

3. クリップ型ばねの性能確認および適用範囲の検討

Performance Confirmation of Clip-type Springs and Study of Scope of Application

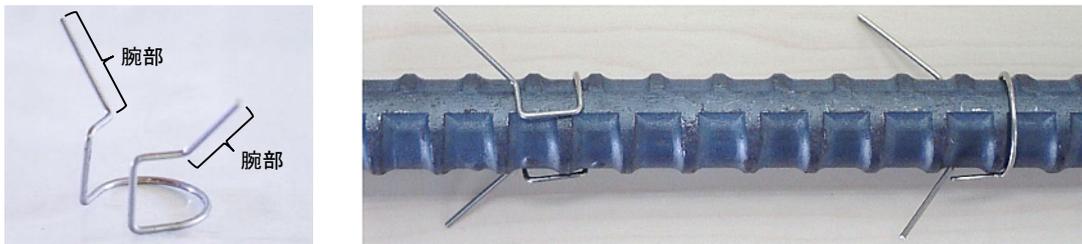
山崎 彬* 波田雅也* 下村将之*

－概要－

注入式接着系あと施工アンカーにおいて、独自の固定部材をアンカー筋に装着することにより、従来通りの施工方法を変えることなく施工精度と施工効率の向上を図る工法を開発している。今回、写真1に示す全ねじボルトと異形棒鋼の両方に装着が可能なクリップ型の固定部材（以下、クリップ型ばね）を開発した。開発したクリップ型ばねを用いて性能確認試験を実施し、クリップ型ばねが期待される「スペーサー機能」と「ストッパー機能」を有することを確認した。さらに、適用範囲の拡大を目的とした各種試験施工を行い、せん断補強筋のあと施工などに用いる「グラウト注入工法」にも適用可能であることを確認した。

－技術的な特長－

開発した工法は、クリップ型ばねを事前にアンカー筋に取付け、接着剤を充填した孔に埋込む。クリップ型ばねには一方向に角度を持たせた「腕部」があり、この腕部がアンカー筋を孔の中央に位置付ける「スペーサー機能」を果たし、接着剤をアンカー筋全周で均一に充填し施工精度を確保する。さらにクリップ型ばねは、接着剤が硬化する間のアンカー筋のずれや傾きを防ぐ「ストッパー機能」を果たし、従来の工法で必要であった仮止め作業を省略し、施工効率を向上させる（図1）。



(a) クリップ型ばね

(b) クリップ型ばねをアンカー筋 (D13) に装着した状況

写真1 開発した全ねじボルト・異形棒鋼の両方に適用可能なクリップ型ばね

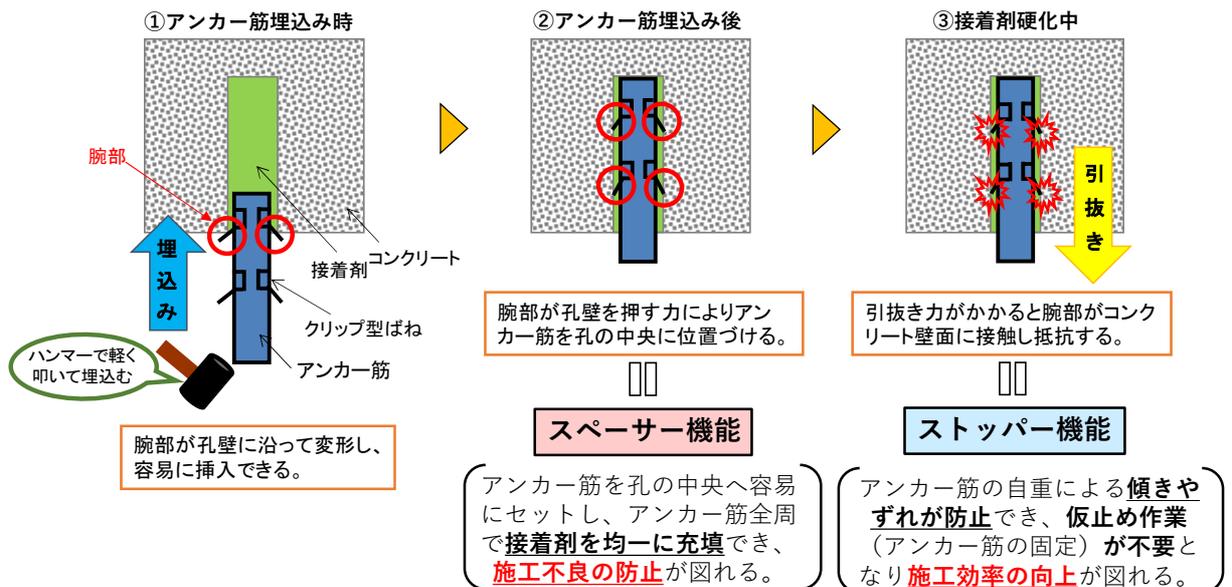


図1 クリップ型ばねを用いたあと施工アンカー工法の施工手順と各機能のメカニズム

※本研究は、青木あすなろ建設(株)と遠州スプリング(有)との共同研究成果の一部である。本報は、土木学会関東支部技術研究発表会(2021.02,V-20)と土木学会全国大会年次学術講演会(2021.08,V-478)で発表したものをまとめ、加筆・修正したものである。

クリップ型ばねの性能確認および適用範囲の検討 Performance Confirmation of Clip-type Springs and Study of Scope of Application

○山崎 彬* 波田雅也* 下村将之*
Akira YAMASAKI Masaya HADA Masayuki SHITAMURA

ABSTRACT We are developing a method to improve construction accuracy and efficiency of injection-type adhesive post-installed anchors by attaching a unique fixing member to the anchor bolt and constructing as before. This time, we have developed a fixing member of clip-type that can be attached to both full-thread bolts and deformed bars. A performance confirmation test was conducted using the developed fixing member, and it was confirmed that the fixing member had "spacer function" and "stopper function" that were expected. Furthermore, various construction tests were conducted with the aim of expanding the scope of application, and it was confirmed that the work could be applied to the "grout injection method" too.

Keywords : 接着系アンカー, 注入式, クリップ型ばね, 性能確認試験, 施工試験
Adhesive Anchor, Injection-type, Clip-type Spring, Performance Confirmation Test, Construction Test

1. はじめに

注入式接着系アンカーは、高い耐力が期待できるとして幅広い用途で使用されているが、接着剤が硬化する間にアンカー筋が自重等で下方にずれることや、アンカー筋が傾き接着剤の固着が不均一になることなどの問題が懸念される。そこで、筆者らはアンカー筋として用いられる全ねじボルト、異形棒鋼に装着する固定部材を開発した^{1)~4)}。開発した固定部材をアンカー筋に装着し従来通りに施工することで、固定部材がスペーサー機能とストッパー機能を発揮し、施工精度と施工効率の向上を図る(図1)。

既報の技術研究所報^{5),6)}では写真1(a)(b)に示す全ねじボルト、異形棒鋼のそれぞれに専用で装着する固定部材の開発を行い、開発した固定部材を用いて性能確認試験を実施した。両固定部材とも期待する機能を発揮することを確認したが、装着性(専用治具での装着)や汎用性(各アンカー筋専用)の点で課題が残った。

本報では、写真1(c)に示す全ねじボルトおよび異形棒鋼の両方に人力で装着が可能な両用のクリップ型の固定部材(以下、クリップ型ばね)を開発し、そのスペーサー機能とストッパー機能を確認する試験⁷⁾

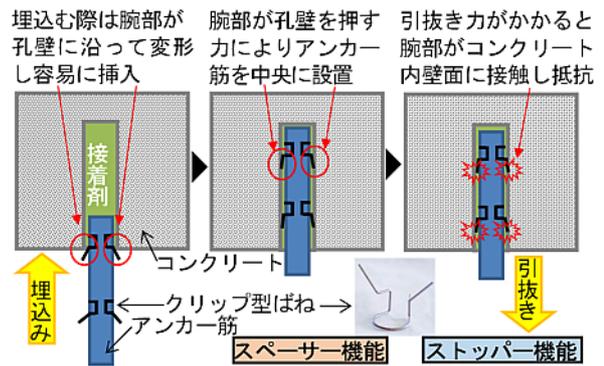
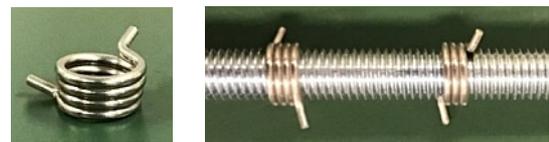


図1 固定部材を用いたあと施工アンカー工法の施工手順と各機能のメカニズム



(a) 朝顔型_全ねじボルト専用



(b) クリップ型_異形棒鋼専用



(c) クリップ型_全ねじボルト・異形棒鋼両用

写真1 開発した固定部材とアンカー筋に取付けた状況

*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室

の結果について報告する。さらに、クリップ型ばねの適用範囲の拡大を目的に、異なる穿孔機械を用いたあと施工アンカー工法やグラウト注入工法の試験施工を実施⁸⁾し、それぞれの工法でクリップ型ばねの適用性について検討したので、その結果についても報告する。

2. クリップ型ばね(全ねじ・異形棒鋼両用)の概要

2.1 クリップ型ばねの特徴

今回のクリップ型ばねは、素材にばね用ステンレス鋼線のSUS304-WPBを用いている。また、現場から課題として挙げられた装着性を考慮し、素材の線径を小さくし、写真2に示すように全ねじボルトと異形棒鋼の両方に手で容易に装着できる仕様とした。クリップ型ばねは大きくわけて「腕部」、「折返し部」、「締付け部」の3つの要素で構成され、腕部は「スペーサー機能」と「ストッパー機能」を担う重要な部分である。さらに、締付け部の内径を全ねじボルトの谷径より小さくすることで、アンカー筋に装着した際の締付け力を確保し、軸方向へのずれを防ぐ。

2.2 クリップ型ばねを用いた工法の施工手順

クリップ型ばねを用いた施工手順のフローを図2

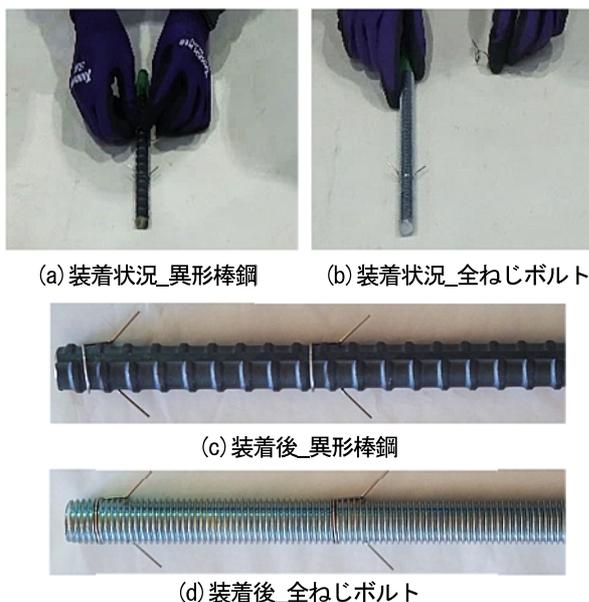


写真2 クリップ型ばねのアンカー筋各種への装着状況と装着後のアンカー筋各種

に示す。施工手順は従来の施工手順と大きな違いはなく、(4)アンカー筋の準備の際にアンカー筋1本あたり2個以上のクリップ型ばねを装着する。クリップ型ばねを装着することで、従来の工法で実施していた(7)アンカー筋の仮止め作業が不要となり、くさびや支保工の設置に伴うコストや作業時間を短縮できる。また接着剤硬化後に行うくさびなどの撤去も不要となる。

3. クリップ型ばねの性能確認

3.1 試験の目的

あと施工アンカーの穿孔径は、アンカー筋の呼び径(以下、呼び径)が同じでも工事内容や接着剤の種類により異なる。そこで、異なる穿孔径におけるクリップ型ばねの基本性能(スペーサー:施工性、ストッパー:耐荷性能)を確認するため、穿孔径とアンカー筋の種類、腕長さをパラメータとし、挿入および引張試験を実施する。

3.2 試験の諸元

アンカー筋を埋込む母材は市販のコンクリートブロック(150mm×150mm×200mm)とし、試験パラメータを表1に示す。クリップ型ばねの線径は1.1mm、製作時の腕角度を45度、装着個数は2個と

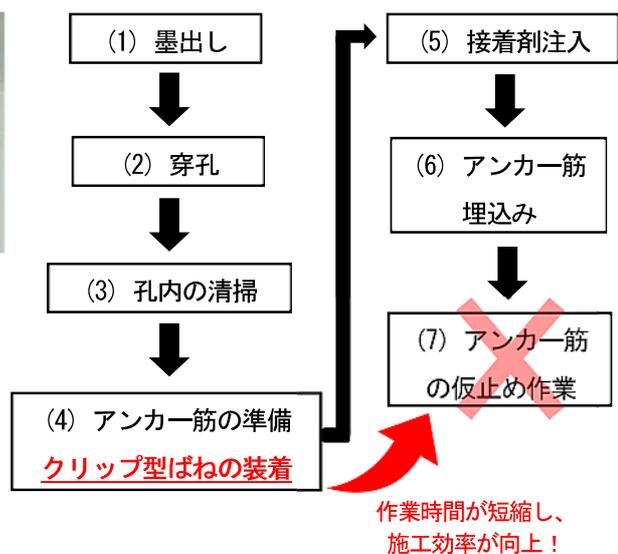


図2 クリップ型ばねを用いたあと施工アンカー工法の施工手順

し、各試験体3体ずつ実施した。写真3にコンクリートブロックを、写真4にクリップ型ばねを装着したアンカー筋を示す。なお、今回の試験では接着剤は使用していない。

3.3 施工性の確認

写真5にアンカー筋挿入後の状況を示す。クリップ型ばねを装着したアンカー筋を挿入したところ、穿孔

径が呼び径+4mm以上の試験体は、アンカー筋を人力で容易に挿入することができ、さらに孔の中央に位置付けることもでき、クリップ型ばねのスペーサー機能が確認された。なお、表1に示すグループM-1とM-2はハンマーで叩くことで挿入できた。

3.4 耐荷性能の確認

写真6に引張試験の状況を示し、図3と表2に引張

表1 試験パラメータ

試験体名	グループ	アンカー筋	穿孔径 (mm)	埋込深さ (mm)	クリアランス (mm)	ばね仕様				
						線径 (mm)	腕長さ (mm)	腕角度(°)		
M-18-10-1~3	M-1	M16	18	150	1	1.1	10	45	84	
M-18-13-1~3	M-2		18	150	1				13	86
M-20-10-1~3	M-3		20	150	2				10	78
M-20-13-1~3	M-4		20	150	2				13	81
M-26-10-1~3	M-5		26	150	5				10	60
M-26-13-1~3	M-6		26	150	5				13	67
M-28-10-1~3	M-7		28	150	6				10	53
M-28-13-1~3	M-8		28	150	6				13	63
D-18-10-1~3	D-1	D16	18	150	1	1.1	10	45	84	
D-18-13-1~3	D-2		18	150	1				13	85
D-20-10-1~3	D-3		20	150	2				10	78
D-20-13-1~3	D-4		20	150	2				13	81
D-26-10-1~3	D-5		26	150	5				10	60
D-26-13-1~3	D-6		26	150	5				13	67
D-28-10-1~3	D-7		28	150	6				10	53
D-28-13-1~3	D-8		28	150	6				13	62

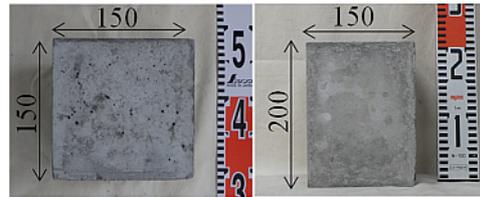


写真3 コンクリートブロック (150×150×200)

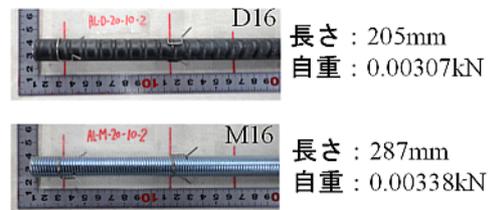
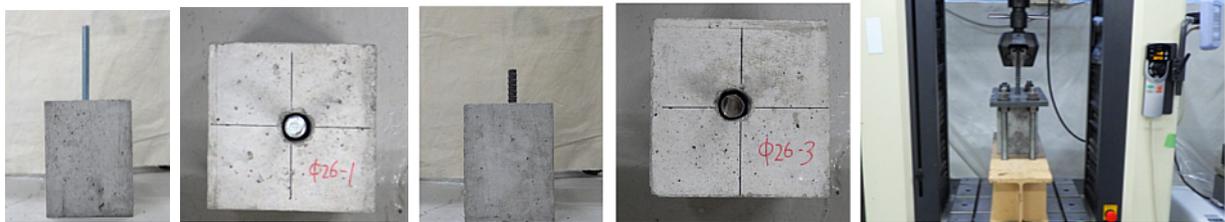


写真4 クリップ型ばね装着したアンカー筋各種



(a)M-26-13

(b)D-26-13

写真6 引張試験状況

(オートグラフ：島津製作所)

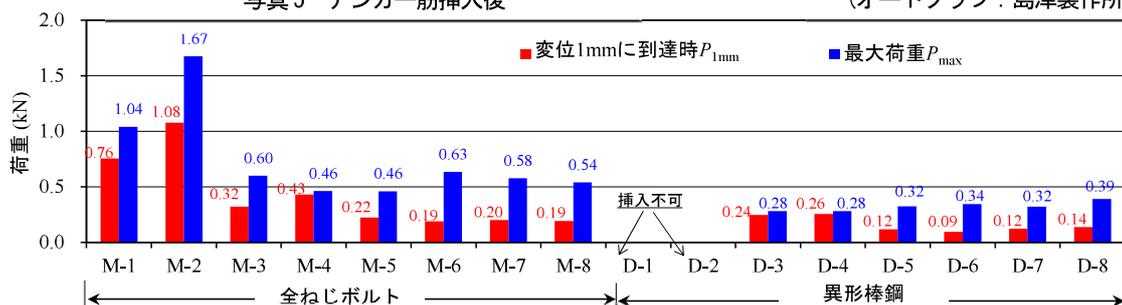


図3 試験結果(グループごとの平均値)

表2 試験結果一覧(グループごとの平均値)

試験体	グループ	1mm到達時の荷重 P_{1mm} (kN)	最大荷重時		P_{max} / アンカー筋自重	試験体	グループ	1mm到達時の荷重 P_{1mm} (kN)	最大荷重時		P_{max} / アンカー筋自重
			P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)					P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	
M-18-10	M-1	0.76	1.04	1.64	339	D-18-10	D-1	-	-	-	-
M-18-13	M-2	1.08	1.67	20.13	545	D-18-13	D-2	-	-	-	-
M-20-10	M-3	0.32	0.60	10.82	195	D-20-10	D-3	0.24	0.28	11.52	83
M-20-13	M-4	0.43	0.46	2.10	150	D-20-13	D-4	0.26	0.28	3.16	83
M-26-10	M-5	0.22	0.46	11.71	150	D-26-10	D-5	0.12	0.32	13.60	96
M-26-13	M-6	0.19	0.63	10.27	206	D-26-13	D-6	0.09	0.34	12.09	102
M-28-10	M-7	0.20	0.58	5.11	187	D-28-10	D-7	0.12	0.32	13.34	96
M-28-13	M-8	0.19	0.54	8.67	176	D-28-13	D-8	0.14	0.39	18.05	115

試験によって得られた変位 1mm 到達時の荷重 P_{1mm} と最大荷重 P_{max} 、および最大荷重に達した際の変位 δ_{max} をまとめる。全穿孔径において異形棒鋼より全ねじボルトの方が P_{1mm} および P_{max} のどちらも高い数値が得られた。また、腕長さによる P_{1mm} および P_{max} に差は見られなかった。全ねじボルトおよび異形棒鋼の P_{max} はそれぞれ 0.46kN 以上および 0.28kN 以上であり、各アンカー筋の自重に対しそれぞれ 150 倍および 83 倍以上であった。したがって、穿孔径が呼び径 +12mm までの範囲においては、クリップ型ばねが自重に対し十分なストッパー機能を保有していることが確認された。

4. クリップ型ばねの適用範囲の検討

4.1 穿孔機械が異なる施工への適用

(a) 試験の目的

あと施工アンカーの現場では、ハンマードリルを用いて穿孔することが多い。しかし、穿孔径が $\phi 35\text{mm}$ を、穿孔深さが 350mm を超えてくるとハンマードリルでの穿孔が難しい。その際はコアドリルを用いての穿孔となる。これまで、D25(M24)までをクリップ型ばねの適用範囲とし、ハンマードリルを用いた穿孔で

試験を実施してきた。実現場で使用される太径のアンカー筋にもクリップ型ばねを適用するには、コアドリルで穿孔した孔での性能確認が必要となる。また、ハンマードリルで穿孔した孔内と、コアドリルで穿孔した孔内の表面状態には違いがあり、その違いがばねの性能に影響を及ぼすかを確認する。

(b) 試験の諸元

アンカー筋を挿入する母材はコンクリート床板 (1800×3000×300) とする(写真 7)。表 3 に試験パラメータを示し、写真 8 にそれぞれの穿孔状況を示す。

(c) 施工の結果

写真 9 にクリップ型ばねを装着したアンカー筋を、写真 10 にアンカー筋挿入後の状況を例として各穿孔機械 1 体ずつ示す。写真 10 より、どちらの試験体も穿孔機械の違いに関係なく孔の中央にアンカー筋が位置づいていることが確認された。

(d) 引張試験の結果

写真 11 に引張試験の状況を示す。さらに表 4 に引張試験の結果を示す。引張試験の結果、H・M の試験体の方が高い耐力を示し、3 体の最大荷重の平均値は 0.77kN であった。一方、C・M の試験体は、3 体の最大荷重の平均値は 0.40kN で、H・M の試験体に比べ



写真 7 母材
(1800×3000×300)



(a) ハンマードリル



(b) コアドリル

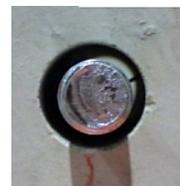
写真 8 穿孔状況



(a) ハンマードリル



(b) コアドリル



(b) コアドリル



写真 10 アンカー筋挿入後



写真 9 クリップ型ばねを装着したアンカー筋

表 3 試験パラメータ

試験体番号	アンカー筋 呼び径	穿孔方法	穿孔径	穿孔深さ	穿孔 方向	埋込深さ (mm)	ばね仕様				試験 体数
			(mm)	(mm)			線径(mm)	腕長さ(mm)	腕角度(°)	装着個数	
H-M-1~3	M16	ハンマードリル	26	300(貫通)	横	200	1.1	13	45	2	3
C-M-1~3		コアドリル	28.3	300(貫通)	横	200	1.1	13	45	2	3

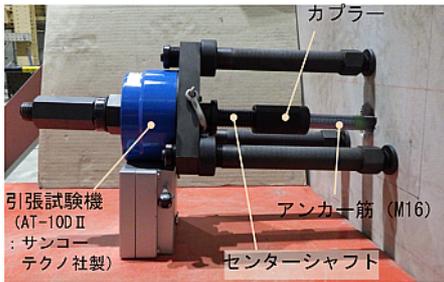
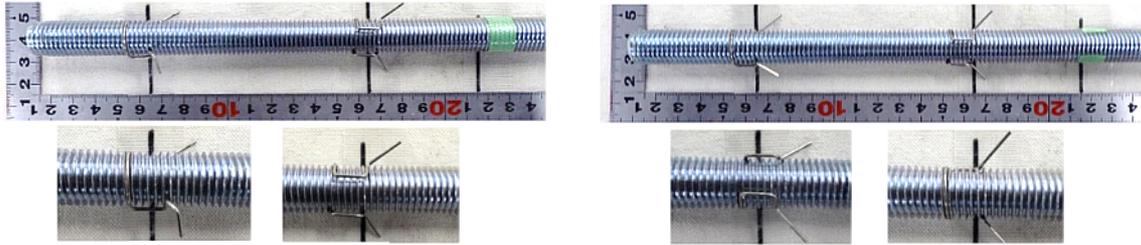


写真11 引張試験状況

表4 試験結果

試験体名	穿孔機械	最大荷重(kN)	平均(kN)	平均C/平均H
H-M-1	ハンマー	0.6	0.77	0.52
H-M-2	ドリル	0.9		
H-M-3	(H)	0.8		
C-M-1	コア	0.3	0.40	
C-M-2	ドリル	0.5		
C-M-3	(C)	0.4		



(a) ハンマードリル

(b) コアドリル

写真12 引抜き後のアンカー筋

半分ほどの耐力であった。したがって、穿孔機械の違いによる耐力への影響があることが確認された。

写真12に各穿孔機械の試験体1体ずつの引き抜き後のアンカー筋の状態を示す。写真から、ハンマードリルで穿孔した場合、ばねの腕部が孔内壁面にある凹部に引っ掛かり、腕部が折れ曲がっていることがわかる。一方、コアドリルで穿孔した場合、腕部は折れておらず、アンカー筋を抜いても挿入前と同じ形状であった。この結果は他2体も同様の結果であった。このことより、コアドリルで穿孔した場合、腕部の引っ掛かりが少なく十分なストッパー機能を発揮できない恐れがあることが分かった。したがって、穿孔機械にコアドリルを用いる場合は、穿孔後、孔内を目荒しするなどの対策をとることが望まれる。

4.2 グラウト注入工法への適用

(a) 試験の目的

貫通させた孔や穿孔深さの深い孔にアンカーボルト

(以下、アンカー)を施工する際には、図4のように先に孔内にアンカーを設置し、後からパイプを用いてグラウト材(接着剤やモルタル)を注入する工法(以下、グラウト注入工法)を用いる場合がある。そこでクリップ型ばねがグラウト注入工法にも適用が可能であるか検証(試験施工と引張試験)を行い、パイプとクリップ型ばねの腕部との取合いや引張荷重などを確認する。

(b) 試験の諸元

表5に試験パラメータを、図5に試験体(母材と施工位置)を示す。3.0m(高)×1.8m(幅)×0.3m(厚さ)のコンクリート壁を2枚製作し既設部のコンクリートを模擬した。アンカーは全ねじボルトのM16と異形棒鋼のD16の2種類とし、削孔径は27mm、埋込み深さは300mmで貫通させた。クリップ型ばねの材質はSUS304-WPB、線径は1.1mm、腕部の長さは13mmで、アンカー設置前に図6のように装着した。

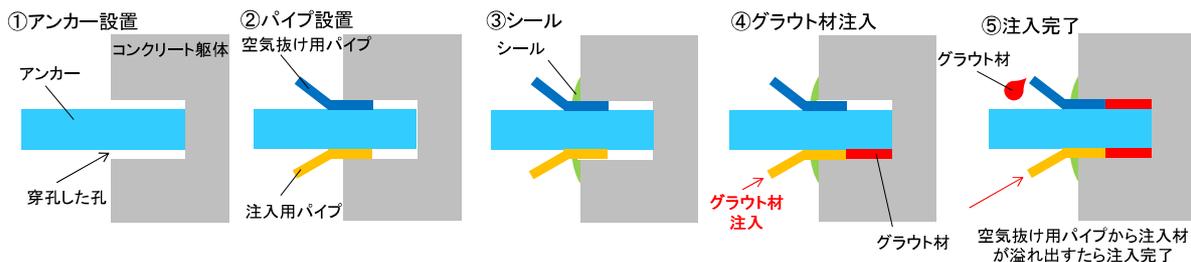


図4 グラウト注入工法の施工手順

各試験体は横向きにコアドリルで穿孔、アンカーの設置、パイプの設置、孔のシール、グラウト材(モルタル)の注入の順で試験体ごとに3体ずつ施工した。

(c) 施工の結果

アンカーの施工はグラウト注入工法の実績がある業者が行った。写真13に試験施工の様子を示す。一般的なアンカーの設置方法では、アンカーは孔内底部に直置きされていたのに対し、クリップ型ばねを用いた設置方法では、ばねによりアンカーが孔の中央に自動的に設置された。また、外径6mmのパイプ(空気抜け用・モルタル注入用)は、クリップ型ばねの腕部が妨げることなく従来通りに設置できた。次に、パッド材でシールする際、一般的な設置方法では、直置きされたアンカーを中央に位置づけながらシール作業を行う必要があった。一方、ばねを用いた設置方法で

は、アンカーが孔の中央に固定されているため、アンカーを中央にセットしながら作業を行う必要がなく、作業効率の向上となった。

(d) 引張試験の結果

写真14に示すようにコンクリート壁を横に倒し、引張試験機(AT-20T:サンコーテクノ)を用いて、アンカーの引張試験を行った。写真15に引張試験の状況を示す。なお、積算温度から推定した試験時のモルタルの有効材齢は2.02日、圧縮強度は37.5N/mm²であった。

荷重-変位関係曲線において、荷重の第1ピークを付着荷重 P_e 、最大荷重を P_{max} と定義し、図7に示す。また、3体試験体の付着荷重の平均値 $aveP_e$ と最大荷重の平均値 $aveP_{max}$ 、標準偏差 σ を表6にまとめる。

いずれの試験体においても付着破壊が先行した。試

表5 試験パラメータ

試験体		アンカー呼び径	鋼種規格	アンカー設置方法	本数
M-N	M-N-1~3	M16	SNB7	一般(N)	3
M-S	M-S-1~3			ばね(S)	3
D-N	D-N-1~3	D16	SD490	一般(N)	3
D-S	D-S-1~3			ばね(S)	3

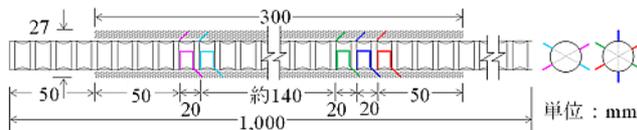


図6 クリップ型ばね装着イメージ

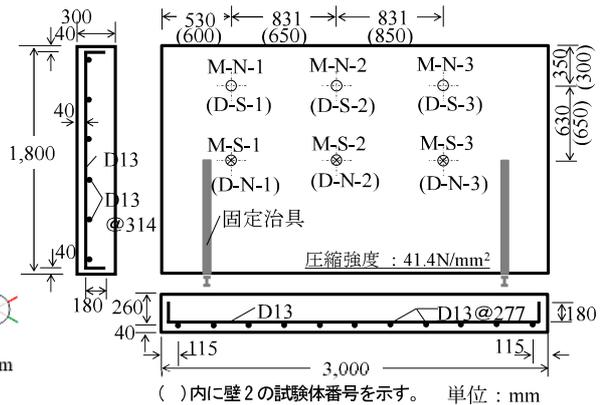


図5 母材と施工位置

1)穿孔

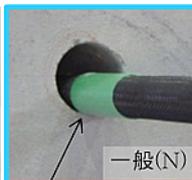


コアドリルでφ27×300を穿孔(貫通)

2)アンカーボルト設置



アンカー埋め込み



直置き



ばねにより中央に設置

3)パイプ設置



両手順とも問題なくパイプを設置

4)シール(一般)



アンカーを手で調整しながら作業

4)シール(ばね)



アンカーを調整する必要なく作業

5)グラウト材準備



グラウト材:モルタル

6)グラウト材注入



足踏み注入機を用いて注入

7)注入完了



空気抜け用パイプから注入材が溢れ出したことを確認

写真13 施工状況

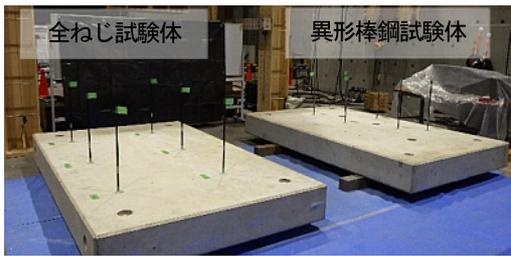


写真14 母材を横に倒した状況



写真15 引張試験状況(AT-20T)

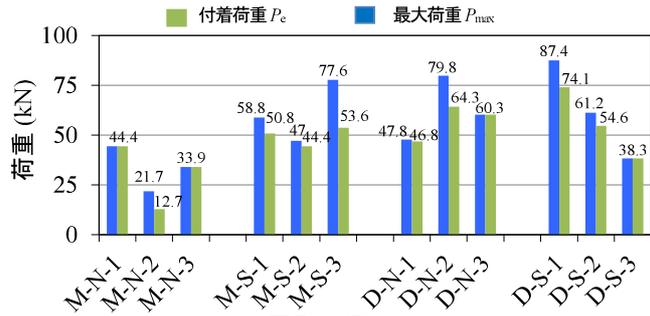


図7 試験結果

表6 試験結果

項目	M-N	M-S	D-N	D-S
付着荷重の平均値 $ave P_e$ (kN)	30.3	49.6	55.1	55.6
(標準偏差: σ)	(16.1)	(4.7)	(12.6)	(17.9)
最大荷重の平均値 $ave P_{max}$ (kN)	33.3	61.1	62.6	62.3
(標準偏差: σ)	(11.4)	(15.4)	(16.1)	(24.6)

試験体 M-N は、付着荷重および最大荷重が低かった。他の試験体の標準偏差 σ は大きく、耐荷力にバラツキがあるものの、最大荷重の平均値はどれも 60.0kN 程度であり、クリップ型ばねの有無による耐荷力の違いは見られなかった。したがって、ばねを用いた設置方法はクリップ型ばねのスペーサー機能により作業効率を向上させながら、従来の一般的な設置方法と同程度の耐荷力が得られた。

5. まとめ

今回、全ねじボルト・異形棒鋼の両方に装着が可能なクリップ型ばねを開発し、ばねに期待するスペーサー・ストッパー機能を確認した。さらに適用範囲の検討として、異なる穿孔機械を用いた場合のクリップ型ばねの性能の比較、並びにグラウト注入工法への適用の可否を検討した。以下に得られた結果を示す。

- (1)クリップ型ばねの性能確認において、クリップ型ばねを装着したアンカー筋は、呼び径+4mm の穿孔径以上では、人力で容易に挿入でき、孔の中央に位置づけるスペーサー機能も確認された。
- (2)クリップ型ばねの性能確認として実施した引張試験では、呼び径+12mm までの範囲では 0.28kN 以上の最大荷重が得られ、アンカー筋の自重に対し 83 倍以上の耐力を保有しており、ストッパー機能として有効であることが確認された。

- (3)異なる穿孔機械の条件でクリップ型ばねの性能を確認したところ、ハンマードリルで穿孔しても、コアドリルで穿孔してもクリップ型ばねのスペーサー機能は問題なく機能を果たし、孔の中央にアンカー筋が位置づいた。
- (4)異なる穿孔機械の条件でクリップ型ばねの性能を比較するために実施した引張試験の結果、ハンマードリルで穿孔した方が高い耐力を示し、3 体の最大荷重の平均値は 0.77kN で、コアドリルで穿孔した場合と比べ約 2 倍の値であった。
- (5)異なる穿孔機械をパラメータとして実施した引張試験において、引き抜いたアンカー筋を確認すると、ハンマードリルの試験体はばねの腕部が孔内壁面にある凹部に引っ掛かり、腕部が折れ曲がっていた。一方、コアドリルの試験体は、腕部は折れておらず、アンカー筋を引き抜いても挿入前と同じ形状であった。したがって引っ掛かりが少ないコアドリルに適用する際はコンクリート内壁面の目荒しなどを実施することが望ましい。
- (6)グラウト注入工法への適用を検証した試験施工では、クリップ型ばねの腕部がパイプの設置を妨げることなく従来通りに行うことができ、さらに、シール作業の作業効率を向上させた。
- (7)グラウト注入工法へクリップ型ばねを適用させ実施した引張試験では、従来の設置方法と同程度の耐

荷力が得られ、クリップ型ばねがグラウト注入工法にも適用できることを確認した。

【謝辞】

本研究は、青木あすなろ建設(株)と遠州スプリング(有)の共同研究成果の一部である。本報は文献7)、8)で共同発表した内容をまとめたものである。クリップ型ばねの開発から本試験の計画、遂行および結果の考察に際して、遠州スプリング(有)の栗屋社長および山代顧問に懇切丁寧に指導して頂いた。ここに感謝の意を示す。

【参考文献】

1)山崎 彬, 波田雅也, 牛島 栄, 栗屋紘介: 注入式接着系あと施工アンカーの施工効率の向上を図る工法の開発(報告), コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.1315-1320, 2020.6
 2)山崎 彬, 劉 翠平, 波田雅也, 牛島 栄: クリップ型ばねを用いた注入式接着系あと施工アンカー工法の性能確認試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.913-918, 2021.6
 3)山崎 彬, 波田雅也, 木村浩之, 牛島 栄, 栗屋紘介, 山代育民: 施工効率の向上を図る接着系あと施

工アンカー工法の提案, 土木学会第74回年次学術講演会梗概集, V-342, 2019.9

4)山崎 彬, 波田雅也, 牛島 栄, 栗屋紘介, 山代育民: 注入式接着系あと施工アンカー工法の施工効率の向上を図る固定部材の提案, 土木学会第75回年次学術講演会, V-638, 2020.9
 5)山崎 彬, 波田雅也, 下村将之: 施工精度・施工効率の向上を図る接着系あと施工アンカー工法の開発, 青木あすなろ建設技術研究所報, Vol.5, pp.1-6, 2020.3
 6)山崎 彬, 劉 翠平, 波田雅也, 下村将之: クリップ型ばねを用いた注入式接着系あと施工アンカー工法の性能評価, 青木あすなろ建設技術研究所報, Vol.6, pp.1-8, 2021.3
 7)山崎 彬, 劉 翠平, 波田雅也, 下村将之, 栗屋紘介, 山代育民: クリップ型ばねのパイプ注入工法への適用の検討, 土木学会関東支部第48回技術研究発表会, V-20, 2021.2
 8)山崎 彬, 劉 翠平, 波田雅也, 下村将之, 牛島 栄, 栗屋紘介, 山代育民: 異なる穿孔径におけるクリップ型ばねの性能確認試験, 土木学会第76回年次学術講演会, V-478, 2021.8