

論文 柱はり接合部におけるはりの負曲げ耐力の補強方法とその有効性

西田 浩之*1・丸山 久一*2・樋口 哲郎*3・藤間 章彦*4

要旨：柱はりのフレーム構造においてははりの負曲げ耐力を増加させる補強工法として、鉄筋の埋込み工法、非接着鋼板補強工法、接着鋼板補強工法を取り上げ実験を行い、その有効性を検討した。その結果、鋼板の端部補強を確実に行った補強工法は曲げ耐力を充分増加させること、その曲げ耐力の増加量は従来の曲げ理論で算定できることが確認された。

キーワード：曲げ補強、鋼板補強、軸方向力分布、接着、アンカーボルト

1. はじめに

柱はりのフレーム構造(対象は建築物、特にラーメン構造)において、コンクリートの劣化や設計荷重を上回る載荷のため、耐荷力不足が問題となる構造物が多数存在する。この対策として、柱はりのフレーム構造物の曲げ耐力を増加させる補強工法が求められている。単純はりの曲げ耐力向上を目的とした接着補強工法はこれまでも研究されており、またアンカーボルトの有無による曲げ耐力向上への効果も実験的に検討されている^{1), 2)}。

しかしながら、柱はりフレーム構造に関する端部補強を含んだ補強工法に関する研究はほとんど行われていないのが現状である。本研究は、対象構造物の用途変更または積載荷重増による端部曲げ耐力の不足が問題となる場合の対処法を、長期的な荷重に対して基礎的に確認するものである。

本研究では、柱はり接合部のはり端部の曲げ補強(負曲げ耐力の補強)として鉄筋の埋込み補強工法、非接着鋼板補強工法、接着鋼板補強工法を取り上げ補強された各供試体に対して静的載荷実験を行った。その実験結果から、鋼板補強における接着の有無、アンカーボルト

位置、アンカーボルト本数等がはりの曲げ耐力・変形性能をどのように向上するかについて考察を行い、その算定方法について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試体概要

供試体はほぼ実物の寸法、配筋に近いものとし、特に柱に近いはり端部の曲げ補強を目各補強方法に対して断面形状寸法が一定の力

表-1 供試体の寸法

構造寸法(mm)			せん断スパン	主鉄筋	帯鉄筋
幅	断面高さ	せん断スパン			
300	500	1500	3	4D22 4D16	D10 @100

表-2 供試体の補強工法

供試体	補強法 (定着法)	アンカー		リブ枚数
		はり部	柱部	
RC	無補強	—	—	—
SD	鉄筋埋込2D22	—	埋込深20d 6-M22	—
SSBP-1-4-12	鋼板+アンカー接合 全面接着	4-M12	埋込深20d	1
SSBP-2-4-16-450		4-M16	6-M16 埋込深10d	2
SSBP-2-4-16-250		4-M16	埋込深10d	2
SSUB-1-18-22	鋼板+アンカー溶接 非接着	18-M22	6-M22 埋込深20d	1
SSUB-2-8-16		8-M16	6-M22 埋込深10d	2
SSUB-2-4-16		4-M16	6-M22 埋込深10d	2

SSBP-2-4-16-450
 ↳ リブ本数
 ↳ アンカー径
 ↳ 端部からのアンカー位置
 ↳ はり部のアンカー本数
 補強工法(RC:無補強, SD:鉄筋埋込, SSBP:鋼板全面接着, SSUB:鋼板非接着, CF:炭素繊維補強)

*1 長岡技術科学大学大学院 工学研究科建設専攻(正会員)

*2 長岡技術科学大学教授 工学部環境建設系 ph.D (正会員)

*3 東邦天然ガス(株) 樹脂事業本部調査設計室 室長

*4 東邦天然ガス(株) 技術開発室 室長代理 (正会員)

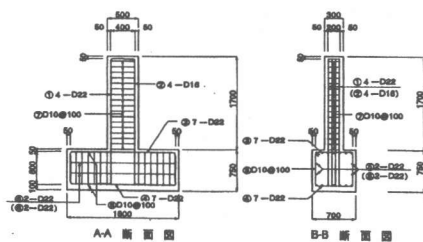


図-1 供試体の寸法と配筋

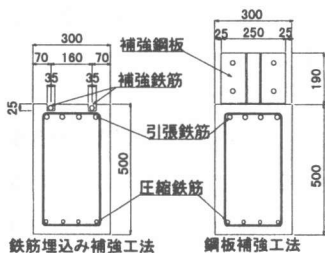


図-2 補強工法

ンチレバーとした。供試体の形状・配筋を図-1に示す。使用鉄筋は引張側に D22 を圧縮側に D16 を配置した。本実験のパラメータは、①補強工法、②鋼板端部のリブの本数、③アンカーボルトの本数、④アンカーボルトの配置位置とし、供試体数は 8 体とした。供試体の補強工法を表-2、図-2 に示す。

補強工法は、鉄筋埋込み補強(SD)、接着鋼板補強(SSBP)、非接着鋼板補強(SSUB)の 3 種類とした。鋼板補強におけるパラメータである鋼板端部に設けるリブの枚数は、1 枚(SSBP-1-4-12, SSUB-1-18-22)と 2 枚(他の供試体)とした。シリーズ SSBP は接着剤で補強鋼板とはり部材を一体化させているが、シリーズ SSUB は接着剤を使用せず鋼板とアンカーボルト頭部を溶接して一体化を図っている。また SSBP-1-4-12 は、金属系アンカーを使用した。その他の供試体は接着系アンカーを使用した。また、非接着鋼板補強工法の SSUB-2-4-16 は、実験終了後の無補強供試体に対しひび割れ部とコンクリート圧壊部に無収縮モルタルをグラウトし補修した供試体を鋼板補強したものである。

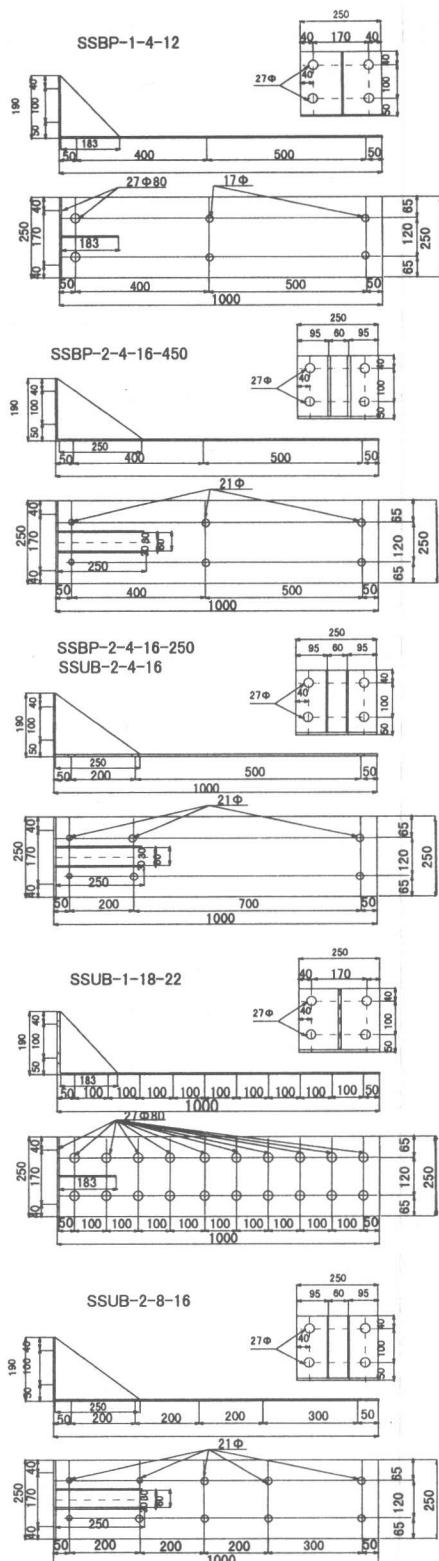


図-3 鋼板の寸法

表-3 鋼材の材料試験結果

材料	鉄筋	鋼板	全ネジ
呼び名、厚さ	D22	6.0mm	M22
種類の記号	SD295A	SS400	SNB7
降伏強度(N/mm ²)	367	270	-
引張強度(N/mm ²)	530	427	297(KN)
ヤング係数(×10 ⁵ N/mm ²)	1.99	2.10	-

表-4 エポキシ樹脂の材料特性

圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	引張せん断 接着強度 (N/mm ²)	圧縮弾性係数 (N/mm ²)
75	40	58	18	1800

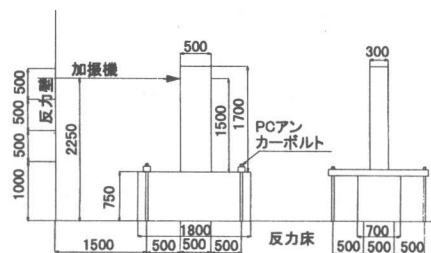


図-3 荷重方法

表-5 実験結果

試験体名	補強法	主鉄筋降伏荷重(KN)			最大耐力(KN)			破壊箇所
		計算値	実験値	実験値/ 計算値	計算値	実験値	実験値/ 計算値	
RC	無補強	119	137	1.15	126	188	1.49	はり部
SD	鉄筋埋め込み	162	177	1.09	190	235	1.24	はり部
SSBP-1-4-12	鋼板(全面接着)	174	138	0.79	226	187	0.83	かぶりの剥離
SSBP-2-4-16-450	鋼板(全面接着)	174	186	1.07	226	237	1.05	はり部
SSBP-2-4-16-250	鋼板(全面接着)	174	186	1.07	226	238	1.05	はり部
SSUB-1-18-22	鋼板(非接着)	174	130	0.75	226	209	0.92	リブ
SSUB-2-8-16	鋼板(非接着)	174	195	1.12	226	265	1.17	はり部
SSUB-2-4-16	鋼板(非接着)	174	220	1.26	226	254	1.12	はり部

供試体 SD で埋込んだ補強鉄筋は、はり部材の引張鉄筋と同質の D22 を 2 本埋め込み、エポキシ系接着剤で固定している。

を設置し、はり部の主鉄筋と各補強材にひずみゲージを貼った。

2.2 鋼板の形状

各供試体の鋼板の寸法を図-3 に示す。SSBP-1-4-12 と SSUB-1-18-22 はリブの枚数を 1 枚とし他の供試体は 2 枚とした。アンカー一本数と配置は図に示すようである。

2.3 使用材料

コンクリートは設計基準強度 21N/mm²(実強度平均 26.2N/mm²)のものを使用した。また、表-3 に鋼材の材料試験結果を、表-4 に鋼板の接着に使用したエポキシ樹脂の材料特性を示す。

2.4 荷重方法

実験は図-4 のように一点集中静的荷重試験とした。また、供試体の基部(柱部に相当)を PC 鋼棒で固定させた。荷重は、はり部の主鉄筋が降伏するまでは荷重制御とし、その後は変位制御とした。計測は荷重点高さに変位計

3. 実験結果

3.1 実験結果

各供試体の主鉄筋降伏荷重と最大耐力の実験結果を表-5 に示す。破壊形式は市販の金属系アンカーを用いた SSBP-1-4-12 では、アンカーボルトの埋込み長不足のためはり部のかぶりの剥離で、またリブが 1 枚の SSUB-1-18-22 ではリブと鋼板の溶接部分が破断し破壊に至った。その他の供試体では、はり部が破壊した。

表-5 から主鉄筋降伏荷重、最大耐力とも無補強の基準供試体 RC より補強した供試体の方が大きくなっている。しかし、非接着鋼板補強の供試体である SSUB-1-18-22 は、はり部へのアンカー打込み時にはり部の主鉄筋のうち 4 本中 2 本を傷つけたため耐力が落ちた。

各供試体の主鉄筋降伏荷重と最大耐力の計算値は、供試体と補強材が一体化して挙動し、平面保持が成り立つと仮定して計算した³⁾。供試体 SSBP-1-4-12 と SSUB-1-18-22 は破壊箇

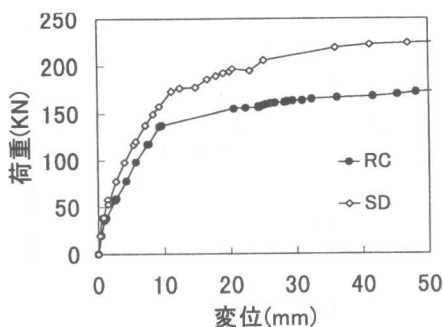


図-5 荷重－変位関係(鉄筋埋込み補強)

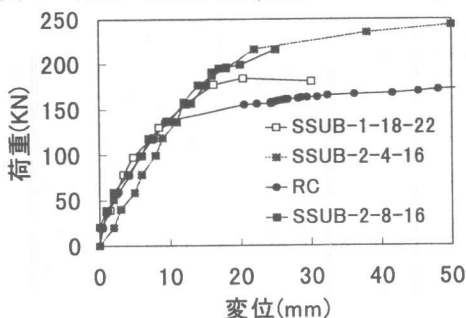


図-7 荷重－変位関係(鋼板非接着)

所がはり部でなく鋼板部であって、主鉄筋降伏荷重、最大耐力とも実験値が計算値を下回っている。その他の供試体は実験値が計算値を上回っている。

最大耐力において基準供試体 RC の実験値/計算値は 1.49 であり、鋼板補強した供試体は接着鋼板補強で 1.05 と約 70%、非接着鋼板補強で 1.15 と約 77%と小さい比率となっている。したがって平面保持の仮定は最大耐力の計算では必ずしも成立しない。

3.2 荷重－変位関係

鉄筋埋込み補強、鋼板補強の荷重－変位関係を図-5 から図-8 に示す。図-5 から図-7 より、基準供試体 RC より各工法で補強した供試体の方が剛性が高く、降伏荷重も大きくなっている。

図-5 より鉄筋埋込み補強した供試体 SD は、初期の剛性が高く降伏荷重で約 30%、最大耐力で約 25%補強効果がある。

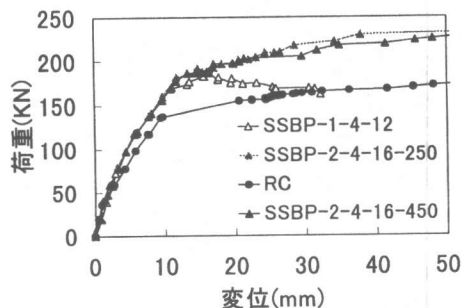


図-6 荷重－変位関係(鋼板接着)

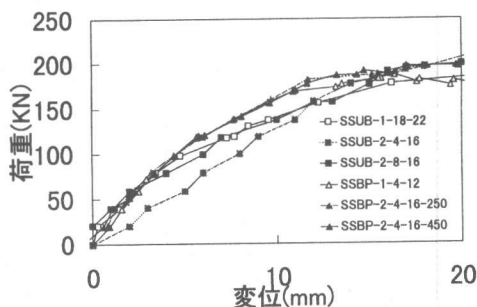


図-8 荷重－変位関係(鋼板補強)

シリーズ SSBP(鋼板接着)の図-6 より、鋼板を接着することで高い剛性が得られており、またリブで破壊した SSBP-1-4-12 以外の供試体は主鉄筋降伏荷重で約 35%、最大耐力で約 26%増加した。破壊箇所がかぶりの剥離である SSBP-1-4-12 は脆性的に破壊に至った。シリーズ SSUB(鋼板とアンカーボルトを固定)の図-7 より、剛性にはさほど効果は得られなかったが降伏荷重で約 50%、最大耐力で約 38%増加している。

次に、図-8 において接着した鋼板補強工法と非接着のものでは、鋼板接着の供試体は変形が約 10mm まで非接着の供試体より剛性が高いことから鋼板を接着することにより初期の荷重に対しては一体化して力に抵抗していることが分かる。しかし、主鉄筋の降伏以降はアンカーボルトと鋼板を溶接した非接着の供試体の方が補強効果は高くなっている。

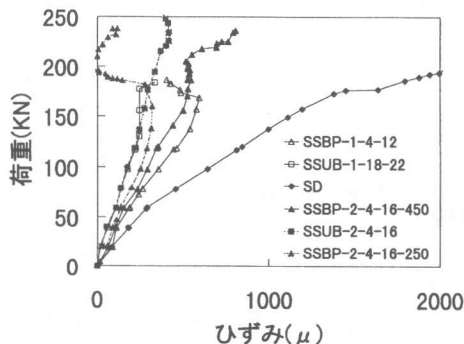


図-9 補強材の荷重-ひずみ関係

4. 補強効果の検討

4.1 補強鉄筋、鋼板の荷重-ひずみ関係

各供試体の端部からの高さ 100mm の位置での補強材の荷重-ひずみ関係を図-9 に示す。図-9 より、供試体 SD の補強材である埋込み鉄筋は荷重の増加に従いひずみが増加し主鉄筋降伏荷重とほぼ等しい荷重で補強鉄筋も降伏ひずみに達していることから一体化している事が分かる。しかし鋼板で補強した供試体は、主鉄筋降伏荷重までは鋼板のひずみは増加しているが鋼板の降伏ひずみに達しておらず、鋼板の付着が不十分と思われる主鉄筋降伏以降は平面保持が成り立っていないことが分かる。

4.2 鋼板の軸方向の力分布

荷重の増加(40,80,120,160,200KN)に伴って鋼板に発生する力の分布を図-10 に示す。横軸は、はりの固定端からの距離を、縦軸は鋼板の断面平均ひずみに断面積とヤング係数をかけたものである。図-10 より、荷重が増加するに従い鋼板の受け持つ力も大きくなっているが、特に固定端近傍で大きな応力集中が生じている。

160KN の荷重時における各補強工法の鋼板に生じる軸方向の力の分布を図-11 に示す。図-11 より各補強工法で若干の差はあるものの、いずれも固定端から 100mm 以内の箇所で大きな力を受け持つ形状はほぼ等しい。また、鋼板を固定するアンカーボルトの本数、アンカ

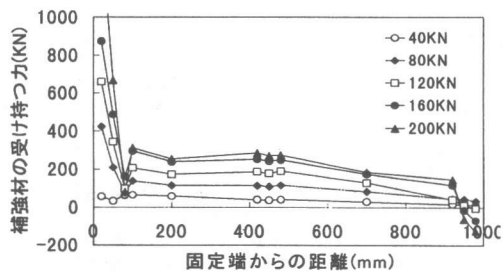


図-10 軸方向の補強材の受け持つ力分布(鋼板接着)

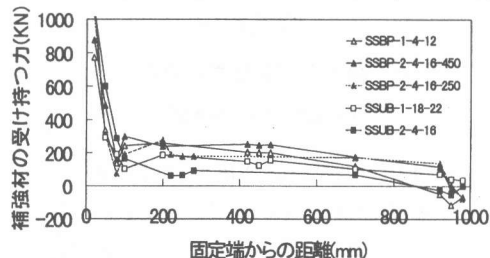


図-11 軸方向の補強材の受け持つ力分布
(160KN 時)

ーボルト位置の変化はあまり影響がないと考えられる。

4.3 鋼板の軸直角方向のひずみ分布

荷重の増加(40,80,120,160,200)に伴って、SSBP-2-4-16-450 の端部から高さ 700mm の鋼板の生ずる軸直角方向ひずみ分布を図-12 に示す。また、荷重 160KN 時における補強材の軸直角方向のひずみ分布を図-13 に示す。ここで、縦軸はひずみを、横軸は 0 を左端とした距離を取っている。

図-12、図-13 より、軸直角方向にはほぼ一様なひずみ分布であった。

5. 補強方法の評価

5.1 鉄筋埋込み工法

はり上面のかぶり部分に幅 35mm、深さ 25mm、長さ 1000mm の溝をつくり、かつ柱部に $\phi 30$ 、長さ 20d の穴を開けて D22 の鉄筋を 2 本埋込み、樹脂で固めた補強工法では表-5 および図-5 から認められるように主鉄筋降伏時の荷重の増加は平面保持を仮定した曲げ

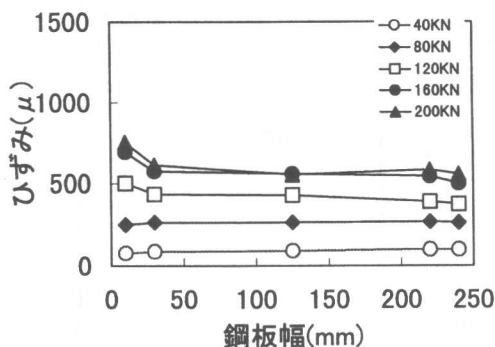


図-12 軸直角方向ひずみ分布
(SSBP-2-4-16-450)

解析では 43KN、実験は 40KN でほぼ等しい。ただ最大耐力の増加は計算値の 64KN に対して実験値は 47KN となっていて、終局では多少付着劣化が生じていると考えられる。

5.2 鋼板補強工法

鋼板によりはりの曲げ耐力を増加させるためには、柱への定着部のリブの設計が重要となる。リブの耐力が不充分だと供試体 SSUB-1-18-22 のようにリブでの破壊となり鋼板補強の効果が得られなくなる。

鋼板をはりに固定する方法として、接着剤だけを用いる方法では埋込み深さの浅い金属系アンカーを併用した供試体 SSBP-1-4-12 のように、主筋の降伏時にかぶり部のコンクリートが剥離してしまい、補強効果が全く得られない。

アンカーボルトを用いて鋼板を固定する場合には、接着剤を用いなくてもアンカーボルト頭部と鋼板を溶接して一体化することで十分な補強効果が得られる。アンカーボルト本数も、柱端面から $d/2$ 区間に必要本数があれば充分である。

鋼板補強による曲げ耐力の増加量は、表-5 に示されているように、主筋降伏時についてはほぼ平面保持を仮定した計算値と同様であった。ただし、最大耐力については鉄筋埋込み補強工法と同様で実験値は計算値を下回っ

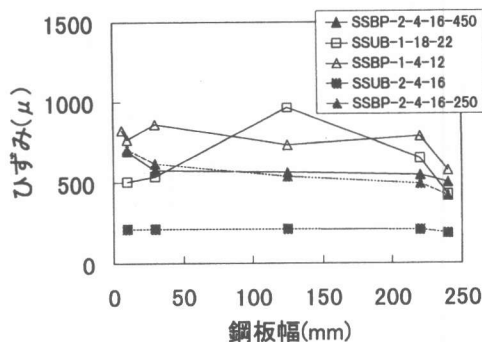


図-13 鋼板の軸直角方向ひずみ分布(160KN)

ており、計算値の 60~70% 程度であった。

6. まとめ

既存の RC 部材の補強、特に柱はり接合部に近いはりの曲げ耐力を向上させる補強工法についてその有効性を検討した。鉄筋を埋込む工法あるいは鋼板を接着する工法では、ディーテールを工夫することで、降伏耐力を 30% 程度増加させることは充分可能で、その算定も従来の曲げ理論で予測可能である。

本工法は、はりの曲げ耐力を向上させるのに有効な工法であるが、構造物の耐力向上には、全体の挙動(はりのせん断耐力、柱の耐力)とのバランスにも配慮する必要がある。

謝辞 本研究は芥川大輔氏の御協力を得たことを記して、ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 佐野正・三浦尚：鋼板接着によるコンクリート部材の補強設計法に関する研究，土木学会論文集，Vol.33，No.550，pp.117-129，1996.11
- 2) 高橋博威・陸好宏史・近藤悦郎：各種補強工法を用いた鉄筋コンクリートはりの力学的性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.2，pp.1493-1498，1996
- 3) コンクリート標準示方書・設計偏(平成 8 年制定)，土木学会