

V-323 コンクリートの収縮およびクリープを考慮したパーシャルPC連続桁の不静定力について

北海道工業大学 正会員 猪又 稔

1. まえがき

使用状態で、ひびわれ発生を認めないフルPC不静定構造においては、使用鋼材量が少なくコンクリートの収縮に対する拘束の影響が小さいので、これを無視して不静定力の算定を行っているが、ひびわれ発生を認めるパーシャルPCにおいては、使用鋼材量が多く収縮による自由な変形が鋼材によって拘束されるため、コンクリートおよび鋼材に二次的な応力が生ずる。本研究では、コンクリートの収縮およびクリープを考慮したパーシャルPC連続桁の非線形解析法について述べ、数値計算によって収縮およびクリープが不静定力におよぼす影響について検討した。

2. 不静定力の非線形解析

使用状態のパーシャルPC不静定構造において、ひびわれによる部材の剛性低下の影響が大きい場合の不静定力は、全断面を有効とした線形計算値とは異なった力学的挙動を示すことになる。剛性低下を考慮して不静定力の非線形解析を行うには、部材の曲げモーメント・曲率(M-φ)関係を求めておく必要がある。ひびわれ後、繰り返し荷重を受けると鋼材とコンクリートとの付着応力緩和によって曲率は増加することになる。

CEBマニュアル¹⁾の方法では、この曲率の増加の影響を考慮できるようになっているが、これは使用状態における最大曲げモーメントM_sに対して適用するので、除荷時あるいは再載荷時においてM<M_sに対する平均曲率の求め方が問題になるが、現在のところこれに関する研究は十分に進んでいるとはいえないようである。このようなことから、さきに非線形解析によって不静定力を容易に求めるための短期および長期のM-φモデルを提案した(図-1)²⁾。コンクリートの収縮およびクリープを考慮した長期のM-φ関係は、プレストレスレベルや活荷重の載荷時期等によって影響を受けるが、ここでは少なくとも施工時にひびわれが生じないようプレストレスを導入し、またコンクリートの収縮およびクリープは活荷重載荷時までにはほぼ終了しているものとする。この場合のM-φ関係は、死荷重による曲率がコンクリートの収縮およびクリープによって増加するので、短期の場合に比してΔφだけシフトし、ひびわれ発生前、発生時および発生後の平均曲率φ_mはそれぞれ式(1)、(2)および(3)のようになる。

M < M'_{cr} (M ≤ \bar{M}'_{cr}; ひびわれ後の除荷時および再載荷時)

$$\phi_m = \frac{M - Pe'}{EI_g} \quad (1)$$

M = M'_{cr}

$$\phi_m = \frac{M'_{cr} - Pe'}{EI_g} \sim \frac{M'_{cr} - M'_m}{EI_{cr}} \quad (2)$$

M > M'_{cr} (M > \bar{M}'_{cr}; ひびわれ後の除荷時および再載荷時)

$$\phi_m = \frac{M - M'_m}{EI_{cr}} \quad (3)$$

ただし

$$Pe' = Pe - EI_g \Delta \phi \quad (4) \quad M'_m = M_m - \Delta M_{cr} \left(1 - \frac{l_{cr}}{l_g}\right) - EI_{cr} \Delta \phi \quad (5)$$

$$M_m = \frac{M_{cr} - \left(1 - \frac{l_{cr}}{l_g}\right) Pe}{2} + \frac{Pe l_{cr}}{2l_g} + \frac{P_o (d_p - X)}{2} \quad (6)$$

$$\bar{M}'_{cr} = \frac{M'_m l_g - Pe' l_{cr}}{l_g - l_{cr}} \quad (7)$$

$$\Delta M_{cr} = M_{cr} - M'_{cr} \quad (8)$$

$$M_{cr} = (\sigma_{ce} + f_{bd}) Z \quad (9)$$

$$M'_{cr} = (\sigma_{ce} + \sigma_{s+\phi} + f_{bd}) Z \quad (10)$$

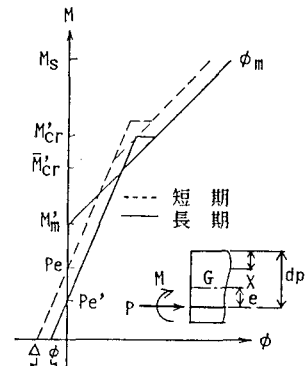


図-1 曲げモーメント・曲率関係のモデル

ここに x は仮想 RC 断面の中立軸の距離、 f_{bd} はコンクリートの曲げ強度、 P_0 はコンクリート断面応力 O の状態のプレストレス力、また σ_{cs} 、 $\sigma_{st} + \psi$ および Z は断面引張線の有効プレストレス、収縮・クリープによる応力度および断面係数である。次に曲率のシフト量 $\Delta\phi$ は $\Delta\phi = \Delta\phi(S) + \Delta\phi(\psi)$ (11)

$\Delta\phi(S)$ 、 $\Delta\phi(\psi)$ はそれぞれ収縮およびクリープによるシフト量であり、

$$\Delta\phi(S) = \frac{M(S) + \Delta M(S)}{E_1 I_{V1}} \quad \Delta\phi(\psi) = \frac{M(\psi) + \Delta M(\psi)}{E_2 I_{V2}} \quad (12)$$

となる。 $M(S)$ はコンクリートの収縮に対する鉄筋の拘束による曲げモーメントであり、 ΔM は不静定曲げモーメントである。同様に $M(\psi)$ および $\Delta M(\psi)$ はクリープに関する曲げモーメントである。また E_1 はコンクリートのヤング係数を E とすれば次の式ようになるが、 ψ_1 はコンクリートの収縮による断面力計算に用いるクリープ係数である。 I_{V1} は全断面を有効とした断面二次モーメントであるが、鋼材とコンクリートのヤング係数比は $n = E_s/E$ の代わりに n_1 を用いる。

$$E_1 = E / \{1 + (\psi_1/2)\} \quad n_1 = n \{1 + (\psi_1/2)\} \quad (13)$$

同様にクリープに関するものは E_2 、 ψ_2 、 n_2 を用いる。

$$E_2 = E / \{1 + (\psi_2/2)\} \quad n_2 = n \{1 + (\psi_2/2)\} \quad (14)$$

3. 数値計算例

図-2 に示すパーシャル P C 連続桁橋の数値計算によって、コンクリートの収縮およびクリープが不静定力におよぼす影響を検討する。プレストレスレベルは施工時にひびわれが発生しないものとし、活荷重載荷時に内部支点到ひびわれが発生する場合を Case-1、また径間にひびわれが発生する場合を Case-2 とする。計算に必要な諸数値を図-3 に示す。表-1 は内部支点の曲げモーメントの計算結果を比較したものである。収縮・クリープを考慮しない場合、Case-1 では非線形計算値は線形計算値に比し約 7% 減少し、Case-2 では約 7% 増加することになり、ひびわれによる部材の剛性低下の不静定力に与える影響が比較的大きいことがわかる。次に非線形解析において、収縮・クリープを考慮する場合には Case-1、Case-2 ともに考慮しない場合に比し 4~5% 増加する。

4. まとめ

コンクリートの収縮およびクリープを考慮したパーシャル P C 不静定構造の不静定力の非線形解析について述べ、また図に示す連続桁橋についての数値計算の結果、使用時に内部支点部あるいは径間部のいずれか一方にひびわれが発生するような場合、それによる剛性低下の不静定力に与える影響が大きいこと、またコンクリートの収縮およびクリープによって支点曲げモーメントが 4~5% 増加することなどを明かにした。

参考文献 1) CEB Design Manual on Cracking and Deformations, 1985 2) 使用状態におけるパーシャル P C 桁の曲げモーメント・曲率関係について、第 45 回セメント技術大会講演集, 1991

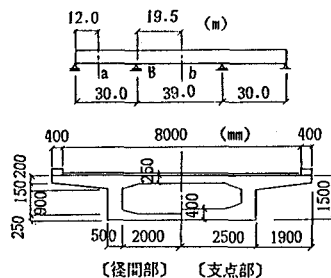


図-2 パーシャル P C 連続桁橋

コンクリートの設計基準強度	$f_{ck} = 350 \text{ kg/cm}^2$
コンクリートの設計曲げ強度	$f_{bd} = 30 \text{ kg/cm}^2$
P C 鋼材の引張強度	$f_{pu} = 155 \text{ kg/mm}^2$
鉄筋の引張降伏強度	$f_y = 35 \text{ kg/mm}^2$
コンクリートのヤング係数	$E = 3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
鋼材とコンクリートとのヤング係数比	$n = 7$
コンクリートの乾燥収縮ひずみ	$\epsilon(s) = 200 \times 10^{-6}$
コンクリートのクリープ係数	$\psi_1 = 4.0, \psi_2 = 2.0$
径間部	断面積 $A_c = 4,695 \text{ m}^2$
	断面 2 次モーメント $I_c = 1,412 \text{ m}^4$
支点部	断面積 $A_c = 5,295 \text{ m}^2$
	断面 2 次モーメント $I_c = 1,571 \text{ m}^4$

Case	断面	a	B	b
Case-1	P (t-m)	1000	1000	1200
	e (m)	0.636	0.476	0.636
	A_p (cm ²)	130	130	160
	A_s (cm ²)	420	740	420
Case-2	P	500	2100	500
	e	0.636	0.526	0.636
	A_p	65	280	65
	A_s	420	740	420

図-3 計算用諸数値

表-1 不静定曲げモーメントの比較

	(a)	(b)	(c)			(b)	(c)	(c)	
	(t-m)	(t-m)	S	ψ	D+L+P	計	(a)	(b)	
Case-1	-2525	-2357	-71	-63	-2317	-2451	0.93	0.97	1.04
Case-2	-2874	-3061	-60	-32	-3137	-3229	1.07	1.12	1.05

(a) : 線形計算値 (収縮・クリープ考慮せず) D: 死荷重
 (b) : 非線形計算値 (収縮・クリープ考慮せず) L: 活荷重
 (c) : 非線形計算値 (収縮・クリープ考慮) P: プレストレス力
 S: 収縮 ψ : クリープ