

断面解析を用いた PC 梁部材の各指標点発生時の塑性ヒンジ部回転角

大阪大学大学院 正会員 博士 (工学) ○ 岸本 一蔵

大阪大学大学院 正会員 工博 大野 義照

1. はじめに

建築建物の耐震設計は建物への入力大きさに応じてより細かな限界状態を規定する性能設計法への移行期にあり、従来の終局限界に加えて使用限界や修復限界といった新たな限界値を設定することが急務となっている。プレストレストコンクリート (PC) 部材では、鉄筋コンクリート (RC) 部材よりも原点指向性の強い曲げ挙動を示すことが知られているが、配置される PC 鋼材の位置、量、強度、初期導入力等の条件、或いは配置される普通鉄筋の諸条件など、履歴性状に影響を及ぼす因子は RC 部材に比べて格段に多く、かつ、それらの条件によっては履歴性状も大きく異なる。従って、RC 部材で示されるような各種限界の状況を唯一的な条件 (例えば普通鉄筋の降伏等) で示すことは困難であり、前述の条件と各材料の状態の関係を調べた上で各種限界を設定しなければならない。本論文では、各種限界点設定のための資料を得ることを目的に、断面解析を用いて、PC 梁部材が曲げ変形を受ける場合の各種指標点の発生時の塑性ヒンジ部回転角について検討を行うものである。

2. 解析条件

2. 1 解析手法

部材挙動の解析には、本論文で用いる (解析手法としては最も単純な) 断面解析によるもの他に、材軸方向に部材を分割し、分割した個々のブロック間の力の釣り合いとひずみ適合条件から部材挙動を解析するより高度で複雑な解析法がある。前者の解析法では等価塑性ヒンジ領域の大きさ、後者では分割するブロック大きさの設定が計算結果に大きく影響するが、現状ではこれらの値について十分な知見が得られていない。本論文では、パラメータが多く解析数が多いこと、概括的な傾向を検討することが目的であること、更に前述の理由等々により、前者の解析手法を用いた。解析手順については、一般的なファイバーモデルを用いた断面解析手法であり、仮定した断面曲率に対し各材料の応力を算定し、圧縮合力と引張合力が釣り合う圧縮縁ひずみを収斂計算により求めモーメントを計算した。また、ヒンジ部での部材回転角は、解析から計算される断面曲率と等価塑性ヒンジ長さ ($l_{eq}=1.0D$ と仮定) の積により求めた。コンクリート及び普通鉄筋に対しては、平面保持を適用し、PC 鋼材に対しては後述するひずみ適合係数を用いてひずみを計算した。

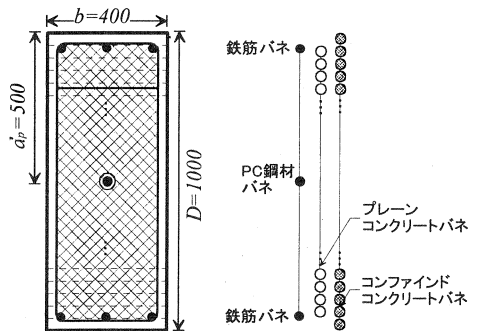


図 1 解析対象断面とそのモデル化概要

2. 2 解析対象断面とパラメータ

図-1に解析対象とした断面とそのモデル化概要を示す。断面形状は幅(b)400mm、せい(D)1000mmの矩形断面であり、解析にあたってはファイバーモデル(断面せい方向100分割)を用いた。せん断補強筋内部のコンクリートはその拘束効果を考慮し、中塚等の提案式²⁾により求めた値を用いた。採用した解析パラメータは、鉄筋鋼材係数(q_{sp})、終局プレストレス率(λ_t)、PC鋼材-コンクリート間の付着程度(ひずみ適合係数:F(図-2参照))、PC鋼材の配置位置、である。表-1にパラメータとその他の共通諸元を示す。鉄筋鋼材係数(q_{sp})および終局プレストレス率(λ_t)は式(1)、(2)により求まる値であり、前者はPC鋼材量そのものを、コンクリートの断面圧縮能力に対する比率で表しており、q_{sp}=0.3の場合のPC鋼材量は0.1の場合の3倍である。後者は、引張力成分に対するPC鋼材の寄与割合を表しており、1.0の場合完全なPC部材(普通鉄筋が0)、0.0の場合、完全なRC部材を表す。解析を行った各q_{sp}とλ_tの組み合わせに対する鋼材量の一覧と、それを図示したものを図-3に示す。

$$q_{sp} = \frac{T_{py} + T_{ry} - C_{ry}}{b \cdot D \cdot F_c} = \frac{T_{py}}{b \cdot D \cdot F_c} \dots (1)$$

$$\lambda_t = \frac{T_{py}}{T_{py} + T_{ry}} \dots (2)$$

T_{py}: 全PC鋼材降伏時応力, T_{ry}: 引張鉄筋降伏時応力, C_{ry}: 圧縮鉄筋降伏時応力, b: 梁幅, D: 梁せい, F_c: プレコンクリートの圧縮強度

2. 3 指標点

検討の対象とした指標点は次の通りである。(部材)最大耐力時点。(主筋、PC鋼材)降伏時。(コンクリート)断面圧縮縁がプレコンクリートの圧縮強度に達した時点、およびその1.5倍ひずみの時点、コア部圧縮縁がコンファインドコンクリート

PC鋼材 q _{sp}	mm ² %		λ _t	鉄筋量 cm ² %	
	mm ²	%		cm ²	%
0.1	93	0.23	0.2	160	4.00
			0.5	40	1.00
			0.7	17	0.43
			0.9	4	0.11
0.2	187	0.47	0.2	320	8.00
			0.5	80	2.00
			0.7	34	0.86
			0.9	9	0.22
0.3	280	0.70	0.2	480	12.00
			0.5	120	3.00
			0.7	51	1.29
			0.9	13	0.33

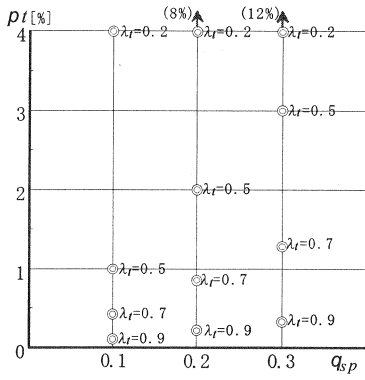


図-3 解析パラメータと鋼材量

表-1 解析に用いたパラメータ及び条件

要因	記号	水準
鉄筋鋼材係数	q _{sp}	0.1, 0.2, 0.3
終局プレストレス率	λ _t	0.2, 0.5, 0.7, 0.9
ひずみ適合係数	F*	0.2, 0.5, 0.8
PC鋼材位置	dp	500, 800

※F=0.2はアンボンド部材を0.8は付着がかなりよい場合を想定

【共通事項】
 コンクリート圧縮強度=35N/mm²
 コンクリートヤング係数=28100N/mm²
 普通鉄筋降伏強度=350N/mm²
 普通鉄筋ヤング係数=205000N/mm²
 PC鋼材降伏強度=1500N/mm²
 PC鋼材ヤング係数=200000N/mm²
 横拘束補強 D10@50mm、サブタイ本数1本
 PC導入力: 降伏強度の80%
 有効プレストレス率: 85%

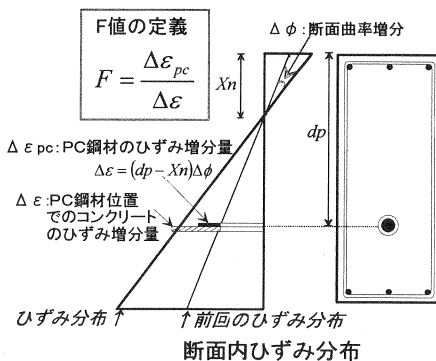
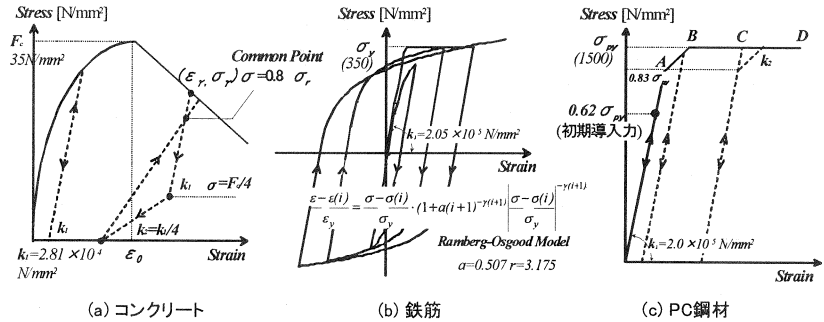


図-2 F値の定義

の圧縮強度時ひずみに達した時点、およびその1.5 倍のひずみ時点。これらの指標点の発生時点でのヒンジ部の回転角を調べた。



(a) コンクリート (b) 鉄筋 (c) PC鋼材

2. 4 材料の応力度-ひずみ度関係

図-4 材料の応力度-ひずみ度関係

各材料バネの履歴則を図-4に示す。コンクリートの応力度-ひずみ度 (S-S) 関係は応力上昇域をn次関数、応力下降域を直線で近似するモデル²⁾を、また、鉄筋のS-S関係は繰り返し応力を受ける場合のBauschinger効果を考慮したモデル³⁾を用いた。PC鋼材については、文献4を参考にトリニアモデルとした。コンクリートについては前述の通りである。図-5に解析での、プレーンおよびコンファインドコンクリートの応

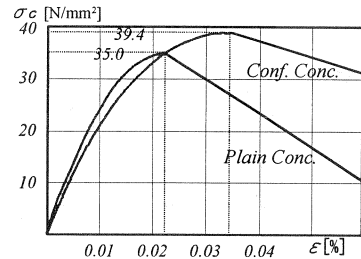


図-5 解析時のコンクリートの応力度-ひずみ度関係

3. 解析結果

3. 1 モーメント-回転角関係

図-6に解析結果 (モーメント (M)-回転角 (R)関係) の一例を示す。同図は、 $q_{sp}=0.3$ 、 $\lambda_t=0.7$ の場合

(PC鋼材量が多く、PCの性質が比較的強い場合) について比較したものであるが、おおむね次のようなことがわかる。1) F値の違いにより

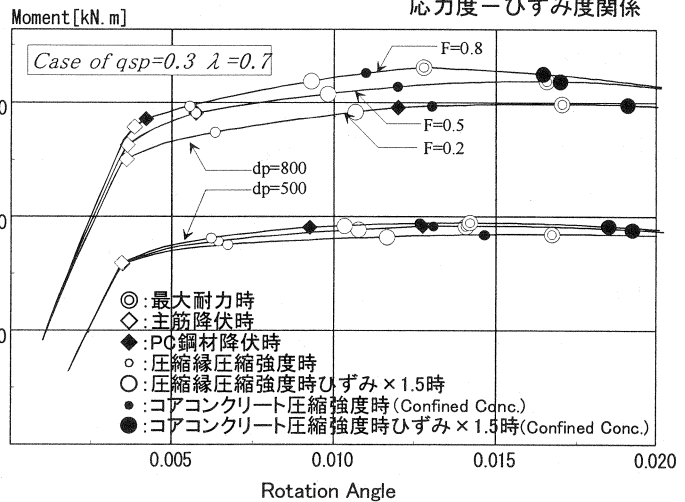


図-6 解析例 (モーメント-回転角関係)

最大耐力は異なり、F値が大きいほど、すなわちPC鋼材-コンクリート間の付着程度が良好なほど最大耐力は大きい。F=0.2 と 0.8 の場合の差はおよそ 4~8% である。2) F値の違いにより最大耐力発生時の回転角は異なるが、最大耐力前後における耐力変化量は比較的小さい。3) 引張鉄筋降伏時の耐力に対する最大耐力時の耐力上昇割合は、 $d_p=500, 800$ の違いによらずおよそ 13~16% 程度である。4) PC鋼材降伏時の回転角はF値により大きく異なる。5) 普通鉄筋降伏、およびコンクリートひずみが検討した各種ひずみ値に達する時点での回転角は、 d_p 、Fのいずれにもあまり大きな影響を受けない。上記の結果は、他の q_{sp} と λ_t の組み合わせの場合についても (耐力差の割合などの数値は当然異なるものの)、同様の傾向を示した。

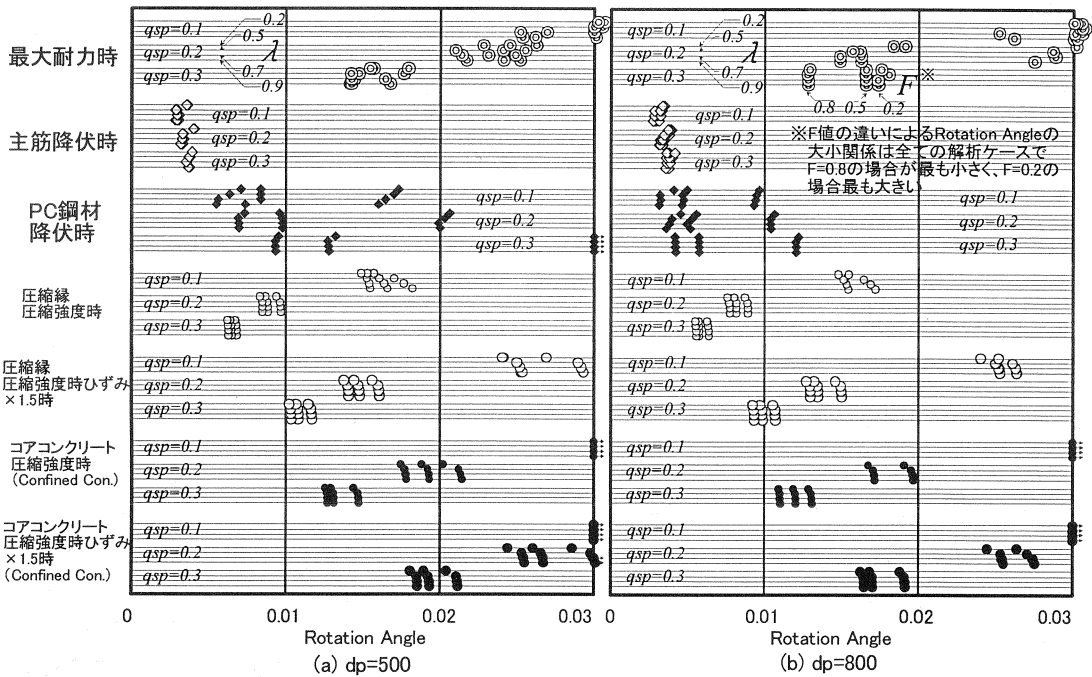


図-7 各種指標点の発生時回転角の比較一覧

3. 2 各種指標点の比較

図-7に各種指標点の発生時回転角の比較一覧を示す。1)最大耐力発生時の回転角は、いずれのケースでの0.013以上であり、F値が小さい程、また q_{sp} が小さいほど大きな値となる。特に、 $d_p=500$ で q_{sp} が0.2以下の場合、1/50以上の大きな回転角時に最大耐力が発生する。なお、 λ にはほとんど影響をうけない。2)主筋降伏時の回転角は、検討したいずれのパラメータにも顕著に影響をうけず、おおよそ0.0025~0.005となっている。3)断面圧縮縁ひずみが圧縮強度およびその1.5倍時の回転角は、 q_{sp} に非常に大きく影響を受ける。具体的には圧縮縁ひずみ圧縮強度時で、 $q_{sp}=0.1$ の場合、回転角はおおよそ0.015~0.018であるのに対し、 $q_{sp}=0.3$ の場合0.006程度と両者で約3倍の差がある。 q_{sp} 以外のパラメータの影響は小さい。4)コアコンクリート圧縮強度時およびその1.5倍時の回転角は、基本的には圧縮縁ひずみ圧縮強度時の値と同様の傾向があり、 q_{sp} の大小により大きく異なる。また、最大耐力時は、コアコンクリート圧縮強度時近辺で生じている。

4. まとめ

ファイバーモデルによる断面解析を行い、PC梁部材の各指標点の発生時におけるヒンジ部回転角について検討した。今後、実験値との比較等を行い計算の精度について検討すると共に、残留変形量や履歴エネルギー吸収能等についても調べ、限界点設定のための具体的な手法について考察する予定である。

参考文献 1)前田 博司、岸本 一蔵、西山 峰広：PC鋼材の付着すべりを考慮したプレキャストPC部材の履歴挙動解析法、日本コンクリート工学協会年次論文集、第26巻 No.2, pp.709-714, 2004.7 2)中塚 信、阪井由尚、中川裕史：コンファインドコンクリートの強度・変形特性推定式、日本建築学会構造系論文報告集、Vol505, pp93-99, 1998.3 3)榎本 秀文、"PRC梁の履歴性質に関する解析的性質"、大阪大学大学院修士論文、pp60-65, 1981 4)日本建築学会：コンクリート構造(PC、PRC)部材の靱性設計手法と耐震架構への応用、pp58-81, 1997.9