

## 資料 1—9 コンクリートダム本体の照査における材料物性値の設定における留意点

### 1. 基本事項

コンクリートダム本体の照査解析においては、堤体コンクリートの単位体積質量、弾性係数、ポアソン比、基礎地盤の単位体積質量、弾性係数、ポアソン比の設定が必要になる。また、堤体コンクリートの引張損傷を考慮する際には、引張軟化特性に関する定数（引張軟化開始応力、破壊エネルギー、引張軟化式）の設定が必要になる。いずれの材料においても、調査・設計時および施工管理時の資料をもとに、実際の材料物性値に基づいて設定する必要がある。

一般にコンクリートダムにおいては圧縮強度が設計時の指標となっていることから、設計時に引張強度に関するデータが得られていない場合が多い。特に、引張軟化に関わる定数はほとんど得られていない。そこで、照査解析に当たっては、既に得られているコンクリート材料物性を基に、以下に示すような材料物性の特性を勘案して、適宜推定し、解析に用いることが第一案として考えられる。新規ダムにおいては追加実験を実施し、照査解析に必要な材料物性を得ることも考えられる。引張軟化に関わる係数を求める実験方法は既に提案<sup>1)</sup>されているが、比較的新しい実験方法であることから、専門家の指導のもと適切に実施する必要がある。また、既存ダムでは実際にダム堤体からコアサンプルを採取し、材料試験を行なう方法も考えられる。

基礎地盤の材料物性のうち弾性係数については、設計時の変形試験結果として得られていることが多いが、変形試験結果は一般に比較的浅い部分の基礎地盤の変形性を反映したものである。そのため、動的解析において深部の基礎地盤までモデル化し、基礎地盤内の地震波の伝播を考慮する場合には、弾性波探査結果を用いて基礎地盤の弾性係数を設定する必要がある。

コンクリートダム本体の照査においては、堤体コンクリートと基礎地盤の減衰定数を設定する。動的解析における減衰特性には、材料物性としての減衰特性（材料減衰）のほか、それ以外の減衰効果（逸散減衰等）も含んでいる。そのため、解析モデルに基礎地盤を考慮するか否か、基礎地盤外側にエネルギー吸収境界を考慮するか否か、構造の3次元性を考慮するか否か、などの解析モデルの特徴に応じて設定すべき減衰定数は異なってくる。このため、設定した解析モデルを用いてダムで観測された実測地震動を用いた動的解析を行い、ダムの挙動を再現できるように減衰定数を設定する。照査を行うダムにおいて適切な実測記録が無い場合には、同種のダム形状、同種の解析条件で実施した他ダムの解析事例を参考に、減衰定数を設定する。

## 2. コンクリート材料物性の特性

### 2. 1 引張強度の特性

#### ① 圧縮強度と引張強度の関係

同一バッチのコンクリートから作製した供試体に対して圧縮強度と引張強度（割裂強度）の関係を示したものが図-1.9.1である<sup>2)</sup>。図より、引張強度は圧縮強度の1/8～1/13程度であり、圧縮強度が大きいと、圧縮強度に対する引張強度の比率が小さくなる。

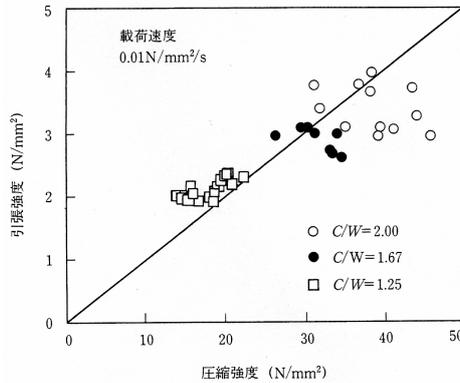


図-1.9.1 圧縮強度と引張強度の関係

種々の強度、配合のコンクリートの試験結果から、圧縮強度と引張強度の関係として [割裂引張強度] =  $1.7 \times [\text{圧縮強度}]^{2/3}$  (割裂引張強度を 100psi 単位、圧縮強度を 1000psi 単位で示した場合の式。割裂引張強度、圧縮強度を MPa 単位で示した場合には、[割裂引張強度] =  $0.323[\text{圧縮強度}]^{2/3}$  という数式で示される。) という式も提案<sup>3)</sup>されている。この式と、図-1.9.1における圧縮強度と引張強度の関係は、ほぼ一致する。

#### ② 載荷速度と引張強度の関係

セメント水比ごとに、載荷速度と引張強度の関係を求めた結果を図-1.9.2に示す<sup>2)</sup>。図より、いずれのセメント水比においても、載荷速度の増加とともに引張強度も増加していくことがわかる。

また、図-1.9.3は載荷速度  $v=0.01(\text{N}/\text{mm}^2/\text{s})$  の場合を基準として引張強度を正規化し、図-1.9.2を書き改めたものである。図より、セメント水比によらず、載荷速度に応じた正規化した引張強度の伸び率はほぼ同じ値を示すことがわかる。

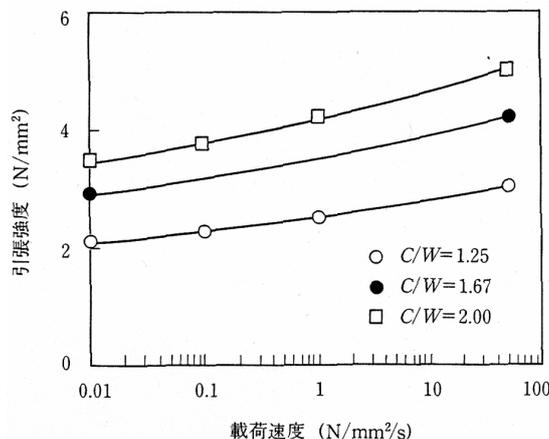


図-1.9.2 載荷速度と引張強度の関係

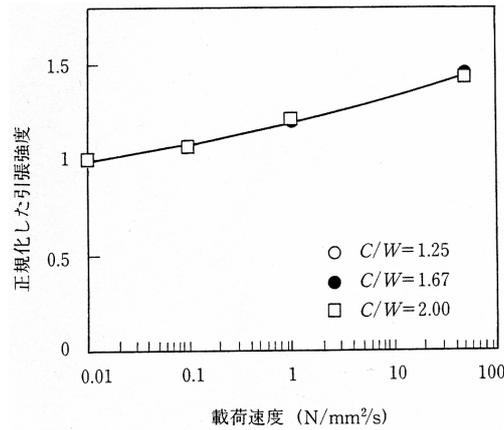


図-1.9.3 載荷速度と正規化した引張強度の関係

③ 地震時における動的引張強度

現行設計法において、堤高  $H(m)$  の重力式コンクリートダムに必要な圧縮強度の大きさはおよそ  $0.15H(N/mm^2)$  で与えられるが、引張強度を圧縮強度の  $1/10$  とすると、堤体コンクリートが有する静的引張強度の大きさ  $f_t$  は次式で表される。

$$f_t = 0.015H \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1.9.1)$$

一方、堤高  $H(m)$  の重力式コンクリートダムの 1 次固有周期  $T$  はおよそ  $0.0025H$  (秒) で与えられる。そこで、地震時にダムが共振し、 $\sigma_d(N/mm^2)$  なる動的引張応力が発生することを想定する。この場合、堤体に発生する応力およびその変化率は時々刻々変化することとなり、地震時における応力の増加速度、つまり載荷速度は一定ではない。そこで、地震時の載荷速度の一つの指標として応力が増加していく時の平均増加速度  $v'$  を考えた場合、それは概ね次式で表されることになる。

$$v' = \frac{4\sigma_d}{T} = \frac{1600\sigma_d}{H} \text{ (N/mm}^2\text{/s)} \quad (1.9.2)$$

この応力増加速度  $v'$  (N/mm<sup>2</sup>/s) を図-1.9.3 の載荷速度  $v$  と考えると、正規化した動的引張強度  $\sigma_d/f_t$  は次式で表される。

$$\frac{\sigma_d}{f_t} = 1.20 + 0.126 \log v + 0.011 (\log v)^2 \quad (1.9.3)$$

そこで、式(1.9.1)、式(1.9.2)および式(1.9.3)から、堤高  $H(m)$  の重力式コンクリートダムが耐えうる動的引張応力(すなわち、動的引張強度)  $\sigma_d$  を求めると、図-1.9.4 のようになる。図より、動的引張強度と静的引張強度の比  $\sigma_d/f_t$  は、堤高にかかわらず 1.4 程度の値を有していることがわかる。すなわち、地震時の堤体の 1 次共振時の堤体応力の平均増加速度を基に考えた場合には、動的引張強度として静的引張強度の 1.4 倍程度の値が期待できることになる。