

高温加熱を受けたコンクリートの再養生による性能変化と回復に関する研究 —鉄筋との付着強度について

李柱国^{*1} 流田靖博^{*2}

*1 山口大学 大学院理工学研究所(〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

*2 一般財団法人建材試験センター 西日本試験所(〒757-0004 山口県山陽小野田市大字山川)

要旨：本研究では普通(Ns)、高強度(Hs)、繊維高強度コンクリート(Hsf)の加熱後の再養生による付着強度の変化を考察し、加熱前の強度レベル、加熱温度、冷却方法、再養生方法および再養生期間の影響について検討を行った。得られた結果として、1)1ヶ月の水中養生+空気中養生を行った供試体の付着強度の残存率は、養生材齢が長いほどまたは加熱前の強度は小さいほど大きい。HsはNsより再養生による残存付着強度の回復は多い。500℃以下であれば、受熱温度が高いほど再養生による回復が多い。2)表面湿潤養生の場合、空気中冷却であれば、300℃と400℃で加熱されたコンクリートは再養生に付着強度の回復を示さない。500℃加熱・空気中冷却と300~500℃加熱・水冷却の場合、再養生によって残存付着強度は増加し、3ヶ月材齢の増加量の大小順はHsf→Hs→Nsである。3)表面湿潤再養生に比べ、水中再養生の方が回復率は高い。

キーワード：コンクリート、火害、性能回復、付着強度、水中養生、表面湿潤養生

1. はじめに

コンクリートは加熱を受けると、加熱温度の上昇につれてセメント水和生成物が化学的に変質し、遊離水と結晶水の脱水によってセメントペースト部は収縮するが、骨材は膨張するという相反する挙動を示す。この成分変質と膨張・収縮によって内部組織が破壊され、ひび割れが多発し、コンクリートの力学性能と耐久性が低下する¹⁻³⁾。一方、鉄筋は受熱すると熱膨張を生じ、降伏強度が一般的には温度上昇と共に単調に低下し、引張強度が300℃以上では温度上昇につれて小さくなる⁴⁾。

加熱を受けた鉄筋コンクリートの付着強度についての研究は多く報告されている。加熱温度が200℃を超えて高いほど、鉄筋の種類に拘らず付着強度は低い⁵⁾。熱間無加圧条件下において、500℃の加熱の場合、異形鉄筋とPC鋼材の付着強度残存率は0.4~0.5程度であり、丸鋼の付着強度は常温時の1割程度しかない⁶⁾。このため、高温加熱を受けた鉄筋コンクリートの耐力は低下する。

一方、受熱したコンクリートは、再養生によってその性能がある程度まで回復できる^{7,8)}。また、SR、SD、USD鋼材が600℃以下の加熱を受けた場合、冷却後の力学性能は加熱前の状態に回復できる⁹⁾。火害を受けた鉄筋コンクリート部材の耐力を正確に評価し、合理的な補修・補強を施すために、その付着強度が加熱後に再養生によってどの程度まで回復できるかを把握する必要があると考えられる。しかしながら現在、加熱後の付着強度の変化に関する考察は報告されておらず、付着強度の

回復挙動は明らかになっていない。

火害を受けたコンクリートの性能回復挙動を解明するための一連の研究として、本研究では、受熱した鉄筋コンクリートの付着強度の再養生による変化を考察し、コンクリートの種類、加熱前の強度レベル、加熱温度、冷却方法、再養生方法・期間の影響を詳細に考察する。

2. 実験概要

2.1 試験体の作製

普通ポルトランドセメント、珪質岩砕石、海砂およびAE減水剤または高性能AE減水剤を使用した。用いた材料の性質をTable 1に示す。コンクリートの調合をTable 2に示す。シリーズNo.5のコンクリートにポリプロピレン微細繊維を1.8kg/m³の割合で添加した。繊維の密度、長さ、直径はそれぞれ0.91g/cm³、12mmおよび18mmであった。また、用いた異形鉄筋の性能をTable 3に示す。

5シリーズのコンクリートを強制練りミキサで練り混ぜた直後に、スランプと空気量を測定した。また、φ100×200mmの円柱圧縮試験体を作製して28日標準養生の圧縮強度を測定した。試験結果をTable 2に示す。シリーズNo.1とNo.2のコンクリートを用いた実験IとシリーズNo.3~5のコンクリートを用いた実験IIは、それぞれ2013年7月と2014年8月より行われた。

シリーズNo.1とNo.2のコンクリートの空気量は6%より0.5や2.0%多いが、同一のコンクリートに対する受熱前後の性能比較に支障をきたさない。また、受熱

Table 1 Properties of used raw materials

Raw materials	Symbol	Type	Property
Cement	C	Ordinary portland cement	$\rho = 3.16$, SSA = 3,300
Coarse aggregate	G	Crushed siliceous stone	$\rho_s = 2.73$, $w_b = 0.47$, $s_c = 59.2$, F.M. = 6.68, $D_{max} = 20$
Fine aggregate	S	Sea sand	$\rho_s = 2.57$, $w_b = 1.36$, $s_c = 66.7$, F.M. = 2.90
Admixture	WR	AE water reducer	Lignosulfonate salt
	HRWR	High-range AE water reducer	Polycarboxylic acid-based polymer

[Notes] ρ : Density (g/cm³), SSA: Specific surface area (cm²/g), ρ_s : Density in saturated surface-dry state (g/cm³), w_b : Percentage of water absorption (%), s_c : Solid content (%), F.M.: Fineness modulus, and D_{max} : Maximum size of coarse aggregate.

Table 2 Mix proportions and properties of concrete

Series No.	W/C (%)	s/a (%)	Unit mass (kg/m ³)					Admixture (C × %)	Sl (cm)	A (%)	F _c (MPa)
			W	C	S	G					
1	60	47	179	298	825	980	WR, 0.5	15.0	6.5	38.1	
2	38	41	165	434	688	1,048	HRWR, 1.0	21.0	8.0	54.3	
3	55	44	183	332	756	1,010	WR, 0.5	21.0	3.0	44.0	
4	35	40	165	471	651	1,050	HRWR, 0.5	21.5	5.7	61.7	
5	35	40	165	471	651	1,050	HRWR, 0.5	10.0	4.0	57.0	

[Notes] W/C: Water-cement ratio, s/a: Sand-aggregate ratio by volume, Sl: Slump, A: Air content (%), and F_c: Compressive strength

Table 3 Properties of ribbed reinforcing steel bar used

Type	Nominal diameter (mm)	Yield stress (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Maximum deformation (%)
D16 (SN490)	15.9	384.5	557.6	22.3 %

後に熱分解によって空隙量が大幅に増加するため、この程度の空気量増加は、3.1節に述べる再養生による付着性能の変化傾向を変えないと考えられる。また、JIS A 5308:2014に規定されるコンクリートの種類(高強度コンクリートの呼び強度が50MPa以上)と照合すると、No.1とNo.3を普通コンクリート、No.2、No.4およびNo.5を高強度コンクリートに区別してもよい。

また、JSCE-G 503-2007に準拠して鉄筋コンクリートの付着強度供試体を作製した。付着強度供試体は、一辺が100mmの立方体にTable3に示す異形鉄筋を埋め込んだ。鉄筋とコンクリートの付着区間を64mmとした。載荷端側に36mmの非付着部分を塩化ビニルパイプによって設けた(Fig.1を参照)。小型電気炉で加熱できるように、コンクリートに埋め込んだ鉄筋の長さは16cmで、載荷端側にネジを作っておいた。

24時間後に試験体を脱型して、材齢28日まで温度20±2℃の標準水中養生を行った。水中養生で鉄筋のネジ端が錆びないように、ネジ端にグリスを塗りつけた。

2.2 試験体の加熱、再養生および測定

試験体の加熱は、プログラムによる温度制御機能を有する小型電気炉を用いた。加熱の目標温度は300℃、400℃および500℃の3水準とした。実験Iでは、炉内温度が目標温度に達する加熱時間を1時間とした。この場合、炉内の昇温速度は5~8.3℃/分であった。一方、実験IIでは炉内の昇温速度は10℃/分であった。Galléら¹⁰⁾は、昇温速度が0.1~10℃/minの範囲であれば、昇温速度が加熱後の力学性能に与える影響は僅か(limited)であると指摘している。また、一瀬ら¹¹⁾は昇温速度が2.5~7.5℃/minの範囲であれば、昇温速度による高温時の圧縮強度への影響は殆どないとしている。したがって、実験Iでは目標温度によって昇温速度が異なったが、コンクリートの力学性能低下への影響は殆どないと思われる。

なお、炉内温度が目標温度になった後に2.5時間維持

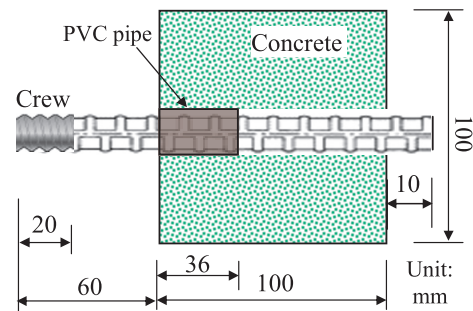


Fig. 1 Geometry of the specimen

した。予備実験の結果によって、試験体中心における目標温度の維持時間は目標温度の高低によって異なったが、300~500℃の場合には2時間以上であった。加熱温度が550℃以下の場合、高温持続時間が2時間を超えても付着強度の低下程度は殆ど変わらない^{5, 12)}ため、高温維持時間は2時間以上であれば、若干の差異があってもコンクリートの劣化程度への影響が殆どないと考えられる。

試験体中の塩化ビニルパイプは高温で溶融したため、鉄筋とコンクリートの非付着区間は形成された。

供試体の冷却と再養生方法として、実験Iの場合に、水中で急冷却させて、翌日から加熱直後の試験を行う供試体を除き、28日まで20±2℃の水中再養生を行い、さらに20±3℃、相対湿度60%の部屋に空气中養生を行った。一方、実験IIの場合に、供試体は、加熱後に空气中に自然冷却または水をかけて急冷却させた。翌日に加熱直後の試験を行う供試体を除き、他の供試体に散水してから養生マットとビニールシートで覆って20±3℃の部屋に保管した(ここに、表面湿潤再養生と略称)。

加熱前(BHと記す)、加熱直後(加熱・冷却後の翌日、1D再養生材齢と記す)および所定の再養生材齢に、JSCE-G 503-2007に準ずる付着強度試験を行った。付着強度試験では万能試験機で単調載荷を加え、鉄筋を引き抜

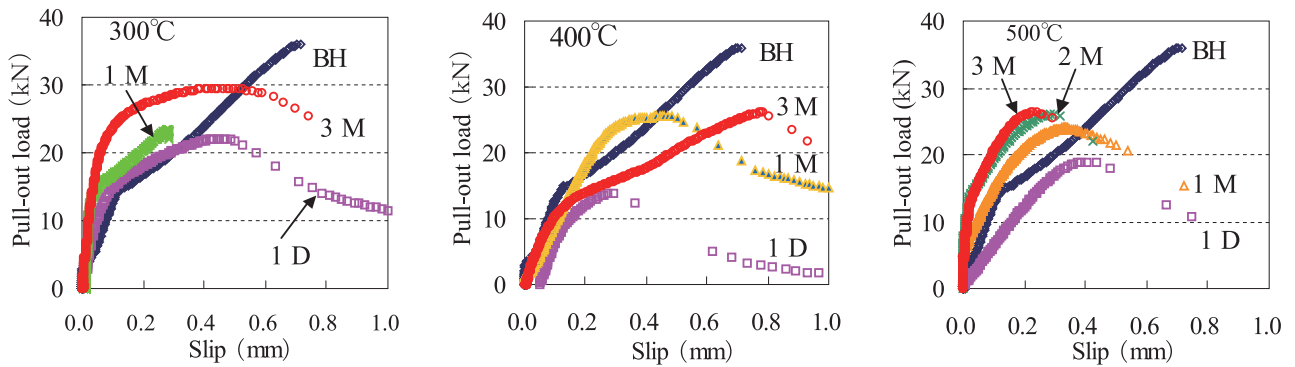


Fig. 2 Pull-out load - slip relational curves of concrete before and after heating (Series No. 1)

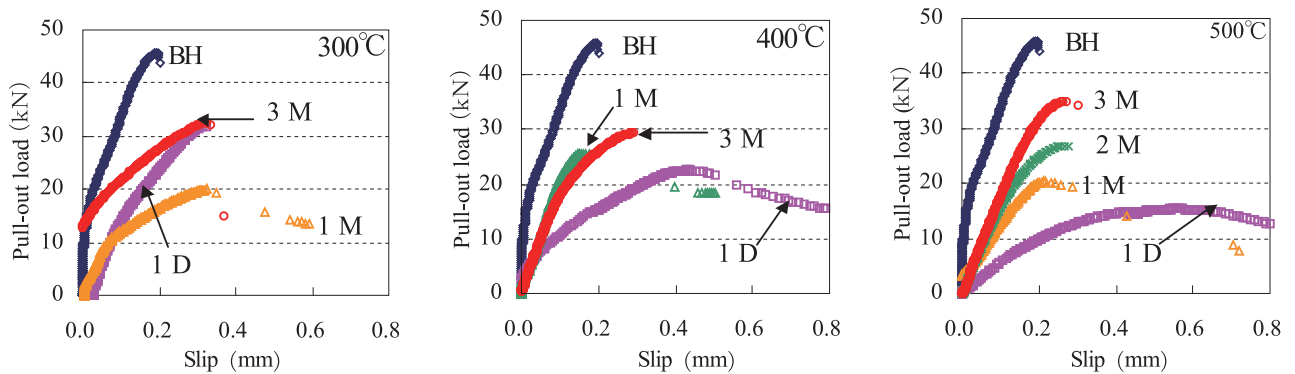


Fig. 3 Pull-out load - slip relational curves of concrete before and after heating (Series No. 2)

いて引張荷重と鉄筋の自由端のすべり量を測定した。測定する前に、鉄筋の載荷端側のネジによって鉄筋を延長した。また、再養生材齢は、1ヶ月、2ヶ月(一部の供試体のみ)および3ヶ月と設定し、それぞれ1M、2M、3Mと記する。

引抜き試験後の供試体の破壊状況を表す写真をここに示さないが、供試体にひび割れが多く生じ、付着割裂破壊が発生したことが確認された。

3. 実験結果および考察

3.1 水中再養生履歴を有したコンクリートの残存付着強度の変化(実験Ⅰの結果)

Fig. 2 と Fig. 3 にそれぞれシリーズ No. 1 と No. 2 のコンクリートの加熱前後および加熱後に再養生した後の鉄筋の引張荷重とすべり量の関係グラフを示す。これらの図に示すように、加熱前の強度レベルに拘わらず、コンクリートは加熱を受けると、その最大引張荷重が低下し、3ヶ月再養生しても未加熱の水準まで回復できなかった。最大引張荷重に対応するすべり量は、普通コンクリート(シリーズ No. 1)の場合には未加熱の試験体より減少したが、高強度コンクリート(No. 2)の場合には増大した傾向が見られる。ブリーディングおよび骨材の不均一な分布などによって、作製した供試体にばらつきがある。水および骨材分布などのばらつきは、コンクリートの付着強度に大きな影響を与えられと考えられる。シリーズ No. 2 の加熱前の最大すべり量の測定結果が小さかったのは、供試体のばらつきに起因したであろうと思われる。

また、測定結果にばらつきがあるが、シリーズ No. 2

の 300℃加熱を除き、再養生によって最大引張荷重は加熱直後より増加し、再養生材齢と共に大きくなる傾向が見られた。500℃の場合、最大引張荷重の再養生材齢に伴う増加は 300℃と 400℃に比べ、はっきりとした。しかし、破壊前の引張荷重—すべり変位の関係グラフの傾きは再養生によって大きくなる傾向が見られた。

Fig. 4 にシリーズ No. 1 と No. 2 のコンクリートの加熱後の残存付着強度と再養生材齢の関係を示す。受熱によって残存付着強度は、普通コンクリートの場合には 4～6割まで、高強度コンクリートの場合には最大 35%程度まで低下した。加熱後の水中再養生によって残存付着強度は増加することが認められた。No. 1 の 400℃と 500℃および No. 2 の 500℃で加熱された供試体の 1ヶ月材齢の残存付着強度は最初の 1ヶ月水中再養生で大幅に増加した。受熱温度が 400℃と 500℃の場合の水和生成物の分解は多く、これに応じて再水和反応が多くなるためと思われる。300℃の場合、加熱直後の残存付着強度の低下程度は 400℃と 500℃の場合に比べ相対的に小さく、再養生による増加も小さかった。

また、3ヶ月の再養生材齢の残存付着強度の実験結果を見ると、1ヶ月の水中養生履歴があり、トータルで 3ヶ月養生した後の残存付着強度は、No. 1 の場合には 73～83%であり、No. 2 の場合には 63～78%であることがわかった。即ち、高強度コンクリートの残存率は普通コンクリートより 5～10%小さかった。しかし、高強度コンクリートの方が再養生による残存付着強度の増加は大きかった。全体の傾向として、3ヶ月養生で加熱直後

に比べ、残存付着強度は 300 °C、400 °C、500 °C の場合にそれぞれ 2 割程度、3 割程度および 3~4 割で増加した。即ち、受熱温度が高いほど残存付着強度の再養生による増加が多いことが認められた。

3.2 表面湿潤再養生されたコンクリートの残存付着強度の変化(実験Ⅱの結果)

Fig. 4~6 に実験Ⅱのシリーズ No. 3~No. 5 の鉄筋引張荷重とすべり量の関係を示す。加熱後の鉄筋引張荷

重とすべり量の関係を比べると、シリーズ No. 4 の加熱前の最大引張荷重の測定値は小さかったと思われる。また、シリーズ No. 5 の加熱前の測定は失敗したため、データを取れなかった。したがって、シリーズ No. 4 と No. 5 の場合は加熱前後の付着強度比(残存率)は不明となるが、加熱後の付着強度が再養生によって増加するかどうかについて考察できる。

Fig. 5~7 によって、コンクリートの種類と加熱前の

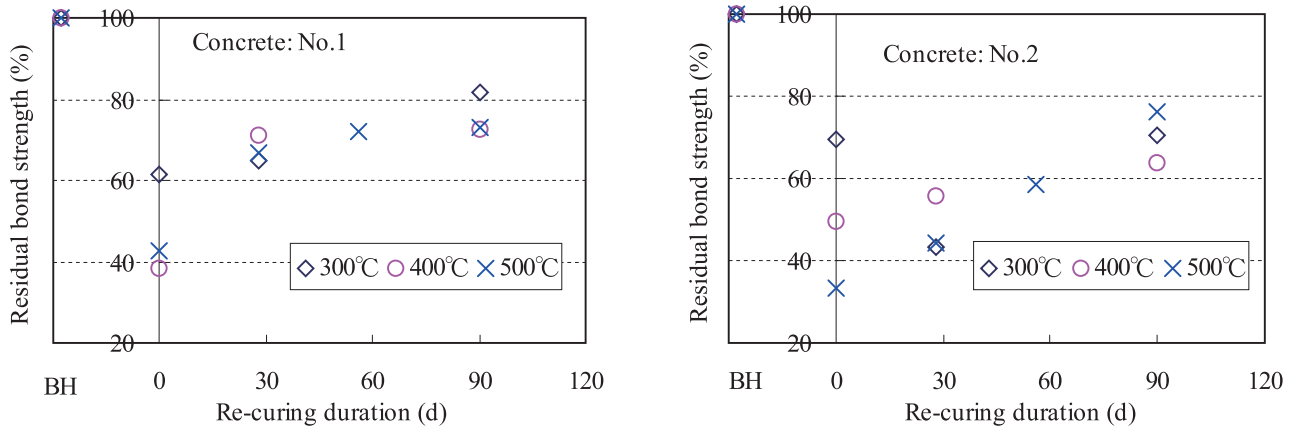


Fig. 4 Residual bond strength of Series No. 1 and No. 2, compared to before heated

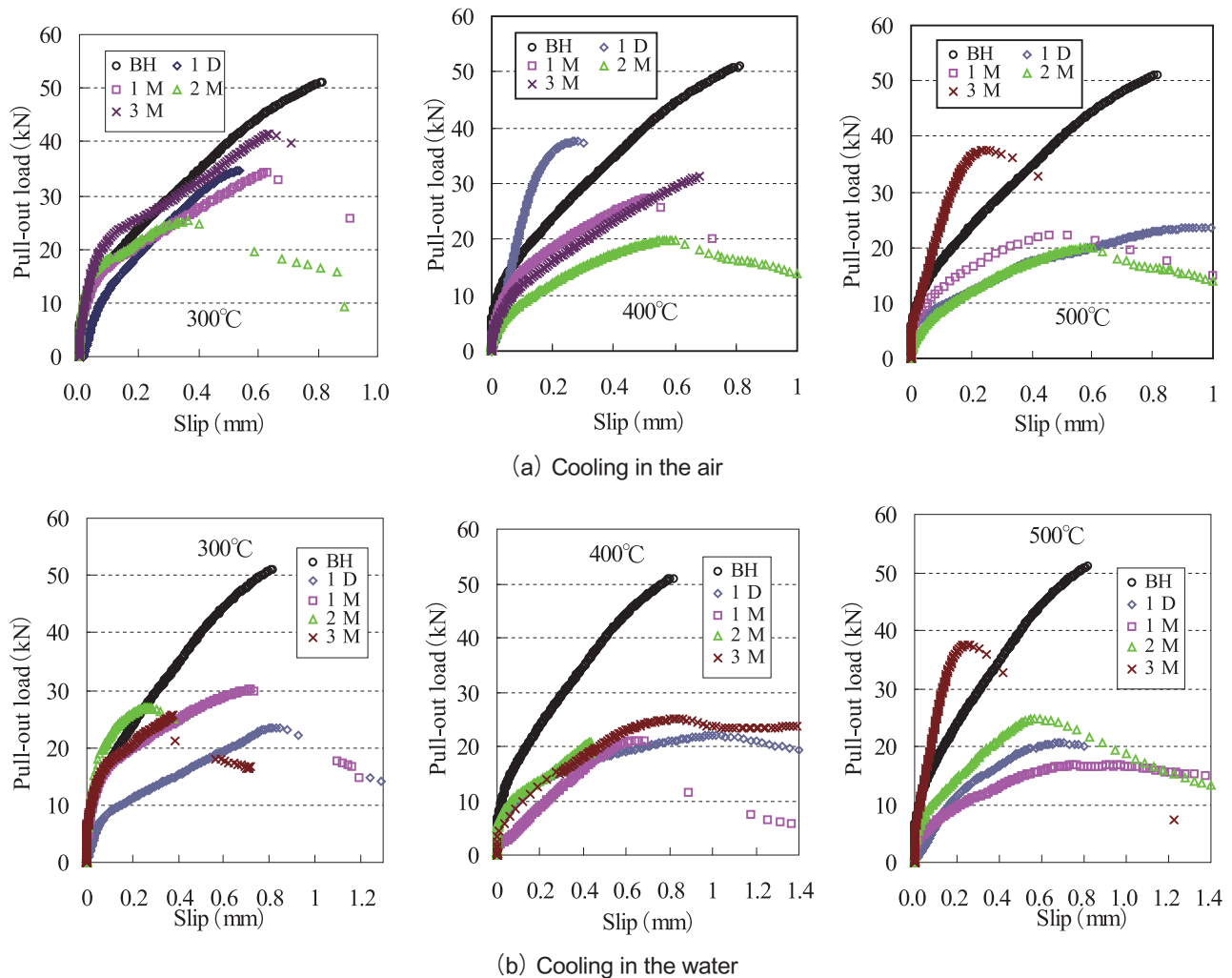


Fig. 5 Pull-out load - slip relational curves of concrete before and after heating (Series No. 3)

強度に拘らず、空气中自然冷却に比べ、水で急冷却された供試体の加熱直後(1D)の最大引張荷重は小さいことが認められた(No. 4 の 500 °C を除く)。繊維を添加しない No. 3 と No. 4 の 400 °C 加熱直後の付着強度に与える冷却方法の影響は特に大きかった。

また、Fig. 5 に示すように、普通コンクリート(No. 3)の場合、受熱温度が 300 °C と 400 °C であれば、空気冷却された供試体の最大引張荷重と表面湿潤養生の材齢の間に一義的な関係が見られなく、最大荷重が再養生によって増加する傾向を示さない。しかし、500 °C 受熱・空気冷却の供試体および 300~500 °C 受熱・水冷却の供試体は、再養生材齢が 1~3 ヶ月の最大引張荷重の大小関係がばらつきであるが、加熱直後の最大引張荷重より大きい傾向を示している。特に 500 °C 加熱の場合、3 ヶ月養生後の最大引張荷重は明らかに加熱直後より大きかった。空気冷却に比べ、水急冷却の方がひび割れは多発し、また、受熱温度が高いほど熱分解が多く、コンクリートのポーラス化程度が高いのは一般に知られている。したがって、水冷却と 500 °C 加熱の供試体の内部吸湿は多く、再養生後の最大引張荷重が多く増加したのは、冷却時や再養生時に吸水が多いためであると思われる。この結果より、再養生による付着性能の回復は水の供給に依存することがわかる。

一方、Fig. 6 によって、高強度コンクリート(シリーズ No. 4)の場合、加熱後の引張荷重とすべり量の関係の材齢による変化傾向が普通コンクリートとほぼ同じで

あったが、水冷却された供試体の再養生による最大荷重の増加ははっきりとした。この結果より、高強度コンクリートの表面湿潤再養生による付着能力の回復能力は普通コンクリートより高いことが認められた。

Fig. 7 に示す繊維高強度コンクリート(シリーズ No. 5)の引張荷重とすべり量の関係の再養生による変化傾向は、高強度コンクリート(シリーズ No. 4)とほぼ同じであったが、500 °C 加熱の場合、冷却方法に拘らず、1~3 ヶ月の再養生材齢の範囲であれば、最大引張荷重は養生材齢の増加に伴って大きい傾向が見られた。

Fig. 2~3 と Fig. 5~7 に示す結果を比べると、実験Ⅱの水中冷却・表面湿潤再養生の供試体の最大引張荷重の増加は、実験Ⅰの水中冷却・水中+空中再養生の供試体と同程度またはやや高いことがわかった。

Fig. 8 は実験Ⅱの 3 種類のコンクリートの加熱前後の残存付着強度を示すものである。最大引張荷重の再養生による変化と同様に、空气中冷却の場合、300 °C と 400 °C 加熱されたコンクリートは、3 ヶ月まで再養生されても残存付着強度が殆ど変わらなかった(Fig. 8(a)を参照)。しかし、空气中冷却されても受熱温度が 500 °C であれば、表面湿潤養生によって残存付着強度は増加する傾向が見られた。

一方、Fig. 8(b)に示すように水冷却の場合、No. 4 の 3 ヶ月養生を除き、300 °C と 400 °C の加熱を受けた供試体の残存付着強度は加熱直後に比べ僅かに増加したが、500 °C 加熱の場合には明らかに増加した。

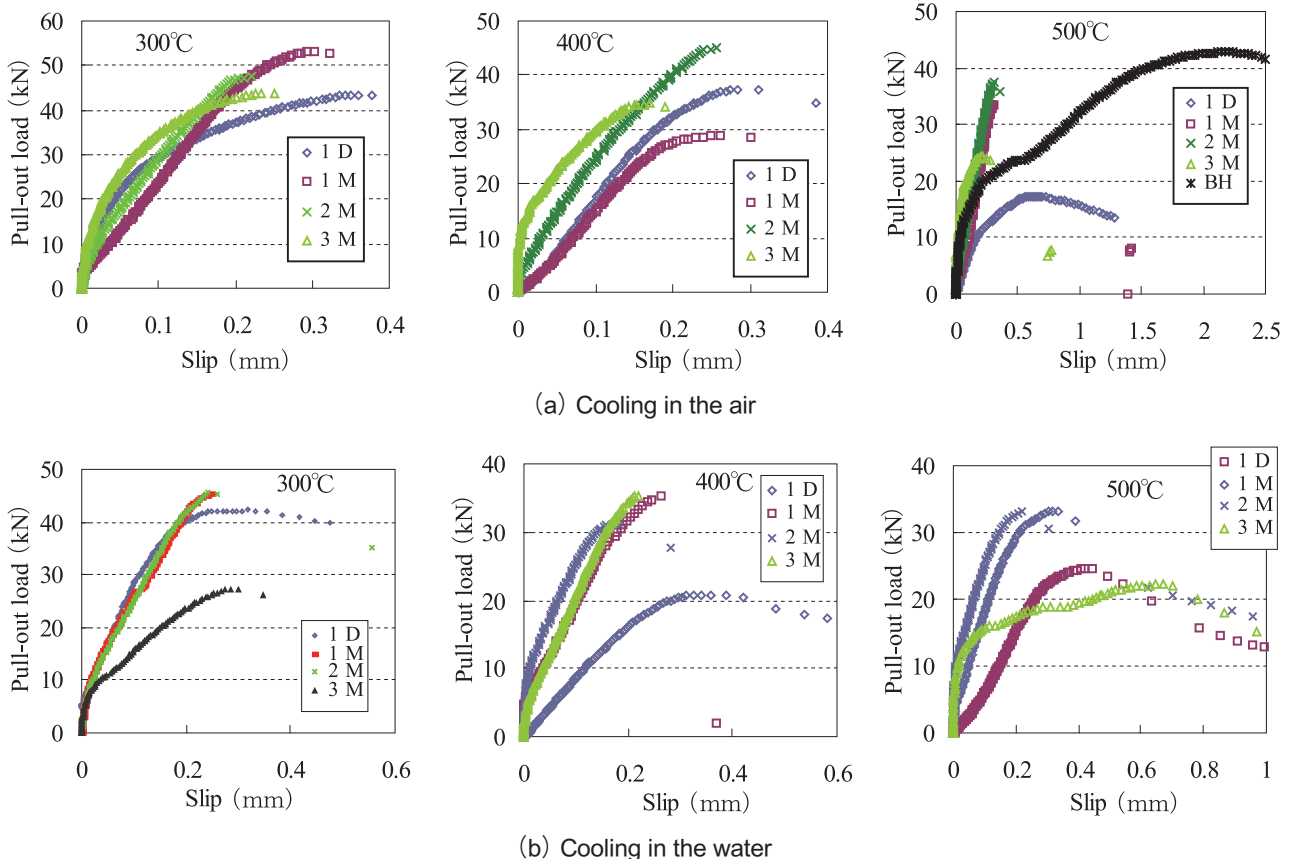


Fig. 6 Pull-out load - slip relational curves of concrete before and after heating (Series No. 4)

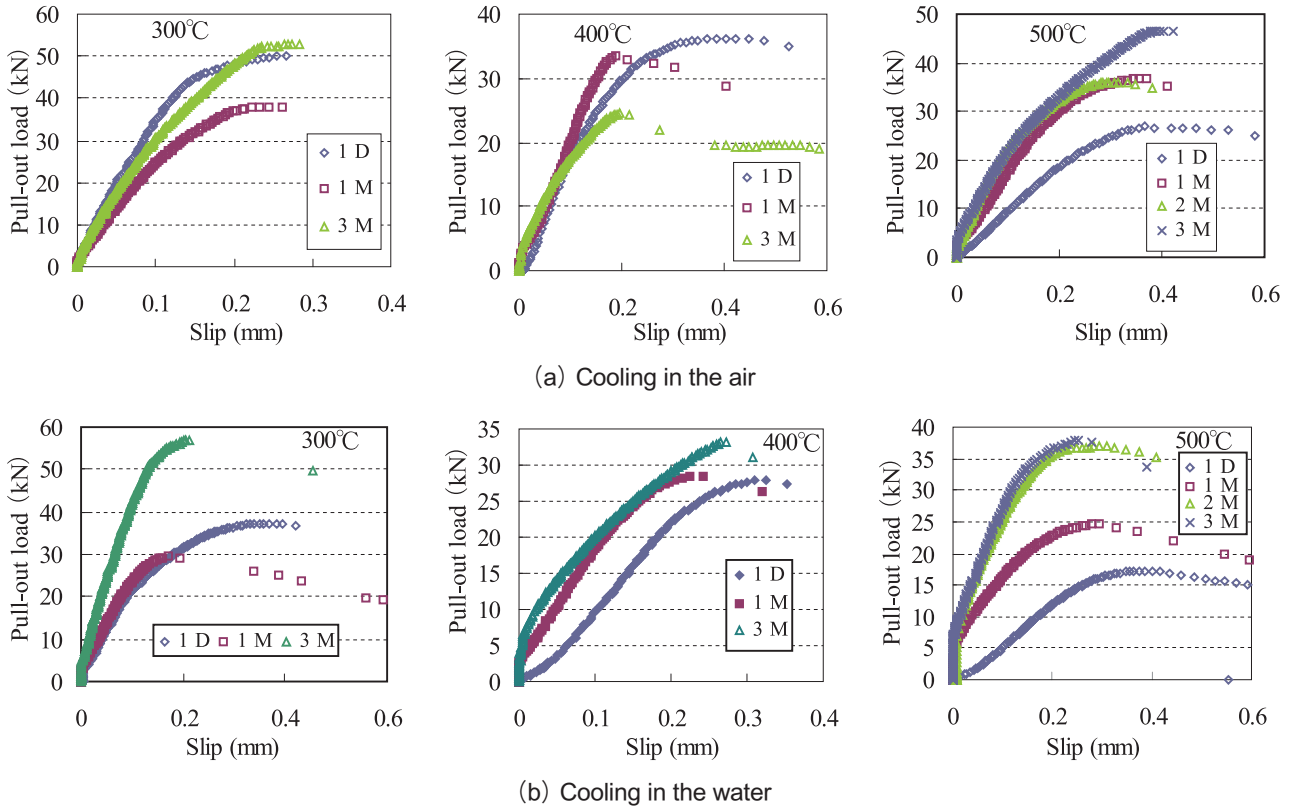


Fig. 7 Pull-out load – slip relational curves of concrete before and after heating (Series No. 5)

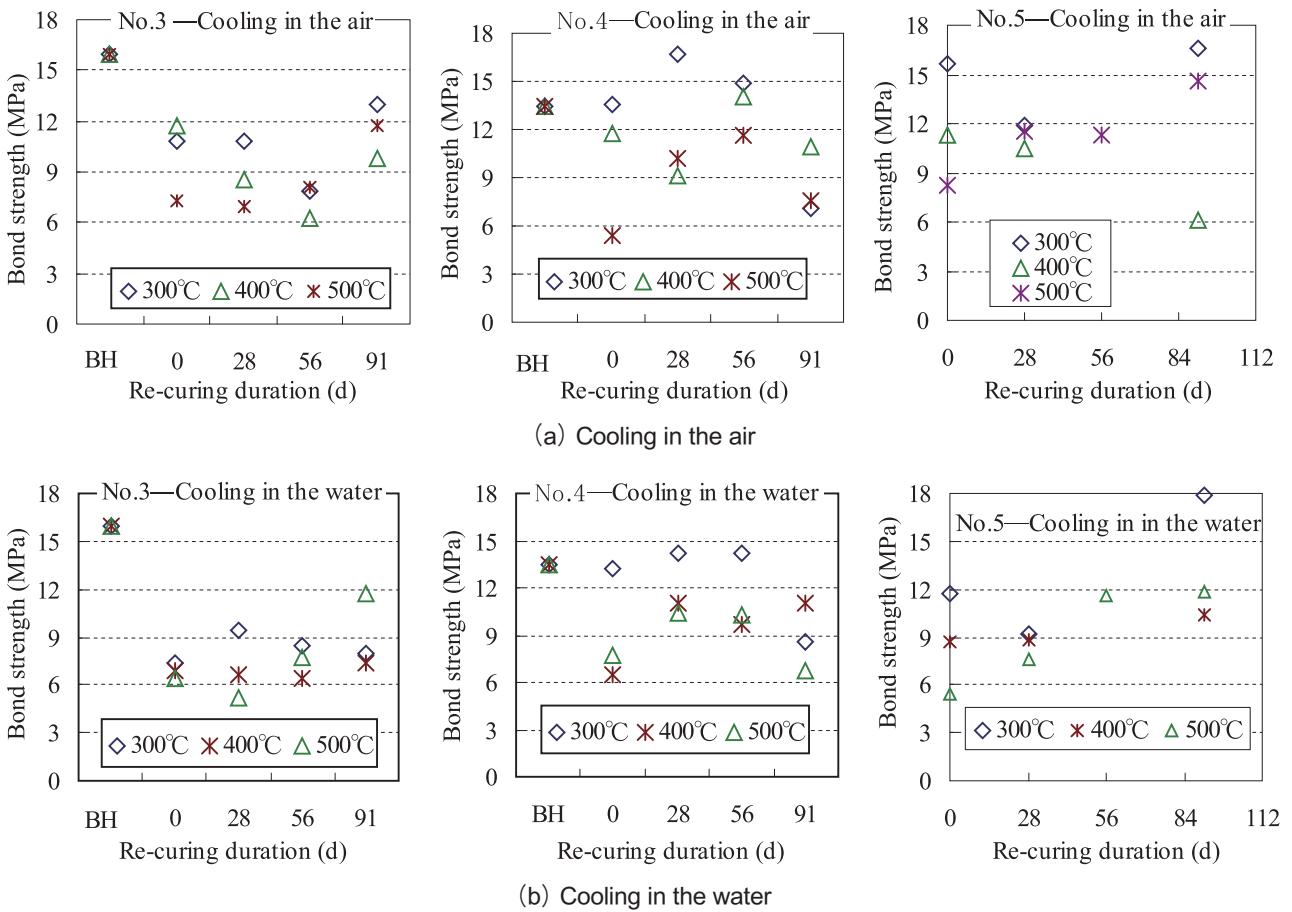


Fig. 8 Relationships between residual bond strength and re-curing duration

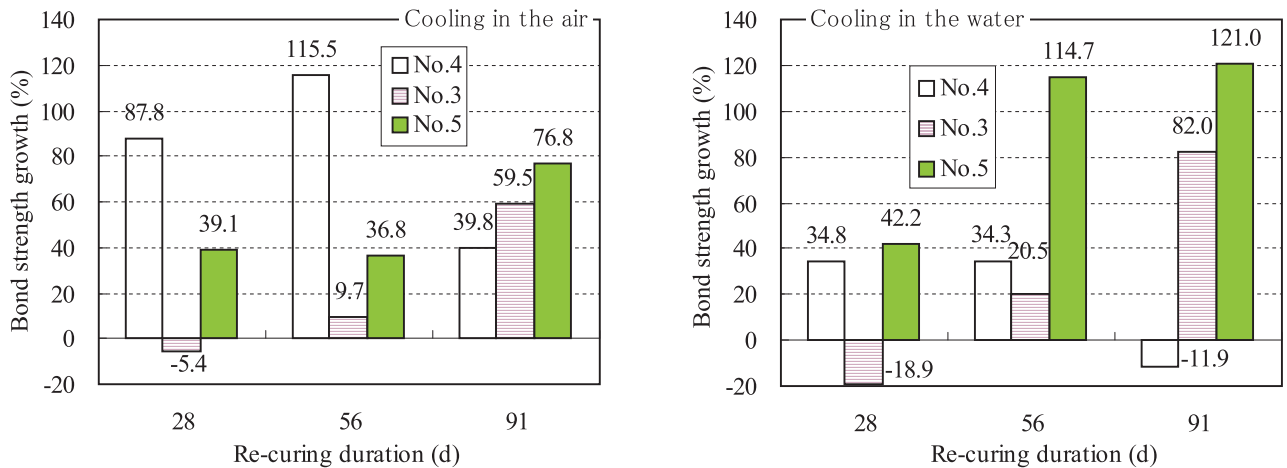


Fig. 9 Residual bond strength growth of 500 °C-heated concrete, compared to just after heated

Fig. 9 は 500 °C 加熱された供試体の残存付着強度の加熱直後よりの増加率と再養生材齢の関係を示すものである。ばらつきがあるが、冷却方法によらず、普通コンクリートの残存付着強度の再養生による増加量は少ないことが認められた。300 °C と 400 °C の場合、高強度コンクリート (No. 4) と繊維高強度コンクリートの残存付着強度の再養生による増加量は、空気冷却の場合には前者が大きかったが、水冷却の場合には後者が逆になる傾向が見られた。また、3 ヶ月の再養生材齢では繊維コンクリートの方が残存付着強度の増加量は大きかった。これは、繊維の加熱温度による残渣量および残渣の冷却方法による収縮量の影響を受けたためであろうと思われる。水急冷却の場合、残渣の急収縮は多く、コンクリートのひび割れが増加する。500 °C 加熱の場合、気化などによって残渣が少なく、コンクリートのポーラス程度が増える。いずれの場合もコンクリートの吸湿能力は向上して、再水和反応に対して有利である。

なお、Fig. 3 によって、500 °C 加熱・冷却された No. 2 の残存付着強度の 3 ヶ月養生による増加率は 133 % (= $(35 - 15) / 15 \times 100$) であったことに対して、Fig. 9 に示すように No. 4 と No. 5 の残存付着強度の 3 ヶ月養生による増加率はそれぞれ 82 % と 121 % であった。No. 4 は No. 3 より増加率が大きかったが、水中再養生履歴を有した供試体の方が増加量は大きいことが認められた。

4. まとめ

本研究では普通、高強度、繊維高強度コンクリートの加熱後の再養生による付着強度の変化を考察し、付着強度の回復に及ぼすコンクリートの種類、加熱温度、冷却方法、再養生方法と期間の影響について検討を行った。得られた結果をまとめると以下のようなものである。

4.1 水中再養生履歴がある場合

(1) コンクリートの種類、加熱前の強度レベルおよび冷却方法に拘わらず、コンクリートは 300 °C 以上の加熱を受けると、その付着強度が低下した。加熱温度が高いほど低下率は高かった。

- (2) 供試体の残存付着強度は養生材齢が長いほど大きく、3 ヶ月の再養生材齢では普通コンクリートの場合には加熱前の 73~83 % であり、高強度コンクリートの場合には加熱前の 63~78 % であった。
- (3) 普通コンクリートより高強度コンクリートの方が再養生による残存付着強度の増加は大きかった。また、500 °C 以下であれば、受熱温度が高いほど残存付着強度の再養生による増加量が多かった。

4.2 表面湿潤養生の場合

- (1) 400 °C と 500 °C で加熱され、空气中に冷却されたコンクリートの再養生による残存付着強度は回復しなかった。
- (2) 500 °C 加熱・空気冷却と 300~500 °C 加熱・水冷却のコンクリートは、表面湿潤養生によって残存付着強度は増加した。500 °C 加熱・水冷却の場合に増加量は大きかった。
- (3) 冷却方法によらず、普通コンクリートの残存付着強度の再養生による増加量は高強度コンクリートより少なかった。3 ヶ月の再養生材齢では、高強度コンクリートに比べ、繊維高強度コンクリートの方が残存付着強度の増加量は大きかった。
- (4) 水中再養生履歴を有した供試体に比べ、同冷却方法・同材齢の表面湿潤再養生したコンクリートの残存付着強度の回復が少なかった。

謝辞：

本研究の実施にあたっては山口大学工学部感性デザイン工学科卒業生・麻川昂佑君ならびに渡邊佳直君の実験協力を得た。また、本研究は科学研究費補助金(基盤研究(B)、H25~H27 年度、研究代表者：李柱国)によるものである。ここに付記して謝意を表します。

参考文献：

- 1) 阿部武雄ほか：高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究、日本建築学会構造系論文集、No. 515、pp. 163-168 (1999)

- 2) J. Lee, Y. Xi, and K. Willam : Properties of concrete after high-temperature heating and cooling, ACI Materials Journal, Vol. 105, No. 4, pp. 334-341 (2008)
- 3) C. Poon, et al. : Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing, Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp. 1307-1318 (2001)
- 4) 金津努 : 100 °C を越える高温下におけるコンクリートの強度特性—圧縮強度特性と鉄筋の機械的性質—、電力中央研究所 研究報告、No. 383027, pp. 13-18 (1984)
- 5) C. Chiang, and C. Tsai : Time-temperature analysis of bond strength of a rebar after fire exposure, Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 1651-1654 (2003)
- 6) 土木学会 : コンクリート構造物の耐火技術研究小委員会報告書ならびにシンポジウム論文集、コンクリート技術シリーズ 63, pp. 38-41 (2004)
- 7) 日本建築学会 : 構造材料の耐火性ガイドブック、pp. 163-167 (2009)
- 8) G. A. Khoury : Compressive strength of concrete at high temperatures : A reassessment, Magazine of Concrete Research, Vol. 44, No. 161, pp. 291-309 (1992)
- 9) C. Alonso, and L. Fernandez : Dehydration and rehydration processes of cement paste exposed to high temperature environments, Journal of materials science, Vol. 39, pp. 3015-3024 (2004)
- 10) C. Gallé et al. : Effect of the heating rate on residual thermo-hydro-mechanical properties of high-strength concrete in the context of nuclear waste storage, Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Prague, Czech, Paper#H01-1, pp. 1-8 (2003)
- 11) 一瀬賢一、長尾覚博、川口徹 : 高温加熱下における高強度コンクリートの力学的性質に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 21, No. 2, pp. 1105-1110 (1999)
- 12) G. T. C. Mohamedbhai : Effect of exposure time and rates of heating and cooling on residual strength of heated concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 38, No. 136, pp. 151-158 (1986)

CHANGE AND RECOVERY OF PROPERTIES OF FIRE-DAMAGED CONCRETE AFTER RE-CURING : CONCRETE-REINFORCING BAR BOND STRENGTH

Zhuguo LI^{*1} and Yasuhiro RYUDA^{*2}

*1 YAMAGUCHI UNIVERSITY (2-16-1, Tokiwadai, Ube-shi, Yamaguchi 755-8611, Japan)

*2 JAPAN TESTING CENTER FOR CONSTRUCTION MATERIALS (Oaza Yamakawa, Sanyo Onoda-shi, Yamaguchi 757-0004, Japan)

ABSTRACT : In this study, we investigated experimentally the changes of concrete-reinforcing bar bond strength (F_b) of heated concretes with re-curing duration, and discussed the effects of concrete' type and strength before heating, heating temperatures, cooling methods, and re-curing methods on the changes. It is concluded that a) In case of re-curing in the water and then in the air, the longer the re-curing duration or the lower the strength before heating, the greater the residual bond strength ratio ; The F_b recovery of high strength concrete (Hs) is more than ordinary concrete (Ns) ; The higher the heating temperature (but less than 500 °C), the greater the F_b recovery. b) In the case of re-curing in the moisture, the F_b of concretes increased with re-curing duration, when they are heated at 500 °C and cooled in the air, or heated at 300~500 °C and cooled in the water, and the growth of the F_b at the age of 3 months is in order of Hsf (high strength fiber reinforced concrete) → Hs → Ns. c) The F_b recovery gained by the water re-curing is relatively greater, compared to the moisture re-curing.

KEY WORDS : Fire damage, Property recovery, Re-curing, Bond strength, Water re-curing, Moisture re-curing