

# 粗石付き斜路式魚道における酸素溶入能 Oxygen reaeration at boulder-paved fishways

藤原正幸・岡本友和・福島忠雄

Masayuki Fujihara, Tomokazu Okamoto and Tadao Fukushima

## 1. はじめに

堰や床固めなどの河川横断構造物は、本来の機能の他に、それが生み出す曝気効果により間接的に河川の浄化作用に寄与していると考えられる。構造物が単純落差工である場合は、局所的な水理量と曝気効果の関係が中曽根(1979)によって明らかにされている。本報では粗石付き斜路式魚道を対象として、単純落差工および粗石のない斜路との比較を通して、酸素溶入能の検討を行なう。

## 2. 酸素溶入能の評価式

単純落差工における酸素溶入能の評価式として、以下の中曽根(1979)の式を用いる。

$$K_{La}V = C(D + 1.5H_c)^\alpha q^\beta H^\gamma \quad (1)$$

ここで、 $K_{La}$ ：再曝気係数、 $V$ ：単位幅あたりの曝気区間の体積、 $D$ ：堰上流部から水面までの落差、 $H_c$ ：限界水深、 $q$ ：単位幅流量、 $\alpha, \beta, \gamma, C$ ：流量とエネルギーに依存する定数である。

また、粗石のない斜路を等流で流れる場合の酸素溶入能の評価式として、以下の長(1997)の式を用いる。

$$K_{La} = 0.053H^{-1.36}V^{0.69} \quad (2)$$

ここで、 $H$ ：等流水深、 $V$ ：等流流速である。式(2)で求めた $K_{La}$ を式(3)に代入して酸素溶入量を計算する。

$$D = D_a \cdot 10^{(-K_{La}T)} \quad (3)$$

ここで、 $D$ ：酸素不足量、 $D_a$ ：酸素不足量の初期値、 $T$ ：空気と水との接触時間である。

一方、溶存酸素の収支式から以下の式が導かれ、実測値に基づいた値が計算される。

$$K_{La}V = \ln\{(C_S - C_U)/(C_S - C_D)\} \cdot q \quad (4)$$

ここで、 $C_U, C_D$ ：上流側と下流側の溶存酸素濃度、 $C_S$ ：飽和溶存酸素濃度である。

さらに、酸素輸送効率( $E$ )は式(5)で定義される。

$$E = \frac{C_D - C_U}{C_S - C_U} \quad (5)$$

## 3. 観測地点と測定項目

観測は愛媛県周桑郡小松町の小松川に設置された2カ所の粗石付き斜路式魚道で行なった。それぞれ、St.1, St.2と名付ける。魚道の概要図をFig.1とFig.2に、粗石分布の特徴をTable 1に示す。Fig.1とFig.2には単純落差工と想定した場合の形状を破線で表示している。測定項目は、溶存酸素濃度、水温、気圧、水深、流速である。

## 4. 結果と考察

Fig.3に2カ所の構造物を単純落差工と想定して式(1)で求めた値を横軸に、実測値を基に式(4)から求

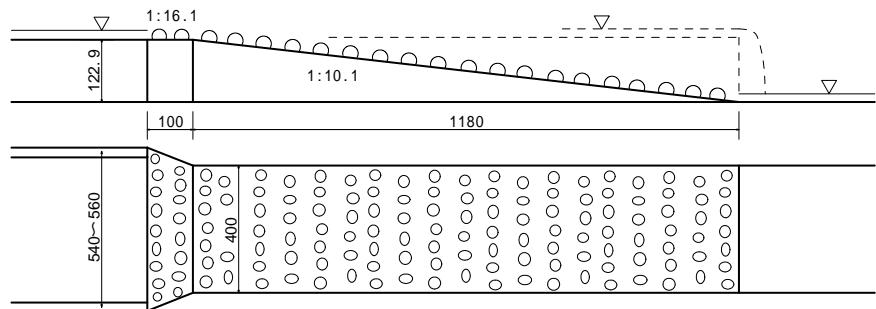


Fig.1 Diagram of fishway (St.1): Vertical (above) and plane view (below)

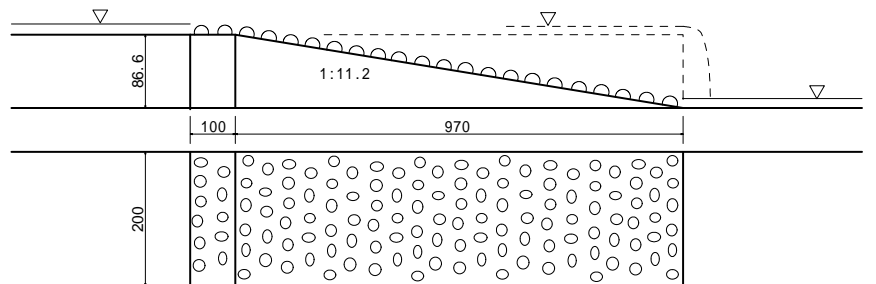


Fig.2 Diagram of fishway (St.2): Vertical (above) and plane view (below)

めた値を横軸にプロットした結果を示す。また同時に、粗石がない斜路として等流で流れた場合の値を式(2)~式(4)を用いて計算し、横軸にプロットした。図中に示した傾き 1 の直線の左側にほとんどの観測点が分布していることから、対象とした粗石付き斜路式魚道は単純落差工以上の曝気効果があることが明らかとなった。また、粗石がない(等流で流下する)場合の曝気効果は小さいことが明らかとなった。これは、粗石の存在による跳水、水の飛散、比表面積の増大などにより曝気効果が高くなったためと考えられる。

Fig.4 に酸素輸送効率を示した。St.1 での平均値は 0.33, St.2 での平均値は 0.27 となり、St.1 の方が若干大きい値となった。

粗石 1 個あたりの DO 増加量を Table 2 に示した。これによると、粗石の密度は St.2 の方が高いが、粗石 1 個あたりの DO 増加量は St.1 の方が高くなっている。Fig.3 と Fig.4 での結果を合わせて考えると、粗石の数が多いほど曝気効果が高くなるとは言えず、最適な粗石の密度が存在することが推察される。

粗石による曝気効果に大きく寄与している現象は粗石前面での跳水にあると考え、粗石の間隔と限界流が発生するまでの距離を比較した。St.1 では限界流が発生するまでの距離は 0.189m, St.2 では 0.666m となり、粗石間隔は Table 1 に示したように St.1 で 0.382m, St.2 で 0.290m であるので、St.1 では粗石間で限界流が発生し跳水を伴うことが予想され、St.2 では跳水が発生しないと考えられる。このことが、St.1 が St.2 に比べて曝気効果が高くなった原因の一つであると推測される。限界水深が発生するまでの距離は、流量に依存するため、St.1 においても流量が増えた場合には、跳水による曝気効果の寄与は減少する。ただ、流量が増えると流速が大きくなるので、構造物全体としては曝気効率は大きくなると考えられる。

#### 5. おわりに

研究対象とした粗石付き斜路式魚道は、単純落差工および粗石のない斜路と比較して、曝気効果が高いことがわかった。粗石の密度、つまり粗石の間隔は、本来、流量との関係で適切かどうかを検討されるべきものであるため、その河川の平均流量を基に河川ごとに決められることになる。そして、より高い曝気効果を得るためには、平均流量から限界流が発生するまでの距離を求め、それに適当な長さを加えた距離ごとに粗石を設置すればよいと考えられる。

小松川の粗石付き斜路式魚道は魚や水生昆虫が上れるように配慮すべきであるので、遡上できる流速の確保が前提条件であり、構造物本来の機能が保たれるように考慮しなければならない。曝気効果はあくまで付随した機能ということになる。

参考文献：長勝史(1997)：落差工における再曝気能力に関する研究，鹿大農学術報告，47，pp.37-41。

中曽根英雄(1979)：模型水路による実験結果と現場のセキや落差工との比較について，農土論集，83，pp.9-15。

Table 1: Characteristics of boulder distribution.

	St.1	St.2
粗石の数(個)	357	255
粗石の平面積 ( $m^2$ )	0.031	0.030
粗石の占める割合	0.213	0.352
粗石間の平均間隔 (m)	0.382	0.290

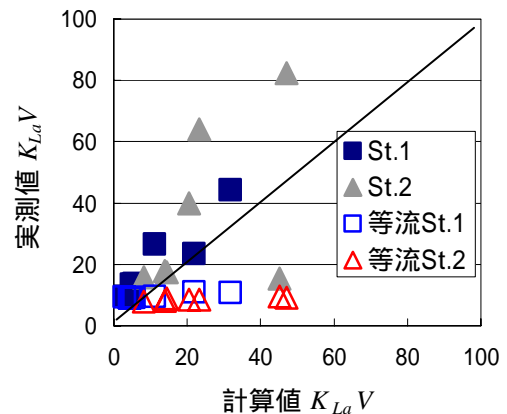


Fig.3: Comparison between calculated and observed values.

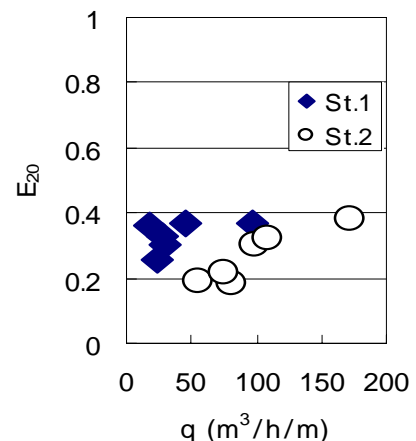


Fig.4: Oxygen transfer efficiency for 10 m.

Table 2: DO concentration change.

	St.1	St.2
1m あたりの DO 濃度の増加量(ppm)	0.0268	0.0243
1m あたりの粗石の数	2.98	3.65
粗石 1 個あたりの DO 濃度の増加量(ppm)	0.00899	0.00666