

ダクタイルセグメントを対象とした耐火性能確認試験（その１） ー耐火パネル後付け方式ー

西松建設(株) 正会員○三戸 憲二 正会員 村上 初央 正会員 土橋 吉輝
協立化学産業(株) 奈良 光喜 ニチアス(株) 岩田 耕治

1. はじめに

近年、シールドトンネルで二次覆工を省略するケースが増えてきているが、道路トンネルでは自動車火災に対して、一次覆工であるセグメントの安全性確保が重要な課題となっている。今回、2車線道路トンネルのダクタイルセグメントを対象に、ボード系耐火パネル後付け方式（以下、耐火パネルと呼ぶ）の耐火性能確認試験（以下、耐火試験と呼ぶ）を行った。その試験概要と試験結果を以下に報告する。

なお、耐火試験における熱負荷モデルは、『ドイツにおける道路トンネルの設備と運用に関する指針』で制定されたRABTの温度～時間曲線とした。

2. 耐火材の要求性能

耐火材の要求性能を以下に列举する。

- ① ダクタイルの最高温度が350℃を超えない。
- ② 外周側水膨張性シール材の温度が100℃を超えない（メーカーによるシール材の試験結果では、150℃×2時間では著しい変化はないとの報告があるが、ここでは安全側に100℃とした）。
- ③ 耐火被覆材や取付部材が落下しない。
- ④ 有害な煙やガスを発生しない。

3. 耐火パネルの特性

試験に使用した無機質耐火パネルの一般特性を表ー1に示す。

表ー1 耐火パネルの一般特性

製品名		セラタイト
密度 (kg/m ³)		300
熱伝導率 W/mk (kcal/mh℃)	400℃	0.08 (0.07)
	600℃	0.12 (0.10)
	800℃	0.15 (0.13)
	1000℃	0.20 (0.17)
化学組成 (%)	Al ₂ O ₃	47
	SiO ₃	53

4. 試験方法

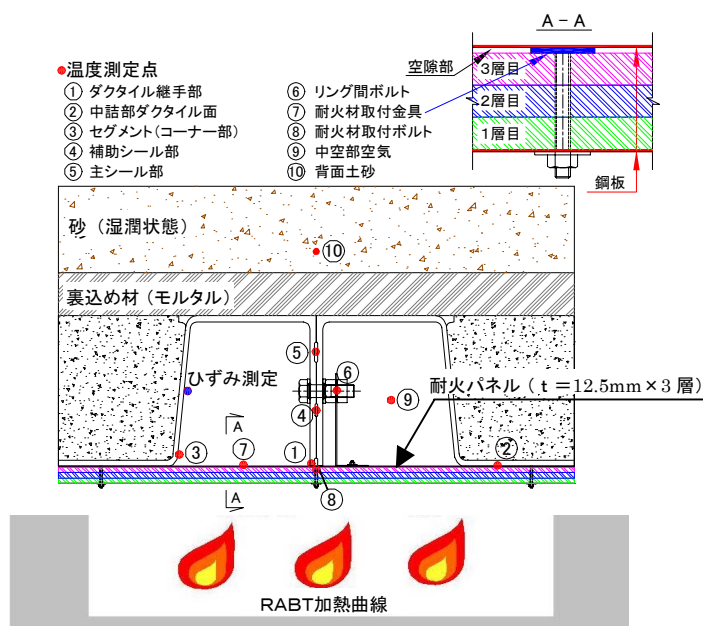
(1) 試験体および耐火パネル

耐火パネル耐火試験概要図を図ー1に示す。ダク

タイルセグメント（1200W×350H）試験体は、A型ピースのうち、中央部の1500Lをセグメント幅の半分で円周方向に切断し、リング継手同士を接合して継手部を再現した。継手部には水膨張シール材を貼付した。なお、地中での被災状況を表現するため、セグメント背面に裏込め注入としてモルタル（1：3、厚さ10cm）を、その背面に湿潤状態の砂（20℃程度、厚さ約20cm）を設置した。耐火パネル（t＝12.5mm、幅1200mm）はセグメント内面側に目地が揃わないように円周方向に千鳥配置で3層設置し、ダクタイルセグメントのリング間継手ボルトを利用してブラケットで固定した。

(2) 加熱方法および温度、ひずみ測定

独立行政法人建築研究所の大型水平耐火炉を用いて、RABT曲線の60分加熱を再現した。試験体各部の温度を測定するため、図ー1に示す位置に熱伝対を設置した。なお、中詰めコンクリートから発生する水蒸気圧力により、中詰め側部のダクタイルがはらみ出す可能性があるため、ダクタイルの挙動を把握する目的でひずみゲージを貼付した。



図ー1 耐火パネル耐火試験概要図

キーワード：シールドトンネル，ダクタイルセグメント，耐火，RABT 曲線，パネル

連絡先：〒105-8401 港区虎ノ門 1-20-10 西松建設(株)，土木設計部 Tel-03-3502-7638, Fax-03-3502-0228

5. 試験結果

(1) 炉内温度の確認

炉内温度の履歴を測定し、RABT曲線を精度良く再現できていることを確認した（図-2参照）。

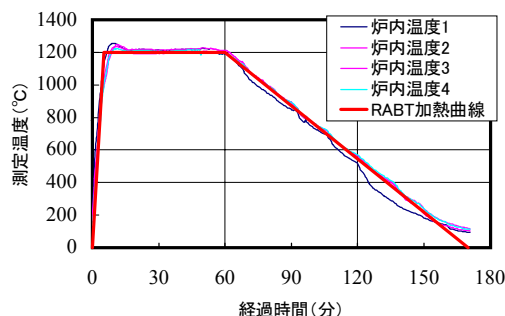


図-2 炉内温度の確認

(2) 各部温度測定結果

ダクト継手表面、主および副シール貼付位置の温度測定結果を図-3に示す。いずれも許容値350°C、100°Cを大きく下回る値であった。2次元FEMによる非定常熱伝導解析（以下、熱伝導解析と呼ぶ）結果を図-3に併記するが、両者の値には最大20°C程度の差があるものの、熱伝導解析で耐火試験の傾向をよく表現できたものと考えられる。なお、熱伝導解析にあたっては、背面側鋼板と耐火パネルの隙間、中空部の空気が対流によってどの程度熱を伝達するかがポイントであるが、本稿ではダクトおよび中空部空気の温度測定結果が解析値と近似するよう空気の見掛けの熱伝導率を変えて解析した。

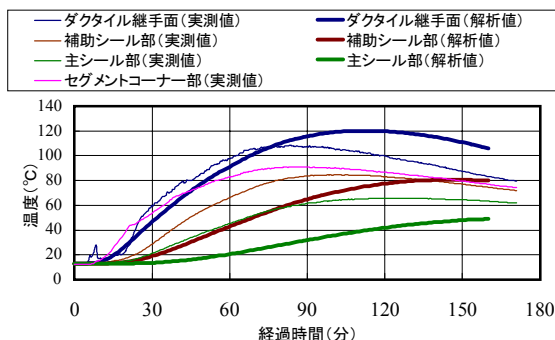


図-3 耐火パネル耐火試験、温度測定結果（1）

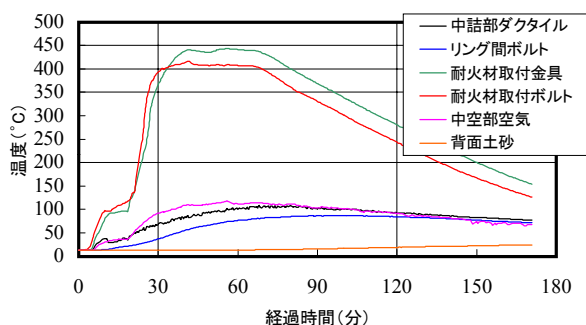


図-4 耐火パネル耐火試験、温度測定結果（2）

耐火材取付金物（取付金具、裏面鉄板、取付ボルト）、中詰部ダクト表面、リング間継手ボルトおよび中空部空気の温度を測定した結果を図-4に示す。中詰部ダクト表面の温度は、ダクトの許容値350°Cを大きく下回る値であった。耐火材取付金物の温度は350~450°Cに至ったが、高温に強いSUS材を用いることから問題ないと判断した。なお、耐火試験の間、有害な煙やガスの発生はなかった。

(3) ダクトひずみ測定結果

中詰めコンクリートから発生する水蒸気圧力でダクトがはらみ出す可能性が懸念されたが、中詰側部ダクトのひずみは最大で220 μ であり、全く問題のない値であった。

(4) 耐火試験後の試験体他の状況

セグメント主桁の目開きはなく、外観上は試験前と全く変化がなかった。

外装材であるホーロー鋼板は溶融して、部分的に耐火パネルと融着していたが、取付金物（SUSボルト、ワッシャー、背面鋼板）は変色しているものの、強固に耐火材を固定しており良好であった。

耐火パネルには脱落や割れは全くなく、外観上、2層目からは試験前の状況とほとんど変化がなかった。目地は第3層で10mm、第2層で部分的に最大5mm開いていたが、第1層は全く開いてなかった。

6. まとめ

ダクトセグメントを対象に行った耐火パネルの耐火試験および熱伝導解析結果を表-2に示す。耐火試験の結果から12.5mm $\times$ 3層で十分要求性能を満足すること、熱伝導解析の結果から試験値と最大20°C程度の差はあるものの熱伝導解析で耐火試験の傾向をよく表現できること、さらには熱伝導解析によれば12.5mm $\times$ 2層でも要求性能を満足する可能性が高いことが分かった。

最後に、実験にあたって御指導頂いた早稲田大学清宮理教授、建築研究所増田秀昭主任研究員、大貫寿文客員研究員、御協力頂いた株式会社クボタおよび関係各位に深く感謝する。

表-2 耐火パネル耐火試験、熱伝導解析結果のまとめ

	実測値	解析値		要求性能
耐火パネル12.5mm	3層	3層	2層	
ダクト	109°C	120°C	145°C	350°C以下
主シール位置	66°C	49°C	58°C	100°C以下
補助シール位置	84°C	81°C	87°C	