

既設アンカー切土のり面の確率的安全性評価

株式会社ニュージェック ○富岡 明 岐阜大学 八嶋 厚 富山大学 原 隆史

1. 背景・目的

現在のアンカーのり面の維持管理では、アンカーのり面管理技術者がのり面の安全性評価・対策を行っている。(図-1 参照)。判断が難しいのり面の場合は、検討委員会などを設置し、専門家の助言を得ることで評価・対策を行うこともある。しかし、専門家による助言は維持管理のサイクルの中で多大な時間や労力、予算を要する。また管理技術者が直接評価できないことで迅速な対応ができない。さらに一部のアンカー張力の情報から局所的な処置を施すことが多く、定量的にのり面全体の安定性に基づいた維持管理が実施されていないことが問題点として挙げられる。

以上より、本研究では、選択されたアンカー張力の計測結果を用いることによって、アンカーのり面全体の安定性とアンカーの破断・引き抜き危険性を算定する確率モデルを提案する。さらにこの結果を用いて、これまでの対応実績から安全性や維持管理対応を決定する閾値を設定した維持管理モデルも提案する。これにより管理技術者自らが定量的に効率のよい安全性評価を行うことで、委員会に集中された維持管理における評価の効率化を図る。

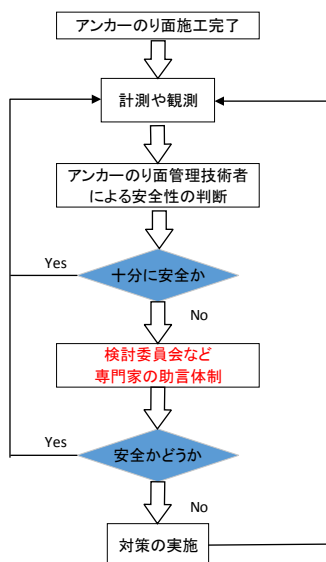


図-1 アンカーのり面維持管理の対策判断のフロー

2. 過緊張アンカーのり面の安全性と照査方法

過緊張アンカーが存在する場合は、のり面が動こうとする際にアンカーが張力を増加することであり、地盤に抵抗し、つりあっている状態であると考えられる。そのような状

態を安全率 $F_s=1.0$ と定義した。のり面の安全性の評価については、以下の STEP で行う。

STEP1: 計測されたアンカー張力の平均値を入力する。その後、 $F_s=1.0$ となる地盤定数(c,φ)を円弧すべり解析によって設定する。設定の手順は、はじめに c が 5kN/m^2 となるまで下げる、その後φを下げる。

STEP2: STEP1 での円弧すべり解析結果(W, α, θ)、及び計測されたアンカー張力結果を用いて、破壊確率と、破壊確率から得られる安全率(真の安全率)を算出する(式(1))。破壊の条件は、安全率 1.0 を下回る場合とする。式(1)には、張力の計測結果から得られたばらつきを採用している。モンテカルロシミュレーション(以下 MCS)を行い、100 万のケースを生成することで、のり面にはたらくアンカー張力のばらつきを再現する。アンカー張力がストランドの降伏強度や、アンカー体の引き抜き強度を超える場合はアンカー張力を 0 とすることにしている。

$$F_s = F_{s0} + \frac{\sum T_D \cdot \delta_T \cdot (\cos(\alpha + \theta) + \sin(\alpha + \theta) \cdot \tan\phi)}{\sum W \sin(\alpha)} \quad (1)$$

ただし $T_D \cdot \delta_T \leq T_L \cdot \delta_{T_L}$, $T_D \cdot \delta_T \leq T_F \cdot \delta_{T_F}$ とする。

ここに

F_s = 合計安全率、

F_{s0} = アンカー無対策時の安全率、(STEP1 の c、φ 使用)

T_D = 設計アンカー張力(kN)、

δ_T = 計測されたアンカー張力のばらつき、

α = 各ブロックのすべり面と水平面のなす角度、

θ = アンカーの傾斜と水平面のなす角度、

W = 各ブロックの重量(kN)、

T_L , δ_{T_L} = ストランドの降伏強度、ばらつき

$T_F = U \cdot l_f \cdot L$ (kN) で求められるアンカー体の引き抜き強度、U = アンカー体の周長(m)、 l_f = 周面摩擦力度(kPa)、

L = アンカーの長さ(m)

δ_{T_F} = 引き抜き強度の不確実性で杭の周面摩擦力の不確実性から $\mu=1.07$, $\sigma=0.7$ の対数正規分布を仮定。

緊張力が低減しているアンカーのり面は、アンカー張力が回復(再緊張)した時点での張力を過緊張張力として評価している。

3. 既設アンカー切土のり面への適用例

既設切土アンカーのり面に確率モデルを適用した例を

2つ示す。図-2 のり面は、左下段アンカー周辺が過緊張で、黄色や赤色で示されており、委員会では危険視している。これに対して、アンカー張力が低減しているのり面は委員会では安全なのり面と判断している。

計測されたアンカー張力(図 2)を用いて、 $F_s=1.0$ となるよう地盤定数(c, ϕ)を調整したときの安全率を“見かけの安全率”、その状態からアンカーストランドの破断やアンカー体の引き抜きにより、アンカー張力の低減を考慮したときの安全率を“真の安全率”とする。図-3、図-4の緑線は、見かけの安全率の確率密度関数である。 $F_s=1.0$ を再現しており、破壊確率 P_f は 50% である。図-3、図-4の黒線は真の安全率の確率密度関数である。図-3 に示した過緊張のり面は、破断と引き抜きの影響で $F_s=0.97$ に減少、 $P_f=66\%$ に上昇している。この結果から、過緊張のり面の危険性を示すことができた。一方、張力が低減しているのり面である図-4 では破断や引き抜きの影響がなく、 $F_s=0.99$ 、 $P_f=51\%$ と変化がほとんど見られず安全なのり面だと判断できた。

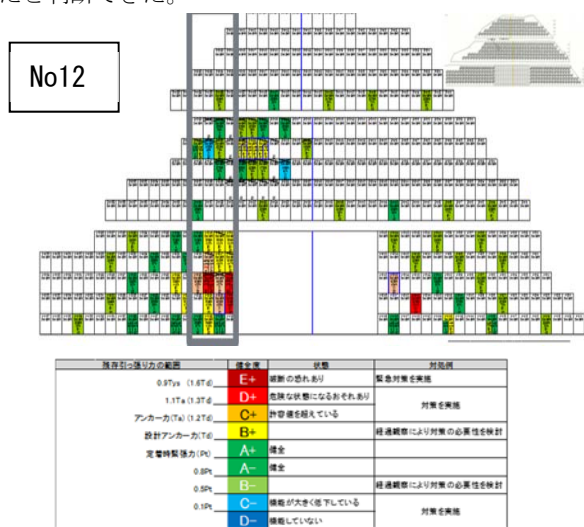


図-2 過緊張のり面の健全度評価表

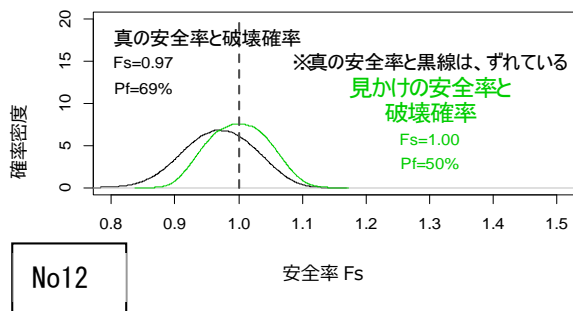


図-3 過緊張のり面の安全率の確率密度関数

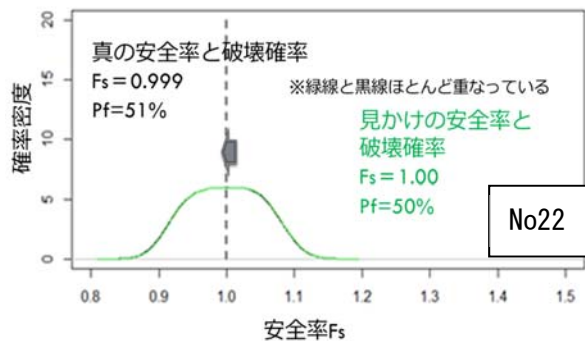


図-4 張力が低減したのり面の安全率の確率密度関数

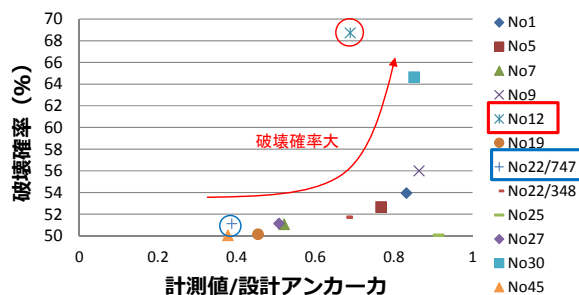


図-5 対象のり面のアンカー張力と破壊確率

図-5 はアンカー張力と破壊確率の関係図で、その他 10 のり面を含めた 12 のり面を対象としている。

設計アンカー力に対して張力が大きいり面ほど、破断・引き抜きの発生確率が大きくなり、危険な状態にあるという判断ができる。

4. まとめ

本研究では、管理技術者自らの手で、既設アンカーのり面の全体安定性を評価できる確率モデルを提案した。得られた危険性の情報はだまかではあるが委員会の判断と同様な結果を出すことができた。今後は委員会の過去のり面評価と図-5 を照らし合わせることで追加調査、対策実行の閾値を設定し、管理技術者独自で迅速・安価に評価できるマニュアルの作成を目標としたい。

参考文献

- 1) Matsuo, M. and Asaoka, A., “A statistical study on conventional safety factor method”, Soils and Foundation, Vol. 16, No.1, pp.75-90, 1976.
- 2) VSLA (VSL Association), “A brochure of VSL permanent anchor method (rank A), 2012
- 3) Okahara, M., Takagi, S., Nakatani, S. and Kimura, Y., “A study on bearing capacity of a single pile and design method of cylinder shaped foundations”, Technical Memorandum of PWRI No.2919,