

[79] 鉄筋コンクリート造はりの補修に関する実験的研究

正会員 ○ 磯 健一 (東京都立大学)

正会員 東 洋一 (東京都立大学)

1. 序

本研究は、実際の現場打ち鉄筋コンクリート造構造物に見られる、鉄筋の露出、コンクリート強度の低下、初期ひびわれなどの施工不良を有する鉄筋コンクリート造はりの力学的性状について実験的に調べ、このような施工不良の個所を有する部材の剛性、諸強度の評価方法について検討し、それに対する補修方法を提案し、剛性、耐力の改善効果を確認するものである。

2. 実験概要

2.1 試験体 試験体は、実物の約 $1/2$ の鉄筋コンクリートはり10体で、Na 1～Na 4では、シアスパン比1.0とし、鉄筋の露出がはりのせん断挙動に及ぼす影響について、Na 5～Na 10では、シアスパン比3.0とし、鉄筋の露出、初期ひびわれ、コンクリート強度の低下等がはりの曲げ挙動に及ぼす影響と、それに対する補修方法の効果を調べる。各試験体の諸元を表1に、その断面形状、配筋状態等を図1、図2に示す。

Na 2は、施工良好なNa 1に比べ、肋筋が長く、はり下端に露出している。Na 3、Na 4では、はり下端のコンクリート断面が欠損し、下端鉄筋が露出した状態を再現したものである。Na 4では肋筋が主筋よりも下にとび出している。

Na 5～Na 10は、同配筋の試験体であるが、Na 6～10は、Na 5に比べ、コンクリート強度を72%に低下させている。Na 7、Na 8は、初期ひびわれの影響とその補修効果を調べるもので、初期ひびわれは、実験前に、図3に示す方法により人工的に発生させ、Na 8では、既往の研究を参考にし、そのひびわれに表2に示すエポキシ樹脂を注入し補修した。Na 7、Na 8の初期ひびわれの状態及びその補修状態を図4に示す。

Na 9及びNa 10は、鉄筋の露出の影響とその補修効果を調べるために、コンクリート打設4週間後に、はり下端のコンクリートを図2に示すように主筋の中心位置まではつき取り、主筋及び肋筋を露出させ、Na 10では露出した肋筋に新たにU型カンザシ筋を溶接し、

もとのはり寸まで、コンクリートを増打ち補修した。

表1. 試験体の種類

試験体	b×D (cm)	F _c (kg/cm ²)	P _t (%)	P _w (%)	M/Q _d	備考
Na 1-GN	10×30	183	0.97	0.26	1.0	健全
Na 2-GA	10×30	183	0.97	0.26	1.0	帯筋被りなし
Na 3-GNB	10×30	183	0.97	0.26	1.0	下端鉄筋露出
Na 4-GAB	10×30	183	0.97	0.26	1.0	下端鉄筋露出
Na 5-GS	9×30	209	0.47	0.27	3.0	健全
Na 6-GL	9×30	150	0.47	0.27	3.0	F _c 低下
Na 7-GC	9×30	150	0.47	0.27	3.0	F _c 低下、初期ひびわれ
Na 8-GCE	9×30	150	0.47	0.27	3.0	F _c 低下、同上の補修
Na 9-GB	9×30	150	0.47	0.27	3.0	F _c 低下、下端鉄筋露出
Na 10-GBM	9×30	150	0.47	0.27	3.0	F _c 低下、同上の補修

F_c:コンクリート圧縮強度, P_t:引張鉄筋比, P_w:せん断補強筋比, M/Q_d:シアスパン比

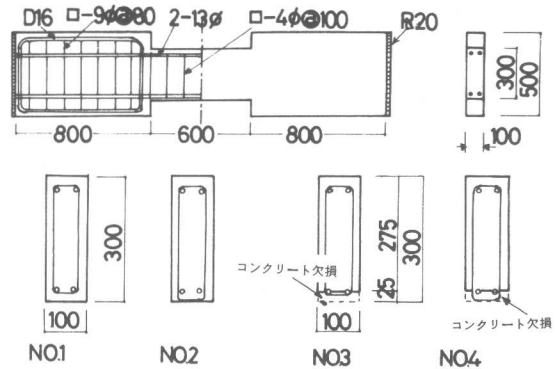


図1. 試験体の形状 (Na 1～Na 4)

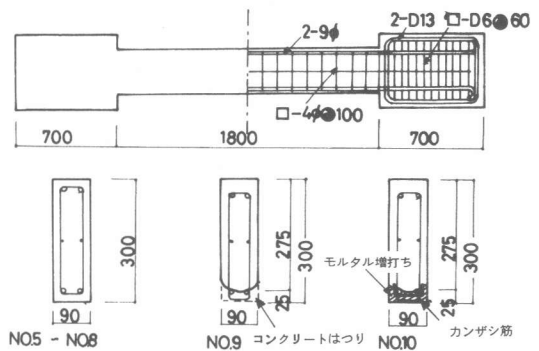


図2. 試験体の形状 (Na 5～Na 10)

2.2 使用材料の性質 コンクリートは、早強ポルトランドセメントを用いた川砂、川砂利コンクリートとし、Na 10の増打ちには、1：4モルタルを使用した。主筋には、Na 1～Na 4では、13φ（SR24）を使用し、筋筋及びU型カンザン筋にはなまし番線4φを使用した。

表2に、使用材料の試験結果を示す。

2.3 加力方法及び測定方法 加力方法及び測定方法を図5に示す。水平力の繰返し加力の方法は、Na 1～Na 4では、表3に示す変位で各々1回づつ；Na 5～Na 10では、表4に示す変位で各々2～3回の正負繰返し水平力とした。変位の測定は、左右スタップ間の相対変位を図5に示すダイヤルゲージで、はり端部の主筋、筋筋の歪、コンクリート表面の歪、ひびわれ幅等をW.S.Gで測定した。

3. 実験結果

各試験体の実験結果の一覧を表5に示し、せん断力Qと水平変位δとの関係を図6～図9に示し、最終破壊状況を図10に示す。また、各試験体の破壊包絡線を図11、図12に示す。

4. 実験結果の検討

4.1 破壊性状、じん性 Na 1, Na 2では、いずれもせん断ひびわれ発生後、曲げ降伏し、大変形下において図10(a)に見られるように対角線状にせん断ひびわれが発生し、曲げ・せん断破壊した。これに対し、鉄筋の露出したNa 3, Na 4では、図10(b)に見られるようなK字型のせん断ひびわれが発生し、曲げ降伏後せん断破壊した。

表5. 実験値及び計算値の比較の一覧

試験体	初期剛性 (t/cm)			曲げひびわれ強度 (t)			せん断ひびわれ強度 (t)			終局強度 (t)			破壊モード (S:せん断破壊 B:曲げ破壊)		
	実験値	計算値 ¹⁾	実/計	実験値	計算値 ²⁾	実/計	実験値	計算値 ³⁾	実/計	実験値	計算値 ⁴⁾	実/計		計算値 ⁵⁾	実/計
NO. 1 GN	83.3	116.9	0.71	1.20	1.22	0.98	3.43	2.90	1.19	6.50	5.68	1.14	7.05	0.92	BS(曲げせん断)
NO. 2 GA	108.7	116.9	0.93	1.87	1.22	1.54	3.13	2.90	1.08	6.60	5.68	1.16	7.05	0.94	BS
NO. 3 GNB	68.2	96.1	0.71	1.00	1.01	0.99	3.00	2.58	1.16	5.84	5.04	1.16	6.36	0.92	S
NO. 4 GAB	55.6	96.1	0.59	0.65	1.01	0.64	3.03	2.58	1.17	5.56	5.04	1.10	6.36	0.87	S
NO. 5 GS	8.73	8.43	1.04	0.39	0.39	0.99	-	-	-	1.03	0.97	1.06	-	-	B
NO. 6 GL	5.05	6.90	0.73	0.38	0.33	1.14	-	-	-	1.06	0.97	1.09	-	-	B
NO. 7 GC	1.60	1.66 ⁶⁾	0.96	0.34	0.33	1.02	-	-	-	1.02	0.97	1.05	-	-	B
NO. 8 GCE	1.95	1.66 ⁶⁾	1.17	0.30	0.33	0.91	-	-	-	0.82	0.81	1.01	-	-	B
NO. 9 GB	3.94	5.36	0.74	0.26	0.28	0.93	-	-	-	0.98	0.97	1.00	-	-	B
NO.10 GBM	4.38	0.90	0.64	0.30	0.33	0.91	-	-	-	0.98	0.97	1.00	-	-	B

1). 初期剛性計算値

2). 曲げひびわれ強度

3). せん断ひびわれ強度

4). 終局強度計算値B(曲げ)

$$(No1\sim No4) \quad K = P/\delta = Ec/(l^3/1 + 2.3 \cdot kl/A)$$

$$(No5\sim No10) \quad K = P/\delta = Ec/l^3$$

$$cQ_{bc} = (2/l) \cdot (1.8/FC \cdot Z)$$

$$cQ_{sc} = \{0.065 \cdot kc \cdot (500 + Fc) \cdot (M/Qd + 1.7)\} \cdot bj$$

$$cQ_{bu} = (2/l) \cdot (at \cdot \sigma_y \cdot j)$$

$$5). 終局強度計算値S(せん断) \quad cQ_{su} = \left\{ \frac{0.075 \cdot ku \cdot Pt \cdot (1.80 \cdot Fc)}{M/Qd + 0.02} + 2.7 \cdot Pw \cdot \sigma_y \right\} \cdot bj$$

$$6). 降伏点剛性 \quad \alpha_y EI = \{0.043 + 1.64 \cdot n \cdot Pt + 0.043 \cdot (M/Qd)\} \cdot (d/b)^3$$

l: スパン (cm), A: 断面積 (cm²), at: 引張鉄筋断面積 (cm²), M/Qd: シアスパン比, Z: 断面係数 (cm³), Pw: せん断補強筋比 (%), I: 断面2次モーメント (cm⁴), n: ヤング係数比, σ_y: せん断補強筋降伏強度 (kg/cm²)

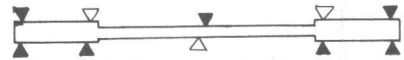


図3. 初期ひびわれ発生方法

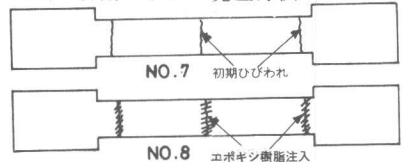


図4. 初期ひびわれ発生状況及び補修状況

表2. 使用材料の力学的性質

試験体	(a) コンクリート			(b) 鉄筋 (kg/cm ²)			
	F _c ¹⁾	E _c ²⁾	cε _B ³⁾	種類	試験体	降伏強度	引張強度
Na1～Na4	185	2.01	0.20	SR24	Na1～Na4	3240	4680
Na5	209	1.82	0.20	SR24	Na5～Na10	2500	4050
Na6～Na10	150	1.64	0.18	番線	Na1～Na10	2440	3570
モルタル	244	--	--				

(c) エポキシ樹脂 (kg/cm²)

試験体	曲げ強度	引張強度
Na8-GCE	585	350

1) 圧縮強度 (kg/cm²)

2) ヤング係数 (F_c/4時) (10⁵kg/cm²)

3) 圧縮強度時速 (%)

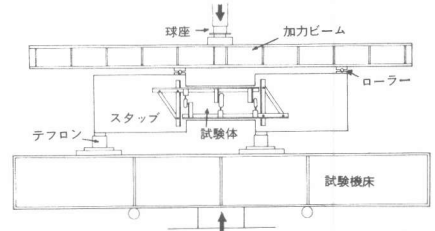


図5. 試験装置

表3. 変位制御方法 (Na 1～Na 4)

繰返し番号	(単位: mm)								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
変位	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0	12.0	16.0	最終

表4. 変位制御方法 (Na 5～Na 10)

繰返し番号	δ _y : 鉄筋降伏時変位						
	C1 -C3	C4 -C6	C7 -C9	C10-C11	C12	C13	最終
変位	1δ _y	2δ _y	4δ _y	6δ _y	8δ _y		最終

Na 5 ~ Na 10 では 6 体とも曲げ降伏した。このうち、Na 7 では材端の初期ひびわれの幅が広がったが、Na 8 ではエポキシ樹脂を注入したひびわれは広がらず、はり付け根に新たに曲げひびわれが発生した。Na 9 では露出した鉄筋とコンクリートの間ですべりが生じ、荷重・変形曲線も図 9 に見られるようにスリップ型となり、図に示すように同変形下での繰返しによる荷重低下も大きい。

4.2 初期剛性について 表 5, 図 13 に示すように、コンクリート断面が欠損し鉄筋の露出した Na 3, Na 4 及び Na 9 では、Na 1 及び Na 6 に比べ初期剛性の実験値は低下しているが、その低下率は、コンクリートの欠損した部分を除いた断面で得た計算値と欠損のない場合の計算値との比に近い値である。

Na 7 は、Na 6 に比べて初期剛性の実験値は低下しているが、その低下率は降伏点剛性低下率 α_y に近い値である。エポキシ樹脂による補修をした Na 8 では、全部のひびわれに樹脂を注入することができなかったが、Na 7 に比べて初期剛性は多少回復している。既往の実験から、エポキシ樹脂注入が十分であれば、さらに剛性は回復すると思われる。鉄筋露出に対して補修を行った Na 10 では、鉄筋の露出や初期ひびわれのない Na 5 に比べて初期剛性は、ほぼ回復していると言えよう。

4.3 ひびわれ強度 各試験体のひびわれ強度は、表 5 に見られるように実験値にばらつきが見られるが鉄筋の露出や、初期ひびわれなどの施工不良によるひびわれ強度の実験値の差はあまりなかった。

4.4 終局強度 表 5 から実験値と計算値を比較すると、Na 1 ~ Na 4 で、実験値は、コンクリートの欠損を考慮して荒川 min 式 $cQsu$ ²⁾ から得た計算値より大きく荒川 mean 式²⁾ から得た計算値より小さい値である。また、Na 5 ~ Na 10 では、実験値は、コンクリートの欠損を考慮して得た曲げ終局強度計算値に近い値である。

図 14 に、各試験体の終局強度の実験値の比較を示すが、Na 1, Na 2 の実験値はほとんど差がなく、Na 3, Na 4 は、Na 1, Na 2 に比べてコンクリート断面の欠損により、約 10 % ほど実験値が低下している。また、Na 5 ~ Na 10 では、Na 9 をのぞく Na 5 ~ Na 8 及び Na 10 は、ほとんど差がないが、鉄筋の露出した Na 9 の実験値は、他の 5 体と比べて、約 20 % 低下しており、そ

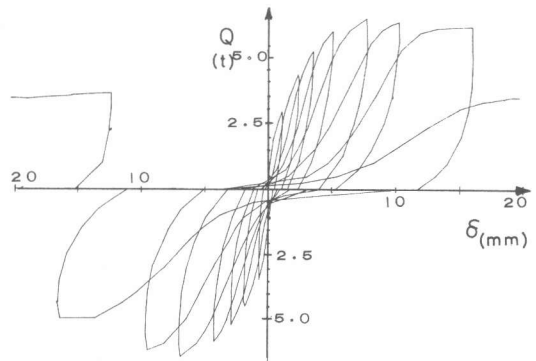


図 6. 荷重・変形曲線 (Na 1 - GN)

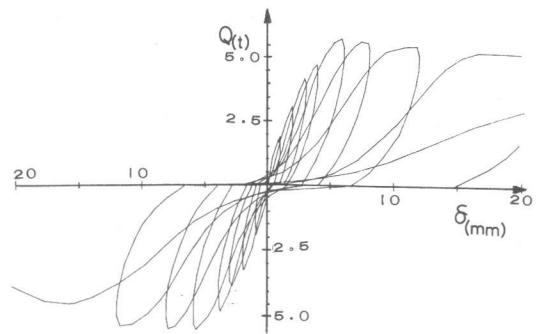


図 7. 荷重・変形曲線 (Na 3 - GNB)

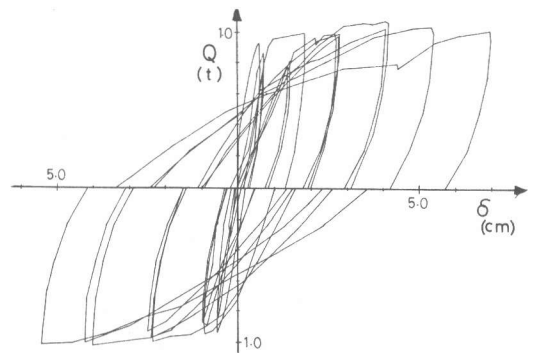


図 8. 荷重・変形曲線 (Na 6 - GL)

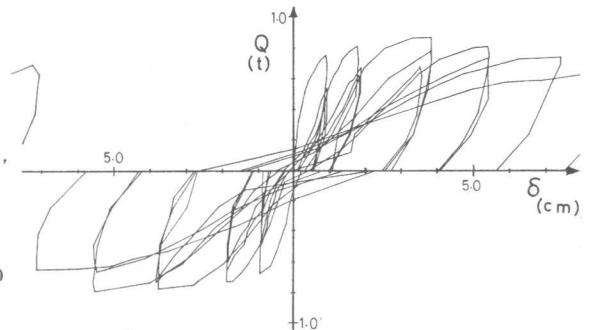


図 9. 荷重・変形曲線 (Na 9 - GB)

の低下率は、コンクリートの欠損した部分を除いて得た計算値と欠損のない断面の計算値との比に近い値である。

鉄筋の露出に対して補修を行ったNo.10の終局強度の実験値は、鉄筋の露出や初期ひびわれのないNo.5, No.6の実験値までほぼ回復し、肋筋にU型カンザン筋を付加しモルタル増打ちによる補修方法は有効であると思われる。

5. まとめ

コンクリート強度の違いや、鉄筋の露出、初期ひびわれなどが、鉄筋コンクリート造りの力学的性状に及ぼす影響とその補修効果に関して、合計10体の試験体について実験を行い、検討したが、要約すると、
 (1) コンクリート強度の低下により、初期剛性も低下するが、これは、概ね、コンクリートヤング係数の低下程度と考えられ、終局強度、変形能に大きな違いは見られなかった。

(2) 鉄筋の露出に関しては、鉄筋の露出したはりの初期剛性、終局強度及び変形能も劣下するが、これらは、コンクリートの欠損した部分を除いて得た計算値で、概ね、推定することができた。

鉄筋露出の補修方法として、U型カンザン筋を付加しモルタル増打ちによる補修を行ったが、剛性、終局強度及び変形能は、鉄筋の露出のないはりとはほぼ同程度まで回復しており、補修方法として有効と思われる。

(3) 初期ひびわれの発生により、初期剛性が低下するが、その低下率は、概ね、降伏点剛性低下率程度と見てよいであろう。エポキシ樹脂注入による補修を行うと、初期剛性は、多少回復したが、さらに十分なエポキシ樹脂注入を行えば、剛性の回復は期待できると思われる。

なお、本実験では、試験体の数も少なく実験結果もばらつきが見られるので、施工不良による力学的性状への影響についてははっきりとした結論を示すには、さらに多くの実験が必要であろう。

本研究を行うに当たり、御協力いただいた東京都立大学遠藤利根穂助教、清水泰助手並びに卒業生岡田隆幸君(現:国土開発)に厚く敬意を表します。

- 参考文献) 1) 小森, 東, 酒井; 第1回コンクリート工学年次講演会, 1979 P 261~P 264
 2) 日本建築学会, "鉄筋コンクリート構造計算規準"
 3) "コンクリート構造物の補修ハンドブック", 技報堂出版

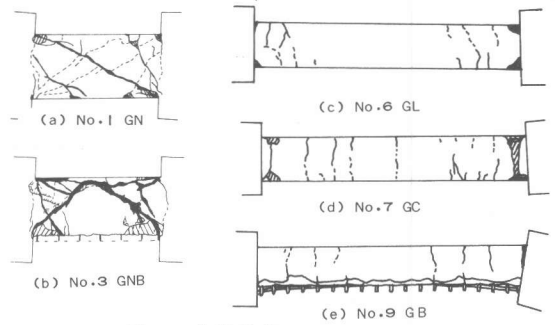


図10. 破壊性状

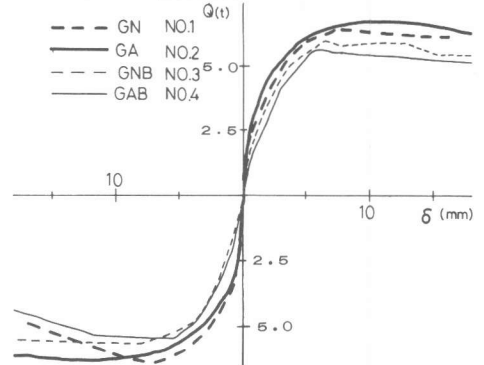


図11. 破壊包絡線 (No.1~No.4)

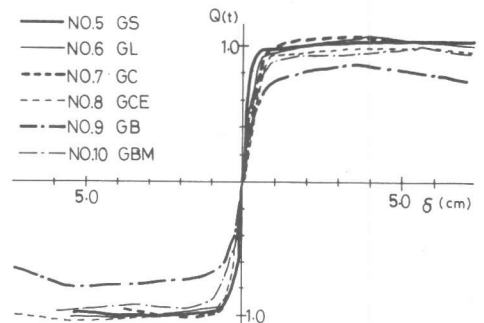


図12. 破壊包絡線 (No.5~No.10)

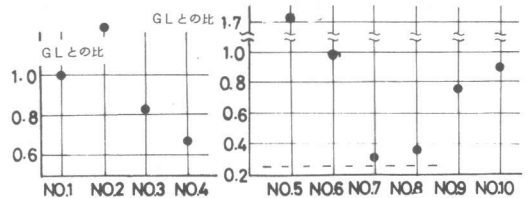


図13. 初期剛性の実験値の比較

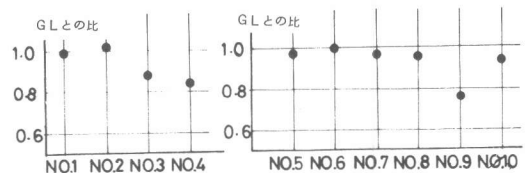


図14. 終局強度の実験値の比較