

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：33905

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04780

研究課題名（和文）微破壊試験機による火害を受けたコンクリートの内部性状の推定

研究課題名（英文）Estimation of Internal State for Fire-damaged Concrete by Mini-Destructive Test Instruments

研究代表者

朴 相俊（PARK, SANGJUN）

金城学院大学・生活環境学部・准教授

研究者番号：90408758

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、小型で携帯が可能であり、3.2mm深さ10mmと建造物に負担をかけない小径ドリル型削孔試験機（以後、削孔試験機と表記）の開発を進めている。昨年度は、削孔試験機を用いた火害を受けたモルタルの強度推定の可能性について実験を行い報告した。今年度の研究では、火害を受けたモルタル試験体の定量的な評価を目標に、試験体内部に熱電対を設置し、加熱時間による火害性状を目視により確認するとともに、削孔試験機を用いて、モルタル試験体の内部方向への火害度を削孔速度と削孔深さの関係から推定した。削孔試験機による火害度推定の精度を確認するため、ビッカース硬さ試験を行い、その有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の火害度推定方法は、火害を受けた構造物と微破壊試験を統合して、耐火構造計画に組み込むものであり、地震による火災や都市火災によるダメージを受ける構造物に対し、正確な診断方法としての必要性や火災時の安全性確保が喫緊の課題となっていることも併せて考えると、本研究は非常に有意義な研究といえる。また、破壊試験の信頼性と非破壊試験に匹敵する測定対象の損傷の少なさを併せ持つ方法であり、かつ、深さ方向の性状分布をmm単位で測定できるなど、他に例がない革新的な微破壊試験法である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we are developing a small-diameter drilling tester that is compact, portable, and has a depth of 10 mm with a diameter of 3.2 mm so that it does not burden structures. In the last year, experiments were conducted and reported on the possibility of estimating the strength of mortar damaged by fire using a small-diameter drilling tester. In this research year, a thermocouple was installed in the test body and the property of fire damage by heating time was visually confirmed, aiming at quantitative evaluation of mortar specimens damaged by fire. In addition, the degree of fire damage toward the interior of mortar specimens was estimated from the relationship between drilling speed and drilling depth using a drilling tester. In order to confirm the accuracy of the fire damage estimation by the drilling tester, the Micro Vickers Hardness Test was carried out and its effectiveness was confirmed.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：小径ドリル型削孔試験機 火害 微破壊試験 削孔速度 ビッカース硬さ試験

1. 研究開始当初の背景

火災を受けたコンクリート構造物の火害度を推定する方法としては、目視や簡単な器具を用いた現場調査、載荷実験による検証、シミュレーション解析などが挙げられる。最近、建築物の高層化のため、高強度コンクリートの使用が拡大しており、火災によるコンクリートの爆裂、ポップアウトおよびひび割れなどに関する多くの実験的・解析的研究が進められているが、火害度診断に関する研究は少ないのが現状である。一方で、火災を受けたコンクリート構造体の物理的性能評価を現場で行う場合、既存の非破壊試験方法は、コンクリートの中でも不安定要素が多い表層で測定を行っているため測定値に対する信頼性が低いこと、またコア抜きを行い室内に運び込み圧縮強度を測定する方法では被測定体のダメージが大きく、適用先が限られるなどの問題がある。

本研究では、小型で携帯が可能な試験機とその試験方法の開発が進められてきた。この小径ドリル型削孔試験機は、直径 3mm の削孔用ダイヤモンドビットを用いて 10mm 内部まで削孔するものである。したがって、被測定体への損傷が極めて小さく、表層から内部の測定ができる特徴がある。火災温度および火災時間がコンクリートの内部火害度に及ぼす影響を定量的に解明することができる¹⁾。

2. 研究の目的

本申請研究は微破壊試験方法として小径ドリル型削孔試験機を提案し、モルタル及びコンクリートなどの比較的不均質な複合材料の強度推定に適用することを目的に、試験機の改良と試験方法を考案した。本研究では、火災を受けたコンクリートの構造物に対し、定回転、定圧力で被測定体を削孔し、その削孔速度から被測定体の劣化部の表層性状を定量的に明らかにすることを目指す。一定時間間隔（例えば、サンプリング周波数 100Hz）で削孔深さを測定することによって、削孔速度を得る。その削孔速度から被測定体の強度を推定することを目的とした小型軽量試験機とその試験方法の確立を目指す。

特に本研究では、火災を受けたモルタル試験体の定量的な評価を目標に、試験体内部に熱電対を設置し、加熱時間による火害性状を確認する。その後、削孔試験機を用いて、モルタル試験体の内部方向への火害度を削孔速度と削孔深さの関係から推定する。また、削孔試験機による火害度推定の精度を確認するため、ビッカース硬さ試験を行い、その有効性を確認する。

3. 研究の方法

写真-1 の削孔試験機で、火害試験用の試験体を用いた削孔試験を行う。削孔箇所を図-1 に示す。試験体を加熱した後 10mm ごとに切断し、削孔を行う。削孔試験では、火害面を 20 回ずつ削孔し、それぞれの平均削孔速度を求めた。また、ビッカース硬さ試験を行い、削孔試験結果と比較・検討する。

図-2 に試験体加熱の様子を示す。試験体の一面のみ加熱されるよう配置する。試験体の加熱は電気炉を用い、温度は 500℃、加熱時間は、30 分、1 時間、4 時間、6 時間の 4 水準とする。また、加熱時間による試験体内部の温度変化を観察するため、熱電対を埋め込んだ試験体を二つ製作し 6 時間の加熱試験を行う。図-3 に熱電対の設置箇所を示す。

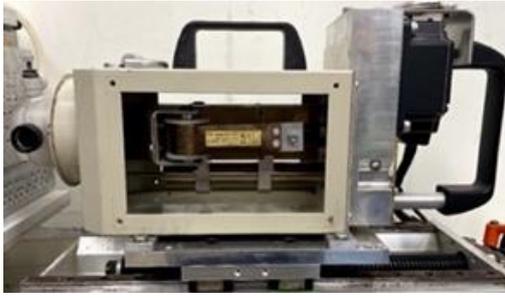


写真-1 小径ドリル型削孔試験機

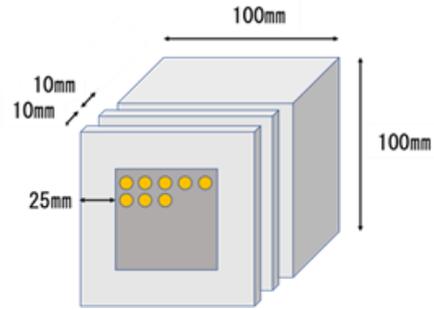


図-1 モルタル試験体の削孔箇所

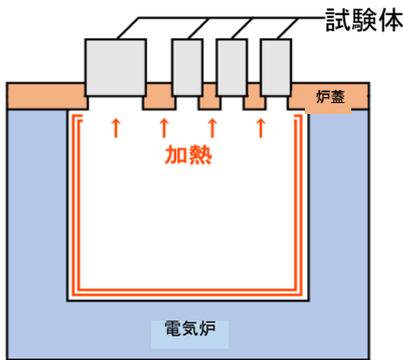


図-2 加熱イメージ

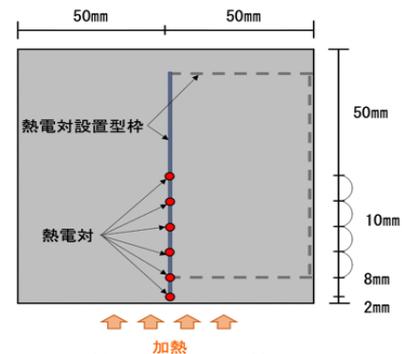


図-3 熱電対の設置箇所

また、JIS Z 2244:2009 の方法で、角錐型圧子を 9.8N で 15 秒間押しつけてきた圧痕の対角線の長さを測定して硬さを計測する。ビッカース硬さ(Hv)は下記の式(1)で求める。

$$Hv = 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad (\text{式 1})$$

ここで、F：試験荷重(kN)、d：圧痕の対角線の長さの平均 (mm)

各加熱時間別試験体の表面から 2 mm毎に 5 箇所ずつビッカース硬さ試験を行い、平均値を求める。得られたビッカース硬さ試験結果と、削孔試験結果を比較・検討し、削孔試験結果の有効性を確認する。

4. 研究成果

図-4 に削孔速度と削孔深さの関係の一例を示す。同図 a) は、未加熱試験体の場合で、平均削孔速度は 0.224 mm/s となり、試験体表面から深さ方向に向けて安定した削孔速度が得られた。また、同図 b) に 1 時間加熱試験体と、同図 c) に 4 時間加熱試験体の例を示す。同図中の b), c) は、加熱面から試験体内部に 10 mm毎に削孔したデータを繋ぎ合わせて示した。火害を受けた加熱面から内部方向に向けて削孔速度が遅くなっていく傾向が見られた。1 時間加熱試験体では、表面から 13mm 付近までは削孔速度が未加熱試験体に比べ速くなっているのに対し、13mm-30mm 付近での削孔速度は 0.229mm/s と未加熱試験体と同等の削孔速度が得られたため、これ以降は火害の影響による速度低下は見られない。また、4 時間加熱試験体では、表面から 20mm 付近までは火害の影響を受け削孔速度が、削孔速度が未加熱試験

験体に比べ速くなっているのに対し、22mm-40mm 付近になると平均削孔速度は0.20mm/sと未加熱試験体と同等の削孔速度が得られたため、これ以降は火害の影響を受けていないものと推測される。図-5に加熱時間別試験体と平均削孔速度と削孔深さの関係を示す。1時間以上の加熱を行なった試験体は、表面から試験体内部にかけて削孔速度が低下していき、未加熱試験体と同等の削孔速度へ収束していく傾向が見られた。

また、図-6に4時間加熱試験体のビッカース硬さと加熱面からの深さの関係を近所曲線で示す。4時間加熱試験体では、試験体深さが約22mm付近で未加熱試験体と同等の硬さとなり、これ以降は火害の影響を受けていないと推測される。また、図-7にビッカース硬さと削孔速度の関係を示す。一部の試験体でばらつきが見られるものの、いずれの試験体においても加熱面から試験体内部に向かってHv値が高くなる傾向が見られる。これは、削孔試験の結果と同様の傾向が見られていることから、火害を受けたモルタル試験体の火害度推定に削孔試験機が有効であると思われる。

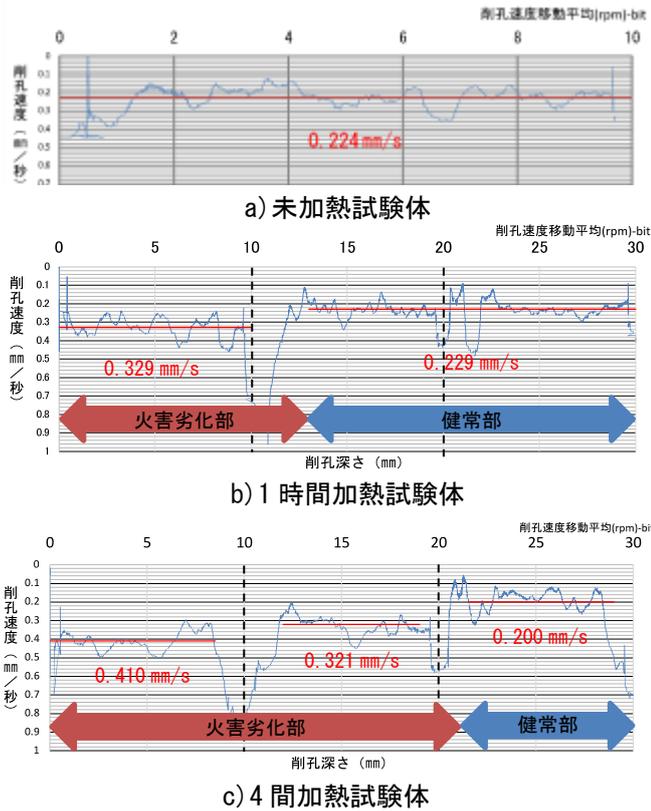


図-4 削孔速度と削孔深さの関係の一例

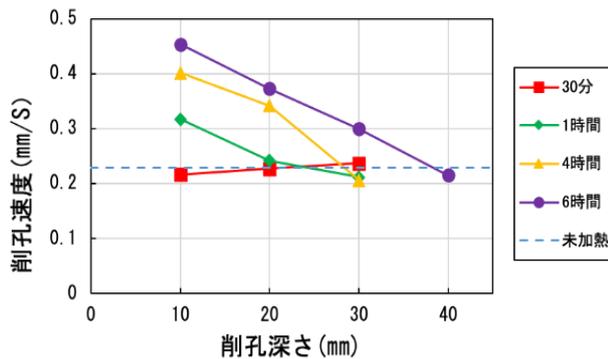


図-5 加熱時間別試験体の平均削孔速度と削孔深さの関係

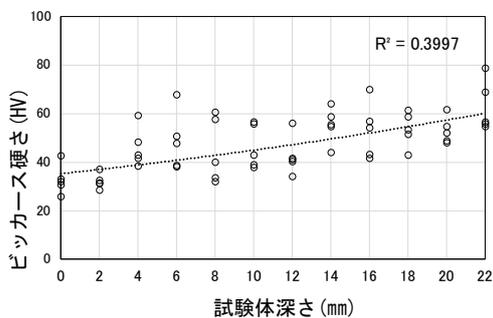


図-6 ビッカース硬さ (4時間加熱)

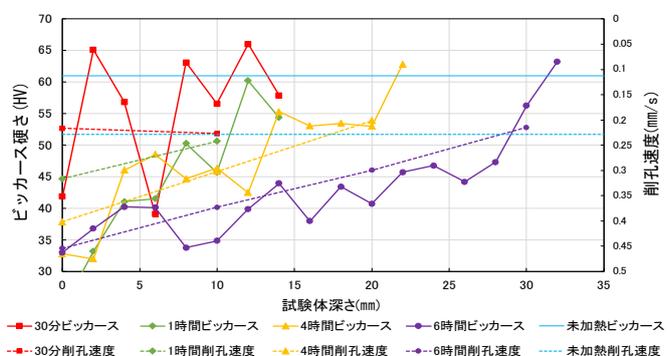


図-7 ビッカース硬さと削孔速度

参考文献

- 1) 朴相俊、伊藤花恋、青木孝義、長谷川 哲也：小径ドリル型削孔試験機による火害を受けたモルタルの火害度推定に関する実験的研究、日本建築学会学術講演梗概集（北海道）、pp.415-pp.416, 2022.9

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 朴相俊	4. 巻 20
2. 論文標題 小径ドリル型削孔試験機の改良と検証に関する実験的研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 金城学院大学論集 自然科学編	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
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 無
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4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 朴相俊、伊藤花恋、青木孝義、長谷川 哲也
2. 発表標題 小径ドリル型削孔試験機による火害を受けたモルタルの火害度推定に関する実験的研究
3. 学会等名 日本大学会術講演概要集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤花恋、青木孝義、朴相俊、長谷川 哲也
2. 発表標題 小径ドリル型削孔試験機を用いた煉瓦の圧縮強度推定に関する実験的研究
3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 朴相俊、伊藤花恋、青木孝義、長谷川哲也
2. 発表標題 小径ドリル型削孔試験機による火害を受けたモルタルの強度推定ための検証実験
3. 学会等名 日本大学会術講演概要集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤花恋、青木孝義、朴相俊、長谷川 哲也、田口 孝
2. 発表標題 小径ドリル型削孔試験機を用いた目地モルタルの圧縮強度推定
3. 学会等名 日本大会学術講演概要集
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------