

# 経年 79 年のコンクリート構造物の品質調査結果

東日本旅客鉄道(株) 新井 祐太  
 東日本旅客鉄道(株) 永井 新悟  
 ㈱八洋コンサルタント 高橋 幸一

## 1. はじめに

当社が維持管理する構造物に、写真1および図1に示す経年79年を迎える水車発電設備がある。本発電設備は、5基の水車発電機と、それを支えるコンクリート構造物から構成される。コンクリート構造部分は、水車発電機の荷重を支持するアーチ梁部と、水流により水車を回転させる流路(ケーシング)周りに充てんされているケーシング部の2つから構成されている。本コンクリート構造物は屋内にあるため雨水の影響は受けない環境下にあるものの、79年を経過することから、コンクリートの品質調査を実施し、現在の健全性を確認するとともに、将来の中性化深さの進行予測も実施した。以下に、今回実施した品質調査試験の一部とその考察を述べる。

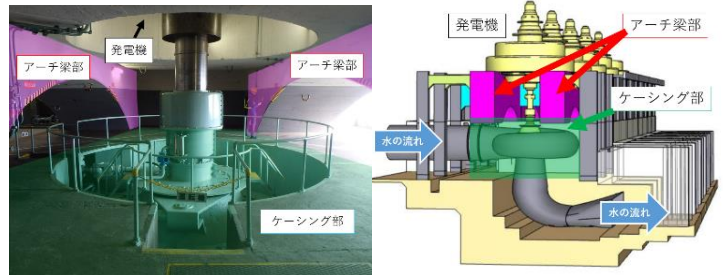


写真1 対象構造物

図1 位置関係

## 2. 調査内容

### 2.1. 調査対象箇所

調査対象箇所は図2のように、後述するコンクリートテスターによる打撃試験を除き、アーチ梁部から3箇所、ケーシング部から3箇所である。アーチ梁部のNo.1~No.3はアーチ梁部の側面で、ケーシング部上面から高さ1.0~1.5m程度の位置である。ケーシング部のNo.4~No.6では、ケーシング部上面から調査を行なった。

### 2.2. 調査項目

調査内容を表1に示す。配合推定及び共鳴振動試験は採取したコアを用いて行ない、コア採取後の穴で中性化深さを計測した。打撃試験(コンクリートテスター)、反発硬度法は非破壊である。以下に、調査方法の概要を示す。

#### ① 中性化深さ

中性化深さの測定は、コア採取をした穴を用いて行なった。採取後の穴を流水で洗浄し、乾燥後にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、コンクリートの躯体表面から赤紫色に変色した位置までの無発色域を中性化深さとして、スケールを用いて測定した。1穴について約45°ごとの位置で測定し、平均値を各穴の中性化深さとした。

#### ② 配合推定

配合推定は、セメント協会コンクリート専門委員会報

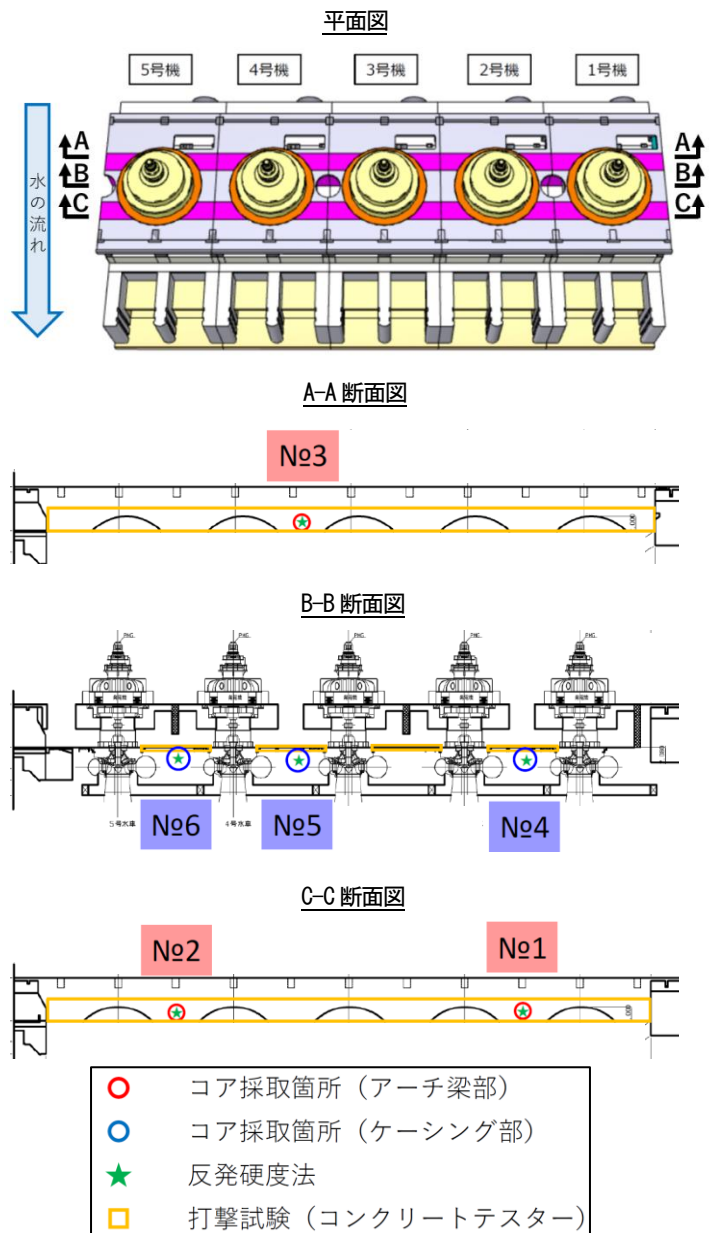


図2 調査箇所

表 1 調査内容

検査種別	調査内容	アーチ梁部	ケーシング部
破壊	①中性化深さ（コア採取後の穴）	○	○
	②配合推定（コア）	○	○
非破壊	③圧縮強度	共鳴振動試験（コア）	○ ※No.4のみ
		打撃試験	×
		反発硬度法	×

告 F-18<sup>1)</sup>によって行なった。採取したコアに吸水と乾燥を行ない、乾燥単位質量を求める。また、コアを粉砕し、希塩酸を加えることでセメント成分を分解する。このようにして骨材とセメントを分離し、配合推定を行なった。

③ 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度は、粗骨材の最大寸法が 85mm を超える大きさだったため、次の 3 つの方法で測定した。

(ア) 共鳴振動試験

写真 2 のように、コアの断面を研磨し、短柱状に整え、JISA 1127:2010 に示す方法で動弾性係数を求め、静弾性係数に換算<sup>2)</sup>したのちに、式(1)<sup>3)</sup>で圧縮強度を推定した。なお、No.5 と No.6 はコア採取の際に、粗骨材が大きい骨材界面で剥離が生じ、共鳴振動試験に使用できるコアを採取できなかった。

$$E_c = \left( 2.2 + \frac{f'_c - 18}{20} \right) \times 10^4 \quad f'_c < 30 \text{ N/mm}^2 \quad (1)$$

$$E_c = \left( 2.8 + \frac{f'_c - 30}{33} \right) \times 10^4 \quad 30 \leq f'_c < 40 \text{ N/mm}^2$$

ここで、 $E_c$  : 弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$f'_c$  : 圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

(イ) 打撃試験（コンクリートテスター）

打撃試験は、写真 3 のように、ハンマーで打撃した時の加速度の測定値から、圧縮強度を推定する「コンクリートテスター(CTS-02)」を用いて圧縮強度を推定した<sup>4)</sup>。コンクリートテスターによる測定は、簡易にデータを取得できることから、アーチ梁側面の全面を 50cm 四方のメッシュで区切り、そのメッシュ内を打撃することとした。

(ウ) 反発硬度法

コアを採取した箇所について、リバウンドハンマーによって基準反発度を測定し、圧縮強度を推定した<sup>5)</sup>。なお、測定は水平に行なっている。



写真 2 共鳴振動試験

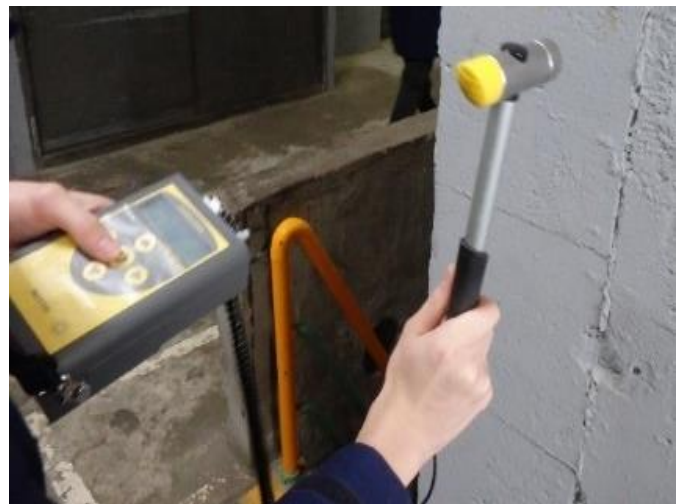


写真 3 打撃試験

3. 調査結果

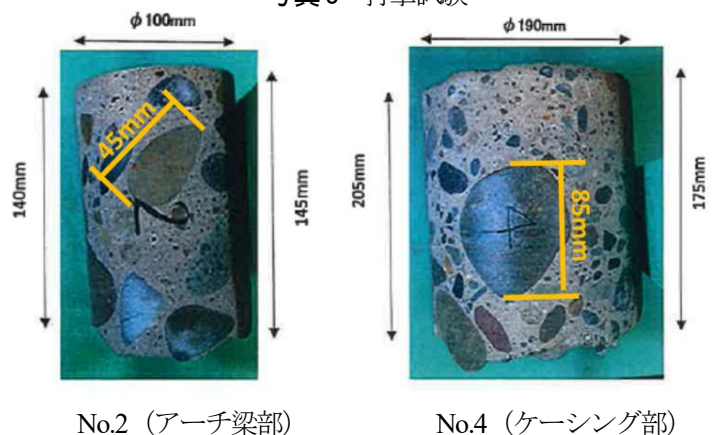
① 中性化深さ（コア採取）

代表的な採取コアを写真 4 に示す。粗骨材のほとんどが玉石で、最大寸法はアーチ梁部で 45mm(No.2)、ケーシング部で 85mm 程度(No.4)であった。

中性化深さを表 2 に示す。アーチ梁部で 15.5~28.0mm、ケーシング部で 53.5~61.5mm となり、ケーシング部の方が 2 倍以上となった。

② 配合推定

配合推定結果を表 3 に示す。水セメント比が、アーチ



No.2（アーチ梁部）

No.4（ケーシング部）

写真 4 代表的な採取コア

梁部では 50~52%，ケーシング部では 62~89%となり，明らかに異なる配合のコンクリートであったと推定される。現代の一般的なコンクリートと比較すると，ケーシング部はセメント量が少なく，水セメント比も大きいことから，用途を考えて配合が決められたと考えられる。

### ③ 圧縮強度

共鳴振動数試験，打撃試験，反発硬度法による圧縮強度を表 4 に示す。打撃試験による圧縮強度の推定値は，コア採取箇所の周囲で同時期に打設されたと思われる範囲の測定値を平均したものである。

以上の実測値の平均値から，アーチ梁部は 25.8~40.6N/mm<sup>2</sup>，ケーシング部は 18.8~30.8N/mm<sup>2</sup> 程度の圧縮強度と推定される。予測値は，圧縮強度と水セメント比との相関から求めた値で，後述の考察にて算出している。

## 4. 考察

### 4.1. 中性化深さ

中性化深さの進行予測は，水セメント比を用いて式(2)により予測するのが一般的である<sup>6)</sup>。そこで，経年 79 年での中性化深さについて，配合推定により推定した水セメント比から算出した予測値と実測値とを比較し，予測値の精度について検証する。

$$y_g = \gamma_{cb} \cdot \alpha_g \cdot \sqrt{t} \quad (2)$$

ここで， $\gamma_{cb}$ ：中性化深さの推定値 $y_g$ のばらつきを考慮した係数。一般に 1.15 である。

$t$ ：設計耐用年数 (年)。ここでは  $t=79$  (年)

$\alpha_g$ ：中性化速度係数の推定値 ( $\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ )

$$\alpha_g = \alpha_k \cdot \beta_e \cdot \gamma_c$$

$\beta_e$ ：環境の影響の程度を表す係数。一般に，1.6 としてよい。

$\gamma_c$ ：コンクリートの材料係数。一般に 1.0 としてよい。ただし，部材の上部等ブリーディングによるコンクリートの品質低下がある部材については 1.3 とするのがよい。

$\alpha_k$ ：中性化速度係数の特性値 ( $\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ )

$$\alpha_k = \gamma_p \cdot \alpha_p$$

$\gamma_p$ ： $\alpha_p$ の精度に関する係数。一般に 1.0~1.3 としてよい。

$\alpha_p$ ：中性化速度係数の予測値 ( $\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ )

$$\alpha_p = -3.57 + 9.0 \cdot W/B$$

$W/B$ ：有効水結合材比 =  $W/(C_p + k \cdot A_d)$ 。ここでは混和剤 (フライアッシュ等) の使用はない

表 2 中性化深さの実測値と平均値

測点	実測値[mm]	平均値[mm]	
アーチ梁部	No.1	15.5	23.4
	No.2	26.6	
	No.3	28.0	
ケーシング部	No.4	61.5	58.4
	No.5	53.5	
	No.6	60.3	

表 3 配合推定結果

測点	表乾単位容積質量 [kg/m <sup>3</sup> ]	吸水率 [%]	配合推定結果				
			セメント量 [kg/m <sup>3</sup> ]	骨材量 [kg/m <sup>3</sup> ]	水量 [kg/m <sup>3</sup> ]	水セメント比 [%]	
アーチ梁部	No.1	2,387	6.3	294	1,941	153	52
	No.2	2,351	6.6	373	1,790	188	50
	No.3	2,435	5.0	276	2,019	140	51
ケーシング部	No.4	2,391	5.7	201	2,045	142	71
	No.5	2,466	4.7	188	2,161	116	62
	No.6	2,340	6.7	173	2,012	154	89

表 4 圧縮強度の実測値と予測値の比較

測点	共鳴振動試験 [N/mm <sup>2</sup> ]		打撃試験 [N/mm <sup>2</sup> ]		反発硬度法 [N/mm <sup>2</sup> ]		予測値 [N/mm <sup>2</sup> ]	
	実測値	平均値	実測値	平均値	実測値	平均値		
アーチ梁部	No.1	14.5	25.8	28.9	32.0	39.0	40.6	31.7
	No.2	26.7		31.3		39.0		
	No.3	36.3		35.9		43.8		
ケーシング部	No.4	18.8	18.8	-	-	27.0	30.8	17.9
	No.5	-				26.1		
	No.6	-				39.2		

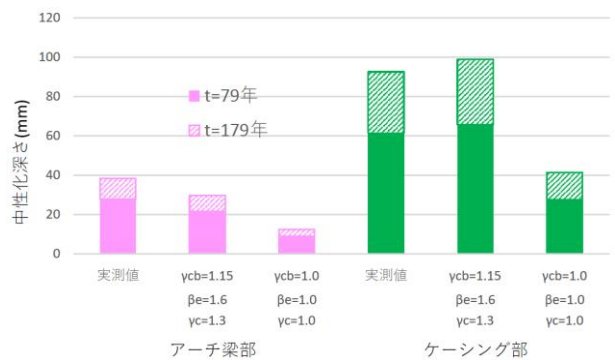


図 3 中性化深さの実測値と予測値の比較

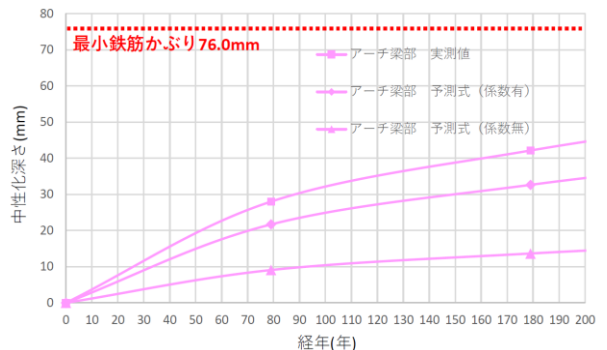


図 4 中性化深さの進行予測と最小鉄筋かぶり

ものと推定し、配合推定で求めた水セメント比W/Cを用いる。

式(2)中の係数には、中性化深さの予測式のばらつきを考慮するため、各種係数が設定されている。これら係数については、環境や使用材料などにより定めることとなっているため、ここに検討する。

中性化深さの推定値 $y_g$ のばらつきを考慮した係数 $\gamma_{cb}$ については、一般の $\gamma_{cb} = 1.15$ を設定する。環境の影響を表す係数 $\beta_e$ については、今回の対象構造物は常に気中に暴露され乾燥状態が保たれる状況と考えられるため、 $\beta_e = 1.6$ と設定する。コンクリートの材料係数 $\gamma_c$ については、79年前に施工されたことを考慮し、 $\gamma_c = 1.3$ と設定する。以上の過程をもとに算出した予測値と、実測値との比較を図3に示す。

アーチ梁部、ケーシング部ともに、各種係数を1.0とした場合には、予測値の方が実測値よりも小さくなるが、各種係数を前述のように適切に設定することで概ね実測値を予測できていると考えられる。

そこで、有筋であるアーチ梁部に対して、今後の中性化深さの進行予測と最小鉄筋かぶりの比較を行なった。100年後の中性化深さは32.6mm程度と予測されることから、今後100年にわたって中性化が進行しても、図4のように最小鉄筋かぶりである76.0mmには到達しないことがわかった。そのため、中性化の進行について、今後も健全性が保たれることを確認できた。

#### 4.2. 圧縮強度と水セメント比

圧縮強度の推定値については、共鳴振動試験、打撃試験、反発硬度法の結果から、アーチ梁部は25.8~40.6 N/mm<sup>2</sup>、ケーシング部は18.8~30.8 N/mm<sup>2</sup>程度と推定されるが、配合推定により得られた水セメント比から圧縮強度の予測値を算出し、これらの推定値の精度を検証する。

圧縮強度は水セメント比と相関があり、式(3)<sup>7)</sup>で予測できるといわれている。

$$W/C = 61 \cdot (F/K + 0.34) \quad (3)$$

ここで、F：圧縮強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

K：セメント強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

Kは普通ポルトランドセメントとして、370kgf/cm<sup>2</sup>とした。推定した水セメント比を式(3)に用いれば、圧縮強度はアーチ梁部で31.7N/mm<sup>2</sup>、ケーシング部で17.9N/mm<sup>2</sup>となった。表4に実測値と予測値との比較を示したが、概ね一致した値を得た。

対象構造物は、建設当時の設計図書や配合設計が残っていないが、類似構造物の設計図書から、圧縮強度は15.0N/mm<sup>2</sup>と想定されている。これを要求性能とすれば、表4のように、今回の対象構造物は要求性能を満足していることになる。圧縮強度は、今後大きく低下することは考えにくいため、今後も健全性が保たれると考える。

#### 5. おわりに

経年79年のコンクリート構造物の健全性の確認と将来における中性化深さの進行予測を目的に、前述の品質調査を実施し、以下を確認した。

- ① コンクリートの配合は、アーチ梁部とケーシング部では異なり、水セメント比を比較すると、アーチ梁部で50~52%、ケーシング部では62~89%となった。建設当時の設計図書や配合設計は残っていないが、部材によって、用途を考えて配合を決めていたと考えられる。
- ② 中性化深さは、アーチ梁部で15.5~28.0mm、ケーシング部で53.5~61.5mmとなった。配合推定より得られたW/Cを用いて、既往の中性化予測式から、環境や材質を適切に考慮することで、今後の中性化深さの進行予測が可能であることを確かめた。なお、その結果を用いることで、100年後の中性化深さは32.6mm程度と予測され、最小鉄筋かぶり76.0mmには到達しないと考えられることを確認した。
- ③ 圧縮強度は、採取コアを使用した共鳴振動試験、打撃試験（コンクリートテスター）および反発硬度法の結果、アーチ梁部は25.8~40.6N/mm<sup>2</sup>、ケーシング部は18.8~30.8N/mm<sup>2</sup>程度であった。配合推定より得られたW/Cからの圧縮強度の推定値とおおむね同一となった。

#### 参考文献

- 1) セメント協会、コンクリート専門委員会報告F-18、効果コンクリートの配合に関する共同試験報告 1967
- 2) 尼崎：コンクリート工学年次論文集 Vol.29 No.2、コンクリートの弾性定数と弾性波の関係、2007
- 3) 土木学会 コンクリート委員会：コンクリート標準示方書(設計編)、2013.3、p.39
- 4) 一般社団法人 日本非破壊検査協会：日本非破壊検査協会規格NDIS343-3、2015
- 5) 土木学会：JSCE-G504-2007 テストハンマーによるコンクリート構造物の圧縮強度測定要領
- 6) 財団法人 鉄道総合研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物、2004.4、p.205
- 7) 日本建築学会：コンクリートの調合設計・調合管理・品質検査指針案・同解説、1979.1