

アンカー工設置のり面の 健全性評価に関する研究 報告

平成22年9月10日

プロジェクトリーダー
神戸大学名誉教授
沖村 孝

研究体制

- ・研究代表者 : 神戸大学都市安全センター特別研究員
沖村孝(神戸大学名誉教授)
- ・参加大学 : 神戸大学(沖村孝、芥川真一)
- ・近畿地整 : 道路部
姫路河川国道事務所
近畿技術事務所
- ・参加企業 : 西日本高速道路株式会社
日特建設株式会社
ライト工業株式会社
応用地質株式会社
株式会社ダイヤコンサルタント

研究の背景

切土のり面の安定化工法としてアンカー工が多くののり面で採用されてきたが、アンカー工が昭和32年（1957年）に我が国において初めて導入されて以来、50年近くが経過しアンカー工の腐食や、のり面の劣化等の問題が発生しており、アンカー工設置のり面の健全性を評価することが重要な課題となってきた。

特に昭和63年（1988年）11月に制定された土質工学会（地盤工学会）基準「グラウンドアンカー設計・施工基準」（J S F : D 1 - 8 8）において二重防食が義務づけられ、続いてグラウンドアンカーがその目的に応じて適切に使用されるように、平成2年2月に「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」が発刊された。これ以前のアンカー（以後「旧タイプアンカー」と呼ぶ）は、防食を重要視していなかったため、アンカーの腐食・劣化等によりアンカーが破損し、飛び出し現象などが見られ、ひいては交通障害を招くおそれがある状況が発生している。

破断したアンカー

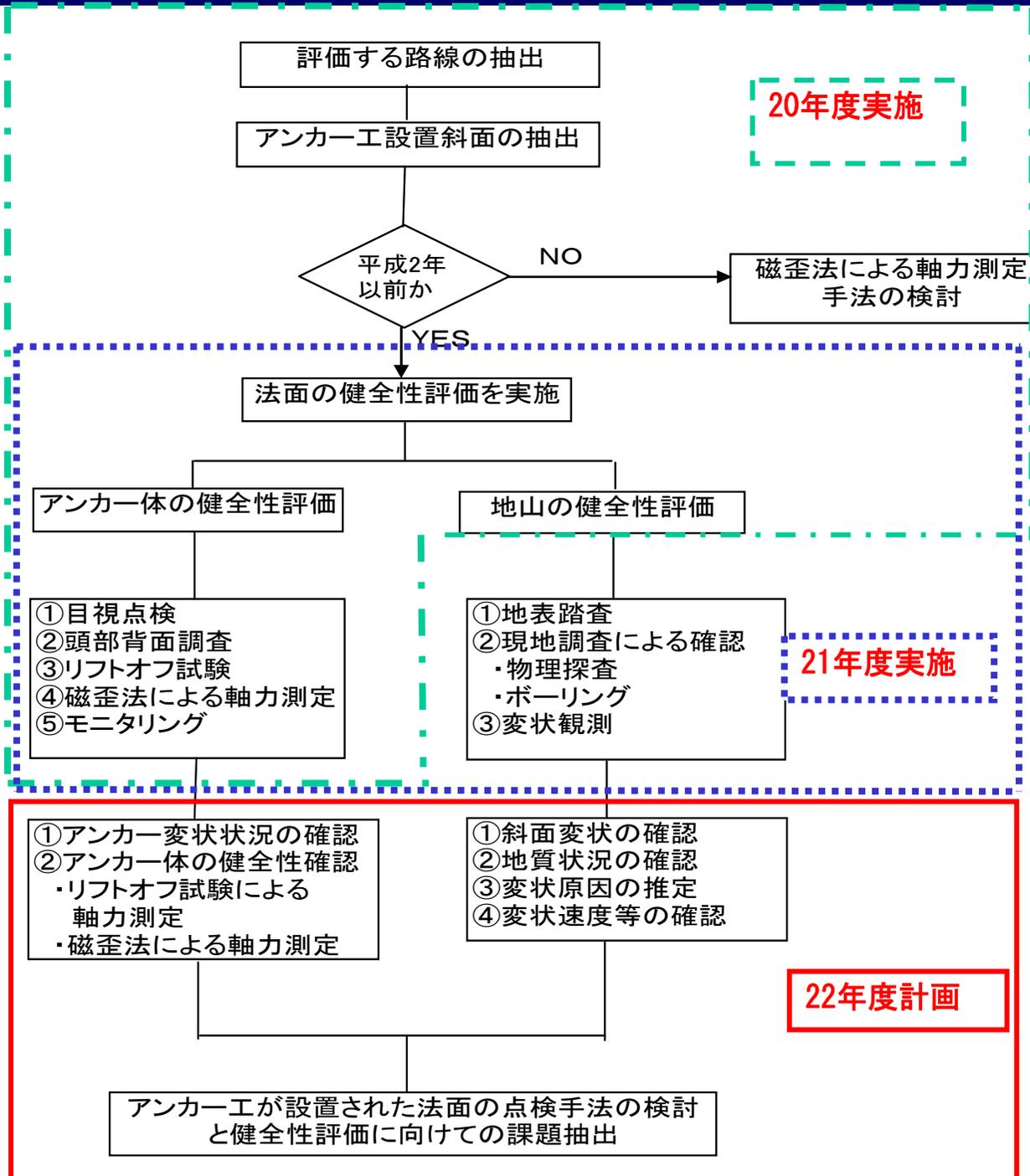
旧タイプ鋼棒アンカーが破損して抜け出している写真である。



研究目的

このような背景から、本研究では、近畿圏におけるアンカー工設置のり面の実態把握や現地調査を実施し、この結果から現状を明らかにするとともに、のり面の変状やアンカー緊張力の簡易なモニタリング手法の開発を進めるとともに実際のモニタリングなどを通じて、アンカー工が設置されているのり面の健全性評価手法確立のための課題を明らかにすることを目的とする。

研究の フローチャート





磁歪センサ

- 非破壊で鉄表面の応力を計測できる。

リフトオフ試験装置



アンカーの軸力推定

- アンカー固定部の応力を計測。
- その応力から間接的に軸力を推定。

調査対象位置図



9号関宮地区

29号シソジカ谷地区

29号原地区

29号 シソジカ谷 地区

「旧タイプアンカー」 * 施工現場

規格	総ネジP C 鋼棒 $\phi 23\text{mm}$ ゲビンデスターブ (ナット定着方式)
	自由長 $L_f=5.0\sim 9.0\text{m}$ 定着長 $L_a=3.0\text{m}$ アンカー長 $L=8.0\sim 12.0\text{m}$
受圧 構造 物	フリーフレーム工法 (現場打ち吹付法 枠工) 型式F300-2.0m \times 2.0m 許容最大設計アンカー力 約80kN

20年度 リフトオフ試験・磁歪法
モニタリング(アンカー)

21年度 地盤調査

モニタリング(地山)

22年度 予定

アンカー引き抜き試験

・モニタリングの継続



調査の経緯

H20年点検でアンカー頭部にゆるみ

H20年度 リフトオフ試験 (一部のアンカーで引き抜
け)

→ 断層破碎帯の影響か？

H21年度調査

→ 地質状況の把握 (特にアンカー定着部)

→ 地山の変状の観測



アンカー頭部のゆるみ

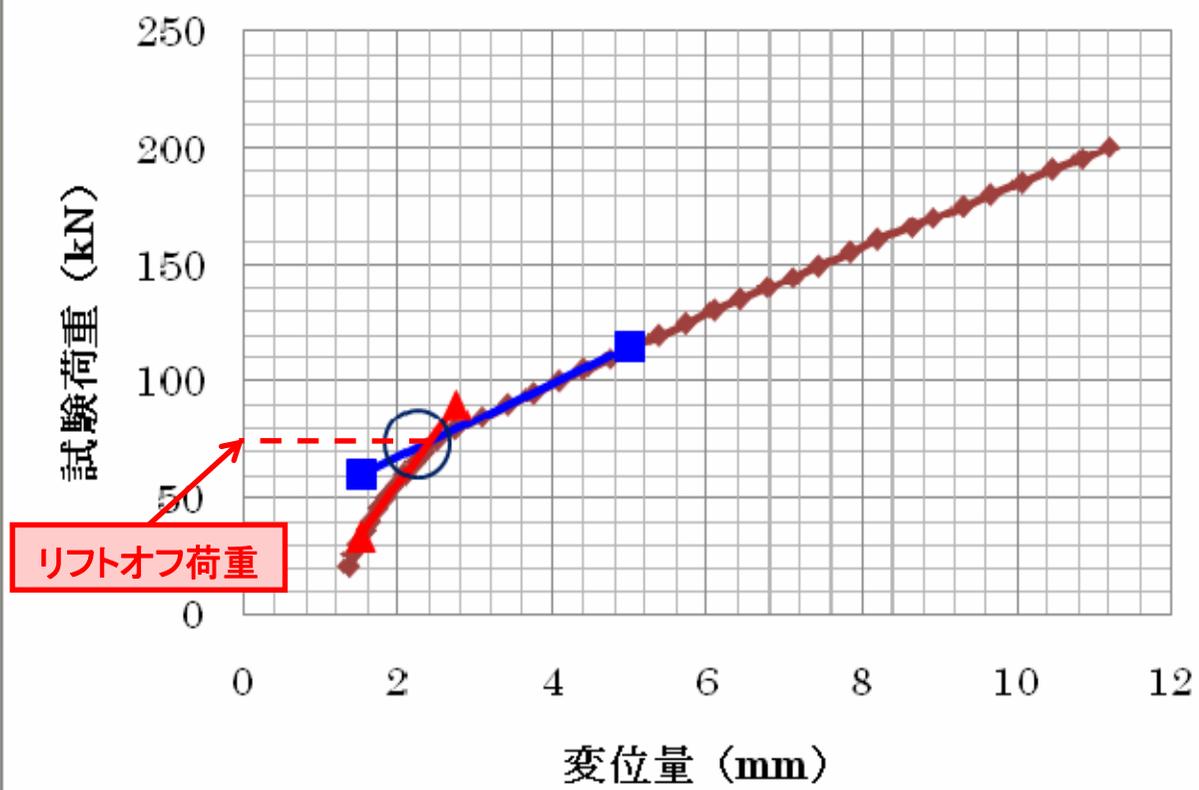


間詰めモルタル除去後

リフトオフ試験



荷重-変位量曲線 (I-8)



- ◆ 測定値
- 近似式1
- ▲ 近似式2

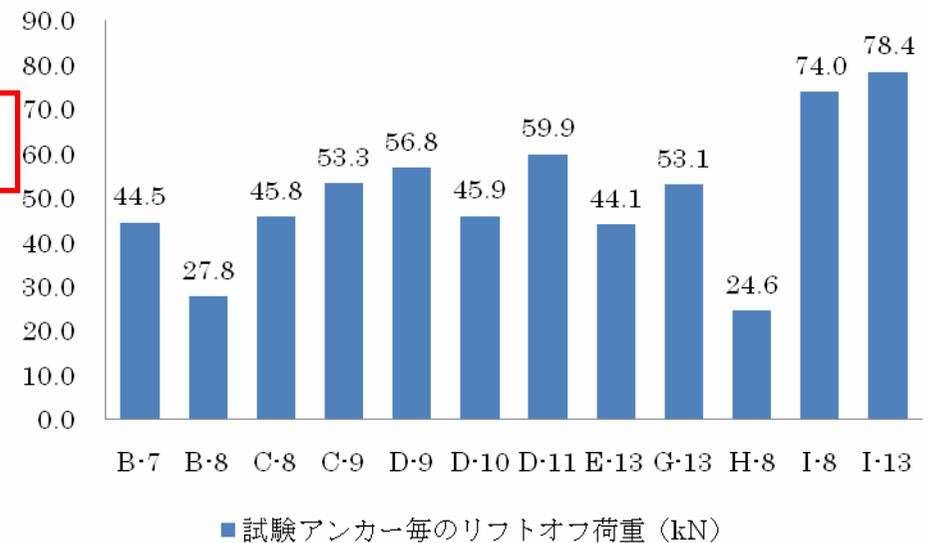
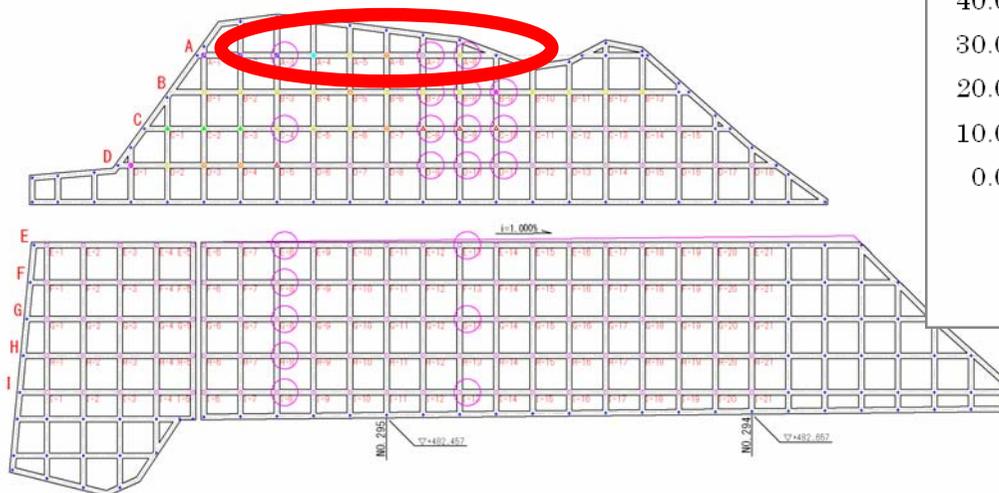
荷重-変位量曲線

リフトオフ試験結果

シソジカ谷地区

- リフトオフ荷重は、約25~80kNとバラツキのある。
- 最下段の列に大きい荷重が集中している。
- リフトオフ試験荷重で25kN程度のアンカー（B-8,H-8）は、全体の平均に比べ荷重が低いことから、荷重が減少した可能性がある。

3本のアンカーの引き抜けを確認



引原断層の位置



日本の活断層 1991年

確実度Ⅱ 活動度C



近畿の活断層 2000年

L(リニアメント)

引原ダムの東側をほぼ南北に走る。
山地の高度不連続、断層鞍部が続く。

現地調査の目的・内容

アンカー定着部の地質確認

→ アンカーが抜けた原因の究明

- ・ 弾性波探査：1 測線 L=100m
 - ・ 断層破碎帯位置の把握
- ・ ボーリング：2箇所
 - ・ 標準貫入試験：N値の把握
 - ・ 孔内水平載荷試験：岩盤の変形特性の把握
 - ・ P S 検層： V_p 、 V_s 速度の把握

現状の法面は安定か？

- ・ 観測
 - ・ 孔内傾斜計：地中の変位
 - ・ 地下水位計：水位変化



現地調査の順序

- ①主測線設定（平面測量・縦断測量）
- ②弾性波探査
- ③調査ボーリングおよび原位置試験
- ④孔内傾斜計および地下水位観測



ボーリングNo1位置

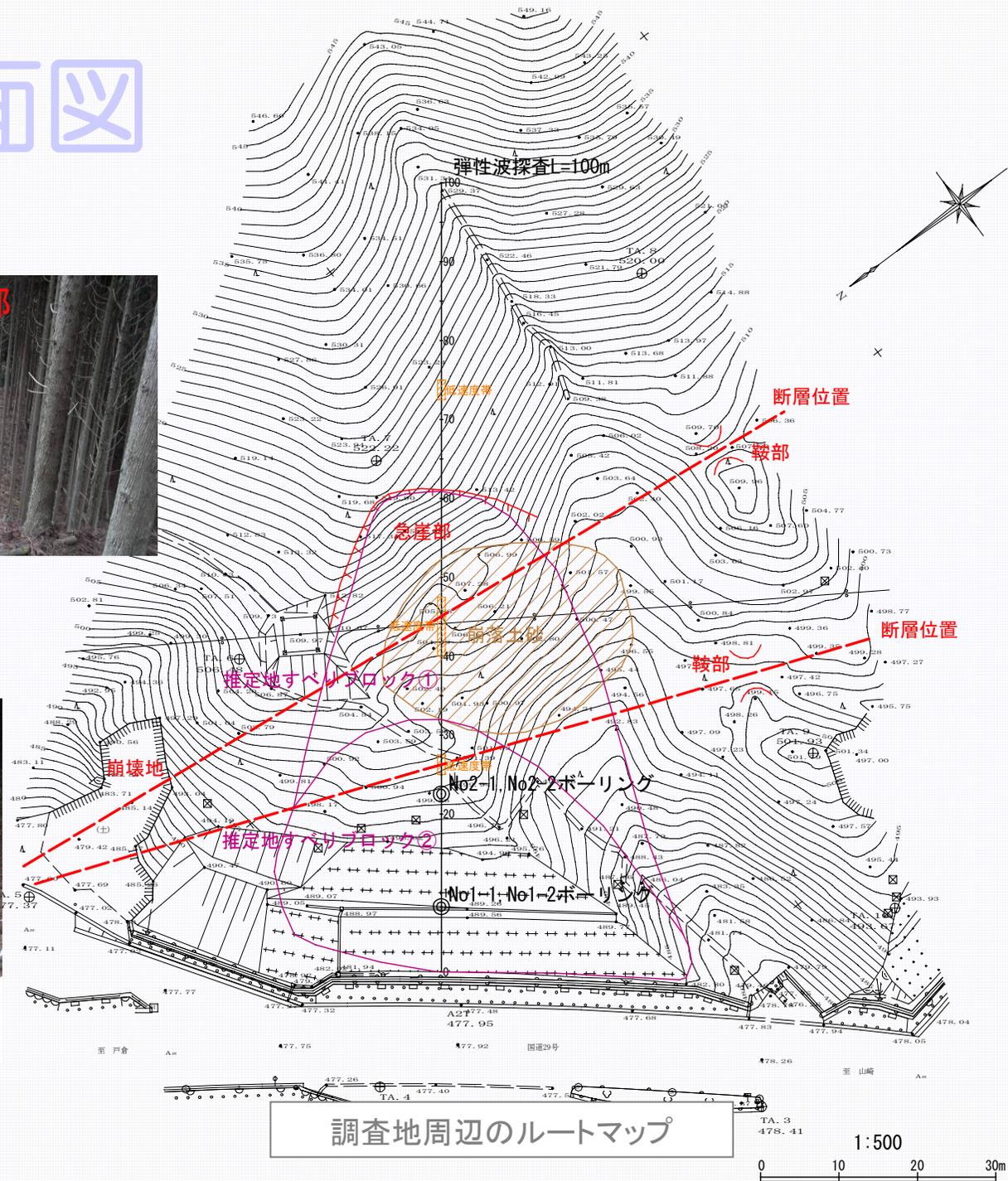


ボーリングNo2孔位置

調査地平面図



尾根の鞍部



調査地周辺のルートマップ

1:500
0 10 20 30m

リフトオフ試験で引き抜けた
アンカー (A-3, 7, 8)

No2位置



No1位置

主測線
弾性波探査測線

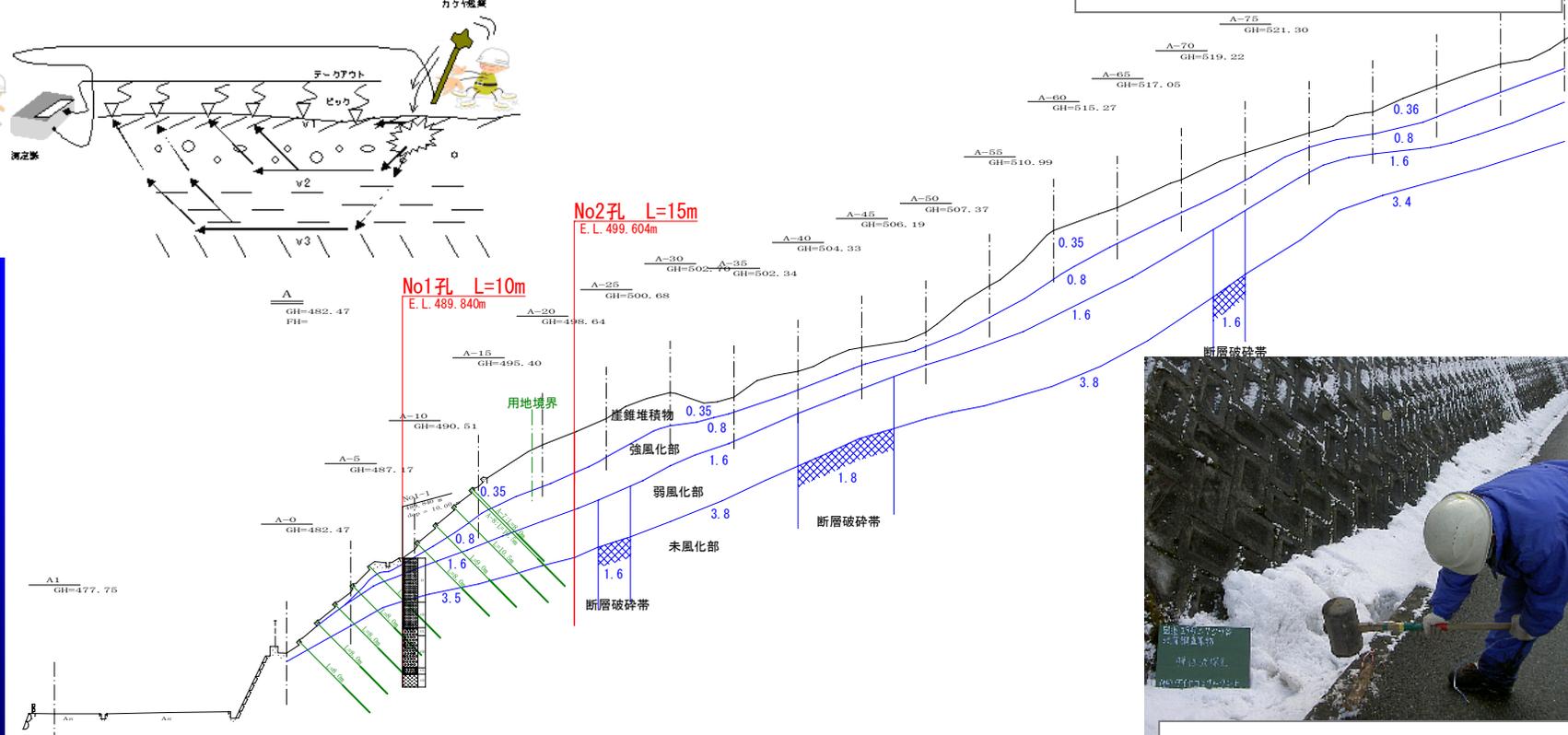
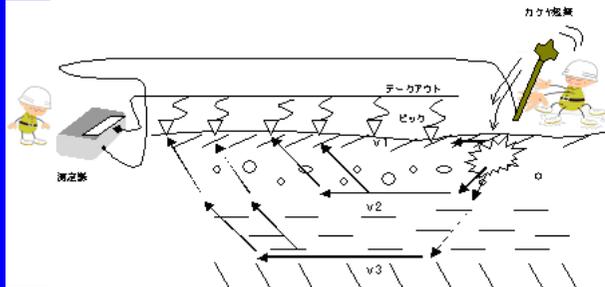
○ : リフトオフ試験実施箇所
○ : モニタリング位置

弾性波探査

速度帯	V _p 速度 (km/sec)	地質
第1速度層	0.35、0.36	崖錐堆積物及び強風化部
第2速度層	0.8	強風化部
第3速度層	1.6	弱風化部
第4速度層	3.4、3.5、3.8	硬質岩盤
低速度帯	1.6、1.8	断層破碎帯



受振器 2.5m間隔に設置



ハンマリングによる起震

調査ボーリング



立会検尺



資材運搬モノレール

ボーリングNo1孔



●地質

頁岩の強風化部、頁岩、礫岩、凝灰岩からなる。

頁岩の強風化部は、土砂状にまで軟化しており、N値は6~18。

それ以深は非常に硬質な岩盤(CM級及びCH級岩盤主体)に急変する。

●地下水位

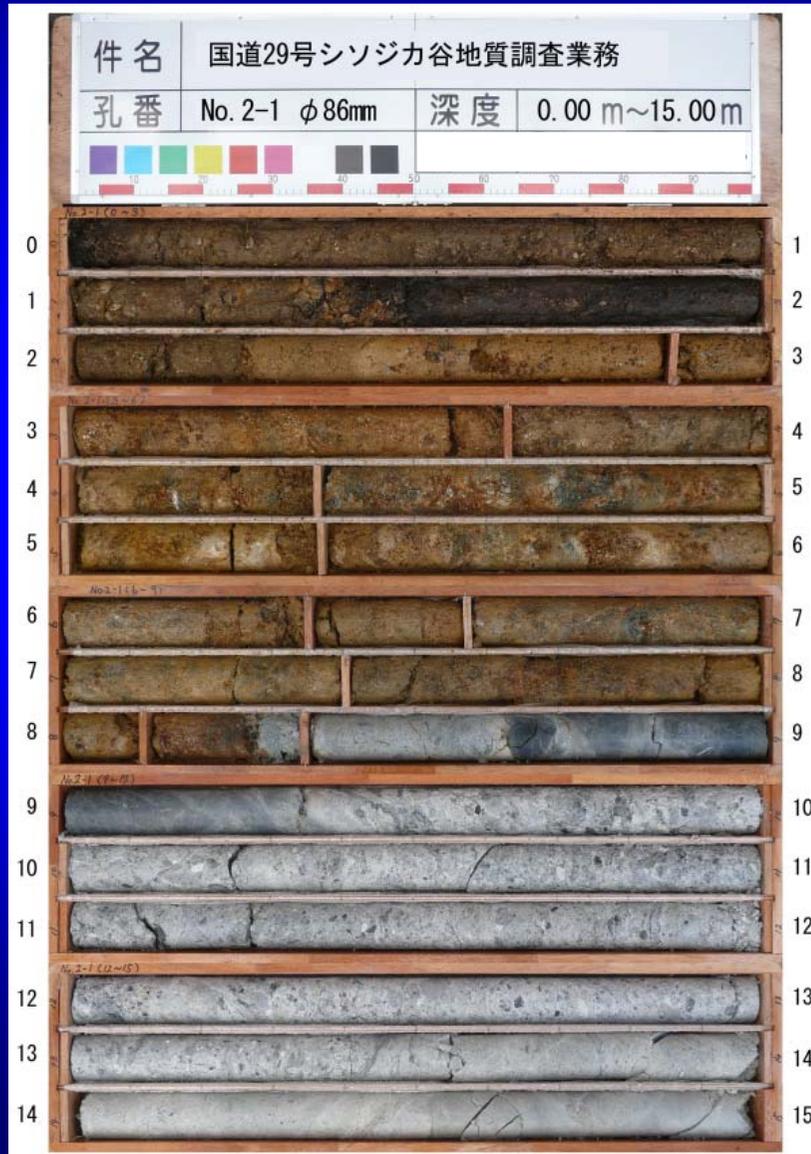
地下水位はGL-1.5m程度。

ボーリング作業中に掘削水の漏水はなかった。

●孔内水平載荷試験の位置について

頁岩の強風化部および岩盤部において合計2箇所を予定。

ボーリングNo2孔



●地質 (No1 孔とほぼ同じ)

頁岩の強風化部、頁岩、礫岩、凝灰岩からなる。

頁岩の強風化部は、土砂状にまで軟化しており、N値は2~17。

それ以深は非常に硬質な岩盤 (CM級及びCH級岩盤主体) に急変する。

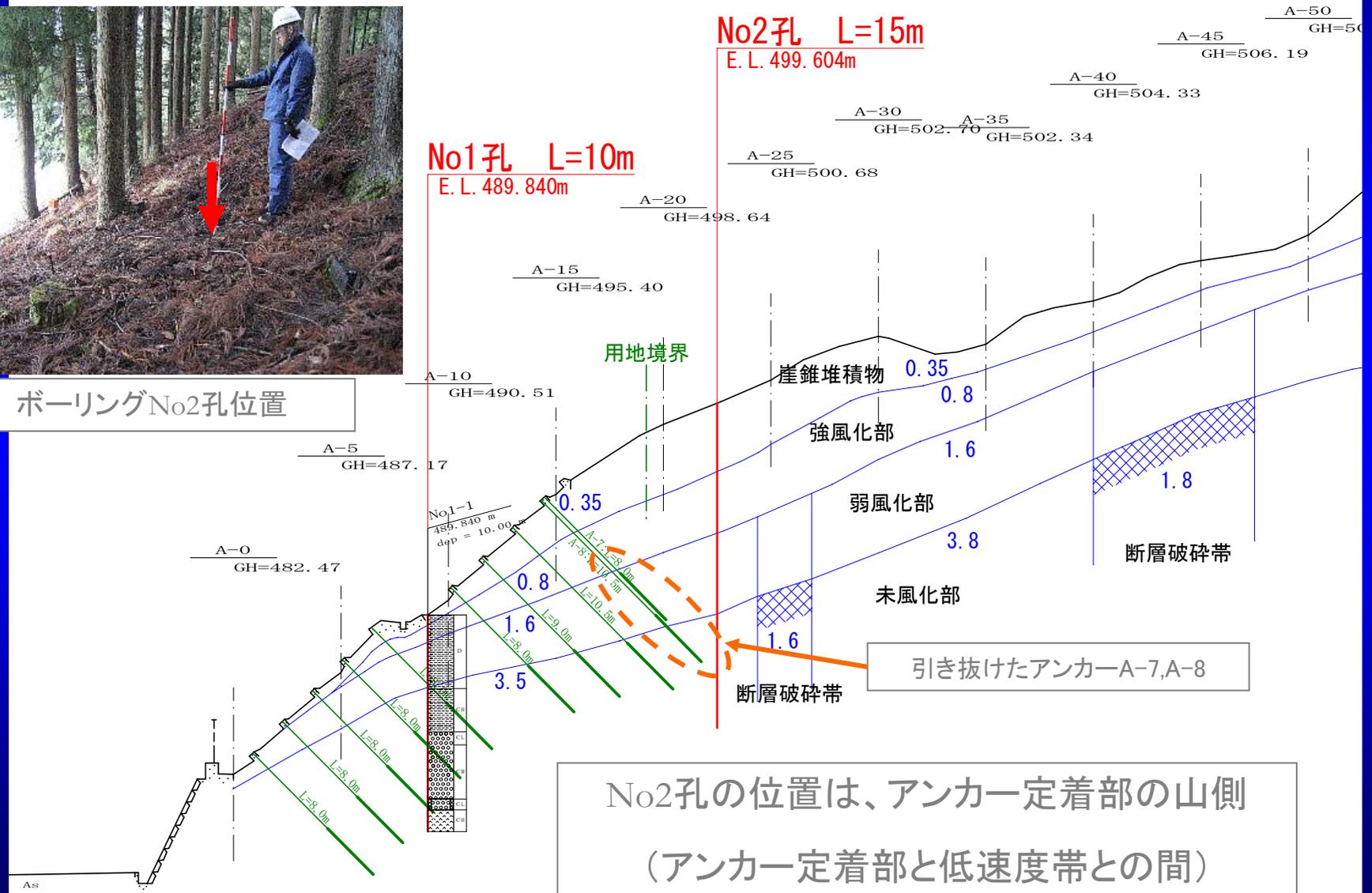
●地下水位

地下水位はGL-5.2~8.5m (強風化岩の下面付近)。降雨の影響で上下する。

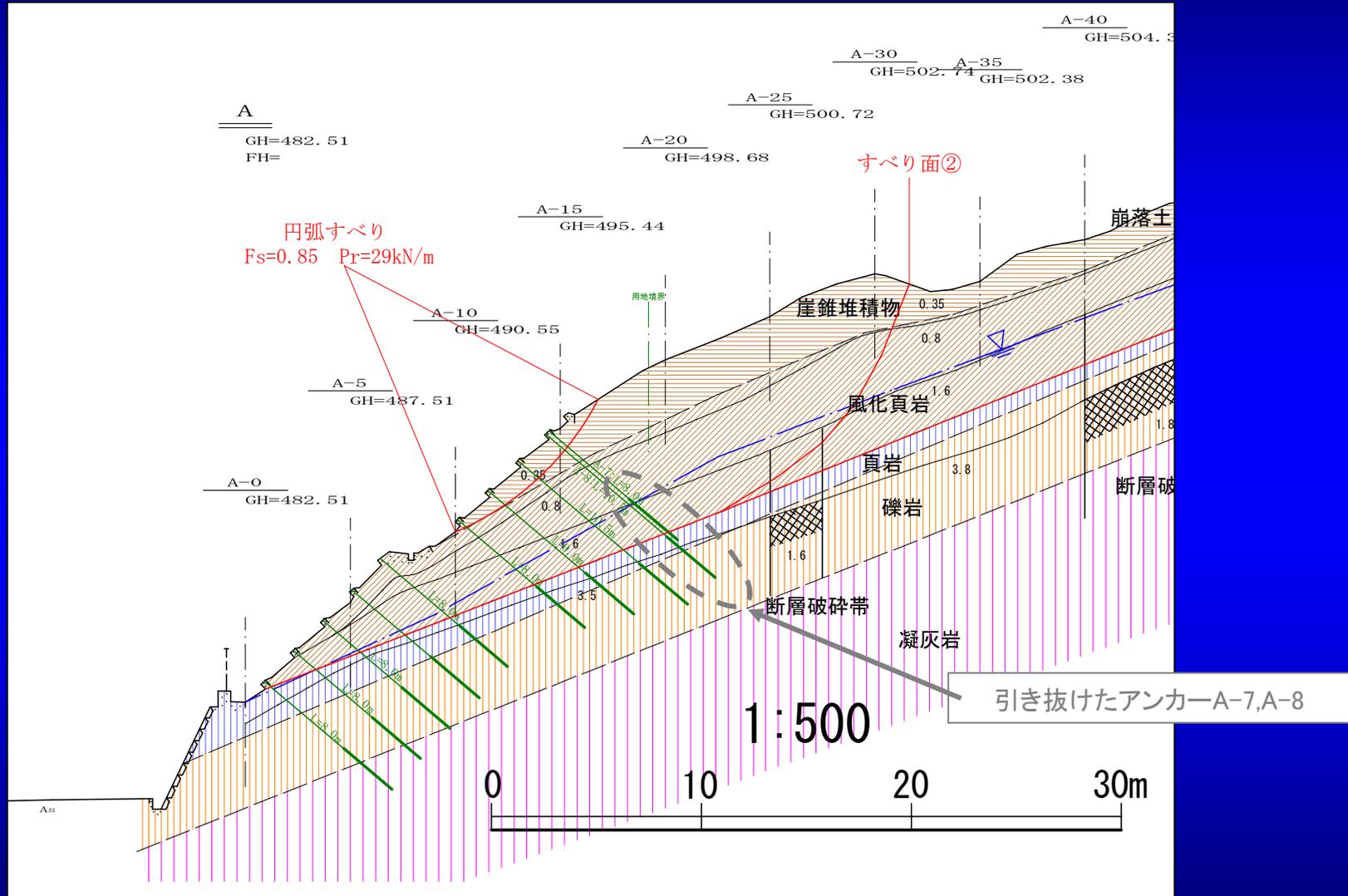
No2孔 ボーリング位置



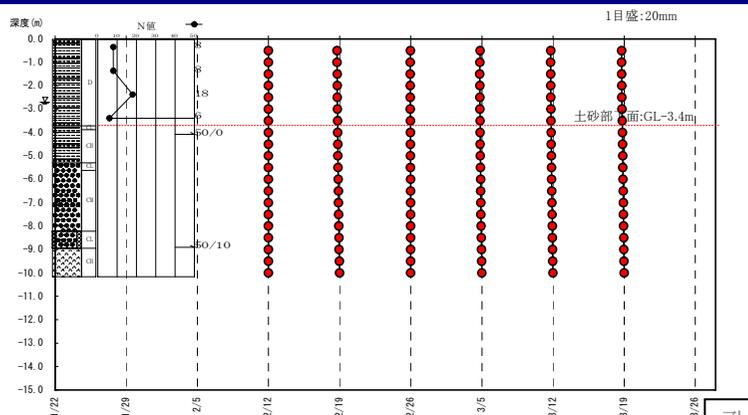
ボーリングNo2孔位置



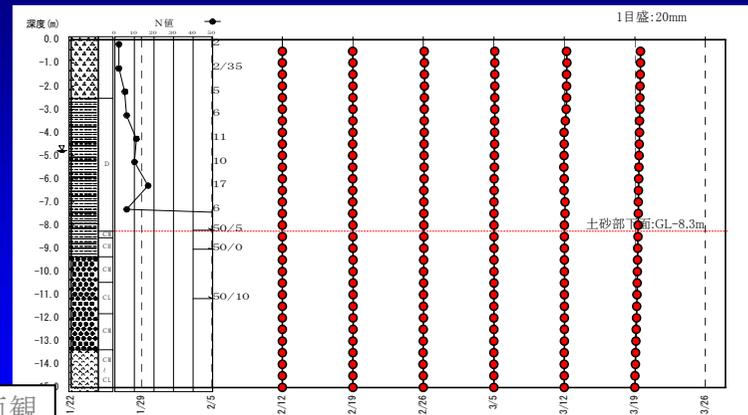
アンカー付近断面図



孔内傾斜計・地下水観測

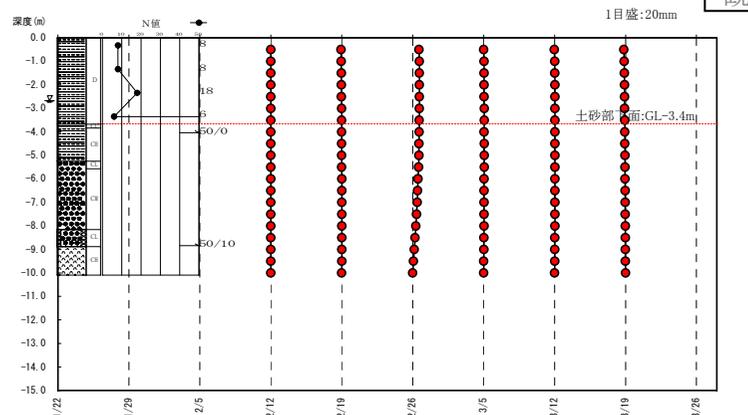


最大傾斜方向観測結果図

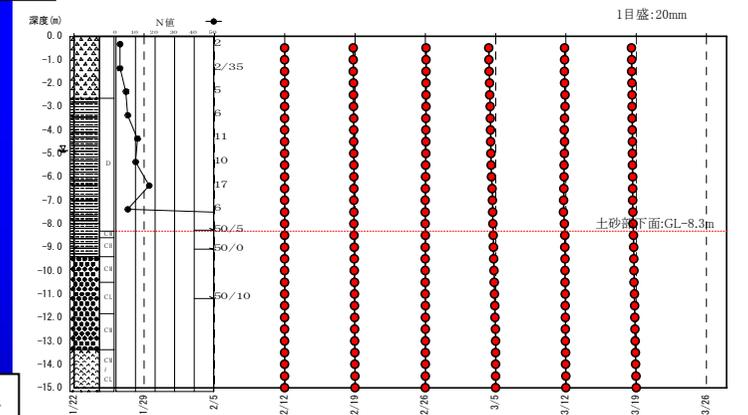


最大傾斜方向観測結果図

孔内傾斜計観測では、両観測孔とも特に有意な変位は観測されていない。

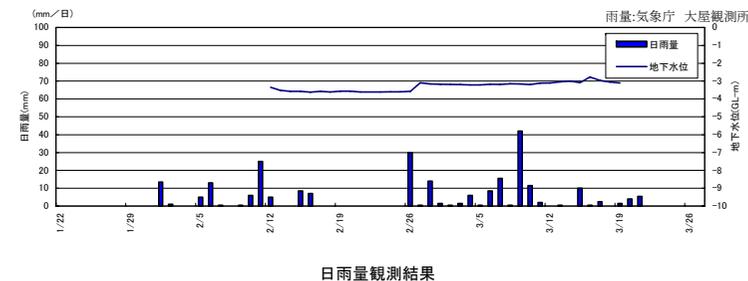


横断方向観測結果図

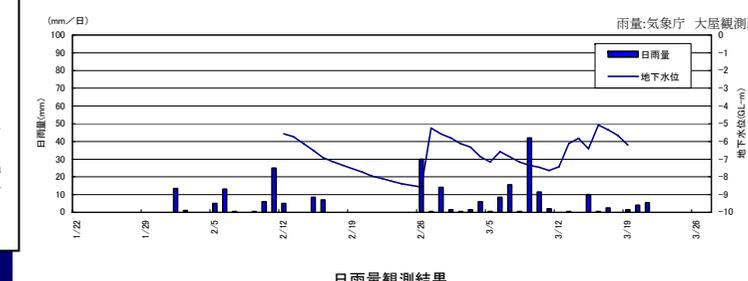


横断方向観測結果図

地下水位はおおむね土砂部と岩盤との境界付近にある。No1-1は降雨による影響は小さいが、No2-1孔は降雨の影響を大きく受け、地下水位が大きく上下する。



日雨量観測結果



日雨量観測結果

安定解析

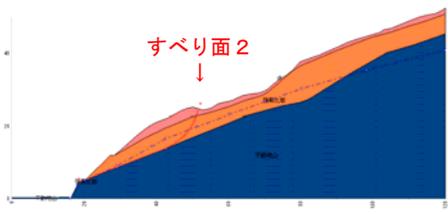
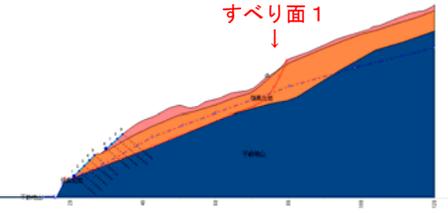
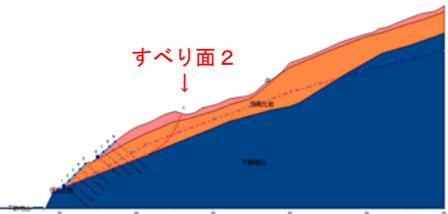
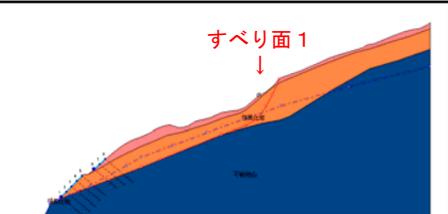
地形条件

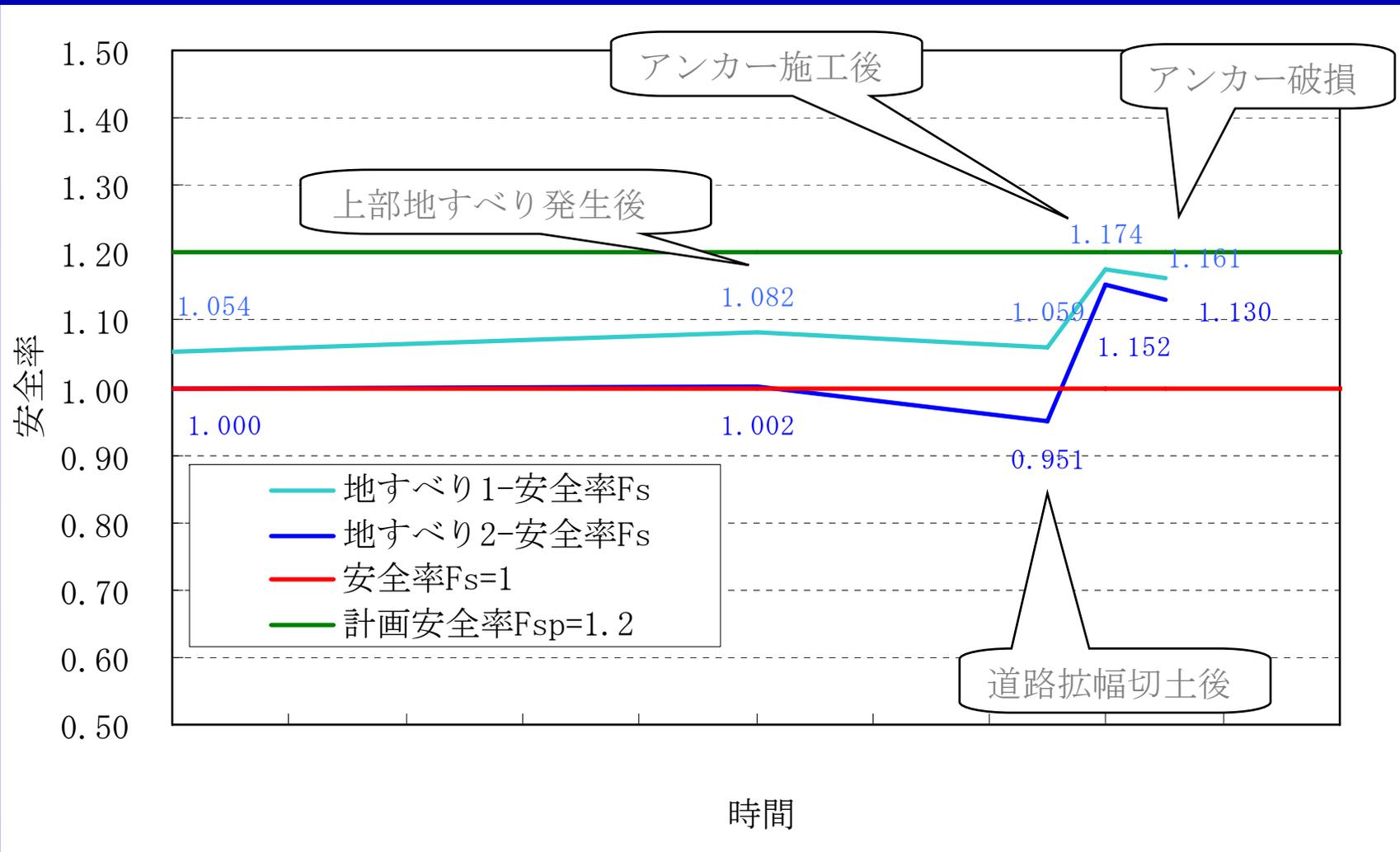
時期	地形・地質・地下水位条件	備考
<p>地すべり開始 (地形条件1)</p>		
<p>上部地すべり 土塊移動後 (地形条件2)</p>		
<p>道路拡幅後 (地形条件3)</p>		<p>道路のり面アン カー打設後 道路のり面最上 部アンカー破損 後</p>

すべり面の形状条件

すべり面条件	すべり面形状・すべり面せん断強度	備考
1		$\phi = 25^\circ$ $C = 6.0 \text{ kN/m}^2$ $F_s = 1.054$ 大規模
2		$\phi = 25^\circ$ $C = 6.0 \text{ kN/m}^2$ $F_s = 1.000$ 中規模

計算ケース	時期(条件)	地形・地質・地下水位・すべり面条件	安全率 Fs=1.2必要抑止力	備考
1	地すべり開始 (地形条件1) (すべり面1)		1.054 (520.6kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 $C=6\text{kN/m}^2$
2	地すべり開始 (地形条件1) (すべり面2)		1.000 (365.7kN/m)	平均層厚Hより 粘着力cを設定し、 ϕ を逆算 内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 $C=6\text{kN/m}^2$
3	上部地すべり 土塊移動後 (地形条件2) (すべり面1)		1.082 (352.9kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 $C=6\text{kN/m}^2$
4	上部地すべり 土塊移動後 (地形条件2) (すべり面2)		1.002 (357.2kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 $C=6\text{kN/m}^2$
5	道路拡幅後 (地形条件3) (すべり面1)		1.059 (392.7kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 $C=6\text{kN/m}^2$

計算 ケース	時期 (条件)	地形・地質・地下水位・すべり面条件	安全率 Fs=1.2必要抑止力	備考
6	道路拡幅後 (地形条件3) (すべり面2)		0.951 (397.0kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 c $=6\text{kN/m}^2$
7	道路拡幅後 アンカー設置 (地形条件3) (すべり面1)		1.174 (71.7kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 c $=6\text{kN/m}^2$ アンカー力 80kN/本 9段
8	道路拡幅後 アンカー設置 (地形条件3) (すべり面2)		1.152 (76.0kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 c $=6\text{kN/m}^2$ アンカー力 80kN/本 9段
9	道路拡幅後 アンカー 一部破損 (地形条件3) (すべり面1)		1.161 (107.4kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 c $=6\text{kN/m}^2$ アンカー力 80kN/本 8段(1段破損)
10	道路拡幅後 アンカー 一部破損 (地形条件3) (すべり面2)		1.130 (111.7kN/m)	内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 粘着力 c $=6\text{kN/m}^2$ アンカー力 80kN/本 8段(1段破損)



モニタリング

モニタリング手法について

シソジカ谷

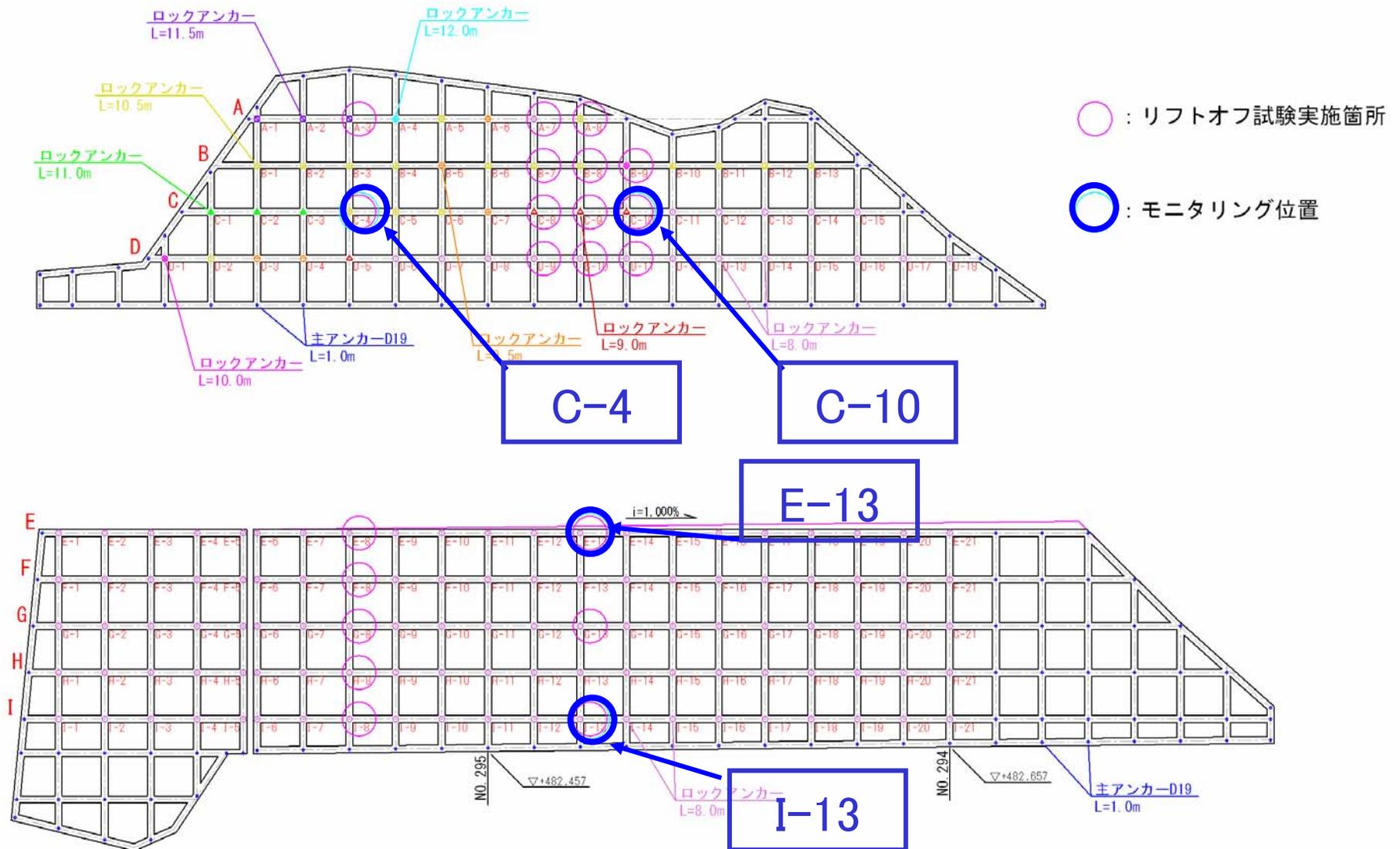


関宮



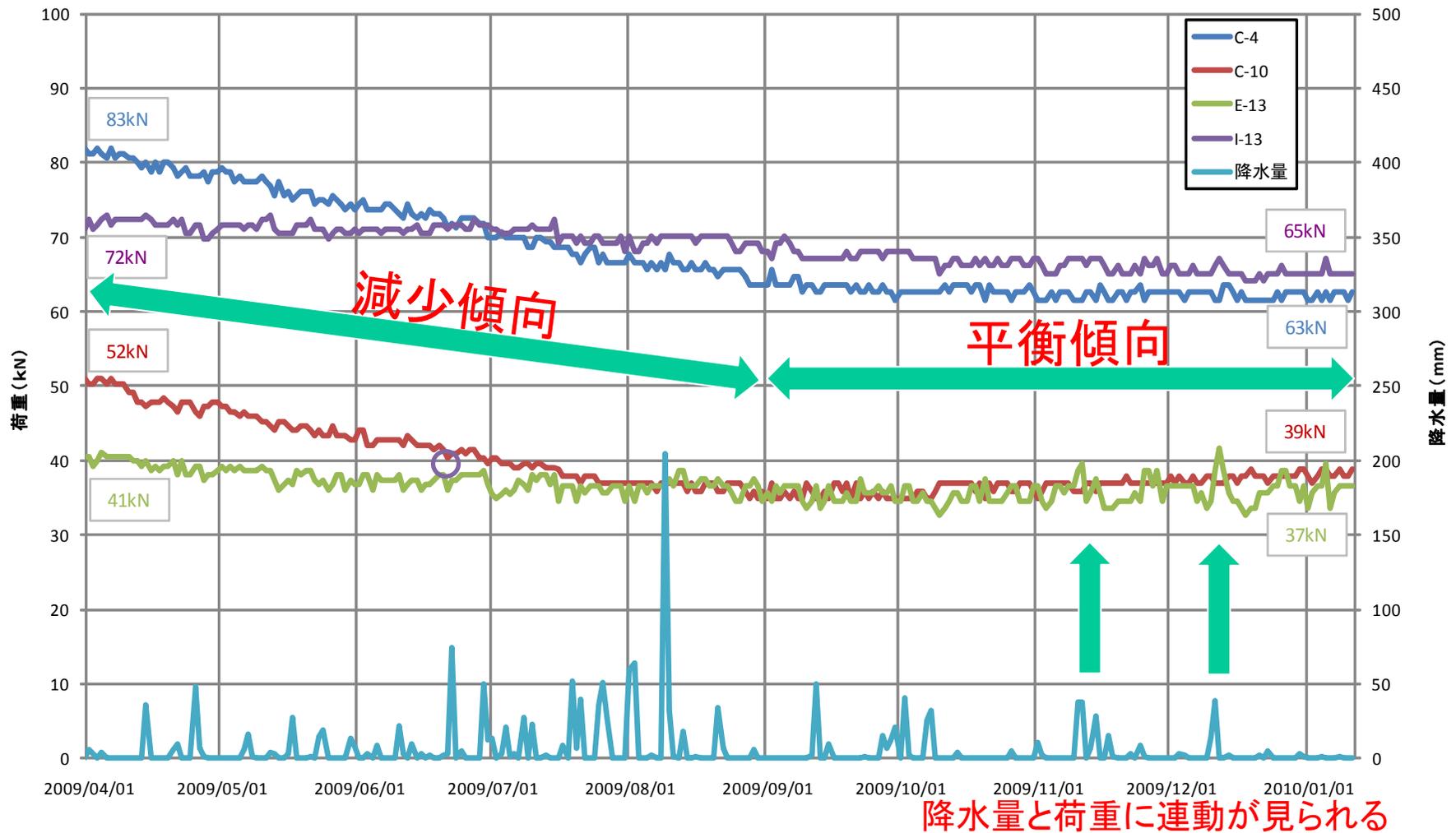
データロガによる
荷重の計測

シソジカ谷モニタリング位置図



モニタリングの経過

アンカー荷重のモニタリング(シソジカ谷地区)



29号シソジカ谷の問題点の整理と 今後の検討課題

●問題点

現在のところ、地すべりは停止状態であるが、安定計算の結果では現況は計画安全率 ($F_s=1.20$) を下まわっており、近年頻発する集中豪雨や地震をきっかけに地すべりが動き出すことも十分考えられる。

●検討課題

これらのアンカーが抜けた原因は何かを確かめるために、アンカー鋼棒を引き抜き、鋼棒が切れて抜けて来るのか、鋼棒は切れずに定着部分の周面摩擦力が低下して抜けてくるのかを確かめる事。

また、変位・地下水位観測は継続し、対策工の追加・補修の検討が望ましい。

29号 原 地区

1988年11月に制定された土質工学会
基準「グランドアンカー設計・施工
基準」に準拠した施工現場

21年度 リフトオフ試験・磁歪法

規格	PC鋼より線 $\phi 12.7\text{mm} \times 4$ 本 KTB (くさび定着方式)	
	自由長	Lf=11.0m (14.0m)
受圧 構造 物	定着長	La=6.0m (9.0m)
	アンカー長	L=17.0m (23.0m)
	() 内は最大	
受圧 構造 物	プレストレスコンクリート受圧板 許容最大設計アンカー力 329kN 以下	



原地区アンカー

平成20年度

受圧板と背面調査結果

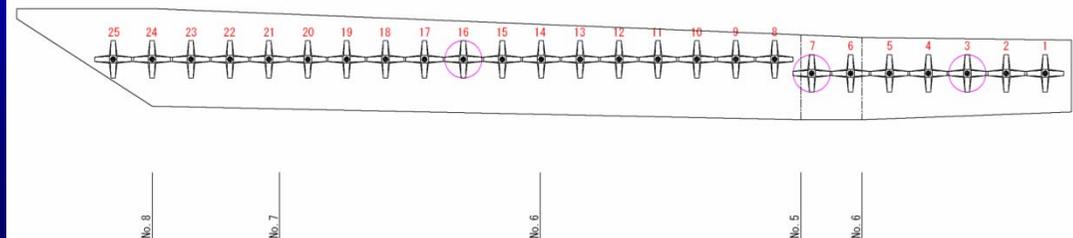
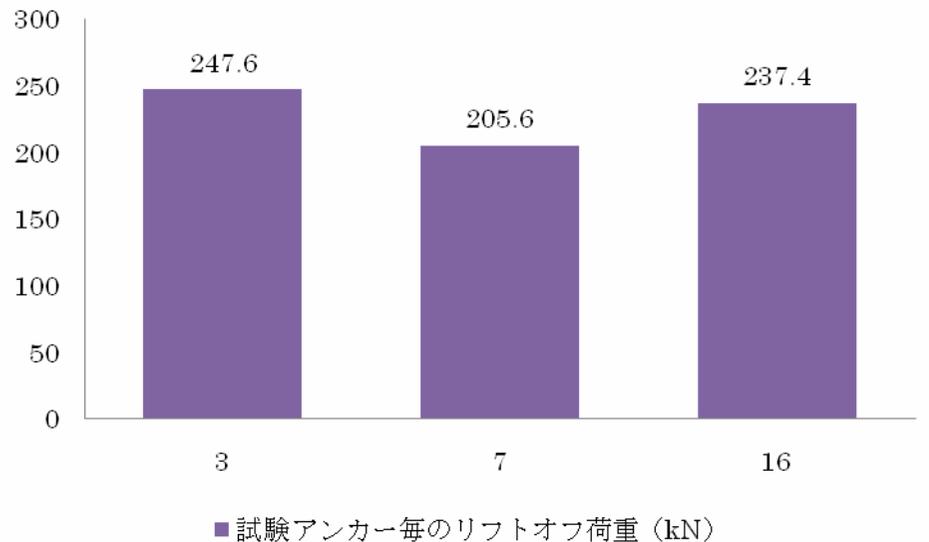


止水ゴムの劣化

リフトオフ試験結果

原地区

- 3本共ほぼ同等の残存荷重を確認した。
- 施工後に荷重が大きくなった可能性は低い。
- アンカーの機能に問題はない。



9号 関宮 地区 「旧タイプアンカー」* 施工現場

規 格	PC鋼より線 $\phi 12.7\text{mm} \times 2\text{本}$ VSL (くさび定着方式)
	自由長 $L_f = 7.4 \sim 10.4\text{m}$ 定着長 $L_a = 3.0\text{m}$ アンカー長 $L = 10.4 \sim 13.4\text{m}$
	現場吹付法枠工 $\square 400 - 2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$ 許容最大設計アンカー力 50kN以下

21年度 リフトオフ試験・磁歪法
モニタリング(アンカー)

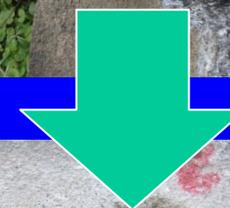
22年度 地盤調査予定
モニタリング(地山)



関宮地区アンカー

Coキャップ頭部背面調査結果

平成21年度



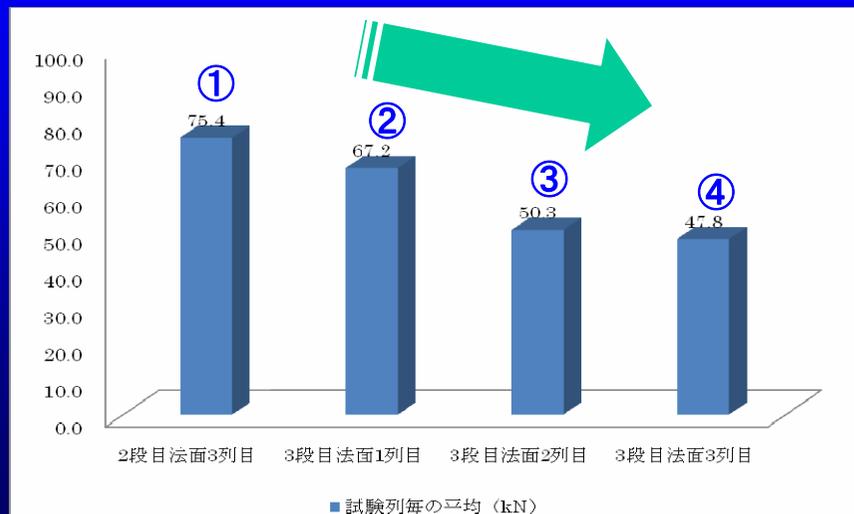
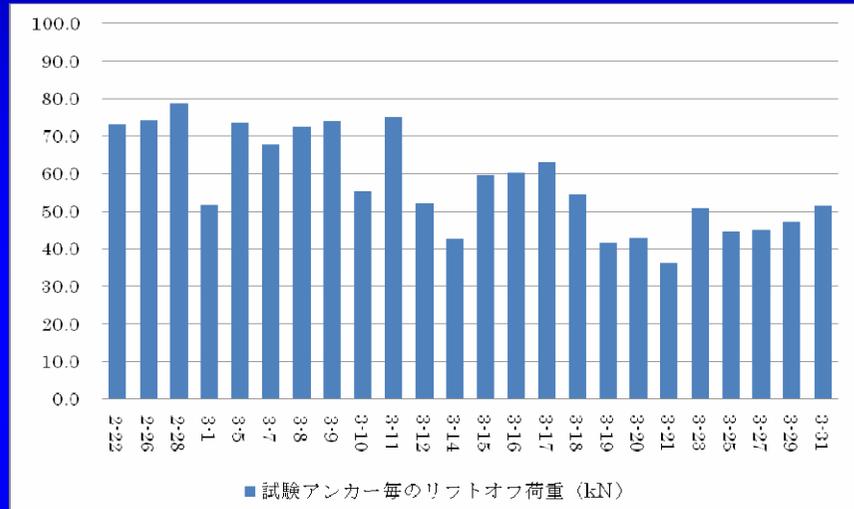
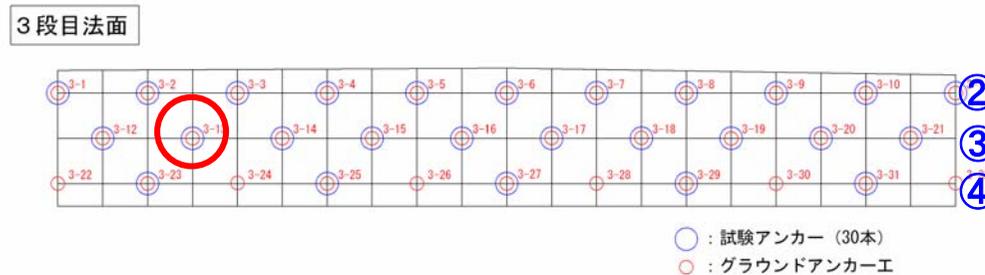
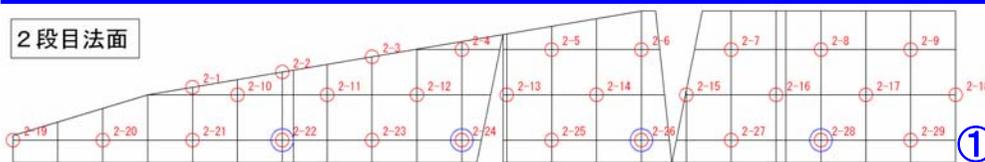
変状箇所では、頭部露出後プレートの浮きが確認された。

リフトオフ試験結果

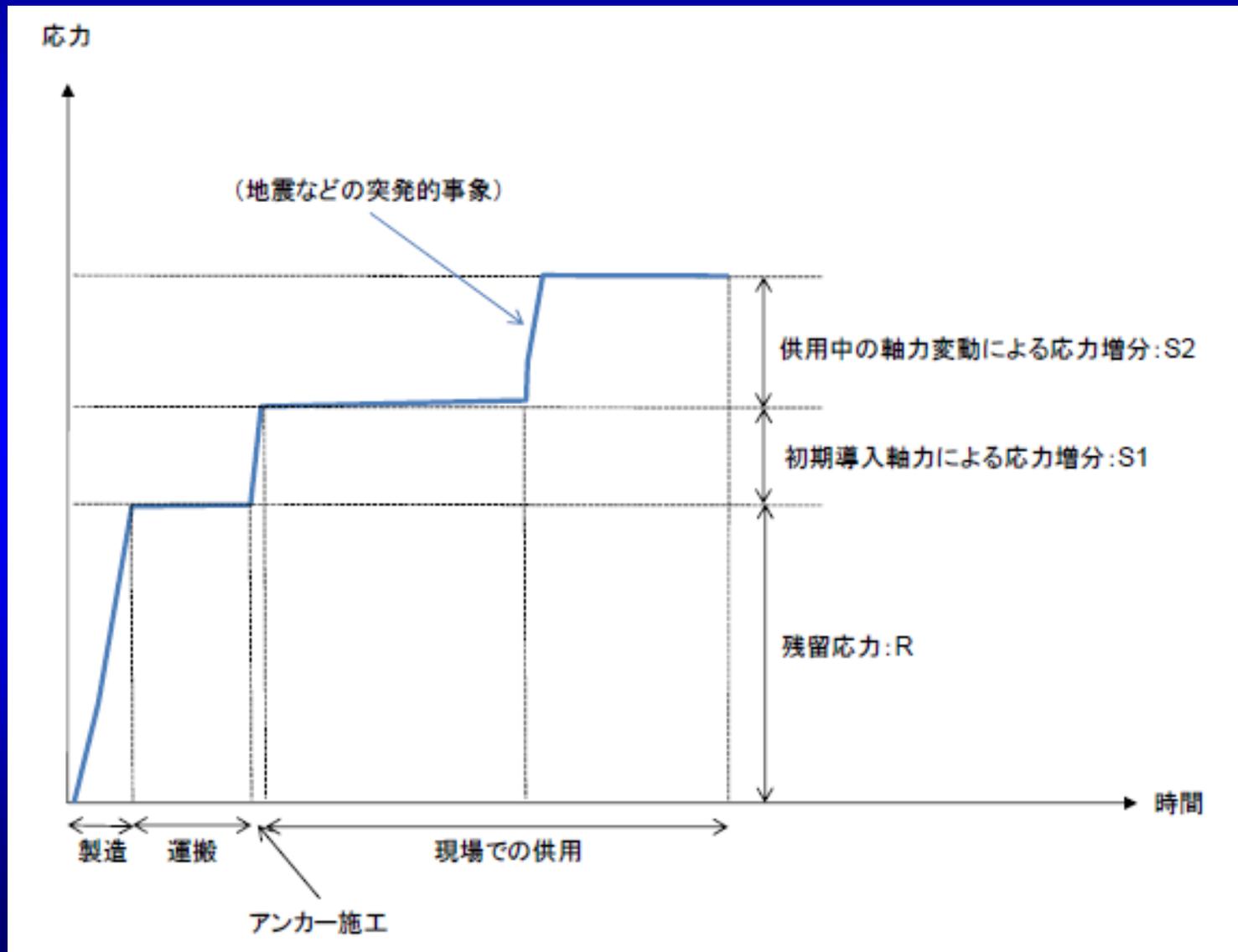
関宮地区

- 法面下段のアンカーほど残存アンカー力が小さい傾向が見られた。

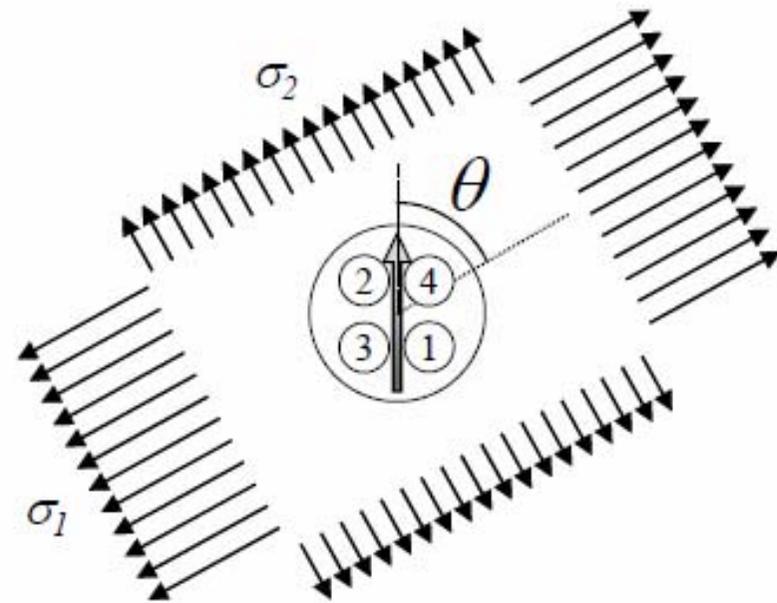
1本のアンカーの引き抜けを確認



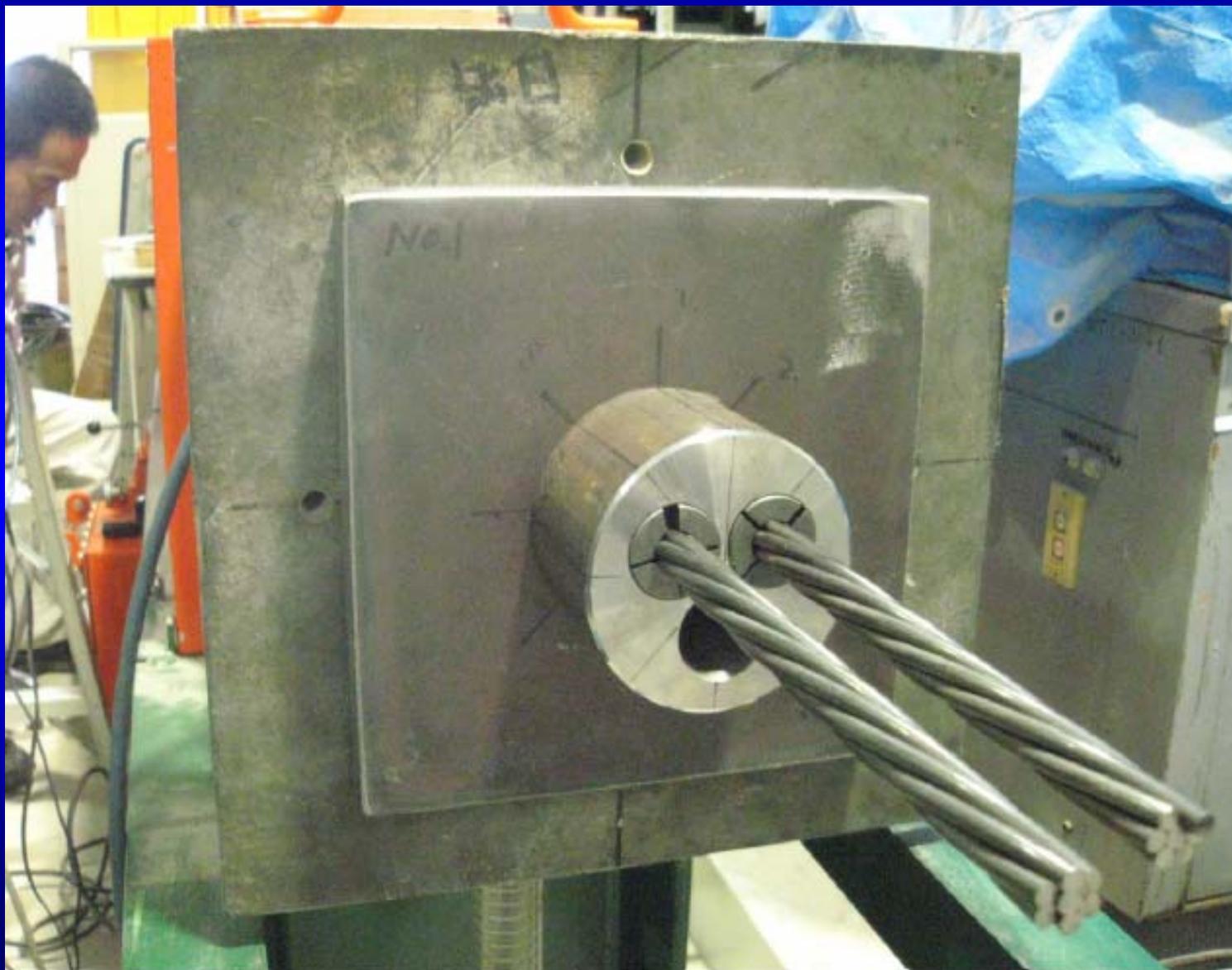
アンカー任意点における応力状態の変遷



磁歪センサーの向きと主応力の関係



VSLアンカー頭部（室内試験）



測定箇所

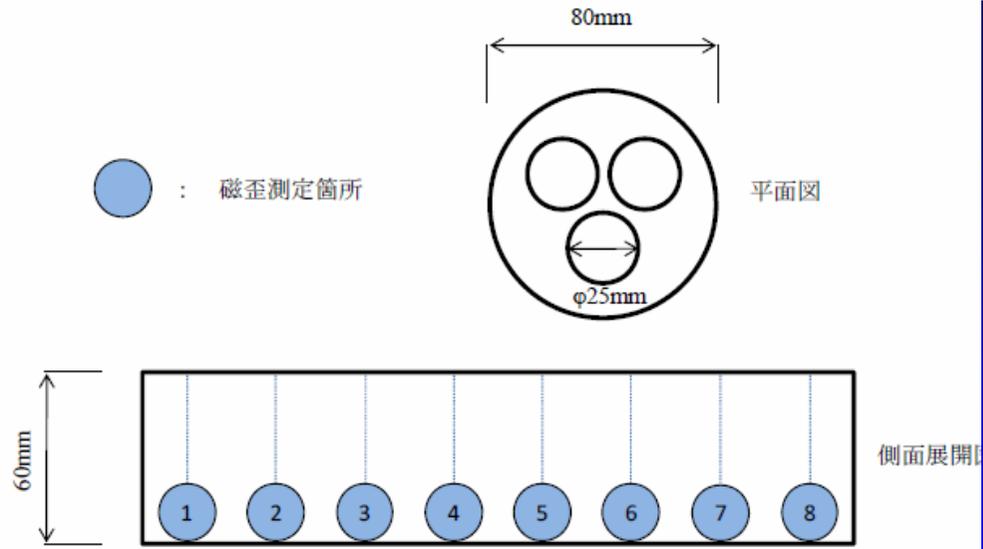
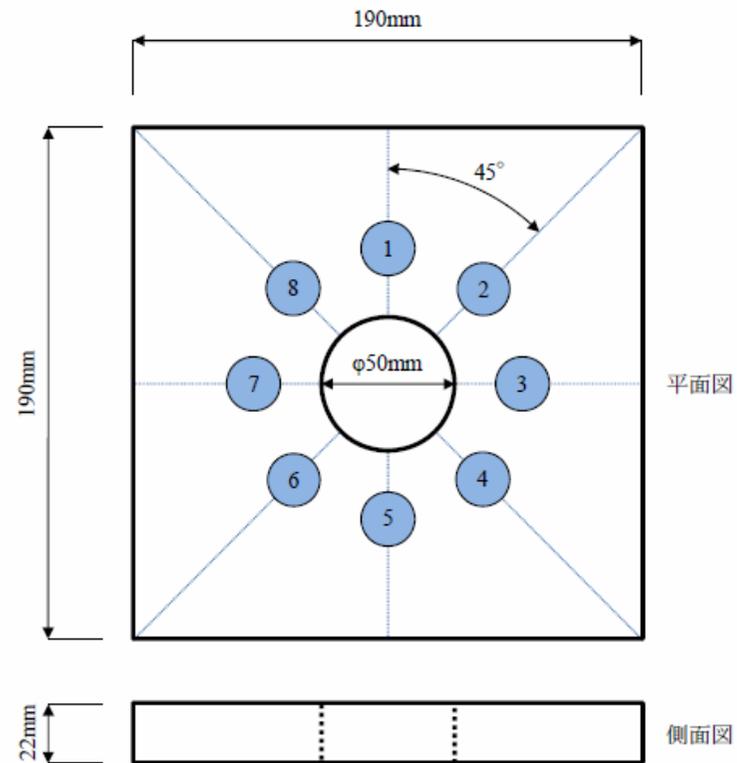
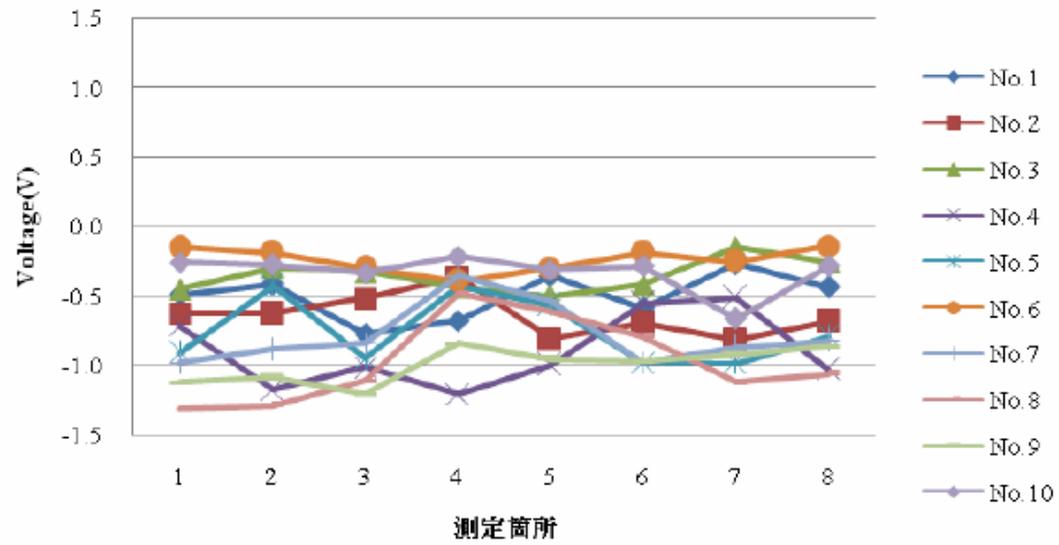


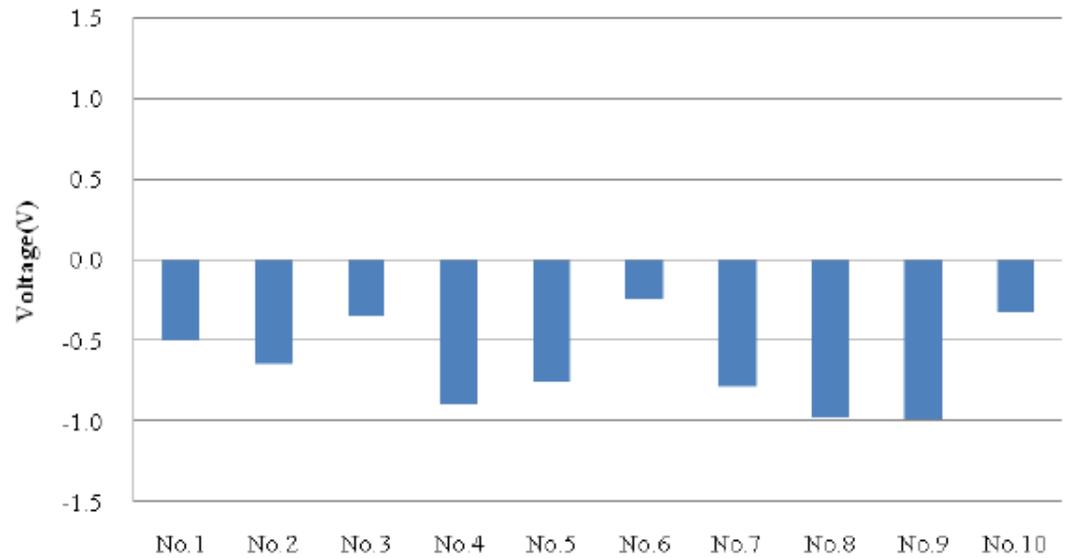
図 4.5 アンカーヘッド測定箇所

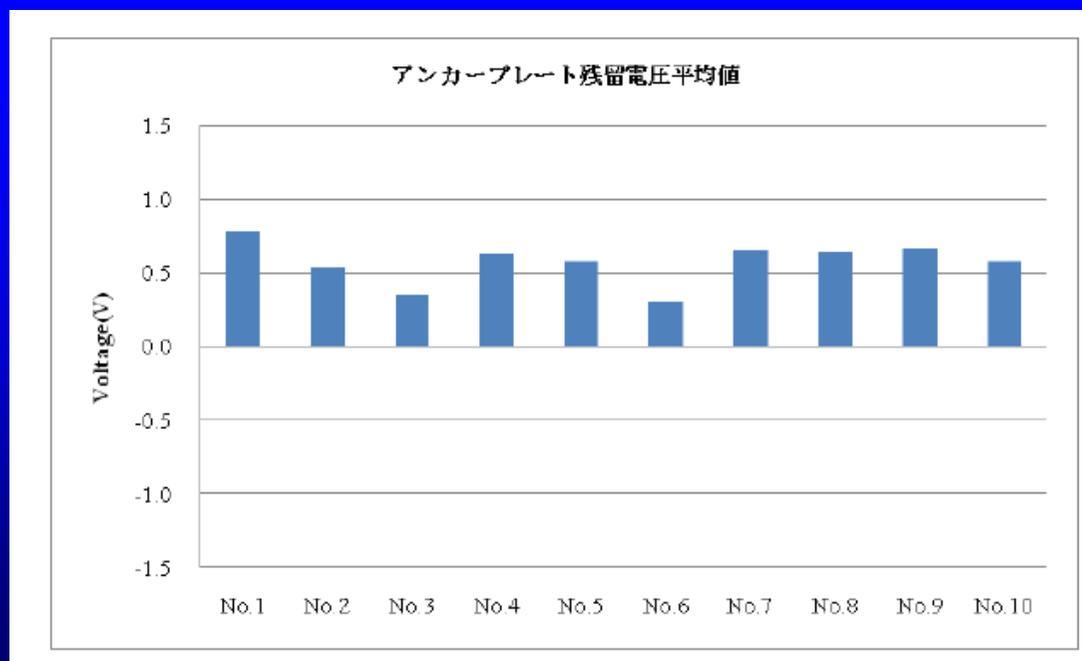
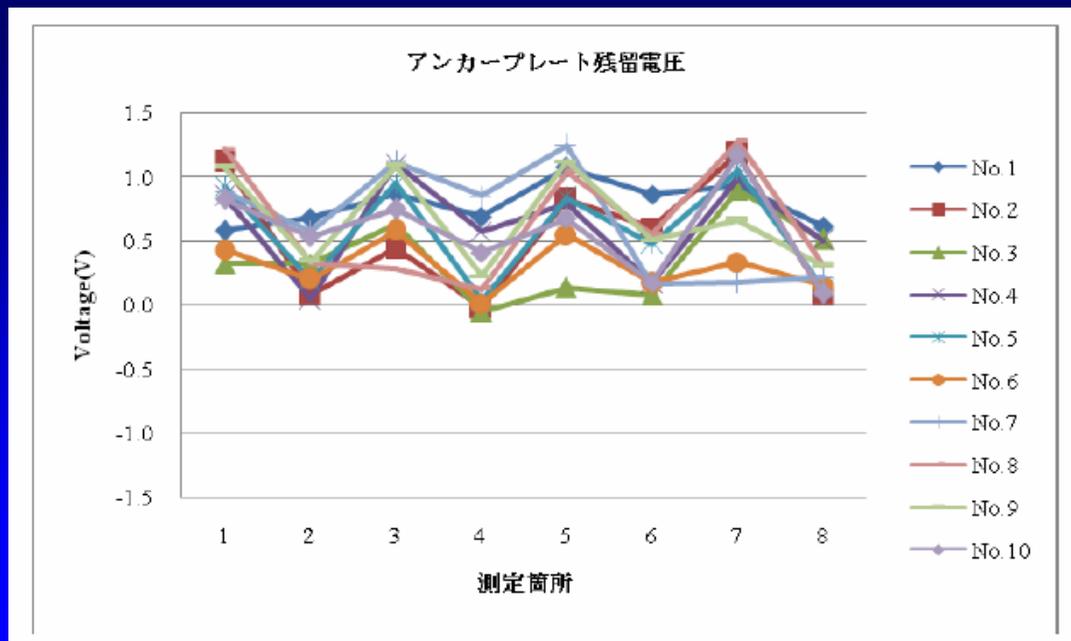


アンカーヘッド残留電圧

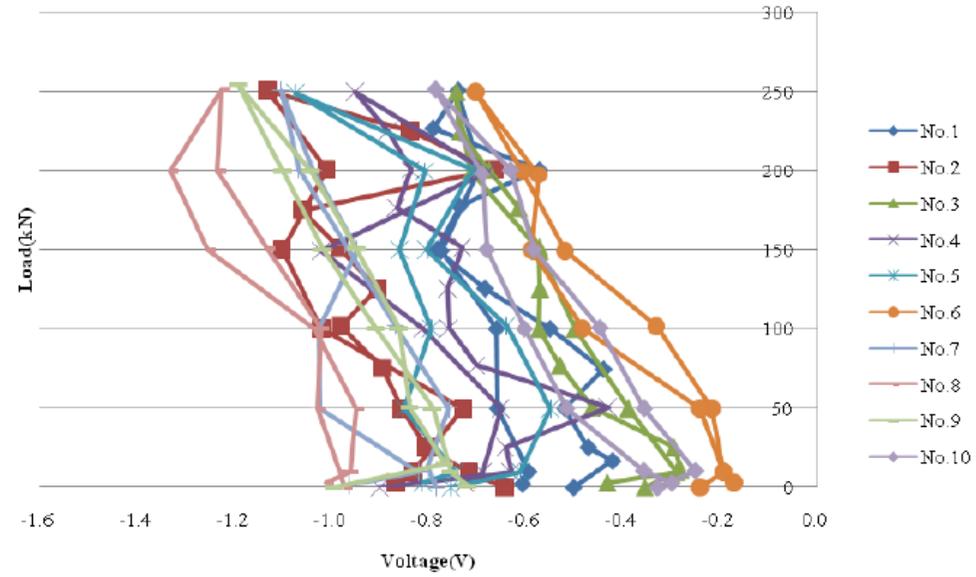


アンカーヘッド残留電圧平均値

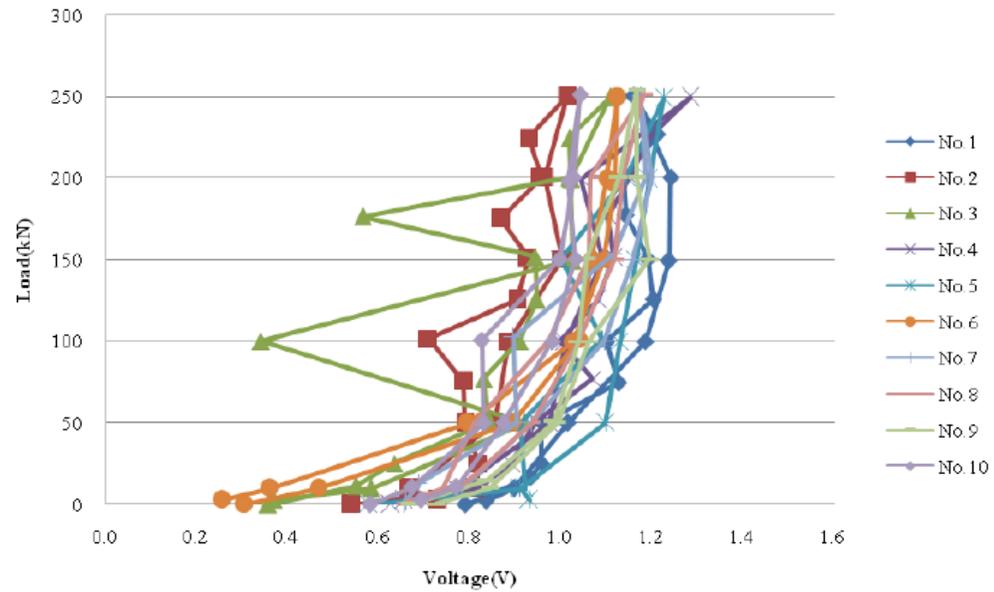




アンカーヘッド 荷重試験結果



アンカープレート 荷重試験結果

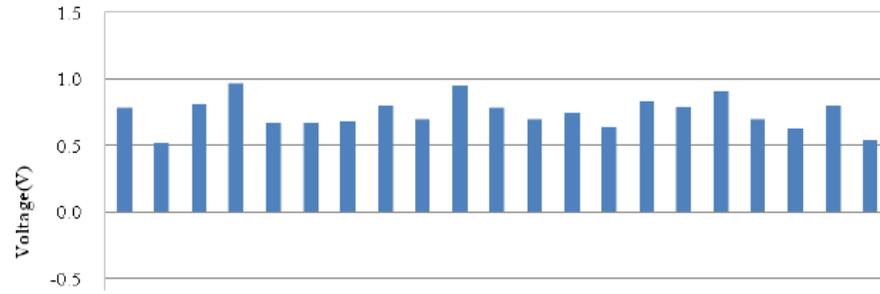


現地での磁歪法による測定

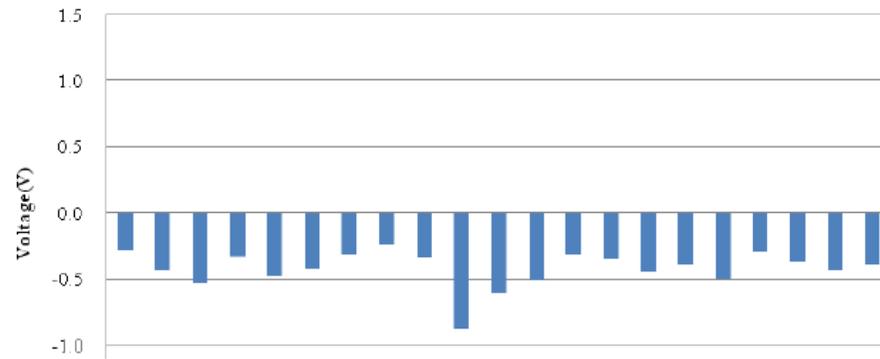


リフトオフ試験との比較

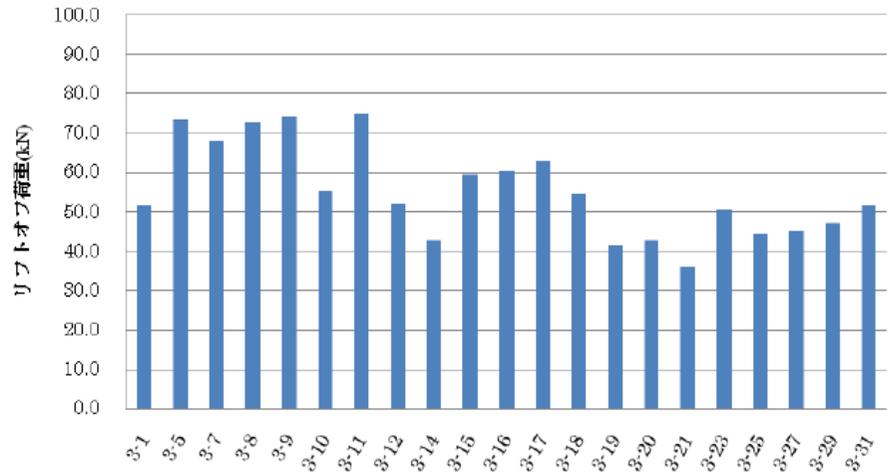
アンカープレート現場測定



アンカーヘッド現場測定



リフトオフ試験



磁歪法まとめ

今年度に実施したアンカー軸力の評価については、対象となった VSL のアンカーに用いられているアンカーヘッド、およびアンカープレートの特徴から、1 回の磁歪計測では軸力を推定できないタイプであることが確認された。これは、個体間による残留応力の大きさにバラツキがあることが原因であるが、荷重変動に対する反応は比較的良いため、2 回目以降の計測においては、磁歪計測による増分から軸力変動を十分な精度で推定できる可能性が確認された。

9号関宮地区の問題点の整理と 今後の検討課題

●問題点

現在のところ変状は見あたらないが、アンカーの上位段になるほどアンカーにかかる力が大きくなっている。

●検討課題

上位段のアンカーにかかる応力の増加が、地質状況に依存している可能性があり（上部は盛り土の可能性があるので）、地盤調査をしてその原因を究明する。

また、磁歪法を用いて継続的なモニタリングを実施し、アンカーにかかる力の経時的な変化を捉える。

アンカーの問題点と今後の課題

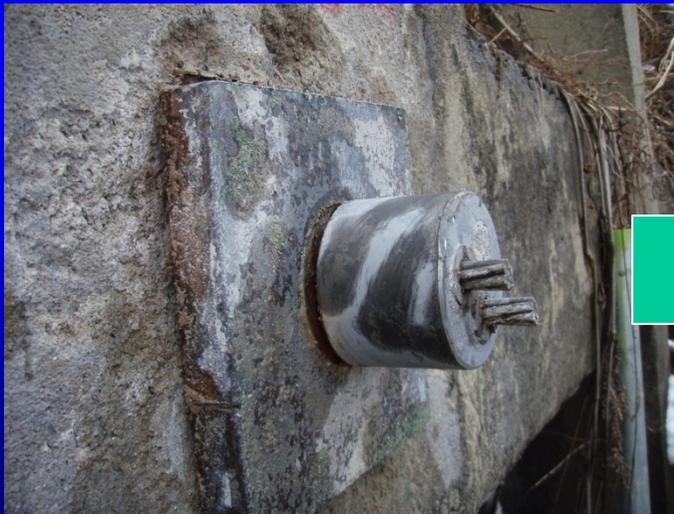
旧タイプアンカーの問題点

- ①当時の設計図書及び定着時の荷重の記録が現存しないため、残存荷重を確認しても、評価が困難である。
- ②頭部コンクリートキャップに大きな変状が生じない限り、残存荷重の増減が不明である。
- ③地山の劣化による周面摩擦抵抗の減少やアンカー本体の性能低下により、本来の機能が果たせていない可能性がある。（調査を行った3現場のうち2現場で変状を確認）

アンカーの問題点と今後の課題

旧タイプアンカーの問題点

- ④コンクリートキャップによる頭部処理を行っているクサビ式アンカーは、鋼線とクサビの間にセメント分が浸透して、所定の能力を発揮できない場合がある。



今後の展望

これまでの調査により、旧タイプアンカーが設置されたのり面では、地山の劣化やアンカー本体の性能低下に伴い法面の健全性に問題があることが判明したが、この調査結果は、9号と29号の2箇所での結果であり、近畿地方整備局におけるその他の旧タイプアンカーが設置された法面においても、同様な問題が発生しているのかを確認する必要がある。

また、このような法面を早期に発見し、適切な補修を実施するためには、点検手法、点検結果の評価方法、補修方法を示す「手引き」などを作成して、対応することが重要と思われる。