

鉄筋腐食による鉄筋方向ひびわれがコンクリート部材に与える影響について

京都大学 正員 岡田 清 京都大学 正員 小林和夫
 京都大学 正員 宮川豊章 佐藤工業 正員 〇九昌理
 京都大学 正員 津田 章

1. まえがき 近年、川砂の不足による海砂の使用、あるいは海岸付近で海塩粒子の飛来を受けるような環境において、コンクリート構造物の鉄筋に塩化物腐食が生じ、ひびわれが発生したり、かぶりコンクリートが剥落するという例が数多く報告されている。鉄筋腐食による腐食膨張圧によりかぶり部に鉄筋方向ひびわれが発生すると、部材の耐荷特性や破壊メカニズムが変化する可能性もある。本研究では、鉄筋腐食による鉄筋方向ひびわれを有するはり供試体の耐荷特性と合成樹脂材料による補修効果を健全はりとの比較の上で検討した。

2. 実験概要 コンクリートの配合としては、比較的短期間に腐食が進行し鉄筋方向ひびわれが生じるように、水セメント比を0.60とし、スラップが 8 ± 2 cmとなるように定めた。はり供試体は、全て 10×20 cmの複鉄筋対称断面とし、その4隅にD10 (SD35)の黒皮付異形丸棒をかぶり2 cmで配置した(図1参照)。また、「コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)」による最小量(0.3%)の矩形スラップを全せん断スパン内に一様に配した。なお、腐食させるはりについては、さらにD13 (SD30)の黒皮付異形丸棒を対極として、断面の中央に配置した。供試体の種類を表1に示す。腐食および補修はりは全て室内に静置し、1日1, 2回食塩水(NaCl 3.13%水溶液)を散水した。鉄筋方向ひびわれ発生後、腐食はりについては、表1に示す載荷試験を行い、補修はりについては現場における各種補修方法を参考に表1に示す3種の補修を行った。

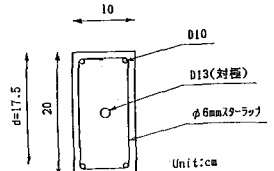


表1 供試体一覧

供試体名	供試体長(cm)	a/d	補修方法	散荷方法
健全供試体	H-1 160 H-2 160 H-3 160 H-4 160 H-5 160 H-6 160 H-7 140 H-8 140 H-9 120 H-10 120	3.43 3.43 3.43 3.43 3.43 3.43 2.86 2.86 2.29 2.29		一方向繰返し 一方向繰返し 静的交差繰返し 静的交差繰返し 高応力交差繰返し 高応力交差繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し
腐食供試体	C-1 160 C-2 160 C-3 160 C-4 160 C-5 160 C-6 160 C-7 140 C-8 140 C-9 120 C-10 120	3.43 3.43 3.43 3.43 3.43 3.43 2.86 2.86 2.29 2.29		高応力交差繰返し 高応力交差繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し 静的交差繰返し 静的交差繰返し 高応力交差繰返し 高応力交差繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し
補修供試体	R-1 160 R-2 160 R-3 160 R-4 160 R-5 160 R-6 160 R-7 140 R-8 140 R-9 120 R-10 120	3.43 3.43 3.43 3.43 3.43 3.43 2.86 2.86 2.29 2.29	ライニングのみ ライニングのみ ポットグラインディング ポットグラインディング ポットグラインディング ポットグラインディング パッチングのみ パッチングのみ ポットグラインディング ポットグラインディング	高応力交差繰返し 高応力交差繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し 高応力交差繰返し 高応力交差繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し 一方向繰返し

* 曲げスパン: 20 cm

3. 実験結果および考察 鉄筋方向ひびわれは、散水開始後13週でその発生が確認され、20週後には2本を除いて全ての供試体に発生した。腐食はりについては散水開始後22~24週後載荷試験を行った。補修はりについては、20週間の散水後表1に示す補修を行い、補修後約1週間の気中養生を行ない再び食塩水を散水し、3日後に載荷を行った。健全はりについては、対応する他のはりと同材料で載荷を行った。鉄筋方向ひびわれの発生状況を表2に示す。また、はり供試体の載荷試験結果を表3に、健全はりとは別のはりでは鉄筋比が異なるため降伏荷重および最大荷重の実験値と計算値の比、および荷重～たわみ履歴曲線

Kiyoshi OKADA Kazuo KOBAYASHI Toyaki MIYAGAWA Osamu KUTOMI Akira TSUDA

の包絡線から求めたじん性率を表4に示す。さらに、交番載荷下の荷重～ひびわれ履歴曲線の代表例を図2に示す。腐食はりでは、主鉄筋の付着強度の低下により曲げひびわれが最大曲げモーメント区間に集中し、鉄筋の曲げ付着応力に起因する斜張力ひびわれが発生しにくくなっている。又、多量のパッチングとライニングを併用すると(R-4.6), ひびわれ分散性が極度に悪くなり、コンクリートの左潰前に主鉄筋が破断し、脆性的な破壊を生じ易くなる傾向にある。腐食はりでは降伏耐力は低下しないが、最大曲げ耐力が若干低下する。これに対して、パッチングによって補修した場合には、降伏耐力は若干増加するが最大耐力はほとんど増加せず、さらにライニングを併用した場合には、降伏耐力は著しく増大するものの、最大耐力は増大しない。また、腐食はりに高応力の正負交番繰返し荷重が作用すると、健全はりに比べて繰返し回数の増大にともなう耐荷力の低下が大きくなる。補修はりでも同様の傾向がみられ、パッチングと多量に施すとその傾向はさらに顕著となった。図2より明らかなように、腐食はりやライニングのみの補修はりでは健全はりに比べて、

正負交番載荷下でのピンチ効果が顕著となり、多量のパッチングを施した補修はりではききめて剛性の高い特異な斜張型ループを示した。また、腐食はり、補修はりのいずれにおいても静的漸増型の荷重下では部材じん性は低下しないが、高応力の正負交番繰返し荷重作用下ではその低下が顕著である。

なお、供試体の補修時に種々御協力いただいたショーボンド建設(株)の皆様には謝意を表します。

参考文献

例えば, C.Y. Lin, "Bond Deterioration Due to Corrosion of Reinforcing Steel", Performance of Concrete in Marine Environment, ACI SP-65, pp255~260, Aug. 1980, 九島理, 「鉄筋腐食によるコンクリート部材の曲げ方向ひびわれと補修効果に関する研究」, 第2回コンクリート学会論文発表会, 1985.2月

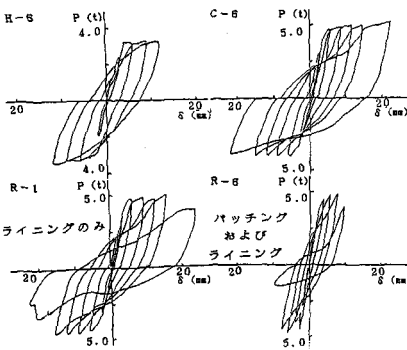


図2 載荷履歴曲線(高応力交番繰返し)

表3 はり供試体の載荷試験結果

供試体名	降伏耐力 (kN)	降伏耐力 (設計値)	最大耐力 (kN)	最大耐力 (設計値)	曲げひび われ発生 耐力(kN)	斜めひび われ発生 耐力(kN)	破壊状況
健全 B-1	2.54	3.20	2.08	3.81	2.25		曲げスパン圧縮
健全 B-2	2.54	3.45	2.06	3.87	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-1	2.54	3.40	2.06	3.75	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-2	2.54	3.25	2.06	3.70	0.75		曲げスパン圧縮
腐食 C-3	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-4	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-5	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-6	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-7	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-8	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-9	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-10	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-11	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-12	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-13	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-14	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-15	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-16	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-17	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-18	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-19	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-20	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-21	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-22	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-23	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-24	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-25	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-26	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-27	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-28	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-29	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-30	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-31	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-32	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-33	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-34	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-35	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-36	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-37	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-38	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-39	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-40	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-41	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-42	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-43	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-44	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-45	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-46	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-47	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-48	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-49	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-50	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-51	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-52	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-53	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-54	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-55	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-56	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-57	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-58	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-59	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-60	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-61	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-62	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-63	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-64	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-65	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-66	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-67	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-68	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-69	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-70	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-71	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-72	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-73	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-74	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-75	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-76	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-77	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-78	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-79	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-80	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-81	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-82	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-83	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-84	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-85	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-86	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-87	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-88	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-89	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-90	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-91	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-92	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-93	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-94	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-95	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-96	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-97	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-98	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮
腐食 C-99	2.54	3.00	2.06	3.85	1.25		曲げスパン圧縮
腐食 C-100	2.54	3.20	2.06	3.70	1.00		曲げスパン圧縮

(正)(負) (正)(負) (正)(負)

表2 はり供試体ひびわれ発生状況 (最終結果)

供試体 No.	最大水 圧 日数 (週)	主 鉄 筋 方 向 へ の ひ び 割 れ				最大ひび われ長さ (mm)	最大ひび われ幅 (mm)	ひびわれ 長さ (mm)
		ひびわれ本数						
		上 下	曲 げ	以 外	合 計			
C-1	24	0	1	0	1	1.5	0.02	1.5
2	22	7	2	0	9	11.5	0.10	49.7
3	22	4	3	1	8	14.5	0.10	37.1
4	22	4	3	1	8	14.5	0.10	48.0
5	22	4	3	1	8	14.5	0.10	43.5
6	22	4	2	2	8	11.0	0.15	47.5
7	22	6	3	1	7	16.0	0.15	48.0
8	22	7	1	0	8	11.0	0.02	11.0
9	22	0	0	0	0	9.5	0.04	19.0
10	24	0	0	0	0	1.0	0.04	1.0
R-1	20	0	3	0	3	5.0	0.08	10.0
2	20	0	1	0	1	1.0	0.15	22.5
3	20	1	0	0	1	4.0	0.10	10.0
4	20	1	1	0	2	4.0	0.10	7.0
5	20	0	0	0	0	3.5	0.10	16.5
6	20	0	1	0	1	8.0	0.10	8.7
7	20	2	1	0	3	9.0	0.10	17.5
8	20	0	0	0	0	10.0	0.15	10.0
9	20	1	0	0	1	10.0	0.15	10.0