

住友金属(株) 正員 井上雅夫
 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

1. 寸がき 道路橋RC床版のひびわれ損傷機構に対しては大略毎々の説明が可能となった。しかし、使用初期の主鉄筋に平行なひびわれは活荷重による断面力だけでは説明できない。この初期のひびわれはコンクリートの乾燥収縮によるものと予想される。床版内の鉄筋、すれ止めを介した主桁・横桁の拘束により床版内に引張応力が発生する。図1は床版完成後1年経過時における未使用床版のひびわれ図である。主に主鉄筋に平行方向に発生し、平均ひびわれ密度は4~5^m/m²、最大では11^m/m²にもなっている。大きなひびわれ幅は0.1~0.2mmもある。筆者らは道路橋RC床版の乾燥収縮によるひびわれの解析を行い、拘束要因の考察を行った。

2. 乾燥収縮とクリープ 乾燥収縮量の基本式はRüsch²⁾による次式を用いた。

$$\varepsilon_{s,t} = \varepsilon_{s,0} (k_{s,t} - k_{s,t_0}) \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon_{s,t}$ は時刻 t (日)における乾燥収縮ひずみ、 $\varepsilon_{s,0}$ は基本乾燥収縮ひずみで、見取²⁾の実験結果より -8.0×10^{-4} と与え、 $k_{s,t}$ は収縮度の収束による係数で図2に示すRüschの結果を用いる。図中のパラメータ dw は有効厚さであり、床版では版厚となる。 t_0 は乾燥収縮の始まる収束で7日。

クリープひずみの計算には図3に示すDögléモデルを採用した。これはコンプライアンス $C = 1/E$ の弾性は η と粘性係数 γ のダッシュポットの並列結合である。このモデルに一定応力 σ_0 を与えた場合のクリープひずみ ε_c は $\varepsilon_c = \varepsilon_0 (1 - e^{-\gamma t / C})$ となる。 ε_0 は時刻無限大のクリープひずみで $\varepsilon_0 = \sigma_0 / C$ 、 T は遅延時間と呼ばれ $T = C / \eta$ の関数がある。 C および T は環境条件等によって異なる係数となり、今解析では床版に近い乾燥状態下で引張応力下のクリープ試験結果を参照して $C = 0.625 \times 10^{-6}$ 、 $T = 25$ 日とした。

これよりクリープ係数を求めると約1.9となり、示方書で与えられている2.0より若干小さい。 η

3. 解析方法 有限要素法を用いた。解析対象は図4に示す3主桁の合成桁橋である。

本解析では対称性より1/4部分だけ取り出した。要素分割は図4の通りで、最大50cmの辺長と有る長方形要素を用いた。鉄筋は主鉄筋、配鉄筋と上記コンクリートの各長方形要素の辺に沿わせ、棒要素で表現した。主桁は長手方向の内辺上エッジルを表現するバネ要素を介した棒要素とした。

乾燥収縮ひずみは全コンクリート要素に一樣に与える。ただし、時間間隔は $\Delta t_i = e^{\alpha}(\text{日})$ 、 $\alpha = 1.9 + 0.1i$ ($i = 1 \sim 50$ 回)とした。最終は1000日である。この各時間間隔での乾燥収縮ひずみに対しクリープ計算を行う必要がある。このクリープひずみは時間増分前の収束した応力に対する成分と、1増分中に生じた応力に対する成分に分けて計算する必要がある。これを式で表現すると、

$$\Delta \varepsilon_{c,i} = C \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta t_i} \left(T e^{-\frac{\Delta t_i}{T} + \alpha \Delta t_i} - T \right) + (C \sigma_{i-1} - \varepsilon_{c,i-1}) (1 - e^{-\frac{\alpha \Delta t_i}{T}}) \quad (2)$$

となる。 $\Delta \varepsilon_{c,i}$ は時間間隔 i におけるクリープひずみ増分で、 σ_{i-1} 、 $\varepsilon_{c,i-1}$ は時刻 t_{i-1} における全応力と全クリープ

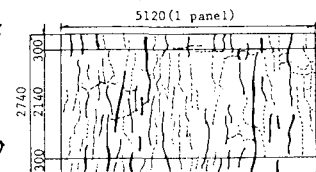


図1 未使用床版のひびわれ

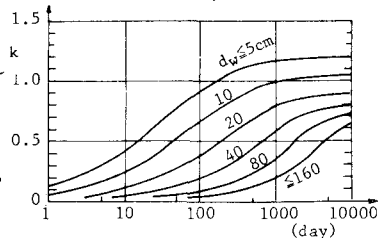


図2 乾燥収縮の係数 k_s

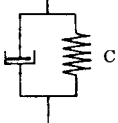


図3

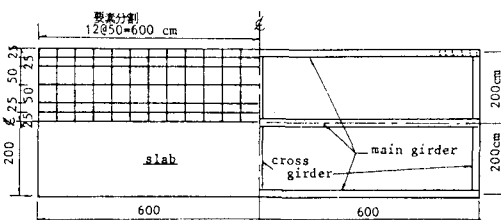


図4 合成桁の解析モデルと要素分割

びずみである。この式の精度をひずみ入力のクリープの厳密解との比較によって照査した。結果は図5の通りで一一致を見た。

4. ひびわれ解析の結果 図4に示した3主桁の単純合成桁を基本にしたがひびわれに及ぼす影響因子の違いを見るため表1に示す8種について解析した。床版2が基本モデルで、その他の表中に黒丸を付けた所を変化させた。

解析結果として、まず、ひびわれを最後まで発生させなかった床版1のコンクリートの応力変化を図6に示す。最大は外桁の交点上要素で 48 kg/cm^2 にも達し、中間部でも34, 69要素の結果のように $28 \sim 29 \text{ kg/cm}^2$ の応力が発生し、乾燥収縮によるひびわれ発生の可能性を示唆している。

図7は、コンクリートの引張応力を 20 kg/cm^2 とした場合のひびわれ発生状況の例である。(a)は床版2, (b)は床版3, (c)は床版5の結果である。

最初のひびわれ発生は外桁の交点上で見

表1 解析床版の特性

床版	スパン	配筋鉄筋比	コンクリート引張強度	ずれ止め	主桁剛度
1	12m	0.84 %	∞	スタッド	標準
2	12	0.84	20	スタッド	標準
3	12	0.30	20	スタッド	標準
4	12	0.84	20	異型ジベル	標準
5	12	0.84	20	スラブアンカ	標準
6	12	0.84	20	スタッド	標準
7	20	0.84	20	スタッド	標準
8	20	0.84	30	スタッド	標準

れる。合成桁の場合、その発生日は90日であるが、非合成床版の5では181日と遅れる。また、内側主桁に於けるハンク部(実際はハンクの考慮はしていない)のひびわれも合成桁の場合には164日にはば全長で一度に発生するが、非合成の場合は非常に遅れ、ひびわれ方向も異なる。

幅員方向に走るひびわれも各種影響因子の違いによって、その発生日、パターンが異なってくる。床版2では164日に幅員方向に走るが、配筋鉄筋量が少なくなったり、スラブアンカーを用いた場合のように格軸方向の拘束度が減かすると299日、あるいは245日というように遅れることがわかった。

図8に幅員方向のひびわれと交差する幅員中央の配筋鉄筋の応力変化の1例を示す。ただし、着目ひびわれはなるべく交角中央に近いものを選んだ。この図で明らかに、ひびわれ発生前は圧縮応力を受けていたが、ひびわれ発生により引張側に変化する。そして、ひびわれ本数が増加するに従って、応力の再配分が起り徐々に減少していく。配筋鉄筋量が少ない床版3では、やはり最も高い引張応力が発生している。

図9はひびわれ幅に関する一考察の結果である。直接ひびわれ幅は求まらなかったため、1つのひびわれ要素のひびわれをひずみと節点の変位差がひびわれ幅に対応すると考えた。図9はその結果の1例である。配筋鉄筋量が少ないとやはりひびわれ幅が大きくなった。

【参考文献】

- 1) H. Busch, P. Jungwirth (自著通信訳): コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮, 鹿島出版会, 1976.
- 2) 岡田・徳高: 道路橋RC床版の乾燥収縮応力とひびわれの関係, 建設学雑誌, pp. 37-67, 1982.

図9 ひびわれ要素の2辺間の変位差

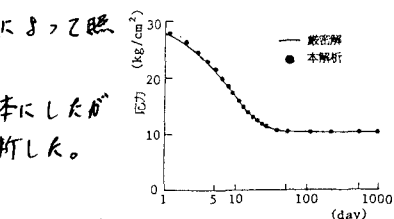


図5 クリープ計算法の精度照査

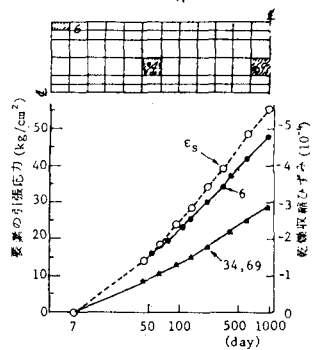


図6 床版1におけるひびわれ変化

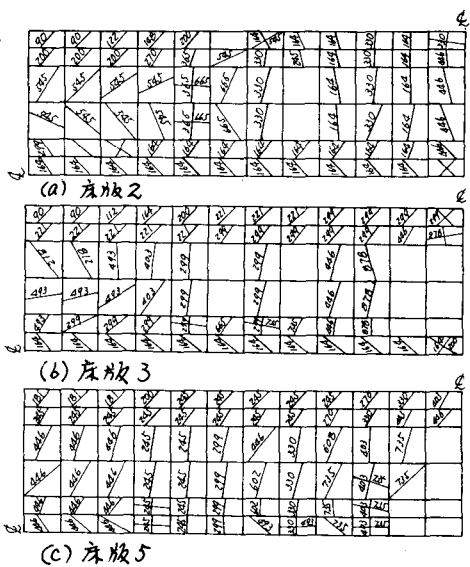


図7 ひびわれ発生状況の例

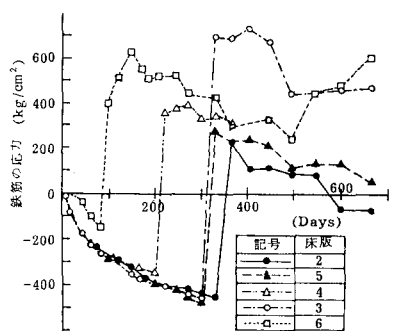


図8 配筋鉄筋の応力変化