

CS-90

外ケーブルを有する鋼コンクリート合成桁のクリープ・乾燥収縮解析

川田工業(株) 正会員 牛島 祥貴 大阪工業大学 正会員 栗田 章光
修成建設専門学校 正会員 瀬野 靖久 大阪市立大学 正会員 中井 博

1. まえがき

合成桁に外ケーブル方式を採用することによって、桁全体に作用する曲げモーメントを均一化することができる。さらに、クリープおよび乾燥収縮による桁の曲げ変形が外ケーブルにより効果的に拘束されるので、外ケーブルの使用は非常に有効である。しかし、外ケーブルが配置された合成桁に関するクリープおよび乾燥収縮の解析方法は、著者らの知る限りでは見当たらないのが現状である。そこで、著者らは、この問題の解析式を誘導し数値計算を行ったので、その結果を本文で報告する。

2. 解析法

図-1に示した合成桁にケーブルを配置し、おもに死荷重(q)およびプレストレス力によるクリープと乾燥収縮の問題を取り上げ解析を行うことにする。その解析モデル¹⁾を図-2に示す。後死荷重の作用によりケーブルに張力が生じる。さらに、ケーブルを緊張することにより、桁に作用する曲げモーメントを軽減することができる。よって、後死荷重によるケーブル張力を P_{e,t_1} 、ケーブルのプレストレス力を P とする場合、合成桁に作用する持続軸方向力および持続モーメントは、式(1)および(2)のように表すことができる。

$$N_{d,t_1} = -(P_{e,t_1} + P) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$M_{d,t_1} = M_d - (P_{e,t_1} + P) \cdot y \quad \dots\dots\dots (2)$$

上式の持続軸方向力および持続モーメントにより、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変化する。ここで、 M_{d,t_1} が作用する場合の分担断面力の変化量は、式(3)で示される。

$$\left. \begin{aligned} \Delta N_{b,t-t_1}^0 &= -\Delta N_{s,t-t_1}^0 \\ &= -\gamma_1 M_{d,t_1} \phi(t-t_1) \\ \Delta M_{b,t-t_1}^0 &= -\gamma_2 M_{d,t_1} \phi(t-t_1) \\ \Delta M_{s,t-t_1}^0 &= \gamma_3 M_{d,t_1} \phi(t-t_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

分担断面力の変化に伴い、式(4)に示すように換算図心Vの位置でのひずみおよび曲率に変化が生じ、ケーブル張力が減少する。そこで、全体系に着目して M_{d,t_1} が作用する場合のケーブル定着点の仮想変位および実変位を誘導すると、それぞれ式(5)および(6)のようになる。²⁾

$$\delta_{11} = \frac{2ae_1(e_1 - e) + e^2(3l - 4a)}{3E_s I_V} + \frac{l}{E_s A_V} + \frac{1}{E_s A_e} \left\{ l + \frac{2a}{\cos^3 \alpha} (1 - \cos^3 \alpha) \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta \delta_{1d,t-t_1}^M = 2 \frac{1}{E_s I_s} \gamma_3 \phi(t-t_1) \left[q \left\{ \frac{1}{8} a^4 \tan \alpha - \frac{1}{6} a^3 (e_1 - e + l \tan \alpha) + \frac{1}{4} l a^2 (e_1 + e) - \frac{1}{24} l^3 e \right\} \right]$$

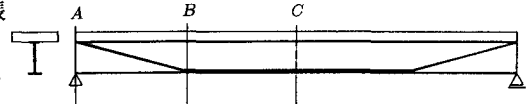


図-1 合成桁の側面図

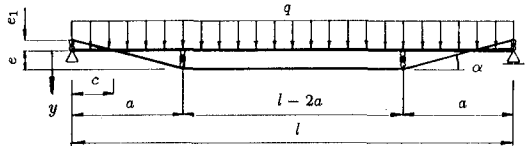


図-2 解析モデル

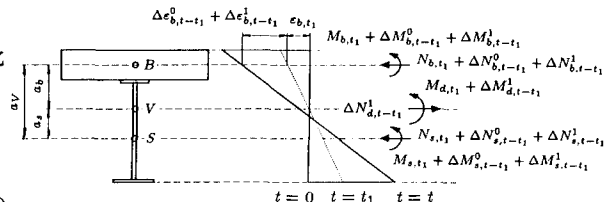


図-3 持続モーメントが作用する場合のひずみ分布図

$$\left. \begin{aligned} \Delta \epsilon_{V,t-t_1}^0 &= \frac{\Delta M_{s,t-t_1}^0}{E_s I_s} a_s + \frac{\Delta N_{s,t-t_1}^0}{E_s A_s} \\ \Delta \theta_{V,t-t_1}^0 &= \frac{\Delta M_{s,t-t_1}^0}{E_s I_s} \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

$$\begin{aligned}
 & + (P_{e,t_1} + P) \left\{ \left(\frac{1}{3}a^3 - a^2e_1 \right) \tan \alpha - a(e_1^2 + e^2) + \frac{1}{2}le^2 \right\} \\
 & - 2 \left(\frac{a_s}{E_s I_s} \gamma_3 + \frac{1}{E_s A_s} \gamma_1 \right) \phi(t - t_1) \left[q \left\{ \frac{1}{4}la^2 \left(\frac{1}{\cos^3 \alpha} - 1 \right) - \frac{1}{6}a^3 \left(\frac{1}{\cos^4 \alpha} - 1 \right) \right\} \right. \\
 & \left. + (P_{e,t_1} + P) \left\{ e_1 a \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right) - \frac{1}{2}a^2 \tan \alpha \left(\frac{1}{\cos^3 \alpha} - 1 \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

同様に、式(1)に示す持続軸方向力によるクリープおよびコンクリート床版の乾燥収縮によるケーブル定着点の実変位は、それぞれ、式(7)および(8)のようになる。

$$\begin{aligned}
 \Delta \delta_{1d,t-t_1}^N &= 2 \frac{1}{E_s I_s} \gamma_6 \phi(t - t_1) (P_{e,t_1} + P) \left\{ (e_1 - e) a - \frac{1}{2}a^2 \tan \alpha + \frac{1}{2}el \right\} \\
 & - 2 \left(\frac{a_s}{E_s I_s} \gamma_6 + \frac{1}{E_s A_s} \gamma_4 \right) \phi(t - t_1) (P_{e,t_1} + P) \cdot a \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right) \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta \delta_{1d,t}^{sh} &= 2 \frac{1}{E_s I_s} \gamma_9 \beta(t) P_{sh} \left\{ (e_1 - e) a - \frac{1}{2}a^2 \tan \alpha + \frac{1}{2}el \right\} \\
 & - 2 \left(\frac{a_s}{E_s I_s} \gamma_9 + \frac{1}{E_s A_s} \gamma_7 \right) \beta(t) P_{sh} \cdot a \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right) \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

よって、時刻 t_1 から任意時刻 t までのケーブル張力の変化量の総和は、式(9)により求められる。

$$\Delta P_{e,t-t_1}^1 = \Delta P_{e,t-t_1}^M + \Delta P_{e,t-t_1}^N + \Delta P_{e,t-t_1}^{sh} = - \frac{\Delta \delta_{1d,t-t_1}^M + \Delta \delta_{1d,t-t_1}^N + \Delta \delta_{1d,t}^{sh}}{\delta_{11}} \dots\dots\dots (9)$$

3. 解析条件および結果

図-2に示す解析モデルを用いて、支間 $l = 40.0 \text{ m}$ 、 $a = 15.0 \text{ m}$ 、 $e = 1.545 \text{ m}$ および $e_1 = 0.445 \text{ m}$ とし、後死荷重 $q = 1.0 \text{ tf/m}$ の作用とケーブルの断面積およびプレストレス力を変化させた場合の数値計算を行った。図-4に合成桁の寸法を示す。数値計算においては、ケーブルの断面積を $7.2 \text{ cm}^2 \sim 19.4 \text{ cm}^2$ まで、また、それに対応させてプレストレス力を $66.5 \text{ tf} \sim 171.4 \text{ tf}$ まで変化した。外ケーブルと合成桁断面の面積比 (A_e / A_v) を横軸に、張力の減少量と導入量の比を縦軸にとり、数値計算の結果を示すと図-5のとおりである。その結果、ケーブル面積の増加にほぼ比例して、張力の減少量が増加することがわかった。ここには示さなかったが、持続軸方向力および乾燥収縮によるケーブルの張力の変化量は、持続モーメントによるものに比べて少ないこともわかった。解析の際、回復クリープの影響を考慮すると張力の減少量が少なくなる。

4. あとがき

今回、単純合成桁を対象に数値計算を行い、考察を行ったが、今後、外ケーブルを有する連続合成桁を対象に、式の誘導および数値計算を行い、張力の減少量を検討する必要がある。

[参考文献]

1) Bróka/ Jerka-Kulawinska/ Kwasniewski : Vorgespannte Stahlträger, Statische Berechnung, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 1968.

2) 牛島・栗田・瀬野・中井 : 外ケーブルを有する鋼コンク

リート合成桁の経時挙動解析、平成6年度土木学会関西支部年次学術講演会、平成6年5月(発表予定)。

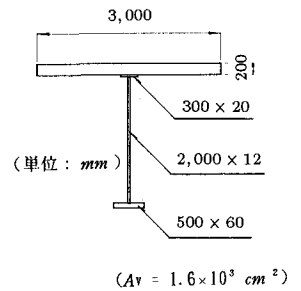


図-4 合成桁

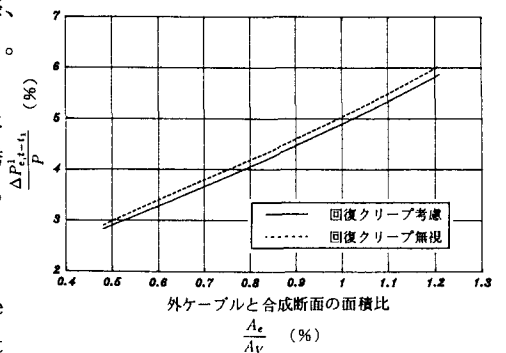


図-5 クリープおよび乾燥収縮による張力の減少量と面積比