

[2024105201]

## 節形状の異なるあと施工アンカーの歪み分布特性評価

### Evaluation of Strain Distribution of Adhesive Anchors with Different Rib Shapes

坂下雅信<sup>A)</sup>, 向井智久<sup>B)</sup>, 菖蒲敬久<sup>C)</sup>, 高野慶貴<sup>D)</sup>, 西脇洗瑠<sup>D)</sup>, チェホンボク<sup>E)</sup>, 中村聡宏<sup>A)</sup>, 原山勲<sup>C)</sup>

Masanobu Sakashita<sup>A)</sup>, Tomohisa Mukai<sup>B)</sup>, Takahisa Shobu<sup>C)</sup>, Yoshiki Takano<sup>D)</sup>,  
Hikaru Nishiwaki<sup>D)</sup>, Hongbok Choe<sup>E)</sup>, Akihiro Nakamura<sup>A)</sup>, Isao Harayama<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> Building Research Institute, <sup>B)</sup> National Institute for Land and Infrastructure Management,

<sup>C)</sup> Japan Atomic Energy Agency, <sup>D)</sup> Tokyo University of Science, <sup>E)</sup> Nihon University

#### Abstract

In the future, the demand for and development of high-performance adhesive anchors are expected. However, a method for accurately measuring the strain distribution of adhesive anchors under tensile load has not yet been established. Therefore, in this study, we aim to clarify the bearing pressure of concrete and the bond resistance due to differences in rib characteristics by measuring the strain distribution of reinforcing bars under loading using a neutron stress measurement device (RESA), which enables non-destructive and non-contact continuous evaluation of strain distribution. As a result, it was confirmed that the slope of the strain distribution of the reinforcing bars varied depending on the tensile load level, as well as the rib height and hole diameter.

**Keyword:** Neutron diffraction, Strain, Bond resistance, Round bar section, Ribbed section

#### 1. はじめに

接着系あと施工アンカー(以下、接着系アンカー)は関連告示により、適用範囲が構造耐力上主要な部分である部材の接合部にまで拡大された<sup>[1]</sup>。今後高性能な接着系アンカーの需要と開発が見込まれるものの、引張荷重を受ける際の接着系アンカーの歪み分布を精度よく計測できる手法は確立していない。従来の終局引張試験では歪みゲージをアンカー筋に直接貼り付けて計測している<sup>[2]</sup>が、歪みゲージを貼り付けられる位置の制限や、鉄筋断面加工による断面欠損および歪みゲージ貼付に伴う鉄筋表面の付着性状の変化によって、一般の接着系アンカーとは異なる付着性能評価になる恐れがある。

そこで本研究では、載荷時において非破壊・非接触で歪み分布を連続的かついずれの位置でも評価できる中性子回折法を活用し、接着系アンカーを対象に、載荷時および除荷時の計測データから歪み分布を算出し、付着特性に関する分析を行う。

#### 2. 中性子応力測定法の概要

Figure 1, 2 に中性子応力測定法の概要を示す<sup>[3]</sup>。中性子応力測定法の原理は、中性子線や X 線が個々の原子に当たると散乱現象が発生し、式(1)のブラッグの回折条件式を満たすときに、散乱した中性子線が干渉しあい、回折現象が発生する。

$$2d\sin\theta=n\lambda \quad (1)$$

ここで、 $d$  : 格子面間隔(載荷時),  $\theta$  : 回折角,  $n$  : 回折次数,  $\lambda$  : 入射中性子線の波長とする。

試験体に対して載荷と除荷状態の回折角度を測定することで、回折角の変化量からひずみを計測することが可能である。除荷状態の回折角を  $\theta_0$ 、格子面間隔(除荷時)を  $d_0$  とすると、格子ひずみ  $\varepsilon$  は式(2)で表される。

$$\varepsilon = \frac{d-d_0}{d} = \frac{2\theta-2\theta_0}{2} \cot \frac{2\theta_0}{2} \quad (2)$$

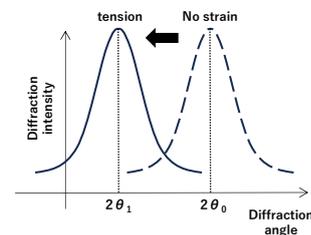


Figure 1. Change in diffraction

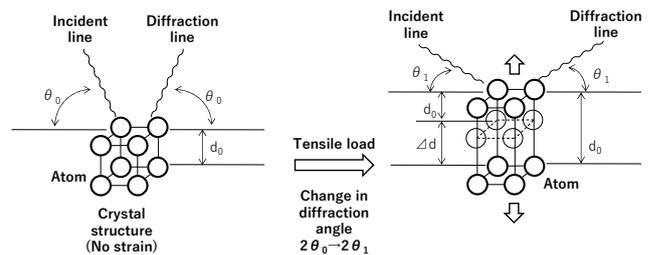


Figure 2. Change in lattice spacing

また、中性子の回折角はスリットにより波長を制御したビームを試料に照射し、試料中の結晶格子面で回折した中性子を、中性子検出器で測定する。

RESA により実際に得られる測定結果は、回折角およびピーク強度(中性子検出カウンタ数)の関係であり、この数値データにガウスフィッティングを行い、ピーク角度  $2\theta$  を得る。このピーク角度を回折角として定める<sup>[4]</sup>。

[2024105201]

### 3. 実験概要

Figure 3 に節形状概要を、Table 1 に試験体一覧および測定サイクルを、Figure 4 に試験体概要を、Figure 5 に加力装置概要を、Figure 6 に歪み測定を実施する試験体の中性子照射位置(青点: コンクリート外部の鉄筋, 赤点: コンクリート中鉄筋)を、Figure 7 に中性子の回折角度条件(110 面)における測定時の様子を示す。接着系アンカーではコンクリート厚と接着剤の両者による中性子吸収の影響があるため、先付け鉄筋に比べ、RESA による歪み計測時において精度のばらつきが発生する恐れがある。そのため本研究では、中性子吸収の影響を減らすために接着系アンカーの歪みを精度よく測定できる方法として、Figure 4 に緑色で示したアルミスリット(10×10mm と 20×10mm) を設け、コンクリート厚を意図的に低減した試験体を作製した。また、試験体形状において、アンカー筋は SBPR1080 の  $\phi 18$  の丸鋼に対し、節の外径が 13mm に加工したもの(Figure 4 参照)を用い、埋め込み長さは 65mm(アンカー径の約 5 倍)、節の幅は 1.0mm、コンクリートの圧縮強度は  $41.0\text{N/mm}^2$ 、節位置は自由端側、接着剤はエポキシとした。なお、コンクリートの割裂破壊を防止するためにアルミの拘束鋼管を用いた。また試験体中央部の穿孔は湿式で行い、その後試験体を恒温恒湿機にて 1 ヶ月間乾燥した上で鉄筋を施工した。また、Table 1 と Figure 3, 4 に示すように、No.3 は自由端側に節が 7 個、節ピッチ 7mm、節角度 45 度、穿孔径 16mm、節高さ 0.7mm、No.8 は自由端側に節

が 7 個、節ピッチ 7mm、節角度 45 度、穿孔径 20mm、節高さ 2.1mm である。Table 1 より、測定サイクルについて、No.3 は荷重状態(10kN)→荷重状態(20kN)→除荷状態(1kN)→荷重状態(40kN)→除荷状態(1kN)、No.8 は荷重状態(20kN)→除荷状態(1kN)→荷重状態(40kN)→除荷状態(1kN)の順に測定した。荷重装置は、Figure 5 に示すばね式荷重装置を用いて試験体に引張荷重を与えた。また、Figure 6 より、丸鋼部は 0mm~20.5mm、節部は 20.5mm~65mm の領域である。

### 4. 実験結果

#### 4.1. No.3の荷重の違いによる付着抵抗

Figure 8 に No.3(自由端側に節が 7 個、節ピッチ 7mm、節角度 45 度、穿孔径 16mm、節高さ 0.7mm)の歪み分布を示す。荷重荷重が 10kN の場合は、歪みがばらつきの範囲内にあるため、付着抵抗しているかの判別ができない。しかし、荷重荷重が 20kN および 40kN の場合は、節部における歪みが自由端側に向かって低下していることから、付着抵抗していることが分かる。よって、荷重荷重を 20kN 以上にする事で本試験体の付着抵抗の判別が可能である。

#### 4.2. No.3, No.8の節高さおよび穿孔径の違いによる付着抵抗

Figure 9 に No.8(自由端側に節が 7 個、節ピッチ 7mm、節角度 45 度、穿孔径 20mm、節高さ 2.1mm)の歪

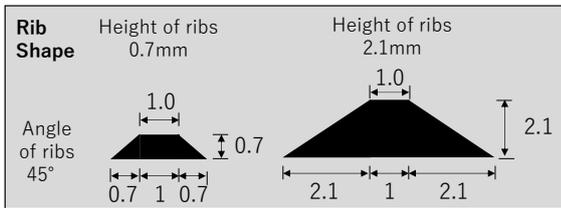


Figure 3. Rib shape

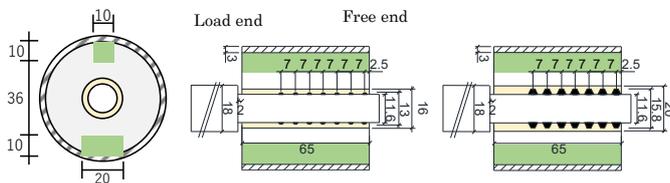


Figure 4. Specimen overview  
(Left: Section, Center: No.3, Right: No.8)

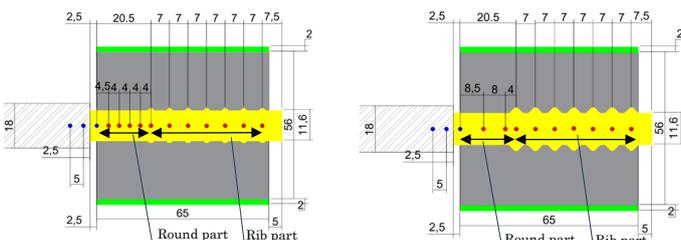


Figure 6. Position of neutron irradiation  
(Left: No.3, Right: No.8)

Table 1. Specimens and measurement cycles

specimen	Compressive strength of concrete $\sigma_B$ ( $\text{N/mm}^2$ )	Rebar type	Bond length (mm)	Position of ribs	Number of ribs	Pitch of ribs (mm)	Angle of ribs
No.3	41	SBPR1080	65	Free end	7	7	45°
No.8							
specimen	Hole diameter (mm)	Height of ribs (mm)	Measurement cycles				
No.3	16	0.7	(110 side) 10kN→20kN→1kN→40kN→1kN				
No.8	20	2.1	(110 side) 20kN→1kN→40kN→1kN				

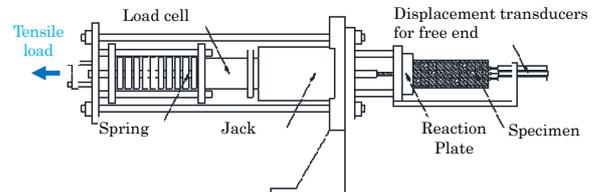


Figure 5. Loading equipment overview

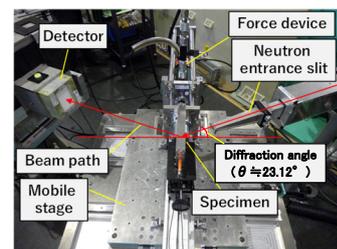


Figure 7. Neutron diffraction angle of RESA (110 side)

[2024105201]

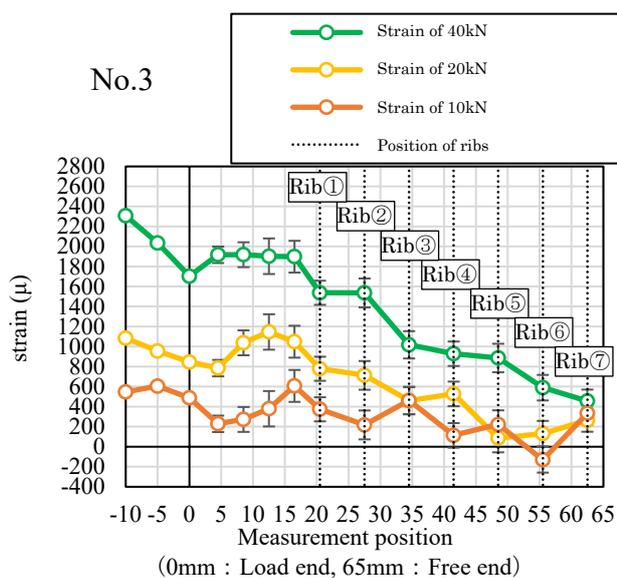


Figure 8. Strain distribution of No. 3

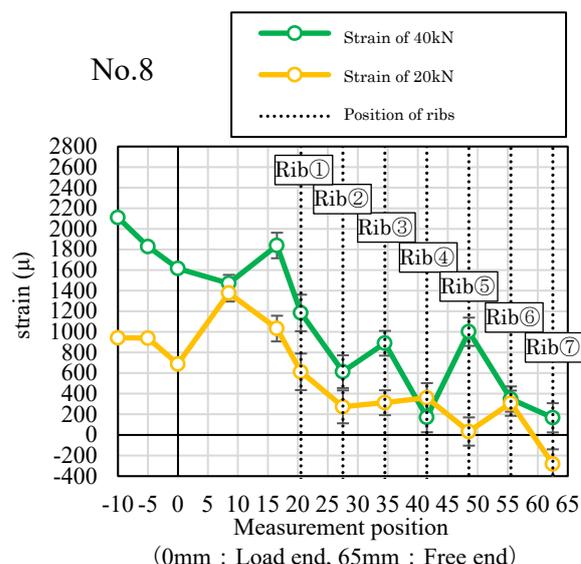


Figure 9. Strain distribution of No. 8

み分布を示す。No.3は、Figure 8の20,40kNに示すように、節部全体で付着抵抗していることが考えられるが、No.8は、Figure 9の20,40kNに示すように、節①および節②区間のみで歪みが低下し、節③以降はばらつきの範囲内にあることから、節①および節②のみで付着抵抗していることが考えられ、No.3との比較から、特に節高さの違いが大きく影響しているものと考えられる。

## 5. まとめ

RESA を用いて載荷時の接着系アンカーの歪み分布を計測した結果、載荷荷重を 20kN 以上にするこゝで本試験体の付着抵抗の判別が可能であることを確認した。また、No.3 は節部全体で付着抵抗しているものと考えられるが、No.8 は節①および節②区間のみで歪みが低下し、節③以降は歪みがばらつきの範囲内にあることから、節①および節②のみで付着抵抗しているものと考えられる。

## 参考文献

- [1] 一般財団法人日本建築防災協会:接着系あと施工アンカー強度指定申請ガイドライン p.1, 2022
- [2] 北条稔郎ほか:増し打ち補強梁のあと施工による主筋の定着性能確認実験, 日本建築学会技術報告集, pp.519-524, 2011.6
- [3] <https://www.rs.noda.tus.ac.jp/manabu/RESA/RESA.html>
- [4] 兼松学, 太田匠美, 鈴木裕士, 野口貴文:中性子回折法を用いたひび割れ近傍における鉄筋応力の非破壊測定手法の開発に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1853-1858, 2011

## 謝辞

本研究は、日本原子力研究開発機構・量子科学技術研究開発機構施設利用共同研究課題「節形状の異なるあと施工アンカーの歪み分布特性評価」、国立研究開発法人建築研究所研究課題「増改築規模に応じて改修された既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能評価技術の開発」の一環として実施しました。中性子実験は、JAEA の承認を得て JRR-3 に設置されている RESA にて行われました。関係各位に謝意を表します。