

論文 MgO を用いて遠心成形された膨張コンクリートの性質

弦巻 淳一^{*1}・三浦 信隆^{*2}・相楽 勝夫^{*3}

要旨：本研究は、マグネシア系膨張材を混和した膨張コンクリートについて、オートクレーブ養生条件下での各種要因における膨張挙動を実験的に調べると共に他の膨張材との膨張特性について比較検討した。その結果、マグネシア系膨張材が他の膨張材に比較しかなり膨張量が大きいこと、および膨張材の混和量が 30 kg/m^3 では蒸気養生の段階ですでに膨張効果を発揮することが明らかとなった。

キーワード：マグネシア系膨張材、膨張セメント、遠心成形、オートクレーブ養生

1. はじめに

コンクリート用膨張材はコンクリートの収縮を抑え、その膨張作用によりケミカルプレストレスを付与させる等を目的に使用されている。

現在のコンクリート膨張材の主流は、カルシウムサルファアルミニネート系であり、その他石灰系膨張材もあるが、これらの使用方法や養生方法は多くの研究や報告がなされている^{1), 2)}。

しかしながら、マグネシア系膨張材に関してはその報告は少ない³⁾。本研究ではマグネシア系膨張材を混和したコンクリートの(1)混和材の種類による膨張作用への影響および(2)蒸気養生からオートクレーブ養生にかけての膨張挙動の2点について、その膨張の特性を明らかにした。

2. 実験概要

2. 1 実験-1 表-1 に示す各種マグネシアについて各々の特性を調べた。サンプル A、D、E は海水マグネシアであり、比表面積の異なるものである、サンプル B は天然のマグネサイトを力焼したものであり、サンプル C は電融マグネシアである。本実験で成分中の MgO 分の水和率については、 65°C の飽和蒸気で 8 時間による水和率と 180°C 10 気圧の飽和蒸気で

5 時間での水和率の比較を行った。つぎに、これらをコンクリートに混和した際の自由膨張量の比較をした。混和量は 20 kg/m^3 とした、この量は鋼管複合杭にケミカルプレストレスを付与させるためのコンクリートの膨張量が充分得られる最小量である。

2. 2 実験-2 サンプル A については、CSA 系と石灰系との比較をした。実施方法は、実験-1 で行った材を混和したコンクリートの自由膨張量測定と鋼管コンクリート杭の実製品を想定した小型サイズの鋼管とコンクリートを複合させて供試体の膨張量を調べた。表-2 にサンプル A と同時に比較した膨張材と混和量を示す。

2. 3 使用材料

使用材料としてセメントは普通ポルトランドセメント（比重 : 3.15、比表面積 : $3300 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）、細骨材は鬼怒川系川砂（比重 : 2.61、FM : 2.68、吸水率 : 2.3%）、粗骨材は栃木県栗山産碎石 2005（比重 : 2.64、FM : 6.55、吸水率 : 0.5%）、減水剤には β -ナフタレンスルファン酸系高性能減水剤（比重 : 1.2）、スラッシュ防止材として変性アルミノケイ酸塩化合物を含む混合物を使用した。

*1 旭化成工業（株）ジオ技術開発部（正会員）

*2 旭化成工業（株）ジオ技術開発部 研究員（正会員）

*3 旭化成工業（株）ジオ技術開発部 主任研究員

表一 1 実験一 1 使用材料の性質

サンプル	マグネシア種類	強熱減量(%)	化学成分 (%)					比表面積(cm ² /g)	粒度(<90 μm)(%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		
A	海水マグ	0.1	2.6	0.2	0.2	1.1	95.4	3320	99.8
B	中国産天然マグ	0.7	5.0	0.5	1.1	1.6	90.8	3180	97.7
C	電融マグ	0.1	1.6	0.4	0.7	1.0	95.8	3260	98.8
D	海水マグ	0.1	2.6	0.2	0.2	1.1	95.4	3810	100
E	海水マグ	0.1	2.6	0.2	0.2	1.1	95.4	2960	92.6

2.4 コンクリートの配合

配合は表-3に示す通りとし、膨張材は表-2の水準とし、スランプの調整は水で行った。

2.5 供試体作製方法

(1) 練り混ぜ方法

強制1000練り二軸型ミキサーを使用し、材料の投入は図-1に示す通りを行い、コンクリートの温度は20±2°Cになるようにした。材料の投入順序及び混練り時間は、砂・碎石投入後15秒間攪拌、セメント・膨張材投入後30秒間、水投入後30秒間、減水剤投入後60秒間、スラッジ防止材投入後90秒で排出とした。スラッジ防止材は減水剤投入後に混ぜる事で防止効果を得るものである為に、以上のような練り混ぜ方法とした。

(2) 成型方法

①自由膨張量測定用供試体

図-2の通りJIS A1136に準じる供試体の中央から100mmずつ両端に2ポイントの標点プラグを取り付けた。同供試体はあわせて、圧縮強度試験にも用いた。

②鋼管複合型膨張量測定用供試体

図-3に示す通りJIS A1136に準じる供試体用の型枠にガス管（7BSGP）を用いコンクリートを投入後遠心力成形により鋼管と複合し成型体した。膨張量を測定するための標点プラグは鋼管表面に100mmピッチで貼付した、遠心力は最大加速度25Gとし、7分間遠心成形した。

表-2 膨張材の種類と添加量

	混和量(kg/m ³)
サンプルA	15
	20
	30
C S A系	32
	60
	20
石灰系	30
	40
	15+32
サンプルA + C S A系	15+60
	20+32
	20+60

表-3 コンクリート基本配合

空気量(%)	スランプ(cm)	W/C(%)	S/a(%)	単位量(kg/m ³)	
				W	C
2±1	6±2	34	45	156	460

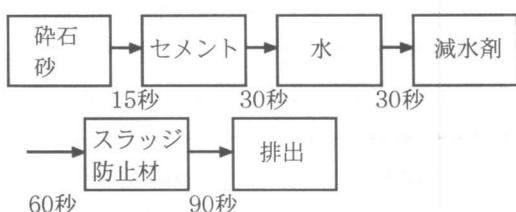


図-1 練り混ぜ方法

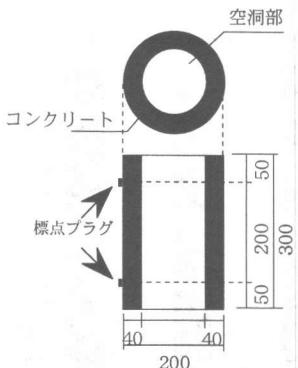


図-2 自由膨張用供試体

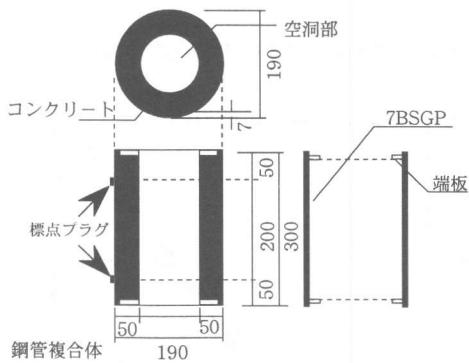


図-3 鋼管複合型膨張用供試体

(3) 養生方法

養生方法は、蒸気養生として前置き 2 時間、昇温20℃／h r、定温75℃－4 h r、以後自然放冷とした後に脱型し、恒温恒湿室に24時間静置後にオートクレーブ（昇压3.75時間、定压180℃－5時間、降压3時間）養生した。

2. 6 試験方法

(1) 水和率測定試験

① 65℃における水和反応試験

100mlの磁製るつぼにマグネシア試料20gを評取し、セメント飽和溶液20mlを加えて良く攪拌し、蓋をして恒温恒湿槽に入れ、1時間で65℃、湿度100%に上昇させる。5時間保持後槽から取り出して直ちにブフナー濾過器でNo.5B濾紙で濾過し、濾紙を元のるつぼに移し入れ、110℃の定温恒温器に入れて10時間以上放置して乾燥させ、デシケータに移し冷却させる。

② 180℃における水和反応試験

試料の処理方法は65℃と同様で行う、但し、反応条件は2.5時間で180℃、圧力10kg/cm²まで上昇し5時間保持後、2時間で常圧まで減圧した。

③ 強熱減量 (Ig.Loss) の測定

試料3～4gを650℃で1時間灼熱し以下の条件で算出した。

$$Ig.Loss\% = \frac{650^\circ\text{C} \text{ 灼熱前} - 650^\circ\text{C} \text{ 灼熱後}}{(\text{灼熱残留ベース}) \quad 650^\circ\text{C} \text{ 灼熱後重量}} \times 100$$

④ 水和率の算出

$$\text{水和率\%} = \frac{Ig.LossA - Ig.LossB}{\text{マグネシアMgOの純分} \times 18 / 40.32} \times 100$$

Ig.LossA は水和反応後のIg.Loss%

Ig.LossB は水和反応後のIg.Loss%

(2) 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度はJIS A1106およびJIS A1136に準じて測定した。

(3) 自由膨張量試験

自由膨張は、供試体の側面に取り付けた標点プラグ間の長さ変化をJIS A 1129のコンタクトゲージ方法により測定した。変位量は蒸気養生後に恒温恒湿室で24 h r 静置した状態をゼロ点とし、オートクレーブ後に恒温恒湿室で24時間静置後を最終変位量とし、その差異を測定し膨張量とした。

(4) 鋼管複合体の膨張量試験

钢管複合体の膨張は、外殻钢管に取り付けた標点プラグ間の長さ変化をコンタクトゲージ方法により測定した。変位量はコンクリート複合体にする前の钢管に標点プラグを打ち込んだ時点をゼロ点とし、蒸気養生後に恒温恒湿室で24 h r 静置後を一次養生での変位量として測定し。さらに、オートクレーブ養生後に恒温恒湿室で24 h r 静置して二次養生での変位量を測定し、それらの差異から膨張量を算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 実験-1の水和率について

実験-1の水和率を図-4に示す。

65°Cの水和率は、サンプルAとCがBに比較し高い水和率を示している。これは、180°Cにおいても同じ傾向を示している。これらは、マグネシア中に含まれる化学成分中のMgO分の違いがそのまま水和率の差に現れているようでありMgO含有率の高い95.4%（サンプルA）と95.8%（サンプルC）が含有率の低い90.8%（サンプルB）よりも高い水和率となつた。次に成分が同一でブレーン値が違うサンプルA、D、Eの水和率を図-5に示す。ブレーン値の違いによる水和率の差は高温消和反応の180°Cでは発生しないが、低温水和反応の65°Cではブレーン値の小さいサンプルほど高い消和率を示した。

以上より、マグネシアの水和反応は化学成分中のMgO分の量が水和反応に影響を与えることや、さらに、成分が同一のマグネシアであっても低温の65°Cでの水和反応はブレーン値の低いものほど水和率が高くなることが明らかとなつた。

3.2 実験-1の自由膨張について

図-6に自由膨張量を示す。

図-6より、マグネシアのブレーン値と成分の差により膨張性に違いがあった。成分の差による膨張への影響は水和率と同様にMgO含有量の多いものほど膨張量も大きくなつた。また、ブレーン値の違いで比較をしてみるとブレーン値が低いものほど大きな膨張性を示した。これは、高ブレーン値のものは低ブレーン値のものよりも蒸気養生の段階すでに多くに水和反応を起こしていることにより、オートクレーブ中での反応量が少なくなつてゐたためと考える。

以上のことから混和量を一定にした場合でもブレーン値の変更やMgOの含有量を変えることで膨張量をコントロールできることが明らかとなつた。

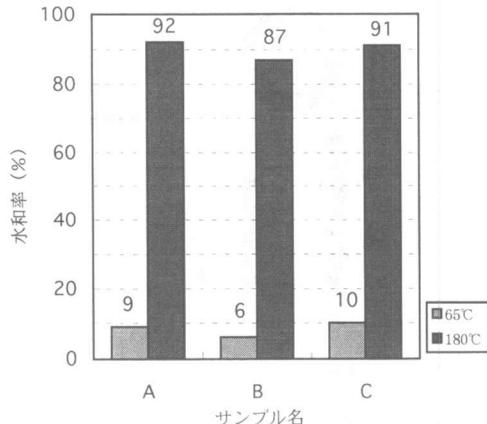


図-4. 65°Cと180°Cの水和反応の関係

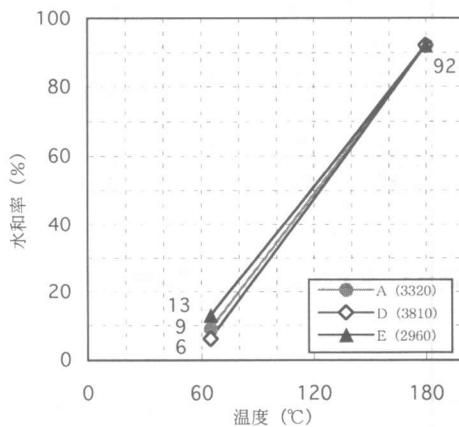


図-5. ブレーン値の異なるマグネシアの水和率

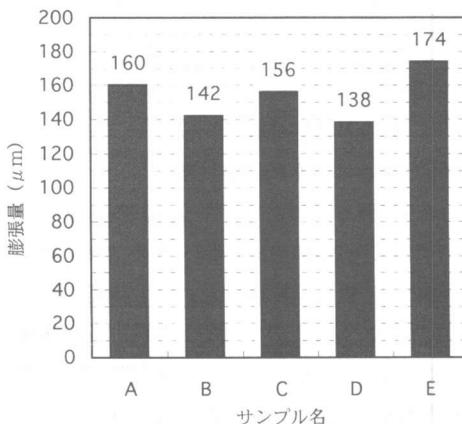


図-6. 実験に用いた各サンプルの自由膨張量

3. 3 実験-2の結果

(1) 圧縮強度について

図-7に圧縮強度を示す。

圧縮強度は、マグネシア系を単独で混和したものは $91.9\sim93.8\text{N/mm}^2$ で石灰系を混和したものは $90.2\sim91.4\text{N/mm}^2$ で混和量にあまり影響されることなく強度は推移した。一方、MgOとCSA系との膨張材を混合して用いた場合においては、混和量の増加に伴い強度が低下傾向となった。この現象はCSA系単独で使用した場合も同じ傾向を示した。圧縮強度の差の一因は、外割で材を混和した事により、スランプ調整のために単位水量がCSA系(60kg/m^3)混和で 6kg/m^3 、CSA系(32)+MgO(20)で 5kg/m^3 、CSA系(60)+MgO(20)で 12kg/m^3 の増加したためと考える。

(2) 自由膨張量について

図-8に各種膨張材のオートクレーブ養生による膨張量について示す。自由膨張量は、蒸気養生後を起点としオートクレーブ養生後の膨張量について確認した。その結果、マグネシア系を混和したコンクリート体は全て膨張性を示した。これに対してCSA系と石灰系は収縮側で推移した。これらは、材の反応メカニズムの違いによるものと推察する。CSA系と石灰系は蒸気養生の過程で混和した材がほぼ水和反応のを終えているのに対し、マグネシア系はオートクレーブ養生で水和反応を行うものであり、今回の自由膨張量の測定方法ではオートクレーブで反応するマグネシア系膨張剤を混和したものだけが膨張性を示したものと考える。

(3) 鋼管複合の膨張量について

図-8にマグネシア系を混和した鋼管複合体の膨張量を、また図-10、図-11にCSA系と石灰系の膨張材を混和した鋼管複合体の膨張量について示す。これらの膨張量でマグネシア系を混和したコンクリート体は、全て蒸気養生からオートクレーブ養生にかけて膨張量が増大している。マグネシア系の中でも混和量が 30kg/m^3 のコンクリート体は蒸気養生の段階で既に

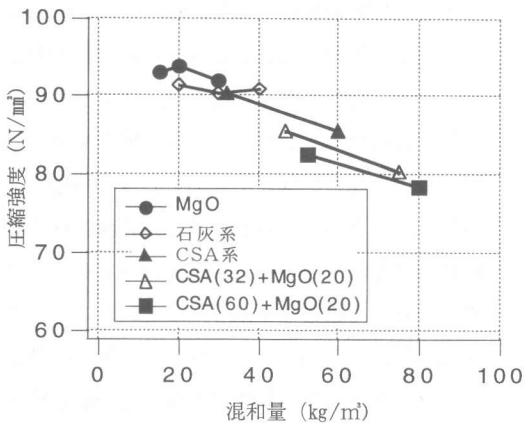


図-7 各種膨張材の種類と混和量と圧縮強度の関係

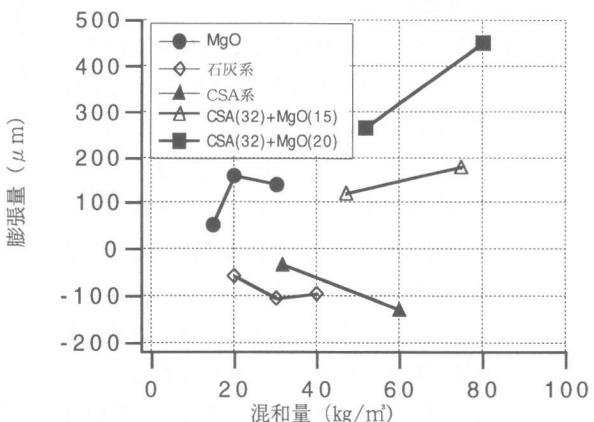


図-8 各種膨張材の混和量と自由膨張率の関係

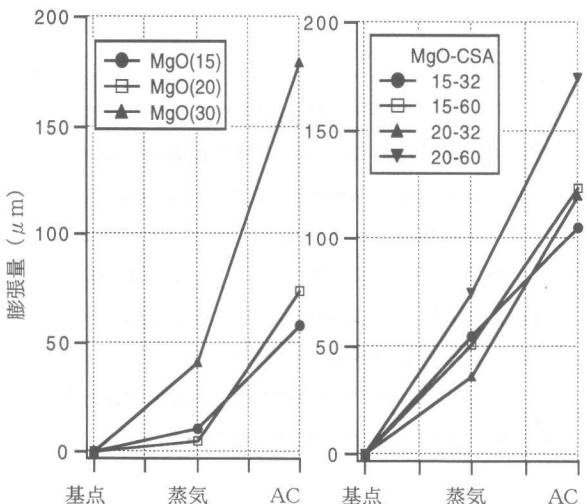


図-9 マグネシアを混和した鋼管複合体の膨張率

41 μm 程度膨張を生じており、さらにオートクレーブ養生後では、179 μm の膨張を生じた。一方、CSA系と石灰系は、蒸気養生の過程で膨張性を示すがオートクレーブ養生では、膨張変化を起こさないか、あるいは収縮側に推移した。マグネシア系とCSA系の膨張材を同時に用いた場合は、蒸気養生とオートクレーブ養生の双方で膨張性を示した。これはCSA系単独と比較した場合オートクレーブ養生の段階でマグネシア系の膨張作用が働いているためと推察する。

4.まとめ

本研究で明らかになったことを以下に示す、

(1) マグネシア系の膨張材はMgOの含有率により消和反応に差があり、膨張性も変化した。また、同一成分であってもプレーン値を低くすると膨張量は高くなる傾向にある。

(2) 蒸気養生で水和反応をほぼ完結するCSA系と石灰系の膨張材を用いた遠心成形したコンクリートではオートクレーブ養生でコンクリート体が収縮側に推移する傾向がある。

(3) マグネシア系を混和した場合、混和量が30 kg/m³になると蒸気養生とオートクレーブ養生の双方で膨張性を示す。

参考文献

- 1) 戸川一夫ほか：膨張コンクリートが拘束膨張、収縮特性に及ぼす使用材料の影響、土木学会論文報告集、No.326,pp129~140,1982
- 2) 河野俊夫・一家惟俊・中野昌之・綿貫輝彦：各種セメントコンクリートにおよぼす石灰系膨張材の影響、コンクリート・ライブラリー第39号、(社)土木学会、1984
- 3) Gassre,G:Gravierende Unterschiede, Baugewerbe, No.20, pp.34-36, 1994

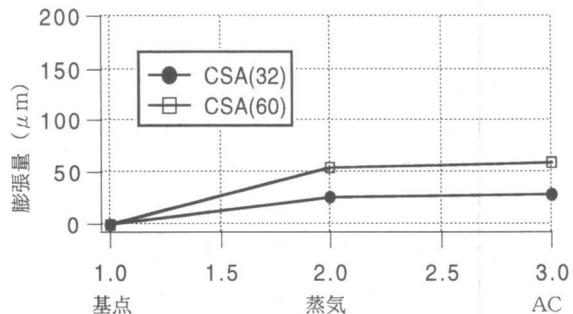


図-10 CSA系を混和した鋼管複合体の膨張率

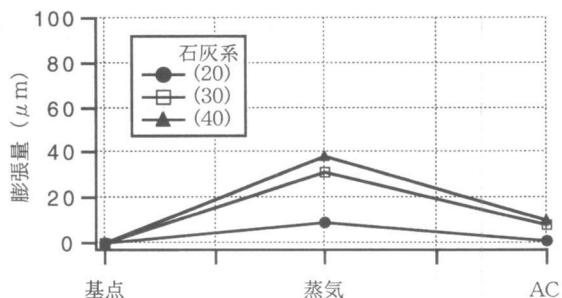


図-11 石灰系を混和した鋼管複合体の膨張率