

## 大阪・神戸地域の 250 m メッシュ浅層地盤モデル構築と活用事例

Development and application examples of 250 m mesh shallow subsurface model in Osaka and Kobe areas

春日井 麻里 (かすがい まり)  
大島 昭彦 (おおしま あきひこ)

(一財)地域地盤環境研究所 研究員  
大阪市立大学大学院 教授  
e-mail: oshima@eng.osaka-cu.ac.jp

キーワード：地盤情報データベース，地盤モデル，液状化，地震応答解析

### 1. はじめに

大阪・神戸地域は周囲を六甲山地，生駒山地，金剛山地，和泉山脈などによりに囲まれた堆積盆地である。盆地の中央部に南北方向に連なる上町台地により，西大阪地域（狭義の大阪平野），東大阪地域（河内平野）に分けられる。標高 O.P.±0～5 m の低平地で，表層は軟弱な沖積層で覆われている。近い将来発生すると考えられている南海トラフを震源域とする地震により，大阪・神戸地域を含む太平洋沿岸域では大きな揺れが想定されている。大阪・神戸地域では，表層より砂礫層と粘土層が交互に堆積しており，最表層の沖積砂層は全体的に緩く堆積している。また地下水位も高いことから，地震時の液状化危険度が高いと考えられ，甚大な被害を招くことが懸念される。この地震による被害の程度を評価する際，地域の地盤特性を詳細に把握することが重要となる。

そこで本稿では，まず，関西圏地盤情報データベース（以下，関西圏 DB と称す）を用いて作成した表層から工学的基盤面までの「250 m メッシュ浅層地盤モデル」の構築方法を示す。次に，この地盤モデルを用いて，上記の地盤工学的課題の解決に向け，海溝型地震を想定した液状化予測および等価線形地震応答解析により地震時の揺れやすさを求めた結果を示す。

### 2. 250 m メッシュ浅層地盤モデル

#### 2.1 地盤モデルの構築方法と分布性状

地盤モデルは大阪・神戸地域を対象とし，「全国電子地盤図」での作成手法<sup>2)</sup>を踏襲して構築した。関西圏 DB に登録されているボーリングデータ（以下，BD と

称す）を用い，250 m メッシュ（国土地理院の地域標準 4 分の 1 地域メッシュ）毎に表層から工学的基盤面までを深度方向 1 m 毎に土質区分，*N* 値，各種土質特性をモデル化した。

図-1 に地盤モデル作成方法の一例として沖積層を示す。250 m メッシュ内およびその周辺の複数の BD を用い，メッシュ内の平均的な地盤特性のモデルを作成した。具体的には，まず，選定した BD よりメッシュ内の地層の層厚および孔内水位を求める。次に，各 BD を深度方向 1 m 毎に地層を細分し，細分層内で最も割合の大きい土質をその細分層における代表的な土質（以下，優勢土質と称す）とする。また，その優勢土質に対応する層の各 BD の *N* 値を平均して細分層の *N* 値とする。さらに優勢土質に対応する層の土質名から湿潤密度を決定した。同様な手法で第 1 洪積砂礫層（Dg1 層），洪積粘土層（Ma12 層）もモデル化した。

図-2，図-3 に地盤モデルにより作成した大阪地域の東西断面および各層の層厚分布を示す。図-2 より，表層より沖積層（上部沖積砂層，沖積粘土層（Ma13 層），下部沖積砂層），Dg1 層，Ma12 層と砂礫層と粘土層が

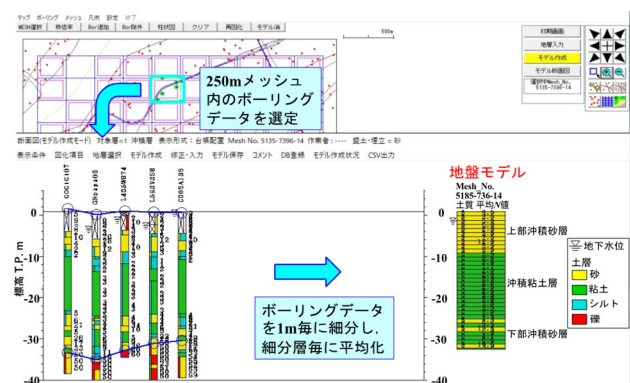


図-1 地盤モデルの作成方法（沖積層モデルの作成例）

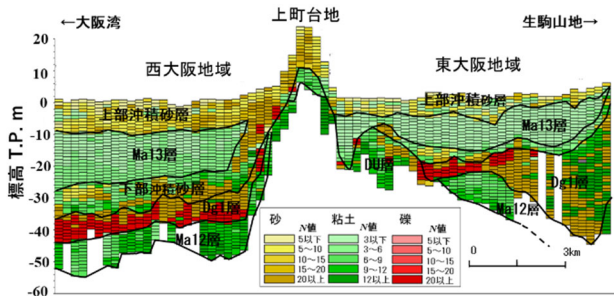


図-2 地盤モデルによる大阪地域の東西断面

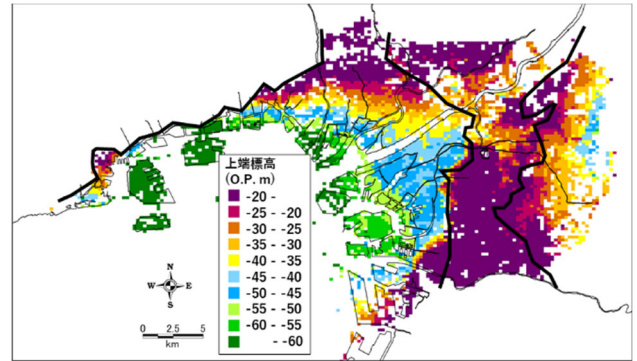
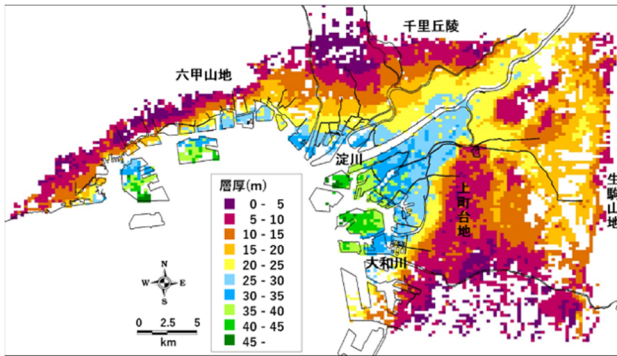
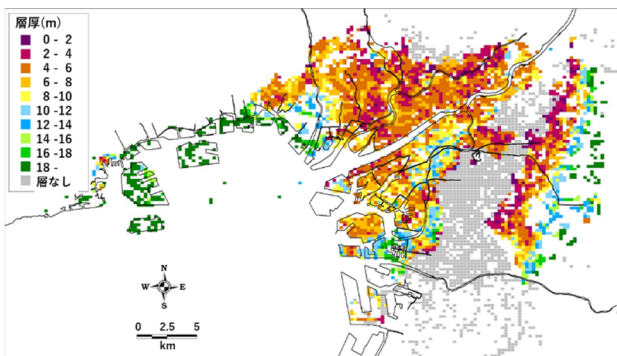


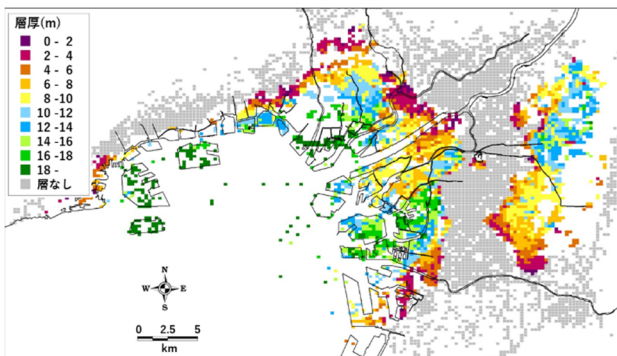
図-4 工学的基盤面の標高分布



(1) 沖積層



(2) Dg1 層



(3) Ma12 層

図-3 地盤モデルの層厚分布

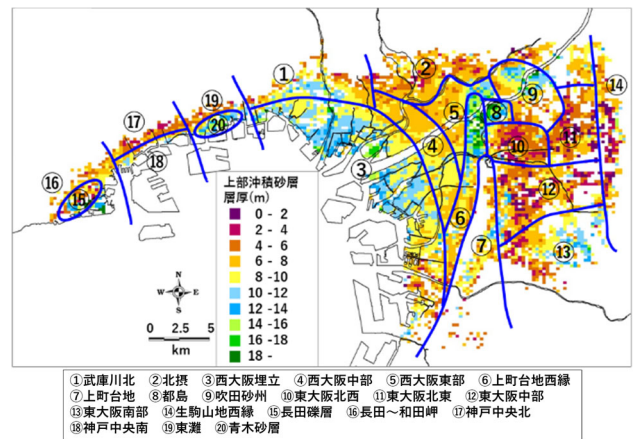


図-5 上部沖積砂層の層厚分布と地域分け

台地周辺を中心として Ma12 層が堆積していない地域がある。これらの地域では沖積層の下に堆積年代が Ma12 層よりも古い洪積層が堆積しているため、「砂礫層では  $N$  値が 50 以上、粘性土層では  $N$  値が 30 以上となる連続した層厚 3 m 以上の層」を Dg2 層相当層、すなわち工学的基盤とみなし、この層と沖積層または Dg1 層との間を「洪積上町(DU)層」としてモデル化した<sup>3)</sup>。工学的基盤面の標高分布を図-4 に示す。図中に示す黒線の内側は DU 層の、外側は Ma12 層の下端標高を示している。

## 2.2 砂層の粒度特性のモデル化

表層に堆積している上部沖積砂層について、 $N$  値と粒度試験データが同程度の深度にあるものを抽出し、図-5 に示す 20 地域毎に  $N$  値と細粒分含有率  $F_c$  の関係を整理した ( $F_c \leq 50\%$  の粗粒土を対象)。整理結果の一例を図-6 に示す。 $N$  値と  $F_c$  の相関関係より回帰式を求めることで、メッシュ毎に深度方向 1 m 刻みで求めた  $N$  値より地盤モデルの各細分層の  $F_c$  を推定した。なお、臨海部において表層が埋立土である地域は対象

互層に堆積している。Ma12 層直下には第 2 洪積砂礫層 (Dg2 層) が堆積しており、この Dg2 層を工学的基盤面に設定した。西大阪地域では各層がほぼ水平に堆積しているのに対し、東大阪地域では Dg1 層、Ma12 層が東に大きく傾斜している。また、図-3(3)より、上町

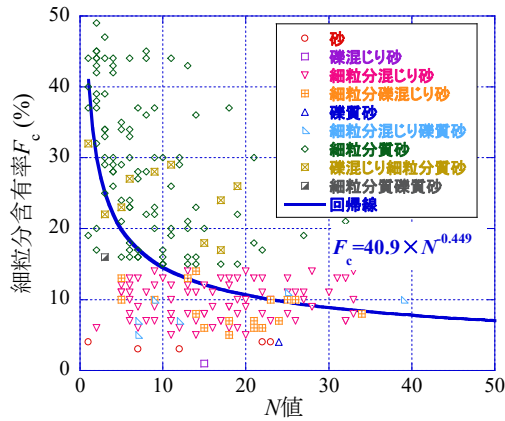


図-6 上部沖積砂層の  $N$  値と細粒分含有率  $F_c$  の関係例

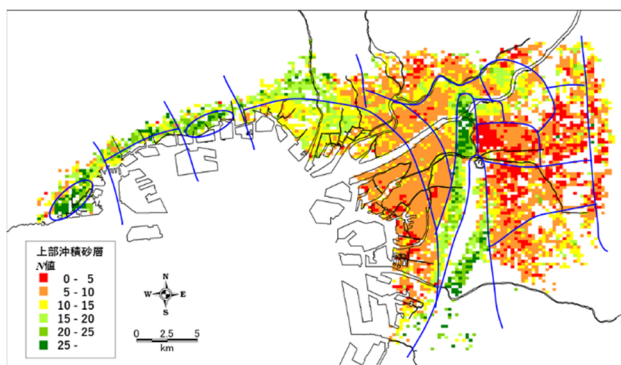


図-7 上部沖積砂層の平均  $N$  値分布

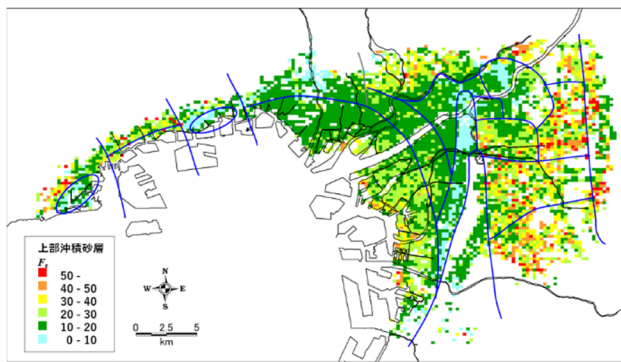


図-8 上部沖積砂層の平均  $F_c$  分布

外とした。

図-7、図-8に上部沖積砂層全層の平均  $N$  値および平均  $F_c$  の分布を示す。深度方向 1 m 毎の値を平均したものを示している。 $F_c$  は地盤モデルの優勢土層が粘性土の場合、67% (全地域のボーリングデータによる平均値)、礫の場合は5%としている。西大阪地域では  $N$  値が全体的に 10 以下と緩い砂層が堆積しており、 $F_c$  は 10%~30%程度であるのに対し、東大阪地域では  $N$  値が 5 以下、 $F_c$  は 30%以上となる地域も多く、細粒分を多く含む地層構成となっている。神戸地域では  $N$  値は

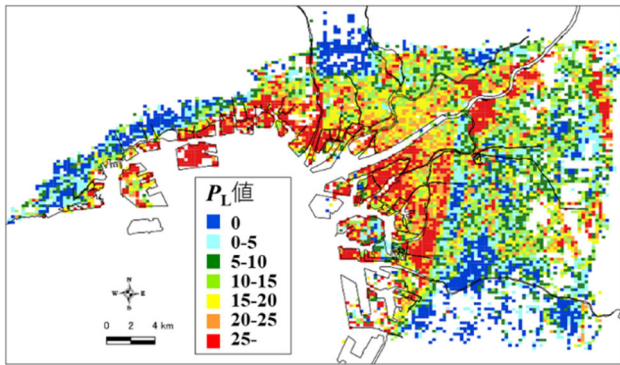
10 以上と比較的大きく、 $F_c$  は 10%~30%程度である。一方、図-5に示した⑥上町台地西縁地域、⑨吹田砂州地域、⑮長田礫層地域、⑳青木砂層地域では、 $N$  値が大きく  $F_c$  も 10%未満となっている。

なお、粘土層の Ma13 層、Ma12 層については、筆者らが独自に連続サンプリングを行い、各種土質試験を実施した結果および関西圏 DB のデータを基に、物理・力学性質の土質特性のモデル化を行っている<sup>4)5)</sup>。また大阪地域の沖積層の地盤モデルは「関西圏地盤情報ライブラリー」<sup>6)</sup>にて一般公開している。

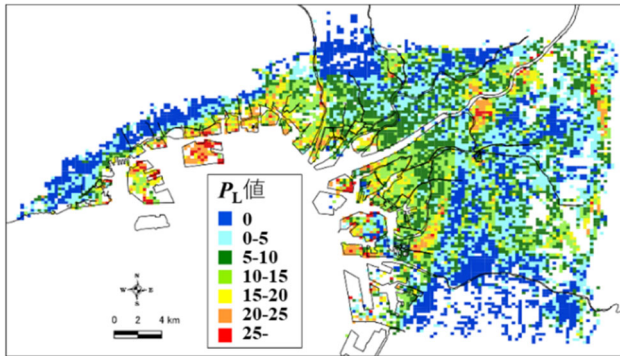
### 3. 広域的な液状化危険度の予測

地盤モデルを用いて、道路橋示方書<sup>7)</sup>による簡易法により液状化予測を行った。地震動はレベル 2 タイプ I の海溝型地震を想定し、地震動特性による補正係数  $c_w$  は 1.0 とした。設計水平震度は⑦上町台地地域のみ  $k_{hgL0}=0.5$  (I 種地盤)、その他の地域は  $k_{hgL0}=0.4$  (III 種地盤) を与えた。地下水位は地盤モデルの水位と微地形条件毎に求めた孔内水位の平均値を比較し、高い方の値を採用した。また、地盤モデルの深度 1 m 刻みで求めた液状化安全率  $F_L$  を深さ方向に積分し、液状化指標  $P_L$  値を算出した。

図-9(1)、(2)にそれぞれ現況地下水位、地下水位を 3 m 低下させた場合の  $P_L$  値の分布を示す。図-9(1)の現況地下水位では、臨海部の埋立地や上部沖積砂層が厚く堆積している地域 (図-5 参照) を中心に  $P_L$  値が大きな結果となり、液状化危険度が高いといえる。これらは  $N$  値の小さな砂層が厚く堆積している地域に対応している。一方、東大阪地域では上部沖積砂層が薄く、細粒分も多く含むため、全体的に液状化危険度は低くなっている。図-9(2)の地下水位を現況地下水位より 3 m 低下させた場合は、全体的に  $P_L$  値が低くなっている。なお、上部沖積砂層の地下水位を低下させた場合、直下の Ma13 層の沈下を考慮する必要がある。大阪・神戸地域において上部沖積砂層の地下水位を下げる場合、許容沈下量を 5 cm とすると、一部地域を除き 2~3 m 程度は水位低下が可能であると推定されている<sup>8)</sup>。よって、大阪・神戸地域における地下水位低下工法の実施は沈下量の観点からも液状化対策として有効といえる。



(1) 現況地下水位



(2) 地下水位3m低下

図-9  $P_L$  値の分布 (海溝型地震)

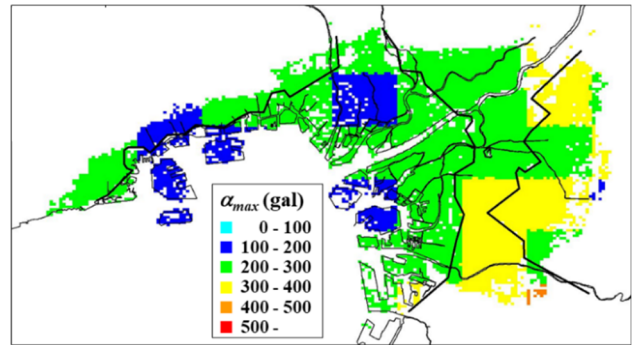


図-10 工学的基盤の入力最大加速度の分布

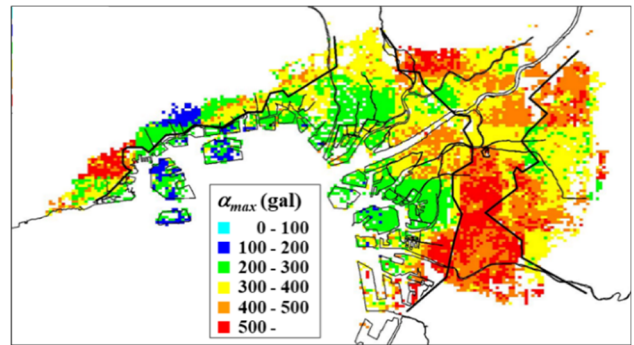


図-11 地表面最大加速度の分布

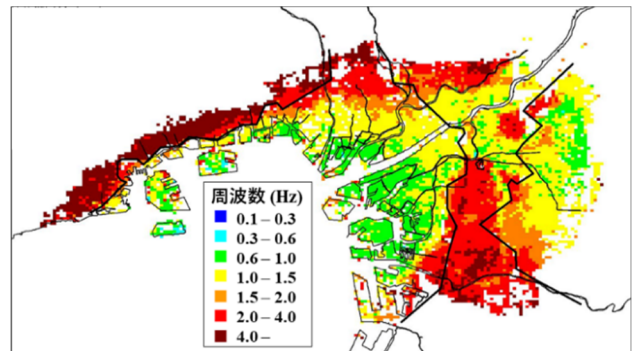


図-12 卓越周波数の分布

#### 4. 等価線形地震応答解析

250 m メッシュ浅層地盤モデルを用い、等価線形地震応答解析 (SHAKE) により、海溝型の南海トラフ地震の想定地震動を入力した際の大阪・神戸地域の表層地盤の揺れやすさを予測した。地震波の入力面は図-4 に示した工学的基盤とした。ただし、図に示す神戸地域の海岸沿いの黒線より上の地域では沖積層下面から入力している。繰返し変形特性は、関西圏 DB に登録されている繰返し三軸試験結果等を用いて地層毎に H-D モデルを設定したものをを用いた<sup>9)</sup>。想定地震波は、南海トラフ地震の巨大地震モデル検討会<sup>1)</sup>にて検討されたケースの内、陸側ケースの EW 波を用いた。ただし、この想定地震波は大阪・神戸地域では 5 km 間隔で 1 km メッシュ毎に与えられているため、各メッシュに対して最も距離の近い想定地震波を入力した。図-10 に工学的基盤における入力最大加速度の分布を示す。SHAKE での繰返し計算回数は 8 回 (上限)、有効ひずみと最大ひずみの比は一般的な 0.65 とした。

図-11 に等価線形地震応答解析による地表面の最大加速度  $\alpha_{max}$  の分布を示す。図-10 と比較するとほぼ全

ての地域で加速度が増幅し、特に上町台地周辺や千里丘陵周辺、神戸市西部では増幅が大きく 500 gal 以上となった。

図-12 に等価線形地震応答解析による伝達関数の卓越周波数の分布を示す。地盤が硬い上町台地、千里丘陵および神戸山側地域では卓越周波数が高く、地盤が軟弱な西大阪地域や東大阪地域では卓越周波数が低くなった。

等価線形地震応答解析により求めた深度方向の  $\tau_{max}$  を有効上載圧  $\alpha_v'$  で除して、地震時せん断応力比  $L$  を求め、 $R$  は先と同様に道路橋示方書による簡易法によって求め、 $P_L$  値を算出した結果を図-13 に示す。一律に 400 gal ( $k_{hgL0} = 0.4$ ) を与えて計算した場合 (図-9(1))

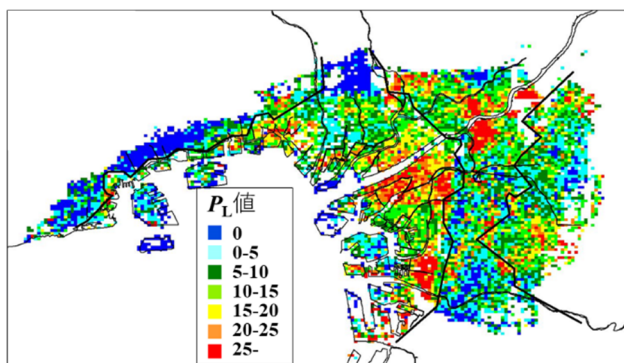


図-13 液状化指数  $P_L$  ( $\sigma_{max}$  法)の分布

よりも、特に臨海部において  $P_L$  値が小さくなっている。なお、解析により求めた  $\alpha_{max}$  (図-11) を用いて  $P_L$  値を計算した場合も、地域により多少  $P_L$  値が異なるが、結果は全体的にはほぼ同様の傾向を示した<sup>10)</sup>。

## 5. おわりに

現在、全国各地域で地盤情報データベースが構築され公開・販売されている。その多くは柱状図や土質試験結果一覧表を中心に整理がされているが、関西圏地盤情報データベースは各種土質試験結果についてもデータベース化が行われていることが特徴的である。本稿では、これらのデータを活用し、ボーリングデータに地質学的・地盤工学的解釈を加え、周辺の地盤状況を考慮して構築した 250 m メッシュ浅層地盤モデルについて紹介した。表層から深度 1 m 毎に土質区分、 $N$  値、各種土質特性をモデル化することで、現在直面している様々な地盤工学的課題の解決のための基礎データとして活用することができる。その一例として、地

震時の液状化予測および等価線形地震応答解析による地表最大加速度の分布、伝達関数の卓越周波数に基づく地盤の揺れやすさの分布を示した。

## 参考文献

- 1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告），入手先<<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>>（参照 2022.2.14）
- 2) Mimura, M. and Yamamoto, K. :Representative Soil Profile Model Based on Geoinformatics Database, Proc. International Symposium on Geoinformatics and Zoning for Hazard Mapping, pp.77-84, 2009.
- 3) 糟谷祐多・末吉拳一・大島昭彦・濱田晃之・春日井麻里：大阪上町台地上の洪積上町層を取り入れた 250m メッシュ浅層地盤モデルの作成，第 54 回地盤工学研究発表会，pp.55-52, 2019.
- 4) 春日井麻里・大島昭彦：大阪・神戸地域における 250m メッシュ浅層地盤モデルの構築，地盤工学ジャーナル，Vol. 16, No. 3, pp.257-273, 2021.
- 5) 春日井麻里・山口智也・糟谷祐多・大島昭彦・濱田晃之：大阪・神戸地域の Ma13 層の 250m メッシュモデルの拡張と土質特性の分布，Kansai Geo-Symposium 2020, pp.84-89, 2020.
- 6) 関西圏地盤情報ネットワーク・KG-NET ホームページ：入手先<<https://www.kg-net2005.jp/library.html>>（参照：2022.2.14）
- 7) (公財)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2017.
- 8) 大島昭彦・小坂慎一・濱田晃之・春日井麻里：大阪・神戸地域の浅層帯水層の地下水位低下による地盤沈下量の予測，Kansai Geo-Symposium 2018, pp.51-54, 2018.
- 9) 中村優孝・大島昭彦・濱田晃之・春日井麻里・後藤浩之・平井俊之：大阪浅層地盤の繰返し変形特性モデルの構築と非線形地震応答解析事例，第 53 回地盤工学研究発表会，No.0990, pp.1977-1978, 2018.
- 10) 糟谷祐多・春日井麻里・大島昭彦・山口智也・濱田晃之・山田 卓：等価線形地震応答解析による南海トラフ地震での大阪・神戸地域の揺れやすさと液状化危険度の予測，Kansai Geo-Symposium 2021, pp.18-23, 2021.

(原稿受理 2022.2.24)