

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010年度

課題番号：20560522

研究課題名（和文）

既存鉄骨露出柱脚アンカーボルトの耐震性能向上に関する研究

研究課題名（英文）

A STUDY ON UPGRADING METHOD OF ANCHOR-BOLTS IN EXISTING EXPOSED-TYPE STEEL COLUMN BASES

研究代表者

松尾 彰（MATSUO AKIRA）

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90034412

研究成果の概要（和文）：

本研究では既存鉄骨露出柱脚アンカーボルトの補強方法を提案し、実験により以下の点を明らかにした。(1)補強によりアンカーボルトは耐力、伸び能力ともに向上した。(2)補強アンカーボルトの耐力や伸び性能の評価方法を提案した。これらは実験値を安全側に予測できる。(3)現場施工時の孔の偏心距離が2.5mm以下であれば、工場製作したものに遜色のない耐力や伸び性能を保有する。(4)高強度ボルト14Tおよび12Tを用いた補強により、一般の露出柱脚に要求される回転能力0.03rad（アンカーボルトひずみで0.03程度）を満足する補強設計が可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：

In this research upgrading method of existing anchor-bolt in the exposed-type column bases is proposed and following conclusions are obtained according to experimental studies. (1)Reinforced anchor-bolts show much upgraded performance in strength and deformation. (2)Evaluating method of strength and elongation of upgraded anchor-bolts are proposed, and these methods can estimate the experimental strength and elongation in the safe side. (3)Those anchor-bolts reinforced at the construction site have the strength and elongation as much as those reinforced in the factory, if the eccentricity of the hole is less than 2.5mm. (4)Reinforced anchor bolts have deformation capacity satisfying the rotation capacity 0.03rad demanded to exposed-type column bases, which is mostly equivalent to 0.03 strain of anchor-bolt.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：鉄骨構造，露出柱脚，アンカーボルト，長寿命化，変形能力

1. 研究開始当初の背景

1995年に発生した兵庫県南部地震の被害報告¹⁾によれば、鉄骨造露出柱脚のアンカー

ボルトねじ部での早期破断が原因で倒壊した建物が数多く見られた。これは、アンカーボルトが切削ねじにより断面積が軸部の約

75%に低下しており、また素材の降伏比に関する規定もなかったことから、アンカーボルトの軸部が降伏する前にねじ部で破断したためと推定される。これを期に、伸び能力のあるアンカーボルトとして、転造ねじおよび切削ねじアンカーボルトの規格が日本鋼構造協会において制定され、その後改正された²⁾。したがって、新耐震設計法(1981年)以前の建物は勿論、それ以後の設計による建物であっても、この規格制定以前に建てられたものでは伸び能力の低いアンカーボルトが使用されている可能性が高い。

しかし、このような既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトねじ部での早期破断を防止する耐震補強の提案はこれまで見当たらない。そこで筆者等は、このようなアンカーボルトのねじ部に高強度材を埋め込むことで、早期破断を防止し、塑性変形能力を向上させる補強方法を提案してきた³⁾(図3.1 アンカーボルト頭部と高強度ボルト間の隙間をゼロとしたもの)。しかし、補強に用いる高強度ボルトは降伏比が高く、伸びも小さいことから、アンカーボルトねじ部の長さが長くなるにつれて、最大耐力に到達する前にこのような高強度ボルトが早期破断することが危惧された。そのため、本研究ではそれを防止する方法としてアンカーボルトと高強度ボルトとの間に5mm程度の隙間を入れることにより(図3.1)、高強度ボルトの変形を緩和して、補強アンカーボルトの塑性変形能力を大きく改善する方法を提案し、色々な実験によりその有効性を確認するとともに補強設計の方法を示す。

2. 研究の目的

本研究では以下のことを明らかにすることを目的として研究を行った。

(1)現場でのアンカーボルト補強の可能性を明らかにする

(2)改良した補強アンカーボルト(工場製作)および現場施工を想定して補強したアンカーボルトの単純引張試験を行い、改良による伸び能力向上と現場施工試験体の伸び能力の確認を行う。また、提案した耐力や伸び能力評価式が有効であることを示す。

(3)補強アンカーボルトのせん断試験を行い、補強後のせん断耐力評価方法を示す。

(4)補強アンカーボルトを組み込んだ露出柱脚の実験を行い、引張試験と同等の耐力および塑性変形能力が得られること、提案した耐力や伸び能力評価式が有効であることを示す。

(5)アンカーボルトと高強度ボルトの補強の組合せを示し、それが耐震安全上必要とされる伸び能力(柱脚回転角で0.03rad、アンカーボルト軸ひずみで約3%)^{2,4)}を確保し得ることを示す。

3. 研究の方法

本研究では提案した補強方法(図3.1)の信頼性を確認するため、以下の実験などを行い、補強設計法の提案を行った。

(1)図3.2に示す種々のアンカーボルト孔をあけたH形鋼柱脚にアンカーボルトを固定して、現場を想定した補強施工を行いその可能性を確認する。

(2)工場内の旋盤を使って製作した補強試験体(37体)及び現場を想定して補強した試験体(13体)を用いて、図3.3に示すような引張試験を行う。その一部は柱脚ベースプレートの回転を想定して、ベースプレートを傾けて引張試験を行った。図は傾けたベースプレートの例である。

(3)補強したアンカーボルトの幾つかの断面に対するせん断耐力を明らかにするため図3.4の方法でせん断試験(19体)を行う。

(4)実際の柱脚での補強効果を確認するため、補強アンカーボルトを組み込んだ露出柱脚の載荷試験(図3.5)を行う。

(5)これらの実験より提案した補強アンカーボルトの耐力や伸び性能は安全側に予測可能であることを確認し、それを補強設計に応用する。

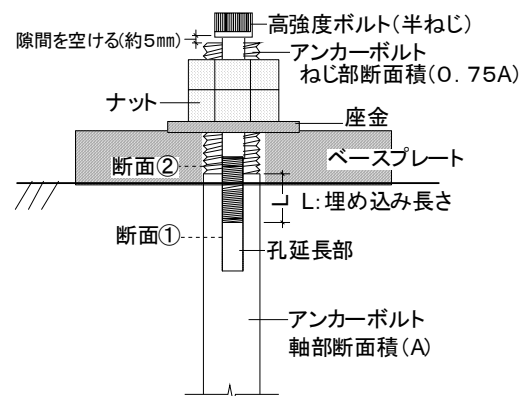


図 3.1 補強の方法

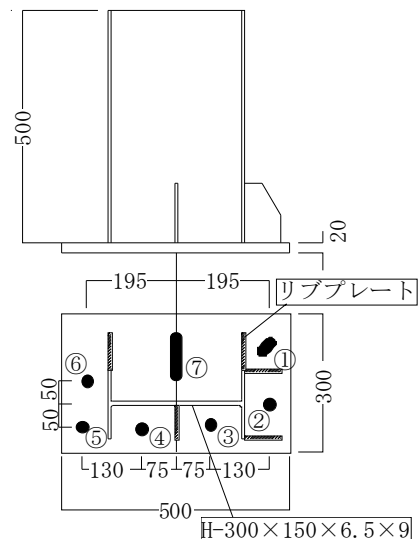


図 3.2 柱型モデル

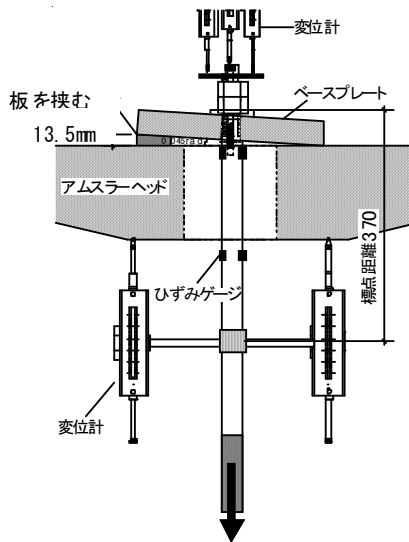


図 3.3 実験・変形計測方法

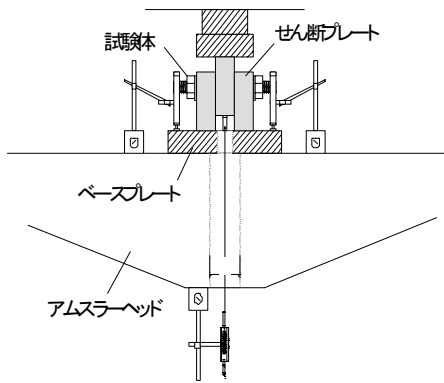


図 3.4 せん断試験の方法と変位測定位置

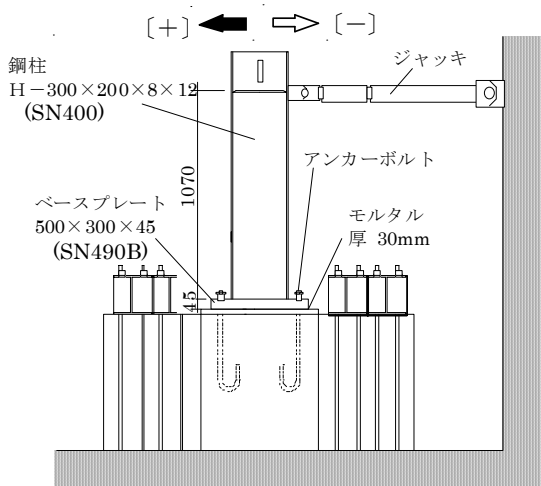


図 3.5 露出柱脚載荷試験載荷方法

4. 研究成果

これまでアンカーボルトの変形能力を向上させる直接的な方法は提案されていない。例えば、柱脚のコンクリートを増し打ちしてアンカーボルト本数を増やしたり、根巻き柱脚に変更したりするのが多いと思われる。本研究のようなアンカーボルトを直接現場で補強する方法は手軽で費用もあまりかからず、中低層建物の露出柱脚の耐震補強に活用され得るものであると考える。本研究ではそれを実現するための性能の確認、施工の可能性、補強設計の方法などを検討したものであり、得られた成果を以下に示す。

(1)現場を想定した補強は十分可能である。孔あけは120mm程度の長孔となるので、当初試行錯誤の段階では孔先端で4mm以上の偏心を起こしたが、ドリルの設置方法を工夫することにより、偏心を2.5mm以内とすることが可能となった。

(2)アンカーボルト単体の引張試験によれば、アンカーボルト頭部と高強度ボルトの間に5mmの隙間を入れた改良型とすることにより、隙間をゼロとした従来型に比べて伸び能力がかなり向上した(図4.1)。また、ベースプレートの回転を想定し載荷用のベースプレートを柱脚に必要なとされる回転量の1.5倍($0.03 \times 1.5 = 0.045 \text{rad}$)傾斜をさせた偏心曲げ引張試験(図4.1偏心)によっても、偏心なし(図4.1改良型)に比べて差は見られなかった。

(3)現場施工を想定して補強した試験体の引張試験によれば、工場で旋盤を使用して製作した試験体と現場で補強した試験体では、注意して施工すれば、耐力や伸び能力に差は見られなかった(図4.2)。

(4)現場施工を想定して補強する際、孔先端の偏心量が4mmを越えると、耐力、伸び能力ともに低下する(図4.3で(2))が、2.5mm以下であればそれらの低下はないと考えられる(図4.3で(2)以外)。

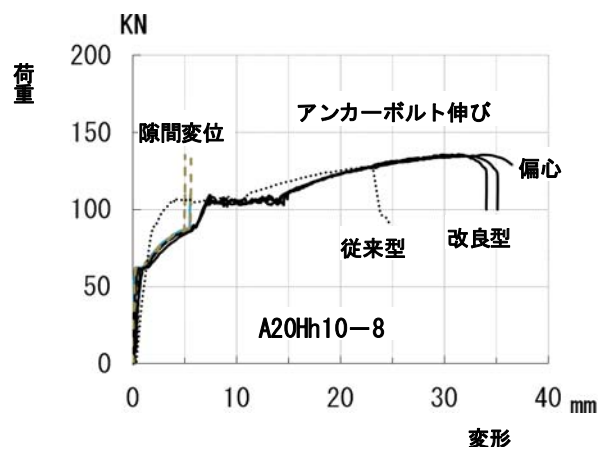


図 4.1 荷重—変形関係

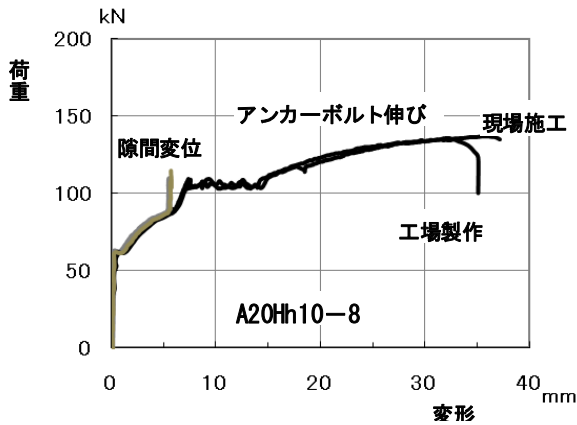


図 4.2 荷重-変形関係 (工場製作と現場施工)

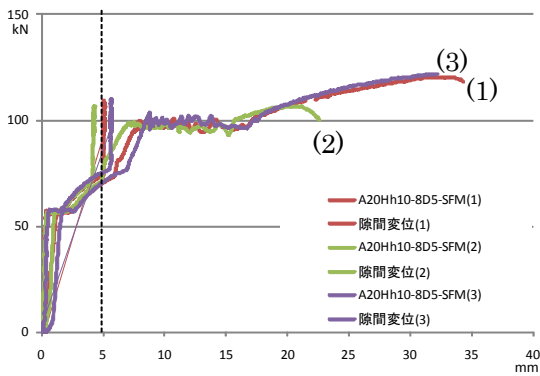


図 4.3 荷重-変形関係 (現場施工)

(5) 補強したアンカーボルトのせん断試験により、提案した補強アンカーボルトの耐力評価式は有効であることが知られた。また、補強する前に比べて補強によりせん断耐力は増加することが知られたので、補強設計には補強前の耐力を使用しても良い。

(6) 補強したアンカーボルトを組み込んだ露出柱脚の載荷試験により、露出柱脚の状態でも、懸念された高強度ボルトの早期脆性的破壊は生ぜず、大変形域まで載荷することができた (図 4.4)。また、アンカーボルトは単体の引張試験結果と同様な性状を示した (図 4.5)。

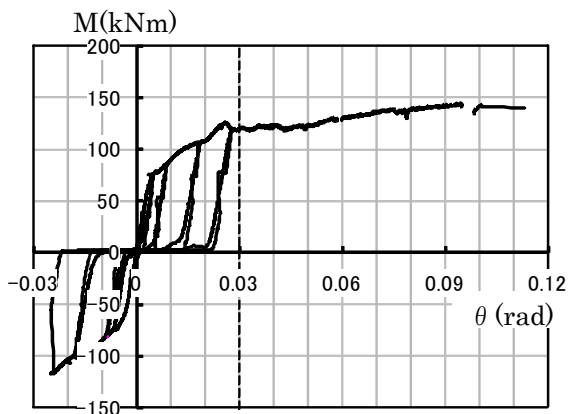


図 4.4 柱脚のM-θ関係

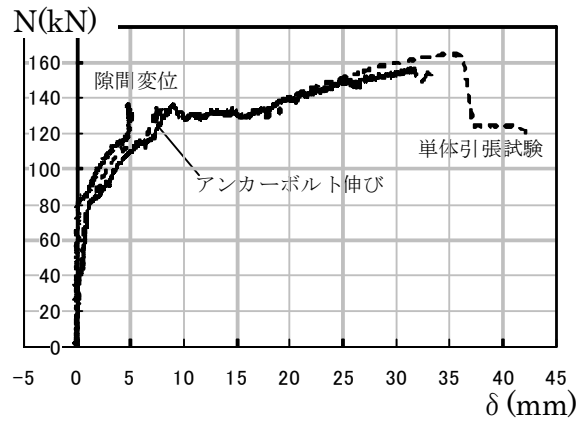


図 4.5 引張側アンカーボルトの軸力-伸び関係

(7) アンカーボルトの耐力や伸び性能を以下のように提案した。

図 3.1 に示す断面①または断面②で破断する際の最大耐力を、アンカーボルト軸部降伏応力に対する倍率 α を用いて表す。

$$\text{断面①で破断する場合：} \quad \alpha = (1 - \beta^2) / YR \quad (1)$$

$$\text{断面②で破断する場合：} \quad \alpha = [\beta^2 \cdot (0.74 \cdot \sigma_u' / \sigma_u - 1) + 0.75] / YR \quad (2)$$

ここで、 $\beta = r/R$ 、 r, R : 高強度ボルトとアンカーボルトの軸部径、 YR : アンカーボルトの降伏比、 σ_y 、 σ_u : アンカーボルトの降伏点と引張強さ、 σ_u' : 高強度ボルトの引張強さである。

次に、アンカーボルトの最終的な伸び量を以下の式で表す。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \quad (3)$$

ここで、 δ_1 : アンカーボルトねじ部の伸び量で安全側としてアンカーボルト頭部の隙間(5mm)とする。 δ_2 : 孔延長部の変形量で、断面①で破断する場合は、素材試験の一樣伸び(20%)と仮定する。 δ_3 : アンカーボルト軸部の伸び量で、(1)(2)式の小さい方の α より軸部応力: $\sigma = \alpha \cdot \sigma_y$ を求め、アンカーボルトの $\sigma - \epsilon$ 関係より、その応力に対応するひずみを求め (図 4.6)、そのひずみに軸部長さを乗じて求める。

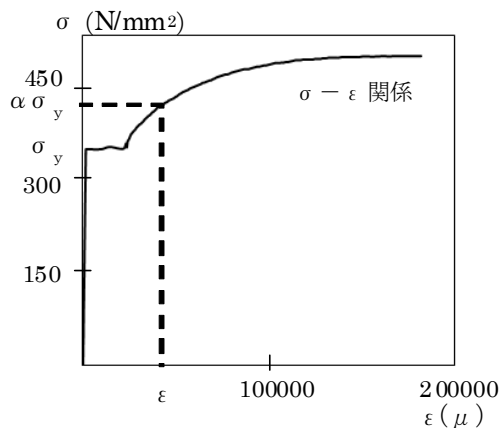


図 4.6 $\alpha \cdot \sigma_y$ に対応するひずみ

これらの耐力および伸び能力の実験値と計算値の一部を比較して表 4.1 (アンカーボルト単体の引張試験) および表 4.2 (露出柱脚脚載荷試験と単体の引張試験) に示す。表 4.1 よりアンカーボルト単体引張試験では計算値は実験値を安全側に評価できることを確認した。また、表 4.2 ではいずれの実験も破断面が予測と異なっていたので、計算値は①と②の両方を示した。柱脚実験ではアンカーボルト単体の耐力や伸びに比べるとやや小さめであるが、耐力と伸び能力は計算値でほぼ予測可能であることがわかる。破断面が実験と予測で異なったのは、①と②の耐力差が3%と僅かであったことによると思われる。また、露出柱脚の耐力や伸び能力がアンカーボルト単体に比べてやや小さめであったのは、ベースプレートの回転角が実験終了時で0.09radと想定の上であったことなどが理由として考えられる。

表 4.1 耐力と伸び能力 (単体の引張試験)

試験体		実験値		計算値		実験/計算	
		α	破断面 伸び (mm)	α	破断面 伸び (mm)	α	伸び
A20Hh10 -8D15	1	1.31	① 31.3	1.20	① 21.2	1.10	1.48
	2	1.30	① 32.7	1.20	① 21.2	1.09	1.54
	偏心	1.30	① 34.2	1.20	① 21.2	1.09	1.61
	現場	1.31	① 36.0	1.20	① 21.2	1.10	1.70
	従来型	1.24	② 22.9	1.20	① 15.2	1.03	1.51
A24Hh10 -8D15	1	1.28	② 29.1	1.23	② 21.7	1.04	1.34
	2	1.28	② 29.8	1.23	② 21.7	1.04	1.37
	偏心	1.32	② 30.3	1.23	② 21.7	1.07	1.42
	従来型	1.19	② 20.1	1.23	② 16.2	0.97	1.24

表 4.2 耐力と伸び能力 (露出柱脚・単体実験)

計算値			柱脚実験値			アンカーボルト 引張試験		
破断面	α	伸び (mm)	破断面	α	伸び (mm)	破断面	α	伸び (mm)
①	1.258	32.1	②	1.250	32.4	②	1.265	36.3
②	1.288	34.3						

(8) アンカーボルトの補強設計の方法を示した。まず、設計条件式として、高強度ボルト 14T の場合 $\alpha \cdot YR \geq 0.84$, $YR \leq 84\%$ および 12T の場合 $\alpha \cdot YR \geq 0.83$, $YR \leq 83\%$ を提示した。そして、アンカーボルト (旧 SR24) の強度のばらつきを考慮し 20~30φ 全てに対し両ボルト径比 β に対して、 $0.4 \geq \beta \geq 0.33$ となる補強の組合せを得ることは 95% 以上の確率で可能であることを示した (表 4.3, 4.4)。

表 4.3 $\alpha \cdot YR \geq 0.84$ の確率 (14T, 旧 SR24)

β	$YR \leq 0.84$		$YR > 0.84$
	$\alpha \cdot YR \geq 0.84$	$\alpha \cdot YR < 0.84$	
0.27	0.6609	0.3372	0.0019
0.3	0.9692	0.0289	
0.33	0.9975	0.0007	
0.36	0.9981	0.0000	
0.4	0.9981	0.0000	

表 4.4 $\alpha \cdot YR \geq 0.83$ の確率 (12T, 旧 SR24)

β	$YR \leq 0.83$		$YR > 0.83$
	$\alpha \cdot YR \geq 0.83$	$\alpha \cdot YR < 0.83$	
0.27	0.2536	0.7432	0.0032
0.3	0.7252	0.2718	
0.33	0.9531	0.0437	
0.36	0.9936	0.0032	
0.4	0.9967	0.0001	

(9) これまでに提案した耐力 (1) (2) 式や伸び能力 (3) 式 (全伸び = 軸部の伸び + ねじ部伸び 5mm と単純化) と収集した 129 の応力-ひずみ関係データを利用して、 $\alpha \cdot YR = 0.84$, (高強度ボルト 14T のとき) と $\alpha \cdot YR = 0.83$, (高強度ボルト 12T のとき) に対して、ねじ部が破断するまでにアンカーボルト全体で平均的にどの程度の伸びを期待できるかを計算した。その手順は、与えられた応力-ひずみ関係において降伏比 YR を求め、 $\alpha \cdot YR = 0.84$, ($\alpha \cdot YR = 0.83$) から α を求め、図 4.6 の要領でその時の軸部ひずみを求める。その結果を図 4.7 および 4.8 に示す。実際にはこれにねじ部の伸び 5mm 分 (換算ひずみで約 0.01 程度) を加えることができる。耐震安全上アンカーボルトに必要なとされるひずみは 0.03 程度と想定することができる^{2,4)}。これに対して、 $\alpha \cdot YR = 0.84$ のとき (図 4.7), 全体の 97% は平均ひずみで 0.04 (軸ひずみ 0.03 + ねじ部伸び換算ひずみ 0.01) を上回り、最悪でも 0.03 は確保できる。また、 $\alpha \cdot YR = 0.83$ のとき (図 4.8), 全体の 95% は平均ひずみで 0.04 (軸ひずみ 0.03 + ねじ部伸び換算ひずみ 0.01) を上回り、99% は平均ひずみで 0.03 を確保できる。従って、市販されている 12T 相当の高強度ボルトを用いても十分に補強は可能である。

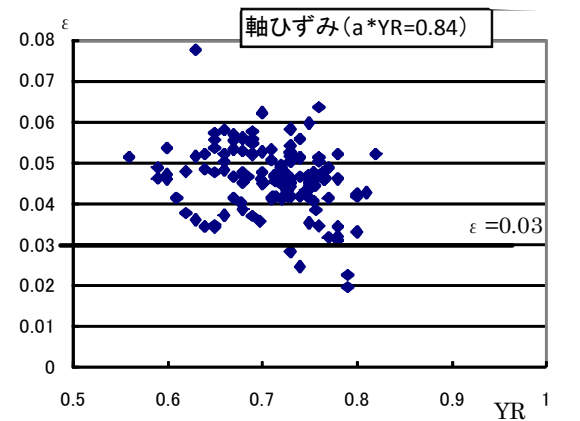


図 4.7 $\alpha \cdot YR = 0.84$ に対応する軸ひずみ

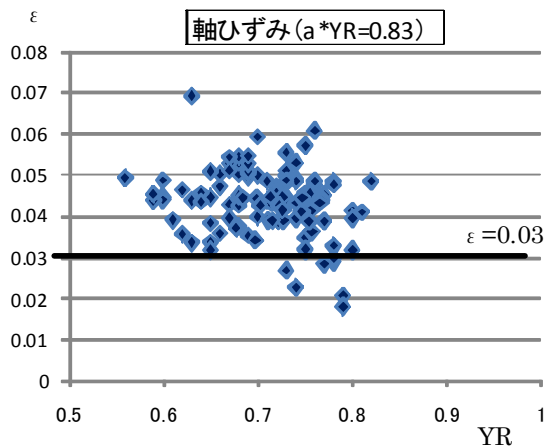


図 4.8 $\alpha \cdot YR=0.83$ に対応する軸ひずみ

参考文献

- 1) 日本建築学会近畿支部鉄骨構造部会：1995年兵庫県南部地震鉄骨造建物被害調査報告書，1995.5
- 2) 日本鋼構造協会規格：建築構造用切削ねじアンカーボルト・ナット・座金のセット，JSS II14-2004
- 3) 村上，土井，松尾他：既存鉄骨露出柱脚アンカーボルトの塑性変形能力改善に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第621号，pp.163-168，2007.11
- 4) 長谷川隆：露出柱脚を有する鉄骨構造骨組の地震時応答性状，構造工学論文集，Vol.46B，pp657-665，2000.3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件：査読有り)

- 1) 松尾 彰他5名：既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの耐震補強に関する研究，鋼構造論文集，第68号，pp149-153，2010.12
- 2) 加藤巨邦，松尾 彰他4名：“改良型補強アンカーボルトの引張試験・せん断試験—既存鉄骨露出柱脚アンカーボルトの塑性変形能力改善に関する研究 その2—”，日本建築学会構造系論文集，第75巻，第655号，pp1709-1716，2010.9
- 3) 松尾 彰他4名：“既存鉄骨露出柱脚アンカーボルトの補強設計”，鋼構造年次論文報告集，第17巻，pp.207-210，2009.11

〔学会発表〕(計9件)

- 1) 藤村 幸，松尾 彰他6名：“既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの耐震補強に関する研究 その7”，日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 III、pp.837-838、2010.9.9 (富山)
- 2) 田窪恭平，松尾 彰他6名：“既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの耐震補強に関する研究 その8”，日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 III、pp.837-838、2010.9.9 (富山)

る研究 その8，日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 III、pp.837-838、2010.9.9 (富山)

3) 松尾 彰，藤村 幸他5名：既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの塑性変形能力向上に関する研究 その8，日本建築学会中国支部研究報告集 第33巻，論文 NO.252，2010.3.7 (東広島) (CD-ROM)

4) 藤村 幸，松尾 彰他5名：既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの塑性変形能力向上に関する研究 その7，日本建築学会中国支部研究報告集 第33巻，論文 NO.251，2010.3.7 (東広島) (CD-ROM)

5) 藤村 幸，加藤巨邦，松尾 彰他3名：“既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの耐震補強に関する研究 その6”，日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 III、pp.921-922、2009.8.27 (仙台)

6) 山本圭介，松尾 彰他4名：既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの塑性変形能力向上に関する研究 その6，日本建築学会中国支部研究報告集 第32巻，論文 NO.243，2009.3.9 (呉) (CD-ROM)

7) 山本圭介，松尾 彰他4名：既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの塑性変形能力向上に関する研究 その5，日本建築学会中国支部研究報告集 第32巻，論文 NO.242，2009.3.9 (呉) (CD-ROM)

8) 山本圭介，村上幸，松尾 彰他4名：既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの塑性変形能力向上に関する研究，その5，日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 III、pp.1083-1084、2008.9.20 (東広島)

9) 村上幸，山本圭介，松尾 彰他4名：既存鉄骨造露出柱脚アンカーボルトの塑性変形能力向上に関する研究，その4，日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 III、pp.1081-1082、2008.9.20 (東広島)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾 彰 (MATSUO AKIRA)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90034412

(2) 研究分担者

()

(3) 連携研究者

澤田樹一郎 (SAWADA KIICHIRO)

鹿児島大学大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：90284166