第1章 地震被害想定調查

1.1 地震動の予測

- 1.1.1 想定地震
- (1) 白井市周辺で発生する地震のタイプ

地球の表面は数十枚のプレートと呼ばれる固い岩盤で覆われており、地下のマグマ の対流によって互いに異なる方向へゆっくりと移動している。このため、プレートの 間に歪みが蓄積され、岩盤がそれに耐えられなくなったときに破壊され、地震が発生 する。これが日本付近で起こる主な地震の発生の概略的なしくみである。

中央防災会議(2013)によれば、南関東で発生する地震のタイプはおよそ次のとおりである。

南関東地域は、南方からフィリピン海プレートが北米プレートの下に沈み込み、これらのプレートの下に東方から太平洋プレートが沈み込む特徴的で複雑なプレート構造を成す領域に位置している(図 1.1-1)。



図 1.1-1 関東周辺のプレート境界活断層調査・地下構造調査結果と地震防災

このため、この地域で発生する地震の様相は極めて多様で、これらの地震の発生様 式は、概ね次の6つのタイプに分類される(図 1.1-2)。

- ① 地殻内(北米プレートまたはフィリピン海プレート)の浅い地震
- ② フィリピン海プレートと北米プレートの境界の地震
- ③ フィリピン海プレート内の地震
- ④ フィリピン海プレートと太平洋プレートの境界の地震
- ⑤ 太平洋プレート内の地震
- ⑥ フィリピン海プレートおよび北米プレートと太平洋プレートの境界の地震



図 1.1-2 南関東地域で発生する地震のタイプ(中央防災会議, 2013)

白井市への影響を念頭に、それぞれのタイプの地震の特徴を、中央防災会議(2013) 等を参考に以下に示す。

地殻内の浅い地震(①のタイプ)は、平成7年(1995年)兵庫県南部地震などのように地表付近にある活断層で発生する地震である。地表に明瞭な活断層がない場合には最大でモーメントマグニチュード6.8の規模(中央防災会議,2013)の地震が発生する可能性があり、その場合はいつどこで発生するとは特定できない。プレート境界の地震(②のタイプなど)に比べると地震の規模が小さいが、白井市の直下で発生した場合には、震源断層からの距離が5km程度(図 1.1-3)と短いため、極めて大きい揺れを白井市に及ぼすこととなる。

フィリピン海プレートと北米プレートの境界の地震(②のタイプ)には、大正12年 (1923年)大正関東地震などがあり、マグニチュード8クラスの地震が 200 年~400 年 間隔で発生すると考えられている。当面このタイプのマグニチュード 8 クラスの地震 が発生する可能性は低いが、今後 100 年先頃には地震発生の可能性が高くなっている と考えられる(中央防災会議, 2013)。なお、文部科学省地震調査研究推進本部地震調 査委員会(2014)によると、マグニチュード8クラス(M7.9~M8.6)の地震が今後 30 年間で地震が発生する確率は、ほぼ 0~6パーセント(2019 年現在)と推定されている。 このタイプのマグニチュード 8 クラスの地震は前回の大正関東地震から約 100 年経過 したところであり、このタイプのマグニチュード 8 クラスの発生する可能性は今のと ころ低い。しかし、過去の地震発生の経験(図 1.1-5)から繰り返し発生するこのタイプ のマグニチュード 8 クラスの地震が次に発生するまでの間に、マグニチュード 7 クラ スの地震が複数回発生することが想定される。このため、マグニチュード 7 クラスの フィリピン海プレート内の地震(③のタイプ)とともに、マグニチュード 7 クラスの 地震の発生の切迫性が高くなっている(中央防災会議, 2013)。文部科学省地震調査研 究推進本部地震調査委員会(2014)によると、今後 30 年間で南関東地域(図 1.1-4)の 直下でマグニチュード 7 クラスの地震が発生する確率は、70 パーセント程度と推定さ れている。このタイプの地震は白井市の直下でも発生する可能性があり、中央防災会 議(2013)(図 1.1-6)を参照すると白井市の直下ではこのプレート境界はおよそ 35km の深さにある。

フィリピン海プレート内の地震(③のタイプ)はマグニチュード 7 クラスの地震を 発生させる可能性があり、フィリピン海プレートと北米プレートの境界の地震(②の タイプ)のうちマグニチュード 7 クラスの地震とともに、今後 30 年間で南関東地域 の直下で発生する確率 70 パーセント程度と切迫性が高い。白井市の直下ではこのプレ ートは 35km 以深にある。

フィリピン海プレートと太平洋プレートの境界の地震(④のタイプ)、フィリピン海 プレートおよび北米プレートと太平洋プレートの境界の地震(⑥のタイプ) 地震は、 いずれも太平洋プレートの上面で発生する。特に、⑥のタイプの地震として、平成 13 年(2011 年) に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)は、国内最大規模の モーメントマグニチュード 9.0 である。中央防災会議(2013)(図 1.1-7)を参照すると、 このプレート境界は白井市の直下ではおよそ 70km の深さにある。中央防災会議(2013) では、これらのタイプの地震(④、⑤、⑥のタイプ)については首都直下で想定する地 震としていない[※]。

[※] 太平洋プレート付近で発生する地震として 17 世紀以降に関東地域等に被害を及ぼしたものは、 1677 年延宝房総沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)がある。いずれも地震動に よる被害は大きくなく、津波による被害が甚大であった。中央防災会議(2013)では太平洋プレ ート付近で発生する地震については津波被害のみについて検討している。



図 1.1-3 地震発生層上面深度分布図(内閣府, 2005)

地震発生層上面深度=地震基盤面の上面深度+2km

※ 中央防災会議(2013)では、南関東地域直下の想定地震の設定について、 断層上端の深さを5 kmもしくは地震基盤+2 kmより深い方としている。



文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014)



図 1.1-5 南関東で発生した地震(M6以上、1600年以降) 文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014)

※ 前回発生したマグニチュード8クラスの地震「大正関東地震」とその前の「元禄関東地震」 の間の220年のうち、前半の100年程度比較的静穏な時期があり、後半の100年程度にマ グニチュード7クラスの地震が比較的多く発生した。大正関東地震から、現在まで約100 年間、比較的、静穏であったが、今後100年程度の間マグニチュード7クラスの地震がい くつか発生する可能性があると考えられる。



千葉県(2000)活断層調査・地下構造調査結果と地震防災.

図 1.1-7 太平洋プレート上面の深度

中央防災会議(2013)

中央防災会議(2013) 首都の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書. 首都直下地震モデル検討会,平成 25 年 12 月.

文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会(2004)相模トラフ沿いの地震活動の長期評価. 平成 16 年 8 月 23 日

文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014)相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版). 平成26年4月25日

内閣府(2005)地震防災マップ作成技術資料.平成17年3月,内閣府(防災担当).

(2) 想定地震の設定

中央防災会議(2013)において、首都直下で想定する地震として検討されている前 記①~③のタイプの地震(図 1.1-2 参照)について、震源断層からの距離と地震の規 模から、白井市の受ける地震動の大きさを図 1.1-8に比較してみた。

千葉県(2000)の調査では白井市付近には活断層等は見つかっていない。したがっ て、活断層位置を明瞭に特定できる場所はない。このことから、①のタイプの地震(「地 殻内の浅い地震」)としては、「地表面断層が不明瞭として想定する地震」として設定 することとなる。この場合、前述のとおり、中央防災会議(2013)より、白井市での 震源断層上端の深さは5km、モーメントマグニチュードは6.8となる。

②のタイプの地震(「フィリピン海プレートと北米プレートの境界の地震」)および ③のタイプの地震(「フィリピン海プレート内の地震」)の場合、中央防災会議(2013) の設定に従い、今後 100 年程度の間に首都直下で発生することが懸念されているマグ ニチュード7クラスの地震としては、モーメントマグニチュード7.3 となり、白井市で の震源断層上端の深さは約 35km である。

白井市で想定される地震動の大きさは、図 1.1-8 に示すとおり、

①タイプの地震・・計測震度 5.9~6.3 (震度 6 弱~6 強)

②タイプの地震・・計測震度 5.4~5.8 (震度 5 強~6 弱)

③タイプの地震・・計測震度 5.5~5.8 (震度 6 弱)

となる。

この中で、最も白井市における震度が大きくなる「地殻内の浅い地震」(図 1.1-2 の ①)を本調査における想定地震とする。

「地殻内の浅い地震」(図 1. 1-2 の①)は、白井市付近において、「フィリピン海プレートと北米プレートの境界の地震」(図 1. 1-2 の②)や「フィリピン海プレート内の地震」(図 1. 1-2 の③)に比べて、切迫性が指摘されているものではない。また、白井市付近には活断層等の存在も指摘されていない。しかし、白井市における防災対策を最大の地震被害を想定して検討するため、白井市直下を震源とする「地殻内の浅い地震」を想定地震とするものである。

この地震はどこで発生するかはわからないため、白井市(2013)にならい、白井市 の中央直下に震源断層を設定した。

震源断層の位置を図 1.1-9、断層の諸元を表 1.1-1 にそれぞれ示す。

なお、地震の規模、震源断層の深さの設定は、千葉県(2016)「平成26・27 年度 千 葉県地震被害想定調査」における「防災リスク対策用地震」の設定に沿うものである。 ただし、千葉県(2016)の「防災リスク対策用地震」は震源の位置を特定していない のに対し、本想定地震では白井市の直下に震源断層を特定している点が異なる。

また、この想定地震で震度分布を計算した場合には、地盤の揺れやすさを考慮しなければ、設定した震源断層上端から遠い場所で、すなわち市の南西部や北東部で、相対的に震度が小さくなる。このため、震度予測、液状化危険度予測および建物被害予測については、震源断層位置を特定せず、全域の直下(深さ 5km)に断層上端がある場合の計算もあわせて行う。



基盤での揺れの大きさの算定方法については1.1.5 ⑤による。 ①のタイプの地震はモーメントマグニチュード6.8、断層の傾き45度とした(後述参照)。 ②のタイプの地震はモーメントマグニチュード7.3、断層の傾き10度(フィリピン海プレート上面のおよその傾き)とした。 ③のタイプの地震は日井市直下では震源断層の上端が5kmとなり、白井市直下の基盤の揺れの大きさは39.4cm/secとなる。②および③のタイプの地震は白井市直下では震源断層の上端が35km以上となり、35kmの場合には白井市直下の基盤の揺れの大きさはそれぞれ20.6、 22.7cm/secとなる。 後述する方法により地表での震度を計算すると、白井市内では次のようになる。 ①タイプの地震・・計測震度5.9~6.3(震度6弱~6强) ③タイプの地震・・計測震度5.5~5.8(震度6弱)

1 地殻内の浅い地震
 2 フィリピン海プレートと北米プレートの境界の地震
 3 フィリピン海プレート内の地震
 図 1.1-8 地震タイプによる白井市に及ぶ揺れの大きさの比較



図 1.1-9 想定震源断層の位置

規模	モーメントマグニチュード 6.8 気象庁マグニチュード 7.1 に相当(※1)
長さ	23.8km (※2)
幅	11.9km (※3)
上面深さ	5km (※4)
傾き	45度北東方向に傾斜(※5)
震源断層	上辺が白井市重心を通り、 北西から南東に伸びる(※5)

表 1.1-1 白井市直下に震源を持つ地震の震源断層の諸元

※1 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(2005)による気象庁マグニチュード M とのモーメントマグニチュード Mwの関係の経験式によって算定

Mw=0.879M+0.536

- ※2 松田(1975)による断層長さL(km)と気象庁マグニチュードMの経験式によって算定
 log₁₀L = 0.6 M 2.9
- ※3 断層幅は断層長さの半分に設定
- ※4 中央防災会議「首都直下地震対策検討ワーキンググループ」(2013)の設定『震源断 層の上端は5kmまたは地震基盤+2kmの深い方』に従う。中央防災会議「首都直下地震 対策専門調査会」地震ワーキンググループ(2004)によれば、白井市直下では深さ5km である。
- ※5 白井市(2013)の設定(下表)による。

規模	マグニチュード 7.3	
長さ	30km	
幅	15km	
上面深さ	5km	
傾き	45 度北東方向に傾斜	
震源断層	上辺が白井市重心を通り、	
	北西から南東に伸びる	

参考 白井市 (2013) における想定地震の震源断層の諸元

中央防災会議(2005)首都直下地震対策専門調査会報告.首都直下地震対策専門調査会,平成17年7月. 松田時彦(1975)活断層から発生する地震の規模と周期について,地震 2,28,269-283.

中央防災会議(2013) 首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告). 首都直下地震対策検討ワーキ ンググループ,平成25年12月.

中央防災会議(2004)「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書. 首都直 下地震対策専門調査会地震ワーキンググループ,平成16年11月17日.

白井市(2013) 白井市地域防災計画修正業務委託 防災アセスメント調査 報告書,平成 25年1月 千葉県(2016) 平成 26・27 年度 千葉県地震被害想定調査 報告書,平成 28年3月.

1.1.2 地震動の伝わり方

地震動は、以下の特性が合成されて地表で観測される。概念図を図 1.1-10 地震の 揺れの伝わり方の概念図(内閣府, 2005)に示す。

(地表で観測される地震動)=(震源特性)×(伝播経路特性)×(表層地盤特性)

震源特性とは、地下深くの急激な岩盤変位に伴う弾性波動の生成・伝播に関する特 性であり、破壊開始点(震源)の位置、断層面の広がりや破壊の様相などが関係する。 断層面上においてとくに強い地震動が生成される領域の位置は、地表面の震度分布に も影響を与える。

伝播経路特性とは、生成された地震波が地下深部を伝播し、反射・屈折を繰り返し ながら減衰しつつ基盤まで至る特性である。なお、地震動予測を行う際、地震基盤と 工学的基盤(※)があるが、ここでは工学的基盤までの地震動特性を伝播経路特性と考え る。

表層地盤特性とは、工学的基盤よりも浅く軟らかい層で地震動が増幅する特性のこ とを指す。内閣府「地震防災マップ作成技術資料」では、微地形区分のルールと地形 条件から、表層地盤における増幅の程度を求める方法が記されている。

なお、この方法は、千葉県(2016)「平成 26・27 年度 千葉県地震被害想定調査」 における「防災リスク対策用地震」の地震動予測手法に沿うものである。

本業務では、50m メッシュ単位の微地形区分(白井市, 2013)から表層地盤特性を 加味した地震動の予測を行った。



図 1.1-10 地震の揺れの伝わり方の概念図(内閣府, 2005)

※ 工学的基盤:地表面付近にある硬い層と軟らかい層の境界面を指す。地震工学上の定義は様々で統一 されていない。例えば、N値 50以上が連続する層を高層建築物や構造物設計時の支持基盤 とし、構造計算上、工学的基盤とみなすことがある。内閣府「地震防災マップ作成技術資料」ではS波速度が 600m/s 程度となる層を工学的基盤としており、白井市(2013)でも、 基本的にはこの考え方に準じる。

内閣府(2005)地震防災マップ作成技術資料,平成17年3月.

1.1.3 微地形区分

白井市(2013)は空中写真、旧版地形図、既存の地形地質調査資料を基に、内閣府「地震防災マップ作成技術資料」における区分に従い、微地形区分を行い、50m メッシュ単位の微地形区分データを作成した(図 1.1-11)。作成手法については巻末に掲載する。本調査ではこの微地形区分における表層地盤特性を用いて地震動を予測する。

表 1.1-2 微地形区分とその概要

微地形区分	概要
ローム台地	火山灰質の粘性土が堆積する台地
自然堤防	河川により運ばれてきた粗粒土(主に砂質土)が河道沿いに細長く堆積 してできた低地内の微高地
谷底平野	台地等に分布する川沿いの幅の狭い低地
後背湿地	河川により運ばれてきた軟弱な粘性土等が堆積してできた低湿な平坦地
旧河道	過去の河川の流路だったところで低地の中でもさらに低い帯状の凹地
干拓地	湖底などを排水等により人工的に陸化した土地
人工改変地	干拓地以外の人工改変地(ここでは谷底平野などを盛土したところ)



1.1.4 表層地盤特性の評価

(1) 表層地盤の地震波伝播速度

内閣府「地震防災マップ作成技術資料」によって表層地盤特性を評価する場合、「深 さ30m までの平均 S 波速度: *AVS30*」と呼ばれるパラメータが用いられる。S 波速度と は、震源から伝わる地震波(実体波)のうち横波が伝わる速さのことで、地盤の硬さ を判断する指標である。S 波速度が大きいと硬く、逆に小さいと軟らかい地盤である。 本業務では、*AVS30*を、以下に示す松岡ら(2005)の方法によって推定した。

$$\log_{10}(AVS30) = a + b \log_{10}(Ev) + c \log_{10}(Sp) + d \log_{10}(Dm)$$
(1.1.1)

AVS30 : 深さ 30m までの平均 S 波速度 (m/sec)
Ev : 標高 (m)
Sp : 傾斜×1000
Dm : 先第三系・第三系の山地・丘陵からの距離 (km)
a, b, c,d : 表 1.1-3 の係数

微地形区分	a	b	с	d
ローム台地	2.206	0.093	0.065	0
自然堤防	2.204	0.100	0	0
旧河道	2.264	0	0	0
谷底低地	2.266	0.144	0.016	-0.113
後背湿地	2.190	0.038	0	-0.041
干拓地	2.373	0	0	-0.124
人工改変地	2.100	0.200	0	0

表 1.1-3 微地形区分に基づく式(1.1.1)の係数一覧

(2) 表層地盤の増幅度

表層地盤の AVS30 の値から地震動の増幅度 ARV を Midorikawa et al.(1994)の方法で求 めた。増幅度 ARV とは、工学的基盤の地震動強さ(最大速度)を1としたときに、表 層地盤の効果によって、地震動(最大速度)がどの程度大きくなるかを表す指標であ る。内閣府「地震防災マップ作成技術資料」によれば、AVS30 を知ることで、地震動に よる表層地盤の増幅度特性を推定することが可能である。

$$\log_{10}(ARV) = 1.83 - 0.66 \times \log_{10}(AVS30) \tag{1.1.2}$$

式(1.1.1)と式(1.1.2)から求めた増幅度分布を図 1.1-12 に示す。



松岡昌志,若松加寿江,藤本一雄,翠川三郎(2005)日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した 地盤の平均S波速度分布の推定,土木学会論文集,No.794/I-72, pp.239-251.

Midorikawa, S., Matsuoka, M. and Sakugawa, K. (1994) Site Effects on Strong-motion Records Observed during the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthquake, *9th Japan Earthquake Engineering Symposium*, Vol.3, pp.85-90.

1.1.5 **計測震度の予測**

(1) 地震動予測手法

白井市直下の地震の計測震度は、図 1.1-13の流れで、工学基盤の地震動の強さと増 幅度から求めた。算出方法の詳細は以降の①~③のとおりである。



※括弧の数字はメッシュの大きさを表します。

図 1.1-13 白井市直下の地震を想定した 50m メッシュ単位の計測震度算定の流れ

①50mメッシュ単位の工学的基盤最大速度の算出

震源から工学的基盤までの地震動は司・翠川(1999)の距離減衰式を一部修正した式を 採用した。

$$\log_{10} PGV_b = 0.58Mw + 0.0038D - 1.29 - \log_{10}(X + 0.0028 \times 10^{0.50Mw}) - 0.0027X$$

(1.1.3)
 PGV_b : S 波速度 600m/sec の硬質地盤上の最大速度 (cm/sec)
 Mw : モーメントマグニチュード
 D : 震源の深さ (km)
 X : 断層最短距離 (km)

②50mメッシュ単位の地表最大速度の算出

上記①より *PGV*_b、1.1.2 式より増幅度が得られたことから、以下の式より、50m メッシュ単位の地表最大速度 *PGV*_sを求めることができる。

$$PGVs = ARV \times PGVb$$
(1.1.4)
$$PGVs : \text{blue}(cm/sec)$$

ARV :表層地盤の増幅度 PGVb :工学的基盤最大速度(cm/sec)

③50m メッシュ単位の地表における計測震度の算出

上記②で得られた 50m メッシュ単位の地表最大速度 PGVs を以下の式に代入し、50m メッシュ単位の地表における計測震度 Is を得る。

$$I_{S} = 2.30 + 2.01 \times \log_{10}(PGV_{S}) \tag{1.1.5}$$

Is: 地表における計測震度

(小数第3位を四捨五入し小数第2位を切り捨て)

PGVs:地表最大速度(cm/sec)

計測震度 Is は、表 1.1-4の関係から震度に置き換えることができる。

震 度	計測震度(Is)の幅
7	$6.50 \leq Is$
6 強	$6.00 \leq Is < 6.50$
6 弱	$5.50 \leq Is < 6.00$
5 強	$5.00 \leq Is < 5.50$

表 1.1-4 震度と計測震度との関係

(2) 地震動予測結果

想定地震における 50m メッシュ単位の計測震度分布を図 1.1-14 想定地震による計 測震度分布、震度分布を図 1.1-15 想定地震による震度分布にそれぞれ示す。この地 震による白井市における地震動の強さは、市全域で震度 6 弱以上となり、震度 6 強が 広範囲にわたると予測された。

司宏俊・翠川三郎(1999)断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式,日本 建築学会構造系論文集,No.523, pp.63-70.



図 1.1-14 想定地震による計測震度分布

(50m メッシュ単位)

地盤のゆれやすさのほか、設定した断層からの距離によって揺れの大きさが変わる。このため、断層上辺に設定した位置から離れるほど(市の南西部や北東部 ほど)揺れが小さくなる。

震源断層の位置にかかわらない地盤の揺れやすさは図 1.1-16 に示している。



図 1.1-15 想定地震による震度分布

(50m メッシュ単位)

地盤のゆれやすさのほか、設定した断層からの距離によって揺れの大きさが変わる。このため、断層上辺に設定した位置から離れるほど(市の南西部や北東部 ほど)揺れが小さくなる。

震源断層の位置にかかわらない地盤の揺れやすさは図 1.1-16に示している。

1.1.6 揺れやすさマップの作成

想定震源断層を特定の位置の設定せずに、市全域で震源断層までの距離を 5km で等 距離とした場合の震度計算を「1.1.5 計測震度の予測」と同じ方法で行った。これは、 設定した震源断層からの位置関係に関係なく、地盤の震度増幅特性を表した揺れやす さマップである。

なお、計算の結果、震度階級は全域震度6強となる。



図 1.1-16 揺れやすさを表した計測震度分布 (50m メッシュ単位)

1.2 液状化の予測

1.2.1 概要

液状化現象とは、図 1.2-1 に示すように、砂質土に富む地下水位の浅い地盤が地震 動のような繰り返し外力を受けると、砂粒子のすき間に存在する水の圧力が上昇し、 地下水とともに砂が地表に吹き上げる現象である。

1987年(昭和62年)千葉県東方沖地震は九十九里沖の深さ58kmを震源とするM6.7 の地震であった。震源がやや深かったことから房総半島の太平洋側でも最大震度5を 記録する程度であったが、九十九里浜沿岸域の多くで液状化現象が発生した。1995年 (平成7年)兵庫県南部地震では、ポートアイランドや六甲アイランドのような埋立 地、沿岸部の岸壁などで軒並み液状化被害が頻発した。2000年(平成12年)鳥取県西 部地震でも埋立地や港湾施設で液状化が発生し、岸壁などが被害を受けた。特徴的で あったのは、干拓地に整備された住宅地の住宅が、地盤の流動化により不同沈下を起 こし、大きく傾斜したために全壊となったケースがあったことである。2011年(平成 23年)東日本大震災では、東京湾岸や千葉県の一部など、戦後に造成された比較的新 しい埋立地や新興住宅地で液状化現象が多発した。白井市域には砂質土に含む谷底低 地や後背湿地などで液状化の発生が懸念される。

本業務では、道路橋示方書(日本道路協会)による液状化解析手法を用いて、白井市(2013)が地質試料(ボーリングデータ)採取地点ごとの液状化危険度を計算した結果から、地形分類ごとに震度と液状化危険度の関係を解析した結果を用いて、本調 査出算定した地震動の値を入力して液状化危険度を算定した。



図 1.2-1 液状化の概念図

1.2.2 予測手法

(1)液状化に対する抵抗率 FL値・液状化指数 PL値

白井市(2013)では、以下のように、道路橋示方書(日本道路協会※)による F_L 法で地質試料(ボーリングデータ)ごとの液状化危険度を計算した。 F_L 法は、深さごとに液状化に対する抵抗率 F_L 値を算出し、 F_L <1.0のときにその深さの地層が液状化するとみなすものである。解析の流れを以下に示す。

- 地盤の液状化に対する強さとして、動的せん断強度比(R)を算出する。動的せん 断強度比は、各深度ごとの土質定数、N値(地盤の固さ)、深さから求められる。
- ② 液状化を発生させる側の強さとして、水平方向の地表加速度(a)から地震時せん 断強度比(L)を算出する。
- ③ 液状化に対する抵抗率 $F_L \varepsilon$ (1.2.1)式より算出し $F_L < 1.0$ のとき液状化するとみなす。 $F_L = R/L$ (1.2.1)
- ④ 液状化の危険度を地盤モデルごとの値に集約するため、(1.2.2)式から PL 値(液状化指数)を算出し、表 1.2-1を基に液状化危険度を判定した(F_L>1.0のときはF_L = 1.0)。

$$P_{L} = \int_{0}^{20} (1 - F_{L}) \times (10 - 0.5z) dz$$
(1.2.2)

z: 地表面からの深さ(m)

判定条件	液状化危険度判定
$15 < P_L$ $5 < P_L \leq 15$ $0 < P_L \leq 5$ $P_L = 0$	液状化危険度が高い 液状化危険度がやや高い 液状化危険度は低い 液状化危険度は極めて低い

表 1.2-1 液状化危険度の判定区分

※ 道路橋示方書の現在の最新版は 2017 年版であるが、白井市(2013) では 2002 年版 の道路橋示方書を使用している。

(2) 地震時せん断応力比

地震時せん断応力比Lは、地表水平加速度αを用いて(1.2.3)式のように表される。

$$L = \left(\frac{\alpha}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{\nu}}{\sigma_{\nu}}\right) \times \gamma_{d}$$
(1.2.3)

a: 地表水平加速度 (Gal)

g: 重力加速度(=980Gal)

$$\sigma_v$$
: 全上載圧 (kgf/cm²)

 σ'_v : 有効上載圧 (kgf/cm²)

(3)動的せん断応力比

土質が有する動的せん断応力比Rは、(1.2.4)の補正式より求める。

$$R = C_W \times R_L$$
 (1.2.4)
 C_W : 地震時特性による補正係数
 R_L : 地盤の繰り返し三軸強度比

地震時特性による補正係数 Cwは以下のように定められている。

<タイプI: プレート境界型地震の場合>
$$C_{W} = 1.0$$
 (1.2.5)

<タイプⅡ:内陸型地震の場合>

$$C_{W} = \begin{cases} 1.0 & (R_{L} \le 0.1) \\ 3.3R_{L} + 0.67 & (0.1 < R_{L} \le 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_{L}) \end{cases}$$
(1.2.6)

三軸強度比 R_Lは、(1.2.7)式により算出する。

$$R_{L} = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{\frac{N_{a}}{1.7}} & (N_{a} < 14) \\ 0.0882 \sqrt{\frac{N_{a}}{1.7}} + 1.6 \times 10^{-6} \times (N_{a} - 14)^{4.5} & (N_{a} \ge 14) \\ N_{a} : \qquad \text{粒度の影響を考慮した補正 N 値} \end{cases}$$
(1.2.7)

粒度の影響を考慮した補正 N 値(Na)は、次のように求める。

<砂質土の場合>

$$N_a = c_1 \times N_1 + c_2 \tag{1.2.8}$$

$$N_l = 1.7 \times N / (\sigma'_v + 0.7) \tag{1.2.9}$$

$$c_{1} = \begin{cases} 1.0 & (0\% \le FC < 10\%) \\ (FC + 40)/50 & (10\% \le FC < 60\%) \\ FC/20 - 1 & (60\% \le FC) \end{cases}$$
(1.2.10)

$$c_{2} = \begin{cases} 0 & (0\% \le FC < 10\%) \\ (FC - 10)/18 & (10\% \le FC) \end{cases}$$
(1.2.11)

<礫質土の場合>

$$N_{a} = \left\{ 1 - 0.36 \times \log_{10} \left(\frac{D_{50}}{2} \right) \right\} \times N_{l}$$
(1.2.12)

N1は(1.2.9)式より求める。

1.2.3 ボーリングデータによる液状化危険度解析

白井市(2013)では、市内46本のボーリングデータに対して、地震動の大きさと液 状化危険度の関係を地形分類ごとに解析し、図 1.2-2を得た。解析内容については巻 末に掲載する。なお、算定時の地下水位は1mとしている。

自然堤防および旧河道は、液状化の可能性のある地形分類であるが、極めて狭く、 ボーリングデータが得られなかったため、周囲の地形分類を参考とし、自然堤防は後 背湿地、旧河道は谷底低地と統合して扱うこととした。



図 1.2-2 微地形区分ごとの液状化危険度

1.2.4 解析結果

地震動の予測で計算した地表速度 *PGVs* を、以下の式(翠川・藤本・村松、1999) により地表加速度 *PGAs* に換算し、図 1.2-2 の関係から *PL* 値を推定した。

$$I = 0.55 + 1.90 \times \log_{10} PGA_{\rm s} \tag{1.2.13}$$

白井市直下の地震による液状化危険度分布を図 1.2-3 に示す。なお、想定震源断層 からの距離を市全域で等距離にした場合も、微小な算定値に違いは生じているものの、 図 1.2-3 と同じとなる。



翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄(1999):計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係,地域安 全学会論文集, 51-56.