

論文 接着工法を用いた鋼材による RC 部材の耐震補強

荒井智一^{*1}・衣笠秀行^{*2}・古賀一八^{*3}・野村設郎^{*4}

要旨: 本研究は接着工法を用いたRC部材の耐震補強方法の開発を試みたものである。「スタッドを用いた鋼板貼り付け補強」と「あと施工により鉄筋を挿入する補強」の部材補強実験を行い以下の結果を得た。前者は、一方向载荷下の梁で2.5倍程度せん断耐力を上昇できた。しかし、繰り返し载荷を受ける柱ではせん断耐力の上昇は1.3倍程度と補強効果は小さい。後者は、繰り返し载荷下においてせん断耐力を約1.65倍程度上昇させる高い補強効果が得られ、壁付き柱への補強にも対応した適応性の高い補強方法であるといえる。

キーワード: 耐震補強, スタッド, 接着剤, せん断耐力, 鋼板, 鉄筋コンクリート構造

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では、建築構造物に大きな被害が生じた。ピロティ建築物や1981年新耐震施行以前の建築物の被害率が大きく、これら建築物の補強の必要性が指摘され、補強技術の開発が盛んにおこなわれるようになった。

現在おこなわれているカーボンファイバー等を用いた巻き付け補強方法は、壁付き柱等を補強する際に壁と柱との間を切り離す必要が生じてしまう。

本研究では、壁を切らずに補強をおこなえる、接着工法を用いたRC部材の耐震補強方法の開発を試み、後述する部材補強実験を行った。貼り付けのみの補強の問題点を考慮した「スタッドを用いた鋼板貼り付け補強」と、壁付き柱への適応を考慮した「あと施工により鉄筋を挿入する補強（以降、あと施工鉄筋補強）」の実用化に向けての基礎資料を得ることを目的としている。

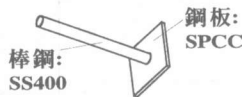


図 2.2 スタッド

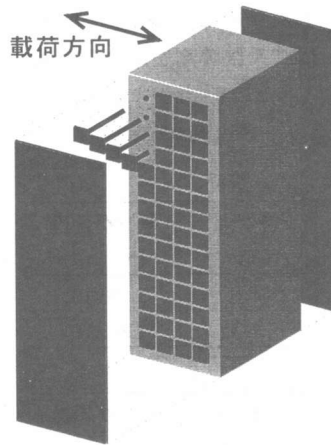


図 2.1 スタッドを用いた鋼板貼り付け補強

表 2.1 試験体種類

試験体名	スタッド数	スタッド長
SBN	0	-
SBML	Many	Long
SBFL	Few	Long
SBMS	Many	Short

注 Many: 図 2.5 に示すようにできる限り多く
 Few: 部材軸方向にManyの半数
 Long: 梁幅の1/2
 Short: 梁幅の1/4

* 1 東京理科大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)
 * 2 東京理科大学講師 理工学部建築学科 工博 (正会員)
 * 3 (株)長谷工コーポレーション 技術研究所 (正会員)
 * 4 東京理科大学教授 理工学部建築学科 工博 (正会員)

2. スタッドを用いた鋼板貼り付け補強

2.1 一方向繰返し載荷を受ける梁部材

(1) 実験目的

鋼板を部材の表面だけに定着させる補強方法を実験的に検討したが、実験初期の段階に鋼板が剥がれ落ちるため、高い補強効果を得ることができなかった¹⁾。ここでは、鋼板をスタッドを用いて部材内部に定着させる、鋼板貼り付け補強方法を一方載荷下の梁部材を用いて検討する。

(2) 実験概要

補強方法は、図2.1に示すように鋼板の貼り付けを行う前に、RC梁部材へ9mm径のコンクリートドリルにより穿孔し、図2.2に示すスタッドをエポキシ樹脂系接着剤を用いて定着させ、そ

の上からステンレス鋼板をアクリル系接着剤により貼り付ける。

被補強試験体は、図2.4に示すせん断破壊先行型の配筋の梁部材であり、表2.1に示すように、補強試験体は、スタッドの本数と埋め込み深さをパラメータとしたSBML, SBFL, SBMSとする。スタッドの形状を図2.3に示す。スタッドの長さは、梁の中央まで届くものとその半分の長さの2種類用意した。スタッドの埋め込み本数は、できる限り多く埋め込んだものとその半数のものとした。使用材料の特性を表2.2に示す。スタッドの埋め込み位置を図2.5に、鋼板の張り付け位置を図2.6に示す。加力は単純梁中央一点載荷形式とし、載荷履歴は図2.7に示す一方繰返し載荷とした。

表 2.2 材料特性

鉄筋		
呼称	降伏点 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
6φ	320	1.99×10 ⁵
D22	355	1.84×10 ⁵
スタッド		
部位	降伏点 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
棒鋼	140	2.09×10 ⁵
鋼板	164	1.75×10 ⁵
鋼板		
種類	0.2%耐力 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
SUS304	593	1.62×10 ⁵
コンクリート		
試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	
SBN・SBML	26.0	
SBFL・SBMS	33.5	

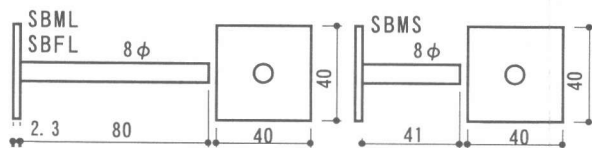


図 2.3 スタッド形状

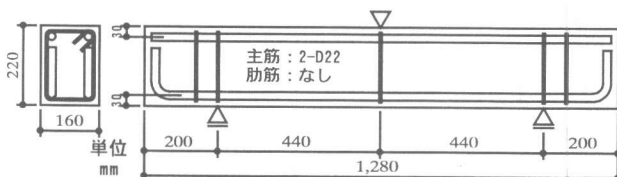


図 2.4 配筋図

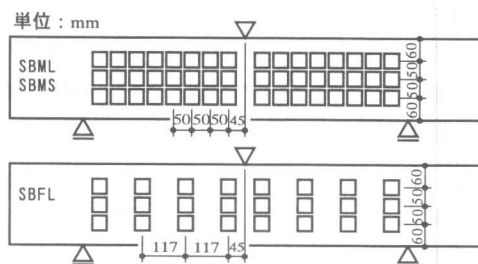


図 2.5 スタッド埋め込み位置

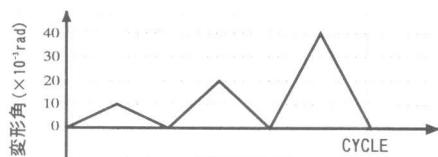


図 2.7 載荷履歴

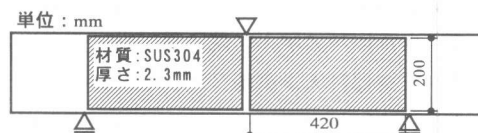


図 2.6 鋼板貼り付け位置

(3) 実験結果

SBNにはせん断ひび割れが大きく生じ、設計通りせん断破壊を示した。補強した3試験体は、ともに鋼板の下に大きなせん断ひび割れが見られ、その破壊モードがせん断破壊であることが確認できた。

図2.8に荷重－変形角関係の包絡線と最大耐力を示す。せん断破壊の割に、SBNの耐力低下が小さいのは、断面に対して主筋が太くそのだけ作用によるものと考えられる。補強をした試験体SBML, SBFL, SBMSの最大耐力は、無補強SBNより2.5倍と大幅に上昇した。SBNはコンクリート強度がSBFL, SBMSより多少低いのが最大耐力の増加率2.5倍は十分な補強効果といえる。特にSBMLは最大耐力を示した後に粘りが見られ、SBFLやSBMSよりも耐力低下が遅れて生じた。SBMLの最大耐力がSBFL, SBMSとほとんど変わらないのは、SBMLのコンクリート強度が多少低いためであると考えられる。

スタッドの本数・埋め込み深さは、大きくとるだけその補強効果も上昇するといえる。ただし、定量的な関係についてはさらなる検討が必要である。また、スタッドの鋼板と棒鋼との溶接接合部で破壊がみられたことから、スタッドの破壊によって強度が決まった可能性もあり、スタッド埋め込み数の限界も考えられる。今後はスタッド自体の性能の見直しも必要であり、スタッドの性能を増すことにより、さらに補強効果をあげることも可能であると考えられる。

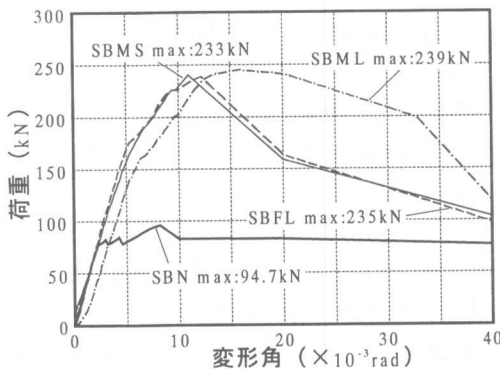


図 2.8 荷重－変形角関係

2. 2 正負繰返し载荷を受ける柱部材

(1) 実験目的

前節では、一方向载荷下の梁に「スタッドを用いた鋼板張り付け補強」を適用し、大きな補強効果を得ることができた。本節では、繰返し载荷を受ける柱を対象として前節の補強方法をさらに検討する。

(2) 実験概要

図2.9に示すように対象部材を壁付き柱および独立柱とした。被補強試験体は、図2.10に示すせん断破壊先行型の配筋とし、表2.3に示す3体を作製した。補強試験体は、SC100とSC075であり、SC075は5cm厚の壁を想定し、その部分を残し補強を行った。なお、試験体形状の簡単化およびSC100との比較を明確にするためSC075の袖壁は省略することとした(図2.9, 図2.13参照)。図2.12, 図2.13にスタッド埋め込み位置および鋼板貼り付け位置を示す。補強の手順は前節と同様であり、図2.11に示すスタッドを試験体柱部分に埋め込み、補強鋼板には鉄製のものを使用した。軸力比0.2とし、加力は反曲点载荷の片持ち形式で、正負繰返し载荷とし変形角80/1000radまで行うものとする(図2.14参照)。使用材料の特性を表2.4に示す。

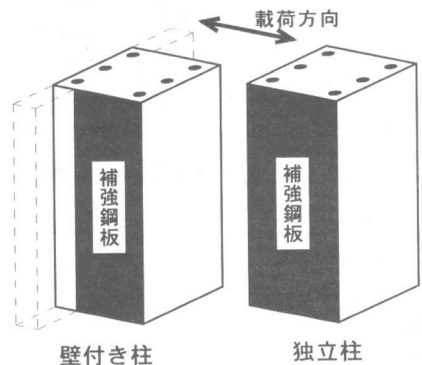


図 2.9 対象部材

表 2.3 試験体種類

試験体名	備考
SCN	無補強
SC075	壁付き柱を想定
SC100	独立柱

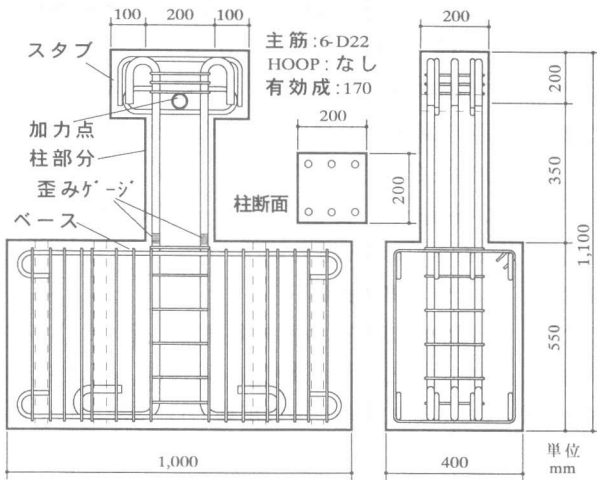


図 2.10 配筋図

表 2.4 材料特性

鉄筋		
呼称	降伏点 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
D22	372	2.06×10 ⁵
鋼板		
種類	降伏点 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
SS400	287	2.07×10 ⁵
コンクリート		
試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	
SCN・SC075・SC100	16.8	

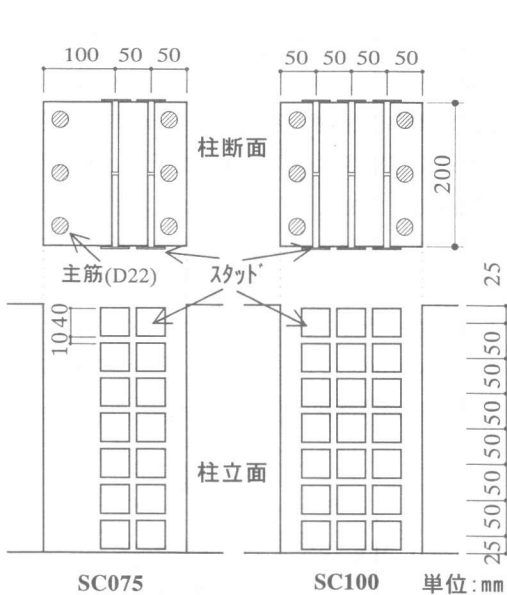


図 2.12 スタッド埋め込み位置

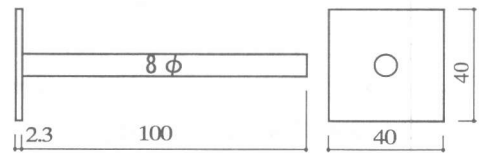


図 2.11 スタッド形状 単位:mm

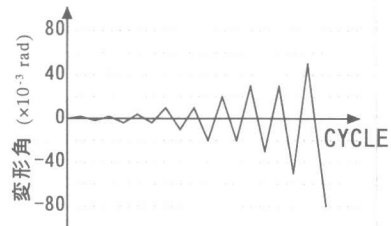


図 2.14 載荷履歴

(3) 実験結果

図2.15に破壊性状を、図2.16に荷重－変形角関係の包絡線および最大耐力を示す。形状が左右対称でない試験体SC075の荷重方向の図を付す。各試験体ともに、破壊性状および荷重－変形角関係からせん断破壊であることが確認できた。まず正側荷重では、SC075、SC100の両補強試験体の最大耐力が無補強の試験体SCNよりも1.3倍程度上昇していることがわかる。次に負側荷重では、SC100についてはSCNの1.3倍程度と正側と変わらないが、SC075は1.1倍程度と補強効果が少ないことがわかる。

SC075は補強位置が片寄っているため、耐力も荷重方向により異なっており、負側荷重時(補

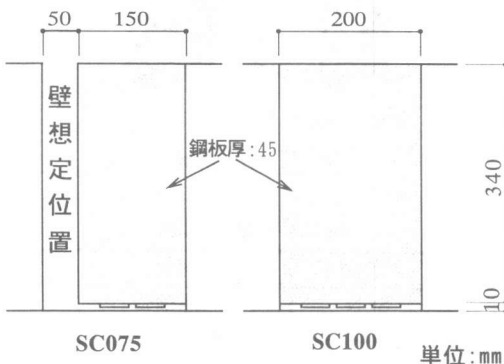


図 2.13 鋼板貼り付け位置

強が圧縮側にある時)で、SC100に比べ補強効果は小さかった。これは、SC075の壁想定部分コンクリートの剥落が、SC100より大きかったことに関係していると考えられる。(図2.15参照)

壁の付いた柱に本補強方法を適用するときは、その柱が補強された側に荷重がかかったとき(図2.16中の左側の図)の耐力で柱の性能を評価する必要があるといえる。

前節でおこなった一方向繰り返し載荷下での耐力上昇は2.5倍程度であったのに対して、正負繰り返し載荷下のSC100, SC075の耐力上昇は1.3倍程度となった。これは、繰り返しによりせん断ひび割れが試験体全体に広がり、スタッド位置を貫通したためであると考えられる。

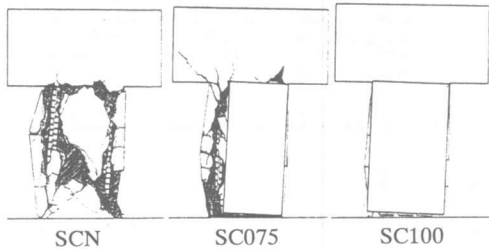


図 2.15 破壊性状

3. あと施工鉄筋補強

3.1 実験目的

この補強方法は、不足しているせん断補強筋をあと施工によって追加することをねらったものであり、壁付きの柱の場合に柱から壁を切り離すことなく補強を行うことが可能である。

3.2 実験概要

補強方法は、図3.1に示すように、異形鉄筋をあと施工により部材の載荷方向に挿入、定着するものである。12mm径のコンクリートドリルにより穿孔し、穴は貫通させている。あと施工鉄筋の定着の目的で、エポキシ樹脂系接着剤を使用した。載荷時のかぶりコンクリートの剥落に伴う鉄筋の落下を防ぐために、鉄筋は主筋の内側に配してある。

試験体は表3.1に示す2体で、被補強試験体は2章2節で用いたものと同一とする。あと施工鉄

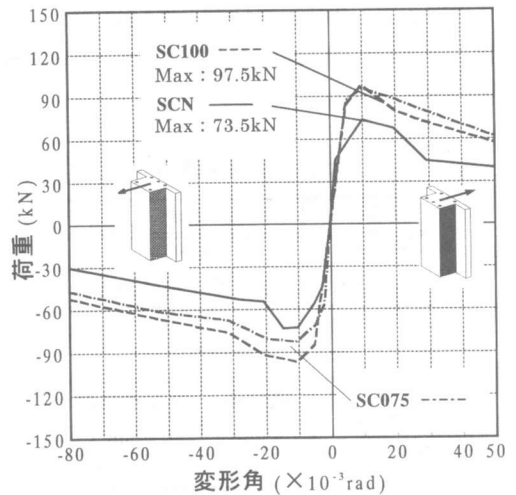


図 2.16 荷重-変形角関係

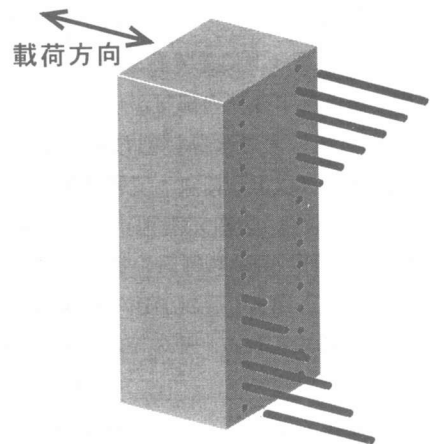


図 3.1 あと施工鉄筋補強

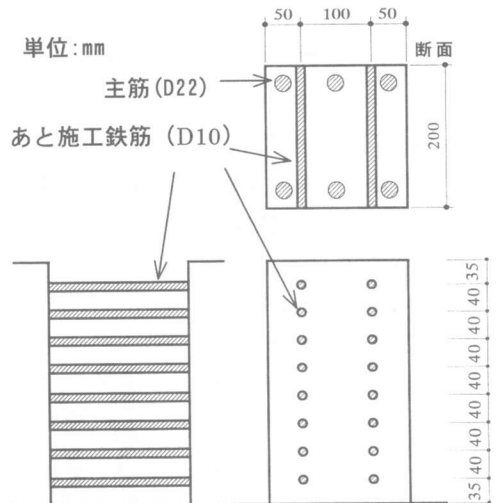


図 3.2 あと施工鉄筋埋め込み位置

筋の埋め込み位置を図3.2に示す。あと施工鉄筋以外の使用材料，軸力比，載荷方法，載荷履歴は2章2節と同じである。

表 3.1 試験体種類

試験体名	備考
SCN	無補強
SCD10	あと施工鉄筋補強

表 3.2 材料特性

呼称	降伏点 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
D10	350	2.06×10 ⁵

3. 3 実験結果

両試験体ともせん断ひび割れが大きく生じ，コアコンクリートにまで剥落が及んだ。SCD10では，あと施工鉄筋の部材からの抜け出しが確認された後に大きなひび割れを生じたことから，鉄筋の抜け出しによって強度が決まったものと考えられる。(図3.3参照)

図3.4に荷重-変形角関係の包絡線および最大耐力を示す。図より，SCD10の最大耐力の大幅な増加が認められる，その増加率は1.65倍であった。

あと施工した鉄筋をせん断補強筋と見なし，大野・荒川mean式によってせん断耐力を計算した。表3.3にSCNとSCD10との実験値および計算値を示す。実験値と計算値はよい対応を示していることが分かる。

本補強方法は載荷方向に鉄筋を挿入するため，載荷方向に直角な鉄筋が存在せず，コアコンクリートの拘束効果は期待できない。今後は，このことが及ぼす影響を明らかにする必要がある。実際の施工を考えたとき，既存鉄筋位置の確認が重要となるが，壁付き柱などへの補強にも対応した適応性の高い補強方法であるといえる。

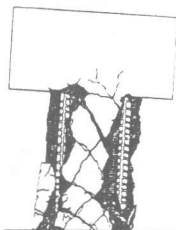


図 3.3 破壊性状

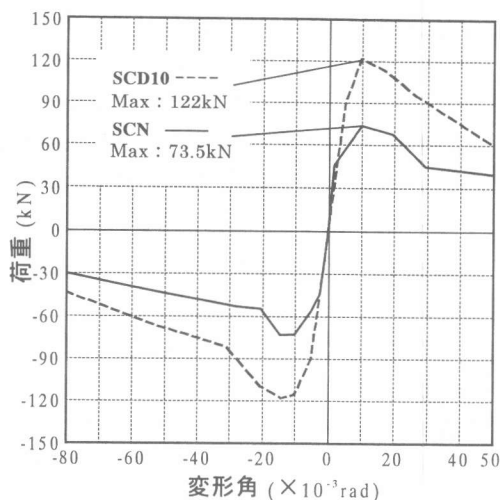


図 3.4 荷重-変形角関係

表 3.3 実験値・計算値

試験体名	実験値	計算値
SCN	7.5	7.36
SCD10	12.4	12.44

4. 結論

①「スタッドを用いた鋼板貼り付け補強」は，繰り返し載荷を受ける柱や壁の付いた柱への適用においては，せん断耐力を最大で1.3倍程度しか上昇させることが出来ず，大きな補強効果があるとは言いがたい。しかし，一方向載荷下の梁の場合には，せん断耐力を2.5倍程度上昇させることができ，その効果は高い。繰り返しによる劣化が大きいことなどからスタッドの定量的補強効果を示すことはできなかった。

②「あと施工鉄筋補強」は，繰り返し載荷下においてせん断耐力を約1.65倍上昇させる高い補強効果が得られた。既存鉄筋位置の確認が重要となるが，壁付き部材などへの補強にも対応した適応性の高い補強方法であるといえる。大野・荒川mean式によるせん断耐力の計算値と実験値でよい対応を示した。

【参考文献】 1) 三浦孝之ほか：接着工法を用いた鋼材によるRC部材の耐震補強，日本建築学会学術講演梗概集，C-2，No.23080，pp.159-160，1998