石積み土木構造物の歴史と砂防えん堤の築造技術との係わり

株式会社　ダイヤコンサルタント　高橋　透　大矢　幸司○柿澤　美紀
株式会社　粟田建設（穴太衆積十四代当主）　粟田　純司

はじめに

英国で発明されたポルトランドセメントは，明治時代に入ってその製造技術が我が国に導入され，新技術としてコンクリート工法が登場し，我が国の土木構造物の主に鉄道，港湾施設，建築物などの建設に使用された．しかし，砂防で使われ始めたのは，セメントの国産開始から40年以上たった1916年（大正5年）の芦安えん堤が最初であり，それまでの砂防施設は空石積砂防施設の施工が中心であった．昭和初期に入り，本格的に内部材料に粗石コンクリートを用いた，練石積の砂防施設に転換されるまで続いた．以後昭和３０年代後半に至るまで練石積砂防施設は砂防分野で活躍し，その後純コンクリート施設へと変わった．明治に入り本格的に砂防事業が開始されてから１００年近く，その施工技術に石工技術，石積技術が使用されてきた．こうした技術は，現在では簡単にまねのできない技術となってきており，我が国の歴史に培われた石積技術が時代とともに砂防工事に応用されてきた経緯や技術的な係わりについて整理し，報告するものである．

１．我が国の石積構造物の歴史

１）明治期までの石積構造物

我が国の石造構造物は，古墳時代から奈良時代（３～７世紀）にかけ造られた石室や土留め土木構造物，朝鮮半島の脅威に備えた城（写真1）などに石積技術が用いられている．鎌倉時代には蒙古の再来に備え博多湾沿岸に元寇防塁（石築地）が造られている．これらは石造建造物に類するものではなく，西洋に見られるような柱や壁，梁や屋根などの構造を石材で構築している構造物は我が国の歴史においては，見あたらず，土木，建築の基礎部分に限定されている．我が国の建造物，構造物の主体は木であり，木の技術が卓越した歴史を持っている．それは森林資源が豊富であったこと，また，地震国であったため，上部に重量の重い石材を使用することは不安定であり，耐震構造としては不適であったためと考えられる．しかし，一方で１６世紀の戦国戦乱の激化に伴い，城郭の築城技術（写真2）として石垣を積む技術が発展し，江戸初期までに格段の進歩を遂げ，様々な石積様式や技術が生まれた．これは大規模な石積構造物と言っても過言でない築造の歴史を持っている．が，江戸幕府は以後の築城や修理を統制し，また，鎖国政策による石造技術の移転導入もなかったことなど，築城の統制が解除される240年間，大規模構造物としての石造技術の発展は停滞した．当然，当時の石工職人も減少したと考えられ，また他の石造構造物に係わらざる得ない状況が推察できる．江戸中期以降に造られたとする旧福山藩（現広島県福山市）の芦田川流域の堂々川を始めとする砂留群（写真3）はこの時期に築造されたものである．江戸末期には九州地方に多く現存するが，石積土木構造物である石橋（写真4）がつくられ，現存するものは重要文化財の指定も受けている．これらの施設は我が国における石積技術の完成度の高さ，卓越した技術を表すものとなっている．

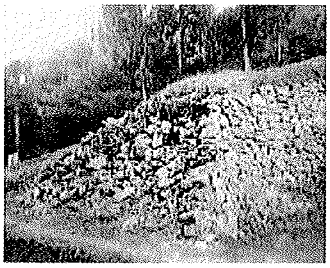

写真１ 大野城の百間石垣（福岡県大野城市）

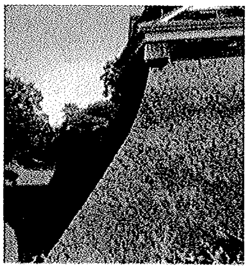

写真２ 熊本城の石垣

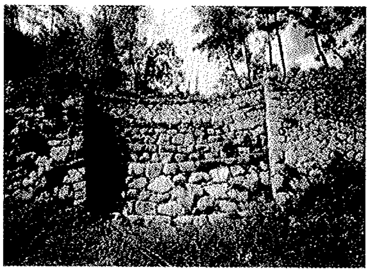

写真３ 圭峰砂留 旧福山藩（現福山市）

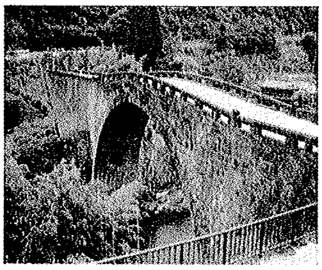

写真４ 霊台橋 アーチ橋（熊本県砥用町）

２）明治期以降の石積構造物

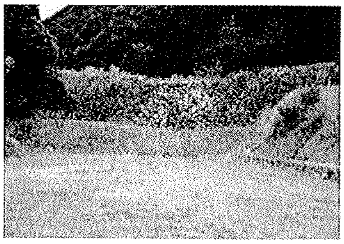

写真５羽根谷第一砂防堰堤（岐阜県）

明治期に入っても，砂防においては，石積技術が活用され，多くの空石積砂防施設（写真5）が築造されている．大正期に入り砂防にもコンクリートの導入が図られ，大正５年蒲孚が芦安えん堤で初めて内部材料を粗石コンクリートとした練石積砂防えん堤を築造した．大正末期から昭和初期にかけて，現在の砂防学の基礎を築いた赤木正雄を始めとする砂防学者や技術者は，砂防における空石積の不適さを，それぞれの著書において述べている．柿徳一は1941年に出版した「治水砂防工學」において，空石積えん堤の施工可能な箇所の条件を次のように記述している．①地質が花崗岩又は砂岩からなる低山地又は丘陵地の穏やかな禿しゃ谷・乾燥蝕渓で，山津波のおそれのないところで築造後まもなく堆砂する箇所②高山地の蝕渓で谷頭に近くセメント運搬にきわめて不便な箇所としている．空石積は築造する箇所を限定していたようである．以後，大正末期からは砂防えん堤の築造は内部を粗石コンクリートとした練石積砂防施設となった．粗石コンクリートの施工が廃止される昭和38年まで，練石積砂防施設は施工された．

2．城郭石垣技術と石積砂防えん堤の係わり

1）城郭石垣技術の砂防への展開

砂防施設の空石積，練石積に用いられた石積技術は城郭石垣等で培われてきた日本の古くからの伝統技術として，石工職人たちの創意工夫を通じ多様な様式が生み出され，非常に多くの種類を生み出した．また，それぞれの積み方には地域特有の呼称が付与さているため，その数は相当数に上る．

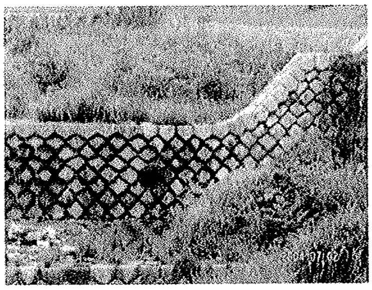

写真 6　兵庫県逆瀬川　鎧堰堤

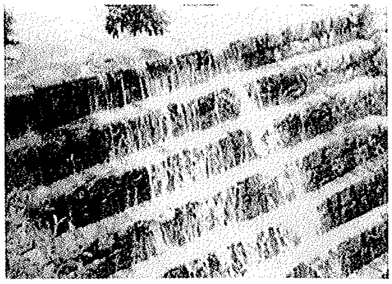

写真 7　瀬田川水系　鎧堰堤(田上山)

城郭技術の石積技術集団である穴太衆の石積技術が活用されている砂防施設事例を示す．
兵庫県逆瀬川の鎧えん堤（写真6）は穴太積の手法である鎧積が用いられている．一般的に，滋賀県瀬田川水系の通称「鎧えん堤」と呼ばれている施設は（写真7），正式には布積崩積又は地元の滋賀県の百科事典では牛蒡積とも言われており正規の鎧積とは異なっている．

①石積の分類

砂防えん堤の場合大別すると概ね右に示すよう３種類に整理できる．城郭を始めとする石垣全般に用いられる呼称である．実際の積み方では石材の形状や積み上げ順序，石材どうしの配置や角度，重なり方によって更に様式は分類される．

砂防における石積様式の例を右に整理する．

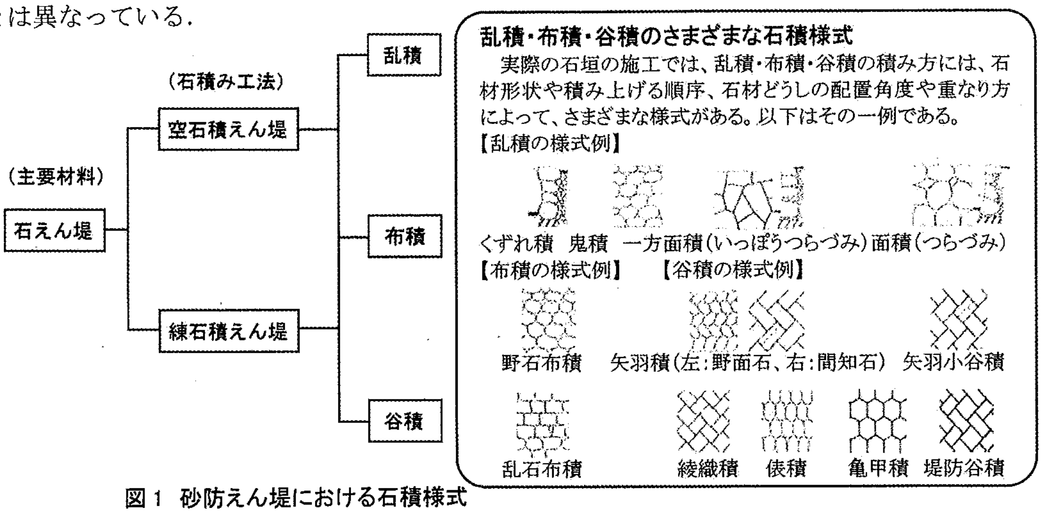

図 1　砂防えん堤における石積様式

②基礎

石垣の構造は地表面をわずかに床堀して，上部に積まれる石より大きめの石を根石として配置し，基礎としている（図2）．また，根石の不等沈下やズレを回避するため，更に，石垣が水堀を兼ねるため，水中で腐朽しにくい松材を胴木として組んでいる下部基礎としている．
砂防においても，空石積の砂防えん堤で地盤が砂礫や不安定な箇所などで松の胴木が基礎部で使用されている．

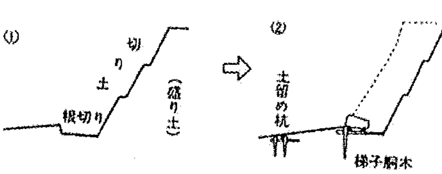

図 2　石垣の基礎処理
(「城郭」西ヶ谷恭弘、 東京堂出版より)

③裏込栗石とその敷き幅

石垣の転倒や崩壊は，円弧すべりや基礎下の塑性流動のケースを除くと，背面土圧及び水圧，あるいは地震動によって発生することが考えられる．土圧の均等な分散や水はけを良好なものとするため，城郭の石垣には相当量の裏込めの栗石（写真8）が入れられている．
その幅は石垣が高いほど広く取るものとされていた．穴太衆の技術者「石垣築様目録」では，本高さに応じた仰（矩：法のこと）幅をもって栗石幅とするとしている．例えば，本高さが３間仰あれば，栗石も規定幅の３間分必要とすることを目安としていた．
穴太衆積の石垣構造とほぼ類似するコンクリートブロック積と石垣の強度比較実験が過去，道路公団によって行われたが，穴太衆積の石垣は変位量が大きく，はらみだしを生じたが，最大積載荷重256tf(64tf/m²)でも崩壊までには至らず，一方，コンクリートブロック積は最大積載荷重200.3tf(50.1tf/m²)で構造崩壊をしたと報告されている．

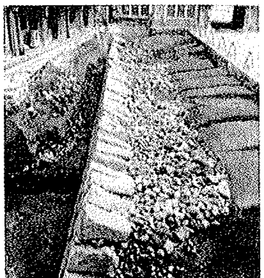

写真 8　江戸城中庭の石垣断面
四番町歴史民族資料館「江戸城の堀と石垣ー発掘された江戸城ー」より

裏込めの栗石は土圧等に対する緩衝帯しての役割を果たしていることが伺える．現存している空石積砂防施設はこうした工夫が丁寧にされていたものがその姿を留めている一つの要因であると考えられる．

まとめ

我が国の石垣技術の伝統に育まれ，石工職人等の技術のもと築造されてきた石積施設は，今もなお，砂防施設の機能を果たし，現存するものは多い．これらの施設を継続的に適切に維持管理していくためには，当時の技術や工夫を明らかにして，その必要な技術を継承し，対処していくことが重要となる．今後も，砂防に活かされた様々な技術を明らかにし，それらを次世代に引き継ぐ努力が重要と考える．