

A2 架設時の地震の影響

本指針では、架設時の地震の影響に関して 4.2.5「地震の影響」に述べており、地震荷重は基本鉛直荷重に架設時設計震度を乗じて求めるように規定している。

架設時設計震度の設定方法については、まだまとまった理論が確立されているわけではない。現状においては、橋の場合、完成時のレベル I 地震動に対応する設計震度の 1/2 とする事例が多いようである。当然、設計震度は架設サイトの条件によって適切に決めることが望ましいわけであり、たとえば、線路上空で架設する場合は地震荷重を 1/2 にせず、非弾性地震応答を考慮している場合もある³⁾。いずれにしても、架設時設計震度は完成時の設計震度を基本にして定められるわけで、ここでは、参考として道路橋示方書における完成構造物の耐震設計の規定、および鉄道構造物等設計標準のうち必要と思われる事項を示すこととする。

- 1) 道路橋示方書・同解説，日本道路協会，平成 8 年
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，平成 11 年
- 3) 菅野谷，細川，古賀：新幹線上空での PC 桁押し出し架設—北関東自動車道・上三川高架橋—，土木施工 41 巻第 5 号，平成 12 年

A2.1 道路橋示方書（抜粋）

4章 震度法による耐震設計

4.1 震度法に用いる設計水平震度

震度法に用いる設計水平震度は式(4.1.1)により算出するものとする。ただし、式(4.1.1)による値が0.1を下回る場合には0.1とする。

$$k_h = c_z k_{h0} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここに、 k_h ：震度法に用いる設計水平震度（小数点以下2桁に丸める）

k_{h0} ：震度法に用いる設計水平震度の標準値で、表-4.1.1による。

c_z ：3.5に規定する地域別補正係数

ただし、土の重量に起因する慣性力および地震時土圧の算出に際しては、設計水平震度の標準値 k_{h0} は地盤種別がI種、II種、III種に対して、それぞれ、0.16、0.2、0.24とするものとする。

表-4.1.1 震度法に用いる設計水平震度の標準値 k_{h0}

地盤種別	固有周期 T (s) に対する k_{h0} の値		
I種	$T < 0.1$ $k_{h0} = 0.431T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.16$	$0.1 \leq T \leq 1.1$ $k_{h0} = 0.2$	$1.1 < T$ $k_{h0} = 0.213T^{-2/3}$
II種	$T < 0.2$ $k_{h0} = 0.427T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.20$	$0.2 \leq T \leq 1.3$ $k_{h0} = 0.25$	$1.3 < T$ $k_{h0} = 0.298T^{-2/3}$
III種	$T < 0.34$ $k_{h0} = 0.430T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.24$	$0.34 \leq T \leq 1.5$ $k_{h0} = 0.3$	$1.5 < T$ $k_{h0} = 0.393T^{-2/3}$

表-4.1.1を図示すれば、図-解4.1.1のようになる。

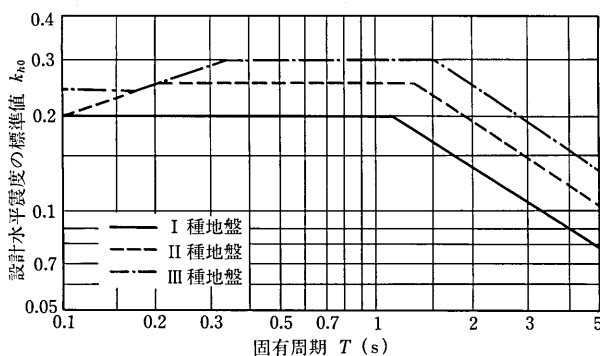


図-解 4.1.1 震度法に用いる設計水平震度の標準値

3章 耐震設計上考慮すべき荷重および設計条件

3.5 地域別補正係数

地域別補正係数は、地域区分に応じて表-3.5.1 の値とする。ただし、架橋地点が地域区分の境界線上にある場合は、係数の大きい方をとるものとする。

表-3.5.1 地域別補正係数 c_z

地域区分	補正係数 c_z	対象地域
A	1.0	下記 2 地域以外の地域
B	0.85	「Z の数値, R_i 及び A_i を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」(昭和 55 年 11 月 27 日建設省告示第 1793 号) 第 1 項 (Z の数値) 表中 (二) に掲げる地域
C	0.7	「Z の数値, R_i 及び A_i を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」(昭和 55 年 11 月 27 日建設省告示第 1793 号) 第 1 項 (Z の数値) 表中 (三) および (四) に掲げる地域

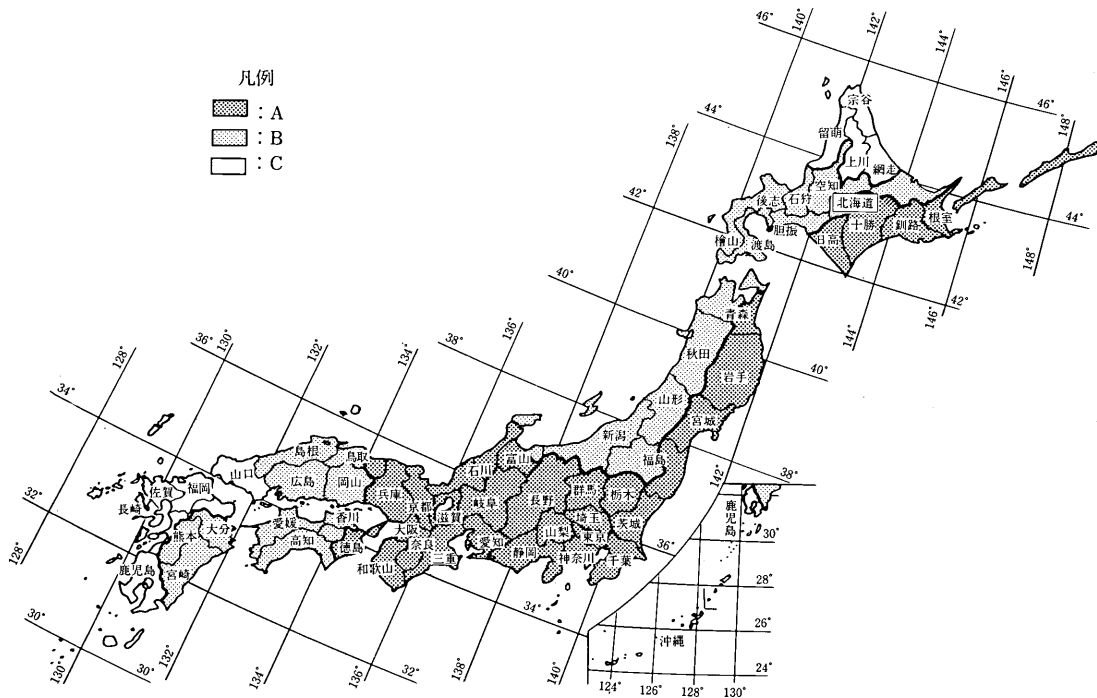


図-解 3.5.1 地域区分

表-解 3.5.1 地域別補正係数の地域区分

地域区分	補正係数 C_z	対象地域	建設省告示第 1793号第1 項中の表
A	1.0	北海道のうち釧路市、帯広市、根室市、沙流郡、新冠郡、静内郡、三石郡、浦河郡、様似郡、幌泉郡、河東郡、上川郡（十勝支庁）、河西郡、広尾郡、中川郡、足寄郡、十勝郡、釧路郡、厚岸郡、川上郡、阿寒郡、白糠郡、野付郡、標津郡、目梨郡 青森県のうち三沢市、十和田市、八戸市、上北郡、三戸郡、岩手県、宮城県 福島県のうち福島市、二本松市、相馬市、原町市、いわき市、伊達郡、相馬郡、安達郡、田村郡、双葉郡、石川郡、東白川郡 茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、長野県、山梨県 富山県のうち富山市、高岡市、氷見市、小矢部市、砺波市、新湊市、中新川郡、上新川郡、射水郡、婦負郡、東礪波郡、西礪波郡 石川県のうち金沢市、小松市、七尾市、羽咋市、松任市、加賀市、鹿島郡、羽咋郡、河北郡、能美郡、石川郡、江沼郡 静岡県、愛知県、岐阜県、三重県、福井県、滋賀県、京都府、大阪府、奈良県、兵庫県 鳥取県のうち鳥取市、岩美郡、八頭郡、気高郡 徳島県のうち徳島市、鳴門市、小松島市、阿南市、板野郡、阿波郡、麻植郡、名西郡、名東郡、那賀郡、勝浦郡、海部郡 香川県のうち大川郡、木田郡 鹿児島県のうち名瀬市、大島郡	(一)
B	0.85	北海道のうち札幌市、函館市、小樽市、室蘭市、北見市、夕張市、岩見沢市、網走市、苫小牧市、美唄市、芦別市、江別市、赤平市、三笠市、千歳市、滝川市、砂川市、歌志内市、深川市、富良野市、登別市、恵庭市、伊達市、札幌郡、石狩郡、厚田郡、浜益郡、松前郡、上磯郡、亀田郡、茅部郡、山越郡、檜山郡、爾志郡、久遠郡、奥尻郡、瀬棚郡、島牧郡、寿都郡、磯谷郡、虻田郡、岩内郡、古宇郡、積丹郡、古平郡、余市郡、空知郡、夕張郡、樺戸郡、雨竜郡、上川郡（上川支庁）のうち東神楽町、上川町、東川町および美瑛町、勇払郡、網走郡、斜里郡、常呂郡、有珠郡、白老郡 青森県のうち青森市、弘前市、黒石市、五所川原市、むつ市、東津軽郡、西津軽郡、中津軽郡、南津軽郡、北津軽郡、下北郡 秋田県、山形県 福島県のうち会津若松市、郡山市、白河市、須賀川市、喜多方市、岩瀬郡、南会津郡、北会津郡、耶麻郡、河沼郡、大沼郡、西白河郡 新潟県 富山県のうち魚津市、滑川市、黒部市、下新川郡 石川県のうち輪島市、珠洲市、鳳至郡、珠洲郡 鳥取県のうち米子市、倉吉市、境港市、東伯郡、西伯郡、日野郡 島根県、岡山県、広島県 徳島県のうち美馬郡、三好郡 香川県のうち高松市、丸亀市、坂出市、善通寺市、観音寺市、小豆郡、香川郡、綾歌郡、仲多度郡、三豊郡 愛媛県、高知県 熊本県のうち熊本市、菊池市、人吉市、阿蘇郡、菊池郡、上益城郡、下益城郡、八代郡、球磨郡 大分県のうち大分市、別府市、臼杵市、津久見市、佐伯市、竹田市、日田郡、玖珠郡、大分郡、直入郡、大野郡、北海部郡、南海部郡 宮崎県	(二)
C	0.7	北海道のうち旭川市、留萌市、稚内市、紋別市、士別市、名寄市、上川郡（上川支庁）のうち鷹栖町、当麻町、比布町、愛別町、和寒町、剣淵町、朝日町、風連町および下川町、中川郡（上川支庁）、増毛郡、留萌郡、苫前郡、天塩郡、宗谷郡、枝幸郡、礼文郡、利尻郡、紋別郡 山口県、福岡県、佐賀県、長崎県 熊本県のうち八代市、荒尾市、水俣市、玉名市、本渡市、山鹿市、牛深市、宇土市、飽託郡、宇土郡、玉名郡、鹿本郡、葦北郡、天草郡 大分県のうち中津市、日田市、豊後高田市、杵築市、宇佐市、西国東郡、東国東郡、速見郡、下毛郡、宇佐郡 鹿児島県（名瀬市および大島郡を除く）	(三)
		沖縄県	(四)

3.6 耐震設計上の地盤種別

耐震設計上の地盤種別は，原則として式 (3.6.1) で算出される地盤の特性値 T_G をもとに，表-3.6.1 により区別するものとする．地表面が基盤面と一致する場合は I 種地盤とする．

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots\dots\dots (3.6.1)$$

ここに， T_G : 地盤の特性値 (s)

H_i : i 番目の地層の厚さ (m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)．ただし，実測値がない場合は式 (3.6.2) により求めてもよい．

$$\left. \begin{array}{l} \text{粘性土層の場合 } V_{si} = 100N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25) \\ \text{砂質土層の場合 } V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.6.2)$$

N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

i : 当該地盤が地表面から基盤面まで n 層に区分されるとき，地表面から i 番目の地層の番号．基盤面とは，粘性土層の場合は N 値が 25 以上，砂質土層の場合は N 値が 50 以上の地層の上面，もしくはせん断弾性波速度が 300 m/s 程度以上の地層の上面をいう．

表-3.6.1 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 T_G (s)
I 種	$T_G < 0.2$
II 種	$0.2 \leq T_G < 0.6$
III 種	$0.6 \leq T_G$

A2.2 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計（抜粋）

この標準は、設計想定地震動に対して構造物に要求する性能（以下、耐震性能）を明確にし、適切な構造解析法を用いて設計想定地震動に対する応答値を算定し耐震性能を適切に評価しうる指標を用いて照査する体系（性能照査型設計）となっている。

設計想定地震動は、L1 地震動（構造物の設計耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動）と L2 地震動（構造物の設計耐用期間内に発生する確率は低いが非常に強い地震動）の 2 つのレベルの地震動としている。

構造物の耐震性能は、主に地震後の損傷に伴う機能回復の面から以下のように設定されている。

耐震性能 I：地震後にも補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない。

耐震性能 II：地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる。

耐震性能 III：地震によって構造物全体系が崩壊しない。

この耐震性能は、構造物を構成する部材の損傷と基礎構造物の安定レベルで表現する体系となっている。

ここでは、L1 地震動に関連する条文と解説について抜粋して記述する。なお、一部分については、原文を若干変更している箇所がある。

3章 設計地震動および荷重

3.3 設計地震動の設定

3.3.1 一般

- (1) 設計地震動は、水平方向および鉛直方向について設定するものとする。
- (2) 設計鉛直地震動は、弾性加速度応答スペクトルまたは加速度波形において設計水平地震動の値の 1/2 とする。
- (3) 地表面設計地震動の算定には、設計地震動を用いるものとする。ただし、地表面の設計鉛直地震動の算定にあたっては、表層地盤の影響を考慮しないことができる。

3.3.2 L1 地震動の設定

L1 地震動は、表 3.3.1 に示す弾性加速度応答スペクトルに 3.5 「地域別係数」による地域別係数を乗じたものとする。

表 3.3.1 L1 地震動の弾性加速度応答スペクトル

固有周期 T (s)	応答加速度値 (gal) (減衰 5%)
$T < 0.2$	$508T^{0.44}$
$0.2 \leq T \leq 1.4$	250
$T > 1.4$	$350/T$

【解説】 L1 地震動は、構造物の耐用期間内に数回程度発生する大きさの地震動であり、これに対する耐震設計は弾性設計を基本とする。

この設計についてはすでに多くの経験を積んでおり、この地震荷重により設計された構造物は、兵庫県南部地震を除きこれまでの大地震によく耐えてきたことから、有効なものであると考えられる。

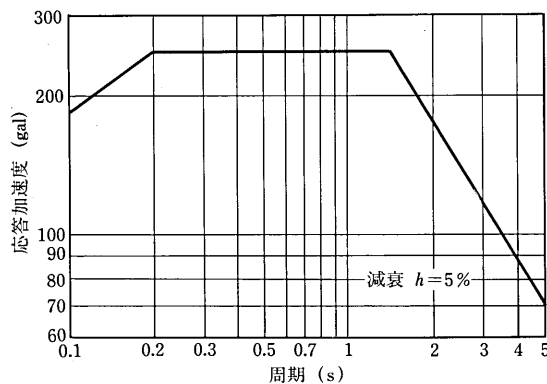
一方、最近の地震データの蓄積や地震危険度解析等、地震工学の進歩から確率的に L1 地震動を導き出すことも可能となっていると考えられる。

そこで、従来より設計で用いられてきた地震動を基本とし、さらに日本全国での再現期間 50 年の地震危険度解析結果を考慮して L1 地震動を設定することとした。

基盤面における L1 地震動の標準的な弾性加速度応答スペクトルは表 3.3.1 および解説 図 3.3.1 のとおりである。

L1 地震動に対する設計地震動は、地震動の地域特性を考慮して上記の弾性加速度応答スペクトルに地域別係数 (3.5「地域別係数」参照) を乗じたものを用いるものとする。

なお、L1 地震動に対して動的解析を行う場合は、設計地震動に適合させた地震動時刻歴を用いてよいこととし、その作成方法は 3.6「時刻歴動的解析に用いる地震波形の算定」によるものとする。



解説 図 3.3.1 L1 地震動の弾性加速度応答スペクトル

3.4 耐震設計上の基盤面の設定

耐震設計上の基盤面は、地層のせん断弾性波速度または土質柱状図に基づき、連続した硬い地層の上面に設定するものとする。

【解説】 地震動を設定する基盤面は、震源域で発生した地震動の増幅影響が少なく、できるだけせん断弾性波速度の大きい地盤の上面に設定することが望ましいが、一般の設計業務における土質調査のレベルを考慮して、次のいずれかの条件を満足する基盤層の上面に設定するものとする。

- (1) 砂質土で N 値 50 以上、粘性土で N 値 30 以上の連続地層
- (2) 地層のせん断弾性波速度 (微小ひずみの場合) が 400 m/s 以上の連続地層

なお、精度のよい土質調査が実施できる場合は、せん断弾性波速度がより大きい地盤を耐震設計上の基盤とするのがよい。

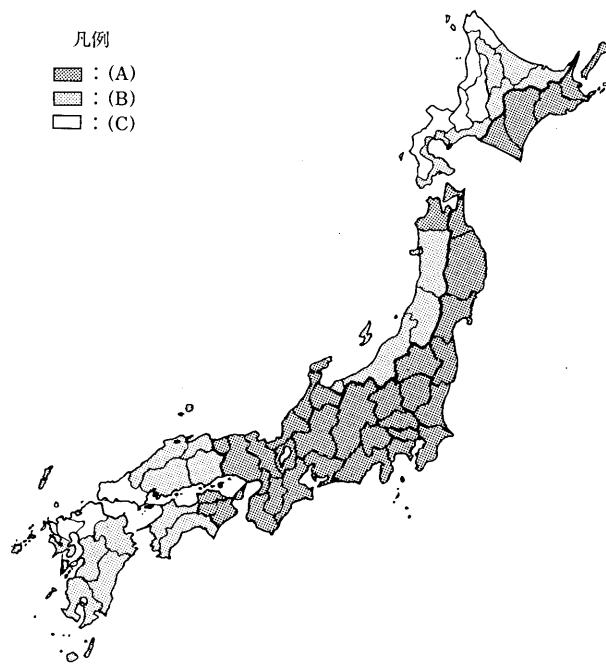
3.5 地域別係数

地域別係数は、表 3.5.1 によるものとする。ただし、構造物が地域区分の境界線上にある場合は、二つの係数のうち大きいものとする。

表 3.5.1 地域別係数

地域区分	A	B	C	
地域別係数	1.00	0.85	0.70	
対象地域	北海道	日高, 釧路, 十勝, 根室の各支庁	上川, 網走, 胆振, 渡島の各支庁	石狩, 後志, 檜山, 宗谷, 留萌, 空知の各支庁
	東北	青森, 岩手, 宮城, 福島	秋田, 山形	
	北陸	富山, 石川, 福井	新潟	
	関東	茨城, 栃木, 群馬, 千葉, 埼玉, 東京, 神奈川		
	中部	静岡, 山梨, 長野, 愛知, 岐阜, 三重		
	近畿	滋賀, 京都, 大阪, 奈良, 和歌山, 兵庫		
	中国		鳥取, 島根, 岡山, 広島	山口
	四国	徳島, 香川	愛媛, 高知	
	九州		大分, 長崎, 宮崎, 熊本, 鹿児島	福岡, 佐賀
	沖縄		全県	

【解説】 震源位置を特定できない場合の設計地震動は、地震活動度、既往の地震記録および断層情報等より対象地域における対象地震動の推定値の大きさを考慮して設定するものとする。



解説図 3.5.1 地域別係数

3.7.3 地震の影響

地震の影響として、次の荷重を考慮するものとする。

- (1) 慣性力
- (2) 地盤変位による影響
- (3) 地震時土圧
- (4) 地震時動水圧
- (5) 地盤の液化化による側方流動の影響

【解 説】 (1) について 死荷重により作用する水平方向の慣性力は、死荷重の質量特性値に応答加速度を乗じた値とする。また、列車荷重により作用する水平方向の慣性力は、列車荷重の特性値に軌道方向については 0.2、軌道直角方向については、0.3 を乗じた上限値としてよい。列車荷重による軌道方向の慣性力の算定において、応答加速度の上限値を 0.2g としたのは、車輪とレールとの粘着係数は 0.2 程度であり、それ以上の水平力が作用すると滑動するからである。また、軌道直角方向の慣性力の算定において、応答加速度の上限値を 0.3g としたのは、車両には動的制振効果があること、また車両と構造物とは必ずしも同位相では応答しないことから、列車荷重による軌道直角方向の慣性力を計算する際の上限值として 0.3 程度を考慮してよいこととした。

5 章 表層地盤の評価および挙動の算定

5.1 一般

- (1) 構造物の耐震設計にあたっては、3 章「設計地震動および荷重」に規定する設計地震動を用いて、表層地盤の応答を算定し、その波形または弾性応答スペクトルから定まる慣性力を構造物に作用させるものとする。

【解 説】 (1) について 既往の震災事例および解析事例によれば、表層地盤の挙動が構造物の被災に及ぼす影響の大きいことが判明している。そこで、本標準においては表層地盤の影響を評価するため、土質調査に基づいてその土質諸定数を決定し、3 章「設計地震動および荷重」に規定する設計地震動を用いて地盤の応答を算定し、その結果得られる地震動ないしは応答スペクトルから定まる荷重を構造物に作用させて耐震設計を行う方法とした。

5.7.2 地盤種別に応じた地表面設計地震動

5.7.2.1 一般

地盤種別に応じて地表面設計地震動を設定する場合は、5.7.2.2「地盤種別」の区分に応じ、5.7.2.3「地表面設計地震動」によるものとする。

5.7.2.2 地盤種別

地盤種別は、表層地盤のせん断弾性波速度に基づいて算定した固有周期に応じ、表 5.7.1 に示す区分とする。

表 5.7.1 耐震設計における地盤種別

地盤種別	固有周期 (sec)	地盤条件	地盤種別	固有周期 (sec)	地盤条件
G0	—	岩盤	G4	0.5~0.75	普通~軟弱地盤
G1	—	基盤	G5	0.75~1.0	軟弱地盤
G2	~0.25	洪積層	G6	1.0~1.5	軟弱地盤
G3	0.25~0.5	普通地盤	G7	1.5~	きわめて軟弱な地盤

【解 説】 耐震設計上の地盤種別は、検討地点の地盤条件に応じた地表面設計地震動を選定するためのものであり、表層地盤のせん断弾性波速度に基づいて算定される表層地盤の固有周期に応じて G0 地盤から G7 地盤までに区分している。各地盤区分の大まかな目安となる地盤条件を表 5.7.1 に示した。G0 地盤は岩盤が地表に露出している地盤に、G1 地盤は 3.4「耐震設計上の基盤面の設定」に示す耐震設計上の基盤面が地表に表れている地盤に相当する。G2 地盤から G7 地盤は、基本的に表層地盤の固有周期による区分となるが、G2 地盤は洪積層が土層の大半を占めるような地盤に、G3 地盤は洪積層と沖積層が堆積するような、いわゆる普通地盤に相当する。G4 地盤からは軟弱地盤が含まれるようになり、G6 ないし G7 地盤は、腐植土層が厚く堆積する地盤や沿岸部の軟弱な埋立地盤等が概ね該当する。

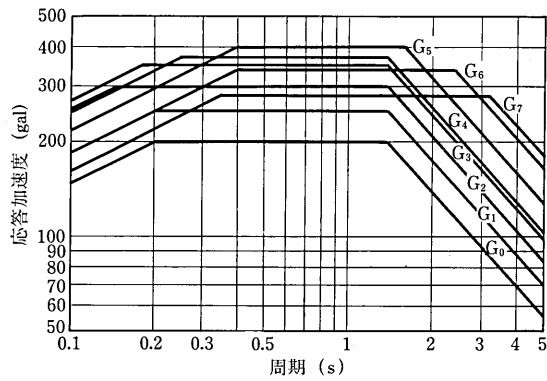
5.7.2.3 地表面設計地震動

地表面設計地震動は、5.7.2.2「地盤種別」の区分に応じ、別表 1 に示す弾性加速度応答スペクトルとする。

別表 1 地表面設計地震動の弾性加速度応答スペクトル (L1 地震動)

地盤種別	固有周期 T (sec)	応答加速度値 (gal) (減衰 5%)	地盤種別	固有周期 T (sec)	応答加速度値 (gal) (減衰 5%)
G0	$T < 0.2$	$406T^{0.44}$	G4	$T < 0.25$	$681T^{0.44}$
	$0.2 \leq T \leq 1.4$	200		$0.25 \leq T \leq 1.4$	370
	$T > 1.4$	$280T^{-1}$		$T > 1.4$	$518T^{-1}$
G1	$T < 0.2$	$508T^{0.44}$	G5	$T < 0.4$	$599T^{0.44}$
	$0.2 \leq T \leq 1.4$	250		$0.4 \leq T \leq 1.6$	400
	$T > 1.4$	$350T^{-1}$		$T > 1.6$	$650T^{-1}$
G2	$T < 0.15$	$691T^{0.44}$	G6	$T < 0.4$	$509T^{0.44}$
	$0.15 \leq T \leq 1.4$	300		$0.4 \leq T \leq 2.4$	340
	$T > 1.4$	$420T^{-1}$		$T > 2.4$	$816T^{-1}$
G3	$T < 0.18$	$744T^{0.44}$	G7	$T < 0.35$	$444T^{0.44}$
	$0.18 \leq T \leq 1.4$	350		$0.35 \leq T \leq 3.2$	280
	$T > 1.4$	$490T^{-1}$		$T > 3.2$	$896T^{-1}$

【解 説】 既往の地質縦断図集等から選択した多数の土質柱状図から地盤モデルを作成し、3.3.2「L1 地震動の設定」で設定された設計地震動を基盤入力地震動として地盤の動的解析を行った。これにより得られた地表面での弾性加速度応答スペクトルについて統計的処理を行い、観測記録によるスペクトルとこれまでの設計で考慮していたスペクトルの特性を加味して、5.7.2.2「地盤種別」による地盤種別ごとの地表面設計地震動に対応する弾性加速度応答スペクトルを設定した。各地盤種別での地表面設計地震動の弾性加速度スペクトル（減衰定数 $h = 0.05$ ）を解説図 5.7.1 に示す。



解説図 5.7.1 地表面設計地震動の弾性加速度応答スペクトル (L1 地震動)