

埋蔵文化財包蔵地における施工技術に関する研究

研究期間：平 23

担当チーム：先端技術チーム

研究担当者：藤野 健一、石松 豊

【要旨】

近年の文化財保護においては、第 3 次明日香村整備計画に見られるように「凍結的保存」から「創造的活用」へ考え方が変化してきている。奈良県の飛鳥歴史公園や来年度、平城遷都 1300 年事業を迎える平城宮跡歴史公園等においては、国の特別史跡等において公園整備が行われるなど、文化財関係部局と社会資本整備部局とが協調した国土整備が進められている。また、このような公園分野以外でも同様に文化財を適切に保護しつつ、社会資本整備を進めていくことは、国土の歴史を後世に伝える意味において長期的な国土整備における重要な視点である。また、埋蔵文化財包蔵地及びその周辺で土地に改変を加える（工事を行う）場合、文化財保護法第 92 条により、事前の届け出に伴う発掘調査及びその結果に基づく適切な保存が事業者の責任で行われる必要がある等、事業者の責務は重大である。このような埋蔵文化財保護の参考となる資料は、これまで文化庁文化財部記念物課が作成した「史跡等整備の手引き 保存と活用のために」がある。しかし、これは文化財関係者から見た文化財を保護するための「条件」の記述が主であり、文化財保護を念頭に置いた施工については確立した考え方がなく、個々に一から検討していく必要があった。

このような状況を受けて、本研究では、近年の事例などを参考として埋蔵文化財保護を念頭に置いた施工を行う場合の検討の視点や留意点、また、このような場での活用が期待される技術についての事前検討を行うものである。

キーワード：埋蔵文化財、観光、情報化施工、3次元マシンガイダンス、GNSS 転圧締め管理

1. はじめに

日本では、その国土に地域それぞれが培ってきた歴史が刻み込まれている。その 1 つに埋蔵文化財がある。

建設事業はいわゆる「開発」として土地の改変を伴う。その一方で、これらの埋蔵文化財は先人たちの歩みを示すものとして後世に伝えるべきものであるとともに、観光等の地域振興の柱となり得るものが多く、いわゆる「保存」と「開発」・「活用」の両立が求められている。

特に、埋蔵文化財については、包蔵地またはその周辺で土地に改変を加える場合には文化財保護法第 92 条によって、事前の届け出に伴う発掘調査及びその結果に基づく適切な保存が「事業者の責任」で行うことが明記されており、事業を進めていく上で埋蔵文化財保護に万全を期することが義務づけられている。

本稿はこのような埋蔵文化財保護への先端的建設技術の適用について検討を行い、文化財保護と活用の両立を目指すものである。また、併せて日本の歴史上の重要性が極めて高い、飛鳥および平成 22 年に遷都 1300 年を迎えた特別史跡平城宮跡を対象として実施した情報化施工および 3 次元データの有効活

用について報告する。

2. 文化財保護の現状と課題

2.1 埋蔵文化財包蔵地での発掘調査

ここでは、埋蔵文化財包蔵地における発掘調査について述べる。一般的に、埋蔵文化財包蔵地は遺跡図等でその位置や発掘状況が示されており、平城宮跡では図-1 にあるとおりである。

これらの調査結果に基づいて発掘計画が立案され、当初の表土はバックホウやドーザーなどの小型建設

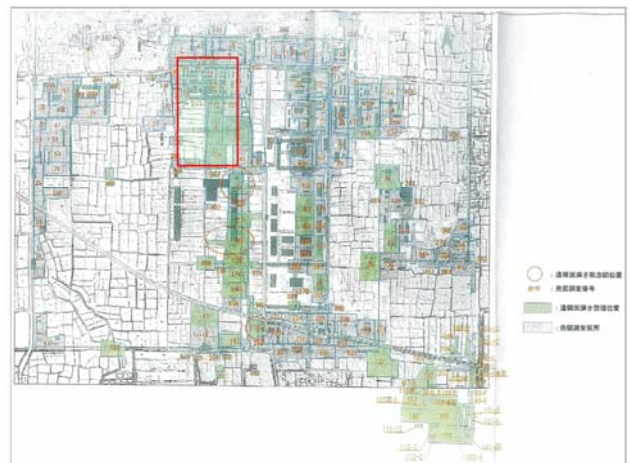


図-1 遺構面整理状況



写真－1 保護砂の撒き出し状況

機械を使用して掘削し、遺構面に近くなると人力による丁寧な掘削に切り替えて発掘作業を行う。

発掘調査後には遺構面を保護するために遺構面上に保護砂を撒き出し、その上で現地発生土によって埋め戻しを行う（写真－1）。

また、発掘調査においては測量などによって結果が記録されており、近年ではラジコンヘリ等を使用した空撮や空測も行われている。

これらの成果は遺構保存を行うために重要な遺構面の位置データ取得に欠かせないものである。

近年ではトータルステーションなどの機器も導入され始めており、工事測量と遜色のない精度での測量が行われている。



写真－2 発掘調査における空撮



写真－3 発掘調査における測量

2.2 埋蔵文化財包蔵地での施工上の課題

一般的に、埋蔵文化財を有効活用する場合には2.1に示した発掘調査の結果に基づいて、「復原」等の遺構表示に関わる施工が行われる。これを実施するに当たっては、

関係する発注者等へのヒアリングから以下の課題があることがわかった。

- ① 埋蔵文化財（遺構・埋蔵物等）の破損防止
埋蔵文化財包蔵地では、様々な手続きが必要となるが、施工においても最重要事項として、埋蔵文化財の破損防止に努めることが求められる。
- ② 発掘調査結果の信頼性
たとえば飛鳥の石舞台では昭和8年に京都大学が発掘調査を実施したように、発掘調査はかなり古くから行われてきており、その測量成果に現代と同等の測量精度を求めてよいが不明確なものが多い。従って、現地で試験的に遺構面からの覆土厚を確認することなどが必要である。
- ③ 遺構面より深い位置の砂質土層への対処
復原においては、覆土の上に建築物を建てることが多く、建築基準法などで定められる耐震性が求められる。このとき、ボーリング作業などによって、砂質土層が存在されることが確認された場合、場合によっては遺構面より深い位置での土質改良が必要となるため、計画の変更や現状変更の許諾を伴うことが必要となる。

このような発掘調査等に係わる課題や知識を現場管理者がオペレータ等に周知しておくことが肝要で

ある。万一、施工中に遺構面に近接した掘削を行った場合、このような発掘調査および埋め戻し手順を理解していれば、保護砂を検出した場合、極めて危険な状況にあることがわかる。

なお、古い発掘調査においては、このような保護砂による遺構面保護を行っていない場合もあるので、教育委員会が有する遺跡図等で発掘年次なども確認しておくことが必要である。

3. 埋蔵文化財保護を目的とした情報化施工

3.1 概要

平城宮跡は世界遺産にも登録されている特別史跡で、これまでも日本の歴史を書き換える数々の発掘成果を上げている埋蔵文化財包蔵地である。

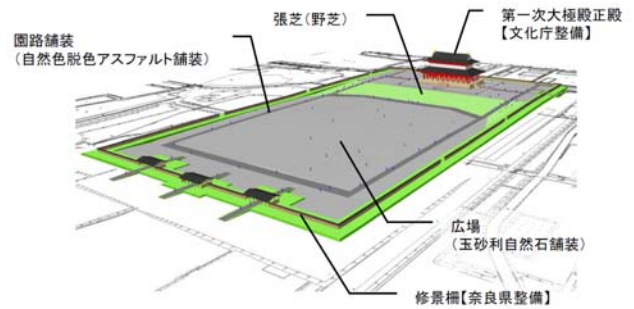


図ー2 第1次大極殿院完成イメージ図

このうち特に重要な第1次大極殿院地区の広場整備においては、復原のための地質調査及び文化財保護の手法として情報化施工を活用した施工を実施した。その概要は次の通りである。

工事名：平城宮跡第1次大極殿院広場整備工事

・敷地造成工	掘削	16,830m ³
	路体盛土	12,100m ³
	軽量盛土	2,039m ³
・植栽工	張芝工	13,950m ²
	雨水排水設備工	U型側溝 1,944m
・雨水排水設備工	雨水柵	53基
	管渠工	470m
	舗装工	天然砂利舗装 27,400m ²
	自然色舗装	4,020m ²



図ー3 広場施工概要図

図ー3に広場施工の概要図を示す。張芝・広場およびその付属物（排水施設等）が施工対象である。

3.2 施工の準備

今回の施工においては、以下の点について施工上留意した。

① 遺構面の把握

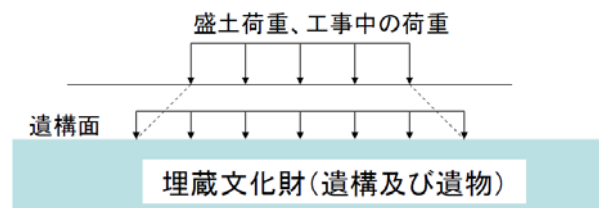
埋蔵文化財への施工の影響を最小限にするためには、埋蔵文化財の遺構面を把握する必要がある。これまで、平城宮跡の発掘調査は過去に独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所（以下、「奈文研」という。）が実施している。この結果に基づく発掘調査後の遺構面の整理状況（着色部）は前述の図ー1に示したとおりである。赤線部が第1次大極殿院の回廊位置である。

このデータから奈良時代の遺構面は現地盤から約-0.2～-2.4mの位置にあることがわかった。

また、現在第1次大極殿院地区は東側半分のエリアが発掘されているが、西側半分のエリアについては後世にそのまま残すことが予定されており、明確な遺構面が把握できない。これについては、有識者からの指導により、西側エリアについては、東側エリアと中心軸において対象であることを前提として設計・施工を行った。

② 地質調査

地表から力を加えた場合、地下の埋蔵文化財には図ー4に示すとおり、変形や圧縮力を受ける。



図ー4 荷重が遺構に与える影響イメージ

このとき、遺構面および埋蔵文化財はその下に存在する地盤の強度によっては損傷を受ける可能性がある。

そこで、過去に実施されてきた地質調査をもとに、第1次大極殿院地区の東西方向および南北方向の地層断面図を作成した（図-5、6）。この図より、

- ・ 第1次大極殿院西側には腐植土層（Ap層）が存在し、軟弱地盤となっている（過圧密度20kN/m²）。
- ・ 南北方向の第1次大極殿院中ほどに砂質土層（As層）が存在し、地震時に液状化する恐れがある。

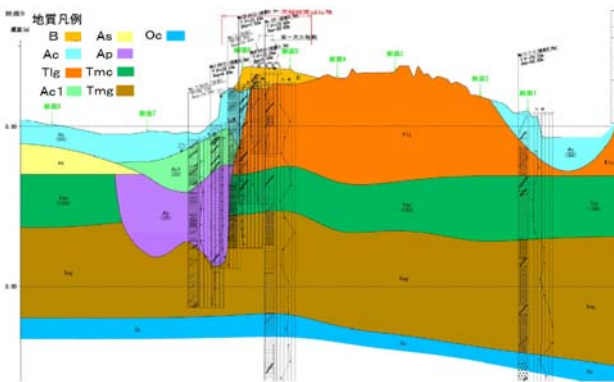


図-5 東西方向の地層断面図

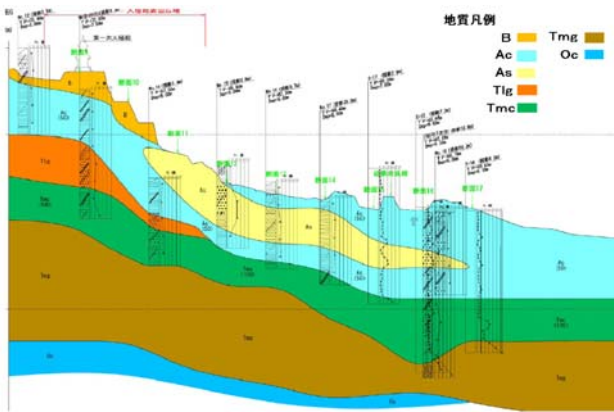


図-6 南北方向の地層断面図

ことが判明した。この結果、今回の広場整備においては、腐植土層による圧密沈下の影響にも対応することが必要であることがわかった。

3.3 情報化施工の目的

今回の施工においては、埋蔵文化財に与える影響を最小限に食い止めつつ、広場整備工事を行うことが必須要件である。検討の結果、以下の方針を定めた。

表-1 情報化施工使用機材と使用目的

工種	施工機材とシステム	使用目的
敷地造成工 掘削工	ブルドーザー 3D-MC, mm-GPS	①
敷地造成工 路体盛土工	ブルドーザー・モーターグレーダー 3D-MC, mm-GPS タイヤローラ GPS 締固め管理システム	① ③
雨水排水設備工 作業土工	バックホウ 3D-MG, mm-GPS	②
園路広場整備工 アスファルト系 舗装工（路盤工）	ブルドーザー・モーターグレーダー 3D-MC, mm-GPS タイヤローラ GPS 締固め管理システム	① ③

- ① 広場の造成において、遺構面から確実な隔離を持った施工を行う。
 - ② 広場の掘削作業（側溝・柵の施工）において、地下遺構を損傷しない。
 - ③ 広場内での締固めにおいて、過度な荷重をかけない。もしくは過度な締固めを行わない。
- 今回はこれらの達成を目的として、建設機械と施工法の選定にあたり、情報化施工を導入することとした。

3.4 施工機材と施工法の選定

今回の施工においては、遺構の保護を目的として、遺構面から地表まで50cmの被覆土（現状での最小厚）を確保することとし、それを前提として遺構に対する荷重等の負荷を考慮した上で使用する運搬車両／建設機材の選定を行った。

特筆すべき事項としては、

- ・ 運搬機材が地盤に与える影響が大きいため、原則として4tダンプを使用することとし、仮設盛土などの保護を施した箇所においては10tダンプまでの使用に制限した。
- ・ 土の締固め工については、深層部まで影響しないように振動ローラの使用は行わなかった。また、ロードローラで12t級、タイヤローラで20t級の使用に制限した。

あわせて、損傷リスクの低減に情報化施工を活用した。表-1に情報化施工適用工種と使用した機材を示す。さらに、軟弱地盤区域（Ap層）については、軽量盛土（EPS工法）を使用し、負荷の低減に努めた。

3.5 情報化施工の実施とその効果

(1) 全体構成

平城宮跡第1次大極殿院広場整備工事において使用した情報化施工の全体構成を写真-4に示す。

なお、mm-GPSを使用しているため、回転レーザーも設置している。



写真-4 情報化施工の全体構成

(2) 3次元マシンコントロールシステム

3次元マシンコントロールシステムは出来形の品質確保のために、mm-GPSを使用し、ブルドーザーおよびグレーダーの施工で活用した。

今回の効果は以下の通りである。



写真-5 3D-MCブルドーザーによる造成

- ① 小規模な造成工事ではあるものの、効率的な施工が実施できた。
- ② 地表面に丁張りを打つ必要がないため、文化庁への現状変更手続きが不要となり、事務的な手間を大幅に軽減することができた。
- ③ 広場での排水勾配の造成が効率的に良好な仕上がり精度で実施できた。

逆に、デメリットは以下の通りである。



写真-6 3D-MCコントローラ画面

- ① mm-GPSの適用範囲から外れると回転レーザーの移動が必要になった。
- ② 盗難防止のためにGPS基地局や建設機械に搭載したコントローラを毎日着脱し、保管する手間がかかった。
- ③ 情報化施工の機器コストが高く、建設機械の価格と同等かそれ以上のコストとなるため、使用についての目的、効果を明確化する必要がある。



写真-7 3D-MGバックホウによる掘削

(3) 3次元マシンガイダンスシステム

本工事における3次元マシンガイダンスシステムは、排水溝を施工する際に通常の施工面よりも深く掘削する必要があることから、バックホウのバケットと遺構面の関係を常に把握し、遺構面保護を行うために導入したものである。

施工においては、事前に排水溝の施工図を元に、掘削箇所の遺構面を3D-MG用の電子データ(座標データ)化し、オペレータがリアルタイムで状況を確認できるようにした。写真-8にコントローラ画面を示す。深さ方向の表示はバケット先端と遺構面

との距離を示している。

なお、今回の施工においては、システムの制約上、排水溝の設計掘削深さの表示はできなかった。



写真-8 3D-MG コントローラ画面

(4) GPS 転圧締固め管理システム

GPS 転圧締固め管理システムは過度な締固めによる地下遺構への影響防止と造成工事の効率化を目的として導入したものである。

今回の施工機械の選定では、深層部まで締固めの影響がある振動ローラを除外したが、埋蔵文化財の重要性を鑑み、最善の施工管理を目指した。

このシステムでは、写真-10 に示す転圧状況をリアルタイムでオペレータがみることができ、転圧回数不足・過剰を避けることができた。

(5) まとめ

平城宮跡第1次大極殿院広場整備工事において、1件の文化財破損事故を起こすことなく、無事施工を終了し、情報化施工は埋蔵文化財保護に有効であることが証明できた。



写真-9 タイヤローラによる施工

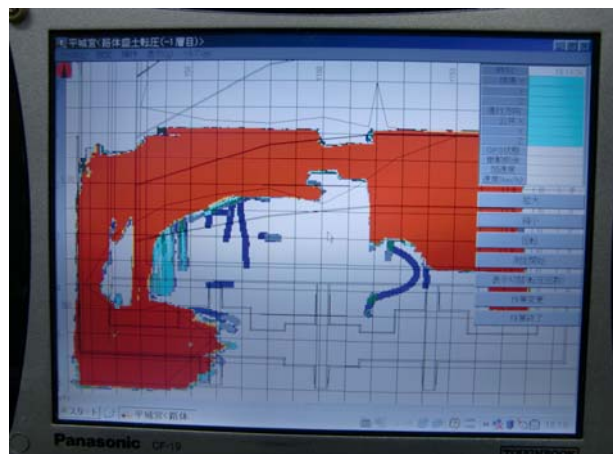


写真-10 転圧締固め管理システム表示画面

この事例は文化財保護と活用を両立させるときの事例として、また情報化施工による品質管理手法が様々な応用の可能性を持つことを示していると考えられる。

また、今回の施工においては、情報化施工によって、常に施工状況が正確に把握できるため、手戻り作業の軽減などの効果をもたらしている。机上の計算ではあるが、路体盛土工および舗装工においては11日の工期短縮効果があったと推定される。

その反面、使用する施工機械の規模が制限されたこともあるが、情報化施工の実施に当たっては通常作業ベースで約20%コストが割高になった。

しかしながら、上記のような文化財保護のための社会的責任とリスクを考慮したとき、このコストは許容されるとも考えられる。

今後、このような埋蔵文化財包蔵地での情報化施工については、総合評価方式入札契約等における技術提案としても効果が期待される。

3. 3D データを使った文化財保護

3.1 バーチャルリアリティ技術の活用

CALS/EC や情報化施工の普及に伴い、建設事業ではIT技術の活用が進み、多くのデータが電子的に保存されるようになってきている。

先にも述べた通り、建設事業では近畿圏など歴史ある地域においては埋蔵文化財の保存と活用に関係するものが多く、その両立が大きな課題となっている。

文化財の活用を行う場合には、一般的には「遺構表示」などの遺跡の表現手法がとられる。

遺構表示は地下遺構の上に覆土し、その上に遺構の存在を示す構造物等を設置するもので、掘立柱の

位置をツゲの木で表示したり、構造物の全部もしくは一部だけを復原するなどの方法がある。しかし、このような復原は埋蔵文化財の直上で行うことが原則であるため、工事に影響を与えることが多い。



写真- 11 遺跡の表現の例

その解決方策の1つにバーチャルリアリティ技術（以下、「VR」という。）の活用がある。

国営飛鳥歴史公園事務所では、明日香村・東京大学大学院情報学環池内研究室・奈良先端科学技術大学院大学横矢研究室と協力して、「バーチャル飛鳥京」プロジェクトを実施している。このプロジェクトはこれまでの「遺構表示」ではなく、仮想空間に遺構を復元し、ヘッドマウントディスプレイや通常のディスプレイ上に周囲の景観と重ね合わせて表現するものである。甘樫丘から飛鳥京をみた場合の事例について写真- 12 に示す。

（実際には写真中央の建屋等のグラフィック部分は田畑で、田園風景である。）



写真- 12 バーチャル飛鳥京

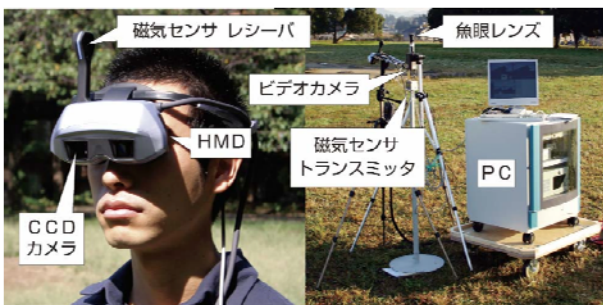


写真- 13 システム構成の例（ゴーグル型）

この方法であれば、盛土などに設計変更を行って埋蔵文化財を保護できればその上部で工事を行うことが可能で、施工後にこの技術を使って仮想的に遺構表示を行うことができる。

また、表示の方法も遺構面の表現や存在したと想定される構造物形状の表現など選択的に実現が可能であるため、今後大きな可能性がある。

3. 2 3D データの重要性

このようなVR技術においては、現在の景観との重ね合わせにおいて埋蔵文化財の測量成果が不可欠である。

特にCGデータの作成においては、現在もしくは将来の地形形状、対象範囲などについても詳細な位置データが必要となる。

発掘調査における測量成果は過年度に実施されたものの活用が多いことから電子的なものの取得は望めない。しかし、工事関係については、特に情報化施工等によって施工されるものについては電子的な測量成果が多く取得されることから、これらの成果を有効に活用することで、迅速にかつ効率的にプロジェクトを進めることが期待される。

4. まとめ

今回は、主として埋蔵文化財保護における情報化施工の活用を中心とした報告を行ったが、埋蔵文化財保護における有効な技術を整理すると、以下の通りである。

- ① 埋蔵文化財の損傷防止技術
 - ・情報化施工の自動制御による損傷防止
 - ・TS/GNSS 測量による測量作業の迅速化と測量精度向上
- ② 埋蔵文化財にかかる荷重等の負荷軽減技術
 - ・軽量盛土
 - ・地盤改良（現位置攪拌混合等）
- ③ 地滑り・山崩れなどへの対処技術
 - ・ロックボルト・アンカー
 - ・ジオテキスタイル等の補強工法

このように、保護すべき埋蔵文化財が包蔵されている地域においては先端的な建設技術を駆使することによって従来の施工と比べて、埋蔵文化財の保護について安全度の高い施工が可能である。また、このような埋蔵文化財包蔵地で課題となる

発掘調査後の遺構表示など観光資源等としての活用についても測量データなどを有効活用した VR の活用の有効性が示されていることを紹介した。

地域の生活のための社会資本整備と埋蔵文化財保護の両立は長きにわたって、日本の行政史にとっての課題であった。今回のような先端的な建設技術の活用を全国的な埋蔵文化財保護と社会資本整備の両立に役立てることが肝要である。

Utilization of the advanced construction technology for the preservation of the important underground ruins

Research Period : FY2010

Research Team : Construction Technology Research
Department (Advanced
Technology Research Team)

Author : FUJINO Kenichi
ISHIMATSU Yutaka

Abstract: Ancient underground remains are important historic memorials for the nation and should be preserved for the future research. But sometime infrastructures (for example, road, park, and so on) constructed on these areas.

In this research, the construction methods that minimize the damage were suggested. Especially, “stress for the remains” and “direct cutting for the remains” should be avoided to preserve the underground remains.

For these cases, “Intelligent construction” is very useful.

Usually underground remains were excavated beforehand, and then, the precise results of the survey for the remains were recorded. By these data and “Intelligent construction”, precise execution is available.

Based on this study, the execution was done at the Asuka-Nara Palace Site Historical National Government Park (Nara Palace Site), that is one of Japan's representative historical and cultural legacies and a Special Historic Site as well as being a constituent part of the World Heritage site "Historic Monuments of Ancient Nara."

Although the execution was done above the underground remains, they were preserved successfully.

Key word: preservation of underground remains, intelligent construction, 3D-machine control, positioning system