

I-23 ケーブル断面内応力伝達機構の粒状要素解析

東北大学工学部 学生員 ○豊田 浩史

東北大学工学部 正員 佐武 正雄

東北大学工学部 正員 岸野 佑次

1. はじめに

吊橋などに用いられるケーブルを締め付ける作業であるケーブルスクイズは、いまだ経験的にしか行われていない。このケーブルスクイズをより合理的におこなうためには、ケーブル内部の力学特性、変形機構などの微視的アプローチも必要と思われる。本研究においては粒状体の準静的な力学特性を調べるために開発された粒状要素法¹⁾を用いてケーブル断面内における素線束の変形機構の解析を行ったものである。

2. 解析方法

図-1に示すような粒状体モデルを考える。このモデルの境界要素である8個の円弧は、図-2のスクイズマシンをモデルとしてある。粒状要素法の基本的な考え方は、ばね要素、摩擦性要素、ノーテンション要素によって結合された円形要素について、相互の重なりから算定される接触力が釣り合うように個々の要素の位置を収束計算することにある。内部要素数は74個、粒径は10mmとした。解析に用いる諸定数は要素間バネ定数 k_n 、 $k_t=1 \times 10^8$ 、 $7 \times 10^7 \text{ dyn/cm}$ 要素間摩擦角 25° で重力はないものとした。まず各境界要素に等方的な圧縮力 f_2 をかける。 $f_2=1 \times 10^4 \text{ dyn}$ の力をかけて収束した状態が図-3である。そしてこの等方圧縮状態より、一対の向かい合った境界にかかる力を f_1 ($f_1 > f_2$) にし、次にこの力をもとの等方圧縮状態にもどす。以後4対の境界全てに対してこの操作を順次反時計回りに繰り返す、これを1 cycleとする。 f_1 の値は $1.5 \times 10^4 \text{ dyn}$ (case1)および $2 \times 10^4 \text{ dyn}$ (case2)、cycle数は5とした。

3. 接触方向分布

ケーブル断面を微視的な立場からみたとき単に充填のみならず、その充填構造が重要な役割を果たす。この充填構造を表すものとして粒子間接触方向の分布は重要である。図-4は図-3の状態の接触角分布のローズダイヤグラムである。しかしこれでは単に大ざっぱな傾向しか把握できない。そこで角度を定量的な指標で表したファブリックテンソル²⁾を用いてcycle数との関係調べた。図-5に2階および4階のファブリックテンソルの

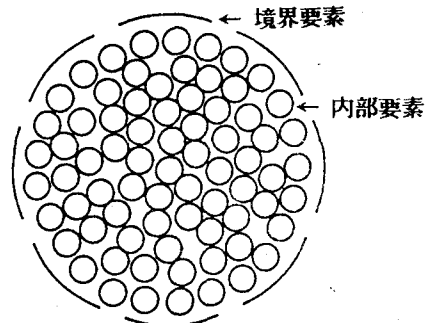


図-1 粒状体モデル

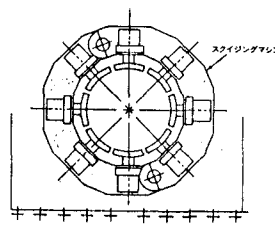


図-2 スクイズマシン

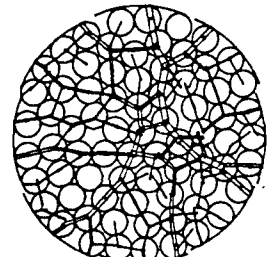


図-3 接触力分布

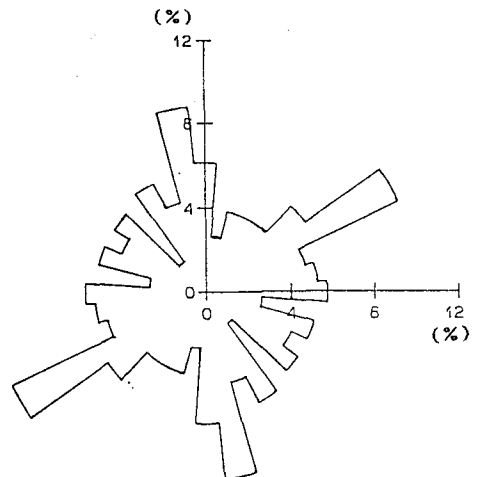


図-4 接触角分布

内積により求めた不変量 λ_2 、 λ_4 の値を示した。これらの値が小さいほど一様分布と見なすことができる。同図において繰り返しのよってかならずしも分布が一様になるとは限らないことが注目される。

4. 変位の偏差

粒状体の変形には内部要素の不均一な相対変位がともなう。この不均一な要素の変位を等方的な変位とそれからはずれとによって定量的に表す測度を定義する。粒状体モデルの中心に原点をとり要素の位置座標を x_i とすると等方的な変位 $\bar{u}$ は次のようになる。

$$\bar{u} = -c x_i \tag{1}$$

実際の要素の変位を u_i とし、変位の偏差 Δu_i を次のようにおく。

$$\Delta u_i = u_i - \bar{u} \tag{2}$$

等方的変形からの偏差を表す1つの測度 S を

$$S = \sum \Delta u_i \cdot \Delta u_i \tag{3}$$

とする。式(1)の c はこの S を最小にするように定める。ここで巨視的変形の程度を調べるために次の量を定義する。

$$R = \frac{\sum u_i \cdot u_i - S}{\sum u_i \cdot u_i} \tag{4}$$

図-6に S とcycle数、図-7に R とcycle数、図-8に c とcycle数の関係を示す。これらの図より要素の変位はcycleごとに小さくなり安定な構造に近づくが、このためには、図-7よりわかるように、かなり不均一な変形をとまなっていることがわかる。

5. あとがき

以上ケーブル断面内における素線束の変形機構について調べた。本文に示したように粒状要素法はこのような問題においても微視的側面から検討を加える上で有効である。今後ケーブルスクイズについてさらに詳細な検討を加えたい。なお、本研究を行うにあたり東北大学工学部倉西茂教授の御指導を仰いだ。ここに謝意を表する次第です。

参考文献

- 1)岸野：新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析，土木学会論文報告集，vol.406/III-11,pp97～106,1989
- 2)金谷：ファブリックテンソルによる構造異方性の特徴づけと統計的検定，土質工学会論文報告集，vol.23,no.1,pp171～177,1983

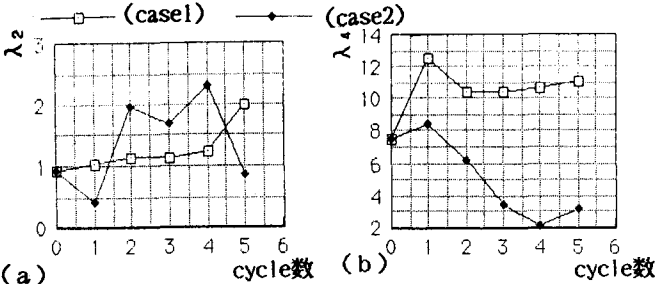


図-5 λ_2 、 λ_4 とcycle数の関係

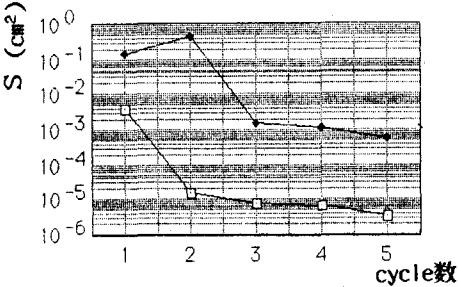


図-6 S とcycle数の関係

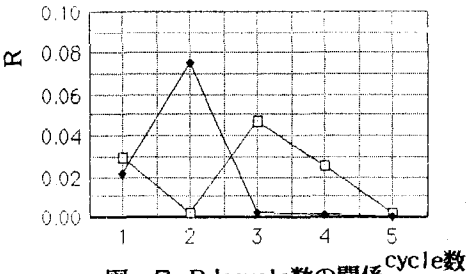


図-7 R とcycle数の関係

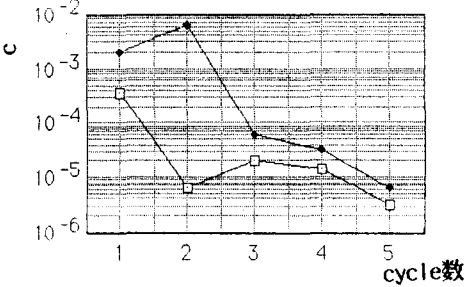


図-8 c とcycle数の関係