

盛土崩壊の要因となったふとんかごの鉄線腐食に関する一考察

西日本高速道路エンジニアリング中国(株)	正会員	○岸	功泰
西日本高速道路エンジニアリング中国(株)	正会員	森岡	昭二
西日本高速道路エンジニアリング中国(株)	正会員	佐々木	薫
西日本高速道路エンジニアリング中国(株)	正会員	下野	宗彦

1. はじめに

供用開始から 16 年経過した橋台巻込み部のふとんかご工が鉄線の錆による腐食で破断崩壊する事象が発生した。崩壊の状況を図-1 に示す。直近にある溶融亜鉛めっき処理された橋梁検査路などには著しい発錆状況が見当たらないため、この鉄線かごに生じた腐食の発生原因を究明するために、種々の調査を行った。本報文は、この特異なふとんかごに起因する盛土崩壊の発生原因を究明し報告するものである。



図-1 ふとんかご崩壊状況
(上り線側)

2. 盛土崩壊の状況

盛土崩壊の箇所は、図-2 に示す海岸から約 3.2km、河川から 20m 離れた海拔 0.5m の位置にある。盛土の崩壊は、橋台巻込み部ののり尻部に設置されたふとんかごの損壊により、上下線ともほぼ同時期に発生した。

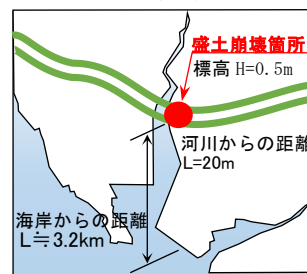


図-2 盛土崩壊の位置

3. ふとんかごの崩壊前の状況と施工上の問題点

(1) ふとんかごの施工高と積み勾配

崩壊したふとんかごの施工高さは、図-3 に示すとおり、高さ 50cm・奥行き 120cm・幅 200cm、のパネルを 10 段積み上げた直高 5m で、積み勾配は 1 : 0.5 であった。ふとんかごの適用積み高さは、多くの基準書^{1)~3)}で「施工高さは 2m 程度以下を基本とする」と記述されている。また、ふとんかごの積み勾配は、特に規定されていないが、ふとんかごは基本的に永久工作物として扱わない¹⁾ことから、ふとんかごの鉄線が腐食破断しても中詰め材である割栗石のせん断抵抗角を考慮した積み勾配を考える必要がある。礫、碎石、割栗石等のせん断抵抗角の一般値は、「砂及び礫・礫まじり砂は 40°(1 : 1.2)³⁾、碎石は 45°(1 : 1.0)⁴⁾、割栗石は 51°(1 : 0.8)⁵⁾」であるといわれている。ふとんかごの安定勾配については、中詰め用栗石や碎石のせん断抵抗角が基本となると考えた場合、安全性を考慮し 1 : 1.0 (45°) が望ましいと考えられる。従って、本ふとんかごの施工高 5m、勾配 1 : 0.5 (26.5°) は、高く積み上げられ急勾配で不安定な構造であったと考えられる。

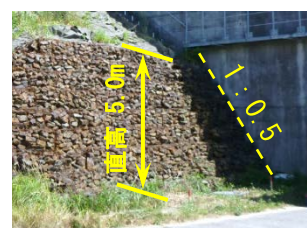


図-3 ふとんかごの施工高



図-4 中詰め用栗石の風化による細片化

(2) 中詰め用栗石の風化による空洞化

本ふとんかごに使用されている中詰め用栗石は、比較的風化しやすい泥岩質のものであったため、図-4 に示す剥離、細片化した栗石が多く見られた。

中詰め用栗石は、風化した栗石が徐々に変形して流出していき、ふとんかご内の空洞化を進行させた結果、多段積みによる重みの影響を受けたふとんかごは、図-5 に示す歪み、はらみ出した状態であった。この変形により鉄線かごには、通常考慮しない過剰なテンションがかかった状態であったことも、ふとんかごが崩壊した要因と考えられる。

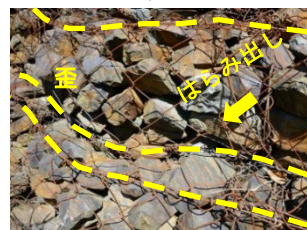


図-5 ふとんかごの変形

キーワード 法面崩壊、腐食、風化

連絡先 〒733-0037 広島市西区西観音町 2-1 TEL : 082-532-1411 FAX : 082-532-8058

4. ふとんかごの鉄線腐食の原因

露出している鉄線かごの大部分は腐食していたが、図-6 に示す中詰用栗石の下側等、直接降雨等の影響を受けていない箇所は比較的健全な状態であった。破断した鉄線かごは、熔融亜鉛めっきによる防食が施されていたが、供用開始後 16 年という比較的短期間で腐食・破断した。鉄線かごの早期の腐食原因としては、海岸からの飛来塩分や pH の低い酸性雨による湿乾繰り返しと考えられる。

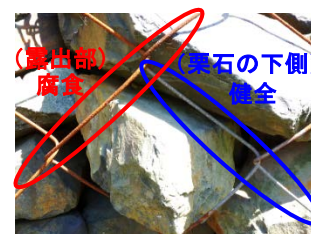


図-6 鉄線の腐食状況

崩壊したふとんかごの鉄線は、網目 130mm の径 $\phi 3.2\text{mm}$ で、熔融亜鉛めっきの付着量は、JIS A 5513 亜鉛めっき鉄線製じゃかごの規格による 122g/m^2 であった。ふとんかごが崩壊した現場の地形と環境は、海拔 0.5m、海岸地帯から約 3.2km 離れた河口部の天井川に近接しており、地下水位は比較的高いものであった。このように、海や河口からの塩水の飛散や地下水の影響による湿潤状況など、腐食しやすい環境に位置していたといえる。熔融亜鉛めっき付着量と腐食による大気中の耐用年数については、使用される場所の環境による亜鉛の腐食速度と亜鉛の付着量から次式で示される⁶⁾。

$$n \text{ (耐用年数)} = A \text{ (亜鉛付着量: } \text{g/m}^2) / P \text{ (腐食速度: } \text{g/m}^2 \text{ 年)} \times 0.9$$

$$\therefore P \text{ (腐食速度: } \text{g/m}^2 \text{ 年)} = A \text{ (亜鉛付着量: } \text{g/m}^2) \times 0.9 / n \text{ (耐用年数)}$$

鉄線かごの熔融亜鉛めっき付着量は 122g/m^2 、破断までの経過年数が 16 年であるため、腐食速度 P は、 $6.9\text{g/m}^2 \text{ 年}$ となる。この値は、図-7 に示す「都市・工業地帯」付近の値に近似する。図-8 は、海岸からの離隔距離による腐食速度 ($\text{g/m}^2 \text{ 年}$) を示している。腐食速度から逆算すると、ふとんかごの設置箇所は海岸線からおよそ 3.5km 付近に相当し当該地点 3.2km とほぼ一致する。このことから、ふとんかごが崩壊した現場は、海岸線に近接する田園地帯であり、環境と海岸からの距離による腐食速度の関係から、塩水の飛散等による影響が高いと考えられる。

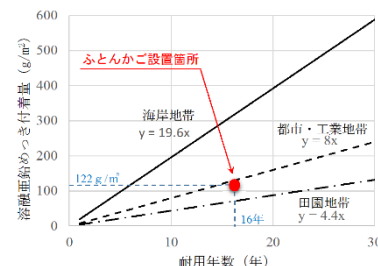


図-7 環境による腐食速度⁶⁾

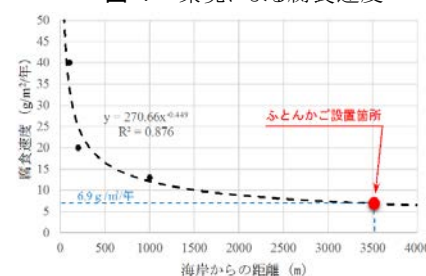


図-8 海岸からの距離と腐食速度⁶⁾

5. 盛土の崩壊原因

以上の調査結果などから、当該盛土の崩壊原因は下記のとおりである。

- ① 降雨、地下水等による湿乾繰り返しや、飛散塩分に起因するふとんかご鉄線の腐食破断。
- ② ふとんかごの過剰積み上げと急勾配。
- ③ 中詰用栗石の風化による空洞化及び、空洞化による沈下、はらみ出し。

これらの複合作用により、当該盛土ののり尻部のふとんかごが崩壊したと考えられる。

6. おわりに

数多くの施工例があるふとんかごは、今後、鋼材の腐食による補修や取り替えの必要性が出てくると考えられる。今回の事例から、「鉄線編み枠」のふとんかごに替えて、鋼材部材が厚く亜鉛の付着量が多い「鋼製かご枠」などを選定すると共に、今後の防蝕対策として通常の熔融亜鉛めっきと比べて耐用年数が 4～8 倍の耐久性⁷⁾がある熔融亜鉛・アルミ (5～10%混合) めっきを施すなどの方策を取り入れるなどが考えられる。また、永久構造物としての設計であれば、高さを極力低くするとともに、勾配は少なくとも 1 : 0.8 以上であることが望まれる。

参考文献

- 1) 建設省河川局：建設省 河川砂防技術基準 (案)，設計編Ⅱ，P.33，2008.
- 2) 農林水産省：治山技術基準 解説，総則・山地治山編，P.271，2009.
- 3) 西日本高速道路株：設計要領 第一集 土工建設編，PP.1-52，PP.3-27，2018.
- 4) 特別民間法人 危険物保安技術協会：Safety & Tomorrow，No.128，危険物関係用語の解説，P.64，2009.
- 5) 金子智成他：治山ダム礫中詰材の FEM モデリングに関する基礎的研究，土木学会論文集，Vol.55，pp.216-227，2009.
- 6) 一般社団法人 日本熔融亜鉛鍍金協会：熔融亜鉛めっきの耐食性，(<<http://www.aen-mekki.or.jp/mekki/tabid/75/Default.aspx>>，2018.3
- 7) 建設省土木研究所，西崎到他：亜鉛・アルミめっきの耐食性評価の例，土木資料，37-1 (1995)，p.2