

南極昭和基地第10居住棟の基礎コンクリートの調査

平居孝之¹・内藤正昭²・大井良典³・
大谷俊浩⁴・黒野 薫⁵Investigation of the concrete foundation of the old living hut built in 1969
at Syowa Station, AntarcticaTakayuki Hirai¹, Masaaki Naito², Yoshinori Ohi³, Toshihiro Otani⁴
and Kaoru Kurono⁵

Abstract: Concrete specimens taken from the pier of the concrete foundation of the old living hut built in 1969 at Syowa Station, Antarctica, were brought back to Japan for investigation of deterioration conditions. This concrete was made by mixing alumina cement brought from Japan with gravel, sand, and water removed from melted snow, all taken from the surface ground of East Ongul Island on which Syowa Station is located, and by placing and shaping it into permanent form. The pier concrete is examined by composition analysis, compressive strength test and neutralization depth measurement of the cored sample. Transformation of the hydration products of alumina cement, from CAH_{10} to C_3AH_6 and AH_3 , was found to be completed. The maximum neutralization depth was found to be 26 mm. In addition, the compressive strength decreased by 22% from the time of construction as judged from a specimen at construction time. Based on these observations, deterioration of the concrete is in progress, but not to the extent that either its strength or durability is a problem with regard to serviceability.

要旨: 建設後29年経過した南極昭和基地第10居住棟の基礎コンクリートのピア部分を持帰り、コンクリートの劣化状況の調査を行った。ピア部分のコンクリートは、内地から搬入したアルミナセメントと、南極昭和基地がある東オングル島の地表から採取した砂利と砂および雪解け水を混練して、捨て型枠に打設成型したものである。持ち帰ったコンクリートは成分分析、コア抜きした試験体による強度試験および中性化深さの測定を行った。アルミナセメントの水和物の CAH_{10} から C_3AH_6 と AH_3 への転移は終了している事が分かった。また、中性化深さは最大で26mmに達していた。さらに、建設時に作製した試験体を用いて行った強度試験結果と比較して、圧縮強度が約22%低下していることが分かった。これらの

¹ 日本文理大学工学部建築学科。Department of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Nippon Bunri University, 1727, Ichiki, Oita 870-0397.

² 日本大学短期大学部建築コース。Course of Architecture, Junior College, Nihon University, 7-24-1, Narashinodai, Funabashi 274-8501.

³ 旭硝子株式会社。Asahi Glass Co., Ltd., 6-1, Umei 5-chome, Takasago 676-8655.

⁴ 大分大学福祉環境工学科。Department of Human Welfare Engineering, Oita University, 700, Dannoharu, Oita 870-1192.

⁵ 株式会社ヤマックス。YAMAX Co., Ltd., 1-8, Oshiro 4-chome, Onojo 816-0911.

ことから、劣化は進んでいるが、強度と耐久性において使用上問題となるほどではないと考えられた。

1. はじめに

1969年に建設された南極昭和基地第10居住棟は、1998年時点で築後29年が経過している。第10居住棟は図1に示すように、基礎およびピアは鉄筋コンクリート、上部構造は木質パネルを用いたプレハブによる高床式の構造の建物である。立地条件を見ると、最低気温 -45°C 、最高気温 10°C 、最大瞬間風速 60 m/s という過酷な条件の地に基地は存在し、第10



図1 昭和基地居住施設
Fig. 1. Residence building at Syowa Station.



図2 基礎コンクリートピア部分
Fig. 2. The pier of the concrete foundation.

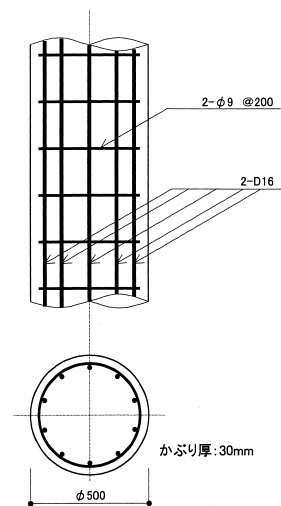


図3 配筋図
Fig. 3. Bar arrangement drawing.

表1 計画調合と実施調合

Table 1. Material ratio in concrete: plan and actual ratio.

	水	セメント	細骨材	粗骨材
計画調合 (kg/m ³)	139	350	794	1157
実施調合 (容積比)		1.0	3.5	5.0
推定実施調合 (kg/m ³)	120	299	827	1218

居住棟の構造および材料は、その条件のなかにおいて十分に耐えることが可能で、かつ建築が専門でない観測隊員でも建設可能なように設計された(平山, 1983)。

今回、その過酷な条件の下、29年経過した第10居住棟の基礎コンクリートのピア部分を持帰り、コンクリートの劣化状況の調査を行った。そのコンクリート塊を図2に示す。また、図3に配筋図を示す。ピア部分のコンクリートは、内地から搬入したアルミナセメントと、南極昭和基地がある東オングル島の地表から採取した砂利と砂、および雪解け水を混練して、捨て型枠に打設成型したものである。表1に計画調合と実施調合を示す。調合はスランプ8 cm、水セメント比40%で計画されたが、実際に行われた調合は計画調合と異なり表に示す数値の容積比で行われている。水量はセメントの使用量から計量されたと考えられる。実施調合欄に水セメント比40%、細骨材および粗骨材の密度をそれぞれ2.55 g/cm³および2.63 g/cm³(平山, 1983)、セメントの密度を3.23 g/cm³(推定)として、表中の容積比から推定した各材料の単位質量を示す。

2. 成分分析

2.1 分析方法

コンクリートの成分分析を行うため、基礎コンクリートピア部分の外周部と内部から小片を採取し、粉末にして試料とした。分析は表2に示す方法で化学分析と粉末X線分析を行った。

表2 分析方法

Table 2. Analysis methods.

試験項目	試験方法	装置	条件
化学分析	成分分析 炭素分析 I _g .Loss	JIS R 2216 に準拠 JIS R 2211 に準拠 JIS R 2212 に準拠	蛍光X線分析装置
粉末X線分析	粉末X線回折法 による鉱物固定	粉末X線回折装置	Target; Cu 電流・電圧; 40 kV・20 mA Scan speed; 2 deg/min Sampling step; 0.02

2.2 分析結果および考察

図4および図5に粉末X線分析結果を示す。また、表3に化学分析測定結果を示す。なお比較用にアルミナセメントのデータを示す。三島(1971)によると、アルミナセメントの強度の経時変化は図6に示すように、初期に存在する CAH_{10} が C_3AH_6 と AH_3 へと転移するにしたがって強度が低下する(第I期)、 C_3AH_6 と AH_3 の結晶が成長し強度が上昇する(第II期)、成長した C_3AH_6 と AH_3 が脱水され $C_{12}A_7$ に変化していくにしたがって再び強度が低下する(第III期)、その後強度が安定する(第IV期)に分類されるとある。粉末X線分析結果から

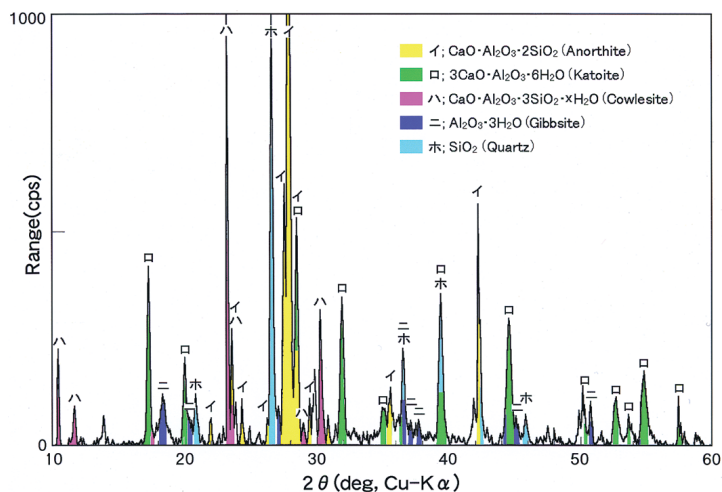


図4 外周部コンクリートの粉末X線分析結果

Fig. 4. Analysis result of outside concrete by X-ray diffraction microscopy.

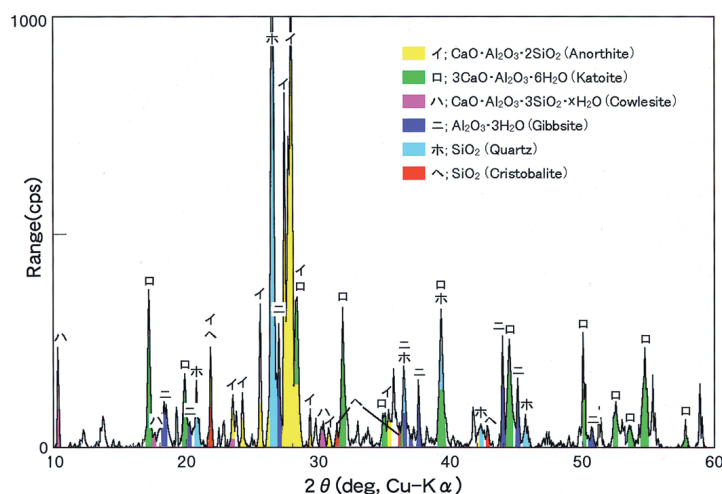


図5 内部コンクリートの粉末X線分析結果

Fig. 5. Analysis result of inside concrete by X-ray diffraction microscopy.

表3 化学分析測定結果
Table 3. Results of the chemical analysis.

分類項目	(質量%)		
	外周部	内 部	アルミナセメント
SiO ₂	52.3	47.8	4-5
Al ₂ O ₃	16.7	18.3	40-45
Fe ₂ O ₃	6.4	7.1	12-17
TiO ₂	0.93	1.1	2
Cr ₂ O ₃	0.02	0.03	n.d.
ZrO ₂	0.05	0.05	n.d.
CaO	8.9	10.8	34-37
MgO	2.1	1.7	< 0.5
Na ₂ O	2.5	2.5	< 0.2
K ₂ O	2.2	1.9	< 0.3
P ₂ O ₅	0.18	0.16	< 0.2
C	0.45	0.31	n.d.
Ig.Loss	6.5	8.1	n.d.

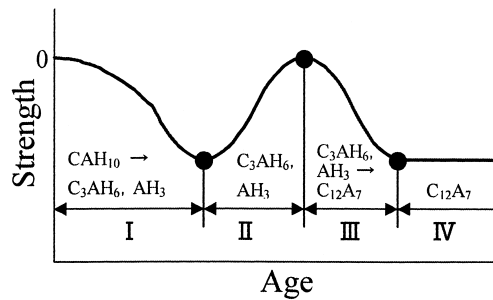


図6 アルミナセメントの転移と強度の関係
Fig. 6. Relationship between the transformation of alumina cement and its strength.

C₂AH₈の水和物は存在せず、C₃AH₆とAH₃が存在している。このことから、このコンクリートは第II期から第III期の間の状態にあり、アルミナセメントの水和反応とそれに続いて生じる転移はほぼ終了しているものと考えられる。しかしながら、同報告によるとアルミナセメントの水和物に変化していく時間は、それが置かれる周りの温度の低下にしたがって指数的に長くなっていくとあり、第10居住棟が存在する地点の最高気温である10°Cで計算した場合でも、第II期に入るまでの時間は非常に大きな値となり、変化しないとみなすことが可能である期間となる。また、このようは低温化で転移が進行するという実験結果も報告されていない。しかしながら、第10居住棟は建造されて29年であり、それと比較すると明らかに短い期間で転移していることになる。これは、アルミナセメント水和物の転移時間に温度以外の影響因子が存在していることを意味するが、今回の調査ではその影響因子を特定することはできなかった。また、通常見られないCAS3HXが存在しているが、これは長年の間に骨材から溶出したSiイオンとC₃AH₆およびAH₃が反応して生じたものと考えられる。

3. 強度試験

3.1 試験方法

試験方法は、まず図2に示す基礎コンクリートに対しシュミットハンマーによる非破壊強度試験を行った。次に基礎コンクリートを約15cmの厚さにスライスし、その後直径約68mmのコアを抜き取った。その写真を図7に示す。コアを抜き取った後、表面を乾燥させてフェノールフタレインによる中性化深さの測定を行った。抜き取ったコアは、直径に対する高さの比が約2になるように成型した後、圧縮試験を行った。



図7 コア抜き後のコンクリートピア

Fig. 7. The pier of the concrete foundation after core boring.

3.2 試験結果および考察

建設後29年経過したピアコンクリートの中性化は、全周の約1/3が最大26mmと大きく進行していたが、他の部分は1mm程度とほとんど進行していなかった。大きくばらついた原因として、最大瞬間風速60m/s以上、平均風速約6m/sの風が北東方向から卓越して吹くので、北東方向の風上に面した部分の中性化深さが深くなったためと考えられる。アルミナセメントを使用したコンクリートの中性化速度に関する研究がほとんど行われていないことから、中性化速度式の中で最も一般的に使用されている岸谷式で一般的な普通ポルトランドセメントと、そのなかで最も中性化速度が速い高炉セメント(スラグ60%前後)と比較した場合、水セメント比が60%以下の場合の式に最大値の26mmを代入すると、中性化に要する期間は普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントが相当の年数となり、中性化は進行しないとみなせるほどの値を示しているが、実際には今回の試験では非常に速く中性化していることになる。しかしながら、ピアコンクリートのかぶり厚さが30mmであり、主筋および

帯筋ともに発錆が確認されていないことから、中性化に関しては問題なかったと考えられる。式(1)に岸谷式を示す。また表4に式(1)に使用されているセメント種類別の中性化比率を示す。

$$t = 7.2 C^2 / R^2 (4.6x - 1.76)^2 \quad (\text{水セメント比 } 60\% \text{ 前後}) \quad (1)$$

ここに、 t : 期間 (年), x : 水セメント比, C : 中性化深さ (cm), R : 中性化比率

表5に非破壊試験による強度推定値(日本材料学会標準式より算出)およびこれまでに測定してきた強度推定値を示す。一旦低下した強度推定値が1990年に上昇し、その後再び低下している。これは、本試験体が、2.2節で説明した第III期にあると考えられ、成分分析の結果と一致している。1998年の強度推定値の低下が他と比較して大きいのは、試験結果のばらつきも考えられるが、上部構造による荷重が掛かっている状態ではなく、取り出したピアコンクリートに対して試験を行ったために低くなったものと考えられる。

コア試験体を実際に載荷して破壊するまでに耐えた最大荷重から測定した圧縮強度を表6に、また載荷時の圧縮応力度と圧縮ひずみ度の関係の代表例を図8に示す。1969年に持ち帰ったコンクリート試験体($\phi 150 \times 300$ mm)の圧縮強度が23.3 N/mm²であったという記録か

表4 中性化比率

Table 4. The neutralization ration.

普通ポルトランド セメント	早強ポルトランド セメント	高炉セメント (スラグ30-40%)	高炉セメント (スラグ約60%)	シリカセメント	フライアッシュ セメント
1.0	0.6	1.4	2.2	1.7	1.9

表5 コンクリートの強度試験結果

Table 5. Results of the compression test.

試験体 No.	密度 (g/cm ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
1	2.49	14.90	22.06
2	2.49	18.79	17.75
3	2.33	20.75	23.05
4	2.35	19.40	22.75
5	2.38	18.65	19.61
6	2.37	16.79	15.30
平均	2.40	18.21	20.09

表6 非破壊試験による推定圧縮強度の経年変化

Table 6. Secular change of the presumed compressive strength by the nondestructive test method.

実施年	1969	1972	1978	1990	1997	1998
経過年数	0	3	9	21	28	29
推定強度 (N/mm ²)	28.9	26.5	25.5	27.5	26.5	24.6
強度比 (%)	100	91.7	88.2	95.2	91.7	85.1

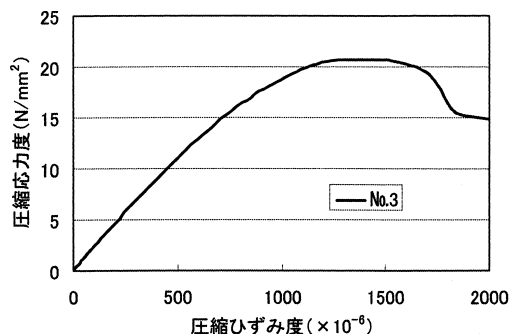


図8 圧縮試験結果

Fig. 8. Intensity of compressive stress-intensity of compressive strain curve.

ら、圧縮強度は29年で約78%に低下している。しかしながら、まだ十分に使用に耐える強度を保持していると思われる。

4. ま と め

建設後29年経過し、アルミナセメントが使用された南極昭和基地第10居住棟基礎コンクリートのピア部分の成分分析、中性化試験および、コア抜きした試験体による圧縮試験を行った結果以下のことが分かった。

(1) 成分分析の結果、アルミナセメントの水和物である CAH_{10} は検出されず、 CAH_{10} から C_3AH_6 と AH_3 への転移は終了している。

(2) 中性化は最大で26 mmと非常に大きく進行していたものの、主筋および帯筋に発錆は確認されず、中性化に関して特に問題はなかったと考えられる。

(3) 建設時の圧縮強度と比較して、コア試験体による圧縮試験では22%の低下が認められたが、まだ使用に耐える十分な強度を有していると考えられる。

謝 辞

本稿を作成するにあたり、三嶋清敬氏に貴重なご助言を賜りました。ここに記して深謝致します。

文 献

- 平山善吉 (1983): 昭和基地案内 (5) 建物. 極地, **37**, 45-57.
 平山善吉・平居孝之 (1987): 南極昭和基地における防火建物建設のための石膏コンクリートの利用に関する基礎的研究. 日本建築学会構造系論文報告集, **377**, 41-51.
 岸谷孝一・西澤紀昭他 (1997): 中性化. 技報堂出版, 34-40.
 三嶋清敬 (1971): アルミナセメントの強度特性. 窯業協会誌, **79**, 287-291.

(2001年7月16日受付; 2002年1月7日改訂稿受理)