

18. 島根県大田市の砂岩斜面に見られるタフォニーとオーバーハング斜面の形成 Tafoni on Miocene sandstone slopes and unstable overhanging structures, Shimane, Japan

島根大学・総合理工 ○横田修一郎・竹原和也

1. はじめに

地形的に急峻なわが国では山間部にも道路が多く、道路に沿って高さ 10m 以上の急崖が連続しているところも少なくない。急崖のなかでもオーバーハングした露岩斜面の場合、それに沿った道路は常に斜面上部からの落石の危険にさらされている。オーバーハング斜面の形成は一般には被浸食性の異なる岩石・地層の存在に起因するとみてよいであろう。しかしながら、比較的均質な岩石・岩盤よりなる斜面上でも何らかの原因で凹凸が生じ、それがしだいに大きくなってオーバーハング構造が形成されることも考えられる。そのようななかで、“タフォニー (tafoni)” とよばれる小さな風化による凹みから発達して水平方向に伸びた溝状の凹部が斜面上に形成され、結果としてその上側がオーバーハング構造となるような例を見いだした。

2. 対象斜面の地質構成と地質構造

このような斜面構造が見られたのは島根県大田市の日本海海岸から約 10km 内陸に入った山地の岩盤急斜面である (図-1)。ここでは径 1m 以内の小規模なタフォニー状凹部 (楕円型の凹み) とともに水平方向に数 m 以上溝状に伸びた凹部が多数存在し、後者の上側は結果としてオーバーハングしている (図-2)。後者は海岸でみられるノッチに近い形状であり、高さ 1-2m、水平方向は長さ 10m 以上に及ぶものもある。ここではこれをノッチ状凹部とよぶことにする。

図-1 にはこれらの確認位置を示している。図中の南西端の国道 375 号沿いならびに東部の面谷川両岸斜面に集中して分布していることがわかる。当地域におけるこのような凹みの存在は、岸本・井上他^{1), 2)} によってはじめて報告された。成因については議論がなされているものの明確な結論は得られていない。

筆者らは、今回これら凹みの形状測定とともに分布地域における斜面の地質構成と構造を詳細に調査した。その結果、急崖はほぼ新第三系の粗粒～中粒砂岩よりなり、一部に礫岩薄層を挟んでいること、層理面は大局的には ENE-WSW の走向で、北側に 15-20° の同斜構造をなしていることが明らかとなった。服部他³⁾ によれば、これらの砂岩層は新第三紀河合層に相当する。

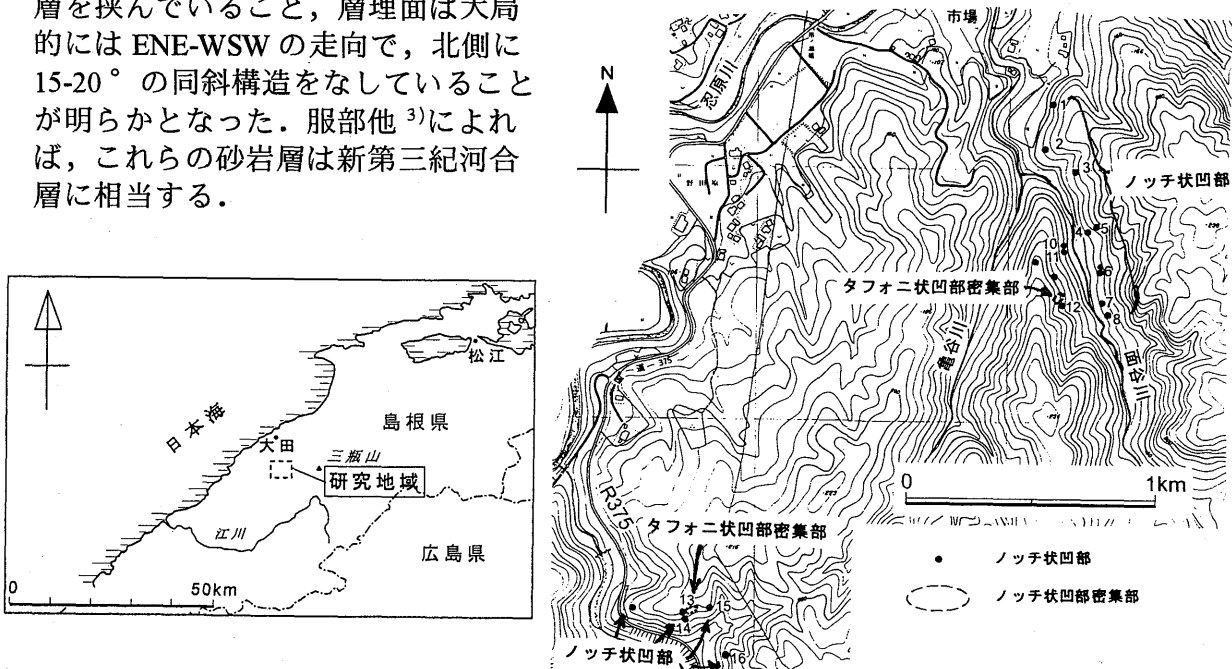


図-1 研究地域の地形概要とタフォニー状凹部およびノッチ状凹部の確認位置

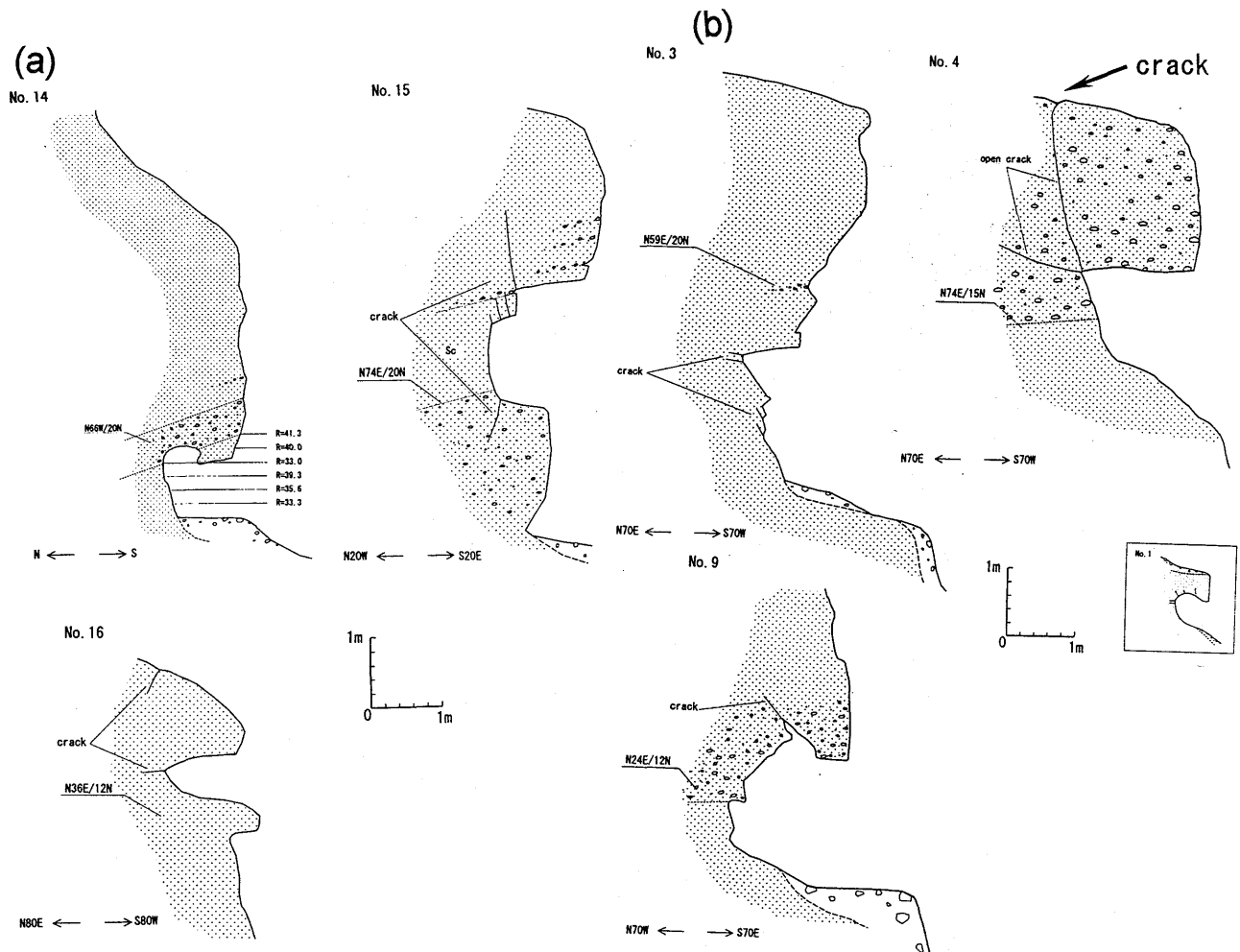


図-2 ノッチ状凹部とオーバハング斜面の縦断面形状
(a)国道沿いの例, (b)面谷川沿いの例

3. タフォニーならびにノッチ状凹部の縦断形状

図-2に現地で計測したノッチ状凹部とそれによって作られるオーバハング斜面の縦断形状の例を示す。(a)は図-1南西部の国道沿い斜面の例であり、(b)は同東部の面谷川右岸斜面の例である。いずれも粗粒砂岩を主体とし、一部に礫が混じった層、あるいは薄い礫岩層を挟んだ砂岩層中に形成されている。また、いずれの斜面も層理面とはわずかながら受け盤構造をなすという共通点がある。

砂岩岩盤斜面には、このようなノッチ状のものとは別に岩盤表面に楕円形の凹みがみられることがある。これは形態的にはタフォニー(tafoni)とよばれるものと推定される。タフォニーは世界中の乾燥地帯などで多くの報告があり、わが国でもいくつかの研究例がある^{4),5)}。図-3は国道沿いの砂岩岩盤の表面に見られるタフォニー状凹部の例である。(a)に示すように厚さ数10cmの砂礫層に沿って多数のタフォニーが現れている。岩盤面上での形状は円形に近いものから水平に近いものまでである。また、(b)はそのうちの比較的規模の大きなNo.13-6の縦断面形状である。図-2に示したノッチ状凹部と縦断形状は酷似しており、天井に“ひさし”状のものが形成されている。

本地域においてタフォニー状凹部ならびにノッチ状凹部の確認された地形・地質的位置やそれらと地質構造との関係などに基づくと、以下のような分布の特徴が挙げられる。

- ・分布位置は浸食小起伏面直下ではあるが、その標高は120-180mと幅があり、必ずしも特定標高ではない。
- ・岩相的には粗粒砂岩層中であり、とくにそれに挟まれる礫岩薄層に沿って現れる傾向がある。
- ・地質構造的には受け盤斜面という共通点があり、とくに面谷川に面した斜面では貫入岩に伴う局所的な背斜構造が両岸に受け盤斜面をつくり、この部分に多数分布している。

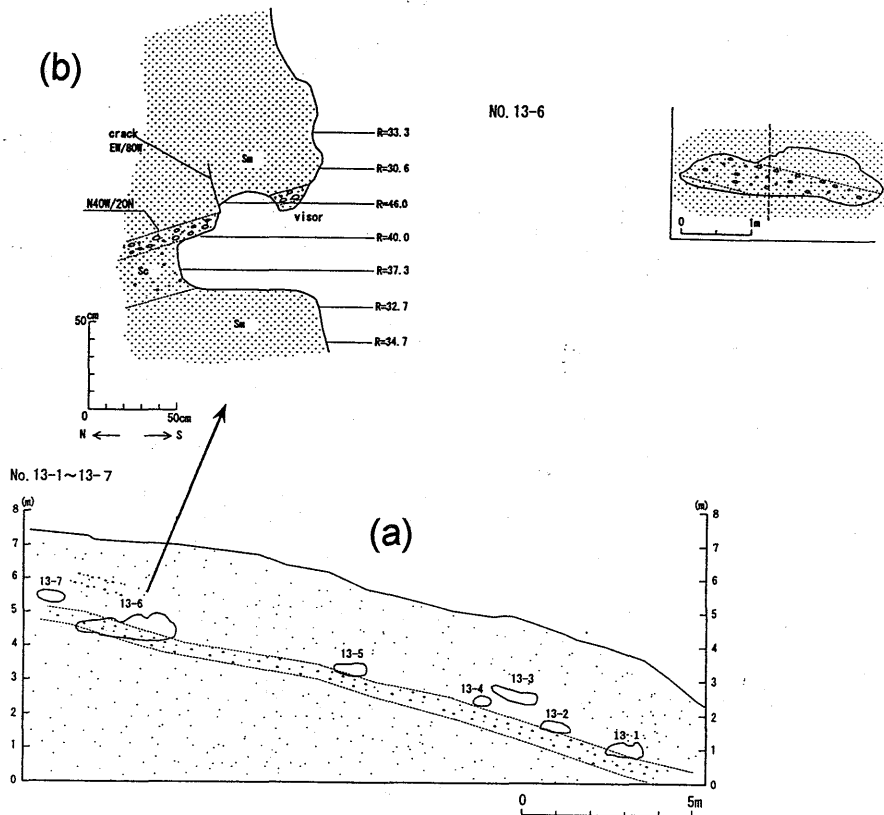


図-3 砂岩表面に見られるタフォニー状群とその縦断形状 (図-1 の南西端国道沿い斜面)
 (a) 砂岩層表面に見られるタフォニー群：厚さ数 10cm の砂礫層に沿って多数のタフォニーが現れている。形状は円形に近いものから水平に近いものまでである。
 (b) No.13-6 の縦断形状：天井に“ひさし”状のものが形成されている。

4. タフォニーの平面形状

図-4 はタフォニー状凹部における形状をまとめたものである。(a)は高さ h と幅 w の関係を、また、(b)は高さ h と深さ d の関係を示している。測定した個数は少ないが、幅 w (水平方向の幅) と高さ h の関係、および深さ d (凹みの奥行き) と高さ h の関係にはある程度正の相関性が認められる。

しかしながら、 w と h 、および d と h は必ずしも比例関係にあるわけではない。たとえば、図-4(a)で $w=0$ とすると、 $h=21.5$ 前後となる。これは形状が単純な円形ではないことを示している。そこで、図-4(a)の直線関係から幅 w と幅/高さ比 (h/w) との関係を求めると、

$$h / w = 0.19 + 21.5/w \quad (1)$$

となる。図-5はこれを図示したものであり、幅 w が小さいときは、円形に近い形状であるが、幅 w が大きくなるにつれて、水平方向に伸びた横長の楕円形になっていくことを示している。これは形成初期は縦長の楕円形であるが、大きくなるとしだいに水平に扁平な楕円になることを意味している。したがって、タフォニー拡大過程の延長として水平に伸びたノッチ状凹部が形成されると推定される。

縦断面形状は前述のようにいずれも半円形であり、内部では天井が深いという特徴がある。したがってタフォニーもノッチ状凹部も縦断面形状としては互いに類似しており、これらのことから、タフォニーからノッチ状凹部、さらにオーバーハング斜面形成という過程が推定される (図-6)。

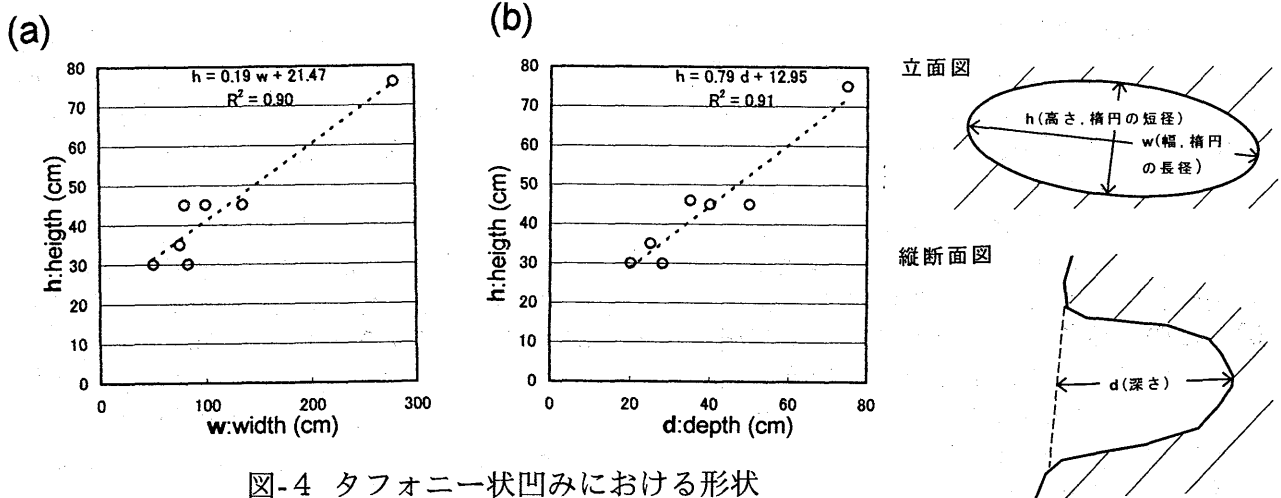


図-4 タフォニー状凹みにおける形状
(a)高さ h と幅 w の関係, (b)高さ h と深さ d の関係

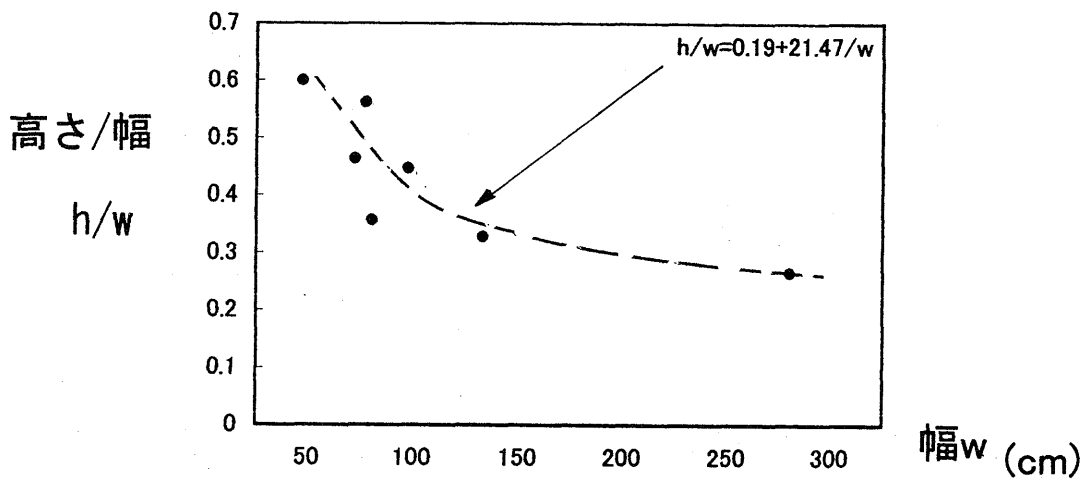


図-5 タフォニー状凹みにおける幅(w)と、高さ/幅 (h/w) 比の関係

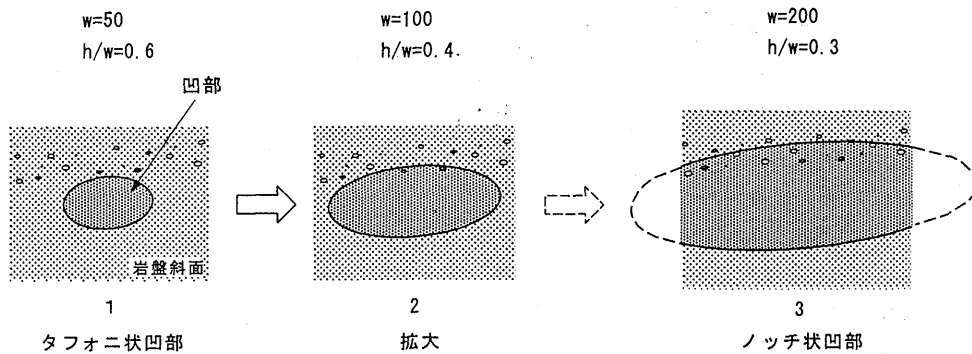


図-6 タフォニー状凹部からノッチ状凹部形成のイメージ

5. タフォニーからオーバーハング斜面の形成

タフォニー状凹部の内壁をなす砂岩はシュミットロックハンマーによる測定では、まわりより軟質化しているものが多い。また、多くのタフォニー内壁には白色粉末の付着があり、一部では Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) の析出と確認された。したがって、これらの形成は塩類風化が主要因と推定される。

受け盤斜面を構成する粗粒砂岩層に斜面上方からの表流水やごく表層近くの地下水が浸透するといった環境がそれらの形成に重要な役割を果たしたであろう。Gypsum に含まれる硫酸塩の起源については、砂岩構成物と移動水のいずれにも可能性があるが、周辺地域で家屋基礎の砂岩にも同様の凹みが現れていることから、火山岩片を多数含んだ粗粒砂岩に原因があるとみた方がよいであろう (図-7)。

オーバーハング突出部の発達したものでは、その基部に鉛直方向のクラックが形成されており (図-2(b)の右上など)、これは転倒モーメントの増大による引張クラックと考えられる。急崖の麓に径数 m 以上の砂岩ブロックが転石として多数散在していることを考え合わせれば、このようなクラック面に沿って突出した不安定化部が崩落するのであろう。

以上の結果、このような岩盤斜面では、小規模なタフォニーの形成からはじまり、その拡大、ノッチ状凹部とオーバーハング突出部の形成、引張クラックの発生、突出部の崩落という過程が考えられる。当地域の斜面ではこのような過程を永年繰り返す、岩盤斜面が後退してきたと考えられる。

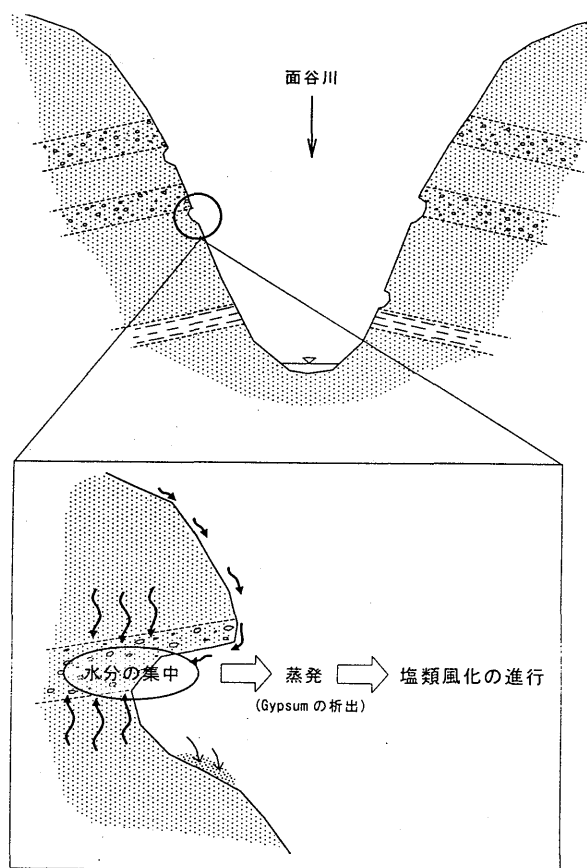


図-7 面谷川に面した受け盤斜面におけるタフォニーの形成。

谷に沿った背斜構造のため、両岸は受け盤斜面となっている。

表流水および地下水が砂岩中の塩類を溶解し、凹部が形成される。

6. まとめ

- (1) 当地域の急崖に見られる凹部にはノッチ状のものとタフォニー状のものがあり、後者は概して小さい。
- (2) これらの分布は浸食小起伏面直下であるが、特定の標高に限ったものではない。
- (3) また、河合層の礫混じり粗粒砂岩層 (層厚約 50m) に集中しているが、必ずしも特定の層準に限ったものではない。

- (4)受け盤斜面に多く見られるのが特徴である。とくに、谷に沿った緩い背斜構造が両岸に受け盤斜面を形成して、凹部が集中して形成される条件をつくっている。
- (5)タフォニー状凹部の平面型は大きくなるにつれて水平方向に伸びたかたちとなる。
- (6)したがって、岩盤斜面上で小さな円形のタフォニーが成長して横長のノッチ状凹部に移行すると推定される。
- (7)凹部内壁は軟質化しているとともに、gypsum の析出が確認されたことから、これらは塩類風化を主要因として形成されたものと考えられる。

文 献

- 1) 岸本浩基・化石微地形探求グループ(2000)大田市忍原峡谷の波食崖を示唆する特異な化石微地形, 島根県地学会誌, No. 15, 17-26.
- 2) 井上 真・岸本浩基・横田修一郎・化石微地形研究グループ(2000)大田市忍原峡谷の波食崖を示唆する特異な微地形, 日本地質学会第 107 年学術大会講演要旨, 332.
- 3) 服部 仁・鹿野和彦・鈴木隆介・横山勝三・松浦浩久・佐藤博之(1983)三瓶山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 168p.
- 4) Bradley, W.C., Hutton, J.T. and Twidale, C.R. (1978) Role of salts in development of granite tafoni, south Australia, *J. Geol.*, **86**, 647-654.
- 5) Matsukura, Y. and Matsuoka, N. (1991) Rate of tafoni weathering on uplifted shore platforms in Nojima-zaki, boso Peninsula, Japan. *Earth Surf. Processes Landf.*, **16**, 51-56.