

Yoshinori Iwasaki*

Problems caused by excavation by conservation and archaeological study in Angkor monuments, Cambodia

Problemy wywołane wykopaliskami w ramach konserwacji i badań archeologicznych zabytków w Angkor w Kambodży

1. Preface

The archaeological unit of JSA (Japanese Government Team for Safeguarding Angkor) has been performed field excavation since 1995. One of the sites in 1995 was re-excavation of the EFEO's (L'École française d'Extrême-Orient) trench site of the pavement at the foot of the foundation mound to study underground structure of the Northern Library of Bayon. Based upon geotechnical study, the back-filled ground was very loose state. After this experience, JSA had practiced backfill compaction for trenches in Angkor.

2. Re-excavation of trench at Northern Library at Bayon [2, 3]

The Northern Library at Bayon was one of the independent structures that JSA had planned to carry out conservation work.

To study the foundation structure of the foundation, JSA had selected the trenched site by EFEO in 1960s for re-excavation. As shown in fig.1, the number 4 indicates the trench position by EFEO. At the site, some disorder of the surface pavement with sagged stones were recognized and was decided to re-excavate (JSA trench in 1966 shown in fig.1). After excavating loose ground below the

1. Wstęp

Archeologiczna jednostka JSA (Japoński Rządowy Zespół ds. Ochrony Angkoru) wykonywała prace wykopaliskowe w terenie od 1995 r. W roku 1995 prowadziła między innymi ponowne wykopaliska rowów EFEO (L'École française d'Extrême-Orient: Francuska Szkoła Dalekiego Wschodu) w części chodnika u stóp fundamentu kopca, a celem prac było zbadanie podziemnej struktury Północnej Biblioteki Bajonu. Z badań geotechnicznych wynikało, że grunt zasypowy jest bardzo luźny. Po tych doświadczeniach JSA zastosowało zagęszczenie zasypki w rowach w Angkor.

2. Ponowne wykopy rowów w Bibliotece Północnej w Bajonie [2, 3]

Północna Biblioteka w Bajonie była jedną z samodzielnych struktur, które JSA zamierzało poddać konserwacji.

W celu zbadania konstrukcji fundamentu JSA wybrało miejsce, gdzie EFEO prowadziło wykopy w latach 60. XX w. Na rys. 1 numer 4 wskazuje położenie rowów wykopanych przez EFEO. W tym miejscu zaobserwowano nieregularność powierzchni chodnika i osiadanie kamieni. Podjęto decyzje o ponowieniu prac wykopaliskowych (Rów JSA z 1966 r. na rys. 1). Kiedy wykopano luźny nasyp

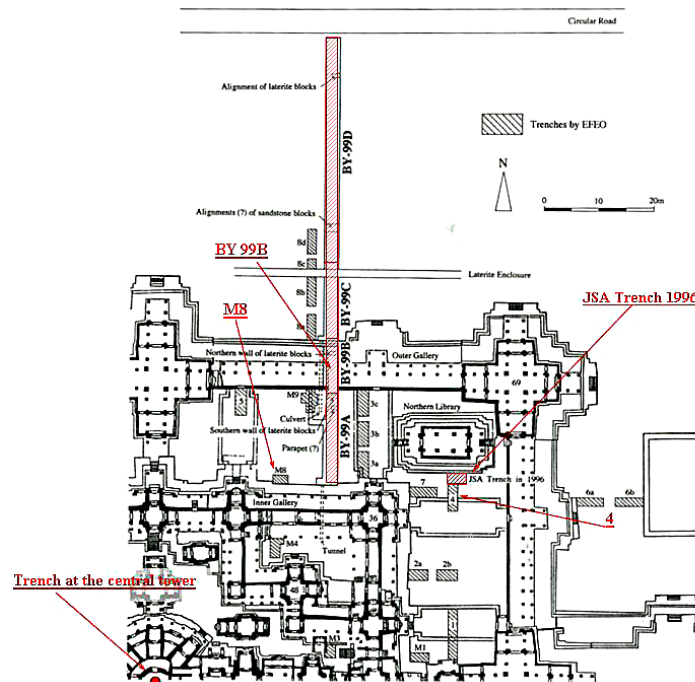


Fig. 1 Archaeological excavation sites in Bayon [1]
 Ryc. 1. Miejsca wykopaliisk archeologicznych w Bajonie [1]

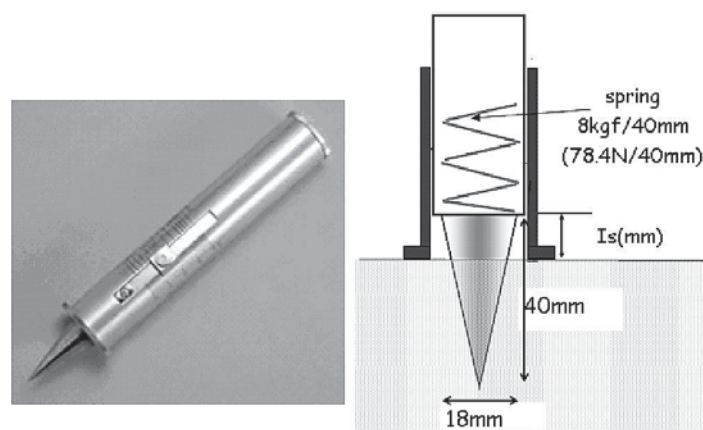


Fig 2. Yamanaka Soil Hardness Tester
 Rys 2. Penetrometr Yamanaki

pavement, vertical wall of compacted dense soil had appeared [2].

To compare the fill-backed and the original grounds, Yamanaka Soil Hardness Tester was applied to study hardness of these soils. The Yamanaka Tester was developed to test soils for the agricultural engineering and is used widely at present. The tester consist of triangular cone with spring and shortened length of the spring is to be read when the cone is inserted into ground surface. JSA uses pocket type of the tester of the dimensions of dia = 50 mm, length = 230 mm, cone: length 40 m with dia 18 mm.

The tested results was as follows,
 Ground Penetration Resistance by Yamanaka
 Original fill 10.0-38.6 kgf/cm²
 (av. 20.5)

poniżej chodnika, ukazała się pionowa ściana zagęszczonego gruntu [2].

W celu porównania gruntu zasypowego z naturalnym zastosowano tester wytrzymałości podłoża (penetrometr) Yamanaki, badając grunt z obu warstw. Tester Yamanaki opracowano do badań gruntów związanych z inżynierią rolniczą i jest on nadal szeroko stosowany. Tester składa się z trójkątnego stożka ze sprężyną. Skrócenie sprężyny odczytuje się po wprowadzeniu ostrza urządzenia w grunt. JSA używa przenośnego modelu testerów o wymiarach: średnica = 50 mm, długość = 230 mm, stożek: długość = 40 m i średnica = 18 mm.

Uzyskano następujące wyniki:
 Opór podłoża przy penetracji wg Yamanaki
 Pierwotne wypełnienie: 10.0-38.6 kgf/cm²
 (średnio 20,5)

Back fill 2.0-6.4 kgf/cm² (av. 3.2)
The backfilled ground was shown as only 1/7 hardness compared to the original compacted fill [3].

3. Backfill for long trench at Bayon [4, 5]

Some 3 m width of north western part of wall and pavement floor of the Outer Gallery was dismantled to construct a temporary access road for heavy duty machines of restoration work from Dec. 1995 to Jan. 1996 [4]. After the completion of the restoration work, a long trench was excavated to study the ground structure and backfilled before returning the temporary road to the original states from Nov. 1999 to Sep. 2000. The long trench consists of four parts (99A, 99B, 99C and 99D fig. 1), which are divided into two different backfilling types of 99B with heavy load of stone columns and masonry wall and others with only plain surface.

3.1. Backfilling of trenches at plain ground [5]

Trenches at plain ground (99A, 99C, and 99D) were backfilled by the following procedures.

a. Backfilling soil material

Excavated soils had been stored with test of grain particle distribution and used later.

When additional soil was needed, sand was purchased and used after adjusting the grain size distribution.

b. Control of water contents

Since the water contents at the compaction could result in great effects on density, the water contents were checked if they are within a range of WC = 6-9% that was obtained by compaction test.

c. Compaction

Soil was spread about 10 cm in thickness for compaction and densified until the thickness became 7 cm. The compaction began with foot stepping, striking soil with rod first every corner and points, and ended with final hitting with "elephant foot (iron plate with squared shape of 15 x 15 cm²)."

The compaction was continued until the hardness became larger than $q > 8 \text{ kgf/cm}^2$.

d. Compaction of ground of 15cm beneath the stone pavement

Surface ground of 15cm in thickness directly beneath the pavement of stone and laterite block was constructed as slacked lime mixed soil using type-I material. Type-I material is the same component as used for restoration work of the North-

Grunt zasypowy 2.0-6.4 kgf/cm²
(średnio 3,2)

Okazało się, zagęszczenie zasypki odpowiada jedynie 1/7 zagęszczenia pierwotnego wypełnienia [3].

3. Grunt użyty do zasypania długiego rowu w Bajonie [4, 5]

Aby przygotować tymczasową drogę dla ciężkich maszyn używanych przy pracach konserwacyjnych od grudnia 1995 r. do stycznia 1996 r., zdemontowano około 3m szerokości północno zachodniej części ściany i chodnika na podłodze Zewnętrznej Galerii [4]. Po zakończeniu prac konserwacyjnych wykopano długi rów dla zbadania struktury gruntu i gruntu użytego do zasypania przed przywróceniem pierwotnego stanu tymczasowej drogi między listopadem 1999 r. i wrześniem 2000 r. Długi rów składa się z czterech części (99A, 99B, 99C i 99D, rys. 1), do których zasypania użyto dwóch różnych rodzajów wypełnienia: z części 99B z ciężkimi kamiennymi kolumnami i murowaną ścianą i trzech pozostałych części ze zwykłą powierzchnią.

3.1. Wypełnianie rowów na wolnym terenie [5]

Rowy na wolnym terenie (99A, 99C i 99D) były zasypany w następujący sposób.

a. Materiał gruntowy do zasypania

Wykopaną ziemię przechowywano według kryterium składu granulometrycznego, a później wykorzystywano ponownie.

Jeśli potrzebna była dodatkowy grunt, kupowano piasek, który był wykorzystywany po dostosowaniu składu granulometrycznego.

b. Kontrola zawartości wody

Ponieważ zawartość wody przy zagęszczaniu może mieć ogromny wpływ na gęstość, sprawdzano, czy zawartość wody mieści się w zakresie WC = 6-9%, uzyskanym w testach zagęszczenia.

c. Zagęszczanie

Grunt rozłożono w warstwie grubości około 10 cm i zagęszczano go do uzyskania grubości 7 cm. Zagęszczanie zaczynało się od udeptywania stopami, uderzania gruntu ubijakiem najpierw w narożach i punktowo, a kończyło się uderzeniem „stopą słonia” (kwadratową żelazną płytą o wymiarach 15 x 15 cm²). Zagęszczenie kontynuowano aż do przekroczenia wytrzymałości $q > 8 \text{ kgf/cm}^2$.

d. Zagęszczanie gruntu 15cm poniżej kamiennego chodnika

Ziemia na powierzchni o grubości 15 cm, położona bezpośrednio pod chodnikiem z kamienia i bloków z laterytu, powstała z gruntu wymieszanego z rozluźnionym wapnem i materiałem typu I. Mate-

ern Library of Bayon. Mixed ratio of Type-I is as follows,

Ratio; slacked lime: sand = 1:10 (mass ratio) with water contents of 6-9 %

The compaction procedure is the as shown in 3.1 as foot stepping, rod and elephant foot with initial thickness 10cm until the thickness became 7cm as well as Yamanaka hardness larger than 8 kgf/cm².

3.2 Back filling of outer gallery[6] (Trench BY-99B)

The trench BY-99B was at the Outer Gallery of Bayon that is to support structural load of masonry wall and stone columns and was backfilled with slacken lime with Type II material. Type II contains 10% of clay compared to Type I and considered as more impervious than Type-I. The compaction was the same as 3.1.

4 Restoration of a failed pavement backfilled in 1937 at outer terrace of Inner Gallery (EFEO trench M8 in fig.1 [7]

Being requested by APSARA Authority (Authority for Protection and management of Angkor and the Region of Siem Reap), JSA carried out safeguarding work and restoration of the trench pit that had been excavated in 1937 of M8 shown in fig.1. After 60 years from excavation / backfilling, the pavement stones were found sagged and inclined towards the Inner Gallery.

riał typu I to ten sam komponent, który stosowano do prac konserwacyjnych w Północnej Bibliotece Bajonu. Proporcje materiału typu I są następujące:

Proporcja: rozluźnione wapno/piasek = 1:10 (proporcja masy) z zawartością wody na poziomie 6-9 %

Procedura zagęszczania jest taka, jak przedstawiona w p. 3.1: udeptywanie, ubijak i „stopa słonia” przy pierwotnej grubości 10cm, docelowej grubości 7cm oraz twardości wg Yamanaka powyżej 8 kgf/cm².

3.2 Zасыpywanie rowów w zewnętrznej galerii [6] (Rów BY-99B)

Rów BY-99B znajdował się w Zewnętrznej Galerii Bajonu, która ma wspierać ciężar konstrukcji ściany murowanej i kamiennych kolumn. Został wypełniony wapnem gaszonym połączonym z materiałem typu II. Materiał typu II zawiera 10% gliny w przeciwieństwie do typu I i ma mniejszą przepuszczalność niż typ I. Stosowano zagęszczanie opisane w 3.1.

4 Restauracja uszkodzonego chodnika zasypanego w 1937 r. na zewnętrznym tarasie Galerii Wewnętrznej (rów EFEO nr M8 na ryc. 1[7]

Na prośbę APSARA (Urząd Ochrony i Zarządzania Angkoru i Regionu Siem Reap), JSA przeprowadziło prace ochronne i restauracyjne w miejscu rowu wykopanego w 1937 r. w M8 zgodnie z rys. 1. Sześćdziesiąt lat po wykopaliskach / zasypaniu okazało się, że kamienie chodnika osiadły i pochyliły się w stronę Galerii Wewnętrznej.



Fig . 3. Sagged and damaged pavement at the foundation along north-eastern side of Inner Gallery, where trenched in 1937
Rys. 3. Zapadnięty i uszkodzony chodnik przy fundamencie wzdłuż północno- wschodniej ściany Galerii Wewnętrznej, w miejscu wykopów z 1937 r.

Fig. 4 shows a NS vertical section of pit M8 before the work with ground surface lines of solid and dotted lines for the center and edge positions of the trench pit. The sagging might have been caused by compaction due to water infiltration. Many pieces sandstones and laterite blocks that had covered ground surface were missing.

Rys. 4 przedstawia północno-południowy przekrój pionowy odcinka M8 przed pracami nad nasypem powierzchniowym z ciągłymi i kropkowanymi liniami na środku i krawędzi rowu. Osiadanie mogło być skutkiem zagęszczenia spowodowanego przedostaniem się wody. Brakowało wielu fragmentów piaskowca i bloków z laterytu, które pokrywały powierzchnię ziemi.

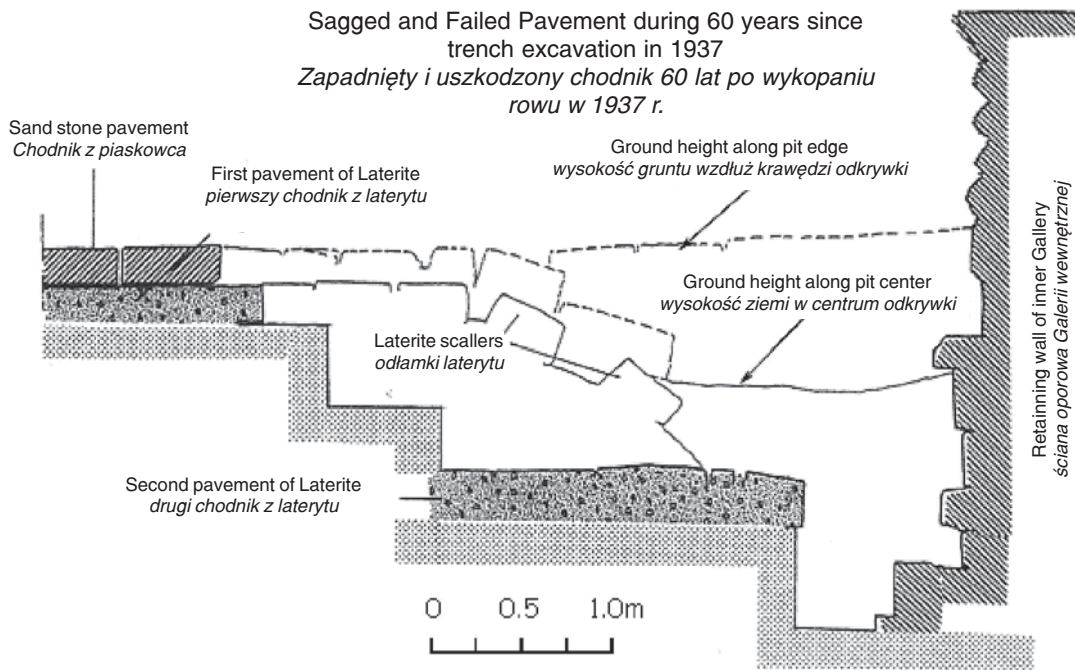


Fig. 4. NS vertical section of backfilled site of M8 by EFEO (before restoration)
Rys. 4. Północno-południowy przekrój pionowy miejsca M8 wykopu EFEO (przed restauracją)

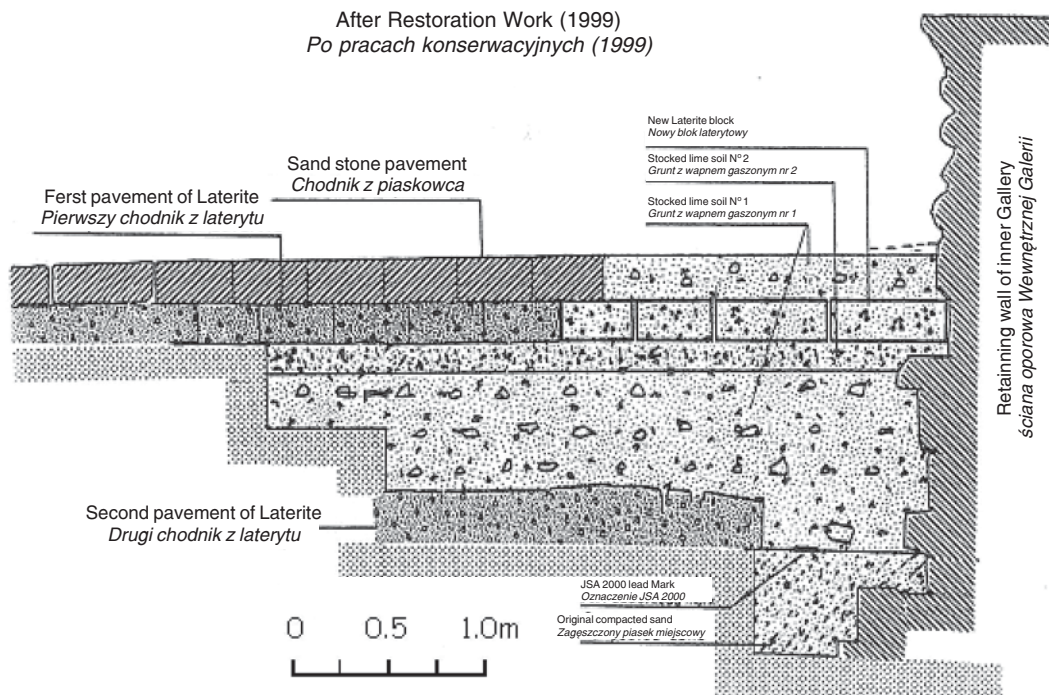


Fig. 5. NS vertical section of backfilled site of M8 by EFEO (after restoration)
Rys. 5. Północno-południowy przekrój pionowy miejsca M8 wykopu EFEO (po restauracji)

The hardness of the ground by Yamanaka Tester in the pit was in the range of 0.7-2.5 kgf/cm² of extremely low value.

As shown in fig.4, the excavated soil reached about 14.14 m³. Back filling of the pit by compaction was performed by the following three stepwise method with different soil material.

As shown in fig. 5, the first bottom layer from the excavated level to the bottom of the second laterite block was backfilled by the original sand with initial thickness of 20 cm before compaction. The second layer was backfilled by slacked lime mixed with Type I material with the initial thickness of 15 cm.

At the boundary between the original sand and slacked lime mixed layer, a lead plate of dimension of 5 x 50 x 50 mm was inserted with letters of JSA1999.

The third layer of the ground 15cm in thickness beneath the pavement of laterite blocks was back-filled by slacked lime mixed with Type II material.

5. Backfilled vertical shaft excavated in 1933 at the Central Tower in Bayon

JASA (Joint team of JSA and APSARA) had performed geotechnical boring study at the center of the foundation mound of the Central Tower, Bayon Temple in March 2009. In 1933, French team, EFEO, had excavated a shaft of about 14 m in depth at the center and found a stone Buddha statue of 4.5 m in total height, which was believed to be placed in the Chapel.

Według wskazań testera Yamanaki wytrzymałość gruntu w rowie wynosiła 0,7-2,5 kgf/cm², co jest bardzo niską wartością.

Jak widać na rys. 4, wykopanego gruntu było około 14,14 m³. Ponowne wypełnienie rowu za pomocą zagęszczania zrealizowano w trzystopniowej procedurze z zastosowaniem różnych materiałów podłoża.

Rys. 5 pokazuje, że pierwsza warstwa od dna wykopu do dna drugiego bloku laterytu została zasypana warstwą piasku miejscowego o początkowej grubości 20 cm przed zagęszczeniem. Drugą warstwę wypełniono wapnem gaszonym wymieszanym z materiałem typu I, a jej początkowa grubość wyniosła 15 cm.

Na granicy pomiędzy piaskiem miejscowym a warstwą gaszonego wapna wstawiono ołowianą płytę o wymiarach 5 x 50 x 50 mm z napisem JSA1999.

Trzecia warstwa gruntu o grubości 15cm poniżej chodnika z bloków z laterytu została wypełniona rozluźnionym wapnem wymieszanym z materiałem typu II.

5. Zasypany pionowy szyb wykopany w 1933 w Wieży Centralnej w Bajonie

JASA (wspólny zespół JSA i APSARA) wykonał za pomocą odwiertu badania geotechnologiczne w środku kopca fundamentu w Centralnej Wieży Świątyni Bajonu w marcu 2009 r. W 1933 r. francuski zespół badawczy EFEO wykopał szyb głębokości około 14 m na jej środku i odkrył kamienną statuetkę Buddy wysokości 4,5 m. Uznano, że statua znajdowała się w kaplicy.



Fig. 6. Bayon Temple, Angkor Thom
Rys. 6. Świątynia Bajon w Angkor Thom

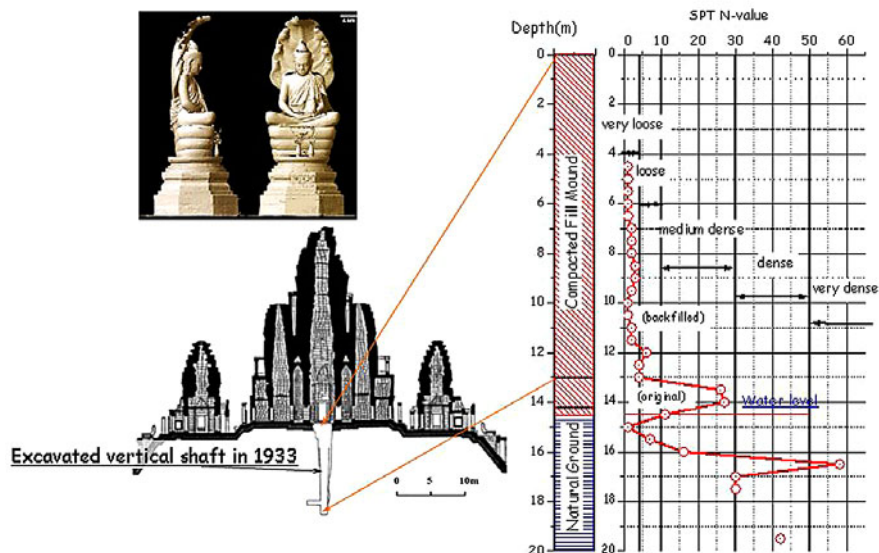


Fig. 7. Excavated shaft, Buddha Statue found in 1933, and Boring Result
 Ryc. 7. Wykopany szyb, statua Buddy odnaleziona w 1933 r., wynik odwiertu

The boring results were shown in fig. 7. The standard penetration test was carried out and SPT-values are shown in the figure. The SPT values of the excavated and backfilled soil in the shaft were very loose to loose of $SPT < 4$ and $4 < SPT N < 10$. The shaft wall was not protected with lining and it is potentially dangerous state.

6. Discussions with concluding remarks

The backfilled grounds at excavation pits and shaft (trench 4 in 1960s and M8 in 1930s) were very loose state.

When pit was backfilled with very loose soil, the ground becomes not only weak but also very pervious. The backfilled ground becomes easy to be eroded and mechanically unstable.

Wyniki odwiertu przedstawia rys. 7. Przeprowadzono sondowanie sondą SPT i na rycinie pokazano wyniki. Wartości SPT dla wydobytego i ponownie umieszczonego w szybie gruntu odpowiadały kategoriom bardzo luźne do luźne, czyli $SPT < 4$ i $4 < SPT N < 10$. Ściana szybu nie była chroniona obudową, a jej stan mógł powodować zagrożenie.

6. Dyskusja i wnioski

Grunt wypełniający rowy i szyb (rów 4 w latach 60. XX w. i M8 w latach 30.) był bardzo luźna.

W wykopie wypełnionym luźną zasypką grunt staje się słaby, a jego przepuszczalność rośnie. Grunt zasypany łatwo ulega erozji i mechanicznej destabilizacji.



Fig. 8. The continued back filling practice without compaction in 2007
 Rys. 8. Nadal stosowane zasypywanie bez zagęszczania w 2007 r.

The two cases show that the arrangement of pave stones above the pit were displaced compared to the surrounding ones at the trench 4 and the excessive settlement and inclination of the surface and failure of the pavement structure at the trench 8. The trench 4 was excavated in 1960s and M8 in 1937 and time of 50 and 70 years have past after the excavation and the backfilling. Adverse effects of loose backfilling appeared less than 100 years.

Excavation at historical sites is necessary to put back to original condition with enough consideration according to their character. Fig 6. shows that an excavated trench at the foot of the embankment of man made ancient yet living dam, West Barai, where the site is being backfilled without compaction after an archaeological study in July 2007.

JSA/JASA recognizes the importance of compaction of backfilling. They are preparing to take action of proposing to adapt some guidelines on backfilling of trenches in Angkor at the ICC (International Coordinating Committee) meeting for conservation of Angkor organized by UNESCO with cochairmen of French and Japanese Ambassadors in Cambodia.

Omówione przypadki dowodzą, że ułożony chodnik kamienny ponad dołem uległ deformacji w porównaniu z otaczającymi kamieniami przy rowie 4, zaś przy rowie 8 nastąpiło nadmierne osiadanie, nachylenie powierzchni i uszkodzenie struktury chodnika. Rów 4 wykopano w latach 60. XX w., zaś M8 w 1937 r., czyli od wykopów i wypełnienia upłynęło 50 i 70 lat. Negatywne skutki luźnego wypełnienia ujawniły się po upływie mniej niż 100 lat.

Wykopaliska w historycznych miejscach są niezbędne, aby odtworzyć oryginalny ich stan z odpowiednim szacunkiem dla ich charakteru. Rys. 6. pokazuje rów wykopany u podnóża brzegu sztucznej antycznej, ale wciąż działającej, tamy West Barai, wypełniany ponownie bez zagęszczenia po badaniach archeologicznych prowadzonych w lipcu 2007 r.

JSA/JASA zdaje sobie sprawę ze znaczenia zagęszczenia wypełnienia. Zespoły te planują przedstawić propozycję wprowadzenia wytycznych na temat wypełniania rowów w Angkor na spotkaniu ICC (Międzynarodowy Komitet Koordynacyjny) poświęconym konserwacji zabytków Angkor i organizowanym przez UNESCO, któremu współprzewodniczyć będą ambasadorowie Francji i Japonii w Kambodży.

References • Literatura

- [1] KONG Vireak and KOU Vet, *Outline of archaeological investigation and theme for conservation and restoration*, The Bayon Master Plan for the Conservation and Restoration of the Bayon Complex, 2005, pp. 23-35.
- [2] Archaeological Report, 3. *Excavation of Northern Library of Bayon in Seventh Mission*, Annual Report 1996, JSA, pp. 143-152.
- [3] Geotechnical Report, 3. *Characteristics of ancient artificial fill*, Annual Report 1996, JSA, p.359.
- [4] Ishikawa, 5.3.1 *Dismantling the Outer Gallery*, Report on the conservation and restoration work of the Northern Library og Bayon, Angkor Thom, Kingdom of Cambodia, JSA, March 2000, pp. 217-218 related Figures in p. 223-225.
- [5] Akazawa, *Report on the work of reinstating parts excavated for investigation around the temporary pathway at the Outer Gallery of Bayon-1- Outline*, Annual Report 2001, JSA, pp. 281-283.
- [6] Han Ritha, *Report on the work of reinstating parts excavated for investigation around the temporary pathway at the outer gallery of Bayon-5 – Back filling of trench BY99-B*, Annual Report 2001, JSA, pp. 317-338.
- [7] Han Ritha, *Report on the work of reinstating parts excavated for investigation around the temporary pathway at the outer gallery of Bayon-5 – Work of refilling old trench excavated by EFEO*, Annual Report 2001, JSA, pp. 339-350.

* Dep. of World Heritage, Cyber University, Japan
Wydział Światowego Dziedzictwa, Cyber University, Japonia

Abstract

There are many excavated pits and trenches in Angkor Monuments, Cambodia to study archaeological as well as structural foundation. Ancient engineered soil mounds in Angkor were found densely compacted. The pits that had been excavated before 1994 when JSA had joined the safeguarding activity in Angkor were filled back the soil without compaction. The backfilled ground was very loose compared to the original one that had been compacted by old Khmer practice.

One of the adverse effects of very loose backfilling was reported. The sand of the ground was flown out and the pavement has sagged and failed at the site near the Inner Gallery where the pit was excavated in 1930s.

JSA and JASA have introduced backfilling work with compaction of soil at the excavated pit. Some common guidelines are necessary to avoid the foolish action without any consideration by conservation professionals.

Streszczenie

W zabytkach Angkoru w Kambodży jest wiele odkrywek i wykopów, wykorzystywanych do badania fundamentów archeologicznych i konstrukcyjnych. Odkryto, że wykonane w starożytności kopce ziemne w Angkor były bardzo gęsto ubite. Doły wykopane przed 1994 r., zanim JSA przyłączyło się do działań ochronnych w Angkor, wypełniano gruntem bez zagęszczania. Grunt z wypełnień był o wiele luźniejszy od naturalnego ubijanego według praktyk starożytnych Khmerów.

Omówiono jeden z negatywnych skutków luźnych wypełnień. Piasek został wyparty, a w rezultacie chodnik zapadł się i uległ uszkodzeniu w pobliżu Galerii Wewnętrznej, gdzie wykopano dół w latach 30. XX w.

JSA i JASA dokonały wypełnień połączonych z zagęszczaniem podłoża w wykopanym wykopie. Potrzebne są wspólne wytyczne, aby uniknąć bezsensownych działań, które nie uwzględniają specjalistycznej wiedzy w zakresie konserwacji zabytków.