

三次元地形モデルを用いた数値解析による長大法面における掘削と対策工の影響評価

土木研究所 正会員 ○江口 貴弘
土木研究所 正会員 日外 勝仁
土木研究所 正会員 佐々木 靖人

1. 経緯

本解析の解析対象は、高さ 400m にも及ぶ材料採取跡法面である（以降、対象法面と称する）。対象法面は、掘削時に変状が発生したためアンカー工や押え盛土工を段階的に実施している。現在変状は概ね収まっているが、荷重が経年的に増加しているアンカー荷重計や、光波測量で年間 10 数 mm 程度川側への変位が確認されている箇所もある。このように、対象法面では今も変位があるため、応力や変位状況を監視する必要がある。

対象法面の平面図を図-1 に示す。対象法面は高角度受け盤の地質構造であるが、トップリングの影響を受けて表層部の傾斜がゆるくなっている。そして、掘削による応力解放の影響で、ゆるみがさらに進んだと考えられる。また、対象法面は、折れ曲がりのある複雑な形状である。

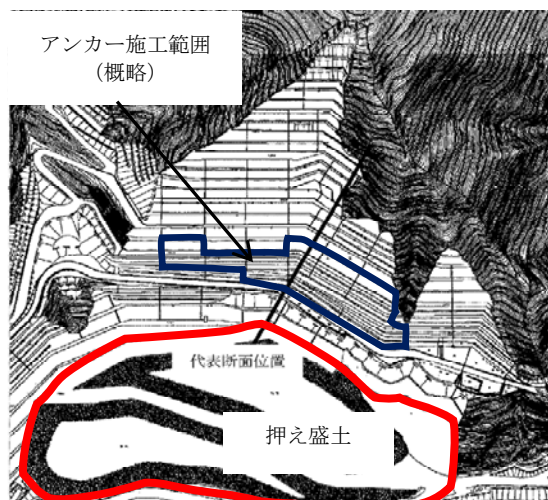


図-1 対象法面平面図

2. 本解析の目的

このように対象法面では、元々の地質構造の影響によるゆるみの進行が対象法面に対して三次元的な挙動を示していること、さらに掘削と対策工も三次元的な施工の影響を受けていることが考えられる。

よって、対象法面におけるゆるみの進行と対策工

の効果を三次元的に確認するため、三次元地形モデルを作成し解析を行った。

また、対象法面では、掘削、対策工の施工が段階的に行われている。このような複雑な施工過程を経た斜面において地形改変の影響と対策工の効果を評価するためには、掘削前の斜面の状態から、掘削やアンカー工の施工手順を再現してそれぞれの施工段階毎に地形改変の影響と対策工の効果を評価する必要があると考えられる。そのため、本解析では、対象法面での施工過程を再現し、その際に塑性ひずみの分布や変位量の変化を確認することで、施工による影響を評価することとした。

2. 解析の内容

本解析は、崩落ではない岩盤斜面の変状を扱うため、FEM 連続体解析で行うこととした。使用したソフトは、地形モデル作成には CIVIL3D 2013 及び GEORAMA 2013、解析には Soil Plus 2013 を用いた。

三次元地形モデルの作成にあたり、特に地質構造モデル作成については、計算の収束を考え、主要な地質部分として、①塊状砂岩、②砂岩（粘板岩混じり）、③粘板岩、④破碎帯の 4 つに区分し、これらが主要調査断面間で確認できるものを抽出し、層状構

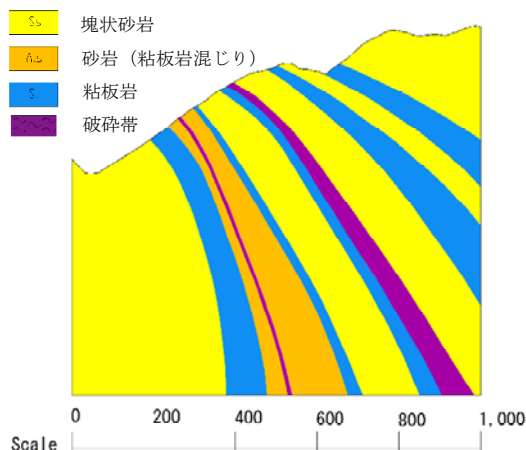


図-2 解析モデル地質構造模式断面図

キーワード 数値解析、有限要素法 (FEM)、三次元地形モデル、アンカー工

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 (独) 土木研究所 TEL. 029-879-6769 E-mail: eguchi@pwri.go.jp

造としてモデルを作成した。地質構造の模式断面を図-2に、地層モデル全体の構成を図-3に示す。

また、本解析では、複雑な施工手順が斜面の挙動に及ぼした影響を確認するため、実施工を概ね再現した施工手順で解析を実施した。施工手順を図-4に示し、その概要を模式図で図-5に示す。なお、実際

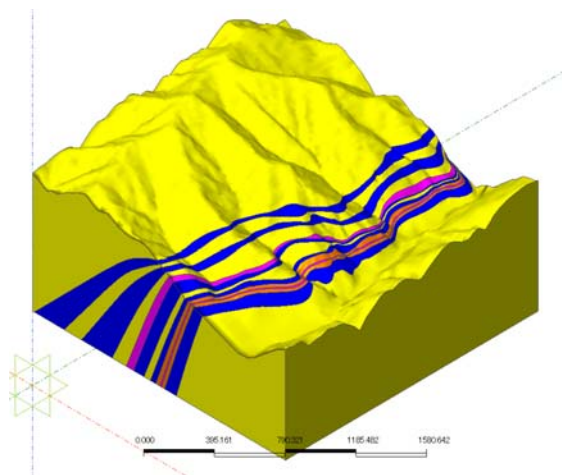


図-3 地層モデル全体図

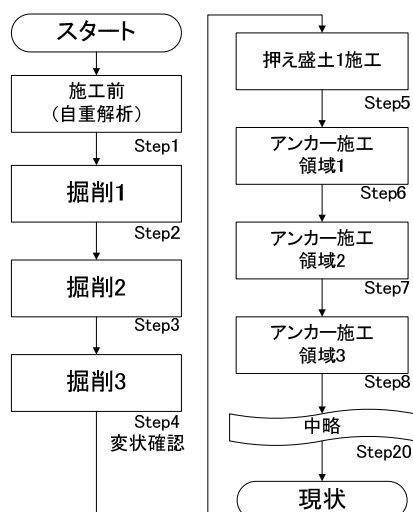


図-4 対象法面施工手順フロー

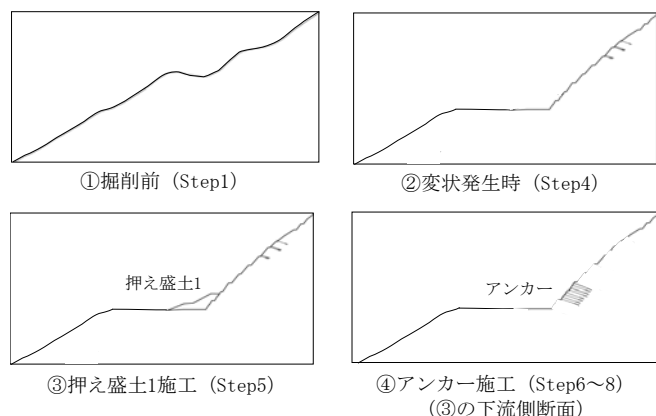


図-5 対象法面施工手順概要図

の対象法面の施工手順は、Step8のアンカー施工以降、押え盛土の撤去、追加アンカーの施工、下段への掘削再開、下段の押え盛土の施工といったことが行われており、本解析でもその再現を行った。しかし本報告では紙面の都合上、初期段階の押え盛土およびアンカーを対象として Step8 までの施工の影響について述べさせていただくこととする。

本解析におけるアンカー荷重の設定については、アンカー荷重を合理的に再現する必要性から以下に示す手法とした。対象法面のアンカーは、施工場所、深度、施工時期によって11の領域に区分される。そのため、その領域ごとに荷重を平均的にかける方法を採用した。具体的には、領域におけるアンカーの荷重を合計し、これを領域の面内に等分布の面圧として荷重をかけた。また、定着部には反力としての引張力が必要である。これについては、モデル作成が困難なため、定着深度に引張力を設定した。

本解析で実施した物性値については表-1に示す。

表-1 本解析採用物性値

地質区分	塊状砂岩	砂岩(粘板岩混じり)	粘板岩	破碎帯
ポアソン比	0.30	0.35	0.35	0.35
ヤング率(kN/m ²)	2,000,000	1,500,000	500,000	50,000
単位体積重量(tf/m ³)	24.5	24.9	23.5	23.5
粘着力(kgf/cm ²)	1000	500	500	100
内部摩擦角(°)	45	40	35	30
引張強度(kN/m ²)	200	100	100	20
静止土圧係数	0.5	0.5	0.5	0.5

3. 解析結果とその考察

本解析では、地形改変と対策工の効果を評価することを目的としており、この観点から解析結果を考察するために、塑性ひずみの分布と施工段階間の相対変位量に着目した。塑性ひずみの分布は、施工の影響によるひずみの発生・増加状況を確認することで、アンカー工の効果を推察した。また、施工段階間の相対変位量は、変位量の差分を出すことで、施工の影響を推察した。

3. 1. 塑性ひずみの分布

相当塑性ひずみの分布状況と、そこから考察される斜面の安定性やアンカー工の評価について、① Step4の対策工実施前(Step番号は図-5に対応)および② Step8のアンカー工実施後における塑性ひずみの分布状況を比較した。

①Step4 対策工実施前

・相当塑性ひずみの分布状況

破砕帯1層、2層での相当塑性ひずみが增大している。そのほかの地層では、塊状砂岩と粘板岩の一部においてわずかに増加している程度である(図-6)。

・斜面の安定性

主に破砕帯1層、2層で掘削に伴う応力が集中し、ゆるみが進行していることが想定される。

②Step8 アンカー工実施後

・相当塑性ひずみの分布状況

破砕帯1層、2層の塑性ひずみ量はStep4時点とさほど変わらない(図-7)。

・斜面の安定性

掘削の中断と押え盛土、アンカー施工によって、塑性ひずみの増加が抑制されたと考えられる。ただし塑性化しているのもので、変形そのもの

は若干進行していたと考えられる。

①、②の施工手順における塑性ひずみ分布図からは以下のことが推察される。

- ・掘削による応力解放で、破砕帯1層、2層では塑性ひずみが増加するのに対し、それ以外の地質ではほとんど増加しない。
- ・アンカー工は主に破砕帯2層で実施されているが、掘削直後の施工(Step5~8)は塑性ひずみの増加を抑える効果があった可能性がある。

3. 2. 相対変位置

Step間の変位置の差分を示し、そこから考察される地形改変の影響と対策工の効果の評価について、代表的なステップで検討した。検討ステップは、①Step4-Step1(対策工前の掘削による変位)、②Step8-Step4(対策工実施期間中)とした。

①Step4-Step1(対策工前の掘削による変位)

・変位置の分布状況

X軸では破砕帯2層の法面出現部や、法面中央部折れ線付近で20cm以上の川側の変位が確認される(図-8)。Z軸では破砕帯1層と破砕帯2層の法面出現部で、20~30cmの変位増加を表している(図-9)。

・地形改変の影響

破砕帯1層は上方向の浮き上がりが顕著に発生し、それ以外の方向には変位はほとんど出ていない。このことから、掘削による除荷の影響のみが現れているものと考えられる。

②Step8-Step4(対策工実施期間中)

・変位置の分布状況

X軸では法面中央部の中段(塊状砂岩と粘板岩の境界付近、でアンカー領域の下部)で川側方向に5cm程度の変位増加が現れている。法面下流部は、破砕帯2層の上部では3~4cmの変位が現れているが、破砕帯2層では2~3cm程度である。(図-10)。Z軸では鉛直方向への変位増加は見られない。(図-11)

・対策工の効果

掘削を行っていないため、Z軸方向の変位は見られなくなっている。また、押え盛土とアンカー施工の影響か、X軸方向の変位も大きく減少している。

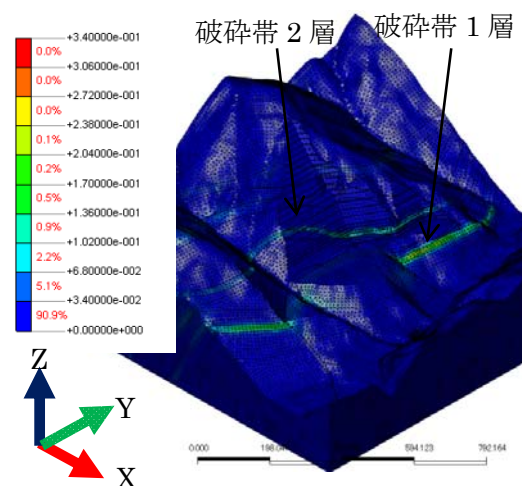


図-6 Step4 相当塑性ひずみ図

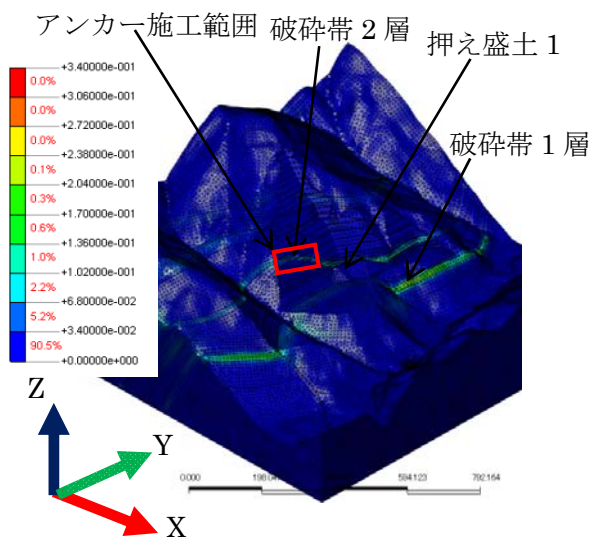


図-7 Step8 相当塑性ひずみ図

4. 全体のまとめ及び今後の課題

複雑な地形地質構造および施工状況の対象法面における掘削と対策工施工の影響を評価するため、三次元地形解析モデルを用いて、実際の施工手順を再現した解析を行った。特に対象法面での施工過程を再現し、その際に塑性ひずみの分布や変位置の変化を確認することで、施工による影響を評価することとした。解析結果より、地形改変の影響が破碎帯層に集中し、ゆるみが進行する過程が読み取れた。また、対策工施工後において塑性ひずみや変位置の増加が抑えられたことが確認され、対策工の効果が確認されたと考えられる。今後は、アンカーの再現方法について検討の余地があると考えられる。また、

今回実施した解析手法を一般化し、広く普及していくためには、様々な適用条件の整理を行うことが必要であると考えている。

参考文献

- 1) 佐々木靖人・片山弘憲・倉橋稔幸：ダムにおけるゆるみ岩盤の実態と分類試案，ダム技術，No. 228，pp. 9-21，ダム技術センター，2005.
- 2) 日外勝仁・江口貴弘・佐々木靖人：ゆるみ岩盤の安定性評価法の開発，重点的研究開発課題報告書，2014.

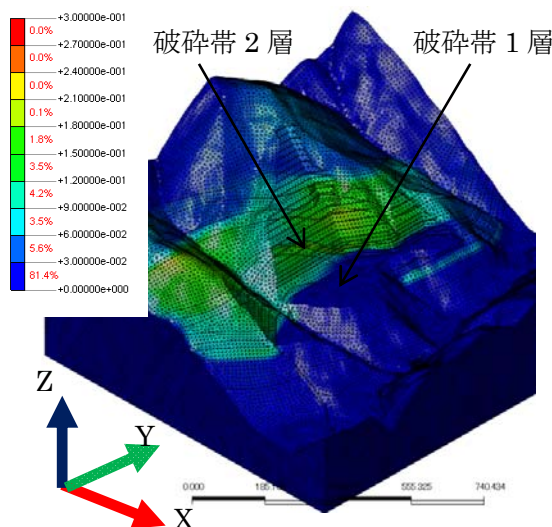


図-8 X軸変位量図 Step4-Step1

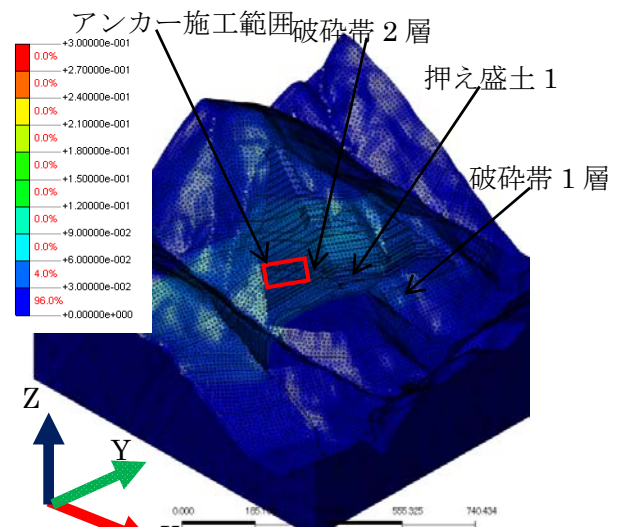


図-10 X軸変位量図 Step8-Step4

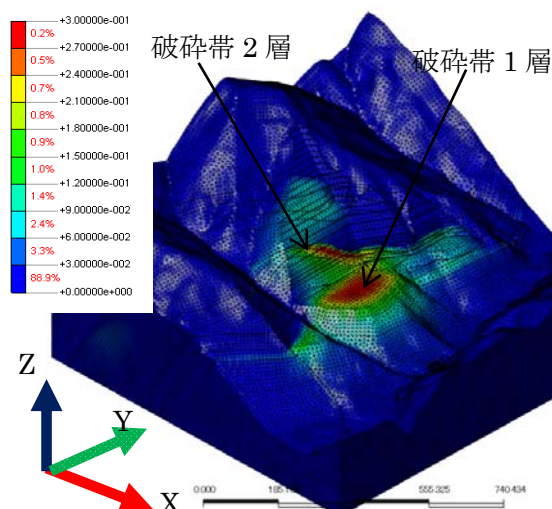


図-9 Z軸変位量図 Step4-Step1

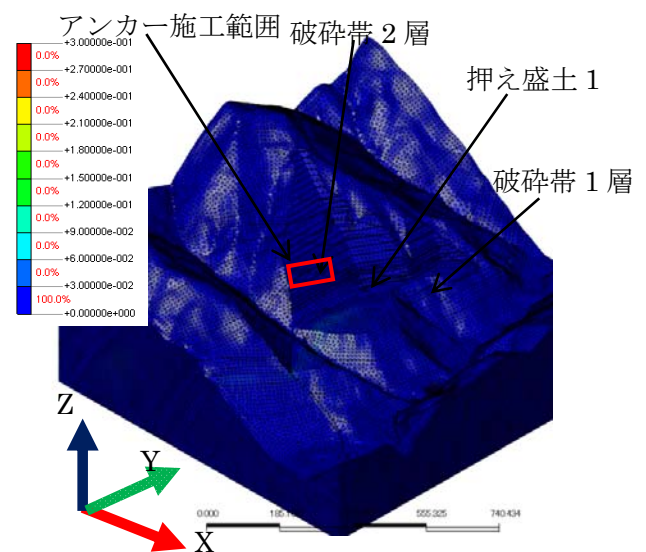


図-11 Z軸変位量図 Step8-Step4