

既存コンクリート構造物のせん断補強工法「スパイラルアンカー」の開発

孔壁内面に目粗し処理を施したあと施工せん断補強工法

山本 和範*1・佐藤 文則*2・三島 徹也*1

Development of Post Shear Reinforcing Method “Spiral Anchor” for Existing Concrete Structures
– Post Shear Reinforcing Methods by Processing Roughness for Inside Wall of Drilling Hole –

Kazunori YAMAMOTO, Fuminori SATOH, Tetsuya MISHIMA

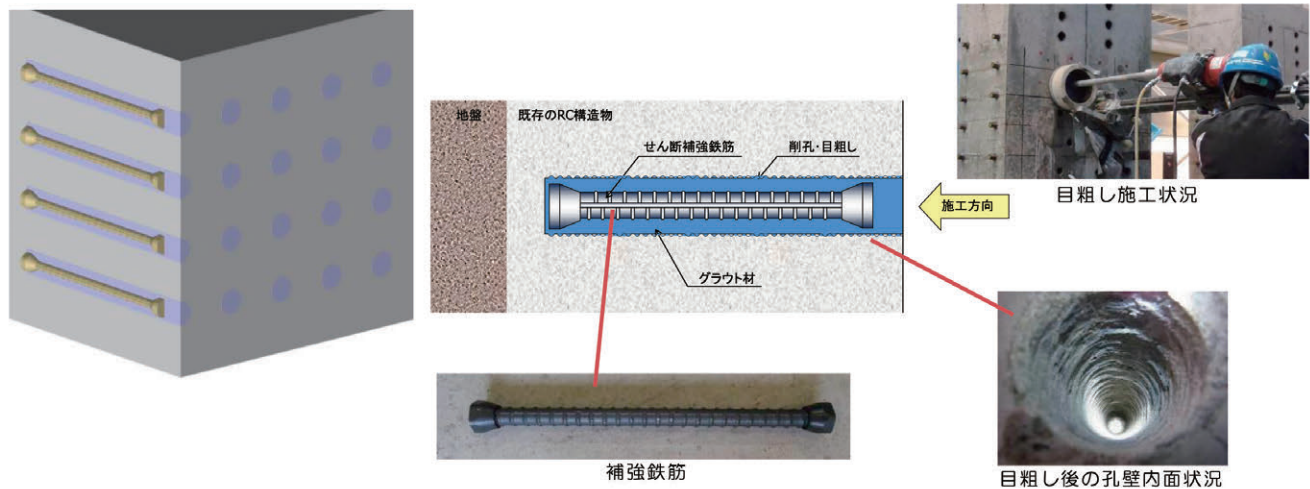


図-1 スパイラルアンカー工法の概要

研究の目的

旧耐震設計法で設計されたコンクリート構造物の中には、せん断補強鉄筋が不足し、現行の設計基準で照査すると耐震性能を満足せず、補強が必要な構造物が少なくない。また、背面が地盤と接するような地下・半地下構造物に対する補強工事では内側からしか施工できないことや、鋼板等を巻き立てる従来の方法では内空断面積を減少させるなど、施工性や機能性の観点から有効な補強方法が存在しない。そこで、これらの問題を解決できるせん断補強方法を開発した。

技術の説明

スパイラルアンカーは、供用中のコンクリート構造物を対象にあと施工でせん断補強を行う工法である。構造物の表面からコアドリルを用いて削孔を行った後、孔壁内面に目粗し処理を施した孔内に、端部に定着体を取り付けた補強用鉄筋の挿入とグラウトを注入し、構造躯体と一体化させることによって耐震性の向上を図る。孔壁内面に対し目粗しによる凹凸と鉄筋端部定着体の拡底形状によって付着強度や引抜に対する抵抗力および既設躯体との一体性が向上するとともに、従来から難しいとされていた供用中の地下・半地下構造物に対し、内側からの補強施工が可能であることや、せん断耐力／曲げ耐力の比を向上することができ、効果的な耐震補強工法である。

主な結論

- ・ 梁部材を用いた載荷実験では、スパイラルアンカーによってあと施工せん断補強したせん断耐力の補強効果は、標準の半円形フック鉄筋でせん断補強した部材のせん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力寄与分に有効率を乗じたものとして評価できることを確認した。
- ・ スパイラルアンカーは、せん断補強性能や定着性能といった力学的性能のほか、施工の容易性や迅速性、確実性についてその性能が認められ、一般財団法人土木研究センターより建設技術審査証明を取得した工法である（建技審証 第1402号）。

*1 本店 技術研究所

*2 本店 土木技術部 技術開発グループ

既存コンクリート構造物のせん断補強工法 「スパイラルアンカー」の開発

山 本 和 範 ^{*1} 佐 藤 文 則 ^{*2}
三 島 徹 也 ^{*1}

要 旨

スパイラルアンカーは、供用中のコンクリート構造物を対象にあと施工でせん断補強を行う工法である。構造物の表面からコアドリルを用いて削孔を行った後、孔壁内面に目粗し処理を施した孔内に、端部に定着体を取り付けた補強用鉄筋の挿入とグラウトを注入し、構造躯体と一体化させることによって耐震性の向上を図る。孔壁内面に対し目粗しによる凹凸と鉄筋端部定着体の拡底形状によって付着強度や引抜きに対する抵抗力および既設躯体との一体性が向上するとともに、従来から難しいとされていた供用中の地下・半地下構造物に対し、内側からの補強施工が可能であることや、せん断耐力／曲げ耐力の比を向上させることができる効果的な耐震補強工法である。

梁部材による載荷実験結果より、スパイラルアンカーを用いてあと施工せん断補強したせん断耐力の補強効果は、標準の半円形フック鉄筋でせん断補強した部材のせん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力寄与分に有効率を乗じたものとして評価できることを確認した。

キーワード あと施工／せん断補強／目粗し／有効率／必要定着長／耐震

目 次

- | | |
|-----------------|------------|
| 1. はじめに | 3. 補強効果の検証 |
| 2. スパイラルアンカーの概要 | 4. まとめ |

DEVELOPMENT OF POST SHEAR REINFORCING METHOD “ SPIRAL ANCHOR ” FOR EXISTING CONCRETE STRUCTURES

Kazunori YAMAMOTO Fuminori SATOH
Tetsuya MISHIMA

Synopsis:

“Spiral Anchor” is the post shear reinforcing method for existing concrete structures. The earthquake-resistance of them is improved by inserting reinforcing bars and pouring grout in the drilling holes which are processed surface roughing for inside wall of drilling holes, after core drilling from the surface of the existing concrete structures. The adhesion strength, resistance against drawing force and unification of existing concrete structures are improved by roughing of inside wall of drilling hole and expansion shape of the both end of reinforcing bars. It is possible to reinforce existing basement or semi-basement structures from the inside of them which used to be difficult to reinforce in the past. Furthermore, it is the efficient seismic reinforcement method which can improve the ratio of shear capacity / flexural capacity.

From the load test of beam, it is confirmed that the shear reinforcement effect of “ spiral anchor ” can be evaluated by the effective ratio for the shear capacity of members which is reinforced by standard hook.

* 1 本店 技術研究所

* 2 本店 土木技術部 技術開発グループ

1. はじめに

阪神・淡路大震災以前の耐震設計法によって設計され、現在でも供用されているコンクリート構造物では、現行の耐震設計法においてレベル 2 地震動に相当する地震力を受けた場合に、部材のせん断耐力やじん性が不足することが懸念される。また、背面が地盤に接する半地下・地下構造物に対し、構造物の内側から施工する補強方法として RC 増し厚工法等による補強方法がある。この方法では補強後に断面の大きさが増加するため、水路トンネルや貯水槽等では計画水量を確保できないといった問題がある。そこで、構造物の機能を損なわずに内空側から施工可能な補強工法「スパイラルアンカー」を開発した。この工法によれば供用中の構造物に対して片側からのみ施工が可能で、かつ、せん断耐力のみを向上し、せん断耐力／曲げ耐力の比を向上することができるため、効率的な耐震性向上が可能な補強方法である。本工法は「『スパイラルアンカー』～孔壁内面に目粗し処理を施したあと施工せん断補強鉄筋～」として、2014 年 3 月に建設技術審査証明を取得した。本報では、スパイラルアンカーの概要について述べるとともに、その補強効果について報告する。

2. スパイラルアンカーの概要

2.1 特徴

スパイラルアンカーは供用中のコンクリート構造物に対し、あと施工でせん断補強を行う工法である。既存構造物の表面から削孔した後、孔壁内面に目粗し処理を施した孔内に、両端に定着具を取り付けた補強用の鉄筋の挿入とグラウトの注入を行って既存構造物と一体化させ、構造物全体の鉄筋量を増やすことによって耐震性の向上を図るものである。スパイラルアンカーによる既存構造物の補強イメージを図-1 に、本工法の特徴を以下に示す。

- ①コアドリルを用いることにより打撃破壊を伴わない削孔手法のため、孔壁周辺の微細ひび割れの発生がほとんどなく、既存躯体へのダメージが少ない。
- ②大型、特殊な施工機械を必要としないため、施工が容易で狭あいな場所でも施工が可能である。
- ③騒音や振動、粉じんの発生が少ないため施工環境が良く、近隣周辺への配慮に対し有効である。
- ④孔壁内面に目粗しを施すことにより孔壁面とグラウトの界面の付着強度が向上し、既存躯体との高い一体性が確保できる。
- ⑤補強用の鉄筋には、拡底形状をした小型の定着具を両端部に取り付けた鉄筋を用いることにより、短い定着長で大きな引抜耐力が得られる。

2.2 施工方法

スパイラルアンカーの施工フローを図-2 に、代表的な施工手順を図-3 に示す。スパイラルアンカーは上向き、

下向き、横向きいずれの方向でも施工可能である。図-3 では横向きの施工状況で、グラウトを先に注入した後に鉄筋を挿入する手順を示す。施工手順における主な施工要素は、①削孔の位置出し、②削孔、③目粗し、④グラウト注入、⑤鉄筋挿入、⑥表面仕上げである。

スパイラルアンカーは既存構造物において既に配置されている鉄筋の間に施工するため、本施工前に鉄筋の位置を探索し、主鉄筋・配力筋を避けた場所に削孔位置を定める。既設鉄筋の探索方法として、例えば電磁波を利用した電磁波レーダ法などがある。

削孔と目粗しはダイヤモンドコアドリルを用いて行う。削孔位置にコアドリルを固定して削孔を行った後、コアドリル先端のダイヤモンドコアビット（削孔ビット）を目粗し専用のビット（目粗しビット）に取り替え、ビット回転させながら孔内を押し込むことによって孔壁内面に凹凸をつける。目粗し後の孔内はグラウト注入前に削孔・目粗し時の循環水により清掃を行う。

グラウト注入と鉄筋挿入では、削孔内に可塑性グラウトを注入してから補強鉄筋を差込み固定する「先注入法」と、補強鉄筋を挿入してからグラウトを注入し固定する「あと注入法」があり、それぞれに施工手順およびグラ

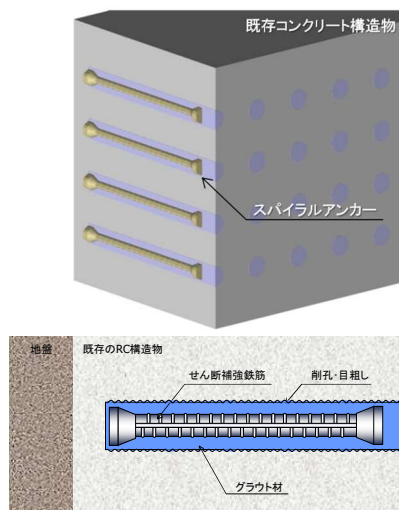


図-1 スパイラルアンカーの施工概要

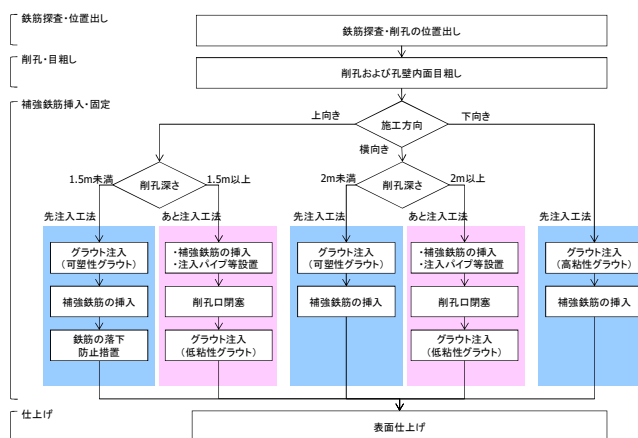


図-2 スパイラルアンカーの施工フロー

ウト材の種類が異なる。なお、あと注入法は部材厚さが特に大きい場合等を対象とした施工手順であり、一般的な構造物に対しては先注入法が適用頻度が高い方法と言える。

グラウト注入および鉄筋挿入を完了した後、余分に漏れたグラウトを除去し、コテ等で表面仕上げを行って施工を完了する。

2.3 目粗し

削孔ビットと目粗しビットおよび目粗し前後の孔壁内面の変化を図-4 に示す。目粗しは「プレキャストパネルによる橋脚の水中耐震補強工法（PRISM 工法）」に採用されている施工技術である¹⁾。目粗しビットによる孔壁面処理は次のような特徴がある。①削孔内の壁面は凹凸の仕上がりとなるため、付着強度が向上し、補強鉄筋の引抜抵抗力が増強する。②目粗し作業にはコアドリルを使用するので特殊な専用機械が不要である。③削孔後専用の目粗しビットをコアビットと取り換えるだけなので、大掛かりな段取り換えが不要である。④作業要領は削孔とほぼ同様なので容易な施工が可能である。⑤チューブの継ぎ足しにより長尺目粗しが可能である。

目粗しが孔壁内面とグラウト界面の付着強度に及ぼす影響を図-5 に示す²⁾。ここで、「目粗しなし」とはダイヤモンドコアドリルによって削孔した後の孔壁内面の状態とし、ハンマードリル等を用いて削孔した後の状態は含まれない。また、この実験では補強鉄筋降伏前の孔壁内面とグラウトの付着性能を調べるために、鉄筋には直径 25mm の総ねじ PC 鋼棒を使用し、終局時にはコンクリートとグラウトの界面において破壊させる計画とした。

図より、目粗しありの場合では鉄筋が抜け出すことなく、鉄筋の実降伏荷重の 90%に達することで載荷を終了

した。一方、目粗しなしの場合は SD345 の規格降伏強度に達する手前で削孔壁面とグラウト界面での付着が剥がれて鉄筋とグラウトが一体のまま抜け出し、急激に変位が増加して荷重が低下した。目粗しなしの状態では規格降伏強度を超える引抜耐力を得られないため目粗しは必要であることがわかる。なお、抜出し変位は、母材コンクリートと補強鉄筋の相対的な変位を計測した。また、試験体コンクリートの圧縮強度は約 51N/mm²、注入グラウトの圧縮強度は約 42N/mm²であった。

2.4 補強鉄筋

スパイラルアンカーに用いる補強鉄筋には、図-6 に示すように、拡底形状をした小型の定着具を両端部に取り付けた鉄筋を用いる。スパイラルアンカーはあと施工による補強工法であるため、標準フックによる定着は難しいことから、定着具を用いた機械式定着工法を採用した。これにより短い定着長で大きな引抜耐力を得ることが可能である。なお、鉄筋端部と定着具の接合には「～テーパネジを用いた機械式定着鉄筋～『TP ナット鉄筋』⁴⁾（建技審証 第 1010 号）」に用いられる接合方法を採用した。これは、鉄筋端部をネジ加工して雄ネジとし、それに螺合する定着具（雌ネジ）を所定のトルクまで締め付けることによって接合を行うものである。

2.5 充填材

削孔した孔内に充填するグラウト材の種類は、施工手順（鉄筋挿入より先か後か）、施工方向（上向き、下向き、横向き）によって異なる。なお、一般的な構造物では鉄筋よりも前に注入する「先注入法」が適用される場合が多いことから、先注入法に用いるグラウト材の特性

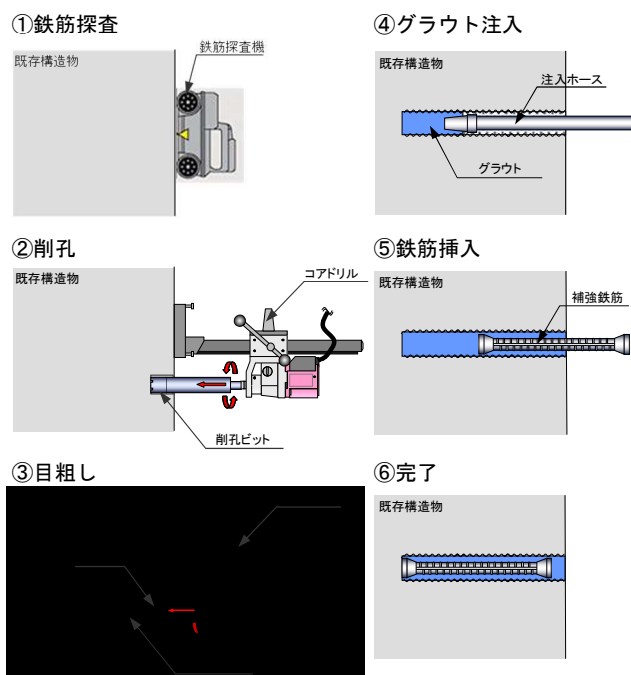


図-3 スパイラルアンカーの施工手順

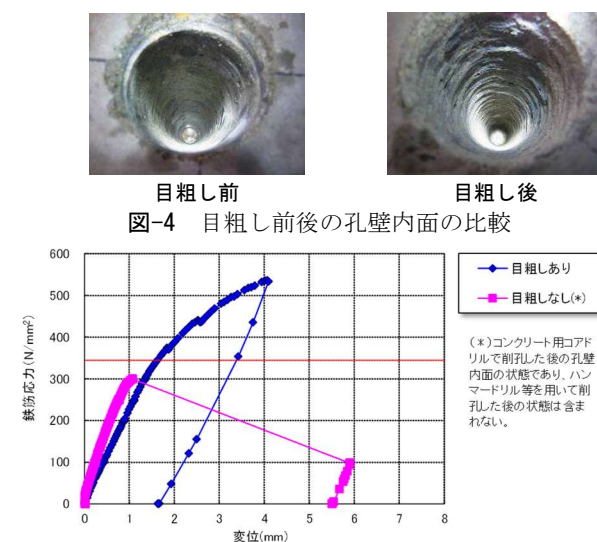


図-5 鉄筋応力と抜出し変位の関係



図-6 補強鉄筋の形状

圖-10 載荷裝置

せん断スパン区間に生じた鉛直方向の曲げひび割れが作用せん断力 190kN 付近で斜めに方向を変えた後、最大荷重 219kN で圧縮側へ貫通して荷重が低下した。負側載荷では -196kN 付近でのせん断ひび割れの発生に伴って荷重が低下した。その後、荷重が若干増加する傾向が見られ、-207kN 付近で再度せん断ひび割れが進展したことにより荷重が低下した。

せん断補強鉄筋のない試験体に、スパイラルアンカーを用いてあと施工によりせん断補強鉄筋を追加した CASE2 試験体では、400kN 付近でせん断ひび割れが圧縮側へ進展し、正側では 406kN を最大荷重として破壊に至った。その後の負側載荷では正側よりも大きい -442kN まで荷重が上昇した。

予め両端フックのせん断補強鉄筋を配置した試験体に、スパイラルアンカーによってあと施工補強した CASE3 試験体では、600kN を超えるあたりからせん断ひび割れが圧縮側へ徐々に進展し、正側の最大荷重は 721kN となった。規格強度に基づくせん断耐力の計算値に達してもせん断補強鉄筋は降伏しなかったが、最大荷重時にはせん断補強鉄筋の多くが降伏ひずみに至った。その後の負側載荷では正側よりも小さい -610kN で荷重が低下した。

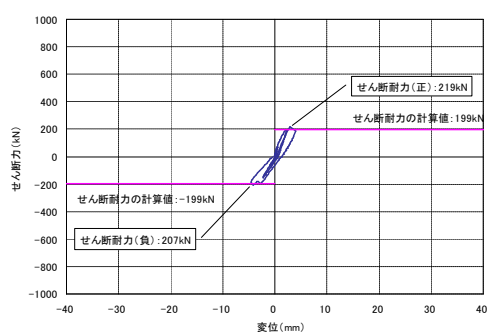


図-11 せん断力-変位関係 (CASE1)

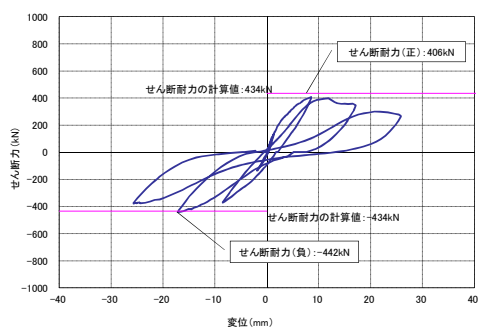


図-12 せん断力-変位関係 (CASE2)

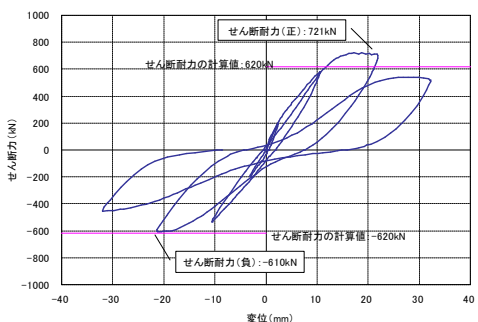


図-13 せん断力-変位関係 (CASE3)

CASE1～CASE3 のいずれも梁中央の主鉄筋に貼り付けたひずみゲージの値で主鉄筋の降伏は確認されておらず、破壊モードはせん断破壊であった。

(2) せん断補強鉄筋のひずみ

図-14～図-17 に CASE2 および CASE3 試験体の最大荷重経験時におけるせん断補強鉄筋のひずみ分布、および比較的大きなせん断ひび割れを架橋するせん断補強鉄筋のせん断力-ひずみ挙動を示す。スパイラルアンカーを用いてあと施工により追加したせん断補強鉄筋のひずみ分布は、せん断ひび割れが発生している箇所のせん断補強鉄筋において大きなひずみが計測されており、せん断ひび割れを架橋するせん断補強鉄筋が大きなせん断耐力を負担していることがわかる。また、せん断補強鉄筋のひずみ挙動は、せん断力が大きくなるにしたがって増加しており、CASE3 試験体においてはあと施工を含む複数のせん断補強鉄筋のひずみが、最大せん断耐力経験時に規格降伏強度相当の降伏ひずみを超えている。

以上より、スパイラルアンカーを用いてあと施工でせん断補強したせん断補強耐力に対するひずみ挙動および分布が、両端フック型の通常のせん断補強鉄筋と同様であり、スパイラルアンカーによってあと施工したせん断補強鉄筋がせん断ひび割れを架橋することにより、通常のせん断補強鉄筋と同様にせん断耐力を負担できることを確認した。すなわち、スパイラルアンカーのせん断耐力負担は一般的な梁と同様に、土木学会コンクリート標準示方書【設計編】による、トラス理論を基本として評価できると考えられる。

3.3 スパイラルアンカーによるせん断補強効果

(1) せん断補強効果の考え方

スパイラルアンカーは既存構造物に対して後からせん断補強を施すため、通常の標準フックによる補強とは異なる。そのため、土木学会コンクリート標準示方書【設計編】に示される、トラス理論に基づく棒部材の設計せん断耐力式におけるせん断補強鉄筋が負担するせん断力をすべて見込むことは難しい。そこで、以下に示すような、折曲部で破断したスターラップが負担するせん断補強効果に関する評価方法⁵⁾に準じて、スパイラルアンカーによるせん断補強効果を評価した。

図-18 のように、斜めひび割れに交差するせん断補強鉄筋を考えたとき、斜めひび割れが破断位置にある場合は、そのせん断補強鉄筋は応力を負担することができず、一方、破断位置から定着長さ l_y だけ離れたせん断補強鉄筋の位置では、付着により十分な定着性能が確保されていると判断され、降伏強度相当のせん断力を負担することができる。また、破断位置から定着長さ l_y 以下の範囲に斜めひび割れがあるせん断補強鉄筋は、ある程度のせん断力は負担できるが定着性能が低下しているため、負

担できるせん断力が低下する。その場合について、せん断ひび割れからのせん断補強鉄筋の定着長に従って負担できるせん断力を線形と仮定したのが図-18 に示す概念図である。この仮定によれば、破断した鉄筋の平均化した負担応力の低下率 η は次式で表すことができる。

$$\eta = (d - d') / l_y \quad \text{if } (d - d') \leq 2l_y \quad [2]$$

$$\eta = 1 - l_y / (d - d') \quad \text{if } (d - d') > 2l_y \quad [3]$$

ここで、 η ：破断した鉄筋の平均化した応力低下率
 d ：圧縮縁から引張鉄筋までの有効高さ
 d' ：圧縮縁から圧縮鉄筋までの距離
 l_y ：定着長

一部のせん断補強鉄筋のみが破断している場合には、その破断割合 α を考慮すると、破断したせん断補強鉄筋を含む有効せん断補強効果割合 β は次式となる。

$$\beta = \eta\alpha + (1 - \alpha) \quad [4]$$

ここで、 β ：破断したせん断補強鉄筋を含む有効せん断補強効果割合
 α ：破断割合

すなわち、すべてのせん断補強鉄筋が有効であるとして、トラス理論に基づきコンクリート標準示方書で算出したせん断補強鉄筋が負担するせん断耐力分に有効せん断補強効果割合 β を乗じることにより、破断により定着不良であるものを含むせん断補強鉄筋のせん断耐力負担分を評価することができる。

以上の考え方にスパイラルアンカーを用いたせん断補強鉄筋の定着性能を適用することにより、スパイラルアンカーを用いたせん断補強鉄筋のせん断補強効果を評価

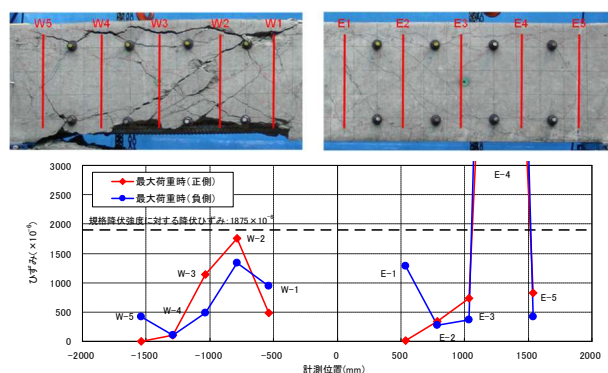


図-14 最大荷重時のせん断補強鉄筋のひずみ分布 (CASE2)

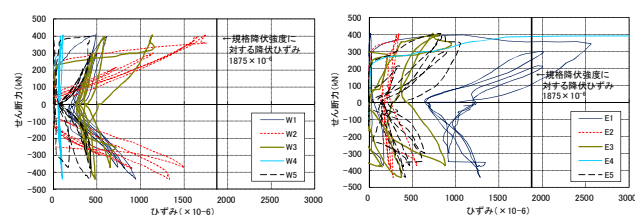


図-15 せん断補強鉄筋のひずみ挙動 (CASE2)

する。スパイラルアンカーの場合、 $4.5D$ (D ：鉄筋径)以上の定着長があると定着が十分であることが実験により確認されている³⁾。スパイラルアンカーを用いたせん断補強鉄筋の定着長 l_y が $4.5D$ であること、およびスパイラルアンカーの適用部材における主鉄筋間隔が $2l_y$ 以上であるとする、スパイラルアンカーを用いたせん断補強鉄筋の応力低下率 η の算出では、式[3]を基本とすることができる。また、式[4]においてあと施工のせん断補強鉄筋はすべて両端からの定着長により定着されることから $\alpha=1$ とすると、スパイラルアンカーを用いたせん断補強の有効率 β_{aw} は式[5]により算出することができる。

$$\beta_{aw} = \eta = 1 - l_y / (d - d') \quad \text{ただし, } (d - d') > 2l_y \quad [5]$$

(2) スパイラルアンカーによるせん断補強効果の評価

上記の考え方に基づく、スパイラルアンカーによるせん断耐力の有効率 β_{aw} を実験結果に基づいて評価する。

スパイラルアンカーによってあと施工されたせん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力 V_{spa} は式[6]に示すように、梁の載荷実験によって求められたせん断耐力

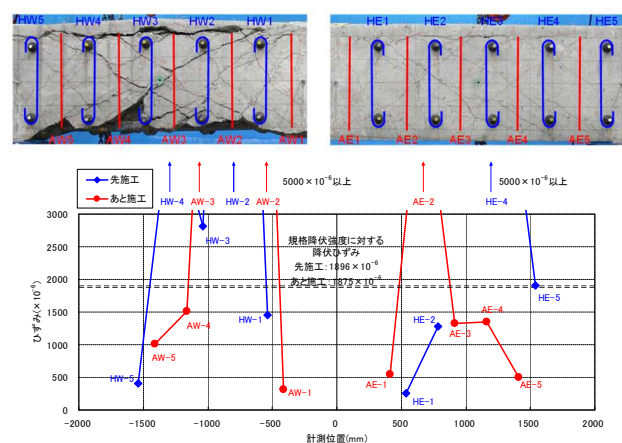
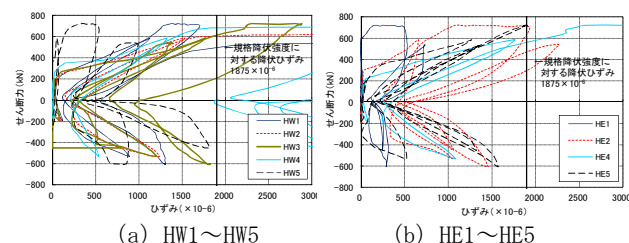
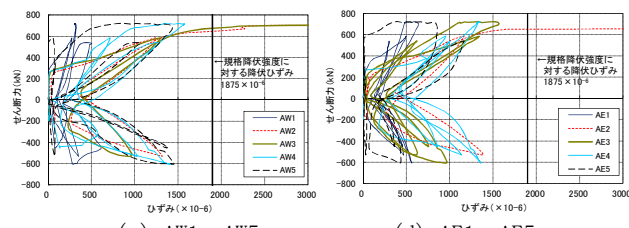


図-16 最大荷重時のせん断補強鉄筋のひずみ分布 (CASE3)



(a) HW1~HW5

(b) HE1~HE5



(c) AW1~AW5

(d) AE1~AE5

図-17 せん断補強鉄筋のひずみ挙動 (CASE3)

から、コンクリートのみに受け持つせん断耐力 V_c と両端フックのせん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力 V_s を差し引いて求められる。そして、スパイラルアンカーによるせん断耐力の有効率 β_{aw} の実験値は、あと施工によるせん断補強鉄筋を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する有効率で表すことができ、式 [7] のように評価することができる。

$$V_{spa} = V_{y_exp} - (V_{c_exp} + V_{s_cal}) \quad [6]$$

$$\beta_{aw} = V_{spa} / V_{s_cal} \quad [7]$$

ここで、 V_{spa} : スパイラルアンカーによって負担されるせん断耐力

V_{y_exp} : 実験で得られた試験体のせん断耐力

V_{c_exp} : 実験で得られたせん断補強鉄筋なしのせん断耐力

V_{s_cal} : 両端フックのせん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力の計算値

β_{aw} : スパイラルアンカーのせん断耐力の補強効果を示す有効率

V_{s_cal} : あと施工によるせん断補強鉄筋を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合の、せん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力の計算値

表-3 に各試験体の実験結果、および土木学会コンクリート標準示方書【設計編】に基づいて算出した設計計算値を示す。計算値はすべてコンクリート標準示方書に示される算出式の安全係数を全て 1.0 として算出し、せん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力 V_{s_cal} 、 $V_{s'_cal}$ は実降伏強度を用いて算出した。また、コンクリートによって負担されるせん断耐力の実験値 V_{c_exp} は CASE1 試験体の結果を、CASE2 および CASE3 試験体に適用した。なお、せん断耐力の実験値はいずれの試験ケースにおいても正側、負側の最大値の平均とした。

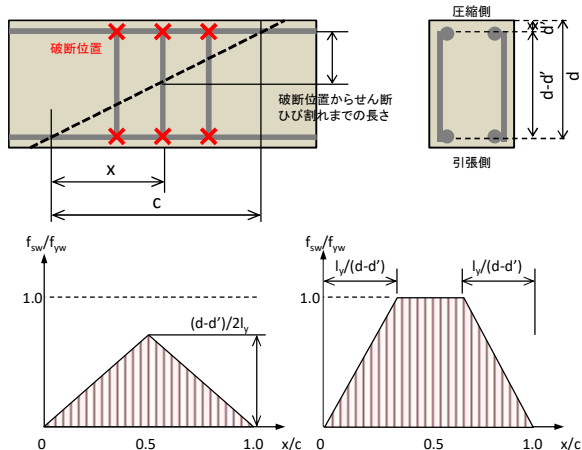


図-18 斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋応力

表-3 より、スパイラルアンカーによってあと施工されるせん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} は、CASE2 試験体では 0.91、CASE3 試験体では 0.95 となり、スパイラルアンカーによってあと施工されたせん断補強鉄筋の有効率 β_{aw} は、以下に示す、式 [8] により求めた有効率 β_{aw_cal} を上回る結果となった。

$$d - d' = 372\text{mm}, l_y = 72\text{mm} (4.5D, D=16\text{mm}) \text{ より,}$$

$$\beta_{aw_cal} = 1 - l_y / (d - d') = 1 - 72 / 372 = 0.81 \quad [8]$$

得られた有効率の計算式を用いて、安全率 $\gamma_{b1.1}$ を見込んだせん断耐力の計算値と実験値（正側・負側の最大値）との比較を表-4 および図-19 に示す。これらより、実験結果から得られるせん断耐力の正側、負側の最大値はいずれも計算値を上回る結果となった。したがって、スパイラルアンカーのせん断耐力の計算式は、安全率を見込むことにより設計上、安全側となることが確認された。

以上より、スパイラルアンカーによってあと施工補強された RC 部材のせん断補強効果は、あと施工せん断補強鉄筋を通常のせん断補強鉄筋と見なしてトラス理論に基づいて求められるせん断耐力負担分に、式 [5] による有効率 β_{aw} を乗じることにより評価できることが分かった。

式 [5] に基づき、補強対象の部材厚さとせん断補強の有効率の関係を図-20 に示す。圧縮側主鉄筋の芯かぶり $d'=60\text{mm}$ 、スパイラルアンカーの必要定着長を $4.5D$ (D : 鉄筋径) としたときの有効率を示す。ただし、本

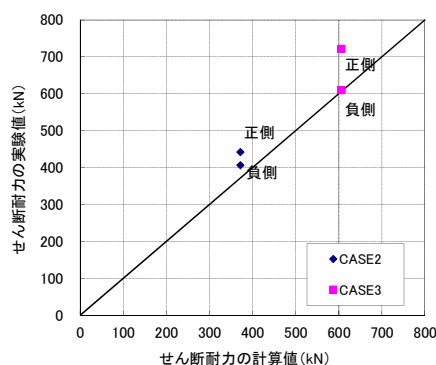


図-19 せん断耐力の実験値と設計計算値の比較

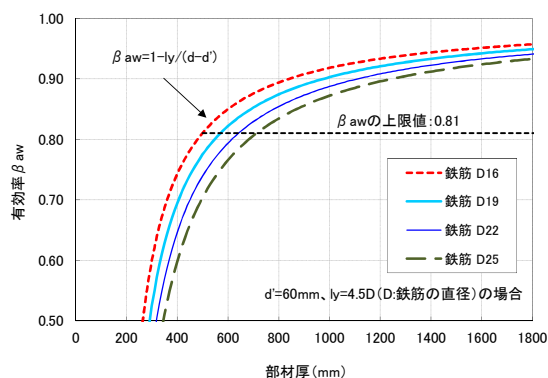


図-20 部材厚と有効率の関係

表-3 実験と計算による有効率の比較（有効率の比較）

試験体 NO.	せん断補強鉄筋の仕様	せん断耐力の計算値 (kN) ※1)				せん断耐力の実験値 (kN)			有効率	
		Vy_cal※2)	Vc_cal※3)	Vs_cal※4)	Vs'_cal※5)	Vy_exp	Vc_exp	Vspa※6)	計算値 β_{aw_cal}	実験値 β_{aw_exp} ※7)
CASE1	せん断補強鉄筋なし	199	199	—	—	213	213	—	—	—
CASE2	SD345 D16 あと施工せん断補強	434	202	—	232	424	213	211	0.81	0.91
CASE3	SD345 D16 先施工(両端フック)+あと施工	668	204	232	232	666	213	220		0.95
備考	※1) コンクリート標準示方書【設計編】に基づき、安全係数は1.0とした計算値 ※2) $Vy_cal = Vc_cal + Vs_cal + Vs'_cal$ ※3) 実験時のコンクリート強度に基づく計算値 ※4) 実降伏強度に基づく計算値 ※5) あと施工によるせん断補強鉄筋を通常のせん断補強鉄筋と見なした場合の、実降伏強度に基づく計算値 ※6) $Vspa = Vy_exp - Vc_exp - Vs_cal$ ※7) $\beta_{aw_exp} = Vspa / Vs'_cal$									

表-4 せん断耐力の実験値と設計計算値の比較

試験体 NO.	せん断補強鉄筋の仕様	せん断耐力の計算値 (kN) ※1)						せん断耐力の実験値 (kN)	
		Vy_cal※2)	Vc_cal※3)	Vs_cal※4)	Vs'_cal※5)	β_{aw_cal}	γb	正側 Vy_exp	負側 Vy_exp
CASE1	せん断補強鉄筋なし	199	199	—	—	—	1.1	219	207
CASE2	SD345 D16 あと施工せん断補強	372	202	—	170	0.81	1.1	442	406
CASE3	SD345 D16 先施工(両端フック)+あと施工	606	204	232	170	0.81	1.1	721	610
備考	※1) コンクリート標準示方書【設計編】に基づき、安全係数は1.0とした計算値 ※2) $Vy_cal = Vc_cal + Vs_cal + Vs'_cal$ ※3) 実験時のコンクリート強度に基づく計算値 ※4) 実降伏強度に基づく計算値 ※5) $Vs'_cal = \beta_{aw_cal} \times Vs_cal / \gamma b$ (γb : 安全率)								

実験で用いた以外の部材厚に対する有効率については確認していないため、設計に用いる有効率は安全側の配慮として上限値を設定して用いることとし、有効率の上限値は、式 [8] に基づいて算出される有効率と本実験結果から $\beta_{aw} = 0.81$ とする。

4. まとめ

スパイラルアンカーは供用中のコンクリート構造物に対し、あと施工でせん断補強を行う工法である。既存コンクリート構造物の表面から削孔した後、孔壁内面に目粗し処理を施した孔内に、両端に定着具を取り付けた補強用鉄筋の挿入とグラウトの注入を行って既存構造物と一体化させることによって耐震性の向上を図る。削孔・目粗しにはコアドリルを用いるため既存躯体へのダメージが少ない、低騒音、低振動、低粉塵、狭あいな場所でも施工が可能といった特長がある。また、孔壁内面に目粗しを施すことにより孔壁面とグラウトの界面の付着強度が向上するなど、品質が高く、確実な補強効果が得られる工法である。梁部材を用いた載荷実験結果より、スパイラルアンカーによるせん断補強効果は、土木学会コンクリート標準示方書に示されるせん断耐力式に、スパ

イラルアンカーの必要定着長に基づく有効率を乗じることにより、安全側に評価できることを確認した。

参考文献

- 1) 鈴木顕彰，小原孝之，三島徹也，田畑稔，西川浩二，中原勝一：PRISM 工法（プレキャストパネルによる橋脚の耐震補強工法）の開発と水中橋脚への適用，前田建設技術研究所報，Vol.41，2000
- 2) 伊藤始，渡部正，竹内秀聡，山下賢司，鈴木理人：後施工アンカーの定着性能に及ぼす孔壁面粗度の影響，前田建設技術研究所報，Vol.48，2007
- 3) 土木研究センター：孔壁内面に目粗し処理を施したあと施工せん断補強鉄筋「スパイラルアンカー」，建設技術審査証明報告書，2014.3
- 4) 米田大樹，竹内秀聡，吉良拓人，舟橋政司，伊藤始，島弘：鉄筋端部にネジ加工を施して取り付けけた機械式定着工法の開発，前田建設技術研究所報，Vol.50，2009
- 5) 土木学会：土木学会アルカリ骨材反応対策小委員会報告書，コンクリートライブラリー124，2005，pp II -90-II -96