

論文

[1069] コンクリート表面の曲げひび割れ幅に対する乾燥収縮の影響についての一考察

正会員 石橋忠良（東日本旅客鉄道 東京工事事務所）

正会員 斉藤啓一（東日本旅客鉄道 東北工事事務所）

正会員○津吉 毅（東日本旅客鉄道 東北工事事務所）

1. はじめに

コンクリート構造物の曲げひびわれ幅は、使用限界状態における主要な検討項目となっている。コンクリート構造物の表面の曲げひびわれ幅は、材令の経過とともに主として乾燥収縮の影響により増大し、その増大量は、ひびわれの発生時点でのコンクリートの材令の影響を受ける[1]。鉄筋の腐食に対する検討において、表面のひびわれ幅と、鉄筋の腐食に関する相関は現状では、明確ではないが、外観（美観）に対する検討は、表面の曲げひびわれ幅による検討により行われ、また、構造物の保守においても、現在のところ、表面のひびわれ幅が管理基準となっている。したがって、乾燥収縮による影響を考慮してコンクリート表面の最大曲げひびわれ幅を適切に算出することは設計上、重要な意味を持つ。そこで、著者らは、乾燥収縮の影響によるひびわれ幅の増大を考慮したコンクリート表面の最大曲げひびわれ幅算定手法を提案し、その方法により、実鉄道桁の表面の最大曲げひびわれ幅が、比較的精度よく評価できることを報告した[2]。今回、新幹線のRC桁23連において、曲げひびわれの調査を行い、著者らの提案した手法の精度について、新たに検証を加えたので報告する。

2. 調査橋梁と調査方法

調査は、仙台市南部のほぼ同地域、同時期に建設された東北新幹線のT形桁について行った。桁の諸元を表-1に示す。調査を行った桁数は、A桁については17連、B桁については6連である。ひびわれの調査は、スパン中央底面の橋軸直角方向に10(cm)間隔の目印をつけた橋軸方向幅3mについて行い、ひびわれ幅の測定は、クラックスケールを用いて行った。

表-1 測定を行った桁の諸元

	構造形式	スパン(m)	桁高(m)	コンクリート 設計基準強度(kgf/cm ²)	主鉄筋			測定 連数
					かぶり(mm)	間隔(mm)	径(mm)	
A桁	単 T 桁	19.1	2.0	240	66	80	32	17
B桁	単 T 桁	14.1	1.3	240	66	84	32	6

3. 調査結果と考察

3. 1 ひびわれ間隔とひびわれ幅の分布

表-2にA桁17連の全体（以下、全A桁）のひびわれ度数、表-3にB桁6連の全体（以下、全B桁）のひびわれ度数を示す。また、図-1に全A桁のひびわれ間隔の分布を、図-2

表-2 全A桁のひびわれ度数(個)

ℓ (mm)	w (mm)	0.04	0.06	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	計
50											3
60											7
70											17
80											39
90											62
100	3	5	8								17
110	7	13	12	2							39
120	18	15	11	4							62
130	19	16	15	7							62
140	14	11	7	13							49
150	21	25	23	15							87
160	26	40	36	28							146
170	11	32	30	25							114
180	15	31	25	23							117
190	23	16	23	20							95
200	19	34	30	24							124
210	31	48	44	42							190
220	14	32	21	26							108
230	16	16	12	20							65
240	8	7	9	16							78
250	11	17	13	20							53
260	5	4	8	14							79
270	3	7	7	14							43
280		2	7	11							29
290	2	4	5	9							30
300	4	17	10	13							61
310	2	5	9	4							33
320	2	7	8	7							30
330		1	3	3							10
340	3	3	1	1							9
350		2	1	2							10
360			3	3							7
370		3	1	2							6
380											8
390		2	3	2							8
400	1	2	2								11
計		239	447	365	333	204	68	28	12	1	1847

表-3 全B桁のひびわれ度数(個)

ℓ (mm)	w (mm)	0.04	0.06	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	計
50											2
60											2
70											2
80											13
90											25
100											25
110											32
120											36
130											49
140											64
150											60
160											57
170											38
180											46
190											80
200											31
210											40
220											30
230											35
240											28
250											25
260											31
270											16
280											13
290											9
300											6
310											11
320											4
330											4
340											2
350											1
360											7
370											6
380											2
390											8
400											11
計		124	195	189	161	87	25	7	1		789

に全B桁のひびわれ間隔

の分布を、図-3には、

全A桁のひびわれ幅の分

布、図-4には、全B桁

のひびわれ幅の分布を示

す。ひびわれ間隔の分布

は、比較的きれいな対数

正規分布となっており、

また、ひびわれ幅の分布

も、対数正規分布に近い

形を示している。

3.2 ひびわれ間隔

ひびわれ間隔の最大値

から全測定点数の5%個

目のひびわれ間隔 $\ell_{0.95}$

を実測最大ひびわれ間隔

とし、土木学会コンクリ

ート標準示方書[3]に示

された式(1)による計

算値との比較を行った。

結果を表-4に示す。

(個)

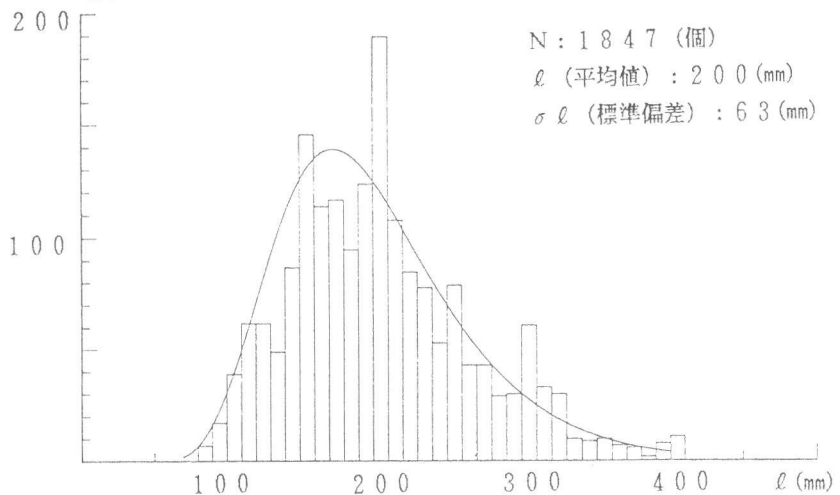


図-1 全A桁のひびわれ間隔の分布

(個)

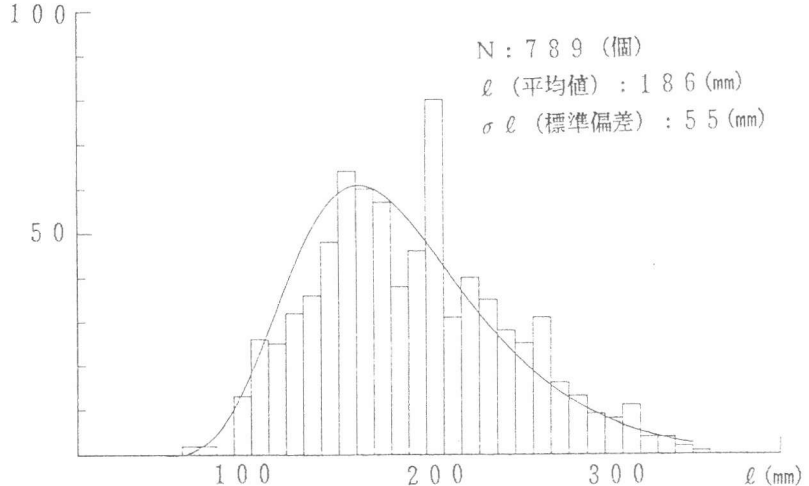


図-2 全B桁のひびわれ間隔の分布

$$\ell_{\max} = 4 \cdot c + 0.7(c_s - \phi) \quad (1)$$

ここに、 $\ell_{\max}$: 最大ひびわれ間隔
 c : かぶり
 c_s : 主鉄筋間隔
 ϕ : 鉄筋径

計算値と実測値との差は、3～4%であり、式(1)により、最大曲げひびわれ間隔は、比較的精度よく表現できている、と言える。

3.3 各ひびわれ間隔と、その間隔に対する測定点の数の5%個目の最大曲げひびわれ幅

$w_{0.95}$ の関係

ひびわれ間隔と、各ひびわれ間隔に対する

$w_{0.95}$ との相関について、全測定点数の5%個を最大、最小からそれぞれ取り除いたひびわれ間隔について、著者らの提案法[2]を用いて、各ひびわれ間隔に対する最大ひびわれ幅を算出し、実測値 $w_{0.95}$ と比較を行った。ひびわれ幅の計算は式(2)によった。

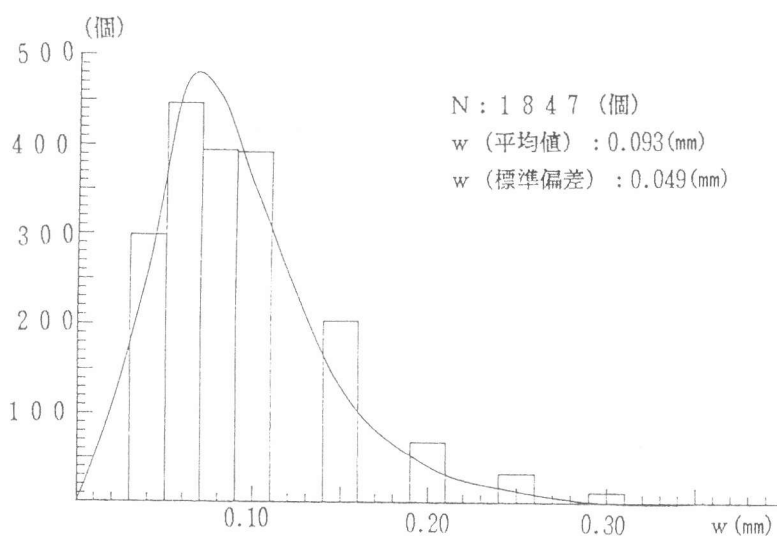


図-3 全A桁のひびわれ幅の分布

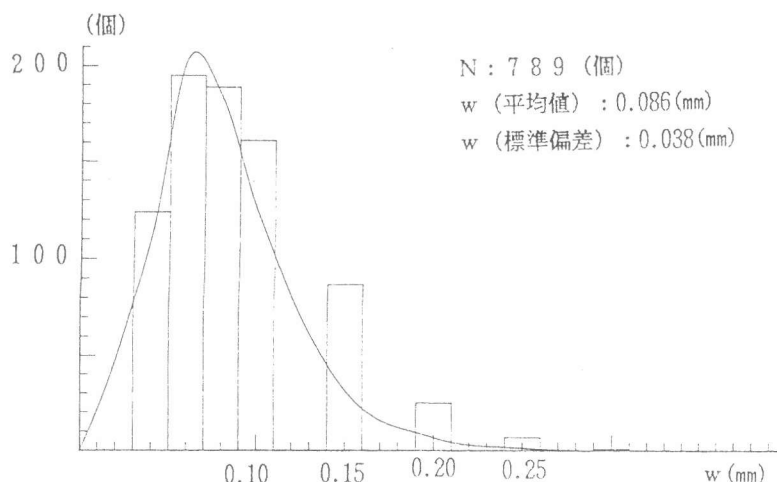


図-4 全B桁のひびわれ幅の分布

$$w_{cal} = \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{cs} \right) \cdot \ell \quad (2)$$

ここに、 σ_{se} : ひびわれ断面での永久荷重作用時の鉄筋応力度

ε'_{cs} : 主として乾燥収縮の影響によるひびわれ幅増加を考慮する数値

ℓ : ひびわれ間隔

σ_{se} の計算値は、A桁で1295(kgf/cm²)、B桁で1060(kgf/cm²)である。また、 ε'_{cs} の値は、ひびわれ発生後に進行する、ひびわれにより分割された小部材の無筋コンクリートとしての乾燥収縮度の値として算定した。なお、ひびわれにより分割された小部材の橋軸方向の幅は、ひびわれ間隔の実測値とし、高さは、A桁では30(cm) (桁底面から桁幅の変化点までの高さ)、B桁では26(cm) (桁高の1/5)として計算[4]した。 ε'_{cs} を算定するにあたっては、ひびわれの発生材令、環境条件(湿度)等が、主要なパラメーターとなる。

表-5には、A桁、B桁の全断面有効

(鉄筋換算断面)として計算した桁自重作用時と、全死荷重作用時の縁応力度を示した。両桁とも、全死荷重作用時に、縁応力度が設計曲げ強度を越えており、この時点でひびわれが発生したものと考えられる。通常の施工工程から勘案して、このときのコンクリート材令を100日程度と推定した。また、乾燥収縮度を計算する時には、湿度は70%として、阪田らの提案式[5]を用いて計算を行った。100~300(mm)のひびわれ間隔に対しての ε'_{cs} の計算値を表-6に示す。 ε'_{cs} の計算値は、400~300 $\times 10^{-6}$ 程度の値となり、ひびわれ間隔が小さい方が、部材が小さくなり基本乾燥収縮度が大きくなるため、 ε'_{cs} の計算値は、大きなものとなる。図-5、図-6には、それぞれ、全A桁と全B桁の、各ひびわれ間隔に対する95%最大曲げひびわれ幅の実測値と計算値との比較を、表-7には、実測値と計算値の誤差の分散と標準偏差を示した。なお、尾坂ら[6]は、乾燥の影響を受ける部材の、ひびわれ間隔と、そのひびわれ間隔に対する95%最大曲げひびわれ幅との関係は、一次の相関関係を持ち、式(3)で精度よく評価できることを見出している。

表-4 最大ひびわれ間隔

	全データ数	$\ell_{0.95}$ (mm)	計算値(mm)
A桁	1847	310	298
B桁	789	290	300

表-5 コンクリート縁応力度(kgf/cm²)

	自重作用時	全死荷重作用時	設計曲げ強度
A桁	21.8	42.5	26.7
B桁	21.6	43.8	26.7

表-6 ε'_{cs} の計算値

ℓ (mm)	ε'_{cs} ($\times 10^{-6}$)	
	A桁	B桁
100	426	415
110	415	405
120	405	395
130	395	386
140	386	377
150	378	368
160	370	361
170	362	354
180	355	347
190	348	340
200	342	334
210	336	328
220	330	322
230	324	317
240	319	312
250	314	307
260	309	302
270	304	297
280	299	293
290	295	289
300	291	285

$$w_{max} = \ell \cdot \left(\frac{\sigma_s}{E_s} + \varepsilon \phi_c \right) + K_c \quad (3)$$

ここに、 ℓ : ひびわれ間隔

σ_s / E_s : 鉄筋ひずみ

$\varepsilon \phi_c$: コンクリートの表面、内部に均等に生じた乾燥収縮の影響
 K_c : ひびわれ付近の表面の内部より大きい乾燥収縮の影響

この方法では、乾燥による影響を、ひびわれ間隔全長にわたり内部、表面に等しく影響する項と、ひびわれ近傍の局所的な乾燥収縮によるひびわれ幅の増大量（定数項）に分けることにより評価している。図-5、図-6、表-7には、この方法により求めた一次の相関直線と、それに対する実測値と計算値との誤差も付記した。式（2）による方法では、ひびわれ近傍の局所的な乾燥収縮によるひびわれ幅増加も、ひびわれ間隔全長にわたる平均ひずみ差の増加で与えたことになる。図表より、ひびわれ近傍での局所的な乾燥収縮の影響によるひびわれ幅増加を、ひびわれ間全長にわたって平均的に評価しても、ひびわれ間隔 ℓ と、95%最大ひびわれ幅 $w_{0.95}$ との関係を比較的精度よく評価できることが確認された。

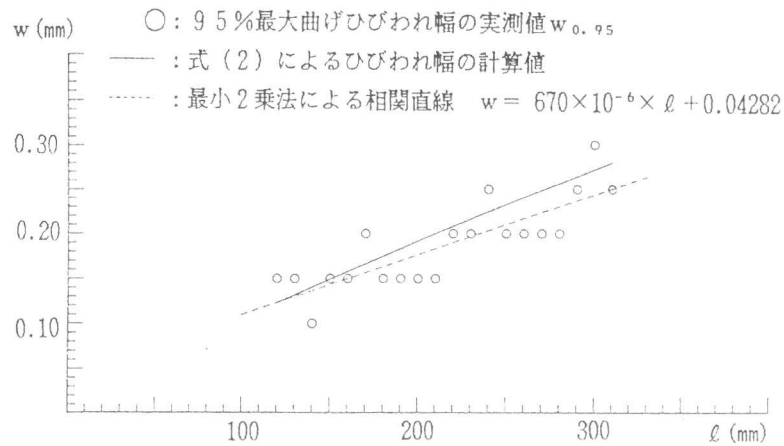


図-5 全A桁のひびわれ間隔とひびわれ幅

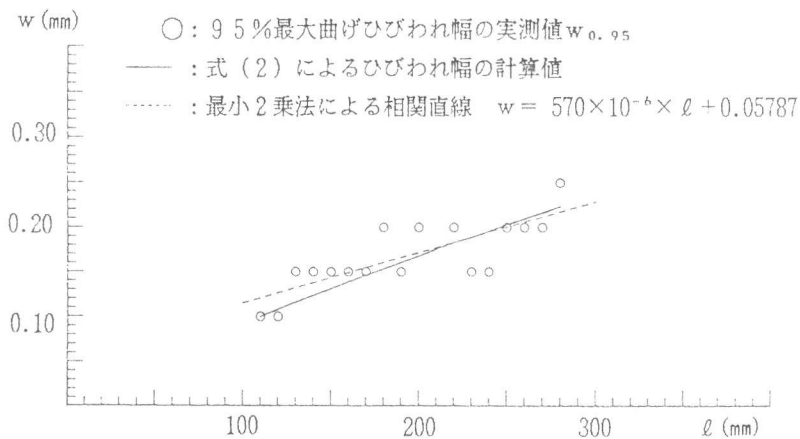


図-6 全B桁のひびわれ間隔とひびわれ幅

表-7 $w_{0.95}$ の計算値と実測値の誤差

	著者らの提案法		最小2乗法	
	分散(mm ²)	標準偏差(mm)	分散(mm ²)	標準偏差(mm)
A桁	0.0011	0.0324	0.0007	0.0267
B桁	0.0006	0.0252	0.0005	0.0234

3. 4 最大ひびわれ幅

式（2）の ℓ を、最大ひびわれ間隔に置き換え、表面の最大曲げひびわれ幅を算定し、A桁、B桁の95%最大曲げひびわれ幅の実測値 w_{max} との比較を行った。（式（4））

$$W_{\max, cal} = \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{cs} \right) \cdot \{4 \cdot c + 0.7(c_s - \phi)\} \quad (4)$$

なお、95%最大ひびわれ幅の実測値 $w_{\max}$ としては、A桁17連、B桁6連の、各桁の95%最大ひびわれ幅の実測値の平均値とし、鉄筋応力度を算定する際に用いた荷重は、永久荷重のみとし、前記の仮定に基づいて計算した結果、 ε'_{cs} の値は、A桁の場合、 291

$\times 10^{-6}$ 、B桁の場合、 285×10^{-6} であった。最大曲げひびわれ幅の計算値と実測値の比較を表-8に示す。その結果、著者らの提案法を用いることにより、実橋における最大ひびわれ幅を、よい精度で算定できることが確認された。

表-8 表面の最大曲げひびわれ幅の実測値と計算値

桁	実測最大曲げ ひびわれ幅 w (mm)	w_1 計算値 (mm)	w/w_1
A	0.25	0.27	0.93
B	0.23	0.24	0.96

4. まとめ

ほぼ同一地域、時期に建設された新幹線の桁、全23連で曲げひびわれの調査を行い検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 最大ひびわれ間隔は、土木学会標準示方書に示された算定式でかなり正確に評価できていることが分かった。

(2) 著者らの提案法[2]により、ひびわれ近傍の局所的な乾燥収縮の影響によるひびわれ幅の増加量を、ひびわれ間全長での平均ひずみ差の増加として評価しても、ひびわれ間隔と各ひびわれ間隔に対する95%最大曲げひびわれ幅との関係を比較的正確に表現でき、表面の最大曲げひびわれ幅も、ほぼ適正に評価できることが確認された。これより、ひびわれ幅を算定する際の鉄筋応力度は永久荷重作用時のものとし、主として乾燥収縮の影響による表面のひびわれ幅増加量を、ひびわれ発生後に進行する、ひびわれにより分割された小部材の無筋コンクリートとしての乾燥収縮ひずみを用いて表現することで、ほぼ適切に表面のひびわれ幅は評価できることがわかった。

参考文献

- 1) 石橋忠良・斉藤啓一・津吉 毅・大庭光商・末弘 保；RC梁の曲げひびわれ性状に及ぼすひびわれ発生材令の影響、構造工学論文集、Vol. 37A(1991年3月)
- 2) 石橋忠良・館石和雄・津吉 毅；PRC桁のひびわれ幅に関する一考察、コンクリート工学年次論文報告集、第12巻、第2号、1990
- 3) 土木学会、コンクリート標準示方書、設計編 昭和61年制定
- 4) 津吉 毅・石橋忠良；最大曲げひびわれ幅算定式に関する一考察、土木学会第45回年次学術講演会 V-142
- 5) 阪田憲次・綾野克紀；コンクリートの乾燥収縮の予測式の提案、第43回セメント技術講演集
- 6) 尾坂芳夫・大塚浩司・松本英信；RC桁橋の部材引張部におけるひびわれ性状、土木学会論文集 第390号/V-8 1988年2月