

ダムに隣接する自然斜面部・切土のり面部におけるアンカー施工

Grand anchor method for natural slope and excavated slope naer the damsait.

宇津木 慎司*・金澤 真**・三浦 健二**

Shinji UTSUKI, Shinichi KANAZAWA and Kenji MIURA

At the Nagai Dam, there is a deep weathering zone near the dam site, so we must excavate until solid rockmass apeares in order to maintain the stability of the dam. And it is very important to maintain the excavated slope, because geological condition is not good and excavated slope is very high and steep. So we use grand anchor method in order to maintain the stability of the excavated slope.

In this paper, we write the method of design and consutruction, and mesuring systems we invent.

Key Words: granite, weathering rock, talus, grand anchor, excavated slope, measuring system

1. はじめに

長井ダム右岸下流斜面においては、表層部に転石や崖錐堆積物が分布し、その深部には深さ約 30m 付近まで風化岩盤が想定されていた。当該斜面は堤体に隣接しているため、一般的には、地山不良部を掘削除去し、堤体基礎として適切な堅岩部を出現させるとともに、切土のり面を安定勾配で掘削する方法がとられる。

しかし当該斜面は崖錐堆積物等、地山不良部層が厚いことから、当該切土のり面の設計においては、経済性と自然環境への影響を配慮し、下記のような施工法が採用された。

①下部切土に先行して切土のり面上部の自然斜面部にグラウンドアンカーを施工し、自然斜面部の設計安全率を確保する。

②切土面において逆巻き工法によるグラウンドアンカーを施工しながら 1:0.5 で掘削する。

実施工にあたっては、自然斜面部アンカー施工に先行しての台座設置の提案・実施や、掘削途中段階における施工時の安全率検討による工程短縮方法の提案・実施等を行った。さらに、各種計測計器の設置とその計測管理による安全監視体制整備を実施し、掘削工事およびアンカー工事を完了することができた。本報は、これらの施工実績とその対応について述べるものである(対策後の施工状況を、写真-1.1 に示す)。

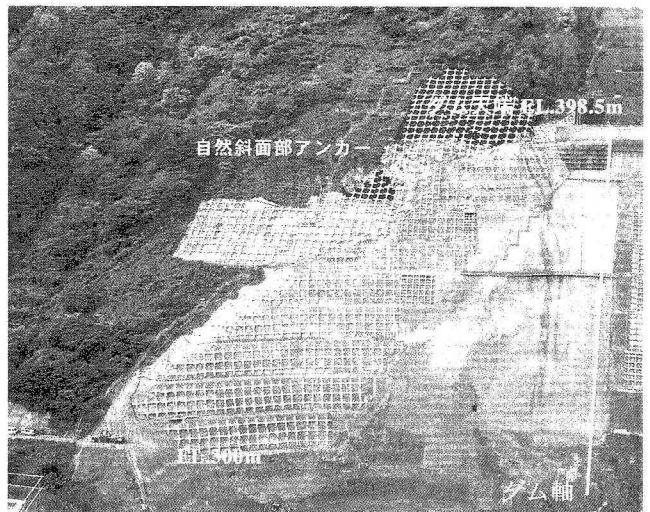


写真-1.1 長井ダム右岸施工状況

* 正会員 (株)ハザマ土木事業本部技術設計部

** 正会員 (株)ハザマ東北支店長井ダム出張所

2. 工事概要

長井ダムは、最上川支川置賜野川、山形県長井市地先に建設される多目的ダムであり、堤高 125.5m、堤体積約 120 万 m³ の多目的ダムである。工事概要を、表-2.1 に示す。ダム本体建設工事は、平成 12 年に約 140 万 m³ の基礎掘削工事に着手し、以後順調に工事の進捗をみて、平成 14 年 10 月から堤体コンクリート打設を開始している。

表-2.1 長井ダム工事概要

工事名称	長井ダム本体建設第1工事（第1期）
発注者	国土交通省東北地方整備局
施工場所	山形県長井市平野寺泉地内
工期	平成 12 年 3 月～平成 16 年 3 月（第1期）
施工	工：間・前田・奥村特定建設工事共同企業体
堤頂長	381m
堤高	125.5m
堤体積	約 120 万 m ³ （第1期分約 35 万 m ³ ）
型式	重力式コンクリートダム

3. 地形・地質概要

ダムサイトの地形については、置賜野川が長井盆地に流入する地点から約2.5km上流に位置し、山腹斜面の傾斜は左右岸とも40°前後と急峻であり、V字谷に近い様相を呈している。また、地質については、白亜紀から古第三紀にかけて貫入した花崗岩類に属する花崗閃緑岩が広く分布しており、この花崗閃緑岩を覆う被覆層として、段丘堆積物、古期ならびに新期の崖錐堆積物、現河床堆積物等が認められる。

今回の検討対象である右岸下流斜面部は、上述した崖錐堆積物に覆われており、上部より崩落したと推定される転石が積み重なっている状況であった(写真-3.1 参照)。また、これらの崖錐堆積物の深部には、最大深さ約30m付近まで風化岩盤が分布していた。図-3.1に、右岸下流斜面部における標準地質断面図を示す。

ここで、右岸下流斜面の地形的特徴を以下に示す。

- ①全体的に斜面が凸形状を呈し、地表面の起伏が著しい。
- ②斜面頂部に滑落崖状の地形が発達している。
- ③低標高部の斜面に崖錐堆積物の緩斜面が認められる。

以上のような特徴より、ダムサイト右岸下流斜面においては、風化と河川の側方浸食による崩壊により斜面下部にゆるみが発生し、これに引きずられる形でクリープ変形が斜面上部に及びゆるみが進行したと推定された。



写真-3.1 右岸下流表層部状況

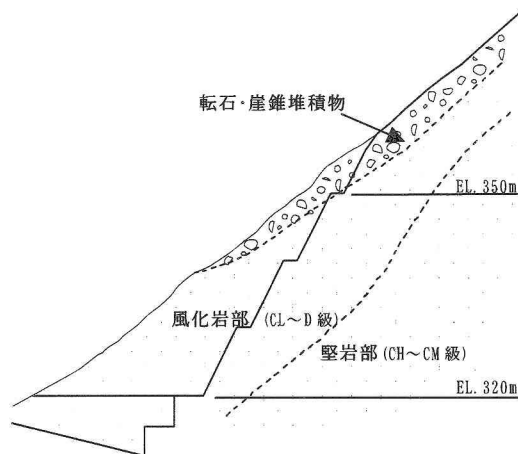


図-3.1 標準地質断面図

4. 対策工の考え方について

当初、この当該斜面の地山不良箇所については、全て掘削除去する案も検討されていた。しかしながら、①施工費が膨大になること、②自然環境に及ぼす影響が大きいことから、グラウンドアンカー工で斜面の安定性を確保し、急勾配で掘削することにより、掘削範囲、掘削量を低減させる工法が採用された。

このグラウンドアンカー工については、図-4.1に示すように、①切土のり面上部の自然斜面部のすべり土

塊と②切土のり面部のすべり土塊に分けて設計されている。また施工順序としては、①の厚い崖錐堆積物、風化岩盤によって構成される自然斜面部をアンカーによって安定化させ、その後、②の切土のり面をアンカー工により安定性を確保しながら、1:0.5の勾配で掘削する方法がとられた。なお、アンカー工の諸元については表-4.1に示すとおりである。

表-4.1 グラウンドアンカー工の諸元

	自然斜面部アンカー	切土のり面部アンカー
アンカー種別	SEE F130UA	SEE F20UA SEE F100UA SEE F110UA SEE F130UA
設計アンカー力	780kN/本	80～700kN/本
初期緊張力	390kN/本 (設計荷重の50%)	80～700kN/本 (設計荷重の100%)
本数	401本	444本
平均長さ	39m	18m
鋼製受圧板	401個 80tf用	101個 36tf用 343個 80tf用

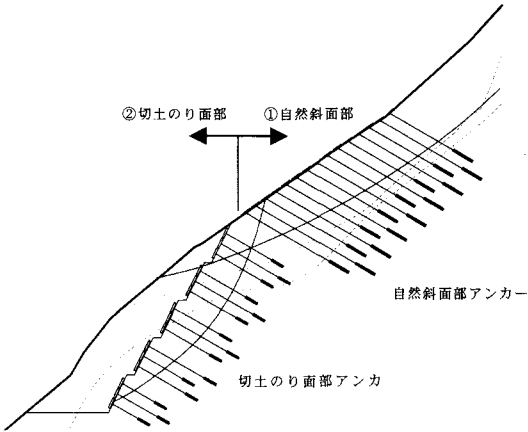


図-4.1 標準施工断面図

5. グラウンドアンカー工の設計

グラウンドアンカー工の設計については、①自然斜面部アンカーと②切土のり面部アンカーとに区分し、以下に詳細を示す。

(1) 自然斜面部グラウンドアンカーの設計

自然斜面部におけるグラウンドアンカー工は、下部掘削開始前に上部自然斜面を抑止する目的で設計されている。設計に際しては、堤体右岸基礎掘削が完了した時点で常時安全率1.15を確保するための必要抑止力を逆算して、アンカー本数・設計荷重を設定した。この安全率算出に際しては、右岸下流斜面全体を図-5.1に示すような17区間のブロックに分割し、各ブロックごとに算出した計算結果を累計し検討した。なおこの必要安全率については、全体で常時1.15を確保するとともに、ダム堤体との距離により3段階に分類し、①D100～D150ブロック全体の安全率：1.10、②D50～D100ブロック全体の安全率：1.15、③D25～D50ブロック全体の安全率：1.20を同時に確保することとした。以上の計算結果より、必要抑止力約300万kNに対して、設計荷重790kNのアンカーを401本実施した。

下部掘削完了時の安定計算結果（自然斜面部アンカー401本緊張・原設計）

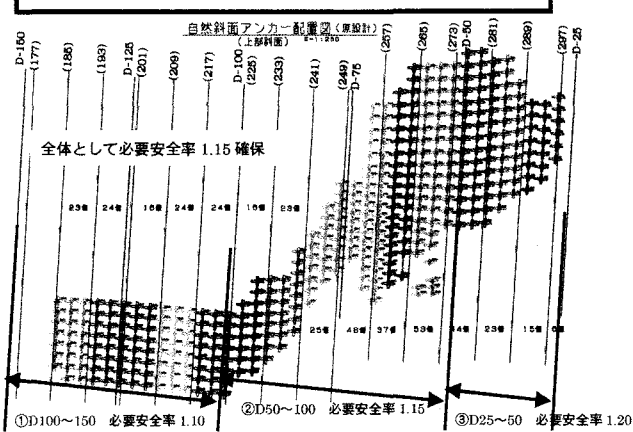


図-5.1 自然斜面部エリア分割と必要安全率の設定

表-5.1 自然斜面部における安定計算結果

ブロック	必要安全率 RFs	滑動力 T (kN)	抑止力 R (kN)	切土後 安全率 Fs	アンカー 数 (本)	アンカー 実施後 安全率 Fs'	安全率 上昇率
①	1	1.10	100572.4	181285.2	1.80	0	0.0
	2	1.10	246479.9	239131.8	0.97	23	1.05
	3	1.10	263894.1	258134.2	0.98	24	1.05
	4	1.10	255697.3	254293.0	0.99	16	1.05
	5	1.10	234075.4	237858.6	1.02	24	1.10
	6	1.10	219874.0	228933.3	1.04	24	1.13
②	7	1.15	210794.1	222259.8	1.05	16	1.12
	8	1.15	204281.3	210425.4	1.03	23	1.12
	9	1.15	202784.5	207568.9	1.02	25	1.13
	10	1.15	204789.6	207381.0	1.01	48	1.21
	11	1.15	200108.5	201778.6	1.01	37	1.16
	12	1.15	189400.1	184742.7	0.98	53	1.21
	13	1.15	163403.1	161232.4	0.90	44	1.21
③	14	1.20	125593.8	129657.9	1.03	23	1.18
	15	1.20	79896.5	85844.1	1.07	15	1.23
	16	1.20	27632.2	28899.6	1.05	6	1.22
	17	1.20	147.6	195.4	1.32	0	1.32
計	1.05	2903042.4	3039901.9	1.04	401	1.15	11.3

(2) 切土のり面部グラウンドアンカーの設計

切土のり面部におけるグラウンドアンカー工は、上部自然斜面部がアンカーにより安定しているものと仮定し、その下部を急勾配で掘削することに伴い発生する切土面近傍の円弧すべりに対して設計している。具体的には、全体のアンカー施工エリアを7つのブロックに区分し、各測線ごとに切土面近傍の円弧すべりによる安定計算を実施した。なお、必要安全率については常時1.2、地震時1.0とされており、これにより設計荷重はのり面の高さに応じて80～700kNに設定された。図-5.2に切土のり面部アンカー配置図を示す。

(3) 切土のり面部施工時の安定検討

(2) 項における検討結果については、掘削工が下部まで完了し、さらに全てのアンカー工が完了した場合の検討結果であることから、掘削途中段階でアンカーの緊張が完了していない段階での安定性については、別途検討した。

切土のり面部のアンカー工は、掘削と並行作業となる逆巻き工法であった。基本的には昼に掘削、夜にアンカー削孔・注入という施工パターンとなるが、アンカーの緊張工については、注入セメントミルク（早強セメント使用）の養生日数を確保した中3日後の施工となる。このため、各段ごとにアンカーの緊張完了後に下部掘削を実施した場合、養生日数による工程のロスが非常に大きくなる。そこで、工程のロスを短縮させる方策として、各ブロックにおいて掘削途中段階における円弧すべりによる安定計算を行い、施工安全率1.05を確保した施工パターンの提案を行った。計算結果の一例を表-5.2に示す。表-5.2の安全率に注目すると、アンカーの緊張を行わずに掘削工を進めた場合、表中の「切土のり面安全率(アンカーなし)」で示すように、のり面1段分(高さ10m)掘削すると安全率は1.114となり、その後2段掘削後に0.910、3段掘削後に0.831と安全率1.0(表中○印)を下回るが、以下に示す施工サイクルで施工した場合、全ての施工断面において、施工時の安全率が1.05を上回ることが確認された。

具体的には、図-5.3に示す検討模式断面図より、①上部のり面の掘削直高3.3m(掘削直高10m/アン

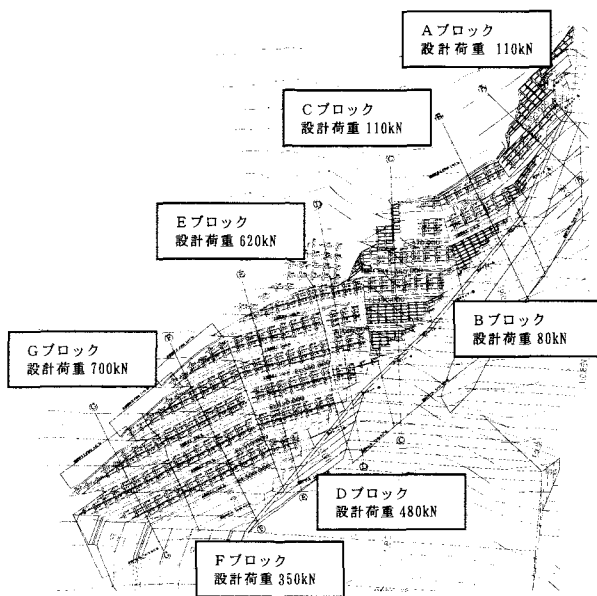


図-5.2 切土のり面部アンカー配置図

表-5.2 施工途中段階における安全率の一例

検討条件	掘削標高(m)	切土のり面安全率 (アンカーなし)	PCアンカー施工	必要抑止力 (kN/m) (必要安全率1.05)	アンカー抑止力 (kN/m)		アンカー施工後安全率
					本数	抑止力総力	
① 1段目掘削後	350	1.114	施工前	0.0	0	0.0	1.114
② 2段目掘削後	340	0.910	施工前	0.0	7	710.5	2.289
③ 3段目掘削後	330	0.831	施工前	245.3	7	710.5	1.316
④ 4段目掘削後	320	0.796	施工前	245.3	10	1015.0	1.489
⑤ 1段目掘削後			施工後	748.1	10	1015.0	1.128
⑥ 2段目掘削後			施工後	748.1	13	1319.5	1.217
⑦ 3段目掘削後			施工後	884.7	13	1319.5	1.175
⑧ 4段目掘削後			施工後	884.7	15	1624.0	1.262

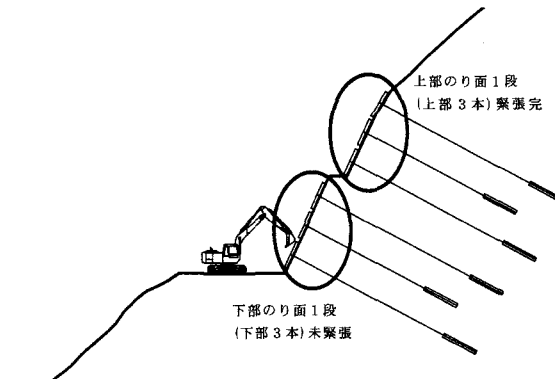
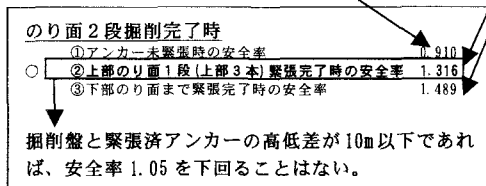


図-5.3 掘削途中段階における安定性検討模式図

カー3本)ごと掘削し、アンカーの削孔・挿入を行う。

②上部のり面のアンカー定着部の養生を行いながら、下部のり面の掘削を進める。

③下部のり面のアンカーの削孔・挿入作業を行う。同時に、上部のり面のアンカーのうち、定着部の養生期間を過ぎたものから高所作業車を用いて緊張する。

④上記施工サイクルで掘削とアンカーの削孔・挿入・緊張作業を並行して進める。その際、掘削盤と緊張が完了しているアンカーとの高低差を10m以内に確保する。

①～④のサイクルにより、例えば表-5.2に示すように、①2段掘削完了しアンカー緊張が済んでいない場合の安全率は0.911であるが、②2段掘削完了し上部1段分のアンカーが緊張している場合、つまり掘削盤とアンカー緊張部の高低差が10mの場合の安全率は1.316となる。以上より、アンカー一定着部の養生期間を十分確保しながら、同時に下部の掘削工を並行して実施することが可能となった。

6. グラウンドアンカー工の施工法

(1) 自然斜面部におけるアンカー施工

自然斜面部のアンカー施工フローを図-6.1に示す。3章の地形・地質概要に示したとおり、自然斜面部のグラウンドアンカー施工場所は転石が分布し凹凸が著しい状況であった。これに対しては、事前準備工として、①施工箇所への落石を防ぐ可倒式の落石防止柵の設置、②オーバーハング状の露頭を破砕材で整形する岩盤整形工、③転石の重なりが連続する部分に関してアンカー自由長部の保護等を目的としたモルタル吹付による空隙充填工を実施した。また、凹凸の著しい地表面において鋼製の受圧盤を設置する必要があったため、④台座による調整コンクリートを設置した。また、急傾斜地の自然斜面部における施工となることから足場設置後、削孔機、アンカー資材等を索道により足場上に搬入することとした。このため、工程上、索道の運転計画が重要となった。

(2) 切土のり面部のアンカー施工

5章で述べた施工安全率を確保した10m掘削先行の施工フロー図を図-6.2に示す。基本的には、昼間作業で切土工および事前処理工（表層部空隙充填工・モルタル吹付工・台座工）、夜間作業でグラウンドアンカー工（削孔・注入・緊張）のサイクルで逆巻き工法による施工をした。

事前処理工については、自然斜面部と同様に、転石等により凹凸の著しい箇所における①転石除去工、②表層部空隙充填工、そして表層崩落防止の③モルタル吹付工を実施した。また、④台座工については、事前には計画されていなかったが、のり面の凹凸が著しかったため、特に崖錐堆積物部において受圧板背面をモルタル吹付により整形する必要が生じた。

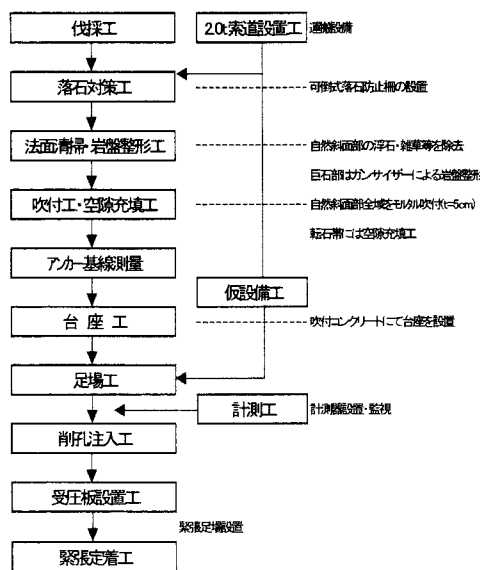


図-6.1 自然斜面部での施工フロー

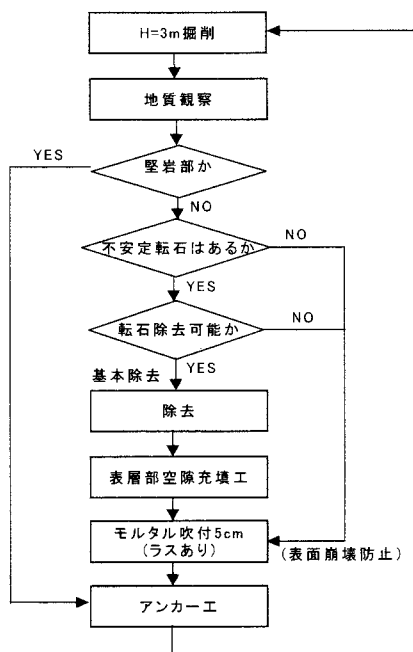


図-6.2 切土のり面部での施工フロー

7. 動態観測工

当該斜面における掘削工、グラウンドアンカー工を実施するにあたり、自然斜面および切土のり面の動態観測を目的として、伸縮計、岩盤変位計、アンカー荷重計、地下水位観測計、孔内伸縮計、孔内傾斜計を設置した。

すべての計測器は自動計測となっており、計測データが工事事務所内のパソコンへリアルタイムで蓄積されるため、集中管理が可能であった。また、計測データが異常を示した場合、現場に設置したパトライトの点滅と警鳴装置の作動により現場に周知する安全監視体制を確立した。図-7.1 に計測システム図、図-7.2 に計測結果出力例を示す。

注目すべき挙動としては、切土のり面部の崖堆積物、風化岩盤の分布が予想以上に厚く、特に注意が必要であった。具体的には、切土完了時点では一部の計測器に変動傾向が認められたが、最終的には管理基準値内の挙動となり、現在は収束傾向を示す。ただし、今後堤体打設が平成19年7月まで継続することもあり、長期的な挙動、特に、融雪期・降雨期の挙動には注意する必要があると考えている。

8. おわりに

845本のグラウンドアンカーを平成13年から14年にかけて冬季を除く実工期約8ヶ月で施工を完了し、堤体基礎掘削を遅延させることなく全体工程を確保することができた。

施工に際しては、工事事務所とJVで綿密な設計照査を行い、工程短縮につながる施工方法の提案・実施が可能となった。特に、切土のり面における施工法については、詳細な安定計算を実施するとともに、施工方法および工程管理に関して詳細な検討を行うことにより、掘削工事およびアンカー工事の工程を確保しながら施工することができた。

最後に、この右岸下流斜面は、現在実施している堤体コンクリート打設面の直上にあたるため、当該斜面の挙動については、今後も十分監視していく必要があると考えている。

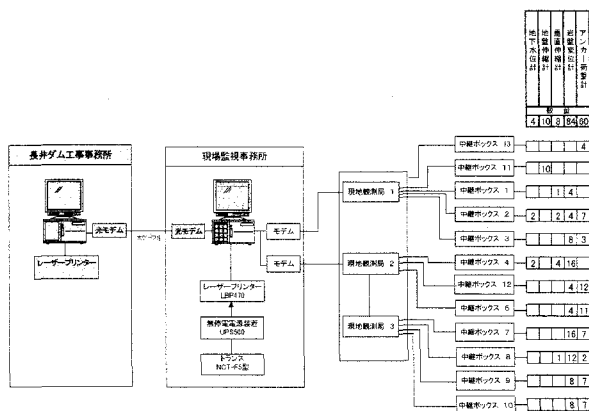


図-7.1 計測システム図

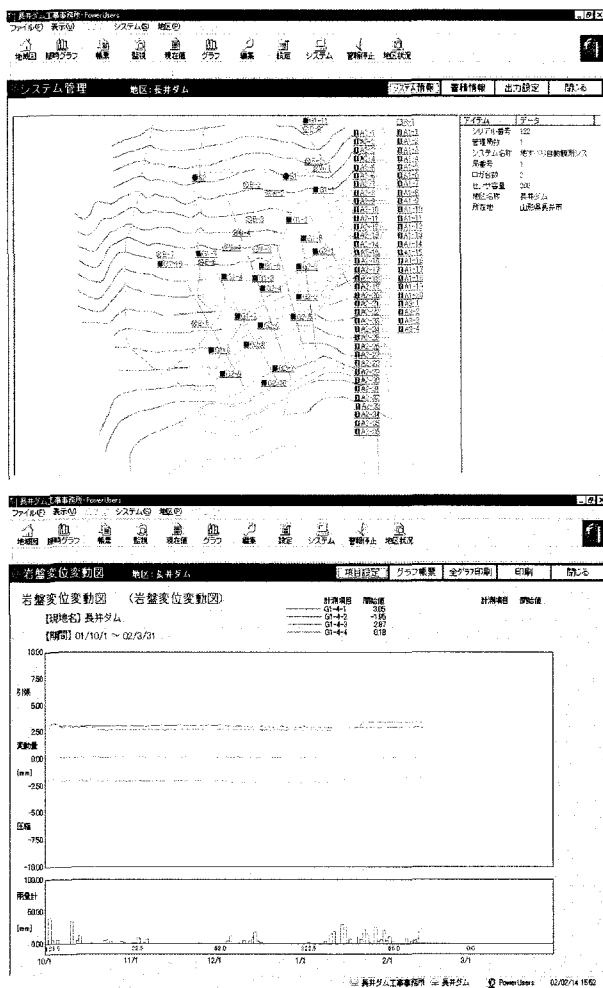


図-7.2 計測結果出力例