

論文

[2042] RC 部材の耐震補強及び靱性評価に関する研究

正会員 ○杉田 篤彦 (オリエンタルコンクリート)

正会員 丸山 久一 (長岡技術科学大学工学部)

清水 敬二 (長岡技術科学大学工学部)

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の耐震設計法に関しては、『生ずる可能性がある大規模な地震に対して、崩壊することを防ぐが、ある程度の塑性変形は許容する』ということが合理的であり、また設計に考慮されている。¹⁾

鉄筋コンクリート橋脚等では、鉄筋を途中定着する場合があるが、その耐震性能は、途中定着しない部材に比べかなり劣っていることが認められていて²⁾、その補強が急務となっている。補強方法には、その目的に応じた多種多様な工法があるが、主として変形性能を向上させる観点で、主鉄筋の途中定着部に鋼板をアンカーボルトで定着し、弱点となる途中定着部を補強する方法が提案されている。³⁾

本研究は、この補強方法が弱点を有する RC 部材の変形性能 (靱性) に寄与するメカニズムを検討し、鋼板の補強効果をせん断補強筋による補強との比較も含めて検討するものである。

2. 実験概要

図-1 に示すような形状の供試体を用いて、正負交番載荷実験を行った。実験に際して、鋼板補強の有無、鋼板補強を行う場合の補強範囲・アンカーボルトの有無、およびスターラップの有無をパラメータとして選んだ。既往の研究^{3,4)}を参考にして、鋼板厚、アンカーボルト形状、その埋め込み深さ等を定めた。鋼板補強の効果を明確にするために、主鉄筋の半数 (2 本) を途中定着とした。

図-2 に鋼板補強範囲を示す。タイプ (a) は鋼板補強範囲を有効高さとし、供試体を、途中定着点から固定端側が 2/3、載荷点側が 1/3 の割合で覆うように鋼板を巻いた。タイプ (b) は同様にして、補強範囲を有効高さの 2 倍としたものである。

鋼板補強効果とスターラップによる効果とを比較するために、同範囲において鋼板と同等量のスターラップを配した供試体も作製した。表-1 に供試体の諸元を示す。また、使用した鉄筋の材料特性を表-2 に示す。

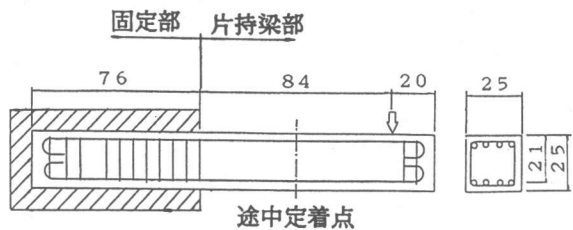


図-1 供試体の形状寸法 (cm)

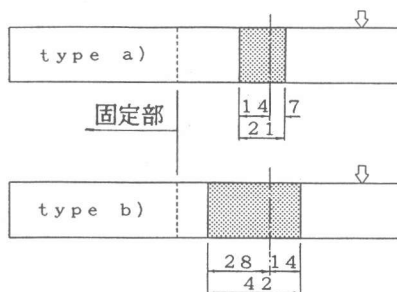


図-2 鋼板補強範囲

供試体を図-3に示すように固定し、30 ton アクチュエータを用いて鉛直方向で正負交番に載荷した。載荷にあたっては、主筋が降伏した時の供試体端部の変位を降伏変位 ($1 \delta y$) とし、以後、この値の整数倍で変位を増加させた。尚、各変位レベルでは正負交番で3回繰返し載荷した。ちなみに、大部分の供試体で、主筋は固定端部で最初に降伏ひずみに達していた。

3. 実験結果及び考察

3.1 ひびわれパターン

図-4に実験で得られたひびわれパターンを示す。鋼板補強

したものは、実験後鋼板を外し、ひびわれを観察した。鋼板補強が無い場合や補強が充分でない場合 (No.1、No.6) には、初期に発生した曲げひびわれが斜めひびわれに発達し、変位の増加にともない、ひびわれが拡大して耐力を失うものと考えられる。鋼板補強が充分であると、斜めひびわれの発達は抑制され、また、途中定着部で生じている曲げひびわれの幅も、固定端部に比べかなり小さくなっている (Nos.4、5、11)。

鋼板の補強範囲がひびわれ性状におよぼす影響としては、ひびわれが鋼板補強されてない部分に集中することである (Nos.3、4)。鋼板をアンカーボルトで定着した供試体 (No.5) とボルトを用いていない供試体 (No.4) のひびわれ性状は、両供試体とも固定端部にひびわれが集中しているものの、鋼板補強範囲内に伸長しているひびわれは、ボルトがあるものの方がひびわれ幅は小さく、反対にボルトがないと鋼板補強範囲内までかなりひびわれが伸展している。

鋼板補強した部分に同等量のスターラップでせん断補強した供試体 (No.6) と、鋼板補強した供試体とでは、ひびわれパターンにおいて大きな違いがあり、鋼板のものは、その範囲内におけるひびわれは微細なものであるのに対して、スターラップの場合には、補強範囲内でもひびわれが伸長している。

表-1 供試体諸元

供試体 No.	主鉄筋 (引張側)	帯鉄筋、D6 s cm, pv %	f_c' kg/cm ²	鋼板補強有無	補強範囲 type	アンカーボルト有無		
1	4-D16 ↓ カットオフ 2-D16 (pt=0.76%)	-----	367	-	-	-		
2			247	○	a	-		
3			305	○	a	○9本		
4			284	○	b	-		
5			274	○	b	○12本		
6			5	.51	327	-	-	-
7			8	.32	305	-	-	-
8			10	.25	327	-	-	-
9	4-D13	8	.32	341	-	-	-	
10	↓	10	.25	335	○	a	○4本	
11	2-D13	21	.12	335	○	b	○4本	
SB*	4-D16	-----	331	-	-	-		

- ・SB*: 途中定着のない標準供試体
- ・断面寸法 (B×H): 25cm×25cm
- ・せん断スパン: 84cm、 $a/d=4$
- ・アンカーボルト本数は、補強面1面についてである。

表-2 鉄筋の材料特性

鋼種	As (cm ²)	f_y (kg/cm ²)	$E_s \times 10^6$ (kg/cm ²)	
主鉄筋	D13	1.267	3409	1.80
	D16	1.986	3595	1.83
帯鉄筋	D6	0.3167	3915	1.72
鋼板	板厚 0.12 mm		2247	1.86

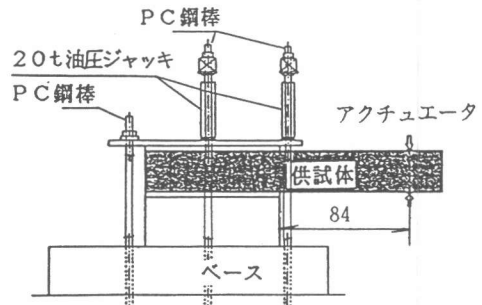


図-3 供試体のセッティング

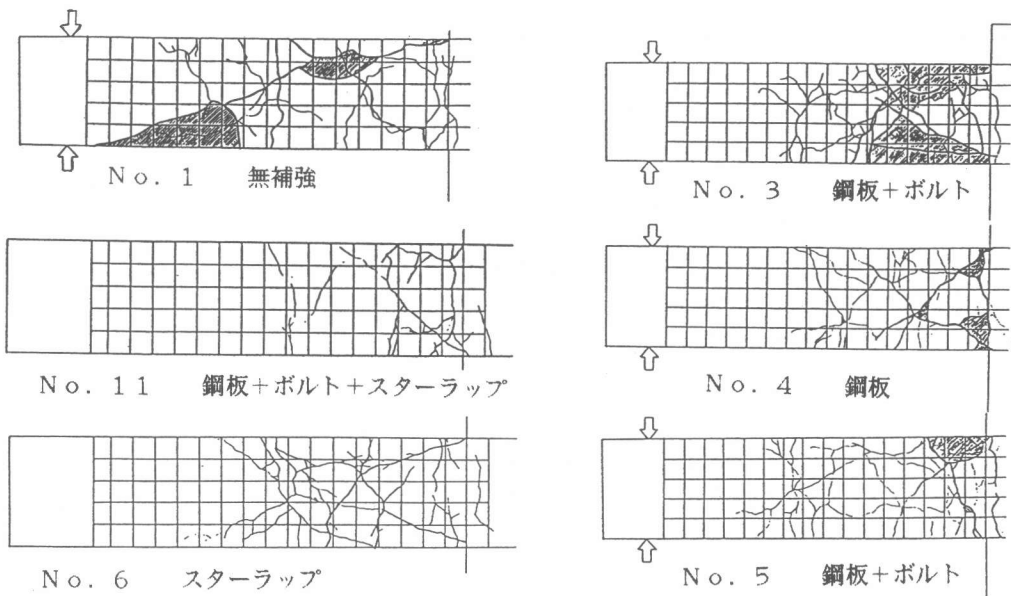


図-4 ひび割れパターン

3. 2 荷重-変位曲線

図-5～8に実験で得られた荷重-変位曲線の包絡線を示す。図-5は鋼板補強範囲の影響を示すものであるが、無補強の供試体（No.1）では主筋の途中定着部から発生したひびわれが急激に発達し、 $2\delta_y$ 時に最大耐力を示した後、片側がせん断破壊を起こして著しい耐力低下を示している。主筋の途中定着部を鋼板で補強する（No.2）と、急激な耐力低下を防ぐことができ、補強範囲を有効高さの2倍（ $2d$ ）にする（No.4）と、最大耐力も20%程度向上しているのが認められる。

図-6は、鋼板補強範囲が有効高さ（ d ）の場合で、アンカーボルトの有無による影響を示したものである。鋼板をアンカーボルトで定着しない場合（No.2）では、等量のスターラップを用いた場合（No.6）とほとんど同じ性状を示すが、アンカーボルトで固定することによって（No.3）、耐力が向上している。

図-7では、鋼板補強とスターラップ補強の効果を比較して示した。スターラップだけで途中定着部を補強した場合（Nos.6、8）、スターラップ間隔が5cmと10cmでは性状にあまり変化は認められないが、スターラップの代わりに $2d$ の区間をアンカー

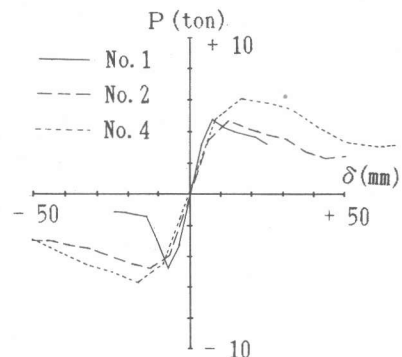


図-5 鋼板補強範囲の影響

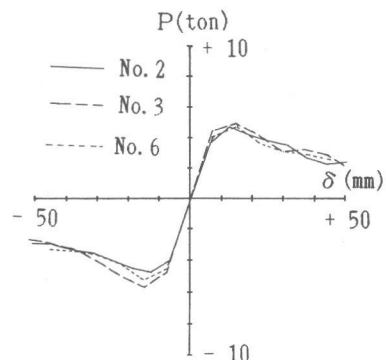


図-6 アンカーボルトの影響

ボルトを用いた鋼板補強とすると（No.5）、耐力および変形状ともスターラップ以上の補強効果が認められる。

図-8では、鋼板とスターラップの複合効果を示す。後述する方法で鋼板の補強効果をスターラップの補強効果に置換し、両者の合計補強量を一定とした時、途中定着部を2dの区間で鋼板補強し、スターラップ間隔を21cmとするよりも、鋼板補強区間は有効高さ（d）の範囲であっても、スターラップを10cm間隔で配置した方が、より靱性に富んだ構造とすることができると言える。

3.3 靱性

部材の靱性の検討では、降伏変位（ δy ）および終局変位（ δu ）は重要な指標であるが、その定義は必ずしも統一されているとは言えない。^{1,5)}

本研究で対象としている、主筋の途中定着を有する部材では斜めひびわれが卓越することもあって、主筋の降伏時が純粋な意味での部材の曲げ降伏時と同じではない。しかし、ここでは部材固定端での主筋降伏時の変位を降伏変位として扱うことにする。終局変位は檜貝らの方法⁵⁾に準拠して、第一サイクルの載荷時における荷重変位曲線の包絡線を基にして定めた。すなわち、荷重が最大時を越えて初めて降伏荷重を下まわる時の変位と定義した。従って、靱性率は $\mu = \delta u / \delta y$ で求められる。実験結果の一覧を表-3に示す。

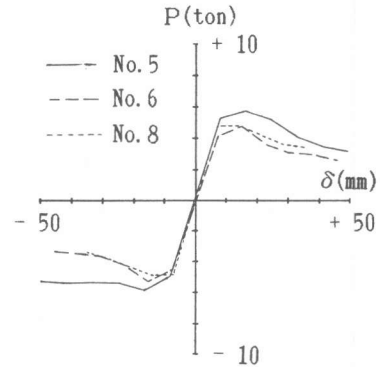


図-7 鋼板補強とスターラップ

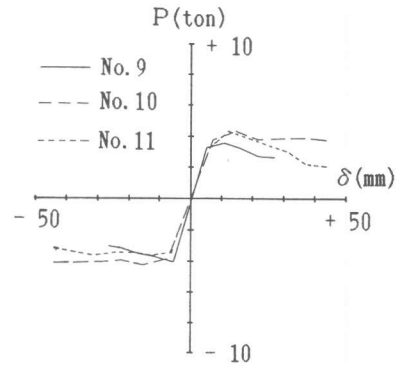


図-8 鋼板とスターラップの複合効果

表-3 靱性率および靱性指標

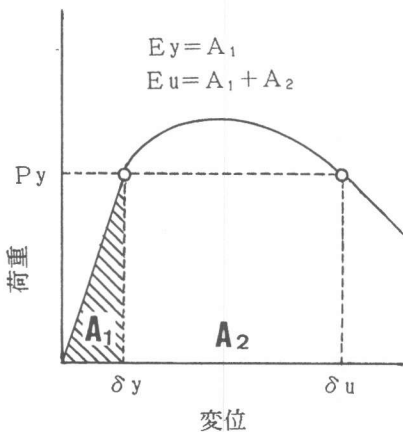


図-9 靱性指標

No	Py (t)	δy (mm)	δu (mm)	靱性率	靱性指標
				$\delta u / \delta y$	E_u / E_y
1	3.16	3.54	10.62	2.75	5.92
2	3.92	6.31	25.24	4.24	7.19
3	4.76	7.35	22.05	2.68	4.16
4	4.68	8.40	33.06	3.87	6.65
5	4.97	8.22	41.11	2.79	4.15
6	4.06	7.06	21.18	2.03	2.59
7	4.56	5.32	21.28	5.63	9.64
8	4.09	7.43	22.29	2.74	4.29
9	3.26	5.42	16.26	3.22	4.63
10	3.79	7.35	44.10	4.16	6.39
11	3.35	6.47	32.35	4.42	8.26
SB	3.33	3.91	11.73	2.99	5.66

ところで、途中定着部を鋼板等で補強すると、変形能が改善されるだけでなく、降伏耐力や最大耐力も増加し、荷重変形曲線も影響を受ける。そこで、本来のエネルギー吸収能を表現する目的で、図-9に示すような方法により、靱性指標を導入することとした。すなわち、荷重変位曲線の包絡線上で、終局変位までに部材に吸収されるエネルギー（ E_u ）と降伏変位時までに吸収されるエネルギー（ E_y ）の比で表される指標である。その結果も表-3に示す。

しかし、靱性率と靱性指標は図-10に示されるような相関関係があつて、この指標が必ずしも鋼板補強の効果を十分に表現しているとは言い難い。そこで、無補強供試体（No.1）での終局までの吸収エネルギー（ E_{u0} ）を基準にして、他のケースを比較したのが図-11である。この方法によれば、鋼板補強によるエネルギー吸収能の改善効果（Nos.3、5）がスターラップによるもの（No.6）よりも優れていることが読み取れる。

4. 補強鋼板の補強効果の算定

本実験で用いた供試体は、途中定着部の影響で、せん断耐力が部材の最大耐力を支配する構造となっている。ただし、鋼板補強したものは、終局限界面が鋼板等で補強されていない断面にシフトされているので、直接的には、補強効果を評価・算定できない。しかし、途中定着部で発生した曲げひびわれの斜めひびわれへの発達が、鋼板補強によって抑えられているので、

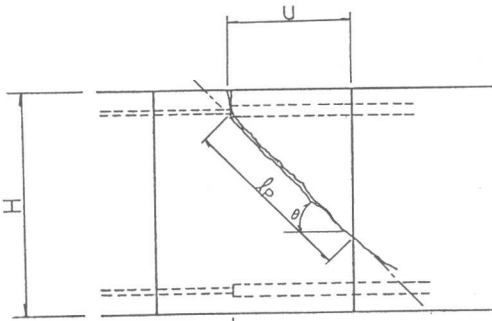


図-12 鋼板のせん断伝達

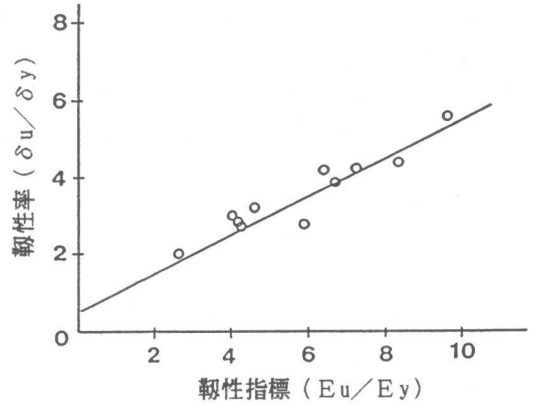


図-10 靱性率と靱性指標の関係

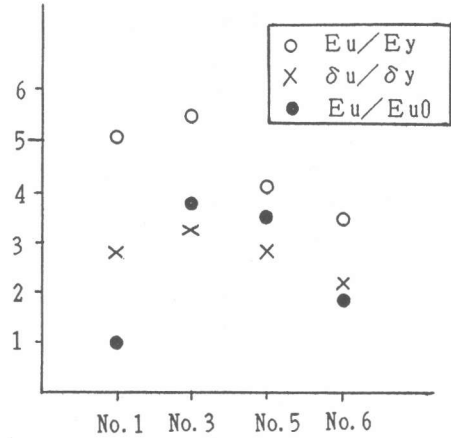


図-11 靱性を表す指標の違い

表-4 耐力の算定結果

供試体 No.	実験値	計算値	実験値 計算値
1	4.64	5.24	0.885
2	4.80	4.59	1.046
3	4.96	4.92	1.008
4	5.71	4.81	1.187
5	5.81	6.90	0.842
6	4.85	4.81	1.008
7	5.77	5.03	1.147
8	5.25	4.81	1.091
9	3.57	3.31	1.079
10	4.19	4.05	1.035
11	4.25	4.05	1.049
SB	6.00	6.41	0.936

その評価方法として、一般的な斜めひびわれに対するせん断補強筋の配筋計算と同様なトラス機構を考えると、図-12の様に途中定着部からの斜めひびわれが45度の角度であるとして、その部分の補強長さを u 、鋼板厚さを t とし、鋼板の降伏強度を f_{py} とすると補強鋼板が受け持つせん断力は、 $V_{sp} = 2tu f_{py}$ となる。この結果より、鋼板をスターラップに換算するとスターラップ間隔6cmの場合とほぼ等しくなる。最大耐力については、固定端部の曲げ耐力よりも鋼板補強されていない部分でのせん断耐力が小さいことから、この部分でのせん断耐力を岡村の方法⁶⁾で算定した。計算値と実験値との比較を表-4に示す。

5. 結論

本研究の範囲内で、以下のことが結論として挙げられる。

- ①主筋の途中定着を有するRC部材において、途中定着部を鋼板で補強することによりひびわれ性状が改善され、耐荷力に関する限界断面をシフトすることができる。
- ②鋼板をアンカーボルトで定着することにより、補強効果を上げることができる。
- ③鋼板の補強範囲が有効高さ(d)程度だと、等量のスターラップを配した場合と同じような効果しかないが、補強範囲が $2d$ ではスターラップより靱性改善効果が大きい。
- ④鋼板補強を施すと降伏耐力・降伏変位も上るので、補強効果の判定は靱性率より終局変位までの吸収エネルギーで比較するとよい。その結果では、鋼板補強はスターラップ補強より大きなエネルギー吸収能力を付与することができる。

参考文献

- 1) 町田 篤彦、睦好宏史、豊田和彦；鉄筋コンクリート部材の塑性変形能定量化に関する研究，土木学会論文集，第378号/V-6，pp.203-212，1987年 2月
- 2) 尾坂 芳夫、鈴木基行、宮本 幹、小林茂敏；途中定着された引張り主鉄筋を有するRCばりのせん断耐力評価と設計への適用に関する研究，土木学会論文集，第378号/V-6，pp.89-95，1987年 2月
- 3) 山本 強、石橋忠良、大坪正行、小林晋爾；鉄筋を途中定着した橋脚の耐震性能に関する実験的研究，土木学会論文集，第348号/V-1，pp.61-70，1984年 8月
- 4) 長曾我部 徹、丸山久一、橋本親典；鋼板補強によるRC部材の靱性改善に関する基礎研究，第10回 コンクリート工学年次講演会論文集 10-3，pp.57-62，1988年
- 5) 樽貝 勇、二羽淳一郎、岡村雄樹；曲げ降伏後にせん断破壊するRC部材の破壊メカニズムに関する考察，第9回 コンクリート工学年次講演会論文集，pp.329-334，1987年
- 6) 岡村 甫；コンクリート構造物の限界状態設計法-第2版-，共立出版，p183，1986年