

論文 鋼板接着による RC 梁のせん断補強効果に関する研究

金井 直*¹・睦好宏史*²・Bimal Babu ADHIKARY*³・佐野 正*⁴

要旨: 本研究は、矩形 RC はり供試体の両側面に広幅鋼板を接着し、接着補強後のせん断補強効果について実験および解析により明らかにしたものである。実験から、鋼板を RC はり側面に接着することによってせん断耐力が向上し、特に鋼板高さを変化させることにより顕著な効果が得られることがわかった。また FEM により鋼板によるせん断補強効果を解析的に求めた結果、ある程度の精度で補強後のせん断性状を求めることが出来た。

キーワード: 鋼板接着、せん断補強、2次元有限要素法

1. はじめに

道路構造令の改正による設計荷重の増加や、コンクリート構造物の経年変化による耐力低下といった問題に対処するため、既設 RC 構造物の補強方法のひとつに鋼板接着工法がある。鋼板接着による曲げ補強については数多くの研究が行われているにもかかわらず、せん断補強の

研究例は少なく、せん断補強後のせん断性状は未だ不明な点も多く、設計手法も確立されているとはいえない^{1), 2)}。本研究では、鋼板を RC はりの両側面に接着し、載荷実験を行い、せん断補強効果を明らかにした。また 2次元有限要素法を用いて、鋼板接着によるせん断補強効果についても解析的に検討した。

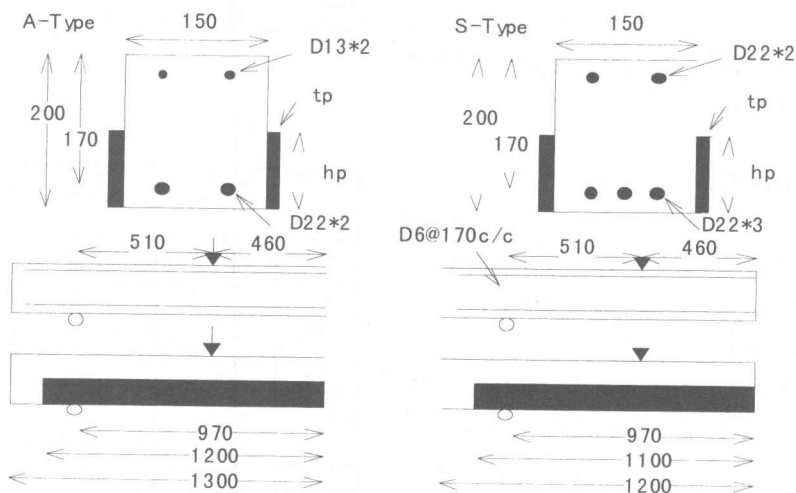


図-1 供試体の形状寸法(mm)

* 1 首都高速道路公団 工修(正会員)

* 2 埼玉大学教授 工学部建設工学科 工博(正会員)

* 3 埼玉大学 理工学研究科博士後期課程 建設工学専攻 工修(正会員)

* 4 ショーボンド建設(株) 補修工学研究所課長 工博(正会員)

2. 実験概要

2. 1 供試体概要

実験で用いた供試体の形状寸法を図-1に示す。供試体は計10体作製し、断面形状はいずれも幅15cm×高さ20cmである。実験はスターラップなしのA-TypeとスターラップありのS-Typeの2通りである。A-Typeは供試体長さ260cmで、せん断破壊が生じるように主鉄筋として異形鉄筋D22を2本、圧縮鉄筋としてD13を2本配置した。S-Typeは供試体長さ240cmで、A-Typeと同様にせん断破壊を生じさせるように主鉄筋として異形鉄筋D22を3本、圧縮鉄筋としてD22を2本配置した。またスターラップとしてD6を用い、せん断スパン内に17cmの間隔で計8本配置した。荷重方法はスパン194cm、曲げモーメント区間を92cmとした静的2点荷重で、せん断スパン有効高さ比を3.0としている。コンクリートの平均圧縮強度、引張強度はそれぞれA-Typeが28.8MPa、2.26MPaで、S-Typeが41.0MPa、2.86MPaであった。なお鋼板接着にはエポキシ樹脂を使用しアンカーボルトで固定を行っているが、アンカーボルトはせん断スパン内には配置していない。使用材料の材料特性を表-1に示す

2. 2 実験要因

実験要因を表-2に示す。A-TypeのA-1供試体は無補強供試体であり、A-2～A-5供試体は鋼板厚さを2.3mmとし、鋼板高さを変化させた。S-Typeでは、S-1を無補強供試体とし、S-2～S-4供試体は鋼板高さを10cmとし、鋼板厚さを変化させた。S-5供試体は鋼板高さを15cmとし、鋼板厚さを2.3mmとした。ここではTげたのウェブに補強材を接着してせん断補強をする場合を考えて鋼板高さ、鋼板厚さに着目し、これらを変化させた。

3. 実験結果

3. 1 ひび割れ性状

実験結果について表-3に示す。鋼板接着を

表-1 使用材料の材料特性

鋼材

種類(鋼材)	降伏強度(MPa)	引張強度(MPa)	弾性係数(GPa)
D6	346	544	192
D13	386	577	175
D22	391	581	182
Plate(t=2.3mm)	306	394	199
Plate(t=4.5mm)	345	420	207
Plate(t=6.0mm)	347	463	196

エポキシ樹脂

圧縮強度(MPa)	引張強度(MPa)	引張せん断強度(MPa)	弾性係数(MPa)
71.9	49.1	16.6	0.214

表-2 実験要因

供試体No.	構造形式	鋼板厚さ(mm)	鋼板高さ(mm)
A-1	無補強	—	—
A-2	鋼板接着	2.3	50
A-3	鋼板接着	2.3	75
A-4	鋼板接着	2.3	100
A-5	鋼板接着	2.3	150
S-1	無補強	—	—
S-2	鋼板接着	2.3	100
S-3	鋼板接着	4.5	100
S-4	鋼板接着	6.0	100
S-5	鋼板接着	2.3	150

表-3 実験結果

供試体No.	最大荷重(KN)	最大主鉄筋ひずみ(μ)	破壊形式
A-1	90.45	1297	せん断
A-2	110.5	1258	せん断
A-3	124.2	1259	せん断
A-4	125.7	1346	せん断
A-5	187.0	2971	曲げ圧縮
S-1	196.5	1469	せん断
S-2	232.8	1525	せん断
S-3	209.7	1299	せん断
S-4	252.5	1504	せん断
S-5	264.7	1679	せん断

した供試体はA-5を除き全てせん断破壊したが、無補強の供試体と比べ、鋼板が接着されていることで斜めひび割れの進展が抑制されており、破壊荷重の80%以上の高い荷重時においてコンクリートが目視可能な部分で斜めひび割れが観察された。図-2にそれぞれ

供試体のひび割れ状況について示す。A-5 供試体は載荷点付近の圧縮縁コンクリートが圧壊し曲げ破壊となっている。その他の供試体はいずれもスパン中央付近に曲げひび割れが発生した後、鋼板がコンクリートから剥がれ始め、大きな斜めひび割れが発生し、鋼板が外側にはらみ出すように面外変形を生じ荷重が低下してせん断破壊となった。実験終了後、鋼板を除去し、コンクリートのひび割れを観察したところ、ひび割れは支点から主鉄筋に沿って大きなひび割れが見られた。

3. 2 破壊性状

各供試体の荷重-変位関係を図-3に、荷重-主鉄筋ひずみ関係を図-4に示す。図-4から明らかなようにA-5を除く全ての供試体は主鉄筋は降伏せずせん断破壊に至っている。荷重-変位関係を見ると鋼板で補強した供試体は最大荷重と共に曲げ剛性も増加していることがわかる。またS-3供試体は鋼板が剥離し始めたと同時に斜めひび割れが急激に発生し荷重が低

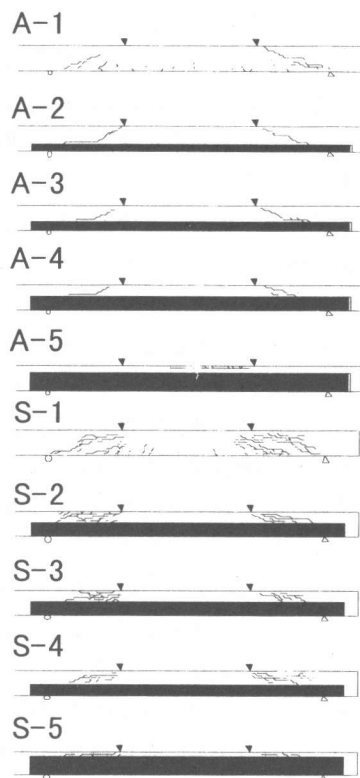


図-2 ひび割れ状況

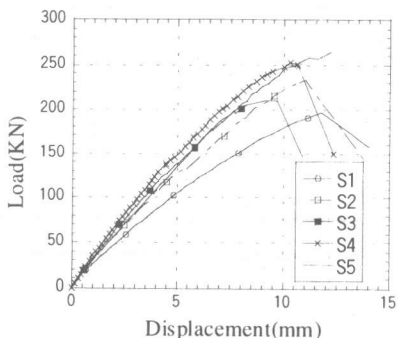
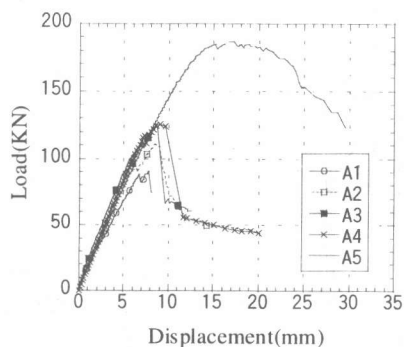


図-3 荷重-変位関係

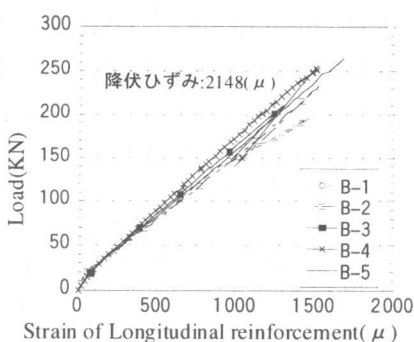
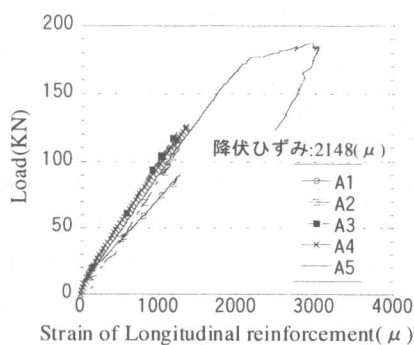


図-4 荷重-主鉄筋ひずみ関係

下した。これは鋼板とコンクリート間の樹脂の接着不良等が考えられ、破壊が早まったものと思われる。S-3の結果を除けば鋼板厚を増加させることで補強効果が増大する。図-5に最大荷重-鋼板高さ関係について示す。図から鋼板高さを大きくすることにより顕著なせん断補強効果が得られることがわかる。A-Type、S-Type共に等価ストレスブロックにより計算した無補強時におけるRC供試体の中立軸位置を越えた鋼板高さの補強を行ったA-5、S-5供試体が高いせん断補強効果を得ていることがわかる。これは中立軸位置以下すなわちコンクリートの引張側部分の側面を鋼板で完全に覆うことで、斜めひび割れの進展を効率よく抑制できることを示すものといえる。図-6にS-Typeの荷重-スターラップひずみ関係を示す。S-2,3,4供試体は鋼板接着によりスターラップのひずみ増加の変曲する点の荷重がS-1供試体のそれよりも大きいことがわかる。特に鋼板高さ15cmのS-5供試体はスターラップの負担を顕著に軽減し、鋼板で多くのせん断力を負担していることがわかる。

4. 解析的検討

4.1 解析概要

鋼板によりせん断補強したRC梁の挙動を解析的にとらえるために、8節点アイソパラメトリック要素を用いた2次元有限要素法解析により検討を行った³⁾。本解析手法を鋼板接着供試体に用いるため、鋼板高さに合わせてコンクリート要素をメッシュ分割し、鋼板位置の同節点に鋼板要素(弾性体要素)を重ね合わせて鋼板とコンクリート間を完全接着として扱い解析を行った。コンクリートのモデルはRC要素でひび割れ分散モデルを用い、ひび割れが要素内に一様に分散されるように要素分割を行った。またせん断補強筋はコンクリート要素の垂直方向断面における補強筋断面の割合として導入した。図-7に解析モデルについて示す。解析値として終局荷重、荷重-変位関係、荷重-コンク

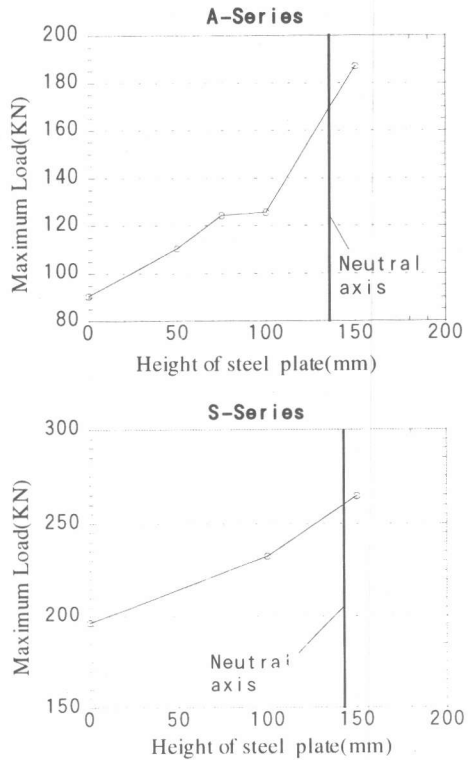


図-5 最大荷重-鋼板高さ関係

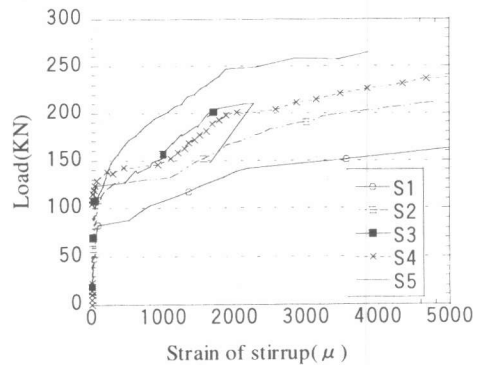


図-6 荷重-スターラップひずみ関係

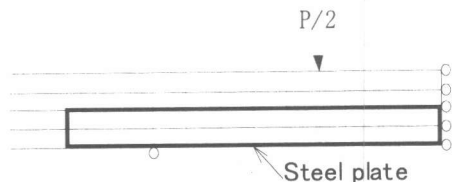


図-7 解析モデル

リート上縁ひずみ、鋼板ひずみに着目した。

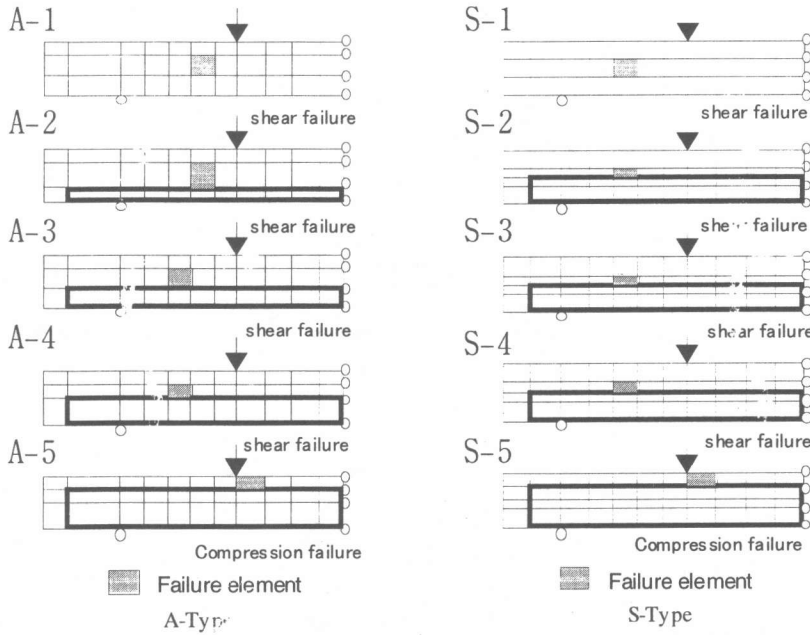


図-8 解析により得られた破壊形式と破壊位置

表-4 解析結果

供試体 No.	最大荷重(KN) (実験値)	最大荷重(KN) (解析値)	解析値/ 実験値	供試体 No.	最大荷重(KN) (実験値)	最大荷重(KN) (解析値)	解析値/ 実験値
A-1	90.45	89.64	0.99	S-1	196.5	199.5	1.02
A-2	110.5	116.4	1.05	S-2	232.8	234.4	1.01
A-3	124.2	132.2	1.06	S-3	209.7	263.7	1.25
A-4	125.7	143.4	1.15	S-4	252.5	274.3	1.09
A-5	187.0	294.7	1.58	S-5	264.7	431.2	1.62

4. 2 解析結果

図-8に各供試体の2次元有限要素法解析モデルにおける要素内の積分点のひずみが曲げ・引張・せん断のいずれかの基準値に達した要素の位置と破壊形式について示す。A-1,2,3,4供試体は実験結果と同様にせん断スパン内の要素が破壊に達し、せん断破壊となった。A-5供試体の解析結果も実験結果と同様に荷重点近傍で圧壊し曲げ圧縮破壊となった。またS-1,2,3,4供試体は解析結果もせん断スパン内で要素が破壊に至りせん断破壊しているが、S-5供試体は荷重点近傍で曲げひび割れが発生し、曲げ圧縮破壊に至っており、実験結果と破壊形式が一致しなかった。各供試体の最大荷重の解析結果を表-4に示す。表-4より実験結果と解析結果とを比較すると、鋼板高さの低い供試体に関しては

ほぼ精度良く推定できているといえる。しかしながら鋼板高さ15cmのA-5、S-5供試体は解析値が実験値を大きく上回っている。その他の解析結果と実験結果を比較するために、S-2,5供試体の荷重-変位関係を図-9に、荷重-コンクリート上縁ひずみ関係を図-10に、荷重-鋼板ひずみ関係を図-11に示す。図-9, 10, 11から明らかな通り、S-2供試体では、解析値はいずれも実験値を精度良く表しているものの、S-5供試体については精度良く表しているとは言い難い。この原因として、鋼板とコンクリートの接着を完全接着と仮定して解析を行ったことが上げられる。コンクリートの露出部分の多いS-2供試体では鋼板がコンクリートのひび割れを防ぐことが出来ず破壊に至るが、鋼板高さの高いS-5供試体は鋼板が剥離せずに

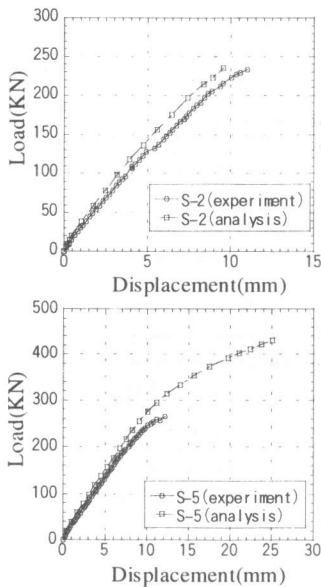


図-9 荷重-変位関係

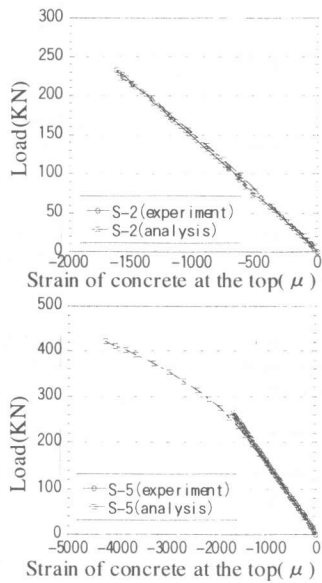


図-10 荷重-コンクリート上縁ひずみ関係

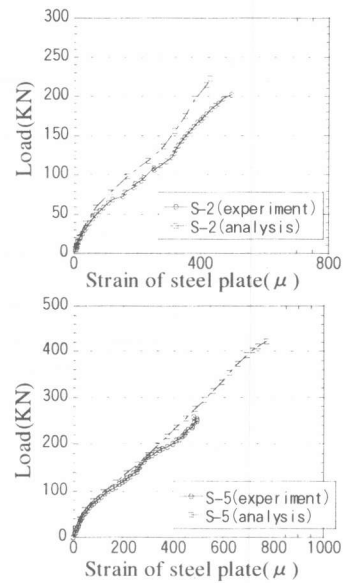


図-11 荷重-鋼板ひずみ関係

予想以上のコンクリートひび割れ抑制効果が発揮されたため、このような違いが生じたと思われる。

5. 結論

矩形RC供試体の両側面に鋼板を接着し、補強後のせん断性状を実験及び解析的に明らかにした。本研究から以下の結論が得られる。

- ① 矩形鋼板をRC供試体の側面に接着すると、斜めひび割れの進展が抑制され、せん断耐力の向上に効果的である。
- ② 供試体に接着する鋼板の高さを増やす程せん断補強効果は大きくなり、本研究では中立軸以上の高さまで鋼板を接着した場合、せん断補強効果は顕著に増大した。
- ③ 既存の2次元有限要素法解析により、鋼板接着補強したRCはりのせん断挙動を解析的にある程度推定できた。しかし解析の精度を上げるために鋼板の剥離や面外変形等の影響を解析に取り入れる必要があると思われる。

謝辞

本研究の試験を実施するにあたりショーボンド建設(株)の曳村俊貴氏の協力を得ました。また埼玉大学材料研究室補強班の皆様にも多大なご協力を頂いた。ここに、関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 曳村、睦好、佐野：鋼板を用いたRCはりのせん断耐力、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19 No.2 pp1641-1646,1997
- 2) B.B.Adhikary、睦好、金井、曳村：External Shear Reinforcement for Reinforced Concrete by Horizontal Steel Plate Bonding、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.20 No.1 pp545-550, 1998
- 3) 岡村、前川：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則、技報堂出版、1991