

高分子材料の建設 工事への応用

- まえがき
- 高分子材料概説
- 高分子材料の応用
- 既存材料との置換

松尾 新一郎*

1. まえがき

土木における現在の主要材料は、土、木材、鉄鋼、ポルトランドセメント、アスファルトセメントなどであるが、高分子材料のめざましい発達と、その数々のすぐれた特性とによって育成されつつあり、この気運は今後大いに発展するものと考えられる。

一般に、土木工学においては、在来の材料を材料力学的、構造力学的に処理することに努力の多くが払われていた関係上、物理的、力学的な面の発展がうながされ、化学的な面での研究は比較的少ない。したがって単に高分子材料に限らず、一般の化学的手法について開拓すべき余地が多いのである¹⁾。

以下、土木技術者の立場から、高分子材料について、その特性を概説したのち、この高分子材料と既存材料（土、木材、鉄鋼、ポルトランドセメント、アスファルトセメントなど）との対比に焦点をおいて解説を試みる。

2. 高分子材料の概説

(1) 高分子化合物

古典有機化学で取り扱われている化合物の種類は、500 000 を下らないといわれているが、分子量は 1 000 を越えるものはきわめてまれである。ところが、有機化合物の中には分子量が 10 000 をはるかに越えるようなものが種々存在することが、1920 年ごろからしだいに明らかになった。それでこのような分子量のきわめて高い有機化合物を、現在一般に高分子化合物と総称し、そ

の分子を高分子、または巨大分子と呼んでいる。高分子化合物に対して、古典有機化学で取り扱われていた分子量の低い化合物を低分子化合物といい、その分子は低分子という。原子が共有結合によって化学的に結合した集団であるという点で、高分子も低分子も何ら変わりがない。普通は分子量 10 000 以上のものを高分子と呼んでいる。この程度になると低分子には見られない新しい性質がいろいろと現われてくるので、高分子化合物を特別に取り扱うことは十分意味がある。

高分子化合物は、身近なところに多く見出される。セルロース、でんぷん、ゴム、酵素、たんぱく質などいずれも植物または動物体内でつくられる高分子化合物で、これは天然高分子化合物と呼ばれる。これに対してナイロンやビニロンなどの合成繊維と呼ばれているもの、合成樹脂（プラスチック）、合成ゴムなどと呼ばれている物質はすべて人工的に合成される高分子化合物であって、合成高分子化合物と呼ばれる。高分子化合物は低分子化合物にみられないつぎのような種々の特性がある。

- ① 低分子化合物のように気体として存在しえない。
- ② 高分子化合物の固体は一般に機械的に強い。
- ③ ある種の高分子化合物は、ある温度範囲で特異なゴム状弾性を示す。
- ④ 高分子の固体はある温度以上では、弾性余効、応力緩和など粘弾性的性質を顕著に現わし、特異な時間効果を示す。
- ⑤ 高分子化合物は、十分低温では常に硬くてもろい固体として存在する。鎖状高分子の場合には、温度の増加とともにゴム状となり粘弾性を示し、ついに塑性を呈するものが多い。このように加熱によって現われる塑性を熱可塑性という。温度をさらにあげると、軟化して液化することが多い。高分子化合物の中には加熱するとかえって硬くなるものがありこの性質を熱硬化性という。これは加熱によって分子間に架橋結合を生じ、あるいはさらに網状化が進んで三次元構造をつくるためである。

⑥ ある種の高分子固体は、適当な溶媒に接すると、これを吸収して体積がいちじるしく増大する。この現象を膨潤という。

⑦ 一般に高分子の溶液はかなり希薄な場合にもコロイド溶液としての特性を示す。

2 個以上の低分子が化学的に結合する反応を重合といい、生成した物質を重合体（ポリマー）、もとになる低分子化合物を単量体（モノマー）という。

重合には二つの型が区別される。

単量体分子が単に付加的に結合する場合を付加重合といい、生じた重合体を付加重合体という。

単量体が重合するとき H_2O のような簡単な化合物を

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部

放出する場合があります、これを縮重合体といい、生じた重合体を縮重合体という。場合によっては2種類の単量体が重合することがある。これを共重合体といい、生じた重合体を共重合体という。

(2) 合成樹脂(プラスチック)

化学反応で得られる天然樹脂様物質(プラスチックともいわれることがあるが、それは塑性を持つという意味である)天然物と同じ化学構造のものをつくるのではなく、性質、あるいは外觀の類似した物質または天然物で得られない特徴ある高分子物質も総括していう。

a) 合成樹脂の一般的特性

プラスチックの利点として、軽量、防水性、透水性、工作性などをあげることができる。

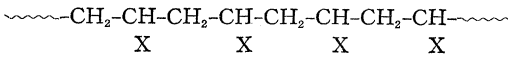
- ① 軽量——比重約 0.9~2.0 の範囲。
- ② 防水性——吸水、透水が少ない。
- ③ 透光性——ガラスに比較して衝撃に強く、加工しやすいが、反面きずがつきやすい。
- ④ 加工性——成形が簡単で大量生産される点を生かせば、他材料と比較して安価になる利点がある。
- ⑤ 耐食性——鉄のさび、木材の腐朽に相当する現象がない。
- ⑥ その他——表面が非常になめらかであり、色彩が鮮明である、このことは仕上材料として、何も塗らずにそのまま使い得ることを証明している。また、熱伝導が少ないので触感が暖い。

b) 種類と性能

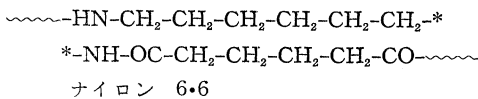
種類ははなはだ多く、世界では数十種、日本では十数種のもが製造されている(表-1 参照)。

c) 性質

プラスチックは熱に対する挙動によって便宜上熱可塑性のもの(熱可塑性プラスチック)と、熱硬化性プラスチック)とに大別されることは前述のとおりである。前者は加熱によって軟化し、冷却すれば固化し、その変化は可逆的である。化学構造は下式のように鎖状(線状)で、ビニル系高分子、ポリアミドなどがこれに属する。



ビニル系高分子(一般式)



これに対し後者の加熱した最終製品は再び熔融することはない。このように鎖状構造が3次元構造になることを物理的には硬化、化学的にはキュアリングという(図-1 参照)。プラスチックの中には、可塑剤や充てん剤の添加なしで製造されるポリスチレンの成形品、ポリメタルクリル酸メチルの注形品、透明なポリエチレンのフ

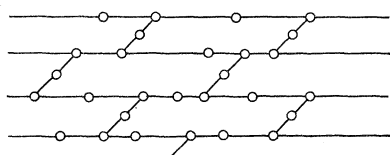
表-1 主要プラスチックの性能一覧表

熱硬化性樹脂		熱可塑性樹脂		熱可塑性樹脂		熱可塑性樹脂		熱可塑性樹脂		熱可塑性樹脂	
フェノール樹脂	エポキシ樹脂	メラミン樹脂	ポリエステル樹脂	アクリル樹脂	ポリスチレン樹脂	ポリプロピレン樹脂	ポリエチレン樹脂	メタクリル樹脂	スチレン樹脂	ポリプロピレン樹脂	ポリオレフィン樹脂
水粉充填	紙積層	メラミン樹脂	ポリエステル樹脂	アクリル樹脂	ポリスチレン樹脂	ポリプロピレン樹脂	ポリエチレン樹脂	メタクリル樹脂	スチレン樹脂	ポリプロピレン樹脂	ポリオレフィン樹脂
0.4-0.9	—	0.5-1.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.4	1.0-5.0	0.1-0.6	0.1-0.6	1.0-2.5	0.5-0.7
500-800	700-900	500-900	2000-6000	350-600	300-900	350-630	100-250	350-630	350-630	300-420	560-670
0.4-0.8	0.3-0.8	0.5-1.0	—	—	3.0-6.0	2-40	200-450	490-770	490-770	300-420	60-100
0.5-1.2	0.5-1.4	0.7-1.1	0.7-3.5	1.0-1.6	0.2	250-420	—	2-10	2-10	90-140	225
1600-2500	2500-3000	1800-3000	2100-5100	1800-2100	100-1500	550-900	60-120	840-1300	840-1300	590-700	770
700-1200	1200-1700	700-1000	3000-7400	650-1300	950-1500	700-1100	—	610-1000	910-1200	950-1300	770-910
1.0-2.6	2.5-4.0	1.1-1.7	60-150	2.1-1.2	0.9-4.3	1.7-8.6	—	1.1-1.7	1.8-2.1	2-26	50-70
M85-120	ブルネル 35-45	M110-125	M100-115	M110	M80-110	70-90	—	M65-80	M65-105	R85-110	M60-70
3-5	2-5	4	1.5-3.0	1-4	4-7	5-20	7-25	6-8	5-9	11-13	7
125-170	120-150	125-195	80-180	>150	50-120	50-75	—	70-90	70-90	90-115	130-140
0.3-1.0	0.2-0.6	0.4-0.8	0.2-2.5	0.1-0.4	0.08-0.15	0.07-0.4	0.15-0.75	0.03-0.05	0.3-0.4	<0.01	0.15
熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される	熱硬化性樹脂に侵される

表-2 グラスファイバーで補強した各種プラスチックの強さ

種類	性質	比重	引張強さ (kg/cm ²)	圧縮強さ (kg/cm ²)	曲げ強さ (kg/cm ²)	硬さ (ロック ウェル)
ポリエステル		1.5 ~2.1	2800~3500	2100~4200	3500~4400	M 100~110
メラミン樹脂		1.82~1.98	1800~3500	2000~6000	2000~3900	M 105~130
フェノール樹脂		1.4 ~1.8	800~2800	3000~4200	1400~2800	M 105~110
ふっ素樹脂		2.2	560~840		770~910	M 60
エポキシ		1.7 ~1.9	2300~3500	3500~6300	3200~5600	M 105~120
シリコン		1.6 ~1.9	700~1800	2500~3200	700~3100	M 100

図-1 キュアリング



三次元構造

フィルムなどもあるが、これはむしろ例外で、通常のプラスチックは可塑剤、充てん剤、染料、顔料、安定剤などを添加してコンパウンドをつくった後、所要の製品を成形する。

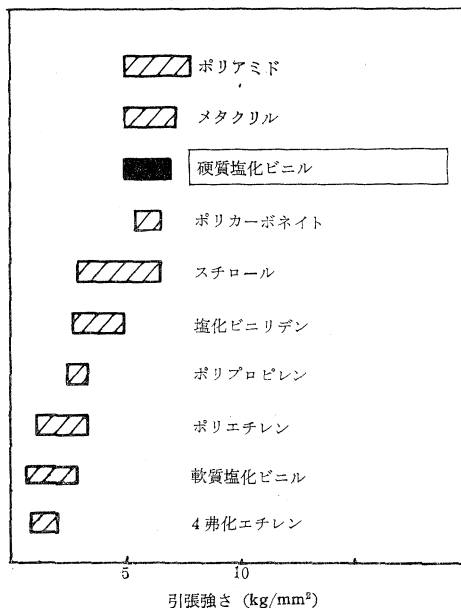
d) 合成樹脂材料の問題点

プラスチックに限らず、材料の利用上、その長所を知って有効に使うことはもちろん、それにも増して、その材料の欠点とか問題点をよく知り、それをカバーするような使いかたをすることが必要である。

① 強さと弾性：だいたい、木材に匹敵するものと考えてよいだろう。木材と違う点は、引張強さが圧縮強さよりも少ないことである。そのためポリエステルのように、グラス・ファイバーを入れて補強すると、非常にじょうぶな材料になる。このような補強プラスチックの強さは表-2のとおりである。せん断強さは木材よりはるかに強く、割裂強さも大きいことは、薄板としては木材にまさる力学的性能を持つと考えてよい。つぎに問題はヤング係数であるが、これが木材にやや劣る。つまりたわみやすい材料である。もっとも、フェノール、尿素、メラミンなどの熱硬化性樹脂では木材とほぼ同じか、少し強いぐらいであるが、アクリル、塩化ビニルなどの熱可塑性樹脂では木材の1/2以下のものが多い。これをカバーするには断面二次率を大きくするような断面形を選べばよい。なお、塩化ビニルや半硬質ポリエチレンのように180°に曲げても折損しないという性質も得がたいものである(図-2)。

② 耐熱性：熱可塑性のものはもちろん、熱硬化性樹脂でも150°Cに耐えるものはほとんどない。その燃焼性は、たとえば塩化ビニルは、ポリエステルよりもいっくらから着火しやすいが、自ら炎をあげて燃えることはない。これを自己消火性というが、ポリエステルでも特殊製品は自己消火する。テトラ・フロロ・エチレンや、シ

図-2 熱可塑性各種樹脂の強度比較

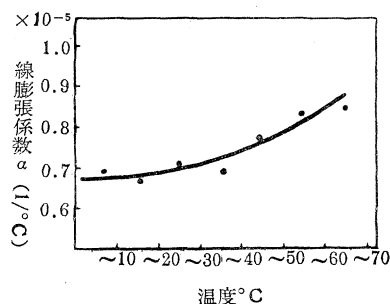


リコン樹脂が比較的耐熱性があるといわれているが、まだ高価なので構築材料としては使われていない。いずれにしても無機材料におよばない。つぎに、熱可塑性樹脂では熱による軟化の問題がある。これは60~70°Cぐらいで起こり、荷重のかかっている場合は、いわゆる熱クリープの現象で容易にたれ下がったりする。

③ 膨張収縮：木材やファイバー・ボードなどの有機材料は一般に含有水分の増減によって膨縮するが、プラスチックではむしろ熱による容積変化のほうが問題である。もちろん

熱可塑性樹脂の場合が影響が大きい。その線膨張係数は1°Cにつきだいたい1/10000のオーダーである。これは鋼における1/100000

図-3 温度と線膨張係数の関係



と1けた違うということで、塩化ビニル管の軒といなどに使ったときのジョイントの逃げはこの数字から割り出さなければならぬ。なお、積層材料としてほかの材料とはり合わせたものなどは、表裏を対称にしていなくて多い（図-3）。

④ 耐候性：多くのプラスチックは、日光に長い間さらすと、黄色から褐色になってくる。顔料の入っている場合は、色があせたり、場合によっては紫色や黒色に変化することもある。これらの現象は化学的にも必ずしも明らかになっていないが、一応、紫外線によって酸化が促進される結果とみられている。つぎに、強度減少はどうかというと、一般に硬質プラスチックは1~2年ではあまり変化ないと見てよい。しかし、製造時にわずかも欠陥をふくむものは、それが拡大される傾向にある。また、透明なポリスチレン板は1年以内でもかなり曲げ強さが減少する。やはり熱硬化性樹脂のほうが安定である。

⑤ その他：帯電性の問題もある。ことに平滑な面ではほこりの付着が目だつ。これはふけばふくほどほこりが付きやすい。しかし、効果的な帯電防止剤もできているので大きな難点ではない。また、粗面に仕上げられたものはほこりが目立たない。プラスチックは今なお発達の途中にある材料であるから、上記の欠点を解決するようなものが現われなくてもかぎらないし、われわれもそれを期待している²⁾。

3. 高分子材料の応用

既存材料の領域に新しい材料が入り込むとき、しばしば競争が起こり、場合によっては共存・協力が生れる。高分子材料の建設分野における現況を大別して

競 合—既存材料との置換

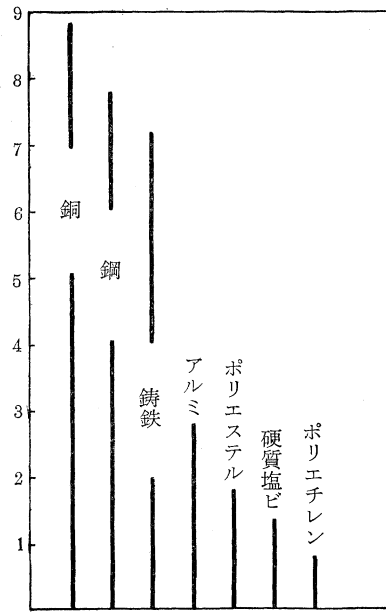
共存 { 既存材料の品質保持・改良
 既存材料の被覆
 既存材料の接着

という姿で眺めてみることにする。

4. 既存材料との置換

比重 7.85 や 2.4 の鉄鋼やポルトランドセメントコンクリートを利用する場合、構造物自体の自重に断面の大きい部分が消費されている。これが比重 1 に近い材料で置き換えられると面目は一新されよう。また、木材や鉄鋼の腐食の問題は土木構造物の維持管理上やっかいな問題である。このような欠点をもたない画期的な土木材料の進歩の機会に至るところにあり、高分子材料に期待するところが大きい¹⁾（図-4）。

図-4 各種材料の比較



以下数例により、高分子の持つ特性がいかに活用され他材料と置換えられているかを示そう。

(1) パイプ類

塩化ビニルが建設資材の仲間入りをはじめたのは昭和27~28年ごろのことで、

硬質塩化ビニルのパイプとして登場してきた。これは、いち早く鋼管、鉛管の需要にとって代り、現在では 18 in 大口径管まで各サイズが製品化されて、エタニットパイプ、ヒューム管の分野にまで進出してきている。建設工事の用途としては、送水管、排水管、水道管、電線管、ケーシング管、土砂輸送管、ケーブルパイプから従来の土管の使用されていた分野にまで多方面にわたってきている。また、硬質塩化ビニル管の利点として壁面粗度が従来のコンクリート管、ならびに鋳鉄管などに比較して非常に滑らかであるため管内流量は大となり、したがって経済的であると考えられている。

(2) シャ水膜

土、砂、岩石などの空けきは水が浸透しやすいから、貯水池底面、土ダムの斜面、または内部、埋立地の囲いぜきの斜面などに、ポリエチレン、その他プラスチックの膜を敷いてシャ水することが行なわれる。アスファルトなどと異なって、ほとんど半永久的なプラスチックの性質がきわめて有効に働くことになる。このシャ水用プラスチックは土中に埋め込まれるので、若干の変形に耐えることが必要であるが、それ自体にたいした水圧、土圧をうけないから、通常 0.5~1.0 mm ぐらいの厚さのものが用いられる。

a) シャ水カーテン

これは、アース堤防の堤体内に硬質塩化ビニール板をそう入することにより、シャ水コアを形成して浸潤線を落し、堤体の見かけの透水係数を下げてようとするものである。すでに築堤された堤体へのそう入には、ジェ

ットウォーターによる工法が取り入れられている。従来この種のしゃ水工法としては、ミックスマイン プレース パイル (M.I.P.) 工法が知られており、いずれも、堤体内にコンクリートのしゃ水コアを形成して行くものである。

これが塩化ビニールのしゃ水カーテンで所期の目的を達成することができれば、コストは施工もふくめてコンクリート コア形式の場合の 1/3 になるといふ。ある資料によると M.I.P. 工法を用いた場合の見掛けの透水係数は $3.92 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ になり、塩ビしゃ水カーテン工法による $2.95 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ の値が出ており、ほぼ同様の効果が出ていることがわかる。ちなみに、堤体に構成する盛土自体の透水係数は $3.08 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ であった。

b) 止水板

塩化ビニールは、硬質の場合、剛体としての性質を持っているが、これに可塑性を加えることによって優秀なゴム状弾性体としての性質がでてくる。これを利用して軟質塩化ビニールは、まず止水板として登場してきた。その弾力性と耐久性が生かされているものである。従来はこの目的に銅板とか鉄板が加工されて使用されてきた。コンクリートに埋め込まれた軟質塩化ビニール止水板の耐水圧は、関西電力の発表している耐水圧試験結果によると、 25kg/cm^2 の水圧に耐えており、従来の金属止水板との比較試験においてもはるかに効果の良いことが立証されているようである。軟質塩化ビニールの止水板は、どんな形にも賦形できるという塩化ビニールの特徴を生かし、各構造物ごとにその特徴をつかみながら種々の型が考案されており、黒四ダムをはじめとするマスコンクリート構造物から、水路に至るまで非常に急速に普及してきている。

c) 防砂膜

たとえば海岸線の護岸の裏込め土砂は、潮の干満によってたえず流出してゆき、この結果護岸の陥没を招くことになる。そこで、護岸背面の碎石岩と土砂との接触面に、軟質塩化ビニール製の防砂膜を入れて、干満の差によって生じる水位の変化にも、背面土砂の流出を防止しようとする工法が、最近各方面で取り上げられてきている。これには塩水によって浸食されないという塩化ビニ

写真-1 防砂膜として使用されている軟質 P.V.C.

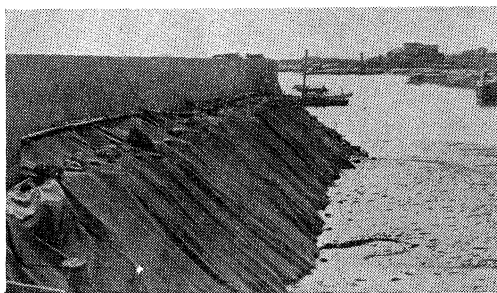
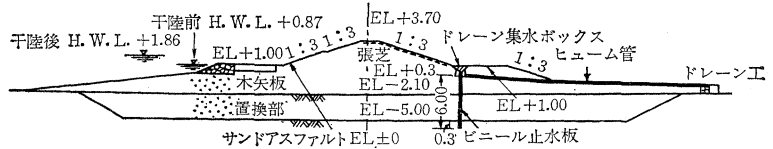


図-5 干拓堤防に使用されるしゃ水カーテン



ールの耐食性のメリットが生かされている実例である。

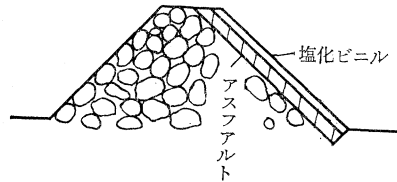
d) 防水膜

防水膜についても防砂膜と同じような製品であるが、従来アスファルト防水が行なわれていたような地下構造物の外面を、軟質塩化ビニールの膜で包み込んでしまい、コンクリート自体の透水、またはコンクリートに発生するヘヤー クラック からろう水をしゃ断してゆこうとするものである。従来のアスファルト防水は施工後の防水層のきれつゝの発生を考慮して、何層にも施されていたが、軟質塩化ビニールの膜の使用はその弾力性と耐食性の特徴が生かされてきており、しかもコストを下げるという役割りを果たしているようである⁹⁾。

e) インスタント ダムの構想

両岸の山を爆破して岩石を河に堆積して、ロックフィルダムをつくり、図-5 のようにダム水面側に高分子の膜を張ってしゃ水するダムは着工と同時に完成する。費用はわずかで済むという構想もある。

図-6 インスタント ダムの構想



(3) その他の用途

a) 鉄道、高速運転関係

コンクリートまくらぎ使用のため、タイパッド、レールパッド、レール絶縁継目用タイプレート、絶縁ボルト、犬くぎ、絶縁座などが用いられる。

b) 橋梁関係

橋梁防振用パッド、継目のパッキングなど。

c) 港湾関係

防舷ローラー、しゅんせつ用フロートなど。

d) 水道関係

各種配管、井戸用ケーシング、流量測定用三角せき板、フィルター類、インター類、イオン交換樹脂、その他⁴⁾である。

参 考 文 献

- 1) 松尾新一郎：プラスチックの土木への応用，工業用プラスチック，日本材料試験協会編，p.46~55
- 2) 飯塚五郎蔵：プラスチックの建築への応用，同上 p.28~45
- 3) 西村太郎・湊 俊：建設工事と塩化ビニール，建設工事と高分子材料，土木学会関西支部，昭 39.3，p.15~18
- 4) 松尾新一郎：建設工事と高分子材料，同上 p.13