RC高架橋の温度測定

国鉄仙幹工 正会員 土居 則夫
国鉄仙幹工 正会員 高木 秀典
東北大学 学生員○佐藤 洋一

1. まえがき

ラーメン，アーチ等の不静定構造物では、温度変化による部材の伸縮が生じる結果として、一般に大きい温度応力が発生する。 その温度応力によって コンクリートには有害なひび割れが発生する事がある。 土木学会コンクリート標準示方書によると、構造物には一様な温度の昇降があり、温度の昇降はそれぞれ15℃を標準とする、としている。 しかし 構造物には一様な温度の昇降の他に、部材断面の両端間に温度差も生ずる事があり そのため仕方書の考え方を全ての構造物の設計に当てはめる事は、ある場合には十分でない事もあり得る。

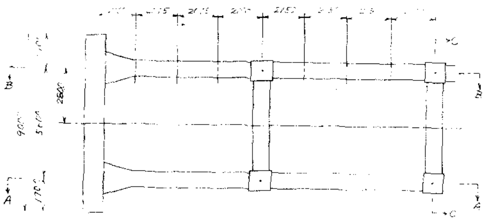
一方、近年 超高速鉄道である新幹線の建設が進められている。 超高速鉄道では、平面曲線の半径には限度がある。 ことに一体構造となっている分岐器の長さは 従来の分岐器とは比較できない程長いものとなっている。 そのため 分岐器を高架橋に直接締結する直結構造とした場合 その高架橋は分岐器と同じ又はそれ以上の長さが必要となり、高架橋は多径間ラーメンとなる。 従ってその温度応力も相当大きいものとなり、合理的な設計が困難になる。

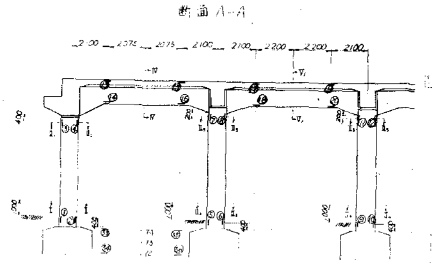
以上のような理由によって RC高架橋の温度応力について研究する必要がでてきた。

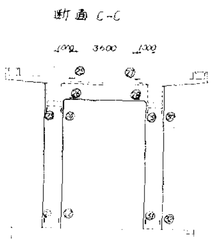
2. 測定方法

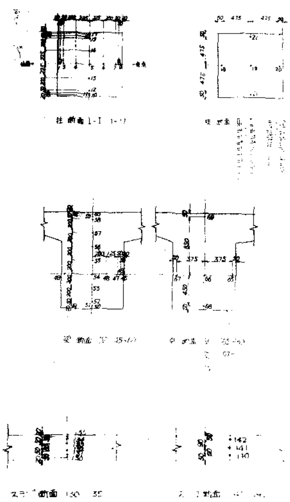
現在 長町駅付近で建設中の高架橋に、温度測定のため 銅・コンスタンタン熱電対温度計を150点，鉄筋のひずみ測定のため 鉄筋計を42点埋め込む。

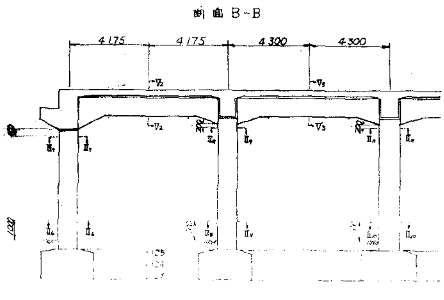
温度計は 36点を自動記録計を用いて記録させる。 残りの温度計と鉄筋計は 測定計画に従って測定する。











3. クリープと瞬間弾性係数を考慮した場合の応力の算定式の誘導

以下に用いるクリープ理論は 次の仮定に基づいている。 (1)コンクリートは均一等方性とみなす。(2)クリープ変形と応力の関係は線形である。 (3)重ね合わせの法則がクリープ変形に適用される。

コンクリートそれ自体の変形によって発生する応力がもたらす ひずみ成分を ε_x^o ε_y^o $\varepsilon_z^o \cdots \gamma_{xy}^o$ とし、クリープと瞬間弾性係数の時間に伴う変化を考慮した時の全ひずみ成分は 次のように表わされる。

$$(1)\quad \varepsilon_x^*(t) = \varepsilon_x^o(t) + \frac{\sigma_x^*(t)[1+\nu_1(t)] + \nu_1(t)S^*(t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^{t}\left\{\sigma_x^*(\tau)\frac{\partial}{\partial\tau}[\delta(t,\tau)+\delta_1(t,\tau)] - S^*(\tau)\frac{\partial\delta_1(t,\tau)}{\partial\tau}\right\}d\tau$$

$$(2)\quad \gamma_{xy}^*(t) = \gamma_{xy}^o(t) + 2\left\{\frac{\tau_{xy}^*(t)[1+\nu_1(t)]}{E(t)} - \int_{\tau_1}^{t}\tau_{xy}^*(\tau)\frac{\partial}{\partial\tau}[\delta(t,\tau)+\delta_1(t,\tau)]\,d\tau\right\}$$

$$S^*(t) = \sigma_x^*(t) + \sigma_y^*(t) + \sigma_z^*(t)\ ;\quad \delta(t,\tau) = 1/E(\tau) + C(t,\tau)\ ;\quad \delta_1(t,\tau) = \nu_1(\tau)/E(\tau) + \nu_2(t,\tau)C(t,\tau)\ ;$$

$E(t)$は時点tにおける瞬間弾性係数，$C(t,\tau)$は材令τで力が作用した時の時点tまでのクリープ変形を表わすクリープ関数，$\nu_1(t)$は弾性変形に対するポアソン比，$\nu_2(t,\tau)$はクリープ変形に対するポアソン比を示す。

成分$\varepsilon_x^o(t)\cdots\gamma_{xy}^o(t)$がSt.Venantの適合条件式を満足し，$\nu_1(t)=\nu_2(t,\tau)$ であるならば 物体内に応力は発生しない。 一般には 成分$\varepsilon_x^o\cdots\gamma_{xy}^o$ が St.Venant の適合条件式を満足しないため応力が発生する。 一方$\varepsilon_x^*\cdots$はSt.Venantの適合条件式を満足しなければならないので (1)(2)を St.Venantの 適合条件式に代入すると、

$$(3)\quad S^*(t) = S(t) + \frac{E(t)}{1-\nu_1(t)}\int_{\tau_1}^{t} S^*(\tau)\frac{\partial}{\partial\tau}[\delta(t,\tau) - \delta_1(t,\tau)]\,d\tau$$

(3)に示される Volterra の 積分方程式が得られる。 さらに $\nu_1(t)=\nu_2(t,\tau)=\nu=const$とすると次式を得る。

$$(4)\quad \sigma_x^*(t) = \sigma_x(t) + E(t)\int_{\tau_1}^{t}\sigma_x^*(t)\frac{\partial}{\partial\tau}\left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t,\tau)\right]d\tau$$

クリープ関数を $C(t,\tau)=\varphi(\tau)[1+e^{-\gamma(t,\tau)}]$, $\varphi(\tau)=C_o+A_1/\tau$, とし (4)を微分すると (5)を得る。

$$(5)\quad \sigma_x^{*\prime\prime}(t) + \sigma_x^{*\prime}(t)\left\{\gamma[1+\varphi(t)E(t)] - \frac{E'(t)}{E(t)}\right\} = \sigma_x''(t) + \sigma_x'(t)\left[\gamma - 2\frac{E'(t)}{E(t)}\right] - \sigma_x(t)\left\{\frac{E'(t)}{E(t)}\left[\gamma - 2\frac{E'(t)}{E(t)}\right] + \frac{E''(t)}{E(t)}\right\}$$

微分方程式(5)を解き さらに 瞬間弾性係数が時間に伴って変化する事はそれ程顕著ではないので
$E(t)=E_o=const.$ を代入すると (6)を得る。

$$(6)\quad \sigma_x^*(t) = \sigma_x(\tau_1) + [\sigma_x'(\tau_1) - \sigma_x(\tau_1)\gamma\varphi(\tau_1)E_o]\int_{\tau_1}^{t}e^{-\eta(\tau)}d\tau + \int_{\tau_1}^{t}e^{-\eta(\tau)}d\tau\int_{\tau_1}^{\tau}e^{\eta(z)}[\sigma_x''(z) + \gamma\sigma_x'(z)]\,dz$$

$$\eta(\tau) = \gamma\int_{\tau_1}^{\tau}[1+\varphi(\tau)E_o]\,d\tau$$

初期条件 $\sigma_x^*(\tau_1)=\sigma_x(\tau_1)$；$\sigma_x^{*\prime}(\tau_1)=\sigma_x'(\tau_1)-\sigma_x(\tau_1)\gamma E_o\varphi(\tau_1)$；を(6)に代入し 変形すると (7)を得る。

$$(7)\quad \sigma_x^*(t) = \sigma_x(\tau_1) - \gamma E_o\sigma_x(\tau_1)\varphi(\tau_1)\int_{\tau_1}^{t}e^{-\eta(\tau)}d\tau - \gamma E_o\int_{\tau_1}^{t}e^{-\eta(\tau)}d\tau\int_{\tau_1}^{\tau}\sigma_x'(z)\,e^{\eta(z)}\varphi(z)\,dz$$

(7)に $\varphi(\tau)$，$\eta(\tau)$を代入し変形すると (8)を得る。

$$(8)\quad \sigma_x^*(t) = \sigma_x(\tau_1) - \gamma E_o(C_o + A_1/\tau_1)\sigma_x(\tau_1)e^{r\tau_1}\tau^{p}\int_{\tau_1}^{t}e^{-r\tau}\tau^{-p}d\tau - \gamma E_o\int_{\tau_1}^{t}e^{-r\tau}\tau^{-p}d\tau\int_{\tau_1}^{\tau}(C_o + A_1/z)\,\sigma_x'(z)\,e^{rz}z^{p}\,dz$$

$$r = \gamma(1+E_oC_o) \qquad p = \gamma A_1E_o$$

この(8)によって 瞬間弾性問題に対応する応力 $\sigma_x(t)$ $\sigma_y(t)\cdots$ が既知であるならば 求める応力$\sigma_x^*(t)$の値を決定する事ができる。