

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)の適用範囲拡大に関する研究

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

A Study on Extension of Applicability of Post Fixed Anchor Method with Borehole Wall Roughing

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

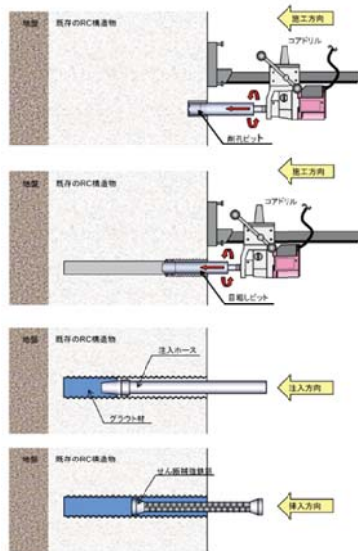


図-1 スパイラルアンカー工法

呼び名	Tタイプ (テーパーヘッドタイプ)	Sタイプ (スリムタイプ)
仕様	鉄筋端部に定着金物取付 (標準仕様)	鉄筋端部の定着体なし (新規)
特徴	定着体により引抜抵抗力UP 定着長を短くすることが可能	加工手間や再削孔を低減 コストダウンが可能
概要図		

図-2 アンカー筋形状

研究の目的

旧耐震設計基準により設計された構造物は、現行の設計基準ではせん断補強筋量が不足し、当時の設計上では曲げ破壊モードになるが、実際にはせん断破壊モードとなっている構造物も相当数存在する。筆者らはこれまでに、供用中の既設 RC 構造物に対して、部材の片側から施工が可能で、かつ、せん断耐力を向上させるあと施工型せん断補強工法「スパイラルアンカー工法」を開発している。本研究では、適用範囲の拡大を目的に①鉄筋形状の追加、②鉄筋径の適用拡大、③高強度鉄筋への適用拡大の3点について検討を行った。

本研究は、スパイラルアンカー工法の適用拡大に伴い、各鉄筋タイプ、鉄筋径、鋼種における施工性、定着性能の把握を目的とする。

技術の説明

「スパイラルアンカー工法」は、供用中の鉄筋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ために開発された技術である。既存 RC 構造物の表面からコアドリルを用いて削孔を行った後、内面に目粗し処理を施した孔内に、補強用鉄筋の挿入と定着材（グラウト材）を注入し、構造躯体と一体化させることによって部材のせん断耐力を向上させる。

本稿では、スパイラルアンカーの施工確認実験とアンカー筋の引抜実験を実施し、その結果について報告する。

主な結論

- ・ 施工確認実験により、グラウト材がコア孔内部に密実に充填され、アンカー筋とコンクリートが一体となることを確認した。
- ・ 引抜実験により、各鉄筋タイプの必要定着長は、Sタイプで 5.0D～6.0D、Tタイプで 3.5D～4.5D であることを確認した。

*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せん断補強鉄筋 (スパイラルアンカー) の適用範囲拡大に関する研究

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

要 旨

旧耐震設計基準により設計された構造物は、現行の設計基準においてせん断補強筋量が不足し、当時の設計上では曲げ破壊モードになるが、実際にはせん断破壊モードとなっている構造物も相当数存在する。筆者らはこれまでに、供用中の既設RC構造物に対して、部材の片側から施工可能かつ、せん断耐力を向上させるあと施工型せん断補強工法「スパイラルアンカー工法」を開発してきた。本研究では、スパイラルアンカー工法の適用範囲拡大を目的に①鉄筋形状の追加、②鉄筋径の適用拡大、③高強度鉄筋への適用拡大の3点について検討を行った。

本報では、スパイラルアンカー工法の適用拡大に伴い実施した施工性能実験とアンカー筋の定着性能実験の結果について報告する。

キーワード あと施工アンカー／目粗し／せん断補強

目 次

- | | |
|-------------|-----------|
| 1. はじめに | 3. 施工性能実験 |
| 2. 改良範囲について | 4. 定着性能実験 |

A STUDY ON EXTENSION OF APPLICABILITY OF POST FIXED ANCHOR METHOD WITH BOREHOLE WALL ROUGHING

Satoshi SUENAGA
 Taiju YONEDA
 Yoshimitsu NAKAJIMA

Kazunori YAMAMOTO
 Takayuki OBARA

Synopsis:

RC structures which have been designed according to the previous seismic design criteria don't have enough shear capacity due to smaller amount of shear reinforcement compared with it of current seismic design criteria. Although the failure mode of these old structures have been designed as bending mode but actually they are sometimes shear mode. The authors have developed a shear reinforcing method using post fixed anchoring bar with borehole wall roughing (named Spiral Anchor Method) which is able to construct from one side of structure member. In this study, the authors aimed to extend the applicability of this method and carried out some experiments using extension in the shape of anchor head, diameter of rebar, and strength of rebar.

As the results, these extensions were confirmed to be available by the experiments.

* 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

古い耐震設計基準により設計された RC 構造物は、現在の耐震設計基準で照査した場合、せん断補強筋量が不足している構造物も少なくない。当時の設計上で曲げ破壊モードになる構造物が、現在の照査でせん断破壊モードとなっているものも相当数存在する。

ボックスカルバートや開水路などの地下に埋設された既設 RC 構造物に対してせん断補強を行う場合、構造物の内側からしか施工できない、増し厚工法などでは内空断面積が減少する、などの問題がある。

このような問題に対し、著者らは供用中の既設 RC 構造物に部材の片側からせん断補強が可能なおと施工型せん断補強工法「スパイラルアンカー工法」を開発している¹⁾。本工法は、既設 RC 構造物にコアドリル等を用いて削孔を行い、孔内壁に目粗し処理を施した後、定着材（グラウト）の注入と端部に定着具を取り付けた補強用鉄筋の差し込みを行うことにより、せん断補強筋を構造躯体と一体化させ、部材のせん断耐力を向上させる（図-1）。定着具の拡底形状や孔壁面の凸凹により、せん断補強筋の引抜力に対する抵抗力が向上し、せん断補強効果を確実にするといった特徴を持つ^{2),3)}。本工法は、『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」』として、平成 26 年 3 月に土木研究センターの建設技術審査証明⁴⁾を取得し、上下水施設に 1 件、河川施設に 1 件の計 2 件の実現場に適用している（2015 年 7 月現在）。

本研究では、コストダウンや適用範囲の拡大を目的とし、スパイラルアンカーに対して以下の 3 点の改良を検討した。

1) アンカー筋形状の変更および追加

標準仕様である鉄筋端部に定着具を取り付けたテーパーヘッドタイプ（以下、T タイプ）の定着体の径を 1.7D（D：鉄筋径）から 1.5D に変更する。定着体なしのスリムタイプ（以下、S タイプ）を追加する（表-1）。S タイプは、①定着体がなく加工が不要であること、②削孔径が小さく鉄筋探査深さより深にある躯体鉄筋との干渉および再削孔の確率を低減することによりコストダウンが可能である（表-1）。

2) 鉄筋径の適用拡大

現状、D16～D25 の鉄筋が適用可能であるが、D13～D35 まで適用可能とする。

3) 高強度鉄筋への適用拡大

現状、SD295A、SD295B および SD345 の鋼種が適用可能であるが、SD390 まで適用可能とする。

上記の改良に伴い削孔径を見直し、設定した削孔径に対して施工性能実験とアンカー筋の定着性能実験を実施することで、施工の確実性（充填性能）とアンカー筋の定着力について確認した。

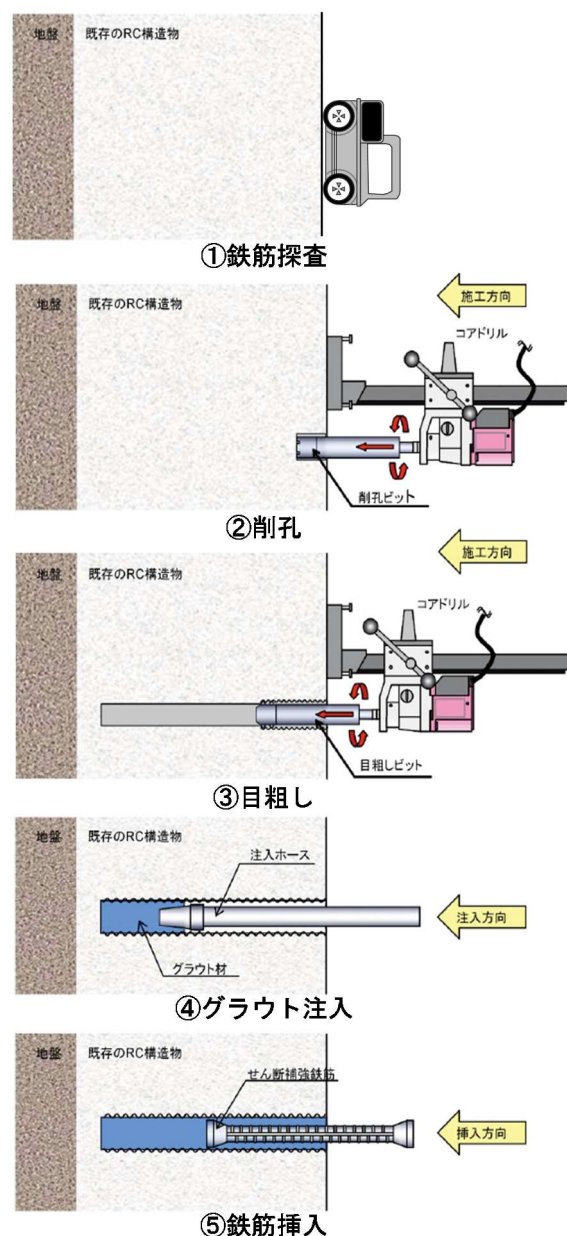
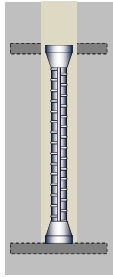
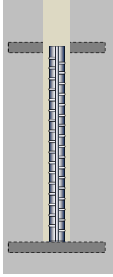


図-1 スパイラルアンカー施工概要（先注入横向き）

表-1 アンカー筋形状とその特徴

呼び名	Tタイプ (テーパーヘッドタイプ)	Sタイプ (スリムタイプ)
仕様	鉄筋端部に定着金物取付 (標準仕様)	鉄筋端部の定着体なし (新規)
補強鉄筋の有効率	○	△
コスト	○	◎
特徴	定着体により引抜抵抗UP 定着長を短くすることが可能	加工手間や再削孔を低減 コストダウンが可能
概要図		

2. スパイラルアンカーの仕様設計

本工法では、削孔前に鉄筋探索を行うが、探索可能深さで深に躯体鉄筋が存在する場合、削孔と躯体鉄筋が干渉し再削孔しなければならない。そのため、削孔径が小さいほど躯体の既設鉄筋と干渉する確率が低く、再削孔を低減できるため経済的である。一方、削孔径が小さすぎた場合、鉄筋と孔壁との隙間が小さく、グラウトが充填不良となり品質に問題を生じる可能性がある。そのため、経済的かつ高品質な補強工法を実現するためには、適切な削孔径を設定する必要がある。そこで、以下の条件に従って削孔径を決定した。設定した削孔径および目粗し径を表-2に示す。

- ① グラウトの最大粒径 1.2mm に対して、鉄筋と削孔径に 4mm 以上のクリアランスを確保する。なお、目粗し径は、削孔径より 3mm 大きいものとする。
- ② T タイプについては、定着体（定着体の直径：1.5D）と孔壁の間に 4mm 以上のクリアランスを確保する。

3. 施工性能実験

3.1 実験目的

施工性能実験では、設定した削孔径に対して、アンカー一筋タイプおよび注入方法、施工方向に依らず孔内にグラウトが良好に充填され十分な充填性能を有することを確認することを目的とした。

3.2 スパイラルアンカーの注入方法

スパイラルアンカー工法におけるグラウト注入および鉄筋挿入方法は、「先注入あと挿入工法」と「あと注入先挿入工法」の 2 種類の方法がある。両方法で施工可能であるが、施工手順や機材の少ない先注入方法の方が経済的なため一般的である。以下に、両工法の施工手順を示す。

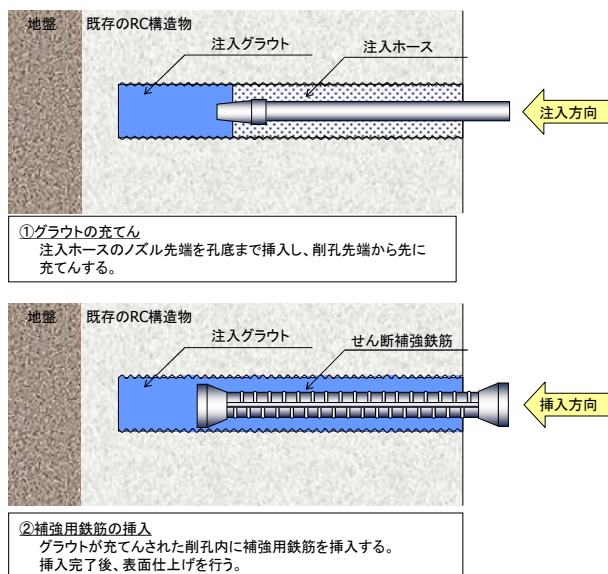


図-2 先注入あと挿入工法施工概要（横向き）

(1) 先注入あと挿入工法

図-2 に先注入あと挿入工法（横向き）の施工概要を示す。先注入あと挿入工法は、削孔内にグラウトを充填し、補強鉄筋をあとから挿入することにより固定を完了する。下向きに施工を行う場合は、低粘性のグラウトを流し込むだけで注入が可能であるため施工が容易である。横向きおよび上向きに施工を行う場合は、ポンプを使用し可塑性グラウトを注入する。可塑性グラウトを用いることで、横向きおよび上向き施工時でも、孔口からのグラウト垂れを防ぐことができる。

(2) あと注入先挿入工法

図-3 にあと注入先挿入工法（横向き）の施工概要を示す。あと注入先挿入工法は、補強鉄筋を挿入した後に孔内にグラウトを充填することにより補強鉄筋の固定を完了する。孔内に注入用とエア抜き用の 2 本のパイプを設置し、急結材を添加したグラウトにて孔口を閉塞した後、高流動のグラウトスラリー材を注入し孔内の空気との置換によって充填する。充填完了は、エア抜きパイプからの空気の排出とグラウトの流出により確認する。

表-2 削孔径および目粗し径

鉄筋の呼び名	Sタイプ		Tタイプ	
	削孔径 φ (mm)	目粗し径 φ (mm)	削孔径 φ (mm)	目粗し径 φ (mm)
D13	φ 20	φ 23	φ 24	φ 27
D16	φ 24	φ 27	φ 29	φ 32
D19	φ 27	φ 30	φ 34	φ 37
D22	φ 31	φ 34	φ 39	φ 42
D25	φ 34	φ 37	φ 42	φ 45
D29	φ 39	φ 42	φ 50	φ 53
D32	φ 42	φ 45	φ 53	φ 56
D35	φ 46	φ 49	φ 57	φ 60

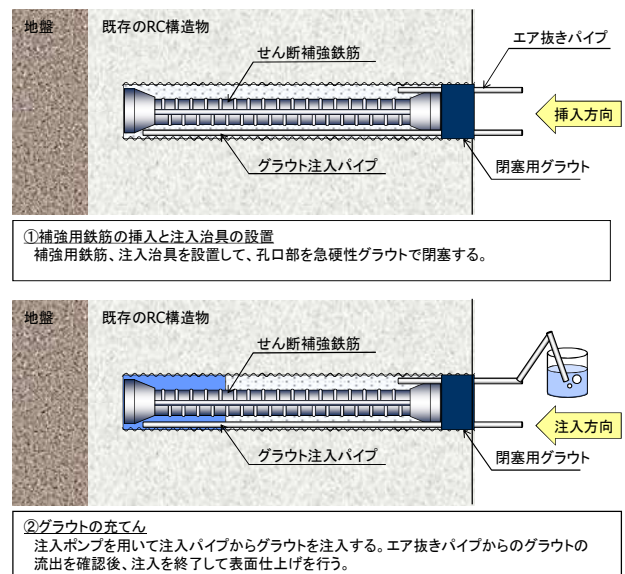


図-3 あと注入先挿入工法施工概要（横向き）

表-3 コンクリートブロックを用いた実験ケース

ケース番号	鉄筋の呼び径	鉄筋タイプ	グラウト注入方法	グラウト種類	施工方向	削孔長 (mm)	鉄筋長 (mm)	削孔径
case1-1	D29	Sタイプ	先注入	可塑性グラウト	上向き	1500	1400	φ 39+目粗し
case1-2					横向き	1500	1400	
case1-3				高粘性グラウト	下向き	500	450	
case1-4						1500	1400	
case1-5			あと注入	低粘性グラウト	上向き	1500	1400	
case1-6		Tタイプ	先注入	可塑性グラウト	上向き	1500	1400	φ 50+目粗し
case1-7					横向き	1500	1400	
case1-8				高粘性グラウト	下向き	1500	1400	
case1-9						500	450	
case1-10			あと注入	低粘性グラウト	上向き	1500	1400	
case1-11	D29	Sタイプ	先注入	可塑性グラウト	横向き	2000	1900	φ 39+目粗し
case1-12		Tタイプ				2000	1900	φ 50+目粗し

表-4 透明パイプを用いた実験ケース

ケース番号	鉄筋の 呼び径	鉄筋タイプ	グラウト 注入方法	グラウト 種類	施工方向	パイプ長 (mm)	鉄筋長 (mm)	アクリルパイプ 内径
case2-1	D16	Sタイプ	先注入	可塑性グラウト	上向き	2000	1900	φ 24
case2-2					横向き	2200	2100	
case2-3		Tタイプ			上向き	2000	1900	φ 29
case2-4					横向き	2200	2100	
case2-5	D29	Sタイプ	あと注入	可塑性グラウト	上向き	1000	900	φ 40
case2-6					横向き	1000	900	
case2-7		Tタイプ			上向き	1000	900	φ 50
case2-8					横向き	1000	900	

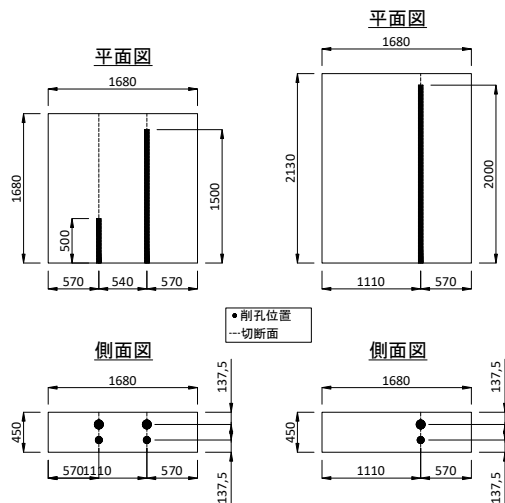


図-4 コンクリートブロック概要



写真-1 透明パイプ

3.3 実験方法と実験ケース

実験は、表-3、4に示す条件にて行った。試験体は、コンクリートブロックに削孔を行う方法と削孔を模擬した透明パイプを用いる方法の2種類の方法で作製した。コンクリートブロックを用いた実験では、実施工に近い状態を再現し、グラウト硬化後に試験体を切断することによりグラウトの充填状況を確認し、透明パイプを用いた実験では、孔内におけるグラウトの充填過程を確認した。写真-1に透明パイプを、図-4にコンクリートブロック試験体の概要図を示す。

3.4 実験結果

写真-2、3に各注入方法の施工状況を、写真-4にあと注入工法の充填過程を、写真-5に切断した試験体を示す。

全ケースで施工を完了し、設定した削孔径に対してアンカー筋タイプおよび注入方法、施工方向に依らず問題なく施工が行えることを確認した。透明パイプを用いた実験では、グラウトが孔内の空気と置き換わるように充填される過程を確認した。コンクリートブロックを用いた実験では、グラウトが隙間なく充填され、せん断補強筋が躯体と一体となることを確認した。



①グラウト注入

②鉄筋挿入 (横向き)

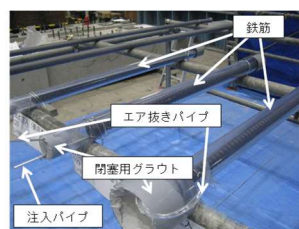


③鉄筋挿入 (上向き)



④表面処理

写真-2 先注入工法施工状況



①鉄筋挿入



②グラウト注入



③充填確認



④充填完了

写真-3 あと注入工法施工状況

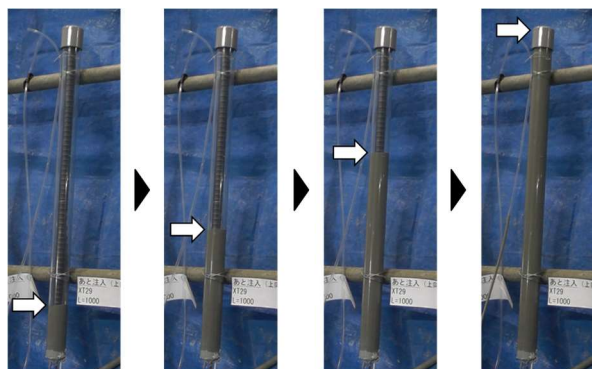


写真-4 あと注入工法充填過程



写真-5 切断した試験体

4. 定着性能実験

4.1 実験目的

定着性能実験では、アンカー筋の引抜実験を行うことで、各アンカー筋タイプおよび鋼種における定着長さが定着力に及ぼす影響について評価し、十分な定着耐力の確保に必要な定着長を決定することを目的とした。

4.2 実験方法

試験体は、あらかじめ作製したコンクリートブリックに削孔および目粗しを行い、先注入工法の下向きにてグラウト充填、鉄筋挿入を行った。定着長は、グラウトを調節することにより所定の長さを確保した。引抜実験では、アンカー筋にセンターホール型の油圧ジャッキにて引張力を作用させ載荷を行った。載荷は、アンカー筋が抜け出すまで、もしくは母材である鉄筋の規格引張荷重まで実施した。

計測は、図-5 のようにロードセルおよび変位計、ひずみゲージを設置し、引張力および抜け出し変位、鉄筋ひずみを計測した。

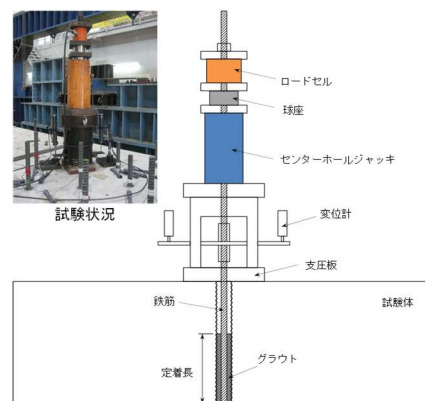


図-5 載荷装置概要

4.3 実験ケース

本実験のパラメータは、鉄筋径および鋼種、アンカー筋タイプ、定着長とした。表-5 に実験ケースと実験結果を示す。表右側の計算結果は、4.5 に示す既往の定着耐力評価式により算出した引抜耐力とその破壊モードである。なお、最大引抜応力は、実験により得られた引抜力を鉄筋の公称断面積で除した値である。

表-5 実験ケースと実験結果

ケース名*	アンカー筋 タイプ	鋼種	鉄筋の 呼び名	定着長**	試験本数	粗度***	材料試験結果			実験結果			計算結果	
							鉄筋の 実降伏荷重 (N/mm2)	コンクリート 圧縮強度 (N/mm2)	グラウト 圧縮強度 (N/mm2)	最大引抜応力 (N/mm2)		引抜耐力 (N/mm2)	破壊モード	
S13	Sタイプ	SD345	D13	5D	2	0.21	382.5	39.0	61.4	404.1	395.4	391.1	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し	
				6D	3					461.7	457.8	429.4	469.3	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し
				7D	2					477.5	472.0	490.0	規格引張強度荷重	
S16			D16	5D	3		389.7	395.3	404.8	366.2	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		424.5	419.4	432.0	439.5	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	3		467.3	466.8	467.8	490.0	規格引張強度荷重			
S19			D19	5D	3		373.5	371.4	465.6	397.8	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		401.0	380.1	425.1	477.4	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	3		457.9	380.1	425.1	490.0	規格引張強度荷重			
S22			D22	5D	2		388.8	384.9	366.6	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
				6D	3		407.6	407.9	396.0	439.9	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	2		440.5	438.9	490.0	規格引張強度荷重				
S25			D25	4D	3		289.7	288.7	207.4	263.5	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				5D	3		374.2	348.3	379.3	329.4	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		391.9	397.9	393.1	395.3	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
S29			D29	5D	3		379.2	385.1	395.4	372.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		405.8	420.0	396.3	446.3	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	2		453.0	440.7	490.0	規格引張強度荷重				
S32			D32	4D	3		292.0	266.2	280.8	275.4	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				5D	3		343.4	328.3	332.9	344.3	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		380.8	374.7	368.8	413.2	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
S35			D35	5D	2		353.4	351.8	375.5	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
				6D	3		397.0	383.4	392.4	450.6	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	2		435.0	423.8	490.0	規格引張強度荷重				
S13H		SD390	D13	4D	2		452.2	441.2	378.9	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
				5D	3		474.3	497.2	465.7	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	2		548.5	557.2	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
S16H			D16	5D	2		439.6	418.4	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
				6D	3		450.2	446.6	458.2	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	2		484.4	462.7	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
S19H			D19	5D	3		321.5	276.4	373.1	303.7	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		454.1	438.7	461.4	404.9	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	2		471.2	466.0	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
S22H			D22	5D	2		381.0	396.8	326.4	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
				6D	3		456.2	445.1	433.2	435.2	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	2		473.8	505.3	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
S25H			D25	4D	3		289.3	308.7	299.4	303.6	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				5D	3		383.1	365.5	400.6	404.8	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		425.5	422.7	424.3	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
S29H			D29	5D	3		379.7	418.1	423.9	329.8	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		456.9	437.3	434.8	439.7	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	3		472.1	477.6	505.1	490.0	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
S32H			D32	4D	3		292.7	295.1	302.7	279.2	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				5D	3		360.4	393.5	358.5	372.3	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				6D	3		401.0	395.5	403.4	465.4	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
S35H			D35	5D	2		408.9	392.4	271.7	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
				6D	3		435.0	443.6	430.1	362.2	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し			
				7D	2		493.8	476.6	452.8	鉄筋-グ ラウト間の抜け出し				
T13	Tタイプ	SD345	D13	3D	3		283.3	321.2	514.6	391.1	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		514.6	514.6	514.6	469.3	規格引張強度荷重			
				5D	3		514.6	514.6	514.6	547.6	規格引張強度荷重			
T16			D16	5D	3		504.0	504.0	504.0	366.2	規格引張強度荷重			
				6D	3		504.0	504.0	504.0	439.5	規格引張強度荷重			
				7D	3		504.0	504.0	505.5	512.7	規格引張強度荷重			
T19			D19	3D	3		377.0	388.1	384.6	357.6	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		490.8	499.8	442.2	429.1	規格引張強度荷重			
				5D	3		475.4	499.5	474.0	500.6	規格引張強度荷重			
T22			D22	3D	3		398.1	387.0	280.3	366.6	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		376.6	497.0	373.5	439.9	規格引張強度荷重			
				5D	3		497.3	434.8	461.9	513.3	規格引張強度荷重			
T25			D25	3D	3		233.3	262.3	283.2	263.5	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		367.5	496.3	494.2	329.4	規格引張強度荷重			
				5D	3		495.2	495.6	494.6	395.3	規格引張強度荷重			
T29			D29	3D	3		410.5	459.4	454.1	372.0	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		473.1	498.9	476.5	446.3	規格引張強度荷重			
				5D	3		499.5	498.9	499.5	520.7	規格引張強度荷重			
T32			D32	3D	3		485.4	442.0	491.3	275.4	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		454.2	408.7	478.2	344.3	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		453.8	454.2	491.7	413.2	規格引張強度荷重			
T35			D35	3D	3		341.5	472.0	474.3	375.5	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		493.5	492.8	446.3	450.6	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		455.3	492.4	493.1	525.7	規格引張強度荷重			
T13H		SD390	D13	3D	3		322.0	314.1	361.5	333.3	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		516.2	491.7	546.2	444.4	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		568.3	569.1	569.9	555.6	規格引張強度荷重			
T16H			D16	4D	3		563.9	563.9	563.9	366.5	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		560.9	559.4	563.9	458.1	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				6D	3		566.0	563.9	567.5	549.7	規格引張強度荷重			
T19H			D19	3D	3		308.9	276.1	348.7	295.2	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		570.3	416.4	555.3	393.7	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		570.3	570.7	570.3	492.1	規格引張強度荷重			
T22H			D22	3D	3		291.9	366.6	380.3	293.7	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		568.6	567.8	566.8	391.6	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		567.0	567.0	567.3	489.5	規格引張強度荷重			
T25H			D25	3D	3		378.3	230.9	178.0	273.2	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		385.0	531.3	549.4	364.3	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		554.0	436.2	513.1	455.3	規格引張強度荷重			
T29H			D29	3D	3		510.7	525.8	423.7	329.6	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		566.5	562.1	562.1	439.5	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		560.6	561.0	562.1	549.4	規格引張強度荷重			
T32H			D32	3D	3		464.5	429.7	432.1	310.9	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		560.6	560.6	560.6	414.5	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		565.3	560.6	560.6	518.1	規格引張強度荷重			
T35H			D35	3D	3		437.2	457.2	462.8	302.4	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				4D	3		522.9	514.9	520.2	403.3	グ ラウト-コンクリート間の抜け出し			
				5D	3		538.9	524.5	523.8	504.1	規格引張強度荷重			

* ケース名は、「アンカー筋タイプ+鉄筋径(+H)」で表す。Hは高強度(SD390)。

** Dは鉄筋径を表す。

*** 既往の研究より施工長20m時の値

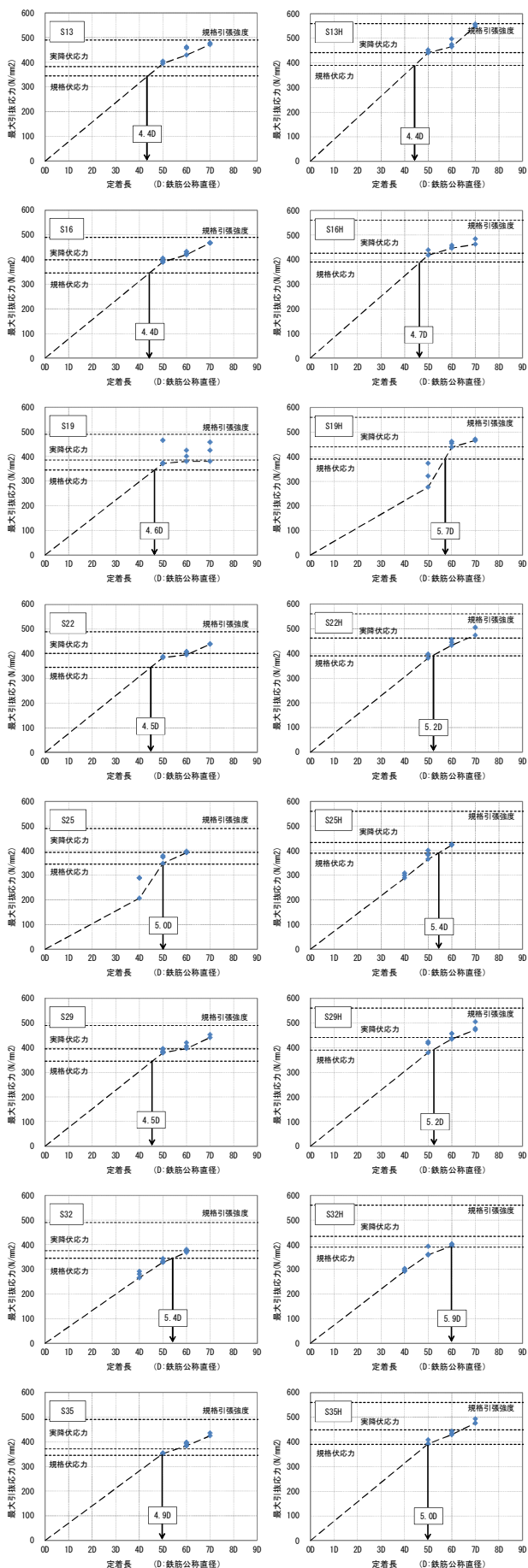


図-6 定着長と最大引抜応力の関係（S タイプ）

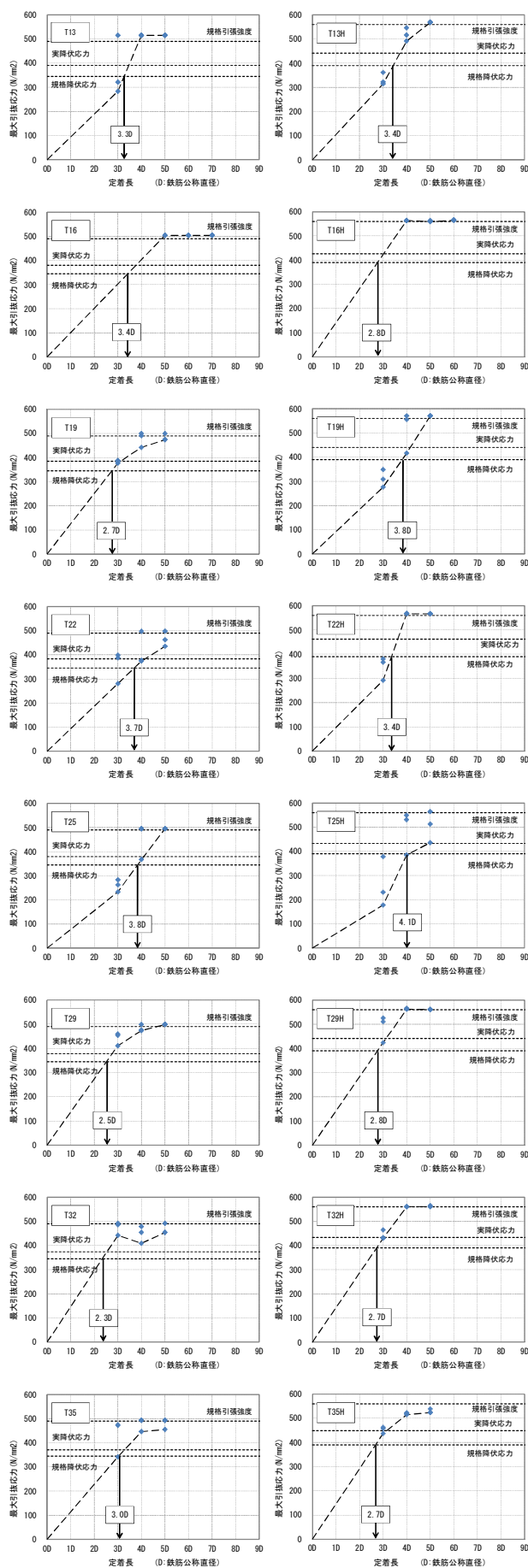


図-7 定着長と最大引抜応力の関係（T タイプ）

表-6 必要定着長 (S タイプ)

タイプ	鉄筋径	強度	必要定着長	
			実験値	決定定着長
S13	D13	SD345	4.4D	5.0D
S16	D16		4.4D	
S19	D19		4.6D	
S22	D22		4.5D	
S25	D25		5.0D	
S29	D29		4.5D	5.5D
S32	D32		5.4D	
S35	D35		4.9D	
S13H	D13	SD390	4.4D	5.0D
S16H	D16		4.7D	6.0D
S19H	D19		5.7D	
S22H	D22		5.2D	
S25H	D25		5.4D	
S29H	D29		5.2D	
S32H	D32		5.9D	
S35H	D35		5.0D	

表-7 必要定着長 (T タイプ)

タイプ	鉄筋径	強度	必要定着長	
			実験値	決定定着長
T13	D13	SD345	3.3D	3.5D
T16	D16		3.4D	
T19	D19		2.7D	
T22	D22		3.7D	4.0D
T25	D25		3.8D	
T29	D29		2.5D	
T32	D32		2.3D	
T35	D35		3.0D	
T13H	D13	SD390	3.4D	4.0D
T16H	D16		2.8D	
T19H	D19		3.8D	
T22H	D22		3.4D	
T25H	D25		4.1D	4.5D
T29H	D29		2.8D	
T32H	D32		2.7D	
T35H	D35		2.7D	

4.4 実験結果

定着長と最大引抜応力の関係を図-6, 7 に示す. 鉄筋の規格降伏強度以上の定着力を確保するために必要な定着長は, 各定着長において最大引抜応力が最小となるケースを線形補間することで求めた. 各ケースの必要定着長を表-6, 7 に示す. 必要定着長は鉄筋径や鋼種により異なるが, S タイプで 5.0D~6.0D, T タイプで 3.5D~4.5D となった. これより, 部材幅が大きく定着長が十分に確保可能な場合はコストの低い S タイプを, 部材幅が小さく定着長が確保できない場合は T タイプを採用することで, 経済的な設計が可能だと考えられる.

4.5 既往の定着耐力評価式との比較

(1) 最大荷重時の破壊モードと定着耐力式

引抜試験での最大荷重は, 「コンクリートからのグラウトの抜け出し荷重」, 「グラウトからの鉄筋の抜け出し荷重」, 「鉄筋の規格引張荷重」の 3 つが考えられる (図-8). 各荷重は, 以下のように計算できる.

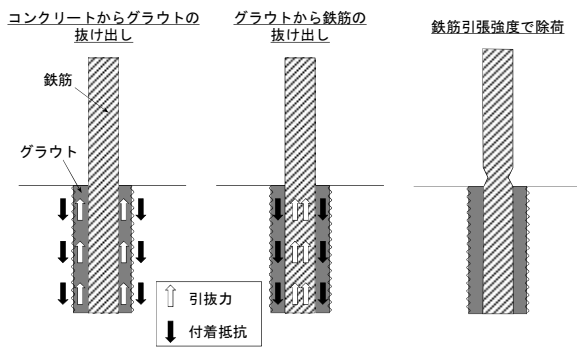


図-8 最大荷重のイメージ図

① コンクリートからのグラウトの抜け出し荷重

既往の研究³⁾を参考に, 以下の式を用いた.

$$P_g = D_c \pi L \cdot \tau_{g,c}$$

$$\tau_{g,c} = 0.132 \cdot f_{c,g}^{2/3} \cdot f_{c,c}^{2/3} \cdot r^{1/3}$$

ここに, 削孔径 D_c , 定着長 L , コンクリートとグラウト間の付着強度 $\tau_{g,c}$, グラウト強度 $f_{c,g}$, コンクリート強度 $f_{c,c}$, 孔壁粗度 r

② グラウトからの鉄筋の抜け出し荷重

グラウトからの鉄筋の引抜試験を実施し, その結果から耐力式を算出した. 実験ケースを表-8 に, 実験結果を図-9 に示す.

表-8 鉄筋の引抜試験ケース

実験条件			実験結果		
呼び径	鉄筋径	定着長 (D:鉄筋径)	圧縮強度 $f_{c,g}$ (N/mm ²)	最大引張荷重 P_{max} (kN)	付着強度 $\tau_{s,g}$ (N/mm ²)
	実測径 (mm)				
D19	19.1	7.0D	47.4	131.3	16.37
D19	19.1	5.0D	30.2	64.6	11.27
D19	19.1	5.0D	76.4	117.7	20.54

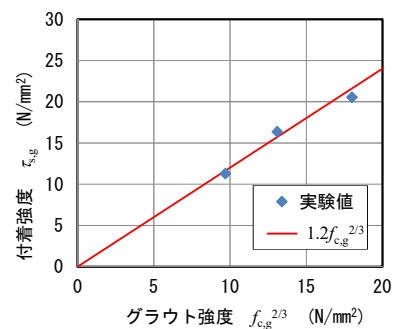


図-9 鉄筋の引抜試験結果

実験結果より, 耐力式は以下ようになった.

$$P_s = D_s \pi L \cdot \tau_{s,g}$$

$$\tau_{s,g} = 1.2 \cdot f_{c,g}^{2/3}$$

ここに, 鉄筋径 D_s , 定着長 L , グラウトと鉄筋間の付着強度 $\tau_{s,g}$, グラウト強度 $f_{c,g}$

③ 鉄筋の規格引張荷重

$$P_y = f_{sy} A_s = f_{sy} \frac{D_s^2 \pi}{4}$$

ここに、鉄筋の降伏点 f_{sy} 、鉄筋径 D_s

①～③により算出された荷重のうち最小となる荷重は定着耐力が最小の破壊モードと予測されるため、実験時の最大引拔荷重およびその破壊モードとして予測される。

(2) 計算荷重と実験荷重の比較

図-10 に計算荷重と最大引拔荷重の比較を示す。なお、T タイプについては、定着体を持つため「グラウトからの鉄筋の抜け出し」は発生しないものと仮定して計算した。引抜試験では、鉄筋の抜け出しによりグラウトが崩壊していたため計算による破壊モードと実際の破壊モードを比較することができなかったが、計算荷重と実験荷重はほぼ 1:1 の直線上にあり、実験荷重は計算荷重とほぼ同等となった。

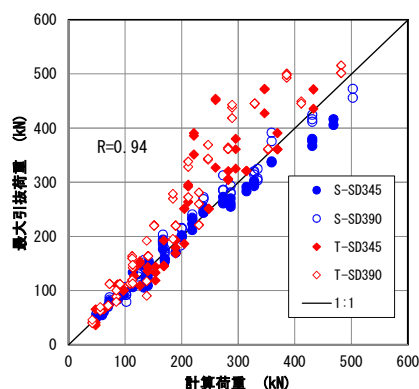


図-10 計算荷重と最大引拔荷重の比較

5. まとめ

本研究では、スパイラルアンカー工法の適用拡大に向け、施工性能実験と定着性能実験を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 施工性能実験では、設定した削孔径に対してアンカー筋タイプおよび注入方法、施工方向に依らず問題なく施工可能であることを確認した。また、切断した試験体からグラウトが隙間なく充填され、構造物と補強鉄筋が一体となっていることを確認できた。
- 2) 定着性能実験では、母材となる鉄筋の規格降伏強度以上の定着耐力を確保するための定着長は鉄筋径や鋼種により異なるが、S タイプで 5.0D～6.0D、T タイプで 3.5D～4.5D となった。

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) 小原孝之，山本晴人，斎藤修一，松島学，大浦篤：アンカー孔壁面を目荒し処理した無収縮モルタル接着系あと施工アンカーの付着強度に関する実験的検討，土木学会第 55 会年次学術講演会・講演概要集，V-570，pp.1142-1143，2000
- 3) 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
- 4) 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