

インテグリティ試験による杭の劣化診断

日本物理探査株式会社 篠田 里子、内田 篤貴

1. はじめに

国土交通省においては、施設の機能や性能に不具合が生じてから対策を行う「事後保全」から、不具合が発生する前に対策を行う「予防保全」へ転換し、持続的・効率的なインフラメンテナンスの実現を推進している。

さらに、我が国のインフラは、その多くが高度経済成長期以降に整備されており、建設から半世紀以上経過する構造物の割合が加速度的に増加するなかで、社会経済活動の基盤となるインフラの維持管理・更新を計画的に進めていく必要がある。

その問題を解決するためには、定量的な計測が最善であるが、膨大な構造物を対象とするため、調査方法が簡便で経済的負担が少なく、定性的評価が可能な調査方法も必要である。

本報告は、既設杭等の健全性の評価にインテグリティ試験を適用した事例の報告である。

2. 調査方法

(1) 試験原理

本論で使用したインテグリティ試験は、杭長、杭断面の変化、クラック等の性状について杭頭を打撃することにより、杭中を伝播する弾性波がインピーダンスの異なる境界で反射する現象を利用して杭の長さ、健全度を診断する装置である。

試験は、図-1 に示すように杭の表面にセンサを固定し、プラスチックハンマーの打撃位置は、杭の表面で平滑な部分とした。弾性波を正確に伝えるため、打撃方向は杭に対して伸長方向とした。波形記録の信頼性を上げるため、必要に応じて打撃位置を変え数回試験を行った。

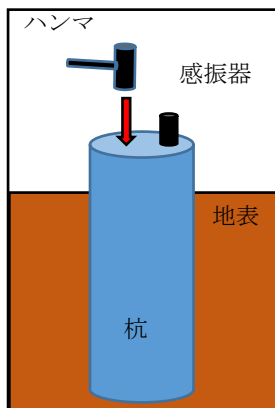


図-1 試験の模式図

健全性の判定は、図-2 に示すように、打撃位置から杭先端までの波形内に急激な凹凸の特徴の有無を確認し判定した。特に、入力波と同じ上向き（凸型）の波形は断

面の減少を示すため、留意した。

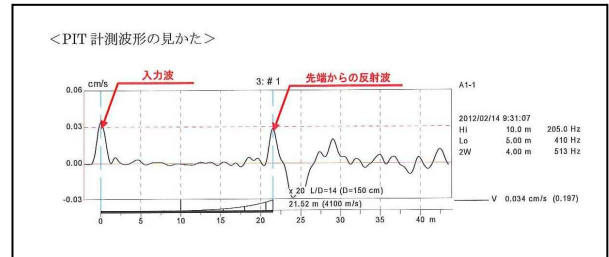


図-2 インテグリティ試験の波形

計測波形は、計測した加速度を積分し速度で表示している。縦軸は速度、横軸は波動の伝播時間から計算した杭の深度である。時間と杭の深度の関係は以下のとおりである。

$$t=2L/c \quad c=\sqrt{E/\rho}$$

t:時間 (s)

L:杭長 (支柱の打撃位置から先端までの距離 (m))

E:支柱のヤング率 (N/m²)

ρ :支柱の密度 (kg/m³)

c:弾性波速度 (m/s)

(2) 仕様

使用した機材の仕様を表-1に示す。杭長にして30m 程度までの測定が可能である。

表-1 機材(PIT-X)の仕様

名 称	仕 様
PIT-X	感 度 : 50mV/g
	周波数特性 : 0.7~9000Hz
	共振周波数 : 40kHz
	ハンマー : 3ポンド1.4kgf)・他
	電 源 : 内臓バッテリー
	重 量 : 約0.45kg

3. 調査例

図-3は調査により得られた杭別の波形例を示す。ヤング率や密度が減少しインピーダンスが低下した場合は、入力波と同じ向きの反射波が戻ってくる。したがって支柱先端からの反射波は通常、入力波と同じ向きとなる。インピーダンスの減少と同様の反射波となるのは、クラック等の欠損があり鋼材のヤング率が低くなっている場合である。

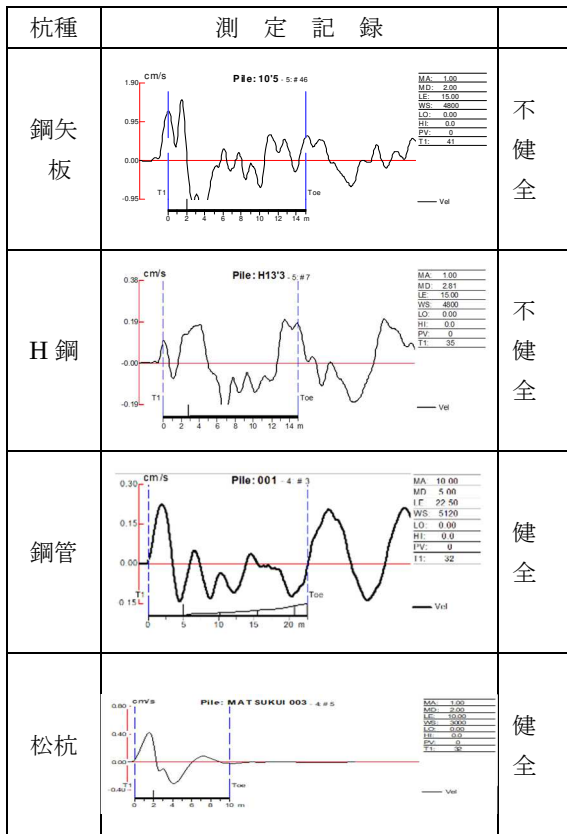


図-3 測定記録例

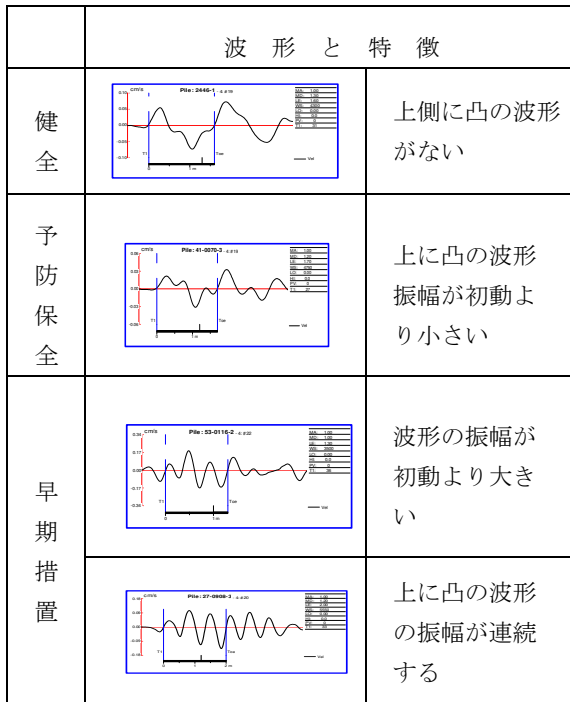


図-4 インテグリティ試験波形と健全度

健全度の分類は、国土交通省（2019）¹⁾の分類を利用し、健全、予防保全、早期措置の3段階に区分した。図-3の波形を、図-4に示した健全度の判別指標案に順じ判定し、今後の利用方法の目安とした。

図-5は、インテグリティ試験により早期措置が必要と判断された街路灯支柱の肉厚調査結果である。地際周辺の肉厚測定をそれぞれ30度ごとに全周測定し、肉厚等高

線を作成した。地際より-0.15mにおいて、腐食が進み肉厚の減少、錆による肉厚の増加が発生していたことが検証された。

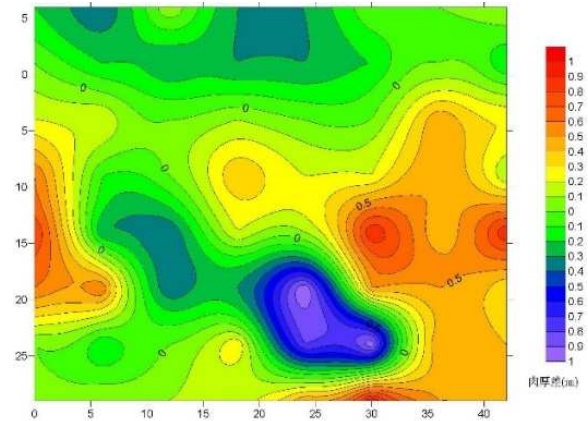


図-5 街路灯支柱の地際肉厚測定結果展開図

（肉厚4.7mmに対して、暖色系が増加、寒色系が減少、縦軸0cmが地表、下側が地中、単位は cm）

4. 試験の特徴

試験の特徴を整理し、表-2に示す。

表-2 試験の特徴

	長 所	短 所
測定条件	非破壊、その場でおおよその答えが得られる	材質が特定でき、均質である必要がある
杭等の諸元	杭の長さ、材質が判明していれば、健全度の判定ができる	おおよその長さ、材質が不明であるとデータの解析が困難
打 撃	対象物、長さにより打撃方法を変えることで測定が可能	打撃の仕方で記録の良、不良が現れる
感振器の設置	1回の測定時間が短く、1日で多くの測定ができ経済的	打振面に凹凸があると感振器が設置できない
データ	定性的なデータ	定量的でない

5. まとめ

インテグリティ試験は、非破壊で杭等の健全性を経済的に判断することが可能である。材質、おおよその長さ等杭の諸元が判明しているときは有効な手法であると考えられる。

杭に限らず、街路灯、標識等の支柱の健全性にも活用することができ、想定できない倒壊を未然に防ぐ観点からも有効な手法の1つである。

《引用・参考文献》

- 国土交通省道路局 国道・技術、pp.41、2019、附属物（標識・照明施設等）定期点検要領。

島尻層泥岩斜面におけるリフトオフ試験事例

(株)日興建設コンサルタント ○中戸 章友、砂川 尚之
知念 信亨、松田 将
(株)SK 設計 川西 洋祐
(株)相愛 谷崎 優也

1. はじめに

島尻層泥岩斜面に、地すべり対策工として施工されたグラウンドアンカー（以下、アンカーと称す）の点検・リフトオフ試験事例を紹介する。当該アンカーは、2016年に施工され経過観察を経て、2022年に点検・リフトオフ試験を実施した。

試験時に行った簡易点検において、アンカー頭部の緩みが14箇所に見られ、緊張力がない状態であった。

緩みがみられた箇所は、工程的都合で期間（1回目：1月、2回目：2月）において試験を実施したが、全箇所でも前回みられた緩みがなくなっており、すべてのアンカーで部材が定着していた。試験値を比較するため、再度試験を実施したところ、前回は上回る結果となった。

本報告は、島尻層泥岩斜面において、アンカー頭部に緩みがみられ、緊張力がない状態であったにもかかわらず、短期間のうちに緩みがなくなり、残存緊張力が確認された点検・リフトオフ試験の事例を紹介する。

2. 地形地質

調査地は地すべり地帯にあり、周辺地形は丘陵地に属する。調査地は多丘形凹状台地地形となっており、微細な凹凸地形が発達した緩斜面、かつ斜面上方から下方へ勾配が緩やかになることから、地すべり・崩壊によって形成された斜面と考えられる。



図-1 地質図¹⁾

地質は、固結度の低い新第三紀の島尻層泥岩を基盤と

し、表土は泥岩を起源とする粘性土が覆っている。部分的に琉球石灰岩の岩礫が混入している。基盤である泥岩はN値20未満を主体とする。



写真-1 調査地全景(調査箇所)



写真-2 斜面状況



写真-3 末端露頭

3. 現場における事象

本調査は、工程的な都合から、2回に分けてリフトオフ試験を実施した。

1回目は、全体のアンカー配置を考慮するとともに、ロードセルによる荷重履歴が把握されるアンカーで実施した。その結果、定着時よりは緊張力低下がみられたが、設計アンカー力まで載荷することができ、アンカーとして機能していることを確認した。試験に合わせて、全アンカー頭部の簡易目視点検を行い、アンカー頭部（キャップ・ナット・角度調整台座）の緩みが96箇所中14箇所で見られた。そのため、翌月、緩みがある箇所でリフトオフ試験を行うこととなった。

2回目の試験時に変状箇所をみると、キャップや角度調整台座の緩みがなくなっていた。

そのため、前回リフトオフ試験を行った1箇所でも、再度試験を実施した結果、残存緊張力（ P_e ）が22kN から48kN に増加していた。

4. 考察

調査において、みられた事象は以下のとおりである。

① 簡易点検

1回目（1月）：簡易点検でアンカー頭部の緩みを確認

2回目(2月)：試験時には頭部の緩みなくなる

② リフトオフ試験(同箇所)

1回目(1月)：リフトオフ試験値 22kN

2回目(2月)：リフトオフ試験値 48kN (+26kN)

簡易点検・リフトオフ試験は、1回目と2回目において、実施条件が大きく異なる点があり、実施前1週間の降雨量に大きな差があった。表-1より、降雨量の差は、1回目7.5mmに対して、2回目110.5mmと約15倍であった。

1回目は、表土が乾燥収縮状態にあり、2回目は湿潤膨張状態であったと考えられる。

表-1 点検・試験前の降雨量²⁾

1回目(調査日：1/5)			2回目(調査日：2/7)		
日付	日雨量		日付	日雨量	
12/29	5.5	合計 7.5	1/31	0.0	合計 110.5
12/30	0.0		2/1	0.0	
12/31	0.0		2/2	20.0	
1/1	0.0		2/3	88.0	
1/2	0.0		2/4	2.5	
1/3	0.0		2/5	0.0	
1/4	0.0		2/6	0.0	
1/5	2.0		2/7	0.0	
リフトオフ値：Pt=22kN			リフトオフ値：Pt=48kN		

新城の研究³⁾によれば、泥岩は含水比20%以下になると、膨張量が著しく増大する傾向にある(図-2)。このことは、乾燥状態から湿潤状態への膨張量が大きくなると考えられる。

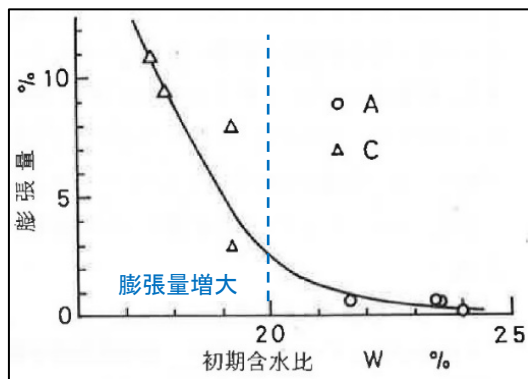


図-2 初期含水比と膨張量の関係³⁾

本現場の表土は泥岩を起源とする粘性土であり、泥岩が乾湿の繰り返しを受け、スレーキングにより細粒化したものと考えられる。その粘性土における乾燥収縮・湿潤膨張について、宮城・小宮の研究⁴⁾によると、泥岩粉砕土の膨潤量が乾燥状態から3.1～9.7%という試験結果からも大きいと考えられる(表-2)。

表-2 泥岩粉砕土の膨潤試験結果⁴⁾

Table 3 泥岩粉砕土の膨潤試験結果							
試料名	初期含水比 %	乾燥密度 g/cm ³	間隙比	透水係数 cm/s	膨潤圧 (断面積) kg/cm ²	膨潤圧(表面積) g/cm ²	膨潤量 %
石 嶺	4.04	1.33	1.090	1.31×10^{-8}	0.73 (0.63)	$7.90 (6.87) \times 10^{-4}$	7.5
豊見城	2.71	1.33	1.054	1.32×10^{-8}	1.15 (1.03)	$1.52 (1.30) \times 10^{-3}$	6.8
南風原	3.87	1.31	1.111	1.15×10^{-8}	0.29 (0.27)	$3.80 (3.62) \times 10^{-4}$	3.1
東風平	3.87	1.33	1.073	2.41×10^{-8}	1.28 (1.08)	$1.79 (1.50) \times 10^{-3}$	4.8
翁 原	4.48	1.33	1.052	3.40×10^{-8}	0.57 (0.52)	$7.72 (7.10) \times 10^{-4}$	4.6
千 原	4.73	1.31	1.088	2.66×10^{-8}	1.42 (1.15)	$2.02 (1.63) \times 10^{-3}$	9.7
具志頭	3.27	1.33	1.062	8.00×10^{-8}	0.82 (0.74)	$1.48 (1.33) \times 10^{-3}$	5.9

5. おわりに

本報文は、島尻層泥岩斜面上のアンカーをリフトオフ試験したさいに得られた一事例である。

一般にアンカー緊張力と気温・降雨量は相関関係にあると考えられており、本件もその相関関係を表す事象だと思われる。しかし、点検時においてアンカー頭部の緩み・締付けが行われるほどの変状があったことと、そのことが降雨量と関係する可能性があることは、今後の点検および維持管理計画の一助になると思われる。

また、この事象が島尻層泥岩斜面の特性かどうか、今後の点検業務において情報を収集していきたいと考える。

《引用・参考文献》

- 1) 沖縄県地図情報システム：土地分類基本調査図(表層地質図)
- 2) 気象庁ホームページ：https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/
- 3) 新城 俊也：土質材料としての泥質堆積岩の力学特性に関する研究，京都大学農学部博士学位論文，pp. 23～26，1980. 4.
- 4) 宮城 調勝・小宮 康明：島尻層泥岩の膨潤特性I，琉球大学農学部学術報告29号，pp. 153～159，1982. 12.

【30】

アンカー健全性調査を用いた片持ち式ロックシェッドの維持管理事例

榎相愛 ○谷崎優也, 市橋義治

1. はじめに

高知県の面積の約84%は山地であり、地域を結ぶ主要路線には落石対策としてロックシェッドが48施設建設されている。ロックシェッドは近年では道路土工構造物の附帯構造物として5年に一度の定期点検が行われている。本発表は、グラウンドアンカー（以下アンカーという）で固定された片持ち形式のロックシェッド（図-1：以下片持ちキーパーという）において変状が認められたため詳細調査と早期措置を3か年に渡り実施した維持管理事例を報告する。

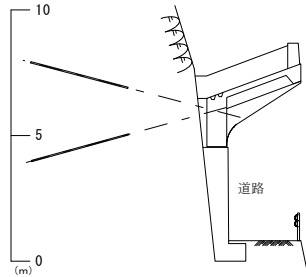


図-1 断面図

2. アンカー健全性調査(初年度)

平成29年度の施設点検において、県境を繋ぐ山岳国道に施工された片持ちキーパーでアンカー頭部付近に漏水跡が多く見られ、Ⅲ：早期措置段階と判定¹⁾された。アンカーは全72本あり、うち SEEE タイプ (SEEE F110TA) が52本、VSL タイプ (VSL E5-9) が20本打設されており、ブロック毎に上向き・下向きと交互に施工されている（図-2）。片持ちキーパーを固定するアンカー機能の低下が考えられたため、アンカー健全度調査手法を用いて調査を実施した（図-3）。



図-2 展開図

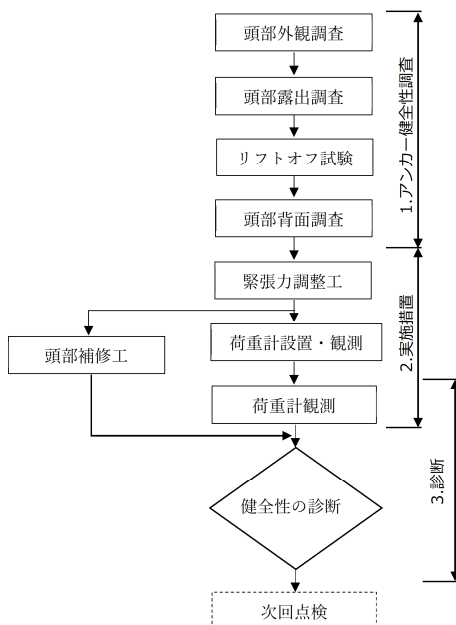


図-3 調査実施フロー

(1) 頭部外観調査

高所作業車を用いてアンカー頭部の近接点検を全箇所で行った。結果は、支圧板-壁体間から湧水のにじみ出し・防錆油の漏出・支圧板の発錆が多く見られ、72箇所中41箇所が要詳細調査と判定した（図-4）。

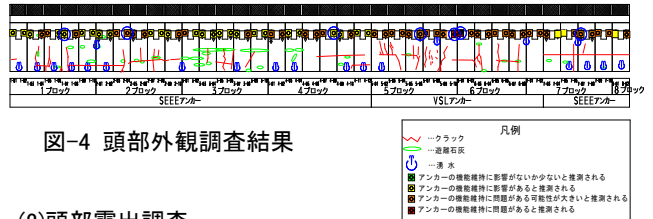


図-4 頭部外観調査結果

(2) 頭部露出調査

頭部外観調査結果から抽出した8箇所（SEEE：5箇所、VSL：3箇所）で頭部露出調査を実施した（表-1）。結果、8箇所中7箇所防錆油の劣化、全箇所ともに鋼部材に発錆が見られたためリフトオフ試験による残存緊張力の把握が必要と判定した。

表-1 頭部露出調査結果

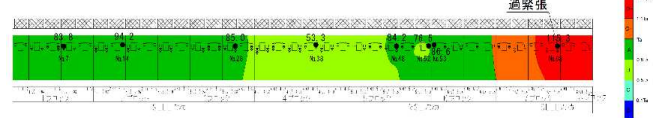
アンカー 番号	状態				劣化・変状				サビ				その他			
	変形	1	2	3	4	変形	劣化	変形	劣化	変形	劣化	変形	劣化	変形	劣化	変形
No.7	4	0	0	2	1	1	3	1	-	1	3	1	3	1	1	3
No.14	4	0	1	2	0	1	3	1	-	1	3	1	3	1	1	3
No.20	4	0	0	2	1	1	3	1	-	1	3	1	3	1	1	3
No.30	4	1	1	1	0	1	1	1	-	1	1	1	2	1	1	2
No.40	4	0	2	1	0	1	3	1	1	-	3	1	2	1	1	2
No.52	4	0	2	1	0	1	3	1	1	-	3	1	2	1	1	2
No.53	4	1	2	0	0	1	2	1	1	-	2	1	1	1	1	2
No.68	4	2	1	0	0	1	1	1	-	1	1	1	2	1	1	2

(3) リフトオフ試験

リフトオフ試験は小型軽量（SAAM）ジャッキを用いて露出調査箇所の8箇所で行った。試験は設計アンカー力（Td）が不明なため許容アンカー力（Ta）を基準とした。

試験結果は、残存緊張力は8箇所中7箇所許容アンカー力比：53%～94%とやや低下は見られたものの比較的健全な範囲で推移していたが、1箇所のみ115.3%と過緊張である事が判明し、対策が必要と判定²⁾した（図-5）。

また上向きに施工されたアンカーはリフトオフ時にできた隙間から地下水が排出され、アンカー孔が導水路となりアンカー頭部背面に地下水が湧出している事が判明した（写真-1）。



● リフトオフ試験箇所

図-5 健全度評価分布図



写真-1 リフトオフ時の地下水排出状況

(4) 頭部背面調査

アンカー頭部背面に地下水の湧出が認められたことから、部材の腐食状況を確認するため上向きアンカーの頭部背面調査を実施した。マイクロスコープを用いて背面を観察したが、防錆油の劣化・減少やテンドンの腐食など部材劣化は無いことが判明した。(写真-2)。



写真-2 背面調査状況

3. 実施措置(次年度)

初年度調査結果から施設点検で指摘された漏水跡は、湧水や防錆油の漏出と判明したが、背面調査の結果から部材の劣化はない事が判明した。しかし過緊張アンカーは「要対策」であることから、進行性の確認及び機能回復のための措置を実施した。

(1) 緊張力調整(除荷)工

テンドンや受圧構造物に応力が集中した過緊張状態を緩和し、かつ荷重調整作業が行える許容アンカー力の90%まで除荷を実施した。それにより健全度評価も「要対策」から「健全」とした(図-6)。

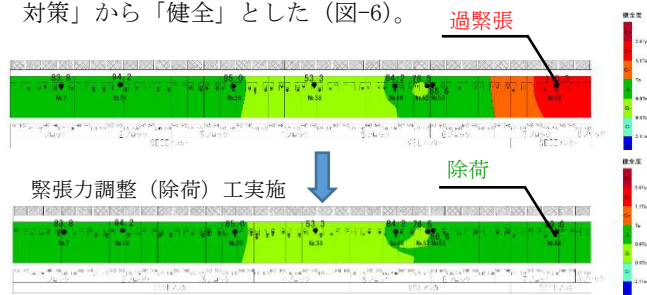


図-6 調整工による健全度再評価

(2) 後付け荷重計(SAAM-L)設置

緊張力の推移を確認するため、除荷したアンカーの頭部に後付けで荷重計を設置して荷重変動の有無を確認した。また荷重計は気温の影響を受けて変動³⁾するため、温度計を併せて設置した。(写真-3)



写真-3 後付け荷重計

(3) 頭部補修工

頭部外観調査・露出調査で確認した防錆油の劣化・減少や防錆油の漏れに対して、機能回復を目的とした防錆油の交換と頭部キャップの交換を実施した。防錆油の交

換は全箇所を実施、キャップの交換は防錆油の漏出が特に顕著であるVSLタイプのみ実施した(写真-4、5)。



写真-4 頭部補修工前



写真-5 頭部補修工後

4. 診断(最終年度)

(1) 荷重計モニタリング結果

令和2年10月～令和4年2月までの17か月間、荷重計の観測を実施した。令和3年8月に時間雨量50mmを観測した際には反応して1時間で約10kN上昇したものの、2時間後には減少し、調整した荷重に落ち着いた。

荷重は出水期から非出水期を通して安定的に推移しており観測期間中に荷重の上昇は確認されなかった。観測最終の令和4年2月時点の荷重は荷重計定着時と比較して98.6%であった。アンカー荷重と温度との相関を示した決定係数： R^2 も平均：0.7と高い相関を示した。(図-7)

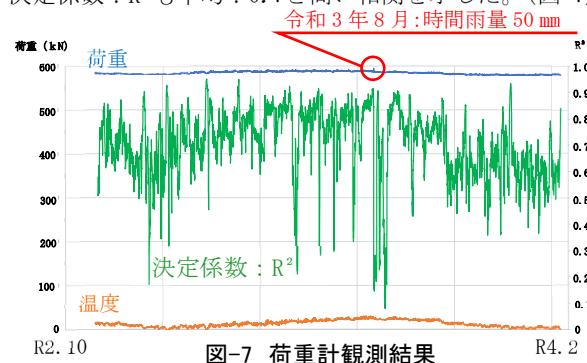


図-7 荷重計観測結果

(2) 健全性の診断

以上の調査結果及び一連の措置により、不安定箇所は解消されたことを施設管理者との協議で確認し、評価を次回点検までⅡ：予防保全段階と再判定した。

5. まとめ

このような大規模な構造物では、機能低下が顕在化してから事後保全では対処が大掛かりになるが、実用化された調査手法を用いることで施設の状態を定量的に評価する事ができた。また過緊張と頭部劣化にも素早く対処し、予防保全型の維持管理に繋げることができたと考える。

最後に、高知県土木部局の施設管理者の御指導に対し、記して謝意を表します。

《引用・参考文献》

- 1) 国土交通省道路局:シェッド、大型カルバート等定期点検要領, 2019.2.
- 2) 土木研究所・日本アンカー協会共著:グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 2008.3.
- 3) アンカーアセットマネジメント研究会:SAAM ジャッキを用いた既設アンカーのり面の面的評価マニュアル(案), 2018.1.