

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20254006

研究課題名 世界遺産プランバナン遺跡群の地震被害と修復に関する保存工学的研究

研究課題名 Conservation Engineering Research for Restoration of Prambanan World Heritage Compound damaged by 2006 Java Earthquake

研究代表者 上北 恭史（UEKITA YASUFUMI）

筑波大学. 芸術系. 准教授

研究者番号：00232736

研究成果の概要（和文）：本研究は 2006 年 5 月 27 日に起こった地震によって被災したインドネシア共和国ジャワ島中部の世界遺産プランバナン遺跡群及びその周辺の石造による組積造建造物遺産の破損メカニズムと修復計画策定の手法の開発を行うものである。研究は、1)常時微動測定と亀裂変位測定をシバ祠堂を中心に行い、2)シバ寺院内部構造解明のため、植民地時代に修復された記録をオランダの国立図書館にて調査を行い、3)遺跡公園の観光マネジメントの調査を行った。研究の結果、シバ祠堂は構造的に安定していることが明らかになった。またシバ祠堂に内部構造を示す歴史的資料はオランダにも現存していないことがわかったが、一部の資料からシバ祠堂の内部はコンクリートで補強されていることが想定される。そして遺跡公園を訪れる観光客の多くはプランバナン遺跡の中心であるロロ・ジョングラン寺院に集中して訪れているため、災害時の避難のためのガイドラインが必要なことが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：This research had a purpose to cooperate the restoration of Candi Prambanan, the World Heritage monument in Indonesia and the related stone heritage sites which had damaged by the 2006 Jawa earthquake. The research was conducted as follow parts, 1) Seismic assessment and crack monitoring for checking stability of Candi Shiva, 2) Historic documentation investigation in Holland to identify the inner construction system of Candi Shiva, 3) Visitor management research in the Prambanan heritage park. It is clarified that the construction of Candi Shiva is stable by not to confirm the crack expansion, and there is not any historic documents even in Holland that can show the inside construction of Candi Shiva. And furthermore a visitor escape management plan will be required in disaster.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2009 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
年度			
年度			
総計	19,200,000	5,760,000	24,960,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築史・意匠

キーワード：プランバナン、インドネシア、世界遺産、震災復旧、組積造建造物、ヒンドゥー教、ジョグジャカルタ、シバ祠堂

1. 研究開始当初の背景

インドネシア共和国のジャワ島中部において、2006年5月27日(現地時間午前5時54分)、マグネチュード6.3の地震が発生した。震源地はジョグジャカルタの南南西25キロ付近で、この地震による死者は6,000人以上におよび、負傷者36,000人以上、倒壊した家屋は14万戸をこえるといわれている。被災地域の中中部ジャワには、世界遺産であるプランバナン遺跡群、ボロブドゥール遺跡をはじめ、石造、煉瓦造による組積造建造物が多数遺存し、古都ジョグジャカルタ市内及びその近郊には、王宮をはじめジャワ地方独特の建築様式になる伝統的木造建造物も数多く残る。ジャワ島中部地震ではこれらの文化遺産の多くが被災し、なかでも世界遺産プランバナン遺跡及びその周辺遺跡における被害は深刻で、地震発生直後からインドネシア国内ばかりでなく世界各国の注目を集めた。しかし地震後1年以上を経過した現在でも具体的な復旧事業に進展はなく、各遺産とも亡失の危機に瀕している。特に被災文化遺産の中心であるプランバナン遺跡は、主にインドネシア側の技術的限界のため未だ修復計画検討の途上にあり、耐震技術に関する調査研究など幾多の課題が残されている。2006年6月に公布・施行された「海外の文化遺産の保護に係る国際的な協力の推進に関する法律」を受けて、わが国では外務省、文化庁が中心となって緊急調査を行うこととなり、地震後に申請者らが派遣され現地調査を実施した(2006年7月と2007年3月)。この成果に基づき一部の調査結果や仮設足場資材の供与など、復旧の初動に必要な事項に関してはすでに具体的な協力が行われている。

2. 研究の目的

本研究は、以上の緊急調査によって得た成果と現地担当機関との協力関係に基づき、世界遺産プランバナン遺跡群を中心に、周辺に所在する遺跡を対象として、文化遺産の地震による破損メカニズム及び伝統技法の特性に関する詳細解明と、開発途上国におけるそれらの適切な修復計画策定の手法の開発を、ユネスコなど国際的な協力の枠組みを視野に入れつつ考究するものである。世界遺産プランバナン遺跡という具体事例の詳細分析と耐震対策を含む復旧計画策定のプロセスを通じ、大規模災害時における適切な文化遺産保護のあり方を、単に技術的、工学的な面だけでなく歴史的、社会的な側面をも総合的に探求し、かけがえのない文化遺産の高次な危機管理システム構築に寄与することを目標とした。

本研究では、被災建造物、特にシバ祠堂の破損状況の詳細、建造物及の振動特性、使用

材料の物性の把握等科学的分析によるデータの集積とともに、過去の修理記録や地域の地震等災害史、歴史地理学的分析を行うことにより、総合的且つ具体的な復旧計画の策定に協力し、そのプロセスを通じて、特に激甚災害時における遺産修復手法の確立を目指すものである。さらに研究対象とするプランバナン遺跡群がインドネシアにおける国家的遺産であり、同時に観光資源として地域経済に重要な位置を占める資産であることを考慮し、その修復について、単に物理的な建造物の修理や工学的対応だけでなく、社会科学のアプローチ等多角的な視点から考究を行う。

3. 研究の方法

本研究はプランバナン遺跡復旧にあたり、シバ祠堂修復のための被災調査と遺跡公園の観光マネジメント調査にしばらく研究を進めた。

シバ祠堂以外の5基の祠堂は地震動による頂部の破損および装飾物のラトナの落下やズレという共通した被害を被ったが、シバ祠堂は第1基壇上部の回廊に面した壁面に沿って石材が破損しており、破壊のメカニズムが異なっていることが観察された。シバ祠堂を修理する方法は、地震による被災メカニズムにしたがって有効な方法を採用せねばならない。このため本研究は被災した石材の亀裂をモニタリングし、祠堂内部の構造が損傷しているかどうかを推定することを試みた。そこで祠堂外周および祠堂内部の亀裂箇所パイ型変位計を14箇所設置し、祠堂内室に設置したデータロガーによって亀裂変異のデータを収集した。さらにシバ祠堂の頂部、中間部、基壇、地表面にいたる箇所にそれぞれ地震計を設置し、地震動と亀裂変位の関係を把握することを行った。またオランダ植民地時代から実施された修復に関する歴史資料から、シバ祠堂の内部構造を把握する調査を進めた。

観光マネジメントの調査は、遺跡公園を訪れる観光客の多くがプランバナン遺跡に集中することから、観光客マネジメントについてヒアリング調査を実施した。

4. 研究成果

シバ祠堂修復のための被災調査は2008年11月より開始された。シバ祠堂は2006年の地震で、基壇入隅周りや身舎脚部で顕著な亀裂が確認された。シバ祠堂の内部構造がわかっていないため、祠堂表面に見られる亀裂変異の変動を調べることは構造の健全性を把握する上で有用である。

シバ祠堂の固有振動数は4.1Mzであった。2008年3月25日に記録された地震波から、ピーク加速度は、基壇部で約10Gal、頂部で約5Galと記録された。卓越振動数は3.3hz

で、常時微動による固有振動数は4.1であることから、ひずみ依存性による剛性低下の影響が推定される。

亀裂変異は温度による石材の膨張収縮により変動することが確認されたが、外気温に連動しているために構造の損傷からもたらされるものではないと思われる。観測期間中、2008年12月31日および2010年9月13日に二つの地震波が観測されたが、どちらも亀裂変異に変化は現れなかった。地震発生時においても亀裂変異の変動が見られないことから、シバ祠堂の構造体は現時点で安定していると判断される。

シバ祠堂の修復のためには、祠堂内部の構造の様子を知ることが重要であり、地震で身舎内部が損傷しているか考察する上でも、構造の情報はある程度必要である。しかし、過去の修復報告書が見つかっておらず、インドネシアには限られた図面、写真等が残されているだけである。そこで本研究では過去の修復方法および内部構造のようすを知るために、オランダ植民地時代に作成された修復に関する資料を探すことを試みた。

2010年1月に行われたオランダでの文献調査では、ヒンドゥー・ジャワ美術の小写真データベースは作成されていることがわかったが、シバ祠堂の修復工事報告書・修復の図面・写真については、祠堂の内部構造を知るには十分とはいえるだけの資料が残存していないことを確認された。

現在、インドネシアに残る歴史料から売買ができるのは次の点である。1) 鉄筋コンクリート造の柱梁構造を内部に導入する構造的補強措置が採られていること。2) 屋蓋迫り出し部分や屋蓋の一部の内部構造（寸法を含む鉄筋の配筋状況、コンクリートの組成等）、3) 解体および再構築範囲の推定、等である。これらから推測されることは祠堂内部はコンクリートによって補強されている可能性があり、組石造というよりは剛体に近い建造物であるということである。

これらの研究成果は、2012年3月にジョグジャカルタで行われたプランバナン修復のための専門家会議で報告され、同会議において、修復を行う前にシバ祠堂の内部構造の状態を把握することを求める決議がなされた。

1973年から計画が始まったプランバナン遺跡公園は、日本の円借款事業による協力のもと、1988年に完成した。遺跡公園はプランバナン遺跡のロロ・ジョングラン寺院をはじめ、セウ寺院、ブブラ寺院、ルンブン寺院の各遺跡と遺跡博物館や演劇の劇場などの施設を配し、遺跡を取り巻く講演の敷地は世界遺産プランバナンのバッファゾーンとしての役割も果たしている。

各遺跡は国所有の文化財であり、プランバナン遺跡保存事務所、中部ジャワ遺跡保存事務

所によって管理されている。また公園は遺跡公園管理会社によって管理・運営されている。

2006年の地震直後は1週間ほど公園は閉鎖されたが、その後は被災した遺跡の周辺のみを立入禁止とし、周囲から見学することが可能な措置が採られた。ロロ・ジョングラン寺院は修復が済んだ祠堂から順次公開され、2012年3月現在、シバ祠堂のみが立ち入り制限されている。

遺跡公園を観光客の多くは、2時間の滞在時間にロロ・ジョングラン寺院に集中する傾向がある。被災直後は多くの石材が寺院の周囲に落下しており、早朝ということで人的被害がなかったが、もし観光客が周囲にいれば死傷者が出る可能性があった。シバ祠堂以外の5基の祠堂はすでに修復を終えて、落下した石材は元の場所に戻されているが、同様に地震に対し落下防止の措置は採られていない。安全性を確保して公開しているわけではなく、観光という需要を優先している措置と思われる。また安全性に対するガイドラインも作成されておらず、避難指示も表示されていない。コンクリートで内部補強された各祠堂が倒壊してしまう可能性よりも、直径1センチあまりの鉄棒もしくは真鍮の棒で接合された石材の落下のほうがはるかに死傷者を生み出す確率が高い。先の地震被害の成果は、観光客のマネジメントには反映されておらず、安全性を担保した修理・復旧のための基準づくりが求められる。

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1件）

1) Hanazato Toshikazu, Siswousukaruto, Suprpto, Pramumijyo Subagyo, Uekita Yasufumi, Matsui Toshiya, Yamato Satoshi, Minowa Chikahiro, Ono Kunihiko, Taneichi Mai; Seismic Assessment for Restoration of Prambanan World Heritage Temples Damaged by the Central Java Earthquake of 2006, Indonesia, 8th International Masonry Conference 2010 in Dresden, pp.1571-1580, July 4th-7th 2010

〔学会発表〕（計10件）

1) 花里紗知穂、花里利一、上北恭史、箕輪親宏、小野邦彦、中谷朱希：ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺跡群 その12 地震と構造安定性に関するモニタリング調査、2011年度大会大会学術講演梗概集 F-2、pp. 895-896、日本建築学会、

2011年8月 早稲田大学（東京都）

2) 中谷朱希、花里利一、上北恭史、箕輪親宏、小野邦彦、花里紗知穂：ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺跡群 その 13 耐震性に関するモニタリング調査と地震応答解析、2011 年度大会大会学術講演梗概集 F-2、pp. 897-898、日本建築学会、2011 年 8 月 早稲田大学（東京都）

3) 上北恭史、松井敏也、稲葉信子、花里利一、箕輪親宏、小野邦彦、神田洋子、ヨヨソプロト、「プランバナン遺跡群の保存管理体制 その 11 ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺跡群」、2010 年度大会大会学術講演梗概集 F-2、pp. 255-256、日本建築学会、2010 年 9 月 富山大学（富山県）

4) 山村広樹、花里利一、上北恭史、箕輪親宏、小野邦彦、大村真理子、「ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺跡群 その 10 地震と構造安定性に関するモニタリング調査」、2010 年度大会大会学術講演梗概集 F-2、pp. 253-254、日本建築学会、2010 年 9 月 富山大学（富山県）

5) 小野邦彦、上北恭史、花里利一、「シヴァ祠堂の修復工事に係る文献的調査報告（於オランダ）—ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺跡群 その 9—」、2010 年度大会大会学術講演梗概集 F-2、pp. 251-252、日本建築学会、2010 年 9 月 富山大学（富山県）

6) 花里利一・上北恭史・箕輪親宏・中川貴文・富永善啓・西岡聡・松井敏也・小野邦彦・是澤紀子・種市麻衣・飛田ちづる・神田洋子・稲葉信子、「海外の地震国における世界遺産組積造建築物の耐震性に関わるモニタリング調査 その 1 ギリシャ・パルテノン神殿とインドネシア・プランバナン寺院の調査概要」、2009 年度大会大会学術講演梗概集 C-2、pp. 923-924、日本建築学会、2009 年 8 月 東北学院大学（宮城県）

7) 飛田ちづる・上北恭史・花里利一・稲葉信子・箕輪親宏・小野邦彦・是澤紀子・松井敏也・種市麻衣・神田洋子、「ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺跡群 その 7 日本の国際協力事業の影響」、2009 年度大会大会学術講演梗概集 F-2、pp. 369-370、日本建築学会、2009 年 8 月 東北学院大学（宮城県）

8) 神田洋子・上北恭史・花里利一・稲葉信子・箕輪親宏・小野邦彦・是澤紀子・松井敏也・種市麻衣・飛田ちづる、「ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺

跡群 その 8 遺跡公園事業のマネジメント」、2009 年度大会大会学術講演梗概集 F-2、pp. 371-372、日本建築学会、2009 年 8 月 東北学院大学（宮城県）

9) 花里利一・種市麻衣・大和智・上北恭史・箕輪親宏・小野邦彦：ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺跡群 — その 4 基礎地盤および建物の地震時挙動の検討 — pp. 761-762、2008 年度大会大会学術講演梗概集 F-2、日本建築学会、2008 年 9 月 広島大学（広島県）

10) 花里利一・種市麻衣・大和智・上北恭史・箕輪親宏・小野邦彦：ジャワ島中部地震により被災した世界遺産プランバナン遺跡群 — その 4 基礎地盤および建物の地震時挙動の検討 — pp. 761-762、2008 年度大会大会学術講演梗概集 F-2、日本建築学会、2008 年 9 月 広島大学（広島県）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上北 恭史 (UEKITA YASUFUMI)
筑波大学・芸術系・准教授
研究者番号：00232736

(2) 研究分担者

花里 利一 (HANAZATO TOSHIKAZU)
三重大学・工学研究科・教授
研究者番号：60134285

稲葉 信子 (INABA NOBUKO)
筑波大学・芸術系・教授
研究者番号：20356273

松井 敏也 (MATSUI TOSHIYA)
筑波大学・芸術系・准教授
研究者番号：60346074

(3) 連携研究者

小野 邦彦 (ONO KUNIHICO)
サイバー大学・世界遺産学部・教授
研究者番号：50350426

箕輪 親弘 (MINOWA CHIKAHIRO)
防災科学技術研究所・研究参事
研究者番号：90425512