

スリランカ国
水力発電最適化計画調査に関する
フォローアップ調査
(ケラニ川水系水力発電所
リハビリテーション)

ファイナル・レポート
Vol. II
付 録

平成 17 年 7 月
(2005 年)

独立行政法人 国際協力機構
経済開発部

経済

JR

05 - 054

付 録

目 次

A 土木構造物関係付録

- A-1 地質調査等
- A-2 WPS 導水路トンネル抜水調査報告
- A-3 水力発電所保守点検マニュアル 土木構造物

B 水力発電所保守点検マニュアル 水力機械

- B-1 水力機械設備の保守管理
- B-2 水力機械設備の点検マニュアル
- B-3 水力機械設備の劣化診断マニュアル
- B-4 塗替塗装マニュアル

C 水力発電所保守点検マニュアル 電気機械

- C-1 携帯式超音波流量計を用いた簡易効率試験
- C-2 更新規模と効率向上に関する検討
- C-3 制御・保護装置 制御室レイアウトのリスト（図面を含む）
- C-4 CEBにおける Canyon 発電所点検項目
- C-5 電気機械設備に対する点検項目と保守マニュアル例

APPENDIX A
土木構造物関係付録

APPENDIX A-1
地質調査等

1. 地質関連の課題と追加調査

ケラニ川水系の発電設備で地質的に検討を要するものは次のとおり。

- ・ Wimalasurendra 発電所導水路トンネルの崩落
- ・ New Laxapana 発電所調圧水槽付近の漏水および斜面安定
- ・ Polpitiya 発電所取水口付近の斜面安定
- ・ Polpitiya 発電所背後の斜面安定

これらの検討を行うための追加調査 (Table 1.1) を 2004 年 10 月から 2005 年 3 月にかけて実施した。

Table 1.1 Additional Investigations

Name of Power Station	Structure	Inferred geological problem	Inspection of tunnel inside	Investigation			
				Topographic survey	Geological mapping	Water quality test	Mesurement of discharge volume
Wimalasurendra	Headrace Tunnel	collapse	yes			1set	
New Lavapana	Surge Tank and surroundings	leakage and slope stability		20ha	20ha	1set	1set
Polpitiya	Intake and surroundings	slope stability		6ha	6ha		
	Slope behind Power Station	slope stability		10ha	10ha		

2. Wimalasurendra 発電所導水路トンネル

Wimalasurendra 発電所導水路においては、以前に発電所放水口より濁水が観測されたことより、導水路トンネル内での壁面の崩落等の不具合が予想されていた。このため、CEB により 2005 年 2 月下旬に導水路トンネルの抜水調査が行われたのに合わせて、JICA 調査団も抜水後のトンネルに入り、目視点検を行った。

その結果、数箇所の壁面コンクリートの小規模な崩落は確認されたものの、地質的脆弱部が主な原因となっているような不具合は特に確認されなかった。

また、確認された小規模な崩落部分は、抜水期間中に CEB により補修されている。

3. New Laxapana 発電所調圧水槽付近

3.1 概要

New Laxapana 発電所調圧水槽付近の斜面には多くの湧水が分布する。湧水のこれまでの経過は以下のとおり。

- ・ 水路トンネル建設前は、舗装道路より上のバルブ室より離れた位置から少量の湧水があった。
- ・ トンネル掘削によりそれらの湧水が涸れた。
- ・ トンネル通水後数年でそれらが回復し、湧水地点の数が増えた。
- ・ 1998年2月から3月にかけて導水路をゆっくり抜水したとき、バルブ室付近の湧水が涸れ、充水開始後2-3時間後に再び湧出した。
- ・ 現在道路脇の湧水はパイプで集められ、それより下に住む住民に利用されている。

以上より、これらの湧水のほとんどはトンネルからの漏水であることは明らかである。これらの湧水の量や斜面安定に対する影響を検討するため、地形測量、地質踏査、水質調査、水量測定を実施した。

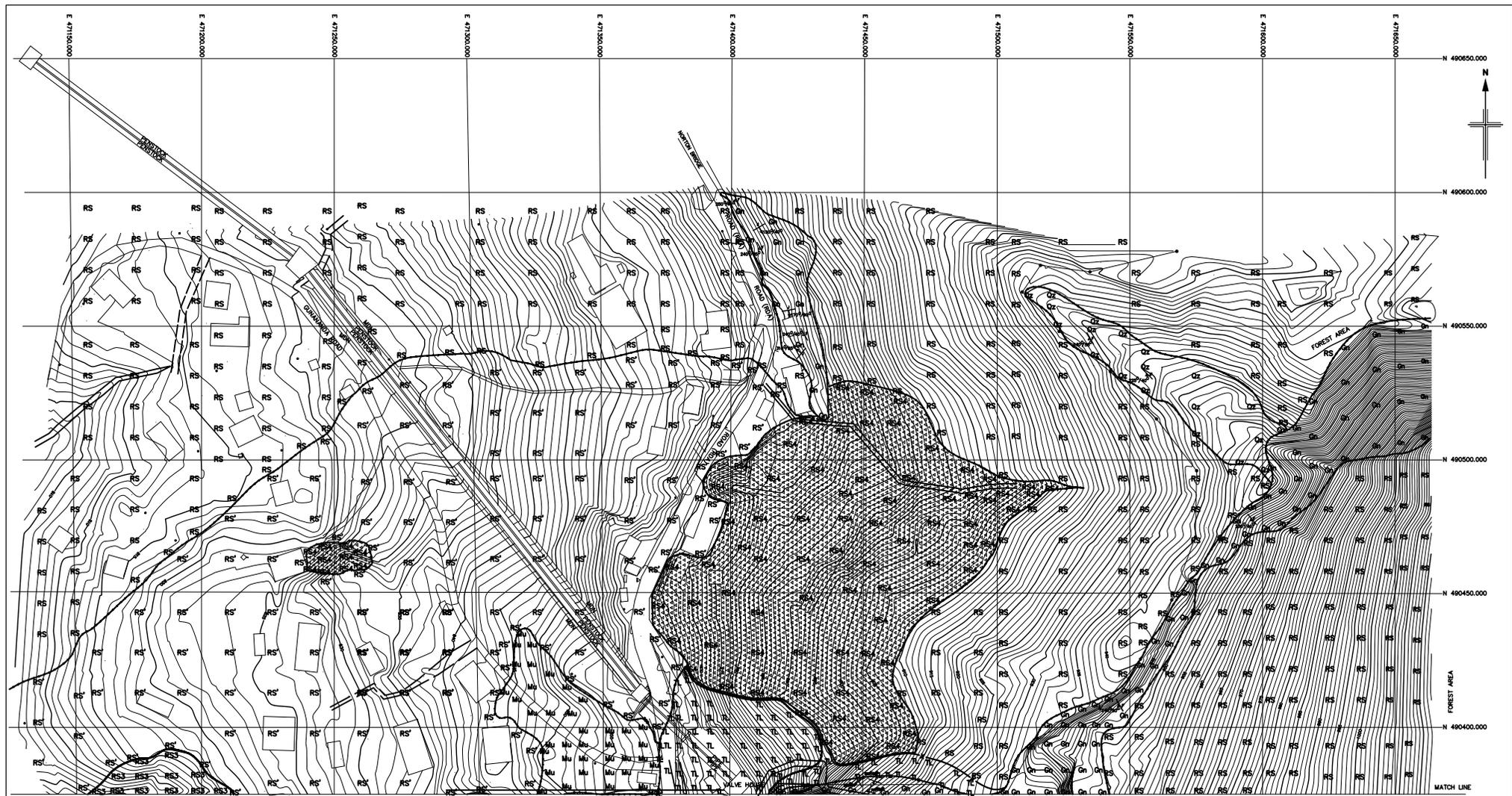
3.2 地形および地質

調圧水周辺の斜面は全体に西に傾斜していて平均約20度の傾斜を示す。露岩はすくないが、北東—南西の方向の急崖があって岩盤が露出している。調圧水槽の立坑坑口はこの急崖より上方にあり、水圧管路はそれより下方の15度以下のゆるい斜面を北西に伸びている。バルブ室のすぐ下（標高約860 m）に舗装道路があり、その切り取り斜面には風化岩が観察される。

調圧水槽周辺の地質踏査は2005年1月から2月にかけて実施され、作成された地質図を Figure 3.1 に示す。

岩盤はチャーノカイト質片麻岩、チャーノカイトおよびコーツァイトから構成され、その片理はN20～50°W、30～50°の走向傾斜を示し、斜面の平均傾斜方向よりやや上流に向かって斜面と同じかやや急な角度で傾斜している。

斜面を覆って分布する堆積物は、その構成物資や表面の状態により Table 3.1 のように区分される。それには New Laxapana 発電所トンネルの掘削ズリが含まれている。その表には堆積物の推定形成時期も示されている。



LEGEND

BEDROCK

Gs GNESISSIC ROCK. (UNDIFFERENTIATED, MAINLY CHARNOKITE GNSS.)

Qz QUARTZITE.

OVERBURDEN

RS RESIDUAL SOIL
REDDISH BROWN CLAYEY SANDS & SANDY CLAYS WITH GRAVEL THICKNESS 0.5-2m.
THIN SILTY CLAY LAYER UNDER LIVING BEDROCK OUTCROPS
AT PLACES LARGE ANGULAR BLOCKS OF (UP TO 7m)
SLIGHTLY RECOMPOSED GNSS BEDROCK APPEAR ON SURFACE.

RS1 AREA COVERED WITH OLD LAND SLIDE DEBRIS.
MATERIAL CONSISTS OF YELLOWISH TO REDDISH BROWN CLAYEY SAND WITH GRAVEL.
1-2cm ANGULAR TO SUB-ANGLED BOULDERS ARE EMBEDDED IN SOIL MATRIX.
ANNOX. OF BOULDERS VARIES.

RS3 AREA COVERED WITH SECONDARY LANDSLIDE DEBRIS.
MATERIAL IS MADE OF YELLOWISH TO REDDISH BROWN CLAYEY SAND AND
SANDY CLAYS MIXED WITH BOULDERS PRELIMINARILY OF SIZES LESS THAN 1m.

RS4 VARY LARGE ROCK SLIP DEBRIS.
MATERIAL PRELIMINARILY MADE UP OF EXTRA LARGE ANGULAR BOULDERS OF FRESH GNSSIC ROCK.
(SOME BLOCKS EXCEED 20m).

BL BOULDERS LYING ON THE STREAM BED.
MATERIAL CONSISTS OF SUB-ANGULAR TO SUB-ROUNDED BOULDERS OF GNSSIC ROCKS.
THEIR RANGE FROM 0.5-4m.

BL2 YELLOWISH TO REDDISH BROWN SANDY CLAY WITH EMBEDDED BOULDERS. (1-2m.)

TL TALUS
ROCK MATERIAL DERIVED FROM ROCKY CLIFF FACE.
MATERIAL IS MADE UP OF BOULDERS OF SIZE OF 0.5-1.5m.
SOIL FRACTION MADE UP MAINLY OF CLAYEY GRAVEL MATERIAL ABOUT 20/-30/.

M MARSY AREA COVERED WITH THIN CLAY LAYER.
BROWN SILTY PLASTIC CLAY CONTAINS SOME GRAVEL THICKNESS 0.2-0.3m. (UNDERLAIN BY EARTH SLIP DEBRIS.)

Db SMALL ACTIVE SECONDARY SLIDES IN DEBRIS MATERIAL.

Mu MAIN MADE UP OF ROCK
MATERIAL EXCAVATED FROM TUNNEL & PENSTOCK ADIT.
SIZE OF ROCK FRAGMENTS 0.1-0.5m. MAINLY GNSSIC ROCK AND SOME CRYSTALLINE LIMESTONE.

Boundary between rock types or categories of overburden.

Top of scarp face formed by exposed bedrock.

Landslide scarp.

Tension crack on soil.

Spring.

Direction of foliation.

Scarp of foliation.

Foliation of bedrock.

Foliation joint.

Joint.

Figure 3.1 Geo Map (New Laxapana - 1)

<p>JICA STUDY TEAM (ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD.) INVESTIGATION WORKS FOR THE FOLLOW-UP STUDY ON HYDROPOWER STATIONS IN THE KELANI RIVER BASIN FOR HYDROPOWER OPTIMIZATION - IN SRI LANKA GEOLOGICAL MAP NEW LAXAPANA SURGE SHAFT AND SURROUNDING AREA (SHEET 01 OF 02)</p>			
DESIGNER	DRAWN	CHECKED	APPROVED (DM)
DATE	DATE	DATE	DATE
GENERAL ENGINEERING CONSULTANCY BUREAU, 415, BANSHANGRA MAHARAJA, COLOMBO 7 - SRI LANKA.	SCALE 1:100	DATE FEBRUARY 2005	AD
		DRG. No. 647/IN/03/01	REV

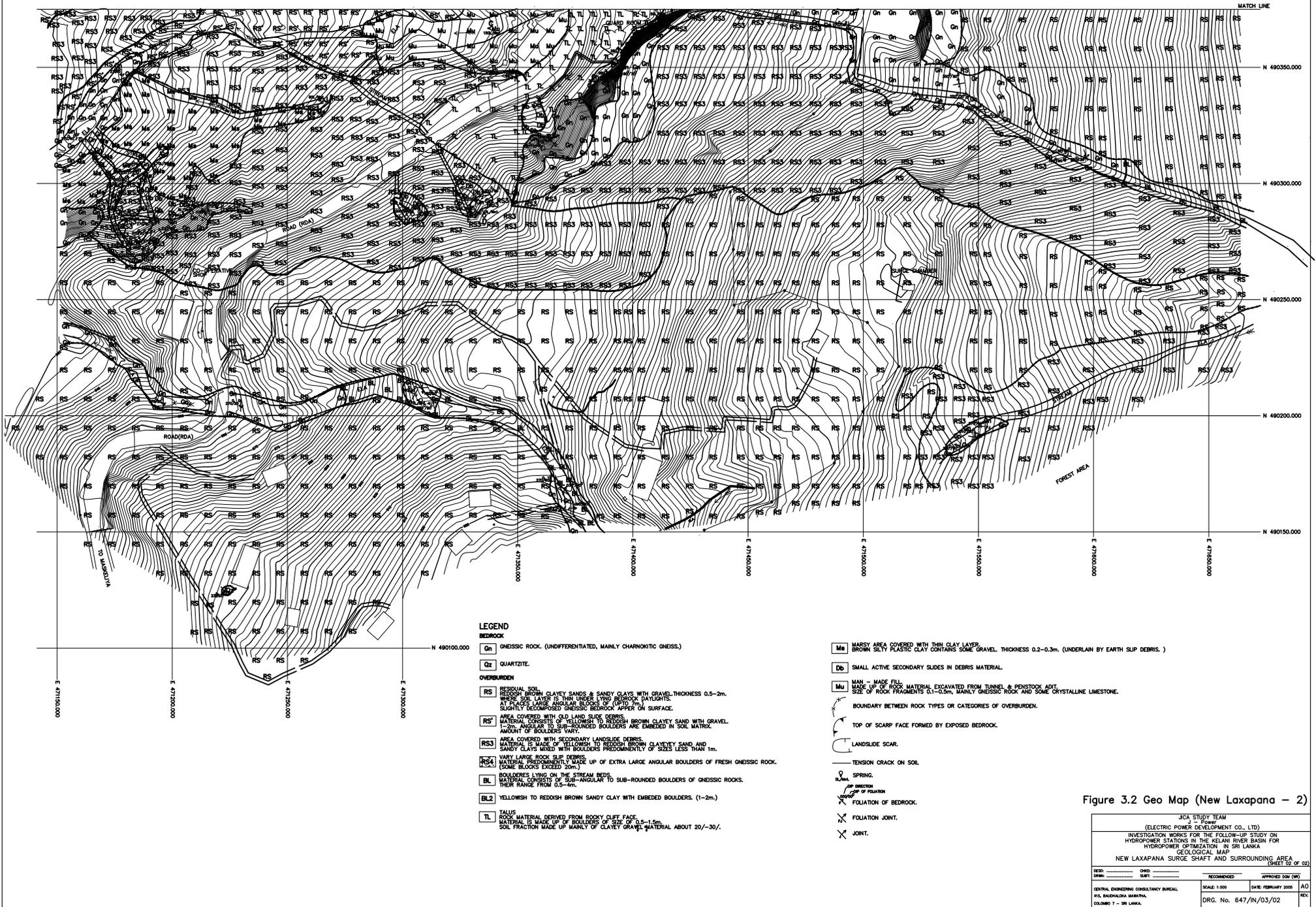


Figure 3.2 Geo Map (New Laxapana - 2)

JCA STUDY TEAM J. S. Perera (ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO., LTD) INVESTIGATION WORKS FOR THE FOLLOW-UP STUDY ON HYDROPOWER STATIONS IN THE KELANI RIVER BASIN FOR HYDROPOWER OPTIMIZATION IN SRI LANKA GEOLOGICAL MAP NEW LAXAPANA SURGE SHAFT AND SURROUNDING AREA (SHEET 02 OF 02)			
DATE:	DWG:	RECOMMENDED	APPROVED DGM (M)
BY:	SUB:		
CENTRAL ENGINEERING CONSULTANCY BUREAU 115, BACHCHALOMA MAWATHA, COLOMBO 7 - SRI LANKA.		SCALE: 1:500 DATE: FEBRUARY 2005	AO REV.
		DRG. No. 647/IN/03/02	

Table 3.1 Details of formations of overburden

Type of Formation	Average Thickness (m)	Interpreted Age of Last Event (yrs.)	Stability of the Ground
RS	1-20	In situ material	Stable
RS'	5-10	More than 75	Stable
RS4	10-15	More than 75	Stable
BL2	1-5	More than 50	Unstable
TL	2-6	After RS2	Unstable
RS3	5-7	1944	Unstable
MU	2-5	About 35	Stable
MS	<1	5-8	Unstable
Db	2-5	1-5	Unstable
BL	1-3	1-5	Unstable

3.3 湧水

調圧水槽地点周辺の湧水は 11 箇所を確認され、それらを Table 3.2 に示す。

まず、湧水の量について述べる。湧水は岩盤から湧出しているものが多く、湧出量は毎分 150 リットルが最大で 11 箇所合計で毎分 730 リットルである。湧水を集めて流れる沢の水量は V ノッチで測定した結果 V5 ノッチで毎秒 240 リットル（毎分 14400 リットル）である。他の沢に流水が少ないことから、この多くの部分がトンネルからの漏水によるものと思われる。したがってトンネルからの漏水は湧水地点で確認されている量よりはるかに多い。

Table 3.2 Locations and nature of springs

Location of Spring	Out flow l/min	Formation /Nature of Spring	Behavior with time (Monitoring Period 2 months: August –Sep 2005)
A	50	Clear water, through open joint in Gneissic rock	Continuous: No significant change in flow
B	150	Clear water, through open joint in Gneissic rock	*Flow changes with the operation of valve house
C	150	Clear water: About 4cm Diameter hole appearing under a tree root. Area filled with tunnel muck	Continuous: No significant change in flow
D	5	Clear water: through hole in soil	Continuous: No significant change in flow
E	25	Clear water: through open joint in Gneissic rock	*Flow changes with the operation of valve house
F	40	Clear water: Through hole in debris material of earth slip	Continuous: No significant change in flow
G	100	Clear water: Through hole in debris material of earth slip	Continuous: No significant change in flow
H	20	Clear water, through open joint in Gneissic rock	Continuous: No significant change in flow
I	40	Clear water, through open joint in Gneissic rock	Continuous: No significant change in flow
J	80	Clear water: Through hole in debris material of earth slip	Continuous: No significant change in flow
K	70	Clear water: Through hole in debris material of earth slip	Continuous: No significant change in flow

水質に関しては、湧水や沢水に起源を確認するための調査が実施された。水路の水を取水口・サージタンク・放水口にて採取し、サージタンクおよび水圧管路付近の地表で湧水および沢水を採取した。それらの水について以下の項目の分析を実施した。

- ◆ 電気伝導度
- ◆ 濁度
- ◆ pH
- ◆ 水温
- ◆ 気温
- ◆ 化学分析 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , 総アルカリ度)

測定・分析結果および化学成分のイオン濃度を Table 3.3 に示す。

測定・分析項目のうち、電気伝導度に着目する。電気伝導度は水路の水で $20\mu\text{S}$ を示し (NLW-1、2)、水路付近やそれより斜面下方の湧水や沢水は $20\mu\text{S}$ あるいは $20\sim 10\mu\text{S}$ を示し、水路から斜面を側方に離れた位置の沢水で $10\mu\text{S}$ 以下と低くなっている Figure 3.3、3.4。水路付近やそれより斜面下方の湧水や沢水は水路の水とほぼ同じか、それが多く混入している事を示唆する。

次に化学成分について、重量濃度 (ppm = g/リットル) を当量で除した濃度 (me/リットル) で、ヘキサダイアグラム Figure 3.5 で検討する。採取地点と水路の位置関係も考慮すると、以下の4つの水質に分けられる。その分布を Figure 3.6、3.7 に示す。

- ◆ A (図中に赤で示す) Ca^{2+} が多い水
- ◆ B (図中に黄で示す) Ca^{2+} が多く Cl も多い水
- ◆ C (図中に緑で示す) Ca^{2+} が少なく Cl が多い水
- ◆ D (図中に青で示す) Ca^{2+} が少なく Cl も少ない水

A は水路の水およびこれに近い水である。C は A とは全く異なる水で、地山に長時間滞留していた水の可能性が高い。B は A と C が混合したものと思われる。D は降雨に近い水と思われる。(降雨の試料：NLW-20：はイオン濃度が水路の水すなわち河川本流の水より高く異物が混入していると思われる)。

トンネルからの漏水は A (図中に赤で示す) のタイプの水であり、すなわち、NLW-10、12 および 14 の湧水がこれにあたる。車道脇の沢も水量の殆どが漏水に由来することを示している (NLW-6 および 7)。それらの下流の沢では、地下水と混合した B タイプを示すが、途中の NLW-8 が A タイプに戻り、途中で漏水が多量に混合している事を示唆している。

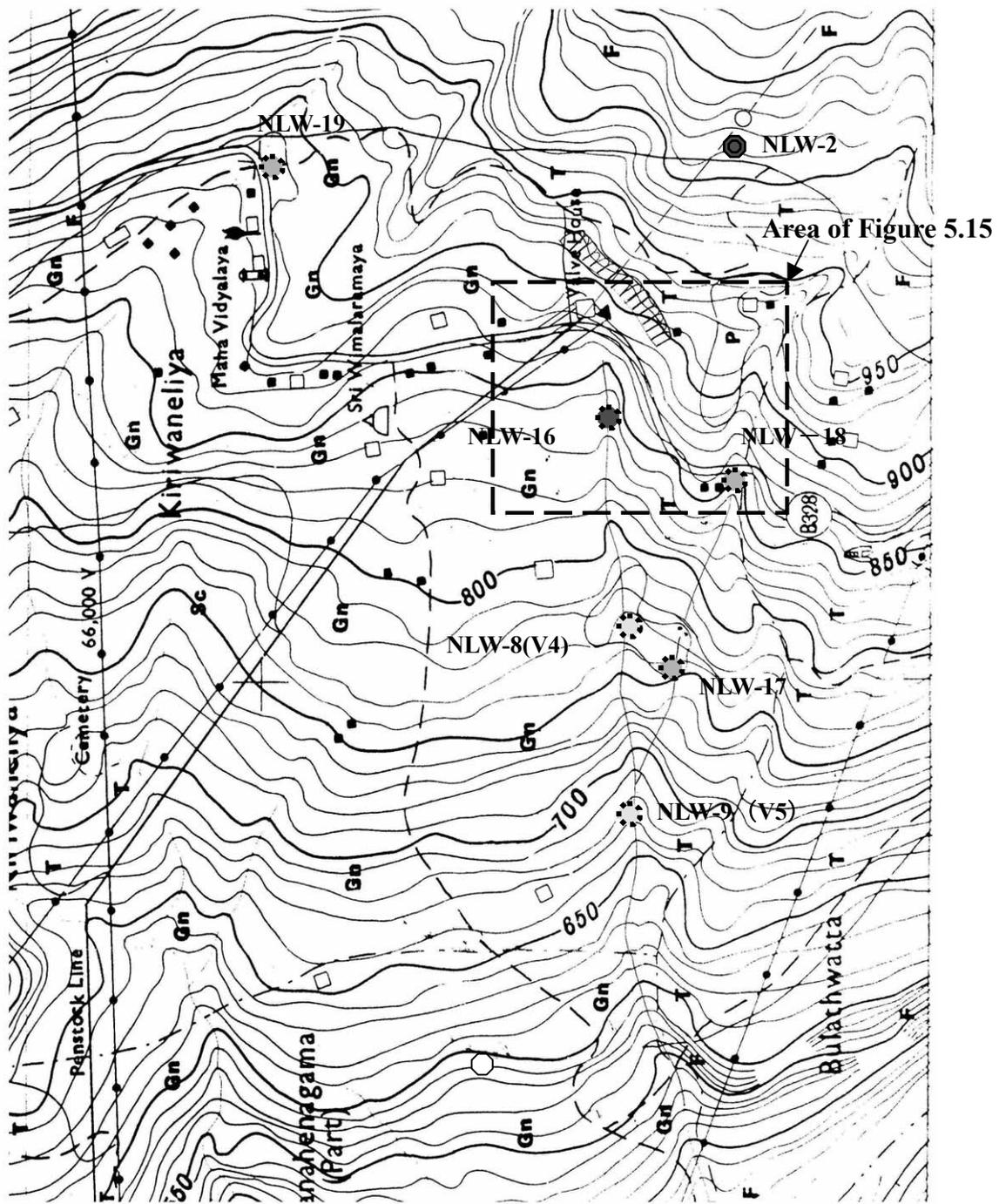
Table 3.3 Water Quality Test Results

Area A

Sample No.		NLW-1	NLW-2	NLW-3	NLW-4	NLW-5*	NLW-6	NLW-7	NLW-8	NLW-9	NLW-10	NLW-11	NLW-12	NLW-13	NLW-14	NLW-15	NLW-16	NLW-17	NLW-18	NLW-19	NLW-20	NLW-21**
Locality		Reservoir near intake of New Laxapana Power Plant	Surge shaft of Laxapana Power Plant	Masukelhya river just upstream of Laxapana Power Plant	Outlet of Laxapana Power Plant	Stream at V1 notch	Stream at V2 notch	Stream at V3 notch	Stream at V4 notch	Stream at V5 notch	Spring just below the cliff	Guided water at the road side	Guided water at the road side	Spring from the wall to the NE of valve house	Spring from the outlet of penstock tunnel	Spring below the cliff to the SW of valve house	Large spring downstream of V2	Just downstream of a water fall of Seegra Ela	Stream of Seegra Ela beside the road	Stream beside the road	Rain water near Laxapana Power Plant	
pH		6.33	6.19	6.84	6.35		7.11	7.00	7.08	7.13	6.29	7.24	6.72	6.86	6.34	7.17	6.48	6.90	7.00	6.63	6.39	6.15
EC	µs/cm	20	20	20	19		18	20	18	18	19	17	26	15	20	17	20	8	8	9	19	19
Na ⁺	ppm	4.0	4.5	5.2	3.8		3.5	4.0	4.0	3.5	4.0	3.5	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.9	3.5
(1e=23g)	me/l	0.2	0.2	0.2	0.2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
K ⁺	ppm	1.7	1.5	1.5	1.2		1.1	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.3	0.9	1.2	1.2	1.2	0.6	0.5	0.4	1.3	1.2
(1e=39g)	me/l	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Na ⁺ + K ⁺	me/l	0.2	0.2	0.3	0.2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
Ca ²⁺	ppm	8	6	8	10		8	8	6	8	8	4	12	4	8	8	8	4	2	4	18	8
(1e=20g)	me/l	0.4	0.3	0.4	0.5		0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.6	0.2	0.4	0.4	0.4	0.2	0.1	0.2	0.9	0.4
Mg ²⁺	ppm	2	4	4	2		4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	2
(1e=12 g)	me/l	0.2	0.3	0.3	0.2		0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
Fe ²⁺	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		<0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
(1e=28g)	me/l							0.00	0.00	0.00											0.00	
Mn ²⁺	ppm	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
(1e=27.5g)	me/l																					
Cation		0.78	0.87	1.00	0.86		0.91	0.78	0.68	0.75	0.77	0.55	0.95	0.54	0.75	0.77	0.77	0.51	0.41	0.67	1.44	0.75
Cl ⁻	ppm	5.7	5.7	7.1	8.5		5.7	5.7	2.8	8.5	6.0	8.5	5.7	8.5	5.7	8.5	7.1	11.0	2.8	2.8	4.3	5.7
(1e=17.5g)	me/l	0.3	0.3	0.4	0.5		0.3	0.3	0.2	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.3
SO ₄ ²⁻	ppm	1.4	0.6	1.0	0.4		0.3	0.5	0.6	1.2	0.6	1.0	1.2	1.1	0.2	0.5	0.7	1.1	1.1	0.6	0.3	0.6
(1e=48g)	me/l	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO ₃ ⁻																						
	me/l	0.4	0.5	0.6	0.4		0.6	0.4	0.5	0.2	0.4	0.0	0.6	0.0	0.4	0.3	0.4	(0.1)	0.2	0.5	1.2	0.4
Total Alkalinity	ppm	6	10	10	8		12	10	6	8	8	6	14	10	8	6	8	6	4	6	18	8
SS	ppm	9.2	13.2	10.0	7.6		21.6	2.0	1.6	2.4	7.6	5.6	2.4	8.0	2.0	5.2	8.0	9.6	19.2	1.6	30.0	17.6

* Water is not available at the location

** Water sampled from a new location (spring) at just downstream of the corporative shop in between NLW-16 and NLW-18



- | | | | |
|---|--------|-------|-----------------------------------------|
| ⊙ | Stream | NLW-1 | Name of location |
| ○ | Spring | ● | Electrical conductivity $> 20 \mu S$ |
| ⊙ | Shaft | ● | Electrical conductivity $10 - 20 \mu S$ |
| | | ● | Electrical conductivity $< 10 \mu S$ |

Figure 3.3 Electrical conductivity

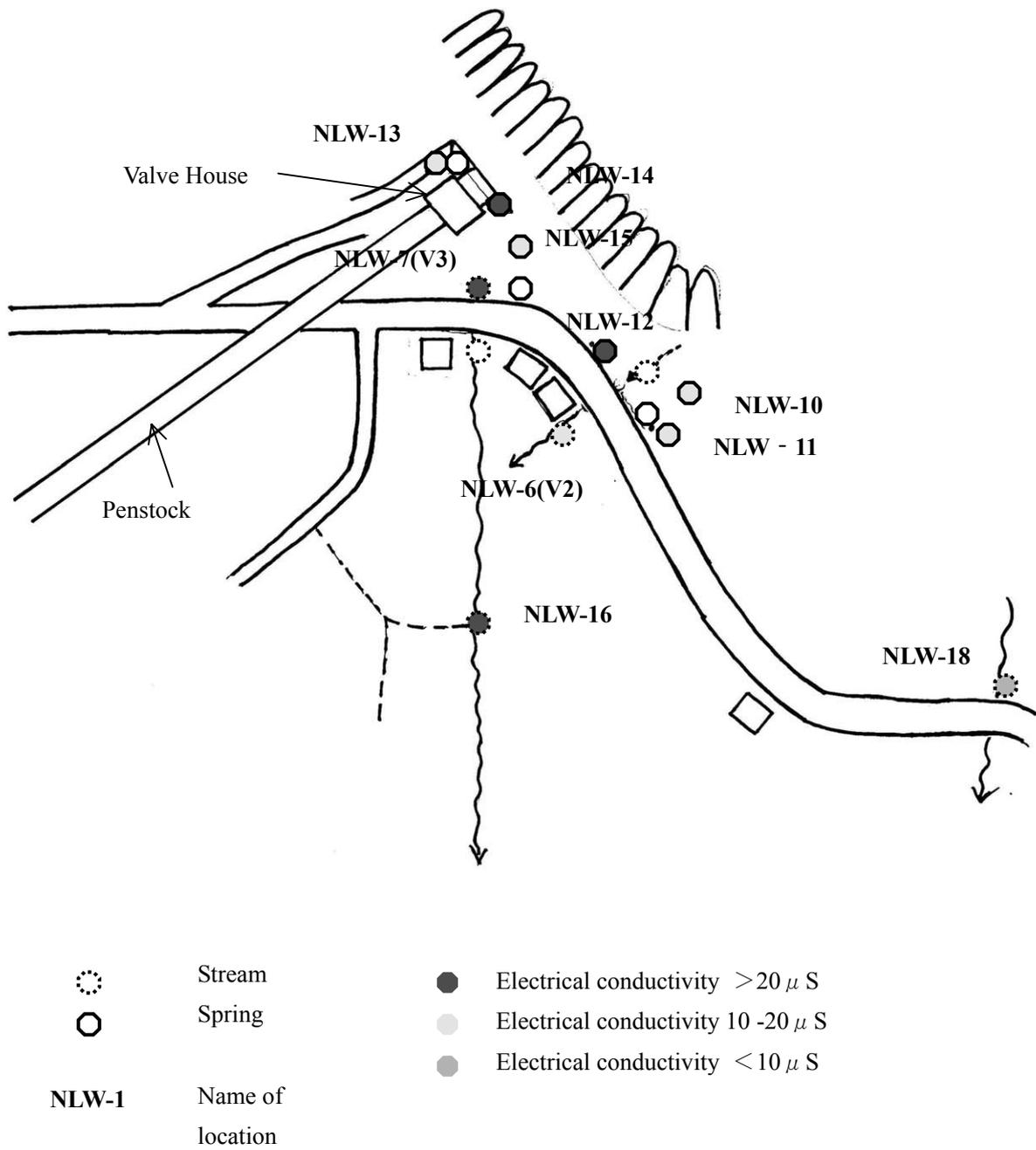


Figure 3.4 Electric Conductivity

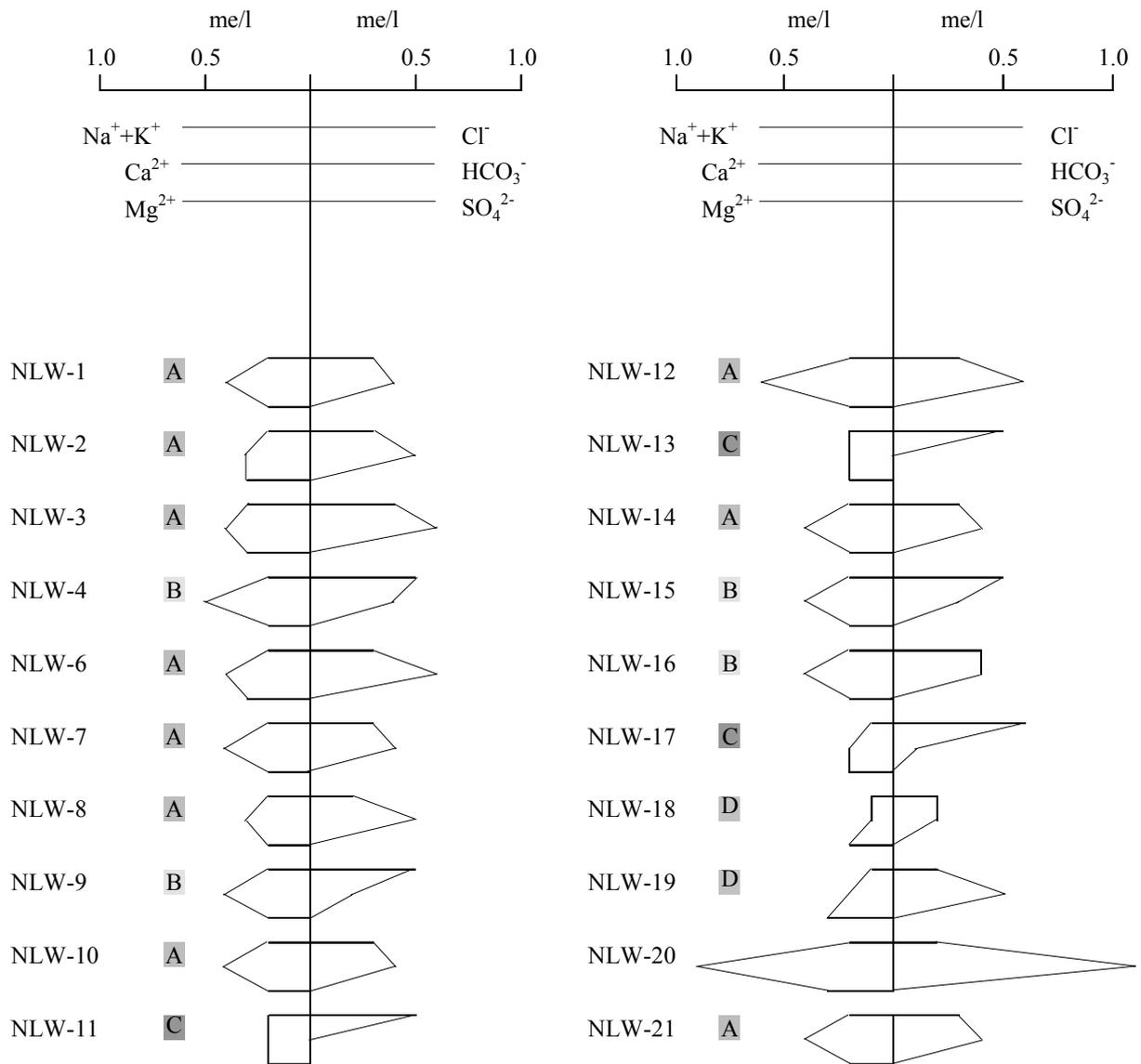
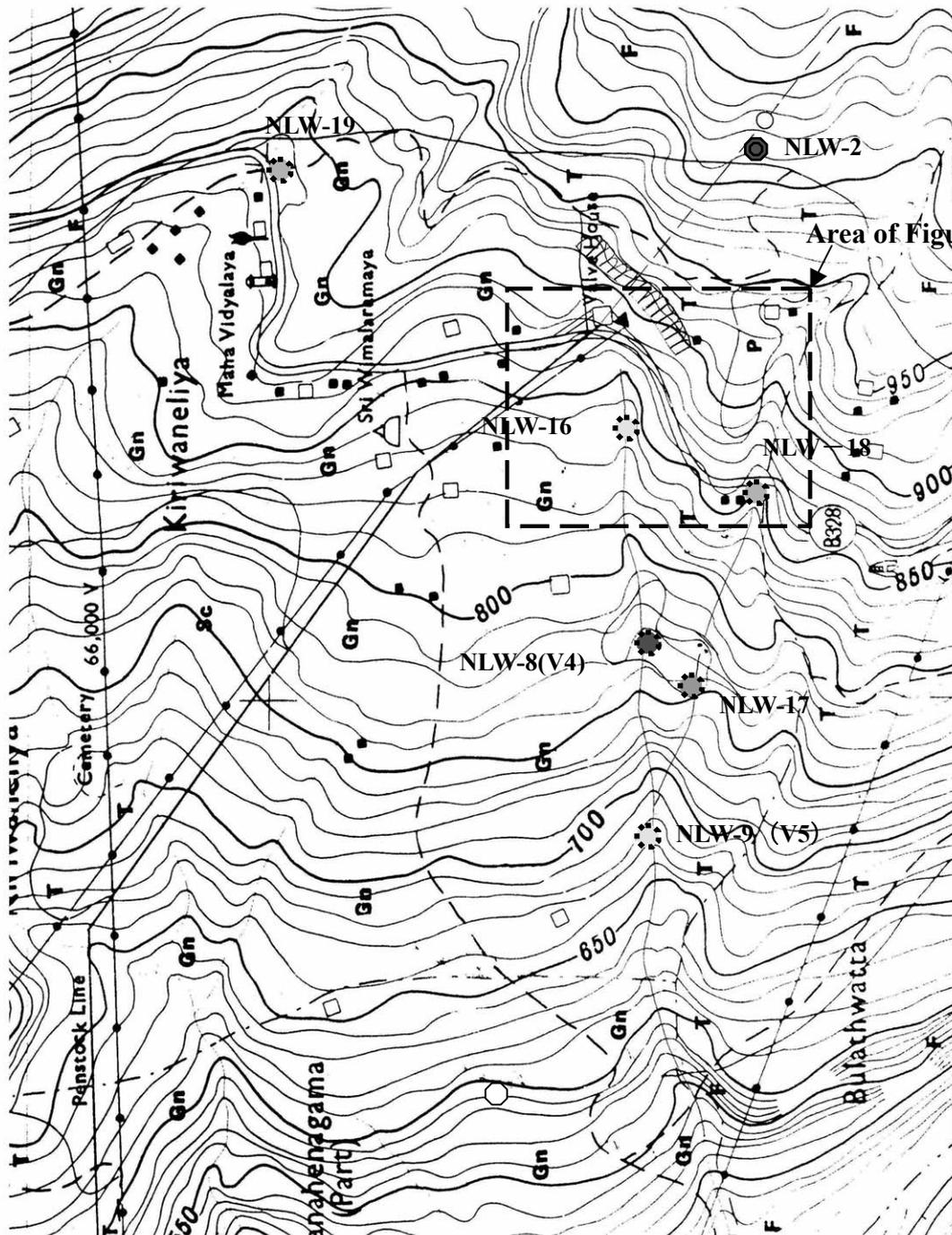


Figure 3.5 Water Quality by Hexadiagram

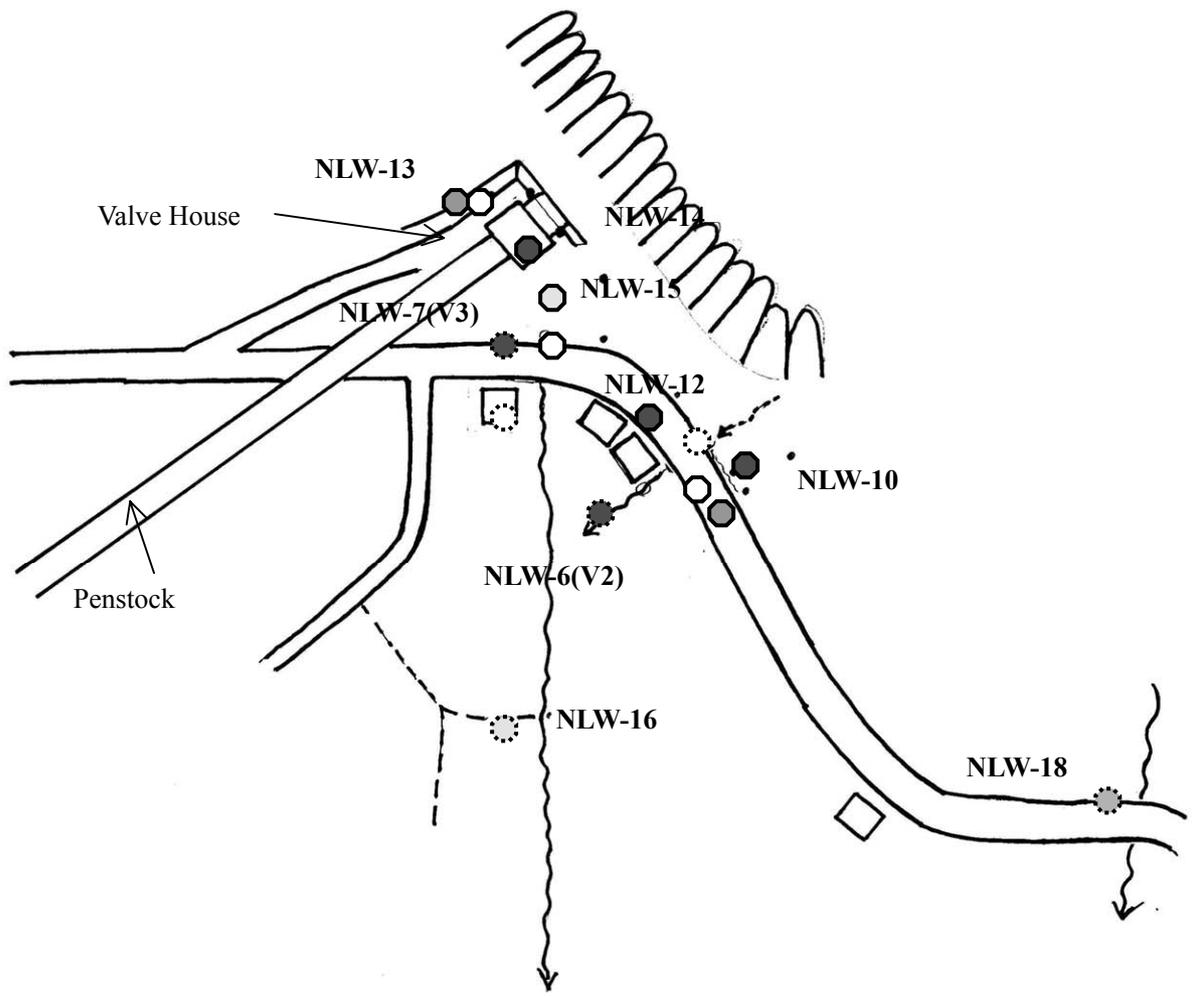


Area of Figure 5.18

- | | | | |
|---|--------|---|-----------------------------------------------|
| ⊙ | Stream | ● | Ca ⁺ rich |
| ○ | Spring | ◐ | Ca ⁺ rich and Cl ⁻ rich |
| ⊗ | Shaft | ◑ | Ca ⁺ poor and Cl ⁻ rich |
| | | ◒ | Ca ⁺ poor and Cl ⁻ poor |

NLW-1 Name of location

Figure 3.6 Water Quality



<p>○</p> <p>○</p> <p>NLW-1</p>	<p>Stream</p> <p>Spring</p> <p>Name of location</p>	<p>●</p> <p>○</p> <p>●</p> <p>●</p>	<p>Ca⁺ rich</p> <p>Ca⁺ rich and Cl⁻ rich</p> <p>Ca⁺ poor and Cl⁻ rich</p> <p>Ca⁺ poor and Cl⁻ poor</p>
--------------------------------	-----------------------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figure 3.7 Water Quality