報告 鋼繊維補強コンクリートの耐火性能

浦野 知子^{*1}·林 成卓^{*2}·土橋 浩^{*3}·角田 浩^{*4}

要旨:鋼繊維補強高流動コンクリートにより製造した RC セグメントの道路トンネル への適用に向け,その耐火性能について耐火実験により実験的に検討を行った。その 結果,鋼繊維の混入によりコンクリートの耐火性能が向上することが明らかとなった。 また,一方向のみの鉄筋を配置した場合は,鉄筋が無い場合に比べ爆裂深さが大きく なり,格子状に鉄筋を設置することで耐火性能は向上する結果が得られた。 キーワード:鋼繊維,耐火性能,RC セグメント,鉄筋,爆裂

1. はじめに

繊維補強コンクリートは,繊維の均等な分散 により,コンクリートの剥落防止が期待できる ことから,近年のコンクリートの剥落事故以来, トンネルの覆工コンクリートへの適用が増加し ている¹⁾。

また,繊維の素材を鋼繊維とすることで,コ ンクリート部材の引張耐力やせん断耐力の向上 が期待できることから,適用部材によっては鉄 筋量の低減が可能となる。

一方,自己充てん性能を持つ高流動コンクリ ートは,施工性の向上を図れるとともに,2次 製品については,締め固めにテーブルバイブレ ータが不要となることから,型枠の剛性を低減 することが可能となり,製作コストの低減化も 期待される。

そこで,著者らは,上記特徴を活かし,鋼繊 維補強高流動コンクリートの RC セグメントへ の適応について検討を行った。

このうち,トンネル内火災に伴うコンクリートの爆裂による劣化問題の顕在化,ならびに近年のシールドトンネルにおける二次覆工の省略に対し,トンネル内コンクリートの耐火性能の確保が求められていることから,鋼繊維補強高

流動コンクリートがコンクリートの耐火性能に 及ぼす影響について,耐火実験により実験的な 検討を行った。

本稿では,鋼繊維補強によるコンクリート強 度特性の向上により,鉄筋量を低減することを 考慮し,鉄筋の配筋状態,および配合の違いが 耐火性能に及ぼす影響について検討した結果を 報告する。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本検討では,鋼繊維補強高流動コンクリート および鉄筋の耐火性能への影響を検討するため に,表-1に示す6種類の供試体について耐火 実験を実施した。

表 - 1 供試体の種類

	コンクリー トタイプ	鋼繊維 混入率 (vol%)	主筋	配力筋
1 - a	スランプ	0.0	-	-
1 - b	高流動	0.0	-	-
1 - c	高流動	0.8	-	-
2 - a	スランプ	0.0	D25@100	D13@200
2 - b	高流動	0.0	D25@100	D13@200
2 - c	高流動	0.8	D22@100	-

*1 (株)大林組 技術研究所 土木材料研究室 材料施工グループ 工修 (正会員) *2 (株)大林組 東京本社 土木技術本部 技術第二部 工修

*3 首都高速道路公団 東京建設局 建設第一部 設計第一課長 工修

*4 首都高速道路公団 東京建設局 建設第一部 設計第一課課長補佐 工修

鋼繊維補強高流動コンクリート(1-c)に対 し,従来のRCセグメント製造時に用いられて いるスランプタイプのコンクリート(1-a),お よび鋼繊維を含まない高流動コンクリート(1 -b)の耐火実験により,鋼繊維補強高流動コン クリートの耐火性能への影響について検討を行 った。

供試体 1 - a ~ 1 - c に対し,鉄筋を設置した場 合(供試体 2 - a ~ 2 - c)の耐火実験により,鉄 筋の有無が耐火性能に及ぼす影響について検討 を行った。また,鋼繊維の補強効果を考慮し, スランプタイプコンクリート(2 - a)および高 流動コンクリート(2 - b)に対し,鋼繊維補強 高流動コンクリート使用時(2 - c)には,主筋 量を3割程度低減し配力筋を除いた配筋とし, 鉄筋量の低減による耐火性能への影響について





も検討を行った。

供試体の寸法は,1400×1000×300mm とし, 加熱面寸法は,1000×600mm とした。

供試体 2 - a・b および 2 - c の供試体概略図を 図 - 1 および図 - 2 に示す。

供試体の養生方法は,従来のRC セグメント 製作時と同様とし,コンクリート打設後2時間 経過した後に,最高温度40 で3時間蒸気養生 を行い,除冷した後21hr で脱型し,その後は, 試験日(材齢28日)まで気中養生とした。 2.2 コンクリートの配合

供試体の製作に用いたコンクリートの使用材料を表 - 2 に,コンクリートの配合を表 - 3 に

使用材料		種類				
セメント		普通ポルトランド 密度: 3.16 g/cm ³				
混和材	高炉スラグ 微粉末	密度:2.90 g/cm ³				
骨材	細骨材	陸砂 表乾密度:2.62 g/cm ³				
	粗骨材	砕石(2005) 表乾密度:2.65 g/cm ³				
	AE 減水剤	アニオン系				
混和剤	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系				
鋼繊維		両端フック付結束型 (l=30mm, =0.6mm)				

表 - 2 使用材料

示す。

各配合は,水粉体比(W/P)を同等とし,高 流動コンクリートと鋼繊維補強高流動コンクリ ートの配合では,単位水量を同等とした。

2.3 耐火実験方法

耐火実験の試験装置の概略図を図 - 3 に示す。 加熱中の供試体の劣化状況は,バーナー側に 設置した CCD カメラにて観察を行った。

加熱条件として,トンネル内の火災を想定し, 加熱開始後5分間で1200 まで炉内を加熱し, これを60分間保持した後に除冷する RABT 曲 線²⁾を用いた。

RABT 曲線を図 - 4 に示す。

⇒11日 租骨材		スランプ	空气量	W // D	s/a	単位量(kg/m ³)					
ケースし	最大径 (mm)	(フロー) (cm)	王×1重 (%)	w/ F (%)	s⁄a (%)	鋼繊維	水	セメント	高炉 スラグ	細骨材	粗骨材
1 - a 2 - a	20	3.0 ± 1.5	2.0 ± 1.0	29.0	41.0	0	125	215	215	765	1116
1 - b 2 - b		67.5 3.0	3.0	29.0	48.7	0	180	310	310	747	795
1 - c 2 - c		± 5.0	± 1.5	29.0	67.7	63	180	310	310	1037	501

表-3 コンクリート配合





2.4 測定項目

加熱試験中は,供試体中央部に加熱面から25, 50,100,150,200,300mmの位置に埋設した 熱電対により,コンクリート温度を測定した。

加熱後は,供試体の表面からの爆裂深さを測 定した。

- 3. 実験結果および考察
- 3.1 温度計測結果

各供試体の耐火実験時の温度計測結果を図 -5 ~ 図 - 10に示す。









従来のスランプタイプのコンクリート用いて, 無筋とした供試体 1 - a については,加熱開始後 約 10 分が経過した時点で,CCDカメラ前に堆 積した爆裂片を取り除くため,CCDカメラ前 の開口部を開放したため,炉内の温度が低下し た.他の供試体については,加熱曲線の再現を 優先し,爆裂片を取り除く作業は実施していな い。

高流動コンクリートを用いて,無筋とした供

試体 1 - b については ,コンクリートの爆裂が激 しかったため,実験の安全を考慮し,加熱途中 で試験を中止した。

温度経時変化において,計測温度が炉内温度 と同等程度まで急激に上昇した場合に,その位 置でのコンクリートに爆裂が生じ,熱電対が炉 内に露出した状態となったと想定される。

図 - 6の高流動コンクリートの温度変化を見 ると,加熱後20分程度経過した時点で,加熱面 から 200mm の位置での温度が急激に上昇して いる。これに対し,図-5のスランプタイプの コンクリートについては,初期の段階で100mm までの温度が急激に上昇しているが、それ以降 については、急激な温度上昇は見られていない。 さらに,鋼繊維補強高流動コンクリートについ ては、急激な温度上昇が確認されたのは、25mm までという結果であった。鉄筋を設置した場合 については,急激な温度上昇が見られるのは, スランプタイプについては,25mm まで,高流 動コンクリートについては, 50mm までとなっ ている。鉄筋を設置した鋼繊維補強高流動コン クリートの供試体については 加熱後約 25 分が 経過した時点で,50・100mmの位置で温度が急 激に上昇する結果を示した。

3.2爆裂深さ測定結果

各供試体における耐火実験後の最大爆裂深さ および平均爆裂深さを表 - 4 に示す。

また,各供試体の爆裂状況のコンター図を図-11に示す。

供試休	最大爆裂深さ	平均爆裂深さ			
下马子	(mm)	(mm)			
1 - a	151	69			
1 - b	297	167			
1 - c	107	35			
2 - a	63	34			
2 - b	82	47			
2 - c	182	55			

表-4 爆裂深さ測定結果

供試体 1 - a ~ 1 - c を比較すると,最大爆裂深 さ,平均爆裂深さともに,高流動コンクリート



図 - 11 爆裂状況コンター図

が最も大きく,次いでスランプタイプコンクリ ートとなり,鋼繊維補強高流動コンクリートが 最も小さい値となった。

爆裂の原因・メカニズムについては,定説が なく,諸説あるが,その一つにコンクリート中 に含まれる水分の加熱により発生する蒸気圧が 考えられる。この場合,よりコンクリート中の 水分量が多い,高流動コンクリートの方がスラ ンプタイプに比べ,爆裂し易くなると推定され る。本実験結果を見ると,スランプタイプに比 ベ,高流動とした方が爆裂深さは大きくなり, 水量の違いを反映した結果を示した。一方,鋼 繊維を混入することで,爆裂深さは,繊維無混 入の高流動と比べ,平均で130mm 程度小さく なり,同値の単位水量としたにも関わらず,爆 裂に対する抵抗の高さが認められ,スランプタ イプと比較しても30mm 程度小さい値を示した。 以上ことから,鋼繊維の混入により,耐火性

能の向上が期待できると考えられる。

鉄筋の耐火性能への影響については,格子状

(主筋+配力筋)の鉄筋を用いた供試体については,鉄筋を設置しない供試体に比べ,最大爆裂深さ、平均爆裂深さともに小さい値となった。

格子状の鉄筋を配置することで,無筋の場合 に比べ,スランプタイプについては,平均爆裂 深さで約 30mm,繊維無混入の高流動コンクリ ートについては,120mm小さくなる結果を示し た。

従って,格子状の鉄筋の設置により,耐火性 能の向上が期待できると考えられる。

しかしながら,鋼繊維補強高流動コンクリー トを使用し,配力筋を除き,主鉄筋のみ設置し た供試体については,鉄筋を設置しない場合に 比べ,爆裂深さが逆に深くなる結果を示した。 そこで,炉内に残置されたコンクリートの爆裂 片を調査したところ,有筋としたスランプタイ プおよび高流動については,最大でも骨材程度 までの爆裂片が堆積していたのに対し,有筋と した鋼繊維補強高流動コンクリートの場合は, 写真 - 1に見られるような,幅約 30cm 程度の 比較的大きな,鉄筋の跡が残るコンクリート塊 が見られた。



|写真 - 1||コンクリート爆裂塊

耐火実験後の主鉄筋には写真 - 2 に見られる ような,表面部に向かって凸となる変形が生じ ており,その変形は格子状の場合の主鉄筋に比 べ大きな変形量であった。

また,図-10の温度計測結果より,加熱開始 後25分程度で50・100mmの位置での温度が, 同時に急激に上昇していることから,この時点 で,爆裂により比較的大きなコンクリート断面 の損失が生じたと考えられる。

以上のことから,主鉄筋のみを設置した鋼繊 維補強高流動コンクリートの爆裂深さが,鉄筋 を設置しない場合に比べ深くなった原因として, 主鉄筋の加熱による温度変形に対し,これを拘 束する配力筋が無いことからその変形量が大き く,主鉄筋の変形によりかぶり部分のコンクリ ートが押し出されたことが考えられる。



写真-2 耐火試験後の状況

4. まとめ

鋼繊維補強高流動コンクリートの RC セグメ ントへの適用に向け,鋼繊維補強高流動コンク リートの耐火性能への影響について,配筋の有 無,配合の違いなどを組合せ,実験的に検討を 行った。

本実験により,以下のことが明らかとなった。 (1)鋼繊維で補強することにより,爆裂深さが小 さくなる。

(2)鉄筋を格子状に配置することで,耐火性能の 向上が期待できる

(3) 鉄筋により爆裂を抑制できるが,配筋方法 によっては,抑制しきれない場合がある。

参考文献

- 1)酒井松男,岡澤祐三,安田敏夫,赤井知司:2 次覆工に適用する鋼繊維補強高流動コンクリ ートの特性に関する一考察,土木学会第58回 年次学術講演集6部門,pp7-8,2003.9
- 2)コンクリート構造物の火災安全性研究委員会 報告書,日本コンクリート工学協会,pp185, 2002.6