

# 繊維補強型RCライナーセメントの継手部耐火性能評価について

- 山岳トンネルのTBM掘削における事例 -

中日本高速道路(株) 名古屋支社 清見工事事務所 飛騨工事長  
中日本高速道路(株) 名古屋支社 清見工事事務所 所長

森山 守  
寺田 光太郎

## 1 はじめに

東海北陸自動車道飛騨トンネルでは、工程短縮、コスト縮減および品質向上を目的として、二次覆工を省略したプレキャスト部材であるRCライナーを一部の区間で適用した。このRCライナーは、二次覆工構造部材の一部であるため、トンネル火災時の耐火性が求められた。ここでいう耐火性とは、RABT加熱曲線(加熱60分)(図-1)<sup>1)</sup>にしたがった加熱を受けた時に、RCライナーの主筋温度、および隣り合うRCライナーを接合するボルトの受熱温度が350を上回らないことである。最近、日本でトンネル火災によるコンクリートの損傷を考慮する場合に用いられることが多く、飛騨トンネルにおいても加熱曲線として採用した。鋼材の受熱温度の上限を350としたのは、受熱温度350までの鋼材引張り強さの低下<sup>2)</sup>が、設計上許容できる範囲内であること、および加熱冷却後の鋼材引張り強さが、加熱される前の引張り強さまで、ほぼ回復<sup>2)</sup>することから定めたものである。

火災時のRCライナーの主筋受熱温度が350を上回らないためには、RCライナーの内空側表面に、耐火板<sup>3)</sup>や耐火吹付け<sup>4)</sup>などの耐火層を設ける方法や、RCライナーのかぶりコンクリートを耐火層とする方法がある。飛騨トンネルでは、工期短縮を主要な目的としてRCライナーを採用した経緯から、施工工程が短縮できる後者を採用した。この場合、RCライナーのかぶりコンクリートは、火災時の爆裂により剥離してはならない。そのため、火災時の受熱によるコンクリートの爆裂を抑止する方法としては、近年、建築分野で用いられている、コンクリートに有機繊維を混入する方法<sup>5)</sup>を採用した。ただし、図-1に示すとおり、トンネル火災時の温度上昇を想定したRABT加熱曲線(加熱60分)の方が、建築分野のコンクリートの耐火性検討に用いられているISO加熱曲線よりも温度上昇速度が速いため、より爆裂を生じやすいと考えられた<sup>6)</sup>。そのため、有機繊維を混入

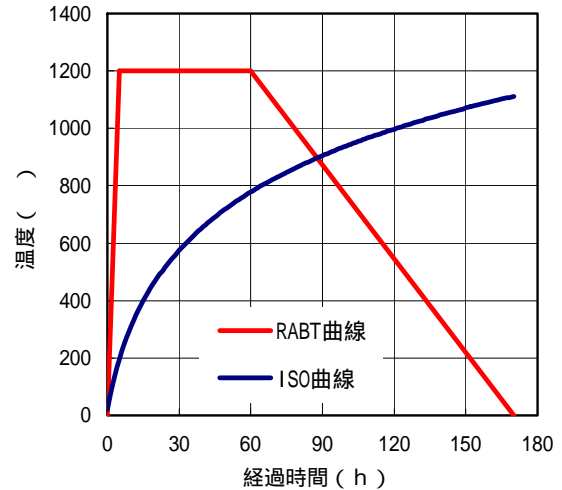


図-1 標準加熱曲線

したRCライナーコンクリートが、RABT加熱曲線(加熱60分)にしたがう加熱を受けた場合でも、耐火性を有していることが必要であった。

RCライナーの耐火性に要求されるもうひとつの項目に、隣り合うRCライナーを接合するボルトの受熱温度が350を上回らないことがある。このため、ボルトを収納しているボルトボックスに、耐火性を有する材料を充てんしてボルトを保護することとした。この充てん材料はRCライナーコンクリートと同様に、RABT加熱曲線(60分加熱)にしたがう加熱を受けた場合でも爆裂せずに、ボルトの受熱温度を350以下に保つことが必要であった。

さらに、今回採用したRCライナーの耐火仕様では、主筋温度が350を上回らない範囲での、かぶりコンクリートの受熱による劣化を許容しているため、供用開始後に実際にトンネル火災が発生した場合に、RCライナーコンクリートの損傷範囲と損傷程度を把握する方法が必要とされた。

以上に述べた、飛騨トンネルRCライナーの耐火性に関連する技術的課題を、具体的な項目として示すと、以下に整理できる。

1)RABT加熱曲線(加熱60分)にしたがう加熱を受けた場合に、かぶりコンクリートが爆裂しな

有機繊維混入量を明らかにし、そのときに主筋の受熱温度が 350 以下となるようにかぶりを設定すること。

- 2)隣り合う RC ライナーを接続するボルトの受熱温度が 350 以下となるように、ボルトボックスに充てんする材料が耐火性を有していること。

本論文では、これらの技術的課題の中でボルトボックス充てん材の耐火性実験、および受熱後コンクリートの火害診断により検討し、得られた知見を以下に述べる。

## 2 二次覆工省略型 RC ライナー設計

### 2.1 部材耐力の検討の背景

対象とする火災温度時間曲線は RABT 曲線加熱(60分)とし、火災規模が構造物の耐用期間内に発生する確率の小さい、極めて大規模な火災であることより、火災時の RC ライナーの終局耐力が、設計断面力以上であることを確認する。

### 2.2 飛驒トンネル覆工の耐火機能の考え方

RC ライナーの耐火方式は、吹付け式耐火被覆方式、耐火板方式、爆裂抑制型セグメント方式、が候補となる。本工事は、都市部のシールドトンネルとは異なり岩盤中の山岳トンネルであることを考慮すると、シールドトンネルで適用されている耐火構造と同等の性能までは必要ないと考えられ、実証試験結果及び経済性を勘案して有機繊維混入コンクリートを用いた爆裂抑制型セグメント方式とした。

言わば、「火災時にトンネルが建築限界に影響のない変形で保持されるならば、事後の補修も可能である。」という考え方に基づいた耐火性能とした。

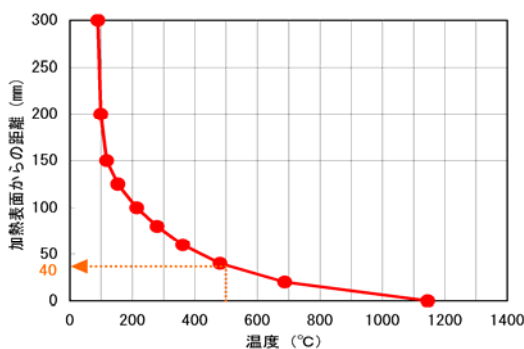


図-2 加熱試験体コンクリート内部の最高履歴温度

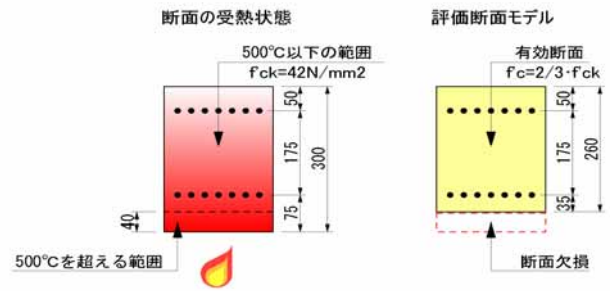


図-3 断面の受熱状態と評価断面モデル

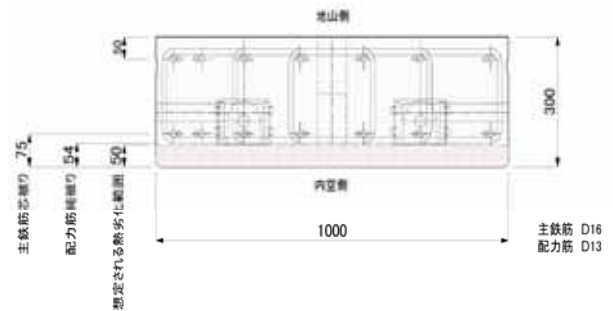


図-4 爆裂抑制型ライナー構造断面図案

#### (1) 部材耐力の検討

火災時には RC ライナーが直接火炎に曝され、有機繊維混入コンクリートとすることで爆裂抑制することができるが、コンクリートや鉄筋が高温になることによって耐力が低下する。ここでは、火災時の構造安定性について考察する。

火災中の耐力計算は「国土交通省住宅局建築指導課：2001 年版耐火性能検証法及び計算例とその解説」に記載されている以下の考え方に基づいて実施した。

受熱温度が 500 以下のコンクリートの圧縮強度は、強度を設計基準強度の 2/3 とする。

受熱温度が 500 を超えるコンクリートの圧縮強度は、強度を零とし、断面計算に考慮しない。

受熱温度が 500 を超える部分を熱劣化深さとして定義し、残存曲げ耐力を熱劣化深さがかぶり厚さに達した時点で常温の半分、劣化深さがかぶり厚さの 2 倍に達した時点で零とする。

RABT 曲線で加熱されたコンクリート内部の温度分布は図-2 のようになる。これは 800mm × 800mm × 300mm の有機繊維混入コンクリート試験体を RABT 曲線に従って加熱した実験結果（5 体の平均値）である。

この結果から、図-3 および図-4 のモデルを設定し、火災時の終局耐力は以下の条件で算定した。

- ・有効断面高さ：260mm
- ・コンクリート強度： $f'c = 2/3 \cdot f'ck = 2/3 \times 42 = 28\text{N/mm}^2$
- ・鉄筋降伏強度残存比：受熱温度が約 300 であることから 0.8 とする。
- ・安全係数：材料係数  $c = 1.3$ 、部材係数  $b = 1.15$

図-5 に、常時の許容応力度相当の MN カーブと火災時の終局耐力 MN カーブを示す。火災時の断面欠損や受熱による一時的な強度低下を考慮した終局耐力 MN カーブの方が常時の許容応力度相当 MN カーブより大きいことがわかる。従って、大規模火災を受けたとしても、爆裂を抑止することにより覆工内部の温度上昇が抑えられ、一時的に断面耐力が低下するもののトンネル覆工の構造安定性は確保されるといえる。

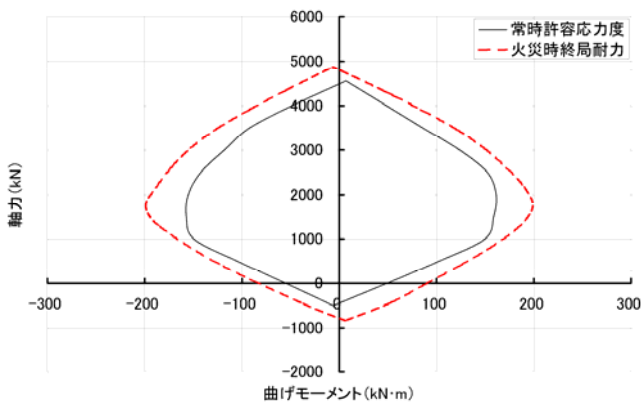


図-5 常時許容応力度 MN カーブと火災時終局耐力の比較

### 3 ボルトボックス充てん材の耐火性実験

#### 3.1 実験内容

##### (1) 供試体

ボルトボックス充てん材は、3 種類を選定した。

表 - 1 ボルトボックス充てん材の種類

材料	材料A	材料B	材料C
種類	軽量モルタル	ポリマーセメントモルタル	
有機繊維の種類	ポリプロピレン		
有機繊維の量 (kg/m <sup>3</sup> )	1.82	2.4	2.4
配合 (粉体 : 水)	25 : 4.63	25 : 3.75	25 : 3.20

表-2 供試体の配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スラグ (cm)	空量の範囲 (%)	水外比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
					水 W	水外 C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad	繊維 PP
20	16±2.5	2.5 以下	36.5	52.0	177	485	878	886	4.85 (1.0%)	1.5 or 1.2

表 - 1 にボルトボックス充てん材を示す。表-2 にベースとなる RC ライナーコンクリートの配合を示す。

材料 A は軽量骨材を使用した軽量モルタルにポリプロピレン繊維を混入したもの、材料 B および材料 C はポリマーセメントモルタルにポリプロピレン繊維を混入したものである。材料 A は、この実験のために調整・製造した材料で 材料 B および材料 C は、市販のポリマーセメントモルタルをベースとしたものである。

図 - 6 に供試体の形状・寸法を示す。供試体中央部に RC ライナーで使用するものと同じボルトボックスを埋設し、ボルトを装着したものである。温度計測のための熱電対は、深さ方向に 7 ヶ所（加熱面からの深さ 0, 60, 108, 155, 190, 220, 300mm で、このうち 190, 220, 300mm はコンクリート内、それ以外はボルトボックス内の位置）に設置した。なお、ボルトボックス内の最もかぶりの小さな鋼材位置は、加熱面から深さ 60mm の位置である。コンクリートの配合と使用材料は使用する RC ライナーと同一で、ポリプロピレン繊維を 1.5kg/m<sup>3</sup> 混入したものである。

##### (2) 実験方法

供試体の加熱は、RC ライナーコンクリートの耐火性実験の供試体と同時に行ったため、図-1 の方法と同じである。ただし、ボルトボックス内の充てんモルタルには、実構造物においても圧縮力は作用しないと考えられるため、PC 鋼棒による圧縮力導入は行わなかった。

##### (3) 測定項目

充てんモルタルの圧縮強度と含水率は、加熱供試体と同時に製作し、同一の現場封かん養生を行った 50 × 100mm の円柱供試体で測定した。加熱実験時

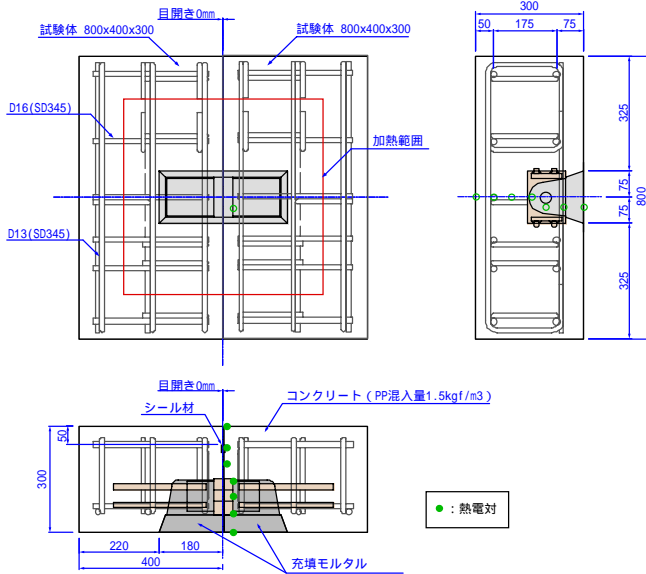


図 - 7 ボルトボックス供試体の形状・寸法

には、図 - 7 に示した熱電対取り付け深さの温度の経時変化と、爆裂発生の有無を確認した。また、加熱冷却後に供試体表面の損傷程度を目視で確認し、爆裂が生じている場合には断面欠損深さを測定した。

#### 4. ボルトボックス充填材の耐火試験

表-4 にボルトボックス充填材の種類別圧縮強度、含水率を示す。耐火試験時のボルトボックス充填材材齢は39日であった。

表 - 4 ボルトボックス充填材の圧縮強度と含水率 (耐火試験時)

試験体名	充填材の種類	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			含水率 (wt%)	
		データ	平均			
継手部	A材	37.3	35.8	30.7	34.6	11.29
継手部	B材	61.1	62.7	64.2	62.7	6.45
継手部	C材	79.0	79.0	74.4	77.5	7.11

試験体は多目的炉の上に設置した蓋治具の上に設置した。試験体の加熱範囲は、試験体加熱面中央部の550mm×550mmとし、RABT曲線(60分)に準拠して加熱した。

実際のRCライナーに使用する材料を用いて、試験体の中央部に継手を配置した2分割型試験体を用意し、ボルトボックスにモルタルを充填した。

加熱後、充填したモルタルの状態を観察し、継手部保護効果の確認を行う。

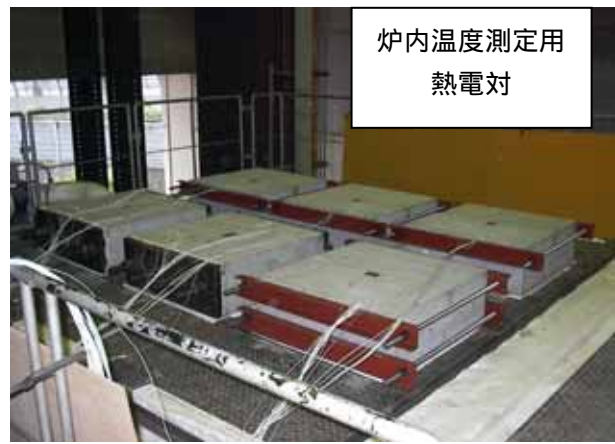


写真-1 試験体設置の様子

#### 5. 実験結果

##### (1) 充てんモルタルの物性値

表-4 に充てんモルタルの圧縮強度の経時変化を示す。加熱実験時の含水率は、材料Aが11.29%、材料Bが6.45%、材料Cが7.11%であった。

##### (2) 供試体内部温度分布

図 - 8 ~ 図 - 10 に供試体内部の温度履歴を示す。また、図 - 11 に測定深さごとの最高温度を示す。図 - 8 の材料Aと図 - 10 の材料Cは、加熱面(深さ0mm)の温度が一旦上昇したのちに、急激に低下し、しばらくして再び急激に温度上昇する現象が見られた。これは、モルタル中の有機繊維が熔融し、水が蒸気として失われたためと思われる。一方、図 - 10 の材料Bは、次の外観状況で示すとおり、一部に爆裂が生じたため、加熱面(深さ0mm)の温度は、炉内温度とほぼ同じ、1200 に加熱開始直後から達している。ただし、図 - 11 に示すとおり、モルタル内部の継手金物(深さ60mm)の位置の温度は、3種類のモルタル共に350 以下に保持できていた。

##### (3) 外観状況

写真 - 2 ~ 写真 - 4 に加熱後供試体の表面状況を

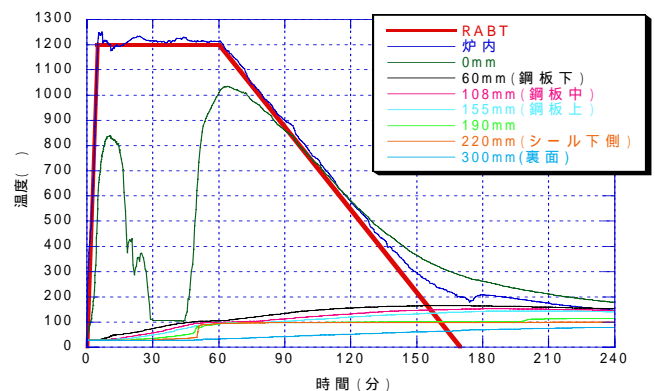


図-8 試験体内部温度と時間の関係 (継手部 )

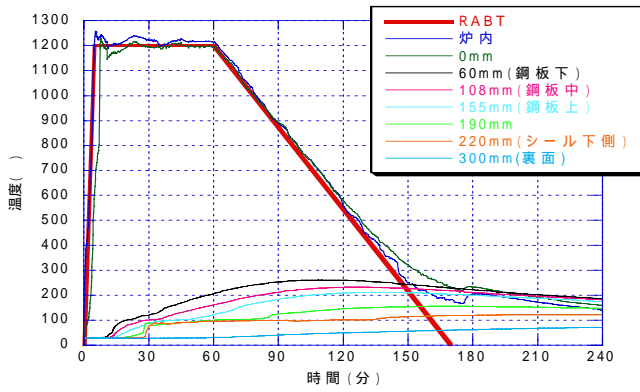


図-9 試験体内部温度と時間の関係 (継手部)

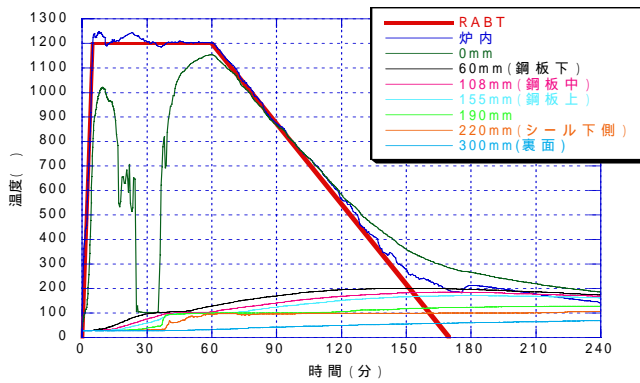


図-10 試験体内部温度と時間の関係 (継手部)

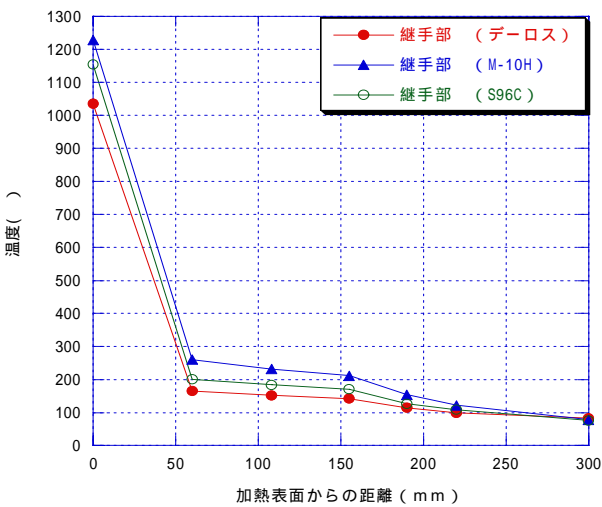


図-11 試験体コンクリート内部の最高履歴温度(継手部)

示す。写真-2の材料Bは、加熱開始直後に爆裂を生じ、加熱後に測定した最大断面欠損深さは40mmであった。

#### (4) 充てん材耐火性実験結果のまとめ

3種類の実験用モルタルをボルトボックスに充てんし、RABT加熱曲線(加熱60分)にしたがい加熱した結果、材料Aと材料Cに爆裂が生じず、ボルトボックス

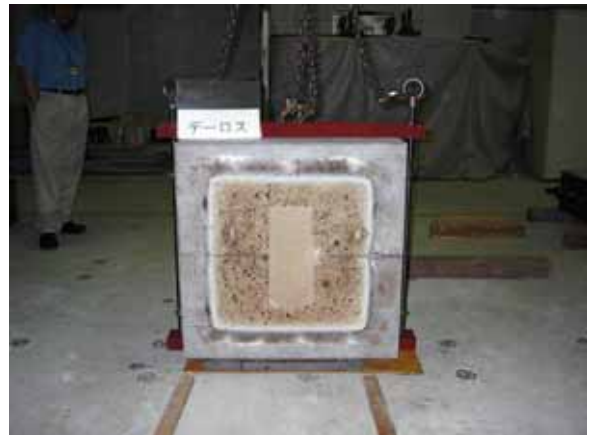


写真-2 加熱前後の様子 (継手部)



写真-3 加熱前後の様子 (継手部)



写真-4 加熱前後の様子 (継手部)

ス内部の鋼材に対する耐火性が確保できることが確かめられた。また、この2種類のモルタルは、加熱時にモルタル内部の水が水蒸気として失われることにより、加熱面の温度が一定時間の間100を保持する現象が見られた。

#### 6. 加熱後供試体の力学特性等

表-5に加熱後供試体における力学評価の測定項目を示す。測定は、加熱後供試体に対して、各試験

表-5 加熱後供試体における測定項目

測定項目	測定方法	測定数量
表面観察	デジタルカメラによる撮影とひび割れ密度の解析	供試体No.1～No.6
打音	打音検査ハンマーによる確認	
反発硬度	シュミットハンマーによる測定	供試体No.1、No.2 各25点 供試体No.3、No.5 各9点
圧縮強度	30×30mm、24mm×25mmの小径コアを深さ方向に採取して圧縮強度を測定	表-4.2に示す数量
残存繊維確認	圧縮強度測定後の30×30mmのコア割裂面でマイクロスコープにより観察	
中性化深さ	残存繊維確認後の30×30mmのコア割裂面でフェノールフタレインにより測定	
密度	圧縮強度、引張強度測定後のコアで気乾密度と絶乾密度を測定	
引張強度	50×35mmの小径コアを深さ方向に採取して割裂引張強度を測定	
ビッカース硬さ	50×100mmの小径コアを採取し、加熱面から内部方向にビッカース硬さを測定	

を行った。打音確認と反発硬度測定については加熱前にも行い、加熱後との比較を行った。

小径コアによる測定は、圧縮強度、残存繊維確認、中性化深さ、密度(気乾密度・絶乾密度)、引張強度、ビッカース硬さについて行った。小径コアは、試験項目ごとに24、30、50mmの径で長さ300mm(

表-6 ひび割れ長さ分布

ッカース硬さのみ長さ100mm)のコアを採取し、深さ方向に所定の寸法に切断して各測定に供した。

ビッカース硬さは、菱形の先端形状をした針を一定荷重で測定対象に載荷し、そのとき発生するくぼみの面積から測定対象の硬さを測定するものである。ここでは、コンクリートの深さ方向へビッカース硬さを測定するが、モルタル部分を目視により確認しながら針を貫入させて測定した。

1) 表面観察

このひび割れ画像は、加熱後供試体表面のデジタル画像からウェーブレット解析によりひび割れを抽出したものである。また、表-6にひび割れ画像からひび割れ幅0.1mmごとのひび割れ長さを示す。

供試体 No ひび割れ幅(mm)	ひび割れ長さ(mm)			
	継手部	継手部	継手部	RCライナー
~0.1	36,958	43,951	34,937	45170.7
0.1~0.2	4,202	5,287	4,176	4772.4
0.2~0.3	969	1,186	945	998.9
0.3~0.4	24	35	27	22.5
0.4~0.5	11	17	13	9.2
0.5~	0	1	0	0
ひび割れ長さ合計(mm)	42,164	50,477	40,098	50973.7
ひび割れ密度 m/m <sup>2</sup>	117	140	111	142

継手部 ~ は充てんモルタルであるが、加熱時に爆裂が生じた継手部 は、爆裂が生じなかった

継手部、に比べひび割れ密度が高いことがわかる。また、爆裂が生じなかった継手部、の充てんモルタルはRCライナーに比べひび割れの発生が少ないことも定量的に確かめられた。

2) 打音

打音確認は加熱前に比べ、継手部、の充てんモルタルでは、加熱後にも浮きは認められなかったが、加熱前に比べて金属音的な高い音で高温に熱せられたことから石英分がガラスしたためと考えられる。継手部は加熱後に爆裂による損傷が見られたため、打音検査の対象から除外した。

3) 反発硬度

表-7に加熱前後のシュミットハンマーによる反発硬度の測定結果を示す。反発硬度は、加熱前後に測定した。ただし、加熱後に爆裂の見られた供継手部については測定の対象から除外した。

加熱により、充てんモルタル、RCライナーともに表面の反発硬度は低下している。

表-7 シュミットハンマーによる反発硬度の測定結果

供試体 No.	反発硬度							
	加熱前			平均	加熱後			平均
継手部	34	33	39	35.3	15	17	16	19.4
	-	-	-		20	22	21	
	-	-	-		18	24	22	
継手部	36	42	36	38	爆裂のため測定不可			-
	-	-	-					
	-	-	-					
継手部	41	41	42	41.3	24	28	28	30.2
	-	-	-		32	34	32	
	-	-	-		30	34	30	

4) 圧縮強度

図-12～図-13は充てんモルタルにおける深さ方向への圧縮強度の分布である。充てんモルタルはボルトボックスに充てんしたことから採取したため、深さは最大150mm程度までである。また、充てんモルタルについては、粗骨材が入っていないため、小径コアの寸法効果による圧縮強度の見かけの増加は小さいと思われるため、寸法効果に対する補正は行わない。継手部の加熱後小径コアの圧縮強度は、表面から深さ150mm程度までほぼ一定で、初期強度34.6N/mm<sup>2</sup>の50%程度となった。一方、継手部の加熱後小径コアの圧縮強度

図-13 供試体 30×300mm 小径コア圧縮強度は、表面から深さ50mm程度までまでの低下が比較的大きく、それより深い位置から深さ150mm程度まではほぼ一定で、初期強度77.5N/mm<sup>2</sup>の70%程

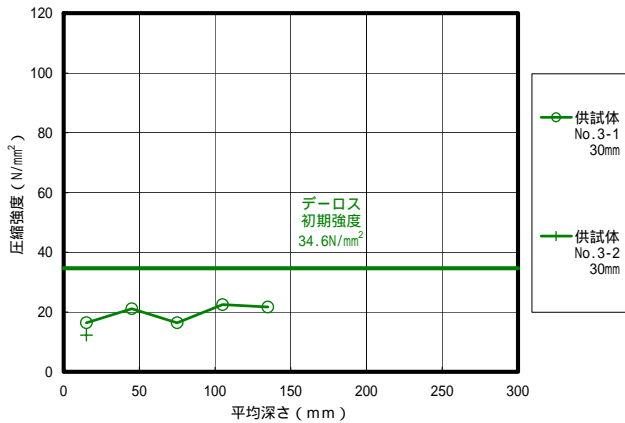


図-5.5 供試体No.3 30-L30mm小径コア圧縮強度

度となった。

### 5) 残存繊維確認

表-8 に有機繊維の残存が確認された深さを示す。残存繊維の観察は、所定の深さごとに切断した小径コアを割裂し、その断面を拡大鏡により目視観察し、ポリプロピレン繊維の有無を確かめた。その結果、充てんモルタルの継手部 では深さ 83mm、継手部 では深さ 90mm で繊維の残存が確認された。これらの深さの受熱温度は 200 をやや下回る温度であり、繊維を混入したコンクリートやモルタルが加熱ポリプロピレンの融解温度とされる 185 程度とほぼ一致

表-8 有機繊維の目視確認結果

図 - 14 供試体 30×300mm 小径コア圧縮強度

供試体 No.	観察深さ					
	0	30	60	90	120	150
継手部	無	無	無	有	有	有
継手部	無	無	無	無	無	無
継手部	無	無	無	有	有	有

する。これらのことから、ポリプロピレン繊維を混入したコンクリートやモルタルが加熱した場合に、コンクリート内部の繊維残存深さを確認することにより、受熱温度が 200 程度を上回った範囲を確認することができると思われる。

### 6) 中性化深さ

表-9 に中性化深さの測定値を示す。中性化深さは、

充てんモルタルの継手部

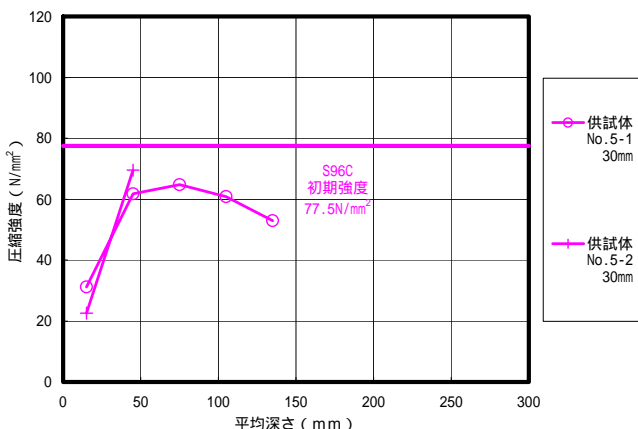


図-5.7 供試体No.5 30-L30mm小径コア圧縮強度

は 12.9mm、継手部 は 5.9mm であった。一般にセメント系材料は、受熱温度 500 程度で水酸化カルシウムが酸化カルシウムと水に分解して中性化を示すとされている。巻末参考資料によれば、受熱温度 500 に達した深さは、40mm 程度と考えられ、実際の中性化深さとの違いが大きい。この理由として、R A B T加熱曲線(60分加熱)における、加熱開始から5分間で1200 に達するような急激な温度上昇では、受熱温度が 500 に達しても全ての水酸化カルシウムが反応できないためではないかと考えられる。

表-9 加熱後小径コアの中性化深さ

供試体 No.	中性化深さ(mm)
継手部	12.9
継手部	5.9
継手部	7.7

### 7) 密度

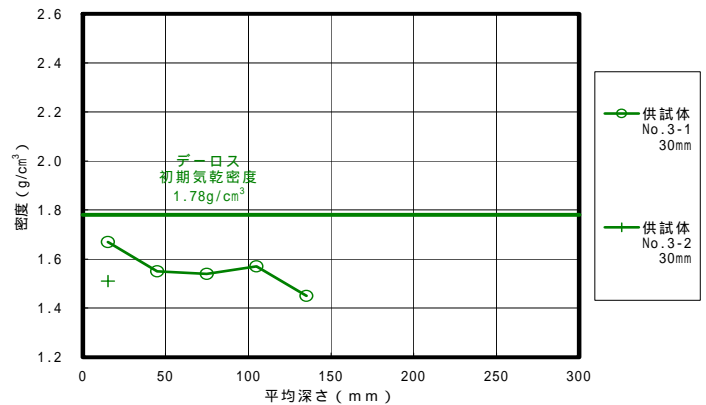


図-5.19 供試体No.3 30-L30mm小径コア気乾密度

図-15～図-16 に加熱後小径コアによる気乾密度、図-15 供試体 30×300mm 小径コア気乾密度定した後の 30mm のコアと、引張強度を測定した後の 50mm のコアで、強度を測定した後の気乾状態で測定した。また、図-17～図-18 に加熱後小径コアによる絶乾密度の測定結果を示す。絶乾密度は、気乾密度を測定した 30mm、50mm のコアに対して、110 乾燥炉に 2 日間静置した後に測定した。

図 - 16 供試体 30×300mm 小径コア気乾密度

図 - 18 供試体 30 × 300mm 小径コア絶乾密度

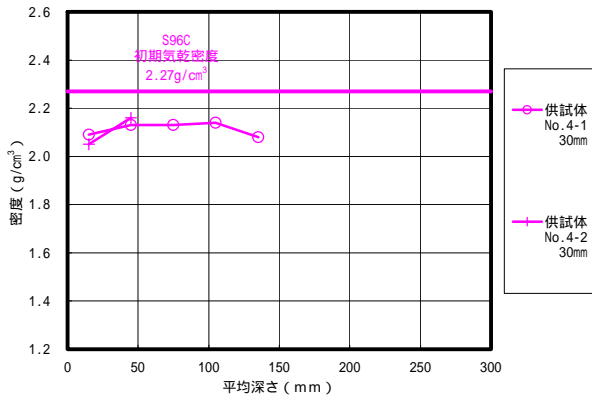


図-5.21 供試体No.5 30-L30mm小径コア気乾密度

図 - 16 供試体 30 × 300mm 小径コア気乾密度

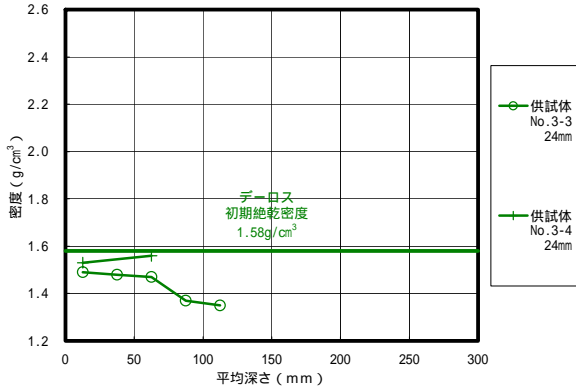


図-5.26 供試体No.3 24-L25mm小径コア絶乾密度

深さ方向への密度の分布は、気乾密度と絶乾密度でほぼ同じ傾向を示している。また、小径コアによる圧縮強度の分布とも同じような傾向を示しているが、深さ方向への受熱温度の違いによる影響は、圧縮強度ほど明確には現れていないようである。

8) 引張強度

図-19 に加熱後小径コアによる割裂引張強度の測定結果を示す。加熱表面から深さ 70mm 程度までの引張強度が低下していることがわかるが、コンクリート内部では引張強度のばらつきも大き

図 - 17 供試体 30 × 300mm 小径コア絶乾密度 の影響を受けるためと思われる。

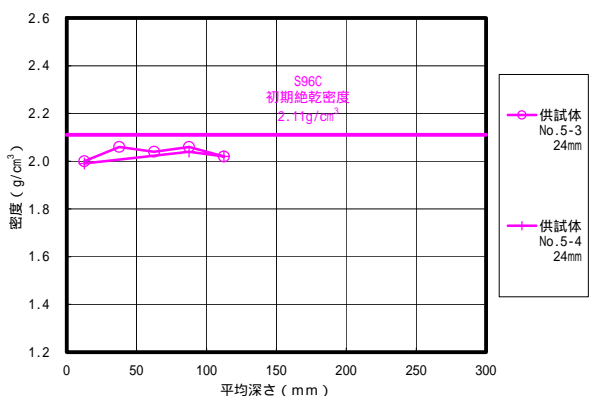


図-5.27 供試体No.5 24-L25mm小径コア絶乾密度

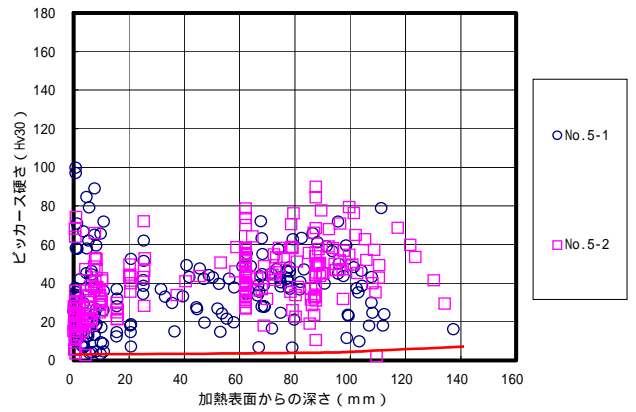


図-5.33 供試体No.5小径コアピッカース硬さ

図 - 16 供試体 50 × 300mm コア引張強度

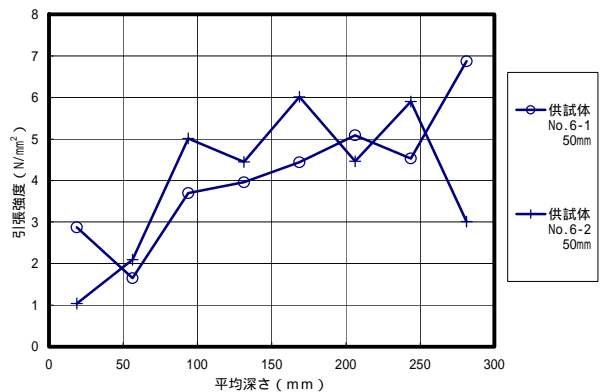


図-5.29 供試体No.6 50-L35mm小径コア引張縮強度

9) ピッカース硬さ

図-20、図-21 は充てんモルタルの供試体 No.3、No.5 に対するピッカース硬さの測定結果である。これら図中の赤い太線は、同様にピッカース硬さの下限値包絡線を示すものであるが、コンクリートの場合と異なり、深くなるのに伴いピッカース硬さの下限値が大きくなる傾向が見られない。これは、深さ方向にほぼ一定の圧縮強度や密度であるためと考えられる。

7 . 各測定方法の火害損傷度評価への適用性

表 6-13 に各測定方法の火害評価損傷度評価への適

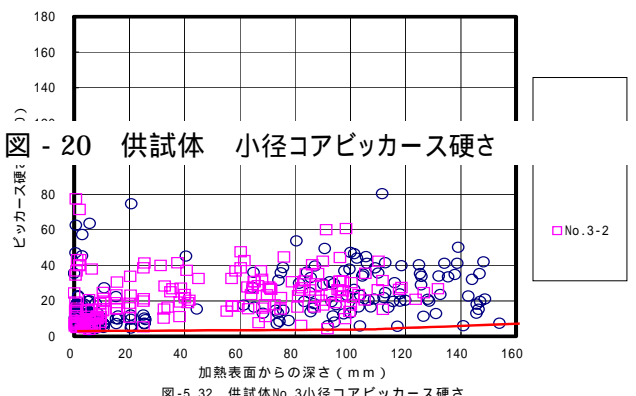


図-5.32 供試体No.3小径コアピッカース硬さ

用性を示す。各測定方法それぞれに長所と短所が考えられるが、平面的な劣化範囲を調査するには打音検査と反発硬度の測定が有効であると思われる。

また、深さ方向への劣化深さを調査するには、深

表 6-13 火害評価損傷度評価への適用性

測定項目	火害評価の適用性	長所	短所
表面観察		火害被害分布による劣化程度の定量は詳細ができる	火害被害分布の解析は手間と労力要する
打音		平面内劣化の範囲を容易に知ることができる	火害コンクリートの表面を傷れ、コア採取の注意を要する
反発度		平面内劣化の範囲を定量に知ることができる	火害コンクリートの表面を傷れ、コア採取の注意を要する
圧縮度		深さ方向の圧縮強度分布を直接把握できる	小径コアの採取 整休時間時間要する
残存繊維確認		20 程度の発熱温度確認にすることができる	繊維の目視確認に手間時間要する
中性化深さ		50 以上の発熱温度確認にすることができる	RC 助熱では中性化が満発熱温度 80 と異なる
密度		圧縮強度の低下率を容易に知ることができる	体積の測定に手間時間要する
引張度		深さ方向の引張強度分布を直接把握できる	引張強度の測定値のばらつきが大きい
ピカース深さ		深さ方向のコンクリートの硬さの変化を直接把握できる	測定値のばらつきが大きい

:適用性向上良好

:適用良好

:適用可能

x:適用不可

深さ方向への圧縮強度分布と残存繊維深さの確認が有効であると思われる。

実際の火災後の損傷評価には、ここで挙げた測定項目から、火災の規模に応じて必要と考えられる項目を選択して実施し、それらの測定結果を総合的に判断することで、火害の程度と範囲を評価できると考えられる。

参考文献

参 考 文 献

(1) 森山 守・小原 伸高・六郷 恵哲：大断面 TBM における二次覆工機能を有した耐火 RC ライナーについて、コンクリート工学年次論文集,Vol.29.pp pp, 2007.7

(2) (社)土木学会：コンクリート標準示方書 [ 構造性能照査編 ], 2002

(3) (社)土木学会：トンネル標準示方書 [ シールド工法編 ]・同解説, 1996

(4) (社)日本道路協会：道路橋示方書 共通編・ 下部構造編, 2002

(5) 4)日本道路公団：試験研究所技術資料第 358 号トンネル数値解析マニュアル, 1998

(6) 西岡ほか：道路シールドトンネルにおける耐火工の施工計画および施工実績、土木学会第 61 回年次学術講演会

(7) (社)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ならびにシンポジウム論文集, pp.76-78、2004.10

(8) 国土交通省住宅局建築指導課：2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説, pp.205-208、1997.9

(9) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の火災安全性研究委員会, 2002.6

(10) 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, No.23, 2004.10

