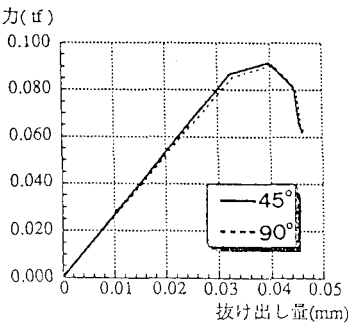


図 6 引張力－抜け出し量(m=0.1)

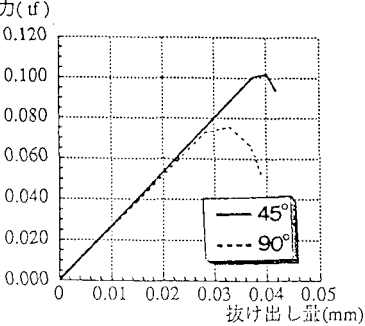


図 7 引張力－抜け出し量(m=1.0)

4. 結論および今後の課題

- 1) 塑性劣化する際の劣化勾配は最大引張力と付着長との関係に大きな影響を及ぼす。劣化勾配が急になると付着長を長くしてもその強度上昇を望むことはできない。
- 2) セン断バネの降伏条件が垂直圧縮力に依存しないときは、ソケットにテーパ角をつけてもくさび効果による最大引張力の上昇を期待することができない。

最後に、ケーブル素線がソケットから抜け出す際の引張力－抜け出し量関係に関する資料は未だ整備されておらず、今後、この種の実験データの蓄積が望まれる。

参考文献

- (1) P. A. Cundall and O. D. L. Struck, "A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies," Geotechnique, Vol. 29, No. 1, 1979, pp. 47-65.
- (2) 目黒公郎・伯野元彦, "粒状体シミュレーションによるコンクリート構造の破壊解析," 地震研究所集報, 63巻, 1988, pp. 409-468.