

鉄道省信濃川千手発電所水圧鉄管に就て

(昭和 13 年 7 月 16 日土木学会第 2 回年次学術講演會に於て)

准員 北村市太郎*

1. 概 況

本鉄管の配置は 図-1, 2 の如く、2 條に分かれたる水路を水圧鉄管に於て連絡し、常用水車を 4 臺(各 1 臺約 30 000 kW) とし、豫備水車を 1 臺としてゐる。従つて分岐管が 4 箇所に出來、其の中央のものは Y 字型にして山手隧道(第 1 期)と川手隧道(第 2 期)の切換用に供し蝶型弁を具へてある。現在施工中のものは図面の實線の部分即第 1 期線用の 3 條の鉄管と是に附屬する小鉄管類である。

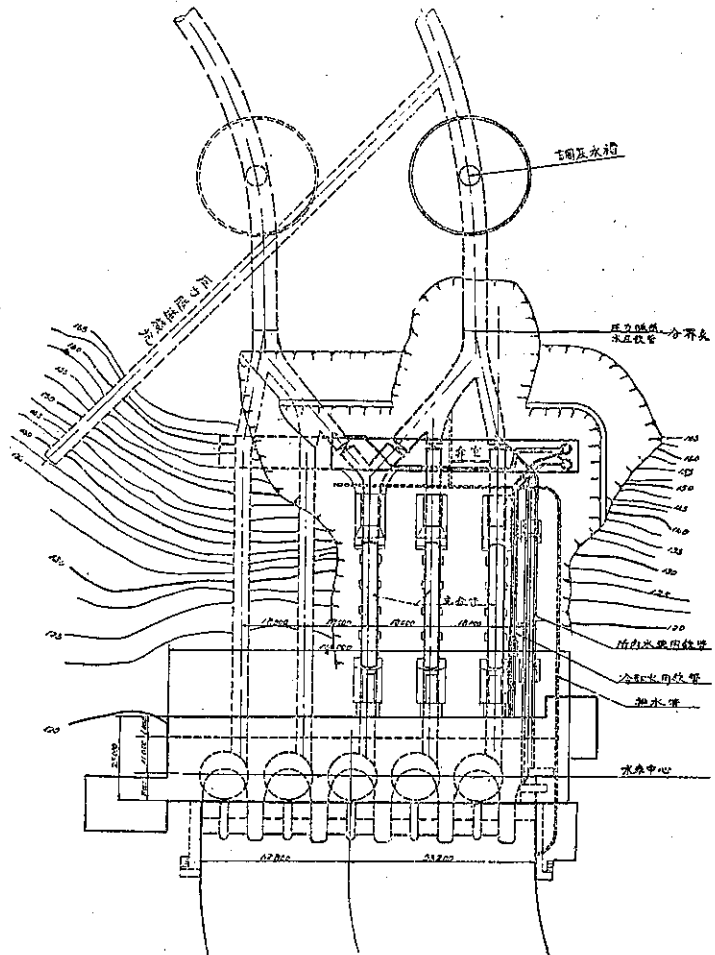
主発電機用主鉄管は内径 6.70~4.50 m にして本邦最大の鉄管で總延長約 400 m 管壁厚 18~28 mm で接手は溶接と鉚綴を併用してゐる。是の主鉄管の他に所内発電機(1 臺約 1 000 kW)用に内径 1.40~1.30 m の所内水車用鉄管 2 條及冷却水用鉄管を有してゐる。所要鋼材は約 2 000 t で工事は三菱重工業株式會社神戸造船所の請負ふ所となつた。

2. 製 作

1. 材 料 鉄管は水頭 40~100 m (含衝擊水頭)、接手効率 70%、磨耗損失 2mm に採つて設計した。其の結果管壁は上部で 18mm、下部で 28mm と云ふ相當厚い板を使はねばならぬ様になつた。而して鋼板を圧延方向に曲げたるもの 3 枚を以て 1 環を形成してゐる。此の鋼板は構造用鋼板を使用した、各板毎に試験をして $\sigma_u = 39 \sim 47$ kg/mm², $\eta \geq 25\%$ と規定した。是は非

常に嚴格な規格であるが、斯くの如く材料を嚴選したから、分岐管其の他の複雑な火作り作業や、溶接作業を何等不安なく行ふ事を得た。

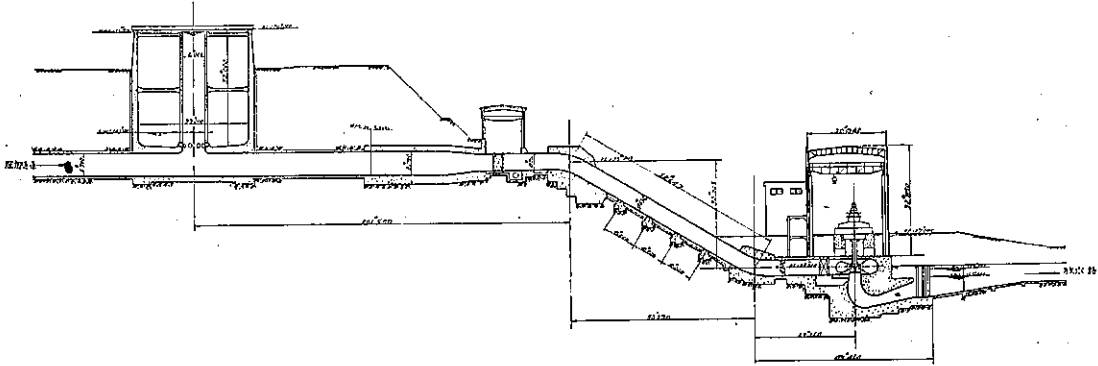
図-1. 調圧水槽、鉄管路及發電所平面図



* 鉄道技師 工学士 鉄道省信濃川電気事務所勤務

2. 接 手 近時全熔接鉄管が所々の発電所に用ひられる様になつたが、全熔接鉄管に就ては慎重を期さねば思はぬ失敗を招く事がある。當所でも最初は全熔接の計畫であつたが其の後各種接手の實物大模型を作つて、歪、水密性等を研究した結果、接手は衝頭熔接、周邊接手は鉸綴に変更した。其の理由は

図-2. 調圧水槽鉄管路及發電所縦断面図

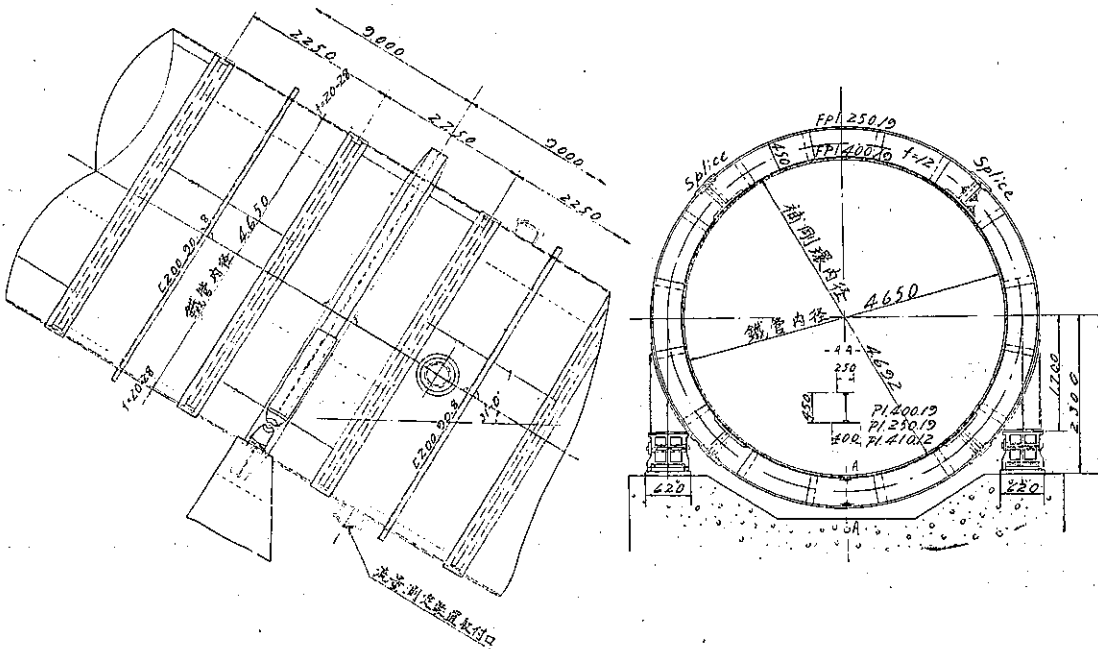


(1) 縦接手は鉄管の柔軟性に依り熔接歪を自由に逃がす事が出来るが、周邊接手に於ては鉄管が縦方向に對し柔軟性が少いから潜在応力を生じて面白くない。

(2) 大口徑の鉄管なる故据付中に變形を生ずる、又縦接手の熔接により局部的にも變形を生ずるが此の爲周邊接手の開先が合はない。

(3) 周邊接手は鉄管配列の順序に従つて熔接せねばならぬ、従つて据付の狂ひを生じた場合補正が難かしい。又大口径の鉄管なる爲日光の直射により鉄管の伸縮が上部と下部で異なる。是等の事柄が潜在応力の原因になる。

図-3. 支臺剛環取付詳細図



(4) 周縁接手は上、下、横向等各種の姿勢で現場溶接をせねばならぬ故製品に均一性を缺く。又溶接は工期が長くかかる。

(5) 板厚が厚い爲相當多量の電流を通し、熱を充分補給せねばならない故上述の缺點が益々倍加せられる。

(6) 縦接手は直接張力が働くから効率の良い溶接々手を採用する。然るに周縁接手は理論上縦接手効率の半分の効率があれば良い故鉸綴で差支ない。

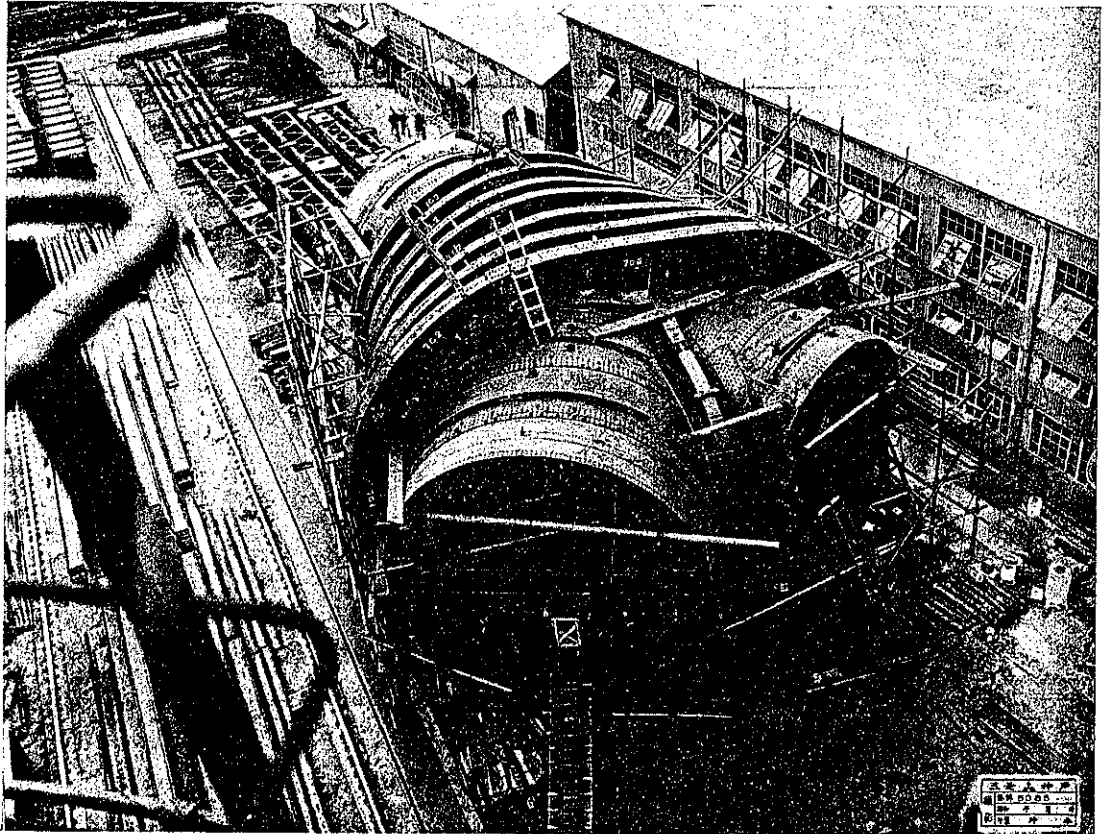
以上の事柄も小口径の鉄管では割合に其の影響が少い。當所では縦接手は X 溶接を採用し、周縁接手は内外より添接板を當て、 $\phi 25 \sim 28 \text{ mm}$ の両皿鉸で鉸めた。

曲管、分岐管は工場で假組立をして鉸孔を全部當て揉みして工作の完全を期した。

3. 支臺補剛環 主鉄管には一胴輪毎に (225 m. c.t.c) 200×9 の補剛材を取付けて剛性を保たしめ、且つ据付の便に供した尙上下アンカー ブロック間には 9 m の間隔に小支臺を設け、全溶接の補剛環を取付けロッカー脊で鉄管を支へた。斯くて鉄管の変形を極力防ぎ、又支臺上の摩擦を小さくしたのである。此の支臺補剛環は 図-3 に示す様な形である。溶接は全部下向きで施工した。

4. 分岐管 鉄管の設計工作上最も困難なる部分は分岐管である。常所の様な大口徑 (6.70~4.80m) の分岐管は外國にもあまり其の例を見ない。分岐管の構造としては種々研究の結果水圧の傳達、応力の分布等が明確にして構造上聊かも不安なき事、水流の妨げとならざる様にした。仍つて内部にステーを設けたり、簡単に鉄筋コンクリー

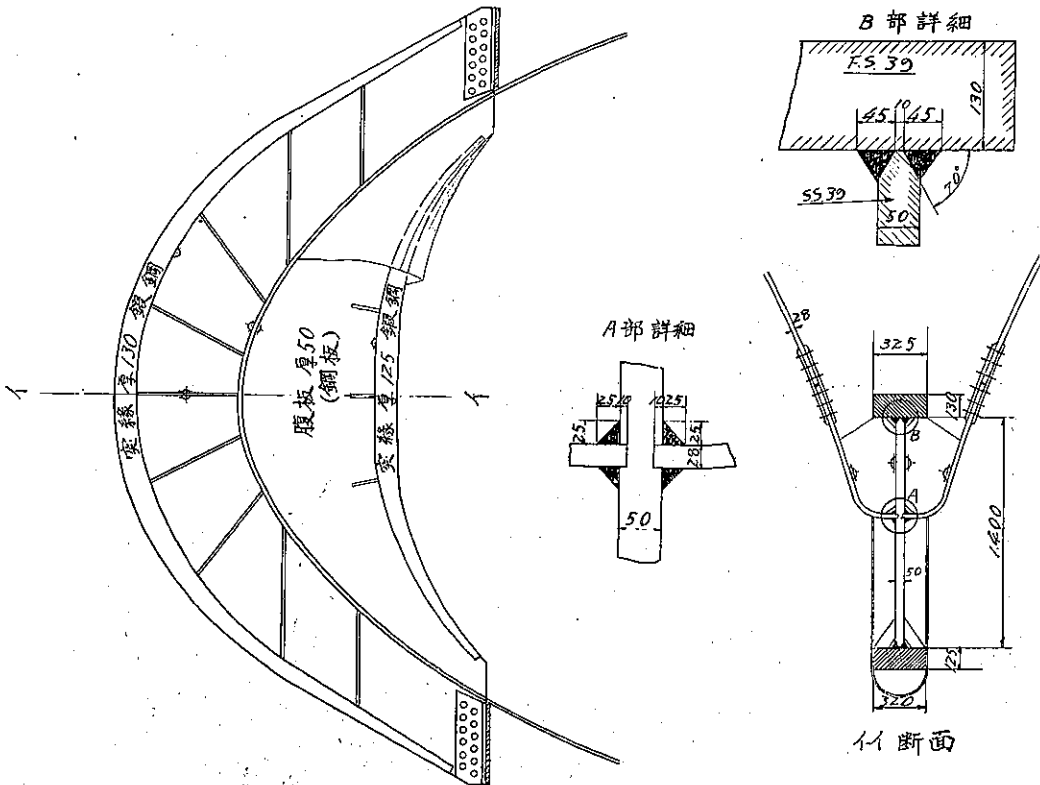
図-4. 分岐管假組立



トで包む様な構造を排し、外側より相當な鋼構造で抑へる事にした。即ち先づ 2 管の交差線に沿つて補剛材を取付け 2 管の交叉谷の変形する事を防ぎ、此の交叉谷に於て外側に働く左右兩管の Unbalanced Hoop-tension を支ふる爲分岐管の胴を取巻いて數個の環狀桁を配置した。尙 2 管の分岐する先端部はこの Unbalanced Hoop-tension の値も大きく且つ左右の胴板の爲す交叉角が小さく、交叉の谷が狭い爲構造上銲綴が不可能であるから交叉谷に沿ふ禰型に全溶接アーチ型補剛材を溶接で取付けた。図-4 は分岐管假組立の寫眞であるアーチ型補剛材は図-5 に示す如く Flange は厚 130 mm, 幅 325 mm で鍛鋼第 2 種を用ひ Web は厚 50 mm の鋼板を用ひた。又鉄管胴板は 28mm 鋼板より成る。是等のものを取付ける厚板の T-溶接は(図-5, A 及 B 部) 最も重要且つ困難なる溶接である爲實物大の試験片を作り、開先と溶込状態及強度を比較した。

尙此の分岐管アーチ部は溶接完了後工場にある電氣爐に入れて焼鈍を行つた。濕度は約 600°C に上げ大体 45 時間位焼鈍した。斯くて潜在応力を取除いて最後に銲孔を採んだ。

圖-5. 第 1 分岐管アーチ部



本分岐管に就ては大事をとり 1/5 の模型を作り水圧試験を行つた。水圧を 1 kg/cm² 宛上昇せしめ、管壁及補剛桁に取付けたダイヤルゲージにより各部のデフレクションを測定した。最初は各部に setting が起つたが、3 回目位の試験からは完全に弾性変形の性質を現はし、各部の撓度は豫め計算せるものとよく一致した。結局設計水圧の 3 倍迄試験出来たが、遂に盲蓋に故障が起り漏水甚だしく其後試験を続ける事が出来ず、破壊強度は不明であつた。本試験に關しては雑誌「動力」昭和 12 年 11 月號に會員阿部謙夫氏により報告されて居る。

本鉄管の配置は図-1に見らるゝ様に分岐管と蝶型弁が接近して居る爲分岐管の中心線が狂ふと蝶型弁と鉄管と

の取合部分に無理が起り故障の原因になるし、又分岐管の構造が相當複雑なる爲熔接では潜在応力が大きくなるので、分岐管の現場接手は熔接を排し全部鉸綴にした。而して此の鉸孔は前述の様に工場で假組立をして當て揉みして工作の完全を期した。

3. 現場工事

1. 熔接 現場には假工場を設け、假工場内部には容量 8t のオーバーヘッドクレーンを設け、真中に線路を敷き、線路の両側にローラーを設け同時に 10 本の鉄管をこのローラー上で回転しながら熔接し得る設備をした。熔接機は交流 400 A を 13 臺供へた。

熔接棒はチェルベルヒ式被覆棒を用ひた。3t 毎に試験したが大体強度 48kg/mm²、伸長率 27%、アイゾット衝撃値 6.5kgm で優秀な成績を示してゐる。熔接工は鉄道省工務局長の試験に通つた者に限定した。

現場に持込まれた鉄管は胴板 3 枚を以て 1 環に組立て、内側に丸太のバリをかつて変形を防ぎ假工場のローラー上に載せて縦接手を下向熔接した。開先は X-型で開先間隙は 2mm 程度にしたが、工作の誤差の爲 ±3mm 位違つて居た。熔接は必ず熔接工 2 名をして中央より左右へ振分けに行はしめた。内側を先に熔接してから、鉄管の上に登つて外側を熔接した。斯くて胴輪が完成すれば假工場外に持出して鉄管を地上に置いて補剛環其の他を熔接した。是は全部隅肉熔接である。之等の熔接で特に留意した點を述ぶ。

(i) 熔込み：管壁は厚 18~28 mm といふ相當厚いもので、且つ構造物が大きい爲熔込みには充分留意せねばならない。此の熔込みを改良する手段としては、使用する熔接棒の径を大きくする。次に電流を充分流して熱を充分補給してやる。運棒には充分ウィービングを利かして特に開光兩側の熔込みを良くする。このウィービングは熔込みを良くする意味の外に、熔着鉄其のものを改良する、即ち layer to layer の焼鈍作用を利かすのである。又熱を充分補給する事によつて熔着鉄の急冷と龜裂の入るのを防ぎ得るのである。然し斯くの如く太い棒を用ふると次の缺點が生ずる。

(イ) 開先の底部迄棒が入らぬ爲底部の熔込みが悪くなる。

(ロ) 電流が強い爲熱量が多く従つて歪が多い。

是が対策として次の方法をとつた。即ち(イ)に對しては初め内側から盛つて、次に裏側から盛る前に開先の底部を削つて表側から盛つた熔着鉄の金屬面を出してから裏側の熔接をした。次に(ロ)に對しては層數を出来る丈少くして歪の出るのを防いだ。而して必ず對稱的に熔接せしめた。縦接手 X-熔接は大体下地の標準に據つた。

| X-熔接標準 | | | |
|---------|----|------------------|---------|
| 板厚 (mm) | 層數 | 棒径 (m/m) | 電流量 (A) |
| 18 | 4 | 5 (第 1 層のみ 4m/m) | 200 |
| 20 | 4 | 5 | 220 |
| 22 | 5 | 5~6 | 220 |
| 25 | 5 | 6 | 250 |
| 28 | 6 | 6 | 250 |

(ii) 歪：前述の様に棒径が太い爲相當歪が出た。層數を少くする事も歪も軽減する一方法である。X-熔接は後から熔接した方が餘計に收縮する。従つて熔接する前に鉄管の内側からパッキングをかつて熔接部を約 526mm 外側に突き出して置いて熔接した。所謂逆歪法を採用したが結果は良好であつた。補剛環、補剛材の取付熔接は 4 人の熔接工をして對稱的に熔接せしめ、肌付の悪い所はフィナーを挿入した。

(iii) アンダーカット及壺：管壁継接手の衝頭溶接にはあまりアンダーカットは現はれなかつた。然しビードの終点には壺が甚だしく出来た。仍つて溶接線の外側に小さな鉄片を取付けて、ビードを此の鉄片上で切つて壺が管壁接手の中に入らぬ様にした。補剛材の取付隅肉連続溶接でも斯かる壺が出来たので隅肉の層数を減じて連続溶接にしたアンダーカットの生じた所は其の上を盛金して補強した。溶込みを良く仕様と思ふとどうしても斯かる壺やアンダーカットが出来るので困つた。図-6は假工場内溶接作業の状況である。

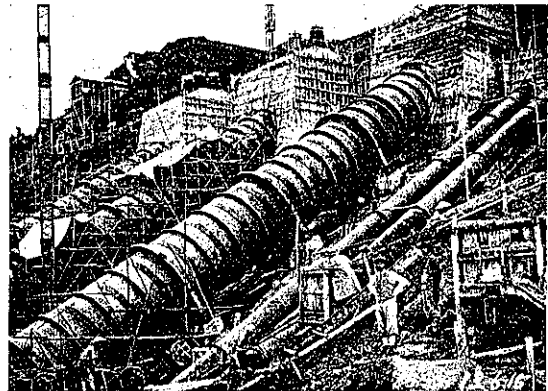
図-6. 假工場内溶接作業



現場で行つた溶接は全延長約 6.1 km, X-溶接 1.3 km, 隅肉溶接約 4.8 km である。

2. 据付 据付設備は容量 17t, 腕長 30 m のガイデリックを鉄管路の上下 2ヶ所に立てた。先づ上下のベンドパイプを据付けコンクリートを巻いて固めて了ふ。斯くて曲管が定つてから順次下側から鉄管を接いで上る。上下アンカーブロックの間は 9m 間隔に小支臺を作りロッカー沓を以て鉄管を支へてゐる。据付の際は此の小支臺中に金物の臺棒を入れて置いてロッカー沓を鉄管に釣り下げて、鉄管の据付が終りロッカーの位置が確定してから再びコンクリートを折つてロッカー沓をアンカーした。尙上部アンカーブロックのすぐ下には伸縮管があるが、此の伸縮管の長さは現場はせになつてゐて、鉄管を相當据付けてから現場の長さを測定して鉄管と所定の寸法に切断し銑孔を揉む。又上下の主要弁の上流にも斯かる現場調節の管を設けて、据付の誤差を調整した。図-7は鉄管据付状況である。

図-7. 鉄管据付状況

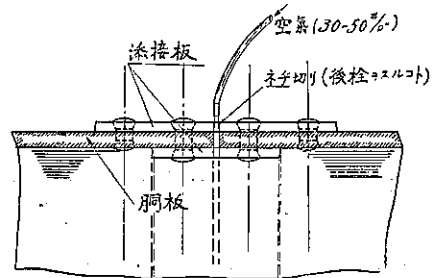


3. 銑銑及氣密試験 据付が終つた管はボルトを締めて周邊接手を銑銑する。銑は夫々銑厚に応じ径 22, 25, 28, 32mm の 4種とし、日本標準規格による兩皿銑とした。兩皿にした理由は、水密性を確保する爲と出来る寸水流に對する抵抗を少くする爲である。丸頭銑に比し最大流速時約 2 cm の損失落差の差がある。現場銑の數量は次の如し。

| 径 (mm) | 本數 |
|---------------------------|--------|
| 22 | 19 800 |
| 25 | 64 130 |
| 28 | 64 600 |
| 32 | 22 150 |
| 計 170 680 本 90 本/t. | |

銑銑工は 5 人を以て 1 組となし、ハンマーを天秤にかけて相打ちせしめた。ハンマーの空氣圧力は常時 100 lb/in² にした。今日迄約 100 000 本の銑を打つて居るが、最初は 200 本に付 1 本位の割で切換銑が出たが、近頃では職人も馴れたので 1 000

図-8. 空氣試験の圖



本に付1本位の割になつてゐる。作業能率は1日1組で約300本の鉄を打つてゐる。

鉸鉄がすむとコーキングをする。コーキングは鉄管のコンクリートで巻かれる部分は内外添接鉄の肌付及鉄頭迄行ふが、露出する部分は添接板肌付のみ行ふ。是はコンクリートで包むと後で漏水箇所が発見出来ないからである。

コーキングをやつてから 図-8 に示す様に外側の添接板の中央に径約10mm位の孔をあけて、其處からホースで空気を添接板と胴板の間隙に吹き込み、鉄管の内外両面に石鹼水を塗布して空気の漏洩を検査した。氣圧は凡そ30~50 lb/in² で設計水圧の約1/3見當である。此の方法によれば簡單且つ明瞭に漏洩部分が発見出来る。鉄管が大きい爲水圧試験が困難なる故此の方法を以て水圧試験に代へた。

本工事は目下着々進捗中で今秋竣工し、來年夏迄に水車其他機械類の据付を完了して通水する豫定である。