

徳川期大坂城石垣の石積み施工技术に関する考察

A Study on Masonry Work Technology of Osaka Castle in Tokugawa Period

天野光三*¹ 佐崎俊治*² 落合東興*³
川崎勝巳*³ 金谷善晴*³ 西川禎亮*⁴

By Kozo AMANO, Toshiharu SAZAKI, Haruoki OCHIAI,
Katsumi KAWASAKI, Yoshiharu KANATANI, Sadaaki NISHIKAWA

概 要

徳川期大坂城石垣は、近世における石垣築造（普請）の技術的頂点に位置し、わが国が誇るべき建設文化である。本報文は、総延長12km、最大32m近くの高さを有する長大な大坂城石垣を普請する技術系譜に関する歴史学的文献および施工技术の面から、現時点での調査研究成果を整理したものであり、大坂城石垣施工技术のうち石材の陸上運搬と積上げ技術に関するこれまでの研究について概観するとともに、当時使用可能であったと想定される技術や道具をもとに、徳川期大坂城石垣の積上げ方法について推論を試みたものである。

1. はじめに

徳川初期における大坂城再構築の石垣は、豊臣期の石垣に比べ、高さ、平面規模においてははるかに大規模であるばかりでなく、推定重量で100tfを超える石材が用いられるなど、高石垣築造の技術的頂点を示すものである。城地近辺には石垣材料として利用されている花崗岩はまったく存在しないため、推定で50～100万個といわれている石材のほとんどは遠く離れた産地より運搬されたものである。

本報文では、まず大坂城石垣の特徴を整理し、次に石材陸上運搬と積上げ技術に関するこれまでの研究について概観する。最後に当時使用可能であったと想定される技術や道具をもとに、徳川期大坂城石垣がいかにして積上げられたかについて考察する。

keyword: 大阪城、石垣、修羅、施工技术

*¹ 正会員 工博 大阪産業大学工学部土木工学科
(〒574 大阪府大東市中垣内3-1-1)

*² 正会員 大阪市下水道局

*³ ㈱大林組

*⁴ 中村石材工業㈱

なお、本報文中では大阪の表記法を「大坂」で統一している。

2. 大坂城石垣の特徴

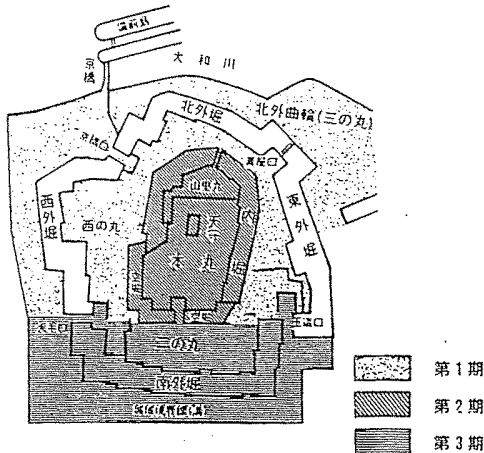
現在の大坂城は徳川幕府の前線基地として、徳川期初期に石垣を含め再構築したものである。再構築された石垣は、石材の大きさ、石垣の縄張および高さにおいて豊臣期のそれをはるかに上回る規模である。

築城工事は三期に分けて行われており、第一期は元和六年(1620)にはじまり同九年までに外曲輪および二の丸の石垣を、第二期は寛永元年(1624)から同三年までに本丸および山里曲輪を、第三期は寛永五年(1629)から同六年にかけて二の丸南面の石垣を築いている¹⁾。(図-1)

つまり築城開始からわずか10年近くで完成したことになり、当時としては最高の技術を駆使したであろうことは勿論であるが、伊勢・越中を結ぶ線より以西の65家の大名に役割を与えて工事を行わせた天下普請としての請負制度を導入したことが工期短縮

に大きく寄与しているものと考えられる。

大量の巨石を短期間に積上げ、しかも石材間の噛み合わせを密にして精度よく築いていることから、当時すでに我々の想像をはるかに越える技術があったことがうかがわれる。



図－1 大坂城の築城時期

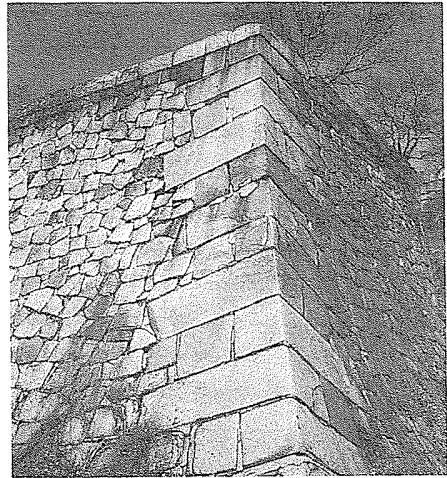
大坂城の石積みには、一般部では岩石から切出す石材(割石)をそのまま用いて石組みする「打込みハギ」が用いられているが、櫓形部には特に美しさ、威容性などを意識して、切出された石材をさらに表面および合端面にノミ切り加工して石組みする「切込みハギ」の技法が用いられている。

一般部は、高さ方向では上部になるほど勾配は急になり天端付近では反り返っている。石材の形状は不整形で、石材間に生じた隙間に間詰め石を用いて平滑な石垣面を形成している。

平石に使用される石材の大きさは、最近の修復工事から石垣の上部で平均控え長さが約2m（推定重量3～5tf）のものがあることがわかっており²⁾、石垣の下部ではそれよりも大きいものが用いられているものと推測される。

角石は算木積み（直方体の石の長面、短面を正面と側面とに交互に見せる積み方）の技法を用い表面および合端面ノミ切り加工により平滑な面に仕上げられ石垣の美しい稜線を形成している。（写真－1）

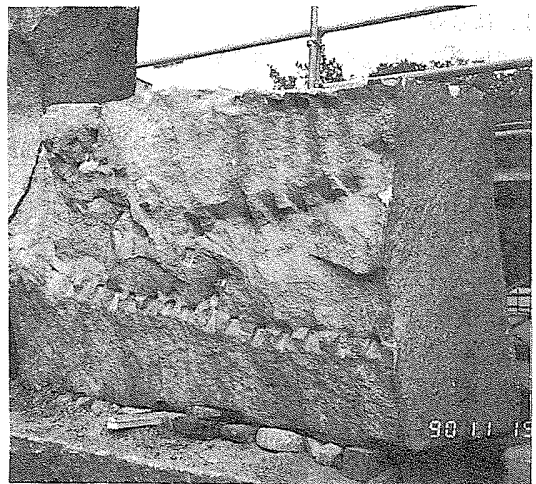
角石の大きさは平石に比べて格段に大きく、推定重量約30tf以上の石も多く使われており、高石垣を安定させるうえで重要な役割を果たしている。



写真－1 大坂城角石算木積み

櫓形部の石垣は、表面積の大きな石材を用いており、細密な加工を施された笑い積み等の特徴が見られる。これらは、「切込みハギ」の技法で石組みされている。石垣の勾配は、85～82度程度と垂直に近い。

また、重量をできるだけ軽減するために「矢コギ」（幾度となく石材の周辺から矢をいれて不必要な部分を削り取っていく方法）がされた跡が見られる。



写真－2 「矢コギ」跡

石材寸法を計測した事例として、桜門石垣修復工事の報告では、平石の平均控え長さが80～100cmの石材がもっとも多く利用されており平均重量は5tf前後（最大重量約35tf）と報告されている。

平石の表面と裏面の面積の比較では、0.8～0.9で

裏面がやせているが、角石では1.01で表面と裏面の大きさがほぼ同一である。この数値から石材の四側面が隣の石材との隙間がほとんどないほど密に石組みされていたことが分る。このことから幾度となく石材の加工がなされ、石組みを繰返して据付けたことがうかがわれる。(写真-3)

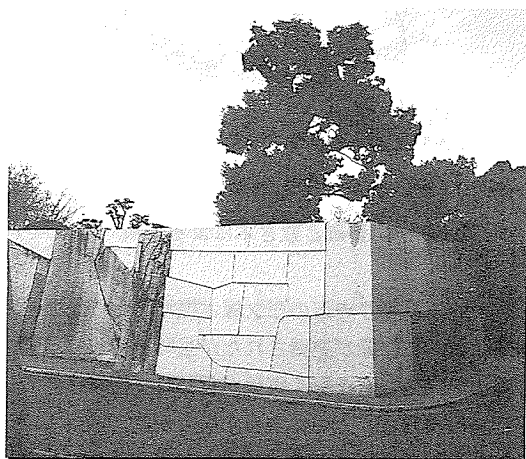


写真-3 桜門櫓形石垣

3. 石の運搬技術

徳川期大坂城石垣の一部には、廃城となった伏見城の石材が利用されたとされている。醍醐三寶院の義演は、元和六年四月普請中の大坂城の石垣の3分の1程度が、伏見城の石材を転用したものであると日記に記しているが³⁾、不足の石材については、良質な花崗岩の産地であった瀬戸内海の多数の島々や兵庫県の芦屋や御影近辺、そして生駒の日下や石切あたりから切出され、運ばれてきている⁴⁾。

(図-2)

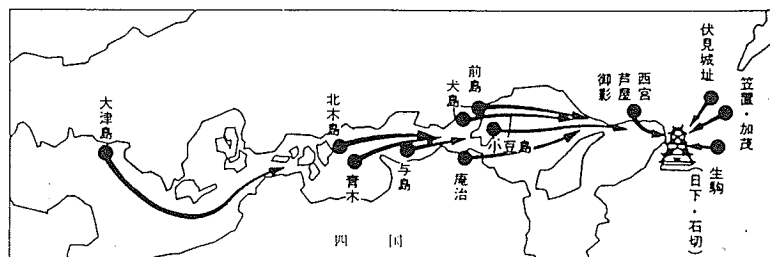


図-2 石の主な産地と運搬路

石材を城の石垣として利用されるまでの過程については、筑前黒田家の覚書きによると、

- ①石掘り割り(石切場での採石)
 - ②山出し(海岸までの石材運搬)
 - ③浜出し(水上輸送)
 - ④水上げと修羅引き(石船から陸揚し、丁場まで修羅で引く)
 - ⑤栗石持ち(裏込用の小型の石を丁場まで運ぶ)
 - ⑥根石置き(丁場より石を引き、栗石を運び、根石を据える)
 - ⑦石積み(石垣を積上げる)
- のように分類されている⁴⁾。

当時、陸上で巨石を運搬するのは難しく、そのため、水上輸送を行ったというのが一般的な見解である。

しかし、その方法については明らかではなく、船による運搬方法についても大きな研究課題の一つであると考えられるが、本報文では、比較的資料の残っている陸揚場から丁場までの陸上運搬および石積みについて概説することとし、石切場からの浜出しや海上運搬については別の機会に譲ることとする。

石材の運搬については、その大きさによりさまざまな方法が採られたと考えられる。栗石などの小さな石材については、もっこや石持棒、地車が利用されたと考えられる。しかし、重量約3~5tfにのぼる平石以上の大きさの石については、そのような巨石を乗せる車は当時存在しなかったと考えられることから、これらの石の運搬には人海戦術による運搬を行ったか、あるいは何らかの道具が利用されたと考えられる。

巨石の運搬については、斎藤忠が機械化以前の運搬器具および方法について考察を加えている⁵⁾。

斎藤はまず海外の学者により、すでに研究されている原始的運搬法として、

- ①ころと梃子による方法
- ②巨石を棒に縛り多人数により担ぐ方法
- ③勾配を利用して転がす方法

が用いられていたと推定している。

さらに近世初頭の運搬に用いられた道具として地車と修羅の二つについて考察を加え、修羅が特に巨石の運搬に重要な道具であったことを現存する図画や文献を引用して説明している。修羅による巨石運搬時には、石の上にリーダーとおぼしき人間が乗り、合図をし、音頭を取っていた事が絵図等に残されているが、一見些細に見えるこの行為が、多人数の呼吸を合わせ力を発揮するのに重要であったと記している。

また、巨石を山に引上げるような場合には、紀伊国名所図会の絵を引用し、棒に縛り、多人数の肩を利用して徐々に一進する原始的 방법이修羅を利用するよりも便利であったと推定している。修羅を利用した巨石の運搬には、3000人～5000人、中には1万人以上が従事したとの記録も存在し、誇大な表現があると考えても非常に多くの人力が必要であったことがうかがわれる。そのため、大変な労力を要する陸上運搬よりも、長距離になっても水上運搬が好んで用いられたと推定している。

高橋逸夫は石舞台古墳の天井石の運搬に関して定量的な考察を行っている⁶⁾。高橋は、石舞台古墳天井第二石の重量を約77tfであると計算した上で、勾配20分の1の上り坂を引上げるのに必要な力を計算した。図-3のように、ころと敷き板を用いた場合には、ころの摩擦係数を0.1と仮定して引上げる力を約12tfと算定している。

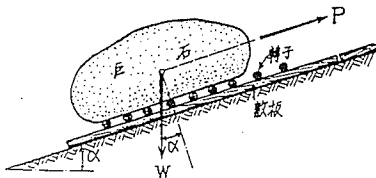


図-3 ころと敷き板による運搬

また、図-4のように修羅と敷き木を用いた場合には、摩擦係数を0.2と仮定して約19tfと算定している。高橋は人間一人の引く力を約30kgfと仮定するなどして、この修羅を引くのに人間だけでは約700人、牛馬等を利用して約500～600人の労働者が従事したであろうと推定している。

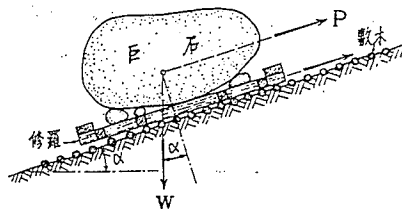


図-4 修羅と敷き木による運搬

昭和53年、藤井寺市の三ツ塚古墳濫跡から全長約8.8mもある修羅が発掘されたが当時その修羅と同じものを復元し石を引く実験が行われている⁷⁾。この結果によれば、人力による牽引力が約30kgfであることが実測されており、ころを利用する場合の摩擦係数が図-5のように0.05～0.15であることが確認されている。高橋の仮定がおおよそ妥当であったことが証明された。

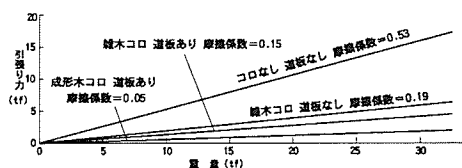


図-5 摩擦係数実測結果

この修羅を引く石引き実験により全長8.8mの修羅であれば、70～80tf級の大きさの石を引くことが可能であるとわかった⁷⁾。このことから大坂城の石垣に用いられている100tf程度の巨石でも、修羅を利用することで十分運搬が可能であったと考えられる。時代が比較的近い名古屋城築城の風景を描いた築城図屏風や、江戸城築城時の石材調達の様子を描いた石引図屏風等また、細川藩が江戸城築城時に用意した資材の目録等の史料からも、大坂城の巨石の運搬にも修羅が利用されていたと考えてよいだろう。

4. 石の積上げ技術

石材の積上げ方法については研究や資料が少なく、前出の高橋が石舞台古墳の積上げ方法として、図-6のように、側石については落とし込みにより、天井石については盛土をして修羅で引き、載せたものとして推定している程度である⁶⁾。

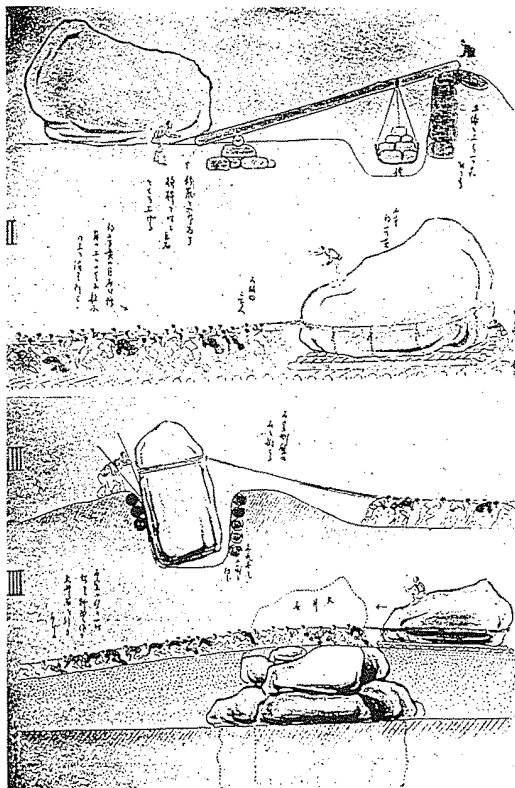


図-6 高橋教授考察石舞台巨石運搬および築造法

大坂城石垣は、10～30mの高さのところ角石で30tf以上の石、平石では3～5tf程度の石が多数使われている。1tf程度までの石材であれば、現在でも人力や梃子などの簡単な道具を利用することで運搬し、積上げることは可能であり、当時でもそのような技術が確立されていた。

しかし、それよりも大きい石材を大坂城の石垣のように高く表面をそろえて積むには、位置の微妙な調整が必要となり、現在のように重機械をもってしてもなかなか難しい。

それでは、この様に難しい大坂城石垣の積上げを当時の人々は果たしてどのようにして行ったのだろうか。

徳川期大坂城の石組み施工方法を類推する手掛かりとなる事柄としては、

- ①工事を短期間に行っていること。
- ②石材がきわめて大きく、石材の加工が緻密なこと。
- ③工事範囲が大坂城内に限られ、動員数に限界があること。

などが上げられる。

これらを考慮し、まず前述した石舞台古墳のように、盛土をして施工する方法が考えられる。しかし、図-7のように大坂城の石垣は高さが15～30mもあり大量の土砂が必要となり、完成後はこれを全て撤去するのに、膨大な労力と時間を費やさなければならない。また二次あるいは三次曲線ともいわれる石垣を精度よく積み上げるためには、常に全体の仕上がり形状を確認しながらの施工が必要であり、工事が比較的短期間で行われていることから、この方法を採用したとは考えにくい。やはり盛土をせずに石垣の背面から施工したとするのが妥当であろう。

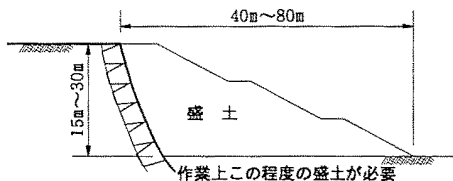


図-7 盛土をした場合

このように石垣の背面から施工する方法としては、人力と梃子による方法が考えられるが、石材が大きい場合には微調整が難しく、この方法だけでは効率的ではない。また古代ローマ帝国では人力による石の据付けに氷を利用したといわれているが、大阪では施工時期が冬季に限られ現実的ではない。

大坂城の枳形石垣では最後に積んだと思われる石は落とし込みが出来る形状をしており、石材を吊って施工したと思われる。このことは、ロープを掛けたと思われる溝を有する石(写真-4)が存在することからも、ほぼ間違いはないといえるであろう。一般部分の石垣にもこの吊上げ技術が応用されたと考えられる。

石材重量が3～5tfもある石材を所定の位置に石組みする場合でも、作業の効率からすれば石を吊って梃子で移動する方が簡単であり、また、30tf以上も

ある角石の場合は、所定の場所に据え付けるためには吊上げる技術なしでは実際上非常に困難である。



写真-4 吊った形跡のある石材

当時の吊上げ技術で一般的に良く知られている方法に「三叉」がある。これは丸太三本を櫓に組み滑車を利用して吊上げるものである。大坂城の石垣に対し、この三叉を利用して施工する方法を考える場合、図-8のように三叉の吊り位置が、石垣背面に数m離れてしまい、吊上げた石を積むべき位置まで押出したり面合せのための上げ下げが非常に難しい。

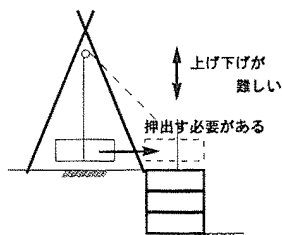


図-8 三叉による吊上げ

この場合、図-9のように石垣の前面を土砂で埋めて三叉を積むべき場所の真上に設置すれば施工は可能である。

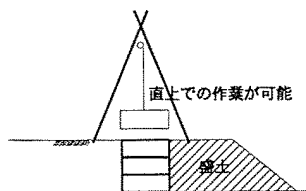


図-9 盛土をして三叉を利用する場合

地上から数m程度の石垣であればこの方法で解決するが、前述したように石垣上部の施工には盛土をして施工したとは考えにくく、吊り上げるための道具や機械に対してさらに工夫したり、新たな技術を取り入れたものと考えられる。

著者らは、盛土をせずに施工が可能と思われる種々の施工法を模索し、①二叉による方法、②天秤棒による方法の二つの仮説について考察した。以下、その検討結果についてのべる。

(1) 二叉による方法

梃子と人力で二叉近傍まで運んだ巨石を、二叉で吊り上げ所定の位置に据付ける方法である。

図-10はこの方法による作業風景である。

この方法は次に述べる天秤棒による方法に比べて作業効率や機動性の面で優れているが、吊上げ能力から考えて3~5tf程度の平石に多用したと推定される。

二叉を安定させるための抵抗力として巨石を利用し、石の前後移動は、ロープを絞込むか、ロープに重りをぶら下げることによって可能になる。

この方法で例えば 5tf程度の巨石を積み上げるためには、試算の結果、支えるロープの径(麻ロープ2本使用)38mm、三叉の太さ25cm、抵抗用の石20tf程度が必要となる。

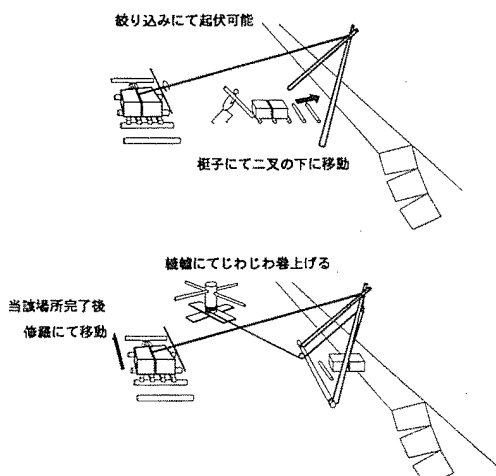


図-10 二叉による作業風景

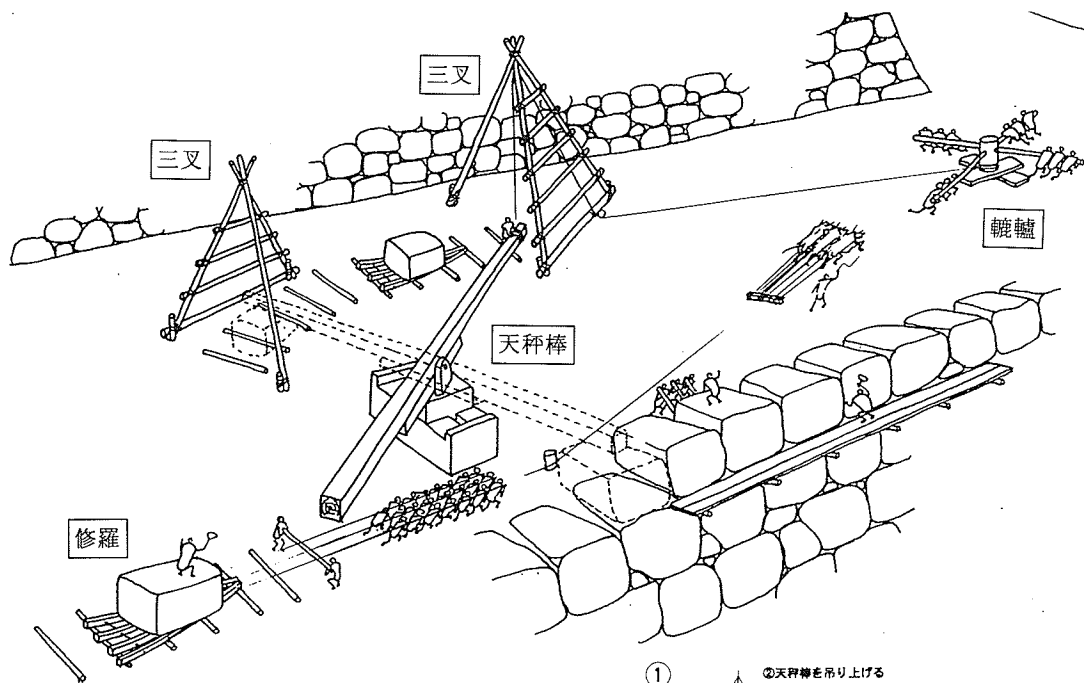


図-1 1 天秤棒による作業風景

(2) 天秤棒による方法

二叉による方法で対応出来ない大きい石については天秤棒による方法が考えられる。この方法で巨石の積上げを行っている作業風景を図-1 1 に示す。

修羅に乗せて運ばれて来た巨石を天秤棒と三叉（滑車使用）により所定の位置に据える方法である。三叉による吊上げには轆轤を使用したと考えられる。図の左側の三叉は、所定の位置に達した後、積むべき石を降ろすのに必要となる。

天秤棒による場合の施工順序は次の通りである。

(図-1 2)

- ①準備した天秤棒の一方に吊るべき石を近傍まで修羅で運びこみ、天秤棒の長い方を三叉にて吊り上げる。
- ②短い方の棒先端に据えるべき石をくくりつけ、その後、長い方を吊っていたロープをゆるめる。
- ③ほぼバランスが可能かやや重い石を修羅にて運び込み、三叉にて吊り上げ、長い方にくくりつける。
- ④長い方にくくりつけた石を吊っているロープを徐々にゆるめると、天秤は釣り合うかあるいは長い方が着地する。人力もしくは牛等により所定の位置まで回転させる。

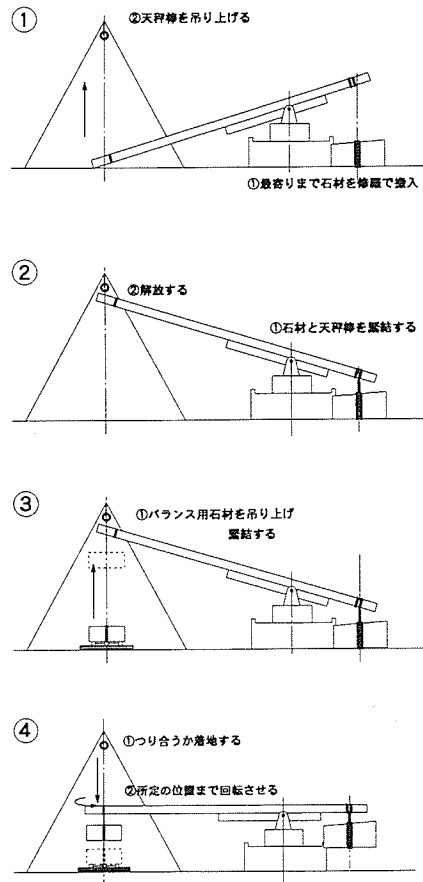


図-1 2 天秤棒による作業手順

図-13は天秤棒部分の構造概要である。これにより安定した回転と前後移動が得られ、巨石据付け時の微調整が出来る。各パーツの接合面は鉄板に油を塗布して滑りやすくし、天秤棒の緊結には縫い鉄棒と楔が考えられる。

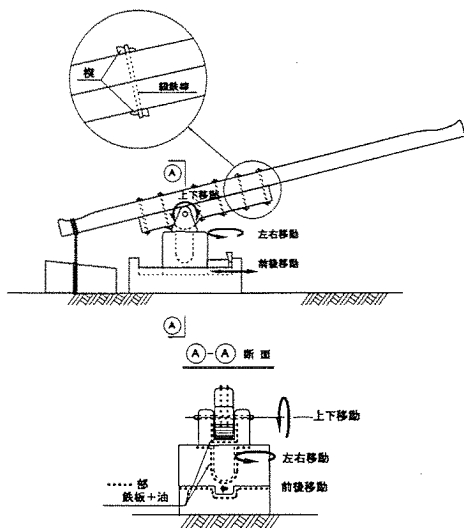


図-13 天秤棒の概要

この方法では概ね5～30tfの重さの角石などに多用されたと推定される。

例えば30tf程度の巨石を積上げるためには、試算の結果、修羅を引く人数60～180人、修羅の綱径（麻ロープ2本使用）20～30mm、天秤棒の太さ65cm角2本、三叉の太さ30cm、吊りロープ径（麻ロープ4本使用）55mm、轆轤を押す人数12人程度が必要となる。奇抜ではあるが可能性のある方法と思われる。

以上の二つ方法を含め、考えられる各種の積上げ方法と適用範囲との関係を模式的に示すと、図-14のようになる。

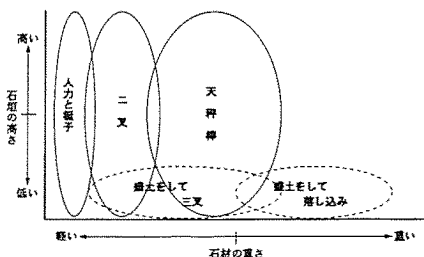


図-14 各種積上げ方法と適用範囲

5. おわりに

種々の方法で運んできた巨石の積上げ技術と、石の吊上げ技術などについて、本研究では大胆な提案と傍証を試みた。この施工法については、古文書や絵図などの史料が少ないため本報文はきわめて推論的なものに止まらざるを得なかった。

現実に大坂城の石垣には30tf以上の石材も多く使われており、施工法の謎は大いに興味のあるテーマである。史実としてはここにのべた原理を利用して対処したのか、あるいはもっと他に簡単な力の原理を応用した方法があったのかについて、当時の材料調達の可能性や技術のレベルも検証しながら、今後なお検討課題として追求していきたいと考えている。多分野の方々からのご教示を待ちたい。

なお、本研究は、平成7、8年度文部省科研として行っている「建設文化としての大坂城石垣総合研究」（委員長 天野光三、副委員長 西田一彦・渡辺 武）の一環として行ったものであり、関係各位にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渡辺 武：図説再見大坂城、大阪都市協会、1991年
- 2) 大阪市建設局：業務論文報告集、大阪市土木技術協会、1993年
- 3) 岡本良一：大坂城、岩波書店、1970年
- 4) 渡辺 武：巨城の石垣、歴史群像・名城シリーズ①大坂城、学研、1994年
- 5) 斎藤 忠：近世初頭における巨石運搬法の考察、史林第18巻第2号、京都大学文学部史学研究会
- 6) 高橋逸夫：石舞台古墳の巨石運搬並に其の築造法、大和島床石舞台古墳の巨石古墳、京都帝国大学文学部考古学研究報告第14冊、1937年
- 7) 朝日新聞大阪支局：修羅、発掘から復元まで、1979年