

令和3年度 環境省請負業務

令和3年度我が国循環産業の海外展開事業化促進業務
ベトナム国での建設廃棄物によるリサイクル骨材及び
機能性舗装事業の展開可能性調査

報告書

令和4年3月

株式会社エコシステム
株式会社オリエンタルコンサルタンツ

はじめに

本事業では、廃棄物処理・リサイクル分野において環境省が支援を行っている我が国循環産業の海外展開の促進に関し、ベトナム国で課題となっている建設廃棄物、特にコンクリートガラ、廃レンガ・廃瓦（以下、建設廃棄物）を再資源化する事業の展開可能性の調査、検討を行った。

ベトナム国では経済発展、都市の再開発により家屋の建替え需要が急増しており、そのため大量の建設廃棄物が発生している。本調査事業では昨年度の調査を更に展開する形で、首都ハノイ市とハイフォン市を主な対象とした。この両市で建設廃棄物を資源として有効活用した「再生砕石事業（コンクリートガラの回収、再生砕石製造、販売）」と「透水性・保水性/薄層舗装事業」の2本柱を軸に事業展開する可能性に関し調査、検討を行った。具体的には、以下の検討に取り組んだものである。

- ・建設廃棄物のリサイクルのニーズが高いハノイ市、ハイフォン市を対象にした詳細検討の実施
- ・再生砕石事業（コンクリートガラの回収、再生砕石製造、販売）と透水性・保水性/薄層舗装事業の二本柱による事業展開の検討
- ・事業パートナー候補との事業化の共同検討
- ・ベトナム国に適した仕様の検討（配合方法の調整等）
- ・当該技術による温室効果ガス削減効果の検討
- ・透水性・保水性舗装のデモンストレーションの実施（ハノイ市、ハイフォン市にてそれぞれ1箇所）
- ・本技術のPR、早期社会実装を視野に入れたユーザー候補、関係機関への働きかけ

事業展開シナリオとしては、早期社会実装を目指し、事業開始2年程度を市場開拓期と位置づけて検討。建設廃棄物の破碎については破碎機を保有する現地企業に破碎作業を外注して砕石製品を製造し、再生砕石・レンガチップの販売並びにレンガチップを利用した舗装事業（透水・保水性舗装、薄層舗装）を開始。市場開拓と並行し自社による破碎施設（リサイクル施設）の建設準備を進め、概ね事業開始3年目を目途に自社保有施設を核とした事業展開に切り換えることを目標とした。

原材料の建設廃棄物の調達に関しては、現地の建築解体業者又は廃棄物回収業者から調達を行うこととし、これら調達先による分別作業を経て破碎外注先並びに自社リサイクル施設の破碎工程に原料として投入可能な状態で受け入れる形を考えた。

製造した再生砕石に関しては、当初は工業団地や公園、ニュータウンの舗装の路盤材での利用を目論み、徐々に公共のインフラにも普及していくことを想定。レンガチップに関しては透水性・保水性舗装事業の表層の骨材としての利用と共にレンガチップ単体としての販売を行っていくこととした。透水性・保水性舗装事業は、インターロッキングブロックの代替として、歩道や外構での普及を目指すものとした。

実証に関してはハノイ建設大学及び DEEP C 工業団地の協力を得て、ハノイ市中心に位置するハノイ建設大学構内並びにハイフォン市の工業団地内にて、それぞれ 20 m²程度のスペースでデモ施工を実施すると共に初期のモニタリングを行った。施工に際しては、ベトナム国には透水性・保水性舗装の仕様が無いことが判明したため、舗装構造を設計するにあたり日本の基準を利用して設計を実施した。モニタリングに関しては今後も引き続き継続の予定である。

温室効果ガス削減効果の検討では、従来使用されている舗装材と比較し、本事業にて使用する製品を製造・施工することで、CO₂ の削減が期待される量を算定した。具体的には、従来バージン材の砕石が使用されていたものをリサイクル材に置き換えることによる CO₂ 削減量を算定し、一定の効果があることを検証したものである。

一連の調査、検討を踏まえ、日本、ベトナム双方の産学官の参画を得てオンライン方式でのワークショップを開催し、調査で明らかになった知見の共有を行うと共に課題の深堀を行い、事業展開に向けての今後のアクションの整理、検討を行った。

Summary

In this project, studies were conducted related to the development of business to recycle demolition waste, specifically waste concrete, bricks, and roof tiles (hereafter referred to as “demolition waste”), the processing of which is an issue in Vietnam. This project is a part of support offered by the Ministry of Environment, Japan, for overseas business development of Japanese companies related to waste management and recycling.

Economic growth and urban redevelopment in Vietnam have greatly increased demand for home reconstruction, generating large amounts of demolition waste. This study was an expansion on the previous year’s study and was primarily focused on Hanoi and Haiphong. In these two cities, the study focused on the business feasibility of two different types of business: collection of construction waste from demolition and production and sale of recycled aggregate and the permeable/water-retentive paving and thin overlays. The details of the contents of the study are as follows:

- Detailed examinations targeted to Hanoi and Haiphong, where the need for construction waste recycling is high
- Examination of business expansion based on the two pillars: recycled aggregate business (collection of construction waste and production and sales of recycled aggregate and brick chips) and paving business utilizing permeable/water-retentive paving and thin overlays
- Studies on business development collaboration with the potential business partner
- Examination of specifications tailored to use in Vietnam (adjustment of blending method, etc.)
- Study of greenhouse gas reduction associated with the proposed technology
- Demonstration experiment of permeable/water-retentive paving (1 location in each Hanoi and Haiphong)
- PR for the proposed technology and approaching potential users and related organizations for early social implementation

As a business development scenario with an aim of early social implementation, positioning the first two years of the project as the market development period is under consideration. During this period, the production of aggregate products would be accomplished through outsourcing to a local company with a crusher to process demolition waste. Following this, and sale of recycled aggregate and brick chips, as well as paving business utilizing permeable/water-retentive paving and thin overlays will begin. Alongside market development, preparations for building the company’s own crushing facilities (recycling facilities) will proceed and generally from about the third year forward, business expansion will switch to utilizing the company’s own crushing facilities.

The demolition waste materials will be procured from local construction demolition contractors and waste collectors. It is planned to procure raw materials that have been sorted by the suppliers and are in a condition that can be sent to the subcontracted crushing company or can be processed at the proposing company’s own facilities.

It is planned to initially utilize the produced recycled aggregate for paving in industrial parks, parks, and new towns and then gradually expand to public infrastructure projects. Brick chips will be used as aggregate for paving business utilizing permeable/water-retentive paving and thin overlays and will also be sold as a stand-alone product. A goal for the paving business utilizing permeable/water-retentive paving is to serve as an alternative for interlocking blocks and be utilized in walkways and exteriors.

With cooperation from the Hanoi University of Civil Engineering (HUCE) and DEEP C Industrial Park, the demonstration experiment took place on the HUCE’s campus in Hanoi and the DEEP C’s industrial park in Haiphong. In each location, a 20 m² space was paved and

monitored as a demonstration. It was discovered that there are no specifications for permeable/water-retentive paving in Vietnam, so the pavement structure was designed based on Japanese standards. Monitoring is intended to continue.

In the study of greenhouse gas reduction, CO₂ emissions from production and construction utilizing conventional paving materials and the proposed materials were compared in order to calculate the expected CO₂ reduction from the proposed materials. Specifically, CO₂ reduction from switching recycled aggregate for the conventionally used virgin material was calculated to confirm a level of greenhouse gas reduction.

Based on these studies, online workshops were held with the participation of industry, academia, and government agencies from both Japan and Vietnam. During the workshop, findings from the study were shared and a deep dive was conducted into the issues. Future actions for business development were also organized and discussed.

目 次

| | |
|---|-----------|
| 1. 事業の目的・概要 | 1 |
| 1.1 事業の目的 | 1 |
| 1.2 事業概要 | 2 |
| 1.2.1 昨年度の検討結果 | 2 |
| 1.2.2 本年度の検討内容 | 3 |
| 1.2.3 SATREPS との連携 | 4 |
| 2. 海外展開計画案の策定 | 6 |
| 2.1 対象地域 | 6 |
| 2.1.1 ベトナム国 | 6 |
| 2.1.2 ハノイ市 | 6 |
| 2.1.3 ハイフォン市 | 6 |
| 2.1.4 選定理由 | 6 |
| 2.2 処理対象廃棄物の種類 | 7 |
| 2.2.1 処理対象廃棄物の種類 | 7 |
| 2.2.2 利用技術 | 7 |
| 2.2.3 導入規模 | 8 |
| 3. 対象地域における現状調査 | 9 |
| 3.1 調査方法と調査体制 | 9 |
| 3.2 調査内容 | 9 |
| 3.2.1 社会経済状況 | 9 |
| 3.2.2 廃棄物処理・リサイクルにおける政策・制度等 | 13 |
| 3.2.3 舗装・路盤の適用基準 | 17 |
| 3.3 本調査結果から判明した課題 | 18 |
| 4. 廃棄物の組成、性状発生量等の調査 | 19 |
| 4.1 ハノイ市、ハイフォン市における建設廃材の排出状況 | 19 |
| 4.2 分析対象 | 21 |
| 4.3 分析方法 | 22 |
| 4.3.1 舗装の表層材（廃レンガ） | 22 |
| 4.3.2 再生砕石 RC40（コンクリートガラ） | 24 |
| 4.4 分析結果 | 24 |
| 4.4.1 舗装の表層材（廃レンガ） | 24 |
| 4.4.2 再生砕石 RC40（コンクリートガラ） | 27 |
| 5. 実証事業 | 33 |
| 5.1 透水性舗装（K-グラウンド(C)）を用いた歩道/駐車場における舗装構造設計 | 33 |
| 5.1.1 舗装構成の検討 | 33 |
| 5.1.2 水収支（透水性能）の検討 | 33 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.1.3 | 降雨強度の設定 | 34 |
| 5.1.4 | 透水係数の設定 | 36 |
| 5.1.5 | 検討断面 | 38 |
| 5.1.6 | 検証結果 | 39 |
| 5.2 | 実証実験（ハノイ市、ハイフォン市） | 40 |
| 5.2.1 | 狙い・内容 | 40 |
| 5.2.2 | 実施体制 | 40 |
| 5.2.3 | 実施計画・実施結果・実施後のモニタリング | 40 |
| 6. | 実現可能性の評価 | 58 |
| 6.1 | 事業内容 | 58 |
| 6.1.1 | 事業の概要 | 58 |
| 6.1.2 | 再生砕石・レンガチップ製造・販売事業 | 58 |
| 6.1.3 | 透水性・保水性舗装事業(フランチャイズ事業を含む) | 59 |
| 6.1.4 | 事業の実施体制 | 60 |
| 6.2 | 事業の前提条件 | 61 |
| 6.2.1 | 推進母体となる事業会社の概要 | 61 |
| 6.2.2 | 事業資金 | 61 |
| 6.2.3 | 事業性検討の前提条件 | 61 |
| 6.3 | 事業性評価 | 62 |
| 6.3.1 | 再生砕石事業 | 64 |
| 6.3.2 | 透水性・保水性舗装事業およびフランチャイズ事業 | 64 |
| 6.3.3 | 感度分析結果 | 64 |
| 6.4 | 環境負荷低減効果の評価 | 66 |
| 6.4.1 | 温室効果ガス排出量の算出方法 | 66 |
| 6.4.2 | 算出結果 | 68 |
| 6.4.3 | 総合検討結果（CO ₂ 削減量） | 74 |
| 6.5 | 社会的受容性の評価 | 76 |
| 6.6 | 今後の事業展開 | 77 |
| 6.7 | 関係省庁・民間間 PR 活動 | 78 |
| 7. | 関係者合同ワークショップ | 79 |
| 7.1 | ワークショップの概要 | 79 |
| 7.1.1 | 概要 | 79 |
| 7.2 | ハノイ建設大学 挨拶・発表要旨 | 80 |
| 7.2.1 | Nguyen Hoang Giang 副学長挨拶要旨 | 80 |
| 7.2.2 | Nguyen Tien Dung 国際協力局室長による「環境保護法施行を踏まえた建設廃材の処理動向」発表要旨 | 81 |
| 7.3 | 質疑応答・講評 | 81 |
| 7.3.1 | 質疑応答 | 81 |
| 7.3.2 | 講評(埼玉大学川本教授) | 81 |

略語表

| 略語 | 正式名称 | 日本語 |
|---------|---|-----------------------|
| DCF | Discounted Cash Flow | 割引キャッシュ・フロー |
| DOC | Department of Construction | 建設局 |
| DONRE | Department of Natural Resource and Environment | 天然資源環境局 |
| EATRP | Environmental load Assessment software Tool for Recycled Product | リサイクル製品環境負荷簡易評価ツール |
| FDI | Foreign Direct Investment | 海外直接投資 |
| GDP | Gross Domestic Product | 国内総生産 |
| GRDP | Gross regional Domestic Product | 域内総生産 |
| GSO | General Statistics Office of Vietnam | ベトナム統計総局 |
| HUCE | Hanoi University of Civil Engineering | ハノイ建設大学 |
| JETRO | Japan External Trade Organization | 日本貿易振興機構 |
| JICA | Japan International Cooperation Agency | 独立行政法人国際協力機構 |
| JST | Japan Science and Technology Agency | 独立行政法人科学技術振興機構 |
| RC | Recycle Crushed stone | 再生砕石 |
| SATREPS | Science And Technology REsearch Partnership for Sustainable development | 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム |
| TCN | Tieu Chuan Nganh | 旧ベトナム省庁規範 |
| TCVN | Tieu Chuan Viet Nam | ベトナム国家規格 |

1. 事業の目的・概要

1.1 事業の目的

ベトナム社会主義共和国（以下、ベトナム国）は経済発展、都市の再開発により家屋の建替え需要が急増しており、そのため大量の建設廃棄物が発生している。大都市圏では特に排出量が多く、ハノイ市では1日当たり約3,000トン、ハイフォン市では1日当たり300トンの建設廃棄物が排出されている¹。廃コンクリート・廃レンガ・廃瓦等の建設廃棄物の処理・処分の大半は直接埋め立てであるが、排出量が処理能力を超えることも要因となり、一部は市街地の空地などに投棄されるなど、衛生面・危険性・景観の面で問題となっている。また、リサイクルや再資源化に向けた取り組みは実質的に行われていないのが現状とされている²。

これを受け、ベトナム国では、建設固形廃棄物に関する通達や法令（例：建設法の改正[2020年]、環境保護法の改正[2022年]など）の整備が進んでいる。また、2025年までの具体的目標として、「都市部で発生する建設固形廃棄物総量の90%を回収・環境保護要件を満たすように処理すると共に、その60%が、適切な技術により、リサイクル製品・材料にリサイクルされる。」が定められている³。

我が国では2000年に建設リサイクル法が制定され、建設廃棄物の処理が進んできた。その効果として、建設廃棄物の不法投棄については、平成12年度と平成18年度の比較において、件数で40%以上、投棄量で60%以上の大幅な減少となり、再資源化率等も平成17年度では92.2%と平成12年度（84.8%）よりも7%以上の向上が確認されている。本技術は、こうした法制度の後押しもあり、国内で高まる建設廃材のリサイクルに応える形で発展してきた。近年、我が国においてもCO₂の排出削減につながることから、注目されている。

本事業は、廃コンクリート・廃レンガ・廃瓦を日本の先進技術により、再資源化し、強度や環境性能等に優れる舗装材として活用するものである。株式会社エコシステムは、平成10年より、国内において廃瓦のリサイクルに取り組み始め、瓦再生リサイクル製品（舗装材・壁材）の普及及び品質改善、研究開発に注力してきた。この技術の普及は、ベトナム国の抱える建設廃棄物に関する課題（リサイクルの推進、不法投棄の防止等）の解決策の1つとして、3Rの推進、快適な居住空間等の創出、地域環境改善等に繋げることができると考えられる。

本事業では、これらのベトナム国での課題解決に加えて、本技術に基づく今後のベトナム国における舗装材などの仕様・条件などの制度構築支援となるべく調査、検討を行うことを目的とする。

¹ ベトナム国建設廃棄物の安全で効率的な分別・選別処理システムによる埋め立て処分量削減のための案件化調査（2019）、JICA

² ベトナムにおける建設廃棄物の適正管理と建廃リサイクル資材を活用した環境浄化およびインフラ整備技術の開発（2020）、川本 健、廃棄物資源循環学会誌、Vol. 31, No. 1,

³ 2050年までを視野に入れた2025年までの固形廃棄物の総合管理に関する国家戦略の改正を承認する通達（2018年5月7日付首相決定第491/QD-TTg号）



1.2 事業概要

本事業は、(株)エコシステムを中心に、ベトナム国のハノイ市及びハイフォン市を中心に発生する建設廃棄物のうち、廃コンクリート・廃レンガ・廃瓦を回収、加工の上、再資源化、公園の歩道等の舗装材として販売する事業である。昨年度及び本年度の検討内容は、以下の通りである。

1.2.1 昨年度の検討結果

昨年度の調査では「ハノイ市」及び「ホーチミン市」を対象にして、以下の結果が明らかになった。

【背景】

- ・ 建設廃棄物のリサイクル向上が喫緊の課題となっており、解決策としての本技術のニーズが高いことを確認

【市場・ニーズ】

- ・ 本技術の適用先が十分に存在し、将来の普及可能性に期待できることを確認
 - 本技術適用可能箇所：公園・緑地の園路や道路・工業団地の歩道舗装
 - 展開先候補：都市公園、工業団地、スマートシティ、環境意識の高い企業

【製品・品質】

- ・ 現地廃レンガの性状分析・試験の結果、これらの再利用に際し、品質・耐久性に問題が無いことを確認

【事業採算性】

- ・ 再生砕石(砂利・砂)の販売による収益向上効果を確認

【評価結果】

- ・技術、価格競争力、需要、政策性、社会情勢、事業採算性、環境負荷低減効果を総合的に判断し、事業の実現可能性が高いことを確認
- ・試験施工及びデモンストレーションの必要性を認識

1.2.2 本年度の検討内容

昨年度の検討結果を踏まえ、本年度は日本国内で確立しているリサイクル製品製造技術及び、透水性・保水性舗装事業を現地で展開する可能性について、リサイクルのニーズが高い「ハノイ市」、「ハイフォン市」を対象に以下の調査、検討に取り組んだ。

【試験施工・デモンストレーション】

- ・建設廃棄物のリサイクルのニーズが高いハノイ市、ハイフォン市を対象にした詳細検討の実施
- ・透水性・保水性舗装のデモンストレーションの実施(2箇所程度)、本技術のPR

【事業採算性】

- ・再生砕石・骨材事業（再生砕石、レンガチップ製造、販売）と透水性・保水性/薄層舗装事業の二本柱による事業展開の検討

【事業展開】

- ・事業パートナー候補との事業化の共同検討
- ・ベトナム国に適した仕様の検討(配合方法の調整等)、SATREPS との連携強化
- ・早期社会実装を視野に入れたユーザー候補、関係機関への働きかけ

【事業の実現可能性】

- ・具体的事業の検討については、以下を前提に実現可能性の検討、評価を行った。
 - ①再生砕石・レンガチップの製造・販売事業
 - ②透水性・保水性/薄層舗装事業（フランチャイズ展開含む）
- ・対象地域：ハノイ市/ハイフォン市
- ・処理対象廃棄物の種類：廃コンクリート（コンクリートガラ）/廃レンガ/廃瓦
- ・利用技術：①再生砕石製造技術、及び②建設廃棄物の廃レンガ・廃瓦を透水性・保水性・景観性に優れる舗装材として再生利用、施工する一連のシステム；「K-グランドシステム」、「K-グランド(C)」、「K-グランド(C0)」、「K-グランドコート」

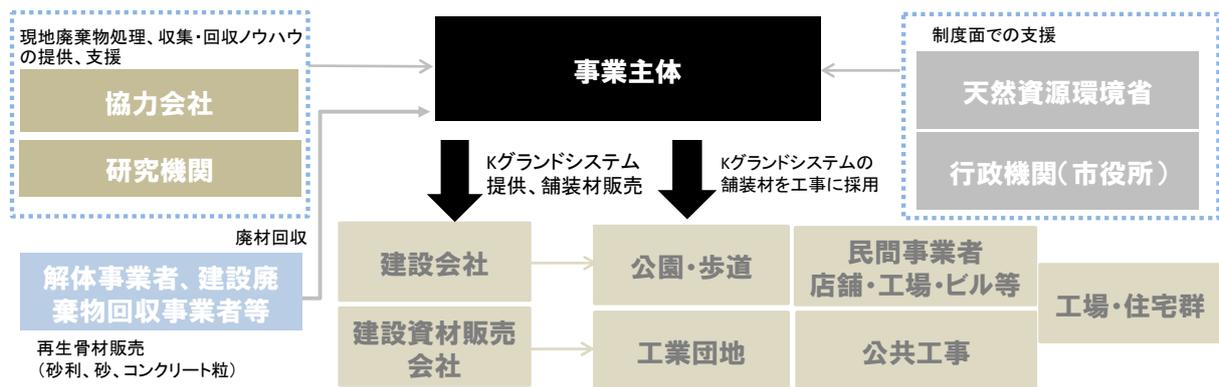


図 1-2 事業の流れ・体制

1.2.3 SATREPS との連携

ベトナム国においては、独立行政法人科学技術振興機構（JST）と独立行政法人国際協力機構（JICA）が共同で実施している地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development：SATREPS）も 2017 年度より、「ベトナムにおける建設廃棄物の適正管理と建廃リサイクル資材を活用した環境浄化およびインフラ整備技術の開発」の活動に取り組んでいる。SATREPS のテーマは、「建設廃棄物の適正管理」、「リサイクル推進」、「資源循環システムの構築」であり、本事業の目指すところと合致しており、連携を図ってきた。

同プロジェクトの概要は以下に示す通りである。過去の取り組みを踏まえ廃棄物の分析、デモンストレーション、モニタリングの方法等について協力戴くと共に、将来の事業の在り方についてアドバイスを頂戴した。また、SATREPS プロジェクトのベトナム国における主要研究機関としてハノイ建設大学が参加しており、本事業においても情報収集や実証事業等で協力を得ている。

2. 海外展開計画案の策定

2.1 対象地域

本調査事業では、ベトナム国の首都ハノイ市と北部のハイフォン市を対象に事業可能性の検討を行った。

ベトナム国、ハノイ市及びハイフォン市の概要及び選定理由を以下に示す。



図 2-1 対象地域

2.1.1 ベトナム国

ベトナム国（ベトナム社会主義共和国）は、日本貿易振興機構（JETRO）の基本統計によると、面積 33 万 1,690 平方キロメートル（日本の 0.88 倍）、人口 9,758 万人（2020 年、ベトナム統計総局（GS0））、首都はハノイ市であり、公用語はベトナム語、宗教は仏教が 80%を占めている。

また、実質 GDP 成長率は、2018 年 7.1%、2019 年 7.0%、2020 年はコロナ禍の影響で 2.9%となっているものの、経済成長が著しく、今後も経済活動が活発になっていくことが推察される。

2.1.2 ハノイ市

ハノイ市は、ベトナム国の北部に位置し、ベトナム国の首都であり、政治及び文化の中心都市である。人口 820 万人（2020 年）、面積 3,328 平方キロメートルである。また、国内工業の中心地の一つで、経済活動が盛んであり、経済発展に伴う都市の再開発による大量の建設廃棄物が発生している。

2.1.3 ハイフォン市

ハイフォン市は、ハノイ市と同様に、ベトナム国の北部に位置し、ベトナム国に 5 都市（ハノイ、ホーチミン、ハイフォン、ダナン、カントー）ある中央直轄市の 1 つである。人口 205 万人（2020 年）、面積 1,503 平方キロメートルであり、ベトナム北部最大の港湾都市である。経済活動も盛んであり、工業団地などの開発が進んでいる。

2.1.4 選定理由

両都市の選定理由は、経済発展に伴う都市の拡張、再開発により大量の建設廃棄物が発生しており、今後もこの傾向が継続される見込みであることが挙げられること、また、両都市は共に中央直轄市であることから検討対象都市として選定した。

なお、本事業の結果、事業モデルが確立した後は、ベトナム国内の他地域においても同様の事業を展開することを念頭に置いている。

2.2 処理対象廃棄物の種類

2.2.1 処理対象廃棄物の種類

処理対象廃棄物はハノイ市及びハイフォン市周辺の建設解体現場から発生する廃コンクリート（コンクリートガラ）・廃レンガ・廃瓦である。廃コンクリートは、建築物の基礎や、支柱に利用されているため、建設解体現場での発生材には必ず含まれている。

SATREPS やハノイ建設大学の報告によれば、廃棄物処理場における建設廃棄物の内訳は、「廃コンクリート」が4割程度、「廃レンガ・瓦」が3割程度、「廃土」が2割程度、「その他」が1割程度となっていることがわかっている。

そのため、本事業で取り扱う「廃コンクリート」及び「廃レンガ・廃瓦」は建設廃棄物の7割程度を占め、建設廃棄物の再生利用率の向上に大きく寄与すると考えられる。

さらに、2015年以降は、リサイクル材である再生砕石などの潜在需要は、廃コンクリートの発生量を上回っていると推定されている。この背景は、交通インフラ開発計画、特に、道路の新設、更新及び拡張工事（約14万km）を含む膨大な建設需要が存在することである。今後もバージン材の砕石に加えリサイクル材である再生砕石などの旺盛な需要が見込まれる。



図 2-2 解体現場のレンガ
(埼玉大学川本教授提供)

2.2.2 利用技術

(1) 廃コンクリートの利用

廃コンクリートを利用して、再生砕石（RC）である再生クラッシュラン粒度 0～40mm の砕石「RC-40」を製造する。なお、破砕時に同時に製造される粒度の細かなものは再生砂（埋め戻し材）としても利用可能である。

日本における廃コンクリートの再利用は、1970年代から環境保全、省資源及び資源の有効利用の目的で再生路盤材や裏込め材として用いられるようになったのが始めである。その後、各地に廃コンクリートから再生砕石（再生路盤材）を製造する再生プラントが出現した。

1984年には、日本道路協会により「舗装廃材再生利用技術指針（案）（プラント再生舗装技術指針）」が制定され、公共工事に用いる際の再生路盤材の品質基準が明確になった。また、1991年に施行された「再生資源の利用の促進に関する法律」（通称リサイクル法）では、廃コンクリート（コンクリート塊）は、アスファルトコンクリート塊、木片、掘削土と共に、建設副産物に指定された。1994年には建設省通達により再生路盤材の品質基準が定められたことで路盤材への再利用の促進が図られた。⁵なお、現在の廃コンクリート（コンクリート塊）の再資源化率は、99.3%⁶となっている。

⁵ 道路用再生骨材の性質 吉兼亨/コンクリート工学 1997年 35巻 7号 p. 36-41

⁶ 平成30年度建設副産物実態調査結果/国土交通省

(2) 廃レンガ・廃瓦の利用

現地の建設廃棄物処理業者と連携し、建設廃棄物の廃レンガ・廃瓦を透水性・保水性・景観性に優れる舗装材として再生利用、施工する一連のシステム「K-グランドシステム」を導入する。建設処理業者等から廃レンガ・廃瓦を回収、リサイクル工場等で破碎、粒状やチップ状にする。これらを骨材として、製造（練り混ぜ）、歩道や公園の園路などの舗装材として活用する。舗装材はカラーバリエーションが豊富で、視認性が良いなど景観性にも優れ、高い透水・保水機能から、気温低下、豪雨被害の緩和など、環境面でも好影響を及ぼす。また、製造する舗装材は強度等の性能に優れ、国土交通省の NETIS 登録や石川県リサイクル認定を受けており、日本国内でも公共工事を中心に利用が普及している（石川県や東京都などの施工実績）。なお主な舗装材の名称は透水保水性舗装「K-グランド(C)」(配合により2種類あり)、非透水の保水性舗装材「K-グランド(C0)」である。

日本におけるレンガの利用状況は、幕末から明治にかけて建築物や鉄道建設などで一部使用されたが、耐震性の問題から、関東大震災以降、鉄筋コンクリート造が主流になっており、レンガの利用は一部に留まってきたため廃レンガの発生も限定的である。

一方で、瓦については、古くから日本建築において、寺社や城郭の屋根材として用いられており、18世紀から明治時代にかけて一般家屋にも普及し始めた。1950年代からは本格的な工業生産が始まり、供給量が増加した。その後、住宅着工戸数が高水準で推移したこともあり、日本家屋の代表的な特徴の1つになったものの、その後瓦の生産量は、1980年をピークに、2014年時点で4分の1まで縮小している。

廃瓦の利用に関しては、廃コンクリート程ではないものの、全国的に公共工事を中心に利用が拡大している。特に、福井県、岐阜県、島根県、石川県など一部の廃瓦再利用の先進地域で取り組みが拡大している。国土交通省の NETIS 登録や複数の自治体（石川・静岡・岐阜・大阪など）ではリサイクル認定制度が設けられている。⁷

2.2.3 導入規模

(1) ハノイ市・ハイフォン市における建設廃棄物発生量

SATREPS の報告によると、両市共に都市化が進んでいるなか、ハノイ市では、建設廃棄物の発生量は約 3,000 トン/日であり、ハイフォン市では約 300 トン/日であると推定されている。

(2) 再生砕石、透水性舗装、保水性舗装の需要

交通インフラ開発計画等により、リサイクル材である再生砕石などの旺盛な需要が見込まれている。さらに、透水性舗装、保水性舗装などは、視認性が良く景観性にも優れ、高い透水性能・保水機能を有していることから豪雨被害の緩和など、環境面でも好影響を及ぼすことから、今後の需要が見込まれている。

(3) 事業の規模

| | |
|--------------------|---|
| 再生砕石・レンガチップ製造・販売事業 | ： (1～2年目) 10,360～15,600 m ³ /年 (3年目～) 44,700～67,680 m ³ /年 |
| 透水性・保水性舗装事業 | ： (1～2年目) 2,000～4,000 m ² /年 (3年目～) 6,000～ m ² /年 |

⁷瓦リサイクル推進の手引き 山形県 平成 29 年 6 月

3. 対象地域における現状調査

3.1 調査方法と調査体制

SATREPS の協力を得て次の調査を実施した。

表 3-1 調査方法・調査体制・調査内容

| 調査方法 | 調査内容 |
|----------|---|
| デスクトップ調査 | <ul style="list-style-type: none">・ベトナム国全体の社会・経済状況・ベトナム国全体の建設業の状況・対象地域であるハノイ市、ハイフォン市の社会・経済状況・廃棄物処理・リサイクルにおける政策・制度・舗装・路盤に関する基準 |
| ヒアリング調査 | <ul style="list-style-type: none">・ハノイ市における建設廃棄物処理・リサイクルの政策 |

3.2 調査内容

調査内容は以下の通りである。

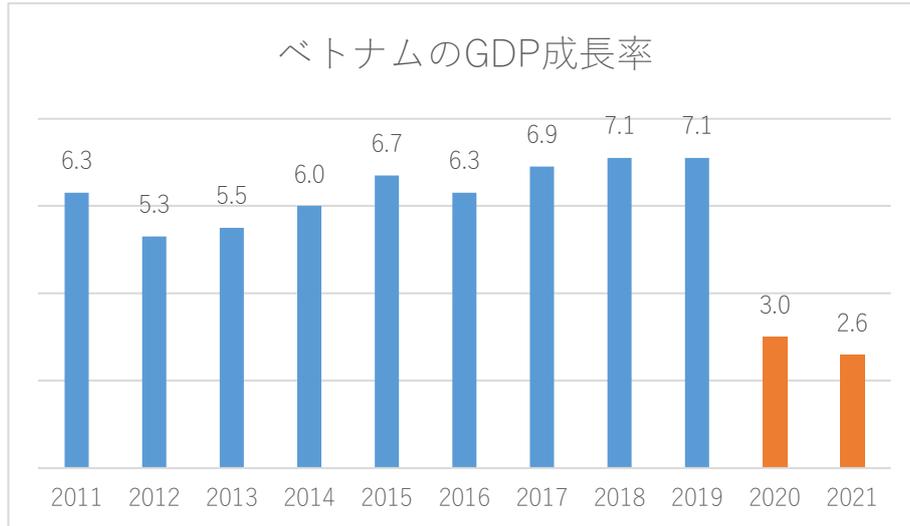
3.2.1 社会経済状況

事業展開予定地域として本年度の調査対象地域としたハノイ市、ハイフォン市の社会・経済状況全般について、国際機関や現地政府の報告書等から情報を入手し状況をアップデートした。

ベトナム国全体及び主要都市の経済の伸び率、政策目標、建設分野の伸び率等は昨年度調査済みであり、今年度は、新型コロナウイルス感染症の拡大の影響による昨年以降の変化の把握を中心に現状調査を行った。概要に関し以下の通りアップデートする。

(1) ベトナム国全体の社会・経済状況

近年のベトナム国の GDP 成長率の推移を下図に示す。2011 年から 2019 年まで、世界トップ水準の高成長率（6～7%）を維持した。新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響により、2020 年の GDP 成長率は 2.9%で、前年から比較すると大幅に減速したが、COVID-19 の影響を受けたにもかかわらず、プラス成長を維持しており世界的に見ても高水準であったと評価できる。2021 年の GDP 成長率は、2.6%となり、前年 2020 年の数値を下回り過去 10 年で最低の数字となった。統計局では、2021 年の COVID-19 の影響下においては、特に第 3 四半期に多くの重要経済地域が長期にわたる社会隔離措置を実施したために、あらゆる産業が深刻な打撃を受けたためと分析している。



出典：ベトナム統計総局

図 3-1 ベトナム国全体の GDP 成長率

世界銀行は、このほど発表した世界経済見通しで、COVID-19 の感染流行が国内外で抑制された場合、2022年のベトナム国の GDP 成長率は 5.5%⁸に回復するとの予測を示している。アフターコロナの経済回復が期待できると見られている。

また、2021年11月12日、ハノイ市で開かれた国会において「2022年の社会経済開発計画に関する決議案」⁹が承認された。ここでは GDP 成長率の目標は約 6.0%~6.5%に設定されている。廃棄物増加などの環境問題に対する目標も掲げられている。

2022年の主要な社会・経済発展目標 15項目は次の通りである。

表 3-2 2022年の主要な社会・経済発展目標 15項目

| | 項目 | 2022年目標 | 2021年目標 |
|-----|--|--------------------------|--------------------|
| 1. | GDP 成長率 | 約 6.0%~6.5% | 約 6.0% |
| 2. | 1人当たり GDP | 3,900 ドル | 約 3,700 ドル |
| 3. | GDP に占める製造業の割合 | 約 25.5%~25.8% | — |
| 4. | 消費者物価指数 CPI 上昇率 | 約 4.0% | 約 4.0% |
| 5. | 労働生産性の上昇率 | 約 5.5% | 約 4.8% |
| 6. | 農業就業者の割合 | 約 27.5% | — |
| 7. | 訓練を受けた労働者の割合 そのうち、訓練を受けた資格・修了証 を有する労働者 | 約 67.0% 約 27.0%~27.5% | 約 66.0% 約 25.5% |
| 8. | 都市部の失業率 | 約 4% | — |
| 9. | 貧困率（多次元貧困の基準に基づく） | 1~1.5 ポイント減 | 1~1.5 ポイント減 |
| 10. | 1万人当たりの医師数 | 9.4人 | — |
| 11. | 1万人当たりの病床数 | 29.5床 | — |

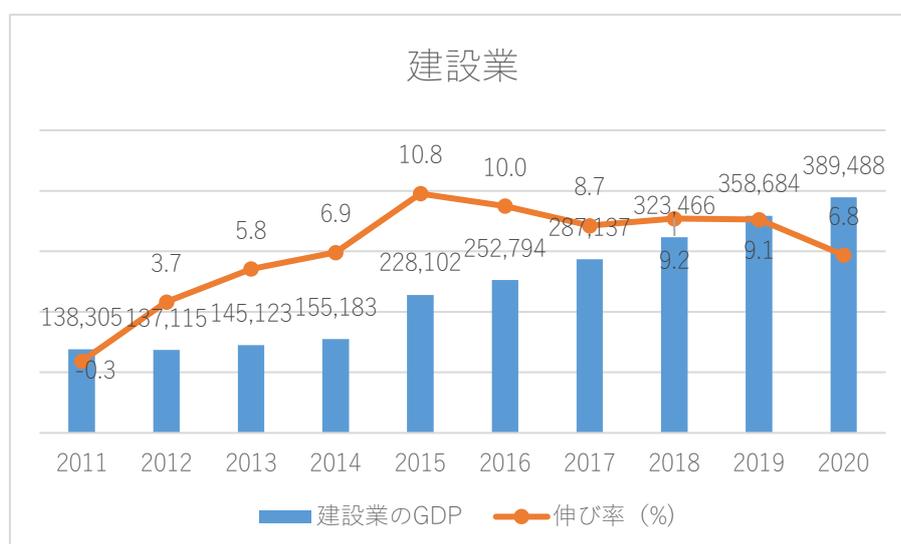
⁸世界銀行 HP、世界経済見通しの概要・地域別概要

⁹ JETRO ビジネス短信

| | | | |
|-----|--|-------|-------|
| 12. | 健康保険の加入率 | 約 92% | 約 91% |
| 13. | 新農村基準を満たす村の割合 | 約 73% | — |
| 14. | 都市部の日常生活における固形廃棄物の収集・処理の割合 | 約 89% | 87% |
| 15. | 環境標準を満たす集中型排水処理システムが整備された工業団地・輸出加工区の割合 | 約 91% | 約 91% |

(2) ベトナム国全体の建設業の伸び率

下図は、ベトナム国の GDP に占める建設業の推移を示したものである。建設業の GDP は、この 10 年間順調に増加しており、毎年の伸び率が平均 7.0%もの成長を遂げている。2020 年はコロナ禍の影響にもかかわらず、建設業の GDP は前年度を上回っている。ただし、伸び率は、2020 年が 6.8%と前年度を下回っている。



出典：ベトナム統計総局

図 3-2 ベトナム国全体の建設業

ベトナム国政府は 2022 年 1 月 30 日、経済社会回復に向けたメカニズム・政策に関する決議第 11 号/NQ-CP を公布した。経済社会回復策の規模は約 350 兆 VND(約 1 兆 7900 億円)に上り、ベトナム国にとって過去最大規模となる。経済社会回復策は以下の 5 つのソリューションで実施する。今後、建設業をはじめ、経済全体が V 字回復することが期待されている。

1. 医療能力の向上、疫病の予防・制御能力の向上を図った上での経済の回復：観光、空運、娯楽などを段階的に通常の状態に戻す。
2. 社会保障・雇用確保：工業団地・輸出加工区内の企業で働く労働者向けの 3 か月分の家賃支援、個人・世帯の社会住宅(低所得者向け住宅)購入向け融資・住宅改装向け融資、生徒・学生のパソコン購入・学費支払い向け融資、少数民族居住地・山岳地帯の社会経済開発に関する国家目標プログラムへの充当など。

3. 企業・協同組合・個人事業主向け支援：付加価値税(VAT)率の引き下げ、ジェット燃料に対する環境保護税の引き下げ、国産車の登録料の引き下げ、土地賃貸料・水面賃貸料の引き下げ、新型コロナ対策の寄付金などの損金算入承認、融資返済期限の延長や利息・手数料の減免、債権分類の維持、電気料金・水道料金の引き下げなど。
4. 南北高速道路東側路線をはじめ、経済に直ちにプラスに働く重点インフラ案件の実施
5. 制度・行政の改革、ビジネス環境の改善：生産経営を妨害する措置などを迅速に廃止し、オンライン行政手続きを増やし、デジタルトランスフォーメーション(DX)やデジタル経済を積極的に推進する。

(3) 首都ハノイの社会・経済状況

人口に関しては、年々増加しており、2020年には約820万人、人口密度は2,455人/km²となり全国平均の約7倍である。

域内総生産(GRDP)は、COVID-19の影響を受ける前の2019年までは、7%~9%の高い成長率を遂げている。COVID-19の影響により、2020年以降減速している傾向にあるが、V字回復が期待されている。

地域別の海外直接投資(FDI)を見ると、ハノイ市は常にベトナム国内の上位にランキングされ、2019年が全国一位、2020年は3位であった。

一人当たりの所得も年々増加しており、2020年には約5,500ドルに達しており、これは全国平均の約2.5倍となる。

表 3-3 首都ハノイの経済・社会状況

| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|--------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| GRDP 成長率 | 8.2% | 8.5% | 7.12% | 7.62% | 3.94% | 2.92% |
| 一人当たり GRDP (ドル) | — | 3,910 | 4,080 | 5,300 | 5,250 | — |
| FDI 件/百万ドル | 462 件/ 3,390 | 554 件/ 3,059.1 | 640 件/ 7,547.8 | 919 件/ 8,669.7 | 514 件 /3,867.2 | — |
| 年平均収入 (ドル) | 4,187 | 4,141 | 4,832 | 5,315 | 5,499 | — |
| 面積(km ²) | 3,358.9 | 3,358.6 | 3,358.6 | 3,358.6 | 3,358.6 | — |
| 人口(千人) | 7,328.4 | 7,420.1 | 7,520.7 | 8,093.9 | 8,246.6 | — |
| 人口密度(人/km ²) | 2,182 | 2,209 | 2,239 | 2,410 | 2,455 | — |

出典：GRDP 関連：現地新聞記事より；FDI 及び収入：ベトナム統計総局

(4) ハイフォン市の社会・経済状況

ハイフォン市の人口も年々増加しており、2020年には約205万人、人口密度は1,315人/km²となり、全国平均の約4倍となっている。

GRDP は、常に全国の 1 位を維持しており、13%～17%の高い成長率を遂げている。COVID-19 の影響により、2020 年には前年度より下回ったが、2021 年には V 字回復が見られた。

海外直接投資 (FDI) に関しては、ハイフォン市は認可額の水準を維持し、ベトナム国統計局によると、2021 年には、全国 1 位を記録している。

ハノイ市同様一人当たりの所得水準も年々増加しており、2020 年には約 4,300 ドルに達し、全国平均の約 2 倍となっている。

表 3-4 ハイフォン市の経済・社会状況

| 年 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---------------------------|------------------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|--------|
| GRDP 成長率 | 13.47% | 14.01% | 16.27% | 16.68% | 11.22% | 12.38% |
| 一人当たり GRDP (ドル) | — | — | 4,253 | 5,348 | 5,863 | — |
| FDI 件/百万ドル | 54 件/ 3,043.2 | 60 件/ 948.9 | 116 件/ 3,135.4 | 88 件/ 1,374 | 514 件 / 3,867.2 | — |
| 年平均収入 (ドル) | 3,327 | 3,602 | 3,699 | 4,300 | 4,310 | — |
| 面積 (km ²) | 1,561.7 | 1,561.8 | 1,561.8 | 1,561.8 | 1,561.8 | — |
| 人口 (千人) | 1,980.8 | 1,997.7 | 2,013.8 | 2,033.3 | 2,053.5 | — |
| 人口密度 (人/km ²) | 1,268 | 1,279 | 1,289 | 1,302 | 1,315 | — |

出典：GRDP 関連：現地新聞記事より；FDI 及び収入：ベトナム統計総局

3.2.2 廃棄物処理・リサイクルにおける政策・制度等

廃棄物処理・リサイクルに関する制度・政策については、現地で事業を営み制度にも精通しているハノイ建設大学へのヒアリングにより把握した。

(1) 廃棄物処理・リサイクルに関する制度・政策

ベトナム国における廃棄物の処理・リサイクルに関する法制度は、1994 年 1 月に施行される環境保護法を基本法とする。同法は、複数回改定され、最新では 2020 年に改訂され、2022 年から施行される。固形廃棄物に関する規定が新設された目的は、発生源での廃棄物の分別を促進するためである。廃棄物の管理・対応方法を方向付け、ベトナム国における循環経済を促進することにある。

同法の用語の定義において、「廃棄物とは、生産、事業活動、サービス、生活、その他の活動から排出された、固体、液体、気体又はその他の形態の物質である」と規定されている。改訂前の同法 (2014 年) には、「廃棄物管理とは、廃棄物の排出抑制、削減、監視、分類、収集、運搬、再利用、再生利用などの処理活動である」、「リサイクル廃棄物とは、生産、消費過程から廃棄されたものを他の生産原料として使用するために回収、分類、選別された物資である」と規定されている。

2022 年 1 月 10 日付政令第 08/2022/ND-CP 号は、環境保護法の一部の詳細を規定してお

り、第5章 廃棄物の管理、第3項にて、一般産業固形廃棄物の管理が規定されている。

さらに、2022年1月10日付通達第02/2022/TT-BTNMT号では、第4章 輸入廃棄物・スクラップの管理および汚染物質の規制の第3項にて、一般産業固形廃棄物の管理が規定されている。

ベトナム国では廃棄物のリサイクルは法制上詳細に規定されておらず、環境保護法の「第6章 廃棄物管理及びその他の汚染防止 第1節 第72条 廃棄物の管理」にて、生産者を対象に次のように規定されている。

「有害廃棄物および通常の産業固形廃棄物の生産者は、廃棄物からエネルギーを再利用、リサイクル、処理、回収するか、環境機能とライセンスを備えた施設に移送し、適切に処理する責任がある。」

現在も、回収及び処理スキーム構築に向けた検討が進められており、最終的な製造業者の責務等の詳細は明らかとなっていない。

建設廃棄物に関しては、通達第08/2017/TT-BXD号が、ベトナム国で建設固形廃棄物管理を詳細に規定する最初の法令である。主要な条文は以下の通りである。（詳細は添付資料2-6 HUCEの調査報告書の1.3.2に記載する。）

表 3-5 通達 08/2017-TT-BXD における建設固形廃棄物管理の主要な条文

| | |
|------|---------------------|
| 第3条 | 建設固形廃棄物管理の原則 |
| 第4条 | 建設固形廃棄物管理に関するデータベース |
| 第5条 | 建設固形廃棄物の分類 |
| 第6条 | 建設固形廃棄物貯蔵 |
| 第7条 | 建設固形廃棄物の収集と輸送 |
| 第8条 | 建設固形廃棄物中継基地 |
| 第9条 | 建設固形廃棄物の再利用とリサイクル |
| 第10条 | 建設固形廃棄物処理 |
| 第11条 | 建設廃棄物発生源所有者の責任 |
| 第12条 | 建設廃棄物の回収・輸送者の責任 |
| 第13条 | 建設廃棄物処理者の責任 |
| 第14条 | 建設プロジェクト投資家の責任 |
| 第15条 | すべてのレベルの人民委員会の責任 |

表 3-6 ベトナム国における建設固形廃棄物に関する法令

| 法令 | 概要 |
|---|---|
| 2014年6月23日付環境保護法 (55/2014 / QH13) / 2020年 に改訂 | ベトナム国における廃棄物の処理・リサイクルに関する法制度の基本法 |
| 2022年1月10日付政令第 08/2022/ND-CP号 | 環境保護法の一部の詳細を規定する。 第5章 廃棄物の管理 第3項 一般産業固形廃棄物の管理 |
| 2022年1月10日付政令第 | 環境保護法の一部の詳細を規定する。 |

| | |
|---|---|
| 02/2022/ND-CP 号 | 第 4 章 輸入廃棄物・スクラップの管理および汚染物質の規制第 3 項 一般産業固形廃棄物の管理 |
| 2009 年 9 月 12 日付政令第 12/2009/ND-CP 号 | 建設投資プロジェクトの管理 |
| 2015 年 4 月 24 日付政令第 38/2015/ND-CP 号 | 廃棄物およびスクラップ管理 |
| 2019 年 10 月 25 日付天然資源環境省政令第 09/2019/ND-CP 号 | 廃棄物およびスクラップ管理 |
| 2018 年 5 月 7 日付首相決定第 491/QD-TTg 号 | 2050 年までを視野に入れた 2025 年までの固形廃棄物の総合管理に関する国家戦略の改正を承認 |
| 2020 年 12 月 1 日付首相指令第 41/CT-TTg 号 | 固形廃棄物への管理強化のための緊急対策 |
| 建設省の 2018 年 2 月 6 日付通達第 02/2018/TT-BXD 号 | 工事建設における環境保護に関する規制および建設業界における環境保護の報告制度 |
| 2018 年 12 月 27 日付首相決定第 1851/QD-TTg 号 | 2030 年を視野に、2025 年まで優先産業・分野における海外からの技術移転、展開および開発を促進するプロジェクトを承認 |
| 2016 年 11 月 18 日付政令第 155/2016/ND-CP | 環境保護の分野における行政違反の制裁を規定 |
| 2020 年 9 月 14 日付政令第 107/2020/ND-CP 号 | 政令指定都市の人民委員会傘下専門機関の組織を規定 2014 年 4 月 4 日付政令第 24/2014/ND-CP の一部を改正及び補足する |

(2) 首都ハノイ市における建設廃棄物処理・リサイクルに関する政策

1) 法制度

首相決定第 1979/QD-TTg 号は、ハノイ市をはじめ、北部の主要経済地域における固形廃棄物管理計画を承認したものである。2020 年までに、回収・処理される割合を 80%、2030 年までに 90%と目標が設定されている。

首相決定第 609/QD-TTg 号にて、25 カ所の建設固形廃棄物最終処分場が計画されている。

表 3-7 ハノイ市における廃棄物に関する法令

| 法制度 | 概要 |
|---------------------|--|
| 首相決定第 1979/QD-TTg 号 | 2030 年までの北部の主要経済地域における固形廃棄物管理計画を承認する。 <ul style="list-style-type: none"> ●ハノイ市で一日当たり発生する建設廃棄物は、2020 年には 2,100 トン、2030 年には 3,400 トンの見込みである。 ●回収・処理される建設固形廃棄物の割合が 2020 年までに 80%、2030 年までに 90%に達成しなければならない ●建設廃棄物のリサイクルが奨励され、建設プロジェクトの所有者が建設廃棄物を適切に管理する責任者として指定される。 |
| 2013 年 6 月 3 日付 | ハノイ市における一般固形廃棄物の管理に関する規定を公布。 |

| | |
|---------------------------------------|---|
| ハノイ人民委員会決定 第 16/2013/QD-UBND 号 | |
| 2018 年 5 月 7 日付首相 決定第 609/QD-TTg 号 | 2050 年までを視野に入れた 2030 年までのハノイ市の固形廃棄物 処理計画を承認する。 ● 25 カ所の建設固形廃棄物最終処分場が計画されているが、一部 のみが稼働している。最終処分場が満杯になったため、今後完 全に閉鎖となる。 ● その理由として、多くの最終処分場が堤防の付近に計画されて おり、堤防法により拡張できないことが挙げられる。 |
| 通達第 08/2017/TT-BXD | ● 通達第 08/2017/ TT-BXD の第 15 条第 1 項 a 号および b 号の規定 に従い、省レベルの人民委員会は、建設固形廃棄物の管理にお ける一貫性を確保し、省内の建設固形廃棄物の管理に関する 傘下機関と下級の人民委員会に委任しなければならない。また、 建設固形廃棄物処理サービスの価格を承認する文書を交付し、 建設固形廃棄物管理の違反を指導、監視、処分しなければ ならない。 ● 本規定は、建設局技術インフラ部により起草されたが、政令第 107/2020/ND-CP 号と干渉しているため公布が見合わせられた。 |

2) 政策の実施状況

A) 移動式破砕機のための用地確保

ハノイ市建設局は、「移動式破砕機」を解決策の 1 つとした「建設廃棄物の収集、処理、
使用に関するプロジェクト」計画を策定している。ここでハノイ市建設局は、建設廃棄物
を遠隔地の処分場に運ぶのではなく、請負業者が建設廃棄物を輸送するのに便利な、市中
心部近くの複数の空き地の利用を提案している。

表 3-8 移動式破砕機の候補場所

| No | 場所 | 状況 |
|----|------------------------|--|
| 1 | タイン・チ橋の付近にあ る空地 | ● 面積 7 ha ● タイン・チ地区が管轄する空地 |
| 2 | ヴィン・クイン固形廃棄 物の最終処分場 | ● 面積 4.9ha ● 2,010 年に開発された固形廃棄物の最終処分場 |
| 3 | ナムチュンイエン公園の 貯水池 | ● 面積 26 ha |
| 4 | キム・キー公園、ドンア イン地区 | ● 面積 100ha ● 民間企業が経営する公園 |
| 5 | 西湖の西部、バク・ツ ー・リエム地区 | ● 面積 25.91ha ● 投資家：建設省 |

B) リサイクルセンターの建設

ハノイ市建設局はまた、建設固形廃棄物処理のため複数のリサイクルセンターを計画し
ている。ドンアイン県ドゥクトゥコミューンも設置場所候補の一つであり、リサイクル対
象廃棄物は、建設固形廃棄物（1,000 トン/日）と地下鉄建設で発生する汚泥等（1,000m³ /
日）である。現在、ハノイ市建設局はこのプラントへの投資家を募集しており、潜在的な
投資家の中には Binh Duong Precast Concrete and Mechanical Co.,Ltd がある。本 プロ
ジェクトの総投資額は、民間資本による資本であり、約 2,289 億 VND である。

(3) 施設建設、事業運営に必要となるライセンスや許認可

事業運営に関する許認可は、地方省の天然資源環境局（DONRE）が担当しており、施設建設に関する許認可は、同じく地方省の建設局（DOC）が実施している。

ベトナム国の場合、会社の設立及び運営の 2 段階で許可が必要になる。現在、100%外資のケースを含めて、固体廃棄物サービスを提供する会社を設立することができる。設立後、会社を運営するためには別途 4 条件（①稼動ライセンスの取得、②施設及び技術に関する条件、③従業員に関する条件、④管理に関する条件）を満たさなければならない。

施設建設にあたっては、以下のベトナム国の建設基準に従う必要がある。

表 3-9 施設建設に関する建設基準

| 法制度・基準 | 概要 |
|--|---|
| 第 50/2014 / QH13 建設法 | 建設における一般的な要件 |
| QCVN 07-9 : 2016 / BXD インフラストラクチャー工事の国家技術：固形廃棄物管理センター及び公衆トイレ | 施設内の土地利用率 |
| QCVN 01 : 2008 / BXD ベトナム建設基準 | <ul style="list-style-type: none">● 施設と他の工事との環境安全距離は 100m でなければならない。● 工所用柵からの緑柵の幅は 20m 以上。 |

3.2.3 舗装・路盤の適用基準

現地の道路舗装における砕石や骨材の基準等を確認するとともに、本製品をベトナム国内の道路舗装の材料として普及させていくための配合方法や適用箇所を検討した。その結果、透水性・保水性舗装に関する基準は存在しないことが判明した。

骨材（砕石）の基準を下記に示す。バージン原料の他に、2018 年に、再生材を用いた骨材に関する基準は公布されていたが、広く普及していない。

表 3-10 骨材(砕石)に関する基準

| 基準 | 概要 |
|--|--|
| TCVN 7570:2006 Aggregates for concrete and mortar-Specifications | バージン原料を使用した骨材に関する基準 |
| TCVN 11969:2018 Recycled coarse aggregate for concrete | <p>再生砕石（5mm 以上）を使用した骨材に関する基準。</p> <p>第 4 条 分類</p> <p>第 5 条 技術要件</p> <p>ふるい目の開きと通過率；体積重量（kg / m³）；吸水率（%）；0.075 mm 未満の粒子含有量（%）；CBR（%）；ロサンゼルス試験機によるすり減り試験（%）；軽い材料含有量（%）；ハイブリッド材料の合計（%）平らにされたトローチの濃度（%）；有機不純物；酸に溶解した塩化物イオン（Cl⁻）の含有量（%）；酸に溶解した硫酸塩および亜硫酸塩（SO₃ に還元）の含有量（%）</p> <p>アルカリ反応性-シリカ凝集体</p> <p>第 6 条 試験方法</p> |

3.3 本調査結果から判明した課題

上記の調査結果を踏まえ、次のような課題が明らかとなった。

- ・建設廃棄物の適正処理に関する政策と達成目標は打ち出されているものの、国内の各省市に諸制度が浸透しておらず、適正処理を実現するための技術や設備導入も進んでいない。
- ・廃棄物処理技術の評価基準や、リサイクル資材の品質基準などは未整備の状況である。
- ・建設廃棄物の排出場所（解体現場等）で適正処理、分別されておらず、建設廃棄物最終処分場の負担が増加している。

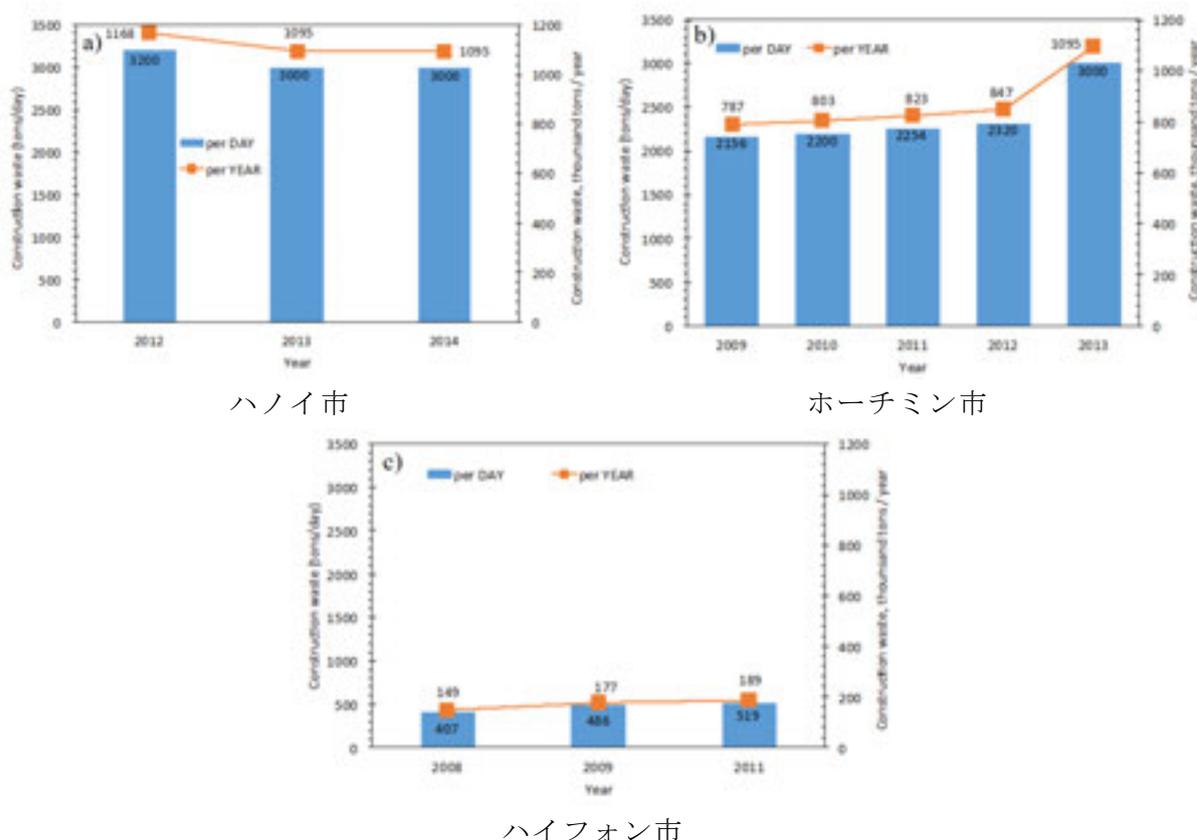
4. 廃棄物の組成、性状発生量等の調査

ベトナム国の環境に応じた透水性・保水性舗装の仕様検討を行った。これに際して、既に入手済みの廃レンガを活用し、サンプルを作成、仕様を検討した。仕様検討に際しては、ハノイ建設大学及び SATREPS、金沢工業大学の協力を得て実施した。また、コンクリートガラについては、昨年度試験を行っていないものの、SATREPS の協力を得てサンプルを入手し、試験を行った。

4.1 ハノイ市、ハイフォン市における建設廃材の排出状況

ベトナム国土全土での建設廃棄物発生量は、天然資源環境省（MONRE）の報告書¹⁰によると、2008年には120万トンとなり、2015年には250万トンに達し毎年増加が続いている。建設廃棄物は、全体の固形廃棄物の約10%～15%を占めている。

ベトナム国の主要都市における建設廃棄物の排出状況を下図に示す。なかでもハノイ市、ホーチミン市の都市圏では特に排出量が多く、ハノイ市の建設廃棄物発生量は、3,000トン/日と全国平均の5倍近くとなっている。ハイフォン市、ダナン市などでは、約300トン/日の排出量である。

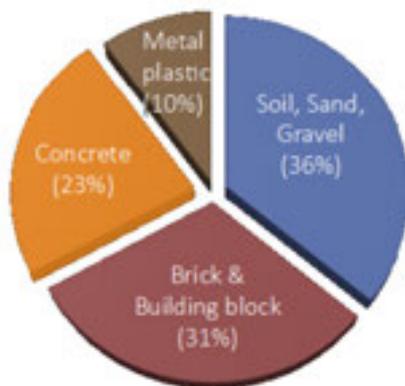


出典：Current Status of construction and demolition waste management in Vietnam: Challenges and opportunities, Nguyen Van Tuan et al, International Journal of GEOMATE, Dec, 2018 Vol.15, Issue 52, p.p 23-29

図 4-1 建設廃棄の排出状況

¹⁰ Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE),2011. State of Environmental report 2011 on Solid Waste Management (MONRE), Vietnam

また、ハノイ市の固形廃棄物のマスタープラン¹¹によると、建設廃棄物のうち約 30%を廃レンガが占めている。



出典：Decision No.609/ 2014/QĐ-Ttg Master Plan on Solid Waste Disposal of Hanoi Capital to 2030, with a vision to 2050

図 4-2 建設廃棄物の構成

建設廃棄物の急激な増大に対し、大都市では最終処分場の能力が追いついておらず不法投棄も増大し社会問題となっている。

SATREPS¹²による調査結果より、対象地域であるハノイ市、ハイフォン市において以下の状況が判明している。

ハノイ市

- ・ 7 カ所の建設廃棄物の最終処分場が存在するが、既に 5 カ所の処分場は閉鎖または放棄されており、現状 2 カ所の処分場のみ建設廃棄物を受け入れている状況である。建設廃棄物の発生状況を鑑みるに将来の受け入れが懸念されている。

ハイフォン市

- ・ 建設廃棄物を受け入れている処分場は不法投棄場も含めて主に 10 カ所存在する。この中でハイフォン市認可の処分場は 1 カ所のみであり、不法投棄も多く建設廃棄物のみならず一般廃棄物も投棄されている。

¹¹ Decision No.609/ 2014/QĐ-Ttg Master Plan on Solid Waste Disposal of Hanoi Capital to 2030, with a vision to 2050

¹² Baseline Survey Report on Construction and Demolition Waste Landfills in Hanoi, Vietnam, SATREPS, October 2019

-SATREPS Report on Waste Composition Survey at Construction and Demolition Waste Landfills in Vietnam

4.2 分析対象

昨年度の調査で、現地の廃レンガを入手し国内分析機関にて組成・性状の分析を行うとともに、供試体を作成し強度や透水性・保水性の試験を実施し十分なデータが得られている。（以下の11項目：重金属系の溶出試験、重金属系の含有量試験、定量分析試験（レンガ粉砕物）、pH測定試験（レンガ粉砕物）、圧縮強度試験、曲げ強度試験、ホイルトラッキング試験、透水試験、現場透水試験、滑り抵抗値試験、保水性試験）。

本年度は、ベトナム国の環境に応じた透水性・保水性舗装の仕様検討に取り組んだ。これに際して、ハノイ建設大学及びSATREPSの協力を得て、舗装表層材の材料である現地の廃レンガを入手し、日本へ輸送した。入手した廃レンガは、金沢工業大学の研究室にて組成・性状の分析を行った。

また、再生砕石RC40の材料であるコンクリートガラについては、昨年度試験を行っていないため、本年度は、SATREPSの協力を得て、現地のコンクリートガラを入手し、ハノイ建設大学の研究室にて材料試験を行った。



図 4-3 材料（廃レンガ・コンクリートガラ）の現地での調達

4.3 分析方法

4.3.1 舗装の表層材（廃レンガ）

本検討においては、ベトナム産レンガを用いたポーラスコンクリートを作製し、その強度及び透水性を調べ、ベトナム国の環境に応じた透水性・保水性舗装の仕様検討を行った。

ベトナム産レンガに加え、比較用として日本産レンガも実験に使用した。実験に使用した骨材を表 4-1 に示す。表 4-1 に示す通り、ベトナム産レンガは、日本産レンガに比べて吸水率が高く圧縮強度が小さいことが分かる。ポーラスコンクリートの配合を

表 4-2 に示す。ポーラスコンクリートの配合は、設計空気量を 20%とし、早強ポルトランドセメントを用いた。また、強度の増加を目的として、7号砕石や混和剤(高性能 AE 減水剤)を使用したケースで実験を行った。

表 4-1 骨材の物性値

| | 日本産レンガ | ベトナム産レンガ | 7号砕石 |
|--------------------------|--|---|--|
| 外観 |  |  |  |
| 最大寸法(mm) | 10 | 10 | 5 |
| 絶乾密度(g/cm ³) | 2.00 | 2.23 | 2.36 |
| 吸水率(%) | 5.90 | 14.4 | 3.09 |
| 圧縮強度(N/mm ²) | 38.5 | 24.3 | - |

表 4-2 ポーラスコンクリートの配合

| ケースNo. | 骨材 | 7号砕石 質量比(%) | W/C(%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | 全質量 (kg/m ³) | 空隙率(%) |
|--------|----------|----------------|--------|-------------------------|-----|----------------|----------------|----------------|------|-----------------------------|--------|
| | | | | W | C | G ₁ | G ₂ | G ₃ | Ad | | |
| 1 | 日本産レンガ | 0 | 30 | 102 | 340 | 0 | 1262 | 0 | 0 | 1704 | 19.6 |
| 2 | | 102 | | 340 | 0 | 618 | 752 | 0 | 1812 | 11.0 | |
| 3 | | 114 | | 380 | 0 | 592 | 720 | 0 | 1807 | 12.9 | |
| 4 | | 50 | 25 | 95 | 380 | 0 | 612 | 745 | 3.8 | 1830 | 13.7 |
| 5 | | 30 | 102 | 340 | 0 | 618 | 752 | 3.4 | 1812 | 16.6 | |
| 6 | ベトナム産レンガ | 0 | 30 | 102 | 340 | 1356 | 0 | 0 | 0 | 1798 | 20.7 |
| 7 | | 102 | | 340 | 665 | 0 | 752 | 0 | 1859 | 12.2 | |
| 8 | | 50 | | 25 | 95 | 380 | 658 | 0 | 745 | 3.8 | 1878 |

C:早強ポルトランドセメント:密度 3.14g/cm³、G₁:ベトナム産レンガ:密度 2.30g/cm³、G₂:日本産レンガ:密度 2.14g/cm³、G₃:7号砕石:密度 2.50g/cm³、Ad:高性能 AE 減水剤

コンクリートの分析方法を表 4-3 に示す。

分析に用いた供試体は、打設 2 日後に脱型とキャッピングを行い、水温 20℃の環境で 7 日間水中養生し、圧縮強度試験と曲げ強度試験を実施した。圧縮強度試験、空隙率

試験には $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の供試体、曲げ強度試験には $400 \times 400 \times 100\text{mm}$ の供試体を用いた。空隙率試験は、注水法によって行い、「透水性舗装ガイドブック 2007」を参考に 20% を目標とした。また、現場透水試験には図 4-4 に示す $300 \times 300 \times 170\text{mm}$ の舗装基盤を再現し、「日本道路協会の舗装性能評価法」に基づいて行った。

表 4-3 分析方法一覧

| 試験項目 | 使用基準・図書 |
|-------------|------------------------------|
| 圧縮強度試験 | コンクリートの圧縮強度試験方法 (JIS A 1108) |
| 曲げ強度試験 | コンクリートの曲げ強度試験方法 (JIS A 1106) |
| 空隙率試験 (注水法) | 透水性舗装ガイドブック 2007 (日本道路協会) |
| 現場透水試験 | 舗装性能評価法 (日本道路協会) |

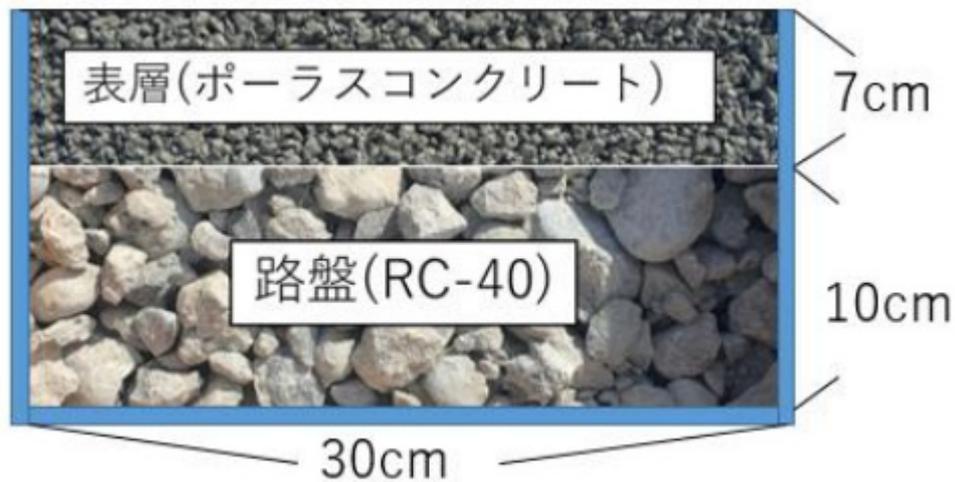


図 4-4 現場透水試験用の基盤

4.3.2 再生砕石 RC40（コンクリートガラ）

再生砕石 RC40 の材料試験項目・基準は下表に示す。

表 4-4 再生砕石 RC40 の試験項目・使用基準

| 試験項目（日本基準） | 使用基準（ベトナム国） |
|------------------------------------|---|
| 骨材のふるい分け試験（JIS A 1102） | TCVN 7572-1-20:2006 Aggregates for concrete and mortar - Test methods |
| 土の液性限界、塑性限界試験（JIS A 1205） | TCVN 4197:2012 Soils - Laboratory methods for determination of plastic limit and liquid limit |
| 突き固めによる土の締固め試験（JIS A 1210） | 22TCN 333 - 06 Standard Proctor Compaction Test |
| 修正 CBR 試験（JIS A 1211） | 22TCN 333 - 06 Standard Proctor Compaction Test |
| ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験（JIS A 1121） | TCVN 7572-12 : 2006 Aggregates for concrete and mortar - Test methods - Part 12: Determination of resistance to degradation of coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine |
| 土粒子の密度試験（JIS A 1202） | TCVN 7572-4 : 2006 Aggregates for concrete and mortar - Test methods - Part 4: Determination of apparent specific gravity, bulk specific gravity and water absorption |

4.4 分析結果

4.4.1 舗装の表層材（廃レンガ）

(1) 空隙率と強度

圧縮強度 18N/mm^2 、曲げ強度 2.5N/mm^2 を目標値として試験を行った。図 4-5 に空隙率と強度の関係を示す。図 4-5 によると、空隙率と強度には相関関係がみられ、空隙率は曲げ強度に比べて圧縮強度に及ぼす影響が大きいことが分かった。

図 4-6 には全てのケースにおける圧縮強度と曲げ強度を示す。これらを見ると、レンガ 100%のケース（No. 1、6）では、圧縮・曲げ強度ともに小さいことが分かった。また、7 号砕石を 50%混入させたケース（No. 2、7）においても、強度は 100%以上向上したが目標強度を満足できなかった。次に、水セメント比を 25%とし、7 号砕石を 50%混入したケース（No. 4、No. 8）では、圧縮・曲げ強度ともに目標値を満足していることが分かった。

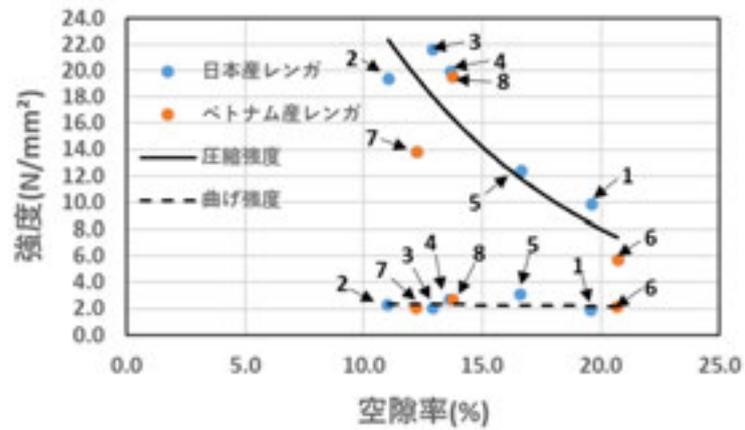


図 4-5 空隙率と強度

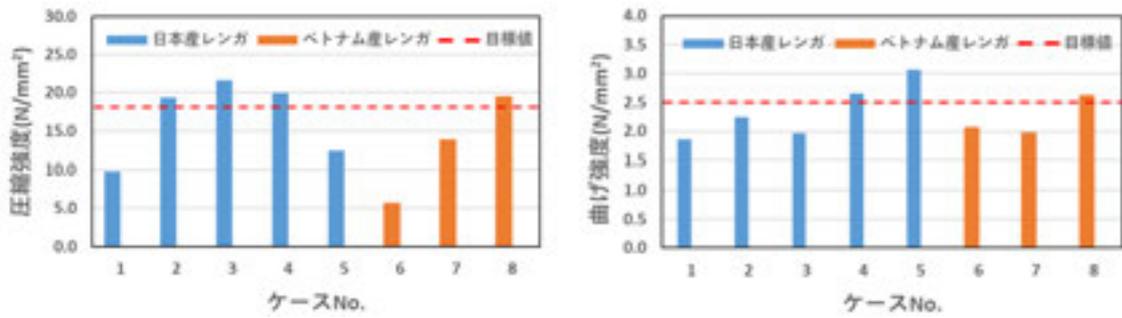


図 4-6 強度試験の結果（左：圧縮強度試験、右：曲げ強度試験）

(2) 現場透水試験結果

目標強度を満足したケース (No. 4、No. 8、図 4-7 の基盤断面)において、現場透水試験を行った結果を図 4-8 に示す。これによると、日本産とベトナム産のレンガで透水量の差はほぼ見られず、両者とも舗装性能評価法に示されている基準値 300ml/15 秒を大きく超え、透水性舗装の有効性が確認された。また、本研究では、日本産レンガとベトナム産レンガの違いによる透水性舗装への優位な差は認められなかった。

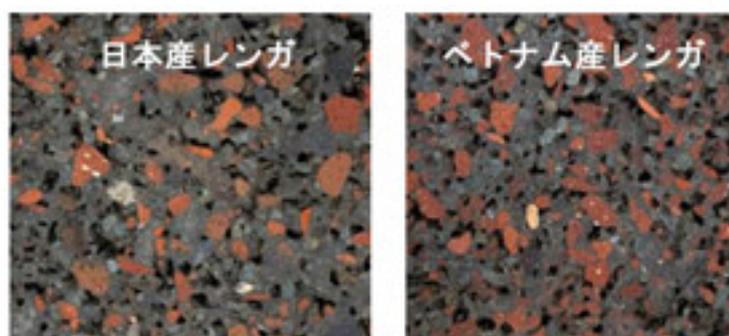


図 4-7 ポーラスコンクリートの基盤断面

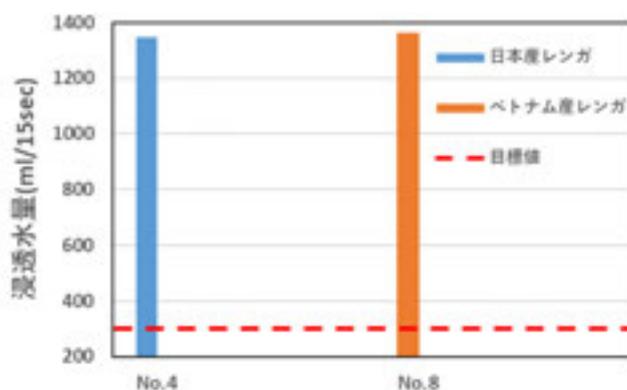


図 4-8 現場透水試験の結果

(3) 総合評価

廃棄レンガを用いたポーラスコンクリートの空隙率と強度には相関関係が見られ、空隙率は曲げ強度よりも圧縮強度に及ぼす影響が大きいことが確認された。

また、水セメント比を 25%とし、7 号砕石を 50%混入した廃棄レンガポーラスコンクリートは、圧縮・曲げ強度ともに目標値(18N/mm²、2.5N/mm²)を満たし、現場透水試験の結果からも透水性舗装への有効性が確認された。

(4) ベトナム国の環境に応じた配合の決定

上記の検討結果を踏まえ、ベトナム国における透水性・保水性舗装の試験施工の配合を下記の通り設定した。

(1) 1立米あたりの配合 (Kg)

| 水 | セメント ※1 | レンガ骨材 (3(5)~ 10mm) | 砕石 (2.5~5 mm) | 高性能 AE 減水剤 ※2 | 顔料 ※3 |
|----|------------|--------------------------|---------------------|------------------|----------|
| 95 | 380 | 658 | 745 | 3.8 | 7.6 |

※1 セメントは普通ポルトランドセメントを使用

※2 高性能 AE 減水剤はポリカルボン酸系化合物

※3 酸化鉄を主体としたコンクリート着色用の顔料

4.4.2 再生砕石 RC40 (コンクリートガラ)

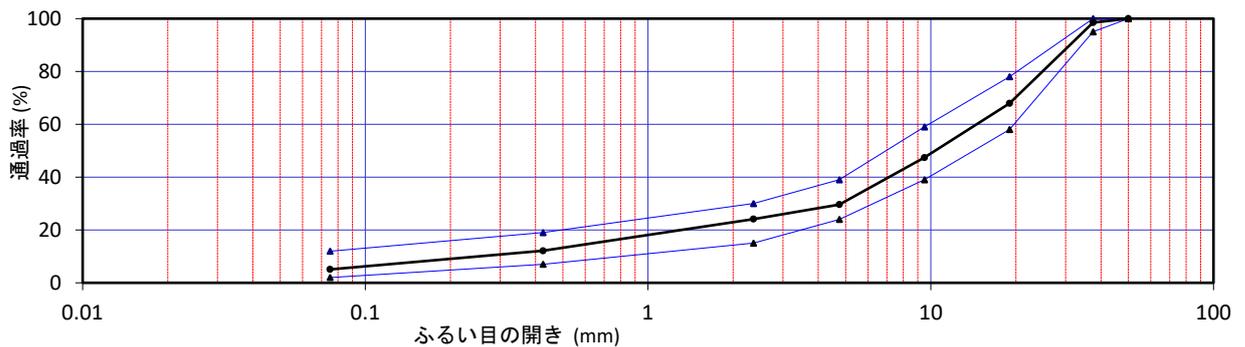
材料試験結果を下記に示す。

(1) 骨材のふるい分け試験

骨材のふるい分け試験の結果は、RC40がTCVN 7572:2016に適合し、グレードII-Dmax37.5砕石に従って分類されることと分かった。

| 粒子の試験結果 (TCVN 7572-13: 2006) | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------|------|---------|--------|---------------|--------|-------|-------------------------|-------|
| ふるい目の開き | サンプル重さ | | 平らな砂の質量 | | 平らな砂の質量 分率 | | 平均 | 技術要件 TCVN 8859: 2011 | |
| (mm) | (g) | | (g) | | (%) | | (%) | (%) | |
| 37.5 -:- 50 | 166.0 | | 5.16 | | 3.11 | | 10.83 | ≤18 | |
| 19 -:- 37.5 | 3378.0 | | 409.41 | | 12.12 | | | | |
| 9.5 -:- 19 | 2263.0 | | 446.49 | | 19.73 | | | | |
| 4.75 -:- 9.5 | 1965.0 | | 334.84 | | 17.04 | | | | |
| 骨材のふるい分け試験 | | | | | | | | | |
| ふるい目の開き | mm | 50 | 37.5 | 19 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 0.425 | 0.075 |
| 連続する各ふるいの間 にとどまる質量 | g | 0.0 | 166.0 | 3378.0 | 2263.0 | 1965.0 | 607.0 | 1325.0 | 773.0 |
| 連続する各ふるいの間 にとどまる質量分率 | % | 0.00 | 1.50 | 30.60 | 20.50 | 17.80 | 5.50 | 12.00 | 7.00 |
| 各ふるいにとどまる質 | % | 0.0 | 1.50 | 32.10 | 52.60 | 70.40 | 75.90 | 87.90 | 94.90 |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 量分率 | | | | | | | | | | |
| 各ふるいを通過する質量分率 | | % | 100.0 | 98.50 | 67.90 | 47.40 | 29.60 | 24.10 | 12.10 | 5.10 |
| 技術要件 TCVN 8859: 2011 | Max | % | 100 | 100 | 78 | 59 | 39 | 30 | 19 | 12 |
| | Min | % | 100 | 95 | 58 | 39 | 24 | 15 | 7 | 2 |
| 計 | | g | 11040.0 | | | | | | | |



(2) 土の液性限界、塑性限界試験

再生砕石 RC40 の土の液状限界、塑性限界試験結果より、液状限界、塑性限界を確認できない。

| 液性限界試験 (TCVN 4197-2012) | | | | | |
|-------------------------|--------|--------------|-------------|------|-----|
| No | ボックス重量 | ウェット供試体+ボックス | ドライ+ウェット供試体 | 落下回数 | 含水比 |
| | G | g | g | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | NP | | | |
| 3 | | | | | |
| 塑性限界試験 (TCVN 4197-2012) | | | | | |
| No | ボックス重量 | ウェット供試体+ボックス | ドライ+ウェット供試体 | 落下回数 | 含水比 |
| | g | g | g | | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | NP | | | |
| 3 | | | | | |

(3) 突き固めによる土の締固め試験

22TCN 333-06 に従って、再生砕石 RC40 の突き固めによる土の締固め試験結果は、 2.427g/cm^3 の最大乾燥密度と、 6.04% の最高含水率である。

| 土の締固め試験 (22TCN 333-06 : IID) | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|------------------|-----------------|-----------------|------|---------------------|---------------------|
| 測定 No. | 資料質量 | (ウェット試料+モールド) 質量 | (ドライ試料+モールド) 質量 | (ウェット試料+トレイ) 質量 | 含水比 | 湿潤密度 | 感想密度 |
| | G | g | g | g | % | (g/cm^3) | (g/cm^3) |
| 1 | 120.52 | 731.10 | 716.27 | 9943 | 2.49 | 2.246 | 2.191 |
| 2 | 82.40 | 735.90 | 712.28 | 10166 | 3.75 | 2.351 | 2.266 |
| 3 | 107.42 | 706.81 | 676.43 | 10359 | 5.34 | 2.443 | 2.319 |
| 4 | 93.22 | 649.68 | 613.57 | 10394 | 6.94 | 2.459 | 2,300 |
| 5 | 116.92 | 773.58 | 721.97 | 10343 | 8.53 | 2.435 | 2.244 |
| 指標 | | | | チャート | | | |
| ランマー質量: (g) | | | 5206 | | | | |
| モールド容量: (cm^3) | | | 2109.4 | | | | |
| 粒子 > 19 mm : (%) | | | 32.10 | | | | |
| 粒径の質量 : | | | 2,698 | | | | |
| 最適含水比 (%) | | | 8.90 | | | | |
| 最大乾燥密度 | | | 2.317 | | | | |
| 補正 | | | | | | | |
| 最大乾燥密度 (g/cm^3) | | | 2.427 | | | | |
| 最適含水比 (%) | | | 6.04 | | | | |

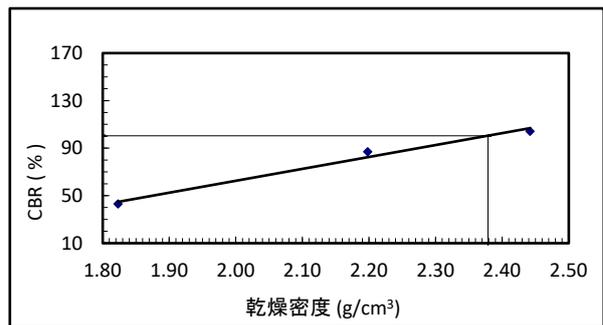
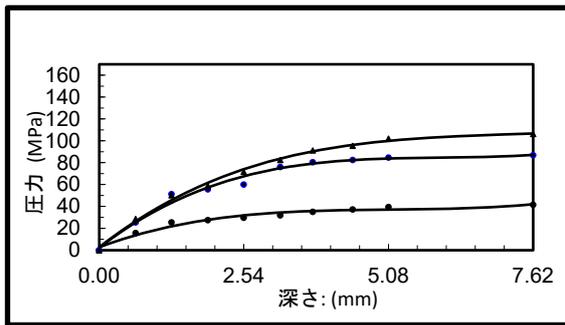
乾燥密度 (g/cm^3)

含水比 (%)

(4) 修正 CBR 試験

22 TCN 332: 2006 に従って、修正 CBR 試験結果は、最大乾燥密度が 2.427g/cm³、最適含水比が 6.04%、CBR が 100.05%となっている。

| 結果 (22 TCN 332: 2006) | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|--------------------------|-------|-------|-----------------------------|--------------------------|------|-----------|-----------|----------------------------|-------|-----------|
| 沈下 量 | 突き固め回数 10 | | | | 突き固め回数 30 | | | | 突き固め回数 65 | | | |
| | | 圧力 | CBR | CBR | | 圧力 | CBR | 修正 | | 圧力 | CBR | 修正 |
| Mm | | daN / cm ² | % | 修正 | | daN / cm ² | % | 修正 CBR | | daN / cm ² | % | 修正 CBR |
| 0.00 | 0.0 | 0.00 | | | 0.0 | 0.00 | | | 0.0 | 0.00 | | |
| 0.64 | 16.0 | 15.69 | | | 25.0 | 25.40 | | | 28.0 | 28.64 | | |
| 1.27 | 25.0 | 25.40 | | | 49.0 | 51.31 | | | 48.0 | 50.23 | | |
| 1.91 | 27.0 | 27.56 | | | 53.0 | 55.62 | | | 56.0 | 58.86 | | |
| 2.54 | 29.0 | 29.72 | 43.1 | 43.1 | 57.0 | 60.00 | 87.0 | 87.0 | 68.0 | 71.82 | 104.1 | 104.1 |
| 3.18 | 31.0 | 31.88 | | | 72.0 | 76.13 | | | 78.0 | 82.61 | | |
| 3.75 | 34.0 | 35.12 | | | 76.0 | 80.45 | | | 86.0 | 91.24 | | |
| 4.45 | 36.0 | 37.27 | | | 78.0 | 82.61 | | | 90.0 | 95.56 | | |
| 5.08 | 38.0 | 39.43 | 38.3 | 38.3 | 80.0 | 84.77 | 82.3 | 82.3 | 96.0 | 102.04 | 99.1 | 99.1 |
| 7.62 | 40.0 | 41.59 | | | 82.0 | 86.93 | | | 100.0 | 106.36 | | |
| | | | | | | | | | 150.0 | 160.3 | | |
| | | | | | | | | | | -1.583 | | |
| | | | | | | | | | | -1.583 | | |
| 突き固め回数 ／層 | 単位 | 10 | 30 | 65 | | | | | | | | |
| 乾燥密度 | g / cm ³ | 1.823 | 2.198 | 2.442 | 最大乾燥密度 (g/cm ³) | | | | 2.427 | 技術要件 TCVN8859 : 2011 | | |
| 含水比 | % | 4.54 | 4.62 | 4.48 | 最適含水比 (%) | | | | 6.04 | | | |
| CBR | % | 43.1 | 87.0 | 104.1 | K = 0.98 での CBR (%) | | | | 100.50 | - | | |



(5) ロサンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験

試験結果によると、再生砕石 RC40 が TCVN 11969 : 2018 の技術要件を満たすことが確認できた。

| 試験結果 (TCVN 7572-12 : 2006) | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|
| ふるい分け (mm) | 試料の質量 (g) | | | |
| | A | B | C | D |
| 25 - : - 37.5 | 1250 ± 25 | | | |
| 19 - : - 25 | 1250 ± 25 | | | |
| 12.5 - : - 19 | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | |
| 9.5 - : - 12.5 | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | | |
| 6.3 - : - 9.5 | | | 2500 ± 10 | |
| 4.75 - : - 6.3 | | | 2500 ± 10 | |
| 2.36 - : - 4.75 | | | | 5000 ± 10 |
| 合計 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 |
| 回転数 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 玉の数 | 12 | 11 | 8 | 6 |
| 剛球質量 (g) | 5000 ± 25 | 4584 ± 25 | 3330 ± 20 | 2500 ± 15 |
| 試験結果 : A | | | | |
| 試験前の試料の質量 (g) | 5000.8 | | 技術要件 TCVN 11969 : 2018 | |
| 試験後 1.7mm ふるいに残った試料の乾燥質量 (g) | 3150 | | | |
| すりへり減量 (%) | 37.01 | | | |

(6) 土粒子の密度試験

試験結果は、以下に示す通り。

| 試験方法 (TCVN 7572-4 : 2006) | | | | |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|
| RC40 | 質量 (g) | | | |
| | 質量試料 No. 1 | 質量試料 No. 2 | 質量試料 No. 3 | ρ_n (g/cm ³) |
| ケース 1 | 7530 | 6420 | 2000 | 1 |
| ケース 2 | 7550 | 6456 | 2000 | 1 |
| ケース 3 | 7530 | 6440 | 2000 | 1 |
| 土粒子の密度 (g / cm ³) | | | | |
| サンプル | 試料 No. 1 | 試料 No. 2 | 試料 No. 3 | 平均値 |
| 結果 | 2.247 | 2.208 | 2.198 | 2.217 |

(7) 総合評価

上記の材料試験結果より、再生砕石 RC40 は、ベトナム国の基準 TCVN での骨材のグレード II の要件を満たし、道路の路盤材料として使用可能であることを確認できた。

5. 実証事業

本事業では、ベトナム国における事業展開・早期社会実装を見据え、ベトナム国に適した透水性舗装の仕様検討を行うと共に、透水性舗装の実証（デモンストレーション）をハノイ市及びハイフォン市の2箇所で実施した。本章にて、適用した仕様の検討内容とデモンストレーションの概要について報告する。

5.1 透水性舗装（K-グラウンド(C)）を用いた歩道/駐車場における舗装構造設計

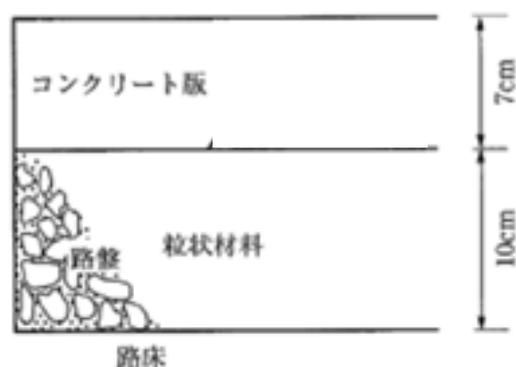
ベトナム国における実証実験にあたり、ベトナム国における交通運輸省、建設省及びベトナム国家規格（TCVN）における透水性・保水性舗装の仕様を調査したところ、これまでに定められた仕様等は無いことが分かった。そこで、ベトナム国に適した透水性・保水性舗装の仕様の検討を行った。

透水性舗装の舗装構造を設計するにあたっては、日本における「舗装設計便覧 平成18年2月 日本道路協会」の「7-3-7 透水性舗装」及び「7-3-9 歩道および自転車道等の舗装」を参照した。

5.1.1 舗装構成の検討

本製品については、コンクリート系の舗装と捉え、「舗装設計便覧 平成18年2月 日本道路協会」P248を参考に、表層は、歩道において7cm、駐車場では、管理用車両や重量の限定された一般車両が通行する場合と判断し、表層を10cmとすることとした。

また、路盤については、歩道で10cm、駐車場で15cmとすることで試験施工することとした。



出典：「舗装設計便覧 平成18年2月 日本道路協会」P248

図 5-1 歩道部における舗装構成（案）

5.1.2 水収支（透水性能）の検討

試験施工で実施する舗装構成（歩道・駐車場）に対し、どの程度の降雨量強度（mm/h）まで、舗装表面から溢流させない舗装厚となるかについて、図 5-2 を用い、舗装構成を検討した。

(6) 降雨量に対して十分な浸透能力が確保され、舗装表面から溢流させない舗装厚を、2.12.1式(資料)により算定し、仮設定した舗装断面がこれを満たすか確認する。

$$H = (0.11 - 3600q) \times \frac{100t}{60V} \cdots 2.12.1 \text{ 式 (資料)}$$

H: 舗装厚 (cm)

V: 舗装の平均空隙率 (%) (舗装厚を考慮した加重平均)

q: 路床の平均浸透速度 (cm/s) (加重平均)

I: 降雨強度 (mm/h) (基準 4.3.4 による。)

t: 降雨継続時間 (min)

出典: 「構内舗装・排水設計基準の資料(平成 27 年制定)国土交通省営繕部整備課」
「舗装設計便覧 平成 18 年 2 月 日本道路協会」P237

図 5-2 水収支(透水性能)の検討式

5.1.3 降雨強度の設定

降雨強度については、図 5-3 を参考にした。

4.3.4 降雨強度

降雨強度は、3 年確率 10 分間降雨強度を基に定めることを標準とする。ただし、山間部等の地形的な要因による降雨量の増加を考慮する必要がある場合は、2~4 割の割増しをする。なお、降雨強度が条例等で定められている場合は、その定めによることができる。

また、設計するうえで異なる確率年数や降雨継続時間を考慮する必要がある場合は、タルボット式、特性係数法等によって定めることができる。

なお、3 年確率 10 分間降雨強度は、「道路土工要綱」(平成 21 年度版、公益社団法人日本道路協会)に示されており、これを用いることができる。

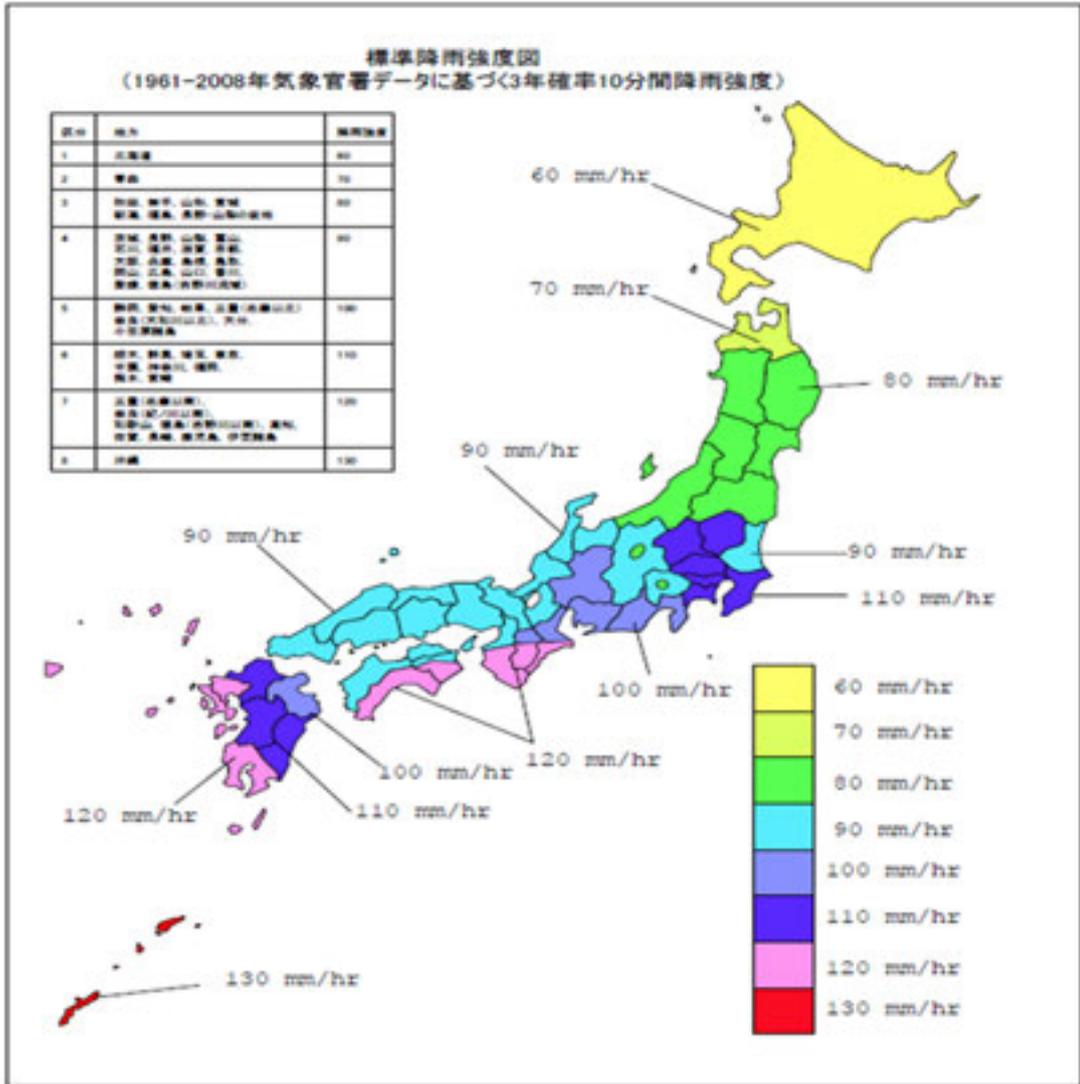
出典: 「構内舗装・排水設計基準の資料(平成 27 年制定)国土交通省営繕部整備課」

図 5-3 降雨強度の設定

(1) 3 年確率 10 分間降雨強度

1) 日本の場合

日本においては、3 年確率 10 分間降雨強度は、図 5-4 を参考に実施している。



出典：道路土工要綱 社団法人日本道路協会

図 5-4 路面排水工等に用いる標準降雨強度（3年確率 10 分間降雨強度）

2) ベトナム国の場合

ベトナム国においては、TCVN7957(2008)において降雨強度式(式1)が設定されており、地域毎(省毎)に定数が設定されている。そのため、3年確率10分間降雨強度を式1より算出した。

その結果、ハノイ市では160mm/時、ハイフォン市では162mm/時として、3年確率10分間降雨強度を設定した。(表5-1参照)

$$q = A(1 + C \log P) / (t + b)^n \quad (\text{式1})$$

ただし、

q : 降雨強度 (l/秒・ha)

P : 確率年 (年)

t : 流達時間 (分)

A, b, C, n : 降雨条件に応じた定数

表 5-1 降雨条件に応じた定数及び降雨強度

| 省・市 | A | b | C | n | q(l/秒・ha) | q(mm/時) |
|-------|-------|------|----|------|-----------|---------|
| ハノイ | 5,890 | 0.65 | 20 | 0.84 | 443 | 160 |
| ハイフォン | 5,950 | 0.55 | 21 | 0.82 | 450 | 162 |

出典 : TCVN7957(2008)別添B

5.1.4 透水係数の設定

表層、路盤、路床の透水係数は、表5-2を参考に設定した。路床の状況が不確定であるため、厳しい条件である粘性土とした。

表 5-2 透水係数の設定

| 舗装構成(材料名) | 透水係数(cm/s) |
|-------------------------------|------------|
| 表層(Kグランド(C))※ | 0.246 |
| 路盤(クラッシャー) | 0.003 |
| 路床(粘性土) | 0.00001 |
| ※瓦再生舗装材(ポーラスコンクリート)の透水試験結果による | |

出典 : 舗装設計便覧 社団法人日本道路協会 P238

表 5-3 K-グラウンド (C) の透水係数

| ポーラスコンクリートの透水試験 | | | | | |
|------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------|-------|
| 調査・工事名 瓦再生舗装材 | | | 試験年月日 2021/2/8 | | |
| 供試体の種類 | | | 試験者 西園雄太 | | |
| ベトナムレンガ骨材使用 Kグラウンド (C) | | | | | |
| 供試体の番号 | | | 1 | 2 | 3 |
| ① | 供試体の平均厚さ | cm | 8.7 | 8.7 | 8.8 |
| ② | 供試体の平均直径 | cm | 10.1 | 10.1 | 10.2 |
| ③ | 供試体の断面積 | cm ² | 80.1 | 80.1 | 81.7 |
| ④ | 水頭 | cm | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| ⑤ | 測定時間 | S | 30 | 30 | 30 |
| ⑥ | 越流量 | cm ³ | 695.3 | 914.2 | 602.9 |
| ⑦ | 水温 (T) | °C | 18 | 18 | 18 |
| ⑧ | 水温T°Cにおける補正係数 ※1 | | 0.925 | 0.925 | 0.925 |
| ⑨ | ①/④ | | 0.870 | 0.870 | 0.880 |
| ⑩ | ⑥/③×⑤ | | 0.289 | 0.380 | 0.246 |
| ⑪ | K=⑨×⑩ ※2 | cm/s | 0.251 | 0.331 | 0.216 |
| ⑫ | K15=⑪×⑧ | cm/s | 0.232 | 0.306 | 0.200 |
| | K15の平均値 ※3 | cm/s | 0.246 | | |

備考

※1 試験法便覧p381 表-B076-1より

※2 水温T°Cにおける透水係数

※3 水温15°Cにおける透水係数の推定値

5.1.5 検討断面

5.1.1に基づき検討断面を設定した。検討断面は、「歩道部」及び駐車場を想定した「車両乗り入れ部」とし、図5-5及び図5-6に示す通りとした。

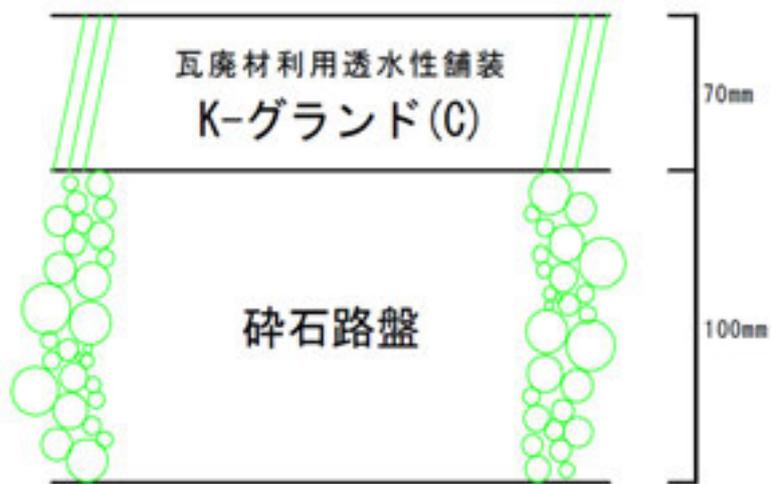


図5-5 断面構成図(歩道仕様)

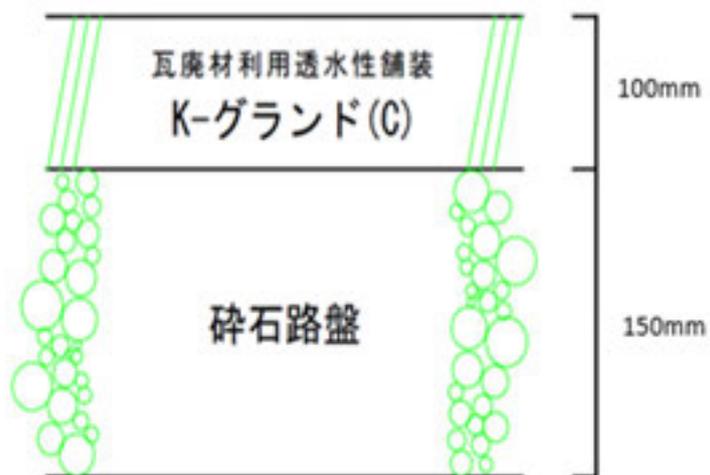


図5-6 断面構成図(駐車場仕様)

5.1.6 検証結果

1) 歩道

図 5-5 に示す舗装構成（表層 7cm、砕石路盤（クラッシャーラン）10cm）の場合、降雨強度が 168mm/時（10 分間降雨強度）以下まで耐えうることがわかった。

そのため、ハノイ市の 160mm/時、ハイフォン市の 162mm/時の降雨強度について耐えうる舗装構成となっていることが確認できた。

表 5-4 舗装表面から溢流させない降雨強度の確認

| ①歩道仕様(K-グランド) | 設計舗装厚(cm) | 空隙率(%) | 透水係数(cm/s) | | | |
|---|-------------|----------------------|------------|--------------------------|---------------|----------------|
| 表層(K-グランド)70mm | 7.0 | 18.0 | 0.246 | | | |
| 路盤(RC40) 100mm | 10.0 | 5.0 | 0.003 | | | |
| H: 舗装厚(cm) = (0.1I - 3600q) * 100t / 60 / V | | V: 舗装の平均空隙率(%): 加重平均 | | q: 路床の平均浸透速度(cm/s): 加重平均 | I: 降雨強度(mm/時) | t: 降雨継続時間(min) |
| | 17.0 | 10.4 | 0.103 | | 168 | 10 |

2) 駐車場

図 5-6 に示す舗装構成（表層 10cm、砕石路盤（クラッシャーラン）15cm）の場合、降雨強度が 213mm/時（10 分間降雨強度）以下まで耐えうることがわかった。

そのため、ハノイ市の 160mm/時、ハイフォン市の 162mm/時の降雨強度について耐えうる舗装構成となっていることが確認できた。

表 5-5 舗装表面から溢流させない降雨強度の確認

| ②駐車場仕様(K-グランド) | 設計舗装厚(cm) | 空隙率(%) | 透水係数(cm/s) | | | |
|---|-------------|----------------------|------------|--------------------------|---------------|----------------|
| 表層(K-グランド)100mm | 10.0 | 18.0 | 0.246 | | | |
| 路盤(RC40) 150mm | 15.0 | 5.0 | 0.003 | | | |
| H: 舗装厚(cm) = (0.1I - 3600q) * 100t / 60 / V | | V: 舗装の平均空隙率(%): 加重平均 | | q: 路床の平均浸透速度(cm/s): 加重平均 | I: 降雨強度(mm/時) | t: 降雨継続時間(min) |
| | 25.0 | 10.2 | 0.100 | | 213 | 10 |

5.2 実証実験（ハノイ市、ハイフォン市）

5.2.1 狙い・内容

(1) 狙い

昨年度調査では、本技術適応可能箇所が公園、緑地の園路や道路・工業団地の歩道舗装であることを確認できた。また、普及に向けデモンストレーションの必要性が認識された。

これを受け、本年度の取り組みにおいては透水性・保水性舗装のデモンストレーションを実施した。実施の狙いは以下の通りである。

- ・透水性・保水性舗装の周知
- ・製品の良さを実感・体験してもらうこと
- ・ハノイ市及びハイフォン市にて施工し、本技術に関心を有する関係各者への PR

(2) 実施内容

2021年12月にハノイ市の中心に位置するハノイ建設大学(HUCE)の構内及びハイフォン市の DEEP C 工業団地にて実証実験を実施した。

実証実験時の舗装構成は、前節の検討結果に基づいて、駐車場仕様及び歩道部仕様の両方を採用した。

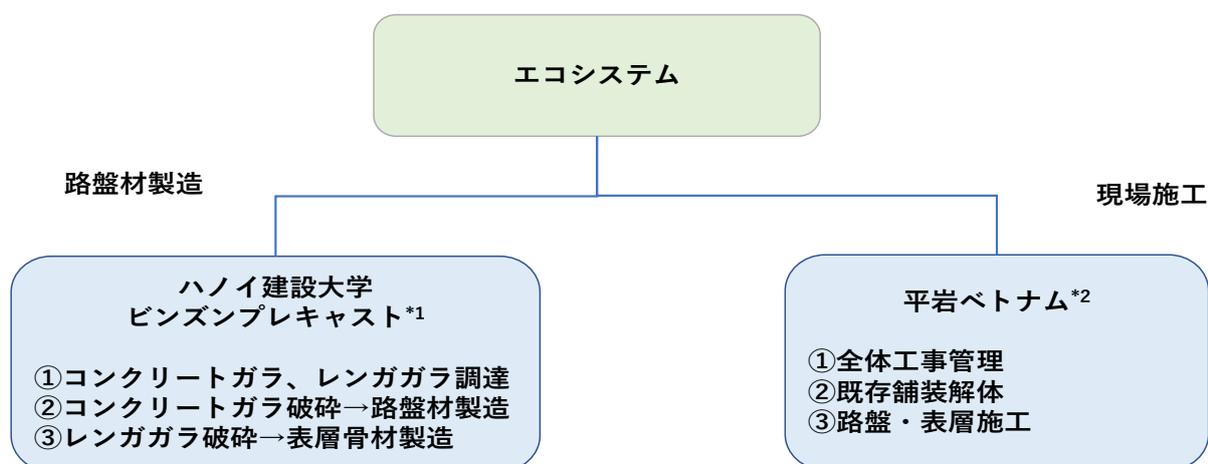
- ・ハノイ建設大学構内：表層 10cm、RC40 による路盤 15cm の駐車場仕様
- ・DEEP C 工業団地：表層 7cm、RC40 による路盤 10cm の歩道部仕様
- ・施工面積はそれぞれ 20 m²×2 程度

舗装の表層材の配合方法は、第4章の検討結果に基づいて実施した。

5.2.2 実施体制

実施体制は、図 5-7 に示す。

ベトナムにおける試験施工の体制について



※1 現地コンクリートプレキャストメーカー

※2 現地日系建設企業

図 5-7 実施体制

5.2.3 実施計画・実施結果・実施後のモニタリング

実証に関わる計画・準備・施工・モニタリングの工程は以下の通りであった。

| 施行計画書 | 材料調達・技術指導等 | 練り練習 | DEEP Cでの実証施工 | ハノイ建設大学での実証施工 | 施工後試験・モニタリング |
|-------|------------|------|--------------|---------------|-------------------------------|
| 2 か月前 | 1 か月前 | 12/7 | 12/13～12/14 | 12/21～12/22 | 施工日から 28 日後 施工後の 1 ヶ月・2 ヶ月 |

(1) 施工計画書

1) 現場管理フローチャート

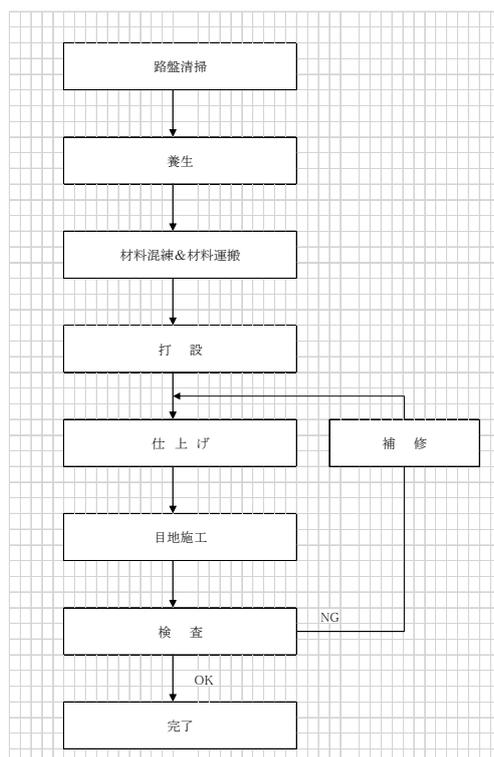


図 5-8 現場管理のフローチャート

2) 施工前準備事項

作業者は、着工に先立ち、設計図面、特記仕様書、共通仕様書、その他関係書類を熟読の上、施工現場を踏査実測し、その結果を担当監督職員に報告すると共に、疑問点や設計変更の必要性が生じた場合には、速やかに監督職員に報告し、指示を受けてから施工する。

3) 舗装の表層材（K-グラウンド(C)）の施工

A) 舗装準備

- ・路盤の施工を行う場合には歩道部は砕石路盤を 10 cm、車両乗入部は 15 cmを基準とする。
- ・路盤工の浮石、その他ゴミ等をきれいに除去する。

B) 舗装材料および施工機械類の運搬作業

- ・施工現場に必要な材料（骨材・セメント等）を準備する。

C) K-グラウンド(C)材料の製造

- ・施工に必要なミキサー（200L程度）、発電機（若しくは現場で借りる）を準備する。

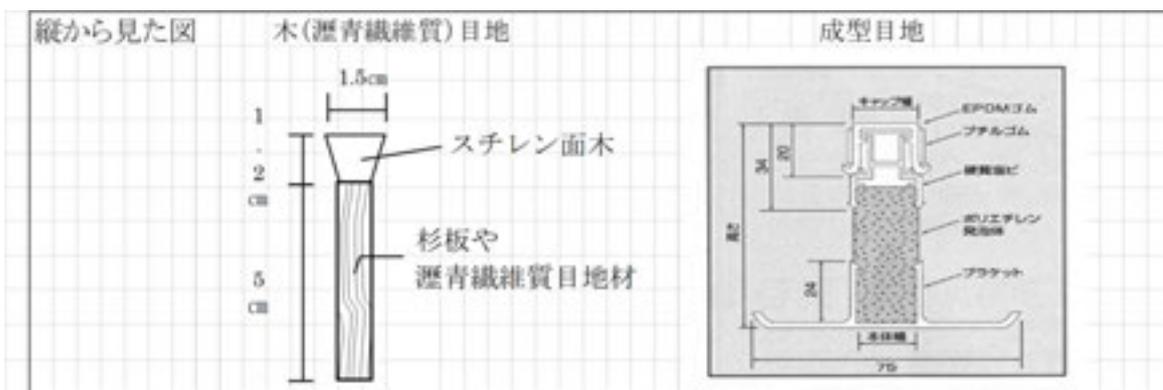
- ・骨材とセメントをミキサーに投入し、10秒ほど空練りする
- ・水を配合報告書にある量の半分を入れ、あとの半分は少しずつ添加し、練り状況を見る
- ・骨材の乾燥具合により添加水量が変化するので注意する（練り状況資料参照）

D) 打設、敷き均し、仕上げ

- ・ミキサーから一輪車等を用いて人力にて打設し、施工厚を確認しながら敷均す。
- ・敷き均しはレーキを用い、仕上げ天端より1~2cm程度余盛して敷均す。
- ・敷均し後、金鋤や機械鋤（トロウエル）を用いて押さえて仕上げる。

E) 目地（必要な場合）

- ・目地はカッター目地・木（瀝青繊維質）目地・成形目地とし、カッター目地にはシーリング剤を注入する。
- ・カッター目地は、監督職員と協議によりシーリングを行わない場合もある。
- ・木目地や成形目地は下図のような仕様とし、施工前・施工中に設置する。
- ・木目地は舗装材が完全に固化した後、頭部のスチレン面木を取り外してシーリング剤を注入する。
- ・監督職員との協議により、面木を押し当てて目地を作る場合もあり、その場合、シーリングを行わない場合もある。
- ・シーリング材は1成分型若しくは2成分型変性シリコンシーリング材を用いる。



コンクリート系舗装の目地施工に関しては、『コンクリート標準示方書』（土木学会著）の舗装編6章“解説 表6.1 目地間隔の標準”（下図）を参考として、出来上がりを配慮して設置する。

解説 表6.1 目地間隔の標準

| 目地の種類 | 目地間隔 | | |
|-------|-----------------|--------------------------|----------|
| 横膨張目地 | 4月～11月 施工の場合 | 版厚15,20cm | 120～240m |
| | | 版厚25cm以上 | 240～480m |
| | 12月～3月 施工の場合 | 版厚15,20cm | 60～120m |
| | | 版厚25cm以上 | 120～240m |
| 横収縮目地 | 版厚25cm未満 | 8m(ただし、鉄網を省略する場合には5mとする) | |
| | 版厚25cm以上 | 10m | |
| 縦目地 | 3.25～4.5m | | |

カッター目地は舗装打設後、1～1週間程度の養生期間を経た後に施工する。

F) 舗装完了後目視により検査を行う。

- G) 養生
- ・水分の蒸散を防ぐため、ポリエチレンシート等で可能なら 3 日ほど覆ったままにする。
- H) 品質管理
- ・被膜養生剤を用いて養生する場合は、施工当日と翌日は雨が降らない事を前提とする。
- 4) 施行図面
- A) DEEP C 工業団地



図 5-9 施工場所

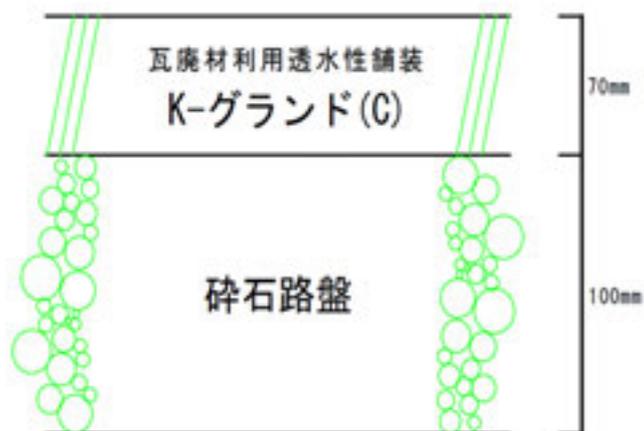


図 5-10 施工断面図（歩行部）

- B) ハノイ建設大学構内



図 5-11 施工場所（駐車場）

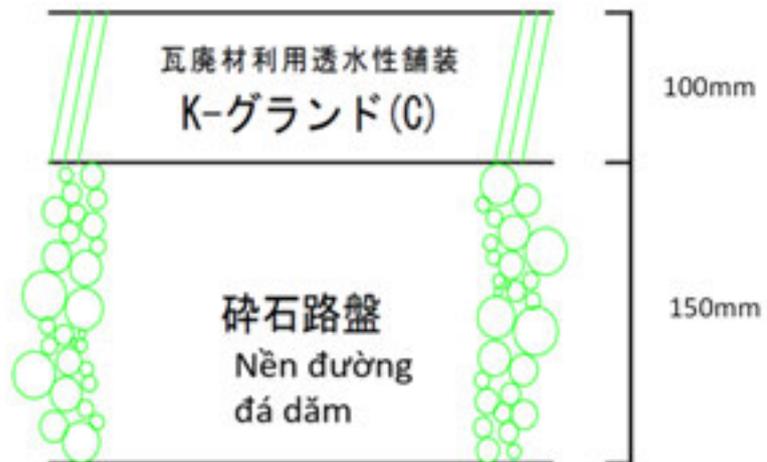


図 5-12 施工断面図（駐車場）

5) 必要機材

| 工程 | 必要機材・資材 | 説明 | イメージ |
|------------------------------|-----------------|---|--|
| 既存舗装解体・掘削・整地・路盤 | 小型バックホウ | 0.1㎡クラス程度/材料製造時に骨材を入れたフレコンをミキサーに投入する際にも必要 |  |
| | 2tダンプ | 残土処分/RC40運搬等 |  |
| | ハンドガイドローラー | 500～600Kg程度、路床転圧 |  |
| | ランマー | 端部の転圧 |  |
| | プレート | 砕石路盤の転圧、ローターでも可 |  |
| | ショベル、スタッフ、スケール等 | 掘削時に必要な道具類 |  |
| 材料製造・施工 | タライミキサー | 200L程度壊れるもの/傾斜式のみキサーは× |   <small>これはダメ</small> |
| | 計量器 | 最低でも20～30キロ程計れるハカリ |  |
| | 一輪車等 | 深底タイプが良い |  <small>浅型は使い難い</small> |
| | 必要機材・資材 | 説明 | イメージ |
| 材料製造・施工 | レーキ/定木等 | 舗装材料を敷き均す道具 |  |
| | 鍍等施工道具一式 | 舗装材料を押さえて仕上げる道具 |  |
| | ショベル、スタッフ、スケール等 | 施工の時や管理する際に必要 |  |
| 材料 面積により変動→面積決定後に計算して知らせる | レンガ骨材 | 5～10mm 予め7ルン等に計量して入れておく |  |
| | 砕石 | 2.5～5mm 同上 |  |
| | セメント | 普通セメント 25Kg (50Kg) 入り袋 |  |
| | 水 | バケツ等で現場で計量/掃除でも使用(現場で調達できるか否かの確認・ホースあるか?) |  <small>大きめバケツと15L位のバケツ</small> |
| その他 | 養生用具 | ブルーシート、テープ、カラーコーン(立ち入り禁止用)等 |  |
| | 掃除用具等 | ホーキ、塵取り、ブラシ、バケツ等 |  |
| | サンプル用ケース | サンプル作成用 10個程? |  |

(2) 材料調達・技術指導等

実施体制に基づき、ハノイ建設大学及び SATREPS メンバーの協力により、材料調達の手配と準備を行った。技術指導は、コロナ禍の影響により渡航ができないため、説明資料の工夫及び、現場でのビデオ通話などで、相互確認を行った。



材料調達



再生碎石 RC40 のふるい分け



舗装の表層材（廃レンガ）のふるい分け



現場でのビデオ通話

(3) 練り練習

試験施工の当日に向けて、練りの練習を行った。



作製した供試体



作製した供試体



透水性の確認

(5) 試験施工

試験施工状況（ハイフォンサイト：DEEP C工業団地内）



路床転圧状況



路盤施工状況



レンガ舗装材製造状況



レンガ舗装材施工状況



試験施工状況（ハノイサイト：ハノイ建設大学構内）



取設舗装面解体状況



路盤施工状況



レンガ舗装材製造状況



レンガ舗装材施工状況



(6) 試験施工後試験

試験施工日から28日後には、工事中に作成した供試体を対象に、次の3つの試験を実施した。

- ・ 圧縮試験
- ・ 室内透水試験
- ・ 現場透水試験

1) 圧縮試験

- ・ 試験方法：TCVN 3118-1993
- ・ 供試体のサイズ：円筒形 100 x 200 mm
- ・ 油圧コンプレッサーTYE-2000



図 5-13 圧縮試験の様子

| DEEP C 工業団地での圧縮試験結果 | | | |
|---------------------------|------------|-------|-------|
| 採取日: | 12/14/2021 | | |
| 試験日: | 01/11/2022 | | |
| 年齢 (日) | 28 | | |
| ケース | 1 | 2 | 3 |
| 円形供試体のサイズ (mm) | 100x200 | | |
| 破壊力 (N) | 91000 | 92500 | 90500 |
| 圧縮強度 (N/mm ²) | 11.6 | 11.8 | 11.5 |
| 平均値 (N/mm ²) | 11.6 | | |
| 結論: 28日後の平均圧縮強度は 11.6 MPa | | | |

| ハノイ建設大学構内での圧縮試験結果 | | | |
|---------------------------|------------|-------|-------|
| 採取日: | 12/22/2021 | | |
| 試験日: | 01/19/2022 | | |
| 年齢 (日) | 28 | | |
| ケース | 1 | 2 | 3 |
| 円形供試体のサイズ (mm) | 100x200 | | |
| 破壊力 (N) | 82000 | 89500 | 88500 |
| 圧縮強度 (N/mm ²) | 10.4 | 11.4 | 11.3 |
| 平均値 (N/mm ²) | 11.0 | | |
| 結論: 28日後の平均圧縮強度は 11.0 MPa | | | |

2) 室内透水試験

- ・試験方法：Falling - head (Darcy 則)
- ・供試体サイズ：円形 100×200mm

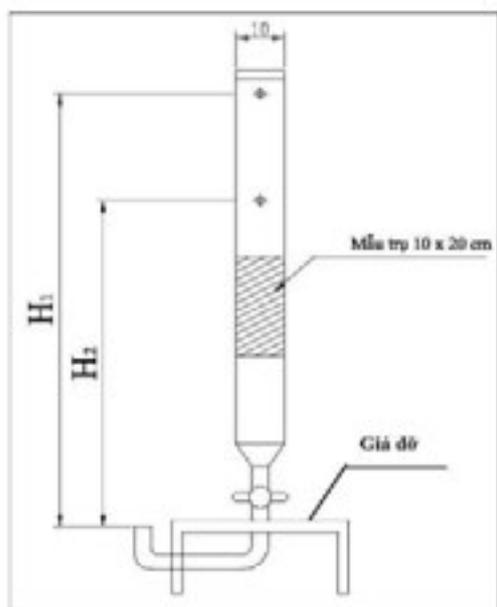


図 5-14 室内透水試験の様子

| DEEP C 工業団地での室内透水試験結果 | | | |
|-----------------------|------------|-----|-----|
| 採取日： | 12/14/2021 | | |
| 試験日： | 01/11/2022 | | |
| 年齢（日） | 28 | | |
| ケース | 1 | 2 | 3 |
| 円形供試体のサイズ（mm） | 100x200 | | |
| 時間（s） | 29 | 28 | 31 |
| 透水係数（mm/s） | 4.8 | 5.0 | 4.5 |
| 平均値（mm/s） | 4.7 | | |
| 結論：平均透水係数は 4.7 mm/s | | | |

| ハノイ建設大学構内での室内透水試験 | | | |
|----------------------|------------|-----|-----|
| 採取日: | 22-12-2021 | | |
| 試験日: | 19-01-2022 | | |
| 年齢 (日) | 28 | | |
| ケース | 1 | 2 | 3 |
| 円形供試体サイズ (mm) | 100x200 | | |
| 時間 (s) | 34 | 29 | 32 |
| 透水係数 (mm/s) | 4.1 | 4.8 | 4.3 |
| 平均値 (mm/s) | 4.4 | | |
| 結論: 平均透水係数は 4.4 mm/s | | | |

3) 現場透水試験

- ・試験方法：ASTM C1701
- ・試験箇所数：3
- ・試験箇所のサイズ：(D):300mm

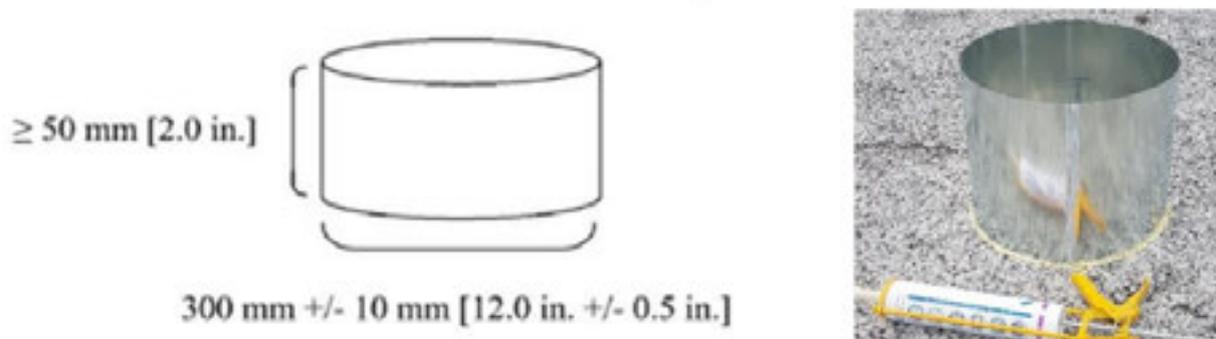


図 5-15 現場透水試験（実験器具）

| DEEP C 工業団地での現場透水試験結果 | | | |
|-----------------------|------------|-----|-----|
| 採取日： | 14-12-2021 | | |
| 試験日： | 11-01-2022 | | |
| 材齢（日） | 28 | | |
| ケース | 1 | 2 | 3 |
| 試験箇所のサイズ（mm） | 300 | | |
| 時間（s） | 51 | 48 | 45 |
| 透水係数（mm/s） | 5.0 | 5.3 | 5.7 |
| 平均値（mm/s） | 5.3 | | |
| 結論：平均現場透水係数は 5.3 mm/s | | | |

4) 総合評価

DEEP C 工業団地及びハノイ建設大学構内での試験施工を実施し、作成した供試体を対象に試験を行った。試験結果より、圧縮強度は約 11MPa で、室内透水係数は 4.4mm/s 以上で、現場透水係数は 5mm/s 以上となる。

(7) モニタリング

試験施工後の 1 ヶ月で、各実証サイトで、舗装の剥がれがあるか、色のムラがあるか、透水性が保っているかどうかを確認した。いずれも、剥がれがないことと、透水性があると確認できた。

【DEEP C 工業団地】（2022 年 2 月 8 日）

- ・舗装の剥がれ及び色のムラが確認できない。



- ・現場での透水性を確認できた。



【ハノイ建設大学構内】（2022年1月18日）

- ・現在は、従来の駐車場として利用されている。
- ・舗装の剥がれ及び色のムラが確認できない。



- ・現場での透水性を確認できた。



6. 実現可能性の評価

6.1 事業内容

6.1.1 事業の概要

ベトナム現地に事業会社を設立し、建設廃棄物を資源として有効活用した「再生砕石・レンガチップ製造・販売事業」及び「透水性・保水性舗装事業」の2本柱を軸に事業の展開を図る。事業展開シナリオとしては、早期社会実装を目指し、事業開始2年程度を市場開拓期と位置づけ、破碎については破碎機を保有する現地企業に破碎作業を外注し、製品の再生砕石・レンガチップの販売並びにレンガチップを利用した舗装事業（透水・保水性舗装、薄層舗装）を開始する。市場開拓と並行し、事業会社による破碎施設（リサイクル施設）の建設準備を進め、概ね事業開始2年目を目途に、事業会社保有施設を核とした事業展開に切り換えることを目標とする。

原材料の建設廃棄物の調達に関しては、現地の建築解体業者又は廃棄物回収業者から調達を行うこととし、これら調達先による分別作業を経て破碎外注先並びに自社リサイクル施設の破碎工程に原料として投入可能な状態で受け入れる形を考えている。

製造した再生砕石に関しては、当初は工業団地や公園、ニュータウンの舗装の路盤材での利用を目論み、徐々に公共のインフラにも普及していくことを想定している。レンガチップに関しては透水性・保水性舗装事業の表層の骨材としての利用と共にレンガチップ単体としての販売を行っていく。透水性・保水性舗装事業は、インターロッキングの代替として、歩道や外構での普及を目指す。

事業の規模に関しては、破碎作業の外注による市場開拓期及びその後の事業会社リサイクル施設による展開期を通じ、以下を想定している。なお、以前ハノイ建設大学がハノイ市において移動式砕石設備(1,000トン/日)の導入可能性を検討しており、その検討内容も参考に事業化調査を実施した。

表 6-1 事業規模

| 事業年度 | 1～2年 | 3年～ |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 破碎業務 | 外注 | 事業会社リサイクル施設 |
| 破碎処理能力 | - | 80 t/時 |
| 再生砕石・レンガチップ製造・販売事業 | 10,360～15,600 m ³ /年 | 44,700～67,680 m ³ /年 |
| 透水性・保水性舗装事業(自社) | 2,000～4,000 m ² /年 | 6,000～ m ² /年 |
| 透水性・保水性舗装フランチャイズ獲得 | 1件以上目標 | 1～3件/年 |

6.1.2 再生砕石・レンガチップ製造・販売事業

建設廃棄物を原料とする再生砕石製造・販売事業を推進する。現地の建設廃棄物処理業者と連携し、建設廃棄物(廃コンクリート・廃レンガ)を回収。これを破碎し粒状やチップ状に加工し再生砕石・レンガチップを製造し販売する。(株)エコシステムでは日本国内で発生している廃瓦を中間処理(破碎)し、骨材販売を行っている(日本ではレンガよりも瓦が多い)。ベトナム国においては瓦と同様の素材であるレンガ、そしてコンクリートガラが発生量が多いため、これらの回収と再生材の販売事業を行っていく。なおコンクリートガラは日本では路盤材等の土木資材として一般的に使われており、ベトナム国でも今後

急速に普及し需要が拡大すると考えている。

施設概要：廃コンクリート、廃レンガ・廃瓦を受け入れ、1次破碎を行い、その後磁選機で鉄くず等を分類し、振動ふるいにかけて再生砂と再生砕石、レンガチップを製造する。レンガチップ製造に関しては、舗装対象の仕様により粒の大きさが異なるため、数種類の大きさのレンガチップを製造する必要があり、2次破碎の後、数度に渡る破碎工程を繰り返す必要がある。

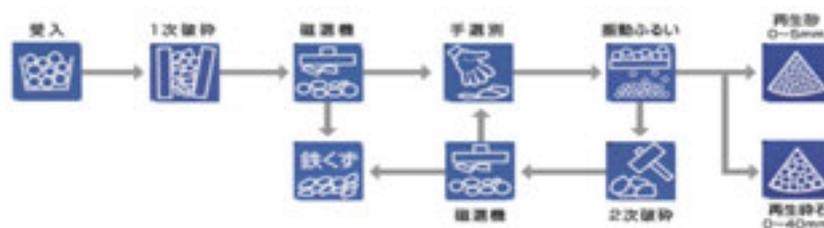


図 6-1 製造工程

主要機器（破碎機及びその付帯設備）：

グリズリーフィーダー、ジョークラッシャー、マグネットセパレータ、インパクトクラッシャー、振動フルイ、ベルトコンベア、制御盤、鉄鋼フレーム、ホッパーなど

6.1.3 透水性・保水性舗装事業(フランチャイズ事業を含む)

再生砕石・レンガチップ製造事業にて製造した再生レンガチップを使用して透水性・保水性舗装および薄層舗装事業を行う。提案製品は、廃レンガ等を原料とした透水・保水性舗装材「K-グラウンド (C)」・「K-グラウンド (CO)」及び薄層舗装材「K-グラウンドコート」である。

「K-グラウンド」は0～3mm、3～10mm等に分級されたレンガ・瓦を骨材としてセメントと混ぜ、コンクリート系の舗装材としたものである。透水性や保水性のある舗装材として公園園路や広場、歩道、駐車場等に使われている。一方、「K-グラウンドコート」は、パウダー状にした廃瓦・廃レンガを特殊樹脂バインダーと練り込み、塗料のように路面に塗布できる仕様とした薄層舗装材である。視認性や防滑性が良く、駐車場や歩道で活用されている。またレンガ等は多孔質であるため、表面積が大きく熱くなりにくいという特徴もある。

舗装材はカラーバリエーションが豊富で、視認性が良く景観性にも優れ、高い透水性能・保水機能を有していることから豪雨被害の緩和など、環境面でも好影響を及ぼす。今後ベトナム国においては、工業団地や公園、ニュータウンでの普及が期待される。また、製造する舗装材は強度等の性能も十分にあり、国土交通省のNETIS登録や複数の自治体(石川・静岡・岐阜・大阪など)でリサイクル認定を受けており、日本国内でも公共工事を中心に利用が普及している。

(株)エコシステムではこれら技術を、建設会社等へフランチャイズという形で提供・導入している。現在では日本全国で自社含め20社と連携を組み、廃瓦発生場所ごとに地産地消でリサイクルできるリサイクルネットワークを構築している。ベトナム国でも同様に技術提供を核にしたフランチャイズ展開を行う。

6.1.4 事業の実施体制

(株)エコシステム、本邦再生砕石事業者、及びベトナム現地パートナーの共同出資によりベトナム現地に事業会社を設立し事業を実施する。三谷産業(株)グループ並びに(株)オリエンタルコンサルタンツは協力会社として事業会社の設立及び事業運営に協力するが、必要に応じ事業会社への出資参画も行うこととする。各社の役割は以下の通りである。

表 6-2 各社の役割

| 各社の位置づけ | | |
|---------|------------------|----------------------|
| 位置づけ | 事業者名 | 役割 |
| 事業会社株主 | (株)エコシステム | 事業出資、舗装ノウハウ、モバコン技術提供 |
| | 本邦再生砕石事業者 | 事業出資、再生砕石事業ノウハウ提供 |
| | 現地パートナー | 事業出資、廃棄物収集・処理ノウハウ提供 |
| 協力会社 | 三谷産業(株)グループ | 現地法人設立・運営支援(出資参画も検討) |
| | (株)オリエンタルコンサルタンツ | 技術支援(出資参画も検討) |

(株)エコシステムは、廃レンガの破碎・再生舗装材等の技術提供を現地法人に対して行う。本邦再生砕石事業者は、我が国で培われた建設廃棄物の処理、再利用、再生砕石の製造に関する技術支援を行う。現地パートナーは、事業会社に対して主に廃棄物収集・処理ノウハウ提供を行い事業の円滑な運営を支援する。

また、協力会社の三谷産業(株)グループは、石川県金沢市に本社を置き化学品など6分野で多角的な事業を展開しており、ベトナム国でも現地事業会社数社を運営している。本事業では、現地法人である Aureole Expert Integrators Inc. (AXIS 社)を中心に、現地法人設立やフランチャイズ展開を支援する。同じく協力会社の(株)オリエンタルコンサルタンツは、ベトナム国でインフラ分野の案件に取り組んでおり、事業支援及び道路舗装等の技術的支援を行う。

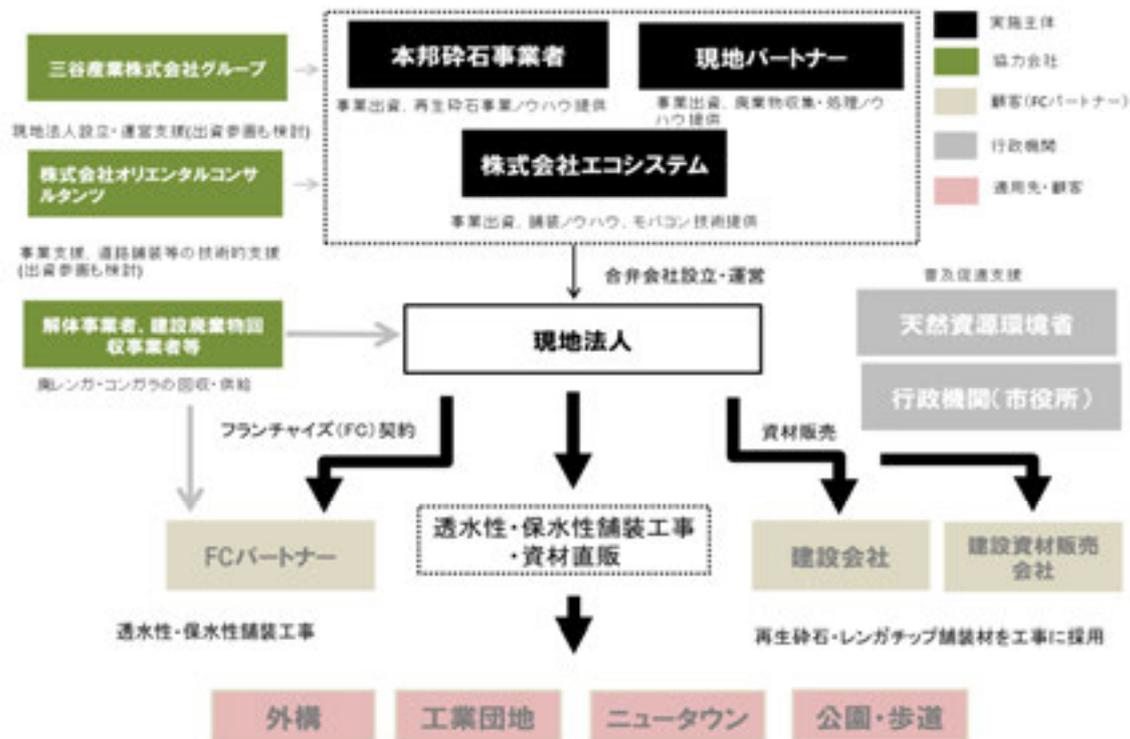


図 6-2 事業実施体制図

6.2 事業の前提条件

6.2.1 推進母体となる事業会社の概要

- ・体制／要員：日本人1名、本社スタッフ初年度2名次年度以降3名、工場スタッフ6名（管理職1名、エンジニア2名、ワーカー3名）
- ・主要事業資産：再生骨材製造機械一式、透水性・保水性舗装用建設機械（含む車載式生コンプラント）

6.2.2 事業資金

- ・各社の出資金による自己資金にて対応することを前提としている。

6.2.3 事業性検討の前提条件

以下の前提条件を設定し事業性を検討した。

表 6-3 事業の前提条件

| 項目 | 条件/設定値 | 備考 |
|-------------------|---|-----------------------|
| 生産施設 | 当初2年間は破砕を外部に委託 | |
| 破砕委託単価 | \$5/トン (\$5/m ³) | 単位体積重量1とする |
| リサイクル施設建設費 | 約6,600万円(破砕機一式、作業機械一式、建屋) | 30,000 m ² |
| 破砕能力 | 80 トン/時 | |
| 工場稼働時間 | 7 時間/日、22 日/月 | |
| 人件費、用役費 | ジェトロ公表投資関連コスト | 2021年1月 |
| 原料調達 | 廃レンガ 400 円/トン (m ³) | 輸送費・一次処理込み |
| | コンガラ 400 円/トン (m ³) | 輸送費・一次処理込み |
| 原料単位体積重量 | 未破砕時 1 破砕後 レンガチップ 1.1 コンガラ 1.6 | トン/m ³ |
| 製品 | レンガチップ 3~12mm | |
| | 再生砕石 0~40mm | RC40 同等 |
| 製品単価 | レンガチップ 1,200 円/m ³ (1,090 円/トン) | 工場渡し |
| | 再生砕石 900 円/m ³ (563 円/トン) (1~2年目は1,000 円/m ³) | 工場渡し |
| 製品販売量・施工量 | 損益計算書ご参照 | |
| 透水性・保水性舗装施工単価 | 2,500 円/m ² | 路盤込み |
| インターロッキング施工単価 | 2,200 円/m ² | 路盤込み |
| 舗装厚 | 透水性・保水性舗装表層 7cm | |
| | インターロッキング 6cm | |
| | 路盤 20 cm | |
| フランチャイズ展開 (FC 獲得) | 1 年次より 1~2 件/年の割合で展開 | |
| 借入れ金利 | 全額出資金で対応する前提とした | |
| 法人税 | 20% | 優遇処置あり |
| 為替レート | 1VND=0.005 円 | |
| | 1VND=US\$0.000044 | |
| | 1US\$=115.2 円 | |

6.3 事業性評価

事業期間 17 年の損益計算結果は表 6-4 に示す通りとなった。

事業性については正味現在価値 67,782,000 円、DCF 法による内部収益率 11.8%が得られている。

表 6-4 損益計算書

| 単位:千円 | 自社リサイクル施設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|--|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | 破砕外注 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | |
| 事業年度 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 建設費(投資CF) | | | | -13,102 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 販売量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| レンガ舗装(路盤含) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| レンガチップ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RC40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 売上高 (FG・モハコン・その他含) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 売上原価 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 粗利 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 外注費 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 修繕費 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 一般管理費 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 減価償却費 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 販管費及び一般管理費 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 経常利益 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 法人税等 (法人税率) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 当期純利益 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| キャッシュフロー | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

6.3.1 再生砕石事業

再生砕石販売の粗利率は概ね 3%（破砕委託時）・30%（自社工場稼働時）を見込んでい
る。再生砕石に関しては現在一般に使用されているバージン材の砕石の代替品となるこ
とを想定している。現地の日系建設会社からのヒアリングから、ハノイ市におけるバー
ジン材の砕石による路盤の市場価格は 1,200 円/m³～1,400 円/m³と想定している。これ
に対し一定のディスカウント幅を持って市場参入を図ることを考えている（後述の感度
分析結果参照）。

6.3.2 透水性・保水性舗装事業およびフランチャイズ事業

粗利率は概ね 40%（破砕委託時）・48%（自社工場稼働時）である。透水性保水性舗装
については、現在ベトナム国にて利用されているインターロッキングブロックに代わる
ものとして提案を図る方針である。インターロッキングブロックも透水性の機能を有し
ているが、これに対して保水性、景観性、カラーバリエーションといった観点を PR して
いく予定であり、施工単価もインターロッキングブロックの 2,200 円/m²（材工込み想定
価格）に対し透水性・保水性舗装は材工込み施工単価 2,500 円/m²で販売していくことを
考えている。

6.3.3 感度分析結果

本事業では、ベトナム国において市場が形成されていないこともあり、原料となる建
設廃棄物の調達価格と製品である再生砕石、レンガチップの販売価格が事業性を大きく
左右する。以下に建設廃棄物調達価格（含む一次処理、リサイクルセンターまでの輸送費）
と市場価格を反映した価格設定となることが見込まれる再生砕石の販売価格をパラメ
ータとして感度分析を行った。あわせて、ベースケースとおいた建廃調達費 400 円/m³、
再生砕石販売価格 900 円/m³での透水性・保水性舗装事業の K グランド（C）及び（C0）
販売単価の価格設定の違いによる感度分析を行った。その結果、内部収益率への影響と
して以下の結果が得られている。

表 6-5 感度分析結果

| 当初2年は1,000円/m ³ | | 建廃調達費(円/m ³) | | | |
|-------------------------------------|-------|--------------------------|-------|--------|-----|
| | | 300 | 400 | 500 | 600 |
| 再生砕石RC40販売価格 (円/m ³) | 800 | 15.0% | 6.9% | -10.2% | - |
| | 900 | 19.5% | 11.8% | -1.5% | - |
| | 1,000 | 24.1% | 17.0% | 6.5% | - |

| 再生砕石 900円/m ³ (当初2年は1,000円/m ³) | | 建廃調達費(円/m ³) | | | |
|--|-------|--------------------------|-------|-----|-----|
| | | 300 | 400 | 500 | 600 |
| Kグラウンドシリーズ販売価格 (円/m ³) | 2,165 | | 7.9% | | |
| | 2,300 | | 9.4% | | |
| | 2,500 | | 11.8% | | |

RC40は最初の2年間(OEM期間)は1000円/m³
 ※OEM原価976円/m³のため

6.4 環境負荷低減効果の評価

本技術の適用による環境負荷低減効果の評価を行った。

6.4.1 温室効果ガス排出量の算出方法

(1) 温室効果ガス排出量の検討方法

通常、舗装の施工にあたっては、舗装の骨材や路盤材として、「砕石」を使用する。本業務においては、砕石の代わりに「廃コンクリート・廃レンガ・廃瓦を破砕して得られたリサイクル骨材（廃コンクリート・廃レンガ・廃瓦）」を用いたため、砕石を使用した場合とリサイクル骨材を使用した場合の差異から CO₂ 削減量を算出した。

舗装工事における CO₂ 排出量削減においては、図 1 に示すような「建設段階」、「維持管理段階」、「取り壊し処分段階」からなるライフサイクルにおいて検討を行うことが一般的である。本検討においては、それぞれの段階における検討の要否について、以下の様に判断した。

【建設段階】

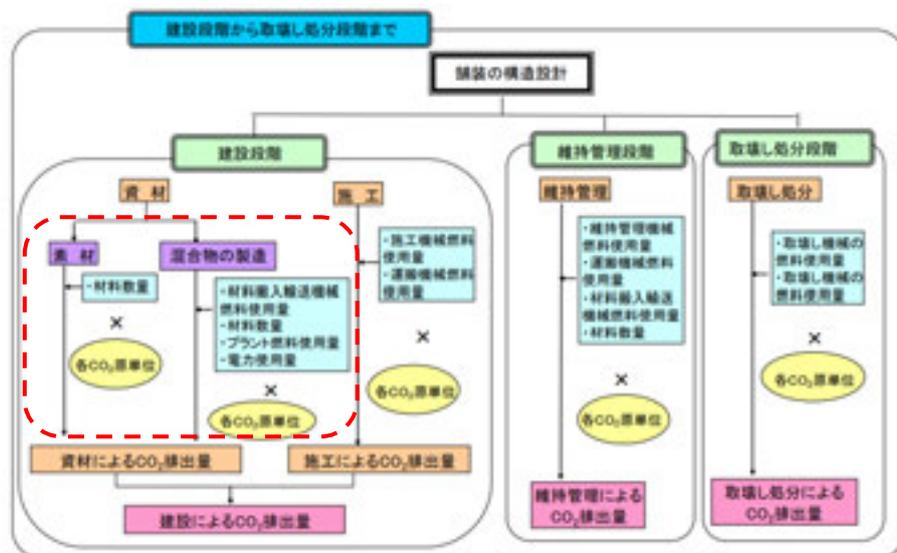
一般的な舗装（骨材として砕石を用いる舗装）と、本検討対象の技術（リサイクル骨材を用いる舗装）において、施工の手順や使用する機械に大きな差異は無いが、資材の調達（図 6-3 内の赤点線枠部分）において一般的な舗装と比較すると CO₂ 排出量に大きな差異があるため、検討対象とする。

【維持管理段階】

圧縮強度試験等の結果により、リサイクル骨材を用いた舗装も一般的な舗装と同程度の強度であると仮定し、一般的な舗装と大きな差異はないと考えるため、検討対象としない。

【取り壊し処分段階】

一般的な舗装と本検討対象の技術で、取り壊しの手順や取り壊し機械の燃料使用量等に一般的な舗装と大きな差異はないと考えるため、検討対象としない。



出典：寺田 剛(2008), 「舗装工事における CO₂ 排出量削減技術の取り組み」, 土木技術資料 50-8

図 6-3 CO₂ 原単位を用いた CO₂ 排出量算定評価範囲

(2) 想定される事業

図 6-4 の「建設段階」における資材の調達において、CO₂ 排出量に係る項目は以下の 3 項目とした。再生骨材を使用する場合の舗装の種類は、本事業において試験施工に用いた「瓦骨材利用透水性舗装 (K グランド (C))」とし、表層に用いる砕石の代替として再生骨材 (廃レンガ・廃瓦) を、路盤材の砕石の代替として再生砕石 (廃コンクリート) を用いることとした。

- ①素材の調達：廃レンガを骨材として使用することでコンクリート二次製品が置換されることによる CO₂ の削減 (昨年度検討事項)
- ②混合物の製造：骨材・砕石から再生骨材・再生砕石への材料変更における 材料の運搬に伴う CO₂ の削減
- ③混合物の製造：再生砕石の製造における コンクリート解体に伴う CO₂ の固定・吸着

【通常の舗装】

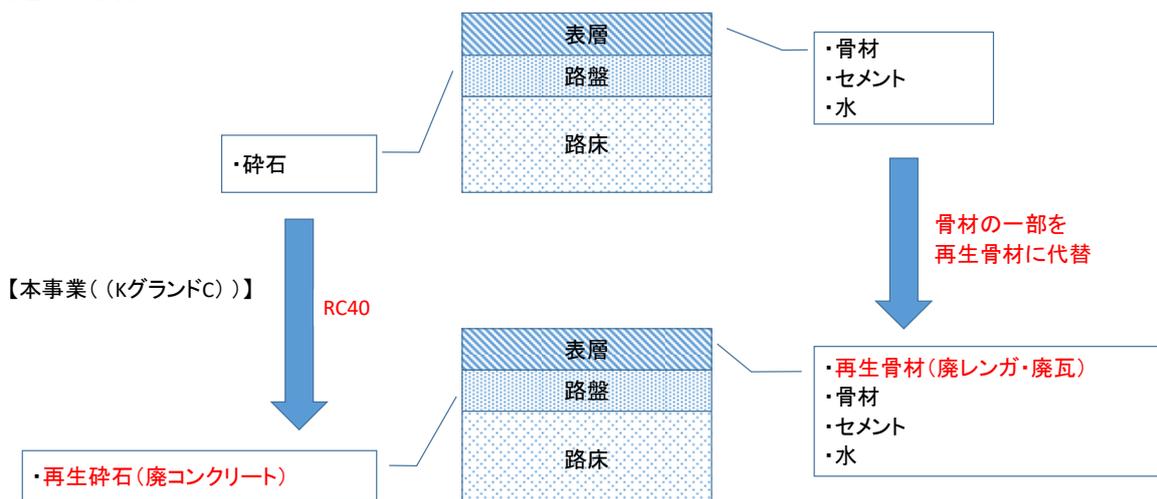


図 6-4 本事業における再生砕石・再生骨材の活用イメージ

6.4.2 算出結果

(1) 素材の使用に係る CO₂削減量（昨年度検討事項）

素材の使用に係る CO₂削減量は、リサイクル製品環境負荷簡易評価ツール（EATRP ver 1.0）を使用して算出した。本評価ツールは、環境省の廃棄物処理等科学研究費補助金 K1938「再生製品に対する環境安全評価手法のシステム規格化に基づく安全品質レベルの合理的設定手法に関する研究」をうけて、独立行政法人国立環境研究所と富山県環境科学センターの共同研究により作成されたものであり、リサイクル製品の製造事業者や行政担当者等がリサイクル製品の製造・利用に伴う環境負荷の低減効果を評価することを目的として開発されている。

【本技術の温室効果ガス排出削減量】

本評価ツールを用いて本技術の温室効果ガス排出削減量を評価した結果、本技術を 1t 製造利用することによる温室効果ガス排出削減量は、一般的なコンクリート二次製品に比べて 14.78kg-CO₂/t 削減されると算出された。

表 6-6 リサイクル製品環境負荷簡易評価ツール（EATRP ver 1.0）による
本技術の温室効果ガス排出削減量の算出条件と結果

| 項目 | 入力条件 | 内容、数値など |
|----------------|-------------|----------------------------|
| 評価ツールの 入力条件 | 循環資源 | 廃瓦 |
| | 品目 | コンクリート二次製品 ※ |
| | 代替物 | 細骨材としての砂、砂利 |
| | 配合率 | 33% ※ |
| 算出結果 | 温室効果ガス排出削減量 | 14.78kg-CO ₂ /t |

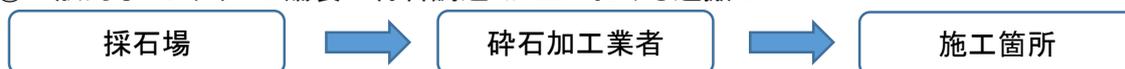
(独)国立環境研究所・富山県環境科学センターEATRP ver 1.0により算出

※品目は選択肢として一番近いものを採用。配合率は評価可能範囲の最大値を適用。

(2) 混合物の製造に係る CO₂ 削減量（運搬に伴う CO₂ の削減）

混合物の製造に係る CO₂ 削減量（運搬）について、以下の条件に基づき検討した。運搬に伴う CO₂ の削減については、①一般的なコンクリート舗装の材料調達・加工における運搬ルートと、②本事業における再生砕石を用いたコンクリート舗装の材料調達・加工における運搬ルートを比較した（図 6-5 参照）。

①一般的なコンクリート舗装の材料調達・加工における運搬ルート



②リサイクル骨材を用いたコンクリート舗装の材料調達・加工における運搬ルート



図 6-5 運搬ルート

【検討条件】

- ・ 施工箇所は、ハノイ市の中心に位置し、また、本事業において試験施工を実施していることから、ハノイ市のハノイ建設大学（HUCE）とした。
- ・ 砕石の調達は、タンファット地区の採石場から調達するものとした。また、砕石はハノイ市内の加工業者（TEREX 社）において加工されることを想定した。
- ・ 建設廃棄物（廃コンクリート・廃レンガ・廃瓦）の調達は、本事業における試験施工の際の調達箇所であるドンアイン県とした。また、建設廃棄物は、試験施工の際に加工したビンズンプレキャストにおいて加工されることを想定した。
- ・ 運搬における CO₂ 排出量の計算にあたっては、「環境省の温室効果ガス排出量に関する HP」及び、「建設廃棄物協同組合の HP」を参考にした。算出に用いた係数を表 6-7 に示す。
- ・ 各材料の調達にあたっては、大型ダンプによる運搬を行うと仮定し、1 回あたりの積載量として、「11t/回」とした。

表 6-7 CO₂ 排出量の算出に用いた各係数

| | 燃料の使用に関する排出係数※ ¹ (軽油) | 燃費※ ² (ダンプ 10t 以上) |
|-----|-------------------------------------|----------------------------------|
| 採用値 | 2.58t CO ₂ /kl | 2.6 km/l |

※1：環境省 HP (https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev.pdf)

※2：建設廃棄物協同組合 HP (<https://www.kenpaikyo.or.jp/works/pamphlet.html>)



図 6-6 施工箇所/採石場/建設廃棄物調達箇所/碎石加工業者/建設廃棄物加工業者の位置

【検討結果】

- ・①通常の舗装のルートについて、碎石を運ぶための採石場（タンファット地区）から碎石加工業者までの運搬距離は約 71.6km（図 6-7）、碎石加工業者からハノイ建設大学までの運搬距離は 11.1km（図 6-8）で、往復距離は 165.4km であった。
- ・②再生骨材舗装のルートについて、建設廃棄物の調達箇所から建設廃棄物加工業者までの運搬距離は 7.6km（図 6-9）、建設廃棄物加工業者からハノイ建設大学までの運搬距離は約 23.9 km（図 6-10）で、往復距離は 63.0km であった。
- ・大型ダンプ(11t 積載)1 回の往復として考えると、165.4km あたりの CO₂ 排出量は 0.1641t（1t あたり 14.9kg）、63km あたりの CO₂ 排出量は 0.0625t（1km あたり 5.7kg）である。
- ・上記より、1t あたり材料の代替により 14.9kg - 5.7kg = 9.2kg-CO₂/t の削減量であった（表 6-8）。

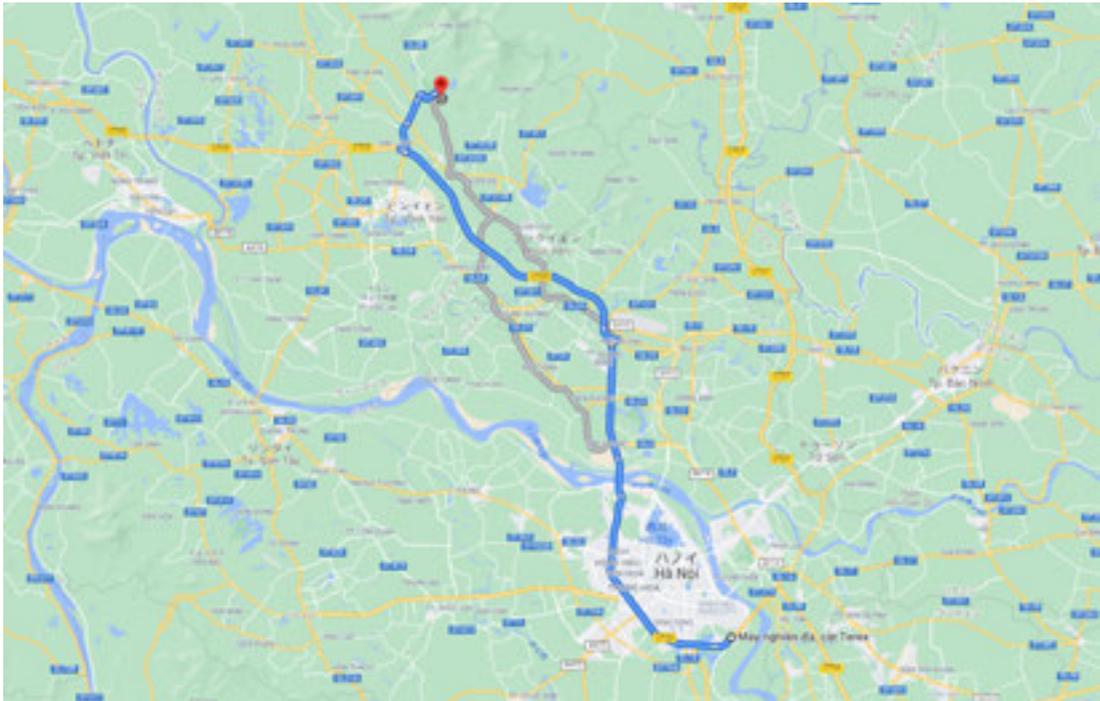


図 6-7 砕石場(タンファット地区)から加工業者の運搬距離

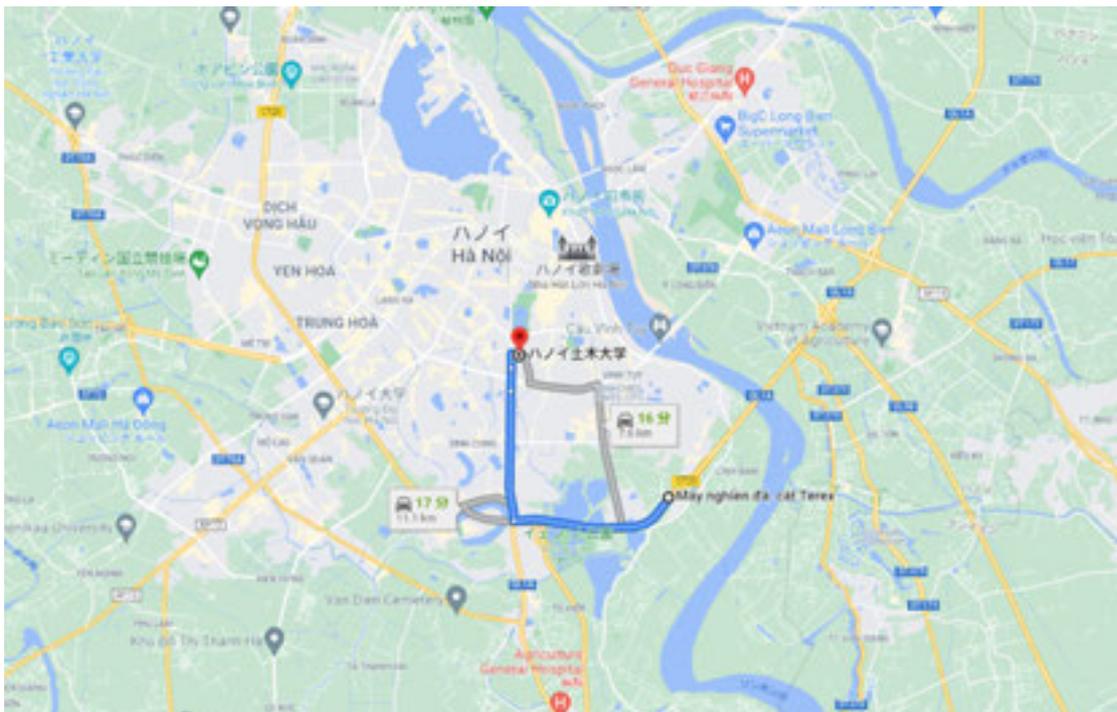


図 6-8 加工業者からハノイ建設大学までの運搬距離

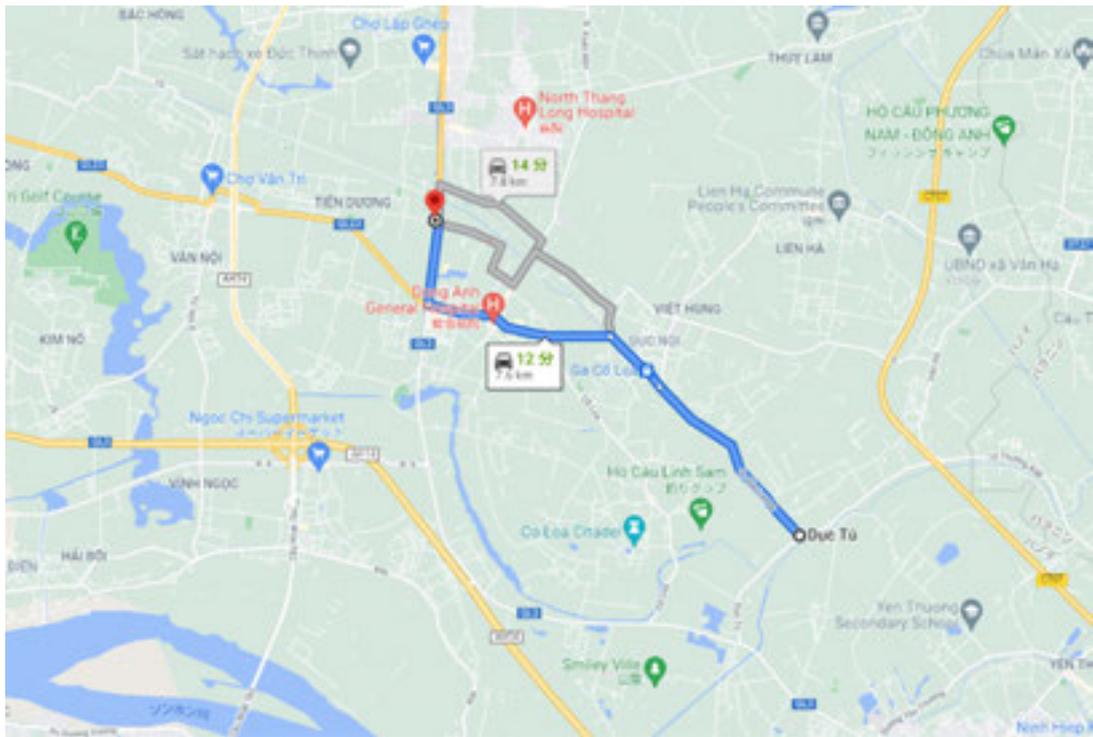


図 6-9 建設廃棄物調達箇所（ドンアイン県）からビンズンプレキャストの運搬距離

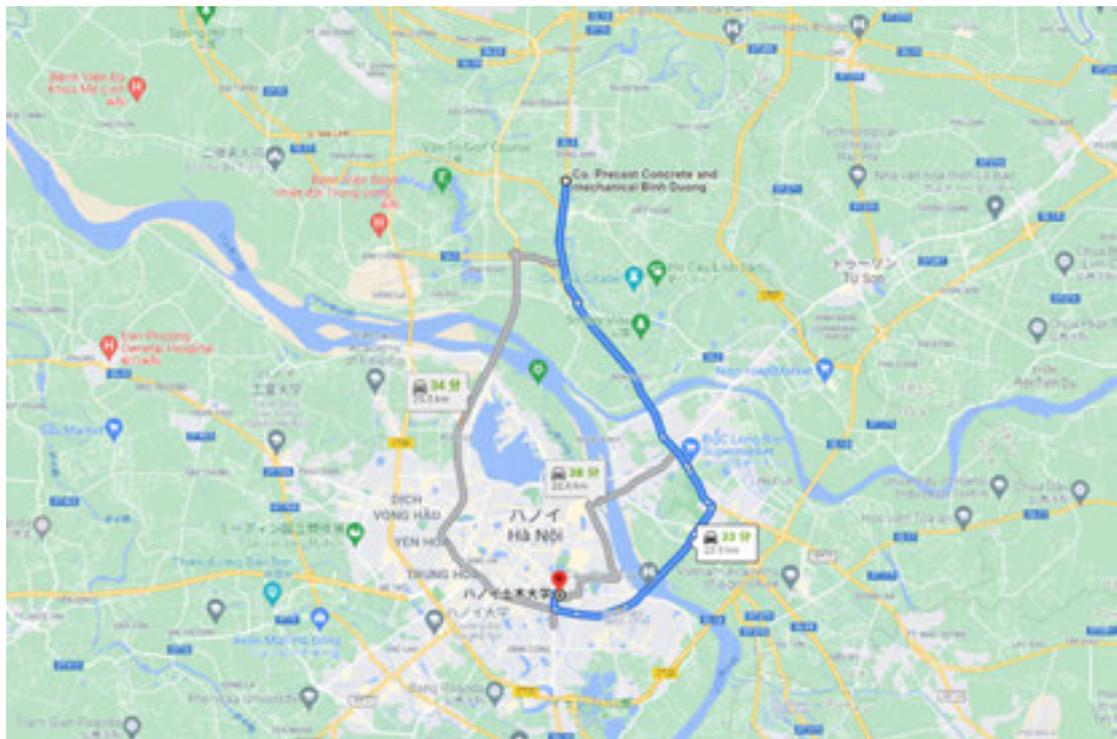


図 6-10 ビンズンプレキャストからハノイ建設大学までの運搬距離

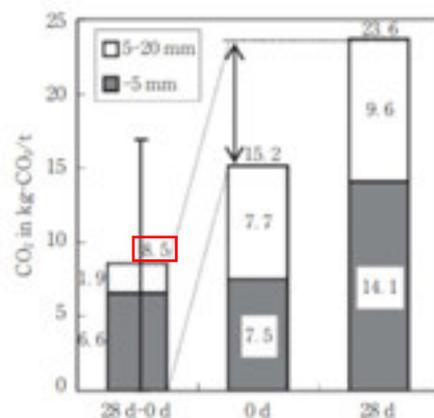
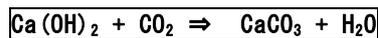
表 6-8 材料調達における運搬距離と CO₂ 排出量

| 運搬ルート | 距離 | CO ₂ 排出量 (11t/回あたり) | CO ₂ 排出量 (1t あたり) |
|---------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| ①一般的な舗装 | 165.4 km (片道 82.7 km) | 0.1641t | 0.0109t (14.9kg) |
| ②再生骨材 | 63 km (片道 31.5 km) | 0.0625t | 0.0019t (5.7kg) |

$$14.9\text{kg} - 5.7\text{kg} = 9.2\text{kg} \text{ -CO}_2/\text{t}$$

(3) 混合物の製造に係る CO₂ 削減量 (コンクリート解体に伴う CO₂ の固定・吸着)

路盤に用いる再生砕石は、コンクリートの解体を伴うものと考えられる。このコンクリートの解体においては、解体による表面積の増加により、CO₂ の固定・吸着が発生するとされている¹³。これは、コンクリートを破壊したときに CO₂ を吸着する(水酸化カルシウム ⇒ 炭酸カルシウム)反応が起き、次式で表すことができる。参考文献においては、コンクリート解体直後 (0d) と 28 日後 (28d) の差分より、1t あたりのコンクリートの解体に伴う CO₂ の固定・吸着量は、8.5kg -CO₂/t としている。



出典：河合研至（2005），解体コンクリートによる CO₂ 固定効果の視覚化，コンクリート工学 53 巻 第 5 号

図 6-11 CO₂ の固定量

¹³河合研至（2005），解体コンクリートによる CO₂ 固定効果の視覚化，コンクリート工学 53 巻 第 5 号

6.4.3 総合検討結果 (CO₂削減量)

【検討条件】

- ・表層部において再生骨材を骨材の代わりに舗装材として使用するに際し、昨年度の検討より、再生骨材の比重を「約 2t/m³」として検討した。
- ・路盤に用いる再生砕石 (RC40) の比重は、一般的な数値である「約 1.6t/m³」として検討した。
- ・これまでの検討結果より、試験施工において導入した「乗り入れ部」、「歩道部」の2種の舗装構成におけるm²あたりのCO₂削減量を算出した (図 6-12)。

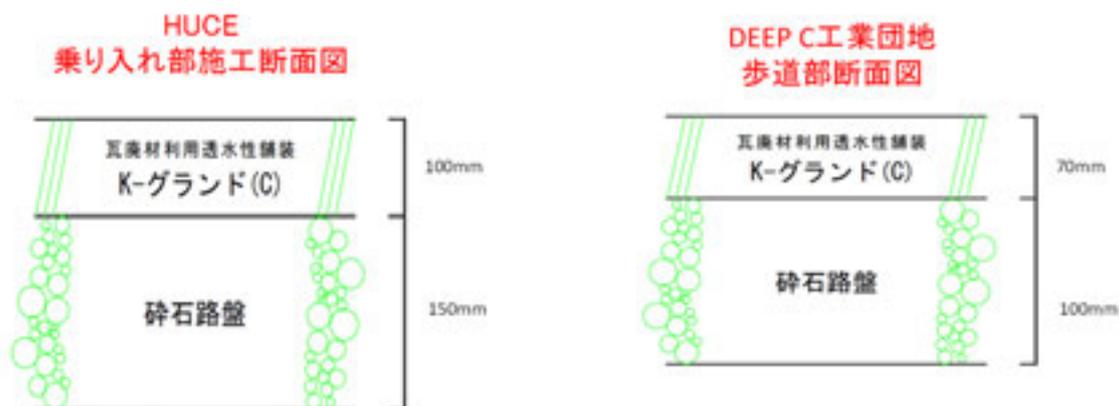


図 6-12 乗り入れ部と歩道部の舗装厚

【検討結果】

上述した検討結果を総合的に検討し、1 m²あたりの CO₂削減量を示す (表 6-9)。

- ・乗り入れ部タイプの舗装を施工した際の 1 m²あたりの CO₂削減量は、 $4.80 + 7.80 = 12.60\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ であった。
- ・歩道部タイプの舗装を施工した際の 1 m²あたりの CO₂削減量は、 $3.36 + 5.20 = 8.56\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ であった。

表 6-9 CO₂削減量の検討結果

| 舗装タイプ | 標準施工厚 | | 表層の比重 | 路盤の比重 | ①素材の使用によるCO ₂ 削減量 | ②再生骨材の運搬によるCO ₂ 削減量 | ③再生砕石のCO ₂ 固定吸着によるCO ₂ 削減量 | ④1m ² の表層の重量 | ⑤1m ² の路盤の重量 | ⑥表層のCO ₂ 削減量 [(①+②) × ④] | ⑦路盤のCO ₂ 削減量 [(①+②+③) × ⑤] | 1m ² の施工によるCO ₂ 削減量 (⑥+⑦) |
|-------|-------|-------|-------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|--|--|--|
| | 表層 | 路盤 | | | | | | | | | | |
| 乗り入れ部 | 100mm | 150mm | 2t/m ³ | 1.6t/m ³ | 14.78kg-CO ₂ /t | 92kg-CO ₂ /t | 8.5kg-CO ₂ /t | 0.2t/m ³ | 0.24t/m ³ | 4.80kg-CO ₂ /t | 7.80kg-CO ₂ /t | 12.60kg-CO ₂ /t |
| | 70mm | 100mm | | | | | | 0.14t/m ³ | 0.16t/m ³ | 3.36kg-CO ₂ /t | 5.20kg-CO ₂ /t | 8.56kg-CO ₂ /t |
| 歩道部 | | | | | | | | | | | | |

6.5 社会的受容性の評価

透水性・保水性舗装(舗装表層)には透水性の路盤が必要であり、廃レンガ、廃瓦の破碎による透水性・保水性舗装用骨材の製造にあわせ、廃コンクリート(コンクリートガラ)を碎石した再生路盤材の製造を行うことで設備稼働率の向上、生産規模の拡大、原料調達～販売に至るバリューチェーンの効率的な活用が可能となることから、事業を「再生碎石・レンガチップ製造・販売事業」及び「透水性・保水性舗装事業」と定義し、この2本柱を軸に事業展開の検討を行った。

コンクリートガラは1970年代に、欧州や日本で環境保全、省資源及び資源の有効利用の目的で再生路盤材として利用の検討が進められ、我が国においては1984年に日本道路協会により舗装廃材再生利用技術指針(案)が制定され公共工事に用いる際の再生路盤材の品質基準が定義された。また、1991年に施行された再生資源の利用の促進に関する法律¹⁾では、コンクリートガラは建設副産物に指定され、さらに1994年には建設省通達により再生路盤材の品質基準が定められたことで路盤材への再利用の促進が図られている。現在では全国に多数の再生碎石場が整備され、路盤材として広く使われるようになっており、バージン材の碎石の代替により我が国における資源の温存、建設廃棄物の再資源化、資源の循環、輸送にかかるエネルギーの削減、温暖化効果ガスの抑制に大きく貢献している。

廃瓦、廃レンガのリサイクルに関しては、製造時に発生する規格外品と家屋の解体時に発生し産業廃棄物として処理されるものがある。製造時に発生する規格外品は、破碎機によって粉碎後、再度原料として使用するものと、粉碎後に砂利・砂として販売するもの、減容化し埋め立て処分されるものがある。家屋の解体時に発生し産業廃棄物として扱われる廃瓦、廃レンガの量は近年約100～200万トンと推定されている。

廃瓦、廃レンガのリサイクルは、コンクリートガラのリサイクルに比べると比較的歴史が浅い。廃瓦をリサイクルし砂利・砂として販売することは、今でこそ一般的となってきたものの1990年代までは殆ど商品として流通していなかった。そのような状況で、(株)エコシステムは1998年に瓦廃材のリサイクルに着手。翌1999年には廃瓦を自社の中間処理施設にて破碎処理し、舗装用の骨材を製造し、舗装材「K-グランドシリーズ」を開発した。「K-グランドシリーズ」は石川県内の歩道や公園等に多く施工されてきている。最近では金沢城公園や県立図書館といった県内のシンボルとなる施設にも採用されている。また、(株)エコシステムではこのノウハウをパッケージ化し、日本全国にフランチャイズという形で展開してきた。2022年現在、全国20社と廃瓦を地産地消でリサイクルできるネットワーク、「K-グランドシステム」を作り上げてきている。最近では透水性・保水性舗装用骨材のみならず、一般のガーデニングや植栽、外構に景観保水材としても利用されるようになってきており、ネット通販での販売も伸びている。

我が国においても建設廃棄物のリサイクルの普及に際してはかかる年月を要しており、ベトナム国においても、建設廃棄物の回収率、リサイクル率の向上を掲げる政府の方針はあるものの、建設廃棄物のリサイクルに関する制度やリサイクル材の品質管理基準が未整備であり、本格的な普及までには相応の時間を要するものと思われる。特に、現状ベトナム国においては、舗装の材料に再生材が使われていないことから、再生材への不安(品質に関する不信感)もバリアーの一つとなることが窺われる。

今後の事業展開に際しては、我が国において再生材の利用に豊富な実績と経験を有する日系工事会社や日系デベロッパー、工業団地向けに展開を図ること、併せて品質管理を徹底しブランド力と信頼感の醸成を行い社会に浸透させていくことを狙いとする。透水性・保水性舗装に関して工業団地にヒアリングを行った際は、工業団地のブランド力の向上、入居する企業によっては温暖化効果ガスの排出抑制をその調達方針に掲げている企業もあり、環境に優しい素材と施工技術の採用可能性は大きいとの反応を得ている。また、日系建設会社へのヒアリングにおいては、再生砕石に関しては価格が妥当であり安定供給が可能であれば利用していきたいとの回答であった。特に、建設廃棄物の課題が大きいとされるハノイ市やハイフォン市から事業を始めることで他都市への波及効果も期待できる。早期社会実装を目指すことで、行政側でのリサイクルを後押しする諸制度の策定、導入の促進に寄与し、併せて処分場の延命、資源の有効活用、温暖化効果ガスの排出抑制に貢献できる。かかる方向性の下、本事業のベトナム国での社会的受容性は高いと考えられる。

6.6 今後の事業展開

本年度は、昨年度の調査結果を基に、対象地域であるハノイ市及びハイフォン市において、原材料となる廃レンガの調達や市場の調査を踏まえ事業化調査を行った。これを踏まえ今後ハノイ市又はハイフォン市における具体的事業への展開に向け継続検討を行う。コロナ禍からの回復次第ではあるが、早期社会実装を目指し 2023 年からの事業開始を視野に入れ検討を進める予定である。

事業展開のシナリオとしては、市場開拓期と位置付ける当初 2 年間は砕石設備を保有する現地の企業に破砕作業を外注し、製品の再生砕石・レンガチップの販売並びにレンガチップを利用した舗装事業（透水・保水性舗装、薄層舗装）を開始する。破砕作業の外注先としては実証に際しても協力を得たハノイ市のコンクリート製品製造事業者であるビンズンプレキャスト社を候補の一つと考えている。同社は破砕に関する機材一式を備えており、本事業への関心も高いことが確認できている。

市場開拓と並行し自社による破砕施設(リサイクル施設)の建設準備を進め、事業開始 3 年目を目途に自社保有施設を核とした事業展開に切り換える方針である。生産量の拡大と共に営業対象地域も拡大して行く。あわせて全国規模でフランチャイズ展開を行い、加盟金の獲得とフランチャイズパートナーに対する副資材等の販売収益を取り込んでいく。事業開始後 6 年程度でベトナム国全土での事業展開を目指す。

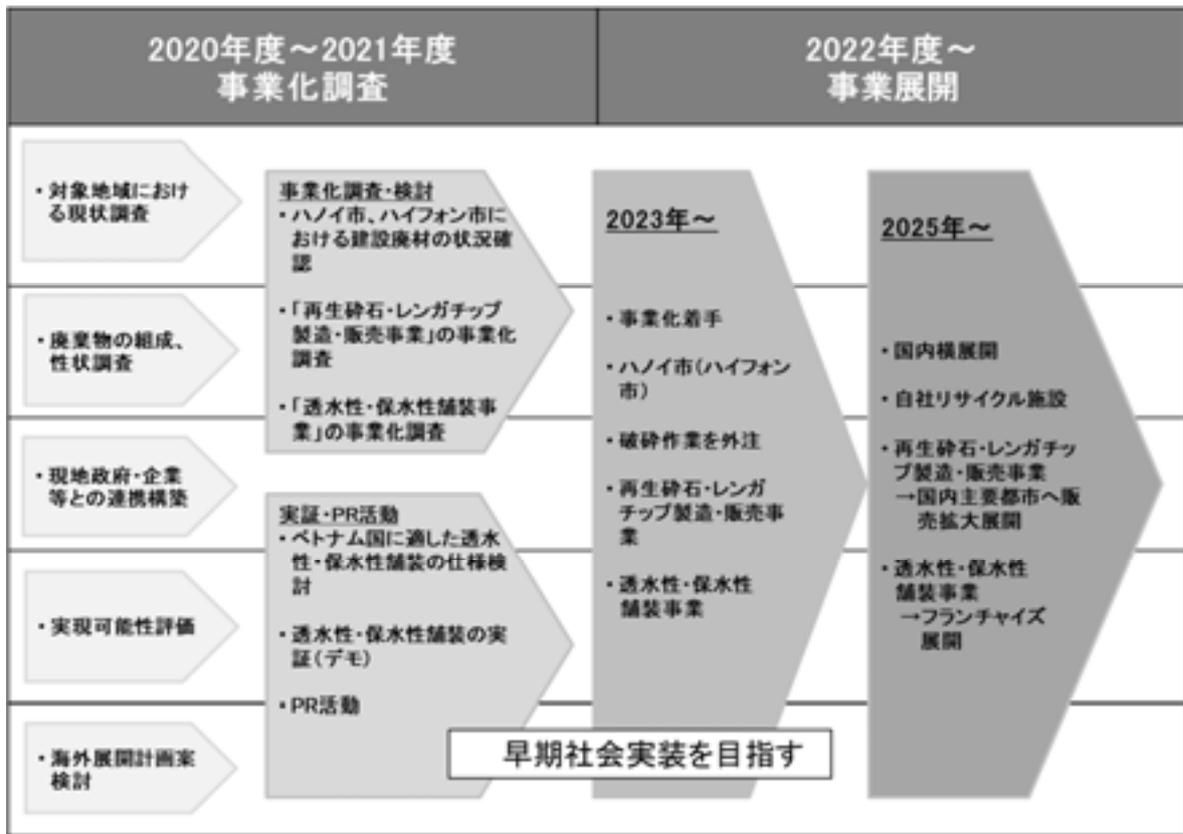


図 6-13 事業展開ロードマップ

6.7 関係省庁・民間間 PR 活動

昨年度の調査では現地政府機関として、ホーチミン市人民委員会建設企画局、建設局と面談を行い、技術を提案、ホーチミン市建設企画局からは技術への関心表明を得られた。本年度の調査では、事業の実施対象をハノイ市、ハイフォン市とし、昨年度覚書を締結したハノイ建設大学の協力を得て関係機関への情報共有や働きかけに努めた。残念ながらハノイ市、ハイフォン市とも長期にわたるロックダウンにより満足のいくコンタクトを行うまでに至らなかったが、ハノイ市の中心にキャンパスを構えるハノイ建設大学の敷地内及びハイフォン市の DEEP C 工業団地において実証施工を行うことができた。今後は、これら実証施工箇所のモニタリングを継続すると共に、浸水対策セクターを含め、官・民間問わず今後の普及に向けたデモンストレーションとしてアピールしていく予定である。また、この実証に際しては、我が国の基準を参考に仕様を検討した。今後も SATREPS との連携のもと、同プロジェクトのテーマの一つである規格化と基準作りにおいて、本技術の強みが十分に生かせる基準の設定等を関係省庁にも訴えていきたいと考えている。

また初期の普及対象を工業団地、ニュータウンや建築外構と位置づけ、日系の建設会社へのアピールや環境意識の高い工業団地、デベロッパーへの働きかけを開始する予定である。昨年度の調査では現地ゼネコンの Becamex IDC 社、工業団地を管理する DEEP C 工業団地、WHA 工業団地と面談を実施した。各社から関心表明を受け、特に DEEP C 工業団地からはデモンストレーションの実施について打診を受け、本年度の実証に結び付いている。今後は具体的な適用に向けた協議を加速させていきたいと考えている。

なお、(株)エコシステムは、2021年12月にJICAの支援をうけベトナム企業とのオンライン商談会に参加した。その際、本事業に高い関心のあるベトナム現地企業複数社よりコンタクトをうけ、事業モデルや技術の紹介を行った。今後、これら現地企業とのつながりも大切にし、案件形成に繋げていく。

7. 関係者合同ワークショップ

7.1 ワークショップの概要

7.1.1 概要

- ・日時：2022年2月17日（木） 日本時間 15:00～18:00（ベトナム時間 13:00～16:00）
- ・方法：オンラインワークショップ
- ・参加者（主催者を除き 40人）

表 7-1 ワークショップ参加者

| 分類（参加人数） | 所属 |
|-----------|---|
| 民間（17） | 建設・道路会社、廃棄物リサイクル会社、工業団地等、銀行・監査法人等 |
| 学術（9） | ハノイ建設大学、京都大学、金沢工業大学、お茶の水女子大学、JICA（HUCE-JICA SATREPS Project） |
| 公益法人等（14） | JICA、JICA ベトナム、JICA ベトナム日本人材開発インスティテュート、JICA 北陸、先端建設技術センター、中小機構北陸本部、埼玉県環境科学国際センター、廃棄物3R財団、環境省 |



図 7-1 ワークショップ状況
表 7-2 ワークショップ プログラム

| |
|---|
| <p>1. オープニング</p> <ul style="list-style-type: none"> ・主催者挨拶/出席者紹介 ・ベトナム側挨拶：ハノイ建設大学 Nguyen Hoang Giang 副学長 (SATREPS プロジェクトマネージャー) <p>2. 基調講演 (ハノイ建設大学 Nguyen Tien Dung 国際協力局室長)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「環境保護法施行を踏まえた建設廃材の処理動向」 <p>3. 調査結果報告 ((株)エコシステム、(株)オリエンタルコンサルタンツ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本年度の取り組み内容 ・提案技術・事業のご紹介 ・実証結果の報告 (実証サイト、基準・仕様、施工体制、施工方法、モニタリングの状況) ・環境負荷低減効果 (GHG 削減効果) ・社会実装に向けて (ビジネスモデル、事業性、展開計画) <p>4. Q&A</p> <p>5. 講評 (埼玉大学大学院理工学研究科川本健教授 (ベトナム国立建設大学客員教授、SATREPS プロジェクトマネージャー))</p> |
|---|

7.2 ハノイ建設大学 挨拶・発表要旨

ハノイ建設大学による挨拶及び発表内容の概要を以下に紹介する。

7.2.1 Nguyen Hoang Giang 副学長挨拶要旨

- ・ベトナム国では廃棄物が増加している。特に大都市では建設廃棄物が多い。他方、リサイクルの技術等がまだ確立されていない。
- ・首相指示文書などでも、大都市における建設廃棄物のリサイクル率を向上させることを目標とされている。一方で、埋め立て処理率を減少させることも求められている。その背景で、リサイクル関連技術への関心が高まっている。
- ・ハノイ建設大学では、埼玉大学と連携し SATREPS を通じ建設廃棄物に関する政策作成支援、リサイクル技術の促進などを進めている。SATREPS では中央直轄市及び複数地方都市の建設廃棄物の管理を支援している。
- ・提案技術はベトナム国においても高いニーズを持ち SATREPS とエコシステムとの協働も適切なタイミングであった。今回は、ハノイ市内のハノイ建設大学の構内とハイフオン市の DEEP C 工業団地の 2 箇所でデモ施工を実施した。今後多くの人にそれを見てもらえることができると思う。将来ベトナム国で広く展開していけることに期待する。

7.2.2 Nguyen Tien Dung 国際協力局室長による「環境保護法施行を踏まえた建設廃材の処理動向」発表要旨

【建設廃棄物に関する法令】

- ・建設廃棄物に関連して複数の法令が存在する。
- ・2025 年までの固形廃棄物の総合管理に関する国家戦略改正が承認された。本法令は、天然資源環境局が管轄することになっている。
- ・2022 年版環境保護法では、建設廃棄物は一般産業固形廃棄物の一部に分類されている。
- ・発生した建設廃棄物は、適切な技術により回収、リサイクル、再利用されることになっており、建設廃棄物のリサイクル技術の研究と応用を強化しなければならないとなっている。固形廃棄物への管理強化のための緊急対策、優先産業、分野における海外からの技術移転の承認、環境保護の分野における行政違反の制裁も規定されている。
- ・「廃コンクリートのリサイクル」、「建設廃棄物のリサイクルは技術基準を満たさなければならない」、「オンサイト、処分場でのリサイクルの推奨」が盛り込まれている。

【ハノイ市の政策について】

- ・ハノイ市で一日あたりに発生する建設廃棄物は2020年には2,100トンであったが2030年には3,400トンになると見込まれている。
- ・建設廃棄物の回収・処理の割合としては2030年までに90%を達成することが目標である。
- ・建設廃棄物のリサイクルが奨励され、建設プロジェクトの主体者が建設廃棄物の責任者として指定されることになっている。
- ・建設廃棄物最終処分場の整備については計画では多数整備されることになっていたが、実際には堤防整備計画等の影響で実現されておらず、一部の整備に留まっている。現在の最終処分場は満杯になっており閉鎖され予定である。
- ・建設廃棄物処理のため複数のリサイクル施設の整備計画が進んでいる。

7.3 質疑応答・講評

ワークショップにおける質疑応答及び全体の講評を以下の通り紹介する。

7.3.1 質疑応答

環境省循環局より「ベトナム国内におけるグリーン調達制度の状況」に関する質問があり、ハノイ建設大学より、「グリーン調達はベトナム国でも導入されつつある。各機関がグリーンテクノロジーの使用を検討している。仕組みについては整いつつあるが、グリーン建材を公共施設で取り入れていくためには、品質保持のための基準の設定、従来の技術と比較しても競争力あるモデルの検討が必要。」との回答がなされた。

7.3.2 講評(埼玉大学川本教授)

本調査については SATREPS 側へのフィードバックも多かったと感じており感謝する。今後、事業化に向けて具体的な検討をしていくと思うが、技術的な側面だけでなく、経済的、社会的な側面が重要になってくる。

経済的な側面では、インターロッキングの代替を狙っているのであれば、地元のインターロッキング会社と競合するのではなく、寧ろ味方につけ共存する方法を考えていくべきであろう。

社会的な側面では、インフォーマルセクターの巻き込み方が重要になってくる。建設廃棄物の3割が廃レンガといわれているが、実際にこれを如何にして押さえ、安定的に調達していくかが課題になるはず。技術、経済、社会の各側面についての調和を考え事業検討に取り組んで貰うことを期待する。

リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料 [A ランク] のみを用いて作製しています。