

自然石とアンカーを用いた多自然型 護岸石積擁壁工の安定性解析

国立大分高専	正 員	相川 明
国立大分高専	正 員	佐野 博昭
国立大分高専	学生員○	佐藤恵里子
(株) 洞門建設	非会員	太盛 壮人

1. はじめに

自然石を用いた石積工法は、生物の生息空間を確保でき環境面で有利である。近年、多自然型川づくりが注目され、コンクリートを使用しない石積工法が見直されている。石積工法には主に布積みと谷積みの2つがあるが、布積みでは強度が下がり、一方、谷積みは熟練技術と時間を要するという難点がある¹⁾。そこで、比較的簡単に施工できる布積みにアンカーボルトを併用して、短期間に施工でき強度も高い工法を提案するものである²⁾。

本研究は、自然石の石積斜面を2次元の多角形ブロック集合体にて数値モデル化し、不連続変形法解析(DDA)により³⁾、アンカーボルトの有無に関して提案工法の有効性を調べるものである。まずは、石材の形状と表面摩擦のみをパラメータとして、地山の緩み荷重や地下水圧等が作用しない単純な問題設定にて基礎的な検討を行った。

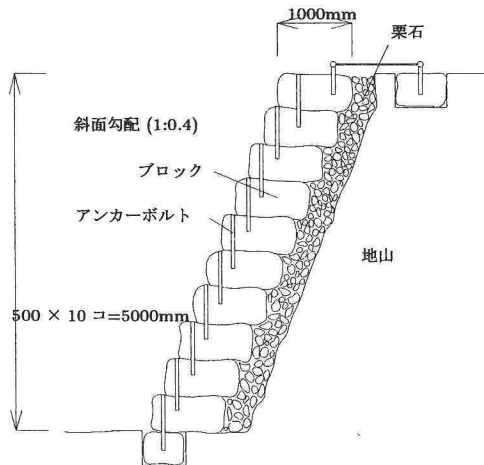


図-1 アンカーを用いた多自然型護岸石積擁壁工

2. 自然石とアンカーを用いた多自然型石積工

施工断面の模式図を図-1に示す。自然石10個を斜面勾配1:0.4で積み上げて、上下のブロックをアンカーボルトで結合したものである。自然石には縦50cm×横1m、重量50～3000kg程度の花崗岩、安山岩、玄武岩等を使用する。また、試験施工の状況を図-2、図-3に示す。現場で石材1個の重量を測定したところ約600kgであった。



図-2 試験施工法面(全景)



図-3 試験施工法面(側面)

本工法はコンクリートを使用しておらず、石間に隙間がある。本工法の効用としては、たとえば、(1)生物生息のための空間確保、(2)アンカー補強による土圧や流水に抵抗できる護岸形成、(3)普通作業員による施工性の確保、(4)自然石の隙間接触による水質の浄化効果などである⁴⁾。

3. 不連続体解析モデル作成と解析概要

まず自然石と裏込め栗石を空中に配置し、DDAによる計算上で自由落下させながら、型枠(載荷板)による振動締め固めを行い、栗石が密に詰まったモデル(図-4)を作成した。自然石は長方形ブロックとし、裏込め栗石は正5角形～正7角形の多角形集合体とした。モデルは石ブロックのみの場合とアンカーを併用した場合の2種類とした。

物性値は簡略化のため、自然石、栗石、アンカー、地山のいずれも密度 $\rho = 2.77 \text{ g/cm}^3$ 、ヤング率 $E = 20 \text{ GN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.2$ とした。また、摩擦角は安山岩に関する実験値をもとに、石材と栗石 55° 、地山 35° とし、法面石材の上下面の接触部分の摩擦角を $\phi = 50^\circ \sim 80^\circ$ の範囲で 10° 刻みで変化させた。

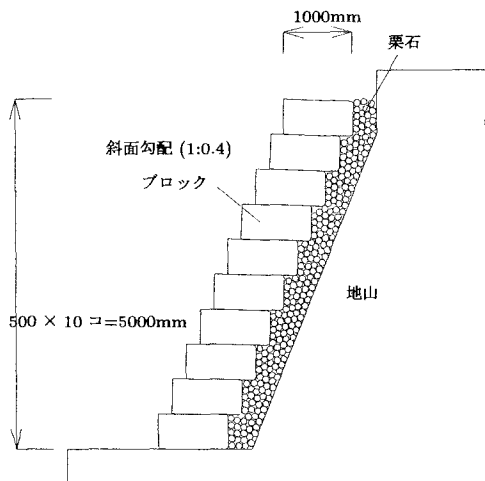


図-4 不連続体解析モデル

4. アンカーの有無に関する石積の挙動特性

解析結果の例を図-5～図-7に示す。図-5は石ブロックの摩擦角が $\phi = 50^\circ$ でアンカーがない場合の解析結果である。下部の石ブロックが前方に変位し、上部の石材にいずれも不均一な右回転が生じた。さらに下方のブロックが前面に変位して、石積全体に滑り破壊が発生した。

図-6は石ブロックの摩擦角が $\phi = 80^\circ$ でアンカーがない場合の解析結果である。摩擦角が大きいため最下段ブロックの変位は小さい。しかし、最下段ブロックが前方にわずかに移動したことにより、上部石材に小さな右回転が発生し、上下石材間の接触力が弱まり、2番目の石材が前方に移動した。さらに裏込めの栗石が下方方向に移動し、その栗石によって下方の石ブロックは前方に、上方の石ブロックは後方に移動し、中間部の石ブロックにはらみだしを生じた。はらみだしとは、壁面の中段付近が最も変化する破壊モードで、石積構造物に特徴的な変形である⁵⁾。

図-7は石ブロックの摩擦角 $\phi = 50^\circ$ でアンカー併用時の解析結果である。なお、本解析では石材の最下段にアンカーは用いていない。そのため最下段の変位量はアンカーなしの時と同程度発生した。しかし、石材に回転は生じたものの、石積構造は一体性を維持しており、石積の機能を十分に果たしているといえる。

解析の結果、アンカーがない場合は、上下の石材間の摩擦角が大きくなると、最下段の変位量は小さくなるが、時間経過に伴い斜面のはらみ出しが起り、最終的にはどの摩擦角でも斜面全体がすべり破壊を起こした。

一方、上下の石材間をアンカーボルトで固定すると、崩壊の前兆となる上下の石材間のわずかな滑り出しを防止

し、斜面全体が一体的な挙動となり、最終的には全体的な崩壊に至ることを防ぐことができた。アンカー併用が斜面の安定化に貢献することが分かる。

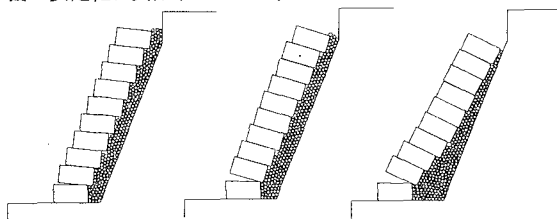


図-5 石ブロックの摩擦角 $\phi = 50^\circ$ (アンカーなし)の解析結果

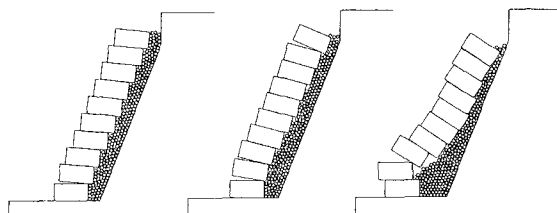


図-6 石ブロックの摩擦角 $\phi = 80^\circ$ (アンカーなし)の解析結果

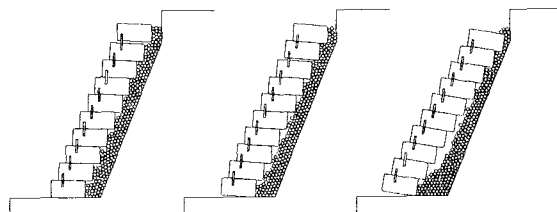


図-7 石ブロックの摩擦角 $\phi = 50^\circ$ (アンカー併用)の解析結果

5. まとめ

不連続変形法解析により、自然石を用いた石積の崩壊モードを調べ、アンカー施工の有効性を解析的に確認した。すなわち、自然石のみでは斜面全体にすべり破壊が発生するが、アンカー併用により斜面が一体的な構造となり安定化することが分かった。なお、現時点の解析モデルは、最下段にアンカーを用いていない。下段のブロックがわずかに前面に押し出すことが破壊の始まりとなるので、下段の石材をアンカーボルト等で地山に固定することは法面全体の安定に有効と考えられる。また、今後は物性値を含めた詳細な検討が必要である。

参考文献

- 1) 秋山友康・大田直之・村石尚・斎藤善樹 (2003): 鉄道沿線の石積壁の実態調査, 鉄道総研報告, Vol.17, No.8, pp.49-52.
- 2) (株) 洞門建設: 21世紀三強ストーン&ガード工法.
- 3) Shi, G.H. (1996): Discontinuous Deformation Analysis Program Version 96 User's Manual.
- 4) (財) 土木研究センター (2001): 土木系材料技術・技術審査証明報告書 (第1208号) アンカー式空石積工法「ラップストーン工法」, 環境工学株式会社.
- 5) 田中邦熙・山田清臣 (1996): 石積擁壁の安定性評価法, 土木学会論文集, No.541/III-35, pp.9-20.