

曲げ変形が卓越する PC 梁部材の断面解析による性能評価 (その 2 解析結果)

PCaPC 部材
断面解析PRC 部材
限界状態曲げ変形
性能設計正会員 ○狩野芳規^{*1}同 尹亨在^{*1}同 河野進^{*2}同 岸本一蔵^{*3}

1. はじめに

前報(その 1)に続き、解析結果について報告する。

2. 解析結果

2.1 モーメント-部材角関係

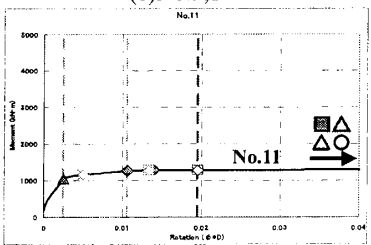
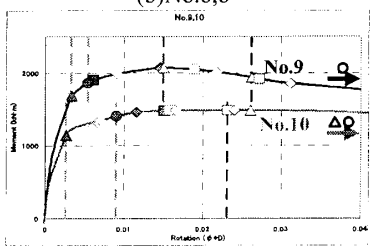
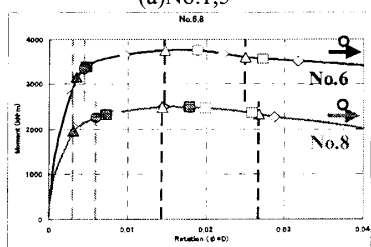
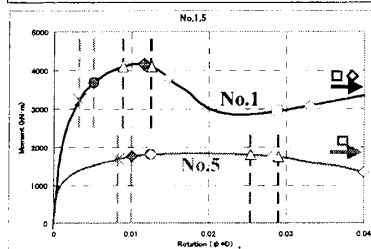
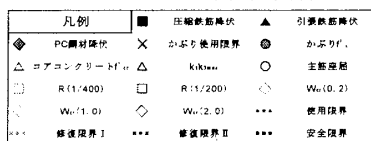


図-1 モーメント-材端回転角関係の例

図-1に解析結果の代表例を示す。なお、横軸の材端回転角 R は等価塑性ヒンジ長さを 1.0D と仮定して、曲率 ϕ に乗じた値である。凡例において、「かぶり使用限界」はかぶりコンクリートが使用限界に達すること、「かぶり f_c 」はかぶりコンクリートが修復限界 I に達すること、「コアコンクリート f_{cc} 」はコアコンクリートが修復限界 II に達することとし、 $R(\)$ の値は残留変形の値、 $W_{cr}(\)$ の値は残留ひび割れ幅の値 (単位: mm) を示す。また、4 本の縦点線は 4 つの限界状態 (使用限界、修復限界 I、修復限界 II、安全限界) に最初に到達したときの材端回転角を示す。

2.2 限界状態を決定する要因

部材が 4 つの限界状態に至る最初の要因を表-1 にまとめて示す。表中で、2 つの要因を示したものはほぼ同じ変形角で

2 つの要因に達したことを示す。PCa 圧着部材の No.1~5 では、「かぶり使用限界」で、使用限界状態となった。現行 PC 規準設計例の No.9~12 については、鋼材係数 q の値が小さくなると、「引張鉄筋降伏」で、使用限界となった。また、コンクリート強度の高い No.1~5 では、コンクリート

強度が高いと断面力の釣合に必要な圧縮領域が小さくなり、中立軸深さが小さくなる。その結果、曲率が大きくなり、「かぶり使用限界」となる変形が大きくなった。修復限界 I は、おおむね「かぶり f_c 」で修復限界 I に達したが、PC 鋼材係数 q_{sp} の小さい No.5 および No.11 では、PC 鋼材の負担する応力が大きくなり、「PC 鋼材降伏」によって修復限界 I に達した。修復限界 II については、おおむね「コアコンクリート f_{cc} 」で、修復限界 II となった。プレストレス率 λ_t が小さく、かつコンクリート強度が 30MPa と低い No.10, 11 は、PC 鋼材が少なく、残留変形が大きくなることから、「残留変形が $R(1/200)$ に到達する」ことで修復限界 II となった。安全限界については、使用した判断基準は、「普通鉄筋のひずみが 10% 以下」、「PC 鋼材のひずみが 5% 以下」および「 k_1k_{3max} 」の 3 つである。普通鉄筋および PC 鋼材のひずみがそれぞれ、10%、5% を超える材端回転角は $R=4\%$ を超すため、すべての部材で「 k_1k_{3max} 」で安全限界となった。

4. 考察

4 つの限界状態について、その 1 の表-3 に示す条件に達する材端回転角 R とプレストレス率 λ_t の関係を図-2 に示す。図-2 から分るように、PC 部材の性能評価にはコンクリートの性能が支配的となる。そこで、本論文での解析結果から、実務レベルで使用できるような簡易な

表-1 部材が 4 つの限界状態に至る最初の要因

No.	使用限界	修復限界 I	修復限界 II	安全限界
1	かぶり	かぶり	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
2	かぶり	かぶり	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
3	かぶり	かぶり	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
4	かぶり	かぶり	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
5	かぶり	PC 降伏	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
6	かぶり	かぶり	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
7	かぶり	かぶり	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
8	引鉄降伏	かぶり	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
9	引鉄降伏	かぶり	コア f_{cc}	k_1k_{3max}
10	引鉄降伏	かぶり	$R(1/200)$	—
11	引鉄降伏	PC 降伏	コア f_{cc}	—
12	引鉄降伏	かぶり	$R(1/200)$	k_1k_{3max}

かぶり: かぶりコンクリートが使用限界に達すること、引鉄降伏: 引張鉄筋が降伏ひずみに達すること、かぶり f_c : かぶりコンクリートが圧縮強度時ひずみに達すること、PC 降伏: PC 鋼材が降伏ひずみに達すること、コア f_{cc} : コアコンクリートが圧縮強度時ひずみに達すること、 $R(1/200)$: 残留変形が 1/200 に達すること、 k_1k_{3max} : コアコンクリートの k_1k_3 が最大となるひずみに達すること

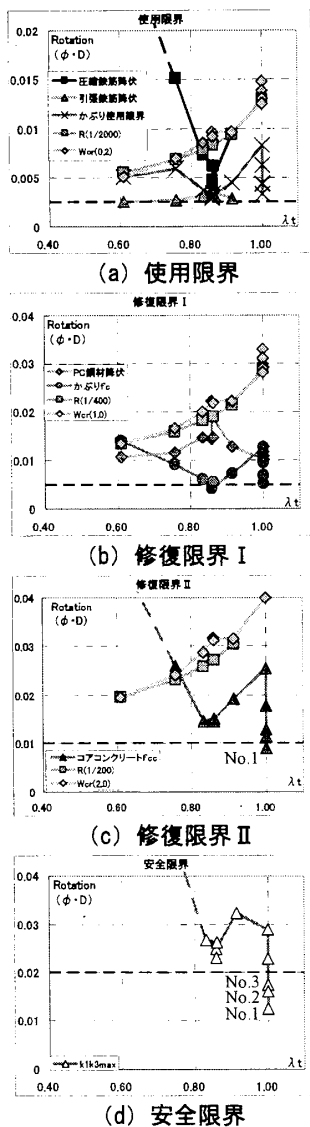


図-2 梁部材の各限界状態

め、コアコンクリートに圧壊が生じやすくなるためである。そこで、PCa 部材で、かつ q_{sp} が 0.17 を超える梁部材は、安全限界を $R=0.01$ とする。本論文では、安全限界が $R=0.02$ を超える PCa 部材で q_{sp} が最大となるものは No.4 の $q_{sp}=0.17$ であったために、安全側を取って q_{sp} が 0.17 を超える梁部材とした。

表-2 梁部材の簡易評価基準

梁部材	判断基準	
	①材端回転角による簡易な基準	②精査する場合の基準
使用限界	$R=0.0025$ 以下	「かぶり使用限界」および「引張鉄筋降伏」を評価
修復限界 I	$R=0.005$ 以下	「かぶり f_c 」および「PC 鋼材降伏」を評価
修復限界 II	$R=0.01$ 以下	$\lambda > 0.8$: 「コアコンクリート f_{cc} 」を評価 $\lambda < 0.8$: 「R(1/200)」および「 $W_{cr}(2.0)$ 」を評価
安全限界	その他	$R=0.02$
	PCa 部材かつ $q_{sp} > 0.17$	$R=0.01$

表-3 層の限界状態と限界層間変形角の標準値

限界状態	限界層間変形角
使用限界	1/400
修復限界 I	1/100
修復限界 II	1/75
安全限界	1/50

評価法を考える。梁部材の簡易な評価基準を表-2 に示す。この簡易な評価基準には、①材端回転角のみで評価する基準、②（その 1 の表-3 に比べ）実務レベルでも使用しやすいような範囲で精査する場合の基準、の 2 つを示した。

①材端回転角のみで評価する基準について、4 つの限界状態について各要因を満足するような材端回転角の区切りのよい値を考えると、使用限界は $R=0.0025$ (図-2 (a) 中の点線)、修復限界 I は $R=0.005$ (図-2 (b) の点線)、修復限界 II は $R=0.01$ (図-2 (c) 中の点線) となる。(c) に示すように、No.1 のみが $R=0.01$ を下回っているが、これは許容することとする。安全限界は $R=0.02$ (図-2 (d) 中の点線) となる。ただし、(d) に示すように、No.1~3 では、安全限界が $R=0.02$ を下回る。これは、PCa 部材では、圧縮力をコンクリートのみで負担するため、

②実務レベルでも使用できるような範囲で精査する場合の基準については以下のように判断する。使用限界は、「かぶり使用限界」、または「引張鉄筋降伏」によって限界状態に達しており、他の条件に到達するには十分に余裕がある。そこで使用限界は「かぶり使用限界」および「引張鉄筋降伏」を限界の判断基準とする。修復限界 I では、「かぶり f_c 」、または「PC 鋼材降伏」が他の条件に先んじて限界状態に達していることから、修復限界 I の限界状態の判断基準は「かぶり f_c 」および「PC 鋼材降伏」で評価することとする。修復限界 II については、 $\lambda > 0.8$ の場合「コアコンクリート f_{cc} 」、 $\lambda < 0.8$ の場合 $R(1/200)$ および $W_{cr}(2.0)$ で限界状態に達する傾向があることから、修復限界 II は $\lambda > 0.8$ では「コアコンクリート f_{cc} 」、 $\lambda < 0.8$ では「R(1/200)」および「 $W_{cr}(2.0)$ 」を評価することとする。安全限界は、「 $k_1 k_{3max}$ 」が他の条件に比べて先行していることから、「 $k_1 k_{3max}$ 」を限界状態の基準とする。

ここで、文献 8)*2 および 9)に示されている RC 建物の各種限界状態における限界層間変形角を表-3 に示す。表-3は表-2に示す簡易な評価基準で用いている梁の材端回転角に近い値となっている。梁両端に塑性ヒンジを仮定して、層間変形角と梁の材端回転角を同義に捉えることとすると、PC 建物であっても、RC 建物と同じ層間変形角で限界状態を規定すればよいことになる。これは、同じ地震荷重に対して RC 建物よりも変形が大きくなりがちな PC 建物が、RC 建物と同じ層間変形角で限界状態が規定されることになり、PC 構造の持つ利点が十分に反映されないこととなるため、今後の検討課題と考えられる。

5. まとめ

曲げ変形が卓越する PC 梁部材の断面解析を行い、日本建築学会で検討されている材料レベルの限界状態決定条件を適用し、解析対象断面に対して、以下の知見を得た。

- ・プレストレスが大きい梁では、コンクリートの圧縮力負担が大きくなり、PC 鋼材や普通鉄筋に先んじて、コンクリートが限界状態に達した。
- ・煩雑な材料レベルの限界状態決定条件を使わずに、材端回転角のみで限界状態が決定できることを示した。しかし、かなり安全側の判断基準であるため、PC 建物の特性を十分活かすためには今後の検討が必要である。

*1 京都大学 大学院生
*2 京都大学 准教授・Ph.D.
*3 近畿大学 教授 工博

*1 Graduate Student, Kyoto University
*2 Associate Professor, Kyoto University, Ph.D.
*3 Professor, Kinki University, Dr. Eng.