

圧着方式によるプレキャストプレストレストコンクリート梁の曲げせん断変形評価

是永, 健好

<https://doi.org/10.15017/1398267>

出版情報：九州芸術工科大学, 2002, 博士（芸術工学）, 論文博士
バージョン：
権利関係：

第1章 序 論

- 1.1 本研究の背景および目的
 - 1.2 関連する既往の研究および解析法の問題点
 - 1.2.1 クリティカル断面における引張側鋼材の抜け出し回転挙動
 - 1.2.2 鋼材の付着すべりを考慮した解析法
 - 1.2.3 曲げせん断ひび割れによる変形評価
 - 1.3 PCaPC 梁の構造的特徴
 - 1.3.1 部材変形に占める材端の塑性回転変形量
 - 1.3.2 グラウト材
 - 1.3.3 PC 鋼材の種類と PC 鋼材が降伏するために必要な伸び量
 - 1.4 本論文の構成
- 第1章 参考文献

第1章 序論

1.1 本研究の背景および目的

最近のコンクリート系構造物は、部材のせん断や付着に対する設計法^{1),2)}が普及したため、多くの場合、耐震主要部材には有害なせん断破壊や付着割裂破壊を生じさせない設計がなされている。すなわち、柱や梁は一般に曲げ靱性部材として設計されており、大地震時に部材に生じるひび割れは、大部分が曲げひび割れと曲げせん断ひび割れである。性能設計を実施していく上では、想定地震規模に応じた曲げ部材の損傷状態を適切に評価することが重要であり、曲げひび割れや曲げせん断ひび割れによる部材各部の変形やひずみを精度よく予測する必要がある。

鉄筋コンクリート造（以下、RC造）やプレストレストコンクリート造（以下、PC造）等のコンクリート構造は、鋼材とコンクリートが一体となって荷重に抵抗する複合構造体であり、その一体性はコンクリートと鋼材の付着作用に依存している。PC造ではそれに加えてPC鋼材とグラウト材の付着作用も関わる。しかし、周知のように、部材が外力を受けるとコンクリートと鋼材の界面には相対的なすべりが生じ、両者の一体性、すなわち完全付着を前提とした「平面保持の仮定」は成立しない³⁻⁵⁾。すなわち、部材の曲げ変形やせん断変形等の各変形はコンクリートと鋼材の付着すべり特性に大きく依存する。

本論では、曲げ靱性部材として設計されるプレキャストプレストレストコンクリート梁（以下、PCaPC梁）を対象として、地震時応力下におけるクリティカル断面での曲げモーメントに対する鋼材の抜け出しと、部材内の曲げひび割れや曲げせん断ひび割れによって生じる塑性変形を、鋼材の付着すべり特性と関連づけて評価する手法の確立を目的とする。具体的には、一般的な曲げ解析で普及している「ファイバーモデル」による解析法を応用して、鋼材の付着すべり特性や曲げせん断ひび割れによる変形を考慮した部材変形評価法を開発する。

本研究で曲げ靱性部材としてPCaPC梁を選んだ理由は、PCaPC梁には各種工法があり、工法によって使用するPC鋼材（PC鋼より線、PC鋼棒、異形PC鋼棒）が異なり、これらのPC鋼材は付着性能が全く異なるにもかかわらず、現行の設計法ではその影響が評価されておらず、付着性能を考慮した変形評価法の開発が望まれているためである。また、PCaPC梁を研究対象とすることにより、既に述べた鋼材の付着すべり特性の影響を実験的に明確に捉えることができ、解析法を展開する上で最適と考えたためである。

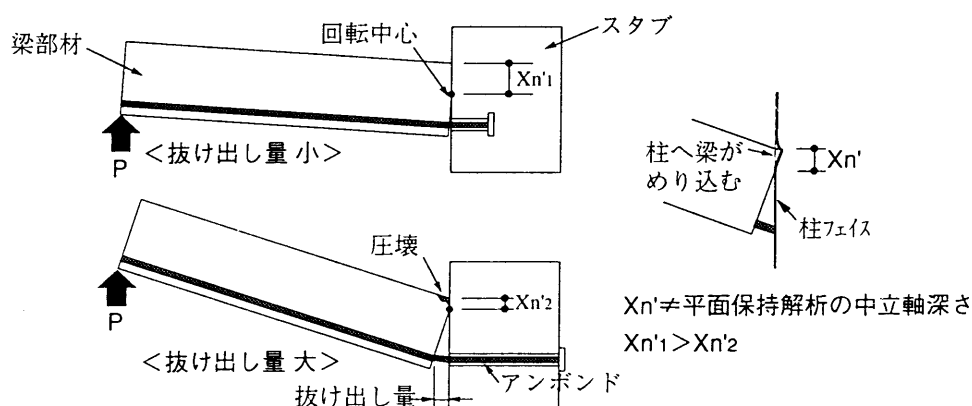
1.2 関連する既往の研究および解析法の問題点

1.2.1 クリティカル断面における引張側鋼材の抜け出し回転挙動

地震時応力下のコンクリート系部材を対象とした一般的な曲げ変形解析では、クリティカル断面の抵抗モーメントを「平面保持の仮定」に基づき計算し、部材の変形は平面保持解析の曲率分布から得られる曲げ変形に定着部からの鉄筋の抜け出しによる変形を付加回転として加える形で評価される^{3, 6)}。また、曲げ変形の算出にあたっては部材端に塑性ヒンジ等の仮説を立てる場合もある⁷⁾。

この抜け出し変形を付加回転変形とする考え方は、クリティカル断面の抵抗モーメントおよび部材の曲げ変形と独立に、抜け出し変形を扱える点で計算上簡便である。すなわち、部材端の抵抗モーメントが同じであれば、クリティカル断面における鉄筋の抜け出し量が異なっても、抜け出しの回転中心は変わらず（平面保持解析の中立軸位置等）、かつクリティカル断面の圧縮部コンクリートの応力分布も同じと考えるものである。しかし、抜け出し量と、その回転中心や部材の抵抗モーメントは密接に関係し、上記方法では地震時における材端部の応力・変形状態が必ずしも適切に評価できない。この抜け出し量と回転中心の関係を概念的に示したものが図 1.2.1 である。図では説明を簡単にするために、梁部材内の鋼材とコンクリートは完全付着とし、スタブ内の鋼材をアンボンド状態としてその長さが異なる例を示してある。図に見られるように、柱フェイス位置断面では、圧縮部コンクリートのめり込みと引張側鋼材の抜け出しによって回転変形が生じる。同じ外力を受けていても、鋼材の抜け出し量によって回転中心位置が異なり、抜け出し量が多い場合には梁端部の回転変形が増大して圧縮部コンクリートの圧壊が早期に生じることになる。既往の解析法では、抜け出し量の大小に関係なく、回転中心位置は平面保持解析における中立軸位置となるが、抜け出し回転中心は必ずしも平面保持解析の中立軸位置と一致しない。

クリティカル断面における鋼材の抜け出し量は、一般に定着部内（柱梁接合部等）からの抜け



出しのみを対象としている^{2, 6, 8)}が、部材内においてもひび割れが発生した時点で厳密には平面保持の仮定は成立しておらず³⁾、鋼材の付着強度が低い場合には部材内からの鋼材の抜け出しも無視できなくなる。

図 1.2.2 は、地震時応力下における梁端部の引張側鋼材のひずみ分布と鋼材位置コンクリートのひずみ分布の模式図を示したものである。図に見られるように、架構終局時には、柱梁接合部にはせん断ひび割れ、梁には曲げひび割れが生じており、鋼材位置コンクリートにも引張ひずみが生じている。また、変形の適合条件により、引張側鋼材のひずみ分布から求まる伸び量と、鋼材位置コンクリートのひずみ分布から求まる伸び量の差（図中網掛け部）が、柱梁接合部と梁部材に生じている鋼材位置のひび割れ幅の総和となる。一方、図 1.2.3 のように、せん断力の生じない純曲げモーメント区間の梁を考えると、ひび割れの位置では引張力はほとんど鋼材によって受け持たれるが、ひび割れの間位置ではコンクリートが少なからず引張力を負担している。この状態では、文献 4), 5) 等 に示されているように、ひび割れ位置でコンクリートと鉄筋との間にすべりが生じ、ひび割れの両側から鉄筋が抜け出した量がひび割れ幅となり、あくまでも一つの曲げひび割れに対してひび割れ近傍の両端のコンクリートから鉄筋が抜け出すことになる。

しかし、曲げとせん断を同時に受ける曲げモーメント勾配を持った梁では、図 1.2.2 に示す柱フェイス位置のひび割れ幅 W_{cr3} は、部材終局時には変形の増大とともにかなり大きくなるが、 W_{cr4}

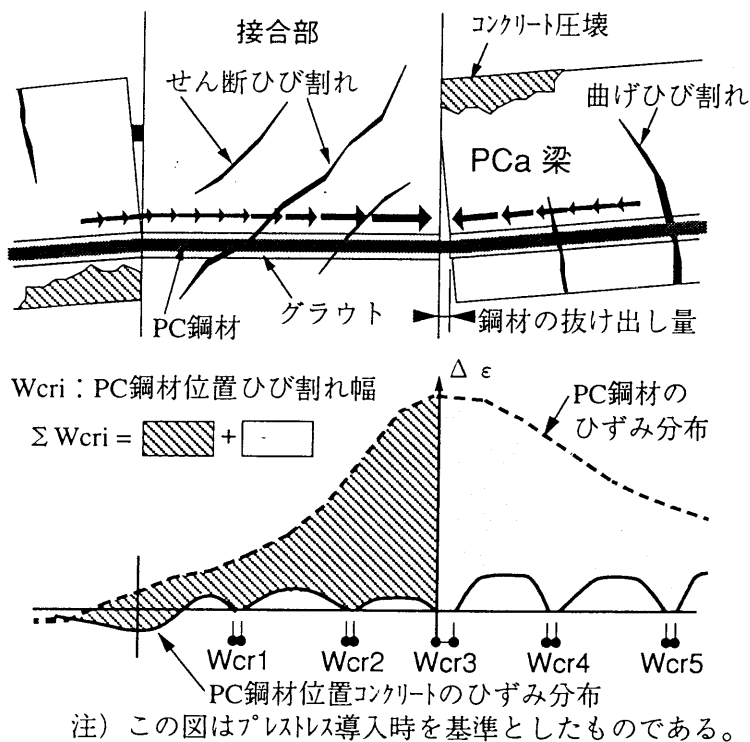


図 1.2.2 鋼材と鋼材位置コンクリートのひずみ分布 (模式図)

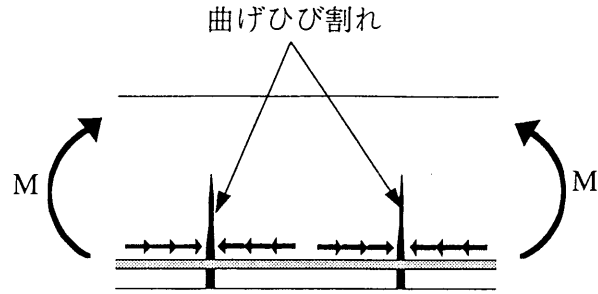


図 1.2.3 純曲げ状態における鋼材の抜け出し

や W_{cr5} 等のひび割れ幅はほとんど拡大せず，図中の矢印で示すように，純曲げ区間の梁（図1.2.3）より更に広い範囲の梁ひび割れ領域から柱フェイス位置（ W_{cr3} ）に鋼材が抜け出す。すなわち，引張側鋼材が柱梁接合部からだけではなく梁からも抜け出し，その量も純曲げ状態に比べてかなり多いと推察される。

1.2.2 鋼材の付着すべりを考慮した解析法

部材内からの引張側鋼材の抜け出し量を評価するには，RC部材では鉄筋とコンクリート，PC部材ではPC鋼材とグラウト材に関して，材料特性の異なる2つの材料界面付近における付着すべり現象を考慮する必要がある。

鋼材の付着すべりを考慮しうる既往の解析法として，付着ばね（ボンドリンク）を用いた有限要素法による解析（以下，FEM解析）がある。FEM解析は，曲げ破壊だけでなく，せん断破壊などの破壊現象を取り扱える言わば万能型の解析法である。また，万能ゆえに，材料特性や付着特性等のモデルの設定によって得られる解が大きく異なる。これらの材料レベルにおける部材内部の力学的現象は実験から直接解明することは難しく，実験結果を忠実に模擬することを主眼とした野口等の解析的研究⁹⁻¹²⁾をきっかけとして，実験では把握できない部材内部の微視的挙動が徐々に解明されつつある。

一方，市之瀬は，せん断破壊が生じないで付着破壊のみが進行する破壊形式では，FEM解析よりも自由度の少ない解析法の方が見通しの良い結果が得られるとして，部材を1次元の線材に置換して考える解析法を提案している¹³⁻¹⁵⁾。市之瀬の解析法は，部材変形の自由度を，両端の回転変形，軸方向変形，上下主筋の抜け出し量の合計8個として考えるものである。この解析法によって，主筋の付着の有無をパラメータとした実験¹⁶⁾や梁主筋に沿った付着割裂破壊を対象とした実験^{17, 18)}を解析的に評価できることを示した。この市之瀬の研究は，地震時の骨組の耐力保持能力とエネルギー消費能力を確保する上で，せん断破壊と同様に，大きな障害となる部材の付着割裂破壊を解明した点では優れたものであり，その成果は現在の構造設計指針^{1, 2)}等にも反映さ

れている。

近年、本研究で対象とする曲げ靱性部材に対して、ファイバーモデルに付着すべり特性を適用した解析的研究が行われつつある^{19, 20)}。FEM解析や市之瀬の解析法と共通する点は、鋼材の付着応力-すべり特性を解析条件として予め仮定する点であり、この仮定によって得られる解も異なる。部材に曲げとせん断が生じた場合、引張側鋼材の軸方向には必ず応力差が生じ、鋼材各位置に付着応力が生じることになる。付着ばねを部材各要素に設けたファイバーモデルによる解析では、付着応力が生じれば必ず鋼材位置にすべりが生じる。例えば、クリティカル断面のみにひび割れが生じた状態において、特別な解析条件を設定しない限り、部材全長に亘って仮定した付着ばねのすべり量の総和がクリティカル断面に抜け出していることになり、同じ特性を持つ付着ばねを部材各要素に初めから設定する解析法についてはその妥当性に疑問が残る。

1.2.3 曲げせん断ひび割れによる変形評価

曲げせん断ひび割れを対象とした研究としてKaniのTooth理論²¹⁾などがあるが、大部分はひび割れ耐力に着目したもの^{22, 23)}であり、部材変形の増大とともに曲げせん断ひび割れが伸展・拡大する過程を解析的に評価するための研究資料は不足している。

図1.2.4は曲げせん断ひび割れに関するKaniの考え方を示したものである。Kaniの理論は、引張側鋼材に生じる付着力により2つの曲げひび割れの間を生じるコンクリート片持ち梁部が折れ、曲げせん断ひび割れが発生するという考え方である。この考え方に従えば、曲げせん断ひび割れを評価するためには曲げひび割れ間隔と引張側鋼材の付着力分布を特定する必要がある。しかし、ファイバーモデルを用いてこの曲げせん断ひび割れを評価する場合、①同モデルでは要素内の曲げひび割れを平均化した分散ひび割れ(要素内の平均ひずみ)として扱っていること、②曲げせん断ひび割れが複数の要素を横切って伸展すること、等の問題点がある。

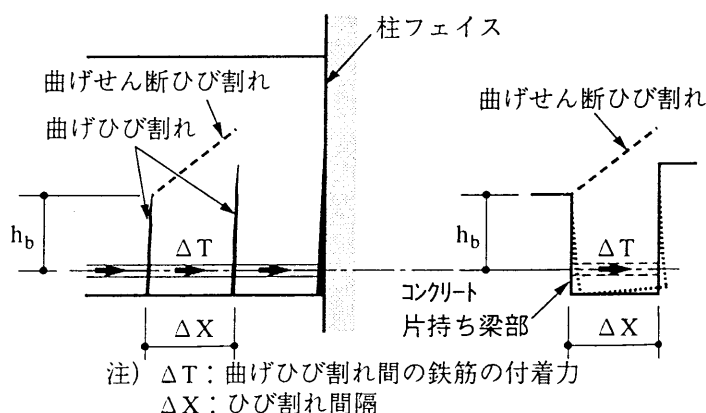


図 1.2.4 Kani の Tooth 理論

1.3 PCaPC 梁の構造的特徴

部材に外力が作用した場合の基本的な力学的現象に関し、PC部材とRC部材は同じであるが、PC部材、特に本論で対象とする圧着接合方式のPCaPC部材では、RC部材にはない施工法や使用材料の相違から、地震時の部材挙動を解明する上では留意すべき点がある。本節では、PCaPC梁も含めPC部材とRC部材の相違点について述べる。なお、本節で述べるPCaPC梁の構造的特徴は、本論文を展開する上で重要なポイントとなるので敢えて解説することとした。

1.3.1 部材変形に占める材端の塑性回転変形量

PC梁では、長期荷重による部材の曲げモーメントを相殺するように緊張材が配置されており、フルプレストリングの設計（長期荷重時曲げ応力+プレストレスによる曲げ応力=0）では、図1.3.1に示すように長期荷重とプレストレスが合わさった状態では、梁の図芯位置に緊張材が直線配置された場合とコンクリートの応力状態は等価と言える。したがって、部材のひび割れ発生モーメントは軸圧縮応力が作用していないRC梁に比べてPC梁の方が大きく、地震時の梁のモーメント分布が同じであれば、PC梁の方がRC梁に比べて弾性変形領域が広がる。

図1.3.2は、部材耐力が同じPC梁とRC梁において、部材のモーメントと曲率の関係および曲率分布を模式的に示したものである。緊張力を除く部材の諸条件が同じであれば、PC梁では弾性変形領域がRC梁より広がることから、部材の全体変形に占める抜け出し回転変形を含めた梁端部の塑性回転変形の比率が大きくなる。したがって、PC梁の曲げ変形解析では、梁端近傍の塑性回転評価の良否が解析結果を大きく左右する。図1.3.2では、曲げ降伏時の曲率はPC梁の方が小さくなっているが、PCaPC梁ではPC鋼材がクリティカル断面の引張側に配置されるため、

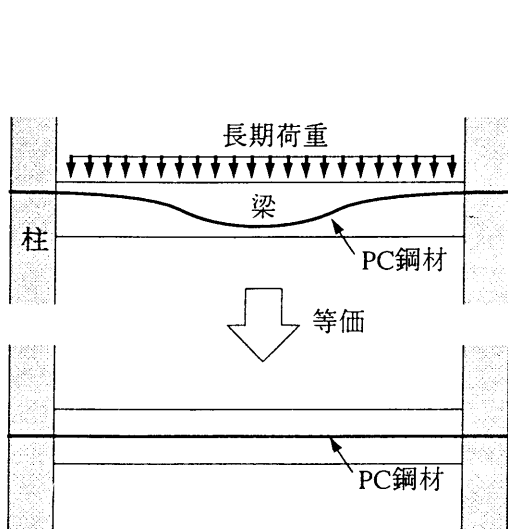


図1.3.1 長期荷重とプレストレスの組合せ

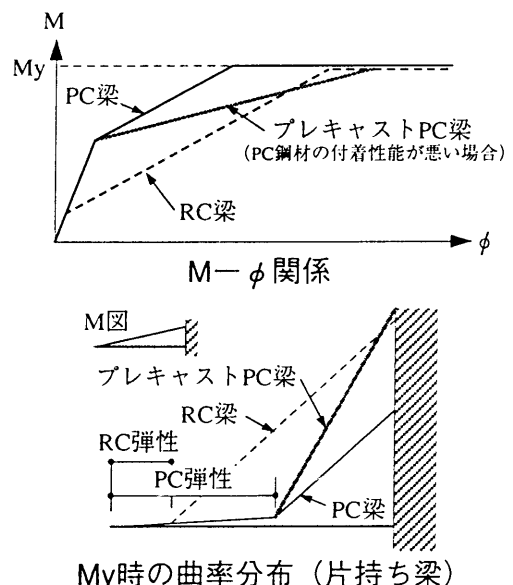


図1.3.2 PC梁とRC梁の構造特性

使用するPC鋼材の付着性能が悪い場合には、クリティカル断面における曲げ降伏時の曲率が見かけ上大きくなり、梁端部の塑性回転に伴う部材変形の占める割合が一般のPC梁より更に大きくなる。

1.3.2 グラウト材

PC梁ではプレストレスによる軸圧縮応力が作用しているため、曲げと軸力を同時に受けるRC柱の構造特性と共通する点が多い。両者の引張側鋼材の付着すべり特性を決定する要因は、PC梁ではグラウト材、RC柱ではコンクリートであり、軸圧縮応力が作用している場合の両者の応力状態は基本的に異なる。すなわち、PC梁では、部材内にPC鋼材用シースを配置し、コンクリート打設後、コンクリートが所定の強度に達した段階でプレストレス導入を行う。グラウト材の注入はプレストレス導入後であり、グラウト材硬化後もグラウト材は無応力状態（厳密にはグラウト材には膨張剤が入っており、僅かな拘束力が作用している）である。それに対して、RC柱におけるコンクリートには、上階の重量分の軸力が加わっており、鉄筋界面には軸力による横方向からの拘束力が働いている。したがって、グラウト材とコンクリートの材料特性が全く同一であっても、RC柱における鉄筋はPC梁におけるPC鋼材に比べて有利な付着条件下にある。

グラウト材はPC鋼材の防錆と付着を目的としたものであり、PC造建築の実用化当初では現在のような高性能の混和剤が存在しなかったため、その圧縮強度についても200 kgf/cm² (19.6MPa)を超えればよいとされていた。1970年代には、六車等を中心としてPC鋼材とグラウト材の付着性状に関する研究がなされている²⁴⁾が、1980年以降、PC鋼材の付着性状に関する研究はあまり行われてなく、PC部材や架構の実験報告でグラウト材強度が記載されたものが少ない。しかし、近年、圧着型PCaPC梁を対象とした研究において、PC鋼材とグラウト材の付着すべり特性の重要性が着目され、各種論文集の実験報告でグラウト材強度が示されつつあるので、部材の荷重変形関係の分析にあたってコンクリートや鋼材の材料特性値と同様にグラウト材についてもデータベース化される必要がある。

1.3.3 PC鋼材の種類とPC鋼材が降伏するために必要な伸び量

現行のPC設計施工規準²⁵⁾では、緊張時のPC鋼材の許容引張応力は規格降伏点強度の0.8倍（定着完了時）としており、クリープ等による引張力の減退等を考慮した有効率はポストテンション方式では0.85となっている。これらより、断面設計に用いる有効プレストレス力 (P_0) は、PC鋼材の規格降伏点荷重 (P_y) に対して $0.68 P_y (= 0.8 \times 0.85 P_y)$ が最大値となる。また、緊張材としてPC鋼より線を用いる場合には定着具にPC鋼より線をセットする際のロス（セットロス）や緊張材が曲線配置される場合にはPC鋼材とシースの摩擦による緊張力の損失を考慮する

必要がある。したがって、PC鋼より線を用いる場合、セットロスや摩擦損失を考慮すると、 P_0 が $0.5 \sim 0.6 P_y$ 程度となる。

図 1.3.3 は PC 鋼材の応力-ひずみ関係を模式的に示したものである。ここで、PC 鋼材の実降伏点が規格降伏点の 1.1 倍で、鋼材のヤング係数が 200GPa と考える。PC 鋼材が降伏するまでには、 P_0 の最大値が $0.68 P_y$ となる PC 鋼棒（丸棒，異形）では 0.2～0.3% 以上，降伏点強度が高い PC 鋼より線では 0.4～0.5% 以上鋼材が伸びる必要がある。一般の RC 部材では鉄筋が降伏するための伸び量は 0.2% 以下であることを考えると，PC 部材においては PC 鋼材が降伏するための条件が厳しいことになる。言い換えれば，PC 鋼材が降伏する時の部材変形が大きくなることになり，後述する梁端部における鋼材の抜け出し量も多くなる（図 1.3.4）。

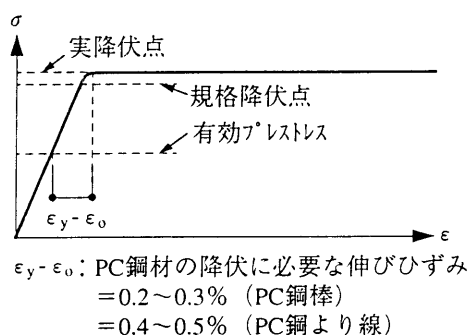


図 1.3.3 PC 鋼材の応力-ひずみ関係

図 1.3.4 は，片持ち梁の実験において，引張側鋼材降伏時のスタブ内（鋼材定着部）での鋼材のひずみ分布を模式的に示したものである。図ではスタブ内の鋼材の付着応力は一定とし，鋼材径はすべて同じとしてひずみ分布を示してある。スタブ内での鋼材のひずみ分布を積分したものが抜け出し量と考えると，鋼材の相違によって降伏時の抜け出し量が大きく異なることがわかる。

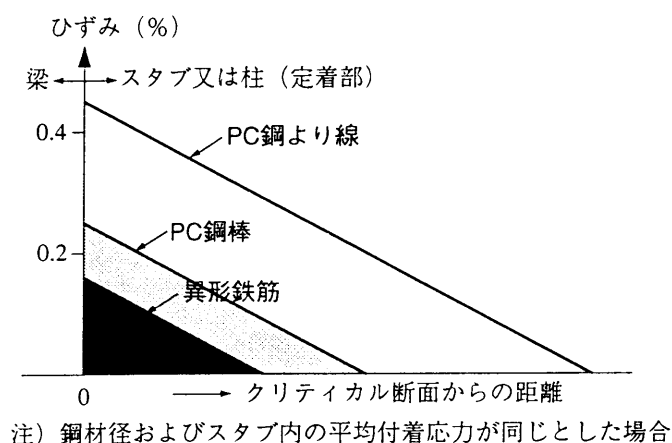


図 1.3.4 スタブ内での鋼材のひずみ分布

PC 鋼より線やPC 鋼棒（丸棒）は、異形鉄筋や異形PC 鋼棒に比べて付着性能が劣ることは周知のことであり、実際にはそれらの鋼材では図で示すものより更に抜け出し量が大きくなる。例えば、PCaPC 梁では、PC 鋼材が降伏するまでに梁端部に大きな抜け出し回転変形が生じ、PC 鋼材が降伏する前に梁端圧縮部コンクリートの圧壊によって最大耐力が決まる場合がある^{26, 27)}。

PC 鋼より線を用いた試験体の実験結果の取り扱いで注意すべき点として、試験体の縮尺率が挙げられる。PC 鋼棒や異形PC 鋼棒は細径のものから太径のものまで様々であり、試験体の縮尺率に応じて鋼材径を小さくすることができるが、PC 鋼より線は実建物では取り扱い易さから比較的細径の $\phi 12.7$ や $\phi 15.2$ の7本より線が使用されることが多く、縮尺模型試験体も実建物と同様なPC 鋼より線を使用している場合がほとんどである。そのため、試験体では部材断面に対する鋼材径が大きくなり、実建物に比べてPC 鋼より線の付着条件が厳しくなる。したがって、PC 鋼材比が実建物と同じでも試験体の縮尺率が小さくなるほど、梁全体変形に占める抜け出し回転変形の比率が大きくなる。

以上の観点から、実験資料に基づく荷重変形特性の検討では、PC 鋼材の種類、PC 鋼より線では試験体の縮尺率等を考慮に入れておく必要がある。この点については、本論文の第6章で考察する。

1.4 本論文の構成

本論文は全7章から構成される。以下に各章の概要を示す。

第1章では、一般に曲げ靱性部材として設計されるPCaPC部材の耐力変形性状および部材各部の変形およびひずみを精度よく予測するためには、PC鋼材の付着すべり特性を考慮する必要がある点を、本研究の背景として示した。本研究の目的は、地震時応力下におけるPC鋼材の抜け出しと、部材の曲げひび割れや曲げせん断ひび割れによって生じる塑性変形を、鋼材の付着すべり特性と関連付けて評価することであり、関連する既往の研究および解析法に関して著者が考える問題点を示した。最後に、部材端部に抜け出し等の塑性回転が集中しやすいPCaPC梁の構造的特徴についてRC部材と比較して解説し、PCaPC梁の曲げ解析法では部材端部の変形性状の評価が重要となることを示した。

第2章では、PC鋼材の種類（PC鋼より線、PC鋼棒、異形PC鋼棒）をパラメータとしたPCaPC梁の実験に関して、実験計画および実験結果について述べる。実験の目的は、PC鋼材とグラウト材の付着すべり特性がPCaPC梁の耐力変形性状等の部材性状に及ぼす影響を実験的に把握することである。

第3章では、PC鋼より線とグラウト材の基本的な付着すべり性状を把握するために行った引抜きタイプの付着実験に関して、実験計画および実験結果について述べる。実験のパラメータは、PC鋼より線の径と形状（7本より、19本より）、グラウト材の圧縮強度および緊張力の有無である。

次に、第2章の部材実験における接合部内のPC鋼材の付着性状を分析するとともに、付着実験結果に基づくPC鋼より線の付着応力-すべり特性モデルを提案する。

第4章では、第2章のPCaPC梁の実験結果を基に、梁端部でのPC鋼材の抜け出し現象について考察し、その結果を参考としてPC鋼材の付着すべりを考慮した曲げ変形解析法を提案する。また、提案解析法による解析結果と実験結果を比較することにより、本解析法の妥当性および問題点を考察する。

第5章では、RC部材を対象として、部材内での主筋の付着すべり性状とひび割れの関係、定着部での主筋の付着性状等について検討するとともに、第4章の解析法における問題点である曲げ

せん断ひび割れ評価に関して実験資料に基づいて考察する。

第6章では、第4章における解析法の問題点および第5章における検討結果を基に、PC鋼材の付着すべりと曲げせん断ひび割れによる変形を考慮したPCaPC梁の曲げ変形解析法を提案する。

また、本解析法を用いて、断面寸法と鋼材径をパラメータとした数値実験を実施し、既往の模型試験体の実験における縮尺率に起因する問題点について考察する。

第7章では、本研究を総括し、今後の研究課題について著者の考えをまとめる。

第1章 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（案）・同解説，
1990年11月
- 2) 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（案）・同解説，
1997年7月
- 3) 森田司郎：鉄筋コンクリートにおける付着とひび割れ，コンクリートジャーナル，コンクリート工学協会，1969年4月，六車熙，森田司郎，富田幸次郎：鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究（I 付着応力分布について），日本建築学会論文報告集 第132号，1967年2月
- 4) 松崎育弘，福山洋，中澤春生，物部雅江：鉄筋コンクリート部材におけるひび割れ発生領域の抵抗機構に関する実験研究－ひび割れの開閉性状－，日本建築学会構造系論文報告集 第388号，PP.35-44，1988年，福山洋，松崎育弘：同題名－ひび割れ開閉モデルの検証－，日本建築学会構造系論文報告集 第409号，PP.37-50，1990年
- 5) 松崎育弘，福山洋，河野賢一：鉄筋コンクリート曲げ部材の復元力特性に関する解析的研究－ひび割れ開閉モデルを用いた部材回転変形の算出法－，日本建築学会構造系論文報告集 第411号，PP.39-48，1990年
- 6) 例えば，北山和宏：主筋の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靱性部材配筋詳細研究委員会，pp.103-108，1990年5月
- 7) 例えば，中塚侑，阿波野昌幸，石井孝幸，上東弘英：等価塑性ヒンジ長さとは断面曲げ解析によるPC梁の荷重－変形関係の推定（その1），（その2），日本建築学会大会学術講演会梗概集構造IV，pp.1043-1046，1999年9月
- 8) 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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.5，pp.301-304，1983年
- 9) 野口博，長沼一洋：繰返し荷重を受けるRC柱・はり接合部の非線形解析，第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集，pp.139-146，1983.10
- 10) 野口博，寺崎浩：RC柱・はり接合部のJCI選定試験体の非線形解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.6，pp.661-664，1984年
- 11) 野口博，増田昭浩：RCはり・柱のJCI選定試験体の非線形解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.6，pp.513-516，1984年
- 12) 野口博，丸田誠：RC耐震壁のJCI選定試験体の非線形解析，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.6，pp.741-744，1984年

- 13) 市之瀬敏勝：付着すべりを考慮した鉄筋コンクリート骨組の解析法—鉄筋・付着とも弾性の場合—, 日本建築学会論文報告集, 第 327 号, pp.61-71, 昭和 58 年 5 月
- 14) 市之瀬敏勝：付着すべりを考慮した鉄筋コンクリート骨組の非線形解析法, 日本建築学会論文報告集, 第 328 号, pp.26-35, 昭和 58 年 6 月
- 15) 市之瀬敏勝：鉄筋コンクリートはり柱接合部における付着すべり, 日本建築学会論文報告集, 第 367 号, pp.151-159 昭和 61 年 9 月
- 16) 瀧口克巳：付着のある RC 部材と付着のない RC 部材の変形特性 II, 日本建築学会論文報告集, 第 262 号, pp.53-60, 昭和 52 年 12 月
- 17) 山本浩二, 宗村美貞：鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合研究 (その 11), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, pp.1309-1310, 1974 年 10 月
- 18) 黒正清治, 福原正志：鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合研究 (その 6), 日本建築学会大会学術講演会梗概集, pp.1423-1424, 1973 年 10 月
- 19) 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骨組の履歴挙動解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, 1999 年
- 20) 青野英志, 揚成旭, 塩原 等, 小谷俊介：緊張材の付着すべり特性を因子としたプレストレストコンクリート柱の非線形解析, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 構造 IV, pp.1049-1050, 1999 年
- 21) Kani, G.N.J. : The Riddle of Shear Failure and Its Solution, J. of the ACI, April, pp.441-467, 1964
- 22) Lorentsen, M. : Theory for the Combined Action of Bending Moment and Shear in Reinforced and Prestressed Concrete Beams, ACI Journal, Vol.62, No.4, pp.403-420, 1965
- 23) 渡邊史夫, 六車熙, 西山峰広：曲げとせん断を受ける PC パイルの耐力評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.9, No.2, pp.483-488, 1987年
- 24) 例えば, 六車熙, 富永恵, 岡本晴彦：両引試験法によるプレストレストコンクリート用緊張材と注入セメントグラウトの付着性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, pp.1141-1142, 1972 年
- 25) 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 年
- 26) 是永健好, 小林淳, 桑田由加子：終局時に PC 鋼材が降伏しないプレキャスト PC 梁の曲げ変形解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.2, pp.783-788, 1993 年
- 27) 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」平成8年度～10年度研究報告書, 1996～1998年