

石積み擁壁の道路構造物への適用に関する研究（1）

～ 石積み（穴太衆積み）の構造特性と耐震履歴について ～

大成建設（株）土木設計部	正会員	関	文夫
日本道路公団 関西支社		梁川	俊晃
日本道路公団 関西支社	正会員	加藤	英樹
（有）粟田建設		粟田	純司
大成建設（株）土木設計部	正会員	池谷	清次

1. はじめに

石積み擁壁は、コンクリートなどの資源を消費することなく現地で発生する転石などを有効に利用でき、しかも景観面でも優れた構造物である。しかし、力学的に不明な点が多く、特に空積み構造であるため耐震性の観点から原則として道路構造物としての使用が認められていないのが現状である。その一方で、地震を受けつつも数百年にわたり健全性を保持してきた石垣も数多くある。

本研究は、石積み工法として伝統的に確立されている穴太衆積みをモデルとして、その構造や履歴などの調査、実物大モデル実験や理論解析を通じて石積み構造の力学的メカニズムを明らかにし、道路構造物としての適用評価を行ったものである。ここでは、本研究の全体概要を述べるとともに、穴太衆積みの構造特性や地震履歴を中心とした実態調査の結果について報告する。

2. 研究の背景と全体概要

第二名神高速道路の甲南トンネル西坑口付近は、緑豊かな自然公園内を通過し、東海自然歩道が清流に沿って設置されている。その付替えに際し、高速道路の本線盛土との間に擁壁構造が必要となり、豊かな自然景観との調和を重視する。現場から転石が多く発生する。石をそのまま利用できる地元近江の伝統技術である。との理由から穴太衆積みを採用すること



図1. 石積みを用いて付替えられた東海自然歩道

しかし、この伝統工法は古来多くの実績がありながら、仕様や力学的メカニズムが明確でなく、加えて空積みであるため耐震性の観点から原則的には道路構造物として認められない構造である。このため高速道路の本体構造物として採用可能な性能を有していることを検証することが研究の端緒となった。

本研究は、以下の手順、内容で構成されている。

- (1) 既存文献調査、過去の石積みの補修履歴や地震被災履歴等の実態調査
- (2) 実物大モデル実験による耐力の評価と力学的特性の把握、安定解析に必要なデータ取得
- (3) 不連続体解析法（DDA）による安定解析、実験結果との比較による解析結果の検証
- (4) 多様な石積み構造の安定解析に基づく、石積み擁壁の設計手法や仕様の確立

3. 穴太衆積みの特徴

穴太衆は、近江国坂本に拠点を置く石普請の技術者集団で、16世紀、安土城築城を皮切りに、その堅牢な石垣普請で全国に名を馳せた。現在では寺社や城郭の石垣補修など文化財的業務を中心に、小規模ながら技術の伝承がなされている。

穴太衆積みは自然石を使用した野面積みで、構造的特長としては、石をやや内側に寝かせ加減にする、上の石が下の石よりやや前にせり出ているため雨水が浸入しにくい、1/3程度奥で石を合わせ表面は隙間が多いなどがある。このうち池本らの研究（1）などで、すべり線の発達を抑制し耐震性を高める構造であることが確認されている。

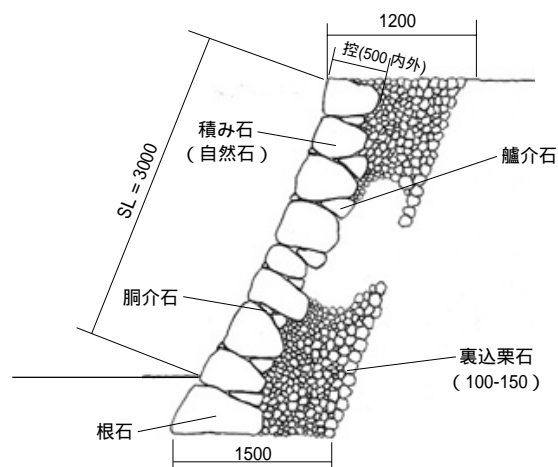


図2. 石積みの構造（穴太衆積み関係資料より）

キーワード：石積み擁壁、空積み、穴太衆積み、土木史、地震と耐震履歴

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 大成建設（株）土木設計部 TEL03-5381-5423

4. 施工実績及び地震履歴の調査

穴太衆積みの施工実績や地震の規模などが明らかな昭和45年以降のものを対象に調査を行った。施工実績は、東は福島県田島町、西は山口県下関市まで全国50箇所になっていたが、穴太衆の地元である滋賀県の33箇所を始めとしてそのほとんどが関西、中国、四国地方に分布していた。一方、昭和45年以降発生したマグニチュード6.0以上の地震は全部で91回に上る。これらを図上で重ね合わせた結果、施工位置と施工時期、震央位置と発生日時から穴太衆積みの施工実績に対し大きな影響を及ぼす地震として、平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震（マグニチュード7.2）と平成13年3月24日に発生した芸予地震（マグニチュード6.7）の2つを抽出した。この2つの地震による穴太衆積みの施工実績位置と震度の関係を示したのが図3である。

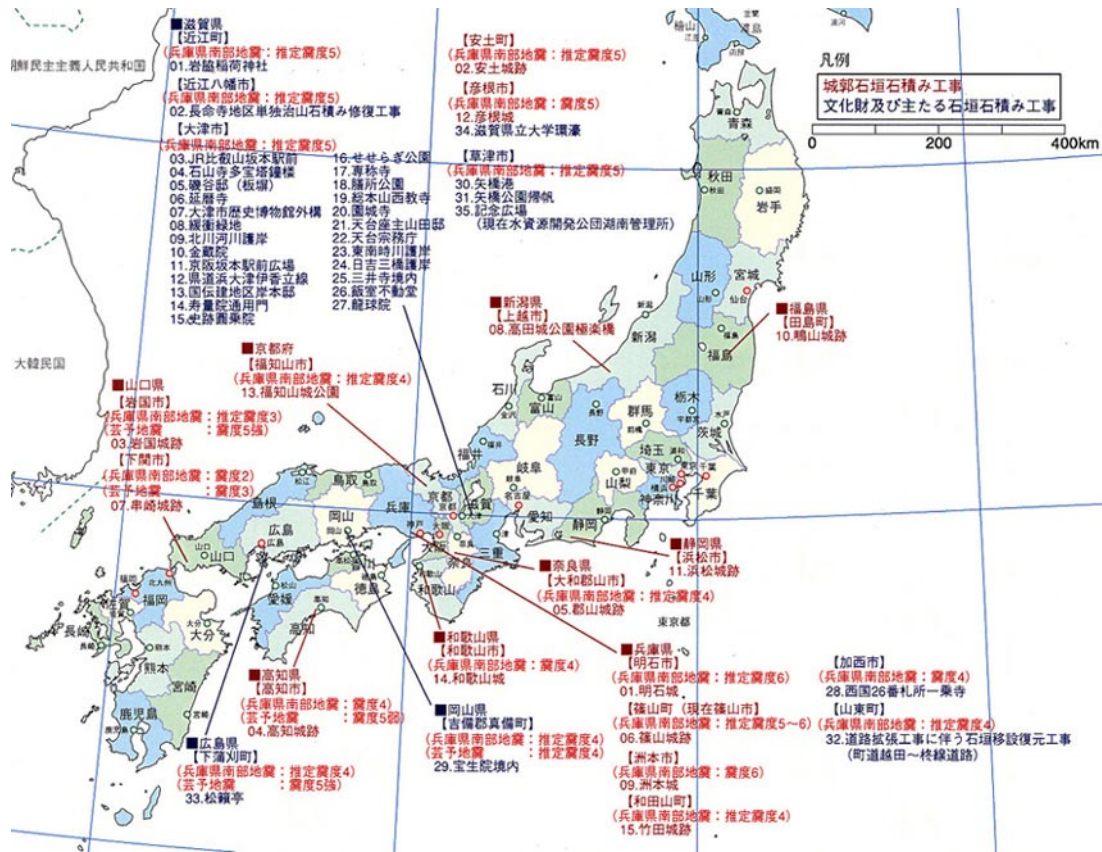


図3. 兵庫県南部地震、芸予地震において震度5以上の地域の施工実績

これらの地域について、地震による被害の有無に対するヒヤリングを行った。その結果、調査対象箇所（昭和45年以降の施工）において震度5以上の地震を13地点で受けていると推定されたが地震による被害報告は1件も無かった。今回対象箇所以外では、明石城で石垣が崩れ落ちるなどの大きな被害があったが、崩壊したのは築城以来約400年を経過した石垣で上部2/3が盛土の場所であることがボーリング調査で判明した。今回調査対象の施工実績は古い石垣の補修工事が多かったが、補修を必要とした大きな要因は、長年にわたる経年変化の中で起こったはらみの修復及び積み石そのものの風化による傷みがほとんどであった。はらみの原因としては樹木の根の成長による石積みの押し出しや、多雨地域における裏込め土の水分吸収によるもの等が多かった。

5. おわりに

施工実績及び地震履歴調査から、石積み高さが13mにも及び丹波篠山城が兵庫県南部地震において推定震度5～6を受けても健全であるなど、空積みでありながら耐震性の高い構造であることをうかがい知ることができた。その一方で、補修履歴から基礎地盤は十分な強度が必要なこと、裏込めは良質材で十分締め固め排水を良くし雨水の浸入を防ぐことなどの教訓を得ることができた。

今回の調査結果や実物大モデル実験、安定解析など一連の研究を通じて、伝統技術に工学的解釈を与え、さらには、景観に優れ地球にやさしい擁壁として、石積み工法の設計手法や仕様の確立を目指していきたい。

<参考文献>

- 1) 池本敏和：剛体ばねモデルによる石積みの耐震性安全評価、第9回日本地震工学シンポジウム、PP1609-1614、1994