

南極昭和基地建物のプレファブリケーション システムの変遷について

佐藤 稔雄*・平山 善吉*

On the Transition of the Prefabrication System of Buildings Constructed at Syowa Station by JARE

Toshio SATO* and Zenkichi HIRAYAMA*

Abstract: The total floor area of buildings at Syowa Station in Antarctica is 4400 m² and about 80% of these buildings is prefabricated. This paper aims at reviewing the significance and the transition of prefabrication of buildings since the establishment of the station in 1957 with reference to the problems of design and the new proposals by the authors. To evaluate the superiority of prefabricated buildings, the construction speed and the labor were calculated on the basis of construction days and floor areas.

要旨: 現在、南極昭和基地にある建物は 4 400 m² に達し、このうち約 80% がいわゆるプレファブリケーションシステムによる建物である。ここでは、これらの建物の建設日数と延べ面積から建物別の施工速度と労務工数を求め、著者らが設計上直面した課題と今までに試みた新提案に着目して、プレファブ化の意義や変遷をたどってみた。この結果、基地の設営状況、特に施工速度は日本国内に比べて群を抜いて早いことがわかった。

1. プレファブ建築の変遷と現状

1984 年現在、南極昭和基地にある建物の総面積は約 4 400 m² である。1957 年の基地開設以来の建物の種類、床面積、施工の概要を表 1 に示した。これらの建物の約 80% はいわゆる組み立て建築である。すなわち、表 1 の第 3 列の本建築と第 4 列の冷凍庫がこれに当たり、残りの約 20% は第 5 列に示す通路など仮設物で、ほぼ現地施工によるものである。なお、ここでいう組み立て建築（以下「プレファブ」という）とは、建物の主要構造材である柱、はり、床、屋根、壁、土台、基礎および接合部などがあらかじめ工場で製作されるばかりでなく、現場での組み立て工程にもある程度の標準化、機械化が行われ、施工速度や労務工数など一定信頼性のもとでの経済性の向上に有効性が認められるものと定義しておく。

プレファブのうち、18.7% は国内で市販されている既製のプレファブか、またはこれを若干南極用に補強改良した建物で、表 1 中 * 印を付した建物とすべての冷凍庫がこれに含まれる。残りの 81.3% は特に南極観測用に考案されたプレファブで、これらの中には内地のプ

* 日本大学理工学部建築学教室。Department of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University, 8-14, Kanda Surugadai 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 101.

表 1 昭和基地建物と施工実績
Table 1. Buildings at Syowa Station and results of construction.

(1) 年 (隊次)	(2) 本 建 築 物 名	(3) 本建物延 べ床面積 (m ²)	(4) 冷凍庫延 べ床面積 (m ²)	(5) 通 路 等 仮設面積 (m ²)	(6) (5)/(3)+(4) (%)	(7) 建設日数 (日)	(8) 建 設 延べ人員 (人)	(9) (3)+(4)/(7) (m ² /日)	(10) (8)/(3)+(4) (人工/m ²)
1957 (1)	娯楽棟, 旧気象棟, 旧地学棟	120.9		54.0	44.7	△ 12	87.0	10.1	0.7
1959 (3)	—			9.7	∞	×			
1960 (4)	医務室	23.0	JARE-5 → (5.4)	10.5	37.0	×			
1966 (7)	通信棟, 旧電離棟, 地磁気室, 発電棟, 予熱室*, 旧飯場棟*, 旧送信棟*	284.9	13.0	224.4	75.3	△ 38	323.0	7.8	1.1
1967 (8)	観測棟, 食堂棟, 作業棟, 放球棟, 旧地震感震 室, 管制棟	391.9	7.4	105.4	26.4	○ 35	598.0	11.4	1.5
1968 (9)	発電棟*, 居住棟	352.0		191.8	54.5	△ 36	500.3	9.8	1.4
1969 (10)	居住棟, レーダーテレメーター棟, コントロー ルセンター, ロケット組み立て調整室, 作業棟	374.4		76.2	20.4	○ 43	650.5	8.7	1.7
1970 (11)	ロケット発射台, 観測用倉庫*, 倉庫*, 地震感 震室*	448.6		1.5	0.3	○ 36	641.0	12.5	1.4
1971 (12)	—			18.0	∞	×			
1972 (13)	居住棟, 推薬庫	167.0		48.5	29.0	○ 35	324.5	4.8	1.9
1973 (14)	気象棟, 気象棟前室*, 工作室*	179.2			0.0	△ 55	415.0	3.5	2.1
1974 (15)	環境科学棟	100.8	15.4		0.0	○ 32	165.0	3.2	1.6
1975 (16)	送信棟	72.0			0.0	○ 16	291.0	4.5	4.0
1976 (17)	ロケット暖房機室, 作業棟防雪屋根*	27.8			0.0	△ 12	124.0	2.3	4.5
1977 (18)	電離棟	100.8			0.0	○ 15	259.0	6.7	2.6
1978 (19)	地学棟, 水素ガス発生室*	108.5			0.0	○ 17	186.0	6.4	1.7
1979 (20)	夏期隊員宿舎 (基礎工事のみ)	151.2			0.0	×			
1980 (21)	夏期隊員宿舎	302.4		20.8	6.9	○ 38	381.0	8.0	1.3
1981 (22)	情報処理棟	93.6			0.0	○ 22	248.5	4.3	2.7
1982 (23)	新発電棟 (基礎工事のみ)	290.4			0.0	○ 37	525.0	7.8	1.8
1983 (24)	新発電棟	425.5	38.8		0.0	○ 37	523.0	12.5	1.1

レファブ建築に影響を与えたもの、あるいは南極固有の建設条件に十分対応したものもある。また、これらの建物で特記しておくべき事は、建設労務を提供された隊員や船の乗組員のほとんど（恐らく 95% 以上）が建築技術や技能の保持者ではないということで、これらの方々の功績をたたえたい。

そこで、プレファブに焦点を当て、現地の施工実績を調べ、設計上直面した課題と新提案に着目して、プレファブ化の意義や変遷をたどることにする。

なお、設計製作体制および諸経費については必ずしも詳細を極めていないが、国立極地研究所事業部に保管されている関係資料があるので、ここでは割愛した。

表 1 には施工実績がまとめてある。第 6 列は各年次の非プレファブ化率、すなわち、在来工法による建物の面積率を示す。過去 27 年間で在来工法が前半期に集中しているのは、基地の設営にとって、特に初期に現場施工が避けられなかったこと、新基地建設にあたって、完全プレファブだけが万能ではないことを示している。

第 7 列に建設日数、第 8 列に建設延べ人員を示した。これらは日本学術会議南極特別委員会（第 1-5 次観測隊）、南極地域観測統合推進本部（第 7-13 次観測隊）および、国立極地研究所（第 14-23 次観測隊）発行の各南極地域観測隊報告と同設営専門委員会資料より求めた。また、第 7 列の○印は詳細な工事記録のあるもの、△印は「ふじ」などからの支援人数などが不明のもの、×印は工事記録のないものである。

第 9, 10 列は、それぞれ施工速度と労務工数がある程度反映する数値である。もっとも、この数値の根拠となる工事日数や、延べ人員の算出方法には各観測隊で相当の違いがあり、また、記録の欠落部分もあるから、厳密なものではなく、筆者らの推定部分を入れて補正してある。

補正の方法の一例を示すと、例えば 1968 年の観測隊報告には工程表に人員割り当ての明細がないので、そこに示してある各部門の棒グラフの線分全長比を求め、記載の総延べ人員を比例配分した数値を採用したことなどである。

他方、基準となる数値も、その選定に問題がある。少し古い例だが仮りに内田（1968）が紹介した軽量鉄骨建築協会による「鉄骨系プレファブ住宅設計指導書」では、基礎現場工法の軽量プレファブ住宅の低限值は、面積 40-60 m² のプレファブ住宅の現場作業において、現場作業日数が 35-45 日、労務工数が 1.0-1.2 人工/m² となっているから、施工速度は約 0.9-1.7 m²/日となり、これに対し基地の施工速度や労務工数も意外に大きく、プレファブ化にとって一見矛盾した結果となっている。しかし、各観測隊工事報告の中には、南極特有の外的条件に基づく雑工事の影響も含まれていることを考慮に入れなければならないので、単純に国内の基準値をとることはできないだろう。また、設営上最大の制約条件は施工機械とも考えられるので、表 2 と表 3 に日本南極地域観測隊第 23 次隊報告(国立極地研究所, 1983a) と昭和基地要覧(国立極地研究所, 1983b) に基づいて作った基地現有の施工機械と施工車両

表 2 施工用機械一覧
Table 2. List of construction machines.

分類	用 途	施 工 用 機 械
1	測量および足場	レベル, トランシット, パイプ足場
2	整 地 A: 掘削 B: 積み込みおよび運搬	削岩機, ハンマードリル
3	基礎工事A: 地盤改良 B: 締め固め	
4	荷役 (クレーンなど)	
5	コンクリート工事	コンクリートミキサー (0.275 m ³), ふるい, 猫車, ベルトコンベア, 型枠, バイブレーター, シュミットハンマー
6	部 材 加 工	プレナー, 丸鋸, カンナ, ドリル, 鉄筋加工機, レンチ, サンダー, ジグソー, チェンソー, 溶接機, パイプ加工機, ボール盤
7	動力および保温保守	オイルポンプ, コンプレッサー, ヒーター, バッテリー充電機, ホットガン, 発電機
8	通 信	トランシーバー, ハンドマイク

表 3 施工用車両一覧
Table 3. List of vehicle for construction work.

年 (隊次)	分 類 (表 2 による)	施 工 用 車 両
1961 (5)	2, 5	農民車 1 号
1967 (8)	4	クレーン車 (Max: 2.9 t・7 m)
1969 (10)	2B	ダンプカー (2 t), D50A ブルドーザー
1970 (11)	2, 5	農民車 2 号
1971 (12)	2B	ランドクルーザートラック
1972 (13)	2, 5	農民車 3 号 (トレーラー付)
1976 (17)	4	クレーン車 (TSD 40) (Max: 4.9 t・7 m, 3.5 t・11 m, 0.8 t・17 m)
	2B	ラジオコントロールブルドーザー (10 t)
1977 (18)	2B	ダンプカー (3 t), ショベルカー (D31Q15)
1978 (19)	2B	ランドクルーザートラック, トラック (HONDA ACT-90), トラック (HONDA FL-250), オフロードカー
	4	フォークリフト (FDT-25)
1980 (21)	2B	ショベルカー (D31Q16 バックホー付)
1981 (22)	2B	ダンプカー (4 t), ショベルカー (モロオカ)
1982 (23)	2B	トラック (HONDA ACT-185)
	4	フォークリフト (FD25-7), クレーン車 (0.95 t)
	3B	振動ローラ (JV16)
	7	エアーコンプレッサー (EC-752-1)

を示した。表2では用途別に分類番号を付けて分類し、表3では搬入年次が分かっているのでその順に分類した。これらから1983年現在ほぼ必要最小限の施工機械と車両はそろっているが、特に南極用に開発されたものを一つも含んでいない点に注意する必要がある。恐らく素人の隊員にとって短期間の訓練で習熟するのが困難なものもあったのではないかと思う。基地建物の施工速度は国内と比べても抜群の早さで、これは隊員の熱意もさることながら、プレファブ化のもたらした最大の功績といえよう。他方、労務工数に $0.7\text{--}4.5$ 人工/ m^2 の幅があるが、これは主として雑工事の有無、特に現場位置が材料置場から遠かったり地形がトラックなどの運転に適さなかったりしたこと、1戸当たりの延べ面積が $5.8\text{--}425.5$ m^2 と幅があること、RC基礎工事の有無、あるいは素人の隊員による現場施工技能の熟練度に相当の開きがあったことなどが想定される。例えば建設する建物自体はほぼ同じ条件と見られる1974、1975、1977年における労務工数の違いは主に建設地形によるものと思われ、1957、1966、1980、1983年に低限值近くの 1.3 人工/ m^2 以下となったのは、RC基礎工事がなく、組み立て現場が集中していたことが最大の原因であろう。

表3の施工車両搬入年次と労務工数に一見相関がないが、これは前述のように、これら車両が南極用に開発されたものでなく、基礎工事などでは機械操作の難易度にかかなりの相違があったためであろう。以上施工機械については、今後の保守点検も含め、使用効率といった面について論ずる必要があるが、これはむしろ今後の課題となろう。

2. プレファブ建築の改良点

プレファブの基本的考案とその改良案とみられるものはいろいろある。そのうち、ロケット発射台の上屋（ロケットドーム）のように設計製作はされたが、ヘリコプターによるつり下げ運輸の途中故障でGコラムの1本を落とし建設できなかった例を除くと、ほぼ満足すべき状態にある。設計上新しい提案を入れ、初めて実現した建物を表4に示した。これらの建物には1967年以降、セルフフォーミングのRC現場打ち基礎が用いられたが、その上部構造は、造作も含めて解体移築の可能な完全プレファブである。現場での仕上げで残されているのは床の仕上げ材にゴムシートを張る工事と、特に屋根パネルのめし合わせ部に防水用のコーキングを施すことか、防水用シートを取り付けることぐらいである。このコーキング材は既に1957年にエバーシールが使われたが1967年以後はより改良され、かつ安価となったシリコン系コーキング材が使われるようになった。

プレファブ建築設計上最も重要なモジュールの決定には、ヘリコプターのキャビンの広さ、使用できる建設機械、施工日数の制限、作業に従事する隊員が扱える1個あたりの重量や大きさなどが関係してくるが、輸送条件が優先された。また、防災上不燃材料の使用も重要案件の一つであったが、上述の絶体条件のため1967年で準不燃化材料（センチュリーボード）をパネル内側片面に張って妥協せざるをえなかった。しかし、昭和基地がもし今後新建築に

表 4 プレファブリケーションシステムの変遷
Table 4. Transition of prefabrication system.

建 物	工 法 上 の 新 提 案
娯 楽 棟 (1957)	木質断熱パネル (WP), 平くさび式コネクター, 合成ゴムパッキング, 補強用鋼はり (SB), エバーシールコーキング材, ステークワイヤ, ペアガラス
発 電 棟 (1966)	軽量鉄骨骨組み内蔵のアルミパネル, 立くさび式コネクター, ジャッキアップ基礎
観 測 棟 (1967)	準不燃化木質パネル (WCP), シリコン系コーキング材, 平くさび式短冊形コネクター, 人工軽量骨材(第8次観測隊のみ), セルフフォーミング RC 基礎, 結合材, 高床, PC 鋼棒による軽量鉄骨アーチと曲板木質パネルの結合
作 業 棟 (1967)	
ロケット組み立て調整室 (1969)	WCP 内蔵の結合材付き鋼骨組み (SCF), 高力ボルト, ハニカムばり, 軽量 RC 床パネル
ロケット発射台 (1970)	
環 境 科 学 棟 (1974)	WCP と結合材付き SB (SCB) の結合
夏期隊員宿舎 (1980)	SCB 鉄骨骨組み内蔵の2層 WCP, 定規用 H 鋼基礎ばり
新 発 電 棟 (1983)	2層 SCF, 壁特注鋼パネル, WCP 屋根パネルと曲面集成材

よって更新される場合には、蓄積されるであろう施工機械を計画的に搬入し、基地を不燃化材料工場のプラントに変えることなどによって、不燃建築も可能になるだろう。

なお、設計用風速は最大 60 m/s を常時荷重として扱い、1957 年では屋根上積雪は 2.0-2.5 m と見積もっているが、幸い昭和基地は露岩上基地であるので、1967 年以降は建物を高床として、床下を積雪を吹き払う空間とする形式が採られた。

居住空間に対する断熱性能は、外気温 $-50-5^{\circ}\text{C}$ に対して室内気温 $15-20^{\circ}\text{C}$ とし、1957 年の多孔質ポリスチレン (スチロポール) 入り断熱パネルから、発泡スチロールに難燃処理したハイラック入り断熱パネルとなった。このような断熱工法は現在ではプレファブ建物に広く行き渡っているが、我が国では南極の建物が恐らく最も早い使用例であろう。

以下、事例に則して説明すると、1957 年の娯楽棟の木質断熱パネル (WP) の枠組みのめし合わせ部にクロロプレン合成ゴムパッキングが使用され、また、当初想定された積雪量に対する屋根パネル補強用の鋼製はり (BS) を高価な仕口金物を埋め込んだ壁パネルで支えるようにした。また、パネルにはめ込まれた小窓にはペアガラスとその後の基地建物のスタイルを決定的にした平くさび式コネクターが使われている。これはコーキング材同様、保守手間がかかるという難点はあるが、解体可能な完全プレファブの開発と驚異的な施工速度の短縮とをもたらした主因ともなっている(佐藤ら, 1983)。

軽量鉄骨骨組みと断熱パネルの結合は、接合用金具の冷橋を避けることが非常に難しい。その一つの解決例が 1966 年の発電棟で使われた内蔵骨組みと外周パネルを結合する立くさび式コネクターであるが、この形式は柱脚と基礎の境界部分に冷橋が生じ易い。

他方デュモン・デュルビル基地 (フランス) の建物や後述のロケット組み立て調整室は反

対に骨組みとなる鋼ラーメンあるいはトラスをパネル外周に配置する形式である。基礎部分の冷橋を避けることはできても、建物外周に露出する骨組みの凹凸のため風の流線の平滑化に難点があり、また一般に力学上骨組みを強剛にすることが難しい。

例えば、ロケット組み立て調整室では、現地でつけ加えて二重になった屋根のすき間部分に、現場施工上やむを得ず生じた微細なすき間から雪粒子が吹き込み、それが融けてひどい雨漏りを起こした。これは後に十分なコーキング修理によって防ぐことができたが、保守手間を余分に要することになった。

このように、建物の強度と被覆性を共に満足させることが難しいので、1967年の作業棟では断熱性能を初めから放棄して、PC鋼棒で鉄骨アーチと木質パネルを一体化し、また、1980年の夏期隊員宿舎、1982年の新発電棟のような骨組みをパネル内部に収めるタイプの建物は、RC基礎とパネルの境界でできるだけ鋼材をコンクリート（金属よりは若干断熱性能が良い）で包むようにし、若干断熱性を犠牲にして、強度を優先させて設計している。

特筆すべきものは1967年の観測棟で使われた結合材である。コネクターを平くさび式短冊形コネクターと三角形コネクターの併用に改良し、これによりパネル間結合力を保証するだけでなく、環境科学棟（1974年）のように内蔵鋼ばりにも取り付けて鋼骨組みとパネルの結合力を保証し、しかも断熱性能も保持できる自由な設計が可能となった。

1979、1980年の夏期隊員宿舎と1982、1983年の新発電棟は、砕氷船「ふじ」の積載容量（500t）の制限のため、初年度にRC基礎工事、次年度に上部構造建設と2年度（ただし、後者は発電機200kVA 2基の設置を含めると3年度）にわたって建設した。したがって、RC基礎工事では定規用のH鋼基礎ばりまでを初年度に施工しておいて、次年度の製作、施工に支障のないようにした。これら完全プレファブの2階建てが短期間に少ない労務工数で完成したことは、建設担当者の適切な処置に負うところが大きい。現在の昭和基地の建設能力が十分国内のそれに匹敵するまでになったことを実証するものと言えよう。

特に新発電棟では、内地でも使用している0.5mm鋼板+硬質ウレタンフォームの標準910×5590×60mmのイソバンド（重量約61kg）を壁パネルに採用した。これはコーナー部分で必然的に不整形を生ずるので、その収まりは建物外周の強風に対する流線を滑らかにする目的もあって、集成材を曲面加工した役物材で直交する壁パネルや屋根パネルに接続させ、さらに結合材を介して鋼ラーメンに取り付けた。

結合材を初め数多くの新提案は、本質的にはくさび式コネクターとコーキング材の保守手間に問題が残されていると言うものの、新形式プレファブのほとんどの建物にそのままあるいは改良して使用され、基地プレファブ工法として定着し、現在に至っている。

文 献

国立極地研究所(1983a): 日本南極地域観測隊第23次隊報告(1981-1983). 東京, 166.

国立極地研究所(1983b): 昭和基地要覧, 1983年版. 東京, 43-45.

佐藤稔雄・平山善吉・近藤基樹・宇野隆之・生部圭助(1983): 旧地学棟建物の性能変化に関する試験報告. 南極資料, **79**, 55-88.

内田祥哉(1968): プレファブ. 東京, 講談社, 94 p.

(1984年12月15日受理; 1985年1月17日改訂稿受理)