

プレストレストコンクリート橋脚の終局耐力と構造特性

秋田大学大学院 学 生 員 ○菅原 昭磨

秋田大学 正 会 員 徳重 英信

秋田大学 フェロー 川上 洵

1. まえがき

近年急峻な山岳地帯では、高橋脚を用いた橋梁の設計も行われるようになってきた。高橋脚において、RC橋脚では部材断面が大きくなるため、中空断面とするか、プレストレストコンクリート(以下、PC)橋脚の適用が考えられる。

図-1に示すPC橋脚には、プレストレス力および桁自重が軸圧縮力として持続作用するため、コンクリートのクリープ、乾燥収縮およびPC鋼材のリラクセーションが材齢とともに進行する。したがって、本研究では、時間依存性応力を考慮したPC橋脚の終局強度を明らかにし、コンクリートの強度、鉄筋比および軸圧縮力をそれぞれパラメータとすることで、PC橋脚の構造特性を明らかにした。

2. 解析方法

本研究における解析のフローチャートは図-2に示すとおりであり、3つのステップに分けて解析を行う。(I) 材齢 t_0 で導入されるプレストレス力および作用する桁自重による弾性応力解析。(II) 材齢 t_0 から材齢 t までに生じるクリープ、乾燥収縮およびリラクセーションを考慮した時間依存性応力解析¹⁾。(III) 材齢 t においてひび割れを生じさせるような大きな曲げが作用したとき、コンクリート、鉄筋およびPC鋼材の応力-ひずみ関係に非線形を適用した弾塑性解析。このとき、コンクリートの応力-ひずみ関係は CEB-FIP(MC-90)²⁾(図-3)にしたがい、この応力-ひずみ関係を多数の直線で近似する。さらに、鉄筋にはバイリニアの応力-ひずみ関係(図-4)を用い、PC鋼材にはトリリニアの応力-ひずみ関係(図-5)を用いる。

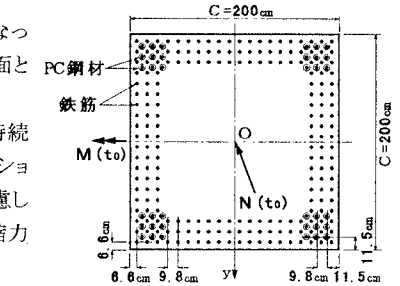


図-1 PC橋脚断面

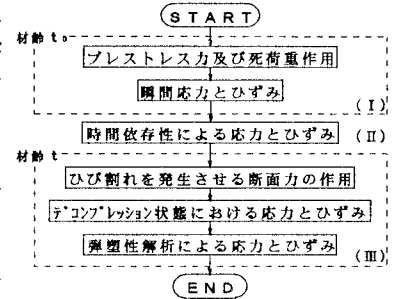


図-2 フローチャート

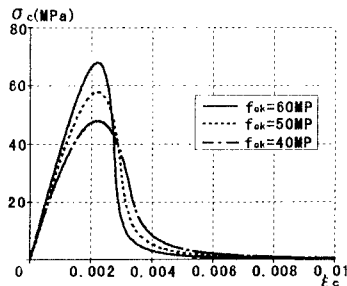


図-3 コンクリートの応力-ひずみ関係

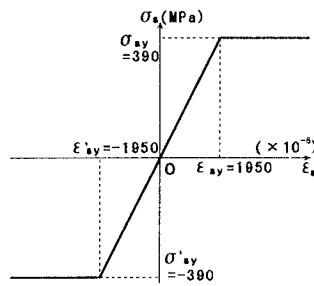


図-4 鉄筋の応力-ひずみ関係

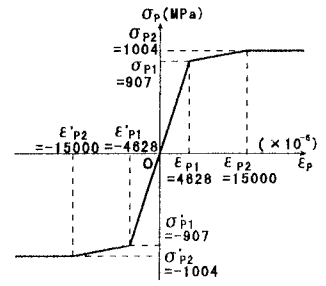


図-5 PC鋼材の応力-ひずみ関係

3. 構造特性

図-1はポストテンション方式のPC橋脚であり、鉄筋はピッチ9.8cm、かぶりが6.6cmの3段配置とし、PC鋼材は4隅に9本ずつ合計36本を配置する。いま、材齢 t_0 = 180日においてプレストレス力および桁自重による軸圧縮力 $N(t_0) = -\beta f_{ak} C^2$ が作用する。そして、クリープ、乾燥収縮およびリラクセーションが生じた後の材齢 t = 10000日において、荷重として曲げモーメント M が作用する場合についてパラメータ解析を行う。ここで、表-1に示すように、コンクリートの設計基準強度 f_{ak} 、 β および鉄筋比 ρ_{st} をパラメータとする。また、その他の諸数値は以下に示すとおりである。

PC鋼材の弾性係数; $E_{st}=196$ GPa, 鉄筋の弾性係数; $E_m=200$ GPa,

クリープ係数; $\phi=2.0$, 乾燥収縮ひずみ; $\epsilon_{cs}=-200 \times 10^{-6}$, 低減リラクセーション値; $\Delta \sigma_{pr}=-90$ MPa,

プレストレス力(1本当たり); $P=0.5$ MN, PC鋼材の鋼材比; $\rho_{st}=0.7$ %, 材齢係数; $\chi=0.8$

表-1 パラメータとして用いる諸量

β			ρ_{st} (%)			
0.15	0.20	0.25	0	1	2	3
f_{ak} (MPa)			$E_c(t_0)$ (GPa)			
40			39.120			
50			41.667			
60			43.936			

(1) コンクリート、鉄筋およびPC鋼材の軸力変化

図-6は、材齢 t_0 から材齢 t におけるコンクリート、PC鋼材および鉄筋の軸力変化を ΔP_c 、 ΔP_{ps} および ΔP_{st} とし、鉄筋比 ρ_{st} と $|\Delta P_{ps}|/\Delta P_c$ および $\Delta P_c/\Delta P_{st}$ の関係を表している。ここで、 $\rho_{st}=0\%$ のとき $|\Delta P_{ps}|=\Delta P_c=\Delta P_{st}$ とする。

$|\Delta P_{ps}|/\Delta P_c$ と $\Delta P_c/\Delta P_{st}$ の縦距差が、鉄筋の圧縮力の相対的増加量を表しており、鉄筋比が大きくなるほど鋼材の圧縮力は増加し、コンクリートの圧縮力は減少する傾向にある。これは、コンクリートの応力を鋼材が受け持つためであり、プレストレスの減少を表している。また、PC鋼材の圧縮力の相対的変化量は、コンクリートの設計基準強度の大きさによらずほぼ一定である。しかし、コンクリートおよび鉄筋の相対的変化量は、設計基準強度が高い方がより大きい。

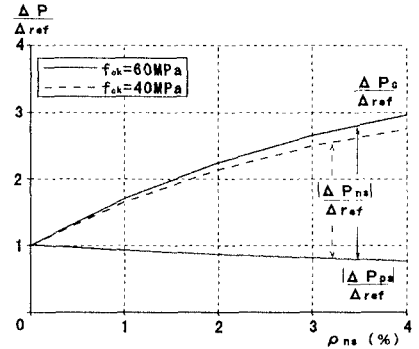


図-6 コンクリート、鉄筋及びPC鋼材の軸力変化

(2) M- ψ 関係

材齢 t において曲げモーメント M がゼロから破壊まで増加したとき、この曲げモーメント M と曲率 ψ の関係を求めることにより橋脚の耐力を明らかにする。ここで、コンクリートの設計基準強度 f_{ck} 、鉄筋比 ρ_{st} および軸圧縮力 $N(t_0)$ をパラメータ(表-1)とする。

図-7～図-10において線ABは圧縮鉄筋の降伏を示し、線CDは引張鉄筋の降伏を示す。

図-7は、 $\beta=0.15$ および $\rho_{st}=1\%$ のときの f_{ck} の変化によるM- ψ 関係を示している。 f_{ck} が高いほど耐力は上昇するが、急激に低下している。また、 f_{ck} が高いほど圧縮鉄筋はより小さな曲率で降伏し、逆に引張鉄筋はより大きな曲率で降伏する。

図-8は、 $\beta=0.15$ および $f_{ck}=40\text{MPa}$ のときの ρ_{st} の変化によるM- ψ 関係を示している。PC鋼材のみの場合($\rho_{st}=0\%$)に比べ、鉄筋を有する断面の方がその鉄筋比に応じて耐力が上昇する。鉄筋は、圧縮鉄筋の降伏が引張鉄筋の降伏よりも先行しているが、 $\rho_{st}=3\%$ のときには、ほぼ同じ曲率で降伏している。

図-9は、 $f_{ck}=40\text{MPa}$ および $\rho_{st}=1\%$ のときの軸圧縮力の変化(β の変化)によるM- ψ 関係を示している。 β が大きいほど耐力は上昇するものの急激に低下している。また、 $\beta=0.25$ および $\beta=0.15$ のときには、圧縮鉄筋の降伏が引張鉄筋の降伏よりも先行しているが、 $\beta=0.05$ のときには、逆に、引張鉄筋の降伏が圧縮鉄筋の降伏よりも先行して生じる。

図-10は、 $\beta=0.15$ 、 $f_{ck}=40\text{MPa}$ および $\rho_{st}=1\%$ のときのPC橋脚とRC橋脚($\rho_{st}=0\%$)の耐力を比較したものである。両者を比較するとRC橋脚よりも、PC橋脚の方が耐力が大きい。また、PC橋脚は圧縮鉄筋の降伏が引張鉄筋の降伏よりも先行しているが、RC橋脚では、逆に引張鉄筋の降伏が圧縮鉄筋の降伏よりも先行して生じる。

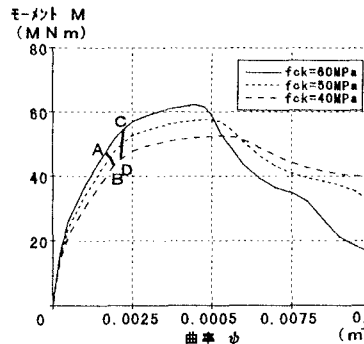


図-7 コンクリートの強度の変化によるM- ψ 関係

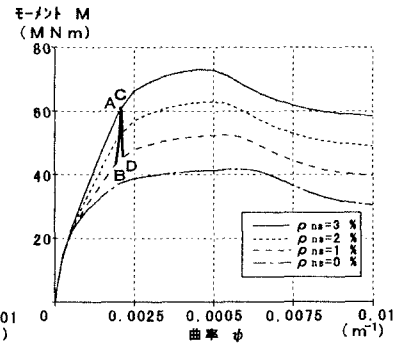


図-8 鉄筋比の変化によるM- ψ 関係

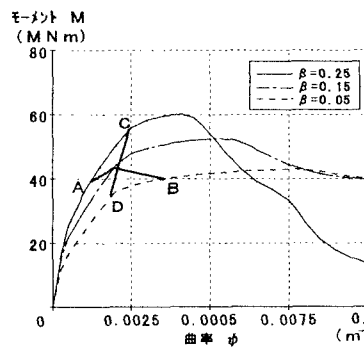


図-9 β の変化によるM- ψ 関係

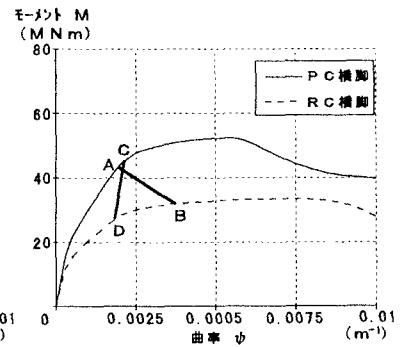


図-10 PC橋脚とRC橋脚の比較

<参考文献>

- 1) A.Ghali・R.Favre 著(川上 洵・樫福 浄他訳), コンクリート構造物の応力と変形, 技報堂出版, 1995
- 2) Comité Euro-International du Béton(CEB)-Federation Internationale de la Précontrainte(FIP), 1990, Model Code for Concrete Structures(MC-90), Thomas Telford, London, 1993.