

# 鋼製砂防構造物の機能・性能の喪失現象に着目したフォルトツリーの検討

八千代エンジニアリング株式会社 ○長塚結花, 横尾公博, 関基  
国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 吉川契太郎, 真野拓司, 中村香也

## 1. はじめに

砂防施設は、出水や地震などの外的要因による損傷や経年劣化が生じる一方で、求められる機能や性能を長期にわたって維持・確保していく必要がある。令和2年度に改訂された点検要領<sup>1)</sup>や長寿命化ガイドライン<sup>2)</sup>では、砂防施設の点検の実施や、適切な維持管理・長寿命化計画の策定が求められている。

要領<sup>1)</sup>ではコンクリート型式の砂防施設が主な対象として記載されている。一方で、火山砂防地域等ではセルやダブルウォールといった鋼材と中詰め材を組合せた鋼製砂防構造物の整備が進められている。このような型式の砂防施設においても、変状レベル評価や健全度評価の手法についても検討することが望ましい。また、砂防施設の健全度は、水通しや袖部等の部位ごとの変状レベルを評価した上で、流域や施設周辺の状況も踏まえ、総合的に評価するものである<sup>2)</sup>。そのため、変状レベル評価結果と健全度評価結果が直結するものではなく、健全度評価の結果は、評価者によって異なる可能性がある。

そこで本検討では、鋼製砂防構造物について、健全度評価が「C」となる現象を的確に把握するために、砂防施設に求められる機能・性能に着目したフォルトツリーを立案し、それを活用した健全度評価について、報告するものである。

## 2. 砂防施設に求められる機能・性能

本検討においては、鋼製砂防構造物を構成する各部位（天端コンクリートや壁面材等）に求められる機能や性能を明らかとした。なお、各部位の点検事項及び変状レベル評価の基準は、過年度に行われている項目・基準<sup>3)</sup>に準拠することとした（表1）。

表1 点検項目毎の変状レベル評価基準

| 調査項目   | 求められる機能・性能         | 点検事項    | 変状レベル評価の基準              |                                    |  |                      |                     |
|--------|--------------------|---------|-------------------------|------------------------------------|--|----------------------|---------------------|
|        |                    |         | 変状レベル:a                 | 変状レベル:b                            | 変状レベル:c                                |                      |                     |
| 水通し天端  | 堆砂面の形成・構造物の安全性確保   | 沈下      | 沈下なし、もしくは軽微な沈下          | 沈下により壁面材の内側が部分的に露出                 | 沈下により壁面材の内側が完全に露出                      |                      |                     |
|        |                    | 摩耗      | 摩耗なし、もしくは軽微な摩耗          | 鉛直方向の摩耗深さがコンクリートの高さ程度未満            | 鉛直方向摩耗深さがコンクリートの高さ程度以上                 |                      |                     |
|        |                    | ひび割れ    | ひび割れなし、もしくは軽微なひび割れ      | ひび割れはあるが、中詰め材の流出なし                 | 水平方向ひび割れによって、中詰め材の流出が生じている             |                      |                     |
|        |                    | 目地の開き   | 目地の開きなし、もしくは軽微な開き       | 目地の開きはあるが、中詰め材の流出なし                | 目地の開きによって、中詰め材の流出が生じている                |                      |                     |
| 袖部     | 地山・構造物の安全性確保       | 沈下      | 沈下なし、もしくは軽微な沈下          | 沈下により壁面材の内側が部分的に露出                 | 沈下により壁面材の内側が完全に露出                      |                      |                     |
|        |                    | 摩耗      | 摩耗なし、もしくは軽微な摩耗          | 鉛直方向の摩耗深さがコンクリートの高さ程度未満            | 鉛直方向摩耗深さがコンクリートの高さ程度以上                 |                      |                     |
|        |                    | ひび割れ    | ひび割れなし、もしくは軽微なひび割れ      | ひび割れはあるが、中詰め材の流出なし                 | 水平方向ひび割れによって、中詰め材の流出が生じている             |                      |                     |
|        |                    | 天端盛土    | 沈下                      | 沈下なし、もしくは軽微な沈下                     | 沈下により壁面材の内側が部分的に露出                     | 沈下により壁面材の内側が完全に露出    |                     |
| 本体及び袖部 | 壁面材                | 摩耗・腐食   | 摩耗なし、もしくは軽微な摩耗          | 鋼材の摩耗の進行が確認される場合                   | 鋼材の余裕しがない                              |                      |                     |
|        |                    | 変形      | 変形なし、もしくは最大水平変位が堤高の2%未満 | 最大水平変位が堤高の2%以上6%未満                 | 最大水平変位が堤高の6%以上                         |                      |                     |
|        |                    | 破損      | 破損なし、もしくは軽微な破損          | 部分的な破損、断面の欠損がみられる                  | 壁面材の一部が破壊・損壊している                       |                      |                     |
|        |                    | 継手の開き   | 継手の開きなし                 | 開口はあるが、中詰め材の流出が認められない              | 開口があり、かつ中詰め材の流出が認められる                  |                      |                     |
|        |                    | 漏水      | 漏水なし、もしくは軽微な漏水          | 部分的に漏水している                         | 広範囲にわたる漏水、基礎底部からの漏水、両岸地山と砂防設備の境界面からの漏水 |                      |                     |
|        |                    | 咳い出し防止材 | 変状なし、もしくは軽微な変状          | 咳い出し防止材の変状により、中詰め材に若干の流出が局所的に認められる | 中詰め材の多量の流出がいたるところで認められる                |                      |                     |
|        |                    | 前庭部     | 基礎の安全性確保                | 流出                                 | 流出なし、もしくは軽微な流出                         | 移動・ずれの変状がみられる        | 流出している              |
|        |                    |         |                         | 沈下                                 | 沈下なし、もしくは軽微な沈下                         | 沈下が護床ブロックの基礎面に達していない | 沈下が護床ブロックの基礎面に達している |
| 摩耗     | 摩耗なし、もしくは軽微な摩耗     |         |                         | 摩耗が水叩きの基礎面に達していない                  | 摩耗が水叩きの基礎面に達している                       |                      |                     |
| ひび割れ   | ひび割れなし、もしくは軽微なひび割れ |         |                         | ひび割れがブロックの幅もしくは高さの概ね1/2程度未満        | ひび割れがブロックの幅もしくは高さの概ね1/2程度以上            |                      |                     |

## 3. フォルトツリーの立案

健全度評価が「C」となる現象を的確に把握するためには、各部位の変状が砂防施設の機能・性能に与える影響を論理的に整理することが必要である。このため、表1に示した点検事項のレベル評価の基準を基にして、定期点検で実施する各点検項目の変状レベル評価の基準・結果が、砂防施設の機能・性能にどの程度影響を与えるかを整理することとした。

本検討では、整理手法として、フォルトツリー<sup>4)</sup>の考え方を採用した。これは、砂防施設に求められる機能・性能を頂上現象とした上で、これらの喪失に繋がる変状の進行や、健全度Cに至る過程を論理的かつ視覚的に考察するものである。フォルトツリーを用いて整理することにより、変状レベル評価結果(a,b,c)と砂防施設の健全度(A,B,C)を関連付けることが可能となり、砂防施設の健全度に直結する変状・直結しない変状が明らかとなると考えられる。

本検討におけるフォルトツリーは、次の考え方に基づき立案した。

- ① 砂防施設に求められる機能に対して、各部位の具体的な機能及びそれを確保するために求められる性能を頂上に整理した。
- ② 各部位または点検項目について、砂防施設の機能・性能が喪失すると考えられる変状（健全度C相当の変状：表2紫網掛け）を検討した。
- ③ 健全度C相当の変状に至る過程を各点検項目で検討・整理した上で、変状レベル評価基準との関係性を評価した。

#### 4. フォルトツリーを用いた砂防施設の健全度評価

本検討では、鋼製砂防構造物の部位毎のフォルトツリーを立案し、点検項目別に砂防施設の機能や性能が劣化する過程の整理及び、砂防施設の健全度がCとなる変状を検討した(表2)。機能・性能の喪失を頂上現象としたフォルトツリーを用いて、喪失に至る過程を論理的に整理することで、変状レベル評価基準を踏まえた合理的な健全度評価が可能となった。

ここで、検討した健全度C(要対策)は、フォルトツリーのうち紫網掛けで示す箇所である。フォルトツリーから、変状レベル評価結果と健全度評価結果は必ずしも一致せず、変状が確認された部位によっては、変状レベル評価が「c」であった場合においても、砂防施設の健全度が「C」とならないことが明らかとなった。つまり、変状レベル評価が「c」の劣化についても、砂防施設全体の健全度を考慮すると、補修の必要はないと言える。

例えば、水通し天端コンクリート「ひび割れ」の変状では、ひび割れにより中詰め土砂が露出すると、

泥流発生時に中詰め土砂の吸出しが起り、砂防施設の機能・性能が確保されないと想定される。従って、ひび割れの進行による「中詰め土砂の露出」が健全度C相当の変状であると評価した。

一方で、袖天端コンクリートについては、泥流が袖部を越流することは想定されないため、泥流発生時に中詰め土砂の吸出しが起らないものと考えられる。従って、健全度C相当変状は「中詰め土砂の露出」ではなく、「中詰め土砂流亡による砂防施設の必要自重の不足」であると評価した。

#### 5. おわりに

本検討では、鋼製砂防構造物に対して、砂防施設の機能や性能の劣化現象を考慮した上で、フォルトツリーを作成し、変状レベル評価・健全度評価のプロセスを明らかとした。今後は、全国の同様な型式の砂防施設点検状況や健全度評価の考え方を整理することが望ましいといえる。また、鋼製砂防構造物の自重を計測可能な技術等、点検手法を検討・確立していくことも重要であると考える。

表2 フォルトツリー

| 求められる機能・性能        | 確実な泥流の補捉・下流域の安全性確保<br>砂防施設・構造物の安全性確保 |                       |                       |                       |                       | 確実な泥流の補捉・下流域の安全性確保<br>堤防施設・基礎の安全性確保 |                       |                       |                       |                       |
|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   | 平常時に於いても機能・性能が確保されない変状               |                       |                       |                       |                       | 基礎変位が始まる → 陥没が拡大し始める → 変位は          |                       |                       |                       |                       |
| 機能・性能が喪失する現象      | 新設施設の安全性が確保されていない(泥流発生時に顕著する)        |                       |                       |                       |                       | 中詰め材の流出が進行し、必要な自重を有していない            |                       |                       |                       |                       |
| 機能・性能が喪失する現象に至る過程 | 鋼材の腐食が進行し、鋼材が破断・破砕している(鋼材の腐食)        | 壁面材の一部が破損・損傷している(a)   | 壁面材が破断・損傷している(b)      | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c)               | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) |
|                   | 鋼材の腐食が認められ、鋼材の断面が減少している(c)           | 部分的な破損、断面の欠損が認められる(b) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c)               | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) | 開口部から中詰め材の流出が認められる(c) |
| 点検項目              | 鋼材の腐食                                | 破損                    | 変形                    | 開口部の開き                | 開口部の開き                | 開口部の開き                              | 開口部の開き                | 開口部の開き                | 開口部の開き                | 開口部の開き                |
|                   | 壁面材                                  |                       |                       |                       |                       | 前底部(礎床ブロック)                         |                       |                       |                       |                       |

#### 参考文献

- 1) 砂防関係施設点検要領(案) R2.3 国土交通省砂防部保全課
- 2) 砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案) R2.3 水管理・国土保全局砂防部保
- 3) 火山砂防地域における鋼製砂防構造物の点検調査及び変状レベルの評価手法 H30年度 砂防学会研究発表会
- 4) JIS C 5750-4-4:2011 日本工業規格

|        |
|--------|
| 変状レベルa |
| 変状レベルb |
| 変状レベルc |
| 健全度C境界 |