

形状

上掛式水力発電の形状は現況の構造物や地形を勘察し設計を行った。また、今回は実証実験であることや実験終了後は水力発電機の撤去を行わなければならないため、永久的な固定（コンクリート基礎の打設など）は行わず仮設構造物として設計を行った。

上記事項を考慮すると滝底に据置とする方法が最良であるが、滝底には修景用の岩や段差あるため容易に設置することが難しいため、今回は水車本体を支えるフレームを既設のコンクリート躯体に固定する方法とした。また、既存の躯体コンクリートの強度のデータが入手できなかったため、極力本体が軽量となるよう検討を行った。

水車の大きさは上流側用水路と下流側滝底の高低差を考慮するとともに、各パーツの形状も考慮すると直径 1.2mの大きさの水車となり、水車幅（バケット幅）は発電に必要な水量が溜められる幅 50 cmとした。（計算書は資料編を参照）



製作中の上掛式水車

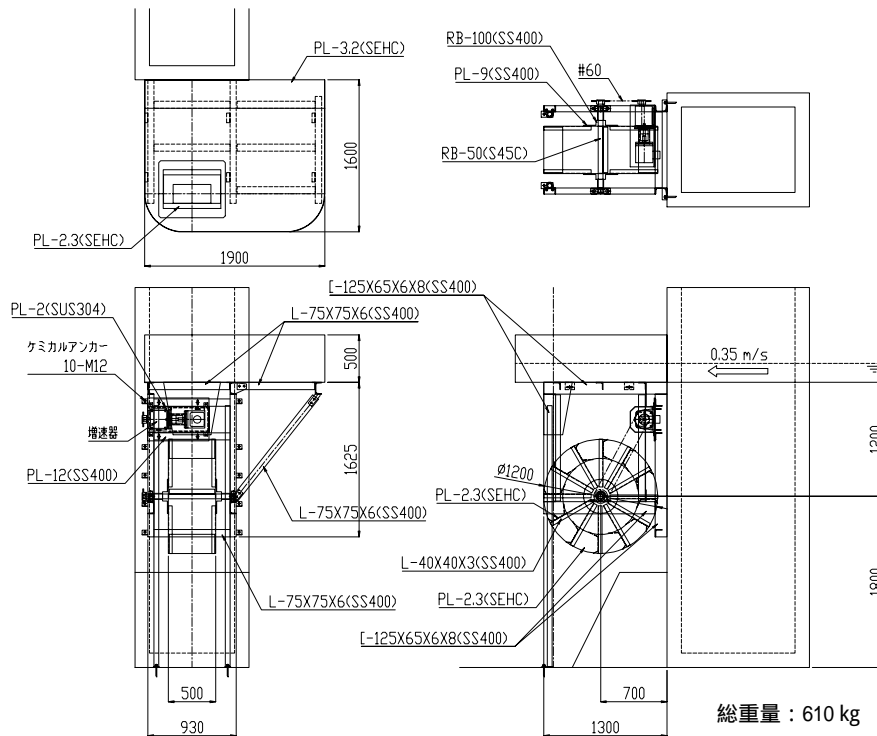


図 上掛式水力発電機詳細図

上掛式水力発電 平面配置図

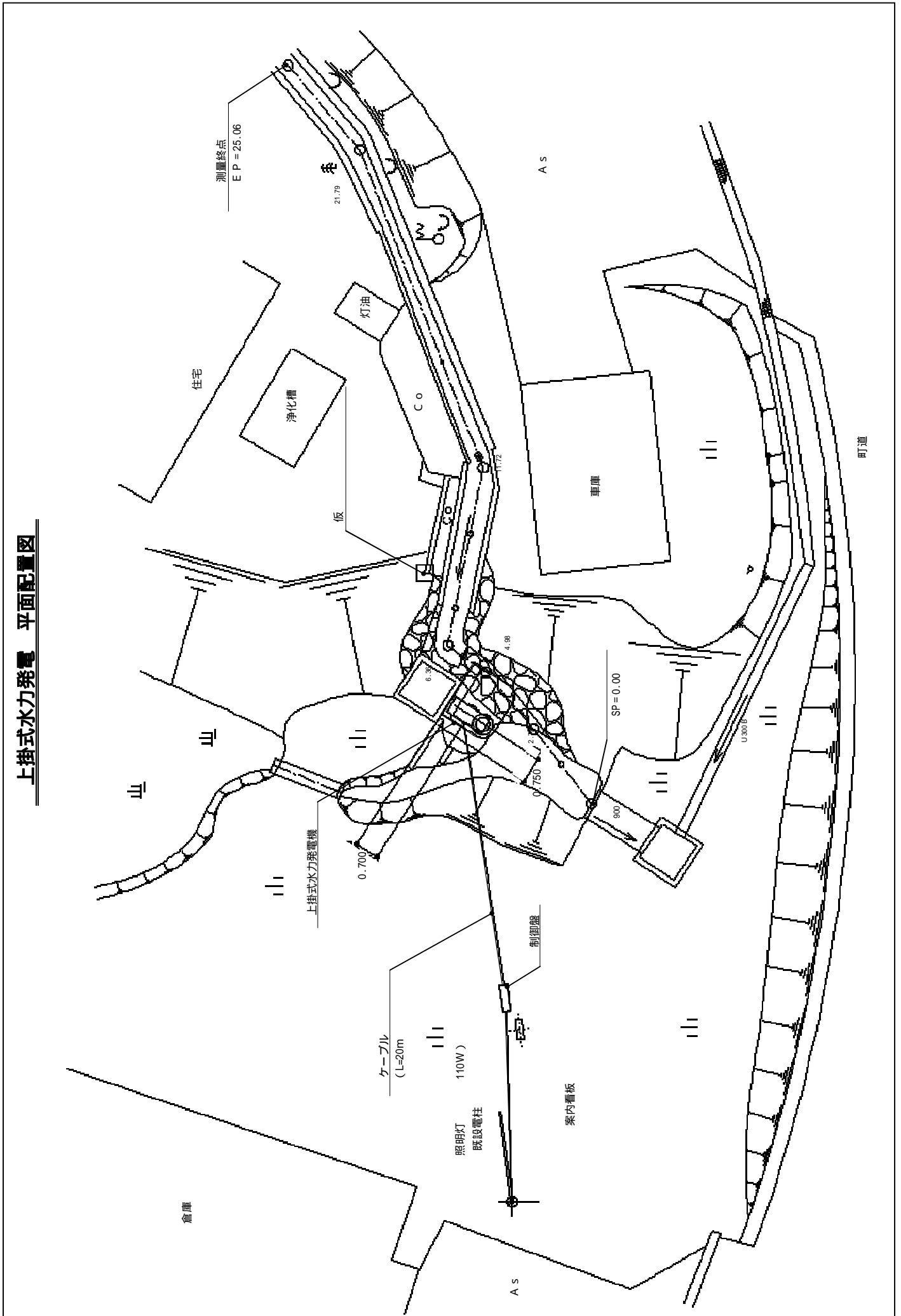





図 上掛式水力発電 平面配置図

経過

水車を改良した後の発電量は70ワットから110ワットまで増幅された結果となったが、それ以降は発電量が比較的一定であったため、水車本体への改良等はおこなわず、実験を継続した。以下に改良後の水車の経過を月別にまとめる。

日時	平成 22 年 10 月期	天候	晴れ
経過状況	<p>【10月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10月の天候は晴れや曇りの日が多い状況であった。 ・水量の増減はほぼみられず平均流量は$0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ (70ℓ/s)であった。 ・発電量は平均101.5ワットの出力となっている。 ・改良後より発電量が減っているのは晴れの日が多く降雨量が減ったためと思われる。 ・水車の羽根や側面に水アカが付着しサビ色になってきているが、形状等には変化は見られない。 		
状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="408 1019 874 1630">  <p data-bbox="408 1630 507 1657">落水の状況</p> </div> <div data-bbox="916 1019 1382 1630">  <p data-bbox="916 1630 1015 1657">落水の状況</p> </div> </div>		

日時	平成 22 年 11 月期	天候	晴れ
経過状況	<p>【11月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・11月の天候は晴れや曇りの日が多い状況であった。 ・流量の最高値は $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ となっていたが、平均流量は $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ ($70\text{l}/\text{s}$) と先月変わらない状況であった。 ・発電量は平均 125.6 ワットの出力となっている。 ・水車の羽根や側面に、フレーム等に水アカの付着が見られるが、形状および発電効率には影響は見られない。 		
状況写真	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p data-bbox="528 1216 624 1238">落水の状況</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">   </div> <p data-bbox="395 1641 608 1664">ブール及び導水路の様子</p> <p data-bbox="922 1910 1182 1933">水車側面には水アカが見られる</p> </div>		

日時	平成 22 年 12 月期	天候	くもり
経過状況	<p>【12月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・12月の天候は雨と雪の日が多い状況であった。 ・降雪により流量が比較的減少傾向となっており、平均流量は $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ (60ℓ/s) と先月より少ない状況であった。 ・発電量は平均 125.5 ワットの出力となっている。 ・水車の羽根や側面に、フレーム等に水アカの付着が見られるが、形状および発電効率には影響は見られない。 ・氷結による発電効率の低下は見られない。 		
状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>フレームは凍結しているが水車本体は稼働している</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>安定した発電量が得られている</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>冬期になっても安定した流量が得られている</p> </div>		

日時	平成 22 年 12 月期	天候	
経過状況	<p>【12月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・12月の天候は雨と雪の日が多い状況であった。 ・降雪や凍結により流量が減少し、平均流量は$0.10\text{m}^3/\text{s}$ (100ℓ/s)と少ない状況であった。 ・発電量は平均2.2ワットと先月に比べ発電量の低下がみられた。 ・これは用水路の凍結による流量の減少と水車本体の凍結による回転率の低下による発電量の減少とみられる。 ・気温の低下とともに水車の主軸およびスポーク部に着氷がみられ回転効率の低下がみられた。 ・用水路が凍結し流量および流速が減少すると水車の回転が弱まり雪が堆積し完全に回転が停止する状況であった。 		
状況写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>水車本体の凍結による回転率の低下がみられる</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>水車主軸とスポーク部の着氷がみられる</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>水車本体に着氷・着雪がみられ回転が停止している</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>水車本体に着氷・着雪がみられる</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>雪の堆積により回転が停止</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>雪の堆積により回転が停止</p> </div> </div>		

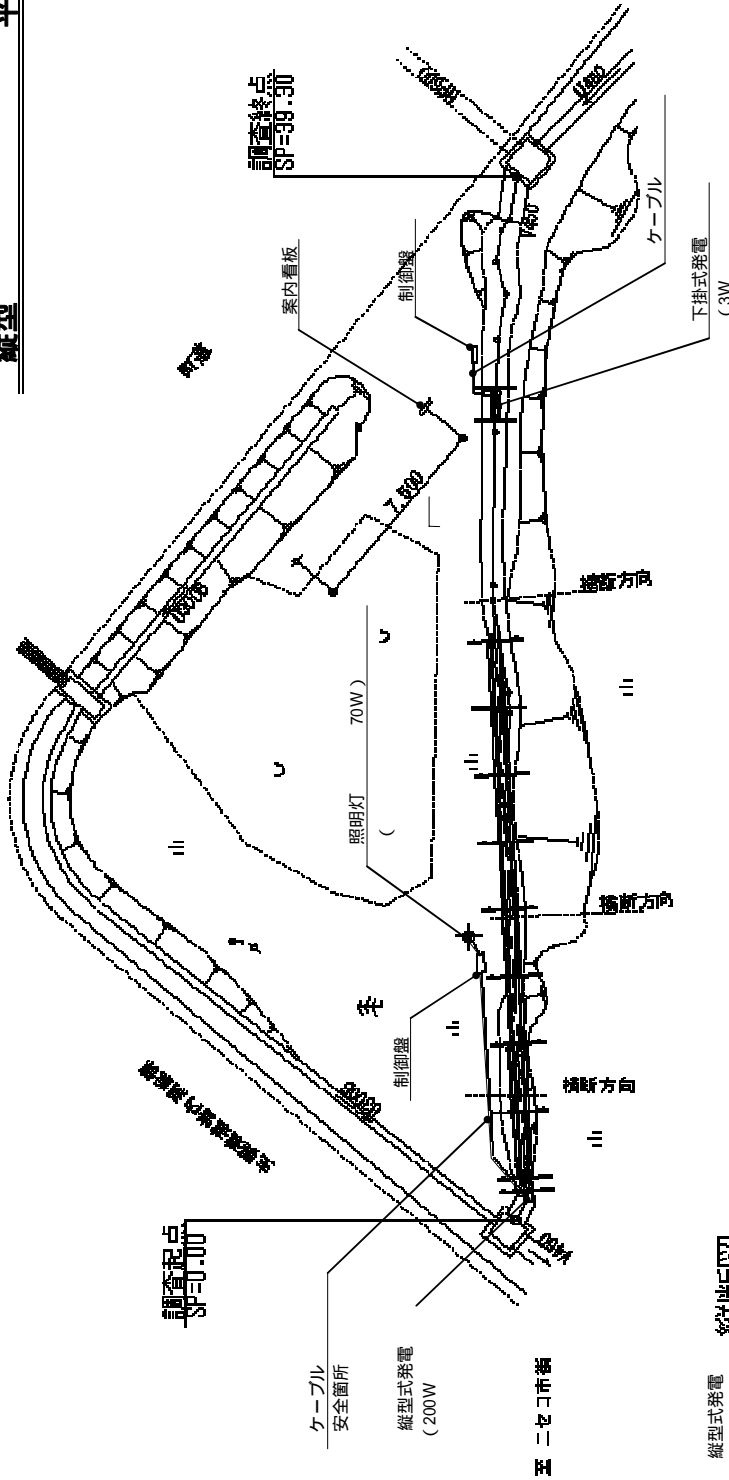
日時	平成 22 年 11 月期	天候	
経過状況	<p>【11月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・11月の天候は前半が雨の日多く後半は雪が降る日があった。 ・雪解け水の影響で最高値は $0.63 \text{ m}^3/\text{s}$ となっていたが、平均流量は $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ ($200\text{l}/\text{s}$) と先月より若干流量の増加があった。 ・発電量も雪解け水の影響で最大6ワットの出力が得られたが、平均 3.4 ワットの出力となっている。 ・ただし、流量の増加に伴い枝葉の量が増え、水車と落差部に枝葉が堆積し水車本体が停止する現象がみられた。 ・また、上記事項に加え、水車上流側の落差部に土砂が堆積し、用水が水車に効率よく当たらなくなり、停止する状況も確認された。 ・その他、流量が増加するとオーバーフロー水が増え、水車側面からの流入があり、回転力に抵抗がかかり発電効率が低下する現象も見受けられた。 		
状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>増水時の水車の様子</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>雪解け水による流量の増加がみられる</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>オーバーフロー水の増加により水車の回転に抵抗がかかる</p> </div>		

経過

水車の設置（同時に改良）を行った結果、発電量は3ワットから5ワットと設置時とほぼ変わらない状況である。以下に設置および改良後の水車の経過を月別にまとめる。

日時	平成 22 年 10 月期	天候	
経過状況	<p>【10月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10月の天候は比較的、晴れや曇りの日が多い状況であったが後半に降雪があった。 ・前半は晴れや曇りが続いたため流量は$0.17 \text{ m}^3/\text{s}$（$170\text{l}/\text{s}$）であったが後半は降雪あとの雪解け水により$0.23 \text{ m}^3/\text{s}$（$230\text{l}/\text{s}$）と流量の増加が見られたが、月の平均は$0.18 \text{ m}^3/\text{s}$（$180\text{l}/\text{s}$）となっている。 ・通常時は3ワット程度の発電量であったが、降雪後の雪解け水による用水路の増水で最大5ワットの発電量が得られた。 ・月の発電量は平均3.1ワットとなっている。 ・用水路の増水に伴って水車上流部に用水が溜まり、オーバーフローした用水が水車側面から流れているが、水車の回転には影響なく稼働している。 ・落葉時期の枝や落葉の流入が多くなり、落差部と水車の隙間に詰まり回転が停止する状況もみられた。 ・水車の羽根や側面に若干の水アカが付着しサビ色になってきているが、発電効率等には影響は見られない。 		
状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>増水時は用水がオーバーフローしている</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>落葉の流入が増加してきている</p> </div> </div>		

縦型 平面配置図



縦型式発電 縦断面図
H S=1:100
Y S=1:200

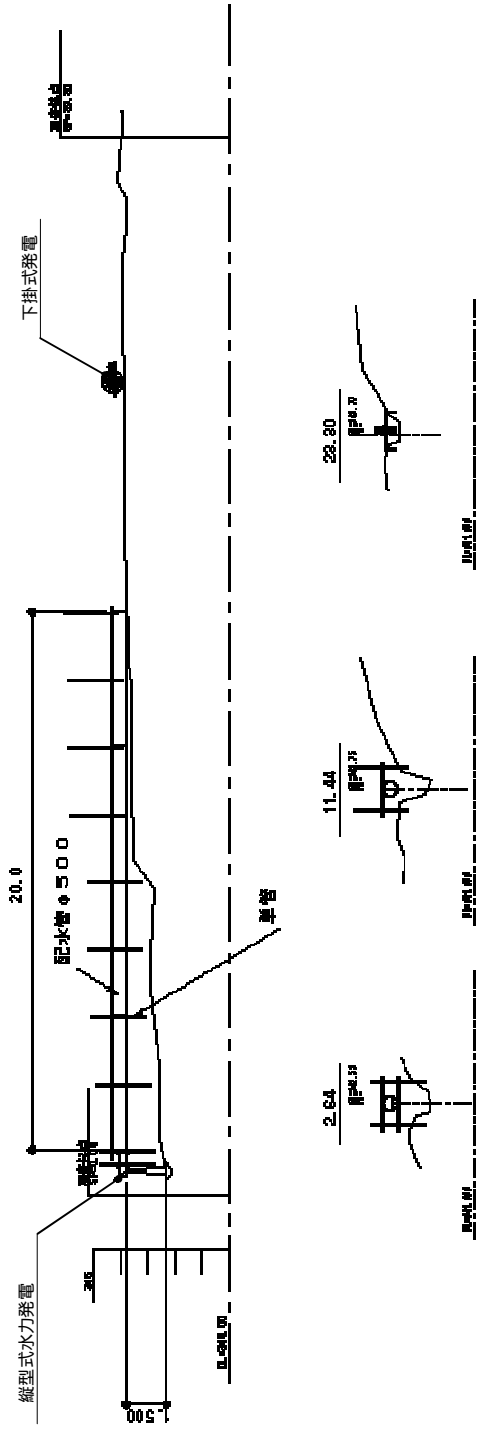


図 縦型 平面配置図

形状

下掛式水力発電の形状は現況の地形を勘察し設計を行った。また、今回は実証実験であることや実験終了後は水力発電機の撤去を行わなければならないため、永久的な固定（コンクリート基礎の打設など）は行わず、仮設構造物として設計を行った。

上記事項を勘察すると設置を行う場所の農業用水路は自然型の護岸であるため、据付けアンカーピンによる固定方法とし設置する。

水車の大きさは次の点を考慮し、検討を行った。基本的に水車の受軸は用水路の護岸と同じかもしくは護岸よりも高くなるように設置する必要がある。設置箇所の用水路の形状をみると川底から護岸まで約 50 cm であることから、川底に水車の羽根が当たらないことを考慮すると、直径 80 cm（半径 40 cm）の大きさが適正であると判断した。また水車幅は用水路が増水したときなどに流れを障害しないよう水路幅より狭くする必要があるので水車幅は 40 cm とし製作を行った。当該水路は平坦部にあり、落差が得られない状況であったため、下掛式水車を導入した経緯がある。水路の流水は常に川底に対し平行であることから、水車の羽根の形状は効率よく流水を受けることができるよう、川底（主軸）に対し直角になるよう配置した。（計算書は資料編を参照）



製作中の下掛式水車

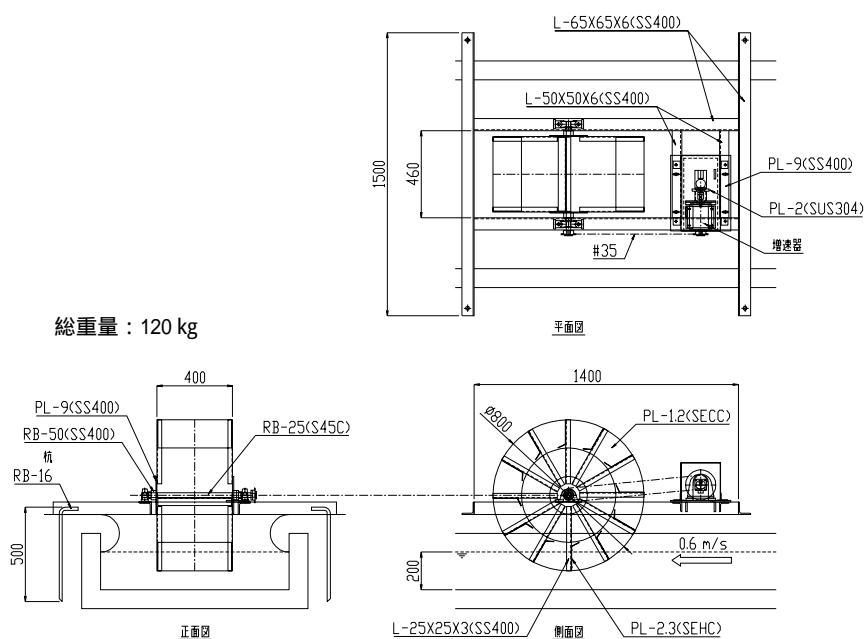


図 下掛式水力発電機詳細図

形状

螺旋式水力発電の形状は既設の用水路の中に収まることを前提に検討を行った。また、他の水車と同様に仮設構造物として設計を行った。

大道農場の横を流れる農業用水路はU型側溝(U-450)を使用して布設が行われており、側溝の形状は横450mm×深450mmとなっている。今回設置を行う螺旋式の水車はこの側溝の内部に収まる大きさなるように設計を行った。

水車はフレーム部、導水管部、螺旋羽根部の3つのパーツで構成されており、導水管部と螺旋羽根部が側溝の内側に収まる形状となっている。フレーム部は側溝よりも上に突き出る形状となっている。本体の大きさは側溝の内寸に合わせ、螺旋羽根部で直径35cm×長さ1.0m、導水管部で直径40cm×長さ1.5mの筒状となっている。(計算書は資料編を参照)



製作中の螺旋式水車

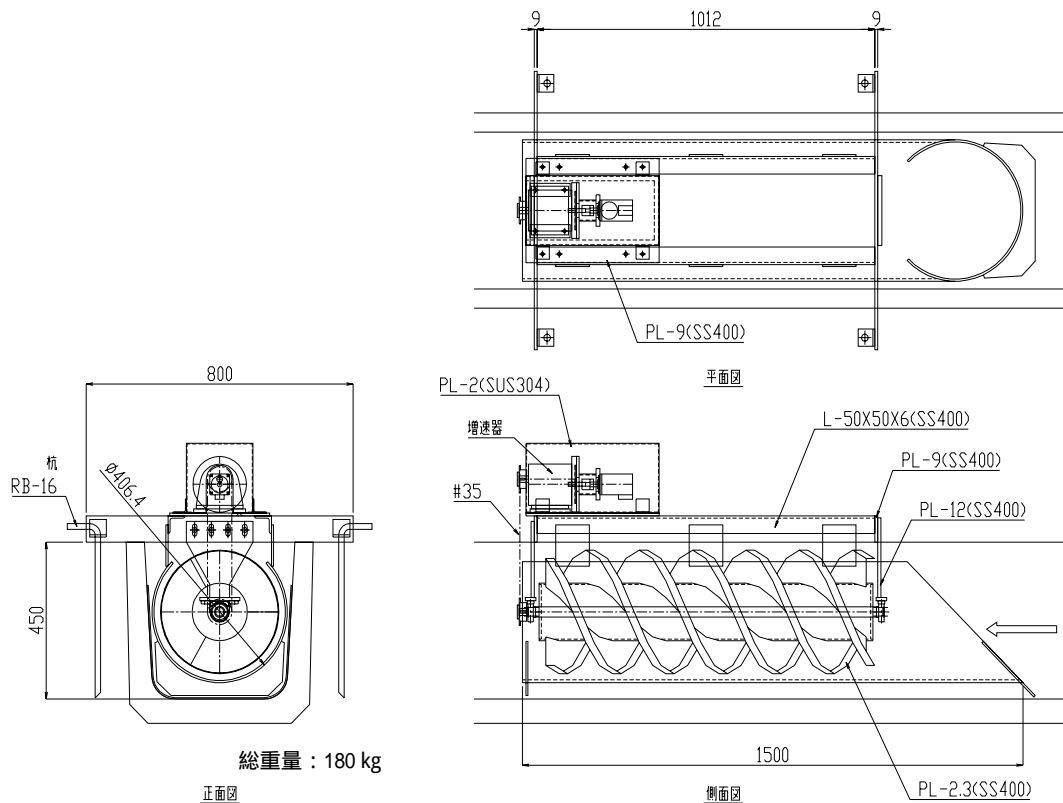


図 螺旋式水力発電機詳細図

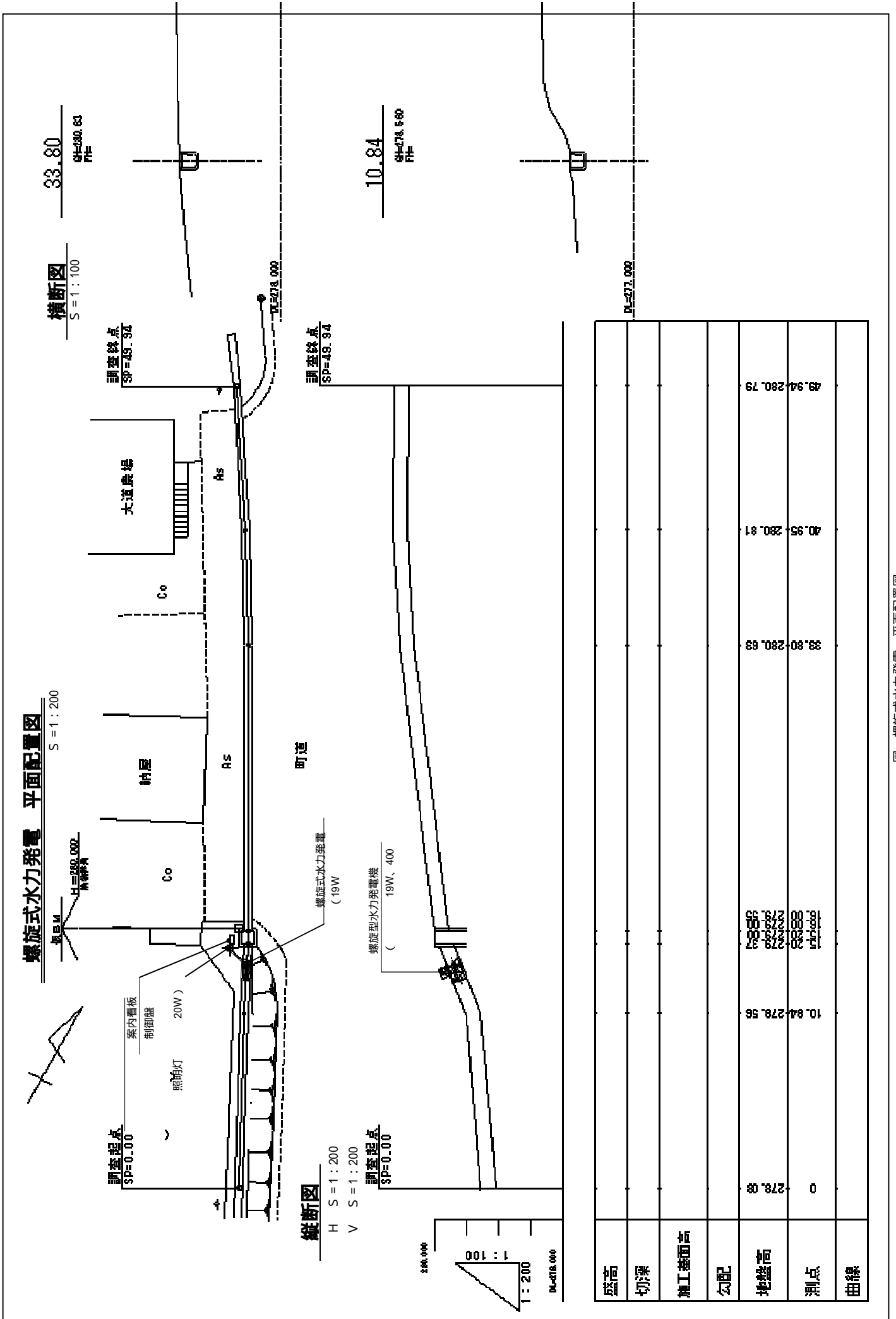


図 螺旋式水力発電 平面配置図

経過

前項で述べた改良は実証実験の最終段階に近い時期に行ったため、経過については水車の設置から改良までの状況を整理し記述を行う。以下に水車の経過を月別にまとめる。

日時	平成 22 年 10 月期	天候	
経過状況	<p>【10月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10月の天候は比較的、晴れや曇りの日が多い状況であったが後半に降雪があった。 ・前半は晴れや曇りが続いたため流量は $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ ($60\text{l}/\text{s}$) であったが、後半は降雪あとの雪解け水により $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ ($90\text{l}/\text{s}$) と流量の増加が見られたが、月の平均は $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ ($70\text{l}/\text{s}$) となっている。 ・設置後の水車の回転効率が計算値より良好であるため、当初設置を行った制御盤では発電量に対しての負荷が多いため、安全をみて回路への通電を停止する措置をとった。(設置時の電圧は $40\sim 50\text{V}$ であった) ・10月28日に基盤の取り換えおよびバッテリーの設置を行った。 ・その後、電圧・電流共に安定し実証実験を再開する。 ・再開後の発電量は平均4ワット程度の発電量であった。10月の発電量は平均3.8ワットとなっている。また、水車本体を傾斜のある場所に設置しているため、受軸の固定板に負荷がかかり、受軸の位置が若干ずれ異音を発生していたが、固定板の調整によりその後異音は納まった。 ・落葉や枝の流入が多くなり水車流入口に絡みつくと、回転の勢いで小さな落葉等は水車の外側に飛ばされ詰まることはなかった、しかしホオノキ等の大きな落葉は水車流水口に絡みつき除去がしづらい状況であるが、水車本体への影響はみられない。ただし隣地畑への氾濫する恐れがあるため、維持管理の徹底を行う。 		
状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>順調に回転を続ける螺旋式水車</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>回路の修理とバッテリーを追加</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>受電施設の20WのLED照明灯</p> </div> </div>		

日時	平成 22 年 11 月期	天候	
経過状況	<p>【11月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・11月の天候は前半が雨の日多く後半は雪が降る日があった。 ・11月27日に12.0ワットの最大発電量が得られた、これは11月に入り水路を管理している農家による流量の調整をおこなっており、流量の増減によるものと考えられる。 ・雨や雪の降る日が多く流量は0.23 m³/sとなっていたが、平均流量は0.10 m³/s (100ℓ/s)と先月より流量の増加があった。 ・発電量も流量の増加に伴い、平均5.65ワットの出力となっている。 ・流量の増加に伴い枝葉の量も増えたが、除去作業等の管理を徹底したため、水車および周辺へ氾濫等の影響は見られない。 ・水車本体は順調に稼働している状況であった。 		
状況写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  <p>11月27日の増水した状況</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>落葉の除去作業</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>水車より取り除かれた落葉</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>安定した動作をみせる螺旋式水車</p> </div> </div>		

日時	平成 22 年 12 月期	天候	
経過状況	<p>【12月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・12月の天候は雨と雪の日が多い状況であった。 ・水車設置上流部に農業用水の一次貯留池があるため、雨や雪による流量の増減はある程度調整できるが、通常時は農家の方の状況判断となっているが、今回は実験ということもあり、管理者より依頼し、その都度調整を行った。 ・12月3日は降雨により用水が氾濫する恐れがあるため、減水の指示を依頼を行った。しかし、発電は10.8ワットと12月の最高値を出力した。 ・12月は用水の氾濫を考慮し、水量の調整を行ったものの、平均発電量は6.0ワットと先月に比べ発電量の増加がみられた。 ・12月に入り気温が下がり雪の日もあったが、用水路は凍結することなく常時安定した流水となっていた。これは用水路が基本的にコンクリート製のU型側溝であり上部はコンクリート蓋（一部グレーチング蓋により開口部あり）により閉口されていたため凍結することはなかったといえる。また、水車本体も積雪や凍結など凍害による水車の停止はみられなかった。 		
状況写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>増水し水車上部まで用水が達した</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>凍結することなく回転する水車</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>電圧 10V、電流 0.5A が常時計測された</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>雪が降り積もった水車</p> </div> </div>		

状況写真



最大流量が $1.28\text{m}^3/\text{s}$ となりオーバーフローする用水 (11/9)



満水状態で水車に流入する用水 (11/9)



回転は増すが周囲は用水が氾濫する状態となった



増水より 500 ワットの発電量が計測された (11/9)



水車の受軸の点検を行う (11/14)



水車の点検を兼ね土のうの修復を行った (11/14)



土のうの修復が完了した様子 (11/14)



翌日は雪に見舞われ流量の減水は見られない (11/15)

日時	平成 22 年 11 月期	天 候	
経過状況	<p>【11月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・11月の天候は前半が雨の日多く後半は雪が降る日があった。 ・月の平均流量は$0.49\text{m}^3/\text{s}$ (490ℓ/s) 平均発電量は204.9ワットであった。 ・11月9日から12日にかけて雨が降り続き、流量が最大$1.28\text{m}^3/\text{s}$ (1,280ℓ/s) にまで達し、発電量は最大300.0ワットまで得ることができた。 ・雨があがった2日後の11月14日には月の最大値となる337.0ワットの発電量が計測された。また、9日は計測時以外の見回りのときに最大500ワットの発電量が確認されている。ただし、このような流量にまで達すると、水圧で堰堤の土のうが崩壊し池の中に失流する状況となった。そのため11月14日に堰堤の修復作業を実施した。 ・その後も雨や雪が降る日が数日あり発電量は常時200～300ワット程度得られていた。 ・11月は雨や雪による流量の増水があったが水車本体にはほとんど影響はなく順調に稼動している状況であった。 ・ただし11月13日に水車本体から異音が生じる旨の報告があったが、その後の点検で増水により羽根に負荷がかかり、受軸部に歪みが生じ異音が生じていたと思われる。 		
状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>降雨により増水した堰 (11/3)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>増水しているが堰や導水管には異常が見られない</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>流量が増し勢よく回転する羽根 (11/3)</p> </div>		

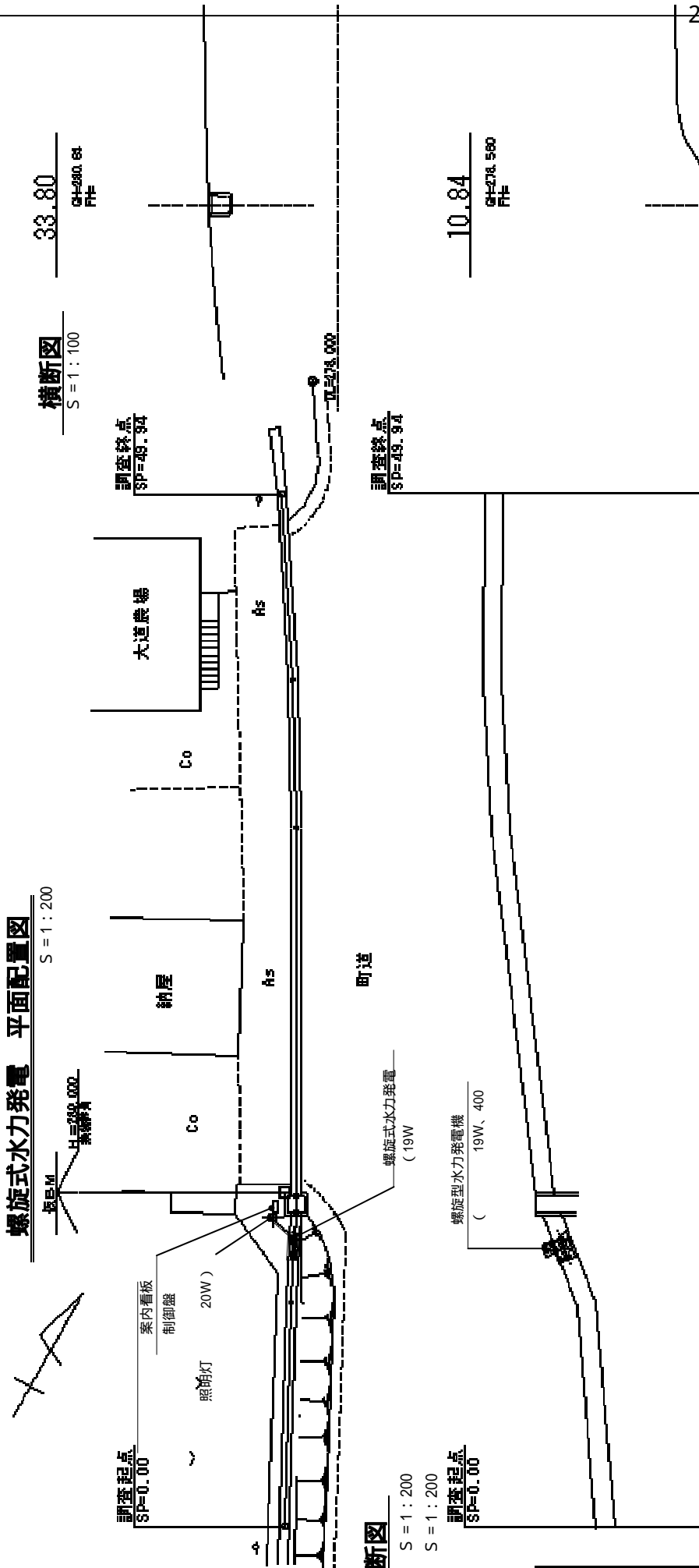
経過

経過については前項で述べた改良以降の状況を整理し、記述を行う。以下に水車の経過を月別にまとめる。

日時	平成 22 年 10 月期	天候	
経過状況	<p>【10月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10月の天候は比較的、晴れや曇りの日が多い状況であった。 ・前半は晴れや曇りが続いたため、平均流量は$0.32\text{m}^3/\text{s}$（$320\text{l}/\text{s}$）と河川選定時に計測した時よりも流量が減っていた。これは第二カシュンベツ川の湯水期であることが推測される。 ・後半は降雪があったが河川の増水は見られず平均$0.30\text{m}^3/\text{s}$（$300\text{l}/\text{s}$）であった。また、月の平均は$0.32\text{m}^3/\text{s}$（$320\text{l}/\text{s}$）となっている。 ・計測結果を見ると発電量が得られていない日があるが、これは制御盤に内蔵されているコントロールボックスにより荷充電になった場合の安全性を考慮して回線を停止するシステムが作動するためである。これらの状態を極力避けるため、需要施設である照明灯を手動により点灯させる措置をとった（管理者が制御盤の状態を確認しその都度点灯を行った） ・第二カシュンベツ川は自然河川であるため、雨や雪が降ってもすぐ増水せず、時間をおいて徐々に増水する状況であった。特に雪が降った場合、融雪までに時間がかかるため、河川が増水するのは2、3日あとになる傾向があった。 ・水車の発電量は10月5日に、前日の降雨の影響により最大228ワットまで出力したが、月の平均は平均91.9ワットとなっている。 ・その他、水車および導水管、堰には異常は見られなかった。 		
状況写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>降雨後も導水管や堰には問題はみられない</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>良好に回転する縦軸型の羽根の状況</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>導水管と水車の接続部も異常はみられない</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>両方の羽根に効率よく当たる用水の状況</p> </div> </div>		

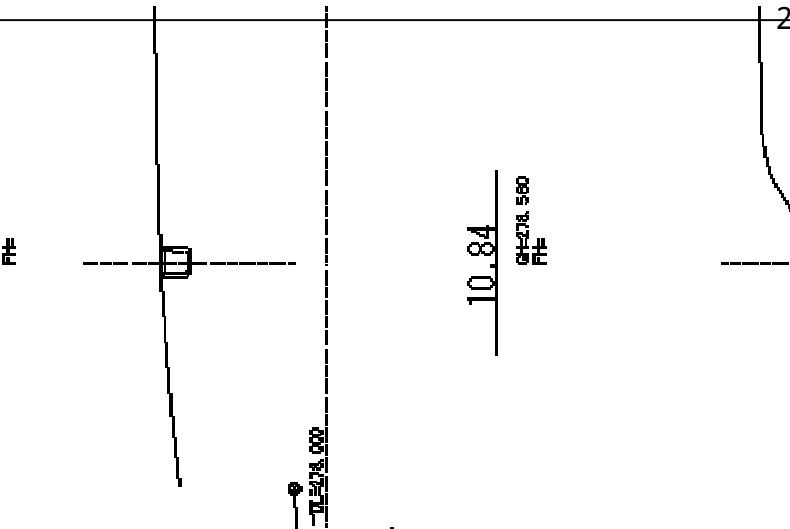
螺旋式水力発電 平面配置図

S = 1 : 200



横断面

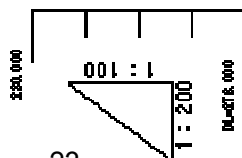
S = 1 : 100



縦断面

H S = 1 : 200
V S = 1 : 200

調査起点
SP=0.00



盛高									
切深									
施工基面高									
勾配									
地盤高	278.08	278.56	279.29	279.79	280.00	280.29	280.58	280.81	280.79
測点	0	10.84	278.56	279.29	279.79	280.00	280.29	280.58	280.81
曲線									

図 螺旋式水力発電 平面配置図

形状

流水式水力発電機は市販されている既製品を利用し、設置を行う。今回使用する水車は市販品であるが、設置場所に合わせ多少の変更ができる、セミオーダータイプとなっており半オリジナル製品といえる。発電機や水車羽根などの形状の変更はできないが、筐体の大きさなどは設置場所に合わせることができ、今回は事前に河川の調査を実施し、河川の形状や流況などのデータを基に設計を行った。

水車の大きさは縦 94 cm × 横 94 cm × 高さ 1140 cm の立方体の形状で、上流側は内側にすぼまった開口部があり、用水を水車羽根に効率よく当てる仕組みとなっている、また下流側は大きく開口しており、ここから用水が排水される構造となっている。水車内部は 2 槽構造となっており、下部は用水を受ける羽根、上部は発電機が設置されている。下部の水車羽根は左右対称に縦軸の羽根が 2 つ付いており、その羽根が回転することにより主軸をとおりて発電機にエネルギーが伝達する構造となっている。

今回設置を行う流水式発電機は最大発電量が 500 ワットのタイプのものを使用する。



立方体の形状をした流水式発電機

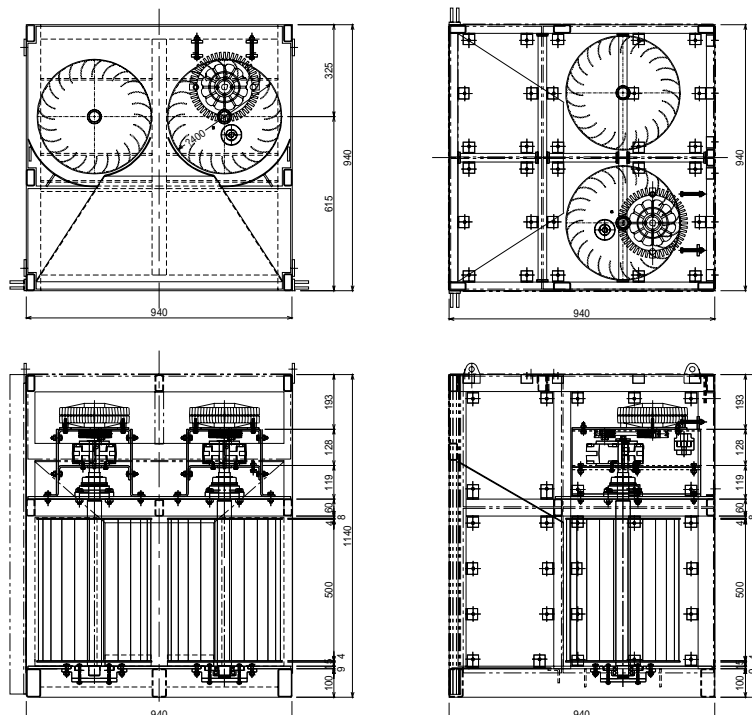


図 流水式水力発電機詳細図

状況写真



効率よく水しぶきを上げて回転する水車の様子 (11/23)



発電効率を考慮するとこの状態がベストといえる (11/23)



若干は水が引いたがまだ側面からのオーバーフローが見られる (11/23)



導水管の上面まで増水した用水 (11/23)



満水状態で水車に流入する用水 (11/23)



上流側の堰からもオーバーフローが見られる (11/23)



増水した水車の全景 (11/23)

日時	平成 22 年 12 月期	天候	
経過状況	<p>【12月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・12月の天候は雨と雪の日が多い状況であった。 ・12月3日～4日にかけて雨が降り、先月末に降った雪が解け流量は最大$0.96\text{m}^3/\text{s}$（$960\text{l}/\text{s}$）まで達した、それにもない発電量も269.0ワットまで得ることができた。ただし、先月と同様、河川が増水したことにより堰堤部の土のうが崩壊する状況となった。12月4日および5日に土のうの修復を図ったが、水量が多く危険と判断し、後日水が引いたあと修復を行った。それ以降は、降雪があったが、流量は安定し平均$0.45\text{m}^3/\text{s}$（$450\text{l}/\text{s}$）で発電量は150ワット程度となっていた。 ・月の平均流量は$0.53\text{m}^3/\text{s}$（$530\text{l}/\text{s}$）、平均発電量は196.6ワットの出力が得られた。 ・降雪や凍結による水車本体への影響はほとんど見られなかった。 		
状況写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>先月末に降った雪が解け増水した河川（12/2）</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>側面からオーバーフローしている状況（12/2）</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>降雨により増水した河川（12/3）</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>水車が壁となり用水が氾濫（12/3）</p> </div> </div>		

状況写真



降雨により増水し氾濫状態の河川(12/4)



水車の羽根が水没しているが効率よく回転し発電をおこなっている(12/4)



増水によって水車に破損が生じていないか確認を行った(12/4)



流失した土のうを拾い上げ修復を行った(12/4)



若干水が引き安定してきた堰の様子(12/8)



増水により位置がずれた導水管の様子(12/8)



当該河川は雪が降っても凍結しない状況である(12/11)



筐体の外側は水しぶきにより凍結しているが水車の羽根は凍結することなく回転している(12/11)

形状

縦型式水力発電機は市販されている既製品のタイプを使用する。水車本体は3つのパーツで構成されており、1つは水路から用水を受ける「水槽」、2つ目はプロペラと一体となった「発電機」、3つ目は用水を排水するための「縦管」である。

「水槽」の形状は縦 1000 mm × 横 325 mm × 高 250 mm のFRP製で、湾曲した先端に発電機および縦管を接続できるようになっている。「発電機」は上部に発電機、下部にプロペラが取り付けられており上下はシャフトにて連結されており、プロペラの回転により発電する仕組みとなっている。次に「縦管」は水槽からプロペラに流入した用水を排水するパイプで、長さ 1,500 mm、上部開口径は 130 mm、下部開口径は 220 mm の下部先端の開口が大きいラッパ型の形状である。この水力発電機は縦管に流れる用水が落下するときの力で回転するため、管内は真空状態を保つことでより引っ張る力が強まり回転が増幅される仕組みとなっている。

想定される発電量は 200 ワット（カタログ値）である。

また水車本体に水路の用水を導水するため、上流側にポリエチレン製の半割管（500）を導水路として布設を行う。管径は水車に必要な流量が流れる大きさとして設計を行った。（管径の算定式は資料編を参照）

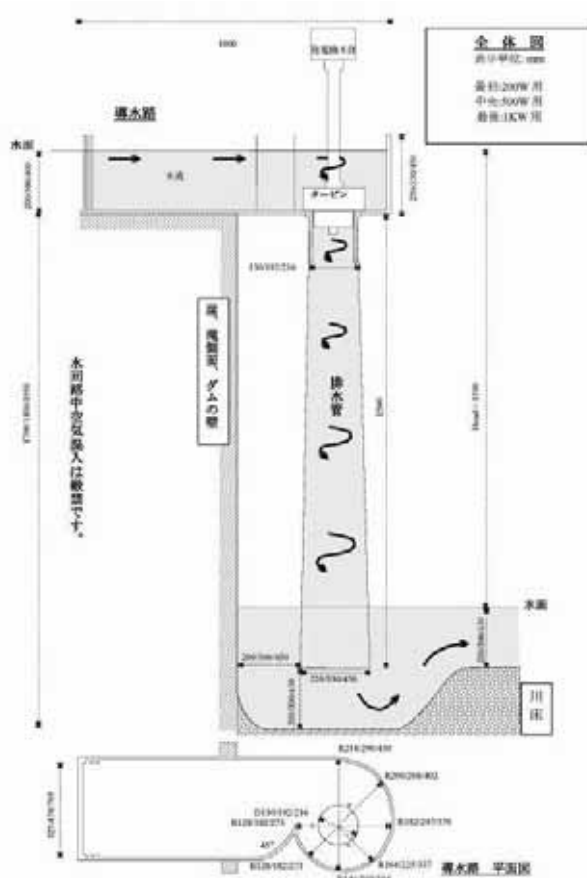


図 縦型式水力発電機詳細図



縦型式水力発電機の全景

縦型 平面配置図

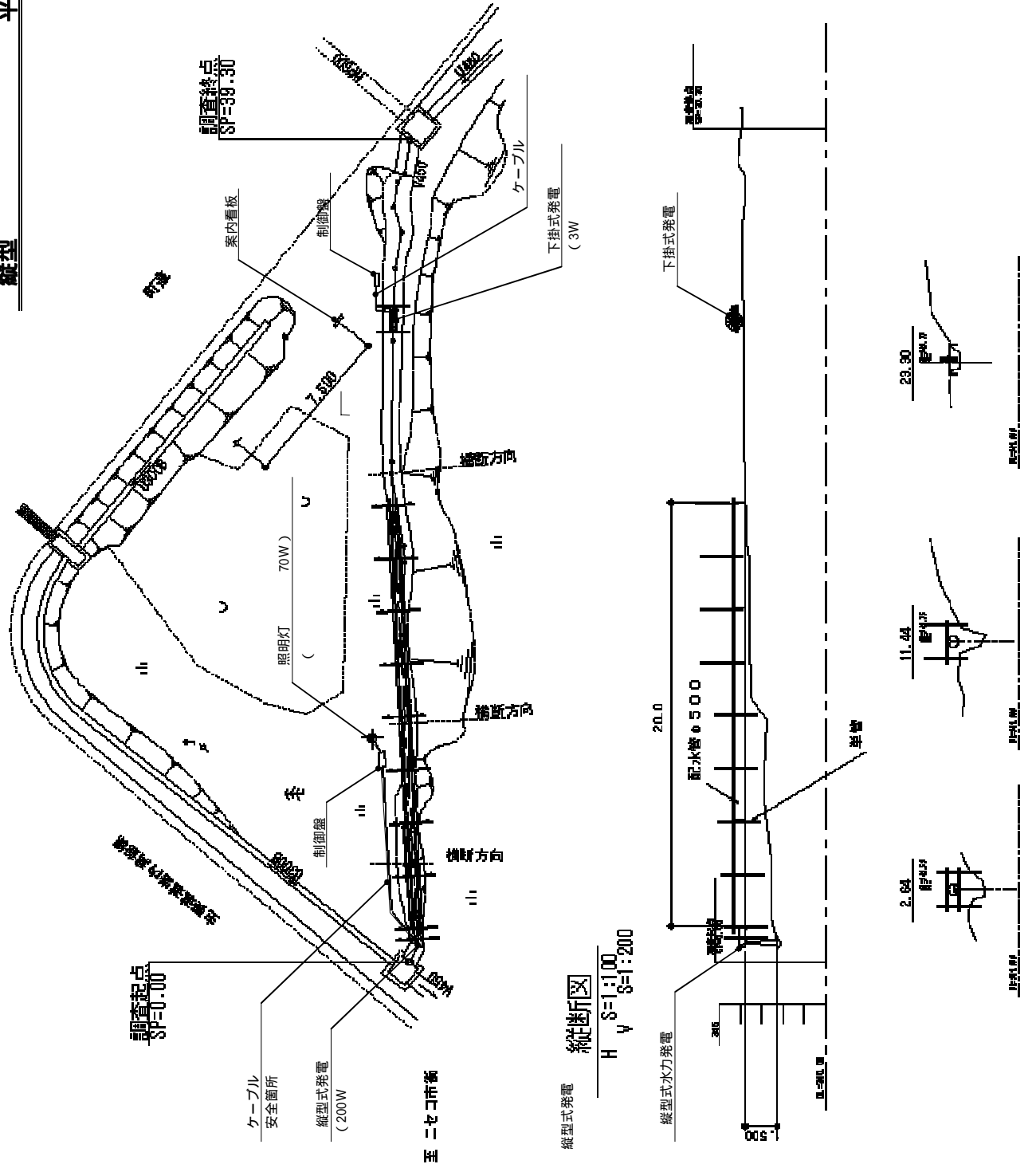


図 縦型 平面配置図

経過

経過については前項で述べた改良以降の状況を整理し記述を行う。以下に水車の経過を月別にまとめる。

日時	平成 22 年 10 月期	天候	
経過状況	<p>【10月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10月の天候は比較的、晴れや曇りの日が多い状況であった。 ・制御盤内の計測装置に不備が生じ電流および発電量の計測ができない状態が続いていたため、正確な計測値は不明であるが、需要施設として設置を行った70ワットの照明灯が点灯しなかったため、発電量は50～60ワット程度と推測される。 ・流量は比較的好天に恵まれたため、平均$0.14\text{m}^3/\text{s}$（$140\text{l}/\text{s}$）となっているが10月27日の降雪後の流量は$0.17\text{m}^3/\text{s}$（$170\text{l}/\text{s}$）となり流量の増水が確認された。また、10月に入り落葉の流入量が増え、導水路の入口から中間部にかけて除塵ネットの上部に堆積する状態がみられ、ほぼ毎日（日によっては1日に数回）落葉を取り除く除去作業を行った。 ・上記の状態になると必要流量が得られないため、発電機本体が停止してしまい、制御盤内の記録装置等が完全停止する状態が確認された。 ・10月28日に維持管理統括者（㈱牧野工業：牧野氏）に発電量の増加についての指示を仰いだ結果、水車の縦管に外部から気泡が入り真空状態が保てないことが判明したため、既設水路の落差部にポリエチレン管を設置し気泡が極力流入しない措置をとった。その結果、発電量の増加には至らなかったが、水車の回転効率が向上したことが確認された。 ・落葉や枯枝の流入時に発電が停止すること以外は、水車本体および導水路は問題はなく稼働している状況である。 		
状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>落葉の除去作業の様子（10/19）</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>落葉の除去作業が完了した様子（10/19）</p> </div> </div>		

状況写真



維持管理統括者より指示を仰ぐ(10/28)



気泡を低減する管を設置(10/28)



管を設置し外部からの気泡おさまった様子(10/28)



管の設置が完了した様子(10/28)



回転率が向上し羽根に用水が流入する(10/28)

日時	平成 22 年 11 月期	天 候	
経過状況	<p>【11月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・11月の天候は前半が雨の日多く後半は雪が降る日があった。 ・制御盤内の計測装置の交換を行い、各数値の計測が可能となった。 ・月の平均流量は$0.18\text{m}^3/\text{s}$（$180\text{l}/\text{s}$）平均発電量は49.3ワットであった。 ・11月6日～9日にかけて雨が降っており、11月10日には月の最大流量となる$0.30\text{m}^3/\text{s}$（$300\text{l}/\text{s}$）が計測された。 ・流量が増すにつれ、落葉や枯枝に加え土砂の流入が見られるようになってきた。 ・これらが導水路の流入口に堆積し用水が氾濫する状況が見られた。 ・11月はほぼ毎日、水車が停止している状態であった、落葉等の除去を行い発電機を作動させるも、落葉や土砂の流入は衰えず、再び停止する状態が続いていた。 ・増水により既設水路の護岸の浸食が見られたため、土のうにより浸食防止の措置をとった。また、流量が増えたことにより想定していない状況も確認された。それは水車を設置している集水柵の排水が思いのほか悪く、用水が停滞する状態となった。そのため、水頭差が縮まり、既定の1.5mの有効落差が取れない状態となり、発電効率が悪くなる現象である。 ・11月の後半は積雪が確認されたが、気温がまだ高いこともあり水車の凍結までには至らない状況であった。 ・外的な要因等で水車の発電効率は低下したが、水車本体には破損等は見られず管理をしている限り、稼動している状況であった。 		
状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="403 1312 866 1917">  <p>降雨により増水であるが満水状態で用水が流入している（11/3）</p> </div> <div data-bbox="924 1312 1386 1917">  <p>若干の氾濫が確認できる（11/3）</p> </div> </div>		

状況写真



0.30m³/s となりオーバーフローする用水 (11/10)



満水状態で水車に流入する用水 (11/10)



水路の氾濫の様子 (11/10)



導水路が堰となり用水が氾濫する状態となった (11/10)



土のうを積み護岸の保護を行った (11/13)



積雪となったが凍結は見られない (11/28)

日時	平成 22 年 12 月期	天 候	
経過状況	<p>【12月】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・12月の天候は雨と雪の日が多い状況であった。 ・12月3日～4日にかけて雨が降り、先月末に降った雪が解け流量は最大$0.14\text{m}^3/\text{s}$（$140\text{l}/\text{s}$）まで達し、2日には水路が再び増水して氾濫する事態となった。 ・しかし、それ以降は天候が回復し増水は治まったが、増水により流入した土砂が堆積し、流量が極端に減少する状態となった。 ・それに伴い発電量も減少し、最大でも34.0ワット程度しか得られない状況であった。（月の平均発電量は18.7ワットとなっている）また、12月に入り降雪や気温の低下がみられ、12月9日以降は水路の凍結による流量の減少がみられた。 ・原因は不明であるが、12月4日以降は水車を作動させるも稼働せず、その後発電機部より焦煙と焦臭がしたため、12月7日に予備の水車に交換し実験を継続させた。 ・水車本体はプール部の凍結により用水の供給が止まり、完全停止状態となっている状態が見られた。 		
状況写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>先月末に降った雪が解けふたたび増水し氾濫した水路（12/2）</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>満水状態で流入する用水（12/2）</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>増水すると集水樹に用水が停滞する（12/2）</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;">  <p>故障により交換を行った発電機（12/7）</p> </div> </div>		

状況写真



周囲は積雪するが導水路は水面が露出している (12/9)



板を利用し氷塊の進入を防止する (12/9)



雪に覆われ凍結した導水路 (12/12)



プール部も雪が積もった状態となる (12/12)



導水路も凍結しつららができている (12/12)



水槽内は用水が凍結し水車は停止状態となっている (12/12)



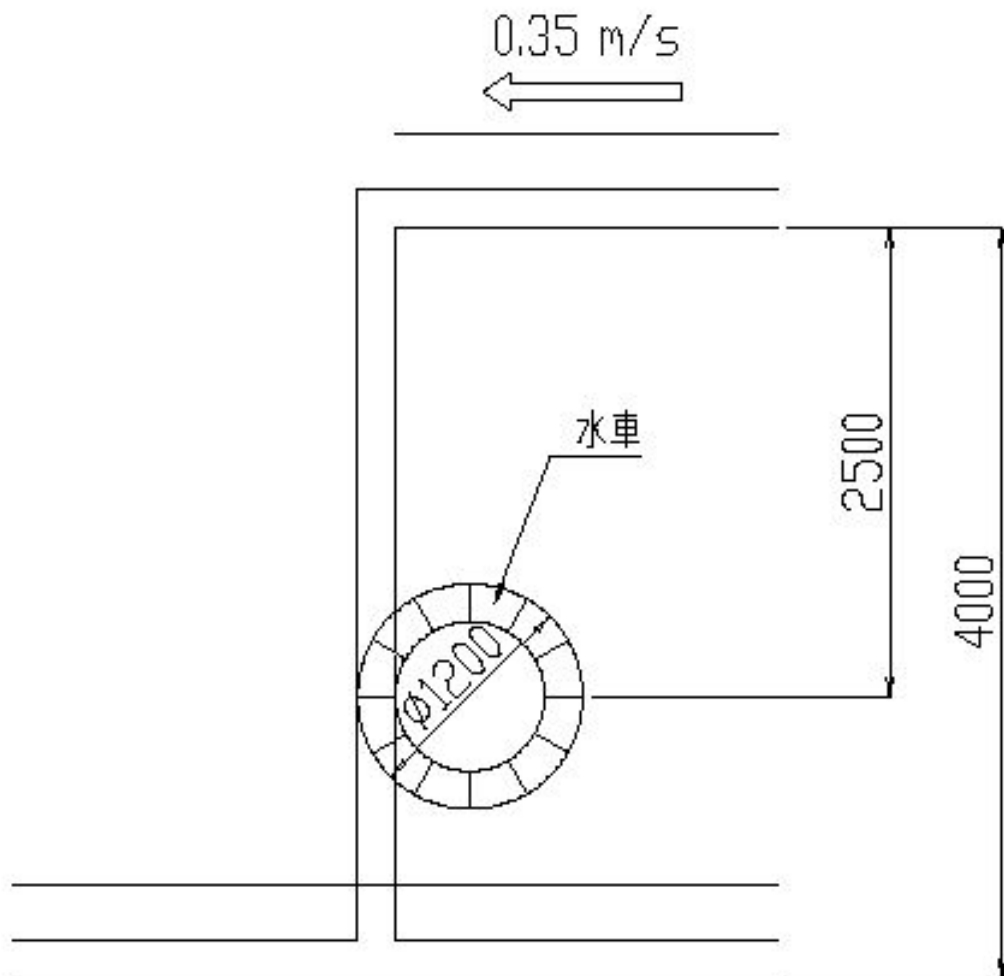
集水桝内部の水面も凍結する寒さとなっている (12/12)

上掛式水車設計計算書

径 1.200m × 幅 0.500m

1. 設計条件

- | | |
|----------|---------------------|
| (1) 水車型式 | 開放周流型水車 |
| (2) 水車寸法 | 径 1.200m × 幅 0.500m |
| (3) 水路寸法 | 幅 0.500m |
| (4) 設計水深 | 0.200m |
| (5) 設計流速 | 0.35m/s |



2. 理論水力

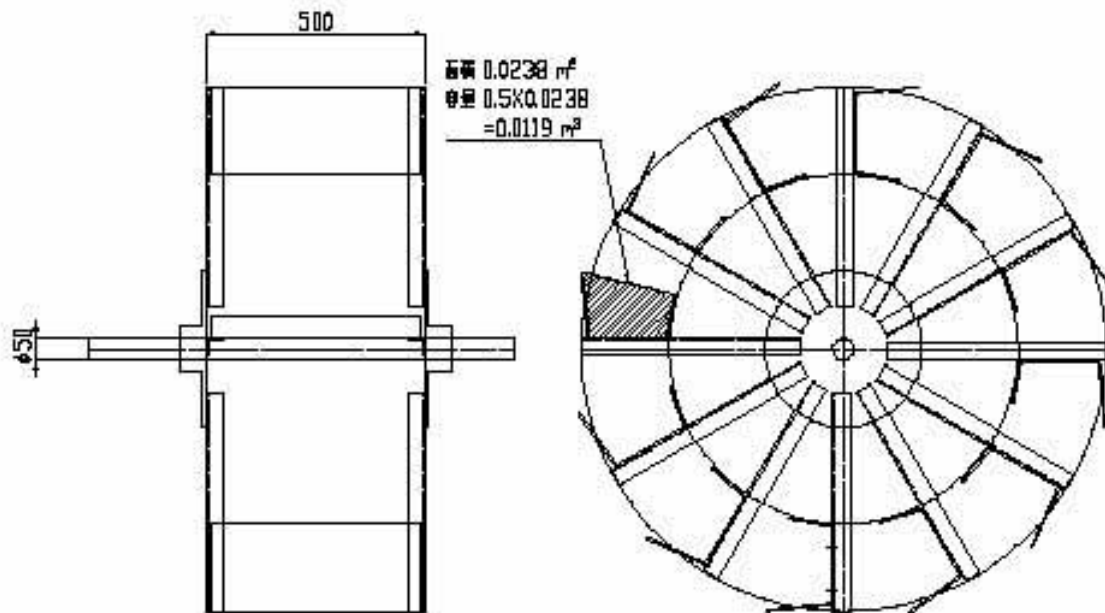
水路幅	$w=0.5$	m
水深	$h=0.2$	m
流速	$v=0.35$	m/s
流量	$Q=w \times h \times v=0.5 \times 0.2 \times 0.35=0.035$	m^3/s
有効落差	$H=2.5$	m
流体密度	$\rho=9.8$	N/m^3
理論水力	$P_0=\rho \times Q \times H=9.8 \times 0.035 \times 2.5=0.858$	kW

3. 発電出力

水車効率	$\eta_w=0.6$	(既存水車測定値より)
発電機効率	$\eta_g=0.6$	(既存水車測定値より)
発電機出力電力	$P=P_0 \times \eta_w \times \eta_g=0.858 \times 0.6 \times 0.6=0.31$	kW

上掛式水車

バケットの設計



設計流量	0.035 m ³ /sec
設計回転数	20 rpm
バケットの数	12 個
バケットの必要容量	$\frac{0.035 \times 60}{20 \times 12} = 0.00875 \text{ m}^3$
バケットの容量	0.0119 m ³
	$\frac{0.0119}{0.00875} = 1.36 > 1.0$
より、設計流量の水を十分受け止めれる容量	

駆動軸の設計

設計発電量 1500 W

設計回転数 20 rpm

駆動軸のトルク $\frac{1500 \times 60}{20 \times 2\pi} = 716 \text{ Nm}$

駆動軸径 50 mm

極断面係数 $\frac{\pi \times 50^3}{16} = 24544 \text{ mm}^3$ 基準強度 235 N/mm²

安全率 5 (通常は機械設計で2)

$$\frac{5 \times 716 \times 10^3}{24544 \times 235} = 0.62 < 1.0$$

増速率の設計

設計回転数 20 rpm

発電機の基準回転数 600 rpm

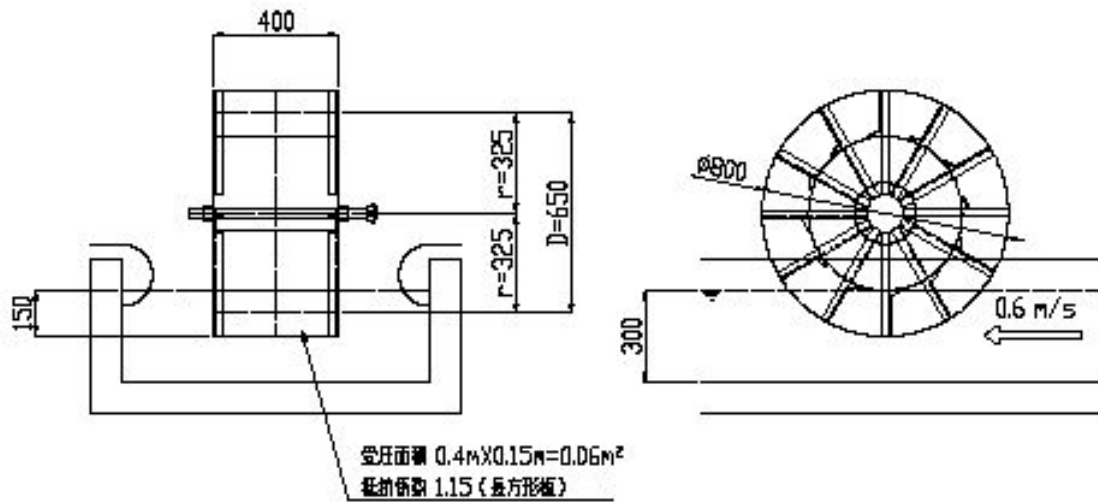
増速率 $\frac{600}{20} = 30$

下掛式水車設計計算書

径 0.800m × 幅 0.400m

1. 設計条件

- | | |
|----------|---------------------|
| (1) 水車型式 | 開放周流型水車 |
| (2) 水車寸法 | 径 0.800m × 幅 0.400m |
| (3) 水路寸法 | 幅 1.000m |
| (4) 設計水深 | 0.300m |
| (5) 設計流速 | 0.60m/s |



2. 水車に発生するトルク

抵抗係数 $C_D=1.15$

水の密度 $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$

流速 $v=0.60 \text{ m/s}$

受圧面積 $A=0.06 \text{ m}^2$

羽根が受ける抵抗

$$F_D = C_D \left(\frac{1}{2} \rho v^2 A \right)$$

$$= 1.15 \times \left(\frac{1}{2} \times 1000 \times 0.60^2 \times 0.06 \right)$$

$$= 12.42 \text{ N}$$

水車中心～羽根中心 $r=0.325 \text{ m}$

水車に発生するトルク

$$T = F_D \times r$$

$$= 12.42 \times 0.325$$

$$= 4.04 \text{ N}\cdot\text{m}$$

3. 水車の回転数

水車有効直径 $D=0.650 \text{ m}$

流速 $v=0.60 \text{ m/s}$

負荷降下速度 $u=0.5 \times v=0.5 \times 0.60=0.325 \text{ m/s}$
 負荷時の速度降下率を50%とする（既存水車測定値より）

水車1回転に要する時間

$$t = \frac{\pi D}{u} = \frac{\pi \times 0.650}{0.325} = 6.28 \text{ s}$$

水車の回転数

$$n = \frac{60}{t} = \frac{60}{6.28} = 9.6 \text{ rpm}$$

4. 発電出力

回転数 $n=9.6$ rpm

トルク $T=4.04$ N·m

理論水力

$$P_0 = \frac{2\pi}{60} \times n \times T$$

$$= \frac{2\pi}{60} \times 9.6 \times 4.04$$

$$= 4.06 \text{ W}$$

水車効率 $\eta_w=0.6$ (既存水車測定値より)

発電機効率 $\eta_g=0.6$ (既存水車測定値より)

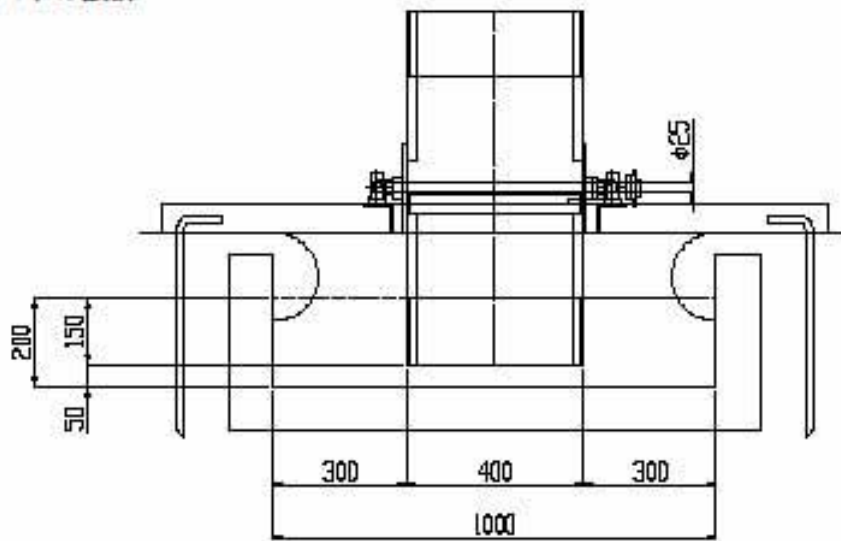
発電機出力電力

$$P = P_0 \times \eta_w \times \eta_g$$

$$= 4.06 \times 0.6 \times 0.6$$

$$= 1.46 \text{ W}$$

下掛式水車
ハネの設計



ハネと水路のクリアは、横300mm、縦50mmで設計
(横は草が寄っているため)

駆動軸の設計

設計発電量 20 W

設計回転数 12 rpm

駆動軸のトルク $\frac{20 \times 60}{12 \times 2\pi} = 16 \text{ Nm}$

駆動軸径 25 mm

極断面係数 $\frac{\pi \times 25^3}{16} = 3068 \text{ mm}^3$

基準強度 235 N/mm²

安全率 5 (通常は機械設計で2)

$$\frac{5 \times 16 \times 10^3}{3068 \times 235} = 0.11 < 1.0$$

増速率の設計

設計回転数 12 rpm

発電機の基準回転数 300 rpm

増速率 $\frac{300}{12} = 25$