

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2888号

土木研究所資料

建設分野における新素材・新材料の 活用に関する研究報告書 (5) —シーズに関する調査(その2)—

平成2年10月

建設省土木研究所
化学研究室

Copyright © (1990) by P.W.R.I.

All rights reserved, No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

建設分野における新素材・新材料の活用 に関する研究報告書 (5)

—シーズに関する調査(その2)—

化学研究室 室長 片 脇 清
研究員 西 崎 到
元部外研究員 布 藤 誠

要 旨

新素材・新材料の開発とこれらの利用技術の開発は、我が国が将来育成すべき先端技術のひとつに位置づけられている。本報告は、土木分野への新材料の利用技術を開発する過程でとりまとめた、現在までに開発されている新素材に関する資料を、材料分野ごとにまとめたものである。本報告では、ゴム系、強化プラスチック系、塗料系の3つの材料分野についてとりまとめた。なお、本報告は利用可能性小委員会における検討内容の一部をまとめたものである。

キーワード：新素材、新材料、シーズ、ニーズ、土木分野、建設分野、ゴム、プラスチック、繊維強化プラスチック(FRP)、塗料

はじめに

新素材・新材料の開発とこれらの利用技術の開発は、我が国が将来育成すべき先端技術分野のひとつと位置づけられている。

建設分野においては、設計の合理化や施工の効率化への対応や耐久性の向上等、多様なニーズに対処することが求められている。

これらの要望に応じることができるもののひとつとして、新しい工法、新しい材料が考えられる。

近年の新素材・新材料の開発は非常に盛んに行われていて、これらの材料を建設分野へ有効利用することにより、建設技術の飛躍的向上が期待される。

以上のことから、建設省総合プロジェクト「建設事業への新素材・新材料利用技術の開発」の一環として、利用可能性小委員会（蒔田 實 委員長）では、ゴム系、強化プラスチック系、塗料系の3分野の材料について、現時点における新素材・新材料について、各業界団体（日本ゴム工業会、強化プラスチック協会、日本塗料工業会、日本土木工業会）よりヒアリングを受け、調査を行った。

本資料は、その際、実施された各業界団体からのヒアリング調査の資料をまとめたものである。

建設事業への新素材・新材料利用技術の開発
利用可能性小委員会名簿

委員長	蒔田 實	(財) 土木研究センター	参 与
委員	芹生 尚之	(社) 日本鉄鋼連盟新素材専門委員会	委員長代行
	瀧口 洋一	(社) 鋼材倶楽部土木専門委員会	委 員
	中山 紀男	(社) セメント協会材料開発専門委員会	委 員
	澤野 實	(社) 日本化学繊維協会運営委員会	副委員長
	北村 達人	(社) 強化プラスチック協会	専門委員
	森 昭久	(社) ゴム工業会土木用ゴム材料研究会	委 員
	清水 昭男	(社) 日本土木工業協会土木工事技術委員会	委 員
	福島 稔	(社) 日本塗料工業会	委 員
委託者側			
委 員	青山 俊行	建設省建設大臣官房技術調査室	技術調査官
	宮田 年耕	" 道路局企画課	課長補佐
	市川 慧	" 土木研究所地質化学部	部 長
	久楽 勝行	" " 機械施工部土質研究室	室 長
	片脇 清	" " 地質化学部化学研究室	室 長
	小林 茂敏	" " " コンクリート研究室	室 長
	山本 晃一	" " 河川部河川研究室	室 長
	藤原 稔	" " 構造橋梁部橋梁研究室	室 長
委託者側			
幹 事	西崎 到	建設省土木研究所地質化学部化学研究室	研究員
	布藤 誠	" " " "	部外研究員
受託者側			
幹 事	松村 哲男	(財) 国土開発技術研究センター	部 長
	太田 勇和	" "	次 長
	山本 親志	" "	参 事
旧委託者側			
委 員	鈴木 千輝	建設省建設大臣官房技術調査室	技術調査官
	加納 敏行	建設省河川局河川計画課	課長補佐
	小林 俊雄	" 関東地方建設局企画部	技術調整管理官
	飯島 尚	" 土木研究所企画部	先端技術開発研究官
	神崎 紘郎	" " 道路部	道路交通総括研究官
	森安 研	建設省建設大臣官房技術調査室	技術調査官
	中安 正晃	" 河川局河川計画課	課長補佐
	篠崎 明夫	" 関東地方建設局企画技術	調整管理官
	青木 佑久	" 土木研究所技術企画部先端技術	開発研究官
	柴田 正雄	" " 道路部道路交通	総括研究官
	三浦 真紀	" " 企画部	橋梁計画官

目 次

はじめに

土木用ゴム系新素材・新材料について 1

強化プラスチック系新素材・新材料について 39

塗料系新素材・新材料について 81

建設会社において開発された新素材・新材料及び 115
建設会社における材料に関するニーズ

土木用ゴム系新素材・新材料について

目 次

1	ゴム業界の概要	3
2	ゴム系材料の概要	5
2.1	ゴムとは何か	
2.2	ゴムの種類と特徴および用途	
2.3	ゴム製品の製造工程	
3	ゴム系新素材・新材料	9
3.1	熱可塑性エラストマー（TPE）	
3.2	機能性ゴム	
4	土木用材への新素材・新材料の利用可能性	12
4.1	ニーズ調査結果とゴム材料	
4.2	今後必要とされる研究項目	
5	土木分野への利用が期待される新素材・新材料の概要	16
5.1	ゴム製面状発熱体	
5.2	導電ゴム	
5.3	防音・制振材	
5.4	汚濁水拡散防止膜	
5.5	ゴム支承材	
6	ゴム材料の寿命と信頼性	30

1. ゴム業界の概要

世界のゴム業界の中で、日本はアメリカ・ソ連に次いで3番目のゴム消費国である。

(表-1・1)

しかし、日本の全製造業に占めるゴム製品製造業の比率は約1.5%であり、規模は非常に小さい。
(表-1・2)

製品別にみると、タイヤおよびチューブの構成比が非常に大で約75%あり、工業用ゴム製品の構成比は約20%という状況がここ数年続いており、ゴム業界の主な部分が自動車産業に依存している。(表-1・3, 表-1・4)

表-1・1 世界主要国の天然・合成ゴム消費量
(単位=千トン) 国際ゴム研究会

順位	国名	1984年	1985年	1986年
1	アメリカ	2,812	2,726	2,763
2	ソ連	2,150	2,200	2,335
3	日本	1,440	1,487	1,445
4	中国	613	660	710
5	西ドイツ	593	614	625
6	フランス	449	468	474
7	イタリア	380	404	418
8	ブラジル	312	333	360
9	韓国	280	326	349
10	イギリス	313	327	325
世界合計 (うち合成ゴム)		13,195 (8,965)	13,305 (8,960)	13,710 (9,290)
前年比%		106.8	100.9	103.0

表-1・2 日本のゴム製品製造業の実勢(1986年)

	事業所数 (4人以上)	事業所数 (30人以上)	従業員数 (人)	現金給与 総額 (100万円)	原材料 使用額等 (100万円)	製造品 出荷額 (100万円)	従業員1人 当り出荷額 (1,000円)	付加価値額 (100万円)
ゴム製品製造業(A)	5,862	767	167,540	557,782	1,610,335	2,965,776	17,702	1,220,071
全製造業(B)	436,004	58,347	10,892,582	35,777,972	151,189,874	254,778,520	23,390	89,291,226
A/B(%)	1.3	1.3	1.5	1.6	1.1	1.2	75.7	1.4

表-1・3 主要ゴム製品の新ゴム消費量

	1983年	1984年		1985年		1986年		1987年			1988年予想	
	ゴム量	ゴム量	前年比	ゴム量	前年比	ゴム量	前年比	ゴム量	前年比	構成比	ゴム量	前年比
自動車ク・チ	810,550	859,860	106.1	870,420	101.2	829,760	95.3	874,740	105.4	71.8	866,050	99.1
自転車ク・チ	13,490	13,480	99.9	17,930	133.0	16,490	92.0	14,270	86.5	1.2	14,600	100.0
その他	17,290	18,050	104.4	17,410	96.6	15,780	90.6	15,420	97.7	1.3	15,450	100.0
(ク・チ累計)	841,330	891,390	106.0	905,760	101.6	862,030	95.2	904,430	104.9	74.3	896,100	99.1
ゴムベルト	29,220	33,070	113.2	33,360	100.9	27,830	83.6	23,740	103.1	2.3	29,200	102.1
ゴムホース	21,100	24,180	114.6	26,950	111.5	25,990	96.4	25,470	98.0	2.1	25,600	101.2
その他の工業用品	154,370	167,060	108.2	178,530	106.9	180,130	100.9	183,960	102.1	15.1	185,700	101.9
(工業用品累計)	204,690	224,310	109.5	238,400	106.3	234,000	98.0	233,170	101.8	19.5	240,500	101.9
履物類	32,500	32,100	98.8	31,200	97.2	29,400	94.2	27,200	92.5	2.2	27,200	100.0
ゴム引布	4,600	4,500	97.8	4,200	93.3	4,200	100.0	3,940	93.8	0.3	3,650	95.1
その他のゴム製品	44,880	45,700	101.8	45,000	98.5	45,370	100.8	45,260	99.8	3.7	44,550	98.3
(その他製品累計)	81,980	82,300	100.4	80,400	97.7	78,970	98.2	76,400	96.7	6.2	75,400	98.7
ゴム製品計	1,128,000	1,193,000	106.2	1,225,000	102.3	1,175,000	95.9	1,219,000	103.7	100.0	1,212,000	99.4
ゴム工業外合計	227,000	242,000	106.6	262,000	108.3	270,000	103.1	29,500	109.2	(19.5)	302,000	102.4
合 計	1,355,000	1,440,000	106.3	1,487,000	103.3	1,445,000	97.2	1,514,000	104.8	100.0	1,514,000	100.0

表-1・4 1987年度ゴム製品の新ゴム消費量

項 目	ゴ ム 量		金 額	
	(千トン)	(%)	(10億円)	(%)
ゴム製品 合 計	1,170	100	1,900	100
タイヤ・チューブ関係	892	76.2	823	43.3
ゴム底布靴	6	0.5	93	4.9
ゴムベルト	28	2.4	77	4.0
ゴムホース	25	2.1	117	6.2
工業用ゴム製品	163	14.0	535	28.2
(内 訳)				
防振ゴム	30	2.6	116	6.1
防舷材	2	0.2	12	0.6
ゴムロール	5	0.4	29	1.5
パッキン	22	1.9	73	3.8
スポンジ製品	18	1.5	46	2.4
ゴム板	10	0.9	14	0.7
その他工業用ゴム製品	76	6.5	245	12.9
ゴム引布 (ラバーダム他)	3	0.3	10	0.5
その他のゴム製品	53	4.5	245	12.9

2. ゴム系材料の概要

2.1 ゴムとは何か

ゴム状弾性を示す高分子材料のことを一般にゴム (rubber) あるいはゴム弾性体 (elastomer) と総称し、概して次のような特色が見られる。

- ① ゴム状弾性を示す。
- ② 粘弾性を示す。
- ③ 防振・緩衝作用がある。(音や振動の伝達をやわらげる)
- ④ 温度依存性が大きい。(低温でぜい化、高温で軟化)
- ⑤ 電気絶縁性である。(導電性ゴムもある)
- ⑥ 老化現象がある。(酸素、熱、光など)
- ⑦ 加硫を必要とする。
- ⑧ 配合を必要とする。

2.2 ゴムの種類と特徴および用途

ゴム系材料の分類例を(図-2・1)に、合成ゴムの品種別比率を(図-2・2)に、また主要ゴムの特性と用途を(表-2・1)にそれぞれ示す。

凡用ゴムは主として自動車タイヤに用いられる原料ゴムであり、特殊ゴムとは汎用ゴム以外の原料合成ゴムをいう。

ちなみにゴムの使用量を比較すると天然ゴムが新ゴム消費量全体の約30%を占め、合成ゴムのうち約70%が汎用ゴムである。

特殊ゴムは高価であるが、高機能と高信頼性を要求される用途向けに用いられ、合成ゴムソリッド全出荷量に対する比率は1976年が15.4%であったのに対し、1986年は23.9%と著増している。

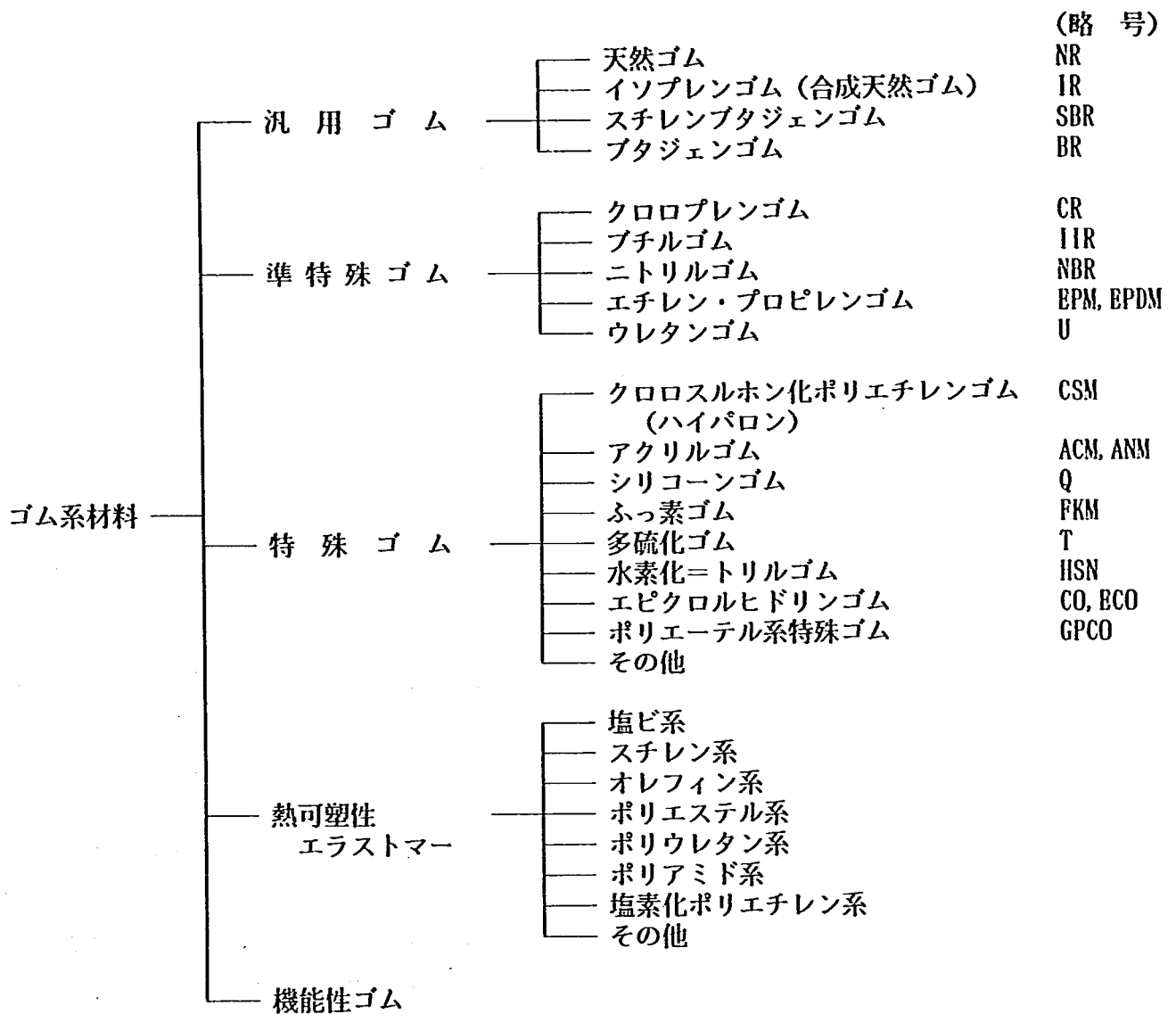


図-2・1 ゴム系材料の分類

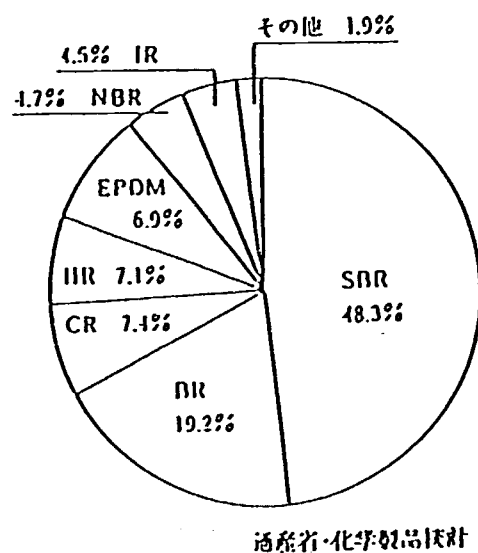


図-2・2 合成ゴムの品種別比率 (昭和60年)

表-2. 1 主要ゴムの特性と用途

ゴムの種類 (ASTMによる略称)		天然ゴム (NR)	合成天然ゴム (IR)	スチレン・ブタジエン ゴム (SBR)	ブタジエン ゴム (BR)	クロロプレン ゴム (CR)	ポリイソプレン ゴム (IIR)	ニトリルゴム (NBR)	エチレン・ プロピレン (EPM EPDM)	クロロスルホン化 ポリエチレン (H パロン CSM)	アクリルゴム (ACM ANM)	ウレタンゴム (U)	シリコン ゴム (Q)	フッ素ゴム (FKM)	多硫化物 (T)		
化学構造		ポリイソプレン	ポリイソプレン	スチレン・スチレン 共重合体	ポリブタジエン	ポリクロロプレン	イソprene・イソ prene共重合体	ブタジエン・ アクリロニトリル 共重合体	エチレン・プロピレン 共重合体 (三元)	クロロスルホン化 ポリエチレン	アクリル酸エステル 共重合体	ポリウレタン	有機シリコーン	ポリテトラフルオ エチレン・ヘキサ フルオロエチレン共重合体	有機多硫化物		
主な特徴		いわゆる最も ゴムらしい弾性を持 ったもの。耐摩耗性等 の力学的性質が良い。	天然ゴムと殆ど同じ性 質を持ち、安定してい る。	天然ゴムより耐摩耗性 、耐老化性が良い。価 格も安価。	天然ゴムより弾性が良 く、耐摩耗性も優れて いる。	耐候性、耐オゾン性、 耐熱性、耐薬品性等、 平均した性質を持つ。	耐候性、耐オゾン性、 耐ガス透過性が良く、 に耐える。	耐油性、耐摩耗性、耐 老化性が良い。	耐老化性、耐オゾン性 、性液体に対する抵抗 性、電気的性質が良い。	耐老化性、耐オゾン性 、耐熱性、耐薬品性、 耐摩耗性。	高温における耐油性が 良い。	力学的強度が特に優れ ている。	高度の耐熱性と耐寒性 を持っている。耐油性 も良い。	最高の耐熱性と耐薬品 性を持っている。	高度の耐油性があり、 耐オゾン性、電気的性 質も良い。		
純度の 性質	比重 - 粘度 ML-101 (100°C)	0.92 45~150	0.92~0.93 55~90	0.92~0.97 30~70	0.91~0.94 35~55	1.15~1.25 45~120	0.91~0.93 45~80	0.96~1.02 30~130	0.86~0.87 40~100	1.11~1.18 30~115	1.09~1.10 45~60	1.00~1.30 25~60 又は液状	0.95~0.98 液状	1.80~1.82 35~160	1.34~1.41 25~50 又は液状	JIS K6300 "	
配合 ゴムの物理的性質及び 耐久性	可能なJIS硬さ範囲 引張強さ (kgf/cm ²)	10~100 30~350	20~100 30~300	30~100 25~300	30~100 25~200	10~90 50~250	20~90 50~200	20~100 50~250	30~90 50~200	50~90 70~200	40~90 70~120	60~100 200~450	30~90 30~120	50~90 70~200	30~90 30~150	JIS K6301 "	
	伸び (%)	1000~100	1000~100	800~100	800~100	1000~100	300~100	800~100	800~100	500~100	600~100	800~300	500~50	500~100	700~100	"	
	反発弾性 引裂き 耐摩耗性 耐屈曲 使用可能温度範囲 (°C)	◎ ◎ ◎ ◎ -75~90	◎ ◎ ◎ ◎ -75~90	◎ △ ◎ ◎ -60~700	◎ ◎ ◎ △ -100~100	◎ ◎ ◎ ◎ -60~120	◎ ◎ ◎ ◎ -60~150	△ ◎ ◎ ◎ -50~120	◎ ◎ ◎ ◎ -60~150	◎ △ ◎ ◎ -60~150	◎ △ ◎ ◎ -60~150	◎ △ ◎ ◎ -30~180	◎ ◎ ◎ ◎ -60~80	◎ ◎ ◎ ◎ -120~280	△ ◎ ◎ ◎ -50~300	△ ◎ ◎ ◎ -30~80	"
	耐老化性 耐光線 耐オゾン 耐炎症 電気絶縁性 (Ω・cm) (体積固有抵抗) ガス透過性 (CC・cm/cm ² ・ SEC・2cm)	○ ○ × × 10 ¹⁰ ~10 ¹⁵	○ ○ × × 10 ¹⁰ ~10 ¹⁵	○ ○ × × 10 ¹⁰ ~10 ¹⁵	○ ○ × × 10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ¹⁰ ~10 ¹²	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ² ~10 ¹¹	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ¹² ~10 ¹⁶	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ¹² ~10 ¹⁴	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ² ~10 ¹⁴	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ² ~10 ¹²	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ¹¹ ~10 ¹⁶	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ¹⁰ ~10 ¹⁴	◎ ◎ ◎ ◎ 10 ¹³ ~10 ¹⁶	" JIS K6328 JIS K6301 JIS K6324
	耐放射線性	△~○	△~○	○	×	△~○	×	△~○	×	△~○	×	△~○	○	△~◎	△~○	△~○	ASTM D149 ISO 1399
配 合 溶 剤 耐 油 性	ガソリン、軽油 ベンゼン、トルエン トリクレネ アルコール エーテル ケトン (MEK) 酢酸エチル	× × × ◎ × △~○ ×~△	× × × ◎ × △~○ ×~△	× × × ◎ × △~○ ×~△	× × × ◎ × △~○ ×~△	○ × × ◎ ×~△ △~○ ×	× △~○ × ◎ △~○ ◎ ◎	◎ ×~△ × ◎ ×~△ × ◎ ◎	× △ △ × ◎ ×~△ ◎	△ ×~△ × ◎ × ×~△ ×	◎ × × × × × ×	◎ ×~△ △~○ △ × × △	×~△ ×~△ ×~○ ◎ ×~△ ○ △~○	◎ ◎ ◎ ◎ ×~△ × ×	◎ △~○ ◎ ◎ ×~△ ◎ △~○	JIS K6301 " " " " " "	
配 合 アル カリ 耐 酸 性	水 有機酸 高濃度無機酸 低濃度無機酸 高濃度アルカリ 低濃度アルカリ	◎ × △ ○ ○ ○	◎ × △ ○ ○ ○	◎ × △ ○ ○ ○	◎ × △ ○ ○ ○	◎ ×~△ ○ ◎ ◎ ◎	◎ △~○ ◎ ◎ ◎ ◎	◎ ×~△ ○ ◎ ◎ ◎	◎ × ◎ ◎ ◎ ◎	◎ △ ◎ ◎ ◎ ◎	△ × △ ◎ △ △	△ × × △ × ×	○ ○ △ ○ ◎ ◎	◎ × ◎ ◎ × △	○ × △ △ △ △	" " " " " "	
主 要 な 用 途		自動車特に大型自動車 タイヤ、産業用タイヤ 履物、ホース、ベルト、 空気ばね等一般用及び 工業用品。	自動車、航空機用タイヤ を始めとして、天然ゴム の使われる所には、殆ど 代用できる。	自動車タイヤ、履物、ゴム 引布、運動用品、床材、 ホース、ベルト等の工業 用品及び一般用ゴム製品。	自動車、航空機用タイヤ 、履物、防振ゴム、もみ すりローラー、ベルト、ホ ース等の工業用品、力強い 改質剤としてなど。	被覆、コンパウンド、 防振ゴム、窓枠ゴム、接 着剤、ゴム引布及び一般 工業用品、塗料など。	自動車タイヤのインナー チューブ、キャブリング、 ケーブル、電線、窓枠ゴ ム、ホース、耐コンパ ウンドなど。	材料、ホース、耐油ホ ース、コンパウンド、印 刷ローラー、紡績用ロー ラーなどの耐油製品。	被覆、自動車のキャブ ストリップ、窓枠ゴム、 コンパウンドなど。	耐候性、耐食製塗料、 タタキイング、屋外用引 布、耐食性ゴム、耐熱・ 耐食性ローラーなど。	自動車のトランスミッシ ョン、クランクシャフト 関係のゴムやシール、ホ ース、材料、材料など。	工業用ローラー、ワイ ヤ、ベルト、高圧ホース、 ケーブルなどの強力な力 のかかるもの。	ホース、ケーブル、工業 用ローラー、防振ゴムな どの耐熱・耐寒性の用途 及び電気絶縁用途など 固形ゴム、シート、ワイ ヤ(RTV)	耐熱・耐油・耐化学薬品 性を必要とするホース、 ケーブルなどのホース、 化学工場の耐食ホース、 ケーブル、タタキイング、 ホース、ケーブル部品な ど。	高度の耐油性を要求す るホース、ホース、ロー ラーなど(フッ素)、シー ト、コーキング材、接着 剤、型どり材など(液状 ゴム)。	参照 付録-1 ゴム材料の 寿命と信頼性 (巻末 添付)	

2.3 ゴム製品の製造工程

ゴム製品の使用条件に応じたゴム配合を行い、必要に応じて繊維や金属と複合して成型する。

ゴム弾性を得るために通常加硫が行われるが、加硫温度、圧力、時間などの加硫条件の管理が品質を支配するので加硫工程の重要度は高い。(図-2・3)

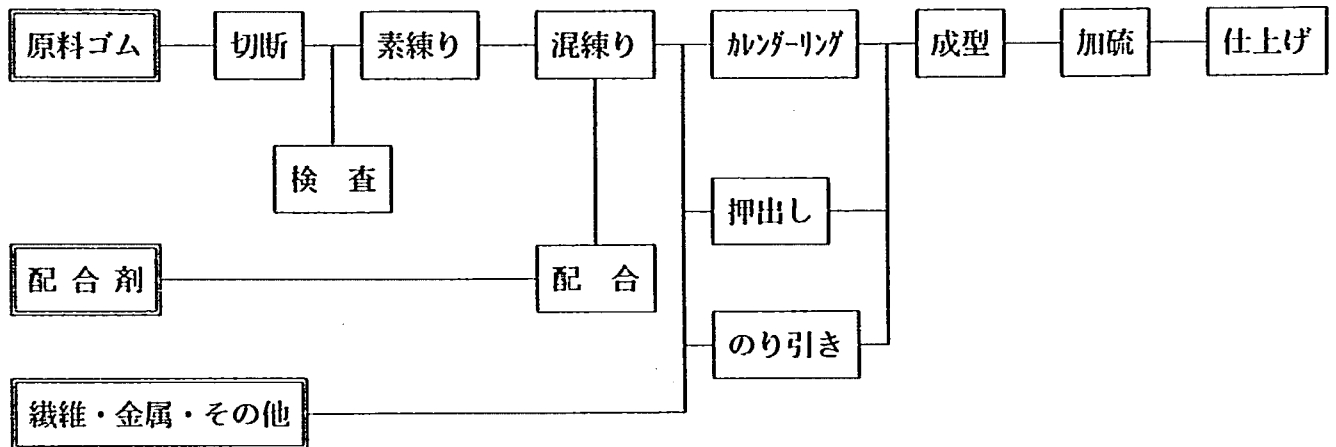


図-2・3 ゴム製品の代表的製造工程

加硫機の機種別に加硫方式ならびに代表的製品は(図-2・4)に示すとおりである。

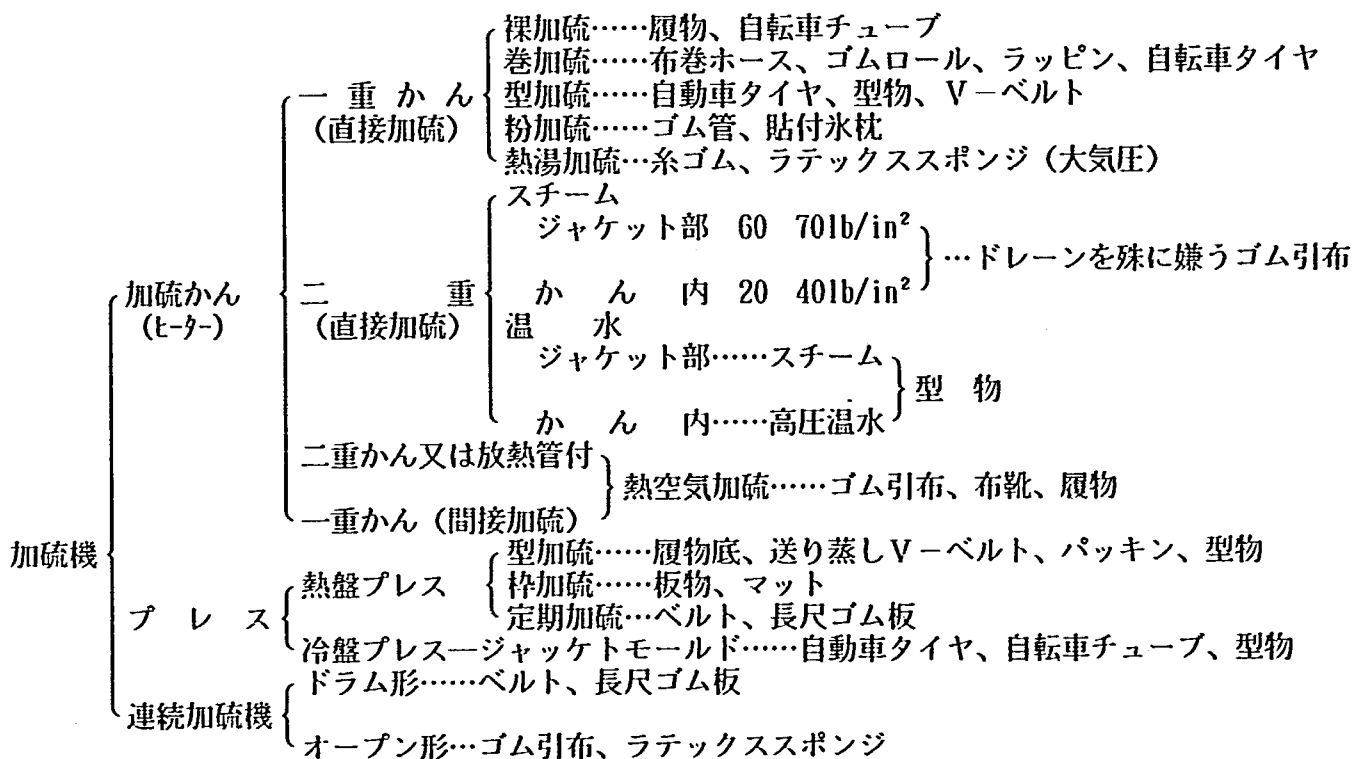


図-2・4 加硫方式と代表的製品

その他、自然加硫及び非加硫のゴム材料も実用化されている。

3. ゴム系新素材・新材料

3.1 熱可塑性エラストマー (TPE)

近年数多くの熱可塑性エラストマー (Thermo Plastic Elastmer, 以下 TPE) が開発、上市され、品質の改良により自動車部品、履物、家電部品、OA機器部品、電線、粘・接着剤、各種工業用品、更にスポーツ用品、食品包装材、医療機器部材に用途が広がってきている。

しかしながら汎用のTPEは加工性のメリットの他に剛性、伸び、耐摩耗性、耐候性、耐薬品性、耐屈曲性等で加硫ゴムに充分に対抗できるが、耐圧縮永久ひずみ、耐クリープ性、耐熱変形性、繰返し疲労性等ではなお不十分であるために、高温下での動的な繰返し、あるいは大変形での耐久性が要求される製品への応用は現状では難しいといえる。

建築、土木、海洋分野でTPEが応用されている現状は次の通りである。

(1) ポリ塩化ビニル系

止水材、パッキング、ガスケット、防水シート

(2) ポリスチレン系

建築用のルーフィング、及びシーリング用のアスファルト改質材、道路舗装用のアスファルト改質材

(3) ポリオレフィン系

止水材、目地材、防水シート、建築用ガスケット

(4) 塩素化ポリエチレン系

ポンドライナー等の土木用シート、ライニング材

(5) ふっ素ゴム系

シーリング材、不燃化材

近年ポリスチレン系のSBSで、ブタジェン部分を水添したSEBSがSBSの欠点である耐候性、耐熱性の改善で土木、建築用のシート、止水材、目地材への応用が検討されている。

尚、代表的TPEの特性を(表-3・1)に示す。

表 各種熱可塑性エラストマーと特性

項 目	単 位	塩 ビ 系	スチレン系		オレフィン系	ポリエステル系	ポリウレタン系	ポリアミド系	塩素化 ポリエチレン	そ の 他				備 考
			SBS	SEBS										
銘 柄		サンブレン スミレックス デカロン G エラスト XEL レオール アロンエラスト EZ-800, TK-1100 エラスト 三菱化成ビル 住友ベークライト 電気化学工業 チッソ 化学工業 理研ビル工業 東亜合成化学 信哲化学 日本ゼン	カリフレックス TR タフレン ソルブレン-T アロン AR JSR TR 電化STR タインタック	クレイトン G アロン AR 住友TPE-SB ラバロン タフレン	サントブレン ミラスト サモラン 住友TPE	ハイテック ベルブレン グリンパージュ LOMOD	エラストラン タフレン ベレレン	ダイミッド PAE PEBAX	ダイナミック エラスト	(イ) 1.2ポリブタジエン JSR-RB (ロ) トランスポリブタジエン グレートランスポリブタジエン (ハ) ポリ ダイエール TPE (ニ) ニトリル 系 デカロンCS				
メーカー			シェル 化学 旭化成工業 日本エラスト アロン 化成 日本合成ゴム 電気化学工業 日本ゼン	シェル 化学 アロン 化学 住友化学 三菱化成 旭化成	三菱エンサノ 化学 三井石油化学工業 日本合成ゴム-三菱化成 住友化学工業	東レ・デュポン 東岸紡績 大日本インキ 化学工業 インテックプラスチック	日本エラストラン 武田パテントケミカル工業 ム・ティール 化学	ダイセル化学工業 東レ	大坂 昭和電工	日本合成ゴム タフレン工業 電気化学工業				
出荷量 ¹⁾	トン	19,700	19,800		13,650	3,000	6,600	550	6,700	500				S60年
			(イ)	(ロ)	(ハ)	(ニ)								
価 格 ¹⁾	円/kg 円/ℓ	300~500 370~600	400~650 380~710	700~1300 650~1400	500~900 440~800	1300~1800 1350~2100	1000~1500 1100~1650	1800 1800	600~650 660~800	380~430	3000		500~800	
代表物性														
比重	—	1.25~1.35	0.95~1.1	0.9~1.1	0.88~0.90	1.05~1.2	1.13~1.26	1.01	1.10~1.24	0.9	0.96	1.89	1.15	JIS K 6301(20℃) “(”) “
硬さ	—	45~70	50~95	45~85	50~90	94~99	60~98	75~98	60~90	70~98	50	61~67	40~80	
T ₃	kg/cm ²	90~220	50~190	70~150	46~150	200~500	50~170	135~500	90~300	50~170	290	20~120	80~150	
E ₃	%	480~400	500~700	700~900	500~700	300~700	400~1000	200~700	180~700	630~780	450	600~ 1000	300~450	
CS	%	50~60	20~55	32~46	20~60	48~63	30~45	—	—	(50)	—	85	30~45	“(70℃×22hr)
低温特性	—	△	○	○	○	○	×	△	○	○	△	○	△	
高温特性	—	×	×	△	○	◎	△	◎	△	○	×	◎	○	
対泊性	—	○	×	×	×	◎	○		×	×	△	◎	○	
三吊法		バルブ ホース・チューブ 自動車内装品 ウェザーストリップ 用樹脂	・疑 材 樹脂改質材 シーリング 材	・疑 材 シーリング 材	自動車部品 R&Pパーツ・ニダグ バルブ シート・ホース・チューブ パッキン	自動車部品 R&P・CV Jパーツ ギア・パ ダイヤフラム・ケーブル ホース・チューブ	自動車部品 バルブ・バル ホース・チューブ シーリング 材・ロール 時計バンド・フィルム	消音材 自動車部品 ウェザーストリップ スポーツシューズ チューブ・ホース	樹脂改質材 無機パインダー	(イ) フィルム 物ホース (ロ) ポリブタジエン・シート・接着材 (ハ) チューブ・ホース・ダイヤフラムライニング (ニ) シート・チューブ・ホース				

3.2 機能性ゴム

通常のゴム自身では持ち合わせていない特殊な性質を付与したゴムを機能性ゴムと定義し、(表-3・2)に代表例を示す。

表-3・2 主要機能性ゴム

機 能 性 ゴ ム	概 要	用 途
イオン交換高分子	官能基としてイオン交換しうる酸 (ex. $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{COOH}$) や塩基 ($-\text{NH}_2$, $-\text{N}-\text{OH}$) をもつ高分子を利用。	海水から水を作る等
感 光 性 ゴ ム	吸収した光エネルギーによって分子内または分子間に化学的あるいは構造的変化を生じるゴムである。	フォトレジスト 感光性フレキシ印刷版等
放射線に 感じるゴム	電子線およびX線に対するポリマーの架橋、もしくは崩壊を利用。	電子線レジスト X線レジスト等
親水性ゴム (水膨潤性ゴム)	親水性物をブレンドしたゴム、または親水性基を導入したゴムなどで水を吸着しゴム自身が膨潤する。	止水材 漏水センサー等
感 水 性 ゴ ム	水分あるいは湿気の存在する状態で架橋が進み、より高弾性化するゴム。	シーラント ルーフィング材等
導 電 性 ゴ ム	ゴムの中にカーボンブラックや金属粒子などの導電性充填剤を分散させた分散複合導電性ゴムと、ゴム分子中に導電性分子構造を導入した半導体系導電性ゴムとに大別される。	導電ゴム、導電塗料 タッチコントロール スイッチ 圧力センサー等

4. 土木用材へのゴム系新素材・新材料の利用可能性

4.1 ニーズ調査結果とゴム材料

建設省土木研究所の「建設分野における新素材・新材料の活用に関する研究報告書(1)― シーズおよびニーズに関する調査 ― (昭和63年2月)」による土木分野におけるニーズに対応する既存ゴム製品および新テーマの可能性を(表-4・1)に示す。

表-4・1 土木分野におけるニーズに対応する既存ゴム製品および新テーマの可能性

大分類	中分類	ニ ー ズ		既存ゴム製品	新テーマ可能性
		キーワード	件数		
道 路	舗 装	耐 摩 耗	18	ゴムアス 樹脂アス 弾性舗装材	○
		クラック 補修	11		△
		凍結 発熱 蓄熱	7	ゴム製面状発熱体 融雪歩道マット 除雪用ゴムマット	○
		騒 音	2	防音・制振材	○
		着 色	3	カラー舗装材	×
		防水 通気性防水	2	防水シート メンブレン	○
		防護柵 緩衝	3	ガードレール用キャップ 導電ゴム(道路センサー) 道路防護体	○
		そ の 他		導電ゴム (車種判別用踏面幅センサー)	○
	土工、 法面工 他	地盤改良、法面保護			△
橋 梁	上 部 工	目地 止水	4	防水シート ケーブル防水材 斜張橋ケーブルカバー コンクリート漏洩防止材 (ウレタンスポンジマット) 二重管シール材 (グラウト漏洩防止ゴム袋) 矢板シール材(判マセソト)	○
		伸縮継手	4	ゴム伸縮継手	○
		支 承	3	ゴム支承材	○
		凍 結	2	ゴム製面状発熱体	○
		そ の 他		斜張橋ケーブル角折れ緩衝装置 ダンパー 制振 遮音板 モルタルストレーナー パッカー コンクリート型枠ゴムモールド ストッパーシュー	

表-4.1 (つづき)

大 分 類	中 分 類	ニ ー ズ		既 存 ゴ ム 製 品	新テーマ 可 能 性
		キーワード	件 数		
トンネル		光 伝 送	2	ナトムシート 止 水 板 (ゴム) セグメントパッキン (未加硫 非膨潤 膨潤)	○
		遮 水 工			○
		シールド工法			○
		そ の 他			
河 川		止水 遮水 水密	9	シート (不織布) 沈下防止	○
		地盤改良	4		△
		ゴ ム 堰	2		○
		型 枠	2		○
		そ の 他			
ダ ム		止水 遮水	4	止 水 板 止水シート 吹き付け防水材 ドレイン材 (樹脂パイプ 不織布)	○
		耐摩耗コンクリート	2		○
		そ の 他			
砂 防		耐摩耗材	2	エプロン保護ゴム板 天端保護ゴム板	○
		緩 衝	3		○
海 洋		水膨潤補修	1	汚濁水拡散防止材 土砂吸いだし防止材	○
		そ の 他			○ △
下水道		漏水 目地 止水	6	可とうゴムジョイント	○
		ライニング	2		○
その他		コンクリート型枠	2		○
		接 着 剤			○
		合 計	100		

4.2 今後必要とされる研究項目

4.1 の、土木分野におけるニーズをキーワード別に集計すると次のようになり、止水機能に関するニーズが約30%を占めている。

	(キーワード)	(件 数)
(1)	止水、防水、遮水、目地	29
(2)	耐摩耗	22
(3)	クラック補修	11
(4)	凍結、発熱、蓄熱	9
(5)	地盤改良	6
(6)	その他	23

合 計 100

土木分野における動向としては、「ウォーターフロント、大深度地下、耐震、快適性、安全性、省力化、高機能」等が挙げられ、これらの社会的ニーズに応じていく必要がある。最近のゴム利用技術の例を(表-4・2)に示すように、土木分野で使用されるゴム量は僅かとはいえゴムの特性、機能をいかした高機能、長耐久性のゴム系新素材、新材料の期待は益々高まってきている。

ニーズおよびシーズから見た、今後開発が必要とされる研究項目を以下にまとめる。

4.2.1 ニーズから見た今後開発が必要な研究項目

既存品の有るもの (工法開発と基準づくり)

トンネル防水分野において

1. 防水シート(耐久性評価基準)
2. 水膨潤ゴムと非膨潤ゴムのセグメントシール(高水圧対象は工法も未完)

公害防止安全対策関連材料

3. 防音・制振材
4. 汚濁水拡散防止膜
5. ゴム支承材(大変形・免震等の多機能化)

既存品のないもの (物の開発と基準づくり) ゴム発熱体の開発と利用

6. 融雪、凍結防止道路

4.2.2 シーズから見た今後開発が必要な研究項目

導電ゴム（ゴム圧力センサー）の活用

7. 崖崩れ、雪崩、土石流の危険予知システムの開発

自然加硫または熱可塑性弾性体の活用

8. トンネル、その他止水材の開発

ゴム袋の用途拡大

9. 樋管用ラバーゲート（軽量化による不等沈下対策）

表-4・2 最近のゴム利用技術

製 品	特 徴	実 績
沈埋函頂面シート	熱可塑性エラストマー使用	多摩川トンネル
免震支承	テスト施工予定	—————
沈埋函袋ジャッキ	大荷重（500トン×1m 高さ）	香港トンネル
沈埋函大型ガスケット	耐大荷重 100 トン/m 変位吸収、半永久的止水性	多摩川トンネル 川崎航路トンネル
消波潜堤	超大型海中袋体開発中	—————
車輛排除装置	地震時の放置車輛排除用ゴム袋	中部地建
不等沈下矯正ゴム袋	地中管路の矯正	住宅都市整備公団 （試験施工）
ケーブル防食注入材	ウレタン系低粘度注入材 狭間隙への注入と浸透性、長期防食性	櫃石島橋 岩黒島橋
ゴム製緩衝工	水中橋脚等への船舶衝突に対する緩衝	南北備讃瀬戸大橋

5. 土木分野への利用が期待される新素材・新材料の概要

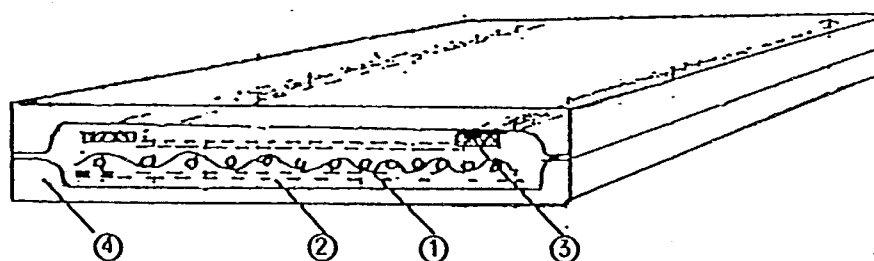
5.1 ゴム製面状発熱体

5.1.1 概 要

ゴム製面状発熱体とは、ゴム系絶縁性板材の中に発熱素子を面状に配列し、電流を流して均一な面で発熱させるものである。

5.1.2 構 造

ゴム製面状発熱体には、カーボン塗料を柔軟性のある織布に含浸させたもの及びポリエステルフィルムに塗布したものを素子（エレメント）とし、それを種々の絶縁材料で被覆した構造になっている。代表的なものを（図－5. 1）に図示する。



- ① 基 布 綿布または合成繊維布
- ② カーボン発熱層
- ③ 電 極 基布に織込みまたは電極を縫つけ
- ④ 絶縁材 ゴム、塩ビ、FRP等

図－5. 1 ゴム製面状発熱体の構造

5.1.3 面状発熱体の発熱能力

1)面状発熱体の特性

面状発熱体は、電極間に面状に電気が流れるので電流密度が低く、局部加熱がなく、熱分布が極めて均一な特性をもった発熱体である。

2) 発熱能力

面状発熱体の発熱量は、面状発熱体の抵抗と電圧により決定される。

この関係は、次式で表される。

$$V = I R \quad V = \text{定格電圧} \quad (V)$$

$$W = I V \quad R = \text{面発の抵抗} \quad (\Omega)$$

$$W = \frac{V^2}{R} \quad I = \text{電流} \quad (A)$$

$$W = \text{電力 (ワット数)} \quad (W)$$

面状発熱体において、単位面積当たりのカーボン量が多いと、電気抵抗が小さい

ので、 $W = \frac{V^2}{R}$ の関係から発熱量は、多くなる。

(参考)	氷の比熱	=	温度 0℃ 時	2.10 J/g・K	(5.83 × 10 ⁻⁴ W・h/g K)
	水の比熱	=	温度 0℃ 時	4.22 J/g・K	(1.17 × 10 ⁻³ W・h/g K)
	氷の融解熱	=	温度 0℃ 時	79.7 cal/g	(9.27 × 10 ⁻² W・h/g)
	氷の気化熱	=	温度 25℃ 時	582.8 cal/g	(6.78 × 10 ⁻¹ W・h/g)
		=	温度 100℃ 時	539.8 cal/g	(6.28 × 10 ⁻¹ W・h/g)
				(cal = 4.186 J = 1/860 W・h)	

5.1.4 温度コントロールの方法

面発熱体は、完全断熱した状態で使用すると、面発熱体が破壊するまで、高温になり、感電したり、火災が発生する恐れがあるため、一般に温度コントローラー、または温度過昇防止装置などが取付けられ、更には両者併用もよく行われる。

これらについて概略を下記に示す。

1) サーモスタット

一定の温度を保たせるための自動的溫度調節装置で、恒温槽、暖房器具等に用いられる。

原理は、温度上昇に伴って変化するものを装置し、ある一定の温度まで上がると、その変化により、温度の上昇をとめるようにしてある。電熱を用いる場合は、水銀の膨張、バイメタルなどを利用する。

下記の様子、仕様をもつものが多い。

- ① 動作温度 5℃単位で20℃～120℃の範囲内の種類がある
- ② 動作温度公差 精密級±3℃、普通級±5℃
- ③ ディファレンシャル 5℃以内
- ④ 開閉耐久性 10万回

2) プロテクター

温度過昇防止のために使用されるもので、原理的にはバイメタルのスナップ動作原理を用いている。通常回路は閉回路であり、プロテクターは自己に流れる電流による自己発熱と外部から伝わる熱の二要素で作動し、一定温度になると開回路になる。そして感熱部が復帰温度に達すると、自動的に復帰して再び電流が流れるものである。

通常、市販品は下記の性能をもつ。

- ① 開温度 5℃単位で70℃～150℃の範囲内の種類がある。
- ② 復帰温度 70℃の場合で40℃（開温度－約30℃）
- ③ 開閉耐久性 1万回

5.1.5 面状発熱体の応用例

面状発熱体の応用例としては、（表－５．１）に示す用途が有望と考えられる。

表－５．１ ゴム製面状発熱体の応用例

対象マーケット	具 体 的 な 商 品 例	適 用 絶 縁 材 料		
		PVC	ゴ ム	FRP
建 築 土 木	簡易旅行用床暖房ヒーティングシステム タタミ用	◎		
	屋根融雪	○	○	
	床融雪 コンクリート養生 排水路 歩道橋 橋梁 階段 埋設用 テニスコート等	○	◎	
	床暖房パネルヒーター	○		◎
	育苗マット 養豚マット 養鶏マット 牛舎マット	○	◎	
車 両 ・ 交 通 関 係	自動車座席用 オートバイのサドル及びグリップ	○	◎	
	自動車の除氷 エンジンの保温 鉄道用ポイント及びレール交換用 漁船等の除氷 飛行場の滑走路	○	◎	
	道路標識 信 号 機 車両用床パネル 消 火 栓		◎	○
	パイプヒーティング タンクヒーティング 捺染ヒーティング 発酵醸造用 機器の保温	○	◎	○
そ の 他	医 療 用	○	○	○
	食品保温用			◎

また、土木分野におけるゴム製面状発熱体の応用として、寒冷地鋼橋等の凍結防止対策の検討が有望と考えられる。

5.2 導電ゴム

5.2.1 概 要

絶縁性のゴムに導電性の粉体を混合分散し、導電性を附加したものが導電ゴムである。感圧導電ゴム又は加圧導電ゴムとは、導電ゴムの抵抗値が外力によって変化することを利用した材料である。導電ゴムのなかでの電流は、たがいに接触あるいは近接した導電粒子の連鎖を経由して流れる。(図-5.2)

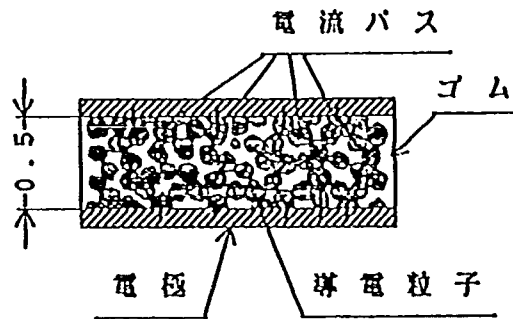


図-5.2 導電ゴム中の電流パス

感圧導電ゴムは実用上、デジタル型とアナログ型に分類される。デジタル型は、外力の無い場合には絶縁性を示し、外力が作用して歪むと導電性になる、いわゆるON/OFF変化を呈する。したがってデジタル型は無接点のスイッチとして作用し、そのストロークが小さいこと、開閉する空隙がないことを特徴とし、紐状あるいは大面積のタッチスイッチとして実用化されている。

アナログ型は、外力の大きさ、実際には発生している歪の大きさに応じて連続的な抵抗値の変化を生じるもので、センサ的な機能を有する。

この2者は本質的には同じ物で、単に抵抗値がどのレベルで変化しているかにすぎない(図-5.3)。デジタル型の材料は導電粒子として金属を用いており、低抵抗状態での抵抗値が 100Ω 以下であるために「半導体回路の中では」導通と見なせる。

一方アナログ型では、炭素等の高抵抗の粒子を使用しているために抵抗変化が $100k\Omega$ から 10Ω の範囲で生じ、したがって「半導体回路の中で」有為な可変抵抗体として作用する。

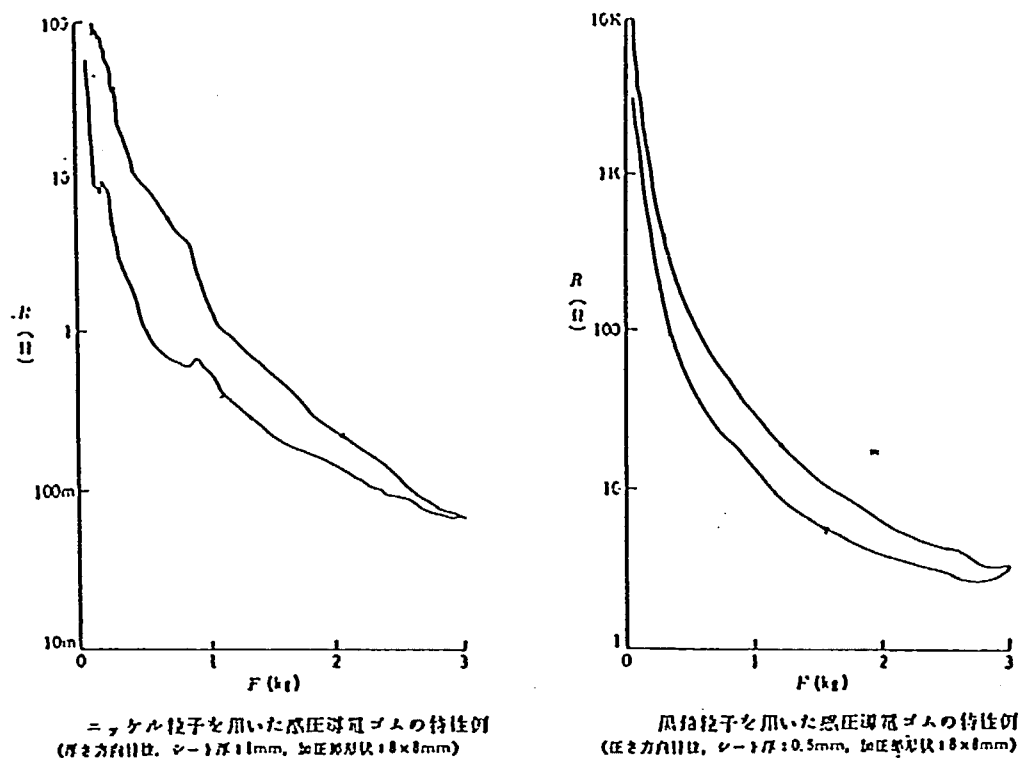


図-5. 3 感圧導電ゴムのF-R特性 (左; デジタル型, 右; アナログ型)

5.2.2 導電ゴムの応用例

1) ソフトタッチセンサ

電極フィルムを折曲げ加工したスイッチ素子をゴム外皮に封入した帯状タッチセンサ

2) コードスイッチ

加圧導電性ゴムをスイッチ素子とした線状感圧センサ。圧力を加えると、抵抗値がMΩ単位からΩ単位まで急変する。

3) 密封型感圧ゴムスイッチ

加圧導電性ゴムをスイッチ素子とし、全体を高弾性ゴムで被覆した密封型感圧ゴムスイッチ

4) 可変抵抗スイッチ

感圧導電ゴムとIC回路を組み合わせ、従来のON/OFF型のスイッチとは異なった感度設定のできる圧力感应型のカスタムスイッチ

5) 触覚画像システム

触覚センサ部と画像化制御部と画像処理装置から成り、触覚センサ部分には縦横各64×64マトリックスのセンサ素子があり、64本の帯状の感導電ゴムで作られている。

6) その他

車輛重量計として使用した場合の精度は、現状では±15%である。

5.2.2 導電ゴムの応用例

1) ソフトタッチセンサ

電極フィルムを折曲げ加工したスイッチ素子をゴム外皮に封入した帯状タッチセンサ

2) コードスイッチ

加圧導電性ゴムをスイッチ素子とした線状感圧センサ。圧力を加えると、抵抗値が $M\Omega$ 単位から Ω 単位まで急変する。

3) 密封型感圧ゴムスイッチ

加圧導電性ゴムをスイッチ素子とし、全体を高弾性ゴムで被覆した密封型感圧ゴムスイッチ

4) 可変抵抗スイッチ

感圧導電ゴムとIC回路を組み合わせ、従来のON/OFF型のスイッチとは異なった感度設定のできる圧力感应型のカスタムスイッチ

5) 触覚画像システム

触覚センサ部と画像化制御部と画像処理装置から成り、触覚センサ部分には縦横各 64×64 マトリックスのセンサ素子があり、64本の帯状の感導電ゴムで作られている。

6) その他

車輛重量計として使用した場合の精度は、現状では $\pm 15\%$ である。

5.2.3 土木用途における応用例

特に土木用途における応用の例として、「土石崩壊現場位置通報システムへの応用」なども期待されている。これは、土石崩壊危険予想現場（道路、鉄道沿線）に、可とう性をもった支柱を立て支柱間に土石を受ける繊維網、或いはゴム網、金網等を張り、支柱内には支柱が曲がった際にスイッチ・オンする感圧スイッチが内蔵されており、網で受けた土石が滞留し支柱をたわませ、信号を管理センターに発信するというものである。

設置場所	道路、鉄道沿線の山側直下
感知物	土石、立木、水流（鉄砲水）、雪崩、網に突っ込んだままの 車輻、大型動物
電 源	・導線埋設 ・バッテリー、電池
信号発信	・有線 ・無線
信号径路	発生現場位置の支柱 ⇔ 中継基地 ⇔ 管理センター (人工衛星利用も考慮)
緊急対策	道路の閉鎖、鉄道車輻の進入停止
対策箇所	・道路 29万km道路総延長のうち7万箇所（58年建設白書） ・鉄道 未調査

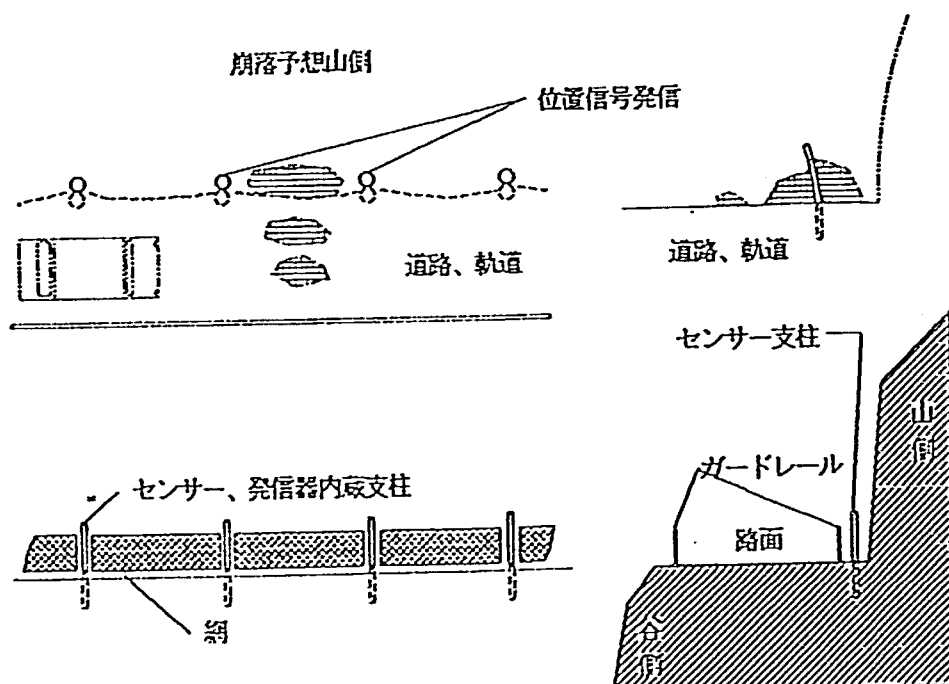


図-5.4 通報システム概要図

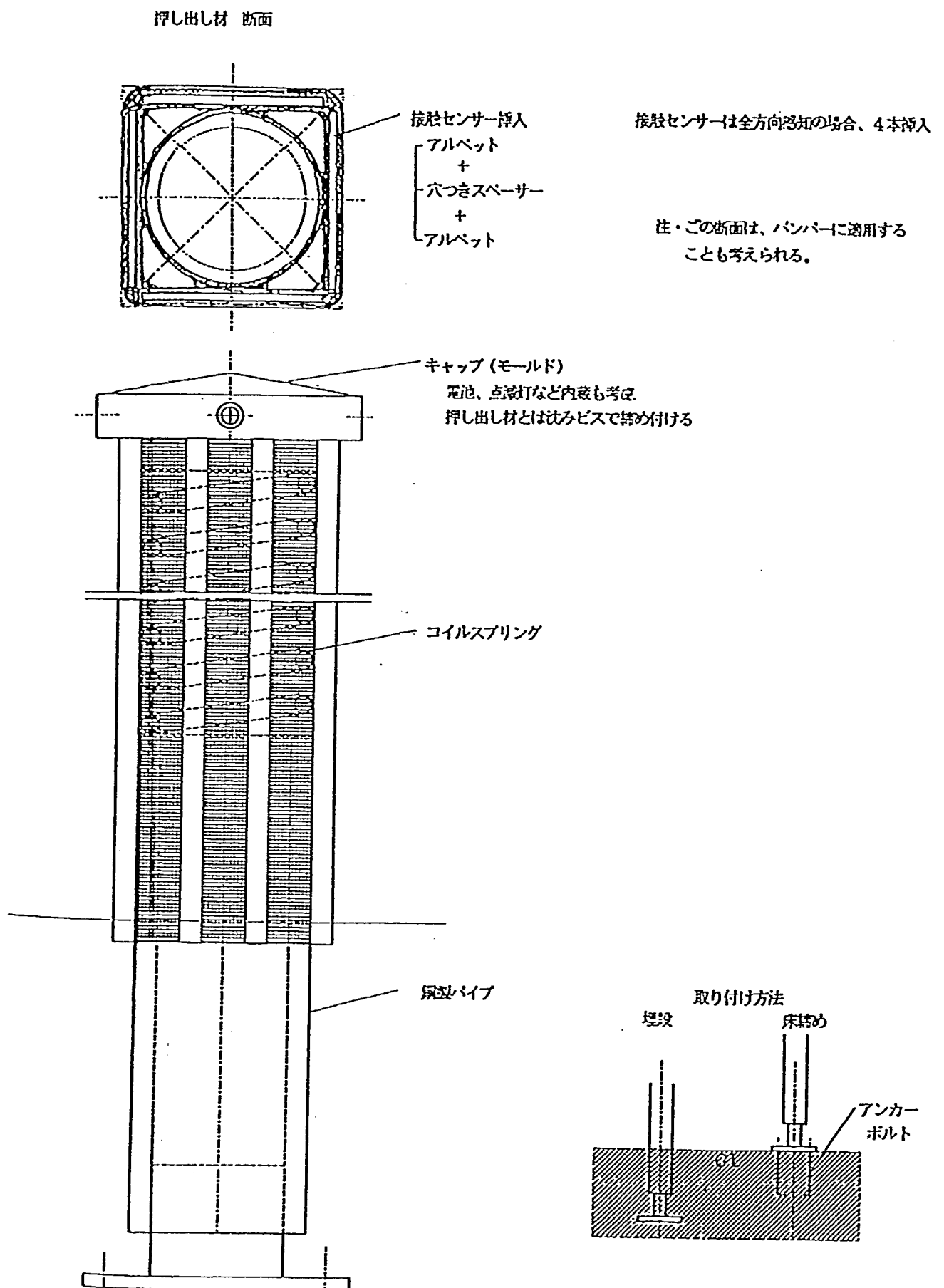


図-5. 5 センサーの概要図

5.3 防音・制振材

騒音の防止においては、音源対策と伝播防止の2つが主な対策としてあげられる。

音源対策は、騒音源からの音の発生を小さくし、伝播防止は音源で発生した音の伝播を防止するものである。さらにこの伝播してくる音には、空気音と固体音の2種類がある。

(図-5.6) 及び (5.7) に、こうした音の種類と対策方法を示す。

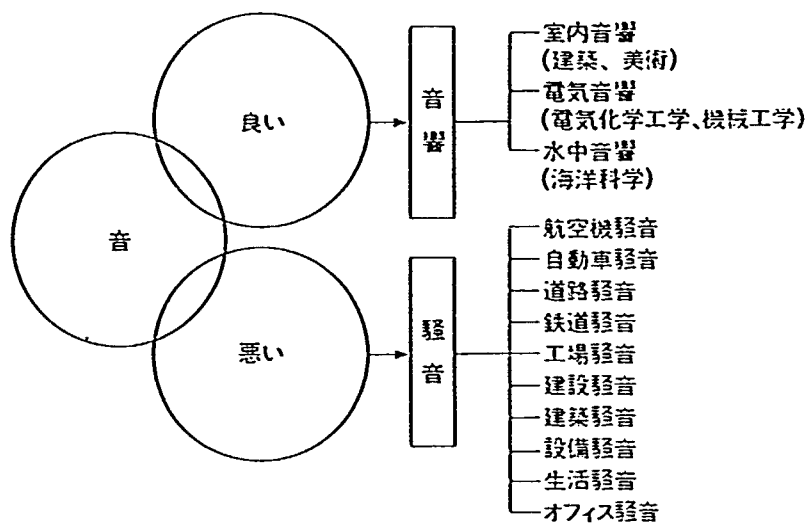


図-5.6 音の種類

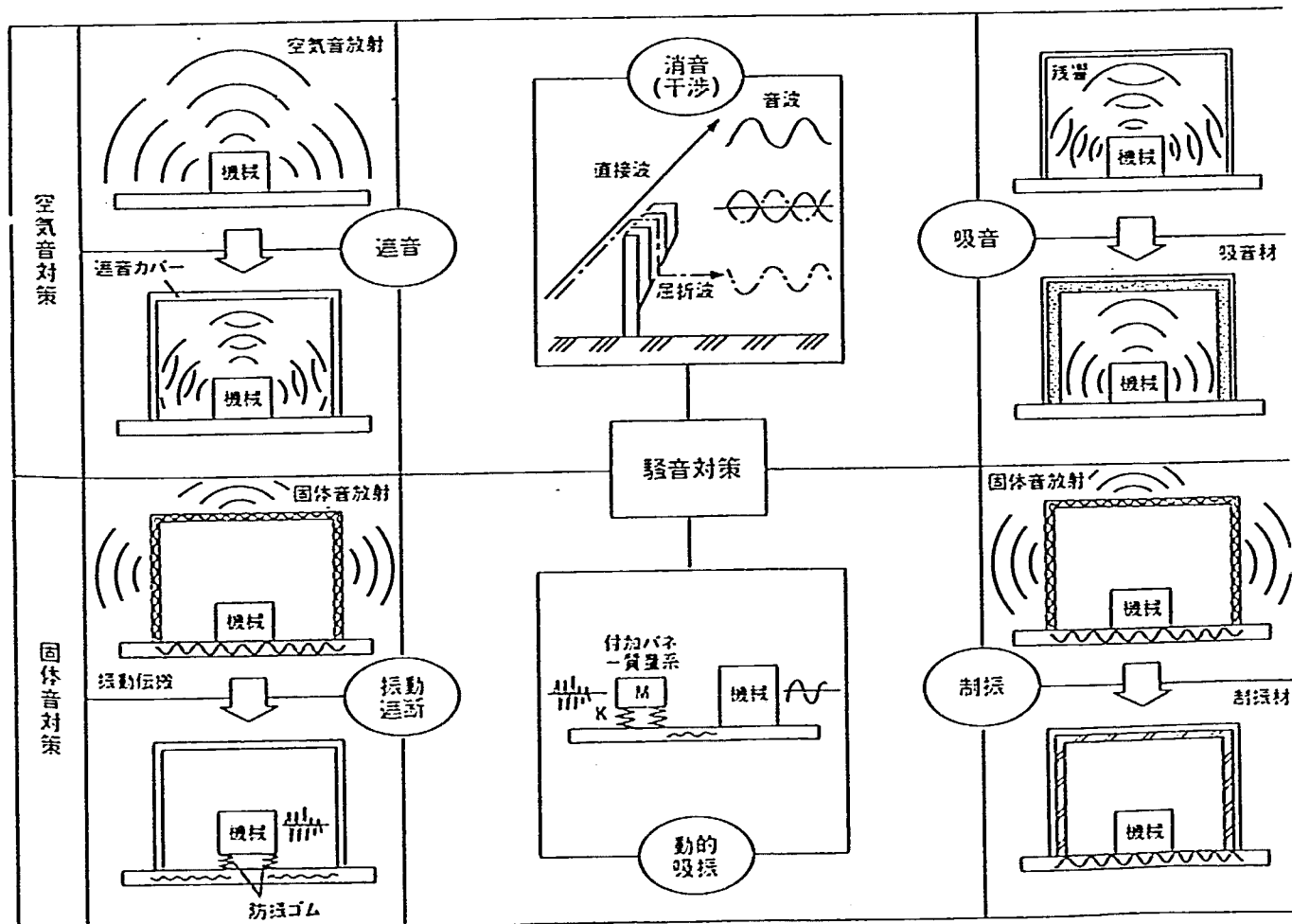
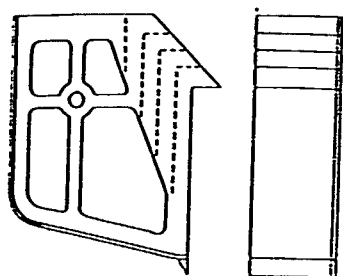


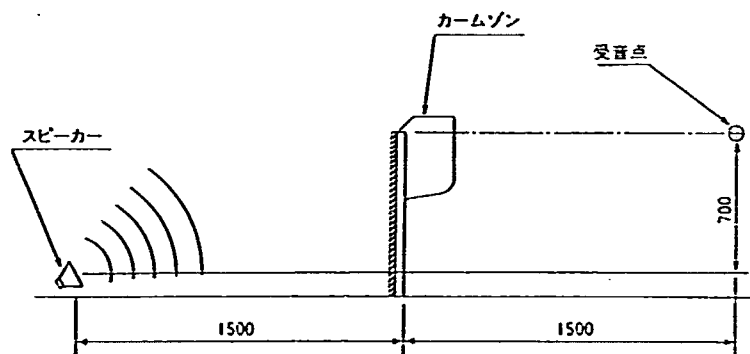
図-5.7 騒音と対策

5.3.1 干渉型防音装置

干渉型防音装置は騒音源から出る音波を屈折、干渉させて減音領域をつくるという干渉原理に基づく減音方法を開発した装置である。従来の防音方法である防音壁では、音波が壁をのり越えて伝播する回折現象のため、背の高い防音壁が必要となったり、壁から遠く離れた点では防音効果が少なくなったり、またカバーなどでは騒音源をおおった時に熱がこもり温度が上昇するなど多くの問題を抱えている。干渉型防音装置はこれらの問題点を解決しようとするものである。



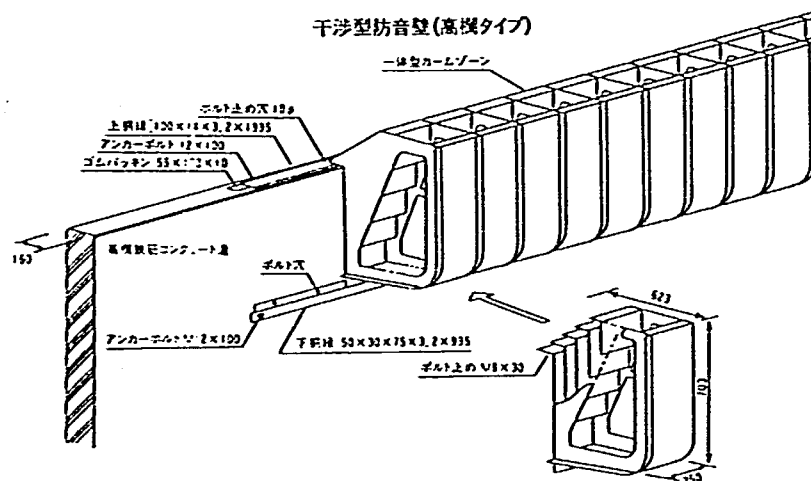
図－5. 8 干渉型防音装置の形状



カームゾンの減音効果を下表に示します(弊社実証室に於ける測定値)

周波数(Hz)	250	500	1K	2K	4K
減音量(dB)	4	4	7	8	5

図－5. 9 干渉型防音装置の性能



図－5. 10 干渉型防音装置の施工例

5.3.2 鉄道鋼桁橋梁用制振材

鉄道の鋼桁橋梁、合成桁などは列車通過時の騒音がひどく、近年公害問題として度々問題とされている。この対策として、音源である鋼桁に制振材を貼りつけ振動を低減させることにより騒音を少なくする方法が行われている。

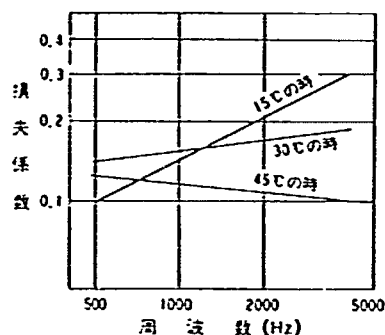
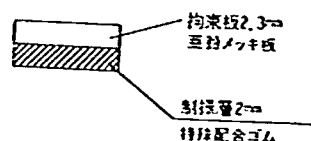


図-5.11 橋梁用制振材の形状

図-5.12 橋梁用制振材の性能

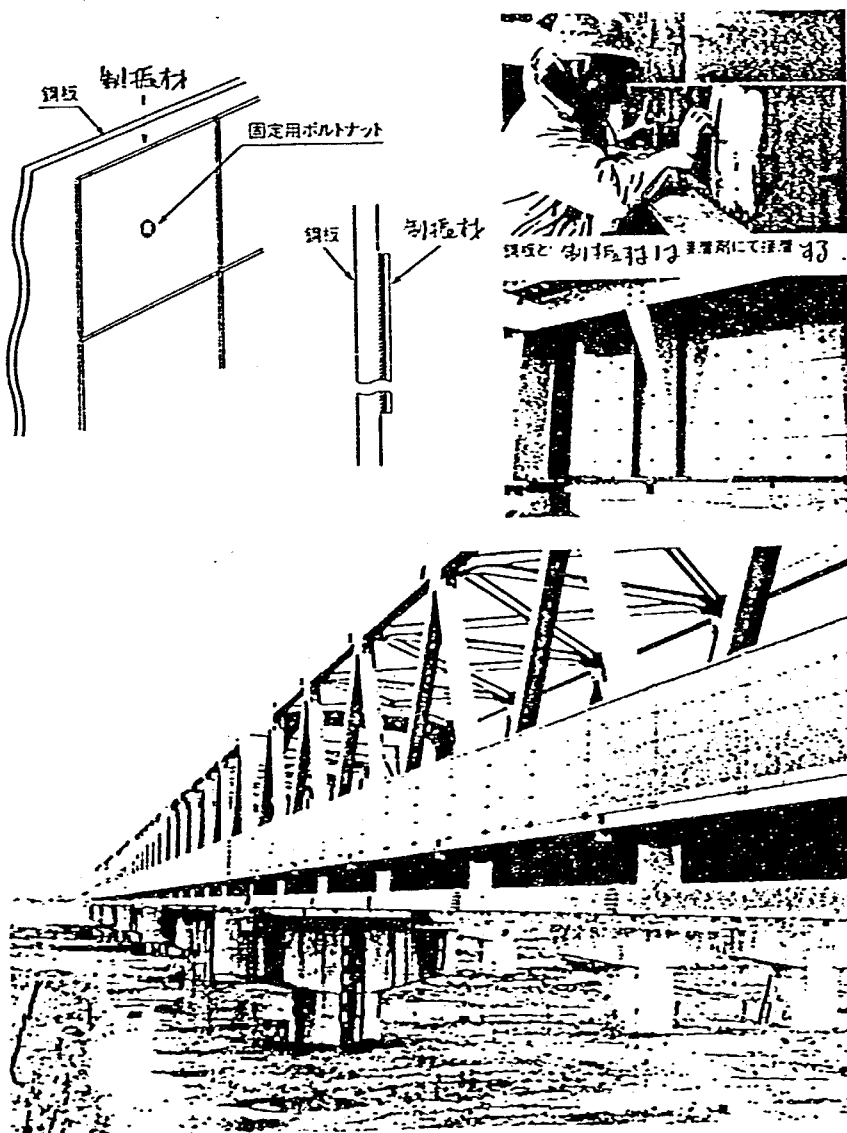


図-5.13 橋梁用制振材の施工例

5.4 汚濁水拡散防止材

5.4.1 概 要

近年、港湾開発・整備拡充の進展に伴い、海洋環境保全についての規制が厳しくなっている。特に、汚濁水の流出・拡散は漁業・養殖業にとって、排油、赤潮につぐ問題となっている。汚濁水の拡散を防止する方法として、水中でのスカート（カーテン）による物理的遮断が有効である。拡散する汚濁水をスカート内一定容積の中で滞留させることにより、汚濁水中の汚濁粒子が自然凝集し、スカートの傾斜板効果により一層沈降速度を早め、拡散の範囲を大幅に縮小することが期待される。

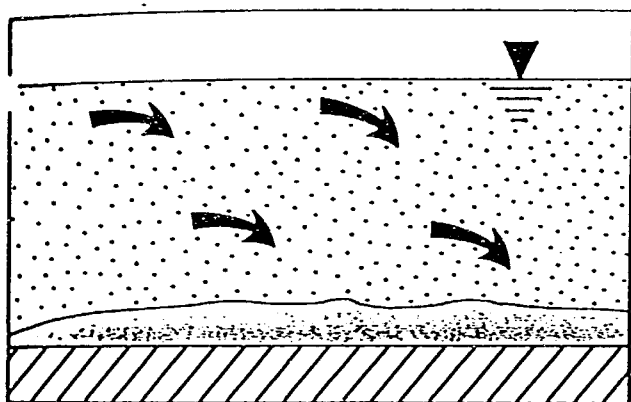


図-5. 14 汚濁水の拡散

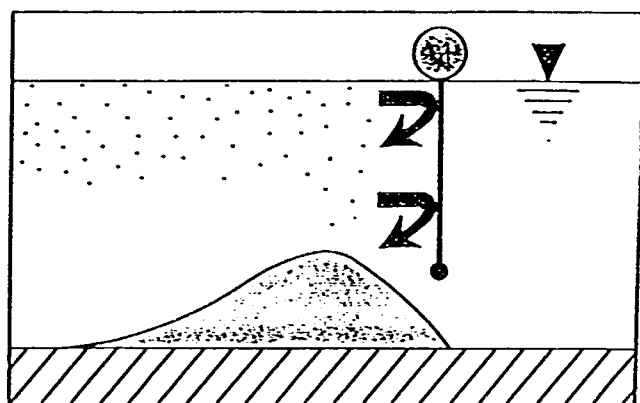
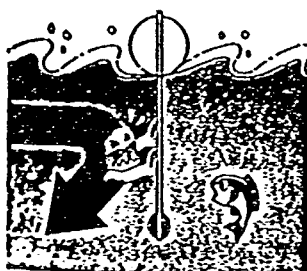
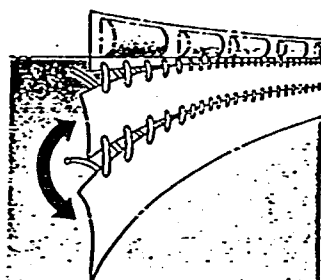


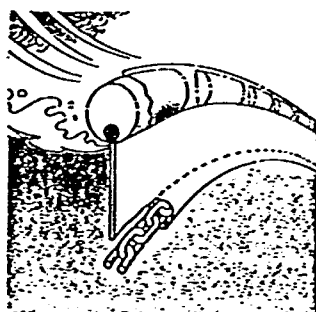
図-5. 15 スカートによる汚濁水拡散防止効果



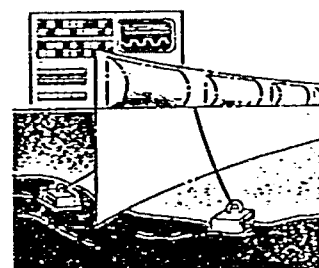
スカート下部には最適な重錘を装置して、めくれを制御。



現場の海象条件や使用目的に合ったスカート長さに調製。



スカート下部の重錘には連続チェーンを採用。また、フロート内部にも重錘を内蔵し風や波にも復元性をもたせる。



海象条件、水深、海底土質などを考慮し、最適なアンカー重量、アンカーピッチ、レイアウトを決定

図-5. 16 汚濁水拡散防止材の機能

5.5 ゴム支承材

5.5.1 ゴム支承材の歴史

ゴムが橋梁の支承材として使われたのは、1956年に英国のベルハム橋が初めてであり、38年間の使用実績がある。

その後世界各地で広範囲に使われるようになったが、まだ完全寿命に届く所迄至っていないのが現状である。

5.5.2 ゴム支承材の特徴

ゴム材料を用いた支承材は、鋼製支承材に比較して損傷率が低く、耐久性、防食性に優れると言われており、構造の単純さと価格面での利点も相まって普及しつつある。

5.5.3 ゴム支承材の公的規格

現在日本国内で用いられているゴム支承材に関する規格の代表的なものは、次の2種類である。

- (1) 鉄道(J. R)規格
- (2) 道路公団規格

5.5.4 ゴム支承材の耐久性

ゴム材料を用いた支承材は前記したように最古のもので38年であり、まだ最終耐久性について実績はないが、今迄に耐久性の推定がいくつか試みられている。

(1) 日本ゴム協会誌

プレスコンクリート鉄道橋梁の支承に使用されるCR製ゴム支承の耐久性を推測する目的で実際に取り付けられ、17年間使用された製品を取り外して初期性能からの低下傾向を確認した。

85年以上の耐久性が推定されとの結果を示している。

(2) 日本道路公団

東名、名神で取付後、8年経過した支承材の損傷状況を調査した。

結果、鋼製支承の損傷率 72%

ゴム製支承の損傷率 18% というような状況にあった。

5.5.5 今後の課題

大変形、免震等の多機能支承が今後の検討課題と考えられている。

6. ゴム材料の寿命と信頼性

6.1 概論

これまでゴム材料の多くは、非構造部材用として消耗品的に利用されてきたため、その寿命が製品全体の寿命に重要な意味を持つことが少なかった。

しかしながらゴム材料というのは、使い方によっては 100 年経っても表面の極一部を除くと、ほとんど変化しないと報告されている。また、第 2 次大戦中に海中に落ちたトラックから、ほとんど無傷のタイヤが引き上げられたニュースが報じられている。

いずれにしろゴム材料というのは、タイヤを例外とすれば、その優れた耐久性にもかかわらず、長期間、しかも構造、強度材的使用方法をしたことがなかったというのが実情である。

しかし、土木における利用を考えると、

- ① 構造部材である。
- ② 外気中で使用され、鉄鋼やコンクリートで出来た構造物と同程度の長期寿命が求められている。
- ③ 地震時などに極めて大きな変形が発生することがある。

などの材料に対する要求特性が厳しく、耐久寿命に対する定量的な検討が不可欠となっている。そこで、ゴム材料の寿命を支配する因子は何かということについて、特に長期使用中の材料特性の経年変化について考えてみることにする。

6.2 材料特性の経年変化（I. 物理的变化）

ここでとりあげる項目は、力学的、または機械的刺激によってゴム組成物内部に発生する、主に高次構造（凝集・結晶構造など）の変化とそれに伴う物性変化を指すものであり、分子鎖の化学的反応を含まない場合である。

6.2.1 静的変形下で起きること

ゴム材料を一定応力下、または一定ひずみ下に固定するとクリープ、または応力緩和が起こる。一般にカーボンなどで補強された加硫ゴム中には、強固な化学結合で出来た架橋点と弱い凝集力で出来た物理架橋点が混在している。

そこで、このような加硫ゴムに若干の変形を与えると化学架橋点は変化しないが、物理架橋点の一部は結合がはずれた状態になったり、その結合位置からずべて別の位置で新たな物理架橋点になったりする。この結果一定応力の場合、変形が大きくなるクリープ現象が生じ、一定ひずみ下では応力が小さくなる応力緩和が生じる。（図－6. 1）

このような現象が起こると材料特性は、変形前のそれとは多少異なったものとなり、一部不可逆変形が残る。この変化の大きさは各材料固有のものであり、理論的に求めることはほとんど不可能である。実際には、実験によってある種の法則性を見出し、これより長期の変化を予測する方法がとられている。

例えば積層ゴムの圧縮クリープの場合、高温下で得られたクリープ曲線の外挿曲線として、室温での長期クリープ量を予測することが出来る。（図－6. 2）

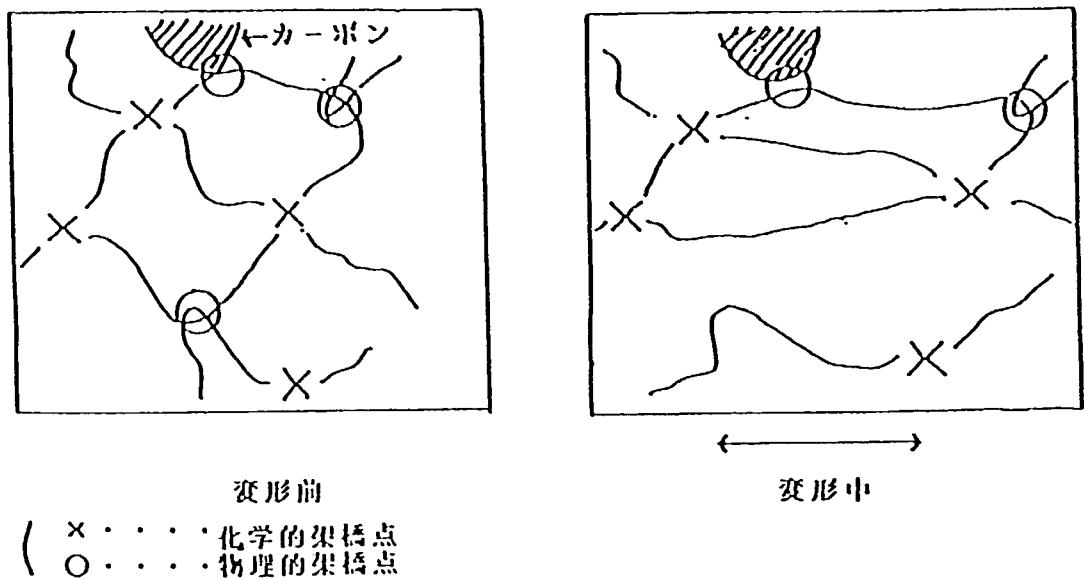


図-6. 1

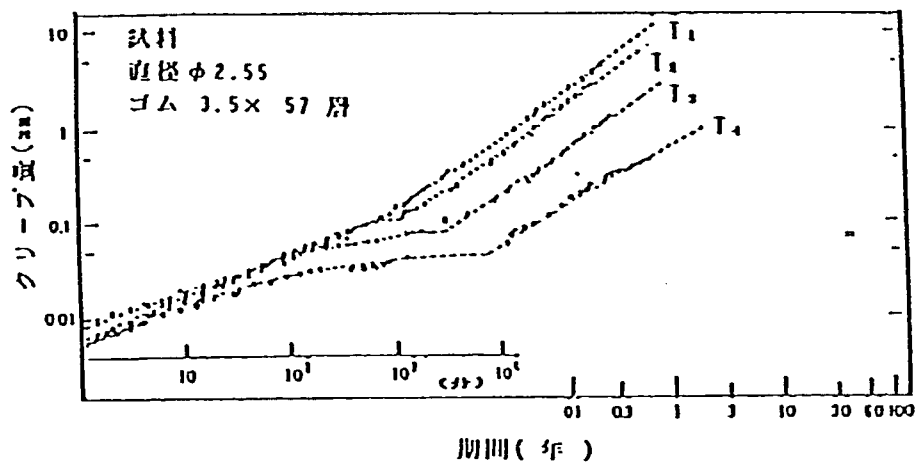


図-6. 2

6.2.2 動的変形下で起きること

(1) クラックの発生と成長

ゴム材料が外力を受けて破断に到る過程は、ほぼ次のように考えられる。

- ① ゴム分子鎖（多くの場合C-C結合）は、外力を受けると引張方向に引き伸ばされ、再配列しようとするが、この動きを妨げる架橋点やからみ合いなどの存在のために、その近傍で緊張状態となる。そして、この緊張状態（応力）が分子鎖の化学結合力より大きくなると局所的な分子鎖の切断が起こる。
- ② 一個の分子鎖の切断は、その周辺の分子鎖の切断を引き起こし、やがてこれらがマイクロボイドからマイクロクラックへと成長する。その際、材料中に異物や傷などが存在すると、それらの近傍における応力集中のため上記の成長過程はより促進される。
- ③ ミクロクラックのうち最大のものがマクロクラックとして引張方向に直交して進行し、やがて系全体の破断をもたらす。

クラック進展の速さは、ゴム材料にどの大きさの変形が加えられたかに大きく依存しており、一般に動的変形下では動的荷重、または動的ひずみ（S）を材料破断までの繰り返し数（N）に対してプロットしたS-N曲線を得ることにより、材料の屈曲寿命を予測する。一例としてNR純ゴム、およびカーボン補強NRのS-N曲線を（図-6. 3）、（図-6. 4）に示す。ここで S は伸長比である。

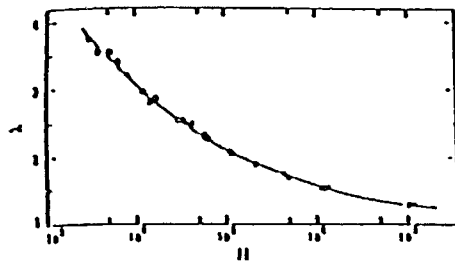


図-6. 3

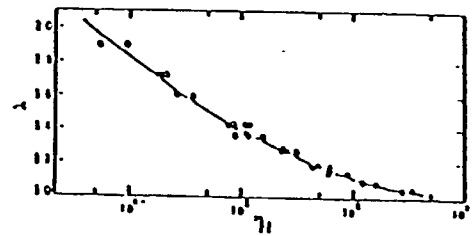


図-6. 4

免震ゴムの場合、地震時には建物を支えた状態で水平方向の繰返し大変形に耐えねばならず、最大地震時の水平変位は20～40 cmになるよう設計されている。

この結果、ゴムの平均せん断ひずみは200～300%にも達し、局部的には更に大きなひずみが発生することになる。従ってゴム自身、およびゴム/金属接着部のS-N曲線を求め屈曲寿命を推定することは、免震ゴムの寿命予測にとって重要な課題である。

(2) 構造的・物性的変化

ゴム材料の場合、繰返し変形を与えると前述のクラックの進展とは別に材料自身のミクロな相形態、架橋構造などが変化し、それに対応する材料物性（例えば、弾性率、ロス特性）が変化する。ただしそのような構造、物性の変化が破壊特性にとって必ずしもマイナス効果を与えとは限らない。例えば（図-6. 5）は、予備的な繰返し変形を与えたサンプルの方が、超寿命になっていることを示している。

したがって、長期繰返し変形を受けるような製品の場合、特に破壊特性が重要である製品の場合、このような構造、物性の変化に注意する必要がある。例えば積層ゴムの場合、バネ剛性の変化、減衰特性の変化に注意すべきである。

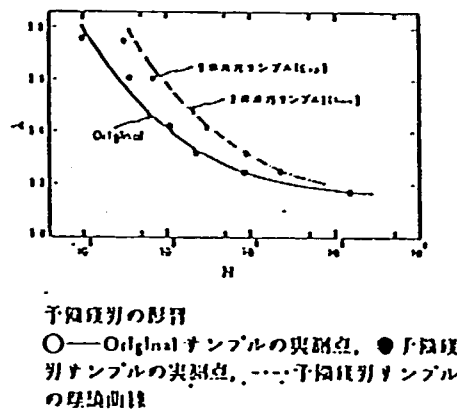


図-6. 5

6.3 材料特性の経年変化(Ⅱ. 化学的变化)

6.3.1 化学反応速度論の考え方

一般に加硫ゴム中には、多かれ少なかれ未反応の架橋剤(イオウ)が残存しており、時間と共に反応が進行し、架橋密度が増加する。一方、ゴム材料は大気中の酸素やオゾンや紫外線と化学反応し、分子鎖の切断や新たな化学架橋点の生成が起こる。この結果、大気中で使用するゴム製品の諸特性は時間と共に大きく変化する。このような材料の化学変化は、一般に劣化と呼ばれており、化学反応速度論を用いて解析される。

いま、ゴム材料のある特性が初期状態で x_0 であったのに t 時間後に、ある劣化状態 x_t に変化したとする。ここで、 x の t による変化を n 次反応とすると(式-6. 1)が与えられる。

$$-\frac{dx}{dt} = kx^n \quad \dots\dots\dots \text{(式-6. 1)}$$

ここで k は(反応)速度定数である。

ゴム材料の劣化はほぼ一次反応($n=1$)と見なせることが経験的に判っているので、(式-6. 2)が成立する。

k は $[t^{-1}]$ の単位を持つ。

$$-\frac{dx}{dt} = kx \quad \dots\dots\dots \text{(式-6. 2)}$$

ゆえに、 x_0 と x_t の関係は(式-6. 3)または(式-6. 3')で与えられる。

$$\frac{x_t}{x_0} = \exp(-kt) \quad \dots\dots\dots \text{(式-6. 3)}$$

$$\ln \frac{x_t}{x_0} = -kt \quad \dots\dots\dots \text{(式-6. 3')}$$

したがって、ある特性の時間による変化は(図-6. 6)で示される。

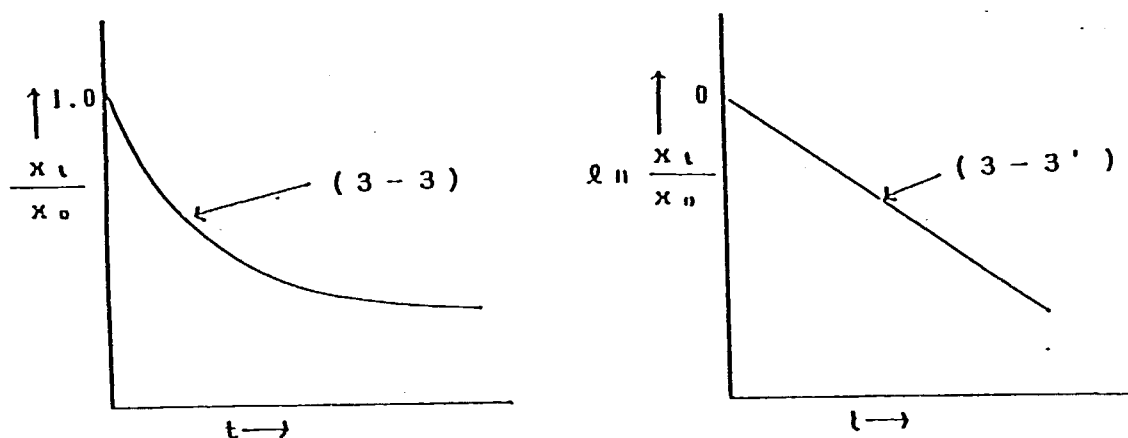


図-6. 6

ところで、Arrhenius ^{*1}によると速度定数kは温度の関数として(式-6. 4)で与えられる。

$$k = A \cdot e^{-E/RT} \quad \dots\dots\dots (式-6. 4)$$

ここで、A：頻度因子

E：見かけの活性化エネルギー [Kcal/mol]

R：気体定数 [Kcal/mol・°C]

T：絶対温度 [°C]

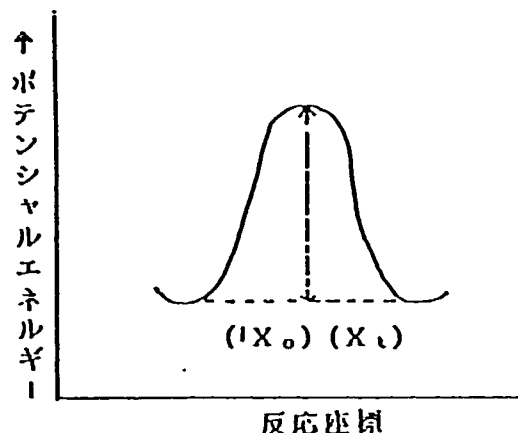


図-6. 7

(式-6. 4)の意味するところは、ある状態から他の状態への変化(反応)するには、原子あるいは分子が、熱振動の助けを借りてポテンシャルエネルギーの障壁を乗り越える必要があり、その時の障壁の高さが活性化エネルギーである。(図-6. 7)

したがって、このような反応の起こる速さ(k)は活性化エネルギーが小さい程、温度が高い程大きいことがわかる。

6.3.2 促進劣化条件の求め方(アレニウスプロット)

(式-6. 3)と(式-6. 4)より、(式-6. 5)が求まる。

$$\ln t = \frac{E}{RT} + \ln \left[\frac{1}{A} \cdot \ln \frac{x_0}{x_t} \right] \quad \dots\dots\dots (式-6. 5)$$

すなわち、ある温度T*においてx_t/x₀がある一定値x_t^{*}/x₀になるのに要する時間t*は(式-6. 6)で与えられる。

$$\ln t^* = \frac{E}{RT^*} + P^* \quad \dots\dots\dots (式-6. 6)$$

$$\text{ここで、} P^* = \ln \left[\frac{1}{A} \cdot \ln \frac{x_0}{x_t^*} \right] = \text{定数}$$

このことは、反応形態（次数）が変化しないような特定の温度範囲を選ぶなら、温度と反応時間が一義的に関係づけられることを意味している。すなわち、室温における変化と同一の変化が高温では、はるかに短時間で予測出来ることを示している。

したがって、ゴム材料の化学反応（劣化）の促進条件を求めるには次のように行えば良い。まず、そのゴム材料の 100℃前後の温度（ $T_1, T_2, \dots$ ）での劣化実験（図-6. 8）より、 x_t/x_0 がある値（例えば、0.8 とか 0.5とか）になるときの時間（ $t_1, t_2, \dots$ ）を求める。

次に（式-6. 6）に従って、 $t_1, t_2, \dots$ を $1/T_1, T_2, \dots$ に対してプロットし、その時の直線の勾配より活性化エネルギー E を求める。（図-6. 9）

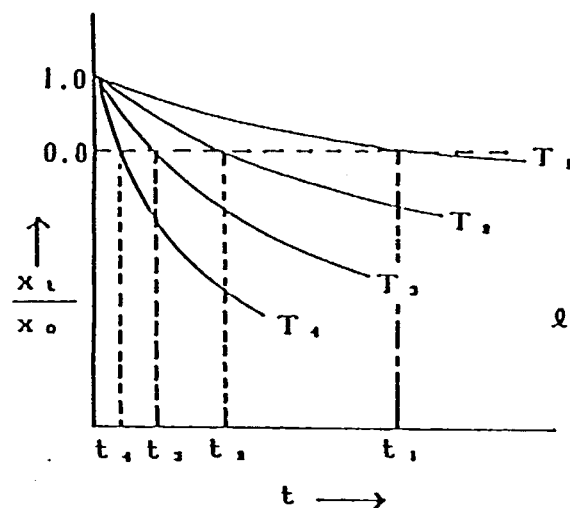


図-6. 8

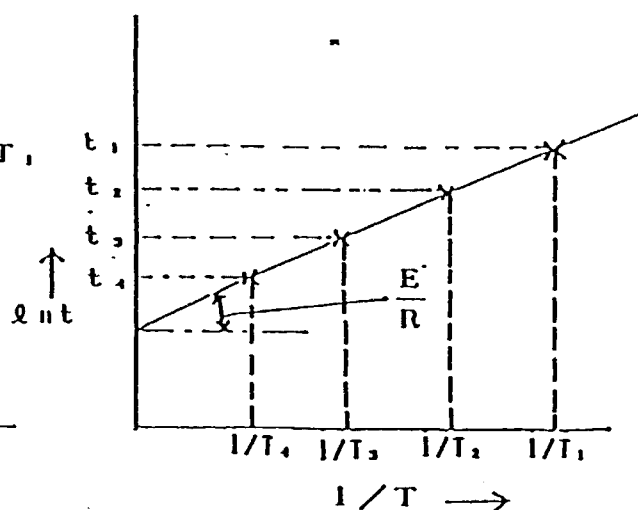


図-6. 9

したがって、室温 T_{290} における反応時間 t_{290} と、ある高温 T_0 における反応時間 t_0 の間には（式-6. 6）より、（式-6. 7）式が成立することがわかる。

$$\ln \frac{t_{290}}{t_0} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_{290}} - \frac{1}{T_0} \right) \dots\dots\dots \text{（式-6. 7）}$$

すなわち、 T_0 で1日劣化させたものは、室温で T_{290}/t_0 日劣化させたものと同じである。

6.4 免震用積層ゴムの寿命

具体例として、積層ゴムの経年変化をとりあげて、その寿命を考えてみることにする。そのためにはまず、積層ゴムがどのような使われ方をするか考える必要がある。

6.4.1 負荷条件

積層ゴムに与えられる負荷は大体次のように考えられる。

- ① 常時建物の重量による鉛直荷重を受ける。この結果、建設直後の初期圧縮変形とクリープによる圧縮変形の増加がある。
- ② 大地震時には最大20～40cmの水平往復変形を行う。

この場合、せん断変形と共に重量を支持する有効面積が減少するため、圧縮変形も増加する。（図-6. 10）

- ③ 地震時に建物のロッキングが発生する。積層ゴムの場合、鉛直方向の引張り変形がある程度大きくなるとゴム内部にボイトが発生し、剛性が急激に低下、やがて破断する危険性がある。ロッキングによるこのような引張りが発生しないように設計されるのが普通である。(図-6.11)
- ④ 常時、周辺からの微振動を受ける。
- ⑤ 気温変化に伴う熱膨張、熱収縮を繰り返す。

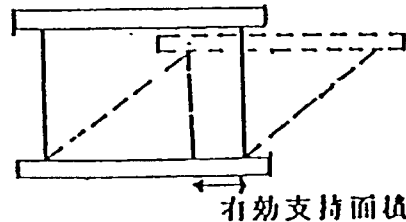


図-6.10

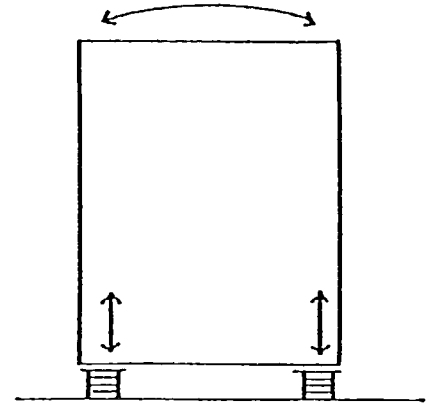


図-6.11

6.4.2 環境条件

一方、積層ゴムの置かれる環境条件は次のように考えられる。

- ① 建物の基礎に設置されるために、直射日光や風雨にさらされないと思われられる。ただし、実際には建物の基礎にむき出しの状態に設置されるケースも多く、今後免震構造が普及するにつれ、使用条件もかなり多様化してくるものと推察される。したがって、日光、風雨の影響も考慮しておく必要がある。
- ② 常時、積層ゴムの外表面部は酸素、オゾン、湿度にさらされる。海辺では、海風の影響も大きい。
- ③ 使用温度は一般的には $-20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ を考えておけば良い。ただし原子力発電用の場合、寒い地方に設置される可能性が高いため、 -30°C 程度までに考えておく方が望ましい。

6.4.3 積層ゴムの部材への分割

上記の使用条件に対する材料の経年変化を促進試験によって予測するためには、積層ゴムを次のような各部材の集合体として考えるのが望ましい。(図-6.12)

- ① ゴム材料1 (内部ゴム…外気の影響をほとんど受けない)
- ② ゴム材料2 (表面ゴム…外気の影響を直接受ける)
- ③ 内部ゴムと表面ゴムの接着界面 (両者が異種ゴムのとき)
- ④ インサート鉄板 (外気の影響なし)
- ⑤ フランジ鉄板 (外気の影響有り)
- ⑥ 内部ゴムとインサート鉄板の接着界面 (外気の影響なし)
- ⑦ 表面ゴムとフランジ鉄板の接着界面 (外気の影響有り)

もちろん、これらの各部材の製品寿命に与える影響の重みづけは異なっているので、全部を同じ精度で評価する必要はない。

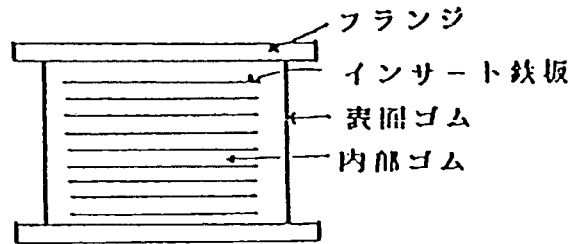


図-6. 12

6.4.4 ゴム材料の劣化予測のむずかしさ

ゴム材料の劣化予測を難しくしている要因の一つとして、材料特性のバラツキの大きさを考える必要がある。

これは製品として実際に用いられる加硫ゴムの場合、一般には各種充填剤がゴム自身の量に比べて極めて多く添加されている。またほとんどの場合、混練工程を昔ながらのバンバリーに頼っていること、更に、加硫工程という複雑な化学反応をコントロールしなければならないために、均一性、再度の優れた材料を得ることがむずかしいということに起因している。このため、活性化エネルギーを正確に求めることが難しいことがあげられる。

例えば、活性化エネルギーを求める時に10%の違いが入ると促進劣化倍率が約2倍異なる。したがって、“構造部材でかつ50～60年の長寿命を必要とする製品”として取り扱う以上、出来るだけ安全側の判断が出来るような数値を選ぶ方が無難であろう。

いずれにしろ免震構造の普及のためには、それを支える積層ゴムの耐久性確保が不可欠の条件であり、逆にそのような技術の確立がゴムの今後の用途拡大に極めて大きな役割を果たすと考える。

引用文献

- * 1 Arrhenius, S., Z. Phys. Chem., 4, 226 (1889)

強化プラスチック系新素材・新材料について

目 次

1 繊維強化プラスチック（FRP）業界の概要	41
1.1 FRP業界の概況	
1.2 需 要	
1.3 製造方法	
2 FRP材料の最近	50
2.1 FRP材料の特徴	
2.2 FRP材料の応用の現況	
3 土木分野におけるFRP材の応用	67
3.1 応用の現況	
3.2 開発への提言	
3.3 現場施工とFRP	

1. 繊維強化プラスチック（FRP）業界の概要

1.1 FRP業界の概況

1.1.1 FRPの歴史

複合材料の歴史は、古くは我が国の仏像の製作や土壁に代表され、また近代に入ってからでは鉄筋コンクリートやゴムタイヤ等がある。

FRPとは Fiber Reinforced Plastics（繊維強化プラスチック）の略称である。広い意味では、各種のプラスチック材料を、ガラス繊維や炭素繊維等、各種の繊維を使って強化した複合材料の総称であるが、単に「FRP」という場合には、不飽和ポリエステル樹脂やエポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂をガラス繊維で強化した材料並びに製品を指すことが多い。

FRP、即ちガラス／ポリエステルによるFRPが、我が国の材料の歴史に登場したのは、昭和20年代の、それも終わり近くのことである。当時のFRPは、現在脚光を浴びている、複合材料（Composite materials 又は Composites）の思想を持った材料の創成期として捕えられ、金属に替り得る構造材料の先端に位置づけられるものであった。

その後、時代の進歩と共に、強化繊維としてのボロン、炭素、黒鉛繊維、炭化珪素やアルミナ、チタン酸カリウム繊維等の無機繊維、アラミド系の高強度有機繊維の開発が行われた。

またこれと平行して、複合材料用マトリクス樹脂は、不飽和ポリエステル樹脂の他にエポキシ樹脂、ウレタン樹脂の他、最近では低圧成形用のフェノール樹脂、高耐熱性のポリイミド樹脂等の熱硬化性樹脂の進歩が著しい。

更に、汎用熱可塑性樹脂のポリオレフィン、エンジニアリング樹脂のポリアミド、ポリアセタール、ポリカーボネート、熱可塑性ポリエステル（PET、PBT）、ポリフェニレンオキサイド（PPO）、また最近では、いわゆるスーパーエンブラと呼ばれる、ポリフェニレンサルファイド（PPS）、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）、ポリエーテルサルフォン（PES）、ポリアミドイミド（PAI）等の樹脂も複合材料用マトリクス樹脂としてどんどん実用化が進んでいる。

このように、近年、素材の組み合わせによって、複合材料の種類は急速に増大し、またその材料特性もますます高性能、高機能のものへと進歩している。

1.1.2 機能的特性と複合

繊維強化プラスチック（FRP）の第一番目の基本特性は、軽く、そしてその機械的性能に優れる点にある。しかしFRPは、この機械的性能をベースに、常に機能的性能の満足も要求されて使われて来た材料である。

例えばそれは、耐薬品性に優れること、低い熱伝導率、音や機械的振動に対する減衰性のよいこと、電気絶縁性が大きいことや或いは、電磁波の透過性に優れること等々である。

FRPの耐薬品性は、主として使用される樹脂の性質に依存するが、耐食性のある金属、例えばステンレス鋼やその他の多くの特殊金属でも耐えられないような高腐食環境下で、耐用することが可能である。錆を嫌う住宅水回り部材から始まって、化学装置用プロセス機器や薬液のタンクに至るまで、構造と耐食性を同時に備えた応用例を数多く挙げることができる。

このようにしてFRPは、従来材の木材や金属を、積極的に置換代替して伸びて来た。

最近では複合操作による材料設計をフルに利用して、FRPの機能的性能を更に拡大する技術開発が進んでいる。

例えば、もともと誘電体であるFRPに導電性を持たせたいとか、電磁波透過性のあるFRPに反射性能やまた吸収性能を持たせたい等はその好例である。

また、機械的性能の改善として、高耐熱性FRP、高靱性FRPや高耐摩耗性FRPの開発も進んでいる。

このように複合材料そのものは歴史的に古いものであるが、ニーズに対応して、素材の特性を活かし、複合操作の技術を積極的に取り入れて来たのは、FRPが最初材料であると言える。

1.2 需 要

1.2.1 応 用

ポリエステルFRPが我が国に紹介されて以来、35年余の歳月が経過した訳であるが、その間、数え切れない程の用途開発への努力が積み重ねられ、現在ガラス／ポリエステルFRPの応用分野は、波・平板、建設土木に使用される成形品、浴槽・浴室ユニット、浄化槽、舟艇・船舶、自動車・鉄道車両用部品、給水タンクや耐薬品性を要求する貯槽及び耐食機器、パイプ、一般機械類のハウジング、電設資材及び家庭用電気部品・電子部品、スポーツ・レジャー用品及び雑貨から健康介護器具に至るまで、極めて広範囲に亘る。

また、炭素繊維強化プラスチックを中心とする先端複合材料（ACM）は、航空・宇宙用機器、輸送用機器、スポーツ・レジャー用品を中心とし、また最近に至り建設・建築材料としての応用が次第に展開しつつある。

これらの応用製品の一部を（写真1. 1～1. 4）に示す。

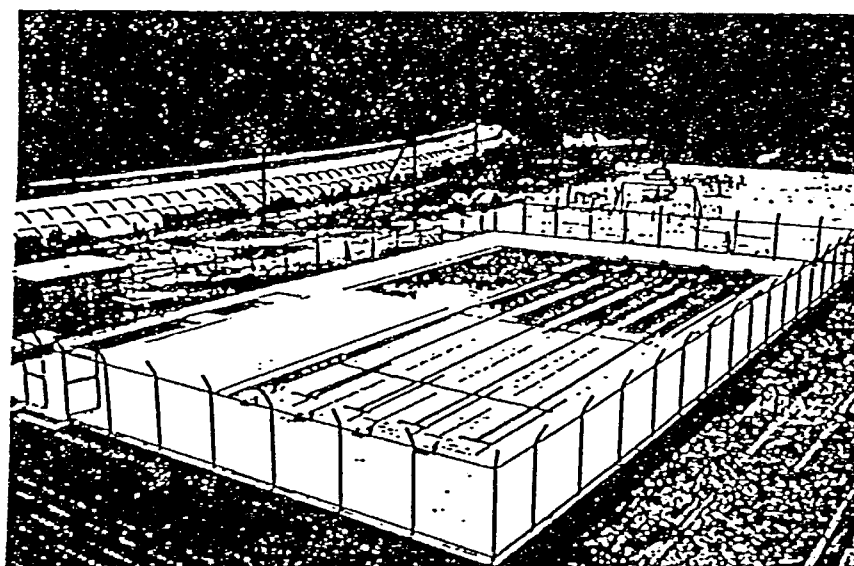


写真1. 1 プール^{1. 1)}

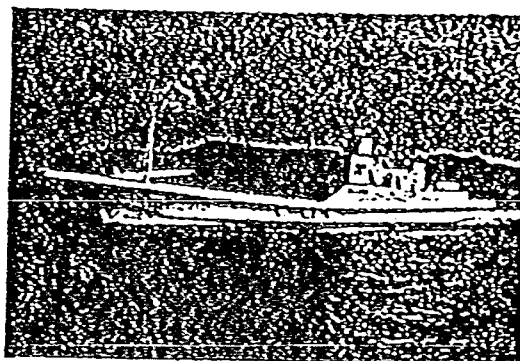


写真1. 2 179トン型漁船^{1. 2)}

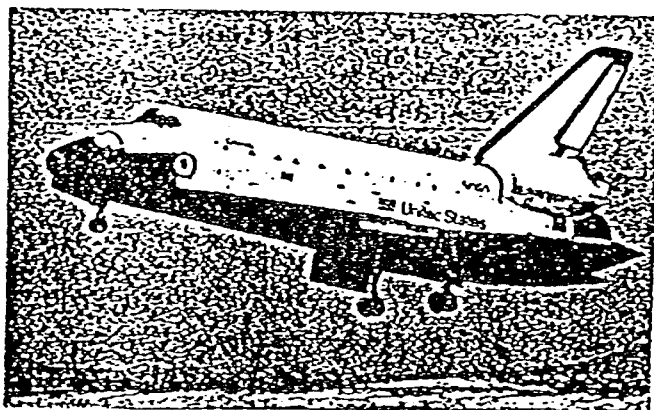


写真1. 3 スペースシャトル^{1. 3)}

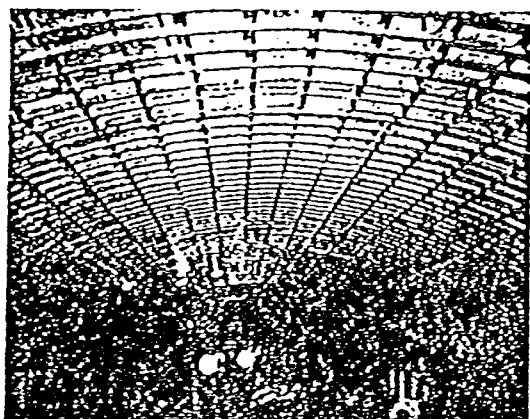


写真1. 4 コンクリート補強用複合材^{1. 4)}

1.2.2 統 計

我が国のFRPを公式統計ベースで捕えるなら、それはポリエステルFRP（強化熱硬化性樹脂）とRTP（（強化熱可塑性樹脂）の推定資料）とから構成される。ポリエステル樹脂以外の強化熱硬化性樹脂の統計は得られない。

また、先端複合材料（Advanced Composite Materials; ACM）の統計も、現在ではPAN系炭素繊維の需要についての、メーカー推定資料があるのみである。

（表1. 1）に、1987、8（実績）、89年（推定）の「我が国の強化プラスチックの用途別出荷統計」を示す。

また、（図1. 1）に出荷の長期トレンドを、（図1. 2）に、'89年の用途別動向を示す。

表1. 1 我が国の強化プラスチック出荷統計

分 類	1987	1988	1989
強化熱硬化性樹脂（RTR）	実 績	実 績	推 定
建設資材	30.7	31.1	36.3
住宅機材	129.8	153.7	182.3
舟艇／船舶	34.8	36.8	38.7
自動車・車両	12.5	17.0	21.0
タンク・容器	38.2	46.4	49.0
工業機材	48.7	56.4	53.2
雑 貨	21.7	25.5	32.7
その他	10.4	12.3	11.6
合 計	326.8	379.2	424.8
強化熱可塑性樹脂（RTP）			
合 計	130.0	153.0	165.0
合計（RTR+RTP）	456.8	532.2	589.8

注) 1. 単位：千トン

2. RTPは概算の推定による。

Spurce: The JRP Society
Compiled on January, 1990.

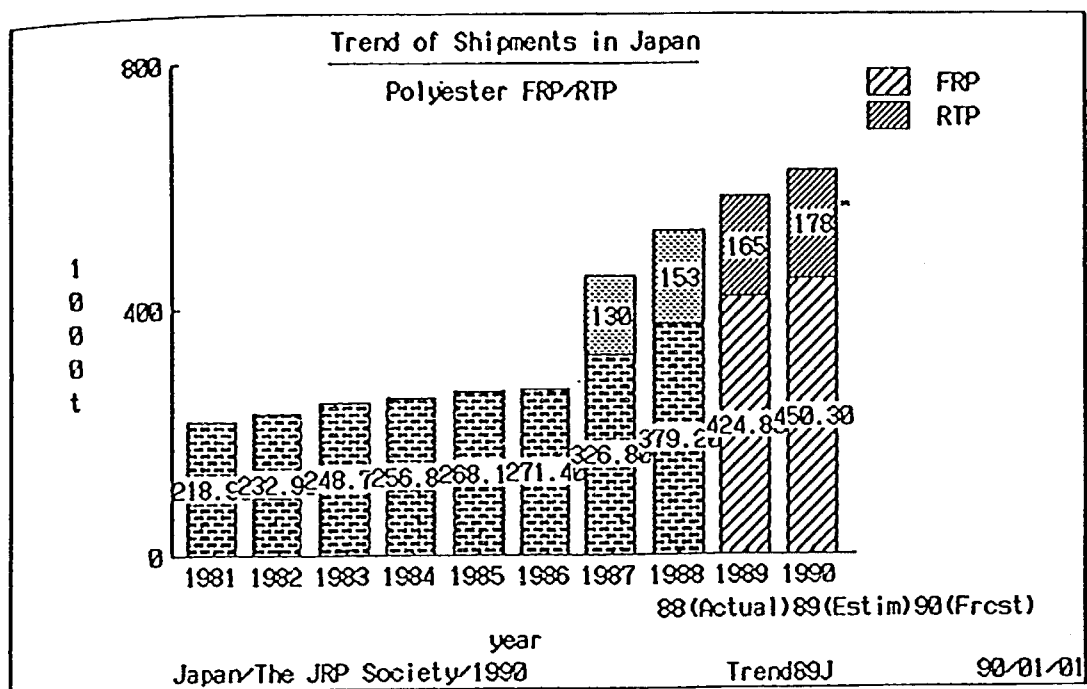


図1. 1 我が国の強化プラスチック

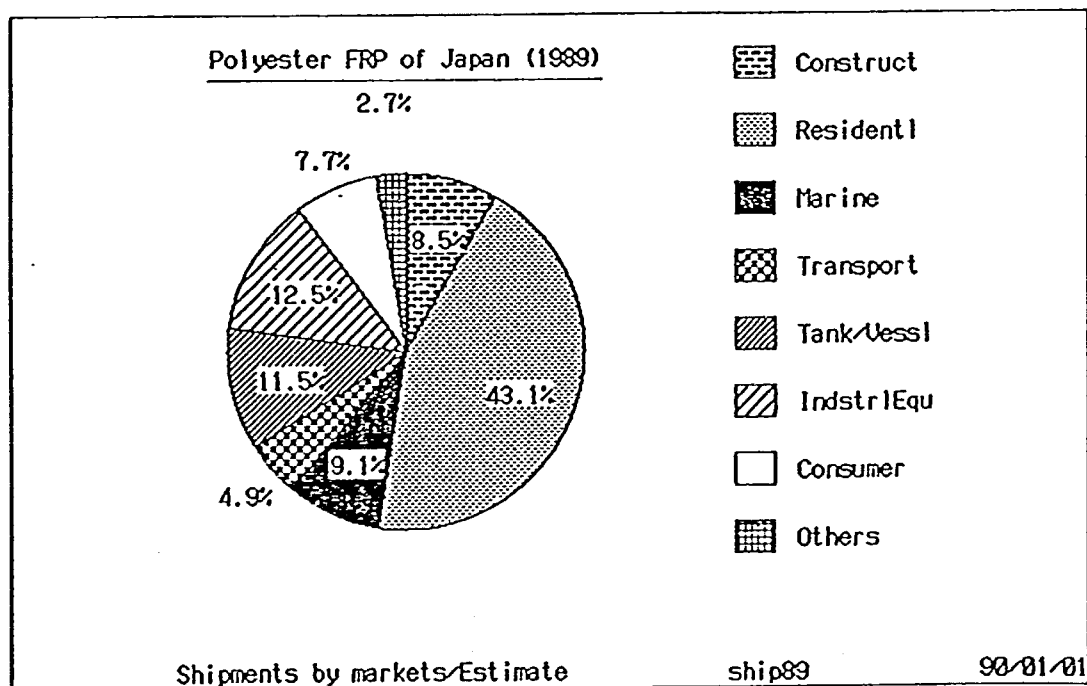


図1. 2 用途別出荷動向（'89年、推定）

1.3 製造方法

FRPは1個だけでも、また電気部品のような量産品でも自由に成形することが出来、その成形法は15種類位もある。

最も代表的な成形法は、ハンドレイアップ法である。この成形法は、少量生産に向き、大規模な設備がなくても、例えば、長さ50～60mの船や、直径25m×高さ20mのドームなども容易に作ることが出来る。

量産のための機械的な成形法としては、浴槽・浴室ユニットや、組立式水槽用のパネル、自動車部品等を作るためのSMCプレス成形法や、電気部品等を中心とするBMCプレス又は射出成形法、波板を作るための連続成形法、パイプや容器を製造するためのフィラメントワインディング法、各種のプロファイルを成形する引抜成形法等がある。

その他、スプレーアップ、プリフォームマッチドメタルダイ、レジンインジェクション、加圧バッグ、真空バッグ、遠心成形法等の各種の成形法があり、製品の形状、要求性能に応じて使い分けられている。

また、ACMに関しては、プリプレグ（炭素繊維に樹脂を含浸させた成形材料、ポリエステルFRPのSMC/BMCのコンパウンドに対応する材料）をテープワインダーやローリングテーブル・ワインダーにかけて成形する、ワインディング成形法（主として釣竿、ゴルフクラブ等のスポーツ・レジャー用品向け）、同じくプリプレグをオートクレーブ内に納めて減圧、脱泡した後、加熱加圧して硬化成形するオートクレーブ成形法（航空宇宙機器用）の他、ハンドレイアップ法、プレス成形、引抜成形、射出成形等の方法も用いられている。

以下、FRPの代表的な3種類の成形法について、概略を説明する。

1.3.1 ハンドレイアップ（HL）法

FRP製の型にローラーを使って樹脂とガラス繊維を順に積層し、硬化後脱型する。多品種少量生産向き、機械成形しにくい船や塔、貯槽等の大型製品の成形に適する。

（図1. 3）型に接する面は平滑に仕上がるが、他の面は粗な仕上がりになるので、製品の使用目的に応じて、オス型、メス型のいずれかを選ぶ。

主な製品例：漁船、ボート、ヨット、浴室ユニット、貯槽、容器、
その他特注による製品など多種。

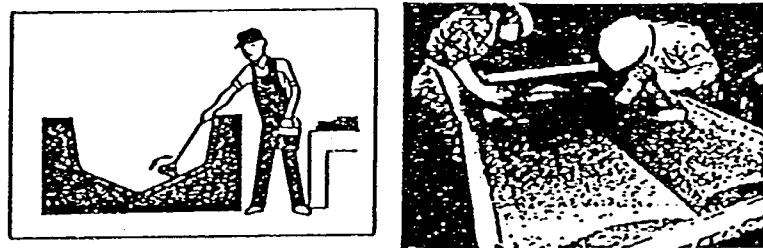


図1. 3 ハンドレイアップ成形法^{1) 5)}

1.3.2 シートモールディングコンパウンド法（SMCプレス成形法）

ガラスロービングをカットしたチョップドストランドと樹脂と種々の充填材を含浸させたシート状の成形材料（SMC）を金型内に挿入して、加熱加圧して成形する方法で、量産製品の生産に適している。（図1. 4）

リップ、ボス付きの製品やアンダーカットのある製品も成形出来るが、プレス成形機や金型に対する投資額が大きい。

主な製品例：浴槽（また最近では浴室ユニットも）、防水パン、組立式パネル水槽、自動車・車両用部品各種、電気部品など。

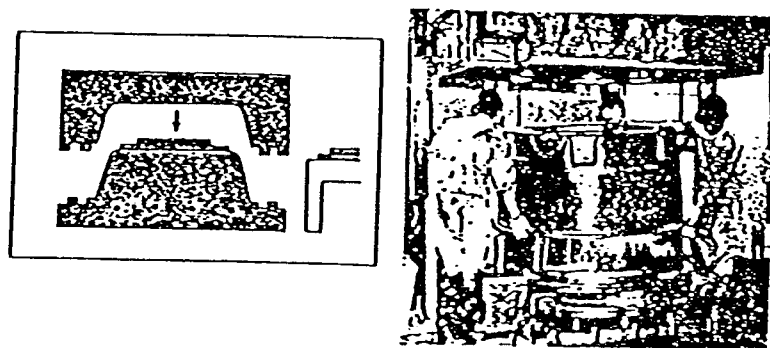


図1. 4 SMC／圧縮成形法^{1. 6)}

1.3.3 連続成形法

1) 波・平板成形法

ガラスマットに樹脂を含浸させ、波型のローラーを通して型付けをしながら、トンネル状の加熱硬化炉を通過させて、連続的に波板を生産する方法である。（図1. 5）波型のローラーを使わなければ平板が出来るが、最近では、波型ローラーの替りに各種のエンボスローラーを使うことによって、表面に模様の付いた平板を生産する方法も実用化されている。

主な製品例：波・平板

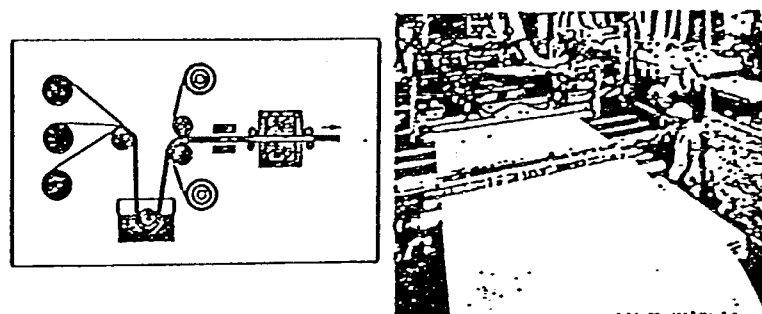


図1. 5 波・平板成形法^{1. 7)}

2) フィラメントワインディング法

連続した強化材を1～数十本引き揃え、マトリクス樹脂を含浸させながら回転するマンドレル（金型）の上に規則正しく巻き付け、所定の厚さに達した後脱型して、成形する方法である。（図1. 6）

フィラメントワインディング成形法には、バッチ方式と、連続方式の2つがある。バッチ方式は精密で高強度の製品の成形に適しており、内圧パイプ、圧力容器、タンク等の製造に適している。

主な製品例：パイプ、圧力容器、貯槽

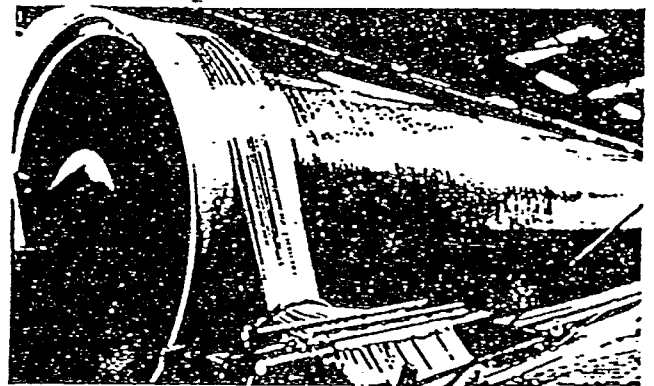
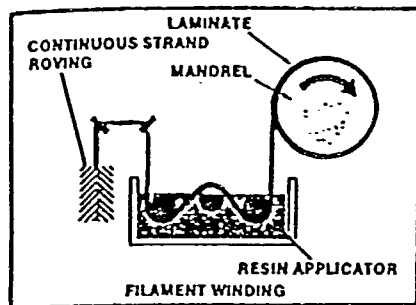


図1. 6 フィラメントワインディング成形法^{1, 8)}

3) 引抜成形法

ロービング、チョップドストランドマット、クロス等の強化（ガラス）繊維を引き揃え、これに樹脂を含浸させ、成形品の断面と同じ形状をした型に引き込んで、強化材と樹脂の混合割合を整え、型内又は型から出た直後には十分に保形出来る程度に硬化させ、更に最終硬化させて成形する連続成形方法。（図1. 7）

主として、長尺の構造材として使用される製品が多い。

主な製品例：棒（農業用ポール、のり養殖用ポール、架線支持棒、絶縁棒等）

管（橋梁添架パイプ、梯子、その他各種のチュービング用途）

その組み合わせ（フェンス、欄干等）

板（下水処理場の覆蓋兼床板、

高速道路の検査保守用の吊下げ歩廊板、その他）

特殊プロファイル（ケーブルラック、トラフ、

窓枠サッシ、ベンチ等各種多様）

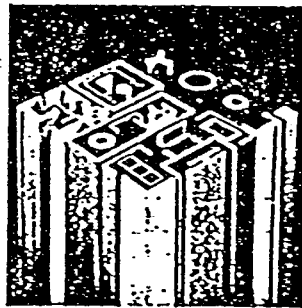
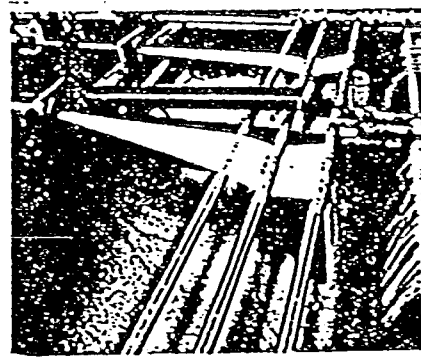
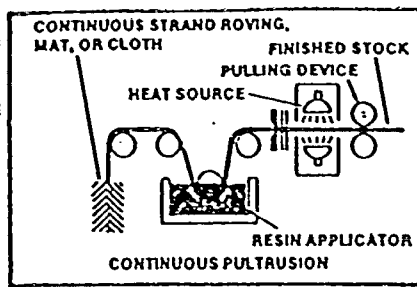


図1. 7 引抜成形法^{1. 9)}

この章の参考文献

- 1.1) カタログより抜粋
- 1.2) 「FRP入門(新版)」p 20、1987年9月、(株)強化プラスチック協会
- 1.3) "ACM (Advanced Composite Materials)" p 14、1985年9月、(株)強化プラスチック協会
- 1.4) 1.2)に同じ。p 16
- 1.5) "FRP (Fiber Reinforced Plastics)" p 15、1983年9月、(株)強化プラスチック協会
- 1.6) 1.5)に同じ。p 16
- 1.7) 1.5)に同じ。p 17
- 1.8) "FRP (Fiberglass Reinforced Plastics)" p 26、Mar.1974、Owens Corning Fiberglas.
- 1.9) 1.8)に同じ、p 26。及び1. 5に同じ、p 17。

2. FRP材料の最近

2.1 FRP材料の特徴

2.1.1 FRPの性能

1) FRPの性能的特徴

FRPは軽くて、強く、耐食性に優れ、成形性の良い材料である。

(1) FRPは軽くて強い。

FRPの引張り強さは他材料に比べ非常に大きく特に一方向強化材は大きい。

(図2. 1)

一方FRPの比重はガラス繊維含有量が多くなれば大きくなるが、1.5 ~ 1.9 で鋼材の1/5 ~ 1/4 と小さい。そのため単位重量当りの強さ即ち比強度を金属材料と比べると非常に大きい。(図2. 2) しかし弾性率は金属、無機材料よりも小さく、(図2. 3) 比弾性率で比較しても一方向強化材を除き有利とはいえない。(図2. 4)

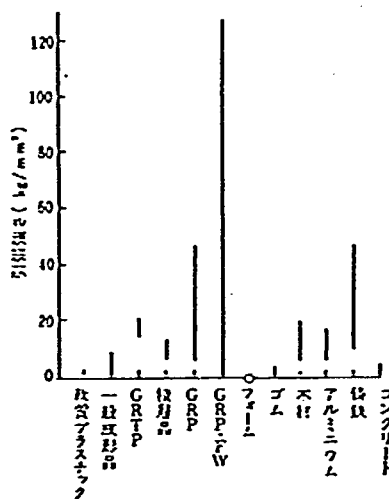


図-2. 1 各種材料の引張り強さ

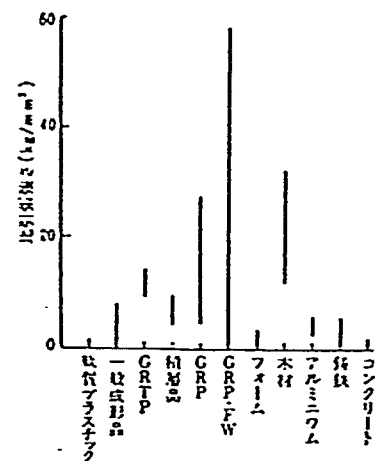


図-2. 2 各種材料の比引張り強さ

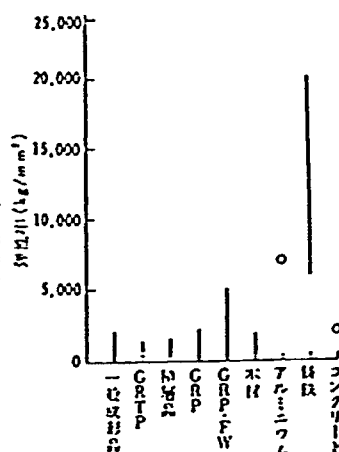


図-2. 3 各種材料の弾性率

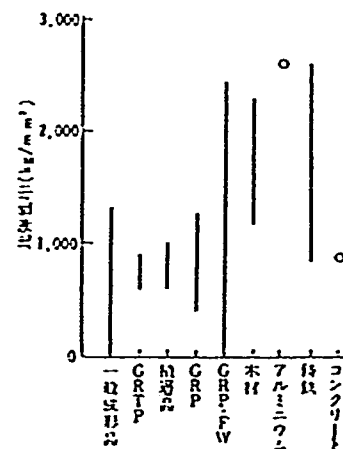


図-2. 4 各種材料の比弾性率

この点はサンドイッチ構造やスチフナ構造とする事で解決されている。このような軽くて強いという特徴により構造材料として使用されるようになった。特に航空機、自動車、車両分野では燃料消費量が少なく、乗客や荷物を多く積載出来るため、FRPの特徴が大きく活かされた用途である。

(2)FRPは耐食性に優れている。

FRPは金属系材料に比べ各種の酸類、塩類、海水、水等により侵され難い。(表2. 1) 強化材のガラス繊維自体も侵され難いが、耐食性の優れた樹脂で結合し、表面を覆っているためである。FRP製品にはこの優れた耐食性を活かした用途が多い。例えば波板、浴槽、浄化槽、各種タンク、下水処理場覆蓋、船舶、海洋構造物、更に高度の耐食性を要する各種化学薬品タンク、反応装置類、耐食ライニングに広く使用されている。

表-2. 1 化学プラントに使用される各種材料の耐食性および機械的性質の比較

		耐食性FRP	SS41	SUS32	ハステロイC	アルミニウム
耐食性の比較	希濃硫酸	○	×	○ 5%以下	○	×
	濃硫酸	○60%以下	○85%以上	○85%以上	○	×
	濃硫酸	○	×	×	○	×
	濃硫酸	○	×	×	○	×
	濃硫酸	○10%以下	×	×	○	×
	濃硫酸	○	×	○	○	×
	濃硫酸	○	×	○	○	×
	濃硫酸	○	×	○	○	×
機械的性質の比較	比線弾引降熱	1.4~1.5	7.87	7.98	8.99	2.73
	膨張係数	23.40	11.70	16.20	11.30	23.8
	弾性係数	0.056~0.105	2.10	1.96	1.82	0.70
	引張強度	8.4~14.0	40.00	52.00	56.00	8.4
	降伏強度	8.4~14.0	23.00	21.00	35.00	2.8
	熱伝導率	0.223	41.60	14.00	9.65	200.00
	比重					
	酸化					

(3)FRPは成形性の良い材料である。

FRP成形物はデザインの自由度が高く複雑な曲面、複雑な構造、肉厚の変化、インサート、ボス、リブ等の一体成形が容易である。また、大型成形物を比較的容易に成形できる。生産量も1～数個の小量から数万個の多量まで対応出来るのが特徴である。例えば漁船のように大型で成形数の少ない製品、波板、平板、Iビーム、アングル、ロッド、パイプのように断面形状が一定で長尺のもの、浴槽、防水パンのように比較的大型で表面平滑なものの大量生産品、自動車外板、自動車部品のように曲面も構造も複雑なものの大量生産品、薬品タンク、化学反応装置のように特に優れた耐食性を要するもの、航空機部品のような極めて高度の強度と信頼性を要する成形物などそれぞれに適合した成形法が開発使用されている。

(表2. 2)

表-2. 2 各種FRPの成形法と製品	
FRP成形法	ハンドレイアップ成形法……………舟艇・船舶、耐食機器等
	スプレーアップ成形法……………タンク類、浴槽、耐食機器等
	レジンインジュクション成形法……………浴室ユニット、ヨット、ハウジング類等
	射出成形法……………電機部品、自動車部品等
	フィラメントワインディング成形法……………パイプ、釣竿、ゴルフクラブシャフト等
	引抜き成形法……………ロッド、パイプ等
	プレス成形法……………浴槽、水槽、自動車部品、ヘルメット、 テニスラケット、スキー等
	連続成形法……………波・平板等
	オートクレーブ成形法……………宇宙航空部品等

(4)各種機能を複合しやすい材料である。

一般的FRPの特性としてこれまでに説明した軽量性、強度、耐食性、成形性の他に、

- ① 電気絶縁性が良い。
- ② 電磁波透過性がある。
- ③ 透光性があり着色自由である。

等の特徴がある。

不飽和ポリエステル樹脂とガラス繊維よりなる一般的FRPに第3成分を加えることにより、更に機能の複合化が可能である。例えば、炭素繊維を積層すれば電気伝導性が得られ発熱体となる、電波反射材料を複合すればパラボラアンテナの材料となる。

(5)FRPの短所

金属材料と比較したFRPの短所は次の通りである。

- ① 耐熱性があまり高くない。
- ② 弾性率が低い。
- ③ 疲れ強さが低い。
- ④ 積層材の層間せん断強さが低い。
- ⑤ 成形速度を早めると、残留ひずみや応力を生じ易い。
- ⑥ 可燃性である。

FRP成形物では要求性能を満足させるために種々の工夫がされている。例えば、強化材をガラス繊維から炭素繊維、アラミド繊維等に替えれば減衰特性、耐摩耗性、弾性率の向上等が図れ、難燃剤を加えれば難燃化される。耐候性向上のため紫外線吸収剤の添加などがある。

2) FRPの構造的特徴

FRPは最適の材料設計ができ、最適の成形法が選べる。

(1)不均一材料である。

FRPはそれぞれ物性、形状の異なる2種類の材料即ち繊維状強化材と樹脂より成る。強化材はロービング、チョップドストランドマット、各種織物などとして使われ、成形物中で固有の形状を保持しており、その周囲に樹脂が含浸し取り囲んでいる。ガラス繊維の表面は樹脂と強固に結合するように処理されている。FRPの物性は構成素材の特性に依存し、構成材料の含有率によって決定される。即ちFRPの強度特性は複合則により、強化材と樹脂の体積含有率とそれぞれの強度特性より導かれる。(図2. 5) (表2. 3) (表2. 4)

金属材料と異なり、FRPは成形時に強化材量を成形物全体についても、部分的にもコントロール出来るので合理的設計が可能となる。一方品質管理上は設定されたガラス繊維含有量となるようコントロールしなければならない。

表-2. 3 不飽和ポリエステル樹脂
注製品と積層品の比較

項 目	単 位	注形品	積層品*
比 重		1.1~1.4	1.7~2.0
パーコル硬さ	934-1 型	35~45	50~65
引張り強さ	MPa	39.2~68.6	294~441
曲げ強さ	MPa	78.4~117.6	343~588
曲げ弾性率	MPa	3,332 ~ 4,410	19,600 ~ 24,500
圧縮強さ	MPa	117.6 ~ 176.4	294~490
シャルピー 衝撃強さ	KN・m/m ²	2~4	100~160
アイゾット 衝撃強さ	ft・lb/in	0.2~0.7	5~25
熱変形温度	℃	60~180	200<

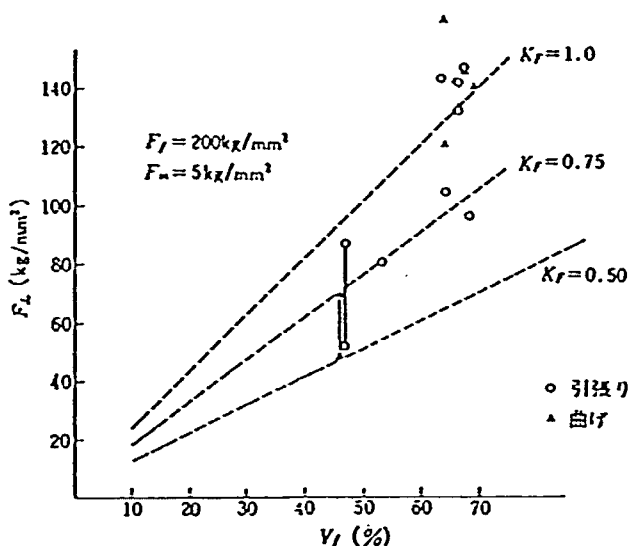


図-2. 5 一方向強化材の
引張強さとガラス含有率

*ガラス含有量55~65重量%、朱子織ガラスクロス使用

表-2. 4 代表的繊維の性質

種 類	比 重	引 張 強 さ (MPa)	弾 性 率 (MPa)	伸 度 (%)
E ガ ラ ス 繊 維	2.54~2.57	3,430	72,520~75,460	3~4
S ガ ラ ス 繊 維	2.49	4,606	85,260	4~5
炭素繊維 (高強度)	1.74 1.77	2,940	235,200	1.5
炭素繊維 (高弾性)	1.84 1.87	2,058	392,000	0.6
アラミド (ケブラー49)	1.45	2,793	127,400	2.4
ナ イ ロ ン	1.14	980	4,900	19
ポ リ エ ス テ ル	1.38	1,127	12,250	13
ス チ ー ル 繊 維	7.85	2,352	196,000	1.7
綿	1.54	343~787		6
羊 毛	1.32	196		30
絹	1.30			25
レ ー ヨ ン	1.50 1.52			8~12

(2)異方性材料である。

一般にFRPでは強化材として長繊維の束が使われており、基本的に繊維の長さ、方向の強度が最も大きい。一方向強化材であるロービングのみを使ったロッド、アングルなどの引抜き成形物はFRPの中で最大の引張り強さを有する。また縦糸、横糸にロービングを使ったロービングクロスFRPの引張り強度は(図2. 6)のように、糸方向で最大となり45度方向で最小となる。同じ強化材含有率であっても、その方向により成形物の強度が変わるので、成形物の要求性能を満たすように強化材の方向をコントロールすることで、合理的材料設計ができる。

例えば、内圧を受ける閉じた円筒殻の場合、円周方向に受ける力は軸方向の2倍となる。よって鋼で作る場合、肉厚は円周方向の力に耐える厚さで済むから、軸方向の力に対しては2倍となり、合理的な設計とは言えない。一方フィラメントワインディング成形法で成形する場合、ロービングの巻き角(円筒軸に対する巻き付けロービングの角度)を54.7度に取りれば、軸方向の強度に大使円周方向の強度が2倍となり、内圧を受ける円筒殻としては合理的な設計となる。一方FRPの方向性を少なくする場合はチョップドストランドマットが併用される。(図2. 7)

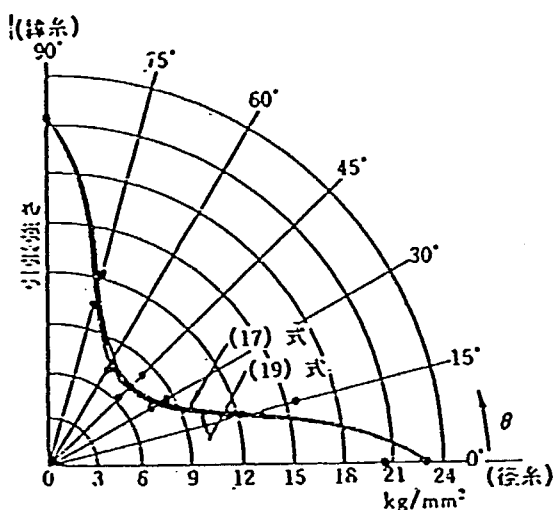


図-2. 6 R4層積層板

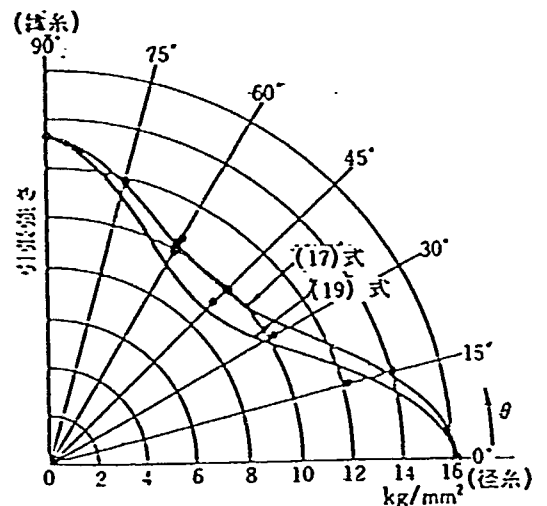


図-2. 7 MRMR積層板

FRP板の引張り強さの方向性の一例

(3)成形と材料合成を同時に行う。

強化材は柔軟性に富み、複雑な型にもなじみ易いように作られており、これに液状である硬化前の樹脂を含浸させ、成形型で形を決め、気泡を除き、樹脂を硬化反応で固形化する。十分に硬化した後FRPの性能が発揮される。この点が金属材料と本質的に異なっている。成形物の各部形状、要求物性が決まった後で材料を合成するので、材料の最適設計が可能となり、積極的に活用されている。同時に品質管理のポイントでもある。

(4)常温、常圧でも加熱加圧でも成形できる。

不飽和ポリエステル樹脂はFRP用樹脂として最も一般化されており、使用量、使用分野ともに多く、大きなシェアを占めている。その理由は、

- ① 粘度が低く、強化材に含浸しやすい。

- ② 常温でも、加熱下でも速やかに硬化でき、硬化時ガスや副成物が出ない。
- ③ 比較的低価格である。
- ④ 物性、耐薬品性に優れている。
- ⑤ 多様な成形方法が可能である。
- ⑥ 着色が自由である。

などがあげられる。

常温、常圧で含浸硬化出来るため、自然条件下で成形できる。

よって漁船のような大型成形物が成形可能となる。ただし、成形時、水で濡れると硬化不良となるので注意を要する。硬化は化学反応であるから、温度が高いほど速くなり、生産性が高くなる。加熱型を使う場合や加熱できる程度の大きさの場合は高温分解型の硬化剤を用い加熱硬化できる。

2.1.2 FRPの耐久性

耐久性 (Durability) とは、外力、環境条件等に対して持ちこたえ得る性能のことであり、従って、耐久性は常に時間の関数である。

FRPの耐久性は、個々の設計の時点において、ある程度 (しかし、100%ではないが) 予測し、コントロールすることは出来るが、FRP材料がどれだけ保つかという問いに、一般論として答えることは出来ない。

以下、これまでFRP構造及びFRP材について積み重ねられて来た設計基準かの知見から、耐久性を中心に、要約、整理する。

1) FRP構造設計の問題点

鋼、コンクリート等に比べて、歴史の浅い (導入以来35年余) FRPは設計上の信頼性や安全性がなお十分に確立しているとは言い難い。

それには、次のような理由が考えられる。

- 特性を支配するパラメータが多い

素材の種類、組成 (材料構成)、成形方法が多岐に亘り、非常に多種類のFRPが存在し、その全てに十分な設計資料を整備することが難しい。

特に、長期に亘る特性データが少ない。
- 環境因子の複雑性

上述の、材料、成形要因の他に、温度、湿度、環境 (耐薬品性、紫外線等) 影響因子等の複雑な交絡があり、信頼性に問題を生じさせるケースが多い。
- 異方性材料

FRPは基本的に異方性、積層材料であって、鋼のように等方性材料を扱い慣れた設計者には理解し難いところがある。

これらの問題を解決するために、(社) 強化プラスチック協会では、1978年以来、設計基準委員会 (委員長; 植村益次氏、東大工学部・当時) を設置して、外力基準、材料特性値、構造計算法の確立の他に設計基準の整備に努めて来た。

2) FRP設計基準

(1) 2種類の限界強度

FRP構造の設計（材料と寸法）を規定する限界強度として次の2種類の限界強度を検討する。

- ① 破損強さ基準
- ② 剛性、座屈限度基準

(2) 材料の静的特性値

応力・変形の計算結果、引張りか、せん断か、曲げかなど問題となる種目について、実際の運用条件を考慮して、材料特性を求めて置く必要がある。

その運用条件とは、

- ① 荷重の種類 : 短期（風、地震等）か、長期（固定・積載、雪等）か、静的か動的（繰返し、衝撃等）か。
- ② 環 境 : どんな環境条件下で使用するか。
（腐食環境、耐候性、高温、高湿度等）

- ③ 応力集中効果 : 切り欠き、孔、断面形状の急激な変化の与える影響。

しかし、実際の運用条件に対応する限界強度の値を、全て材料試験で求めて置くことは不可能である。特に、長期の疲労、クリープ等の耐久性に係わる試験を全てに行うことは難しい。

そこで、基本的には、先ず常温での静的破壊試験を義務づけ、その平均値を基準値として、温度、湿度、長期負荷状態など各因子による材料特性の低下率を乗じることにより、長期の特性を予測して良いこととする。

ただし、自らが使用材料の試験を行わずに、他人のデータを使用するときは安全率を割増しすることとする。

(3) 耐久性を考慮した、限界強度の低下の推定

これまでに集積された、FRPの材料特性（特に長期、動的）に関するデータから、耐久性（耐用年数）を考慮した、限界強度の低下の傾向は、以下の如くである。なお推定は、静的特性を基準にした保持率の値で論じるものとする。

また、従来の発表データの特性値は、主として繊維方向の値であるので、方向性異方性については注意を払う必要がある。

① 長期負荷によるクリープ変形と破壊強さの低下の推定

長期の作用応力が、静的破壊強さの30%以下の時は、クリープ効果を見捨て差支えない。

それ以上の時は、運用温度も考慮の上、破壊強さ又は変形を推定する。

a. クリープ限度（常温）（creep limit） ϵ_{cr}

ϵ_{cr} ; 0.1%/10,000 hrs の（引張り）クリープ歪みを発生させる応力値
（ガラス/ポリエステル）

引張り強さで、静的強さの約 40 %

ϵ_{cr} ; 0.3%/10,000 hrs の (曲げ) クリープ歪みを発生させる応力値
(ガラス/ポリエステル)
曲げ強さで、静的強さの約 30-40%

FRP (朱子織り、平織クロス) 曲げクリープ試験における歪み-時間曲線を (図 2. 8) に示す。

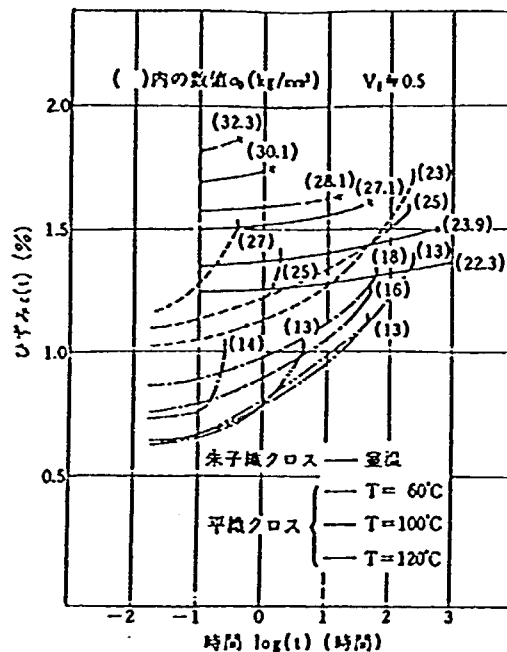


図 2. 8 FRP 曲げクリープ試験による歪み-時間曲線^{2. 1)}

● クリープ変形 (ϵ_{cr}) の増加の推定

creep compliance master 線図により推定する。

先ず、時間と換算時間との関係は、次式で表される。

$$\log_{10} t' = \log_{10} t - 9.25 \times 10^3 (1/T - 1/T_0) \quad (2. 1)$$

ここで、

t, t' : それぞれ、時間、換算時間 (hrs)

T_0 : 基準温度 = 373° K (100°C)

(ただし、上式は、平織クロスの場合) (Fig. 1.39)

3点曲げを例にとると、中央集中荷重 P による中央の最大たわみ δ は、

$$\delta(t) = (Pl^3/4bd^3)/D_c(t) \quad (2. 2)$$

で表され、(図 2. 9) に示すように各種温度 (T) におけるコンプライアンス ($D_c(t)$) の測定から、 $D_c(t) - \log_{10} t'$ の関係は、1本のマスター曲線で示され、式 (2. 1) を用いて、任意の環境温度 (T) における任意の経過時間 (t) での変形 ($\delta(t)$) の増加を推定できる。

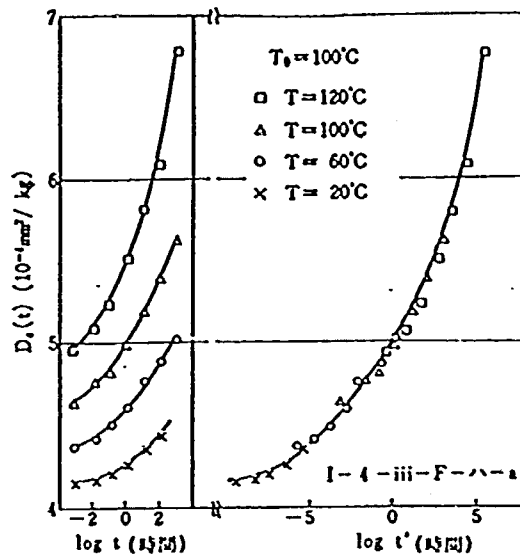


図2. 9 (平繊クロスの) 曲げクリープコンプライアンスとマスター曲線^{2. 2)}

b. クリープ破壊強さ (creep rupture) F_{cr}

F_{cr} ; 1000 hrs クリープでの、creep rupture を生じさせる応力値
(ガラス/ポリエステル)

引張り強さで、静的強さの約 65 %

(炭素繊維/エポキシ)

引張り強さで、静的強さの約 90 %

各種強化繊維によるFRPの引張りクリープ試験における破壊強さの曲線を
(図2. 10) に示す。

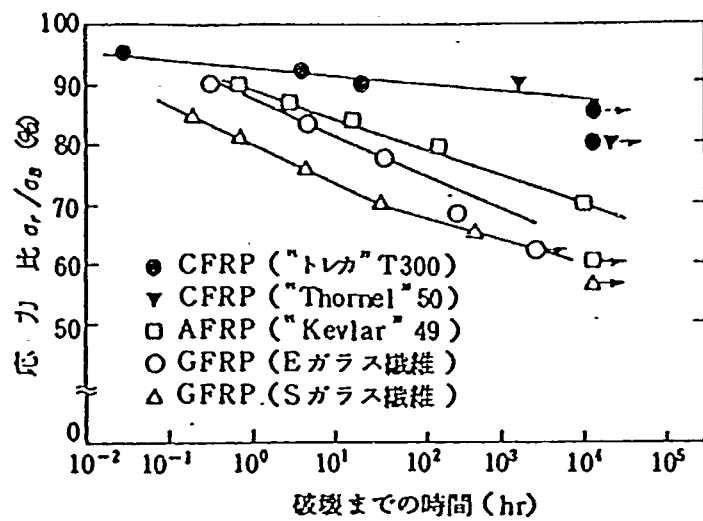


図2. 10 各種FRPの引張りクリープラプチャー線図^{2. 3)}

- クリープ破壊強さ (F_{cr}) の推定 ;
同様に、creep rupture master 線図により推定する。

時間と換算時間との関係は、同じ〔2. 1〕式で表される。

(ただし、平織クロスの場合)

まず、換算時間 t' を求め、(図2. 11) に示す、creep rupture master線図により、換算時間 t' に対応する、 ϵ b 曲線での縦軸を読み取り、負荷できる曲げ応力 (σ b) を推定する。

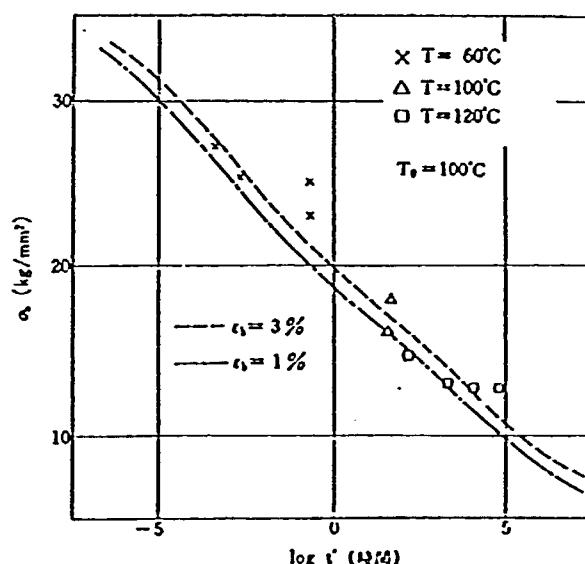


図2. 11 (平織クロス)の曲げクリープ破壊強さのマスター曲線^{2, 4)}

② 繰り返し負荷(疲労)による破壊強さの低下の推定

- 鋼材の S-N 曲線は、 10^6 回で概ね平行になるが、FRP は 10^7 回を越えても、平行にならない場合が多い。(疲れ限度がない)
- 疲れ過程で、剛性の低下を示す。
疲れ破壊 ; 初期剛性の 20.0% 低下 --- JIS
" 12.5% 低下 --- ASTM
- 疲れ破壊近傍で、界面剥離の発生に伴う白化現象を呈する。
- 比疲れ強さ (σ_f / σ_B)

鋼材	0.30-0.50
ガラス/ポリエステルFRP	0.25-0.40
炭素繊維/エポキシFRP	0.80

各種複合材料の、引張り疲れによる、S-N 線図を(図2. 12~13)に、各種材料の引張り疲れ強さの静的強さに対する比率、比疲れ強さを、(図2. 14)に示す。

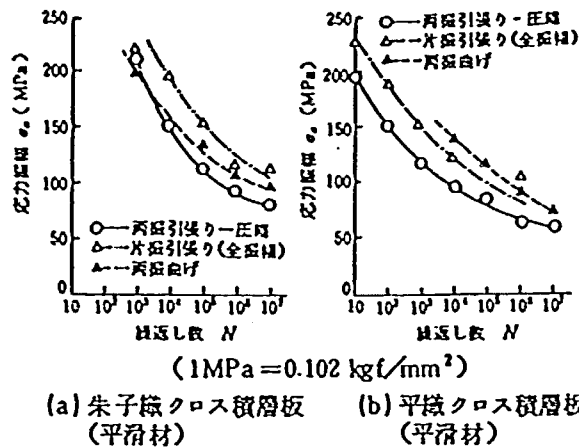


図2. 12 GFRPのS-N線図^{2. 5)}

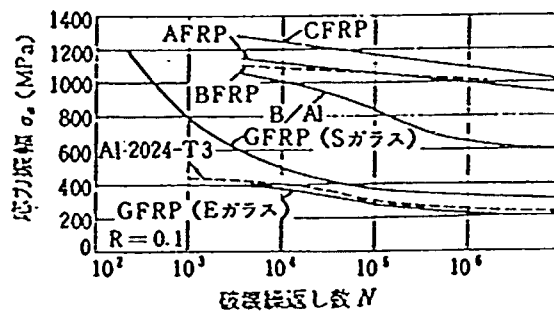


図2. 13 各種複合材料のS-N線図（引張り疲労）^{2. 6)}

● データの注意

ア 両振り疲労は片振り疲労に比し、疲労特性は低い

N=10⁷ で、ガラス（炭素繊維）／ポリエステル比 10%

ガラス（平織）／ポリエステル比 7%

イ 引張り疲労の方が、曲げ疲労より疲労特性は低い。

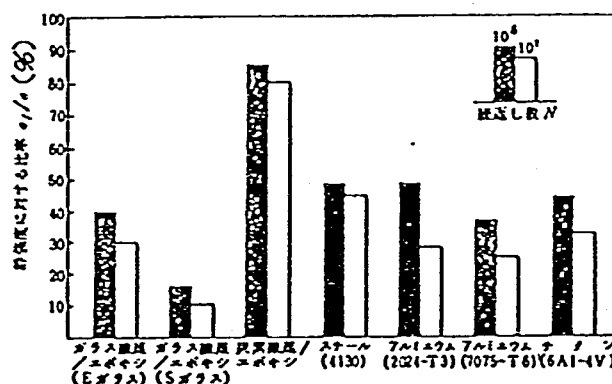


図2. 14 各種複合材料の疲れ強さの静的強さに対する比率（引張り疲労）^{2. 7)}

③ 環境因子による破壊強さ、弾性係数の低下

FRP材料に対する環境の影響としては、次の4種類が考えられる。

a. 高温度による破壊強さ、弾性係数の低下

FRPは、低温になっても、脆性化や強さの低下は少ないが、高温になると母材が樹脂であるため物性が低下する。

樹脂系マトリクスの破壊強さの制限温度（常時使用）を次に示す。

▼ポリエステル樹脂（Gタイプ）	80℃
▼ビニルエステル樹脂	120～30℃
▼エポキシ樹脂	180℃
▼ポリイミド樹脂	230℃
▼ふっ素、シリコン樹脂	260℃
▽熱可塑性樹脂（PPS、芳香族系他）	300～400℃

b. 高湿度、浸漬による破壊強さ、弾性係数の低下

（G）FRPは、長年月水中に浸漬されると、吸水により破壊強さは低下する。

（C）FRPは吸湿、乾燥の繰り返しにより破壊強さは弱化する。

多湿は高温と付随して起こることが多いが、高温による劣化を多少促進すると言われている。

しかし、樹脂と繊維の組み合わせにより、低下率は異なるので、一般的な低下の基準値を与えることは難しい。

c. 腐食性物質に接することによる破壊強さ、弾性係数の低下

FRPは優れた耐薬品性が特徴だが、薬品の種類、濃度、使用温度、浸漬期間や樹脂の種類によって、低下の程度が相違する。

従って、浸漬試験を行うことが望ましい。

d. 屋外暴露による破壊強さ、弾性係数の低下

長年月、FRP製品を屋外で使用すると、紫外線、大気中のガス、雨中の溶出物等の影響により、暴露時間と共に、破壊強さは低下する。

その標準的な傾向を、（図2. 15）に示す。

屋外暴露による低下も材料や負荷の種類により異なる。例えば、繊維方向の引張り強さなどは主として繊維の破断で決まるので変化は少ないが、曲げ強さや衝撃強さなどは屋外暴露による低下が見られる。

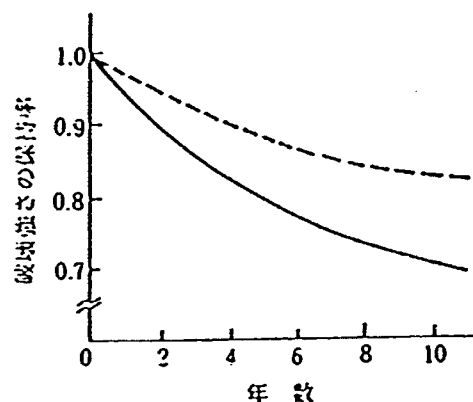


図2. 15 屋外暴露による破壊強さの低下の傾向^{2. 8)}

④ 切り欠きなど、応力集中のある場合の破壊強さの低下

切り欠き、孔等による強さの低下は、切り欠き形状、強化繊維の種類と配向、応力の作用方向等により異なり、また端縁距離、孔径等によっても異なるので、データを参照されたい。

切り欠き破壊強さは、一様応力下での破壊強さに比べて、弾性応力集中係数、 α だけ低下する訳ではないが、安全側設計としては、その値を用いても良い。

切り欠き等のあるときの疲れ強さについては、切り欠き係数＝平滑材の疲れ強さ／切り欠き材の疲れ強さは、静的破壊強さの場合の切り欠き係数に比べて、小さく取って差し支えない。

以上の各種の影響因子が、重なって作用する場合の低下の程度は、必ずしも相乗的ではないので、限界強度の推定には注意する必要がある。

2.2 FRP材料の応用の現況

2.2.1 わが国の分野別用途

FRPは軽くて強く、耐食性に優れ、成形性が良い特徴を生かせる分野に幅広く使用され、昭和63年度の総出荷量は、37万9千トンとなり、対前年度比16%増となった。

最も出荷量の多い分野は住宅機材で全体の40.5%をしめる。続いて工業材料、タンク・容器、舟艇・船舶、建設資材の順である。対前年比伸び率が最も大きかったのは自動車・車両の36%増であった。続いてタンク・容器、住宅機材であった。

成形品の品目表を（表2.5）に示す。

1) 建設資材

この中で最も多いのは波板・平板である。しかし他材料との競合が激化し、市場は伸び悩んでおり、用途開発が叫ばれている。他にコンクリート型枠、設置式プール、道路資材、酪農資材、屋上防水ライニングがある。

2) 住宅機材

この2年間住宅着工件数の増加に加え、バスユニットの戸建て住宅への採用が増え、大きく伸びている。浴槽関連製品の他に浄化槽、洗面化粧台、システムキッチン、床下収納庫がある。

3) 舟艇・船舶

在来、漁船が主体で伸びてきたが、百トン未満の小型船のFRP化はほぼ飽和点に達し、市場は停滞している。今後はレジャーボートの伸びが期待される。他にヨット、カヌー、クルーザー、作業船等がある。

4) 自動車・車両

自動車のファッション化が進み、エアロパーツがFRP化されたため増加した。他にバギー車、雪上モビル、ゴルフカートなどの特殊車両、乗用車、トラック、バスなどの部品、鉄道車両部品、航空機用部品がある。

5) タンク・容器

主なものはパネル組立式給水タンクで、ほかに飼料タンク、サイロ、コンテナ類、耐食機器として電解槽、塔、洗浄装置、床ライニングがある。

6) 工業機材

レジンモルタル管が大部分であるパイプ、クーリングタワー、各種機器装置類のハウジング、絶縁板電設資材、プリント配線基盤など電気部品が含まれる。

表2. 5 我が国の需要分野別成形品

分 類	成 形 品
建設資材	波板、平板 フェンス、パネル、ドーム、ルーバー、シェルター、カプセルハウス、装飾壁、屋根飾り、鳥居、柱、壁・天井に取り付ける部品・成形品、（高速道路駐車場用）料金ボックス、屋根防水ライニング 設置式プール、自転車置場、組立ハウス、鋼管杭カバー、消波堤、ポンツーン、灯台、ブイ、ヘリポート、道路標識、照明柱、軌条用埋め込み栓、（床板、軌間条の）可変パッド、覆蓋、漁礁、（農業用）竿、のりひび、牛舎、豚舎、コンクリート型枠、コンクリートシェーター、（ダム取水塔の）スクリーン
住宅機材	バスタブ、ワンルームユニット、浴室ユニット、洗い場付き浴槽、防水パン、スチームバス、シャワーユニット、洗面化粧台 便槽、浄化槽、仮設トイレ 床下収納庫、（太陽熱温水器の）集熱ハウジング、（システムキッチンの）カウンタートップ、その他住宅水回り品
舟艇・船舶	漁船、レジャーボート、ヨット、カヌー、ライフボート、クルーザー、ホバークラフト、交通艇、（海自の）艦艇、作業船、ジェットスキー、マスト、通風塔、プロペラシャフト、梯子、船窓枠、フロート、レーダーフェアリング、冷凍冷蔵庫と部品、油槽、水槽、ゴムボートのカプセル
自動車・車両	乗用車、トラック、バス、オートバイ、スクーター、（その他の自動車）バギー、雪上モビル、ゴルフカート、冷凍冷蔵庫、キャンピングトレーラー、配達車両電気自動車用部品、ヘッドランプリフレクター、エアースポイラー、サイドマッドガード、バンパレインフォースメント、導風板、フェンダーサイド、ルーフトフツ、トランクリッド、冷蔵庫、スプリング、プロペラシャフト、（保冷車）パネル （鉄道車両部品）ルーフペント、クーラーキセ、ダクト、窓枠キセ、フロントマスク、計器盤、絶縁ルーフィング、洗面ユニット、トイレユニット、汚水タンク、梯子
タンク・容器	給水タンク、飼料タンク、サイロ、食品タンク、地下貯蔵タンク、車両積載用タンク、箱（魚函、輸送用箱）、養殖槽、コンテナ、圧力容器（高圧ガスボンベ） 薬液貯槽、（タンクローリー用）タンク、（メッキ）槽、塔、スクラバー、洗浄装置、ファンブレード、バタフライバルブ、煙突、ダクト、グレーティング、トラフ、梯子、手摺り、ウィアー、床ライニング
工業機材	（耐食用）パイプ、（農水用）FRPMパイプ、（構造用、ケーブル用）パイプ（きそう用）パイプ （クーリングタワー）ケーシング、安全カバー、（農業用装置、機械用、事務機器用）ハウジング、部品、ボルト（引抜き材） 絶縁スペーサ、配電用ボックス、配電盤、腕木、工具、トラフ、コンデュイト、（パラボラアンテナ）反射鏡、キャビネット、スピーカボックス、レドーム、プリント回路基板、（コイル）封止材、バッテリーケース、風車ブレード、フライホイール
雑 貨	保安帽、ライダー用ヘルメット、スキー、サーフボード、カヌー、洋弓、ラケット、（エクステリア、インテリア）椅子、ベンチ、プランター、ショウケース、遊具、仏像、岩、義肢、義足、楽器、マネキン、盆、トレイ、配膳車
その他	FRP型

2.2.2 米国FRPの用途

1988年米国のFRP出荷量は1,208,700 トンで前年比 5.1%増えた最も多い分野は輸送機器、次いで建設、舟艇・船舶、耐食機器の順となっている前年比最も伸びたのは舟艇・船舶で次いで航空・宇宙・軍需、耐食機器の順となっている。

1) 航空・宇宙・軍需

軍用機、民間機の翼、機体への使用が増加した。軽量化、ステルス化のため。

2) 家電機器、事務機器

この分野の成形物には冷蔵庫、エアコン、冷凍庫、電子レンジなど家電製品、電動工具、産業機器、事務機器のハウジング、部品、容器、トレイ、パレットがある。FRPの耐熱性と絶縁性が信頼を得て、アルミニウム鋳物や板金に置き代わった。また高度の耐熱性、耐食性を有するFRPが電子レンジ、皿洗い機、ストーブに使用された。

3) 建設

成形物としては平板、波板、コンクリート打込み型枠、樋、サンドイッチ板、モーターホーム、プール、冷却塔、浴室関連品などがある。新しい使用例として、ビル屋上のアンテナカバー、引き抜き平板による柵がある。

4) 消費財

スポーツ、リクリエーション用品、家具、医療器具類が含まれる。例えば釣竿、アーチェリー用具、スキー、ゴルフクラブ、テニスラケット、銃身、そり、ボウリング用品、スノーモービル、ランプシェードなどである。

最近の製品としては一体型セイルボード、カーボン繊維強化の矢、引き抜き材によるテニスコート、自転車車体、人工大理石の洗面台シンク、浴室面材がある。

5) 耐食機器

石油精製、製紙、化学工業、ユティリティ、農業用のパイプ、タンク、取り付け部品、スッタク、ダクト、フード、ポンプ等がある。注目するものとして土壌汚染防止の地下タンク、食品工場のグレーチング床、ポリマーコンクリートによる耐食ライニング、温水使用床暖房システムがある。

6) 電気・電子

発電、送電関連のロッド、管、注型物、照明柱、標識、ガソリンエンジン発電機のハウジング、梯子などがある。

7) 舟艇・船舶

レジャーボート、業務用艇、軍用艦艇、船用部品、エンジンカバー、係留ブイ、ドック、フロートなど。

8) 輸送機器

乗用車のプラスチック使用量は1996年には1台当り123kg で全重量の9%を越すとみられる。(1986年には102kg 6.9%)

成形物としては乗用車の他にトラック、バス、鉄道車両、地下鉄車両、トレーラー、タンクトラック、モーターホーム、モータースクーターの車体や部品、内外装材、輸送用コンテナなどが含まれる。

この章の参考文献

- 2. 1) 植村益次、他「FRP設計便覧」p 73、1979年11月、(社)強化プラスチック協会
- 2. 2) 2. 1に同じ。p 74
- 2. 3) 1. 4に同じ。p 110
- 2. 4) 2. 1に同じ。p 75
- 2. 5) 1. 4に同じ。p 108
- 2. 6) 1. 4に同じ。p 108
- 2. 7) 1. 4に同じ。p 108
- 2. 8) 植村益次、他「FRP構造強度計算の実際」p 213、1984年10月、
(社)強化プラスチック協会

材料規格

- JIS K 7011-89 「構造用ガラス繊維強化プラスチックの材料規格」
ガラス繊維強化プラスチックの強さに関する品質の標準的表示の方法が、日本工業規格として、1989年に制定されている。

3. 土木分野におけるFRP材の応用

3.1 応用の現況

3.1.1 現況

土木の分野別に整理した、FRPの応用の現状は、(表3. 1)の通りである。各分野で開発の努力が続けられており、主として耐食性、軽量性を生かした成形物が商品化されている。

表3. 1 FRPの応用状況^{3, 1)}

分 類	品 名	製 品 概 要	使用理由	引 用
道 路	カーブミラー	裏板、積層、MMD、SMC成形 径 600~1000mm、重さ 2~3 kg	商品化 成形容易・耐 候性	1
	防眩板 ケーブル トラフ	高速道路分離帯用、SMC成形 電力、通信ケーブル地下埋設用、 積層、MMD、SMC成形 幅90~170 mm、梁75~120 mm、 長1500m、他	商品化 商品化 耐候性 軽量、非磁性	1 1、2
	排水管	コンクリートU字溝内面FRP積層 幅1860mm、長90m	商品化 平滑性、耐候 性	3
橋 梁	橋梁添加工	CFRPトラフ 幅550 mm、梁300 mm、長75m、 厚 5 mm、重量1.9 t	商品化 軽量、高強度	4
	ケーブル 保護管	FRPパイプ	商品化 軽量、絶縁、 耐食	2
	斜材外套管	FRPパイプ	開 発 耐食、軽量	5
トンネル	通信 ケーブル用	トンネル壁、レジンモルタル、 現場連続自動打設 径 1~1.5 m、厚10cm、 50cmづつ成形しながら前進	試 験 速硬化性	1、2
	ロックボルト 地盤凝固剤 注入管	本体、径25mm、長2.5 mm FWパイプ 径65~70mm、長 5~6 m	商品化 商品化 耐食、軽量 耐食	8 4
河 川	取水堰ゲート	スライドゲート板、 CF/GFRP中空角パイプ (150 本、250 mm、長3m、厚 6 mm) 組合せ ゲート板、幅1400mm、高1000mm、厚15mm	試 作 軽量、耐食	9
ダ ム				
砂 防				
海岸 海洋 構造物	鋼管杭カバー	防食材兼モルタル充填型枠、 FWパイプ	商品化 耐食	4
	型枠	消波根固めブロック成形用型枠 FRP重量81~546 kg	商品化 成形容易・耐 食	4
	浮消波堤	浮体、長7m、幅1.5m、梁1.5mの 断面U字成形品を向い合せ接合したブロック 3ヶを径6m、長12m のFWパイプ3本で串刺 し固定	商品化 耐食	10
下水道	管路	モルタルサンドイッチFWパイプ 径800 ~3000mm	商品化 耐食・耐摩耗	4
	防食	ヒューム管防食、 ポリマーコンクリートライニング	商品化 耐食・耐摩耗 ・接着力	11, 12 13
	既設管更生法	既設管内に袋状の未硬化ポリエステル樹脂含 浸フェルトを水圧で押し込み硬化 埋設のまま 径75~3000mm	耐食・低圧硬 化	15

その他	水圧管路	発電所露出水圧管 径1500mm、長168m	商品化	軽量・耐食・ 施工性	16, 17
	コンクリート 補強材	格子状FRP補強材 CFRP、AFRPロッド	商品化	耐食・軽量	18, 19 , 20
	型枠	径6～7.5mm 透水性せき板と開口部のある FRP型枠の複合	商品化 開 発	耐食・軽量 耐食・成形容	21 22
	足場	パイプ、径48mm FRナイロン継ぎ手で組立	商品化	易 軽量	23
	ヘリポート	FRP引抜き材で組立 幅21.2m、長63.3m、1342m	商品化		24
	燈台	本体、径2.2m、高9.5m、厚10mm FRP重量3t	商品化	工期短縮・耐 食・軽量	10

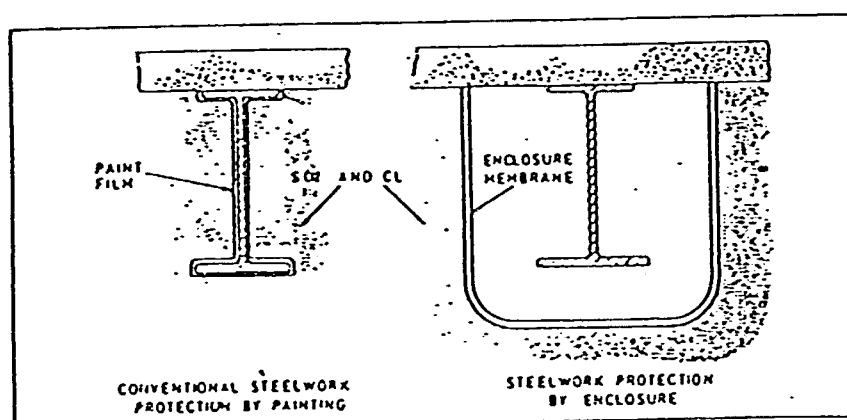
3.1.2 今後の概要

1) 橋梁の検査、保守及び防食用のFRP足場兼囲い^{3, 2)}

(1) 概要

鋼製桁とコンクリート板を用いた複合橋の検査、保守費用を低減し、腐食を防ぐ方法に関するものである。鋼製橋桁をFRP板で囲い、橋桁、支点、エクステンションジョイント、排水路等の検査、保守の足場とすると共に鋼材周囲の雰囲気コントロールする方法である。

(図3. 1)



The principle of protection by enclosure

図3. 1 足場兼囲いの原理

(2) 現状及び問題点

① 検査及び保守の問題

高速道路橋は英国に於て6年毎に検査を要する。橋の支点、エクステンションジョイント等の点検はより頻度が高く、排水路の保守は日常的に行われる。この時、足場を必要とする。河川、水路、鉄道、道路上の橋では釣り下げ足場である。また、鉄道、道路への落下防止のための覆い、板囲い、網張りが必要となる。鋼構造物の防食処理は7～10年毎に必要である。この時高価な作業用足場を必要とし、交通も遮断しなければならない。また、塗装工事は天候の影響を受け時期が限られる。

② 鋼材の腐食

鋼構造物の腐食速度は塗装の有無にかかわらず、周囲空気の塩素、硫黄による汚染の程度によって知られている。例えば、重工業や海洋関係の鋼構造物は他より速く腐食する。Transport and Road Research Laboratory (TRRL) が既設の塗装した鋼製橋桁を試験的に板囲いしたところ、数十年間は保守作業がいらぬ程度の僅かな腐食速度しかなかった。更に板囲いの中の雰囲気監視は容易で最も腐食し難いように調節出来ることがわかった。

(3) 対策

前記の問題を解決するため、(図3. 2)のように橋の下面全面を囲う方法がTRRLより提案された。この囲いは検査や保守の足場となり、耐久性は橋の設計寿命が120年以上であるから、その間の取り替え費用を考慮し、最も経済的なものでなければならない。また、軽量で耐炎性で、製造、組立費用が安価でなければならない。

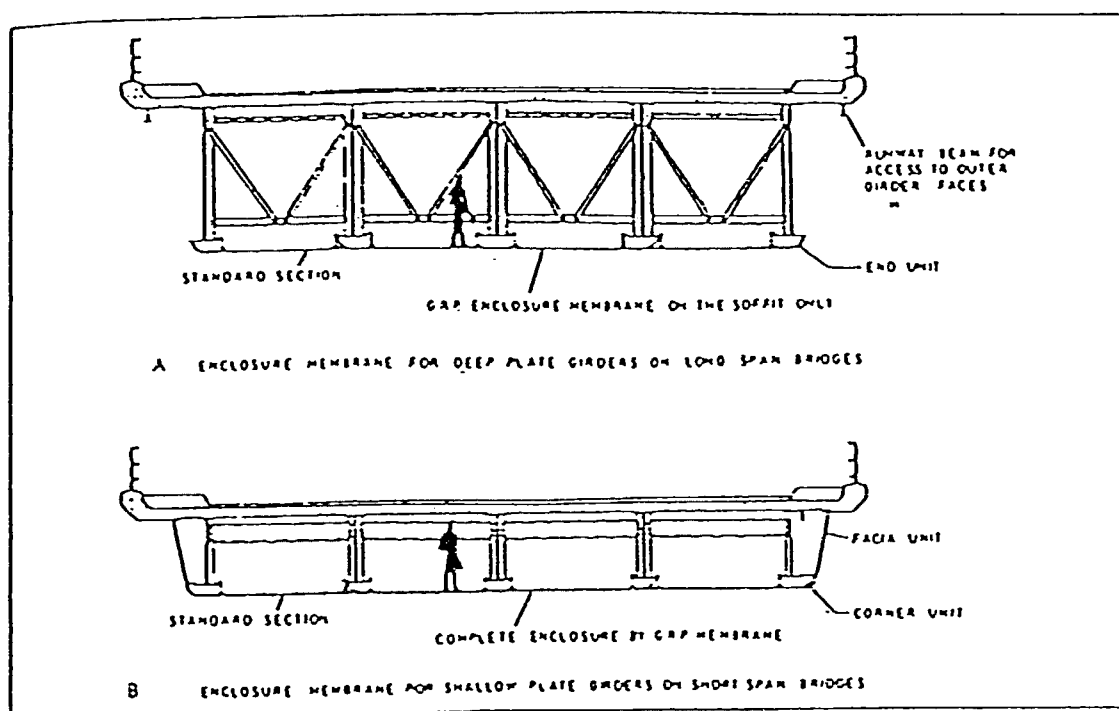


図3. 2 橋の断面

(4) 材料の選定

材料として鋼材、アルミ、木材、GRC、FRPが検討された結果、FRPが最適であった。FRPの耐久性、優れた比強度、合理的耐炎性、成形物形状の自由性より理想的材料である。使用場所が橋の下面で紫外線の直射、降雨に曝されないため、最も厳しい気象条件に近い状態でも、特別の保守なしに40年間は使えると結論された。FRPの板材としてはレジンインジェクション成形によるサンドイッチ板、または引き抜き成形による中空板が最適である。最も経済的に剛性が得られるのがサンドイッチ構造である。また、サンドイッチ板は断熱性が良く、囲われた部分の給排水路の凍結を起し難くする。標準の桁間隔3mの場合FRP板の最大たわみは15mmとなるように設計された。

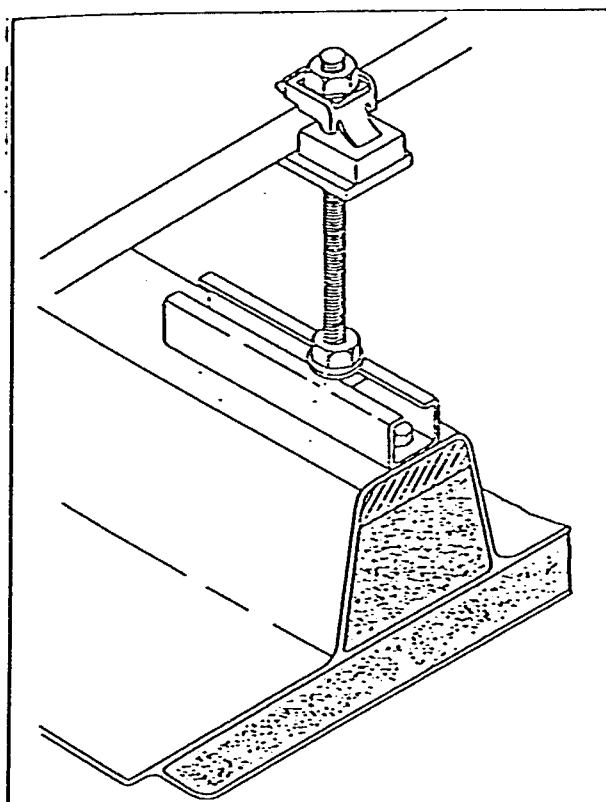
(5)取り付け方法

幅 2.4m 長さ 3.3mのレジンインジェクション成形によるサンドイッチ板を橋の横方向に並べ、桁のフランジ部に(図3. 3)の固定具で釣り下げた。この固定方法では橋桁に穴を明けたり、溶接する必要がない。橋の長さ方向の、桁と桁で区切られた通路を横につなぐ通路としてU字形のFRP成形物を、橋の横方向に設置した。

引き抜き成形板を使用した例として、英国最大の鋼桁-コンクリート板複合橋である、ストックトンの Tees 川と鉄道に架かる A-19 Tees 高架橋の囲いがある。囲いは長さ 650m、幅 24 mで、使用された引き抜き成形材の長さは 65000m である。パネルの大きさは長さ 12 m、幅 3 mである。

(図3. 4) はFRPサンドイッチパネルを橋桁に釣り下げ固定したモデルである。

(図3. 5) は施工前の橋桁の状態、(図3. 6) は通路囲いを取り付けた状態を想定したものである。



Fixing detail for the vacuum-assisted resin injected panels

図3. 3 継手の部分

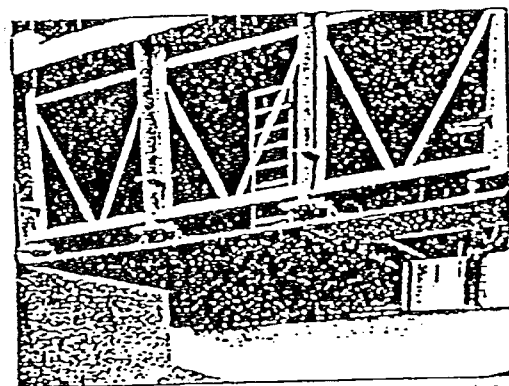


Plate 1. A model of GRP sandwich panels suspended from a typical composite plate girder bridge

図3. 4 吊下げた状態

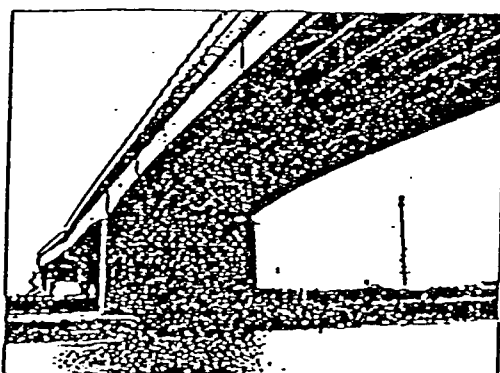


Plate 5. An existing composite plate girder bridge structure

図3. 5 施工前の橋

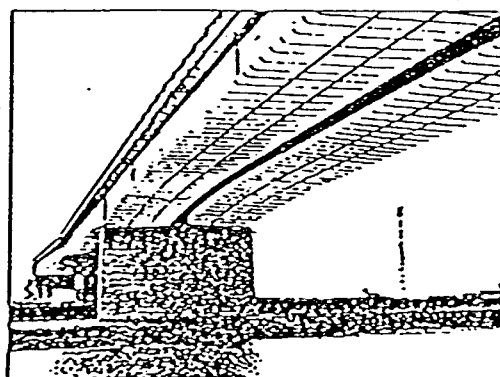


Plate 6. A photo-montage showing a GRP walkway membrane suspended from the bridge soffit

図3. 6 施工後の橋

① 既設の場合

通路囲いは保守、塗装時の在来の足場に比べ経済的であると言える。通路囲いは橋の構造体建設費用の10～14%で設置でき、50年以上使用できる。釣り下げ式足場や可動式足場と異なり、通路囲いは設備であるから、年々償却される。一方年々上昇している労務費の割合が小さく、その影響を受け難く、徐々に競争力が大きくなると思われる。

② 新設の場合

設計の最初から囲いが考慮されている場合、囲いの材料費や組立費は、上部構造物費用の節減により相殺される。塗料仕様の見直し、スラブ排水路の簡略化、鋼構造物設計の見直し、即ちこれまで外観或は腐食の問題で採用されなかった経済的構造の使用等により節減となる。結果として僅かな費用増により、検査、保守費用が僅かで済むというメリットが得られる。

2) レジンコンクリートによる高速道路及び橋床の舗装^{3, 3)}

(1)概要

多数のポルトランドセメント（PCC）舗装道路及び橋床のタイヤチェーンによる摩耗と凍結融解による損傷が増加している。この修理方法を California Department of Transportation (Caltrans) が検討し不飽和ポリエステル樹脂コンクリート（ポリエステルコンクリート）を用いる方法を報告している。

(2)現状及び問題点

これまでカリフォルニアではPCCやアスファルトコンクリート（AC）のオーバーレイで修理されているが、いくつかの問題がある。即ち路肩、中央バリアー、ガードレール、排水路などを修正しなければならない。路面と上部構造物との間隔がせまくなる。更に橋床の場合は橋の自重が大きくなる。表面の薄いオーバーレイ層だけが、道路の走行性の改善、及び水の凍結融解に依る侵食を防ぐ働きをしており、この層の破損や損耗は大きな問題となる。

1985年9月種々の予備試験に基き、ポリエステルコンクリート舗装の試験施工が行われた。

(3)試験内容

試験施工は1985年シェラネバダを通るインターステート80で長さ16km幅3車線分を行った。

試験には軟質タイプと硬質タイプの2種類のポリエステル樹脂を使用した。

軟質タイプのType II はイソフタル酸系不飽和ポリエステルを45-40%のスチレンに溶解した、ワックスフリーの粘度 75-200cps、硬化物の伸び率 35 %以上の樹脂である。硬質タイプのType IV もイソフタル酸系不飽和ポリエステルをスチレンに溶解した粘度 400-500 cps、硬化物の伸び率5 %以上の樹脂である。

双方の樹脂ともシランカップリング剤を 0.5%含有する。軟質タイプは橋床の舗装を目的としたもので、大きな変位と熱膨張収縮による歪に耐えるため伸びが必要と思われる。軟質タイプは摩耗し易いが、接着層の歪は小さく、硬質タイプは摩耗は少ないが、熱歪により剥離し易いと思われ、比較のため2種類使用した。骨材は最大粒径12.5mmの配合品で、乾燥したものをナイロン袋で供給した。

下地処理は研磨材ブラスト後高分子量メタクリレートプライマー塗布か、1.2 mm径のスチール粒子をブラスト後フマレート系ポリエステルプライマーを塗布した。

材料混練のため骨材、樹脂、過酸化硬化剤をそれぞれ積んでおり、スクリー式混練機で

連続的に混練する可動式混練装置が開発された。硬化剤を樹脂に混合した後、骨材と混練した。仕上げには改良形の "Slip form paiver" が使用され、速さは1日当り 3.6m 幅で 900mである。

(4)結果

2年後(1987年7月)に検査したところ、軟質、硬質タイプとも部分的に崩れがあった。これは骨材の品質不適合、工事上の不手際によるものである。1986年に、樹脂量を増加し、仕上げ機を更に改良し施工したものは損耗やクラックはなかった。

(5)ポリエステルコンクリート舗装の特徴

- ① 非常に耐摩耗性が大きい。
- ② 水分や塩を通さない。
- ③ 厚さが 9.5~25.4mmですむため、自重増と上部構造との間隔の問題がない。
- ④ ガードレールや標識の変更が要らない。
- ⑤ 工事期間が短く道路閉鎖時間が短い。夜間作業に向いている。
- ⑥ 不飽和ポリエステル樹脂は比較的安価で、使用しやすい。

(6)今後の研究テーマ

- ① 舗装の性質の数学モデルによる研究
- ② 新しいポリマー組成の評価
- ③ ポリエステルコンクリート舗装の物性改良
- ④ 工法及び品質管理方法の開発
- ⑤ 骨材を予めシランカップリング剤で処理することによりPCCとの接着性を改善する研究
- ⑥ 将来、構造体の電食防止に導電性ポリエステルコンクリートの現場試験、及びすべり止め改善のためのポリエステルシールコートの評価

(7)橋床の舗装

1983年にカリフォルニアで初めてポリエステルコンクリートにより橋床が舗装された。使用樹脂はイソフタル酸系不飽和ポリエステル樹脂で、ワックスを含まず、促進剤、シランカップリング剤 1.0%を含み、粘度 200 cpsである。下地はスチール粒子をブラスト後、同じ樹脂をプライマーとして塗布し、プライマーの硬化前に舗装した。1984年に舗装した2カ所ではプライマーに高分子量メタクリレートを用いたが不飽和ポリエステルと結果はかわらなかった。舗装部分の勾配は7%で道路の外側の方が8%高くなっていたが、施工じずれ流れの問題はなかった。ポリエステルコンクリートは0.27mのドラムミキサーで混練し、バイブレーターで展開した。すべり止めのため仕上げ直後に荒目の砂を散布した。

最近の検査では4つの橋とも剝離、損耗はなく問題なかった。

(8)結果

1983年より25カ所以上の橋床をポリエステルコンクリートで舗装したが、損耗やクラックはない。特長は次の通り。

- ① 工期が短く、早期に交通可能となる。
- ② 構造用鋼材を水、凍結防止用塩の腐食より防護する。
- ③ 自重の増加が小さい。
- ④ ガードレールの変更が不用。

⑤ 勾配、スロープの修正可能

⑥ 施工に在来工法が使える。Caltransは橋床の修理にポリエステルコンクリートを積極的に採用している。

3) 先端複合材料を用いた架橋技術の将来^{3, 4)}

(1)概要

ジブラルタル海峡を橋でつなぐとすれば、橋のスパンが長大となりスチールケーブルは使えないが、GFRP、CFRPケーブルを使えば、数多くの解決を要する問題はあるが、可能性はある。

(2)状況及び問題点

海峡をつなぐ3種類の方法について検討された。

ルート(a)は最短で約15kmであるが、海の深さは900mまでである。

ルート(b)は海の深さがほぼ同じくらいで300mは越えないが、距離は26kmある海底トンネル。ルート(b)での鉄道用トンネルは全長約50kmとなり、内28kmが海底となる。

現在、在来の材料を用い全長約30kmの橋が検討されている。海の深い部分22kmは2km間隔の10スパンとなる。

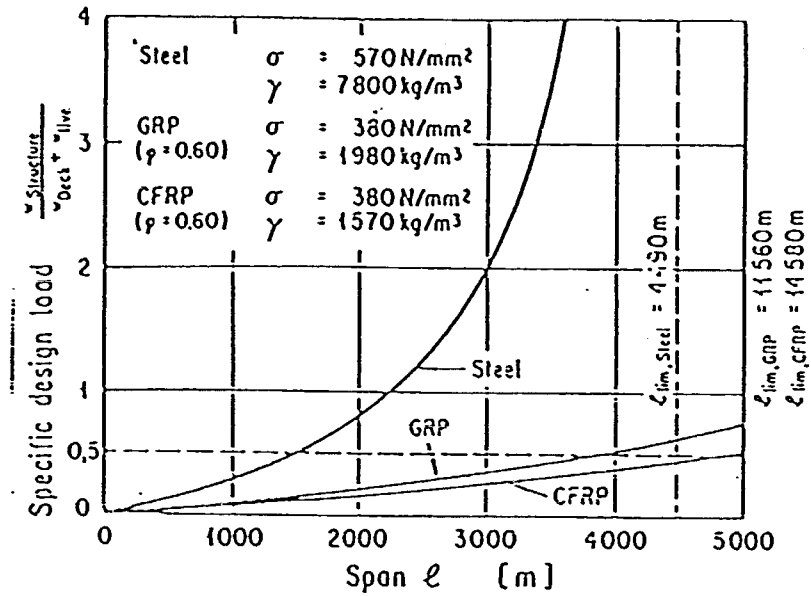
トンネルを造る費用は約50億USドルと見積られ、同ルートの在来の橋はトンネルの2倍を要し、船舶の航行が妨げられる。

最短ルートの架橋は在来の材料では不可能である。即ち在来の材料によると実際的にはスパンの限界は3500~4000mである。一方塔を立てられるのは水深350mまでであるから、現地の水深より最大のスパンは8400m必要となり架橋できない。しかし、先端複合材料を使えば可能性がある。

(3)方法

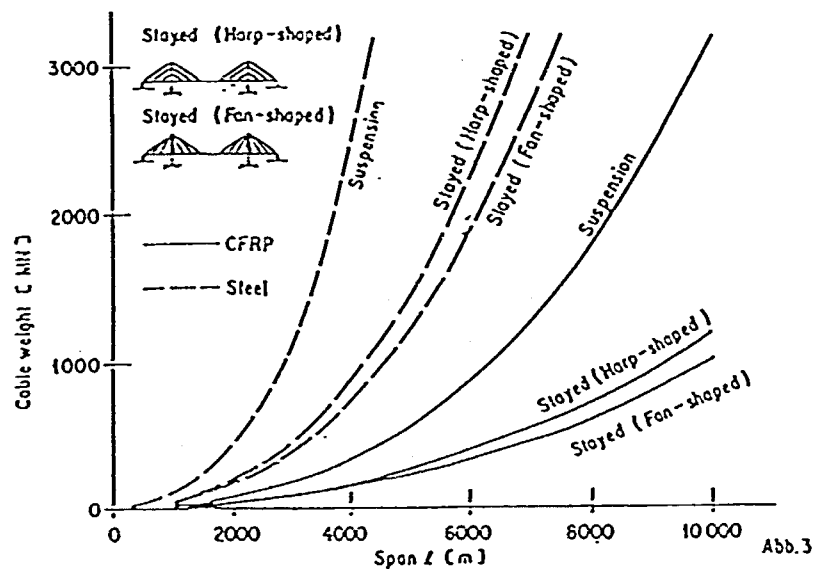
先端複合材料であるGFRPを用いると、限界スパンをスチールの2倍、CFRPを用いると3倍に伸ばせる。(図3.7) CFRPは構造材料の中で最大の比強度を有し、熱膨張係数がスチールより小さく、耐久性、耐食性がある。(図3.8) CFRPケーブルは約50万本の炭素繊維を引き抜き成形して得られる計6mmのワイヤーを数百本平行に束ねたものである。現在成形上の問題はない。しかし、橋桁をCFRPで成形するには、巨大なFW成形機か引き抜き成形機を要し、又橋桁間の接合にも大きな問題がある。

費用的にはルート(a)のCFRP橋はルート(b)の通常タイプの橋より安価と思われる。しかしルート(b)でのトンネルより安いかな否かは、将来の炭素繊維の価格による。



Specific design load versus the main span for the classical form of suspension bridges. l_{lim} = limiting span

Fig. 3. 7



Comparison of the quantities of material required for the cables of suspension and cable-stayed bridges of steel or CFRP as a function of the main span l . The end spans are assumed to be 0.4 times the main span for each of the three bridge types

Fig. 3. 8

3.2 開発への提言

本節では本委員会でも数多く検討された項目の中から、より多くのneedsと実現の可能性が比較的高い下記3項目について提言としてまとめた。

- 1) 型枠材
- 2) 転用の出来る耐負圧ダクト
- 3) 現場施工とFRP

3.2.1 型枠材

従来FRP製コンクリート型枠は形状の自由度が高い特徴を生かして建築用としてビルのカーテンウォール用等に採用されている。

一方土木工事用としてのFRP製型枠は次の2つ使用方法が考えられる。

- ① 繰り返し使用
- ② 捨て型枠使用

①及び②のいずれの使用目的の場合も他材料（木製、鉄製）との比較において下記の特徴が生かされる工事用として使用されるべきである。

- a デザインの自由度が高い
- b 軽量である
- c 耐水性が良好である

1) 繰り返し使用型枠への利用

本使用目的についてはFRPの特徴（デザインの自由度、軽量）を生かすことが可能な具体的な2つの工事用を例として述べる。

(1)ダム工事用スライド使用方式型枠

従来、当工事には鉄製の型枠が採用されているが重量が重いので現場への搬入、現場での組立には山奥で足場が最悪であるにも関わらずクレーンを使用せざるを得ない。

これらの問題点の解決策としてFRP製型枠の採用を提案する。

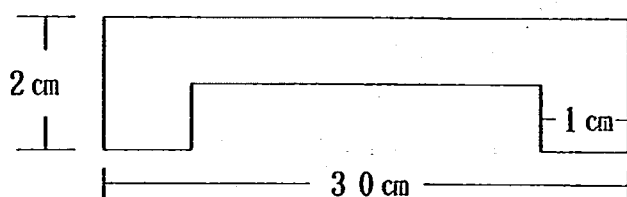
① FRP化のメリット

軽量化； 目標 人が2人で持ち運び可能な重量
1基（1800mm×3000mm）で50kg前後

② FRP製パネルの製法と形状の1例

製法； SMC（Sheet Moulding Compound）によるプレス成形
ブルトレーション成形
ハンドレイアップ・スプレイアップ成形

形状； 幅30cm、長さ180cmのパネル10枚を組合せ1基とする



厚 5mm、リブ幅10mm、高さ15mmの時 48.6kg/1基

(2)市街地内橋梁橋桁用型枠

近年、市街地の橋梁は美観を重視する傾向が強く、従来の平面的なコンクリート仕上がりを避けて複雑な形状をコンクリート仕上がり面に要求するケースが増加している。

これらの要求に現在は現場で合板（木製）を使用し目的の形状に型枠を組み対応しているが、組立に時間を要し特に型枠支持に多大の時間と費用がかかっている。

① FRP化のメリット

- a デザインの自由化
- b 型枠に形状の自由度を持たせることにより現場組立施工の合理化
- c 木製に比較し耐水性に優れるため繰り返し使用が可能

② FRP製型枠の製法

ハンドレイアップ・スプレイアップ成形により自由な形状に成形し、現場組立の工数を減少するために型枠のつなぎ法を工夫し、かつ型枠支持を簡略化するための工夫を型枠に施す。

2) 捨て型枠への利用

(1)現在、捨て型枠として採用されている材料と施工例には以下の例がある。

① 親不知海岸高速道路

a 型枠の使用材料

強化用繊維	ポリエチレン製漁網
マトリックス	ポリマーセメント

b 使用目的

- ・ 酸素、ハロゲン系ガスの遮断 コンクリート・骨材の劣化防止
- ・ 水の遮断 鉄筋の腐食防止
- ・ 水分の蒸発防止 表面のアルカリ濃縮防止
- ・ 施工期間の短縮化

② ビル内大広場の円柱

a 型枠の使用材料

結晶硝子、GRC

b 使用目的

- ・ コンクリート表面の装飾
- ・ 施工期間の短縮化

③ ビルの外壁

a 型枠の使用材料

GRC

b 使用目的

- ・ 外観のデザイン自由化
- ・ 外断熱

(2)FRP製捨て型枠に期待可能な特徴と期待効果

① デザイン自由度（カラー化も含め）

期待効果 コンクリート仕上がり面のデザイン多様化・美麗化可能

② 水分・ガス（酸素、ハロゲン etc）の遮断

期待効果 コンクリートの風化・鉄筋の腐食防止
かぶりの薄肉化可能

- ③ 型枠の軽量化
期待効果 施工方法の簡略化
- ④ 強度メンバーに参加
期待効果 コンクリートの薄肉化が可能

(3) 具体的応用例の提案

- ① 市街地高速道路橋脚
近年、都市の美観に関する要求が増大しており市街地を走る高速道路の橋脚はコンクリートの打ち放し面は美観を損なう大きな原因となっている。
FRP製捨て型枠は、
 - a 仕上がり面の装飾
 - b 型枠の軽量化及び型枠の取り外し不用による工事の合理化が可能になり
 - c 他材料に比較し耐食性に優れるため耐久性も期待可能
- ② 高速道路の高欄
高速道路の高欄は道路の幅を可能な限り広く取る必要があるため厚みが薄くかぶりも薄くなるためコンクリート内部の鉄筋の腐食が激しい。
FRP製捨て型枠を使用することにより
 - a 表面からの水分、酸素、ハロゲンガス等の浸透の防止が可能になり鉄筋の腐食防止が可能になる
 - b 装飾が可能になり高欄の外観を美麗化することが出来る
 - c 工事の簡略化が可能になる
- ③ 将来への期待
コンクリート強度の補強は補強メンバーを表面近くに配置することがその効果をより高くすることが可能になる。
捨て型枠としてコンクリート表面をFRPで覆い、そのFRPを補強メンバーとして計算することが可能になるとその応用範囲はより拡大される。

(4) 捨て型枠としてのFRPの要検討項目

- ① 型枠裏面と生コンの接着性
一解決案 FRP成形時にガラス、スチールファイバー等を裏面に残しておく
- ② 土木用材料としての耐久性（耐候性、耐水性）
他用途での実績 漁船、高置水槽等 20年以上
- ③ 型枠として必要な最低厚み（経済性考慮）
- ④ 型枠と型枠の接合方法
- ⑤ 現場組立時の型枠加工性
切削方法 金鋸、ダイヤモンドカッターが必要
- ⑥ 型枠の補強（支持）方法

(5)捨て型枠用材料の適性比較

表 3. 2. 1 FRPと他材料との比較表

	FRP	GRC	結晶硝子
デザイン自由度	◎	○	△
コンクリート保護性	○	△	○
耐久性	○	○	○
強度	○	○	○
現場作業性	○	△	×
材料コスト	△	△	×

3.2.1 転用のできる耐負圧ダクト

1) 目的

トンネル工事用のダクトで、分解、組立、輸送が容易で、転用が出来て、送風機の負荷側に直接接続可能な換気効率のよいダクトの開発。

2) 現状

現用の硬管（鉄板製）ダクトは、保管場所の確保、輸送方法の制約等で、転用性がなく、軟管（ビニール製）は、送風機の負荷側に直接接続できず、また圧力損失が大きい。

3) FRP製硬管ダクトに期待される特徴

- (1)ダクトを分解、重ね合わせる構造に出来るため、輸送、保管が容易となる。
- (2)十分な耐圧性が得られるため、送風機の負圧側に直接接続出来ると同時に、圧力損失が少ない。
- (3)FRPは耐食性に優れるため、耐久性が大きく、何回も転用できる。

4) FRP化の可能性

(1)成形性

引き抜き成形によれば、断面形状一定の成形物を必要な長さに成形出来る。よって、軸方向に分割した円筒ダクトのパーツを詰め合わせて、組立式とすることが可能となる。

(2)強度

現行の硬管用鉄板の厚さ 0.8mmと同じ曲げ剛性率となるFRPの厚さは、1.7mmであるが、一般に、成形、取扱い上より3mmは必要と言われており、3mmとすれば十分な強度が得られる。その結果重量は鉄板製 19.6 kg/m FRP製 17.7 kg/mとなり、約1割軽くなる。

(3)難燃性

難燃性樹脂の使用により難燃化可能である。

5) 検討を要すると思われる事項

分解、組立の現場作業工数を少なくし、現在の硬管使い捨てよりトータルに見て、経済的に組立てる方式の検討が必要である。

この章の参考文献

3. 1)

- ①高橋儀徳「SMC特集」強化プラスチック、34巻9号、32頁(1988)
- ②春原邦夫「地中化の高まりでFRP需要が増大」強化プラスチック、33巻6号、N-1頁(今月のインタビュー)(1987)
- ③「雪国向けU字構開発」日刊工業新聞、昭和61年10月22日
- ④(社)強化プラスチック協会「FRP30年の歩み」土木関連製品(1984)
- ⑤竹田哲夫「PC斜張橋におけるFRP斜材外套管の実用化」プレストレストコンクリート、30巻5号、62頁(1988)
- ⑥松浦武利「小断面トンネルライニング材料」工業材料、32巻10号、119頁(1984)
- ⑦福富秀雄「地中への挑戦」電気通信、45巻431号、22頁(1982)
- ⑧池田謙太郎「新しいFRPロックボルトの開発とその将来」土木学会、第43回年次学術講演会、158頁(63年10月)
- ⑨「CFRP製水門ゲート」プラスチック産業資材新聞
- ⑩(社)強化プラスチック協会「FRP30年の歩み」海洋関連製品、強化プラスチック、30巻6号、12頁(1984)
- ⑪K. Nomaguchi, "Polymer Systems for Concrete Structures", The SPI/44th Annual Conference/21-B (1989)
- ⑫「FRPの広がりー各種展示会情報より」強化プラスチック、34巻7号、N-8頁(1987)
- ⑬「下水道管ー耐酸性に優れるFRP」日経産業新聞、昭和62年5月19日
- ⑭(社)強化プラスチック協会「FRP30年の歩み」パイプーFRPM管、強化プラスチック、30巻6号、16頁(1984)
- ⑮「日本鋼管工事ー英社から実施権ー樹脂製の袋使い管補修」日経産業新聞、昭和61年12月23日
- ⑯平井憲「水圧管取り替えにおけるFRP管の採用について」電力土木、No. 212、81頁(1988)
- ⑰「FRP材を本格採用ー関西火力発電所で」日刊工業新聞、平成元年1月1日
- ⑱平賀寿雄「コンクリート補強用格子状複合材料」強化プラスチック、34巻6号、9頁(1988)
- ⑲中津字昭幸「建設用新素材の現状と今後の展望」溶接学会誌、57巻3号、171頁(1988)
- ⑳関島謙蔵「トンネルの吹き付け、覆工コンクリートへの格子状FRP筋の適用」コンクリート工学年次論文報告集、695頁(1988)
- ㉑-1高木兼士「FRPのプレストレストコンクリートへの適用性」強化プラスチック、33巻12号、7頁(1987)
- ㉑-2「FRPを使った複合型枠工法ー清水建設が開発ー作業量、二分の一に」日本工業新聞、昭和63年3月2日
- ㉑-3「FRP製の軽量足場」プラスチック産業資材新聞、平成元年1年1月15日
- ㉑-4「FRP製ヘリポート」強化プラスチック、34巻5号、34頁(業界ニュース)(1988)

3. 2) "GRP Walkway Membranes for Bridge Access and Protection"

P. R. Head BSc(Eng) G. Maunsell & Partners/13th Reinf. Plast. Congr. 1982 p87-92 1982
"New Materials, Machinery Widen Application Area for Pultrusion"
Peter Edwards/Mod. Plast. Intern. June P 30 1989

3. 3) "Status of Polyester-Styrene Resin Concrete Brodge Ddeck and Highway Overlays inCalifornia"

Paul D. Krauss/California Department of Transportation Laboratory/43rd Annual Conference/The SPI/Composites Institute. 16-D 1988

3. 4) "Future use of advanced composites in bridge construction engineering"

U R S Meier Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research. Duebendorf. Switzerland/Proc. 2nd Intern. conf. Fiber Reinfo - rced Composite 1986 The Institute of Mechanical Engineers (1986)

-The End-

塗料系新素材・新材料について

目 次

1 塗料工業の概要	83
1.1 概況	
1.2 塗料の生産数量と出荷金額の推移	
1.3 塗料の品種別生産数量の推移	
1.4 塗料の需要構造	
1.5 世界の塗料工業	
1.6 塗料工業の課題	
2、塗料の構成と特徴	90
2.1 塗料の構成	
2.2 塗料の特徴	
3 最近の新素材・新材料について	91
3.1 開発の方向性	
3.2 塗料の形態	
3.3 塗膜の形成	
3.4 美粧性	
3.5 保護性能	
3.6 機能性	
4 土木用への新素材・新材料の適用	99
4.1 超厚膜型エポキシ樹脂塗料	
4.2 高耐久性塗料	
4.3 水中塗装塗料	
4.4 流れさび消去塗料	
4.5 柔軟クロス補強システム	

1. 塗料工業の概要

1.1 概況

全世界の塗料の地域別生産比率は、おおよそ、(1) 北米、(2) 西ヨーロッパ、(3) コメコン、(4) 日本を含むその他の諸国、がそれぞれ25%程度と推定される。日本は、世界の塗料工業のうちで、アメリカにつぐ生産量である。

我が国の塗料工業の出荷量は1988年度、204万トンで、出荷金額は、7,007億円である。塗料はほとんどの産業にとって必要なものとなっており、産業全体の動向を強く反映し、高度成長期においては著しい発展を遂げてきたが、その後低成長に転じ成熟化している。わが国の産業構造の変化は、鋁工業生産に対する塗料需要弾性率も低下させてきている。

自動車、電機、機械などの産業の海外への生産拠点シフトや、アジアNIE Sや発展途上国への技術供与などによる国際分業の再編成で、塗料工業も国際的な競合や提携など新しい事態が生じている。

1.2 塗料の生産数量と出荷金額の推移

1988年の塗料生産量は、204 万トンで、前年に比べて8%増となり、出荷金額では、6,539億円で、史上最高の記録となった。これは内需拡大によりわが国の経済が好調に推移した中で、建築用、高級家具用、自動車用及び電機機器関連用などの塗料が大きく伸びて、船舶用や輸出品用の落ち込みをカバーしたものと見られている。

出荷金額	億円						
	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
1950年 (昭和25年)	123 84						
1955年 (昭和30年)	261 153						
1960年 (昭和35年)	563 343						
1965年 (昭和40年)	893 597						
1970年 (昭和45年)		1,667		1,063			
1975年 (昭和50年)				3,571 1,142			
1980年 (昭和55年)						5,523 1,554	
1985年 (昭和60年)							6,826 1,849
1987年 (昭和62年)							7,007 2,039
1988年 (昭和63年)							7,007 2,039
生産数量	500	1,000	1,500	2,000	千トン		

1.3 塗料の品種別生産数量の推移

1985年から1988年までの塗料の品種別生産数量の推移は下表のようで、全体では1987年102だったが、1988年は110と大きな伸張があった。なかでも、ウレタン樹脂系(142)、アクリル樹脂系(122)、水系塗料(118)が高い伸びを示した。

油性塗料は年々減少し、ラッカー、トラフィックペイント（路面表示用塗料）は横ばいに推移している。エポキシ樹脂系、塩化ゴム系、船底塗料、無機質塗料（無機ジンクリッチペイント等）がマイナス成長となっているのは、船舶用塗料の不振によるものと思われる。

塗 料 品 種				昭和60年(1985)		昭和62年(1987)		昭和63年(1988)	
				数 値	指 数	数 値	指 数	数 値	指 数
油 性				28	100	24	86	23	82
ラ ッ カ ー				48	100	45	94	46	96
電 気 絶 縁				38	100	37	97	41	108
合 成 樹 脂 塗 料	溶 剤 系	7MPD	リス・エマル	148	100	146	99	147	99
		樹脂系	さび止め	85	100	81	95	87	102
		アミノ7MPD 樹脂		151	100	146	99	147	99
		ビニル 樹脂系		37	100	40	108	38	103
		アクリル 樹脂系		115	100	129	112	140	122
		エポキシ 樹脂系		97	100	87	90	92	95
		ウレタン 樹脂系		69	100	82	119	98	142
		不飽和ポリエステル樹脂系		24	100	25	104	29	121
		塩化ム系		21	100	16	76	16	76
		船底塗料		24	100	18	75	19	79
		その他の溶剤系		67	100	71	106	77	115
		小 計		837	100	850	102	906	108
	水 系	エマルジョン 系		201	100	212	105	229	114
		水溶性塗料		115	100	126	110	143	124
		小 計		316	100	338	107	372	118
	無 溶 剤	粉体塗料		14	100	14	100	22	157
		トラフィックペイント		89	100	88	89	91	102
		小 計		103	100	102	99	113	110
合 計				1,256	100	1,290	103	1,391	111
無機質塗料				13	100	9	69	9	69
その他の塗料				65	100	59	91	67	103
シンナー				370	100	396	107	430	116
関連製品				30	100	30	100	32	107
総 合 計				1,848	100	1,890	102	2,039	110

1.4 塗料の需要構造

塗料の需要構造は、建物、構造物（橋梁、鉄塔、タンク・プラントなど）、船舶、道路車両（自動車、オートバイ）、電機機械、金属製品など広範囲にわたっている。なかでも、需要が多いのは建物と道路車両である。

建物には建築資材として使われる物に塗装されることが多くなってきていて、建物用と建築資材用を合わせると全需要に対して数量で35.8%、金額で23.6%も占めている。

道路車両用には新車用と補修用とがあり、この二つの分野を合わせると全需要に対して数量で19.3%、金額で24.4%を占め、金額では最大の需要分野になる。

輸出は全体の1.8%に過ぎないが、自動車、電機機械、プラントなどの輸出製品に塗られる塗料（間接輸出）を加えるとその比率は高くなる。

塗料の需要量と金額の構成比（%）

（上段：需要量、 下段：金額）

建 物	31.5
	19.8
建築資材	4.3
	3.8
構造物	5.8
	6.7
船 舶	4.5
	5.6
鉄道車両	0.4
	0.3
道路車両 新車	14.0
	18.3
道路車両 補修	5.3
	6.1
電気機械	4.8
	6.4

機 械	4.5
	4.9
金属製品	7.6
	9.6
木工製品	4.8
	5.7
家 庭 用	2.3
	3.9
輸 出	1.8
	2.1
道路標識	3.9
	3.1
その他	4.5
	3.7

1.5 世界の塗料工業

全世界の塗料の生産・出荷量・出荷金額、統計資料の不整合、不備があって正確を期しがたいが、1985年の出荷量は、およそ2,000万トン/年の規模と見て差し支えないと思われる。

その地域別の生産比率は単純化して表のような状態と思われる。

北米	25%
西ヨーロッパ	25%
コメコン	25%
その他(含日本)	25%
計	100%

国別の塗料生産量は次のようである。

主要国の塗料生産量の推移(1981-1986年) 上段:重量(千トン)、下段:指数

年	国名 アメリカ	日本	西ドイツ	イタリア	フランス	イギリス	スペイン	オランダ	韓国	台湾
1981年 (昭和56年)	3479 100	1555 100	1317 100	672 100	814 100	661 100	281 100	231 100		
1986年 (昭和61年)	4404 127	1824 117	1327 101	635 94	615 76	531 80	285 101	212 98	298	130

コメコン諸国を除く3地域(北米、西ヨーロッパ、日本を含むその他)の需要構成比は次のように推定されている。

建築及びメンテナンス用	150億ドル	53.5%
自動車及び補修用	50億ドル	18.0%
工業用	80億ドル	28.5%
計	280億ドル	100%

世界の塗料工業は、1970年代から市場の成熟化・低成長と、激しい競争の時代に入り、企業の集約化、大メーカーと小メーカーとの2極化が見られ、高度の技術開発力を必要とする工業用塗料分野では大手塗料メーカーへの集中化傾向を示している。

ヨーロッパにおける 塗料メーカー数の推移		アメリカにおける 塗料メーカー数の推移	
1967年	2,609社	1955年	約3,000社
1983年	1,755社	1967年	約1,500社
1986年	1,612社	1984年	約1,000社

日本も含めて、世界的に大手塗料メーカーの市場占有率が高い。

アメリカ大手4社の市場占有度	30% (1985年度)
西ドイツ大手4社の市場占有度	60%
英国大手8社の市場占有度	60%
日本大手3社の市場占有度	45%

世界の塗料メーカーの順位の推移は次のようである。

順位	1979年度	1986年度
1	PPG	ICI
2	Sherw Will	PPG
3	Hoechst	BASF
4	ICI	Hoechst
5	BASF	Sherw Will
6	Du Pont	AKZO
7	AKZO	Du Pont
8	Glidden	NIPPON
9	Int Paint	KANSAI
10	INMONT	Int Paint
11	NIPPON	
12	KANSAI	

1.6 塗料工業の課題

塗料工業の21世紀に向けての課題としては次のようなことがあげられている。

(1)機能性の付与による新商品の開発と新分野の開拓

塗料需要は既存分野では成熟化が見込まれているが、塗料需要の周辺では質的变化が生まれている。このため従来の保護と美粧とに加えて、機能性を付与した新商品を開発し、新しい需要を創造することが必要になる。

(2)異業種との交流

塗料工業の成熟化により、価格をめぐる塗料業界内部の競争から、技術開発、商品開発を中心とした業際間競争へと移行している。塗料工業の業際間の競合対象としては、塗装業、塗装機器メーカー、インキ・印刷、フィルム、薬品、化学合成、電機、素材産業等広範囲な業種が考えられる。塗料工業の発展のためには異業種間の交流、融合が必要である。

(3)研究開発の強化

上記の課題解決のために、研究開発機能の向上が求められる。研究開発機能の強化はまず、個別企業の努力を前提とするが、企業間の相互協力や、異業種やユーザーとの共同研究も必要となる。

(4)欧米企業やアジアN I E Sに対するグローバル戦略

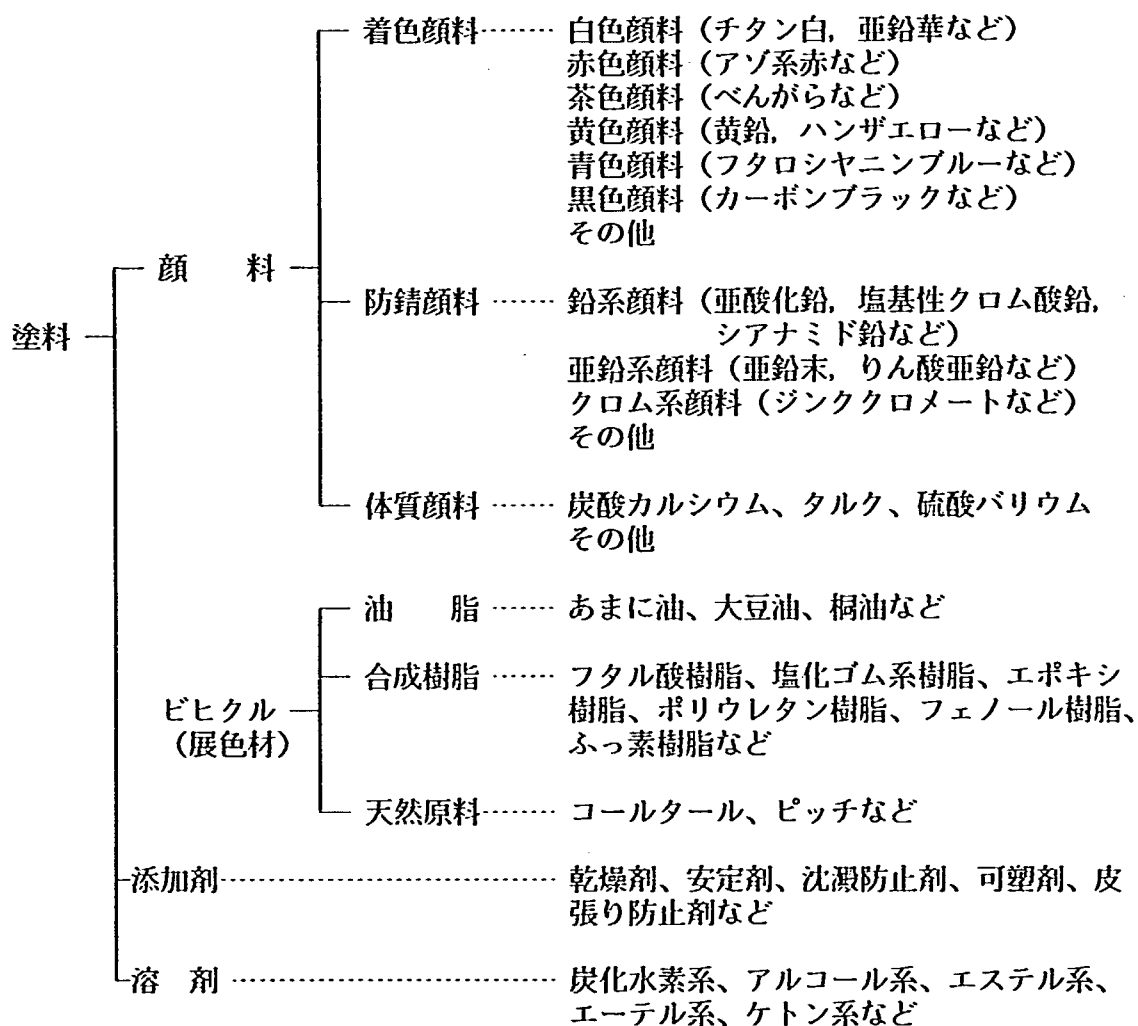
塗料は輸出入ともにウエイトが少なく、国際競争はほとんど問題にならなかったが、自動車生産の海外へのシフトやプラント用塗料の海外調達、欧米大手塗料メーカーのグローバル戦略、アジアN I E S諸国の対日輸出の動きの活発化に対応して、わが国内外でのグローバル戦略が必要になる。

2. 塗料の構成と特徴

2.1 塗料の構成

塗料は、一般に固体粉末の顔料と、液体のビヒクル（展色材）および添加剤、溶剤から構成され、これらの組合せにより色々な性能の塗料が作られる。

塗料を構成する主な原料を次に示す。



2.2 塗料の特徴

塗装によって構造物は保護されて初期の状態が保持されるが、塗装は保護の他に美観を付与したり、各種の機能性を付与したりすることが可能である。

塗料（あるいは塗装）の特徴は次のような点にある。

- 1) 対象物の形状や大きさにかかわらず施工することができる。
- 2) 特別な設備がなくても施工が可能である。
- 3) 構造物の塗装にあたって、現場で供用状態のままでも施工できる。
- 4) メンテナンスが可能である。
- 5) 保護だけでなく、美観、機能性（保護と美観以外の性能：表面状態の調整、光・音・熱の制御等）など多種の要求に応えられる。

3. 新素材としての塗料

3.1 開発の方向性

塗料は半製品として提供され、塗装と乾燥の過程を経て塗膜となり、はじめて効果を示し所定の機能を発揮することができる。したがって、塗料の研究開発は塗膜性能の改善だけでなく、塗料自体の状態や塗装・乾燥といった作業性の点についても行われ、これが塗料の適用範囲を広げる重要な要素となっている。

総合的な塗料の開発の方向性は次のようである。

塗膜形成の過程	開発の方向性	ね ら い	効果、手法等
塗料状態	塗料の形態	取扱い易さ 安全性の向上	粉体、フィルム、固体 無溶剤、水性
塗装	塗膜の形成	塗装：効率化 飛散防止 全天候	厚膜化、スプレー塗装、電着塗装 飛散防止スプレー、静電塗装 低温塗装、湿面塗装、水中塗装
		乾燥：速乾 低温硬化	2液配分塗装、光・熱・水分の利用 新規な重合反応、2液配分塗装
塗膜性能	美観性	美観の向上 耐候性の向上 耐汚染性	高光沢、色、メタリック、表面模様 高性能樹脂、高性能顔料 表面状態
	保護性能	鋼材の防食 コンクリート	厚膜化、高遮断、電気化学的制御 高遮断、高弾性
	機能性	物性の改善 表面の調整 付着制御 生物 電氣的性質 電磁波制御 放射線制御 熱的性質 音 落下防止	柔軟性 潤滑、滑り難さ、耐摩耗 貼紙防止、着氷防止、流れさび消去 付着防止、富養、防かび 絶縁、帯電防止、導電 電磁シールド、電波吸収 遮蔽、除去性 示温、吸収、反射、変換 遮音、防音、制振 コンクリート、アスベスト

3.2 塗料の形態

塗料は一般的に、液状で可燃性の有機溶剤を含む状態で供給されているので、固形化したり無溶剤や水性にすることで、取扱いが容易になり、安全性も高まる。

固体化

塗料は固体化することにより、取扱い性、安全性が高まる。

固形化の手法には次のような方法がある。

- (1) 粉末を使用前に、水や水性樹脂に溶解あるいは懸濁させる。
- (2) 粉体にして、塗付後に加熱溶融して塗膜にする。
- (3) 特殊な樹脂で固形化し、塗装面に強く押し付けて液状にする。
- (4) フィルムにして、貼り付ける。

粉末を水などに加える手法は、カゼインやセメント等により古くから利用されている。加熱溶融形の粉体塗料は、家電製品や自動車をはじめ各種の工業製品に実用化されている。とくに、冷蔵庫などのプレコート鋼板やコンクリート鉄筋の防食などへの適用が注目されている。

樹脂による固形化は十分な塗膜性能が得られず、家庭用にとどまっている。

フィルム貼りの手法は、防食を目的としたものとマーキングを目的としたものに大別される。防食用のフィルムはテープ状にして海洋構造物やパイプ類の防食に使用され、塩ビフィルム等に粘着剤を塗布したものと不織布にペトロラタム等の防錆剤を含浸させたものが用いられることが多い。最近注目されているのはマーキング用のフィルムで、コンピュータ処理による自動カッティングで自動車のマーキング、タンク等の企業ロゴマーク、橋梁の塗装記録表示等に使用されていて将来は防錆用としても期待されている。

無溶剤化

液状の樹脂を使用すると無溶剤形の塗料ができる。無溶剤形塗料は引火や有機溶剤中毒の恐れがないので密閉部分での塗装が容易になり、箱桁内面の塗替塗装などに使用されている。無溶剤形塗料は2液硬化形となっていることが多く、乾燥性を確保するために2液混合後の可使用時間は溶剤形塗料よりも短い。

水性化

塗料に使用されている有機溶剤を水に替えた水性塗料は、引火等の危険や臭気をなどがなく、安全衛生上の利点がある。水性塗料は、塗料を大量に貯蔵する自動車の車体浸漬塗装や建築内部の塗装に多く使用されている。水の自然蒸発速度は有機溶剤に比べて遅いので、加熱乾燥を行ったりモルタルのように吸水性の素材への塗装の場合以外は正常に硬化しないことが多い。

3.3 塗膜の形成

塗料は塗装され乾燥して、塗膜となってはじめてその効果を発揮する。したがって、どのように塗膜を形成させるかは塗料にとって重要な性質であって、新しい塗膜形成技術の開発は新規な原料を塗料に応用できることになり、新素材塗料の開発につながる。

塗膜の形成は、塗装と乾燥の2段階からなる。

塗装方法には、流し塗り、浸漬塗り、スプレー塗り、ローラー塗り、はけ塗り等がある。工場塗装では、流し塗りで長尺の亜鉛めっき鋼板を毎分 150mの速度で塗装したり、浸漬電着塗装で自動車の車体等を端部にいたるまで均一に塗装しているが、土木構造物のような大型構造物の塗装では、工場ではスプレー塗装が行われているが、建設現場でははけ塗りが主体で生産性が低い。

塗料の乾燥には、酸素や湿気のような自然現象の利用、加熱、2液混合、触媒添加、光や電子線の照射などの方法がある。今後、塗料を土木構造物にさらに有効に利用するために速乾性、厚膜乾燥性、気象的な塗装制限の緩和等の技術が開発されている。

塗装の効率化

はけ塗りを主体とする大型構造物の現場塗装は、効率が悪くしかも1回で塗装できる塗付量に制限があり厚膜塗装ができない。現場でも効率のよいスプレー塗装を行う方法が開発されている。現場スプレー塗装には、周辺への塗料の飛散の少ない塗装機、それに適した塗料（噴霧粒子形の調整、速乾性で周辺物に粘着しないなど）の開発が必要であり、施工も含めた総合的な検討が必要である。塗装の効率化によって、塗装足場等の合理化も可能になると考えられる。

厚膜塗装

通常、鋼構造物の防錆塗装は30～80 μ の塗装が5回程度行われてきた。耐久性の向上や工程の合理化のために、1回塗りで100～2500 μ の塗装が行えるようになり、塗装回数を削減したり（110 μ 、箱桁内面のタールエポキシ樹脂塗装）、腐食が厳しくかつ塗替塗装が困難な箇所の超厚膜塗装（2500 μ 、関西空港連絡橋の鋼脚の干満部）に適用された。

水中塗装

水中や常時濡れている干満部は、厳しい腐食条件にあるにもかかわらず塗替塗装が困難であるが、水中塗装システムの開発で現場でも塗替塗装ができるようになった。

塗料の種類としてはエポキシ樹脂塗料やポリエステル樹脂塗料などが用いられている。塗膜性能はほぼ要求を満足しているが、素地調整や塗装の効率化が課題で、機械化技術の開発が望まれている。

3.4 美粧性

塗料の特長の一つには、保護効果と同時に色による美粧付与が可能なことがある。

構造物の周辺環境との調和の必要性が高まるにつれて、塗料の美粧性の果たす役割も大きくなってきた。色を有効に使うには、色彩設計技術や耐候性塗料の開発が必要である。

色彩設計

構造物の周辺環境との色の調和を図ったり、道路標識の識別性を高めたりするためには科学的な色彩設計が必要である。

色彩設計を科学的に行うためには次のような点を考慮すべきである。

(1)色の感情効果：色は、見る人に様々な感情を起こさせる。色は、寒暖、硬柔、軽重、進出後退、興奮鎮静、派手地味などの感情効果をもっている。

(2)色の視認性：ものの形がはっきり見える状態を視認性が高いという。
視認性には背景の色、照明条件、ものの大きさなどが関係する。

(3)色の誘目性：我々はいろいろの色に囲まれているが、その中でどの色に最初に目が向くかを誘目性という。
一般に、明るい色や彩度の高い色、暖色系の色の方が、低明度、低彩度、寒色系の色よりも誘目性は高い。

(4)色の保持性：適切な色彩設計を行っても、塗膜の色が暴露により変化しては目的は達し得ない。
したがって、色彩設計は色の保持性についても配慮して色を決定することが必要である。

土木構造物の色彩設計については標準化されたものがなく、今後は土木構造物の色彩設計の基準の開発が必要である。

耐候性塗料

長期防錆塗装系では、防錆性の長期化に対応して耐候性のよいポリウレタン樹脂塗料が上塗に使用されている。しかし、さらに長期の防錆性を付与したり、周辺環境との調和を図るために色の選択の範囲が広がるにしたがって、より耐候性がよく変退色の少ない塗料に対するニーズが高まっている。このため、ふっ素樹脂塗料やシリコン樹脂塗料といった耐候性のよい塗料が構造物の上塗にも使用されるようになってきた。

仕上り外観

ビル等の外装には凹凸による模様仕上げやメタリック調の仕上げが採用され、外観を高めている。

塗膜の外観を従来の光沢度による評価から、鮮映性と呼ばれる表面の平滑性も加味したより官能評価に近い測定法で評価されるようになっている。

3.5 保護性能

被塗物の保護は塗装の最大の目的である。海洋環境の鋼構造物の増加でより防錆性のよい塗装系が求められている。鋼構造物のストックが増加し、合理的な塗装の維持管理も必要とされている。また、コンクリート構造物の劣化防止に対しても塗装は有効なことが認められてきた。

設塗装の長期防錆塗装

本州四国連絡橋の塗装を契機として、海上に適用する長期防錆塗装のため次のような塗装仕様が確立された。

本州四国連絡橋の 塗装仕様	厚膜型無機ジンクリッチペイント	75 μ
	エポキシ樹脂塗料下塗	60 μ × 2
	ポリウレタン樹脂系塗料	30 μ × 2

しかし、さらに防錆性のよい塗装仕様が求められ、より厚膜に塗装できるエポキシ樹脂塗料下塗やガラスフレークを配合して腐食性物質の遮断性を高めた塗料が、関西空港連絡橋の防錆塗装仕様として提案された。また、腐食の厳しい干満部の塗装には2500 μ の超厚膜塗装が採用された。

関西空港 連絡橋の 塗装仕様 (案)	海上大気部：	厚膜型無機ジンクリッチペイント	75 μ
		厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗	100 μ × 2
		ポリウレタン樹脂系塗料	30 μ × 2
	飛沫部	： 厚膜型無機ジンクリッチペイント	75 μ
		ガラスフレーク塗料	250 μ
		ポリウレタン樹脂系塗料	30 μ × 2
	干満部	： 無機ジンクリッチプライマー	75 μ
		超厚膜型エポキシ樹脂塗料	2500 μ

維持管理の合理化

塗装の維持管理を合理的に行うために次のような開発を行っている。

(1) 構造物の点検と維持管理技術の開発：

塗膜の劣化状態を正確に調査し、塗替の時期や方法を正しく判定する技術の開発を行っている。

(2) 新設塗装の塗装仕様を塗替塗装から高性能なものに変更する塗料の開発：

現場の腐食環境が予想外に厳しく、予定よりも早く腐食した場合の塗替塗装用として、防錆性がよく各種の塗料の上に塗装が可能な変性エポキシ樹脂塗料下塗を開発した。

(3) 部分補修塗装仕様の開発：

海上橋等に使用されている長期防錆塗装系は端部やメカニカルダメージ部分に点状のさびが生ずるが、ほとんどの部分は健全な状態であることが多い。このような場合、点さびだけを部分的に補修塗装するための厚膜塗料と施工方法を開発した。

コンクリート構造物の劣化防止

コンクリート構造物の劣化に対しては、塩害、アルカリ骨材反応ともに塗装による外部因子の遮断が有効と考えられる。塗料は遮断性が高いと共に弾性も高く、コンクリートに発生したひび割れに追従できるものが望ましく、柔軟形のエポキシ樹脂塗料が開発された。

3.6 機能性

塗料の基本的な機能である、保護や美装以外の機能を持った、いわゆる機能性塗料が注目されている。本来、被膜で付与できる性能は塗料で満足させることができるべきものであって、塗料化することによって大型構造物にも容易に機能性を与えることができるようになる。

機能性塗料は、機能の種類と得られる効果によって次のように分類することができる。

機能 効果	熱	電気 磁気 光	表面・界面	音	生 物
安全性 快適性	赤外線制御塗料	電磁波シールド塗料 電波吸収塗料 帯電防止塗料	着氷防止塗料 貼紙防止塗料 流れ錆除去塗料 滑り止め塗料	吸音塗料 遮音塗料 防振塗料 制振塗料	
経済性			潤滑塗料 耐磨耗塗料		防汚塗料 水産富養塗料
表示 記録	示温塗料	電子けがき塗料 プリント配線塗料			
保護	防火塗料		砕氷船用塗料 プラスチック用塗料		

機能性塗料の概要

次のような機能性塗料が実用化されている。

赤外線制御塗料	赤外線は物質の分子活動を活発にし、温度を上昇させる。赤外線を吸収して、濃色でも日照による温度上昇の少ない塗料が貯蔵タンクや船舶のメッキに塗装されている。赤外線を遮断したり吸収する塗料は赤外線検知防止に使用される。特定の光線を吸収し遠赤外線を放射する塗料が赤外線こたつの放射板に塗装されている。
示温塗料	特定の温度範囲で変色し、示温する塗料がある。
防火塗料	高温になると発泡し、断熱効果で木材の発火を防止する。
電磁波シールド塗料	プラスチックは電氣的に透明なので、導電性の金属粉などを配合した塗料を塗装して電磁波の漏洩による障害を防ぐ。
電波吸収塗料	塗膜で電波を吸収して電波障害やレーダーの偽像現象を防ぐ。吸収形と整合形とがあり、薄膜化が課題である。
帯電防止塗料	粉体輸送パイプの内面に塗装し輸送効率を高めたり、危険物貯蔵タンク内面に塗装し静電気事故の発生を防止したり、床に塗装して塵埃の付着を防止したり、人体へのショック防止のために塗装されている。
電子けがき塗料	鋼板用の導電性のプライマーで、塗膜上にフォトナーと呼ばれる酸化亜鉛を主成分とする粉末を散布し図面を投射して、光により電荷を失った粉末を除去してから定着して塗膜上にけがきを行う。
プリント配線塗料	電着塗装技術と光硬化技術とを応用したプリント配線用塗料で、銅メッキ板に塗装し、露光後、非露光塗膜を洗い流し露出した銅をエッチングし電子回路を作る。電着塗装技術により均一で薄い膜が得られるので、回路の幅が30 μ というファインパターンができる。
着氷防止塗料	塗膜表面の発水性や水分子の会合の防止により着氷を防ぐ。
貼紙防止塗料	表面の凹凸と非接着性で貼紙を防止する。
流れさび消去塗料	塗膜中の活性顔料を徐々に表面に移行させ、表面に流れたさび（褐色の水酸化鉄）を白色の水溶性物質に変えて雨や海水で洗い流させて、もらいさびによる塗膜の汚れを防止する。

滑り止め塗料	けい砂を入れた塗料が床や甲板の滑り止めに塗装されている。道路マーキングやカラー舗装では、雨などで濡れても滑らない塗膜が得られている。鋼構造物の高力ボルト接合面には摩擦力の大きい無機ジンクリッチペイントが塗装されている。
潤滑塗料	黒鉛、二硫化モリブデン、ふっ化エチレン、ポリエチレンなどの粉末を配合した塗料で、摩擦面に塗装される。高力ボルトの潤滑性防錆プライマーとしても利用されている。
耐磨耗塗料	床、道路マーキング、カラー舗装用に耐磨耗性塗料が塗装される。
砕氷船用塗料	砕氷船の船首には、氷との衝突で損傷しない硬度、凝集力、接着力を持った厚膜のエポキシ樹脂塗料が2頭ガン塗装機で塗装されている。
プラスチック用塗料	プラスチックの着色等のために各種の材料に密着の良い塗料が開発されている。
吸音・遮音塗料	表面を多孔質にした塗膜は吸音硬化を発揮し、緻密で比重の高い塗膜は遮音効果を示す。
防振・制振塗料	塗膜を固有振動数の低い弾性体とすると、素地の振動電波を抑えた防振塗料ができる。振動を与えた金属は時間振動が継続し音を発するが、制振塗料を塗装すると短時間で振動が減衰する。制振塗料は剛性の高上塗と（拘束層）と軟質の下塗（吸収層）とからなっている。
防汚塗料	船底には防汚塗料が塗装され、生物の付着による航行障害を防止している防汚塗料は、塗膜中から銅や錫の化合物を徐々に溶出させて生物の付着を防いでいるが、1年も経つとその効力を失うだけでなく、多孔質の塗膜が残って船の速度の落ちる原因になっていた。その後、開発された、アクリル錫コ・ポリマーをビヒクルとする塗料は塗膜自体が加水分解で徐々に溶出し、長期間防汚性を保持するとともに、塗膜の表面が平滑化し燃費の節約になり、うなぎ塗料と呼ばれている。最近では、海水導水管の内面に無溶出性の防汚塗料が塗装されている。
富養塗料	防汚塗料とは逆に生物の付着を促進する富養塗料がある。富養塗料の目的は食用海藻類の養殖や漁礁の造成といった養殖のためと、海洋構造物を自然状態に保つという景観的要素のためとがある。

4. 土木用への新素材・新材料の適用

4.1 超厚膜型エポキシ樹脂塗料

4.4.1 概要

本州四国連絡橋のような、厳しい腐食環境にある海洋鋼構造物の防錆を目的とする、いわゆる長期防錆塗装は、海上で15年の耐用年数という当初の目的は達成できた。しかし、さらに長期の耐用年数が必要になったり、干満部のような腐食のより厳しい環境でも長期の防錆性が要求されるようになった。このため、従来厚膜塗料と称せられていた塗料の10倍程度の塗装が可能な超厚膜型エポキシ樹脂塗料が開発された。この塗料は低粘度のエポキシ樹脂を使用した高不揮発分塗料で、組成と品質の概要は表の通りである。

成分表

塗料液	防 錆 顔 料	15.0%
	顔 料	47.0
	エポキシ樹脂	31.0
	添 加 剤	3.0
	溶 剤	4.0
合 計		100.0

硬化剤	顔 料	66.0%
	変性ポリアミン	27.0
	添 加 剤	3.0
	溶 剤	4.0
	合 計	100.0

混合比 塗料液：硬化剤＝60：40（重量比）

性能表

項 目	性 能
乾 燥 時 間	16時間以内
ポットライフ	1時間以上（20℃）
厚 膜 性	垂直面に2500μmの厚さに塗装しても異常がない
付 着 力	初期：70kg/cm ² 以上、冷熱サイクル試験60/0℃、100サイクル後：70kg/cm ² 以上
塩水噴霧試験	3000時間異常なし
抗 張 力	150 kg/cm ² 以上
伸 び 率	3%

4.1.2 特徴

- 1) 従来の厚膜塗料の10倍程度($2500\mu\text{m}$)までの塗装が可能で、長期の防錆性が期待できる。
- 2) 専用塗装機を使用すれば、スプレー塗装も可能である。
- 3) 一度に厚膜に塗装しても、われたり、はがれたりすることがない。
- 4) エポキシ樹脂塗料をはじめ、鉛系さび止めペイント、塩化ゴム系塗料、ポリウレタン樹脂塗料なども塗重ねることができる。

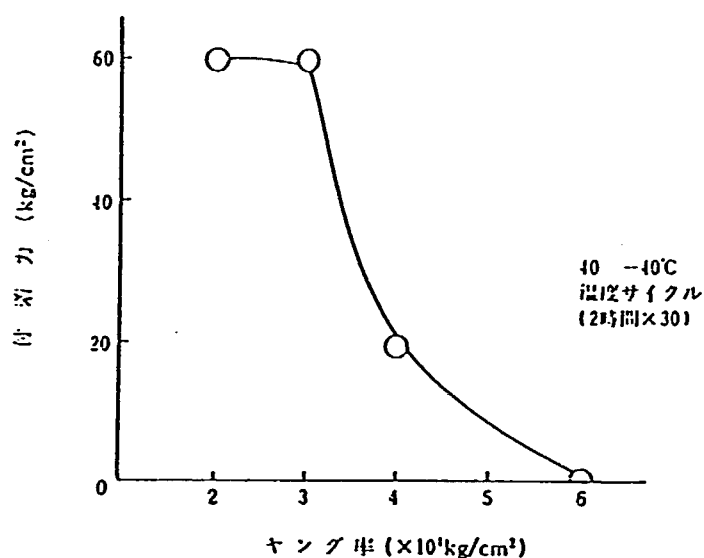
4.1.3 用途

- 1) 厳しい腐食環境で、20年以上の長期防錆性を必要とする場合の下塗塗装に用いる。 $500\mu\text{m}$ 程度塗装する。
- 2) 干満部のようなとくに厳しい腐食環境の防食塗装に使用する。 $2500\mu\text{m}$ 程度塗装する。
- 3) 高力ボルト接合部など腐食の特にひどい箇所の補修塗装に使用する。
- 4) 海上のような塗装が困難な場所での、局部的腐食の簡易補修塗装。

4.1.4 構成技術

塗膜の内部応力の緩和による付着性の向上

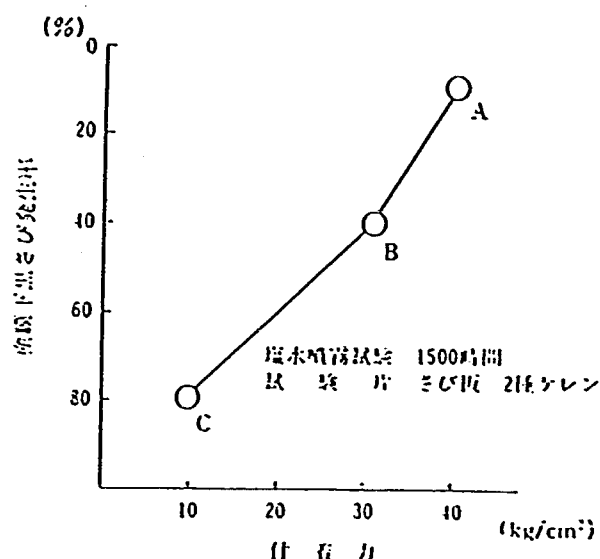
塗料は乾燥時の硬化反応によって、内部応力が発生し、とくに厚膜塗装ではその影響が大きくなる。超厚膜型エポキシ樹脂塗料は、塗膜のヤング率の低下をさせて、内部応力を低減させ、付着力を向上させている。



ヤング率の低下による防錆性の向上

付着性の向上による防錆性の向上

塗膜の付着力の向上により、さびの残存した面に塗装した場合の防錆性が向上した。

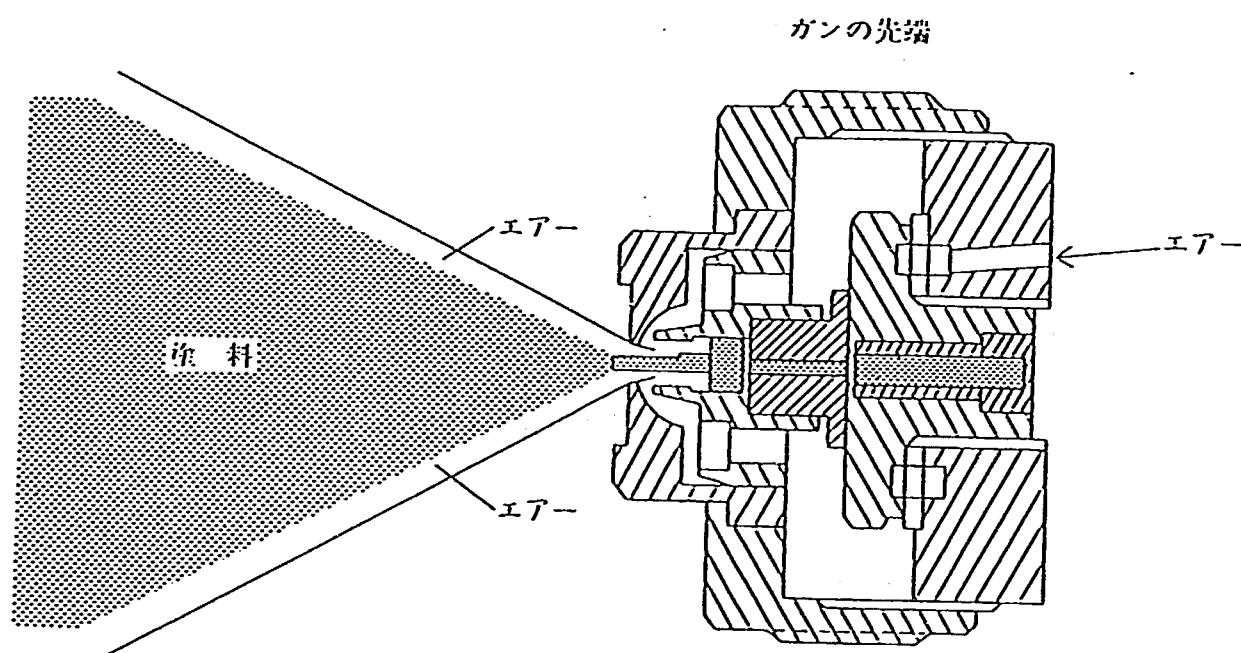


付着力の向上による塗膜下の黒さび発生の低下

超厚膜型塗料のスプレー塗装

超厚膜塗料は、塗料が塗装後にずり落ちないように高粘度になっていて、スプレー塗装を行うためには高圧力で微粒化しなければならず、塗膜状態が非常に悪くなり（著しいゆず肌）、均一な塗膜を得ることは困難である。

しかし、気流体内部霧化方式で塗装すれば、均一な厚膜を得ることができる。この塗装方法は図に示すようなもので、塗料の吐出と同時にエアが層流を帯びて噴出し、塗料を2時的に微粒化するもので、ガンの先端にかかる圧力が低圧になるので、2000 μm を超える厚膜でも平滑な塗膜が得られる。



4.1.5 使用方法

満部など、とくに厳しい腐食環境の長期防錆塗装。

工 程	塗 料	膜 厚
下塗塗装	エポキシ樹脂プライマー	30 μ m
超厚膜塗装	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	2500 μ m

海上などの、厳しい腐食環境の長期防錆塗装

工 程	塗 料	膜 厚
下塗塗装	エポキシ樹脂プライマー	30 μ m
超厚膜塗装	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	500 μ m
中塗塗装	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	30 μ m
上塗塗装	ポリウレタン樹脂塗料上塗	30 μ m

部分的な補修塗装

工 程	塗 料	膜 厚
下塗塗装	変性エポキシ樹脂塗料	30 μ m
超厚膜塗装	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	300 μ m
中塗塗装	ポリウレタン樹脂塗料用中塗	30 μ m
上塗塗装	ポリウレタン樹脂塗料上塗	30 μ m

4.2 高耐候性塗料

4.2.1 概要

塗料の特徴の一つに、防錆などの保護効果と同時に色による美粧性が付与できることがある。防錆面の耐久性は従来の10年前後から20年を目標に長期化されつつある。

これにともなって、色や光沢など外観の保持性（耐候性）の長期化も必要になってきている。また、構造物の周辺環境との調和も求められるようになり色彩設計が行われるにつれて、初期の色彩を保つために塗料の耐候性についても従来よりも向上させる必要性を生じた。

現在、長期防錆塗装の上塗に使用されているポリウレタン樹脂塗料は5年程度の暴露で光沢の低下とそれにとまうある程度の変退色は避けられず、防錆性にくらべて耐候性上の寿命が短い。ふっ素樹脂塗料とシリコン樹脂塗料が開発されて、ポリウレタン樹脂塗料にくらべて耐候性が大幅に向上することが確認された。

塗料成分の一例を次に示す。

成分表

ふっ素樹脂塗料				シリコン樹脂塗料			
塗料液	着 色 顔 料	25.0%		着 色 顔 料	25.0%		
	ふっ素樹脂ワニス	62.0		シリコン樹脂ワニス	62.0		
	添 加 剤	1.0		添 加 剤	2.0		
	溶 剤	12.0		溶 剤	11.0		
合 計		100.0		合 計		100.0	
硬化剤	イソシアネート溶液	100.0		イソシアネート溶液	100.0		
	合 計	100.0		合 計	100.0		
混合比	塗料液：硬化剤 70：10（重量比）			80：10（重量比）			

4.2.2 特徴

- 1) 従来、長期防錆塗装に使用されているポリウレタン樹脂塗料にくらべて、耐候性が大幅に向上している。
- 2) 刷毛塗り、スプレー塗りのいずれも可能である。
- 3) 長期防錆塗装仕様の、厚膜型無機ジンクリッチペイントとエポキシ樹脂塗料下塗による下地の上にそのまま適用することができる。
- 4) 低温乾燥性がよい。
- 5) 性能規定を次に示す。

性能規定

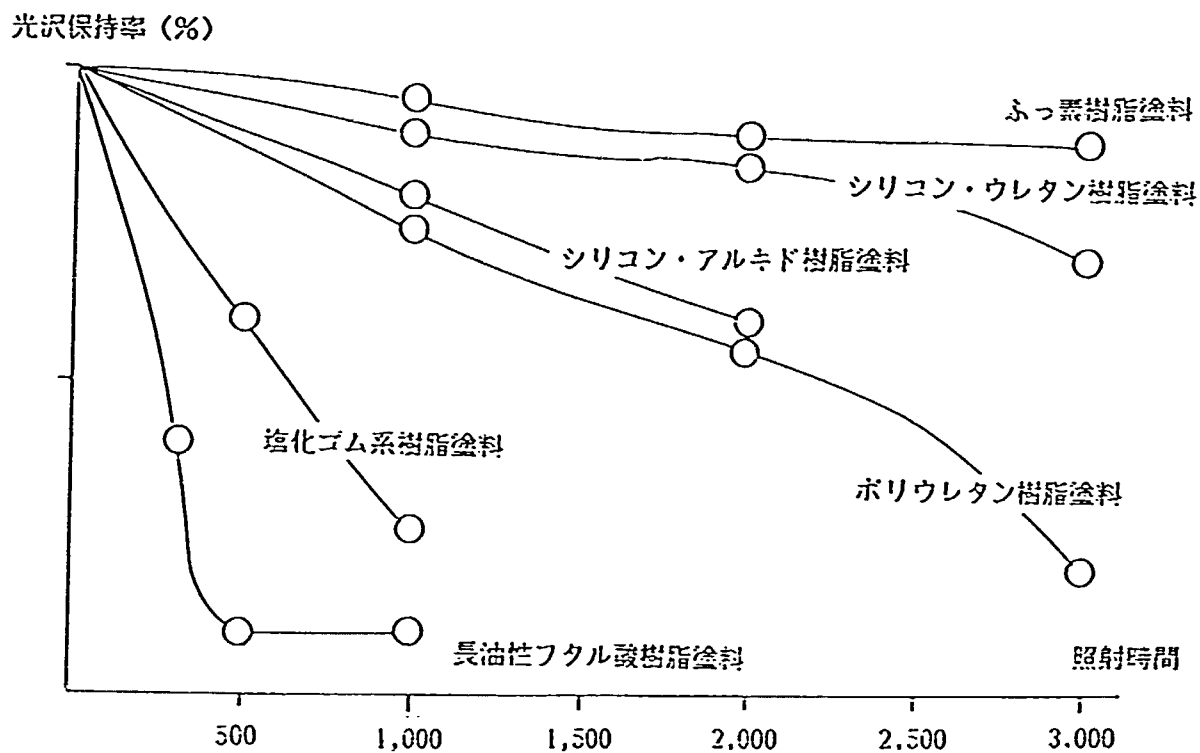
項 目	規 定	
	ふっ素樹脂塗料上塗 シリコン樹脂塗料	ポリウレタン樹脂塗料 (比較)
混合塗料の加熱残分	50以上	
ホ ッ ト ラ イ フ	5 時間以上 (20℃)	
乾 燥 時 間	5℃ : 24時間 20℃ : 16時間	
塗 装 作 業 性	刷毛塗りとスプレー塗りに支障のないこと	
塗 膜 の 外 観	塗膜の外観が正常であること	
耐 衝 撃 性	500mmの高さから 300 gのおもりを落としたとき、塗膜にわれ、はがれのないこと	
耐 屈 曲 性	160℃で30分間加熱した後、直径10mmの折曲げに耐えること	
60度鏡面光沢度	70以上	80以上
促 進 耐 候 性	300時間で色差は2以内で、 60度鏡面光沢度は60以上のこと	300時間で色差は3以内で、 60度鏡面光沢度は50以上のこと
隠 ぺ い 率	赤、黄 : 0.50以上 その他 : 0.80以上	

4.2.3 用途

- 1) 長期の耐候性を必要とする場合の上塗塗料として使用する。
- 2) とくに、色彩調節により彩度の高い色を選択した場合は必要になる。
- 3) 海上などに適用する長期防錆塗装系の上塗塗料に使用する。

4.2.4 構成技術

- 1) 原子間の化学結合力が高く、光劣化を受けにくい。
ふっ素樹脂のC-F結合エネルギーや、シリコン樹脂のSi-O-Si結合エネルギーは、通常の有機樹脂のC-C結合エネルギーよりも大きい。
- 2) 樹脂周辺の水素原子が離脱しにくく、光による励起やその後の酸化を受けにくくして耐候性を向上させた。
- 3) ふっ素樹脂とシリコン樹脂を変性して、イソシアネートと反応して常温で乾燥するようにした。



塗料の耐候性 サンシャイン・ウエザオメーター試験

4.2.5 使用方法

海上などの、厳しい腐食環境の新設長期防錆塗装

工 程	塗 料	膜 厚
素地調製	プラスト処理	
下塗塗装 1	厚膜型無機ジンクリッチペイント	75 μ m
下塗塗装 2	エポキシ樹脂塗料下塗	60 μ m $\times$ 2
中塗塗装	ふっ素樹脂塗料用中塗 又は シリコン樹脂塗料用中塗	30 μ m
上塗塗装	ふっ素樹脂塗料上塗 又は シリコン樹脂塗料上塗	30 μ m

塗替塗装仕様

工 程	塗 料	膜 厚
素地調製	動力工具処理	
下塗塗装	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60 μ m $\times$ 2
中塗塗装	ふっ素樹脂塗料用中塗 又は シリコン樹脂塗料用中塗	30 μ m
上塗塗装	ふっ素樹脂塗料上塗 又は シリコン樹脂塗料上塗	30 μ m

4.3 水中塗装塗料

4.3.1 概要

海洋鋼構造物は厳しい腐食環境に常時さらされているため、長期防錆塗装が採用されている。しかし干満部では、浮遊物などによる物理的破壊により防錆被膜が破れ局部的に腐食が発生する場合もある。

このような場合に適用できるものとして、水中で補修できる材料が開発された。

この塗料は水中効果性の良い、エポキシ樹脂やポリエステル樹脂を使用した無溶剤型塗料で、組成と品質の概要は表の通りである。

成分表

塗料液	顔 料	52.0
	変性エポキシ樹脂	46.0
	添 加 剤	2.0
	合 計	100.0
硬化剤	顔 料	42.0
	ポリアミド樹脂	54.0
	添 加 剤	4.0
	合 計	100.0

混合比 塗料液：硬化剤＝64：36（重量比）

性能表

項 目	性 能
硬 化 時 間	24時間以内 (20℃水中)
ポットライフ	30分 (20℃水中)
厚 膜 性	水中での垂直面に3000 μ mの厚さに塗装できる。
塩水噴霧試験	8000時間 異常なし
付 着 性	40kg f / cm ² (海水中)

4.3.2 特徴

- 1) 海水、淡水中での水面下、および水で湿潤した錆面やコンクリート面に直接塗付でき、長期の防錆性が期待できる。
- 2) 塗付後、1時間程度で半固化するため、波や潮流による流出が少ない。
- 3) 2000~3000 μ mの厚膜塗付ができ、下地との付着性にすぐれている。
- 4) 毒物の使用がないため、海水汚染がない。

4.3.3 用途

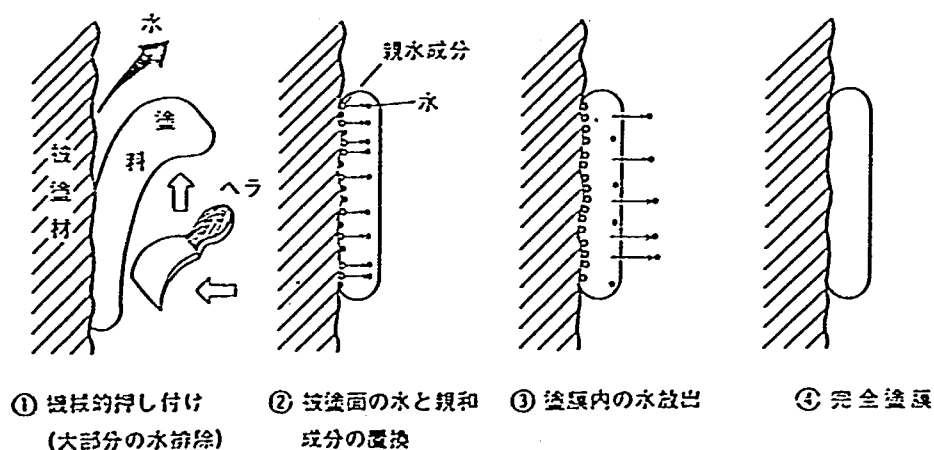
- 1) 水中又は湿潤面でのジャケット、抗、導水管などの補修に使用する。
- 2) 海上橋の橋脚、ケーソンなど水中での施工が必要な補修に適用でき、長期の防錆効果がある。

4.3.4 構成技術

- 1) 水中での被塗面との付着性の向上

塗料成分中の親水基と疎水基のバランスを調製することにより、水分置換作用で水中接着を容易にしている。

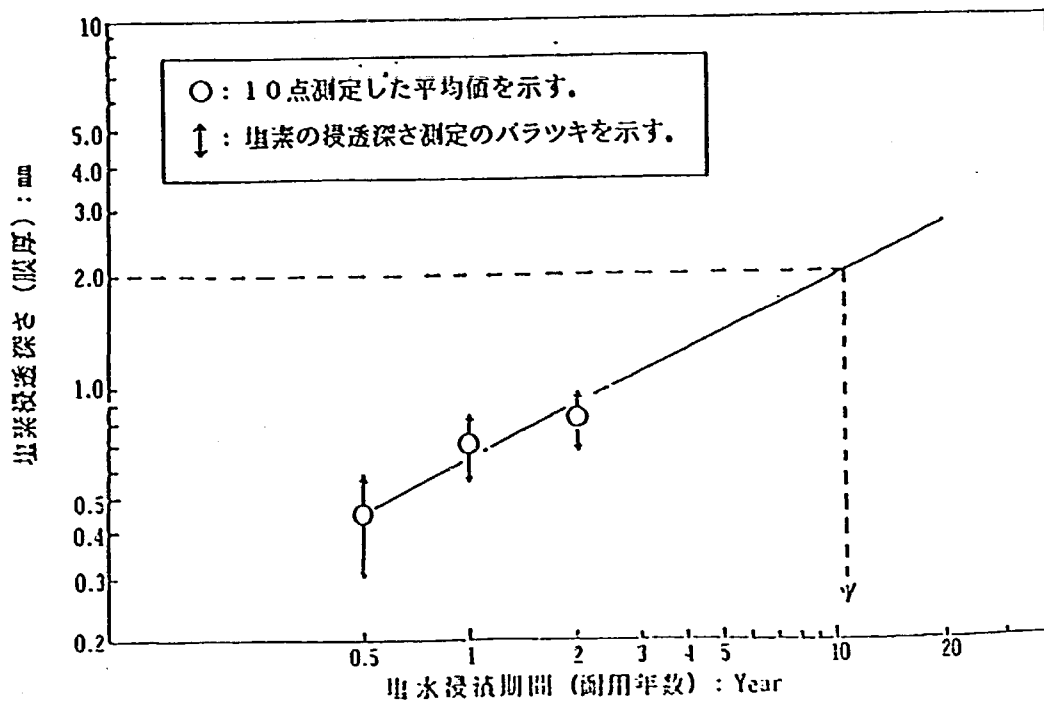
水中での塗料付着メカニズム



2) 厚膜化による防錆性の向上

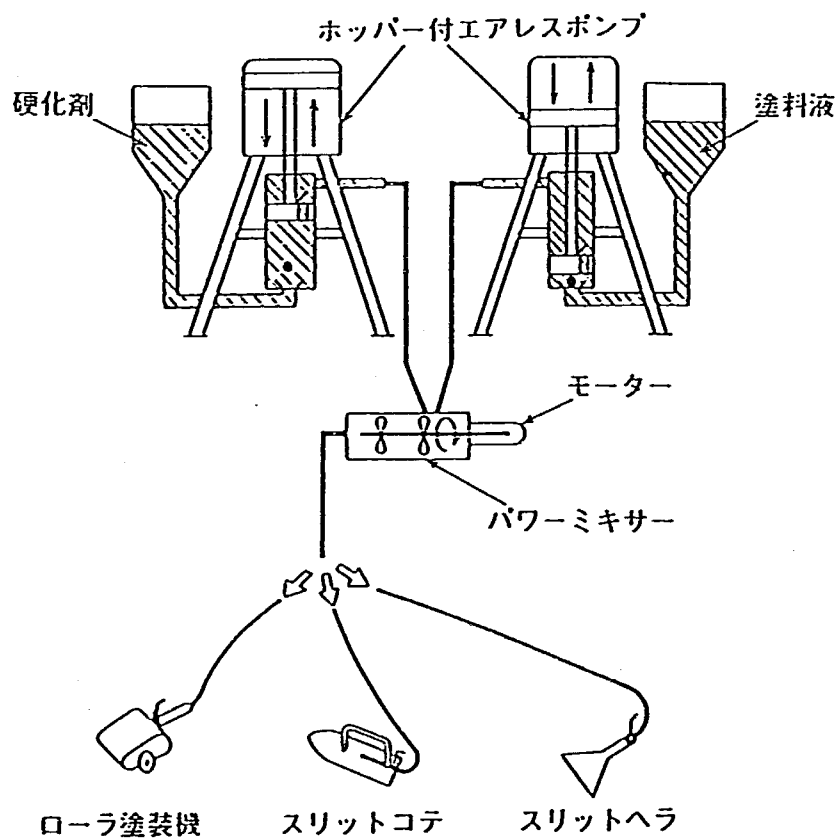
腐食因子である水分、酸素、塩分の透過を厚膜化により阻止し、防錆性を向上させた。

図：塩水浸漬期間と塗膜中への塩素浸透深さの関係
(ハイドロタックPの耐用年数と膜厚の関係)

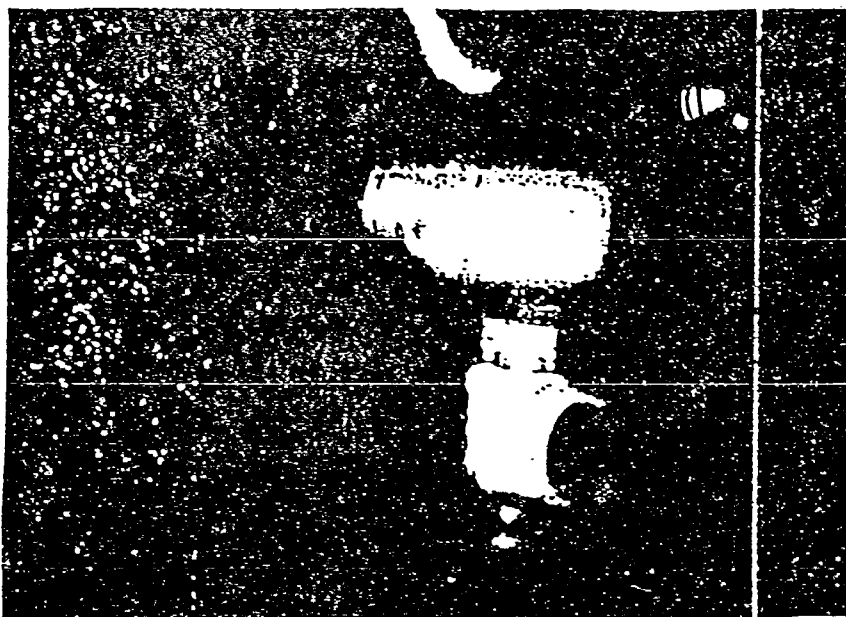


4.3.5 使用方法

1) 塗装システム



2) 素地調整方法



ダイバーによる付着物除去、素地調整

4.4 流れさび消去塗料

4.4.1 概要

鉄部から発生したさびは、塗膜を破って表面に流出すると塗膜表面に広がって、あたかも広い面積にさびが発生したように見える。このような現象は船舶や海岸地区の構造物のような表面が濡れていることの多い構造物、あるいは構成の手すりのついたコンクリート構造物などでよく見られる現象である。このような面に塗装して流れさびの色を消去する塗料が開発された。

この塗料は塩化ゴム系の塗料で、専用の中塗塗料と上塗塗料とからなり、さび止め用の下塗の上に塗装する。

塗料性能の概要は次のようである。

性能表

項 目	規 格	性 能
容器の中での状態	かき混ぜたとき堅い塊がなく一様になること	合 格
作 業 性	刷毛塗り及びスプレー塗に支障がないこと	合 格
乾 燥 時 間	6時間以内	合 格
付 着 性 試 験	基盤目試験で、25/25であること	合 格
耐 塩 水 性	塩化ナトリウム溶液(3w/v%) に96時間浸しても異常のないこと	合 格

4.4.2 特徴

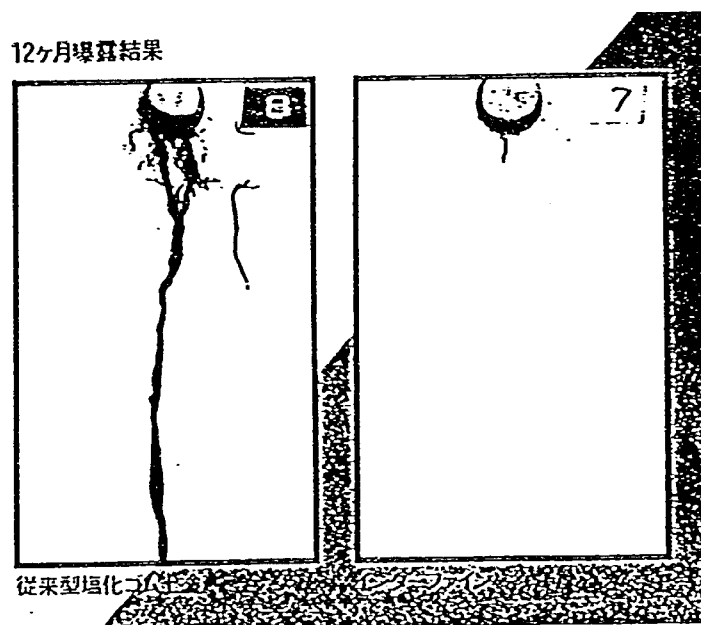
- 1) 塗膜上に流れた鉄さびを、赤さび色から白色に変換して塗膜の汚染を防止する。
- 2) 通常の塩化ゴム系塗料と同様に塗装することができる。
- 3) エポキシ樹脂下塗塗料と併用すれば、長期防錆性が得られる。
- 4) 鉄部にもコンクリート部にも塗装することができる。
- 5) 上塗の色は白または白に近い淡彩色に限られる。

4.4.3 用途

流れさびによる塗膜の汚染の恐れのある環境の鋼構造物及びコンクリート構造物の防錆塗装。

4.4.4 構成技術

- 1) 塗膜に配合した特殊な活性顔料が徐々に、塗膜の表面に移行する。
- 2) 塗膜表面に流出した褐色のさび（水酸化鉄）が、表面に移行した活性顔料と反応して、水溶性の白色物質に変わる。
- 3) 水溶性の白色物質が雨や海水で洗い流される。



4.4.5 使用方法

鉄面の塗装

工 程	塗 料	膜 厚
下塗塗装	変性エポキシ樹脂塗料	60 μ m
中塗塗装	流れさび消去塗料中塗	75 μ m
上塗塗装	流れさび消去塗料上塗	40 μ m $\times$ 2

コンクリート面の塗装

工 程	塗 料	膜 厚
下塗塗装	コンクリート用エポキシ樹脂塗料	60 μ m
中塗塗装	流れさび消去塗料中塗	75 μ m
上塗塗装	流れさび消去塗料上塗	40 μ m $\times$ 2

4.5 柔軟型クロス補強システム

4.5.1 概要

塩害などにより損傷を受けたコンクリート構造物は、鉄筋腐食によりコンクリートのひび割れが多数発生している。

この場合、補修工法の一つとしてコンクリート表面塗装による被覆で、鉄筋の腐食因子である水分、酸素、塩分の外部からの供給を遮断する方法がある。

被覆補修材料に要求される性能として①高遮断性をもつ事②下地のひび割れに追従する高弾性をもつ事があげられる。

これらの性能を持つ被覆材として材料開発が進められており、柔軟型エポキシ樹脂塗料、柔軟型ゴム系塗料、柔軟型ポリマーセメント材料などがある。

また、コンクリートのひび割れが増大するとコンクリートそのものが、剝落、落下する危険性があり、被覆材料に剝落に耐える強度を要求される場合も最近増加している。

このため、ガラスクロスを用いたクロス補強システムが実用化されていたが、強度はあるものの硬質塗膜であるため許容限界を超える破断落下の可能性があり、更に安全性を増すため、システムに柔軟性を付与し、欠陥部の点検保全を容易にしたシステムも開発されている。

このシステムは柔軟型エポキシ樹脂等をマトリックス材とし、クロスにナイロン等の伸縮性合成繊維を用いるものであり、組成と品質の概要は以下の通りである。

成分表

〔マトリックス〕

塗料液	顔 料	49.0%
	変性エポキシ樹脂	50.0
	添 加 剤	1.0
合 計		100.0
硬化剤	変性ポリアシン	100.0
合 計		100.0

混合比 塗料液：硬化剤＝60：40（重量比）

〔クロス材〕

材 質 ナイロン等

性能表

項 目	性 能
乾 燥 時 間	16時間以内
ポットライフ	1時間以上 (20℃)
抗 張 力	100 kg f / cm ² 以上
伸 び 率	20%
透 水 性	2 m l / m ² ・ 24 h
遮 塩 性	1 × 10 ⁻³ mg / cm ² ・ d 以下
酸素透過性	5 × 10 ⁻² mg / cm ² ・ d 以下

4.5.2 特徴

- 1) 従来のガラスクロスシステムと比べて、7倍程度の伸び率があり、ひび割れ追従性と、欠陥部の発見が容易となる。
- 2) 膜破断強度はガラスクロスと同等以上でコンクリートの剝落防圧効果は、十分ある。
- 3) 高遮断性でコンクリート劣化の保護効果が大きい。
- 4) ふっ素、シリコンなどの高耐候性塗料を上塗りでき長期の耐久性が期待できる。

4.5.3 用途

- 1) コンクリート構造物の補修で、高度のひび割れ追従性が要求される場合。
- 2) コンクリート剝落の可能が高覧下部や床板裏面に使用し、長期の保護効果が期待できる。
- 3) 厳しい腐食環境（塩害など）で塗り替え困難なコンクリート防食に使用する。

4.5.4 構成技術

- 1) マトリックス材として柔軟性を付与したエポキシ樹脂を使用。

エポキシ樹脂は本質的に強靱で耐薬品性にすぐれる樹脂であるが、硬質のためひび割れ追従性に劣る。

柔軟型エポキシ樹脂マトリックス材はエポキシ樹脂骨格にダイマー酸などにより、ゴム構造を導入したもので、伸び率を大幅に高めた。

塗装系の種類	ゼロスパン試験結果	
	ひび割れ追従巾 (mm)	最大強度 (kg f / cm ²)
高弾性エポキシ系	3.0	45
高弾性エポキシクロス系	12.0	100
エポキシ系 (硬質)	0.2	50

各種エポキシ系のひび割れ追従性 (ゼロスパン試験)

2) クロス材として弾性のあるナイロン系合成繊維を使用。

通常クロス材として使用されているガラス繊維は、強度が高く、FRPで代表されるように補強材として最適であるが、伸びに対して弱点があった。

そこで柔軟型クロス材としてナイロン等を用いて伸びを改善した。

塗装系の種類	押しぬき試験結果	
	変位長さ (mm)	荷重 (kg f / cm ²)
高弾性エポキシ系	6.5	0.64
高弾性エポキシクロス系	48.0	2.55
エポキシ系 (硬質)	4.5	1.08
ガラスクロスエポキシ系	6.0	3.00

各種エポキシ系の押しぬき試験による剥落防止効果

4.5.5 使用方法

1) 特に剥落防止効果が必要な場合の保護塗装

工 程	材 料	膜 厚
プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—
パテ	エポキシ樹脂パテ	—
接着剤	柔軟型エポキシ樹脂接着剤	300 μ
クロス	柔軟型クロス	—
含浸目詰	柔軟型エポキシ樹脂接着剤	300 μ
接着剤	柔軟型エポキシ樹脂接着剤	300 μ
クロス	柔軟型クロス	—
含浸目詰	柔軟型エポキシ樹脂接着剤	300 μ
中塗塗装	柔軟型エポキシ樹脂塗料中塗	60 μ
上塗塗装	柔軟型ポリウレタン樹脂塗料上塗	30 μ

2) 厳しい腐食環境での長期耐久塗装

工 程	材 料	膜 厚
プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—
パテ	エポキシ樹脂パテ	—
接着剤	柔軟型エポキシ樹脂接着剤	300 μ
クロス	柔軟型クロス樹脂接着剤	—
含浸目詰	柔軟型エポキシ樹脂接着剤	300 μ
中塗塗装	柔軟型エポキシ樹脂塗料中塗	60 μ
上塗塗装	柔軟型ふっ素樹脂塗料上塗	30 μ

建設会社において開発された新素材・新材料及び
建設会社における材料に関するニーズ

目 次

1 建設会社において開発された新素材・新材料	117
表-1 新素材・新材料使用例(その1)	
表-2 新素材・新材料使用例(その2)	
表-3 開発新素材・新材料(その1)	
表-4 開発新素材・新材料(その2)	
2 建設会社における材料に関するニーズ	118
表-5 開発要望新素材・新材料(その1)	
表-6 開発要望新素材・新材料(その2)	
開発要望新素材・新材料(14例)	
1. シールドトンネル用可とう性セグメント	
2. 現場で曲げ加工できる鉄筋代替新材料	
3. 低剛性、高強度遮水壁材料	
4. シールドトンネル用高強度、高密度裏込注入材	
5. 高強度、高浸透性地盤改良材	
6. 経済的な超高強度コンクリート	
7. 高水圧対応シールド用テールシール充填材	
8. 液状セグメントシール材	
9. 泥水加圧式シールド泥水目詰添加材(逸泥防止材)	
10. 中高レベル放射性廃棄物処理施設(大深度地下貯蔵)用防水剤	
11. 高耐食性コンクリート混和材料	
12. 転用性のある耐負担ダクト	
13. 超軽量型砕剤	
14. 硬化熱の発生が少ないコンクリート	

1. 建設会社において開発された新素材・新材料

日本土木工業協会の土木工事技術委員会10社（大林組、鹿島建設、佐藤工業、清水建設、大成建設、飛鳥建設、西松建設、間組、前田建設工業、熊谷組）により、近年、実際に施工された新素材の施工例と開発された新素材について以下のようにまとめられた。

①新素材・新材料の使用例（14例）

材料分類	コンクリート1	繊維7	繊維系複合材料2	機能性プラスチック製品4
------	---------	-----	----------	--------------

用途分類	道路2	トンネル2	河川2	海岸・海洋3	その他5
------	-----	-------	-----	--------	------

②新素材・新材料の開発材料（9例）

材料分類	鉄鋼・金属2	コンクリート3	繊維系複合材料4
------	--------	---------	----------

用途分類	道路3	橋梁2	トンネル2	海岸・海洋1	その他1
------	-----	-----	-------	--------	------

表-1から4に、これらの内容の詳細を示す。

2. 建設会社における材料に関するニーズ

日本土木工業会により、建設会社において今後開発が望まれている材料がまとめられた。その結果は以下の様なものであるが、概要については表－5から6にまとめた。

新素材・新材料の開発要望材料（14例）

材料分類	鉄鋼・金属 1	コンクリート 6	繊維系複合材料 3	繊維 1
	プラスチック 2	機能性プラスチック製品 1		

また、各ニーズの詳細と各ニーズにおいては、材料に求められる物性について、巻末に資料としてまとめた。

表 1 新素材・新材料使用例 (その 1)

材 料 分 類		用 途 分 類		目 的
材 料 名	素 材	大 項 目	小 項 目	
FRP (ロックボルト)	繊維強化プラスチック	トンネル	ロックボルト	トンネル掘削後の地山の支保 TBM (トンネルボーリングマシン) のパイロット/リーミング方式による放水路トンネルの 施工において、パイロット坑の支保部材として使用。
FRP (ロックボルト)	繊維強化プラスチック	トンネル	ロックボルト	サイロット工法の導坑掘削時における切羽前面地山の先受けロックボルト (フォアパイリング)) として使用。容易に切削できるため、上半掘削に支障をきたさない。
織布 (ジオテキスタイル)	ポリプロピレン	土工	土地造成	軟弱地盤処理 軟弱地盤におけるトラフィカビリティの確保および盛土の安定。
織布 (ジオテキスタイル)	ポリプロピレン	土工	土地造成	盛土の安定化 石積背面の急勾配盛土の補強、法面の安定を図る。
織布 (ジオテキスタイル)	ナイロン ポリエステル	海岸・海洋構造物	土地造成	軟弱地盤 (浚渫土埋立地) の補強、渠・排水 浚渫土埋立後の軟弱土に覆土を施工する際に、地盤処理、補強ならびに渠・排水の目的で軟弱 地盤全域に敷設。
不織布 (ジオテキスタイル)	ポリエステル	道路	盛土	布補強土擁壁 工事用仮設道路 (一車線) の盛土の安定。
不織布 (ジオテキスタイル)	ポリエステル	土工	土地造成	渠・排水 中空チューブを内蔵した平面状排水シートを水平方向に敷設して、排水層の連続帯を形成し、 盛土体内の間隙水排除による圧密促進を図る。

表 2 新素材・新材料使用例 (その2)

材 料 分 類		用 途 分 類		目 的
材 料 名	素 材	大 項 目	小 項 目	
不織布(バーチカルドレーン) 織 布(バーチカルドレーン)	ポリエチレン ポリエステル	海岸・海洋構造物	土地造成	バーチカルドレーン工法 浚渫埋立土及び下部沖積土の圧密排水の促進、地盤強度の増加。
不織布(ジオテキスタイル)	ポリプロピレン	コンクリート	型枠貼付材	脱水・脱気マット 型枠に貼り付け、コンクリートの余剰水と空気を吸収・排出させて緻密な表面に仕上げるとともに、ピンホール・ジャンカ等を防止して美観の向上を図る。
プラスチック (ジオテキスタイル)	高密度ポリエチレン	道路	地盤補強	地盤処理・補強 高盛土部(盛土高約30m)の盛土材の補強。
プラスチック (ジオテキスタイル)	高密度ポリエチレン	河川	地盤補強	盛土の安定 ポンプ棟構築後の埋め戻し盛土の補強、法面の崩壊防止を図る。
プラスチック	発砲スチロールブロック	河川護岸	盛土	新築管理事務所と既設護岸外側に設けられる停泊施設との間のアプローチ部の盛土材料として下記の目的の発砲スチロールを利用した。 ①既設護岸への側圧軽減 ②地盤沈下の低減
プラスチック	発砲スチロールブロック (ポリエチレン樹脂)	公園	盛土	当工事区域が、ほぼ全域が埋め立て間もない厚さ数十mの軟弱地盤であるため、近接建屋への軟弱地盤の側方流動の影響を与えずに、起伏ある緑豊かな公園を造成するため。
コンクリート	水中不分離性混和剤	水中コンクリート 構造物	コンクリート	当新材料は、従来のコンクリートに水中不分離性混和剤を添加してコンクリートに粘性を与え、セメントペーストの溶出を非常に少なくしたコンクリートで、従来の打設された水中コンクリートの品質低下、水質汚濁を防止する目的で使用した。

表 3 開発新素材 - 新材料 (その 1)

材 料 分 類		用 途 分 類		特 徴
材 料 名	素 材	大 項 目	小 項 目	
繊維系複合材料	FRP ガラス繊維 炭素繊維樹脂	コンクリート構造物	コンクリート補強材	高強度のガラス繊維や炭素繊維、アラミド繊維などの連続繊維を樹脂に含浸させながら、格子状に一体成形した新しいコンクリート補強用複合材料である。この材料は、極めて軽量で且つ鉄筋以上の強さを持ち、錆などの腐食がなく、塩害にも強いなど、数多くの特質を持っている。 ・鉄筋または溶接金網の代替 ・吹付けコンクリート、コンクリート補強筋 ・格子状で現場搬入のため加工手間不要 ・ヤング率鉄筋より小さい ・施工性が鉄筋に比べて3～5倍良い
繊維系複合材料	FRP ガラス繊維 炭素繊維樹脂	道路、路盤	地盤補強材	ガラス繊維等の高性能連続繊維を耐食性に優れた樹脂に含浸させながらグリッド状に一体成形したもので、補強土工法に使用するジオテキスタイルである。本材料は、超軽量、高強度、高剛性で低クリープという力学特性を持ち、耐薬品性や耐久性も抜群で、経済性の面でも優れた特性を持つ。
繊維系複合材料	FRP ガラス繊維 ビニルエステル樹脂	トンネル	ロックボルト	本ボルトは、ガラス繊維とビニルエステル樹脂でできているため、耐酸性、耐アルカリ性に優れ、塩分によって錆びるということもない。さらに、軽いためにトンネルのように狭い場所での取扱いが簡単で、切断も容易に行える。特に、本ボルトは頭部耐力を12トン保証にまで高めることに成功したので、本設への適用も可能と考えられる。 ・鋼製ロックボルトの代替 ・現場での加工性容易 ・軽量のため作業性良好
繊維系複合材料	FRP ガラス繊維 炭素繊維樹脂	コンクリート構造物	型枠	本型枠システムでは、せき板の全面を通してコンクリートから余分な水分や気泡を除くことにより、密実で水セメント比の低い均質なコンクリートが得られ、コンクリートの耐久性・強度・表面状態などが向上する。また、軽量大型パネルの使用により、型枠の組立・解体が短時間にでき、加えて水引きが良いので左官工事も短時間に終了できる。さらに、コンクリートの早期強度が高く、型枠の早期解体が可能となる。 ・塩害防止用 ・大型パネル工法+透水型枠工法
コンクリート	ポーラスコンクリート	海洋・河川	海洋付着生物用固定化坦体	海洋付着生物用固定化坦体は、内湾性の海水浄化を目的とした「生物付着促進材料」である。この材料は、天然石や従来のコンクリートに比べて表面粗度および比表面積を大きくしており、多孔質のコンクリートでつくられている。また、好気性と嫌気性の生物を同時に棲息させることができる。このため、多種の生物を付着させることができる。生物の食物連鎖が活発になると、海水中の有機物などが生物体内に取り込まれるため、水質浄化が図れる。
リフレクションクラック防止マット	ステンレスファイバー 特殊澆置材	道路	オーバーレイ	(1) リフレクションクラックを防止し、オーバーレイ厚さを減少することが可能である。 (2) 轍掘れを低減する効果を有するから、交差点付近舗装路面の流動変形に対するPSIの改善に役立つものである。 (3) RDマットの素材は、ステンレスファイバー(φ0.3mm)を5mm間隔にメッシュとして、澆置加工を行っているため、発錆等を生せず、これまでのリフレクションクラック防止用のシートマット類とは異なり抗張力が高く耐久性に優れており、これを既設舗装面に敷設してオーバーレイ加熱混和物を舗装すると舗装底面に固着したメッシュが輪荷重による曲げ引張応力に対応し、軸差応力の増加に伴い流動変形を緩和する。 ・加工性はカッター、ハサミで切断可能 ・作業性は敷設が容易にできプリスターリングを生じない

表 4 開発新素材 - 新素材米斗 (その2)

材 料 分 類		用 途 分 類		特 徴
材 料 名	素 材	大 項 目	小 項 目	
形状記憶合金を用いた静的破砕器	形状記憶合金 チタン-ニッケル	硬質土木材料の破砕	静的破砕器	形状記憶合金はその変形（専門的には回復）能力とともに、回復応力も極めて高いため、この能力を利用して硬質土木材料の破壊に利用しようというものである。載荷方向が特定できるため、安全性に優れているうえ、熱を加える設備のみで他の諸設備が不用である。また、破壊に必要な時間は1分以内と短時間であるので、作業時間が極めて短くなる。 ・油圧機械の代替としてビル解体、転石小割り、岩盤掘削に使用 ・加工性はボアホール形状にあわせ製作可能であり、再利用が可能 ・加熱機器が必要
型枠裏張り型コンクリート養生材料	ポリマーセメントモルタル	コンクリート構造物	コンクリート養生および仕上げ材	型枠裏張り型コンクリート養生工法（ポリマーセメント吹付け養生工法） ポリマーセメントモルタルを型枠内面に吹き付け、コンクリートを打設、型枠脱型後コンクリート側に反転・付着することによりコンクリートを養生する工法。ポリマーセメントモルタルとすることにより、型枠への付着性を向上させ、また、コンクリート側へ反転後は、水分保持性能および劣化外力よりの遮断性能を向上させている。また、モルタルに着色あるいは模様付けしてそのまま仕上げとすることによる施工の合理化をも図っている。 ・配筋前に吹付けが必要（$10\text{ m}^2/\text{h}$）
繊維系複合材料	FRP ガラス繊維、炭素繊維 炭化珪素、珪酸アルミ 熱可塑性樹脂	コンクリート構造物	コンクリート補強材	鉄筋代替新素材 ・高強度である（引張強度 180 kg f/mm^2） ・低剛性である（弾性係数 $1.2 \times 10^4\text{ kg f/cm}^2$） ・軽量である（比重 1.5） ・コンクリートとの一体性に優れる（付着強度 100 kg f/cm^2 以上） ・耐久性（耐腐食性、耐薬品性）に優れる ・非磁性である

表 - 5 開発要望新材料 - 新材料材料 (その 1)

材 料 分 類		用 途 分 類		具 体 的 内 容
材・料 名	素 材	大 項 目	小 項 目	
ゴム・エラストマー	防水用ゴム製品	トンネル	シールドトンネル用可とう性セグメント	トンネルと立坑の接続部等、地震時に大きな相対変位が生ずる箇所および地盤の急変部には、従来鋼製の可とう性セグメントが使用されてきたが、非常に高価なものであるため、鋼線補強ゴム製の安価な可とう性セグメントの開発が望まれる。
繊維	特に指定せず	コンクリート	湾曲に曲げ加工できる鉄筋代替新材料	鉄筋代替品としての新材料で、屈曲部を有する線材に加工する技術は存在するが、工場内での加工に限られており手軽に（経済的に）現場で実施できる段階に至っていない。
コンクリート	その他 (ソフトコンクリート)	ダム	低剛性、高強度遮水壁材料	ダム遮断壁には、これまでRC（鉄筋コンクリート）が多く採用されているが、河川中流域のフィルダムでは堤体重量により、ダム基礎地盤の沈下が考えられる。 このため、ソフトコンクリートのように弾性係数が小さく、周辺地盤の変形に追従する遮水壁材料が要求される。この材料は、地震時の耐力も求められるため、圧縮強度は大きく弾性係数の小さい物性が必要で、透水係数も小さく、安価な材料の開発が必要である。
コンクリート	その他 (裏込注入材)	トンネル	シールドトンネル用高強度、高密度裏込注入材	シールドトンネルにおいて、急速施工が可能で経済的な工法の1つに1次覆工のみのライニング工法がある。 この場合、シールド基線に正しく乗せて施工する必要があるため、そのために地山とセグメント間をしっかりと拘束し、マシンの縦向き性を上げる必要がある。また、1次覆工と裏込注入材とで止水性を得る必要がある。 以上の主に2点より高強度、高密度の裏込材の開発を望む。
	地盤注入薬剤 土質注入止水	トンネル	高強度、高浸透性 地盤改良材	透水係数の小さい地山に止水注入等を施工する場合、高強度、高浸透性を有する安価な注入材が要求される。高強度を有する有機系注入材は、環境問題の観点から、敬遠されがちで現状では無機系の溶液タイプの注入材が使用されている。しかし、この注入材は強度が小さくLW系の懸濁型の注入材と併用されるのが一般的となっている。 このような観点から、環境問題を阻害しない浸透性の良い、安価で高強度を有する注入材が要望される。
コンクリート	コンクリート	コンクリート	経済的な超高強度 コンクリート	従来のコンクリートでは、構造物の小規模化、さらには長大化、高層化への対応が難しい。 また、鋼材はコストが高い。
ゴム・エラストマー	防水用ゴム製品	トンネル	高水圧対応シールド用テールシール充填材	海底トンネルや都市の再開発などに伴い、シールド工事は年々大深度化の傾向にあり、高水圧対応技術が大きな技術テーマとなっている。テールシールはテールスキンプレートとセグメント外面との間に装着され、裏込注入材、地下水などがシールド機内に侵入するのを防ぐ事を目的としている。しかしテールシールのみでは、高い止水性は得る事はできず充填材が高い水圧に対応するのに重要なファクターとなっている。 この充填材の充填条件により20 kg/cm ² の高水圧に対応出来るようにする。

表 一 6 開発要望新素材 - 新素材米斗 (その 2)

材 料 分 類		用 途 分 類		具 体 的 内 容
材 料 名	素 材	大 項 目	小 項 目	
ゴム・エラストマー	防水用ゴム製品	トンネル	液状セグメントシール材	従来のセグメントシール材（ブチルゴム、PEテープ、水膨張ゴム等）は、いずれにしてもセグメントに接着剤を塗布し、その後にテープ状のシール材を接着している方法がとられていたが、施工上の問題（セグメント組立時はがれるor接着が悪くはがれる）により、止水効果を十分に果たすことができない事があった。 コーキングガン等により、液状シール材を塗布し、硬化後には現在あるシール材と同様の物性を持つもの（自動車エンジンブロックシール材等）を改良することにより施工による不満をなくし、止水性を増す事ができ、またシール工の自動化を考える上で効果がある。
特に限定せず	特に限定せず	トンネル	泥水加圧式シールド泥水目詰添加材（逸泥防止材）	(1) 現在使用している繊維質系添加材を使用すると、目詰まり効果は期待できるが、地盤改良効果が期待できない。 (2) スクリーンが目詰まりして、スクリーンの分級性能が低下する。 (3) 目詰材が土砂と一緒に排土されるので、添加量が膨大となる。
プラスチック	ビニル樹脂		中高レベル放射性廃棄物処理施設（大深度地下貯蔵）用防水剤	F・R・Pはコンクリート性薬液（廃液）貯蔵タンクの内装材として、信頼性の高い材料である。（耐候性・耐酸性・防水性・耐久性・耐震性等） しかしその品質を確保するためには、施工時に厳しい管理が要求される。（コンクリート表面の平坦性、乾燥性等） 大深度地下における中高レベル放射性廃棄物処理施設のように劣悪な施工条件で、絶対的な信頼性を要求される施設では、雑な施工で現状の信頼性が得られることが重要。
混和材、混和剤	特に限定せず	コンクリート	高耐食性コンクリート混和材料	下水処理施設において生成される硫化物によるコンクリート面の腐食が問題となっている。これに対して現時点では、タールエポキシ等による防食法等のライニング対策が行われる動きにある。しかし、根本的なコンクリート自体の耐食化が行われていない。 そこで新しい混和材料によって、コンクリートの耐食化を目指そうとするものである。
鉄鋼、金属	特に限定せず	トンネル	転用性のある耐負圧ダクト	トンネルの換気は今後大風量（200m ³ /min、500mmAG以上）の送風機で送気方式と比較して、環境改善の良好な排気方式が主流になる。 そこで使用するダクトは、軟管（ビニール製）より効率の良い硬管（鉄板製）の採用を考慮する必要があるが、硬管は保管場所の確保、運搬方法の制約等で転用性がなく単一施工箇所ですべてにするのが一般であり、硬管の普及が遅れている。将来のトンネル換気を想定して転用性の高い負荷に耐えるダクトの開発を望む。
型枠	特に限定せず	コンクリート	超軽量型枠材	従来使用されている型枠は、鋼製で重量もあり、大枠に組み込んだ場合、大型クレーンが必要となり、使用場所が限定される。 鋼製に変わるものとして（例：強化プラスチック）、超軽量の材料が開発されれば適用範囲が広がる。（特にRCD工法によるダムで効果的である。）
セメント	セメント	コンクリート	硬化熱の発生が少ないコンクリート	コンクリートダムでは、コンクリートの硬化熱は40℃にもなり、このためクラックが発生することがある。 そのため、骨材のプレクーリングやポストクーリングを行うがそのための設備が高く、打設現場も施工性が悪くなる。クーリングを行わない場合はリフトを低くしたり、コンクリートの打上り速度を落とさなければならず、いずれも大変不経済である。 （現在使用しているダム用セメントより、さらに硬化熱を発生しないものを望む）

あとがき

本報告書では、ゴム系、強化プラスチック系、塗料系の3つの材料分野についてを対象としたが、これは、別に作成した鉄系、繊維系、セメント系についての報告書の続編となるものである。

最後に本報告書作成にあたっては、蒔田 實委員長をはじめとする利用可能性小委員会の方々に、多大の御協力を頂きました。ここに記して感謝いたします。

建設分野における新素材・新材料の活用に関する研究報告書(5)
—— シーズに関する調査(その2) ——

ISSN 0386-5878
土研資料第2888号
平成2年10月(1990)
片脇 清, 西崎 到, 布藤 誠

要 旨

新素材・新材料の開発とこれらの利用技術の開発は、我が国が将来育成すべき先端技術のひとつに位置づけられている。本報告は、土木分野への新材料の利用技術を開発する過程でとりまとめた、現在までに開発されている新素材に関する資料を、材料分野ごとにまとめたものである。本報告では、ゴム系、強化プラスチック系、塗料系の3つの材料分野についてとりまとめた。なお、本報告は利用可能性小委員会における検討内容の一部をまとめたものである。

キーワード：新素材，新材料，シーズ，ニーズ，土木分野，建設分野，ゴム，プラスチック，繊維強化プラスチック(FRP)，塗料



郵便はがき

切手をは
て下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

化学研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2888号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名

印