

[1140] 高密度ポリエチレン製シートを用いた防食工法の開発

豊川孝生^{*1}・西村清一^{*2}・山中治明^{*3}

1. はじめに

わが国においても下水道人口普及率が50%近くになり、多くの下水処理施設が稼動するようになった。それに伴い下水処理の過程で発生する硫化水素から生成された硫酸によって、下水処理施設のコンクリートが腐食される事例が多く報告されるようになり、それらに対する防食の重要性が提起されている[1][2]。

これらの問題に対処するため、多数の突起を千鳥状に配置した高密度ポリエチレン製シートを使用したコンクリート表面の防食被覆工法を開発したので、ここに報告するものである。

高密度ポリエチレンは各種容器、絶縁材料、水道配管等に広く使われており、酸やアルカリに強く、化学的安定性に優れた材料である。本工法は、従来の塗布防食工法のようにコンクリート硬化後の表面に塗付するのではなく、コンクリート打設前に型枠に取り付け、コンクリート打設・硬化の後、型枠を脱型すればコンクリート表面に防食層が完成する工法である。

2. 高密度ポリエチレン製防食シートの形状

高密度ポリエチレン製防食シートは図-1および写真-1に示すように、シートの裏面にハの字形の突起を一体成形したものである。シートの大きさは2.0m×2.9m(2mm厚)および1.5m×2.9m(3mm厚)である。

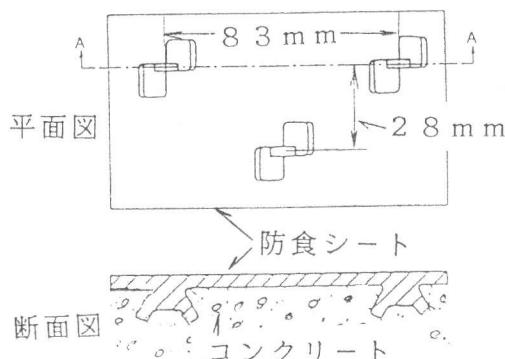


図-1 防食シートの形状

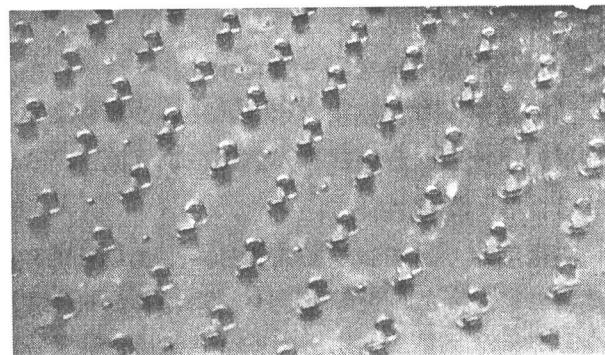


写真-1 防食シートの形状

3. 高密度ポリエチレン製防食シートの基礎物性

高密度ポリエチレン製防食シートの基礎物性を明らかにするため、耐薬品性試験、耐摩耗性試験および溶接試験を行った。

3. 1 耐薬品性

「JIS-K6761 一般用ポリエチレン管」浸せき試験（各濃度の試験液に60±2 °Cで 5時間浸せき）

*1 (株) 大林組 技術研究所土木第3研究室 主任研究員 工修（正会員）

*2 (株) 大林組 技術研究所 コンサルタント第1部 課長

*3 タキロン（株） エンジニアリング事業部 技術部長

した後の単位面積あたりの質量変化を求める)、「JIS K 6763 水道用ポリエチレン管継手」溶解試験(供試水中に試験片を入れ、蓋をして24時間静置した後、供試水を分析・試験する)および耐オゾン性試験(濃度7.6%、流量50mℓ/minのオゾンを水中に吹込み、各材料(70mm×150mm×3mm)の板厚減量を求める)を行った。試験結果を表-1、表-2および図-2に示す。

表-1 浸せき試験結果 (mg/cm²)

試験液	判定基準	試験結果
塩化カリウム溶液	± 0.05	- 0.00
硫酸溶液	± 0.05	- 0.01
硝酸溶液	± 0.10	+ 0.01
水酸化カリウム溶液	± 0.05	- 0.02
エチルアルコール	± 0.40	+ 0.09

表-2 ポリエチレン管継手溶解試験結果

試験項目	判定基準	試験結果
濁度	0.5度以下	0.5度以下
色度	1.0度以下	1.0度以下
過マンガン酸カリ消費量	2mg/ℓ以下	0.6mg/ℓ
残留塩素の減量	1ppm以下	0.5ppm
臭気および味	異常ないこと	異常なし

試験結果より、高密度ポリエチレン製防食シートは一般用ポリエチレン管および水道用ポリエチレン管継手の浸せき・溶解試験の規格に適合するもので、しかも耐オゾン性に優れているといえる。

3. 2 耐摩耗性

下水処理施設に流入する土砂等による防食層の摩耗を考慮して「JIS K 7204 耐摩耗性試験」(回転速度60RPM、荷重1000gf、回転数1000回転)を行った。なお、比較のため硬質塩化ビニル板、ガラス繊維強化ポリエステル、コンクリート(呼び強度210)についても試験した。試験結果を図-3に示す。

試験結果より、高密度ポリエチレン製防食シートは他材料に比べ、耐摩耗性が高いといえる。

3. 3 溶接性能

高密度ポリエチレン製防食シートの接合方法は溶接によることを原則としており、溶接性能は本工法の性能を左右する重要な要素である。高密度ポリエチレン製シートの溶接性能を明らかにするため、溶接強度試験および溶接部の透水試験を行った。

(1) 溶接強度

シート厚さ2mm、および3mmに対し、シートの突合せ間隔を0mm~20mmに変化させ、モルタル固定供試体(450mm×320mm×30mm、個数各1個)を作製した。モルタル硬化の後、押出し溶接機を使用し、下向き(床面想定)、横向き(壁面想定、方向はX(左右方向)、Y(上下方向))でシートの溶接を行った。溶接後、モルタル固定供試体をコンクリートカッターで切断した後、モルタルを取り除き、シート溶接部の引張強度試験(供試体寸法25mm×70mm、個数各3本)を行った。試験結果を図-4に示す。

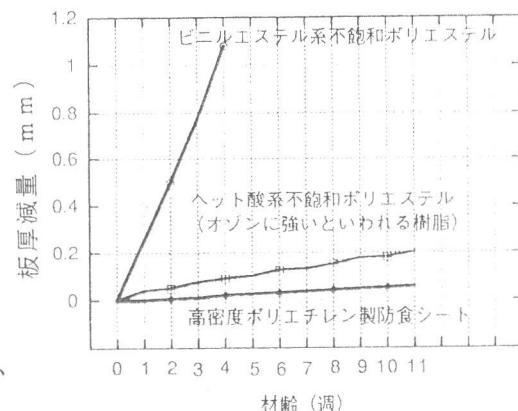


図-2 オゾンによる板厚減量

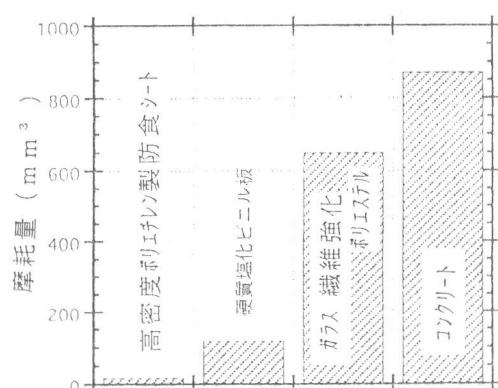


図-3 耐摩耗性試験結果

① 突き合わせ間隔の影響

シート厚さ 3mmの場合、溶接方向〔横〕では、突き合わせ間隔が狭くなると強度が小さくなる傾向が認められるが、溶接方向〔下〕では突き合わせ間隔 3mmの強度が大きくなつた。溶着強度の平均値はシート母材の引張強度(200kgf/cm²)の93%となつた。

シート厚さ 2mmの場合、すべて母材引張強度(190kgf/cm²)と同等以上の強度を示した。

② 溶接方向の影響

シート厚さ 3mm、 2mmとも溶接方向による引張強度に大きな差異は認められなかつた。

(2) 溶接部の止水性

シート溶接部の止水性について検討するため、型枠組立て用穴の補修部、突き合わせ溶接部、突き合わせ用治具溶接部の試験体(寸法 $\phi 150\text{mm} \times 40\text{mm}$)を作製し、「JIS A 1404 建築用セメント防水剤の試験方法」に準じて透水試験を行つた。試験はシート面側から 2 kgf/cm² の水圧を2時間かけ、透水量および水圧変化を計測したが、水圧変化および透水は認められなかつた。

以上の結果、押出し溶接によれば、突き合わせ間隔が0mm ~20mmであれば溶接方向にかかわらず母材引張強度の90%程度の溶接強度が確保でき、しかも十分な止水性を有するものと考える。

4. コンクリート固着供試体の性能

高密度ポリエチレン製防食シートはシートと一体成型された突起がコンクリートに食込み、コンクリートと一体化する構造となつてゐる。そのため、付着ではなく、固着と表現することにした。

4. 1 固着強度に及ぼすシートの設置方向、コンクリート配合の影響

コンクリートの配合、シートの設置方向の影響を見るため、シートの設置方向を縦置き(壁を想定 シート縦使い)、横置き(壁を想定 シート横使い)、平置き(天井を想定)の3つのケースについて、固着強度試験を行つた。使用配合および圧縮強度を表-3に示す。

表-3 コンクリートの配合および圧縮強度

呼称	スランプ (cm)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					圧縮強度 (材齢28日) (kgf/cm ²)
			W	C	S	G	混和剤	
210-12	12	60	172	287	744	1019	0.718	306
210-21	21	60	205	342	811	884	0.855	308
300-12	12	47	175	372	746	1003	0.930	454

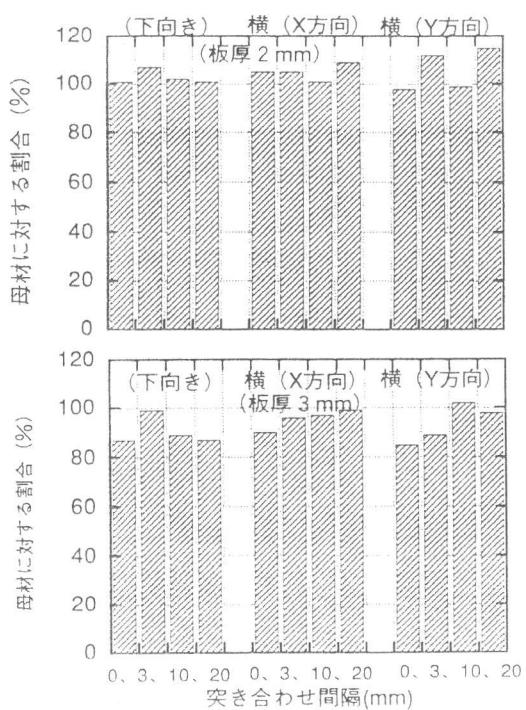


図-4 溶接強度試験結果

(1) 試験方法

ネジ頭をシートの突起側とし、シート(150mm×150mm)を貫通してネジを24本設置した後、コンクリートを打設し供試体を作製した。試験は写真-2に示す直接引張方式で行った。

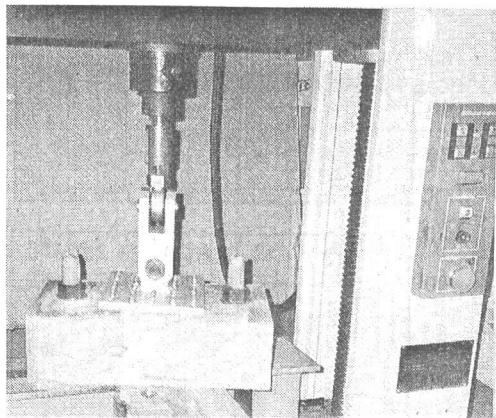


写真-2 固着強度試験方法

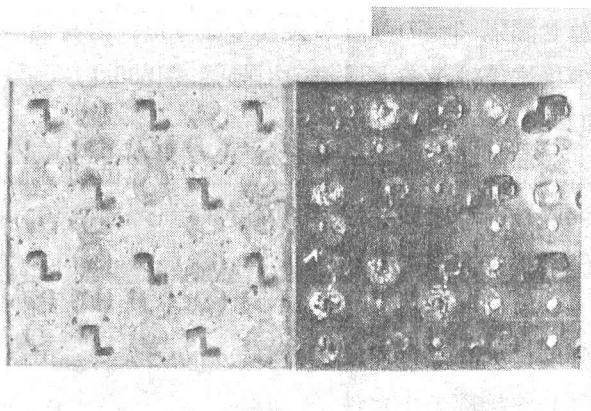


写真-3 シートの抜け出し状況

(2) 固着強度試験結果

①シートの設置方向の影響

シートの設置方向と最大引抜き荷重との関係を図-5に示す。

配合210-12の場合、平置きした場合の突起1個あたりの最大荷重が63kgfに対し、縦置き(壁を想定 シート縦使い)した場合には51kgf(81%)、横置き(壁を想定 シート横使い)した場合には41kgf(66%)の値を示した。また、配合が異なる場合にもほぼ同様な傾向を示した。

②配合の影響

配合210-12に比べてスランプが大きい配合210-21もほぼ同じ引抜き荷重を示した。また、コンクリート強度が大きくなると(配合300-12)、縦および横置きの引抜き荷重は大きくなつたが、平置きの場合はあまり大きくならなかった。

③シートの抜け出し状況

固着強度試験の後、コンクリート面からのシート突起部の抜け出し状況を調査の結果、シート突起部分の割れや切断、シートの破れ等は認められなかつたが、突起の付け根部のコンクリートの厚さの薄い部分が一部はがれてシートが抜け出した状況が観察された。(写真-3)

4.2 床面固着強度に及ぼすモルタル材料の影響

床面施工ではブリーディングの影響を受けやすいと考えられるため、使用材料を変化させて固着強度を求めた。使用モルタルの配合を表-4に示す。

表-4 モルタル配合および圧縮強度

モルタル の種類	骨材最 大寸法 (mm)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)					圧縮強度 (材齢28日) (kgf/cm ²)
			W	C	S	ブリーディング 抑制剤	混和剤	
一般モルタル	5	60	234	389	1559	0	0.97	188
ノンブリーディングモルタル	5	60	234	389	1559	0.7	11.67	168
ポリマーセメントモルタル	5	48	229	459	1376	0	15.9	264

(1) 供試体の作製

シート突起部を下に向けて型枠上部に固定した状態でモルタルを打設し、モルタルがシート上面に被った状態で硬化させた。

(2) 固着強度試験結果

①モルタル材料の影響

固着強度試験結果を図-6に示す。

床面施工の場合、ブリーディングがシートの突起部に溜ると固着強度が小さくなることが予測される。普通モルタルに対し、ブリーディング抑制剤を添加したものは1.3倍の引抜き荷重を示した。また、ポリマーセメントモルタルは圧縮強度が普通モルタルより高い(1.4倍)にも関わらず、引抜き荷重は普通モルタルの85%となった。試験後の剥れ面の観察では、ポリマーセメントモルタルではシート下面に砂分の全くない部分が認められ、ブリーディングとともに上昇したポリマー分がシート突起とモルタルとの接触部に溜り、固着を阻害したことが原因と考えられる。

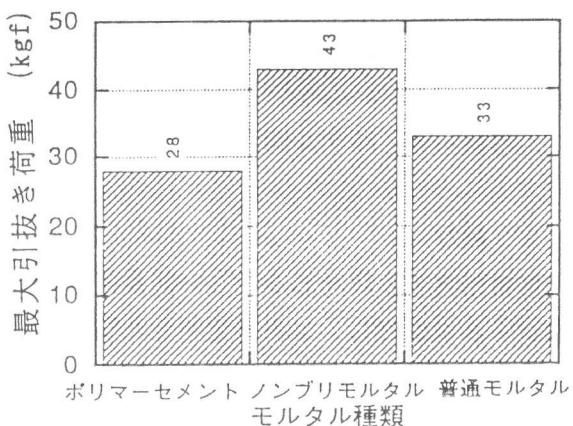
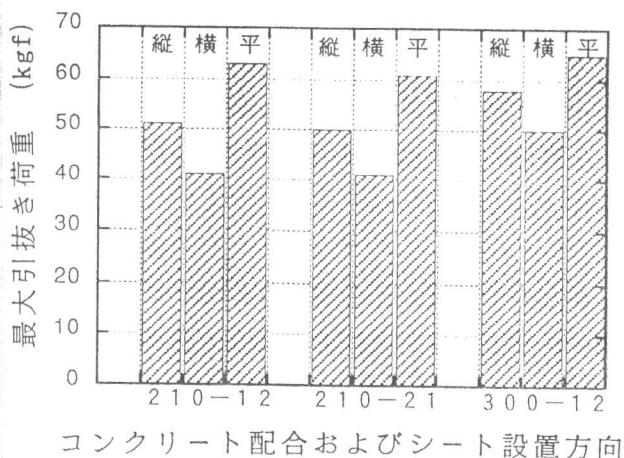


図-5 シート設置方向と固着強度の関係 図-6 固着強度に及ぼすモルタル材料の影響

5. 現場適用性の確認

5. 1 某ホテル合併処理施設汚泥貯留槽防食工事

2.3m×6.2m×4.3m(深さ)の汚泥貯留槽(防食面積約120m²)の内面防食工事に、高密度ポリエチレン製防食シートを適用した。施工は以下の手順で行った。

- ①型枠の製作：シート幅(1.5m)にあわせて型枠を製作し、両面テープでシートを仮止めした。
- ②Pコンの取付け：型枠組立て用とシートの型枠への固定を兼ねてPコンを型枠に取付けた。
- ③型枠の建込み：配筋後、シートを取付けた型枠を建て込み、組立てた。
- ④天井部型枠およびシートの設置：天井部の型枠を組立て後、シートの設置を行った。なお、施工性を考慮して、天井部の溶接をこの時点で行った。溶接終了後、鉄筋の組立てを行った。
- ⑤コンクリート打設：壁部および天井部のコンクリートを打設した。
- ⑥型枠の脱型：シートに傷がつかないよう配慮して型枠の脱型を行った。
- ⑦底面の防食：モルタルを敷き均し、ブリーディングの終了を待ってシートを敷き並べた。シートの平坦性を確認の後、シート上面に板を置き、重石を載せて養生を行った。
- ⑧溶接および検査：シート間の突き合わせ部、およびPコンの取付け部を押し出し溶接機で溶接し

た。また、ピンホールテスターを使用し、溶接が完全に行われたことを確認した。

5. 2 某発電所廃水処理槽中和槽防食工事

2.3m×4.9m×4.6m（深さ）の最終中和槽（防食面積約120m²）の防食工事に高密度ポリエチレン製防食シートを適用した。本工事も先のホテルの汚泥貯留槽とほぼ同じ手順で施工したが、先の工事ではシートの大きさに合わせて型枠パネルを製作したのに比べ、本工事では写真-5に示すような各壁面の大型パネルを製作し、シートを貼り付けた後、建て込む方式を採用した。

両現場への適用の結果、施工性、防食性とも優れた工法であることが確認できた。

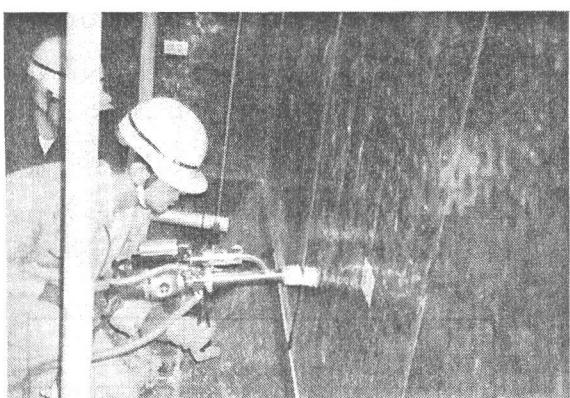


写真-4 ホテル汚泥貯留槽溶接状況



写真-5 発電所中和槽で採用した大型パネル

6. 結び

塗布防食工法にかわる新しい防食工法として、多数の千鳥状突起を有する高密度ポリエチレン製シートを開発し、これを使用した防食工法に関する基礎実験および実現場への適用を行った。得られた成果を整理すると以下のようになる。

- ①高密度ポリエチレン製防食シートは、水道用のポリエチレン管継手の規格等に適合した安全性の高いもので、しかも耐オゾン性に優れたものである。
- ②シートの耐摩耗性試験における摩耗量は硬質塩化ビニルの1/6、ガラス繊維補強ポリエステルの1/35、コンクリートの1/47と小さく、耐摩耗性に優れている。
- ③シート間の接合は溶接によって行うが、押出し溶接機を使用すればシート母材の引張強度の90%以上の溶接強度が得られ、また止水性も高い。
- ④固着強度試験における破壊は突起の抜け出しにより生じ、シートの破れ、突起の切断等はない。
- ⑤ブリーディング抑止剤の使用は床面施工時の固着強度改善に効果的である。
- ⑥現場適用の結果、十分な施工性を有することが確認できた。

以上のように高密度ポリエチレン製防食工法は施工性および防食性に優れた工法で、今後ますます増大するであろう下水処理施設の防食工法として究めて有望な工法と考えられる。

参考文献

- 1) 中本至：下水道施設におけるコンクリート構造物の化学的劣化、土木学会論文集、No.472/V-20, pp.1-11, 1993.8
- 2) 浦上良樹・村上光正・柘植巳一：農業集落配水施設におけるコンクリート腐食、農業土木学会誌、第61巻、第2号、pp.119-124、1993.2