

## 運用開始後約40年経過したPC構造の調圧水槽に関する健全性調査報告

(株)日本ピーエス 正会員 ○立石 陽輝  
 (株)日本ピーエス 正会員 栗原 勇樹  
 (株)日本ピーエス 中谷 光希  
 中部電力(株) 上松 泰介

キーワード：場所打ちPC造調圧水槽，健全性調査，広帯域超音波法，コア応力解放法

### 1. はじめに

今回調査を行った水力発電所調圧水槽は、地下部分が鉄筋コンクリート構造，地上部分がプレストレストコンクリート（以下、PCと称す）構造であり、国内最大規模の水力発電所調圧水槽である。この調圧水槽は、標高850mと比較的高い山頂に立地し、冬季の最低気温は-20℃に達するような過酷な環境下において約40年もの間運用されていることから、本調圧水槽の健全性評価を行うこととなった。

ただし、PC構造の調圧水槽においては、健全性の評価方法が確立されていないため、コンクリート特性およびPC鋼材特性に関する調査を行い、本調圧水槽の健全性を評価している。

本稿では、これらの調査結果について報告する。

### 2. 調査内容

#### 2.1 調査対象構造物の概要

今回調査を行った調圧水槽の構造諸元を表-1に、側面図を図-1に、全景写真を写真-1に示す。なお、今回の調査は、場所打ちPC造である地上部を対象に行った。

表-1 構造諸元

構造形式	地下部	場所打ちRC造
	地上部	場所打ちPC造
構造高	地下部	19.2m
	地上部	55m
内径	17.8m~16.6m	
壁厚	1.8m~0.5m	
PC鋼材	円周方向	1T21.8 (シース：φ35mm)
		12φ8 (シース：φ50mm)
		12T12.4 (シース：φ65mm)
		12T12.7 (シース：φ65mm)
	鉛直方向	φ32B (シース：φ45mm)
		12T15.2 (シース：φ81mm)
コンクリート	29.4N/mm <sup>2</sup> ~ 35.3N/mm <sup>2</sup>	

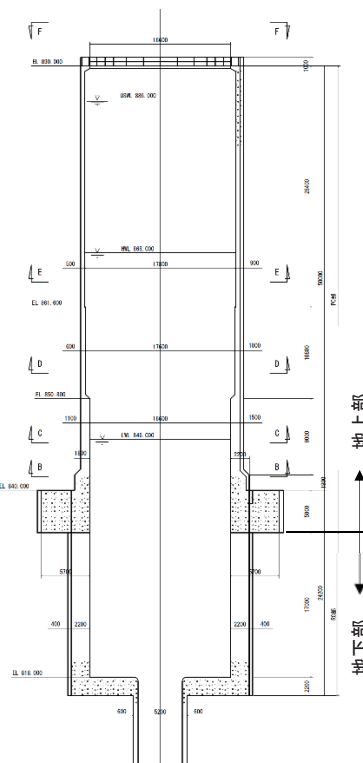


図-1 構造物側面図

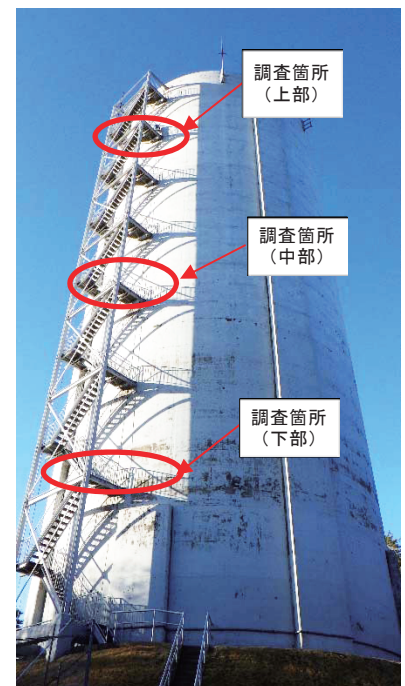


写真-1 全景写真

## 2.2 調査内容

今回は、調圧水槽が運用中であることを考慮し、非破壊および微破壊にて調査を行った。また、調査用の足場は設けず、既設の昇降階段を利用して行うこととした。調査フローを図-2に示す。

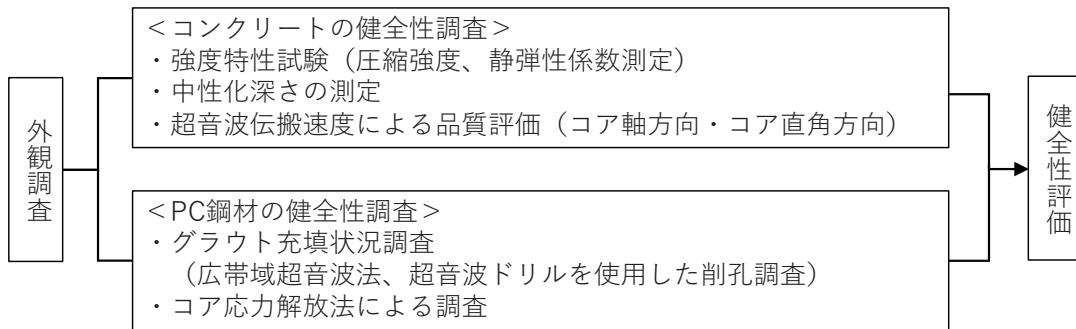


図-2 調査内容、調査フロー

## 3. 調査結果

### 3.1 外観調査

コンクリート塗装に関しては、約40年が経過していることもあり、劣化（膜厚の減少）が進行していた。また、打継部周辺には水平方向のひび割れがみられた。ただし、0.1mm程度と微細なものであり、本調圧水槽の耐久性に大きな影響をおよぼすものではないと判断できる状態であった。

### 3.2 コンクリートの健全性調査

#### (1) 強度特性試験

圧縮強度の平均値は65.4 N/mm<sup>2</sup>であり、設計基準強度（350 kg/cm<sup>2</sup>）を大きく上回った。また、静弾性係数については、平均で3.57×10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>であり、コンクリート標準示方書【設計編】に記載されている圧縮強度と静弾性係数の関係に整合した値となった。

#### (2) 中性化深さの測定

中性化深さは最大値で1.5mm程度であり、ほとんど中性化は認められなかった。運用開始時点からコンクリート塗装が施されていたため、中性化がほとんど進行しなかったのではないかと考えられる。

#### (3) 超音波伝搬速度による品質評価

本調圧水槽の超音波伝搬速度の測定結果を表-2に示す。超音波による測定は採取したコアに対し透過法で行い、得られた伝搬速度より品質の評価を行っている。超音波伝搬速度は、すべての測点でASTMにて提案されている品質評価基準の「良」以上に分類された。この結果より、本調圧水槽の密実性は高い水準にあると考えられる。

また、本調圧水槽が過酷な環境条件下で運用されていることから、コア表面から深さ方向に20mm刻みで超音波伝搬速度の測定を行い、表面側と中心側の結果を比較することで、凍害の影響を確認した。表面側と中心側の伝搬速度の比較結果を表-3に示す。ほとんどのコアにおいて、中心側に比べ表面側の伝搬速度が数%程度遅い傾向にあることが確認されたが、計測された伝搬速度がすべて4000m/sec（健全なコンクリートの一般的な伝搬速度）以上であったことから、凍害の影響はほとんどなく、健全であると判断した。

表-2 超音波伝搬速度の測定結果

採取箇所	コアNo.	伝搬速度 (m/sec)	平均 (m/sec)	品質
上部	1	4547	4568	良
	2	4546		
	3	4612		
中部	1	4630	4518	良
	2	4523		
	3	4402		
下部	1	4650	4617	優
	2	4581		
	3	4621		

表-3 超音波伝搬速度の比較結果

採取箇所 測定位置	上部 (m/sec)	中部 (m/sec)	下部 (m/sec)
1(表面側)	4132	4176	4239
4(中心側)	4262	4227	4404
増加率(%)	3.1	1.2	3.7

(4) コンクリートの健全性評価

塗装の劣化や微細なひび割れは見られたが、各調査結果より、本調圧水槽のコンクリートの品質は40年経過した現在においても維持されていると推察される。

3.3 PC 鋼材の健全性調査

本調圧水槽は地上部分がPC構造であるため、PC鋼材の健全性調査（グラウト充填状況の確認、有効プレストレスの推定）を実施し、評価を行った。

(1) グラウト充填状況調査

円周方向および鉛直方向のPC鋼材に対し、非破壊および微破壊によるグラウト充填調査を行った。鉛直方向のPC鋼材の位置が図面上230mmと深かったため、非破壊のグラウト充填調査には、適用範囲が比較的広い広帯域超音波法を採用した。また、微破壊のグラウト充填調査の削孔には、PC鋼材への影響を極力小さくできる超音波ドリルを採用した。各調査状況を写真-2、3に、調査結果を表-4、5に示す。

円周方向のPC鋼材では、各部位（上部、中部、下部）に対し2本ずつ、計6本6箇所ですべての箇所で行い、すべての箇所ですべての箇所で充填の判定となった。そのうち3箇所ですべての箇所で削孔確認も行ったが、すべての箇所ですべての箇所でグラウトが充填されていた。

鉛直方向のPC鋼材では、4本のPC鋼材に対し、上下2箇所ずつ計8箇所ですべての箇所で行い、3箇所ですべての箇所ですべての箇所で充填不良を確認した。しかし、約40年経過しているにもかかわらず、表面の点錆程度の腐食状況であったことから、早急に構造物の健全性に影響を与えるものではないと考えられる。



写真-2 調査状況（広帯域超音波法）



写真-3 調査状況（削孔調査）

表-4 広帯域超音波法によるグラウト充填調査結果および削孔結果（円周方向）

探査箇所	探査箇所数	探査箇所名	WUT結果	削孔結果
円周方向	上部	H1	○	
		H2	○	○
	中部	H3	○	
		H4	○	○
	下部	H5	○	○
		H6	○	

○：充填判定  
 △：充填不良の可能性有  
 ×：充填不良

表-5 広帯域超音波法によるグラウト充填調査結果および削孔結果（鉛直方向）

探査箇所	探査箇所数	探査箇所名	WUT結果	削孔結果
鉛直方向	上部	V1	×	×
		V2	○	
		V3	△	×
		V4	○	○
	下部	V1	△	×
		V2	△	○
		V3	○	
		V4	○	

○：充填判定  
 △：充填不良の可能性有  
 ×：充填不良

(2) コア応力解放法による調査

円周方向および鉛直方向の応力推定を行うため、コア切込みによる残存プレストレス推定手法により有効プレストレスの推定を行った。本方法は、応力を推定する方向と直交する方向の解放ひずみを使って内部拘束によるひずみ成分の大半を消去する方法である。本調圧水槽のプレストレスは、比較的小さいものであり、計測される解放ひずみに対して、内部拘束ひずみの与える影響が大きいと予想されたため、本方法を選定した。なお、本方法はプレストレスが1方向のみに作用していることが適用条件であるが、本調圧水槽のように、円周方向および鉛直方向の2方向にプレストレスが作用している場合でも、片方のプレストレスが既知であれば、もう一方のプレストレスを推定できるため、片方のプレストレスは設計どおり作用しているものとして、もう一方の有効プレストレスを推定している。推定結果を表-6に示す。

表-6 円周、鉛直方向の有効プレストレスの推定結果

推定したプレストレスの方向	解放ひずみ				推定歪 <sup>※2</sup> ∠ε <sub>ye</sub> (×10 <sup>-6</sup> )	有効応力 (自重、プレ、水) N/mm <sup>2</sup>			自重 N/mm <sup>2</sup> 設計	水圧 N/mm <sup>2</sup> 設計	有効プレストレス N/mm <sup>2</sup>		
	Y (×10 <sup>-6</sup> )	X (×10 <sup>-6</sup> )	補正 <sup>※1</sup> (×10 <sup>-6</sup> )	Y-X+補正 (×10 <sup>-6</sup> )		設計	推定	差			設計	推定	差
	円周方向	-121 (周方向)	-66 (鉛直方向)	-80	-135	-127	5.17	4.34	-0.83	0	-0.82	5.99	5.16
鉛直方向	-66 (鉛直方向)	-121 (周方向)	-162	-107	-95	2.42	3.23	0.81	0.88	-0.16	1.7	2.51	0.81

※1 補正歪：設計とおり作用していると仮定したプレストレスによって生じる歪  
 ※2 推定歪：Y-X+補正から乾燥収縮およびクリープの鋼材による拘束応力歪を差し引いた歪  
 (コンクリートに生じているすべての応力歪から内部拘束歪を分離した歪)

鉛直方向のプレストレスが設計どおり作用しているとして推定した水平方向の有効プレストレスは5.16N/mm<sup>2</sup>であり、設計値より約0.8N/mm<sup>2</sup>小さい結果となった。ただし、この差については設計値を円周方向同様として設定しており、定着部付近に発生する局所的な応力が反映できていないこと、補強鉄筋の影響を推定値の計算内に織り込めなかったことに加え、本手法の計測誤差を考慮すれば妥当な範囲であると考えられる。さらに、円周方向のPC鋼材についてはグラウトが充填されていたことや緊張力の低下が疑われるひび割れも発生していないことから、緊張力の減少はないと推察される。

また、円周方向のプレストレスが設計どおり作用しているとして推定した鉛直方向の有効プレストレスは2.51N/mm<sup>2</sup>であり、設計値より約0.8N/mm<sup>2</sup>大きい結果となった。この結果も本手法の計測誤差を考慮すれば妥当な範囲であると考えられ、推定結果の+傾向を定性的にとらえれば、緊張力の減少はないと推察される。

(3) PC 鋼材の健全性評価

グラウトの充填不良個所が数箇所確認されたが、PC 鋼材の腐食状況は表面の点錆程度であったことや、緊張力の低下もほとんど確認されなかったことから、本調圧水槽のPC 鋼材の健全性は40年経過した現在においても維持されていると推察される。

4. まとめ

コンクリートの健全性調査およびPC鋼材の健全性調査結果より、本調圧水槽は、約40年が経過した現在においても当初の性能が維持されていると推察される。

なお、今回の調査によってグラウトの充填不足箇所も確認されていることから、今後の日常点検、定期点検などにおいて新たな外観の変状などに注視していくことが必要である。

また、今回の調査では適用範囲が広い広帯域超音波法を採用したが、壁厚やかぶりによっては調査できない部分もあった。このため、健全性評価の精度向上を目指すためにも、非破壊調査のさらなる適用範囲拡大を図っていきたいと考えている。