

II-1 土木用新材料の新体系の検討

研究予算：研究方針研究（一般勘定）

研究期間：平 19

担当チーム：新材料チーム

研究担当者：西崎 到

【要旨】

建設材料に関する研究を推進するにあたり、材料分類の体系を見直すことで、現在の研究対象の位置づけを再確認するとともに、未着手の材料分野についても、新たな展開や研究課題の発掘の可能性が期待できる。本研究では上記の趣旨により、材料分類の体系の見直しを行った。その結果、従来の体系では、素材、複合材料、さらには一定の用途を考慮した材料が混同されていることが多く、これらを分けて考えることで、材料体系が整理できるとともに、新たな複合材料の可能性も考えられることが分かった。また、いくつかの将来建設分野での活用が有望な素材・複合材料を見いだすことができた。

キーワード：土木、新材料、体系、分類、素材、複合材料、応用

1. はじめに

建設分野における新材料に関する研究の課題の設定にあたっては、ニーズに対応した適切な種類の材料分野の選定に努めているが、現在研究対象としている材料分野以外にも、研究対象として取り上げる価値のある新材料が存在する可能性がある。そこで本課題では、研究分野の体系化を行うことで、現在の研究対象の位置づけを再確認するとともに、未着手の材料分野についても、新たな展開や研究課題の発掘の可能性を検討する。

2. 研究の方法

建設用途を含む材料を体系的に扱う、4つの便覧・事典類^{1)~4)}における材料体系を比較検討し、大分類を作ると共に、各大分類中の材料の整理・体系化を行うこととした。また、様々な資料^{5),6)}などから新しい素材に関する情報を収集した。

3. 研究の結果

3.1 材料大分類

参考にした文献の材料大分類は、概ね、無機系材料、有機系材料、金属系材料の3つに分類されており、それぞれの材料分野で素材から複合材料、さらには用途を設定した材料までを扱っているのが殆どであった。材料の大分類としては、概ねこの3つにまとめることができることが分かるが、本研究では既存の用途にこだわらず、土木資材の素材を見直し、新たな可能性を見いだすことが目的であることから、

素材と用途を設定した材料は明確に区別する必要がある。そこで、以下の分類方法を導入することとした。

(1) 素材：化学的レベルで一体な材料

(2) 複合材料：複数の素材を組み合わせた材料

(3) 用途材料：用途の定まった材料

材料には、化学的に純粋なものはまれであり、複数の化学物質からできているのが通常である。しかし、化学的レベルで一体となっているか否かで、素材とそうでないものを分類分けすることができる。例えば鋼材は鉄と炭素、さらにはその他の添加元素が含まれているが、化学的レベルでそれらが分散していて一体と見なせるので、素材と分類できる。同様にセメントや、単一層の塗膜も素材と考えられる。複数の素材から成り立つ材料は、複合材料と考えることができる。代表的な複合材料であるFRPは、樹脂とガラス繊維から成り立っている。コンクリートなども複合材料に分類できる。

素材、複合材料までは、用途を特に考慮する必要のない材料であるが、特定の用途に合わせて、素材・複合材料を活かして開発された材料もある。このような材料をここでは用途材料と呼ぶ。例としては、舗装用ブロックや塗料などをあげることができる。

3.2 素材の体系

複合材料は素材の組み合わせであり、用途材料は用途を既に考慮した材料であることから、新材料の新しい適用方法を検討する上では、素材の体系を検

討することが、重要である。そこで本研究では主要な素材を列挙し、その分類を行うこととした。また、素材の種類とともに、複合材料としての新たな可能性を検討するために、主要な可能形状（バルク、粉末、繊維、膜）と、主要な物性（バインダー-或いはマトリックスとしての可能性(接着性能)、熱可塑性、その他特徴)についての情報も調査した。

3. 2. 1 有機系素材

主要な有機系素材の一覧を表-1に示す。有機系素材は、石油、石炭を原料とするものと、動植物を原料とするものに大別される。また、物性からは、それぞれを熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、ゴムに分類できる。

現在の塗料や接着剤の多くは石油原料の熱硬化性

樹脂である。硬化前は液体あるいは熱によって融けるが、化学反応により硬化し、硬化後は熱によって融けない。比較的力学性能が優れているが、一方でリサイクルは困難である。従来の熱硬化性樹脂が使われているものを、熱可塑性樹脂にできれば、リサイクルが容易になるものと期待できる。また、植物由来の樹脂の活用が可能となれば、我が国の石油資源依存の現状改善につながる。熱硬化性樹脂については、さらなる高耐久化、高性能化が望まれる。

3. 2. 2 金属系素材

現状では炭素鋼が多く利用されているが、腐食や疲労が鋼構造物の大きな問題となっている。ここでは腐食に絞って、新たな金属系素材について検討した。

表-1 主要な有機系素材

	主要形状				主要物性	
	バルク	粉末	繊維	膜(フィルム)	バインダー(接着剤)	熱可塑性
石油・石炭系有機材料						
熱可塑性樹脂	○	○	○	○	○	○
ポリエチレン						
ABS樹脂						
ポリアミド			アラムド繊維、ナイロン繊維			
ポリ塩化ビニル						
ポリプロピレン						
ポリスチレン						
ポリアクリロニトリル			アクリル繊維			
PMMA			アクリル繊維			
ポリアセタール						
ポリアミド						
ふっ素樹脂(ポリテトラフルオロエチレン、ポリフッ化エチレンなど)						
PET						
ポリカーボネート						
熱硬化性樹脂	○	○	○	○	○	
エポキシ樹脂						
ビニルエステル樹脂						
フェノール樹脂						
不飽和ポリエステル樹脂						
ポリウレタン						
ユリア樹脂						
メラミン樹脂						
ゴム	○	○	△	△		△
天然ゴム						
合成ゴム						
SBR						
NBR						
ポリクロロプレン						
アスファルト	○				○	○
エポキシ樹脂	○				○	○
動植物系材料						
天然高分子						
セルロースアセテート(木材由来)	○	○	○	○		
セルロイド	○	○	○	○		
セルロース誘導体	○	○	○	○		
木材	○	○	○			
竹	○	○	○			
ケナフ		○	○			
パルプ		○	○			
貝殻	○	○				
骨	○	○				
にかわ	○				○	
綿			○			
昆虫糸			○			

(1) 特殊鋼の鋼構造物への適用の可能性

土木で多く活用されている特殊鋼に耐候性鋼があるが、適用方法が難しいこともあり、より優れた素材の可能性を検討する余地がある。ニッケルクロム鋼あるいは、さらに耐食性の高い特殊鋼の探索は重要と考えられる。

(2) 非鉄金属

鉄鉱石の埋蔵量は100兆トンであるが、年間生産量が、5300億トンであるので、188年で枯渇するとの試算がある⁸⁾。このため、他の金属(材料)の適用可能性の検討も重要と考えられる。

元素の地球上での存在割合はクラーク数⁷⁾によって表されるが、クラーク数がある程度高くないと建設分野での利用可能性は低くなると考えられる。クラーク数0.01(25位)以上の非鉄金属は、アルミニウム、カルシウム、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、チタン、マンガン、ルビジウム、バリウム、ジルコニウム、クロム、ストロンチウム、バナジウム、ニッケル、銅の15種類である。このうち大気中では不安定なものを除くと、アルミニウム、マグネシウム、チタン、マンガン、ジルコニウム、クロム、バナジウム、ニッケル、銅が残る。

アルミニウムのクラーク数は鉄よりも多い。ボーキサイトから金属アルミニウムを得るのに、多くの電力を必要とする。(アルミニウム1tあたり、13,000kWh)しかし、リサイクルしやすく、リサイク

ルの場合は、ボーキサイトからの3%のエネルギーで済むとされる⁸⁾。耐食性の高く、強度特性の優れた合金が存在することから、土木材料としてもっと利用されてよい素材と考えられる。

マグネシウムのクラーク数は第8位である。海水中も多く存在する。密度1.74で軽量であり比強度は全金属最高値である。自動車エンジンなどに使われつつある。土木では防食材料に使われるが、耐食性はアルミニウム合金やチタンに劣る。

チタンのクラーク数は第9位である。二酸化チタンとして、地上の比較的広い範囲に存在する。埋蔵量も数十億トンと比較的多い。金属チタンの抽出技術が開発され、金属材料として使われる様になったのは最近であるのであまりなじみがないのが、まだあまり利用されていない主たる要因のひとつと考えられる。耐食性が極めて高く、弾性率は鉄の半分であるがアルミよりは高いなど、土木構造物として優れており、今後、より多く使われて良い素材のひとつと考えられる。

3. 2. 3 無機系素材

主要な無機系素材の一覧を表-3に示す。スラグなどには、リサイクル材としての適用ニーズが特に高いものがあり、適切な活用が期待されているものも多い。基本的には、バルク状のものは骨材として、粉体のものはフィラーとして、繊維状のものは補強材として、複合材料の素材となりうるものと考えら

表-2 主要な金属とその主な用途・物性

金属の種類	現状主要用途	主要物性等		
		比重	地殻における存在	特徴
亜鉛	トタン等	7.1	0.007	防食陽極
アルミニウム(純アルミ)	航空機、自動車、缶、サッシ等	2.7	8.23	軽量、柔らかい、耐食性比較的良好
スズ	ブリキ、ハンダ	7.3	0.0002	低融点(231℃)
タングステン	電球フィラメント、耐熱材料	19.3	0.00015	高融点(3410℃)、硬い
チタン	航空機、化学装置等	4.7	0.57	高い比強度と耐食性。
鉄(鋼)	構造材料	7.9	5.63	高強度
銅	電線、真鍮	8.9	0.0055	良伝導、柔らかい
鉛	電池、ハンダ、活字等	11.3	0.00125	柔らかい
ニッケル	ステンレス鋼、耐食材料	8.9	0.0075	耐食性・加工性良好
マグネシウム	自動車・航空機材料、防食材料	1.7	2.33	高比強度
モリブデン	特殊鋼原料、耐熱材料	10.2	0.00015	耐食性高い
ジルコニウム	原子炉材料、化学装置、合金素材	6.5	0.0165	耐食性高い

表-3 主要な無機系素材

	主要形状				主要物性	
	バルク	粉末	繊維	膜(フィルム)	バインダー(接着剤)	熱可塑性
天然岩石	○	○	△			
天然土壌		○				
セラミックス			△		○	
ケイ酸塩系(陶磁器など)	○	○				
ゼオライト	○	○				
アルミナ	○	○	○			
炭化ケイ素	○	○	○			
セメント		○			○	
ガラス	○	○	○	△	○	○
灰						
焼却灰		○				
石炭灰		○				
スラグ						
鉄鋼スラグ	○	○				
銅スラグ	○	○				
フェロニッケルスラグ	○	○				
一般焼却灰スラグ	○	○				
汚泥スラグ	○	○				
無機高分子材						
炭素		○	○			
シリコーン	○				○	
硫黄固化体	○				○	○
炭酸カルシウム		○				
ケイ酸カルシウム		○				
石膏	○	○				
パーライト(軽量骨材)	○	○				
パーミキュライト(軽量骨材)	○	○				

れる。また、無機系高分子樹脂、ガラスなどは複合材料のバインダーとなりうる可能性がある。

3. 3 複合材料

FRP やコンクリートは代表的な複合材料であるが、バインダーとしての基本性能を有する素材と、バルク、粉末・繊維などの形状を取り得る素材の組み合わせにより、様々な複合材料の可能性があることが分かる。熱硬化性樹脂やセメントの他にも、バインダーとして利用可能性が期待できる様々な素材があることが分かる。また、表-2には記述していないが、多くの金属素材もバインダーとしての基本性能を有している。これらのことから、多くの、建設分野ではまだあまり利用されていない複合材料が可能であることが明らかとなった。一方、素材の複合化は、材料の再生利用をしにくくする可能性が指摘されている。複合材料の適用検討にあたっては、このような点も今後配慮すべきと考えられる。

4. まとめ

土木用新材料について、素材、複合材料、特定の用途を考慮した材料の3つのレベルへの体系的な整

理を行った。素材の調査が重要であることが明らかとなり、有機系素材、金属系素材、無機系素材の3つの大分類について、土木用途での可能性のある素材情報を調査した。またこれらの検討の中で、いくつかの有望な新材料とその適用可能性を見いだした。さらには建設分野ではまだあまり利用されていない複合材料が多くあることが分かった。

参考文献

- 1) 材料大辞典 (S59, 産業調査会)
- 2) 新素材ハンドブック (S63 丸善)
- 3) 新素材便覧 (H5, 通算資料調査会)
- 4) 土木新材料要覧 (H3, 土木研究センター)
- 5) 14705 の化学商品 (H17, 化学工業日報)
- 6) 複合構造技術の最先端 (H19, 土木学会)
- 7) 理化学辞典 (S62, 岩波書店)
- 8) 金属なんでも小事典 (H9, 講談社)