

# グラウンドアンカーを有する切土のり面の劣化度モデルに関する検討（その2）

グラウンドアンカー，維持管理，ワイブル分布

九州大学大学院	学生会員	中村 大樹
西日本高速道路（株）	正会員	浜崎 智洋
九州大学大学院	国際会員	笠間 清伸
日本地研（株）	正会員	田口 浩史

## 1. はじめに

切土のり面安定対策として多くの実績があるグラウンドアンカー（以下、「アンカー」という）のうち、防食性能が低い所謂旧タイプアンカーについては、今後何らかの更新が必要となることが予想されており、それらを含め如何に合理的な切土のり面の維持・更新に繋げていくかが喫緊の課題である。本稿は、旧タイプアンカーにより安定対策が実施された切土のり面（以下、「当該のり面」という）を対象に、経年的な点検データを用いて、ワイブル分布を活用した損傷予測の推計を行い、劣化特性の把握やアンカーの増し打ちによる補強対策時期等の検証を試みたものである。

## 2. 対象とした切土のり面

当該のり面は、1,987年に供用開始がなされ、最大5段（最大切土高35m程度）、約2,000本の旧タイプアンカーが施工された切土のり面である（写真-1参照）。地質は、古生代の三郡変成岩類（片岩、角閃岩、蛇紋岩）を基盤とし、これに貫入した中生代の花崗岩類によって接触変成作用を受け、破碎軟質化して広く分布している。また粘土化した断層破碎帯が幾条も認められ、地質の連続性は乏しい特性を呈している。のり面对策は、現場打ちのり枠とアンカーを主体とし、一部鉄筋補強工や抑止杭が実施されている。アンカーは、すべり面によって設置位置（ブロックや段数）毎にアンカー長等が変化し、10～50mのものが幅広く施工されている（図-1参照）。

また、当該のり面は1,998年頃からアンカー頭部に諸変状が発生し、徐々にそれが顕在化してきてはいたが、あわせて地下水位の上昇等によって一部アンカーの荷重が漸増傾向に推移したため、近年、アンカーの増し打ちによる補強対策が施工されてきた。アンカー頭部の変状は、設計アンカー力以上の荷重増加によってアンカーの引き込まれや抜け（定着長部の付着切れやアンカーの破断）などが要因で出現したものと考えられる（写真-2～写真-3参照）。



写真-1 当該のり面の全景

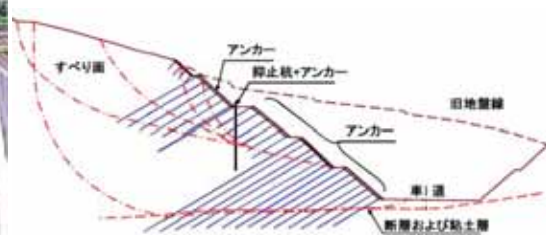


図-1 当該のり面の概略横断面図



【頭部外観】

アンカーが地中部へ引き込まれ頭部コンクリートが浮いた状況

写真-2 アンカー頭部の変状例（1）



【コンクリートキャップ撤去】



【頭部外観】

アンカーが地中部で抜け（切れ）頭部コンクリートが浮いた状況

写真-3 アンカー頭部の変状例（2）



【コンクリートキャップ撤去】

## 3. 適用モデルの検討（累積ハザード法によるワイブル解析）

アンカーの劣化度モデルの検討には、2母数ワイブル分布を適用した。ワイブル分布は、物質の時間に対する故障や破壊などの劣化現象や寿命を統計的に記述するため広く利用されている関数であり、ワイブル分布の信頼度関数  $F(t)$  は次式で表わされ、ワイブル分布のパラメータを求めることで故障（損傷）時間の分布を推定できる（ここに、 $t$  は時間、 $m$  は形状パラメータ、 $\eta$  は尺度パラメータを表す）。

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right\} \quad (1)$$

パラメータの推定方法としては、用いたデータが不完全データ（定時打ち切りデータ）であることから、累積ハザード法を適用した。ここでは、得られた故障（損傷）データのみを故障までの時間が小さい順に並び替え、ハザードの推定値  $h(t_i)$  を求め、その和から累積ハザード値  $H(t_i)$  を計算し、 $m$  および  $\eta$  の推定を行った（表-1参照）。

表 - 1 累積ハザードの算出例

故障データ (x: 損傷)	故障までの時間 (t <sub>i</sub> )	t <sub>i</sub> から t <sub>i+1</sub> までの故障数 (k <sub>i</sub> )	t <sub>i</sub> の直前における未故障数 (k <sub>i</sub> )	ハザードの推定値 (h(t <sub>i</sub> )=1/k <sub>i</sub> )	累積ハザードの推定値 (H(t <sub>i</sub> ))
	t <sub>1</sub>	1	5	1/5	1/5
	t <sub>2</sub>	1	4	1/4	1/5+1/4
	t <sub>3</sub>	1	3	1/3	1/5+1/4+1/3
	t <sub>4</sub>	1	2	1/2	1/5+1/4+1/3+1/2
	t <sub>5</sub>	0	1	-	-

4. 解析結果及び考察

4-1 損傷データ

信頼性解析においては、故障（損傷）までに要した時間データが重要となる。ここでは、当該のり面における故障（損傷）までの経過年数を、当該のり面を含む高速道路区間が供用開始された時点から各損傷が明らかとなった時点までとした。

また、本データは、定時打ち切りデータとして、頭部の外観目視等により明らかにアンカー機能を失っているものおよびアンカーの変状が著しくアンカー機能を失っている可能性が高いものを故障（損傷）と定義し、それ以外を生存データとしてそれぞれワイブル解析に適用した。表 - 2 に損傷データの集計結果を示す。

4-2 アンカーの損傷予測

図 - 2 にワイブル分布による故障（損傷）予測の推計結果を示した。縦軸の信頼度は、ある時点までにそれぞれの故障（損傷）に達する確率を示しており、信頼度の予測式の形状パラメータ (m) および尺度パラメータ ( ) は、(m = 4.61、 = 40.95) が得られた。これは、データが摩耗故障型 (m > 1) 該当し、時間の経過とともに故障（損傷）が発生する確率が高くなることを示している。

あわせて、アンカーを有する他の切土のり面におけるリフトオフ試験結果をもとに、データごとに打ち切り時間が異なるランダム打ち切りデータとしてワイブル解析を行った結果<sup>1)</sup>を示した。当該のり面が外観目視を主体とした解析であり、地中部におけるアンカーの損傷が必ずしも頭部（地表部）に出現する時期と同一となるとは限らないため、一概に同じ次元で比較はできないものの、それらを加味しても他の切土のり面より当該のり面の方がアンカーの損傷の進行が速いことが示された。

4-3 補強対策との関連性

既往の研究<sup>2)</sup>では、のり面単位で捉えたときに 17% 程度のアンカーが機能しなくなるまでに何らかの対策が必要との結果があり、さらには、頭部調査のみで機能しないアンカーがおおむね 5% になるまでにアンカーの増し打ち対策に着手している実態も明らかとなってきている。当該のり面は、供用開始後概ね 21 ~ 26 年が経過した頃にアンカーの増し打ちによる補強対策工事が実施され、その間における当該のり面のアンカーの信頼度は F(t) = 0.05 ~ 0.12 であり、これまでの実態と傾向が類似していることが確認できた。

また、当初対策前の安全率 (Fs=0.95) から対策後の計画安全率 (Fsp=1.20) を目指してアンカーの設計を行っており、このままのペースで損傷が進行すれば、図 - 2 に示すように、供用開始後概ね 31 年経過する頃には信頼度が F(t) = 0.25 を超過する予測となり、近年の補強対策工事の実施時期は適当であったことが示された。

4-4 まとめ

切土のり面のアンカーの損傷データをもとに、アンカーの劣化モデルとしてワイブル分布を適用した結果、損傷予測の推計が可能となり、経過年数と損傷発現の可能性との関係が定量的に把握できることが示された。また、アンカーの損傷割合に対する増し打ちなどの補強対策の実施状況などをもとに、点検や調査方法に応じた故障（損傷）率の閾値を設定することで、その後の経年変化に注視することやアンカー増し打ち等補強対策の実施時期を判別することが可能となることも示唆された。

5. おわりに

今回の検討にあたっては、頭部の外観目視等により得られた損傷データを活用したものであり、アンカー体の健全性を把握するためのリフトオフ試験等との関連については検証はなされていない。今後、それらの経年的なデータの整理を行うことにより今回の解析結果との関連性が明らかになり、より精度が高い劣化モデルの構築が期待できるものと考えられる。

- (参考文献) 1) 浜崎, 笠間, 前田. グラウンドアンカーを有する切土のり面の劣化モデルに関する検討 (その 1). 第 49 回地盤工学研究発表会講演集, 2014 (投稿予定)  
 2) 田久, 田山, 堅山ら. グラウンドアンカー健全度を考慮したのり面安定の検討. 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2011

表 - 2 経年的なアンカー変状結果の集計 (全データ数; 2,097)

経過年数 (年)	故障 (損傷) の数 (本)	対象となる未損傷数 (本)	ハザードの推定値 (h(t))	累積ハザードの推定値 (H(t))
11	5	2,097	0.002	0.002
13	3	2,092	0.001	0.004
14	9	2,089	0.004	0.008
15	4	2,080	0.002	0.010
16	4	2,076	0.002	0.012
17	20	2,072	0.010	0.022
18	7	2,052	0.003	0.025
23	72	2,045	0.035	0.060
計	124			

信頼度 (F(t))

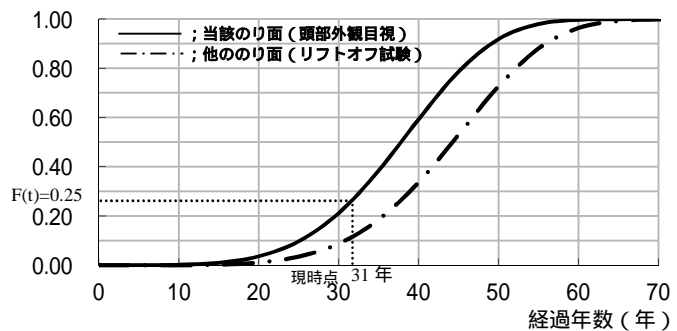


図 - 2 ワイブル分布を用いたアンカーの損傷予測