

東洋技研コンサルタント(株) 正員 ○味好 渉 正員 島田 功
" 宮崎平和 小河英二

1. まえがき

道路橋の鉄筋コンクリート床版(RC床版)におけるひびわれ損傷の大きな要因は、交通荷重の増大や車輛の大型化にあり、主桁間隔、主桁の不等沈下、床版厚や鉄筋量などの構造条件に対する力学的応答及び荷重の移動繰り返しによる広義の疲労現象の解明を主体に研究がすすめられた。床版のひびわれを放置しておく、雨水の浸透等により床版の劣化を促進する他、通行車輛に大きな衝撃を与え橋梁各部の構造の破損を助長する結果となる。よって、RC床版のひびわれ損傷に対する保守点検並びに維持補修は、道路維持管理上の最重要項目となっている。損傷床版の主な補強工法を示すと次のようになる。①鋼板接着工法及び②増設工法は、交通規制を必要とせず部分的補強が可能であることより施工実績が多い。しかし、床版下面での作業の為施工性が悪く、補強工と床版との密着性に問題がある。③増厚工法は、交通規制の必要性及び死荷重の増加等の欠点を持つが、補強効果、施工性、経済性で有利な工法である。しかし、増厚部に乾燥収縮によるひび割れが発生すると、雨水の浸透をまねき上置層を分離させる結果となる。本報告は、このような増厚部の乾燥収縮による初期欠陥に着目し、経時的な解析による収縮拘束応力の定量的な把握を行い、初期ひび割れを発生させないための必要厚さについての検討結果を示したものである。

2. 増厚コンクリートの乾燥収縮ひずみ履歴の解析

乾燥収縮は、コンクリート中の水分が外部へ逸散すること起因する。Picketは、水分の移動の現象を拡散方程式で表し水分の逸散と収縮ひずみとの間に比例関係があるとして乾燥収縮ひずみを求めた。ここでは、この構成式を用いる。

(1) 拡散方程式

増厚コンクリート中の水の逸散は、図-1の大気と接する上面で起こるとすると、一次元場の収縮ひずみの基礎方程式(拡散方程式)は(1)式となる。

$$k \frac{\partial^2 \epsilon_s}{\partial Z^2} = \frac{\partial \epsilon_s}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し、 ϵ_s ; 収縮ひずみ, k ; 収縮の拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{日}$)

(2) 境界条件

コンクリート表面と大気の間で逸散する水分より求まる条件式を収縮ひずみ ϵ_s を用いて表すと(2)式となる。

$$k \left[\frac{\partial \epsilon_s}{\partial Z} \right]_0 = f (\epsilon_{s\infty} - \epsilon_{s0}) \quad \dots\dots (2)$$

ここに、 f ; 表面係数 ($\text{cm}/\text{日}$) , $\epsilon_{s\infty}$; 終局収縮ひずみ, ϵ_{s0} ; 表面の収縮ひずみ

(3) 差分法による定式化

式(1)の両辺をTaylor展開し、整理すると以下の差分式を得る。

$$\epsilon_{s1}(t+\Delta t) = \epsilon_{s1}(t) + k \cdot \Delta t \{ \epsilon_{s1}(i-1) - 2 \cdot \epsilon_{s1}(i) + \epsilon_{s1}(i+1) \} \quad \dots\dots\dots (3)$$

境界では、式(2)の差分表示より次式を得る。

$$\epsilon_{s0} = \frac{1}{1 + f/k \cdot \Delta Z} (f/k \cdot \Delta Z \cdot \epsilon_{s\infty} + \epsilon_{s1}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

3. 収縮拘束応力履歴の解析

コンクリートが硬化する過程で生じる全ひずみ量は、以下の式で与えられる。

$$\epsilon(t) = \epsilon_e(t) + \epsilon_c(t) + \epsilon_a(t)$$

ここで、 $\epsilon(t)$; 全ひずみ, $\epsilon_e(t)$; 弾性ひずみ, $\epsilon_c(t)$; クリープひずみ ; $\epsilon_a(t)$; 自由収縮ひずみ

旧床版の剛性が増厚部の剛性に比較し十分に大きいとすると、 $\epsilon(t)=0$ となり、拘束応力の増分量 ($\Delta \sigma_c$) は、 $\Delta \sigma_c = \frac{1}{1-\nu} E(t) \cdot \Delta \epsilon_e \quad \dots\dots\dots (5)$

図-2は、時間ステップ Δt 間での各物理量を解析するための流れ図である。

4. 解析条件

a) 解析ケース

表-1

増厚高さ h (cm)	4	6	8	10	12
相対湿度 RH (%)	40		70		

b) 材料定数 (コンクリート)

- ・圧縮強度 $\sigma_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ (設計基準強度 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$)
- ・ヤング率 $E_c = 2.5 \times 10^4 (1 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{kg})$
- ・引張強度 $\sigma_{ct} = 30 \times (1 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{kg})$
- ・終局収縮ひずみ ($\epsilon_{as\infty}$) 4)
- ・ $\epsilon_{as\infty} = [-52.2 + 78 \times (1 - \exp(-\frac{RH}{100}))] + 38 \log_e W - 5 \times (\log_e h)^2 \times 10^{-5}$
- ・クリープ係数 (ϕ)
- ・ $\phi = \phi_0 (1 - e^{-0.041t})$ t : 材齢 (日)

表-2 最終ひずみ値 ($\epsilon_{as\infty}$) ($\times 10^{-6}$)

h (cm)	4	6	8	10	12
$RH=40\%$	902	838	782	733	690
$RH=70\%$	495	431	375	328	283

表-3 クリープ係数

増厚高さ h (cm)		4	6	8	10	12
ϕ	RH=40 %	5.68	5.41	5.23	5.05	4.98
	RH=70 %	3.74	3.56	3.44	3.36	3.28

5. 計算結果

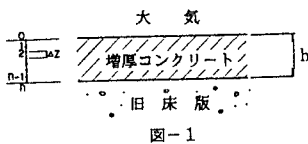


図-1

図-2 計算フローチャート

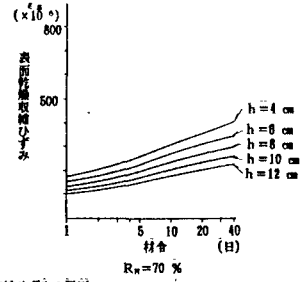
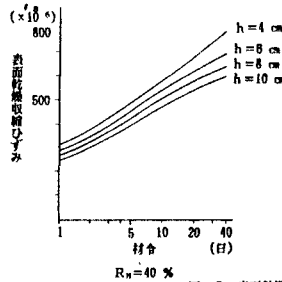
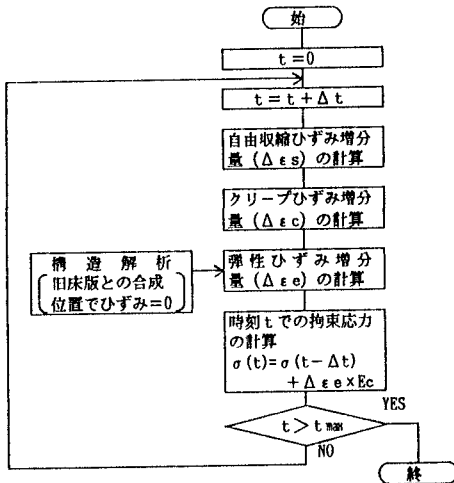


図-3 表面乾燥収縮ひずみの経時変化

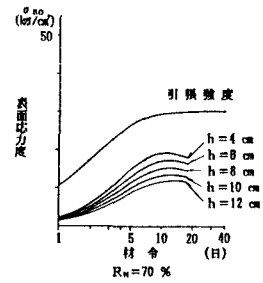
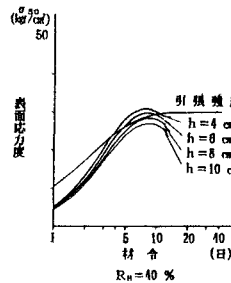


図-4 表面応力度の経時変化

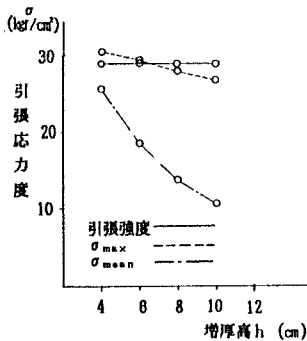


図-5 引張応力度と増厚高さ (R_n=40%)

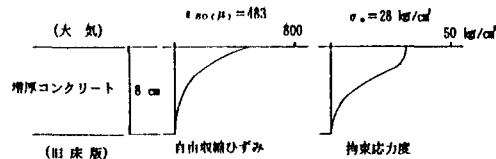


図-6 ひずみと応力の分布
(h=8 cm, t=8.2 日, R_n=40%)

6. あとがき

表面自由収縮ひずみは、材令10日で最終ひずみの8割程度の進行度を示している(図-3)。増厚表面での表面応力度は、増厚高さ、相対湿度にかかわらずほぼ材令10日後において、ピーク値に達しており、増厚高さが薄い程、大きい値を示し、表面最大応力度に達する材令が若くなる(図-4)。増厚高さh=4 cmの時(R_n=40%)表面応力度>引張強度かつ平均応力度も引張強度に近い表面にひびわれが入るとすぐに下縁まで進行する。h=8 cmの場合、表面応力度<引張強度かつ平均応力度も引張強度の半分以下である(図-5)。増厚高さ方向のひずみ及び応力の分布も下縁では0である(図-6)。これらより、乾燥収縮からみた増厚高さは、8 cm程度は必要であると思われる。

- 1) 日本道路協会：道路橋補修便覧(1990)，
- 2) 岡田、岡村、園田、島田：道路橋鉄筋コンクリート床版のひびわれ損傷と疲労性状，土木学会論文報告集 NO.321 (1982)，
- 3) G.Pickett: Shrinkage Stress in Concrete, Journal of A.C.I., Vol.17, NO.3-4, (1946)
- 4) 阪田、綾野：コンクリートの乾燥収縮ひずみ予測式の提案，セメント・コンクリート論文集，NO.43, (1989)
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅲコンクリート橋編，(1990)