

南極昭和基地第10居住棟基礎コンクリートの耐久性に関する研究

正会員 平居 孝之*1 同 内藤 正昭*2 同○大谷 俊浩*3

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、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である。(図1参照)立地条件を見ると、最低気温マイナス45℃、最高気温10℃、最大瞬間風速60m/sという過酷な条件の地に基地は存在し、第10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越冬員でも建設可能なように設計された¹⁾。

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ち帰り、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。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8cm、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。

表1 計画調合と実施調合

	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

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、図2に示す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線解析を行った。



図1 昭和基地居住施設

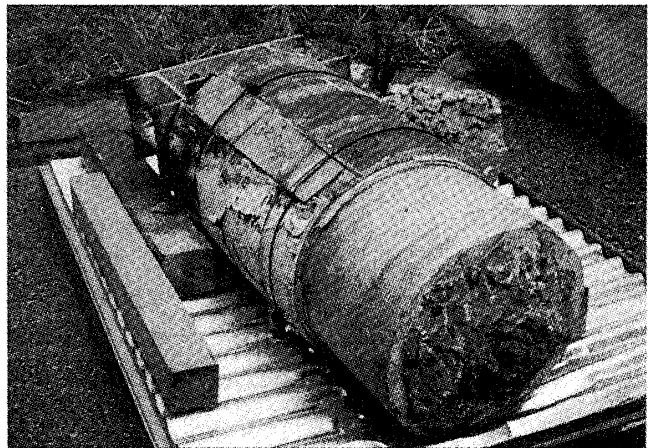


図2 基礎コンクリートピア部分

表2 分析方法

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

*1 大分大学教授・工博 *2 日本大学短期大学部講師・工博 *3 大分大学助手・工修

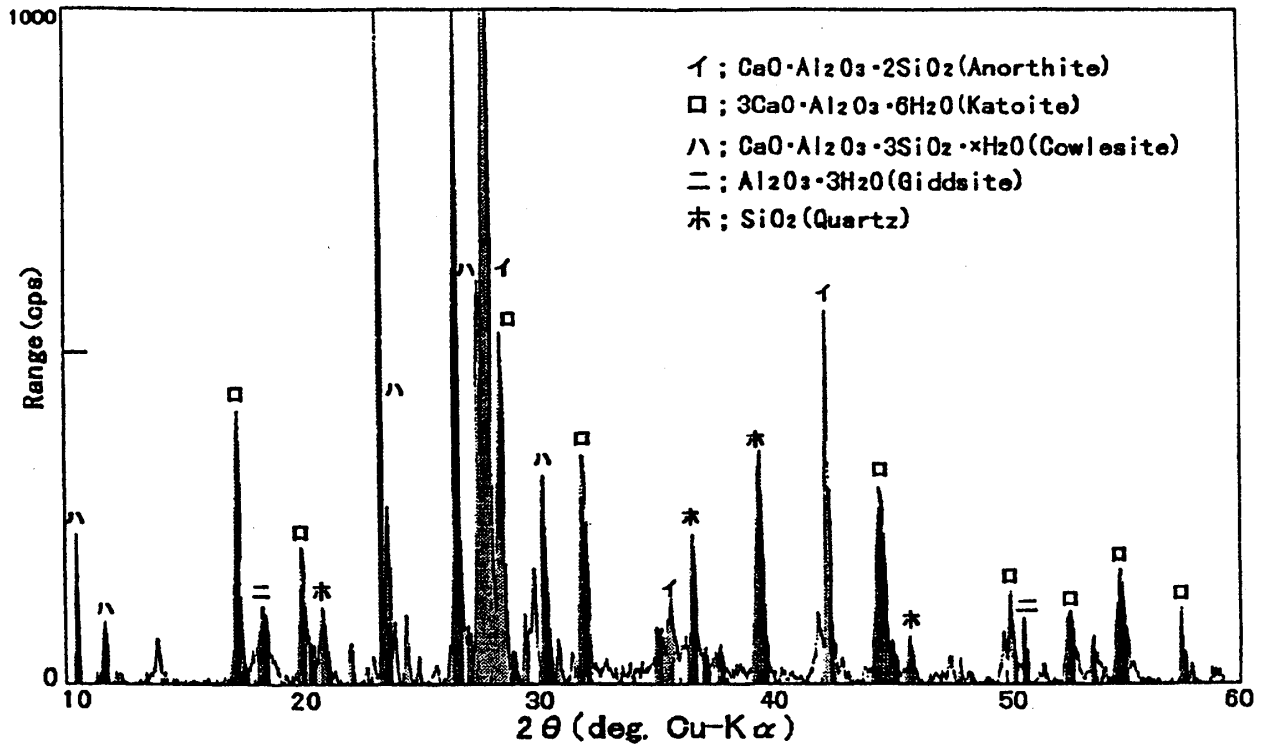


図3 粉末X線回折パターン (外周部)

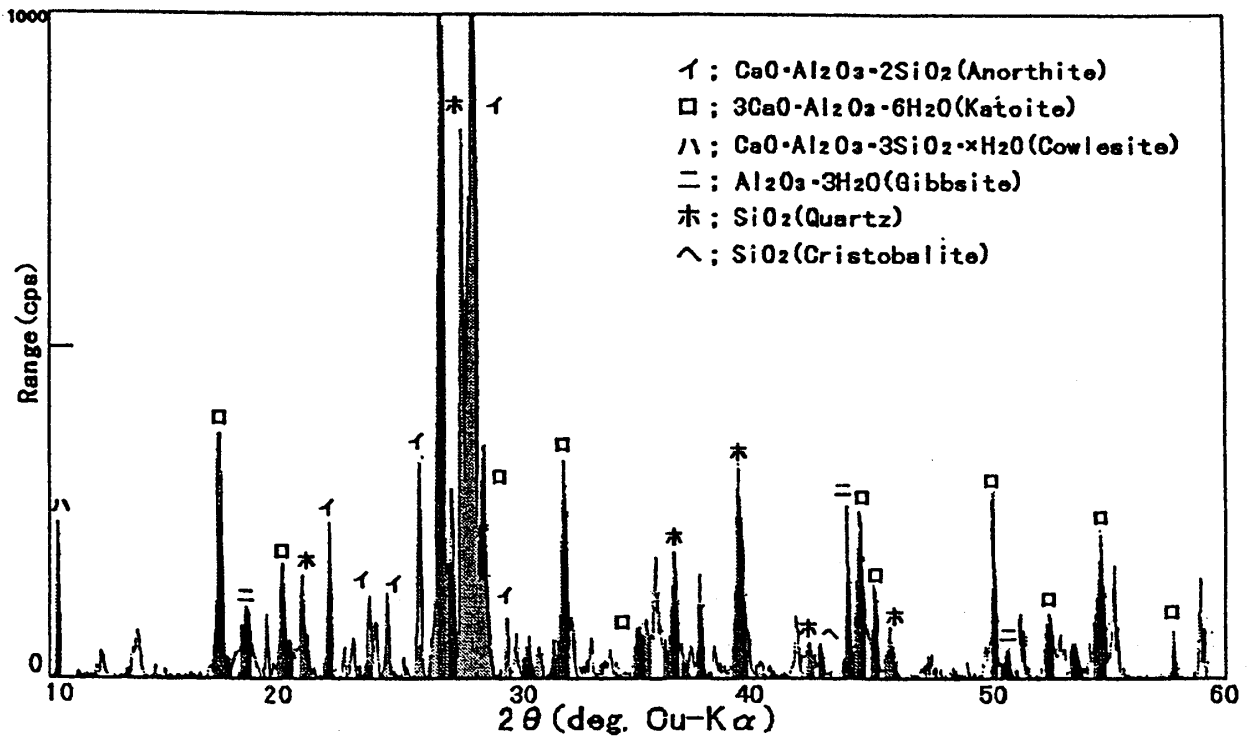


図4 粉末X線回折パターン (内部)

2.2 分析結果および考察

図3および図4に粉末X線解析結果を示す。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。三島氏の報告²⁾によると、アルミナセメントの強度の計時変化は、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線解析結果から C_2AH_8 の水和物は存在せず、 C_3AH_6 と AH_3 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、アルミナセメントの水和物の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²⁾とあり、第10居住棟が存在する地点の最高気温である $10^{\circ}C$ で計算した場合でも、第Ⅱ期に入るまでの時間は約1700万年になる。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 CAS_3H_5 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 C_3AH_6 および AH_3 が反応し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5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、H/Dが約2になるように成型した後、圧縮試験を行った。

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深さは、1mm~26mmであった。普通ポルトランド

表3 化学分析測定結果

分類項目	(重量%)		
	外周部	内部	アルミナセメント
SiO	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.

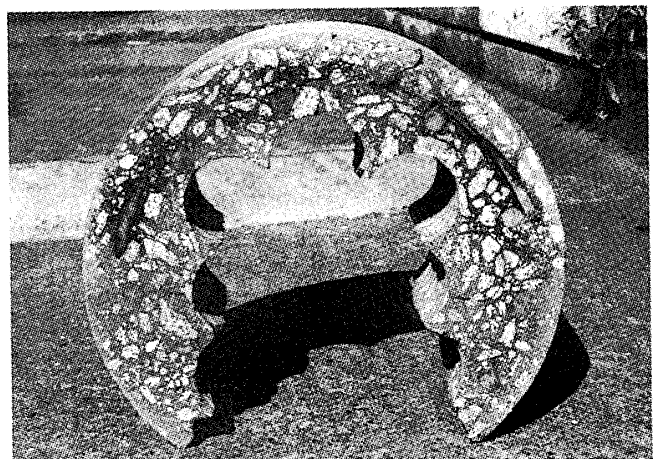


図5 コア抜き後のコンクリートピア

セメントの中性化計算式に最大値の26mmを代入すると、期間は約50年となり、アルミナセメントが使用されたこのピアコンクリートは普通ポルトランドセメントより1.7倍速い速度で中性化が進行していたことになる。これらの結果は、最大瞬間風速60m/s以上、平均風速約6m/sの風が東北方向から卓越して吹くことを考えると、中性化深さのばらつきも、中性化速度が速いことも十分に考えられる。また、このピアが実際に立地していたときの向きは分からなくなっているが、中性化深さが深い側が東北方向の風上に面していたと考えられる。

表4 非破壊試験による圧縮強度経年変化

実施年	1969	1972	1978	1990	1997	1998
経過年	0	3	9	21	28	29
推定圧縮強度 (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

表4に非破壊試験による推定値（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推定値を示す。一旦低下した強度が1990年に上昇し、その後、再び低下している。このことから、このコンクリートは、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年の値の低下量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。推定強度は、29年で約85%に低下している。

コア試験体に対して行った圧縮強度試験うち、代表的なデータとしてNo.3の圧縮強度-ひずみ曲線を図6に示す。また、強度試験結果を表5に示す。1969年に持ち帰ったコンクリート試験体（φ150×300mm）の圧縮強度が23.3N/mm²であったという記録から、実際の圧縮強度は29年で約78%に低下している。この値は、非破壊試験の数値より若干低い値であるが、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対す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CAH₁₀は検出されず、CAH₁₀からC₃AH₆とAH₃への転移は終了している。

(2) 中性化深さは1mm~26mmであり、26mmのときの中性化速度は、普通ポルトランドセメント中性化計算式の計算値と比較して1.7倍であった。

(3) 建設時の圧縮強度と比較して、非破壊試験で15%の低下、コア試験体による圧縮試験で22%の低下が認められたが、まだその使用に耐える十分な強度を満たしていると考えられる。

表5 強度試験結果

試験体 No.	比重 (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

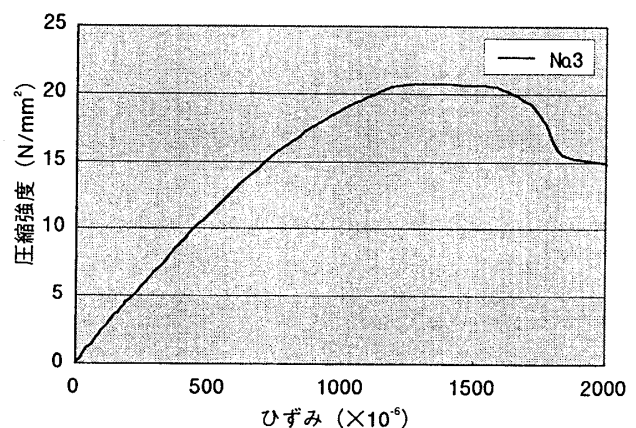


図6 圧縮試験結果

【謝辞】

本稿をまとめるにあたり、三島清敬氏に貴重な御助言を賜りました。また本実験を行うにあたり、旭硝子（株）高砂工場セラミックス開発センター開発グループ大井良典氏および（株）富士ビー・エス建築事業部技術部技術課課長代理黒野薫氏に多大なる御助力を賜りました。ここに記して深謝致します。

【参考文献】

- 1) 平山善吉：昭和基地案内（5）建物、極地、日本極地研究振興会、No.37Vol.19、No.1、1983.8
- 2) 三島清敬：アルミナセメントの強度特性、窯業協会誌、79、1971