

大坂城石垣築造に関する現地調査の結果と考察

Result and Consideration of Site Investigation on Osaka Castle Stone Wall

西田一彦*¹ 佐々木良作*² 中村博司*³ 玉野富雄*⁴ 溝口昭二*⁵ 小野 諭*⁵

by Kazuhiko NISIDA, Ryosaku SASAKI, Hiroji NAKAMURA,

Tomio TAMANO, Syoji MIZOKUTI, Satoshi ONO

要旨：現存する徳川期大坂城の石垣は、近世石垣築造（普請）における歴史的文化遺産とも言える土木構造物であり、これまでその石垣構造や支持地盤の特性に関する工学的考察が試みられているが、なおかつ不明な点が多く残されている。本報告では、大坂城敷地内でのボーリング調査によって得られた基礎資料を基に、新たな知見を紹介するとともに、石垣築造に関する歴史的、地盤工学的考察を行う。

1. はじめに

「建設文化としての大坂城石垣築造に関する総合研究」では、平成7・8年度文部省科学研究により「大坂城地盤図」を作成することを研究目的の一つとして調査に着手している。昨年度は大坂城敷地内でこれまでに実施された多くのボーリング調査資料を収集整理することにより、大坂城の地質断面図を作成するとともに、石垣築造に関する地盤工学的考察を試みている。しかし、これらの研究は、既存文献を収集整理しながら解釈を加えたものであり、実際にその適否を検証できるまでには至っていない。

この度、大坂城敷地内で基礎地盤、石垣構造等の状況を把握するためボーリング調査を行い、基礎資料を得ることができたので、以下、調査から得られた基礎地盤の土層区分、石垣の根入れ状況、裏込め石、さらに地下に埋もれているとされている豊臣期の石垣遺構等についての知見を紹介し考察する。

2. 調査概要

(1) 調査位置

調査位置は、図-1に示すように、豊臣期石垣遺構の確認、高石垣の根入れ状況、既存調査地点との関係、調査作業の安全性等を考慮し、本丸南部の空堀およびそれに近接する内堀とした。

(2) 調査内容

・直ボーリング(NO. 1, 2, 5)	延 7 8 m	・横方向K値試験	計 6 回
・水平ボーリング(NO. 3)	延 2 5 m	・乱さない試料採取	計 4 試料
・水平上向きボーリング(NO. 4)	延 2 2 m	・ボアホールカメラ	3 箇所
・標準貫入試験	計 7 5 回	・動的コーン貫入試験	延 7 4 m

キーワード：地盤特性、石垣遺構、裏込め石

*1 正会員 工博 関西大学工学部土木工学科（〒564 吹田市山手町3-3-35）

*2 正会員 兵庫県土木部河川開発課（〒650 神戸市中央区下山手通5-10-1）

*3 大阪城天守閣（〒540 大阪市中央区大阪城1-1）

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

*5 正会員 中央開発(株)大阪事業部（〒564 吹田市垂水町3-34-12）

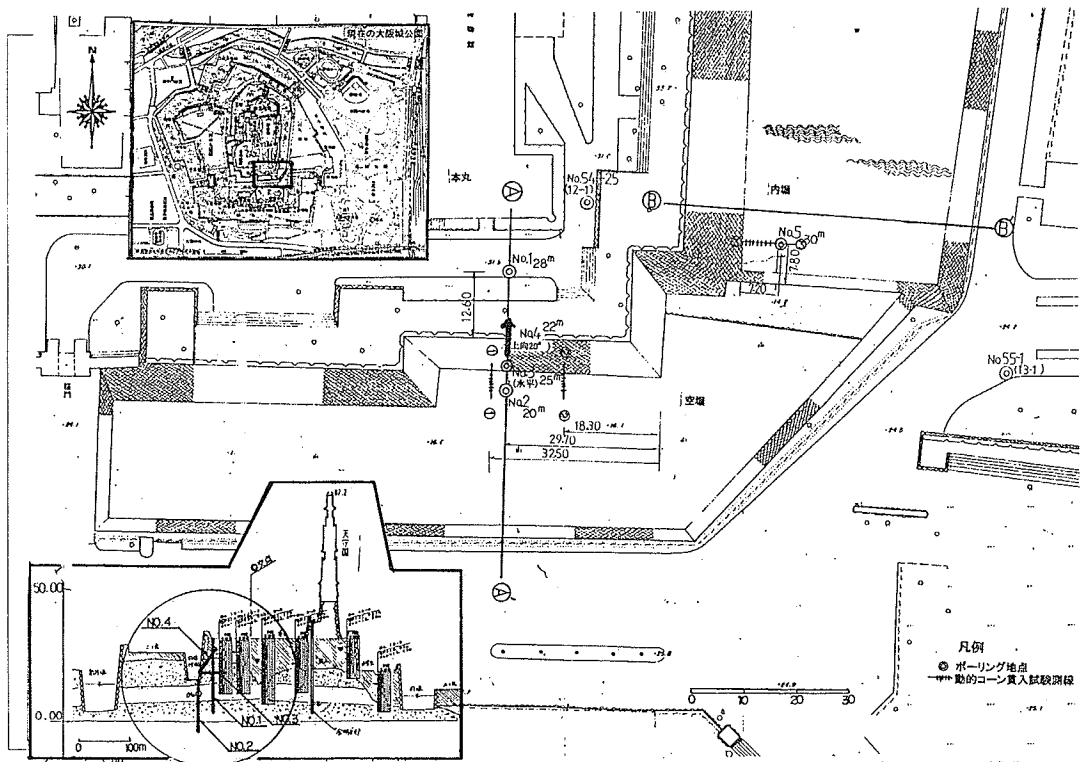


図-1 調査位置図

(3) 調査手順

調査は、まず、動的コーン貫入試験により石垣基礎部の根入れ状況を確認し、垂直ボーリングにより基礎の地盤状況を確認した後、石垣表面から水平ならびに上向きにボーリングを行い、石垣背後の裏込め石、地山等の状況を把握し豊臣期の石垣遺構を探る。

また、ボーリング孔内にボアホールカメラを入れ、裏込め石等の状況を観察するとともに、地山と盛土の区分を明らかにするための参考資料として、ボーリングNO. 1～4で採取した試料について土質試験、強熱減量試験等を行う。

(4) 調査結果

A断面における調査結果を図-2に、B断面における調査結果を図-3に示す。

3. 調査結果の考察

(1) 本丸南部周辺地盤と土層区分

各断面について調査結果から推定した土層区分、石垣の根入れ、裏込め石、石垣遺構の状況等は図-4、図-5に示すとおりである。土層は次の様に区分される。

B 層：埋土、盛土された土層であり、シルト混じり砂を主体とする。

Us 層：地山の最上部土層であり、シルト質細砂が主体で全体に貝殻片を混入する。

Uc 層：層厚8m程度の均質なやや硬質な砂混じり粘土である。

Ug 層：層厚8m程度の砂礫層であり、シルト・粘土および砂を挟在する。

D 層：Ug 層以深には洪積層（大阪層群）の砂質土・粘性土が互層状に堆積する。

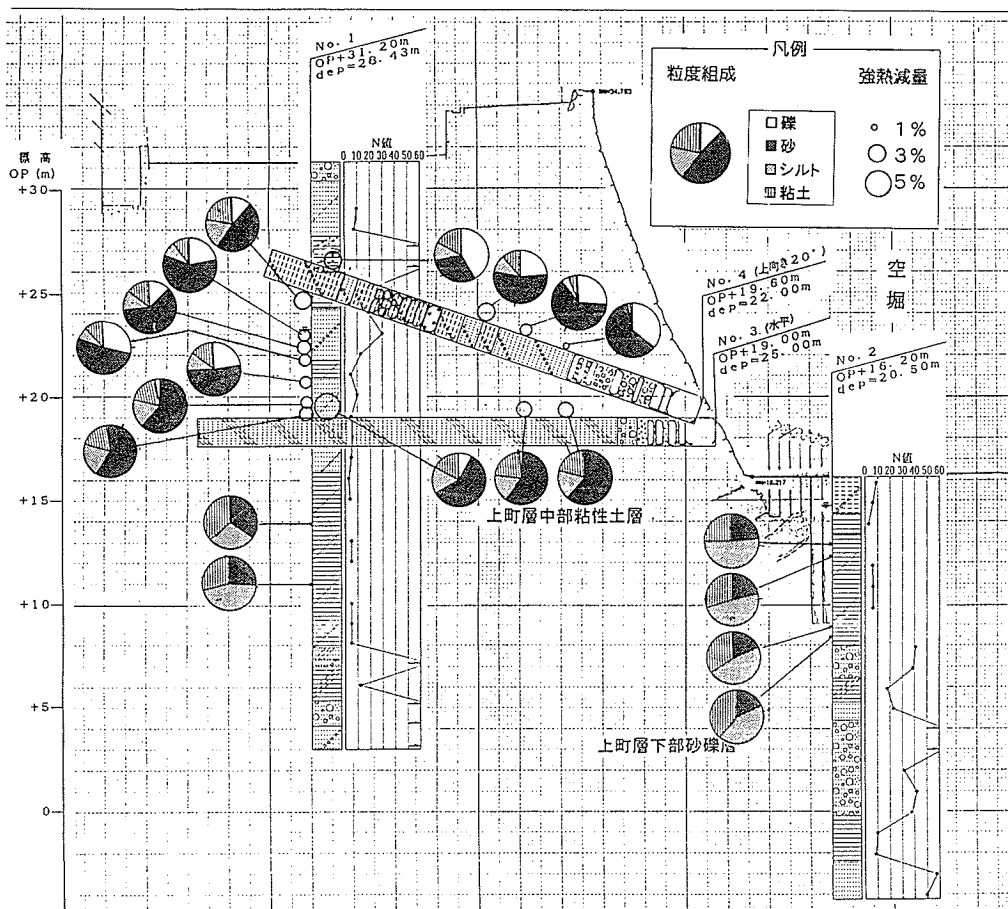


図-2 A断面調査結果

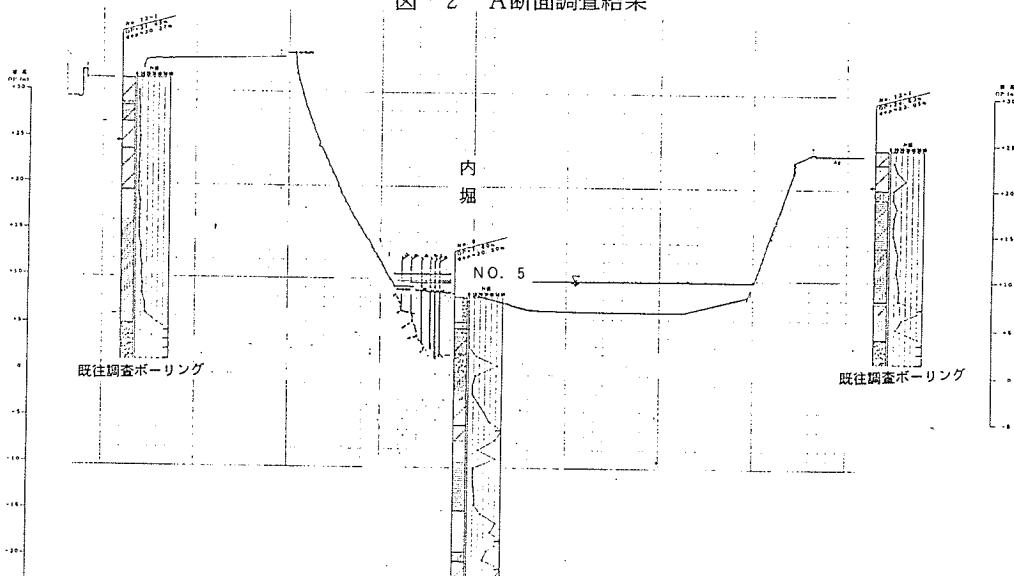


図-3 B断面調査結果

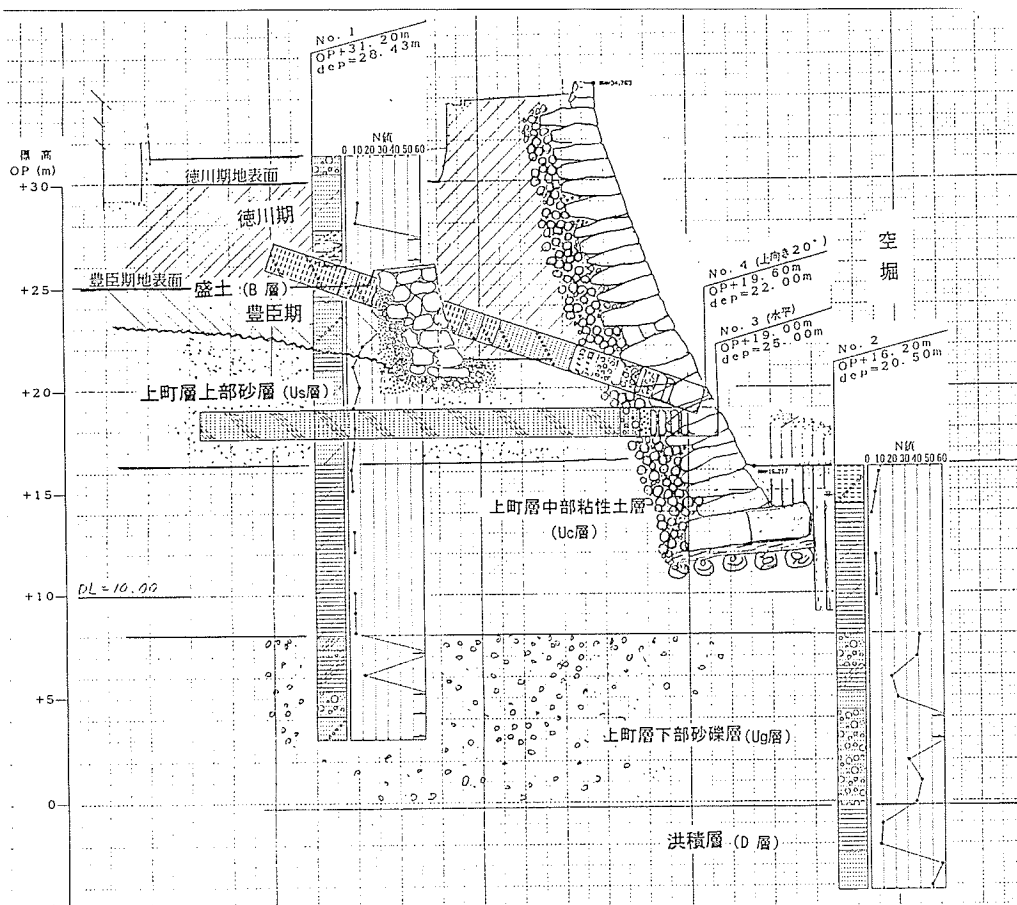


図-4 A断面土層区分ならびに石垣遺構推定図

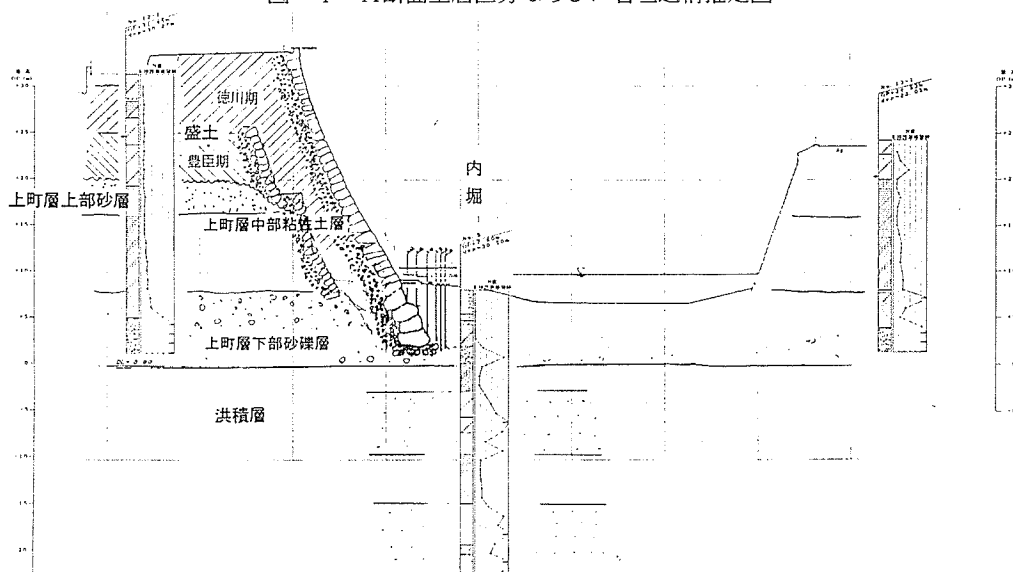


図-5 B断面土層区分ならびに石垣遺構推定図

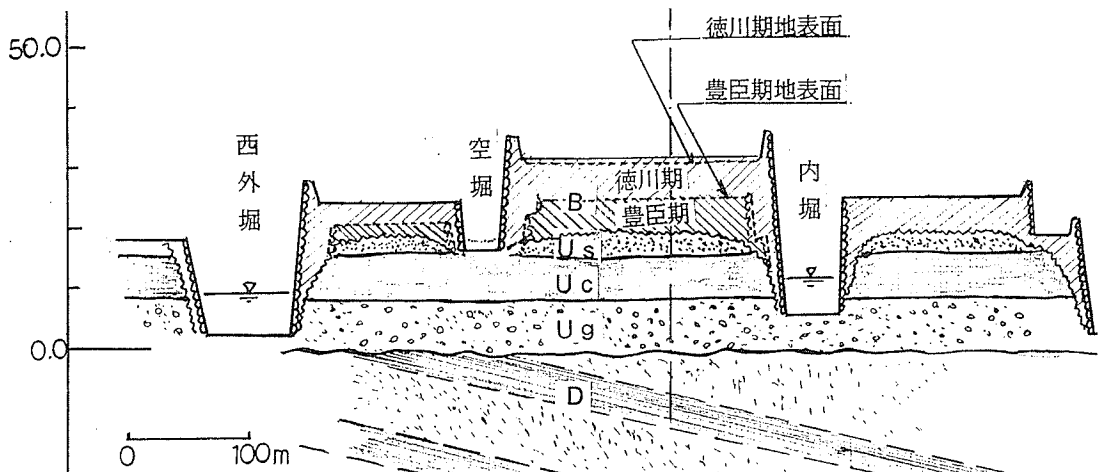
石垣背後地盤は前述したとおり、盛土層（徳川期と豊臣期に区分されると考える）とその下部に地山の砂層（Us）、粘土層（Uc）、砂礫層（Ug）とさらに洪積層（大阪層群）と堆積している。

図－４、５はボーリングおよび動的コーン貫入試験により徳川期および豊臣期の石垣、裏込め石の状況を推定したものである。

徳川期石垣の表面形状は、正面からの高性能写真撮影により、個々の石垣の形および座標を測定し、断面線を表示している。石垣および裏込め石等の形状はボーリング結果を用いて奥行を求め、石垣全体の形状は、「図説再見大阪城」に記された再築大坂城の石垣イラスト図を参照しながら表面の石垣の大きさに合わせて図示したものである。根石あるいは胴木も同様の方法で描いており、コーン貫入試験結果から1.5m程度根石が前に出ていると想定される。

N0.4ボーリングにおいて13.3mからの位置にみられる岩石群については、豊臣期の石垣とするか徳川期石垣の裏込め石等とするかの判断は困難であるが、後述する理由により豊臣期の石垣であると推定している。図－４では、本丸地下を開削した時に得られた石垣断面模式図を参考に、石垣高さ5～6mと仮定して模式的に図示している。これら豊臣期の石垣、裏込め石、盛土の形状については、かなり大胆に推定したものである。

今回の調査結果と既存資料をもとに、大坂城の模式地質断面を作成し、図－６に示す。



図－６ 大坂城の模式地質断面図（東西方向）

（２）石垣基礎地盤の力学的特性

石垣の背面および下部支持地盤の力学的特性について、標準貫入試験、横方向K値試験・土質試験結果を用いてまとめた。

B層はN値10～30、横方向K値試験から求まる地盤の変形係数 $E=20\text{kgf/cm}^2$ である。Us層はN値5～10、 $E=30\sim50\text{kgf/cm}^2$ とB層に比べて締まった地盤であることが判断される。Uc層はN値3～7、 $E=63\sim104\text{kgf/cm}^2$ 、室内土質試験の一軸圧縮強さは $q_u=2.5\sim5.0\text{kgf/cm}^2$ 、圧密試験の圧密降伏応力は $p_c=5.3\sim6.8\text{kgf/cm}^2$ とやや固結状となっている。Ug層はN値20～50以上、 $E=480\text{kgf/cm}^2$ とよく締まった状態である。

それ以深の洪積層（D層）においては粘性土層は、N値8～13、砂質土層はN値18～50以上と硬質地盤となっている。

(3) 石垣の根入れ

a) 形状

イ. A断面

動的コーン貫入試験によって、直接的に地中へ探針棒を挿し込み、図-7に示すように、石垣に直交方向に50cm間隔で探査を行ない、石垣の傾斜角、深さや端部を確認した。

動的貫入試験は、一定重量のハンマーによって先端コーンを付けたロッドを打ち込む衝撃式貫入試験機であり一定長打ち込みに対する一定高さからの打撃回数を測定し、これを地盤の貫入抵抗指数と考え、相対的な土の硬軟、締まり具合あるいは土の構成を判定するものである。

石垣面から2.5 m離れまでは、GL-2.0m付近で貫入不可となり、石材状のものに当たった。なお、さらに離れて3.0 mの地点ではGL-7.0mまで貫入しており、地中での根入れの先端は最大で3.0 mまでと考えられる。

ロ. B断面

A断面と同様の手法を用いて貫入試験を実施した。試験結果を図-8に示す。B断面は水面上から試験を行っており、掘底にはいくらかヘドロ状の物質がたまっている。石垣面から3.5 m離れまでは最下端で貫入抵抗が急増しており、石材状の非常に固いものに当たっている。さらに4.4 mより遠ざかると、GL-6.0 m付近より貫入抵抗が大きくなるが、徐々に大きくなる傾向であり砂礫地盤に相当しているものと考えられる。

b) 支持地盤との関係

イ. 空堀 (A断面)

石垣の基礎形状を前述した貫入試験により探査推定して、およその概形を把握することが出来た。石垣の直高は埋もれている部分を推定して底面より $H=24\text{m}$ であり、花崗岩の比重 $G=2.6$ と仮定すると荷重 $q=62.4\text{tf}/\text{m}^2$ と求まる。石垣底盤の基礎地盤は U_c (粘性土) 層であり、この層の圧密降伏応力が $p_c=5.3 \sim 6.8 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ で、石垣荷重にはほぼ同様の強度を示している。

即ち、石垣築造において U_c 層に支持させる石垣としては $H=20\text{m}$ 程度であることを経験的に把握していたことが予想される。

ロ. 内堀 (B断面)

B断面における内堀は非常に高い石垣であり、石垣底盤から直高 $H=32\text{m}$ と推定される。これまで地盤内に埋もれた石垣がどこまで存在するかは不明であったが、今回貫入試験によってGL-5~7 mまで実在していることが推定された。石垣底盤の基礎地盤は空堀より深く、しかも土層も砂礫層となっていることに相違点が見られる。 U_g 層は平均 N 値30程度であり変形係数 $E=480 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ とよく締まった層であり、大阪平野における通常の杭基礎の支持地盤に当たる天満礫層相当層と考えられる。そこで例えば埋戻し杭の先端支持力公式により支持力を算定すると、 $R_p = \alpha \cdot 15 \cdot N \cdot A_p$ (R_p : 極限支持力, α : 補正係数0.5, N : 平均 N 値, A_p : 先端面積) より $R_p = 0.5 \times 15 \times 30 \times 1.0 = 225\text{t}/\text{m}^2$ である。

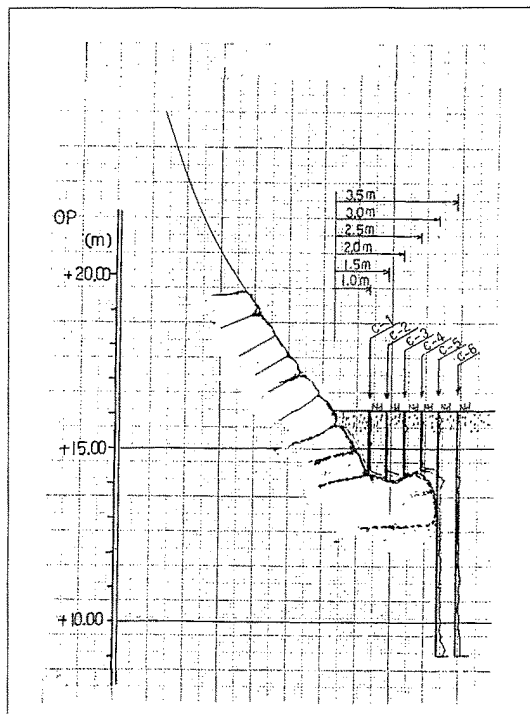
許容支持力を $R_a = R_p / 3$ と設定すると $R_a = 75\text{t}/\text{m}^2$ と求まり、石垣荷重 $q=32 \times 2.6 = 83.2\text{tf}/\text{m}^2$ であり、概略計算ではあるが石垣と支持地盤の間にはいわゆる極限設計的な力学関係であることが伺える。

(4) 裏込め石の状況

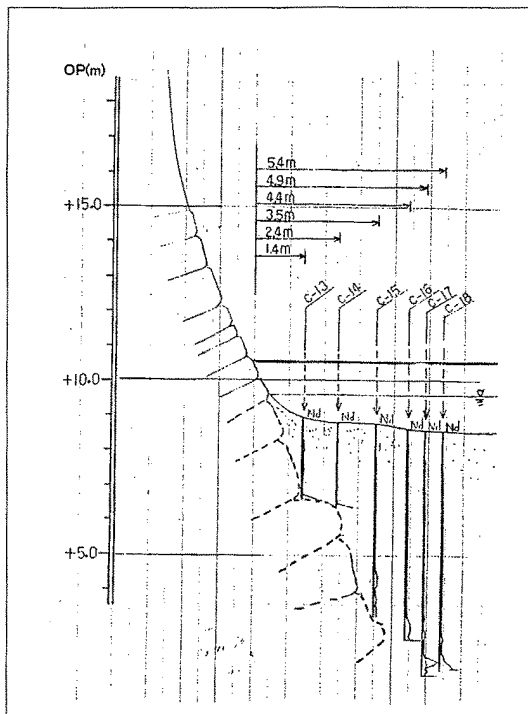
a) ボアーホールカメラ観察結果

水平および上向きボーリングによれば、平石の背後には約3 mの幅をもって、裏込め石が埋められている。栗石の形状は、10 cm~20 cm程度の割石状の石材が主であり、空隙が多い。目潰し用砂利はさほど見られない。裏込め石と地山（もしくは普通盛土）の間に、地山と空隙の多い栗石をつなぐトランジショ

ン材ともいえるような砂礫が幅50cm程度に見られる。



図－7 A断面根入れ状況



図－8 B断面根入れ状況

b) 栗石の役目

城の石垣の裏側には、必ず裏込め石が用いられる。現代の土木構造物においても、積ブロックや擁壁の裏側には経験工学的に適量の栗石が使用されている。この裏込め石の役目は、排水作用、土圧の軽減、すべり抵抗力の増加等であるが、その効果を定量的に判定することは困難である。しかし、阪神・淡路大震災で被災した明石城の石垣の崩壊状況を観察すると、裏込め石の状況（栗石の大きさ、材質、量、目潰し材の有無等）が石垣の安定に大きく影響していることが理解できる。

(5) 石垣遺構

a) 豊臣期石垣遺構の確認

徳川期の本丸部分は、豊臣時代の本丸をすっぽり包み隠すように普請されたとされている。中井家所蔵の平面図をもとに、両者の縄張りを比較した研究も行われており、これら報告によれば、現在の空堀の本丸側には、豊臣期の空堀石垣があることが推測されている。

これら報告を参考にして、今回、NO. 4ボーリングで捉えた孔口から13.3m～15.3m間の岩石群については以下の理由から豊臣期の石垣遺構である可能性が高い。

(理由) ①空堀の石垣天端高さを想定すると、豊臣期本丸の「中の段」の高さに匹敵するものであり、これまでの調査から「中の段」地表面は標高24m程度とされていることと矛盾しない。

②豊臣期の石垣がそのまま埋められているなら、NO. 4ボーリングの孔口から6.5m～13.3m間の土砂は、人工盛土（徳川期）でなければならない。ボーリング試料を目視観察するのみでは、その区分は困難であるが、粒度組成から盛土と解釈する方が妥当と考える。

③岩石群は、石材としての大きさが徳川期の石垣に比べやや小さいと思われるが、既往調査で判明している豊臣期の石垣とはさほど違ってはいない。

④仮に、豊臣期の石垣遺構であれば、その裏側の土砂は、盛土もしくは地山の両方が考えられ、現在のところ決め手はないが、粒度組成から②同様盛土の可能性はある。

b) 豊臣期の空堀と石垣

N O. 4 ボーリングで捉えた岩石群が豊臣期の石垣遺構であるとすれば、以下のことが言えるが、これまで推定復元されている豊臣期大坂城石垣のイメージを大きく変えてしまうことになる。

①水平ボーリング（N O. 3）によれば標高19m以下は人為的に乱されておらず地山であることは明らかである。これを前提にするなら、石垣の高さは、高く見積もっても6～7m程度である。

②豊臣期の空堀の深さは、低く見ても標高20m程度であり、現在の空堀の底敷高さ（標高16m）よりかなり高い位置になる。

4. おわりに

ボーリングを主とした直接的調査によって、ほんの一部ではあるが、大坂城基礎地盤の状況が地盤工学的に明らかになるとともに、豊臣期の石垣遺構を推定出来たことは、今回の調査の大きな成果といえる。

今後、大坂城模式地質断面図等を基に、既存ボーリング資料の見直しを行うことで、これまであいまいに解釈されてきた地山と盛土の区分がより明確になり、豊臣期、徳川期における地山、盛土の状況を推定することが可能になるとともに、後続の同様な調査と合わせることで大坂城敷地内の地盤構造を面的・立体的に明らかに出来るものとする。また、大坂城の地下に眠る豊臣期の石垣遺構について従来から想定されている形状を地盤工学的根拠をもって裏付けることや、修正が可能になるものとする。

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築造に関する総合研究」（委員長；天野光三，副委員長；西田一彦・渡辺武）の一環であり、関係各位のご指導ご教示に対し深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 山根徳太郎(1954)：大阪城址の文化的研究，大阪市立大学大阪城址研究会予察報告
- 2) 渡辺武(1983)：図説再見大阪城，大阪都市協会
- 3) 宮上茂隆・穂積和夫(1984)：大坂城 天下一の名城，草思社
- 4) 土質工学会関西支部(1992)：関西地盤
- 5) 断層研究資料センター・災害科学研究所(1991)：上町断層研究会資料集
- 6) (財)大阪市文化協会(1985)：特別史跡大坂城跡
- 7) 渡辺武・北川 央・佐々木良作・石川浩次・溝口昭二・小野 諭：大坂城石垣築造技術“普請”に関する地盤工学的考察について，土木史研究第16号 土木学会, P. P. 609-618, 1996