

(2) PRC 鉄道橋のひびわれ幅算定方法について

東日本旅客鉄道㈱ 東北工事事務所

○津吉 毅

“ “

正会員 石橋忠良

“ “

斉藤啓一

1. はじめに

PRC 桁は、その使用状態でひびわれの発生を許容するため、ひびわれに対する設計が重要となってくる。しかしながら、現状では正確なひびわれ幅算定法が確立されているとはいえず、さらに精度の高い算定手法の確立が望まれている。

今回、PRC 桁のひびわれ幅の実橋測定を行い、ひびわれ幅に及ぼす乾燥収縮の影響を中心に考察を行い、より精度の高いひびわれ幅算定手法を得た。また、その手法を用いると、RC 桁においても、ひびわれ幅の計算値と実測値が比較的よくあうことがわかった。

本論文は、以上の結果に基に、RC 桁、PRC 桁共通のひびわれ幅算定手法を提案するものである。

2. 調査橋梁と測定結果

表-1 桁の諸元

表-1に、調査を行ったPRC桁の諸元を示す。桁はすべて箱形断面のアウトケーブールを用いたPRC桁であり、B1、C

	鉄筋量 (cm ²)	スラスト力 (t)	配 合		設計基準強度 (kg/cm ²)	かぶり (mm)	鉄筋間隔 (mm)	鉄筋径 (mm)	スパン (m)
			W(kg/m ³)	C(kg/m ³)					
A 桁	428.9	240	164	280	240	66	100	32	25.8
B1桁	905.7	1000	163	330	300	46	100	32	30.0
B2桁	905.7	800	163	330	300	46	100	32	30.0
C1桁	869.5	800	163	330	300	46	100	32	30.0
C2桁	869.5	600	163	330	300	46	100	32	30.0

1桁はひびわれ発生後にプレストレスが導入されている。ひびわれと、鉄筋応力度(鉄筋ひずみの実測値から計算)の測定結果を表-2に示す。なお、表-2に示した「最大ひびわれ幅」とは、0.10mm以上のひびわれ幅測定個数を対象に、最大から5%目のひびわれ幅の実測値であり、「ひびわれ間隔」とは、最大ひびわれ幅に近接するひびわれ間隔のうち最大の間隔である。

表-2 測定結果

	A 桁	B1桁	B2桁	C1桁	C2桁
最大ひびわれ幅(mm)	0.20	0.15	0.20	0.15	0.20
ひびわれ間隔*(mm)	202	183	313	218	500
平均ひびわれ幅(mm)	0.11	0.05	0.07	0.05	0.05
平均ひびわれ間隔(mm)	196	183	349	246	592
鉄筋応力度(kg/cm ²)	357	700	1048	466	716

3. 測定結果の解析

一般に、コンクリートのひびわれ幅は、ひびわれ間隔と、ひびわれ間のコンクリートと鉄筋のひずみ差の値で表され、土木学会標準示方書には、下記の式(1)、(2)が最大曲げひびわれ幅算定式(以下、学会式)として与えられている。

$$w = k_1 \{ 4c + 0.7(c_s - \phi) \} (\sigma_{se} / E_s + \epsilon'_{cs}) \dots \dots \text{式(1)}$$

$$S_e = S_p + k_2 S_r \quad \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

ここに、 k_1 : 鋼材の付着性状の影響値。異形鉄筋を用いた場合には、一般に1.0

k_2 : 変動荷重の影響を考慮するための係数。一般に0.5

c : かぶり c_s : 鋼材の中心間隔 ϕ : 鋼材径

ϵ'_{cs} : コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響を考慮するための数値。一般に 150μ

S_p : 永久荷重による断面力 S_r : 変動荷重による断面力

σ_{se} : 断面力 S_e により生ずる鉄筋応力度の増加量

表-3 に学会式での計算値と実測値の比較を示す

σ_{se} の計算値は、ひびわれ断面での永久荷重作用時のものとし、ひびわれの発生までに進行するクリープ、乾燥収縮による鉄筋の拘束応力も考慮して計算した。

最大ひびわれ幅の学会式による計算値は、実測値よりも小さめの値となっている。ひびわれ間隔は、 $\{4c + 0.7(c_s - \phi)\}$ で算定したが、B2、C2

表-3 学会式による最大ひびわれ幅の計算値と実測値の比較

	A 桁	B 1 桁	B 2 桁	C 1 桁	C 2 桁
ひびわれ間隔実測値 (mm)	202	183	313	218	500
ひびわれ間隔計算値 (mm) $4c + 0.7(c_s - \phi)$	319	232	232	232	232
鉄筋応力度実測値 (kg/cm ²)	357	700	1048	466	716
σ_{se} (計算値) (kg/cm ²)	795	803	1079	824	1093
w (実測値) (mm)	0.20	0.15	0.20	0.15	0.20
w (計算値) (mm)	0.17	0.12	0.15	0.13	0.16

桁では、ひびわれ間隔の計算値が実測値を大きく下回っている。これらの桁は、ほぼ同一の断面形状、配筋となっている B1、C1 桁に比べひびわれ間隔が相当大きくなっており、従って、ひびわれが入り切るまで入った定常状態にはなっていないといえる。このような場合には、ひびわれ幅に影響を与えるひびわれ間隔としては、定常状態のひびわれ間隔を用いてよい^{2) 3)}ことが知られており、他の3桁の結果からも、定常状態の間隔としては、 $\{4c + 0.7(c_s - \phi)\}$ を使用して、ほぼ妥当である、と考えられる。よって、B2、C2 桁のひびわれ幅の計算値が実測値を下回る第一の原因がひびわれ間隔の評価に存する、とは考えにくい。また、鉄筋応力度増分として、永久荷重作用時の計算値を用いたが、実測値よりも大きめの値となっていることから、鉄筋応力度増分の評価が、ひびわれ幅の計算値が実測値を下回る第一要因となっている、とも言えない。以上のことから、また、実橋における乾燥収縮度は、かなり大きい⁴⁾という報告もあり、 ϵ'_{cs} の値が小さめの評価となっていることが、ひびわれ幅の計算値が実測値を下回る主要な原因である、と予想できる。以下、乾燥収縮の影響に着目し、検討を加えた。

4. 乾燥収縮の考え方

ひびわれが発生すると、ひびわれ面での無筋としてのコンクリートの乾燥収縮度は、桁全体での挙動から、ひびわれにより分割された小部材としての挙動へと移行し (図-1)、ひびわれ間でのコンクリートの乾燥収縮により、鉄筋の拘束をうけつつも、直接的にひびわれ幅の増大につながる、と考えた。図-2 に示したように、コンクリートの乾燥収縮の経時変化が、桁全体での挙動 (A 曲線) からひびわれにより分割された小部材での挙動 (B 曲線) へと移行し、ひびわれ幅増加に直接影響を与える乾燥収縮の値 ϵ'_{cs} としては、ひびわれ発生後に進行する図中に示した ϵ_{shz} を用いることとした。なお、ひびわれが発生しても、ひびわれ間のコンクリートと鉄筋の付着はある程度健全であるため、本来であるなら、ひびわれ間隔全長にわたり、無筋コンクリートとしての乾燥収縮を乗ずることは、その影響を過

大評価することとなるが、変動荷重によるひびわれ幅増加の影響等も考慮して、ひびわれ間隔全長に、無筋コンクリートとしての値を乗じた。

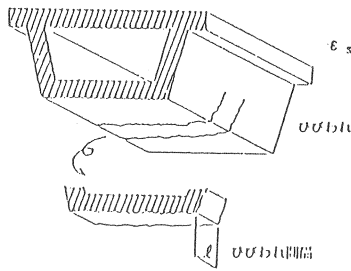


図-1 ひびわれにより分割された部材の考え方

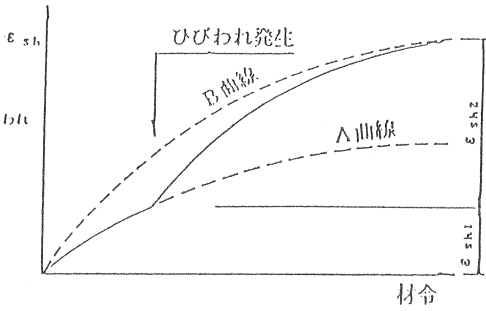


図-2 ひびわれ発生後の乾燥収縮度の経時変化モデル

5. 最大曲げひびわれ幅の計算

以上の仮定に基づき

、乾燥収縮

表-4 新しい手法による最大ひびわれ幅の計算値

	A 桁	B 1 桁	B 2 桁	C 1 桁	C 2 桁
ひびわれ発生材令 (日)	23	49	134	50	100
ϵ_{shz} ($\times 10^{-6}$) 湿度70%	140	203	280	219	277
ϵ_{shz} ($\times 10^{-6}$) 湿度60%	454	430	353	417	359
w (計算値) (mm) 湿度70%	0.24	0.17	0.19	0.17	0.20
w (計算値) (mm) 湿度60%	0.28	0.20	0.22	0.20	0.22
w (実測値) (mm)	0.20	0.15	0.20	0.15	0.20
w (学会式) (mm)	0.17	0.12	0.15	0.13	0.16

ϵ_{shz} を計算する時の湿度は、70%と60%の2つで計算した。

表-4 からわかるとおり、この値はひびわれ発生材令が早期である

程大きな値となる。したがって、ひびわれ発生が早期であるほど乾燥収縮の直接的影響によるひびわれ幅増加は大きくなる。このことは、ひびわれ発生が早期である程、乾燥収縮の影響によるひびわれ幅増加が顕著であるという実橋による測定結果⁴⁾をよく表すこととなる。表に示した ϵ_{shz} の値を、式(1)の ϵ'_{cs} とし、最大曲げひびわれ幅の計算を行った。結果を表-4と、図-3に示す。湿度を70%としたとき、実測値と計算値は比較的良好、湿度を60%とした場合には、計算値は実測値よりも大きめの値となった。なお、ひびわれ発生材令は、支保工撤去時とした。

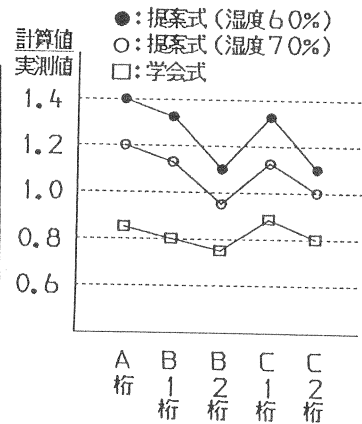


図-3 計算値と実測値の比較

6. RC桁への適応

以上の考えかたをRC桁にも適用し、実測値との比較を行った。ひびわれ発生材令はは支保工撤去時とした。(ただし、D~I桁は推定)

結果を表-5と図-4に示す。このように、同様の手法を用いると、RC桁の最大ひびわれ幅の計算値と実測値の適合性も向上することがわかる。また、J桁は、施工後ひびわれが大きすぎて補修した桁であるが、このような桁においてもひびわれ幅をほぼ妥当に評価できるようになった。

7. まとめ

表-5 新しい手法による最大ひびわれ幅の計算値 (RC桁の場合)

	D 桁	E 桁	F 桁	G 桁	H 桁	I 桁	J 桁	K 桁
構造形式	T形桁	T形桁	T形桁	T形桁	T形桁	T形桁	箱形桁	箱形桁
スパン (m)	19.0	12.9	15.8	14.0	14.1	19.1	24.1	24.9
ひびわれ発生材令 (口)	30	30	30	30	30	30	7	30
$4c + 0.7(c_s - \phi)$ (mm)	299	224	298	210	312	307	307	319
σ_{se} (kg/cm ²)	772	667	856	813	1087	900	1322	1013
ϵ_{shz} ($\times 10^{-6}$) 湿度70%	310	301	314	406	297	303	345	354
ϵ_{shz} ($\times 10^{-6}$) 湿度60%	392	380	394	486	377	382	544	433
w (計算値) (mm) 湿度70%	0.20	0.14	0.22	0.17	0.25	0.22	0.31	0.27
w (計算値) (mm) 湿度60%	0.23	0.16	0.24	0.18	0.28	0.25	0.36	0.34
w (実測値) (mm)	0.35	0.20	0.20	0.20	0.20	0.35	0.30	0.60
w (学会式) (mm)	0.15	0.10	0.17	0.11	0.21	0.18	0.24	0.20

現在の土木学会標準示方書による最大曲げひびわれ幅の試算を行ったところ、実橋における測定結果よりも小さい値となった。

乾燥収縮の影響値が小さいことが、最大曲げひびわれ幅の計算値が実測値を下回る主要な原因であることが予想された。

新しい乾燥収縮の考え方で計算すると、ひびわれ幅の増大に直接的に寄与する乾燥収縮度の値は、概ね $300 \sim 600 \times 10^{-6}$ となった。

ϵ'_{cs} の値を今回のように考えると、PRC 鉄道橋の最大ひびわれ幅の計算値と実測値の適合性が向上した。また、この手法で、RC 鉄道橋の最大ひびわれ幅もほぼ妥当に評価できることがわかった。

施工後、ひびわれが大きすぎて問題となったような桁においても、今回の手法を用いることにより、最大曲げひびわれ幅をほぼ正當に予測できることが分かった。

今回の考え方を導入すると、ひびわれ発生が早期であるほど、乾燥収縮の影響によるひびわれ幅増加は、大きな値となるが、これは実橋にみられる実現象をよく表現している。

ひびわれ発生材令を考慮し、かつ、ひびわれ発生後は、ひびわれにより分割された小部材としての乾燥収縮を使用し最大曲げひびわれ幅を算定することはほぼ妥当である、と思われる。

RC から PRC まで含めたコンクリート構造のひびわれ幅を同一の考えで算定することが可能となった。

(参考文献)

- 1) 角田与史雄; 断面の応力算定とひびわれの制御、コンクリート工学 Vol.25, No.7, 1987
- 2) F・レオンハルト; コンクリート構造の限界状態と変形、鹿島出版会、昭和60年
- 3) 鈴木計夫・大野義照; PRC部材の曲げひびわれ幅算定法、プレレストコンクリート Vol.24, No.1, Jan, 1982
- 4) 石橋忠良・浦野哲司; PRCの実橋測定とその考察、プレレストコンクリート Vol.29, No.2, 1987, 3
- 5) 阪田憲次・綾野克紀; 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

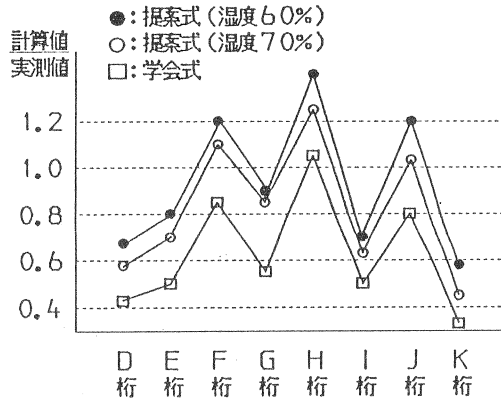


図-4 計算値と実測値の比較