

人為的バレーバルジング

Artificially-induced valley bulging

野 崎 保 田 川 義 弘
Tamotsu NOZAKI Yoshihiro TAGAWA



日本地すべり学会誌 第40巻 第6号 別刷

人為的バレーバルジング

Artificially-induced valley bulging

野崎 保^{a)}・田川義弘^{b)}

Tamotsu NOZAKI and Yoshihiro TAGAWA

Abstract

Studies on the phenomena of valley bulging were reported in England in the early 20th century. Although many research and technical reports have been published since then in Britain, Europe and North America, publications on the subject are relatively new in Japan. One of the authors, Nozaki, reported one of the first cases of valley anticline that followed a river channel, describing its occurrence mechanism as a type of valley bulging. In Britain, it is generally believed that valley bulging is initiated by valley rebound, resulting largely from freezing and thawing of deep permafrost which was one of the periglacial processes in glacier periods. In other countries however, the view that valley rebound due to gravitational creep causing buckling of rocks in the center of valleys is more prevalent. The authors basically take the latter viewpoint because there is no evidence of periglacial processes in Japan except on Hokkaido Island and very mountainous area of Honshu Island. Apart from explanations on the physical phenomena, it is also believed that this kind of bulging is time-dependent phenomena that progresses over durations of geologic periods with no appreciable deformation caused by artificial means. During the excavation of the Jyoshin-etsu Express Highway in Central Japan, however, bulging in the direction of the excavation site crosscutting a high ridge was observed. The authors predicted this deformation and was able to verify this phenomenon by installing enough detection equipment and control points, along with detail drilling tests in advance of or during excavation works. As a result, the authors were able to conclude that this deformation was a case of artificially-induced valley bulging.

Key words : stress release, valley bulging, valley rebound, flexural slip

和文要旨

我が国においては最近までバレーバルジングに関する報告は見られなかったが、筆者の一人である野崎によって初めての事例とその発生機構に関する研究報告がなされている。英国では主に氷河期における周氷河作用の一現象であるとする説が有力である。しかし、英国以外では応力解放に伴う河床部のリバウンド現象あるいはそれに続く斜面クリープによる河床部の座屈現象であるとする説が有力であり、野崎も基本的に後者の説にしたがっている。また、これまでこのような現象は地質学的な時間単位で進行するものであり、人為的な掘削などでは感知し得る程の変位は生じないものと考えられてきた。しかし、今回上信越自動車道の工事において、尾根地形を横断する大規模な開削工事が実施された際に、切土の進行と共に開削部に向かうバルジング現象が発生した。筆者らは事前にこうした現象の発生を予測し、詳細な地質調査および諸計測を行った結果、人為的なバレーバルジング現象が発生したことを明らかにした。

キーワード : 応力解放, バレーバルジング, バレーリバウンド, フレキシユラルスリップ

1. はじめに

地盤は川の侵食や人工的な開削による除荷によって弾性的な変形が生じ、ついで斜面クリープによる座屈が生じ、場所によっては時にアイスレンズの発達なども手伝って、大なり小なりその開削部を中心とする変形現象が生ずる。バレーバルジングは、このような谷底部およびその周辺の比較的表層部分に現れる一連の膨張変形現象である。今世紀初頭から今日にいたるまで主に英国において多くの事例や発生機構に関する研究報告があり、Hollingworth *et al.* (1944) によって初めて明確な定義付けがなされている。英国では除荷がきっかけとなるものの、その成長は周氷河作用の一つである凍結融解が主たる役割をなすとする説が有力である (Parks, 1991)。しかし、英国以外では除荷によるリバウンドが主因とされるケースが多く、バレーリバウンドと表現されること

もある (Matheson & Thomson, 1973)。また、Hutchinson (1991) は物性の異なるさまざまな地層の変形現象を総称し、superficial valley disturbancesという広義な用語を提唱している。この現象は斜面変動の一形態としてVarnes (1978) の斜面変動分類図にも掲載されているが、研究者や地域によって発生機構の解釈に多少の相違がある。ここでいうバレーバルジングとは、“谷の侵食によって谷底部の地層がリバウンドすることによって、あるいはこれに相乗して斜面下の地層がクリープして谷方向に押し出され、河床下の地層に背斜状の膨らみ (valley anticline) が生ずる現象であり、ときに地壘 (horst) 状に断層の発生を伴うものもある”，と解釈した。

ところで、このような現象はすべて地質学的な時間単位で発生するものであり、人為的な掘削によって生ずる短期的な変形は肉眼で観察できる程度には発達しないと考えられていた (Matheson & Thomson, 1973)。しかし、上信越自動車道の建設工事ではほぼ2年間の開削施工中に類似のバルジング現象が観測された (図-1)。すなわち、その初期段階では肉眼的な地表変状は全く認められなかったものの、開削の途中段階から計画掘削面

* 連絡著者 / corresponding author

a) 株式会社日本鉱業研究所

CNK Geotechnical Institute Inc.

〒933-0824 富山県高岡市西藤平蔵581

Nishitohzoh 581 Takaoka Toyama 933-0824, Japan

b) 日本道路公団

Japan Highway Public Corporation

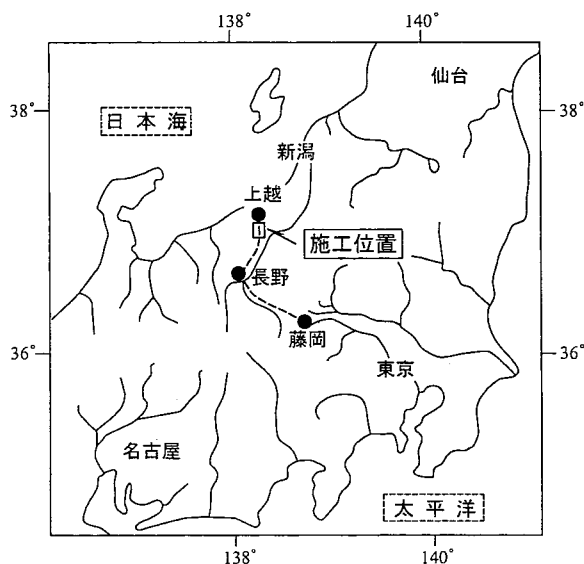


図-1 案内図
Fig. 1 Location map

よりはるかに深い位置において累積的な変状が観測され、最終段階では流れ盤側だけではなく受け盤側となる対面の切土斜面にも地層の層理面に沿って開削部に向かう押し出し現象が生じた。筆者らは事前にこのような変位の発生を予測して地中観測体制を敷いており、その進行に応じて観測孔等を追加すると共に、地表部の移動観測も行った。その結果、まさに人為作用によるバレーバルジ現象の発生が明らかになった。これは図らずも原位位置実験を行ったことになり、バレーバルジ現象の発生機構の一端を実証する結果となった。

2. バレーバルジの研究史

2.1 英国を中心とした諸外国における研究事例

英国のLias clayとその上に乗るNorthampton砂岩層の観察事例から、Hollingworth *et al.* (1944) は谷底部の背斜状構造について報告し、次のような特徴があることを示すと共にそれに伴う諸現象に関する用語の定義をおこなった。

- (1) 平坦な山頂から谷に移る斜面の上反りの撓みは重力作用による地層の垂れ下り (sagging) によるものであり、この現象をcamberingと呼んだ。
- (2) 谷底に沿った背斜状の膨らみをバレーバルジ (valley bulge) と呼び、一般に谷方向に平行な断層を伴い、地壘 (horst) の様な構造となることを明らかにした。
- (3) 谷側への地層の移動によって、斜面上には等高線に平行な割れ目が生じ、時には地溝状の構造を生ずるが、このような割れ目をgullと呼んだ。
- (4) gullによって硬質な地層中に生じた階段状の構造をtrough-fault gulls呼んだが、その後この構造はdip and fault structureと呼ばれるようになった。

Hutchinson (1991) は、それまでの研究成果を集大成し、谷底部の変形様式を地質条件によって大きく3つ

のタイプに分類している。そして、このような現象の多くが氷河時代の周氷河地域に見られることから、凍土の凍結融解が大きな要因の1つであるという観点で、そのメカニズムについて検討を加えている。さらに、Parks (1991) は文献調査により600以上のcamberingとvalley bulgingの事例について検討し、凍結融解と谷の侵食作用に伴う応力解放を組み合わせたメカニズムを提唱している。

Radbruch-Hall (1978) やPariseau and Voight (1979) によれば、ヨーロッパ、ロシア、カナダ、アメリカなどからもいくつかの事例が報告されており、Matheson and Thomson (1973) はカナダにおける低弾性な堆積岩地域の事例について研究し、次のような点を指摘している。

- (1) 侵食に伴う除荷によって谷底に膨らみ (upwarping) が生じ、緩やかな背斜構造 (valley anticline) が形成され、それに伴ってフレキシユラルスリップが形成される。
- (2) 弾性係数350MN/m²以下の軟岩では谷の中心部のリバウンド量は谷の深さの3~10%程度である。ただし、このようなリバウンドは地質学的な時間スケールで発生するものであり、人工的な掘削ではその量は1%に満たない。

さらにPotter, JR. and McGill (1978) はアメリカ合衆国ユタ州のキャニオンランド国立公園内ニードレス地区を通過するコロラド川およびその支流において谷の侵食に起因する典型的なバレーバルジの事例を報告している。この地区の地層は石炭紀からペルム紀にかけての硬質な堆積岩類であるが、川の蛇行に追従するみごとな valley anticlineが確認されている。

以上のように、英国においては、このような現象の多くが氷河期における周氷河地域に見いだされることやこれらがすべて後期更新世に生じたものであって、現世における成長の証拠は認められないことから、周氷河作用に深く関係しているものであると解釈されている。すなわち、周氷河地域における永久凍土の凍結融解作用に関連して成長したものとする説が支配的である。しかし、同様な現象は明らかに周氷河作用の圏外地域にも見いだされ、現在も成長を続けているという報告も見られ (Kellaway, 1972)、必ずしもそれが普遍的な原因であるとは考えられていない。また、Serafim (1964) はこのような変形は両岸斜面を構成する岩盤の荷重と残留造構力が河床に集中することによって生ずるものと解釈している。

このように形成機構に関しては、場所や地質条件などによって多少の相違があり、周氷河作用がこのような現象を促進するというにはあるにせよ、基本的には河川の侵食に伴った応力解放とそれに伴う谷斜面のクリープ現象と解釈してよいようである。なお、バレーバルジは造構運動によるものとは異なって、地表付近の比較的浅い地盤内のみを生ずる現象であるが、現在の河床か

ら60m以上に達するものも報告されているという (Hutchinson, 1991)。

2.2 我が国における研究事例

我が国においては過去にこのようなバレーバルジングに関する記述は認められず, 最近になって野崎 (1997, 1998) および Nozaki and Masumura (1998) によって, 新潟県の魚沼地方や佐渡島における初めての事例報告がなされている。未だ事例が少なく, 今後検討すべき点は少なくないが, その形態および物性については以下のようにまとめられる。

(1) 現河床あるいは旧河床に沿ってvalley anticlineあるいは局所的なドーム状構造が形成されている。背斜軸の方向は周辺の地質構造と調和しているものもあるが,

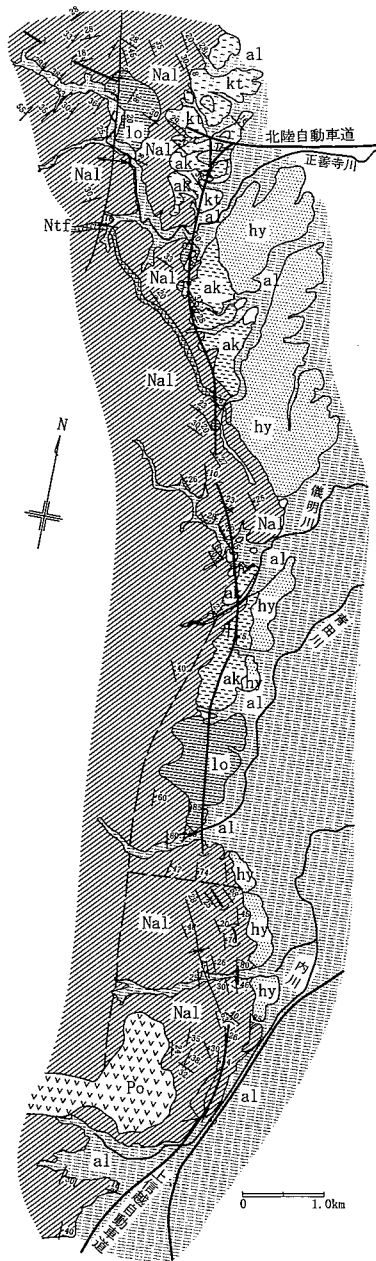


図-3 研究地周辺の地質平面図 (田川他, 2002)

Fig. 3 Regional geological map (after Tagawa et al., 2002)

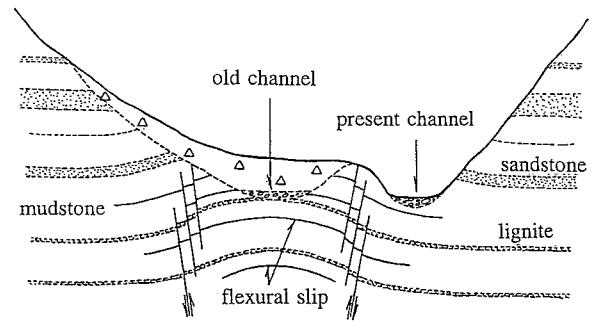


図-2 バレーバルジングの発生モデル (Nozaki and Masumura (1998) に加筆修正)

Fig. 2 Schematic Section showing mechanism of valley bulging (modified from Nozaki and Masumura, 1998)

無関係なものもあり, 軸部の比高は谷の深さの数%程度である。

- (2) valley anticlineには層面に平行する複数のせん断面 (flexural slip) が形成されており, 一枚の面 (plane of decormant) を境にそれより浅層のみが褶曲している場合もある。
- (3) バレーバルジングと思われるものが確認された地層の弾性係数は, 400MN/m^2 程度以下の軟岩に限られている。
- (4) 背斜状の膨らみ部分の両翼部には小断層が形成されて地壘状の地質構造を呈している場合もある。

上記のように, 形態や発生機構は地形・地質条件によって様ではないが, 新潟県魚沼地方で確認されたものはダム基礎調査に伴ってかなり詳細な調査が実施されており, その結果から図-2に示したモデル図が示されている。なお, 小崎他 (1974) によれば, 新潟県内では高山地域以外に周氷河作用による凍土現象を受けた可能性は低く, その影響については排除して考えてよさそうである。

3. 研究地周辺の地形地質概要

上信越自動車道の上越ジャンクションから南へ約13 kmの区間は, 南葉山山地^{なんばやま}~西頸城丘陵の山地部と高田平野との境界付近を南北に走っている。図-3, 4はこの区間における地質図である。特に, 断面図は事前調査

凡 例

地質時代	地層名	記号	層相	
第四紀	完新世	沖積層	al	粘土~シルト・砂・砂礫
	更新世	平山層	hy	粘土~シルト・砂・砂礫
		旧期地すべり崩土	lo	主に泥岩塊・砂岩塊
		愛の風層	ak	シルト・砂・砂礫
		居多層	kt	砂を挟有するシルト層
新第三紀	貫入岩	Po	閃緑ヒン岩	
	中新世	能生谷層	Nal	泥岩・砂岩泥岩互層
		Ntf	軽石凝灰岩	

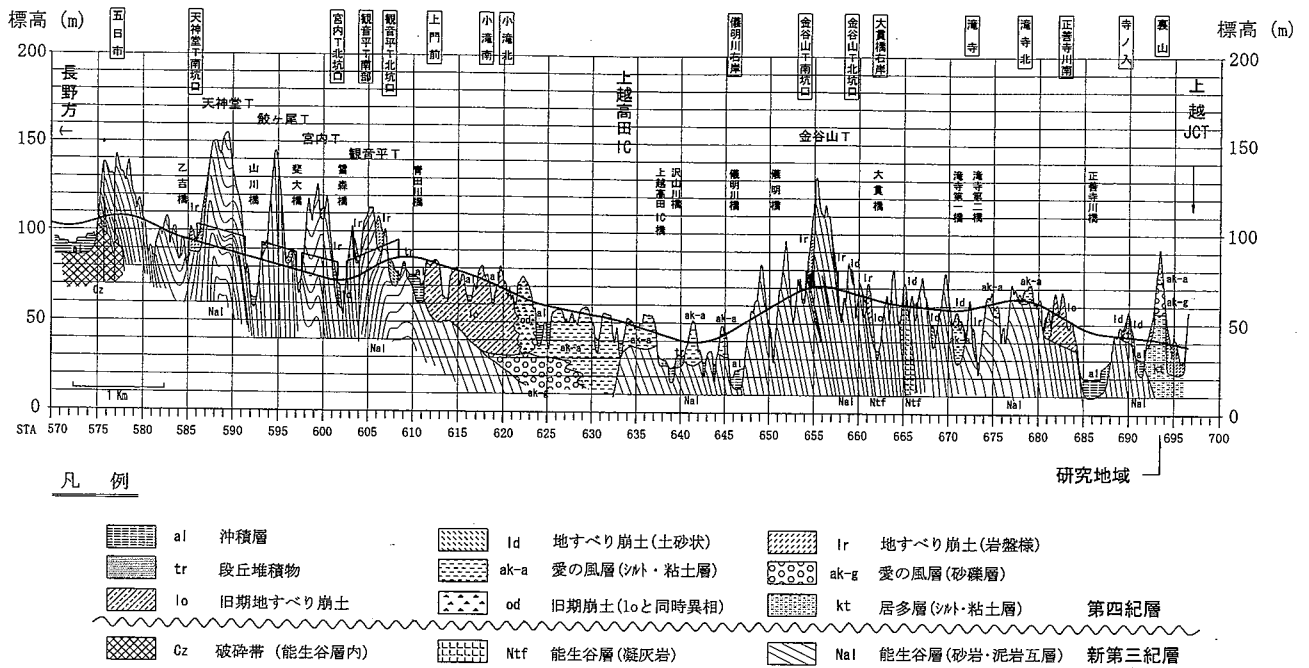


図-4 路線沿い地質縦断面図 (田川他, 2002)

Fig. 4 Geological section along the highway line (after Tagawa et al., 2002)

によるものではなく、施工時に筆者等によって確認された地質資料を加えて作成されたものであり、精度は高いと考えている。本研究における対象地はジャンクションに隣接する裏山地区である (図-4)。本図に示すように、山地の基盤は主に新第三紀中新世の堆積岩類であり、平野との境界部には第四紀更新世の堆積物からなる台地が発達している。

山地を構成する能生谷層は一般に砂岩泥岩互層 (NaI) であり、一部に凝灰岩層 (Ntf) を挟有している。この地域の西方には、山地を南北に走る大規模な背斜構造があり、背斜軸はちょうど北陸自動車道の春日山トンネル西坑口付近を横断している。このため本ルート沿いは概ね平野側への流れ盤構造となっている。台地は山麓に沿って南北方向に帯状に発達し、更新世前期の居多層 (kt)、中～後期の愛の風層 (ak)・旧期地すべり崩土 (lo) および平山層 (hy) が分布している。地すべり崩土以外は粘土～シルトを主体とする地層であるが、砂層を挟有しところどころ砂礫層の優勢な部分も見られる。

4. 大規模開削に伴うバルジングの発生経緯

4.1 開削施工の概要と地質状況

1997年5月から1999年6月にかけて、上信越自動車道・上越ジャンクション工事の一環として裏山地区開削工事が行われた (図-5)。この開削部は平野側に向かって東方に張り出した尾根地形を横断しており、最大切土高は50mに達する大規模なものになっている (図-6)。尾根沿いの南北両斜面上部はかなり急勾配であるが、裾の部分は緩傾斜な斜面となり、両サイドともに古い時代の地すべり斜面である。このような地形勾配の変化は層

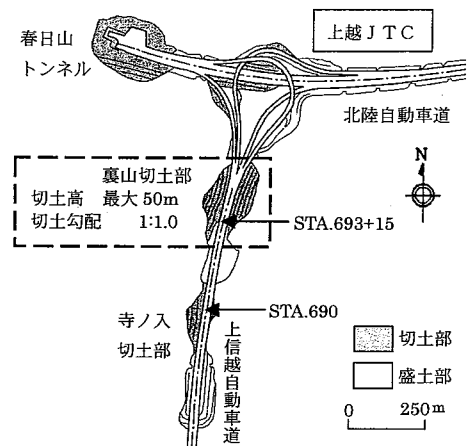


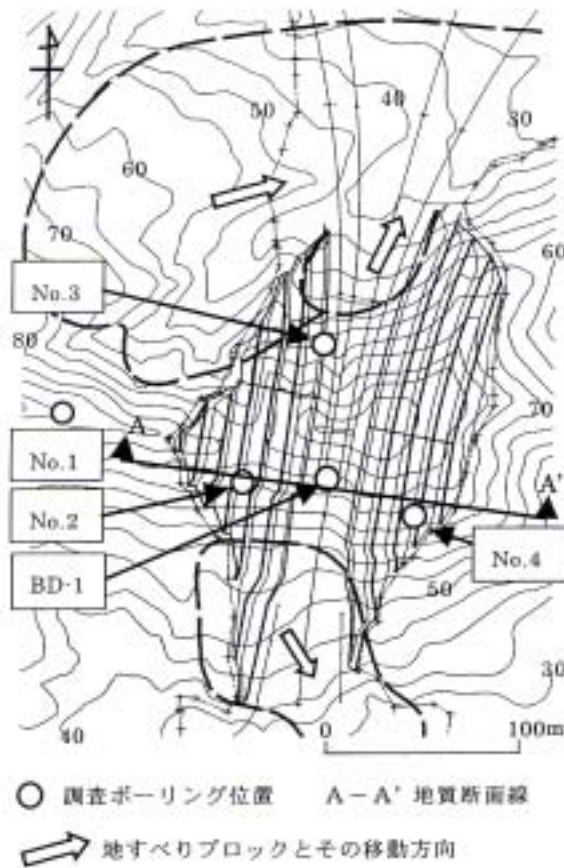
図-5 裏山地区周辺概要図

Fig. 5 General map showing study area

相の相違を反映したものでもあり、切土斜面の下半部には第四紀前期更新世の居多層が分布しており、これを後期更新世の愛の風層が不整合で被っている (図-7)。居多層は砂の薄層を多く挟有するシルト層であり、N値18～25程度の値を示す。愛の風層はN値10～25程度のシルト～砂質土層を主とし、N値40～50程度の砂礫層を挟有する。いずれも水平に近いが、居多層は北東方向に5°程度で傾斜している (図-8)。

4.2 施工経緯と変位の進展状況

上記のような地質条件と掘削規模から、施工中に何らかの斜面変動が予想されたために切土斜面外には事前に地質調査孔 (図-6, 7 No.1地点) を利用したパイプ歪計等を設置し (No.18観測孔)、切土斜面内では工事および変位の進展に応じて、種々の孔内計測機器 (図-9)



○ 調査ボーリング位置 A-A' 地質断面線
 ⇨ 地すべりブロックとその移動方向
 図-6 切土計画およびボーリング調査位置図
 Fig. 6 Study area showing cut-plan and drilling-sites

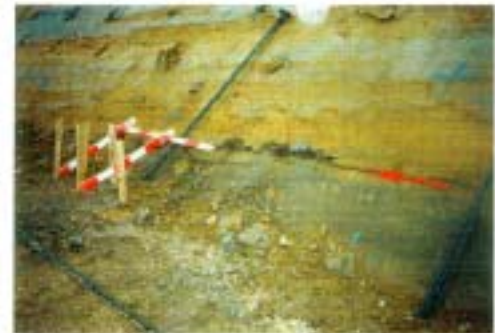


図-8 東側切土斜面最下段ノリ面における介在砂層上盤の
 迫り出し
 水平標尺の右側へ砂の薄層が続き、迫り出した上盤
 の一部が欠け落ちている
 Fig. 8 Thrusting out along thin sand-ayer at the foot of
 eastern cut-slope

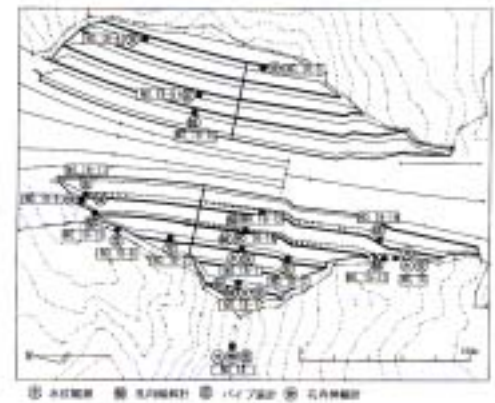
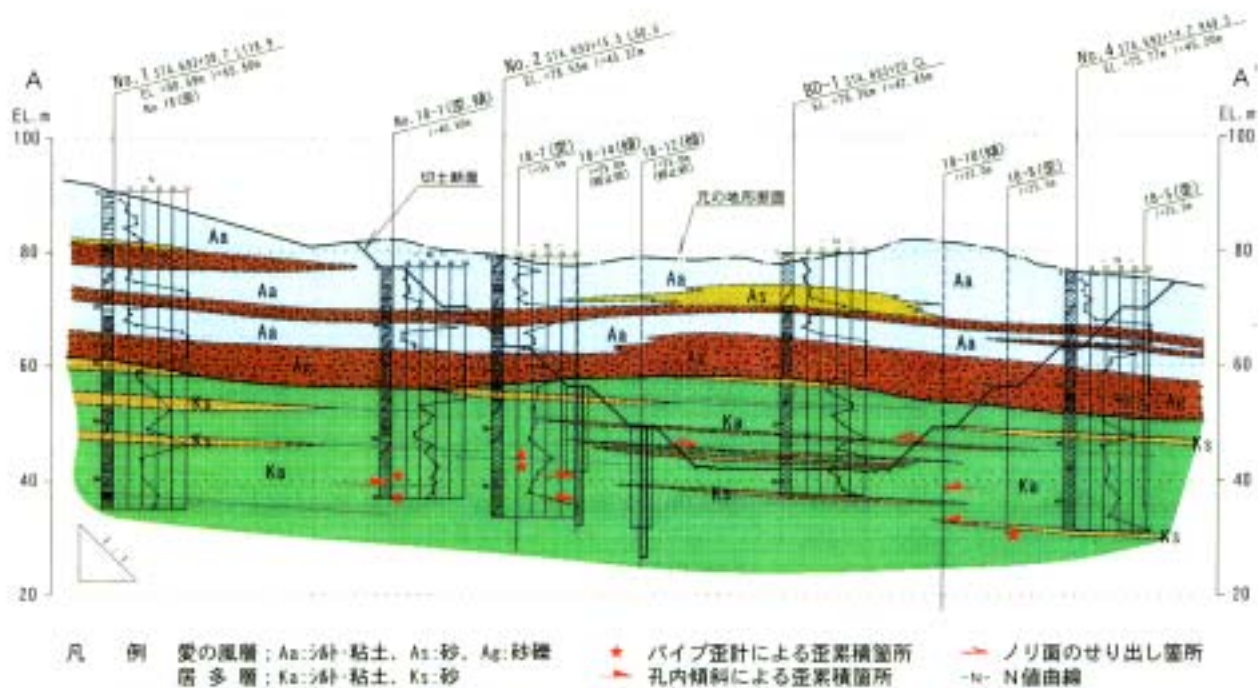
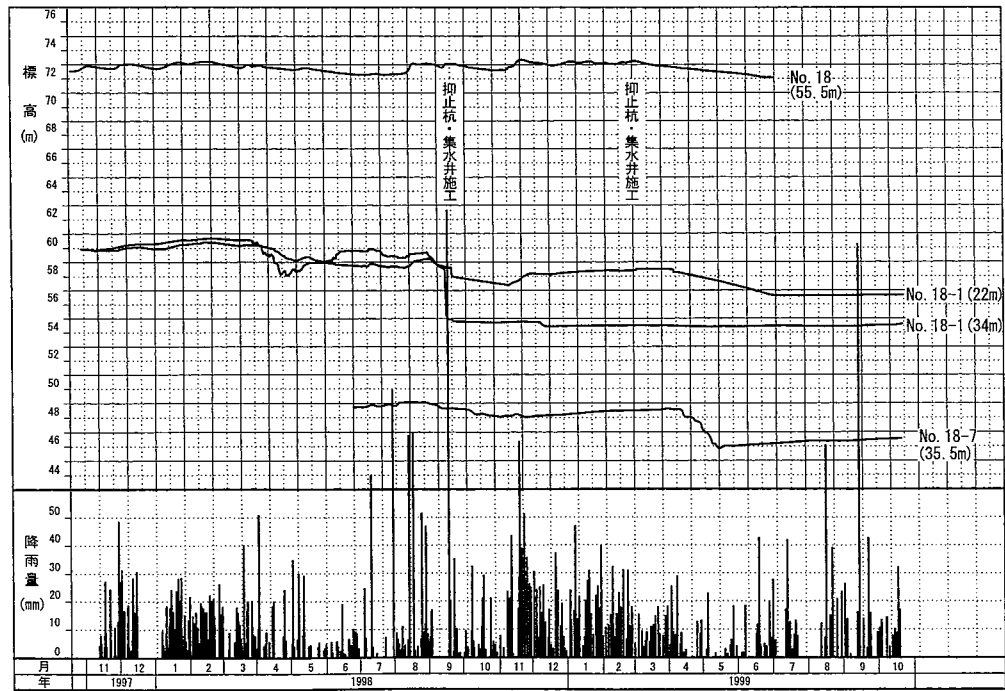


図-9 點態観測地点位置図
 Fig. 9 Location map of instrumentation



凡 例 変の風層: Aa:シルト・粘土, As:砂, Ag:シルト
 居多層: Ka:シルト・粘土, Ks:砂
 ★ パイプ歪計による歪累積箇所
 ▲ 孔内傾斜による歪累積箇所
 ⇨ ノリ面のせり出し箇所
 -N- N値由線
 図-7 地質横断面図 (位置は図-6に示す)
 Fig. 7 Geological section of study area (Location is shown in Fig. 6)



※ No. 18-1 (22m), No. 18-1 (34m) は同一地点であるが、深度の異なる観測孔を示す。

図-10 降雨と孔内水位観測結果

Fig. 10 Relationship between precipitation and piezometric level

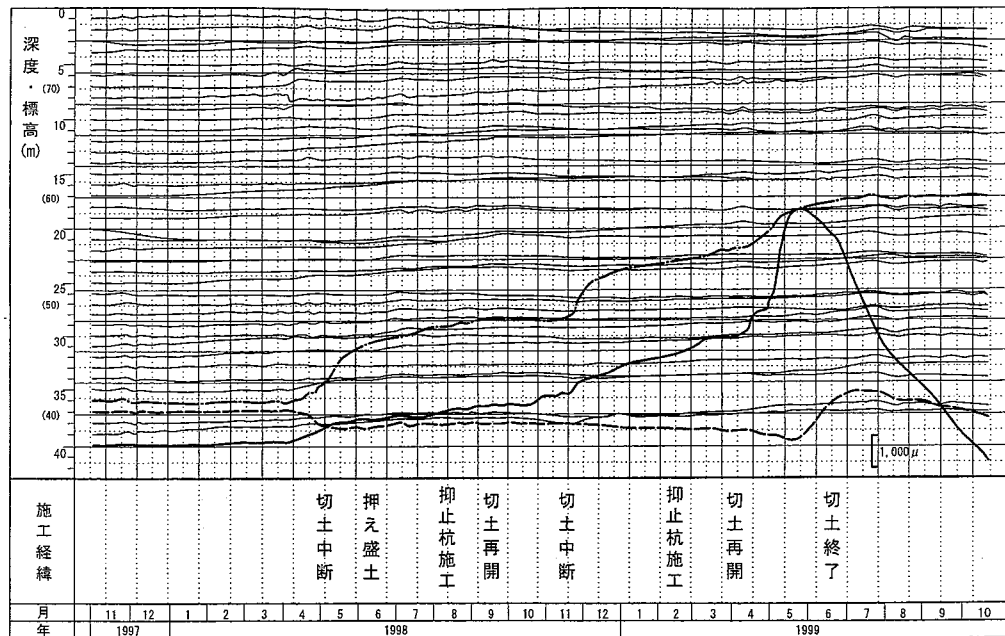


図-11 西側切土ノリ面No. 18-1 地点パイプ歪計計測結果

Fig. 11 Cumulative data of pipe-strain-gauge installed in No. 18-1 borehole on western cut-slope

や変位杭を設置した。ただし、切土斜面両端部の観測孔 (No. 18-6 地点以北およびNo. 18-16以南) は既知の地すべり (図-6) のための計測孔である。ここでは紙面の都合上、代表的なもの以外の詳細な計測結果や開削部の南北両斜面にあった地すべりの動態観測結果等については省略する。しかし、計測結果の一覧図は田川他 (2002) によって発表されている。

変状はまず西側5段目のノリ面掘削中 (標高50m付近)

にNo. 18-1 地点で計測され、標高40m (深度36m) 付近で大きな累積歪を記録すると共に (図-11), 傾斜計は最終的に30mm以上の変位を記録した (図-10, 図-11)。このために、4段目の小段の位置に集水井1基と抑止杭が打設された。その後、5段目の小段付近まで切り下がった時点で、No. 18-1では前回の位置よりさらに4m程下 (深度40m) でも歪が累積し、No. 18-7では標高45m付近に歪が累積し始めた。このため5段目の

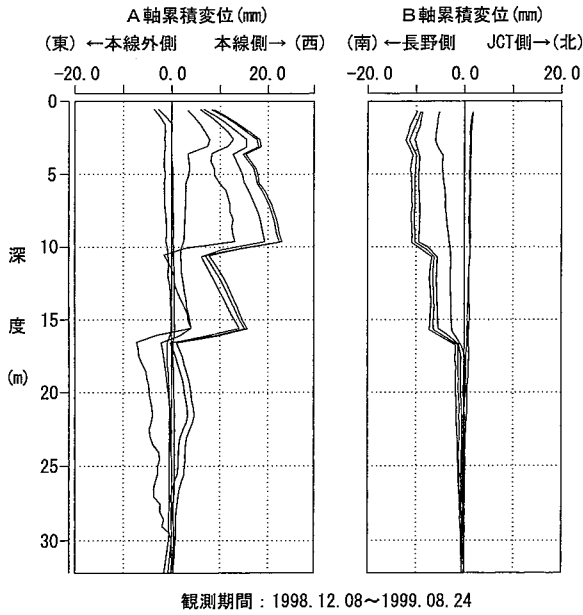


図-12 東側切土ノリ面No. 18-10地点孔内傾斜計計測結果
Fig. 12 Cumulative data of inclinometer installed in No. 18-10 borehole on eastern cut-slope

小段に集水井1基と抑止杭が打設された。最終的にNo. 18-7地点では20,000 μ を越える歪を記録し, No. 18-2地点およびNo. 18-3地点でもほぼ同レベルの位置に歪が累積した。

累積変位は東側(平野側)切土斜面のNo. 18-8地点のパイプ歪計およびNo. 18-10地点の孔内傾斜計においても観測された。No. 18-8地点では標高31m付近に2000 μ 以上の歪が観測され, No. 18-10地点の孔内傾斜計は深度16m(標高33m)と深度10m(標高39m)付近に顕著な変位が観測され, 深度3m(標高46m)付近にもわずかな変位が認められた(図-12)。さらに, 概ね計画位置まで切り下がった段階では東西両側最下段ノリ面の砂層の上盤側が約2cm程開削側に変位した(図-8)。このように東西両側で層理面に沿って上盤側が開削側に向かう多段の変位が確認された。なお, 上段抑止杭の背後に設置されたNo. 18-14の傾斜計は抑止杭打設後に設置したものであるが, ここでも2つの深度で変位が観測され, 変動が収まるまでの数ヶ月間で数mmの変位を記録した。No. 18地点およびNo. 18-5地点では観測深度が十分なものではなかった可能性も無しとはいえないが, 変位は観測されていない。

図-13に示したように, 西側(山側)切土ノリ面上の変位杭は設置時から概ね10cm程度移動し, 抑止杭の杭頭も同程度の変位量を示した。変位杭は北寄りに位置するものほど地層の傾斜方向(NE傾斜)に対して斜めに, 長野寄り(南寄り)に偏向する動きすなわち, SE方向への変位が見られた。しかし, 施工完了後はこれらの変位は全て終息している。

愛の風層の分布域においては, 湧水や降雨に関係して切土斜面上の小崩壊が生じ, 難行するところが少なくな

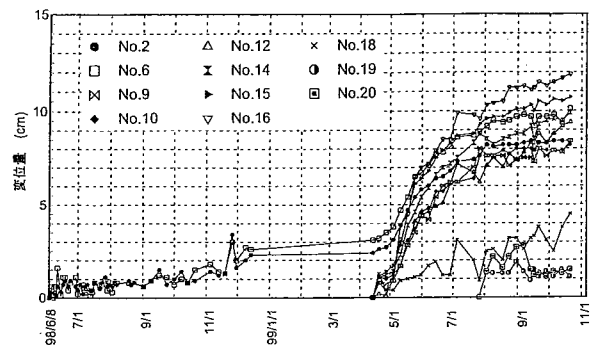
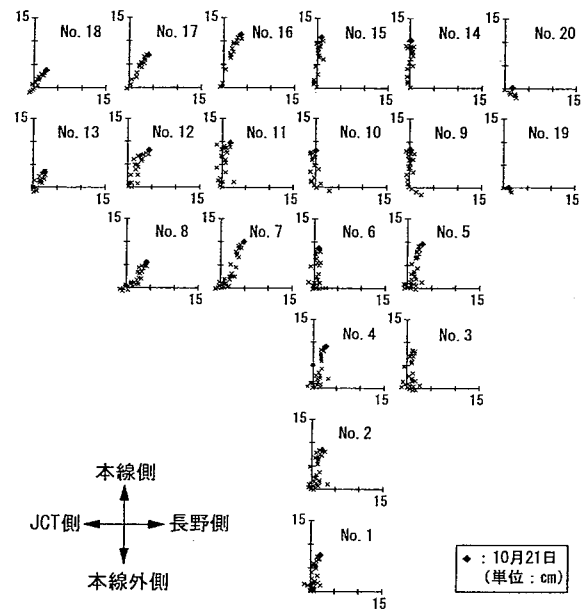
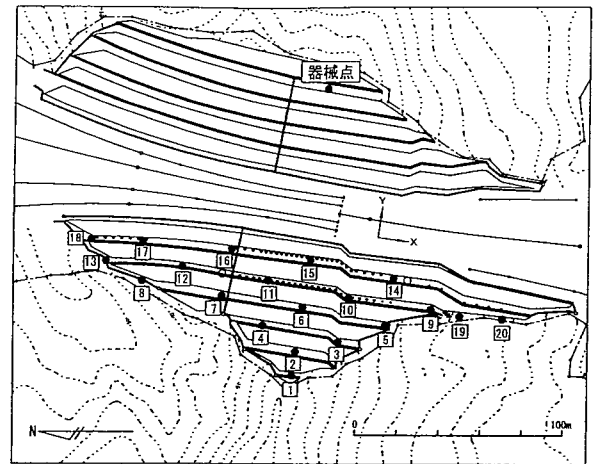


図-13 切土ノリ面動態観測結果
Fig. 13 Moving state of cut-slope during construction

かった。しかし, 本地区については問題となるような湧水は認められなかった。また, 図-10に示したように, 地山の地下水位変化は集水井の設置による深部地下水の排除による短期的あるいは長期的排水効果を表している。ただし, これらの水位観測孔は全孔ストレーナーを施したパイプが挿入されており, 観測孔の深度による地質構成の違いにより異なった水位を示している (No. 18-1

地点の2孔)。しかし、図-10と図-11を比較してみる限りノリ面の変位速度と降雨あるいは孔内水位の相関性は見られない。したがって、この問題に関して変位速度の変化と降雨との関係は無視しうるものと判断した。

5. バルジングの発生機構に関する考察

5.1 地質条件

図-7に示したように、開削部およびその周辺の地層は居多層とこれを覆う愛の風層であり、地質工学的には以下のような特性が指摘できる。

- (1) 居多層はN値20~30回のシルト層であり、いわゆる過圧密粘性土層である。
- (2) 比較的連続性のある未固結砂層（比較的均等粒径の細~中粒砂）の薄層を多く挟有している。
- (3) 地層の傾斜はわずかだが、北東寄りで平野側に傾斜している。
- (4) 居多層は砂礫（透水層）主体の愛の風層によって不整合に覆われている。

また、開削部の両側部は比較的小規模だが地すべり斜面となっており（図-6）、いずれも施工中に再移動の兆候が見られ、抑止杭等による対策がなされている。さらに、北側の緩斜面は古い岩盤地すべりであり、そのすべり面の位置は居多層内にあって、上記のような地質条件が地すべりの素因になっていることが事前に把握されていた。

5.2 バルジングの発生機構

当初確認されたNo.18-1地点での顕著な累積歪は、掘削面レベルから10mにも達する異常に深い位置にあった。しかし、地表部には肉眼で確認できるような変状はあらわれなかった。このために、この時点においてはその原因については必ずしも把握されていなかったが、地すべりを想定した対策工が施工された。上記のような地質的背景を考慮すれば、そのまま放置した場合西側斜面（山側）については地すべりに発展した可能性は大きく当然の処置であったと判断される。すなわち、杭頭は数10cmの変位を生じたが、結果として期待された抑止効果を発揮した。しかしながら、その後の調査観測の結果では、せん断変位と考えられる歪の累積箇所は、同一観測孔でも1つの深度にとどまらず、断面上では連続性を欠いていることが明らかになった（図-7）。また、掘削の最終段階では東西両掘削面に現れた未固結砂の薄層中にせん断変位が生じ、上盤側のせり出しが生じた。居多層中には同様な砂の薄層が数多く確認されており、計測された孔内の変位はこのような砂層中に生じたせん断変位によるものであると類推された。

ところで、図-2は新潟県の魚沼層群分布域で発見されたバレーバルジングのモデル図である。この構造の大きな特徴は、谷底部に形成された背斜構造と地層の撓みに伴って形成されたフレキシユラルスリップである（図-14）。今回の切土施工によって発生した変状は、すべ

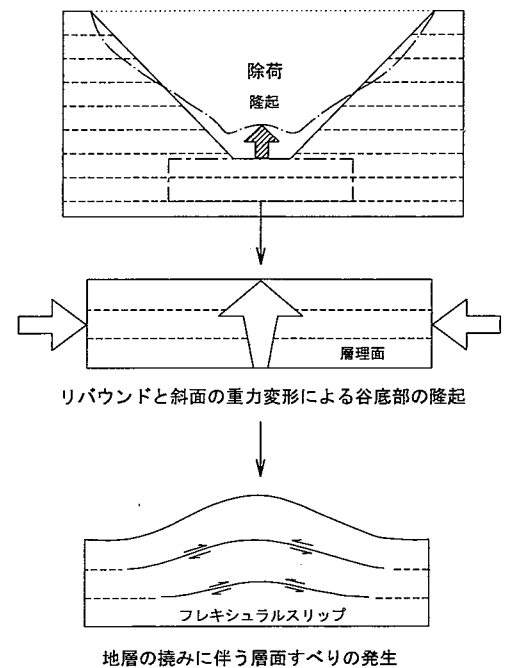


図-14 バレーバルジングに伴うフレキシユラルスリップの形成機構

Fig. 14 Mechanism of flexural slip due to valley bulging

り面の発生位置が異常に深い位置にあって地表部における肉眼的変状は、杭頭やコンクリートなど特別な構造物の部分以外にはほとんど見られないこと、すべり面は層理面に沿っているが、少なくとも2面以上あって必ずしも連続性がないこと、両切土面はいずれも開削部に向かう変位をしており、移動方向は地層の最大傾斜方向とは明らかに斜行（西側斜面）あるいは逆行（東側斜面）していること、切土高の大きいところの変位量が大きいこと等から（図-13）、主因は応力解放によるものであることは明らかである。鉛直変位は測定されていないために不明であるが、リバウンドが生じ、その際に強度の低い砂層部分にせん断破壊（フレキシユラルスリップ）が生じたものと解釈される。図-2のケースと比較すると、全体的な変位量が少なく、地質学的な時間単位では瞬間的なできごとでもある。このために断層が形成されるまでには至っていないが、発生形態に矛盾はない。すなわち、人為的なバレーバルジングが発生したと解釈され、同時に筆者らはこの発生モデルが実証されたものと考えている。

6. おわりに

筆者の一人野崎は、初生的斜面変動の発生やノンテクトニックな地質構造の形成機構に興味を持ち研究対象としてきた。その過程の中で、我が国初のバレーバルジング現象を発見し報告した。そして、今回たまたま極めて軟質な堆積岩内での大規模な切土施工に関与する機会を与えていただくことになった。その地形地質条件から、同様なバルジング現象が発生する可能性を指摘し、慎重

な対応をお願いした。現場ではこうした問題を良く理解していただき、十分な観測体制を取っていただいた。変位の発生位置や時期については必ずしも事前の予測どおりとはならなかったが、結果として概ね期待した現象を捉えることになり、施工も無事に完了し現在に至るまでなんら問題は生じていない。

7. 謝 辞

本研究にあたって、株式会社新協地質の福本安正博士、鹿島建設株式会社の松林健朗氏、株式会社地盤解析研究所の大森晃治博士には、貴重な助言や資料の提供など多大なご協力をいただいた。施工時には日本道路公団の中川常雄工事長（当時）のご指導・ご協力をいただいた。株式会社新協地質の斉藤久氏には現場の調査観測に協力していただいた。その他、施工時には多くの工事関係者の方々にご協力いただいた。深田地質研究所の大八木規夫博士には日頃バレーバルジング研究に関するご助言をいただくと共に、文献のコピーを提供していただいた。株式会社日本工営海外部の矢島薫氏には英文のご指導をいただいた。なお、小論の概要は2002年8月に徳島市で開催された第41回日本地すべり学会研究発表会において同名の標題で発表した（野崎・田川, 2002）。その後、座長団および編集委員会のご推薦により、本誌への投稿の機会を与えていただいた。これらの方々に対し、ここに記して感謝の意を表すしだいである。

参考文献

- Hollingsworth, S.E., Howard-Taylor, J. and Kellaway, G.A. (1944) : Large-scale superficial structures in the Northampton Ironstone Field. Quarterly Journal of the Geological Society of London, Vol. 100, 397-98, 1-44.
- Hutchinson, J.N.(1991) : Periglacial and slope processes. Quaternary Engineering Geology, Geological Society, Engineering Geology, Special Publication No. 7, pp. 283-331.
- 小崎尚・野上道男・岩田修二 (1974) : ひがし北海道の化石周氷河現象とその古気候学的意義, 第四紀研究, 12, pp. 177-191.
- Kellaway, G.A.(1972) : Development of non-diastrophic Pleistocene structures in relation to climate and physical relief in Britain. 24th International Geological Congress, Section 12, pp. 136-146.
- Matheson, D.S. and Thomson, S.(1973) : Geologic implication of valley rebound. Canadian Journal of Earth Science, 10, pp. 961-978.
- 野崎保 (1997) : 谷底の膨らみ現象 (Valley bulging) - 予報 -. 新潟応用地質研究会第49号, pp. 21-30.
- 野崎保 (1998) : バレー・バルジングの発見. 第37回地すべり学会研究発表会講演集, pp. 149-150.
- 野崎保・田川義弘 (2002) : 人為的バレーバルジング. 第41回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 115-118.
- Nozaki, T. and Masumura, M. (1998) : Valley bulging found in Japan. Proceedings of the 8th IAEG Congress, Vancouver/Canada, pp. 1375-1381.
- Pariseau, W.G. and Voight, B. (1979) : Basic principles and perspectives in the realm of civil and mining operations, Rockslides and avalanches 2 (ed. Voight, B), Elsevier, pp. 68-76.
- Parks, C.D.(1991) : A review of the mechanism of cambering and valley bulging. Quaternary Engineering Geology, Geological Society, Engineering Geology, Special Publication No. 7, pp. 373-380.
- Potter, Jr. D.B and McGill, G.E. (1978) : Valley anticlines of the Needles District, Canyonlands National Park, Utah. Geological Society of America Bulletin, Vol. 89, pp. 952-960.
- Radbruch-Hall, D.H.(1978) : Gravitational creep of rock masses on slopes, Rockslides and avalanches 1 (ed. Voight, B.) pp. 611-614.
- Serafim, J.L. (1964) : Rock mechanics considerations in the design of concrete dams. In: W.R. Judd (Editor), State of Stress in the Earth's Crust. American Elsevier, pp. 611-645.
- 田川義弘・野崎保・松林健朗・大森晃治 (2002) : 上信越自動車道建設工事に伴う大規模土工と地質の問題点. 日本地すべり学会新潟支部第30回シンポジウム講演集, pp. 1-22.
- Varnes, D.J.(1978) : Slope movement types and processes, Landslides analysis and control, NRC TRB Special Report 176, pp. 11-33.

(原稿受付2003年4月28日, 原稿受理2003年9月3日)