

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：50102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04336

研究課題名(和文) 焼成ホッキ貝殻により膨張を付与したセメント硬化体の内部組織構造と耐凍害性の定式化

研究課題名(英文) Expansive Behavior of Mortars Containing Surf Clam Shell Powder by low curing temperature

研究代表者

渡辺 暁央 (Akio, Watanabe)

苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・准教授

研究者番号：00422650

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ASTM C1698のコルゲートチューブ法による長さ変化試験を使用して、膨張特性を評価した。膨張率は温度依存性を示し、低温の養生を行うと膨張率が小さくなる。そのため、初期の養生温度が低い場合、所定の膨張能力を与えることができず、その後の収縮によるひび割れ発生の可能性を示した。そのため寒中コンクリート施工で膨張材を使用する場合は、耐凍害性の低下の可能性もある。また、同一温度条件においては、膨張を拘束することにより内部組織が緻密化し、強度特性が向上することが示された。低温の養生でも拘束により内部組織が緻密化されるが、相対的な膨張率の低下から劣化を促進する可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、コンクリートの収縮によるひび割れ発生の防止を目的として、膨張性の材料を使用する研究である。膨張性の材料は、膨張材と呼ばれ、カルサイト型炭酸カルシウムである石灰石を主原料としている。石灰石の代わりに貝殻を原料とする炭酸カルシウムの利用について検討を行った。ホッキ貝殻はアラゴナイト型の炭酸カルシウムであり、カルサイト型と比較して膨張能力が高い。そのため、低添加で所定の膨張能力を与えることができる。貝殻のリサイクルの観点と、膨張材の高性能化に貢献できることが本研究の意義である。

研究成果の概要(英文)：The shrinkage of mortar gets reduced in the case where an appropriate amount of expansive material is added to the mortar. Chemical prestress is introduced when restraining the mortar that has been expanded beyond the amount of contraction. The expansion of the mortars at early age were evaluated by conducting length change tests using a corrugated mold based on ASTM C1698. For a difference in curing temperature, the higher the temperature reached, the greater the expansion was made. The amount of cement was replaced with expansive material into a steel load-bearing formwork, we sealed and cured it in a restrained state. We removed the material from the mold on the 7days of age, and conducted the compressive strength test. The strength of mortars which used the steel load-bearing formwork increased at any temperature.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：膨張 収縮 ASTM C1698 拘束 低温養生

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

膨張性を有するコンクリートは、セメントの水和反応に起因する収縮や乾燥収縮等の低減を目的に幅広く使用されている。その一方で、セメントの反応過程において膨張を付与することは、毛細管空隙構造が変化するため予期しない劣化現象が発生することがある。例えば、寒冷地で使用されるコンクリートは、凍結融解の作用を受けるが、膨張性コンクリートを使用した場合に拘束の加減によって耐凍害性が低下する事例も報告されている。また、膨張性コンクリートを使用した橋梁の床版において疲労による早期劣化が発生したり、鉄筋コンクリート増厚による耐震補強橋脚において乾燥収縮が原因と考えられるひび割れが発生したりするなど、膨張性コンクリートの使用が原因と推察される劣化が顕在化している。そのため、膨張性コンクリートの耐久性に関しては、丁寧に検討することがこれからの課題といえる。

申請者らのこれまでの研究では、地産地消を目的として貝殻の有効利用に着目した研究を行っており、アラゴナイト型炭酸カルシウムであるホッキ貝殻を粉碎して焼成した粉末をセメントに置換して使用することにより、膨張性コンクリートとして利用できることを示した。焼成ホッキ貝殻は、市販される石灰石(カルサイト型炭酸カルシウム)を原料とする膨張材と比較して、効率よく膨張することを明らかにしている。この機能に着目して、膨張性コンクリートとして適用するためには、前段に述べた耐久性について検討することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、膨張能力の高いアラゴナイト型の貝殻材料を利用した膨張性コンクリートの実用化を目指すものである。実用で想定される膨張を拘束した環境を実験的に再現し、内部組織構造と耐凍害性の関係性を明らかにすることを目的としている。

膨張材を使用したコンクリートの凍害劣化の事例としては、供用開始後の1年程度で収縮ひび割れが発生して、そのひび割れから凍害劣化が進行する事例が確認されている。膨張材は収縮ひび割れの発生を抑制することを目的に使用する観点から、膨張材を使用してもひび割れが発生する要因を検討する必要がある。その要因を初期の養生と膨張率の関係から検討することとした。

3. 研究の方法

(1) 長さ変化試験

モルタルの練り混ぜ直後から材齢7日までの自由膨張量を計測する手法として、ASTM C1698に準じたモルタルの長さ変化試験を実施した。直径約30mm、長さ約425mmのポリエチレン製コルゲートチューブを振動台の上に鉛直に設置し、振動を加えながらモルタルを上部から注ぎ込んだ。その後、コルゲートチューブにテフロン製の栓をして長さ変化測定用の供試体とし、これを20℃の恒温室で30°の角度に固定した台に設置した。レーザー変位計とデータロガーを用いて、供試体設置後(注水10分後)を変化率ゼロとし、30分おきに長さ変化の測定を行った。

(2) 拘束供試体の圧縮強度試験

特注の鋼型枠を使用する。この型枠はRPC(Reactive Powder Concrete)を作製するにあたり、フレッシュコンクリートの余剰水除去を目的に50N/mm²の耐荷力の性能を有しており、膨張材による膨張に対して変形を許さない構造となっている。この拘束円柱型枠に離型剤を塗り、モルタルを打設する。打設後、拘束具をナットで固定した状態で材齢7日まで静置する。なお、この拘束型枠を3個用いて、供試体を3つ作製する。完成後の寸法は、直径50mm×高さ100mmの円柱供試体となる。また、比較のため、直径50mm×高さ100mmの鋼製軽量型枠(供試体数は3本)にも打設してラップで密封して同様に静置した。材齢7日にて拘束円柱型枠の拘束具を取り外して脱型した。また、鋼製軽量型枠の供試体も脱型した。端面処理を行い、直径50mmの圧縮強度試験を実施した。

(3) 反射電子像観察

拘束供試体から、10mm²程度の試料を切り出し、エタノールに浸漬して水和反応を停止させた。エタノール浸漬後の試料は、真空樹脂含浸装置を用いて樹脂含浸を行った。樹脂の硬化後、耐水研磨紙およびダイヤモンドスラリーによる鏡面研磨を行い観察用の試料を作製した。白金蒸着を施した後、反射電子検出器を備えた電界放出型走査電子顕微鏡により、倍率500倍で反射電子像を取得した。得られた反射電子像について毛細管空隙を抽出する画像処理を行い、画像解析にて毛細管空隙率を評価した。

4. 研究成果

(1) 膨張率評価

ASTM C1698に準じたモルタルの長さ変化試験を養生温度5、10および20℃で実施した。打設直後からの収縮はセメントの水和反応による収縮であり、収縮の終了は凝結したことを示して

いる。膨張材が混入されていない場合は、初期の収縮が終了した後の長さ変化は発生しない(ただし、低水セメント比において自己収縮が発生する時を除く)。焼成ホッキ貝殻粉末を混入したモルタルでは、養生温度が低い場合は収縮が大きく、その後の膨張は小さい。逆に養生温度が高い場合は、初期の収縮が小さく、その後の膨張が大きい。20℃を基準として考えると、寒中コンクリートの養生条件となる5℃、あるいは実際の施工条件となる10℃では、膨張が不足することが示された。そのため、ひび割れ発生の防止を目的とした膨張を与えるためには、初期の養生温度が重要であることを示した。また、材齢7日まで5℃の養生を行った後、20℃の養生に変更しても、コルゲートチューブという密閉された条件下では遅れ膨張は発生しなかった。

材齢7日の膨張率と養生温度の関係を検討すると、養生温度が高くなると膨張率は比例的に増加した。収縮ひび割れを防止するのに適切な膨張率が標準養生である20℃に設定されていると仮定すると、それより低温の養生では所定の膨張を与えることが困難であるといえる。養生における水分の供給方法によっても膨張性能は変化するが、所定の膨張を与えるためには養生温度が重要であることを示しているといえる。すなわち、圧縮強度のようにマチュリティの概念が通用しない可能性があり、今後の検討課題といえる。

(2) 拘束供試体の圧縮強度

20℃の養生条件において、焼成ホッキ貝殻粉末を0~10%まで変化させて拘束供試体を作製し、材齢7日において圧縮強度試験を実施した。その結果、置換率4%で圧縮強度が最大となった。コルゲートチューブ法による長さ変化試験の結果では、置換率4%は初期の収縮を補完する膨張率であり、材齢7日の膨張率がほぼゼロとなる。すなわち、内部組織構造の緻密化は、コルゲートチューブ法による初期の収縮を補填する膨張を与えることで達成できる可能性が示された。

置換率を10%として、養生温度を5、10および20℃で拘束供試体および鋼製軽量型枠供試体を作製して圧縮強度の相違を検討した。鋼製拘束型枠を使用した供試体の圧縮強度は、いずれの養生温度においても鋼製軽量型枠を使用した供試体の圧縮強度より、5N/mm²程度強度が増大するようである。

(3) 反射電子像

拘束供試体から試料を切り出して反射電子像を取得した。置換率0%では、直径10μm程度の比較的大きな空隙が確認される。一方、置換率4%では、置換率0%で確認された10μm程度の空隙は確認されず、数μm程度の空隙が分散して存在している。置換率8%は、置換率4%より個々の空隙が大きくなっているように見える。すなわち、置換率0%で確認される大きな空隙はケミカルプレスにより消失しているようであり、圧縮強度の増大の要因と考えられる。一方で、膨張材の置換率が大きくなるとケミカルプレスによる組織の緻密化より、膨張作用による空隙の増大が卓越するようである。ケミカルプレスによる組織緻密化には、適切な膨張材置換率の設定が必要と考えられる。画像解析による毛細管空隙率の評価では、置換率4%で最小の空隙率となり、圧縮強度増大させるためには、毛細管空隙を減少させる必要があることを示した。

鋼製拘束型枠の供試体における5℃および20℃の反射電子像を比較すると、養生温度が5℃の場合、白色の未水和セメント粒子が多く、黒色の毛細管空隙が若干多い印象を受ける。膨張の要因となる明るい灰色の水酸化カルシウムに着目すると、5℃においても20℃と同程度存在していることが確認できる。膨張率に反映されないもののセメントマトリックスの緻密化が進行しているものと推察される。

(4) まとめ

- ・ 膨張材による膨張率は温度依存性であり、材齢7日の膨張率と養生温度は比例関係を有する。
- ・ 20℃の養生温度において、置換率を変化させた場合の膨張率は、置換率が4%のとき、初期の収縮を補填する膨張が与えられ、材齢7日の膨張率がほぼゼロになる。
- ・ 20℃の養生温度において、拘束供試体の圧縮強度は、焼成ホッキ貝殻粉末では置換率が4%で最も大きな値が得られた。
- ・ 鋼製拘束型枠の供試体の圧縮強度は、鋼製軽量型枠の供試体のものと比較して、いずれの養生温度でもケミカルプレスにより強度増大する。
- ・ 焼成ホッキ貝殻粉末により膨張を付与したモルタルの圧縮強度は、反射電子像の画像解析で評価される毛細管空隙率に依存する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上田大輔, 渡辺暁央, 土門寛幸, 近藤崇	4. 巻 42
2. 論文標題 拘束を受けた膨張性モルタルの圧縮強度と初期膨張特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 383-388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 土門寛幸, 渡辺暁央, 近藤崇	4. 巻 29
2. 論文標題 ケミカルプレスによるモルタルの毛細管空隙の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 プレストレストコンクリート工学会第29回シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 311-314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 土門寛幸, 渡辺暁央, 近藤崇	4. 巻 28
2. 論文標題 反射電子像の画像解析による拘束した膨張性モルタルの空隙率評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 727-730
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 土門寛幸, 渡辺暁央, 近藤崇, 廣川一巳	4. 巻 27
2. 論文標題 焼成貝殻の混入によりケミカルプレストレスを与えたモルタルの強度特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 プレストレストコンクリート工学会第27回シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 303-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 白田崇人, 渡辺暁央, 土門寛幸
2. 発表標題 SEM-BSE画像解析による実構造物の毛細管空隙率と圧縮強度の比較
3. 学会等名 令和元年度土木学会北海道支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浦川慎利, 渡辺暁央, 土門寛幸
2. 発表標題 膨張性モルタルを拘束した供試体の圧縮強度特性
3. 学会等名 令和元年度土木学会北海道支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上田大輔, 渡辺暁央, 土門寛幸, 高橋正一
2. 発表標題 モルタルの温度応力試験方法の検討
3. 学会等名 令和元年度土木学会北海道支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田朋貴, 渡辺暁央, 土門寛幸
2. 発表標題 コルゲートチューブ法による膨張材の硬化過程の長さ変化
3. 学会等名 令和元年度土木学会北海道支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥谷部瞭, 渡辺暁央, 土門寛幸
2. 発表標題 表層凍害劣化を再現する実験装置の開発に関する研究
3. 学会等名 令和元年度土木学会北海道支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土門寛幸, 渡辺暁央, 高橋正一
2. 発表標題 粒径の異なる細骨材を使用したモルタルの温度応力に関する検討
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会 第73回年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大橋駿希, 渡辺暁央, 土門寛幸
2. 発表標題 拘束した膨張性モルタルの力学的特徴
3. 学会等名 平成30年度土木学会北海道支部論文報告集第75号
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田大輔, 渡辺暁央, 土門寛幸, 高橋正一
2. 発表標題 膨張性モルタルの温度応力試験
3. 学会等名 平成30年度土木学会北海道支部論文報告集第75号
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	近藤 崇 (Kondo Takashi) (50290672)	苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・教授 (50102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------