

孔壁面を目粗し処理したあと施工アンカーを用いた既設 RC 構造物のせん断補強工法(スパイラルアンカー)の適用性拡大に関する研究

山本 和範*¹・末永 怜士*¹・米田 大樹*¹・小原 孝之*²・中島 良光*²

A Study on the Applicability Expansion of Post Shear Reinforcing Method “Spiral Anchor” for Existing Concrete Structure by Anchoring with Roughening on the Inside Wall of Drilling Holes

Kazunori YAMAMOTO, Satoshi SUENAGA, Taiju YONEDA, Takayuki OBARA, Yoshimitsu NAKAJIMA

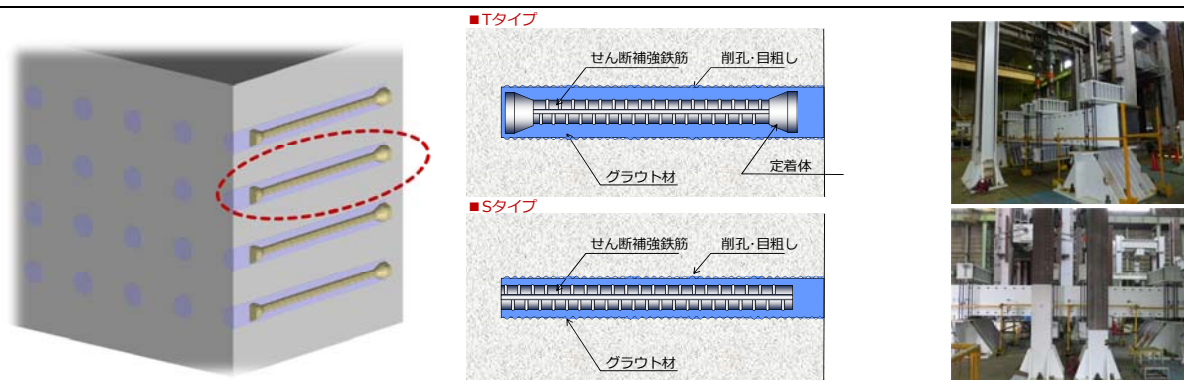


図-1 スパイラルアンカーの鉄筋形状タイプ

図-2 梁部材を用いた荷重実験状況

研究の目的

既開発の「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『スパイラルアンカー』」のさらなる適用性および施工性向上を図ることを目的として、①アンカー筋形状の改良、②鉄筋径の適用範囲拡大、③高強度鉄筋への適用に関する検討を行った。これらは、スパイラルアンカーによるあと施工せん断補強を施した梁部材試験体を用いて荷重実験を行い、補強後のせん断耐力を把握することによってせん断補強性能の確認を行った。それらの結果を受けてスパイラルアンカーの設計式および有効率の妥当性を評価し、せん断耐力算定の合理的な評価方法について検討した。

技術の説明

スパイラルアンカーは既設 RC 構造物を対象としたあと施工による耐震補強工法で主にせん断補強を目的とした工法である。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向上が可能である。削孔・目粗しにはコアドリルを用いるため、孔壁周辺の微細ひび割れの発生を抑え、既存躯体へのダメージが小さいという特徴がある。また、施工が容易で狭あいな場所でも施工が可能であることや、騒音や振動、粉じんの発生が少ないため作業環境が良いこと、および孔壁内面の目粗し処理により孔壁面とグラウトの界面の付着強度が向上し、既存躯体との一体性が高い工法である。

主な結論

- ・ スパイラルアンカーによって施工したせん断補強鉄筋は、せん断ひび割れを架橋するせん断補強鉄筋において大きなせん断耐力を負担し、規格降伏強度相当以上のせん断力を負担することを確認した。
- ・ スパイラルアンカーによるせん断補強効果は、トラス理論に基づいて通常のせん断補強鉄筋とみなして計算されるせん断耐力式に有効率を乗じることにより評価できることを確認した。
- ・ その有効率は、せん断補強鉄筋の埋込み先端位置や端部形状の違いを考慮した必要定着長により設定されるが、Tタイプにおいては定着長を鉄筋径の 4.5 倍程度に設定することにより、鉄筋径においては D16 から D29 まで、鋼種においては SD390 までが既往と同一のせん断耐力算定手法で評価できることが示唆された。
- ・ Sタイプの有効率の算定には、補強筋径の 4.5 倍以上の値に設定する必要があることが確認された。今後は引抜試験結果を詳細に検討することにより、せん断耐力算定に用いる定着長を設定する予定である。

*1 本店 技術研究所

*2 本店 技術研究所 社会基盤マネジメント研究室

孔壁内面に目粗し処理を施したあと施工アンカーによるRC構造物のせん断補強工法（スパイラルアンカー）の適用範囲拡大に関する研究

山 本 和 範^{*1} 末 永 怜 士^{*1}
 米 田 大 樹^{*1} 小 原 孝 之^{*2}
 中 島 良 光^{*2}

要 旨

既開発の「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『スパイラルアンカー』」のさらなる性能向上および適用範囲拡大を目的として、太径鉄筋または高強度鉄筋を用いたせん断補強性能について確認した。また、施工性向上を目的として削孔径の見直しや補強鉄筋の端部形状を変更した場合のせん断補強性能について確認した。それらの結果を踏まえて設計法の見直しを行い、せん断耐力向上効果の合理的な評価方法について検討した。

スパイラルアンカーによってあと施工せん断補強した梁部材試験体を用いて載荷実験を行った結果、既開発のスパイラルアンカーに対して削孔径の見直しや補強鉄筋の端部形状を変更した場合、および太径鉄筋や高強度鉄筋を用いた場合のいずれにおいてもせん断耐力が向上することが確認された。それらのせん断耐力はせん断補強鉄筋の径、端部形状の違いに応じた定着長に基づき、さらに先端の埋め込み位置を考慮した有効率を用いることにより評価できることを確認した。

キーワード あと施工アンカー／目粗し／せん断補強／有効率／定着長

目 次

- | | |
|---------|-------------------|
| 1. はじめに | 4. せん断補強効果の検証 |
| 2. 実験内容 | 5. タイプ別の施工性、経済性比較 |
| 3. 実験結果 | 6. まとめ |

A STUDY ON THE APPLICABILITY EXPANSION OF POST SHEAR REINFORCING METHOD “SPIRAL ANCHOR” FOR EXISTING CONCRETE STRUCTURE BY ANCHORING WITH ROUGHENING ON THE INSIDE WALL OF DRILLING HOLES

Kazunori YAMAMOTO Satoshi SUENAGA
 Taiju YONEDA Takayuki OBARA
 Yoshimitsu NAKAJIMA

Synopsis:

For the purpose of improving performance and expanding applicability the post shear reinforcing method “Spiral anchor”, we studied on shear reinforcing performance of it that using thick or high strength reinforcing bar. And for the improving workability, we studied on shear reinforcing performance of Spiral anchor that improved the diameter of drilling holes or anchored shape. Furthermore, we examined about the reasonable design method of shear reinforcement by these improving.

In the results of loading experiment by using some beam members that post reinforced of shearing, we confirmed the effective of shear reinforcement by applying thick reinforcing bar, high strength reinforcing bar, improved diameter of drilling hole, or improved anchored shape of Spiral anchor.

* 1 本店 技術研究所

* 2 本店 技術研究所 社会基盤マネジメント研究室

1. はじめに

1.1 研究の背景

阪神・淡路大震災や新潟県中越地震等による RC 構造物の被災等を踏まえ耐震基準の見直しが行われてきた。供用中の RC 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ものが多数存在することが指摘されている。それらの構造物に対する耐震補強は喫緊の課題であり、その補強方法として様々な工法が用いられている。一方、背面を地盤に接する地下・半地下構造物や、構造物自体が供用状態にある制約条件によって、補強工事を構造物の片側からしか施工できない場合などが想定される。このような施工条件に対し、従来工法である RC 増し厚工法や鋼板巻き立て工法等による補強施工が考えられる。しかし、これらの方法ではせん断耐力を大きくするが、同時に曲げ耐力も増加してしまうため、破壊モードをせん断破壊から曲げ破壊先行型に移行させて構造物の耐震性を向上させるのに適した工法とは言えない。このような補強が難しいとされていた供用中の既設構造物に対して、部材の片側からのみの補強施工が可能で、かつせん断耐力／曲げ耐力比を向上して所要の地震時安定性を確保することができる補強工法が求められていた。

そこで、構造物の片側から施工が可能で、せん断耐力のみを向上することが可能な耐震補強工法として「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』」を開発し¹⁾、2014 年 3 月に建設技術審査証明を取得した（建技審証 第 1402 号）²⁾。本技術審査証明において、スパイラルアンカーの性能は実験結果に基づいて評価され、その性能を発揮するための前提条件や適用範囲が定められている。実際の構造物を効率的に耐震補強するためには様々な設計や施工法が求められ、現状の技術審査証明の適用範囲では不足することが考えられる。また、実現場における施工面においては既設構造物中の鉄筋との接触問題がある。コアボーリング時にビットが既設鉄筋と接触した場合には近接部に再削孔を行う手間が生じるため、既設鉄筋のと接触リスクを低減できる工法が求められていた。

1.2 目的

本研究ではスパイラルアンカーのさらなる適用性および施工性向上を図ることを目的として、①アンカー筋形状の改良、②鉄筋径の適用範囲拡大、③高強度鉄筋への適用の 3 点に関する検討を行った。「①アンカー筋形状の改良」においては、図-1 に示すように、標準仕様の鉄筋端部に定着体を取り付けたタイプ（以下、T タイプ）に加え、端部の定着体なしのタイプ（以下、S タイプ）の適用検討を行った。「②鉄筋径の適用範囲拡大」として、現状、鉄筋呼び径 D16～D25 の鉄筋が適用可能であるが、

この適用範囲拡大を試みた。「③高強度鉄筋への適用」として、現状、SD295A/B および SD345 の鋼種が適用可能であるが、SD390 への適用検討を試みた。

1.3 T タイプの形状変更

既往のスパイラルアンカー（以下、「旧 T タイプ」と呼ぶ）に用いる鉄筋端部の定着体の形状は本 T タイプの形状と異なる。図-2 に示すように定着体の最外径を本 T タイプでは旧 T タイプよりも小さくした。それに合わせて削孔径を縮小化した。

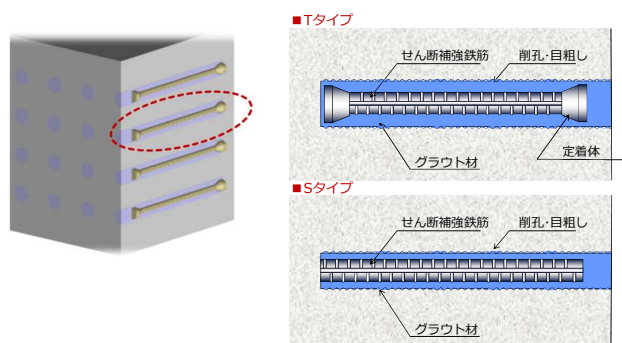


図-1 スパイラルアンカーの鉄筋形状

Tタイプ（旧）

鉄筋 呼び名	定着具の寸法				
	a	b	c	d	e
D16	27.0	28.4	20.8	21.0	13.0
D19	32.0	33.8	24.7	25.0	15.6
D22	36.0	39.1	28.6	26.0	17.0
D25	41.0	43.9	32.5	28.0	18.4

Tタイプ（新）

鉄筋 呼び名	定着具の寸法				
	a	b	c	d	e
D13	19.0	20.4	16.9	17.0	11.2
D16	22.0	24.0	20.8	21.0	11.5
D19	27.0	29.0	24.7	25.0	13.7
D22	30.0	33.0	28.6	26.0	14.1
D25	36.0	38.5	32.5	28.0	19.2
D29	41.0	44.0	37.7	33.0	22.6
D32	46.0	50.0	41.6	37.0	26.9
D35	50.0	53.5	45.5	38.0	25.6

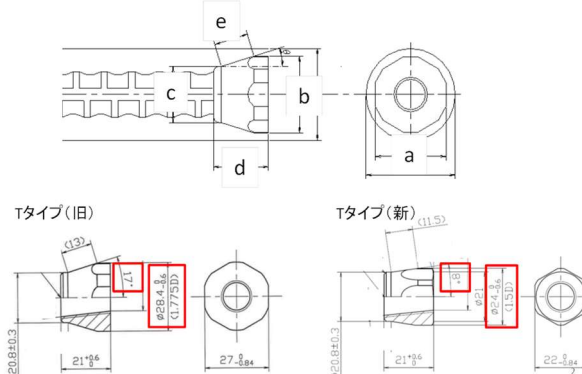


図-2 T タイプの形状変更

2. 実験内容

2.1 実験方法

スパイラルアンカーにより補強を施した梁試験体を用いて、正負交番繰返し静的加力試験（せん断破壊モード試験体）を実施することによってそのせん断耐力を把握し、スパイラルアンカーによる補強効果に関する検討を行った。

荷重装置を図-3 に示す。荷重は、テストベッド上に柱・梁を用いて荷重フレームを組み立て、押し引き可能な2000kN油圧ジャッキ2台を用いて荷重点2箇所（荷重スパン1,200mm）とする交番荷重を行った。計測項目は荷重、変位（試験体中央、荷重点、せん断スパン中央、支点）、鉄筋のひずみ（主鉄筋、せん断補強鉄筋）とした。荷重は、規格強度に基づいた各試験体のせん断耐力の計算値に達するまでは段階的に加力を行い、以降は、規格降伏強度時点の試験体中央変位を基準とする同一振幅における繰返し回数1回の振幅漸増型の変位制御による交番加力を行った。

2.2 実験水準

試験ケースおよび試験体の諸元を表-1 に、試験体の形

状寸法を図-4 に示す。試験体は断面900×1,000mm（有効高930mm）、全長8,400mmの梁試験体で、主鉄筋にはφ36mmの総ネジPC鋼棒を14本、引張鉄筋比が0.85%となるように配置した。試験区間であるせん断スパン長を2,800mm（せん断スパン比3.01）とし、このせん断スパン内にスパイラルアンカーによって配置するせん断補強鉄筋の鉄筋径、鉄筋鋼種、鉄筋端部の定着形状をパラメータとして試験を行った。CASE1 試験体はせん断スパン内にせん断補強鉄筋を配置しない試験体であり、CASE2～CASE4 はあと施工により端部定着形状Sタイプのせん断補強鉄筋をせん断スパン内に配置した試験体、CASE5～CASE7 はあと施工により端部定着形状Tタイプのせん断補強鉄筋をせん断スパン内に配置した試験体である。端部定着形状Sタイプのせん断補強鉄筋のうち、CASE2 試験体は鉄筋呼び径D16、鋼種SD345、CASE3 試験体は鉄筋呼び径D29、鋼種SD345、CASE4 試験体は鉄筋呼び径D29、鋼種SD390のせん断補強鉄筋を配置した。同様に、端部定着形状Tタイプのせん断補強鉄筋を用いるCASE5～CASE7 においてもせん断補強鉄筋の径、鋼種を変え、CASE5 試験体は鉄筋呼び径D16、鋼種SD345、CASE6 試験体は鉄筋呼び径D29、鋼種SD345、CASE7 試

表-1 試験体の諸元

CASE NO.	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6	CASE7	
試験体記号	NC	S16	S29	S29H	TS16	TS29	TS29H	
アンカー筋の形状	－	Sタイプ			TSタイプ			
断面寸法	b×h (mm)	900×1000						
有効高さ	d (mm)	930						
せん断スパン長	a (mm)	2800						
せん断スパン比	a/d	3.01						
主鉄筋	本数・径	7-φ36						
	種類	総ネジPC鋼棒（降伏応力 1080N/mm ² 以上）						
引張鉄筋比	pt(%)	0.85						
コンクリート圧縮強度	f _c (N/mm ²)	30.0	28.8	30.7	28.2	31.2	28.1	30.4
せん断補強鉄筋 (スパイラルアンカー)	径・ピッチ(mm)	－	2-D16@200	2-D29@400	2-D29@400	2-D16@200	2-D29@400	2-D29@400
	種類		SD345	SD345	SD390	SD345	SD345	SD390
せん断補強鉄筋比	pw(%)	－	0.22	0.36	0.36	0.22	0.36	0.36
充填材圧縮強度	f _{cg} (N/mm ²)	－	69.6	60.9	61.1	65.0	65.4	68.4

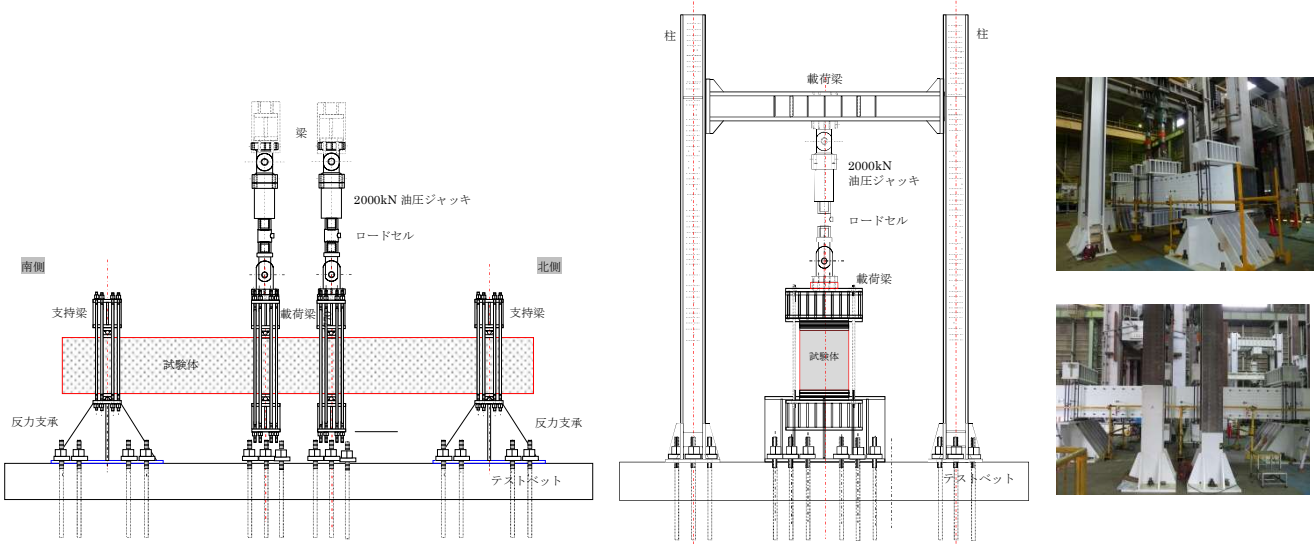


図-3 荷重装置（左図：正面図、右図：側面図）

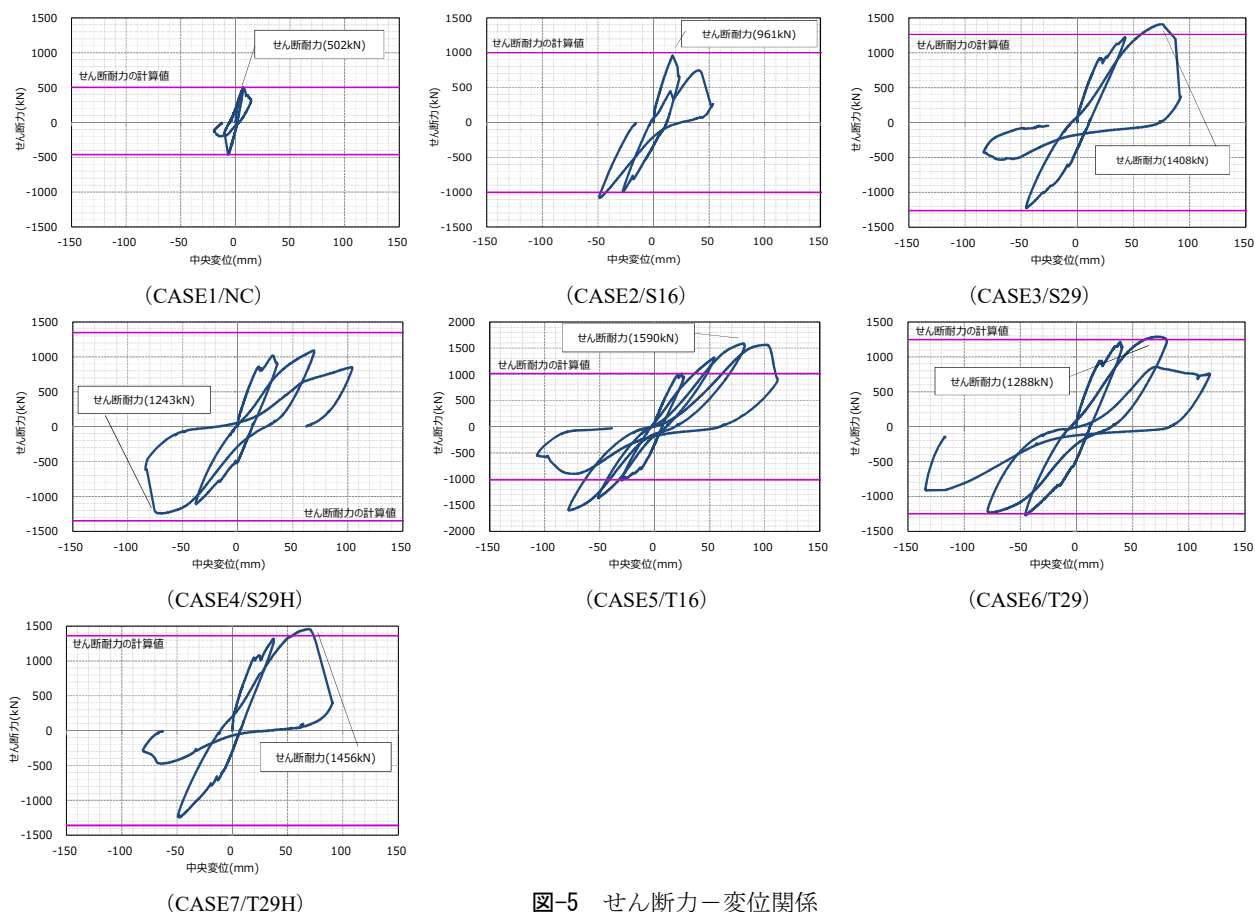


図-5 せん断力ー変位関係

δ で最大せん断力 1590kN を経験し、正側 4δ 到達後の除荷途中で斜めひび割れが圧縮側へ貫通すると同時に荷重が急激に低下した。CASE6 試験体では、正側 1δ に向かう途中、せん断力 1214kN で斜めひび割れの発生と同時に荷重が低下した。その後、負側 1δ に向かう载荷においては荷重の低下が確認されなかったが、次の正側 2δ に向かう途中でひび割れ幅が拡大し、1288kN をピークに荷重が徐々に低下した。CASE7 試験体では、 1δ 終了時点において曲げひび割れが斜めに進展し、一部のせん断補強鉄筋が降伏しているもののひび割れ幅は比較的小さかった。その後、正側 2δ に向かう途中で徐々にひび割れ幅が拡大し、1456kN をピークに斜めひび割れが圧縮側へ貫通し、荷重が急激に低下した。これらより、スパイラルアンカーによって補強することにより、せん断ひび割れが発生してもせん断補強鉄筋が荷重を負担してその進展を抑制し、耐力を維持できることが確認された。

3.2 せん断補強鉄筋のひずみ

図-6～11 に各試験体の終局せん断耐力時におけるせん断補強鉄筋のひずみ分布を示す。図中には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の位置を併せて示す。なお、せん断補強鉄筋のひずみ分布において、ひずみゲージの損傷（ゲージの剥がれやリード線の断線等）により計測不能となった箇所の値については、計測された範囲における最大の値を示している。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、最大荷重もしくはそれに近い荷重を経験するタイミングで複数のせん断補強鉄筋に規格降伏強度に相当する降伏ひずみが発生している。つまり、スパイラルアンカーによって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規格降伏強度相当以上のせん断力を伝達できることが確認された。したがって、スパイラルアンカーによって補強後のせん断耐力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³⁾に基づいて評価できると考えられる。

4. せん断補強効果の検証

4.1 本工法のせん断補強設計の考え方

土木学会コンクリート標準示方書【設計編】によると、棒部材のせん断耐力 V_y は修正トラス理論に基づき以下の式[1]によって求められる。

$$V_y = V_c + V_s \quad [1]$$

ここで、 V_c ：せん断補強筋を用いない棒部材のせん断耐力

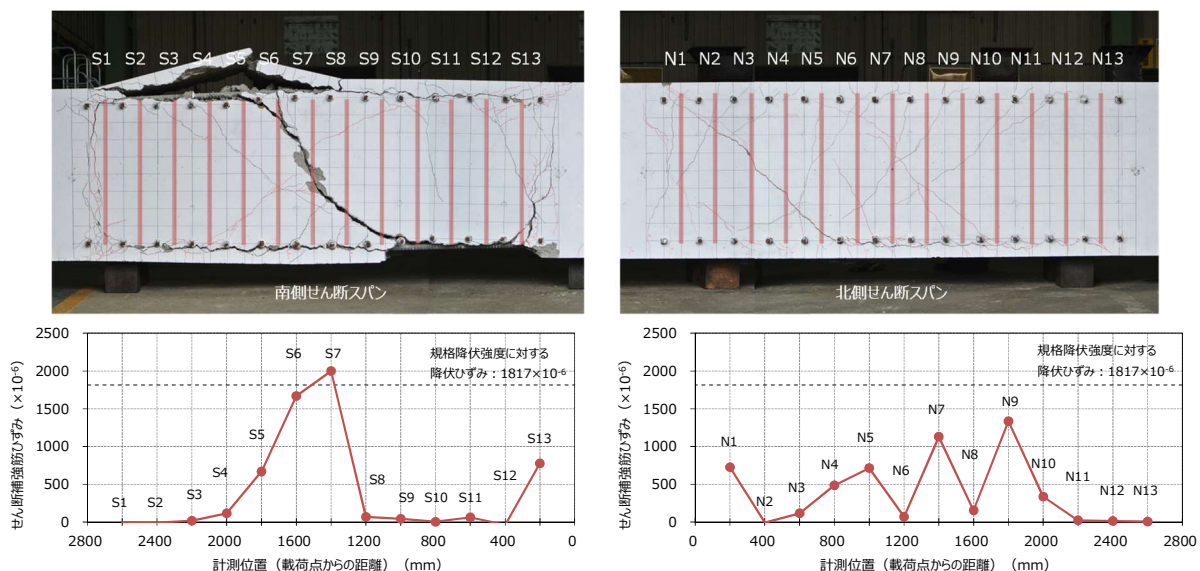


図-6 終局せん断耐力時におけるせん断補強鉄筋のひずみ分布 (CASE2/S16)

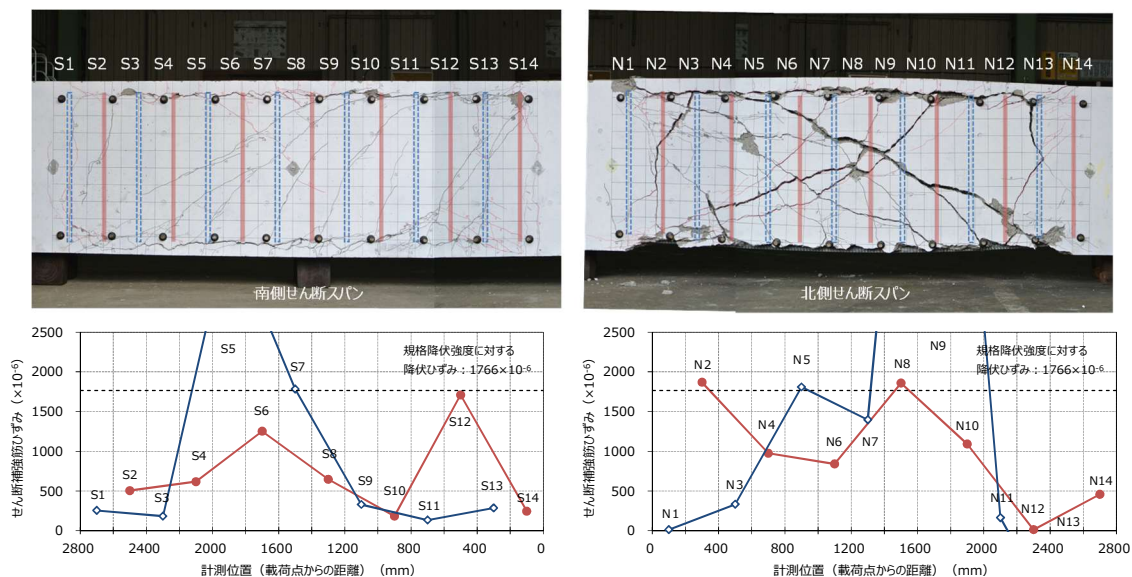


図-7 終局せん断耐力時におけるせん断補強鉄筋のひずみ分布 (CASE3/S29)

(せん断補強鉄筋は千鳥配置され、側面から見て手前側に配置された鉄筋を黒塗り、奥側の鉄筋を白抜きで表記。以下同様。)

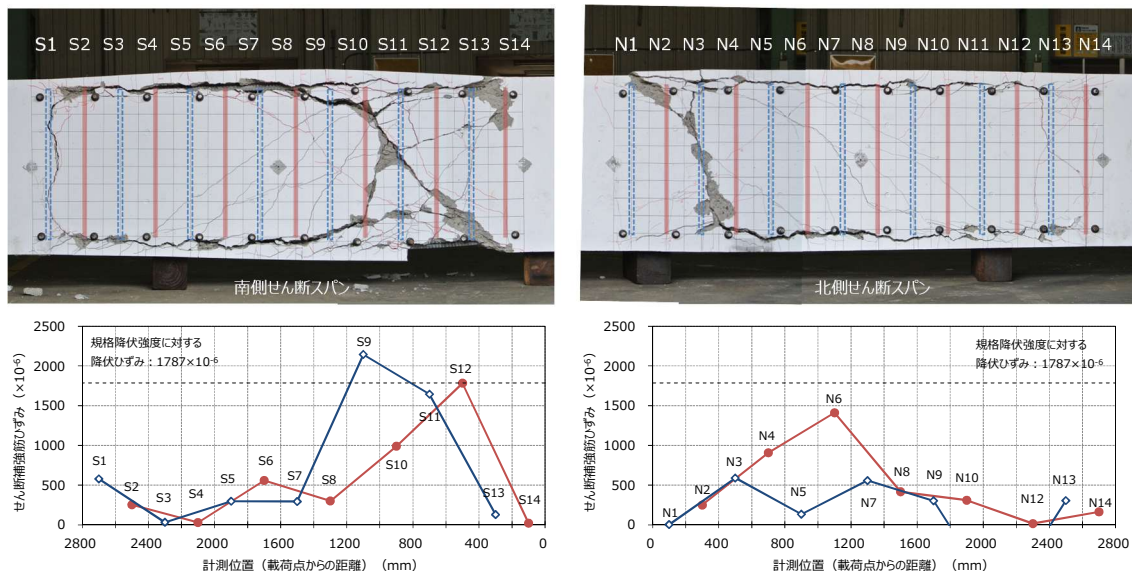


図-8 終局せん断耐力時におけるせん断補強鉄筋のひずみ分布 (CASE4/S29H)

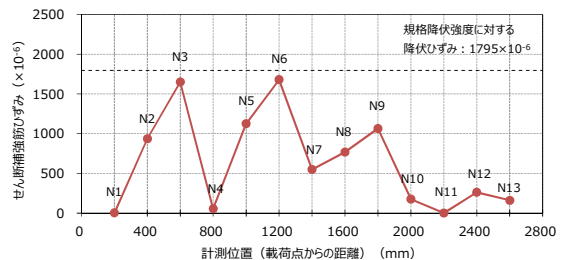
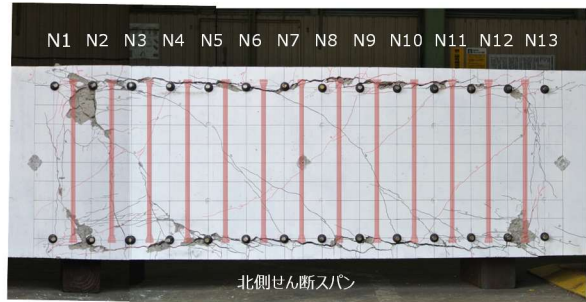
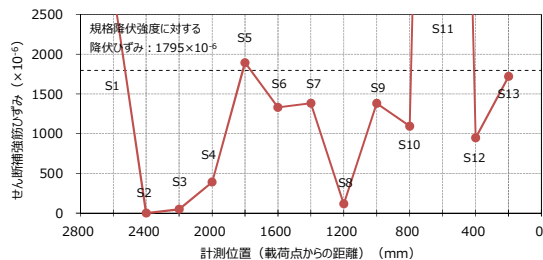
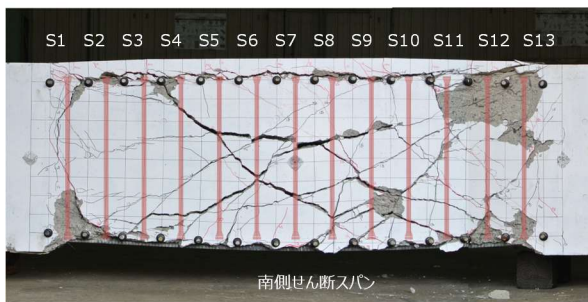


図-9 終局せん断耐力時におけるせん断補強鉄筋のひずみ分布 (CASE5/T16)

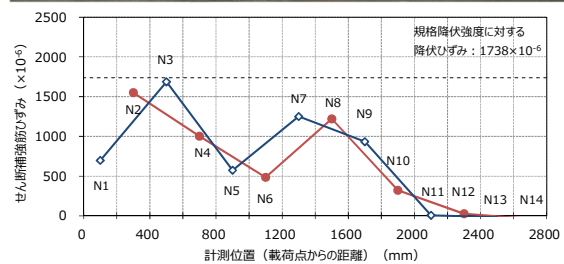
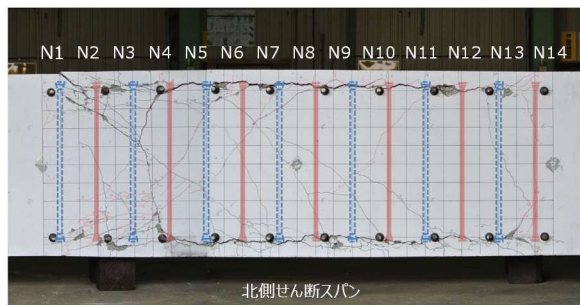
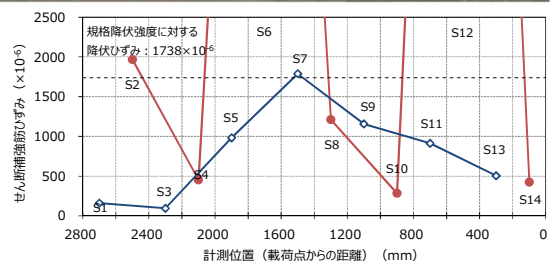
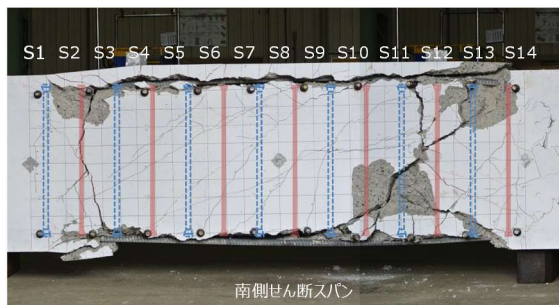


図-10 終局せん断耐力時におけるせん断補強鉄筋のひずみ分布 (CASE6/T29)

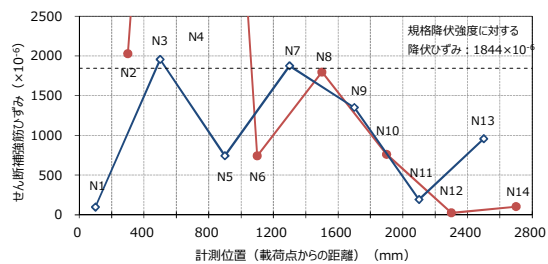
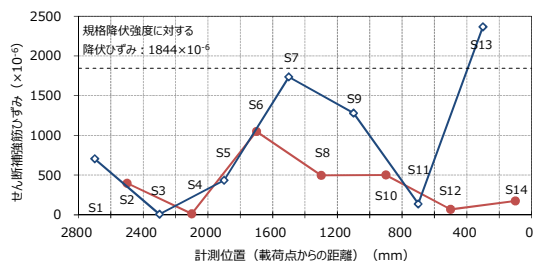


図-11 終局せん断耐力時におけるせん断補強鉄筋のひずみ分布 (CASE7/T29H)

V_s : せん断補強鋼材により受け持たれるせん断耐力

スパイラルラ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、式[1]に示される通常の標準フックを想定した棒部材の設計せん断耐力式において、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、あと施工であるスパイラルアンカーは、アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張により折曲部で破断したスターラップと形状的に類似しており、同様の評価が可能と考え、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⁴⁾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。

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によると、図-12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ない。そのため、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。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。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

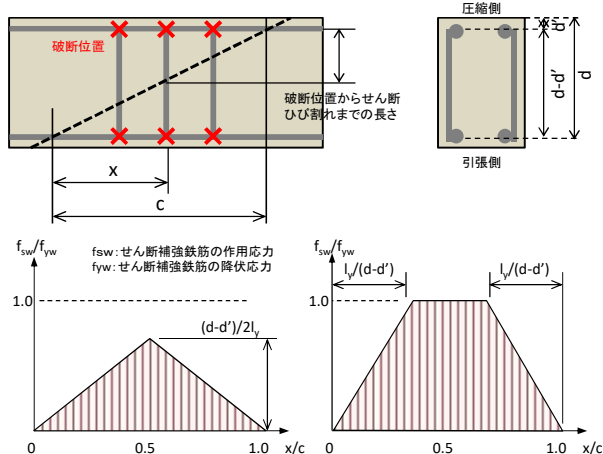


図-12 斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋の応力負担分布

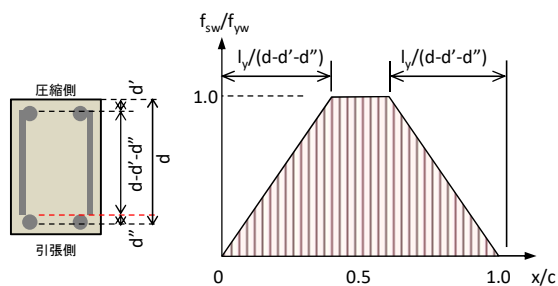


図-13 埋め込み先端位置の変更を反映したせん断補強鉄筋の応力負担分布

仮定したのが図-12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。

$$\eta = (d - d') / 4l_y \quad \text{if } (d - d') \leq 2l_y \quad [2]$$

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

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式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。

ここで、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。ただし、既往の実験により確認された β_{aw} は最大値が 0.81 であったため、安全側の配慮として上限値を 0.81 としている。

$$\beta_{aw} = \eta = 1 - l_y / (d - d') \quad [5]$$

ただし、 $(d - d') > 2l_y$, $\beta_{aw} \leq 0.81$

一方、本実験においてスパイラルアンカーによるせん断補強鉄筋の埋め込み深さは孔底側既設主鉄筋の手前まで（スパイラルアンカーによって施工したせん断補強鉄筋の先端まで）としているため、同主鉄筋の図心位置とした図-12に示される有効高さの取り方について変更する。孔底側の主鉄筋図心から同主鉄筋手前までの距離 d'' を差し引くことにより有効率を考えると、せん断補強鉄筋の応力負担分布は図-13に示すようになり、次式により表すことができる。

$$\beta_{aw} = \eta = 1 - l_y / (d - d' - d'') \quad [6]$$

ただし、 $(d-d'-d'') > 2l_y$

ここで、 d'' ：孔底側主鉄筋図心からスパイラルアンカーによって施工したせん断補強鉄筋の先端までの距離

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する。

4.2 実験結果に基づくスパイラルアンカーのせん断補強効果

梁試験体を用いた正負交番載荷実験によって得られた実験結果について、上記の考え方に基いてスパイラルアンカーによるせん断耐力の有効率 β_{aw} を評価する。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[7]に示すように、梁試験体の載荷実験によって求められたせん断耐力 V_{y_exp} からコンクリートのみに受け持つせん断耐力 V_{c_cal} 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て求められるせん断耐力負担分 V_{s_cal} に対する有効率で表すことができ、式[8]のように評価することができる。

$$V_{spa} = V_{y_exp} - V_{c_cal} \quad [7]$$

$$\beta_{aw_exp} = V_{spa} / V_{s_cal} \quad [8]$$

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_cal} ：実験時のコンクリート強度に基づくせん断補強筋なしのせん断耐力
 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

β_{aw_exp} ：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の実験値

表-2 に各試験体の実験結果と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式[1]によるせん断耐力の計算値を示す。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} は規格降伏強度を用いて算出した。さらに、実験により得られた V_{y_exp} と式[1]により求めた V_{c_cal} により式[7]を用いて V_{spa} を求め、 V_{spa} と V_{s_cal} により式[8]を用いて β_{aw_exp} を求めた。最後に、既往のスパイラルアンカーの $l_y (=4.5D)$ を用いて β_{aw_cal} とせん断耐力 V_{y_cal2} を計算した。以上の値を表-2 に示した。

実験結果から得られる β_{aw_exp} は S タイプの S29H を除いてすべて上限値 0.81 を上回っており、上限値の S29 と T16 においては 1.0 をも上回っている。以上のことから、 β_{aw} の上限値を設ける必要性はないことが示唆されていると言える。

図-14 に、各試験体のせん断耐力の実験値 V_{y_exp} と既往のスパイラルアンカーの l_y を用いて算出したせん断耐力の計算値 V_{y_cal2} の比較を示す。

T タイプの V_{y_exp} は 3 体すべてにおいて V_{y_cal2} を上回ったことから、T タイプの l_y は仮に設定した $l_y=4.5D$ と同等であると考えられる。これにより、鉄筋径においては

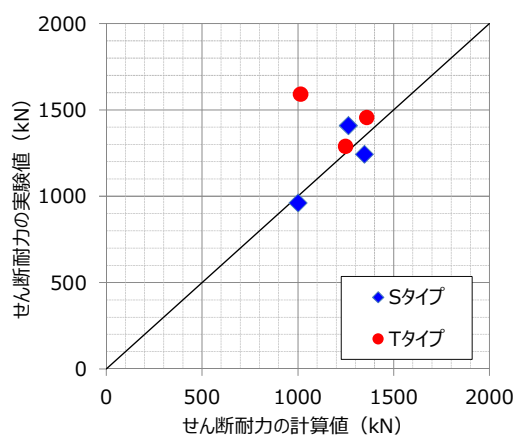


図-14 せん断耐力の実験値と設計値の比較

表-2 有効率の実験結果と計算値の比較

CASE NO.	試験体記号	タイプ	スパイラルアンカー径	スパイラルアンカー鋼種	計算値 式[1]			実験結果			設計計算値 式[6]**	
					せん断耐力 V_{y_cal1} (kN)	コンクリート負担分 V_{c_cal1} (kN)	せん断補強鉄筋負担分 V_{s_cal1} (kN)	終局せん断耐力 V_{y_exp} (kN)	スパイラルアンカー負担分 V_{spa} (kN)	有効率 β_{aw_exp}	有効率 β_{aw_cal2}	せん断耐力 V_{y_cal2} (kN)
1	NC	—	—	—	502	502	0	502 (正側)	—	—	—	—
2	S16	S	D16	SD345	1049	495	554	961 (正側)	465	0.84	0.91	1002
3	S29		D29		1402	506	896	1408 (正側)	902	1.01	0.85	1263
4	S29H		D29	SD390	1505	492	1013	1243 (負側)	751	0.74	0.85	1348
5	T16	T	D16	SD345	1062	508	554	1590 (正側)	1082	1.95	0.91	1015
6	T29		D29		1387	491	896	1288 (正側)	797	0.89	0.85	1249
7	T29H		D29	SD390	1517	504	1013	1456 (正側)	952	0.94	0.85	1360

※必要定着長を4.5D (D:鉄筋公称直径)として計算した値

D16 から D29 まで、鋼種においては SD390 までが同一のせん断耐力算定手法で評価できることが示唆された。

S タイプの V_{y_exp} は S16 と S29H において V_{y_cal2} を下回った。このことから、S タイプの l_y は仮に設定した $l_y=4.5D$ よりも大きい値が必要であると考えられる。ただし、 l_y を適切に設定することにより T タイプと同様に鉄筋径および鋼種に対して適用範囲が拡大できるものと考えられる。

今後は、T タイプおよび S タイプのスパイラルアンカーの引抜試験結果をさらに詳細に検討することにより、せん断耐力算定に用いる l_y を設定する予定である。

6. 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。本研究ではスパイラルアンカーの適用範囲拡大および施工性向上を目的として、せん断補強鉄筋の端部形状や鉄筋径、鋼種を変えた場合のせん断補強性能を評価するために、梁試験体を用いて載荷実験を行った。本実験において得られた知見を以下に記す。

- ・スパイラルアンカーによって施工したせん断補強鉄筋は、せん断ひび割れを架橋するせん断補強鉄筋において大きなせん断耐力を負担し、規格降伏強度相当以上のせん断力を負担することを確認した。
- ・スパイラルアンカーによるせん断補強効果は、トラス理論に基づいて通常のせん断補強鉄筋とみなして計算

されるせん断耐力式に有効率を乗じることにより評価できることを確認した。

- ・その有効率は、せん断補強鉄筋の埋め込み先端位置や端部形状の違いを考慮した必要定着長を設定することにより適切に評価できるが、T タイプにおいては定着長を鉄筋径の 4.5 倍程度に設定することにより、鉄筋径においては D16 から D29 まで、鋼種においては SD390 までが同一のせん断耐力算定手法で評価できることが示唆された。
- ・S タイプの有効率の算定には、補強筋径の 4.5 倍以上の値に設定する必要があることが確認された。
- ・今後は、T タイプおよび S タイプのスパイラルアンカーの引抜試験結果をさらに詳細に検討することにより、せん断耐力算定に用いる l_y を設定する予定である。

参考文献

- 1) 山本和範，佐藤文則，三島徹也：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，前田建設技術研究所報，Vol.55，2014
- 2) 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
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書【設計編】
- 4) 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，ppⅡ-90～Ⅱ-96

