

# 改良現有河川橫向構造物設置 凹槽魚道之檢討與實踐

## CONSIDERATION AND PRACTICE ON INSTALLATION OF SLIT-TYPE FISHWAY MADE FROM EXISTING STRUCTURE

林田 壽文<sup>1</sup>、棟方 有宗<sup>2</sup>、大宮 裕樹<sup>3</sup>、中村 圭吾<sup>4</sup>

Kazufumi HAYASHIDA, Arimune MUNAKATA, Hiroki OHMIYA, and Keigo NAKAMURA

<sup>1</sup>正會員 博士(環境科學)(國研)土木研究所 自然共生研究中心  
(〒501-6021 岐阜縣各務原市川島笠田町官有地無地址)

<sup>2</sup>博士(農學) 宮城教育大學 生物學教室 副教授 (〒980-0845 宮城縣仙台市青葉區荒卷字青葉149)

<sup>3</sup>修士(農學) 仙台市 建設局 百年森林推動科 河川課 (〒980-8671 宮城縣仙台市青葉區國分町3-7-1)

<sup>4</sup>正會員 博士(工學)(國研)土木研究所 河川生態小組(兼 自然共生研究中心)  
(〒305-8516 茨城縣筑波市南原1-6)

The objectives of this study was to improve construction cost, upstream migration efficiency, maintenance work when constructing and operating the fishway, because fishways were still needed for the fish to migrate upstream in various rivers (mainly, small and medium-sized). Although the construction of fishway has been ongoing for approximately 6 decades in Japan, there is room for further improvement in design of fishway. Therefore, we proposed to dig existing concrete structures like in-river barriers (e.g., headworks, weirs, or dams) to improve the above subjects. We considered for the shape of the slit and the safety of the structure, and constructed slit-type fishway in the Tatsunokuchi-valley in Sendai city. As a result, because to the slit-type fishway that was set up, the water head required for upstream migration of fish was secured at a low cost.

**Key Words :** fishway, in-river barriers, structural improvement, cost reduction, connectivity, slit-type

### 1. 前言

確保河溪內無障礙移動所需水域連結性，乃多數水生生物完成其生活史所不可或缺<sup>1)</sup>。但河川橫向構造物(以下，橫向構造物)破壞水域連結性，造成生物棲地阻隔、種群數目減少、原有生活史的改變、空間性的生物構造改變<sup>2)</sup>等對生態系的不良影響<sup>3)</sup>。這些狀況除了導致種群減絕<sup>4-6)</sup>，也可能集團層次地改變生物基因構造<sup>7)</sup>。上下水域阻斷期間越長，上游棲地品質越下降<sup>4)</sup>。水域連結性受阻影響最大的魚類乃是香魚(Plecoglossus altivelis)與鮭魚科(Salmonidae)等為產卵與成長而往來於河溪與海洋之間的洄游魚類。這類物種特別需保護其種群數目，一直以來的對策便是設置魚道，使其可通過造成上下游游動障礙之橫向構造物。

這些年來在大河川推動使魚類容易上溯之河川營



圖-1 龍口溪谷堰 位置圖  
(國土地理院地圖補充)

造工程下，魚道設置工作已取得一定的效果。但中小型河溪與農業水路的橫向構造物仍多無魚道，魚類很難上溯的河川與水路尋常可見。此外，有些橫

向構造物功能角色不明甚至有的已經無法發揮其作用。近年來學界越來越多認為，為了保護生物多樣性，除了應提高河川縱向連結性之外，主流與支流、水田與洪氾河灘地等的橫向連結也應提升，而且有必要設置魚道<sup>8)</sup>。然因經費等因素，改善橫向構造物相關對策並未施行，橫向構造物障礙幾乎都保持現狀。

如上述，魚類通過橫向構造物上溯的方法有設置魚道或拆除橫向構造物等，但都有水面落差越大對策實施之成本越高的問題。近年來小型河溪自然復育多堰堤施作簡易魚道，有些案例甚至須有防止被洪水沖走之對策。若要更有效率、低成本且免維護成本地讓水生生物上溯，除了充分確保橫向構造物本體安全，應也可針對橫向構造物本體進行簡易挖掘，但在中小型河溪目前尚未有成功案例。

因此本研究旨在開發凹槽魚道，研擬在現有堰堤施作凹槽的方法外，並於仙台市直接匯入廣瀨川主要支流之一的龍口溪谷堰堤（圖-1、圖-2）施作凹槽魚道，據以提出本報告。

## 2. 凹槽魚道施作相關問題

### (1) 龍口溪谷堰堤

龍口溪谷（流路長度：4.52km、流域面積：2.5km<sup>2</sup>、河道坡度：1/35、平均水面寬：2.0m）堰堤為寬10.0公尺、長6.0公尺、高2.5公尺之二階構造（圖-2、圖-3）。兩岸設有預鑄混凝土塊堆置之擋土牆護岸（圖-2）。該堰堤係仙台市建設局1991年度施作。為方便討論，權宜地將上游側第一階稱為固床工，下游側第二階稱為護坦。該固床工高1.5公尺、長1.0公尺，為頂寬0.5公尺之梯形。護坦長5.0公尺，下游側高1.5公尺。護坦之混凝土塊厚0.5公尺。工程實施前地面高程約與上游側固床工頂端相同，下游側護坦則裸露約1.4公尺（圖-3）。下游側地面高程明顯受到堰堤下游約40公尺處匯流之廣瀨川水位影響，地面高程常有升降。漲水期之外幾乎無水生生物通過本堰堤上溯，龍口溪谷主要棲息魚類只有斯氏莫羅鱖。可能透過凹槽魚道上溯的目標物種，設定為棲息在廣瀨川的香魚（*P. altivelis*）、櫻鱒（櫻花鉤吻鮭）（*Oncorhynchus masou*）與日本絨螯蟹（*Eriocheir japonica*）。

### (2) 問題之探討



圖-2 龍口溪谷堰

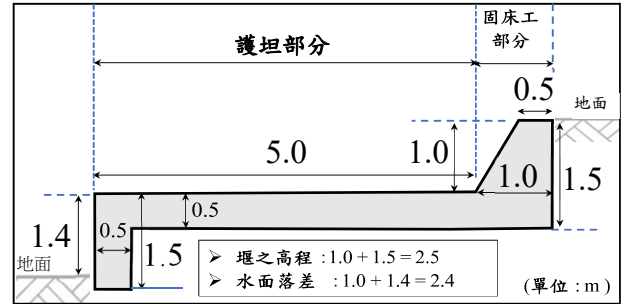


圖-3 堰堤縱斷面圖（地面高程為施工前的狀況）

施作凹槽魚道有二問題待解決。首先需決定，在挖掘混凝土橫向構造物須採何種形狀才能讓魚類有效率上溯並免於維護管理。為此研擬了堰堤挖洞與施作凹槽（疏槽）二種橫向構造物挖掘方案。比較兩案發現，堰堤挖洞方案缺點是容易被漂流木與垃圾阻塞，流水集中流速變大時水中生物難以上溯。凹槽則能排除多餘的水，水深也較安定。因此，最後選擇施作凹槽魚道。橫向構造物施作凹槽以協助水生生物上溯之魚道稱為“凹槽魚道”。但混凝土堰堤施作凹槽若過度挖掘，可能損壞構造物本體，故施工需注意保持應有形狀。因此，凹槽魚道之形狀各工程應逐案檢討。

第二項是需取得橫向構造物管理單位許可。本堰堤由仙台市政府管理，因此提出協商並申請了施工許可。與仙台市政府多次協商，最後同意以共同研究方式一起推動工程。因此，國土交通省土木研究所與仙台市建設局2019年11月簽署龍口溪谷魚道整建等多自然河川營造推動備忘錄。備忘錄明記將透過密切合作積極推動多自然河川營造與魚道整備，並以促進自然環境保護為目的。有了備忘錄，本工程案就能取得仙台市建設局的全面支援。

## 3. 凹槽魚道所需安全性與效果評估

### (1) 凹槽魚道設置後橫向構造物本體的安全性評估

本堰堤因有本體自重及被兩岸擋土牆護岸包夾的磨擦阻力而得以維持其穩定性。因此，即使固床



工及護坦部分施作凹槽，也不至於造成本堰堤滑動。但若施工可能使本體產生大裂縫甚至裂成兩半，則不在此限。

一般而言，在固床工與階段工等的頂端施作凹槽，原則是「為確保上下游連續性而須設置魚道等時，可在洪水時不會發生問題的範圍內施作凹槽」<sup>9)</sup>。本堰堤固床工部分落差高程1公尺，並不高，且與護坦部分為一體構造，故固床工根部不太會產生剪力破壞。而且，中間部位施作凹槽可降低其背後的靜水壓（液態壓）與土壓（土石流），討論的結果認為不會有問題。

此外，決定護坦可挖掘厚度時可參考河川砂防基準（案）設計篇〔I〕<sup>10)</sup>。該基準指出，護坦須有可防止淘刷之長度及能承受揚壓力（托浮力）之重量（厚度）。此外，本堰堤之護坦材料厚度只有0.5公尺，為免護坦嚴重損傷裂成兩半，無法挖得很深。因此，為了控制凹槽之大小使其不致產生揚壓力問題也不傷害堰堤，護坦部分只進行深度約0.1~0.2公尺的水路狀挖掘。

## (2) 混凝土塊堆砌擋土牆護岸之安全性評估

在固床工處施作之擋土牆，原則上採不會降低堤防機能之自獨立結構，即使固床工本體被沖走也不會造成堤防與高灘地的侵蝕<sup>10)</sup>。本擋土牆護岸也同樣不做成混凝土結構的斜靠式擋土牆，而是施作混凝土塊堆砌擋土牆，而且經確認其是有經驗基礎的設計方法<sup>11)</sup>，採獨立結構施工。另外，基礎結構由地盤面往下埋樁約2.5公尺，故判斷施作凹槽時不會產生破壞擋土牆護岸等問題。

## (3) 施作凹槽之效果

堰堤施作凹槽可減少上游側常時淤砂，大幅增加洪水淤砂容量<sup>8)</sup>。此外，中小型洪水時可讓土砂流到下游，大洪水水流在凹槽壅高，以致流速減弱而使流入的土砂短暫淤積。洪水後半段（退水時）或之後出現中小型洪水，土砂也可由疏槽流下，如此就有空間承受下次洪水。凹槽魚道施工前，龍口溪谷堰堤上游150公尺左右的區間淤積著泥沙，以致砂石等遭致掩埋。凹槽魚道完工後情況改變，因細顆粒部分等流出、河床下降，致使龍口溪谷水流下能力提高，堰堤所承受背後水壓與土壓降低。另外，泥沙等被沖走後，可成為生物棲地的河床浮出石塊將會重新出現。

不僅如此，平常時的龍口溪谷流量很小，堰堤

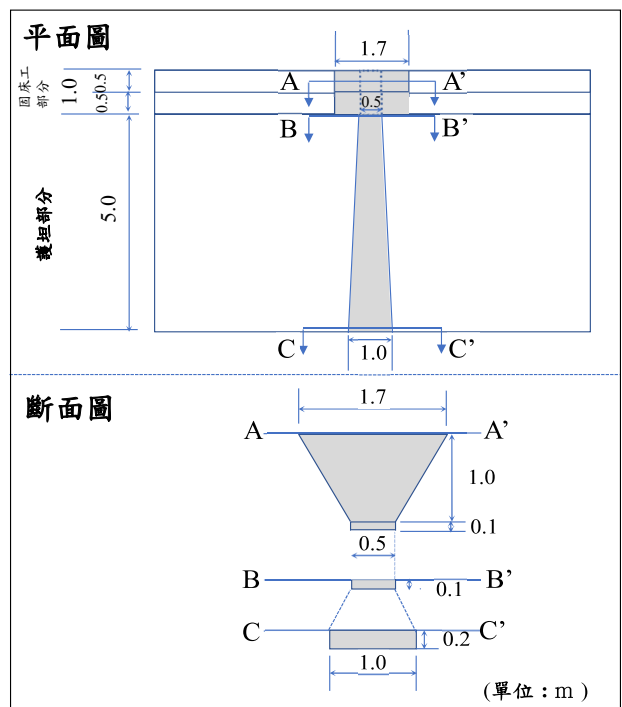


圖-4 凹槽魚道 平面圖(上圖)與斷面圖(下圖)  
(灰色部分：混凝土挖掘之範圍與形狀)



圖-5 凹槽魚道設置示意圖  
(白線：挖掘線)

只有很淺的水流往下流動，汛期之外幾乎無水生生物能通過本堰堤而上溯。施作凹槽可讓平常較小的流量往堰堤中央集中，確保平常時可供魚類上溯之水深，汛期來臨也能形成兩岸緩流空間，有利於水生生物上溯。

## 4. 凹槽魚道設置實務狀況

### (1) 凹槽形狀之深入探討

本堰堤採上下二段構造，水面落差合計約2.4公尺，因此需儘量挖深凹槽以減少水面落差。但如前述，護坦材料厚只有0.5公尺，為確保材料厚度超過一半（大於0.3公尺），在形狀上只能施作水深0.1~0.2公尺的水路，並將固床工的中央部位挖掘成高

1.0公尺、上寬1.7公尺與下寬0.5公尺之倒梯形，且使其彼此連結（圖-4、圖-5）。護坦處的水路在固床工附近寬0.5公尺、深0.1公尺，在最下游處為寬1.0公尺、深0.2公尺，逐漸加深、加寬而形成1/50之坡度。固床工附近的水路應該也能發揮餘水排除功能。此外，水路越下游流下斷面越大，流速變小，能讓水生生物更容易由魚道入口進入水路內。工程施工期間2019年11月27～30日（圖-6）。

### (2) 降低水面落差之追加檢討

堰堤上凹槽時形狀決定了，但挖掘深度仍不足以減少堰堤整體水面落差，水面落差仍高達1.2公尺（圖-5），有必要追加施工以減少落差。位處廣瀨川匯流點附近的龍口溪谷堰過去平均幾年就會遭遇一次洪水，圖-7便是中型規模以上洪水過後堰下游土砂短暫淤積狀況。但淤積土砂不出一個月便會因為廣瀨川水位變動而流出，水面落差恢復原狀。

因此，為讓堰下游河道內因洪水等所淤積土砂長期維持原狀以減少水面落差，在堰下游約10公尺處鋪設12個內襯抗沖蝕網（吸出防止材，厚10釐米）的箱型石籠（W200xD120xH50公分，線徑3.2釐米，網目13公分）（圖-8、圖-9）。吸出防止材能只讓水透過而使土砂淤積在上游側及箱型石籠內。箱型石籠設置後約一個月內並未發生洪水，上游流下之土砂仍淤積厚度約1.0公尺，使水面落差縮小至0.2公尺（圖-6、圖-9）。

### (3) 讓水生生物上溯的各種工程設計

為了協助游泳力弱的魚類等各種水生生物上溯，施作了具輔助機能之以下四項工程。

#### a) 水路側面部外伸

水路設混凝土構造物多採取直角矩形形狀，但矩形形狀可能無法發揮協助水生生物上溯之機能。因此不採用垂直面的做法，而是以降低流速、創造遮蔭及可躲避鳥類等捕食者之隱密區為目的，將兩側皆深挖的外伸部分一直延伸到固床工部分（圖-10a）。

#### b) 水路床面初步挖深

提高水生生物高效率沿水路上溯的重要因素之一是在於粗糙度的設定。床面粗糙度提高後，越靠近床面的水流速度越慢，有利於體高較小的低棲魚類等上溯。挖掘混凝土使用混凝土破碎機或怪手，但這類機械難以將混凝土表面處理光滑，有些工程為了美觀還得進一步研磨。因此本工程在混凝土護坦挖深之後河床床面不研磨，而是保留完工時的凹凸狀態，以提高河床粗糙度（圖-10b）。如此只初步挖掘而不研磨，



圖-6 凹槽魚道完工



圖-7 颱風19號二週後土砂淤積而降低水面落差的狀況（2018年10月25日攝影）

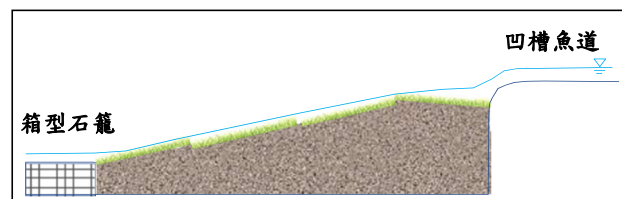


圖-8 箱型石籠促進土砂淤積示意圖(縱斷面圖)



圖-9 箱型石籠設置後的土砂淤積狀況

也有助於日本絨螯蟹等甲殼類上溯。

#### c) 水路內鋪設粗石

以0.5公尺間隔鋪設粗石以在水路內打造低流速空間（圖-10c）。粗石背後可能有水生生物，這樣做也能在水路內創造不同流速空間。此外，若只有單側河床鋪設粗石並與護岸外伸部分連動，也有機會讓底棲魚類等潛行上溯。本工程只在床面打入鋼筋，現場挖出的粗石則挖洞予以固定，因此洪水時粗石可能被沖走，但即使有這種狀況也能簡單進行修復。



#### d) 水脈落下部分做成曲面

據悉，若是水生生物需逐一克服階梯式魚道隔壁落差而上溯時，上溯重要條件之一是水脈無分離（不會產生空氣的堆積滯留）<sup>11)</sup>。但通過直角隔壁的水流幾乎都會產生分離，為防止水脈分離，最好將水落下部分刻成曲面形（彎曲形）（圖-10d），水脈就不太會從構造物分離而流下。

### 5. 實施推廣教育

若要保護、恢復甚至永續利用生態系，社區參與乃不可或缺。因此我們邀集以下的各個當地公民團體，讓大家知道龍口溪谷正在施作凹槽魚道外，也舉辦了如多自然河川營造與魚道機能介紹等讀書會。本活動也獲得宮城教育大學、仙台市政府與土木研究所參與協辦。

#### (1) 小學戶外教學

我們拜訪仙台市內幾所小學，實施五年級三個班級共課的「環境戶外教學」（2019年11月28日，10:30~12:00）。該次課程由土木研究所人員講解凹槽魚道施作相關的「河川環境保護的觀念與多自然河川營造」。學生都能瞭解生物行動模式，不少人表達了愛護河川、重視河川等的想法與主張。

#### (2) 針對大學生的環境課程

針對有興趣瞭解河川水生生物的大學生約30人，進行一次大學通識課程，上課地點是施作凹槽魚道的工程現場（2019年11月28日，13:30~15:00）。此次課程由該工程承包廠商、仙台市政府與土木研究所各派出一名講者，分別依自己的立場說明處理狀況，學生發問非常踴躍。

#### (3) 與廠商一同舉辦讀書會

土木研究所邀集廠商與仙台市政府相關單位舉辦深入分享施工內容的現場讀書會（2019年10月~12月，2020年2月，計6次）。一般魚道施工重視外觀，做得很“漂亮”。但這種做法容易降低魚道內的粗糙度而使得水生生物無法上溯。在本工程中，透過施工過程不斷地對所掌握訊息進行分享、討論，因此就連細部工作都必須非常講究的魚道設置也能順利完成。

#### (4) 與當地居民舉辦工作坊

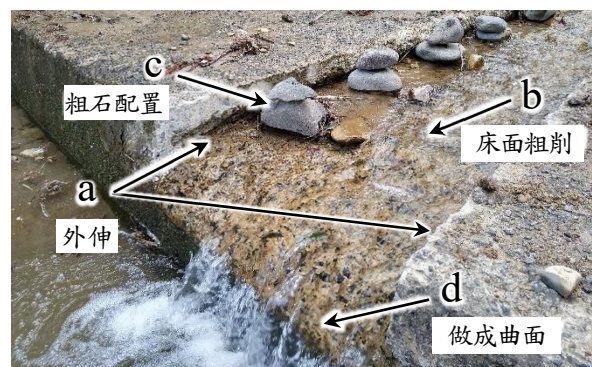


圖-10 協助水生生物上溯各種配套措施



圖-11 與當地居民協同作業

與當地居民協同作業，並舉辦以提升環保意識為目的的廣瀨川自然復育工作坊（2020年2月2日，13:00~16:30）。參加者包含以社群軟體等邀集的周邊居民與政府人員等17人（大人12名，小孩5名）（圖-11）。

工作坊先進行約一小時認識周邊環境與凹槽魚道的室內課，然後移動到龍口溪谷實施以下作業。首先在已完工的凹槽魚道與箱型石籠周邊填塞塊石，營造有助於水生生物上溯的環境。如圖-11所示，以現地取得石塊填塞石籠之後水位壅高，進一步減少水面落差。其次，在龍口溪谷上游採集魚類，以瞭解魚類相，並確認到棲息龍口溪谷的魚類相相當貧弱。採集過程邀請當地有線電視台拍攝採訪，播出後很有效率地讓許多當地居民瞭解此事。

這類與地區居民協同作業的模式以後還會持續。長期而言還需評估在土砂淤積地點引進植生。植生茂密可減少淤積土砂的流失，亦能創造更多遮蔭。此外，未來水生生物上溯的春~秋之間，將隨時配合土砂淤積狀況實施石頭堆砌作業。

### 6. 結語

雖然完工後尚未進行魚類調查，但凹槽魚道與箱型石籠施作完已產生土砂淤積，估計已形成魚類等水生生物可上溯之適當水面落差。接下來預計實

施龍口溪谷上游魚類相調查與淤積土砂監測，以驗證凹槽魚道效果優劣。此外，在全國各地施作更多凹槽魚道、蒐集相關數據應該非常重要。

龍口溪谷堰凹槽魚道設計概念綜整如下：

- 1) 設置可消除全部水面落差之魚道或構造物全部拆除成本太高不可行，應儘量以低預算為目標。
- 2) 希望全國各地推廣凹槽魚道，龍口溪谷固床工凹槽魚道即為前瞻試點工程。
- 3) 堰下游鋪設箱型石籠可促進土砂淤積、減緩水面落差。土砂淤積能創造有利水生生物上溯之環境。
- 4) 凹槽魚道的設置可使上游河床呈現下降的趨勢，應可提高治水安全度。
- 5) 引進可提高粗糙度的各種作法並反覆進行改良，以確保、提升上溯機能。

#### (1) 結論

若本研究所探討凹槽魚道能確保橫向構造物本身安全性並取得所有者許可，任何人都能以低廉工程費實施。本次凹槽魚道工程委託營造廠辦理，但即使如此，和新設可讓水生生物上溯2.4公尺水面落差之魚道或將構造物全部拆除相比，仍大大縮減了工程費用。另一方面，魚道工程若不委託廠商而自行辦理，工程費用可能還能進一步降低。本凹槽魚道工程所使用機械大致有混凝土割斷的切割機，以及挖掘（切削）用的破碎機。有這些機械就能施工，如此也能提供和政府部門合作之河川協力團體及管理中小型河川等之地方政府自行施作凹槽魚道的誘因。為達成這項目標，也有必要儘早彙整適合施作凹槽魚道的河川與橫向構造物。

如圖-12所示，橫向構造物在全國中小型河川中有很多，其明顯妨礙水生生物上溯。以龍口溪谷的情況而言，凹槽不能挖很深，因此搭配使用了土砂淤積方法，各地堰堤若類似本構造物能在某種程度下確保下游水位，就可單靠設置凹槽魚道而讓水生生物上溯。此外，凹槽魚道也可搭配施作手工簡易魚道等，應該也能提升水生生物上溯效率。

謝辭：本研究的魚道設計與構造物安全設計承蒙（股份公司）「城市設計工程統包」社長橋本聰先生提供寶貴意見。工程施工則有（股份公司）小松建設社長小松優先生與阿部匡利先生不吝建言。另外，仙台市立東長町小學與宮城教育大學的環境教學獲得兩校大力支持；工作坊順利舉辦多虧Kawara-ban（瓦版、河



圖-12 有改善餘地之河川橫向構造物

原番）協會菅原正德會長鼎力幫忙。另外，本凹槽魚道設置工程部分經費由河川基金會贊助（申請案號No.2019-5211-024，基金會執行長 林田壽文），在此一併致謝。

#### 參考文獻

- 1) 川那部浩哉，水野信彦，中村太士. 河川生態学，2013.
- 2) Morita K., Yamamoto S., Hoshino N.: Extreme life history change of white-spotted char (*Salvelinus leucomaenis*) after damming. *Can J Fish Aquat Sci.* Jun;57(6):1300-6., 2000.
- 3) Layman CA., Quattrochi JP., Peyer CM., Allgeier JE.: Niche width collapse in a resilient top predator following ecosystem fragmentation. *Ecol Lett.* Oct;10(10):937-44., 2007.
- 4) Morita K., Yamamoto S.: Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. *Conserv Biol.* Oct;16(5):1318-23., 2002.
- 5) Fukushima M, Kameyama S, et al.: Steel EA. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. *Fresh water Biol.* Aug;52(8):1511-24., 2007.
- 6) Morita K, Morita SH, Yamamoto S.: Effects of habitat fragmentation by damming on salmonid fishes: lessons from white-spotted charr in Japan. *Ecol Res.* Jul;24(4):711-22., 2009.
- 7) Yamamoto S, Morita K, Koizumi I, Maekawa K.: Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation: Spatial-temporal changes in gene frequencies. *Conserv Genet.* Aug;5 (4):529-38., 2004.
- 8) 石山信雄，永山滋也，岩瀬晴夫，赤坂卓美，中村太士：河川生態系における水域ネットワーク再生手法の整理：日本における現状と課題. 応用生態工学会，19(2)，143-164，2017.
- 9) 床止めの構造設計手引き：国土開発技術研究センター，1998.
- 10) 建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編[I]：日本河川協会，2008.
- 11) 道路土工-擁壁工指針 平成24年度版：日本道路協会，2012.
- 12) 林田寿文，本田隆秀，萱場祐一，島谷幸宏：階段式魚道における落下流と表面流の発生特性とウグイの遊泳行動，環境システム研究論文集，28:333-8，2000.

（2020.4.2 收件）

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2020

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。