

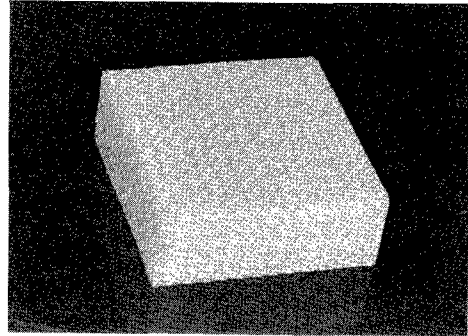
I-B 38

圧縮変形で減衰を生じる複合材料を用いた制震構造

三菱電機㈱ 正会員 山下 秀
㈱ピー・エス 正会員 久保明英

1. まえがき

著者らは、圧縮変形で減衰を生じる複合材料（以下3D複合材料という）を用いた制震構造を開発・検討してきた。従来の制震構造は、免震支承に代表されるように、せん断変形で減衰を生じるゴム系材料を用いた構造が主であった。本文では、3D複合材料の特性を紹介するとともに、橋長500mクラスの斜張橋に、本制震構造（図-3）を適用した場合の、減衰性能の増加程度について報告する。



2. 3D複合材料の基本特性

3D複合材料は、直径1mm程度のガラス繊維強化プラスチックロッドを3次的に組み合わせ、真空密閉した状態で、可とう性エポキシ樹脂で固めた複合材料である（写真-1）。

3D複合材料が塑性し破壊に至るまでの過程は以下のようなものである。圧縮応力130kgf/cm²程度で約3%の非復元変形が生じる。65kgf/cm²を降伏応力と定義し、この値以下で非復元変形は無視できる。圧縮応力が130kgf/cm²程度となると、ロッドと可とう性エポキシ樹脂の間に剥離が始まる。荷重を上げて行くと剥離がさらに進み、ロッドの変形が大きくなり、圧縮応力2,000kgf/cm²程度で、ロッドが破断を始め、耐力が小さく上下する。この段階で載荷方向に並んだ強化材が破断すると考えられる。さらに荷重を上げていくと、耐力と変形は増加するが、圧縮応力2,300～2,600kgf/cm²程度で、残りのロッドが破断し耐力を失う。

3D複合材料の特性値を表-1に示す。圧縮剛性はゴム系材料の約20倍、単位体積重量は1.7tf/m³である。50mm立方の3D複合材料供試体を用いた載荷試験で得られた荷重-変形曲線を図-1に示す。また、応力で50kgf/cm²の荷重の負荷・除荷を、周波数1Hzで行った場合の荷重-変形履歴を図-2に示す。

写真-1 3D複合材料

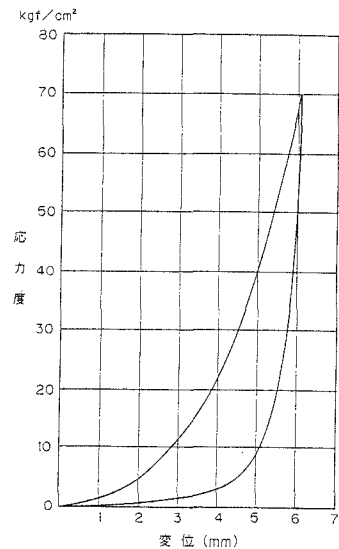


図-1 荷重-変形曲線

表-1 3D複合材料の基本特性

弾性係数 (応力 30kgf/cm ²)	553
降伏応力度	65
破壊強度	2,000

3. 3D複合材料を用いた制震構造

モデル橋は、橋長500mの1主塔斜張橋で、主桁の支持は70-ティンク' となっている。主桁標準部の断面積は21m²、断面2次モーメントは16m⁴、主塔の断面積は40～85m²、主塔付け根の断面2次モーメントは650m⁴、橋脚の断面積は210m²、断面2次モーメントは3,000m⁴である。

断面積1.6m²、長さ1.6mの3D複合材料を主塔の前面・背面、主桁の両横合計4個配置する。主塔と3D複合材料との間に1～2cmの隙間を開け、常時の変形で3D複合材料に荷重が作用しない設計としている。なお、検討に

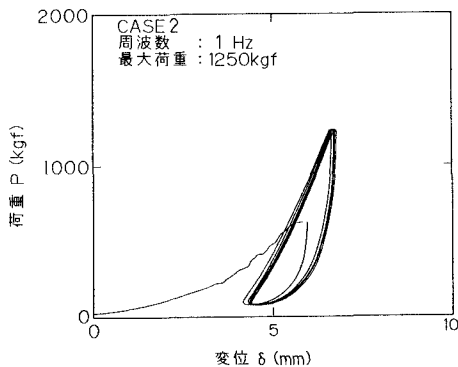


図-2 荷重－変形履歴

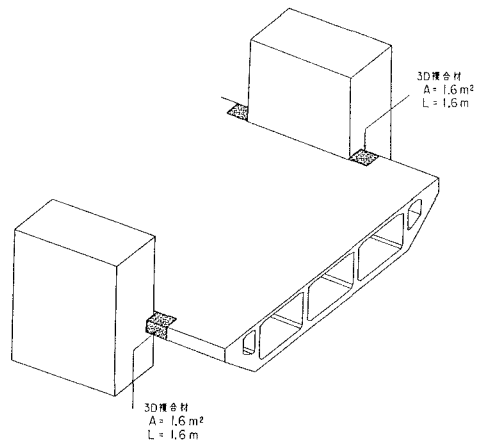


図-3 3D複合材料を用いた制震構造

用いた3D複合材料の μ 係数は、平均応力を $30\text{kgf}/\text{cm}^2$ と考えると、 $5,530\text{tf}/\text{m}$ とした。

地震襲来時には1次モード周期の初めの半周期（約2秒）で、主塔前面側の3D複合材料は圧縮応力 $0\sim 55\text{kgf}/\text{cm}^2$ で振動し、後の半周期で、塔との間に隙間が開き無応力となる。なお、設計対象地震襲来時における、3D複合材料の応力が降伏応力以下となる設計としている。

設計対象地震を超えた地震が襲来した場合、3D複合材料は降伏し永久変形が残る状態となるため、取り替えを検討する必要がある。なお、3D複合材料の破壊強度は $2,000\text{kgf}/\text{cm}^2$ であり、降伏後も変形に比例した力で抵抗し、破壊に至るまでの間に大きい地震エネルギーを吸収可能である。

4. 1次モードの減衰定数増加量

1種地盤用標準地震波を橋軸方向に作用させた場合のモデル橋の応答を応答スペクトル法（SRSS法）で求めた。減衰は本制震構造の効果を3%見込み、減衰定数で5%とした。計算結果は、橋軸方向最大応答変位は 0.288m 、3D複合材料に作用する最大応答圧縮力は $1,776\text{tf}$ であった。また、1次モードの変形エネルギーは $328\text{tf}\cdot\text{m}$ となった。

5cm 立方の3D複合材料を圧縮応力 $0\sim 55\text{kgf}/\text{cm}^2$ で、周波数 0.5Hz で振動させた場合の履歴減衰エネルギーは、載荷試験の結果を参考にすると $1,208\text{kgf}\cdot\text{mm}$ となる。従って、本制震構造で吸収されるエネルギー量は次の値となる。

$$\Delta E = 4 \times 1.6 / 0.0025 \times 1.6 / 0.05 \times 1,208 \times 10^{-6} = 98\text{tf}\cdot\text{m}$$

本制震構造を使用することによる減衰定数増加量は次のようになる。

$$\text{エネルギー損失係数} = 98/328 = 0.299 \quad (=0.547^2)$$

$$\text{エネルギー保存率} = 230/328 = 0.701 \quad (=0.837^2)$$

$$\text{減衰定数増加量} = 0.5/\pi \cdot \ln(1/0.837) = 0.028 \quad (3\%)$$

5. まとめ

圧縮変形で減衰を生じる3D複合材料を、斜張橋の主桁主塔部付け根に挟んで使用する制震構造を、橋長 500m クラスに適用した場合、減衰定数の増加は3%程度となった。

3D複合材料は、従来から有るせん断変形で減衰を生じるゴム系減衰材料とは異なる形態で減衰効果を発揮できる減衰材料であり、コンクリートに比べ弾性係数は約 $1/1000$ 、圧縮強度は約10倍である。現在、多様な構造形式の橋梁が建設されつつあり、それぞれに適した制震構造の開発が望まれている。本研究の成果が参考となれば幸いである。

本研究は建設省土木研究所、（財）土木研究センターと民間19社の高減衰材料を用いた長大橋の免震技術の開発に関する共同研究の一環として行われたものである。