

耐火セグメントの加熱実験報告

清水建設株式会社 正会員 後藤 徹
清水建設株式会社 正会員 ○林 裕悟

1. はじめに

現在、高速道路や鉄道などのシールドトンネル内において火災が発生すると、火災の高熱により覆工セグメントが爆裂し、トンネル構造物に損傷が生じることが懸念されている。耐火構造としては、一次覆工後に耐火パネルを貼るか、耐火材を吹付ける構造が考えられているが、耐火パネルは経済的に、吹付け工法は施工時の作業環境面と施工後の剥落について難がある。そこで、セグメント本体に耐火性能を持たせるべく、短繊維樹脂を混入したセグメントを作成し、加熱実験を行った。加熱実験では、短繊維樹脂(ポリアセタール：以下、PA)混入の有無による爆裂の差異、加熱時の試験体内部温度の分布、補修後の再加熱状況を確認し、加熱後の試験体では中性化確認試験、強度確認試験を行った。本論文はその実験結果について報告するものである。

2. 実験目的

本実験の目的は、加熱時に圧縮力を受けている PA 混入セグメントの爆裂抑制効果（最適混入率の想定）と試験体内部温度分布の確認および加熱面補修後の再加熱における耐火性能の確認を行う。

3. 実験方法

(1) 試験体

図-1 に示すような幅 600×長さ 900×高さ 550mm の試験体を 4 体作成した。各試験体は、最適混入率推定のために PA0.1・0.2・0.3%・PP0.1%の 4 つの混入率とした。熱電対は各試験体の図-2 に示す位置に設置し、合計 20 枚とした。また、試験体には PC 鋼棒により 13N/mm² 相当の圧縮応力を導入している。導入後は加熱時も応力の制御は行っていない。

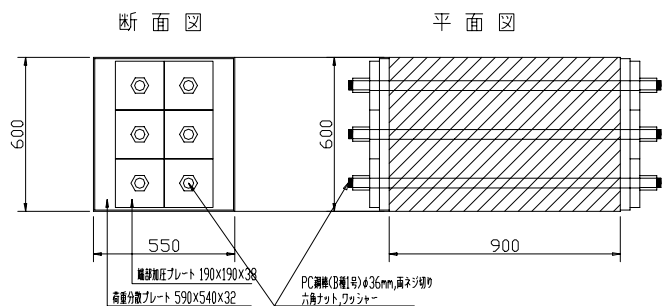


図-1. 試験体寸法

(2) 使用材料

コンクリートはセグメントの設計基準強度 48N/mm² を想定し、普通ポルトランドセメントと骨材に硬質砂岩を使用した。加熱実験時のコンクリート強度は 66.3～71.4N/mm² であった。

(3) 加熱実験

時間温度曲線は、トンネル火災試験用 RABT 曲線を採用するものとした。加熱および再加熱は清水建設技術研究所

耐火棟内の水平炉を使用し、最高温度の保持時間は 25 分とした。加熱範囲は、50cm×50cm となる。耐火実験における測定項目は、炉内温度および試験体内部温度とした。

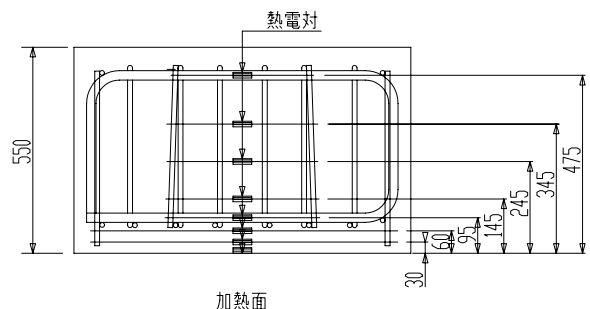


図-2. 熱電対設置位置

(4) 補修工

図-3 に示す通り、加熱範囲を 6cm はつり、補修を二つに分けて行った。片側は PA 繊維を 0.2%混入したモルタルのコテ塗り、反対側は市販のトンネル用湿式耐火被覆材を吹き付けた。

(5) 再加熱実験

爆裂無しは無補修試験体と補修試験体の 2 体で行った。加熱範囲・温度曲線等は当初加熱と同様とした。

キーワード：耐火性能確認, 繊維混入コンクリートセグメント, 爆裂, 加熱実験, 再加熱

連絡先：清水建設(株)土木事業本部 東京都港区芝浦 1-2-3 TEL03-5441-0555 FAX03-5441-0510

4. 実験結果

(1) 最適混入率の想定

4つの試験体の内、PA混入0.2%以上の2体は爆裂発生しなかった。しかし、PA・PP共に0.1%混入の試験体は深さ35・65mmの爆裂が発生した。以上より爆裂抑制性・経済性を考慮して最適混入率は0.2%と考えられる。

(2) 試験体内部温度分布

4体の試験結果より、爆裂無し場合、かぶり80mmの鉄筋位置で200程度だが、爆裂有りだと280まで温度上昇する事が判った。一般的に示される許容温度は、コンクリートが350、鋼材が250とする場合が多く、爆裂が発生すると許容温度を超える事が判った。

(3) 再加熱後の耐火性能

	PA0.2%混入試験体 (無補修)	PA0.2%モルタル 補修試験体	備 考
爆 裂	無 し	無 し	
試験体内温度()	250	150	かぶり80mm位置
コンクリート平均強度 (N/mm ²)	60.8	61.4	加熱実験前(28日)
	56.6	59.5	加熱実験後(28日)
	56.8	補修材料参照	再加熱実験後(28日)
中性化深さ(mm)	10	10	加熱実験後
	15	—	促進中性化試験(3ヶ月)
	15	—	再加熱実験後

再加熱実験では、補修の有無に関係なく爆裂は発生していない。

試験体内温度：無補修の場合、最初の加熱で繊維が溶けて、表面付近はポーラスな状態になっているので、鉄筋位置での温度上昇率が早く最高温度も高い。補修試験体は補修材で断熱される。

コンクリート強度：無補修の場合、加熱による強度低下はほぼ無く、設計強度48N/mm²を満足する。ただし、実際、加熱面付近は脆弱になっており、強度試験のために25mm程度研磨している。

中性化深さ：無補修の場合、再加熱で5mm、中性化が進む。同様に、促進中性化3ヶ月結果も15mmとなり、5mm中性化が進む事が判った。

(4) 補修材料圧縮・付着強度

	PA0.2%混入モルタル	湿式耐火被覆材	備 考
圧縮強度 (N/mm ²)	49.6	2.31	28日
	45.7	2.55	49日(再加熱実験日)
	29.9	2.29	62日(再加熱実験後)
付着強度(N/mm ²)	0.40	0.22	62日(再加熱実験後)

温度抑制効果は二つの材料とも問題ない。しかし、材料入手の簡便性等から0.2%混入モルタルの方がより汎用性に富むことが考えられる。

5. おわりに

今回の加熱実験では、PA混入試験体はPAが混入していることで爆裂抑制効果があり、試験体内部温度は鉄筋位置で許容温度以上に上昇しないことが確認され、その最適混入率は0.2%となることが判った。再加熱実験では、無補修の試験体は爆裂せず、試験体のコンクリート強度は、加熱面より25mm以深であるならば、加熱の有無にかかわらず、強度低下しない事も判った。一方、加熱により繊維が溶けているので、加熱面がポーラスになっており、温度上昇率が早い事も判った。補修した試験体は、補修箇所も爆裂せず、試験体内部温度は、鉄筋位置で上昇せず、断熱性も確認できた。

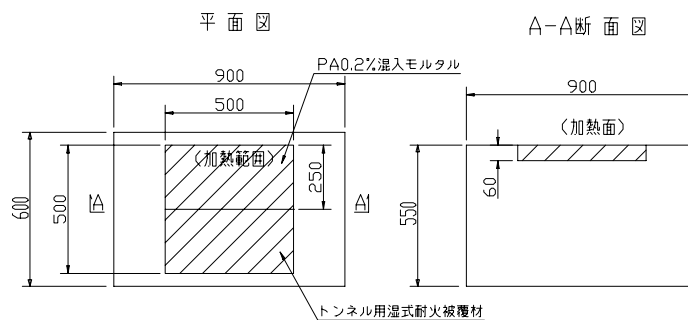


図-3. 補修範囲図