

参考資料 1 指針（案）・同解説の補足説明資料

本資料は、『大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）』に基づく耐震性能照査にあたり、指針案の理解を助け、実務上の参考となる情報をとりまとめたものある。指針（案）策定に至る検討過程での議論を踏まえ、指針（案）に基づき具体的にレベル2地震動の設定や照査解析を行う際に適用できると考えられる具体的の手法や手順およびその適用にあたっての留意点等を現時点での知見を踏まえて示したものである。

資料 1-1 想定地震の選定にあたり調査すべき文献資料等

照査対象とするダムに対して最も影響が大きいと思われる地震として、想定地震を選定する際には、当該ダム地点の周辺で過去に発生した地震に関する情報や、周辺に分布する活断層やプレート境界等に関する情報について、あらかじめ文献資料等により調査する必要がある。

その際、過去に発生した地震に関する情報や活断層やプレート境界等に関する情報を全国的にとりまとめた文献資料等として参考となる代表的なものとしては、例えば表—1.1.1 に示す資料¹⁾²⁾³⁾がある。また、これら以外にも、地震学・地質学的調査研究の成果として特定または関係する地域における活断層等の情報を示した資料⁴⁾、歴史地震に関する資料⁵⁾等についても、必要に応じて適宜参照することが望ましい。

また、平成7年の兵庫県南部地震以降、地震の震源となる活断層や海溝型地震に関する種々の調査が精力的に行われ、その成果が順次公表されている。例えば、内閣府中央防災会議⁶⁾では東海地震等により想定される地震動等の予測、また政府の地震調査研究推進本部⁷⁾では、「地震に関する基盤的調査観測計画」に基づき、重点的な調査対象とされた全国の主要な断層帯（計98断層帯）の活動による地震やプレート境界で発生する海溝型地震を対象として想定される地震動や将来の発生確率等の評価等が行われている。さらに、各地方公共団体や国の研究機関による活断層の調査結果も蓄積されつつある。これらの情報は逐次更新されているため、照査を行う時点での最新の情報を収集することが肝要である。

表—1.1.1 想定地震の選定に際して参考となる代表的な文献資料

文献資料等の名称	特徴
『新編 日本の活断層』 ¹⁾	わが国における陸上の活断層を中心として、その分布や諸元等を取りまとめた文献
『日本の地震断層パラメーター・ハンドブック』 ²⁾	断層モデルについて解説した上で、わが国とその周辺で過去に発生した主要地震（陸上の活断層による地震のほか、海洋のプレート境界地震も含む）を対象にそれぞれに対する断層モデル（諸元等）をその推定根拠とともにとりまとめた文献
『活断層詳細デジタルマップ』 ³⁾	従来活断層とされていた全国の断層を見直し、将来も活動する可能性のある「活断層」とその判定が難しいもの（推定活断層）に区分して再整理した文献

参考文献

- 1) 活断層研究会：新編 日本の活断層，東京大学出版会（1991）
- 2) 佐藤良輔：日本の地震断層パラメーター・ハンドブック，鹿島出版会（1989）
- 3) 中田 高・今泉俊文：活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版会（2002）
- 4) 例えば、国土地理院：都市圏活断層図
- 5) 例えば、宇佐美龍夫：新編 日本被害地震総覧[増補改訂版 416-1995]（1996）
- 6) 内閣府中央防災会議：<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/index.html>
- 7) 地震調査研究推進本部：<http://www.jishin.go.jp/main/>

わが国において発生する地震には、その発生機構により大別して、①内陸の活断層に起因する地震（陸域の浅い地震）、陸域近傍の②プレート境界地震、海洋プレートの内部の大規模な断層運動による③海洋プレート内地震、④火山活動に伴う地震がある。わが国においてこれまでに甚大な被害を引き起こした大規模地震のほとんどが、このうちの①または②に属するものである¹⁾。災害対策基本法に基づくわが国の防災に関する基本的な計画である『防災基本計画』においても、構造物・施設等の耐震設計にあたり、この両種類の地震動を考慮することとされている。

なお、③については、現在のその発生機構等を含め研究途上の面が強く、将来の発生位置や規模をあらかじめ推定することは活断層やプレート境界の地震に比べ必ずしも容易ではない。また、その震源が比較的深い場合が多く、そのような場合には、地震の規模が同程度であれば他の2つの種類の地震に比べ地表のダム地点への影響は相対的に小さくなるものと考えられる。また、④については、そのほとんどが中小規模の地震である。

このようなことから、指針（案）では、通常、想定地震の選定において考慮する地震の種類として、内陸の活断層に起因する地震（陸域のプレート内の比較的浅い領域で発生する地震）と、プレート境界で発生する地震の2つのタイプの地震を考慮して行う必要がある。これらの地震の特徴を表一1.2.1に示す。なお、対象とするダムの周辺において、過去に海洋側のプレート内で発生した地震が観測されていて、その震源や規模がある程度特定されている場合には、想定地震の選定において同様の地震の発生の可能性についても考慮することが望ましい。

表一1.2.1 想定地震の選定において考慮する地震のタイプとその特徴

地震の種類	特徴等
内陸の活断層に起因する地震	内陸の比較的浅いところで発生する地殻内の地震。プレート内部において蓄積されたひずみが、活断層の活動によって解放されることにより生じる。1995年の兵庫県南部地震はその代表的な例である。わが国のダムはこのような活断層の存在がわかっている場合は、その断層の変位が及ぶと推定される領域を避けて建設されているが、ダム地点の近傍に活断層が存在する場合、ダム地点において大きな地震動が発生する可能性がある。
プレート境界地震	日本付近では、太平洋側で海洋プレート（太平洋プレート、フィリピン海プレート）が陸のプレートの下に沈み込んでいるため、陸のプレート先端部の跳ね上がりによる地震が生じる。太平洋岸の海域で発生する巨大地震はほとんどがこのタイプであり、同一の地域におけるこのような地震の発生間隔は一般に内陸活断層より短い。また、地震規模が大きくなると断層面の破壊が広範囲にわたるものとなることから、地震動の継続時間が長くなる特徴がある。

参考文献

- 1) 文部科学省：活断層-日本の地震防災-, pp. 14-17 (2004)

指針（案）では、耐震性能照査の対象とするダムに最も大きな影響を及ぼす可能性がある「想定地震」の選定、および想定地震によるダム地点での地震動の推定手法として、ダムの距離減衰式を用いる方法を挙げている。

ダムの距離減衰式は、過去のダムサイトにおける地震観測記録をもとに、地震動の距離減衰特性を地震の規模等をパラメータとして統計的に評価した結果を用いて、ダム地点における地震動の加速度応答スペクトルを求める経験的方法であり、断層モデル等の詳細な諸元が明らかでない場合にも適用できる実用的な地震動推定手法である。

このダムの距離減衰式として、ダム基礎岩盤相当の基礎地盤（平均的なせん断波速度がおおむね 0.7km/sec～1.5km/sec 程度の岩盤）において発生する地震動の加速度応答スペクトルを推定する式が提案されている^{1) 2)}。

$$\log S_A(T) = C_m(T)M + C_h(T)H_c - C_d(T) \log \{R + 0.334 \exp(0.653M)\} + C_o(T) \quad \text{--- (1.3.1)}$$

$$\log S_A(T) = C_m(T)M + C_h(T)H_c - C_d(T)X_{eq} - \log X_{eq} + C_o(T) \quad \text{----- (1.3.2)}$$

ここに、

T : 固有周期

$S_A(T)$: 水平方向 2 成分の平均応答スペクトル、

M : 断層で発生する地震の規模（気象庁マグニチュード M_j ）、

H_c : 断層面中心の地表からの深さ（ただし、100km を超える場合は 100km）

R : 断層面までの最短距離

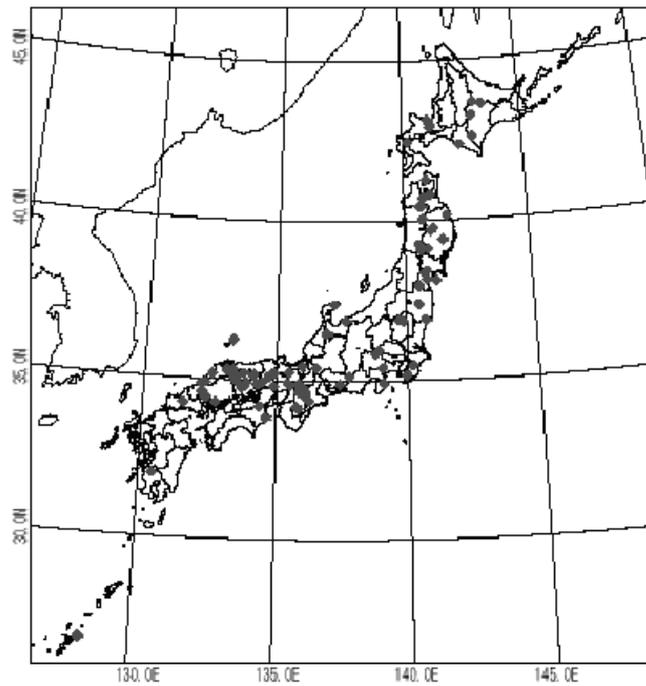
X_{eq} : 等価震源距離

$C_m(T), C_h(T), C_d(T), C_o(T)$: 地震のタイプに応じて過去の多数の地震記録より得られる回帰係数

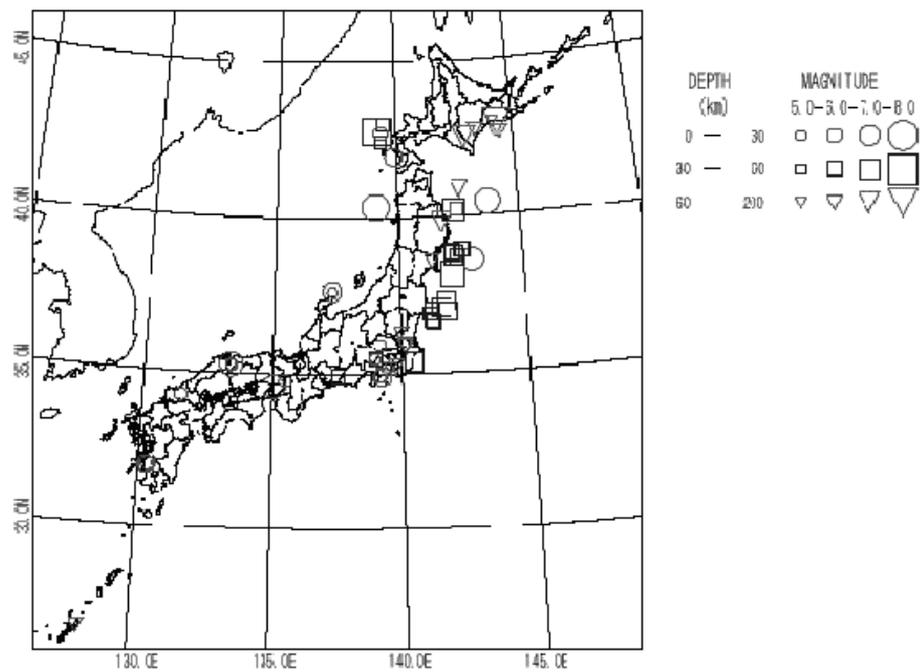
これらの式は、ダム基礎地盤（岩盤）に最も近い状態の位置（底部監査廊内等）に設置された強震計により得られた多数の地震記録をもとに、各周波数の加速度応答スペクトル値について、断層までの距離、地震の規模（マグニチュード）、地表から断層面中心までの深さ等をパラメータとして、統計解析により得られた回帰式である。

なお、このダムの距離減衰式において統計分析の対象とされた地震動記録は、1978 年～2000 年に得られたマグニチュード 5.0 以上、震源深さ 130km 以内の計 63 地震の際に、震央距離 200km 程度以内に位置した 91 ダム地点において記録された計 293 成分であり、推定式はその減衰定数 5% に対する加速度応答スペクトルを用いて整理されている。

図—1.3.1 に地震記録を得たダムサイトの位置、また図—1.3.2 に統計分析の対象とした地震の震央の分布をそれぞれ示す。



図—1.3.1 地震記録を得たダムサイト位置^{1) 2)}



図—1.3.2 統計分析の対象とした地震の震央の分布^{1) 2)}

なお、上述のように、ダムの距離減衰式には、震源からの距離の取り方により、断層面と対象とするダム地点の最短距離を用いた最短距離式 (1.3.1) と、断層面から発散される地震のエネルギーと等価となる仮想的な点震源と対象とするダム地点間の距離 (等価震源距離) を用いた等価震源距離式 (1.3.2) とがある。

これまでの検討では、最短距離式によるダム地点での地震動の推定結果と、等価震源距離式による推定結果とが、ほぼ同程度となることが多い。しかし、想定地震の震源として考慮している断層からダム

地点までの距離がかなり小さい場合等、条件によっては両者による推定結果の差がやや大きくなる場合があることもわかっている。これは、ダムの距離減衰式を作成する過程では多数の地震動記録が考慮されているが、そのうち、震源距離が近い地点で得られた記録は限られていることが一因と考えられる。このため、通常は両者による推定結果のうち大きくなる方の結果を考慮することで安全側の対応が可能と考えられるが、両者の結果が大きく異なる場合には過大な推定となる可能性もある。したがって、このような場合には、震源断層モデルに基づく半経験的手法等による推定もあわせて行い、その結果についても考慮するなど、総合的に判断して想定地震による地震動を設定することが望ましい。

なお、回帰係数 ($C_m(T), C_h(T), C_d(T), C_o(T)$) の値は、最短距離式および等価震源距離式に対するものとして、対象とした全ての地震記録をもとにそれぞれ図—1.3.3 および図—1.3.4 のように得られている^{1) 2)}。しかし、実際の照査においては、考慮する地震のタイプを考慮するとともに、推定式に対する実際の地震動のばらつきを適切に考慮する必要がある。

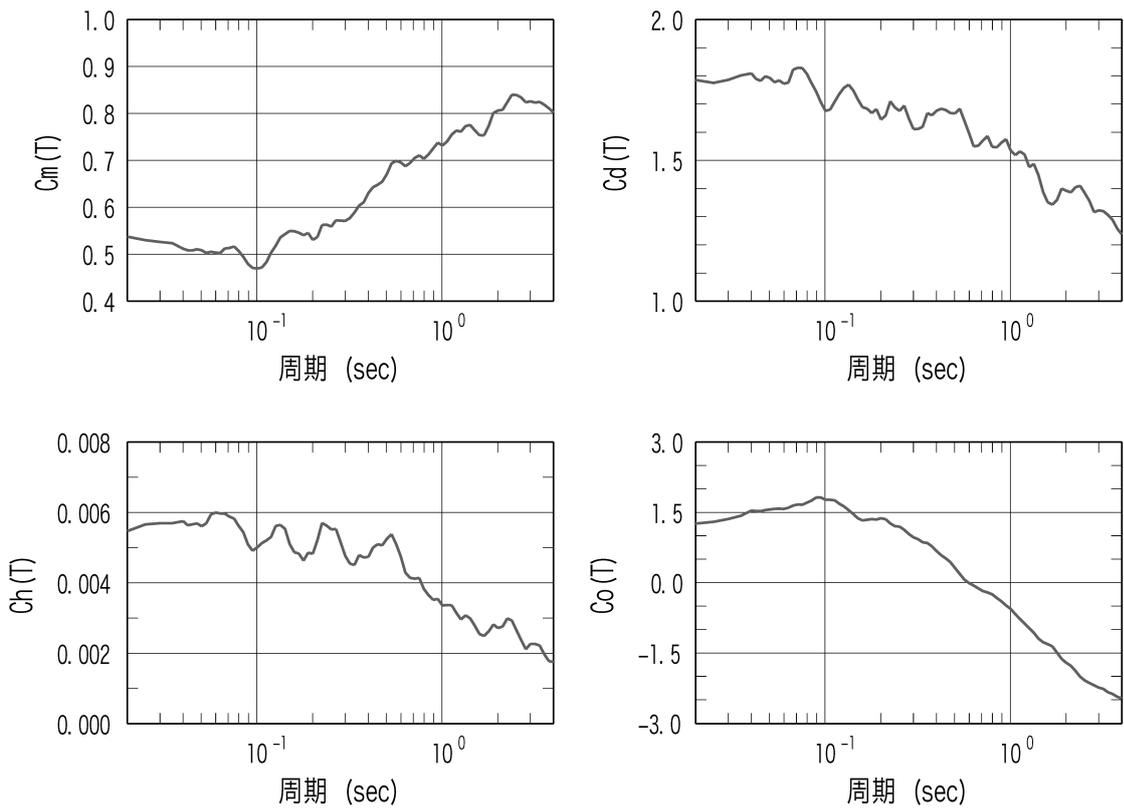
このうち、地震の種類に関しては、上述の全地震記録に対する回帰係数 (図—1.3.3 および図—1.3.4) を用いて求めたスペクトル値 $S_A(T)$ に、地震の種類ごとに地震記録を整理して得られた補正係数 (図—1.3.5 または図—1.3.6)^{1) 2)} を乗じて得られる値をダムの距離減衰式におけるスペクトル値として用いることで考慮することができる。なお、この補正係数は、各種類の地震に相当するものとして、それぞれ表—1.3.1 に示す地震記録を対象として整理されたものである。

また、地震動のばらつきに関しては、上記の補正係数として、図—1.3.5 または図—1.3.6 に示される平均値と標準偏差の和に相当するものを考慮することにより、ある程度安全側の評価となるよう地震動の加速度応答スペクトルを算定することができる。

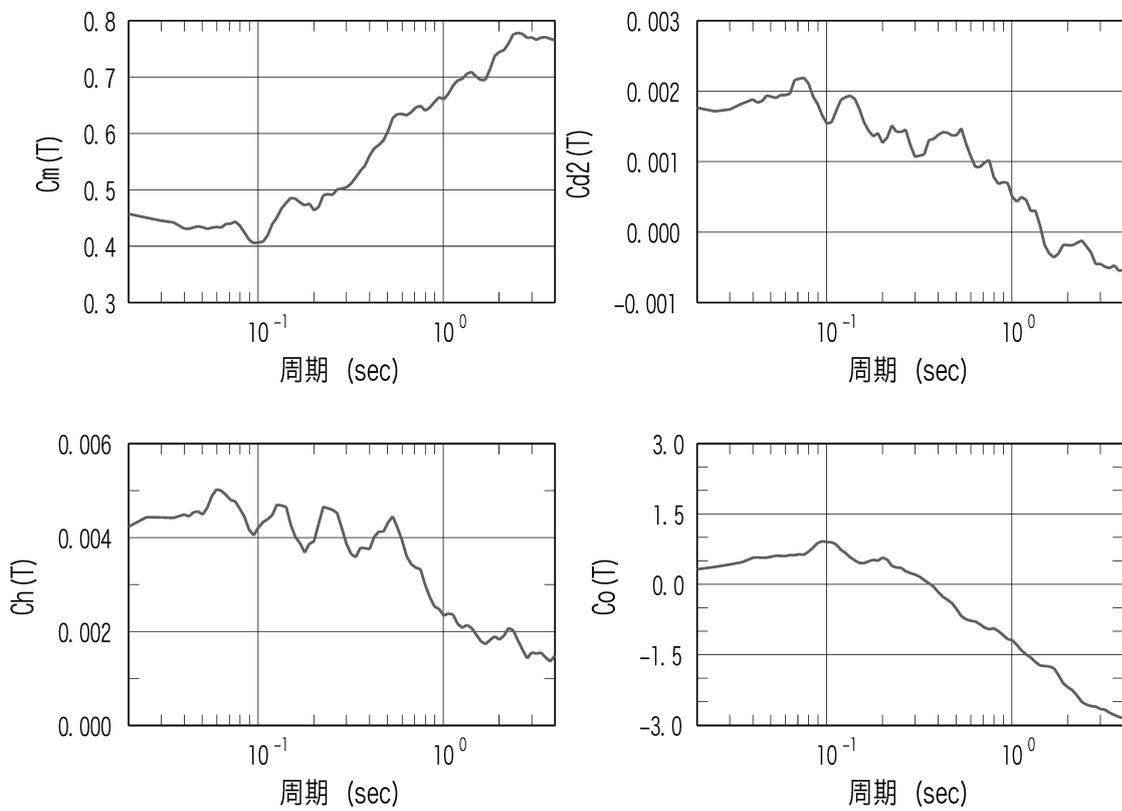
表—1.3.1 距離減衰式の回帰係数推定にあたり考慮された地震の種類についての区分^{1) 2)}

地震のタイプ	備考
内陸型地震	内陸地殻内の地震。日本海東縁部の地震や山梨・神奈川県境付近の地震、伊豆半島周辺の浅い地震を含む。
海洋型地震	海域で発生した深さ 60km 以下の地震。主に東北日本太平洋側のプレート境界地震。
プレート内 稍深発型地震	内陸部のやや深い地震。主に深さ 60km を超える地震。西南日本下の深さ 40km 程度のプレート内地震を含む。

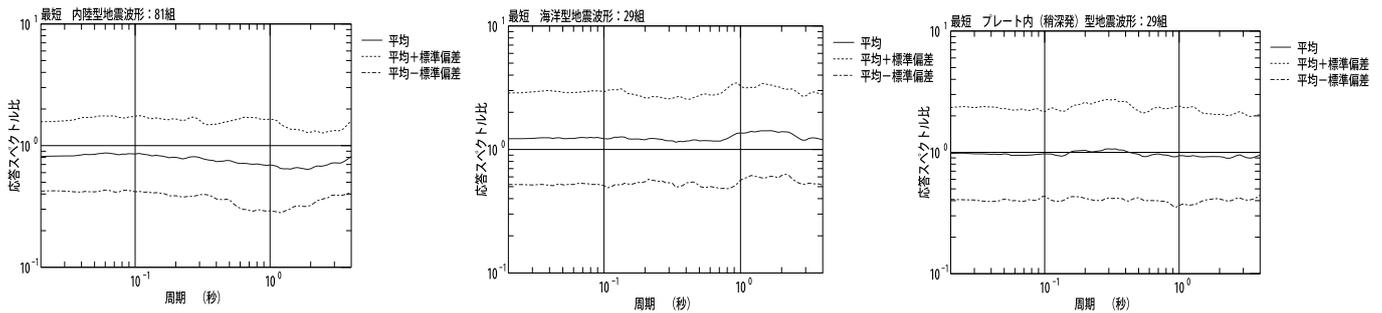
* 上記の内陸型地震、海洋型地震、プレート内稍深発型地震は、それぞれ資料 1—2 の①内陸の活断層に起因する地震 (陸域の浅い地震)、②プレート境界地震、③海洋プレート内地震と対応するものである。



図一1.3.3 最短距離式(1.3.1)中の回帰係数(全地震記録に対するもの)^{1) 2)}

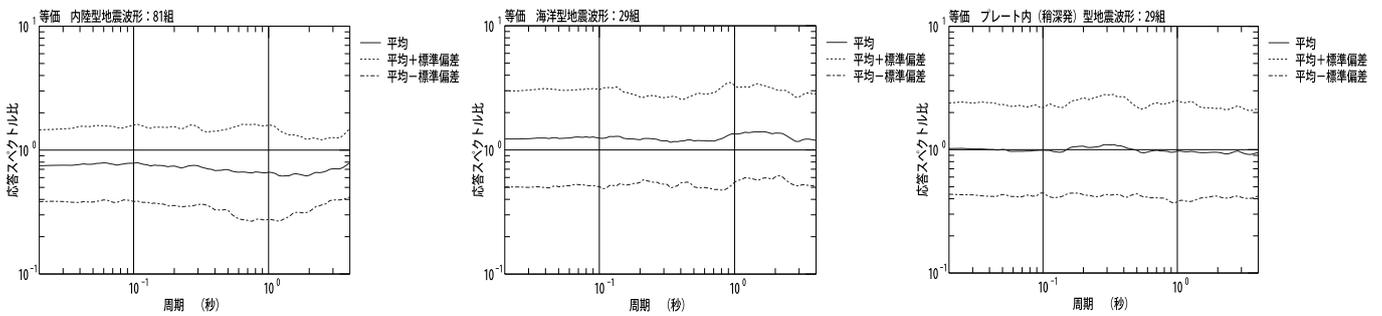


図一1.3.4 等価震源距離式(1.3.2)中の回帰係数(全地震記録に対するもの)^{1) 2)}



(a) 内陸の活断層地震 (b) 海洋型（プレート境界）地震 (c) プレート内稍深発型地震

図一1.3.5 最短距離離式(1.3.1)中の回帰係数に係る地震の種類に応じた補正係数^{1) 2)}



(a) 内陸の活断層地震 (b) 海洋型（プレート境界）地震 (c) プレート内稍深発型地震

図一1.3.6 等価震源距離式(1.3.2)中の回帰係数に係る地震の種類に応じた補正係数^{1) 2)}

参考文献

- 1) Matsumoto, N., Yoshida, H., Sasaki, T. and Annaka, T.: Response Spectra of Earthquake Motion at Dam Foundations, Proc. Twenty-first International Congress on Large Dams (2003)
- 2) 松本徳久・吉田 等・佐々木 隆・安中 正: ダムサイトでの地震動の応答スペクトル, 大ダム, No.186, pp. 69-76 (2004)

なお、図一1.3.3～1.3.6の各図については、そのデジタル値を国土技術政策総合研究所ダム研究室のホームページ (<http://www.nilim.go.jp/>) で公開する予定である。