

アンカー荷重計の補修再生技術の開発 —補正係数、接着方法の決定と現場での精度検証—

Development of the Repair and Restoration Technology for Anchor Load Cells
—Determination of the Correction Coefficient and the Bonding Method, and the On-Site Accuracy Verification—

有本行秀 Yukihide ARIMOTO (西日本高速道路エンジニアリング中国(株))
川波敏博 Toshihiro KAWANAMI (西日本高速道路エンジニアリング中国(株))
金子雅博 Masahiro KANEKO (西日本高速道路エンジニアリング中国(株))
山崎 充 Mitsuru YAMAZAKI (中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株))

高速道路では、グラウンドアンカーの緊張力管理としてアンカー荷重計が用いられている。この中で、経年劣化や故障により計測不能となったアンカー荷重計について、アンカー緊張力を保持したままに補修し、計測可能な状態に再生することが本技術である。本技術について、起歪体への新設歪ゲージ取り付け方法や新設歪ゲージに移行する際の補正係数の算出、最適な接着剤としてポリエステル 2 液混合タイプの選定について、室内試験で検証した。また、現場ではスムーズな補修再生作業の確認と、取得した計測データの精度について、リフトオフ試験や精度確認試験を通して検証し、本技術の開発目的である継続的なアンカー緊張力管理が十分に可能であることがわかった。

キーワード：アンカー荷重計、動態観測、緊張力管理

(IGC : C-07)

1. はじめに

日本の高速道路は厳しい条件下である山岳地を通過しており、切土のり面における安定化対策としてグラウンドアンカーが多く採用されている。

グラウンドアンカーは、図-1 で示すように地表部に露出するアンカー頭部と受圧板、地盤中に造成されるアンカー体及びテンドン（引張材）から構成される。アンカー体を不動層に設置し、テンドンに引張荷重（緊張力）をかけた状態でアンカー頭部を定着することにより、移動層の安定を図る工法である。そのため、供用後も施工されたグラウンドアンカーが適切な緊張力を保持しているかを確認する必要があり、緊張力管理により健全度を把握することがのり面の安定性を評価する上で重要である。

グラウンドアンカーの緊張力管理は、全数量の 5% かつ 5 本以上を目安として実施する旨が、西日本高速道路(株) 土工施工管理要領に記載されている¹⁾。残存引張り力のモニタリングは、アンカー荷重計もしくはリフトオフ試験にて実施しており、この緊張力管理はアンカーが効果を発揮している間には行わなければならないことになる。ただし、リフトオフ試験については任意のタイミングで実施できるものの、得られるデータは試験時のみであり、緊張力管理において重要な経時的な傾向を把握することは不可能である。

高速道路では、変状の恐れのあるのり面において、図-2 のように設置したアンカー荷重計を用いて、動態観測を行っている。この中で耐用年数（一般的に 5～10 年程度）²⁾

を超えたアンカー荷重計の交換や、異常降雨、落雷によるアンカー荷重計の故障が多く発生している。原因は、アンカー荷重計内部の起歪体に取り付けられた歪ゲージの故障が大半を占めている。そのため、適切な緊張力管理が出来ていない箇所もあることが現状である。この対策として、アンカー荷重計の取り替えや追加設置もあるが、これには大規模な足場や大型機材、交通規制、一時的な除荷等が必要となり、多大な労力と費用が課題となっている。そこで、経年劣化や故障により計測不能となったアンカー荷重計の補修再生（以下、「本技術」という）に着目した。

本技術は、アンカー荷重計内部の歪ゲージのみを取り替えることにより、一時的にでも除荷をすることなく補修再生を行うことができる。

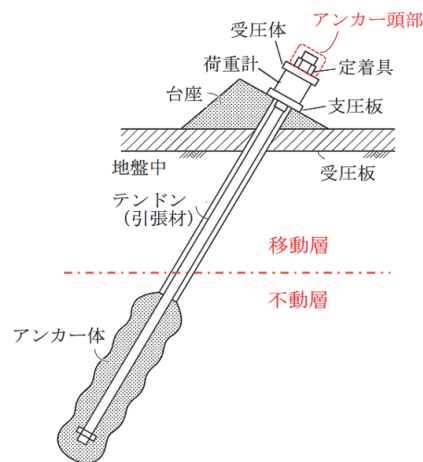


図-1 荷重計を設置したグラウンドアンカーの構造



図-2 歪ゲージ式アンカー荷重計

近年のアンカー荷重計の取り替えや追加設置は、後付けアンカー荷重計（Aki-Mos）によるものが多い。これは、専用の緊張治具を使用して既設アンカーのアンカーヘッド外側にアンカー荷重計を設置し、アンカー緊張力を継続的に計測する技術であり、計測データを遠隔により取得する機能も有している³⁾。しかし、専用の緊張治具によりアンカー荷重計を設置することから、現場作業的に大掛かりなものとなりがちである。ここで、本技術と既存技術とでは技術の本質が異なるが参考として、表-1 に比較表を示す。既存技術では作業条件として、鋼線の余長が 60mm 以上必要⁵⁾であることやヘッドサイズ、足場設置などに制約がある。またアンカーヘッドに合わせたジャッキチェア的设计、製作など準備期間も要する。これに対し、本技術は現地に歪ゲージ式アンカー荷重計が設置されていれば足場等も必要とせず補修再生可能な技術である。

以上のことから、既設アンカーにアンカー荷重計を追加設置する場合は既存技術が非常に有効であるが、既設のアンカー荷重計を補修し、継続的な緊張力管理を行う上では本技術が圧倒的に優位と考える。

このように、既設のアンカー荷重計の継続的で適切な緊張力管理と円滑な交通運用に対するリスク軽減を目指し、本技術の研究開発に至った。

2. アンカー荷重計の補修再生方法

高速道路において主に使用されているアンカー荷重計は、歪ゲージ式であり、荷重計内部には圧縮力により変形する起歪体がある。この起歪体に取り付けられた歪ゲージにより、起歪体の変形量を計測することで、緊張力を管理している。

本技術による補修再生方法は、起歪体に取り付けられた既設歪ゲージを、アンカー緊張力を保持したままで、新規に取り替えることにより、アンカー荷重計の補修再生を行うものである。なお、新規に取り換える歪ゲージは、起歪体全周に掛かる荷重を 4 等配の歪ゲージで平均化させた値を出力するブリッジ回路を構成するものとする。図-3 に補修再生フローを示し、以下に補修再生方法をアンカー荷重計タイプ別に示す。

表-1 本技術と既存技術との比較

項目	本技術	既存技術（後付けアンカー荷重計）
概要	既設のアンカー荷重計の歪ゲージのみ交換	専用治具を用いて既設アンカーに荷重計を取り付け及び交換
作業条件	歪ゲージ式アンカー荷重計であること	鋼線の余長が60mm以上必要 ヘッドサイズに制限あり 足場設置可能
準備	歪ゲージの手配	アンカーヘッドに合わせてのジャッキチェアや荷重計の選定と設計が必要 設計、製作：2カ月程度
足場	不要 高所ロープ作業により可能	必要
施工性	1日3基補修可能	足場設置・撤去：2日 荷重計設置：1日 ※1基当たり
概要図	<p>起歪体が外筒で保護されている荷重計</p>	<p>起歪体が露出している荷重計</p> <p>※Aki-Mosカタログ参照⁴⁾</p>

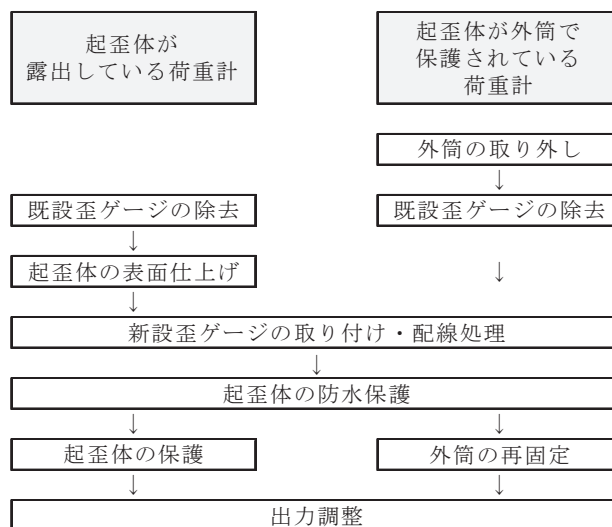


図-3 補修再生フロー図

2.1 起歪体が露出している荷重計の再生方法

(1)アンカー荷重計の構成

本項目の対象となるアンカー荷重計は、図-4(1)のとおり起歪体が露出しており、起歪体内側に既設の歪ゲージが設けられている。外筒を取り外す作業がないことから、比較的容易に補修再生が可能である。なお、既設の歪ゲージは配線処理を行い残置する。

(2)起歪体の表面仕上げ

図-4(2)のとおり起歪体の外周に 4 等配の位置を決め、ベルトサンダー等で表面仕上げ磨きをする。

(3)新設歪ゲージの取り付け

起歪体の外周に残った油を、溶剤を用いて除去した後、表面を紙やすり等で仕上げ、接着剤で図-4(3)のとおり新設歪ゲージを取り付ける。この際使用する接着剤は、長期安定性のあるポリエステル 2 液混合を主成分としたものを使用する。接着剤の性能試験については、「3.2 接着剤性能確認試験」に示す。

(4)起歪体の防水保護

接着剤が硬化した後、図-4(4)のとおり新設歪ゲージを取り付けた起歪体外周に樹脂製の止水テープを多重に巻き付けて防水保護を行う。

(5)起歪体の保護

防水保護を行った起歪体に風雨等の外力から防護する目的で、図-4(5)のとおり板体を湾曲して形成した保護筒を起歪体の外周に沿って配置し、テープで固定する。

(6)出力調整

既設歪ゲージと新設歪ゲージとの出力の整合を図るため、補正係数を用いて出力調整を行う。補正係数の算出方法については、「3.1 新旧歪ゲージの比較と補正係数の算出」に示す。

2.2 起歪体が外筒で保護されている荷重計の再生方法

(1)アンカー荷重計の構成

本項目の対象となるアンカー荷重計は、図-5(1)のとおり起歪体を保護する外筒を有しており、起歪体の外周には既設の歪ゲージが設けられている。

(2)外筒の取り外し

ディスクグラインダーやプラズマ溶断機等により図-5(2)のとおり外筒に軸方向の切り込みを数か所入れ、取り外す。外筒の厚さは2~5mm程度であり、2mm程度であればディスクグラインダー、5mm程度であればプラズマ溶断機を使用すれば切断可能である。ただし、ディスクグラインダーやプラズマ溶断機等で外筒の端部まで切断すると内部の起歪体を傷つける恐れがあるため、端部はタガネ等で慎重に外筒の切断を行う必要がある。なお、荷重が作用している箇所は起歪体であり、外筒には作用していないため、取り外しても緊張力管理上の問題はない。

(3)既設歪ゲージの除去

外筒を取り外すと、図-5(3)のとおり起歪体の外周に取り付けられた既設歪ゲージが露出するので、これを除去する。

(4)新設歪ゲージの取り付け

「2.1(3)」と同様に新設歪ゲージを取り付ける(図-5(4))。

(5)起歪体の防水保護

「2.1(4)」と同様に防水保護を行う(図-5(5))。

(6)外筒の再固定

防水保護を行った起歪体を風雨等の外力から防護する目的で、図-5(6)のとおり(2)で取り外した外筒を再度固定し、その外周も止水テープで多重に巻き付ける。

(7)出力調整

「2.1(6)」と同様に出力調整を行う。

3. 室内試験による歪ゲージ補正係数及び接着剤性能の検証

3.1 新旧歪ゲージの比較と補正係数の算出

NEXCOで主に使用されているアンカー荷重計のメーカーは3社(便宜上、S社、T社、U社とする)である。この3社のアンカー荷重計を前述の方法で補修再生させて

作業工程	模式図	写真
(1) アンカー荷重計の構成		
(2) 起歪体の表面仕上げ		
(3) 新設歪ゲージの取り付け		
(4) 起歪体の防水保護		
(5) 起歪体の保護		

図-4 起歪体が露出している荷重計の再生方法

作業工程	模式図	写真
(1) アンカー荷重計の構成		
(2) 外筒の取り外し		
(3) 既設歪ゲージの除去		
(4) 新設歪ゲージの取り付け		
(5) 起歪体の防水保護		
(6) 外筒の再固定		

図-5 起歪体が外筒で保護されている荷重計の再生方法

表-2 補正係数算出一覧

Case	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
タイプ	露出	露出	保護	保護	保護	保護
測定上限値 (kN)	1,000	500	1,000	500	1,000	1,500
補正係数	2.37	3.02	1.89	2.04	2.02	2.19
直線性 (%)	0.50	0.34	0.17	0.78	0.24	0.24
ヒステリシス (%)	0.31	0.49	0.86	0.25	0.16	0.16
メーカー	S社	T社		U社		

載荷試験を実施し、新旧歪ゲージのひずみ量を比較した。
 載荷試験は、各社のアンカー荷重計の起歪体に新設歪ゲージを取り付け、図-6 のとおり圧縮試験機でアンカー荷重計が有する測定上限値まで載荷し、各歪ゲージのひずみ量を比較する。ここで、既設歪ゲージは、試験用に新規購入したアンカー荷重計に取り付けられていた歪ゲージ（現場使用と同タイプ）であり、新設歪ゲージとは、同アンカー荷重計に本技術を用いて取り付けられた歪ゲージである。

試験 Case は表-2 に示す 6 つである。

次に測定範囲の上限値載荷時のひずみ量から無載荷時 (0kN) のひずみ量を差し引き、各歪ゲージの定格出力値を算出する。この定格出力値において、既設歪ゲージの定格出力値を新設歪ゲージの定格出力値で除して補正係数を算出する。この補正係数を、既設歪ゲージの校正係数に乗じて運用する。

次に、既設歪ゲージと新設歪ゲージの荷重データの信頼性を判断する上で、直線性とヒステリシスを用いて検証した。直線性とは、負荷増加時における校正曲線の基点と定格負荷点とを結ぶ直線からの最大の離れで、定格出力に対するパーセンテージで示すものである⁶⁾。ヒステリシスとは、負荷増加時と負荷減少時との差の最大値であり、定格出力に対するパーセンテージで示すものである⁶⁾。

試験結果を表-2 にまとめ、各 Case の荷重-ひずみ量グラフを図-7～図-9 に示す。図の表現方法としては、荷重増加時は実線で示しており、荷重減少時はマーカーで示している。なお、既設歪ゲージと新設歪ゲージで定格出力に差があるが、これはブリッジ回路の出力倍率（既設歪ゲージ：2 倍、新設歪ゲージ：1 倍）が異なることが主な原因である。この理由としては、歪ゲージの枚数が異なるからで、これは新設歪ゲージ取り付けの現場作業を考慮した最小手順で最大の効果を出すための配置である。

Case 1 については、測定上限値が 1,000kN で起歪体が露出しているアンカー荷重計を使用した。S 社製のアンカー荷重計は、起歪体が露出しているものと保護されたものと様々なタイプがあり、歪ゲージを取り付ける位置がタイプにより大きく異なるため、補正係数は異なると思われる。そのため補修再生の都度、同タイプのアンカー荷重計で載荷試験を実施し、補正係数を算出するものとする。

Case 2, Case 3 については、測定上限値が 500kN と 1,000kN で、起歪体露出の有無に伴い、アンカー荷重計に取



図-6 各歪ゲージ比較 載荷試験状況

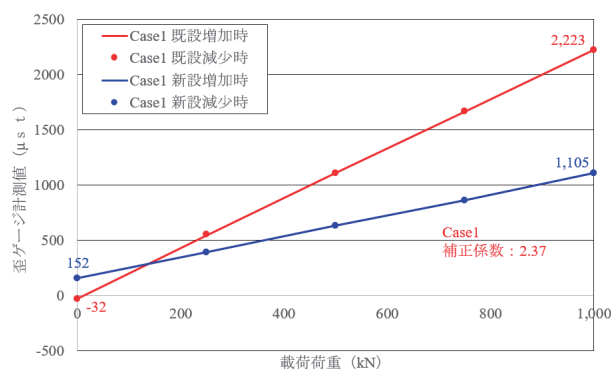


図-7 荷重-ひずみ量グラフ (Case1)

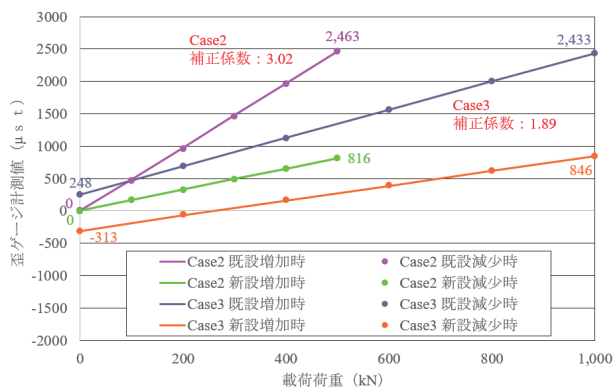


図-8 荷重-ひずみ量グラフ (Case2, Case3)

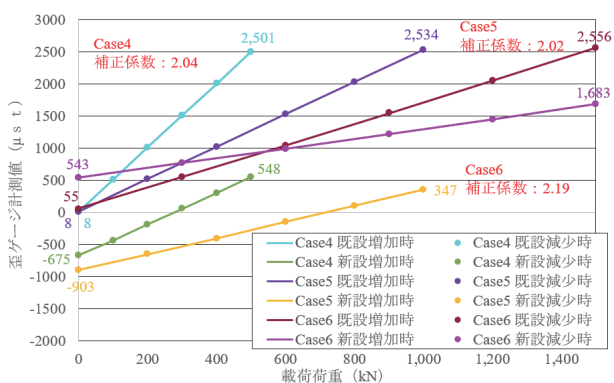


図-9 荷重-ひずみ量グラフ (Case4, Case5, Case6)

表-3 性能確認試験に用いた接着剤一覧

Case	主成分	硬化温度	硬化時間
Case11	フェノール1液	150~200℃	2時間
Case12	ポリエステル2液混合	常温	15分
Case13	エポキシ	常温	24時間

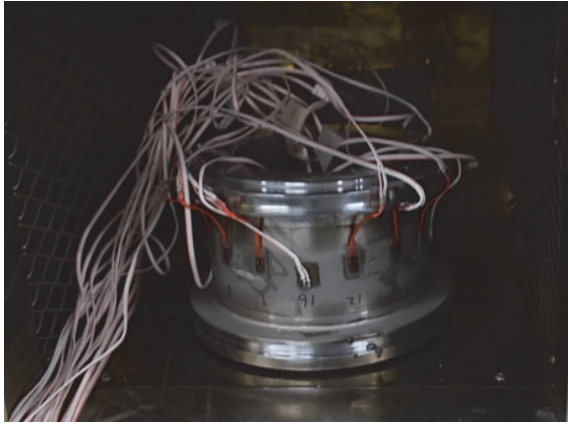


図-10 接着剤性能確認試験に用いた試験体

り付けてある歪ゲージの位置が異なることから，補正係数にも差が出ているものと考えられる。

Case 4~Case 6については，いずれのタイプも同様の形状であり，既設の歪ゲージの取り付け位置も同様であることから，補正係数も近い値であると考えられる。

また，直線性とヒステリシスは，いずれの Case も測定範囲の1%未満であることから，信頼性の高いデータであると言える。なお，1%未満という値は，機器メーカーが製品出荷時の試験に用いる基準値である。

3.2 接着剤性能確認試験

本技術では，アンカー荷重計の起歪体に新設の歪ゲージを貼り替える作業が主体であり，アンカー荷重計の耐用年数に影響を与える接着剤の密着性，耐久性，施工性は非常に重要である。そのため，各種接着剤の経年変化に対する性能試験を行い，本技術に最も適した接着剤を選定した。なお，接着剤の選定にあたっては，表-3に示す Case11はアンカー荷重計がメーカーで製造される際に使用されているものであり，Case12とCase13は本技術に適していると考えているものである。

試験方法は，図-10のとおりアンカー荷重計の試験体に，表-3に示す Case11~Case13の3種類の接着剤にて歪ゲージを4枚ずつ貼り付け，接着剤の硬化後，加温状態で5年経過相当まで静置する。通常の使用環境下で測定すると数年の期間が必要となり現実的に不可能であることから，高温で加速劣化試験を行う。加温状態は，表-4に示す「アレニウスの式による経過相当期間」を参考とし，図-11のとおり恒温槽で60℃に加温した。「アレニウスの式」とは，温度依存による化学反応（活性化エネルギー）の速度を予測する式であり，熱や水分により劣化する接着剤等の有機材料における加速試験としては最も一般的に用いられている⁸⁾。

表-4 アレニウスの式（10℃2倍則）による経過相当期間

項目	温度(℃)	試験期間	経過相当期間
基準温度	20	実時間	45日
10℃2倍	30	2倍経過	90日
	40	4倍経過	180日
	50	8倍経過	360日
	60	16倍経過	720日
試験期間:127日 × 試験温度:60℃(16倍) = 2,032日相当(5.5年相当)			

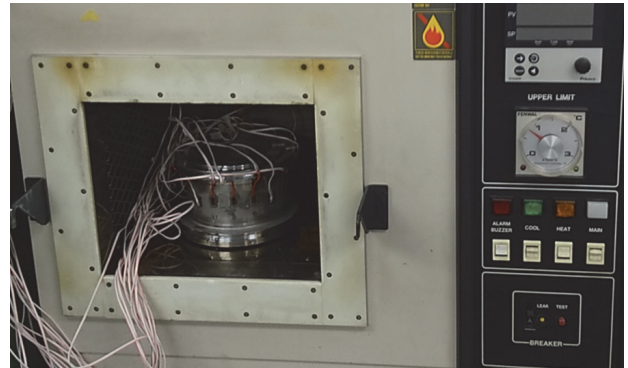


図-11 試験体の加温状況

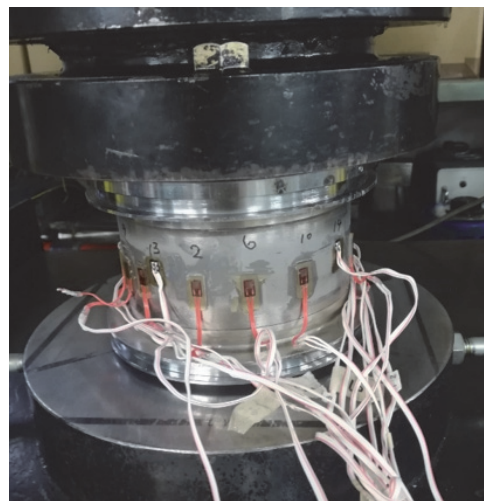


図-12 圧縮試験機による荷重状況

表-5 加温開始時と各経過相当時の出力値との差

経過相当期間	加温開始時と経過相当時の出力値 (μst)					
	Case11		Case12		Case13	
加温開始時	180	差	130	差	-10	差
1年	175	-5	146	16	-62	-52
3年	177	-3	158	28	-65	-55
5年	187	7	181	51	49	59

表-6 圧縮試験機による荷重前後のひずみ量の差

経過相当期間	荷重荷重 (kN)	荷重試験状況	圧縮試験による荷重前と荷重後の差 (μst)		
			Case11	Case12	Case13
1年	0	試験前	0	0	0
	1,600	試験中	-1,361	-1,275	-1,301
	0	試験後	-2	-1	-2
3年	0	試験前	0	0	0
	1,600	試験中	-1,360	-1,275	-1,284
	0	試験後	-4	-4	-3
5年	0	試験前	0	0	0
	1,600	試験中	-1,358	-1,303	-1,317
	0	試験後	-2	0	-1

※1ゲージ3ワイヤー測定：圧縮でマイナス出力

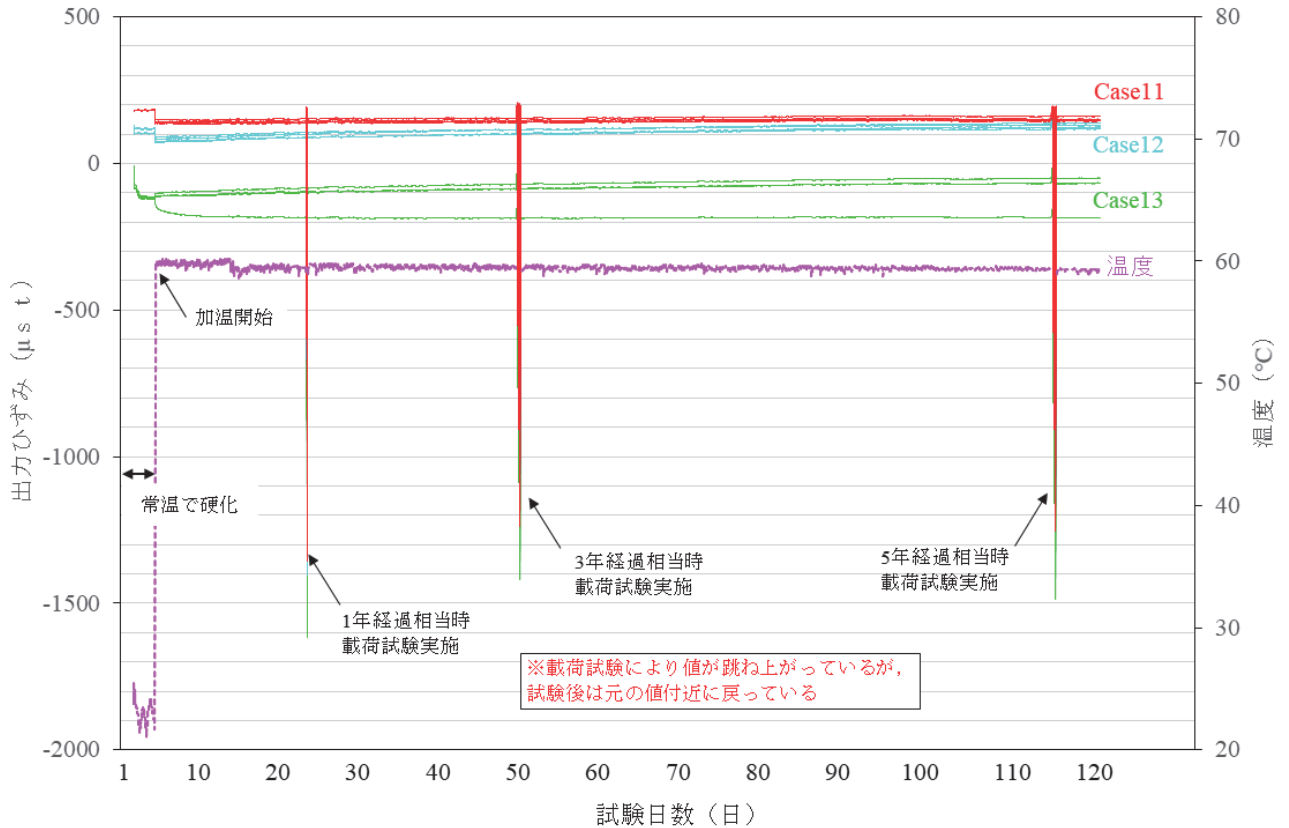


図-13 接着剤性能確認試験による計測データグラフ (Case11~Case13)

試験中の確認として、図-12 のとおり 1 年、3 年、5 年経過相当時に圧縮試験機で試験体に載荷し、貼り付けた歪ゲージから計測される変位量を比較確認する。

評価方法は、静置時の計測データが安定し異常な値がないこと、載荷前と載荷後の値に差異がないこと（接着層が痛んでいるほど差異が出てくるため）等を比較評価する。

試験結果として、試験体に貼り付けた歪ゲージの 5 年経過相当期間の計測データを図-13 に示す。試験体に各種接着剤で歪ゲージを貼り付け、加温を開始した直後に Case 11, Case 12 の全歪ゲージと Case 13 の 4 枚の歪ゲージのうちの 1 つに、熱出力による計測データの変位はあったが、その後は安定した計測データが確認された。また、1 年、3 年、5 年経過相当時に圧縮試験機にて載荷を行い、載荷前と載荷後で大きな差異は確認できなかった。

次に図-13 に示すグラフを数値的に評価する目的で表-5 と表-6 に結果を示す。

表-5 では図-13 に示すグラフの長期間における計測の中でデータが安定し異常な値がないことを確認する目的で、加温開始時と各経過相当時点の出力値とその差を示す。Case 11 では出力値の差が $7\mu\text{st}$ で、最も長期間における安定したデータ計測ができていると判断する。Case 12 では $51\mu\text{st}$ 、Case 13 では $59\mu\text{st}$ であり、いずれも微小な差であることから Case 11 と同等レベルの安定性があると考えられる。なお、Case 11 以外は、加温開始から微小に右肩上がりに計測データが振られているが、これは高温状態による歪ゲージの反応であると判断する。

次に表-6 では今回の試験の重要な目的である圧縮試験

機による載荷試験前と載荷試験後の値を比較した。長期間におけるデータ計測の中では、接着剤の劣化による起歪体と歪ゲージとの密着性が弱くなり、起歪体の微小なひずみ量を捉えられないことがある。これを確認する目的で各経過相当時点において、圧縮試験機による載荷試験を実施し、試験前後で発生するひずみ量の差を確認したものである。

この結果、いずれの Case も載荷試験前 (0kN) から 1,600kN の載荷試験中、載荷試験後 (0kN) の各値に大きな差異はないことから、これら 3 種類の接着剤は、5 年程度の密着性と耐久性があると判断する。

さらに現場での作業性としては、今回の試験結果より、本技術に使用する接着剤を以下のとおり選定する。

Case 11 は 150°C 以上で 2 時間の硬化時間が必要であること、Case 12 は硬化時間が常温で 15 分程度であること、Case 13 は硬化時間に 24 時間を要することなどが挙げられる。

以上のことから、本技術に使用する接着剤は、Case 12 のポリエステル 2 液混合が最適であると判断した。

4. 現場での補修再生と継続的な計測確認

現場での再生と検証を行った 9 箇所の切土のり面では、約 140 基のアンカー荷重計による緊張力の自動観測を行っている。自動観測機器には、当初の配置設計で落雷対策として避雷器を適切な位置に配置している。しかし、H31 年度は観測のり面周辺で複数の落雷が連続して発生し、全



図-14 ロープ高所作業による再生状況



図-15 リフトオフ試験による検証状況

体の10%に当たる14基(3箇所の切土のり面)のアンカー荷重計が故障した。

そこでこれらのアンカー荷重計を、本技術を用いて補修再生し、継続的な緊張力の計測が可能であるかの検証を行った。なお、補修再生する際に使用する補正係数は、室内試験により算出した表-2のものを使用した。また本技術は非常に簡易な作業であり、工具や材料の落下対策を適切に行った上で図-14のとおり斜面部においてもロープ高所作業で行えることが確認できた。

4.1 起歪体が露出している荷重計の現場再生

起歪体が露出している荷重計では、3地点で補修再生を行った。対象は表-2に示すCase1の荷重計であった。また、実際の残存引張り力の確認と本技術の検証を行う目的で、本技術による補修再生後に、図-15で示すとおりリフトオフ試験を行った。ただし、この試験はリフトオフ試験器具の関係上、アンカー荷重計がもつ測定範囲の5%程度での確認である。また、図-16のようにリフトオフ試験では、アンカー tendon の伸び量、アンカー荷重計では起歪体の圧縮量を捉えていて、どちらも同じ荷重に対する変位量である。

図-17~19に既設のアンカー荷重計A, B, Cのリフトオフ試験結果と補修再生したアンカー荷重計A, B, Cの相関を示す。アンカー荷重計Cのみ圧縮荷重によりマイ

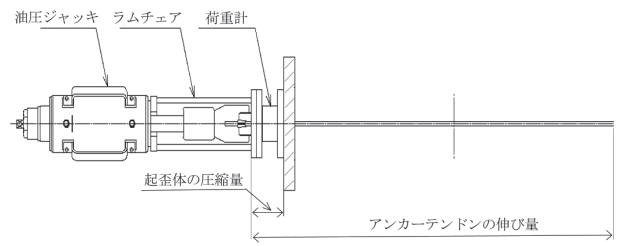


図-16 リフトオフ試験により得られる変位量

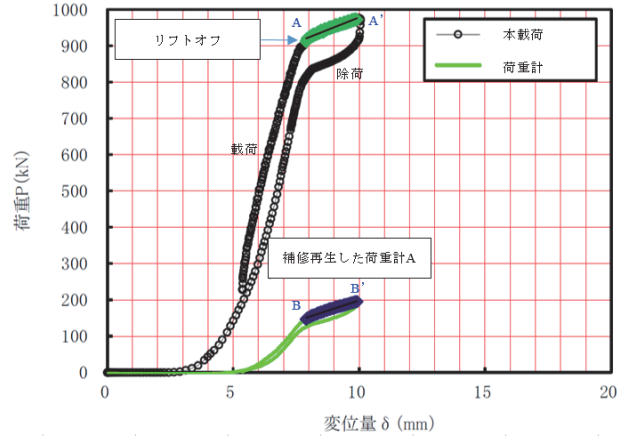


図-17 リフトオフ試験と荷重計Aの相関グラフ

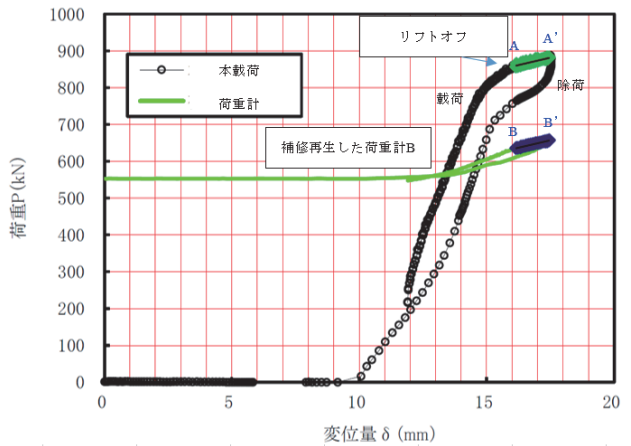


図-18 リフトオフ試験と荷重計Bの相関グラフ

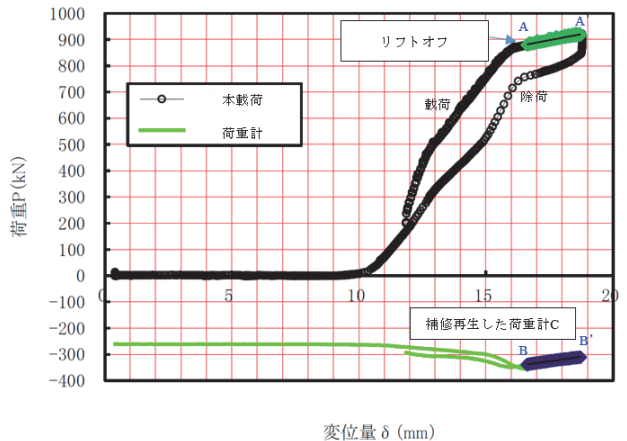


図-19 リフトオフ試験と荷重計Cの相関グラフ

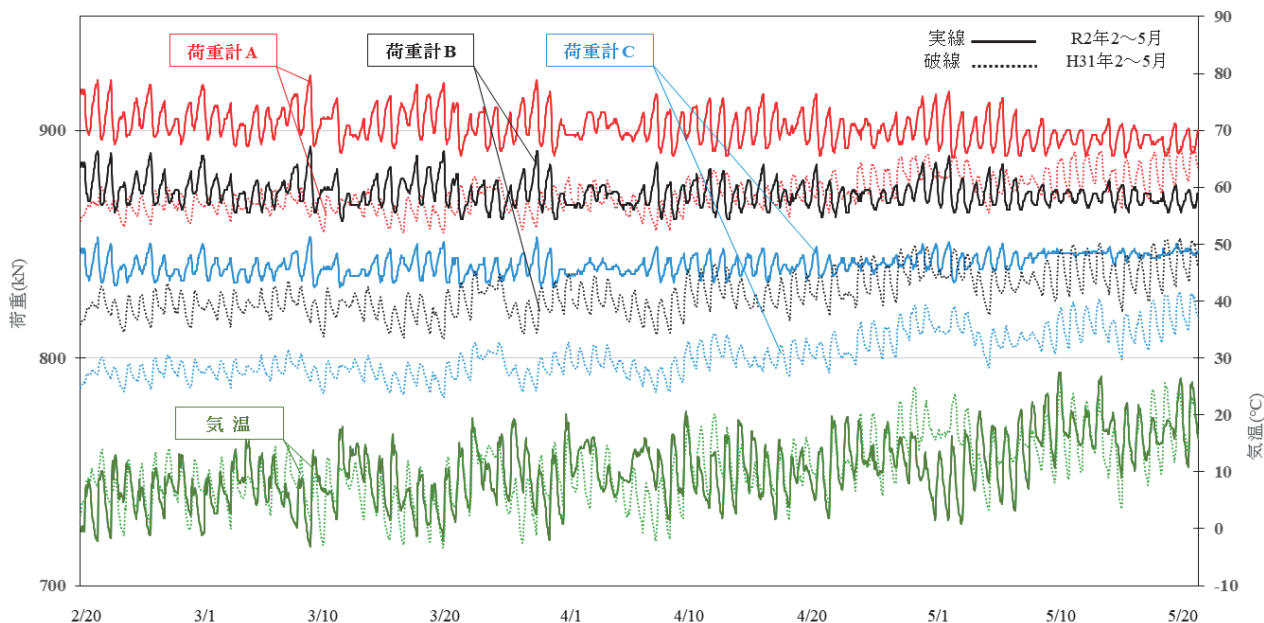


図-20 荷重計 A, B, C における補修再生前後比較 (計測データグラフ)

ナス傾向になっているが、これはリフトオフするまでの間に荷重計が負担している緊張力が徐々に油圧ジャッキに掛かることで偏心等の影響により起こる現象である。本載荷において、リフトオフ後の荷重増加傾向 (A-A') と補修再生した荷重計から求められるひずみ量の増加傾向 (B-B') は比例関係が認められる。このことから新設歪ゲージによって計測された既設荷重計のひずみ量は正常に作動していることを確認した。しかしリフトオフ試験だけでは限られた測定範囲での確認しかできないため、アンカー荷重計がもつ測定範囲をより広く確認するため、精度確認試験を行う必要があった。精度確認試験については、「5. 本技術における精度確認試験」に示す。

次に、表-7 で示すようにリフトオフ試験結果の残存引張り力と故障前のアンカー荷重計の荷重平均値及び補修再生した後のアンカー荷重計の荷重平均値とを比較した。残存引張り力の算出方法は NEXCO 試験方法⁹⁾ をもとに算出しており、載荷時の荷重-変位曲線において近似直線による 2 本の折れ線の交点の荷重値を残存引張り力としている⁹⁾。残存引張り力と故障前の値ではアンカー荷重計 B, C において劣化が原因と見られる差はあるものの大きな荷重差は出ていない。また、残存引張り力と補修再生後の値を見ても、大きな荷重差はない。

また、今回補修再生したアンカー荷重計 A, B, C の 3 地点において、図-20 で示すように補修再生前 (H31 年 2-5 月) のアンカー荷重計の 3 カ月間計測値と補修再生後 (R2 年 2-5 月) の 3 カ月間計測値を比較した。前年と比較しても安定した計測データ取得の傾向が確認できる。なお、アンカー荷重計 A, B, C においてはリフトオフ試験を実施し残存引張り力を算出したため、自動観測を行っているアンカー荷重計収録装置に補修再生後の初期値として、残存引張り力の値を設定した。

表-7 残存引張り力と故障前及び補修再生後の平均値比較

項目	荷重計A	荷重計B	荷重計C
故障前1週間平均値 (kN)	915.6	821.4	842.4
リフトオフ試験結果との差 (kN)	-1.4	-16.6	-25.6
リフトオフ試験結果 残存引張り力 (kN)	917.0	838.0	868.0
補修再生後1週間平均値 (kN)	917.7	838.3	862.7
リフトオフ試験結果との差 (kN)	0.7	0.3	-5.3

4.2 起歪体が外筒で保護されている荷重計の現場再生

起歪体が外筒で保護されている荷重計でも、3 地点で補修再生を行った。対象は表-2 に示す Case4 の荷重計であった。起歪体が露出しているタイプに比べ、外筒を切断する作業が加わることから、多少時間は要するもののロープ高所作業で可能であった。補修再生したアンカー荷重計 D, E, F の 3 地点において、図-21 で示すように補修再生前 (H31 年 2-5 月) のアンカー荷重計の 3 カ月間の計測値と補修再生後 (R2 年 2-5 月) の 3 カ月間の計測値と気温を比較した。その結果、前年と比較しても安定した計測データ取得の傾向が確認できる。なお、アンカー荷重計 D, E, F においてはリフトオフ試験を実施しなかったため、アンカー荷重計収録装置に補修再生後の初期値として、故障前同時期の 1 週間平均値を設定した。初期値から補修再生後の 1 週間平均値の比較を表-8 に示す。初期値からのデータに差が認められないため、問題なく補修再生ができたものと判断する。

なお、図-20 と図-21 で計測データのバラつきに違いがあるように見受けられるが、それぞれの補修前と補修後の計測データ傾向は同様である。そのため、「起歪体が露出している荷重計」と「起歪体が外筒で保護されている荷重計」のタイプの違いではなく、地山の温度特性など計測現場の違いであると考えられる。

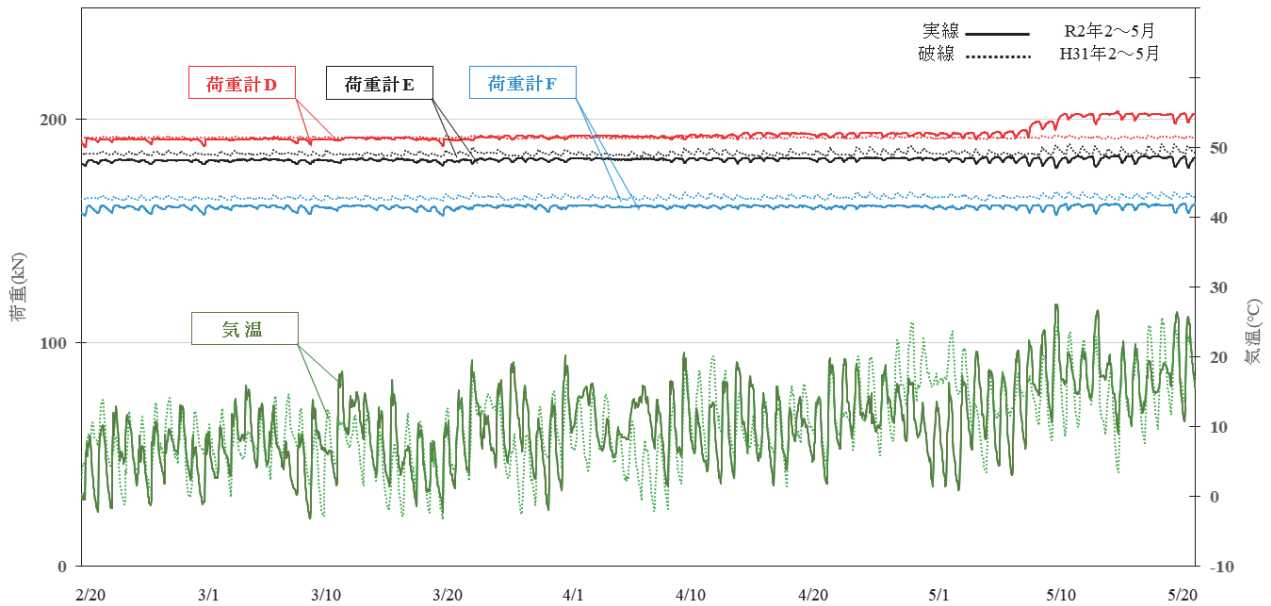


図-21 荷重計 D, E, F における補修再生前後比較 (計測データグラフ)

表-8 初期設定値及び補修再生後の平均値比較

項目	荷重計D	荷重計E	荷重計F
初期設定値 (kN)	189.1	182.7	160.2
故障前同時期1週間平均値から算出			
補修再生後1週間平均値 (kN)	187.6	182.0	160.6
初期値との差 (kN)	1.5	0.7	-0.4

5. 本技術における精度確認試験

本技術において、既設の歪ゲージと新設の歪ゲージとで計測データを比較し精度を確認する目的で、精度確認試験を実施した。

5.1 試験方法

試験概要図を図-22に示す。アバット試験機に750kNの緊張力で設置したアンカー荷重計について、本技術を用いて新設歪ゲージを取り付けた。今回は既設歪ゲージと新設歪ゲージの計測データの比較を行うため、既設歪ゲージの除去は行わない。また、本試験に使用するアンカー荷重計は表-2のCase5の製品とし、反対側(ジャッキ側)に参考荷重計を設置し、計測したデータを参考値として比較した。

載荷荷重(ジャッキ荷重)は750kNから開始し、測定上限値である1,000kNに達した後、500kNまで除荷した。計測データは50kN毎にデータロガーで取得し、既設歪ゲージと新設歪ゲージの計測データを比較した。なお、計測データ比較において、目標性能は $\pm 5\%$ 以内¹⁰⁾とした。試験状況を図-23、図-24に示す。

5.2 試験結果

試験結果を表-9及び図-25に示す。載荷荷重に対して、各荷重計で計測した値に大きな差は認められない。また、新設歪ゲージの計測データと参考荷重計の計測データをそれぞれ既設歪ゲージの計測データで除し、それぞれの差を算出した結果、いずれの計測データも目標性能である $\pm 5\%$ 以内¹⁰⁾に収まっていることが確認できた。これは本技術により補修した新設歪ゲージが既設歪ゲージと同等のデータ計測精度が確認できたものと言える。

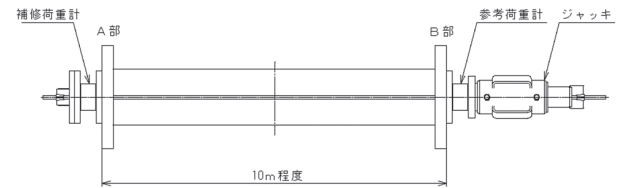


図-22 精度確認試験概要図



図-23 精度確認試験状況 (全景)



図-24 精度確認試験状況 (補修荷重計)

6. 補修再生技術のまとめと課題

今回の室内試験及び現場での実証試験で判明したことを(1)~(6)に、今後の課題を(7)~(9)に示す。

- (1)高速道路で主に使用されている主要メーカー3社のアンカー荷重計において、本技術で補修再生が可能であることがわかった。
- (2)アンカー荷重計の補正係数の算出方法を解明し、タイプ別に算出できた。また、直線性とヒステリシスを算出し、信頼性の高いデータであることを証明できた。
- (3)現場に設置されているアンカー荷重計は、アンカー緊張力が掛った状態であり、この状態でも本技術により補修再生が可能であった。また、補修再生後の継続的なアンカー緊張力の計測が可能であった。
- (4)本技術で使用する接着剤性能確認試験を行い、5年程度の耐久性が確保できることがわかった。
- (5)精度確認試験結果から、本技術により補修再生したアンカー荷重計が高い精度でデータ計測が可能であることを確認できたため、のり面に変状があった場合でも、正しいデータが計測されることがわかった。
- (6)アンカー頭部や起歪体が壊れない限り、本技術にてグラウンドアンカーの緊張力管理は半永久的に可能である。
- (7)現場での実証は、S社製とU社製は行ったが、T社製のものではできていない。室内試験の結果から、補修再生可能であることは確認できているが、現場での作業時間の把握や新たな課題の可能性もあることから、今後現場での実証を行う予定である。
- (8)リフトオフ試験について、S社製は行ったが、T社製とU社製は実施していないことから、今後行う予定である。
- (9)本技術により補修再生したアンカー荷重計の経過は現時点(2020年9月)で、7カ月程度である。今後も計測データを注視し、長期間における安定した計測データ取得を確認したい。

なお、本技術については、特許出願中であり、引き続き実用に向けた研究を続けていきたい。

謝辞

本技術の開発に当たっては、室内試験や現場での実証試験において(株)東横エルメスに、多大なる協力を賜った。ここに、記して感謝の意を表す。

表-9 精度確認試験結果一覧

載荷荷重 (ジャッキ荷重) (kN)	補修荷重計		補修荷重計		参考荷重計(kN)	
	既設歪ゲージ(kN)	新設歪ゲージ(kN)	既設歪ゲージ(kN)	新設歪ゲージ(kN)	γ	γ/α
	α	β	β/α	γ	γ/α	γ/α
750.7	750.7	750.7	100.0%	750.7	100.0%	100.0%
799.9	791.4	791.4	100.0%	789.5	99.8%	99.8%
849.1	838.5	832.1	99.2%	835.1	99.6%	99.6%
900.9	888.8	874.4	98.4%	885.0	99.6%	99.6%
949.6	931.0	911.1	97.9%	928.1	99.7%	99.7%
999.8	974.1	947.8	97.3%	972.5	99.8%	99.8%
950.6	944.6	917.5	97.1%	945.2	100.1%	100.1%
901.4	899.1	875.2	97.3%	900.0	100.1%	100.1%
850.6	852.0	830.5	97.5%	853.7	100.2%	100.2%
793.7	797.8	780.2	97.8%	800.6	100.4%	100.4%
746.5	757.1	742.7	98.1%	761.0	100.5%	100.5%
702.5	715.6	702.8	98.2%	719.8	100.6%	100.6%
641.9	660.5	652.5	98.8%	666.0	100.8%	100.8%
602.5	623.8	616.6	98.8%	628.8	100.8%	100.8%
546.5	571.2	568.0	99.4%	577.7	101.1%	101.1%
497.3	540.8	539.2	99.7%	549.2	101.5%	101.5%
β/α は全て5%以内であることを確認			β/α 平均	98.5%	γ/α 平均	100.3%

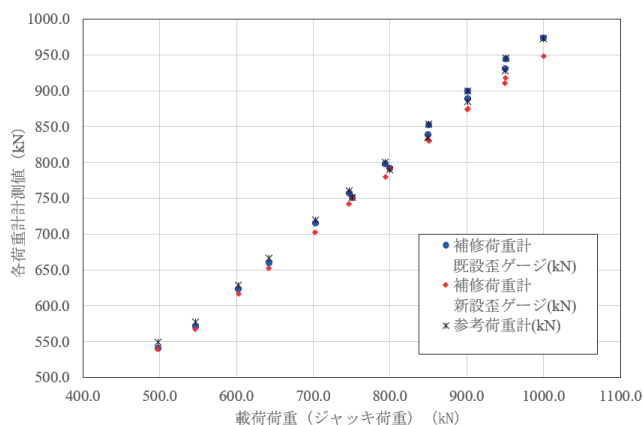


図-25 精度確認試験結果グラフ

参考文献

- 1) 西日本高速道路(株)：土工施工管理要領，pp.3-38~3-39，2020。
- 2) 独立行政法人土木研究所，土砂管理研究グループ，地すべりチーム：既設アンカー緊張力モニタリングシステム運用マニュアル，土木研究所資料第4171号，P.1-8，2009。
- 3) 独立行政法人土木研究所，日特建設(株)，守谷鋼機(株)，ライト工業(株)，(株)共和電業，(株)エスイー，(株)東横エルメス，坂田電機(株)，(株)東京測器研究所：アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発，共同研究報告書整理番号第407号，P.453，2010。
- 4) 既設アンカー緊張力モニタリングシステム研究会：技術資料，カタログ，http://www.aki-mos.com/gijutusiryodownload/Aki-Mos_pamphlet.pdf(閲覧日2020.9.29)。
- 5) 独立行政法人土木研究所，日特建設(株)，守谷鋼機(株)，ライト工業(株)，(株)共和電業，(株)エスイー，(株)東横エルメス，坂田電機(株)，(株)東京測器研究所：アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発，共同研究報告書整理番号第407号，P.47，2010。
- 6) 株式会社東京測器研究所：変換器の用語，<https://tml.jp/knowledge/transducers/term.html>(閲覧日2020.6.5)。

- 7) JFEテクノリサーチ株式会社：ゴム・樹脂素材の耐久寿命予測，<https://www.jfe-tec.co.jp/download/pdf/321J-134-00.pdf> (閲覧日2020.9.29).
- 8) 製品設計知識：アレニウスの式（アレニウスの法則），<https://seihin-sekkei.com/method/arrhenius/>(閲覧日2020.6.5).
- 9) 西日本高速道路（株）：NEXCO 試験方法，第1編土質関係試験方法，グラウンドアンカーのリフトオフ試験方法，pp.103～107，2012.
- 10)独立行政法人土木研究所，日特建設（株），守谷鋼機（株），ライト工業（株），（株）共和電業，（株）エスイー，（株）東横エルメス，坂田電機（株），（株）東京測器研究所：アンカーへの取付け・交換が容易な新型アンカー荷重計の開発に関する共同研究報告書，共同研究報告書第407号，P.166，2010.

(2020年10月11日 受付)

