

マイクロ水力発電へのお誘い

Part 2: 落差と流量の測定

by Dan New
© 2004

著者はキャニオンハイドロ社(USA)の社長で、弊社よ、許可を得て日本語化しました。

前号 **Part 1** では、一日 24 時間、一週 7 日発電可能なタイプは水力だと申しあげました。又、その中で必要な要因とその内容の説明をいたしました。本号では落差と水量の測定方法を解説いたします。マイクロ水力を計画される場合、どれほどの電力を得られるかの理解の為、先ず基本的測定を行う必要があります。

- * 落差 (取水箇所からタービンまでの垂直距離)
- * 水量 (一定時間当たりで得られる水の量)
- * 導水管(パイプライン)の実際の距離
- * 発電機の場所から、制御器までの電線距離

落差と水量測定、導水管はこの **Part 2** で解説し、その次の電線距離、発電機、総合効率はこの **Part 3** で説明致します。

水力発電では落差と水量をどうしても先ず知る必要があります。それらのデータ無しでは前には進めません。この 2 種を理解して初めて配管の太さ、タービンの種類、回転速度、発電機の容量が判明できます。ですから予算を考える上でも、先ず落差と水量を知る必要があります。この 2 種の測定には、精度が重要だとお考え下さい。正確な情報でない場合、多くの場合、間違った設計となり、投資の割りに予想した電力が得られない場合が、結末です。



携帯型ハンドレベルは安価な道具ですが落差を測定するには有効な道具です。

落差の測定(高低差)

落差は高低差とも表現され、ヘッド圧とも言われてきました。この圧力は水圧の事で、取水口のパイプの位置から下流のタービンへの吐出口間で作り出される物です。落差は垂直距離(メートル)で測定されるか、若しくはPSIの様な水圧で置き換える事も可能です。水の流れとは関係なく落差が大きければ大きいほど圧力が増えますのでタービン出力は大きくなります。

高度計(気圧高度計)は、高さを大まかに知るには便利な計器ですが最終の精度の必要な測定には使用出来ません。例えば校正済みと書かれた高度計でさえ、物の本によれば $\pm 5\%$ 程度の誤差(とすると最大10%)が存在します。GPSによる高度計は更にその精度が低下します。地形図の利用はその場所での大まかな高低差を知るには便利です。しかし、水力発電での落差の測定には実際の高さを測定するか、水圧で調べるか、この2種の方法しかありません。

実際の落差の測定

測定器具としてはレーザー水平器、測量士の使用する経緯儀、三脚に据えられた建設現場の水平器、又は簡易目視水平器等を使用します。これらの道具を使用する場合補助する人が必要です。

一つ目の方法は: 2m程度の棒でその距離を表示した物差しを使い、上から下に徐々に下る下り坂方式で、専門的な棒状の距離計がない場合、PVC管に曲尺や巻尺を取り付けた物でも正確であれば利用出来ます。初回測定後、水平器を持った人(観測手)は先ほど立てた物差し場所へ下がります。物差しは先ほどの場所から又下方に下ります。この繰り返し作業を取水口からタービンの場所まで行います。この作業では経緯儀や水平器の、水平維持と物差し棒が垂直でなければ意味がありません。場所ごとの数値を記録します。終了後全ての数値を加算し

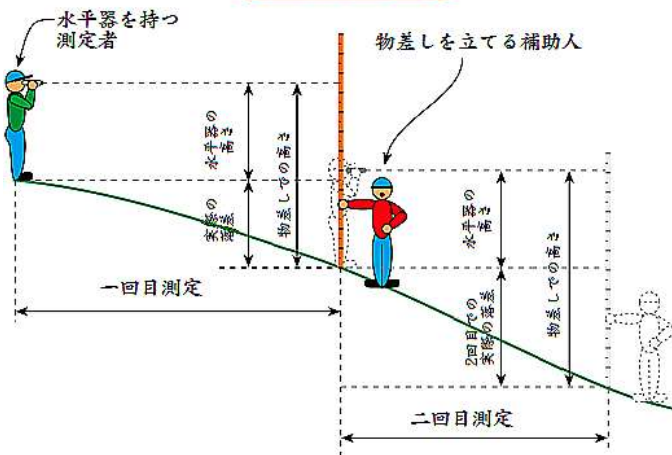
その数値から水平器の測定高さを差し引き、純高低差を得ます。

下の写真はハンドレベル(簡易水平器)の実測写真です。物差しの高さは7フィート4インチを示しています。測定者の覗いている地面からの高さを差し引いた場合実際の高低差は1フィート8インチと決定します。(表紙の写真での高低差は50.8cm)



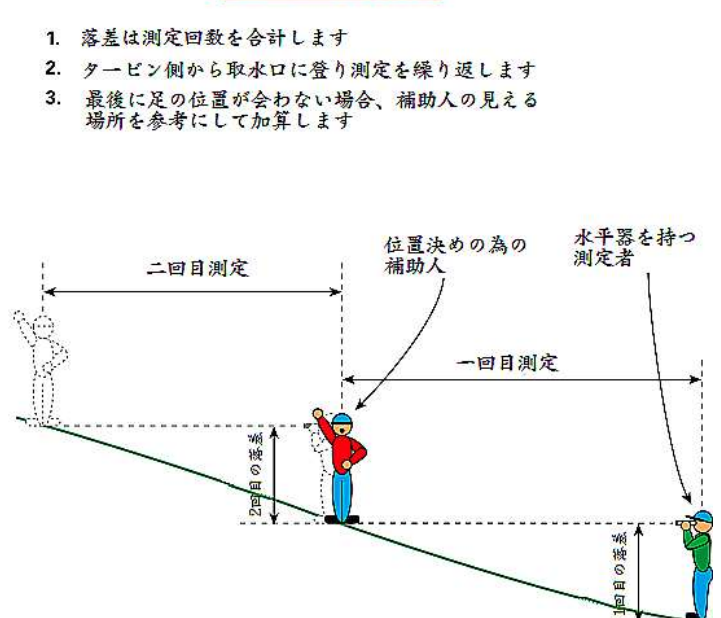
二つ目の方法は: 上がり坂方式です。つまりタービンの位置から取水口に向かい上に上がる測定方法です。補助人を上に上らせませんが、水平器の中央にその人の足が見えるところで、停止してもらいます。この位置は測定者の目の高さが補助人の足と同じ高さです。次に測定者は補助人の足の場所へ移動し、補助人は更に上に上がり、この作業を継続します。測定者の目の高さで何回足を見たかで落差が決定できます。

下り坂方式



1. 物差しで見える高さから測定者の足から水平器の高さを差し引いたのが各測定の落差です
2. 取水場所からタービン側に降りて測定します
3. 測定回数を加算すれば総落差が決定出来ます

上がり坂方式



1. 落差は測定回数を合計します
2. タービン側から取水口に登り測定を繰り返します
3. 最後に足の位置が合わない場合、補助人の見える場所を参考にして加算します

発電機手前の導水管に取り付ける水圧計は正確な総落差を表示してくれます。圧力から距離を知る場合とこの写真のように距離表示する物も販売されています。



水圧測定方法

もし高低差が少ないと判断出来る場合、落差を知る方法には、散水ホースやソフト樹脂パイプを利用する方法があります。水圧を高さに解釈できる背景は、垂直1フィート(約30.48cm)での圧力は0.433PSI(約0.304mH2O)との物理法則から由来しています。従ってホースの下で圧力を見れば高低差を知る事が出来ます。

取水口からタービンの場所まで、ホースを引きます。もしホースを延長の為繋ぎ合せて配管した場合、繋ぎ目は確実に水漏れしない事を確認して下さい。ホースの最終口に正確な圧力計を取り付け、ホース内に水を充滿させます。上から下に下る途中で一部高くなる場所は無い(その中に空気が溜まり精度が出なくなる)調査し、圧力計を取り付ける前に、水を十分流しだし、空気泡が出なくなるのを待ちます。

ホースの長さが不足する場合、何回も繰り返し、加算する事も出来ます。しかし30cmの高低差での圧力は0.4PSIの表示であり、30メートルでのエラーは1メートル程度のエラーにしか測定出来ません。険しい測定困難な場所以外では、特に低落差の場所ではエラー防止の為可能な限り長めのホースと精度の高い圧力計をお使い下さい。圧力計の選定は、予想距離がメーターの中心あたりに表示される物を選び、見やすく精度の得られるものが重要です。例えば20メートル辺りの高さを調べるのに200

メーターフルスケールメーターは使用不能です。この場合最高で40-50メートルフルスケールを買い求めます。

有効落差(ネットヘッド)

今まで説明しました、水平器による、タービンと取水口の距離や、圧力計による、タービン位置での水圧は、**総落差**を決定する為に必要な作業です。それとは異なり、**純落差(有効落差)**とは、実際水がタービンに当たっている状態での水圧を意味します。この圧力は、管内部で発生している車轆の為、常に静止状態の圧力より低く、そこから割り出される距離は実測値よりも少なくなっています。後半で説明します、流量のデータを確認してから実際に純落差を知る事が出来ます。配管が長く、管の直径が細く、流速が早い場合、管内部の車轆(抵抗)が増加します。配管を正しくした場合、総落差の距離の85-90%の損失で済む事となります。

純落差は総落差より重要な要因で、正しい流量データと併用すれば、正しい部品選定が可能で、正しい電力を得ることが出来ます。これ以降管の選定と純落差の説明に移ります。

再度、高さの損失は導水管内部で発生する水と管の壁の抵抗から水圧が減る事に起因します。計算から割り出された管の直径が正しく、それで設計上の流量が得られるとしても、管内部の壁、繋ぎ目、管の曲がり施工程度が水の運動を阻害し流れの抵抗となり、速度低下となります。結果この減少はタービンに当る圧力現象の為、高低差が少なくなっています。この損失は、実際水を流さない事には測定出来ません。前の説明で、水道ホースの先に圧力計を取り付け、圧力を測る事は出来ますが、その状態は静圧と言ひ、水は流れていません。しかし水を解放しますと、その先から流れ出る水速は、管内部の抵抗から、減速します。水の量が増えればそれだけ内部抵抗は増加しています。管の直径を大きくすれば内部抵抗は少なくなり、タービンにより大きな力を与えます。しかしコストは上がりますので、システム価格と落差損失のバランスを考えます。目安は管による落差損失率を10-15%(総落差に対し)に留める事が的確です。

PVC管でのヘッドロス (高低差損失)

30.48 メーター毎(100feet)での距離損失 (損失単位=メーター)

管直径	流量 = (リッター・秒)														
	1.57	3.15	6.30	9.46	12.62	18.91	25.23	31.53	37.85	44.15	50.46	56.77	63.08	75.70	
5.08cm	0.39	1.42	5.12	10.88	18.47	30.23	--	--	--	--	--	--	--	--	
7.62	0.05	0.20	0.71	1.50	2.55	5.46	9.32	14.05	19.63	--	--	--	--	--	
10.16	0.01	0.05	0.17	0.37	0.62	1.33	2.29	3.44	4.82	6.43	8.17	10.18	--	--	
15.24	--	0.01	0.03	0.05	0.09	0.19	0.31	0.41	0.67	0.89	1.14	1.44	1.73	2.45	
20.32	--	--	--	0.01	0.02	0.05	0.08	0.11	0.15	0.22	0.27	0.35	0.43	0.60	

30 メーター以上の落差の場合この損失落差の%はもう少し高くてもかまいませんが、大抵の場合低落差での管内部の車輪による落差には十分な注意を払う必要があります。

配管総延長距離は投資価格及び発電効率に大きな影響を与えます。延長距離の測定は、容易に行なえます。巻尺を使用し、取水位置からタービン位置までの距離を実際の配管レイアウトに基き実測します。配管は常に下方向に下がる必要がありますし、川床など、水害に遇わない高さの場所を選んで下に下がります。



容量が決っている容器に実際水がどれだけの時間で満たされるかで流量を知る事が出来ます。

流量測定

次に大切な作業は目的とする水源からどれだけの水量を得られるかを知る必要があります。季節により水位は変化しますので季節に応じ一年を通じて測定をする必要があります。もし不可能の場合、ご近所の方と情報交換したり、町役場で実測値がないか調査したり、同じレベルにある大きな川の流れのデータから推察する事も役立ちます。水は鳥、魚、樹木、その他生物にとって命の糧ですので自然から人間に全ての流れを勝手に移す事は許されません。流量の表現は一秒当りの水量(又は分辺りの水量)で表現されます。日本ではリッター・秒が一般的です。

例： 1 トン=1000 リッター

測定には、容器に入れる方法、浮き子利用法、堰使用法が一般的に行なわれています。

例えば、貴方の容器がペンキ容器で 18 リッター缶とします。その容器に8秒で水が一杯に入れば、流量は：2.25 リッター・秒です。

浮き子利用法

この方法は川幅が 3 メーター程度で深さと幅方向の流れが一定の場合に役立つ方法です。

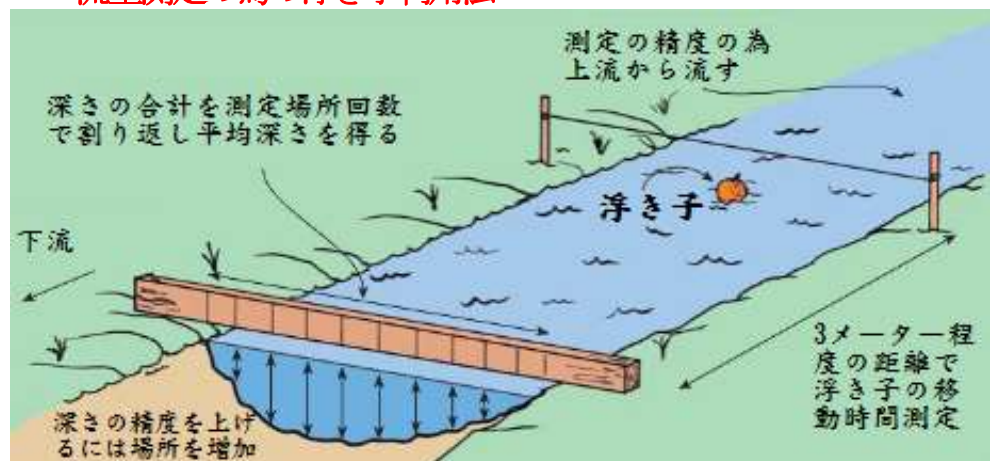
第一段階：

目的は深さの平均値を求めます。川幅全体に設置出来る板に、30cm 毎の目盛りをつけます。その板を川に広げ30cm 目盛りの下の川の深さを測ります。平均の深さを計算するには、測定の深さを全て加算し、その目盛りの個数で割り返します。

流量測定のための浮き子利用法

容器に入れる方法

マイクロ水力では既知の容量の容器に水を満たす方法が一般的に行なわれます。バケツに水を容易に溜め込める場所を取水場所近辺で探します。そのような場所がない場合、簡単なダムを作り、一箇所に水を集め取水します。その容器に何分で水が満タンになるか、ストップウォッチで計測します。何回か行い、平均値を秒単位に変換します。



第二段階:

平均の深さに水の流れる幅を掛け合わせ、流れ断面の面積を計算します。例えば 1.82meter 幅の水路で平均の深みが0.45meter としますと0.82 平方メートルとなります。

第三段階:

水の流れる速度を測ります。最適な方法は深さを測定した場所を含む3メートル程度の距離を決めます。浮き子の通過が良く見えるよう、印をつけます。深さ測定場所での水速を測定するのが目的ですので、距離は短いほど精度が上がります。良く見え、重さのある浮き子が最適です。果物のオレンジやグレープフルーツが便利です。測定開始場所より川上から投げ入れ、ストップウォッチで決められている距離をどの程度の時間で移動したかを測定します。川岸に近い場所や川中では早さが異なるかも知れませんが、色々な場所を測定し、最後に平均値を出します。これらのデータから、**流量・時間**を知る事が出来ます。

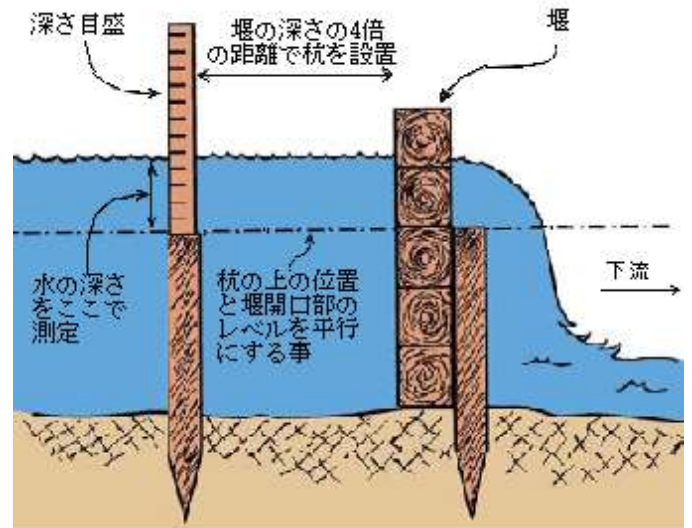
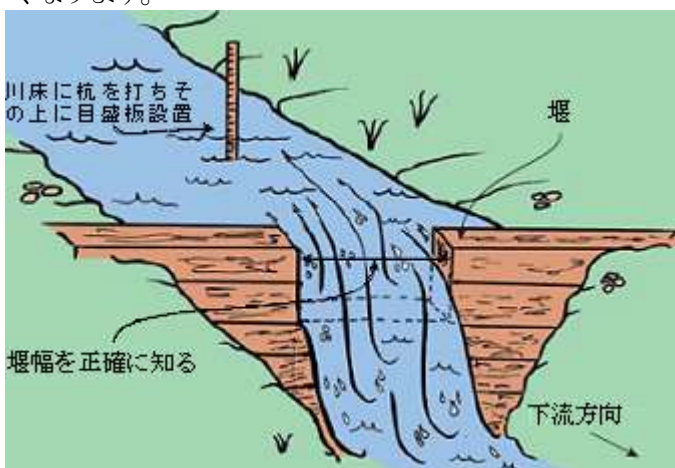
例えば、3meter の距離を5秒で移動したとしますと1秒で0.6meter(60cm)、又は一分単位では36meter の流速となります。この値に先ほどの例での面積0.82m² を掛け合わせますと一秒あたりの流量は約500リッターとなります。

第四段階:

転轍による流速の修正を行います。川床での水速度は表面と異なります。川の表面の速度より、川床では地面の凸凹の影響やその表面での摩擦で、速度が低下します。第三段階でのデータでは、表面速度からの量で、修正として、(通常摩擦ロスを経験から)0.83 を掛け合わせ少なくします。

量水堰法 (せき)

水の流れを堰どめ、一定の開口場所から、水を流しだし、その高さから流量を得る計測方法は小、中の流れでの測定に適しています。全ての流れは矩形形状の開口部から流れ出るようにせき止めますから、流れ出る横幅の値と高さは正確に知る事が出来ます。この測定には一時的なダムと表現出来ます。この出口は流れに完全に水平で、流れ出る水は全てこの開口部から出なければなりません。水が横からやダムを超えて流れ出た場合は測定不能です。開口部が狭いと、水の高さが上がりますので、測定し易くなります。



幅と高さのデータから、流量を求めます。流速は1m~1.5m/sec 程度を基本にしていますので、それよりも流れが遅い、又は早い場合には、修正が必要です。下記の表はキャニオン社発表のインチ、フィート単位ですが、メートルに換算して御利用下さい。

“堰法”による流量換算表 (*)

水深 Inch	インチ幅に対する追加距離係数							
	0	+1/8	+1/4	+3/8	+1/2	+5/8	+3/4	+7/8
0	0.00	0.01	0.05	0.09	0.14	0.19	0.26	0.32
1	0.40	0.47	0.55	0.64	0.73	0.82	0.92	1.02
2	1.13	1.23	1.35	1.46	1.58	1.70	1.82	1.95
3	2.07	2.21	2.34	2.48	2.61	2.76	2.90	3.05
4	3.20	3.35	3.50	3.66	3.81	3.97	4.14	4.30
5	4.47	4.64	4.81	4.98	5.15	5.33	5.51	5.69
6	5.87	6.06	6.25	6.44	6.62	6.82	7.01	7.21
7	7.40	7.60	7.80	8.01	8.21	8.42	8.63	8.83
8	9.05	9.26	9.47	9.69	9.91	10.13	10.35	10.57
9	10.80	11.02	11.25	11.48	11.71	11.94	12.17	12.41
10	12.64	12.88	13.12	13.36	13.60	13.85	14.09	14.34
11	14.59	14.84	15.09	15.34	15.59	15.85	16.11	16.36
12	16.62	16.88	17.15	17.41	17.67	17.94	18.21	18.47
13	18.74	19.01	19.29	19.56	19.84	20.11	20.39	20.67
14	20.95	21.23	21.51	21.80	22.08	22.37	22.65	22.94
15	23.23	23.52	23.82	24.11	24.40	24.70	25.00	25.30
16	25.60	25.90	26.20	26.50	26.80	27.11	27.42	27.72
17	28.03	28.34	28.65	28.97	29.28	29.59	29.91	30.22
18	30.54	30.86	31.18	31.50	31.82	32.15	32.47	32.80
19	33.12	33.45	33.78	34.11	34.44	34.77	35.10	35.44
20	35.77	36.11	36.45	36.78	37.12	37.46	37.80	38.15

(*) =1インチ幅での流量 1cfm=28.32 リッター/分

水の高さ測定は、堰の出口では行いません。川床の変形や流速により正しい高さを得られませんので、川上に堰の出口レベルと全く平行に杭を打ちます。杭の頭のレベルと堰出口レベルを平行にします。その杭の上に物差しを立て、その水の深さを得ます。その値から水量を上記換算表から求める事が出来ます。

この換算表は出口幅 1 インチ(=2.54cm)を基準としています。実際の出口幅を流量に掛け合わせ、最終値を得ます。例で説明します。貴方の堰の出口幅を6インチとし、川上の物差しからの水の高さは7.5インチ(7 1/2")とします。換算表の左の欄で先ず7を探し、右に移動し + 1/2 の場所を見つけます。その場所での数値は8.21 と表示されています。つまり水の高さが基準位置から 7.5 インチ上がった水の表面で、堰の幅が一インチの場合の流量で、実際の出口の幅は6インチですので 8.21 × 6=49.26cfm となります。メートル換算には 49.26 × 28.32=1395 リッター/分です。秒では 23.25 リッター/秒となります。この方法は季節を通じて観測し、年の平均値を得るのに適します。堰設置後、物差しで水の高さを観測し、その値からの流量をグラフ化出来ます。

設計上の流量

例えば、梅雨の時期で、雨が多い時の流量が非常に多かったとしますが、その大量の量を使用する設計を行なった場合、一年に数日の為のタービンシステムは、その効率を発揮できるには数日しか無い事になります。

その代わり、一年を通じて、平均的な、効率から見て、安心できるシステムを設計すれば、梅雨の数日しか得られない流量を気にする事はありません。この効率から考えられるベストな流量を **設計上の流量** と表現し、その流量に基づいた、システム設計を行ないます。

その次には

この様にして、経済的な、実行可能な水力発電の設計の為の第一歩は水資源の見極めが大切と御理解して頂けたと存じます。お読みになられた様に、正しい落差や流量データを得ることはそんなに困難でない事がお解り頂けたと期待します。

その落差と流量データに従い(またそれが出て初めて)次の段階に踏み出せます。— つまり、どの様な発電機(タービン)が良いかを考える事が出来ます。この選定には又多くの注意事項が存在します。次号の説明書 **Part 3** では、発電に関わる損失の意味、送電での注意、そして、実際得られる電力の見極め等に触れてみます。**Part 3** を読まれてから、初めて、御自分のシステムの具体化が可能となります。

発電環境の検証例

総 落 差 : 30.48meter (100 feet)
配管総延長距離 : 152.4meter (500 feet)
許容高低差損失 : 10-15% (3-4.5meter 程度)
設計上の 流 量 : 378.5 リッター/分 (100 gpm)

上記条件での配管の太さを考えるには(この例では 100gpm=378.5 リッター) 本説明ページ3の **PVC 管でのヘッドロスチャート**を参照します。許容されるヘッドロス値は 10-15feet=3-4.5meter 迄です。配管総延長距離500feet に対し 100feet 毎に 3feet(0.914m)を越える事は出来ません。

100gpm=378.5l/m=6.30l/sec の欄で 7.62cm 直径の管の損失は 0.71m ですので、この管は許容範囲に入ります。

この管でのヘッドロスの計算には 0.71 × 5 倍の距離で 3.5meter となり、純落差は 30.48 マイナス 3.5=26.9meter となります。

配管の太さを細くした場合ヘッドロスの損失は非常に厳しい物に大きく変化する事に御注意下さい。この例で 5.08cm の細めの管を使うとします。同じ流量でのヘッドロス値は 5.12meter で同じ計算方法では落差損失距離は 25.6meter に及び、総落差は 30.48meter でも純落差は 4.88meter と極端に減ってしまいます。この例のごとく配管の太さの選択を誤ると、システム全体を間違えてしまう結果になります。

反対に太目の 10.16cm の管を選ぶとした場合、7.62cm の管よりもヘッドロス値は低い訳で、発電タービンへの力伝達も優れた物になりますが、配管コストとの増加と発電量の増加リットでは、設備投資の方が高すぎる結果で、最初の目標のヘッドロス 10-15%が最適な目標と言われてきました。