

論文 Article

高強度繊維補強コンクリートの耐火性能改善に関する基礎的研究

原稿受付 2014年4月1日

ものづくり大学紀要 第5号 (2014) 37~40

辻正哲^{*1}, 澤本武博^{*2}, 横山滋^{*3}, 小林征之^{*3}, 菊田弘之^{*3}^{*1} ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科 非常勤講師^{*2} ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*3} 太平洋プレコン工業株式会社**A Fundamental Study for
Improving Fire Resistance
of High Strength Fiber Reinforced Concrete**Masanori TSUJI^{*1}, Takehiro SAWAMOTO^{*2}, Shigeru YOKOYAMA,
Masayuki KOBAYASHI and Hiroyuki KIKUTA^{*1} Part-time Lecturer, Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*3} TAIHEIYO Precast Concrete Industry CO., LTD.**Abstract**

In this study, the effect of combined use of emulsion and synthetic high polymer fiber on fire resistant of high strength fiber reinforced concrete was investigated. Then, EVA, EP, SBR and Acrylic emulsion were added to the concrete with polypropylene fiber. As a result, the fire-resistant of high strength fiber reinforced concrete could be greatly improved when EVA emulsion and polypropylene fiber were added to the concrete.

Key Words : High strength fiber reinforced concrete, Fire resistance, Emulsion, Synthetic high polymer fiber

1. はじめに

高強度コンクリートは、火災のような高温にさらされると爆裂するため、耐火性能に劣るとされている。そのため、合成高分子短繊維を添加する方法が提案されている。これは、コンクリートが爆裂する温度に達する以前に合成高分子短繊維が気体となって放出されるか縮小し、高温時に発生するコンクリート内の圧力を機繊維のあった部分を通して外部に放出することによって、コンクリートの爆裂を防止あるいは抑制すると考えられている¹⁾。

一方、補修用あるいは仕上げモルタルなどに乳

剤を混和剤として用いたポリマーセメントコンクリートが実用化している。こうした乳剤は、硬化コンクリート内で極めて薄いフィルムあるいは網目構造を形成することが確認されている²⁾。乳剤が形成するフィルムあるいは網目構造は、コンクリートの爆裂温度に達する以前に気化あるいは縮小する可能性が高く、耐火性能の改善に貢献することが考えられる。

本研究では、合成高分子短繊維と乳剤の併用が高強度コンクリートの耐火性能に及ぼす影響について実験的に検討した。これは、高温下でコンクリート内に発生する内圧を外部に放出する通路を人間の循環器にたとえると、短繊維が静脈あるい



Fig.1 Placement of concrete



Fig.2 Preparation for hot-water curing



Fig.3 Hot-water curing for 48 hours



Fig.4 Compressive strength test



Fig.5 Fire resistance test



Fig.6 Compressive test after fire resistance test

は動脈を構成し、乳剤の添加が微細な毛細血管を構成して、すみやかに内圧を外部に放出でき、高強度コンクリートであってもある程度の耐火性能が確保できるのではないかと考えたことによる。

2. 実験概要

2.1 乳剤の種類

実験に用いた乳剤は、K社製のエチレン酢酸ビニル乳剤（以下EVAと略記：不揮発分48%）、エポキシ乳剤（以下EPと略記：不揮発分35%）、アクリル乳剤（不揮発分36%）、SBRラテックス乳剤（以下SBRと略記：不揮発分30%）の4種類である。

2.2 供試体の作製

コンクリートは、高強度用セメント、シリカ質骨材、鋼繊維繊維補強、上水道水、ポリカルボン酸系高強度用混和剤を用いて作製した。そして、コンクリートにポリプロピレン短繊維及び乳剤の合成高分子短繊維には、ポリプロピレン短繊維を用い、その添加量を変化させて実験を行った。なお、乳剤中の不揮発成分は外割で置換し、水分は練混ぜ水の一部とした。

練混ぜは、自公転式モルタルミキサで行い、図1のように $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の供試体を作製した。そ

の後、図2および図3のように 90°C で48時間温水養生を行い、圧縮強度試験、割裂引張強度試験および耐火試験を行った。耐火試験前の圧縮強度試験の様子を図4に示す。

2.3 耐火試験

耐火試験は、供試体を耐火炉に入れ、 845°C まで上昇させ、その後供試体を取り出し観察する方法により行った。加熱速度は、所定の温度に達するまで、耐火炉のスイッチを入れたままとしたが、JIS A 1304の加熱標準曲線に近い値となっていた。なお、コンクリートが爆裂し、炉の内壁に損傷を与える危険性があったため、ステンレス製の容器内に供試体を入れて実験を行った。耐火試験の様子を図5に示す。

供試体に微小な損傷しか生じておらず強度試験を行える場合には、図6のように耐火試験後の圧縮強度を求めた。

3. 実験結果および考察

試験結果は、表1に示すとおりである。なお、表中の引張強度は、割裂試験時の最大荷重より求めた値である。また、耐火試験後の供試体の外観は、図7に示すとおりである。合成高分子短繊維を体積比で3%添加すると、乳剤を添加しない場

Table 1 Fire resistance test results

| Number | Percentage of polymer fiber to concrete by volume (%) | Type of emulsion | Percentage of absolute solid volume in emulsion to concrete volume (%) | Flowability | Before fire resistance test | | After fire resistance test | |
|--------|---|------------------|--|-------------|---|---------------------------------------|----------------------------|---|
| | | | | | Compressive strength (N/mm ²) | Tensile strength (N/mm ²) | Condition of specimen | Compressive strength (N/mm ²) |
| No.1 | 3.0 | — | 0 | ◎ | 162 | 22.7 | △ (Cracked) | 33.7 |
| No.2 | 3.0 | EVA | 5.0 | ○ | 132 | 18.5 | ○ (Hedly damaged) | 25.3 |
| No.3 | 3.0 | EP | 5.0 | △ | 126 | 16.8 | △ (Cracked) | 29.2 |
| No.4 | 3.0 | Acrylic | 5.0 | △ | 134 | 19.4 | △ (Cracked) | 33.2 |
| No.5 | 3.0 | SBR | 5.0 | △ | 106 | 17.1 | × (Crushed) | — |
| No.6 | 0 | — | 0 | ◎ | 221 | 24.5 | × (Crushed) | — |
| No.7 | 0 | EVA | 16.6 | △ | 111 | 16.3 | ○ (Hedly damaged) | 28.1 |
| No.8 | 1.5 | — | 0 | ◎ | 138 | 17.0 | × (Split) | — |
| No.9 | 1.5 | EVA | 5.0 | ○ | 86 | 18.9 | ○ (Hedly damaged) | 28.4 |
| No.10 | 0.75 | EVA | 5.0 | ○ | 111 | 16.6 | ○ (Hedly damaged) | 36.1 |

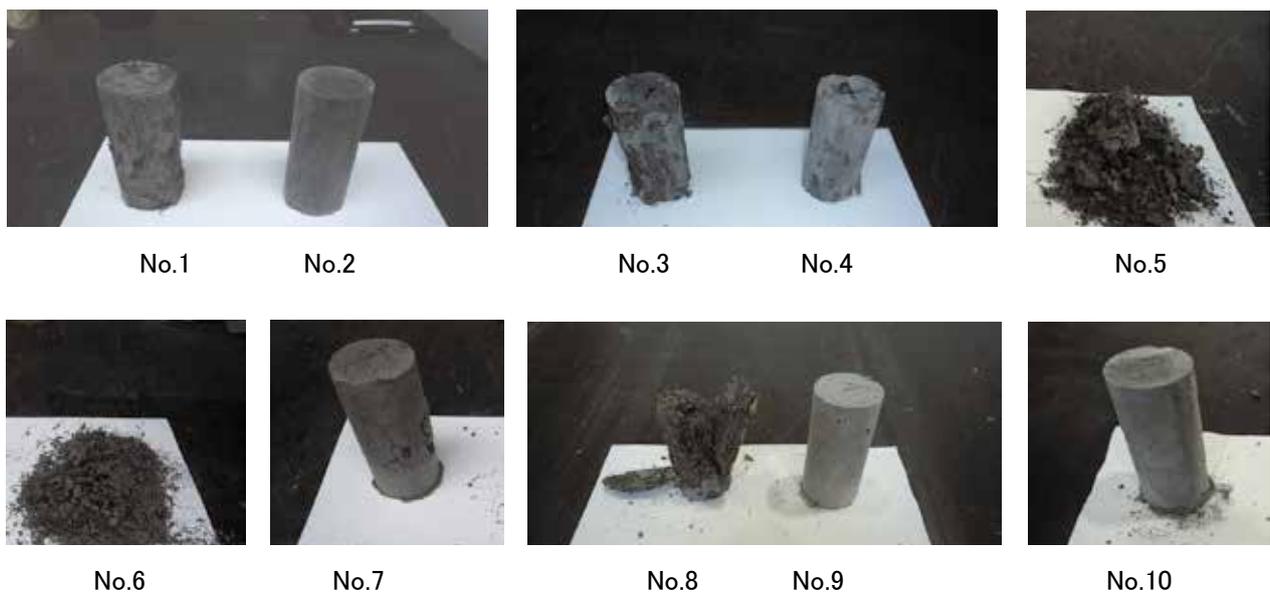


Fig.7 Outside condition of specimens after fire resistance test

合 (No.1), EVA, EP およびアクリルの各乳剤を添加した場合 (No.2~No.4) は, 耐火試験でひび割れは生じたものの致命的な爆裂は生じなかった. 特に, EVA を添加した場合 (No.2) は, 表面に微細なひび割れが生じる程度で, 供試体外観は良好であった. しかし, SBR を添加すると供試体は粉々に壊れた. なお, エポキシ乳剤およびアクリル乳剤を添加した場合には, 練混ぜ時に粘性が高くなり, 流動性が損なわれる傾向にあったため, その後の実験では EVA 乳剤のみを対象とした.

合成高分子短繊維を添加せず, EVA の添加量を 0% とした場合 (No.6) 供試体は粉々に壊れていた. しかし, EVA の添加量を 16.6Vol.% とした場合 (No.7) は, 合成高分子短繊維を添加しなくても微細なひび割れしか生じず, 供試体外観は良好であった.

一方, 鋼繊維を添加せず乳剤の添加量を 5Vol.% とした予備実験の結果, 400~450℃ で 1 時間以上保持すると, その後 945℃ まで温度上昇させても, 微細なひび割れしか生じなかった. また,

鋼繊維を添加し、EVA またはアスファルト乳剤を添加した予備実験の結果、450°Cで1時間以上保持すると、爆裂は生じなかったほか、アスファルト乳剤を添加したものでは、供試体表面がアスファルトで覆われたままになっていた。以上の結果から、乳剤によって形成されるフィルムあるいは網目構造は厚さ数 μm 程度であるとされており、昇温時に発生する内圧を供試体外部へ放出する通路を形成するものの、小径であることから、急激な温度上昇に伴う内圧を外部へ速やかに放出するには乳剤の添加量を極端に大きくする必要があると推測された。なお、鋼繊維および合成高分子短繊維を添加しない場合でも、乳剤の添加量を8%以上とすると爆裂しない事例も確認された。しかし、鋼繊維を添加していない場合には、冷却過程に供試体を金ばさみでつかむなどして大きな温度応力が発生すると、爆裂することもあった³⁾。そのため、その後の実験は、鋼繊維の添加を中心に行った。

次に、合成高分子短繊維と乳剤のバランスを考え、合成高分子短繊維を0.75~1.5%およびEVA乳剤を5%添加した場合について実験を行った。その結果、乳剤を添加しなければ合成高分子短繊維の添加量が1.5% (No.8) では爆裂に近い大きな損傷を生じたが、EVAを5%添加すれば、合成高分子短繊維の添加量が0.75% (No.10) であっても、爆裂しないことが明らかとなった。なお、合成高分子短繊維の添加量が0.75%でEVAの添加量が5% (No.10) の圧縮強度は111N/mm²であったが、引張強度は16.6N/mm²であり、超高強度繊維補強コンクリートの標準的な平均値11.7 N/mm²と同等以上の値を示していた。

4. まとめ

高分子乳剤および合成高分子短繊維を添加することによって、100N/mm²以上の高強度繊維補強コンクリートの耐火性を大きく改善できる可能性が示された。今回の実験の範囲では、フレッシュ性状も考え合わせると、エチレン酢酸ビニル乳剤が耐火性改善に最も効果的であった。一方、こうした耐火性改善方法を用いると、圧縮強度は低下するものの、引張強度にはほとんど影響を及ぼさないという結果が得られた。

今後は、適切な乳剤の選定、適切な乳剤と有機繊維の添加量やその混合比率、および適切な有機繊維の寸法の分布を求めていく予定である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、近藤照夫名誉教授、太平洋ブレコン工業株式会社、コニシ株式会社、ならびに澤本研究室の学生に多大なご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

なお、本研究は、2013年度受託研究「高強度コンクリートの耐火性に関する研究」の一環で行われたものである。

文 献

- 1) 木村和広, 小澤満津雄, 六郷恵哲, 森本博昭: 繊維補強コンクリートの爆裂性状と内部蒸気圧との関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.339-344, 2008
- 2) 友澤史紀ら: コンクリート混和剤の開発技術, シーエムシー, pp.245-253, 1998
- 3) 澤本武博: 2012年度受託研究報告書「高強度コンクリートの耐火性に関する研究」, 2013