

令和元年6月25日現在

機関番号：32422

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06585

研究課題名(和文) 膨張モルタルを用いたコンクリート構造物の静的破砕工法に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental study on static fracture method of concrete structure using expansion mortar

研究代表者

大塚 秀三 (Otsuka, Shuzo)

ものづくり大学・技能工学学部・教授

研究者番号：00458605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンクリート用膨張材を混和した膨張モルタルによる解体工法を検討し、次の事項について明らかとした。1)膨張モルタルの膨張圧の測定方法：静的破砕剤の測定方法として外管法の適用性を検討し、膨張モルタルへも適用できる。2)膨張モルタルの基礎特性：調合、温度環境および容積の相違が膨張モルタルの膨張圧の挙動および温度性状に及ぼす影響を検討し、膨張材量に比例して膨張圧が高くなり、暑中環境下においても作業性を損なわない反応熱に留まる。3)小型試験体および模擬床部材における破砕挙動：破砕挙動は、母材強度、膨張モルタルの充填径、充填間隔および充填深さによって異なる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリート構造物の解体工法は、重機や専用機械、ダイナマイトを用いた工法と静的破砕剤を用いた工法に大別できる。前者では、騒音、振動および粉塵が生じるため周辺環境へ及ぼす影響が大きく、施工の安全性確保の点から難がある。後者では、破砕剤の噴出現象が生じる場合があることに加え、破砕剤が高コストである。本研究では破砕剤よりも低コストであるコンクリート用膨張材を混和した膨張モルタルによる解体工法を検討した。膨張モルタルは、破砕に足る膨張圧を生じることができ一方で、膨張に伴う反応熱、騒音や粉塵の発生を抑制でき、施工の安全性確保と周辺環境保全に有効となる可能性が予見される。

研究成果の概要(英文)：In this study, the static fracture method of concrete structure using expansion mortar was examined, and the following matters were clarified.1) Measurement method of expansion pressure of expansion mortar : The applicability of the outer tube method is examined as a method of measuring static fracture agents, and it can also be applied to expansion mortars.2) Basic characteristics of expansion mortar : The effects of adjustment, temperature and volume on expansion pressure behavior and temperature characteristics of expansion mortar are examined, and expansion pressure is high in proportion to the amount of expansion mortar, and reaction heat does not impair workability even in a hot environment.3) Crushing behavior of small specimens and simulated floor members : The fracture behavior depends on the base concrete strength, filling diameter of expansion mortar, filling interval and filling depth.

研究分野：コンクリート工学，建築材料施工

キーワード：静的破砕工法 コンクリート用膨張材 膨張モルタル 膨張圧 小型試験体 模擬床部材

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、高度経済成長期に建設された膨大なコンクリート構造物が更新時期を迎えており、今後益々コンクリート構造物の解体工事が増加すると予想される¹⁾。これに対して、昨今のコンクリート構造物の解体工事では、作業の安全性の確保に加え、工事現場周辺の近隣環境の保全への対策が特に重要視される傾向が高まっている。

しかしながら、従前より行われている解体工法は、写真-1 に示すような大型重機を用いた圧砕工法および転倒工法などの動的破壊による工法が主流であり、解体工事に伴って生じる騒音や振動の発生が問題視されることが多い。一方で、生石灰を主成分として水との消化反応による膨張圧を利用した静的破碎工法も一部の工事において適用されることがある。(例えば、写真-2) このうち、ブライスター工法などの膨張性物質充填工法の生石灰破碎法²⁾は、生石灰の発熱が大きく、生石灰の分量を間違えた際に鉄砲現象などを引き起こす危険性があり、工事の安全性の観点から難があると言える。このような背景を鑑みて、騒音や振動の発生を抑制し、かつ安全性の高い解体工法の開発が急務であると考えられる。



転倒工法

圧砕工法

ブライスター工法

パスター工法

写真-1 動的破壊による解体工事の例

写真-2 静的破碎工法による解体工事の例

2. 研究の目的

本研究では、コンクリート構造物の解体工事における静的破碎工法として、膨張材を多量に混入したモルタル(以下、膨張モルタルとする)を用いた新たな解体工法を開発することを目的とした。本研究で用いる膨張モルタルとは、JIS A 6202 : 1997「コンクリート用膨張材」に規定される膨張材をモルタルに多量に混入したものを指す。この膨張モルタルは、膨張材の主成分である生石灰の水和反応に伴う体積膨張によって膨張圧を生ずるモルタルである。申請者は、この体積膨張により生じる膨張圧に着目し、コンクリートの破壊に利用することが可能であると考えた。膨張モルタルは、安全かつ静的にコンクリート構造物を破碎する材料として有効である可能性の一端が申請者の過去の報告³⁾によって示されている。この工法の有効性が実証されれば、従前の静的破碎工法に生じる消化反応に起因する鉄砲現象の発生を抑制することが可能であり、解体工事の安全性の向上に加え、騒音や振動の発生による近隣環境への影響を抑制することに寄与する。この、膨張モルタルを用いた新たな解体工法の開発の目的を達成するために、下記の項目について検討した。

(1) 膨張モルタルの挙動および膨張圧の測定手法に関する検討

① 膨張圧の測定時間の設定に関する検討

静的破碎剤の膨張圧は、長期にわたり徐々に上昇し続けるとした報告⁴⁾がある。ここでは、膨張モルタルの膨張圧の時間変化を確認し、膨張圧の測定時間を定めることを目的とした。なお、以降では、膨張モルタルおよび静的破碎剤を総称し、充填材料と呼称する。

② 膨張モルタルにおける膨張圧の測定方法の設定に関する検討

ここでは、膨張モルタルにおける膨張圧の測定方法を定めることを目的とし、静的破碎剤を対象とした既往の膨張圧の測定方法^{5),6)}である、鋼管の内部に充填材料を充填した各種測定方法(以下、外管法とする)を準用し、測定高さ、拘束条件および充填深さを変化要因として、膨張モルタルの膨張圧の測定方法への適用性を検討した。

③ 調査要因が膨張モルタルの挙動に及ぼす影響に関する検討

ここでは、膨張モルタルの調査要因が、フロー、温度性状および膨張圧に及ぼす影響を明らかにすることを目的に実験を行った。なお、フローについては、膨張モルタルの穿孔箇所における充填性を確認することを目的に測定を行った。温度性状については、噴出現象に伴う急激な温度上昇について確認することを目的として測定を行った。

(2) 膨張モルタルによる小型試験体の破碎性状に関する検討

ここでは、(1)の③で得られた知見をもとに、膨張モルタルに用いるセメントを低熱ポルトランドセメントとして、膨張モルタルによる鉄筋コンクリート試験体の破碎性状に関する基礎的な知見を得ることを目的として検討を行った。

(3) 床部材を模擬した試験体(以下、模擬床部材とする)における膨張モルタルによる破碎性状に関する研究

ここでは、(2)で得られた知見をもとに、鉄筋コンクリートを破碎するために十分な膨張圧を生じる調査と考えられる膨張モルタルによる実大鉄筋コンクリート構造物のスラブを模擬した試験体の破碎性状について検討し、膨張モルタルの静的破碎工法としての有用性について検証

することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究は、以下に示す方法により検討した。

(1) 膨張モルタルの挙動および膨張圧の測定手法に関する検討

① 膨張圧の測定時間の設定に関する検討

充填材料の調合の例を表-1に示す。実験の要因と水準は、充填材料を膨張モルタルおよび静的破砕剤、膨張モルタルの調合を、水結合材比（以下、W/Bとする）を30%とし、結合材と細骨材の質量比（以下、B:Sとする）を1:0、膨張材とセメントの質量比（以下、E:Cとする）を1:0とした調合（調合A）、B:Sを1:2、E:Cを1:2とした調合（調合B）の計2水準、静的破砕剤の調合は、水粉体比を30%とした。

膨張圧の測定装置の例を図-1に示す。膨張圧の測定は、副田ら⁵⁾の提案した圧力計による膨張圧測定法（以下、圧力計法とする）を準用した。圧力計法は、鋼管の上下面を鉄板で拘束し、鋼管の中央にフラッシュダイヤフラム型圧力計（以下、圧力計）を取り付け、直接的に膨張圧を測定する方法である。膨張圧の測定は、モルタルミキサーを用いて充填材料を練り混ぜてから鋼管内に充填後、拘束し、室温 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60\pm 5\%$ の一定の環境下において2分間隔で80時間にわたり測定を行った。

② 膨張モルタルにおける膨張圧の測定方法の設定に関する検討

ここで用いる膨張圧の測定方法は、前述した圧力計法に加え、後述するA法およびB法の3つの方法とし、これらの測定方法の違いによる膨張圧の測定誤差について検討した。

膨張モルタルの調合は、W/Bを30%とし、B:SおよびE:Cを変化させた計9水準とした。静的破砕剤の調合は、①と同一とした。A法は、鋼管の上下面を鉄板により拘束し、鋼管の中央に貼り付けたひずみゲージにより得られたひずみを用いて、膨張圧を算出する測定する方法である。B法は、鋼管の下面を鉄板と溶接し、A法と同様にひずみゲージを用いて測定する方法である。膨張モルタルの練混ぜにはモルタルミキサーを用い、充填材料を鋼管内に充填後、鋼管を拘束し、圧力計法およびA法は室温 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60\pm 5\%$ 、B法は水温 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ の一定の環境下で測定を行った。

③ 調合要因が膨張モルタルの挙動に及ぼす影響に関する検討

ここでの実験の変化要因は、膨張モルタルのW/B、B:S、E:Cおよび充填径とし、フロー、温度性状および膨張圧に及ぼす影響について検討した。膨張モルタルの調合は、W/B、B:SおよびE:Cを変化させた計27水準とした。静的破砕剤の調合は、①と同一とした。

(2) 膨張モルタルによる小型試験体の破砕性状に関する検討

本実験では、水結合材比を変化要因とし、鉄筋を配筋したコンクリート試験体の中心に膨張モルタルを充填した場合の破砕状況に及ぼす影響について検討した。セメントには低熱ポルトランドセメントを用い、W/Bを20、35、50および65%、膨張材の混入量を $120\text{kg}/\text{m}^3$ とした。化学混和剤には高性能AE減水剤を用い、添加量を結合材の質量に対して0.5%および1.75%とした。セメントには、普通ポルトランドセメントを用いW/Cを40%とした。なお、材齢28日の圧縮強度は $49.6\text{N}/\text{mm}^2$ 、割裂引張強度は $4.2\text{N}/\text{mm}^2$ であった。鉄筋コンクリート試験体の寸法は、 $W300\times L300\times H200\text{mm}$ とし、配筋方法はD13を用いたシングル配筋、鉄筋のかぶり厚を40mmとした。また、膨張モルタルは、鉄筋コンクリート試験体の中心部を貫通させた高さ200mm、 $\phi 100\text{mm}$ の円筒状に充填した。鉄筋コンクリート試験体に用いたコンクリートの練混ぜおよび打込みは室温 20°C の恒温室内で行い、材齢28日に膨張モルタルを充填した。充填後、鉄筋コンクリート試験体および充填孔の上面は、暴露させ、底面は、コンクリート用型枠合板を用い塗装面が膨張モルタルと接するよう配置し、鉄筋コンクリート試験体以外の拘束は無いものとした。ひび割れ幅の測定は、7日間12時間毎に行った。測定項目は、ひび割れの本数と発生順序、ひび割れの幅、発生時間および発生角度とした。測定期間中は、室温 20°C の恒温室内で気中養生を行った。

(3) 模擬床部材における膨張モルタルによる破砕性状に関する研究

本研究では、実際の鉄筋コンクリート構造物における破砕性状の手掛かりを得ることを主眼に、石灰系のコンクリート用膨張材を用いた膨張モルタルを小型試験体および模擬床部材へ埋設した場合の破砕性状について、検討を行った。

模擬床部材を厚さ150mmおよびD10筋のダブル配筋として1辺が1150mmおよび1450mmの2水準、模擬床部材の水セメント比を3水準、膨張モルタルの水結合材比を20%、充填径を $\phi 100\text{mm}$ 、膨張モルタルの埋設間隔を300mmおよび450mmとして破砕性状を検討した。

表-1 充填材料の調合の例

充填材料	W/B (%)	B (C+E)	単位量 (kg/m^3)				C : E
			C	E	W	S	
膨張モルタル	20	1116	558	558	223	1115	1 : 1
静的破砕剤	-	-	P		W	S	-
			1630		489	-	

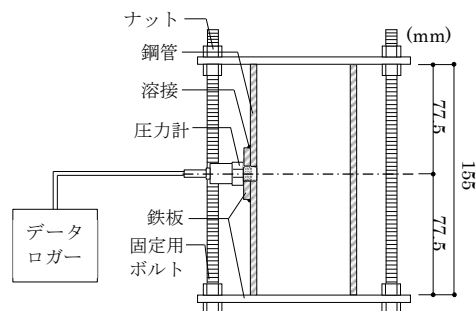


図-1 膨張圧の測定装置の例(圧力計法)

4. 研究成果

(1) 膨張モルタルの挙動および膨張圧の測定手法に関する検討

① 膨張圧の測定時間の設定に関する検討

充填材料ごとの膨張圧の経時変化を図-2に示す。膨張圧の経時変化は、充填材料にかかわらず測定開始から40時間まで急激に上昇し、それ以降からは緩やかな変化となる傾向を示した。また、膨張モルタルの膨張圧は、膨張材の混入量が多いほど大きくなる傾向を示した。40時間後の膨張圧は、80時間後の膨張圧と比較し、静的破砕剤では、8割程度であり、膨張モルタルでは、いずれの調合においても7割程度であった。以上より、膨張圧は、測定開始から40時間が経過した時点で充填材料ごとの相対比較において評価できると考えられた。また、解体工事がおよそ2日後程度で行われるのが現実的であろうことを考慮し、以降の実験においては、40時間後の膨張圧により検討した。

② 膨張モルタルにおける膨張圧の測定方法の設定に関する検討

測定方法ごとの膨張圧の比較を図-3に示す。同図は、縦軸に圧力計法の膨張圧、横軸にA法およびB法の膨張圧を示したものである。膨張圧は、測定方法の相違による膨張圧の差異はわずかであったが、B法の膨張圧は、他の測定方法と比較すると低くなる傾向を示した。これは、静的破砕剤の膨張圧では、温度が一定の場合、気中と比較して水中の方が低くなることとした既往の研究⁷⁾と同様の傾向を示しており、熱の伝達が早い水中の方が充填材料の温度が低くなり、水和反応が遅延したためと推察される。

充填材料ごとの測定高さおよび膨張圧の関係を図-4に示す。同図は、本実験で測定を行った膨張モルタルの膨張圧および同様の測定方法を用いた既往の研究⁷⁾より抜粋した24時間後の静的破砕剤における膨張圧をそれぞれ示したものである。静的破砕剤の膨張圧は、上面からの測定高さが大きくなると膨張圧が上がり、一定の測定高さ以降になると膨張圧が上昇しなくなる傾向を示した。しかし、膨張モルタルの膨張圧は、上面からの高さが50~100mmおよび100mm以上の範囲における挙動の差異はわずかであり、静的破砕剤を対象とした既往の研究とは乖離した結果となった。これは、静的破砕剤は、鉄板にて拘束されていない上面のスラリーが粉体化することにより、膨張圧が上面より開放されたためと推察される。膨張モルタルの膨張圧は、混入しているセメントが硬化することにより上面が拘束されたため、上面からの測定高さによる影響はわずかであったと推察される。

各拘束条件における充填径ごとの充填高さおよび膨張圧の関係を図-5に示す。膨張圧は、上下面拘束のφ100の水準を除き、充填高さおよび拘束条件による差異はわずかであった。これは、高さ方向が圧力分布の検討と同様に、セメントの硬化により上面拘束されたためと推察される。上下面拘束のφ100の水準においては、鉄板にて拘束することにより、水和熱が蓄積しやすくなったため膨張圧が大きくなったことが推察される。

以上より、外管法のうちのA法、B法および圧力計法のいずれの測定方法であっても膨張圧に差異は見られなかったことから、以降の研究における膨張モルタルの膨張圧の測定方法は、測定器具の再利用が可能な圧力計法による

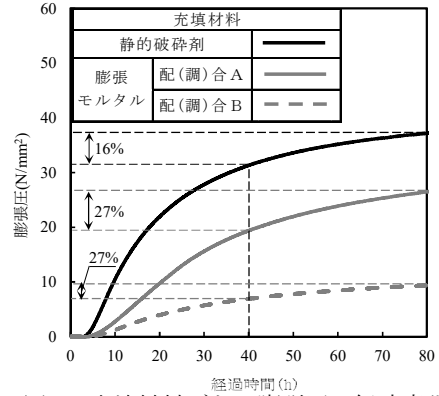


図-2 充填材料ごとの膨張圧の経時変化

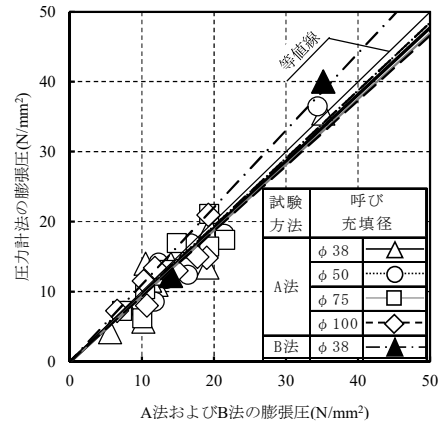


図-3 測定方法ごとの膨張圧の比較

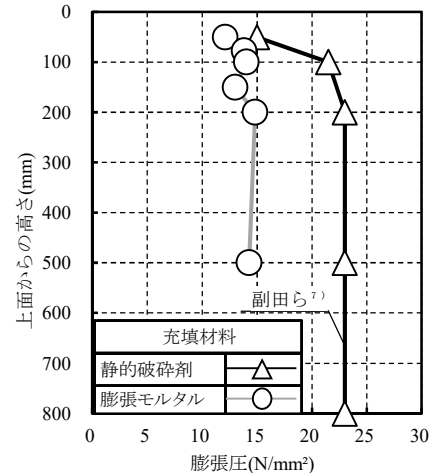


図-4 充填材料ごとの測定高さおよび膨張圧の関係

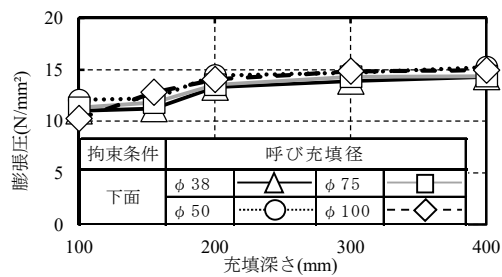
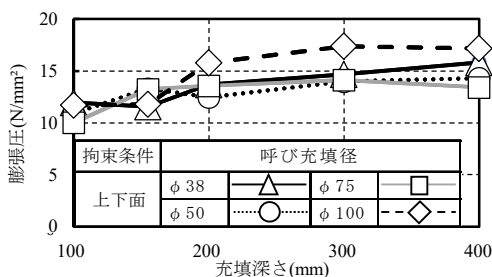


図-5 各拘束条件における充填径ごとの充填深さと膨張圧の関係

こととした。

③調合要因が膨張モルタルの挙動に及ぼす影響に関する検討

フローは、W/B が大きく、細骨材の混入量およびセメントの混入量が小さくなるほど大きくなる傾向を示した。W/B の相違による最高温度は、差異はわずかであり、呼び充填径の小さい水準においても膨張材の混入量に関わらず同様の傾向を示し、暑中環境下においても作業性を損なわない反応熱に留まる傾向であった。W/B の相違による膨張圧は、W/B が小さくなるにつれて大きくなる傾向を示した。

(2)膨張モルタルによる小型試験体の破砕性状に関する検討

①膨張モルタルの水結合材比の違いによる破砕状況

膨張モルタルの水結合材比の違いによる破砕状況を図-6 に示す。図中の番号は、ひび割れが発生した順序を示したものである。なお、測定を12時間毎としたため、測定時間間隔の12時間以内に複数発生したひび割れについては同順の番号とした。鉄筋コンクリート試験体のひび割れは、膨張モルタルの水結合材比が小さいほど、発生本数は増加する傾向を示し、膨張モルタルのW/B が20%では6本のひび割れを観察した。また、測定開始から7日目に各水準で最大となったひび割れ幅(以下、最大終局ひび割れ幅とする)は、膨張モルタルのW/B が20%および35%では、2本目、50%および65%では1本目となった。

②膨張モルタルの水結合材比とひび割れ発生角度および発生角度の関係

膨張モルタルの水結合材比とひび割れ発生時間およびひび割れ発生角度の関係を図-7 に示す。1本目のひび割れ発生時間は、膨張モルタルの水結合材比が小さいほど早くなる傾向を示したが、静的破砕剤のような急激なひび割れ⁷⁾は確認できなかった。また、1本目のひび割れ発生角度は、すべての水準で15°を下回り、鉄筋との距離が近い部分からひび割れが発生することが分かる。

③膨張モルタルの水結合材比とひび割れ幅の関係

最大終局ひび割れ幅となったひび割れにおける経過時間とひび割れ幅の関係を図-8 に示す。同図は、W/B ごとの最大終局ひび割れ幅となったひび割れの経時変化を示したものである。ひび割れ幅は、W/B20%の膨張モルタルを除いて、水結合材比が小さくなると大きくなる傾向を示し、最大で2mmのひび割れ幅となった。W/B20%の膨張モルタルについては、前述した図-2からも見て取れるようにフロー値が小さく、十分な充填性が確保できたとは言いがたい。これにより、充填時に鉄筋コンクリート試験体との間に空隙が生じ、膨張モルタルの膨張圧の伝達が阻害されたと推察される。

膨張モルタルのW/B(%)	ひび割れの発生本数(本)	破砕状況 ※図中の番号はひび割れが発生した順番を示す。
20	6	
35	5	
50	4	
65	1	

図-6 膨張モルタルの水結合材比の違いによる破壊性状

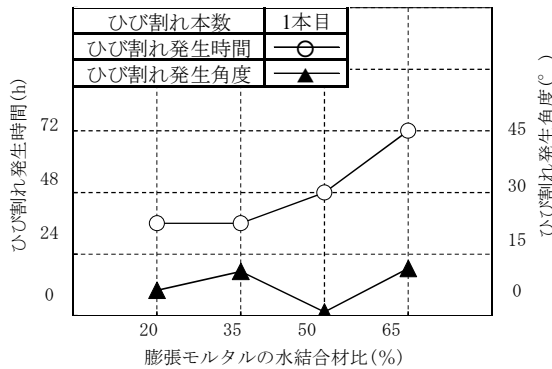


図-7 膨張モルタルの水結合材比とひび割れ発生時間およびひび割れ発生角度の関係

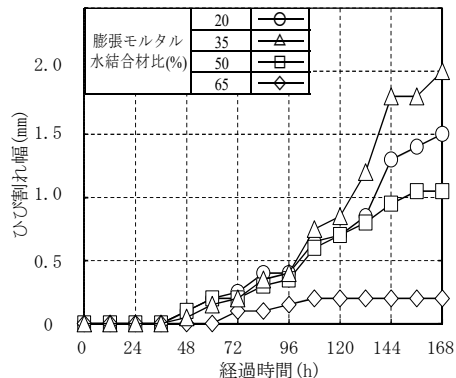


図-8 最大終局ひび割れ幅となったひび割れにおける経過時間とひび割れ幅の関係



写真-3 破砕した模擬床部材の例

(3) 模擬床部材における膨張モルタルによる破砕性状に関する研究

破砕した模擬床部材の例を写真-3 に示す。模擬床部材の破砕性状は、呼び強度 45 を除いておよそ 24～32 時間程度で膨張モルタルの埋設位置が繋がる程度のひび割れが生じることを確認し、呼び強度 24 の模擬床部材に至っては部材を貫通するひび割れを生じることを確認した。破砕の挙動は、母材強度、膨張モルタルの充填径、充填間隔および充填深さによって異なる傾向であることが分かった。以上の結果から、一般的な鉄筋コンクリート構造物の床部材に用いられる範囲の強度であれば、膨張モルタルを用いた静的破砕工法は有効であることが考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、南谷崇文ほか：127 階上解体工事における建築物の安全性に関する研究，日本建築学会東海支部研究報告書，第 51 号，pp.105-108，2013. 2
- 2) 笠井芳夫：新しい解体工法，コンクリート構造物の取りこわし＜解体工法＞Vol. 11, No. 1, pp. 39-48, 1973. 1
- 3) 中田善久，大塚秀三：膨張モルタルを用いたコンクリート構造物の解体に関する基礎的研究，公益社団法人全国解体工事業団体連合会 平成 27 年度解体工事に係る研究報告梗概集，2015. 6
- 4) 副田孝一，土屋和義，松久真人，原田哲夫：静的破砕剤の長期膨張圧特性，石膏と石灰，No. 248, pp. 37-43, 1994. 1
- 5) 副田孝一，原田 哲夫，上林 真幸，細野 克夫：フラッシュダイヤフラム型圧力計を用いた静的破砕剤の簡易膨張圧測定法，土木学会論文集 No. 478, pp. 145-148, 1993. 11
- 6) 副田孝一：生石灰の水和膨張を利用した静的破砕剤の開発およびその応用に関する研究，九州工業大学博士論文，pp. 15-21, 1994. 1
- 7) 原田哲夫，副田孝一，出光隆，渡辺 明：静的破砕剤の膨張圧測定法と膨張圧の諸性質，土木学会論文集 No. 478, pp. 91-100, 1993. 11

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- 1) 田鶴大樹，大塚秀三，中田善久，鈴木直：鉄筋コンクリートの破砕に用いる膨張モルタルの膨張圧に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 39, No. 1, pp1411-1416, 2017. 6[査読有]
- 2) 鈴木直，大塚秀三，中田善久，樫村啓：膨張モルタルを用いた鉄筋コンクリートの静的破砕に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 38, No. 1, pp1653-1658, 2016. 7[査読有]

〔学会発表〕(計 6 件)

- 1) 大塚秀三，奥山夏樹：コンクリート用膨張材を用いたモルタルによる小型試験体の破砕性状に関する研究，公益社団法人全国解体工事業団体連合会 平成 30 年度解体工事に係る研究報告梗概集，2018. 7
- 2) 田鶴大樹，大塚秀三，中田善久：膨張モルタルの調合要因が各種性状に及ぼす影響に関する研究，2017 年度日本建築学会大会学術講演梗概集(中国) A-1 分冊，795-796, 2017. 9
- 3) 鈴木直，大塚秀三，中田善久，田鶴大樹：コンクリート用膨張材を大量に使用したモルタルの解体工法への適用性に関する基礎的研究その 1 膨張圧の測定方法の検討，日本建築学会関東支部 2016 年度(第 87 回)研究発表会研究報告集 I, 205-208, 2017. 2
- 4) 松本賢治，大塚秀三，中田善久，鈴木直，田鶴大樹：コンクリート用膨張材を大量に使用したモルタルの解体工法への適用性に関する基礎的研究 その 2 膨張モルタルの調合要因が各種性状に及ぼす影響，日本建築学会関東支部 2016 年度(第 87 回)研究発表会研究報告集 I, 209-212, 2017. 2
- 5) 田鶴大樹，大塚秀三，中田善久，鈴木直：コンクリート用膨張材を用いたモルタルによる鉄筋コンクリートの静的破砕に関する基礎的研究 その 1 膨張モルタルの基礎的性状，2016 年度日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)A-1 分冊，1331-332, 2016. 8
- 6) 鈴木直，大塚秀三，中田善久，田鶴大樹：コンクリート用膨張材を用いたモルタルによる鉄筋コンクリートの静的破砕に関する基礎的研究 その 2 鉄筋コンクリート試験体の破砕性状，2016 年度日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)A-1 分冊，1333-1334, 2016. 8

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。