

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18360225

研究課題名（和文） 歴史遺跡情報を基礎とした長期安定性複合土材料の研究

研究課題名（英文） Study on the long term performance of soil based construction material used for the ancient buildings

研究代表者

渡邊 邦夫（WATANABE KUNIO）

埼玉大学・地圏科学研究センター・教授

研究者番号：00008880

研究成果の概要：

本研究は、「耐環境性に優れた、土を主体とし、石灰や石膏及び植物片を混入した複合材料（以下、複合土材料と略記する）」を、世界遺産などの歴史的遺跡に用いられた材料や工法の研究を通じて開発することである。本研究ではユネスコ世界遺産認定及び認定申請中の実際の遺跡（イラン、バム及びチョガザンビール、タジキスタン、アジナテパなど）を対象として①試料を採取し、②耐久性実験を行って、修復材料を選定した上で修復方法を提案し、③実際に修復を行って、とくに乾燥環境下での耐久性を調べた。その結果、複合土材料の性質、実際の環境下での劣化・崩壊プロセスを明らかにする事ができ、耐環境材料の選定や工法の発展に向けた基礎的な考えが明らかとなった。とくに、写真測量を用いた崩壊モニタリングや、塩類析出による劣化と対策を明らかにした。さらに、乾燥地の複合土材料遺跡の耐環境性に優れた合理的な修復・保存工法がある程度確立できた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2007年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2008年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：複合土材料、遺跡修復、長期安定性、塩類風化、崩壊モニタリング

1. 研究開始当初の背景

現在世界各地では、とくに乾燥地域を中心として複合土材料を用いた建築物や土木構造物が作られている。ここで、複合土材料とは、日干しレンガ、練り土、壁土であり、世界各地で建築物や土木構造物に広く使用されている。複合土材料は安価であり、また材

料作成時に太陽光以外に特別なエネルギーを必要とせず、さらに使用後は土に戻るなど環境に優しい材料である。一方、複合土材料構造物は地震などの災害に弱く、多くの人命が失われて来た。しかしながら、この複合土材料で作られた遺跡が地震地域であっても数百年あるいは数千年残っていることも事

実である。そのため、材料工学的及び工法に関する研究を遺跡の材料と工法を総合して行ってその性能を高める事が重要であり、現在の社会ニーズに応えるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究の第一義的な目的は、世界遺産などの歴史的遺跡の研究を通じて、耐久性の高い複合土材料や工法の開発に寄与することである。そのためには、実際の遺跡の状況を観察し、また材料を入手する事が必要である。遺跡は人類共通の遺産であり、このような研究を工学的観点から行うには難しい点がある。この研究を円滑に行うためには、遺跡の修復・保存に積極的に参加し、より合理的な修復方法を開発することが必要である。遺跡の修復・保存活動は、従来からも多く行われているが、工学的に見れば問題も多い。そのため、合理性の高い遺跡修復・保存技術を開発し、実際に適用してその効果を検証する事も本研究の大きな目的である。

3. 研究の方法

本研究では、とくにイラン及び中央アジアを対象地域として、数百年あるいは数千年に渡って残ってきた世界遺産などの乾燥地域で用いられている複合土材料について、強度、変形性などの諸性質を室内試験および現場試験によって調べると共に、化学的・鉱物学的分析を行う。また、遺跡の現状を3次元的に記載し、将来的な遺跡崩壊モニタリング技術を確立するため、写真測量技術適用の研究を行った。

本研究の遂行において、とくに重要で難しい点は、実際の遺跡を対象として①試料を採取し、②耐久性実験を行って、修復材料を選定した上で修復方法を提案し、③実際に修復を行って耐久性を調べることである。そのためにはユネスコなどの国際機関や、遺跡のある各国の文化庁などと密接に連携することが大事で不可欠な点である。本研究は、それら機関と密接な連携の下で進めた。研究が円滑に進められた背景には、

- ① 研究代表者の渡邊が、遺跡修復に関する国際専門家リーダーであったこと
- ② 研究者の多くが所属する埼玉大学地圏科学研究センターが、イラン、文化遺産観光省傘下の、遺跡遺物修復・保存センター (Research Center for Conservation of Cultural Relics: RCCCR) と学术交流協定締結を行っていることがあげられる。取り扱った遺跡の中でも、中心となったのは、タジキスタン、アジナテパ仏教遺跡であった。この

遺跡に関しては、ユネスコやタジキスタン文化庁及びタジキスタン工科大学と緊密な連携を取って研究を行った。

4. 研究成果

研究の概要及び成果を、まず以下各年度ごとに説明する。

2006年度

2006年度の研究に関して、まず現地調査をシルクロード仏教遺跡であるタジキスタン、アジナテパ遺跡及び、イラン、チョガザンビール遺跡で行った。アジナテパ遺跡の調査はユネスコと協力した。アジナテパ遺跡の調査研究では、実際の歴史的な日干しレンガ材料の試料採取を行なうと共に、塩分析出による劣化状況を調べた。また、写真測量の技術を用いて遺跡の残存状況を3次元映像として記録する技術の適用を試み、良い成果を得た。この映像化のため、新たにトータル・ステーションを購入した。イラン、チョガザンビール遺跡では、劣化状況の評価を行い、また日干しレンガ試料の採取を行なった。さらに、ユネスコ及び従来から地圏科学研究センターが学术交流協定を結んでいるイラン文化観光省遺跡・遺物修復センター (RCCCR) などと共催で遺跡修復技術者に対するセミナーを行なった。これら2つの遺跡及び、以前から研究を進めているイラン、バム遺跡から採取した日干しレンガ試料の透水性評価を試みたが、試料を飽和させる過程で激しくスレーキング崩壊を起こし、精度の良い測定は困難であった。日干しレンガ材料の劣化を促進する塩分析出では、蒸発量が大きな影響を与えており、蒸発を軽減する事で長期安定性が増加する事が明らかとなった。従来、地圏科学研究センターで開発し現場計測に用いていた蒸発計は、計測された温度や空気湿度から蒸発量を計算するためのパソコンが必要であり、現場使用が難しかった。そのため、新たに、携帯型蒸発計の開発を行ない、室内実験でその計測精度を検証した。次年度以降の現場計測を行う準備が出来た。

2007年度

2007年度は、主にタジキスタンの古代シルクロードに沿って建設されたアジナテパ仏教僧院遺跡を対象として、同遺跡の具体的な修復活動を通して研究した。遺跡の修復に当たっては、同遺跡がタジキスタン一国に止まらず世界的な文化財であることから、ユネスコ、タジキスタン文化省、タジキスタン考古研究所などと連携しつつ進めた。2007年度の主な研究内容は、

写真測量による遺跡劣化プロセスの研究
遺跡材料及び修復材料の化学・鉱物学的分析
と修復材料の決定、
土構造遺跡壁面からの蒸発測定と塩分劣化
現象の解明、
遺跡内の大ストウパーの被覆性能評価現地
実験
であった。現地の蒸発計測には、2006年度に
本研究の中で開発した携帯型高精度蒸発散
計測装置を用いた。

研究の結果、下記が明らかとなった。
写真測量により、遺跡の劣化プロセスが定量
的に評価できる。

遺跡の土材料の化学的・鉱物学的性質が明ら
かとなり、同様な組成を持つ修復材料を作製
しえた。

壁の崩壊では塩類風化が主要な要因である。
塩類風化は蒸発計測により評価できる。それ
によれば、蒸発量は地表直上で大きく、壁の
上位に行くほど小さい。この性質は、壁の崩
壊パターン、つまり、地表直上部で大きく崩
壊するという特徴と調和的である。

析出した塩には炭酸カルシウムの他、ハライ
ト (NaCl) が含まれる。ハライト及び、Na
や Cl は壁材料に含まれておらず、地下水から
もたらされたものと結論できた。

本遺跡の劣化が他の遺跡に比べて急速に進
むことから、遺跡の残存壁を厚い日干しレン
ガ層と壁土で覆う修復法を提案した。

大ストウパーの被覆によって古い遺構が保
護しうる。ただ、2007年度の冬に降雪があっ
たため、被覆層の劣化が進行した。降雪対策
が問題である事がわかった。

本年度の研究により、土構造物に与える塩
類風化の影響が明らかとなった。また、合理
的な修復工法が提案できた。

2008年度

2008年度も、2007年度に引き続き、主に
タジキスタン、アジナテパ仏教僧院寺院を対
象にして研究を進めた。主な研究内容は下記
である。

- ・2007年度に開始した、大ストウパー被覆の
現場実験結果に基づいて、耐久性に優れた
被覆工法を選定する。
- ・今までの研究結果を総合して、実際の修復
を行なう。

土構造物の劣化には塩類風化の影響が大い
いことから、塩類風化を止める工法を試験的
に用いて、その効果を調べる。

遺跡修復後の景観設計を行う。

得られた、主な研究成果は以下である。

大ストウパーの被覆実験から、壁土被覆でも、

かなり良い効果を示す。しかしながら、壁土
のみの被覆では、棕櫚縄や木綿縄で補強して
も、植生の成長により容易に破壊される。そ
のため、日干しレンガで被覆した上に壁土で
覆うことが必要である。

大ストウパー、残存壁とも、日干しレンガと
壁土被覆による修復を行う事ができた。修復
後、周辺に排水溝を設置した。

土構造物に与える塩類風化の影響を軽減す
る伝統工法として、壁下方に、油をしみこま
せた紙を敷く工法がある。この工法を試験的
に用いた結果、風化を大幅に軽減できた。こ
れは、油紙が地下からの毛管水の上昇を止め
ることによるものである。

写真測量によって得られた、遺跡修復前後の
3次元データを用いて、景観設計を行い、ウ
ォクスルー・アニメーションを作成した。
本研究を総合して、土構造物の劣化プロセス
とその対策工法が明らかとなった。

本研究全体を通して、複合土材料の長期安
定生に影響を与える要因とメカニズムが明
らかとなり、それらの基礎的成果を踏まえて、
耐環境性の高い工法が開発でき、実際の遺跡
修復に適用できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に
は下線)

[雑誌論文] (計 6件)

- ①藤井幸泰, 渡辺邦夫, 村上和哉, 写真測
量を用いた文化遺産の三次元調査、応用地
質、Vol. 48, 258-264, 2007. 査読有り
- ②渡辺邦夫, 長田昌彦, 小口千明, イラン,
バム遺跡の修復に向けた国際協力, 土と
基礎, Vol. 55, No. 3, pp. 15-17, 2007. 査
読有り
- ③Watanabe, K., Min M. M., Fujii Y. and
Fodde E., Evaporation measurement for
the preservation of historical Buddhist
Monastery Ajina Tapa, Tajikistan, Ann.
Jour. Hydraulic Engineering, JSCE,
Vol. 52, CD-ROM, 2008. 査読有り
- ④Fujii Y., Watanabe K., Fodde E.,
Construction of topographic map using
close-range photogrammetry for the
preservation of the Buddhist monastery
of Ajina Tapa, Tajikistan, Chinese J.
Rock Mech. Engng., Vol. 27, No.1, pp.
244-248, 2008. 査読有り
- ⑤Fodde, E., Watanabe, K., Fujii, Y.,
Preservation of earthen archeological

sites in remote areas: the Buddhist monastery of Ajina Tapa, Tajikistan, CMAS, vol. 9, No. 3, pp.176-200, 2008. 査読有り

- ⑥Fujii, Y., Fodde, E., Watanabe, K., Murakami, K.,
Digital photogrammetry for the documentation of structural damage in earthen archeological sites: the case study of Ajina Tapa, Tajikistan, Engineering Geology, Vol.105, pp.124-133, 2009. 査読有り

[学会発表] (計 6件)

- ①Watanabe, K.,
Application of ESL for getting public acceptance on MP, Training Course on conservation and management of earthen cultural heritage, Choga Zanbil, Iran, CD-ROM, 2006, 12月8日.
- ②Watanabe, K., Osada, M., Kawakami, E., Oguchi, T.C.,
Proposal on the international scientific organization supporting restoration and preservation of cultural heritage, Training Course on conservation and management of earthen cultural heritage, Choga Zanbil, Iran, CD-ROM, 2006, 12月9日.
- ③Watanabe, K., Oguchi, T.C., Osada, M.,
Hydrogeological problems in the planning of restoration, Training Course on conservation and management of earthen cultural heritage, Choga Zanbil, Iran, CD-ROM, 2006, 12月11日.
- ④Fodde, E., Watanabe, K., Fujii, Y.,
Conservation and documentation of the Buddhism monastery of Ajina Tapa, Tajikistan: Heritage of the silk roads, TERRA 2008, 10th Int. Conf. on the study and conservation of earthen architecture (Bamako, Mali), Conf. Proc. Getty Conservation Institute, 2008, 1月18日.
- ⑤渡辺邦夫、藤井幸泰、Enrico Fodde,
シルクロードに沿ったタジキスタン南部の仏教遺跡アジナテパの修復、歴史的地盤構造物の構築技術および保存技術に関するシンポジウム講演論文集、地盤工学会、2008, 6月13日.
- ⑥Zhang H., Watanabe K., Fujii Y.,
Application of photogrammetry as a tool of environmental monitoring, ISEM

(Thailand), CD-ROM, 2008, 9月22日.

[図書] (計 0件)

[産業財産権]
○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺邦夫(WATANABE KUNIO)
埼玉大学・地圏科学研究センター・教授
研究者番号:00008880

(2) 研究分担者

川上英二(KAWAKAMI EIJI)
埼玉大学・地圏科学研究センター・教授
研究者番号:50125887

桑野二郎(KUWANO JIROU)
埼玉大学・地圏科学研究センター・教授
研究者番号:30178149

風間秀彦(KAZAMA HIDEHIKO)
埼玉大学・地圏科学研究センター・教授
研究者番号:40008868

長田昌彦(OSADA MASAHIKO)
埼玉大学・地圏科学研究センター・准教授
研究者番号:00214114

小口千明(OGUCHI CHIAKI)
埼玉大学・地圏科学研究センター・准教授
研究者番号:20312803

山辺正(YAMABE TADASHI)
埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号:40125894

深堀清隆(FUKAHORI KIYOTAKA)
埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号:70292646

(3) 連携研究者

無し