

論文 遠心成形を施した膨張コンクリートの膨張率に関する研究

菊 広樹*1 ・土田 伸治*2

要旨：本研究では、膨張材を混和したコンクリートの成形方法および養生方法の相違が、コンクリートの膨張率に及ぼす影響について実験的に比較検討した。

その結果、遠心成形した膨張コンクリートの膨張率は、振動成形に比べ単位膨張材量が 36kg/m³ で 5～6 倍になること、およびオートクレーブ養生することにより他の養生方法に比べ、膨張率の養生後の安定性に優れることがわかった。

キーワード：膨張コンクリート、遠心成形、オートクレーブ養生、膨張率、鉄筋比

1. はじめに

コンクリート用混和材である膨張材は、コンクリートの乾燥収縮などの体積変化を補償する目的で開発され、その後、ヒューム管や鋼管コンクリート杭等の工場製品でのケミカルプレストレスの導入や膨張力による充填効果などに利用されている。

膨張材を用いたコンクリートの膨張率に関する報告は、コンクリートの成形方法としては、振動打設するコンクリートが主体となり、養生方法では、蒸気養生や温水養生を施した報告もあるが、標準的な養生が主体となっている。しかし、工場製品での製造方法である遠心成形やオートクレーブ養生(以下、AC養生)による膨張率に関する報告はほとんどないのが現状であり、遠心成形やAC養生に関する膨張の特性があまり解明されていないのが現状である。

本研究は、膨張材を混和したコンクリートの成形方法(遠心成形、振動成形)、および養生方法(AC養生、蒸気養生、標準養生)による膨張率の相違を実験的に比較検討したものである。

2. 実験概要

2.1 検討要因

表-1に示すようにコンクリートの膨張率

に及ぼす要因として、基礎構造部材の鋼管コンクリート杭に用いられている設計基準強度 80N/mm² の 2 種類の配合を基本とし、成形方法の相違、養生方法の相違、単位膨張材量および拘束鉄筋量を抽出した。また、一部追加実験として、遠心成形時の外側と内側の膨張率の相違および遠心成形時のスラッジの発生有無による膨張率の相違についても検討を実施した。

表-1 実験の組み合わせ

配合 No.	単位膨張材量 kg/m ³	拘束鉄筋径 (mm)	振動成形			遠心成形	
			標準	蒸気	AC	蒸気	AC
高強度混和材使用配合	0	なし	●	●			
	19	φ 11	○	○		○	
	25						
	30					○	
	36					○	
	52					○	
	19	φ 25				○	
	36					○	
	52					○	
	36					○	
36	φ 36						
36	D6-4本					△	
AC養生用配合	0	なし	●		●		
	19	φ 11	○		○		○
	25				○		○
	30				○		○
	36				○		○
	52				○		○
	19	φ 25			○		○
	36				○		○
	52				○		○
	36				○		○
36	φ 36			○			

● : JIS A1129 のコンクリートの長さ変化試験方法。

○ : JIS A6202

△ : ワイヤストレッチャーにて測定(遠心成形の内側)

◎ : JIS A6202 の B 法 (スラッジ有無による膨張率)

*1 日本コンクリート工業 (株) 研究所 研究員 (正会員)

*2 日本コンクリート工業 (株) 研究所 主任研究員 (正会員)

2. 2 使用材料および配合

使用材料の主な性質を表-2に示す。

本実験では、表-3の2種類の配合を基本として、膨張材の使用量は表-1の水準について結合材量を固定した結合材内割りとし、スランブ調整は減水剤の添加率で行った。また、スラッジを発生させない実験では、スラッジ防止剤を5kg/m³使用した。

膨張コンクリートを一軸拘束状態にする拘束筋は、表-1のように4種類とし、その材質は、φ11mmはJIS A 6202のB法のPC鋼棒、φ25mmおよびφ36mmはみがき棒鋼、D6mmは異形棒鋼とした。なお、これらの鉄筋比は約1%、5%、10%および約1%となる。

2. 3 供試体の作製方法

(1) 練り混ぜ方法

容積100ℓの強制練りミキサを用い、結合材および細粗骨材を投入して1分の空練りを行い、次に水および減水剤を投入してから2分練り混ぜた。また、コンクリートの練り上がり温度は20±2℃になるようにした。

(2) 成形方法

① 振動成形

振動成形方法は、一般的な工場製品の振動成形製品と同じ成形方法であるテーブルバイブレーターを使用することとし、長さ変化試験用供試体(10×10×40cm)の型枠に、コンクリートを2層に分けて詰め、フレッシュコンクリートの状態を見ながら、テーブルバイブレーター(8000rpm)で1層につき20秒締固めを行った。

また、圧縮試験用供試体はJIS A1132に準じて作製した。

② 遠心成形

遠心成形方法は、図-1の型枠にコンクリートを詰め、φ600mmの杭の製造方法と同じ遠心条件(最大遠心力31G、合計12分)とした。翌日脱型し、図-2のように、振動成形の供試体と同一寸法に、コンクリートを切断した。

また、圧縮試験用供試体は、JIS A1136に準じて作製した。

表-2 使用材料と主な性質

使用材料	主な性質
セメント(C)	普通ポルトランドセメント、比重:3.16
膨張材(E)	石灰系膨張材、比重:3.14
混和材	高強度コンクリート用混和材
細骨材	岩瀬産硬質砂岩砕砂、比重2.61、FM:2.78
粗骨材	岩瀬産硬質砂岩砕石、比重2.68、FM:6.73、Gmax:20mm
減水剤	β-ナフタリンスルホン酸系高性能減水剤、比重:1.20
スラッジ防止剤	アクリル系増粘剤

表-3 コンクリートの基本配合

配合No.	スランブ(cm)	水結合材比(%)	細骨材率(%)	単位量 kg/m ³		
				水	C+E	高強度用混和材
A	18	32.4	43.0	155	437	42
B	12	32.8	46.0	145	442	--

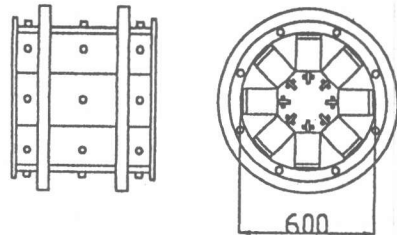


図-1 遠心成形用供試体型枠

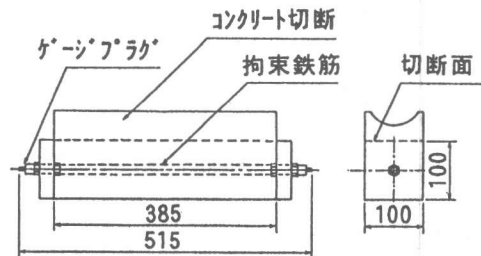


図-2 供試体形状

(3) 養生方法

養生方法は、標準養生・蒸気養生およびAC養生の3種類とした。標準養生は、コンクリート成形後供試体を湿布で覆い、温度20±2℃、湿度60±5%の恒温恒湿室に24時間静置後に

脱型し、材令 28 日まで $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ の水中養生を施して、その後恒温恒湿室にて気中養生とした。配合 A の蒸気養生は、1 次養生（前置き 2 時間、昇温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、最高温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 4$ 時間保持、以後徐冷）後脱型して恒温恒湿室に 24 時間静置し、さらに 2 次養生（昇温 2 時間、最高温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10$ 時間保持、以後徐冷）を行い、以後恒温恒湿室にて気中養生とした。配合 B の AC 養生は、蒸気養生（配合 A の 1 次養生と同じ）後、恒温恒湿室に 24 時間静置し、AC 養生（昇温 4 時間、最高温度 $180\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10$ 気圧：3 時間保持、以後徐冷）を行い、以後恒温恒湿室にて気中養生とした。また、圧縮試験用供試体の養生方法も同様として、膨張材を用いた配合は、型枠による拘束養生とした。

2. 4 試験方法

(1) 圧縮試験

コンクリートの圧縮試験方法は、JIS A 1106 および JIS A 1136 に準じた。

(2) 長さ変化試験

膨張材無混入のコンクリートの収縮率の測定は、JIS A 1129 に準じた。

(3) 膨張コンクリートの膨張率試験

膨張率の測定は、JIS A 6202 に準じ、その中で $\phi 11\text{mm}$ 筋は B 法、 $\phi 25\text{mm}$ および $\phi 36\text{mm}$ 筋は A 法に準じて行った。また、遠心成形供試体の外側と内側の膨張率の相違を測定するために図-3 のように D6 の鉄筋を 4 本（鉄筋比約 1%）配置し、鉄筋に貼付したゲージによる測定と、端部のプラグによる長さ変化の両方を測定した。

3. 実験結果および考察

3. 1 圧縮強度について

本実験のコンクリートの圧縮強度の範囲は、振動成形の場合、蒸気養生では $85.2 \sim 89.4\text{N}/\text{mm}^2$ AC 養生では $91.9 \sim 95.7\text{N}/\text{mm}^2$ であり、遠心成形の場合、蒸気養生では $85.9 \sim 93.2\text{N}/\text{mm}^2$ 、AC 養生では $93.6 \sim 103.5\text{N}/\text{mm}^2$ であった。

単位膨張材量と圧縮強度の関係を図-4 に示

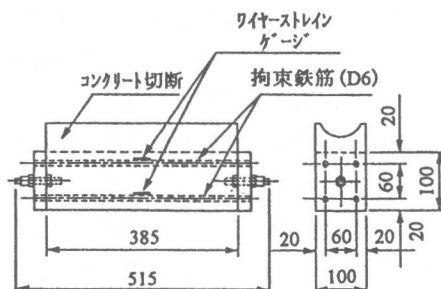


図-3 内外膨張率測定用拘束試験治具

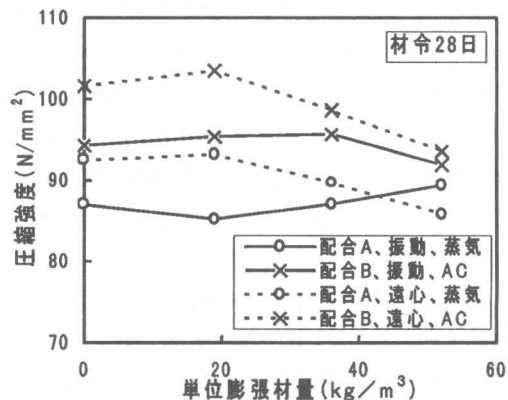


図-4 単位膨張材量と圧縮強度の関係

す。振動成形および遠心成形のコンクリート強度は、単位膨張材量に関わらずほぼ同程度となった。これは、国府の報告¹⁾にあるように、型枠による拘束養生による効果と考えられる。

3. 2 膨張材無混和コンクリートの収縮率

図-5 に 2 配合の振動成形した標準養生および促進養生の長さ変化試験結果を示し、図-6 に 2 配合の振動成形および遠心成形した促進養生の一軸拘束下での膨張・収縮試験結果を示す。

図-5 より、配合の相違について見ると、標準養生の場合、水中養生中は 2 配合とも膨張し、材令 28 日では配合 A が $340\text{ }\mu$ 、配合 B が $104\text{ }\mu$ の膨張となった。材令 28 日以降の気中養生では 2 配合とも収縮に向かい、材令 1 年ではそれぞれ $653\text{ }\mu$ および $1101\text{ }\mu$ の収縮となった。このように配合 A が配合 B に比べて全体的に収縮が小さいのは、配合 A は膨張性のあるエトリンサイト系の高強度混和材を使用したためと考えられる。

次に養生方法の相違について見ると、配合 A

では蒸気養生の材令1年の収縮率は、標準養生の同材令の収縮率に比べ200 μ 程度増加した。それに対して、配合BではAC養生の材令1年の収縮率は、標準養生の同材令の収縮率に比べ500 μ 程度減少している。このような促進養生による収縮率の相違は、長滝らの報告²⁾と同じ傾向を示しており、特に、AC養生でコンクリートの収縮量が減少するのは、高温高压下で発生するトベルモライトが比較的強固で結晶が粗大化し、空隙の大きいものが生ずることにより、乾燥初期における逸散水量が大きく収縮が小さいこと、およびAC養生中にセメントの反応がほぼ終了することにより、それ以降の反応がなく、反応による収縮がほとんどないことが考えられる。

図-6より、成形方法の相違について見ると、振動成形の材令28日の収縮率は、配合Aの蒸気養生で164 μ 収縮し、配合BのAC養生では12 μ の膨張となった。それに対して、遠心成形の同材令ではそれぞれの配合で11 μ 収縮および123 μ 膨張となり、遠心成形したコンクリートの方が振動成形に比べ、100~200 μ 程度膨張側に移行した。この傾向は、岡田らの報告³⁾と同じ結果となった。この理由は、遠心成形したコンクリートは遠心成形時のスラッジ発生によりコンクリート中の単位水量が減少し、長滝らの報告²⁾にもあるように、単位水量の減少が乾燥収縮の低下となること、および筆者らの前報⁴⁾の細孔径分布の測定から、本実験の配合Bとほぼ同じ配合の遠心成形したコンクリートの全細孔容積が0.0275cc/gであったのに対して、振動成形では0.0513cc/gとなっていることから、細孔容積の減少が収縮率低下に影響したことが考えられる。

3.3 膨張コンクリートの膨張率

図-7、8に配合AおよびBの材令と一軸拘束膨張率(拘束筋 ϕ 11mm)の関係を示す。

配合の相違について見ると、図-7、8から振動成形で標準養生の場合、材令28日の膨張率は、配合Aでは単位膨張材量が19kg/m³では

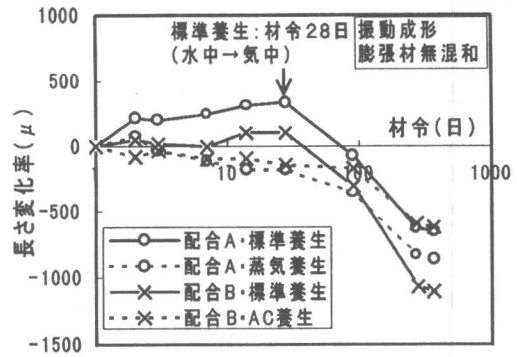


図-5 長さ変化試験結果

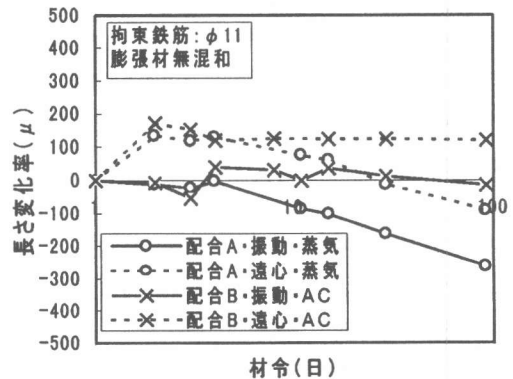


図-6 一軸拘束下の長さ変化試験結果

292 μ 、36kg/m³では955 μ 、52kg/m³では1478 μ となった。それに対して、配合Bでは単位膨張材量が19kg/m³では96 μ 、36kg/m³では276 μ 、52kg/m³では694 μ となり、膨張率は、配合Bより配合Aの方が大きくなる傾向を示した。この傾向は、前出の膨張材無混和とコンクリートの収縮率と同様な傾向ではあるが、配合別による膨張率の相違が膨張材無混和の場合より増大しており、膨張材と高強度用混和材の間に相互作用があるように考えられる。この原因としては、配合Aは高強度用混和材を使用したため、戸川らの報告⁵⁾にもあるように、結合材中の膨張性生成物の生成量の量的な比率と、コンクリート強度発現速度の相違が膨張率の増大につながったのではないかと推測される。

養生方法の相違について見ると、図-7の配合Aの蒸気養生の場合、成形方法に関わらず最大膨張率が得られたのは、2次養生終了時で

あり、それ以降は下降しており、標準養生の場合は、水中養生期間中は膨張し、材令 28 日以降の気中養生から膨張率は低下しているのが分かる。図-8 の配合 B では、水中養生は配合 A より膨張率は小さいが、同じ傾向を示しており、AC 養生では AC 養生後にほぼ最大膨張率が得られ、それ以降はほとんど変化が無い結果となった。これは、膨張材無混和のコンクリートの収縮を示した図-5、6 と同じ傾向を示した。従って、膨張コンクリートにおいても AC 養生することにより、比較的安定した膨張率が確保できるものと考えられる。また、配合 B で膨張材を 36 および 52kg/m³ 使用し、遠心成形したコンクリートを AC 養生すると他の条件と比較しても急激な膨張を示していることが分かる。この理由は定かではないが、膨張性生成物および細孔構造が起因していると考えられ、今後の課題となる。

成形方法の相違について見ると、図-7、8 から、配合および養生方法の違いにも関わらず、遠心成形の方が振動成形より膨張率が高いことが分かる。これを拘束鉄筋比で区分けした図-9 の配合 B の AC 養生での単位膨張材量と最大膨張率の関係から、膨張材の混和量が 19kg/m³ 程度ではほとんど差は無いが、それ以上に混和量を増加させると、遠心成形は振動成形に比べて急激に膨張率が増加しているのが分かる。その割合は、鉄筋比に関わらず単位膨張材量が 36kg/m³ の場合で 5~6 倍、単位膨張材量が 52kg/m³ の場合で 3 倍程度となった。このように、遠心成形コンクリートの膨張率が振動成形に比べて大きいのは、膨張材無混和コンクリートでの収縮率にも関係しているが、遠心成形時にスラッジが発生したこと、および細孔構造の相違等が考えらる。

拘束鉄筋比の影響については、図-9 より、拘束鉄筋比の増加に伴って膨張率が低下しているのが分かる。これは、拘束鉄筋の拘束力の相違によるものである。

図-10 に遠心成形した供試体の外側と内側

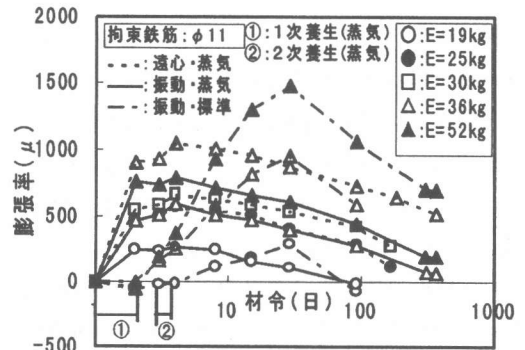


図-7 材令と一軸拘束膨張率の関係(配合A)

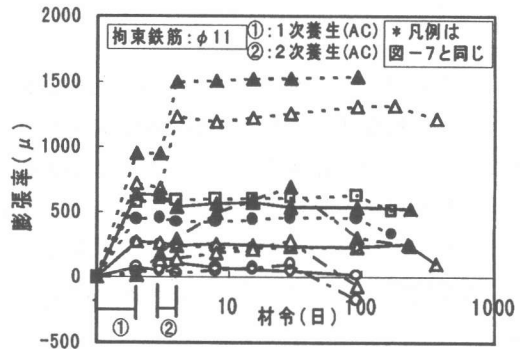


図-8 材令と一軸拘束膨張率の関係(配合B)

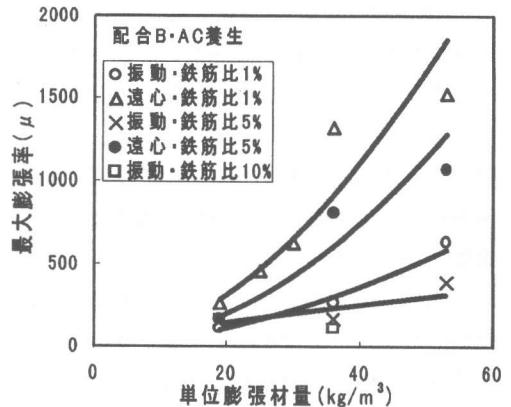


図-9 単位膨張材量と最大膨張率の関係

の膨張率の相違に関して、材令と膨張率の関係を示した。この実験は、コンクリートを遠心成形するとスラッジの発生と共に、コンクリートが分離することにより、遠心成形したコンクリートの外側と内側とで膨張率が異なる可能性があるため確認したものである。図より、供試体全体の膨張率に対して、遠心成形時の外側と内側の膨張率の差はほとんど無いものと考えられ

る。

図-11に遠心成形時のスラッジの発生の有無が膨張率に及ぼす影響について示した。振動成形では、スラッジ防止剤の混和の有無による膨張率の差はほとんど無いが、遠心成形では、スラッジ防止剤を混和したコンクリートの膨張率は、スラッジが発生したコンクリートに比べ、100 μ 程度低下した。これは、遠心成形時にスラッジが発生すると、コンクリート中の水量が減少し、見かけの水結合材比が低下するためと考えられる。

以上の結果から、膨張コンクリートを遠心成形すると、振動成形より大きな膨張率が得られること、およびAC養生することにより膨張率の安定性が優れることが分かった。今後は本実験での現象について、その原因の1つと考えられる細孔構造等について実験を進める予定である。

4. まとめ

- (1) 膨張コンクリートの圧縮強度は、拘束養生することにより、単位膨張材量に関わらずほぼ一定となる。
- (2) 膨張材無混和コンクリートの収縮率は、成形方法では遠心成形が、養生方法ではAC養生が小さくなった。
- (3) 遠心成形した膨張コンクリートの膨張率は、振動成形に比べ、単位膨張材量が 36kg/m^3 で5~6倍、 52kg/m^3 で3倍程度大きくなった。
- (4) AC養生した膨張コンクリートの膨張率は、鉄筋比に関わらず、養生後の安定性が他の養生条件のものに比べて優れている。
- (5) 遠心成形した供試体の外側と内側の膨張率は、大差ないものであった。
- (6) スラッジ防止剤を混和した膨張コンクリートの膨張率は、スラッジが発生したコンクリートに比べ、100 μ 程度低下した。

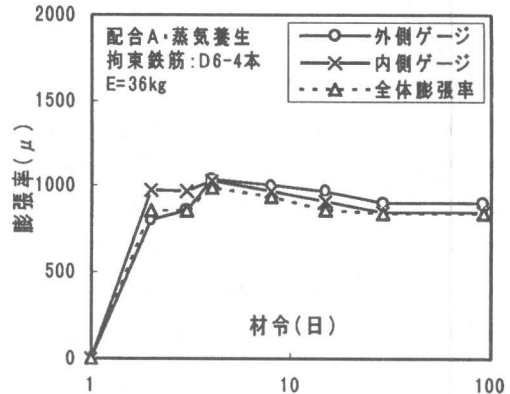


図-10 遠心成形供試体の内外の膨張率

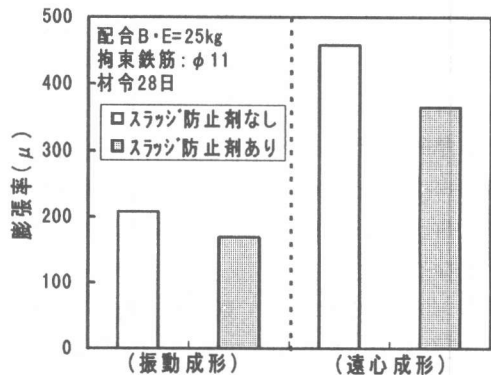


図-11 スラッジの発生の有無と膨張率の関係

参考文献

- 1) 国府勝郎：膨張コンクリートの凍結融解抵抗性に関する基礎研究，土木学会論文報告集，No.334，Vol.6，pp.145～154，1983
- 2) 長滝重義・米倉亜州夫：高強度コンクリートの乾燥収縮及びクリープの特性，コンクリート工学，Vol.20，No.4，pp.75～87，1982
- 3) 岡田 清・小林和夫・岡村為信：遠心力締め固め効果に関する要因実験，セメント・コンクリート，No.261，pp.26～32，1968
- 4) 丸山武彦・土田伸治・河野 清，シリカヒュームコンクリートの諸性質に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.12，No.1，pp.105～110，1990
- 5) 戸川一夫ほか：膨張コンクリートの拘束膨張，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，pp.129～140，1982