

ピンホールを有する防食ライニングモルタルの硫酸侵食に関する研究

京都大学 学生員○佐々木 亘 京都大学 正会員 山本 貴士
正会員 服部 篤史 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

防食ライニングを適用したモルタル供試体にドリルでピンホールを作成し、10wt%の硫酸水溶液への浸せきを行い、その劣化過程を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

供試体一覧を表1に示す。防食ライニングを1面に適用したモルタルとした。試験要因は以下に示す2種類とした。

(1)防食ライニング：実際に用いられる仕様を中心とした。防食被覆層に用いる樹脂の剛性による影響を調べるため、軟質・硬質ポリウレタンを選定した。軟質ポリウレタンでは、素地調整材を変化させるとともに、ピンホールの貫通深さを変えた。また、耐酸性が良好とされるポリウレタ、補強材（ガラスクロス1層および2層、炭素繊維シート、珪砂またはセラミック）を用いたエポキシを選定した。

(2)ピンホール径：直径0.5mmと1mmのものをドリルで作成した。

これらの供試体において、所定の期間の硫酸浸せき後に外観観察およびピンホール径・ふくれ径の測定、ピンホール断面の中性化深さ・幅および微小硬度の測定を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 外観観察およびピンホール径・ふくれ径 最も大きなふくれが観察されたPU-S1では浸せき1日目、PU-S2,PU-S4,PU-H1では浸せき30日の測定時、PU-S5は浸せき80日の測定時にピンホール部にふくれが観察された。図1にその例を示す。軟質ポリウレタンではふくれの境界がはっきりしているのに対し、硬質ポリウレタンでは明確でない。剛性の高い防食被覆層では水平方向に劣化が広がりやすいと考えられる。図2にピンホール径の経時変化を示す。増大傾向にある供試体のうち、ふくれがあるPU-S1

およびPU-S4で増大が特に大きい。防食被覆層の剛性が低く、腐食生成物が膨張することによってピンホールを押し広げたと考えられる。他の供試体でもピンホール径が

キーワード：防食ライニング ピンホール 硫酸 下水道 微小硬度

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL: 075-753-5102 FAX: 075-752-1745

表1 供試体一覧

供試体名	素地調整材	防食被覆層(設計厚さ mm)
PU-S1	EP-プライマー	軟質ポリウレタン(0.6)
PU-S2	EP-パテ	
PU-S3*		
PU-S4*	EP-PCM + EP-プライマー	
PU-S5*	耐酸モルタル10mm + EP-パテ	
PU-H1	PU-プライマー	硬質ポリウレタン(2.0)
PU-H2		
PU-A1		ポリウレタ(2.0)
EP-G1	EP-パテ	EPガラスクロス1層(0.7)
EP-G2		EPガラスクロス2層(1.3)
EP-CF1		EP CFS 1層(0.7)
M-C	—	EP セラミック(3.0)
M-K	—	EP 樹脂モルタル(3.0)

*は、ピンホール到達位置が素地調整面まで。

他はモルタルまで。



図1 ふくれが生じた供試体(PU-S1,30日)

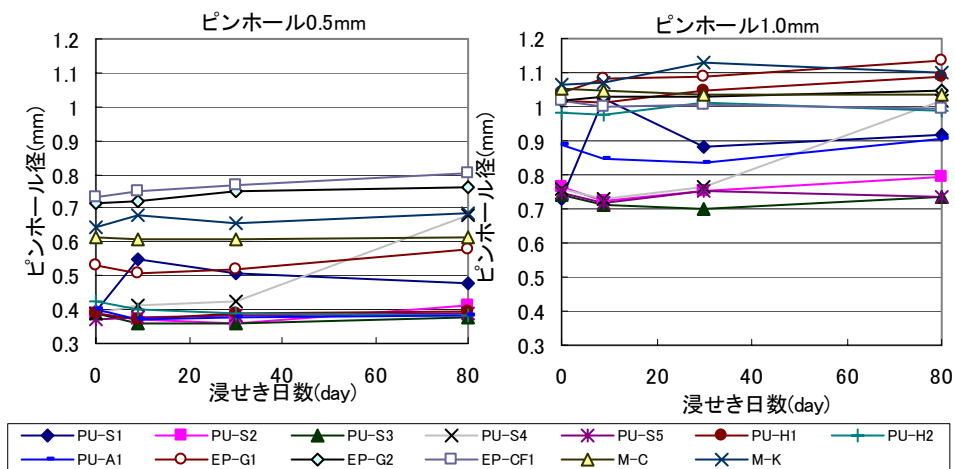


図2 ピンホール径の経時変化

増加傾向のものがあり、同様の現象が考えられるが、ふくれの大きさが小さく目視上認識されていない。図3にふくれ径の経時変化を示す。補強材を用いた防食被覆層ではふくれは発生・増大しておらず、腐食生成物の膨張に対して、補強材により剛性を高めることでふくれを抑制できる。しかし、補強材のうち、ガラスクロス、CFS

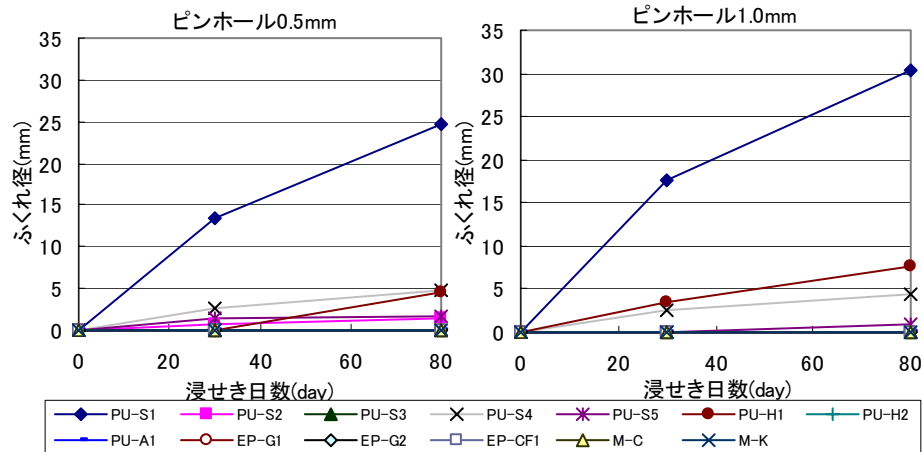


図3 ふくれ径の経時変化

を用いた防食被覆層でピンホール作成時にドリルの力によりはく離したと考えられる供試体ではふくれが発生した。

3.2 中性化深さ・幅 図4に示すように中性化深さ（モルタル面を基準）、中性化幅（水平方向の中性化範囲の半分の長さ）を測定した。中性化が確認された供試体は、外観観察でふくれが見られた供試体であった。また、深さ方向より水平方向に中性化が進行していた。ピンホールから硫酸が浸入することにより、腐食生成物が膨張し、軟質ポリウレタンなどの面外方向に変形しやすいライニングでは膨張する力に耐え切れず、ふくれあがり、ライニングとモルタルのはく離部が広がって、さらに水平方向に硫酸が浸透しやすくなったと考えられる。

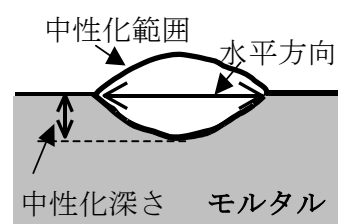


図4 中性化の測定方法

3.3 微小硬度 ピンホール位置の深さ方向の各測定点において、細骨材界面から10μm間隔で100μmまで測定し、最小値(遷移帯)と最大値(バルク部)を定め、モルタル面からの深さとの関係を求めた。外観観察でふくれが見られた供試体以外でもピンホール位置に劣化が確認された。微小硬度の分布は硫酸の拡散に関係があると仮定し、次式にあてはめた。

$$HV(x,t) = HV_0 \cdot \operatorname{erf} \frac{x - b_2 t}{2\sqrt{D \cdot t}}$$

$HV(x,t)$: 深さ x (mm)、時刻 t (日)における微小硬度の最小値または最大値

HV_0 : 微小硬度の最小値または最大値の基準値(健全部の値)

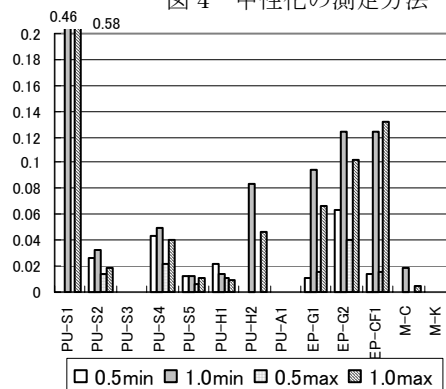
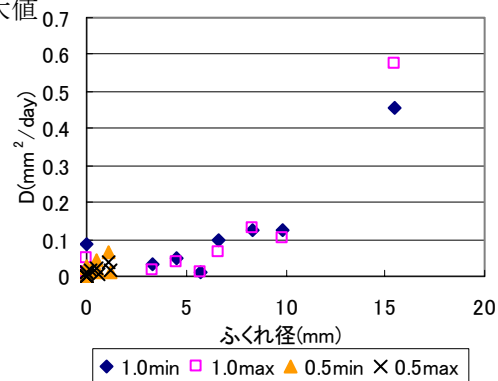
D : 見かけの拡散係数(mm²/日) $b_2 t$: 消失深さ(測定値)

(初期条件 $HV(x,0) = HV_0$ 、境界条件 $HV(0,t) = 0$)

図5に各供試体の D (mm²/日)の値を、図6にふくれ径との関係を示す。なおPU-H2, EP-G1, G2, CF1は、ピンホール作成時にはく離が生じたと考えられる供試体である。 D はふくれが大きいくほど大きい。また、PU-S1~S5の比較から防食ライニング層を多層にすることや、PU-H1、M-C、M-Kのように補強材を用いて防食被覆層の剛性を高くすると D は小さい。ただし、EP-G1, G2, CF1にみられるように、剛性が高くても付着に初期欠陥が生じていると逆に D は大きくなる。

4. 結論

(1) 剛性の高い防食被覆層では水平方向に劣化が広がりやすいと考えられる。(2) 防食ライニング層を多層にすることや、防食被覆層の剛性を高くすると D は小さくなる。(3) 付着に初期欠陥が生じていると硫酸が浸透しやすくなるので、付着を確実にすることが重要である。

図5 拡散係数 D (mm²/日) (30日)図6 ふくれ径と D の関係(30日)