

令和五年度住宅建築技術国際展開支援事業
(うち事業環境整備に関する事業)

インドに適した WPC 構造集合住宅建設のための環境整備
成果報告書
(概要)

2024年3月

日本プライススリーブ株式会社

1. 本事業の概要

1. 1 事業を始めた背景

インドの人口は14億人以上であり、2023年中に中国を抜いて世界一になった。2022年の実質国内総生産（GDP）は日本の8割に達し、同年の成長率は6.7%である¹⁾。経済成長が著しく、住宅は恒常的に不足している。このようなインドの住環境整備手段として短工期で大量生産が可能なWPC工法が適していることは同国内でも認知されている。

WPC工法はインドでは比較的新しい工法であるが、建設事例は既に存在する。インド工科大学ジョードプル校（Indian Institute of Technology (IIT) Jodhpur）の学生寮は、インド北部の地域においてWPC工法が採用された一つの事例である。（図1.1および写真1.1参照）

同建物はインドの政府機関である中央公共事業局（CPWD）が手掛けた建物で、竣工が大学の入学時期に間に合うよう、WPC工法を用いて短工期で建築されている。そして、2023年春に竣工している。ただし、品質、コスト、施工面においては次に示す課題が生じており、改善に対しての支援が求められている。また、同建物の建設地であるインド北部の地域はヒマラヤ山脈に近い地震地域であることから、耐震性を確保した上で、接合部の数と大きさを最小化した工法の確立が望まれている。

- ・PCa板同士の接合筋が多く、接合方法の効率が悪い。施工精度の確保が困難で接合部の欠陥が多い。接合部からの漏水などの問題も発生している。
- ・PCa床板と壁板以外の床や接合部のモルタルとセメントの使用量が多くコストが高い。
- ・型枠の精度が不十分で、PCa板が湾曲している、小口面が直角になっていないなどの問題がある。結果的に建て方が難しくなっている。
- ・スラブのPCa化の程度が不十分で、WPCのメリットが十分発揮できていない。
- ・PCa板のストック配置計画や揚重計画に効率化の余地がある。

一方、日本におけるWPC工法は、1960年代から70年代の高度経済成長期を黎明期として、耐震性確保の観点から多くの実験がなされ、配筋や接合方法などが改善されてきた。70年代後半に鉄筋の機械式継手が導入され、コンパクトな接合方法が確立された。阪神大震災や東日本大震災でも建物の被害はほぼ皆無であり、高い耐震性能が証明されている。このように、日本におけるWPC工法は、長い歴史を持った成熟した工法となっており、インド側が望んでいる技術的支援に対して、これに応じることのできるだけの験を持っている。

WPC構造建物は、当面はインドの比較的裕福層のための集合住宅にならざるをえないが、それは高度経済成長期の我国の集合住宅（いわゆる「団地」）と類似するものであり、インドの経済発展とWPC工法の汎用化が進むことによって、将来的には、より多くの人々に受け入れられると考えられる。このような長期的な視点をもってインドの住環境向上を支援・志向することは、日印の良好な友好関係を継続する上でも意義は大きい。

このような状況下、本事業開始に至った。

参考文献 1) <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGM283140Y3A220C2000000/>



図 1. 1 インド工科大学ジョードプル校学生寮建設地 (●の位置)



(a)完成状況



(b) 建設現場全景

写真 1. 1 インド工科大学ジョードプル校学生寮の建設状況

1. 2 事業の目的

WPC構造建物は、プレキャスト (PCa) 鉄筋コンクリートの床板と壁板を現場で組み上げて建設される。型枠を繰り返し使う環境配慮型の工法で、平場打ちで密実な壁板と床板を生産することで、高品質な建物を短工期に大量生産することが可能である。

本事業では、WPC 構造集合住宅建物のインドに適した壁板や床板の構成 (割付や板の組み方) や接合部の詳細を検討する。先進で大地震の発生頻度が高い日本で一般的な構成や詳細をそのまま使うのではなく、インドの地域ごとの建設事情を考慮して、施工性がよく、経済的な構成や詳細を考案する。インドでの設計および施工における法規制や許認可の制度などを調査し、今後のパイロットプロジェクトを実現するための協働体制を構築する。WPC 構造建物の汎用化を促進し、インドの住環境整備に貢献する。これらを目的としている。

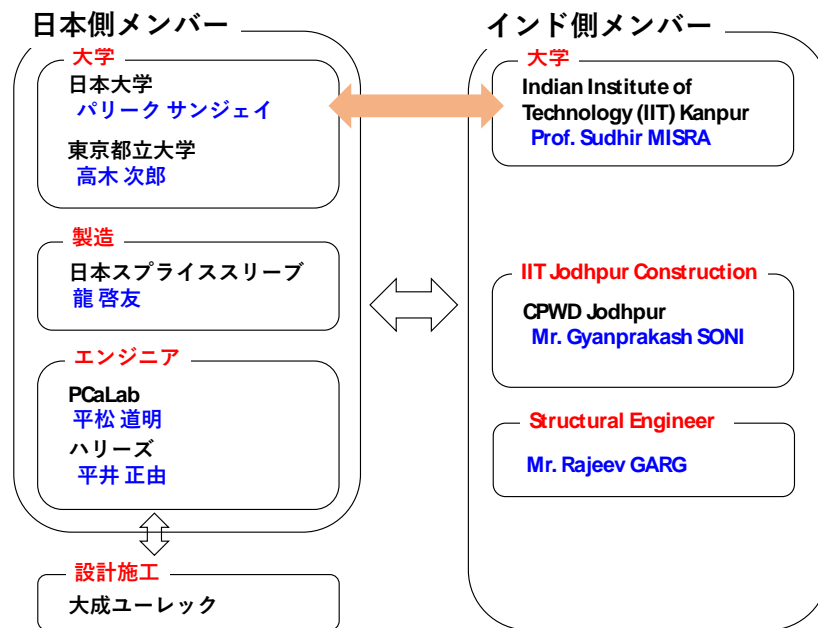
1. 3 事業の内容

本事業では (a)インド側メンバーの日本への招聘と、(b)日本側メンバーのインド訪問とシンポジウムの開催の2つを実施した。それらを通じて、インドに適した WPC 構造集合住宅建物の構成や詳細を考案すると共に、インドでの設計と施工に関する法規制や許認可の制度を調査し、今後のパイロットプロジェクトを実現するための協働体制構築を図った。

(a)「インド側メンバーの日本への招聘」では、WPC 構造の PCa 板の製造工場と建設現場の見学会等を開催した。また、インドの WPC の構成や詳細、耐震性、法規制、許認可の制度等について議論した。

(b)「日本側メンバーのインド訪問とシンポジウムの開催」では、IIT Jodhpur の学生寮の建設現場を視察し、施工精度や工程手順等を確認した。シンポジウムでは、日本、インド双方が WPC 工法の概要や実績、耐震構造の研究などを紹介した。また、政府関係者や研究機関との間で将来的な協働体制の構築を図った。この他、デリーのインド中央公共事業局 (CPWD) 訪問を行い、協働体制の構築を図った。

事業の実施体制図は図 1. 3、実施工程は表 1. 1 の通りである。



項目	令和 5 年度											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
・相手国との調整	[Solid bar from April to December]											
・相手国からの代表団の招聘 日本の WPC 建設環境視察							[Solid bar]					
・日本から現地への代表団の 派遣現地視察 シンポジウムの開催									[Solid bar]			
・インドに適した WPC 工法の 検討 ※				[Solid bar from July to December]								
・報告書作成										[Solid bar]	[Solid bar]	

図 1. 3 実施体制図

表 1. 1 事業実施工程表

※、BIM を活用した日本の部材構成、防水部位の説明と紹介

2、インド側メンバーの日本への招聘（日本の WPC 工場と現場見学会の実施）

2. 1 実施概要

日本の WPC の現状をインドメンバーに知ってもらうことを目的として、2023 年 9 月 19 日（火）～21 日（木）の期間に次の①～④の見学会および⑤の技術交流を行った。

① 2023 年 9 月 19 日（火） WPC の工場見学（大成ユーレック川越工場）

意見感想：見学会では主に、製造スピードに関する PCa 板の養生方法（1 日で脱型するために必要な施設とコンクリートの調合）、製造品質に関するベットの剛性、建物の耐震性に関する接合部に関心が向けられた。

② 2023 年 9 月 20 日（水） WPC 集合住宅の現場見学（大成ユーレック建築現場）

意見感想：見学した物件（8 棟 5 階建）の総工期が 18.5 ケ月であったことから、IIT 学生寮（3 棟 4 階建）の総工期 8 か月に比べて長いのではないかとの意見があった。なお、単純に総施工延べ床面積を全体工期で除して比較した場合、1 か月あたりの延べの施工床面積は、見学した物件が 5,081m²/月、インドが 3,313m²/月である。この他、WPC の東京周辺における建築費は 2300 ドル/m²程度、一方インドの建築費は 500 ドル/m²程度である。日本の建築費はインドの凡そ 4.6 倍になるとの情報が得られた。

③ 2023 年 9 月 21 日（木） WPC 戸建住宅の現場（レスコハウスの建築現場）

意見感想：部材形状の共通化、運搬性を考慮した躯体システム、ボルト接合の有効性、部材の薄さ等を確認した。

④ 2023 年 9 月 21 日（木） スリーブ継手試験所（ニスコテクニカルセンター）

意見感想：スリーブ内にグラウトが確実に充填される状況等を確認した。

⑤ 技術交流、意見交換

技術交流として次の 1)～4)のテーマの発表を行い、意見交換を行った。

1) プレキャストパネルシステムの構造の適性について: Dr. K. K. Bajpai (IIT カンプール)

2) 工期短縮を目的にプレキャストパネルシステムを採用した実施例: Gyanprakash Soni(CPWD)

3) 大成ユーレックの WPC 建築の歴史および実績紹介: 鈴木園子 (大成ユーレック株式会社)

4) 日本の技術紹介: 平松道明 (株式会社 PCaLab)

意見交換では、インドへの導入の可能性について次の課題を共有した。

1) インドへの技術導入にあたってはコストの確認と専門工事業者の確保が問題である。

2) 部材、部品、材料等の完成品（コンポーネント）については詳細情報の提示があれば直ぐに導入の可能性がある。

3) インドの設計法の理解について、お互いの国の設計条件等を確認するため、一つのプランの構造設計を両国でそれぞれ行うプログラムについての意見交換を行った。

4) 建築システムの導入にあたっては、モックアップを活用するなどにより、詳細の把握、作業性確認を行っていく必要がある。また、裏付けとなる数字的根拠が必要である。

5) 教育プログラムの検討が必要である。

- ③ History and composition of Precast concrete panel system in Japan: Mr. Hiramatsu
日本の WPC 工法開発の歴史と施工の概要が示された。
- ④ Experiments & Testing for Precast panel system : Dr. S.D. Bharti (MNIT Jaipur) ※ 1 参照
- ⑤ Precast RCC Technology in India: Mr. Sai Prasad Kudale (From M/s BG Shirke) ※ 2 参照
- ⑥ Design & Construction of Precast Panel System: Mr. Kulbhushan Gupta (KBG engineers) ※ 3 参照
- ⑦ Advantages & Quality Control: Mr. Hirai
WPC が発展の背景、工期短縮によるメリットについての説明。
- ⑧ Joint Technologies: Mr. Ryu and Mr. Omura
スプライススリーブジョイントの開発の歴史、採用実績、仕様が説明された。
- ⑨ Seismic design & Research: Dr. Takagi
日本の WPC 工法の概要、接合部のモデル化とこれを用いた解析の例が示された他、本プロジェクトの目標が説明された。
- ⑩ A case study in using Precast Panels for Rapid construction: Mr. Gyanprakash Soni ※ 4 参照



(a) 発表メンバー



(b) 意見交換の状況

写真 3. 2 シンポジウムの実施状況

※ 1、④の概要

- ・プレキャストと現場打ちの比較しながらインドにおける大量供給の可能性が示された。また、懸念事項として、地震被害の例（写真 3.3 参照）を基に接合部の強度、靱性の問題などが挙げられた。
- ・プレキャスト建築に関する研究概要として、PRESSS プログラム（1991-2000 日米共同研究開発）、SAFECAST プログラム（2009-12 欧州 7 カ国と中国(産業界、協会、大学)から 16 社が参加）の概要などが紹介された。
- ・インドのプレキャスト建築について、学士レベルでは塑性変形までの教育がされていないことなどの問題点が指摘され、また、大学の研究施設が紹介された（写真 3.4 参照）。



写真3. 3 インドにおける地震被害の例



写真3. 4 大学の実験施設

※2、⑤の概要

シルケ社（1994年設立の社員数約10000人規模のゼネコン）におけるWPC建築の低層から超高層までの実績、インド国内に所有（5～6か所）工場の紹介、PCa板を工場から200km程度まで運搬している状況が紹介された。（写真3.5、3.6参照）



写真3. 5 超高層のWPC建築



写真3. 6 製造ライン

※3、⑥の概要

KBG社（CPWDとの関係が強く、IIT学生寮の建築も行っている。BIMを用いた設計に長けている）の多様性に富んだWPC建築実績が紹介された。（写真3.7、3.8、図3.1参照）



写真3. 7 サイト工場



写真3. 8 WPC実施例



図3. 1 BIMを用いた設計

※ 4、⑩の概要

インド工科大学 (IIT) ジョードプル校学生寮 (WPC 工法) の建築工事における工法選定から竣工までの概要が示された。そして、次に示す WPC 工法を実現するための条件、工事の実施を通して得られた知見が示された。

(WPC 工法を実現するための条件)

1) 経済的に実現可能であること 2) 費用対効果が十分であること 3) 必要な労働力を確保できること、
4) 必要な技術を利用できること 5) 必要なスキルが確保されていること 6) 競争市場が構築されていること 7) 代替リソースの利用が可能なこと 8) プロジェクト自体が WPC に向いていること 9) 繰り返しの要素が多いなどのメリットがあること (型枠の転用回数が大きいこと) 10) 敷地条件が合っていること 11) クレーン等の機材を確保できること。

(工事の実施を通して得られた知見)

1) プレキャストの課題として、部材の共通化、構造設計手法の改善、環境配慮が挙げられる 2) 技能労働者バンクの創設など、技能労働者確保のための体制整備が必要である 3) 漏水対策を行う必要がある 4) プレキャスト RCC と塗装/御影石/フレームなどの異種材料の接合ソリューション 5) 現場でのテストが可能な試作実験の実施 6) 耐久性確保と健全な構造躯体を構築するため、より優れた品質管理が必要である 7) 持続可能: コンクリート/型枠などの消費量が少なくなる 8) 計画段階での十分な検討が重要である: 十分な検討を行うことにより、後での調整も可能になる 9) 資材調達はプロジェクト管理上重要である 10) 反復要素が多いと、建設のペースが速くなる。また、ミスが減る。

3. 5 インド中央公共事業局 (CPWD) 訪問

日本メンバーによる日本の技術紹介と意見交換が行われ、CPWD から次の意見が示された。(写真 3.9、3.10 参照)

- 1) 雨量がインドの 2～3 倍の日本において検証された防水システムは、受け入れられる
- 2) CPWD のグリーンクレジット政策は、来年には持続可能な建物にも適用される予定である。このため、すべての建物が持続可能なものになる。そして、本プロジェクトの支援がインドでの持続可能な建築建設の前進に役立つと考える。
- 3) 日本において震源近くでも WPC 建物は被害を受けなかった。
病院、学校、ホステルなどの公共構造物は、大地震後も無傷で機能する必要がある。これらのことを文書化していきたいと考えている。



写真 3. 9 意見交換会の状況



写真 3. 10 局長からの記念品授与の状況

4. インドに適した WPC の検討

事業を通してインドにおける WPC の課題を見出し、次の①～④の主な課題について検討を行った。

① 漏水

(屋根防水) 屋根の全面防水を行う前に打継部の線防水を行うことで漏水リスクを低減できる。

(壁の防水) インドでは壁の打継部、接合部にシーリングを行わないケースがある。シーリングを行わない場合、何らかの対策が必要である。シーリングを行う場合、施工技術が確保されるまでは、シーリングを2重に施工することで漏水リスクが低減する。

(水切りの設置) 庇を伝って浸入する雨水については、水切りの設置が有効との意見が示された。

② 接合工法の改良

スラブ-スラブ接合部の接合筋については、鉄筋量が過剰との意見が示された。接合筋量を低減することで、フル PC の採用が可能となり、トップコンクリートまたはモルタルの打設量の低減も見込める。この他、工期短縮、屋根防水工法に線防水を採用できるなどのメリットがある。

③ 耐震性の確認

次の1)、2)を行うことにより、WPC の耐震性に関する信頼が向上すると考える。

1) 各種接合工法に関する検証実験を行う (スリーブジョイントの強度性能、施工品質の確認)

2) 接合部を含む解析法の確立

④ 部材精度と施工精度の向上

部材製造技術、現場施工精度については未確認な点が多い。現状の施工技術レベルの確認を行うことで今後の改善に向けての検討が行えるようになると考える。

5. 事業の成果

事業を行った成果としては次の①～⑤が挙げられる。

① インドにおける WPC の課題を見出した。

② インド中央公共事業局 (CPWD) 局長との間で、本事業の有効性を確認し、また、事業継続に対する同意を得た。

③ インド工科大学 (IIT) ミスラ教授との友好的関係を築くことができた。

④ マラヴィヤ国立工科大学バーティ教授との間で、今後の共同研究に関する合意があった。

⑤ インドの民間企業 (シルケ社) が、WPC の高いレベルの技術を所有していることが分かった。(ただし、地震がほとんど無いインド南部での実績に限られ、耐震設計に関しては経験が無い印象であった。) また、同企業との情報交流が可能になった。

6. 今後の展望

インドにおける WPC の課題解決の他、次の①～③を実施していきたい。

① 日本の既往の技術の活用 (部材、材料等の販売)

技術交流を継続する上で、日本の産業に対するメリットを考慮することは重要である。次項の実施は日本にもメリットがあると考えられる。

1) 防水工法の提案と合わせて、日本の材料を紹介する (日本語技術資料の翻訳が必要)

2) 接合部材の強度性能の実証実験を行った上で、日本の高性能の継手部材を紹介する。

3) 日本の接合技術の積極的な紹介を行う。(病院等の重要建築物での日本の高い技術の採用)

- 4) 樹脂型枠といった、リサイクル可能な環境配慮型の技術の紹介
- ② 日印両国の技術力向上を目指した技術協力（日本に必要な技術の開発）
- 次の項目実施は日本において有効である。両国の技術向上の為ぜひ実施したいテーマである。
- 1) 高強度材料を使用した接合部の強度確認実験（WPCにおいて高強度材料の使用を可能にする）
- 2) 接合部の変形を考慮した設計手法確立（変形を考慮した WPC の設計を可能にする）
- ③ その他、断熱工法、教育プログラムなどで日本の技術を活用していく

7. 総括

本事業で予定したことの実施状況を表 6.1 に示す。これらの実施により、インドとの協力体制が確立され、今後の展望を見いだすことができた。本事業で行った調査の結果を今後につなげていきたい。

表 6. 1 本事業で予定したことと、その実施状況

項目		実施状況		成果、課題	総括	
日本訪問	1	工場見学の開催	○	ユーレック川越工場見学		認識されたこと ・断熱工法の違い
	2	中層建物の現場見学の開催	○	ユーレック公社ハイム見学		・目地防水工法、納まりの違い
	3	戸建建物の現場見学の開催	○	レスコハウス見学		・日本の部材品質、施工精度の高さ
	4	継手試験場見学の開催	○	スプライススリーブ試験場見学		・接合部のコンクリート打設の自由落下高さが日本は高過ぎ ・全体工期はインドの方が短い
	5	インドWPCの見直し	○	日本側にて検討（主筋の接合、鉛直接合部）		主にインド側の現状報告を受けた ・プレキャスト場合地震時に接合部で壊れている。接合部は耐震性の弱点となる。
	6	構成の改善の可能性	○	日本側にて検討（合成床板の有効性）		・インドにおける施工手順の概要を確認した
	7	詳細改善の可能性	△	詳細については、十分な確認ができていない	防水納まりなど、詳細の確認が必要	
	8	耐震性の議論	○	重要性を共有		・法規制などの詳細把握のためには、深い技術交流が必要（潜入調査を行うなど）
	9	法規制の議論	△	議論の継続が必要	法規制については十分な把握ができていない	・接合工法の決定は、提案ディテールをCPWDがチェックしてOKなら採用としている。
	10	許認可制度の議論	○	CPWDの承認で完了		
インド訪問	1	IITJodhpuru 視察	○	概要説明、竣工物件の見学	写真では見えない仕上げ状況が確認できた	インド側の興味 ・接合部強度と耐震性
	2	施工精度の詳細確認	△	確認の継続が必要	管理基準を確認していない	PCは接合部で壊れる。（接合部の十分強度確認、強度検証が必要）
	3	工程手順の詳細確認	△	確認の継続が必要	断熱工法など、一部の詳細を把握した。	・防水工法 PC工法の欠点は漏水との認識がある。工法・材料に関して興味がある
	4	改善の可能性打合せ	△		ディテールを把握しないと進めない。	・断熱 具体的になっていないが、興味があると感じる。（断熱を含めた技術交流が有効か？）
	5	許認可制度の綿密な打合せ	△	CPWDの承認で完了	法的文書の確認が必要	
	6	シンポジウム開催	○	参加者〇名（別紙）	有効な関係構築が図れた	
	7	日本のWPC工法の概要紹介	○	図と写真を使って施工概要を説明		その他、技術交流が有効と考えられる点
	8	日本のWPC工法の実績紹介	○			・断熱、仕上げ、一体化PCa板の開発 ・レリーフ型枠技術（砂岩模様仕上げ）
	9	インドPPS先端技術の紹介	○	フリーライン工場と超高層建築	民間企業の技術レベル把握が必要	・石材の加工（インドにおける石材の加工技術不明）
	10	耐震構造の研究の紹介	○	接合部解析モデルの紹介	共同研究の推進について合意	・雨仕舞ディテール ・オープン目地ディテール
	11	政府関係者との協力体制	○	技術交流継続の合意	技術交流の継続について合意	・接合部を含む建物の構造計算の手法 ・民間企業の技術レベル（個別認定レベル）は高い。民間企業の調査も行うとよい
	12	政府機関本部訪問、技術紹介	○	技術交流の重要性を認識	技術交流の継続について合意	
	13	不動産関係者との協力体制	—	次年度以降の課題	参加者無し	
	14	設計者との協力体制	△	協力体制確立の継続的協議が必要		
	15	ポスター展示	○	実績、工法概要、接合技術、防水工法、その他	防水工法の説明に活用	