

6. 東京の液状化予測図の更新とオープンデータ

Update of Liquefaction Potential Map of Tokyo and Open Data

技術支援課 名兒耶 薫、○松井 智昭、辛島 望

1. はじめに

東京都建設局では、地盤データを活用した地盤解析や情報提供等を目的として、昭和 61(1986)年から東京都各局の地盤調査委託成果や区市の民間建築工事に係る地質調査で得た地盤・地質情報を収集し、「東京都地盤情報システム」にて一元管理している。また、昭和 62 年 3 月、当時のデータを活用して「東京低地の液状化予測図」を発刊し、その後も継続的に蓄積された地盤情報を活用し液状化予測図の更新を行ってきた。

本稿では、令和 4 年 3 月 29 日、約 9 年ぶりに更新した液状化予測システム、「東京の液状化予測図（令和 3 年度改訂版）」、また新たに対応したオープンデータの取組等について報告する。

2. 経緯

建設局では、東京都土木技術研究所（現：東京都土木技術支援・人材育成センター）が昭和 62 年 3 月に「東京低地の液状化予測図」を発刊した。その後、平成 8 年には多摩地域の予測図を作成し、平成 9 年には港湾局作成の港湾地域の予測図と合本するなど対象地域を拡大してきた。

また、都民に対して地盤の液状化のしやすさの目安を示すとともに、構造物の建設等の基礎資料として参考となるように、平成 18 年から「東京の液状化予測図」をホームページで公開している。液状化予測図のこれまでの作成・公開の経緯を表-1 に示す。

表-1 液状化予測図作成の経緯

作成年	名称	備考
昭和61年度	東京低地の液状化予測図	
平成3年度	東京港埋立地盤の液状化予測図	港湾局作成
平成8年度	多摩地域の液状化予測図	
平成9年度	東京の液状化予測図	上記の合本
平成18年度	東京の液状化予測図(改訂版)	インターネット公開開始
平成24年度	東京の液状化予測図(改訂版)	
令和3年度	東京の液状化予測図(改訂版)	今回改訂

3. 令和 3 年度の更新について

(1) アドバイザリー委員会

令和 3 年度の液状化予測図の更新では、液状化分野の有識者からなる「アドバイザリー委員会」を設置し、専門的な見地からの助言や意見を参考に更新作業を行った。

また、各アドバイザリー委員会の開催前には、建設局、都市整備局、港湾局の課長級で構成される

「検討部会」を開催し、関連各局と更新内容の周知や調整を行った。アドバイザリー委員会及び検討部会は、コロナ禍のため Web 会議形式での開催となった。アドバイザリー委員会の構成を表-2 に、検討部会の構成を表-3 に、また各会議の開催日程を表-4 に示す。

表-2 アドバイザリー委員会の構成

「東京の液状化予測図」更新に関するアドバイザリー委員会		
委員長	濱田 政則	早稲田大学名誉教授 一般財団法人 産業施設防災技術調査会 代表理事
委員	森川 嘉之	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 地盤研究領域長
委員	若松 加寿江	関東学院大学工学総合研究所 研究員
庁内 出席者	建設局 企画担当部長	
	港湾局 港湾整備部長	
	東京都土木技術支援・人材育成センター 所長	

表-3 検討部会の構成

「東京の液状化予測図」更新に関する検討部会	
部会長	東京都土木技術支援・人材育成センター所長
部会員	建設局 総務部技術管理課長
部会員	港湾局 港湾整備部技術管理課長
部会員	都市整備局 市街地建築部建築構造専門課長
部会員	東京都土木技術支援・人材育成センター技術支援課長

表-4 委員会及び検討部会の開催日程

	開催日程(Web会議)	
	庁内検討部会	アドバイザー委員会
第1回	令和3年9月3日	令和3年9月17日
第2回	令和3年11月4日	令和3年11月16日
第3回	令和4年2月16日	令和4年2月22日

(2) 液状化予測の対象範囲

液状化は緩い砂が堆積した場所で生じることから、下記の条件に該当する土地を含む東経 139 度 15 分以東を検討対象とした。

- ・ 緩い砂が堆積した臨海埋立地を含む低地全域
- ・ 場所により台地・丘陵地を侵食して流れる中小河川沿いの低地（河谷底）

なお、東経 139 度 15 分以西は液状化しにくい台地・丘陵地が大部分であり、上記に該当する土地が僅かであること、また過去に液状化発生の報告がないことから対象外とした。（図-1）。

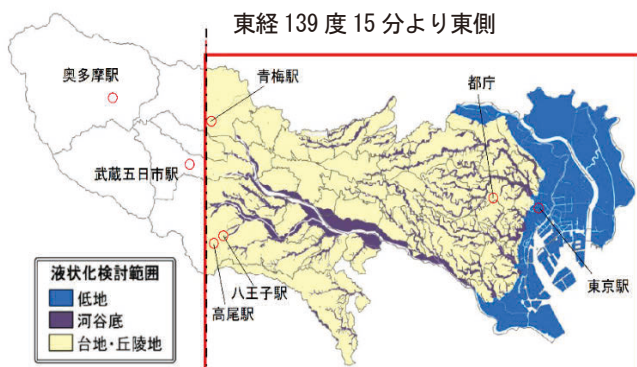


図-1 液状化予測図の対象地域

(3) 地震の揺れの強さ

東京の液状化予測図は、地震時の相対的な液状化のしやすさを示すもので、工学的基盤（東京礫層）に一樣の揺れを与える「非シナリオ型」の予測方法を採用している。「都心南部直下地震」など特定の震源を持った地震を想定した「シナリオ型」のように、被害の全体像を示すものではない。なお、液状化予測

計算において入力する地震力は、1923 年（大正 12 年）の関東大震災の地震動を当時の地震記録をもとに推定した 200Gal を最大加速度として設定し、基盤を揺らした際の地表面の最大加速度を算出して予測している。

(4) 前回からの変更点

前回（平成 24 年度版）からの主な変更点を表-5 に示す。

表-5 前回からの主な変更点

項目	平成 24 年度版	令和 3 年度版
ボーリングデータ本数	約19,700本	約75,900本
液状化予測式	東京都土木技術研究所の式	道路橋示方書(H29)の式
地図情報	7つの地図情報 ①液状化履歴図 ②土地条件図 ③水系変遷図 ④湿地・水田分布図 ⑤埋立工事履歴図 ⑥砂層分布図 ⑦礫層分布図	5つの地図情報 ①液状化履歴図(更新) ②土地条件図 ③水系変遷図 ④湿地・水田分布図 ⑤埋立工事履歴図 ※土地条件図で考慮されている等の理由で地図情報を5つに集約
作図方法	専門技術者による 人力作業	液状化判定プログラム による自動出力
表示方法	領域判定	メッシュ判定(250m四方)

① ボーリングデータ本数

液状化計算に使用するボーリングデータが、前回の約 4 倍となる約 7 万 6 千本と大幅に増加した。これは、都庁内の各局から毎年提供される公共工事に加え、都内自治体から提供を受けた民間建築工事等のデータが新たに加わったためである。

② 液状化計算式

昭和 62 年の液状化予測図初版時、東京低地の砂質土には細粒分が多く含まれていることから、液状化抵抗率（ F_L 値）の算定には細粒分含有率（FC）による液状化強度増加の項を加えた東京都独自の液状化計算式（以下、「都独自式」という。）を作成した。また、表層砂層が厚い地域では液状化指数（ P_L 値）が比較的小さくても液状化が発生しやすい傾向があることから、表層砂層（6m以浅）の層厚と F_L 値の大きさから液状化判定する方法（表層砂層の F_L 判定法）も組み合わせ、現在に至る約 35 年間、更新することなく考え方を踏襲してきた。

現在、汎用的に利用される液状化計算式は、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（2017）に示されて

いる式（以下、「道路橋示方書の式」という。）、建築基礎構造設計指針（2019）に示されている式（以下、「建築式」という。）、安田らの式⁴⁾等があるが、都独自式が作成された昭和62年当時には、先進的であった“細粒分含有率による液状化強度への影響”は、前述した現行式では既に考慮されたものになっている。更には、道路橋示方書の式や建築式は東北地方太平洋沖地震などの最新の知見に基づく研究成果が反映されている。

そこで、現行式と従来式による東京都の液状化判定結果を比較検証するため、各計算式の液状化判定結果（ P_L 値 >5 ）と過去の液状化履歴とのマッチング率を算出した（表-6）。

表-6 各計算式の液状化履歴とのマッチング率

液状化計算式	液状化判定結果（ P_L 値 >5 ）	
	メッシュ数	液状化履歴のあるメッシュ数に対する割合
都独自式	206	74%
道路橋示方書の式	244	87%
建築式	199	71%
安田らの式	212	76%

※液状化履歴のあるメッシュ数：280（250m四方メッシュ）

比較検証の結果、道路橋示方書の式を用いた場合に、過去の液状化履歴（関東大震災（1923年）、東日本大震災（2011年））とのマッチング率が最も高かった。今後、専門技術者の減少も懸念され、また最新研究成果に基づき東京都の液状化予測式を更新していくことは難しいと考えられたことから、今回の改訂で道路橋示方書の式を採用することとした。

③ 地図情報による判定

液状化予測図の作成においては、前述の液状化計算による液状化判定のほか、地形分類や過去の土地利用状況などの地図情報による液状化判定を併せて行っている。

前回（H24）までは7つの地図情報（液状化履歴図、土地条件図、水系変遷図、湿地・水田分布図、埋立工事履歴図、砂層分布図、礫層分布図）を用いてきたが、このうち礫層分布図は土地条件図の砂州の分布に該当し土地条件図で既に考慮されていること、また砂層分布図は締固め具合や出現深さなどの

液状化に影響する情報が考慮されておらず、これらの情報の活用は得策ではないということから除外し、従来の7つから5つの地図情報を用いることとした。

また、液状化履歴図には国立研究開発法人防災科学技術研究所が公開している地震ハザードステーション（J-SHIS）の液状化履歴地図を追加した。これにより東北地方太平洋沖地震で発生した主に東京湾岸と荒川沿いの履歴が追加された。

④ 予測図の作図・出力方法

大幅に増加したボーリングデータについて、従来のように各ボーリング地点の液状化計算結果と地図情報を基に専門技術者が人力作業によって判定領域の境界を確定することは大変困難なため、予測図の表示方法を「領域判定」から「メッシュ判定」に変更し、メッシュ毎に液状化計算判定及び地図情報による判定を行い、予測図の出力を自動プログラム化し効率化を図った。（詳細については、「4. 液状化予測システムの開発」で述べる。）

なお、メッシュサイズについては、4種類のメッシュサイズ（50m、100m、250m、500m）の中から、過去の液状化履歴とのマッチング率が最も高い250m四方とした。（全20,272メッシュ）

(5) 液状化予測図の作成手順

液状化予測図作成のフロー図を図-2に示す。

液状化予測図作成の流れは、まずボーリングデータを基に液状化予測式（道路橋示方書の式）により F_L 値を算定する。そして、20mより浅い深度の F_L 値に深さ方向の重み関数（ $w=10-0.5Z$ ）を乗じて液状化指数（ P_L 値）を求め、 P_L 値の大きさから表-7に示す液状化可能性の区分（大・中・小）を判定する。なお、 P_L 値は1つのメッシュに対して算定するため、複数のボーリングデータが存在するメッシュの場合は P_L 値の中央値を採用する。

次に、各メッシュに対して5つの地図情報の地形分類等により、液状化の可能性の区分を判定する

（表-8）。また、各地図情報の判定区分から、図-3に示す判定フロー図により、各メッシュの地図情報による液状化の可能性の区分（大・中Ⅰ・中Ⅱ・小）を決定する。

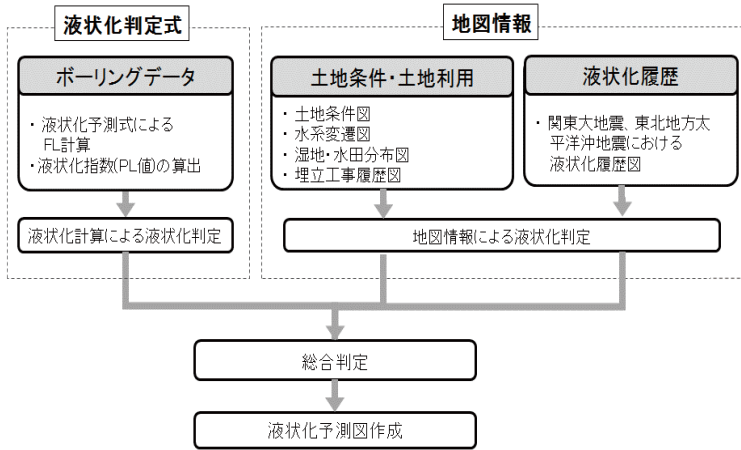


図-2 液状化予測図作成のフロー図

表-7 P_L 値による液状化の程度の区分

P_L 値	区分
$P_L > 15$	液状化の可能性「大」
$5 < P_L \leq 15$	液状化の可能性「中」
$0 \leq P_L \leq 5$	液状化の可能性「小」

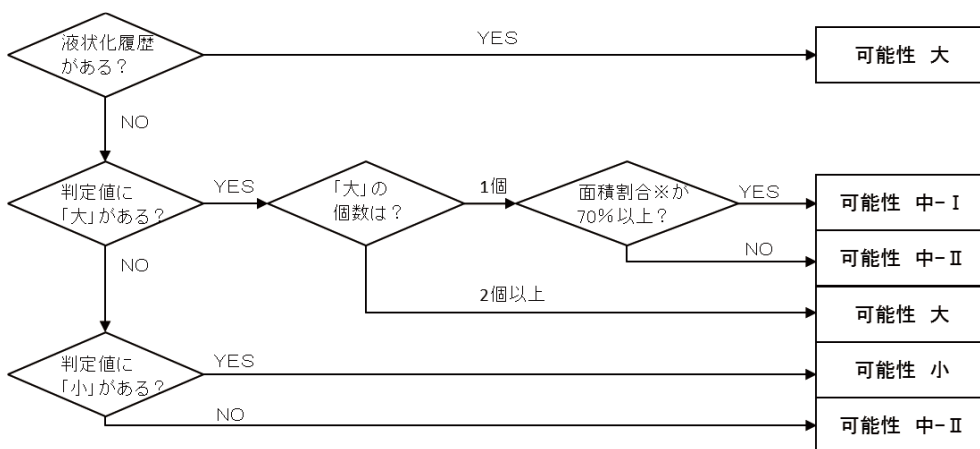
岩崎、龍岡：砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例、1978、第5回日本地震工学シンポジウム講演集

$$PL = \int_0^{20} (1 - FL)(10 - 0.5z) \cdot dz$$

F_L : 液状化に対する抵抗率
 z : 地表面からの深さ

表-8 地図情報による判定

		地図情報の分類				
		①液状化履歴図	②土地条件図	③水系変遷図 (旧版地形図に基づく土地利用)	④湿地・水田分布図 (旧版地形図に基づく土地利用)	⑤埋立工事履歴図
液状化の可能性の判定区分	大	・激しい液状化現象 (Iの領域) ・軽度の液状化現象 (IIの領域)	・河川、水涯線及び水面 ・頻水地形 ・旧河道 ・旧水面上の盛土地、埋立地 ・干拓地	・過去の水系が “すべて砂質土” で埋土されている	・湿地	・砂層土 ・砂、粘土不規則
	中		・旧水面上の高い盛土地 ・凹地、浅い谷 ・谷底平野、低地 ・氾濫平野 ・三角州 ・海岸平野 ・後背湿地 ・凹陷地 ・自然堤防 ・扇状地 ・盛土地 ・高い盛土地 ・麓斜面	・過去の水系が “一部砂質土” で埋土されている		・超粘土 ・昭和初期までの ゴミ処理場 ・属性無し
	小	・地盤災害が無い (IVの領域)	・山地、山麓地、丘陵 ・台地 (平坦地と台地斜面を含む) ・砂(礫)洲 ・砂(礫)堆			・廃棄物
	判定不能			・水系以外が “すべて砂質土” “一部砂質土” で埋土されている	・湿性が存在しない	



※メッシュに占める面積の割合

図-3 地図情報による液状化判定フロー図

最後に、液状化計算による3段階の液状化の可能性区分（大・中・小）及び地図情報による4段階の液状化の可能性区分（大・中Ⅰ・中Ⅱ・小）から、図-4に示す総合判定クロステーブルを基に以下の3つの地域に分類する。

- ・液状化の可能性が高い地域（赤）
- ・液状化の可能性のある地域（黄）
- ・液状化の可能性が低い地域（緑）

なお、過去に液状化履歴があるメッシュは液状化計算の結果によらず、「液状化の可能性が高い」（赤）とし、ボーリングデータが無く液状化計算による判定ができないメッシュは、地図情報のみから判定する。

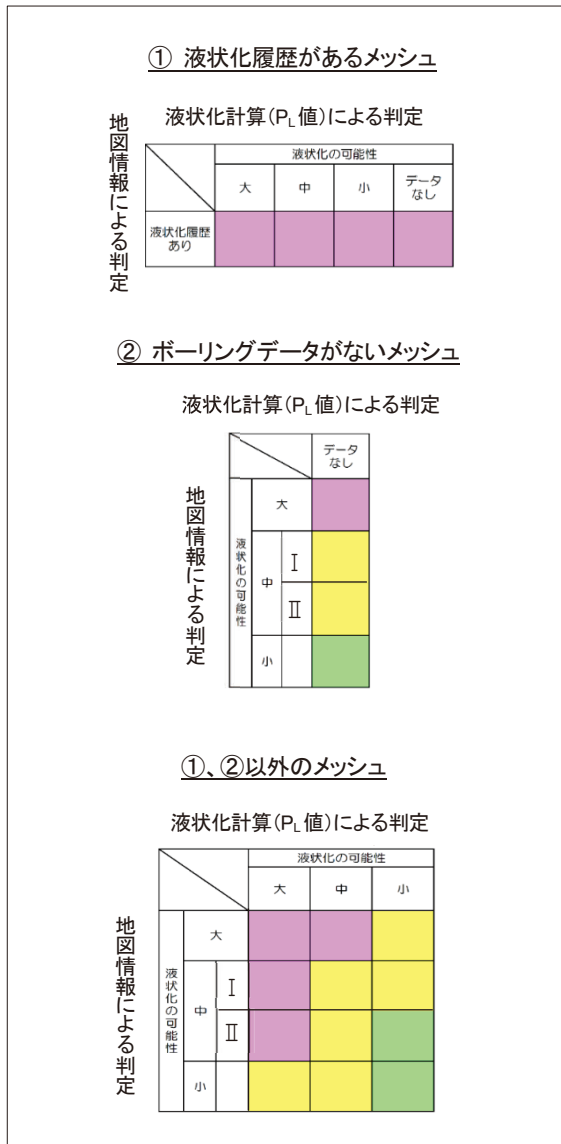


図-4 液状化可能性の総合判定クロステーブル

4. 液状化予測システムの開発

前述の作成手順に従い、自動的に液状化予測図の出力が可能な新たな液状化予測システムを開発した。

前回(H24)までの液状化予測図は、ボーリングデータによる液状化予測計算結果を基に、その土地の地図情報を参考にしながら、判定区分（赤・黄・緑）の領域を専門技術者が人力で描写する方式を採ってきた。今回の更新では、今後も多くの提供が見込まれるボーリングデータを効率的に活用するため、250m四方のメッシュを判定区分単位として、自動的に予測図作成が可能となるよう自動プログラム化を図った。

予測システムのプログラム機能は以下の3つから構成されている。

(1) 予測計算判定機能

ボーリングデータが液状化計算可能なデータか否かを判定する機能により計算対象データを抽出し、液状化判定式により F_L 計算を行う。また、 F_L 値から液状化指数(P_L 値)を計算し、そのメッシュの液状化判定区分（大・中・小）を決定する。なお、1つのメッシュの中に複数の対象ボーリングデータが存在する場合は、 P_L 値の中央値を採用する。

(2) 地図情報判定機能

メッシュ表示に変換した5つの地図情報から、同一メッシュ内の各地図情報の判定区分を集計し、各判定区分の割合等から各メッシュの液状化判定区分（大・中Ⅰ・中Ⅱ・小）を決定する。

(3) 総合判定機能

予測計算判定及び地図情報判定の結果から、総合判定クロステーブル（図-4）を基に総合判定（赤・黄・緑）を行う。なお、地図情報から過去に液状化履歴があったメッシュは予測計算判定結果によらず、液状化の可能性は「高い」（赤）とし、ボーリングデータがなく予測計算による判定ができないメッシュは、地図情報のみで判定する。

5. 液状化予測図の新旧比較

液状化予測図の新旧比較を図-5 に示す。

(1) 各判定区分の面積比

今回更新した予測図と前回（H24）の判定区分の面積比を比較すると、「液状化の可能性が高い」

（赤）の割合は5%から9%に増加した。これは、液状化履歴図の更新をしたことにより東京湾岸及び荒川沿岸の液状化履歴が反映された影響が大きいと考えられる。

また、「液状化の可能性がある」（黄）の割合も16%から22%に増加した。これはボーリングデータが大幅に増加したことで、これまで主に地図情報で判定していた西部の台地・丘陵部についてもボーリングデータによる液状化判定が可能となり、より精緻な判定ができるようになったことが影響したと考えられる。

なお、河川等の水域については、前回（H24）までは判定の対象外「判定なし」（白）としていたが、今回の更新で判定メッシュの中に含めたことにより、可能性が「ある」（黄）及び「高い」（赤）の面積割合が増加した要因となった。

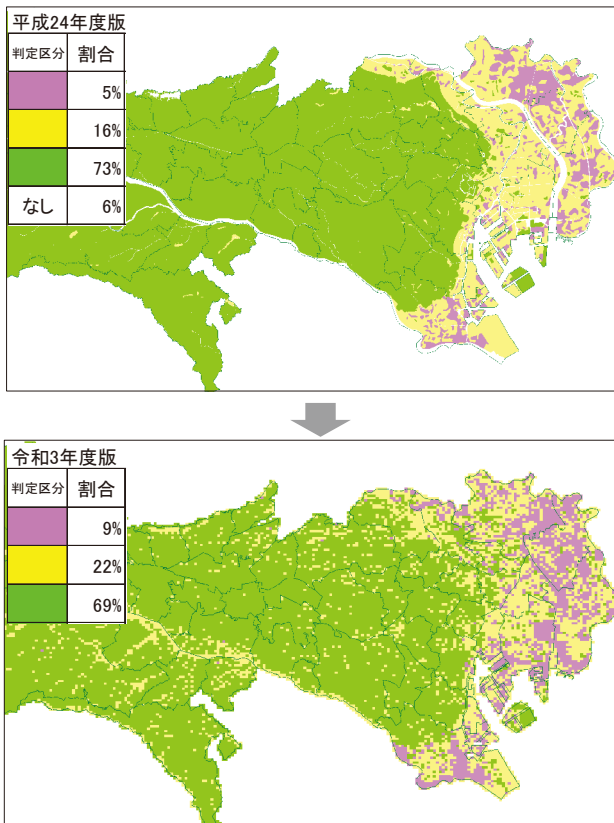


図-5 液状化予測図の新旧比較

(2) 判定結果の分析

今回の更新で、前回（H24）から液状化の各判定区分の変更割合（面積比）を整理し、その要因の分析を行った。判定区分の変更割合を図-6 に示す。

		R3更新後			
		9%	22%	69%	
		液状化可能性	高い	ある	低い
H24更新前	5%	高い	3.1%	1.9%	0.3%
	16%	ある	4.3%	8.4%	2.9%
	73%	低い	0.2%	7.6%	65.4%
	6%	判定なし(河川等)	1.4%	4.1%	0.4%

図-6 判定区分の変更割合

判定区分が変わったのは全体の23.1%であったが、そのうち変更割合がもっとも大きかったのは、可能性「低い」（緑）から「ある」（黄）に変わった箇所の7.6%であった。

また、判定区分が特に大きく変わった箇所のうち、可能性が「高い」（赤）から「低い」（緑）に変わったのは全体の0.3%、逆に「低い」（緑）から「高い」（赤）に変わったのは0.2%であった。

判定区分が大きく変わった主な要因として、①ボーリングデータの増加に伴う影響、②液状化履歴図の更新に伴う影響、③液状化予測式の変更に伴う影響が考えられる。それぞれの要因が判定にどの程度影響したかについて表-9 に示す。

表-9 変更要因の影響割合

主な要因	判定区分の変更内容	
	「高い」→「低い」 全136メッシュ	「低い」→「高い」 全49メッシュ
①ボーリングデータの増加	98 (72%)	24 (49%)
②液状化履歴図の更新	-	21 (43%)
③液状化予測式の変更	72 (53%)	11 (22%)

※()は対象メッシュに対する割合を示す。
※複数の要因が重複している場合がある。

いずれの場合も変更要因としては、ボーリングデータ増加に伴う影響が最も大きいことが分かった。また、判定区分が可能性「低い」（緑）から「高い」（赤）に変わったメッシュについては、液状化履歴図の更新による影響も大きな要因となった。

6. 液状化予測図の公開

(1) Web サイトの改築

東京の液状化予測図（令和3年度版）は、令和4年3月29日にインターネットホームページで公開した。液状化予測図は従前と同様、Web-GISシステムを使用して基盤地図の上に液状化判定に活用した様々な地図情報等を組み合わせて表示可能な形式としている。

液状化予測図の公表にあたっては、平成28年4月から令和4年1月までの期間で都民などから問い合わせの多かった内容を考慮し、Webサイトの改築を行った。問合せ内容の内訳を図-7に示す。

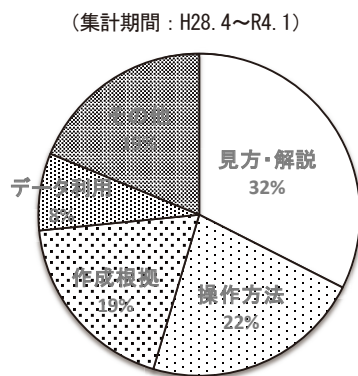


図-7 問合せ内容の内訳

問合せ内容の内訳は、Webサイトの見方や用語等の解説に関することが全体の32%で最も多く、次に操作方法に関する内容が22%と続いた。これらに対応するため、液状化予測図のページからサイト内に用語の解説や操作説明を入れるとともに、Q&A（よくある質問）を作成し、初めての訪問者でも理解しやすいように工夫した。

また、閲覧したいページに簡単にアクセスできるようWebサイトのページ構成を改良し、操作性の向上を図った。

さらに、最新の地図に対応するため、基盤地図は国土地理院サーバー上の地理院タイルをリアルタイムで読み込み表示する方式に変更した。

公開中のWebサイトの画面を図-8に示す。

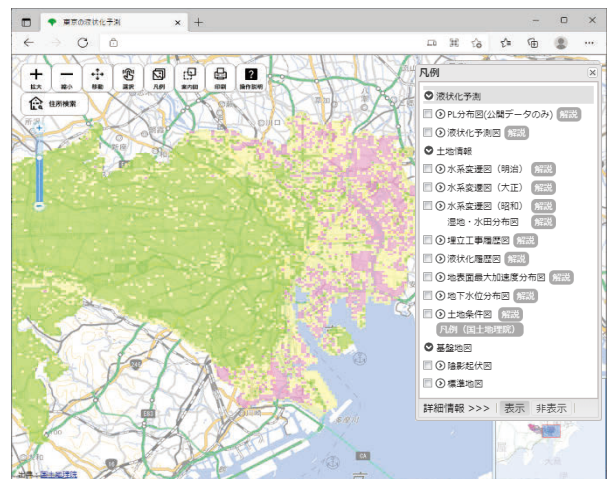


図-8 公開中のWebサイトの画面

(2) Web サイト訪問者数

東京の液状化予測図（令和3年度改訂版）のインターネット公開は、令和4年3月29日から開始した。公開翌日（30日）の当サイトへの訪問者数（アクセス件数）は915人となり、公開前日までの3月の平均訪問者数（187人）の約4.9倍に増加した（図-9）。

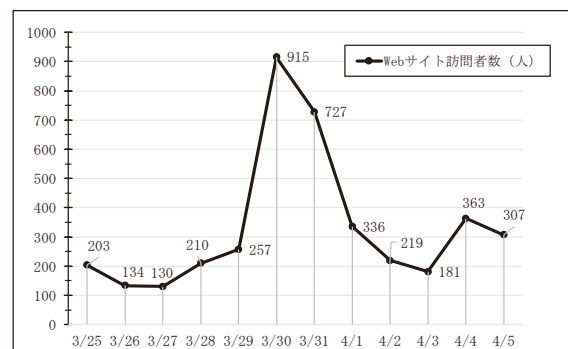


図-9 Web サイト訪問者数 (3/25～4/5)

また、令和4年4月～6月の公開後3ヶ月の月平均の訪問者数は、令和2年度及び3年度の同月（4～6月）の月平均訪問者数と比べて1.4～1.7倍で推移しており、反響が続いていることが推察できる（表-10）。

表-10 Web サイト訪問者数 (4月～6月)

訪問者数(人)	4月	5月	6月	4月～6月平均
令和2年度	3,709	4,429	5,889	4,676
令和3年度	5,473	5,687	5,772	5,644
令和4年度	7,382	7,735	8,774	7,964

7. オープンデータ

東京都では、「東京都オープンデータ推進庁内ガイドライン」を策定し、各局等が保有する情報のうち、Webサイトに掲載し公開・公表しているデータについては、原則としてオープンデータ化の対象とする旨、定めている。

建設局が保有する地盤に関するデータについても広く一般に利用されることを期待し、二次利用可能かつ機械判読性の高いデータに変換可能なオープンデータとして公開^{*1, 2}すると共に、液状化予測図に使用した関連データは、デジタルサービス局によるデジタルツイン実現プロジェクトの「東京都デジタルツイン 3D ビューア」にも掲載した。オープンデータの一覧を表-11に示す。

※1 「東京の液状化予測図」サイト

・ PL分布図や液状化履歴等 (Shape ファイル形式)

※2 「東京の地盤」サイト

・ 公開ボーリングデータ (XML ファイル形式)

表-11 オープンデータ一覧

データ名称	内容	ファイル形式
PL分布図	ボーリング地点でのPL値(液状化指数)を3区分に色分けして示した地図	Shapeファイル
地下水位分布図	地下水位を1m単位で区分して、その区分ごとの範囲を示した地図	Shapeファイル
液状化履歴図	関東大地震及び東北地方太平洋沖地震での液状化発生履歴を示した地図	Shapeファイル
埋立工事履歴図	臨海部埋立地を埋立土の種類と土性で区分した地図	Shapeファイル
ボーリング柱状図	ボーリング調査によって得られた地層の層序、岩相等を柱状に示した図	XMLファイル
土質試験結果一覧表	ボーリング地点の土質試験の結果を示した一覧表	XMLファイル

なお、これらのデータは、営利目的での二次利用も許可される最も自由度の高いクリエイティブ・コモンズ・ライセンス (CC ライセンス) の下に提供している。

8. おわりに

東京都土木技術支援・人材育成センターでは、現在、公開・非公開を合わせて約 10.2 万本のボーリングデータを管理している。今後も民間建築工事等から多くのボーリングデータの提供を受けることが想定されており、より地盤調査結果をふまえた精度の高い液状化予測図の更新が期待できる。また、オープンデータ化により、民間企業や防災・教育・その他行政機関等における様々な業務の効率化や課題解決に繋がることを期待したい。

なお、「東京の液状化予測図」、「東京の地盤」及び「デジタルツイン実現プロジェクト」は、以下の URL を参照されたい。

○ 「東京の液状化予測図」 URL

<https://doboku.metro.tokyo.lg.jp/start/03-jyouhou/ekijyouka/top.aspx>

○ 「東京の地盤」 URL

<https://doboku.metro.tokyo.lg.jp/start/03-jyouhou/geo-web/000-geo-web03.aspx>

○ 「デジタルツイン実現プロジェクト」 URL

<https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp>

参 考 文 献

- 1) 松村真人、小川好、小作好明、石原成幸、大澤健二、加藤直継、山本憲之 (2013) : 東京の液状化予測図 (平成 24 年度改訂版) のインターネット公開、平 25. 都土木技術支援・人材育成センター年報、283-288
- 2) 小川好、加藤直継 (2013) : 東京の液状化予測での地震動強度評価、平 25. 都土木技術支援・人材育成センター年報、21-24
- 3) 東京都土木技術研究所 (1987) : 東京低地の液状化予測
- 4) 安田進、石田栄介、細川直行 (2009) : 液状化のハザードマップにおける作成方法の現状と問題点、第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集、2-0018