

# 論文 特殊定着金物を用いたネジフシ鉄筋の引抜実験および解析

加藤友康\*<sup>1</sup>・宮下丘\*<sup>2</sup>・別所佐登志\*<sup>3</sup>

要旨：柱・梁接合部等の過密配筋の合理化を狙いとしてネジフシ鉄筋に特殊定着金物を用いた定着法を考案し、この定着法による定着機構の基本性状を解明するためコンクリートからの引抜実験とその解析を行った。実験は鋼管で拘束したコンクリートからネジフシ鉄筋を引抜く加力を行い、コンクリート強度、定着金物及び拘束の有無等を要因とした。また、解析は実験の代表試験体についてFEM非線形プログラムを用いて行った。

その結果、本定着法に関してひび割れ状況、コンクリート内の応力の流れ及び付着応力分布等の性状を確認し、引抜力に対し鉄筋の付着及び定着金物のプレート部とナット頭部で抵抗する等の基礎的な定着機構を把握した。

キーワード：機械式定着、ネジフシ鉄筋、柱・梁接合部、付着、定着、FEM解析

## 1. はじめに

近年、ネジフシ鉄筋の普及で鉄筋と定着プレートの緊結がナットを用いることで容易となり、柱・梁接合部内等の配筋が過密となる時に、これらを用いた主筋の機械式定着法の採用が望まれている。さらに実用化のため、柱・梁接合部等を対象として各種定着実験研究が行われている<sup>1) 2) 他</sup>。この定着法における課題は、主筋定着設計法の確立と緩み止めのためのナット締め等の施工改善である。

そこで、筆者等は図-1に示すネジフシ鉄筋に特殊定着金物（以後本金物と呼ぶ）を用いた定着法を考案し、その定着性状を確認するためこれを用いた鉄筋の基礎的な引抜実験<sup>3)</sup>及び外柱・梁接合部モデル実験<sup>4)</sup>を行った。ここでは本金物近傍の定着機構の基本性状を解明するため、引抜実験<sup>3)</sup>の代表的な試験体を選定しFEM解析を行ったので、この実験及び解析結果概要を報告する。

なお、本定着金物の形状は定着版の直径 $R$ を鉄筋最小間隔とする鉄筋径の2.5倍とし、本金物の引抜耐力は鉄筋規格降伏点の1.2倍を保証するものとした。鉄筋の強度はSD490以下を使用する。施工は鉄筋を本金物に挿入の後、本金物の定着板側からグラウト材を注入しそれが硬化して緊結する方法としたものである。本金物の材質と規格及びグラウト材の品質等は文献<sup>3)</sup>に示した。

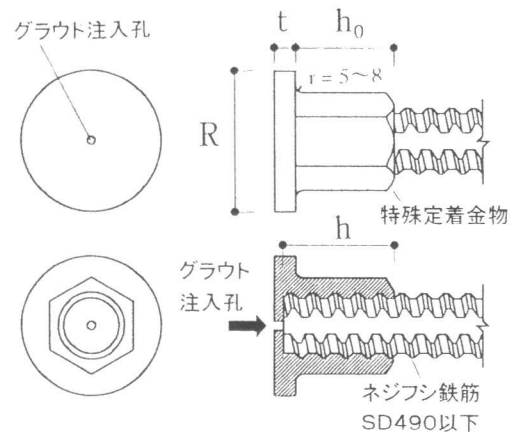
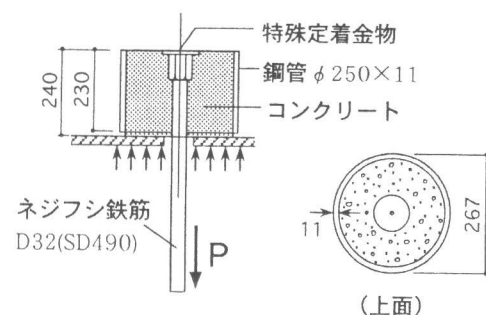


図-1 特殊定着金物とネジフシ鉄筋



D32金物寸法： $R=80$ ,  $h_0=60$ ,  $t=10$

図-2 試験体の形状

\* 1 鹿島建設（株）技術研究所主管研究員、工修（正会員）

\* 2 鹿島建設（株）情報システム部担当部長、工博（正会員）

\* 3 鹿島建設（株）技術研究所専門部長（正会員）

## 2. 引抜実験<sup>3)</sup>の概要

本実験の目的は本定着金物のコンクリートからの抜出し及び破壊性状を確認することである。なお、ここでは、代表的な試験体の結果のみ扱う。

### (1) 試験体と加力方法

試験体は、柱梁接合部内の拘束状態が非常に大きい場合と無い場合等を想定しA～Dシリーズ<sup>3)</sup>の4種類とした。A, B, Cでは、鋼管(STPG370材、 $\phi 250 \times 11$ )に本金物と鉄筋(D32)を配筋してコンクリートを充填したもので、Aは標準試験体で特殊定着金物と鉄筋を埋込み、BはAに対して鉄筋の付着を無くし、Cは鉄筋の付着性状の確認のため鉄筋のみとした。また、Dはコンクリートの破壊性状の検討のため鋼管の拘束を無くしたものである。またB, Cでは要因としてコンクリート強度( $F_c=36, 60\text{MPa}$ )を変えた。定着金物の寸法と試験体の形状を図-2、試験体の一覧を表-1に使用材料の力学的性質を表-2に示す。また、加力はアムスラー型万能試験機を用いて行った。

### (2) 実験結果

#### a. 破壊状況(表-3, 図-3)

実験結果の一覧を表-3に示す。破壊形式は、AのNO.11では鉄筋破断(RT)、BのNO.5, NO.14はそれぞれ鉄筋破断(RT)、鉄筋のネジ山破壊(RN)であった。Cは全て鉄筋がコンクリートから抜出す破壊(CB)、DのNO.12はコンクリートの割裂破壊(CK)で本金物周りにはくさび状にコンクリートが残留した。コンクリートの破壊は図-3に示すように、いずれも鉄筋の中心を通る割裂ひび割れを生じた。

#### b. 引抜力Pと鉄筋の抜出し量の関係(図-4)

鋼管を基点として測定した鉄筋降伏時の抜出し量は、鉄筋のみのC・NO.15では鉄筋降伏前に抜出し変形が増大するが、以後の耐力低下は鋼管の拘束があるため殆ど無い。一方、標準試験体のA・NO.11では鉄筋降伏時で0.05mm、B・NO.5で0.18mm程度で小さく、最大耐力まで急激な変化は無かった。また、無拘束のD・NO.12の抜出し量は、急激な破壊のため測定されなかった。なお、Cシリーズは鉄筋の最大付着応力 $\tau_u$ を表-3に併記した。最大付着応力 $\tau_u$ は、コンクリート強度 $\sigma_b$ が35.1MPa(FC36)と55.0MP

表-1 試験体の一覧

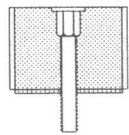
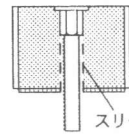
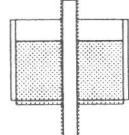
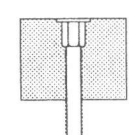
| シリーズ | A                                                                                   | B                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 形状   |  |  |
| FC60 | NO.11                                                                               | NO.5                                                                                |
| FC36 | —                                                                                   | NO.14                                                                               |
| シリーズ | C                                                                                   | D                                                                                   |
| 形状   |  |  |
| FC60 | NO.15,16                                                                            | NO.12                                                                               |
| FC36 | NO.17,18                                                                            | —                                                                                   |

表-2 使用材料の力学的性質

| コンクリート<br>試験体 | 圧縮強度<br>$\sigma_b$<br>MPa | 割裂強度<br>$\sigma_t$<br>MPa | ヤング係数<br>$E_{1/3}$<br>$\times 10^4 \text{ MPa}$ |
|---------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|
| FC60          | 55.0                      | 3.58                      | 3.25                                            |
| FC36          | 35.1                      | 3.04                      | 2.63                                            |

| 鉄筋          | 降伏点<br>$\sigma_y$ (MPa) | 引張強度<br>$\sigma_u$ (MPa) | $\sigma_y/\sigma_u$ | 伸び<br>(%) |
|-------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-----------|
| D32 (SD490) | 494                     | 676                      | 0.73                | 16        |

表-3 実験結果の一覧

|   | No. | 最大耐力<br>$P_u$ (kN) | $P_u/P_y$ | $\tau_u$ <sup>2)</sup><br>MPa | 破壊<br>形式 |
|---|-----|--------------------|-----------|-------------------------------|----------|
| A | 11  | 537                | 1.37      | —                             | RT       |
| B | 5   | 536                | 1.37      | —                             |          |
|   | 14  | 492                | 1.26      | —                             | RN       |
| C | 15  | 367                | 0.94      | 22.8                          |          |
|   | 16  | 345                | 0.88      | 21.6                          | CB       |
|   | 17  | 178                | 0.46      | 11.2                          |          |
|   | 18  | 205                | 0.52      | 12.7                          | CK       |
| D | 12  | 357                | 0.91      | —                             |          |

注 1)  $P_y$ : 鉄筋の降伏耐力 (392kN)

2)  $\tau_u = P_u / (\phi \cdot \ell)$

ここで、 $P_u$ : 最大耐力、 $\phi$ : 鉄筋の周長  
 $\ell$ : 鉄筋付着長さ (16cm)

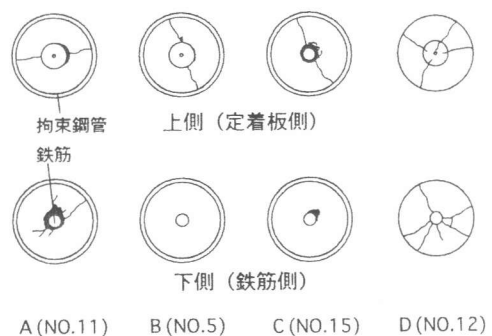
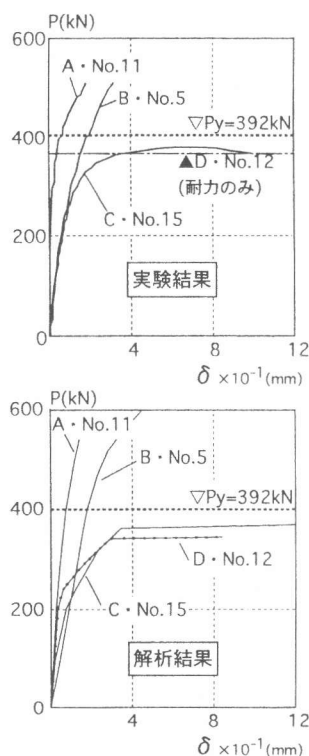
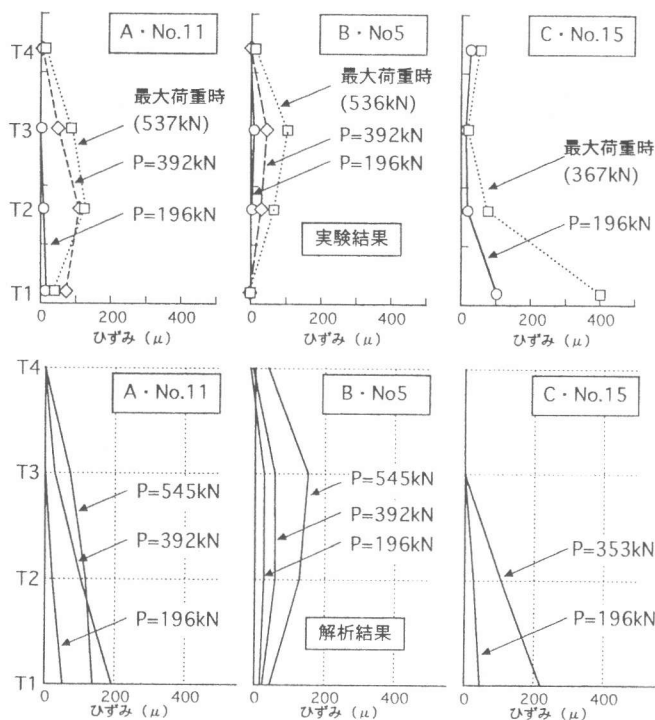
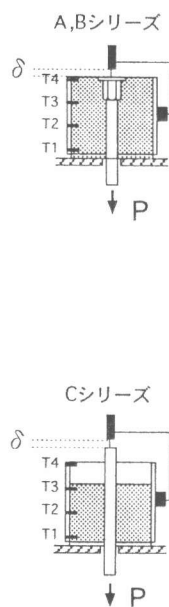


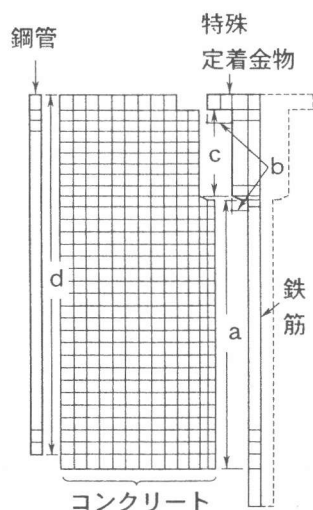
図-3 コンクリートの破壊状況



図－４ 引抜き力と拔出し量の関係



図－５ 鋼管のひずみ分布



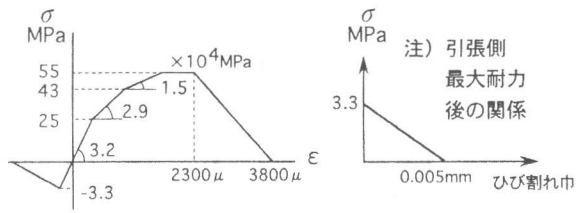
図－６ 解析モデル

### 3. 解析

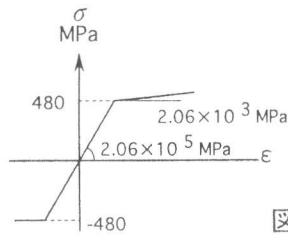
本解析の目的は、本定着機構を把握するため引抜実験結果をシュミレーションし金物周りの応力状態を推察すると共に、今後の柱・梁接合部解析のための資料を蓄積することである。

#### (1) 解析条件

引抜実験のA～Dシリーズに対し、軸対称のFEM 非線形解析プログラムを用いて解析を行った。軸対称の解析モデルを図－６に示す。コンクリート、鉄筋、定着金物および鋼管のモデル化は、鉄筋とコンクリートが接触するa部は付着を通し結びつけ、b部は定着金物とコンクリートの垂直面が剛結され、c部は定着金物とコンクリートの付着は無いものとし、円周方向は剛結した。又、d部のコンクリートと鋼管はa部と同じ性状の付着で結びつけ、円周方向は剛結した。解析に用いたコンクリート、鉄筋及び鋼管の材料性能と付着応力とすべり ( $\tau-s$ ) の関係は実験結果を参考に図－７，８に示すように仮定した。一般に、 $\tau-s$  関係はあるすべり量以後は耐力低



〔高強度コンクリート(FC60)〕



〔鉄筋〕

注) 本解析ではFC60のみ記述、鋼管は $E=2.06 \times 10^5$  MPaとして弾性。

図-7 材料特性

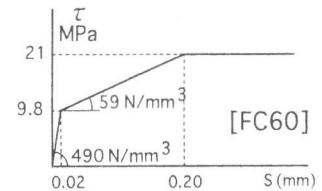
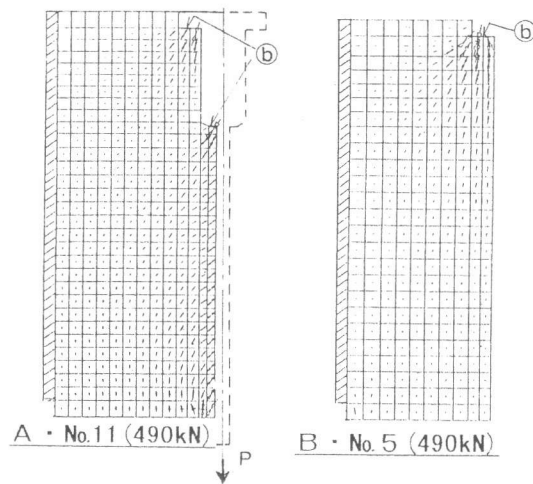


図-8 付着応力-すべり (τ-S) 関係



注) B・No.5のa部 (図-6) は 付着なしを考慮

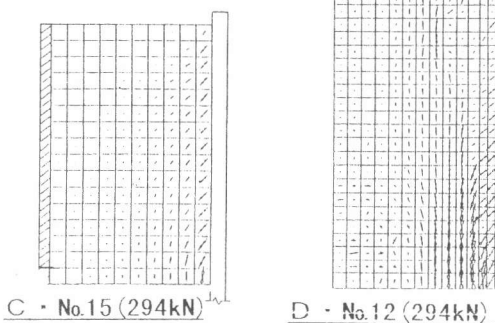


図-9 主応力分布 (面内方向)

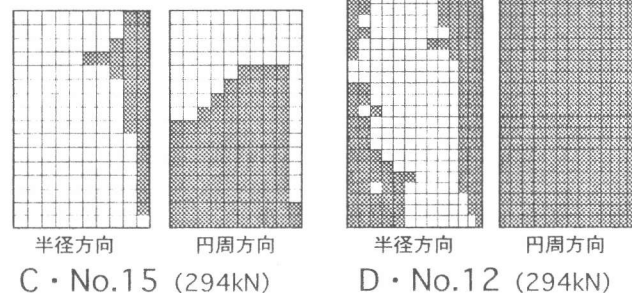
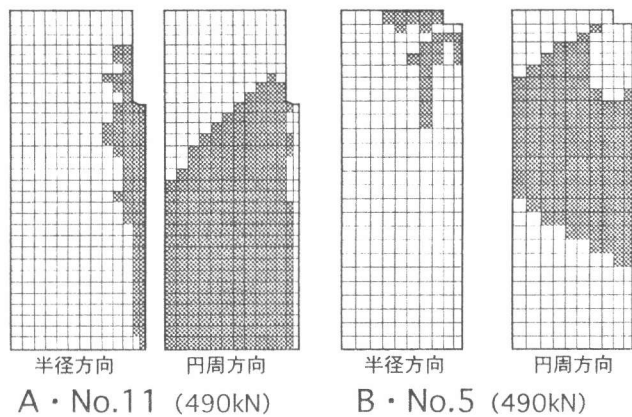


図-10 ひび割れ図

下が認められるが、今回は周辺が鋼管で拘束されているため、耐力低下のない関係とする。

コンクリートの降伏条件はDrucker-Pragerの(1)式<sup>6)</sup>を用いた。ここで(1)式 $\alpha$ の値は3次元応力状態のため、比較的大きな0.3の値を用いた。ただし、D・No.12のモデルは周辺に鋼管が無い場合 $\alpha$ の値は0.01とする。また、ひび割れ発生に伴う圧縮強度の低下は、コリンズ等の式<sup>7)</sup>に従う。そして、2方向のひび割れが発生すると(2)に示す $1/\beta_1 \times 1/\beta_2$ で強度を低下させる。

$$f = \alpha (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_3 \sigma_1} \quad (1)$$

$$\beta_{1,2} = 0.8 + 0.34 \cdot \varepsilon_{1,2} / \varepsilon_y \quad \text{ただし、} \varepsilon_1, \varepsilon_2 \text{ は主歪、} 1/\beta_{1,2} \geq 0.7 \quad (2)$$

## (2) 解析結果

### a. 主応力分布 (図-9, 半径方向, NO. 11, 5, 15, 12:FC60)

A・NO. 11 の主応力分布は、引抜き力Pを鉄筋周りの付着及び定着金物の凸部のb面で力を負担している事を示す。これは引抜き力が鉄筋降伏前も同様であった。次に、B・NO. 5は鉄筋の付着が無いため引抜き力を定着金物で全て負担するモデルであり、主応力は金物より拘束鋼管へ向けて流れている。一方、C・NO. 15 は定着金物が無いため、引抜き力は鉄筋よりコンクリートへ伝達されるモデルであり、主応力は鉄筋近傍が大きく、鉄筋から離れるとともに小さくなる。又、引抜き力の働く作用点の鉄筋周りほど応力が大きい。D・NO. 12 拘束鋼管が無いモデルであり、200kN 位までA・NO. 11 と応力分布は良く類似していた。しかし、最大耐力時は金物まわりのコンクリートが圧縮強度に非常に近い値となり、拔出し変形が急増した(図-4 解析結果参照)。

### b. ひび割れ図 (図-10, 半径及び円周方向, NO. 11, 5, 15, 12:FC60)

半径方向のひび割れは、上記の主応力分布と対応し、A・NO. 11 では鉄筋周りに発生し、引抜き力が増大しても周辺の拘束鋼管のため余り成長していない。B・NO. 5では定着板の周りより発生し、 $1.25\sigma_y$  時でもひび割れ領域はそれほど拡大しない。C・NO. 15 では鉄筋周りから発生し、外力の増大と共に加力点より遠い方でひび割れ領域が拡大した。D・NO. 12 では、294kN で鉄筋の周辺及び半径方向の外周にひび割れが発生した。

円周方向のひび割れは、A・NO. 11 では、加力点近傍より発生し、荷重の増大とともに金物の方へ進展し、最大荷重時では金物近傍にもひび割れが発生した。B・NO. 5では、中央部の鉄筋近傍より発生し、外力の増大につれて倣物線状に広がった。C・NO. 15 では、加力点近傍から楔状に拡大した。D・NO. 12 では、最大耐力の近脇でほぼ全域にわたってひび割れが発生した。

### c. 引抜き量と定着板の拔出量の関係 (図-4, NO. 11, 5, 15, 12:FC60)

定着板の拔出量は図-4に実験値と併記して示した。いずれの試験体でも解析値と実験値は比較的良い一致を示す。D・NO. 12 とC・NO. 15 は耐力も実験値と解析値は良く一致し、仮定した $\tau$ - $s$ の関係やコンクリートの降伏条件式の $\alpha$ の値が適切であったと考えられる。

### d. 鋼管の歪み分布 (図-5, NO. 11, 5, 15, 12 : FC60)

鋼管の歪み分布は解析値と実験値は比較的良い一致を示している。特にA・No. 11の試験体は最大荷重時T<sub>1</sub> ポイントのひずみが減少するが、解析でもこの現象が捉えられた。また図-10に示すB・NO. 5の円周方向のひび割れ状況と鋼管の倣物線状の歪み分布は対応しており、鉄筋降伏後の定着は、定着金物の周辺に応力が集中していく様子を示すものと考えられる。

## (3) 検討

本解析による付着応力の分布を図-11 (NO. 11, 15, 12) に示す。標準試験体A・NO. 11 では、付着応力は定着金物のナット頭部より加力点に向けて、ほぼ直線的に増大し、引抜き力が増大してもほぼ同じパターンで応力が増加する。そして392kN 位( $\sigma_y$  時)より加力点近傍の応力が最大応力20.6MPa (210kgf/cm<sup>2</sup>)に達し、引抜き力の増加とともに最大応力に達する部分が拡大する。C・NO. 15 では、付着応力は当然ながら加力点の方が大きく、最大荷重時の333kN では、最大付着応力(20.6MPa)に全ての部分が達した。D・NO. 12 では、付着応力は加力点近傍の方が大きく、ほぼ直線的に減少している。耐力時の333kN でも最大付着応力は16.6MPa で最大付着応力(20.6MPa)に達しない。D・NO. 12 の実験結果は、主筋降伏以前にコンクリートが割裂破壊しており、拘束の無い場合には最大付着応力に達しない段階で破壊することが分かる。

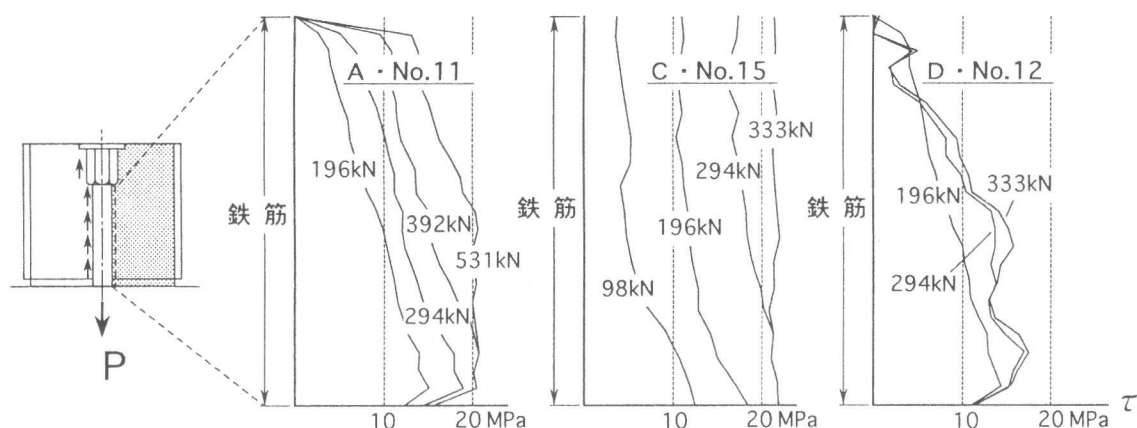


図-11 鉄筋の付着応力

#### 4. まとめ

特殊定着金物を用いたネジフシ鉄筋の引抜実験及び解析結果の概要は以下の通りである。

- 1) 引抜実験では、鋼管拘束、鉄筋の付着、本金物の有無等を要因として行った結果、破壊状況は鋼管拘束の場合は鉄筋破断であるのに対し、無拘束の場合は鉄筋降伏前にコンクリートが割裂破壊した。鋼管拘束し鉄筋のみの場合には、鉄筋がコンクリートから抜出す破壊であった。
- 2) 解析では、鋼管内の力の流れ、ひび割れ状況及び鉄筋のすべり関係等について調べた。引抜力と鉄筋のすべり関係や鋼管周辺のひずみ分布は、実験と解析値は良好な一致を示し、仮定した材料特性の関係やコンクリートの降伏条件式  $\alpha$  の値が適切であったと判断される。
- 3) 引抜力に対し本定着では、鉄筋の付着、定着金物のプレート部とナット頭部で抵抗すること、また、鋼管拘束の無い場合の定着は定着金物周りの抵抗が大きく鉄筋の降伏以前にコンクリートが割裂破壊することなどが、実験及び解析により分かった。
- 4) 本定着法の定着機構は、鉄筋降伏前後で変化し、鉄筋の降伏後は定着金物の周辺に応力が集中してしていくこと等の基本的性状を把握した。

今後は、引続いて外柱・梁接合部モデル実験<sup>4)</sup>の解析を行い本定着機構の解明を行う予定である。

〔謝辞〕 鉄筋及び定着金物の提供は東京鉄鋼（株）に、またデータ整理は小西寛研究員に協力を頂きました。ここに感謝致します。

#### 〔参考文献〕

- 1) 丸田，別所他：超高層RC骨組の耐震性能確認実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 15, No2, 1993
- 2) 窪田，村上：はり主筋を機械式定着した外柱・はり接合部の破壊性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 17, No2, 1995
- 3) 加藤，別所他：特殊定着金物を用いたネジフシ鉄筋の引き抜き性状，日本建築学会大会1994.9
- 4) 小西，加藤，別所他：特殊定着金物を用いたRC造梁主筋定着法に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 17, No2, 1995
- 5) 宮下，加藤他：U型はり主筋の定着機構のFEM解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 16, No2, 1994
- 6) 宮下，速水：塑性論より導いたコンクリートの応力-ひずみ関係，RC構造の有限要素解析に関するコロキウム論文集，1984.12
- 7) F. Vecchico and M. P. Collins: "The Response Reinforced Concrete to In-Plane Sear and Normal Stress" University of Tronto March 1982