

# PC 圧着構造における最近の研究動向

岡本 晴彦\*1・是永 健好\*2

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート(PC)圧着構造が使われ始めてから長年が経過した。その間、圧着接合による多くの新しい構法、工法が開拓され構造物へ適用されてきた。

一方、PC圧着構造の力学的特性に関して、近年、明らかにされた事項も多い。それらを用いることにより、さらに今後、圧着技術の構造物への有効利用が可能である。

そこで、ここでは建築構造物を主な対象として、圧着接合による接合面におけるせん断力伝達ならびにこの接合法による部材が地震時曲げモーメントを受ける場合の特性という2つの観点から最近の研究成果について記す。

## 2. せん断力伝達に関する最近の研究

### 2.1 せん断力伝達に関する基本的考え方

圧着接合においては、接合される部材間のせん断伝達耐力として、滑りが発生しない範囲における最大せん断力を採用している。このせん断伝達耐力を応力により表示すると次式である。

$$\tau_u = \mu \cdot \sigma_c \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

- $\tau_u$ ：最大せん断応力， $\mu$ ：摩擦係数
- $\sigma_c$ ：プレストレス(外力としての軸方向応力がある場合は、それとプレストレスとの和，圧縮：正，引張：負)

### 2.2 最大せん断応力の上限値

日本建築学会，プレストレストコンクリート設計施工規準<sup>1)</sup>(以下，建築学会PC規準と記す)においては，(1)式を適用できる最大せん断応力の上限値が示されていない。

しかし，圧着応力がある指標以上の値になると，破壊形式は滑り破壊ではなく，コンクリート東の圧壊により決定

されると考えられる。この破壊形式に対しては，(1)式は危険側の値を与え，適用ができない(図-1参照)。これについて，岡本・田中<sup>2)</sup>は圧縮強度 $\sigma_B$ が70 N/mm<sup>2</sup>以下のコンクリートに対して，圧着応力 $\sigma_c$ と $\sigma_B$ との比，ならびに $\sigma_B$ を変数とした1面せん断実験を行った。試験体のプレキャストコンクリート間に無収縮モルタルを介在させ，接合面は平滑とした。

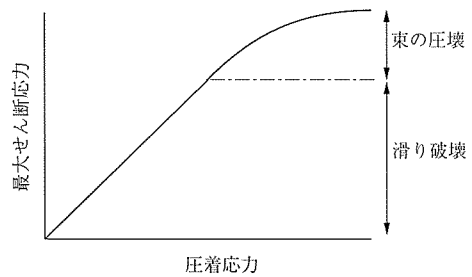


図-1 圧着応力と最大せん断応力の関係 模式図

その最大せん断応力と $\sigma_c$ との関係( $\sigma_B$ により無次元化)をこれ以外の既往報告のもの<sup>3),4)</sup>を含めて図-2に示す。接合面における最大せん断応力は，(1)式において建築学会PC規準による推奨値 $\mu=0.5$ (平滑面に対して)を用いて算定される値よりも大であった。しかし， $\sigma_c/\sigma_B$ 比が0.3を越えると，破壊形式は東の圧縮破壊の様相を呈することが判明した。この結果から，(1)式を設計において適用できる上限の指標として，(圧着応力 $\sigma_c$ )/(コンクリート圧縮強度 $\sigma_B$ )比を0.3以下とすることを著者は推奨したい。

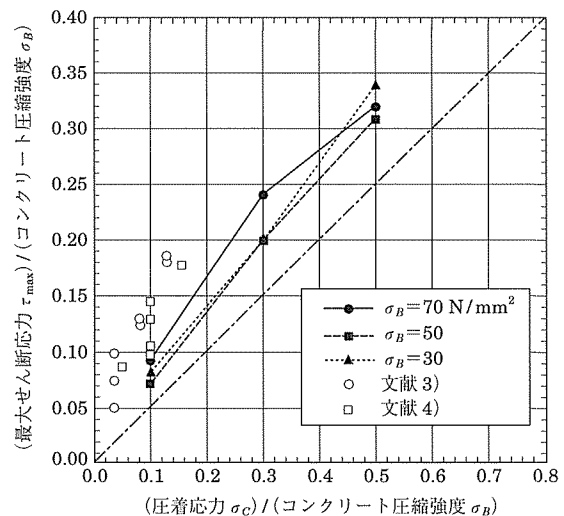
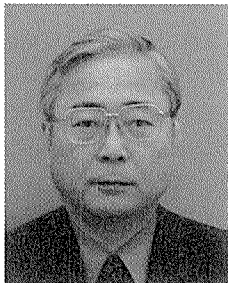
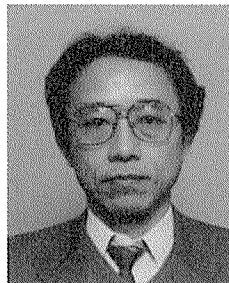


図-2 圧着応力と最大せん断応力の関係 (コンクリート圧縮強度により無次元化)



\*1 Haruhiko OKAMOTO

(株)竹中工務店 技術研究所  
主任研究員 博士(工学)



\*2 Takeyoshi KORENAGA

大成建設(株) 技術センター建築  
技術研究所 構造研究室室長  
博士(芸術工学)

この圧着応力に関する上限値の設定は設計が可能となる範囲を狭くするものではない。これは、高強度コンクリートを用いることにより、圧着応力に対して従来、不明確であった高い応力の範囲の値まで採用することを可能とさせ、それは部材断面の縮小や高層架構への PC 圧着構造の適用を容易とする効果をもたらす。

### 2.3 鋼とコンクリート(モルタル)間の圧着接合

従来、圧着接合はコンクリート間おし(あるいはコンクリートとモルタル)間の接合に用いられてきた。一方、合成構造における構法を合理化する要求から、鋼管コンクリート(CFT)柱とプレキャストコンクリート梁とを圧着接合により剛接合とする方法が開発された<sup>5)</sup>。その一環として、岡本らは鋼とコンクリート間に厚さ 20 mm の無収縮モルタルが介在する接合面に対して 1 面せん断実験を行った<sup>5)</sup>。図-3 に試験体を示す。接合面におけるコンクリート

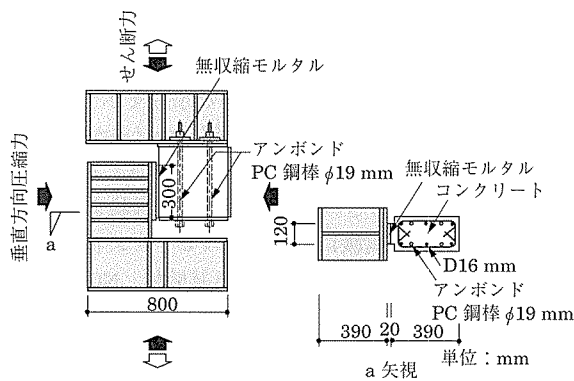


図-3 鋼とコンクリート(モルタル)間の摩擦係数に関する実験用試験体

の表面は平滑とし、また鋼板の表面は平滑のものとしアキーを設けたものがある。その結果を図-4 に示す。地震荷重を考慮した繰返し載荷ならびに条件のばらつきによる影響を考慮し、(1)式における  $\mu$  を 0.4 とする式がせん断伝達耐力式として提示された。

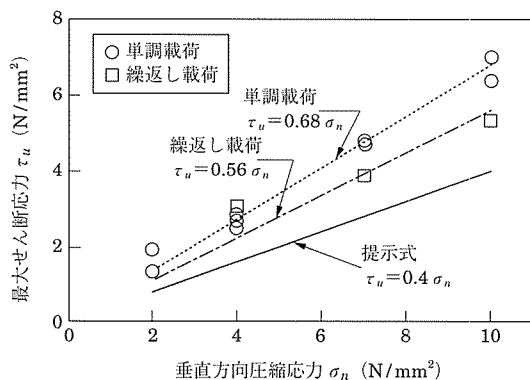


図-4 鋼とコンクリート(モルタル)間の摩擦係数に関する実験 圧縮応力と最大せん断応力の関係

鋼とコンクリート間の圧着接合法は、CFT 柱のみならず、既存建築の耐震補強においても利用されるようになった。

### 2.4 地震荷重による圧着力の減退

圧着接合された柱梁架構において、地震時に梁に降伏ヒ

ンジが発生し、PC 鋼材が塑性域に入ると、地震荷重の除去後において、圧着力は載荷前と比べて減退する可能性が考えられる。その主な原因は載荷により PC 鋼材が塑性域に入った後、除荷時においては弾性勾配と同じ勾配をもって鋼材歪が減少することである。この現象が発生すると圧着接合におけるせん断伝達耐力が低下する可能性がある。この問題提起は M. J. N. Priestley によりなされた<sup>6)</sup>。彼はこれに対する対策として、柱梁接合部内ならびに梁の接合部近傍領域において PC 鋼材の付着を無くすことにより、地震荷重載荷時に PC 鋼材が塑性域に入ること防止することを提案した。

この地震荷重による圧着力の減退に関する組織的な研究は岡本ら<sup>7), 9)</sup>と田中ら<sup>8)</sup>によりなされた。ここでは、柱・PC 梁モデル試験体への地震荷重を模擬した漸増繰返し加力による圧着力減退と経験最大部材角の関係が調べられた。また、地震荷重載荷履歴後に、柱・梁接合面にせん断力を載荷し、荷重履歴後の摩擦係数が測定された。

その結果、経験最大梁部材角が大となるほど、除荷後の残存圧着力減退が大きくなるものの、最大経験梁部材角が  $1 \times 10^{-2}$  の場合はこの値は 5 % 程度と小さいことが示された。また、梁コンクリートの圧壊後にコンクリートの摩擦係数値は低下し、たとえば、最大経験梁部材角が  $3 \times 10^{-2}$  のときのこの値は部材角が  $1 \times 10^{-2}$  時の値の 70 % 程度に下がるものの、摩擦係数値としては 0.8 程度であって、設計において用いられている値が確保されていた。地震荷重履歴後の接合面の残存せん断耐力実験値は、各限界状態に対応する余裕度を有して長期荷重を保持するという観点からの評価を充たすものであった。これは、建築学会 PC 規準における摩擦係数推奨値  $\mu = 0.5$  (平滑面に対して) は、安全側の値として既往 1 面せん断実験値の下限値が採用されたものであり、その結果として上記評価を充たしたといえる。

このように既往の研究はこの課題に対して現行の設計法が安全な結果となることを示している。ただし、この課題は PC 鋼材の付着特性との関連とともに、さらに検討すべきである。

### 2.5 最小必要圧着応力

現行建築学会 PC 規準<sup>1)</sup>においては、その解説部分において、圧着応力は原則として  $2 \text{ N/mm}^2$  以上とすることを推奨している。しかし、その数値の理論的根拠は明確であるといいがたい。

通常の柱・柱ならびに柱・梁における圧着接合においてはほとんどの場合、必要圧着応力はこの値より大きく算定されるためこの推奨最小値により圧着応力が決定されることは少ない。しかし、プレキャストコンクリート壁とおしの圧着接合のように接合面面積が大きい場合には、この推奨値を充たすことが困難となる場合がある。

黒田らが 1 面せん断実験により、圧着応力が  $0.5 \text{ N/mm}^2$  から  $3 \text{ N/mm}^2$  の範囲に対して求めた摩擦係数<sup>10)</sup>はコンクリートどおしを接合する目地部にモルタルがある場合に 0.99 であり、これはこの範囲を超える圧着応力に対する値と比べて小さくない。しかし、実験資料数は十分ではないものの、この報告から  $2 \text{ N/mm}^2$  以下の圧着応力の場合は摩擦係

数値のばらつきが大きくなる可能性があることが推定される。最小必要圧着応力についてはこの視点も含めてその根拠を明確にする必要がある。

2.6 滑り変位を許容する圧着接合

上記までの圧着接合に関する記述は接合面における滑りを設計荷重の範囲において許容しないものであり、既往の設計においてはその規範が採用されてきた。

一方、これと異なり、小山内らにより、既存建物の耐震補強法としてプレキャストコンクリート(以下、PCaと記す)プレースを既存躯体に圧着接合する場合について、圧着接合における滑りを取り入れた設計法が提示されている<sup>11),12),13)</sup>。ここでは、1層内におけるPCaプレース上部と既存梁との圧着接合面において伝達されるせん断力が所定値を超えた場合、水平方向の滑りを許容し、過大なせん断力の伝達を制御する方法が採用された。

3. 圧着接合されたプレキャストプレストレストコンクリート梁の地震時曲げ性能に関する研究

本章では、圧着接合されたプレキャストプレストレストコンクリート梁(以下、PCaPC梁と記す)の構造的特徴を既往の研究を参考にしながら説明し、最近の研究動向について概説するとともに、今後の研究課題について言及する。

3.1 圧着構造プレキャストプレストレストコンクリート梁の構造的特徴

圧着接合されたPCaPC梁では、梁端圧着部(クリティカル断面)を普通鉄筋が貫通していないため、地震時曲げ性能に関して次のような構造的特徴がある。

- ①圧着部に変形や損傷が集中しやすく、部材変形の大部分を圧着部の回転変形が占める。
- ②地震時の繰返し荷重に対して、除荷時の原点指向性が強く履歴ループ面積の小さいPC部材特有の履歴特性がより顕在化する。

阿波野・中塚らは、圧着接合のPC梁と一体打ちのPC梁に関して、PC鋼材の種類(丸形、異形)、シアスパン比等を要因として①の特徴を実験的に検証している<sup>14)</sup>。図-5に

は同実験における代表的な試験体の最終ひび割れ状況を圧着接合と一体打ちのPC梁を比較して示してある。図に見られるように、明らかに両者でひび割れ状況が異なる。とくに、丸形PC鋼棒で圧着接合した試験体では、損傷は梁端における圧縮側コンクリートの圧壊と引張側圧着部のひび割れ(圧着目地の離間)のみである。図-6に梁端部の曲率分布を示す。図の(a)~(c)の縦軸は、梁端部の計測説明図に示す第1~第4区間における梁の各部材角時の曲率を表す。図に見られるように、圧着接合のPC梁(MA3-06R8, MA3-06D8)では圧着部に変形が集中するのに対して、一体打PC梁(MB3-06R6)では材軸方向に緩やかな分布となっている。

②の特徴に関して梁の履歴特性の一例を図-7に示す。図には河野・三牧・田中が行ったプレストレストコンクリート梁・柱圧着接合ト型骨組の実験結果<sup>15)</sup>と足立・西山が行った解析結果(破線)を重ね書きして示してある<sup>16)</sup>。図のB2がボンドPC試験体で、U2がアンボンドPC試験体である。図に見られるように、除荷時の原点指向性が強く、履歴ループ面積の小さい非線形弾性的な挙動を示しており、アンボンドPCのU2試験体ではPC鋼材の付着が無いためにボンドPCに比べてループ面積がさらに小さくなる。

図-8に、スラブ付きのPCaPC梁の履歴性状を検討した後藤らの柱梁接合部実験における梁のモーメント-変形関係<sup>17)</sup>を示す。図のNO.1はスラブ付き試験体、NO.2はスラブ無し試験体であり、図中の正加力時実線と負加力時破線がスラブ引張時である。図に見られるようにスラブの効果により、スラブ引張時には残留変形が大きくなり、履歴ループ面積が大きくなることわかる。PCaPC梁の履歴性状は本来スラブも含めて評価すべきであるが、現状では研究資料が少なく、今後の研究に期待したい。

3.2 PC鋼材の付着特性に着目した研究

PC梁では、主としてPC鋼より線、丸形PC鋼棒および異形PC鋼棒を緊張材として用いる。図-9に示すように、これらのPC鋼材は表面形状が大きく異なり、周知のように付着性能がまったく異なる。

3.1節で述べたように、圧着構造では圧着部を普通鉄筋が

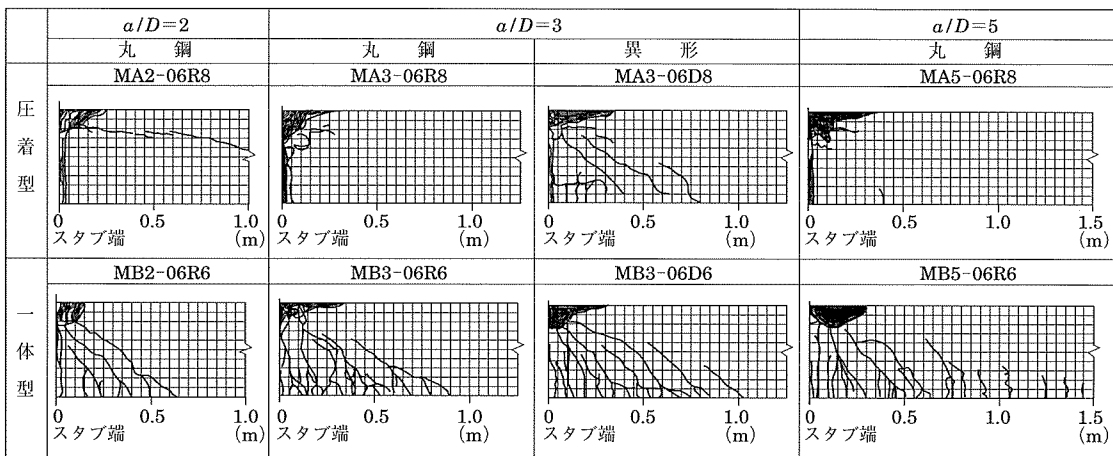
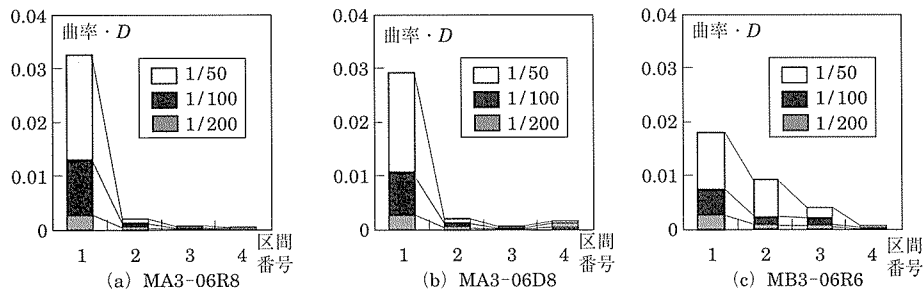
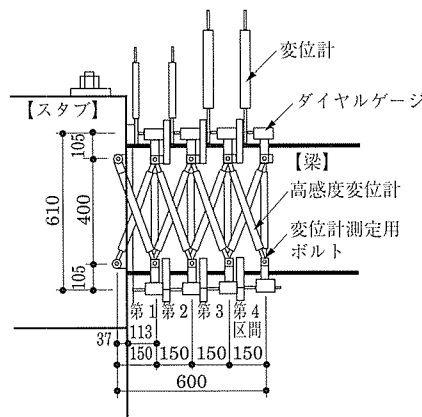


図-5 圧着接合PC梁と一体打ちPC梁のひび割れ性状<sup>14)</sup>



注) 图中的 1/50 等の数字は梁部材角,  $D$ : 梁せい

図 - 6 圧着接合 PC 梁と一体打ち PC 梁の曲線分布<sup>14)</sup>

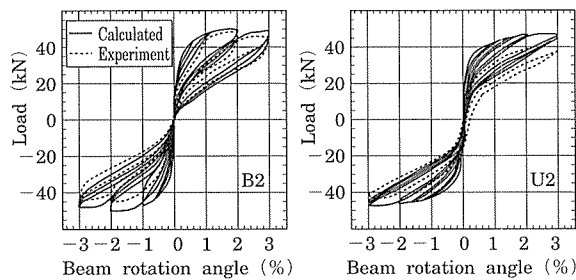


図 - 7 圧着接合 PC 梁の履歴性状<sup>16)</sup>

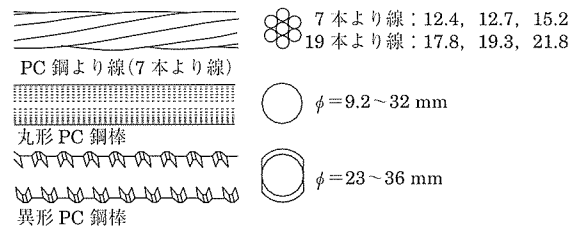


図 - 9 各種 PC 鋼材の表面形状

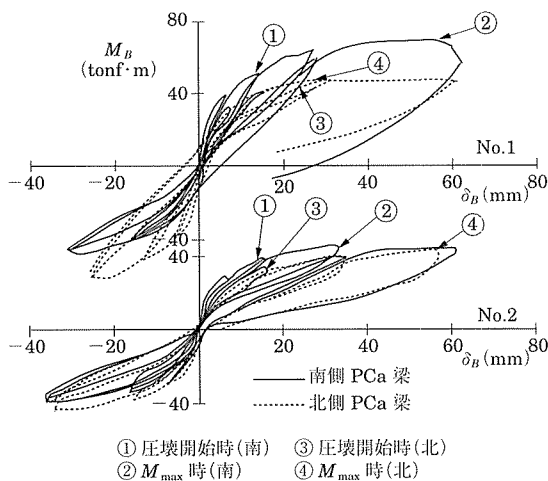


図 - 8 圧着接合 PC 梁のモーメント-変形関係<sup>17)</sup>

貫通しておらず、圧着部に回転変形が集中し、その回転変形性能は引張側 PC 鋼材の付着すべり特性に大きく依存する。現行の設計では、どの PC 鋼材を用いても部材諸元が同じであれば構造設計上は同じ取り扱いとなる。

この問題点を検討する目的で、是永・渡辺・小林は、3種類の PC 鋼材(PC 鋼より線, 丸形 PC 鋼棒, 异形 PC 鋼棒)を用いた接合部を含む梁部材の実験を行い、PC 鋼材の付着強度が小さいほど最大耐力が小さく、梁端の PC 鋼材の抜け出し量が多くなること等の知見を得ている<sup>18)</sup>。また、実験の分析結果を基に、PC 鋼材の付着すべりを考慮した曲げ変形解析法を提案し、実験における荷重-変形関係の包絡線等を解析でほぼ推定可能であることを確認している<sup>19, 20)</sup>。

阿波野・中塚らは、前述した研究<sup>14)</sup>に引き続き、横補強筋量や鋼材係数等の要因も考慮して実験を実施し<sup>21)</sup>、これらの分析結果を基に、より簡便なマクロモデルを提案している<sup>22, 23)</sup>。同モデルは、部材全長にわたる是永らの解析法<sup>19, 20)</sup>とは異なり、圧着接合された PCaPC 梁における梁端部での変形集中という特徴を活かし、部材変形を梁端部およびヒンジ領域に集約したモデルであり、使用する PC 鋼材(丸形と异形の PC 鋼棒)に応じてその付着特性を考慮した2つの

モデルを構築している。同解析法により、荷重-変形関係の包絡線やPC鋼材の抜け出し量等の実験結果を解析でよく推定できている。

足立・西山は、緊張材の付着特性が梁の履歴性状に与える影響を検討することを目的として、緊張材の付着特性を考慮した解析法を提案し、プレストレストコンクリート梁・柱圧着接合ト型骨組の実験結果<sup>15)</sup>と比較検討し、履歴性状に及ぼす緊張材の付着特性の影響等に関して分析を行っている<sup>16)</sup>。実験結果と解析結果の比較については図-7にすでに示してあるが、緊張材の付着特性を適切に評価することにより、原点指向性が強く履歴ループ面積の小さい圧着接合のPC梁の履歴性状を精度よく推定できている。

一般的な圧着構造におけるPCaPC梁の地震時曲げ性能を対象とした研究と異なり、新構法開発の観点から進められている研究がある。岡本らは、圧着構造にアンボンドシステムを導入した新たな構法を開発し<sup>24)</sup>、開発に関連してアンボンド圧着システムの曲げ靱性改善<sup>25)</sup>や解析的検討を実施している<sup>26)</sup>。

以上紹介した既往の研究は、実験結果だけの分析ではなく、実現を説明するためのPC鋼材の付着特性を考慮した解析的検討や解析法の構築に主眼をおいたものである。性能評価型設計法の高度化を図るためには、圧着構造においてはPC鋼材の付着特性評価が重要と考える。とくに、PC鋼より線を用いたPCaPC梁の模型実験における結果評価についてはその重要性を喚起したいので、以下にもう少し解説する。

PC鋼より線を用いたPCaPC梁の模型実験を計画する場合、通常、実建物と同じ径のもの(7本より線φ12.7mmやφ15.2mm等)を試験体に使用せざるを得ない。鋼材係数等の部材諸元を実断面と同じにするためには、PC鋼より線の本数を減らすことで対応することになる。その結果、模型試験体と実建物では鋼材径と断面寸法の比が大きくなり、実験における模型則の大原則は無視されることになる。

文献20)では、PC鋼より線を用いたPC梁の模型実験の結果評価に関する問題点を検討することを目的として、縮尺比と部材の構造性能に関して解析的に検討を行っている。その結果の一例を図-10に示す。ケース1-1を実大断面( $b \times D = 600 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$ )とし、ケース1-2では縮尺比0.45、ケース1-3と1-4では縮尺比0.32の断面となっている。すべてのケースで部材諸元(鋼材係数、シアスパン比等)は同じであり、ケース1-1~3はφ12.7mm(7本より線)のPC鋼より線を用い、ケース1-4では太径のφ17.9mm(19本より線)とした。図の左側は梁のモーメント-部

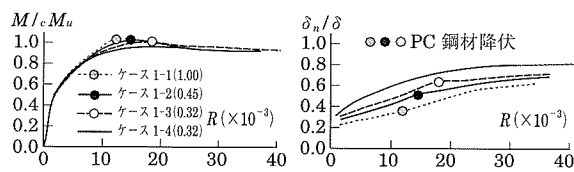


図-10 縮尺比と部材性能に関する解析的検討<sup>20)</sup>

材角関係( $M - R$ 関係)で、縦軸の $M$ は平面保持解析の曲げ破壊耐力計算値 $M_u$ で無次元化してある。同図の右側は梁全体変形( $\delta$ )に占める圧着部回転変形( $\delta_n$ )と部材角( $R$ )の関係である。

同図から、 $M - R$ 関係に大きな差はないものの、縮尺比の相違により、PC鋼材が降伏する時の梁変形が異なること、同じ部材変形でも縮尺比が小さいほど梁端圧着部の回転変形の占める比率が大きくなること、すなわち、図-11に示すように、縮尺比が小さいと、部材断面に対する鋼材径が大きくなるため、PC鋼より線の付着すべりが発生する領域が拡がり、抜け出し量が增大する。太径のPC鋼より線を用いたケース1-4では解析上付着すべりが発生する領域がさらに拡がり、抜け出し回転変形の増大により梁端圧縮部コンクリートの圧壊で最大耐力が決まるため、結果と

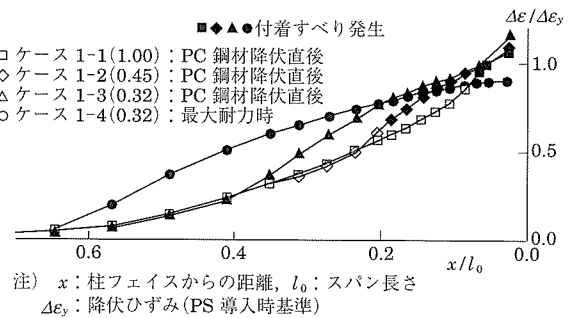


図-11 梁内のPC鋼より線のひずみ分布<sup>20)</sup>

してPC鋼材が降伏しない。

以上の観点から、模型実験で把握できた梁の降伏変形や終局限界変形等の構造性能は、実建物における梁とは異なっている可能性があり、多くの実験データに基づく性能評価式の提案では、これらの点に十分留意しておく必要がある。

### 3.3 柱・梁接合部に関する研究

圧着構造の最近の動向として、超高層建物への適用、梁のさらなる大スパン化、建物の機能性を重視した梁断面の縮小化等がある。このような要求に対処するためには、PCaPC梁は現状より高強度・高プレストレスとなる。高強度の部材を建物に適用する場合、部材の曲げ性能を発揮する前に柱梁接合部の破壊が生じれば、骨組としての性能は低下することになる。柱梁接合部の破壊耐力やせん断挙動は重要な研究課題の一つであるが、圧着構造における柱梁接合部のせん断耐力やせん断挙動に関する研究は数少ない。

ここでは、柱梁接合部のせん断挙動とPCaPC梁の地震時曲げ性能を関連づけた最近の研究を紹介する。

北山・丸田らは、柱・梁とも高強度コンクリート(70 N/mm<sup>2</sup>級)を用い、グラウト強度、鋼材係数および軸軸力比等を要因とし、梁曲げ破壊型、梁曲げ降伏後の接合部せん断破壊型および接合部せん断破壊型の3つの破壊形式をもつ柱梁接合部の実験を実施している<sup>27)</sup>。実験から、各破壊形式における柱、梁および接合部の変形性状を分析するとともに、接合部の最大せん断力は鉄筋コンクリート造におけるせん断強度評価式<sup>28)</sup>を準用することによりおおむね

推定可能であること等の知見を得ている。

田中・岡本・太田は柱・梁に高強度コンクリートを使用し、かつ高プレストレスを梁に導入した柱梁接合部の実験を行っている<sup>29)</sup>。同実験では、梁曲げ降伏後の大変形時に柱梁接合部のせん断破壊が生じ、接合部の破壊は横拘束筋比の高い場合に顕著なことで、文献30, 31)の提案式により算定した横拘束筋を梁端部に配筋することにより、鋼材係数が0.37でも梁は高靱性を確保できること等の知見を得ている。

#### 4. おわりに

PC 圧着構造に関する最近の研究の主なものについて、接合面におけるせん断力伝達ならびにこの接合法による部材が地震時曲げモーメントを受ける場合の特性という2つの面から記した。また、本構造が今後さらに有効に利用されるために明らかにする必要があるいくつかの課題を述べた。

この現状を踏まえてみて、今後、豊かな発想により、この構造がもつ力学的特性と工法上の利点を生かしたさらに新たな発展が期待できると著者らは考える。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準，同解説，1998
- 2) 岡本晴彦，田中秀人，太田義弘：高強度コンクリート使用による高応力圧着接合部のせん断力伝達——その1，その2，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅳ，pp.1009-1012，2002
- 3) 小山内 裕：付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐震性に関する実験的研究—その6
- 4) 岡本晴彦他：プレキャストコンクリート柱・梁接合部の圧着接合に関する研究—接合面のせん断伝達に関する実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅳ，pp.1063-1064，1993
- 5) 太田 義弘，岡本 晴彦，東端 泰夫：鋼管コンクリート柱とプレキャストプレストレストコンクリート梁との圧着接合に関する研究（鋼板とコンクリートの圧着接合面におけるせん断力伝達），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅳ，pp.897-898，1996
- 6) M. J. Nigel Priestley et al.: Seismic Response of Precast Prestressed Concrete Frames with Partially Debonded Tendons, PCI Journal, January-February, pp.58-69, 1993
- 7) 岡本晴彦，平出 亨，太田義弘：プレキャストコンクリート柱・梁圧着接合面のせん断力伝達—その1，その2，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅳ，pp.901-904，1997
- 8) 河野 進，田中仁史：アンボンドプレストレストコンクリート梁・柱圧着接合部の繰返し荷重下における緊張材張力の変動と残存せん断耐力，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅳ，pp.905-906，1997
- 9) 日本建築学会 PC 部材力学挙動予測法小委員会：シンポジウム「プレストレスト（鉄筋）コンクリート構造部材の設計法—現状と将来」テキスト，pp.282-288，2000年4月
- 10) 黒田洋子，八木敏行，飯塚正義：滑り発生前後におけるプレキャスト部材圧着接合面の摩擦に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20, No.3, pp.733-738，1998
- 11) 小山内 裕，浅川弘一，山本光一他：PCa プレース耐震補強工法の設計と施工，プレストレストコンクリート，Vol.41, No.4, pp.50-55，1999
- 12) 小山内 裕：ドライジョイント方式によるプレキャストコンクリート耐震構造の研究，京都大学学位論文 第5章耐震ブレース，2000年3月。
- 13) 小山内 裕：プレキャスト部材の圧着接合部の最大せん断力，プレストレストコンクリート，Vol.42, No.4, pp.30-33，2000
- 14) 阿波野昌幸，中塚佑，石井孝幸：圧着型および一体型片持ち PC 梁の荷重—変形特性(その1)～(その2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.873-876，1997年9月
- 15) 河野進，三牧祐輔，田中仁史：繰返し荷重を受けるプレストレストコンクリート梁・柱圧着接合部の残存せん断耐力，コンクリート工学年次論文集，Vol.19, No.2, pp.1185-1190，1997年7月
- 16) 足立将人，西山峰広：緊張材の付着特性を考慮したプレストレストコンクリート圧着骨組の曲げ挙動に関する解析研究，日本建築学会構造系論文集，第532号，pp.161-167，2000年6月
- 17) 後藤寿之，町田重美，最上達雄等：プレキャスト圧着工法を用いた建物の構造性能(その1)～(その5)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1085-1094，1992年8月
- 18) 是永健好，渡辺英義，小林淳：梁端部の塑性回転評価に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.16, No.2, pp.323-328，1994年6月
- 19) 是永健好，渡辺英義：PC 鋼材の付着すべりを考慮したプレキャスト PC 梁の曲げ変形解析法，日本建築学会構造系論文集，第536号，pp.143-150，2000年10月
- 20) 是永健好：鋼材の付着すべりと曲げせん断ひび割れを考慮した PCaPC 梁の曲げ変形解析法，日本建築学会構造系論文集，第548号，pp.131-138，2001年10月
- 21) 阿波野昌幸，中塚佑ほか：片持ち型 PC 梁の耐荷・変形機構に関する研究(その1)～(その4)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.989-996，1998年9月
- 22) 中塚佑，阿波野昌幸：丸形 PC 鋼棒圧着型片持ち PC 梁の荷重—変形関係のマクロモデルによる推定，日本建築学会構造系論文集，第555号，pp.141-148，2002年5月
- 23) 中塚佑，阿波野昌幸，中川明徳：異形 PC 鋼棒圧着型片持ち梁の荷重—変形関係推定のためのマクロモデル，日本建築学会構造系論文集，第562号，pp.123-128，2002年12月
- 24) 岡本晴彦，太田義弘：切欠き付きプレキャスト梁による合成梁を用いたアンボンド PC 梁・柱圧着架構の地震時荷重における力学的性状，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1003-1004，2000年9月
- 25) 菅田昌宏，岡本晴彦，太田義弘，東端泰夫：プレキャストコンクリート・アンボンド PC 圧着部の曲げ性状に及ぼす曲げ圧縮部補強の効果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1005-1006，2000年9月
- 26) 菅田昌宏，岡本晴彦，太田義弘，東端泰夫：プレキャストコンクリート・アンボンド PC 圧着梁の曲げモーメント—変形関係に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.947-948，2001年9月
- 27) 北山和宏，丸田誠，岸田慎司ほか：圧着接合されたプレストレスト・コンクリート柱・梁接合部の力学的性状に関する研究(その1)～(その3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.613-618，2002年8月
- 28) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999年
- 29) 田中秀人，岡本晴彦，太田義弘：高鋼材係数の圧着プレストレストコンクリート梁の曲げ靱性評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，2003年9月
- 30) 建設省建築研究所ほか：共同研究「PC 構造設計・施工指針の作成」10年度研究報告書，1998年
- 31) 深井悟：建築構造物の耐震設計，プレストレストコンクリート，Vol.44, pp.80-89，2002年11月

【2003年5月8日受付】