

冷却した高吸水性ポリマーを添加したコンクリートに関する研究

伊藤幸広*・辻 正哲**・久保正顕***

吸水させた高吸水性ポリマーを液体窒素により極低温まで冷却し、これを冷却媒体および練りませ水の一部として用い、練上がり温度を低減させる方法を提案した。本文では、練りませ水の一部を吸水させた高吸水性ポリマーを用いてコンクリートを製造し、その基礎的性状を明らかにするとともに、ブレッカーリング工法としての適用の可能性について示した。

Key Words : high absorption polymer, liquid nitrogen, precooling, concrete

1. まえがき

マスコンクリートの施工において、温度ひびわれの制御は最も重要な課題であり、材料および配合の選定から打設後の養生方法に至るまで様々な対策が必要となる。なかでもコンクリートの打込み温度を降下させて打設するブレッカーリング工法は、温度ひびわれ制御において非常に有効な方法であり、現在までに数多くの施工実績がある¹⁾。

ブレッカーリング工法には、練りませ水、セメント、骨材等の構成材料をあらかじめ冷却した後に練りませる方法、練りませ中にコンクリートを冷却する方法、練り上げ後のコンクリートを打設前に冷却する方法の3通りの方法がある¹⁾。そのなかでもコンクリートの構成材料をあらかじめ冷却した後に練りませる方法は古くから行われており、構成材料を冷却する手段としては冷水や冷風が用いられてきた。また一部の工事では、練りませ水の代わりに氷を用い、練り上げ温度を大幅に低減させる方法も採用されている。しかし、これらの方法は、冷却機や製氷装置を含むプラントにかなりの設備投資を必要とすることから、主として打設量が非常に大きな工事に用いられている。

ここ数年、コンクリートの構成材料の冷却手段として、冷熱量の大きな液体窒素（以下 LN_2 ）が用いられるようになってきている。また、 LN_2 を用い、練りませ中のコンクリートを冷却する方法、練り上げ後のコンクリートを冷却する方法も見られるようになってきている。このよ

うな背景には、 LN_2 が安全で卓越した冷却能力を有しているという LN_2 特有の利点に加えて、急速施工に伴う大幅な打込み温度低減の要請、比較的小規模な工事においても温度ひびわれ制御対策を行うようになってきたこと、などの施工上の変化があるものと考えられる。

LN_2 を冷却手段として用いるブレッカーリング工法では、ブレッカーリングに要する全ての費用の中で LN_2 の費用が大きな割合を占めるため²⁾、 LN_2 の冷却効率は非常に重要な問題となってくる。一般的に、コンクリートの練りませ中もしくは練り上げ後のコンクリートを直接 LN_2 により冷却する方法は、構成材料を個別に冷却する方法よりも冷却効率は悪くなる。さらに、現状では、設備が簡易なものほど冷却効率が悪いという傾向がある³⁾。

一方、紙おむつや生理用品などの衛生用品の吸収材として用いられている材料に高吸水性ポリマーがある。一般的に、高吸水性ポリマーは数分間に自重の数十～数百倍の水を吸収し、多少の圧力や温度変化では一旦吸収した水を容易に放出しないという特徴をもっている。形状としては、不定形粉末状や球形粒状のものが代表的であり、これらの粒子は吸水後も互いに結合することなく個々に独立している。

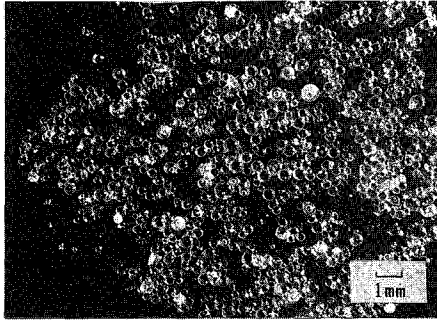
著者らは、高吸水性ポリマーのこのような特性に着目し、自重の30倍程度の水を吸水させた高吸水性ポリマー（直径0.5mm程度の球形粒状）を LN_2 で冷却したところ、個々の粒子の形状にはなんら変化が見られず、独立した状態で凍結することを確認している。すなわち、これは特殊な装置を必要せず、極めて粒径の小さな粒子からなるパウダー状の氷を製造する方法であるといえる。

また、高吸水性ポリマーは、高分子電解質であることから、周囲に存在する溶液の水素イオン濃度に影響を受け吸水力が変化する。水道水を吸水した高吸水性ポリマーをセメントペースト中に添加すると、セメントペースト中のアルカリイオンにより吸水力が低下し、内部の水

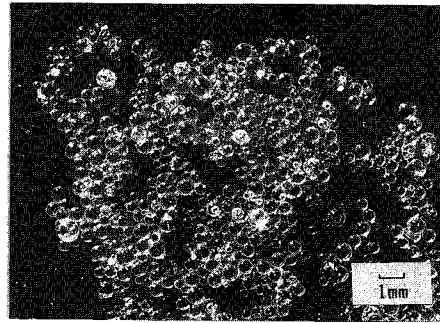
* 工修 東京理科大学助手 理工学部土木工学科
(〒278千葉県野田市山崎2641)

** 工博 東京理科大学助教授 理工学部土木工学科

*** 工修 清水建設㈱土木本部
(前 東京理科大学大学院)



(a) 吸水倍率20倍



(b) 吸水倍率40倍

写真-1 吸水後の高吸水性ポリマーの外観

を放出するということも報告されている⁴⁾。

以上より、吸水させた高吸水性ポリマーをLN₂を用い冷却することによりパウダー状の水を製造し、これを練りませ水の一部として用いることによって、コンクリートを製造し、その練り温度を低減させることが可能となる。さらに、高吸水性ポリマーは吸水後であっても直径0.5mm程度の独立した球形粒状を示すことから、コンクリート中への分散性も良く、熱交換性の点でも良好な材料であるものと考えられる。また、コンクリートに高吸水性ポリマーを添加することによる強度への悪影響はほとんどないことが知られている⁴⁾・⁵⁾。したがって、LN₂により高吸水性ポリマーを冷却して製造したパウダー状の水を練りませ水の一部として用いる方法は、大型の製氷設備を必要としない簡易で熱効率の良いプレクーリング工法となる可能性がある。

本研究は、練りませ水の一部を吸水させた高吸水性ポリマーをLN₂により極低温まで冷却し、これを用いて製造したコンクリートの基礎的性質を明らかにすることを目的に行ったものである。また、本方法を用いた場合のLN₂によるコンクリートの冷却効率を求め、小規模工事にも適用できるプレクーリング工法としての特徴についても若干の検討を加えている。

2. 実験に用いた高吸水性ポリマーの特徴

高吸水性ポリマーには様々な種類があるが、原材料の違いから、デンプン系、セルロース系、合成ポリマー系の3つに分類される。我が国で市販されている高吸水性ポリマーには合成ポリマー系が多く、その中でも橋かけ構造を持つポリアクリル酸塩系のものが多い。高吸水性ポリマーの持つ代表的な特性としては、その吸水能力の高さと吸水速度にあるが、同一組成の高吸水性ポリマーでも合成方法が異なればその特性値も大きく変化する⁶⁾。

実験で用いた高吸水性ポリマー(O社製)は架橋型ポリアクリル酸ナトリウムを主成分とした球形粒状のもの

表-1 高吸水性ポリマーの基本特性

吸水前の粒径	かさ比重	真比重	pH	吸水能力		残留モノマー
				脱イオン水	0.9%食塩水	
0.07~0.15 ^{mm}	0.95~1.00	1.6	中性	70~140倍	25~35倍	100ppm以下

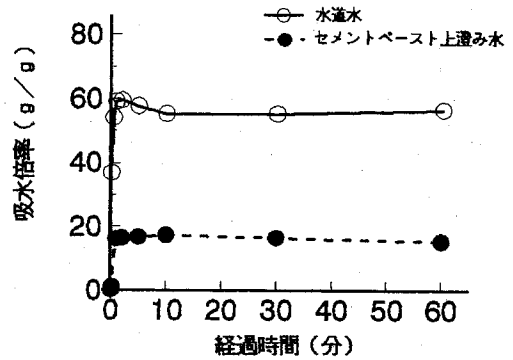


図-1 吸水倍率の経時変化

であり、その基本特性は、表-1に示すとおりである。写真-1は、吸水前の高吸水性ポリマーの自重に対して、20倍(吸水倍率20倍)および40倍(吸水倍率40倍)の重量の水道水(pH7.0)を吸水させた高吸水性ポリマーの形状を示したものである。吸水倍率20倍の高吸水性ポリマーの粒径は0.08~0.60mm程度であり、吸水率40倍では0.20~0.85mm程度である。吸水倍率が40倍では、粒子表面に若干の付着水が見られ、吸水倍率がさらに大きくなると、粒子間に間隙水が多く存在するようになる。粒子間の間隙水が多い状態で高吸水性ポリマーを冷却すると、粒子同志が互いに氷結し小塊状となる。しかし、吸水倍率が30倍以下であれば、LN₂により冷却した場合においても、高吸水性ポリマーの粒子は独立した状態で凍結し、パウダー状となる。

図-1は、溶液中に浸漬した高吸水性ポリマーの吸水倍率の経時変化を示したものである。吸水倍率は吸水前の高吸水性ポリマーの重量に対する吸収した溶液の重量

表-2 セメントの物理的性質

項目	比重	比表面積 (cm ² /g)	凝 結		安定性	圧縮強さ (kgf/cm ²)		
			始発	終結		3日	7日	28日
普通ポルトランドセメント	3.16	3170	2 ^h -34 ^m	3 ^h -41 ^m	良	149	256	425

表-3 細骨材の物理的性質

項目	比重	吸水率 (%)	有機不純物 (%)	実練率 (%)	粒度分布 (残留百分率)						粗粒率
					5 ^φ	2.5 ^φ	1.2 ^φ	0.6 ^φ	0.3 ^φ	0.15 ^φ	
川砂	2.60	1.32	合格	65.2	0	9	35	61	87	98	2.90

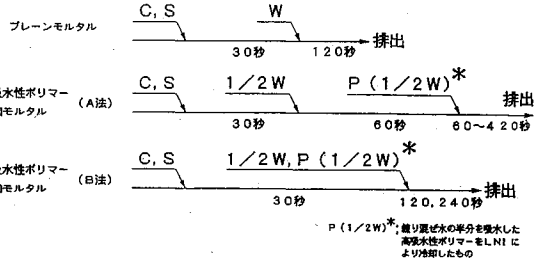


図-2 モルタルの練りませ方法

の比である。吸水させる溶液には、水道水 (pH7.0) とセメントペースト (W/C=200%) の上澄み水 (pH13.0) の2種類を用いた。高吸水性ポリマーの吸水倍率の測定は、ティーバッグ法⁶⁾に改良を加えたものであり、高吸水性ポリマーを不織布の袋に入れ、溶液に所定時間浸漬後、遠心力により水切りをする方法とした。この水切りに用いた装置はバケットの径が25cm、回転数が1200r.p.m.の遠心脱水装置であり、1分間遠心脱水を行った。水切りを行ったのは、実際のコンクリート中では高吸水性ポリマーの個々の粒子が分散して存在するため、粒子間の間隙水を含まない正確な吸水倍率を求める必要があったためである。浸漬する溶液が水道水およびセメントペースト上澄み水のいずれの場合でも、浸漬後1分程度で吸水倍率は最大となり、それ以降はほぼ一定となっている。水道水中に浸漬した高吸水性ポリマーの最大吸水倍率は59倍であるのに対し、セメントペースト上澄み水での最大吸水倍率は18倍となり、pHの大きな溶液中では最大吸水倍率が極端に小さくなっている。

3. 実験概要

今回実験で使用した高吸水性ポリマーは、前述したように、セメントペースト上澄み水のようなpHの高い溶液に対してもある程度の吸水能力を示すことから、コンクリート中に練りませられた後においても吸水した水を完全に放出しない可能性がある。また、高吸水性ポリマーが融解し、放水を終了するまでの時間も不明である。これらは、コンクリートの配合および練りませ時間を決定するための重要な要因であると考えられる。そのため、まず冷却した高吸水性ポリマーを添加したモルタルを用いて予備実験を行い、練りませ後も高吸水性ポリマー中に残存する水量および練りませ時間と放水量との関係を求めた。次いで、予備実験の結果を基にコンクリートの配合および練りませ時間を定め、冷却した高吸水性ポリマーを添加したフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの諸性状を把握するための実験を行った。また、実験で検討した高吸水性ポリマーの吸水倍率は20倍、30倍および40倍である。ただし、前述したように吸水倍率

が40倍となると、LN₂で冷却した高吸水性ポリマーは小塊状となるが、小塊状となった場合の影響についても検討を行った。

4. 予備実験

(1) 使用材料

使用したセメントは普通ポルトランドセメントであり、細骨材は鬼怒川産の川砂である。それぞれの物理的性質は、表-2および表-3に示すとおりである。また、練りませ水には水道水を使用した。

(2) モルタルの配合

実験には、W/C=55%、S/C=2.84のモルタルを用いた。高吸水性ポリマーを添加する場合には、練りませ水を半分に分け、その片方を通常の練りませ水として、残りを高吸水性ポリマーに吸水させた状態でミキサー内に投入する方法とした。実験では、吸水倍率がモルタルの性質に及ぼす影響を調べるため、吸水倍率を20倍、30倍および40倍と変化させた場合について検討を行った。なお、高吸水性ポリマーに吸水させる水量を一定としたため、吸水倍率の調整は吸水前の高吸水性ポリマーの使用量を変化させることにより行った。また、細骨材は全て表乾状態で用いた。

(3) 実験方法

a) 練りませ時間が高吸水性ポリマーの放水量に及ぼす影響

水を吸収した高吸水性ポリマーは、粉体のセメントと接触しても瞬時に水を放出することはなく、高吸水性ポリマーと接触する液体のアルカリイオン濃度が高くなることによって放水が起こる。したがって、高吸水性ポリマーを用いてコンクリートを製造する場合には、高吸水性ポリマーが十分に水を放出し安定するまで練りませを行う必要がある。

高吸水性ポリマー中に残存する水量および高吸水性ポリマー粒子が拘束する水量は、プレーンモルタルの遠心脱水時の脱水量と高吸水性ポリマーを添加したモルタルの脱水量の差であると仮定し、モルタルを遠心脱水することにより間接的に求めた。これは、同一配合の試料を

表-4 LN₂使用量の目安

練上り温度降下量 (°C)	10	20
LN ₂ 使用量 (g)	133	304

*W/C=55%, S/C=2.84のモルタル1ℓに対する使用量

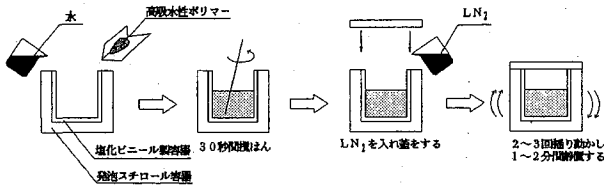


図-3 高吸水性ポリマーの冷却方法

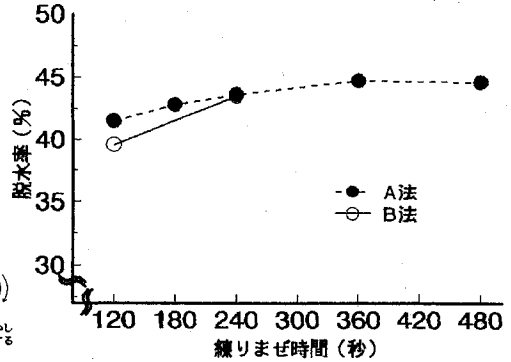


図-4 練りませ時間と脱水率の関係

同一条件で遠心脱水を行うと試料の脱水率はほぼ一定になるという原理を利用してフレッシュコンクリートの単位水量を求めるという方法⁷⁾を参考にしたものである。遠心脱水では、バケツの内径が10cm、回転数が約1400 r.p.m.で外方脱水が可能な装置を用い、水分を透過しベースト分を透過しない布でモルタルを包み、4分間遠心脱水を行う方法とした。高吸水性ポリマーを添加するモルタルでは、練りませ方法の違いによる影響を調べるため、練りませ方法を2通りに変化させた。すなわち、練りませ水の1/2を用いモルタルを先練りしておき、その後に残りの練りませ水を吸水させた高吸水性ポリマーを投入し練りませる方法 (A法) および練りませ水の1/2と残りの練りませ水を吸水させた高吸水性ポリマーを同時にミキサー内に投入し練りませる方法 (B法) である。練りませは公称容量3ℓのホバート型モルタルミキサーを用い、図-2に示す手順で練りませた。A法の場合は、モルタルの先練り時間を60秒とし、高吸水性ポリマー投入後の練りませ時間を60, 120, 180, 300および420秒とした。B法の場合は、全材料投入後の練りませ時間を120および240秒とした。なお、高吸水性ポリマーを添加する場合には、高吸水性ポリマーの吸水倍率を30倍とし、高吸水性ポリマーをLN₂により冷却し、モルタルの練上り温度を約5°C降下させた。

b) 練上り温度降下量と高吸水性ポリマーの放水量の関係

冷却した高吸水性ポリマーを添加し練上り温度降下量を変化させたモルタルについて、練上り後に高吸水性ポリマー中に残存する水量を、前述の考えに基づき遠心脱水による方法より求めた。遠心脱水試験はプレーンモルタルおよび高吸水性ポリマーを添加したモルタルの両者について行い、プレーンモルタルでは3個の供試体について、高吸水性ポリマーを添加したモルタルでは各条件とも2個の供試体について試験を行い平均値を求めた。練上り温度降下量は、0.10および20°Cとした。なお、練上り温度降下量の調整は、LN₂の使用量を変え高吸水性

ポリマーの冷却温度を変化させることにより行った。予備実験より求めた練上り温度降下量とLN₂の使用量との関係は表-4に示すとおりである。高吸水性ポリマーを添加するモルタルの練りませ方法はA法であり、高吸水性ポリマー投入後の練りませ時間を180秒とした。使用したミキサーは前項と同様のものである。

c) 高吸水性ポリマーの冷却方法

高吸水性ポリマーの冷却方法は、図-3に示すように、発泡スチロールで断熱した容器に練りませ水の1/2および吸水前の高吸水性ポリマーを投入し、ガラス棒で30秒間攪はんした後、表-4に示す量のLN₂を高吸水性ポリマーの上から注ぎ込み、蓋をし2~3回揺り動かすという方法とした。なお、高吸水性ポリマーの温度が平衡状態に達するまでの時間は、LN₂を注ぎ入れてから1~2分程度であった。

(4) 実験結果および考察

a) 練りませ時間が高吸水性ポリマーの放水量に及ぼす影響

図-4は、練りませ時間と高吸水性ポリマーを添加したモルタルの脱水率の関係を示したものである。ここでの練りませ時間とは、A法、B法のいずれも最初に練りませ水を投入してからモルタルを排出するまでの練りませ時間のことである。また、モルタルの脱水率とは、試験時の脱水量の試験前のモルタル中に含まれる水量に対する百分率である。A法で練りませ時間が120秒の場合には、脱水率は41.8%であるが、練りませ時間360秒以降は44%程度ではほぼ一定となっている。一方、B法の場合には、練りませ時間が120秒で脱水率は39.6%となり、同じ練りませ時間であってもA法に比べ2%程度小さくなっている。しかし、練りませ時間が240秒となるとA法とB法の脱水率は同等となっている。練りませ時間が120秒と短い場合には、B法ではA法に比べ高吸水性ポリマーからの放水が行われにくいことを示している。

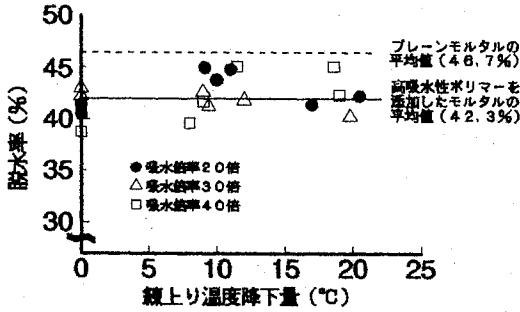


図-5 練上り温度降下量と脱水率の関係

表-5 粗骨材の物理的性質

項目	最大寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	実積率 (%)	粒度分布 (規百分率)					粗粒率
					25**	20**	15**	10**	5**	
砕石	20	2.64	0.92	59.6	0	3	14	52	96	6.51

表-6 コンクリートの配合

項目	W/C	e/a	目標 水/セメント	目標 実積率	単位量 (kg/m ³)					高吸水性 ポリマー
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤 (C×%)	
プレーン コンクリート (基準配合)	56	45	8	4	168	288	831	1035	0.012	
高吸水性 ポリマー 投入 コンクリート					79**					4.30 (20倍)** 2.87 (30倍)** 2.16 (40倍)**

*先に投入する練り混ぜ水量
**高吸水性ポリマーにあらかじめ吸水させておく水量
***脱水率

b) 練上り温度降下量と高吸水性ポリマーの放水量の関係

図-5は、練上り温度降下量とモルタルの脱水率の関係を示したものである。高吸水性ポリマーを添加したモルタルの脱水率は、多少ばらつきはあるものの温度降下量および吸水倍率に関わらずほぼ一定となり、その平均値は42.3%となっている。モルタルの温度降下量を20℃とする場合には、高吸水性ポリマーを約-100℃まで冷却する必要がある。しかし、この場合でもモルタルの脱水率が他と変わらないことから、凍結した高吸水性ポリマーは完全に融解したものと考えられる。これは、高吸水性ポリマーの粒径が0.5mm程度と小さく、モルタル中への分散性も良いため、熱交換が容易に行われたためと考えられる。

プレーンモルタルの脱水率の平均値が46.7%であり、高吸水性ポリマーを添加したモルタルの平均値が42.3%であることから、その差の4.4%は、高吸水性ポリマー内に残存する水量の全練り混ぜ水量に対する比率と考えることができる。

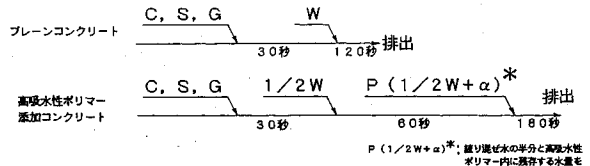


図-6 コンクリートの練り混ぜ方法

表-7 高吸水性ポリマーの吸水倍率と練上り温度降下量

要因	水準
高吸水性ポリマーの吸水倍率	20倍, 30倍, 40倍
練り上がり温度の降下量	0℃, 10℃, 20℃

5. 高吸水性ポリマーを添加したコンクリートの諸性質に関する実験

(1) 使用材料

粗骨材としては山梨産の砕石を用い、その物理的性質は表-5に示すとおりである。また、混和剤としてはY社製のAE剤を用いた。なお、その他の材料は予備実験で用いたものと同じである。

(2) コンクリートの配合

コンクリートの基本配合は、マスコンクリートの施工事例を参考に決定したものであり⁸⁾、表-6に示すとおりである。高吸水性ポリマーを添加する配合において、高吸水性ポリマーにあらかじめ吸水させておく水量は、予備実験で求めた練り混ぜ後も高吸水性ポリマーに残存する水量(全ての練り混ぜ水量の4.4%)の分を割り増したものである。なお、高吸水性ポリマーの使用量は、吸水倍率を20倍、30倍および40倍とするのに必要な量として定めた。

(3) 練り混ぜ方法

コンクリートの練り混ぜ方法は、図-6に示すとおりである。予備実験の結果より、練り混ぜ方法は、高吸水性ポリマーからの放水を促しやすいA法とし、練り混ぜ水を投入した後の練り混ぜ時間は脱水量がほぼ一定となる240秒とした。使用したミキサーは公称容量50ℓのパン型ミキサーである。

(4) 実験方法

実験では、高吸水性ポリマーの吸水倍率と練上り温度降下量を表-7に示すように変化させて、コンクリートのスランプ、空気量、ブリージング、圧縮強度および曲げ強度の測定を行った。また、ブレイキング工法としての適用性を検討するための試験として、簡易断熱温度上昇試験装置を用いたコンクリートの温度履歴の測定を

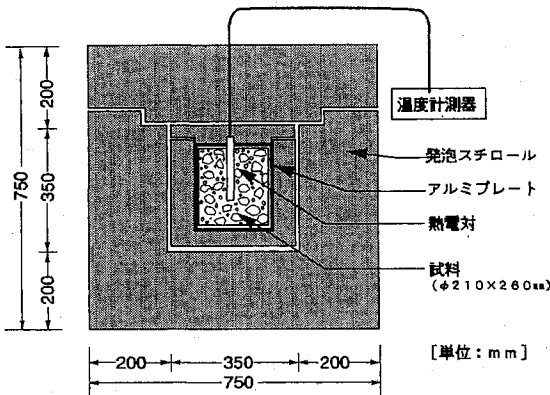


図-7 簡易断熱温度上昇試験装置

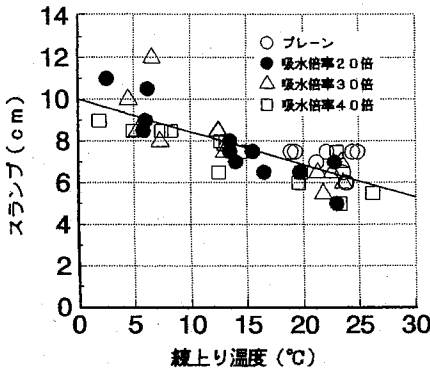


図-8 練上り温度とスランブの関係

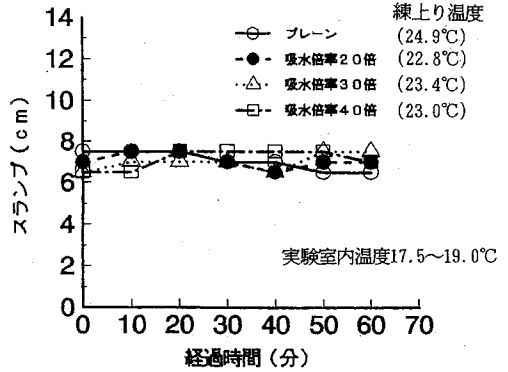


図-9 常温コンクリートのスランブの経時変化

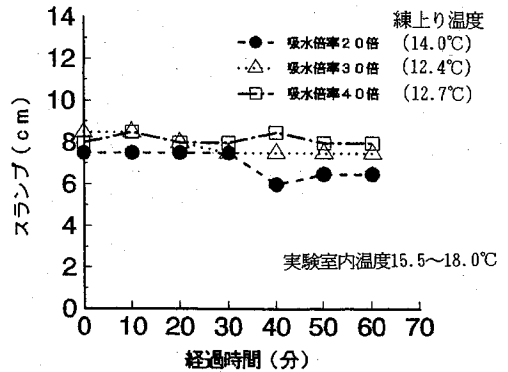


図-10 冷却コンクリートのスランブの経時変化

行った。

スランブ試験はJIS A 1101に準じて行った。また、練上り後60分まで10分おきにスランブ試験を行い、スランブの経時変化を求めた。空気量試験およびブリージング試験は、それぞれJIS A 1128およびJIS A 1123に準じて行った。圧縮強度試験は材令1, 3, 7, 28および56日において、JIS A 1108に準じて行った。曲げ強度試験はJIS A 1106に準じて行った。

簡易断熱温度上昇試験は、図-7に示すような発泡スチロール製の断熱容器内に試料を入れ、中心温度を熱電対で測定する方法により行った。なお、測定は練上り後2時間毎に72時間まで行った。

(5) 実験結果および考察

a) スランブ

図-8は、コンクリートの練上り温度とスランブの関係を示したものであり、冷却した高吸水性ポリマーを用い練上り温度を低下させた(降下量5.0~20.2°C)場合の他に常温(練上り温度18~25°C)で練りませた場合のデータも含んでいる。高吸水性ポリマーの吸水倍率の違い

にかかわらず練上り温度が低下するにしたがい、スランブは増加する傾向にある。スランブの増加量は、練上り温度が5~25°Cの範囲では、10°Cの温度降下に対して1.0~1.5cm程度の割合となっている。これは、一般的なコンクリートの練上り温度とスランブの関係にはほぼ一致しており⁹⁾、スランブに及ぼす高吸水性ポリマーの添加の影響はほとんどないものと考えられる。

図-9は、常温で高吸水性ポリマーを添加したコンクリートのスランブの経時変化を示したものである。高吸水性ポリマーを添加したコンクリートのスランブは、60分経過後においてもブレンコンクリートとほぼ同等となっている。高吸水性ポリマーを添加したコンクリートがスランブロスとさほど生じない傾向は、練りませ水の1/2を吸水させた高吸水性ポリマーを添加したモルタルのフロー値が、練りませから2時間経過後においてもその低下量はわずかであるか、もしくは練りませ時とさほど変化しないという既往の研究の結果¹⁰⁾と同様の傾向である。

図-10は、冷却した高吸水性ポリマーを添加し練上り温度を約10°C降下させたコンクリートのスランブの経時

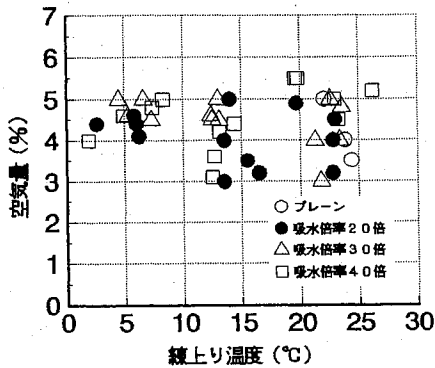


図-11 練上り温度と空気量の関係

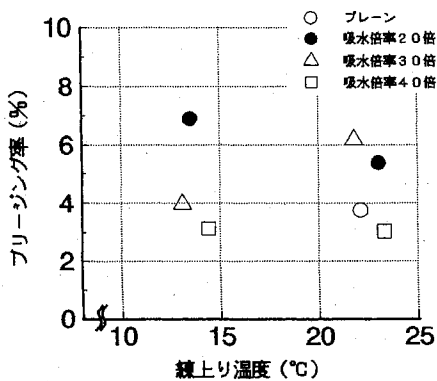


図-12 練上り温度とブリージング率の関係

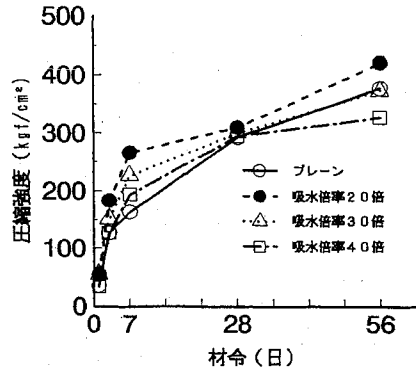


図-13 常温コンクリートの圧縮強度発現性状

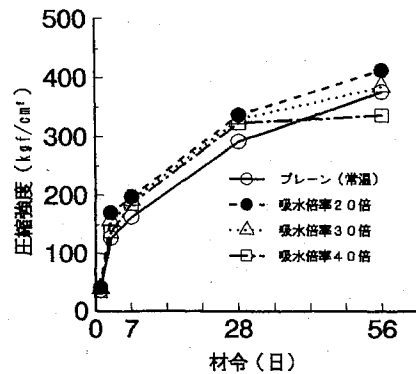


図-14 練上り温度を10℃降下させたコンクリートの圧縮強度発現性状

変化を示したものである。吸水倍率が40倍のものを除くと、冷却した高吸水性ポリマーを添加した場合には、常温の場合よりも若干ではあるがスランプロスが大きくなっており、60分間で約1 cmのスランプロスを生じている。

b) 空気量

図-11は、コンクリートの練上り温度と空気量の関係を示したものである。今回得られた結果では、空気量はほぼ3~5%の範囲内にあり、練上り温度や吸水倍率の違いによる差はほとんど見られなかった。この傾向は、単位A E剤量を一定とした一般的なコンクリートの場合と若干異なっている。

c) ブリージング

図-12は、練上り温度とブリージング率の関係を示したものである。吸水倍率が40倍の場合のブリージング率は、高吸水性ポリマーを添加しなかった場合と同程度であるが、吸水倍率が20倍および30倍の場合には、ブリージング率は若干大きくなっている。

d) 圧縮強度

図-13は、常温で練り混ぜたコンクリートの圧縮強度の発現性状を示したものである。高吸水性ポリマーを添加したコンクリートの方がプレーンコンクリートよりも、

初期における強度発現が大きくなる傾向を示している。また、材令28日以降においても、吸水倍率を20倍および30倍とした場合、高吸水性ポリマーを添加したことにより、圧縮強度はプレーンコンクリートと同等もしくは若干大きくなっている。しかし、吸水倍率を40倍とした場合には、材令56日において、圧縮強度はプレーンコンクリートより小さくなっている。また、全体的に吸水倍率が小さいほど、すなわち高吸水性ポリマーの使用量が多くなるほど、圧縮強度は大きくなる傾向が見られる。なお、この傾向は、高吸水性ポリマーの種類および投入方法により異なる可能性がある。

図-14は、冷却した高吸水性ポリマーを用いて練上り温度を約10℃降下させたコンクリートの圧縮強度の発現性状について示したものである。なお、図中には、比較のため常温のプレーンコンクリートの圧縮強度も示してある。高吸水性ポリマーを添加し練上り温度を低くしたコンクリートは、図-13の常温の場合に比べ若干強度発現が遅れプレーンコンクリートに近づく傾向を示している。しかし、図-13の場合と同様に吸水倍率が40倍で材令56日の点を除くと、高吸水性ポリマーを添加したコンクリートは常温のプレーンコンクリートと同等かそれ以

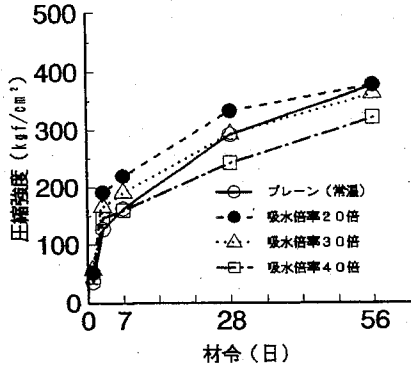


図-15 練上り温度を20℃降下させたコンクリートの圧縮強度発現性状

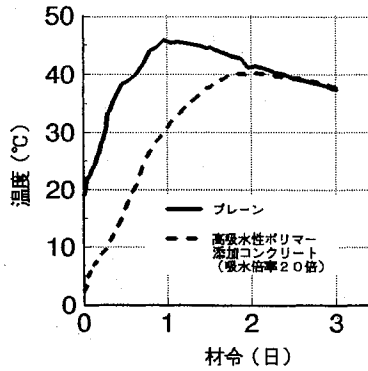


図-17 コンクリートの温度履歴

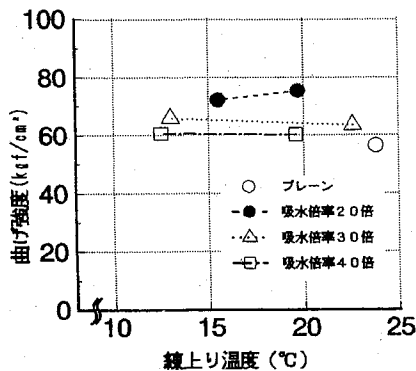


図-16 練上り温度と曲げ強度の関係

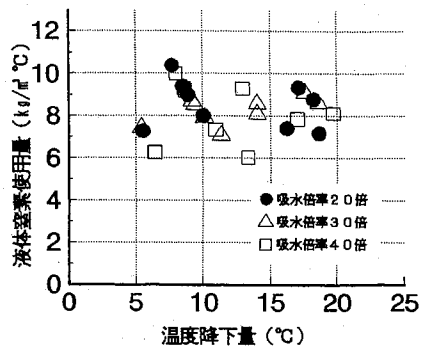


図-18 1 m³のコンクリートを1℃降下させるために必要なLN₂量

上の強度を示している。

図-15は、同様に練上り温度を約20℃降下させたコンクリートの圧縮強度の発現性状について示したものである。吸水倍率40倍では、練上り温度を約10℃降下させた場合よりも強度発現が遅れるが、吸水倍率20倍および30倍のコンクリートでは、常温のプレーンコンクリートと同等の強度を示している。

e) 曲げ強度

図-16は、材令28日におけるコンクリートの練上り温度と曲げ強度の関係を示したものである。常温でのプレーンコンクリートの曲げ強度が約56kgf/cm²であるのに対し、高吸水性ポリマーを添加したコンクリートの曲げ強度は、いずれもプレーンコンクリートより大きくなっており、圧縮強度の場合と同様に吸水倍率が小さくなるにしたがい曲げ強度も大きくなっている。吸水倍率20倍では約75kgf/cm²となっている。一方、練上り温度が低下してもさほど大きな変化はみられなかった。

f) 簡易断熱温度上昇試験

図-17は、簡易断熱温度上昇試験結果の一例として、冷却した高吸水性ポリマーを添加し練上り温度を約15℃

降下させたコンクリートについて、材令3日までの温度履歴を示したものである。プレーンコンクリートの中心部の最高温度が45.8℃であるのに対し、冷却した高吸水性ポリマーを添加したコンクリートのそれは40.2℃となっている。また、両者の最高温度に達するまでの材令には、26時間の差がみられ、最高温度に達するまでの温度上昇速度が、冷却した高吸水性ポリマーを添加し冷却することによりゆるやかになっている。これらの傾向は、冷水や冷却骨材を用い練上り温度降下させたコンクリートにみられる温度履歴の傾向と同様である。ただし、両者の最高温度の差が若干小さいのは、試験装置の断熱状態が十分でなかったためと考えられる。

6. プレクーリング工法としての適用性の検討

本章では、本実験で得られたデータより求めたLN₂の冷却効率より、プレクーリング工法としての適用性について検討を加えた。なお、実験はすべて室内実験によるものであり、実際のコンクリート製造プラントとはミキ

サーの容量一つをとっても大幅に異なっている。しかし、本実験では、 LN_2 で高吸水性ポリマーを冷却する場合に断熱容器を用いた他は、ミキサー等全ての機器に対し断熱処理をなんら施さず、 $14\sim 20^\circ C$ の常温状態で使用した。高吸水性ポリマーの冷却方法は図-3に示す方法であり、投入する LN_2 量を種々に変化させ練上り温度の降下量を測定した。

図-18は、練上り温度の降下量とコンクリート $1m^3$ を $1^\circ C$ 冷却するために必要な LN_2 の使用量との関係を示したものである。なお、ここに示した LN_2 の使用量 (kg/m^3) は、実験で求めた1バッチ当りの量、すなわちコンクリート約40ℓにおいて測定した LN_2 の重量より換算して求めた。 LN_2 の使用量は $6.0\sim 10.5kg/m^3$ の範囲内にあり、平均では $7.9kg/m^3$ となっている。なお、今回の実験ではコンクリートの最大の温度降下量は約 $20^\circ C$ とした。

LN_2 の冷熱量を100%利用できるものとした場合、コンクリート $1m^3$ を $1^\circ C$ 低減させるために必要な LN_2 量は約 $5.5kg$ となることから⁹⁾、今回の実験による熱効率は平均で70%となり、比較的高い値が得られたことになる。この理由としては、 LN_2 により直接冷却する対象が他の工法と比較して少ないこと(単位水量の半分)、また、高吸水性ポリマーの粒径が小さくコンクリート中での分散性も良好であり、熱交換が効率よく行われたこと等が考えられる。

7. 結論

本研究により得られた結論を取りまとめると、次のとおりとなる。

- (1) 練りませ水の $1/2$ をあらかじめ吸水させておいた高吸水性ポリマーを用いモルタルを練りませる場合、全ての材料を一括投入し練りませるよりも、練りませ水の約半分の水を用いモルタルを先練りした後に、高吸水性ポリマーを添加する方が、高吸水性ポリマーからの放水が早期に行われる。
- (2) 冷却した高吸水性ポリマーを添加したコンクリートのスランプは、練上り温度が低くなるほど大きくなり、ブレンコンクリートの練上り温度とスランプの関係と同様の傾向を示す。また、常温で高吸水性ポリマーを添加したコンクリートのスランプロス、ブレンコンクリートとほぼ同等となる。
- (3) 高吸水性ポリマーを添加したコンクリートの空気量は、練上り温度や吸水倍率の違いによる影響を受けずほぼ一定となる。
- (4) 常温もしくは冷却した高吸水性ポリマーを添加したコンクリートの圧縮強度は、常温のブレンコンクリートの圧縮強度と同等かそれ以上となる。ただし、吸水倍率

を40倍と大きくするとコンクリートの圧縮強度は常温および冷却時ともに長期材令において低くなる。

(5) 簡易断熱温度上昇試験の結果によると、高吸水性ポリマーを用い冷却したコンクリートでは、他のブレーリング工法の結果と同様に、常温のコンクリートに比べ、最高温度および温度上昇速度が小さくなる。

(6) 1バッチ量40ℓ程度の小規模な室内実験であるが、冷却した高吸水性ポリマーを添加しコンクリートの練上り温度を低下させる方法では、 $1m^3$ のコンクリート温度を $1^\circ C$ 低下させるのに必要となる LN_2 量は平均で $7.9kg/m^3$ となり、冷却効率は約70%となる。

謝辞：本研究の遂行にあたり、当時卒生であった大森武司氏および野呂直似氏のご協力を得た。また、三井建設(株)の関係各位からは材料の提供およびご指導を頂いた、ここに深く感謝の意を表します

参考文献

- 1) 長滝重義・小野定：コンクリートのブレーリング工法の現状、コンクリート工学, Vol. 29, No. 12, pp. 5-19, 1991.
- 2) 佐藤哲司：液体窒素噴射工法(NICEクリート工法)、コンクリートと熱に関するシンポジウム講演概要集、日本学術振興会第76委員会, pp. 22-27, 1990.
- 3) 根上義昭・小野定・後藤貞雄・峯岸孝二：サンドブレイク工法(液体窒素で冷却した骨材を用いたブレーリング工法)、コンクリートと熱に関するシンポジウム講演概要集、日本学術振興会第76委員会, pp. 28-33, 1990.
- 4) 竹内光・岡本直・出村克宣・大濱嘉彦：混和剤としての高吸水性樹脂の基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 13, No. 1, pp. 73-76, 1991.
- 5) 岡本直・蓮尾孝一：吸水ポリマーを使ってコンクリートをつくと、セメント・コンクリート, No. 519, pp. 53-59, 1990.
- 6) 増田房義：高吸水性ポリマー、共立出版, pp. 1-10.
- 7) 本間信吾・稲井田洋二・町野光生：フレッシュコンクリートの単位セメント量、水セメント比の早期判定(遠心脱水法による試験)、コンクリート品質の早期判定に関するシンポジウム発表論文集, pp. 17-20, 1979.
- 8) 例えば加藤和彦・松林秀美・清水徹・松岡彰：液体窒素を用いた沈埋函体側壁コンクリートブレーリングの施工、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 427-432, 1989.
- 9) U. S. BUREAU OF RECLAMATION: Concrete Manual 8th Ed, p6, 1975.
- 10) 竹内光・岡本直：混和剤としての高吸水性樹脂の応用に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 14, No. 1, pp. 343-346, 1992.
- 11) 十河茂幸・中根淳・浅井邦茂・直井彰秀：液体窒素により冷却されたコンクリートの基礎的性質、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 8, No. 1, pp. 329-332, 1986.

(1993. 4. 6 受付)

A STUDY ON CONCRETE MIXED WITH COOLED HIGH ABSORPTION POLYMER

Yukihiro ITOU, Masanori TSUJI and Masaaki KUBO

Some high absorption polymer with water have characteristics of discharging water when they are mixed in cement paste and being frozen without each particle combined below the freezing point. In this study, some basic properties of concrete mixed with this high absorption polymer absorbed mixing water, which was cooled by liquid nitrogen, in order to clarify to be applicable to precooling method were investigated. The results show that slump, air and strength of concrete mixed with high absorption polymer are roughly as same as conventional concrete and it can be largely reduced temperature of mixed concrete by using cooled high absorption polymer.
