

・強度試験

発電所側壁面の3箇所で、シュミットハンマーで強度を調べた。その結果、26～30N/mm<sup>2</sup>程度の強度があり、設計基準強度（24N/mm<sup>2</sup>）より大きい。ただし、この結果は表面補修部分の強度である。

・はつり試験

コア採取位置で、中性化および鉄筋の腐食状況を調べた。コア採取位置でフェノールフタレインを噴霧したところ呈色現象が得られたため、中性化が進展していないことが分った。また、前述したように表面から10cm位置にあるメッシュ筋および母材内の主筋（かぶり25cm）のどちらも錆びが生じていない。ただし、今回コアを採取した位置は、ひび割れがない場所であり、ひび割れ位置における鉄筋の腐食状況については確認していない。

③ 劣化原因の推定

以下に示す調査結果から、変状の原因はアルカリ骨材反応と考えられる。ただし、残存膨張量試験およびアルカリ量試験結果から、アルカリ骨材反応の今後の進展の可能性は低いことが分かった。

- ・表面補修を実施した面で、ランダムな亀甲状のひび割れ、白色析出物が見られる。
- ・屋上の施工継目位置で、コーキング材のはみ出しが見られた。
- ・骨材の種類は花崗岩および花崗片麻岩であった。
- ・コア面にある骨材の一部からゲルの浸出や周辺に白色析出物が見られた。

## 2.4 調査・診断技術の紹介

コンクリート構造物の健全性を評価するための調査・診断の項目および一般的な手法を表-2.4.1に示す。調査・診断の項目は、コンクリート構造物に発生している変状の種類や調査・診断の目的に応じて適切な組合せを選定する必要がある。

表-2.4.1 調査・診断の項目と手法

	項 目	調査・診断手法
調 査	構造物の外観	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視調査</li> <li>デジタルカメラ</li> </ul>
	コンクリート圧縮強度	<ul style="list-style-type: none"> <li>反発度法による推定</li> <li>コア強度</li> <li>局部破壊試験による推定</li> </ul>
	ひび割れ・はく離・空洞	<ul style="list-style-type: none"> <li>サーモグラフィ</li> <li>弾性波</li> <li>アコースティック・エミッション (AE)</li> <li>電磁波レーダ</li> <li>その他</li> <li>超音波法、赤外線法</li> </ul>
	鉄筋位置・かぶり深さ・埋設物	<ul style="list-style-type: none"> <li>電磁誘導</li> <li>電磁波レーダ</li> <li>X線</li> </ul>
	コンクリート配合・化学成分	<ul style="list-style-type: none"> <li>配合推定試験</li> <li>走査電子顕微鏡 (SEM)</li> <li>電子線マイクロアナライザ (EPMA)</li> </ul>
	鉄筋腐食	<ul style="list-style-type: none"> <li>中性化深さ</li> <li>塩化物イオン含有量</li> <li>鉄筋腐食量</li> <li>自然電位</li> <li>分極抵抗</li> <li>電気抵抗</li> </ul>
	アルカリシリカ反応	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルカリ量</li> <li>骨材のアルカリシリカ反応性</li> <li>アルカリシリカゲル</li> <li>残存膨張量</li> </ul>
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>光ファイバを利用したモニタリング</li> <li>3D スキャナによる変状調査</li> <li>遠隔操作無線探査機による診断システム</li> <li>小径孔を利用した内部診断技術</li> </ul>
診 断	中性化の劣化予測	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\sqrt{t}</math> 則による鉄筋腐食開始時期の予測</li> </ul>
	塩害の劣化予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>フィックの拡散方程式による鉄筋腐食開始時期の予測</li> </ul>
	アルカリシリカ反応の劣化予測	—
	凍害の劣化予測	—
	化学的侵食の劣化予測	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\sqrt{t}</math> 則の適用による侵食深さの予測など</li> </ul>
	疲労の劣化予測	—
	風化・老化の劣化予測	—
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>音波を用いた探査技術</li> </ul>

表-2.4.1 に示した調査・診断の項目に対して、電力土木構造物の調査・診断、補修・補強に関するアンケート（巻末資料）で収集された調査・診断技術を整理した結果を表-2.4.2 に示す。また、表-2.4.2 の調査・診断技術の概要について次ページ以降に示す。

表-2.4.2 アンケートで収集した調査・診断技術

項目	調査・診断技術	巻末資料	
構造物の外観	—		
調査	コンクリート圧縮強度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトコアリングシステム</li> <li>・改良プルオフ法</li> <li>・背面高水圧躯体貫通型サンプリング</li> <li>・孔内局部載荷試験</li> </ul>	No. 45, 46 No. 3 No. 37 No. 41
	ひび割れ・はく離・空洞	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート表面のひび割れ幅評価方法</li> <li>・ひび割れ画像処理技術「t-WAVE」</li> <li>・非破壊検査システム「オーリス」</li> <li>・弾性波計測・AE 計測</li> <li>・打音調査診断システム</li> <li>・コンクリート打音診断装置</li> <li>・健コン診断ポータブル</li> <li>・コンクリートの圧縮破壊を推定する方法</li> <li>・ひび割れ計測システム KUMONOS</li> <li>・赤外線画像と可視画像による診断 HIVIDAS</li> </ul>	No. 5 No. 40 No. 1, 2 No. 4 No. 38 No. 6 No. 39 No. 7 No. 32 No. 35
	鉄筋位置・かぶり深さ・埋設物	—	
	コンクリート配合・化学成分	・X線CT法による硬化コンクリートの物性評価	No. 44
	鉄筋腐食	—	
	アルカリシリカ反応	—	
	その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光ファイバによる構造物モニタリングシステム「OSMOS：オスモス」</li> <li>・FBG 光ファイバセンシング技術による構造物健全性監視</li> <li>・3D スキャナによる変状調査</li> <li>・遠隔操作無人探査機による水中構造診断</li> <li>・小径孔による内部診断（棒状スキャナ）</li> </ul>	No. 43 No. 42 No. 33 No. 34 No. 36
診断	中性化の劣化予測	・ニューラルネットワークによる鉄筋腐食進行予測	No. 48
	塩害の劣化予測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ニューラルネットワークによる鉄筋腐食進行予測</li> <li>・鋼・コンクリート複合栈橋の LCC 評価システム</li> </ul>	No. 48 No. 49
	アルカリシリカ反応の劣化予測	—	
	凍害の劣化予測	—	
	化学的侵食の劣化予測	・ニューラルネットワークによる鉄筋腐食進行予測	No. 48
	疲労の劣化予測	—	
	風化・老化の劣化予測	—	
その他	・音波を用いた大深度地中探査技術	No. 47	

## (1) コンクリート圧縮強度

### ① ソフトコアリングシステム

比較対象技術：直径 100mm のコンクリートコアを採取して強度試験をする方法

技術の概要：既存構造物から直径 20mm～25mm 程度の小径コアを採取した後、所定加工した試験体で圧縮強度試験を行い、あらかじめ定めた実験式を用いて補正することにより、構造体コンクリート圧縮強度を推定する調査技術。建築構造物で適用する [ソフトコアリング] と土木構造物で適用する「ソフトコアリング C+」がある。主要構造部材から採取しても耐力上の問題が少ない、過密配筋でも鉄筋を切断しない、コア採取と採取跡の補修が容易など、構造体に与える影響を極めて軽微に調査できる優れた特徴がある。この技術を精度良く実施するためには、採取方法・養生方法・切断・端面加工・載荷試験方法等に多くの注意事項があり、ソフトコアリング協会の講習を受けた有資格者が実施する必要がある。

詳細情報：巻末資料 No. 45 ソフトコアリング C+、

巻末資料 No. 46 小径コアによる強度調査方法「ソフトコアリングシステム」



φ100 コアとφ25 小径コア



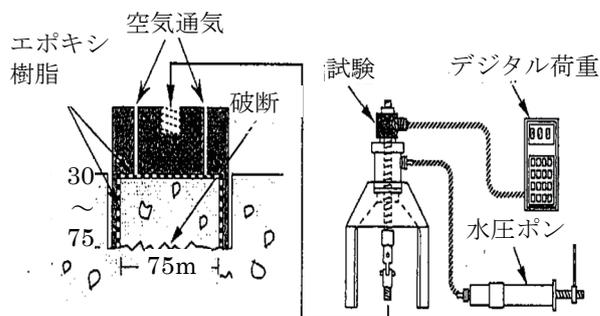
採取コア径の比較

### ② 改良プルオフ法

比較対象技術：JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法 他

技術の概要：改良プルオフ法はコンクリート表層に設けたコアスリットに、コアスリットの深さと同じ深さのパイプ型円形鋼片をエポキシ樹脂で接着し、鋼片末端でコンクリートを引張破断させ、コンクリートの圧縮強度を推定する方法である。

詳細情報：巻末資料 No. 3 ダム表層部の強度確認試験方法（改良プルオフ法）



改良プルオフ法の構成概要



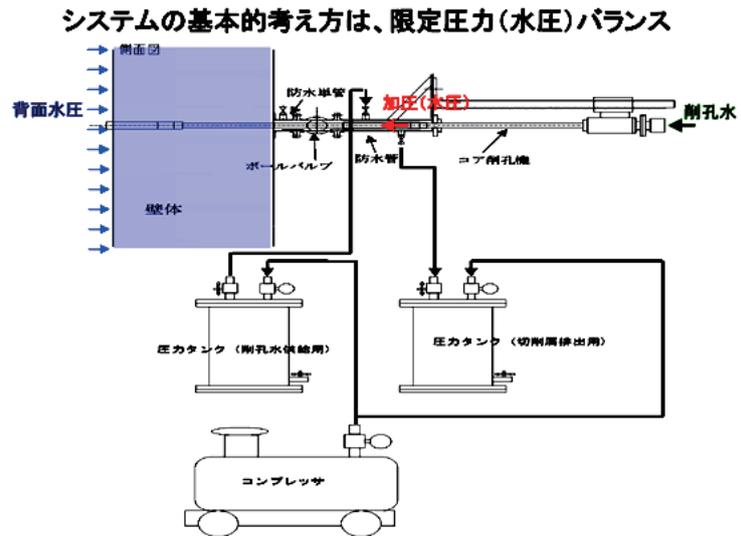
改良プルオフ法の試験状況

### ③ 背面高水圧躯体貫通型サンプリング

比較対象技術：(独自技術 他)

技術の概要：背面水圧躯体貫通型サンプリングは、防水管を設置して地下水圧に相当する与圧をかけた中で、コアボーリングにより試料を採取する。水圧バランスによる地下水流入を抑制し、短時間の止水（薬注による）により断面修復が可能である。当工法の使用により、鉄筋コンクリートの全部材厚の劣化状況調査および部材背面側からの劣化因子浸入状況を確認できる。

詳細情報：巻末資料 No. 37 背面高水圧躯体貫通型サンプリング



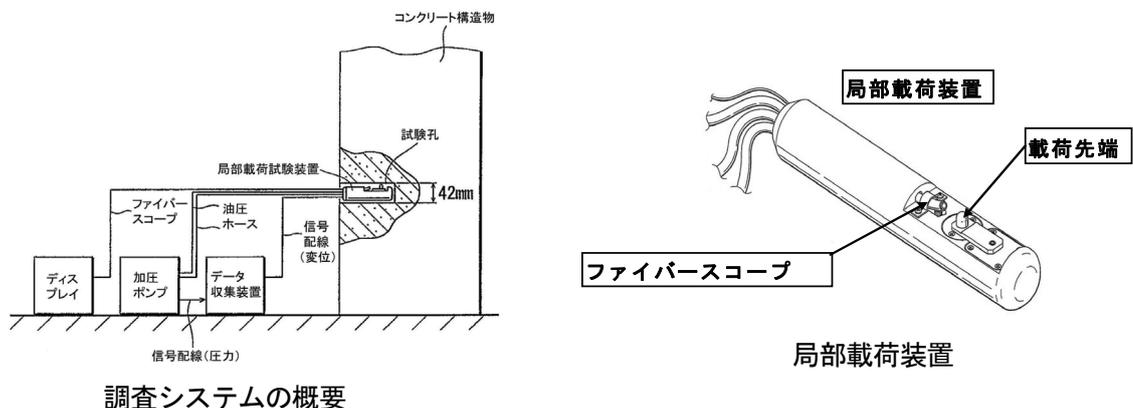
### ④ 孔内局部載荷試験

比較対象技術：JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法 他

技術の概要：孔内局部載荷試験は、コンクリート表面から任意の深度における圧強強度や弾性係数等を定量的かつ迅速に評価することを目的として開発した新しい試験である。電力施設等のコンクリート構造物の劣化範囲（深さ）を定量的かつ迅速に評価・判定することによって圧縮強度等の推定が可能になり、補修コストを最小限に抑えた適切な維持管理を実現する。特徴として、

- ・電力既設構造物の任意の深度における圧縮強度や弾性係数等の計測が可能。
- ・装置を小型化したことで持ち運びが容易で、操作も簡単。
- ・劣化範囲を定量化し、適切な補修範囲の判定が可能。
- ・構造物の補修範囲（深さ）を細かく定められるので補修コストの低減が図れる。

詳細情報：巻末資料 No. 41 孔内局部載荷試験



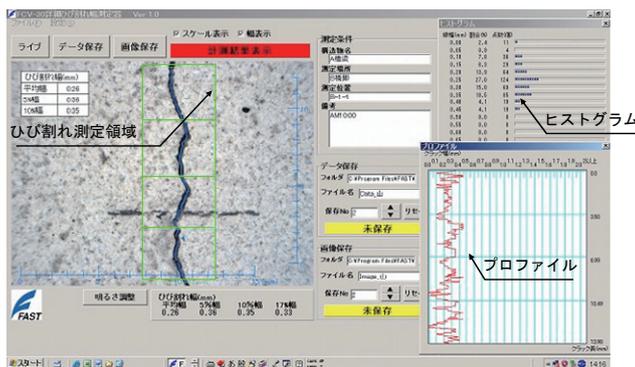
## (2) ひび割れ・はく離・空洞

### ① コンクリート表面のひび割れ幅評価方法

比較対象技術：クラックスケール

技術の概要：コンクリート構造物の表面に発生するひび割れの評価方法として、カメラをひび割れに直接あてがい詳細なひび割れ幅を測定する方法、デジタルカメラで撮影した画像からひび割れを自動抽出するソフトウェア。ひび割れ幅測定器は、長さ15mm程度の幅を多数点測定し、測定単位0.01mmで表示できる。ひび割れ抽出ソフトウェアでは、デジタル画像の合成とひび割れの自動抽出ができる。

詳細情報：巻末資料 No.5 コンクリート表面のひび割れ幅評価方法



測定中のパソコン表示画面



測定状況

### ② ひび割れ画像処理技術「t-WAVE」

比較対象技術：(独自技術 他)

技術の概要：コンクリート表面に発生したひび割れをデジタルカメラで撮影し、ウェーブレット変換を用いた画像処理を行うことで、ひび割れを効率的、高精度に検出・定量化できる。その特徴は以下のとおりである。

- ・800万画素のデジタルカメラを用いて、1枚あたり2.3×1.5mと0.9×0.6mの範囲を撮影。
- ・撮影画像の画質を調整することにより、広範囲における一定幅以上のひび割れ分布を把握したい場合や、局所的なひび割れの幅の経時変化を把握したい場合など、用途に応じた効率的な画像処理が可能。
- ・画素の明るさ(輝度)を用いたひび割れ画像解析では撮影画像の画像分解能とほぼ同じ幅のひび割れを検出することが限界であるが、ウェーブレット変換を用いた画像処理技術では、1画素が0.3mm角に相当する画質であれば幅0.1mmの微細なひび割れが検出できる。

詳細情報：巻末資料 No.40 t-WAVE (ウェーブレット変換を用いたひび割れ画像処理技術)

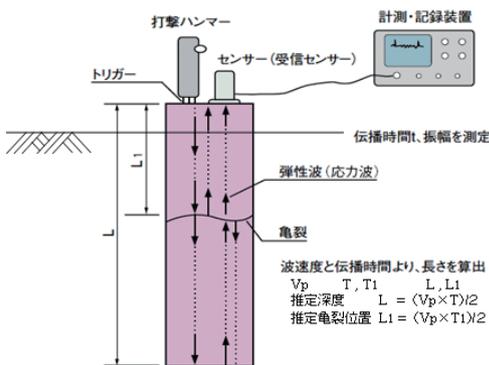


### ③ 非破壊検査システム「オーリス」

比較対象技術：衝撃弾性波法（反射法）

技術の概要：本調査技術は、衝撃弾性波法に分類される非破壊試験法である。反射法によって高周波帯域の弾性波を選択検知することで、地震等で生じた杭やコンクリート構造物に生じた微細なひび割れや杭等の先端部で生じる反射波を確率良く検知することができる。また、透過法や表面2点法によって高周波帯域の透過波を選択検知することで、劣化に起因する伝播速度値の経年低下や各部位での伝播速度値の違いを精度良く計測することで診断・評価ができる。探査対象はコンクリート構造物、基礎杭やグラウンドアンカー、岩盤亀裂等へ幅広く適用できる。

詳細情報：巻末資料 No. 1, 2 オーリス（非破壊探査システム）による調査事例



探査原理図



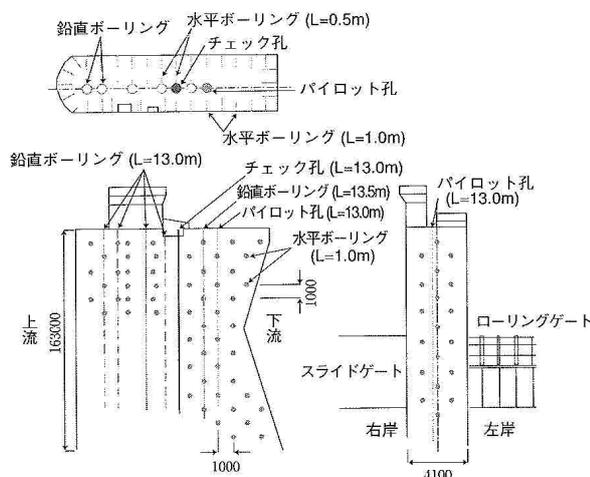
探査状況

### ④ 弾性波計測・AE計測

比較対象技術：(独自技術 他)

技術の概要：弾性波計測は、ピア全体の健全性を速度構造として評価できる手法であり、適用事例ではグラウト材の充填効果による弾性波速度増加を期待して採用した。AE計測は弾性波計測で評価できないひび割れの性状の把握を目的に実施した。

詳細情報：巻末資料 No. 4 弾性波計測, AE計測による老朽化コンクリート構造物の補修改良効果の検証



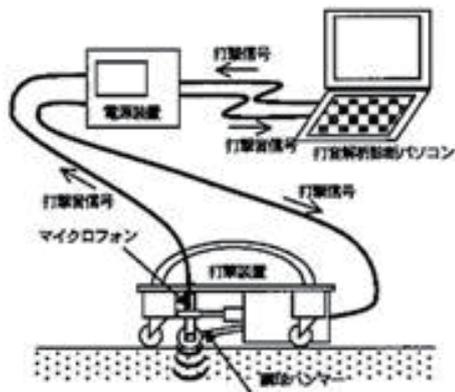
施工概要図

### ⑤ 打音調査診断システム

比較対象技術：人力による打音調査

技術の概要：打音調査診断システムは、打撃装置のハンマーでコンクリート表面を打撃し、発生した打撃音をマイクロフォンで測定し、解析パソコンによる打撃音の解析からはく離、内部空洞などの欠陥の検知をリアルタイムに行う。欠陥検知の方法は、マイクロフォンで収録した打撃音の周波数スペクトルにおいて、欠陥によって生じる特異なピーク周波数の有無による判定（周波数判定法）と、パワースペクトルの積分の大きさを判定（エネルギー判定）する2つの診断方法で行っている。

詳細情報：巻末資料 No. 38 打撃音によるコンクリート構造物の浮き・空洞の調査・診断システム（打音調査診断システム）



打音調査診断システムの構成



打音調査診断システムの適用

### ⑥ コンクリート打音診断装置

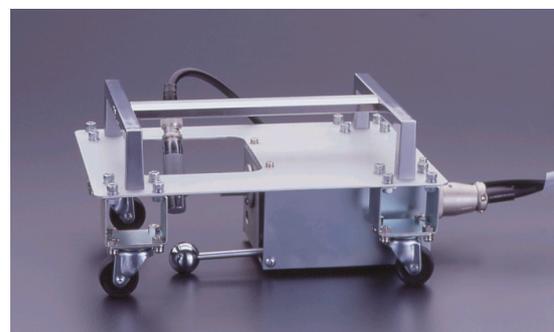
比較対象技術：各種打音調査による診断技術

技術の概要：本試験装置は、一定の力でコンクリートを叩く自動打撃装置と、マイクロホンで集音した打撃音の周波数解析から欠陥の有無を判定する打音診断装置で構成されており、打音検査を定量的に行うことができる。小型軽量でバッテリー駆動のため、野外においても簡単に打音検査が出来る。

詳細情報：巻末資料 No. 6 コンクリート打音診断装置



打音診断装置



自動打撃部

⑦ 健コン診断ポータブル

比較対象技術：赤外線法

技術の概要：本技術は、打音法を利用したコンクリート表層部の健全性を評価するシステムである。

打音法は従来の叩き点検と異なり、ハンマーで叩いた音をマイクロホンで録音し、分析評価する手法のため、経験に頼らずに客観的な結果が得られ、さらに探査性能も向上している。打音法については、日本非破壊検査協会の基準NDIS2426-3になっている。

詳細情報：巻末資料 No. 39 健コン診断ポータブル

☆健コン診断の測定原理☆

～曲げ振動に着目～

曲げ振動

部材が薄い場合：曲げ振動が起きやすい

部材が厚い場合：曲げ振動が起こりにくくなる

- 打撃力を検出できるインパルスハンマーを使用し、周囲の騒音をさえぎるフード付きマイクロホンで打撃時に発生する曲げ振動を音で捉えます。
- 曲げ振動の大きさから、内部欠陥までの深さや部材厚さを評価できます。なお、通常20cm程度まで正確に検知できます。
- 打撃力振幅値 (Fmax) で打撃音振幅値 (Pmax) を正規化することにより定量的かつ客観的に評価を行い、測定値を算出します。

☆健コン診断の適用事例☆

○トンネル

覆工健全性調査（はく離、内部空洞）

施工上の不具合調査（コールドジョイント、巻き厚不足）

鉄管背面の空隙調査など

○橋梁

床版内の欠陥調査（増し厚部分のはく離）

合成床版における鋼板背面のはく離調査

ピアの表面補修箇所のはく離調査など

○一般土木構造物

R/C構造物の鉄筋腐食によるはく離調査など

○一般建築構造物

土間コンクリート空洞調査など

欠陥イメージ図

☆健コン診断を用いた測定フロー☆

調査位置におけるメッシュ作成

メッシュ格子点を打撃

測定値を表示

打撃と同時にデータ収録（出力画面）

測定結果の等高線処理（コンター図、単位：mm）

⑧ コンクリートの圧縮破壊を推定する方法

比較対象技術：(独自技術 他)

技術の概要：地中構造物において地震によりコンクリート構造物にひび割れとコンクリートの圧縮破壊した部分が生じた。実験により超音波法の有効性を確認して、圧縮破壊の程度およびその範囲を超音波法により明らかにした。

詳細情報：巻末資料 No.7 コンクリートの圧縮破壊を推定する手法

6号9ブロック-隔壁上端-②  
 絶対層間変形角=15.5/1000  
 相対層間変形角=19.6/1000



測定状況

