

CS-92 外ケーブルを有する2径間連続合成桁橋の経時挙動に関する研究

大阪工業大学工学部 正会員 栗田章光 大阪道路エンジニア（株） 正会員 ○祖川武彦
大阪工業大学大学院 学生員 小坂 崇 大阪工業大学大学院 学生員 大山 理

1. はじめに

外ケーブル方式は、従来から用いられている内ケーブル方式よりも施工性や経済性の面での利点が多い。さらに、外ケーブルの使用によりクリープおよび乾燥収縮による桁の曲げ変形が効果的に拘束される。しかし、外ケーブルが配置された連続合成桁に関する経時挙動については十分に解明されていない。そこで、本研究では、この問題の解析式を誘導し、数値計算を行って、経時挙動を検討した。本文では、その結果を報告する¹⁾。

2. 解析モデル、解析法およびケーブル配置

図-1に示すように合成桁に外ケーブルを配置し、死荷重（ q ）およびプレストレス力（ P ）の作用によるクリープおよび乾燥収縮について解析を行うことにする。その解析モデルを図-2に示す。

解析の際、桁は等断面とし、デビエータ部でのケーブル張力の摩擦による損失は無いものと仮定した。後死荷重の作用によりケーブル張力（ P_{e,t_l} ）が発生する。さらにプレストレス力を導入することにより持続曲げモーメントおよび持続軸方向力が作用する。このことより、コンクリート床版にクリープ現象が生じ、その結果床版および鋼桁の分担断面力が増加する。一例として、持続軸方向力（ N_{d,t_l} ）が作用する場合の静定基本系での分担断面力の変化量は、式（1）で表される。

$$\left. \begin{aligned} \Delta N_{b,t-t_l}^{0N} &= -\Delta N_{s,t-t_l}^{0N} \\ &= -\gamma_1 (P_{e,t_l} + P) \cos \alpha_1 \phi(t-t_l) \\ \Delta M_{b,t-t_l}^{0N} &= \gamma_2 (P_{e,t_l} + P) \cos \alpha_1 \phi(t-t_l) \\ \Delta M_{s,t-t_l}^{0N} &= \gamma_3 (P_{e,t_l} + P) \cos \alpha_1 \phi(t-t_l) \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

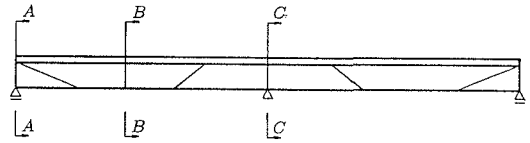


図-1 合成桁の側面図

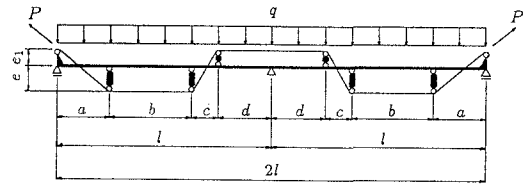


図-2 解析モデル

静定基本系の分担断面力の変化により、鋼桁に式（2）で示されるように、ひずみおよび曲率に変化が生じる。

$$\Delta \epsilon_{s,t-t_l}^{0N} = \frac{\Delta N_{s,t-t_l}^{0N}}{EsAs}, \quad \Delta \theta_{s,t-t_l}^{0N} = \frac{\Delta M_{s,t-t_l}^{0N}}{EsIs} \dots (2)$$

この変化に伴う中間支点およびケーブル定着点の仮想変位および実変位をを誘導すると式（3）のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}^s &= \frac{l^3}{6EsIs} \\ \delta_{12}^s &= \delta_{21}^s = -\frac{\cos \alpha_1}{6EsIs} \left[3l^2 (e_s - a \tan \alpha_1) + \tan \alpha_2 \{ 3cl^2 + (a+b)^3 - (l-d)^3 \} + a^3 \tan \alpha_1 \right] \\ \delta_{22}^s &= \frac{2 \cos \alpha_1}{3EsIs} \left[\frac{e_s^3}{\tan \alpha_1} + \frac{(e_s - a \tan \alpha_1 + c \tan \alpha_2)^2}{\tan \alpha_2} \{ e_s - a \tan \alpha_1 + (c + 3d) \tan \alpha_2 \} + (e_s - a \tan \alpha_1)^2 \right. \\ &\quad \left. - e_s \left(\frac{1}{\tan \alpha_1} + \frac{1}{\tan \alpha_2} \right) + a \left(1 + \frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} \right) + 3b \right] + \frac{2l \cos^2 \alpha_1}{EsAs} + \frac{2 \cos^2 \alpha_1}{EeAe} \left(\frac{a}{\cos^3 \alpha_1} + b + \frac{c}{\cos^3 \alpha_2} + d \right) \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

$$\Delta \delta_{d,t-t_1}^N = -\frac{2}{EsIs} \gamma_3 (P_{e,t_1} + P) \cos \alpha_1 \phi(t-t_1)$$

$$\Delta \delta_{2d,t-t_1}^N = -\frac{2}{EsIs} \gamma_3 (P_{e,t_1} + P) \cos \alpha_1 \phi(t-t_1) \left[\cos \alpha_1 \left\{ e_3 l + \left(\frac{c}{2} + d \right) \tan \alpha_2 \right\} - a \sin \alpha_1 \left(l - \frac{a}{2} \right) \right] + \frac{2l}{EsAs} \gamma_1 (P_{e,t_1} + P) \cos \alpha_1 \phi(t-t_1)$$

中間支点反力およびケーブル張力の変化量に関する弾性方程式を解くと式（4）の解が得られる。

$$\Delta P_{d,t-t_1}^N = -\frac{l}{\delta_{11}^s \delta_{22}^s - \delta_{12}^s{}^2} (\delta_{22}^s \Delta \delta_{1d,t-t_1}^N - \delta_{12}^s \Delta \delta_{2d,t-t_1}^N) \quad , \quad \Delta P_{e,t-t_1}^N = -\frac{l}{\delta_{11}^s \delta_{22}^s - \delta_{12}^s{}^2} (\delta_{11}^s \Delta \delta_{2d,t-t_1}^N - \delta_{12}^s \Delta \delta_{1d,t-t_1}^N) \cdots \cdots (4)$$

また、持続曲げモーメントが作用したときのクリープ解、および乾燥収縮解についても同様の手順によって求めることができる。

3. 数値計算結果および考察

数値計算は表-1の条件で行った。今回は2種類のケーブル配置について数値計算を行い、それぞれCASE1およびCASE2とする。CASE1は図-2のケーブル配置に対応し、CASE2については図-2の解析モデルのd区間を0とした場合に対応している。外ケーブルは後死荷重の載荷前に配置するものとする。数値計算を行った結果、表-2に、中間支点反力およびケーブル張力の変化量を示す。表-2より、乾燥収縮に関しては、ケーブルの配置の違いによる変化はほとんど見られないことがわかる。ケーブル張力の変化量は、CASE1およびCASE2ともに圧縮力となった。

表-1 計算条件

断面積 (m ²)	合成桁断面	$A_g = 1.6 \times 10^{-1}$
	鋼 桁	$A_s = 6.0 \times 10^{-2}$
	コンクリート床版	$A_b = 6.0 \times 10^{-1}$
断面2次モーメント (m ⁴)	ケーブル	$A_e = 2.2 \times 10^{-3}$
	合成桁断面	$I_g = 1.24 \times 10^{-1}$
	鋼 桁	$I_s = 3.57 \times 10^{-2}$
弾性係数 (tf/m ²)	コンクリート床版	$I_b = 2.0 \times 10^{-3}$
	鋼 桁	$E_s = 2.1 \times 10^7$
	コンクリート床版	$E_b = 3.5 \times 10^6$
弾性係数 (tf/m ²)	ケーブル	$E_e = 2.0 \times 10^7$
	プレストレス力 (tf)	$P = 200.0$
	後死荷重 (tf/m)	$q = 1.0$
ケーブル配置 (m)	CASE 1	$a = 10, b = 15, c = 5, d = 10$
	CASE 2	$a = 10, b = 20, c = 10$
ケーブルの偏心位置 (m)	$e = 1.545, e_1 = 0.445, e_2 = 1.404$	

表-2 中間支点反力およびケーブル張力の変化量

	配 置	中間支点反力 (tf)	ケーブル張力 (tf)
持続曲げモーメント成分	CASE 1	3.577×10^{-3}	2.593×10^{-1}
	CASE 2	1.530×10^{-4}	-2.985×10^{-2}
持続軸方向力成分	CASE 1	2.691	-1.960×10^{-1}
	CASE 2	2.682	-5.780×10^{-2}
乾燥収縮	CASE 1	4.288	-1.089×10^{-1}
	CASE 2	4.284	-9.245×10^{-2}

(ケーブル張力 +:引張力 - :圧縮力)

一方、クリープに関して、中間支点反力の変化量はケーブル配置の違いによらず、持続曲げモーメント成分よりも持続軸方向力成分の方が大きくなることがわかった。また、ケーブル張力の変化量について、持続曲げモーメント成分の場合

合は引張力、持続軸方向力成分の場合は圧縮力が、それぞれ生じる結果となった。これは、ケーブルに対する変位成分の違いによるものである。

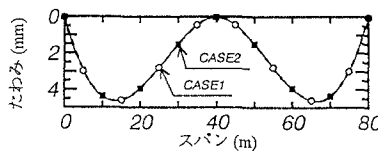


図-3 乾燥収縮によるたわみの変化量の比較

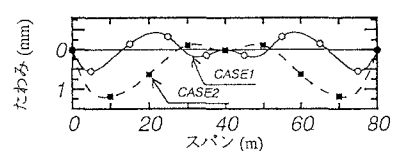


図-4 クリープによるたわみの変化量の比較

たわみの変化量については、図-3より乾燥収縮の場合、ケーブルの配置による違いはほとんど見られなかった。また、図-4よりクリープの場合の最大たわみは、CASE1で約0.6mm、CASE2のときは約1.4mmとなり、たわみに関してもクリープよりも乾燥収縮の影響の方が大きいことがわかった。

本研究は、平成7年度の文部省科学研究費（一般研究（C））の補助をうけて行っている。

〔参考文献〕

- 1) 祖川 武彦：外ケーブルを有する2径間連続合成桁橋の経時挙動に関する研究、大阪工業大学修士論文、平成8年2月