

資料 3 - 1

泊発電所 3 号炉審査資料	
資料番号	DB04 r. 3. 28
提出年月日	令和5年7月31日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合状況について  
(設計基準対象施設等)

第4条 地震による損傷の防止

令和 5 年 7 月  
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 泊発電所3号炉

後施工せん断補強筋による  
耐震補強について

## 目次

1. 概要
  2. Ccb 工法について
    - 2.1 Ccb 工法の適用部位
    - 2.2 Ccb 工法の概要
  3. 泊3号炉における Ccb 工法の適用性の確認
    - 3.1 適用性確認方法
    - 3.2 適用範囲の確認
      - 3.2.1 女川2号炉における Ccb 工法の適用性確認結果
      - 3.2.2 泊3号炉における適用範囲の確認
    - 3.3 泊3号炉における Ccb 工法の設計上の制限
      - 3.3.1 耐震補強を行うにあたっての設計上の制限
      - 3.3.2 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー
  4. 泊3号炉における Ccb 工法の適用性確認のまとめ
- 添付資料1 女川2号炉における建設技術審査証明報告書適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認内容
- 添付資料2 泊3号炉におけるコンクリートの健全性の検討
- 参考資料1 建設技術審査証明報告書の概要
- 参考資料2 Ccb の施工精度に影響を与える項目の確認
- 参考資料3 施工実績・研究事例

## 1. 概要

泊3号炉の屋外重要土木構造物等<sup>(注)</sup>には、基準地震動の大加速度化に伴い、せん断破壊に対して耐震補強工事が必要となる既設鉄筋コンクリート構造物がある。

せん断破壊に対する補強工法としては、部材のせん断耐力を向上させる後施工せん断補強工法の他に、増厚工法や地盤改良工法等があるが、泊3号炉の屋外重要土木構造物等については、部材の耐力を直接向上させる合理的な補強工法で、後施工せん断補強工法の一つである、セラミックキャップ（以下「CCb」という。）工法を採用している。（第1-1表、第1-2表参照）

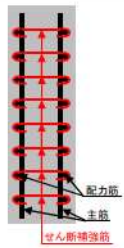
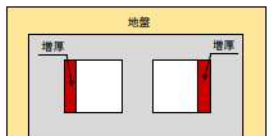
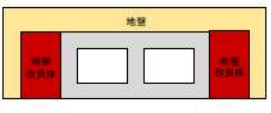
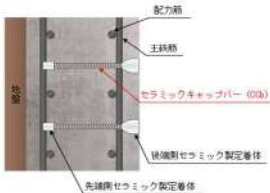
CCb工法は、第1-1図に示すとおり、既設の鉄筋コンクリート構造物に後施工によりせん断補強を行う工法の一つであり、部材を削孔後、その孔内にCCbを挿入し、グラウト充てんにて固定し、せん断耐力を向上させるものである。

CCbにより耐震補強を行った構造物の一覧を第1-2表、耐震補強箇所及び補強概要を第1-2図及び第1-3図に示す。

本資料は、本補強工法が開発された際の実験の範囲と泊3号炉で用いる部材厚や破壊形態に差異があること等から、CCb工法を採用する目的、効果及び泊3号炉への適用性について説明するものである。

(注)：「屋外重要土木構造物」、「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備」、「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）」のいずれかに該当するか、又は兼務する構造物を「屋外重要土木構造物等」とする。

第1-1表 主なせん断補強工法

	従来工法（先施工）	増厚工法	地盤改良工法	後施工せん断補強工法
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリート打設前の鉄筋組立時に、せん断補強筋を主筋又は配力筋にフックを掛けて定着させる工法。</li> <li>・ せん断補強筋を配置することで、せん断破壊に対する安全性向上に寄与する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設コンクリート構造物表面にコンクリートを打ち増しすることで、断面を増厚する工法。</li> <li>・ 部材厚の増により、せん断破壊に対する安全性向上に寄与する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設コンクリート構造物周辺地盤にセメントミルク等を噴射し、地盤改良体を構築する工法。</li> <li>・ 地盤改良を行うことにより、地震時荷重（主に土圧）が低減され、せん断破壊に対する安全性向上に寄与する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設コンクリート構造物を削孔し、その孔内にせん断補強筋を差し込み充てん材で固定する工法。</li> <li>・ せん断補強筋を配置することで、せん断破壊に対する安全性向上に寄与する。</li> </ul>
図				
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 泊3号炉他、多数の施工実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 泊3号炉他、多数の施工実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 泊3号炉他、多数の施工実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 女川2号炉にて、工認実績有り。（セラミックキャップ（CCb）工法）</li> </ul>



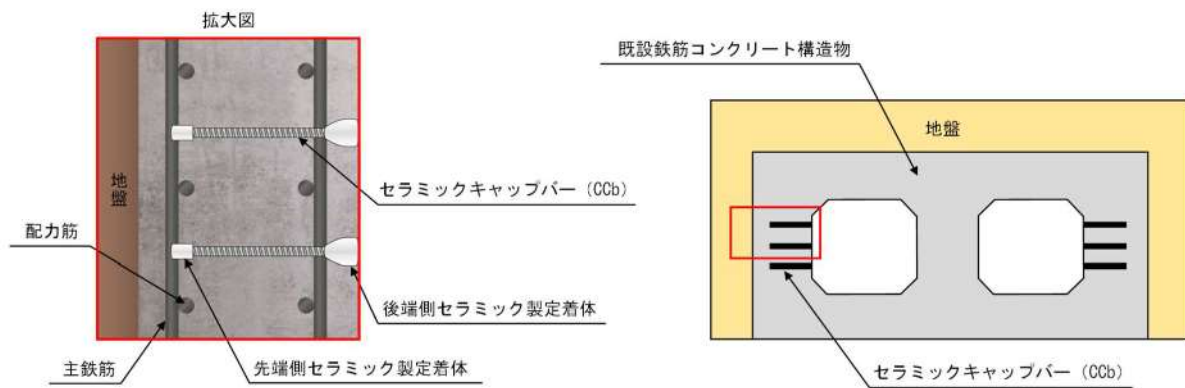
第 1-2 表 Ccb により耐震補強を行った構造物<sup>(注1)</sup>

構造物名称 <sup>(注2)</sup>	部 材	部材厚 (mm)	CCb 径	せん断スパン比 <sup>(注3)</sup>
取水ピット スクリーン室	頂版	1,000	D22	4.38
	側壁	2,000	D22	3.07
	隔壁	1,200	D22	5.32
		1,500	D22	4.17

(注1)：今後の評価により、CCb により耐震補強を行う構造物は増える可能性がある。

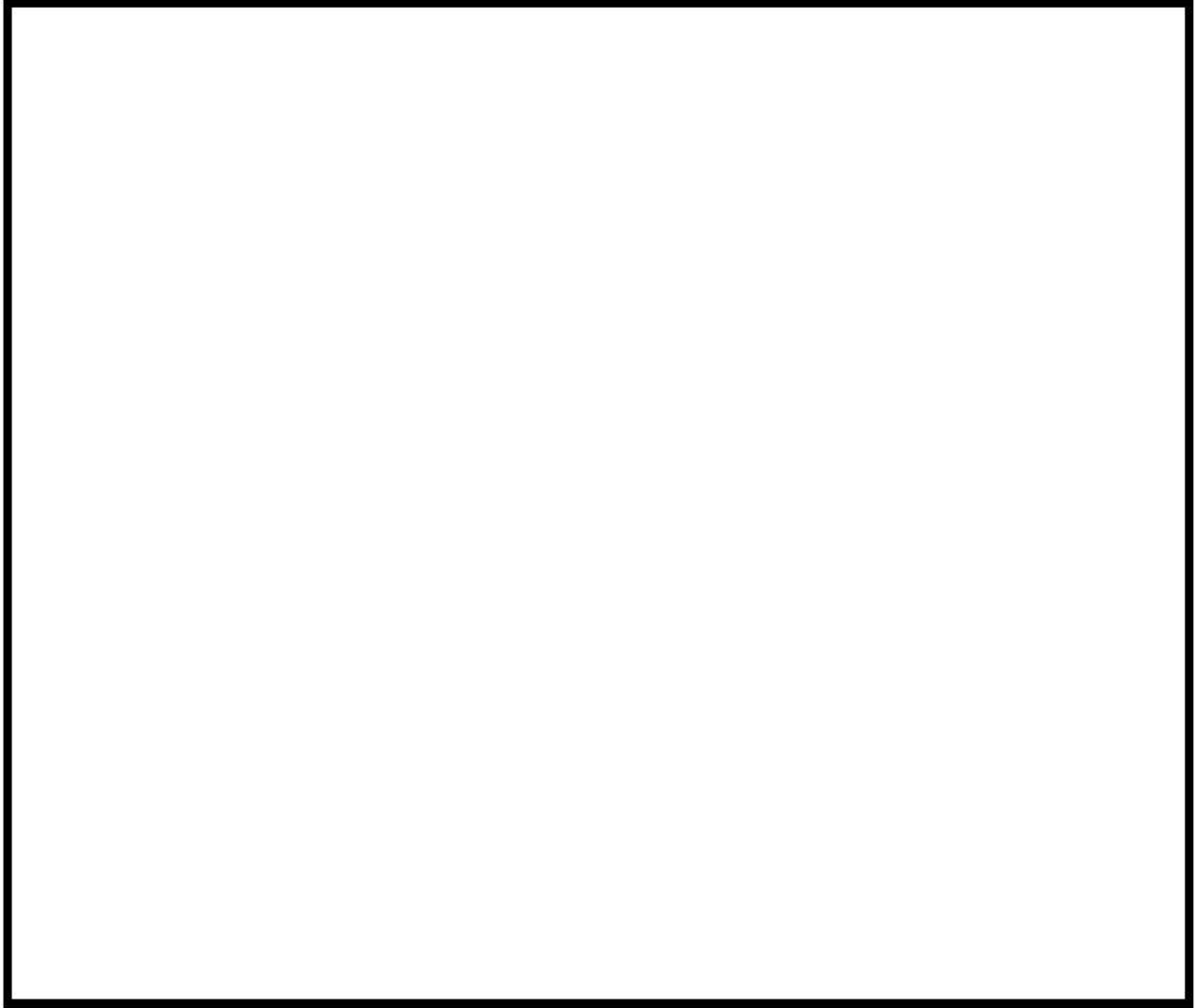
(注2)：トラッシュピットも CCb により耐震補強を行っているが、撤去予定のため除外している。

(注3)：せん断スパン比：a/d (a：支間長，d：有効高さ)



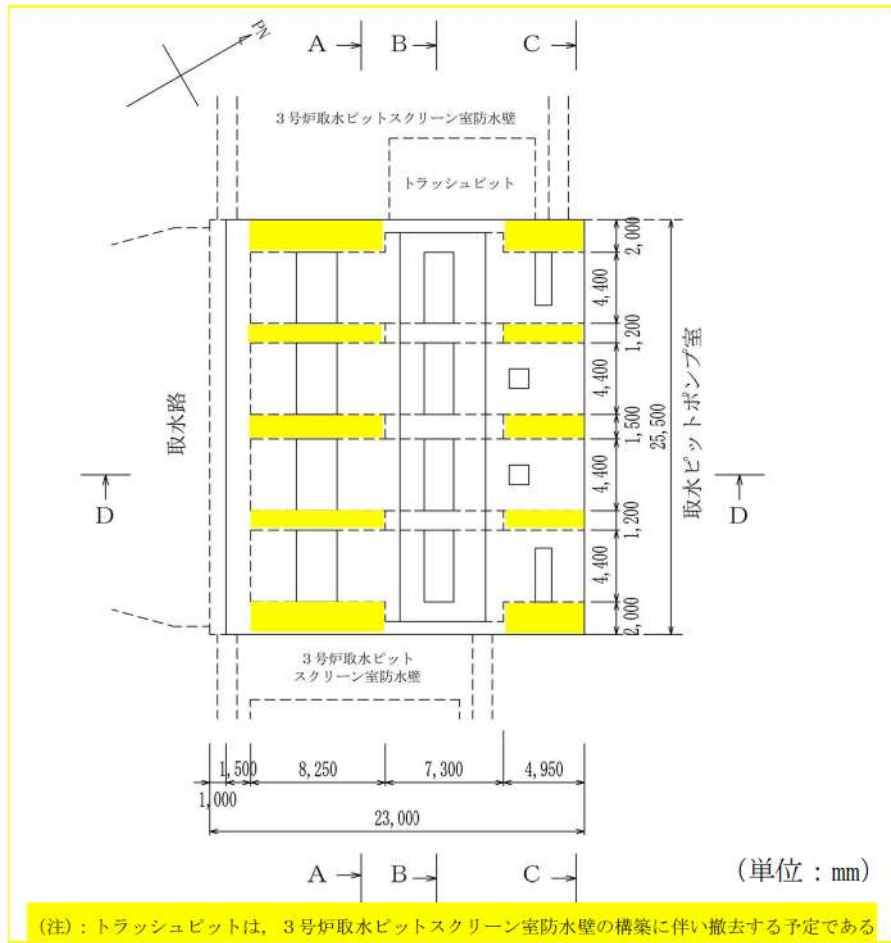
第 1-1 図 Ccb 工法の概要図<sup>(注)</sup>

(注)：セラミックキャップバー (CCb) 工法研究会 HP より引用。一部修正・加筆。

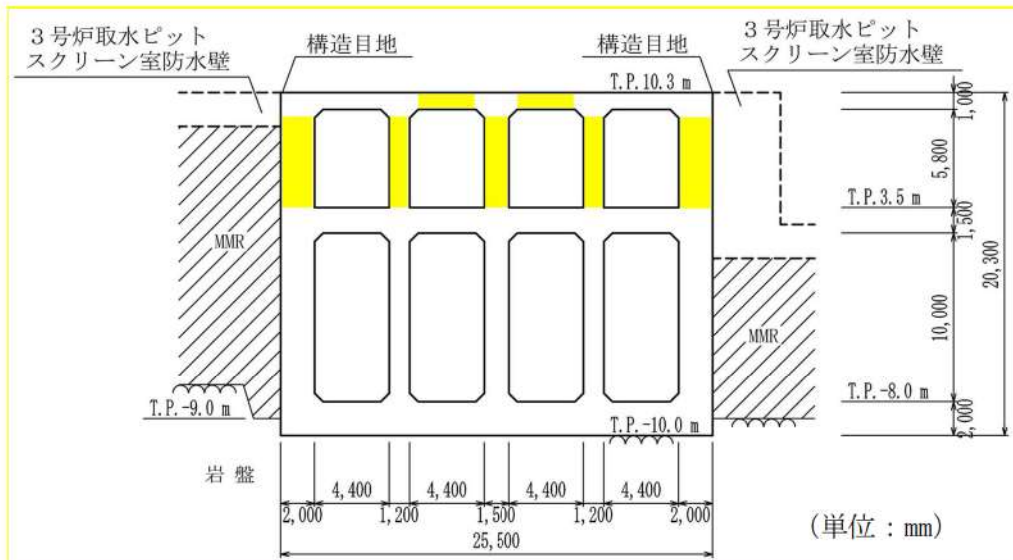


第 1-2 図 Ccb により耐震補強を行った構造物（配置図）

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



平面図



A-A断面

■：耐震補強箇所

第1-3図 Ccbにより耐震補強を行った構造物（取水ピットスクリーン室）

## 2. Ccb 工法について

### 2.1 Ccb 工法の適用部位

泊3号炉の屋外重要土木構造物等においては、基準地震動発生時に屋外重要土木構造物等としての機能（設計基準対象施設のうち耐震Sクラス施設の間接支持機能、重大事故等対処施設の間接支持機能、非常時における海水の通水機能、貯水機能及び止水機能）を維持するために、耐震安全性を確保する必要がある。そのため、屋外重要土木構造物等の一部の部材においては、せん断に対する安全性を確保するために、Ccb 工法を適用し、せん断耐力の向上を図っている。

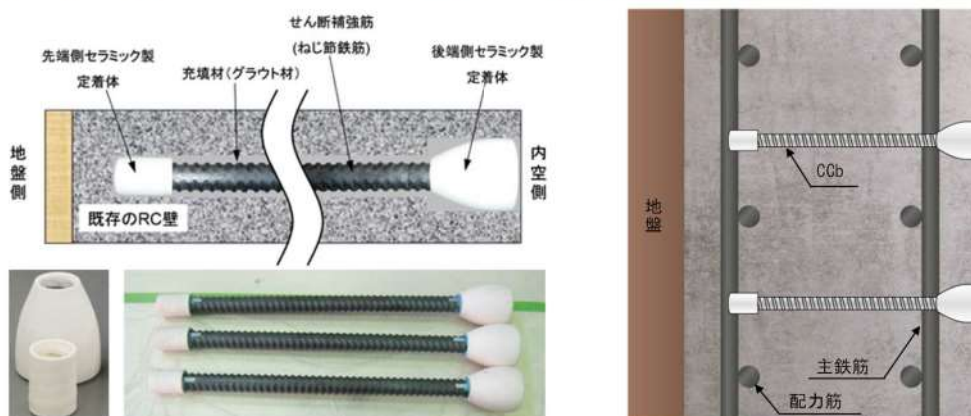
Ccb 工法を適用した部材は、第 1-2 表並びに第 1-2 図及び第 1-3 図に示すとおり、取水ピットスクリーン室の隔壁、側壁、頂版である。

### 2.2 Ccb 工法の概要

Ccb 工法は、既設の鉄筋コンクリート構造物に後施工によりせん断補強を行う工法の一つであり、Ccb を既設の鉄筋コンクリート構造物の部材に挿入・一体化させて、せん断耐力を向上させるものである。Ccb は第 2-1 図に示すように、せん断補強筋の両端に耐腐食性に優れたセラミック製の定着体を取り付けた構造となっている。

Ccb 工法の具体的な施工方法は、第 2-1 表に示すように、既設の鉄筋コンクリート構造物の表面からドリルで削孔を行い、その孔内にせん断補強材である Ccb を差し込み、充填材で固定することにより構造躯体と一体化を図っており、従来工法（先施工）とは施工方法が異なる。

また、Ccb 工法は第 2-2 表に示すように、「セラミック定着体とコンクリート間の支圧（後端側）」と「セラミック定着体及び Ccb とコンクリート間の付着（先端側）」により定着しており、フックを掛けて定着する従来工法（先施工）とは定着機構が異なる。そのため、Ccb 工法では設計・照査において、通常の従来工法（先施工）であるせん断補強筋によるせん断耐力に有効性を示す係数（ $\beta_{aw}$ ）を乗じることにより、せん断補強効果を評価している。

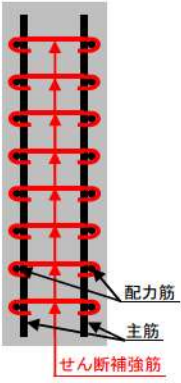
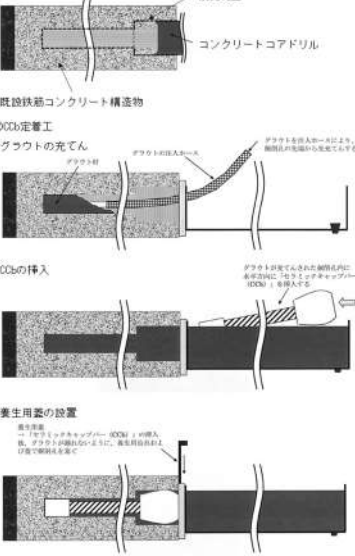


第 2-1 図 Ccb の詳細図 (注)

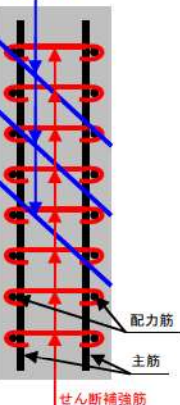
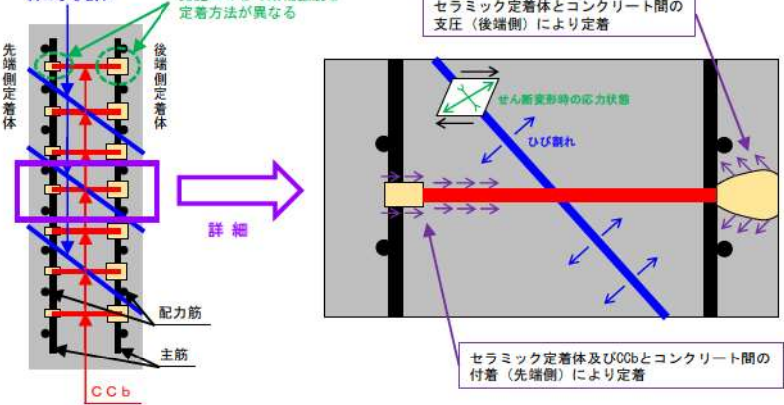
(注)：セラミックキャップバー (Ccb) 工法研究会及び鹿島建設 HP より引用。一部修正・加筆。



第 2-1 表 施工方法の違い

従来工法（先施工）	CCb 工法（後施工）
	<p>①削孔工 コンクリートコアドリルによる削孔 削孔範囲 コンクリートコアドリル</p> <p>既設鉄筋コンクリート構造物</p> <p>②CCb定着工 グラウトの充てん グラウト グラウトを注入カードにより、削孔部を充填する</p> <p>CCbの挿入 グラウトが充てんされた削孔部内に、事前に加工したセラミックチップ（CCb）を挿入する</p> <p>養生用蓋の設置 養生用蓋（セラミックチップ（CCb）が挿入後、グラウトが固まらないように、養生用蓋を挿入し、養生期間を完了させる</p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリート打設前の鉄筋組立時に、せん断補強筋を主筋又は配力筋にフックを掛けて設置している。</li> <li>・ 多数の施工実績があり、コンクリート打設前にせん断補強筋を設置するという確実性の高い施工方法である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設コンクリート構造物を削孔し、その孔内に CCb を差し込み、充てん材で一体化している。</li> <li>・ 従来工法（先施工）と比較すると施工実績が少なく、既設コンクリートを削孔して部材と直交する方向に CCb を設置し、削孔部をグラウトにて充てんするものである。</li> </ul>

第 2-2 表 定着機構の違い

従来工法（先施工）	CCb 工法（後施工）
<p>斜めひび割れ</p> 	<p>斜めひび割れ</p> <p>先施工のせん断補強筋と定着方法が異なる</p> <p>先端側定着体</p> <p>後端側定着体</p> <p>配力筋</p> <p>主筋</p> <p>CCb</p> <p>セラミック定着体とコンクリート間の支圧（後端側）により定着</p> <p>せん断発生時の応力状態</p> <p>ひび割れ</p> <p>セラミック定着体及びCCbとコンクリート間の付着（先端側）により定着</p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ せん断補強筋は、主筋又は配力筋にフックを掛けて定着しており、主に当該部にて定着効果を期待している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ CCb は「セラミック定着体とコンクリート間の支圧（後端側）」と「セラミック定着体及び CCb とコンクリート間の付着（先端側）」により定着している。</li> </ul>



### 3. 泊3号炉におけるCCb工法の適用性の確認

#### 3.1 適用性確認方法

CCb工法は、一般財団法人土木研究センターの『建設技術審査証明報告書（土木系材料・製品・技術、道路保全技術） 技術名称 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー（CCb）」、建技審証第0811号、有効期限：2024年2月2日』（以下「建設技術審査証明報告書」という。）により後施工せん断補強方法としての有効性が証明されており、これまでに数多くの施工実績がある。

CCb工法を泊3号炉の屋外重要土木構造物等に適用するにあたり、女川2号炉における適用性確認結果及び適用実績から適用範囲を整理し、泊3号炉の屋外重要土木構造物等へのCCb工法の適用性について確認する。

#### 3.2 適用範囲の確認

##### 3.2.1 女川2号炉におけるCCb工法の適用性確認結果

女川2号炉では、建設技術審査証明報告書に記載されている適用範囲及び各種実験等から適用性確認項目を抽出し、抽出した項目に対して、女川2号炉で採用した補強仕様が建設技術審査証明報告書の適用範囲に収まっているかを確認しており、適用範囲外となった項目については、数値解析や実験等を実施し、せん断補強効果が期待できることを確認している。女川2号炉における建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認結果を第3-1表に、適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認内容については添付資料1に示す。

上記を踏まえた、建設技術審査証明報告書に記載されている適用範囲及び女川2号炉において適用性が確認されたCCb工法の適用範囲を整理した結果を第3-2表に示す。

なお、本資料で示す女川2号炉における確認内容等の記載については、会合資料等に基づき弊社の責任において独自に解釈・整理したものである。

第3-1表 女川2号炉における建設技術審査証明報告書の適用範囲確認結果(1/2)

適用性確認項目	建設技術審査証明報告書の適用範囲	女川2号炉における適用状況	適用範囲確認結果	補強効果確認方法	備考
使用目的	応答変位量が限定される地中構造物であって、壁状の既設鉄筋コンクリート部材に対して後施工によるせん断補強を目的とする。	左記のとおり	○	—	
構造形式	原子力施設などの重要地下構造物、高速道路、鉄道及び上下水処理施設などの地下構造物等。	左記のとおり	○	—	
構造細目	せん断補強鉄筋比	左記のとおり	○	—	
	最大配置間隔	左記のとおり	○	—	
	部材厚	700～4,700mm	×		
部材諸元	せん断スパン比	0.83～49.61	×		
	主鉄筋比	0.054～1.974%	×		
載荷方法	荷重形態	集中荷重系及び分布荷重系	×		
	せん断補強筋	D13～D32 SD295A, SD295B, SD345	○	—	
使用材料	セラミック定着体	左記のとおり	○	—	
	充てん材	躯体コンクリート以上の強度	○	—	
	せん断補強筋の定着長	左記のとおり	○	—	
				数値解析により確認	添付資料1 2.(1)(2) 参照

(注)：女川2号炉に係わる記載については、会合資料等に基づき弊社の責任において独自に解釈・整理したものの。

第3-1表 女川2号炉における建設技術審査証明報告書の適用範囲確認結果(2/2)

適用性確認項目	建設技術審査証明報告書の適用範囲	適用範囲確認結果	補強効果確認方法	備考
せん断ひび割れ抑制効果の確認	建設技術審査証明報告書の適用範囲 女川2号炉における適用状況 建設技術審査証明報告書の試験と女川2号炉においてCCbを適用した構造物の諸元が異なることから、適用範囲外の項目として補強効果の確認を実施。	×	数値解析により確認	添付資料1 2.(3)参照
ひび割れに対する 定着機能の保持	建設技術審査証明報告書の試験と女川2号炉においてCCbを適用した構造物では、発生するひび割れ性状が異なる可能性があること、実験と性状が異なるひび割れが生じても定着機能が保持されていることを確認する必要があることから、適用範囲外の項目として補強効果の確認を実施。	×	建設技術審査 証明報告書の 実験の考察 により確認	添付資料1 2.(4)参照
変形量	実験の変形量(1%を超える範囲)	○	—	
使用環境	層間変形角1%に十分な余裕をもって使用 海水環境下	○	—	
CCbを適用した部材の コンクリートの健全性	CCbのせん断補強効果を発揮するためには、コンクリートが健全であり、補強効果に悪影響を及ぼす状態にないことを確認する必要があることから、適用範囲外の項目として補強効果の確認を実施。	×	ひび割れ状況 の確認及び 圧縮強度試験 により確認	添付資料1 2.(5)参照
ディーブビーム的な破壊に 対するCCb工法の適用性	せん断スパン比及び荷重形態から、ディーブビーム的な破壊となる可能性がある部材にも適用している。	×	模型実験 により確認	添付資料1 2.(6)参照
面内荷重と面外荷重が作用する 部材へのCCb工法の適用性	面内荷重と面外荷重が作用する部材への適用性は未確認。	×	数値解析 により確認	添付資料1 2.(7)参照

(注)：女川2号炉に係わる記載については、会合資料等に基づき弊社の責任において独自に解釈・整理したものの。



第 3-2 表 建設技術審査証明報告書及び女川 2 号炉における適用性確認結果を踏まえた Ccb 工法の

適用範囲

適用性確認項目		適用範囲
使用目的		地中構造物の既設鉄筋コンクリート部材に対する後施工せん断補強
構造形式		原子力施設などの重要地下構造物等
構造細目	せん断補強鉄筋比	0.15%以上
	最大配置間隔	補強部材の有効高さの 1/2 以下
部材諸元	部材厚	500～4,700mm
	せん断スパン比	0.83～49.61
	主鉄筋比	0.054～1.974%
載荷方法	荷重形態	集中荷重系及び分布荷重系
使用材料	せん断補強筋	D13～D32 SD295A, SD295B, SD345
	セラミック定着体	所定の材料、製造工程で製作され、所定の頻度で検査されたもの
	充てん材	躯体コンクリート以上の強度
せん断補強筋の定着長		5D
変形量		層間変形角 1%に十分な余裕をもって使用
使用環境		腐食環境下、海水環境下等
ディープビームへの適用		適用可
面内荷重と面外荷重が同時に作用する部材への適用		適用可
その他		<ul style="list-style-type: none"> <li>・建設技術審査証明報告書の実験にて確認していない諸元においても、せん断ひび割れ抑制効果が発揮されることを確認</li> <li>・定着体部やその周囲にひび割れが発生した状態においても定着機能が保持されることを確認</li> <li>・Ccb を適用した部材のコンクリートの健全性を別途確認</li> </ul>

(注)：女川 2 号炉に係わる記載については、会合資料等に基づき弊社の責任において独自に解釈・整理したもの。

3.2.2 泊 3 号炉における適用範囲の確認

泊 3 号炉における Ccb により耐震補強を行った構造物における適用性確認結果を第 3-3 表に示す。

泊 3 号炉において Ccb による耐震補強を行った構造物は、第 3-2 表に示す適用範囲に収まっていることから、泊 3 号炉における Ccb 工法の適用性について問題ないことを確認した。

ただし、第 3-1 表に示す適用性確認項目のうち Ccb を適用した部材のコンクリートの健全性については、サイトごとに状況が異なることから、ひび割れ状況の確認及び非破壊試験により確認する。詳細は添付資料 2「泊 3 号炉におけるコンクリートの健全性の確認」に示す。

第3-3表 泊3号炉におけるCCbにより耐震補強を行った構造物における適用性確認結果

適用性確認項目	適用範囲	泊3号炉取水ピットスクリーン室				泊3号炉 適用性 確認結果	
		頂版	側壁	隔壁			
使用目的	地中構造物の既設鉄筋コンクリート部材に対する後施工せん断補強	左記のとおり				○	
構造形式	原子力施設などの重要地下構造物等	左記のとおり				○	
構造 細目	せん断補強鉄筋比	0.15%以上	0.22	0.22	0.22	0.22	○
	最大配置間隔(mm) <sup>(注)</sup>	補強部材の有効高さの1/2以下	300 (890)	300 (1,890)	300 (1,090)	300 (1,390)	○
部材 諸元	部材厚(mm)	500~4,700	1,000	2,000	1,200	1,500	○
	せん断スパン比	0.83~49.61	4.38	3.07	5.32	4.17	○
	主鉄筋比(%)	0.054~1.974	0.59	0.28	0.70	0.55	○
載荷 方法	荷重形態	集中荷重系及び分布荷重系	分布荷重	分布荷重	集中荷重	集中荷重	○
使用 材料	せん断補強筋	D13~D32 SD295A, SD295B, SD345	D16~D32 SD345			○	
	セラミック 定着体	所定の材料, 製造工程で製作され, 所定の頻度で検査されたもの	左記のとおり			○	
	充てん材	躯体コンクリート以上の強度	躯体コンクリート以上の強度			○	
せん断補強筋の定着長		5D	5D			○	
変形量		層間変形角1%に十分な余裕をもって使用	層間変形角1%に十分な余裕をもって使用			○	
使用環境		腐食環境下, 海水環境下等	海水環境下			○	

(注) : カッコ内の数値は部材の有効高さを示す。

### 3.3 泊3号炉におけるCCb工法の設計上の制限

泊3号炉において, CCbにより耐震補強を行うにあたっての設計上の制限について整理する。



### 3.3.1 耐震補強を行うにあたっての設計上の制限

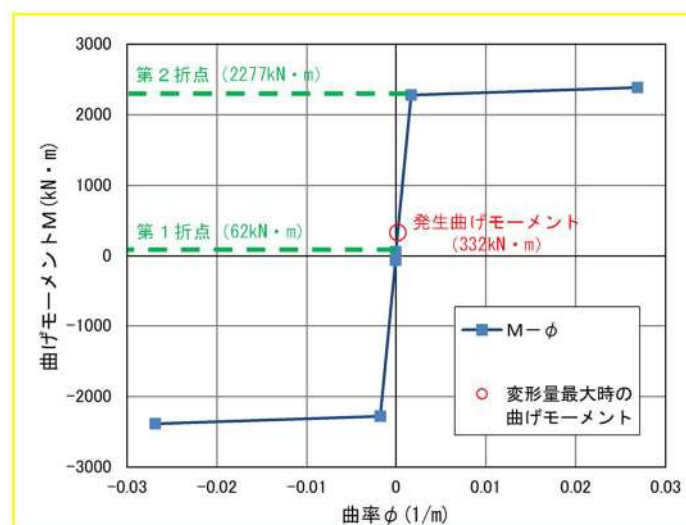
建設技術審査証明報告書の梁試験では、主鉄筋にSD490（降伏ひずみ2,450 $\mu$ ）を使用しており、主鉄筋ひずみが2,363 $\mu$ まで達した状態でのひび割れ状況においてもせん断耐力を保持していることが確認されていることから、面内せん断力と面外力の合力により鉄筋に生じる応力が降伏強度以下（おおむね弾性範囲）となる状況下でCCb工法を使用する。

確認例として、取水ピットスクリーン室の評価結果（基準地震動Ss3-4による照査結果（暫定値））を示す。取水ピットスクリーン室は、部材非線形解析（M- $\phi$ モデル）により評価していることから、M- $\phi$ 曲線の第2折れ点（主鉄筋の降伏に相当）以下であることを確認する。第3-1図に示すとおり、応答値M- $\phi$ 曲線の第1折れ点（ひび割れ発生）付近であり、主鉄筋は降伏していないためCCb工法が適用可能であることがわかる。

建設技術審査証明報告書の梁試験では層間変形角が1%（1/100）を超えている範囲までせん断耐力が保持されていることが確認されているが、かぶりコンクリートの剥落によってCCbの定着機能を阻害するおそれがある。そのため、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態である層間変形角1%（1/100）に、十分な余裕をもってCCb工法を使用する。

面内荷重と面外荷重が作用する部材については、女川2号炉の検討を参考に、面内せん断ひずみが750 $\mu$ までの範囲内においてCCb工法を使用する。

参考資料2「CCbの施工精度に影響を与える項目の確認」に示すとおり、施工上の配慮により、せん断補強効果に大きな影響を及ぼすような施工精度の低下が生じる可能性は低いと考えられるが、施工精度の低下が生じる可能性は低いながらも完全に否定できるものではないこと等から、設計上の配慮として耐震評価上の裕度（せん断破壊に対する照査値を0.8程度に抑える）を持たせた設計を行う。

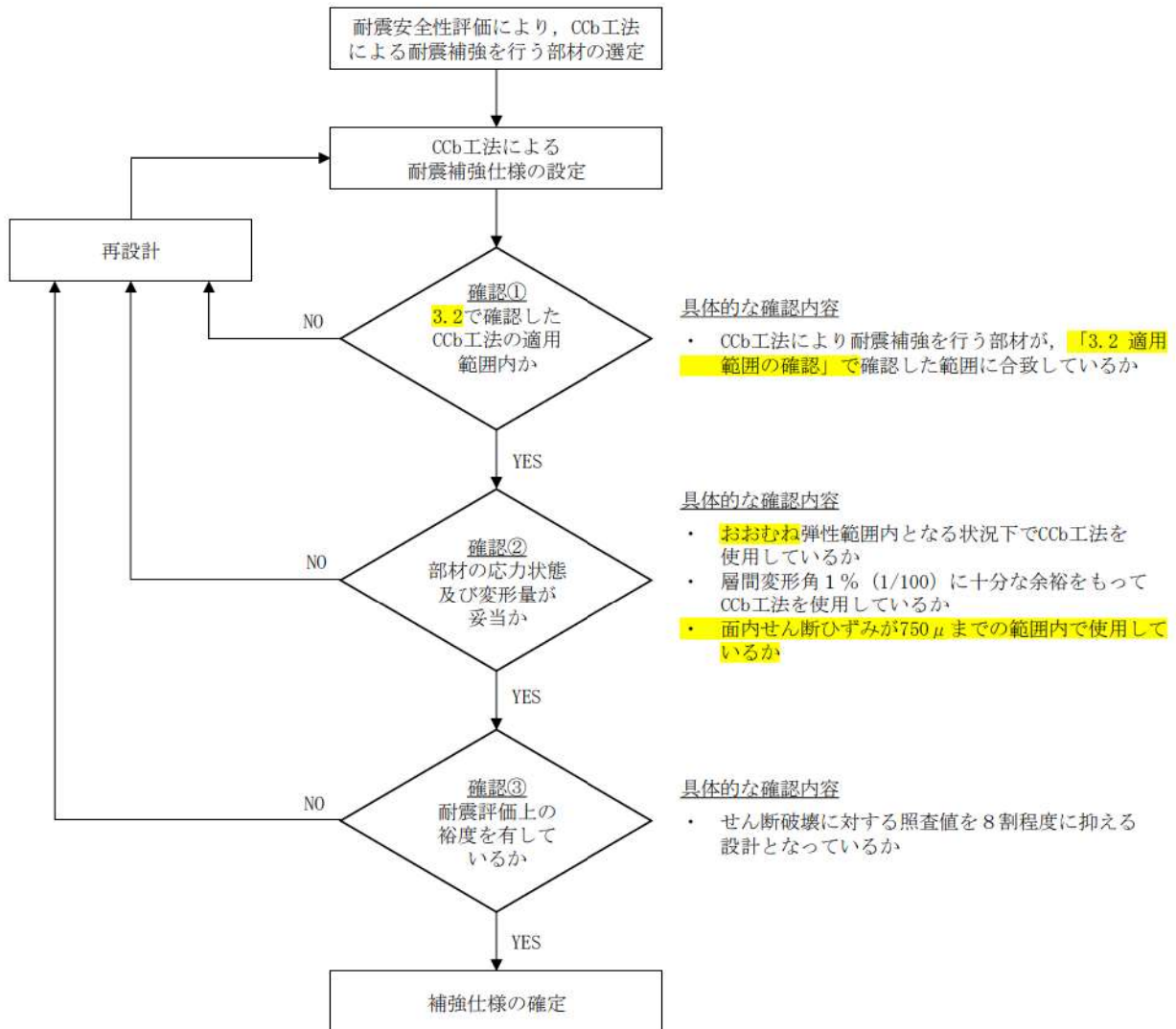


第3-1図 取水ピットスクリーン室のM- $\phi$ 曲線（暫定値<sup>(注)</sup>）

(注)：詳細設計段階で選定する解析手法等により、変更となる可能性がある。

### 3.3.2 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

3.3.1 に示す，泊 3 号炉において Ccb により耐震補強を行うにあたっての設計上の制限を考慮した設計検討フローを第 3-2 図に示す。



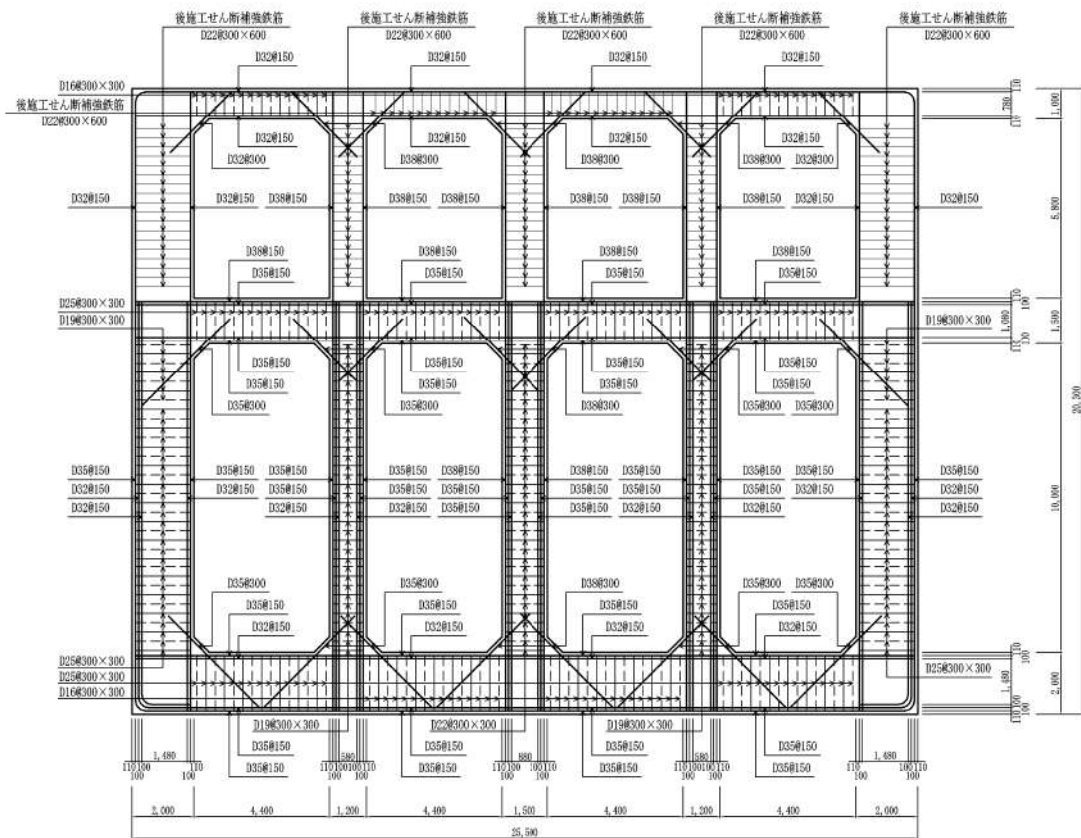
第 3-2 図 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

4. 泊3号炉におけるCCb工法の適用性確認のまとめ

泊3号炉の取水ピットスクリーン室はCCb工法により耐震補強を行っており、その適用性については、補強仕様<sup>(注)</sup>(第4-1図参照)が、先行サイトでの適用実績を踏まえて整理した適用範囲内に収まっていることにより確認した。

また、建設技術審査証明報告書の実験で確認できている範囲及び女川2号炉での適用実績を踏まえ、泊3号炉にてCCb工法を適用するにあたっての設計上の制限を設定し適用することとした。

今後、詳細設計段階においてCCb工法による耐震補強を行う構造物が追加となる場合は、今回整理した適用範囲に収まっているかを確認し、適用範囲外となる場合には女川2号炉を参考に、数値解析又は実験等によりCCbによるせん断補強効果が期待できることを確認する。



第4-1図 取水ピットスクリーン室の補強仕様

(注)：補強仕様については、今後変更となる可能性がある。



女川 2 号炉における建設技術審査証明報告書適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認内容

## 1. はじめに

女川 2 号炉では、建設技術審査証明報告書に記載されている適用範囲及び各種実験等から適用性確認項目を抽出し、抽出した項目に対して、女川 2 号炉で採用した補強仕様が建設技術審査証明報告書の適用範囲に収まっているかを確認しており、適用範囲外となった項目に対して数値解析や実験等を実施し、せん断補強効果が期待できることを確認している。

本資料では、女川 2 号炉において実施した上記確認結果の概要について整理した。

なお、本資料は女川 2 号炉の会合資料等に基づき、弊社の責任において独自に解釈・整理したものである。

女川 2 号炉で採用した補強仕様が建設技術審査証明報告書の適用範囲外となった項目は、以下の 7 項目である。

- (1) 部材諸元（部材厚・せん断スパン比・主鉄筋比）
- (2) 載荷方法（荷重形態）
- (3) せん断ひび割れ抑制効果の確認
- (4) ひび割れに対する定着機能の保持
- (5) CCb を適用した部材のコンクリートの健全性
- (6) ディープビーム的な破壊に対する CCb 工法の適用性
- (7) 面内荷重と面外荷重が作用する部材への CCb 工法の適用性

各項目に対する女川 2 号炉における確認内容の概要を 2 章に示す。

## 2. せん断補強効果の確認

- (1) 部材諸元（部材厚・せん断スパン比・主鉄筋比）、(2) 載荷方法（荷重形態）、(3) せん断ひび割れ抑制効果の確認

女川 2 号炉では、部材諸元や載荷方法が建設技術審査証明報告書の実験と異なっても、せん断ひび割れを抑制し、せん断補強効果が期待できることを材料非線形解析により確認している。

女川 2 号炉における確認内容は以下のとおり。

【女川2号炉における確認内容】

- ・ 材料非線形解析による解析にて、以下の2項目について確認した。
  - ①「建設技術審査証明報告書の実験よりも大きな部材厚に対する適用性の確認」
    - 女川2号炉においてCCbにより耐震補強を行った構造物のうち最も部材厚が大きい軽油タンク室底版(t=1,500mm)を想定して解析を実施し、実験よりも大きな部材厚に対する適用性を確認した。【添付1-1表の①】
  - ②「実施工部材の応答性状の確認」
    - 女川2号炉においてCCbにより耐震補強を行った構造物のうち取水路(漸拡部)隔壁を対象に解析を実施し、女川2号炉で用いた部材及び荷重レベルでの適用性を確認した。【集中荷重系：添付1-1表の②-1】
    - また、荷重形態や破壊形態の違いに着目し、土圧による分布荷重が作用する軽油タンク室側壁についても同様に適用性を確認した。【分布荷重系：添付1-1表の②-2-1,2】
- ・ 上記の解析においては、従来工法(先施工)による材料非線形解析との比較を実施した。
- ・ 解析ケースの概要について添付1-1表に示す。

添付1-1表 解析ケース概要

	部材厚 (mm)	せん断 スパン比	主鉄筋比 (%)	コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )	荷重方法
①	1500	2.78	1.28	42.4	強制変位 (集中荷重系)
②-1	1200	6.17	0.44	20.5	断面力に基づく 節点力(集中荷重系)
②-2-1	1200	4.50	0.71	20.5	断面力に基づく 節点力(分布荷重系)
②-2-2					等分布荷重

- ・ いずれのケースにおいても、CCb工法がせん断補強効果に影響を与えるような特異な状況は確認されなかった。また、初期ひび割れ発生時において、変形状況、ひび割れ状況及び鉄筋降伏状況は、従来工法とCCb工法の間で顕著な差は確認されず、おおむね整合的な結果となった。
- ・ 以上のことから、建設技術審査証明報告書の実験と部材諸元及び荷重方法等が異なっても、せん断ひび割れ抑制効果を確認できており、CCb工法が適用できることを確認した。



なお、女川2号炉では、工認段階において、数値解析で確認した部材厚よりも大きな部材及び数値解析で確認したせん断スパン比よりも小さなせん断スパン比の部材にも Ccb 工法を適用しているが、部材厚が大きくなるほど、せん断耐力算出時における有効係数 $\beta_{aw}$ が大きくなり、先施工との差異がなくなることから、部材厚が大きくなることによる影響はないことを確認している。

また、せん断スパン比が小さいことによる影響としてディープビームとなる部材への適用性は、模型実験により確認している。(2.(6)参照)

#### (4) ひび割れに対する定着機能の保持

女川2号炉では、女川2号炉において Ccb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れ（曲げひび割れ、面内せん断力に伴う高角度の貫通ひび割れ及びディープビームに生じる45度を超える高角度のひび割れ）が Ccb の定着体部やその周囲に生じても、定着機能が保持されることを建設技術審査証明報告書の実験との対比により確認している。

女川2号炉における確認内容は以下のとおり。

##### 【女川2号炉における確認内容】

- ・ 建設技術審査証明報告書の梁試験体による交番載荷試験において、女川2号炉において Ccb により耐震補強を行った構造物に発生する可能性があるひび割れ（曲げひび割れ、面内せん断力に伴う高角度の貫通ひび割れ及びディープビームに生じる45度を超える高角度のひび割れ）と同様のひび割れ性状を示すひび割れが再現されていることを確認した。
- ・ また、試験結果から、Ccb の定着体部やその周囲にひび割れが発生した状態においても、せん断耐力評価式から算出したせん断耐力以上の耐荷力を有していることを確認した。
- ・ 以上のことから、Ccb の定着体部やその周囲にひび割れが発生した状態においても、定着機能が保持されており、せん断補強効果が発揮されることを確認した。
- ・ ただし、建設技術審査証明報告書の実験は、曲げ降伏させないよう主鉄筋に高強度の鉄筋（SD490）を使用しており、せん断破壊時における主鉄筋のひずみが、降伏ひずみ未満の $2,363\mu$ まで確認されていることを踏まえ、面内せん断力と面外力の合力による鉄筋のひずみが降伏ひずみ $1,725\mu$ 以下（応力が降伏強度以下 $345\text{N}/\text{mm}^2$ ）、もしくは面内せん断力に対してコンクリートのみで抵抗可能な部材を対象に概ね弾性範囲となる状況下で Ccb 工法を適用することとした。

#### (5) Ccb を適用した部材のコンクリートの健全性

女川2号炉では、Ccb により耐震補強を行った構造物について、ひび割れ状況の確認及び圧縮強度試験を実施し、既設コンクリートの状態が、Ccb のせん断補強効果を発揮できる状況にあることを確認している。

女川2号炉における確認内容は以下のとおり。

【女川2号炉における確認内容】

- ・ コンクリートのひび割れ状況より、CCbのせん断補強効果に影響を与えるひび割れがないことを確認した。
- ・ また、構造物から採取したコンクリートコアの圧縮強度が、設計基準強度以上であり、CCbのせん断補強効果に悪影響を及ぼす状態にないことを確認した。
- ・ 以上より、女川2号炉のCCbにより耐震補強を行った構造物の既設コンクリートの状態が、CCbのせん断補強効果を発揮できる状況にあることを確認した。

(6) ディープビーム的な破壊に対するCCb工法の適用性

女川2号炉では、ディープビームを対象とした模型実験を実施し、ディープビームにおいてもCCbのせん断補強効果が発揮されることを確認している。また、女川2号炉では、せん断スパン比がディープビーム式で想定する破壊形態の範囲であっても棒部材式により評価を行う方針としていたことから、棒部材式で算定されるせん断耐力よりも大きなせん断耐力が得られることを同実験にて確認している。

女川2号炉における確認内容は以下のとおり。

【女川2号炉における確認内容】

- ・ 女川2号炉で実施したディープビーム( $a/d=1.00$ 及び $1.44$ )を対象とした模型実験のケースを添付1-2表に、試験体の諸元を添付1-3表に、土木学会マニュアルのせん断耐力評価式と実験結果の比較を添付1-4表に示す。
- ・ 実験の結果、CASE1～CASE4のいずれの試験体も斜めひび割れの発生後もせん断力の上昇が確認され、載荷点近傍においてディープビーム的な破壊形態であるコンクリートの圧壊により耐力の低下が確認された。また、CASE5(せん断補強鉄筋無しのケース)に対して、CASE1の最大荷重は約1.9倍であり、せん断補強鉄筋による補強効果が確認された。
- ・ 添付1-4表に示すとおり、CASE1～CASE3のいずれのケースについても、実験値は棒部材式に基づくせん断耐力を上回る結果となった。また、実験値はディープビーム式に基づくせん断耐力と同等かそれ以上の結果となった。
- ・ 以上のことから、ディープビームについてもCCbにより十分なせん断補強効果が得られることが確認された。
- ・ また、せん断スパン比がディープビーム式で想定する破壊形態の範囲内でも、棒部材式を用いることの保守性を確認した。

添付 1-2 表 実験ケース

	ケースの概要	せん断補強鉄筋の種類	せん断スパン比 (a/d)	せん断補強鉄筋比 (pw)
CASE1	基本ケース	CCb	1.44	0.20
CASE2	せん断スパン比の違い	CCb	1.00	0.20
CASE3	せん断補強鉄筋比の違い	CCb	1.44	0.55
CASE4	せん断補強鉄筋の種類の違い	先施工 (両端フック)	1.44	0.20
CASE5	せん断補強鉄筋の有無	なし	1.44	0.20

添付 1-3 表 試験体諸元

諸元		CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	
試験体	幅	mm	550				
	高さ	mm	880				
	かぶり	mm	80				
	有効高さ	mm	800				
	せん断スパン比		1.44	1.00	1.44	1.44	1.44
主鉄筋	鉄筋径	mm	D32				
	規格降伏強度	N/mm <sup>2</sup>	980				
	本数	本	3				
	鉄筋比	%	0.54				
せん断補強鉄筋	種類		CCb	CCb	CCb	先施工	なし
	鉄筋径	mm	D13	D13	D19	D13	—
	規格降伏強度	N/mm <sup>2</sup>	345				—
	間隔	mm	230	230	190	230	—
	本数	本	2				—
	鉄筋比	%	0.20	0.20	0.55	0.20	—
コンクリートの設計基準強度		N/mm <sup>2</sup>	24				



添付 1-4 表 土木学会マニュアルのせん断耐力評価式と実験結果の比較

	ケースの概要	せん断 スパン比	せん断補強 鉄筋比	せん断耐力 (kN)		
				実験	せん断耐力評価式 <sup>(注1)</sup> (注 2)	
					棒部材式	ディープ ビーム式
CASE1	基本ケース	1.44	0.20	1287	744	1051
					583	777
CASE2	せん断スパン比 の違い	1.00	0.20	1972	875	1461
					663	1053
CASE3	せん断補強 鉄筋比の違い	1.44	0.55	1396	1226	1433
					1021	1122

(注1) : 土木学会マニュアル 2005 による評価式

(注2) : 上段 : 安全係数 ( $\gamma_c=1.0$ ,  $\gamma_s=1.0$ ,  $\gamma_{bc}=1.0$ ,  $\gamma_{bs}=1.0$ ) として算出

下段 : 安全係数 ( $\gamma_c=1.3$ ,  $\gamma_s=1.0$ ,  $\gamma_{bc}=1.3$ ,  $\gamma_{bs}=1.1$ ) として算出

ここに,  $\gamma_c$  : 材料係数 (コンクリート)

$\gamma_s$  : 材料係数 (鉄筋)

$\gamma_{bc}$  : 部材係数 (コンクリート)

$\gamma_{bs}$  : 部材係数 (鉄筋)

(7) 面内荷重と面外荷重が作用する部材への Ccb 工法の適用性

女川 2 号炉では、数値解析 (三次元静的材料非線形解析) を実施し、面内荷重と面外荷重が作用する部材への Ccb 工法の適用性に問題がないことを確認している。

女川 2 号炉における確認内容は以下のとおり。

【女川 2 号炉における確認内容】

- ・ 三次元静的材料非線形解析における対象部材は、壁全面に Ccb 工法が適用されており、面外荷重として土圧及び慣性力が作用する壁のうち、Ccb 工法の効果に支配的な要因である壁厚が小さい軽油タンク室の側壁 (幅 3m, 高さ 4.5m, 厚さ 1.2m) とした。
- ・ 面外荷重と面内荷重の載荷順序を考慮し、以下の 2 ケースについて解析を実施した。
  - ① : 面外荷重載荷後に面内荷重を載荷するケース
 

面外荷重のみを作用させた状態を再現し、面外荷重載荷の最終ステップの応力及びひずみの状態を引き継ぎ、面内せん断ひずみが  $750\mu$  ※ となるまで面内荷重を漸増載荷させ、Ccb に生じる軸方向ひずみへの影響を確認した。

※ 女川 2 号炉の Ccb 補強部材で見込まれている設計応答値 ( $500\mu$  程度) に十分な余裕を見込んだ値として  $750\mu$  を設定。

②：面内荷重載荷後に面外荷重を載荷するケース

面内せん断ひずみが  $750\mu$  となるまで面内ひずみを載荷し、その後、面内荷重の最終ステップの応力及びひずみの状態を引き継ぎ、面外荷重を漸増載荷させ、せん断耐力を確認した（ケース1）。

ケース1のせん断耐力と、面内荷重を作用させずに面外荷重を漸増載荷させたケース（ケース2）のせん断耐力の比較を実施した。

- ・ ①の結果から、面外荷重載荷後に面内荷重を面内せん断ひずみ  $750\mu$  程度まで作用させても、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみは、ほぼ一定となり、面内荷重の増加は、せん断補強鉄筋の軸方向ひずみに影響を与えず、せん断補強鉄筋が面内荷重を負担しないこと及び面内荷重が作用しても Ccb により十分なせん断補強効果が得られることを確認した。
- ・ ②の結果から、ケース1とケース2のせん断耐力は同等であり、面内せん断ひずみが  $750\mu$  となる面内荷重を載荷させた後に面外荷重を載荷させても、Ccb のせん断補強効果に影響を与えないことを確認した。
- ・ 以上のことから、面外荷重と面内荷重が作用する部材は、面内せん断ひずみが  $750\mu$  までの範囲において Ccb 工法が適用可能であることを確認した。



### 泊3号炉におけるコンクリートの健全性の検討

#### 1. はじめに

泊発電所のCCbによる耐震補強を行った構造物（取水ピットスクリーン室）において、CCbのせん断補強効果を阻害するひび割れがなく、構造物が健全であることを確認する。

具体的には、CCbの施工箇所におけるひび割れ状況及びひび割れの要因（乾燥収縮によるひび割れやコンクリートの劣化によるひび割れ（アルカリ骨材反応、凍結融解作用、中性化、塩害）等）を整理し、CCbのせん断補強効果を阻害するひび割れがないことを確認する。

また、非破壊試験の結果から圧縮強度を推定し、CCbのせん断補強効果に悪影響を及ぼす状態にないことを確認する。

#### 2. ひび割れ状況の確認

取水ピットスクリーン室のCCbを施工した部材（頂版・側壁・隔壁）におけるひび割れ状況の確認結果を添付2-1表に示す。また、ひび割れ状況の一例として、頂版のひび割れ図を添付2-1図に示す。

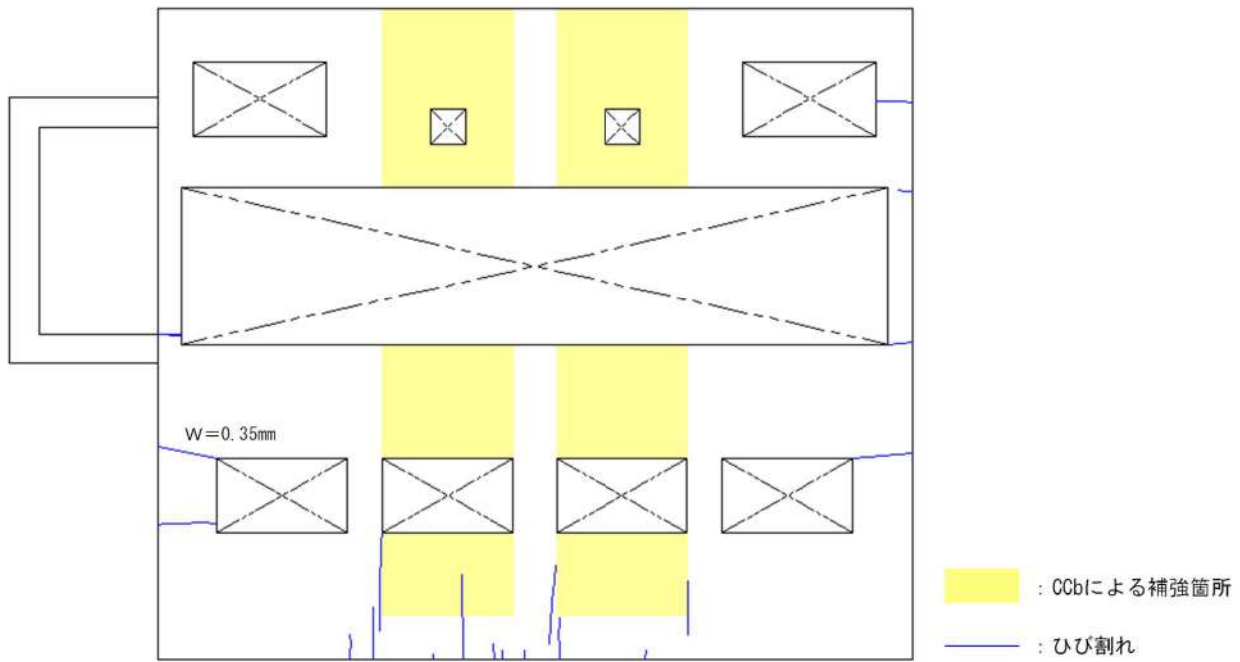
CCbの施工箇所周辺に生じているひび割れは、最大でも0.35mm程度であり、主に乾燥収縮によるひび割れであることから、構造物の耐力に影響を与えるものではない。

よって、CCbのせん断補強効果に影響を与えるひび割れはない。

なお、これらのひび割れについては、ただちに部材の耐力やCCbの付着性能に影響を与えるものではないことから、継続監視のもと社内基準に基づき計画的に補修を実施していく。

添付2-1表 ひび割れ状況の確認結果

CCbを施工した部材		ひび割れ幅
取水ピット スクリーン室	頂版	～0.35mm
	左側壁	0.3mm 未満
	左隔壁	ひび割れなし
	中央隔壁	0.3mm 未満
	右隔壁	0.3mm 未満
	右側壁	0.3mm 未満



(注) ひび割れ幅が0.30mm以上のひび割れについて、ひび割れ幅を記載している。

添付 2-1 図 ひび割れ図 (取水ピットスクリーン室頂版)

### 3. コンクリートの非破壊試験結果の確認

#### 3.1 試験方法

CCbにより耐震補強を行った構造物において実施した非破壊試験は、リバウンドハンマーにより反発度Rを測定する試験であり、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」に基づき実施した。

非破壊試験により測定された反発度から圧縮強度Fを推定し、劣化等による強度低下が発生していないことを確認する。圧縮強度の推定には、以下に示す日本材料学会の推定式を用いる。

$$\bullet \text{ 圧縮強度の推定式 } F = -18.0 + 1.27 \times R \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

#### 3.2 試験結果

非破壊試験結果及び圧縮強度の推定結果を添付 2-2 表に示す。

推定した圧縮強度は、設計基準強度（24N/mm<sup>2</sup>）以上であることを確認している。

添付 2-2 表 非破壊試験結果及び圧縮強度の推定結果

測定箇所		反発度	圧縮強度（推定値） (N/mm <sup>2</sup> )	
取水ピット スクリーン室	左側壁	48	43.0	
	左隔壁	左側	46	40.4
		右側	50	45.5
	中央隔壁	左側	48	43.0
		右側	50	45.5
	右隔壁	左側	46	40.4
		右側	49	44.2
	右側壁	51	46.8	

#### 4. CCbを適用した部材のコンクリートの健全性確認結果

コンクリートのひび割れ状況により、CCbにより耐震補強を行った構造物にCCbのせん断補強効果に影響を与えるひび割れがないことを確認した。

また、非破壊試験による反発度から推定したコンクリートの圧縮強度が、設計基準強度（24N/mm<sup>2</sup>）以上であり、CCbのせん断補強効果に悪影響を及ぼす状態にないことを確認した。

以上より、泊3号炉のCCbにより耐震補強を行った構造物の既設コンクリートの状態が、CCbのせん断補強効果を発揮できる状況にあることを確認できた。



## 建設技術審査証明報告書の概要

## 1. Ccb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け

本工法は、高度な技術を有する第三者機関である一般財団法人土木研究センター（以下「PWRC<sup>(注)</sup>」という。）により審査証明を受けており、試験データを用いて、Ccb が受け持つせん断耐力の算定方法において、Ccb の規格降伏強度を使用して求めた値に対し、適用部材の軸方向鉄筋間隔及び Ccb の埋込側の必要定着長から評価される有効係数を乗じたものとして評価できることが確認された。なお、建設技術審査証明報告書では、片側からしか補強の施工ができない部材について、Ccb を設置する手順を設定し、この工事に必要な施工要素（補強設計に基づく Ccb の配置、Ccb 配置位置での削孔方法、削孔内への Ccb の固定方法、Ccb 設置後の仕上げ等の施工性）を確認しており、それぞれの要素に対して施工上の考慮を示す等、施工性に関しても審査対象となっている。

また、建設技術審査証明報告書では、設計・施工マニュアルが添付され、材料及び施工に関する事項が示されている。

(注)：PWRC は、国土交通大臣認可の公益法人として国土建設技術の発展向上に寄与することを目的に設立された公益法人組織であり、土木に関して、河川、道路、土質・地盤、施工、橋梁等、幅広い分野にまたがる研究開発と調査研究の受託、さらに開発された技術の普及及び技術支援に取り組んでいる。PWRC では、建設技術審査証明事業を行っており、当該審査証明技術について学識経験者及び当センターの専門技術者による審査証明委員会を設け、開発の趣旨、開発目標及び技術内容、既存の技術との対比、実績等について審査を行っており、高度な技術を有し、十分な信頼性を有した第三者機関である。

## 2. 建設技術審査証明報告書における Ccb 工法の適用範囲

本工法では、地震時の変形量が限定される地中構造物等、背面に地盤等があり部材の片側からしか施工できない制限を有する既設コンクリート構造物に対しても、後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。Ccb が受け持つせん断耐力は、鉄筋の材質（SD295A, SD295B, SD345）、径（D13～D32）ごとに定め、その値は、先施工のせん断補強鉄筋に Ccb のせん断耐力の向上への有効性を示す係数  $\beta_{aw}$  を考慮することにより評価が可能である。

Ccb は、主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって、片側から施工する既設コンクリート構造物に対し、後施工によるせん断補強の目的で用いる。

また、両側から施工が可能な既設コンクリート構造物であり、じん性確保を目的としない場合、後施工によるせん断補強の目的で用いる。

### 3. 建設技術審査証明報告書における Ccb 工法の設計方法

#### 3.1 後施工によるせん断耐力の評価方法

本工法では実験により性能を確かめることで、設計方法等を設定しており、その概要を以下にまとめた。

##### 3.1.1 実験方法

本工法を用いた設計で Ccb のせん断耐力への寄与分を確認するために、梁試験体の交番載荷試験（せん断破壊モード試験体）を実施することにより、Ccb を用いて補強することによるせん断耐力の向上の確認が行われている（参考 1.3-1 図参照）。

試験に用いられた試験体の諸元一覧を参考 1.3-1 表に、せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法を参考 1.3-2 図に、せん断耐力向上性能試験の加力要領を参考 1.3-3 図に示す。



### 3. 1. 2 「セラミックキャップバー (CCb)」後施工によるせん断耐力

梁試験体の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り、「セラミックキャップバー (CCb)」を用いた後施工補強のせん断耐力の向上効果を確認する。梁試験体は、せん断補強鉄筋に D22 を用いたものが 3 体(シリーズ 1)、せん断補強鉄筋に D29 を用いたものが 2 体(シリーズ 2)、およびせん断補強鉄筋 D16 を用いたものが 10 体(シリーズ 3、4)である。

シリーズ 1 は、825×685mm の断面を有する RC 梁部材において、せん断スパンにせん断補強鉄筋のない試験体 (No.1-1)、通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体 (No.1-2) および「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工してせん断補強を行った試験体 (No.1-3) の 3 体である。なお、No.1-3 試験体の「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み深さは、削孔の先端が補強面と反対側のコンクリート表面から 50mm となる 635mm である。

シリーズ 2 は、825×800mm の断面を有する RC 梁部材において、そのせん断スパンに通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体 (No.2-1) および「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工してせん断補強を行った試験体 (No.2-2) の 2 体である。なお、No.2-2 試験体の「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み深さは、削孔の先端が補強面と反対側のコンクリート表面から 50mm となる 750mm である。

シリーズ 3、4 は、600×500×4500mm の断面を有する RC 梁部材において、せん断スパンにせん断補強鉄筋のない試験体 (No.3-1)、通常のせん断補強鉄筋を配置した試験体 (No.3-2) および「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工してせん断補強を行った試験体 (No.3-3~3-6、4-1~4-4) の 10 体である。このうち、No.3-3~3-6 試験体は、「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置が異なる。すなわち、埋込み側の先端位置は、主鉄筋の図心位置、主鉄筋の手前、または配力鉄筋の手前である。No.3-4 と No.3-5 については、ばらつきを確認するため同条件の試験体である。No.4-1~4-3 試験体は両端に先端型定着体を用いた両端先端型、No. 4-4 試験体は両端に後端型定着体を用いた両端後端型であり、定着体は両端とも、コンクリート表面に一致している。なお、No.4-1 と No.4-2 については、ばらつきを確認するため同条件の試験体である。

各ケースの試験体の種類を表 II-3.2~3.5 に、試験体図を図 II-3.6~3.8 に示す。また、載荷装置図を図 II-3.9 に示す。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、その時点の加力点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。

#### 参考 1.3-1 図 実験方法

(建設技術審査証明報告書より抜粋)

参考 1.3-1 表 各ケースの試験体の諸元  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

表 II-3.2 各ケースの試験体の諸元 (シリーズ 1)

	No.1-1	No.1-2	No.1-3
断面寸法 $b \times h$	825 × 685 mm		
せん断スパン長 $a$	1,640 mm		
せん断スパン比 $a/d$	2.78		
実験時の コンクリート圧縮強度 $f'_c$	32N/mm <sup>2</sup>	33N/mm <sup>2</sup>	34 N/mm <sup>2</sup>
帯鉄筋・補強鉄筋の 材質、および形状	—	SD345 D22 両端フック	SD345 D22 セラミックキャ ップバー (CCb)
せん断補強鉄筋比 $p_w$	0	0.29 %	
試験の目的	コンクリート負担分 $V_c$ の評価	後施工せん断補強鉄筋による 有効率 $\beta_{aw}$ の評価	

表 II-3.3 各ケースの試験体の諸元 (シリーズ 2)

	No.2-1	No.2-2
断面寸法 $b \times h$	825 × 800 mm	
せん断スパン長 $a$	1,960 mm	
せん断スパン比 $a/d$	2.78	
実験時の コンクリート圧縮強度 $f'_c$	37N/mm <sup>2</sup>	38N/mm <sup>2</sup>
帯鉄筋・補強鉄筋の 材質、および形状	SD345 D29 両端フック	SD345 D29 セラミックキャ ップバー (CCb)
せん断補強鉄筋比 $p_w$	0.48 %	
試験の目的	後施工せん断補強鉄筋による 有効率 $\beta_{aw}$ の評価	

参考 1.3-1 表 各ケースの試験体の諸元  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

表 II-3.4 各ケースの試験体の諸元 (シリーズ 3)

	No.3-1	No.3-2	No.3-3	No.3-4	No.3-5	No.3-6
断面寸法 $b \times h$	600×500 mm					
せん断スパン長 $a$	1,195mm					
せん断スパン比 $a/d$	2.78					
実験時のコンクリート 圧縮強度 $f'_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	41.2	40.6	42.4	42.6	42.9	42.6
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)			
せん断補強鉄筋比 $p_w$	0.33%					
セラミックキャップ バー (CCb) の埋込み 側先端位置	—	—	主鉄筋の 図心	主鉄筋の表面 から 5mm 手前	配力鉄筋の 表面から 5mm 手前	
定着体の組合せ	—	—	標準型			
試験の目的	試験体諸元の 妥当性検討		後施工せん断補強鉄筋による 有効率 $\beta_{aw}$ の評価			

表 II-3.5 各ケースの試験体の諸元 (シリーズ 4)

	No.4-1	No.4-2	No.4-3	No.4-4
断面寸法 $b \times h$	600×500 mm			
せん断スパン長 $a$	1,195mm			
せん断スパン比 $a/d$	2.78			
実験時のコンクリート 圧縮強度 $f'_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	34.0	34.3	35.5	33.9
帯鉄筋・補強鉄筋の 材質、および形状	SD345 D16 セラミックキャップバー (CCb)			
せん断補強鉄筋比 $p_w$	0.33%			
セラミックキャップ バー (CCb) の埋込み 側先端位置	主鉄筋の表面から 5mm 手前		配力鉄筋の表面か ら 5mm 手前	—
定着体の組合せ	両端先端型			両端後端型
試験の目的	後施工せん断補強鉄筋による有効率 $\beta_{aw}$ の評価			



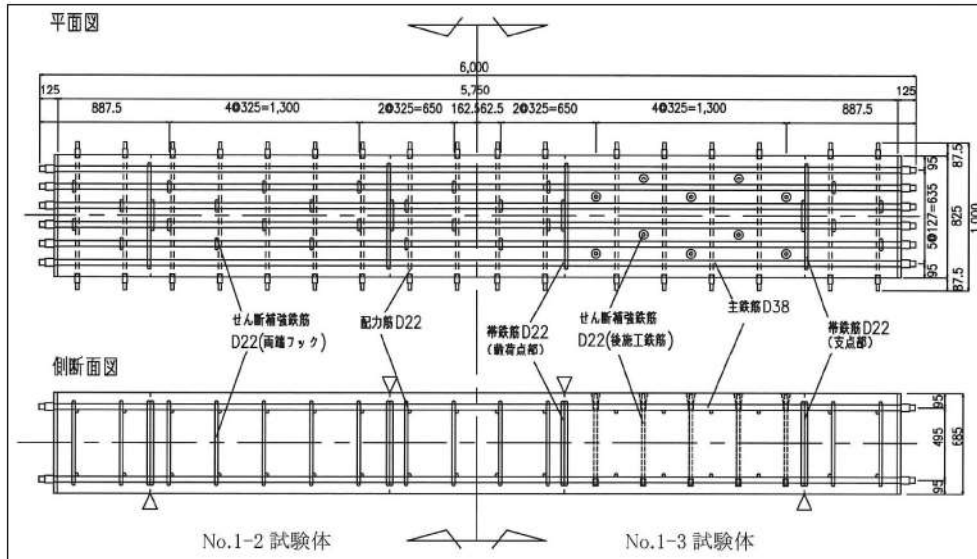


図 II-3.6 試験体図 (シリーズ 1)

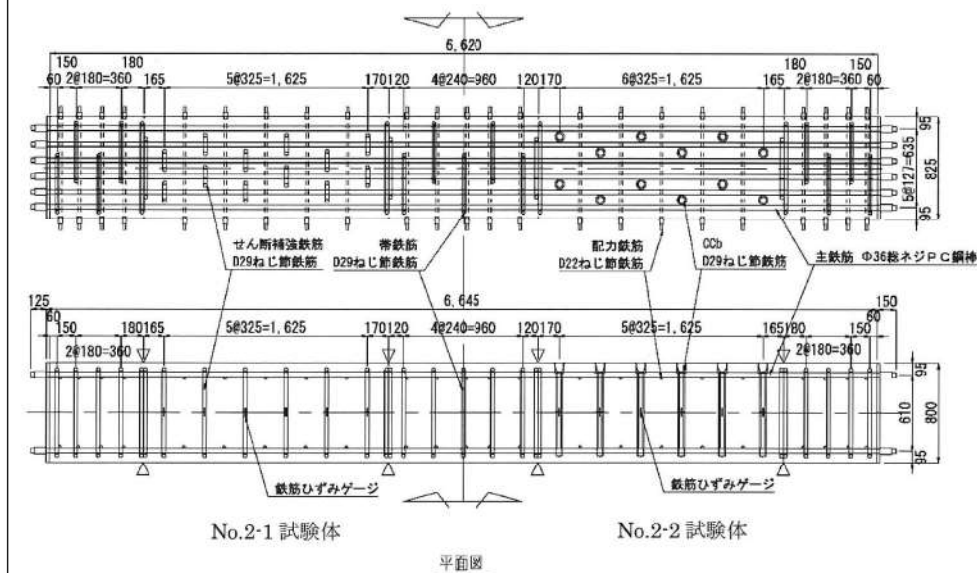
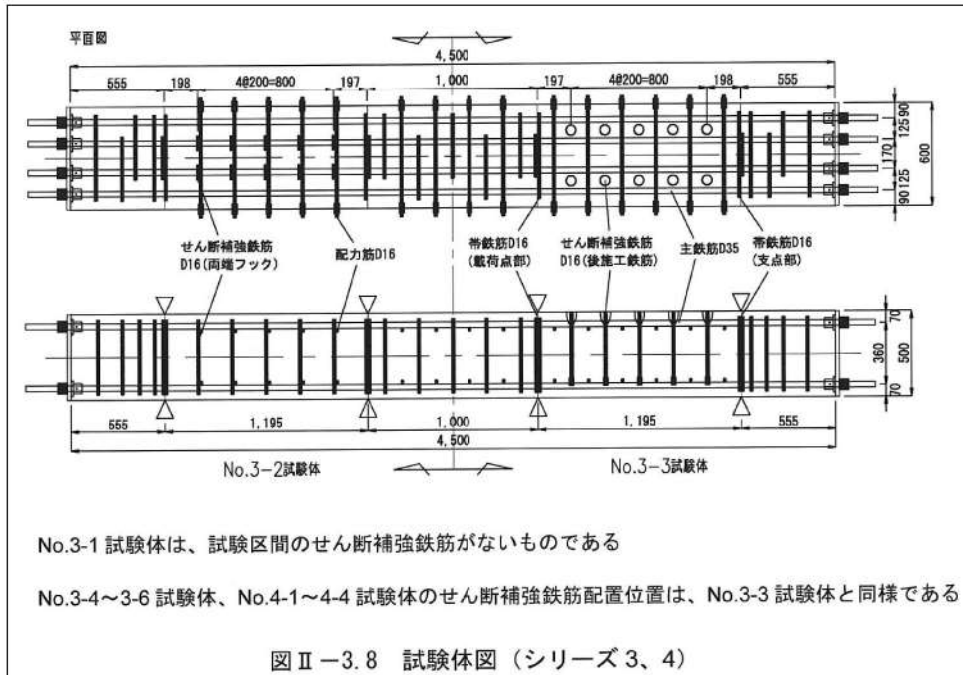


図 II-3.7 試験体図 (シリーズ 2)

参考 1.3-2 図 せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)



参考 1.3-2 図 せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

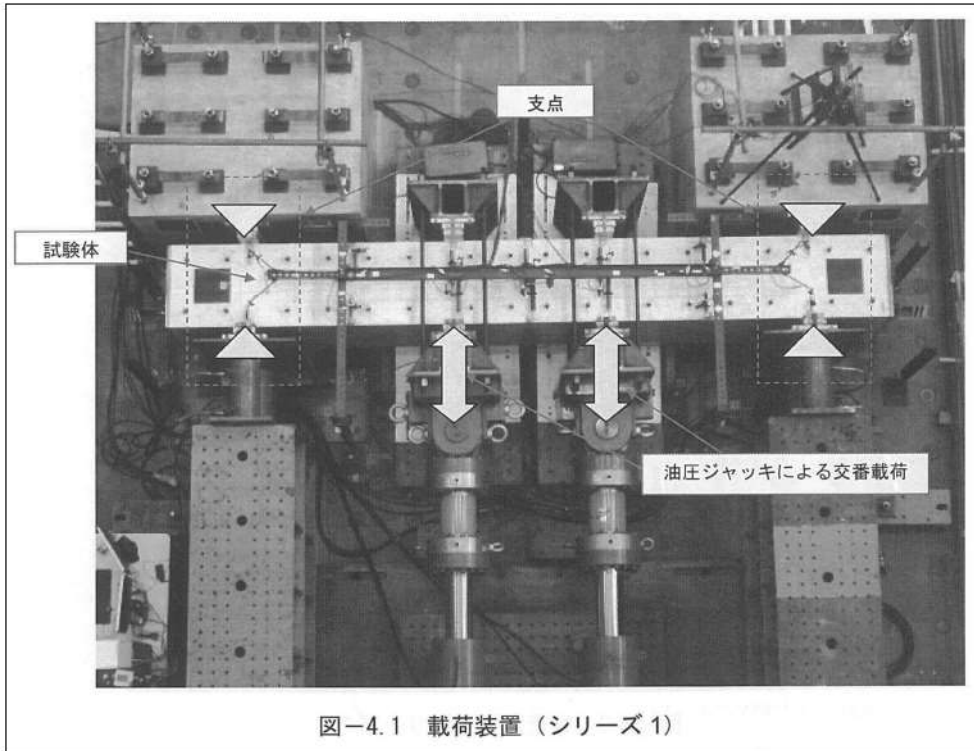


図-4.1 載荷装置 (シリーズ 1)

参考 1.3-3 図 せん断耐力向上性能試験の加力要領  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)



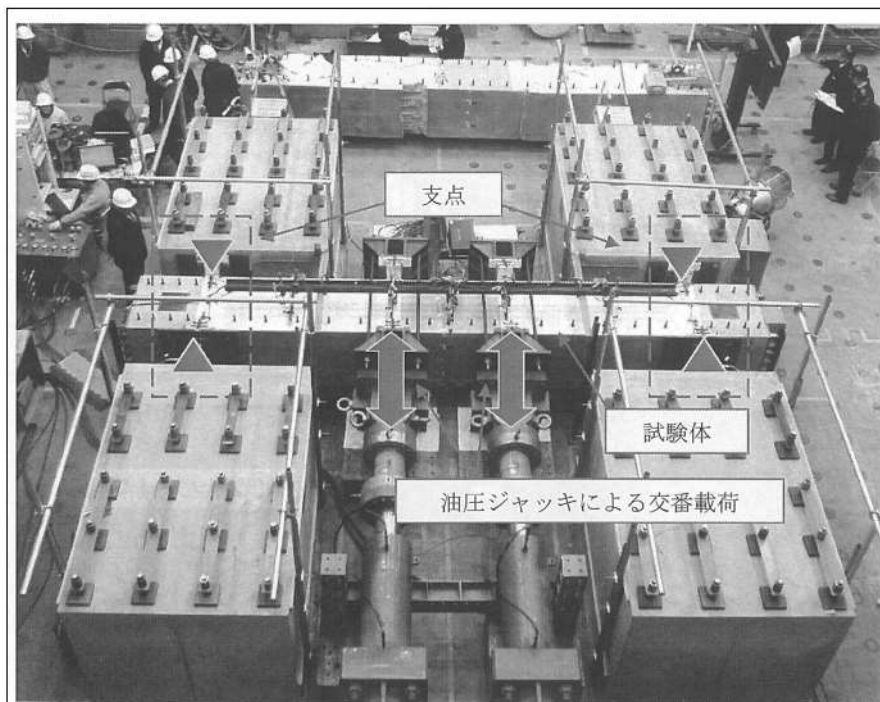


図-4.2 载荷装置 (シリーズ2)

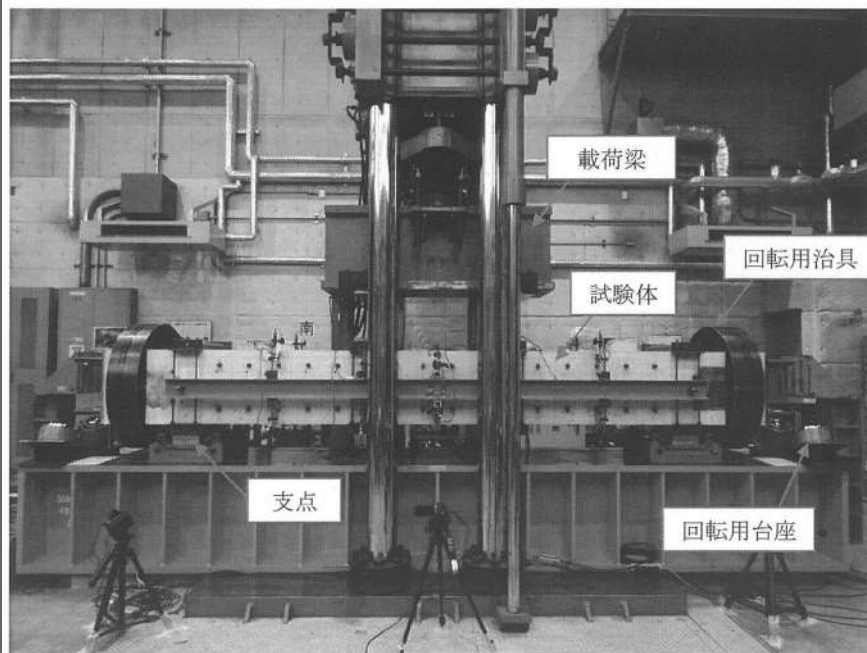


図-4.3 载荷装置 (シリーズ3、4)

参考 1.3-3 図 せん断耐力向上性能試験の加力要領  
 (建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

### 3.1.2 実験結果

3.1.1 の実験結果を参考 1.3-2 表に示す。

参考 1.3-2 表 実験結果の一覧  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

		No.1-1	No.1-2	No.1-3	備考
せん断補強鉄筋の種類・形状		せん断補強鉄筋なし	SD345 D22 両端フック	SD345 D22 セラミック定着体	
せん断耐力の実験値	$V$	454 kN	1,045 kN	1,050 kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
	$V_c$	454 kN	401 kN	403 kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値。
	$V_s$	0 kN	644 kN	647 kN	$V_s = V - V_c$ として
せん断耐力の計算値	$V_{cal}$	396 kN	898 kN	837 kN	計算値は、コンクリート標準示方書 [設計編] に基づき、安全係数を 1.0 として算出した値。
	$V_{c cal}$	396 kN	401 kN	403 kN	
	$V_{s cal}$	0 kN	497 kN	437 kN	No.1-3 は示方書による $V_s$ に有効率 $\beta = 0.88$ を乗じた値。
せん断補強鉄筋の有効率 $\beta_{aw}$				647 / 644 = 1.00	No.1-2 試験体と No.1-3 試験体の比較による値。

		No.2-1	No.2-2	備考	
せん断補強鉄筋の種類・形状		SD345D29 両端フック	SD345D29 セラミック定着体		
せん断耐力の実験値	正側	$V$	1597kN	1598kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
		$V_c$	429kN	434kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
		$V_s$	1168kN	1164kN	$V_s = V - V_c$ として
	負側	$V$	1577kN	1498kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
		$V_c$	429kN	434kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
		$V_s$	1148kN	1064kN	$V_s = V - V_c$ として
せん断耐力の計算値	$V_{cal}$	1372kN	1263kN	計算値は、コンクリート標準示方書 [設計編] に基づき、安全係数を 1.0 として算出した値	
	$V_{c cal}$	429kN	434kN		
	$V_{s cal}$	943kN	829kN	No.2-2 は示方書による $V_s$ に有効率 $\beta = 0.88$ を乗じた値	
せん断補強鉄筋の有効率 $\beta_{aw}$		正側	1164/1168=1.00	No.2-1 試験体と No.2-2 試験体の比較による値	
		負側	1064/1148=0.93		

参考 1.3-2 表 実験結果の一覧  
 (建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

表-8.4 実験結果の一覧 (シリーズ 3、4)

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) $V_{cal}=V_{ed}+V_s$			「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 $\beta_{sw}$ ( $V_{CCb}/V_s$ )			有効率の 設計値 $\beta_{sw}$
			正側	負側	$V_{ed}$	$V_{cd}$	$V_s$	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.3-3	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.3-4	標準型	主鉄筋の表面 より5mm手前	<u>515</u>	<i>570</i>	543	254	289	261	316	<u>0.90</u>	<i>1.09</i>	1.00	0.83
No.3-5	標準型	主鉄筋の表面 より5mm手前	<u>531</u>	509	543	254	289	277	255	<u>0.96</u>	0.88	0.92	
No.3-6	標準型	配力鉄筋の表面 より5mm手前	<u>497</u>	<i>526</i>	543	254	289	243	272	<u>0.84</u>	<i>0.94</i>	0.89	0.78
No.4-1	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.4-2	両端先端型	主鉄筋の表面 より5mm手前	<u>520</u>	<i>535</i>	526	236	290	284	299	<u>0.98</u>	<i>1.02</i>	1.01	0.82
No.4-3	両端先端型	配力鉄筋の表面 より5mm手前	<u>539</u>	<i>546</i>	524	234	290	305	312	<u>1.05</u>	<i>1.08</i>	1.06	0.78
No.4-4	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 下線は正負交替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



### 3.1.3 Ccb のせん断補強の考え方

Ccb のせん断補強の考え方を参考 1.3-4 図に示す。

#### (5) 「セラミックキャップパー (CCb)」のせん断補強効果の考え方

「セラミックキャップパー (CCb)」は通常の方法でせん断補強せず、既設構造物を後からせん断補強するために、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕のせん断耐方式におけるせん断補強鉄筋が負担するせん断力  $V_{sd}$  を全て見込むことは困難であると考えられる。そこで「セラミックキャップパー (CCb)」によるせん断補強効果を、アルカリ骨材反応を受けて破断したせん断補強鉄筋のせん断耐力評価と同じ方法（参考文献：土木学会アルカリ骨材反応対策小委員会報告書、2005.9）により検討した。

せん断補強鉄筋が破断した場合は、せん断ひび割れ箇所から破断箇所までの付着長さが短くなることにより、せん断ひび割れを架橋する箇所でせん断補強鉄筋が全強度を発揮できなくなり、せん断補強効果が低下すると考えられる。この効果を以下のように考慮し、定着不良が生じた場合のせん断耐力をトラス理論により評価する。

せん断ひび割れを架橋するせん断補強鉄筋を考えたとき、せん断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せん断力を負担することができず、一方、破断位置から定着長さ  $l_y$  以上離れた位置にせん断ひび割れがあるせん断補強鉄筋では、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  $l_y$  以下の範囲にせん断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、降伏強度相当より小さなせん断力のみが負担できるとした。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さにしたがって負担できるせん断力を線形で仮定したのが、図 II-4.33 に示す概念図である。この仮定によれば、平均化した破断した鉄筋の負担応力の低下率  $\eta$  は次式で表すことができる。

$$\eta = (d-d')/(4l_y) \quad \text{if } (d-d') \leq 2l_y \dots\dots\dots (1)$$

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

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  $\alpha$  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  $\beta$  は式(3)となる。

$$\beta = \eta \alpha + (1 - \alpha) \dots\dots\dots (3)$$

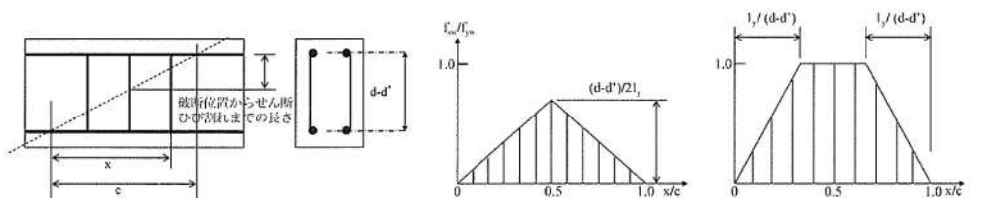


図 II-4.33 斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋応力

参考 1.3-4 図 Ccb のせん断補強の考え方  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)

すなわち、全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  $\beta$  を乗じることにより、定着が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「セラミックキャップバー (CCb)」の定着性能を適用することにより、「セラミックキャップバー (CCb)」工法のせん断補強効果を評価することができる。「セラミックキャップバー (CCb)」の定着性能については、引抜き試験により以下について明らかとなっている。

- ・ 先端型定着体が、「セラミックキャップバー (CCb)」の規格降伏強度相当以上の定着力を確保するための必要定着長は、定着体の先端から  $5D$  ( $D$ : 鉄筋の直径) である。
- ・ 後端型定着体は、単体で「セラミックキャップバー (CCb)」の規格引張強度相当以上の定着力を発揮できる。

「セラミックキャップバー (CCb)」の定着長  $l_y$  が  $5D$  であることと、「セラミックキャップバー (CCb)」工法の適用部材における主鉄筋間隔が  $2l_y$  以上であるとすると、「セラミックキャップバー (CCb)」の応力低下率  $\eta$  の算出では、式(2)を基本とすることができる。また、後端型定着体部においては、せん断補強鉄筋の材端までせん断耐力に対して有効に作用することから、式(2)の第2項の  $l_y/(d-d')$  には、係数  $1/2$  が乗じられる (式(4))。さらに、式(3)において破断している鉄筋は無いことから  $\alpha=1$  とすると、「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断補強の有効率  $\beta_{av}$  は、式(5)により算出できる。

$$\eta = 1 - \frac{l_y}{2(d-d')} \dots\dots\dots (4)$$

$$\beta_{av} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2(d-d')} \dots\dots\dots (5)$$

参考 1.3-4 図 CCb のせん断補強の考え方  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

### 3.1.4 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価

実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価について、参考 1.3-5 図に示す。

#### (6) 実験結果に基づく「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断補強効果の評価

##### i) 「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断補強効果の評価

上記の考え方の適用性を検討するために、「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効率  $\beta_{aw}$  をシリーズ 1 の実験結果に基づいて評価する。

「セラミックキャップバー (CCb)」によって負担されるせん断耐力  $V_{CCb}$  は、式(6)に示すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力  $V_{exp,no1-3}$  から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力  $V_{cd}$  を差し引いて求められる。また、せん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力  $V_s$  は、式(7)に示すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力  $V_{exp,no1-2}$  から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力  $V_{cd}$  を差し引いて求められる。

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/9)



「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効性は、前述のように有効率  $\beta_{aw}$  により評価される。有効率  $\beta_{aw}$  は、「セラミックキャップバー (CCb)」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ある。すなわち、本実験においては、No.1-2 試験体におけるせん断補強鉄筋が負担するせん断力  $V_s$  と、No.1-3 試験体の「セラミックキャップバー (CCb)」が負担するせん断力  $V_{CCb}$  との比として式(8)のように評価することができる。

$$V_{CCb} = V_{exp,no1-3} - V_{c,no1-3} \dots\dots\dots(6)$$

$$V_s = V_{exp,no1-2} - V_{c,no1-2} \dots\dots\dots(7)$$

$$\beta_{aw} = V_{CCb} / V_s \dots\dots\dots(8)$$

ここで、

- $V_{CCb}$  : 「セラミックキャップバー (CCb)」による負担されるせん断耐力
- $V_{exp,no1-2}$  : 実験で得られた No.1-2 試験体のせん断耐力
- $V_{exp,no1-3}$  : 実験で得られた No.1-3 試験体のせん断耐力
- $V_{c,no1-2}$  : せん断補強鉄筋を用いない場合の No.1-2 試験体のせん断耐力の計算値
- $V_{c,no1-3}$  : せん断補強鉄筋を用いない場合の No.1-3 試験体のせん断耐力の計算値
- $V_s$  : 通常のせん断補強鉄筋に負担されるせん断耐力の計算値
- $\beta_{aw}$  : 「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断耐力の補強効果を示す有効率

表Ⅱ-4.1 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。なお、No.1-2、1-3 試験体のコンクリート負担分  $V_c$  は、実験時のコンクリート強度を用いて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。また、表中の計算値は、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ものであり、No.1-3 試験体のせん断耐力については、有効率  $\beta_{aw}$  を式(5)により以下のように算出し、No.1-2 試験体のせん断補強鉄筋が負担するせん断耐力の計算値に乗じている。

$$d - d' = 495\text{mm}, l_y = 110\text{mm} \quad (5D, D = 22\text{mm}) \text{ より}$$

$$\beta_{aw} = 1 - 1/2 \cdot l_y / (d - d') = 1 - 1/2 \cdot (110/495) = 0.88$$

表Ⅱ-4.1 より、各試験体の実験結果に基づいて算出される「セラミックキャップバー (CCb)」の有効率  $\beta_{aw}$  が、コンクリート負担分を計算値に基づいた場合で 1.00 であり、式(5)による有効率 0.88 以上であることが分かる。また、各試験体の設計計算値と実験結果との比較においても、全ての試験体の実験結果は設計計算値よりも大きくなっている。

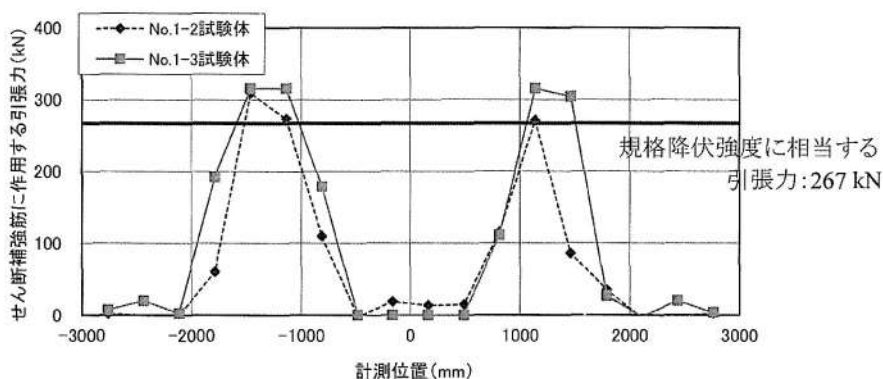
次に、図Ⅱ-4.34 に最大せん断耐力経験時におけるせん断補強鉄筋に作用する引張力の分布について、比較したものを示す。なお、図Ⅱ-4.34 におけるせん断補強鉄筋の引張力

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/9)

は、せん断補強鉄筋のひずみゲージの測定値を材料試験による応力-ひずみ関係に基づいて引張応力に換算し、断面積を乗じた値である。図Ⅱ-4.34より、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強した No.1-3 試験体においても、通常のせん断補強を行った No.1-2 試験体と同様に、1つの斜めひび割れに対して複数本の「セラミックキャップバー (CCb)」が規格降伏強度以上の引張力を負担していることが確認できる。

表Ⅱ-4.1 実験結果の一覧 (シリーズ1)

		No.1-1	No.1-2	No.1-3	備考
補強鉄筋の種類・形状		せん断補強鉄筋なし	SD345 D22 両端フック	SD345 D22 セラミック定着体	
せん断耐力の実験値	$V$	454 kN	1,045 kN	1,050 kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
	$V_c$	454 kN	401 kN	403 kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
	$V_s$	0 kN	644 kN	647 kN	$V_s=V-V_c$ として
せん断耐力の計算値	$V_{cal}$	396 kN	898 kN	837 kN	計算値は、コンクリート標準示方書 [設計編] に基づき、安全係数を 1.0 として算出した値
	$V_{c cal}$	396 kN	401 kN	403 kN	
	$V_{s cal}$	0 kN	497 kN	437 kN	No.1-3 は示方書による $V_s$ に有効率 $\beta = 0.88$ を乗じた値
せん断補強鉄筋の有効率 $\beta_{aw}$				647 / 644 = 1.00	No.1-2 試験体と No.1-3 試験体の比較による値



図Ⅱ-4.34 せん断補強鉄筋に作用する引張力の比較 (シリーズ1)

また、シリーズ2のD29の「セラミックキャップバー (CCb)」においても、セラミック定着体および周囲へ充てんされたグラウトによって、両端フックを有するせん断補強鉄筋

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (3/9)

と同様なメカニズムでせん断補強鉄筋として機能することが確認された。そこで、シリーズ1と同様に「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効率を実験に基づいて評価する。

表Ⅱ-4.2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。載荷方向正側と負側でせん断耐力が若干異なるものの、「セラミックキャップバー(CCb)」による補強効果が小さい方である負側の有効率は0.93であった。これに対し、No.2-2の試験体の諸元から式(5)に基づいて以下の様に算出される有効率の設計計算値は0.88 ( $d-d' = 610\text{mm}$ 、 $l_y = 145\text{mm}$  (5D、 $D = 29\text{mm}$ ))である。つまり、D29のセラミックキャップバー (CCb) を用いた場合でも、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。

次に、図Ⅱ-4.35に最大せん断耐力経験時におけるせん断補強鉄筋に作用する引張力の分布について、比較したものを示す。同図より、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強したNo.2-2試験体においても、通常のせん断補強を行ったNo.2-1試験体と同様に、1つの斜めひび割れに対して複数本の「セラミックキャップバー (CCb)」が規格降伏強度以上の引張力を負担していることが確認できる。

表Ⅱ-4.2 実験結果の一覧 (シリーズ2)

		No.2-1	No.2-2	備考	
補強鉄筋の種類・形状		SD345D29 両端フック	SD345D29 セラミック定着体		
せん断耐力の実験値	正側	V	1597kN	1598kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
		$V_c$	429kN	434kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
		$V_s$	1168kN	1164kN	$V_s = V - V_c$ として
	負側	V	1577kN	1498kN	実験における正側破壊時の載荷荷重として
		$V_c$	429kN	434kN	実験時のコンクリート強度に基づく計算値
		$V_s$	1148kN	1064kN	$V_s = V - V_c$ として
せん断耐力の計算値	$V_{cal}$	1372kN	1263kN	計算値は、コンクリート標準示方書〔設計編〕に基づき、安全係数を1.0として算出した値	
	$V_{c cal}$	429kN	434kN		
	$V_{s cal}$	943kN	829kN	No.2-2は示方書による $V_s$ に有効率 $\beta = 0.88$ を乗じた値	
せん断補強鉄筋の有効率 $\beta_{aw}$	正側		1164/1168=1.00	No.2-1試験体とNo.2-2試験体の比較による値	
	負側		1064/1148=0.93		

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく Ccb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (4/9)



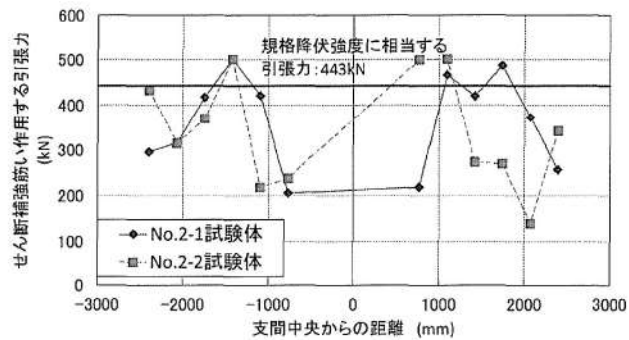


図 II-4.35 せん断補強鉄筋に作用する引張力の比較 (シリーズ 2)

以上より、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を、トラス理論に基づいて算出した「セラミックキャップバー (CCb)」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に、式(5)による有効率  $\beta_{aw}$  を乗じて算出することは、設計上、安全側となることが分かる。

ii) 「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置および定着体の組合せによるせん断補強効果の評価

「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効率  $\beta_{aw}$  に対して、「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置の先端および定着体の組合せが及ぼす影響をシリーズ 3、4 の実験結果に基づいて評価する。

前述の結果より、式(5)による有効率  $\beta_{aw}$  を乗じて「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を評価できる。シリーズ 3、4 における実験結果より、斜めひび割れ発生状況およびせん断補強鉄筋のせん断力負担はシリーズ 1、2 とほぼ同様であることが確認されている。つまり、埋込み位置の先端が主鉄筋の図心より手前となる「セラミックキャップバー (CCb)」や、定着体の組合せが標準型、両端先端型、両端後端型である「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断耐力負担分を、シリーズ 1、2 と同様の手法で評価できると考えられる。

ここで、各種条件に応じた「セラミックキャップバー (CCb)」の有効率算定における概念図を図 II-4.36 に示す。検討ケースは、表 II-4.3 に示すとおりである。

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (5/9)

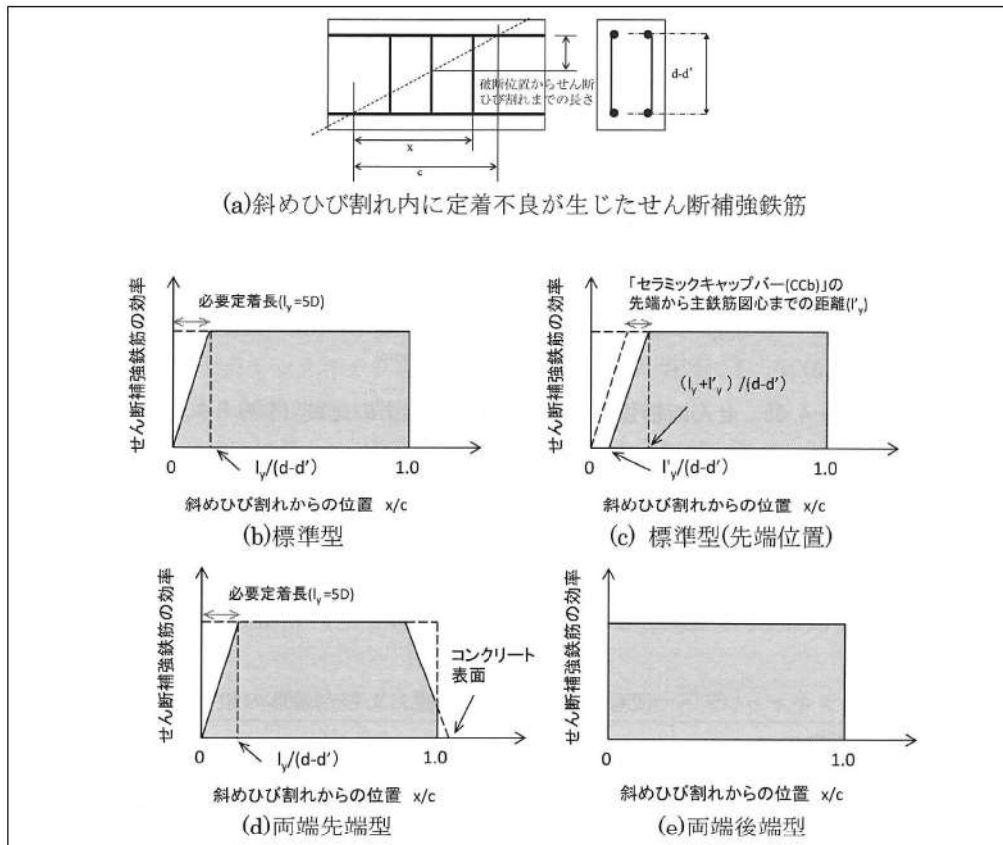


図 II-4.36 有効率算定の概念図

表 II-4.3 検討ケースの一覧

検討ケース	埋込側の定着体タイプ	差込側の定着体タイプ	埋込み位置
(b) 標準型	先端型定着体	後端型定着体	主鉄筋の図心
(c) 標準型 (先端位置)	先端型定着体	後端型定着体	主鉄筋の図心より手前
(d) 両端先端型	先端型定着体	先端型定着体	主鉄筋の図心
(e) 両端後端型	後端型定着体	後端型定着体	—

先端型定着体の先端位置が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前となる「セラミックキャップバー (CCb)」の有効率は、図 II-4.36(c) に示すように、実際の埋込み位置から差込側の主鉄筋の図心までの範囲の有効率 ( $\beta_{awxd-t}$ ) のみを考慮することで算出できると考えられる。

両端ともに先端型定着体を設置した「セラミックキャップバー (CCb)」の有効率 ( $\beta_{awxx}$ ) は、差込側においても埋込側と同様に、必要定着長に応じた有効率の低減を考慮すること

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (6/9)

で評価できる。ただし、差込側の定着体は、コンクリートの表面に定着されていることを考慮して、図Ⅱ-4.36(d)に示すような有効率を算出することとする。

両端ともに後端型定着体を設置した「セラミックキャップバー (CCb)」では、両側で標準フックと同等の定着性能が期待できる。そのため、その補強効果も両端フックのせん断補強鉄筋と同様となり、有効率 ( $\beta_{awdd}$ ) は 1.0 であると考えられることができる。

図Ⅱ-4.36 を参考に式(5)を拡張すると、それぞれのせん断補強有効率は式(9)~(11)と表すことができる。なお、両端先端型を用いて、かつ埋込み位置が埋込側の主鉄筋の図心よりも手前となる場合は、式(10)に対して式(9)の算出方法を組み合わせることで式(12)により有効率 ( $\beta_{awxx-f}$ ) を評価することができる。

$$\beta_{awdd-f} = \eta = 1 - \frac{(l_y + 2l'_y)}{2(d - d')} \dots\dots\dots (9)$$

$$\beta_{awxx} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2(d - d')} - \frac{(l_y - d')^2}{2l_y(d - d')} \dots\dots\dots (10)$$

$$\beta_{awdd} = \eta = 1 \dots\dots\dots (11)$$

$$\beta_{awxx-f} = \eta = 1 - \frac{(l_y + 2l'_y)}{2(d - d')} - \frac{(l_y - d')^2}{2l_y(d - d')} \dots\dots\dots (12)$$

ここで、

$\beta_{awdd-f}$  : 標準型の「セラミックキャップバー (CCb)」を用いて、その埋込み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せん断耐力の向上への有効性を示す係数

$\beta_{awxx}$  : 両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

$\beta_{awdd}$  : 両端後端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

$\beta_{awxx-f}$  : 両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を用いて、その埋込み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せん断耐力の向上への有効性を示す係数

$d'$  : 差込側の部材表面から圧縮鋼材図心までの距離

$l'_y$  : 埋込側の主鉄筋の図心から「セラミックキャップバー (CCb)」の先端までの距離

上記の考え方の適用性を検討するために、「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効率  $\beta_{aw}$  をシリーズ 3、4 の実験結果に基づいて評価する。

「セラミックキャップバー (CCb)」によって負担されるせん断耐力  $V_{CCb}$  は、式(13)に示

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (7/9)



すように、梁の交番載荷実験によって求められたせん断耐力  $V_{exp}$  から、コンクリートのみにより受け持つせん断耐力  $V_{cd}$  を差し引いて求められる。また、せん断補強鉄筋によって負担されるせん断耐力  $V_s$  は、式(14)に示すように、「セラミックキャップバー (CCb)」を通常のせん断補強鉄筋と見なすことで求めることができる。つまり、「セラミックキャップバー (CCb)」の鉄筋配置が決まれば、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕のせん断耐力式と同様に求められる。なお、安全係数は 1.0 とした。

「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の有効性は、前述のように有効率  $\beta_{aw}$  により評価される。有効率  $\beta_{aw}$  は、「セラミックキャップバー (CCb)」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ある。すなわち、各試験体諸元を基に通常のせん断補強鉄筋と仮定して算出されるせん断耐力  $V_s$  と、その試験体の「セラミックキャップバー (CCb)」が負担するせん断力  $V_{CCb}$  との比として式(15)のように評価することができる。

$$V_{CCb} = V_{exp} - V_{cd} \dots\dots\dots(13)$$

$$V_s = [A_{aw} f_{awyd} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / s_{aw}] z / \gamma_b \dots\dots\dots(14)$$

$$\beta_{aw} = V_{CCb} / V_s \dots\dots\dots(15)$$

ここで、

$V_{CCb}$  : 「セラミックキャップバー (CCb)」による負担されるせん断耐力

$V_{exp}$  : 実験で得られたせん断耐力

$V_{cd}$  : せん断補強鋼材を用いない場合のせん断耐力の計算値

$V_s$  : 「セラミックキャップバー (CCb)」を通常のせん断補強鉄筋とみなして求められるせん断耐力の計算値

$A_{aw}$  : 単位長さあたりの区間  $s_{aw}$  におけるセラミックキャップバー (CCb) の総断面積

$f_{awyd}$  : 「セラミックキャップバー (CCb)」の降伏強度で 400N/mm<sup>2</sup> 以下とする

$\alpha_{aw}$  : 「セラミックキャップバー (CCb)」が部材軸となる角度

$z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、一般に  $d/1.15$  としてよい

$\gamma_b$  : ここでは、1.0

$\beta_{aw}$  : 「セラミックキャップバー (CCb)」のせん断耐力の補強効果を示す有効率

表Ⅱ-4.4 にシリーズ 3、4 における実験結果の一覧を示す。有効率  $\beta_{aw}$  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、梁の正負交番載荷実験において、最初にせん断破壊した載荷方向におけるせん断力に表中に下線で示す。実験から得られた最初にせん断破壊した側の有効率  $\beta_{aw}$  は、式(9)~(12)で算出される有効率  $\beta_{aw}$  よりも、いず

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (8/9)

れの試験ケースにおいても大きな値であることが分かる。つまり、「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置の先端および定着体の組合せが異なる場合においても、式(9)~(12)から算出される有効率  $\beta_{aw}$  以上のせん断補強効果が期待できることが確認された。

以上より、鉄筋の埋込み位置の先端および定着体の組合せが異なる場合においても、「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強された RC 部材のせん断補強効果を、トラス理論に基づいて算出した「セラミックキャップバー (CCb)」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に、式(9)~(12)による有効率  $\beta_{aw}$  を乗じて算出することは、設計上、安全側となることが分かる。

表 II-4.4 実験結果の一覧 (シリーズ 3、4)

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) $V_{cal}=V_{ed}+V_s$			「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 $\beta_{aw}$ ( $V_{CCb}/V_s$ )			有効率の設計値 $\beta_{aw}$
			正側	負側	$V_{ed}$	$V_{sd}$	$V_s$	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.3-3	標準型	主鉄筋位置	<u>563</u>	<u>499</u>	542	253	289	310	246	<u>1.07</u>	0.85	0.96	0.89
No.3-4	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	<u>515</u>	<u>570</u>	543	254	289	261	316	<u>0.90</u>	<u>1.09</u>	1.00	
No.3-5	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	<u>531</u>	509	543	254	289	277	255	<u>0.96</u>	0.88	0.92	
No.3-6	標準型	配力鉄筋の表面より5mm手前	<u>497</u>	<u>526</u>	543	254	289	243	272	<u>0.84</u>	<u>0.94</u>	0.89	0.78
No.4-1	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	<u>532</u>	<u>520</u>	525	235	290	297	285	<u>1.02</u>	<u>0.98</u>	1.00	0.82
No.4-2	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	<u>520</u>	<u>535</u>	526	236	290	284	299	<u>0.98</u>	<u>1.03</u>	1.01	0.82
No.4-3	両端先端型	配力鉄筋の表面より5mm手前	<u>539</u>	<u>546</u>	524	234	290	305	312	<u>1.05</u>	<u>1.08</u>	1.06	0.78
No.4-4	両端後端型	—	<u>661</u>	<u>568</u>	525	235	290	426	333	<u>1.47</u>	<u>1.15</u>	1.31	1.00

※1 下線は正負交番荷重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、その荷重方向での最大荷重を示す

参考 1.3-5 図 実験結果に基づく CCb によるせん断補強効果の評価

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (9/9)

### 3.2 使用材料・強度

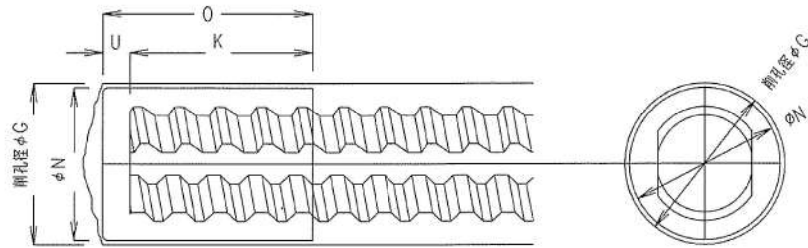
実験を元にした本設計法では、参考 1.3-6 図に示すとおり使用材料を定めている。今回の設計でも、これらに適合する使用材料・強度を用いる。

- |   |
|---|
| <p>(1) セラミックキャップバー (CCb) 工法は、使用の目的に対してせん断耐力が不足する部材のせん断補強および地震時のじん性が不足する部材のじん性確保などの目的に使用する。</p> <p>(2) セラミックキャップバー (CCb) 工法の適用範囲は、以下の条件に該当するものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・主に地震時の応答変位量が限定される地中構造物であって、片側から施工する既設コンクリート構造物に対し、後施工によるせん断補強の目的で用いる。</li><li>・両側からの施工が可能な既設のコンクリート構造物であり、じん性確保を目的としない場合、後施工によるせん断補強の目的で用いる。</li></ul> |
|---|

参考 1.3-6 図 使用材料・強度  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/6)



セラミックキャップバー (CCb) は、D32、D29、D25、D22、D19、D16、D13のねじ鉄筋の両端に高純度アルミナ系セラミック製のキャップを設け定着体をなす構造とする。先端型・後端型の定着体の例、およびねじ鉄筋の寸法を図-2.1~2.3に示す。



呼び名	削孔寸法	
	削孔径ΦG mm	継手仕様時 削孔寸法 削孔径ΦG mm
D13	30.0	30.0
D16	30.0	34.0
D19	34.0	36.0
D22	36.0	40.0
D25	46.0	46.0
D29	50.0	50.0
D32	55.0	55.0

呼び名	定着体の寸法			
	ΦN mm	O mm	ねじ深さK mm	U mm
D13	25.0	36.0	30.0	6.0
D16	27.0	46.0	40.0	6.0
D19	30.0	46.0	40.0	6.0
D22	33.0	46.0	40.0	6.0
D25	42.0	52.0	46.0	6.0
D29	45.0	59.0	53.0	6.0
D32	50.0	64.0	58.0	6.0

【先端型定着体(CX)】

図-2.1 セラミック定着体、ねじ鉄筋の例 (その1)

参考 1.3-6 図 使用材料・強度  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/6)

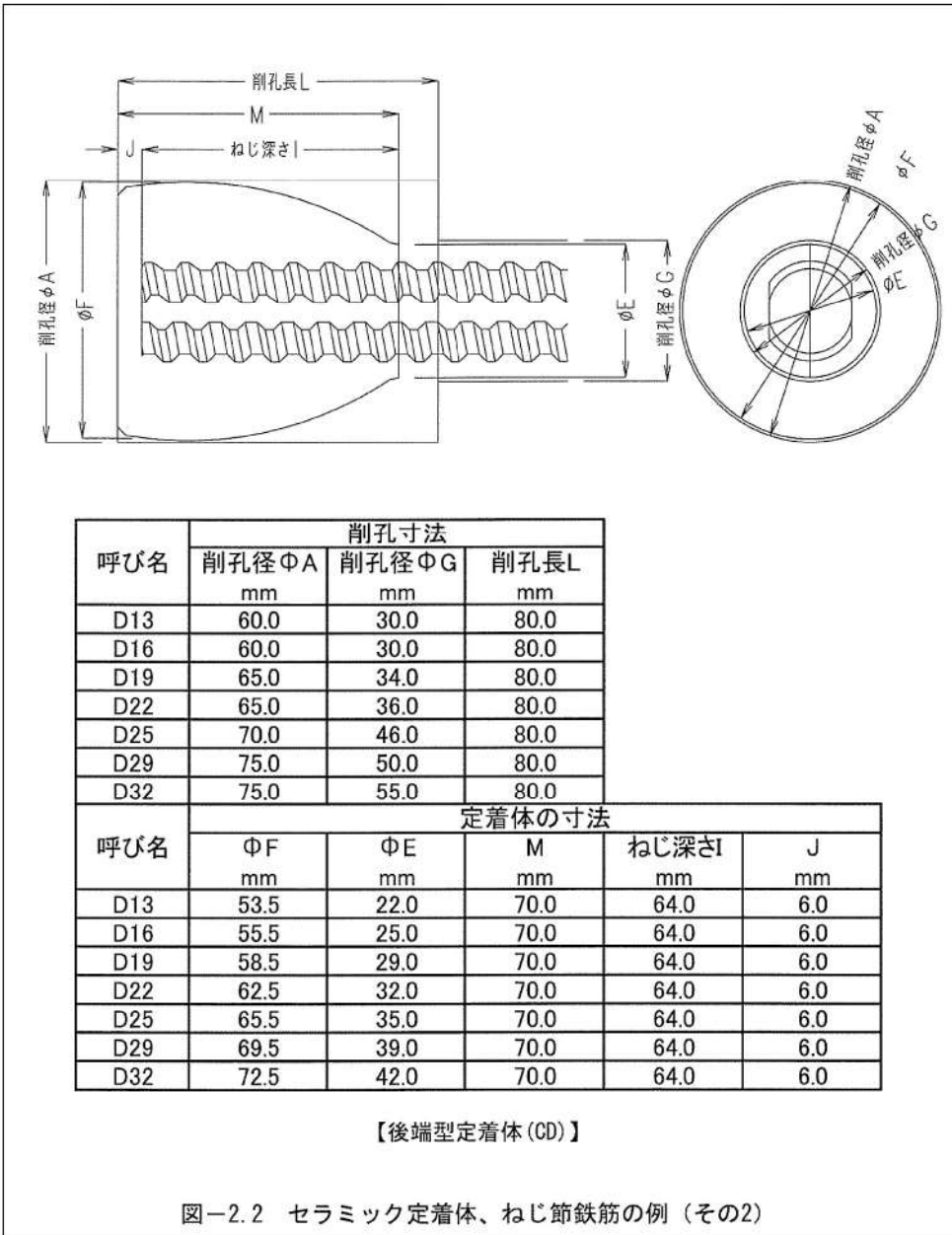
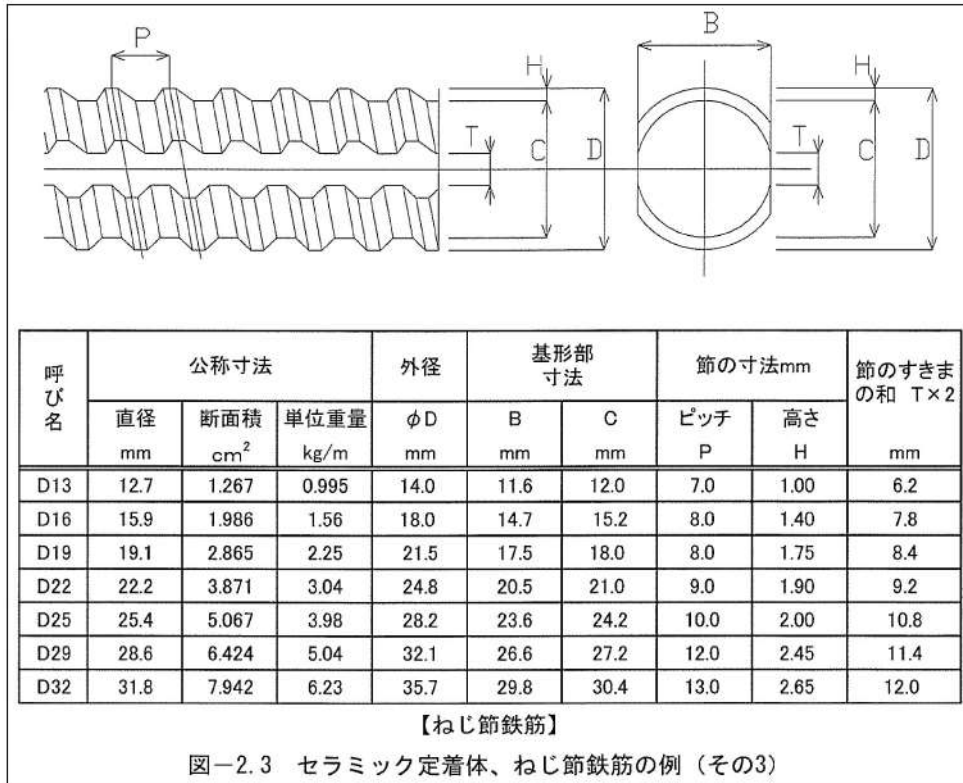


図-2.2 セラミック定着体、ねじ筋鉄筋の例 (その2)

参考 1.3-6 図 使用材料・強度  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (3/6)



参考 1.3-6 図 使用材料・強度  
 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（4/6）



セラミック定着体は、JIS R 1600 に示すファインセラミックスに分類されるセラミックにて製作されており、顆粒物性においてアルミナ純度 96%以上のアルミナ材で、焼成体物性において 300N/mm<sup>2</sup>以上の曲げ強度（JIS R 1601）を製造会社が保証するものを用いることを原則としている。

セラミック定着体の寸法、ねじ節強度及び密度については、以下のとおり品質管理基準を定めている。

・セラミック定着体			
解説表-3.4 セラミック定着体の品質管理基準			
管理項目	管理内容	規格値	管理頻度
最外径	ノギスによる計測	(D13~D25) 先端型：設計値±0.8mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 (D29、D32) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内	1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。
全高	ノギスによる計測	(D13~D25) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 (D29、D32) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.2mm 以内	1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。
ねじ部長さ	測定治具による計測	(D13~D25) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内 (D29、D32) 先端型：設計値±1.0mm 以内 後端型：設計値±1.0mm 以内	1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。
ねじ節強度	ねじ節強度試験	母材となるねじ節鉄筋の規格降伏強度相当以上	1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 3 体。
密度	密度試験	・ 製造者から発行される材料証明書の密度との誤差が ±0.05g/cm <sup>3</sup> 以内 ・ 各試験値が平均値の ±1.5% 以内 ・ 各試験値が 3.75 g/cm <sup>3</sup> 以上	1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。

参考 1.3-6 図 使用材料・強度  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (5/6)

(1) セラミックキャップバー (CCb)

セラミックキャップバー (CCb) を構成するねじ鉄筋は、JIS G 3112に準拠したネジテツコン (東京鐵鋼株式会社製ねじ鉄筋) で、種類はSD295A、SD295B、SD345とし、呼び名はD32、D29、D25、D22、D19、D16、D13とする。特性値 $f_{yk}$ および $f_{uk}$ はJIS G 3112の下限值としてよい。また、限界状態の検討に用いる異形鉄筋の断面積は、JIS G 3112による各呼び名の公称断面積としてよい。

(2) 充てん材

充てん材は補強する構造体コンクリートと同等な性能であるとする。

参考 1.3-6 図 使用材料・強度

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (6/6)

### 3.3 構造部材の評価

3.1 で示した基本的考え方に基づき、参考 1.3-7 図で示すコンクリート標準示方書 [設計編] (土木学会, 2012) (以下「コンクリート標準示方書 2012」という。) の考え方を準用した設計式を用いてせん断耐力を定めている。

セラミックキャップバー (CCb) により補強された壁部材のせん断耐力が作用するせん断力より大きいことを確認することにより、補強後の構造物の安全性の照査を行う。

セラミックキャップバー (CCb) により補強された壁部材の単位長さ当たりのせん断耐力  $V_{pyd}$  は、式(1)と式(2)によりセラミックキャップバー (CCb) のせん断耐力への寄与を考慮し、2012年制定コンクリート標準示方書 [設計編：標準] 3編 2.4.3.2に準じて、以下のように求めてよい。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{CCbd} \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{CCbd} = \beta_{aw} \cdot V_{awd} = \beta_{aw} [A_{aw} \cdot f_{awy} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw}] z / \gamma_b \dots\dots\dots(2)$$

$$\beta_{awcd} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2S_{rb}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\beta_{awxx} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2S_{rb}} - \frac{(l_y - d')^2}{2l_y S_{rb}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\beta_{awdd} = \eta = 1 \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 $V_{cd}$ ：せん断補強鋼材を用いない壁部材の単位幅当たりのせん断耐力  
 $V_{sd}$ ：既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力  
 $V_{CCbd}$ ：セラミックキャップバー (CCb) により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力  
 $V_{awd}$ ：セラミックキャップバー (CCb) を通常のスターラップとみなして求められる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力  
 $\beta_{aw}$ ：セラミックキャップバー (CCb) のせん断耐力の向上への有効性を示す係数  
 $\beta_{awcd}$ ：標準型のセラミックキャップバー (CCb) を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数  
 $\beta_{awxx}$ ：両端先端型のセラミックキャップバー (CCb) を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数  
 $\beta_{awdd}$ ：両端後端型のセラミックキャップバー (CCb) を用いた場合のせん断耐力の向上への有効性を示す係数  
 $A_{aw}$ ：単位長さあたりの区間  $S_{aw}$  におけるセラミックキャップバー (CCb) の総断面積  
 $f_{awy}$ ：セラミックキャップバー (CCb) の設計降伏強度で  $400\text{N/mm}^2$  以下とする

参考 1.3-7 図 せん断に対する安全性照査  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/2)



$\alpha_{aw}$  : セラミックキャップバー (CCb) が部材軸となす角度  
 $S_{aw}$  : セラミックキャップバー (CCb) の配置間隔  
 $z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に  $d/1.15$  としてよい  
 $\gamma_b$  : 部材係数 (一般に 1.10 としてよい)  
 $l_y$  : セラミックキャップバー (CCb) の先端型定着体の定着長 (5D としてよい)  
 $S_{rb}$  : 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔

参考 1.3-7 図 せん断に対する安全性照査  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/2)

### 3.4 構造細目

本設計方法では、想定外の破壊形式をとらないように、参考 1.3-8 図に示す構造細目を定めている。

- (1) セラミックキャップバー (CCb) によって補強された壁部材では、補強前に配置されていたせん断補強鉄筋とセラミックキャップバー (CCb) を加えたせん断補強鉄筋の断面積比が0.15%以上になるように、セラミックキャップバー (CCb) を配置する。
- (2) セラミックキャップバー (CCb) を配置する最大の間隔は、補強前に配置されていたせん断補強鉄筋の位置も含めて、壁部材の有効高さの1/2でかつ300mm以下としなければならない。また、計算上でセラミックキャップバー (CCb) による補強を必要とする区間の外側の有効高さに等しい区間にも、これと同量のセラミックキャップバー (CCb) を配置しなければならない。
- (3) 差込側のセラミック定着体は、差込側のコンクリート表面に配置することを標準とする。
- (4) 埋込側の先端は、主鉄筋の中心まで配置することを原則とする。ただし、掘削孔の先端から埋込側の表面まで厚さは50mm以上とする。

参考 1.3-8 図 構造細目 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

#### 4. 建設技術審査証明報告書における施工性の確認

建設技術審査証明報告書では、施工性に関して、施工の確実性及び施工の容易性について確認している。

##### 4.1 施工の確実性

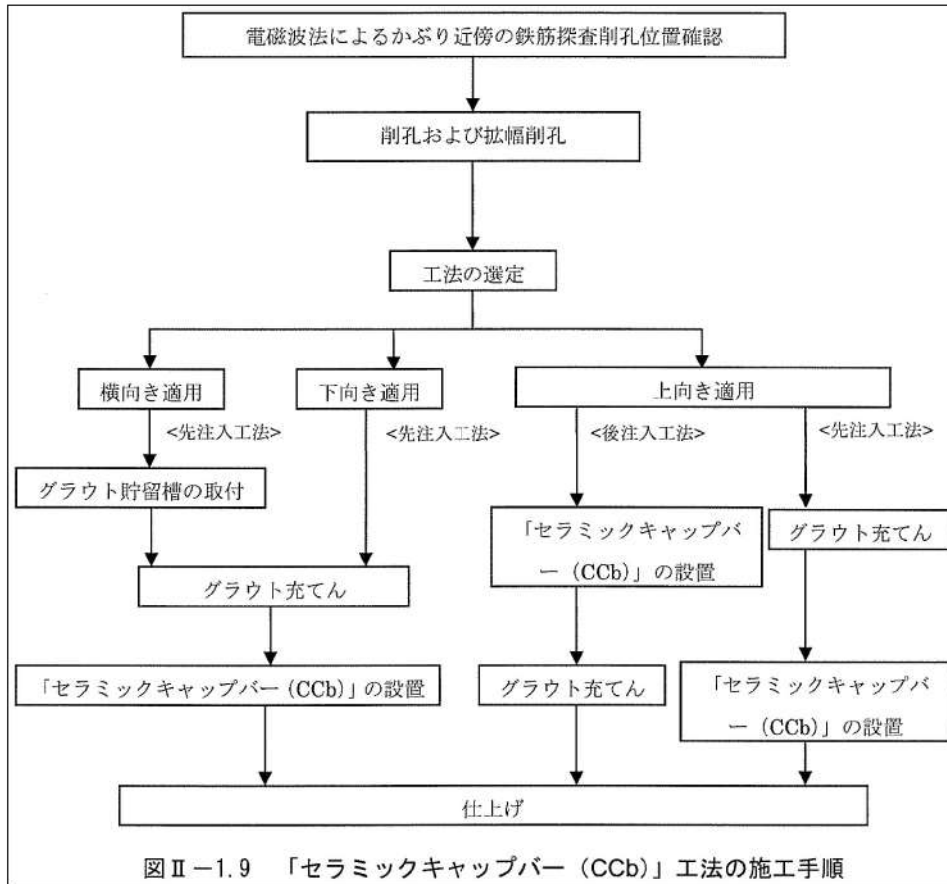
建設技術審査証明報告書において確認されている、CCbの施工の確実性について、参考1.4-1図に示す。

<p>背面に地盤などがあり、片側からしか施工できないRC部材に対して、補強後の掘削孔内にエア抜き用ホースを残置せずにせん断補強できることが確認された。</p> <p>両側からの施工が可能な既設鉄筋コンクリート部材に対し、両端に後端型定着体を設置する場合、片方のセラミック定着体をグラウト中で接合することで、施工が確実に進められることが確認された。</p>
---

参考1.4-1図 施工の確実性  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

施工の確実性に当たっては、CCbの施工手順を設定し、施工試験等に基づき確認している。CCbの施工手順を参考1.4-2図に示す。





図Ⅱ-1.9 「セラミックキャップバー (CCb)」工法の施工手順

参考 1.4-2 図 CCb の施工手順の設定  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

#### 4.2 施工の容易性

建設技術審査証明報告書において確認されている、CCbの施工の容易性について、参考1.4-3図に示す。

<p>狭あいな空間や複雑な部位において、大型機材を用いずに容易に施工でき、安定した品質を確保できることが確認された。</p> <p>挿入する「セラミックキャップバー (CCb)」の長さを確保できないような狭あいな空間での施工においても、カプラーによる機械式継手を用いて、安定した品質の作業を容易に施工できることが確認された。</p>
--

参考 1.4-3 図 施工の容易性  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

施工の容易性の確認に当たっては、ボックスカルバート等の側壁及び頂版を想定した施工歩掛と想定工費の検討を行い、狭あいな空間や複雑な部位における補強工事に十分適用できることを確認している。

## CCb の施工精度に影響を与える項目の確認

## 1. CCb の施工精度に影響を与える項目の抽出

CCb 工法によるせん断補強においては、施工精度の低下により計画どおり施工できなかった場合、期待するせん断補強効果に影響を及ぼす可能性がある。そのため、施工精度に影響を与える項目を抽出し、施工精度の低下やせん断補強効果に大きな影響を与えないことを確認する。以下に、抽出した項目を示す。

- ① 削孔方法
- ② 削孔角度
- ③ 削孔位置
- ④ グラウトの充てん性

## 2. 削孔方法

CCb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが、その削孔方法としてはレッグハンマードリル又はコンクリートコアドリルの使用が主となっている。コンクリートコアドリルは設置面に強固に固定でき、掘削方向と掘削深さを精度良く確保することが容易であることから、原子力発電所施設では主にコンクリートコアドリルでの削孔を採用している。

また、削孔時に既存鉄筋の切断を回避するため、既存鉄筋干渉時にコンクリートコアドリルの回転を停止させる鉄筋センサーの使用を標準装備としている（参考 2-1 図参照）。

なお、削孔においては参考 2-1 表のとおり、施工精度を確保するために管理基準を設けている。



参考 2-1 図 削孔状況



参考 2-1 表 削孔に関する品質管理基準

管理項目	管理内容	規格値	管理頻度
一般部の削孔長	メジャーによる計測	0mm ≤ 設計値 ≤ 20mm かつ、削孔先端から埋 込側表面までの厚さ 50mm 以上	全数
一般部の削孔径 拡幅部の削孔長及び 削孔径	セラミックキャッ パー (CCb) による計測	CCb が完全に 挿入できること	

### 3. 削孔角度

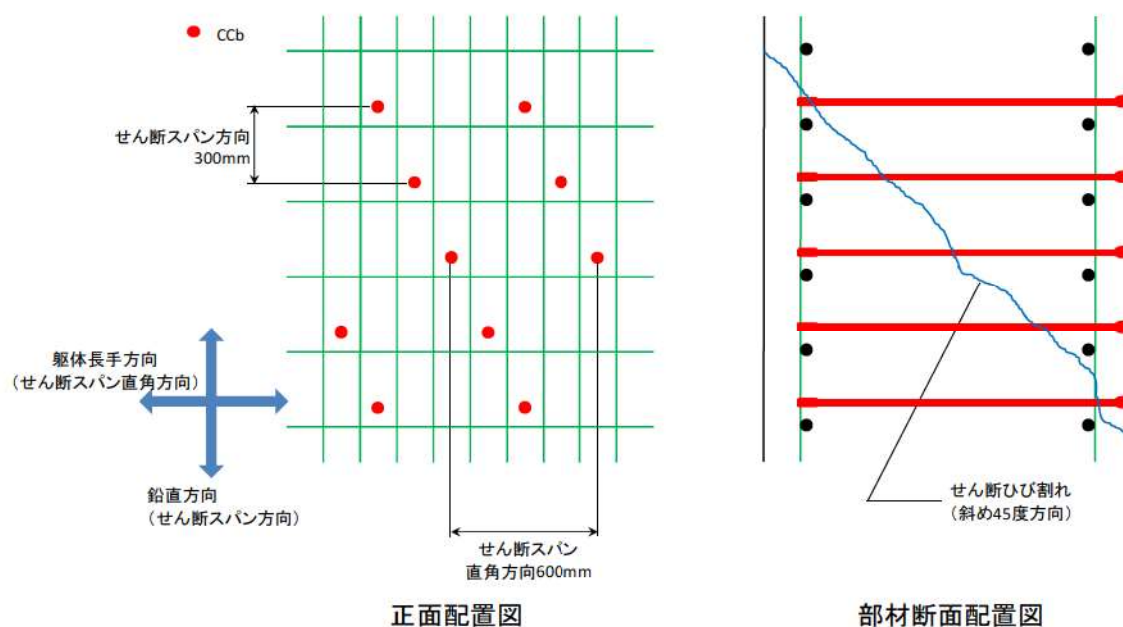
CCb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが、削孔角度に誤差が生じた場合、CCb のせん断補強効果に影響が及ぶ可能性がある。そのため、コンクリートコアドリルを専用架台に設置し、ドリルの鉛直方向、水平方向が削孔面に対して垂直となるよう水平器、金尺等で確認し削孔することにより、削孔角度のばらつきが生じる可能性を低減させる。

また、「建設技術審査証明報告書 技術名称 あと施工型せん断補強用無機系モルタルカプセル及びせん断補強筋「RMA」(建技審証第 1203 号)」ではコンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験を実施している。コンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験では、幅 1200mm × 高さ 600mm × 長さ 1200mm のコンクリートブロック 4 体を削孔し、削孔位置のずれを確認している。コンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験の結果、削孔角度誤差を換算すると、長さ 1200mm, 2400mm は  $0.72^\circ$  , 長さ 3600mm で  $0.66^\circ$  となり、泊 3 号炉の CCb により耐震補強を行った構造物の最大部材厚 2000mm に対しても、コアドリルによる長尺削孔は十分精度があることが示されている。

#### 4. 削孔位置

CCb 挿入計画位置をドリルにより削孔するが、部材内部に障害物があり計画位置で削孔できず CCb を計画どおり配置できない可能性がある。その場合は、付近を再削孔し CCb を挿入することで設計上必要な鉄筋量を確保する。なお、参考 2-2 図に示すせん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図のとおり、再削孔する際は削孔計画位置（赤丸）から位置をずらし、せん断補強効果に影響のない位置に削孔することが可能である。再削孔の際、新たに別の鉄筋に干渉してしまう可能性があることから、孔を隣接させて削孔することが可能なコンクリートコアドリルを使用し、再削孔時の精度向上を図る。

以上より、削孔位置に変更が生じて必要鉄筋量を確保できるため、せん断補強効果に影響を及ぼさない。



参考 2-2 図 取水ピットスクリーン室のせん断補強筋正面配置図及び部材断面配置図

## 5. グラウトの充てん性

グラウトの充てん性については、グラウト充てん性確認実験により、削孔内に設置した Ccb の先端定着部までグラウトが密実に充てんされ、Ccb とコンクリート躯体が一体となっていることを確認している。以下に、建設技術審査証明報告書に記載されているグラウト充てん性確認実験の内容を示す。

グラウト充てん性確認実験は、①先充てん工法（横向き）、②先充てん工法（下向き）、③先充てん工法（上向き）、④後充てん工法（上向き）にて実施されている（参考 2-3 図参照）。

なお、グラウト充てんでは残留エアが施工品質に影響を与えることから、高流動グラウトを使用する横向き施工においては、残留エアの有無をかき出しにより確認しており、残留エアが無いことを全数確認している。

### ① 先充てん工法（横向き）

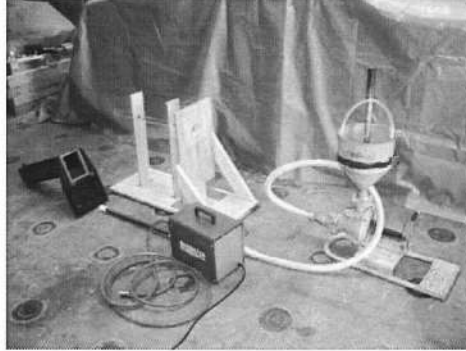
先充てん工法（横向き）の場合、コンクリート躯体面に養生用治具を止水剤、接着剤等で設置し、グラウト貯留槽を真空ポンプと吸盤で固定する。そして、グラウトポンプを用いて、掘削孔の先端からエアを追出すようにグラウトを充てんし、削孔部分およびグラウト貯留槽部分にグラウトを満たす。その状態で「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入することにより、エア抜きホースを残置すること無く、「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入およびその周囲へのグラウトの充てんを行う。

写真Ⅱ-4.9～写真Ⅱ-4.11 に示すように、グラウトが充てんされた削孔内に「セラミックキャップバー（CCb）」を抵抗無く挿入でき、エア抜きホースを残置することなく、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんできることを、アクリル模型および RC 部材を用いた施工試験により確認した。また、実際の施工では、ほぼ水平となるように削孔することが可能であるが、アクリル模型の先端を 2°以上、上に傾けた状態でのグラウトの充てん確認試験を実施し、孔内後端部の上部の角部にエアが残留した場合でも、エア抜き工具を用いて残留エアの有無の確認と除去が可能であることを確認している（写真Ⅱ-4.10）。

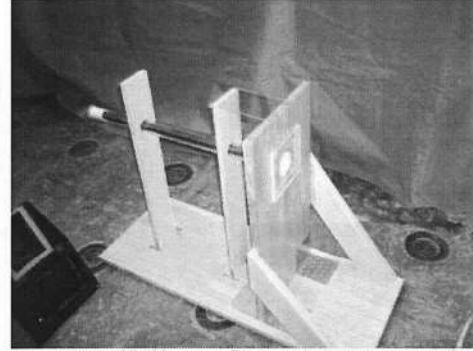
参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (1/10)



グラウトはプレミックス材料であり、施工現場では、所定量の水を加えてハンドミキサーで練り混ぜるだけで所定の性質のものが使用できるので、最小限の設備と人員での「セラミックキャップバー（CCb）」の横向き設置が可能である。



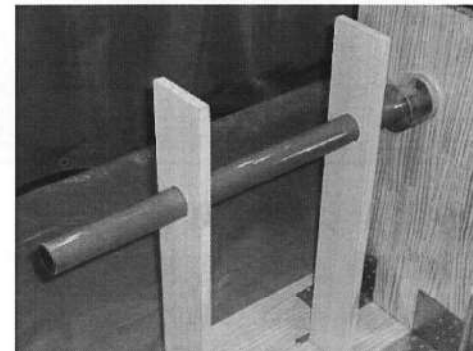
試験器具一式



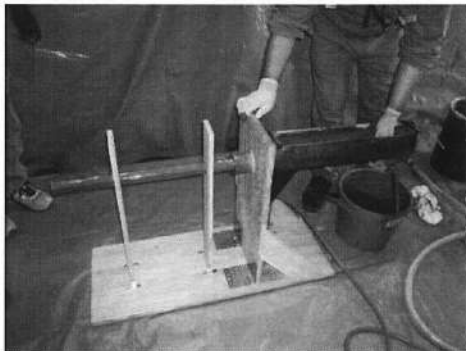
亚克力模型への「セラミックキャップバー（CCb）」の仮設置



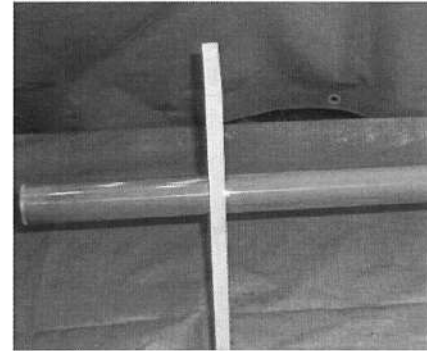
グラウトの充てん状況



グラウトの充てん状況（先端）



「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入

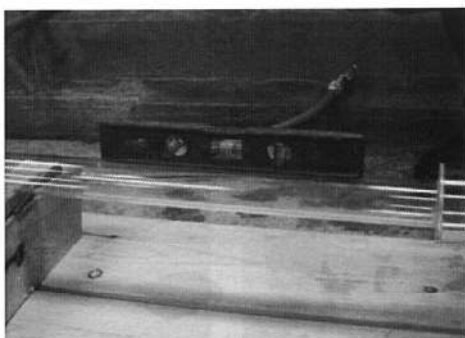


先端部の充てん状況

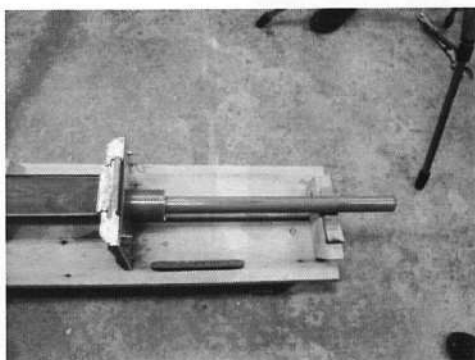
写真Ⅱ-4.9 アクリル模型によるグラウト充てん性確認実験（横向き）

参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験  
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（2/10）

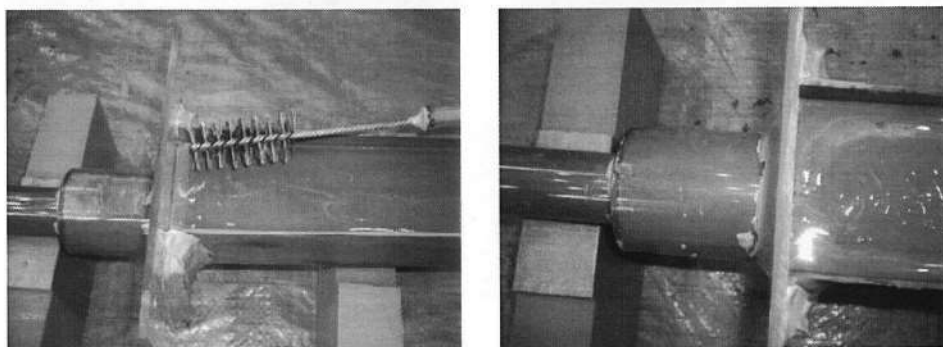




上傾き充てん確認試験



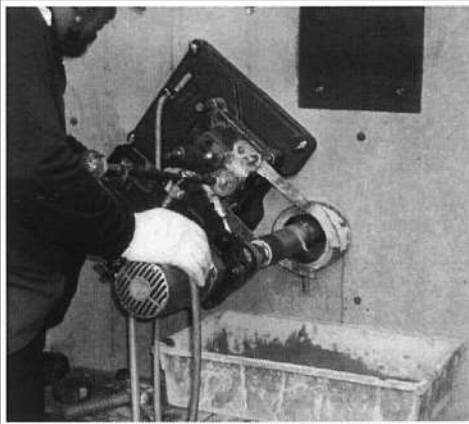
上傾き充てん状況



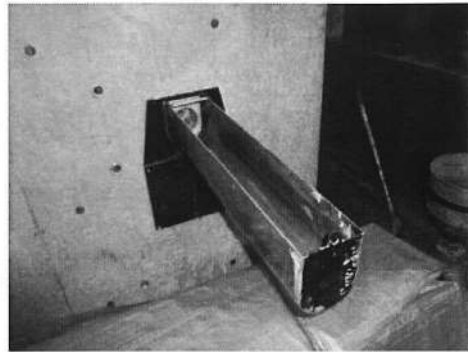
後端部エア抜き確認試験

写真Ⅱ-4.10 アクリル模型によるグラウト充てん性確認実験(先端が上に傾いた場合)

参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (3/10)



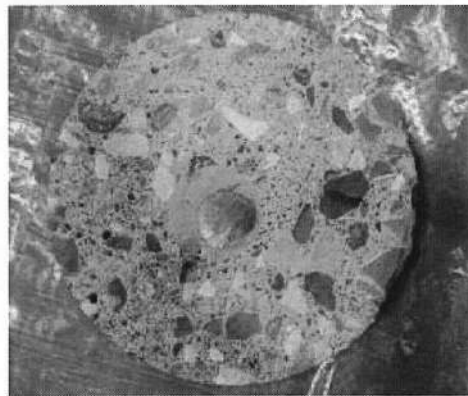
RC 部材への削孔



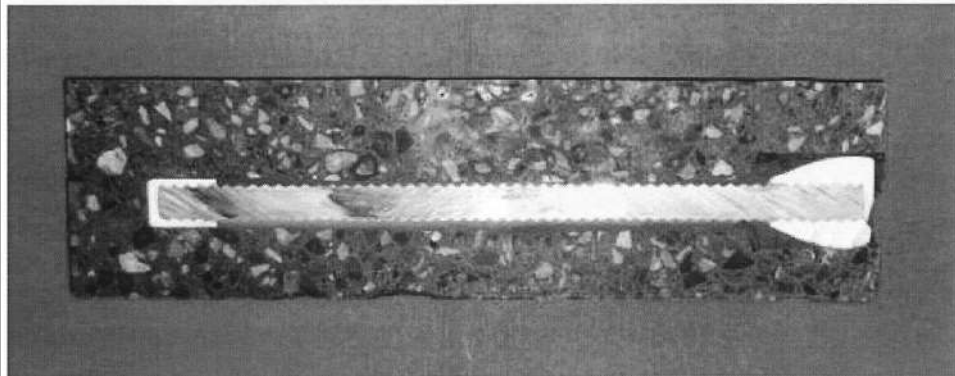
グラウト貯留槽の設置



「セラミックキャップバー (CCb)」の挿入



グラウトの注入状況 (鉄筋部)  
「セラミックキャップバー (CCb)」挿入部を切断したもの



グラウトの注入状況 (全体)  
「セラミックキャップバー (CCb)」の挿入部

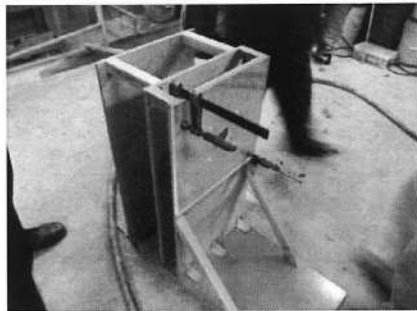
写真Ⅱ-4.11 RC 部材によるグラウト充てん性確認実験 (横向き)

参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (4/10)

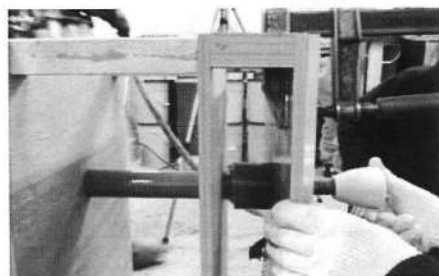
ハンチ部の施工や、支障物が近傍にあるために、グラウト貯留槽が使用できない箇所は、表Ⅱ-1.4に示す可塑性グラウトを用いて作業を行うことにより、グラウト貯留槽を用いた時と同様の充てん性能を有していることをアクリル模型の施工試験で確認している。

グラウトポンプを用いて、掘削孔の先端からエアを追出すようにグラウトを充てんする。その後「セラミックキャップバー (CCb)」をゆっくり挿入することにより、エア抜きホースを残置することなく、「セラミックキャップバー (CCb)」の挿入およびその周囲へのグラウトの充てんを行う。

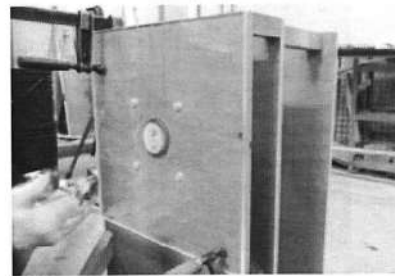
グラウトは、セメントに所定の水を加えてハンドミキサで練り混ぜ、その後所定の可塑性剤を添加して再度練り混ぜて使用する。



アクリル模型試験体



「セラミックキャップバー (CCb)」の挿入



「セラミックキャップバー (CCb)」の設置

写真Ⅱ-4.12 アクリル模型による可塑性グラウト充てん性確認試験 (横向き)

表Ⅱ-1.4 可塑性グラウトの性能

水セメント比 (%)	添加率 (%)	テーブルフロー値 (mm)	ブリーディング率 (%)	膨張収縮率 (%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		
					3日	7日	28日
33.0~39.0	0.28%~0.32%	(静止) 105mm~120mm (15回打撃) 150mm~200mm	0.0	0.12%~0.18%	35.9	45.5	56.4

圧縮強度は現場封緘養生による結果である。

参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (5/10)



② 先充てん工法（下向き）

先充てん工法（下向き）の場合、削孔内にグラウトを充てんし、「セラミックキャップパー（CCb）」を上方から差し込むだけで配置を完了する。削孔内面は、グラウトを充てんする前に湿潤状態にするか、あるいはドライアウト防止剤を散布し、グラウトが吸湿されないようにする。

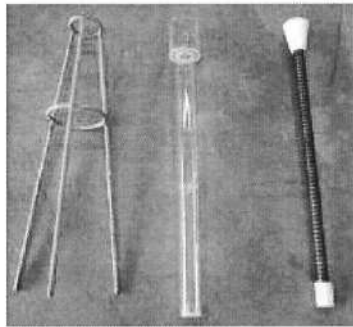
写真Ⅱ-4.8 に示すように、グラウトが表Ⅱ-1.2 に示すものであれば、「セラミックキャップパー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんすることを、アクリル模型を用いた施工試験により確認した。

グラウトはプレミックス材料であり、施工現場では、所定量の水を加えてハンドミキサーで練り混ぜるだけで所定の性質のものが使用できる。

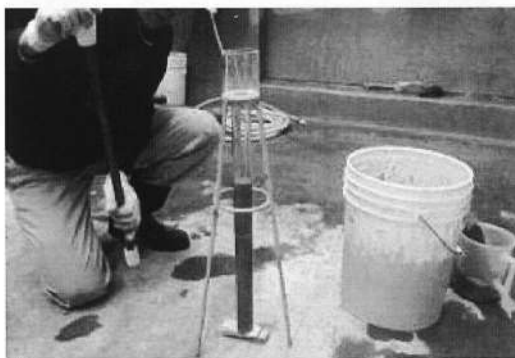
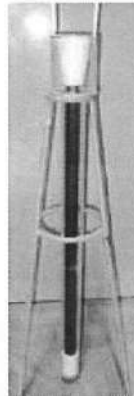
表Ⅱ-1.3 グラウトの性能

水セメント 比 (%)	JA ロート 流下時間 (秒)	ブリーディ ング率 (%)	膨張収縮率 (%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			
				1日	3日	7日	28日
33.0~39.0	15~30	0.0	0.14~0.23	22.2	38.6	58.3	65.3

圧縮強度は現場封緘養生による結果である。



試験器具（アクリル管等）



グラウトの充てん



拡幅部充てん

写真Ⅱ-4.8 グラウト充てん性確認実験（下向き）

参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験

（建設技術審査証明報告書より抜粋）（6/10）

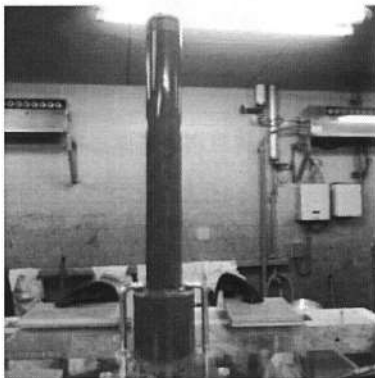


③ 先充てん工法（上向き）

先充てん工法（上向き）の場合、可塑性グラウトを削孔内にグラウトを充てんし、「セラミックキャップバー（CCb）」を下方から差込むだけで配置を完了する。

写真Ⅱ-4.14、写真Ⅱ-4.15 に示すように、可塑性グラウトであればグラウトで充てんされた削孔内に、「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入でき、エア抜きホースを残置すること無く、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんできることを、アクリル模型および RC 部材を用いた施工試験、専用エアメータを用いた上向き充てん試験により確認した。

グラウトは、セメントに所定の水を加えてハンドミキサで練り混ぜ、その後に所定の可塑性剤を添加して再度練り混ぜて使用できる。



グラウトの充てん



「セラミックキャップバー（CCb）」の設置



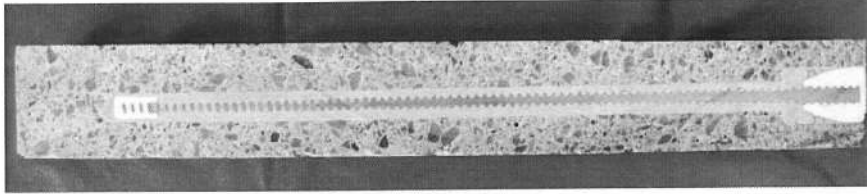
グラウトの充てん



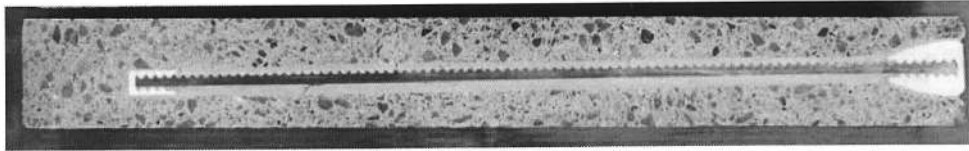
「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入

写真Ⅱ-4.14 先充てん後挿入工法グラウト充てん性確認実験（上向き）（その1）

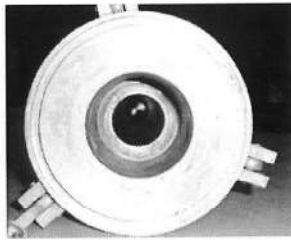
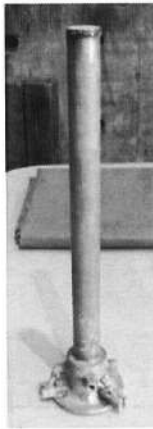
参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験  
（建設技術審査証明報告書より抜粋）（7/10）



拡幅部通常コア



拡幅部親子ビット  
グラウトの注入状況（全体）



CCb 工法仕様上向き空気量測定

写真Ⅱ-4.15 先充てん後挿入工法グラウト充てん性確認実験（上向き）（その2）

参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験

（建設技術審査証明報告書より抜粋）（8/10）

#### ④ 後充てん工法（上向き）

後充てん工法（上向き）の場合、写真Ⅱ-4.13に示すように、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部にエア抜きホースを設置した養生治具を用意し、「セラミックキャップバー（CCb）」を挿入した削孔口部分に設置する。

そして、高流動性のグラウトを下方から注入し、エア抜きホースから掘削孔内の空気を排出して充てんする。この時、あらかじめ配置した「セラミックキャップバー（CCb）」が削孔の中心部に配置されるように、差込側の定着体に対し、注入治具側にスペーサ等を設置し位置を調整する。削孔内面は、グラウトの注入前に湿潤状態にするか、あるいはドライアウト防止剤を散布し、グラウトが吸湿されないようにする。グラウトの充てん状況は、グラウト注入時におけるエア抜きホースからの空気の排出と、グラウトの流失を確認することによって把握する。そして、グラウトの注入圧を保ったまま、エア抜きホースを養生治具の位置まで引き抜き、その口を閉じる。

写真Ⅱ-4.13に示すように、上向き施工でも「セラミックキャップバー（CCb）」の先端までグラウトを充てんでき、エア抜きホースを残置することなく、「セラミックキャップバー（CCb）」設置できることを、アクリル模型を用いた施工試験により確認した。

グラウトはプレミックス材料であり、施工現場では、所定量の水を加えてハンドミキサーで練り混ぜるだけで所定の性質のものが使用できる。

参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験

（建設技術審査証明報告書より抜粋）（9/10）



写真Ⅱ-4.13 グラウト充てん性確認実験（上向き）

参考 2-3 図 グラウトの充てん性確認実験  
 （建設技術審査証明報告書より抜粋）（10/10）

2～5 に示すとおり、施工上の配慮により、せん断補強効果に大きな影響を及ぼすような施工精度の低下が生じる可能性は低いことが確認できる。

しかし、現時点では後施工による施工精度に対して、施工実績に基づく十分な統計がとれていないため、施工精度の低下による影響が生じる可能性を否定することはできない。

以上を踏まえて、適切な施工管理を実施してもなお発生しうる施工精度の低下への設計上の配慮として、耐震評価上の裕度（例えば照査値を8割程度に抑える）を持たせた設計を行うこととする。



施工実績・研究事例

1. 後施工せん断補強筋に関する施工実績

1.1 Ccbの施工実績

Ccbの施工実績は、参考3-1表に示すように2022年7月31日までに、道路・地下街、浄化センター、鉄道、浄水場、水門、排水機場、排水路、発電所・プラント等、施工中案件を含め369件の工事に適用され、59.0万本以上が施工されている。

参考3-1表 Ccbの施工実績（2022年7月31日現在）

対象施設		施工件数
道路・地下街	道路橋他	
浄化センター	最終沈殿池、ポンプ室他	
鉄道	地下駅舎、トンネル部	
浄水場	配水池他	
水門	防潮水門他	
排水機場	排水機場他	
排水路	地下排水路	
発電所・プラント	貯水池、水路他	
ダム	ダム	
空港	空港	
護岸	防潮堤他	
栈橋	栈橋	

Ccbの施工実績を部材厚、鉄筋径及び使用環境ごとに整理する。部材厚ごとに整理した結果を参考3-2表に、鉄筋径ごとに整理した結果を参考3-3表に、使用環境（気中又は水中）ごとに整理した結果を参考3-4表に示す。なお、カウントする際は、1件の工事のうち複数にまたがって該当する場合には、各項目でそれぞれカウントしている（例：同一工事内でD13、D16、D19の鉄筋を用いている場合はD13、D16、D19のすべてにカウント）。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

参考 3-2 表 Ccb の施工実績（部材厚）（1/4）<sup>（注）</sup>

部材厚（mm）	件数
～500	154
501～1000	267
1001～1500	164
1501～2000	79
2001～3000	24
3000～	12

（注）：ハッチング箇所は、泊 3 号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

参考 3-2 表 Ccb の施工実績（部材厚）<sup>（注）</sup>

（上記実績のうち横向き施工）（2/4）

部材厚（mm）	件数
～500	112
501～1000	176
1001～1500	95
1501～2000	40
2001～3000	11
3000～	5

（注）：ハッチング箇所は、泊 3 号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

参考 3-2 表 Ccb の施工実績（部材厚）<sup>（注）</sup>

（上記実績のうち下向き施工）（3/4）

部材厚（mm）	件数
～500	66
501～1000	153
1001～1500	102
1501～2000	51
2001～3000	16
3000～	7

（注）：ハッチング箇所は、泊 3 号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

参考 3-2 表 Ccb の施工実績（部材厚）<sup>(注)</sup>

（上記実績のうち上向き施工）（4/4）

部材厚（mm）	件数
～500	15
501～1000	40
1001～1500	32
1501～2000	3
2001～3000	0
3000～	0

（注）：ハッチング箇所は、泊 3 号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

参考 3-3 表 Ccb の施工実績（鉄筋の種類）<sup>(注)</sup>

補強鉄筋の種類		件数
SD345	D13	108
	D16	141
	D19	179
	D22	172
	D25	111
	D29	72
	D32	67

（注）：ハッチング箇所は、泊 3 号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

参考 3-4 表 Ccb の施工実績（使用環境）<sup>(注)</sup>

施工場所	件数
気中	107
水中	262

（注）：ハッチング箇所は、泊 3 号炉の屋外重要土木構造物等に採用している項目を示す。

## 1.2 過去の地震の経験事例

CCbにより耐震補強を行った構造物は、過去に多くの地震を受けている（参考 3-5 表）。その中には、震度 5 強の地震を受けた事例もあり、CCb 工法研究会に確認したところ、いずれの地点においても、現時点では被害・不具合が発生したという報告はない。

参考 3-5 表 震度 4 以上の地震を受けた構造物

--

■ 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

4 条-別紙 7-参考 3-4



### 1.3 レベル2地震動を対象とした設計事例

広島空港直下を通る用倉トンネルにおいて、レベル2地震動を対象として耐震補強に鉄筋差込工法（後施工せん断補強鉄筋工法RMA工法）を適用したせん断補強事例が報告されている<sup>(注)</sup>。本事例においては、広島空港が大都市拠点空港として空港輸送上重要な空港に位置づけられたため、耐震性能照査を行った結果、せん断耐力が不足していることが判明したことによる。用倉トンネルは現場打ちのアーチカルバートの上に20m弱の盛土をおこなった構造物である。構造形式等の詳細については、2.④に記載する。

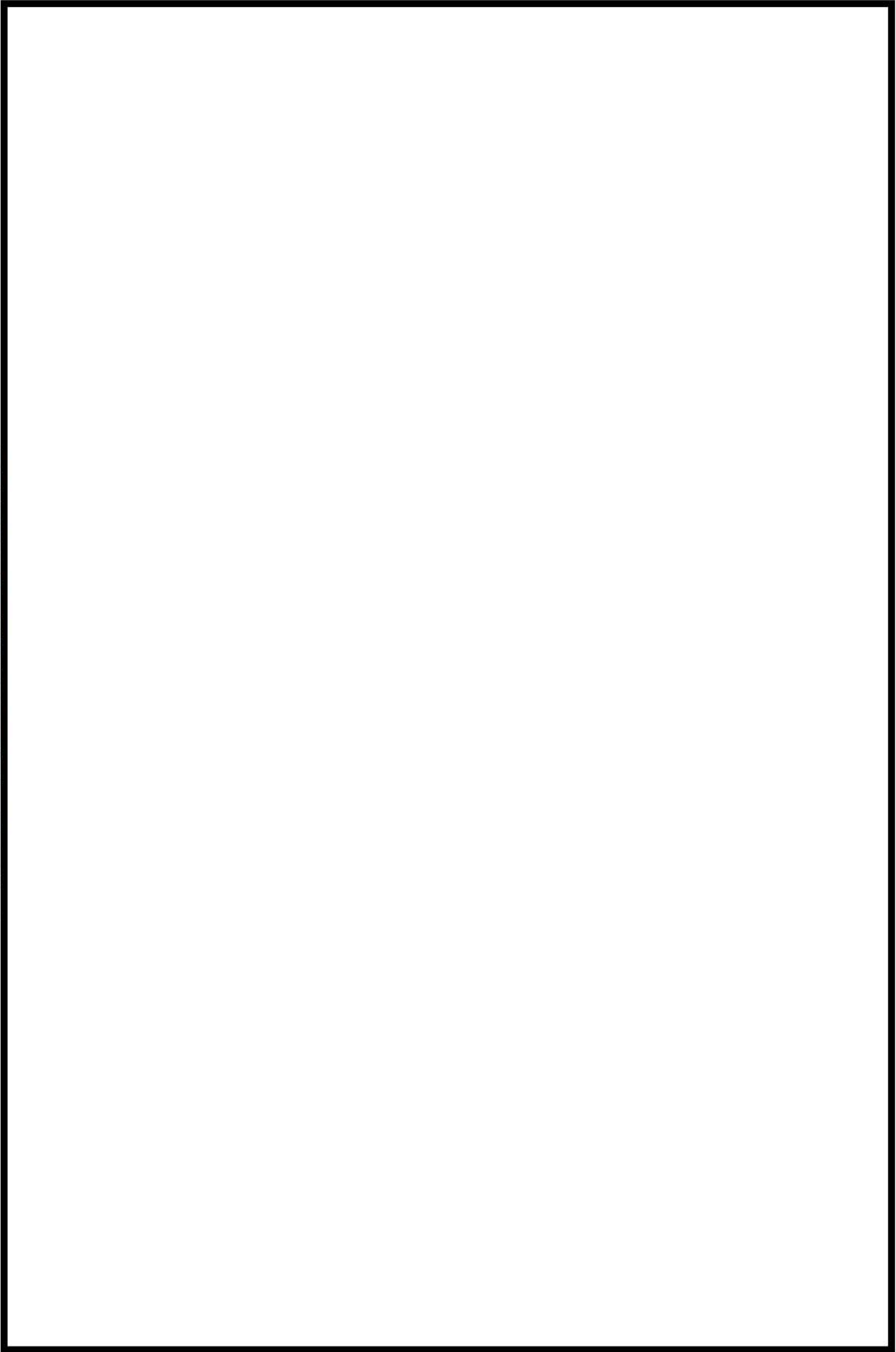
(注)：参考文献

後施工型せん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について（岡崎大宜）


### 1.4 後施工せん断補強工法の比較

CCb工法以外にも土木研究センターにおいては、類似する後施工せん断補強工法の建設技術審査証明が実施されている。後施工せん断補強工法の比較結果を参考3-6表に示す。工法に差異はあるものの、コンクリート部分に付着を期待してせん断耐力の向上を期待する点は共通している。また、せん断耐力の算出方法については、工法により多少の差異は存在するものの、おおむねトラス理論を基にせん断耐力の算出を行っている。

参考 3-6 表 後施工せん断補強工法の比較 (1/2)



※土木研究センター建設技術審査証明関係資料に基づき作成

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

4 条-別紙 7-参考 3-6

参考 3-6 表 後施工せん断補強工法の比較 (2/2)

※土木研究センター建設技術審査証明関係資料に基づき作成



枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

4 条-別紙 7-参考 3-7

## 2. 後施工せん断補強筋に関する研究事例

### ① コンクリート構造物の後施工せん断補強技術

#### ◆ 文献の要旨

既存のコンクリート構造物の耐震補強技術のうち、カルバートや地下貯水槽の壁（地下壁構造）に用いられるせん断補強（後施工せん断補強）技術について述べられたものである。

#### ◆ 着目すべき事項

- ・後施工せん断補強筋の定着性能の確認試験として、鉄筋の引抜き試験が例示されている。
- ・標準フックのせん断補強筋（先施工）が負担できるせん断力に対する後施工せん断補強筋が負担できるせん断力の割合である有効係数を用いて評価する手法が例示されている。
- ・後施工せん断補強効果の確認試験として、梁試験体の正負交番載荷試験が例示されている。
- ・「マルチプルナット」、「セラミックキャップバー（CCb）」、「Post-Head-bar（PHb）」の建設技術審査証明報告書を参考文献としている。

#### ◆ 泊3号炉におけるCCb工法への反映事項の確認

- ・後施工せん断補強技術が地下壁構造に対して効果的であることを確認した。
- ・CCb工法の建設技術審査証明報告書には、本文献と同様の引抜き試験、梁試験体の正負交番載荷試験が実施され、それら試験結果に基づいた有効係数による評価手法が明記されていることを確認した。



## ② 耐震補強等に用いるあと施工型せん断補強技術（RMA 工法）

### ◆ 文献の要旨

既設の地中構造物を後施工によりせん断補強する工法として RMA 工法が報告されている。

### ◆ 着目すべき事項

- ・後施工せん断補強筋の性能確認実験として、引抜き試験による定着性能の確認、梁試験体の正負交番載荷によるせん断補強効果の確認を実施している。
- ・後施工せん断補強において、せん断補強筋の定着長を考慮した有効係数によるせん断補強効果の評価手法が示されている。なお、この評価手法は参考文献として示されている「アルカリ骨材反応対策小委員会報告書」（土木学会，2005）に準じている。
- ・RMA 工法により補強が実施された構造物は、東日本大地震においても損傷がなかったことが報告されている。

### ◆ 泊 3 号炉における CCb 工法への反映事項の確認

- ・本文献の工法（RMA 工法）と同様の性能確認試験を CCb 工法でも実施していることを確認した。
- ・本文献の工法（RMA 工法）と CCb 工法とでは、定着方法の差異により定着長が異なるが、有効係数の算出方法は同様であり、CCb 工法の建設技術審査証明報告書に示される有効係数の算出方法が一般的であることを確認した。
- ・CCb により耐震補強を行った構造物において、現時点で地震による被害・不具合が発生していないことを確認した。

③ 論文 異形鉄筋の埋込みによるあと施工せん断補強効果に関するはりの載荷実験

◆ 文献の要旨

既存のボックスカルバート等の連続壁に異形鉄筋を埋込みせん断補強を行う方法に対し、その有効性を確認するために梁供試体を用いたせん断試験が行われている。

◆ 着目すべき事項

- ・後施工せん断補強した供試体のせん断耐力を実験で確認した結果、先施工として算出したせん断耐力（設計値）とほぼ同等のせん断耐力が得られている（実験値/設計値=0.93～1.12）。
- ・後施工によりせん断補強した供試体のせん断耐力は、先施工した供試体のせん断耐力と同等のせん断耐力を有している（後施工/先施工=0.85～1.07）。

◆ 泊3号炉におけるCCb工法への反映事項の確認

- ・先施工のせん断補強に対するCCb工法の有効係数は、建設技術証明報告書に記載されている梁の交番載荷試験により妥当性が確認された有効係数としていることを確認した。

#### ④ 後施工型のせん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について

##### ◆ 文献の要旨

広島空港の滑走路及び誘導路直下の地下構造物（用倉トンネル）が、レベル2地震動に対する耐震性能照査においてせん断耐力が不足していることが確認された。用倉トンネル（アーチカルバート）に対し耐震補強工法の選定・検討を実施し、RMA 工法による後施工せん断補強が行われている。

##### ◆ 着目すべき事項

- ・重要施設である空港滑走路及び誘導路直下の地下構造物（アーチカルバート）に対して、後施工型せん断補強工法（RMA 工法）による耐震補強が実施されている。
- ・アーチカルバートの補強には、増厚工法，後施工せん断補強工法（鉄筋差込工法），接着工法，巻立て工法の中から，施工後においても現況の内空断面を確保でき，坑内からの施工も可能である後施工せん断補強工法が選定されている。
- ・補強対象のアーチカルバートの部材厚は 1600mm である。

##### ◆ 泊3号炉におけるCCb工法への反映事項の確認

- ・地下構造物の補強工法として，後施工せん断補強工法が効果的であることを確認した。
- ・泊3号炉取水ピットスクリーン室の部材厚（隔壁：1500mm）相当の構造物に対して後施工せん断補強工法の施工実績があることを確認した。

## ⑤ 地下駅舎 RC 壁のせん断力評価と耐震補強対策

### ◆ 文献の要旨

地中構造物の側壁隅角部を対象に載荷試験を行い，先施工せん断補強と後施工せん断補強との耐力比較及び後施工せん断補強筋の埋込長の違いによる耐力比較が行われている。

### ◆ 着目すべき事項

- ・せん断補強筋のピッチ 300mm 以下の規定については，新設構造物を対象とした乾燥収縮等によるひび割れを防ぐためのものであることから考慮せず，有効高さの 1/2 としている。
- ・先端を 45 度にカットした後施工によるせん断補強の場合，先施工の設計耐力に対して最低でも 80% 程度のせん断耐力が実験で得られている。

### ◆ 泊 3 号炉における Ccb 工法への反映事項の確認

- ・泊 3 号炉において Ccb により耐震補強を行った構造物は建設後 15 年以上経過しており乾燥収縮は終了していることから，せん断補強筋のピッチ 300mm 以下の規定は除外した。
- ・先施工のせん断補強に対する Ccb 工法の有効係数は，建設技術審査証明報告書に記載される梁の交番載荷試験により妥当性が確認された有効係数としていることを確認した。



⑥ 地下道における PHb(ポストヘッドバー)工法の採用と積雪寒冷地の施工について

◆ 文献の要旨

既設地下道を耐震補強する目的で採用した PHb 工法の実施内容及び積雪寒冷地での施工方法が報告されている。

◆ 着目すべき事項

・ 充てん材の温度と強度の関係を把握するための試験施工が実施されており，充てん材料が 0℃以下の履歴を受けた場合，強度発現が低下することが確認されている。

◆ 泊 3 号炉における Ccb 工法への反映事項の確認

・ Ccb 工法においては充てん材料が 0℃以下とならないように練上がり温度を計測し，0℃以上であることを確認した上で施工を実施した。

⑦ せん断補強鉄筋埋込工法（あと施工）による東京湾第二航路海底トンネルの側壁補強

◆ 文献の要旨

東京都港湾局が後施工せん断補強工法における補強効果確認のために行った室内せん断実験の概要，その実験結果の設計への反映，実施工への適用及びその施工結果についての考察が報告されている。

◆ 着目すべき事項

- ・施工上予想される不具合を設計上考慮し，せん断耐力に対して低減係数 0.75 を乗じている。

◆ 泊 3 号炉における Ccb 工法への反映事項の確認

- ・Ccb 工法は第三者機関による審査証明が行われており，その中で施工の确实性についても審査対象となっていることから，本研究事例の低減係数をそのまま設計に適用する必要はない。なお，参考資料 2 にて施工精度の向上に向けた方策を記載している。

⑧ セラミック定着型せん断補強鉄筋（CCb 工法）による既設地下コンクリート構造物の耐震補強

第 57 回 電力土木講習会テキスト 平成 27 年 2 月

一般社団法人 電力土木技術協会

◆ 文献の要旨

CCb 工法の設計法及び施工法の概要と、電力分野での実績を含む施工実績が紹介されている。

◆ 着目すべき事項

- ・ CCb 工法の施工実績は、下水道処理場のポンプ棟、分水槽、重力濃縮槽、汚泥処理槽、ポンプ室及び放流渠等が多い。
- ・ CCb 工法の定着体は、アンカーやインサートにも広く用いられている高い耐食性を有する高純度アルミナ系セラミックス製であるため、塩害や硫酸等の影響を受ける厳しい環境（海水に接する発電所の取・放水路や腐食環境にある下水道施設）においても、耐久性を確保できる。

◆ 泊 3 号炉における CCb 工法への反映事項の確認

- ・ CCb 工法が様々な施設で施工実績があることを確認した。
- ・ 塩害や硫酸等の影響を受ける厳しい環境下においても CCb 工法が使用されていることを確認した。

後施工せん断補強筋に関する施工実績及び各研究事例を踏まえて、設計及び施工へ反映している事項を以下に示す。

- ・ 硫酸等の影響を受ける腐食環境下である浄化センター（下水道処理施設）での実績もあり、泊 3 号炉で採用する環境よりも厳しい環境下での施工実績を確認した。
- ・ 後施工せん断補強筋の性能確認実験として、定着性能の確認、梁試験体の正負交番載荷によるせん断補強効果の確認を実施しており、CCb 工法においても同様の確認を行っている。
- ・ 標準フックのせん断補強筋（先施工）が負担できるせん断力に対する、後施工せん断補強筋が負担できるせん断力の割合である有効係数を用いて評価する手法が例示されており、CCb 工法においても同様の評価手法であることを確認した。