

| C. 土木・建築用  |  |
|--|--|
| <b>2-29 土木・建築用構造材料</b>                                   |  |
| structural materials for civil engineering and buildings |  |
| 繊維強化複合材料, 短繊維, 連続繊維, プラスチック, コンクリート                      |  |

土木・建築分野では、現代でもなお、鉄、コンクリート、木が、三大基幹構造材料である。しかし、1990年代の新素材ブーム以来、炭素、ガラス、アラミドなどの三大新素材繊維を利用した繊維強化複合材料が、軽量・高強度の先端複合材料として登場した。新しい構造材料として、土木・建築分野でも利用しようという動きが高まり<sup>1)</sup>、現在でも盛んである。

短繊維強化と連続繊維強化があり、高分子を基材とするものと、セメントペーストやコンクリートを基材とするものがある。高分子では、エポキシ樹脂やビニルエステル樹脂など、繊維との接着特性がすぐれた熱硬化性樹脂を基材とするものだけでなく、ポリ塩化ビニルやポリカーボネートなど、リサイクル性をもつ熱可塑性樹脂を基材とするものもあり、多様性に富んでいる。

ただ、力学的特性ばかりでなく、防火性・耐火性、耐久性や断熱性などの要求性能・機能も考慮する必要がある。最近、地球環境問題への対処の重要性が認識される中で、長寿命、資源循環、物質・材料効率、有害物質非発生、環境容量/資源容量改善、健康安全など、環境調和性/持続可能性への配慮が要請されるようになってきている。

#### ◆短繊維強化プラスチック系複合材料とコンクリート

ガラス短繊維強化不飽和ポリエステルに代表される短繊維強化プラスチック (short-cut-fiber reinforced plastics: FRP) は、建

表1 連続繊維強化プラスチック補強材の力学的特性

|                                | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張弾性率<br>(KN/mm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 炭素連続繊維強化エポキシ樹脂 (CFRTS / C)     | 1.5                        | 1372                         | 118                            |
| 炭素連続繊維強化ポリカーボネート樹脂 (CFRP / C)  | 1.35                       | 347                          | -                              |
| ガラス連続繊維強化エポキシ樹脂 (CFRTS / G)    | 2                          | 980                          | 42                             |
| ガラス連続繊維強化ポリカーボネート樹脂 (CFRP / G) | 1.24                       | 118                          | -                              |
| アラミド連続繊維強化エポキシ樹脂 (AFRTS / A)   | 1.4                        | 1372                         | -                              |
| アラミド連続繊維強化プロピレン樹脂 (AFRTP / A)  | -                          | -                            | -                              |
| 鉄筋 (電気炉鋼) (SD345)              | 7.8                        | 18490<br>(345)*1             | 210                            |

\*1: 降伏強度  
\*2: TS: 熱硬化性樹脂 (thermoset), TP: 熱可塑性樹脂 (thermoplastics)

築分野では、給水タンク、バスタブ、キッチンユニットなどの非構造2次部材として使用される。また、短繊維強化コンクリート (short-cut fiber reinforced concrete: FRCon) では、高強度コンクリートが、火害時に爆裂するのを防ぐために、ナイロン、ポリエチレン、ポリエステルなどの有機短繊維で補強し、靱性を改善する。また、FRPは、海外の土木分野において、橋梁の床板・梁の構造材料として使う例もあるが、日本では、まだその実績は少ない<sup>2)</sup>。

#### ◆連続繊維強化プラスチック

建築分野では、炭素、ガラス、アラミド連続繊維強化プラスチック (carbon, glass, aramid fiber reinforced plastics: CFRP, GFRP, AFRP) は、新築建築物では、腐食が起りやすく、磁性を帯びやすい内部鉄筋にかわる非金属コンクリート補強材と

表2 連続繊維補強コンクリートの環境負荷データ

| 種類     | エネルギー<br>消費量<br>(MJ/kg) | 有毒ガス発生量                    |                            |                            |
|--------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|        |                         | CO <sub>2</sub><br>(kg/kg) | SO <sub>x</sub><br>(kg/kg) | NO <sub>x</sub><br>(kg/kg) |
| CFRPRC | 76924                   | 27786.9                    | 47.57                      | 201.27                     |
| GFRPRC | 47006                   | 47006                      | 27898.8                    | 47.77                      |
| RC     | 48272                   | 482.72                     | 27658.5                    | 47.36                      |

して、とくに海岸地帯の塩害劣化をきらう日本海側の原子力施設の外壁や、極寒地帯である南極の昭和基地の地中梁、迷走電流による磁性をきらう横浜の地球環境シミュレータ施設のコンクリート床などの特殊建築用途に使用されている。構造・耐震性能の合理的設計法と防火性・耐火性の問題が解決すれば、一般のコンクリート建築物にも使用されてゆくと思われる。

土木分野では、外付け緊張用ケーブル材として使用される。北米では、冬場のコンクリート舗装道路の凍結防止剤として、塩をまくことが多いが、塩化物浸透により、内部鉄筋の腐食が著しく進行することがある。このために、連続繊維強化プラスチックが、腐食しない非金属コンクリート補強材として使用される。これらの非金属補強材の力学的特性を、通常の鉄筋と比較して表1に示す (TS: 熱硬化性樹脂, TP: 熱可塑性樹脂)。

#### ◆連続繊維補強コンクリート

連続繊維補強コンクリート (continuous fiber reinforced concrete) は、連続繊維そのもの高引張強度が、補強の主体であるために、連続繊維補強コンクリートと呼称される。しかし、筆者は、鉄筋コンクリート (RC) との類推で、連続繊維強化プラスチック補強コンクリート (FRPRC) という名称を用いることにする。土木用構造材としての使用の最新の状況は、鶴澤らの総説がある<sup>3)</sup>。建築分野では、完全弾性体に近い補強材の力学的特性を考慮した合理

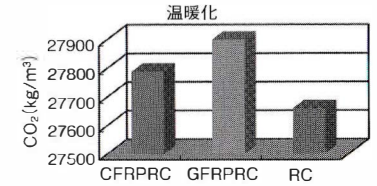


図1 連続繊維補強コンクリート等の地球温暖化への影響評価

的な構造設計が難しいために、構造部材としての浸透度が小さい。

#### ◆連続繊維シート補強材

近年、持続可能性と関連して、社会インフラの劣化の問題が、認識されるようになってきている。既存建築物および土木構造物では、劣化した鉄筋コンクリート部材に対する補修・補強あるいは耐震補強のために、その軽量性と施工の容易性の特長をいかに、鋼板接着法にかわり、炭素、アラミド連続繊維を柱周囲に巻きつけて補強する、連続繊維シート (continuous fiber sheet) 補強材が使用される。

#### ◆先端複合材料各種の環境調和性評価と環境調和型設計

「環境の世紀」といわれる21世紀の到来とともに、先端複合材料も、より環境への配慮が要請されるようになり、環境負荷の定量評価を行う必要もある。各種の連続繊維強化プラスチックとコンクリートにかかわる環境負荷データと評価結果を表2および図1に示す<sup>1)</sup>。(福島敏夫)

#### 文献

- 1) 福島敏夫, 日本複合材料学会誌, 24, 6, 212-221 (1998).
- 2) 西崎 至: 日本複合材料学会誌, 26, 2, 37-42 (2000).
- 3) 鶴澤 潔ほか, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 73, 5, 111-119 (2017).
- 4) 福島敏夫: 北九州市立大学国際環境工学部研究成果事例集2008. FootStep2008, pp. 21-24 (2009).