

# 大仰石橋頭首工における劣化コンクリートの力学特性 Mechanical Properties of Deteriorated Concrete in Oonogi Ishibashi Headworks

○阿藤 正樹\*1 石黒 寛\*2 倉田 高士\*3 中山 睦人\*3 宮岡 則行\*3  
ATO Masaki\*1 ISHIGURO Satoru\*2 KURATA Takashi\*3  
NAKAYAMA Mutsuhito\*3 MIYAOKA Noriyuki\*3

## 1. はじめに

三重県は、2009～2010年度にかけて、大仰石橋頭首工（三重県津市）の耐震照査を実施した。本頭首工は、1951年に築造され、耐用年数の超過や摩耗等による損傷が著しく、2004（H16）年災害で一部改修されたコンクリート固定堰である。本調査では、劣化コンクリート構造部材における地震時のひび割れ抵抗性に着目し、現地採取コアの圧縮強度特性に加え、引張強度特性にかかるコンクリート試験を実施した。ここでは、実験および解析から得られた物性値の比較検証を行い、劣化コンクリートの力学特性について考察した。

## 2. 試験の概要

### 2.1 定点調査

改修歴のない左岸側3箇所（堰柱部、固定堰部、エプロン部）と改修歴のある右岸側1箇所（固定堰部）の合計4箇所を選定し、円柱供試体（φ66・100・150×200mm）を採取した。なお、コア採取前にリバウンドハンマによる反発係数試験（JIS A1155）を実施して、採取箇所のテストハンマー強度Fと採取コアの圧縮強度 $f_c$ との相関関係を調べた。

### 2.2 物性と試験・解析<sup>1)</sup>

2009年に圧縮強度試験（JIS A1108）と静弾性係数試験（JSCE-G502）を実施して、コンクリートの圧縮強度 $f_c$ と静弾性係数 $E_c$ を算定した。2010年に三重大学大学院生物資源学研究所へ調査依頼のもと、割裂強度試験（JIS A1113）と破壊試験（楔挿入割裂試験）を実施して、コンクリートの割裂引張強度 $f_t$ と破壊エネルギー $G_f$ （単位面積のひびわれを作るのに必要なエネルギー）を算定した。また、破壊試験による荷重-開口変位の計測値からFEM逆解析により引張軟化曲線（引張応力とひび割れ幅の関係）を評価し、静弾性係数 $E_c$ と推定引張強度 $F_t$ を推定した。ここに、各試験・解析で得られた物性値を表-1に示す。

表-1 コンクリートの物性値

項目	試験・解析	未改修部			改修部	
		堰柱部	固定堰部	エプロン部	固定堰部	
		堰-1	固-1	エ-1	固-2	
テストハンマー強度 F (N/mm <sup>2</sup> )	H21 反発強度試験	18.7	11.5	29.0	15.1	
	H22 反発強度試験	19.2	12.1	28.4	14.6	
見掛け密度 (kg/m <sup>3</sup> )	H21・H22 供試体平均	2,386	2,434	2,546	2,275	
圧縮強度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	①圧縮強度試験	11.3	12.3	23.6	21.0	
弾性係数 $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	②静弾性係数試験	22,700	24,300	25,700	27,100	
	③破壊試験からの推定値	18,000	13,800	21,400	20,200	
引張強度 $f_t$ : $F_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	④引張試験 : $f_t$	1.49	2.28	1.33	2.17	
	⑤破壊試験からの推定値 : $F_t$	2.85	3.55	3.15	4.55	
破壊エネルギー $G_f$ (N/mm)	⑥破壊試験	0.0866	0.1753	0.0958	0.1759	
強度比率 (引張:圧縮)	④:①	1:7.58	1:5.39	1:17.7	1:9.68	

## 3. 物性値の比較と考察

### 3.1 定点調査結果（未改修部と改修部）

図-1に定点調査結果を示す。未改修部の圧縮強度 $f_c=11.9\text{N/mm}^2$ （堰-1,固-1の平均値）であり、施工当時の（推定）設計基準強度 $16\text{N/mm}^2$ を満足していない。改修部の圧縮強度 $f_c$ （固-2） $=21.0\text{N/mm}^2$ であり、設計基準強度 $18\text{N/mm}^2$ を満足するが、品質管理試験値 $26.9\text{N/mm}^2$ を下回る。エプロン部について、採取コア内に大きな礫の影響を受けて圧縮強度が高くなったと判断し、評価値の算出から除外した。相関式は次式となる。 $f_c=0.653F+1.688$  ( $R=0.937$ )

\*1 三重県庁, Mie Prefecture, \*2 三重大学生物資源学部, Faculty of bioresources, Mie University, \*3 NTC コンサルタンツ, NTC Consultants Inc., キーワード: コンクリートの性質

### 3.2 圧縮強度 $f_c$ と割裂引張強度 $f_t$

圧縮強度  $f_c$  と割裂引張強度  $f_t$  の関係を図-2に示す。一般に普通コンクリートの引張強度  $f_t$  は、圧縮強度の  $1/10 \sim 1/13$  といわれ、 $f_t = 0.23f_c^{2/3}$  の計算式が適用されている。しかし、未改修部の割裂引張強度  $f_t$ (堰-1)、 $f_t$ (固-1)は圧縮強度  $f_c$  の  $1/8 \sim 1/6$  となり  $1/10$  よりも大きくなった。このことから、コンクリートの劣化に伴う強度低下への影響は、引張強度よりも圧縮強度の方が大きいと思われる。

### 3.3 弾性係数 $E_c$ と圧縮強度 $f_c$

弾性係数  $E_c$  (静弾性係数試験および破壊試験からの推定) と圧縮強度  $f_c$  の関係を図-3に示す。これより、弾性係数  $E_c$  について静弾性係数試験による評価の方が破壊試験による評価に比べ大きくなった。また、弾性係数  $E_c$  は、改修部の固-2から未改修部の固-1、堰-1へと順次低下していき、圧縮強度  $f_c$  も同様な低下傾向を示した。これより、水利施設の長年にわたる流水による溶出から、コンクリート組織が疎となり、強度低下とともに供試体の弾性係数が低下したものと思われる。

### 3.4 破壊エネルギー $G_f$ と強度の関係

破壊エネルギー  $G_f$  と圧縮強度  $f_c$  と割裂引張強度  $f_t$  と推定引張強度  $F_t$  の関係を図-4に示す。固定堰部の破壊エネルギーについて、未改修部  $G_f$ (固-1)と改修部  $G_f$ (固-2)は、ほぼ同じ値を示した。圧縮強度の方は、改修部の固-2の方が大きいため、未改修部の  $G_f$ (固-1)の高い値は、粗骨材寸法が大きいためと推察でき、現に改修時の写真から旧堰体内部の骨材は大きかった。また、エプロン部の破壊エネルギー  $G_f$ (エ-1)が、固定堰部の破壊エネルギー  $G_f$ (固-1)の約55%相当と低いことや粗骨材寸法が大きくないことから、エプロン部の圧縮強度  $f_c$ (エ-1)が高くなった一因は、標準貫入試験で採取した供試体 ( $\phi 66\text{mm}$ )を用いたためと思われる。

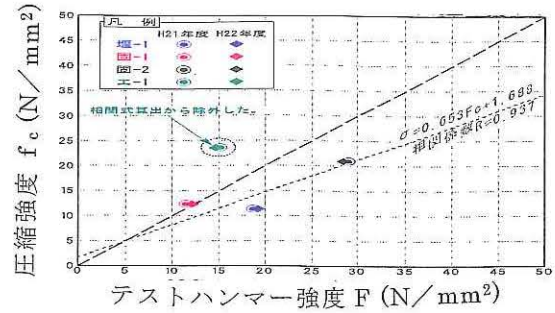


図-1 定点調査結果

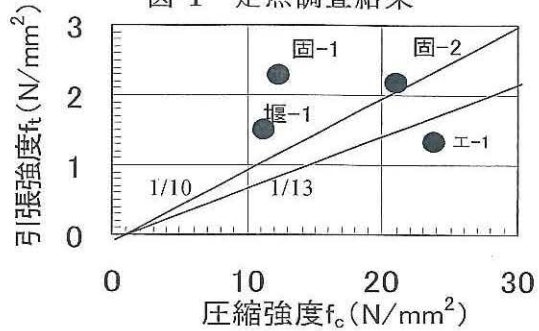


図-2 圧縮強度  $f_c$  と割裂引張強度  $f_t$

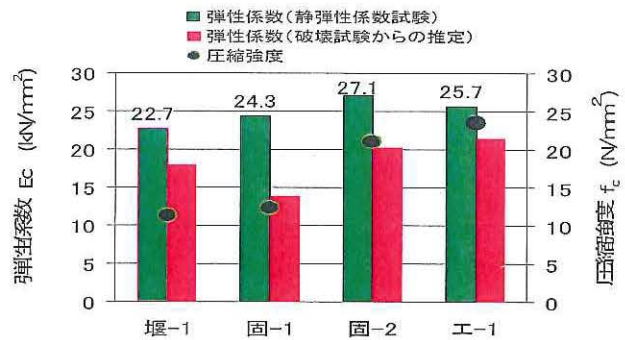


図-3 弾性係数  $E_c$  と圧縮強度  $f_c$

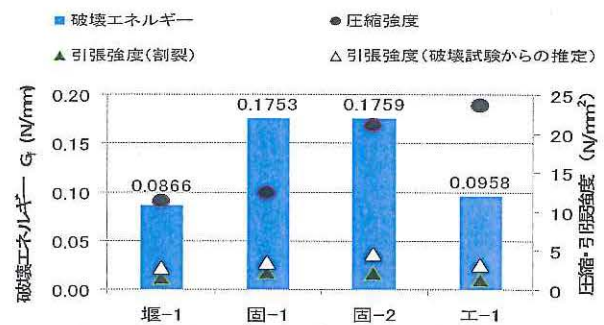


図-4 破壊エネルギー  $G_f$  と強度の関係

## 4. まとめ

築造されてから58年経過したコンクリートについて、圧縮強度ならびに弾性係数の値が低下傾向にあることが見受けられた。これは、水利施設の長年にわたる流水による溶出からコンクリート組織が疎となったものと思われる。