

泊発電所3号炉審査資料	
資料番号	DB04 r.3.7
提出年月日	令和4年11月28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4年11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。

## 第4条：地震による損傷の防止

### <目 次>

#### 第1部

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項の整理
  - 1.2 追加要求事項に対する適合性
    - (1) 位置，構造及び設備
    - (2) 安全設計方針
    - (3) 適合性説明
  - 1.3 気象等
  - 1.4 設備等
  - 1.5 手順等

#### 第2部

1. 耐震設計の基本方針
  - 1.1 基本方針
  - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
  - 2.1 重要度分類の基本方針
  - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
  - 3.1 地震力の算定法
  - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
  - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
  - 5.1 建物・構築物
  - 5.2 機器・配管系
  - 5.3 屋外重要土木構造物
  - 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに  
これらが設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添—1 設計用地震力
- 別添—2 動的機能維持の評価
- 別添—3 弾性設計用地震動・静的地震力による評価
- 別添—4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添—5 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添—6 屋外重要土木構造物等及び津波防護施設の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添—7 主要建屋の図面集
- 別添—8 入力地震動について

(別 紙)

- 別紙—1 既工認との手法の相違点の整理（設置許可変更申請段階での整理）
- 別紙—2 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討
- 別紙—3 水平2方向及び鉛直方向の地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙—4 規格適用範囲外の動的機能維持の評価
- 別紙—5 地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について
- 別紙—6 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について 【今回提出】
- 別紙—7 後施工せん断補強筋による耐震補強について
- 別紙—8 屋外 重要土木構造物等及び津波防護施設の耐震評価における断面選定について
- 別紙—9 液状化影響の検討方針について
- 別紙—10 地下水位設定方針について
- 別紙—11 地下水排水設備について

## 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. 建設技術審査証明報告書の概要
  - 3.1 CCb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け
  - 3.2 建設技術審査証明報告書における CCb 工法の適用範囲
  - 3.3 建設技術審査証明報告書における CCb 工法の設計方法
    - 3.3.1 後施工によるせん断耐力の評価方法
    - 3.3.2 使用材料・強度
    - 3.3.3 構造部材の評価
    - 3.3.4 構造細目
  - 3.4 建設技術審査証明報告書における施工性の確認
    - 3.4.1 施工の確実性
    - 3.4.2 施工の容易性
4. 泊3号炉における CCb 工法の適用性の確認
  - 4.1 適用性確認フロー
  - 4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定
  - 4.3 ①適用性確認項目の抽出
  - 4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認
  - 4.5 ③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認
    - 4.5.1 せん断補強効果の確認内容
    - 4.5.2 せん断補強効果の確認
  - 4.6 ④CCb の施工精度に影響を与える項目の確認
    - 4.6.1 削孔方法
    - 4.6.2 削孔角度
    - 4.6.3 削孔位置
    - 4.6.4 グラウトの充てん性
  - 4.7 ⑤施工実績・研究事例等の確認
    - 4.7.1 施工実績の整理
    - 4.7.2 過去の地震の経験事例
    - 4.7.3 レベル2地震動を対象とした設計事例
    - 4.7.4 後施工せん断補強工法の比較

- 4.7.5 後施工せん断補強に関する研究事例
- 4.8 泊3号炉におけるCCb工法の保守性と設計上の制限の整理
  - 4.8.1 CCb工法の保守性
  - 4.8.2 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
  - 4.8.3 有効係数 $\beta_{aw}$ の保守性
  - 4.8.4 CCb工法によるせん断補強の設計検討フロー
- 4.9 CCbの適用性確認結果（追而）
- 5. 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 建設技術審査証明書

添付資料2 泊3号炉における部材諸元他の適用性の検討

添付資料3 泊3号炉におけるコンクリートの健全性の検討

## 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）

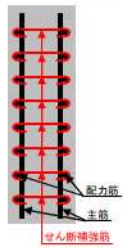
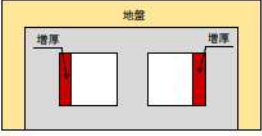

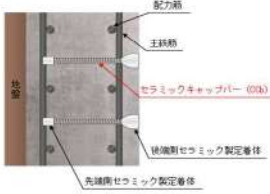
CCb工法は、第1-1図に示すとおり、既設の鉄筋コンクリート構造物に後施工によりせん断補強を行う工法の一つであり、部材を削孔後、その孔内にCCbを挿入し、グラウト充てんにて固定し、せん断耐力を向上させるものである。

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）」の何れかに該当するか、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>

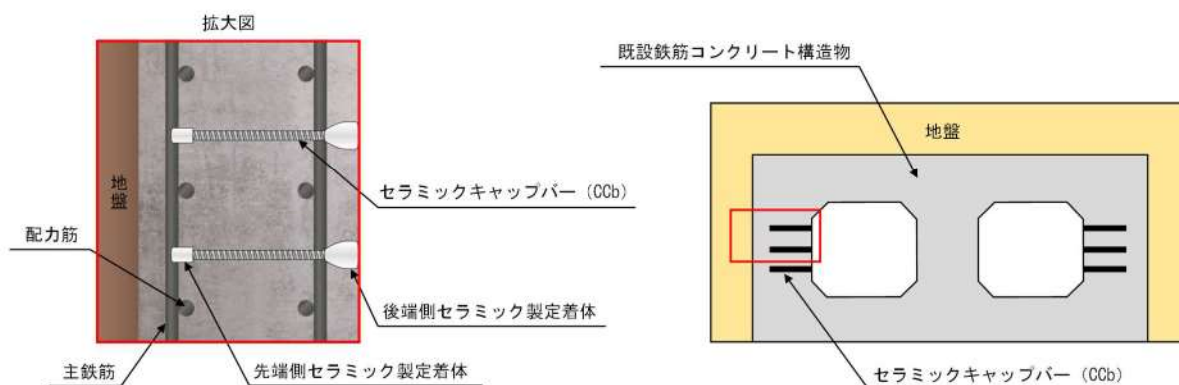
第 1-2 表 Ccb により耐震補強を行った構造物<sup>(注1)</sup>

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 による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、屋外重要土木構造物等には該当しないため除外している。

(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。

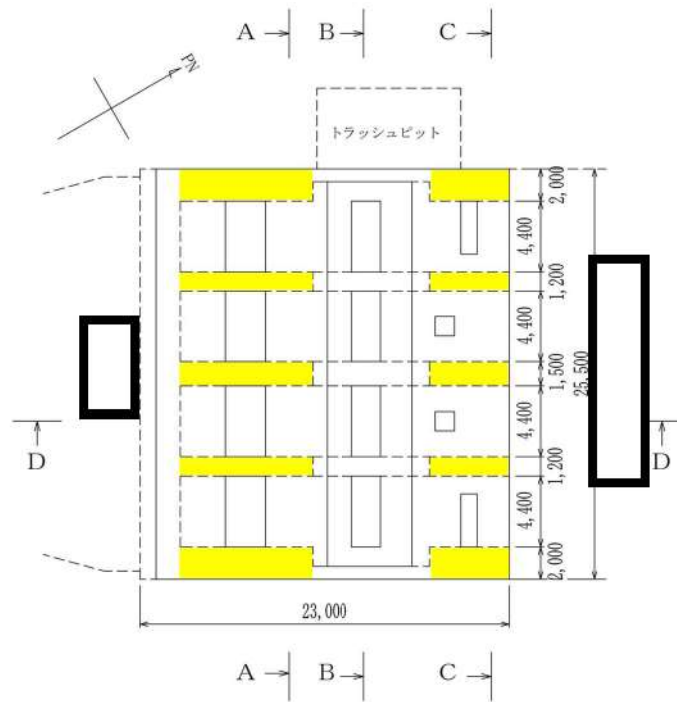


第 1-2 図 Ccb により耐震補強を行った構造物（配置図）

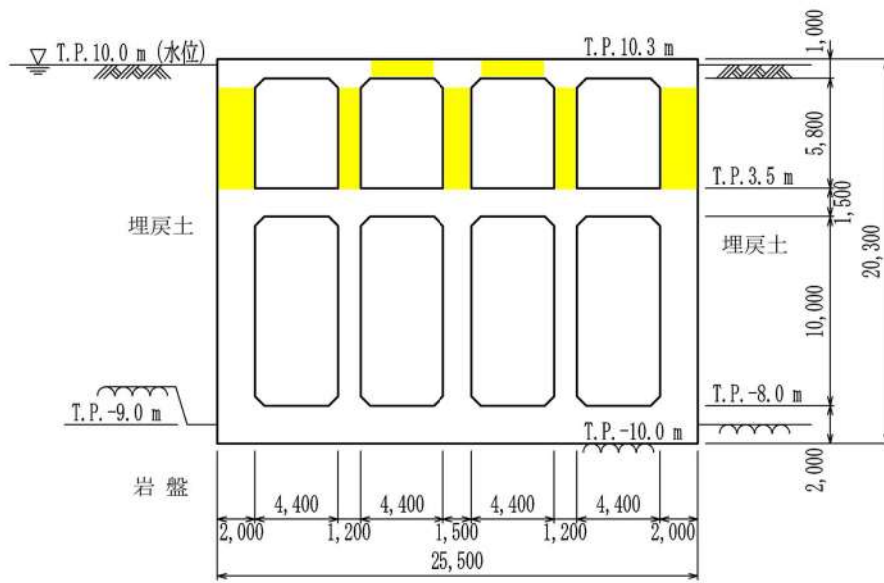
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

4 条-別紙 7-3





平面図



A-A断面

(単位：mm)

■：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）

■ 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。

## 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。

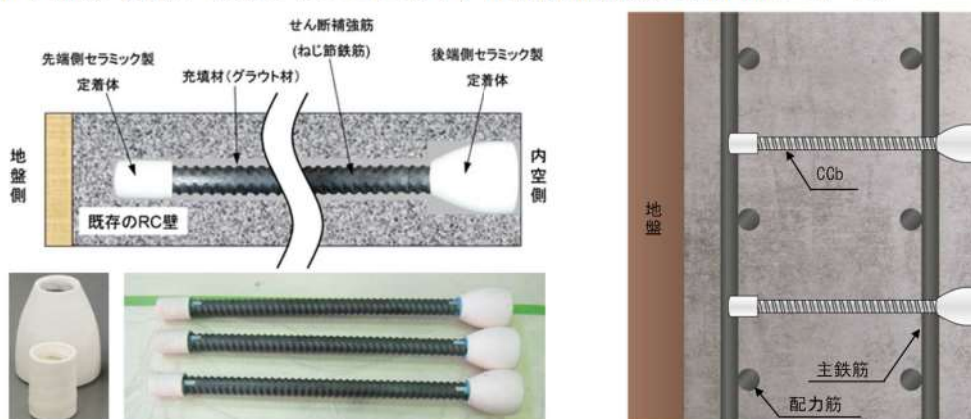
Ccb 工法を適用した部材は、第 1-2 表並びに第 1-2 図及び第 1-3 図に示すとおり、取水ピットスクリーン室の隔壁、側壁、頂版である。

### 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。

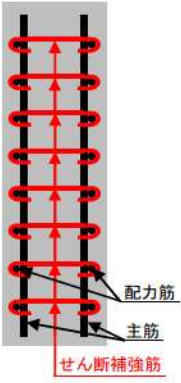
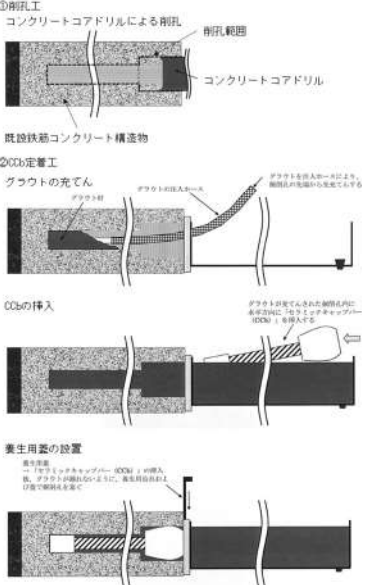


第 2-1 図 Ccb の詳細図 (注)

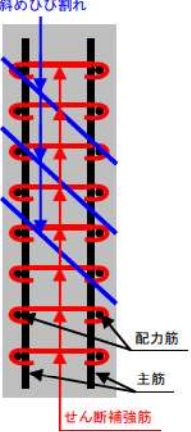
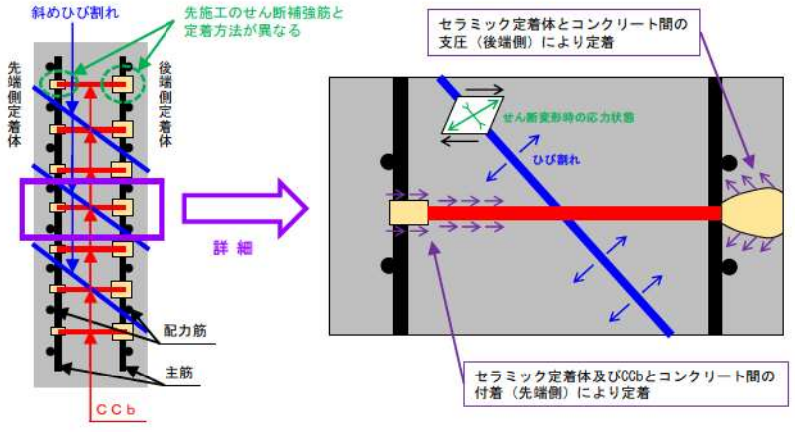
(注)：セラミックキャップバー (Ccb) 工法研究会及び鹿島建設 HP より引用。一部修正・加筆。



第 2-1 表 施工方法の違い

従来工法（先施工）	CCb 工法（後施工）
	
<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）
	
<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. 建設技術審査証明報告書の概要

#### 3.1 Ccb 工法の建設技術審査証明報告書の位置付け

泊3号炉のせん断補強が必要な各構造部材に配置した Ccb については、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。）に適用範囲及び設計方法が示されている。

本工法は、添付資料1「建設技術審査証明書」のとおり、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。

#### 3.2 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）毎に定め，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。

### 3.3 建設技術審査証明報告書における Ccb 工法の設計方法

#### 3.3.1 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。

##### 3.3.1.1 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（第 3.3-1 図参照）。

試験に用いられた試験体の諸元一覧を第 3.3-1 表に、せん断耐力向上性能試験体の種類と補強方法を第 3.3-2 図に、せん断耐力向上性能試験の加力要領を第 3.3-3 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。

#### 第 3.3-1 図 実験方法

(建設技術審査証明報告書より抜粋)

第 3.3-1 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)

	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	

	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	

第 3.3-1 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)

	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			

	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			

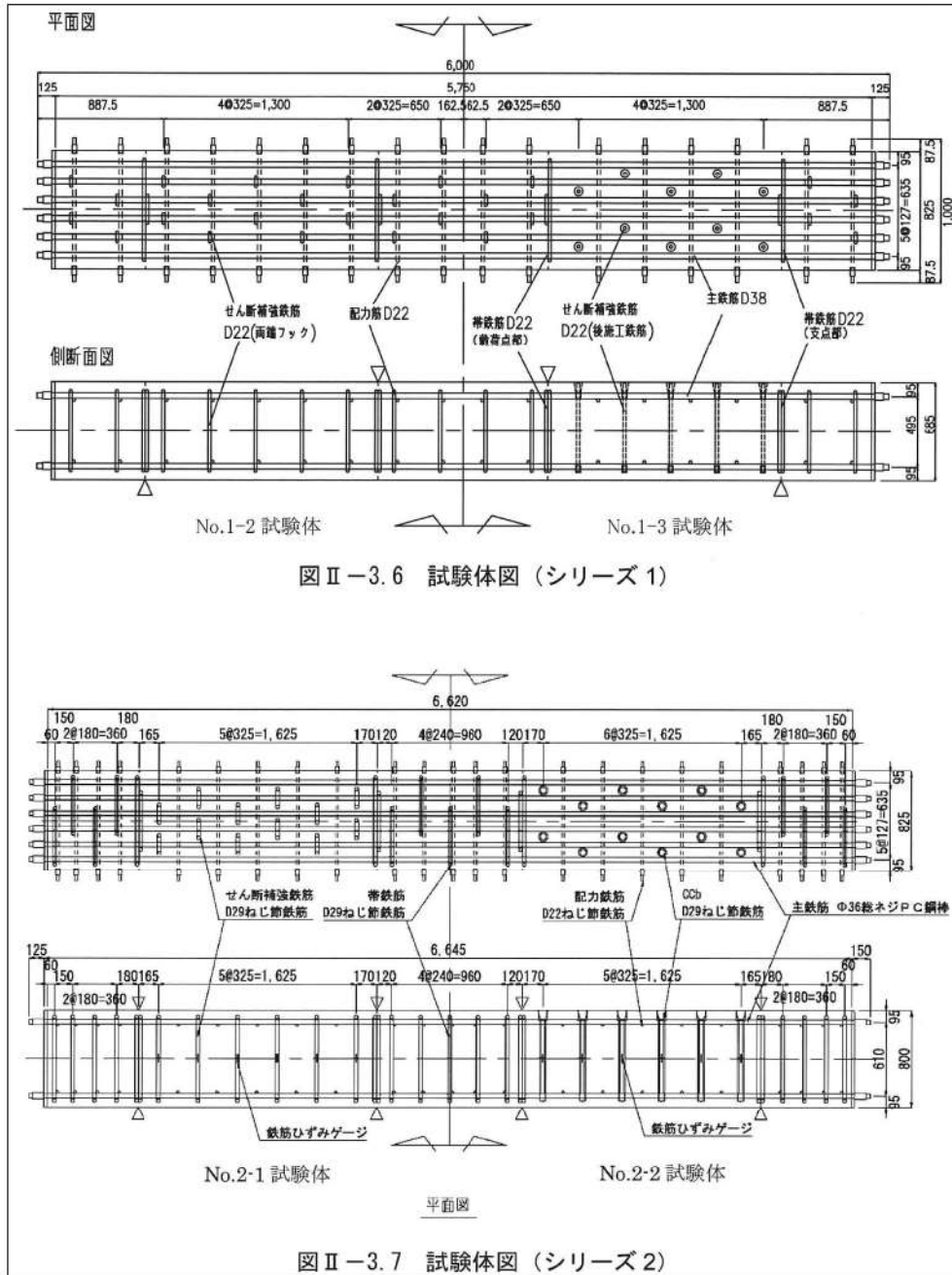
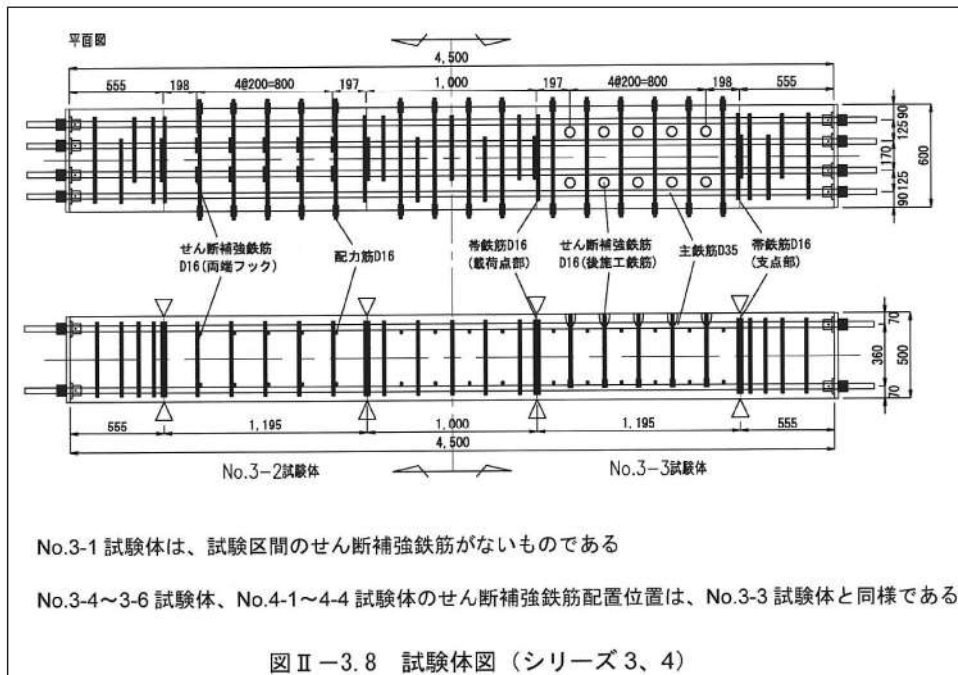


図 II - 3.6 試験体図 (シリーズ 1)

図 II - 3.7 試験体図 (シリーズ 2)

第 3.3-2 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)





第 3.3-2 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)

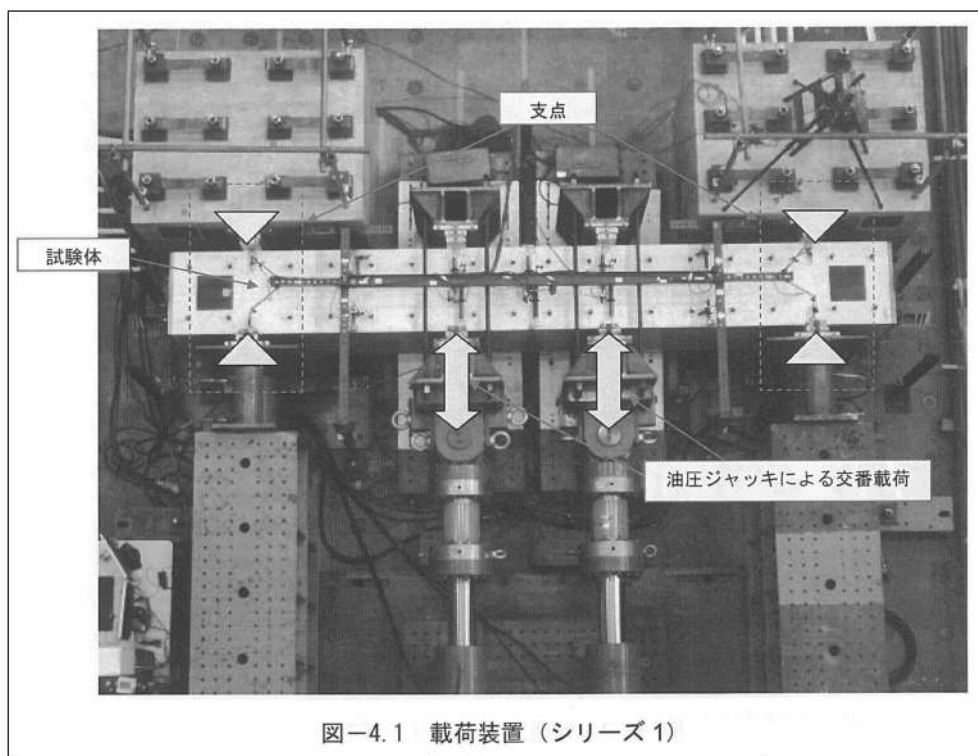


図-4.1 载荷装置 (シリーズ1)

第3.3-3 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)

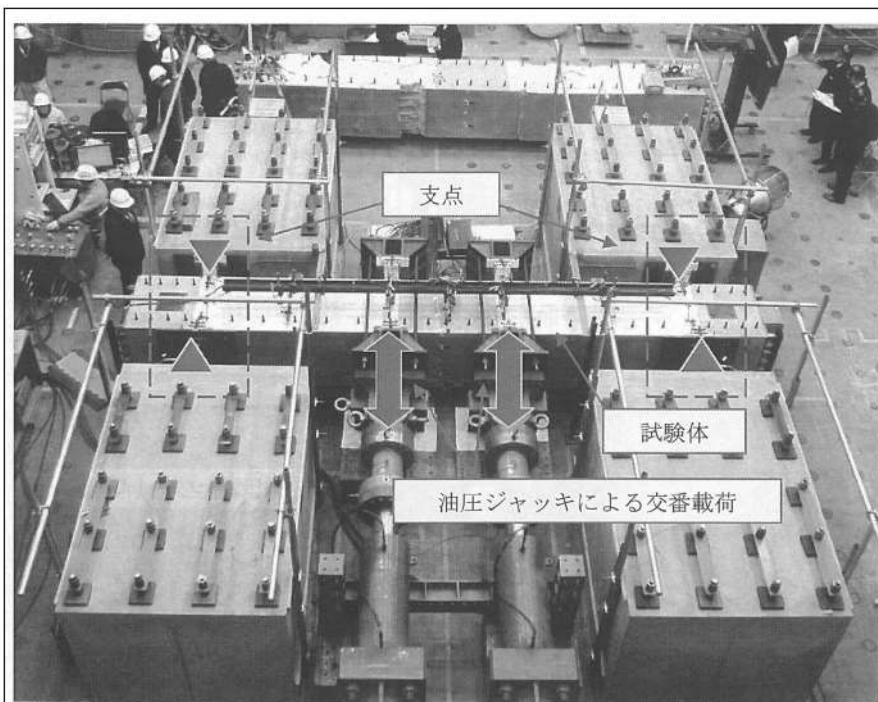


図-4.2 载荷装置 (シリーズ2)

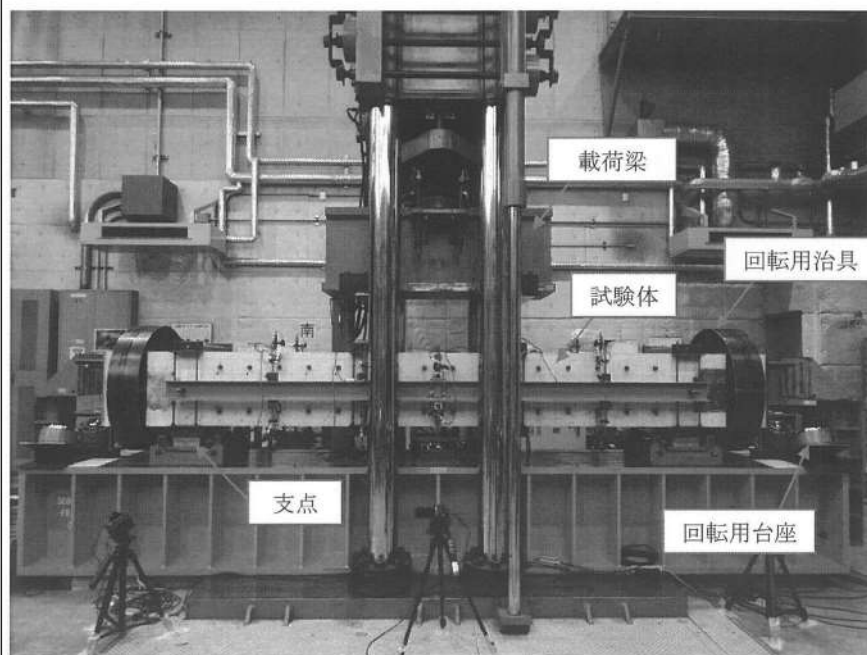


図-4.3 载荷装置 (シリーズ3、4)

第3.3-3 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)

### 3.3.1.2 実験結果

3.3.1.1の実験結果を第3.3-2表に示す。

第3.3-2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)

表-8.1 実験結果の一覧 (シリーズ1)					
		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。

表-8.2 実験結果の一覧 (シリーズ2)					
		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		



第 3.3-2 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 (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	$V_{cal}$	$V_{ed}$	$V_s$	正側	負側	正側	負側	平均	
	定着体の 組合せ	先端位置	$V_{exp}$	$V_{exp}$	$V_{cal}$	$V_{ed}$	$V_s$	$V_{CCb}$	$V_{CCb}$	正側	負側	平均	
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>1.03</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

### 3.3.1.3 CCb のせん断補強の考え方

CCb のせん断補強の考え方を第 3.3-4 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〕のせん断耐力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。

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

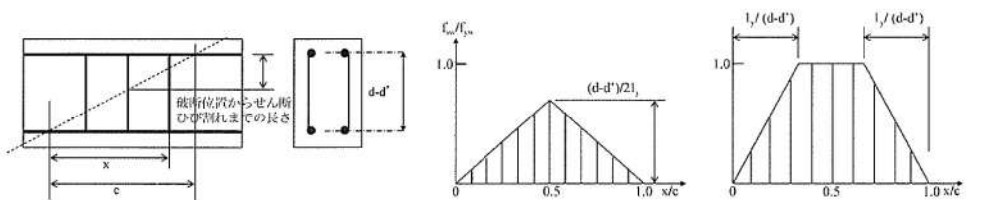


図 II-4.33 斜めひび割れ内の破断したせん断補強鉄筋応力

### 第 3.3-4 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  $\beta_{aw}$  は、式(5)により算出できる。

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

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

第 3.3-4 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)



#### 3.3.1.4 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、第 3.3-5 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。

#### 第 3.3-5 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。

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

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

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。

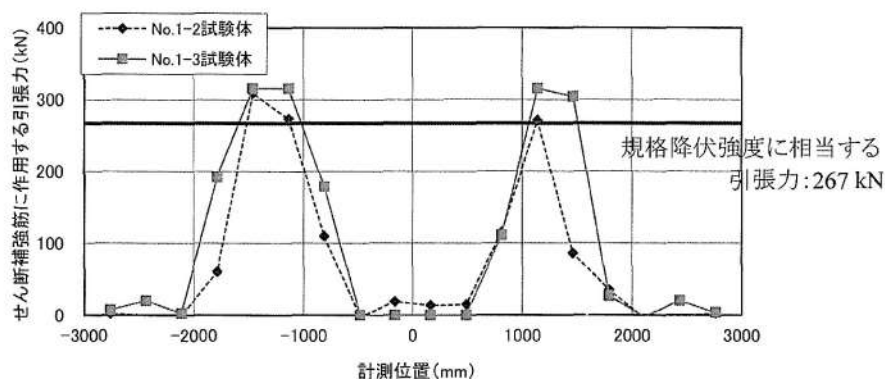
次に、図Ⅱ-4.34 に最大せん断耐力経験時におけるせん断補強鉄筋に作用する引張力の分布について、比較したものを示す。なお、図Ⅱ-4.34 におけるせん断補強鉄筋の引張力

第 3.3-5 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

第3.3-5 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		

第3.3-5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)

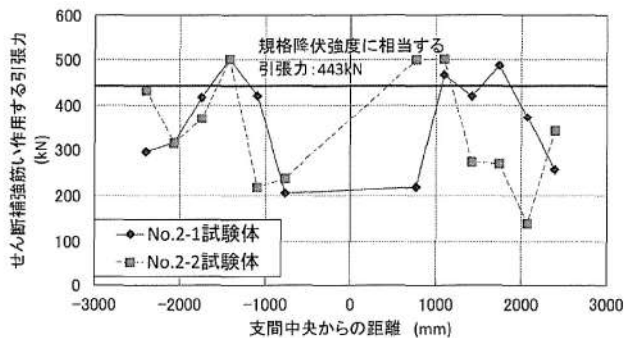


図 II-4.35 セン断補強鉄筋に作用する引張力の比較 (シリーズ 2)

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。

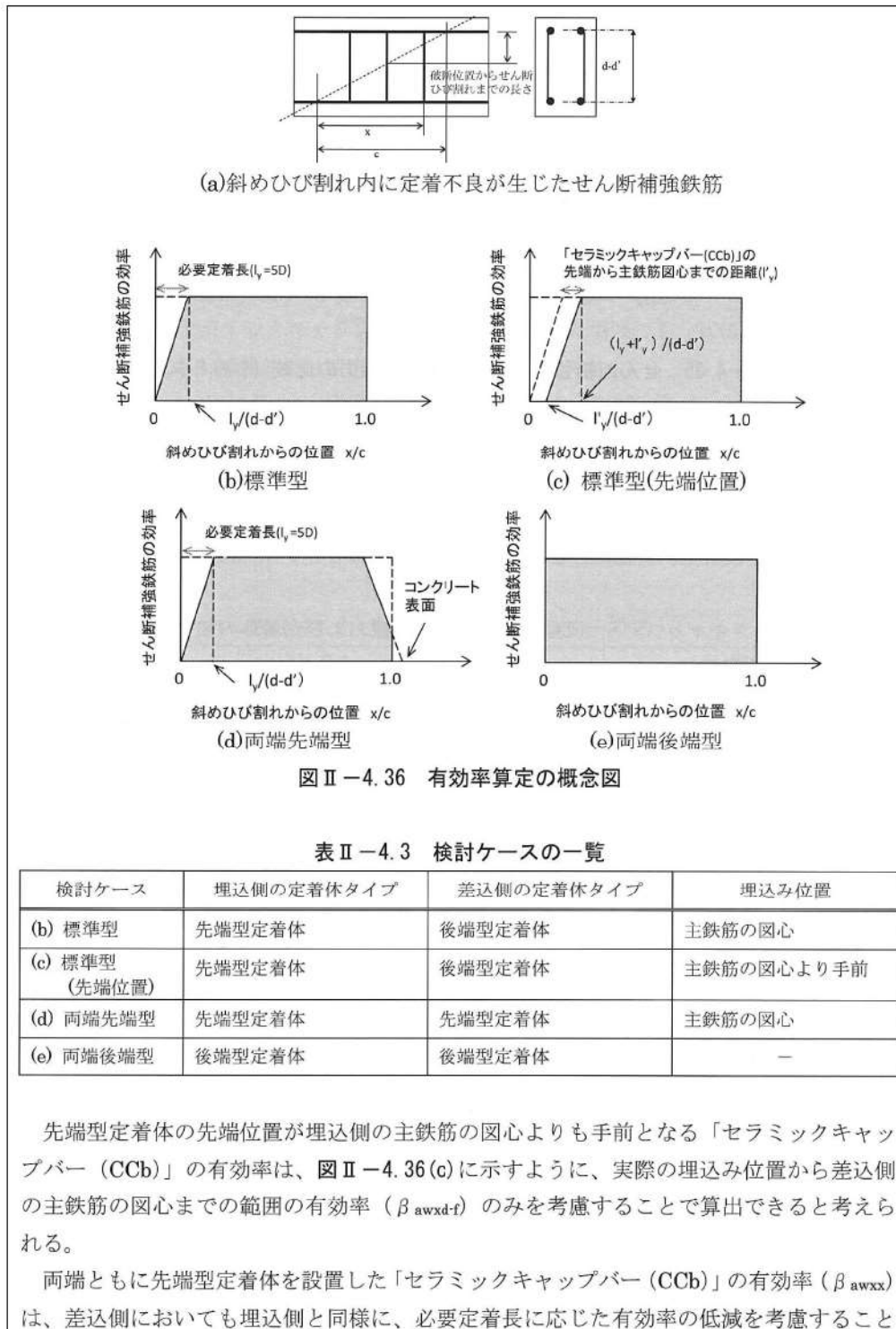
ii) 「セラミックキャップバー (CCb)」の埋込み位置および定着体の組合せによるせん断補強効果の評価

「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。

第 3.3-5 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)



第 3. 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

第 3.3-5 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

第 3.3-5 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) $V_{cal}=V_{cd}+V_s$			「セラミックキャップバー (CCb)」が負担するせん断耐力(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	$V_{cd}$	$V_{cf}$	$V_s$	正側	負側	正側	負側	平均	
	定着体の組合せ	先端位置	$V_{exp}$	$V_{exp}$	$V_{cd}$	$V_{cf}$	$V_s$	$V_{ccb}$	$V_{ccb}$	正側	負側	平均	
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	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>	<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

### 第 3.3-5 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)

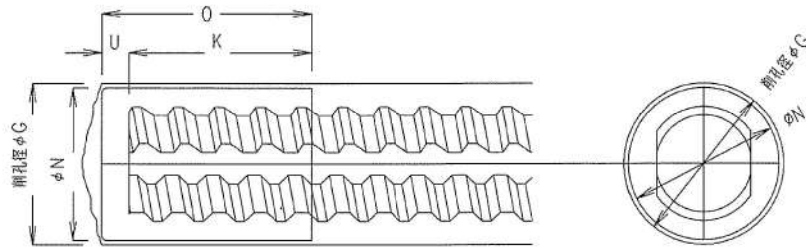
### 3.3.2 使用材料・強度

実験を元にした本設計法では、第3.3-6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。

- (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。
- (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。
  - ・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。
  - ・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。

第3.3-6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のねじ節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、およびねじ節鉄筋の寸法を図-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

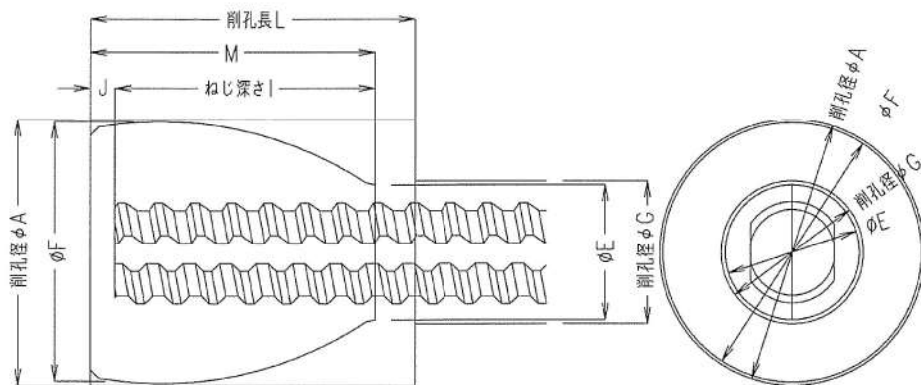
呼び名	定着体の寸法			
	ΦN mm	O mm	ねじ深さK mm	U mm
D13	25.0	36.0	30.0	6.0
D16	27.0	46.0	40.0	6.0
D19	30.0	46.0	40.0	6.0
D22	33.0	46.0	40.0	6.0
D25	42.0	52.0	46.0	6.0
D29	45.0	59.0	53.0	6.0
D32	50.0	64.0	58.0	6.0

【先端型定着体(CX)】

図-2.1 セラミック定着体、ねじ節鉄筋の例 (その1)

第 3.3-6 図 使用材料・強度  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (2/6)





呼び名	削孔寸法		
	削孔径ΦA mm	削孔径ΦG mm	削孔長L mm
D13	60.0	30.0	80.0
D16	60.0	30.0	80.0
D19	65.0	34.0	80.0
D22	65.0	36.0	80.0
D25	70.0	46.0	80.0
D29	75.0	50.0	80.0
D32	75.0	55.0	80.0

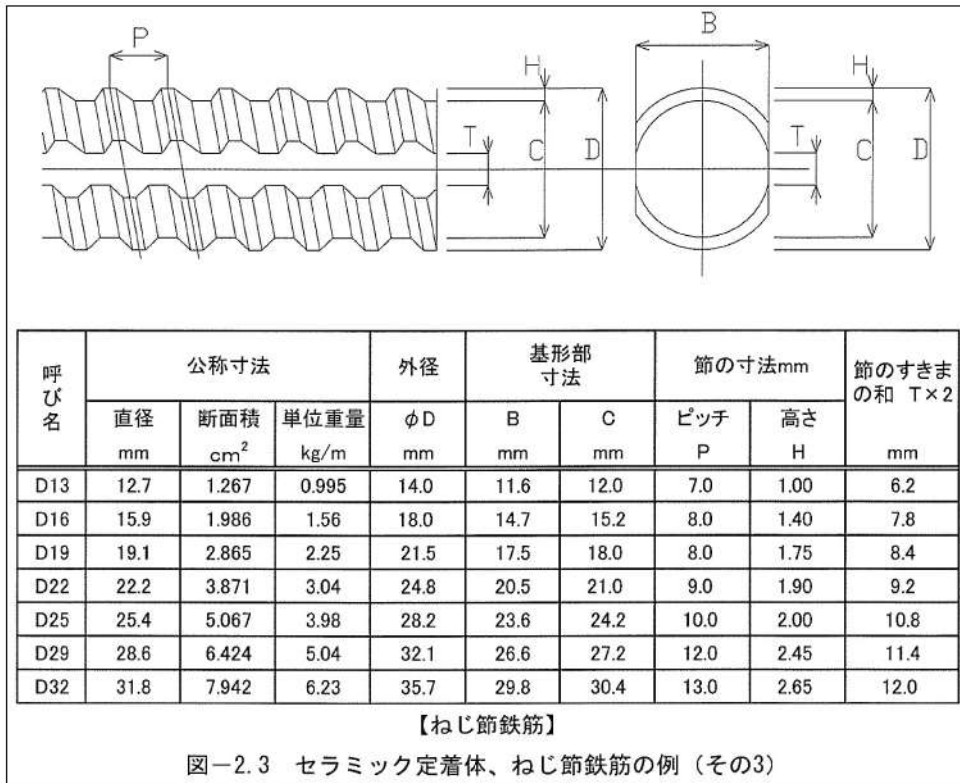
呼び名	定着体の寸法				
	ΦF mm	ΦE mm	M mm	ねじ深さI mm	J mm
D13	53.5	22.0	70.0	64.0	6.0
D16	55.5	25.0	70.0	64.0	6.0
D19	58.5	29.0	70.0	64.0	6.0
D22	62.5	32.0	70.0	64.0	6.0
D25	65.5	35.0	70.0	64.0	6.0
D29	69.5	39.0	70.0	64.0	6.0
D32	72.5	42.0	70.0	64.0	6.0

【後端型定着体 (CD)】

図-2.2 セラミック定着体、ねじ筋鉄筋の例 (その2)

第 3.3-6 図 使用材料・強度

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (3/6)



第 3.3-6 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・各試験値が平均値の ±1.5% 以内</li> <li>・各試験値が 3.75 g/cm<sup>3</sup> 以上</li> </ul>	1 焼成ロット (最大 2,000 体) ごとに 10 体。

第 3.3-6 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。

第 3.3-6 図 使用材料・強度

(建設技術審査証明報告書より抜粋) (6/6)



### 3.3.3 構造部材の評価

3.3.1 で示した基本的考え方にに基づき、第 3.3-7 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。

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

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

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

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

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

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  
 $\beta_{awxd}$ ：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  
 $f_{awyd}$ ：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

第 3.3-7 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

第 3.3-7 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)

### 3.3.4 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、第3.3-8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。

第3.3-8図 構造細目 (建設技術審査証明報告書より抜粋)

### 3.4 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。

#### 3.4.1 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、第3.4-1図に示す。

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。

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、施工が確実に行えることが確認された。

第3.4-1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の施工手順を第3.4-2図に示す。



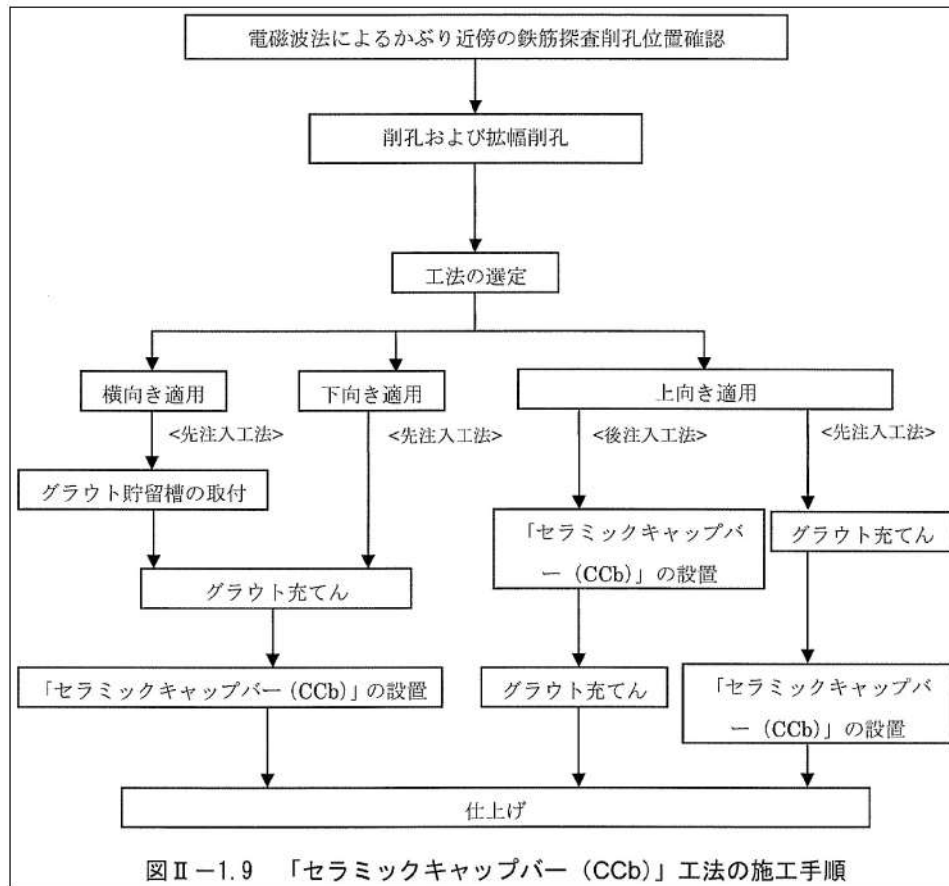


図 II-1.9 「セラミックキャップバー (CCb)」工法の施工手順

第 3.4-2 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)

### 3.4.2 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、第3.4-3図に示す。

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。

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。

第3.4-3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。

#### 4. 泊3号炉におけるCCb工法の適用性の確認

##### 4.1 適用性確認フロー

CCb工法は、建設技術審査証明報告書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、建設技術審査証明報告書、CCb工法の工認実績がある女川2号炉との差異、施工実績及び研究事例等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の構造形式・部材諸元、使用環境等が適用範囲に該当することを第4.1-1図に示すフローにて確認する。

##### ① 適用性確認項目の抽出

後施工によるせん断補強において、せん断補強効果に影響を与えると考えられる項目及び女川2号炉との差異を抽出する。

その際、建設技術審査証明報告書に記載されている審査証明の範囲及び各種実験等から適用性確認項目を抽出する。

##### ② 建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認

泊3号炉の屋外重要土木構造物等に採用した補強仕様がCCb工法の建設技術審査証明報告書において規定されている適用範囲内に収まっているか確認する。

##### ③ ②以外の項目に対するせん断補強効果の確認

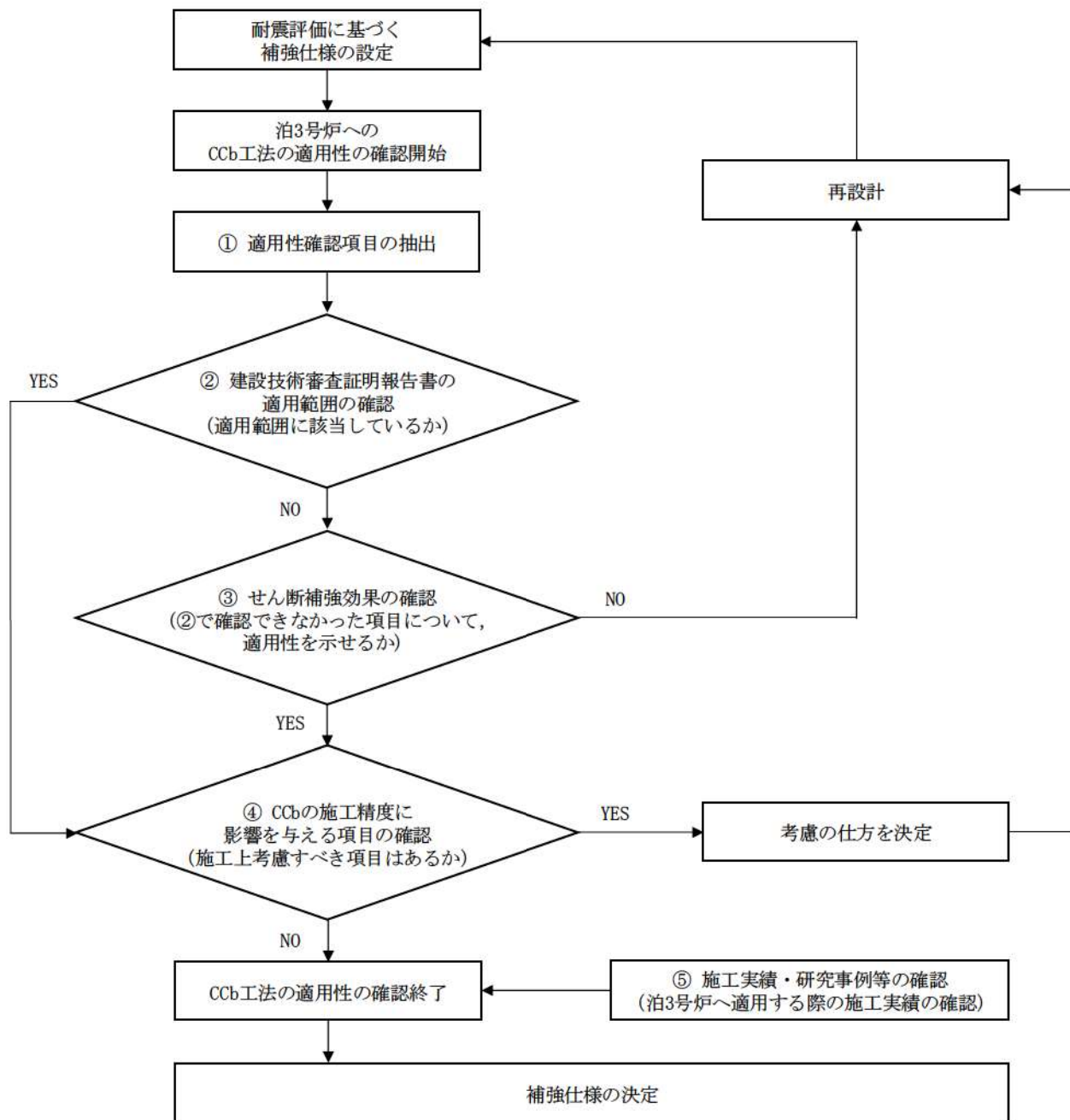
①で挙げた適用性確認項目のうち②で確認できていない項目について、適用性の確認を実施する。適用性確認の際は、せん断補強効果が期待できるかという点について検討する。

##### ④ CCbの施工精度に影響を与える項目の確認

CCbの施工を行う際に、施工精度に影響を与える項目がないか確認を行う。施工精度に影響を与える項目（施工上考慮すべき項目）がある場合は、施工上又は設計上どのように考慮するかを決定したうえで、必要により再設計を実施するか適宜判断を行う。

##### ⑤ 施工実績・研究事例等の確認

後施工せん断補強筋に関する施工実績・研究事例について、要旨、着目すべき事項を整理し、CCb工法への反映事項を確認する。

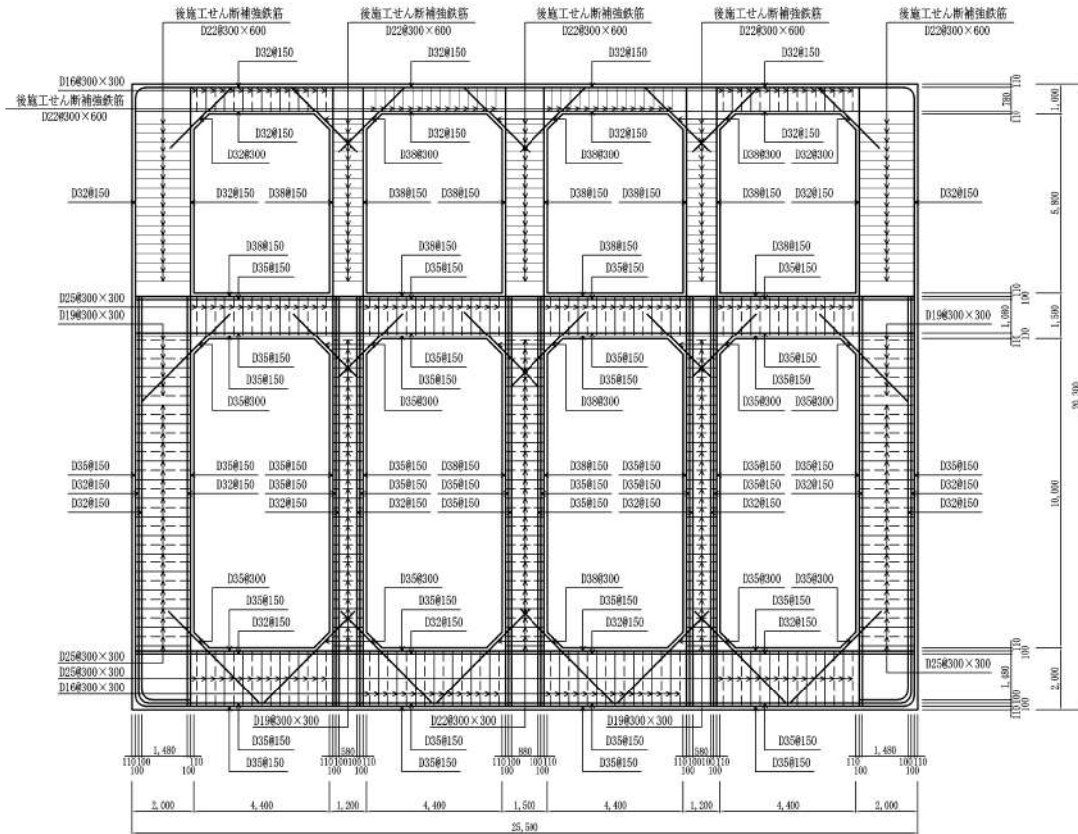


第 4.1-1 図 Ccb 工法の適用性確認フロー



#### 4.2 耐震評価に基づく補強仕様の設定

耐震安全性評価を実施し、せん断に対する安全性を確保するように設定した結果の一例として、取水ピットスクリーン室での補強仕様を第 4.2-1 図に示す。



第 4.2-1 図 取水ピットスクリーン室の補強仕様

#### 4.3 ①適用性確認項目の抽出

CCb 工法の特徴，泊3号炉固有の条件及び女川2号炉との差異の観点から，適用性を確認するために必要な項目を抽出する。以下に項目と確認内容を示す。

##### I. 使用目的

建設技術審査証明報告書に明記されている目的に該当しているか。

##### II. 構造形式

建設技術審査証明報告書で想定している構造形式に該当しているか。

##### III. 構造細目

建設技術審査証明報告書で規定している構造細目に該当しているか。

##### IV. 部材諸元

建設技術審査証明報告書の実験で適用性が確認された部材あるいは実績のある部材厚か。  
せん断スパン比，主鉄筋比，コンクリート設計基準強度について，建設技術審査証明報告書の実験で適用性が確認された範囲内であるか，又は範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるか。

##### V. 載荷方法

建設技術審査証明報告書の実験で適用性が確認された範囲内であること，又は範囲内でなくともせん断補強効果が期待できるか。

##### VI. 使用材料（せん断補強筋）

建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。

せん断補強筋は，JIS G 3112 に準拠した熱間圧延異形棒鋼ネジテツコン（東京鐵鋼株式会社製）で，鉄筋の種類はSD295A，SD295B，SD345 とし，呼び名はD32，D29，D25，D22，D19，D16，D13 とする。

##### VII. 使用材料（セラミック製定着体）

建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。

##### VIII. 使用材料（充てん材）

建設技術審査証明報告書で規定されている材料か。

IX. せん断補強鉄筋の定着長

建設技術審査証明報告書で設定している定着長を考慮して設計しているか。

X. 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実験にて確認していない諸元において、せん断ひび割れ抑制効果を確認できるか。

X I. ひび割れに対する定着機能の保持

CCb 工法は、従来工法（先施工）とせん断補強筋の定着機構が異なることから、せん断補強筋としての機能を発揮するために、定着体部にひび割れが生じて、定着機能が保持されているか。

X II. 変形量

変形に伴うかぶりコンクリート部の剥落によって、CCb の定着体部の定着機能を阻害するおそれがあることから、建設技術審査証明報告書の実験の変形量を超えていないか。

X III. 使用環境

建設技術審査証明報告書で想定している使用環境において使用しているか。

また、泊 3 号炉では海水環境下にて使用していることから、海水環境下相当での実績があるか。

X IV. CCb を適用した部材のコンクリートの健全性

CCb を適用した部材のコンクリートに 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か。

X V. 女川 2 号炉との差異

女川 2 号炉における CCb 工法の適用実績と比較を行い、抽出された差異が建設技術審査証明報告書で規定された適用範囲に収まっているか。



#### 4.4 ②建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認

CCb 工法を適用するにあたり、4.3 で抽出した項目について、建設技術審査証明報告書から適用範囲を確認する。確認結果を以下に示す。

##### (1) I. 使用目的

CCb により耐震補強を行った構造物は地中構造物であり、既設コンクリート部材に対して後施工によるせん断補強の目的で用いていることから、建設技術審査証明報告書に合致している。(第 4.4-1 表参照)

第 4.4-1 表 Ccb 工法の適用範囲と使用状況  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

<p><b>4. 2 審査証明の範囲</b></p> <p>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、施工が片側からしか実施できない壁状の既設鉄筋コンクリート部材に対し、鉄筋の埋込側に先端型定着体を、差込側に後端型定着体を設置した標準型、または、鉄筋の両端に先端型定着体を設置した両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」により、後施工によるせん断補強の目的で用いる。</p> <p>ただし、両側からの施工が可能な既設の構造物に対しては、変形性能の向上を目的としないことを前提として、鉄筋の両端に後端型定着体を設置した両端後端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。</p>	
--	--

建設技術審査証明報告書の適用範囲	使用箇所及び状況
<p>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、施工が片側からしか実施できない壁状の既設鉄筋コンクリート部材に対し、鉄筋の埋込側に先端型定着体を、差込側に後端型定着体を設置した標準型又は鉄筋の両端に先端型定着体を設置した、両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」により、後施工によるせん断補強の目的で用いる。</p>	<p>地中構造物であり、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、後施工によるせん断補強の目的で用いる。</p>
<p>ただし、両側からの施工が可能な既設の構造物に対しては、変形性能の向上を目的としないことを前提として、鉄筋の両端に後端型定着体を設置した両端後端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。</p>	<p>両側からの施工が可能な既設の構造物に対して、変形性能の向上を目的としないことを前提として、後施工によるせん断補強の目的で用いる。</p>



## (2) II. 構造形式

建設技術審査証明報告書に、「CCb 補強工法によれば、相次ぐ地震によりその耐震補強の必要性が高まっている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、また、水門あるいは堰の門柱・堰柱など、構造上、巻立て補強が適用できない構造物の耐震性能を改善することができる」と記載されていることから、泊3号炉の屋外重要土木構造物等にも適用可能である。

## (3) III. 構造細目

建設技術審査証明報告書に、以下のとおり構造細目として記載されており、建設技術審査証明報告書と合致している。

- ① せん断補強筋の断面積比 $\geq 0.15\%$ とする。
- ② 補強前に配置されていたせん断補強筋を含めた CCb との最大配置間隔 $\leq$ 補強対象部材の有効高さの  $1/2$  かつ  $300\text{mm}$  とする。
- ③ CCb の配置は第 4.4-1 図に示す標準配置によるものとする。
- ④ CCb の埋込側の先端は、主鉄筋の中心まで配置することを原則とする。ただし、孔の先端から埋込側の表面までの厚さは  $50\text{mm}$  以上とする。

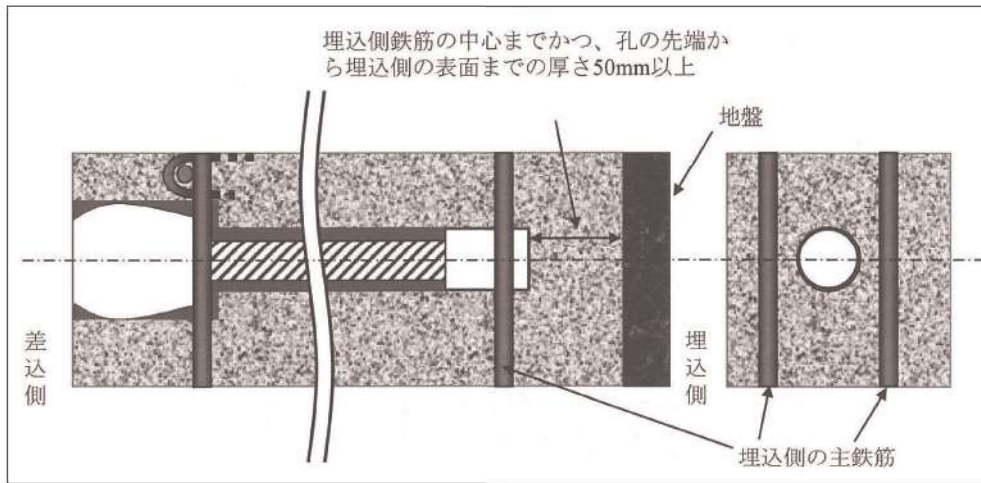
②の最大配置間隔  $300\text{mm}$  は、収縮等によるひび割れの発生を防ぐための用心鉄筋としての配慮である。

用心鉄筋としての配慮については棒部材の場合、スターラップが露出面（腹部）に配置されることから、「露出面の用心鉄筋」に規定される「 $1\text{m}$  当たり  $500\text{mm}^2$  以上の鉄筋を  $300\text{mm}$  以下の間隔で配置する」に準じて規定されたものである。一方、面的な広がりをもつボックスカルバートや箱型構造物の各部材に配置されるせん断補強鉄筋は、各部材の中間的な位置に配置され、「露出面の用心鉄筋」としての機能は不要であるため、「面部材ではせん断補強鋼材の配置間隔は、部材有効高さの  $1/2$  倍以下で配置すればよい」とされている（コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会、2017）（以下「コンクリート標準示方書 2017」という。）（第 4.4-2 図参照）。

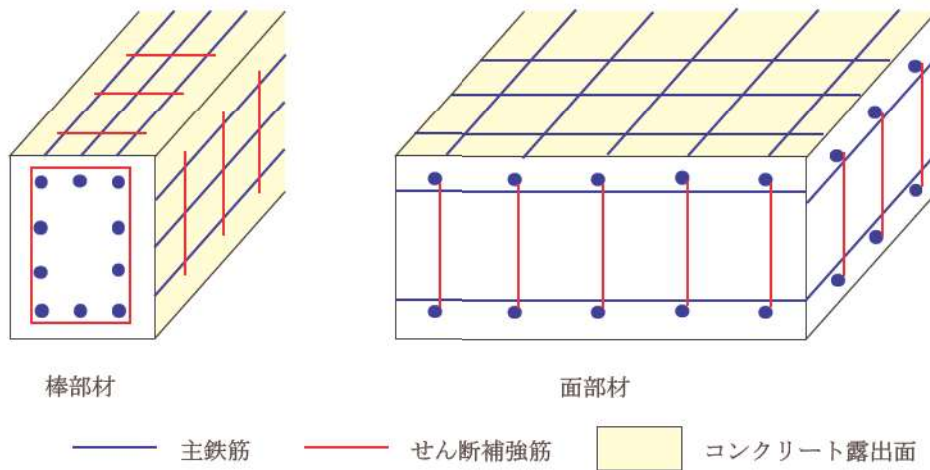
泊3号炉において CCb により耐震補強を行った構造物は建設後 15 年以上経過しており、収縮が収束していると考えられること、また、せん断補強鋼材が露出面に配置されていない面部材に対する耐震補強であることから、この規定（最大配置間隔  $300\text{mm}$  以下）は除外することができる。

なお、CCb により耐震補強を行った構造物に対する、せん断補強鉄筋比及び最大配置間隔の適用範囲及び整理結果を第 4.4-2 表及び第 4.4-3 表に「(4) IV. 部材諸元, V. 载荷方法」

と併せて示す。



第 4. 4-1 図 Ccb 標準配置  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)



第 4. 4-2 図 露出面の用心鉄筋 (棒部材・面部材)

(4) IV. 部材諸元, V. 载荷方法

構造細目, 部材諸元及び载荷方法について, Ccb により耐震補強を行った構造物への適用範囲及び整理結果を第 4. 4-2 表及び第 4. 4-3 表に示す。

第 4. 4-3 表に示すとおり, 部材諸元については, 部材厚, せん断スパン比及び主鉄筋比が, 建設技術審査証明報告書又は建設技術審査証明報告書の実験から確認した範囲に合致していない。

また, 载荷方法については, 集中荷重による正負交番载荷を行っているが, 泊 3 号炉にて Ccb により耐震補強を行った構造物に作用する荷重は, 実験より大きく, 集中荷重及び分布

荷重であるため合致していない。

よって、部材諸元及び載荷方法については、フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として、4.5にて確認する。



第 4.4-2 表 適用範囲の整理

	III. 構造細目		IV. 部材諸元				V. 載荷方法
	せん断補強鉄筋比 (%)	最大配置間隔	部材厚 (mm)	せん断スパン比	CCb の鉄筋径	CCb の鉄筋種別	主鉄筋比 (%)
建設技術審査証明書で規定されている適用範囲	せん断補強鉄筋比 $\geq 0.15\%$ 以上	最大配置間隔 $\leq$ 部材の有効高さの 1/2	—	—	D13~D32	SD345	—
建設技術審査証明報告書の実際から確認した範囲	—	—	500~800	2.78 (棒部材的な破壊)	—	—	1.05~1.48
							集中荷重

第 4.4-3 表 CCb により耐震補強を行った構造物への整理結果

構造物名称	部材	III. 構造細目		IV. 部材諸元				V. 載荷方法
		せん断補強鉄筋比 (%)	最大配置間隔 (mm) 有効高さ (mm)	部材厚 (mm)	せん断スパン比 <sup>(注1,2)</sup>	CCb の鉄筋径	CCb の鉄筋種別	主鉄筋比 (%)
取水ピット スクリーン室	頂版	0.22	300	1,000	4.38	D22	SD345	0.59
			890					
	側壁	0.22	300	2,000	3.07	D22		0.28
			1,890					
	隔壁	0.22	300	1,200	5.32	D22		0.70
			1,090					
		0.22	300	1,500	D22	0.55		
			1,390					

■ : フロー② (建設技術審査証明報告書の適用範囲の確認) より確認できた項目 □ : フロー③ (せん断補強効果の確認) より確認する項目

(注1) : せん断スパン比  $a/d$  ( $a$  : 支間長,  $d$  : 有効高さ)

(注2) : せん断スパン比  $a/d$  が 3.5 以上 (土木学会マニュアル参照) かつ荷重形態が集中荷重の場合は棒部材と判断して「フロー②より確認できる範囲」とし、 $a/d$  が 3.5 以上であっても荷重形態が分布荷重の場合は等価せん断スパン比を考慮すると、ディープビーム的なせん断スパン比となる可能性があることから、「フロー③より確認する範囲」として整理している。



(5) VI. ～VIII. 使用材料（せん断補強筋，セラミック製定着体，充てん材）

建設技術審査証明報告書に記載されている使用材料と合致している。（第 4.4-4 表参照）

使用材料のうち，セラミック製定着体及び充てん材は従来工法（先施工）と Ccb 工法の特徴的な差異となることから，これらの材料の役割と要求性能について詳細に整理する。

第 4.4-5 表に示すとおり，材料特性や要求性能に対する性能確認試験（定着性能試験・ねじ節強度試験）により，弱部が生じないことや部材と一体となって挙動するといった要求性能が満たされていることが確認されており，Ccb 工法を採用するにあたり，その性能に悪影響を与える要因がないことを確認している。

また，定着体であるセラミックキャップの損傷（割れや欠け）の要因となる傷がないことを確認している。さらに，施工箇所となる部材にはセラミックキャップの損傷となるような衝撃荷重が作用しないことから，定着体が破損する要因はない。

第 4.4-4 表 Ccb の適用条件と使用状況  
（建設技術審査証明報告書より抜粋）

<p>2. 2 セラミック定着体</p> <p>(1) セラミック定着体は、所定の材料により製作する。                  (2) セラミック定着体は、所定の製造工程で製作されたものを用いる。                  (3) セラミック定着体の検査は、形状、外観、ねじ節強度、密度について、所定の頻度で実施する。</p>	<p>2. 3 材料の設計値</p> <p>(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）を構成するねじ節鉄筋は、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節鉄筋）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<math>f_{yk}</math>および<math>f_{ak}</math>はJIS G 3112の下限値としてよい。また、限界状態の検測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。</p>
--	--

	建設技術審査証明報告書の材料範囲等	使用状況
せん断補強筋 (ねじ節鉄筋)	径：D13～D32 強度：SD295A, SD295B, SD345	左記範囲内の材料を使用する。 (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，所定の頻度で形状，外観，ねじ節強度，密度について検査されたもの	左記検査を受けた材料を使用する。
充てん材	構造体コンクリートと同等な性能	躯体コンクリート以上の強度とする。

第 4.4-5 表 各使用材料の役割・要求性能・材料特性 (1/3)

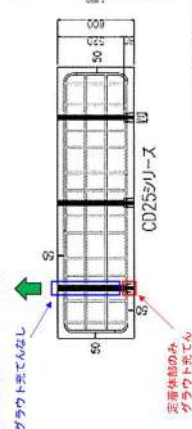
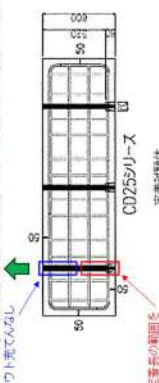
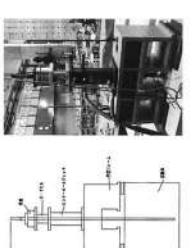
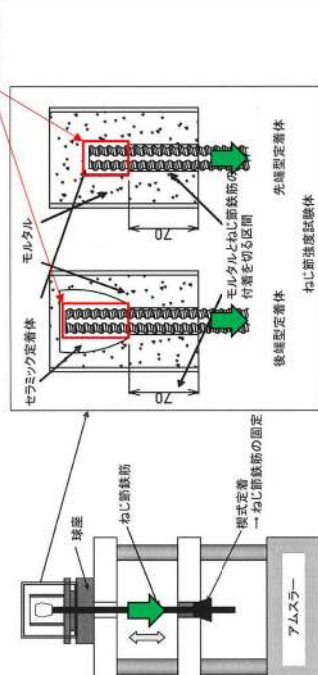
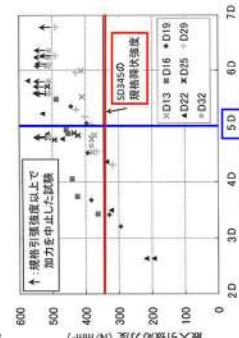
使用材料	役割	要求性能	要求性能を踏まえた材料特性																							
<p>充てん材 (グラウト)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCb と掘削孔の空隙を充てんし、既設構造部材との一体化を図る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCb と掘削孔の充てん時に、隙間ができないこと。</li> <li>充てん部が弱部とならないこと。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>硬化後に空隙が発生しないよう、充てん性を考慮した流動性を有する無収縮グラウトを使用している。</li> <li>既設コンクリートと同等以上の強度を有するため、弱部とならない。</li> </ul> <p style="text-align: center;">グラウトの品質管理基準 (建設技術審査証明報告書より抜粋)</p> <table border="1" data-bbox="483 230 667 837"> <thead> <tr> <th>品質管理対象</th> <th>管理項目</th> <th>管理内容</th> <th>規格値</th> <th>管理頻度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">グラウト</td> <td>流動性</td> <td>JA ロート試験</td> <td>15~30 秒</td> <td>作業開始前</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>圧縮強度試験</td> <td>28 日強度が 49.0N/mm<sup>2</sup> 以上*1</td> <td>500 本毎</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">可塑性グラウト</td> <td>流動性</td> <td>フロー試験</td> <td>静止時 105mm~120mm 15 回打撃 150mm~200mm</td> <td>作業開始前</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>圧縮強度試験</td> <td>28 日強度が 49.0N/mm<sup>2</sup> 以上*1</td> <td>500 本毎</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1 グラウト強度については、標準となる材料に対する製造者の目標仕様を記載している。 なお、充てん材の強度は補強する既設コンクリート躯体と同等以上である必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>定着体の定着性能を阻害せず、充てん材とコンクリート面の境界が弱部とならないこと。</li> <li>定着体の定着性能を確認する「定着性能試験」により、定着体の定着性能が発揮される材料であること及び鉄筋の規格降伏強度を超える引張荷重を作用させても、CCb が抜け出さないことを確認している。</li> <li>よって、充てん材とコンクリート面の境界面は弱部とならない。</li> </ul>	品質管理対象	管理項目	管理内容	規格値	管理頻度	グラウト	流動性	JA ロート試験	15~30 秒	作業開始前	圧縮強度	圧縮強度試験	28 日強度が 49.0N/mm <sup>2</sup> 以上*1	500 本毎	可塑性グラウト	流動性	フロー試験	静止時 105mm~120mm 15 回打撃 150mm~200mm	作業開始前	圧縮強度	圧縮強度試験	28 日強度が 49.0N/mm <sup>2</sup> 以上*1	500 本毎
品質管理対象	管理項目	管理内容	規格値	管理頻度																						
グラウト	流動性	JA ロート試験	15~30 秒	作業開始前																						
	圧縮強度	圧縮強度試験	28 日強度が 49.0N/mm <sup>2</sup> 以上*1	500 本毎																						
可塑性グラウト	流動性	フロー試験	静止時 105mm~120mm 15 回打撃 150mm~200mm	作業開始前																						
	圧縮強度	圧縮強度試験	28 日強度が 49.0N/mm <sup>2</sup> 以上*1	500 本毎																						

第 4.4-5 表 各使用材料の役割・要求性能・要求性能・材料特性 (2/3)

使用材料	役割	要求性能	要求性能を踏まえた材料特性																																			
セラミック 定着体 (先端・後端)	<ul style="list-style-type: none"> <li>後施工せん断補強筋として、従来工法(先施工)のフックの代わりとなるために、同等程度の定着性能を得る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリートの定着体が弱部とならないこと。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セラミック(アルミナ材)はコンクリートに比べ高強度(曲げ強度 300N/mm<sup>2</sup>以上)であり、鉄筋コンクリートの耐力に影響を与えないことから弱部とならない。</li> </ul> <p>アルミナ材の一般物性の試験結果 (建設技術審査証明書より抜粋)</p> <table border="1" data-bbox="470 313 686 862"> <thead> <tr> <th></th> <th>アルミナ</th> <th>参考値</th> </tr> <tr> <th></th> <th>コンクリート</th> <th>鋼</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>硬度 HV (kN)</td> <td>12.74</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ヤング率 (kN/mm<sup>2</sup>)</td> <td>317.5</td> <td>205.8</td> </tr> <tr> <td>熱膨張係数</td> <td>6.84×10<sup>-6</sup></td> <td>10.0×10<sup>-6</sup></td> </tr> <tr> <td>ポアソン比</td> <td>0.227</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>曲げ強度 (N/mm<sup>2</sup>)</td> <td>398</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>※コンクリートの曲げ強度は、一般的に圧縮強度の1/5~1/8程度</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>また、定着体であるセラミックキヤップの損傷(割れや欠け)の要因となる傷がないことを確認している。</li> <li>なお、建設技術審査証明書に示す梁試験終了後(せん断破壊後)の状態を確認した結果、定着体に割れや欠けは確認されず、健全である。</li> </ul> <p>CCb の品質管理基準 (建設技術審査証明書より抜粋)</p> <table border="1" data-bbox="949 313 1149 862"> <thead> <tr> <th>管理項目</th> <th>管理内容</th> <th>規格値</th> <th>管理頻度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>セラミック定着体へのねじ筋筋部の差込長さ</td> <td>マーキングゲージによる確認</td> <td>定着体の端部がマーキングにかかっていること</td> <td rowspan="4">全数</td> </tr> <tr> <td>セラミックキヤップバメジャーによる</td> <td>メジャーによる</td> <td>開孔後に確定した押入長さ±5mm以内</td> </tr> <tr> <td>セラミック定着体・鉄筋表面のキズ</td> <td>計測 目視</td> <td>深さ0.5mm以上のキズがないこと</td> </tr> </tbody> </table>		アルミナ	参考値		コンクリート	鋼	硬度 HV (kN)	12.74	—	ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )	317.5	205.8	熱膨張係数	6.84×10 <sup>-6</sup>	10.0×10 <sup>-6</sup>	ポアソン比	0.227	0.17	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	398	—	管理項目	管理内容	規格値	管理頻度	セラミック定着体へのねじ筋筋部の差込長さ	マーキングゲージによる確認	定着体の端部がマーキングにかかっていること	全数	セラミックキヤップバメジャーによる	メジャーによる	開孔後に確定した押入長さ±5mm以内	セラミック定着体・鉄筋表面のキズ	計測 目視	深さ0.5mm以上のキズがないこと
	アルミナ	参考値																																				
	コンクリート	鋼																																				
硬度 HV (kN)	12.74	—																																				
ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )	317.5	205.8																																				
熱膨張係数	6.84×10 <sup>-6</sup>	10.0×10 <sup>-6</sup>																																				
ポアソン比	0.227	0.17																																				
曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	398	—																																				
管理項目	管理内容	規格値	管理頻度																																			
セラミック定着体へのねじ筋筋部の差込長さ	マーキングゲージによる確認	定着体の端部がマーキングにかかっていること	全数																																			
セラミックキヤップバメジャーによる	メジャーによる	開孔後に確定した押入長さ±5mm以内																																				
セラミック定着体・鉄筋表面のキズ	計測 目視	深さ0.5mm以上のキズがないこと																																				
		<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリートと一体となって挙動すること。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>セラミックを構成するアルミナ材の熱膨張係数、ポアソン比及びヤング率はコンクリート・鋼材と同等であり、一体となって挙動する(上表「アルミナ材の一般物性の試験結果」青枠部参照)。</li> </ul>																																		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>後施工せん断補強筋として、せん断補強効果を発揮するための定着性能を有すること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定着体部の強度を確認する「定着性能試験」及びねじ筋部の強度を確認する「ねじ筋強度試験」により、定着体がせん断補強効果を発揮するための定着性能を有していることを確認している。</li> </ul>																																			



第 4.4-5 表 各使用材料の役割・要求性能・材料特性 (3/3)

項目	定着性能試験	ねじ筋強度試験					
<p>目的</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「定着体部のみ(後端側)」又は「定着体部と設計定着長をグラウト充填した試験体(先端側)」の定着部が、母材であるねじ鉄筋の規格降伏強度相当の引張荷重以上のねじ筋強度を有していることを確認する。</li> </ul> <p>【後端型定着体】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>定着体部のみをグラウト充填し、定着体部のみで定着強度が母材の規格降伏強度以上であることを確認しており、せん断補強効果を発揮するための定着性能を有している。</li> </ul> <p>グラウト充填なし</p>  <p>定着試験体及び載荷装置 (建設技術審査証明報告書より抜粋)</p> <p>【先端型定着体】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>設計定着長(5D, D:鉄筋径)の範囲をグラウト充填し、定着体及び鋼材とコンクリートの付着による定着強度が母材の規格降伏強度以上であることを確認しており、せん断補強効果を発揮するための定着性能を有している。</li> <li>設計定着長(5D)は、下図「先端型定着体の定着力と定着長の関係」のとおり、鉄筋の直径の5倍以上の定着長があれば母材の規格降伏強度相当以上まで定着力を確保できることが確認できている。</li> <li>また、下表「定着体の有無による定着長の比較」のとおり、CCbの先端型定着体を取り付けることで、定着体無しのケースよりも設計定着長を20%程度低減させ、定着性能を向上させることができる。</li> </ul> <p>設計定着長の範囲をグラウト充填</p>  <p>定着試験体 (建設技術審査証明報告書より抜粋)</p> <p>定着体の有無による定着長の比較</p> <table border="1" data-bbox="1244 1388 1388 1702"> <thead> <tr> <th>定着体の種類</th> <th>設計定着長</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>定着体有り (先端側定着体)</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>定着体無し(注)</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注): DMA及びベストグラウトバーを参照し記載</p>	定着体の種類	設計定着長	定着体有り (先端側定着体)	50	定着体無し(注)	60	<p>「定着体部のみ(後端側)」又は「定着体部と設計定着長をグラウト充填した試験体(先端側)」の定着部が、母材であるねじ鉄筋の規格降伏強度相当の引張荷重以上のねじ筋強度を有していることを確認する。</p>  <p>定着試験体及び載荷装置 (建設技術審査証明報告書より抜粋)</p> <p>【先端型定着体】</p>  <p>載荷装置 (建設技術審査証明報告書より抜粋)</p> <p>↑現行仕様範囲以上で加力せしめた試験体</p>  <p>先端型定着体の定着力と定着長の関係 (建設技術審査証明報告書より抜粋)</p>
定着体の種類	設計定着長						
定着体有り (先端側定着体)	50						
定着体無し(注)	60						
<p>確認内容</p>							



(6) IX. せん断補強筋の定着長

建設技術審査証明報告書で設定されている定着長を考慮していることを確認している。

(7) X. 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実験と泊3号炉にてCCbにより耐震補強を行った構造物の各種諸元（部材厚，せん断スパン比，主鉄筋比，載荷方法）が異なっていることから，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5にて確認する。

(8) XI. 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実験と泊3号炉にてCCbにより耐震補強を行った構造物では，発生するひび割れ性状が異なる可能性がある。

さらに，定着体部に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，フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として，4.5にて確認する。

(9) XII. 変形量

CCbにより耐震補強を行った構造物の変形量が建設技術審査証明報告書の実験の変形量を超えないことを確認している。

確認の一例として，添付資料2「泊3号炉における部材諸元他の適用性の検討」にて検討した取水ピットスクリーン室の結果を示す。取水ピットスクリーン室の層間変形角は最大でも0.05%（5/10,000）程度（基準地震動Ss3-4による照査結果（暫定値<sup>(注)</sup>））であり，梁試験体の変形量（1%を超える範囲まで確認）以下に収まっていることを確認している。

なお，泊3号炉では，かぶりコンクリートの剥落により，CCbの定着体部の定着機能を阻害するおそれがあるため，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。

（注）：工事計画認可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。

(10) XⅢ. 使用環境

建設技術審査証明報告書に、「CCb 補強工法によれば、相次ぐ地震によりその耐震補強の必要性が高まっている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、また、水門あるいは堰の門柱・堰柱など、構造上、巻立て補強が適用できない構造物の耐震性能を改善することができる」と記載されており、原子力施設等の重要地下構造物及び泊3号炉のような海水環境下よりも、より使用環境が厳しい下水処理施設を対象としていることから、泊3号炉の屋外重要土木構造物等にも適用可能である。

また、4.7に記載のとおり、CCb 工法については気中及び水中で数多くの施工実績があることが確認されており、硫酸等の影響を受ける腐食環境下にある下水道施設での施工実績もある。

よって、海水中よりも厳しい環境下での施工実績が確認できているため、使用環境として問題がないことを確認している。

(11) XⅣ. CCb を適用した部材のコンクリートの健全性

CCb 工法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、CCb 工法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必要があることから、フロー③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認として、4.5にて確認する。

(12) XⅤ. 女川2号炉との差異

泊3号炉と女川2号炉のCCb 工法の適用性確認における差異を第4.4-6表に示す。

第4.4-6表に示すとおり、女川2号炉との差異はない。

第 4. 4-6 表 女川 2 号炉と泊 3 号炉の差異

確認項目		女川 2 号炉	泊 3 号炉	差異の有無及び確認結果と概要
適用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>適用性確認のためのフローを設定している。</li> <li>建設技術審査報告書の適用範囲外の項目については、個別に数値解析等を用いてせん断補強効果を確認している。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>左記に同じ。</li> </ul>	無
検討対象 構造物	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造物：第 3 号機海水ポンプ室</li> <li>対象部材：導流壁</li> <li>部材厚：1500mm～3300mm</li> <li>荷重形態：集中荷重系</li> </ul> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造物：海水ポンプ室</li> <li>対象部材：側壁</li> <li>部材厚：2000mm～4700mm</li> <li>荷重形態：集中荷重系</li> </ul>	<p>①</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造物：取水ピットスクリーン室</li> <li>対象部材：隔壁</li> <li>部材厚：1500mm</li> <li>荷重形態：集中荷重系</li> </ul> <p>②</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>構造物：取水ピットスクリーン室</li> <li>対象部材：側壁</li> <li>部材厚：2000mm</li> <li>荷重形態：分布荷重系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>無</li> </ul>	
定着体部の 状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCb により耐震補強を行っている構造物は、主鉄筋の降伏強度以下、M-φ 曲線の第 2 折れ点以下（主鉄筋の降伏）、又は主鉄筋のひずみが降伏ひずみ以下の範囲にて CCb 工法を使用することとしており、部材にひび割れが発生する可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>左記に同じ。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>無</li> </ul>	
適用性確認における差異				

他サイトの情報に係る記載内容については、会社資料や HP 等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものです。



#### 4.5 ③建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目に対するせん断補強効果の確認

##### 4.5.1 せん断補強効果の確認内容

4.3で抽出した適用性確認項目のうち、4.4の建設技術審査証明報告書の適用範囲から確認できなかった項目について、4.5.2以降において、数値解析による検証及び建設技術審査証明報告書の実験の確認等により、せん断補強効果が期待できることを確認する。確認する項目を以下に示す。

- (1) 部材諸元
- (2) 載荷方法
- (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

##### 4.5.2 せん断補強効果の確認

- (1) 部材諸元、(2) 載荷方法、(3) せん断ひび割れ抑制効果の確認

泊3号炉でCcbにより耐震補強を行った構造物の多くが、部材諸元（部材厚、せん断スパン比、主鉄筋比、コンクリート設計基準強度）や載荷方法が建設技術審査証明報告書に記載の実験と異なっても、せん断ひび割れを抑制し、せん断補強効果を期待できるかを数値解析により確認する。

数値解析の詳細については、添付資料2「泊3号炉における部材諸元他の適用性の検討」に示す。(1)～(3)の項目について、建設技術審査証明報告書の実験と条件が異なる場合であっても、Ccb工法が適用可能であること及びせん断ひび割れ抑制効果があることを確認する。(解析結果は追而とする。)

- (4) ひび割れに対する定着機能の保持

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）による定着機能への影響については、先行原子力発電所の審査において、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が、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けるひび割れ状況とせん断耐力の対比により確認されている。

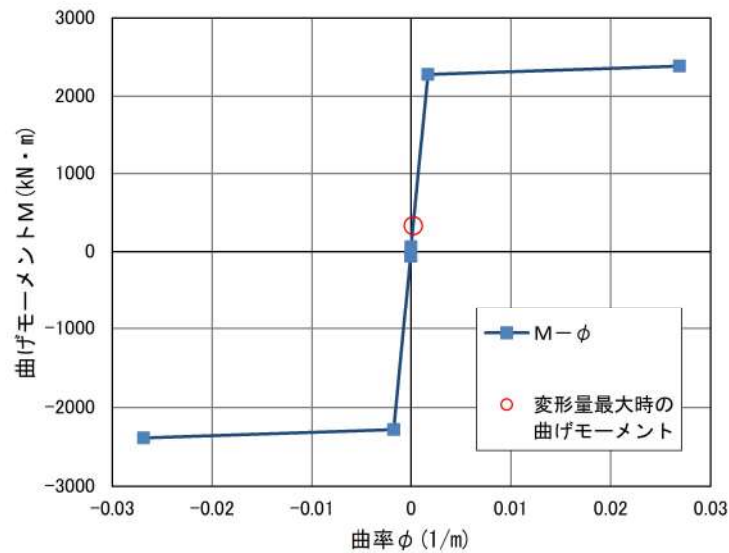
よって、泊3号炉においてCcbにより耐震補強を行った構造物についても、Ccbの定着体部やその周囲にひび割れが生じても、定着機能が保持される。

ただし、建設技術審査証明報告書の実験は、せん断耐力を確認するための実験であることから、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(2450 $\mu$ )未満の2363 $\mu$ まで確認されている。以上を踏まえ、主鉄筋にSD345を用いている泊3号炉においてCCbにより耐震補強を行った構造物については、鉄筋に生じる応力が降伏強度(345N/mm<sup>2</sup>)未満であることを確認する。

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4.5-1図に示すとおり、応答値をM- $\phi$ 曲線上にプロットするとM- $\phi$ 曲線の第1折点(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。



第4.5-1図 取水ピットスクリーン室のM- $\phi$ 曲線(暫定値<sup>(注)</sup>)

(注): 工事計画認可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。

(5) Ccb を適用した部材のコンクリートの健全性

CCb 工法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る必要があることから、ひび割れ状況及び非破壊試験によりコンクリートの健全性を確認する。

詳細については、添付資料3「泊3号炉におけるコンクリートの健全性の検討」に示す。添付資料3に示すとおり、ひび割れ状況及び非破壊試験結果から、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。

#### 4.6 ④CCbの施工精度に影響を与える項目の確認

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

##### 4.6.1 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（第4.6-1図参照）。

なお、削孔においては第4.6-1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。



第4.6-1図 削孔状況

第 4.6-1 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	セラミックキャップ バー (CCb) による計測	CCb が完全に 挿入できること	

#### 4.6.2 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。

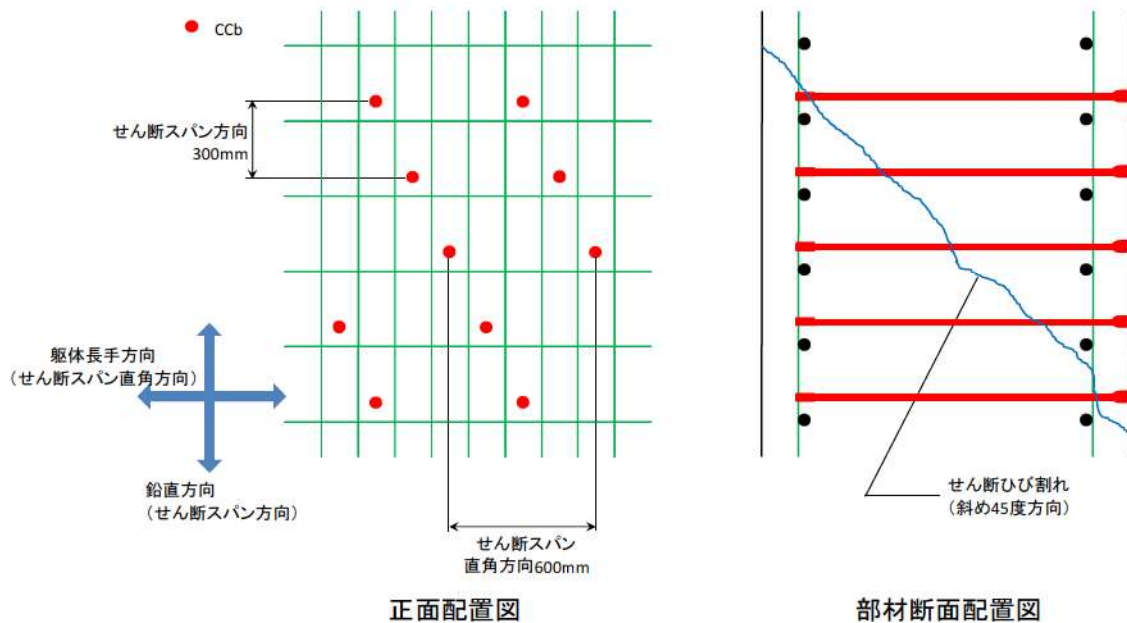
また、「建設技術審査証明報告書 技術名称 あと施工型せん断補強用無機系モルタルカプセル及びせん断補強筋「RMA」(建技審証第 1203 号)」ではコンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験を実施している。コンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験では、幅 1200mm × 高さ 600mm × 長さ 1200mm のコンクリートブロック 4 体を削孔し、削孔位置のずれを確認している。コンクリートコアドリル長尺削孔精度確認試験の結果、削孔角度誤差を換算すると、長さ 1200mm, 2400mm は 0.72° , 長さ 3600mm で 0.66° となり、泊 3 号炉の CCb により耐震補強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。



### 4.6.3 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。再削孔し CCb を配置する際は、4.4 に示す記載事項を満足するものとする。なお、第 4.6-2 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も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。



第 4.6-2 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

#### 4.6.4 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（第 4.6-3 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。

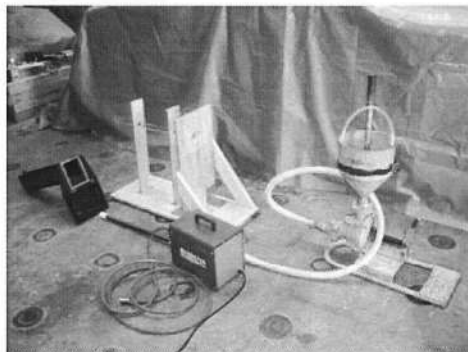
##### ① 先充てん工法（横向き）

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。

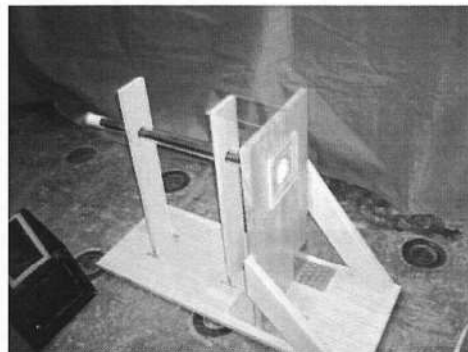
写真Ⅱ-4.9～写真Ⅱ-4.11 に示すように、グラウトが充てんされた削孔内に「セラミックキャップバー（CCb）」を抵抗無く挿入でき、エア抜きホースを残置することなく、「セラミックキャップバー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんできることを、アクリル模型および RC 部材を用いた施工試験により確認した。また、実際の施工では、ほぼ水平となるように削孔することが可能であるが、アクリル模型の先端を 2°以上、上に傾けた状態でのグラウトの充てん確認試験を実施し、孔内後端部の上部の角部にエアが残留した場合でも、エア抜き工具を用いて残留エアの有無の確認と除去が可能であることを確認している（写真Ⅱ-4.10）。

第 4.6-3 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)」の横向きの設置が可能である。



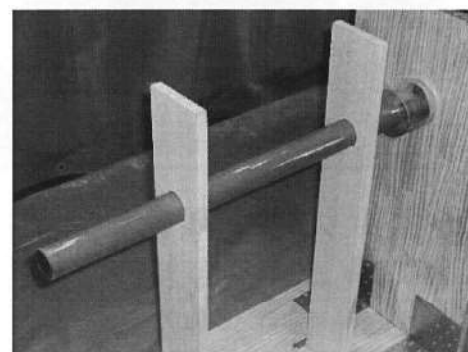
試験器具一式



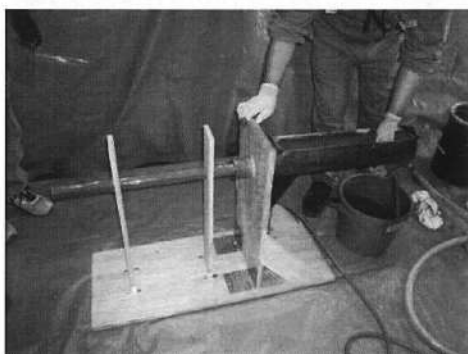
アクリル模型への「セラミックキャップバー (CCb)」の仮設置



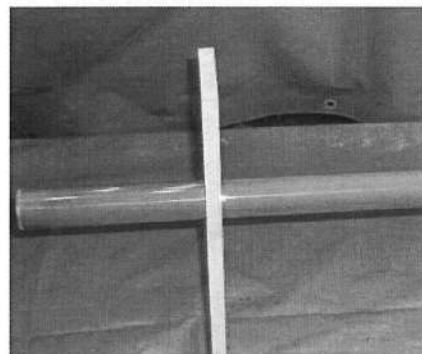
グラウトの充てん状況



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

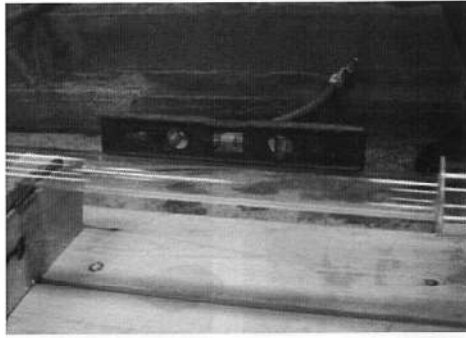


先端部の充てん状況

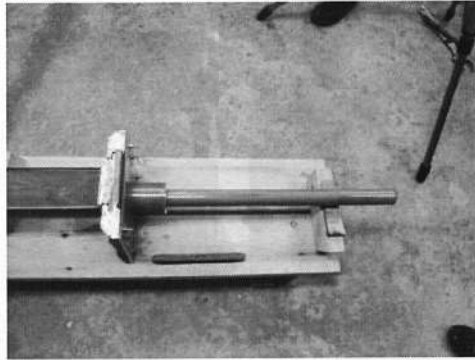
写真Ⅱ-4.9 アクリル模型によるグラウト充てん性確認実験 (横向き)

第 4.6-3 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)

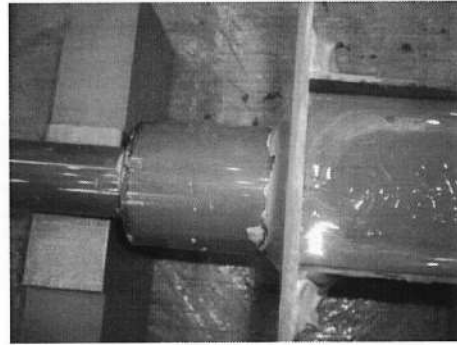
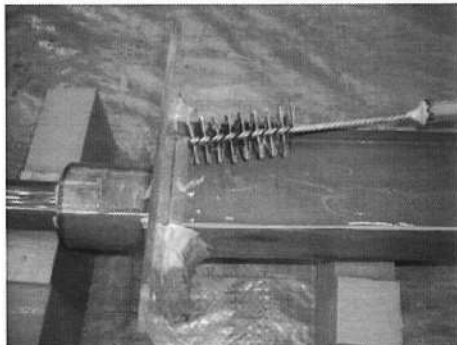




上傾き充てん確認試験



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)

第 4.6-3 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)



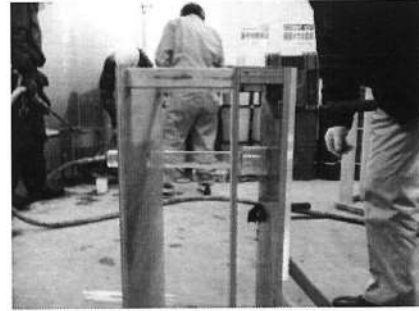
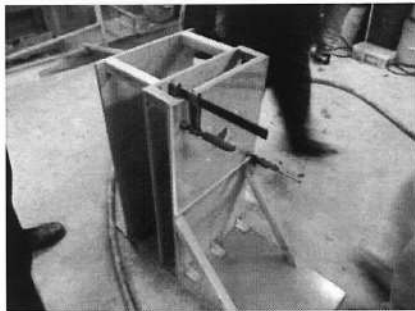


第 4.6-3 図 グラウトの充てん性確認実験  
(建設技術審査証明報告書より抜粋) (4/10)

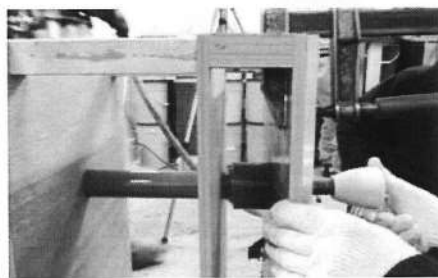
ハンチ部の施工や、支障物が近傍にあるために、グラウト貯留槽が使用できない箇所は、表Ⅱ-1.4に示す可塑性グラウトを用いて作業を行うことにより、グラウト貯留槽を用いた時と同様の充てん性能を有していることをアクリル模型の施工試験で確認している。

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。その後に「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。

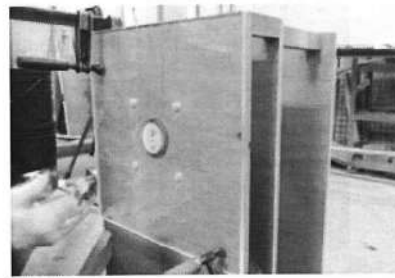
グラウトは、セメントに所定の水を加えてハンドミキサで練り混ぜ、その後に所定の可塑性剤を添加して再度練り混ぜて使用する。



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。

第 4.6-3 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。

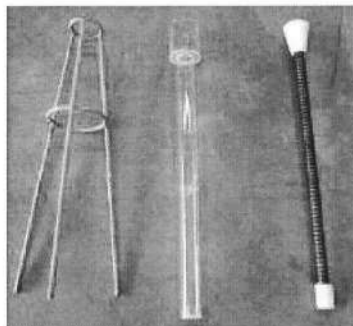
写真Ⅱ-4.8 に示すように、グラウトが表Ⅱ-1.2 に示すものであれば、「セラミックキャップパー（CCb）」の先端定着部までグラウトが充てんすることを、アクリル模型を用いた施工試験により確認した。

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。

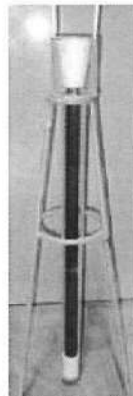
表Ⅱ-1.3 グラウトの性能

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）

第 4.6-3 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）

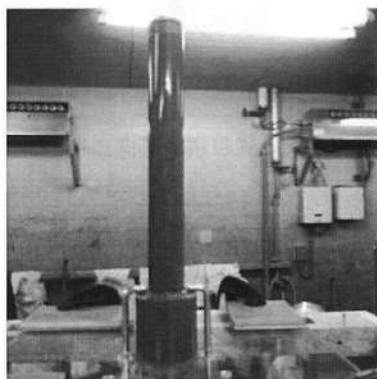


### ③ 先充てん工法（上向き）

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

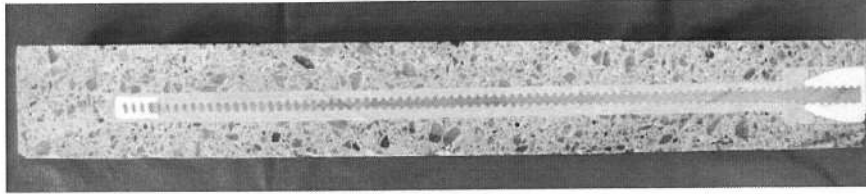


「セラミックキャップバー（CCb）」の挿入

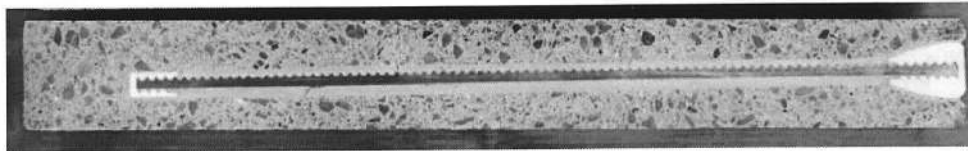
写真Ⅱ-4.14 先充てん後挿入工法グラウト充てん性確認実験（上向き）（その1）

第 4.6-3 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）

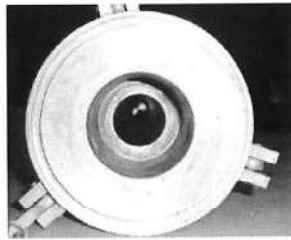
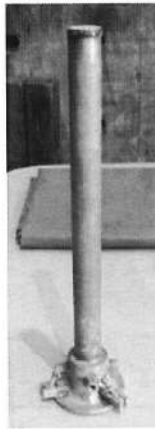




拡幅部通常コア



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）

第4.6-3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。

#### 第 4.6-3 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）

第 4.6-3 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）

4.6.1～4.6.4 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。

#### 4.7 ⑤施工実績・研究事例等の確認

CCb の施工実績及び後施工せん断補強に関する研究事例を踏まえ、CCb 工法及び施工への反映事項を確認する。

##### 4.7.1 施工実績の整理

CCb の施工実績は、第 4.7-1 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。

第 4.7-1 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毎に整理する。部材厚毎に整理した結果を第 4.7-2 表に、鉄筋径毎に整理した結果を第 4.7-3 表に、使用環境（気中又は水中）毎に整理した結果を第 4.7-4 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 の全てにカウント）。

■ 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。



第 4.7-2 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。

第 4.7-2 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。

第 4.7-2 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。

第 4.7-2 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。

第 4.7-3 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。

第 4.7-4 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。

#### 4.7.2 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（第 4.7-5 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。

第 4.7-5 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 7-77

#### 4.7.3 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、4.7.5④に記載する。

(注)：参考文献

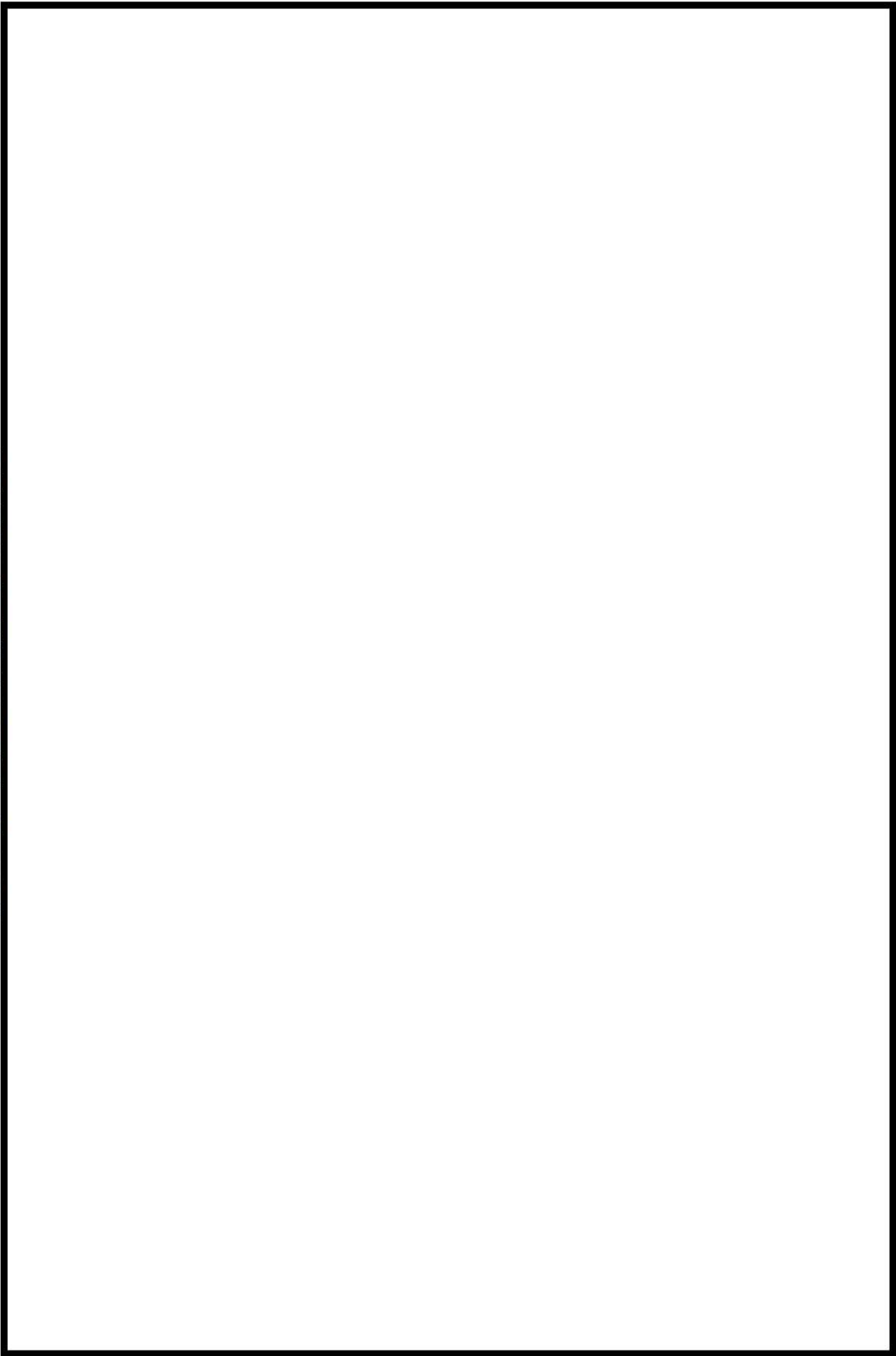
後施工型せん断補強工法を活用した広島空港地下トンネル耐震補強工事について（岡崎大宜）

#### 4.7.4 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、第4.7-6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。



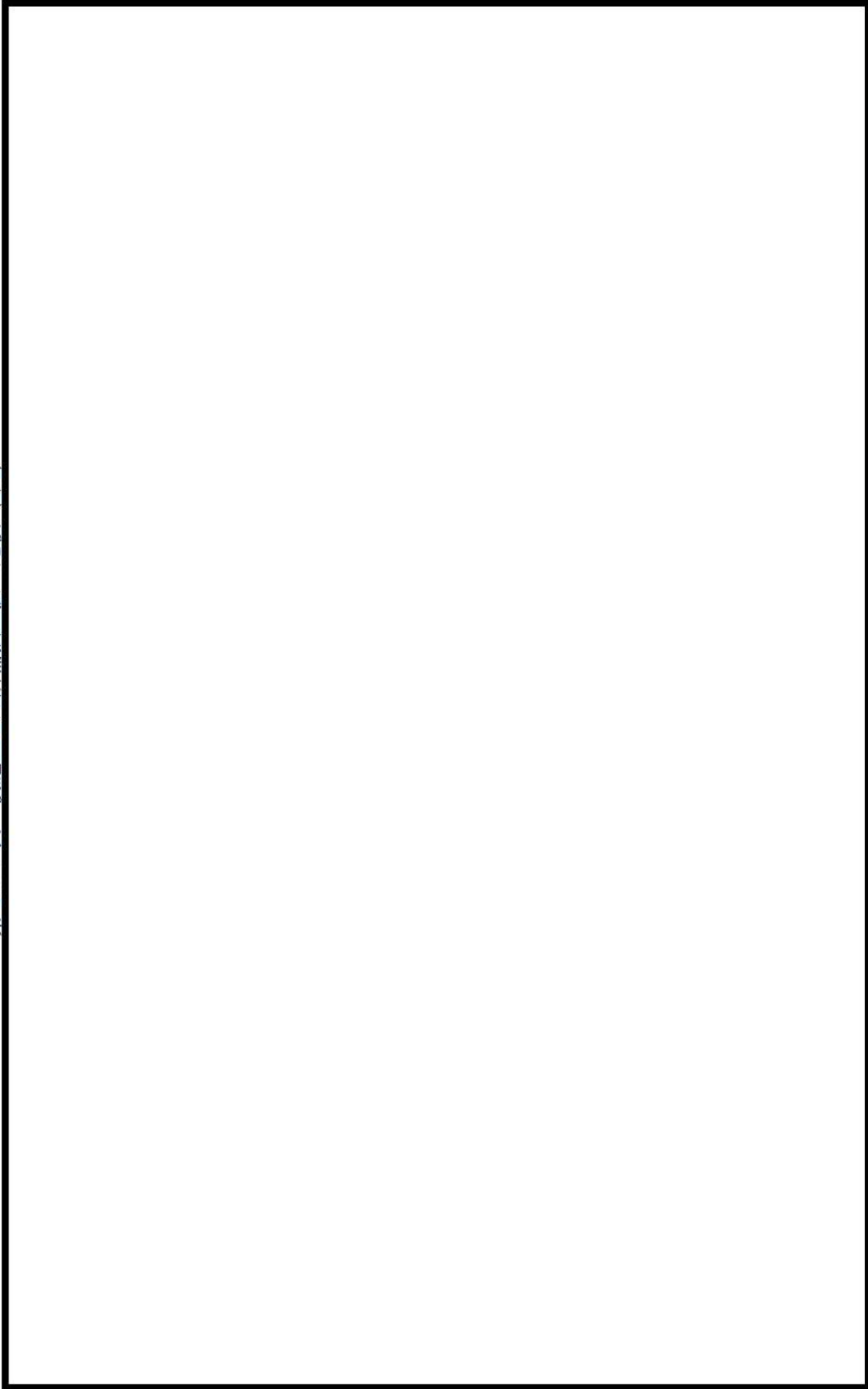
第 4.7-6 表 後施工せん断補強工法の比較 (1/2)



※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。

第4.7-6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。

#### 4.7.5 後施工せん断補強筋に関する研究事例

後施工せん断補強工法に関する研究事例や施工実績に関する文献から着目すべき事項を整理し、泊3号炉におけるCCb工法への反映事項を確認する。

##### 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 論文 セン断補強筋の定着不良が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響

◆ 文献の要旨

せん断補強筋の定着不良が RC はりのせん断抵抗機構に及ぼす影響を確認することを目的として、せん断補強筋の定着フック及び端部付近の付着を除去したはりを作製し、せん断耐力の低下と破壊モードを実験的に検証している。また、材料非線形解析における定着不良部のモデル化について検討されている。

◆ 着目すべき事項

- ・せん断補強筋の定着不良部から鉄筋径の 10 倍程度を鉄筋無効区間として要素内鉄筋比をゼロとすれば、2次元ひび割れ解析でせん断耐力を概略評価することが可能であることが示されている。

◆ 泊 3 号炉における Ccb 工法への反映事項の確認

- ・泊 3 号炉における解析によるせん断補強効果の確認について(添付資料 2)において、Ccb のモデル化に本解析手法を参考とし、実験結果と整合する鉄筋径の 5 倍を後施工せん断補強筋の無効区間とし検討を実施する。



⑦ 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℃以下に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。

⑧ 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，その中で施工の確実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，4.6にて施工精度の向上に向けた方策を記載している。

⑨ 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 工法の設計法および施工法の概要と、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。



#### 4.8 泊3号炉におけるCCb工法の保守性と設計上の制限の整理

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保守性と設計上の制限について整理する。

##### 4.8.1 CCb工法の保守性

設計においてCCbが負担するせん断耐力を算出する際に乗じる有効係数 $\beta_{aw}$ (CCbのせん断耐力の補強効果を示す有効係数)は、建設技術審査証明報告書において、第4.8-1表のとおり試験結果に対して保守的に小さい値を設定しており、せん断耐力を安全側に評価している。(詳細は、4.8.3に示す。)

第4.8-1表 有効係数 $\beta_{aw}$ の保守性  
(建設技術審査証明報告書より抜粋)

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)」が負担するせん断耐力(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	$V_{cal}$	$V_{cd}$	$V_s$	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.3-3	標準型	主鉄筋位置	563	499	542	253	289	310	246	1.07	0.85	0.96	0.89
No.3-4	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	515	570	543	254	289	261	316	0.90	1.09	1.00	0.83
No.3-5	標準型	主鉄筋の表面より5mm手前	531	509	543	254	289	277	255	0.96	0.88	0.92	
No.3-6	標準型	配力鉄筋の表面より5mm手前	497	526	543	254	289	243	272	0.84	0.94	0.89	0.78
No.4-1	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	532	520	525	235	290	297	285	1.02	0.98	1.00	0.82
No.4-2	両端先端型	主鉄筋の表面より5mm手前	520	535	526	236	290	284	299	0.98	1.03	1.01	0.82
No.4-3	両端先端型	配力鉄筋の表面より5mm手前	539	546	524	234	290	305	312	1.05	1.08	1.06	0.78
No.4-4	両端後端型	—	661	568	525	235	290	426	333	1.47	1.15	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

##### 4.8.2 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

建設技術審査証明報告書の梁試験では、主鉄筋ひずみが2363 $\mu$ (SD490)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が、泊3号炉ではSD345の鉄筋を使用していることから、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、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おおむね弾性範囲となる状況下でCCb工法を使用する。

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。

CCb の施工において、施工精度の低下が生じる可能性は低いと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。

#### 4.8.3 有効係数 $\beta_{aw}$ の保守性

設計において CCb が負担するせん断耐力を算出する際に乗じる有効係数  $\beta_{aw}$  の保守性を、設計式と実験結果の比較により確認する。保守性は、設計式から得られる有効係数  $\beta_{aw}$  よりも実験値から得られる  $\beta_{aw}$  の方が大きいことにより確認する。有効係数  $\beta_{aw}$  は、せん断耐力評価式で算定するせん断補強筋が負担するせん断耐力  $V_{sd}$  に対する CCb が負担するせん断耐力  $V_{ccbd}$  の比として定義される。なお、実験値の有効係数  $\beta_{aw}$  は、設計式から得られるせん断補強筋が負担するせん断耐力  $V_{sd}$  をベースに算出しており、実験の CCb が負担するせん断耐力  $V_{ccbd}$  は、実験から得られたせん断耐力から設計式より算出したコンクリートが負担するせん断耐力  $V_{cd}$  を減じて算出する。

検討ケースは、建設技術審査証明報告書の実験で用いた試験体のうち、CCb 先端位置が泊 3 号炉と同条件（主筋の図心位置）である試験体 (No. 3-3) とする。結果を第 4.8-2 表に示す。

第 4.8-2 表より、CCb が負担するせん断耐力  $V_{ccbd}$  は、設計式よりも実験値の方が大きくなっており、設計式が保守的な評価になっていることが確認できる。

よって、設計式及び実験値から得られる有効係数  $\beta_{aw}$  の比較結果より、設計式から得られる  $\beta_{aw}$  よりも実験値から得られる  $\beta_{aw}$  の方が大きく、設計式から得られる  $\beta_{aw}$  の保守性が確認された。

第 4.8-2 表 有効係数  $\beta_{aw}$  の比較検討結果

試験ケース	せん断耐力 (kN) (注1)						有効係数 $\beta_{aw}$ (注2)	
	設計式 (せん断耐力評価式)			実験値			⑥設計式	⑦実験値
	① $V_{cal}$	② $V_{cd}$	③ $V_{sf}$ , $V_{cctd}$	④ $V_{exp}$	② $V_{cd}$	⑤ $V_{cctd}$		
No. 3-3	従来工法	542	253	289	—	—	—	—
	CCb 工法	510	253	257	563	253	310	0.89
								1.07

ここに,

- $V_{cal}$  : 設計式 (せん断耐力評価式) から得られるせん断耐力
- $V_{cd}$  : コンクリートが負担するせん断耐力
- $V_{sf}$  ( $V_{cctd}$ ) : せん断補強筋 (CCb) が負担するせん断耐力
- $V_{exp}$  : 実験から得られるせん断耐力
- $\beta_{aw}$  : CCb のせん断耐力の補強効果を示す有効係数  $\beta_{aw} = 1 - (I_y / 2S_{rb})$

(注1) : 各せん断耐力の算出について

- ①, ②, ③ : せん断耐力評価式 (棒部材式) より算出
- ④ : 実験から得られたせん断耐力
- ⑤ : 「実験から得られたせん断耐力」から「設計式により算出したコンクリートが負担するせん断耐力」を減じて算出 (⑤=④-②)

(注2) : 有効係数  $\beta_{aw}$  の算出について

- ⑥ : 設計式より得られる有効係数  $(1 - (I_y / 2S_{rb}))$ ,  $I_y$  : CCb の定着長 (5D, D : 鉄筋径),  $S_{rb}$  : 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔)
- ⑦ : CCb を通常のせん断補強筋と見なした場合のせん断耐力負担分に対する有効係数

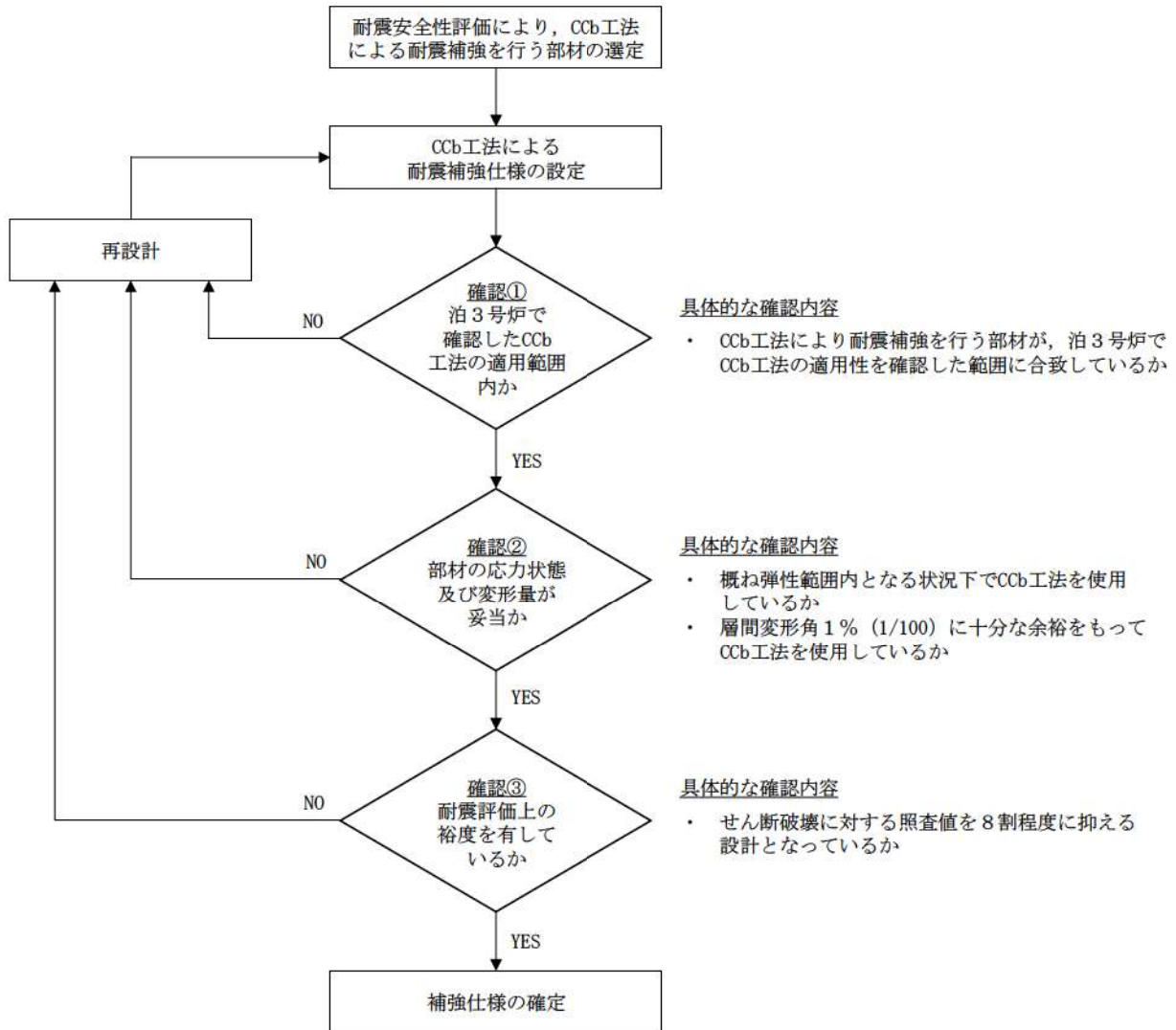
「実験から得られた CCb が負担するせん断耐力」を「設計式から得られる通常のせん断補強筋が負担するせん断耐力」で除して算出

$$(\text{⑦}) = (\text{⑤}) (V_{cctd}) / (\text{③}) (V_{sf})$$



#### 4.8.4 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー

4.8.1～4.8.3 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保守性及び設計上の制限を考慮した設計検討フローを第 4.8-1 図に示す。



第 4.8-1 図 Ccb 工法によるせん断補強の設計検討フロー



#### 4.9 Ccb の適用性確認結果

追而

#### 5. 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以下のとおり確認した。

なお、建設技術審査証明報告書に記載の梁試験体ではディープビームを対象とした試験を実施していないが、先行原子力発電所の審査において、ディープビームを対象とした模型実験によりディープビーム的な破壊となる部材に対しても Ccb 工法を適用できること、及び数値解析（静的材料非線形解析）により面内荷重と面外荷重が同時に作用する部材に対しても Ccb 工法を適用できることが確認されていることから、泊3号炉の Ccb により耐震補強を行った構造物についても、ディープビーム的な破壊となる部材及び面内荷重と面外荷重が同時に作用する部材に対しても Ccb 工法が適用可能である。

- ・先行原子力発電所の審査実績から、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斜めひび割れ）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、所要のせん断補強効果が発揮できていることを確認した。
- ・泊3号炉で 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はなく、非破壊試験による圧縮強度においても設計基準強度以上であったことから、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。
- ・建設技術審査証明報告書の実験にて確認できている範囲を踏まえ、泊3号炉にて Ccb 工法を適用するにあたっての保守性を設定すると共に、設計上の制限を設定し適用することとした。

追而

建設技術審査証明報告書の適用範囲外の項目として抽出した項目のうち、Ccb 工法の適用性が未確認である3項目（(1) 部材諸元、(2) 載荷方法、(3) せん断ひび割れ抑制効果の確認）については、添付資料2「泊3号炉における部材諸元他の適用性の検討」において今後実施する数値解析により確認する。

建設技術審査証明書

建設技術審査証明書

建設審証第 0811 号

技術名称 後施工セラミック定着型せん新補強鉄筋  
「セラミックキャップバー (CCb)」

【開発の趣旨】 両面に耐久性が高いセラミック定着体を設置したねじり鉄筋を用いることにより、補強材で最もコンクリート表面に近くなる定着体の耐久性を確保しつつ、高い引張力でせん断耐力、じん性の向上を図ることができる後施工セラミック定着型せん新補強鉄筋「セラミックキャップバー (CCb)」を提供する。

【開発の目的】 後施工セラミック定着型せん新補強鉄筋「セラミックキャップバー (CCb)」の開発目標を以下に示す。  
(1) 定着性能 規格降伏強度相当の定着力を確保するために必要な「セラミックキャップバー (CCb)」の先端定着体の定着長がSD (D:鉄筋の直径) であること。後端型定着体については、定着体本体で規格降伏強度相当以上の定着力を確保できること。  
(2) 配筋後のせん断耐力 「セラミックキャップバー (CCb)」によるせん断耐力の負担分も、通常の方法でせん断補強した部材のせん断補強効果によるせん断耐力を十分に、適用部材の主筋筋の両端および「セラミックキャップバー (CCb)」の各定着体を用いた場合の定着長から評価される有効率を乗じたものとして評価できること。  
(3) 配筋後のじん性 「セラミックキャップバー (CCb)」で後施工補強した RC 部材において、先端型定着体が圧縮となる場合は、両端効果を無視した後端定着体の計算値より大きな変形性能が確保されること。また、後端型定着体が圧縮となる場合は、通常の方法でせん断補強した RC 部材と同程度の変形性能が確保されること。  
(4) 施工の確実性 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、補強後の裏側孔内にエア抜き用ホースを設置せずにせん断補強できること。両側からの施工が可能な RC 部材に対し、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、両面に後端型定着体を設置する施工が確実に行えること。  
(5) 施工の容易性 狭い空間や複雑な部材において、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。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い空間での施工においても、カバ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。  
一般財団法人土木研究センターの建設技術審査証明事業実施要領に基づき、依頼のあった標記の技術について下記のとおり証明する。

Table with 4 columns: Date, Content Change, Date, Content Change. Rows include updates from 2009 to 2018.

建設技術審査証明事業実施機関  
一般財団法人 土木研究センター  
理事長 常田 賢

- 1 審査証明の結果
上記の開発の趣旨、開発の目標に照らして審査した結果、「セラミックキャップバー (CCb)」は以下の性能を有することが確認された。
(1) 定着性能
(2) 配筋後のせん断耐力
(3) 配筋後のじん性
(4) 施工の確実性
(5) 施工の容易性
2 審査証明の前提
(1) 本審査証明は、依頼者からの試験データ等の資料を基に審査し、確認したものである。
(2) 「セラミックキャップバー (CCb)」は、所定の材料を用いて、適正な品質管理のもとで製造されるものとする。
(3) 「セラミックキャップバー (CCb)」は、適正な荷重設計によって計画されるものとする。
(4) 「セラミックキャップバー (CCb)」は、適正な機材および施工手技によって設置されるものとする。
(5) 「セラミックキャップバー (CCb)」は、適正な管理のもとで施工されるものとする。
3 審査証明の範囲
(1) 本審査証明は、主に地震時の反響変位量が限定される地中構造物であって、施工が片側からしか実施できない従来の既設鉄筋コンクリート構造物に対し、鉄筋の埋込部に先端型定着体を、差込部に後端型定着体を設置した標準型、または、鉄筋の両端に先端型定着体を設置した両端先端型の「セラミックキャップバー (CCb)」により、後施工によるせん断補強の目的で用いる。ただし、両側からの施工が可能な既設の構造物に対しては、変形性能の向上を目的としないことを前提として、鉄筋の両端に後端型定着体を設置した両端後端型の「セラミックキャップバー (CCb)」を後施工によるせん断補強の目的で用いることができる。
(2) 使用するグラウトは、高流動グラウトまたは可塑性グラウト (低流動タイプまたはプレミクスタータイプ) とする。
(3) 使用する鉄筋は、JIS G 3112 に適合する S55D 系 (東京鉄鋼製および鉄鋼) とし、鉄筋の種類は SD285A、SD285B、SD345、SD345E、SD345F、SD345G、SD345H、SD345I、SD345J、SD345K、SD345L、SD345M、SD345N、SD345O、SD345P、SD345Q、SD345R、SD345S、SD345T、SD345U、SD345V、SD345W、SD345X、SD345Y、SD345Z とする。
(4) 適用可能な後端型定着体の埋込厚は、垂直に施工で 7mm 以下、下向き施工で 5mm 以下、上向き施工で 4mm 以下とする。
4 審査証明の詳細
建設技術審査証明報告書
2024 年 2 月 2 日
5 審査証明の有効期限
6 審査証明の依頼者
鹿島建設株式会社 カジマ・リノバイト株式会社
所在地: 東京都港区新浜 1-3-1 所在地: 東京都新宿区住吉町 1-2-9



## 泊 3 号炉における部材諸元他の適用性の検討

## 1. せん断補強効果の確認

CCb によるせん断補強効果については、建設技術審査証明報告書の各種実験にて検証している。泊 3 号炉において 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）の部材諸元（部材厚、せん断スパン比、主鉄筋比、コンクリート設計基準強度）や載荷方法が建設技術審査証明報告書に記載の実験と異なっても、せん断ひび割れを抑制し、せん断補強効果を期待できることを材料非線形解析により確認する。

材料非線形解析に用いる鉄筋コンクリートの構成則については種々あるが、ここでは、現在までに実務でも使用され、適用性と信頼性が確認されているコンクリート標準示方書 2017 において標準とされている以下の手法とする。

- ・鉄筋とコンクリートの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。
- ・鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては、平均化構成則を用いる。
- ・鉄筋との複合作用が及ばない領域では、コンクリートの破壊力学の概念を導入する。

材料非線形解析に用いる解析コードは、上記の鉄筋コンクリートの構成則を有する解析コードの 1 つである「UC-win/WCOMD ver2.02」とする。

## 2. 検討方針

先行原子力発電所の審査において、実験を上回る部材厚 1,500mm に対する材料非線形解析が実施されており、数値解析的なアプローチにより、CCb の適用性が確認されているが、泊 3 号炉において CCb により耐震補強を行った構造物の最大部材厚は取水ピットスクリーン室側壁の 2,000mm であることから、泊 3 号炉の CCb 適用部材に対し、そのスケール効果を考慮した材料非線形解析を実施し、CCb 工法の適用性を確認する。

適用性の確認に当たっては、取水ピットスクリーン室の部材諸元相当でも変形状況、ひび割れ状況及び鉄筋の降伏状況に対して、特異な状況とならないことを確認する。

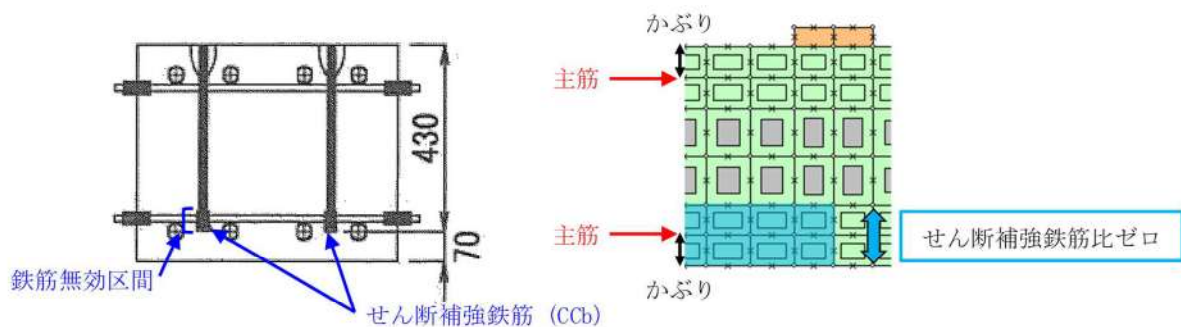
材料非線形解析は、荷重形態及び破壊形態（せん断スパン比）の違いに着目し、頂版等からの集中荷重が作用する部材のうち部材厚が最大である取水ピットスクリーン室隔壁及び地震時増分土圧等の分布荷重が作用する部材のうち部材厚が最大である取水ピットスクリーン室側壁を対象に実施する。

### 3. モデル化方法

#### 3.1 CCb のモデル化方法

CCb は従来工法（先施工）のせん断補強筋と異なり，セラミック定着体により定着していることから，CCb 工法は従来工法よりも定着性能が劣るものと仮定し，前川らによる「せん断補強筋の定着不良が RC はりのせん断耐力に及ぼす影響（コンクリート工学年次論文集 Vol. 26, No. 2, 2004）」を参考に，せん断補強筋が機能しない区間（無効区間：要素内鉄筋比をゼロとする区間）を設定することにより CCb をモデル化する（添付 2-1 図参照）。

無効区間は，先行原子力発電所の審査実績を踏まえて，CCb 先端側の主筋軸心から必要定着長  $5D$  ( $D$ ：鉄筋径) の鉄筋比をゼロとして検討を行うものとする。



添付 2-1 図 CCb のモデル化概念図

#### 3.2 構造部材のモデル化方法

構造部材は，平面応力要素にてモデル化する。モデル化は，原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（以下「土木学会マニュアル」という。）を参考に，鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し，付着の影響が及ばない領域を無筋領域としてモデル化する。



#### 4. 実施工部材の応答性状の確認

実施工部材に対する Ccb 工法の適用性を確認することを目的に、荷重形態及び破壊形態（せん断スパン比）の違いに着目して選定した部材に対する材料非線形解析を行う。荷重形態及び破壊形態は、建設技術審査証明報告書の梁試験がせん断破壊を対象としており、曲げ破壊先行とならないように主鉄筋比を大きく設定していることを踏まえ、Ccb のせん断補強効果に大きく影響を与える可能性があることから着目している。対象部材は、集中荷重及び分布荷重が作用する構造物のうち部材厚に着目し選定している。添付 2-1 表に検討ケース概要を示す。

添付 2-1 表 検討ケースの概要

検討ケース	対象部材	荷重形態	作用荷重	破壊形態
ケース①	取水ピットスクリーン室 中央隔壁	集中荷重系	構造物-地盤連成の二次元有限要素解析による地震応答解析（基準地震動 Ss3-4）から得られる応答断面力を再現できる荷重	棒部材的な破壊 （斜め引張破壊）
ケース②-1	取水ピットスクリーン室 側壁	分布荷重系	同上	ディープビーム的な破壊 （せん断圧縮破壊）
ケース②-2	同上	同上	等分布荷重	棒部材的な破壊 （斜め引張破壊）

#### 4.1 ケース①（集中荷重系）の材料非線形解析

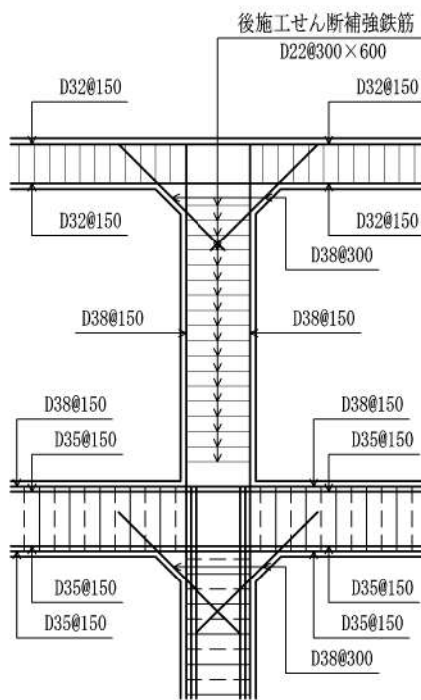
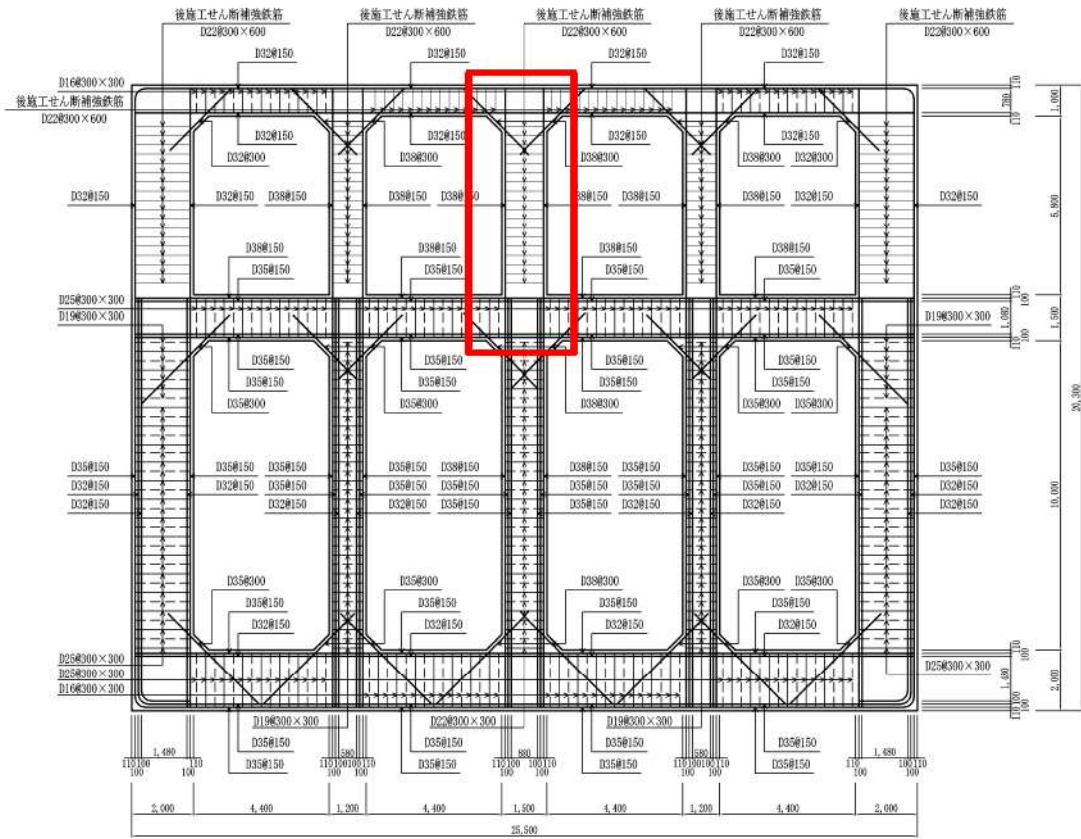
##### 4.1.1 モデル化について

3.1 及び 3.2 に準じて設定する。

対象とする部材は、多連ボックスカルバートの隔壁のように主な荷重が頂版から受ける集中荷重となる構造物のうち、部材厚が最大である取水ピットスクリーン室の隔壁とし、添付 2-2 図に示す中央隔壁とする。

解析モデルは、主鉄筋位置や Ccb の鉄筋無効区間のモデル化を考慮して要素分割を検討する。奥行方向の厚さは、除塵装置設置に伴う開口を考慮し、64.4cm に減じたモデルとする。梁部材の高さ方向の分割については添付 2-3 図に示すとおりとする。主鉄筋芯かぶりは 110mm であるので、220mm（=110+110）を主鉄筋が配置される要素の高さとする。Ccb の無効区間は、主鉄筋芯かぶり+Ccb 定着長分（ $110+5D=110+5\times 22=220\text{mm}$ ）とする。

梁部材の軸方向は、地震応答解析モデルでの梁要素の節点位置を考慮して分割を行うものとする。解析モデル図を添付 2-4 図に示す。

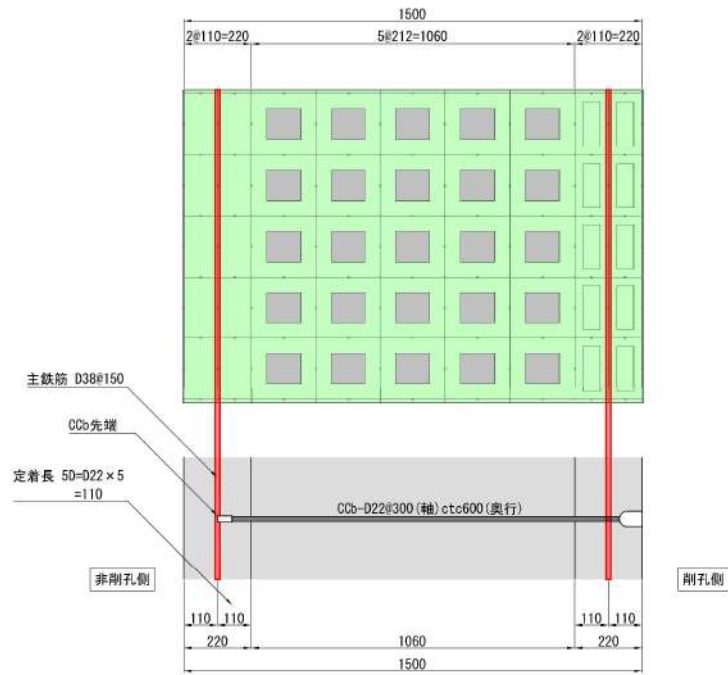


(拡大図)

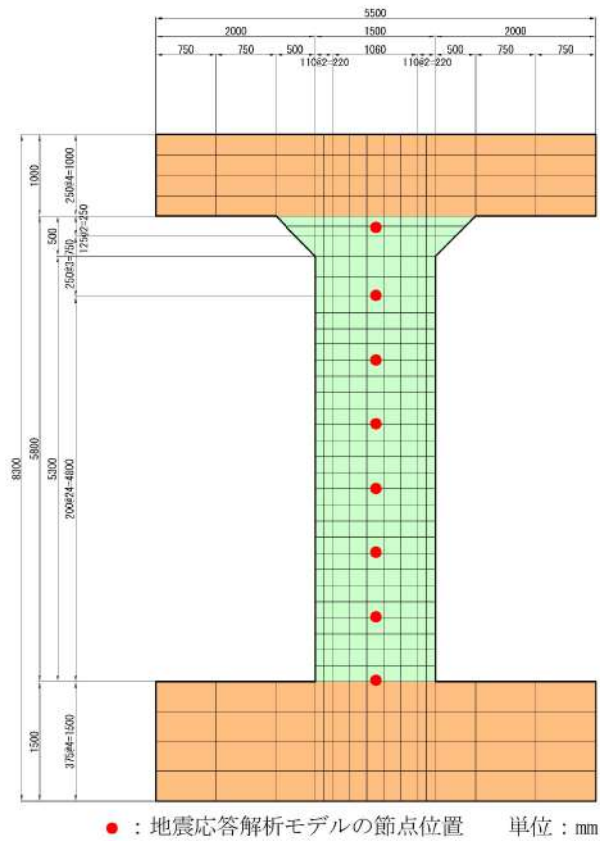
(単位：mm)

：評価対象部材

添付 2-2 図 評価対象部材



添付 2-3 図 要素分割の考え方



添付 2-4 図 解析モデル図

解析の入力データとなるコンクリートの材料特性及び鉄筋の材料特性を、添付 2-2 表及び添付 2-3 表に示す。

添付 2-2 表 コンクリートの材料特性

項目	設定値
圧縮強度 $f'_c$	24.0 N/mm <sup>2</sup>
引張強度 $f_t$	1.91 N/mm <sup>2</sup>
ヤング係数 $E_c$	WCOMD で自動計算

添付 2-3 表 鉄筋の材料特性

項目	設定値
主鉄筋及びせん断補強鉄筋のヤング係数	200 kN/mm <sup>2</sup>
主鉄筋の降伏強度	999 N/mm <sup>2</sup>
CCb 鉄筋の降伏強度	345 N/mm <sup>2</sup>

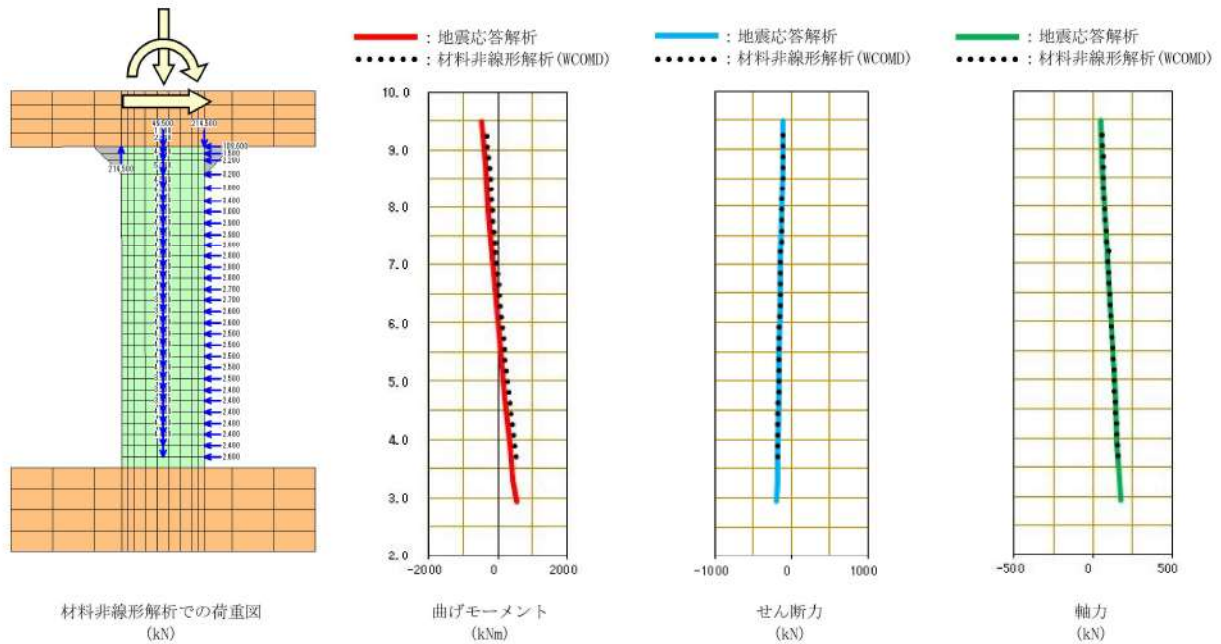


#### 4.1.2 荷重条件

荷重は、構造物-地盤連成の二次元有限要素解析による地震応答解析から得られる応答断面力を用いる。具体的には、取水ピットスクリーン室をモデル化した地震応答解析から得られる断面力分布（曲げモーメント、軸力、せん断力）を再現できる荷重を材料非線形解析モデルに作用させる。添付 2-5 図に示す断面力分布より、材料非線形解析に作用させる荷重が地震応答解析の応答断面力を良好に再現できていることがわかる。

材料非線形解析では、鉄筋コンクリートの非線形特性を考慮するため、荷重を 1/100 にしたものを漸増载荷する。

荷重ケースについては、泊 3 号炉の地中構造物におけるせん断破壊に対する照査が、他の地震動に比べて厳しい傾向にある Ss3-4 を対象とする。取水ピットスクリーン室の Ss3-4 のせん断耐力評価式による照査結果を、添付 2-4 表に示す。



添付 2-5 図 荷重図及び断面力分布

添付 2-4 表 取水ピットスクリーン室の照査結果（暫定値<sup>(注1)</sup>）

基準地震動	中央隔壁の照査値 <sup>(注2)</sup>
Ss3-4	0.27

(注1)：工事計画認可段階で選定する解析断面や解析手法により，変更となる可能性がある。

(注2)：照査値＝照査用せん断力／せん断耐力

ここで，照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数

#### 4.1.3 破壊判定基準

ケース①の破壊判定基準は，荷重－変位関係において変位が急増した場合とし，その直前の荷重をせん断耐力とする。

#### 4.1.4 解析結果及び従来工法と Ccb 工法の比較

追而

#### 4.2 ケース②（分布荷重系）の材料非線形解析

ケース②では、荷重形態に着目し、以下に示す2ケース（ケース②-1、ケース②-2）の材料非線形解析を行う。

- ・ケース②-1：二次元有限要素解析による地震応答解析から得られる応答断面力分布を再現できる荷重を作用させる。
- ・ケース②-2：等分布荷重を作用させる。

ケース②-2は、二次元有限要素解析による地震応答解析の結果、等価せん断スパンを考慮した場合のせん断スパン比が小さく、破壊形態がディープビーム的な破壊（せん断圧縮破壊）となり、せん断補強工法の差異が確認できなくなることが想定されたことから、破壊形態が棒部材的な破壊（斜め引張破壊）となるように荷重形態を変更したものである。

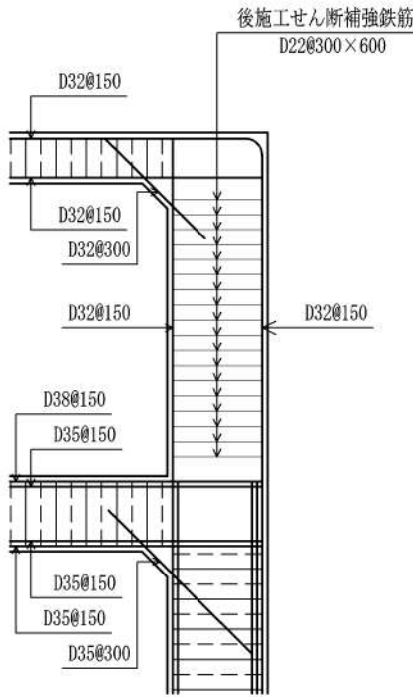
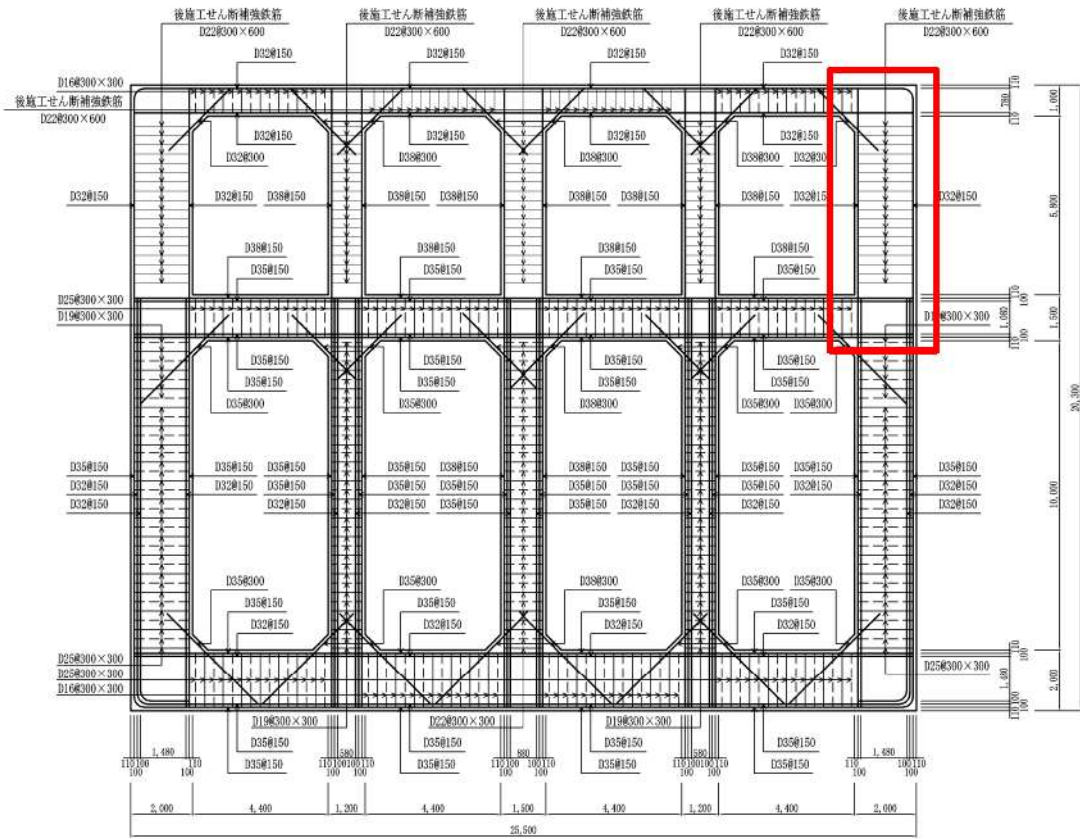
##### 4.2.1 モデル化について

3.1 及び 3.2 に準じて設定する。

対象とする部材は、ボックスカルバートの側壁のように、主な荷重が地震時増分土圧等の分布荷重となる構造物のうち、部材厚が最大である取水ピットスクリーン室の側壁とし、添付 2-6 図に示す右側壁とする。

解析モデルは、主鉄筋位置や Ccb の鉄筋無効区間のモデル化を考慮して要素分割を検討する。奥行方向の厚さは、除塵装置設置に伴う断面変化部を考慮し、64.4cm に減じたモデルとする。梁部材の高さ方向の分割については、添付 2-7 図に示すとおりとする。主鉄筋芯かぶりは 110mm であるので、220mm (=110+110) を主鉄筋が配置される要素の高さとする。Ccb の無効区間は、主鉄筋芯かぶり+Ccb 定着長分 ( $110+5D=110+5\times 22=220\text{mm}$ ) とする。

梁部材の軸方向は、地震応答解析モデルでの梁要素の節点位置を考慮して分割を行うものとする。解析モデル図を添付 2-8 図に示す。



(拡大図)

(単位 : mm)

     : 評価対象部材

添付 2-6 図 評価対象部材





解析の入力データとなるコンクリートの材料特性及び鉄筋の材料特性を添付 2-5 表及び添付 2-6 表に示す。

添付 2-5 表 コンクリートの材料特性

項目	設定値
圧縮強度 $f'_c$	24.0 N/mm <sup>2</sup>
引張強度 $f_t$	1.91 N/mm <sup>2</sup>
ヤング係数 $E_c$	WCOMD で自動計算

添付 2-6 表 鉄筋の材料特性

項目	設定値
主鉄筋及びせん断補強鉄筋のヤング係数	200 kN/mm <sup>2</sup>
主鉄筋の降伏強度	999 N/mm <sup>2</sup>
CCb 鉄筋の降伏強度	345 N/mm <sup>2</sup>

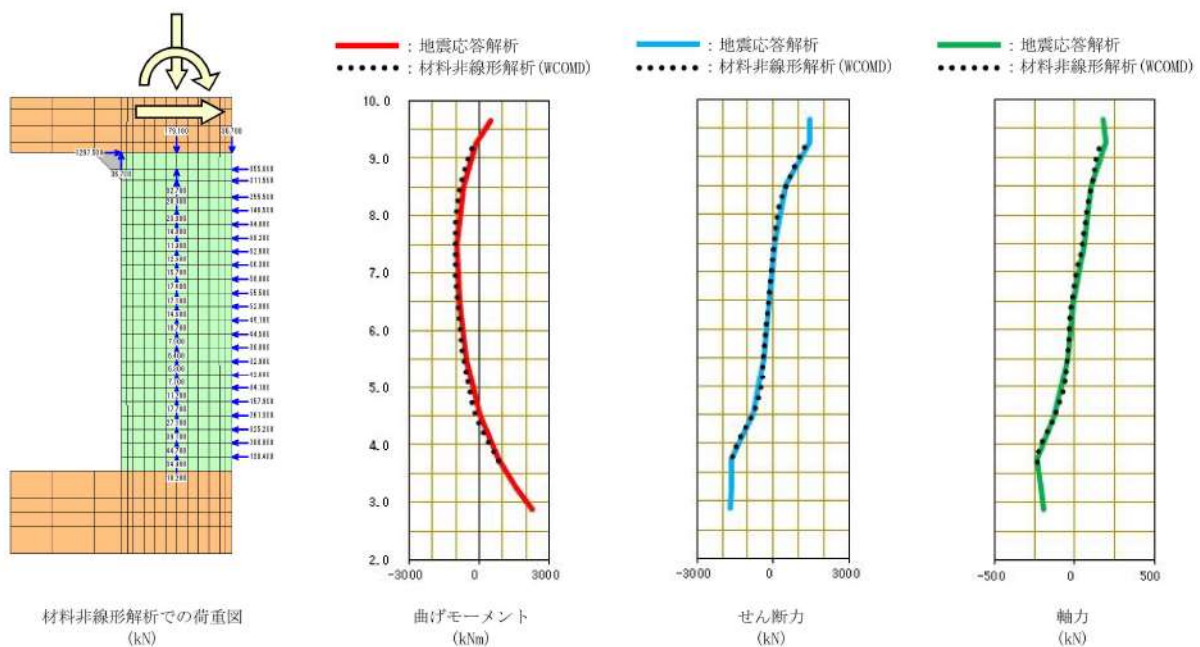
#### 4.2.2 荷重条件

##### (1) ケース②-1の荷重条件

荷重は、構造物-地盤連成の二次元有限要素解析による地震応答解析から得られる断面力を用いる。具体的には、取水ピットスクリーン室をモデル化した地震応答解析から得られる断面力分布（曲げモーメント、軸力、せん断力）を再現できる荷重を材料非線形解析モデルに作用させる。添付 2-9 図に示す断面力分布より、材料非線形解析に作用させる荷重が地震応答解析の応答断面力を良好に再現できていることがわかる。

材料非線形解析では、鉄筋コンクリートの非線形特性を考慮するため、荷重を 1/100 にしたものを漸増载荷する。

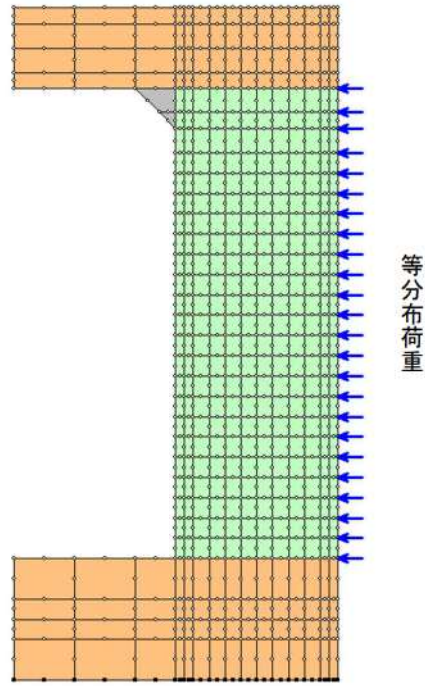
なお、荷重ケースについては、ケース①と同様に Ss3-4 を対象とする。



添付 2-9 図 荷重図及び断面力分布

(2) ケース②-2の荷重条件

破壊形態が斜め引張破壊となるように、等分布荷重を材料非線形解析モデルの各節点に作用させるものとする。載荷図を添付 2-10 図に示す。



添付 2-10 図 載荷図

4.2.3 破壊判定基準

4.1.3 に準じて設定する。

4.2.4 解析結果

追而

5. まとめ

追而



## 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 3-1 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 3-1 図に示す。

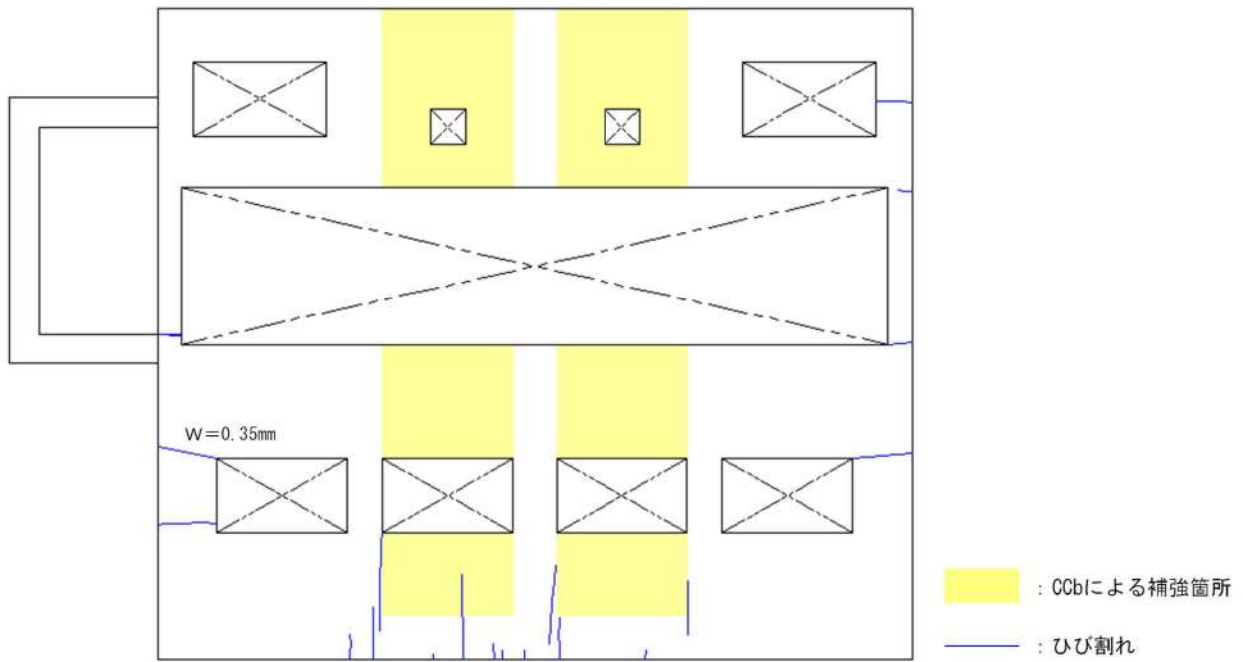
Ccb の施工箇所周辺に生じているひび割れは、最大でも 0.35mm 程度であり、主に乾燥収縮によるひび割れであることから、構造物の耐力に影響を与えるものではない。

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 3-1 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 3-1 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 3-2 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 3-2 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。