

道路橋RC床版の乾燥収縮拘束応力解析

大阪大学工学部 正 員 前田幸雄

大阪大学工学部 正 員 松井繁之

大阪大学工学部 学生員 ○井上雅夫

1. まえがき 道路橋RC床版において、コンクリートが全断面有効である状態下では、床版下面のコンクリートの応力は設計輪荷重を受けておひびわれが発生する程大きくはない。よって、最初的主鉄筋方向の1方向おひびわれ発生は、荷重の他に原因があると考えられる。その原因の一つがコンクリートの乾燥収縮であろう。床版内の鉄筋、スラブアンカーあるいはずれ止めを介して主筋、横筋が、この乾燥収縮を拘束するとコンクリートに引張応力が発生する。この拘束だけでおひびわれが発生する場合もある。その1例を図1に示した。この床版は、未供用床版で、完成後約1年経過時で床版下面に図のようなおひびわれが発見された。平均おひびわれ密度は4.5%、最大は11%にもなっている。大きなおひびわれ幅は0.1~0.2mmもある。そこで筆者らは上記拘束要因を考慮して道路橋RC床版の乾燥収縮に伴うおひびわれ解析を行った。

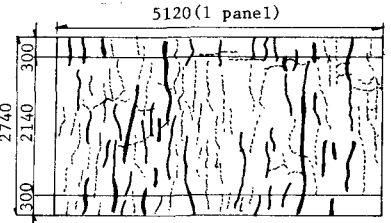


図1 未供用床版下面のおひびわれ

2. 乾燥収縮とクリープ 本解析では、ある時刻 t (日)におけるコンクリートの乾燥収縮ひずみ $\epsilon_{s,t}$ の算定には、Rüsch¹⁾による次式をもちいた。

$$\epsilon_{s,t} = \epsilon_{so} (k_{s,t} - k_{s,t_0}) \quad (1)$$

ここに、 ϵ_{so} は基本乾燥収縮ひずみでRüschは屋外では、 -4.0×10^{-4} を使うことを推奨しているが、ここでは実際の収縮試験を参考にして、 -8.0×10^{-4} とした。 $k_{s,t}$ は収縮度の材令と関係のある係数で図2に示す。 d_w は有効厚さでスラブでは板厚となり16cmとした。 t_0 は乾燥収縮の始まる材令で7日とした。

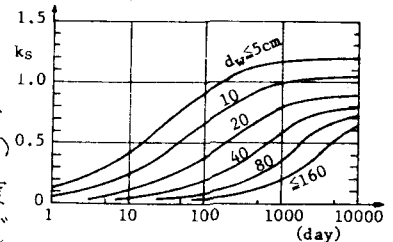


図2 乾燥収縮の材令と関係のある係数 k_s

クリープひずみの計算には、図3のVoigtモデルを用いた。これは、コンプライアンス C の弾性ばねと粘性係数 η のダッシュポットの並列結合である。このモデルは、一定応力 σ_0 の作用によるクリープひずみ ϵ_c は、 $\epsilon_c = \epsilon_\infty (1 - e^{-\frac{t}{T}})$ となる。ここに ϵ_∞ は時刻無限大のクリープひずみで $\epsilon_\infty = \sigma_0 C$ 、 T は遅延時間

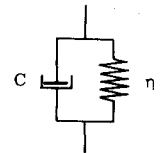


図3 Voigtモデル

と呼ばれ、 $T = C\eta$ の関係がある。この C および T は、床版に近い乾燥状態で引張応力のクリープ試験を参照して $C = 0.625 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kg}$ 、 $T = 25 \text{ 日}$ とした。これをクリープ係数に直すと約1.9となる。

3. 解析手法 有限要素法により解析を行う。瞬間弾性のコンクリートの応力-ひずみ関係は線型と仮定するが、長期的な応力-ひずみ関係は、クリープにより非線型となる。したがって、適当な時間刻みを行って増分計算を進めなければならない。解析手法を次に述

べる。時刻間隔は $\Delta t_i = e^{\alpha}$, $\alpha = 1.9 + 0.1/i$ ($i = 1 \sim 50$)とする。最終は1000日である。ある時間増分 Δt_i において応力は、線型的に増加すると仮定して、クリープひずみ増分 $\Delta \varepsilon_{ci}^{(4)}$ を計算し、乾燥収縮ひずみ増分 $\Delta \varepsilon_{si}$ との和を初期ひずみとしてオ1近似の増分応力 $\Delta \sigma_i^{(4)}$ を計算する。 $\Delta \sigma_i^{(4)}/\Delta t_i$ によりクリープひずみ増分 $\Delta \varepsilon_{ci}^{(2)}$ を計算し、 $\Delta \varepsilon_{ci}^{(2)} + \Delta \varepsilon_{si}$ を初期ひずみとしてオ2近似の増分応力 $\Delta \sigma_i^{(2)}$ を計算する。順次 $\Delta \sigma_i^{(n)}$ が収束するまで反復する。収束した全応力の主応力がコンクリートの引張強度を超えたとひびわれが生じるとし、剛性を低下させ応力を開放した。上記のクリープひずみ増分 $\Delta \varepsilon_{ci}$ の算定式は、Voigtモデルに基づいて式(2)のようになる。

$$\Delta \varepsilon_{ci} = C \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta t_i} \left(T e^{-\frac{\Delta t_i}{T}} + \Delta t_i - T \right) + (C \cdot \sigma_i - \varepsilon_{ci}) \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_i}{T}} \right) \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_i, \varepsilon_{ci}$ は時刻 t_i における全応力と全クリープひずみ。この解析法の精度をひずみ入力のクリープ試験で、Voigtモデルの厳密解と比較した。図4がその結果で両者はよく一致した。

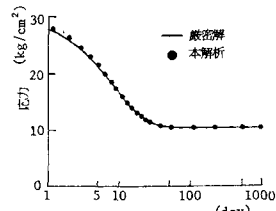


図4 クリープ計算法の精度照査

4. 解析例 図5に示す合成桁を解析した。対称性より1/4だけ解いた。モデル化は、次の通りである。①コンクリートは長方形平面応力要素。②鉄筋は板要素に沿う棒要素。③ずれ止めはバネ要素。④主桁および横桁は曲率を考慮した棒要素。

ただし、鉄筋とコンクリートの付着は完全とする。次に、解析結果であるが、まずひびわれを最後まで発生させなかった場合の応力の時間的経過を図6

に示す。最大で 48 kg/cm^2 にも達する応力が生じ、ひびわれ発生の可能性を示唆している。次にコンクリートの引張強

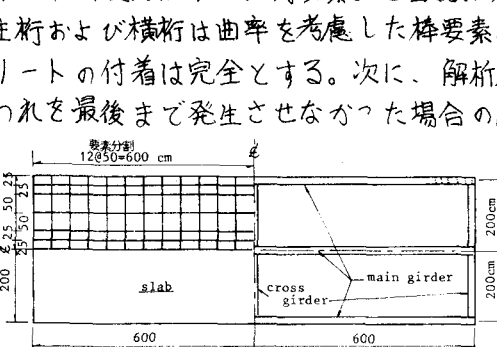


図5 合成桁橋の解析モデル

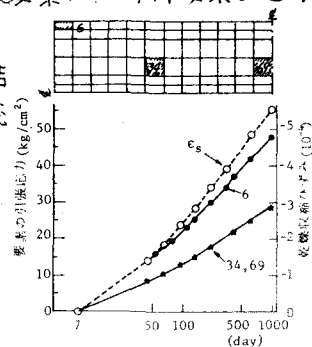


図6 ひびわれを抑制した場合のコンクリート応力変化

度を 20 kg/cm^2 とし、ひびわれを発生させた結果を述べる。1000日までに発生したひびわれを図7に示す。最初に入る要素は外桁の端部である。その後、ハンチ部のほとんどすべての要素に、1方向ひびわれが発生した。これらは当然、主桁、ず

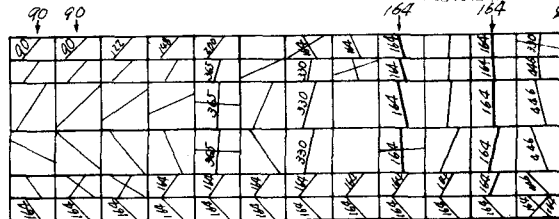


図7 ひびわれ発生の一例(配鉄鉄筋量84%)

れ止めによる橋軸方向の拘束によるものである。そして、164日目に主鉄筋方向に床版を横断するひびわれが発生した。その後もひびわれが増加していった。図8は配鉄鉄筋量の影響を調べた計算結果で、1つの要素の1対辺の変位差を考えた。配鉄鉄筋量が少ないとひびわれ発生の日数は延びるが、ひびわれ幅は大きくなる。

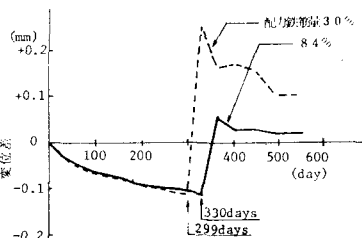


図8 配鉄鉄筋量の違いによるひびわれ幅(変位差)の違い

1) Rusch: コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮(百島祐信 訳), 鹿島出版, 1976