

I - B391

コンクリートダム の 強震時 応答解析 での 動的 物性

中部電力 電力技術研究所 正会員 ○上田 稔 佐藤正俊

1 まえがき

コンクリートダムの強震時の応答解析において、動弾性係数や減衰は解析結果に大きく影響する。しかし強震時にはダムや岩盤の非線形挙動が現れ、必ずしもその設定は容易ではない。概ね妥当と判断される値を設定して、強震時の応答解析が行なわれることが望まれる。そのために今後もより多くのデータ等に基づく研究が必要であるが、本研究は著者のこれまでの研究等をもとに、現状でのコンクリートダムの強震時応答解析でのダムや岩盤の動弾性係数と減衰の設定について考察したものである。詳細は参考文献を参照されたい。本研究ではレベルII相当の地震動に対し、ダム、岩盤を線形弾性体として連成解析を行う場合を対象とする。

2 ダムの動弾性係数

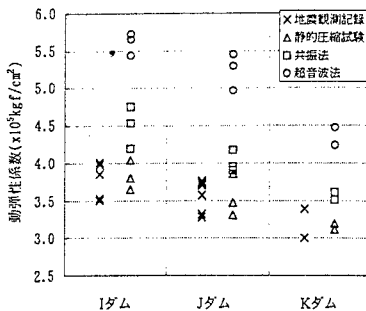
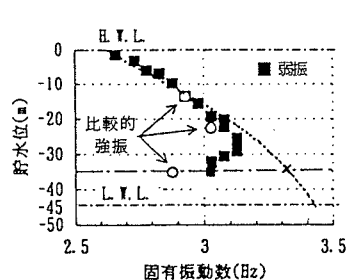
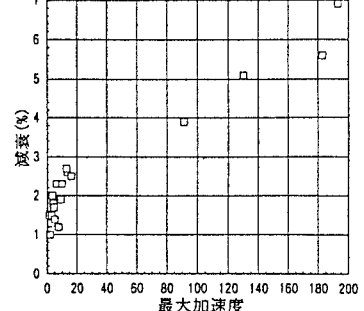
実ダムの弱地震の地震観測記録から地震波伝播速度を算出し、それより求めたダムコンクリートの動弾性係数は、静的圧縮試験の弾性係数とほぼ一致する（図-1）¹⁾。ダムコンクリートの動的試験による動弾性係数のひずみ速度依存性は、地震時に発生するひずみ速度の範囲では1割程度である¹⁾。よって強震時のダムコンクリートの動弾性係数は、静的圧縮試験により得られる値の1割増程度である。地震時の動弾性係数に比べ、共振法による値は大きく、超音波法による値はさらに大きい（図-1）¹⁾。この理由はこれらの試験での波動の波長が短く、大粒径の骨材を含むダムコンクリートの不均一性の影響を受けるためである²⁾。共振法や超音波法による弾性係数は「動弾性係数」と称されるが、地震時の動弾性係数として用いることはできない。

アーチダムの比較的強振時の固有振動数は、弱震時に比べ低振動数側にある（図-2）。これはダムのジョイントの影響である。あるアーチダムの200ガル程度の比較的強震時の固有振動数を捉えるダムの弾性係数は、ダムコンクリートの静弾性係数の70%程度の大きさであった³⁾。強震時のダムコンクリートの動弾性係数は、静弾性係数の1割増程度であるが、ジョイント部のモデル化をせず強震時の固有振動数を概ね捉えるには、強震時のダムの動弾性係数はジョイント部の影響を含む値として、ダムコンクリートの静弾性係数を数10%以上低減した大きさとする必要がある。ただし重力ダムでジョイントキーがない場合は、ダムコンクリートの静弾性係数の1割増程度をダムの動弾性係数とすればよい。

3 ダムの減衰

アーチダムの数ガル程度の地震観測記録から $1/\sqrt{2}$ 法により求めるダムコンクリートそのものの内部減衰は1%程度である。しかし、より強震時の地震観測記録から $1/\sqrt{2}$ 法により求めたアーチダムの減衰と最大加速度の関係は、振動レベルが大きくなる程減衰が大きくなり、200ガル程度の最大加速度で7%である（図-3）⁴⁾。これはジョイントでの構造減衰によるものと考えられる。1000ガル以上の応答となるアーチダムの強震時の解析では、ジョイントキー接触面の離接や接触面での滑りによる振動エネルギーの逸散が生じるため、数10%の減衰を与えてよいと思われる。

重力ダムでの最大加速度が500ガル程度の強震記録を対象に地震応答解析を行い、加速度の観測値との比較がなされている。それによれば、ダムの減衰を10%とした場合に解析値と観測値はよい一致を示したと報告されている。この解析では岩盤はモデル化されておらずダム底面を固定境界としている。よって岩盤への逸散減衰分もダムの内部減衰として与えられているので、ダムそのものの減衰は10%から岩盤への逸散減衰分を除いた値となる。この値は最大加速度の大きさに割に、上述のアーチダムで得られた減衰に比べて小さい。これは重力ダムではダムの動弾性係数は岩盤の動弾性係数に比べてかなり大きくかつダムはマッシブなので、ダム自体の変形が小さいため

図-1 地震観測記録と各種試験法より求めたダムコンクリートの動弾性係数の比較¹⁾図-2 アーチダムの固有振動数と貯水位の関係³⁾図-3 アーチダムの減衰定数と最大加速度の関係⁴⁾

Key Word :dam, seismic response, rock mass, dynamic elastic modulus, damping constant

〒461 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1 TEL 052(624)9184 FAX 052(623)5117

と思われる。重力ダムの応答に及ぼすダムの減衰の影響は小さい⁵⁾。この点も考慮して重力ダムの強震時の解析ではダムの減衰は5%程度を設定すればよい。

4 岩盤の動弾性係数

コンクリートダムサイトとなる硬質岩盤の地震波伝播速度は、弾性波探査試験による波動伝播速度に比べて小さい⁶⁾。これは硬質岩盤の割れ目の存在に起因する⁷⁾。たとえ弱地震時の解析でも、弾性波探査試験による波動伝播速度から求まる動弾性係数を用いることはできない。一方硬質岩盤の地震観測記録と原位置平板載荷試験結果から求めた微小変形領域の弾性係数は整合する⁷⁾。よって載荷試験から地震時の岩盤の弾性係数が求められる。

地震時にダムサイト岩盤には、ダムの自重や水圧による静的な応力作用下で振動による応力変動が生じる。よって厳密には弾性係数は、岩盤内の位置ごとに異なり、振動レベルにより変化する。しかしダムの強震時応答解析で最も的確に評価すべきは、ダム着岩部付近岩盤の動弾性係数である。強震時にはダム着岩部付近では、載荷除荷の大きな応力変動が生じる。図-4は原位置平板載荷試験の応力-変位曲線の例であるが、通常原位置平板載荷試験は、応力が零までの除荷と再載荷を繰り返す載荷パターンである。いまピーク荷重までの中間値を静的な載荷応力とし、それが動的応力により零となるような振動時の平均的弾性係数は、除荷載荷ループの平均、即ち割線弾性係数程度である。ダム着岩部の静的応力は着岩部の位置により違う。しかし原位置平板載荷試験の応力-変位曲線での段階荷重がある程度大きさ以上では段階荷重の大きさが異なっても、割線弾性係数の大きさは概ね同じである。原位置平板載荷試験は通常静的な載荷である。割れ目を有する岩塊より切り出した岩盤ブロックや、ボーリングコアを用いて作製した1個の割れ目のあるモデル岩盤供試体（図-5）の動的載荷試験により調べた硬質岩盤の弾性係数の載荷速度依存性は、高々2割程度である（図-6）⁸⁾。以上より強震時の解析では、岩盤の動弾性係数は割線弾性係数の1割増程度の値が妥当と思われる。

5 岩盤の減衰

いくつかのダムサイトでの原位置平板載荷試験の応力-変位曲線の除荷載荷ループより減衰を求めると（図-4参照）、5～15%程度である。上述した岩盤ブロックやモデル岩盤供試体の動的載荷試験で得た応力-変位曲線の除荷載荷曲線のループは、載荷速度が速い方が大きい（図-7）⁸⁾。よって強震時程、岩盤の減衰は大きくなると考えられ強震時の解析では、10～20%程度とするのが妥当と思われる。

参考文献

- 1) 佐藤・上田・長谷部・梅原：ダムコンクリートの地震時の動弾性係数に関する研究，土木学会論文集，No.564/V-35，1997。
- 2) 上田・佐藤・長谷部：砂礫や硬質岩盤で地震波と異なる伝播速度を有する波動の波長について，第32回地震工学研究発表会，1997。
- 3) 上田・佐藤・近藤・恒川・塩尻：アーチダムの地震観測記録などから求めた固有振動数について，土木学会第51回年報，I-B89，1998。
- 4) 上田・塩尻・横井：アーチダムの地震観測記録などから求めた減衰定数，第24回地震工学研究発表会，1997。
- 5) 恒川・横井・上田・塩尻：重力ダムの動的応答に及ぼす物性の影響の解析的検討，土木学会本年度年報。
- 6) 佐藤・上田・長谷部・近藤：硬質岩盤サイトの地震波伝播速度と原位置試験による波動伝播速度の比較，土木学会論文集掲載予定，1997。
- 7) 佐藤・上田・近藤・長谷部：硬質岩盤の地震観測記録と原位置平板載荷試験から求めた微小変形領域の弾性係数の整合性について，土木学会第51回年報，III-347，1997。
- 8) 近藤・佐藤・上田・今泉・長谷部：硬質岩盤の動的剛性の載荷速度依存性について，土木学会第50回年報，III-347，1995。

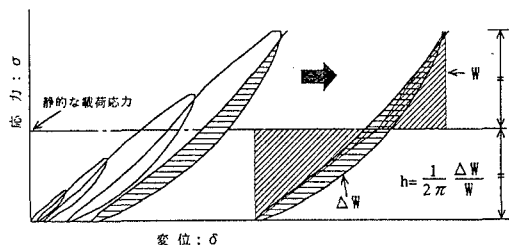


図-4 原位置平板載荷試験の応力-変位曲線と減衰の算出

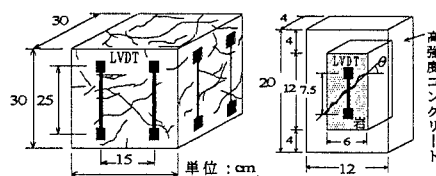


図-5 岩盤ブロックとモデル岩盤供試体

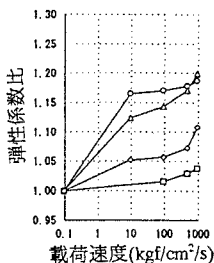


図-6 弾性係数比と載荷速度の関係の例
(岩盤ブロック、載荷応力の中心値 20kgf/cm²、
応力振幅 15kgf/cm²)⁸⁾

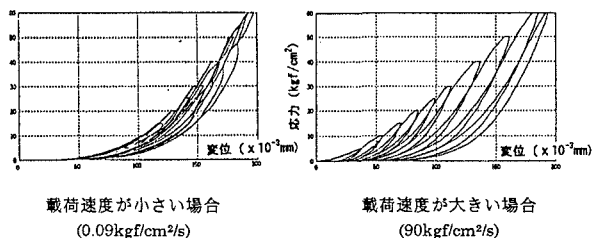


図-7 応力-変位曲線と載荷速度の関係の例
(岩盤ブロック)⁸⁾