

複合材料系 OA フロア・パネルの疲労特性

勝世 敬一, 赤澤 敏之, 古賀 卓哉*
鈴木 敏之*, 稲津 正幸*

Fatigue Properties of Composite Boards for the Free-Access Floor

Keiichi KATSUSE, Toshiyuki AKAZAWA, Takuya KOGA*
Toshiyuki SUZUKI*, Masayuki INATSU

抄 録

OA フロア用材料は、特に複合材料系を中心に多様化が著しい。しかし、日本では OA フロアの標準規格として定まったものはまだなく、特に長期性能の面において、まだ十分に検討されているとは言えない。そこで、OA フロア用材料のうち複合材料系の主流になっているケイ酸カルシウム板/鋼板、繊維強化コンクリート/鋼板、及びフライアッシュ/軽石系の3種類について、疲労特性及び静的強度特性を比較し、各材料の複合構造による影響について検討した。その結果、疲労特性は材料の種類あるいは複合構造によって大きな影響を受け、中央集中荷重による静的強度とは必ずしも対応しないことが明らかになった。したがって、OA フロアの評価基準については、従来のように静的強度で代表させるのではなく、OA フロアとして実用上必要な性能、試験方法、およびその基準値について早急に検討し、基準規格を定める必要があると考えられる。

1. はじめに

近年、コンピュータ、各種情報機器など事務の OA 化が急速に進展しているが、それにもなって、オフィス用ビルは新旧を問わず OA 化への対応を迫られている。これがいわゆる”インテリジェント・ビル”である。これらのビルでは、OA 機器の頻繁な設置、撤去、配置替えに対応し、特に配線の処理を容易にするため、小区画毎に取り外し可能な二重床構造を採用している。これ

がフリーアクセスフロアで、日本では一般事務室用のフリーアクセスフロアを OA フロアと呼ぶ例が多い。OA フロアを市場としてみた場合、1985 年頃から急成長しており、1989 年に 300 万 m² であった販売量が今後数年間は二桁成長を続け、1995 年には 750 万 m² に伸びると予想されている¹⁾。

OA フロアに使用されている材料は、従来から電算室用(重量型)の主流を占めていたアルミダイカストをはじめ、最近ではケイ酸カルシウム板/鋼板、繊維強化コンクリート/鋼板、木質/鋼板やフライアッシュ/軽石系などの複合材が一般事務室用(軽量型)として、あるい

* 新日鐵化学(株)

は簡易型として樹脂製の製品など数多くの材料がこの分野に参入しており、特に軽量型の複合系材料の多様化が著しい。これは、従来の製品が元來電算室用として開発されたものであるので、最近の需要の中心である一般事務室用としてはオーバースペックかつ高価になる。そのため、軽量型新製品の開発が活発に行われているものである。

一方、上に述べたように、OAフロアは最近になって急激に拡大してきた分野であるため、日本では標準規格として定まったものはまだなく、建材メーカーや建設会社がそれぞれ社内規格として定めているのが現状である。特に長期性能の面において、現状のOAフロア用パネルがどのような性質をもつものであるか、また、どのような性能が必要かということは、まだ十分に検討されているとは言えない。そのため、異なる製品を比較する際には必然的に静的な破壊荷重や静的なたわみで議論せざるを得ない場合が多い。しかし、複合材料系においてはその複合構造が静的強度以外の性質に異なった影響を及ぼすため、必ずしも静的な強度でその他の性質、特に長期的な性能を類推することは妥当ではないと考えられる。そこでわれわれは、市販されている複合材料系OAフロアのうち、代表的と思われる3種類について、疲労特性及び静的強度特性を比較し、各材料の複合構造による影響について検討した。

2. 実験方法

2.1 試験体

実験に用いた試験体はフライアッシュ / 軽石系複合板

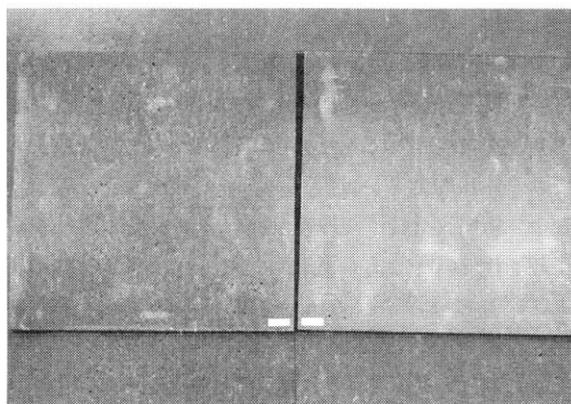


表 裏

写真1 GFPC

(Glassfiber reinforced Flyash Pumice Composite, GFPC), ガラス繊維強化コンクリート (Glass-fiber Reinforced Concrete, GRC), けい酸カルシウム板 (けいカル板) の3種類で、いずれも市販されているOAフロアパネルである。これらのうち、GFPCとGRCは一般事務室用の「軽量型」、けいカル板はコンピュータ・ルームなど要求のより厳しいところに使われている「重量型」である。3種類の試験体の外観を写真1～3に、断面の構造を図1～3にそれぞれ示した。

GFPCは写真1および図1からわかるように、上下の表層とコア層の3層から成っており、基本的な材料構成はサンドイッチ構造である。サンドイッチ構造は表面に強度メンバーを配置し、その間に軽量なコア材をはさみ込むことによって大きな曲げモーメントを得ることで、材料全体として強度・剛性と軽量性の両立を図れる利点がある。GFPCパネルの表層はフライアッシュ / ガラス繊維 / 樹脂からなっており、主に材料強度を分担している。ここで、ガラス繊維はフライアッシュ / 樹脂層の中に2次元ランダムに分散されている。一方、コア層はフライアッシュ / 軽石 / 樹脂から構成され、主にパネルの剛性、軽量性、切削性などに寄与している。

次にGRCパネルの外観を写真2に、断面の構造を図2に示した。GRCはガラス繊維を混入したコンクリート板で、圧縮には強いが引っ張りに弱いというコンクリートの弱点をガラス繊維を混ぜることによって補ったものである。さらに、写真と図からわかるように、裏面に鋼板で裏打ちして補強している。この鋼板は多数の爪を立ててコンクリートとの密着性を高めるようにしており、その跡が写真2に多数見られる四角形の穴になって

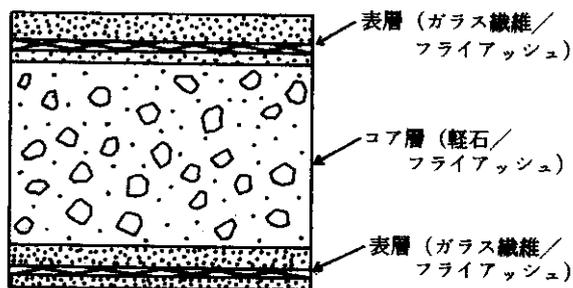


図1 GFPCの断面

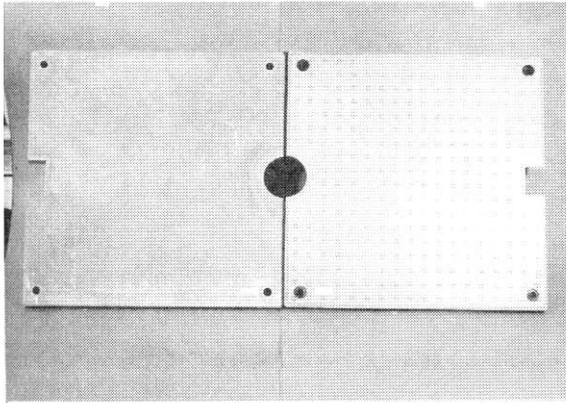


表 裏

写真2 G R C

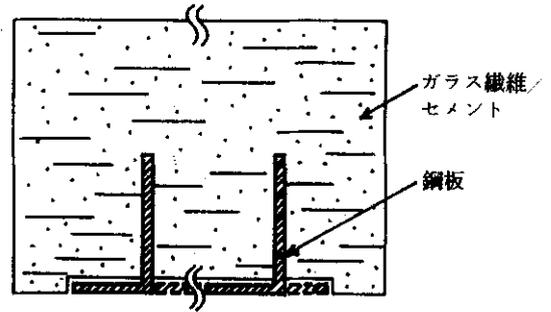


図2 GRCの断面

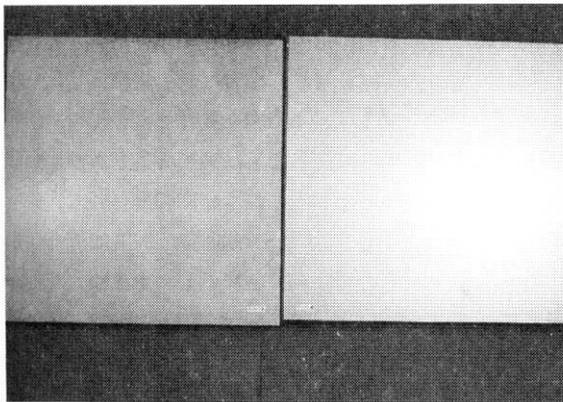


表 裏

写真3 けいカル板

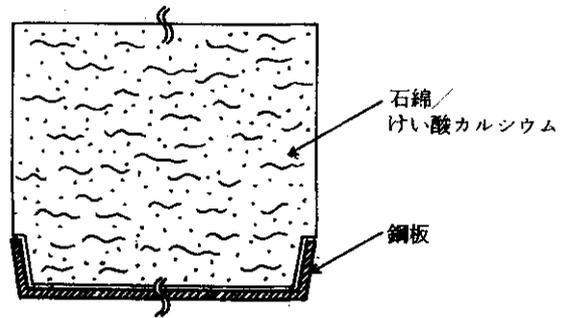


図3 けいカル板の断面

いる。これは、床材の場合加えられる力は下向きの曲げであるので、最下層に引っ張りに強い層を設けることによって、強化できるためである。

けいカル板は、主原料に石棉、石灰質原料およびけい酸質原料を用いて成形しオートクレーブ養生したものである。写真3および図3に示したように、この製品もGRCと同様に裏面に鋼板を接着することによって補強している。

供試体のサイズ・形状などの諸元は表1に3種類まとめて示したが、GRCが500mm×500mm×20mmで、ケーブル取り出し口になる半円と長方形の切り欠きが向かい合う2辺の中央にそれぞれ1個ずつ、そして板の4隅に脚取り付け用の穴が開けてある(写真2)。その他のGFPC及びけいカル板はいずれも500mm×500mm×25mmでGRCと同じサイズであるが、厚さが25mmと厚く、切り欠きのない平板である。

表1 実験に使用したOAフロアパネルの諸元

材料の種類	サイズ(mm)	重量(t)	裏打ち材	中央集中荷重(kgf)
G F P C	500×500×25	6	なし	704
G R C	500×500×20	11	穴開き鋼板	1280
けいカル板	500×500×25	9	鋼板	1844

2.2 実験方法

実験には、油圧サーボ式疲労試験機(鷺宮製作所製、容量:±10tonf、振動数:0~30Hz)を用いた。試験体に対する加振はコンピュータ制御による正弦波の荷重制御を行い、荷重がほぼゼロから圧縮側の片振りとした。ここでは、最大圧縮荷重と最小圧縮荷重の差を試験体に加えた荷重として表した。

試験体の支持および加振方法は実際の使用状態に準じた方法で試験するものとして、市販のパネルを用いて実

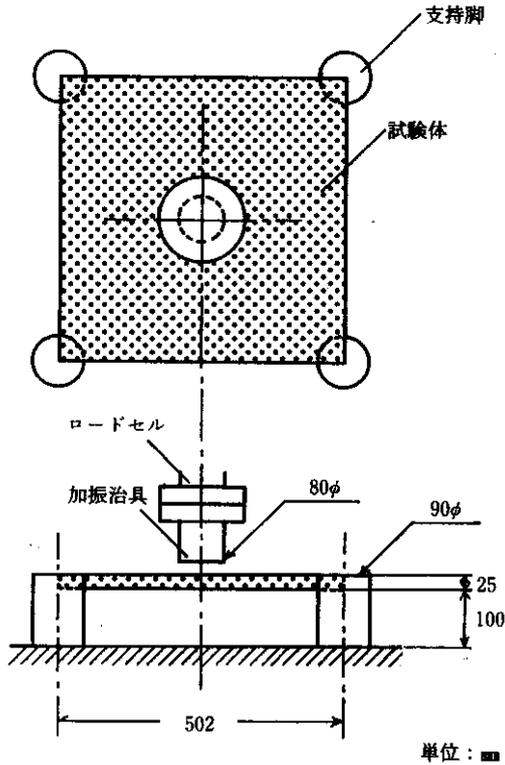


図4 試験装置（四点支持・中央集中荷重）

体試験を行った。試験体の取り付け治具は図4に示したように、試験体の四隅をそれぞれ半径45mmの円柱の1/4円で支持し、半径40mmの円柱を圧子として試験体面中央で載荷するように配置した。これはOAフロアの静的な強度試験に一般的に用いられる支持方式で、OAフロアの実際の使用状態を模した方式である。この方法は一般に「四点支持・中央集中荷重」と呼ばれている。なお静的な試験方法ではこのほかに、載荷位置を1辺の中央に片寄せた「四点支持・辺集中荷重」も行われているが、今回の疲労試験ではこの方法では行わなかった。

なお疲労破壊のサイクル数は、たわみの経時変化をプロットした曲線において、破壊による急激なたわみ変化の直前の変曲点をもって疲労破壊のサイクル数とした。また、 10^7 回を過ぎてなお破壊しない場合、その荷重では疲労破壊しないものと見なして打ち切った。

本実験では荷重が一定になるように制御しているため、試験体の変位を模式的に表すと図5のようになる。ここで、 d は無負荷時を基準として最大荷重を負荷した時のたわみ（たわみ幅）、 d_c は負荷を取り除いた時に残留しているたわみ（永久たわみ）である。永久たわみは

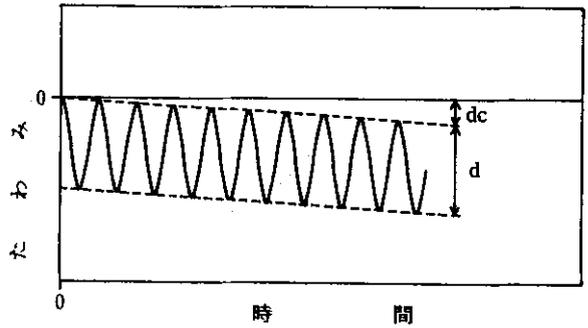


図5 たわみの経時減かの模式図

動的なクリープと考えることができる。実験ではこれらの値を記録し、経時的な変化を調べた。ただし、試験開始直後は加振状態が安定しないため、 d_c の基準として、1280Cycle目の最低荷重時の位置を採用した。

材料の疲労強度は一般に、縦軸に応力振幅、横軸に破断繰返し数の対数をとったS-N曲線で表される。S-N曲線は、応力振幅の減少とともに破断繰返し数が増加する右下がりの曲線となり、これを時間強度という。ある種の材料では、ある応力でS-N曲線が水平に折れ曲がり、それ以下の応力ではいくら繰返しても破断しなくなる。この応力を耐久限度あるいは疲労限度という²⁾。なお本実験は、実体試験で行ったために、S-N曲線の縦軸は応力の代わりに荷重で表した。

静的な強度特性はインストロン型万能試験機（島津製作所製）を用いて試験を行った。静的な強度試験についても、図4に示した「四点支持・中央集中荷重」の方法で行った。

3. 実験結果と考察

3.1 たわみ幅

一定荷重を繰り返し印加されることによるたわみ幅の経時変化は、疲労による弾性率の変化を表す。印加した荷重毎に、繰返し数に対するたわみ幅の変化をプロットしたのが図6である。(a)はGFPC、(b)はGRC、(c)はけいカル板についてそれぞれ示している。

これらの図からわかるように、いずれの曲線も最終的な破壊の段階には立ち上がる傾向がみられるが、これを除けば全領域を通じてあまりたわみ幅に変化がない。さらに、低荷重側ではたわみ幅が印加した荷重の大きさにほぼ比例している。そこで、それぞれの試験体、それぞれ

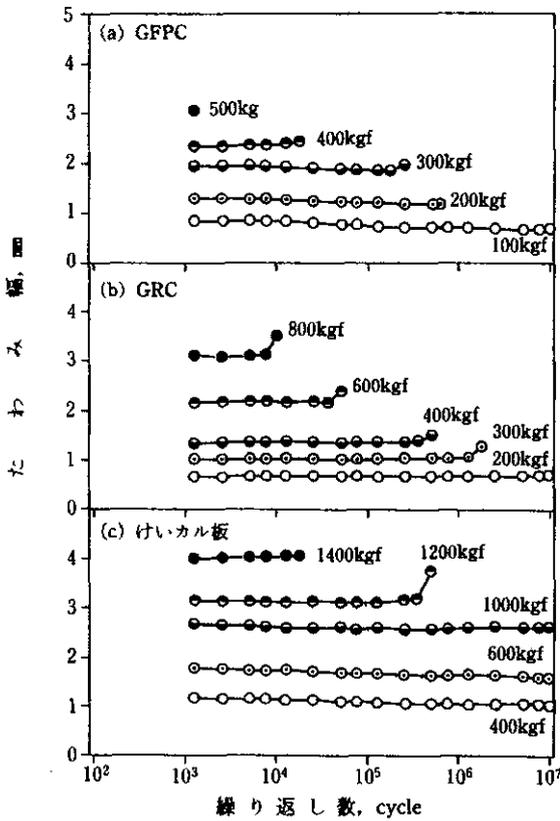


図6 たわみ幅の繰り返し数による変化

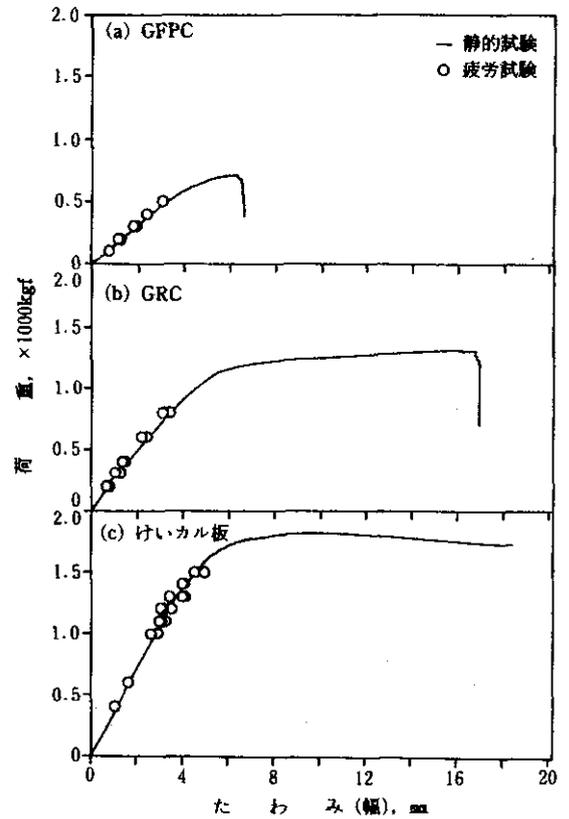


図7 荷重-たわみ曲線と疲労試験のたわみ幅

れの荷重について、たわみ幅曲線の最後の立ち上がり部分を除いて平均したものを平均たわみ幅として算出し、静的な強度試験の荷重-たわみ曲線と比較したのが図7である。図からわかるように、どの試験体についても両者はほとんど一致している。すなわち、繰り返し荷重が加わることによってクリープによる永久たわみは累積して行くが、たわみ幅すなわち弾力性については破壊直前までほとんど劣化が認められない。

3.2 永久たわみ

図8に、それぞれGFPC、GRC、けいカル板について、永久たわみの繰り返し数による変化を荷重荷重の大きさによる違いとともに示した。

まず図8(a)はGFPCの永久たわみ曲線であるが、荷重荷重の大きさにはよらずほとんど同じ曲線を描いており、破壊直前に永久たわみが急激に大きくなって破壊に至る、というパターンになっている。この図では、試験体への印加荷重が100、200、300、400、500kgfの5種類についてプロットしたが、いずれもほとんど同じ曲

線を描いて、荷重によって異なるサイクル数で消失している。これが試験体の破壊した点である。

図8(b)のGRCでは印加荷重が200、300、400、600、800kgfとGFPCよりいくらか大きくなっているが、GFPCと同じように負荷荷重によらずほぼ同じ曲線を描いているのがわかる。しかし、破壊時の永久たわみの挙動としてはGFPCほど急激でなく、ある程度前から徐々に大きくなって破壊へと至っている。

けいカル板の永久たわみ曲線は図8(c)に示した。この図から、前の2試料と明確に違って負荷荷重に依存することがわかる。すなわち、負荷荷重が大きければ破壊するサイクル数が小さいばかりでなく、永久たわみの増加率も大きくなる。表2は 10^7 回まで破壊しなかった試験体の永久たわみを示したものである。けいカル板の負荷荷重は400、600、1000、1200、1400kgfと前2試料よりもかなり大きくなっているので一律に比較できないが、この表から、 10^7 回におけるGFPCの永久たわみは0.4mm前後で、他の材質の60%から30%程度と小さくなっていることがわかる。クリープの一般的な試験

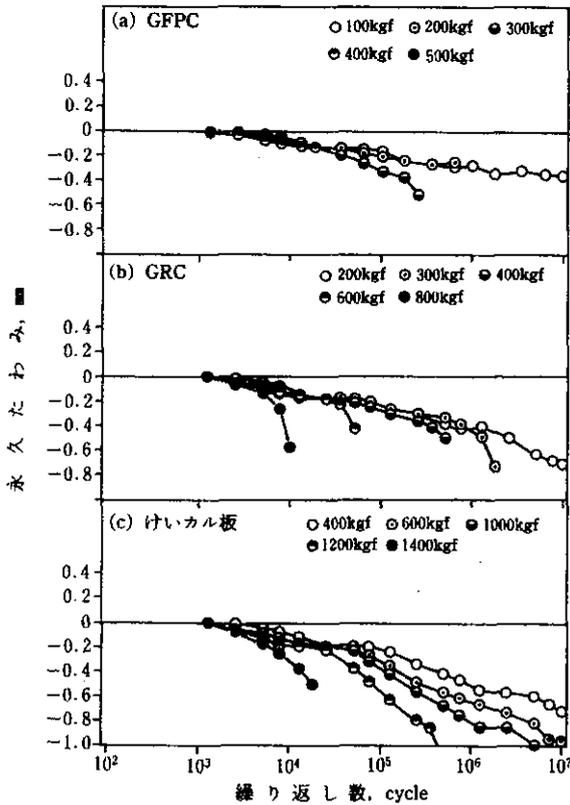


図8 永久たわみの繰り返し数による変化

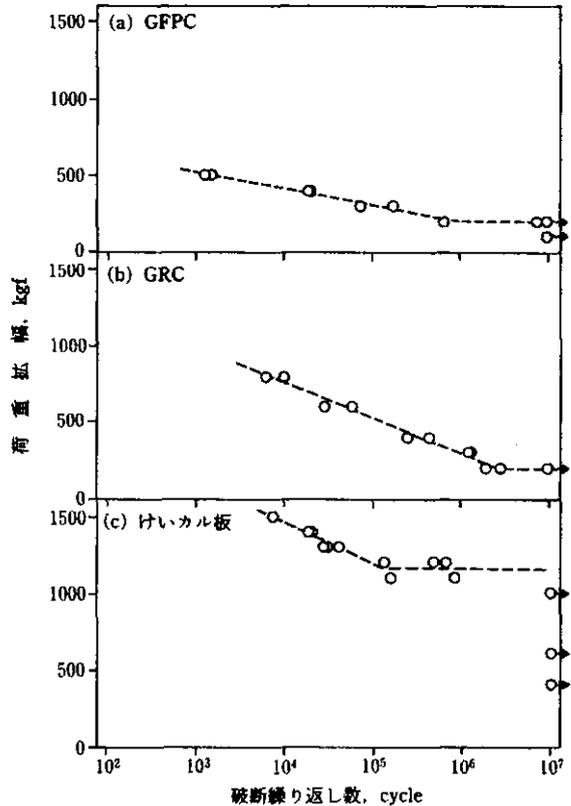


図9 S-N曲線

表2 10⁷回における永久たわみの比較

材 質	荷 重 (kgf)	永久たわみ(mm)
G F P C	100	0.366
	200	0.435
G R C	200	0.722
	400	0.717
けいカル板	400	1.211
	600	0.962
	1000	1.152

法である定荷重クリープとの対応を確かめる必要はあるが、この結果はGFPCはGRCやけいカル板に比べてクリープの影響が比較的小さい材料であることを示唆している。

3.3 疲労強度

図9 (a) にGFPCのS-N曲線を示した。図からわかるようにGFPC疲労特性は、500kgfで約10³回であ

るのに対し、200kgfで約10⁶回へと右下がりの直線的な時間強度特性を示しており、200kgf付近で水平に折れ曲がって、疲労限度であることを表している。すなわち、200kgf以下であれば繰り返し荷重の負荷があっても疲労破壊することはないと見なすことができる。

図9 (b) はGRCのS-N曲線である。GRCは静的な破壊荷重が1280kgfとGFPCの704kgfより大きいために、時間強度の低サイクル側でも800kgfで約10⁴回と大きくなっている。しかし時間強度曲線の下がり方が大きく、疲労限度は約200kgfでほぼGFPCと同程度になっている。

けいカル板のS-N曲線は図9 (c) に示した。けいカル板は静的な破壊荷重が1844kgfと最も大きく、そのため時間強度曲線もきわめて高荷重側の領域にある。低サイクル側の時間強度では約10⁴回で1500kgf、さらに疲労限度が約1100kgfと高サイクル側でもあまり下がっていない。

そこで、これら3種類の材料の疲労による強度低下を調べるために、静的破壊荷重に対する疲労限度の比をと

って比較してみると、表3のような結果になる。

表3 疲労による強度の低下

	静的破壊荷重 (Ps)	疲労限度 (Pf)	Pf/Ps
G F P C	704 kgf	200 kgf	0.28
G R C	1280	200	0.16
けいカル板	1844	1100	0.60

表から明らかなように、けいカル板は疲労限度として静的強度の60%を保持しているのに対して、GFPCは28%、GRCは16%まで低下している。したがって、けいカル板が最も繰り返し荷重に強いといえる。ただしOAフロアの場合、高サイクルの繰り返し荷重としては人間の歩行によるもの以外考えにくいので、疲労限度は100～150kgf以上であればよいと思われる。

3.4 繰り返し荷重による破壊の形態

疲労試験を終了した試験体の破断形態を写真4～写真6に示す。

写真4はGFPCで、下側表層にクラックが入っている。クラックが小さい間は下側表層のガラス繊維は破断せず、クラックが内部へ進展するのを食い止めているが、クラックが上側表層まで貫通した試験体の破断面では下側表層のガラス繊維にはほとんどすり抜けが起こっておらず、クラックの破断面で切断されている。図8(a)で見たように、GFPCの場合、破壊に至る永久たわみの増加は急激に起こっている。静的な試験ではほとんどのガラス繊維がすり抜けを引き起こして靱性の向上に寄与しているのに比べて、疲労試験では靱性に対するガラス繊維の寄与はあまりないと考えられる。

写真5はGRCの破断状態を示している。前にも述べたように、GRCの裏打ち鋼板にはGRCと密着させるための爪を立てた後の四角い穴が一面に開けられている。写真では、これらの穴をお互いに結ぶ線に応力が集中した痕跡を見ることができる。そこで鋼板をはがしてみたところ、GRC本体の爪の部分から爪の部分へクラックの入っているのが観察された。このことから破壊の順序としては、まずGRC本体の爪の部分に応力が集中してそれらを連結する形でクラックが入り、そのためたわみが大きくなってクラックに沿った部分の鋼板に応力が集中して伸びを生じる、ということが考えられる。し

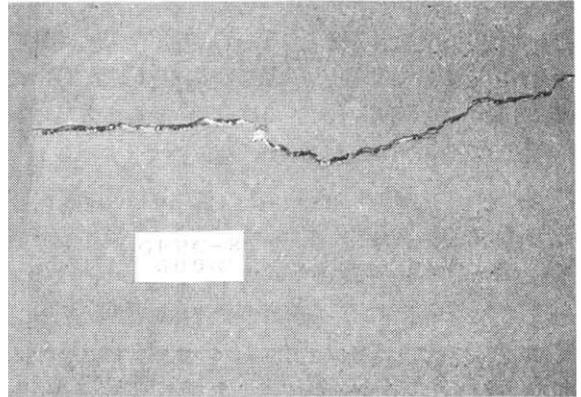


写真4 GFPCの破断面

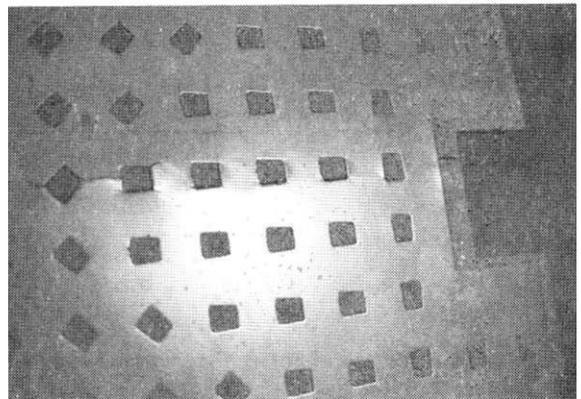


写真5 GRCの破断面

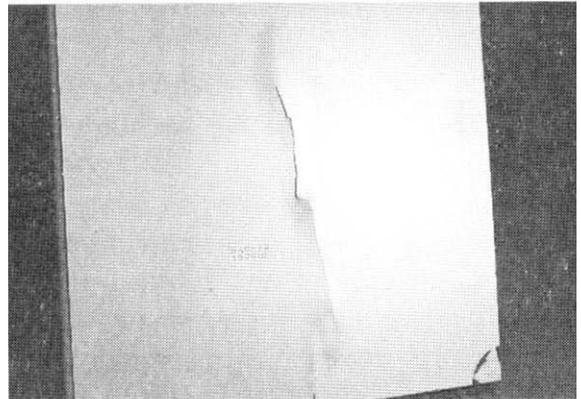


写真6 けいカル板の破断面

たがって、図8(b)の永久たわみ曲線でみると破壊の前に徐々に下降を始めるが、その時点でGRC本体にクラックが入り、その後鋼板の疲労が進むにつれて急速に下降して破壊に至るものと考えられる。

写真6に示したのはけいカル板である。このように、

けいカル板の破断した試験体には裏打ちの鋼板に膨れが生じており、さらに進むと膨れにクラックが入る。鋼板は接着剤で張り付けてあり、容易にはがすことができる。前にも触れたが、図 8 (c) のけいカル板の永久たわみ曲線は GFPC や GRC と違って、荷重の大きさによって最初から異なる曲線を描く。このことは、クラックが生じた結果永久たわみが大きくなるを考えるよりは、荷重が大きいほど鋼板の塑性変形が大きくなるため、けいカル板本体との剥離すなわち膨れが急速に進行し、その結果鋼板の補強効果が失われてけいカル板本体にクラックが入りやすくなると考えられる。

4. まとめ

複合材料系 OA フロアの主流となっているフライアッシュ / 軽石系複合板 (GFPC)、ガラス繊維強化コンクリート (GRC)、けいカル板の市販パネルについて、各材料の耐久性能の特徴を把握し評価基準作成の基礎データを得ることを目的として、疲労特性について比較検討した。その結果、次のような結論を得た。

(1) 繰り返し荷重による強度の低下は、けいカル板が最も少なく静的破壊荷重の約 60% だった。GFPC と GRC の静的破壊荷重は 704kgf と 1280kgf と 2 倍近くの差があるが、疲労限度は両者ともに約 200Kgf と同じ程度に下がった。

(2) 永久たわみは動的なクリープを表していると考えられるが、GFPC の永久たわみは約 0.4mm 前後で、けいカル板や GRC の 1mm, 0.7mm に比べてクリープに強い材料であると考えられる。

(3) 繰り返し荷重によって、クリープに起因すると思われるたわみの増加は観察されたが、たわみ幅についてはいずれの材料も破壊直前まで劣化を認められなかった。

(4) GFPC の疲労破壊では、ガラス繊維はほとんどすり抜け現象を起こさずに切れており、韌性に対するガラス繊維の寄与はあまりないと考えられる。

(5) 鋼板で裏打ちした材料は繰り返し荷重によって、GRC のように本体側が追従しきれずにクラックが入ったり、あるいは、けいカル板のように鋼板の方が塑性変形して剥離し、補強効果を失うなど、本体と補強用鋼板の弾性率の違いが疲労破壊を引き起こす要因になりやすい。

以上まとめたように、市販されている主な複合材料系 OA フロアパネルの疲労特性について調べた。その結果、疲労特性は必ずしも中央集中荷重の静的強度とは対応しておらず、材料の種類あるいは複合形態によって異なる挙動を示すことがわかった。現在、OA フロアパネルの評価方法として、中央集中荷重の静的強度やたわみで代表させることが多いが、実用上、OA フロアとしてはどのような性能が必要なのか、多くの面から総合的に検討すべき時期に来ていると思われる。

参考文献

- 1) 矢野経済研究所：「フリーアクセスフロア市場の展望と戦略」, p.1-19 (1990)
- 2) 日本材料学会編：「機械材料およびその機械的性質と試験法」, 日本材料学会 p. 102-117, (1984)