

ポリウレタンエラストマーによる繊維シート保護被覆

The protection coating by Polyurethane Elastomer on the reinforcing fiber sheet layer for earthquake-proof

北海道開発局 札幌開発建設部
北海道開発局 開発土木研究所
(株)土木技術コンサルタント
武田薬品工業(株)

正員
正員
○正員

中島 燈 (Tomoru Nakajima)
中井健司 (Kenji Nakai)
三好章人 (Akihito Miyoshi)
竹ノ内信一郎 (Shinichiro Takenouchi)

1. まえがき

コンクリート構造物の耐震補強工において、炭素繊維やアラミド繊維からなるシートにエポキシ樹脂を含浸、巻き立てする場合、水・紫外線などの劣化因子や衝撃・摩耗といった外力に対してなんらかの保護工を行わなければならない。現在までに使用実績のある保護材として、フッ素塗料などの高耐候塗料や、各種のポリマーを混和剤として配合したセメントモルタルなどが挙げられる^{1),2)}。

跨線橋橋脚などが保護の対象となる場合、上に挙げた保護被覆工で施工上もあるいは性能上も問題はなく、繊維シートの保護という目的は十分に達成出来ているものと思われる。しかしながら、対象が河川橋の場合、特に河道内に橋脚がある場合は、流木・漂砂(石)などの衝突による衝撃、摩耗などの外力に耐えうる保護材を使用する必要がある。先に挙げた従来の保護被覆材料ではこれら外力に対して高度な耐久性を有しているとは言い難い。

そこで我々は特に躯体ムーブメント追従性や耐摩耗性に優れ、衝撃反発係数が高く、なおかつ施工においても重機などを必要としないで均一な厚みの保護被膜を短時間で形成出来る無溶剤型ポリウレタンエラストマーによる被覆を検討することになった³⁾。

本報告では、河川橋橋脚の保護被覆を想定して、上記のポリウレタンエラストマーの諸性能について検討した結果を示す。さらに、国道274号瑞穂橋(夕張市)において、このポリウレタンエラストマーを保護材として使用した工事内容についてまとめた。

2. 無溶剤型ポリウレタンエラストマーの概要

2.1 施工システム

無溶剤型ポリウレタンエラストマーは表-1に示す2成分ポリウレタン原液を図-1に示す専用の混合機を用いて吹き付け、得られるものである。

2.2 特長および基本性能

無溶剤型ポリウレタンエラストマーの基本物理性能について表-2に示す。また、このシステムおよびエラストマーの性能上の特長としては以下のことが挙げられる。

(1)超速硬化型である

吹き付け後瞬時に硬化が始まり、垂直面でも均一な被覆が可能である。また、低温雰囲気下においても実用強度の発現が極めて速く、大幅な工期短縮が可能である。さらに任意の膜厚で被覆が可能であり、あらゆる形状の躯体に対してシームレスな被覆層を形成する。

(2)安全性が高い

原液には有機溶剤を全く含んでいないため、施工環境を汚染しない。

(3)強靱で耐摩耗性に優れる

硬化したエラストマーは物理強度が高く、かつ柔軟性が高いため、躯体ムーブメントへの追従性が高い。特に耐衝撃性、

耐摩耗性に優れている。

表-1 材料構成

内容	A 成分	B 成分
	NCO 末端ポリウレタンプレポリマー	特殊混合レジン
外観	淡黄色透明液体	着色液体
粘度(mPa.s,25℃)	500	500
不揮発分(%)	100	100
比重	1.06	1.04
混合比(Vol)	100	100

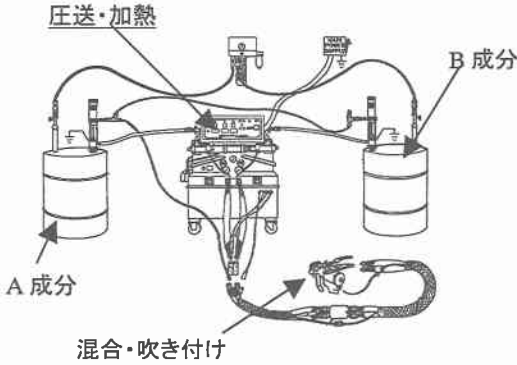


図-1 施工システムの一例

表-2 無溶剤型ポリウレタンエラストマーの基本性能

項目	試験結果	試験方法
硬度 Hs(JIS A)	76	JIS K 6301
100%Mo(MPa)	4.1	
300%Mo(MPa)	6.6	
引張強さ(MPa)	12.0	JIS A 6021
伸び率(%)	600	JIS A 6021
引裂強さ(N/mm)	60.0	JIS A 6021
抗張積(N/cm)	14112	JIS A 6021

2.3 外力に対する耐久性

河道内橋脚において保護被覆を行った場合に想定される外力としては流木・漂砂による衝撃、摩耗が挙げられる。さらには高度の耐水性、耐候性が必要であると考えられる。

以下に無溶剤型ポリウレタンエラストマーのこれら外力に対する耐久性について調べた結果を示す。なお、ここではアクリルポリマー含有セメントモルタル、およびコンクリートを比較対象として用いた。

(1)耐摩耗性

JIS K 7204(デーバー式、H-22 摩耗輪)による摩耗試験の結果を図-2に示す。ここで2種類のポリマーセメントモルタル

(PCM)について同時に検討を行ったが、これらと比較すると無溶剤型ポリウレタンエラストマーはおよそ 15～20 倍程度の耐摩耗性を有していると言える。

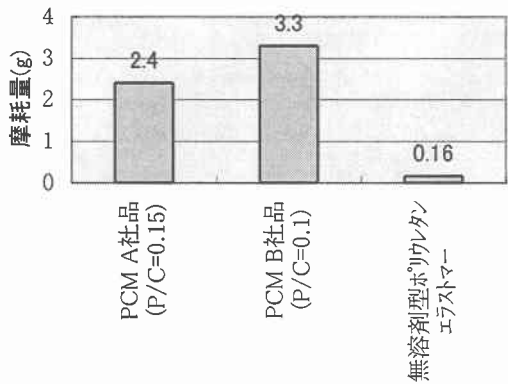


図-2 各保護材料の耐摩耗性

(2)反発弾性

JIS K 6255(リュプケ式)による反発弾性率の測定結果を図-3 に示す。ここでは、PCM、鋼板およびアラミド繊維シートにエポキシ樹脂を含浸硬化させたもの(FRE)について同時に検討を行ったが、これらと比較すると無溶剤型ポリウレタンエラストマーは衝突エネルギーの吸収性能が極めて高い材料であるといえる。

この試験は対象となる各種被覆材料に質量 0.35 kg の鋼球を速度 1.40 m/sec.で衝突させるものであり、反発弾性率は衝突前後における鋼球面の運動エネルギー比で示している。したがって反発弾性率が高いほど被覆材料に与える衝突エネルギーが小さいことを示している。したがって無溶剤型ポリウレタンエラストマーは河道部など水中における砂、石あるいは流木などの衝突に対しても高い耐久性を有していると考えられる。

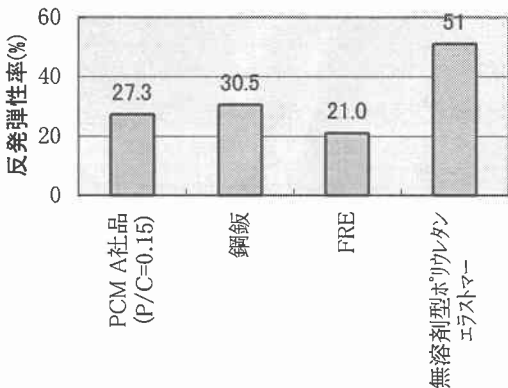


図-3 各種素材の反発弾性係数

(3)耐水性

無溶剤型ポリウレタンエラストマーを 60℃ 温水(劣化促進条件)に浸漬した際の物理強度変化について図-4 に示す。この結果から無溶剤型ポリウレタンエラストマーは長時間にわたって水中に浸漬された状態でも性能の低下は起こらないと言える。

(4)耐候性

無溶剤型ポリウレタンエラストマーをサンシャインカーボンアークウェザーオメータ(ブラックパネル温度 63±3℃、スプレーサイクル 120 分中 18 分)にて促進曝露を行った際の物理強度変化について図-5 に示す。この試験で 2000 時間の曝露は屋外自然曝露のおよそ 8～10 年に相当する時間である。この結果から無溶剤型ポリウレタンエラストマーはこのような長

時間の屋外曝露においても物理性能の低下は起こらないと言える。

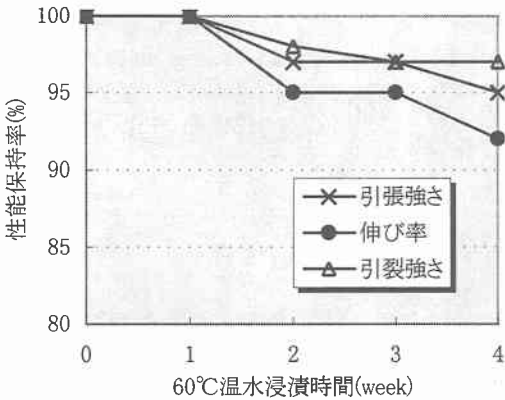


図-4 無溶剤型ポリウレタンの耐水性

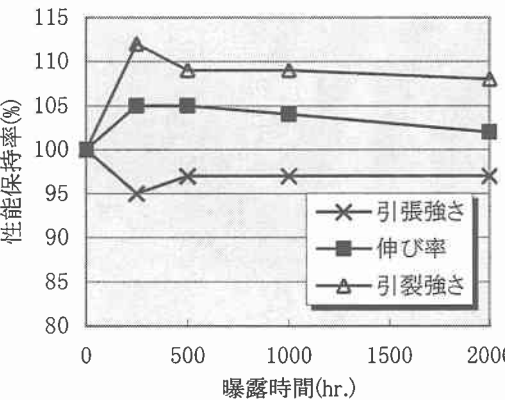


図-5 無溶剤型ポリウレタンの耐候性

3.実際の仕様を想定した各種耐久性試験

次に実際の仕様、すなわち繊維シートにエポキシ樹脂を含浸透、硬化させた耐震補強層上に、保護被覆層として無溶剤型ポリウレタンエラストマーを積層した複合層に関して、耐久性の確認を行った。今回は補強繊維シートとしてアラミド繊維シートを用い、これと保護ウレタン層との接着性、実際の河道部を想定した耐衝撃性について確認を行った。

3.1 接着性

試験体および試験手順は以下のとおり行った。まず 25℃室内でアラミド繊維シートにエポキシ樹脂 1.0 kg/m²を含浸し、24 hr. 硬化養生を行う。この上に各種のプライマー(ウレタン系 2 種類、エポキシ系 1 種類、およびプライマーなし)を塗布し、さらに 24 hr. 乾燥養生させる。この上に無溶剤型ポリウレタンエラストマーを厚さ 2 mm で塗布し、24 hr. 硬化養生を行う。このようにして得られた複合体シートを幅 25 mm の短冊状に裁断し、図-6 に示す形で 180 度剥離試験(引張速度 50 mm/min.)を行い、接着強度、剥離界面状況について確認を行った。さらに河道内では長時間水中浸漬された状態も想定する必要があることから、この試験体を 60℃温水中(劣化促進条件)に 4 週間浸漬した後に同様の試験を行い、接着力の耐水性についても調べた。

ここではアラミド繊維シート層と保護ウレタン層間に使用するプライマーの選定を兼ねて試験を実施した。結果は図-7 に示すとおりであり、ウレタン樹脂系プライマーを使用した場合、常態接着強度は高いが、水浸漬によって低下が認められた。また、エポキシ樹脂系プライマーを使用した場合は、水浸漬に

よる接着性低下は起こらないが、常態接着強度が低い結果であった。今回の試験では、プライマーを全く使用しない系において、温水浸漬後も接着性の低下は認められず良好な結果であった。



図-6 接着試験状況

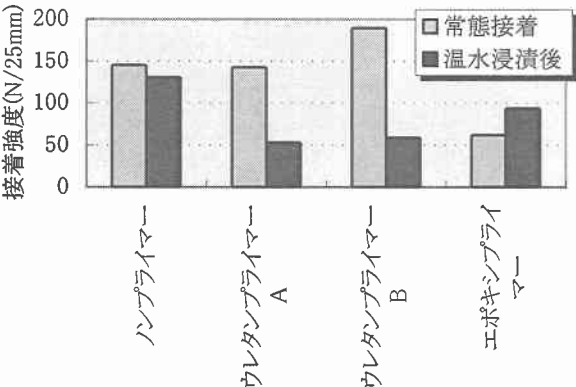


図-7 耐震補強層との接着性

3.2 耐衝撃(衝突摩耗)性

試験体は以下の手順で作成した。
 25℃室内で、予めプライマー処理を行ったコンクリート板(300×300×60mm)にエポキシ樹脂 0.4 kg/m² を塗布し、アラミド繊維シートを貼り付け、固定する。続けてこの上に、同じエポキシ樹脂を 0.4 kg/m² 塗布、含浸させ、24 hr. 硬化養生を行ない、耐震補強層を形成した。さらに、この上に無溶剤型ポリウレタンエラストマーを塗布、保護層を形成した。ここで保護層の膜厚としては 2 mm および 5 mm の 2 種類とした。また、耐震補強層と保護層の中間プライマーは 3.1 に示す結果から、用いる必要はないと判断した。また比較のために、保護材料なし(アラミド繊維シート露出)、および 30 mm 厚さのポリマーセメントモルタル(アクリル混和剤、ピニロン繊維混入)を保護材料として用いた試験体も作成した。

以上のようにして作成した試験体の上に表-3 に示す各種の物体を繰り返し自然落下・衝突させて、その損傷の度合いを調べた。落下高さとしては通常の河川において石、木などが流れうる最大(～10 m/sec.)を想定し、2 m と 5 m 高さからの繰り返し落下とした。試験の状況を図-8 に示す。

表-3 落下衝撃試験 落下物			
	形状	1 個あたり重量	備考
石	丸	7kg	1 個落下
M40 ナット	鋭利	0.35kg	多数個落下

試験の結果を表-4 および図-9 に示す。
 無溶剤型ポリウレタンエラストマーは厚さ 2 mm の試験体にお

いて、先端が鋭利な衝突物の場合に若干の損傷が認められたが、繊維シート層には損傷が認められなかった。厚さ 5 mm の場合には衝突物の形状、重量、衝突速度に関係なく、破断、剥離などは認められず、繊維シートにも損傷はないものと推測される。一方、ポリマーセメントモルタルを保護材として用いた試験体においては、特に先端の鋭利な物体が繰り返し衝突した場合の摩耗が顕著であった。

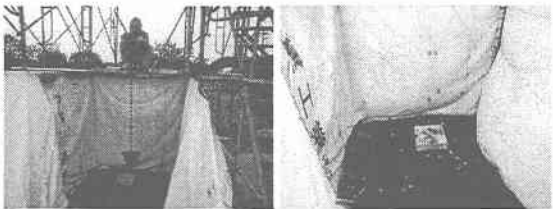


図-8 衝撃落下試験状況

表-4 衝突落下試験結果			
保護材料	落下物	落下高さ	結果
PU(2mm)	石(1 個)	2m	10 回表面擦過傷
	ナット(50 個)	5m	10 回部分的に貫通
PU(5mm)	ナット(50 個)	5m	10 回貫通傷なし
PCM(30mm)	石(1 個)	2m	5 回割れ・剥離
	ナット(50 個)	5m	6 回摩耗顕著
なし	ナット(50 個)	5m	5 回繊維破断顕著

PU; 無溶剤型ポリウレタンエラストマー

PCM; ポリマーセメントモルタル

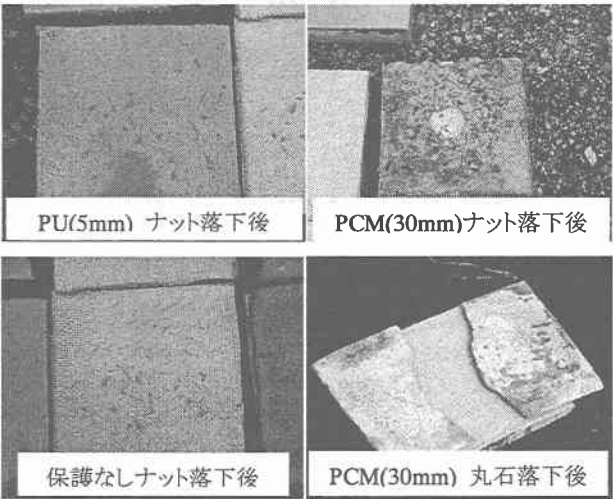


図-9 衝突落下試験結果

4. 施工例

以上に示した一連の試験結果より、無溶剤型ポリウレタンエラストマーは繊維シート補強層の保護材料としての適用性が高いと判断される。次に、実際の施工例を紹介する。

4.1 工事の概要および仕様

工事は国道 274 号瑞穂橋で実施した。本橋は河川橋であり、耐震補強工を実施した 4 本の橋脚のうち 3 本は常時河道内にある。

図-10 は実際の施工仕様を示したものである。耐震補強層はアラミド繊維シートにエポキシ樹脂を含浸・硬化させたものであり、この上に無溶剤型ポリウレタンエラストマーを塗布・被

覆を行った。ここで保護ウレタン層の厚さは、実施した接着性および耐衝撃性試験の結果から、2 mm で十分な保護機能を満足すると考えられたが、膜厚が厚い方が、衝撃吸収性能が高く、衝突摩耗性においても有利であり、また最初の現場実施例ということで、安全サイドを考慮し 5 mm 厚被覆とした。また、2.3(4)の検討で、無溶剤型ポリウレタンは紫外線照射によっても性能低下は認められなかったが、外観上ウレタン樹脂特有の黄変色を起こすため、これを防止するためにアクリルウレタン系の保護塗料を用いることにした。

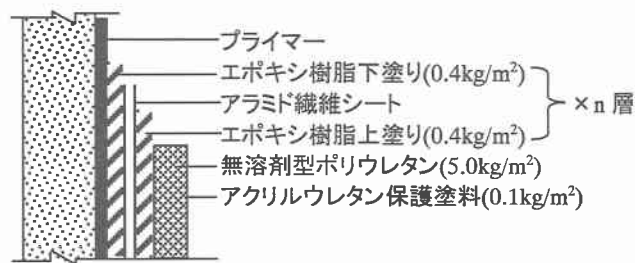


図-10 施工例 仕様

4.2 工事状況

図-11、図-12 に工事の状況を示す。施工時の外気温は $-14 \sim -10^{\circ}\text{C}$ であったが、塗布時は足場を設置した上にシートで覆い、ジェットヒーターを用いて約 10°C の防寒対策を行った。無溶剤型ポリウレタンエラストマーの施工日数としては、橋脚 2 本を 1 日のペースで吹き付け塗布、埋め戻しまでの養生日数はおよそ 3 日であった。



図-11 施工時の状況(足場設置)

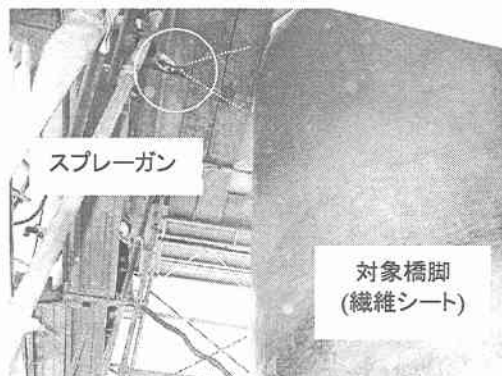


図-12 施工時の状況(ウレタン吹付け塗布)

4.3 経過状況

図-13 に施工後約 1 年経過後の状況を示す。河道内ではかなりの速度での水流が認められ、流木や石などが激しく衝

突している状況が観察された。しかしながら、ポリウレタン保護被覆層表面には損傷は認められず、良好な状態を維持していた。

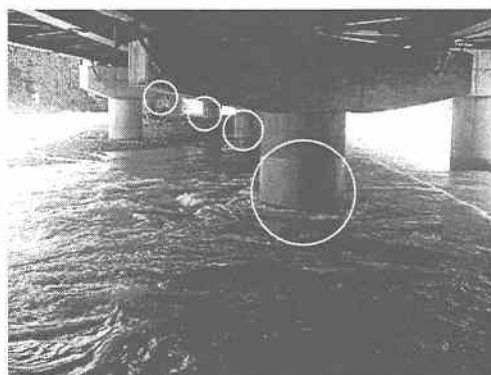


図-13 経過状況

5. まとめ

本報では繊維シートを用いた耐震補強層の表面保護被覆材として無溶剤型ポリウレタンエラストマーの適用を検討した。その結果、

- (1)長期間の水中浸漬および屋外曝露による紫外線照射によっても性能の低下が起こらない。
- (2)エポキシ樹脂を含浸・硬化させた繊維シートとの層間には、特にプライマー処理を必要とせず、水浸漬後もその接着強度は低下しない。
- (3)現在主流の保護材料であるポリマーセメントモルタルと比べて、高い耐摩耗性、耐衝撃性を有し、耐震補強繊維シートの保護という目的を十分に果たす。
- (4)施工においては重機等を使用する必要がなく、機械施工により均一な継ぎ目のない被覆を、極低温下においても短時間で行うことが出来た。
- (5)これら確認された性能は、特に河川橋橋脚の保護被覆において非常に有効である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、実施工および供試体作成、各試験の実施にはフクタカ工業(株) 小畑敏博様の協力を得ました。心よりの謝意を表します。

参考文献

- 1)渡辺裕一・佐藤貫一・小玉克巳:炭素繊維シート表面保護材としてのポリマーセメントモルタルの性状
- 2)阪神高速道路公団、日本材料学会:コンクリートの表面保護工便覧・同解説(平成元年 3 月)
- 3)小林将・今野久志・山崎久史・佐藤昌志:低温下における繰返し荷重下の速乾防水工の付着特性,土木学会北海道支部論文報告集第 53 号(A),pp.484-487
- 4)山下俊彦・佐伯浩・浅川典敬・佐藤光一・仮屋園義久:漂砂による鋼管の摩耗に関する実験的研究,海洋開発論文集 Vol.5,pp109-112
- 5)山下俊彦・佐伯浩・仙田昌功・佐藤光一・仮屋園義久:漂砂による重防食鋼管杭の摩耗特性と砂粒子の衝突エネルギー,海洋開発論文集(1991),pp.231-236