

発泡および膨張を付与した高流動コンクリートの品質・性能

6

津崎 淳一^{*1} 槇島 修^{*2} 加藤 淳司^{*1}
Junichi Tsuzaki Osamu Makishima Junji Katoh
田中 斉^{*3} 野口 和幸^{*4}
Hitoshi Tanaka Kazuyuki Noguchi

《概要》

既存のコンクリート構造物への耐震補強やリニューアルなどに有効なコンクリートとして、発泡および膨張を付与した高流動コンクリートの品質・特性の実験的な検討を行った。本研究で得られた結論を以下に記す。

発泡剤と膨張材を単独使用および同時に並行して用いても、発泡率または膨張率の予測・制御は可能である。

実部材を想定した封かん養生によると膨張量が抑制されるので適用に当たってはそれを考慮する必要がある。

発泡および膨張の増加に伴い圧縮強度の低下が生じるが、その強度低下は予測・制御可能である。発泡および膨張の増加に伴い中性化進行が速くなるが、今回の検討範囲では実用上問題とはならない。

今回の検討範囲では、発泡および膨張を付与しても凍結融解抵抗性に影響しない。

〔キーワード〕高流動コンクリート、リニューアル、発泡作用、膨張作用、強度発現、中性化進行、凍結融解抵抗性

1. はじめに

コンクリート構造物の耐震補強やリニューアルなど、既存の構造物に部材を増設する場合には充填性に優れる高流動コンクリートが有効である。

しかし、耐震補強やリニューアルに伴う増設部材は、狭隙で閉塞に近い部位にコンクリートを打設することが多く、従来のコンクリートでは打込みや締固めが困難である。これに高流動コンクリートを適用することで、増設部材の耐力や一体性に対する高い信頼性が期待できる¹⁾。また、耐震補強やリニューアルなどの既存の構造物に部材を増設する場合には、型枠内への確実な充填だけではなく、コンクリートの沈降や収縮作用によって

生じる新旧部材間との一体性への阻害が危惧される。これらの対策として、高流動コンクリートに発泡剤および膨張材を付加することの有効性が報告²⁾³⁾⁴⁾されているが、実際の施工条件を前提とした実用的な検討は少ない。

そこで、狭隙あるいは閉塞状態に近い型枠内でも充填可能であり、かつ新旧部材との一体性を確保できるコンクリートとして、発泡性および膨張性を付与した高流動コンクリートの有効性についての検証や資料を得る目的で実験検討を行った。本報告では、実際の部材増設での施工を想定して行った養生条件が変化した場合に対する発泡・膨張作用による体積増加、それに伴う強度への影響および凍結融解抵抗性や中性化進行への影響を室

1. 本社 技術研究所 材料研究室

2. 本社 土木本部 土木設計部 設計第三課

3. 本社 技術研究所 技術推進プロジェクト

4. 本社 技術研究所 技術企画課

今回の実験の範囲であれば、発泡剤および膨張材を用いても凍結融解抵抗性に悪影響を与えないものといえる。

4. まとめ

耐震補強やリニューアル工事の際に有効なコンクリートとして、発泡作用および膨張作用を付与した高流動コンクリートに対する一連の実験検討を行った。今回の実験検討によって、実際の工事に発泡および膨張を付与した高流動コンクリートを適用する場合の特性や留意すべき事項を把握できた。これらを以下にまとめる。

- (1) 発泡剤と膨張材を単独使用および同時に並行して用いても、発泡量のコントロールは発泡剤の使用量によって可能である。
- (2) 発泡剤と膨張材を単独使用および同時に並行して用いても、膨張量の制御は膨張材の使用量によって可能である。ただし、実際の部材の水分状態に近い封かん養生では、水分が十分に供給されるJIS試験法による膨張率の1/2以下に抑制されることが分かった。実際の膨張量の設定に当たっては、養生状態による膨張抑制のあることを考慮する必要がある。また、存置温度の膨張への影響は小さかった。
- (3) 発泡および膨張の程度に応じて圧縮強度の低下が生じ、所要強度を得るにはこの強度低下を考慮する必要がある。膨張の方が強度低下は大きい。発泡剤と膨張材を単独あるいは同時に用いる場合にも、強度低下は予測できるので強度設計に反映可能である。
- (4) 発泡および膨張の程度に応じて促進中性化深さの増加する傾向にあるが、今回の実験結果からは実用上問題とはならない。膨張の方が中性化進行への影響は大きい傾向にある。中性化進行も発泡および膨張量の調整により制御可能である。
- (5) 今回対象としたいずれのコンクリートとも相対動弾性係数の低下は認められず、コンクリートの凍結融解抵抗性への悪影響はないものといえる。

5. おわりに

本検討の実施には、関係各位の方々に多大な協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 小澤一雅・前川宏一・岡村甫：ハイパフォーマンスコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文報告集、vol.11-1、pp.699~704、1989
- 2) 北村八朗・西崎丈能・鎌田文男・十河成幸：逆打ち用ハイパフォーマンスコンクリートに関する基礎研究、コンクリート工学年次論文報告集、vol.14、No.1、1992
- 3) 田中敏嗣・杉山彰徳・小川鑑・富田六郎：混和材料を組合せて使用した高流動コンクリートの諸特性、コンクリート工学年次論文報告集、vol.17、No.1、pp.157~162、1995.6
- 4) 石原誠一郎・立松和彦・高み錦一・山崎順二・内山栄二：無収縮高流動コンクリート「FILLCRETE」の開発(その1.基本物性と適用事例) pp.41~52、浅沼技報
- 5) 槇島 修・加藤淳司・田中 斉・津崎淳一：発泡剤および膨張材を使用した高流動コンクリートの膨張特性および強度特性について 2001年度日本建築学会大会学術講演梗概集A-1
- 6) 発泡剤および膨張材を使用した高流動コンクリートの強度特性について、土木学会第56回学術講演会講演概要集()

内実験による結果および高流動コンクリートを適用する場合の要点について述べる。

2. 実験概要

2.1 検討内容および使用したコンクリート

材料の諸元を表 - 1 に示す。増設部材に打設後の高流動コンクリートの沈降や硬化・乾燥に伴う体積減少に対処するために発泡剤および膨張材を添加した体積増加効果とそれに伴うコンクリートの基本的品質・性能への影響を把握するため、発泡剤添加量 3 水準と膨張材添加量 3 水準を組合せた 9 種類のコンクリートについて実験を行った。

表 - 1 材料の諸元

使用材料	セメント：普通ポルトランドセメント 骨材：川砂，硬質砂岩2005碎石 膨張材：酸化カルシウム系 発泡剤：アルミ粉末 増粘剤：水溶性セルロースエーテル系 高性能AE減水剤：ポリカルボン酸エーテル系
調合条件	単位水量：175 (kg/m ³) 水結合材比：46.7 (%) 膨張材使用量：0, 30, 50 (kg/m ³) 発泡剤使用量：0, 20, 40 (g/m ³) 増粘剤使用量：350 (g/m ³) 目標スランブフロー：500mm 目標空気量：4.5 (%)
養生条件	・標準水中養生 ・20 封かん養生 ・5 封かん養生 ・材齢 7 日まで50 封かん養生，その後 20 封かん養生

検討したのは 成型後24時間までの発泡率 養生条件（標準、低温、高温および封緘）の異なる場合による膨張率 それらに伴う強度発現 耐久性（中性化進行、耐凍結融解抵抗性）である。

なお、高流動コンクリートに添加した増粘剤はセルロース系、発泡剤にはアルミ粉末系および膨張材は酸化カルシウム系を用いた。

調合を表 - 2 に示す。

2.2 試験項目および試験方法

コンクリートの試験項目および試験方法を表 - 3 に示す。膨張材による膨張率（体積増加）および圧縮強度試験では、実際の施工を考慮して養生

表 - 2 コンクリートの調合

調合名	膨張材 (kg/m ³)	発泡剤 (g/m ³)	水結合 材比 (%)	目 標 スランブ フロー (mm)	目 標 空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水	セ メ ン ト	細 骨 材	粗 骨 材	増 粘 材
00-00	0	0	46.7	500	4.5	175	375	873	862	0.35
00-20	0	20					375			
00-40	0	40					375			
30-00	30	0					345			
30-20	30	20					345			
30-40	30	40					345			
50-00	50	0					325			
50-20	50	20					325			
50-40	50	40					325			

* 膨張材は、結合材に含むものとしている

表 - 3 試験項目および試験方法

試験項目	試験および測定方法
スランブフロー	JIS A 1150「コンクリートのスランブフロー試験方法」に準じて、3層に分け各層5回突いてつめた。
空気量	打設直後のコンクリート面
発泡率	15×30cm供試体の打設直後のコンクリート面の上昇量を測定し、高さ変化率の最大値を発泡率とした。測定は、20 湿空にて24時間まで行った。
膨張率	JIS A 6202「コンクリート膨張材」付属書膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験方法（B法）に準じた。初期値は材齢2日に測定。養生方法：JIS法（標準水中）、5 封かん、20 封かん、50 封かん7日間以降に20 封かん継続の4種類
圧縮強度	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じた。但し、材齢2日の脱型まで約4kgの載荷により体積膨張を抑制した。一部JIS A 6202による試験時まで型枠内位置を実施。養生方法：膨張率と同様の4種類 試験材齢：28日
促進中性化	「高耐久性コンクリートの設計・施工指針（案）・同解説」1991年日本建築学会編に規定される促進中性化試験方法。 フェノールフタレイン1%溶液吹き付けによる中性化判定。
凍結融解	JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準じた。

条件を変えてその影響を調べた。この養生条件は、試験体の成型後試験まで 標準水中養生（JIS法）5 封かん養生、20 封かん養生、50 封かん養生7日間とその後20 封かん養生を継続の4種類とした。耐久性項目として発泡・膨張したコンクリートのJISによる促進中性化試験、凍結融解試験を行っている。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリート

試験に供した高流動コンクリートは目標とするスランプフロー、空気量を満足するものであった。なお、発泡剤量および膨張材量に応じる高性能AE減水剤の使用量の関係を図-1に示す。発泡剤量および膨張材量の多いほど、同一のスランプフローを得るための高性能AE減水剤の使用量が徐々に減少する傾向であった。発泡剤や膨張材を用いた高流動コンクリートも従来の高流動コンクリートと同様に高性能AE減水剤の使用量の調整によってスランプフローのコントロールが可能であることが分かった。

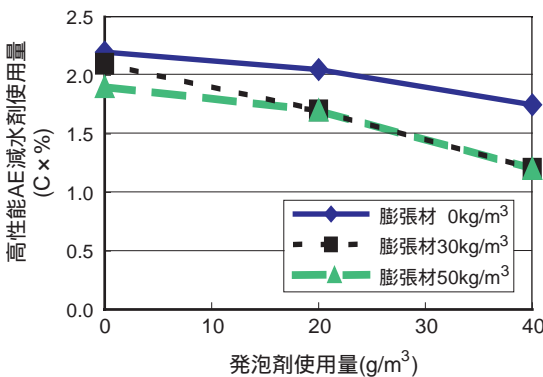


図 - 1 混和剤使用量

図-1より発泡剤や膨張材を用いた場合の適正な高性能AE減水剤の使用量がほぼ予測可能である。

3.2 発泡率

図-2に発泡剤量と発泡率の関係を示す。発泡剤の使用量増加に応じて発泡率が直線的に増えているが、膨張材の添加有無の影響はみられない。これは、アルミ粉末による発泡に伴う体積増加が練り混ぜから1日以内で早期に生じるのに対して、膨張材による体積増加がセメントとの水和反応と

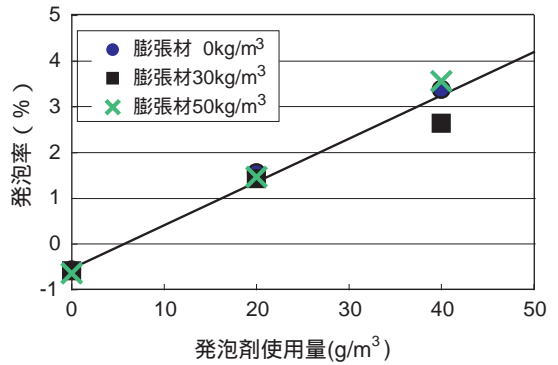


図 - 2 発泡率と発泡剤使用量

並行して生じるので、練り混ぜ後早期に発生する発泡率には影響しなかったものと考えられる。フリージングに伴う沈降対策を想定した体積増加に伴う発泡のコントロールは、発泡剤の使用量のみで調整が可能であるといえる。

3.3 膨張率

図-3に膨張材の使用量に応じる膨張率を示す。膨張材の使用量増加に伴い膨張率が増加しているが、発泡剤の使用有無による影響はほとんどみられない。これは、前述のように発泡の発生時期が初期に終了しているためであり、今回の材齢2日以降を対象とした膨張とは時間的な差違があるためである。また、膨張発生前のコンクリートに発泡が生じていても、その後の膨張発生にはほとんど差違がなかった。

なお、養生条件の差違による膨張への影響をみると、JIS試験法である標準水中養生による膨張に比べて実際の養生を想定した封かん養生を行ったものは、標準水中養生の場合に比べて1/2以下の膨張量に減少しており、膨張には水分の供給状態が大きく影響するようである。また、低温（冬

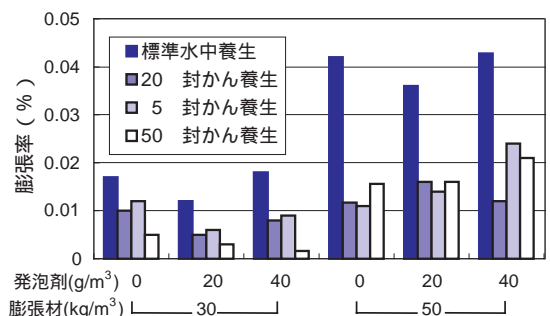


図 - 3 膨張率測定結果

期)と高温(夏期またはマスコンによる温度上昇)を想定して、温度の異なる場合の膨張への影響をみたが、保存温度によりやや違いはあるものの、その違いは水分供給状態による影響に比べて小さなものであった。

今回対象としたコンクリートの範囲では、膨張量のコントロールは膨張材量の調整より可能であることが分かった。ただし、JIS試験法に比べて水分供給の制約される実際の部材条件下では、膨張が抑制されるのでその影響を考慮して目標膨張量を設定する必要がある。

3.4 強度発現

図 - 4 に材齢28日における圧縮強度を示す。発泡剤や膨張材の使用量の増加によって圧縮強度が低下する傾向がみられる。また、コンクリートの養生条件によっても強度発現に差異が認められる。図 - 5 には、標準水中養生による材齢28日の圧縮強度を対象として発泡剤を用いないものを1.0とした圧縮強度比と発泡率の関係を示す。発泡率の増加により圧縮強度は直線的に低下し、その程度

は発泡率約1%の増加当たり圧縮強度で約8%の低下に相当する。この傾向は、養生条件が異なってもほとんど変わらない。

図 - 6 には、発泡剤を使用しない各種養生による材齢28日の圧縮強度を対象として膨張材を用いないものを1.0とした圧縮強度比と膨張率の関係を示す。膨張率の増加により圧縮強度は直線的に低下し、その程度は膨張率約0.01%の増加当たり圧縮強度で約6%の低下に相当する。この傾向は、発泡剤を用いてもほとんど変わらない。

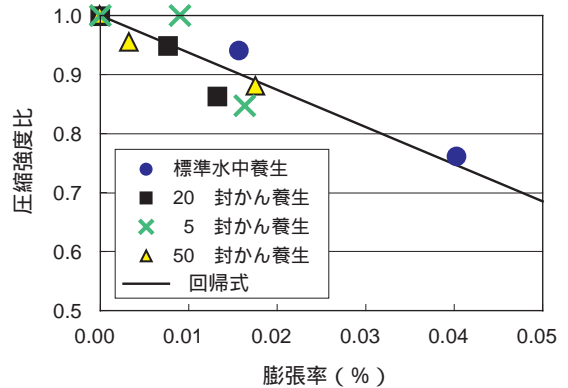


図 - 6 膨張率と圧縮強度比の関係 (発泡剤を使用しない場合、各養生条件)

発泡と膨張を単独で作用させる場合には前述の影響程度により、強度低下を予測可能である。しかし、発泡と膨張が並行して生じる場合には両者の強度への影響を同時に配慮する必要がある。図 - 7 は、発泡および膨張による単独の影響が加算されて強度低下に反映するとして試算した圧縮強度

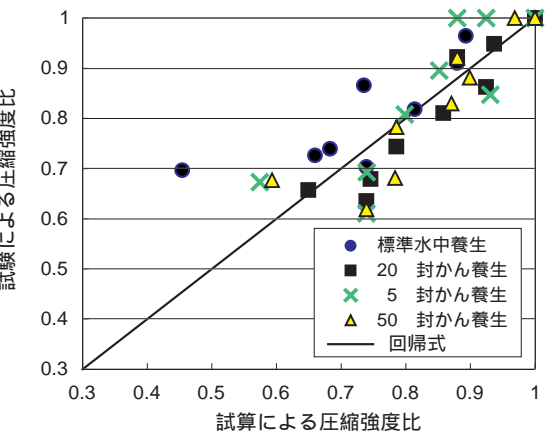


図 - 7 発泡率と膨張率による予測圧縮強度比と実際の試験圧縮強度比との関係

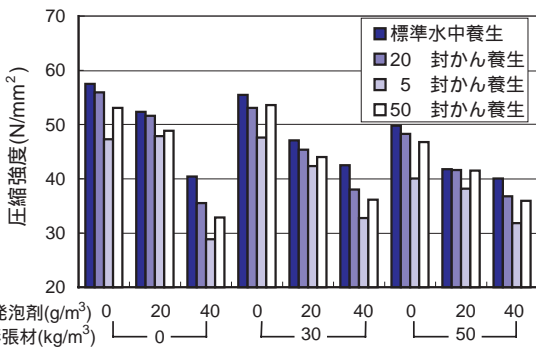


図 - 4 圧縮強度試験結果 (材齢28日)

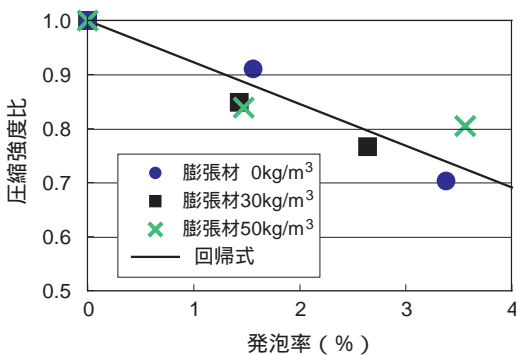


図 - 5 発泡率と圧縮強度比の関係 (標準水中養生の場合)

度比と試験結果による圧縮強度比を示すが、試算値と試験値がほぼ一致している。

発泡剤および膨張材を単独あるいは組合せて用いた強度低下が予測可能であり、それらに伴う強度低下を事前に考慮した強度設計が可能である。

なお、本検討では原則として材齢2日に脱型した自由膨張による強度発現を扱っているが、膨張材量 50kg/m^3 である一部についてはJIS A 6204「コンクリート用膨張材」による供試体を試験まで脱型しない場合の強度発現も確認している。この結果によると2日脱型に対して型枠内存置は15~20%の強度増加がみられ、その程度にもよるが型枠拘束下での強度発現は自由膨張よりもやや高めの強度発現となるものといえる。

3.5 促進中性化試験

図-8に6ヶ月間の促進中性化試験の結果を示す。発泡剤および膨張材の使用により、中性化の進行が増加する傾向がみられた。ただし、「高耐久性コンクリートの設計・施工指針(案)」[日本建築学会編]に規定される基準値である6ヶ月での促進中性化深さ 25mm を大幅に下回っており、実用上問題とはならない。

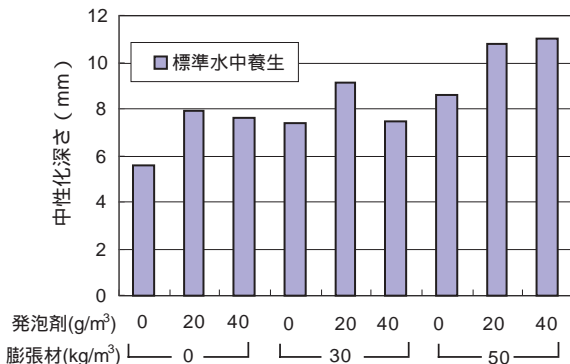


図-8 促進中性化試験結果

図-9、図-10には、発泡率および膨張率の増加に伴う促進中性化深さの関係を示す。発泡率の増加により中性化進行が増すが、その影響は小さい。一方、膨張率の増加による中性化進行は、直線的に増し、その影響程度も大きい。今回の検討範囲を超える膨張材を使用する場合には、中性化に対する影響を無視できない可能性がある。

今回、得られた関係から、発泡剤および膨張材を単独あるいは組み合わせて用いる場合の中性化進

行がほぼ予測可能である。

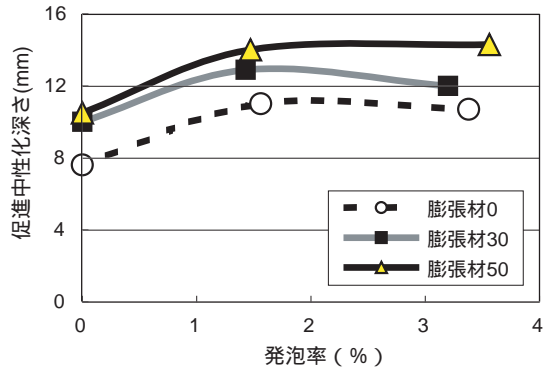


図-9 促進中性化深さと発泡率の関係

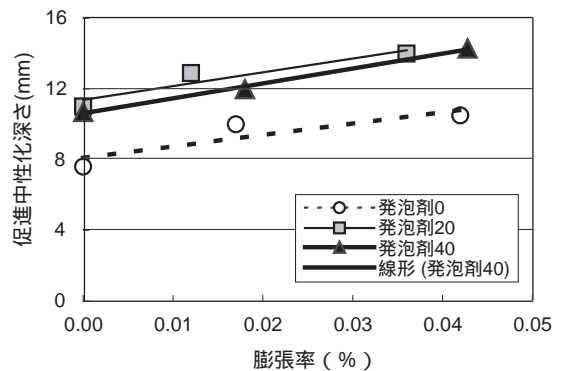


図-10 促進中性化深さと膨張率

3.6 凍結融解試験

図-11には、凍結融解試験による相対動弾性係数の推移を示す。今回対象としたいずれのコンクリートとも凍結融解サイクル300においても相対動弾性係数が90%を上回っており、高い凍結融解抵抗性のあることが確認された。

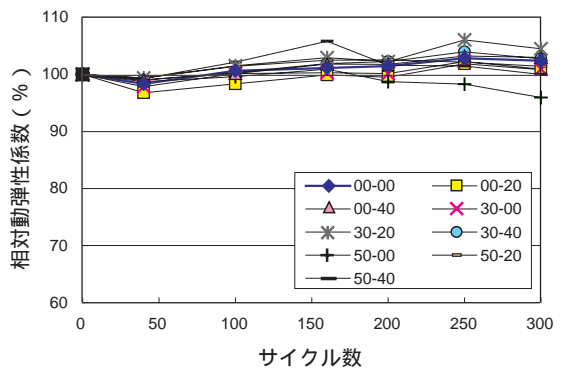


図-11 相対動弾性係数の推移