連続繊維複合材料のコンクリート補強材への展開

Application of Continuous Fiber Plastics for Concrete Reinforcements

森 谷 俊 夫・宇田川 昂

1. はじめに

近未来の高度化社会を支えるハードとしてのインフラストラクチャーを提供するという視点から建設材料の利用方法を考えてみると、内包する人・物ひいては社会・文化に良好な環境を提供できるかが最大の課題となる。

建設材料分野では、金属をはじめとする無機系材料は物質の持つエネルギーバランスの安定性の機能を活かした使い方が必要で、過去から現在に至るまで重要視されてきた。一方、無機系材料と比べエネルギーバランスとしては安定性の劣る有機系材料の利用も進みつつある。エネルギーバランスの安定性とは別に多くの機能を有しているためと考えられる。人工的にエネルギーを多量に消費して作り出される物質であるだけに、社会環境や生態系へのインパクトを十分考慮しながら利用されるべきで、その特質をバランス良く最大限に発揮させる方向で適用方法を開発してゆけば、あらゆる環境に良好でインパクトを最小限に抑えた社会インフラの提供が可能になると筆者らは考えている。言い換えれば、もっと積極的に個々の機能性を引き出して利用すべきである。インフラストラクチャー建設時の材料を選択する場合は、現状市場に提供されている建材をインフラストラクチャーのどこか部位へ適用するか(製品ありき)という方法ではなく、あらゆる素材が持つ固有の性能に着目しなければならない。こうした観点から、今後ますます高度化への要求が加速するに違いない社会環境機能を充足し維持するため、最適な組み合わせを評価・選択し、良好な環境バウンダリーとしての社会インフラを実現しようという方法である。

本稿は、高度情報技術社会を支えるための基盤となるインフラストラクチャーの構築方法について、電磁複合環境の面から考察し、高機能新素材である連続繊維複合材料を用いることにより開発した「電磁絶縁構造システム」につ

いてシステムの骨格と適用事例について紹介する。本システムは、「連続繊維を利用したコンクリート系複合材料研究会」の電気設備ワーキンググループ及び核融合実験炉構造システム小委員会の活動により開発された。

2. システム開発の背景

社会の高度化・情報化の進展に伴い、建物に内装される制御機器・電子機器の数はますます増大している。OA機器等は情報の作成・伝達・保存のツールとして必要不可欠のものとなり、建物のインテリジェント化には環境・防災・防犯機能などを受け持つ制御機器の完璧な信頼性が要求されている。その一方では、各種機器、設備の漏洩電流や雷撃電流などの迷走電流や、デジタル機器・無線機器・高電圧高周波利用機器・雷空中放電などから発生放射される不要電磁波により、制御機器・電子機器の誤動作や回路破壊などの電氣的・磁氣的障害が顕在化している。障害発生の機会は、制御機器・電子機器自体のダウンサイジング(高性能化、高度集積化、低動作電圧化、クロックタイム高速化、小型化など著しい開発がなされている)による電磁耐性(イミニティー)の脆弱化に助長され、さらに増加する傾向にある。

そのため、電子機器の耐性の向上を計る方策がとられているが機器側の対策だけでは限界があり、情報技術社会に適した電磁気的環境基盤を整える必要性がある。

しかし、情報技術社会を支えるべき電磁気的環境の整備を行うには、今日のインフラストラクチャーはこのような問題を本質的に考慮した建材選定・設計方法・施工方法などが採られておらず、情報技術社会に適応又は追従することが出来ていないため、種々の不適合状況が発生している。

反面、1台のパソコンがネットワークを通じて社会に及ぼす影響は、情報技術が進展するほど大きくなる、わずか

TOSHIO MORIYA
三井建設株式会社 技術研究所
主席研究員
〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1
Tel: 0471-40-5207 Fax: 0471-40-5218
e-mail: moriya@mcc48.mcc.co.jp
〈専門〉 建築材料・構法
〈趣味〉 ゴルフ、読書

AKIRA UDAGAWA
日本原子力研究所 高崎研究所
材料開発部
〒370-1292 群馬県高崎市緋貫町 1233
Tel: 027-346-9446 Fax: 027-346-9687
e-mail: udagawa@taka.jaeri.go.jp
〈専門〉 放射線高分子化学
〈趣味〉 テニス、庭いじり

1台のパソコンに違法無線の飛込み電波などのためにデジタル信号に誤りが発生した場合などに、不適合性とその増長、放置が引き金となり、情報化社会が一時呵成に崩壊するにまで至る可能性を含みながら存在している。

3. 電氣的、磁氣的障害の発生メカニズムとその要因

電氣的、磁氣的障害の発生するメカニズムをそれぞれ独立した事象として考えれば、第一は、各種要因による迷走電流が、構造体中の鉄筋・鉄骨・金属配管およびこれらと導通する電気回路を通じ伝搬して建物全体に広がり、制御機器・電子機器に侵入し機器の誤動作や回路破壊をもたらす。また、鉄筋などの電食も生じる。第二は、各種内外要因による不要電磁波が、直接的な電磁誘導作用あるいは鉄筋や電気回路上をノイズとして間接的に制御機器・電子機器に侵入し機器の誤動作や回路破壊をもたらす。しかし、現実には電磁氣的障害が発生する場合には、電流が流れれば磁場が発生し磁場があれば新たに電流を誘起する電磁誘導というメカニズムにより複雑に絡み合う問題となり、どのような事象により障害が惹起されているのかを特定することを非常に困難なものにしている。

電氣的・磁氣的障害を発生させる要因も複雑で、複数の要因により障害が発生するケースがほとんどで、要因を特定することは不可能に近い。図1に問題とされる主要因を示す。

図1 電磁気障害の発生要因

電流としては避雷針・電線・建物構造体の被雷による雷撃迷走電流、地表部を走る迷走電流、高電圧・大電流・高周波数利用設備機器の漏洩電流と電磁誘導電流、配電盤からの漏洩電流と電磁誘導電流、不要電磁波により励起する電磁誘導電流などである。電磁波としては、雷による放電ノイズ、建物内外で使用されるデジタル機器・無線機器の電磁波ノイズ、高電圧・大電流・高周波数利用設備機器の磁界変動による電磁気ノイズ、電車・航空機などからの電磁波ノイズ、構造体鉄筋の残留磁気ノイズなどである。

4. 電磁環境からみた従来の建築構造物

従来のコンクリート構造の建築物には、安価で機械的強

度が大きいので鉄筋が多量に使用されている。鉄筋は磁性体であり電氣的に良導性である。また、避雷針設備は一般的に鉄筋と接続されているので、雷撃時には高電圧・大電流が鉄筋を介して広範囲に伝搬される。配電盤を設置する際に鉄筋で支持するため、盤は接地線に接続されているが結果的には鉄筋とも導通し不要電流が流れる。盤を流れる電流により電磁誘導が起こり近傍の鉄筋に電流が発生する。それに加えて、建物内の設備機器からの電気ノイズも鉄筋を伝わる。これら鉄筋を流れる迷走電流が、鉄筋に接続されている各接地線からも建物全体に広がる。

そのほかに、鉄筋運搬時の電磁石使用、建設現場での溶接電流などによる残留磁気が発生し、それによって周辺の機器に悪影響を及ぼすことがある。

建築構造面からみても、迷走電流による電食によって腐食が発生しやすく、断面が減少した場合には構造物の強度が低下する。

5. 各種要因による障害例

(1) 鉄筋鉄骨の建造物、構造体が導電体であることに起因する障害

- ①雷電流が、鉄筋鉄骨の構造体に流れ、周辺に電磁誘導を発生することによる電気・電子機器の誤動作、損傷
- ②電流が、鉄筋鉄骨の構造体を流れ、インピーダンス差により電位が上昇し、異常電圧や逆閃絡による電気・電子機器の誤動作、損傷
- ③雷電流の高周波成分の空中伝播による電子機器の誤動作、損傷
- ④鉄筋鉄骨の構造体が電波の受信アンテナとなるアンテナ効果により鉄筋鉄骨内に高周波が流れ、反射し、定在波を発生しこれに起因する電子機器の誤動作、損傷が起こる
- ⑤電磁波、漏れ電流、誘導電流など及びマイクロセル・マクロセル形成による鉄筋鉄骨の構造体自体に電食をきたす
- ⑥鉄筋鉄骨の接合部などにおけるギャップ放電による電子機器の誤動作
- ⑦建造物による電磁波の不要輻射による混信、ゴースト現象、エコー現象及びこれらに起因する電気・電子機器の誤動作
- ⑧電磁波の乱反射により電子が多重散乱するアンダーソン局在が発生し、エネルギー増幅による火災発生の危険性
- ⑨鉄筋鉄骨の構造体の蓄磁(磁化)によるテレビ受像機の色むら等電子機器への影響

(2) 建築付帯設備に起因する障害

- ①避雷設備からの構造体への雷電流の流入、閃絡、電磁誘導による電気・電子機器の誤動作、損傷
- ②接地線、配線のアンテナ効果による電位発生、定在波による電気・電子機器の誤動作、損傷
- ③空調、給排水、防災用配管による管路の形成及びアン

テナ効果に起因する電気・電子機器の誤動作

- ④空調ダクトによる回路の形成及びアンテナ効果に起因する電気・電子機器の誤動作
- ⑤配電負荷の不均衡に起因する磁界発生による電気・電子機器の誤動作
- ⑥大電流、高電圧配線による磁界発生による電気・電子機器の誤動作
- ⑦配線のアンテナ効果と定在波発生により電気・電子機器のイミニティーレベルが見掛け上引下げられ、実効的耐性が低下し、イミニティーレベル値以下の異常電圧等で電気・電子機器の誤動作、損傷を起こす
- ⑧変圧器から発生する磁界による電気・電子機器の誤動作

(3) 電気・電子機器から発生する電磁波に起因する障害

- ①無線化による電波と外来電波の相互干渉による電気・電子機器の誤動作
- ②電子機器が発生する電磁波の相互干渉による電気・電子機器の誤動作
- ③電気機器(電子レンジ、照明器具等)の電磁波による電気・電子機器の誤動作、妨害
- ④電子機器及び電源配線からの放射電波による盗聴、機密漏洩
- ⑤電磁波による人体への危険性、特にブルートゥース(無線家電機器制御)の周波数 2.45GHz は水の分子を振動させやすい電子レンジの周波数 2.5GHz に近接しているため人体への影響が大きいと考えられる

(4) 生活用品に起因する障害

- ①衣服、靴下、ブラシ、カーテン、カーペット、プラスチック製品などに帯電した静電気放電による磁気カード、IC カード、電気・電子機器の誤動作、損傷
- ②磁気健康器具は、2000 ガウスの強力な磁気により磁気カード、IC カード及び読取り装置など記憶媒体の情報破壊や光伝送を偏向させるなどの障害要素となる。また、磁石利用文具、磁石式止具等について同様である

6. 電磁絶縁構造システムの概要とその効果

電磁複合環境用インフラ構築システムとして開発した電磁絶縁構造は、機能性(非磁性、電気絶縁性、不銹性)材料である連続繊維を使用した強化プラスチック筋を全面的に鉄筋と代替するという観点に立ち、素材の評価・選択とさらなる機能性の付加(高耐放射線性、製作性向上、複合部材としての電磁気的評価手法確立・耐火性向上など)という作業から生まれた。

連続繊維を使用した強化プラスチック筋は、電気的に絶縁体であるため、各種要因による電流は流れず、電磁誘導電流は励起せず、非磁性であるため各種の残留磁気も生じない。また、不銹性のためマクロセル、ミクロセルといった電食の懸念もない。

しかし、鉄筋を用いていないため建造物として床、壁、

屋根のすべてが電磁波を透過させるものとなり、サッシュや手摺等の金属部分に帯電し、設備機器からのノイズが他の機器と相互干渉するといった問題が新たに発生する。これらの問題に対し、主要部位に必要な応じ絶縁・遮蔽・反射・透過の電磁気的性能を付加する。また、図2の絶縁構造システム概念図に示すように、従来鉄筋が負担していた接地機能は、本来の目的にあった複数の接地系をおのおの独立して設置する。

図2 電磁絶縁ビルシステムの概念

システムを採用することによって、建物内で発生する不要な電流や電磁波は直接他の部分に伝搬しない。以上のことから図3のように電磁波等の相互干渉から完全に解放された空間の提供が可能となり、設備・情報システムの高度化・低廉化につながり、機器や情報の確実な管理が可能となるなど二次的な効果が考えられる。

結果的に、電磁波にある周波数帯では耐性を持つ従来構造物をあえて捨て、電磁波には全く無防備な構造体を採用することにより、電磁波の相互干渉に対し構造物による不確定要因を排除し、電磁波に対しては全くフリーで、電気的には不要な電流の侵入・伝搬を許さない構造体を基本として考えざるをえない。

残る問題は、電磁波をいかに制御するかというものである。不要な電磁波の侵入を遮断し、必要な電磁波を容易に取り入れることができ、また外部からの人為的な情報に対する干渉を全く許さないバウンダリーの構築である。これはバウンダリーの保持すべき電磁環境機能に対し、電磁波の干渉を制御する技術・素材がすでに数多く開発されていることから、電氣的(電流的)干渉がより重大なダメージを与えかねないと考えた結果である。

冒頭述べた委員会ではこのシステムの適用により、情報

図3 機能空間例

技術社会におけるコンピュータなどの電子機器や電気機器が安定かつ安全に運用可能になることを目指し、電氣的・磁氣的に安定した社会環境を提供する活動を継続している。

7. 電磁絶縁構造システムの適用事例

電気絶縁構造システムを先端技術研究開発施設の部位に適用した事例を紹介する。

(1) 理化学研究所ゲノム総合研究センター NMR 棟

科学技術会談答申「ライフサイエンスに関する研究開発基本計画」に基づき理化学研究所により建設された「ゲノム科学総合研究センター」は、遺伝子、ゲノム(染色体)、タンパク質の構造・機能などの解明を目的とする施設である。NMR(核磁気共鳴)装置基礎に電磁絶縁構造が採用されている。NMR装置は、タンパク質を900MHz、600MHzで核磁気共鳴させ、精細なデジタル画像を取得するため情報キャリアとして磁場・ラジオ波を、センサーは受信コイルを用いる装置である。装置周辺には50G(ガウス)以上の強力な静磁場が必要とされる。したがって、装置を内装する建物の各部位から静磁場を乱す要素である磁性体を極力排除する設計となっている。主体構造は非磁性材料である木造で、屋根にはアルミ材が使用されている(写真1)、また、機械基礎として剛性を要求される基礎部分は、鉄筋コンクリート造であるが骨材に含まれる砂鉄を排除し、補強筋としては50G以上となる部位にアラミド繊維補強筋で

写真1 NMR 主体構造

図4 NMR 棟断面図

あるフィブラロッド[®]を、また5~50Gの部位には非磁性鉄筋が採用されている(図4、写真2、3)。これは、静磁場の磁気誘導により鉄筋などが磁気を帯び、その磁場が静磁場を乱す現象と、地表を流れる各種迷走電流が基礎の鉄筋に直接侵入したり、電磁誘導により間接的に侵入したりして、鉄筋などに電流が流れることで励起された磁場が静磁場を乱す現象とを同時に防ぐ目的で、電磁絶縁構造を採用

写真2 NMR 基礎配筋

写真3 NMR基礎配筋作業

した例である。また施設が沿岸立地であるため、結果的に構造物の塩害対策ともなっている。

工事概要

- ①名称：ゲノム科学総合研究センター NMR 棟他建設工事
- ②場所：神奈川県横浜市鶴見区末広町1丁目
- ③発注：理化学研究所
- ④設計：(株)日建設計
- ⑤施工：竹中・東亜・日本鋼管工事建築工事共同企業体
- ⑥工期：平成11年3月～平成12年4月

(2) 地球シミュレータ研究開発センターシミュレータ棟

地球シミュレータ計画は、地球変動予測に関する国際共同研究で、基礎科学・観測システム・シミュレーション三位一体研究の内のシミュレーション部門研究施設であり、Ⅰ期計画分が海洋科学技術センターにより建設された。この内、シミュレータ棟に電磁絶縁構造が採用されている。施設内には、10km四方のメッシュに区切った仮想地球を想定し、地球温暖化・異常気象など地球規模の気候変動、超長期にわたる地殻変動などの解析・予測をおこなうため、8台のスーパーコンピュータで構成される計算ノードを高速のネットワークで640機(総計5120台のスーパーコンピュータで構成)をつないだ地球シミュレータ装置が設置される。CPUの作動電圧0.9V、通信回線作動電圧1.5Vという極めてセンシティブな装置のため、良好な電磁環境を確保するための配慮がなされた設計となっている。主体構造は超スパン対応の鉄骨造で、屋根・外壁は港湾立地により想定される船舶レーダーなど外来の電磁波ノイズ対策として電磁銅板が用いられた。また被雷対策として、建物全体を10本の避雷導体と8本の避雷塔で覆い、その接地を建物と完全に絶縁して設置している(図5)。各種要因による地表面を流れる迷走電流の構造物への直接・間接侵入を完全に排除する目的で、免震ピット底盤と免震装置受基礎の配筋に、アラミド繊維補強筋であるフィブラロッド®を採用している。なお免震装置及び基礎・底盤の設計について建築基準法38条の大臣認定を取得している(写真4、5)。

工事概要

- ①名称：地球シミュレータ施設シミュレータ棟・動力棟建築工事

図5 地球シミュレータ施設

写真4 免震装置基礎配筋

写真5 底盤・立上部配筋

- ②場所：神奈川県横浜市金沢区昭和町 3173-25
- ③発注：海洋科学技術センター
- ④設計：(株)日建設計
- ⑤施工：清水・大林・三井建築工事共同企業体
- ⑥工期：平成11年10月～平成12年12月

(3) 海水ウラン回収カセット収納篋の試作供用実験

この事例は、電磁絶縁構造システムの適用事例ではないが、連続繊維複合材料の持つ多様な機能性を活用した展開事例として簡単に紹介する。日本原子力研究所陸奥事業所で海水ウラン回収試験は継続されているが、良好な試験結果を受け、実験規模拡大への要請が出てきた。収納篋は従来 SUS316 丸棒製で、材料をそのままに大型化(外径φ435～φ2000)するのは重量的ハンドリングがシステムとして非常に困難になるため、大型化の試作材料として軽量・不

写真 6 ウラン回収カセット収納筐

锈钢で耐放射線性能が付与された(日本原子力研究所高崎研究所と三井建設の共同研究成果)アラミド繊維補強筋であるフィブラロッド[®]が選定され試用された(写真 6)、現在までの供用試験において良好な結果が得られている。

参考文献

- 1) T. Moriya, J. Ohmomo, and Y. Ohkawa, JCI FRPRCS-3, "CONCEPT AND TECHNICAL ISSUES OF ELECTRO-MAGNETICALLY INSULATED BUILDINGS"
- 2) 宇田川 昂、森谷俊夫他、JAERI-Tech, 99-022, 「高耐放射線性アラミド繊維強化樹脂によるコンクリート補強材の開発」
- 3) 特許 3072020 号「電気的に絶縁された建造物」
- 4) 特許 2932422 号「繊維強化複合材及びその製造方法」

フィブラロッド[®]はファイベックス(株)の商品名。

第 37 回熱測定討論会(第 22 回日本熱物性シンポジウムとの Joint Meeting)

主 催：日本熱測定学会 会 期：2001 年 11 月 20 日(火)～11 月 22 日(木)
 会 場：仙台国際センター(仙台市青葉区青葉山) 協 賛：(社)繊維学会ほか
 テー マ：一般講演とミニシンポジウム 一般講演：熱量・熱力学量測定および熱分析の基礎と応用
 ミニシンポジウム：環境とクリーンエネルギー
 発表申込締切：2001 年 7 月 2 日(月)必着
 発表要旨原稿締切：2001 年 9 月 21 日(金)必着
 参加予約申込締切：2001 年 10 月 17 日(水)消印有効
 詳細については下記にお問い合わせ下さい。
 日本熱測定学会事務局(〒101-0032 東京都千代田区岩本町 1-6-7 宮沢ビル 601)
 E-mail: netsu@mbd.nifty.com
 TEL: 03-5821-7120, FAX: 03-5821-7439,
 URL: <http://www.soc.nii.ac.jp/jscta/index.html>

第 46 回リグニン討論会

共 催：(社)繊維学会ほか 日 時：2001 年 11 月 1 日(木)～2 日(金)
 会 場：京都大学木質科学研究所(宇治市五ヶ庄) 討論主題：「リグニンの基礎及び応用研究」
 講演申込締切：7 月 30 日(月)必着
 講演要旨締切：9 月 7 日(金)必着
 申込みなど詳細については下記にお問い合わせ下さい。
 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学木質科学研究所 生化学制御研究室
 第 46 回リグニン討論会世話人島田幹夫
 Tel 0774-38-3624(島田)、3625(梅澤)または 3626(服部), Fax 0774-38-3682
 E-mail(問合せ): tumezawa@kuwri.kyoto-u.ac.jp または
 thattori@kuwri.kyoto-u.ac.jp
 E-mail(講演申込み): lignin-s@kuwri.kyoto-u.ac.jp
 大会ホームページ: <http://www.kuwri.kyoto-u.ac.jp/lignin-symposium/>