

## インボリュートスプラインの強度計算法

### 1. 概要

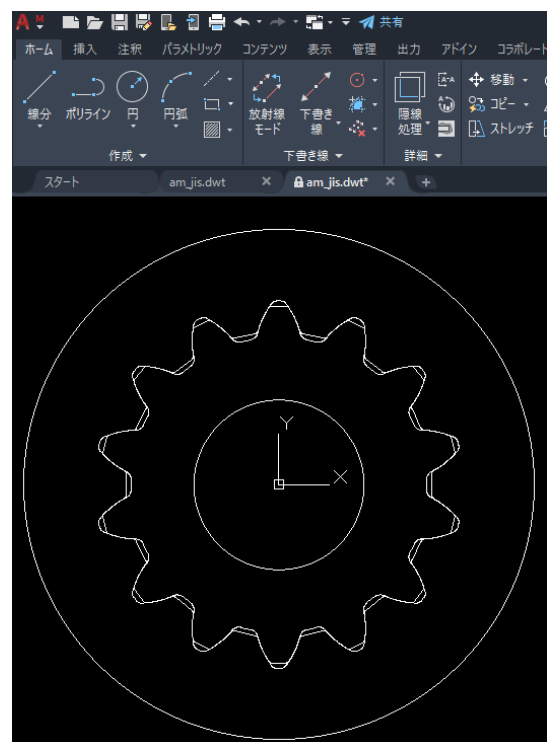
インボリュートスプラインは大きなトルクが伝達できるため、キーの代わりに軸と軸や軸と歯車の締結によく使われている。しかしインボリュートスプラインを設計した後にその強度は簡単に計算できないため、筆者は長年の研究でインボリュートスプラインの強度を数値的に計算できる三次元有限要素法を提案し、また専用ソフトを開発した。ここで、この研究の内容と結果を簡単に紹介する。またこの研究内容の詳細について、参考文献<sup>(1)</sup>をご参照ください。

### 2. インボリュートスプラインの設計ソフトの開発

インボリュートスプラインの設計時間を短縮させるために、インボリュートスプラインの設計ソフトを開発した。このソフトはAutoCADに組み込むように開発され、AutoCAD上で使えるようになっている。図1(a)は開発したソフトの入力画面であり、図1(b)は開発したソフトで設計したインボリュートスプラインの計算結果である。図1(a)にインボリュートスプラインを設計するために必要な歯車諸元を入力してから、「計算」ボタンを押すと、即座に図1(b)に示す計算結果が出図される。



(a) ソフトの入力画面



(b) ソフトの計算結果

図1 インボリュートスプラインの設計ソフトの開発

### 3. インボリュートスプラインの強度計算ソフトの開発

研究対象とするインボリュートスプラインの諸元を表1に示す。またその断面形状を図2に示している。図2(b)は歯の歯幅が同じである場合であり、図2(c)は歯の歯幅が異なる場合である。インボリュートスプラインの強度解析は参考文献<sup>(1)</sup>に示す専用三次元有限要素法と開発したソフトで行われた。この方法及びソフトの詳細説明はここで省略するが、解析結果のみを次に紹介する。

Table 1 Gearing parameters of the involute spline couplings used in this paper

Items	Symbol	Results
Tooth Profile		Involute
Number of teeth	$Z$	14
Module	$m$	2.5 (mm)
Pressure angle	$\alpha_c$	20 (degrees)
Shifting coefficient	$x$	+0.8
Edge radius of cutter	$r_c$	0.375m
Addendum		0.4m (mm)
Clearance		0.25m (mm)
Face width of the hub	$b$	20 (mm)
Diameter of the meshing pitch circle	$D_m$	$D_m = (Z + 2x)m$
Loaded torque	$T$	411.6 (Nm)

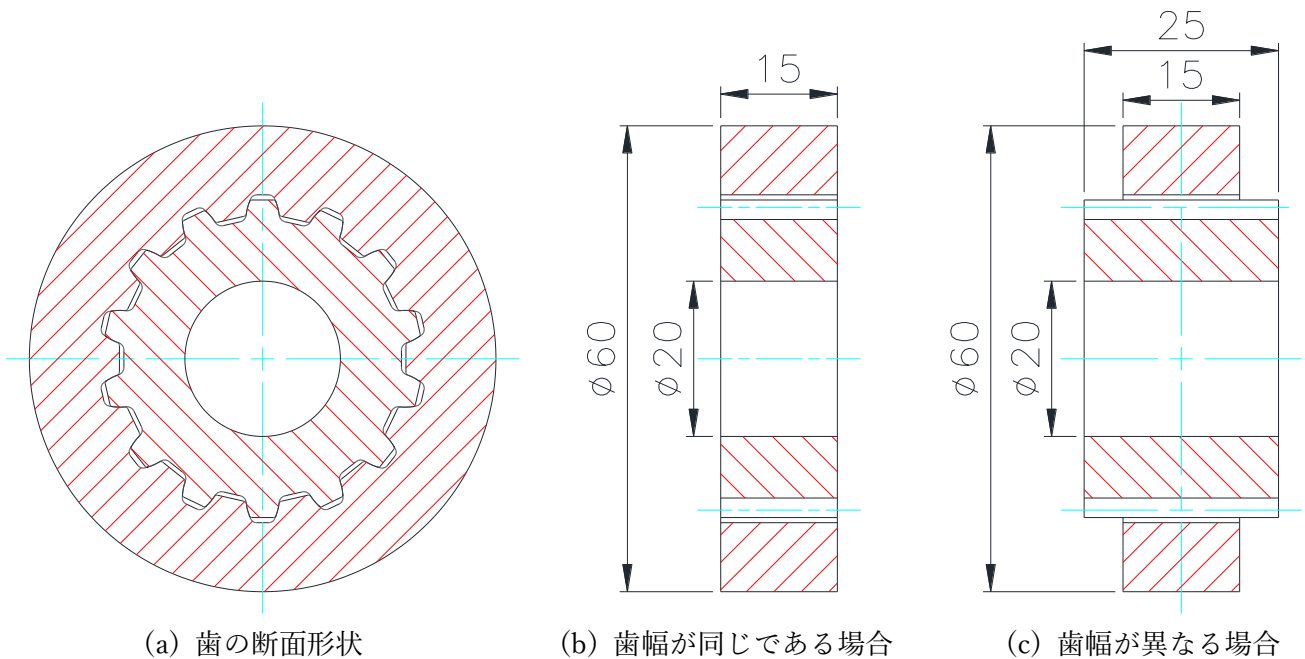


図2 研究対象とするインボリュートスプラインの

#### 4. 歯幅が同じであるインボリュートスプラインの強度解析結果

図 2(b)に示す歯幅が同じであるインボリュートスプラインの強度を解析するために、図 3 に示すインボリュートスプラインの 3D-FEM モデルを用いた。そしてこのモデルと開発した専用三次元有限要素法ソフトで解析した歯面面圧分布の等高線図を図 4 に、歯すじ方向に沿う歯面面圧分布を図 5 に、歯形方向に沿う歯面面圧分布を図 6 に、歯元最大曲げ応力点における曲げ応力の歯すじ分布を図 7 に、歯元最大せん断応力点における円筒面上のせん断応力分布の等高線図を図 9 に示している。歯元最大せん断応力点における円筒面は図 8 に示すように定義されている。

専用三次元有限要素法と近似方法<sup>(1)</sup>で解析した結果の比較を表 2 に示している。

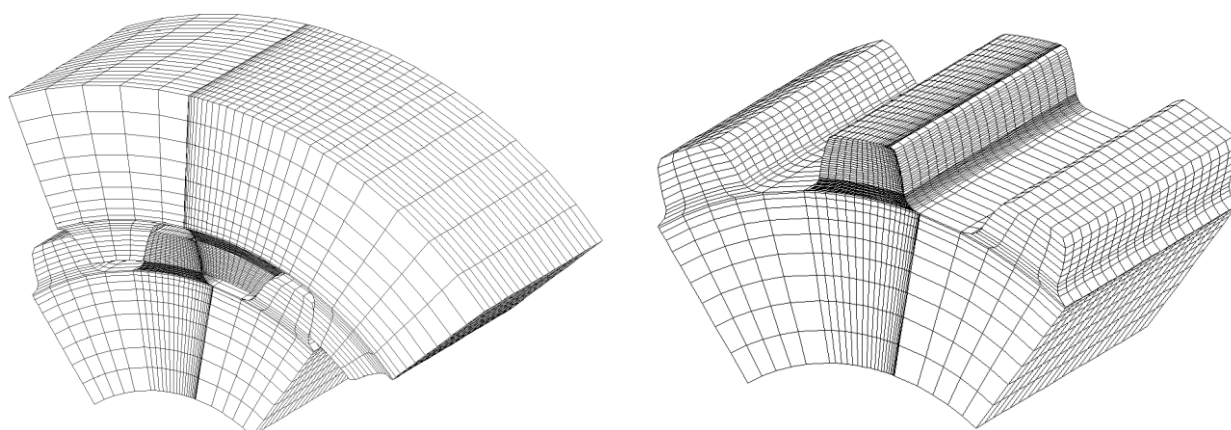


図 3 接触解析用 FEM モデル

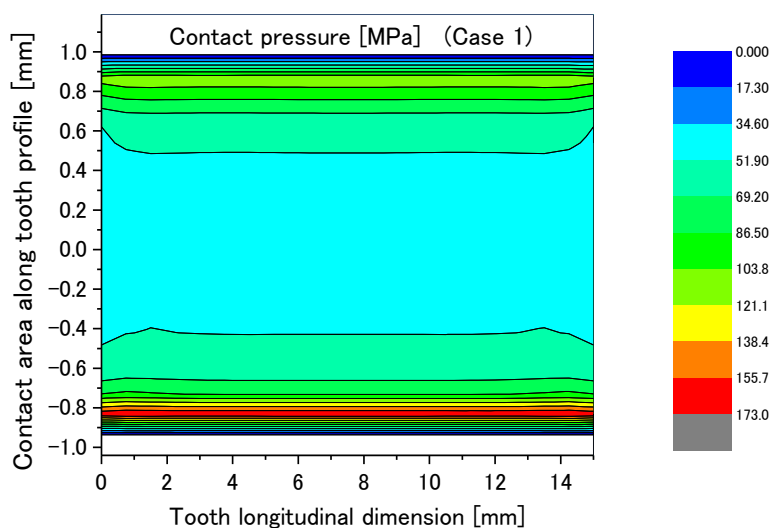


図 4 歯面面圧分布の等高線図

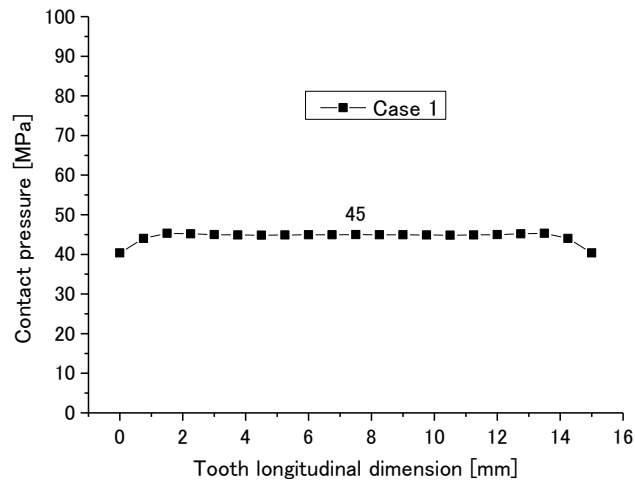


図5 歯すじ方向に沿う歯面面圧分布

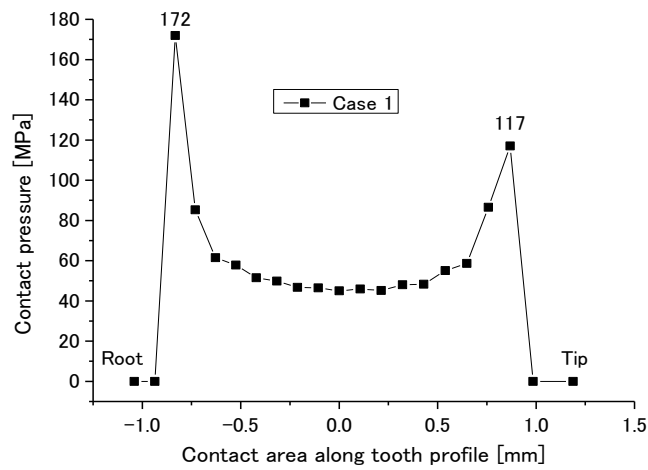


図6 歯形方向に沿う歯面面圧分布

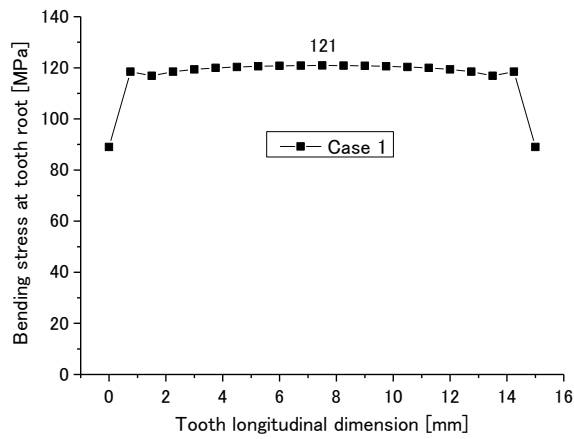


図7 歯すじ方向に沿う歯元曲げ応力の分布

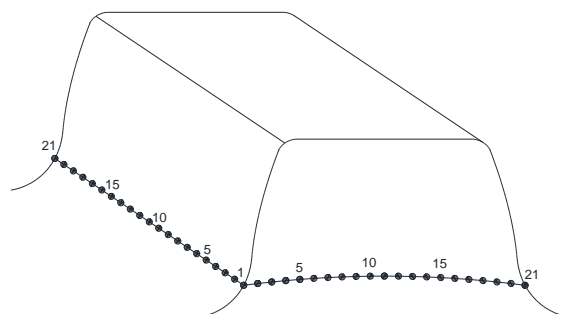


図8 歯元最大せん断応力円筒面の定義

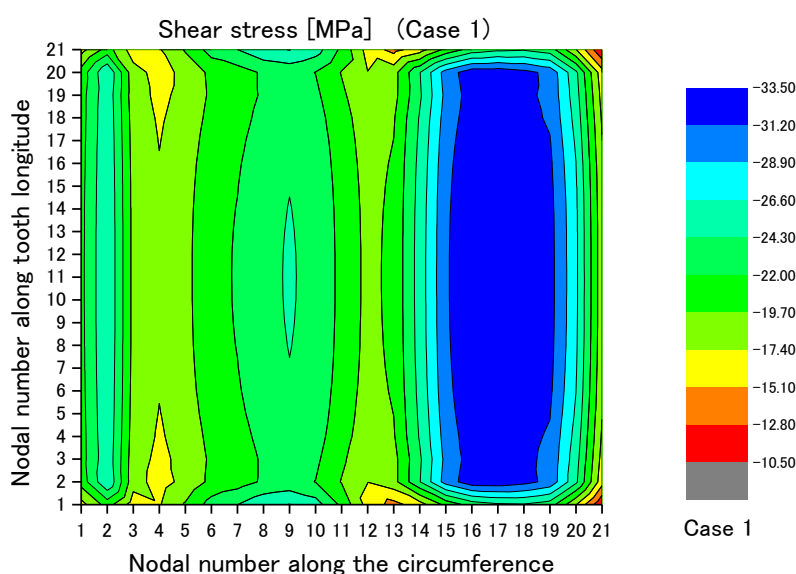


図9 歯元最大せん断応力点における円筒面上のせん断応力分布

Table 2 Comparison between the FEM software and the approximation method

The maximum stresses	Developed FEM software	Approximation method
Tooth contact stress (MPa)	172	50.3
Shear stress at tooth root (MPa)	33.5	25.6
Bending stress at tooth root (MPa)	121	63.5

## 5. 歯幅が異なるインボリュートスプラインの強度解析結果

図 2(c)に示す歯幅が異なるインボリュートスプラインの強度を解析するために、図 10 に示すインボリュートスプラインの 3D-FEM モデルを用いた。そしてこのモデルと開発した専用三次元有限要素法ソフトで解析した歯面面圧分布の等高線図を図 11 に、歯すじ方向に沿う歯面面圧分布を図 12 に、歯形方向に沿う歯面面圧分布を図 13 に、歯元最大曲げ応力点における曲げ応力の歯すじ分布を図 14 に、歯元最大せん断応力点における円筒面上のせん断応力分布の等高線図を図 15 に示している。歯元最大せん断応力点における円筒面は図 8 に示すように定義されている。

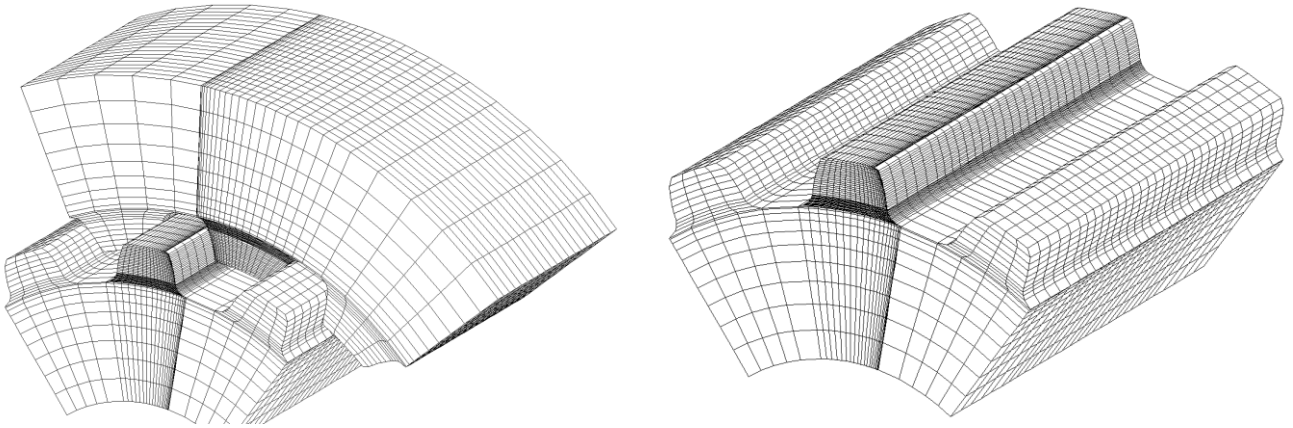


図10 接触解析用 FEM モデル

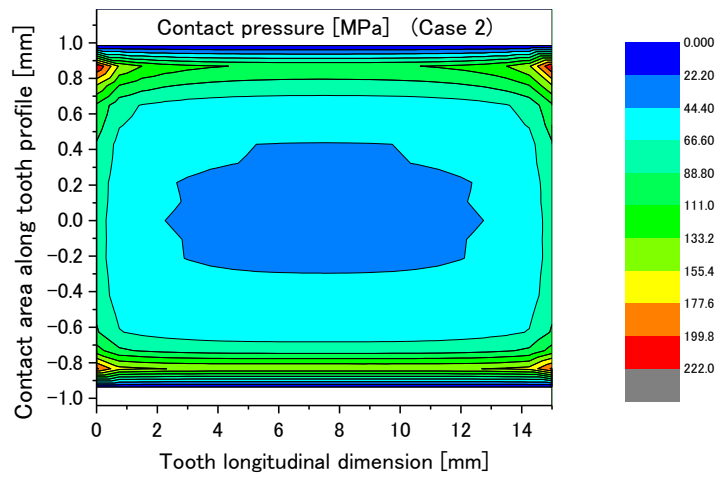


図11 歯面面圧分布の等高線図

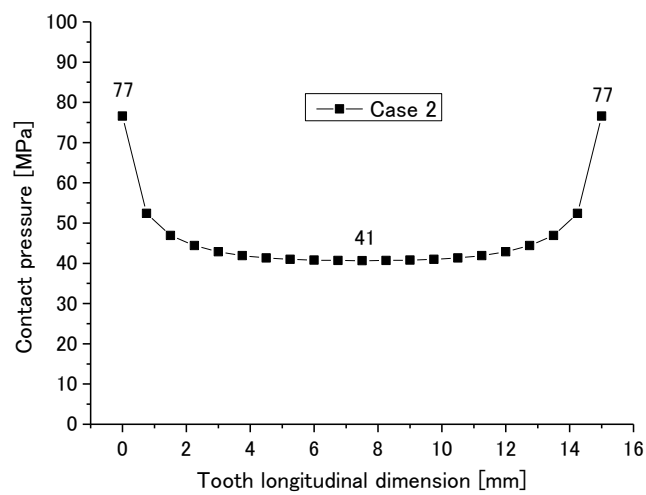


図12 歯すじ方向に沿う歯面面圧分布

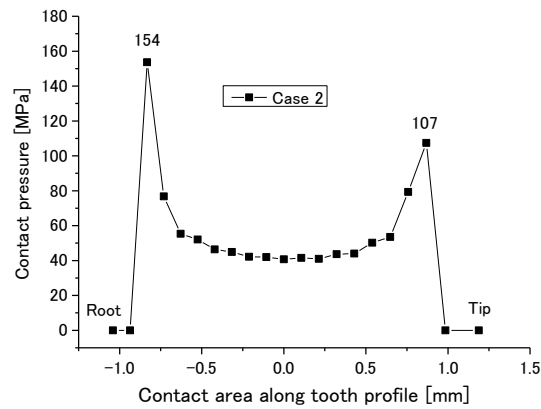


図 1 3 歯形方向に沿う歯面面圧分布

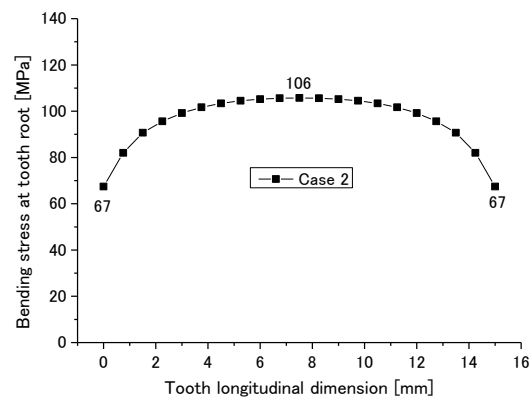


図 1 4 歯すじ方向に沿う歯元曲げ応力の分布

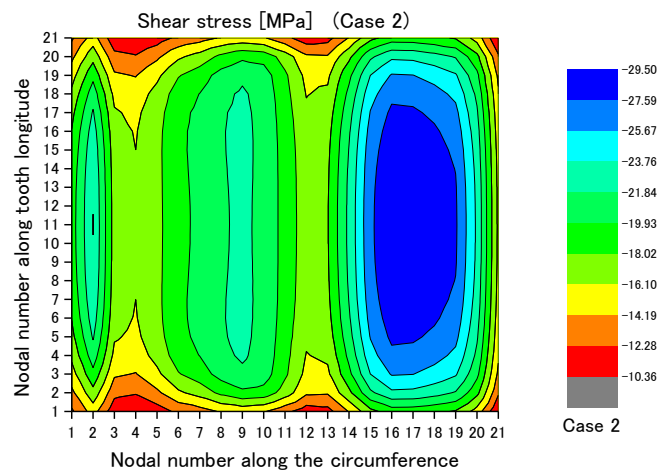


図 1 5 歯元最大せん断応力点における円筒面上のせん断応力分布

参考文献：

- (1) Shuting Li, "Contact analysis and strength calculations of involute spline couplings", Scientific Reports 13, 07 January 2023, Springer Nature, pp.1-22, <https://10.1038/s41598-023-27615-2>