

インド国

インド国  
高強度コンクリート製造の為の高品質で持続  
可能な人工砂製造に関する  
基礎調査

業務完了報告書

2019年5月

独立行政法人  
国際協力機構（JICA）

晃立工業株式会社

民連
JR(P)
19-081

<本報告書の利用についての注意・免責事項>

- ・本報告書の内容は、JICA が受託企業に作成を委託し、作成時点で入手した情報に基づくものであり、その後の社会情勢の変化、法律改正等によって本報告書の内容が変わる場合があります。また、掲載した情報・コメントは受託企業の判断によるものが含まれ、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではありません。本報告書を通じて提供される情報に基づいて何らかの行為をされる場合には、必ずご自身の責任で行ってください。
- ・利用者が本報告書を利用したことから生じる損害に関し、JICA 及び受託企業は、いかなる責任も負いかねます。

<Notes and Disclaimers>

- ・ This report is produced by the trust corporation based on the contract with JICA. The contents of this report are based on the information at the time of preparing the report which may differ from current information due to the changes in the situation, changes in laws, etc. In addition, the information and comments posted include subjective judgment of the trust corporation. Please be noted that any actions taken by the users based on the contents of this report shall be done at user's own risk.
- ・ Neither JICA nor the trust corporation shall be responsible for any loss or damages incurred by use of such information provided in this report.

写真



一般的な人工砂製造施設の全景



表面が蜂の巣状になったコンクリート



微粉末を過剰に含んだ人工砂



タミル・ナードゥ州 PWD でのヒアリング



提案企業のプラント視察会の様子



第3回日印防災協力会議の様子

## 目次

写真.....	i
目次.....	ii
図表リスト.....	iii
略語表.....	iv
要約(和文).....	v
ポンチ絵(和文・英文).....	x
はじめに.....	xii
第1章 対象国・地域の開発課題.....	1
1-1 対象国・地域の開発課題.....	1
1-2 当該開発課題に関する開発計画、政策、法令等.....	5
1-3 当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針.....	9
1-4 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析.....	9
第2章 提案企業、製品・技術.....	10
2-1 提案企業の概要.....	10
2-2 提案製品・技術の概要.....	10
2-3 提案製品・技術の現地適合性.....	13
2-4 開発課題解決貢献可能性.....	26
第3章 ビジネス展開計画.....	27
3-1 ビジネス展開計画概要.....	27
3-2 市場分析.....	27
3-3 バリューチェーン.....	27
第4章 ODA 事業との連携可能性.....	29
4-1 連携が想定される ODA 事業.....	29
4-2 連携により期待される効果.....	29

## 図表リスト

図 1	インドの人工砂と提案製品「SUN」で製造した人工砂との比較.....	1
図 2	CS-Sand の目視検査 .....	7
図 3	CS-Sand の製造工程 .....	8
図 4	粒度曲線 (S1) .....	17
図 5	粒度曲線 (S1') .....	17
図 6	粒度曲線 (S2) .....	17
図 7	粒度曲線 (S3) .....	17
図 8	粒度曲線 (S4) .....	17
図 9	粒度曲線 (S5) .....	17
図 10	粒度曲線 (S6) .....	18
図 11	コンクリートの練混ぜ方法.....	21
図 12	圧縮強度とコンクリート価格の関係 .....	25
表 1	インド基準局が定める人工砂の基準 .....	6
表 2	砂の粒形の目視確認 .....	7
表 3	提案製品の特徴.....	12
表 4	試料名、産地および試験項目 .....	13
表 5	試験方法 .....	14
表 6	密度試験、および吸水率試験結果.....	15
表 7	ふるい分け試験結果 (各ふるいの通過質量分率(%)) .....	16
表 8	コンクリート試験の使用材料 .....	19
表 9	コンクリートの種類および配合条件 .....	19
表 10	フレッシュコンクリートの性状目標値.....	20
表 11	コンクリートの配合.....	20
表 12	試験項目および試験方法 .....	21
表 13	フレッシュコンクリートの試験結果 .....	22
表 14	圧縮強度試験結果.....	23
表 15	圧縮強度推定値 (空気量 2.0%) .....	23
表 16	各材料の価格 .....	24
表 17	コンクリート配合と価格 .....	24
表 18	バンガロールメトロが要求するコンクリートの配合 .....	25
表 19	本事業の収支計画表 .....	エラー! ブックマークが定義されていません。

## 略語表

略語	名称	和名称
BIS	Bureau of Indian Standard	インド規格局
CS-Sand	Crushed Stone Sand	砕砂
INR	Indian Rupee	インドルピー(通貨単位)
IS	Indian Standard	インド製品規格
JICA	Japan International Cooperation Agency	(独)国際協力機構
JIS	Japan Industrial Standard	日本工業規格
JPY	Japanese Yen	日本円(通貨単位)
MMDR	The Mines and Minerals (Development and Regulation)	鉱山と鉱物(の開発と統制)
MoEFCC	Ministry of Environment, Forest and Climate Change	環境森林気候変動省
M-Sand	Manufactured Sand	人工砂
PWD	Public Works Department	公共事業部
VSI	Vertical Shaft Impactor	垂直軸破碎機

## 要約(和文)

### 第1章 対象国・地域の開発課題

#### 1-1 対象国・地域の開発課題

日本における状況と同様に、インドにおいても砂はコンクリート等の建設資材の原料として広汎に使用されていて、近年の急速な都市化に伴い、砂の需要はさらに拡大している。従来は川砂を原料として使用してきたが、川砂の採取による河岸や河床の侵食、河川の水質悪化や河川の枯渇が環境保全の観点から問題となっている。

川砂採取の代替手段として人工砂の製造も行われているが、現地で普及している製砂装置は砂の製造効率及び品質が悪く、細かい粉末が大量に含まれている。この微粉末が含まれる砂をコンクリートの原料として使用した場合、作業性の低下、強度の低下、コンクリート製造コストの増加といった問題を引き起こす。

このような不適切な砂が一因となって、インドではコンクリート建築物が建設から数年程度でひび割れたり崩壊したりしている。したがって、高強度で経済的なコンクリートを製造するために、適切な人工砂を製造する技術を普及することが喫緊の課題と考えられる。

#### 1-2 当該開発課題に関する開発計画、政策、法令等

上記課題に対して、インド中央政府の環境森林気候変動省(以下、MoEFCC)は、2016年に「持続可能な砂採取管理ガイドライン」を策定し、河川環境の保全のために、川砂の採取量をモニタリングすることの必要性和共に、川砂の代替として人工砂の使用を促進することで環境への悪影響を抜本的に減らすことができると述べている。

川砂採取の管理が厳しくなる一方で、違法な川砂採取も横行しており、2015年には鉱山と鉱物(の開発と統制)法(以下、MMDR法)によって、違法な川砂採取の厳罰化がなされ、懲役5年及び、罰金を採取面積1ヘクタールあたり50万ルピー(86万円相当)が課されることとなった。

人工砂の品質については、インド規格局(以下、BIS)が基準IS383を定めている。しかし、日本では人工砂の規格は1種類しかないのに対し、BISの規定では4つの規格が定められている。

4つの規格のうち、Zone I、Zone IIについては、JISの規格とほぼ同等の分布を示しているが、Zone IVは明らかに微細な粉末の分布を表しており、JISの基準からは大きく逸脱している。各Zoneの使い分けは明確に示されていないが、Zone IVについては、「鉄筋コンクリートには使用しないこと」とIS383で指示されている。従って、鉄筋コンクリートでなければ、コンクリートブロック等の製造については一般に用いられているようである。強度も経済性も劣るZone IVの使用が認められている背景には従来の製砂装置では必然的にZone IVが大量に発生してしまうことが一因として存在すると考えられるので、提案製品を

普及させることで微粉末の発生を抑制し、ひいては高強度で経済的なコンクリートの製造につながり、コンクリートブロック積みで作られている一般家屋の安全性を高めることが期待できる。

一方地方政府では、タミル・ナードゥ州の公共事業部(以下、PWD)が、良質な人工砂の普及に向けて、人工砂の品質評価委員会を設立し、品質検査の手引きを作成している。この仕組みは全国に先立って確立されたもので、他州からも問い合わせがあるとのことである。従って、同様の仕組みがインド全土に広がり、人工砂の品質が重要視されることが期待できる。

### 1-3 当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針

2016年3月の対インド国別援助方針には、「都市交通プログラム」として、インドの6大都市におけるメトロ等のインフラ整備事業の実施が示されている。インフラ整備事業においては大量のコンクリート需要が見込まれるが、インフラの長寿命化及び持続可能な資源調達も当然要求される事項と考えられる。提案企業製砂装置による高品質な人工砂がこの目的の達成に資すると考えられるので、提案製品の普及は、我が国の開発協力方針とも整合性を有する。

### 1-4 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析

コンクリート用砂の品質を向上させることを目的とした事例は存在しないが、本事業の調査対象地の一つであるチェンナイにおいては、有償資金協力事業として「チェンナイ・メトロ建設計画(第四期)」が進行中であり、当該事業に対するコンクリート供給に際して、提案企業の製砂装置による人工砂の需要が想定される。

## 第2章 提案企業、製品・技術

### 2-1 提案企業の概要

提案企業は1969年にコンクリートの原料となる砂を人工的に生産するための「製砂用粉碎機」を日本で初めて開発・製造した。提案企業が1990年に開発した乾式製砂装置「SUN」は、JIS規格の要求水準を超える高品質な砂を効率良く製造することができ、現在、日本国内市場ではトップシェアを占めている。提案企業の企業情報は次頁の通りである。



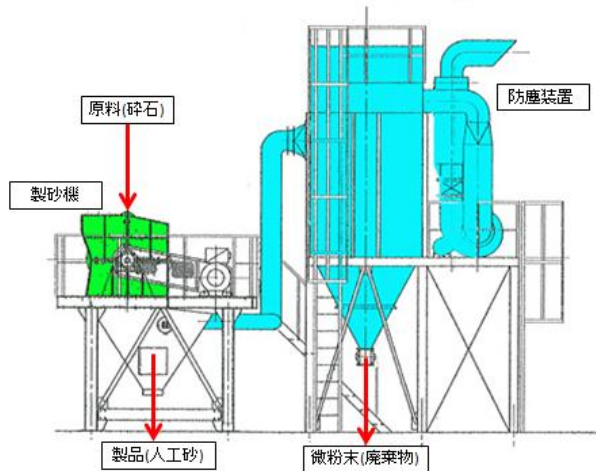
1. 法人名	晃立工業株式会社
2. 法人の業種	①製造業
3. 代表者名	代表取締役社長 福廣 匡倫
4. 本店所在地	岡山県津山市草加部 1147
5. 設立年月日（西暦）	1969年2月12日
6. 事業内容	砕砂関連機械、各種粉碎・選別・分級機器、環境再資源化関連機器、セキュリティ関連粉碎機器、鉱山碎石関連機械の製造・販売、プラントの設計・製作、建築資材、土木資材（河川土木用）、鉱山物資源、中古機械の販売、有価金属リサイクルサービスの提供

## 2-2 提案製品・技術の概要

提案製品は岩石の破砕片からコンクリートの原料となる砂を製造する装置である。外観と構成図を下記に示す。



製砂装置「SUN」の外観図



製砂装置「SUN」の構成図

提案製品の特徴については下表にまとめた。

項目	内容
製品名	乾式製砂装置「SUN(Sand Unit Novel)」
製品の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特許技術である、粉碎・分級・防塵の一体処理によって、低コストで高品質な人工砂の製造を実現する</li> <li>・製造された砂はJIS規格(JIS A 5005)を上回る品質</li> <li>・歩留まり約90%と高効率(他社製品の場合50~60%)</li> <li>・硬い珪石を破碎することを前提とした高い耐久性</li> <li>・一体式構造のため、各工程をつなぐコンベアが不要でありコンパクトかつ安価</li> <li>・乾式のため、湿式のような脱水処理・廃水処理が不要</li> <li>・他社製品のような砂と微粉末を分別するためのエアスクリーンや複雑な電子制御は不要</li> </ul>
生産能力	毎時50トン
設置寸法(mm)	W9500×D4315×H7215
販売実績	国内:800台(人工製砂装置のトップシェア) 海外:インド、ロシア、韓国での納入実績あり

### 2-3 提案製品・技術の現地適合性

インドで建築及び土木工事用として一般に流通している人工砂と提案製品で製造した砂との品質比較試験を行ったところ、砂の粒度分布に関して、インドの人工砂は IS383 の Zone II に定められた品質基準を満たさないのに対して、提案製品では品質基準を満たす砂が製造できることが確認できた。

インドにおいては砂の品質に対する関心が高まっており、自治体が砂の品質検査の手引きを作成し、粗悪な品質の砂を排除していく動きが始まっている。今後、品質基準に適合した砂の需要が高まることが予想され、現地における提案製品の需要も高まると考えられる。

### 2-4 開発課題解決貢献可能性

提案製品の普及によって、高品質なコンクリート用人工砂が普及し、コンクリート建造物の高強度化及び長寿命化に貢献することが期待できる。また、川砂の代替品として使用されることで川砂採取が減少し、河川環境の保全にも貢献することが期待される。

## 第3章 ビジネス展開計画

本調査終了後は、現地で提案製品のパイロットプラントを運営する現地パートナー企業を代理店として、当座は日本からの提案製品の輸出をベースとした機械販売事業を実施する。事業収入としては、機械販売だけでなく、維持管理サービスの提供による定期的な収入及び、人工砂製造に関するコンサルティング事業も行う。また、提案製品の販売領域も順次拡大していく計画としており、販売代理店との契約に際しては、各代理店から支払われるロイヤリティーも収益の軸の一つとしていく計画である。

## 第4章 ODA事業との連携可能性

### 4-1 連携が想定される ODA 事業

本事業の調査対象地であるチェンナイにおいては、有償資金協力事業として「チェンナイ・メトロ建設計画(第四期)」が進行中であり、当該事業に対するコンクリート供給に際して、提案企業製砂装置による人工砂の需要が想定される。

また、2014年度に JICA によって実施された「社会基盤整備を加速するプレキャストコンクリート製品の普及に向けた案件化調査」の成果として、既にトヨタ工機株式会社のインド邦人である Fuji Silvertch Concrete Pvt., Ltd.がグジャラート州にて国際協力銀行の融資を受けてプレキャストコンクリート製品の受注・製造・販売を開始している。プレキャストコンクリート製品においても砂が必須であり、今回提案する事業において提案製品の優位性が証明されれば、Fuji Silvertch Concrete 社との連携も期待できる。

今後はタミル・ナードゥ州 PWD へ提案製品を用いて製造した人工砂の品質評価を依頼し、提案製品のインドでの普及を目指す。

### 4-2 連携により期待される効果

上記の事業との連携によって、提案製品の売上増のみならず、インドにおける高品質で持続可能な人工砂によるコンクリート製品の高強度化及び長寿命化が期待できる。具体的な効果については今後の調査において定量的に評価することを目指す。

別添2-3

## インド国

### 高強度コンクリート製造の為の高品質で持続可能な人工砂製造に関する基礎調査



#### 企業・サイト概要

- 提案企業：晃立工業株式会社
- 代表企業所在地：岡山県津山市
- サイト：インド国カルナータカ州、タミル・ナードゥ州、ケララ州、マハラシュトラ州

#### インド国の開発課題

- インドではコンクリートの原料として川砂が利用されており、河川環境の悪化が問題となっている。
- 川砂の代替品である人工砂は品質が悪く、製造されるコンクリートの強度の向上及び寿命の延長が課題となっている。

#### 中小企業の製品・技術

- 提案企業の人工砂製造装置「SUN」は川砂と遜色ない高品質な人工砂を高効率で製造することが可能。
- 日本国内ではトップシェアを占めている。

#### 日本の中小企業の事業戦略

- インフラ建設需要の伸長が今後も期待されるインドにおいて、交通インフラ及び大規模建築物の開発に関する都市開発公社や大手建設会社に対し、高品質な人工砂を使用する必要性に関する理解を促進し、高品質な人工砂の使用を開発計画に組み込むよう働きかけること、コンクリート業界における提案製品の普及を目指す。

#### 中小企業の事業展開を通じて期待される開発効果

- 提案製品の普及によって、高品質な人工砂が使用されることで、川砂の使用量の減少による河川環境の保全及び、高強度のコンクリートが必要とされる高規格交通インフラや大規模建築物の耐震強度の向上及び長寿命化が期待される。

**Survey on High Quality and Sustainable Production of Artificial Sand for High-Strength Concrete Production in India(SME Partnership Promotion)**

別添2-3



**SMEs and Counterpart Organization**

- Name of SME: Koritsu Industry
- Location of SME: Okayama Pref., Japan
- Survey Site: State of Karnataka, Tamil Nadu, Kerala etc., India

**Concerned Development Issues**

- In India, river sand is used as a raw material of concrete products and the river sand mining causes environmental problems.
- Artificial sand in India as a substitution for river sand is poor quality and enforcing strength and prolong life time of concrete products made from the artificial sand is becoming developmental issue.

**Products and Technologies of SMEs**

- Koritsu Industry can offer an artificial sand manufacturing equipment, called SUN, and it can produce high quality sand with high efficiency.
- Koritsu Industry claim largest share of artificial sand manufacturing equipment in Japan

**Business Sustainability**

- In India, where continuous growth of construction need for infrastructures is expected, Koritsu Industry is planning to disseminate their products by encouraging state urban development corporations or civil construction companies to incorporate the use of high quality artificial sand for concrete products into their development plan.

**Expected Impact**

- If the use of high quality sand made with SUN become popular, achievement of environmental protection the by the decrease of river sand mining and strengthening and prolonging life time of transportation infrastructure and large scale building will be expected.

## はじめに

### 調査名

和名：インド国高強度コンクリート製造の為の高品質で持続可能な人工砂製造に関する基礎調査

英名：Survey on High Quality and Sustainable Production of Artificial Sand for High Strength Concrete Production in India

### 調査の背景

インド国はコンクリートの原料として川砂を利用しているが、川砂の採取による河岸や河床の浸食、河川の水質悪化や枯渇などの河川環境悪化が問題となっている。インド中央政府は 2016 年に「持続可能な砂採取管理ガイドライン」を制定し、川砂採取量の管理とともに川砂の代替として人工砂の利用を提唱しているが、既存の人工砂製造装置の品質は低く、同装置で製造した人工砂には非常に細かい粉末が大量に含まれておりコンクリートの強度低下につながる。

提案製品である人工砂製造装置「SUN」は、粉砕した岩石を原料とし川砂と遜色ない高品質な人工砂を効率的に製造することが可能であり、「SUN」の普及により川砂採取を抑制し、河川環境を保持することが期待される。

また、2016 年 3 月の対インド国別援助方針には、重点分野として「産業競争力の強化」、その小目標に「都市交通」を掲げており、「都市交通プログラム」として、本調査対象地域である、バンガロール、ムンバイを含むインドの 6 大都市におけるメトロ等のインフラ整備事業が行われている。メトロ建設には、大量のコンクリート需要が見込まれ、提案製品を使用することでインフラの長寿命化及び持続可能な資源調達に貢献しうると考えられる。

本調査においては、提案製品の現地適用可能性の確認を行い、ODA 事業との連携可能性及びビジネス展開にかかる検討を行うことを目的としている。

### 調査の目的

提案製品・技術の導入による開発課題解決の可能性及び ODA 事業との連携可能性の検討に必要な基礎情報の収集を通じて、ビジネス展開計画が策定される。

### 調査対象国・地域

インド国 デリー首都圏、カルナータカ州、タミル・ナードゥ州、ケララ州、マハラシュトラ州

### 調査期間、調査工程

調査期間：2018 年 5 月 25 日～2019 年 7 月 31 日

調査工程：

第1回現地調査実施概要(調査期間：2018年10月22日～10月27日)

調査項目	調査結果
対象国・地域の開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地建設現場を視察し、コンクリート建造物の施工における問題点を把握した。</li> <li>・ケララ州政府関係者及び人工砂製造業者へのヒアリングにより、川砂の採取が制限されつつあること及び川砂の代替として人工砂の使用を奨励するための検討がタミル・ナードゥ州において行われていることが判明した。</li> </ul>
提案法人製品・技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カルナータカ州において、砂を製造する鉱山を視察し、現地における砂製造の実態及び品質を把握した。</li> <li>・印日商工会カルナータカの顧問と面会し、提案製品の現地における有効性について説明し、意見交換を行った。</li> </ul>
ビジネス展開計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケララ州において、人工砂製造過程において必要となる分級機を製造・販売する事業者と面会し、提案製品の有効性について理解を得た。次回渡航時に、顧客候補との面会及び市場の実態についてのさらなる情報収集を行うこととした。</li> </ul>
ODA 事業との連携可能性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JICA インド事務所と意見交換を行い、円借款事業等によるインフラ建設の際に、施工現場の監理及び予防保全によるインフラの長寿命化が課題であるとの情報を得た。</li> </ul>

第2回現地調査実施概要(調査期間：2018年12月11日～12月21日)

調査項目	調査結果
対象国・地域の開発課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地調査時、バンガロールメトロの橋脚を構成するコンクリートに蜂の巣状の穴が検出され、メトロの運行を停止する措置がなされるという事案が発生した。</li> <li>・タミル・ナードゥ州公共事業部へのヒアリングにより、人工砂の品質を担保するための認証制度が開始されたことが明らかとなった。</li> </ul>
提案法人製品・技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・提案製品によって製造された人工砂の粒度分布、当該人工砂を用いた際のコンクリート製造コストなどを行政機関、メトロ建設機関、生コンクリート事業者に紹介した。バンガロールメトロで使用されているコンクリートよりも製造コストが2割程度削減できることが判明した一方で、現地の工業基準と照らし合わせると強度は十分であるがセメントの使用比率が少な</li> </ul>

	いことが問題との指摘を受けた。
ビジネス展開計画	・ビジネスパートナー候補と、今後の販売戦略について協議を行った。現地製造パートナーの製造設備の視察も行った。
ODA 事業との連携可能性	・JICA インド事務所にて、円借款事業においてインドの工業基準ではなく、日本の工業基準を採用する可能性について意見交換を行った。

### 第3回現地調査実施概要(調査期間：2019年3月14日～3月19日)

調査項目	調査結果
対象国・地域の開発課題	・ムンバイにてコンクリート造の歩道橋が崩落し人命が失われた。コンクリート建造物の高強度化及び長寿命化は喫緊の課題であることを再確認した。
提案法人製品・技術	・現地の人工砂製造プラントを視察し、VSIの下流工程に提案製品を設置することで、人工砂の品質及び生産効率を向上させることができることが明らかとなった。
ビジネス展開計画	・提案企業のパイロットプラントの視察会を開催し、顧客候補及び現地代理店候補と協議を行った。
ODA 事業との連携可能性	・第3回日印防災協力会議に参加し、防災・減災に関連する ODA 事業との連携可能性について検討した。

### 調査団員構成

本業務は下記の構成で実施した。

従事者名 (居住地)	担当業務	所属先
福廣匡倫(岡山)	ビジネス計画の検討	晃立工業(株)
井上裕章(鳥取)	事業採算性の評価	晃立工業(株) (補強: (株)鳥取銀行)
石井祐輔(千葉)	コンクリート強度検査	太平洋セメント(株)
石田学(島根)	業務統括/チーフアドバイザー	(株)エブリプラン
山田将巳(島根)	市場・各種規制等調査	(株)エブリプラン
野津良幸(島根)	ビジネスモデル構築	(株)エブリプラン
西山甲子男(広島)(追加)	ビジネスモデル構築	(株)エブリプラン
田中佑樹(鳥取)(追加)	事業採算性の評価	晃立工業(株) (補強: (株)鳥取銀行)



## 第1章 対象国・地域の開発課題

### 1-1 対象国・地域の開発課題

日本における状況と同様に、インドにおいても砂はコンクリート等の建設資材の原料として広汎に使用されているが、近年の急速な都市化に伴い、砂の需要はさらに拡大している。従来は川砂を原料として使用してきたが、川砂の採取による河岸や河床の侵食、河川の水質悪化や河川の枯渇が環境保全の観点から問題となっている。

川砂採取の代替手段として人工砂の製造も行われているが、現地で普及している製砂装置は砂の製造効率及び品質が悪く、図1で示すように、「SUN」で製造した人工砂と比べると非常に細かい粉末が大量に含まれていることが見て取れる。この微粉末をコンクリートの原料としてセメントと水を混ぜて練った場合、微粉末に水分を奪われるため生コンクリートの流動性が失われ、作業性が著しく悪化する。悪化した作業性を取り戻すためにさらに水を加えると、コンクリートの強度が低下する。セメントを追加することで強度を補うこともできるが、セメントはコンクリートの材料の中で最も単価が高い材料であるから、コンクリート製造コストが増加するという悪循環に陥ってしまう。

図1のような不適切な人工砂をコンクリートの骨材として用いるが故に、コンクリート建築物が建設から数年程度でひび割れたり崩壊したりしている。したがって、高強度で経済的なコンクリートを製造するために、適切な人工砂を製造する技術を普及することが喫緊の課題と考えられる。



インドの一般的な人工砂

提案企業製 SUN で製造した人工砂

隙間だらけのブロック

図1 インドの人工砂と提案製品「SUN」で製造した人工砂との比較

現地課題の実情を確認するため、デリー市内における施工現場を視察した結果を以下に示す。

#### 1) 国道アンダーパス建設現場

- ・型枠を設置して生コンクリートを流して基礎等を構築しているが、型枠を外した時点で

既に崩落が始まっている。崩落箇所にモルタルを塗って、欠けやひび割れを誤魔化しているように見受けられた。

- ・この現場では生コンクリートの施工は夜間に行われるようで、現場の作業員(クレーン、溶接工)では実態はよくわからないとのことだった。

現場全景	剥離した部分をモルタルで埋めている
	
骨材とセメントが密着していない部分	砂利や砂が含まれていない部分
	

## 2) デリーメトロ基礎建設現場

- ・生コンクリートで橋脚らしきものを建設していたが、下部には生コンクリートが十分に流れ込んでおらず、痩せや崩落が既に見られた。流動性の低い生コンクリートを使用しているように見受けられた。

- ・現場に砂利、砂が盛られており、現場でミキサーで練ってモルタルを作っているとのことだった。砂利は粗骨材と細骨材が同じ山に盛られており、適正な混合はできていないと考えられた。

基礎となる支柱が建つ現場	支柱の根元が崩落している
	
現場でモルタルを練る作業者	微粒分の多い砂を使用している
	

### 3) デリーメトロ高架建設現場

- ・生コンクリートによる施工が行われていた。ミキサー車は黒塗りされており、どこの生コンクリートメーカーのものか判別できなかった。
- ・ポンプで高所へ圧送するためか、スランプの大きな流動性の高い生コンクリートと考えられるが、地面に落ちて固まっていたコンクリート塊を見る限りでは、骨材とセメントとの結合が不十分で、作業性及び硬化後の硬度共に問題があると考えられる。



高架建設現場



硬化したコンクリート



硬化前のコンクリート



ミキサー車から生コンが供給される様子



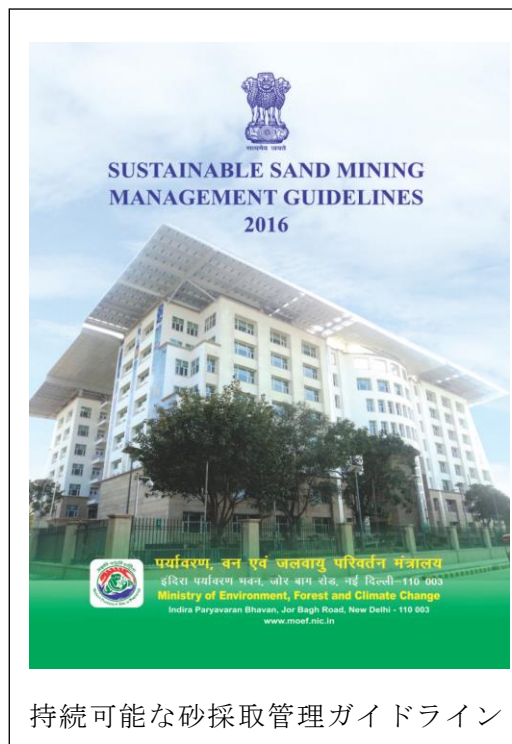
## 1-2 当該開発課題に関する開発計画、政策、法令等

### 1-2-1 当該開発課題に関する中央政府の政策

上記課題に対して、インド中央政府の MoEFCC は、2016 年に「持続可能な砂採取管理ガイドライン (Sustainable Sand Mining Management Guideline)」を策定している。同ガイドラインにおいて、上述した河川環境の保全のために、川砂の採取量をモニタリングすることの必要性と共に、人工砂の使用を促進することで環境への悪影響を抜本的に減らすことができると述べられている。

川砂採取の管理が厳しくなる一方で、違法な川砂採取も横行しており、2015 年には MMDR 法によって違法な川砂採取の厳罰化がなされ、懲役 5 年及び、罰金として採取面積 1 ヘクタールあたり 50 万ルピー(86 万円相当)が課されることとなった。

今後はますます川砂採取に対する規制が厳しくなり、人工砂の利用が増加することが推測される。



持続可能な砂採取管理ガイドライン

人工砂の品質については、BIS が基準 IS383 を定めている。しかし、日本では人工砂の規格は 1 種類しかないのに対し、BIS の規定では 4 つの規格が定められている。

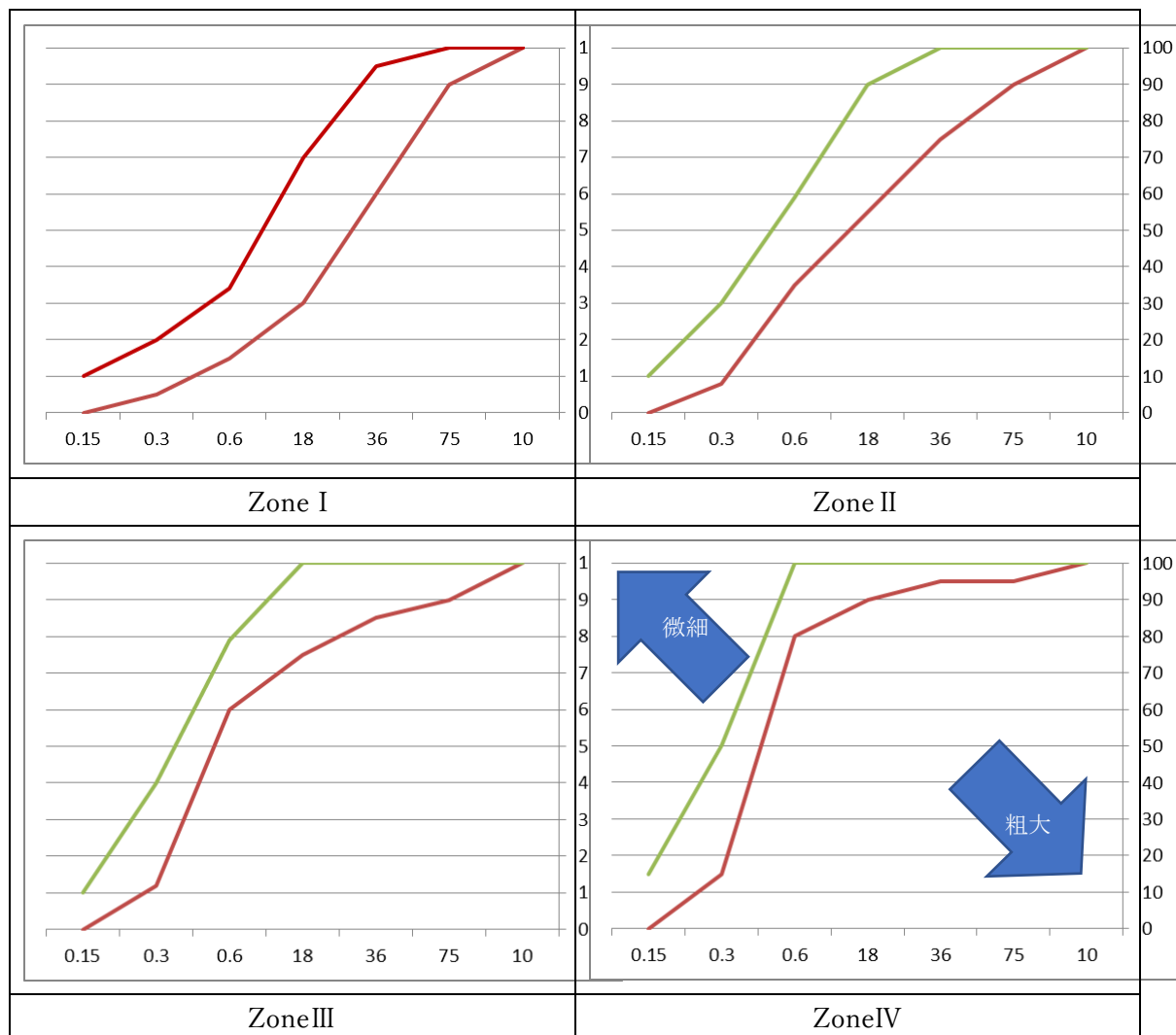
表 2 に示されたグラフは砂粒の大きさの分布を表しており、横軸にふるいの目の細かさ(単位: mm)、縦軸にふるいを通過した砂の割合(%)を取っている。グラフの左上に行くほど砂の粒が細かいことを表している。砂をふるいにかけてとき、グラフ上の 2 本の線の間収まる分布を示せば BIS の基準を満たすことになる。

Zone I、Zone II については、日本工業規格(以下、JIS)の規格とほぼ同等の分布を示しているが、Zone IV は明らかに微細な粉末の分布を表しており、JIS の基準からは大きく逸脱している。各 Zone ごとの使い分けは明確に示されていないが、Zone IV の微粉末だけについては、「鉄筋コンクリートには使用しないこと」と IS383 で指示されている。従って、鉄筋コンクリートでなければ、コンクリートブロック等の製造については一般に用いられているようである。

強度も経済性も劣る Zone IV の微粉末の使用が認められている背景には従来の製砂装置では必然的に Zone IV が大量に発生してしまうことが一因として存在すると考えられるので、「SUN」を普及させることで微粉末の発生を抑制し、ひいては高強度で経済的なコンクリートの製造につながり、コンクリートブロック積みで作られている一般家屋の安全性を高

めることが期待できる。

表 1 インド基準局が定める人工砂の基準



### 1-2-2 当該開発課題に関する地方政府の政策

中央政府の方針に呼応して、地方政府でも上記課題に対する新たな動きが生まれている。タミル・ナードゥ州のPWDは、川砂の枯渇を憂慮し、川砂の代替として、岩石を砕いて製造した人工砂を砕砂(以下、CS-Sand)と定義し、その使用を促進している。良質なCS-Sandの普及に向けて、CS-Sandの品質評価委員会を設立し、CS-Sandの品質検査の手引きを作成している(“Technical Circular No. AEE / T10 / 57017 , dated 12.07.2017”より引用)。

#### 1-2-2-1 CS-Sandの現場試験

CS-Sandの製造現場において、下記の確認を行う。

### 1-2-2-1-1 目視検査

砂のサンプルを手に取り、目視で観察し、指の間で摩擦しながら、細かな粉塵の過剰混入、欠片、粒度分布、質感等を確認する。





図 2 CS-Sand の目視検査

### 1-2-2-1-2 目視観察による粒形確認

直径 4.75 mm から 2.36 mm の砂粒の形状を目視で確認する。

表 2 砂の粒形の目視確認

良質な CS-Sand	川砂
	

### 1-2-2-1-3 ふるい分析による粒状分布の確認

BIS に規定されたふるいを用いてふるい分析を行う。IS383:2016 では、75 マイクロメートル以下の微粉末の混入量は 15% を上限と定められているが、専門家によれば上限は 7% が望ましいとのことである。

### 1-2-2-1-4 圧縮強度の確認

CS-Sand 製造現場の砂を用いてコンクリートを練り、1 辺 150 mm の立方体を作成し、3 日後、7 日後、28 日後の圧縮強度を測定し、BIS の要求水準と合致するか確認する。

### 1-2-2-2 研究機関における品質確認

CS-Sand は最高品質を維持することを示すため、以下の品質検査を実施しなければならない。

1. ふるい分析
2. 比重測定
3. 吸水量測定
4. かさ密度測定
5. アルカリ沈殿反応測定
6. 安定性測定
7. 有害物質測定
8. 有機不純物測定
9. 微粉末含有量測定
10. 塩素及び硫酸含有量測定
11. 炎色反応分析
12. 微粉末の物理性状試験

### 1-2-2-3 CS-Sand 製造工程

CS-Sand の製造工程として下記のフローチャートが示されている。

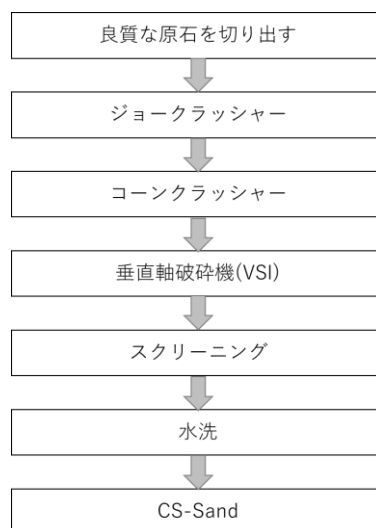


図 3 CS-Sand の製造工程

上記の手順によって、タミル・ナードゥ州では PWD の職員に対しては建設事業において人工砂の使用を要求すると共に、人工砂を製造・販売する民間事業者に対しては人工砂の品質承認制度を開始している。PWD へのヒアリングによると、デリー準州、マハラシュトラ州、カルナータカ州からも本品質承認制度に対する問い合わせが届いており、今後はタ



ミル・ナードゥ州だけでなく他の州でも人工砂の品質管理が開始されると見込まれている。

### 1-3 当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針

2016年3月の対インド国別援助方針には、重点分野として「産業競争力の強化」が挙げられ、その小目標である「都市交通」において、「都市交通プログラム」として、インドの6大都市(本提案事業における調査対象地域である、バンガロール、ムンバイを含む)におけるメトロ等のインフラ整備事業が行われている。メトロ建設計画においては、大量のコンクリートの需要が見込まれるが、インフラの長寿命化及び持続可能な資源調達も当然要求される事項と考えられる。この目的のためには、提案企業製砂装置による高品質な人工砂が必須と考えられるので、提案製品の普及は、我が国の開発協力方針とも整合性を有する。

また、2017年に内閣府がインド内務省と防災に関する協力覚書を締結しており、防災関連の情報交換のための会議やワークショップの開催、さらには関連企業のビジネスマッチングまでを視野に入れた日印防災協力会議が開催されている。砂の品質向上によるコンクリートの強化は、地震等の自然災害に対するコンクリート建造物の耐久性を高めることに繋がり、防災にも寄与すると考えられる。

### 1-4 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析

本事業の調査対象地であるチェンナイにおいては、有償資金協力事業として「チェンナイ・メトロ建設計画(第四期)」が進行中であり、当該事業に対するコンクリート供給に際して、提案企業製砂装置による人工砂の需要が想定される。

また、2014年度に JICA によって実施された「社会基盤整備を加速するプレキャストコンクリート製品の普及に向けた案件化調査」の成果として、既にトヨタ工機株式会社のインド邦人である Fuji Silvertch Concrete Pvt., Ltd. がグジャラート州にて国際協力銀行の融資を受けてプレキャストコンクリート製品の受注・製造・販売を開始している。プレキャストコンクリート製品においても砂が必須であり、今回提案する事業において提案製品の優位性が証明されれば、Fuji Silvertch Concrete 社とも協力することによって提案製品の売上増のみならず、インドにおける高品質で持続可能な人工砂によるコンクリート製品の高強度化及び長寿命化が期待できる。

2016年度から JICA によって実施されている「持続可能な山岳道路開発のための能力向上プロジェクト」は、インド国道庁が進める国道整備を支援するために、山岳道路を管轄する機関の整備・維持管理業務の改善を目的としている。インドの山岳道路は急峻で脆弱な法面に挟まれており、常に崩落の危機に瀕している。法面の崩落を防止する吹付けモルタルの原料としても提案製品が活用できるため、本事業との協力によって、安全な山岳道路開発にも寄与できる可能性がある。

## 第2章 提案企業、製品・技術

### 2-1 提案企業の概要

#### 2-1-1 企業情報

1. 法人名	晃立工業株式会社
2. 法人の業種	①製造業
3. 代表者名	代表取締役社長 福廣 匡倫
4. 本店所在地	岡山県津山市草加部 1147
5. 設立年月日（西暦）	1969年2月12日
6. 事業内容	砕砂関連機械、各種粉碎・選別・分級機器、環境再資源化関連機器、セキュリティ関連粉碎機器、鉱山砕石関連機械の製造・販売、プラントの設計・製作、建築資材、土木資材（河川土木用）、鉱山物資源、中古機械の販売、有価金属リサイクルサービスの提供

#### 2-1-2 海外ビジネス展開の位置づけ

提案企業は近年主力商品の製砂装置「SUN」の製造・販売のみならず、情報化社会の進展に伴う電子データ消去の需要に対応した電子機器の物理破壊等のデータ消去サービスの展開といった事業の多角化を試みてきたが、売上規模の維持または増大のためには、砂製造装置の製造・販売が必須である。従って、製砂装置「SUN」の海外展開は、提案企業の持続的な成長の主軸となる事業として提案企業の中長期計画において位置づけている。

### 2-2 提案製品・技術の概要

#### 2-2-1 ターゲット市場

「SUN」の販売先としては、インフラや建築物の施工を行う建設事業者や、建設関係のプラントメーカー、生コンクリートを取り扱う生コンクリート製造業者、既存の製砂装置を使用する人工砂製造業者を想定する。インドの建設市場規模は今後も年7～8%増の成長が見込まれており、コンクリートの原料としての人工砂の需要も同様に増加していくものと予測される。

#### 2-2-2 提案製品・技術の概要

道路、鉄道、護岸、ダム等様々な用途に用いられるコンクリートを作る際に用いられる砂利や砂等のことを骨材と呼ぶが、骨材はコンクリートの体積の約70%を占め、その品質

がコンクリートの強度、作業性、経済性に及ぼす影響は大きく、特に砂の粒度(砂粒の大きさ)は、日本工業規格(JIS)においても厳しく規定されている。

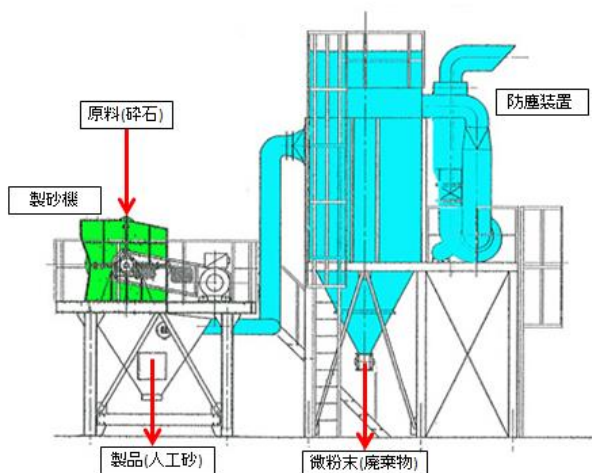
日本においても砂は川から採取されてきたが、川砂の採取が河川環境に悪影響を及ぼすことが知られるようになってからは、川砂の採取は制限され、岩石を粉砕して砂を生産する、人工砂がコンクリートの骨材として使用されるようになった。

提案企業は1969年にコンクリートの原料となる砂を人工的に生産するための「製砂用粉砕機」を日本で初めて開発・製造した。提案企業が1990年に開発した乾式製砂装置「SUN」は、JIS規格の要求水準を超える高品質な砂を効率良く製造することができ、現在、日本国内市場ではトップシェアを占めている。

提案製品である乾式製砂装置「SUN」の概要について、表2にまとめた。



製砂装置「SUN」の外観図



製砂装置「SUN」の構成図

表 3 提案製品の特徴

項目	内容
製品名	乾式製砂装置「SUN(Sand Unit Novel)」
製品の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特許技術である、粉碎・分級・防塵の一体処理によって、低コストで高品質な人工砂の製造を実現する</li> <li>・製造された砂はJIS規格 (JIS A 5005)を上回る品質</li> <li>・歩留まり約90%と高効率(他社製品の場合50～60%)</li> <li>・硬い珪石を破碎することを前提とした高い耐久性</li> <li>・一体式構造のため、各工程をつなぐコンベアが不要でありコンパクトかつ安価</li> <li>・乾式のため、湿式のような脱水処理・廃水処理が不要</li> <li>・他社製品のような砂と微粉末を分別するためのエアスクリーンや複雑な電子制御は不要</li> </ul>
生産能力	毎時50トン
設置寸法(mm)	W9500×D4315×H7215
単価	5,000万円(日本国内価格、他社製品の約半額)
販売実績	国内:800台(人工製砂装置のトップシェア) 海外:インド、ロシア、韓国での納入実績あり

### 2-2-3 比較優位性

本調査の結果、インドにおいてはコンクリート用やモルタル用の細骨材としての砂を製造することを目的とした製品は存在しないことが明らかとなった。インドにおける砂製造プロセスは、採掘した岩石をジョークラッシャー及びコーンクラッシャーを用いて破碎した後、破碎された岩石片を、VSIを用いて粒形を整える際に発生した小さな破砕片を砂として販売している実態が判明した。販売価格については明らかではないが、低品質にもかかわらず通常のコンクリート用人工砂として販売されているとのことである。この状態では75マイクロメートル以下の微粉末が15～20%含有されるため、粒度分布がBISの規定するIS383のZoneⅡには合致しない。一方で提案製品を用いた場合には同規格に合致する粒度分布の砂が得られるため、品質面では明確な優位性がある。

一方で、VSIから発生した破砕片から75マイクロメートル以下の微粉末を除去する湿式分級機も広く使用されている。しかしながら、湿式分級機で処理された砂は粒度の小さな砂を過剰に除去してしまうためにIS383のZoneⅡから逸脱してしまう。その上、湿式分級機によって原料の18%程度が流失する。提案製品は損失率8%程度であるため、生産効率の面でも優位性が明確である。加えて湿式分級機は処理後の排水に含まれる微粉末の処理が必要であること、また水を毎分10トンと大量に消費するため、水の供給が得られない地域では使用できないこと等を鑑みても、乾式分級機を使用するためこれらの心配の無い提案製品の優位性は揺るぎないものがある。

価格面での比較優位性については、「2-3 提案製品・技術の現地適合性」において述べる。

## 2-3 提案製品・技術の現地適合性

### 2-3-1 現地適合性確認方法

提案製品・技術の現地適合性を確認するために、現地の既存製品にて製造された人工砂と提案製品にて製造された人工砂を使用してコンクリートを製造し、その配合や強度、収縮率、生産コストの違いを比較する試験を実施した。

また提案製品・技術を説明したプレゼンテーション資料を用いて、人工砂製造プラントを製造・販売する事業者並びに人工砂を製造する事業者、インフラ建設事業に関わる自治体関係者等に対して説明を行い、現地適合性に関するヒアリングを行った。

### 2-3-2 現地適合性確認結果(技術面)

インド製人工砂に対する提案企業製人工砂の優位性を検証することを目的として、数種のインド産骨材の骨材試験を実施した。骨材試験によってそれぞれの骨材の物性を確認した後、コンクリート試験を実施して、インドで普及している人工砂と提案企業製人工砂の性状を比較した結果を示す。

#### 2-3-2-1 骨材試験

##### 1) 試料名および試験項目

試料名、種類、産地、および試験項目を表4に、試験方法を表5に示す。S3'はS3の性質が提案製品によって改善できるかを予備的試験にて確認したのみであり、ふるい分け試験は実施していない。Gについては粗骨材であるため粒度分布の検査は不要でありふるい分け試験は行っていない。

表4 試料名、産地および試験項目

分類	試料名	種類	産地	骨材試験項目	
				密度及び吸水率	ふるい分け
細骨材	S1	砕砂(JIS A 5005相当)、晃立工業社製	インド	○	○
	S1'	砕砂(JIS A 5005相当)、晃立工業社製(S1から破碎条件変更)		○	○
	S2	砕砂(インド汎用品、乾式)		○	○
	S3	砕砂(インド汎用品、湿式)		○	○
	S3'	砕砂(JIS A 5005相当)、S3を晃立工業で再破碎したもの		○	—
	S4	砕砂(モルタル用) Turbovent社製		○	○
	S5	砕砂(インド汎用品、微粒分を除去したもの)		○	○
	S6	天然砂(川砂)	○	○	
粗骨材	G	採石(Gmax=20mmと12mmの1:1混合品(質量比))	○	—	

注) JIS A5005 「コンクリート用砕石及び砕砂」

表 5 試験方法

試験項目	試験方法
密度・吸水率試験	JIS A1109「細骨材の密度及び吸水率試験方法」
	JIS A1110「粗骨材の密度及び吸水率試験方法」
ふるい分け試験	JIS A1102「骨材のふるい分け試験方法」

## 2) 試験結果

### 密度試験結果、吸水率試験結果

密度試験結果及び吸水率試験結果を表 6 に示す。

表乾密度、絶乾密度には大きな違いは無い。吸水率については全て JIS 基準である 3%以下を満たしているものの、提案企業製 S1、S1'とインド製の S2、S3 とでは 2 倍の差があり、インド製人工砂の方がより多くの水を必要とすることが示唆された。

表 6 密度試験、および吸水率試験結果

試料名	表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	吸水率(%)
S1	2.64	2.63	0.27
S1'	2.64	2.63	0.29
S2	2.61	2.59	0.69
S3	2.62	2.60	0.63
S3'	2.62	2.61	0.35
S4	2.64	2.63	0.34
S5	2.63	2.62	0.43
S6	2.62	2.59	1.16
G	2.65	2.64	0.30

### ふるい分け試験結果

ふるい分け試験における、各ふるいの通過質量分率と粗粒率 (F.M.) を表 7 に、粒度曲線を図 4~10 に示す。

コンクリート用人工砂については、提案製品で製造した S1、S1'は JIS に規定された範囲の中央に位置し、良好な分布を示している。インド製砕砂については、S2 は微粒分が多いものの JIS の範囲に収まっている。一方で同じくインド製の S3 については、微粒分は少ないものの非常に粗く、JIS の範囲を大きく逸脱している。

モルタル用の砂については、提案製品によって製造された S4、インドの既存技術による S5 とともに基準内に収まっているが、天然砂である S6 は全体的に細かい分布を示しており、規格から大きく逸脱している。

表 7 ふるい分け試験結果 (各ふるいの通過質量分率(%))

試料名 ふるいの呼び寸法(mm)	S1	S1'	S2	S3	S4	S5	S6
10				100		100	
5	100	100	100	100	100	100	
2.5	91	94	79	59	99	99	100
1.2	73	68	57	19	82	80	100
0.6	50	41	41	6	57	56	100
0.3	27	21	28	2	36	33	50
0.15	11	7	17	1	19	15	4
受皿	0	0	0	0	0	0	0
粗粒率 (F.M.)	2.48	2.69	2.78	4.13	2.07	2.17	1.46



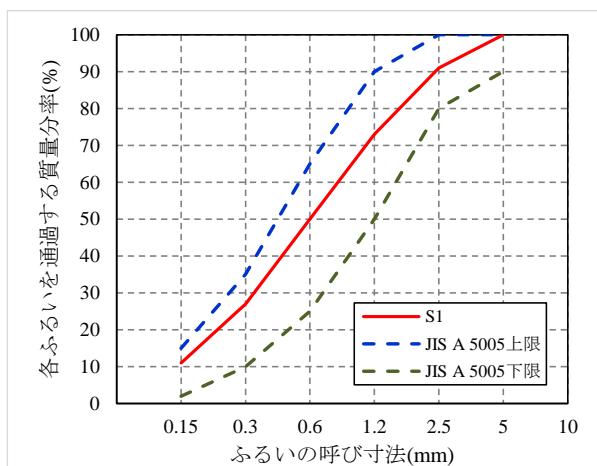


図 4 粒度曲線 (S1)

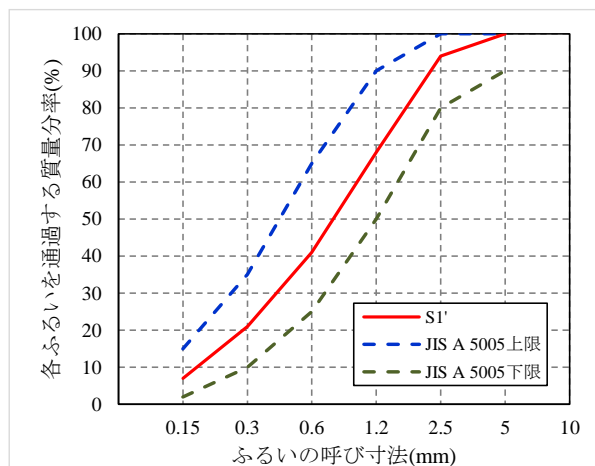


図 5 粒度曲線 (S1')

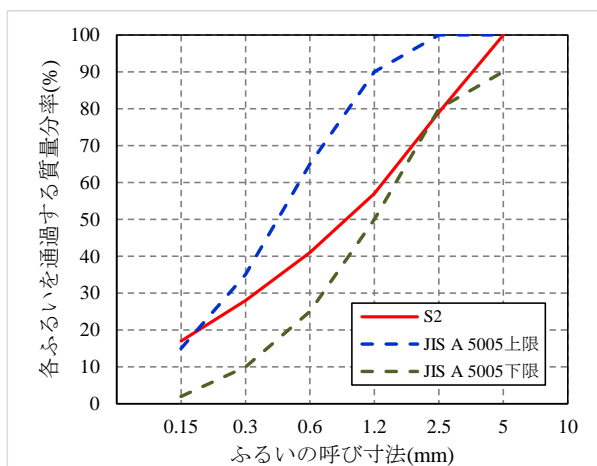


図 6 粒度曲線 (S2)

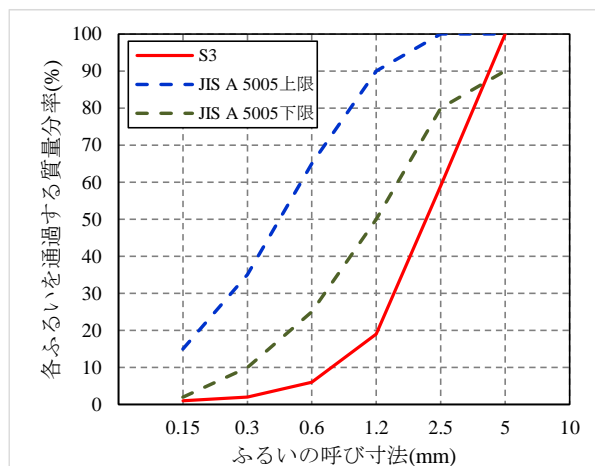


図 7 粒度曲線 (S3)

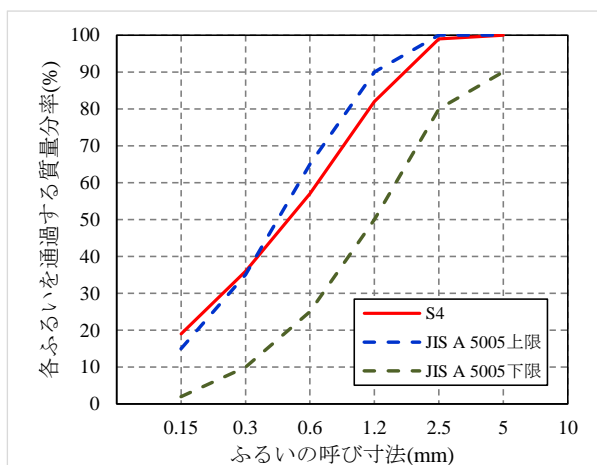


図 8 粒度曲線 (S4)

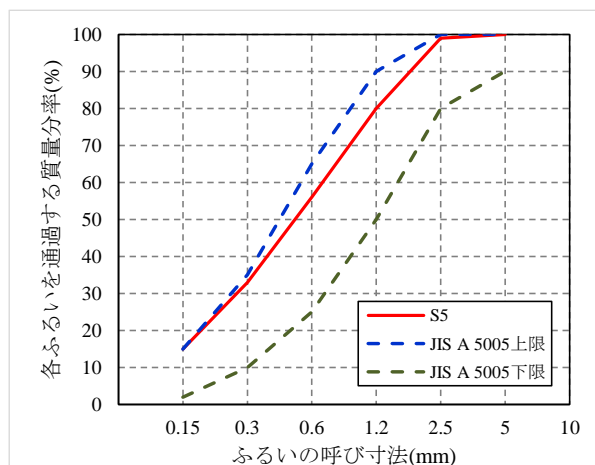


図 9 粒度曲線 (S5)

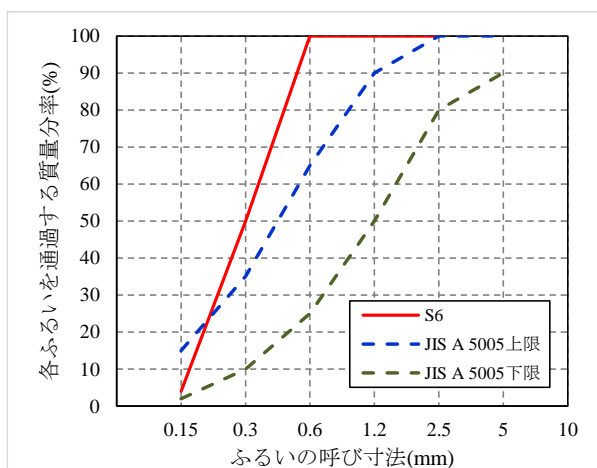


図 10 粒度曲線 (S6)

### 2-3-2-2 コンクリート試験

Step1 の骨材試験結果を基に、コンクリート試験を実施した。S1、S1'、S2、S3 の細骨材をそれぞれ用いて目標のフレッシュ性状が得られる単位水量を決定し、圧縮強度を測定した。

#### 1) コンクリート試験の方法

##### 使用材料

コンクリート試験の使用材料を表 8 に示す。

表 8 コンクリート試験の使用材料

分類	記号	種類、メーカー等	産地	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
水	W	上水道水	日本	1.00
セメント	C	普通ポルトランドセメント		3.16
細骨材	S1	砕砂 (JIS A 5005相当)、晃立工業社製	インド	2.64 <sup>*1</sup>
	S1'	砕砂 (JIS A 5005相当)、晃立工業社製		2.64 <sup>*1</sup>
	S2	砕砂 (インド汎用品)		2.61 <sup>*1</sup>
	S3	砕砂 (インド汎用品)		2.62 <sup>*1</sup>
粗骨材	G	砕石 (Gmax=20mmと12mmの1:1混合品 (質量比))		2.65 <sup>*1</sup>
混和剤	Ad	MYK Remicrete P-10		—

\*1:表乾密度

#### コンクリートの種類および配合条件

コンクリートの種類および配合条件を表 9 に、フレッシュコンクリートの性状目標値を表 10 に示す。

表 9 コンクリートの種類および配合条件

コンクリートの種類	W/C	s/a	備考
M35	45%	43.3%	配合強度35N/mm <sup>2</sup>
M50	37%	41.9%	配合強度55N/mm <sup>2</sup>

表 10 フレッシュコンクリートの性状目標値

コンクリートの種類	スランプ	空気量
M35	8±2.5cm	2±1.5%
M50	12±2.5cm	2±1.5%

コンクリートの配合

コンクリートの配合を表 11 に示す。フレッシュコンクリートの試験は、2018 年 8 月 23 日と 9 月 21 日に実施した。なお、M35-S2 W=194 の配合については、両試験日間の誤差を確認する目的で、同一配合のコンクリートを両日練混ぜた。

表 11 コンクリートの配合

No.	種類	試験日	使用細骨材	配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							Ad (C×%)
							W	C	S1	S1'	S2	S3	G	
1	M35	2018/8/23	S1	M35-S1 W=175	45.0	43.3	175	389	779	-	-	-	1026	0.25
2				M35-S1 W=183	45.0	43.3	183	407	763	-	-	-	1004	0.25
3				M35-S1 W=186	45.0	43.3	186	413	758	-	-	-	996	0.25
4			S2	M35-S2 W=194	45.0	43.3	194	431	-	-	733	-	978	0.25
5				M35-S2 W=200	45.0	43.3	200	444	-	-	723	-	959	0.25
6				M35-S3 W=194	45.0	43.3	194	431	-	-	-	736	978	0.25
7	M50	2018/8/23	S1	M50-S1 W=186	37.0	41.9	186	503	702	-	-	-	978	0.40
8			S2	M50-S2 W=190	37.0	41.9	190	514	-	-	686	-	965	0.40
9				M50-S2 W=194	37.0	41.9	194	524	-	-	679	-	954	0.40
10	M35	2018/9/21	S1'	M35-S1' W=182	45.0	43.3	182	404	-	766	-	-	1007	0.25
11				M35-S1' W=186	45.0	43.3	186	413	-	758	-	-	996	0.25
12			S2	M35-S2 W=190	45.0	43.3	190	422	-	-	741	-	986	0.25
13				M35-S2 W=194	45.0	43.3	194	431	-	-	733	-	978	0.25
14	M50	2018/9/21	S1'	M50-S1' W=182	37.0	41.9	182	492	-	710	-	-	988	0.40
15			S2	M50-S2 W=188	37.0	41.9	188	508	-	-	689	-	973	0.40
16				M50-S2 W=191	37.0	41.9	191	516	-	-	684	-	965	0.40

### コンクリートの練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜ方法を図 11 に示す。環境温度は  $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度は 70%以上とし、容量 60L の強制 2 軸ミキサを用いて、25L/1 バッチとしてコンクリートを練り混ぜた。

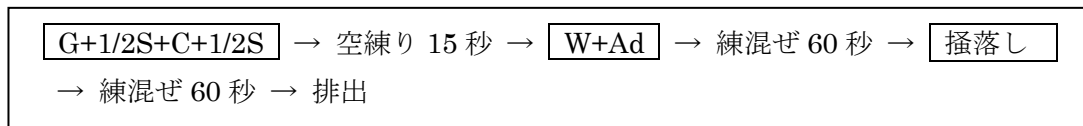


図 11 コンクリートの練混ぜ方法

### 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表 12 に示す。

表 12 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ試験	JIS A 1101 「コンクリートのスランプ試験方法」
空気量試験	JIS A 1128 「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法－空気室圧力方法」
温度測定	JIS A 1156 「フレッシュコンクリートの温度測定方法」
圧縮強度試験	JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」 養生方法：30°C水中養生 材齢：7,28,91日（一部の配合は7,28日のみ） 供試体本数：各材齢につき3本

## 2) 試験結果

### フレッシュコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表 13 に示す。各細骨材について、コンクリートの性状が目標値に最も近い配合を選定し、圧縮強度試験用供試体を作製した。インドの湿式プラントによって製造された S3 を用いたコンクリートは、セメント、水、粗骨材を保持できず、崩壊してしまった。

表 13 フレッシュコンクリートの試験結果

No.	種類	試験日	使用細骨材	配合	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	供試体作製	
1	M35	2018/8/23	S1	M35-S1 W=175	4.0	3.6	32		
2				M35-S1 W=183	6.0	2.9	32		
3				M35-S1 W=186	8.0	3.1	32	○	
4			S2	M35-S2 W=194	10.0	1.8	32	○	
5				M35-S2 W=200	12.5	1.8	32		
6				S3	M35-S3 W=194	-	-	32	
7	M50	2018/8/23	S1	M50-S1 W=186	11.0	1.8	32	○	
8				S2	M50-S2 W=190	10.5	1.4	32	○
9					M50-S2 W=194	14.5	1.6	32	
10	M35		2018/9/21	S1'	M35-S1' W=182	8.0	2.3	32	○
11					M35-S1' W=186	14.5	2.3	32	
12				S2	M35-S2 W=190	9.0	1.8	32	○
13		M35-S2 W=194			15.0	1.6	32		
14	M50	2018/9/21		S1'	M50-S1' W=182	13.5	1.8	33	○
15					S2	M50-S2 W=188	10.0	1.6	33
16			M50-S2 W=191			12.0	1.5	33	○

注) M35-S3 はスランプ崩れのため、スランプ測定不可。

### 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を表 14 に示す。インドの湿式プラントで製造された S3 を用いたコンクリート試料については崩壊してしまったため、圧縮強度試験の対象外とした。その他のコンクリートの圧縮強度については、S1、S1'、S2 の間で明確な違いが見られなかった。

表 14 圧縮強度試験結果

種類	配合	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		
		材齢7日	材齢28日	材齢91日
M35	M35-S1 W=186	41.9	52.5	—
	M35-S1' W=182	45.0	55.6	61.6
	M35-S2 W=190	47.2	58.7	66.0
	M35-S2 W=194	45.7	58.2	—
M50	M50-S1 W=186	62.9	76.3	—
	M50-S1' W=182	65.1	78.0	84.5
	M50-S2 W=190	63.4	75.6	—
	M50-S2 W=191	65.8	78.8	85.2

2-3-2-3 考察

コンクリートの空気量は圧縮強度に影響を与える。そのため、空気量が 2.0%と同一であった場合の強度を推定した。推定に際しては、「1%空気量が増加（低下）するごとに圧縮強度が 5%低下（増加）する」と仮定した。この結果を表 15 に示す。S1、S1'を用いた試料より S2 を用いた試料の方が空気量が少ないため、圧縮強度の推定値は S1、S1'は増加し、S2 は低下し、S1、S1'と S2 との強度の差は小さくなった。

表 15 圧縮強度推定値（空気量 2.0%）

種類	配合	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			コンクリート価格 算定に使用
		材齢7日	材齢28日	材齢91日	
M35	M35-S1 W=186	41.9	52.5	—	—
	M35-S1' W=182	45.0	55.6	61.6	○
	M35-S2 W=190	47.2	58.7	66.0	○
	M35-S2 W=194	45.7	58.2	—	—
M50	M50-S1 W=186	62.9	76.3	—	—
	M50-S1' W=182	65.1	78.0	84.5	○
	M50-S2 W=190	63.4	75.6	—	—
	M50-S2 W=191	65.8	78.8	85.2	○

さらに、S1'および S2 の圧縮強度推定値（試験日 2018/9/21、表 15 で○のもの）から、それぞれの砕砂を用いたコンクリートの価格を計算した。この計算の過程を次に示す。

- ①C/W と圧縮強度の関係式を求める
- ②ある圧縮強度における W/C を①の関係式から求める
- ③W/C に応じてコンクリートの配合を求める
- ④コンクリートの配合と各材料の価格からコンクリートの価格 (JPY/m<sup>3</sup>) を求める

<各過程の補足説明>

①に関して：S1'および S2 はいずれも採取場所が同一の母岩から作製した砕砂である。また、M35およびM50において、S1'と S2 を用いたコンクリートの圧縮強度は同等であった。そのため、セメント水比 (C/W) と材齢 28 日の圧縮強度 ( $\sigma_{28}$ ) の関係式は、これら 4 点を近似して求め、 $\sigma_{28} = 41.105 \times C/W - 34.094$  となった。

③に関して：いずれの W/C においても S1'を用いたコンクリートは  $W=182\text{kg/m}^3$ 、S2 を用いたコンクリートは  $W=190\text{kg/m}^3$  とした。また、Ad の添加量は W/C に関わらず  $C \times 0.40\%$  とした。s/a は IS 10262 「Mix Design for Concrete」を参考に、W/C に応じて変化させた。

④に関して：Turbovent 社より提供された各材料の価格を用いた。なお、S1'については価格が提供されなかったため、S2 と同一の価格とした。これを表 14 に示す。また、一例として  $\sigma_{28}=50\text{N/mm}^2$  のときの S1'と S2 を用いたコンクリート配合、それに対応する価格を表 15 に示す。

表 16 各材料の価格

記号	Unit	INR	JPY	JPY/kg
C	50kg	280	462	9.24
S2	1ton	850	1,403	1.40
G	Gmax=20mm	1ton	650	1,073
	Gmax=12mm	1ton	700	1,155
Ad	1Liter	100	165	165

注) 各材料の価格 (INR) は Turbovent 社より提供された。  
JPY/kg は、 $1\text{INR}=1.65\text{JPY}$ 、Ad の密度= $1\text{kg/Liter}$  として計算した。

表 17 コンクリート配合と価格

$\sigma_{28}$	C/W	W/C	s/a	kg/m <sup>3</sup>						価格 (JPY/m <sup>3</sup> )
				W	C	S1'	S2	G	Ad	
50.0	2.046	48.9	0.440	182	372	790	-	1009	1.49	5916
50.0	2.046	48.9	0.440	191	391	-	764	987	1.56	6040

図 12 に計算結果をプロットしたグラフを示す。S1'を使用したコンクリートのほうが、価格が低い傾向であった。



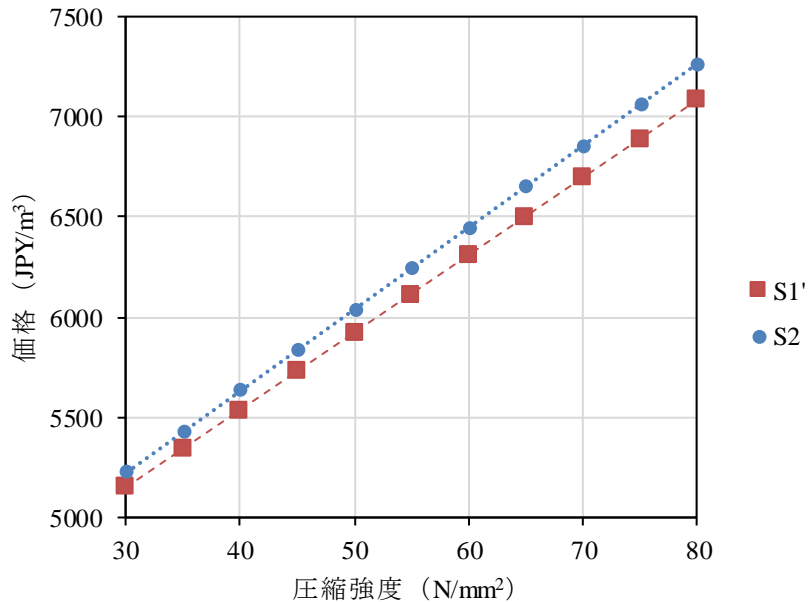


図 12 圧縮強度とコンクリート価格の関係

今回、JIS に定められた強度 M50 のコンクリートの配合を用いて試験を行った結果、コンクリート製造コストには大きな違いを見出すことはできなかった。しかしバンガロールメトロへのヒアリングによって、現地では JIS と大きく異なる配合でコンクリートを製造していることが判明した。表 18 にバンガロールメトロがコンクリート製造事業者へ要求するコンクリートの配合を示す。日本のサンプルは本調査において提案製品を用いて製造した砂を使用して調製したサンプルの配合である。

表 18 バンガロールメトロが要求するコンクリートの配合

サンプル名	C/W	W/C	s/a	W	kg/m <sup>3</sup>				
					C	GGBS	S	G	Ad
バンガロールメトロ M50	3.448	0.29	0.392	145	400	100	703	1092	2
日本 M50	2.291	0.44	0.43	182	417	0	758	1006	1.67

上表中の GGBS(Ground Granulated Blast furnace Slag、高炉スラグ微粉末)とは、セメントの代替物として使用されるもので、3 ルピー/kg で流通している。GGBS もセメントとして考えると、バンガロールメトロが要求する配合と日本の配合を比較した場合、バンガロールメトロのセメント使用量が著しく異なり、日本のサンプルより約 20%も多い。砂の価格が同一(1 トンあたり 850 ルピー)であるとしてコンクリート 1 m<sup>3</sup>あたりの製造コストを計算すると、バンガロールメトロの配合では 4,075 ルピー、日本の配合では 3,826 ルピー

となり、日本の配合を用いることで6%のコストダウンが期待できる。提案製品を用いることによる砂の生産コストの増加は1トンあたり150ルピーと想定しているが、この価格を上乗せしたとしても、コンクリート1m<sup>3</sup>あたりの製造コストは3,939ルピーであり、依然として3%以上のコストダウンが可能であり、価格面でも優位である。従って、提案製品によって製造された砂を用いて、日本の配合でコンクリートを製造することによって、必要十分な強度を保ちながらもこれまでよりも低価格でコンクリートを製造することが可能である。今回、インドで普及している湿式プラントで製造された砂を用いた場合、本来より安価にコンクリートを製造できるJIS基準の配合では適切なコンクリートを製造することができないことが示唆された。一方で今回使用したインドで乾式プラントにて製造された砂S2については、提案製品と大差ない品質であったが、現地調査においてはS2より遥かに多くの微粒分を含んだ砂しか見いだせなかったため、インドの乾式プラントで製造された砂を用いて今回の試験結果と同様の結果を安定して得ることは困難であると考えられる。以上より、提案製品によって製造された砂を用いて、JIS基準でコンクリートを製造することが可能であれば、高強度と低価格を両立するコンクリートが製造できるため、現地においても受け入れられる可能性は高いと考えられる。

### 2-3-3 現地適合性確認結果(制度面)

ケララ州政府関係者へのヒアリングから、コンクリート用の砂からフィラーを除去すべきであることは自治体においても認識されていることが判明した。しかしながら、製品へのフィラーの混入量を検査することは実際に困難であるために粗悪な製品が流通している実態も判明した。

一方で、タミル・ナードゥ州においては、PWDが主体となって、人工砂の認証制度を確立するための委員会が設立されており、1-2項で述べたように、人工砂の品質管理に必要な手順が定められている。人工砂の品質については、BISによって定められた基準を遵守することが明記されており、提案製品の機能はオーバースペックではなく、必要な機能であると言える。

### 2-4 開発課題解決貢献可能性

提案製品の普及によって、高品質なコンクリート用人工砂が普及し、コンクリート建造物の高強度化及び長寿命化に貢献することが期待できる。また、川砂の代替品として使用されることで川砂採取が減少し、河川環境の保全にも貢献することが期待される。

### 第3章 ビジネス展開計画

#### 3-1 ビジネス展開計画概要

当座は既に契約を締結済みの現地販売代理店を介して提案製品の販売拡大及び維持管理業務の提供を行い、本調査完了から3年後を目処に下記の事業実施体制を構築する。出資比率については、提案企業が過半数を占めるよう交渉を進めるが、提案企業単独での過半数の出資が困難な場合は、日本の金融機関からの出資も含めた日本側の連携体で過半数の出資を確保し、経営の主導権を日本側で握れるよう検討する。

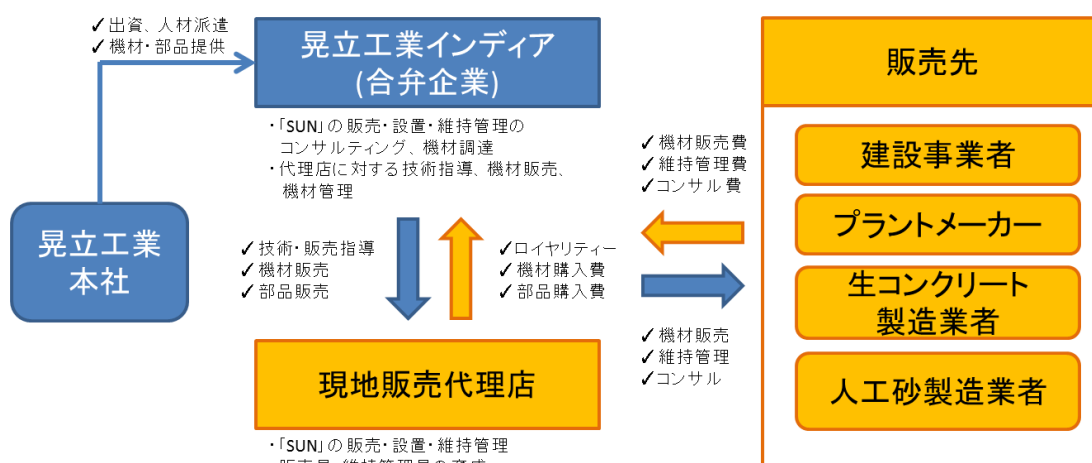


図 11 ビジネス実施体制案

#### 3-2 市場分析

非公開

#### 3-3 バリューチェーン

非公開

#### 3-4 進出形態とパートナー候補

非公開

#### 3-5 収支計画

非公開

#### 3-6 想定される課題・リスクと対応策

非公開

### 3-7 期待される開発効果

「SUN」が普及することによって、川砂の代替となる高品質な人工砂を高効率で製造することが可能となり、① 川砂の使用の抑制による河川環境の保全、② 高品質な人工砂の供給による高強度で経済的なコンクリートの普及及び建築物の長寿命化が見込まれる。

主な開発効果	内容
洪水等の災害の被害軽減	インドでは頻繁に深刻な洪水が発生しており、2018年8月にもムンバイで1,000人以上が亡くなり、アーメダバードでは200人を超える死者が出た上、13万人が立ち往生するという被害が発生した。気候変動による豪雨が主な原因ではあるが、「SUN」の普及により川砂採取が抑制され、災害の被害軽減が期待できる。
耐震性が高く長寿命な建築物の普及	高品質な人工砂の供給により、高強度で経済的なコンクリート製品が普及し、住宅やインフラ等のコンクリート建造物の耐震性の向上及び長寿命化が期待できる。

### 3-8 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

#### 3-8-1 関連企業・産業への貢献

本事業の実施により提案企業製品の売上が増加すれば、製品へ原材料を供給する関連企業の売上増に繋がることはもちろん、提案製品の上流・下流に位置する砕石事業者及び生コンクリート製造事業者にとっても、インドという新たな市場へ参入する機会が生まれる。したがって本事業の実施により、コンクリート業界全体の新たな売上増加が期待できる。

#### 3-8-2 その他関連機関への貢献

現在岡山県は、インド中部のマハラシュトラ州プネ市との友好交流協定を締結している。マハラシュトラ州はインド最大の都市ムンバイを州都としており、事業の実施後は、岡山県との連携をさらに強化し、マハラシュトラ州の自治体及び民間企業への売り込みを行うことで、提案企業の売上増のみならず、地元岡山県内の企業に対して海外展開の機運を波及させ、地域経済の活性化が期待できる。

## 第4章 ODA事業との連携可能性

### 4-1 連携が想定される ODA 事業

本事業の調査対象地であるチェンナイにおいては、有償資金協力事業として「チェンナイ・メトロ建設計画(第四期)」が進行中であり、当該事業に対するコンクリート供給に際して、提案企業製砂装置による人工砂の需要が想定される。

また、2014年度に JICA によって実施された「社会基盤整備を加速するプレキャストコンクリート製品の普及に向けた案件化調査」の成果として、既にトヨタ工機株式会社のインド邦人である Fuji Silvertch Concrete Pvt., Ltd.がグジャラート州にて国際協力銀行の融資を受けてプレキャストコンクリート製品の受注・製造・販売を開始している。プレキャストコンクリート製品においても砂が必須であり、今回提案する事業において提案製品の優位性が証明されれば、Fuji Silvertch Concrete 社との連携も期待できる。

今後は、既に人工砂の品質評価制度が確立されているタミル・ナードゥ州 PWD に対して、提案製品を用いた人工砂の品質評価を依頼し、また環境影響を評価するタミル・ナードゥ州汚染管理局に対する説明を行い、インド国内市場における提案製品の適合性及び有用性に関する公的機関の公認を得る活動を行う。

### 4-2 連携により期待される効果

上記の事業との連携によって、提案製品の売上増のみならず、インドにおける高品質で持続可能な人工砂によるコンクリート製品の高強度化及び長寿命化が期待できる。具体的な効果については今後の調査において定量的に評価することを目指す。