

関東平野沿岸域の浅層地盤モデル (速報)

— 沖積層基底面のサーフェスモデルとその作成手法 —

Geologic model of shallow-ground and its method in the Kanto Plain : A surface model of the Chuseki-so basal plane and its methodology

木村克己^{1*}・花島裕樹¹・石原与四郎²・西山昭一³
Katsumi Kimura^{1*}, Yuki Hanashima¹, Yoshiro Ishihara² and Shoichi Nishiyama³

Abstract: The article presents as an annual report the outline of a surface model and its methodology of the basal plane of the latest Pleistocene to Holocene incised-valley fill, called the Chuseki-so in Japan, based on borehole database. These detailed results have been submitted to the other journal. The study area, ranging from 35°42' 45" to 35°53' 00" north latitude and from 139°45'22.5" to 139°55'52.5" east longitude, is located in the northeastern part of the metropolitan area in Japan, where the northern Tokyo and the southern Nakagawa lowlands and the adjacent uplands extend. The procedure of the method to construct the surface model is the followings : (1) to determine the basal horizon of the Chuseki-so based on borehole data of 5700 sites to get the primary point data, (2) to make a 3-D boundary line between the alluvial lowland and the adjacent Pleistocene upland areas, (3) to add secondary point data to adjust the surface model to the incised-valley geomorphologic features, such as boundary lines between terrace and cliff, and continuous lines of channel, (4) to make 50m mesh elevation data of each buried geomorphic horizontal plane unit, as mentioned above, resulting from the space interpolation calculation of primary point data, and finally, (5) to construct the whole surface model using both the above 50m mesh elevation data and all point data included in the other area. The BS-Horizon program (Nonogaki et al., 2008) is used for the space interpolation calculation of point data. Among the above procedure, the key to compensate a shortage of borehole data is the method of both (3) and (4), which are based on the view points of geologic and geomorphologic formation process and history.

Key words: Kanto plain, Chuseki-so, Holocene, borehole data, surface model, method

要旨

本研究課題は、関東平野の臨海部に位置する東京低地、およびそれに隣接する中川低地・荒川低地下流部の浅層地盤を構成する沖積層を研究対象として、その地質学的特徴の解明、ボーリングデータベースの構築とそれらに基づく三次元地質モデリングの構築、そして、これらの地質学的研究成果を基礎に、沖積層の地盤工学的特性、沖積層を原因とする地震動増幅特性の評価研究を実施している。平成 23 年度には、浅層地盤の地質モデルの高精度化手法を開発し、その具体的事例として、東京低地北部～中川低地南部域に分布する沖積層基底面のサーフェスモデルを作成した。本報告では、これらの研究成果の概要を紹介する。

1. はじめに

海岸平野の沖積低地を構成する沖積層は、最終氷期最盛期頃までに陸域の河成侵食で形成された開析谷をその後の海進に伴う堆積作用で充填した地層である。縄文海進の高海水準期には海岸侵食によって台地が後退して形成された波食台と海食崖地形が形成され、後の堆積物がその地形面を被覆している(池田, 1964; 井関, 1983; Matsuda, 1974; Kaizuka et al., 1977; 遠藤ほか, 1983)。したがって、沖積層の基底面は開析谷の地形面および地表面近くは海岸侵食地形で特徴づけられる。このような沖積層基底面は、地震防災や建築物基礎の評価においては、重要な物性境界として重要視されている。その理由は、沖積層基底

* Correspondence

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

² 福岡大学理学部地球圏科学科 (Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University)

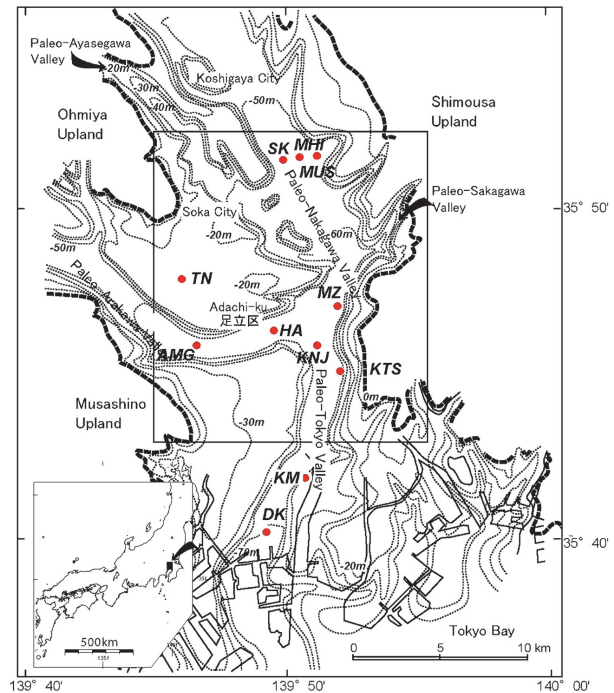
³ 応用地質株式会社 (Database Business Department, OYO Corporation)

面を介して、上位の沖積層は極めて軟弱であり、その下位は支持層にあたる更新統の堆積物が分布している場合が多いからである。しかも基底面が開析谷の谷壁など急傾斜をなす場合は、局部的に地盤強度が急激に低下し、異方性の効果も加味される。沖積層基底面の正確なサーフェスモデルを得ることは応用地質学的にも重要であると考えられる。しかし、沖積層基底面の元になるボーリングデータは、通常、十分な数量と密度で利用できるわけではない。これまでの研究では、中西ほか(2007)、田辺ほか(2008)の比較的最近の研究でも、そのような不十分なボーリングデータを基礎に空間補間計算処理を行って沖積層基底面のサーフェスモデルを求めているため、基底面標高の急変や段丘面や谷筋の連続性が表現できていない。そこで、H23年度には、地質情報の密度が十分でなく、地層境界面が側方に急変する場合におけるサーフェスモデルの作成手法を新たに開発し、その具体的事例として、東京低地北部～中川低地南部域において沖積層基底面のサーフェスモデルを作成した。この研究成果は、学術論文としてとりまとめて投稿している。本稿では、この研究成果の概要を速報として紹介する。

2. モデル地域と沖積層の概要

研究対象地域は、北緯 35 度 42 分 45 秒 -53 分 00 秒、東経 139 度 45 分 22.5 秒 -55 分 52.5 秒の範囲で、東西 13.3km、南北 17.1km の面積を有する(第 1 図)。地理的には、関東平野中南部において中川低地・荒川低地・東京低地からなる沖積低地が広い範囲を占め、これらの低地に隣接して調査地域東縁に下総台地、北西縁に大宮台地、南西縁に武蔵野台地がそれぞれ位置している。

対象地域の沖積層については、これまで、産業技術総合研究所の都市地質研究プロジェクト(木村, 2004)において、9 地点において層序ボーリング調査とコア試料の高精度解析が実施されており(第 1 図)、沖積層の堆積相・年代が明らかにされ、シーケンス層序に基づく地形・地質発達史モデルが提示されている(石原ほか, 2004;木村ほか, 2006;田辺ほか, 2006;中西ほか, 2011)。木村ほか(2006)は、調査地域の沖積層をシーケンス層序学的に総括し、沖積層が、下部から上部へ順に、網状河川、蛇行河川、エスチュアリー、デルタの各堆積システムから構成されることを明らかにした。



第 1 図 モデル地域の位置図。

参考図として東京低地と中川低地における沖積層基底面の等標高線図(遠藤ほか, 1983)が引用されている。

Fig.1 Index map of the study area, which shows contour lines of the basal surface of the latest Pleistocene to Holocene incised-valley fills (the Chuseki-so) in the Tokyo and the Nakagawa Lowlands (after Endo et al., 1983) A square area in the map indicates the surface model area of the Chuseki-so presented by this article. Red circles show borehole sites referred as the standard stratigraphy of the Chuseki-so in this article.

3. サーフェスモデルの構築手法

沖積層基底面のサーフェスモデルは、以下の 4 つの解析・処理過程を経て求められる。各過程のデータやモデルのそれぞれは、モデル作成時のデータベースとして保存されており、第三者によるデータ・モデルの検証だけでなく、データが更新された時にサーフェスモデルを更新することは容易である。また、各過程で順次更新して得られるサーフェスモデルは、第一次、第二次、そして最終の第三次と呼称する。

(1) 実ポイントデータの作成

沖積層基底面の推定に際し、「沖積低地」、「沖積低地と台地の境界近傍」、「台地」の三つのエリアではそれぞれ異なるデータが用いられる。

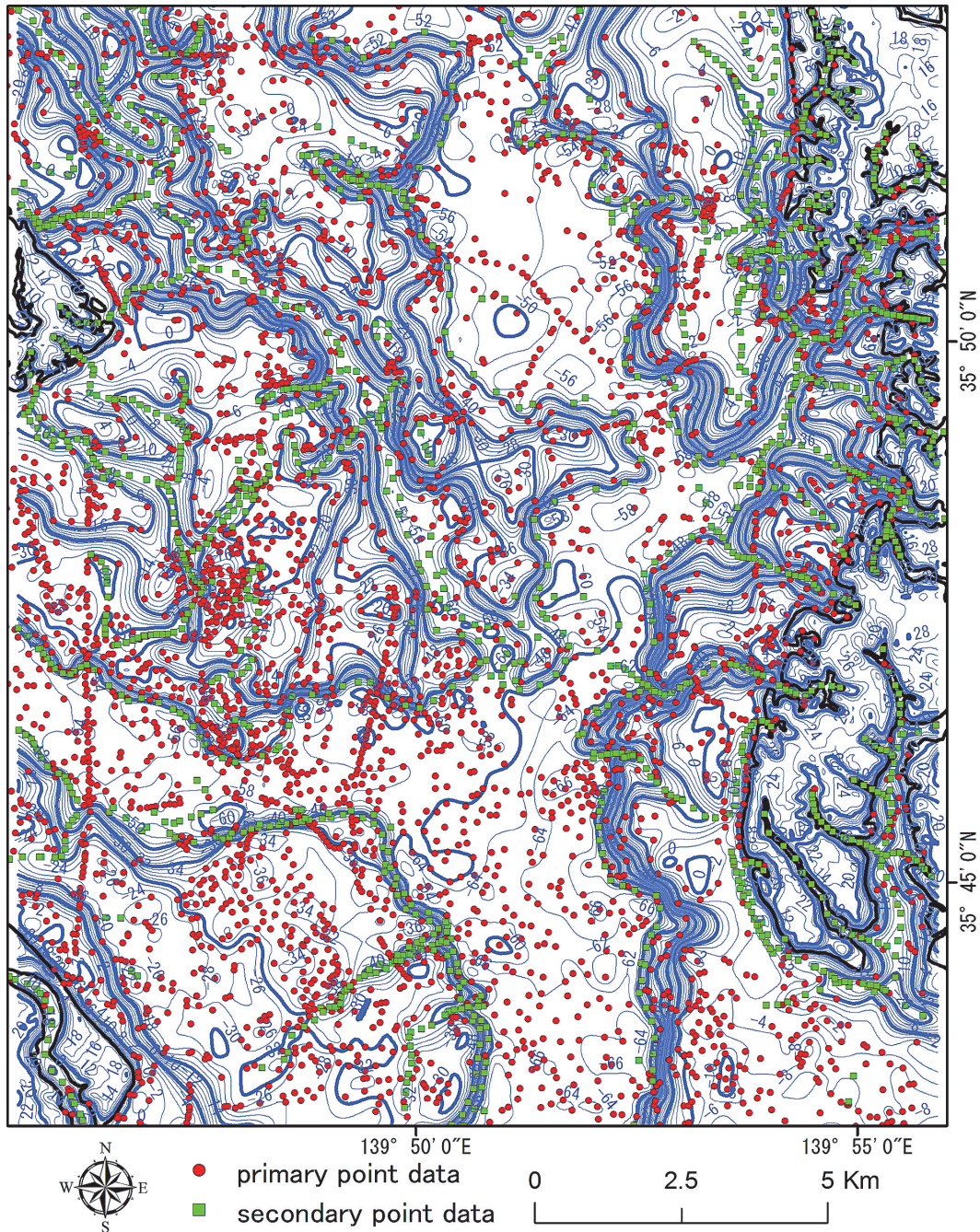
ボーリング柱状図からポイントデータの作成

ボーリングデータベースに登録された個々のボーリング柱状図について、沖積層基底面の深度を決定し、基底面標高のポイントデータを得た。利用したボーリングデータは 5,718 本であり、沖積層基底面深度を

定めたデータは、全域で 4,342 本、モデル地域内では 3,442 本となった (第 2 図)。

解析にあたって、ボーリング柱状図解析システム(木村, 2011) を利用して、モデル地域内で、400m 間隔で東西方向に断面線を設定し、幅 200m で各断面線に全ボーリングデータを投影することで、基本となる東西性の地質断面図を 43 枚、補助断面として、基本となる東西地質断面間の中間に投影幅 100m で 42

枚の東西断面図、古荒川谷が東西に伸びる西部域では南北断面図や北東-南西断面図各 10 枚をそれぞれ作成した。個々の断面図において、周囲のデータとの対比、標準的な沖積層と基盤の更新統に関する層序・堆積相・N 値の垂直変化の特徴などに基づき、個々のボーリング柱状図について沖積層基底面境界を定めた。なお、ボーリング柱状図の電子化の形式は、すべて、国交省による土質・地質調査成果電子納品要領による



第 2 図 モデル地域における沖積層基底面の第二次サーフェスモデル。

Fig.2 Second-step surface model of the basal plane of the Chuseki-so. Red color circles: primary point data of borehole data, green color rectangles: secondary point data. Black line: the boundary line. Contour lines in the upland area are based on elevation values of 50m mesh of topographic surface.

ボーリング交換用データ形式 (XML, ver.2.10; 国交省, 2004) に準拠している。

沖積低地と台地境界の三次元ラインの作成

地表面での沖積層の分布境界は、沖積低地と台地との境界であり、そして、沖積層基底面と地表面との交線に当たる。その位置は、国土地理院が刊行している数値地図 5m メッシュ (標高) で作成した地形段彩図と傾斜分布図、ボーリングデータの沖積層・更新統との境界深度情報に基づいて求めた。境界位置については、緯度・経度情報に標高のデータを加えることで、三次元のラインとして定めた。標高値は、境界ライン上に約 250m 間隔に境界上点を置き、数値地図 5m メッシュ (標高) により該当する位置の標高を付与して求めた。

台地地形面のメッシュデータの作成

前述の沖積低地・台地境界の三次元ラインを基準にして、その外側にあたる台地域は、平坦であり沖積層が分布していないことから、最終氷期最盛期頃の開析谷形成時当時の台地状の地表面を近似していると考えられる。そこで、沖積層基底面のサーフェスモデルの入力データとして、台地地形面の数値地図 5m メッシュ (標高) を使用して、算術平均によって 5m メッシュを間引き、50m メッシュを作成した。

(2) 実ポイントデータによる第一次サーフェスモデルの作成

以上の作業で得られたデータ (実ポイント) を入力データとして、空間補間計算処理を行い、第一次サーフェスモデルを求める。サーフェスモデルを得るための空間補間計算では、野々垣ほか (2008) が開発した BS-Horizon を利用した。同プログラムは、塩野ほか (2001) による「データを満たす曲面の中で最も滑らかなものを求める」という最適化原理を引き継ぎ、与えられたポイントデータを計算結果がどれだけ満たしているかを示す評価値 (平均エラー値ほか) を得ることができる (野々垣ほか, 2008)。さらにこの手法は、不等式による制約条件を設定することができることから、前述の通り、境界近傍点については不等式を用いた条件設定を行った。計算処理の際、最適化原理の曲面の滑らかさの指標である m_1 , m_2 , データの充足度にあたるペナルティ α の三つのパラメータを定める必要がある。第一次と第二次の段階では、面の滑らかさを重視して、 $\alpha = 32$ とした。一方、後述するとおり、第三次の段階では、データ充足度を重視して、 $\alpha = 1024$ を採用した。

(3) 地形・地質学的評価による補填ポイントデータと第二次サーフェスモデルの作成

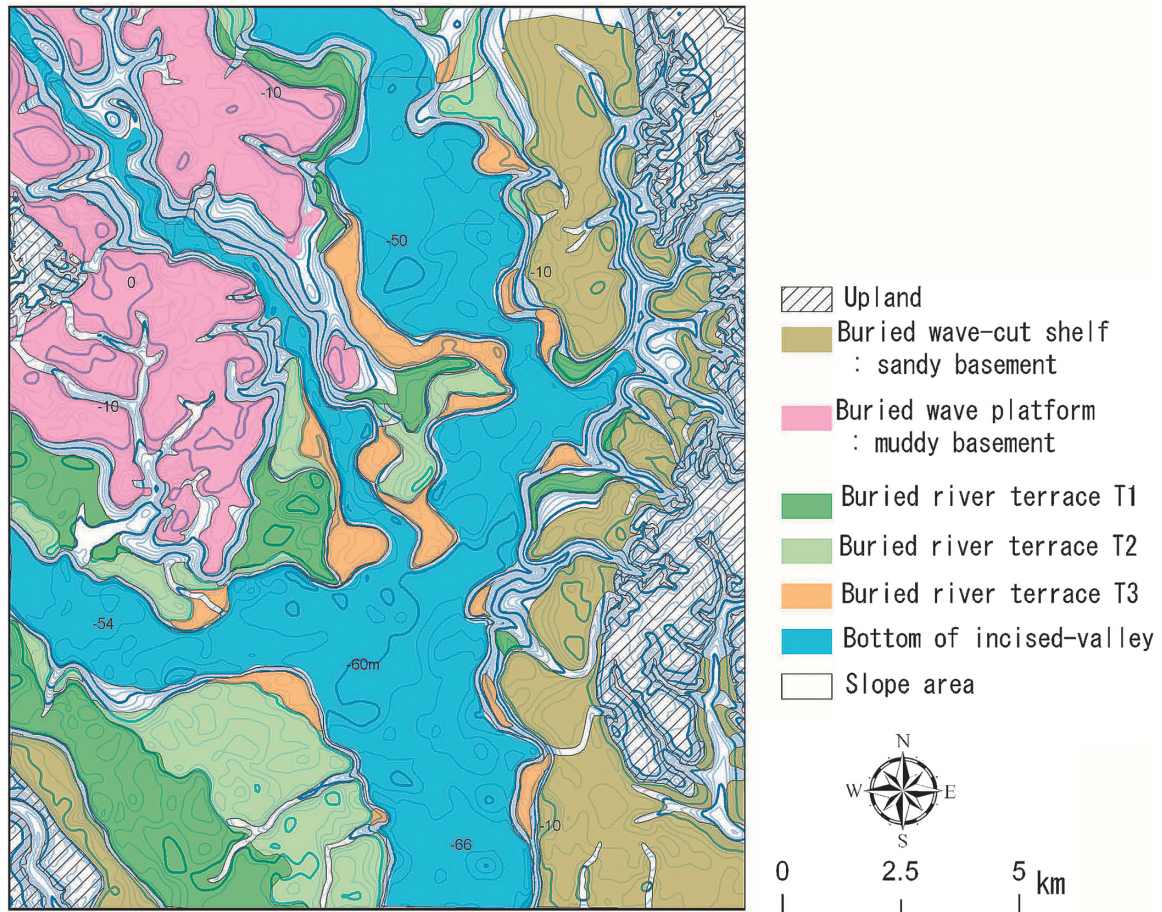
第一次サーフェスモデルにおいて、埋没平坦面と侵食崖との境界、台地面から流下する谷底低地下に伏在する大小の谷地形については、ボーリングデータの限られた数量とその偏在のため、実態に即した面が求めにくい。そこで、侵食崖は走向方向にその傾斜が一定していること、谷地形は台地から本谷底まで連続することなどの地形的特徴を考慮して、ポイントデータを補填する。本作業は、ボーリング柱状図解析システム (木村, 2011) を利用して行った。この作業で得た補填ポイントデータを上記 (2) の実ポイントデータに合わせて入力データとして、(2) と同様に空間補間計算処理をして第二次サーフェスモデルを求める (第 2 図)。

(4) 古地形面区分と第三次サーフェスモデルの作成

沖積層基底面が示す河成段丘面などの地形平坦面と急斜する段丘崖とは、本来は遷急線を境に急激に変化するものであるが、ボーリングデータが地形の急変を表現するには十分な密度でないエリアにおいては、標高変化が平均化されゆるやかな斜面として表現される。同様に、開析谷本谷底につながる支流の谷筋も、本来連続しているものが、局所的な凹み地形として表現されやすくなる。その上、空間補間計算の結果出現するアンダーシュート・オーバーシュートが標高差の大きい段丘崖の上・下端に発生しやすい。こうした実際の地形表現から乖離した形状発生の問題点を解消するために、古地形区分図 (第 3 図) によるデータ制御の手法を導入する。

本手法は、以下の三段階を経る。

- 1) (3) までの過程で得られた第二次サーフェスモデルと個々の柱状図の土質・N 値情報、および地形・地質発達史に基づき、古地形区分図を作成し、個々の埋没平坦面と谷筋、および斜面とをエリア区分してそれぞれの境界ラインを定める。
- 2) 上記で得られた各埋没平坦面について、同一形成史にあたる埋没平坦面毎に、それぞれのサーフェスモデルをそのエリアに属する実ポイントデータから別途空間補間計算処理で求め、その結果を 50m グリッド標高値としてエクスポートする。
- 3) 2) で得られた各平坦面のグリッドの標高値と斜面や谷筋などのエリアに属するポイントデータ全体を入力データとして、最終的な第三次サーフェスモデルを計算処理によって求める。



第3図 モデル地域における古地形区分図。

Fig.3 Division of buried paleo-geomorphic surfaces displayed in the contour map of the basal plane of the Chuseki-so in the model area.

4. 沖積層基底面のサーフェスモデルの俯瞰図

以上の処理過程を経て作成した沖積層基底面のサーフェスモデルの俯瞰図（第4図）は、台地面の平坦面と谷底低地の谷地形から沖積層基底面を構成する波食台、3段の埋没河成段丘面、本谷底、これらの平坦面を画する斜面、およびこれらの地形を侵食する谷地形を明瞭に表現している。サーフェスモデルの数値データは50mメッシュグリッドの標高値で表現されている。

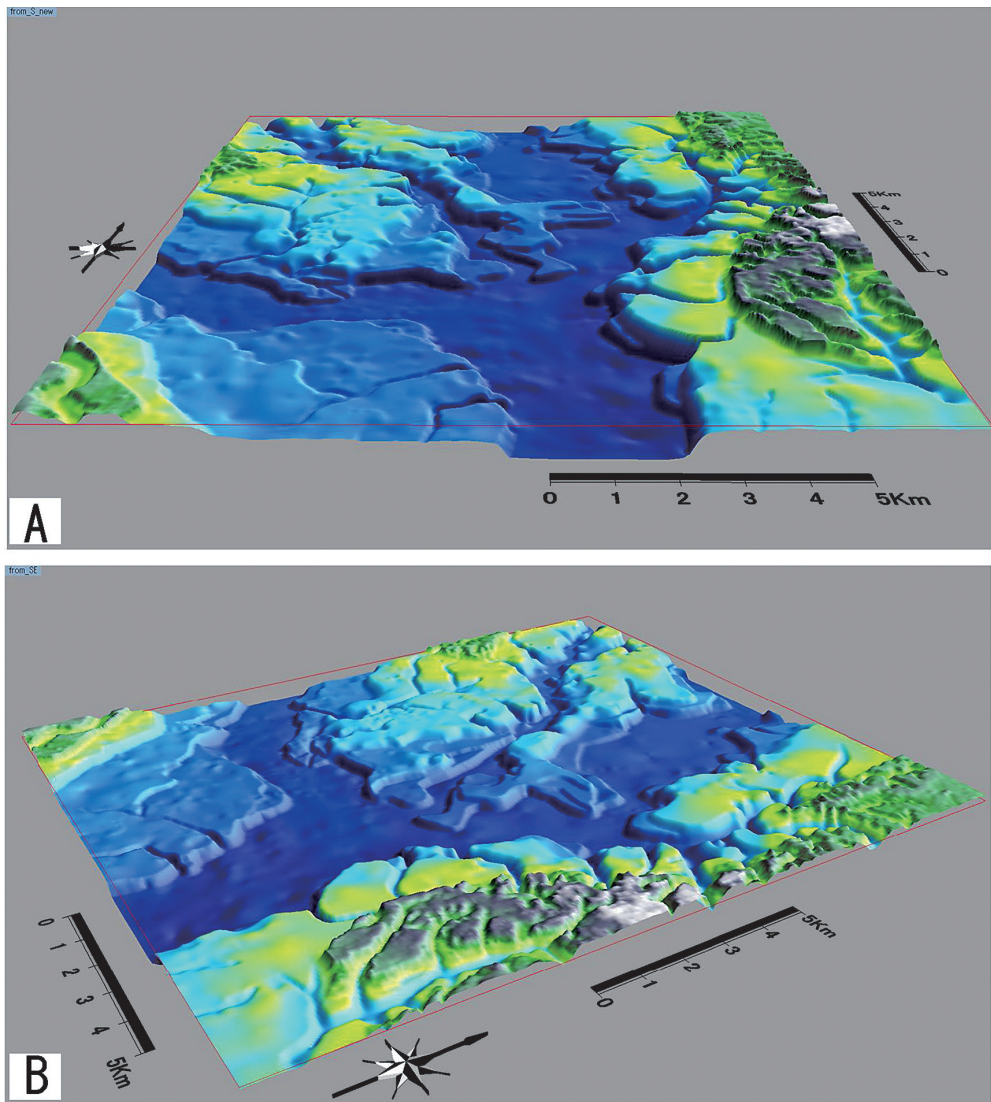
5. 最後に

沖積層基底面のサーフェスモデルを詳細化することの目的には、地形・地質学的な特性の解明に加えて、物性境界として応用的課題への活用がある。これまで、地盤工学的利用、自然災害防止への活用を目的として作成される地盤図の多くは、沖積層基底面の等高

線図を作成している。沖積層基底面は、最新期の沖積層とその基盤層との境界であるため、都市圏が位置する海岸平野部では特に、軟弱層と支持層との境界面を近似する物性境界として主要な面となっている。そのためにも、面の形状が正確である必要があり、特に、埋没平坦面と急な侵食崖の形状・傾斜、両者の境界の位置、谷筋の分布位置は重要である。

謝辞

本報告の執筆にあたって、元東京都土木技術センターの中山俊雄氏、埼玉県国際科学技術センターの八戸昭一博士、防災科学技術研究所の大井昌弘博士には、各機関所有のボーリングデータの利用において大変便宜をはかっていただいた。産業技術総合研究所の田辺晋博士、小松原純子博士、元産業技術総合研究所の中西利典博士には、ボーリングデータのデータベースの整備、および沖積層層序の研究調査について当初より協



第 4 図 沖積層基底面のサーフェスモデルの鳥瞰図。
Fig.4 Perspective view of the surface model of the basal plane of the Chuseki-so in the model area.
A: View from the south, B: View from the south-east. Vertical exaggeration: 10 times.

力していただいた。大阪市立大学の根本達也博士，産業技術総合研究所の野々垣 進博士には空間補間計算処理法に関してご教授いただいた。以上記して深く感謝する。

文献

遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘
(1983) 関東平野の《沖積層》。アーバンクオ
ータ, no.21, 26-43.
池田俊雄(1964) 東海道における沖積層の研究。東
北大学地質古生物学教室邦文研究報告, 60,
1-85.
石原与四郎・木村克己・田辺 晋・中島 礼・宮地良典・
堀 和明・稲崎富士・八戸昭一(2004) 埼玉

県草加市柿木地区で掘削された沖積層ボーリ
ングコア(GS-SK-1)の堆積相・堆積物特性と放
射性炭素年代。地調研報, 55, 183-200.
井関弘太郎(1983) 沖積平野。東京大学出版会,
145p.
Kaizuka, S., Naruse, Y. and Matsuda, I. (1977) Recent
formations and their basal topography in and
around Tokyo Bay, Central Japan. Quatern.
Res., 8, 32-50.
木村克己(2004) 巻頭言：都市地質研究の展開。地
調研報, 55, 181-182.
木村克己(2011) ボーリングデータ処理システ
ムの公開。産業技術総合研究所 TODAY, 11,
no.1, 19.
木村克己・花島裕樹・石原与四郎・西山昭一(投稿中)

ボーリングデータに基づく沖積基底面のサーフェスモデルとその作成方法—東京低地北部から中川低地南部の沖積層を例として—. 地質学雑誌.

木村克己・石原与四郎・宮地良典・中島 礼・中西利典・中山俊雄・八戸昭一 (2006) 東京低地から中川低地に分布する沖積層のシーケンス層序と層序の再検討. 地質学論集, no.59, 1-18.

国土交通省 (2004) 地質・土質調査成果電子納品要領 (案) 平成 16 年 6 月. 135p.

Matsuda, I. (1974) Distribution of the recent deposits and buried landforms in the Kanto lowland, central Japan. Geographic Reports of Tokyo Metropolitan Univ., no.9, 1-36.

中西利典・石原与四郎・田辺 晋・木村克己・八戸昭一・稲崎富士 (2007) ボーリング柱状図資料の解釈による中川低地南部の沖積層基底図. 地質調査総合センター研究資料集, no.454, 39p.

中西利典・田辺 晋・木村克己・中島 礼・内山美恵子・柴田康行 (2011) 埼玉県三郷市彦成地区の沖積層ボーリングコア (GS-MHI-1) の堆積相・珪藻化石群集組成・物性・放射性炭素年代値. 地調研報, 62, 3-46.

野々垣 進・升本眞二・塩野清治 (2008) 3 次 B- スプラインを用いた地層境界面の推定. 情報地質, 19, 61-77.

塩野清治・能美洋介・升本眞二・坂本正徳 (2001) Horizon2000: 等式・不等式制約条件や傾斜データを活用した地層面推定プログラムの改良. 情報地質, 12, 229-249.

田辺 晋・中島 礼・中西利典・石原与四郎・宮地良典・木村克己・中山俊雄・柴田康行 (2006) 東京都葛飾区における沖積層の堆積相と堆積物物性: 奥東京湾口の砂嘴堆積物の時空間分布. 地調研報, 57, 261-288.

田辺 晋・中西利典・木村克己・八戸昭一・中山俊雄 (2008) 東京低地北部から中川低地にかけての沖積層の基盤地形. 地調研報, 59, 497-508.