

火害を受けたモルタルの性能回復に及ぼす表面の再養生方法の影響

Effect of surface re-curing method on the performance recovery of fire-damaged mortar

北海道大学
北海道大学

○学生員 網本明洋(Akihiro Amimoto)
正会員 ヘンリー・マイケル (Michael Henry)

1. 研究背景と目的

トンネル火災が生じると、トンネル内のコンクリートの自由水、結合水の脱水が起こり、強度および耐久性が低下することが報告されている。また、被害が大きくなるとコンクリートの表面にひび割れや剥離が生じ、さらに高温の被害を受けるとコンクリート自体が爆裂を起こしてしまうこともある。このように火害の程度によりコンクリートの被害状況が異なるため、火害状況を正しく評価し、正しい補修や補強を行う必要がある。現在の補修方法としては、火害による損傷が著しい部分を取り除き新たにコンクリートを打設する方法が一般的である。そして火害の被害温度が比較的低く、損傷が大きい部分では簡易な補修のみでほぼそのままの状態にしていることが多い。しかし、新たなコンクリートを打設することは大がかりな工事を必要とし、コストと時間が多くかかってしまう問題点が生じる。また、新たなコンクリートを大量に使用するため、環境面への負担も大きい。そのためこの方法をトンネルの広範囲にわたって行うことは困難である。一方、火害の影響が比較的小さい部分をそのままの状態にしていることも適切ではない。火害の影響が比較的小さいコンクリートも強度は低下しているため、安全面を考慮すると、この方法は決して十分ではない。

そこで環境への負荷、コストや時間が小さく、なおかつ強度を十分に回復することが可能な新たな補修方法について考える。近年、火害を受けたコンクリートは水中で再養生することで再水和反応が起こり、空隙径が小さくなり、ひび割れが自己治癒することで物性が向上すると報告されている¹⁾。この性質を利用し、火害を受けたコンクリートの強度を回復させることができれば、コストが低く、環境への負荷も小さい対策を確立できる。しかし、実際のトンネル内のコンクリートを水中で再養生させることは困難であり、既往研究でも実際の構造物に採用できる再養生方法はなかった。そこで、水を含ませたスポンジの上に供試体を置き、一方向の表面から再養生を行うという方法を考えた(以下、この方法をスポンジ養生と呼ぶ)。そしてスポンジ養生を行い、水中で再養生する場合と比べて強度がどの程度まで回復するかどうかを明らかにすることを本研究の目的とした。

2. 実験概要

実験の全体の流れは図-1 に示す。

2.1 供試体打設・養生

普通強度モルタルを対象とするため水セメント比を50%とし、 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の供試体を作製した。また、実際のトンネル内のコンクリートは材齢が高く、セメン

トの水和反応が十分進んでいるため、この条件に合わせて水中にて670日間の養生を行ったモルタルを使用した。養生28日後の供試体の圧縮強度は 53.7N/mm^2 に対し、養生670日後の強度は 68.1N/mm^2 であった。

2.2 供試体切断

既往の研究で供試体の大きさをメソスケールのサイズで構造解析を行うものがあり、本研究ではサンプル供試体が多く必要なため、この方法を取り入れた²⁾。モルタル供試体を $10 \times 20 \times 100\text{mm}$ の大きさに切断した。(写真-1)

2.3 加熱実験

加熱実験は最高温度 600°C とし、昇温速度を 10°C/min 、最高温度保持時間を30分保ちその後、供試体の温度を外気温付近になるまで冷まし、再養生を行った。

2.4 再養生

実験で行った再養生は水中に入れずにそのまま放置しておく気中養生、水中に供試体を入れる水中養生、そしてスポンジ養生の3通り行った。(写真-2)そして再養生期間は1日、3日、7日間行った。これは実際のトンネル現場では、より迅速な復旧が求められるため、短い期間を設定した。

2.5 計測方法

供試体が再水和反応を行うために必要な水をどの程度含んだのかを質量測定することで明らかにした。その後超音波速度試験と曲げ強度試験を行い、供試体の劣化・回復の度合いを調べ、曲げ強度試験結果と超音波速度試験の結果を比較した。

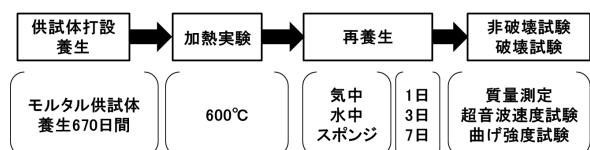


図-1 実験の全体の流れ

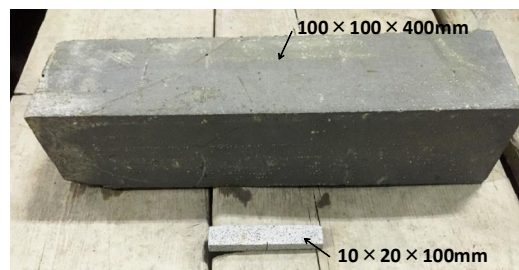


写真-1 上：切断する前の供試体
下：切断した供試体

3. 実験結果

3.1 供試体の質量変化

加熱前のそれぞれの供試体の質量を 1.0 とした時の、供試体の時間経過による質量比の推移を図-2 に示す。加熱後には脱水により質量が 10%減少した。そして気中養生ではその後ほとんど質量増加はなかった。一方、水中養生とスポンジ養生は加熱 1 日後には加熱前の質量まで戻り、7 日後には加熱前よりも質量が 4%増加した。

3.2 超音波速度試験

加熱前の超音波速度を 1.0 とした時の超音波速度比の推移を図-3 に示す。気中養生は全体的に緩やかに下がった。水中養生とスポンジ養生はどちらもほぼ同じ軌跡を描き、1 日後では加熱前とほぼ同じくらいまで回復し、その後も緩やかに上昇し、7 日後は加熱後と比べて約 1.1 倍の速さになった。

3.3 曲げ強度試験

加熱前の曲げ強度を 1.0 とした時の曲げ強度比の推移を図-4 に示す。気中養生では加熱から 3 日間で強度が大きく下がり、加熱後から約 40%減少した。そして 3 日後から 7 日後まではほぼ変化はなかった。目視での供試体の変化においても、加熱後 1 日後に加熱面にひび割れが生じ、3 日後には供試体が反るような変形が生じて加熱面のひび割れも大きくなった。(写真-3) 水中養生とスポンジ養生においては、どちらも加熱 1 日後で強度が回復せず、加熱 3 日後で大きく曲げ強度が回復した。そして 7 日後にはどちらも強度がやや下がる結果となった。全体的に水中養生の方がスポンジ養生よりも数値が高かったが、同じような回復傾向を示した。

4. 考察

質量変化の推移から気中養生ではほとんど質量変化がなく、再水和反応に必要な水分が供試体に入っていないことから再水和反応もほとんど起こっていないことが推測できる。それに比べ、水中養生とスポンジ養生は加熱 1 日後に大きく質量が増加していることから供試体に水を含んでいると推測できる。

超音波速度試験の結果からも質量変化と同じような傾向を示していることが確認できた。気中養生においては全体を通してやや下がっているが、これは時間が経過することでひび割れが大きくなったからだと考えられる。また、水中養生とスポンジ養生は加熱 1 日後に大きく回復し、その後も緩やかに上昇した。このことから供試体内部のひび割れや空隙が小さくなっていると推測できる。

しかし、曲げ強度試験の結果は上記 2 つの推移と大きく違った傾向を示した。気中養生に注目すると、超音波速度試験結果よりも割合が全体的に大きく下がっている。この原因としては、超音波試験を加熱面に垂直な面で計測しているため、加熱面にひび割れが生じてても、超音波がひび割れのあまり起こっていない内部の中心近くを通ったためだと考えられる。一方曲げ強度試験ではひび割れの影響を強く受けたため、強度が大きく低下してしまったと考えられる。

また、水中養生とスポンジ養生について注目すると、

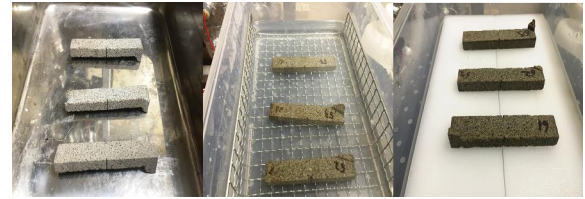


写真-2 左から気中養生、水中養生、スポンジ養生

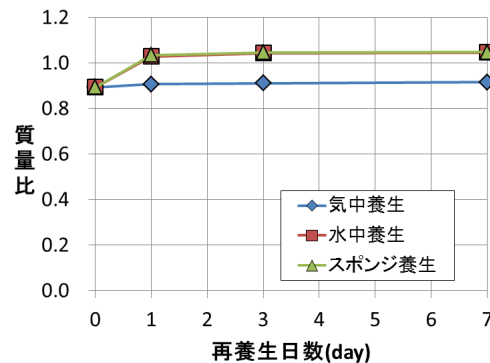


図-2 再養生による質量比の経時変化

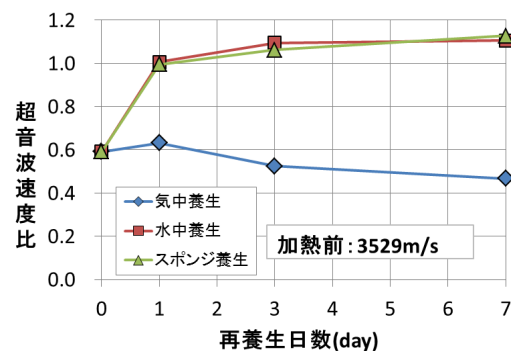


図-3 再養生による超音波速度比の経時変化

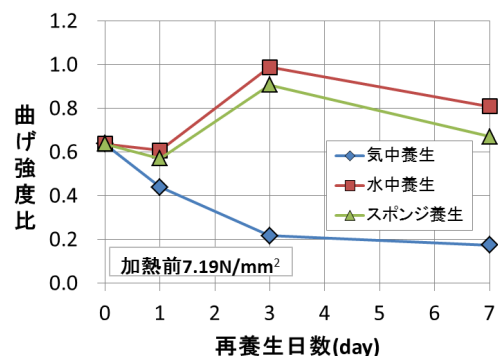


図-4 再養生による残存曲げ強度比の経時変化



写真-3 気中養生におけるひび割れと変形

加熱 1 日後では強度は上がらなかった。既往研究では、モルタル供試体の加熱を行い、水中再養生を行ってから 1 日後には強度が大きく回復したという結果があるが、それとは大きく異なる結果となった³⁾。この結果の違いの原因は供試体の大きさによるものであると考える。供試体が吸水することで体積が膨大し、なおかつ再水和反応が起こることによって供試体が膨張し、内部応力が増加する。このことにより供試体に微細なひび割れが生じ、それを超音波試験が計測できなかったと考えられる。また、供試体が小さかったためひび割れの影響を受けやすく、強度が低下してしまったと考えられる。

しかしながら、何もしない気中養生と比べると水中養生およびスポンジ養生を行うことで曲げ強度を回復できることが分かり、またスポンジ養生は水中養生とあまり変わらない結果となったため、このスケールでの一方向から再養生を行うスポンジ養生は有効であるといえる。

5. 今後の予定

今回の実験により、スポンジ養生を行うことで供試体内部に十分な水が含まれることが分かったので、スポンジ養生の期間を短くし、その後は気中で養生を行い、その際に再水和反応が進むのかどうか実験を行うことを検討する。また、このサイズではなく供試体をより大きなものにした時にスポンジ養生が今回の実験と同じような回復傾向を示すかどうか調査する必要がある。

参考文献

- 1) 鈴木 将充, Michael HENRY, 加藤 佳孝, 勝木 太 : 高温加熱を受けたモルタルの物理化学的性状に及ぼす再養生条件の影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.30, No.2, pp.711-716, 2008
- 2) 三浦泰人, 佐藤靖彦 : メソスケールでの Ca 溶脱により変化するモルタルの力学的性質と物理化学的性質の関係性評価, コンクリート工学論文集, 25(0), 109-118, 2014
- 3) Michael Ward HENRY(2007), 火災を受けたモルタルの損傷および回復機構に及ぼす再養生の影響, 東京大, 修士論文