

APPENDIX B

水力発電所保守点検マニュアル
水力機械

APPENDIX B-1
水力機械設備の保守管理

1. 水圧鉄管の保守管理

(1) 漏水の防止

リベット継手、ボルト、パッキンまたはその他の場所の水圧鉄管からの漏水は、直ちに補修しなければならない。

(2) 伸縮継手のメンテナンス

伸縮継手は、水圧鉄管がスムーズに伸縮するように常に良好に維持しておかねばならない。

水圧鉄管がスムーズに伸縮するために、少なくとも1年に1回検査を行い、各継手の漏水、締め付け状況等の実際の状況を把握することが望まれる。

パッキンは、パッキンの材質や形状にもよるが、一般に5から10年の間隔で交換される。実際の例では、時には20から25年の長期の間隔で交換している。

(3) 空気管および空気弁のメンテナンス

水圧鉄管内部の排水前には、空気管および空気弁の機能を確認し、機能が完全でない限り排水してはならない。

排水中の空気管および空気弁の機能不全は、水圧鉄管の座屈を引き起こすかもしれないので、これらの機能を完全に確保しないでは、排水をしてはならない。これらの機能の確認および排水は、下記に注意すること。

- 1) 空気管の内部の点検および清掃には、特別の注意を払うこと。空気弁の適切な作動を確認するために、完全な機能の理解が必要である。
- 2) 水圧鉄管から排水するときには、運転しないで充水されている期間を考慮し、冬は空気弁の凍結に特に注意を払わなければならない。
- 3) 排水中、水圧鉄管の下部の底部に据え付けられた排水弁を用いて試しに排水し空気管および空気弁の機能を確認したあとに、排水弁は徐々に開ける。
- 4) 空気管および空気弁の異常がないことが確認された場合でも、決して制圧機による排水を行ってはならない。

(4) 稼働部のメンテナンス

支持部の稼働部は、水圧鉄管がスムーズに動くために、常に良好に維持されなければならない。

(5) 振動の防止

発電中に水圧鉄管が過度に振動する場合は、発電に影響するので、なんらかの振動を減らす対策が取られる。

水圧鉄管の振動は、管壁の曲げ振動と梁の横軸の振動からなる。水車およびドラフトチューブの振動と水圧鉄管の固有振動数が一致するとき、共振がおこりその結果著しい振動が生じる。

平坦な鉄管部で急激に充水すると、著しい断面振動が圧力変動を生じる。水圧鉄管の過度の振動は、疲労と応力腐食等を生じるので、振動の減少が必要である。

振動防止のために、最初に、どのような振動が水圧鉄管に生じているのか調査する必要がある、そして振動の原因としての圧力の変化と水圧鉄管との関係について調査する。発電時の圧力変化の原因は、下記のものがある。

- 1) 水車の回転数
- 2) 水車の羽根数
- 3) ドラフトチューブでの水の渦

振動を防止するために、最良の方法は、ドラフトチューブに空気を供給し、振動源の圧力を除去することである。この方法は難しく、共振が主原因の時は、スティフナーを増加して水圧鉄管の固有振動数を変えるほうが良い、またアンカーブロックを増やしたりその他の方法による。もし、楕円の断面変化が生じるならば、スティフナーを設置もしくは追加して管の剛性を増すべきである。

既設の管にスティフナーを付ける場合、適当な断面のスティフナーをボルトにより締め付けるだけで十分である。

(6) 水圧鉄管の完成後の水質に対する考慮

水圧鉄管完成後に、流域の変更、水源における水質の変化、その他原因により管内流水の pH の値が 4 以下に減少したときは、水圧鉄管の腐食を軽減できるような処置をとらなければならない。

pH の低い河川からの取水、水源地帯における火山活動、その他の原因による水質の変化で、管内流水の pH が 4 以下になった場合は、腐食防止の対策を講じなければならない。

(7) 内部点検

水圧鉄管は必要に応じて管内の水を排水し、水圧鉄管の維持に必要な点検を行わなければならない。

(8) 管厚の測定

水圧鉄管の管厚は経年により減少するので、必要に応じて管厚測定を行わなければならない。

水圧鉄管は腐食と摩耗によって管厚が次第に減少し、その減少が余裕厚以上に及ぶ場合には設計時の設計条件を下回る状態となる。そのため、危険個所の補修および改修を行って鉄管の安全を期さなければならない。

水圧鉄管の管厚の測定には種々の方法があるが、現在一般に使われているのは

- 1) 超音波板厚計
- 2) モデリング
- 3) ドリリング
- 4) 試験片の切取り

1) の方法にはパルス反射法と共振法の2通りの方法があり、最近では前者が主流を占めている。いずれの方法にしても全管の断水を必要とせず操作が簡単であるが、サンプリングによる測定を行うので局部腐食を見落とす恐れがある。また、波状腐食がある箇所の測定は、不確かになりやすい。

測定計器の使用に際しては、被測定物と同程度の厚さの板で厚み更正を行う必要がある。

2) の方法の例として石膏・樹脂造詣材料等によって形をとる方法が用いられている。

3) と 4) は最も確実であるが、ボーリングまたは試験片採取後の補修を行うに当たっては、母材の材質・残留応力等について十分に検討する必要がある。

1) については、実管からの切取り材について測定するので、板厚測定だけで切取りが行われるのはまれで、多くの場合材質試験の切取り材を利用して行われる。

一般には、第一次調査として断水を必要としないで簡単に実施できる超音波板厚測定計器により管厚を測定し、ついで精密調査として必要個所を試験片採取によって調査する方法が採用されている。

(9) 補修および取替え

水圧鉄管の管厚の減少・材質の劣化・継手効率の低下等により、水圧鉄管の安全性に支障を来すと認められるときは、速やかに補修又は取替えを行わなければならない。

年間当りの腐食量は0.02mm/年程度であると報告されている。この報告書は47箇所の水圧鉄管について、質量（重量）法による結果に基づいている。測定された水圧鉄管は、強酸性水および流砂の多い地点以外で、建設年代が1910から1953年である。

これらの調査対象については環境、材質、塗装及び補修経歴等の相違や不明な点もあり、また、近年の材質向上、塗装内容・方法の進捗等からもこの数値をそのまま現行のものに適用し難い面もあるが、腐食量の一応の目安と考えられる。

保守の万全を期するため、下記に述べる水圧鉄管の不良部は、すみやかに補修または取替えを行わなければならない。

- 1) 管厚測定の結果、腐食または摩耗による管厚の減少がはなはだしいと認められるとき。
 - 2) 管の切取試験片の材料試験の結果、強度、伸びが鋼材規格を下回り、衝撃値が低いとき。
 - 3) 管の切取試験片の引張り試験の結果、継手（鍛接、リベット及び溶接等）が管厚の減少・材質の劣化その他の原因により継手効率の低下がはなはだしいと認められるとき。
- 管厚の減少がはなはだしい場合の補修または取替えは、次の場合を基準として実施すればよい。

- 1) 管胴局部の最大応力又は管胴の平均応力（内圧による円周方向の引張応力）が、それぞれ使用材料の降伏点の90%又は65%を超えて破壊の恐れがあると認められるとき。
- 2) 前項における最大応力は、円筒形の凹みのある鋼板に引張りが作用した場合の凹みの縁に集中する最大引張り応力を求めた次式、又はこれと同等以上の精度をもつと認められる算式により計算する。

$$\sigma_{\max} = \bar{\sigma} \times \frac{3}{1+2d} d = \frac{t'}{t}$$

ここに σ_{\max} : 凹みの縁の最大応力
 $\bar{\sigma}$: 凹みがない場合の平均
 t' : 凹みの部分の最小厚さ
 t : 鋼板の平均厚さ

(10) 再塗装

水圧鉄管の塗膜がはく離、ふくれ、ひび割れを起こす等、著しく劣化したときは、すみやかに塗装しなければならない。

2. 水門扉の保守管理

(1) メンテナンス、検査と管理

水門扉のメンテナンス、検査および管理は、各機能を常に良好に維持するために行わなければならない。

水門扉は定期的に検査されまた各機能を適切に維持され事故を防止されなければならない。水門扉の履歴、仕様、図面、試験記録および操作マニュアルは、保管されてなければならない。さらに、検査記録、操作記録および補修記録等もきちんと保管されなければならない。

定期点検の周期は、使用状態、機能および水門扉の重要性など考慮して、管理基準として決めなければならない。

洪水の後には、扉体、戸当りおよび付属設備は直ちに臨時に点検されなければならない。

(2) 漏水の防止

水密部から漏水の多い場合は、直ちに水密部の補修または交換行わなければならない。水密ゴムの劣化または損傷で漏水量が増えている場合は、水密ゴムを新品に換えなければならない。

その他、漏水が底部戸当りとダムジョイントとの交差部で生じている場合は、アスファルトやそのほかの詰め物を挿入して止めなければならない。

(3) 凍結の防止

冬季間に操作が必要な水門扉は、凍結による問題が生じないように管理しなければならない。

寒い時にも操作が必要な水門扉の扉体、戸当りおよび開閉装置は、常に操作ができるように凍結を防がなくてはならない。

(4) 支承部のメンテナンス

支承部は常にスムーズに操作できるように維持されていなければならない。

扉体の支承部は、扉体に作用する水圧が集中するので、水圧下でスムーズに操作できるように支承部は完全に維持されなければならない。言い換えれば、ローラゲートの主ローラのピン、ラジアルゲートのトラニオンピンは常に適切に給油されなければならない。

特に、ローラゲートのローラピンは、数が多く足場が悪く、一般に不十分なメンテナンスになり易い。

水門扉のヒンジ支承部は、一般に大きな水圧を受け、回転は緩やかであるので、常に給油が全表面にいきわたるよう特段の注意を払わなければならない。不十分な給油は、軸受けが硬くなり、軸がローラと一緒に回転するようになり、これらが扉体の操作中にトラブルを生じるようになる。

(5) 開閉装置のメンテナンス

開閉装置は扉体の操作が行えるよう常に良好に維持されなければならない。

開閉装置は、扉体がいつでも操作できるように維持されなければならない。

検査時は、給油、開閉装置各部のボルトの錆やゆるみ、軸受けの温度上昇、リミットスイッチおよびブレーキの確認、ワイヤロープのグリスなどは特に注意を払わなければならない。水密ゴムやローラの木の葉や小枝を操作前に清掃することも必要である。

(6) 予備動力設備のメンテナンス

予備動力設備は緊急に確実に操作できるよう常に良好に維持しなければならない。

予備動力設備のエンジンは、いつでも始動できるよう常に良好な状態に維持し、それらの始動方法を熟知しておくことが必要である。始動方法としては、バッテリー、圧縮空気、人力などがある。もしバッテリーを使用しているならば、十分に充電されていて、特に寒い時には確実に始動するために暖められなければならない。圧縮空気が使用されているなら、必要な圧力に維持されていなければならない。

(7) 補修又は取替え

板厚の減少、劣化や材料の腐食などで、水門扉に故障の恐れがある場合は、補修および更新を行わなければならない。

水門扉の補修および更新は、下記によるものとする。

- 1) 部材の応力が許容応力を超えて、破壊の恐れがある場合
- 2) 振動により不安定状態となりゲートに危険が予想される場合
- 3) 機能の低下によりゲート操作中にトラブルが発生する場合

油圧作動油の劣化、異物の混入、油量や油圧装置には注意を払わなくてはならない。油圧の低下や上昇が生じたら、フィルターの交換やオイルの交換をしなければならない。

ワイヤロープは素線の10%以上が破断した場合、もしくはロープ径の7%以上が減少した場合は交換しなければならない。

(8) 予備ゲート

水門扉の補修等のために角落としゲートおよびフローティングゲートを設けなければならない。予備ゲートがなくても補修ができる場合は、適用されない。

各落としおよびフローティングゲートは、常に水門扉の上流側に用意され、貯水池の水位を下げることなく水門扉の補修時に使用される。

しかし、貯水池の水位を容易にゲート敷より下げられる場合は、設備を省略できる。各落としおよびフローティングゲートの保管や係留には特段の注意を払う必要がある。

(9) 塗替え塗装

水門扉の塗装が劣化または損傷した場合は、すみやかに塗替え塗装を行わなければならない。

水門扉の塗替え塗装は、適切な間隔で行わなければならない。塗替え塗装時には、以前に使用している塗料を調査確認し、同じもしくは類似の塗料を使用しなければならない。

(10) 開閉装置上屋

水門設備には適切な開閉装置上屋が設けられなければならない。水門扉は、豪雨でも問題なく操作するには開閉装置上屋が設けられていることが望ましい。

(11) 連絡橋及び通路設備

水門扉には適切な連絡橋およびその他通路設備が設けられなければならない。

水門扉設備には各機能の維持に必要な検査を容易に行えるように連絡橋、階段等が設けられなければならない。

APPENDIX B-2

水力機械設備の点検マニュアル

1. 点 検

(1) 巡 視

巡視とは、通常の運転状態において、目視などの巡視者の五感等によって、他物との隔離距離、設備の外観、計器表示などを見回り、設備の異常の有無を確認することをいう。

(2) 点 検

1) 外観点検

外観点検とは、工作物の異常の有無、機能の確認等、その状況を把握するために定期的に行う点検・手入れをいう。

2) 内部点検

内部点検とは、抜水状態で、水路内部の異常の有無、機能の確認等、その状況を把握するために定期的に行う点検・手入れをいう。

3) 臨時点検

臨時点検とは、地震・洪水・大雨の前後、その他必要に応じて行う点検・手入れをいう。

4) 臨時細密点検

臨時細密点検とは、巡視、外観点検、内部点検および臨時点検の結果、さらに詳細な点検が必要と認められた場合に行う点検・手入れをいう。

5) 運転時点検

運転時点検とは、設備を運転する時、全てにおいて行う点検・手入れをいう。

2. 管理運転

(1) 洪水吐ゲート

洪水期間に放流実績のない設備については、原則として非洪水期間に管理運転を実施する。

(2) 取水口、放水口、ドラフトゲート

長期に渡り操作されていない設備（3年以上）については、原則として管理運転を実施する。なお、取水口バイパスバルブなどは、ゲートに含めるものとする。

(3) 放流設備

長期に渡り閉鎖されている設備（5年以上）については、原則として管理運転を実施する。

3. 点検の周期

各点検の周期は以下の表 2-2-1 に示すとおりである。

表 2-2-1 巡視、点検の周期

点検名称 頻度 工作物	巡 視	外観点検		内部点検	臨時点検	臨時 細密点検	運転時点検 管理運転
	1 回/月 A	2 回/年 B	1 回/年 C	1 回/3 年 D	その都度 E	その都度 F	運転毎 G
水門設備 (開閉装置 含)	○	○	○	○	○	○	○
水圧鉄管	○		○	○	○	○	
スクリーン	○	○	○	○	○	○	
除塵設備	○	○	○		○	○	○
予備動力設備	○	○	○		○	○	○
堤内排水設備	○		○		○	○	○
網場	○		○		○	○	
橋梁	○		○		○	○	

4. チェックシート

水圧鉄管および洪水吐ラジアルゲートの点検用チェックシートを参考に添付する。

水圧鉄管
水圧鉄管（外面） 点検要領表

区分	点検箇所	点検の種類 頻度	点検項目	点検方法	点検要領	判定基準	備考	
外面	(主要耐圧部)	分類2 (A, C, D, E, F)	清掃状態	目視	管胴部、リングガード、スチーフナおよび支台部に著しい土砂、雑草、ゴミ、汚れなどが無ければよい。			
			損傷	目視	目視で汚れ、亀裂、擦り傷、沈下、移動、楕円、息などの損傷が無ければよい。			
	管	管	分類2 (A, C, D, E, F)	変形	目視・計測機器	目視で変形(へこみ等)が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。		
				腐食	目視・計測機器	目視で腐食が無ければよい。		
				漏水	目視	漏水が無ければよい。		
				振動	目視	通水中に異常な振動が無ければよい。		
				異常音	聴音	異常音が無ければよい。		
				板厚減少	目視・計測機器	目視で著しい腐食、減耗が無ければよい。 板厚減少が規定値以内ならよい。		
				沈下・移動	目視・計測機器	目視で管胴の著しい沈下・移動が無ければよい。		
				われ	目視	目視による調査の他、浸透探傷試験、磁粉探傷試験、超音波探傷試験を実施する。 評価基準は別表に示す通りとする。		
				損傷	目視	目視で発錆、汚れ等の損傷が無ければよい。		
				変形	目視・計測機器	目視で変形が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。 変形量の許容基準値は別表の通りとする。		
	溶接部	溶接部	分類2 (A, C, D, E, F)	漏水	目視	漏水が無ければよい。		
				脱落	目視	脱落が無ければよい。		
				ゆるみ	目視・テストハンマ	目視およびテストハンマにより打診してゆるみが無ければよい。		
				損傷	目視	目視で発錆、汚れ等の損傷が無ければよい。		
				摩耗	目視	目視で著しい腐食、摩耗が無ければよい。		
漏水				目視	漏水が無ければよい。			
リベット部				目視	目視で著しい腐食、摩耗が無ければよい。			

水圧鉄管
水圧鉄管（外面） 点検要領表

区分	点検箇所	点検の種類 頻度	点検項目	点検方法	点検要領	判定基準	備考	
外面	(支持構造部) 全般	分類2 (A, C, D, E, F)	清掃状態	目視	固定部、支台、リングガダーなどの支持構造部に、著しい汚れやゴミの付着などが無ければよい。			
			損傷	目視	目視で著しい発錆、汚れ等の損傷が無ければよい。			
	固定部			変形	目視・計測機器	目視で変形が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。		
				コンクリートの劣化	目視	ひび割れ、剥離などの著しい劣化が無ければよい。		
				移動・沈下	目視・計測機器	目視で固定部の著しい沈下・移動が無ければよい。		
				損傷	目視	目視で著しい発錆、汚れ等の損傷が無ければよい。		
	リング支台			変形	目視・計測機器	目視で変形が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。		
				振動	目視	通水中に異常な振動が無ければよい。		
				異常音	聴音	異常音が無ければよい。		
				コンクリートの劣化	目視	ひび割れ、剥離などの著しい劣化が無ければよい。		
				移動・沈下	目視・計測機器	目視でリング支台部の著しい沈下・移動が無ければよい。		
				損傷	目視	目視で著しい発錆、汚れ等の損傷が無ければよい。		
	サドル支台			変形	目視・計測機器	目視で変形が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。		
				振動	目視	通水中に異常な振動が無ければよい。		
				異常音	聴音	異常音が無ければよい。		
				コンクリートの劣化	目視	ひび割れ、剥離などの著しい劣化が無ければよい。		
			移動・沈下	目視・計測機器	目視でサドル支台部の著しい沈下・移動が無ければよい。			

水圧鉄管
水圧鉄管（外面） 点検要領表

区分	点検箇所	点検の種類 頻度	点検項目	点検方法	点検要領	判定基準	備考
全般	(付属設備) マンホール	分類2 (A, C, D, E, F)	漏水	目視	漏水が無ければよい。		
			清掃状態	目視	伸縮継手、スチフナ、空気管(弁)、マンホールなどに著しい土砂、雑草、ゴミ、汚れなどが無ければよい。		
伸縮継手	全体		変形・腐食	目視	通水中に異常な振動が無ければよい。		
			漏水	目視	パッキン部から漏水が無ければよい。		
スチフナ	全体		劣化・損傷	目視	増締めして漏水が止まればよい。		
			変形・腐食 損傷	目視	変形、腐食によりパッキンを押さえられない状態になっていないければよい。 目視で著しい発錆、汚れ等の損傷が無ければよい。		
	全体		変形	目視・計測機器	目視で変形が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。 変形量の許容基準値は、許容基準値以下とする。		
			漏水	目視	漏水が無ければよい。		
空気弁	噴水受板		変形・損傷	目視	変形、損傷により水が飛散しなければよい。		
			作動	作動確認	空気弁が正常に解放すればよい。		
空気弁	開放速度制御弁		損傷	目視	ノズルが目詰まりしてはいけないければよい。		
			作動	作動確認	空気弁が正常に閉まればよい。		
空気弁	閉鎖速度制御弁		損傷	目視	ノズルが目詰まりしてはいけないければよい。		
			劣化・損傷	目視	増締めして漏水が止まればよい。		
排水管	パ이프		変形・腐食	目視	変形、腐食によりパッキンを押さえられない状態になっていないければよい。 パイプのつぶれにより、排水機能を果たしていない状態になっていないければよい。		
			損傷・変形	目視			
排水管	仕切弁		漏水	目視	配管接続、損傷部から漏水してはいけないければよい。		
			作動状態	作動確認	固着し動かない状態になってはいけないければよい。		
排水管	ハッキン押さえ金物		損傷	目視	ボディに亀裂が発生してはいけないければよい。 ロッドに曲がりが生じてはいけないければよい。		
			漏水	目視	ロッド部、継手部から漏水してはいけないければよい。		
			変形・腐食	目視	変形、腐食によりパッキンを押さえられない状態になっていないければよい。		

水圧鉄管
水圧鉄管（内面） 点検要領表

区分	点検箇所	点検の種類 頻度	点検項目	点検方法	点検要領	判定基準	備考	
内面	(主要耐圧部) 全般	分類2 (A, C, D, E, F)	清掃状態	目視	管胴部内面に著しい土砂、ゴミ、汚れなどが無ければよい。			
			損傷	目視	目視で汚れ、亀裂、擦り傷、沈下、移動、精円・息などの損傷が無ければよい。			
	管			変形	目視・計測機器	目視で変形(へこみ等)が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。		
				腐食	目視・計測機器	目視で腐食が無ければよい。		
				板厚減少	目視・計測機器	目視で著しい腐食、減耗が無ければよい。 板厚減少が規定値以内ならよい。		
				われ	目視	目視による調査の他、浸透探傷試験、磁粉探傷試験、超音波探傷試験を実施する。 評価基準は、別表に示す通りとする。		
	溶接部			損傷	目視	目視で発錆、汚れ、われ等の損傷が無ければよい。		
				変形	目視・計測機器	目視で変形が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。 変形量の許容基準値は、別表の通りとする。		
				板厚減少	目視・計測機器	目視で著しい腐食、減耗が無ければよい。 板厚減少が規定値以内ならよい。		
				脱落	目視	脱落が無ければよい。		
	リベット部			ゆるみ	目視・テストハンマ	目視およびテストハンマにより打診してゆるみが無ければよい。		
				損傷	目視	目視で発錆、汚れ、われ等の損傷が無ければよい。		
				摩耗	目視	目視で著しい摩耗が無ければよい。		

水門設備

ゲートラジアルゲート 点検要領表

区分	点検箇所	点検の種類 頻度	点検項目	点検方法	点検要領	判定基準	備考		
扉体	全般	分類1 (A, B, C, D, E, F, G)	清掃状態	目視	越流部、扉体内水密部、ローラ部、ヒンジ部および戸溝内に流木、ゴミ、土砂などがなければよい。 ひどい汚れ、ローブ油などの付着がなければよい。				
			われ	目視および 非破壊検査	目視で機能に支障をきたすようなきずが無くればよい。 目視で判断できない場合は、浸透探傷、磁気探傷等の非破壊検査を適用する。				
	溶接		振動	目視・触診	操作中に異常な振動がなければよい。				
			異常音	聴音	操作中に異常音がなければよい。				
			片吊り	目視・計測機器	全開および閉閉途中に動作の支障となるような片吊りがないければよい。 ゲート左右の天端の差の目安として、次の値とする。 径間・扉高 1:1, 2:1, 10:1, 20:1 差 (mm) 20 40 100 100				
	構造全体		ゆるみ・脱落	目視およびテストハンマ	目視およびテストハンマで軽くたたき、ゆるみがないければよい。				
			変形	目視およびスケール	外観観察の他、直尺や水糸などを用いて変形量を測定する。				
	スキンプレート		継手部の漏水	目視	目視で漏水が確認できない程度なら良い。				
			板厚減少	目視および計測機器	目視で著しい腐食、減耗がなければよい。 板厚減少が規定値以内ならよい。				
			水抜き穴およびエアメント	目視	詰まっていないければよい。				
	主筋および脚柱		たわみ・変形	目視および計測機器	外観観察の他、直尺や水糸などを用いて変形量、たわみ量を測定する。				
				板厚減少 (15年以上経過したもの)	目視および計測機器	目視で著しい腐食、減耗がなければよい。 板厚減少が規定値以内ならよい。			
			相対寸法関係 (扉体一戸当たり)	目視	互いにせりあうことなく開閉ができればよい。				
			補助桁	目視および計測機器	外観観察の他、直尺や水糸などを用いて変形量、たわみ量を測定する。				
			整流板	目視およびスケール	外観観察の他、直尺や水糸などを用いて変形量を測定する。				

水門設備

ゲートラジアルゲート 点検要領表

区分	点検箇所	点検項目	点検方法	点検要領	判定基準	備考		
扉体	サイドローラ軸受	給油	目視	正常な給油状態であればよい。 適切な潤滑油を使用していること。 規定値以内の油量であること。 油漏れのないこと。 (オイルレスベアリングには給油しない方がよいものがある。)				
		摩擦・損傷	目視	目視で損傷及び摩擦がなく、開閉動作中に異常がなければよい。				
	サイドローラ軸ベアリング ロッカビーム	作動	作動	開閉して回転させるか、それぞれのローラを手動で回転できればよい。 全てのローラがレールに接触できればよい。 ローラがほぼレールの中心にあればよい。				
		異常音	聴音	操作中に異常音がなければよい。				
	シ-ーブ軸受け	摩擦・損傷	目視	目視で損傷及び摩擦がなく、開閉の操作中に異常がなければよい。				
		給油	目視	適当な潤滑油であり、正常な給油状態であればよい。 (オイルレスベアリングには給油しない方がよいものがある。)				
	軸受けメタル	作動	作動	開閉して回転させるか、それぞれのローラを手動で回転できればよい。 全てのローラがレールに接触できればよい。 ローラがほぼレールの中心にあればよい。				
			許容値以上の隙間が発生していなければよい。 摩擦限度(単位:mm)					
		摩耗	計測	軸径(mm)	25~40	1.2		
				41~60	1.6			
				61~100	2.0			
				101~160	2.5			
	161~250	3.0						
	251~400	4.0						
	401~600	5.0						
	変形	目視	滑車およびワイヤロープがカバ-に接することがなく作動すればよい。 また、ごみがシ-ーブボックス内に入らなければよい。					
漏水	目視	漏水がなければよい。						
水密ゴム	劣化	目視	目視でゴムの劣化がなければよい。					
	損傷	目視	目視でゴムの損傷がなければよい。					
	変形	目視およびスケール	目視で変形がなければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。					
摩耗	目視	目視で摩耗がなければよい。						

水門設備
ゲートラジアルゲート 点検要領表

区分	点検箇所	点検項目	点検方法	点検要領	判定基準	備考
扉体	押さえボルト・ナット	ゆるみ	目視・テストハンマ	目視およびテストハンマにより打診してゆるみが見られればよい。		
		損傷	目視	目視で、きず、変形、および発錆が見られればよい。		
		脱落	目視	脱落が見られればよい。		
		漏水	目視	ボルト部からの漏水が見られればよい。		
	変形	目視およびスケール	目視で変形が見られればよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。			
	グリス量	目視	グリス量が適正であればよい。			
	グリスの適正	目視	規定の潤滑油であればよい。			
	作動	目視	ポンプのハンドルを2～3回往復操作して、圧力が発生すればよい。 (手動式の場合)			
	損傷	目視・テストハンマ	目視またはテストハンマ(木槌)で打診して、変形、破損、接続不良、漏油等が見られればよい。			
	損傷	目視・テストハンマ	目視またはテストハンマ(木槌)で打診して、変形、破損、接続不良、漏油等が見られればよい。			

水門設備

ゲートラジアルゲート 点検要領表

区分	点検箇所	点検の種類 頻度	点検項目	点検方法	点検要領	判定基準	備考
戸当たり・固定部	全般	分類1 (A, B, C, D, E, F, G)	清掃状態	目視	流木、ゴミ、土砂などが無ければよい。 ひどい汚れ、ローブ油等の付着が無ければよい。		
			漏水損傷	目視	目視で漏水が無ければよい。 目視で発錆、汚れ、われ等の損傷が無ければよい。		
	変形	目視・計測機器	ゲートの作動に支障が無ければよい。 ローラより荷重を均一に受けていればよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。				
	摩耗	目視・スケール	目視で著しい摩耗が無ければよい。				
	漏水損傷	目視	目視で漏水が無ければよい。 目視で発錆、汚れ、われ等の損傷が無ければよい。				
	変形	目視・計測機器	ゲートの作動に支障が無ければよい。 ローラより荷重を均一に受けていればよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。				
	摩耗損傷	目視・スケール	目視で著しい摩耗が無ければよい。 目視で発錆、汚れ、われ等の損傷が無ければよい。				
	変形	目視・計測機器	ゲートの作動に支障が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。				
	摩耗	目視・スケール	目視で著しい摩耗が無ければよい。				
	漏水損傷	目視	目視で漏水が無ければよい。 目視で発錆、汚れ、われ等の損傷が無ければよい。				
	変形	目視・計測機器	ゲートの作動に支障が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。				
	摩耗	目視・スケール	目視で著しい摩耗が無ければよい。				
	漏水損傷	目視	目視で漏水が無ければよい。 目視で発錆、汚れ、われ等の損傷が無ければよい。				
	変形	目視・計測機器	ゲートの作動に支障が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。				
	摩耗	目視・スケール	目視で著しい摩耗が無ければよい。				
	漏水損傷	目視	目視で漏水が無ければよい。 目視で発錆、汚れ、われ等の損傷が無ければよい。				
	変形	目視・計測機器	ゲートの作動に支障が無ければよい。 変形が認められた場合は、変形量をスケール等で測定する。				
	摩耗	目視・スケール	目視で著しい摩耗が無ければよい。 目視で著しい摩耗が認められなければよい。 設計上必要軸径以下にならなければならない。				
	メッキ	目視	剥離、発錆してはいないければよい。				

APPENDIX B-3
水力機械設備の劣化診断マニュアル

1. 水圧鉄管

1.1 目的

劣化診断は水圧鉄管の健全度を把握し、適切な維持管理を行うことを目的に実施する。

【解説】

劣化診断は水圧鉄管の劣化状態、安全性についての調査、解析を実施し、その結果に基づき機能上、強度上の健全度に関する評価と対策（補修、取替など）の検討を行うものである。評価結果は水圧鉄管の健全度が容易に理解できる指標となるよう、劣化、安全性の程度に基づいた評価ランクとして表される。

また、劣化診断を計画的に実施することにより、水圧鉄管の機能維持と事故の未然防止を図り、水力発電所の保守運用に万全を期すものとする。

1.2 適用範囲

本マニュアルは水力発電所における水圧鉄管のうち露出形式水圧鉄管に適用する。

【解説】

本マニュアルはコンクリートサドル式またはリングガータ式の支台を有し、管外面が直接大気に接する露出形式水圧鉄管に適用し、対象設備は管胴部、支持部、付属設備(伸縮継手、弁類、マンホール)とする。埋設形式水圧鉄管および分岐管は本マニュアルの適用外とする。

余水管およびサイフォン管については構造、使用頻度、重要性などを勘案し、本マニュアルを準用することができる。ただし、上記の支持形式によらない鉄管について本マニュアルを準用する場合は、部材の重要度などを十分考慮する必要がある。

図-1 に水圧鉄管断面図(例)を、図-2 に支台の構造例を示す。

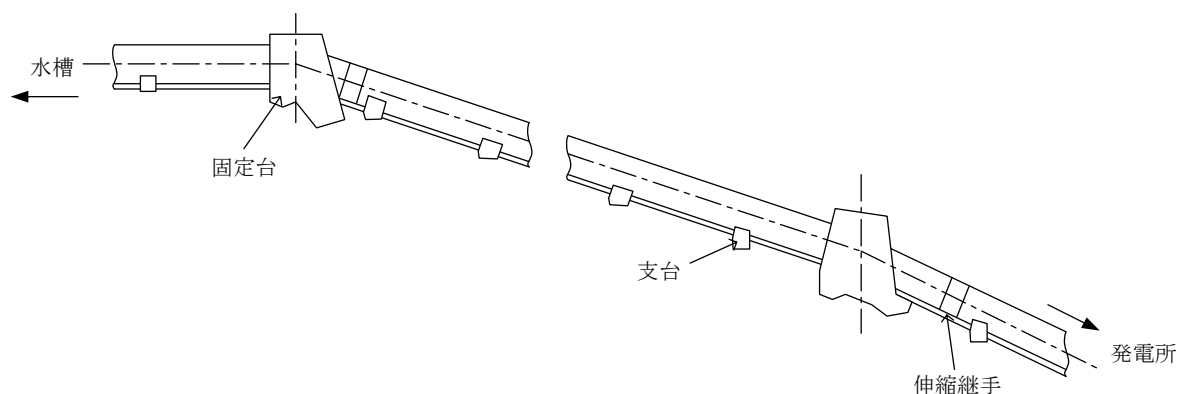


図-1 水圧鉄管断面図(例)

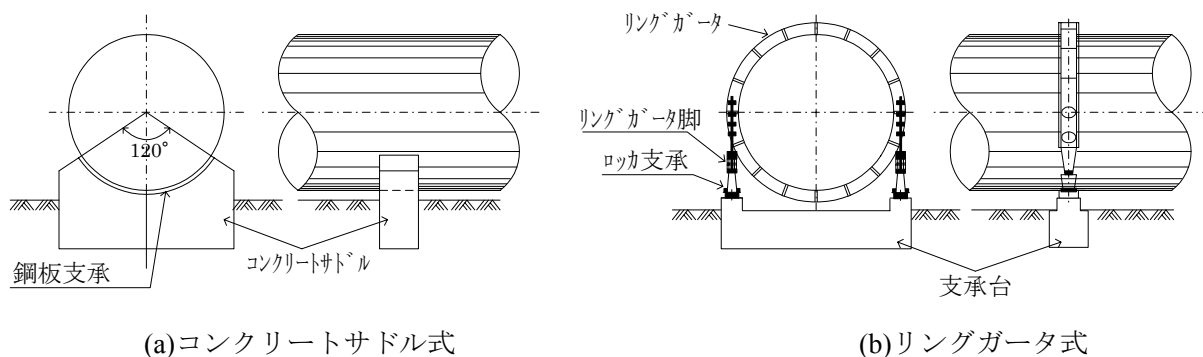


図-2 支台の構造例

〔(社)水門鉄管協会「水門鉄管技術基準」より引用〕

1.3 用語

(1) 水圧鉄管

水圧鉄管とは、原則として露出形式水圧鉄管を指し、管胴部のみならず支持部、付属設備を含んだ設備をいう。

(2) 劣化診断

劣化診断とは、「機能調査」、「機能評価」、「強度評価」、「継手評価」、「詳細調査」、「詳細評価」とそれらの結果に基づく「対策についての検討」ならびに「次回機能調査時期の決定」を含む一連の調査、評価、検討をいう。

(3) 健全度

健全度とは、機能に関する劣化の程度、強度に関する安全性の程度、脆性破壊に関する安全性の程度をいい、評価ランクで表す。

(4) 評価ランク

評価ランクとは、健全度を表した4種の区分であり、それぞれ次の意味を持つ。

A：劣化していない、安全性が高い（通常の維持管理を行う）。

B：やや劣化している、安全性がやや低い（健全度の低い箇所を重点的に監視する）。

C：劣化している、安全性が低い（部材の取替・補修を計画的に実施する）。

D：著しく劣化している、安全性が著しく低い（部材の取替・補修を早急に実施する）。

(5) 機能

機能とは、水圧鉄管が持つ下記の性能をいう。

- ・予想される荷重に対して安全な構造を有する。
- ・確実な止水、効率のよい通水が可能な構造、設備を有する。
- ・開閉操作時に有害な振動を生じない構造を有する。
- ・設置環境などに応じて適当な耐久性を有する。
- ・発電時に有害な振動を生じない構造を有する。

(6) 異常

異常とは、水圧鉄管が発揮すべき機能の働きを阻害する腐食、変形などの変状をいう。

(7) 機能調査

機能調査とは、異常の範囲、程度を把握し発生原因を究明することと資料調査やヒアリング調査にて使用状態を把握することをいい、劣化診断結果に応じて計画的に実施される。

(8) 機能評価

機能評価とは、異常の状態および使用状態を分類し、機能上の健全度を評価することをいい、劣化の程度に応じた評価ランクに区分される。

(9) 強度評価

強度評価とは、管胴板の内圧による引張応力を求め、強度上の健全度を評価することをいい、安全性の程度に応じた評価ランクに区分される。

(10) 継手評価

継手評価とは、溶接継手部の健全度を破壊力学的に評価することをいい、脆性破壊に関する安全性の程度に応じた評価ランクに区分される。

(11) 総合評価

総合評価とは、機能評価ランク、強度評価ランク、継手評価ランクのうち、最も健全度の低い評価ランクを採用するものである。

(12) 詳細調査

詳細調査とは、「強度評価」、「継手評価」の結果、評価ランクがCまたはDと判定された場合に行うものであり、健全度の低い範囲を対象とする。

(13) 詳細評価

詳細評価とは、詳細調査結果に基づく評価であり、「強度評価」および「継手評価」についての再評価を指す。

(14) 対策

対策とは、調査および評価の結果より機能の回復に必要と判断される補修、取替などの措置をいう。

1.4 劣化診断の手順

水圧鉄管の劣化診断は図-3 の手順にて実施する。

【解説】

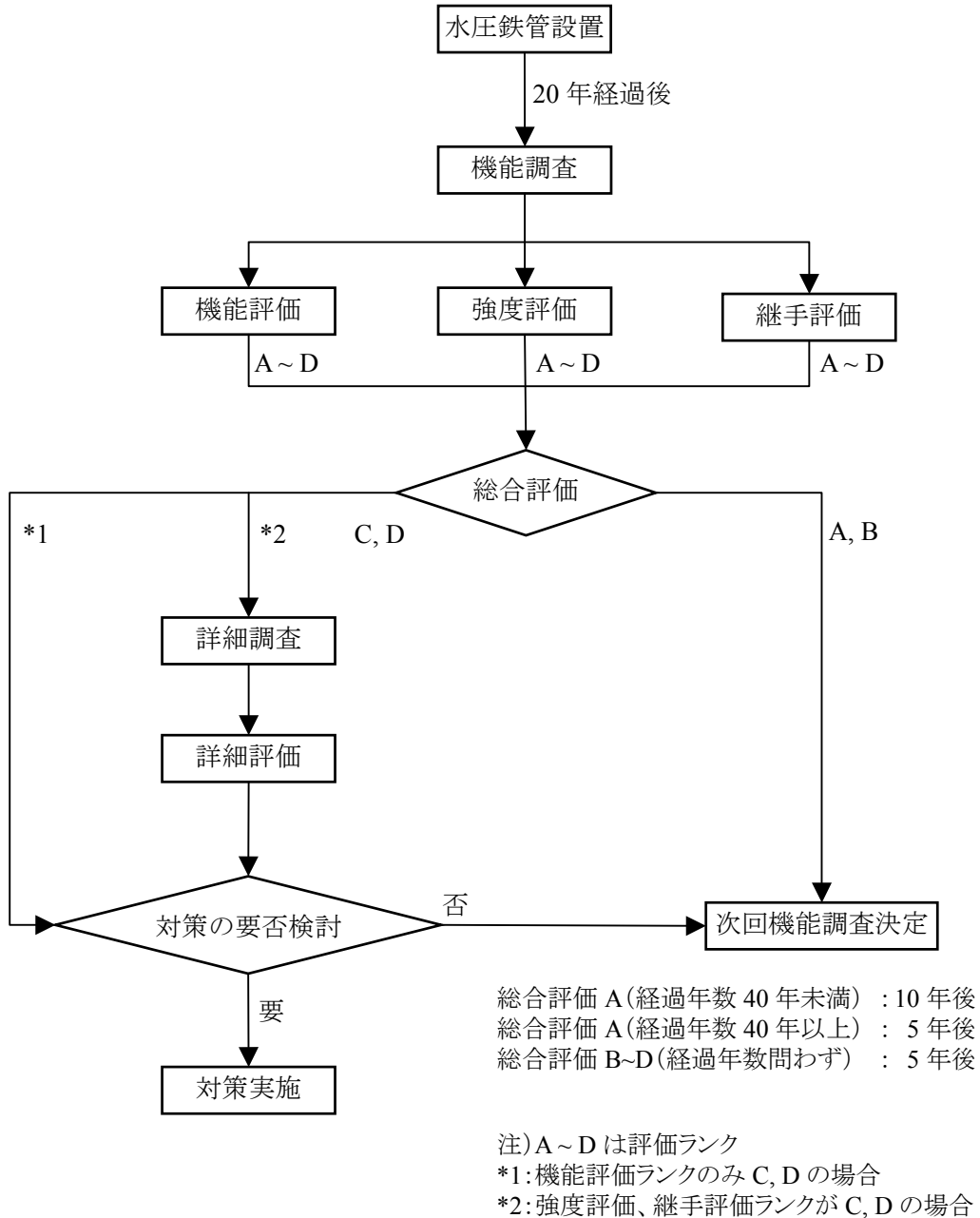


図-3 水圧鉄管劣化診断手順

2. 水門扉

2.1 目的

劣化診断は水門扉の健全度を把握し、適切な維持管理を行うことを目的に実施する。

【解説】

劣化診断は水門扉の劣化状態、安全性についての調査、解析を実施し、その結果に基づき機能上、強度上の健全度に関する評価と対策（補修、取替など）の検討を行うものである。評価結果は水門扉の健全度が容易に理解できる指標となるよう、劣化、安全性の程度に基づいた評価ランクとして表される。

また、劣化診断を計画的に実施することにより、水門扉の機能維持と事故の未然防止を図り、水力発電所の保守運用に万全を期すものとする。

2.2 適用範囲

本マニュアルは水力発電所における水門扉のうち洪水吐ゲートに適用する。

【解説】

本マニュアルはワイヤロープウィンチ式の開閉装置を有する三方水密のクレストラジアルゲート（以下、ラジアルゲートと略す）およびプレートガーダ構造ローラゲート（以下ローラゲートと略す）に適用し、対象設備は扉体、開閉装置、戸当り、固定部、機側操作盤とする。

流調ゲートについては構造、使用頻度、重要性などを勘案し、本マニュアルを準用することができる。ただし、上記の構造、開閉装置によらないゲートについて本マニュアルを準用する場合は、部材の重要度などを十分考慮する必要がある。

図-4 にゲートの一般図を、図-5 にワイヤロープウィンチ式の構造例（1 モータ 2 ドラムウィンチ式）を示す。

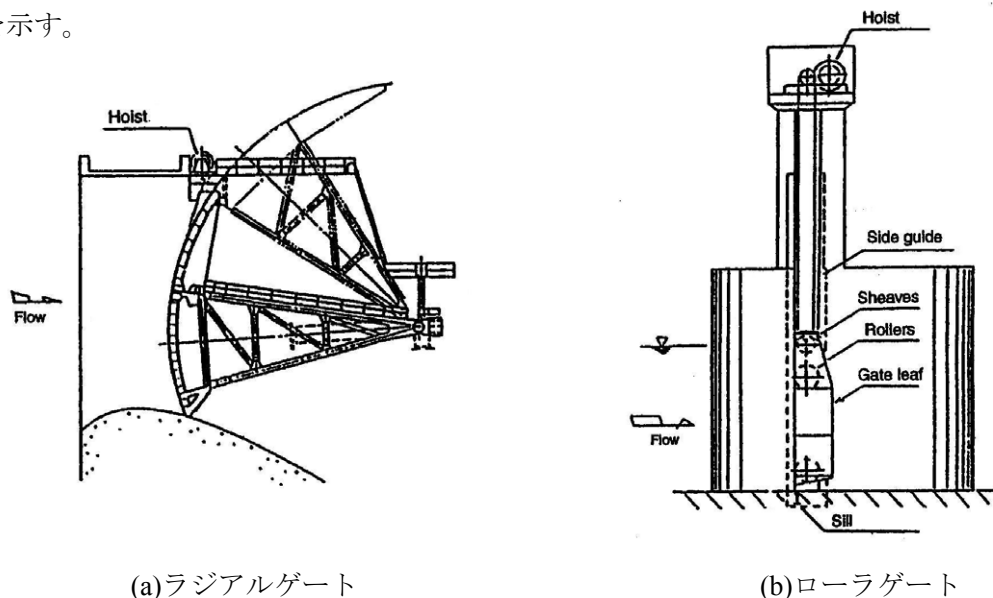


図-4 ゲート一般図

〔(社)ダム・堰施設技術協会「ダム・堰施設技術基準（案）」より引用〕

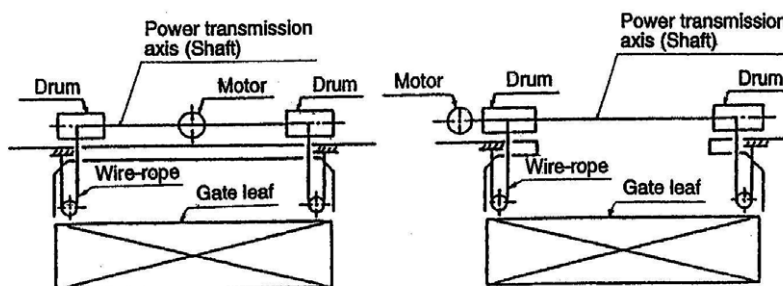


図-5 1モータ2ドラムウィンチ式構造図

〔(社)ダム・堰施設技術協会「ダム・堰施設技術基準（案）」より引用〕

2.3 用語

(1) 水門扉

水門扉とは、原則として洪水吐ゲートを指し、扉体のみならず固定部、戸当り、開閉装置を含んだ設備をいう。

(2) 劣化診断

劣化診断とは、「機能調査」、「機能評価」、「計算応力評価」、「応力調査」、「実応力評価」とそれらの結果に基づく「対策についての検討」ならびに「次回機能調査時期の決定」を含む一連の調査、評価、検討をいう。

(3) 健全度

健全度とは、機能に関する劣化の程度、強度に関する安全性の程度をいい、評価ランクで表す。

(4) 評価ランク

評価ランクとは、健全度を表した4種の区分であり、それぞれ次の意味を持つ。

A：劣化していない、安全性が高い(通常の維持管理を行う)。

B：やや劣化している、安全性がやや低い(健全度の低い箇所を重点的に監視する)。

C：劣化している、安全性が低い(部材の取替・補修を計画的に実施する)。

D：著しく劣化している、安全性が著しく低い(部材の取替・補修を早急に実施する)。

(5) 機能

機能とは、水門扉が持つ下記の性能をいう。

- ・予想される荷重に対して安全な構造を有する。
- ・水密を確保する適切な構造を有する。
- ・開閉を容易かつ確実にする装置を有する。
- ・設置環境などに応じて適当な耐久性を有する。
- ・開閉操作時に有害な振動を生じない構造を有する。

(6) 異常

異常とは、水門扉が発揮すべき機能の働きを阻害する腐食、変形などの変状をいう。

(7) 機能調査

機能調査とは、異常の範囲、程度を把握し発生原因を究明することと資料調査やヒアリング調査にて使用状態を把握することをいい、劣化診断結果に応じて計画的に実施される。

(8) 機能評価

機能評価とは、異常の状態および使用状態を分類し、機能上の健全度を評価することをいい、劣化の程度に応じた評価ランクに区分される。

(9) 計算応力評価

計算応力評価とは、水門扉の計算応力度を求め、強度上の健全度を評価することをいい、安全性の程度に応じた評価ランクに区分される。

(10) 応力調査

応力調査とは、水門扉の実応力を測定すること。

(11) 実応力評価

実応力評価とは、水門扉の上記実応力をもとに、強度上の健全度を評価することをいい、安全性の程度に応じた評価ランクに区分される。

(12) 総合評価

総合評価とは、機能評価ランク、計算応力評価ランク、実応力評価ランクのうち、最も健全度の低い評価ランクを採用するものである。

(13) 対策

対策とは、調査および評価の結果より機能の回復に必要と判断される補修、取替などの措置をいう。

2.4 劣化診断の手順

水門扉の劣化診断は図-6 の手順にて実施する。

【解説】

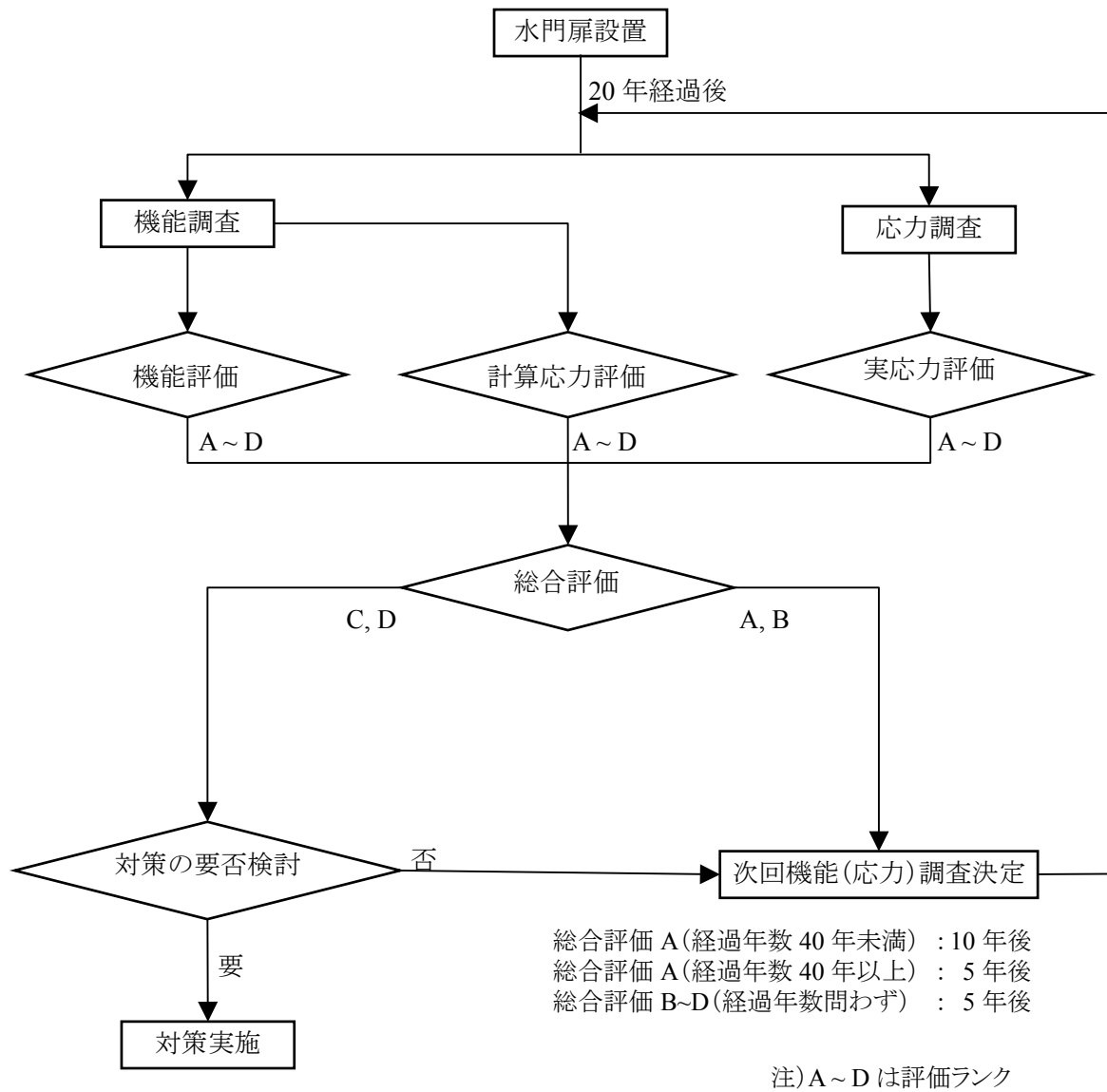


図-6 水門扉劣化診断手順

APPENDIX B-4
塗替塗装マニュアル

1. 目的及び適用範囲

この基準は、既設水力発電所の水圧鉄管、水門扉及びスクリーン等水力鋼構造物の塗替塗装を合理的に行い、設備の耐用年数を延ばすことを目的として定めている。

2. 塗膜調査

2.1 水圧鉄管及び水門扉の腐食環境

水圧鉄管及び水門扉の塗膜調査に当っては、それぞれの腐食環境を理解し適切な調査が出来るようにしなければならない。

2.2 調査頻度

調査頻度は、原則として次の通りとする。

- (1) 定期点検：1年に1回行う。
- (2) 詳細調査：原則として5年毎に行う。ただし、定期点検結果に応じて詳細調査を計画する。

2.3 調査員

調査員は、次の通りとする。

- (1) 定期点検：2名以上の当社社員で行う。
- (2) 詳細調査：原則として専門技術者に委託して行う。

2.4 調査個所の区分

調査個所の区分は、次の通りとする。

- (1) 定期点検：特に区分を行わない。
- (2) 詳細調査
 - 1) 水圧鉄管
 - a. 外面は固定台毎に任意の1箇所で天地左右の位置について行う。
 - b. 内面は原則として、マンホールごととする。

- 2) 水門扉
 - a. 前面部は、水面上、水位変動部、水没部の3個所に区分する。
 - b. 背面部は、上部、中間部、下部の3個所に区分する。

2.5 調査方法

調査方法及び調査項目は、次の通りとする。

- (1) 定期点検
外観調査を「巡視、点検細則」の項目について行う。
- (2) 詳細調査
 - 1) 外観調査
外観調査は目視により、以下の項目について調査する。
(a)発錆 (b)ふくれ (c)はがれ
(d)われ (e)変退色
 - 2) 計器による調査
計器による調査は、以下の項目について調査する。
(a)付着力
(b)脆化（インピーダンス測定）
(c)膜厚

2.6 調査記録

- (1) 調査記録は経時変化の把握および将来の予測など、設備の長期保守計画の資料として活用する。
そのため、調査項目の良否の記載のみで無く、可能な限り状況変化を記録する。
- (2) 記録の方式は「巡視、点検細則」による。
- (3) 調査記録は、写真撮影も併せて行なう（電子媒体含む）。

表－1 点検評価基準

2.6(1) a. 発錆状態

(1) さび評価基準及び評価点

発錆面積	外観状態	評価点
0～0.03%	異状無。 誰が見ても外観的にさびが認められないか、さびらしきものがあったても無視し得る程度の状態。	3
0.03～0.3%	僅かにさびが見られる。 さびが観察される部分以外の塗膜の防食性能はほぼ維持されていると思われる状態。	2
0.3～5.0%	明らかにさびが見られる。 誰が見ても発錆部分が多く、何らかの処置を施さねばならない状態。	1
>5.0%	見かけ上ほぼ前面にわたってさびが見られる。早急に塗り直さなければならない状態。	0

(2) さび標準図の面積換算表

発錆面積	1 m ² における発錆状態
0.03%	3cm ² (約 1.7cm 角のさび)
0.3%	30cm ² (約 5.5cm 角のさび)
3%	300cm ² (約 17.3cm 角のさび)
5%	500cm ² (約 22.4cm 角のさび)
10%	1,000cm ² (約 32.0cm 角のさび)

2.6(1) b. ふくれ

発生状態		評価点
発生している面積	0～0.03%	3
〃	0.03～0.3%	2
〃	0.3～5.0%	1
〃	>5.0%	0

外観状態及び面積換算は 2.5.(1)a 項を参照のこと。

2.5(1) c. はがれ

発生状態		評価点
発生している面積	0%	3
〃	0.01～0.5%	2
〃	0.5～2.0%	1
〃	>2.0%	0

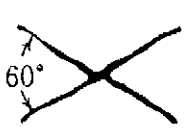


2.6(1) d. われ

発生状態		評価点
発生している面積	0%	3
〃	0.01～0.5%	2
〃	0.5～2.0%	1
〃	>2.0%	0

2.6(1) e. 変退色

変退色の程度	評価点
初期と比べてほとんど変化無し。	3
初期と比べて変化している。	2
初期と比べて著しく変化している。	1
初期の色をほとんどとどめていない。	0

2.6(2) a. 付着力

はく離状態				評価点 1 以上の はく離
評価点	3	2	1	0

2.6(2) b. 脆化(インピーダンス測定)

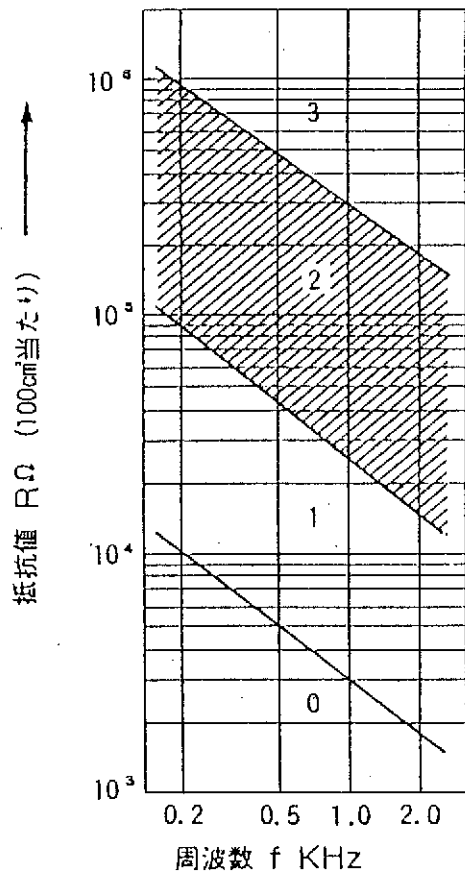
(1) 塗膜の抵抗値の評価図

評価図-1を参照のこと。

(2) 塗膜の静電容量値の評価図

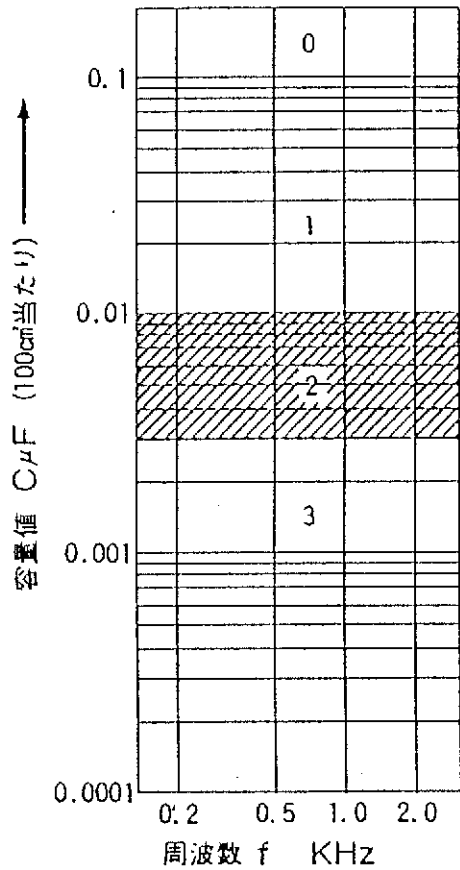
評価図-2を参照のこと。

(備考) 塗膜インピーダンスは、塗膜の劣化が進行するとともに抵抗成分は減少し、容量成分が増加する。



塗膜の抵抗値の評価

評価図-1



塗膜の静電容量値の評価

評価図-2

塗膜調査表の参考例を例－1に示す。

例－1 塗膜調査表(水圧鉄管)

1 計測箇所を示す。

調査項目			地	左	右	評価
外 観 調 査	発錆					
	ふくれ					
	われ					
	はがれ					
	変退色					
60°クロスカットテープ試験						
イ ン ピー ダ ン ス 測 定	抵抗値 (Ω)	0.2KHz				/
		0.5KHz				
		1.0KHz				
	容量値 (μF)	0.2KHz				
		0.5KHz				
		1.0KHz				
	評価					
温度(°C)						
膜厚(μ)						/
最大値・最小値(μ)						
平均膜厚(μ)						
標準偏差						
評価点合計						
劣化度指数 (劣化度)						
備考	(例)腐食深さ					
所見	(外 面)					
	(内 面)					

2.7 劣化度判定基準

塗膜の劣化度の判定は、下記によって行う。

(1) 定期点検

定期点検による外観観察の結果異常が認められた場合は、その状況を確認し、詳細調査を計画する。

(2) 詳細調査

調査個所別の劣化度指数にもとづき劣化度を下表によって評価する。

尚、劣化度指数は次式によって計算する。

$$\text{劣化度指数} = \left(1 - \frac{\text{調査項目別評価点の合計点}}{\text{調査項目数} \times 3 (\text{評価点})} \right) \times 100$$

ただし、同一種の塗膜欠陥が全体を占めている場合は、その塗膜欠陥のみを調査項目として劣化度指数を算定することができる(添付—3)。

劣化度判定基準表

劣化度	劣化度指数	内 容
A	10 未満～0	異常なし、あるいは、極めて軽微な欠陥が認められる状態
B	20 未満～10 以上	軽微な欠陥が認められるが、欠陥以外のところは、健全な状態
C	40 未満～20 以上	全体に、小さなさび、ふくれ、はがれ等の欠陥が認められ、部分的には比較的大きな欠陥も認められる状態で、かなり劣化が進んでいる。
D	100～40 以上	全体にさび、ふくれ、はがれ等の異常が認められ非常に劣化が進んでいる状態。

3. 塗替（補修）基準

塗替（補修）等の処置は、下表の区分により行う。

A：補修不要

B：軽微な欠陥であるが、できるだけ早期に補修塗装を行う。

C：早期に補修塗装を行う。

D：すみやかに塗り替え塗装を行う。

(1) 劣化度A

良好な塗膜状態、小さな点錆等がわずかに認められるか、あるいは変退色が生じている程度
の状態であり、処置は不要であるとしたが、例えば微少な欠陥でも補修を行うように配慮
することが望ましい。

(2) 劣化度B

軽微な欠陥であるが、劣化を促進するので、できるだけ早期に補修塗装を行う。しかし、欠陥
発生面積が少ないので、同水系あるいは隣接する水門、鉄管をまとめて補修塗装を行うなどの
配慮をする。

(3) 劣化度C

劣化がかなり進行しており、部分的には、比較的大きな、欠陥が認められる状態なので、著し
く劣化している部分の補修塗装を行うとともに塗り替え塗装の時期を決める。

(4) 劣化度D

ブロック全体に発錆あるいは塗膜欠陥が認められ、非常に劣化しているので早急に塗り替え塗
装を行う。

APPENDIX C
水力発電所保守点検マニュアル
電気機械

APPENDIX C-1

携帯式超音波流量計を用いた簡易効率試験

1. 概要

水車の更新を計画する時は、更新部品を決めるため、通常水車と補機の分解点検を行う。しかし今回の調査では給電事情の関係で分解点検を実施できなかった。

携帯式超音波流量計を用いた簡易効率試験の目的は、機器分解・点検が困難又は不可能な時に、機器の性能劣化を把握することである。把握された性能の良否は、分解して観察出来ない壊食、腐食、損傷、制御系の調整不良などを、間接的に明らかにする。

流量測定は、各発電所の劣化程度と調査優先順位を考慮して、Old Laxapana 発電所の1号機と4号機、Polpitiya 発電所の2号機、New Laxapana 発電所の2号機で実施された。

その結果、携帯式超音波流量計を用いた簡易効率試験は、上記状況にある発電所の更新計画を作成する上で、大変有効であることが証明された。

2. 流量測定

2.1 携帯式超音波流量計

携帯式超音波流量計は、主として中・小口径の配管の流量測定に利用され、通常、水圧鉄管の流量計測には適用されていない。しかしながら、本機器は小型であり、急傾斜の屋外水圧鉄管で取扱うのに便利である。

仕様を下記に示す。

Table 1 Specification of Ultrasonic Flow Meter

項目	仕様
形式	UFP-10
製作者	TOKIMEC
測定対象	超音波が伝播する均一流体（水道水、河川水、海水など）
配管	直径300～5,000 mm. 大型超音波センサー使用 / 材質：鋼管 ライニング：なし、またはタールエポキシなど
直管部長さ	上流側: \geq 配管内径の10倍, 下流側: \geq 配管内径の5倍
配管厚さ	1.5～100 mm（鋼板材の場合）
測定方式	超音波パルス伝播時間差方式
測定精度	$\pm 1.0\%$ RD
測定範囲	流速換算: -20 m/s～+20 m/s
計測方式	Z 法, V 法（超音波センサー設置方式による）
電源	11～30V DC（電源アダプターあるいはバッテリーによる） バッテリー標準動作時間: 7.5Hr
消費電力	約. 3W
使用温度範囲	-10～50°C
使用湿度範囲	$\leq 90\%$
重量	1.3 kg

今回の測定では、Z 法、単パス、大型超音波センサーを使用した。(一般に小径配管には小型超音波センサーを使用する)。

2.2 流量測定のプロセス

Picture 1 は水圧鉄管に超音波センサーを取付けた状態を示す。

Table 2 は個々の水圧鉄管の寸法計測結果と超音波流量計への入力値を示す。

超音波センサー取付け位置は屋外水圧鉄管とし、下記の条件を遵守した。

- 1) 上流側センサーの上流部：直管長さ \geq 鉄管内径の 10 倍以上
- 2) 下流側センサーの下流部：直管長さ \geq 鉄管内径の 5 倍以上



Picture 1 Sensor installation state

Table 2 Dimension Check of Measured Penstock and Applied Input Data for Ultrasonic Flow Meter						
Item	Unit	Old Laxapana	Old Laxapana	Polpitiya	New Laxapana	Remarks
		Unit 1	Unit 4	Unit	Unit	
Test date		2004.8.4	2004.8.6	2004.8.12	2004.8.18	
Pipe type		Steel pipe	Steel pipe	Steel pipe	Steel pipe	
Outer diameter: D	mm	989.3	963.5	2062.9	1565.4	
Pipe material		Mild steel	Mild steel	Mild steel	Mild steel	
Pipe thickness	mm	32.6	21.7	26.3	29	
Lining of pipe interior		Tar epoxy	Tar epoxy	Tar epoxy	Tar epoxy	
Lining thickness	mm	0.5	0.5	0.5	0.5	
Measured liquid		water	water	water	water	
Sensor type		Large sensor	Large sensor	Large sensor	Large sensor	
Measuring method		Z	Z	Z	Z	
Distance between 2 sensors (upstream side and downstream side)	mm	504.7	466.2	947.1	741.5	
Cable length between sensor and flow meter	m	10	10	10	10	
Measurement unit		cubic m/s	cubic m/s	cubic m/s	cubic m/s	
Straight pipe length upstream of upper sensor	m	Larger than 50m (larger than 10 times of pipe diameter)	Larger than 50m (larger than 10 times of pipe diameter)	Larger than 50m (larger than 10 times of pipe diameter)	29m (29/1.507=19.24, larger than 10 times of pipe diameter)	Straight pipe length satisfies test condition of Ultrasonic flow measurement
Straight pipe length downstream of lower sensor	m	27.61 (27.61/0.9893=27.9, larger than 5 times of pipe diameter)	5.81 (5.81/0.9635=6.03, larger than 5 times of pipe diameter)	21.43 (21.43/2.01=10.66, larger than 5 times of pipe diameter)	9.458 (9.458/1.507=6.27, larger than 5 times of pipe diameter)	Straight pipe length satisfies test condition of Ultrasonic flow measurement

3. 簡易効率試験

今回の調査では、調査前に、鉄管仕様、レイアウト、圧力計の取付けタップ位置、据付時の特性データが不足又は不明であったため、通常行われる水車効率試験に使用する計測器機を準備することが大変困難であった。

従って下記の条件で簡易効率試験を実施した。

- 1) 携帯式超音波流量計 (UFP-10, TOKIMEC) を使用した。単パス法を適用した。
- 2) 出力の大きい大型超音波センサーを使用した。
- 3) 有効落差は、上池・サージタンク・放水路の実測水位から計算した。但し、算出に当たり、導水路損失水頭 (実測値) と水圧鉄管の損失水頭 (計算値) を使用した。

ペルトン水車の場合は、放水路水位の代わりにランナー中心標高を用いる。

Figure 1 は測定水車の水位計測基準点を示す。

水圧鉄管の摩擦水頭損失は下記の式で表記される。

$$H_f = f * L / D * V^2 / 2g$$

$$f = 124.5 * n^2 / D^{0.3333}$$

但し;

H_f: 水圧鉄管の摩擦損失水頭 (m)

L: 水圧鉄管の長さ (m)

D: 水圧鉄管の内径 (m)

V: 流速 (m/s)

n: Manning の粗度係数、水圧鉄管では n = 0.012 を適用。

- 4) 電気式マノメータ (圧力トランスデューサ) を有効落差の校正に使用する。但し、適用可能な場合とする。今回 Polpitiya 発電所 2 号機で適用した。
- 5) 超音波流量計の流量測定結果は、他の流量測定法で校正する。但し、適用可能な場合とする。今回 Old Laxapana 発電所 4 号機で適用した。
- 6) 発電機出力は発電所の積算電力計で測定した。効率試験には通常精密級電力計が使用されるが、今回は準備できなかった。
- 7) 今回は、計測対象 4 台とも据付時の発電機効率データは無かった。発電機効率は、据付時の効率データがない場合、J-POWER の既存類似発電機データを適用した。
- 8) 発電機の無効電力は、試験中可能な限りゼロに保持する。
- 9) 発電機出力は、100%、80%、60%、40% and 20%出力とし、必要時追加する。
- 10) 各計測に先立ち、予備測定を行い、準備状況をトランシーバーで確認する。
- 11) 計測間隔は 10 分とする。

- 12) 屋外水圧鉄管配置の測定員と測定器具を降雨、危険から保護するため、アクセスルート、テント、梯子などを準備する。(安全確保)。
- 13) 試験データシート形式は通常効率試験の形式と同じとする。但し上記条件の修正を加味する。

Table 3～6 は、各々Old Laxapana 発電所 1 号機、4 号機、Polpitiya 発電所 2 号機、New Laxapana 発電所 2 号機の試験結果を示す。

Figure 2～5 は個々の水車効率測定結果を示す。特に New Laxapana 発電所 2 号機では、測定結果と保証値の比較が興味深い。ペルトン水車の常識的な効率は 90% 辺りと考えられるので、保証値が妥当で、測定結果はやや高めに計測されたと考えられるべきである。

Measurement Benchmark

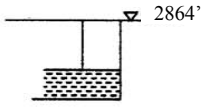
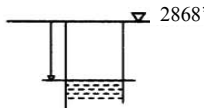
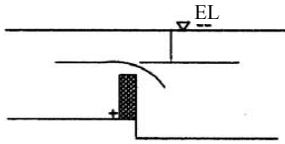
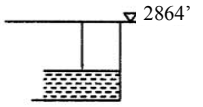
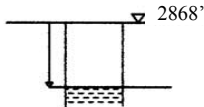
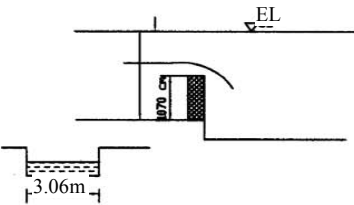
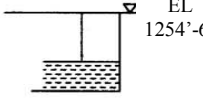
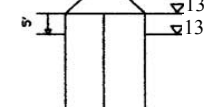
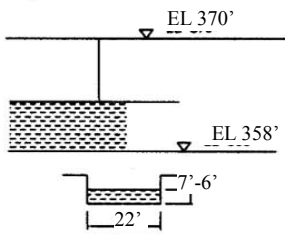
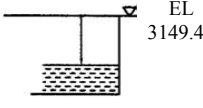
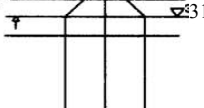
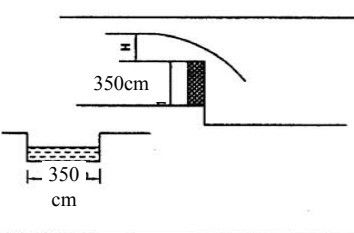
PS	Intake	Surge Chamber	Tail Race	Turbine Centre
Old Laxapana Unit # 01	 <p>2864'</p>	 <p>2868'</p>	 <p>EL</p>	EL 1277'- 1" (389.26 M)
Old Laxapana Unit # 04	 <p>2864'</p>	 <p>2868'</p>	 <p>EL</p> <p>3.06m</p>	EL 1277'- 1" (389.26 M)
Polpitiya Unit # 02	 <p>EL 1254'-6"</p>	 <p>1395' 1390'</p>	 <p>EL 370'</p> <p>EL 358'</p>	EL 352' (107.29 M)
New Laxapana Unit # 02	 <p>EL 3149.42</p>	 <p>3202' 3197'</p>	 <p>350cm</p> <p>350 cm</p>	EL 1259' (383.74 M)

Figure 1 Measurement Benchmark for Each Unit

Table 3 Discharge Measurement and Efficiency Evaluation

PS Name: Old Laxapana Survey date: 4th August 2004
 Unit Number: Unit No.1 Weather: Rain and Cloud
 Flow coefficient: Room temperature: 28 degree Celsius
 Water temperature: Outside temperature: 31 degree Celsius

Item	Unit	Practice	10:05	10:15	10:25	10:35	10:45	Remarks	
Generator	Generator output	MW	1.9	8.0	6.6	5.0	3.3	1.6	Control room
	Generator reactive power	MVar	-1.3	-1.5	-1.6	-1.3	-1.5	-1.2	Control room
	Time of 100kWh or 200kWh	min sec	2 51	1 28	1 48	2 24	3 32	3 40	Cubicle room, Blue letter 100kWh
	Calculated G. output	MW	2.11	8.18	6.67	5.00	3.40	1.64	
	Generator voltage	kV	10.7	10.7	10.8	10.8	10.7	10.7	Control room
	Generator current	A	119	428	360	272	192	102	Control room
	Field winding voltage	V	38	57	50	47	41	38	Control room
	Field winding current	A	167	255	226	205	177	169	Control room
	Power factor (p.f.)	%	82.5%	98.3%	97.2%	96.8%	91.0%	80.0%	
	Frequency	Hz	-	49.98	49.96	49.81	49.89	49.85	Control room
Coil temperature	°C	-	56	56	56	54	51		
Turbine	Rotational speed	min ⁻¹	600	600	600	600	600	600	Control room
	Wicket gate opening	mm	-	-	-	-	-	-	
	Needle opening #1	mm	46.0	85.0	73.0	64.0	54.5	46.0	Servomotor stroke (0MW, 31mm)
	Needle opening #2	mm	49.0	86.0	76.0	64.5	57.0	48.0	Servomotor stroke (0MW, 34mm)
	Needle opening #3	mm	-	-	-	-	-	-	
	Needle opening #4	mm	-	-	-	-	-	-	
	Deflector Opening	%	16.0%	53.5%	42.5%	32.0%	24.0%	15.0%	Servomotor stroke
Discharge	Used flow (discharge)	m ³ /s	0.829	2.511	2.116	1.649	1.194	0.744	Penstock A
Head	Water level of Intake	ft inch	23 9	24 1	24 1.5	24 2	24 2.5	24 3	Headrace
	Water level of surge chamber	m	9.08	9.71	9.65	9.51	9.41	9.28	Surge Chamber
	Water level of tailrace (weir)	m	0.29	0.56	0.51	0.43	0.35	0.26	Tailrace
	Penstock pressure gauge (in)	ft	1590	1550	1560	1570	1580	1590	Penstock pressure
	Penstock pressure gauge (out)	ft	1590	1550	1560	1570	1580	1590	Penstock pressure
Calculated Head	Water level of intake	EL.m	865.71	865.61	865.59	865.58	865.57	865.56	2864 ft
	Water level of surge chamber	EL.m	865.09	864.46	864.52	864.66	864.76	864.89	2868 ft
	Turbine center	EL.m	389.26	389.26	389.26	389.26	389.26	389.26	1277 1" ft
	Pipe loss	m	1.91	17.50	12.43	7.55	3.96	1.54	
	Pressure head	m	-	-	-	-	-	-	-
	Gross head	m	475.83	475.20	475.26	475.40	475.50	475.63	Surge chamber EL- Tailrace EL
	Effective head	m	473.92	457.70	462.83	467.85	471.54	474.09	-
Efficiency	Generator efficiency	%	92.5%	96.3%	95.9%	95.2%	94.4%	92.1%	Calculated Value based on commissioning test. Think of less than 1% from above value below pf 90%
	Turbine output	MW	2.28	8.5	6.95	5.25	3.6	1.78	-
	Turbine input	MW	3.85	11.26	9.60	7.56	5.52	3.46	-
	Turbine efficiency	%	59.2%	75.5%	72.4%	69.4%	65.2%	51.4%	-
	G-T efficiency	%	54.8%	72.6%	69.5%	66.1%	61.6%	47.4%	-
Converted value to the specification	Effective head	m	-	-	-	-	-	-	-
	Discharge	m ³ /s	-	-	-	-	-	-	-
	Turbine output	kW	-	-	-	-	-	-	-

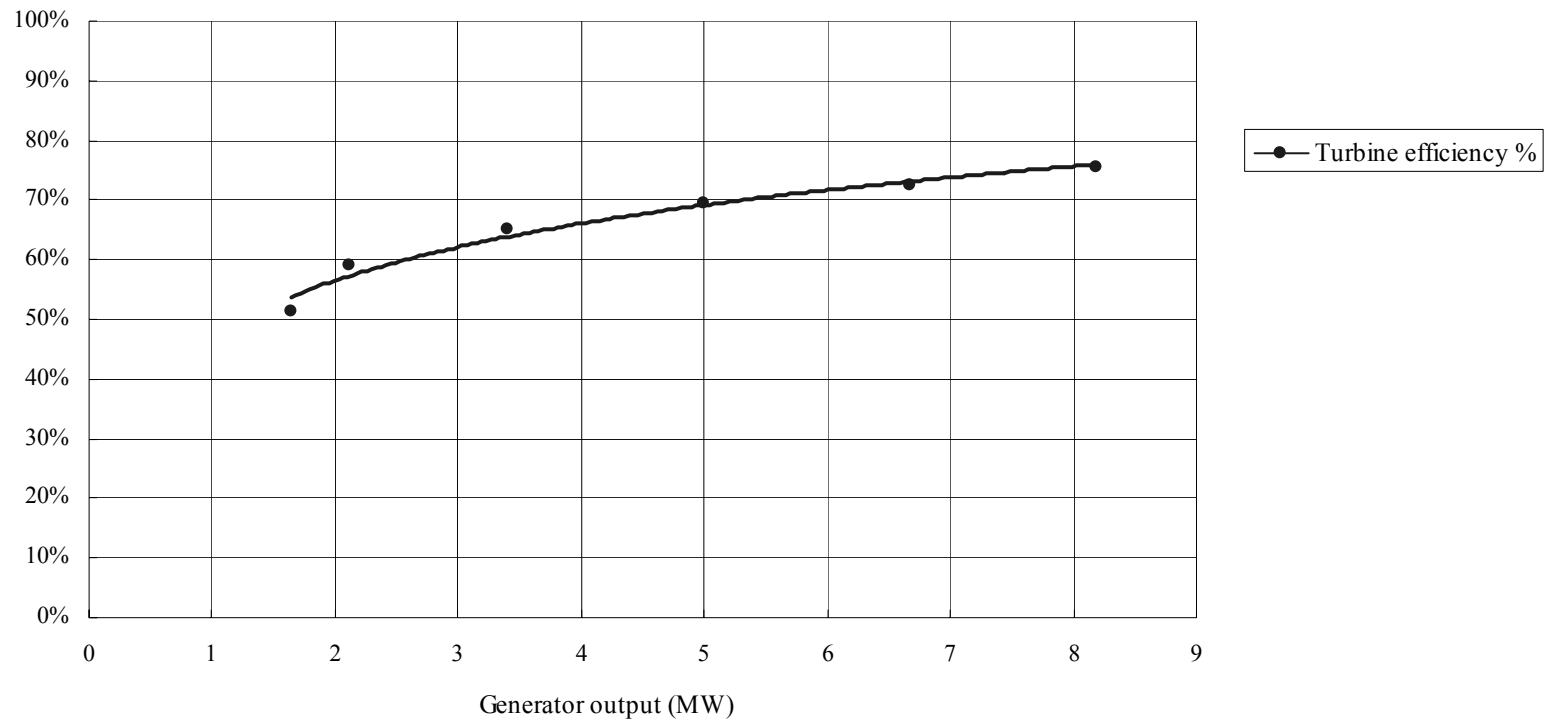


Figure 2 Turbine Efficiency of Old Laxapana Unit 1
Date of the measurement: 4th Aug.2004

Table 4 Discharge Measurement and Efficiency Evaluation

PS Name: Old Laxapana

Survey date: 6th August 2004

Unit Number: Unit No.4

Weather: Rain and Cloud

Flow coefficient:

Room temperature: 27 degree Celsius

Water temperature:

Outside temperature: 27 degree Celsius

Item	Unit	Practice	10:05	10:15	10:25	10:35	10:45	Remarks	
Generator	Generator output	MW	12.3	12.1	9.9	7.3	5.1	2.6	Control room
	Generator reactive power	MVar	1.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	Control room
	Time of 250kWh or 500kWh	min sec	1 13	2 23	3 1	4 6	2 57	5 38	Cubicle room, Blue letter 100kWh
	Calculated G. output	MW	12.33	12.59	9.94	7.32	5.08	2.66	
	Generator voltage	kV	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	Control room
	Generator current	A	625	622	509	374	264	137	Control room
	Field winding voltage	V	78	73	69	64	60	58	Control room
	Field winding current	A	359	335	317	292	278	266	Control room
	Power factor (p.f.)	%	99.7%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	
	Frequency	Hz	49.98	50.08	49.87	49.99	49.88	49.88	Control room
	Coil temperature	°C	104	104	103	99	94	88	Max
	Turbine	Rotational speed	mm ⁻¹	499	500	498	498	498	498
Wicket gate opening		mm	-	-	-	-	-	-	
Needle opening #1		%	63.0%	62.0%	42.0%	30.0%	21.0%	12.0%	Servomotor stroke
Needle opening #2		mm	-	-	-	-	-	-	Servomotor stroke
Needle opening #3		mm	-	-	-	-	-	-	
Needle opening #4		mm	-	-	-	-	-	-	
Needle opening at Governor		mm	184	188	219	240	255	273	Servomotor stroke(0MW, 296mm)
Deflector Opening		%	68.0%	66.0%	54.0%	46.0%	40.0%	30.0%	Servomotor stroke
Discharge	Used flow (discharge)	m ³ /s	3.65	3.628	2.705	1.981	1.395	0.794	Penstock A
Head	Water level of Intake	ft inch	22 5	22 7	22 7.5	22 7.5	22 8	22 8	Headrace
	Water level of surge chamber	m	14.20	14.20	13.41	12.86	12.46	12.06	Surge Chamber
	Water level of tailrace (weir)	m	1.77	1.77	1.66	1.55	1.46	1.33	Tailrace (The wide is 3.06m)
	Penstock pressure gauge (in)	ft	1450	1450	1500	1520	1540	1550	Penstock pressure
	Penstock pressure gauge (out)	ft	1460	1460	1460	1460	1460	1460	Penstock pressure
Calculated Head	Water level of intake	EL..m	866.11	866.06	866.05	866.05	866.04	866.04	2864 ft
	Water level of surge chamber	EL..m	859.97	859.97	860.76	861.31	861.71	862.11	2868 ft
	Turbine center	EL..m	389.26	389.26	389.26	389.26	389.26	389.26	1277' 1" ft
	Pipe loss	m	16.38	16.19	9.00	4.83	2.39	0.78	
	Pressure head	m	-	-	-	-	-	-	-
	Velocity head	m	-	-	-	-	-	-	-
	Gross head	m	470.71	470.71	471.50	472.05	472.45	472.85	Surge chamber EL.- Tailrace EL.
	Effective head	m	454.33	454.52	462.50	467.22	470.06	472.07	-
Efficiency	Generator efficiency	%	97.2%	98.2%	97.5%	96.6%	95.6%	94.2%	Calculated Value based on commissioning test. Think of less than 1% from above value below pf 90%
	Turbine output	MW	12.69	12.82	10.19	7.58	5.32	2.82	-
	Turbine input	MW	16.25	16.16	12.26	9.07	6.43	3.67	-
	Turbine efficiency	%	78.1%	79.3%	83.1%	83.6%	82.7%	76.8%	-
	G-T efficiency	%	75.9%	77.9%	81.1%	80.7%	79.1%	72.4%	-
Converted value to the specification	Effective head	m	-	-	-	-	-	-	-
	Discharge	m ³ /s	-	-	-	-	-	-	-
	Turbine output	kW	-	-	-	-	-	-	-

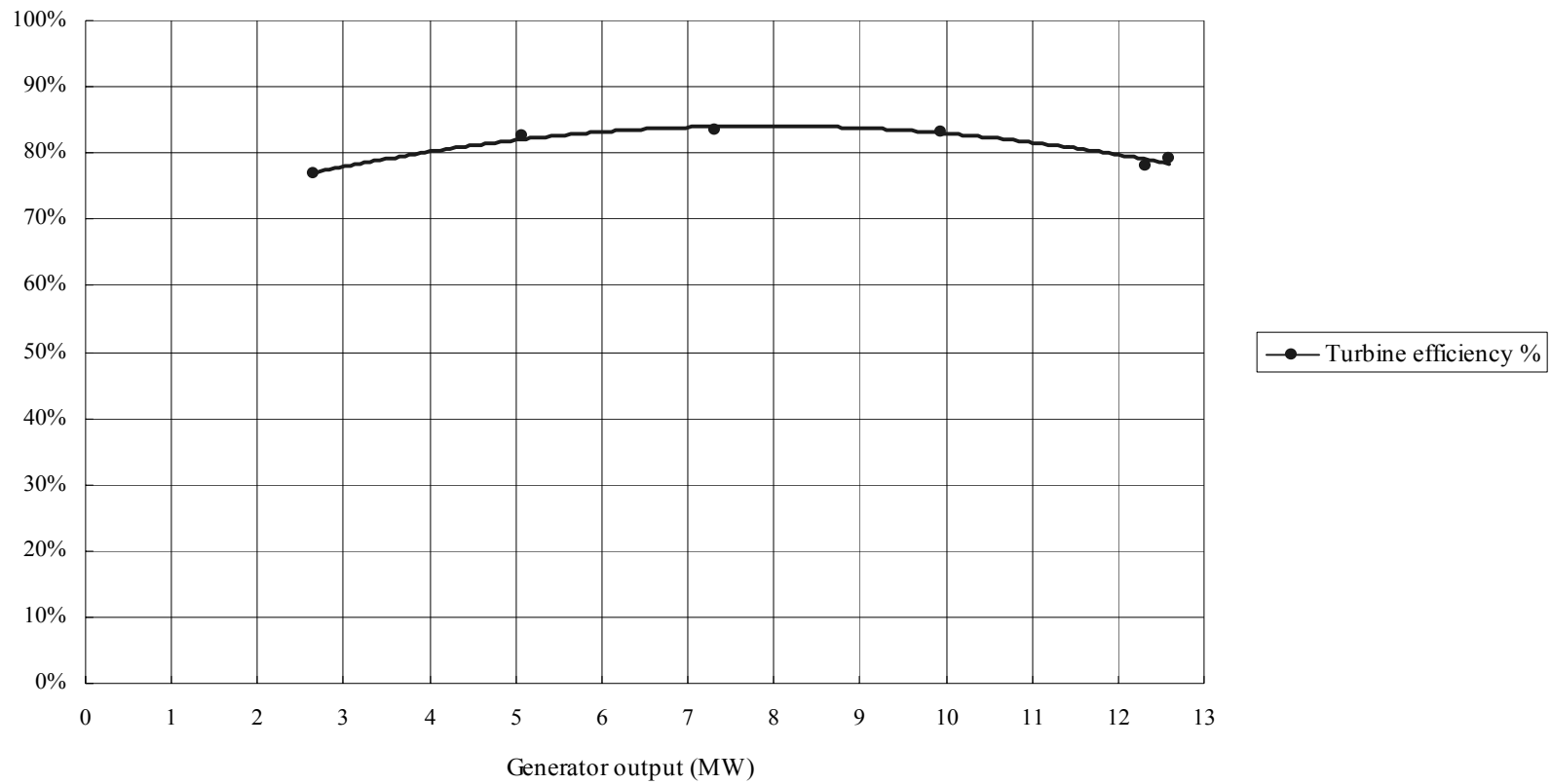


Figure 3 Turbine efficiency of Old Laxapana Unit 4
Date of the Measurement: 6th Aug. 2004

Table 5 Discharge Measurement and Efficiency Evaluation

Table 5 Discharge Measurement and Efficiency Evaluation														
PS Name:	Polpitiya			Weather:					Cloud					
Unit Number:	2			Room temperature:					36 degree Celsius					
Survey date:	12th August 2004			Outside temperature:					32 degree Celsius					
Item	Unit	Practice	10:05	10:20	10:35	10:50	11:05	11:20	Remarks					
Generator	Generator output	MW	32.5	37.0	29.7	22.1	15.5	6.9	4.8	Control room				
	Generator reactive power	MVar	10.5	0.0	-0.2	0.4	-0.3	0.3	0.4	Control room				
	Time of 500kWh or 1MWh	min sec	1 55	1 40	2 5	2 49	4 1	8 27	6 10	Cubicle room, Blue letter 100kWh				
	Calculated G. output	MW	31.30	36.00	28.80	21.30	14.94	7.10	4.86					
	Generator voltage	kV	12.4	12.1	12.1	12.0	12.1	12.1	12.1	Control room				
	Generator current	A	1579	1779	1424	1051	744	333	220	Control room				
	Field winding voltage	V	76	68	60	57	53	51	49	Control room				
	Field winding current	A	809	705	643	601	557	542	529	Control room				
	Power factor (p.f.)	%	95.2%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	99.7%					
	Frequency	Hz	49.95	49.96	50.11	49.79	50.03	49.88	50.08	Control room				
	Coil temperature	°C	65	65	64	61	59	59	53	Max				
Unit1	Generator output	MW	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5					
Turbine	Rotational speed	min ⁻¹	499	499	499	498	500	498	500	Control room				
	Wicket gate opening at Meter	%	64%	77%	60%	47%	35%	18%	14%	Servomotor stroke				
	Wicket gate opening at Gov.	mm	206	224	200	180	160	130	125	Servomotor stroke(0MW, 102mm)				
	Shaft run-out	1/100mm	5	5	5	5	5	4	3	Vibration				
Discharge	Used flow (discharge)	m ³ /s	14.85	17.09	13.78	10.72	7.96	4.46	3.54	Penstock				
Head	Water level of Intake	ft inch	20 9.5	21 2.5	20 8.0	20 6.0	19 10	18 10	17 9.5	Headrace				
	Water level of surge chamber	ft inch	194 5.5	200 9	193 0.5	188 0	182 10	177 10	176 0.5	Surge chamber, The Elevation is confirmed on				
	Water level of tailrace (weir)	m	1.09	1.06	1.17	1.30	1.40	1.52	1.54	Tailrace (The width is 22ft)				
	Penstock pressure gauge	Bar	25	24.8	25.5	26.0	26.2	26.5	26.6	Penstock pressure				
Calculated	Water level of intake	EL..m	376.03	375.91	376.07	376.12	376.33	376.63	376.95	1254.5 ft				
Head	Water level of surge chamber	EL..m	365.93	364.01	366.36	367.89	369.47	370.99	371.54	1395 ft				
	Water level of discharge	EL..m	111.69	111.72	111.61	111.48	111.38	111.26	111.24	370 ft				
	Pipe loss	m	2.82	3.74	2.43	1.47	0.81	0.25	0.16					
	Pressure head	m	-	-	-	-	-	-	-					
	Velocity head	m	-	-	-	-	-	-	-					
	Gross head	m	254.24	252.29	254.75	256.41	258.09	259.73	260.30	Surge Chamber EL- Tailrace EL				
	Effective head	m	251.42	248.55	252.32	254.94	257.28	259.48	260.14					
	Discharge based on 12th data	m ³ /s												
Efficiency	Generator efficiency	%	96.5%	96.8%	96.0%	95.0%	93.9%	92.4%	91.9%	Calculated Value.				
	Turbine output	MW	32.43	37.18	29.99	22.42	15.91	7.69	5.29					
	Turbine input	MW	36.59	41.63	34.07	26.78	20.07	11.34	9.02					
	Turbine efficiency	%	88.6%	89.3%	88.0%	83.7%	79.3%	67.8%	58.6%					
	G-T efficiency	%	85.5%	86.5%	84.5%	79.5%	74.4%	62.6%	53.9%					
Converted value to the specification	Effective head	m	-	-	-	-	-	-	-					
	Discharge	m ³ /s	-	-	-	-	-	-	-					
	Turbine output	kW	-	-	-	-	-	-	-					

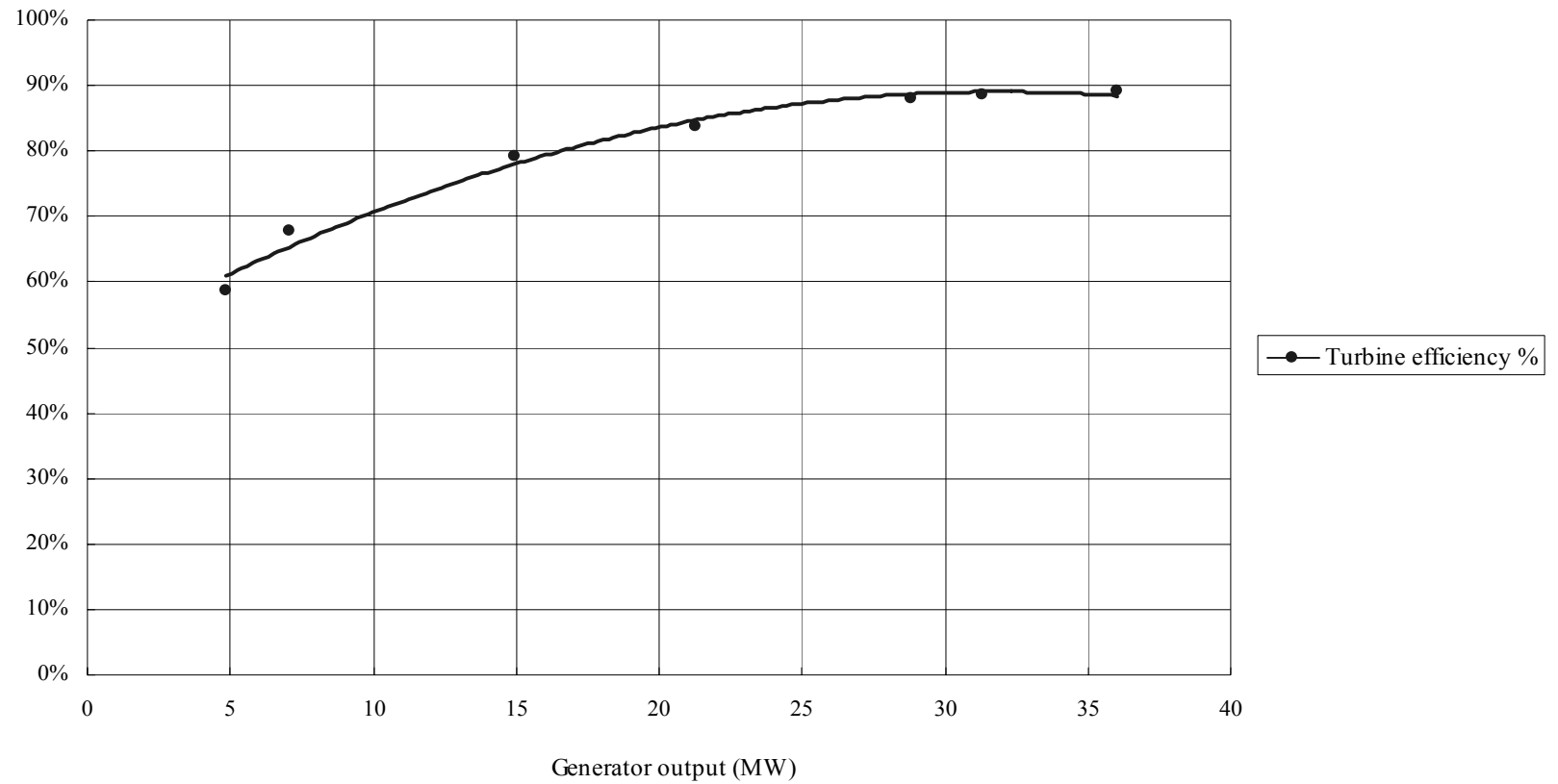


Figure 4 Turbine efficiency of Poloitiya Unit 2
Date of the measurement: 12th Aug.2004

Table 6 Discharge Measurement and Efficiency Evaluation

PS Name: New Laxapana

Survey date: 18th August 2004

Unit Number: Unit No.2

Weather:

Flow coefficient:

Room temperature:

degree Celsius

Water temperature:

Outside temperature:

degree Celsius

Item	Unit	Practice	10:05	10:15	10:25	10:35	10:45	Remarks	
Generator	Generator output	MW	40.0	50.0	38.0	30.0	20.0	10.0	Control room
	Generator reactive power	MVar	8	0	0	0	3	0	Control room
	Time of 250kWh or 500kWh	min sec	1 27	1 10	1 30	1 57	3 0	6 4	Cubicle
	Calculated G. output	MW	41.38	51.43	40.00	30.77	20.00	9.89	
	Generator voltage	kV	12.1	11.9	11.9	11.9	12	11.9	Control room
	Generator current	A	2050	2500	2000	1200	(962)	(485)	Control room, Calculated value is shown in ().
	Field winding voltage	V	77	80	76	72	71	60	Control room
	Field winding current	A	830	840	800	770	760	710	Control room
	Power factor (p.f.)	%	98.1%	100.0%	100.0%	100.0%	98.9%	100.0%	
	Frequency	Hz	49.89	49.92	50.13	49.96	47.2	44.8	Control room
	Coil temperature	°C	52.6	55.3	53.1	50.3	50.1	50	Max
Unit1	Generator output	MW	40	45	45	45	45	45	
Turbine	Rotational speed	min ⁻¹	438	439	439	439	439	440	Control room (old meter, no calibration)
	Needle opening #1	mm	104	157	101	72	47	30	Servomotor stroke
	Needle opening #2	mm	110	157	104	76	50	30	Servomotor stroke
	Needle opening #3	mm	106	158	101	71	46	26	Servomotor stroke
	Needle opening #4	mm	110	164	108	77	51	31	Servomotor stroke
	Needle opening at Governor	%	82.5%	92.0%	80.0%	70.0%	57.5%	46.0%	Servomotor stroke(0MW, mm)
	Deflector Opening	%							Servomotor stroke
Discharge	Used flow (discharge)	m ³ /s	8.55	10.83	8.30	6.34	4.18	2.24	Penstock
Head	Water level of Intake (EL)	ft inch	3147	3145 10	3146 10	3147 1	3147 10	3148 4	Headrace
	Water level of surge chamber	ft inch	77 8	88 10	80 8	75 9	70 0	65 11	Surge Chamber
	Water level of tailrace (weir)	cm	112	127	119	106	96	86	Tailrace (The width is 3.5m)
	Penstock pressure gauge (in)	bar	53	52	53	54	55	56	Penstock pressure
	Penstock pressure gauge (out)	bar	57	57	57	57	57	57	Penstock pressure
Calculated Head	Water level of intake	EL..m	959.21	958.85	959.15	959.23	959.46	959.61	3149.42 ft
	Water level of surge chamber	EL..m	952.30	948.89	951.38	952.88	954.63	955.88	3202 ft
	Turbine center	EL..m	384	384	384	384	384	384	384 m
	Pipe loss	m	11.33	18.18	10.68	6.23	2.71	0.78	
	Pressure head	m	-	-	-	-	-	-	-
	Velocity head	m	-	-	-	-	-	-	-
	Gross head	m	568.30	564.89	567.38	568.88	570.63	571.88	Surge chamber EL- Tailrace EL
	Effective head	m	556.97	546.71	556.70	562.65	567.92	571.10	-
Efficiency	Generator efficiency	%	96.0%	96.5%	95.9%	95.1%	94.1%	92.9%	Calculated Value.
	Turbine output	MW	43.09	53.27	41.72	32.34	21.25	10.65	-
	Turbine input	MW	46.67	58.02	45.28	34.96	23.26	12.54	-
	Turbine efficiency	%	92.3%	91.8%	92.1%	92.5%	91.4%	84.9%	-
	G-T efficiency	%	88.7%	88.6%	88.3%	88.0%	86.0%	78.9%	-
Turbine Efficiency in Commissioning test		%							
Converted value to the specification	Effective head	m	-	-	-	-	-	-	-
	Discharge	m ³ /s	-	-	-	-	-	-	-
	Turbine output	kW	-	-	-	-	-	-	-

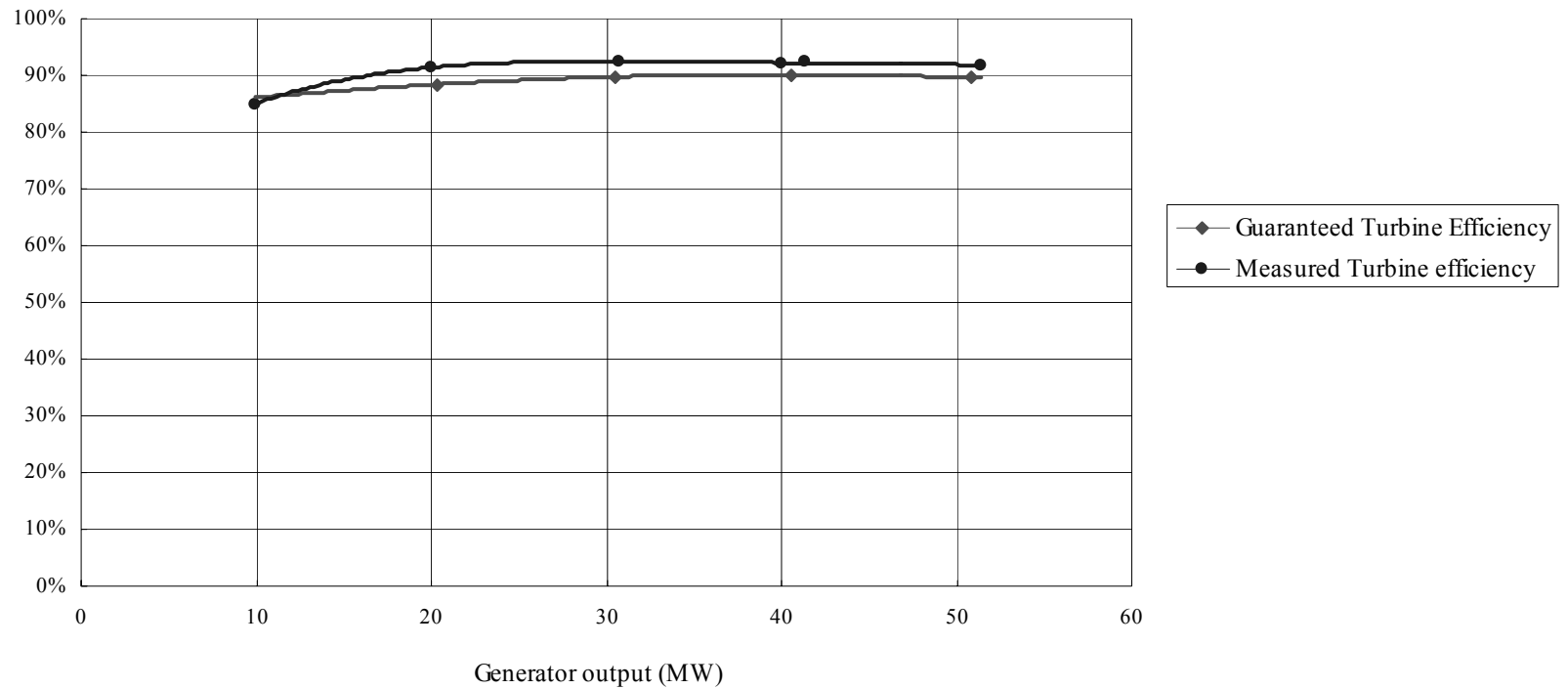


Figure 5 Turbine efficiency of New Laxapana Unit 2
Date of the measurement: 18th Aug. 2004

4. 試験結果の精度

4.1 計測器具の精度

超音波流量計：±1.0%

PT：±0.5%

CT：±0.5%

積算電力計：±0.5%

その他の計測誤差の±2.0%と仮定し、全体計測誤差は4.6%となる。

今回は Old Laxapana 発電所 4 号機と Polpitiya 発電所 2 号機において効率測定の較正（他の計測方法との比較）を行うことができた。Old Laxapana 発電所 4 号機は放水路の堰、Polpitiya 発電所 2 号機は圧力トランスデューサを用いた。

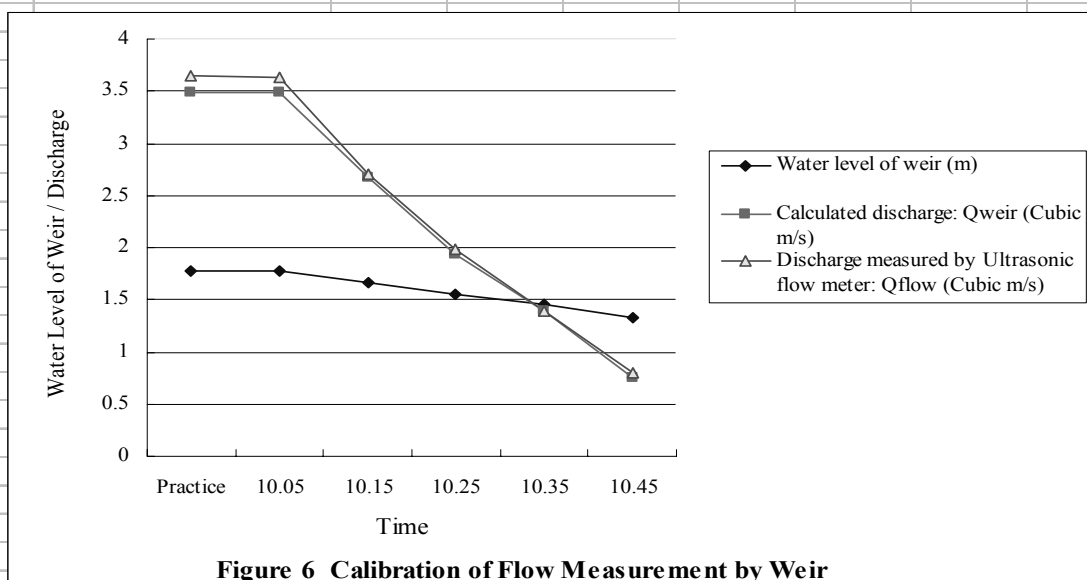
更に New Laxapana 発電所 2 号機では、今回試験結果と据付時試験データの間で、ニードルサーボモータストローク／発電機出力／流量の相関関係を比較した。運転開始後 30 年を経過しているにかかわらず、明確な一致が確認された。

4.2 堰を用いた流量較正

Table 7、Figure 6 は Old Laxapana 発電所 4 号機で、超音波流量計で計測した流量と、放水路の堰で計測した流量の比較を示す。堰は長期間使用されておらず、当初備わっていたと思われる計測器具も紛失している。従って Figure 1 に示すように、基準位置から水面までの距離をスケール（棒尺）で測定した。スケールによる手動測定は、放水路水面が脈動しているため最適ではないが、両測定結果はよく一致している。

従って携帯式超音波流量計の精度は、鉄管流量の測定に十分であることが確認された。

Table 7 Calibration of flow measurement by weir								
Old Laxapana Unit 4								
Date 6th Aug. 04								
No.	Time	Unit	Practice	10.05	10.15	10.25	10.35	10.45
1	Water level of weir	(m)	1.77	1.77	1.66	1.55	1.46	1.33
2	Calculated discharge: Q_{weir}	(Cubic m/s)	3.490	3.490	2.670	1.940	1.400	0.753
3	Discharge measured by Ultrasonic flow meter: Q_{flow}	(Cubic m/s)	3.650	3.628	2.705	1.981	1.395	0.794
4	Fluctuation of Q_{flow}	Cubic m/s	less than 0.03	less than 0.03	less than 0.03	less than 0.03	less than 0.04	less than 0.04
5	No.2/ No.3		0.956	0.962	0.987	0.979	1.004	0.948



4.3 圧力トランスデューサ（HAENNI、CEB 所有）を用いた有効落差の較正

この較正は、Polpitiya 発電所 2 号機で、最初の効率試験（12th Aug. 04）の 14 日後（26th Aug. 04）に実施された。CEB の Mahaweli Hydro Complex が較正用圧力トランスデューサを提供した。

測定された水位から計算した有効落差と、トランスデューサで計測した有効落差を比較した。

トランスデューサで計測した有効落差は下記式で表記される。

$$\text{計測有効高落差} = \text{Htr} + \text{トランスデューサの位置補正} + \text{放水水位} - \text{ランナー中心標高} + V^2/2 * g$$

ここで、

Htr: トランスデューサで計測された圧力 (m)

トランスデューサの位置補正: 2.05 m (スケールで測定)

V: トランスデューサの圧力タップ位置の流速

Table 8, 9 に較正結果を示す。

要約すると下記である。

Table 8 Outline of Discharge Measurement and Efficiency Evaluation (Head Calibration)

項目	単位 / 時間	14.50	15.20	備考
発電機出力計算値	MW	37.50	29.51	積算電力計による
有効落差	m	257.2	260.4	実測水位差での算出値
計測有効落差	m	258.4	261.3	圧力トランスデューサでの計測値

この比較結果は、簡易効率試験における有効落差測定に圧力トランスデューサが適用できず、且つ事前に水路の詳細データが入手できない状態における測定であっても、実測水位差と計算損失水頭を用いる簡易有効落差計算により、誤差の少ない計測値を得ることができることを意味している。

Table 9 Discharge Measurement and Efficiency Evaluation (Head Calibration)

PS Name: Polpitiya

Weather: Fair

Unit Number: 2

Survey date: 26th August 2004

Item	Unit	14:50	15:20	Remarks	
Generator	Generator output	MW	37.7	30.3	Control room
	Generator reactive power	MVar	0.2	-0.1	Control room, 0MVar
	Time of 500kWh	min sec	48	1 1	Cubicle
	Time of 1,000kWh	min sec	1 38	2 2	Cubicle
	Calculated G. output	MW	37.50	29.51	
	Generator voltage	kV	12.0	12.0	Control room
	Generator current	A	1811	1448	Control room
	Field winding voltage	V	67	61	Control room
	Field winding current	A	699	642	Control room
	Power factor (p.f.)	%	100.0%	100.0%	
	Frequency	Hz	50.05	50.05	Control room
	Coil temperature	°C	66	66	Control room, Max
Unit1	Generator output	MW	5.4	5.6	
Turbine	Rotational speed	min ⁻¹	499	499	Control room
	Wicket gate opening at Meter	%	72%	58%	Servomotor stroke
	Wicket gate opening at Gov.	mm	217	197	Servomotor stroke(0MW, 102mm)
	Vibration	1/100mm	5	5	
Head	Water level of Intake	ft inch	9 9	8 6	Headrace
	Water level of surge chamber	ft inch	173 8	168 0	Surge chamber
	Water level of tailrace (weir)	m	1.51	1.64	Tailrace (The width is 22ft)
	Penstock pressure gauge	Bar	25.5	26.0	Penstock pressure
	Pressure head	Bar	24.96	25.44	Transducer
Calculated Head	Water level of intake	EL..m	379.4	379.78	1254.5 ft
	Water level of surge chamber	EL..m	372.26	373.99	1395 ft
	Water level of discharge	EL..m	111.268	111.138	370 ft
	Pipe loss	m	3.78	2.39	
	Velocity head	m	-	-	-
	Goss head	m	260.99	262.85	Surge Chamber El.- Tailrace El.
	Temporary effective head	m	257.25	260.42	Value of Pipe loss based on 12th data
	Discharge based on 12th data	m ³ /s	17.20	13.68	
	Effective head	m	257.21	260.46	
	Measured head	m	258.47	261.30	By transducer measurement
Difference between E. head and M. head					
	Difference head	m	-1.26	-0.84	
	Difference rate	%	-0.5%	-0.3%	

4.4 サーボモータストローク／発電機出力／流量の関係

Figure 7 は New Laxapana 発電所 2 号機で測定した「発電機出力／サーボモータストローク：18th Aug. 04」と、1 号機のそれ「据付時の試験報告書：20th Mar. 74」との比較を示す。同様に Figure 8 は「流量／発電機出力」の比較を示す。

両図ともに、明確な一致が確認された。このことは下記を意味している。

- 1) New Laxapana 発電所 2 号機の水車性能と発電機性能は初期のレベルを保持している。且つ有害なキャビテーション壊食がなく、良好なランナー状態を実証している。
- 2) 1974 年時の流量測定は放水路の堰で計測されたと考えられる。上記関係の一致は、ニードルとノズルが、据付時の初期の機能・性能を保持していることを意味している。

且つ携帯式超音波流速計による流量計測は、十分な精度を持っている。

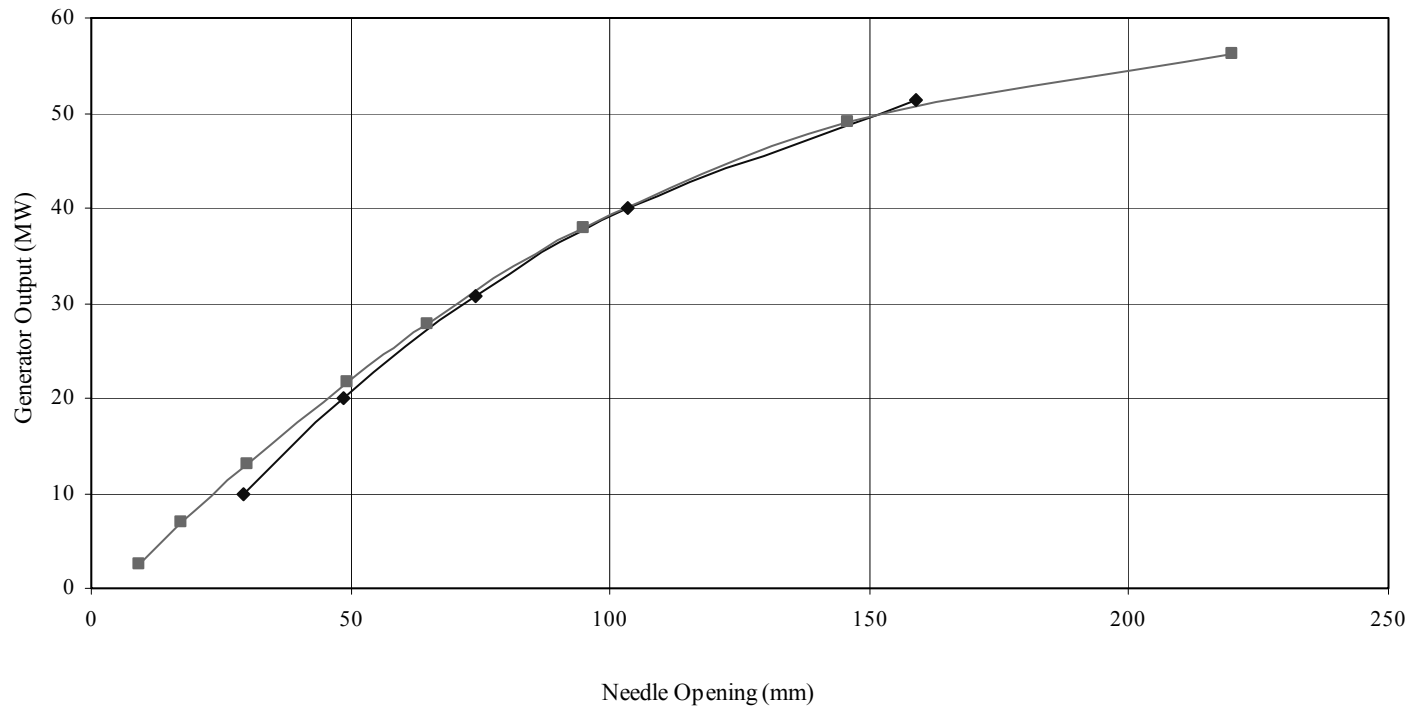
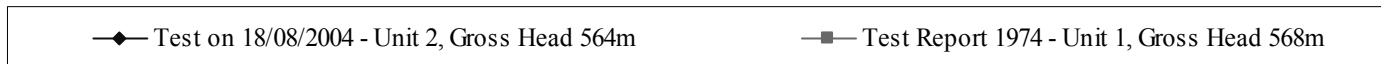


Figure 7 NEW LAXAPANA Generator Output / Needle Opening



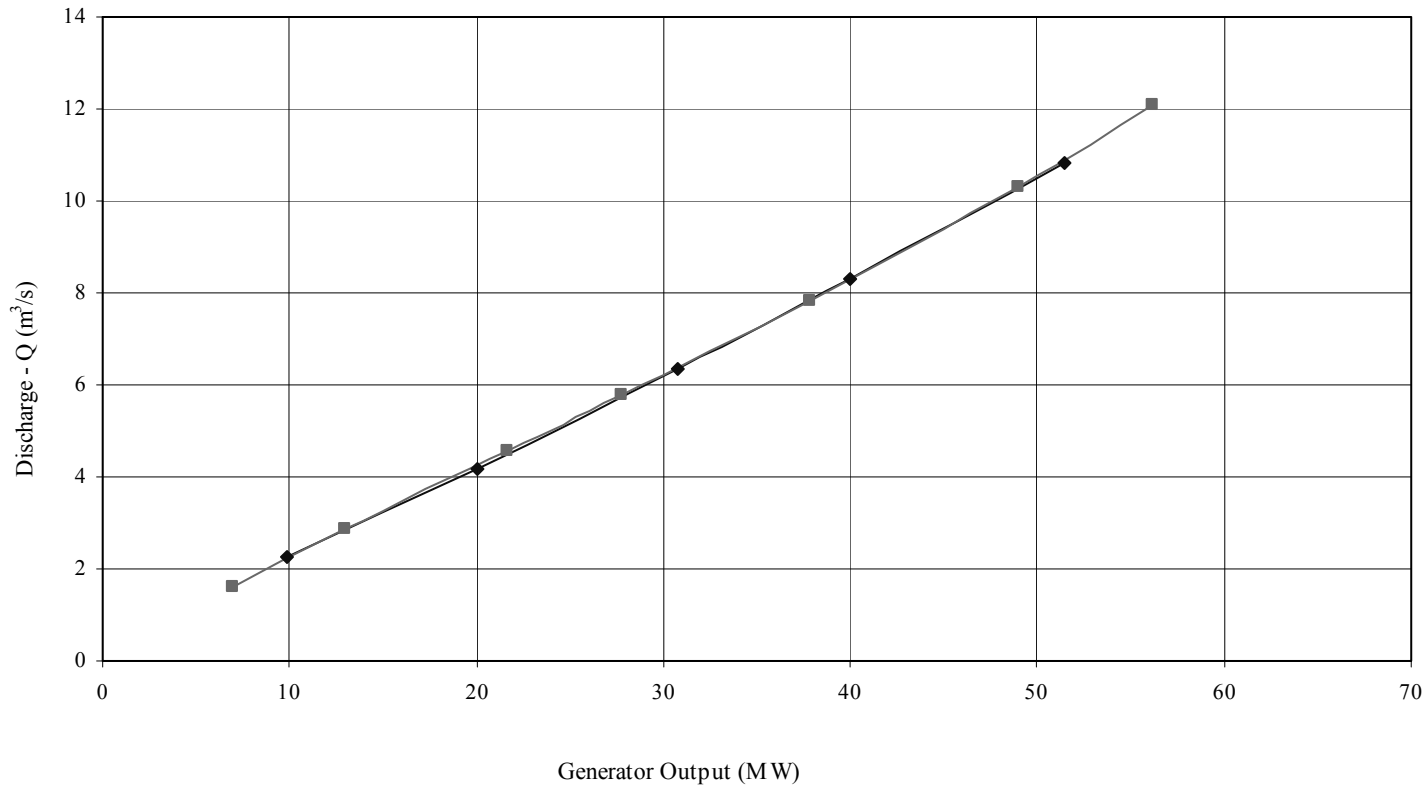


Figure 8 NEW LAXAPANA Discharge / Generator Output



5. 結論

- 5.1 上記較正結果を考慮すると、携帯式超音波流量計を用いた簡易効率試験は、Old Laxapana, Polpitiya 及び New Laxapana の各発電所の水車効率を評価する目的に対し、信頼できる。
- 5.2 携帯式超音波流量計を用いた簡易効率試験は、水車更新の評価と計画のツールとして大変有用である。
- 5.3 測定結果はマージンを含め $\pm 3.5 \sim \pm 4.6\%$ の誤差があると考えられる。しかし New Laxapana 2 号機の試験結果でやや高めの効率であることと、流量は精度良く測定されていることを考慮すべきである。従って、経済評価に用いる効率は、 \pm の誤差上限・下限を考えず、計測結果をそのまま適用することが妥当と考える。

APPENDIX C-2
更新規模と効率向上に関する検討

「Old Laxapana 発電所 Stage I (単機容量 9 MW×3 台)及び Polpitiya (単機容量 40 MW×2 台) 更新規模に関する、損失水頭、サージタンク水位、有効落差、水車仕様、効率、について」

1. 上池、上部トンネル、サージタンク、鉄管、放水路に関する仕様

Table 1 は各発電所の上池、上部トンネル、サージタンク、鉄管、放水路に関する仕様を示す。各々の長さや直径は既存図面から取得した。上部トンネルの直径は各断面面積に対応する等価直径を示す。

2. Old Laxapana 発電所の損失水頭の解析

Figure 1 は Old Laxapana 発電所の水路の系統図を示す。

Table 2 は Old Laxapana 発電所の損失水頭解析を示す。上部トンネルに関して、“Mott MacDonald Report (1999年11月付け)”で検討された損失水頭と簡易効率試験で測定された損失水頭を比較した。鉄管損失は上記“Mott MacDonald Report”の計算式を使用して計算した。

Table 3 は上部トンネルで測定された損失水頭に相当する Manning 粗さ係数の計算値である。

3. Polpitiya 発電所の損失水頭の解

Table 4 は Polpitiya 発電所の損失水頭の解析を示す。上部トンネルに関して、簡易効率試験で測定した損失水頭と損失水頭計算値を比較した。

Table 5 は上部トンネルの測定された損失水頭に相当する Manning 粗さ係数の計算値である。

Table 6 は Manning 粗さ係数を 0.012 と仮定したときの鉄管の損失水頭計算値である。

4. サージタンク水位と鉄管入口の天端標高

Table 7 は、Old Laxapana 発電所 と Polpitiya 発電所に関し、サージタンク水位と鉄管入口の天端標高の関係を示す。

この表は、上池の取水レベルが低い時、Old Laxapana 発電所では鉄管に空気が吸入される可能性があることを示している。

聞き取り調査では、負荷遮断時に爆発音が聞こえたと報告されている。CEB はサージタンクに生ずる渦と空気吸入に関心を示している。

かかる状況下では、下記の課題を早急に調査することを推奨する。

- 1) 爆発音が聞こえるときの運転データ（上池の取水水位、全流量を評価するための各号機の発電機出力）を確認する。
- 2) サージタンクの渦発生を観測し、その発生運転条件を確認する。有害な空気吸入なしに水車の運転を許容できる上池取水水位を確証することが重要である。

- 3) Stage II (4、5号機)に関連する上部トンネルの設計来歴を確認する。
現時点で、上部トンネル寸法、サージタンク容量、鉄管入口の標高の相関関係が問題点と考えられる。
- 4) 1～5号機の最適運転条件を立案する。

Polpitiya 発電所では、空気吸入の問題は報告されていない。

5. 更新規模の検討

5.1 Old Laxapana 発電所 Stage I (Units 1 to 3)

5.1.1 流量とサージタンク

Table 8 は “Mott MacDonald Report” が想定した設計時点での既設水車の出力と流量を示す。同時に簡易効率試験 (2004 年 8 月 6 日) 時の既設水車の出力と流量を示す。

設計時点では発電所全体の流量が $13.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 、全出力が 50.03 MW と想定されている。2004 年 8 月 6 日の測定結果では、全流量 $14.54 \text{ m}^3/\text{s}$ 、全出力 48.79 MW であった。もし 1 号機の出力を測定結果の 7.6 MW の代わりに 8.0 MW と仮定すれば、全流量 $14.64 \text{ m}^3/\text{s}$ 、全出力 49.19 MW となる。これらの値は既設機の最大発電所流量と最大発電所出力と想定される。水車流量は性能低下のために増大している。

一方サージタンク、上部トンネル、鉄管の設計根拠は、現時点では明らかでない。しかしながら、負荷遮断時に爆発音が観測されたと報告されている。Table 7 は、上池取水口が低水位の時、鉄管に空気が吸入される可能性を示唆している。従って既存の水路構造には何らかの流量制限が存在すると評価される。

かかる条件下では、サージタンクの高さ、直径のような既存土木構築物に影響を及ぼさない水車仕様 (流量を少なくする) が必要である。すなわち発電所全流量は $14.64 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下とする必要がある。

5.1.2 水撃過渡現象とサージタンクの水位： 現地実測結果と JPOWER 計算プログラムに基づく検討

(1) 水撃過渡現象とサージタンク水位

“The Mott MacDonald Report” では、Old Laxapana 発電所の水撃過渡現象が検討されている。報告書は既設機の容量アップを目的として、発電所全流量 $17.0 \text{ m}^3/\text{s}$ の条件で全号機の負荷遮断を行った場合の、ニードルバルブの閉鎖、サージタンクの水位、水撃圧力の計算例を記載している。 $17.0 \text{ m}^3/\text{s}$ は、想定設計値の $13.4 \text{ m}^3/\text{s}$ に代えて検討された。

一方、JPOWER は水撃過渡現象の計算コードを所有している。この計算コードは、多数の水力発電所に適用され、計算精度が良いことが確認されている。

Table 9 は下記の運転条件における水位の計算値を示す。

- 1) 既設想定設計流量 $Q = 13.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 及び $Q = 17.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mott MacDonald Report entitled “Old Laxapana Power Station Uprating Study”の検討結果)
- 2) 流量 $Q = 6.51 \text{ m}^3/\text{s}$ and $Q = 14.54 \text{ m}^3/\text{s}$ (2000年8月4日、6日実施の簡易効率試験時の流量測定結果)
- 3) 流量 $Q = 15.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (更新規模 30MW と想定、既設 4, 5号機流用)
- 4) 流量 $Q = 14.64 \text{ m}^3/\text{s}$ (既設機の現状全負荷時流量。2000年8月6日測定時の1号機負荷 7.6MW の代わりに 8.0MW 負荷を考え、1号機流量 $2.46 \text{ m}^3/\text{s}$ とする)
- 5) 流量 $Q = 14.32 \text{ m}^3/\text{s}$ (更新規模 27MW と想定、既設 4, 5号機流用)

(2) 鉄管への空気吸込みと対策

上記計算結果から、下記の運転条件で鉄管への空気吸込みの可能性が存在する。

- 1) 流量 $Q = 15.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (更新規模 30MW と想定、既設 4, 5号機流用、全負荷運転)、上池最低水位 860.75 m (Table 9, Hydraulic Transients, item 3)
- 2) 更に、流量 $Q = 14.54 \text{ m}^3/\text{s}$ (既設 1~5号機、全負荷運転)、上池最低水位 860.75 m (Table 7)
- 3) 上池低落差時の負荷急増 (数ユニットが運転中に、残りのユニットの負荷が急増する場合)

かかる状況下で、上池の水位が低い場合は、鉄管への空気吸込みを防止するため、全負荷運転を避けることを推奨する。

サージ計算結果の詳細は土木構造物の検討事項に記載されている (5.7章参照)。

一方将来、上池 Norton Pond ダムには、高さ約 1.5m の flashboard が設置されると報告されている。もし Norton Pond ダムの運用領域が高水位側に変更されれば、空気吸込みは改善される。しかしながら、この対策を適用するには環境審査をクリアーする必要があり、時間がかかると考えられる。

5.1.3 有効落差と更新機器仕様

(1) 有効落差

Table 10 は Old Laxapana 発電所 Stage I (Units 1 to 3)の、有効落差を示す。

水車単機定格出力は、9,250kW と仮定する。

Table 10 の計算結果では、定格有効落差は 453m を確保できそうである。しかしながら、今回の導水路損失の測定結果は 1 例であり、且つ鉄管損失は計算結果だけである。追加測定が望ましい。従って今回の検討では、余裕を考えて既設機と同様 499m を選択する。

(2) 機器仕様： 9MW×3 台案と 13.5MW×2 台案の比較

1) 単機出力、台数に関する仕様比較

既設水車（1～3号機）の単機出力は 8.33MW である。しかしながらピーク負荷を受け持つためには、出来る限り単機出力を増やすことが望ましい。

複数の評価要因に関し、機器容量 9MW×3 台案と 13.5MW×2 台案を検討した。Table 11 は 2 つの計画案の比較を示す。

評価要因は主機の寸法（水車・発電機）、各号機間のスパン距離、レイアウト、基礎、鉄管、鉄管分岐、鉄管弁、放水路、水撃過渡現象、施工方法、停止期間、更新コストなどである。Table 12 は各計画案の主要寸法を示す。

Figure 2 は 9MW 機に関して、Table 12 の A～K 寸法に対応するスケッチ（2 軸受案）を示す。

Figure 3 は 13.5MW 機に関して、Table 12 の A～K 寸法に対応するスケッチ（3 軸受案）を示す。

2) 単機出力、台数に関する評価

9MW 案は多少の修正で既存の基礎を流用できる。

13.5MW 案は、既存のレイアウト、基礎、補強の図面が欠損しているために、更新の基礎移動と掘削が大変困難である。かかる現状では、既設 1 号機と 3 号機の基礎を流用することになるが、軸方向寸法が既設機器間スパン 9,800mm よりも大きいため、大幅な基礎改修を必要とする。

最近の発電機の設計に従うと、全軸方向長さ(Table 12 の Dimension J)は、13.5MW 案に関して、10,200 mm である。

各更新案と既設機に関し、上池低水位で鉄管への空気吸込の問題が残されている。この問題はサージタンクの容量不足と不適切な設置標高に起因するが、上池低水位で全負荷運転を回避する必要がある。

かかる現状では、既設機の全流量 $14.64 \text{ m}^3/\text{s}$ を越える流量を使用することは望ましくない。

3) 結論

従って、結論として既設基礎を流用する $9\text{MW} \times 3$ 台案を採用することを推奨する。

Tables 13,14 に Old Laxapana 発電所 Stage I の更新水車・発電機の仕様を示す。

Figure 4 は Old Laxapana 発電所 Stage I の既設 (8MW) と更新 (9MW) に関し、発電機出力と水車効率の相関関係を示す。

5.2 Polpitiya 発電所

5.2.1 有効落差と更新機器仕様

(1) 有効落差

Table 10 に Polpitiya 発電所の有効落差を示す。
水車単機定格出力は、 $40,000\text{kW}$ と仮定する。

Table 10 の計算結果では、導水路損失水頭が大きく、建設時の定格有効落差は 269m を確保することは不可能である。従って今回の検討では、 250 m を選択する。

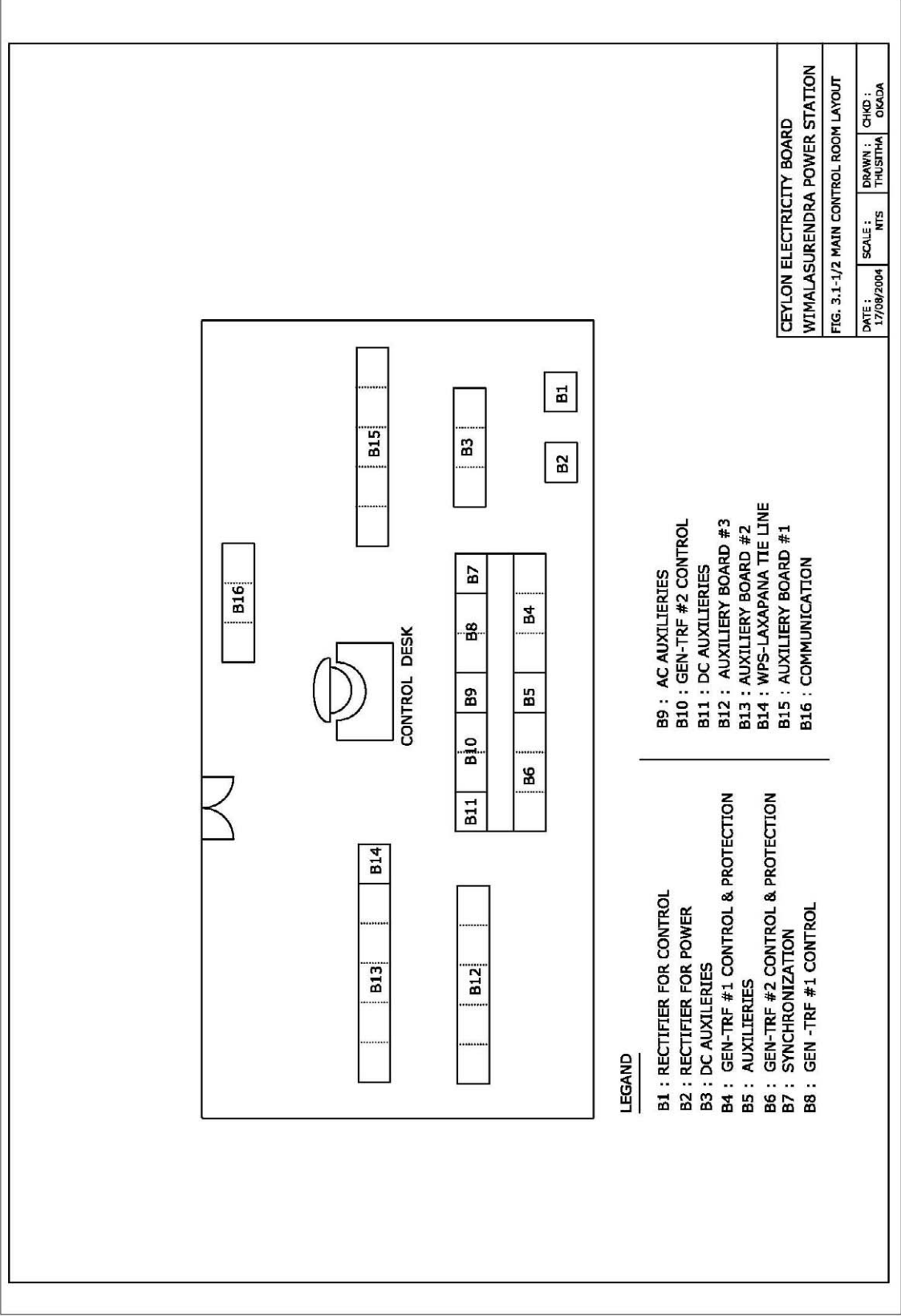
(2) 機器仕様

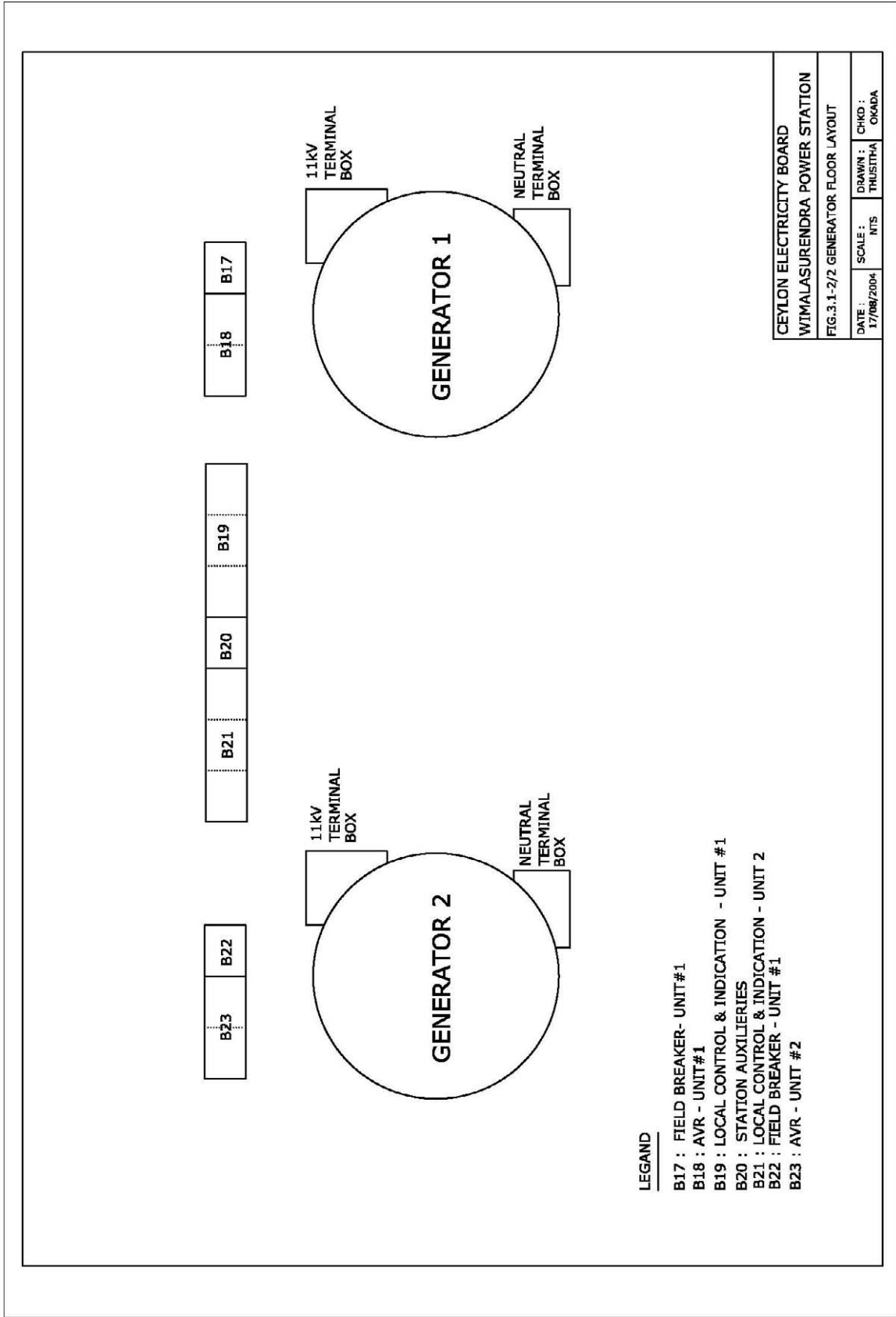
Tables 15 に Polpitiya 発電所の更新水車の仕様を示す。

Figure 5 は Polpitiya 発電所の既設と更新に関し、発電機出力と水車効率の相関関係を示す。

APPENDIX 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)

1. Wimalasurendra Power Station

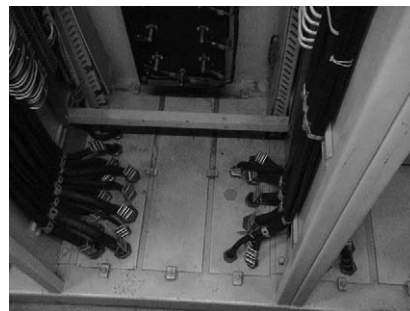




Picture 3.2 Control / Protection Equipment Board



Main Control Board and Control Desk



Inside of Main Control & Protection Relay Board



Protection Relay of Electromagnetic Type



Auxiliary Relay in Board



Renewed No Fuse Switch



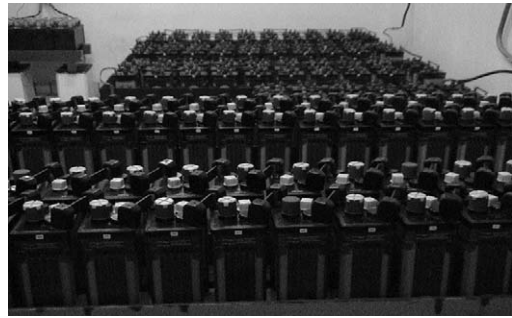
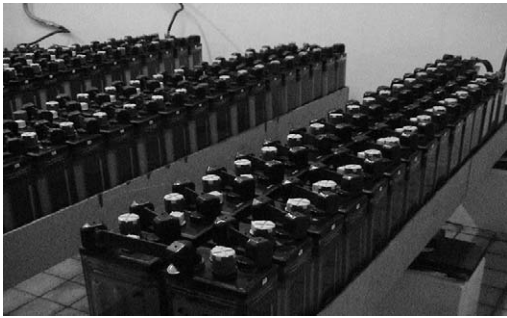
Motor Control Centers for Unit 1 & 2



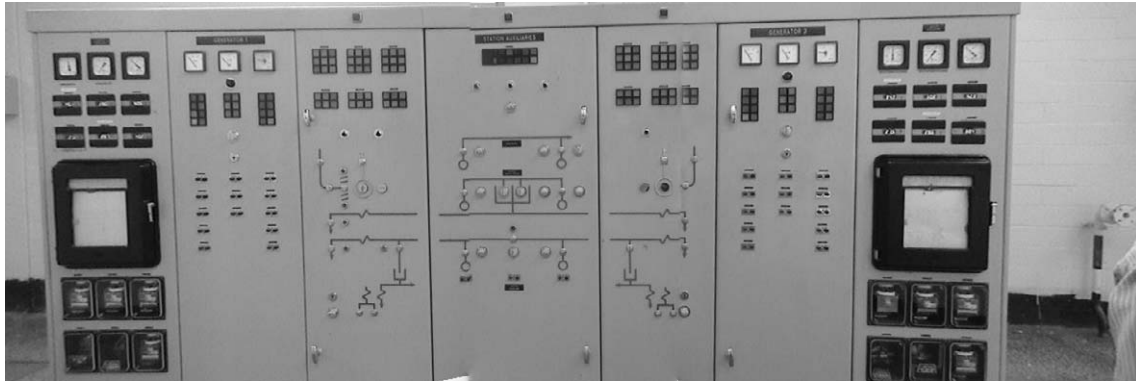
Battery Charger



DC Auxiliary Board



Battery of Control & Communication Systems



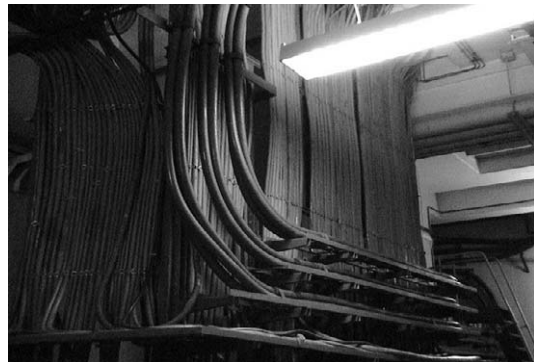
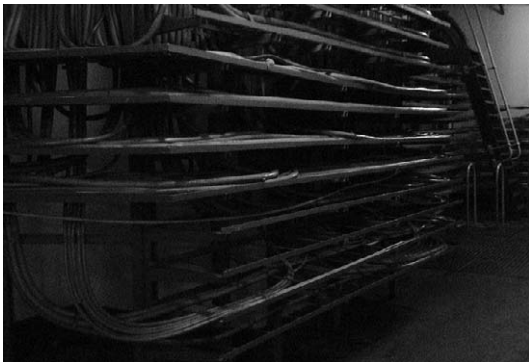
Local Control Board of Unit 1 (left) & 2 (right) and Station Auxiliary Board (center)



Excitation Equipment Board



Governor Control Board



Control and Power Cables



Generator and Excitation Cubicles (left side)



3.3 kV Switchgear & Distribution Line Control and Protection Relay Boards



3.3 kV Switchgear & Distribution Line Control Boards



3.3 kV Switchgear & Distribution Line

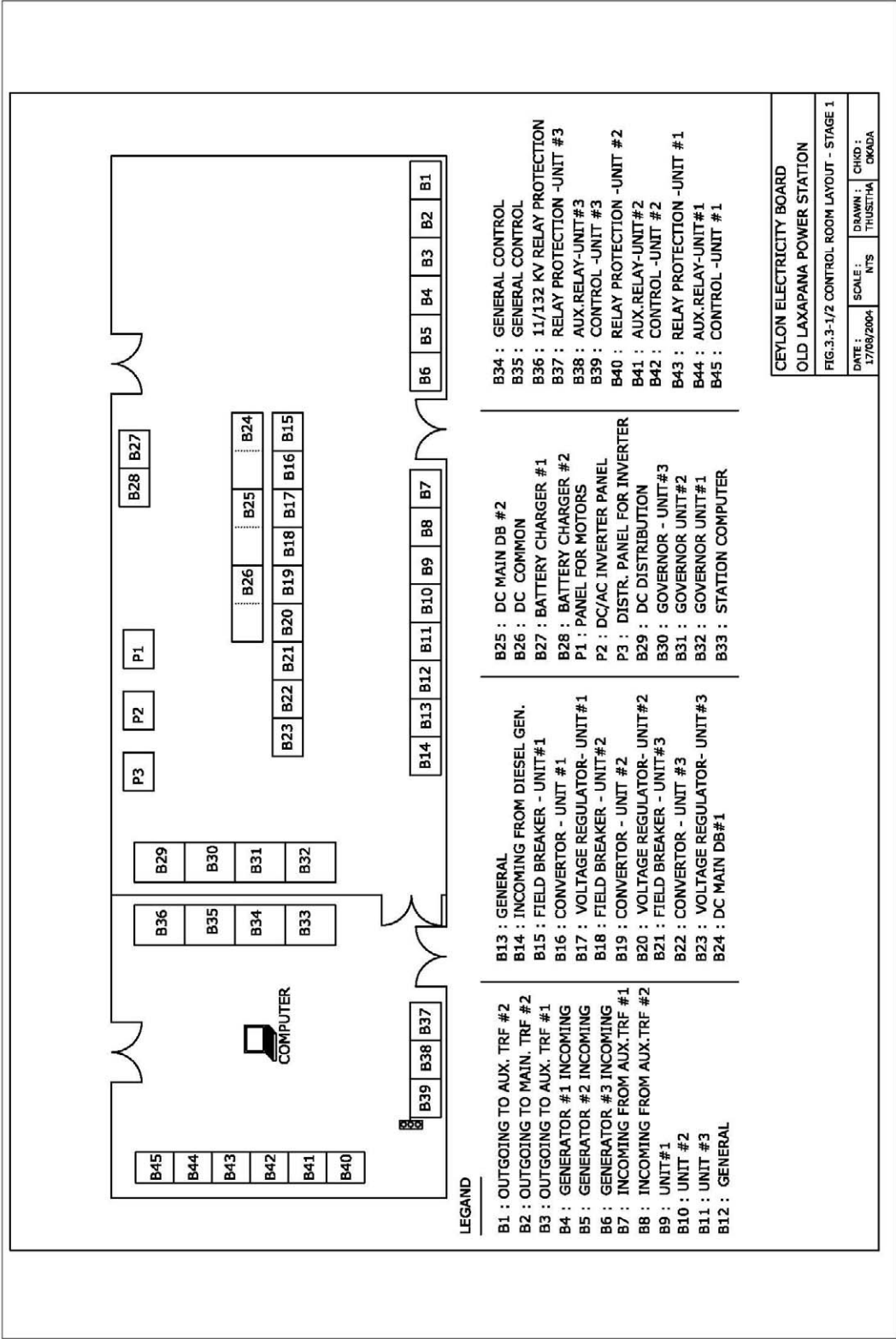


Battery Charger Cubicle



DC Distribution Cubicle

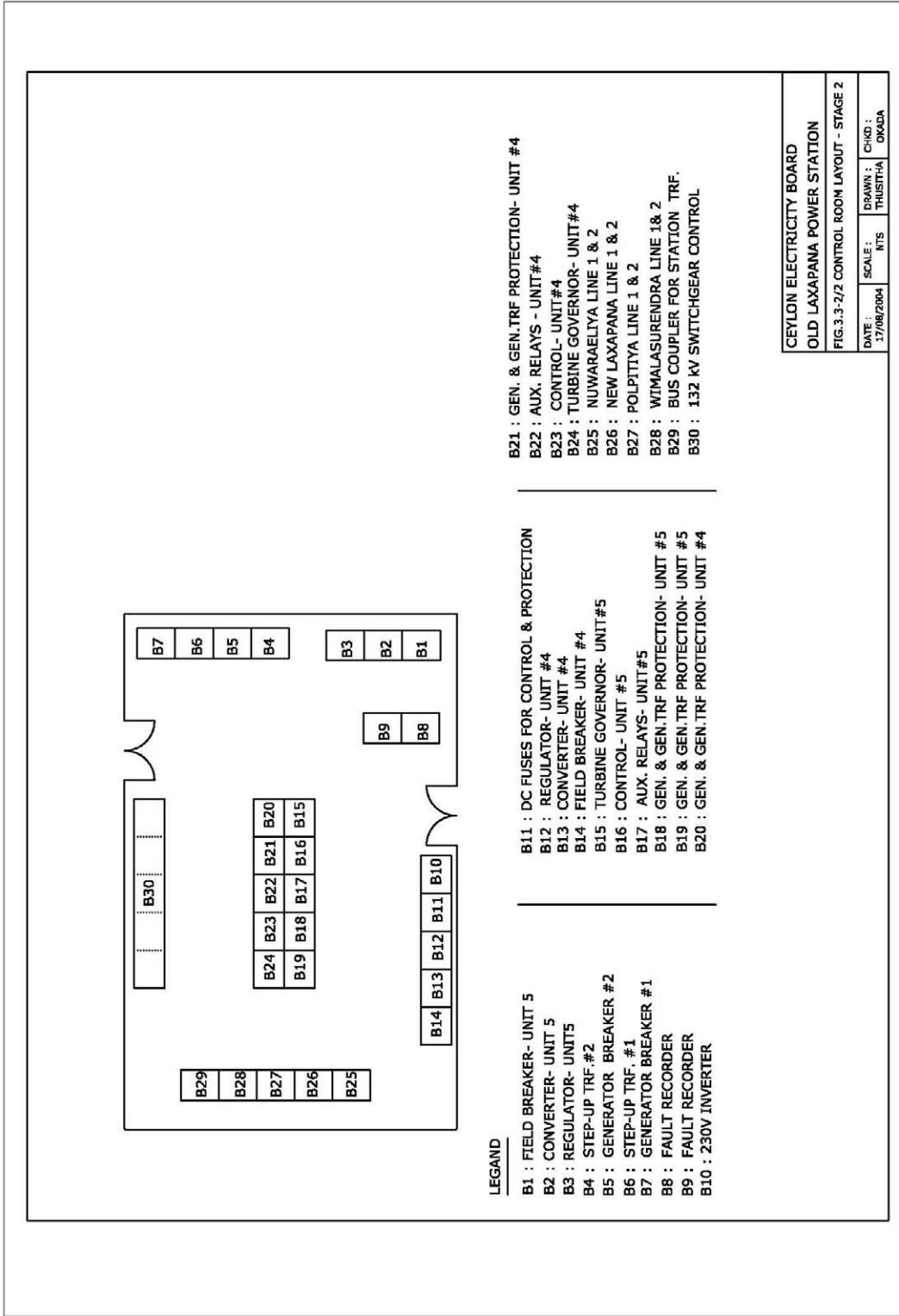
2. Old Laxapana Power Station



LEGEND

- B1 : OUTGOING TO AUX. TRF #2
- B2 : OUTGOING TO MAIN. TRF #2
- B3 : OUTGOING TO AUX. TRF #1
- B4 : GENERATOR #1 INCOMING
- B5 : GENERATOR #2 INCOMING
- B6 : GENERATOR #3 INCOMING
- B7 : INCOMING FROM AUX. TRF #1
- B8 : INCOMING FROM AUX. TRF #2
- B9 : UNIT #1
- B10 : UNIT #2
- B11 : UNIT #3
- B12 : GENERAL
- B13 : GENERAL
- B14 : INCOMING FROM DIESEL GEN.
- B15 : FIELD BREAKER - UNIT #1
- B16 : CONVERTOR - UNIT #1
- B17 : VOLTAGE REGULATOR- UNIT #1
- B18 : FIELD BREAKER - UNIT #2
- B19 : CONVERTOR - UNIT #2
- B20 : VOLTAGE REGULATOR- UNIT #2
- B21 : FIELD BREAKER - UNIT #3
- B22 : CONVERTOR - UNIT #3
- B23 : VOLTAGE REGULATOR- UNIT #3
- B24 : DC MAIN DB#1
- B25 : DC MAIN DB #2
- B26 : DC COMMON
- B27 : BATTERY CHARGER #1
- B28 : BATTERY CHARGER #2
- P1 : PANEL FOR MOTORS
- P2 : DC/AC INVERTER PANEL
- P3 : DISTR. PANEL FOR INVERTER
- B29 : DC DISTRIBUTION
- B30 : GOVERNOR - UNIT #3
- B31 : GOVERNOR UNIT #2
- B32 : GOVERNOR UNIT #1
- B33 : STATION COMPUTER
- B34 : GENERAL CONTROL
- B35 : GENERAL CONTROL
- B36 : 11/132 KV RELAY PROTECTION
- B37 : RELAY PROTECTION -UNIT #3
- B38 : AUX.RELAY-UNIT#3
- B39 : CONTROL -UNIT #3
- B40 : RELAY PROTECTION -UNIT #2
- B41 : AUX.RELAY-UNIT#2
- B42 : CONTROL -UNIT #2
- B43 : RELAY PROTECTION -UNIT #1
- B44 : AUX.RELAY-UNIT#1
- B45 : CONTROL -UNIT #1

CEYLON ELECTRICITY BOARD			
OLD LAXAPANA POWER STATION			
FIG.3.3-1/2 CONTROL ROOM LAYOUT - STAGE 1			
DATE :	SCALE :	DRAWN :	CHKD :
17/08/2004	NTS	TRUSTHA	OKADA



Picture 3.4 Control / Protection Equipment Board



Computer control with CRT shown on left side and
Remote control desk for New-Laxapana PS (right side)
(Old control boards <black color>)



Computer control with CRT
(Old boards <black color>)



New Control Boards of Units 1 & 2 renewed by 2003



Control & protection relay boards of transmission line



CB of GEN & Tr.



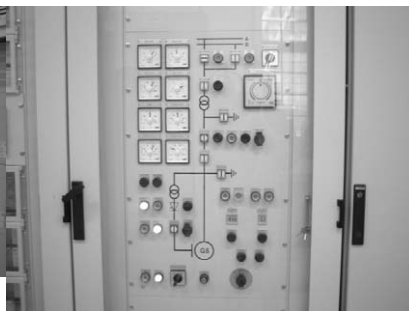
Aux. relay boards



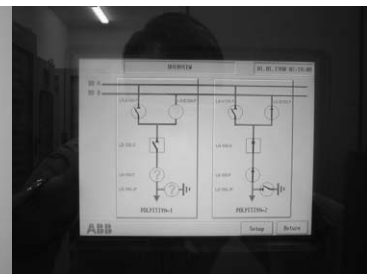
Ex. Cub



Line flout locator

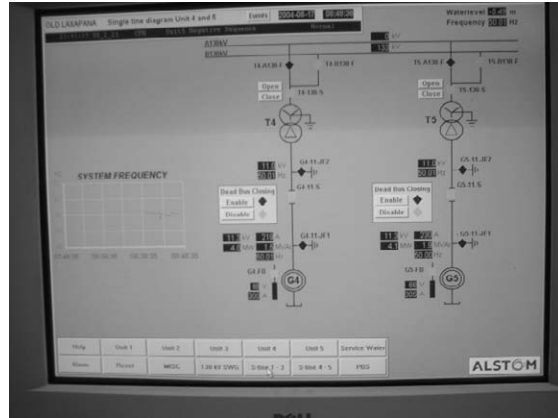
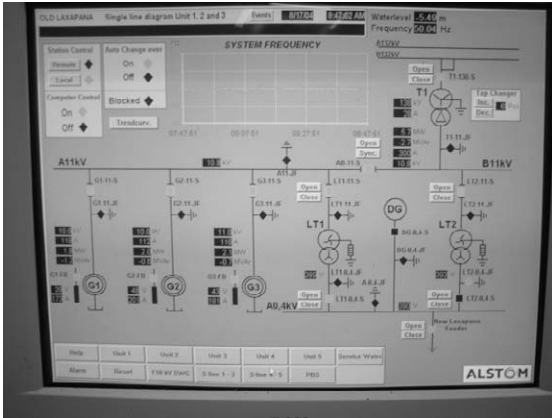


Local control board



Local touch panel of T/L

CRT



(diagram shown on units 1 to 3 & station service circuit and units 4 & 5)



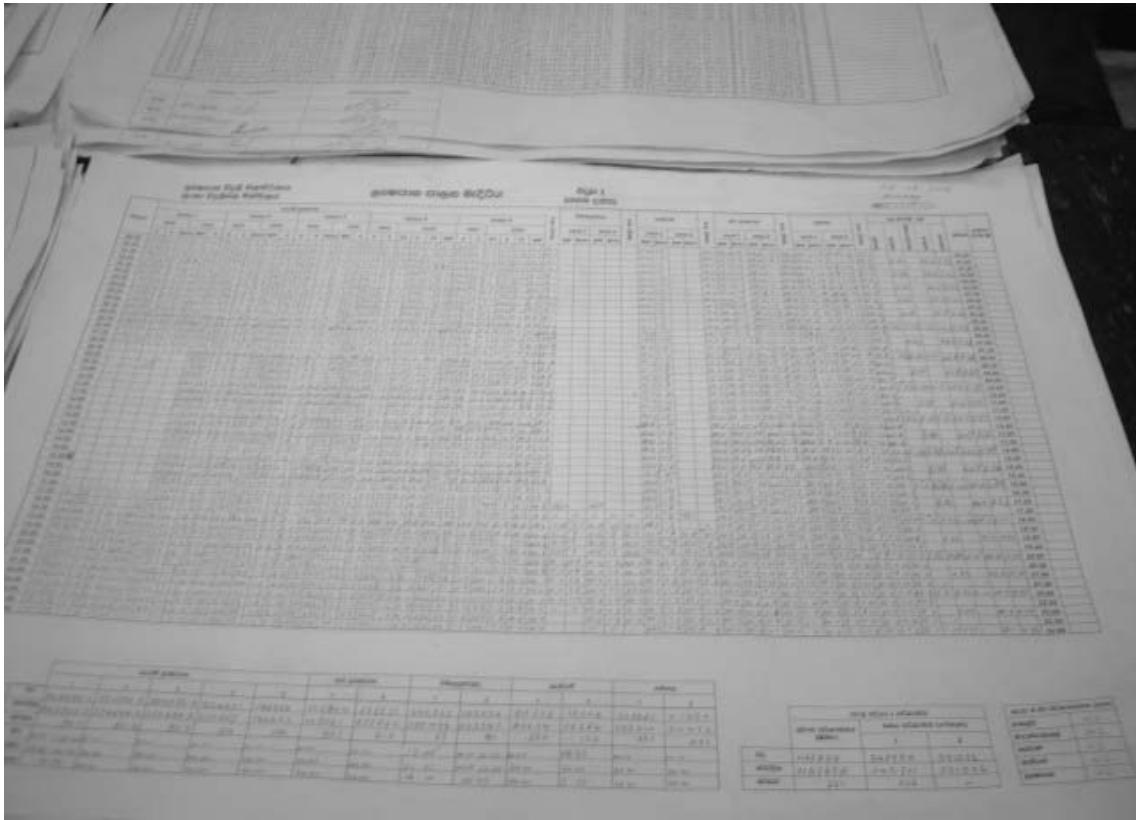
Battery (48VDC) of communication system



Battery (110VDC) of control system



Control cables in cable treating room
Control cable arrangement under floor of turbine-generator



Operating record of Turbine-generator and Aux. Equipment



Communication Boards and it's its battery charger



Old remote control desks installed in Old Laxapana control room
 for Wimalasurendra PS for Polpitiya PS for Canyon PS