

秋田スギの木杭による水路護岸基礎工および地盤補強工法の開発

佐々木貴信¹, 永吉武志², 荻野俊寛³, 後藤文彦³, 原田紀文⁴, 鈴木博⁴¹ 秋田県立大学木材高度加工研究所² 秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科³ 秋田大学大学院工学資源学研究科土木環境工学専攻⁴ 株式会社寒風

秋田県の豊富な地域資源である秋田スギと男鹿石の新たな用途開発を目的として、木杭基礎構造と、男鹿石の石積み擁壁を組み合わせた護岸工を考案し、試験施工による施工性の検証や施工後の安定性の評価を行った。延長 12m および 30m の水路護岸の 2 箇所にて試験施工を行い、載荷試験による安定性の検証や、施工後の石積み護岸の沈下計測などを行い、水路護岸としての十分な性能を確認し、一般的な工法と比較して経済性や景観性の面での優位性が示された。一方、超軟弱地盤の条件下での水路改修工事に際しては、工事用道路の地盤を補強する必要性が示唆された。大潟村の干拓地は超軟弱地盤として知られており、構造物の沈下や傾き、地盤の滑り、地震時の液状化などの被害が多数あり、老朽化した水路においても護岸の倒伏や不同沈下を生じている箇所も多数存在している。本研究ではこうした軟弱地盤対策に対しても木杭による補強が有効であると考え、試験的に木杭打設による地盤改良の効果も併せて確認した。

キーワード：木杭，水路護岸，石積み

江戸時代から続く石積み工事は、コスト高、職人不足などの課題から工事量が減少しているが、文化財や土木遺産など伝統的な構造物の修復等の分野では引き合いが多い。こうした我が国の伝統技術である石積み工事を絶やさないためにも、一般的な土木工事での活用が期待される。一方、戦後の資源不足や耐久性の問題から、建設資材は木材からコンクリートや鋼材に取って代わり、木製の橋梁などの土木構造物は一時姿を消したものの、近年、国産木材の需要拡大の気運が高まっており、大量需要が期待される土木分野における木材利用が見直されつつある。

このような背景のもと、本研究では秋田県の豊富な地域資源である秋田スギと自然石（男鹿石）の需要拡大を目的に、木杭基礎と石積み擁壁を組み合わせた多自然型護岸工の試験施工を行った。男鹿石は寒

風石とも呼ばれるように、寒風山（秋田県男鹿市）から採掘される良質な安山岩として知られている。試験施工は、軟弱地盤対策が課題の秋田県大潟村（図 1）の 2 箇所の農業用水路において、延長 12m および延長約 30m の片側護岸を対象に行い、施工性の検証や施工後の安定性の評価を行った。また、軟弱地盤対策として木杭打設による地盤改良工法の試験施工を行い、その効果の確認を行った。

秋田県大潟村は琵琶湖に次ぐ日本第 2 の広さであった八郎潟が干拓されて昭和 39 年に誕生した（図 2）。八



図 1 試験施工地

郎潟干拓地の多くはヘドロ土壌が分布しており、極めて排水が悪い重粘質土壌（軟弱地盤）であり、深いところでは地下 40m にも達している（図 3）。



図 2 干拓前後の八郎潟*。 図 3 ヘドロとの苦闘*。
*大潟村教育委員会 HP より

木杭基礎と石積み護岸の構造

平成 25 年 3 月に大潟村南の池傍の農業用水路（図 4）において試験施工を行った際の木杭基礎と石積み護岸の断面図を図 5 に示す。木杭基礎の設計では、城壁の石積みの基礎などに用いられる伝統的な補強工である丸太を梯子状に組んだ梯子胴木（写真 1）の技術を参考に、木杭基礎の間隔を 800~1000mm に打設して、杭頭部に横木や胴木を連結して格子状の基礎が構成されるようにした。試験施工は、軟弱地盤の箇所を想定しているが、木杭の長さは丸太の流通長さに合わせて 4m とした。また、施工性を考慮して杭材は φ160mm、横木および胴木は φ140mm の丸棒にそれぞれ加工している。木材同士の連結は、φ15mm の貫通穴を開けた後に、直径 16mm の鉄筋を打ち込むことで一体性を確保している。

試験施工

大潟村南の池。

最初の試験施工は、2013 年 3 月に秋田県大潟村の

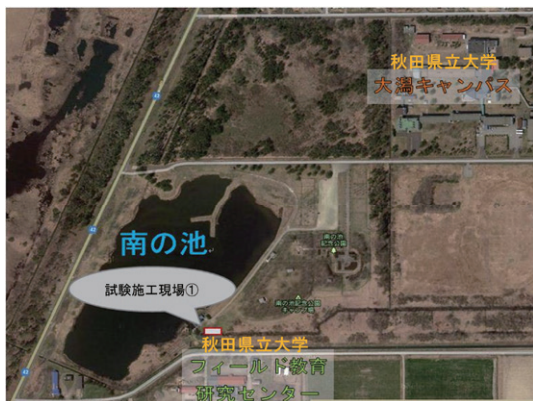


図 4 試験施工箇所（南の池）。

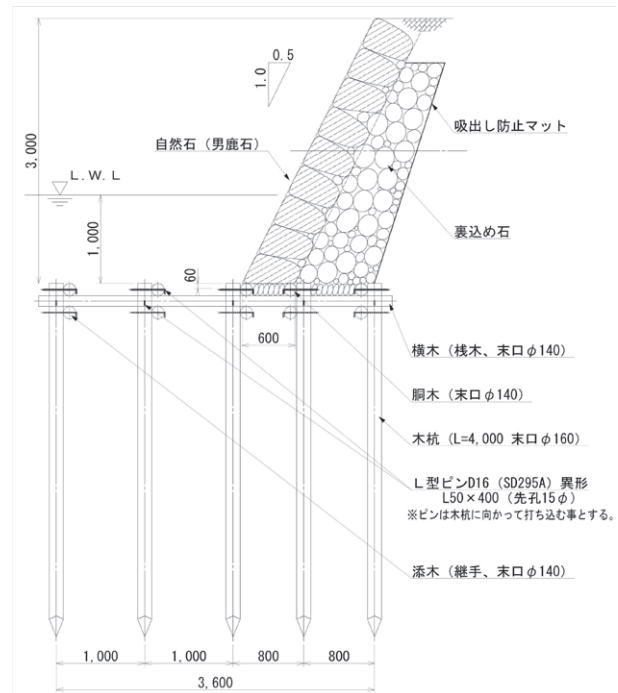


図 5 木杭基礎と石積み護岸の断面図。



写真 1 梯子胴木（（株）室岡林業 HP より）。

農業用水路を対象に行い、水路断面の片側の法面（高さ 3m）を図 5 のように施工した（佐々木ら 2013）。杭材に使用したスギの丸棒加工した木杭基礎部材を写真 2 に、床堀した後に木杭を打設した状況を写真 3 に示す。このとき流路方向の木杭の打ち込み間隔は 1m とし、図 5 の配置で延長 8m、図 5 の左 1 列の木杭を打設しないケースを 4m の計 12m の延長で木杭基礎の施工を行った。木杭打設後に写真 4 に示すように木杭の頂部を横木および胴木で連結し、次に、石積み下の位置までを碎石で埋戻し、最下段の石を設置し（写真 5）、所定の高さまで石積みを実施した。石積みは石材同士の隙間にモルタルなどを充填しない空積みと呼ばれる伝統的工法を採用した。



写真2 丸棒加工した木杭基礎部材.

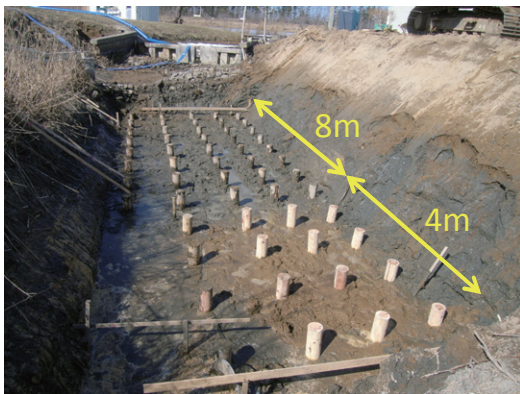


写真3 木杭の打設状況.

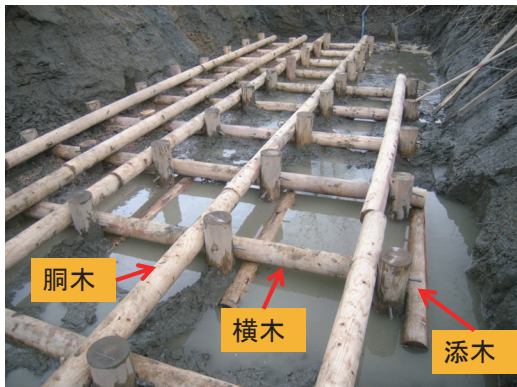


写真4 木杭基礎の設置.



写真5 自然石 (男鹿石) の設置.

大潟村西野地区.

2箇所目の試験施工では2013年12月に同村内の農業排水路を対象に、水路断面の片側の法面(高さ2.5m)を同様に施工した. 図5の左1列の木杭を打設しないケース(木杭4列)を17m, 左2列の木杭を打設しないケース(木杭3列)を10mの計27mの延長で試験施工を行った. なお, 17mのケースでは, 作業性や経済性の比較のために, 護岸の構造を一般的な工事に用いられる金網に石を積めたフトン籠工7mと, 石積みを10mずつ施工した. 木杭3列のケースは石積み護岸とした. 図6および図7にこれら3ケースの各構造の断面図を示す.

この現場では, 地質調査の結果, 地下10m近くまで地盤の支持力が全くない(N値が0)という状態

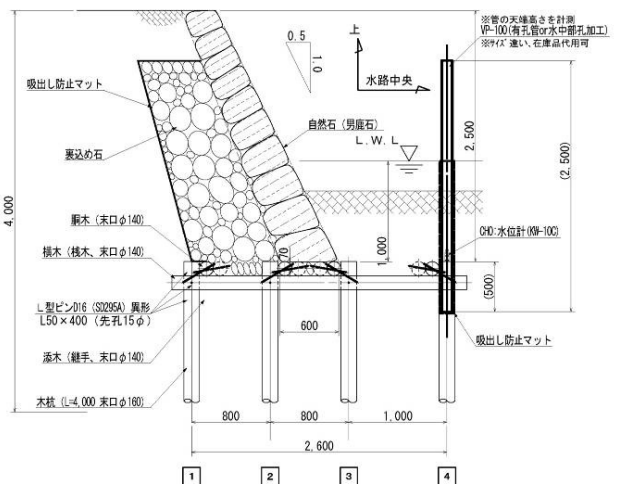
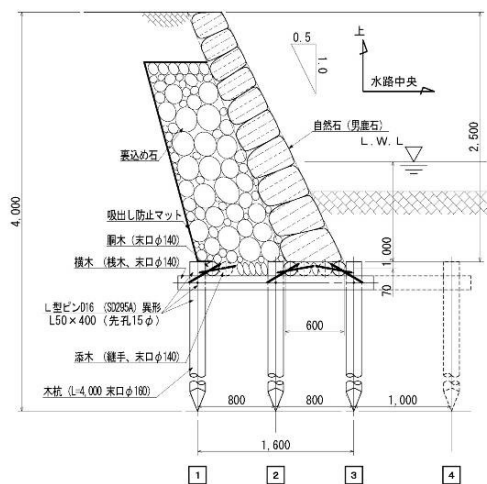


図6 多自然型護岸工の断面図(上: 石積み(木杭3列), 下: 石積み(木杭4列)).

の超軟弱地盤であったため、施工後に木杭や護岸が沈下したり、傾斜したりすることが想定された。そのため、各ケースの木杭基礎に写真6に示すように傾斜計を埋設（杭1本当たり3個埋設）して、施工後の木杭の挙動を観測することとした。このように製作した3本の計測杭を構造の異なる3区間（木杭4列+フトン籠、木杭4列+石積み、木杭3列+石積み）にそれぞれ1本ずつ配置した。また、木杭基礎や護岸工の変動と水位の変動との関係を確認するために、水路内に水位計を設置した。

この現場は、前述のように大潟村特有の超軟弱地盤であったため、地盤の支持力不足で工事用道路が重機の重さに耐えられないなど、作業効率が極端に悪かったため、最初の試験施工の手順とは変えて、胴

木や横木を予め地組してから一括で設置し、その後に胴木と横木の交点に木杭を打設するような作業手順を試みたところ、作業性を格段に向上させることができた（写真7、写真8）。写真9にフトン籠工の設置作業状況を、写真10に完成した水路護岸の状況をそれぞれ示す。

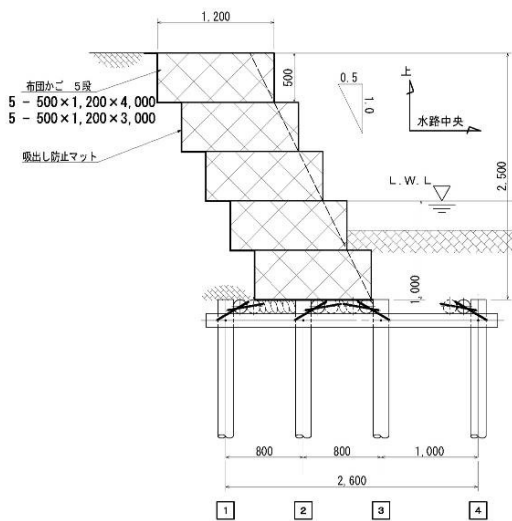


図7 多自然型護岸工の断面図（フトン籠（木杭4列））。



写真7 地組した胴木・横木の設置状況。



写真8 木杭の打設状況。



写真6 木杭への傾斜計の埋設。



写真9 フトン籠の設置。



写真10 完成した水路護岸。

性能試験

大潟村南の池.

この現場では、施工完了直後に載荷試験を実施し、載荷時の土圧、水圧の変化や護岸の変形を観察した。載荷試験では、まず、車両重量約 20t の油圧ショベルを石積み護岸の天端に位置を変えて載荷し（写真 11 上）、次に、重量 1t の重りを 20 個用意して石積み護岸の延長 12m に均等に載荷されるように、護岸上部に 1 列 2 段に並べた（写真 11 下）。試験では、予め石積みに取り付けた 9 箇所目印を高精度の測量機器で観測することで、護岸の変形や沈下量を計測した。このとき、前述の計測機器を用いて土圧、間隙水圧の変化も同時に測定した。



写真11 載荷試験（上：重機、下：重り）。

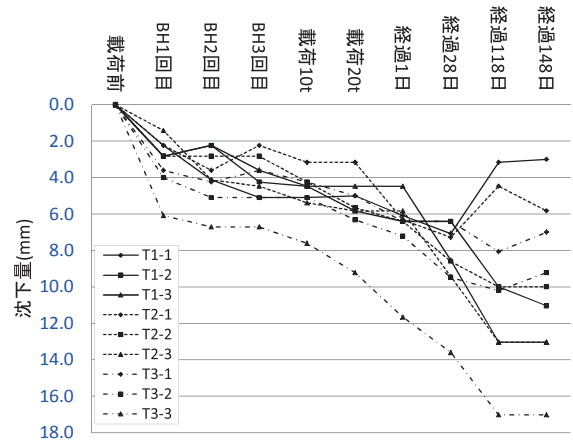


図8 石積み護岸の沈下量の経時変化。

測定の結果、石積み護岸の変形は、載荷状態によらずほとんど認められず、鉛直方向へ僅かに沈下が認められる程度であった。載荷試験時の測定と同様に、施工後の護岸の沈下量を定期的に測定した。また、土圧、水圧の変化も同時に測定した。施工後、約 5 ヶ月経過時点までの石積み護岸の沈下量の変化を図 8 に示す。木杭の打ち込み数が少ない T3 の位置で沈下量が 13mm～17mm と大きいですが、この程度の沈下量は、石積みの噛み合わせが進んだことによっても生じる程度であり、安定した性状を示していると判断された。

大潟村西野地区.

2 箇所目の試験施工では前述のように、護岸背面の地盤や各ケースの木杭基礎にそれぞれ傾斜計を埋設して、施工後の挙動を観測した。計測開始から約 3 ヶ月間の傾斜計および水位計の計測データを図 9 に示す。傾斜計は水路方向に傾斜した時を正（+）、護岸の背面側に傾斜した時を負（-）として表示している。図中の凡例の杭③は、木杭 4 列のフトン籠工の区間の木杭の傾斜を表しており、水路中央方向に傾斜し続けていることが分かる。また、この杭の頂部から 1m の位置の傾斜計は傾斜計の容量±5deg をオーバーしたものと思われる。一方、杭②と杭①

は石積みの区間を表しており、傾斜量は少なく安定しているが、木杭4列の区間（杭②）がより傾斜が少ないことが分かる。フトン箆の位置で木杭の傾きが大きいのは、図7に示すようにフトン箆の重心位置が石積みよりも背面側にあり、背面の地盤も軟弱であることから、フトン箆が背面側に倒れ込み、木杭が流路中央方向へ押し出されていると推察される。

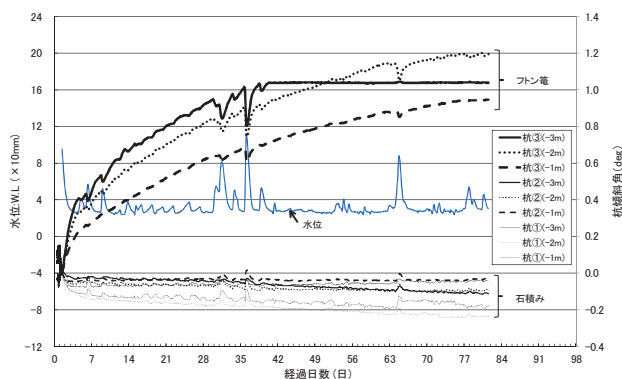


図9 木杭の傾斜および水位の変動観測結。

木杭打設による軟弱地盤補強

本研究では、景観性や経済性に配慮した護岸工法として、木杭基礎と石積みによる多自然型護岸工法を考案し、2箇所の試験施工による検証を行い、鋼矢板基礎とコンクリートブロック積みの従来工法に比べて6割ほどの直接工事費で施工することが確認された。しかしながら、地下10m近くまでN値が0という状態の超軟弱地盤の西野地区では、重機などの工事車両の重さに耐えられずに工事用道路の地盤が滑動・沈下し、水路の木杭打設や石積みなど重機での作業ができないという状況に陥った(写真12)。

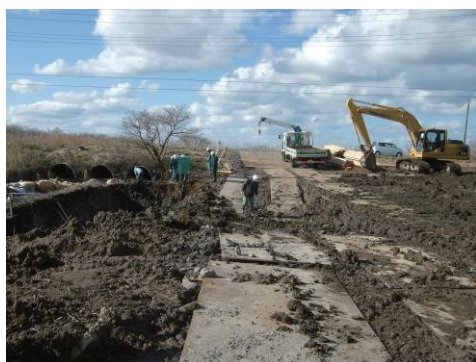


写真12 沈下した工事用道路。

これは、排水性の悪い粘性土の地盤において護岸背面の土の重量や、水路に近接した土地に載る荷重(盛土や自動車荷重など)の重さにより、掘削した水路の底面が隆起したり、護岸の背面の地盤が沈下したりする現象(ピーピング現象)として知られている。今回のような軟弱地盤における水路改修工事に際しては、工事用道路の地盤改良の必要性が感じられた。

そこで、本研究ではこの工事用道路の軟弱地盤対策として、試験的に木杭打設による補強工事を行った。試験施工では、木杭を用いた軟弱地盤対策工法として実績のあるパイルネット工法(伊勢田, 棚橋及び永松, 1987)を延長7.5mとこの工法を応用した独自の 방법으로6mを、それぞれ施工した。パイルネット工法は、軟弱地盤中に、適正な長さや太さの多数本の木杭等打設した後、杭頭部を連結部材で張り詰めて連結し、その上に盛土を行う工法であるが、これを応用し、杭頭部を丸棒加工した木材で井桁状に連結する方法(以下、井桁工法と呼ぶ)を試みた。

図10に試験施工を行った工事用道路の断面図を示す。パイルネット工法では長さ7m末口直径18cmのスギ丸太を1.3mの間隔で打設し、杭頭部を特殊素材の高強度のロープで連結した(写真13, 14)。井桁工法では、同様の木杭を1m間隔で打設し、杭頭部を写真15のように丸棒加工材を井桁状に連結した。杭頭部の連結後には、それぞれ盛り土を行い、遮水シートを介して埋め戻しを行った。試験施工後には、重機による载荷試験を行い、補強効果を確認した。

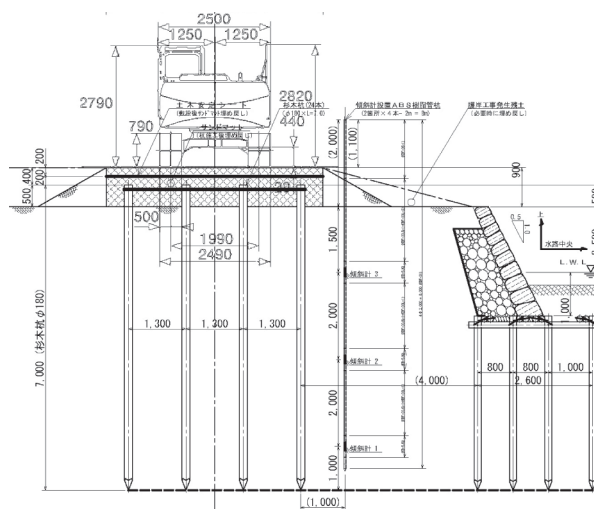


図10 木杭による地盤補強。



写真 13 木杭の打設.



写真 14 パイルネット工法.



写真 15 井桁工法.

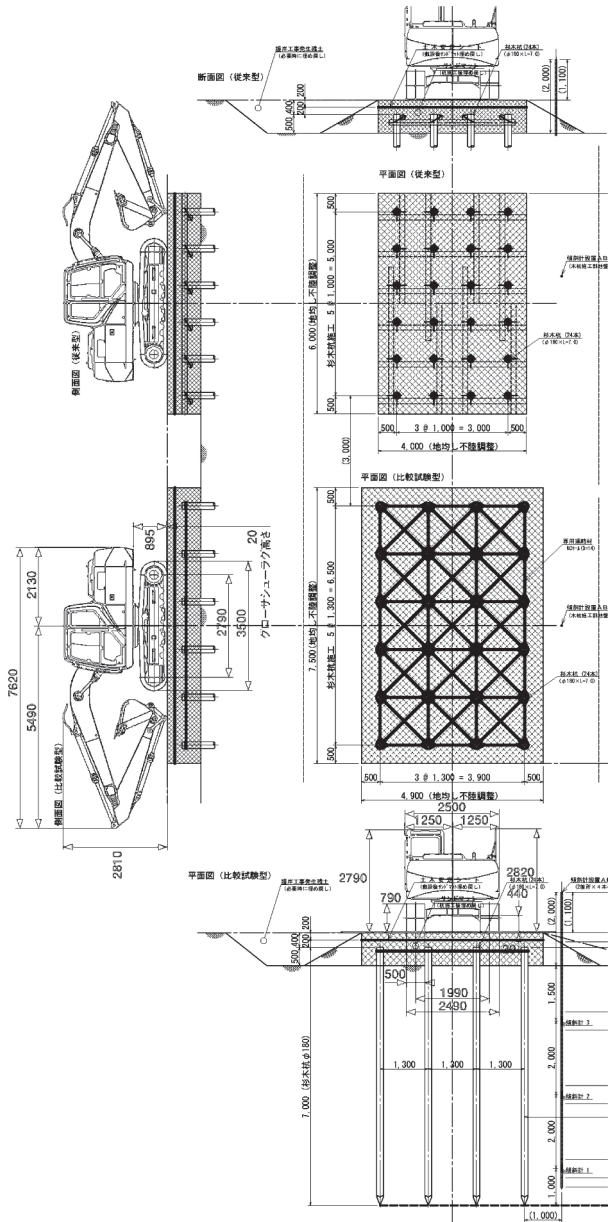


図 11 地盤補強の詳細と載荷試験.

載荷試験

木杭打設による軟弱地盤補強の効果を確認することを目的として、図 11 および写真 16 に示すように機体重量 200kN の重機を二つの工法の施工箇所と、その間の無対策区間のそれぞれに載荷して、地盤の沈下量を測定した。また、比較のために無対策の箇所の沈下量も同時に測定した。

試験の結果、パイルネット工法では 2.5mm、井桁工法では 3.6mm の沈下量が確認された。無対策区間の沈下量が 6.0mm だったことから、木杭打設による地盤改良の効果があることが確認できた。



写真 16 載荷試験.

おわりに

本研究では、土木分野での新たな木材用途として、水路護岸の木杭基礎工法の開発を行い、石積み護岸と併せて天然素材による護岸工の実用化の検討を行った。大潟村内の2箇所水路護岸を対象に行った試験施工では、木杭の長さを県内のスギ丸太の流通長さから4mとしたが、超軟弱地盤の現場では木杭の傾斜量の計測結果から、木杭の先端よりも深い位置で地盤のすべりが生じていると推察された。したがって、4mよりも長尺の杭や、木杭を打ち継ぐなどして、ある程度の支持力のある深さまで木杭を届かせる必要があった。このことから、本研究では、超軟弱地盤の補強対策として、木杭打設による地盤改良効果を期待した工事用道路地盤の改良工法についても併せて検証した。

木杭基礎と石積みによる多自然型護岸工法については、鋼矢板基礎とコンクリートブロック積みの従来工法に比べて6割ほどの直接工事費で施工できることが確認された。ただし、超軟弱地盤の箇所では、水路護岸の工事の事前に工事用道路の地盤改良の必要性が生じるケースもあり、その場合にも木杭打設による地盤対策が有効であることが確認された。大潟村では現在、老朽化した用水路改修工事が計画されており、木杭と石積みによる護岸工に加えて、木杭による軟弱地盤対策は、地域資源を活用した農業土木技術として採用が期待される。

文献

佐々木貴信，萩野俊寛，後藤文彦，原田紀文，野田龍，清水光弘（2013）。「木杭基礎と自然石の空積みによる多自然型護岸」『土木学会第68回年次学術講演会講演概要集』V042 83-84.

伊勢田哲也，棚橋由彦，永松幹雄（1987）。「パイルネット工法の事例解析と設計指針について」『土木学会論文集』379/VI-6 36-44.

〔平成26年11月30日受付〕
〔平成27年1月7日受理〕

Construction of canal walls using timber pile foundations and fieldstones

Takanobu Sasaki¹, Takeshi Nagayoshi², Toshihiro Ogino³, Humihiko Gotou³, Norifumi Harata⁴,
Hiroshi Suzuki⁴

¹ *Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University*

² *Department of Agribusiness, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University*

³ *Department of Civil and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University*

⁴ *Kanpu Company Limited*

Environment-friendly canal walls that combine timber pile foundations with fieldstone walls were built in Ogata village, Akita, Japan. The timber piles, which formed the foundation, were 4 m in length and 160 mm in diameter. First, the piles were driven into the bottom of the canal at intervals of 800 to 1000 mm, after which horizontal members were connected to the top of the timber piles using steel pins. This environment-friendly canal wall construction method, combining timber pile foundations with fieldstone walls, is economical in comparison with the conventional method using steel sheet piles and concrete blocks. Furthermore, this method produces an interesting result. The safety of the canal wall construction method proposed in this study was demonstrated by a loading test after construction as well as the results obtained after monitoring the timber pile and fieldstone behavior.

Keywords: timber pile, canal wall, fieldstone