

17. 下水道施設への新素材の活用技術の開発

新材料チーム 上席研究員 明嵐 政司
主任研究員 西崎 到

1. はじめに

下水道整備を効率的に進めるために、従来から用いられている鉄筋コンクリートの改良による防食性能の向上が求められている。また、耐食性の優れた新素材を下水道施設に活用する技術の開発も期待されている。本課題ではこのような新素材を探索し、下水道施設での耐食性・適用性を調査する。さらに、下水道施設用防食材料としての改良・技術開発を行う。

近年、下水道施設用の防食指針類が整備されたので、新設構造物の防食性能は向上している。また、下水道の整備率は平成12年度末で62%と増えているため、既設構造物補修の重要性が高まりつつある。研究対象は下水道施設のコンクリート補修材料とした。

そこで平成13年度の調査では、コンクリート補修用防食材料に求められる要求性能を明らかにし、様々な新素材の適用可能性や補修技術改良の可能性があることが分かった。そこで、平成14年度からは、要求性能を満たす材料・補修技術開発できる組織・機関の公募による共同研究を開始し、本研究をより効率的に実施することとした。「下水処理施設のコンクリート補修材料に関する共同研究」は、民間11社1団体(住友大阪セメント(株)、太平洋マテリアル(株)、日鐵セメント(株)、三井化学産資(株)、日本ペイント(株)、日本ジッコウ(株)、(株)奥村組、福井漁網(株)、東レ(株)、日鉄コンポジット(株)、三菱化学産資(株)、(社)日本チタン協会)の参加を得て、平成14年10月より開始した。共同研究の全体計画は表-1に示すとおりである。平成14年度は、下水処理施設補修材料に求められる要求性能とその評価方法について検討した。次年度以降はこれらの評価方法に基づき、材料や施工方法の開発をすすめる予定である。

表-1 共同研究の全体計画

研究項目	研究細目	H14	H15	H16	備考
1. 要求性能とその評価方法	・要求性能			
	・評価方法			
2. 新材料・施工方法の開発	・材料開発			
	・施工方法の開発		
3. 性能評価	・室内試験			
	・現場施工性試験			
4. 結果のとりまとめ	・成果のまとめと報告書の作成			

2. 下水処理施設のコンクリート補修材料の要求性能と評価方法の検討

2. 1 防食材料の種類と本研究の技術開発の方向

下水処理施設のコンクリート補修に用いられる防食材料は、ライニング材が主である。現在普及している規格は日本下水道事業団の指針（「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル」平成14年12月）であるが、同指針では、ライニング材をA種からD1種までの4種類の塗布型ライニング材と、シートライニング材に分類している。これらは腐食環境の厳しさと点検・改築の難易によって使い分けられている（表-2）。本研究の材料開発では、以下の3点について技術開発を行うこととした。

- ①腐食環境の比較的穏やかな条件で、耐酸性モルタルの適用性を検討する。
- ②塗布型ライニング材の信頼性向上を図る。
- ③これまで比較的高価であったシートライニング材について、より経済的なものの開発を図る。

表-2 現在のコンクリート防食材料と本研究の技術開発の方向

腐食環境分類（下水道事業団による区分）	IV	III		II		I	
硫化水素ガス年間平均値（下水道事業団による区分）	硫酸による腐食が殆ど生じない	10ppm 未満		10～50ppm		50ppm 以上	
10年で到達する劣化状況（下水道協会による区分）	（設定無し）	コンクリート表面が荒れた状態		骨材が露出		鉄筋が露出	
点検・補修・改築の難易	易／難	易	難	易	難	易	難
対応する防食材料（下水道事業団）	塗布型ライニング材（A種）	塗布型ライニング材（B種）	塗布型ライニング材（C種）	塗布型ライニング材（D ₁ 種）	シートライニング材		
本研究の技術開発の方向	耐酸性モルタルの適用性の検討	塗布型ライニング材の信頼性・性能の向上				経済性の向上・評価	

2. 2 耐酸性モルタルの適用性検討

2. 2. 1 要求性能と評価項目

断面修復材に耐酸性モルタルを用いることにより、塗布型ライニング材のピンホールによる劣化の抑制ができる。耐酸性モルタルは、塗装下地としてだけでなく比較的穏やかな腐食環境で塗装無しで利用できれば、利点が大きいと考えられる。このためには耐酸性モルタルを無塗装で使える限界を知る必要がある。断面修復材料としての耐酸性モルタルの規格は、東京都が策定したマニュアル（「コンクリート改修技術マニュアル 汚泥処理施設編」平成12年10月）がある。本研究では同マニュアルを参考に、耐酸性モルタルに必要な性能指標を表-3の様にまとめた。一体性については建研式付着力試験で1.5N/mm²と暫定的に設定したが、この値の根拠は明確ではないので、理論的な根拠を明らかにする必要がある。強度特性は、母材コンクリートと同等以上であればよいので、設計強度の150%以上（36N/mm²）を規格値とし、また、母材コンクリートに要求されていない曲げ強度は設定しなかった。

耐硫酸性については、これまでは硫酸溶液への浸せき試験により行われてきたが、環境条件が実際とかなり異なるのが欠点であった。実際の条件に近い耐酸性試験方法として、硫化水素酸化細菌を用いる方法もあるが、試験が困難である。このため壁面で微生物により生成される硫酸を模擬する試験方法として、硫酸滴下試験を提案

した。耐酸性に優れた補修材料の経済性を評価するためには、①硫化水素濃度で区分されている腐食環境条件、②壁面の硫酸濃度、③補修材料の耐酸性に基づく寿命予測の3つの関連を明らかにすることが必要である。硫酸滴下試験は上記②及び③の関連を調べるものである。①と②の関連について明らかにするために、硫化水素酸化細菌を用いた小規模な室内試験を実施し、硫化水素濃度と壁面pHの関連について調べることにした。また、滴下試験に用いる硫酸の濃度などの試験条件は、この試験結果を基に決定する。

表-3 耐酸性モルタルの性能指標

試験項目		規格値	備考
一体性	付着強度	1.5N/mm ² 以上	20℃、材齢28日：建研式接着力試験機
耐ひび割れ性	長さ変化	-0.1%以下	20℃、JIS A1129、材齢28日
耐硫酸性	浸食深さ	未定	40℃、希硫酸滴下試験
	質量変化	未定	
	浸透深さ	3.0mm以内	20℃、5%硫酸溶液浸せき試験（比較のために実施、28日間、7日毎に溶液全量交換）
	質量変化	±10%	
圧縮強度		36N/mm ² 以上	20℃、JIS R5201、材齢28日

2. 2. 2 硫酸滴下試験（予備試験）

（1）試験目的及び方法

硫酸滴下試験について予備試験を行った。装置の概略図を図-1に示す。希硫酸はpHメーターによりpH0.0に調製した希硫酸を用いた。チューブポンプの設定により滴下速度を14~48ml/hまで変化させた。試験は全て40℃の恒温槽内で行った。供試体には普通ポルトランドセメントを用いたモルタル板(70×70×20mm)を用いた。試験時間は最大7日間とした。

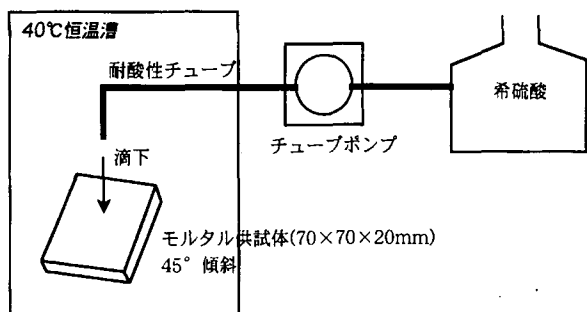


図-1 硫酸滴下試験の概略図

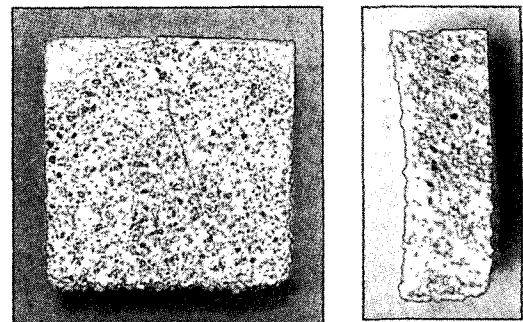


図-2 滴下試験後に水洗した供試体の写真

(供試体2、左：正面、右：中央付近で縦に割裂した断面)

（2）試験結果

試験後にブラシで水洗した供試体の様子を図-2に示す。滴下試験では滴下位置直下が局所的にえぐれるのではなく、表面が硫酸で濡れている部分がほぼ一様に浸食を受けていた。滴下位置のくぼみはさほど顕著ではなかった。結果を表-4に示す。供試体1~3は滴下速度を14~48ml/hの範囲で変化させたが、浸食深さに及ぼす影響は認められなかった。供試体断面の中性化深さを1%フェノールフタレイン溶液で調べたが、中性化した領域は認められなかった。

表-4 予備試験の結果

供試体番号	滴下速度 (ml/h)	試験日数 (日)	質量減少率 (%)	滴下位置における浸食深さ (mm)
1	14	7	10.7	0.30
2	28	7	17.0	0.33
3	48	7	10.7	0.23
4	14	2	6.5	0.12

注：質量減少率=(試験後質量-全供試体の試験前質量平均値)/全供試体の試験前質量平均値×100

2.3 塗布型ライニング材料の試験・評価方法

本研究では、塗布型ライニング材の信頼性向上のため、ライニング材に要求される性能を再検討した。さらに必要な試験項目と評価項目を新たに設定し、その評価方法による材料開発・評価を行うこととした。表-5にこれらの要求性能と評価項目を示す。

塗布型ライニング材の性能評価方法は、接着性及び耐硫酸性について改善の余地があると考えられる。接着性はこれまで建研式接着力試験機による評価が行われてきたが、接着強さとふくれ抑制性能の間に明確な相関が認められないことが多く、十分な接着力の評価となっていない¹⁾。このため本研究では、新しい接着性評価の指標として引き剥がし試験の適用性を検討し、ふくれ抑制性能との相関性向上を図る。また、耐環境性（耐硫酸性）については、これまでは外観変化等で評価してきたが、より定量的な樹脂の劣化の評価する方法として引張強さを検討した。

表-5 塗布型ライニング材の試験項目

要求性能	試験方法	評価項目
耐環境性	硫酸溶液浸せき試験	<ul style="list-style-type: none"> ・外観変化 ・引き剥がし強さ低下率 ・引張強さ低下率 ・伸び率低下率
環境遮断性	硫酸溶液浸せき試験	<ul style="list-style-type: none"> ・硫黄侵入深さ ・質量変化
接着安定性	温水浸せき試験	<ul style="list-style-type: none"> ・外観変化 ・引き剥がし強さ低下率 ・接着強さ低下率
施工の完全性		<ul style="list-style-type: none"> ・ピンホールテスト

2.4 新しいシートライニング材料の開発

シートライニング材は、防食効果が高いため、腐食環境が厳しく点検・補修が困難な場所に使われる工法であるが、比較的高価であった。これまでのシートライニング材は、その価格に見合うだけの寿命が評価されているとは言い難いのが現状であった。従って、これらの評価方法の確立とともに、防食効果はそのままにより経済的に安価なシートライニング材の開発が望まれている。また、シートライニング材のもう一つの弱点は施工性の悪さであり、施工性の向上も技術的課題となっていた。本研究ではこれらの現状から、次の2種類の新たなシート

ライニング材の開発を目指している。

(1) FRP引抜成形材を利用したシートライニング材

FRPはこれまでもシートライニング材に用いられたこともある、耐食性に優れた素材である。本研究では引抜成形法によるFRPを使用することで、比較的安価に高品質なものを得ることを目指した。また、FRPのみによりシートを作ることにより軽量化を図り、施工性を向上させることが期待できる。

(2) チタン板（箔）を利用したシートライニング材

チタンはpH1程度の硫酸に侵されず、酸の浸透もないため長寿命が期待できる。また薄膜で用いれば十分に軽量であるため、施工性も向上させることができると期待できる。

2. 4. 1 FRP引抜成形材を利用したシートライニング材

(1) 要求性能と試験方法

シートライニング材に求められる要求性能を検討した結果を表-6にまとめた。また、これに加えて、FRP単体の耐環境性を調べるために、硫酸浸せき前後の引張及び曲げ試験を評価項目とした。固着強度の測定方法の概略を、図-3に示す。平成14年度は試作したシートライニング材の素材を用いて、表-6の試験項目について予備試験を行った。

表-6 シートライニング材の要求性能

浸せき試験前の性能	環境	項目	試験方法		要求性能
コンクリートとの 一体性：建研式 0.24N/mm^2 以上であること 透水性： JIS A1404 11、透水量が0gであること	pH0の硫酸溶液 (チタンはpH1)	耐酸性	変色、軟化、スケーリングの有無、析出物の有無、膨張の有無、ひび割れの有無、質量変化		外観異常なし
		硫黄侵入 深さ	シート部	温度40℃に浸せき60日後EDSまたはEPMA	被覆厚さの1%未満
			目地部	温度40℃に浸せき60日後EDSまたはEPMA	被覆厚さの5%未満
		耐アルカリ性	水酸化カルシウム飽和水溶液(温度40℃)に浸せき60日後外観観察		異常なし
			5%水酸化カルシウム飽和水溶液(温度40℃)に浸せき60日後外観観察		異常なし
		遮蔽性 透水性	透水試験：JIS A1404 11		透水量が0gであること
固着強度	温度40℃に浸せき60日間				

(2) 試験の結果（中間報告）

浸せき試験前の素材の物性試験結果を表-7に示す。透水試験は、シートの一般部では問題がなかったが、接合部（シートとシートの継ぎ目部分）では供試体を測定機器に装着する際に破損する場合があったため、測定方法を工夫する必要がある。一般部の固着試験（最大強度）はモルタルの水/セメント比の違いには有意差は認められなかった。

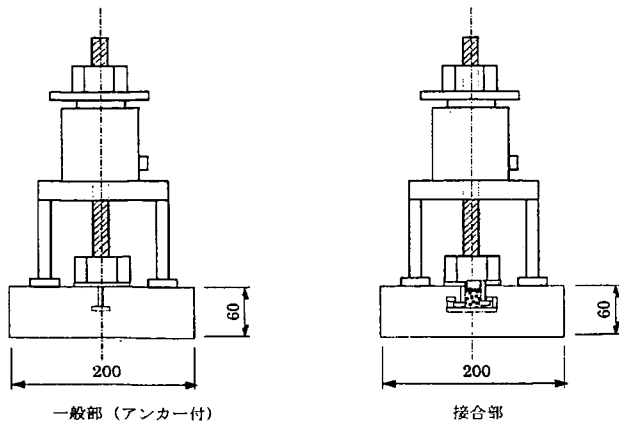


図-3 シートライニング材の固着試験方法

表-7 シートライニング材(未劣化)の試験結果

試験項目	試験結果	
単位体積質量	1.70g/cm ³	
バーコル硬さ	42~47	
曲げ強さ	312MPa	
透水試験(一般部)	0.17,-0.09,-0.01g	
透水試験(接合部)	0.34,3.80,8.39g	
固着試験 (最大荷重)	一般部(モルタル W/C0.4)	2.36kN
	一般部(モルタル W/C0.5)	1.97kN
	一般部(モルタル W/C0.6)	1.67kN
	接合部	3.50kN

2. 4. 2 チタン板(箔)を利用したシートライニング材

チタンを鋼材表面の防食に用いる防食技術の開発が進んでいるが、下水処理施設コンクリート表面の防食には一部の用途を除き適用されていない。本研究ではチタン板(箔)を用いてコンクリート表面を防食する技術を開発する。本防食材料は、シートライニング材の一種であるので、その要求性能は表-6と同様である。主な技術開発項目は、①コンクリートへの接着方法、②継ぎ目部分の処理の2つである。コンクリートへの接着は、湿潤コンクリート面に施工した場合でも、十分な接着力(0.24MPa)を確保できる最適な粘着テープ或いは接着剤を探索する必要がある。また、図-4のような、酸による劣化が懸念される継ぎ目部分の耐酸性、耐水性を評価する必要がある。また、図-5に示すような継ぎ目部分を溶接する方法も検討する。

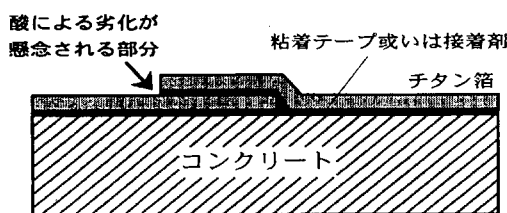


図-4 チタン板(箔)の継ぎ目部分の耐酸性

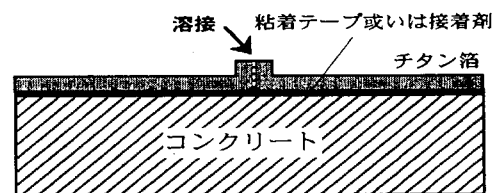


図-5 チタン板(箔)の溶接

3. まとめ

平成14年度から要求性能を満たす材料・補修技術開発できる組織・機関の公募による「下水処理施設のコンクリート補修材料に関する共同研究」を開始し、本研究をより効率的に実施することとした。①腐食環境の比較的穏やかな条件における耐酸性モルタルの適用性、②塗布型ライニング材の信頼性・性能向上、③新しいシートライニング材の開発の、3種類の下水処理施設補修材料について、求められる要求性能とその評価方法を検討した。また、可能な材料については材料や施工方法の開発にも一部着手した。

参考文献

- 1) 堀江 悟他 「凍結防止剤散布環境下で複合要因による損傷を受けたコンクリートの塗装材料検討」コンクリート工学 Vol. 40, No. 3, pp. 43-52 (2002. 3)