

# 鉄筋コンクリート柱・はり接合部における 通し主筋の付着性状

— 研究の動向と問題点 —

北 山 和 宏\*

**概要** 鉄筋コンクリート骨組の十字形柱・はり接合部内を通し配筋されるはり主筋の付着性状について論じた。はり降伏の先行する骨組でははり主筋の付着劣化は避けられず、接合部からの抜け出しが生じる。これが部材や骨組の耐震性能に与える影響として、はりの降伏変形の増大、はりヒンジ部コンクリートの早期圧壊、履歴形状のピンチ化および接合部内のせん断抵抗機構の変化を指摘した。合理的な付着設計を行うためには、骨組全体の地震時挙動に悪影響を与えない程度に付着劣化を認める方法と、すべての接合部内の付着を健全に保持する方法との二つが考えられることを説明し、具体例を示した。

**キーワード**：鉄筋コンクリート、柱・はり接合部、通し筋、付着、抜け出し、耐震、地震応答

## 1. はじめに

日本において鉄筋コンクリート(RC)が主に中低層の建物に使われるあいだは許容応力度設計法の使用と相まって、十分に大きな柱断面が用いられることが多かった。そのために過去の幾度の大地震においても柱・はり接合部の破壊はほとんど見られなかった。筆者の知る限りでは、倉庫の十字形接合部内のフック付きはり主筋の定着不良による破壊(新潟地震, 1964年)、函館大学の壁はり偏心して取り付いた十字形接合部のせん断破壊(十勝沖地震, 1968年)くらいである。ところが、近年になってRC建物の高層化を目指す気運が高まり、これを実現するために骨組の靱性に依存した終局強度型設計法が採用され、高強度のコンクリートおよび鉄筋が使用されるようになった。ここに至って、それまで設計において考慮されることはなかった柱・はり接合部がにわか注目されることとなる。柱・はり断面の狭小化と高強度材料の使用によって、接合部に大きなせん断力が作用するとともに接合部内の主筋に大きな付着力が発生することが明らかとなったためである。柱・はり部材のせん断破壊を防止する方法が発達して、骨組内の相対的な弱点が柱・はり接合部に移るという危惧も生じた。柱・はり接合部は柱の一部であるから軸力を保持するのはもとより、縦横に取り付く柱・はり部材の強度発揮を保証する土台であるので、せん断破壊を防止する必要がある。また、地震を受けた建物が想定した変形時に期待した強度を発揮するためには、接合部内主筋の付着劣化に

起因する過度の抜け出しによる剛性低下を防止しなければならない。以上の要請を受けて、日本建築学会は接合部に関する耐震設計規定を1990年に初めて明文化した<sup>1)</sup>。

接合部に関する耐震設計規定としてアメリカ<sup>2)</sup>およびニュージーランド<sup>3)</sup>のものがよく知られている。この両者は、接合部の主要なせん断抵抗機構の考え方や主筋に沿った付着の要求性能などにおいて非常に異なっている。そこで、各国の耐震規定にしたがって設計された接合部の耐震性能を調べ、あわせて接合部の力学特性に対する理解を深めるために、1984年から5年間にわたって両国と日本(後になって中国も加わる)の研究者が共同研究を行った。この4国共同研究の経緯については青山<sup>4)</sup>に詳しい。

接合部においても柱・はり部材と同様にせん断と付着の問題が重要となる。しかし本稿では紙幅の関係から、内柱・はり接合部内を通し配筋される主筋の付着性状に対象を限定する。接合部内主筋に沿った付着能力の喪失は柱・はり部材内の主筋に沿ってコンクリートが割れ裂かれる付着割裂破壊とは異なって、明確な耐力低下をともしない。割裂状のひび割れが接合部表面に現れないのは、一般に柱幅のほうがはり幅よりも大きく、はり主筋は柱主筋のカゴのなかを通っているためと思われる。このように接合部内の主筋の付着喪失は、柱・はり部材の付着破壊とは異なっていることから破壊とは呼ばず、付着劣化と呼ぶことが多い。

## 2. 主筋の付着劣化とその影響

### 2.1 接合部内の付着性状

\* きたやま・かずひろ/東京都市大学助教授 工学部 建築学科(正会員)

水平力を受ける骨組の内柱・はり接合部に作用する応力を図-1に示す。通常の RC 骨組の内柱でははり主筋を通し配筋することが多い。このとき図-1 (b) のように、柱面の一端で引張り力  $T_s$ 、他端で圧縮力  $C_s$  を生じる主筋の定着を柱内で取ることが必要になり、力の釣り合いから接合部内のはり主筋に作用する平均付着応力度  $\tau_j$  が求まる。すなわち、

$$\tau_j = \frac{T_s + C_s}{\pi d_b \cdot h_c} = \frac{(\sigma_t + \sigma_c) d_b}{4 h_c} \quad (1)$$

ここで、 $d_b$  : はり主筋径、 $h_c$  : 柱せい、 $\sigma_t$ 、 $\sigma_c$  : はり主筋の引張り応力度と圧縮応力度、である。平均付着応力度  $\tau_j$  がある程度以上大きくなるとはり主筋はすべり始め、曲げひび割れが大きく開いた危険断面から抜け出すことになる(図-2)。一般の RC 骨組では大地震時にははり主筋が引張り降伏すると考えられ、平均付着応力度  $\tau_j$  は大きくなり、さらに正負交番繰り返しの載荷状

態となるので接合部内での付着劣化は避けられない。

内柱・はり接合部試験体を用いた実験によって筆者らが得たはり主筋のすべり量と付着応力度との関係の一例を図-3に示す。接合部の中央ではほぼ正負対称の逆 S 字型の履歴形状となるのが特徴である。これに対して危険断面に近い位置(接合部の端部)では図-3 (b) のように、引張りを受ける側の付着強度は小さく早期に劣化するが、圧縮を受ける側の付着強度は大きくなる。

## 2.2 付着指標

接合部内でのはり主筋の付着性状を良好に維持するためには、存在する平均付着応力度  $\tau_j$  を小さくできればよい。このためには(1)式よりはり主筋径  $d_b$  を小さくする、あるいは柱せい  $h_c$  を大きくすることが有効である。骨組の望ましい崩壊機構としてはり降伏先行型とすることが多いので、はり主筋の一端では引張り降伏が生

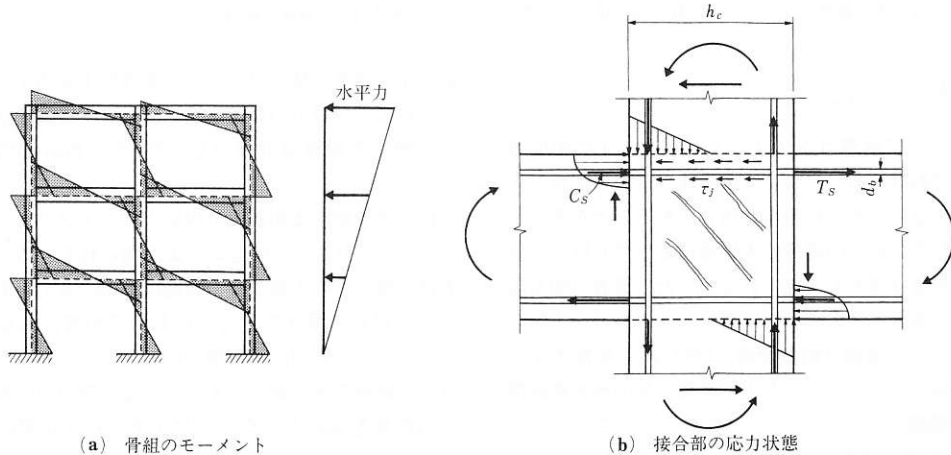


図-1 内柱・はり接合部に作用する応力

## The State-of-the-Art on Bond Characteristics along Bars Passing through R/C Beam-Column Joint

By Kazuhiro Kitayama

Concrete Journal Vol. 33, No. 5, pp. 25~33, May 1995

**Synopsis** The bond characteristics along beam bars passing through a reinforced concrete interior beam-column joint are discussed. Bond deterioration within a joint is inevitable for R/C frames designed according to the weak-beam strong-column concept, resulting in the pull-out of beam bars from a joint. This deterioration has the influences on seismic resistance of frames and members; i. e. increase in a beam yield deflection, premature compressive failure of concrete at beam ends, pinched hysteresis shape and change of the shear resistant mechanisms in a joint. Two different design concepts for bond, one accepting some bond deterioration which does not affect the earthquake response of frames and the other keeping the bond sound within all joints, are presented.

**Keywords** : reinforced concrete, beam-column joint, bars through joint, bond, pull-out, seismic resistance, earthquake response

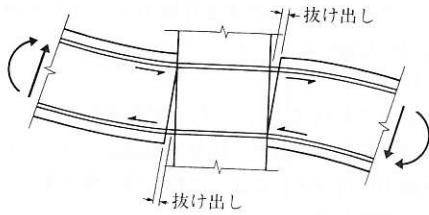


図-2 はり主筋の抜け出し

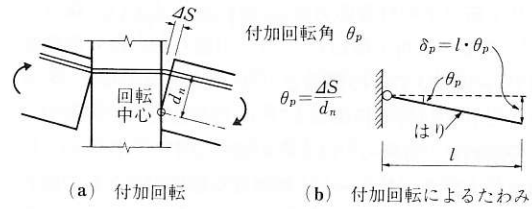


図-4 抜け出しによる付加回転

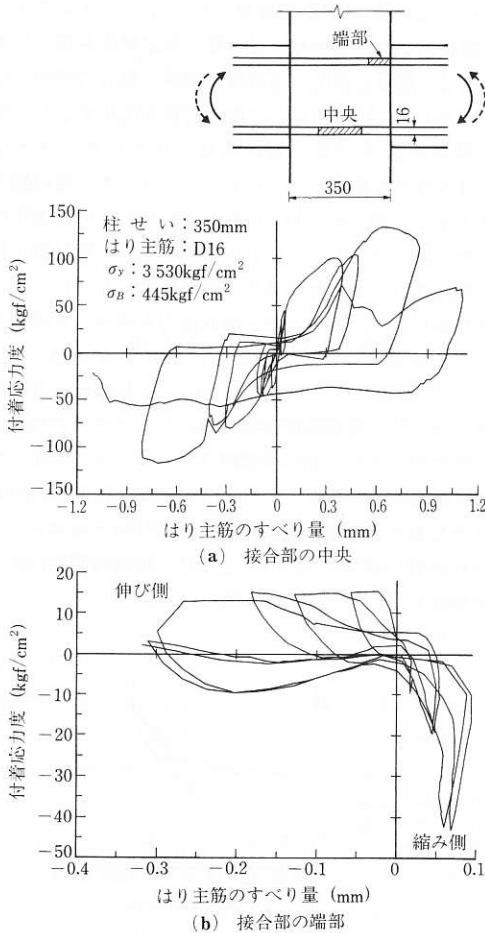


図-3 付着応力度とすべり量との関係

じ得る。そこで(1)式の $\sigma_t$ を $\sigma_y$ ( $\sigma_y$ ：はり主筋の降伏応力度)とする。さらに圧縮側でも圧縮降伏するとき $\tau_j$ は最大値となるので、このときの $\tau_j$ を $u_b$ とおくと、

$$u_b = \frac{\sigma_y \cdot d_b}{2 h_c} \quad (2)$$

すなわち、はり主筋の降伏強度を小さくすることによって接合部内の最大平均付着応力度 $u_b$ は小さくなり、付着を良好に維持できる。さらに、付着強度はコンクリート圧縮強度に依存すると考えられる。そこで $\sigma_y$ 、 $d_b$ お

よび $h_c$ の3変数が含まれた $u_b$ をコンクリート圧縮強度の $\alpha$ 乗( $\sigma_B^\alpha$ 、ここで $\sigma_B$ ：コンクリートの圧縮強度)で除したものを接合部内の付着状況を表す指標と考え、付着指標と呼ぶこととする。既往の研究ではべき数 $\alpha$ は0.5から1のあいだの実数とすることが多い。付着指標 $u_b/\sigma_B^\alpha$ が小さいほど付着を良好に維持できる。

### 2.3 付着劣化の影響

はり主筋の接合部内での付着劣化や抜け出しが部材あるいは骨組の耐震性能に与える影響として、以下の(1)から(4)までが挙げられる。

#### (1) 降伏変形の増大

はり主筋の抜け出しによって生じる付加回転(図-4参照)により、はりの降伏変形が増大する。はり主筋の接合部からの抜け出しによる付加回転がはりたわみに占める割合は、はり降伏時には30~50%程度と報告されており<sup>5),6)</sup>、はりたわみの増大とともに付加回転の占める割合も上昇する傾向にあった。はり主筋の付着が良好と判断された試験体においても塑性率3のときに付加回転の占める割合は20%程度との報告<sup>7)</sup>もあり、無視できない。はりたわみを予測する際にははり主筋の抜け出しによる付加回転量を正しく評価することが必要である。

骨組の地震応答解析を行うときにはり部材の降伏変形を定めることが必要になり、一般に菅野による方法<sup>8)</sup>が用いられる。しかし菅野の方法は、内柱・はり接合部を含まない柱およびはり部材の実験結果から導かれた実験式であり、付着劣化によるはり主筋の接合部からの抜け出しを考慮していない。そのため、菅野式を用いると実際の降伏変形を過小評価する。降伏変形を精確に求めるためには抜け出しの影響を考慮するほかに、現実に即したはり部材内の主筋のひずみ分布の設定とその影響の評価(例えば寺岡ら<sup>9)</sup>)、せん断ひび割れによる変形成分の評価(例えばPark・Ang<sup>10)</sup>)、などを適切に行う必要がある。

接合部からのはり主筋の抜け出し量は、コンクリートのひずみ分布およびはり主筋のひずみ分布を仮定することにより計算できる(接合部内のコンクリートのひずみは無視することが多い)。このためには、接合部内での

はり主筋の平均付着応力度  $\tau_j$  がわかればよい。森田・角<sup>11)</sup>あるいは角・稲田<sup>12)</sup>は、引張り側のはり危険断面での主筋ひずみの関数として実験結果から  $\tau_j$  を求め、北山<sup>13)</sup>は付着指標および  $u_b$  の関数として実験的に  $\tau_j$  を求めた。寺岡<sup>9)</sup>は主筋の径とひずみ、柱せい、柱軸力およびコンクリート圧縮強度を影響因子として統計的に  $\tau_j$  を定めた。このほかに、はり主筋に沿った付着応力-すべり量関係を設定することにより抜け出し量を求めることが可能であり、これによって実験結果と解析結果とを比較した研究に多田・武田<sup>14)</sup>によるものがある。

しかしながら、さまざまな配筋詳細に対してはり主筋の接合部からの抜け出し量を正確に定量化することは現在のところ困難である。

### (2) ヒンジ部コンクリートの早期圧壊

はり危険断面での圧縮縁ひずみが増大し、ヒンジ部コンクリートの圧壊が早まる。はり主筋の接合部内でのひずみ分布の例を図-5(i)<sup>15)</sup>に示す。接合部内での付着劣化が生じると、危険断面に生じる引張り力を接合部内だけで定着できなくなる。その結果、反対側の危険断面位置のはり主筋はそれまで生じていた圧縮力を保持できず、引張り力を受けるようになる。この引張り力に釣り合う圧縮力がはり端部コンクリートに生じる。たとえば、図-6のように上端・下端ともに引張り降伏して接合部内での上端筋の付着が全くない場合を考えると、右端の引張り力  $T_{y1}$  はそのまま左端に伝わり、左

端のコンクリートの負担する圧縮力  $C_{c2}$  は左危険断面での力の釣り合いから、

$$C_{c2} = T_{y1} + T_{y2} \quad (3)$$

付着が良好であれば、 $C_{c2} \approx T_{y2}$  であるから、上下の配筋量がほぼ同じとすると、はり端部コンクリートに作用する圧縮力は付着劣化によって約2倍に増大する。

### (3) 履歴形状のピンチ化

付着劣化の進行にともない復元力特性がエネルギー吸収量の少ない逆S字形の履歴形状となる。コンクリート圧縮強度が同一の内柱・はり接合部試験体を用いた実験による、層せん断力-層間変位関係(復元力特性)を図-5(ii)<sup>15)</sup>に示す。はり主筋の付着が劣化すると、復元力特性が逆S字状の履歴面積の小さいループとなり、はり端部の塑性ヒンジにおけるエネルギー吸収能力が低下する。図(a)では  $u_b$  が大きいために付着劣化が生じた。図(b)では  $u_b$  が小さいためはり主筋付着が良好に維持され、太った紡錘形の履歴特性となった。

はり端ヒンジのエネルギー吸収能力が骨組の地震応答に与える影響については筆者らの研究<sup>16)</sup>がある。4, 7 および 16 階建のRC骨組を対象に、はり端ヒンジの履歴モデルとして履歴形状が紡錘形になる武田モデルおよびやせたピンチ性状を示す武田スリップモデルを用いて非線形地震応答解析を行った。その結果、履歴形状の太り具合を表す等価粘性減衰定数(小さいほど履歴ループはやせ細る)が25%と10%とでは、地震時挙動に大きな差が生じないことがわかった。

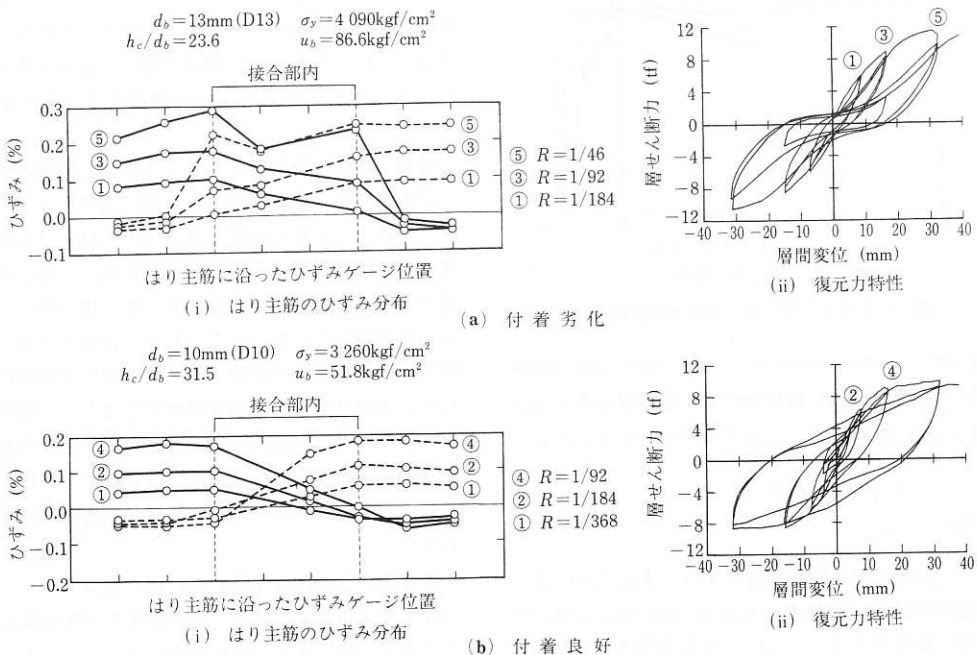


図-5 ひずみ分布と復元力特性

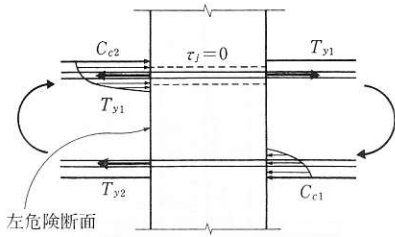
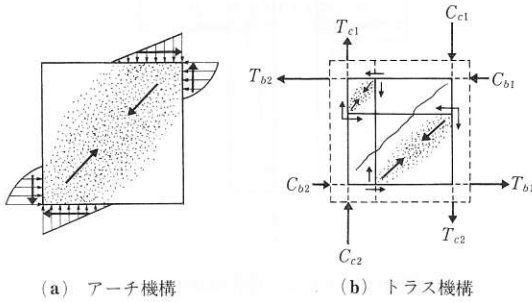


図-6 はり端部コンクリートの圧縮力



(a) アーチ機構

(b) トラス機構

図-7 接合部のせん断抵抗機構

#### (4) せん断抵抗機構の変化

接合部内のせん断抵抗機構として一般の部材と同様にアーチ機構およびトラス機構が考えられ(図-7, 例えば Paulay ら<sup>17)</sup>), はりおよび柱主筋の付着状態によってこれら二つの機構の負担割合が変化する。

接合部内の付着が良好であると, はり主筋から接合部コンクリートに応力が均等に伝達される。この場合, はりおよび柱主筋による付着力と接合部横補強筋による締めつけ力, および柱中段筋からの付着力によってトラス機構が形成される。変形の増大や繰返し载荷によってはり主筋に沿った付着劣化が生じると, トラス機構による負担分は減少する。これにともなって, はりおよび柱付け根の圧縮領域を対角に結ぶ部分(圧縮ストラットと呼ぶ)に圧縮力が集中して, せん断力に抵抗する。すなわち, アーチ機構が主要な抵抗機構となる。はり降伏後も接合部に入力される一定のせん断力を保持するためには, このようにアーチ機構の負担割合が増大することが必要である。ただしこれによって, パネル中央部分の局所的な圧縮応力が増大し接合部のせん断圧縮破壊を生じやすくなる。

以上のような二つのせん断抵抗機構の負担割合と主筋の付着性状との関係を実験によって検討した研究として上村・荒井<sup>18)</sup>, 北山ら<sup>19)</sup>など, 有限要素解析によって検討した研究として野口・菅野<sup>20)</sup>などがある。またせん断抵抗機構のマクロ・モデルを設定し, はり主筋の付着性状と抵抗機構との関係を論じた研究として市之瀬・横尾<sup>21)</sup>, 李ら<sup>22)</sup>などがある。

### 3. 付着指標の制限

接合部内でのはり主筋の付着劣化を防止するためには, 付着指標  $u_b/\sigma_B^a$  をある値以下に制限すればよい。これにより接合部内を通し配筋される主筋の付着設計を行うことが可能となる。そのための主な判断基準(criteria)として, 次の二つが考えられる。

① **Total criteria** 骨組全体の地震時挙動に悪影響を与えないようにする。前節で述べた付着劣化の影響を適切にモデル化して骨組の地震応答解析を行い, 付着指標を制限することが必要となる。これは逆に言えば, 骨組の地震応答に悪影響を与えない範囲において, ある程度の付着劣化を許容する思想である。

② **Local criteria** 接合部内の存在付着応力度  $\tau_j$  が付着強度を超えないようにする。このためには柱・はり接合部試験体などによる実験結果を用いて, 具体的に接合部内の付着性状を調べる必要がある。これによりはり主筋のすべり量はごく小さく抑えられるが, かなり厳しい規定になると予想される。また, 接合部内のはり主筋の付着強度を定量化することが必要となる。

以上の二つの判断基準を用いて付着指標  $u_b/\sigma_B^a$  の制限を提案した研究として, ①に基づく北山<sup>23)</sup>および②に基づく藤井<sup>24), 25)</sup>を以下に紹介する。

#### 3.1 地震応答に基づく方法<sup>23)</sup>

付着劣化によって生じる履歴吸収エネルギー量の低下および降伏変形の増大を考慮した1質点系の非線形地震応答解析を行った。系の固有周期, 履歴モデルの等価粘性減衰定数および地震動を変数として, 固有周期ごとに塑性率2および4に対応した等価粘性減衰定数の許容下限値(地震応答に悪影響を与えない履歴ループのやせ度合いを示す値)を求めた(表-1)。そして, 平面柱・はり接合部試験体を用いた既往の実験結果より得られた塑性率2および4に対応する等価粘性減衰定数とこの下限値との関係から, 図-8のように付着指標の制限値を決定した。これをはり主筋径と柱せいとの関係に直して(4)式を得る。

$$\frac{d_b}{h_c} \leq \frac{\mu \cdot \sqrt{\sigma_B}}{\sigma_y} \quad (4)$$

$\sigma_B$  および  $\sigma_y$  の単位は  $\text{kgf/cm}^2$  である。ここで, 固有周期が0.4秒未満の建物では  $\mu=10$ , 固有周期が0.4秒以上の建物では  $\mu=14$  である。すなわち, 短周期の建物のほうが厳しい規定になった。

なおこの解析では, 接合部のせん断変形が骨組の変形に与える影響を特に意識していない。これは接合部に許容するせん断変形角の大きさに依存しており, 設計において接合部に要求するせん断性能とあわせて今後議論

表-1 等価粘性減衰定数の許容下限値

単位：%

対応する塑性率	建物の周期 0.4秒未満	建物の周期 0.4秒以上
2	9	7.5
4	14	10

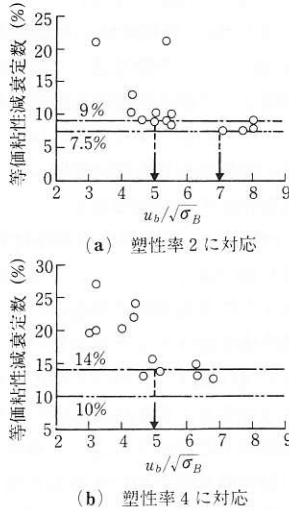


図-8 等価粘性減衰定数と付着指標との関係

する必要がある。

### 3.2 付着性状に基づく方法<sup>24),25)</sup>

図-9にハッチした形状の、柱・はり接合部内のはり主筋一本を対象とした試験体13体に接合部内の応力状態を再現できるような载荷を行った。すなわち試験鉄筋の一端に引張り力を与え、もう一端には载荷せず、そのかわりにコンクリート・ブロック面に等量の圧縮力を加えた。実験より、(a)コンクリート圧縮強度350~1400 kgf/cm<sup>2</sup>の範囲では、コア・コンクリート内の局所付着強度はコンクリート強度の2/3乗に比例して増大する、(b)柱軸力の影響は比較的小さいが軸力比とともに付着強度も増加する、(c)試験体幅に対する主筋径の比の影響はかなり大きくこの比とともに付着強度も増加する、ことを示した。これらの影響因子がそれぞれ独立に成立すると仮定して、コア・コンクリート内の局所付着強度 $\tau_u$ を以下のように定めた。

$$\tau_u = 22.5 \left( 0.86 + 0.84 \frac{\sigma_o}{\sigma_B} \right) \frac{B}{d_b} \left( \frac{\sigma_B}{357} \right)^{0.66} \quad (5)$$

ここで、 $B$ ：試験体幅、 $\sigma_o$ ：柱軸応力度、で(5)式内の応力度の単位はすべて kgf/cm<sup>2</sup>である。なお、試験体幅 $B$ /主筋径 $d_b$ 比について、実際の接合部でははり主筋は複数本配筋されるので分母は $nd_b$  ( $n$ ：一列のはり主筋本数)に置き換えるものと思われる。ただし、幅

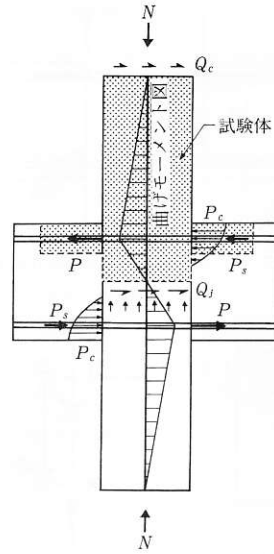


図-9 藤井による接合部のモデル化

$B$ のとり方については明示されていない。試験体幅 $B$ は、実際の接合部でははり主筋の間隔に相当すると考えられるが、境界条件は全く異なるため物理的な意味はあいまいである。

接合部内の付着を良好に維持するためには、以下が成立すればよい。

$$\tau_u \geq u_b \quad (6)$$

藤井の方法は、ユニークな実験から接合部内はり主筋の付着強度を求めた点に独創性がある。なお藤井は、 $B/d_b$ として本実験の最小値である4を(5)式に代入して簡略化し、(6)式を書き直して $d_b/h_c$ を与える(7)式とした。

$$\frac{d_b}{h_c} \leq 2.9 \left( 1 + \frac{\sigma_o}{\sigma_B} \right) \frac{\sigma_B^{2/3}}{\sigma_y} \quad (7)$$

### 3.3 両者の比較

以上の全く異なる二つの方法から導かれたはり主筋径と柱せいとの関係、および最大平均付着応力度 $u_b$ とコンクリート圧縮強度との関係を比較して図-10に示す。(7)式における柱軸応力度比( $\sigma_o/\sigma_B$ )は0.3とした。短周期(固有周期0.4秒未満)の建物では地震応答解析に基づくものと接合部内の付着性状に基づくものとで大きな差はない。長周期の建物では、地震応答によるもののほうが緩やかな規定となった。柱軸力が小さい場合には付着性状に基づくものが最も厳しい規定となる。

地震応答に基づく方法の弱点は、個別の接合部内の付着状態が不明なことである。上記の比較より、すべての接合部内で付着強度時のすべり量を超えて抜け出しが生じる、あるいは一部の接合部内で付着劣化がかなり進行

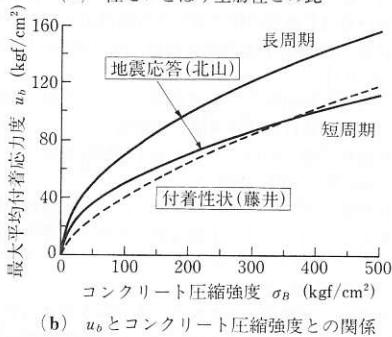
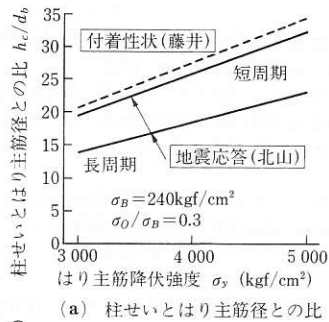


図-10 二つの方法による付着規定の比較

するが残りには健全である、などの付着状態が考えられる。骨組の地震応答解析によっては塑性ヒンジの発生位置や頻度を調べ、接合部内の応力状態を特定して主筋回りの付着性状との対応を検討すべきである。

ある程度の付着劣化を認めた場合、地震後の補修可能性が重要となる。田才ら<sup>26),27)</sup>は実験済みの平面および立体柱・はり接合部試験体のひび割れにエポキシ樹脂を低圧で注入する補修を行い、補修前後の力学性状を比較した。これによるとはり部材の初期剛性は70~90%まで回復した。また、はり付け根領域の局部回転を調べて接合部からの主筋の抜け出し量が補修によって小さくなった可能性を指摘した。このことから実際の建物でエポキシ樹脂注入による補修は困難さは伴うものの可能である。

柱・はり接合部内を通し配筋される主筋の径  $d_b$  と柱せい  $h_c$  との関係をもとに (4) 式あるいは (7) 式に従って定めることにより付着設計が可能となる。

### 3.4 そのほかの研究

以上のほかにはり主筋径と柱せいとの関係の制限を試みた研究はいくつかある<sup>28)~32)</sup>。

Park・Dai<sup>30)</sup> は NZS 3101<sup>3)</sup> の (はり主筋径/柱せい) 比の制限値を用いたキャリブレーションによって接合部内の平均付着強度を  $4.9\sqrt{\sigma_B}$  (単位:  $\text{kgf/cm}^2$ ) とし、上端・下端の鉄筋量のちがいを考慮して付着指標を制限した。この研究をもとに Cheungら<sup>31)</sup> はあらたに

(8) 式に示す (はり主筋径/柱せい) 比の制限を提案した。

$$\frac{d_b}{h_c} \leq 6.0 \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \frac{\sqrt{\sigma_B}}{\sigma_y} \quad (8)$$

$\sigma_B$  および  $\sigma_y$  の単位は  $\text{kgf/cm}^2$  である。ここで、 $\alpha_1$ : 鉄筋に生じる圧縮力のレベルを表わす係数 (1.1~1.3),  $\alpha_2$ : 柱軸力による付着強度増大係数 (1.0~1.25),  $\alpha_3$ : 接合部の4面に塑性ヒンジが生じることによる (すなわち2方向加力による) 付着強度低減係数 (2方向骨組で1.0, 1方向骨組で1.2), および  $\alpha_4$ : 上端・下端の違いを区別する係数 (上端筋で1.0, 下端筋で1.1), である。柱軸力および2方向加力が接合部内を通る主筋の付着性状に与える影響を考慮した点で新しいが、その定量化は必ずしも実験結果の評価から導かれたものではなく、今後さらに検討を必要とする。

## 4. 未検討の諸問題

本稿では内柱・はり接合部内を通し配筋されるはり主筋の付着劣化とその影響や、付着設計の方法とその背後にある考え方を中心に述べた。しかしこれ以外にも解明を要する重要な問題があるので、以下に列挙する。

- 1) 地震力を受ける実建物を考えると2方向加力時の接合部内の付着性状が重要である。そこで立体柱・はり接合部試験体に2方向加力する実験を行い、はり主筋の付着性状を検討した研究がいくつかある<sup>33)~35)</sup>。Halimら<sup>33)</sup>は2方向加力を経験した場合に付着応力度の低下が顕著となることを示した。一方、北山ら<sup>35)</sup>の高強度材料を用いた実験ではり主筋がわずかに降伏した範囲では、2方向加力によってはり主筋の付着力は低下しなかった。これらの相違は加力履歴や試験体の経験した変形レベル (塑性率) などに依存するものと思われる。さらに検討を進め、設計で考慮する必要性の有無を明確にすべきである。
- 2) 先にはり主筋の付着劣化によって履歴形状がピンチ化することを示した。しかし、付着劣化の程度と履歴ループの等価粘性減衰定数との具体的な対応には触れなかった。これについてはほとんど研究されていないが、寺岡ら<sup>36)</sup>は付着指標、引張り鉄筋比および部材角の関数として統計処理によって等価粘性減衰定数を定量化した。
- 3) 接合部内での付着劣化後のはり主筋の定着は反対側のはり部材内のどこかで取ることができると予想している。従来行われている十字形柱・はり接合部の実験でも、はりの両端ではり主筋を鉄板に溶接したり、折り曲げ定着する。しかし実際の骨組では、はり主筋を数スパンに渡って通し配筋することが多

く、連続するはり主筋のはり部材内での付着性状をあわせて検討する必要がある。また、はり部材内と接合部内との付着劣化の相関も生じる可能性がある。そこで姜・北山ら<sup>37)</sup>は、十字形接合部を二つ持った $\mp$ 形骨組試験体に繰り返し载荷する実験を行い、付着の相互作用に対する検討を始めている。

- 4) 付着を良くするために細径の主筋を用いると本数が多くなり、2段配筋する必要が生じる。既往の柱・はり接合部実験でも接合部に入力されるせん断力を大きくするために2段配筋とした試験体は多い。しかし、2段筋(内側筋)の付着性状については検討されることが少なかった<sup>38)</sup>。今後、2段筋の付着伝達能力や1段筋(外側筋)との付着作用の相関について検討すべきである。

## 5. ま と め

RC骨組の内柱・はり接合部を通し配筋されるはり主筋の付着性状に限って論を進めた。しかし、主筋からコンクリートへの付着伝達能力と部材内のせん断抵抗能力とは密接に関係するため、それぞれを切り離して考えることは難しいし、またそうすべきでないことを強調しておく。付着設計について異なる二つの方法を説明したが、そのどちらを採るべきかについては述べなかった。両者ともさらに検討や改良を加える必要があるが、最終的には、設計者が要求する耐震性能を確保するための道具として互いに存在することが望ましい。選択肢は多いほどいいものである。

## 参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1991. 11
- 2) ACI-ASCE Committee 352：Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures, ACI Journal, Vol. 82, No. 3, 1985, pp. 266~283.
- 3) Standards Association of New Zealand：New Zealand Standard Code of Practice for the Design of Concrete Structures, NZS 3101, 1982.
- 4) 青山博之：鉄筋コンクリート柱はり接合部論争の結末—ニュージーランド人による幕の引き方—, コンクリート工学, Vol. 30, No. 9, pp. 5~16, 1992. 9
- 5) 森田司郎, 角 徹三：鉄筋コンクリート柱・はり接合部における変形性状に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 849~850, 1971. 11
- 6) Forzani, B., E.P. Popov and V.V. Bertero：Hysteretic Behavior of Lightweight Reinforced Concrete Beam-Column Subassemblages, UCB EERC-79/01, April, 1979.
- 7) 多田利正, 武田寿一：鉄筋コンクリート造柱はり接合部補強法に関する実験的研究(その1) 梁主筋の接合部からの抜け出しとはり端塑性ヒンジの変形性能について, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 352, pp. 68~78,

1985. 6
- 8) 菅野俊介：鉄筋コンクリート部材の復元力特性に関する実験的研究, 東京大学博士論文, 1970.
- 9) 寺岡 勝, 狩野芳一, 佐々木 聡：RC造内柱・梁部分架構における梁部材の降伏変形の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 2, pp. 723~728, 1994. 6
- 10) Park, Y. J., and A.H.S. Ang：Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 111, No. 4, pp. 722~739, 1985.
- 11) 森田司郎, 角 徹三：鉄筋コンクリート柱・はり接合部におけるはり軸筋の接合部からの抜け出しについて, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1099~1100, 昭和47年10月
- 12) 角 徹三, 稲田祐二, 喜連川昭夫, 中田信治：接合部からの鉄筋の抜け出しを考慮した鉄筋コンクリート骨組の変形解析, 第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集, pp. 301~304, 1983
- 13) 北山和宏：主筋抜け出しを考慮した柱・梁部材の降伏変形推定法, コンクリート構造物の靱性と配筋方法に関するシンポジウム論文集, コンクリート工学協会, pp. 103~108, 1990. 5
- 14) 多田利正, 武田寿一：鉄筋コンクリート造柱はり接合部補強法に関する実験的研究(その2) 異径鉄筋の付着実験とその解析, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 363, pp. 86~94, 1986. 5
- 15) Aoyama, H., K. Kitayama, Y. Kurose and K. Saida：Beam-Column Joints in Reinforced Concrete Frames—Demonstration of Difference in Code and Design Practice among U. S., New Zealand and Japan—, Journal of the Faculty of Engineering, the University of Tokyo, Series (B), Vol. 40, No. 2, pp. 69~108, 1989
- 16) Kitayama, K., S. Otani and H. Aoyama：Development of Design Criteria for RC Interior Beam-Column Joints, Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance, ACI SP-123, pp. 97~123, 1991
- 17) Paulay, T., R. Park and M. J. N. Priestley：Reinforced Concrete Beam-Column Joints Under Seismic Actions, ACI Journal, November, pp. 585~593, 1978
- 18) 上村智彦, 荒井雅子：鉄筋コンクリート内部梁・柱接合部の破壊機構に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 9, No. 2, pp. 193~198, 1987. 7
- 19) 北山和宏, 小谷俊介, 青山博之：地震力を受ける鉄筋コンクリート内柱・梁接合部の履歴挙動に関する実験的研究, 第8回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 1407~1412, 1990. 12
- 20) 野口 博, 菅野 弘：地震力を受けるRC柱・はり接合部の内部応力状態に関する解析的研究, 第8回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 633~636, 1986. 6
- 21) 市之瀬敏勝, 横尾慎一：RC内部接合部における軸力・付着・横補強筋の相互作用, コンクリート構造物の靱性と配筋方法に関するシンポジウム論文集, コンクリート工学協会, pp. 87~96, 1990. 5
- 22) 李 祥浩, 小谷俊介, 青山博之：鉄筋コンクリート内柱梁接合部のせん断終局強度, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 2, pp. 565~570, 1993. 6



- 23) 北山和宏：鉄筋コンクリート柱・梁接合部の耐震設計に関する研究，第9回日本地震工学シンポジウム論文集，Vol. 2, pp. 2047~2052, 1994. 12
- 24) 藤井 栄，村上秀夫，山田稔明，森田司郎：高強度鉄筋コンクリート柱・梁接合部における梁通し筋の付着性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 13, No. 2, pp. 483~488, 1991. 6
- 25) 国上開発技術研究センター：平成4年度構造性能分科会報告書，建設省総合技術開発プロジェクト (New RC), pp. VI~17, 平成5年3月
- 26) 田才 晃，小谷俊介，青山博之：腰壁付き梁柱接合部のエポキシ樹脂注入補修に関する実験的研究，第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集，pp. 261~264, 1983
- 27) 田才 晃，佐藤直昭，小谷俊介，青山博之：立体柱はり接合部のエポキシ樹脂注入補修後の挙動，1983年度日本建築学会関東支部研究報告集，pp. 221~224, 1983
- 28) 李 祥浩，藤田 崇，北山和宏，小谷俊介：高強度材料を用いたRC内柱・梁接合部における梁主筋の定着性能，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 13, No. 2, pp. 495~500, 1991. 6
- 29) Kitayama, K., S. Lee, S. Otani and H. Aoyama : Behavior of High-Strength R/C Beam-Column Joints, Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Proceedings, Vol. 6, pp. 3151~3156, July, 1992
- 30) Park, R. and Dai Ruitong : A Comparison of The Behaviour of Reinforced Concrete Beam-Column Joints Designed for Ductility and Limited Ductility, Bulletin of The New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 21, No. 4, pp. 255~278, December, 1988
- 31) Cheung, P. C., T. Paulay and R. Park : Some Possible Revisions to the Seismic Provisions of the New Zealand Concrete Design Code for Moment Resisting Frames, Pacific Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, pp. 79~90, 20~23 November, 1991
- 32) Leon, R. T. : Anchorage Requirements in Interior R. C. Beam-Column Joints, Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. IV, pp. IV 591~596, August, 1988
- 33) Halim, J. K., 今村 晃，小谷俊介，青山博之：鉄筋コンクリート造立体柱・梁接合部の挙動に関する実験的研究，第6回コンクリート工学年次講演会講演論文集，pp. 657~660, 1984
- 34) 江藤啓二，北山和宏，坪崎裕幸，都祭弘幸：二方向加力を受けるRC立体内柱・梁接合部の復元力特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 13, No. 2, pp. 519~524, 1991. 6
- 35) 北山和宏，李 祥浩，小谷俊介，青山博之：高強度材料を用いた鉄筋コンクリート内柱・梁接合部の履歴性状に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造II C, pp. 251~252, 1992. 8
- 36) 寺岡 勝，狩野芳一，林 和也，佐々木 聡：RC内柱・梁接合部の復元力特性に及ぼす通し梁主筋の付着特性の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 14, No. 2, pp. 425~430, 1992. 5
- 37) 姜 柱，北山和宏，香山恆毅：部分架構実験による鉄筋コンクリート骨組の地震時挙動に関する研究，1994年度日本建築学会関東支部研究報告集，構造系，pp. 33~36, 1995. 3
- 38) 藤井 栄，森田司郎：鉄筋コンクリート内部・外部接合部の性状の比較，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 12, No. 2, pp. 691~696, 1990. 6