

セラミック定着体を用いた後施工型せん断補強工法の 各種施工条件への適用拡大

岩本 拓也¹・山野辺 慎一²・曾我部 直樹³・植田 政明⁴・中川 和孝⁵

¹正会員 工修 鹿島建設株式会社 技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

²正会員 工博 鹿島建設株式会社 技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

³正会員 工博 鹿島建設株式会社 技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

⁴正会員 カジマ・リノベイト株式会社（〒162-0065 東京都新宿区住吉町1-20）

⁵カジマ・リノベイト株式会社 技術部（〒162-0065 東京都新宿区住吉町1-20）

1. はじめに

旧耐震設計法に従って設計・施工された水道施設をはじめとする地下RC構造物の中には、現在の設計基準で照査すると、耐震性能を満足しないものが多く存在することが知られている。これらの地下RC構造物に対する補強工事は、内空側からの施工が一般的であり、施工上の制限から有効な補強工法が限られていたため、耐震補強があまり進んでいないのが現状であった。一方で、地下RC構造物の耐震補強については、その必要性が認識されるようになってきている¹⁾。特に、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、耐震性能に対する関心の高まりがうかがえる。

これに対し、地下RC構造物の耐震補強を目的として、セラミック定着体を有するせん断補強鉄筋（セラミックキャップバー、以下CCbと称する）による後施工型せん断補強工法「セラミックキャップバー工法²⁾（以下、CCb工法と称する）」を開発している（図-1、図-2）。本工法は、既設構造物を削孔してCCbを挿入した後、グラウトで一体化させることでせん断耐力を向上させる補強工法である。耐食性に優れるセラミックで定着体を構成することにより、定着部を部材の表面近くに配置できることから高いせん断補強効果を実現できる。現在までに、水処理施設やボックスカルバート等の地下RC構造物を対象として、数多くの補強工事に適用されてきた。一方、CCb工法の適用事例の増加に伴い、通常のCCb工法では対応できない特殊な施工条件において、本工法の適用が求められるケースが増えてきた。特に、CCbの挿入が困難な狭隘な施工空間での補強

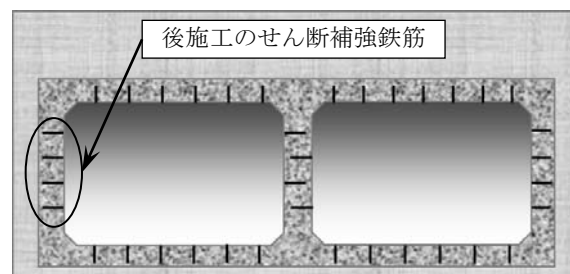


図-1 地下RC構造物の後施工型せん断補強

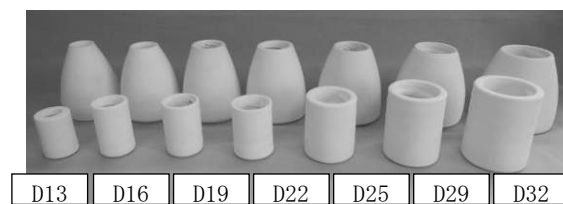
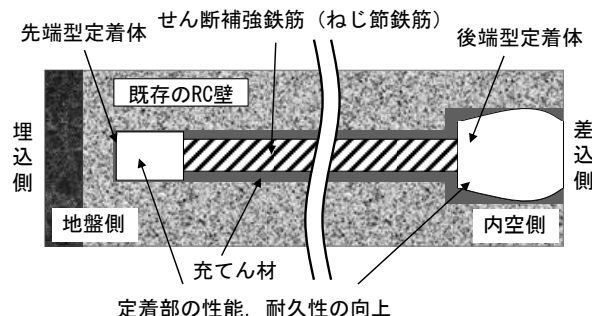


図-2 セラミックキャップバー（CCb）の概要

や、セラミック定着体が既設の鉄筋と干渉するような過密配筋部に対する施工が問題となることが多い。そこで、これらの施工条件でもCCb工法による耐震補強が可能となるように、本工法の改良を行った。ここでは、改良した本工法の概要とそのせん断補強効果を検証したRC梁の正負交番載荷試験、および施工の確実性について検証したCCbの施工性・グラウト充填性確認試験について報告する。

2. 改良したCCb工法の概要

(1) CCb工法の基本概要

CCb 工法は、既設の地下構造物を削孔し、両端にセラミック定着体を設置したねじ鉄筋を後施工型のせん断補強鉄筋として内空側から挿入し、グラウトにより一体化させるものである（図-2）。鉄筋の両端にセラミック定着体を設置することで、鉄筋の定着性を高めている。また、セラミック定着体は、高純度アルミナ系セラミックス製であるため、下水道施設のような腐食環境下において、補強箇所の表面付近の定着部の耐久性を確保できる。

セラミック定着体は、鉄筋径 D13~D32 まで 7 種類あり、CCb の埋込側（地盤側）と差込側（内空側）で異なる形状のものをを用いることを標準としている（図-2）。前者はセラミック製の袋ナット状で地盤側のかぶりコンクリート内への設置が可能であり、先端型定着体と称する。後者は膨らみを持つ円錐状とすることで定着力を高めており、後端型定着体と称する。なお、先端型定着体は定着長さが 5D（D:鉄筋径）以上で、後端型定着体は定着体単体で、SD345 の規格降伏強度相当以上の定着力を確保できることを既往の試験で確認している²⁾。

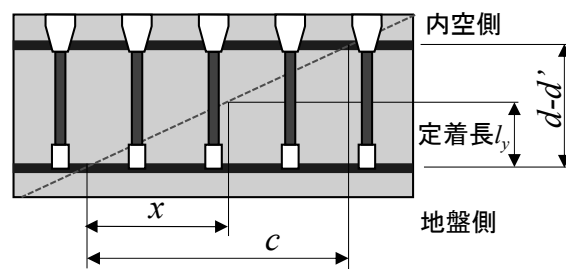
前述のように CCb の先端側は、規格降伏強度相当の定着力を確保するために 5D の定着長が必要となるため、斜めひび割れが定着長部を架橋する CCb のせん断補強効果については、低減して評価する必要がある。そこで、斜めひび割れを横切る CCb は定着が十分でないせん断補強鉄筋とみなして評価し³⁾、せん断補強効果の有効率を以下の式(1)によって算出することとした。図-3 に有効率の算定における概念図を示す。詳細な算出方法は参考文献を参照されたい²⁾。

$$\beta_{aw} = 1 - 1/2 \cdot (l_y / (d - d')) \cdots \cdots (1)$$

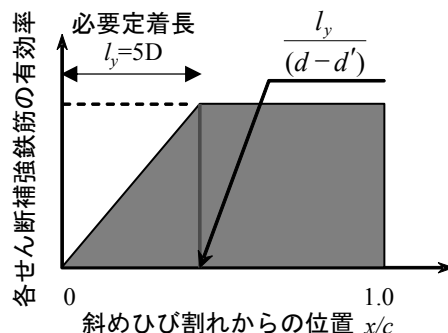
ここで、 l_y は定着体の定着長、 $d-d'$ は圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔である。標準型CCbを使用した場合のCCb工法のせん断補強効果 V_{CCbdl} は、CCbを通常のせん断補強鉄筋とみなして算出したせん断耐力負担 V_{awdl} に有効率 β_{aw} を乗じたものとして算出することで、安全側に評価可能であることが、既往の試験で確認されている²⁾。

(2) CCb工法の適用における課題

CCb工法の適用が進む中で、特殊な施工条件での適用が求められるケースが増えてきた。以下に代表的な事例を示す。



(a) 斜めひび割れ内に定着不良が生じたせん断補強鉄筋



(b) 標準型CCbにおける有効率

図-3 CCbによるせん断補強効果有効率の概念図

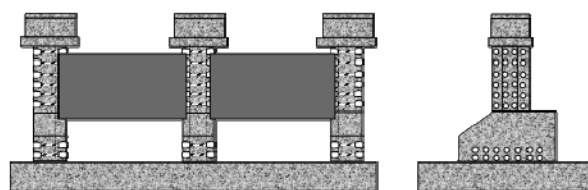


図-4 河川構造物の例



写真-1 狭隘部での削孔作業

- i) 過密配筋部
- ii) 水門等の巻立て補強ができない柱部材
- iii) 下水処理場等の狭隘な施工条件の既設RC地下構造物

これらの施工条件にCCb工法を適用する際には、以下に示すような課題があった。

i) について、下水処理施設の地中梁等を床面から施工するような場合、既設の軸方向鉄筋が密に配置されているため、差込側の後端型定着体が既設鉄筋と干渉し、CCbを設置できない場合があった。また、削孔が背面側の鉄筋を干渉して、既定の削孔長を満たすことができない場合、計算上は必要とする

定着長を適切に考慮することでCCbのせん断補強効率が再設定し、せん断耐力を評価することができるが、同計算に対する定量的な知見がないことが課題であった。

ii) について、図-4に示すような水門・樋門等のゲートを有する河川構造物の門柱では、鋼板巻立て工法などのせん断補強工法が適用されることが多いが、L型の断面形状やゲートの戸当りの機能上の理由から巻立て工法等を採用できないことがある。このようなケースにおいて、後施工型せん断補強工法が適用されることがあるが、より高いせん断補強効率と長尺のせん断補強鉄筋に対する施工の確実性が課題となっていた。

iii) について、下水処理場等の地下構造物は、写真-1に示すように施工する壁の背面に配管などの設備があるため、十分な施工空間を確保できず、CCbの挿入が困難である場合があった。

(3) 改良したCCb工法の概要

2. (2)に示した課題に対応するため、以下に示すCCb工法の改良を行った。

a) 補強鋼材に装着する定着体の組合せの変更

CCbは、ねじ鉄筋の両端に先端型定着体と後端型定着体の2種類のセラミック定着体を取り付けたものを標準型としている。このセラミック定着体の組合せを変更し、ねじ鉄筋の両端に先端型定着体を用いた「両端先端型」CCb（写真-2）と、ねじ鉄筋の両端に後端型定着体を用いた「両端後端型」CCb（写真-3）を新たに用いることとした。両端先端型は、差込側に先端型定着体を取り付けることで、標準型では差込側の後端型定着体が干渉してしまう過密配筋部への適用を想定している。両端後端型は、定着体単体で標準フックと同等の定着力が確保できる後端型定着体を両端に用いることで、標準型よりも高いせん断補強効率が期待できるため、水門など高いせん断補強効果が求められる既設構造物に適用することを想定している。

b) 機械式継手を用いた施工

CCbはねじ鉄筋を使用しているため、後施工せん断補強鉄筋を分割し、機械式継手により接続することが可能である。そこで、図-6に示す機械式継手を用いた施工方法を開発した。

まず、可塑性のグラウトが注入された削孔内に、あらかじめ先端側定着体と機械式継手を設置したねじ鉄筋を挿入する。その後、接続用の鉄筋を機械

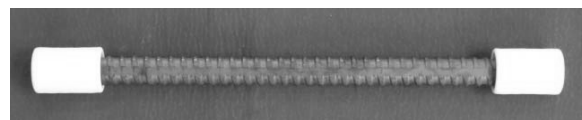


写真-2 両端先端型CCb

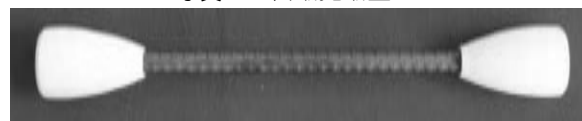


写真-3 両端後端型CCb

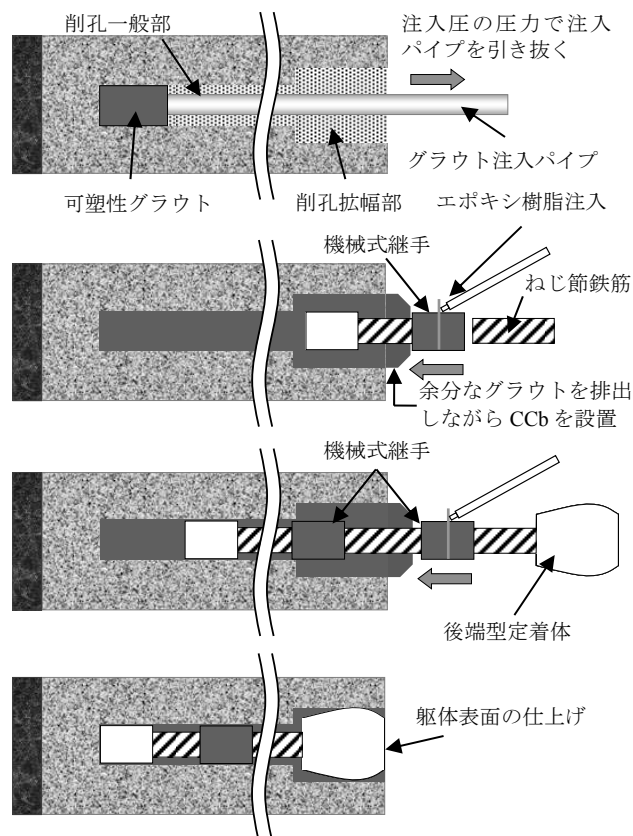


図-6 機械式継手による施工手順

式継手に接続し、継手部の注入口からエポキシ樹脂を注入する。施工条件に応じて機械式継手を設置したねじ鉄筋を順次挿入し、最後に後端側定着体を設置したねじ鉄筋を接合し、躯体表面を仕上げる。このような方法を用いることにより所定の挿入長さを確保し、狭隘なスペースでも施工が可能となる。

使用する機械式継手はねじ鉄筋に対して通常用いられるもので、エポキシ樹脂注入用の孔にピンを差し込んで用いる。このピンに鉄筋が当接するまでねじ接合することで確実に接合できるとともに、ねじ込み長の偏りを確認することができる。さらに、1ヵ所でも勘合が不十分な場合、削孔長よりもCCbの全長が長くなり後端側定着体が削孔拡張部よりも突出するので、接合不良を容易に確認することができる。なお、引張試験により、本方法で接合したねじ鉄筋が規格降伏強度相当以上の性能を有していることを確認している。

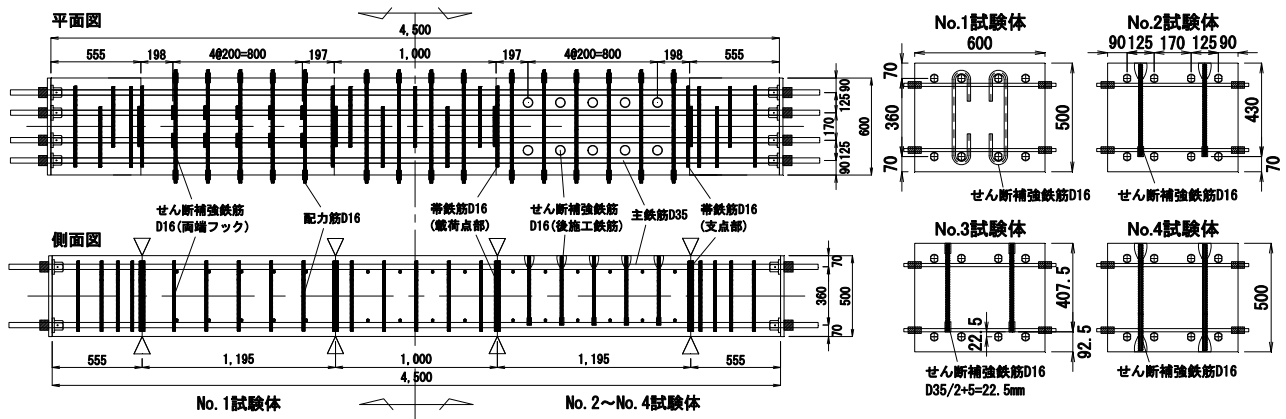


図-7 試験体概要

表-1 試験ケース・試験体諸元一覧

	No.1	No.2	No.3	No.4
断面寸法	600×500 mm			
せん断スパン	1195 mm			
せん断スパン比	2.78			
実験時のコンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	40.6	42.4	34.0	35.5
帯鉄筋・補強鉄筋の 材質および形状	SD345 D16 両端フック	SD345 D16 セラミックキャップバー (CCb)		
せん断補強鉄筋の 降伏強度	388.9		389.9	
せん断補強鉄筋比	0.33%			
CCbの先端位置	－	主鉄筋の 図心	主鉄筋表面から 5mm手前	－
定着体の組合せ	－	標準型	両端先端型	両端後端型

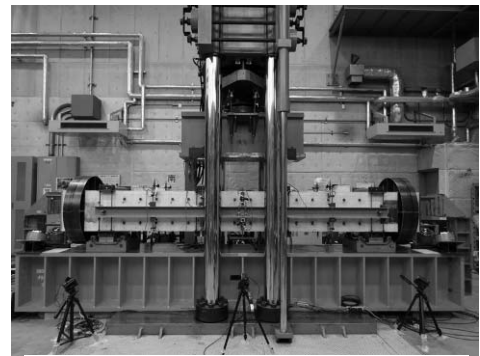


写真-4 載荷装置

3. CCbの定着体の組合せに関するRC梁部材の正負交番載荷試験

(1) 試験概要

CCbの両端に設置するセラミック定着体の組合せが異なる場合、定着体の形状や設置位置に応じてせん断補強効果の有効率を設定することで、せん断耐力を評価できると考えられるが、定着体の組合せの違いがCCbのせん断補強効果に及ぼす影響については、これまで十分な検討が行われていなかった。そこで、CCbの両端に設置するセラミック定着体の組合せがせん断補強効果に及ぼす影響を検討することを目的として、破壊モードがせん断破壊となるRC梁の正負交番載荷試験を行った。

試験ケース、試験体諸元を表-1に、試験体図を図-7に示す。試験体は、断面が600×500mm、全長が4,500mm、せん断スパン比が2.78であり、軸方向鉄筋としてD35-8本 (SD490)、せん断補強鉄筋としてD16 (SD345)を用いた梁試験体である。試験ケースは、標準フックを配筋したNo.1、標準型CCbを配筋したNo.2、両端先端型CCbを配筋したNo.3、両端後端型CCbを配筋したNo.4の計4ケースであり、試験体No.2～No.4は、実施工と同様の手法で削孔し、CCbをグラウト材で一体化させることで製作した。両端先端型については、CCbの先端位

置が主鉄筋表面から5mm手前になるようにCCbを配筋した。これは、両端先端型の適用箇所として想定している過密配筋部では、削孔が先端側で既設の鉄筋と干渉することで、CCbの先端が主鉄筋の手前にならざるを得ないケースがあることを想定している。なお、標準型の先端は主鉄筋の中心位置、両端後端型の先端は試験体表面とした。

写真-4に載荷装置 (アムスラー型万能試験機)を示す。載荷は、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、段階的に荷重制御により加力を行い、以後は、規格強度に基づくせん断耐力到達時点での加力点変位を基準とする、同一振幅における繰り返し回数1回の振幅漸増型の変位制御による交番加力を行った。計測は、載荷点および支点における鉛直変位、載荷荷重およびせん断補強鉄筋のひずみについて行った。各変位は変位計により、載荷荷重はロードセルにより、せん断補強鉄筋のひずみはせん断補強鉄筋に貼り付けたひずみゲージにより計測した。

(2) 試験結果

図-8に各試験体のせん断力-載荷点変位関係を示す。両端フックのせん断補強鉄筋を用いたNo.1試験体では、 $-3\delta_y$ に到達する直前に斜めひび割れが卓越し、せん断破壊によって急激に耐力が低下し

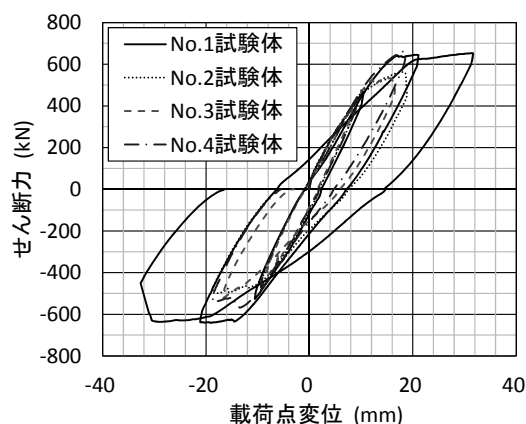


図-8 せん断力-荷点変位関係

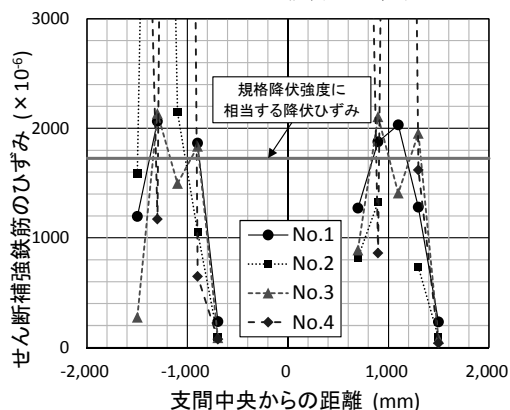


図-9 最大せん断耐力時のせん断補強鉄筋のひずみ分布

た．最大耐力は $+3\delta_y$ 時点で 654kN を，負側では $-2\delta_y$ へ向かう途中に -640 kN を示した．標準型 CCB を使用した No.2 試験体では， $+2\delta_y$ に到達する直前に斜めひび割れが卓越し，せん断破壊によって急激に耐力が低下した．正側・負側におけるせん断力の最大値は，それぞれ 563kN， -499 kN であった．両端先端型 CCB を使用した No.3 試験体では， $+2\delta_y$ に到達する直前に最大せん断力 532kN を示した後，斜めひび割れが卓越し，せん断破壊により急激に耐力が低下した．正側・負側におけるせん断力の最大値は，それぞれ 532kN， -520 kN であり，No.2 試験体と比較すると，荷履歴，最大耐力共に大きな差異は確認されなかった．両端後端型 CCB を使用した No.4 試験体では， $-2\delta_y$ に到達する直前に最大せん断力を示した後，斜めひび割れが卓越し，せん断破壊によって急激に耐力が低下した．正側・負側におけるせん断力の最大値はそれぞれ 661kN， -568 kN であり，正側の最大耐力は No.1 試験体と同等であった．また，No.2 試験体よりも正側・負側ともに高いせん断耐力を示した．

写真-5 に，各試験体の終局時のせん断スパンに発生したひび割れ発生状況を示す．いずれの試験体においても斜めひび割れが卓越し，せん断破壊に至ったことが分かる．また，図中の赤線に示す最初に

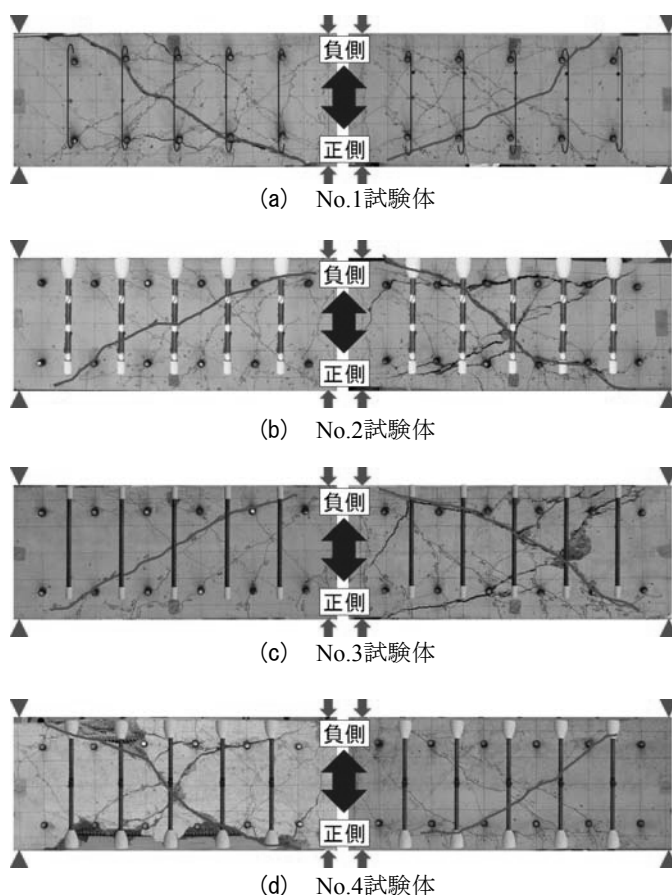


写真-5 終局時のひび割れ状況

せん断破壊した時点における主たる斜めひび割れを見ると，定着体の組合せの違いによってひび割れ発生状況に大きな差異は確認されなかった．

図-9 に，最大せん断耐力時におけるせん断補強鉄筋のひずみの分布を示す．いずれの試験体もひずみ分布はほぼ左右対称であり，左右の試験区間においてせん断補強鉄筋および CCB が均等にせん断耐力を負担していることが分かる．また，スパン中央付近の大きな斜めひび割れが発生している箇所においては，規格降伏相当のひずみ (1725μ) を超えたひずみが計測され，CCB を使用した試験体では定着体の損傷も確認されなかった．

以上より，定着体の組合せが異なる CCB を用いた場合においても，標準フックや標準型 CCB を用いた場合と同様のメカニズムでせん断補強鉄筋として機能していることが確認された．

(3) 定着体の組合せによるせん断補強効果の評価

既往の検討により，標準型 CCB のせん断補強効果は，トラス理論に基づいて算出したせん断耐力負担分に式(1)による有効率 β_{aw} を乗じることで，設計上，安全側に評価できることが示されている²⁾．ここでは，先端側の埋込位置が異なる CCB や，定着体の組合せが両端先端型，両端後端型である CCB のせん断

耐力負担分の算定において、同様の手法が適用できることを検証する。

図-10 に、各種条件に応じた CCb のせん断補強効果の有効率算定における概念図を示す。No.3 試験体のように、両端先端型が設置され、CCb の先端位置が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前となる場合、差込側において埋込側と同様に必要定着長に応じて有効率を低減し、また、先端側定着体から主鉄筋図心までの距離を考慮することで、有効率を算出できると考えられる。両端後端型が設置された場合、両端で標準フックと同等の定着性能が期待できるため、補強効果も両端フックと同様となり、有効率は 1.0 となると考えられる。図-10 を参考に式(1)を拡張すると、各種条件のせん断補強有効率の算定式は式(2)～(5)のようになる。

$$\beta_{awxd-f} = 1 - (l_y + 2l'_y)/2(d - d') \quad \cdots \cdots (2)$$

$$\beta_{awxx} = 1 - l_y/2(d - d') - (l_y - d')/2l_y(d - d') \quad \cdots \cdots (3)$$

$$\beta_{awdd} = 1 \quad \cdots \cdots (4)$$

$$\beta_{awxx-f} = 1 - (l_y + 2l'_y)/2(d - d') - (l_y - d')/2l_y(d - d') \quad \cdots \cdots (5)$$

ここで、 β_{awxd-f} :標準型 CCb を用いて、埋込位置の先端が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前である場合の有効率、 β_{awxx} :両端先端型 CCb を用いた場合の有

効率、 β_{awdd} :両端後端型 CCb を用いた場合の有効率 (No.4 試験体)、 β_{awxx-f} :両端先端型 CCb を用いて、埋込位置の先端が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前である場合の有効率 (No.3 試験体) である。

上記の考え方の適用性を検討するため、各ケースで得られた正負のせん断耐力の試験値に基づき、コンクリート標準示方書⁴⁾を参考にして、CCb によるせん断耐力負担分 V_{CCb} と CCb の有効率 β_{aw} を以下の式から算出した。

$$V_{CCb} = V_{exp} - V_{cd} \quad \cdots \cdots (6)$$

$$\beta_{aw} = V_{CCb}/V_s \quad \cdots \cdots (7)$$

ここで、 V_{exp} は正負のせん断耐力の試験値、 V_{cd} はせん断補強鋼材を用いない部材により受け持たれるせん断耐力、 V_s は CCb を通常のせん断補強鉄筋とみなして実降伏強度を用いてトラス理論により求められるせん断耐力である。

表-2 に試験結果の一覧を示す。有効率は、正側載荷時および負側載荷時についてそれぞれ算出した。また、正負交番載荷試験において、最初にせん断破壊した載荷方向におけるせん断力は表中に網掛けで示す。試験から得られた最初にせん断破壊した側の有効率は、いずれの試験ケースにおいて計算値よりも大きな値であることが分かる。つまり、CCb の先端の埋込位置および定着体の組合せが異なる場合においても、式(1)～式(5)から算出される有効率以上のせん断補強効果が期待できることが確認された。

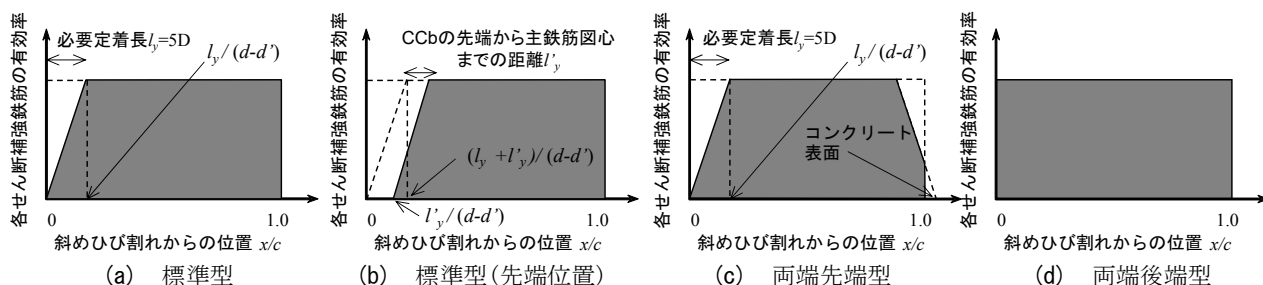


図-10 有効率算定の概念図

表-2 実験結果の一覧

試験 ケース	「セラミックキャップバー (CCb)」の仕様		実験での最大 せん断耐力 (kN)		算定式による せん断耐力 (kN) $V_{cal}=V_{cd}+V_s$			「セラミックキャップ バー (CCb)」が負担 するせん断力 (kN)		せん断補強鉄筋の 有効率 β_{aw} (V_{CCb}/V_s)			有効率の 設計値 β_{aw}
			正側	負側	V_{cal}	V_{cd}	V_s	正側	負側	正側	負側	平均	
	定着体の 組合せ	先端位置	V_{exp}	V_{exp}				V_{CCb}	V_{CCb}				
No.1	180° フック	—	654	<u>640</u>	539	250	289	404	390	<i>1.40</i>	<u>1.35</u>	1.37	—
No.2	標準型	主鉄筋位置	<u>563</u>	<i>499</i>	542	253	289	310	246	<u>1.07</u>	0.85	0.96	0.89
No.3	両端先端型	主鉄筋の表面 より5mm手前	<u>532</u>	<i>520</i>	525	235	290	297	285	<u>1.02</u>	<i>0.98</i>	1.00	0.82
No.4	両端後端型	—	<i>661</i>	<u>568</u>	525	235	290	426	333	<i>1.47</i>	<u>1.15</u>	1.31	1.00

※1 網掛けは正負交番載荷で最初にせん断破壊したことを示す

※2 斜体はせん断破壊をしていない場合、その載荷方向での最大荷重を示す

4. 各種条件における施工の確実性の検証

(1) 試験概要

CCb 工法で想定通りのせん断補強効果を発揮するためには、CCb および機械式継手まわりにグラウト材が密実に充填され、CCb が既設構造物と一体となっていることが前提である。しかし、機械式継手を用いた場合や長尺な CCb の施工の確実性について、これまで十分な検証がなされていなかった。そこで、機械式継手を用いた場合の施工の確実性の検証試験と、長尺 CCb を用いた場合の施工の確実性の検証試験を実施した。

試験ケースを表-3 に示す。試験ケースは、CCb を途中で機械式継手で接合するケースと、長尺な CCb を想定したケースであり、それぞれについて下向き、横向き、上向きの施工方向を設定した。試験は、グラウトを充てんした挿入孔を模した管（機械式継手では内径 42.2mm の鋼管と内径 41mm の透明パイプ、長尺 CCb では透明パイプを使用）に D22 の CCb を挿入して行った。また、グラウト材の

硬化後、試験体を切断して機械式継手および長尺 CCb の周囲へのグラウト材の充填性を確認した。グラウト材は、下向き施工については高流動グラウト、横向き及び上向き施工についてはプレミックスタイプ可塑性グラウトを使用した。試験体の長さは、機械式継手を用いたケースは 900mm とし、長尺な CCb を想定したケースについては、表-3 に示すように施工の実績から最長と考えられる長さを施工の向きに応じて設定した。なお、横向きについては、長さ 3985mm と 3000mm の CCb を機械式継手で接合して、挿入している。

(2) 試験結果

a) 機械式継手を用いた施工試験結果

表-4に機械式継手を用いたケースの施工試験結果を示す。CCbの挿入途中での機械式継手による接合作業を行いつつ、グラウトが充てんされた挿入孔にCCbを問題無く挿入することができた。また、グラウトの硬化後、継手部を含む1mの範囲を縦方向に切断し充填状況を確認したところ、機械式継手まわりに隙間なくグラウト材が充填されていることが確認できた。

b) 長尺CCbを用いた施工試験結果

表-5に長尺なCCbを用いたケースの施工試験結果を示す。いずれの施工方向に対しても、グラウトが充てんされた挿入孔に対して、CCbをスムーズに挿入することができ、良好な施工性が確認された。また、グラウト材硬化後、試験体を1mピッチに輪切りにして充填状況を確認したところ、各方向とも全

表-3 試験ケース一覧

	施工向き	グラウト種類	鉄筋径	試験体長さ (mm)	型枠長さ (mm)
機械式 継手	下向き	高流動	D22	900 (450+450)	920
	横向き	可塑性	D22	900 (450+450)	920
	上向き	可塑性	D22	900 (450+450)	920
長尺CCb	下向き	高流動	D22	6985 (3985+3000)	7000
	横向き	可塑性	D22	3985	4000
	上向き	可塑性	D22	4985	5000

表-4 機械式継手を使用した施工試験結果

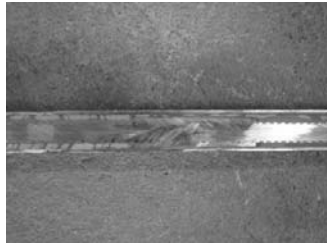
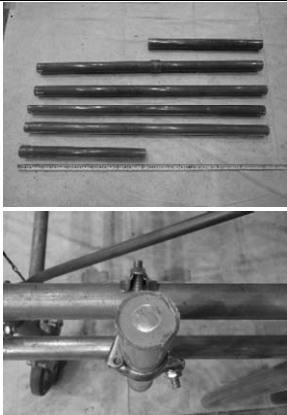
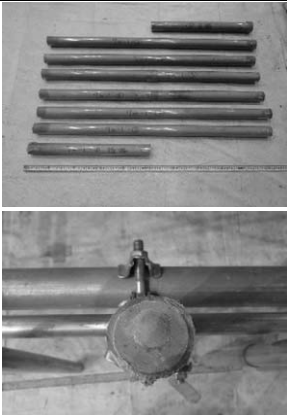
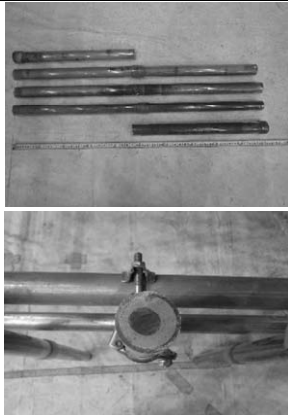
	下向き施工	横向き施工	上向き施工
試験体			
切断状況			

表-5 長尺CCbを使用した施工試験結果

	下向き施工	横向き施工	上向き施工
試験体			
切断状況			

長にわたりグラウト材が良好に充填されていることが確認された。

以上より、下向き施工は5m、横向きは7m、上向きは4mの範囲で、本工法が問題無く施工できることが確認された。

5. まとめ

特殊な施工条件への CCb 工法の適用拡大を目的とし、セラミック定着体の組合せが異なる CCb と、機械式継手を使用した施工方法を考案し、RC 梁の正負交番載荷試験によるせん断補強効果の確認と、施工試験による施工の確実性の検証を行った。その結果、以下のような結論が得られた。

- ① 定着体の組合せが異なる CCb を用いた場合においても、標準フックや標準型 CCb を用いた場合と同様のメカニズムでせん断補強鉄筋として機能することを確認した。
- ② 定着体の組合せが異なる場合においても、標準型 CCb と同様に、トラス理論で算出される通常のせん断補強鉄筋が負担するせん断耐力に、各種条件に応じた有効率を乗じることで、せん

断耐力を安全側に評価できることを確認した。

- ③ CCb を機械式継手で接合するケースについて、下向き、横向き、上向きの CCb の挿入作業において問題が無いこと、および機械式継手も含めた CCb の周囲にグラウトが充填できることを確認した。
- ④ 長尺の CCb を想定した施工試験において、下向きは 5m、横向きは 7m、上向き 4m の範囲まで、本工法が問題無く施工できることを確認した。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ; <http://www.mlit.go.jp/crd/sew/erage/sesaku/02jishin.html>
- 2) 金光嘉久, 古市耕輔, 山野辺慎一, 曾我部直樹, 石井明俊, 鴻上浩明, 植田政明, 佐貫武; セラミック定着体を用いた地下構造物の耐震補強工法の開発と適用, 鹿島建設技術研究所年報, 第59号 (2011), pp.29-36.
- 3) 土木学会; アルカリ骨材反応対策小委員会報告書, 2005.
- 4) 土木学会; 2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】, 2018