

耐震設計における地盤種別について

株式会社 プラント耐震設計システムズ
池 田 雅 俊

1. まえがき

地震が発生すると比較的地殻深部を揺れが地震はとして広く伝播していく。この地震波が建設地点に達すると、そこでの地盤の状況に応じて様々な影響を受ける。高圧ガス保安法や建築基準法など各種基準では、建設地点の地盤の影響を考慮して、いずれも地盤種別に応じて地震動の強さを規定している。高圧ガス保安法で設計震度¹⁾は、 $0.15 \cdot \alpha \cdot \beta$ （ここで α は、耐震告示 515 第 3 条で表 1 のように定める地盤増幅係数、 β は、第 6 条で地盤種別に応じて定める応答倍率）と規定されている。建築基準法³⁾でせん断力係数は、 $C_0 \cdot R_t$ （ここで、 C_0 は建築基準法施行令第 88 条で定める標準せん断力係数、 R_t は建告示 1793 で表 2 のように地盤種別に応じて定める応答倍率）と規定している。

道路橋示方書⁴⁾の解説の中では、耐震設計上の地盤の種別で「概略の目安としては、 α 種地盤は良好な洪積地盤及び岩盤、 β 種地盤は沖積地盤のうち軟弱地盤、 γ 種地盤は α 種地盤及び β 種地盤のいずれにも属さない洪積地盤及び沖積地盤と考えてよい。」と記されている。

表 1 . 高圧ガス保安法における地盤種別と表層地盤増幅係数（高圧ガス保安法告示 515 号¹⁾）

³⁾ 表層地盤増幅係数であつて、次の表の左欄に掲げる地盤種別に応じ、同表の右欄に掲げる値。ただし、耐震設計構造物の設置位置における地震観測又は常時微動観測等により表層地盤の振動特性を推定できる場合は、当該観測等に基づく数値によることができる。

地 盤 種 別	α
第 1 種地盤（第三紀以前の地盤）	1.4
第 2 種地盤（洪積層地盤）	2.0
第 3 種地盤（第 1 種、第 2 種及び第 4 種地盤以外の地盤）	2.0
第 4 種地盤（埋土又は沖積層の厚さが 25 メートル以上の地盤）	2.0

備考

第 1 種地盤又は第 2 種地盤上に表土層がある場合で、次のイ又はロに該当するときは、当該地盤をそれぞれ第 1 種地盤又は第 2 種地盤とみなすことができる。

イ 基礎が第 1 種地盤又は第 2 種地盤に直接支持されている場合であつて、表土層の厚さが 10 メートル以下であり、かつ、当該耐震設計設備の地表面から重心までの高さの 2 分の 1 以下の場合

ロ 表土層の厚さが 4 メートル以下であり、かつ、当該耐震設計設備の地表面から重心までの高さの 5 分の 1 以下の場合

表2．建築基準法における地盤種別と地盤周期（建告示1793³⁾）

Tc：建築物の基礎底部（剛強な支持杭を使用する場合にあっては、当該支持杭の先端）の直下の地盤の種別に応じて、次の表に掲げる数値（単位 秒）		
地盤種別	定義	地盤周期 Tc（秒）
第1種地盤	岩盤、硬質砂礫その他主として第三期以前の地層によって構成されるもの、又は地盤周期についての調査若しくは研究に結果に基づき、これと同程度の地盤周期を有すると認められるもの	0.4
第2種地盤	第1種地盤及び第3種地盤以外のもの	0.6
第3種地盤	腐食土、泥土その他これらに類するもので大部分が構成されている沖積層（盛土がある場合においてはこれを含む）で、その深さがおおむね30m以上のもの、沼沢、泥海を埋め立てた地盤の深さおおむね3m以上であり、これらが埋め立てられてからおおむね30年経過していないもの、又は地盤周期について調査若しくは研究の結果に基づき、これらと同程度の地盤周期を有するとみとめられるもの	0.8

いずれの基準でも地盤種別の定義には、第三紀以前の地層、洪積層、沖積層などの用語が用いられているが、それらの明確な定義は記載されていない。

「洪積層」と「沖積層」という用語は、地学用語としては既に使われていないが、一般的に洪積層は良好な地盤を、沖積層は軟弱な地盤を指し、それぞれ洪積世、沖積世の時代に堆積した地層をいう。なお、地学用語としては、「沖積世」は完新世と、「洪積世」は更新世とそれぞれ対応している。

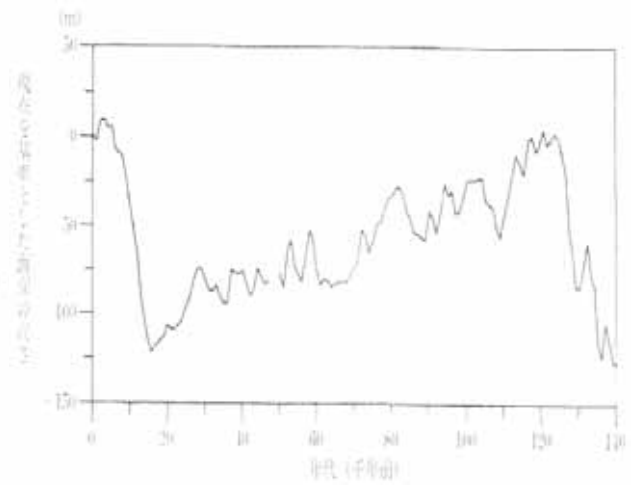
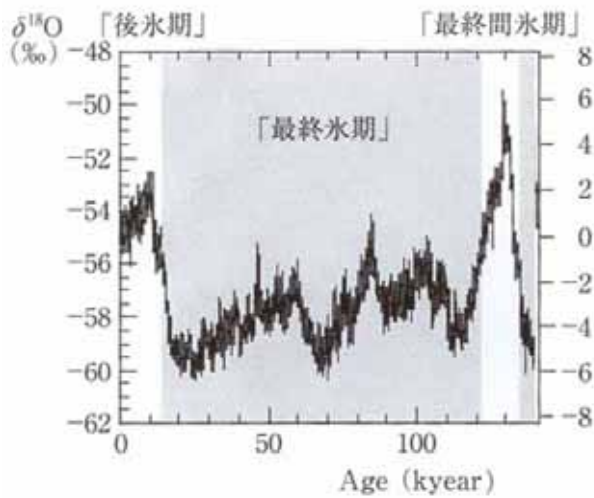
今回は、ここのような洪積層と沖積層について紹介する。

2. 地質時代と土層

2.1. 地質時代

土は生成され堆積した時間の経過とともに硬くなる。堆積した時代の新しいものは一般的に軟弱である。長い年月を経過したも堆積物は固結して固く、さらに時間を経ると固化して岩石になる。このような時間の経過を地質時代という。

現在より17万年前までの「第四紀」は気候の変化に伴い、寒冷で氷河が発達した氷期と、比較的温暖で氷河が縮小した間氷期が繰り返されてきた結果、気温の変化に伴う海面の大幅な変化が見られた。図1には、酸素同位体比（¹⁶O）と気温変動は正の相関関係を示すことから、氷（南極ドーム）に含まれる酸素同位体比から140万年前までの古気温を示す。



(a) 気温の変化

(b) 海面の変化

図1. 過去14万年間の気温の変化と海面変化⁵⁾

最終氷期の最も寒冷であった約1.8万年前には、図2(a)のように、海面は現在よりも80mから120m低下していた。その後の温暖化により、約6千年前には海面は図(b)のように、現在よりも3~5m高くなった。そのため、内陸部まで海面が入り込んで、海岸部の平野に未固結の粘土層を堆積した。関東平野においてものように内陸部まで海が入り込んできた。この海進は、縄文海進と呼んでいる。その後の寒冷化により海面が低下して現在のようになっている。



(a) 約1.8~2万年前

(b) 約6000年前(縄文海進)

図2. 関東地区における気温の変化に伴う海岸線の変遷⁵⁾

表3 新生代の地質年代区分^{6), 7)}

代 Era	亜代 Sub - Era	紀 Period	世 Epoch	備考	年代 (100万年前)	
					始	終
新生代 Cenozoic	第四紀 Quaternary		完新世 Holocene	(沖積世) 人類の繁栄	0.0114	...
			更新世 Pleistocene	(洪積世) 大型ほ乳類 の衰退と人 るの誕生	1.806	0.0114
	第三紀 Tertiary	ネオジーン Neogene	鮮新世 Pliocene		5.332	1.806
			中新世 Miocene		23.03	5.332
		パレオジ ン Paleogene	漸新世 Oligocene		33.9	23.03
			始新世 Eocene		55.8	33.9
			暁新世 Paleocene		65.5	55.8

2.2. 沖積層と洪積層

日本における沖積層とされる地層は、この最終氷期最盛期以降の約1.8万年前から現在までの堆積物を指している。地質年代区分^{6), 7)}を表3に示す。完新世の始まりは1.14万年前といわれているので、完新世と沖積層の生成した年代は、一部で異なっている。

このように寒冷化にともなう陸地化による溪谷、河川の発達と堆積、温暖化による海進に伴う堆積が繰り返されて複雑な地層が形成される。

沖積層は沖積世に堆積した比較的新しい地層で十分に固化が進まない軟弱な地盤である。不整合(地層の堆積が、陸地になった期間があったこと等により連続していないこと)が見られることもある。なお、沖積層は以前、氷を意味する二水“冫”の“沖積層と表記されていた。しかし、漢字の制限により、当用漢字の“沖”が代わって用いられている。

現在の河川とは関係なく広域に分布している第四紀の堆積物を洪積層と呼び、洪積世に堆積された土層は固結してかなり硬くなっている。ヨーロッパにおいては、洪積層はノアの大洪水により堆積したと信じられて、洪積層と名づけられた、現在では、ほとんどは氷河の作用による堆積物であることが知られてい

2.3. 第三紀層

現在では第三紀と第四紀に対して第一紀と第二紀は使われていない。1759年頃、Giovanni ArduinoがPrimary(第一紀)、Secondary(第二紀)、Tertiary(第三紀)に分類した。Primary(第一紀)はPaleozoic(古生代)に、Secondary(第二紀)はMesozoic(中生代)が、それぞれだいたい相当している。その後、Quaternary(第四紀)が付け加えられ、最近の氷期と間氷期の気候の期

間について用いられている。

「第三紀」という年代区分は最近まで使われてきたが、現在では「Neogene (ネオジン)」と「Palaeogene (パレオジン)」に区分され、新生代の中の区分とされている。

地質時代の区分は、特定の種類の生物の大量な絶滅等による生物相の変化によって区分されており、第四紀は人類の時代として決められていた。しかし、古い原人が発見されたりして、第三紀と第四紀の境界についての定義が曖昧なことになってしまい、第四紀の開始年代を258.8万年前まで遡る提案が出されている。この場合、基準への影響は避けられない。

3. 表層地盤増幅係数の設定

高圧ガス保安法において表層地盤増幅係数及び地盤種別の設定は次のような方法により判定してよいとしている²⁾。

(a) ボーリングによる土質調査にもとづき表層地盤増幅係数 α_0 及び地盤種別を設定する場合 次の(i)又は(ii)のいずれかの方法により地盤種別を判定して、その地盤種別に応じて表1により表層地盤増幅係数 α_0 を設定する。

(i) ボーリングによる調査結果を土質柱状図に表示するが、これには、各層の厚さ、土層及びN値を土層断面図にまとめて図示する。種別の判定は表4を参考にする。

(ii) 常時微動特性が測定されている場合は、前記ボーリングによる土層断面図と併せて表4を参考にして種別を判定する。

(b) 地震観測又は常時微動観測により表層地盤増幅係数 α_0 及び地盤種別を設定する場合 次の(i)又は(ii)のいずれかの方法により表層地盤増幅係数 α_0 の設定を行う。

(i) 地震観測による表層地盤増幅係数 α_0 の設定は、次の α_0 又は α_0' のいずれかによる。

地震計を地表面及び地震基盤に設置し、気象庁震度階 α 以上で重大な震害を及ぼすと考えられる震源群からの地震を含んだ三つ以上の観測値によって増幅率を求める。

地震計を地表面及び地震基盤に設置し、得られた観測値及び耐震設計構造物の設置位置における地盤物性値を使用した重複反射理論、次元質点系又は有限要素法による応答計算を行い、地盤の歪レベルによる検証を行って増幅率を求める。

(ii) 常時微動観測による表層地盤増幅係数 α_0 の設定は、次の α_0 又は α_0' のいずれかの方法を検討した結果から求められる値による。

地表面及び地震基盤での常時微動測定を行い、スペクトル解析から伝達関数を計算することにより表層地盤増幅係数 α_0 を求める。

弾性波検層又はそれにかわる統計的な地盤の物性値の歪レベルが考慮された解析方法を用いて表層地盤と基盤との振動インピーダンス比及び表層地盤と地震動の周期を設定し、これから増幅率を求める。

表4 地盤種別判定の目安

種別	告示定義	常時微動特性		地盤構成	N値
		平均周期	卓越周期		
第1種	第3紀以前の地盤	0.2秒以下	0.1秒以下	地盤が当該建造物の周囲相当の範囲にわたって岩盤，硬質砂礫層その他主として第3紀以前の地層によって構成されているもの	
第2種	洪積層の地盤	0.1秒～0.45秒	0.3秒付近	地盤が当該建造物の周囲相当の範囲にわたって砂礫層，砂混り硬質粘土層，ローム層その他主として洪積層によって構成されているもの，又は厚さが概ね5m以上の砂利層若しくは砂利層の沖積層によって構成されているもの	
第3種	第1，2，4種以外の地盤	0.35秒～0.75秒	0.5秒付近		
第4種	埋土又は沖積層の厚さが25m以上の地盤	0.55秒以上	0.8秒付近	腐食土，泥土その他これらに類するもので構成されている沖積層（盛土及び埋立土を含む）の厚さが概ね25m以上のもの	地表面下およそ30mまでの大部分の層のN値が10以下，又は地表面下60mまでにかかなり厚い地層でN値が50を超える層のないもの

4. あとがき

地盤種別は地震力を定める上で重要な要因である。しかしながら、規定上、明確な定義等がなく、学問的には死語となった用語を使うなど不適切なまま運用されている。以上のように学問の進歩に応じて、学会での用語の定義に対する変化や物理的意味が変化が見られる。基準がこれに追従していないといえる。間違いのないように運用面で配慮していかなければならない。

逆に考えれば、地盤種別の目的が地震の動的な影響であるのなら、表4の卓越周期を基本にした地盤種別の判断が最も適切であると考えられる。

今回は、地盤種別で使われている用語について最新の情報を解説した。地盤種別について、適切な判断が行われることを望む。

参考文献

- 1) 通商産業省：高圧ガス設備等耐震設計基準、高圧ガス保安法昭和57年告示第515号、1981.10
- 2) 高圧ガス保安協会：高圧ガス設備等耐震設計指針 レベル1耐震性能評価（耐震設計設備・基

礎) 編、KHK E012-1-2006,2008.06.16

- 3) 国土交通省：「Z の数値、 R_t 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を定める件」、建築基準法、昭和55年11月27日建設省告示第1793号
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書(耐震設計編)・同解説(2001)
- 5) 松原彰子：地球規模の海面変化に伴う沿岸地域の地形変遷、「水資源・ユーラシア回廊合同研究会」話題提供、2008.3.13
- 6) 日本第四紀学会：第四紀通信、12-6(2005)
- 7) International Commission on Stratigraphy (ICS):地質年代表、2008年07月版