

V-336

段階的積分法によるPC部材のクリープ解析と時間間隔の影響について

ドービー建設工業(株) 正員 石黒 如

◇まえがき◇ 近年、我が国の橋梁建設においても景観が重視され、PC斜張橋のような分割施工されるコンクリート部材(主桁・主塔)と鋼部材(斜材)から成る複合構造が脚光を浴びてきた。そして、以下の要因を考慮してクリープ・乾燥収縮による断面力移行量の解析を行うことが重要な問題となっている。

- 1) 鉄筋, PC鋼材による拘束。
- 2) 各断面力に対する遅れ弾性歪みの違い。
- 3) 各部材間のフロー歪みの違い。
- 4) 各部材間の乾燥収縮度の違い
- 5) 若材令のコンクリート弾性係数の補正

そこで、本報告では、これらを総合的に評価する手法として鉄筋およびPC鋼材の拘束を考慮した段階的積分法を採用した場合について、幾つかの例題のクリープ解析を行い、その時間区分の間隔が断面力移行量の計算精度に与える影響について調べることににより、時間間隔に対する大まかな目安を得た。

◇解析方法◇ 計算ケースの時間間隔 Δt が十分に小さい場合、第 n ケース直前の Δt 間におけるコンクリートのクリープ変形および乾燥収縮によって生じる内部断面力は、次式によって計算される。

$$\Delta N_{cya} = \sum_{i=1}^{n-1} \{ K_{en} (\Delta \varphi_{di} + \Delta \varphi_{fn}) (\Delta N_c + \Delta N_{cy}' + \Delta N_{cy})_i \} + E_c A_c \Delta \varepsilon_{cs}$$

$$\Delta M_{cya} = \sum_{i=1}^{n-1} \{ K_{en} (\Delta \varphi_{di} + \Delta \varphi_{fn}) (\Delta M_c + \Delta M_{cy}' + \Delta M_{cy})_i \}$$

ここに、 ΔN_c 、 ΔM_c : 純断面に対する各 Δt 間の持続荷重の増加による断面力変化量。

$\Delta N_{cy}'$ 、 $\Delta M_{cy}'$: 純断面に対する各 Δt 間の移行量のうち静定分。

ΔN_{cy} 、 ΔM_{cy} : 純断面に対する各 Δt 間の移行量のうち不静定分。

$\Delta \varphi_d$: 各荷重に対する Δt 間の遅れ弾性歪み係数。(参考文献1による)

$\Delta \varphi_f$ 、 $\Delta \varepsilon_{cs}$: 各部材の Δt 間のフロー歪み係数および乾燥収縮度。(参考文献1による)

K_e : 各部材のコンクリート弾性係数の補正係数。(参考文献2による)

この時、換算断面に対する Δt 間のクリープ・乾燥収縮による断面力移行量のうちの静定分は、次式で計算される。さらに、これを Δt について累計することにより、各計算ケースでの値が求まる。

$$\Delta N_{y0} = -\Delta N_{cya}, \quad \Delta M_{y0} = -\Delta M_{cya} - \Delta N_{cya} (y'_e - y'_c)$$

但し、 $\Delta N_{cy}' = \alpha_c \cdot \Delta N_{y0} + \beta_c \cdot \Delta M_{y0} + \Delta N_{cya}$, $\Delta M_{cy}' = \gamma_c \cdot \Delta M_{y0} + \Delta M_{cya}$

$$\alpha_c = \frac{A_c}{A_e}, \quad \beta_c = \frac{A_c}{I_e} (y'_e - y'_c), \quad \gamma_c = \frac{I_c}{I_e}$$

ここに、 A_e 、 I_e 、 y'_e : 換算断面の断面諸数値。

A_c 、 I_c 、 y'_c : 純断面の断面諸数値。

また、換算断面に対する移行量のうち不静定分は、変形法による平面骨組理論を用いて次式より求まる。

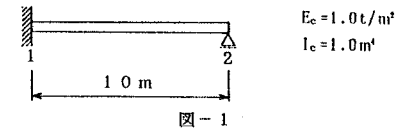
$$(\Delta N_{y1} \ \Delta M_{y1})^T = [K] (\Delta \delta_y), \quad (\Delta \delta_y) = [K]^{-1} (\Delta N_{y0} \ \Delta M_{y0})^T$$

但し、 $\Delta N_{cy} = \alpha_c \cdot \Delta N_{y1} + \beta_c \cdot \Delta M_{y1}$, $\Delta M_{cy} = \gamma_c \cdot \Delta M_{y1}$

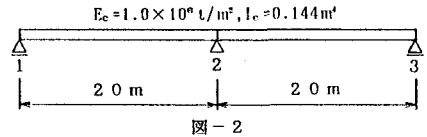
◇解析例◇ 以下で説明する3つの例題について次の6通りの解析手法による結果を示し、その値を比較する。その際、クリープ係数等の計算に使用する相対湿度は70%、コンクリート温度は20℃とする。

- a) 本報告の解法で $\Delta \varphi_f \doteq 0.4$ とした場合。
- b) 本報告の解法で $\Delta \varphi_f \doteq 0.2$ とした場合。
- c) 本報告の解法で $\Delta \varphi_f \doteq 0.1$ とした場合。
- d) 本報告の解法で $\Delta \varphi_f \doteq 0.05$ とした場合。
- e) Dischingerの解式による値。
- f) 参考文献3, 4, 5による値。

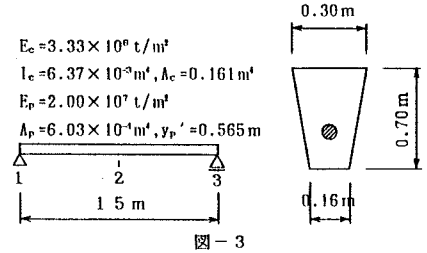
〔計算例-1〕 図-1のように片持ち梁を打設してから10日後に持続荷重 $\omega = 1.0 \text{ t/m}$ を載荷し、弾性変形が生じた後でその先端を単純支持した場合について、クリープによる反力と曲げモーメントの移行量を計算する。但し、硬化速度係数は $\alpha = 2$ 、仮想部材厚は40cmとする。



〔計算例-2〕 図-2のように第一径間を打設してから15日後に持続荷重 $\omega = 3 \text{ t/m}$ を載荷し、さらにそれから15日後に第二径間を打継いで、その15日後に第二径間にも持続荷重 $\omega = 3 \text{ t/m}$ を載荷した場合についてクリープによる反力と曲げモーメントの移行量を計算する。但し、硬化速度係数は $\alpha = 1$ 、仮想部材厚は20cmとする。



〔計算例-3〕 図-3のようなPC単純桁を打設してから10日後にプレストレス $P = 66.35 \text{ t}$ を導入、同時に自重 $\omega = 0.4 \text{ t/m}$ を載荷した場合について、クリープ・乾燥収縮によるプレストレスの減少量を計算する。但し、硬化速度係数は $\alpha = 2$ 、仮想部材厚は26cmとする。



	M_1	[tm]	R_2	[t]
a	(327)	327	(32.7)	32.7
b	(321)	321	(32.1)	32.1
c	(319)	318	(31.9)	31.8
d	(318)	317	(31.8)	31.7
e		345		34.5
f		321		32.1

表-1

	M_2	[tm]	R_2	[t]
a	(-61)	-60	(6.1)	6.0
b	(-60)	-59	(6.0)	5.9
c	(-60)	-58	(6.0)	5.8
d	(-59)	-58	(5.9)	5.8
e		-68		6.8
f		-59		5.9

表-2

	$\Delta \sigma_2'$	[kg/cm ²]	$\Delta \sigma_2$	[kg/cm ²]
a	(4.5)	4.5	(-15.7)	-15.7
b	(4.5)	4.5	(-15.7)	-15.6
c	(4.5)	4.5	(-15.6)	-15.5
d	(4.5)	4.5	(-15.6)	-15.5
e	—	—	—	—
f		4.5		-15.5

表-3

◇まとめ◇ 解析結果は、表-1, 2, 3の通りであり、段階的積分法における時間間隔の影響について、次のことが言える。尚、本解法は、PC斜張橋等の複合構造へ適用する場合に特に有効であると考えられるが、その場合の時間間隔の影響については、改めて十分な検討を行う必要がある。

- 1) $\Delta t_f \approx 0.2$ 程度の粗い時間間隔であっても、段階的積分法による断面力移行量の解析結果が2%以内の誤差に納まっており、十分な計算精度を確保している。
- 2) 段階的積分法では時間間隔を粗くするほど断面力移行量を大きく見積もる傾向がある。これは、 Δt を粗くしても持続荷重(ΔN_c , ΔM_c)の累計は不変であるのに対して、これとは異符号の各 Δt 間における移行量($\Delta N_{cy}' + \Delta N_{cy}$, $\Delta M_{cy}' + \Delta M_{cy}$)の累計が減少するためと考えられる。
- 3) コンクリート弾性係数を一定と仮定した場合(括弧内の値)には、若材令における補正を行った場合に比べ、断面力移行量を若干大きく見積もることになるが、その差は2%以内であり、無視できる。

◇参考文献◇

- 1) 道路橋示方書・同解説(I)(III), 日本道路協会, 1990
- 2) コンクリート道路橋設計便覧, 日本道路協会, 1985
- 3) 佐藤 素啓・渡辺 実・佐藤 昇: 変位法によるコンクリート構造物のクリープ・乾燥収縮解析の基礎理論, プレストコンクリート, Apr.1980
- 4) 小宮 正久・酒井 一・前田 晴人: 任意形コンクリート構造物のクリープ解析法に関する一提案, プレストレストコンクリート, Mar.1987
- 5) 猪股 俊司: 多数段配置PC緊張材および普通鉄筋を有するPC断面のクリープ解, プレストレストコンクリート, Feb.1971