

## 電磁界を利用した高張力ボルトの 緩み検査センサの開発

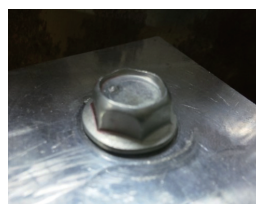
大分大学 工学部  
機械・エネルギーシステム工学科  
後藤 雄治



### 本研究の背景

高張力ボルトは大型機械や構造物、自動車等多くの  
場所で使用されている。

- それらのボルトに振動や繰り返し荷重が掛かり緩みが発生する。
- 緩みが進行することにより、脱落が起これば大事故につながる。



ボルトの締め付け力を管理することは大変重要である。

## 現在の検査法

現在、ボルトの緩み検査法としては、打音検査法や超音波法が一般的

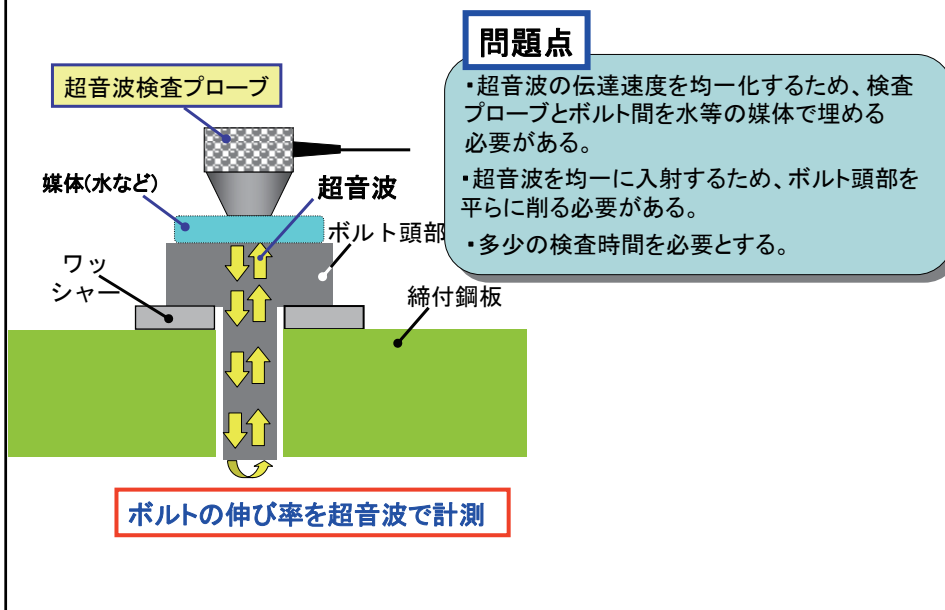
- 打音検査法は長年の熟練を必要とし、且つ定量的評価が難しい
- 超音波法は、ボルトの錆やペンキ等のコーティングが存在する場合や、刻印などによる凹凸の激しいボルトの検査への適応が難しく、測定に時間がかかる。

ボルトの緩みを高速且つ、簡便に評価が行える検査手法の開発が必要

ボルトの締付け力に伴って、ボルト頭部が圧縮され、電磁気特性が変化する

電磁現象を利用してボルトにおける緩みを検査する  
手法について提案

## 超音波を使用したボルトの緩み検査法の概要



## 電磁気特性測定

Table 1 磁気特性測定条件

試験片	SCM435 and SS400
検出コイル	20 ターン 直径 = 0.1mm
SCM435(ボルト)への荷重条件	0~400MPa
SS400(締め付け鋼板)への荷重条件	0~200MPa

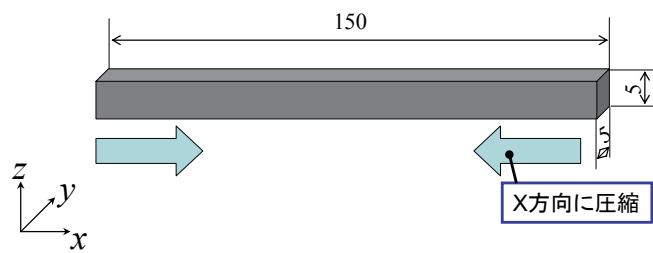


Fig. B-H曲線及び、導電率測定用試験片

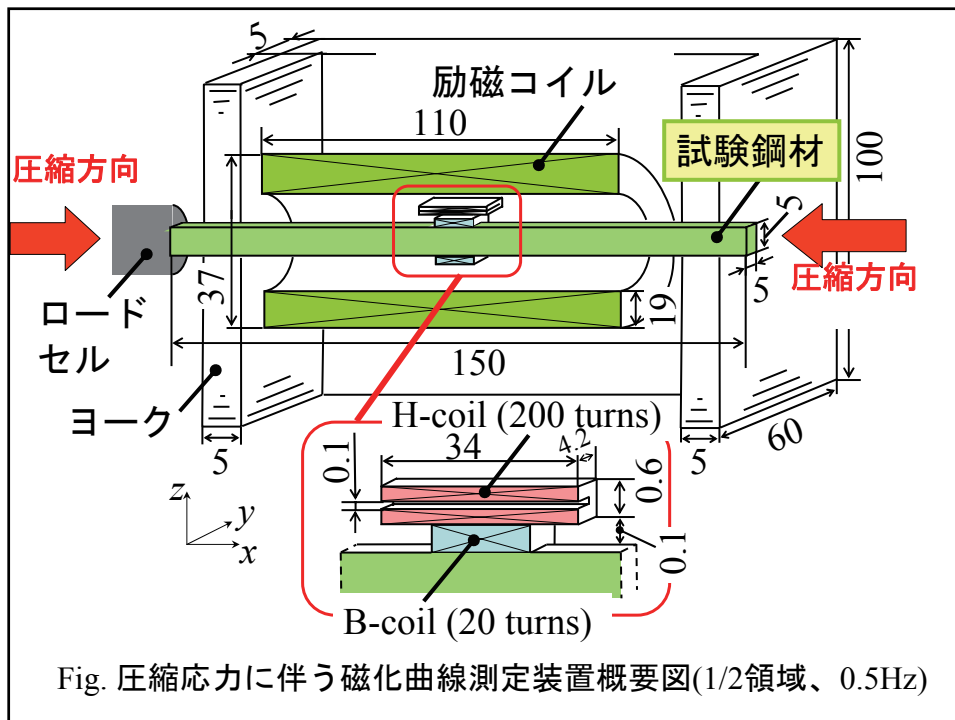
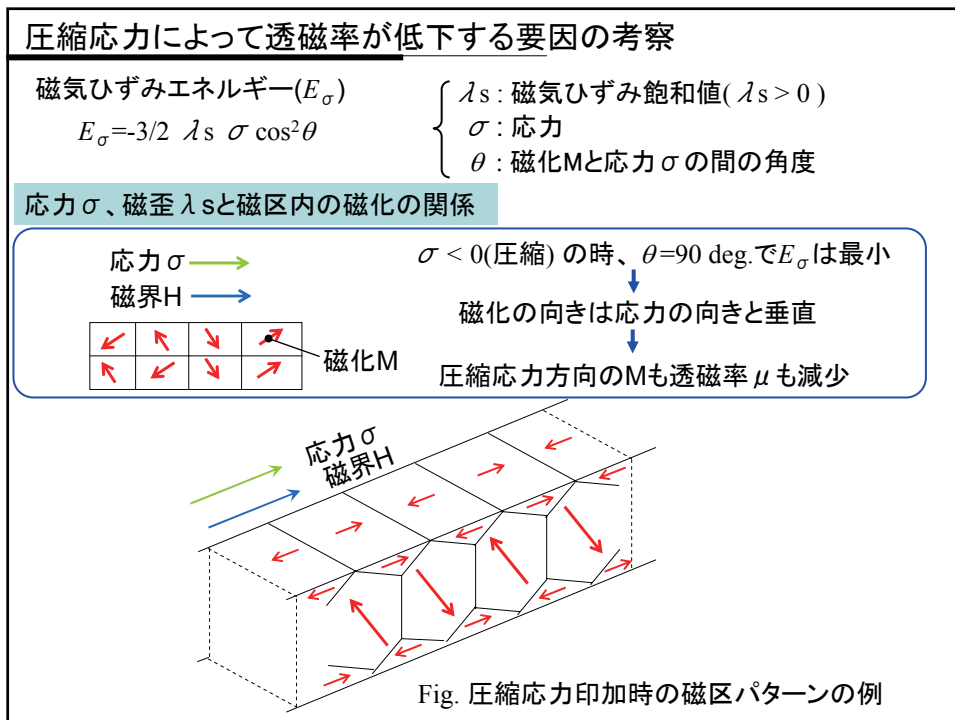
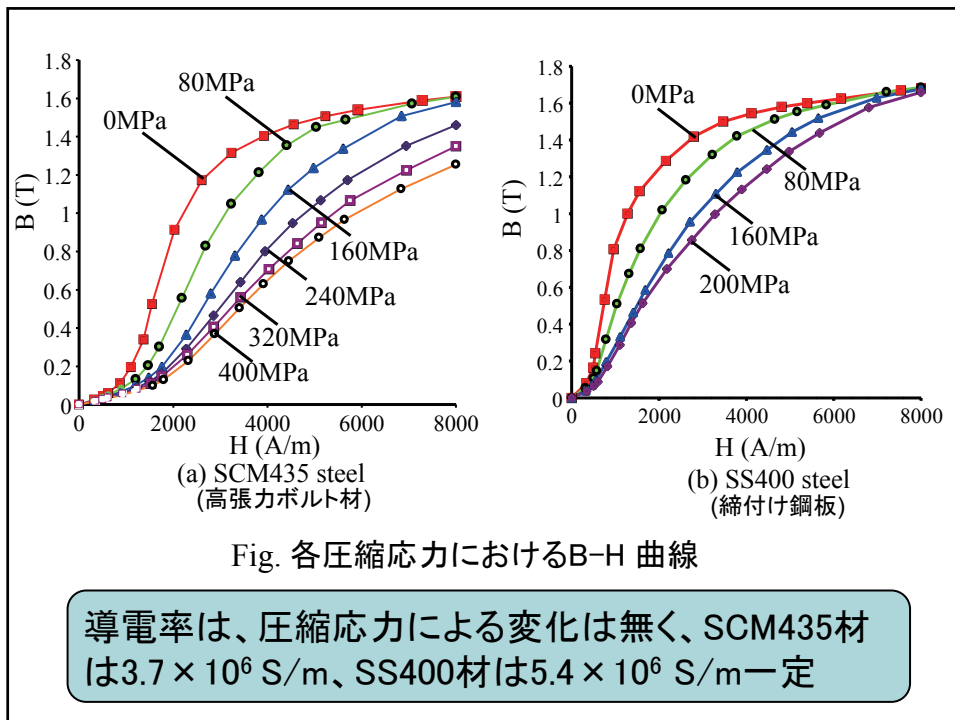
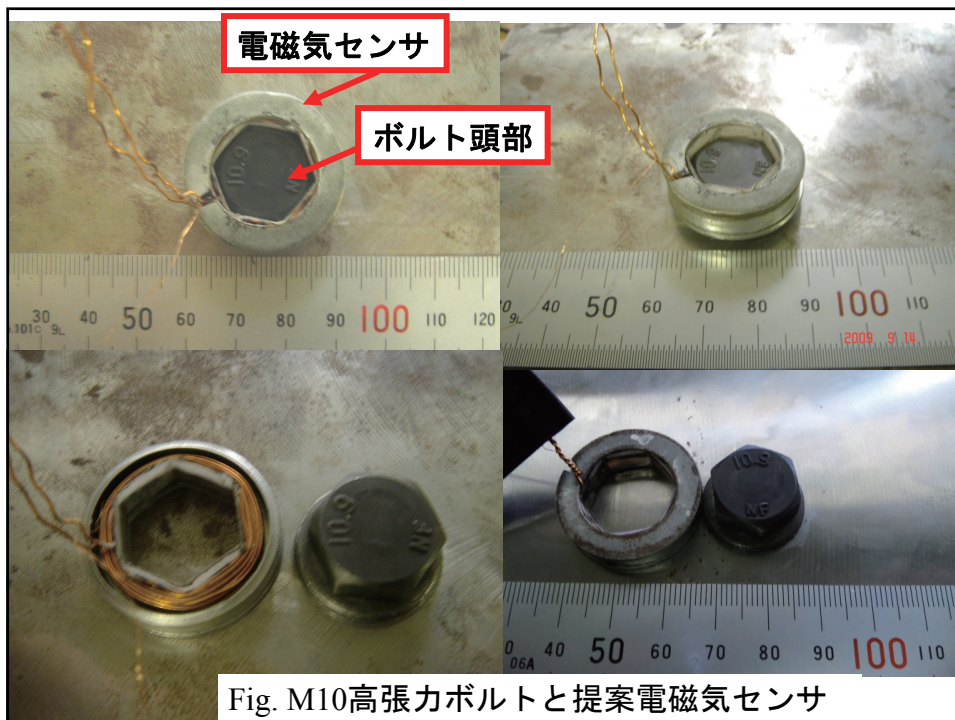
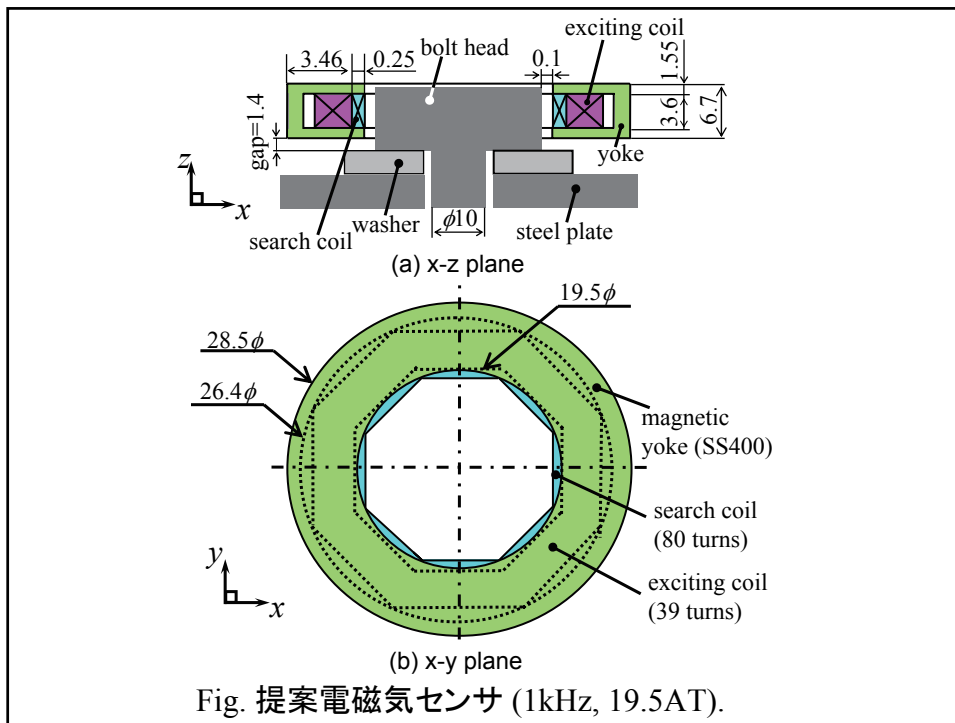
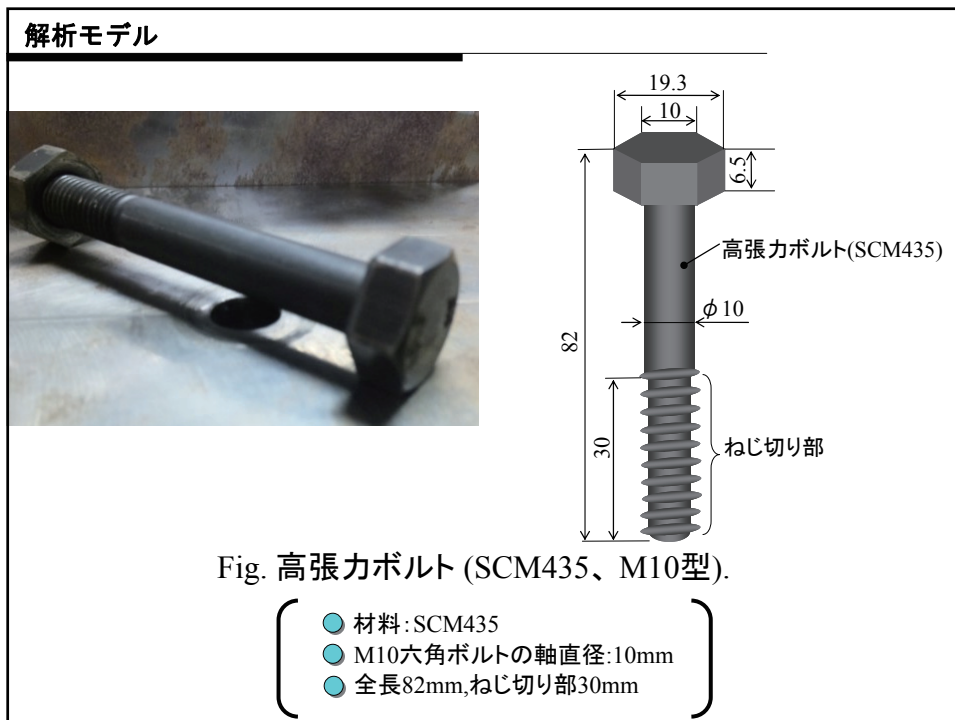
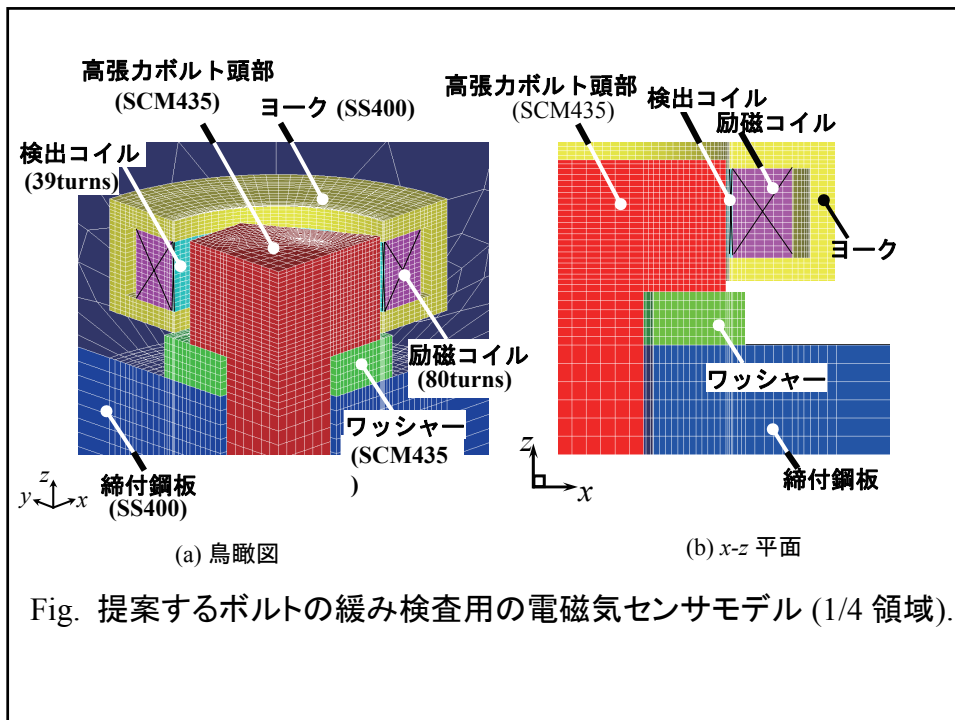


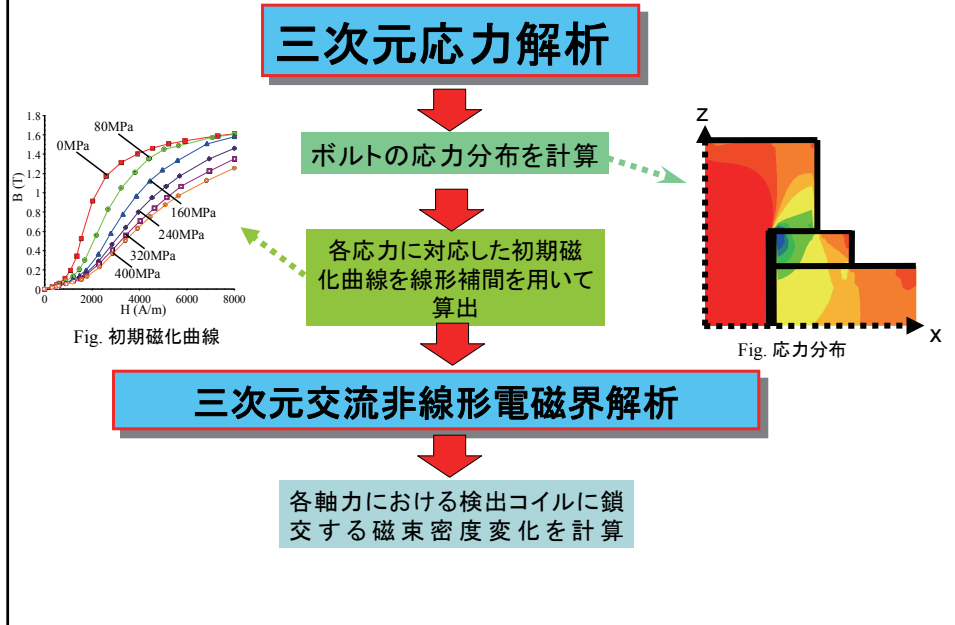
Fig. 圧縮応力に伴う磁化曲線測定装置概要図(1/2領域、0.5Hz)







## 応力分布を考慮した非線形電磁界解析の流れ



## 解析モデル

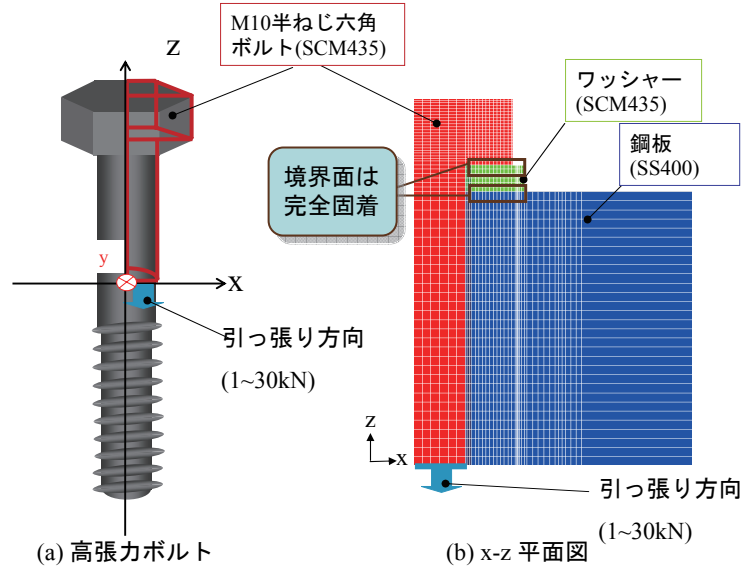


Fig. 軸力の与え方 (1/4領域)

### 三次元応力解析

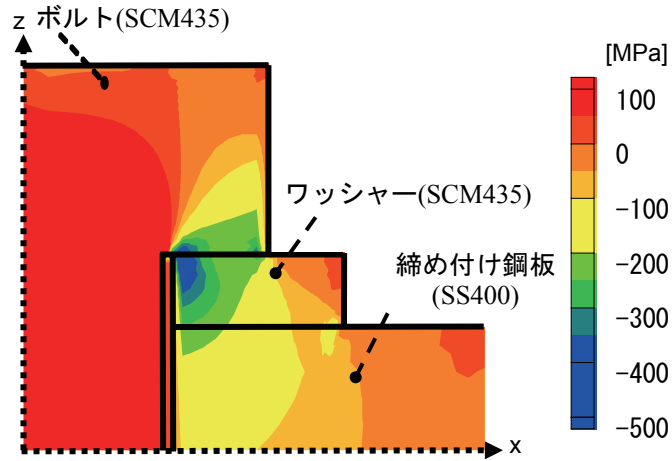


Fig. 応力分布 ( $\sigma_z$ , 30kN)

### 応力分布を考慮した非線形電磁界解析

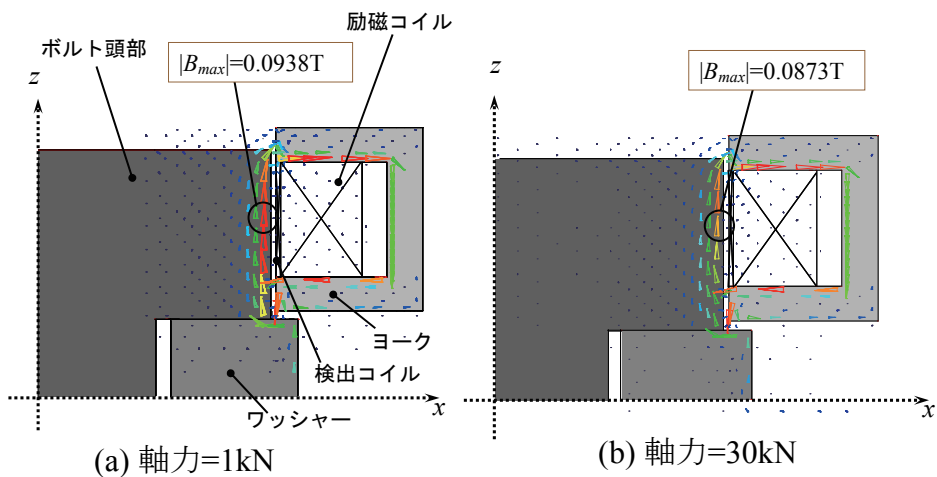


Fig. 磁束密度ベクトル分布 (1kHz, 0.5A)

磁束はボルト頭部側面へ多く分布している。また、軸力が増加するにつれて磁束密度は低下しており、 $B_{max}$ は $6.5 \times 10^{-3}\text{T}$ 程度低下している。



### 検証実験

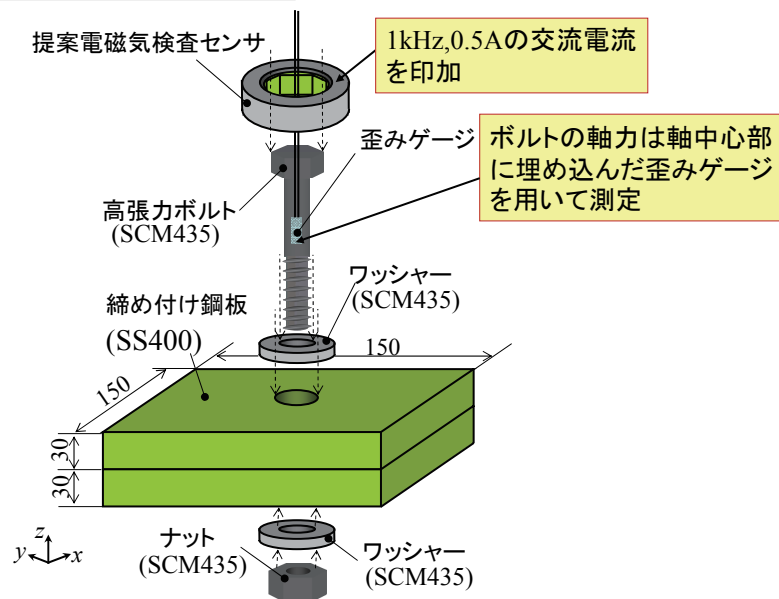


Fig. 検証実験のための単一ボルトモデル

### 検証実験

$$\Delta B_z = \frac{|B_z|(\text{each axial force}) - |B_z|(\text{axial force} = 1\text{kN})}{|B_z|(\text{axial force} = 1\text{kN})} \times 100 (\%)$$

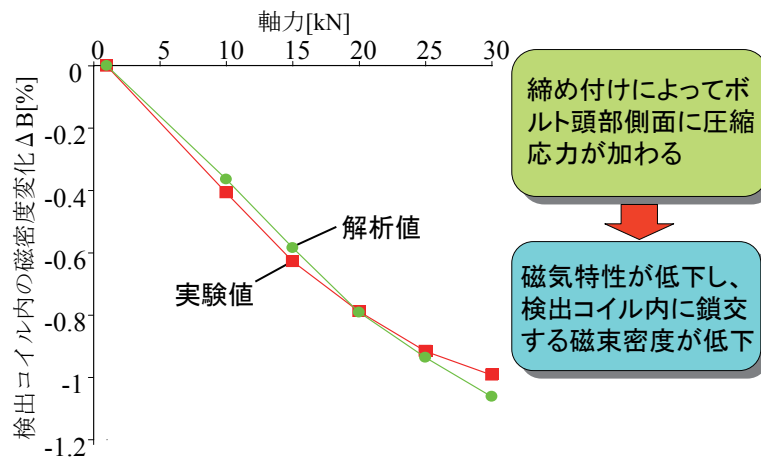


Fig. 実験値と解析値の比較 (1kHz, 0.5A一定)

締め付け平板の材料が非磁性体の場合

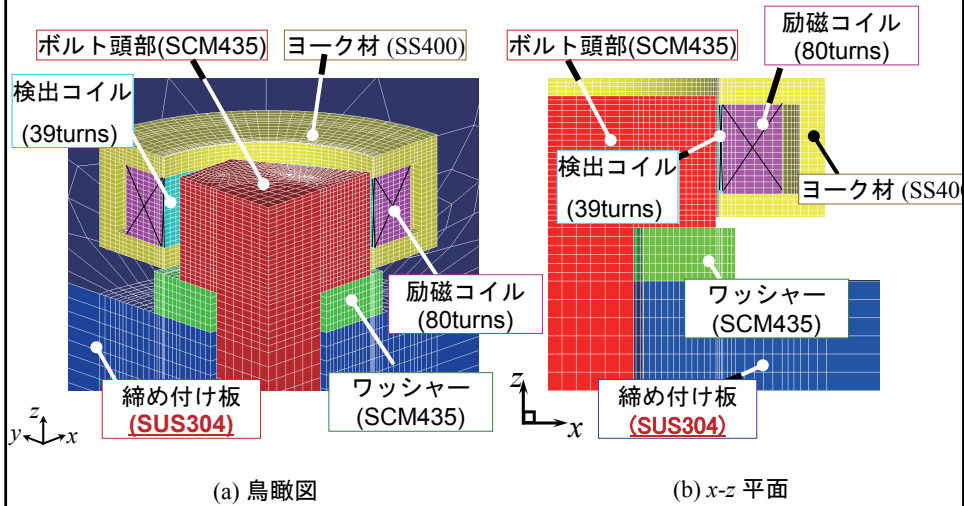
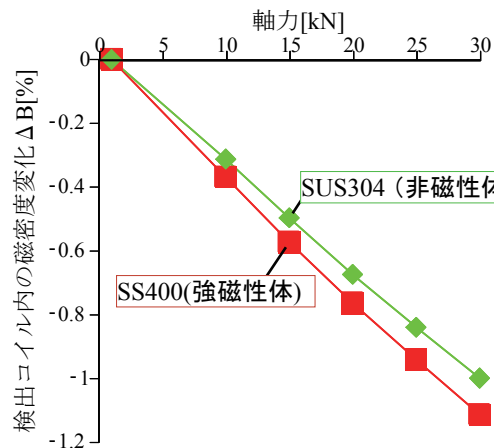


Fig. 磁界解析用メッシュ分割モデル (1/4 領域)

締め付け平板の材料が非磁性体の場合

$$\Delta B_z = \frac{|B_z|(\text{each axial force}) - |B_z|(\text{axial force} = 1\text{kN})}{|B_z|(\text{axial force} = 1\text{kN})} \times 100 (\%)$$



本提案検査センサの磁束はボルト頭部側面にのみ進入

締め付け材の材料によらずボルトの緩みを検査できる可能性がある

Fig. 鋼板の材料が検出信号に及ぼす影響 (1kHz, 0.5A一定)

## まとめ

- 高張力ボルトに多く使用されている鋼材は、圧縮応力を受けると磁気特性が低下する。しかし、導電率は変化しない。
- 高張力ボルトの軸力が増加すると、ボルト頭部側面の透磁率が減少するため、その変化分を電磁気センサで検出することで、高張力ボルトの緩みを非破壊的に検査出来ることを確かめた。
- 本提案電磁気センサは、高張力ボルト頭部側面のみの、締め付けに伴う磁気特性変化を検出する。そのため、締め付け材が非磁性体でも強磁性体でも緩み検査が可能である。

## 今後の課題

- 高張力ボルトの大きさや形状変化による検討
- 高張力ボルトの腐食状態による検討
- 実現場に適用できる検査手法の確立

## 謝 辞

一般社団法人 日本建設機械施工協会(日本建設機械化協会)の研究開発助成制度により本研究開発を実施できましたこと心より感謝致します。