

鶴田ダム減勢工掘削に伴う法面挙動監視と対策工 Observation of slope movement and measures method with energy dissipator excavation of tsuruda dam

古川 節*

Takashi Furukawa

要 約

本報は、鶴田ダム施設改造工事の減勢工掘削における、法面挙動の自動計測、および変状時の対策工の実績について述べるものである。

減勢工掘削は最大で約 90 m の長大法面が対象であり、上流には既設堤体、天端には民間施設が近接するため、振動の影響を与えないよう発破が制限されている。また、本体建設時には大規模なすべりを経験しているため、法面挙動の自動計測や、変状時の対策など適切な法面对策を実施しながら掘削を進めることで、法面のすべりを発生させることなく減勢工掘削を完了させた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 掘削時の課題
- § 4. 法面挙動監視の方法
- § 5. 掘削時の変状と対策工
- § 6. まとめ

§ 2. 工事概要

鶴田ダム施設改造工事は、鶴田ダム再開発事業のうち夏場の洪水調節容量を最大 7,500 万 m³ から最大 9,800 万 m³ (約 1.3 倍) に増量し洪水調節機能の強化を図ることを目的として、新設放流管工 (3 条)、新設取水設備工 (2 条) の土木工事部分および洪水吐減勢工の一部を構築するものである。

§ 1. はじめに

鶴田ダムは、一級河川川内川水系の鹿児島県薩摩郡さつま町に建設された重力式コンクリートダムである。川内川は、熊本県の白髪岳 (標高 1,417 m) に発し、宮崎県の西諸県盆地を通して鹿児島県に入り、湯之尾滝を経て曾木の滝から鶴田ダムへ流入し、川内平野を下り東シナ海へ注いでいる。図一にダム位置図、表一にダム・貯水池諸元を示す。また、完成直後の鶴田ダムを写真一に示す¹⁾²⁾。



図一 鶴田ダム位置図

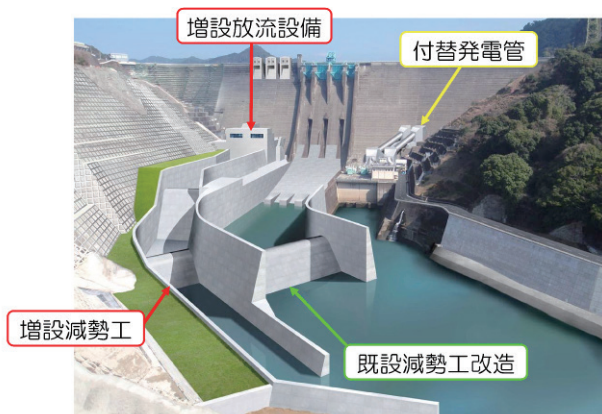
表一 鶴田ダム諸元

ダム	形式	重力式コンクリートダム
	堤高	117.5 m
	堤頂長	450.0 m
	堤体積	1,119,000 m ³
	堤体標高	EL.162.50 m
貯水池	集水面積	805 km ²
	湛水面積	3.61 km ²
	総貯水面積	123,000 千 m ³
	有効貯水容量	77,500 千 m ³
	洪水調節容量	75,000 千 m ³
	発電容量	77,500 千 m ³



写真一 完成直後の鶴田ダム

* 九州 (支) 土木計画部計画課

図一2に鶴田ダム再開発事業の完成イメージ図を示す³⁾。

図一2 完成イメージ図

§ 3. 基礎掘削工の概要と課題

新設減勢工の基礎掘削工は最大約 90 m の掘削高であり長大法面が発生するが、天端には民間のレストランおよび見学施設があり、さらに既設堤体は通常の洪水調節、発電放流の運用を行っている。これらの構造物に対し、振動による影響を与えないように発破による掘削が制限されていた。また、過去の本体建設時には大規模なすべりも経験している。このことから、掘削時の法面对策を適切に実施する必要がある。入札時に施工上配慮すべき事項として、右岸法面の挙動監視のうち監視方法および変状時の対処方法について最大 3 つの技術提案を求められた。そこで、以下に示す提案を行った。

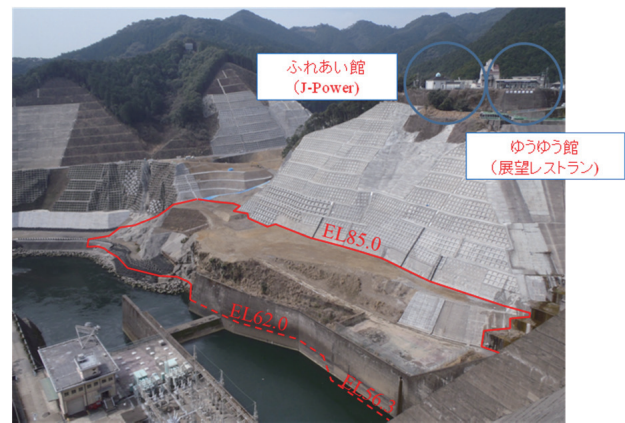
- ①計測方法に関する提案
- ②情報処理および監視体制に関する提案
- ③法面変状時の対処に関する提案

着工前の状況を写真一2に示す。

§ 4. 右岸法面挙動監視方法と変状時の対処方法

4-1 計測方法

計測方法については、既設法面 (EL85 m 以上) と新規法面 (EL85 m 以下) の大きく 2 つに分けて下記のとおり機器を設置、計測する計画とした。



写真一2 着工前状況写真

(1) 既設法面への対応

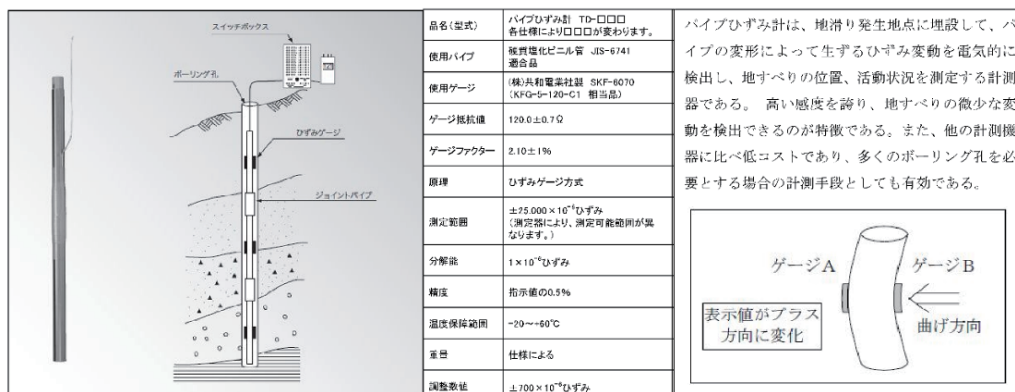
既設法面の挙動監視には、地表変位の監視として GPS センサを、地中変位の監視としてパイプひずみ計を設置した。GPS センサの仕様を表一2に、設置状況を写真一3に示す。また、パイプひずみ計の機構および仕様を図一3に示す。

表一2 GPS センサ仕様

内容	数量	備考
計測点	14 点	MG3111 型 GPS センサー
基準点	1 点	MG3111 型 GPS センサー
通信集約曲	1 基	AC100V, データは電話回線で自動回収
電源・電話	1 式	商用電源 (AC100V), 電話回線 (ISDN) 設置工
ケーブル	1200 m	GPS 用ケーブル



写真一3 GPS センサ設置状況



図一3 パイプひずみ計機構および仕様

(2) 新規法面への対応

新規掘削法面は、標準掘削勾配（D級岩盤 1:1.0, CL,CM' 級岩盤 1:0.8, CM,CH 級岩盤 1:0.5）よりも急勾配（最急 1:0.3）で掘削されることから、通常の法面と比較して崩壊の危険性が高い。特に上流側（No.1～No.5 測線）の砂岩頁岩互層部では応力開放によるトップリング崩壊が危惧された。また、下流側（No.5 測線から下流）においては塊状砂岩層が広がり、節理等の亀裂に起因するクサビ崩壊が懸念された。そこで、法面工で施工する鉄筋挿入工のうち、最上段の挿入鉄筋として、水平方向 9 m 間隔で、ロックボルト軸力計（L=6.0 m）を配置し、トップリング挙動を観測することとした。No.5 測線より下流側においては、クサビ崩壊につながる亀裂が観察された際にこれを縫う形でロックボルト軸力計を設置する計画とし、実施工では測線ごと最上段に 1 本（20 m 間隔）配置し、クサビ塊の挙動を観測した。ロックボルト軸力計配置図を図-4 に示す。

掘削平面図および法面観測計器配置図を図-5 に示す。

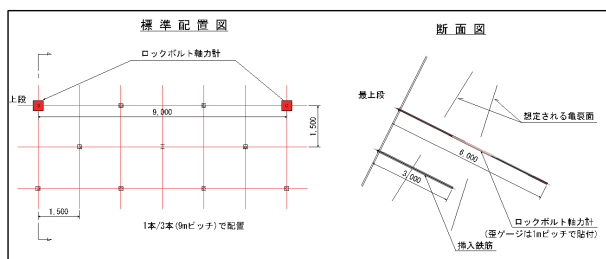


図-4 ロックボルト軸力計配置図

4-2 情報処理および監視体制

法面監視の目的は変状の早期把握にあるため、これにかかわる計測データは迅速に処理し、速やかに関係者に周知・共有される必要がある。そこで、観測機器のデータを、計測ケーブルを介して現地のデータ集約機に集積し、通信回線（NTT 等）を通じて監視センター（shamen-net 研究会により 24 時間運営）に転送して、図化处理することにより、計測データの自動収集と一元化処理を行った。システム構成イメージを図-6 に示す。計測値は 1 時間ごとに更新され、図化处理されたデータは Web 上で発注者を含む関係者が閲覧できるようにした。

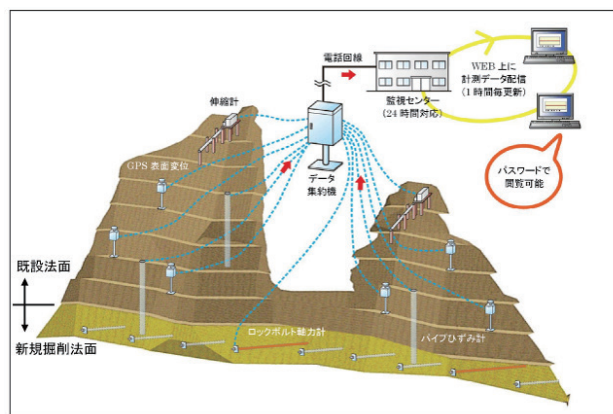


図-6 自動計測システム模式図

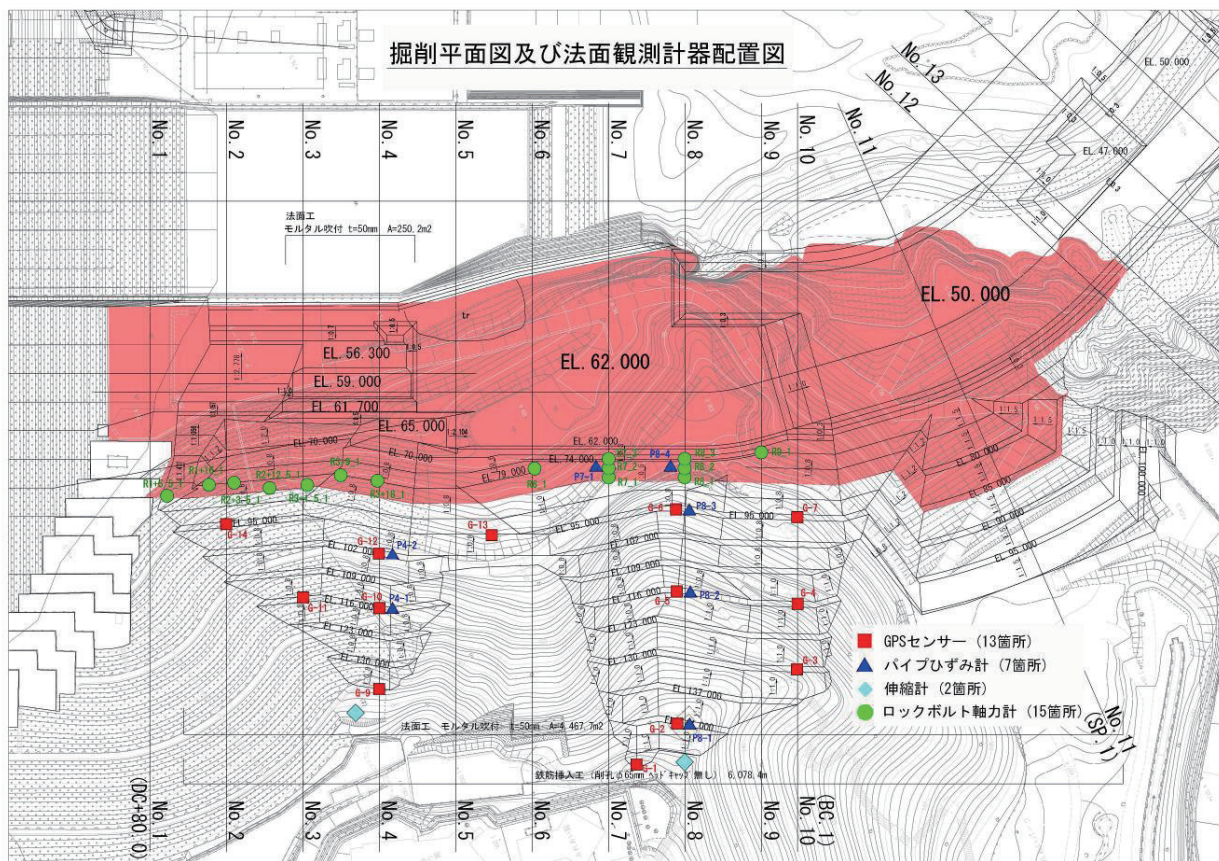


図-5 掘削平面図および法面観測計器配置図

4-3 法面変状時の対処

崩落危険度の高い箇所に設置した観測機器（伸縮計・パイプひずみ計・ロックボルト軸力計）は、計測データが管理基準値を超えた場合、即時に携帯電話のメールによる速報が配信される「変状速報システム」を導入した。変状速報システムのイメージを図-7に示す。

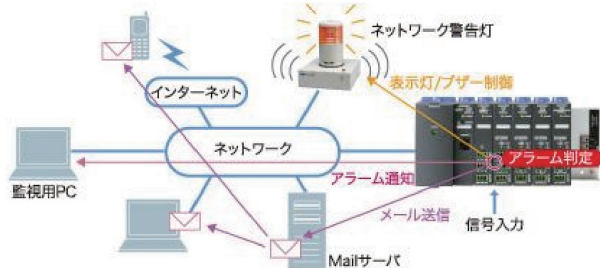


図-7 変状速報システム

また、管理基準値は一般に最も適用例の多い「(財) 高速道路調査会」が昭和 63 年に定めた施工段階の管理基準値（表-3）のうち、各段階における最小値を採用した。ロックボルト軸力計の計測値に対する管理基準値は、山留・NATM 等の管理基準値に対する考え方を参考に、鉄筋挿入工の設計応力より設定した。

§ 5. 掘削および追加法面对策工の施工実績

減勢工掘削は、既設法面の挙動監視観測機器設置、計

表-3 施工段階の管理基準値

施工段階の管理基準値・出展：(財)高速道路調査会(S63)

計測器	対応区分	点検・要注意又は観測強化	対策の検討	警戒・応急対策	厳重警戒一時退避
伸縮計	地表面	5 mm 以上 /10 日	⑤ 50 mm /5 日	⑩ 100 mm /日	100 mm 以上 /日
地中伸縮計	変位速度				
光波測距儀	すべり面付近の変位速度	1 mm 以上 /10 日	⑤ 50 mm /5 日	—	—
傾斜計	傾斜計	100 μ 以上	① 000 5,000 μ	—	—
パイプ歪計	累積値				
地表に現れる地すべり現象			① 斜面内・頭部亀裂 ② 耕地、道路の亀裂 ③ 電柱フェンス変状 ④ 切土面に表われた流盤状の断層またはすべり面 ⑤ 法面からの湧水	① 斜面や崖面から岩石片や砂が連続的落下 ② 異常な湧水の湧りと湧水量の変化 ↓ 湧水が急に濁ったり、沢の流量が急変 ③ 電線が大きく揺れ動く ④ 地盤に振動や地鳴りが発生 ⑤ 風もないのに樹木の枝葉がすれ合っ音を出したり、立木の根切り音がある	

計測機器	対策の検討	警戒・応急対策	厳重警戒
ロックボルト軸力計 (D25.1~6.0m)	35 kN (鉄筋挿入工許容引張力の 1/2)	49 kN (鉄筋挿入工設計引張力)	70 kN (鉄筋挿入工引張許容力)
具体的な対応	・ 押え盛土材の確保 ・ 法面保護工実施段階の細分化 (5m 毎⇒2.5 毎) ・ 応急対策協議 準備	・ 関連エリアでの施工一時中断 ・ 応急対策工の実施 ・ 対策工実施後の施工継続協議	・ 避難対象工種即時中断 ・ 作業員の即時避難 ・ 関連エリア進入禁止措置

測開始後、平成 23 年 4 月から開始した。当初は、1 サイクルあたりの掘削高、法面保護を 5 m で実施した。新規法面掘削、法面吹付完了後、同年 6 月にロックボルト軸力計を設置した。以降、挙動を監視しながら掘削を継続したが、応力開放が進行し、ロックボルト軸力計の応力の値が増加を示し、管理基準値を超過したため、段階的に法面对策の追加施工を実施した。図-8 にロックボルト軸力計の計測値データ（1 例）および日降水量のグラフを示す。また、グラフ内に追加法面对策の内容を記載した。

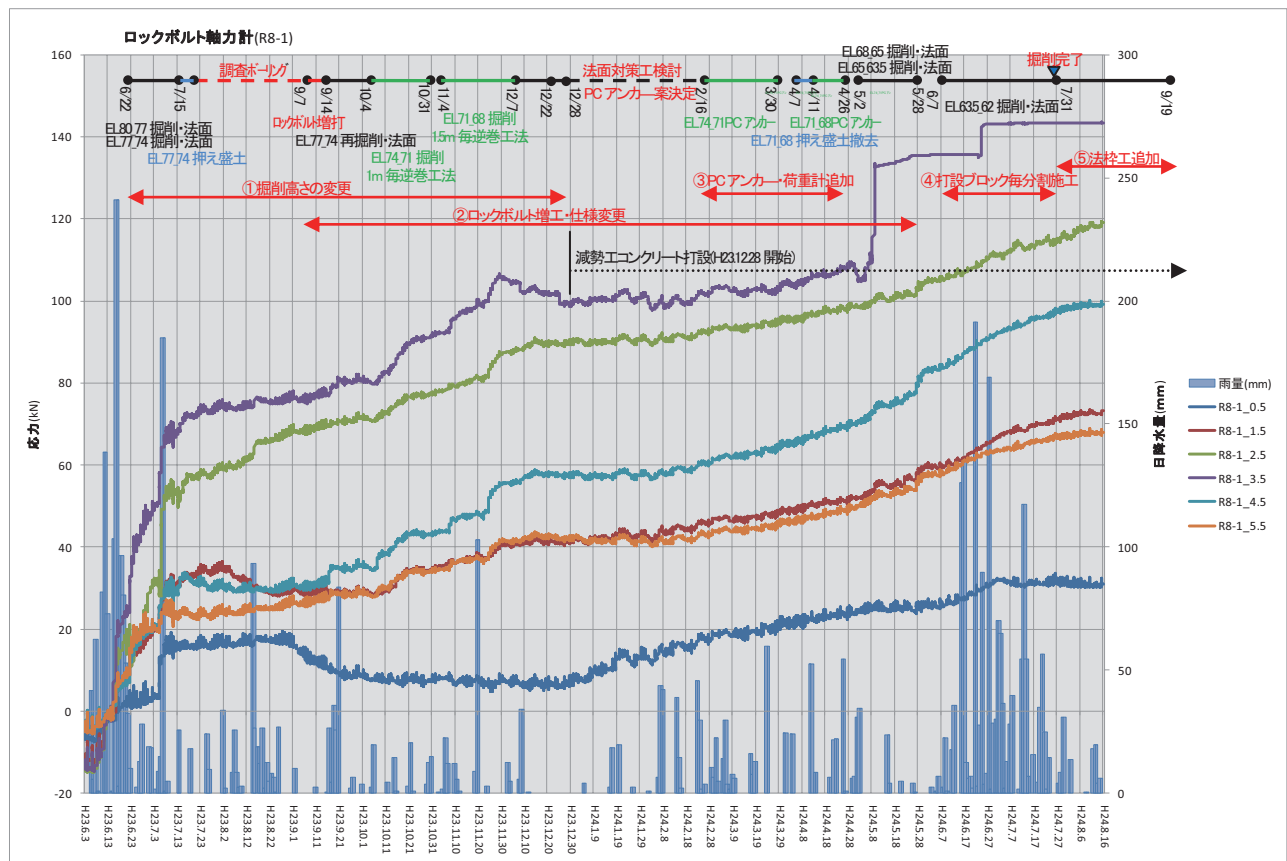


図-8 ロックボルト軸力計の計測データと日降水量（時系列）

5-1 掘削高さの変更

当初は1サイクルあたりの掘削高さを5mで施工したが、応力開放によりロックボルト軸力計の計測値が対策の検討を必要とする1次管理基準値を超過したため、第1段階の対策として、掘削高さを2.5mに変更し、法面施工の細分化を図った(図-9)。

5-2 鉄筋挿入工の増工と仕様の変更

前述した対策を実施し、掘削および法面作業を継続していたが、ロックボルト軸力計の計測値は各段階の掘削直後に大きく増加し、その後微増を示した。その結果、計測値が退避基準を超過する見込みとなったため、押え盛土を実施し、ボーリングコアおよびボアホールカメラによる内部の観察を行って追加法面対策を検討することとした。

調査の結果、地山内に緩みゾーンの存在を確認し、対策として掘削勾配1:0.6の範囲にはロックボルトの長さを $L=3.0\text{ m}$ から $L=6.0\text{ m}$ に変更し、内挿して追加施工することとした(鉄筋径はD19のまま)。また、掘削が最急勾配となる1:0.3の範囲(この時点では未掘削)については、再度安定計算を実施し、鉄筋挿入工の仕様をD25、 $L=8.0\text{ m}$ に変更した(配置ピッチは2通り@ $0.9\text{ m} \times 0.9\text{ m}$ および@ $1.2\text{ m} \times 1.2\text{ m}$)。さらに、No.7からNo.9の3測線については、ロックボルト軸力計を高さ方向に6m間隔で2本ずつ(計6本)追加した。

事例としてNo.8測線の緩み領域のロックボルト配置断面図を図-10に示す。

5-3 アンカー工、アンカー荷重計の追加施工

ロックボルトの増工、仕様の変更を実施しても軸力計の計測値が増加した箇所では、掘削と法面挙動の実績から、鉄筋挿入工のピッチ割を考慮して掘削高さを1mあるいは1.5mとしてさらなる法面施工を細分化した。それでもNo.7~No.9、EL85.0~77.0付近ではロックボルト軸力計の計測値は微増を示し、計測箇所によっては鉄筋が降伏する見込みとなったため、PCアンカー工法による法面对策を検討、実施した。アンカーの配置については、掘削スケッチによる断層の位置や観測計器の挙動をもとに決定した。また、最大断面であるNo.8測線のPCアンカーにかかる荷重を計測した。

アンカーの仕様を表-4に、施工状況写真を写真-4に示す。

表-4 PCアンカー施工仕様

設計アンカー力	832.7 kN
削孔径	90 mm
アンカー長	14.0 m (自由長 9.0 m, 定着長 5.0 m)

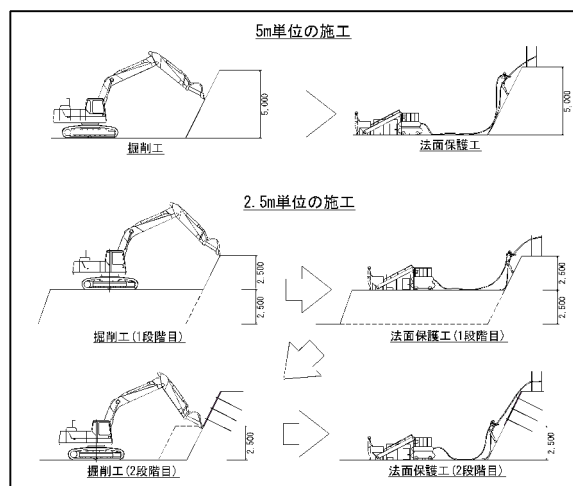


図-9 法面施工の細分化

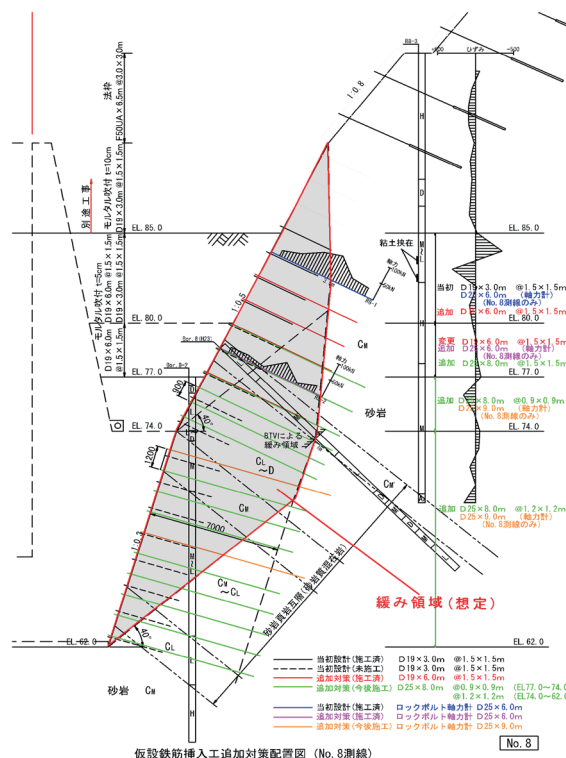


図-10 No.8 測線の緩み領域とロックボルト配置断面図



写真-4 PCアンカー施工完了写真 (34本)

5-4 上下流方向分割掘削（打設ブロックごとの掘削）

P Cアンカー施工後、法面の挙動およびアンカー荷重計を監視しながら掘削を再開したが、依然としてロックボルト軸力計の計測値は微増を続け、アンカー荷重計の計測値も徐々に増加してきたことから、最終1.5 mの掘削については、減勢工のコンクリート打設ブロックに合わせて分割して掘削を実施した。掘削完了からコンクリートを1 m打設するまでの間隔を短くすることで法面を押えた。施工フローを図-11に示す。

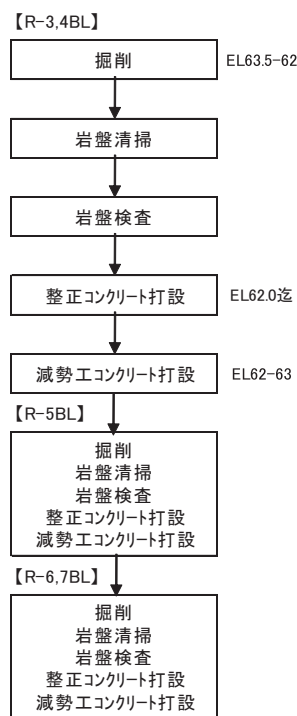


図-11 施工フロー

5-4 法枠工の追加施工

すべての基礎掘削を完了し、コンクリート打設の施工を行っていたが、依然として法面の挙動が微増を続けており、また、下流側の次期工事でも掘削勾配1:0.3、高さ12 mの掘削が計画されていることから、追加法面对策として法枠工（F-300）の施工を行った。

施工範囲を図-12示す。

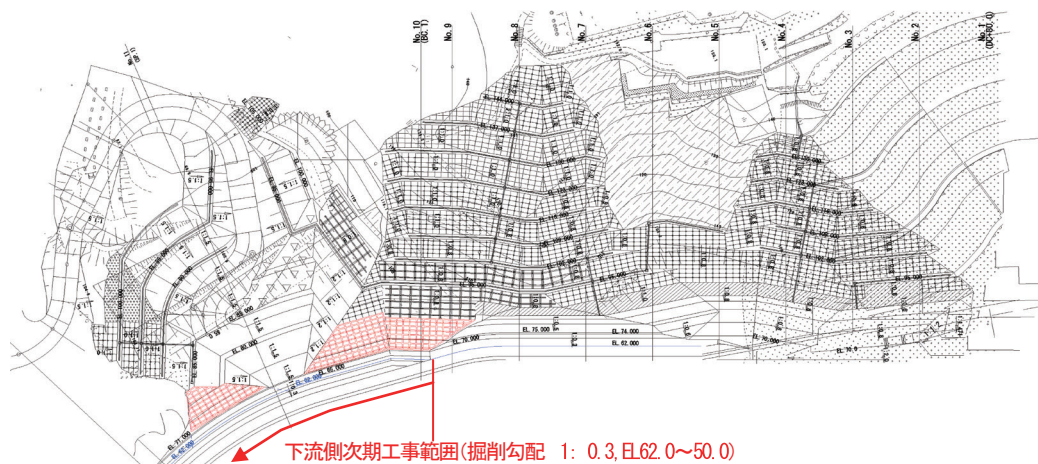


図-12 追加法枠工（F-300）の施行範囲：赤枠

§ 6. まとめ

本報では、過去に地すべりを起こしたことがある長大法面掘削における法面挙動監視および対策について紹介した。

今回は、掘削後の法面観察による変状発生箇所の想定および法面の挙動監視を実施しながらの掘削であったが、掘削直後の応力開放によるロックボルト軸力計の計測値が微増を続けたため対策工を繰り返しながらかなり慎重に掘削した。工期の関係上、法面崩落は絶対に防ぐ必要があったためである。法面对策の工法について慎重に検討、選択したため、検討期間、対策実施に時間がかかり掘削工期に遅れが生じた。しかし、掘削とコンクリート打設を並行作業で行うことで、工期の遅れを取り戻すことができた。

工期、費用、確実性、安全性のバランスを考えながら追加の法面对策を決定し施工を行い、結果的に法面の崩落もなく無事に掘削を完了することができたが、掘削工期を含め初期対処、法面对策において他の選択はなかったか、検証が必要であると考えている。

法面に課題のある掘削については、安全と工程を確保するために事前の入念な検討と調査の実施が必要であるが、掘削中においてもできる限り基礎地盤の地質状況の情報を蓄積し、地質情報を日々最新に更新することにより、早く、安全に、効率よく法面对策を決定・実施することが重要であると考えます。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局鶴田ダム管理所ホームページ
- 2) 九州地方建設局 鶴田ダム工事記録
- 3) 国土交通省九州地方整備局川内川河川事務所ホームページ