

首都高速道路公団 正員 西山啓伸

秋元泰輔

○ 富沢修次

1. まえがき

(1,2)

首都公団では鉄筋コンクリート部材のひびわれに関する実験を47年度から行なっているが、本報告はこれまでに得られた実験結果を中間報告としてまとめたものである。

鉄筋コンクリート部材(以下FRC部材)の設計計算では部材引張部のコンクリートを無視して設計が行なわれている。従って部材引張部のコンクリートにひびわれが生じても設計上はなんら問題とならない。しかし、ひびわれ幅が過大になると内部の鉄筋が腐蝕しやすくなり構造物の耐力の低下を招くことが予測される。ACI, CEB-FIPではひびわれ幅の算定式を具体的に提示しRC部材の許容ひびわれ幅を規定しているが、我が国ではまだこのような明確な規定はない。

本実験ではRC供試体に最大ひびわれ幅として 0.1^{mm} , 0.2^{mm} , 0.3^{mm} のひびわれを生じさせ、鉄筋の腐蝕しやすい場所に一定期間放置した後に、供試体の破壊試験を行ない、耐力の低下の度合や鉄筋の腐蝕状態などを調べるとともに、供試体に所定のひびわれ幅を発生させる際に鉄筋の応力と最大ひびわれ幅との関係を調べ、現在提案されているいくつかのひびわれ幅算定式の検討を行なうことも目的としている。

2. 供試体の種類および試験方法

(2)

これまでに作成した供試体の種類は図-1に示すとおりである。Type Aは本実験の標準とするもので、かぶり厚は 3^{cm} である。Type Bはかぶり厚は 3^{cm} であるが2段配筋としたものであり、Type Cは1段配筋であるがかぶり厚Type Aの2倍 6^{cm} としたものである。各供試体とも主鉄筋はSD30の直径 19^{mm} を使用した。またコンクリート強度は $\sigma_{\text{c}} = 300^{\text{kg/cm}^2}$ である。

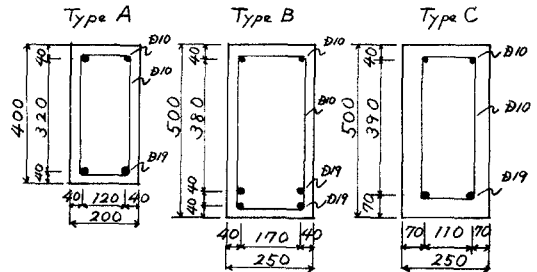


図-1 供試体の形状寸法

供試体へのひびわれの発生はコンクリート打設後1ヶ月で行ない、その方法は供試体2本を背中合せに⁽¹⁾面にコロ⁽²⁾まはさみ、両端をPC鋼棒を緊張することによって行なった。ひびわれ幅の確認はコンタクトゲージとアイゲージを併用し、また所定のひびわれ幅の確保はプレストレスを導入したPC鋼棒を定着することによって行なった。所定のひびわれを発生させた供試体は、海に近く、しかも付近に工場が密集している首都公団東京管理部協の庭に放置している。また、これらの供試体と一緒に素材実験用のコンクリートおよび鉄筋の試験片も放置している。一定期間放置した供試体について破壊試験を行なったが、載荷方法、測定項目は文献(2)を参照されたい。

3. 試験結果

3-1 ひびわれ幅とひびわれ間隔 RC部材に計算上どの程度のひびわれ幅が生じるかについては、いくつかの算定式が提案されている。それらの基本はひびわれ間隔と鉄筋応力度により求めるものである。図-2に最大ひびわれ幅と計算上の鉄筋応力度との関係を示す。

ひびわれ発生は確率統計的現象であるので、どのようなバラツキを示すのか検討した。表-1にType別のひびわれ

幅の分布状況を、また、ひびわれ間隔については表-2に示す。(ひびわれ間隔の分布状態は(2)を参照) 同時に供試体ごとの平均ひびわれ幅と最大ひびわれ幅との関係、平均ひびわれ間隔と最大ひびわれ間隔との関係も最小自乗法より求めた。(表-1、表-2参照) 全供試体では $W_{max}=1.60 W_{mean}$ 、 $l_{max}=1.52 l_{mean}$ となるが、これは一般的にいわれている最大ひびわれ幅(間隔)は平均ひびわれ幅(間隔)の50%増程度ということと良く付合している。ただし、Type B(多段配筋)では $W_{max}=1.74 W_{mean}$ となり、平均ひびわれ幅に比し最大ひびわれ幅が大きくなる傾向が見られる。

表-1 ひびわれ幅の分布

	荷重 (t)	σ_s (kg/cm ²)	ひびわれ幅 (mm)						変動 係数	W_{max} W_{mean}
			0 ~0.05	0.06 ~0.10	0.11 ~0.15	0.16 ~0.20	0.21 ~0.25	平均値		
Type A	7.0	2,300	13%	21	37	27	2	0.12	42.5%	1.61
Type B	9.0	2,100	14%	23	45	16	2	0.12	42.7%	1.74
Type C	4.5	2,000	8%	30	24	33	5	0.13	41.9%	1.48

※ 全体で $W_{max}=1.60 W_{mean}$

表-2 ひびわれ間隔

	平均ひび われ 間隔 (cm)	変動 係数	森田式 (cm)	CEB/ FIP (cm)
Type A	13.0	34.8%	15.3	15.2
Type B	10.4	38.9%	14.6	12.9
Type C	17.3	35.4%	28.4	25.7

※ 全体で $l_{max}=1.52 l_{mean}$

3-2 素材実験 RC供試体と一緒に屋外に放置しておいた鉄筋およびコンクリートの素材について実験を行なった。結果を表-3、表-4に示す。鉄筋については1年間放置後も、降伏点応力、破断応力とも変化が見られなかったが、伸びについては幾分、減少している傾向が見られる。(さびの発生状態は鉄筋を手でにぎると赤さびが手につく程度である。) コンクリートについては材令0年に対し、材令1年の圧縮強度および引張強度は各々50~60%増加したのに対し、曲げ強度はそれほど増加が見られない。

表-3 鉄筋(B19)材料実験結果

暴露 期間	降伏 荷重 (t)	破断 荷重 (t)	降伏 応力 (kg/cm ²)	破断 応力 (kg/cm ²)	伸び (%)
0 年	10.6	16.2	3,710	5,650	27
3ヶ月	10.5	16.2	3,680	5,640	29
1 年	10.8	16.6	3,780	5,800	24.5

表-4 コンクリート材料実験結果

暴露 期間	圧縮 強度 (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/cm ²)	曲げ 強度 (kg/cm ²)	ヤング 係数 (kg/cm ²)
0 年	311	26.4	46.8	2.21×10^5
3ヶ月	338	25.8	49.2	2.47×10^5
1 年	504	38.8	49.8	2.91×10^5

3-3 ひびわれ幅の変化、PC鋼棒の残留プレストレス量、ひびわれ幅のもどり量 供試体を1年間放置した場合、所定のひびわれ幅が保持されていたかどうか、これと関連してPC鋼棒のプレストレスがどの程度残っているか、また荷重をとりさつた場合にひびわれ幅がどの程度もどるかにについて調べて見た。ひびわれ幅の変化については表-5に示すように局所的な小さな変化は見られたが

図-2 計算上の鉄筋応力度と最大ひびわれ幅

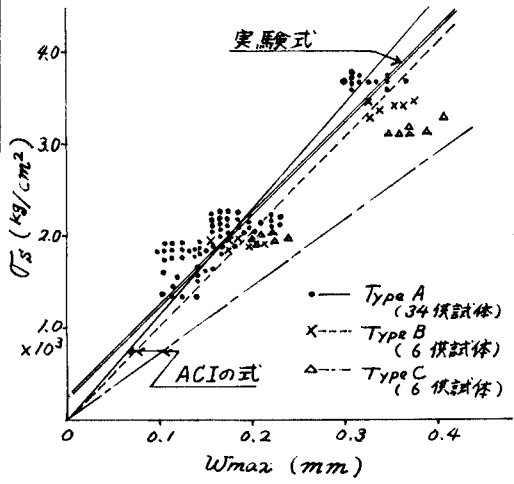
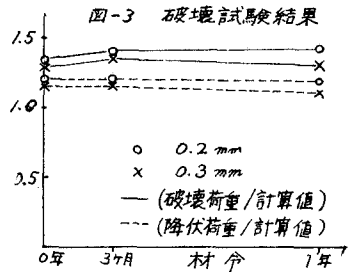


表-5 ひびわれ幅の変化

0.2 mm				0.3 mm			
A 面	B 面	A 面	B 面	A 面	B 面	A 面	B 面
0年	1年	0年	1年	0年	1年	0年	1年
0.13	0.15	0.15	0.10	0.26	0.25	0.28	0.30
0.19	0.20	0.20	0.20	0.30	0.25	0.29	0.25
0.14	0.10	0.13	0.05	0.28	0.25	0.25	0.15
0.15	0.10	0.14	0.15	0.28	0.20	0.26	0.25
0.09	0.10	0.14	0.10	0.25	0.25	0.25	0.10

全体的にはほとんど変化していないとみなすのが適当と思われる。一方、暴露期間1年後のPC鋼棒の残留プレストレス量は 0.2^{mm} のもので60%、 0.3^{mm} のもので70%であった。ひびわれ幅のもどり量については、ひびわれ幅 $0.2^{mm} \sim 0.3^{mm}$ のもので暴露期間0年のものではひびわれ幅の70~80%がもどるが、暴露期間1年のものでは、ひびわれ幅の30%程度しかもどらない。

3-4 破壊試験結果 Type Aの供試体については暴露期間0年、3ヶ月、1年のものについて破壊試験を行なっているのど、その結果を図-3に示す。ひびわれ発生後3ヶ月から1年屋外に放置してもほとんど耐力の変化は見られない。ただ誤差の範囲と思われるが 0.3^{mm} の供試体については0年の比べわずかながら降伏荷重の低下が見られる。



3-5 コンクリートの中性化、鉄筋の腐蝕状態 破壊試験を行なった暴露1年後の供試体についてはコンクリートをはつて、コンクリートの中性化と鉄筋の腐蝕状態を調べた。その結果、新しくはったコンクリートは全く中性化されていないが、ひびわれ面のコンクリートはひびわれ幅 0.2^{mm} 、 0.3^{mm} とも鉄筋位置の深さまで完全に中性化している。一方、鉄筋の腐蝕状態については、鉄筋素材の試験片はさびていたがRC供試体はひびわれ幅 0.2^{mm} 、 0.3^{mm} ともひびわれ位置のスターラップにわずかにさびが見られる程度であり、主鉄筋は全くさびていない。

4. まとめ

- 1) ひびわれ幅の算定式については種々あるが、統計処理したACIの式が比較的良好である。しかしType BやType Cのように普通以上にかぶりが大きくなったり、多段配筋になった場合は精度が落ちている。従って、これらの影響を考慮している引張有効断面積のとり方まことに検討する必要があると思われる。
- 2) 現在までのデータから最小自乗法で求めた鉄筋計算応力度と最大ひびわれ幅の関係は $\sigma_s = 1.0 \times 10^3 W_{max} + 222$ (N/mm²)となり、おおよその見当はこの式からつけられると思われる。また、 $W_{max} = 1.60 W_{mean}$ 、 $l_{max} = 1.52 l_{mean}$ となるが、これは一般的にいわれているものと良く合っている。
- 3) PC鋼棒の緊張によってひびわれ幅を保持させた場合、1年放置後もひびわれ幅に大きな変化はなく所定のひびわれ幅が保持された。これはPC鋼棒のレラクゼーションと供試体のクリープが打消し合ったためと思われる。
- 4) 素材実験では、鉄筋は1年放置後も、降伏・破断応力とも変化は見られず、伸びにわずかな減少が見られた。またコンクリートは圧縮・引張強度とも増加したのに対し、曲げ強度にはほとんど増加が見られなかった。
- 5) 供試体の破壊試験結果から、 $0.2 \sim 0.3^{mm}$ のひびわれを発生させ1年屋外に放置しておいても、耐力の低下はほとんど見られず、むしろ最大荷重は幾分増加している。これは素材実験の結果より、鉄筋の降伏・破断応力とも変化せず、しかもコンクリートの圧縮強度が増加していることから当然の結果といえる。
- 6) 1年放置した場合、鉄筋の腐蝕については、ひびわれ位置のスターラップにわずかなさびが見られる程度であり、またコンクリートの中性化もひびわれ位置以外ではほとんど進んでいない。

以上、継続実験の中間報告という形でまとめてみたが、ひびわれとRC部材の耐力の低下の関係等については、現在暴露中の長期材令の供試体の試験結果を待たねば、はっきりとした結論は出せない。なお今後の予定としては太径鉄筋を用いた供試体や、ひびわれにエポキシ樹脂を注入した供試体等を製作し、ひびわれが生じているRC部材の耐久性の実験を続けていくことを考えている。本報告をまとめるにあたって、当公団東京保全部の中山氏、住友建設技術研究所の山内氏の御協力に謝意を表します。

文献(1) 「コンクリートジャーナル」 1973年9月号の「土木構造物のひびわれ調査報告」 西山、正木、秋元

(2) 「ひびわれが生じている鉄筋コンクリート部材の耐久性についての研究」エネ学会 利用度第1回東海支部年次研究発表会 概要集、西山、秋元