

衝撃型減勢工の現場実証試験結果について

Result of Field Test of Baffle Wall for Energy Diminution

東北電力(株)総合研究所 正員○庄子 隆
同 上 小沢 寛明
同 上 清水 信義

1. まえがき

秋田県南部を流れる子吉川上流部に位置する鳥海川第3発電所(最大出力20,300KW,最大使用水量14.0 m^3/S)は,昭和53年7月に着工し,昭和55年10月に運転を開始した水路式発電所である。出力変動時や発電機のトリップの時に水槽から溢流する余水は,余水路を経て直接子吉川に放流される型式となっており,余水路末端流速は約20 m/S の高流速になる。また,図-1に示すように,当地点は緩傾斜の地形であり,基礎岩盤;余水路ルート等の関係から衝撃型減勢工を採用した。

この型式の減勢工は,従来から米国内務省開拓局資料に基づいて設計されているが,当発電所の場合,最大使用水量が $Q=14.0\text{m}^3/\text{S}$ と前記資料の適用範囲 $Q=10\text{m}^3/\text{S}$ 程度までを越えることにより,水理設計上の問題となった。このため模型実験により,安全かつ効果的な減勢機能を有する減勢工形状を決定し,現地に施工している。

本研究は,模型実験により決定した減勢工が,所定の減勢機能を有するかどうかを現地実測試験により検証しまとめたものである。

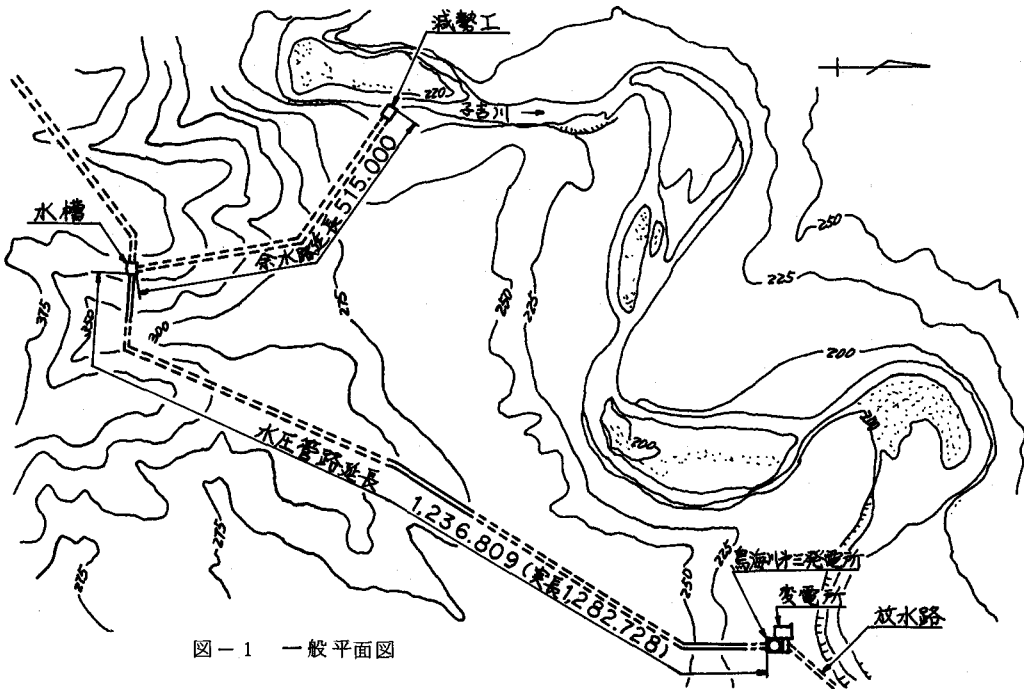


図-1 一般平面図

2. 模型実験

2-1. 実験装置

模型実験は,フルードの相似則に従い,縮尺を16分の1とし,図-2に示すように,所定の速度水頭を取り得る上部水槽と余水路に相当するアクリル管($\phi 100$),減勢工本体,放水路ならびに流量測定堰か

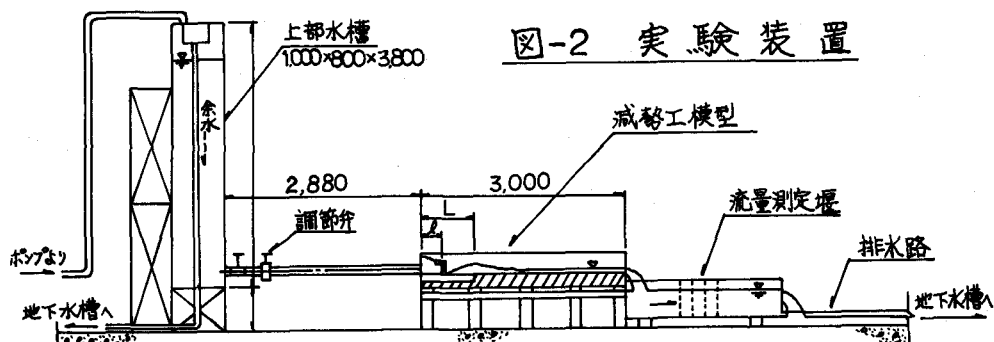


図-2 実験装置

らなる実験装置を用いて行なった。減勢工本体および放水路は、流況観察ができるように、片面が透明アクリル樹脂製となっている。なお、模型は、減勢池容量ならびにバッフルウォールの位置が変化できる構造になっている。減勢池幅 W は、標準設計資料の W と流量 Q との関係図表を延長し、さらに若干の余裕をみて、原型で $W = 7.0\text{m}$ とした。また、減勢池の長さ L は、関係式 $L = 4/3W$ から $W = 9.33\text{m}$ を採用し、この W および L の大きさは変化しないものとした。

2-2. 実験方法

実験最大流量は、基本的には原型の最大使用水量 $Q = 14.0\text{ m}^3/\text{S}$ に相当する流量としたが、余水路の連行空気を考慮し、20%の余裕をみて $Q = 16.8\text{ m}^3/\text{S}$ 相当の流量まで検討した。

実験は、バッフルウォールの位置・形状、減勢池容量および放水路形状を決定するために、表-1に示す実験条件

Type	$Q(\text{m}^3/\text{s})$	$l(\text{m})$	$H(\text{m})$	$L(\text{m})$	$W(\text{m})$	バッフルウォール形状	放水路形状	備考
1		3.76						(1)減勢工の記号説明図
2	14.0	3.00	1.17			標準型		W :減勢池幅
3		5.00	1.50					L :バッフルウォールの形状(a-a)
4	14.0							
5	16.8			9.33	7.00			
6				4/3W				
7		3.30	1.50			改良型		
8	14.0						各Type毎に形状を変えているが、ここでは省略する。	
9								
10								

表-1 実験条件

に従って行なった。計測については、動水圧はマノメーターおよび動圧計（圧力変換器PGM-C型を電磁オシロに接続）、流速はピトー管および小型プロペラ式流速計を用いて行なっている。

2-3. 実験による検討

(1) バッフルウォールの位置

バッフルウォールの位置を上下流方向に移動し、位置の違いによる減勢効果を検討したのがType 1～3であるが、いずれもその効果は大差がなかったが、流況から判断して原型で $l = 3.3\text{m}$ と決定した。この位置は、標準設計資料の関係図表を延長して得られる減勢池幅 W からの推定値とはほぼ一致している。

(2) 減勢池容量

Type 1～3の実験における H （表-1参照）では、バッフルウォール上部での水の飛散等の現象が見られ、減勢池容量が若干不足していると判断されたので、減勢池の深さを増やし原型で $H = 1.5\text{m}$ とした結果、上記現象がなくなり安定した流況を示し妥当であるとの結論を得た。

(3) バッフルウォールの形状

Type 4までは標準設計資料に基づいた形状で実験を行なっているが、 $Q = 2.2\text{ m}^3/\text{S}$ に相当する流量（ほぼ常時使用水量 $Q = 2.23\text{ m}^3/\text{S}$ に等しい）では、余水ジェットはバッフルウォールに衝突することなく通り抜け、減勢池立ち上がり部に衝突することが確認された。このような現象を防ぐため、バッフルウォール中央部下端をのぼし、また、施工性の面から考えてバッフルウォールの切り欠き部をなくした実験

を行なった結果、十分に減勢効果が発揮されたので表-1の改良型形状を採用した。

(4) バッフルウォールに加わる動水圧

(1)～(3)の検討から得られた条件により Type 5の実験を行ないバッフルウォールに加わる動水圧を測定した結果は、表-2および図-3に示すとおりである。(測定点はバッフルウォール中心下部である。)運動量保存則を考慮して近似的に計算した動水圧の値は、最大使用水量 $Q = 14.0 \text{ m}^3/\text{s}$ に対して、水平方向で 40.9 m の圧力水頭であり、実験結果の $Q = 14.0 \text{ m}^3/\text{s}$ に対する最大動水圧 38.84 m にはほぼ一致する。

このように、バッフルウォールには、変動を伴う大きな荷重が衝撃的に作用するので、中央部背面にバットレスを設けることにした。また、余水ジェットが影響するところは、損傷を防ぐため、鋼板等で保護することとした。

(5) 放水路について

当発電所の余水は減勢工を経て直接子吉川へ放流される構造となっているため、河川水位上昇に伴う影響が懸念されたので実験により確かめた結果、河川水位が高いほど余水路末端での管内跳水現象が著しくなることが判明し、また、土砂流入も予想されることから、余水路末端および減勢池越流頂を計画洪水位に合わせることにした。一方、この状態で放水路敷を河床と同レベルにした場合、越流頂と放水路敷との落差が大きくなり、河川への流出速度が大きくなり洗掘等の現象が予想された。そこで、流出速度を通常出水時に起こりうる $3 \text{ m}/\text{s}$ 程度の流速におさえるべく、放水路敷の減勢形状について検討した。その結果、減勢工の最終形状として、図-4に示す形状が決定された。この場合の流出速度は平均で $2.77 \text{ m}/\text{s}$ であった。

3. 現場実証試験

現場実証試験は、模型実験によりその形状を決定した減勢工がその機能を十分に発揮しうるかどうかを確かめるため、昭和

測定点	$Q (\text{m}^3/\text{s})$	動圧力測定値 (m)	
		最大	平均
7	14.0	33.84	26.48
	16.8	44.11	29.16
8	14.0	32.30	20.52
	16.8	40.34	29.98

表-2 バッフルウォールに加わる動圧力 (Type 5)

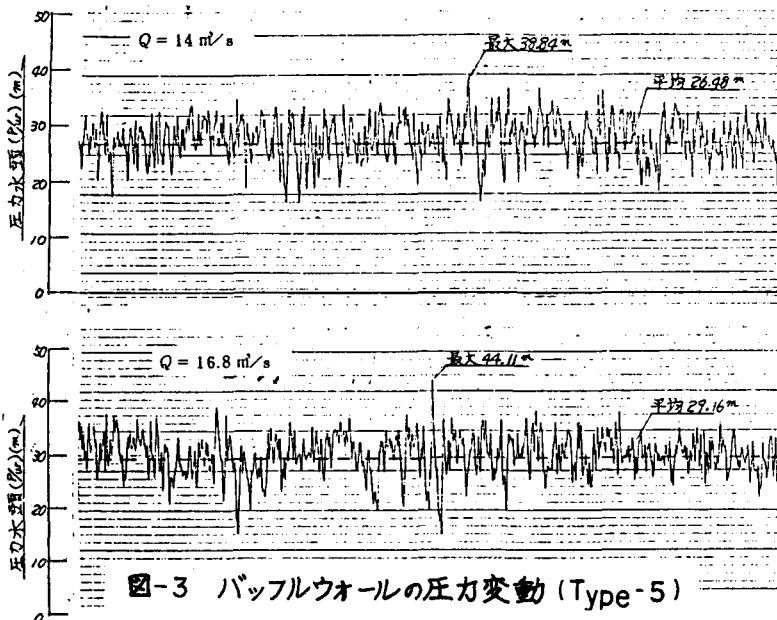


図-3 バッフルウォールの圧力変動 (Type-5)

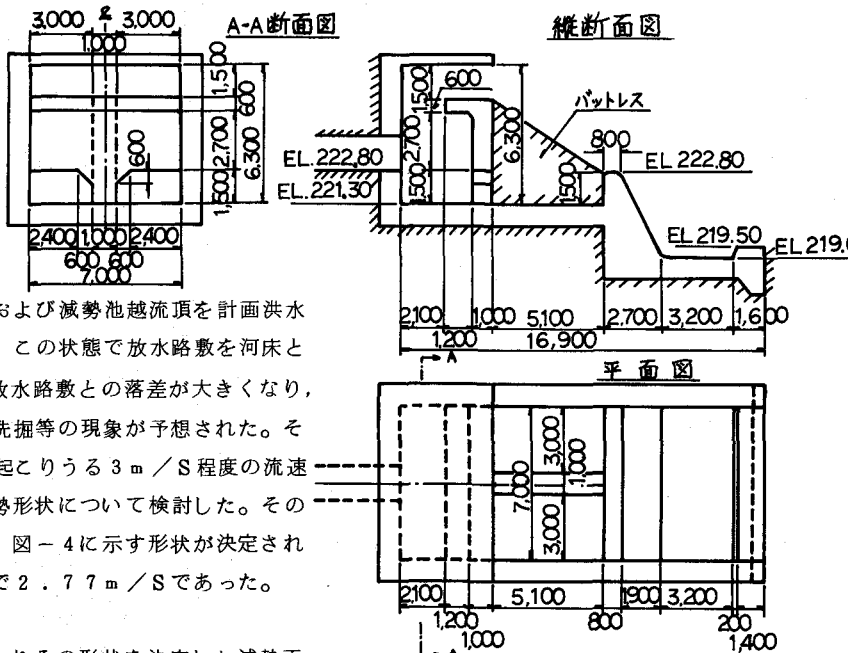


図-4 鳥海川第三(発)減勢工設計案

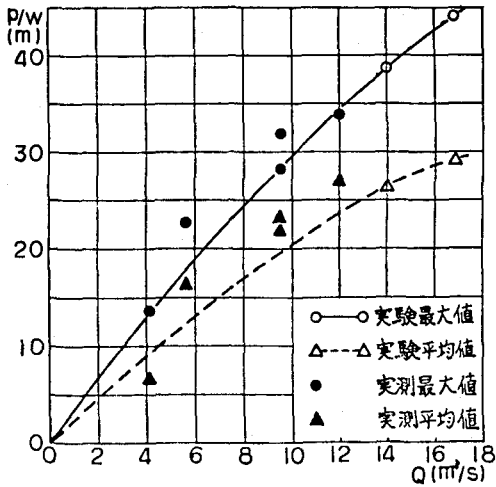


図-5 バッフルウォールに加わる動水圧

55年9月、発電機の負荷しゃ断試験に合わせて行なわれた。各負荷条件(1/4, 2/4, 3/4, 4/4, 但し4/4の条件に対しては河川自流量の関係から全量を流すことができなかった。)それぞれに対して、バッフルウォールに作用する動水圧、バッフルウォールの振動、余水減勢による騒音、余水による連行空気量等を測定した。以下、各項目の測定結果について述べる。

3-1. バッフルウォールに加わる動水圧

動水圧は、減勢工施工時にバッフルウォールの余水直撃部2ヶ所に埋設した圧力センサー(10 kg/cm)を動歪増幅器に接続し、電磁オシログラフに記録させた。測定データを整理した結果を図-5に示す。これによると、動圧力の最大値は、ほとんど実験結果から想定される値に一致し、平均値は実験結果より若干大きな値をとっているが、十分に模型実験を反映しており、当減勢工は初期の目的にかなった機能を有すると判断される。

3-2. バッフルウォールおよび減勢工全体の振動について^{2), 3)}

バッフルウォールの振動は、バッフルウォール中央上端に振動ピックアップを固定し、公害振動計に接続しメーターの読み取り後、電磁オシログラフおよびデータレコーダーに記録した。減勢工全体の振動は、減勢工上側スラブに振動ピックアップを固定し、バッフルウォールと同

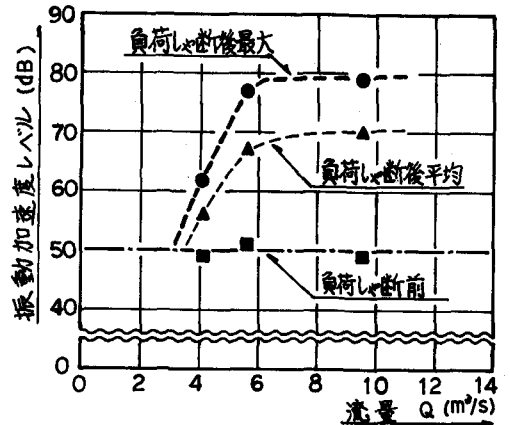


図-6 振動測定結果(バッフルウォール)

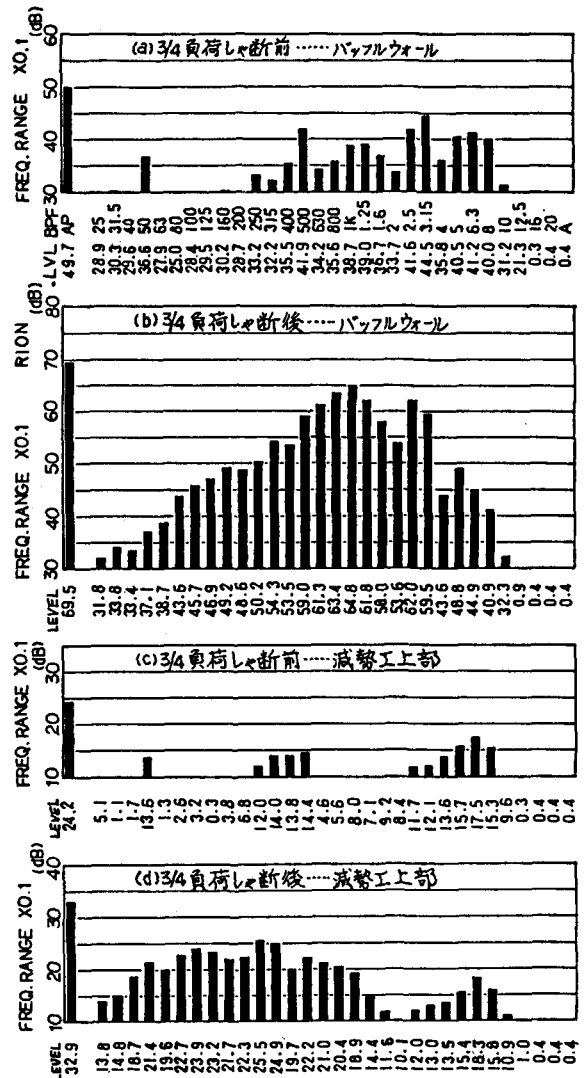


図-7 振動・加速度レベル・周波数分析結果

様の測定（但し、3/4 負荷のみ）を行なっている。なお、測定結果はすべて振動加速度レベルで得られている。図-6 にはバッフルウォールの振動測定結果、図-7 には 3/4 負荷に対するバッフルウォールと減勢工上部部の振動の周波数分析結果を示す。

3-2-1. バッフルウォールの振動

図-6 からわかるように、負荷しゃ断前の振動加速度レベルは 50 dB 程度で、振動加速度に換算すると 0.5 Gal 程度となり、地面の常時微動（0.1 Gal 程度）より若干大きいだけであり風の影響を受ける程度で変位はほぼゼロである。負荷しゃ断後は、余水が直接バッフルウォールに衝突するため、流量の増加と共に測定値も増加するが、最終的には振動加速度レベルの最大値で 80 dB 程度、平均値で 70 dB 程度に漸近していくものと予想され、これらは 14 Gal、4 Gal にそれぞれ相当し、地震でいえば軽震に相当する。一方、図-7 の周波数分析結果から、バッフルウォールの振動は 1 KHz 前後の周波数成分が卓越していることがわかるが、バッフルウォールの固有振動数を $f_0 = \left\{ 4.73^2 / (2\pi\ell^2) \right\} \cdot \sqrt{(EIg) / (Ar)}$ （ f_0 ；固有振動数、 ℓ ；バッフルウォールのスパン、 E ；ヤング率、 I ；断面 2 次モーメント、 g ；重力加速度、 A ；断面積、 r ；単位重量）により計算すると $f_0 \approx 1 \text{ kHz}$ となり卓越周波数に一致する。また、バッフルウォールの中央部にパットレスを設けた場合とそうでない場合の変位量を比較すると、卓越周波数が固有振動数に一致すると仮定して求めると前者は後者の 30 分の 1（振動加速度レベルで 80 dB の場合、変位量は前者で $3.54 \times 10^{-2} \mu$ 、後者で 1.05μ ）となり、パットレスの有効性が確認された。

3-2-2. 減勢工全体の振動

バッフルウォール自体の振動に比して減勢工全体の振動は、振動加速度レベルが 33 dB と小さく地面の常時微動程度の振動であり全く動かないと考えてよく、周波数も低周波域が卓越しており、バッフルウォールの振動の影響を受けていないと判断される。すなわち、バッフルウォールが効果的に機能していることがわかる。

3-3. 余水減勢による騒音³⁾

騒音は、減勢工上部スラブに普通騒音計マイクをセットし、騒音計に接続しメーターの読み取り後、振動と同様の方法で記録している。その結果は図-8 に示す通りであり、振動と同様に流量が大きくなるにつれて騒音レベルも変化し最大で 80 dB 程度になると予想される。この騒音レベルが暗騒音レベル 65 dB まで減衰する距離は、 $SPL = PWL - 2 \log r - 11$ （ SPL ；騒音レベルの距離減衰量、 PWL ；音源の騒音レベル、 r ；減衰距離）より $r = 500 \text{ m}$ となり、音源より 500 m 離れれば減勢工からの音は周囲の音に含まれることになる。当地点の場合、減勢工から半径 500 m 以内には、民家等もなく、騒音による影響はないものと判断された。

3-4. 連行空気量および流況

連行空気量は、余水路途中に突き出ているエアパイプや開口部において、熱線式風速計により風速を測定して求めているが、測定値の変動が大きく測定精度にも問題があり、ここではその傾向を記述するのにとどめる。エアパイプは、余水路に 4 本設けており、うち上流側 3 本が空気を吸い込み、最下流のパイプと減勢工の開口部では吐き出し、流量の増加とともにその量も増えており理想的な配置になっていると判断された。

写真-1 には減勢工越流堤部の流況、写真-2 には放水口から河川へ流出する状況を、3/4 負荷（ $Q = 9.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ）の条件時で示す。バッフルウォールに衝突した水は池内で十分に減勢され、大きな水面変動もなく水じょく部に落下し、さらに減勢されて河川に流出しているのがわかる。河川にはいった水は、河川

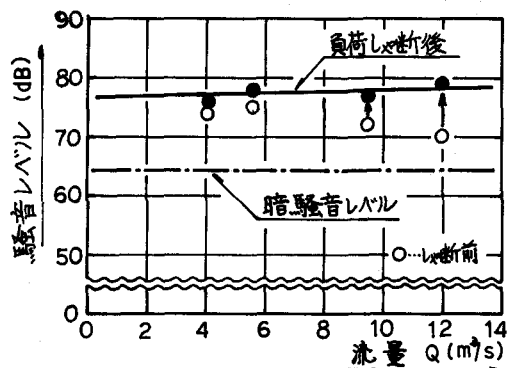


図-8 騒音測定結果

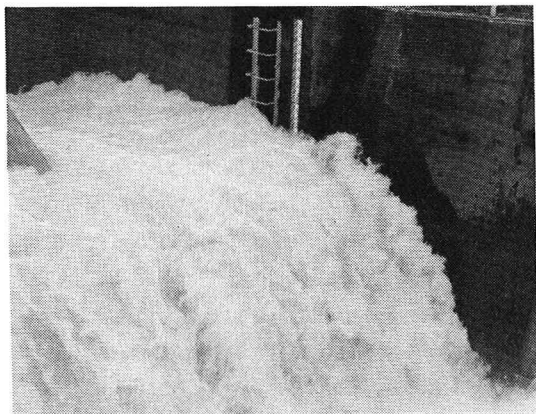


写真-1 減勢工越流部の流況

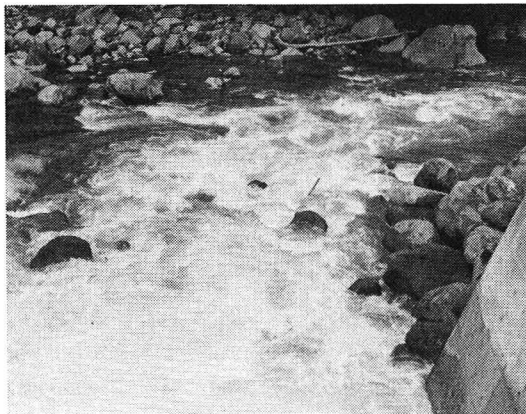


写真-2 河川への流出状況

自流とスムーズに混合し、河床を変化させることなく流れ、きわめて良好な流況である。この流況は、流量が増加しても何ら変化は見られなかった。

4. あとがき

従来言われている衝撃型減勢工の適用範囲を越えた流量条件のもとで、この型式を採用しうる結果が得られたことは、非常に有意義なものと思われる。バップルウォール背面にバットレスを設け振動を大幅に小さくすることができ、また、放水路を若干深くすることにより二次減勢効果が十分に発揮され、河川への流出も支障なくできた。今後、この型式の減勢工が大いに利用されることを望み、本論文がその一助となれば幸いである。

おわりに、本研究にあたり懇切な御指導をたまわった、電力中央研究所土木技術研究所の丸岡水路水理研究室長並びに実測に協力していただいた三栄東北(株)の諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会編；水理公式集 昭和46年度改訂版 p.p. 310
- 2) 北村恒二；「騒音と振動のシステム計測」 コロナ社
- 3) 守田 栄, 松浦 尚；「騒音・振動入門」 オーム社