

Technical Information

タイトル

水圧管路のデザイン

導水の為の水圧管と、敷設用固定台や支持方法

本説明書の著作権は Mr. Jerry Ostermeier, email:altpower@grantspass.com に属し、弊社が同社の許可を得て翻訳発表しています。2010 June

マイクロ水力発電を実行される場合、得られた環境での、水のエネルギーを有効に取り出したいとお考えの筈です。効率を支配する主なる要因は、取水口、導水管、発電機です。

導水管は先ほどの3要因の真ん中に位置し、水の圧力を上げる為に必要な物です。

この導水管は水力発電では一番大切な箇所です。実際、この箇所は車のエンジンと同等の意義を有しています。この箇所での投資を少なくしようとお考えの場合、効率に多大な影響を与えると先ずお伝えします。貧弱な導水管回路では、期待に反し、トラブルの連続となり、発電量の低下は目に見えています。

管（パイプ）の種類と圧力の関係

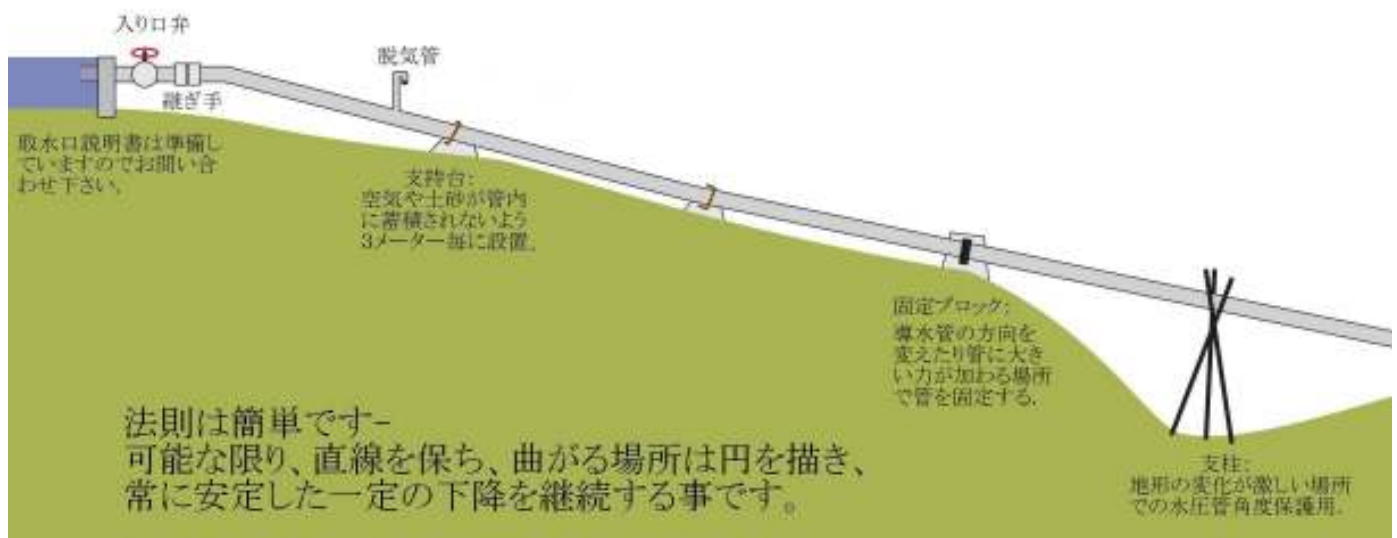
基本的にどのような管（パイプ）も導水管としてある程度は利用可能です。

大抵の場合 PVC(ポリ塩化ビニル)パイプ、及びポリパイプ(黒色ポリエチレン, PE, 又はHDPE=高密度ポリエチレン)が使われ、各種耐圧が示されています。よく見受けられる排水管は肉厚が薄く耐圧の表示はありません。この排水管での耐圧値は実際には9メートルのヘッド圧を有していますが、入り口弁を開閉する際の圧力には耐えられません。

従って排水管の使用は勧めません。



取水口側（上側）と水圧管の設置例（白い管は脱気管です）



正しい耐圧を有する導水管の選定の為には静圧の40%以上の許容量を有する物が目安です。計算例として：200Feet(61meter)の高低差での静圧は約87psi(61mH₂O)となり、それを×1.4で計算すると122psi(86mH₂O)と出ます。

導水管での価格低減の方法では、圧力は発電機手前で最高になる訳ですから、耐圧の程度を徐々に低い物から高いものに(上流から下流に)変化させれば、少しでも投資を抑えられます。この場合配管を下側に移動するたびに計算を行なって下さい。さて、これは全ての人が同意するとは期待はしていませんが、私は 接着剤継口付き6メートル程度の硬質塩ビパイプの使用を薦めています。他のパイプ結合方式に見られる2本を重ね継ぐスプライス方式は元来高压に耐えませんが、水压変化で予期せぬ方向に動く運動にも耐えられません。

長尺巻物で供給される薄肉厚ポリパイプは、配管作業困難な木や岩を経由する工事に適し、その距離がロール長以内であれば使用メリットはあります。厚膜ポリパイプの場合特殊な突合せ溶接機の使用が必要で、パイプ内部には溶けた樹脂玉が形成され水の流れを阻害する場合も発生します。

野山に生息する動物による害ですが、ポリパイプを好んで咬む動物や、PVCを好む動物の両方がいます。貴方の場所での傾向をお調べ下さい。農業地域ならアルミパイプの入手が容易かも知れませんが耐圧は125psi(87.8mH₂O)迄です。耐酸加工を施していない物は土の中に埋めこむ事は出来ませんので注意が必要です。鋼鉄パイプは相当高度な耐圧を有しますが、土の中では錆が発生する事は避けられないので、これも注意が必要です。通常のPE(ポリパイプ、HDPE)の耐圧は80psi(56mH₂O)です。これ以上の耐圧性能を有する製品も見受けますが、長尺物は入手困難です。

管内摩擦による落差損失

アルミ、鉄、ポリパイプでは流れを阻止する摩擦抵抗が比較的高くなっています。従ってこの因子を投資価格に見込んでおかねばなりません。電線の内部抵抗と同様に壁面での平滑性に影響を受ける程度

はパイプの種類によって異なります。又電線と同様にパイプの太さにより、及びその流れる量により内部摩擦値が異なります。しかし高低差が非常に大きい場合、鉄製パイプしか利用できない事情も発生します。各種のパイプでの摩擦損失表からどの太さのパイプでどの程度の流量を処理できるか理解できます。価格を比較し、太さを変化するほうが、又は材質を変更するのか、を決める事が出来ます。鉄やアルミはPVCの倍の摩擦抵抗を有します。また金属パイプは小水力発電では高価すぎる事となります。

可能な 限り円を 描く



摩擦損失表は水力発電計画で常に使用されますが、精度の高い計算方法は、流速、内圧、時間要因、微妙な内圧変化に伴う流量変化など、物理学の専門分野を必要とし、象牙の塔の話となります。ここでは、実際の経験から得られた、指数をお話ししましょう。



導水管の選定は予算、距離、高低差、流量で行います



水圧管の保護

ネズミ、アライグマ、熊、その他の生き物は好んでポリパイプを咬みます。勿論PVCパイプも咬まれます。一方ポリパイプは固い鎧をかぶったパイプより不規則な地形に設置する効果はより強く且つ低温に耐える率が高くなります。地中に埋めた場合、動物、凍結、落木等の外的危険から保護される以上にパイプが固定され、振動発生が引き起こされません。

地中にパイプを埋設される場合は、直径 10cm 管迄の大きさでは溝深さ 60cm をお勧めします。それ以上の直径の場合少なくとも 80-90cm の深さの溝に埋めて下さい。同時に工事場所での霜柱の深さに注意が必要です。皆さんは、通常の気候での流水は凍らないと御存知ですが、混乱した状態 ー例えばノズルがゴミで詰まったー では水が停止し、徐々に凍結が始まります。

溝の底辺では鋭敏な岩に注意が必要です。鋭敏な突起物はパイプを破損します。溝の底に砂、丸い小石の砂利を敷き詰めると安全です。(*ページ4へ)



Schedule 40 PVCでの規格品を使用した場合の例で配管延長距離を 100~350meter 程度とします。直線的に短距離配管の場合、この流量以上に流せますが、長めの距離では反対に流量が低下します。

- 0.44 リッター・秒、2.54cm 管 (静圧 91m, 又はそれ以上高くても可)
- 0.95 リッター・秒、3cm 管 (静圧 76m, 又はそれ以上高くても可)
- 1.6 リッター・秒、3.8cm 管 (静圧 60m, 又はそれ以上高くても可)
- 2.8 リッター・秒、5cm 管 (高低差問わず)
- 4.7 リッター・秒、6.35cm 管 (高低差問わず)
- 6.9 リッター・秒、7.6cm 管 (高低差問わず)
- 11.9 リッター・秒、10cm 管 (高低差問わず)
- 18.9 リッター・秒、12.7cm 管 (高低差問わず)
- 27 リッター・秒、15cm 管 (高低差問わず)

このデータは目安です。ある条件で迷った場合は太目に移行して下さい。太め選定は大抵効結果になります。太めで水の流れが良くなり、圧が増える為です。



導水管をブラケットとワイヤーで固定します。安定しますので水の流れがスムーズとなり、管の振動が防止出来ます。

バルブ類、脱気口：安全対策

上水槽からのパイプと導水管の間に止水弁を設ける事をお薦めします。システム停止（保守の為、ノズル清掃の為、凍結防止等）を行う場合、この弁が役立ちます。樹脂製のゲートバルブはお薦めできませんがその他の物は大抵利用可能です。この弁の出口と導水管の間にユニオン継手を入れておきます。弁の底で小石、ゴミが堆積し完全に閉まらない場合の清掃場所として利用します。

金属製の止水弁の代用として、取水パイプと導水パイプの間に防振ゴムユニオン(継ぎ手)を接続される方がおられます。目的はその継ぎ手を外し、導水管に水を流さない為です。しかしこの方法は、止めるには手がかかり、時間がかかります。一刻も早く止水したい場合に適切な方法ではありません。またゴムホースをパイプ結合にお使いの場合も見受けられますが、耐圧が正しいか、変形防止の為の金属バネが組み込まれた物が確認して下さい。

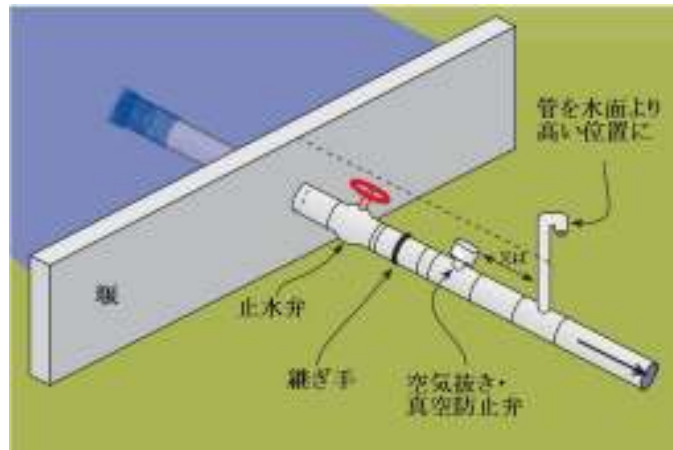
落差の高い場合は特に発電機手前に止水弁（ゲートバルブ）を設けられることをお薦めします。ボールバルブはあまりにも水の停止時間が早すぎ、ウォーターハンマー事故に直結します。水管を経由して流れている水の潜在的エネルギーは相当高く、ゆっくり水を止める事が必要で、急激に止めた場合行き場を失ったエネルギーは水管の弱い場所や繋ぎ目で破壊を引き起こします。ボールバルブやバーンバルブは高流量の低ヘッドの場所であれば、乱気流を起こさないので使用可能です。結論は、どんなシステムであれ発電機手前の止水弁を閉めるには、ゆっくりと安全に行う必要を求められています。

空気抜き穴(脱気弁、管)は、特に取水側に止水弁がある場合、いかなる場合にも必要です。例えば取水口がゴミで詰まった場合、導水管を破壊する場合があります。水が下に流れる構造ではパイプ内に非常に強い吸引力が生じています。60meter の高さでは止水弁が急激に停止した場合のウォーターハンマーよりも取り入れ口がふさがった場合の導水管破損率が高くなります。

真空防止の為の脱気口



取水口周りの構造例



上記の図で注目点は空気抜き弁（真空解除弁）です。真空状態が発生すると水を排出する方法です。10cm やそれ以下の細い管では最低 5cm 程度の大きめの弁を使用。太い管の場合 最低その管の 1/16 の寸法の弁を使用して下さい。

真空防止の為の簡易法は止水弁から先の位置で細い管を上に取り付け水源の最高位置の上に空気抜き箇所をつけます。常に開放状態なので、空気逃しも真空防止も行えます。しかし場所によっては常に空気を引き込む恐れもあり、継ぎ手の下方に設置する注意が必要です。

この立て管の役目は、例えば取水口辺りでの乱流により水に空気混入が発生しても導水管への空気を防止する事も考えられます。バネ式、手動式空気抜き弁も使用出来ます。フローティングボールバルブの使用は出来ません。動作が不安定で、流速が早い場合や取水口フィルターが部分的に詰まった場合空気が混入します。管中高い場所に空気が溜まると水の流れが遅くなったり、停止する事があります。その為出力低下や発電停止に繋がります。10meter 程度の低ヘッドではこの問題は重要とはなりませんが水中の空気により発電機のベアリングに負荷がかかり、寿命が低下したり、水の異常な動きでランナーに負担を与え、ランナーの破損に繋がります。高低差が高く、空気の量が大きければそれだけ発電機に負担をかけています。

空気抜きの他の方法は、導水管の一番高所に手動の弁を設け、導水管中に水を満たし、流れていない状態で空気を抜きます。もっと簡単に行われる方法が一番高い点にネジをねじ込み、溜まった空気を時々スクリューを開けて、抜きます。導水管の一番低い場所では水抜き弁を設け、バイパス経由で水を流し続けるか、管中の水を全て抜きます。寒冷地で、導水管の最後が地上にあり、弁、発電機が地上にある場合、もし流れが停止した状態では、その辺りが全て凍結し、システムが破損する危険があります。もしバイパス経由で水が流れていても、凍結発生では、再開時、例えばシステムのノズル数が 4 個の場合、今一個使用だから一個だけ再スターすれば良いとは考えないで下さい。凍結後の再開は、4 ノズル全てに水を通し、その後 1 個に戻します。

(*ページ2 から)

パイプを地中に埋める場合、溝の曲げ角度は使用するパイプの指定数値以上に曲げての工事は出来ません。急激な曲がりにより、水の抵抗が増加し管が変形し破損に繋がります。

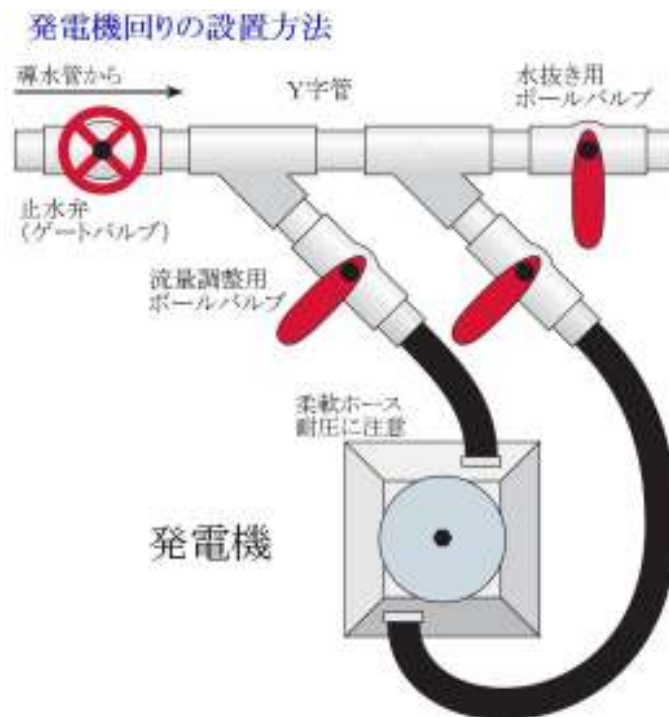


パイプ内の水の重さと移動運動から発生する振動によりパイプは動き出します。流れの方向が急に変化する場所（上図Lボウ）ではこのエネルギーは接合部を攻撃し破壊する場合があります。スラストブロックと呼ばれる、異常圧力防止用岩石などで回路を補強します。このブロックは通常 7cm 直径までの管では必要とされず、地中に埋めるだけで十分です。上図は通常の曲げ部での補強状態を示します。13cm 迄の管の場合曲げ部場所では地面を少々深く掘り、簡易型を作りその曲げ部全体にセメントを流し込みます。しかし安全は確保されても、その後の補修や取替えには手間がかかります。それ以上の太い管や流量の多い場合の計算は 5 ページの解説を参考にして下さい。

導水管は発電機寸前の場所では重量が増えますので更に下に移動しない為に完全に固定しなければなりません。どの程度の固定力が必要とされるかは通常のスラストブロック計算式から得ます。急勾配箇所でのアンカー固定は絶対必要ですが、別の方法としてワイヤーロープを岩石や木々などの固定部に取り付け反対側を導水管に付け、中間の締め金具でテンションを調整します。

導水管最終部と発電機の結合

発電機と導水管を接続する箇所では斜めに下りてくるパイプと水平に待ち構える発電機取入れ口の角度を合わせる必要があります。発電機は水平ゼロの角度が通常です。角度調整用に大型ニップルと短めの高圧ホースで結合可能です。又は 2 個の 22.5 度のエルボーを使用し 45 度迄調整可能です。しかしこの角度調整は下の図のように多くのマニフォールドと高圧ホースの場合は必要とされません。ある種のマニフォールドは融通が無いものもあり、その場合には角度調整は必要です。吐出弁はマニフォールドの最後に取り付け水抜きやゴミ吐出に使います。お勧めは、この箇所では小屋を建て自然環境から保護することです。特にモーター状の発電機の場合、風雨、寒さ、暑さから守ることで保守が少なくなります。



発電機の固定と排水溝

通常発電に使用された水は底から排出されるので排水は何の制限もなく、逃してやる必要があります。発電機設置場所での排水溝の大きさは発電機排水口より大きい物でなければなりません。排水溝が発電機出口より小さいと水がランナーに跳ね返り出力低下につながります。 (**ページ5 の最後へ)

スラストブロック寸法の計算方法

導水管がスラスト圧によりハンマーで叩かれ破損する現象を防止する事はマイクロ水力発電には大切な事項です。導水管が45度曲がった場所での補強について計算してみます。4インチ管(10cm)で87psi(61mH₂O)の圧力が示され中程度の粘土層に埋められるとします。(英文の単位を優先し必要箇所のみ日本使用単位で補足します)

管にどの程度のスラスト圧がかかるか? : Pipe Fitting Thrust 表から4インチ管で45度での加圧は12.4 lbs/psi と読みます。
この曲がり場所での加圧力は? : $12.4 \text{ lbs/psi} \times 87 \text{ psi} =$
動作中での全圧力 = $1,078.8 \text{ lbs}$ (489kg)

その地面にかかる重力は? : 今度は”Soil Load Strength”表を見ます。この場所は中程度の粘土ですその土の抵抗値は $2,000 \text{ lbs/sq.ft}$ となっています。

スラストブロック寸法計算は? : $1078.8 \div 2000 \text{ lbs/sq.ft} = 0.54 \text{ sq.ft}$ (501cm²)
この流れの説明から、その曲げ箇所、中粘土質地面での固定用ブロックの大きさは 0.54 sq.ft (=501cm²) が必要です。通常はその箇所の溝の両側に、管全体を覆うようにセメントを流し込みます。

地上に設置したパイプや、柔らかい地面に埋め、土の抵抗が少ない場所でのパイプの場合、上述の溝の壁に加圧力を分散させられないので強い塊でパイプを固定する必要が生じます。例として8インチ管(20cm) 139psi(97mH₂O)、曲げ角度8度を計算します。
スラストファクターの算出 : ”Side Thrust 表”から6インチパイプは一度曲がり角度毎に 100psi LBS で61lbs (27kg) と出ています

スラストの量 (加圧量) : $61 / 100 \times 8 \times 139 = 678 \text{ lbs}$ (307kg)
307kg 程度の塊をパイプに当てなければなりません。通常はセメントをその場所に入れ込み、振動を防止します。
(セメントを曲がった箇所に流し込み管の方向変化でのスラスト抵抗を取り去ります)



Pipe Fitting Thrust

Pipe Size (In.)	Thrust (Lbs./psi)			
	Tee	90° Elbow	45° Elbow	22.5° Elbow
1.5	2.94	4.16	2.25	1.15
2.0	4.56	6.45	3.50	1.80
2.5	6.65	9.40	5.10	2.60
3.0	9.80	13.90	7.50	3.80
4.0	16.20	23.00	12.40	6.30
5.0	24.70	35.00	19.00	9.70
6.0	35.00	49.00	27.00	14.00
8.0	59.00	84.00	45.00	23.00
10.0	92.00	130.00	70.00	36.00
12.0	129.00	182.00	99.00	50.00

Soil Load Strength

Soil Type	Safe Bearing Load (Lbs./Sq. Ft.)
Shale	10,000
Cemented sand & gravel; hard to pick	4,000
Good mix compact soil	3,000
Clay—medium	2,000
Clay—soft	1,000

Side Thrust

Pipe Size (In.)	Thrust Factor*
1.5	5
2.0	8
2.5	12
3.0	17
4.0	28
5.0	43
6.0	61
8.0	103
10.0	160
12.0	225

*Lbs. per 100 psi per degree deflection

(**ページ4の最後から)

発電機の据付土台の素材では 2x4 木材を加工した物でも利用可能ですが、長寿命を目的とする場合はセメント土台に堅牢な台を置きその上に発電機を載せ、排水路に水を真下に落とすか、溝に横から排出するか、又は排水パイプに流します。

排水パイプの場合、先ず排水用の部屋を作りその下に導水管の倍の太さの管を接続します、そして緩やかに下側に連続して、滞留しないように流す必要があります。排水エリアでは空気開放スペースが必要で、排水が元に戻り、タービンの運動を阻害してはなりません。この大気開放は排水の圧を開放し、水が戻りませんので発電機の保護に繋がります。

簡易法として、200 リッタードラム缶の利用も見受けられます。ドラム缶の上の中央部で発電機をボルト固定します。ドラム下側 1/3 の距離は排水の流れに漬け込んで置きます。安定の為石などをドラムの下に入れ込みます。真ん中 1/3 辺りは穴を大きく開け、排水口にします。この程度の加工でも 10~15 年使用されています。

他には 24 インチ又はそれよりも大口径の排水渠を上側に向けた排水設備も使用されますが、困難な箇所は上向の取り付け場所です。この上向け取り付け板のお勧めは高密度ポリエチレンシートで厚味は 1.25cm 以上で、非常に高価な特殊品ですが長寿命です。

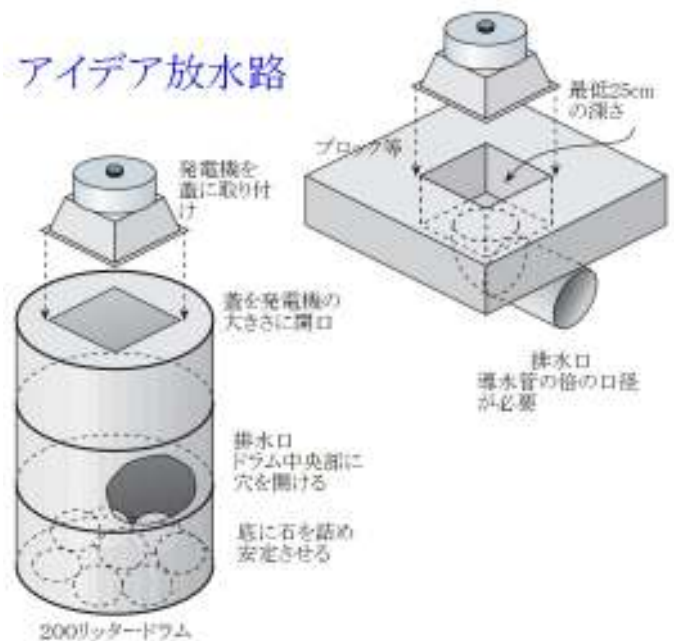
発電機取り付けオプションとして更に手の込んだレンガでの吐き出し口等場所毎で工夫がなされていますが、重要な事は後処理方法です。排水は畑への給水、池に入れたり河川に戻したりと多くの利用方法が存在しています。大切な事は水は自然の持ち物で貴方一人用ではありません。電気エネルギーを引き出した後の水の中に圧力や加速重力を残さない事が大切です。

さて最後に注意しなければならないのは、発電機電気回路の保護です。雨からの保護は必要ですが、密閉状態では、水滴発生問題が生じます。屋根と三方向壁の小屋が最適です。一方向はそこから保守への手が入る場所で開放しておきます。多くの永久磁石利用の発電機は戸外使用を可能にしていますがコイルなどを守ることは長寿命に繋がります。実際長年使用される場合、この小屋は、雨露から機械を、又貴方を守ると同時に修理時、排水時、ノズル掃除時など、ありがたい設備となります。

下記の写真はスラストブロック、カップリング類、圧力計、排水弁、ノズル停止弁、発電機、排水口を示します。



アイデア放水路



まとめ

導水管設置の法則は簡単です；一可能な限り直線で、曲げるなら、丸く曲げ、下降線は一定に。しかし言うは安し行い難きです。多くの場合自然環境はこのルールを許してはくれません。勿論設置は臨機応変に行わなければならないのですが常に効率と保守を頭に入れ行って下さい。例えばパイプライン中での下に沈む場所では沈殿物が溜まる事を頭に入れ、最終排水弁で雑物を定期的に取り出し、水の量を最大にする事に努めます。パイプラインで持ち上がった場所があれば空気が溜まりやすい場所と記録し脱気弁を設けましょう。配管で曲がった場所では流れが阻害され発電量の低下の原因です。可能な限り円を描きましょう。

一番最終の排水弁上側に設置する圧力計は故障診断に役立つ物です。何時もの数値より上がっている場合はノズルが詰まっています。何時もの数値より低下した場合、パイプに又は取り入れ口に雑物が詰まっています、又は水量が不足しています。圧力の針が揺れ動いている場合には計画以上の水が流れ込み乱流を引き起こしたか、設置ミスでの、不安定発生か、パイプの曲がりが多すぎるか等、水流が不安定になっている事を意味しています。

正しい太さの管を選び、固定を確実にを行い、直線で配管する・これが大切。この法則を守れば、システムエンジンとしての役目は果たしてくれます。

Copyright: Alternative Power & Machine, 2008/ U.S.A.

以上

追記：

日本での情報を追加致します。(弊社コンサルタントの助言です)

1) 設置に関し：

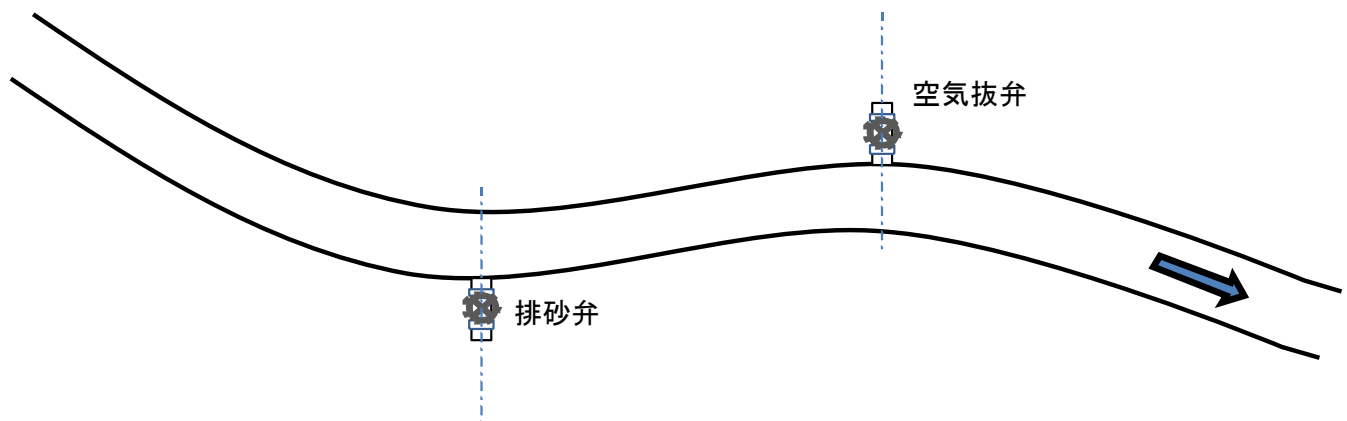
寒冷地で露出配管の場合は水流があっても 75A 径管でも凍結します。(東京都奥多摩標高 1300m) , しかし実際の問題として GL から 600mm の埋設はよほど地面の状況が良い場合以外、特に山間地では困難です。

過去の施工例では露出配管がほとんどです。

山間地では冬季は負荷を使用する設備が休止するため、水を完全に抜いて機器停止しています。機器停止が出来ない場合は、100A 径管以上を使用し、橋等で地面に敷設せず空中に管が露出する場所では、管に保温材を巻く等の措置をすれば良いと思います。

管を敷設する場合に完全に管が上下しないように施行するのは困難です。管径の 2 倍程度の上下は問題ないようですが、それ以上の場合は空気抜弁、排砂弁を設けるのが良いと思います。

2) 空気抜弁、排砂弁の設置：



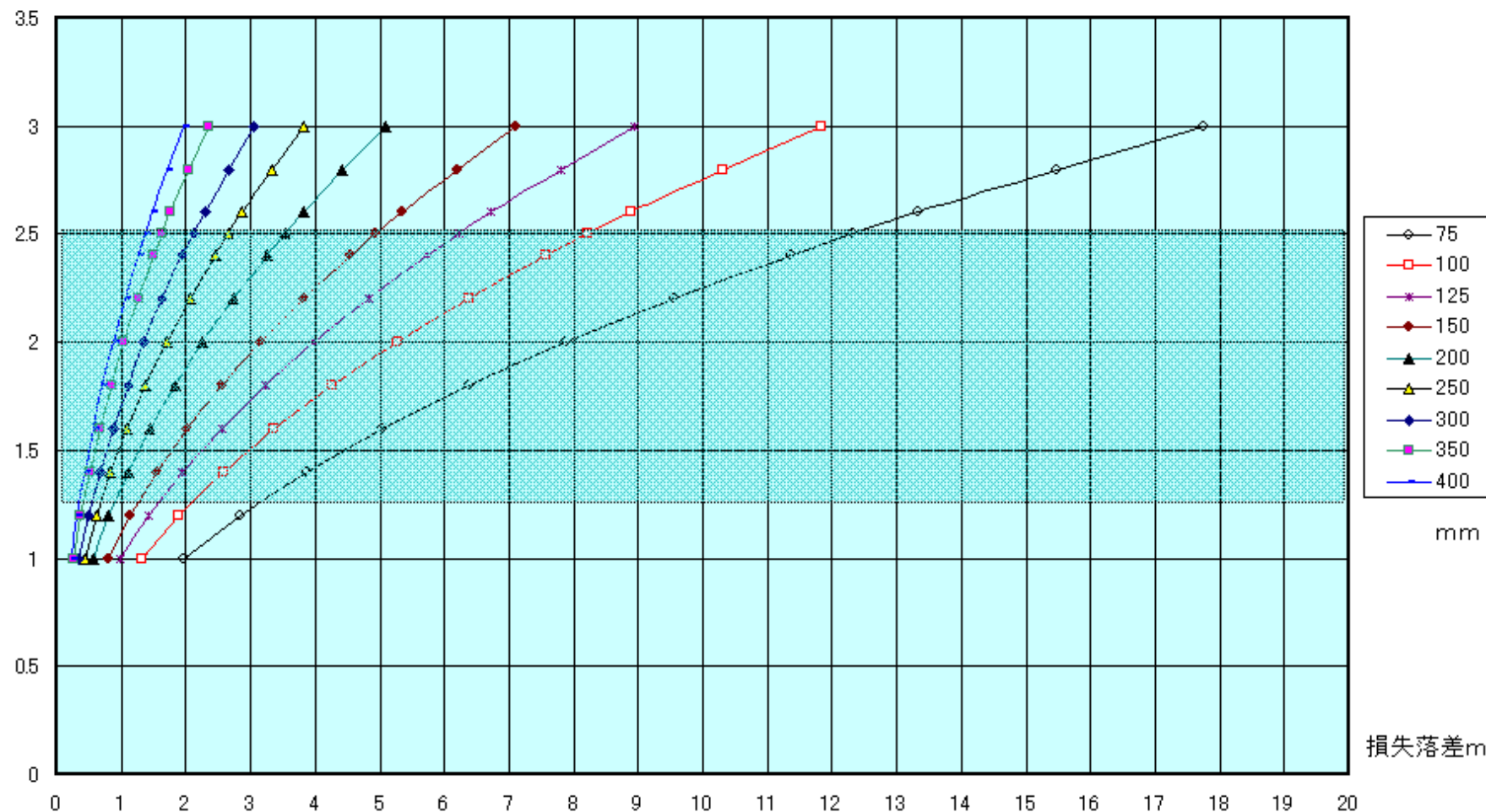
3) 参考グラフを次ページに示します；

管の長さによる高低差損失計算、流量から管の太さを選ぶ

各水圧管径における流速と損失落差 (VP, VU 配管長100m 当たり)

流速m/秒

使用流量をX軸から選び、流速は1.2～2.5程度の範囲が最適管径



損失落差(大)
経済性重視



配管の太さ



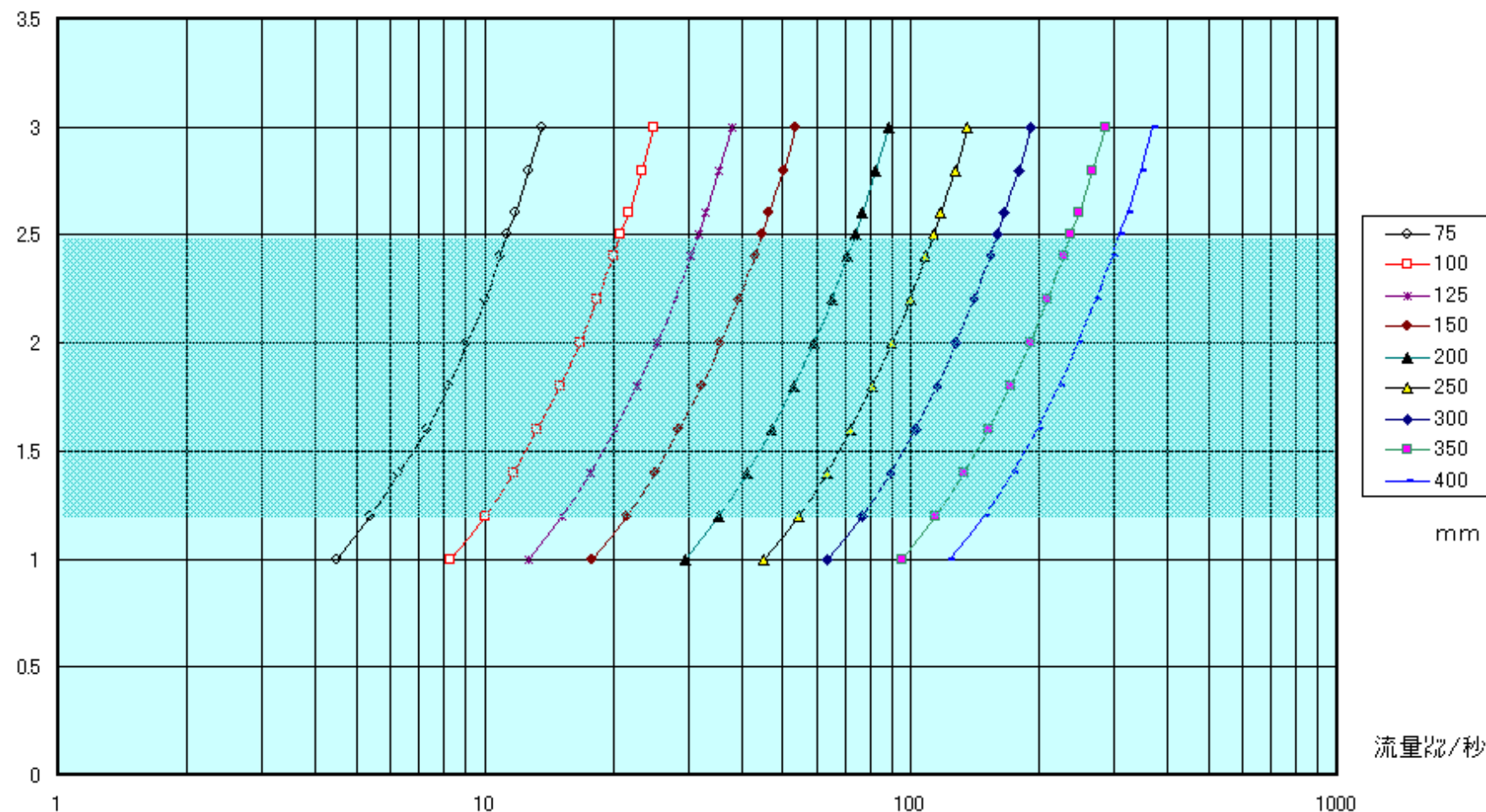
損失落差(小)
性能重視

本資料に掲載の文章、写真、イラスト、アイデア等の無断使用、無断転載を禁じます。

各水圧管径に適合する流速と流量 (VP, VU配管)

流速m/秒

使用流量をX軸から選び、流速は1.2~2.5程度の範囲が最適合管径



損失落差(大)
経済性重視



配管の太さ



損失落差(小)
性能重視

本資料に掲載の文章、写真、イラスト、アイデア等の無断使用、無断転載を禁じます。