

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

正 会 員 平 山 善 吉*

正 会 員 平 居 孝 之**

1. 序

南極観測における日本の昭和基地が建設されてからはや30年になる。この間、昭和基地における居住と観測のために種々の建物が設計され建設された。南極では、現地調達できる材料、建設時の気候、また保有する建設機械とマンパワーなどの制約から、これまで主として木質系のパネル構造を採用しているが、火災に対してより安全な構造にすることが望まれている。極地環境下の建物では、出火の直後に消火ができず一旦火災が勢いを増し拡大すると、その人的および物的被害が甚大であることは、昭和59年に起った昭和基地作業棟の火災において、また過去に何度となく繰り返されてきた諸外国の南極基地の火災において示されてきた。基地建物における火災では、建物内部の出火が原因であり、距離と時間の関係で他国の基地に緊急時の応援を頼めず、また冬季は雪の堆積や気象条件などから外部への避難ができないことが特徴である。なかでも越冬時の基地居住者にとって、外部に避難できないことは切実な問題であり、内部で発生した火災が拡大する以前に自力で鎮火しなければならない。

筆者の一人は第1次～第3次の南極観測隊に加わって、基地建物の建設に携わり¹⁾、その後現在まで基地建物の不燃化の方法について研究を行ってきた。内部出火の自力消火、外部への避難の不可という性格の基地建物の火災に対し、居住者の安全を確保するための抜本的な解決策を得るには、建物そのものを鉄筋コンクリートのような不燃材料で構成し、可燃物を極力減らすことが必要である。このような極地環境下においてすぐれた防火性をもつ建物を建設するには、次のような条件を満たす材料を用いることが必要と考えられる。

- 不燃で熱容量が大きく火災時に有害ガスを生じない
- 低温において強度が発現する

本論文の一部は、昭和58年度と昭和61年度の日本建築学会大会学術講演会で発表した。

* 日本大学 助教授

** 大分大学 教授・工博

(昭和61年11月10日原稿受理)

- 越冬時の極地環境下で耐久性を有する

南極昭和基地で建物を建設するのは、屋外で活動できる南極の夏期にかぎられ、一日中昼間で気温は0°C～4°C程度であり、融雪水または氷を溶かした水を使う。また最新鋭の砕氷艦白瀬の就航により、内地から昭和基地への運送能力が上がり、以前に比べると南極に持ち込める機械と材料の量が増加し、観測隊のスケールも大きくなっている。しかし、コンクリートを南極昭和基地で現場施工するにおいて、骨材を運び込むのは効率的でなく、実用性のある方法とするには次のことも考えなければならない。

- 南極で採取される骨材を利用する
- 限られた機材を用いて小人数で施工する

建築材料の中では最もすぐれた防火性を有する石膏が、ポルトランドセメントと違って低温でもすみやかに水和して高強度の硬化体になるところから、筆者らは、これらの条件のもとで、石膏を膠着材の主成分とし昭和基地で採取された骨材を用いたコンクリートで建物を建設することに、基地の防火建物建設の方法として高い評価をしている。これまで、昭和基地で利用することを目的として石膏コンクリートの基礎的な物性や凍結融解などの耐久性または構造強度について試験研究を行ってきた^{1)～3)}。本報では極地環境下で使用する膠着材としての石膏と、昭和基地で採取された骨材について、表1に示すような材料を用いて行った2, 3の基礎的な試験と考察について述べる。

表1 試料

骨材	昭和基地骨材	第23次南極観測隊(昭和57年)採取
	人工軽量細骨材、同粗骨材	非造粒、構造用、M社製品
	川砂、川砂利	富士川産
膠着材	改質II型無水石膏	II型無水石膏と耐硫酸塩ポルトランドセメントを7:3の割合で混合したもの、O社試製品
	II型無水石膏	O社試製品
	α型半水石膏	Y社製品
	アルミナセメント	A社製品
凝結遅延剤	α型半水石膏に対しデンプンとクエン酸をそれぞれ0.22%と0.028%合わせて添加	
水和促進剤	II型無水石膏に対しカリミョウバンを1.5%添加 改質II型無水石膏に対し硫酸カリを1.0%添加	
水	上水道水	

2. 昭和基地で使う膠着材としての石膏

2-1 石膏の選択

コンクリートの膠着材として使える石膏には、 α 型半水石膏、 β 型半水石膏、II型無水石膏がある。 β 型半水石膏は、高性能減水剤を用い適切な混練打設の機械を利用して熟練者が十分に管理できる状態で施工すれば、高い強度を得られることが報告されている⁴⁾。しかし通常の混練打設においては、良好なワーカビリチーのフレッシュコンクリートを得るのに多量の混練水を必要とし、そのため強度が小さく現段階では構造用に利用するのが難しい。一方、II型無水石膏と α 型半水石膏は、比較的少量の混練水により良好な流動性を得られ、硬化したときの強度はセメントコンクリートに近い値になる⁵⁾。このようなことから、II型無水石膏と α 型半水石膏を膠着材として使ったコンクリートの研究は種々報告されており、建築の構造用のコンクリートとして利用できる可能性のあることが認められている^{6)~8)}。

水和硬化した後の二水石膏は、少量ではあるが水に溶けるため、雨水に洗われると溶けて痩せてくるし、また常時水の掛かる所に長期間置くと、結晶のからみ合った結合組織が緩んで徐々に強度が低下する。このため以前から石膏の耐水性改善の試みがなされており、コンクリートの膠着材として使う場合は、セメントを混ぜる方法が効果を上げている^{9)~14)}。

石膏とセメントを混ぜて使うにおいて、石膏とセメントの種類と混合割合また併わせて使用する混和剤が重要である。 α 型半水石膏の場合は水和が速く、セメントが混ざるとさらに水和が速くなるので、十分なワーカビリチーを得るには適切な凝結遅延剤を開発することが重要である。II型無水石膏は水和性が乏しいので、セメントを混ぜて使うときも水和促進剤を添加することになる。現在のところII型無水石膏とセメントを混ぜた場合は、コンクリートにしたときに、凝結硬化が早過ぎて混練成形ができないということはなく、人手の少ない時でも十分施工できる。

石膏と組み合わせるセメントとして、普通ポルトランドセメントを選ぶと、水に溶けるのを抑える効果があるが、水分が長期間作用すると膨張し表層が剝離するなどの問題があった。これは石膏の硫酸成分がセメントのアルミネート相と反応してエトリンガイトを生成するため

表—3 膠着材の性質

	比重	比表面積 cm ² /g	凝結時間(時-分)	
			始発	終結
改質II型無水石膏	2.96	6950	1-56	4-07
II型無水石膏	2.93	7800	2-20	5-30
α 型半水石膏	2.74	3500	0-55	1-20
アルミナセメント	3.25	3290	2-55	5-04

である¹⁵⁾。この問題を改善するため、II型無水石膏に耐硫酸塩ポルトランドセメントを混ぜた改質II型無水石膏が開発された。改質II型無水石膏を膠着材に用いたコンクリートを建築構造へ適用し、その有用性を示した研究が報告されている¹⁶⁾。改質II型無水石膏は表—2に示すように、II型無水石膏が70%で耐硫酸塩ポルトランドセメントが30%の割合で混合したものである。なお、石膏とセメントの混合割合については、これまでいくつかの試験研究で検討されており、セメントが多いほど耐水性が優れる反面、寸法安定性など石膏のもつ建築材料としての長所が失われるという傾向がある。

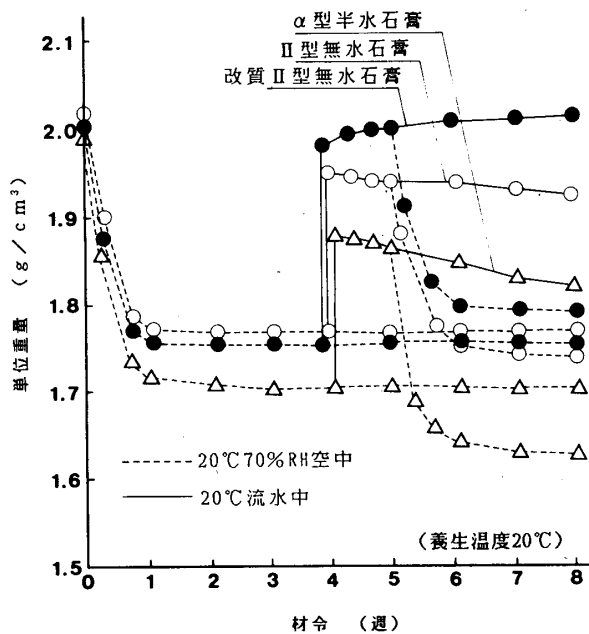
表—3はJISのセメントの物理試験方法に準じて測定した膠着材の比重、比表面積、凝結時間である。3種類の石膏の凝結時間は、それぞれ表—1に示した水和促進剤または凝結遅延剤を添加した場合の値である。改質II型無水石膏は始発が約2時間であり、終結が約4時間であるからコンクリートにして昭和基地で小人数で施工するにおいても、時間の余裕が得られると考えられる。なおII型無水石膏と改質II型無水石膏は、水和性を高めるために比表面積が大きくなっている。

図—1は3種類の石膏が水和硬化したものを空中と流水中に置いたときの重量変化である。II型無水石膏と α 型半水石膏の場合は、流水中にしばらく置いた後乾燥させると、水に溶けて痩せるため重量が元の乾燥状態の時よりかなり減少している。一方改質II型無水石膏はそのようなことがなく、水に溶けるとい性質は著しく改善されている。改質II型無水石膏の場合は、硬化体を静水中に長期間置いた試験で、他の2種類の石膏の硬化体において見られるような表面の肌荒れや表層の剝離がなく、また膨張によるキレツも生じていない。耐硫酸塩ポルトランドセメントをII型無水石膏に組み合わせた改質II型無水石膏は、適当な石膏とセメントの組み合わせであると考えられる。

表—2 膠着材の化学成分(%)

	CaO	SO ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	結晶水
改質II型無水石膏*)	47.4	40.6	7.2	1.8	1.4	0.6	-
II型無水石膏*)	40.0	56.9	0.8	0.4	0.5	0.2	-
α 型半水石膏*)	37.8	53.6	0.4	0.2	-	-	6.2
アルミナセメント	38.0	-	4.0	15.5	40.5	-	-
(参考)耐硫酸塩ポルトランドセメント*)	64.6	1.8	22.1	4.6	3.9	1.6	-
(参考)普通ポルトランドセメント	64.8	1.9	21.9	3.1	5.4	1.4	-

*)注2



図一 空中と流水中の重量変化

表一 4 ペースト試験体

	成形時 室温℃	混水比 %	フロー値 mm	練り上り 温度℃
改質Ⅱ型無水石膏	20	28	185	13.0
		33	219	16.0
		40	>300	15.0
	4	28	183	6.5
		33	219	6.0
		40	263	6.5
	0	28	180	3.0
		33	204	4.0
		40	>300	4.0
Ⅱ型無水石膏	20	28	216	13.5
		33	251	13.5
		40	>300	13.5
	4	28	210	8.0
		33	256	7.0
		40	>300	7.0
	0	28	208	2.5
		33	252	3.0
		40	>300	3.0
α型半水石膏	20	23	209	16.0
		28	>300	15.0
		33	>300	17.0
	4	23	217	8.5
		28	>300	7.5
		33	>300	7.5
	0	23	223	4.0
		28	>300	4.0
		33	>300	4.0

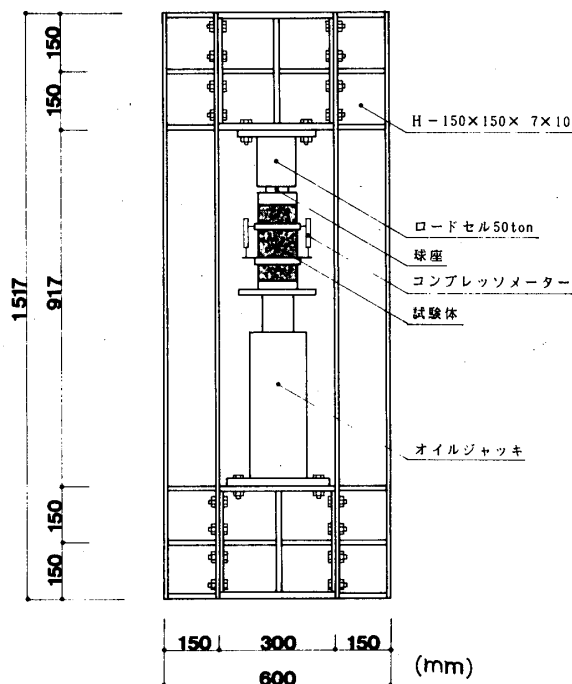
以上のようなことから、南極昭和基地で利用する石膏として改質Ⅱ型無水石膏を選んだ。

2-2 混練養生の温度と硬化体の強度

改質Ⅱ型無水石膏のほか、比較のためにⅡ型無水石膏とα型半水石膏を用いてペースト試験体を作製し、混練養生の温度と硬化体の強度の関係を試験した。表一

1に示した凝結調節剤または水和促進剤を用いた。昭和基地で使う混練水は雪または水を溶かした水であるが、試験では上水道水を用いた。混水比は混練物のフロー値が200 mm程度になる場合を基準として、表一4のようにそれぞれ3段階に設定した。石膏コンクリートの混練打設と強度発現までの養生は、一日中を通じてほぼ0°C~4°Cの気温である夏期の昭和基地の屋外で行う予定である。このため0°Cおよび4°Cに設定した大型冷蔵庫の中と、20°Cに設定した恒温室で、同じ温度に用意した材料を用いてペースト試験体を混練し、4×4×16 cmの寸法の試験体を打設成形した。試験体の作り方は、日本建築学会東海支部せっぽう構造分科会で作成された試験方法の案¹⁷⁾と同じである。翌日脱型し所定の材令の強度試験が終るまで、試験体はそれぞれの温度の大型冷蔵庫または恒温室に置いた。図一2に示す載荷試験装置を作製して大型冷蔵庫あるいは恒温室に搬入し、球座とオイルジャッキの間に測定のための治具を挿入して試験した。なお、はり折片を用いた割裂引張強度¹⁸⁾の測定は、図一3のように作製した治具により行った。

表一4に混練物の練り上がり温度を示す。室温が0°Cと4°Cのときは、練り上がり温度が室温より3~4°C程高くなる。図一4は材令28日の圧縮強度であり、図一5は材令28日の圧縮強度を100として表した材令ごとの圧縮強度である。改質Ⅱ型無水石膏は、0°Cと4°Cの養生で材令28日を基準にして、材令1日で20%、材令3日で40%、材令7日で80%の圧縮強度に達しており、この程度の強度発現性があれば、昭和基地で使うことができると考えられる。なおα型半水石膏は水和反



図二 載荷試験装置 (φ10×20 cm シリンダー試験体を用いた圧縮の場合)

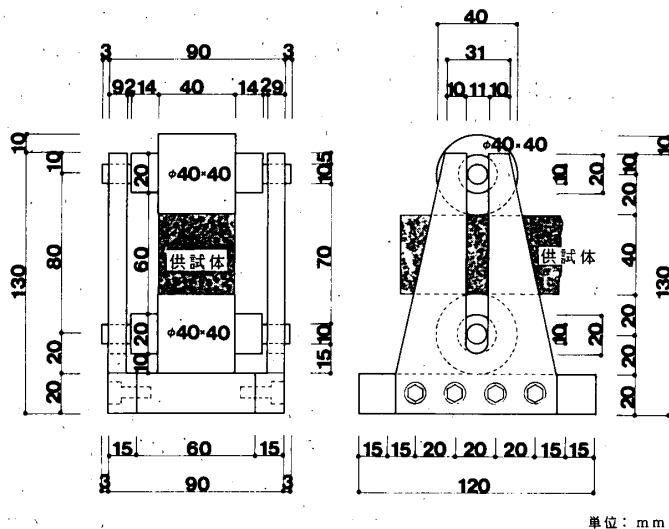


図-3 割裂による引張強度試験装置

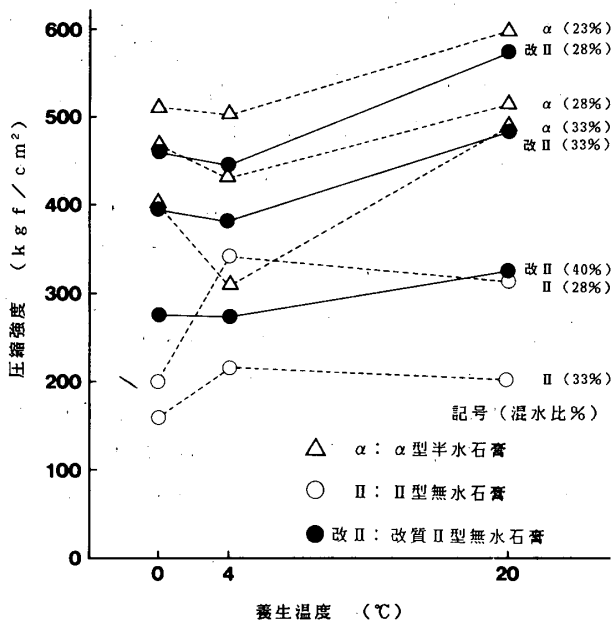


図-4 材令 28 日における圧縮強度

応が急速に完了するので、Ⅱ型無水石膏または改質Ⅱ型無水石膏に比べて強度発現が非常に速い。

図-6 は材令 28 日の改質Ⅱ型無水石膏の圧縮強度と水石膏比の関係である。養生温度が 0°C と 4°C の場合は 20°C の場合に比べて 20% ほど圧縮強度が低い。改質Ⅱ型無水石膏が水和硬化したものの結合組織は、主として二水石膏の結晶と耐硫酸塩ポルトランドセメントの水和物から成り、他に両者から生成される少量のエトリンガイトが存在する。このため、低温の養生で圧縮強度がやや低いのは、30% 含まれている耐硫酸塩ポルトランドセメントの強度発現が低温において遅いことが大きな原因であり、また低温では乾燥が十分でなく水分が含まれるために石膏の強度が低くなっていることも影響していると考えられる。水石膏比が小さいほど圧縮強度は大きくなり、養生温度が 0°C また 4°C で混水比が 30%

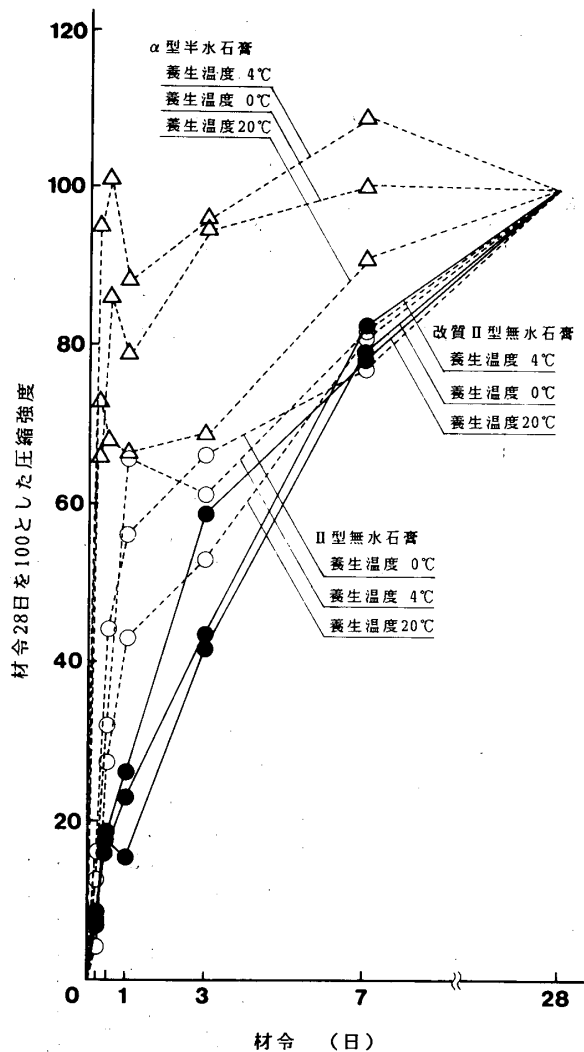


図-5 材令 28 日を 100 とした圧縮強度

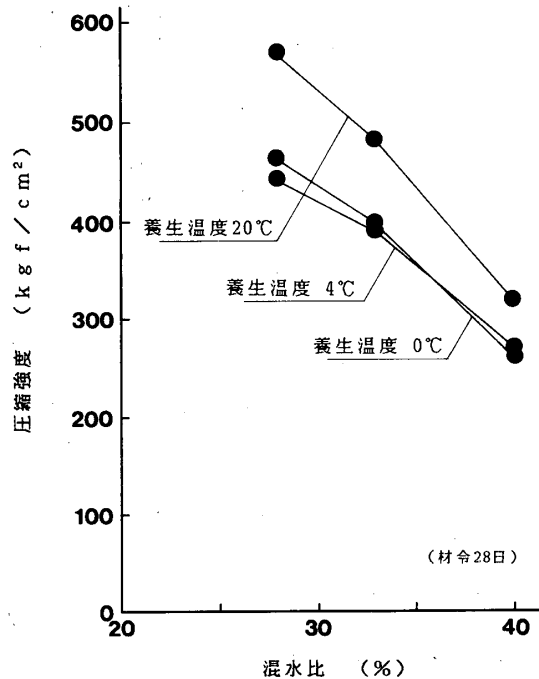


図-6 改質Ⅱ型無水石膏の混水比と圧縮強度

程度の場合、 400 kgf/cm^2 近辺の圧縮強度が出ている。これは普通ポルトランドセメントの標準モルタルの試験で得られる材令 28 日の標準養生の圧縮強度に匹敵する。図-6 に示される圧縮強度は、表-4 に示したように十分良好な混練物の流動性が得られる範囲の水石膏比を対象にしており、これより改質 II 型無水石膏を膠着材として、必要な強度と流動性をもつコンクリートを昭和基地で施工することが可能であると考えられる。

改質 II 型無水石膏の曲げ強度と引張強度を、圧縮強度との関係で図-7 と図-8 に示す。材令が短く強度が低い場合も含めて示している。いずれの養生温度においても、曲げ強度は圧縮強度の $1/5$ 程度、引張強度は圧縮強

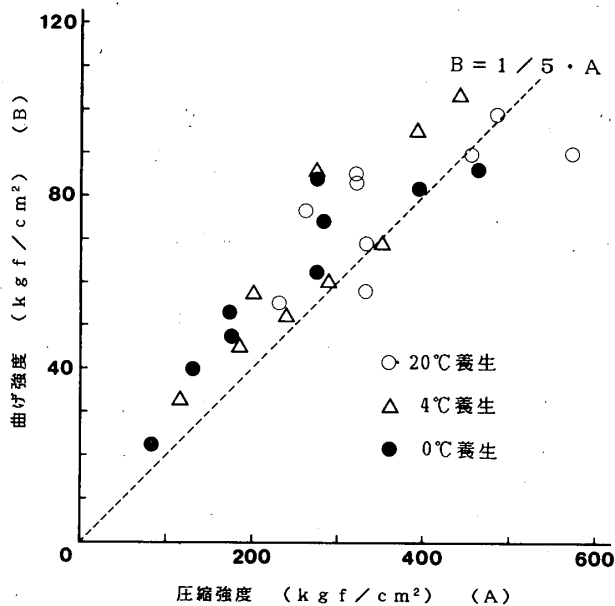


図-7 改質 II 型無水石膏の圧縮強度と曲げ強度

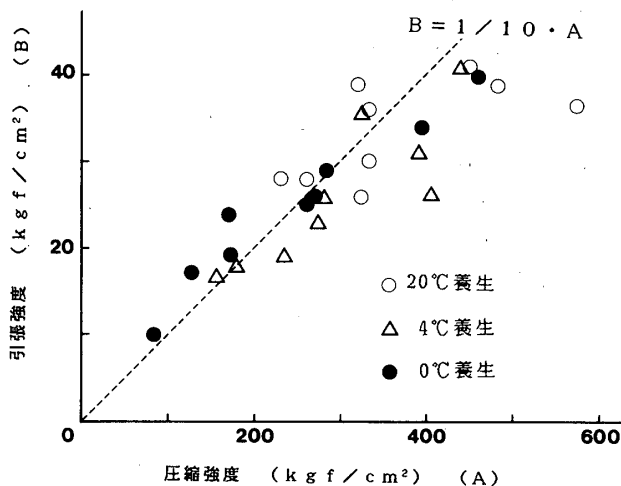


図-8 改質 II 型無水石膏の圧縮強度と引張強度

表-5 骨材の化学成分 (%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ , FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ig.loss
昭和基地骨材	69.0	15.5	0.6	4.3	1.4	1.8	2.5	4.0	0.8
人工軽量細骨材	69.9	15.0	-	5.1	1.9	3.1	1.4	2.6	0.2

度の $1/10$ 程度である。

3. 昭和基地骨材

昭和基地は、南極大陸沿岸から数 km 離れた南緯 69 度東経 39 度に位置する、周囲 4 km 程の大きさの東オングル島に建設されている。昭和基地では、環境破壊防止と作業効率のため、基地建物に近い一定の場所から骨材を採取している。骨材の大部分は東オングル島で昭和基地周辺の地盤を成すザクロ石片麻岩 (Garnet gneiss) の風化したものである。目視により形の観察できる大きさの骨材は、角張った形状をしているものが大部分で、表面は全体に細かい凹凸がある。表-5 は昭和基地骨材の代表的な化学成分¹⁹⁾を、構造用の人工軽量細骨材と比較したものであり、両者はよく似ている。

昭和基地で採取した骨材は、利用できるものの歩留りが良く、また粒径の選別に手間をかけないことが必須の条件であり、できるだけ大きな寸法のフルイで一度だけふるって通らないものを廃棄し、通るものを利用するのが望ましい。これまで昭和基地では建築型枠に打設する場合に、30 mm のフルイに通る骨材をそのまま用いており、ここでもこの方法で得られる骨材を用いることとした。この場合に、採取された骨材のうち使われるものの歩留りは約 85 % である。このようにして得られた骨材を、昭和基地骨材と呼ぶ。

JIS の骨材のふるい分け試験方法により、昭和基地骨材の粒度を調べた結果を表-6 に示す。小さい寸法のふるいに留まるものの割合が多く、また 0.15 mm のふるいを通る微細な粒子が 8.6 % 含まれている。粗粒率は 4.35 である。昭和基地骨材はこのままの粒度で使うことになり、細骨材と粗骨材を区別してその割合を調節す

表-6 昭和基地骨材のふるい試験

ふるいの呼び寸法 mm	ふるいに留まるものの重量百分率 %
30	0
25	3.2
20	9.3
15	2.9
10	11.7
5	11.0
2.5	9.3
1.2	11.7
0.6	15.3
0.3	11.0
0.15	6.0
残り	8.6

表一七 骨材の試験

	粗粒率	単位容積 重量kg/l	実積率 %	比重		吸水率 %	洗い試験 失重量%	塩化物含 有量%	有機 不純物	
				表乾	絶乾					
細骨材	昭和基地骨材	2.70	1.77	74.0	2.55	2.47	2.98	8.4	0.015	*)
	川砂	3.01	1.73	70.8	2.56	2.50	2.36	1.0	-	-
	人工軽量細骨材	2.60	1.10	63.2	1.88	1.62	16.0	2.5	-	-
粗骨材	昭和基地骨材	7.39	1.47	57.4	2.63	2.60	1.46	2.1	-	*)
	川砂利	6.83	1.74	67.2	2.65	2.62	1.24	-	-	-
	人工軽量粗骨材	6.38	1.01	60.1	1.66	1.30	27.5	-	-	-

*) 標準色の色よりも淡い(ほとんど無色透明)

ることはできない。ただし試験では5mmフルイに通る部分を細骨材と見なし、5mmフルイに留まる部分を粗骨材と見なした。このように細骨材と粗骨材に分けると、昭和基地骨材の容積で表した細骨材率は60.7%になる。

昭和基地骨材をJISに準じて試験した結果を、比較のための川砂、川砂利および構造用の人工軽量骨材とともに表一七に示す。比重と吸水率が川砂利と川砂に似ているが、角張った形状をしているので粗骨材の実績率が川砂利より小さく、また洗い試験で失われる量が多い。

塩分は、細骨材について測定すると0.015%含まれている。有機不純物はほとんど含まれていない。表一七に示した性質のうち、JASS 5²⁰⁾の普通骨材の品質規定には、細骨材の絶乾比重2.50以上と、洗い試験によって失われる量1.0%以下の項目に適合しない。ただし絶乾比重は、特記のある場合の普通骨材の絶乾比重2.40以上の条件には適合する。またJASS 5の軽量コンクリートで使用が決められているJISの構造用軽量コンクリート骨材は、細骨材の洗い試験により失われる量を1~10%に規定しており、昭和基地骨材はこれには適合している。

粗骨材と細骨材の粒度は、図一九と図一十のようにJASS 5²⁰⁾の普通骨材の最大寸法25mmの砂利と砕砂の標準粒度に適合する。図一九と図一十には、昭和基地骨材に散水して微細な粒子の一部を洗い流した場合についても、フルイ試験で得られた粒度を示している。散水すると、粗骨材の粒度はあまり変化しないが、細骨材は微細な粒子の割合がより少なくなった粒度になる。

細骨材に含まれる塩分は、セメントコンクリートの場合の基準である0.04%より少ないが、膠着材に改質II型無水石膏を使ったコンクリートにするので、少量含まれている塩分のほかに、硫酸塩による鉄筋の腐食を考慮しなければならない。亜鉛メッキまたはエポキシ樹脂被覆などの防蝕鉄筋を使うことが必要と考えられる。

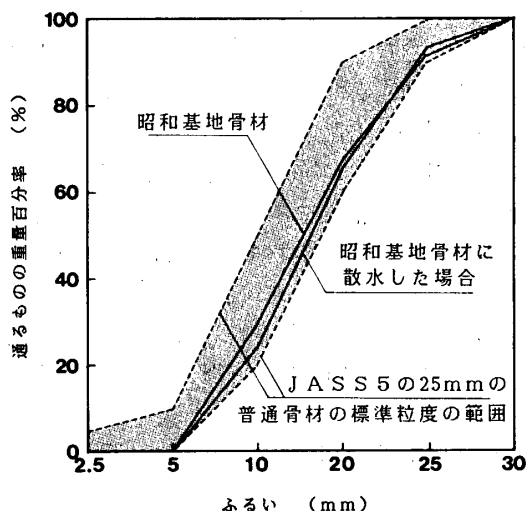
以上より昭和基地骨材は、内地で使われている普通骨材の砕砂と砕石がまざったものに近いと考えられる。ただし、調合において細骨材率がかなり大きな一定の値でしか利用できないことと、洗い試験により失われる量が多いことを注意しなくてはならない。

4. 昭和基地骨材石膏コンクリート

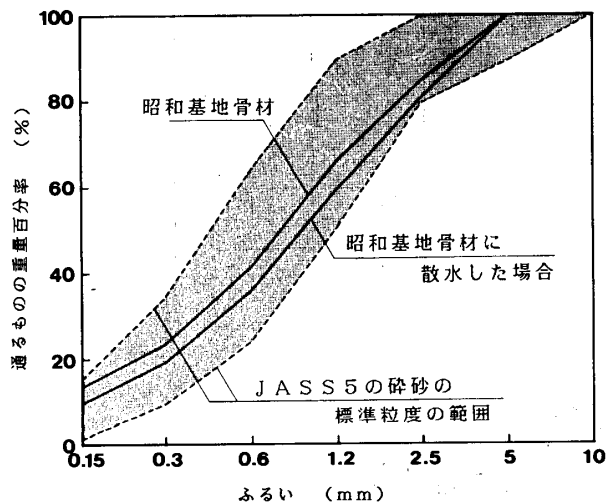
4-1 人工軽量骨材石膏コンクリートとの比較

II型無水石膏を膠着材とするコンクリートでは、構造用の人工軽量骨材を用いると良い性能を得られるので⁷⁾、²¹⁾、改質II型無水石膏を膠着材とし、昭和基地骨材を用いたコンクリートの性質を調べるにおいて、表一1、表一5および表一七にその性質を示した人工軽量骨材を用いた場合についても、同時に試験して比較した。

調合は表一8のように、35%と40%の2種類の混水比とし、4°Cの大型冷蔵庫内で混練したときのスランプ



図一九 粗骨材の粒度



図一十 細骨材の粒度

表-8 調合(その1)

種類	混水比 %	水和促進剤 kg/m ³	細骨材率 %	重量 kg/m ³				容積 l/m ³			
				改質Ⅱ型無水石膏	水	細骨材	粗骨材	改質Ⅱ型無水石膏	水	細骨材	粗骨材
				昭和基地骨材石膏コンクリート	35	5.90	60.7	590	207	887	594
〃	40	5.27	60.7	527	211	915	610	178	211	359	232
人工軽量骨材石膏コンクリート	35	4.88	52.3	488	171	659	531	165	171	351	320
〃	40	4.88	53.1	488	195	683	531	165	195	363	320

が20 cmになるように骨材の量を決めた。細骨材と粗骨材に分けて表しているが、昭和基地骨材は細骨材と粗骨材の割合を調節することはできず、細骨材率は60.7%の一定値に制限されている。試験体はφ10×20 cmのシリンダーを用い、コンクリートの混練打設と養生は4°Cの大型冷蔵庫内で行った。圧縮強度、ヤング率および割裂引張による引張強度の測定を、同じ大型冷蔵庫内に搬入した図-2の載荷試験装置を使って行った。強度

試験はJISのコンクリートの圧縮強度試験方法と引張強度試験方法に準じて行い、ヤング率はコンプレッションメーターを用いて測定した。

図-11は、材令と圧縮強度の関係である。いずれの材令においても、昭和基地骨材石膏コンクリートの圧縮強度の方が、人工軽量骨材石膏コンクリートの圧縮強度よりやや高くなっている。昭和基地骨材は碎石に似て角張った形状で表面に細かい凹凸があり、膠着材との付着が良いので高い圧縮強度が出たものと考えられる。昭和基地骨材石膏コンクリートの材令28日の圧縮強度は、混水比35%で240 kgf/cm²程度であり、混水比40%で190 kgf/cm²程度である。材令28日の圧縮強度を基準にすると、材令1日で15~20%、材令3日で30~50%、材令7日で70~80%の圧縮強度が出ている。これは先に示した膠着材単味である改質Ⅱ型無水石膏の強度発現とほぼ同じである。

図-12は引張強度であり、図-13はヤング率である。いずれも圧縮強度との関係で表しており、材令が短かく強度が低い場合も含んでいる。昭和基地骨材石膏コンクリートの引張強度とヤング率は、圧縮強度に対する比率で見ると、人工軽量骨材石膏コンクリートと似た値になっている。

以上のように、昭和基地骨材石膏コンクリートは、人工軽量骨材石膏コンクリートと比較して、圧縮強度の高さにおいて遜色がなく、引張強度とヤング率の大きさが似ていることから、すでに有用性が明らかにされている人工軽量骨材石膏コンクリートと同じように、建築構造

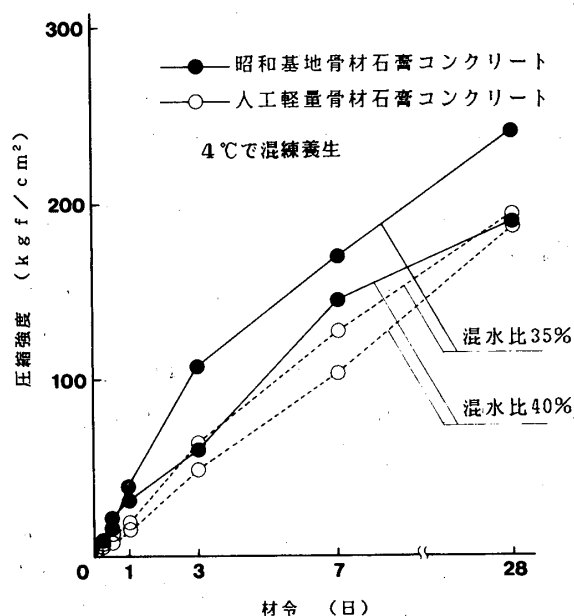


図-11 材令と圧縮強度

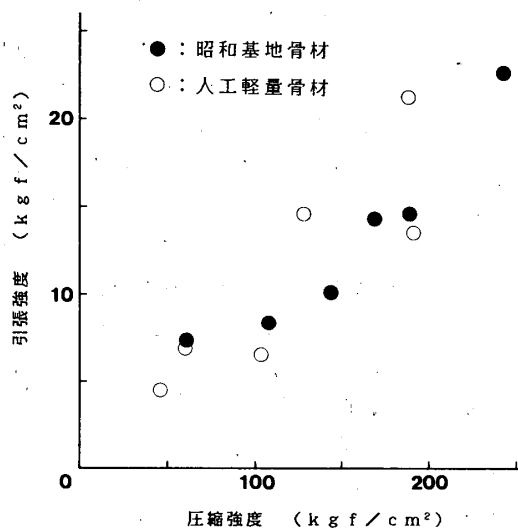


図-12 引張強度

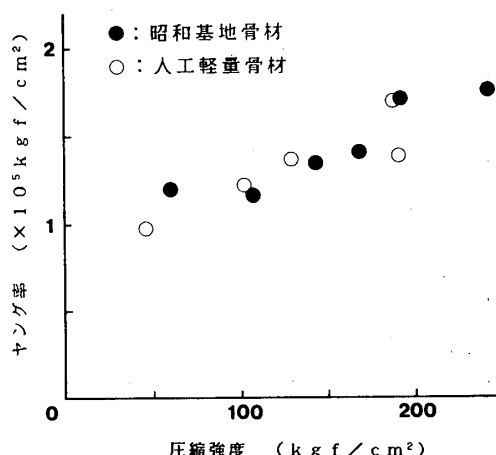


図-13 ヤング率

表-9 調合 (その2)

種類	混水比 %	水和促進剤 kg/m ³	細骨材 率%	重量 kg/m ³						容積 l/m ³			
				改質Ⅱ 型無水 石膏	アルミ ナセメ ント	水	昭和基地骨材		改質Ⅱ 型無水 石膏	アルミ ナセメ ント	水	昭和基地骨材	
							細骨材	粗骨材				細骨材	粗骨材
昭和基地骨材石膏コンクリート	33	4.88	60.7	488	-	158	1017	679	165	-	158	399	258
昭和基地骨材アルミナセメントコンクリート	40	-	60.7	-	420	168	1058	705	-	129	168	415	268

への適用が可能であると考えられる。

4-2 昭和基地骨材アルミナセメントコンクリートとの比較

これまで昭和基地でコンクリートが必要なときは、アルミナセメントを内地より搬入して、昭和基地骨材を用いたコンクリートにして利用してきた。低温時にアルミナセメントの強度発現が速いことは、昭和基地で施工するコンクリートとして望ましいが、材令が長くなると水和生成物に変質して多孔質になり、強度が低下するという問題がある²²⁾。現在までのところ、昭和基地のアルミナセメントコンクリートの強度が低下して問題になったことは報告されていないが、低温のためアルミナセメントの水和物の変質がゆっくりと進行していると考えられる。このため、コンクリートの膠着材としてより適当なものがないか検討されている。ここでは膠着材として改質Ⅱ型無水石膏またはアルミナセメントを使い、昭和基地骨材をそのまま用いたコンクリートと、前述のように

散水して微細な粒子の量を減らした昭和基地骨材を用いたコンクリートについて試験した。

表-9に示す調合を用いた。混水比は、改質Ⅱ型無水石膏を膠着材とする昭和基地骨材石膏コンクリートについて33%とし、アルミナセメントを膠着材とする昭和基地骨材アルミナセメントコンクリートについて40%とした。昭和基地骨材をそのまま用いる場合も、散水して微細な粒子の量を減らして用いる場合も、同じ調合とした。コンクリートの混練と打設は、養生が20°Cの試験体について20°Cの恒温室で行い、養生が0°Cと-20°Cの試験体について2°C前後に調節した大型冷蔵庫内で行った。φ10×20cmシリンダーの試験体を用い、混練打設の5~6時間後に脱型し、20°Cの恒温室、0°Cおよび-20°Cの大型冷蔵庫で養生を開始した。図-2に示した荷重試験装置を恒温室または大型冷蔵庫に搬入して、圧縮強度、割裂による引張強度ならびにヤング率を測定した。

表-10 調合 (その2) のスランプ

種類		室温°C	スランプcm
骨材をそのまま用いた場合	昭和基地骨材石膏コンクリート	20	14.9
	"	2	15.3
	昭和基地骨材アルミナセメントコンクリート	2	14.7
水洗いた骨材を用いた場合	昭和基地骨材石膏コンクリート	20	16.4
	"	2	15.0
	昭和基地骨材アルミナセメントコンクリート	2	14.8

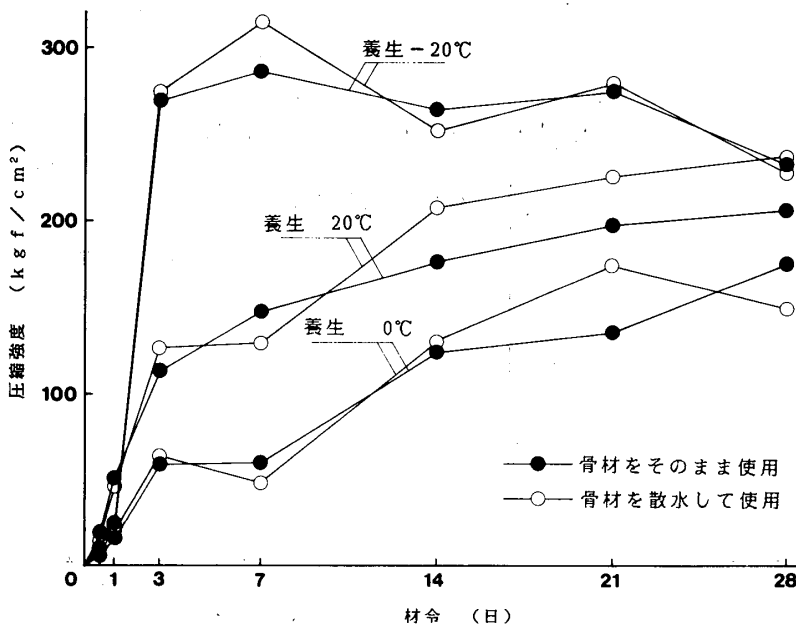


図-14 昭和基地骨材石膏コンクリートの材令と圧縮強度

改質Ⅱ型無水石膏とアルミナセメントは表-3のように凝結時間が似ており、コンクリートにしたときに、いずれも小人数により昭和基地で昭和基地骨材とともに混練し型枠に打設するのに必要な可使時間が得られる。

表-10に混練物のスランプを示す。温度が20°Cの場合は、昭和基地骨材をそのまま用いるより、散水して微細な粒子の量を減らした骨材を用いる方が、スランプが少し大きくなるが、温度が2°Cの場合は両者にあまり差が見られない。昭和基地骨材をそのまま用いた場合は、散水した骨材を用いた場合に比べて、フレッシュコンクリートの粘性がやや大きく感じられたが、2°Cの室内で型枠に打設するときの施工性において、両者の違いはほとんど見られなかった。昭和基地骨材をそのまま用いた場合でも、表-9の調合で約15cmのスランプが出ており、昭和基地で施工するのに支障はないと考えられる。

図-14は、昭和基地骨材石膏コンクリートの材令と圧縮強度の関係である。昭和基地骨材をそのまま使用した場合

と、散水して使用した場合で差はあまりない。養生温度が20°Cに比べて0°Cの場合に圧縮強度がかなり低く、これは2-2混練養生の温度と硬化体の強度のところで示したように、膠着材である改質II型無水石膏の性質であ

ると考えられる。また、先の図-11で示した混水比が35%で養生温度4°Cの場合の材令28日の圧縮強度240 kgf/cm²に比べると、混水比33%で養生温度が0°Cの場合の材令28日の圧縮強度が160 kgf/cm²前後であり、

かなり低い。これは養生温度の差、試験を行った時期の違い、測定値のばらつきなどの原因以外に、骨材の含水率の調整が的確でなかったためと考えられる。昭和基地骨材は実験室に広げて自然乾燥させ表乾状態にして使ったが、このような方法では、微細な粒子の量が多いため表面水量の調節に誤差が生じやすい。昭和基地で骨材の含水率の調整を簡便に行える方法について、さらに検討する必要がある。

図-14に示すように養生温度が-20°Cの場合は、材令3日に圧縮強度が急激に大きくなり、以後若干低下の傾向を示しながら高い強度を保つ。コンクリートの混練打設後、材令1日までは改質II型無水石膏の水和に伴って生じる水和熱のために凍結は起こらないが、材令3日では完全に凍結し、このため材令1日と3日の間で急激に圧縮強度が増加したと思われる。凍結していることは、20°Cと0°Cで養生した試験体の重量が乾燥により徐々に減少しているのに、-20°Cで養生した試験体は減少せず同じ重量であることにも表れる。

図-15は昭和基地骨材石膏コンクリートのヤング率である。20°Cの養生に比べて、0°Cの養生のヤング率がやや小さいのは、前述の圧縮強度の場合と同じ理由である。セメントコンクリートに比べると、石膏コンクリートのヤング率が小さいことは従来からいわれており、昭和基地骨材を用いた今回の試験でも同じ結果である。なお、昭和基地骨材をそのまま用いるか、散水して用いるかの差はヤング率にあまり大きな影響を与えない。-20°Cの養生の場合のヤング率は、0°Cと20°Cの養生の場合のヤング率に比べてきわめて高く、これは先ほど述べたように、試験体に含有する水分が凍結したためである。

図-16は昭和基地骨材石膏コンクリートの圧縮強度と引張強度の関係である。凍結を起こしている-20°Cの養生

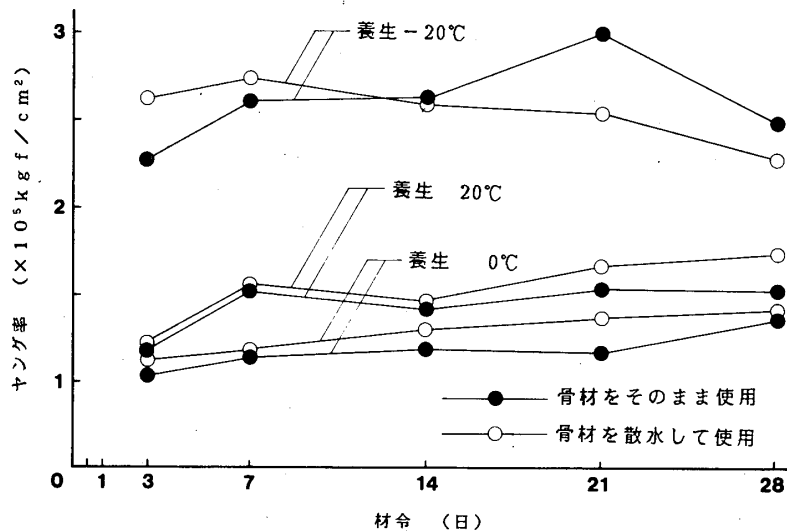


図-15 昭和基地骨材石膏コンクリートの材令とヤング率

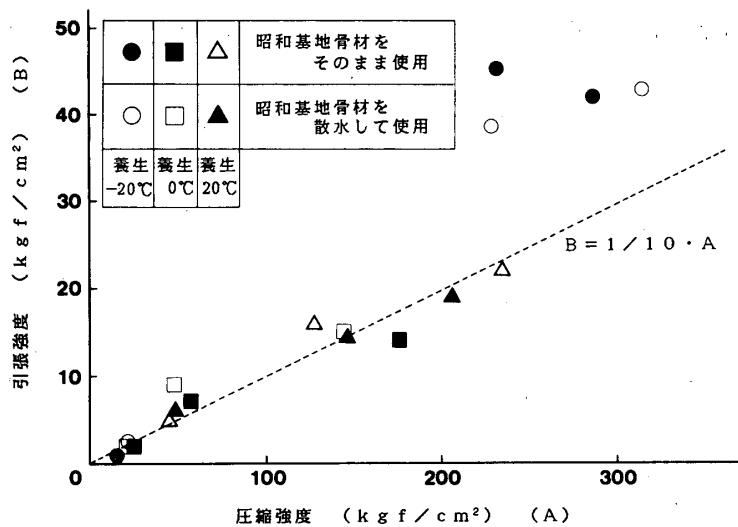


図-16 昭和基地骨材石膏コンクリートの圧縮強度と引張強度

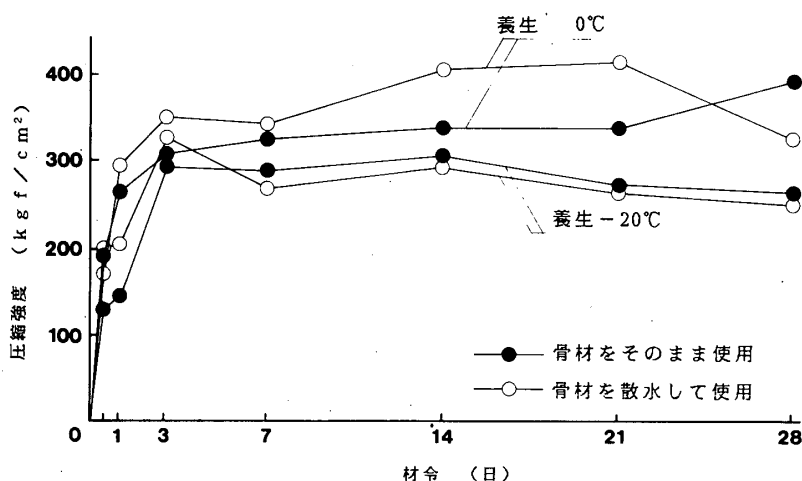
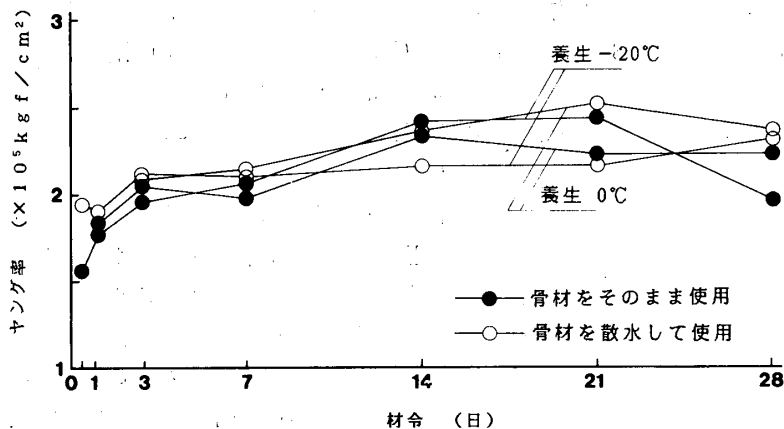


図-17 昭和基地骨材アルミナセメントコンクリートの材令と圧縮強度



図—18 昭和基地骨材アルミナセメントコンクリートの材令とヤング率

の場合は、圧縮強度に対する引張強度の割合が、凍結していないものより大きい。これは凍結による圧縮強度の増加より、引張強度の増加の方が顕著であるためと考えられる。0°Cと20°Cの養生の場合は、引張強度は圧縮強度の約1/10であり、図—4で示した膠着材である改質Ⅱ型無水石膏の場合の値と同じである。

昭和基地骨材石膏コンクリートが-20°Cの養生において凍結していることは重要である。昭和基地で使うにおいて、気温の比較的高い夏期に打設し養生するので、所定の高さまでコンクリートの強度を発現できるが、寒季になると凍結すること、また凍結融解を繰り返すことになる。AE剤などを利用して耐凍結融解性を向上した場合を含めて、耐久性があるか否かを試験して調べなければならない。

図—17は、昭和基地骨材アルミナセメントコンクリートの材令と圧縮強度の関係であり、図—18は材令とヤング率との関係である。-20°Cの養生の圧縮強度の方が、0°Cの養生の圧縮強度より小さい。これはアルミナセメントの水和が低温で遅いためである。また昭和基地骨材石膏コンクリートは-20°Cの養生のときに凍結して圧縮強度とヤング率が高くなったが、昭和基地骨材アルミナセメントコンクリートの場合は、材令1日と3日の間で凍結が起きているが、そのような傾向は昭和基地骨材石膏コンクリートほど明確には表われていない。両者の傾向が異なる理由は、現在明らかでないが、昭和基地骨材石膏コンクリートの耐凍結融解性を調べる上で説明する必要がある。また昭和基地骨材をそのまま用いた場合と散水して用いた場合について、昭和基地骨材アルミナセメントコンクリートの圧縮強度とヤング率に、差はほとんど無い。

5. 結論

Ⅱ型無水石膏と耐硫酸塩ポルトランドセメントを組み合わせた改質Ⅱ型無水石膏は、硬化した石膏が水に溶ける性質を改善しており、また小人数で混練打設できるように凝結時間を調節することと、南極の低温時において

強度を発現させることが可能で、防火構造を目的として昭和基地で施工する石膏コンクリートのための膠着材として適当である。

昭和基地では、現地で採取される骨材のうち30mmのふるいに通るものをそのまま用いることになり、これを昭和基地骨材と呼ぶ。昭和基地骨材は、碎石と砕砂が混じった普通骨材に似ているが、微細な粒子の割合が多く、調合では60.7%の一定の細骨材率で使うことになり、また洗い試験により失われる量が多い。

改質Ⅱ型無水石膏を膠着材とする昭和基地骨材石膏コンクリートは、構造用に有用である人工軽量骨材石膏コンクリートと比較して、圧縮強度、引張強度およびヤング率において同等の性能があり、建築構造への適用が可能である。夏期の昭和基地で昭和基地骨材石膏コンクリートを施工するにおいて、昭和基地骨材に多く含まれる微細な粒子は、フレッシュコンクリートの流動性、硬化コンクリートの強度およびヤング率にあまり影響しない。ただし、昭和基地骨材の含水率の調整と、所定の圧縮強度を出すための現場調査について、今後の検討が必要である。また-20°Cで養生したときに試験体が凍結しており、凍結融解に対する抵抗性を調べる必要がある。

謝辞

本研究において御指導をいただいた日本大学佐藤稔雄教授に感謝の意を表します。また日本建築学会東海支部石膏構造分科会において貴重な示唆を受けた。歴代主査小阪義夫、大岸佐吉、岡島達雄、委員後藤一雄、岸谷孝一、大井孝和、金子林爾、山田保、小林種雄、鈴木一孝、根津修美雄の各氏に感謝の意を表します。

注

- 1) 平山善吉、第1次(昭和31年)～第3次(昭和33年)の南極観測隊に参加。第3次では南極越冬隊に加わる。
- 2) 日本建築学会東海支部石膏構造分科会資料

参考文献

- 1) 平山善吉、内藤正昭、尾方康純、野尻悌孝：昭和基地骨材を用いたコンクリートの強度に関する基礎実験(その1 石膏コンクリート)、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.73、1983
- 2) 平山善吉：建築構造へのセッコウ利用の二、三の実験、石膏と石灰、No.192、pp9～17、1984.9
- 3) 平山善吉、内藤正昭：昭和基地骨材を用いた石膏コンクリートの耐久性について、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.303、1986
- 4) 金子林爾： β 半水石膏モルタルの強度発現方法について、日本建築学会大会学術講演梗概集、p.41、1986
- 5) 岸谷孝一、平居孝之：建築材料としての無機複合材料に関する研究(その1・マトリックス相として見た石膏の

- 性質・基礎的な物性), 日本建築学会論文報告集, 第 245 号, pp. 21~26, 1977. 4
- 6) 山根 昭, 石崎 敏, 坂本昭夫: 石こうコンクリートの基礎的性質に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 393, 1973
 - 7) 岸谷孝一, 平居孝之: 建築材料としての無機複合材料に関する研究 (その 4 粒子強化), 日本建築学会論文報告集, 第 257 号, pp. 1~7, 1977. 7
 - 8) 重倉裕光, 高橋和雄, 横田善夫: α 型石膏を使用したコンクリートに関する研究 (その 2 石膏コンクリート), 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 151, 1977
 - 9) 安藤幸喜: セッコウセメント混合体の物理的性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 303, 1972
 - 10) 岸谷孝一, 平居孝之: 石膏セメントコンポジット, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 269, 1975
 - 11) 重倉裕光, 高橋和雄: 半水セッコウセメント混合体を使用したコンクリートに関する研究, セメント技術年報 32, pp. 135~138, 1978
 - 12) 高橋和雄: 半水石膏セメント混合体を使用したコンクリートに関する研究, セメント技術年報 33, pp. 196~199, 1979
 - 13) 高橋和雄, 重倉裕光: セメントを代替したセッコウコンクリート, 石膏と石灰, No. 192, pp. 27~38, 1984. 9
 - 14) 重倉裕光, 高橋和雄, 古賀一八: α 型石膏を使用したコンクリートに関する研究 (その 12 長期間の屋外暴露をしたコンクリートの性状について), 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 219, 1982
 - 15) 柳 正光, 間木野義雄, 三田利彦: 焼せっこうセメント複合材に及ぼすセメントクリンカー中の Al_2O_3 の効果, 石膏と石灰, No. 130, pp. 2~9, 1974. 5
 - 16) 岸谷孝一, 武 孝夫, 藤木洋一: セッコウの建築構造物への適用と耐久性, 石膏と石灰, No. 192, pp. 39~46, 1984. 9
 - 17) 岡島達夫: 「構造用セッコウ規準」とその作成経緯, 石膏と石灰, No. 192, pp. 47~51, 1984. 9
 - 18) 岸谷孝一, 平居孝之: コンクリートの割裂引張試験に関する考察, 日本建築学会論文報告集, 第 224 号, pp. 1~8, 1974, 10
 - 19) 吉田 勝: Tectonics and petrology of charnockites around Lutzow-Holmbukta, Journal of Geosciences, Osaka City Univ., Vol. 21, Art 6, pp. 65~152, 1978
 - 20) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 1986 年改訂 (第 7 次)
 - 21) 岸谷孝一, 平居孝之: 建築材料としての無機複合材料に関する研究 (その 3 マトリックス相として見た石膏の性質・力学的性能, 日本建築学会論文報告集), 第 256 号, pp. 1~6, 1977. 6
 - 22) 竹本国博: 電子顕微鏡によるポルトランドセメント並びにその組成鉱物の水和作用の研究, セメント技術年報, Vo. 17. pp. 19-17, 1953

SYNOPSIS

UDC : 691.55 : 691.22 : 691.32

A STUDY ON GYPSUM CONCRETE USAGE IN FIRE PREVENTION BUILDING AT ANTARCTIC SYOWA STATION

by ZENKICHI HIRAYAMA, Assoc. Prof., Nihon Univ.,
and Dr. TAKAYUKI HIRAI, Prof., Oita Univ., Members
of A. I. J.

Some experiments are carried out on the basic properties of gypsum paste and concrete to investigate the usage of gypsum as a main material in constructing fire prevention buildings at Syowa Station in Antarctic.

Improved II -type gypsum anhydride, which is composed of 70 % II -type gypsum anhydride and 30 % sulfuric acid proof cement, is considered the most preferable binder for gypsum concrete at Syowa Station because of the special quality in the environment of low temperature and water resistant performance.

Aggregate gathered at Syowa Station is to be used in concrete and we called it syowa station aggregate. Syowa station aggregate is similar to the mixture of crushed stone and crushed sand used in the interior and the fine-total aggregate ratio is constantly 60.7 %.

Gypsum concrete using improved II -type gypsum anhydride and syowa station aggregate has good ability on manufacturing process such as mixing, casting and curing, high compressive strength and quick increase of strength. Then it is possible and effective to use the gypsum concrete in the construction of fire prevention buildings at Syowa Station.