

## 衝突させて 3DSole を潰し減衰させる新しい耐震補強方法

株式会社ピーエス三菱 正会員 桐川 清  
株式会社ピーエス三菱 正会員 久保明英

### 1. はじめに

3DSole は、弾性体であるガラス繊維ロッドを 3 次元に組み、これを粘性体であるエポキシ樹脂で固めた複合材料で、その特性は弾性的であると同時に粘性的でもある。特に、変形能が大きい点、衝撃・振動エネルギーを減衰させる効果が大きい点が、一般の弾性体と趣を異としている。‘3DSole 弾性連結構造’は、衝撃力を抑え、曲げを伝達しない、柔らかい連結方法として、耐震補強工事で実践している。現在、3DSole が潰れるまでに吸収するエネルギーが大きいことに注目し、衝突させて 3DSole を潰し、これにより構造物に蓄積された地震エネルギーを吸収し、構造物の応答を低減する耐震補強方法を開発中である。本稿では、3DSole の特性と、この新しい耐震補強方法を紹介する。



写真-1 3DSole

### 2. 3DSole の破壊吸収エネルギー

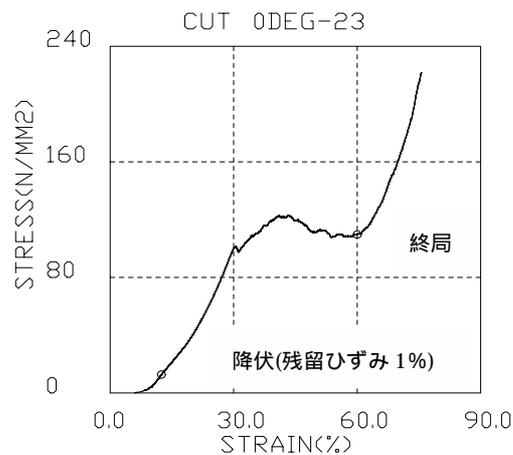
3DSole は、強化材の配向が 3 次元的に上下左右方向に等方であり、等方性材料の (式 1) でせん断弾性係数(G)を求めることができる。またバネ係数(K)を(式 2)で計算できる。ここで、E:弾性係数、 $\nu$ :ポアソン比(=0.3)、A:断面積、L:部材の長さである。

$$G = E / 2(1 + \nu) \quad (\text{式 1})$$

$$K = E \cdot A / L \quad (\text{式 2})$$

除荷後、十分時間が経過した後も、1%を超える非復元歪みが残る状態を降伏と定義する。3DSole の降伏点は  $12.7\text{N/mm}^2$  である。降伏点を境にロッドとエポキシ樹脂の間に付着切れが生じ始めると考えられる。なお、降伏点は、非復元歪みを生じ始める臨界点であり、降伏点を超えても弾性係数はほぼ同じであり、破壊に対してまだ十数倍の安全度を残している。

3DSole は、ロッドが折れた時点で弾性・復元性を失い、‘エポキシ樹脂塊’となる。ロッドが短く折れた後、応力-ひずみ曲線の傾斜が急増し始める。ロッドが短く折れた時点が 3DSole の終局であるが、実務上は応力-ひずみ曲線の傾斜が急増し始める変曲点を 3DSole の終局点として読みとっている。また終局以前の最大応力度を、3DSole の圧縮強度と定義している。なお、3DSole は潰れた後も、粘土状のエポキシ樹脂塊となって載荷版間に残るため、これが抜け落ちない限り急激な耐力低下を起こさない。3DSole の圧縮強度は、 $45^\circ$ タイプ(ロッドと切り出し面の角度が  $45^\circ$ )で  $176 \sim 216\text{N/mm}^2$ 、 $0^\circ$ タイプで  $108 \sim 147\text{N/mm}^2$  である。切り出し角度  $0^\circ$ タイプの 3DSole (50mm x 50mm x 50mm) の圧縮強度試験で得られた応力-ひずみ曲線を図-1 に示す。試験は変位制御で載荷速度 2mm/min で行った。歪み 60%まで潰した時に消費するエネルギーは約 8.0kJ となる。



切り出し角度  $0^\circ$  タイプ

図-1 3DSole の応力-ひずみ曲線

変曲点を 3DSole の終局点として読みとっている。また終局以前の最大応力度を、3DSole の圧縮強度と定義している。なお、3DSole は潰れた後も、粘土状のエポキシ樹脂塊となって載荷版間に残るため、これが抜け落ちない限り急激な耐力低下を起こさない。3DSole の圧縮強度は、 $45^\circ$ タイプ(ロッドと切り出し面の角度が  $45^\circ$ )で  $176 \sim 216\text{N/mm}^2$ 、 $0^\circ$ タイプで  $108 \sim 147\text{N/mm}^2$  である。切り出し角度  $0^\circ$ タイプの 3DSole (50mm x 50mm x 50mm) の圧縮強度試験で得られた応力-ひずみ曲線を図-1 に示す。試験は変位制御で載荷速度 2mm/min で行った。歪み 60%まで潰した時に消費するエネルギーは約 8.0kJ となる。

### 3. 新しい耐震補強方法

耐震補強が必要な橋で、現在も未補強で残されているのは、大河川の多脚橋であるが、この形式ではどの橋  
キーワード 3DSole, 衝突, 破壊エネルギー, 減衰, 耐震補強

連絡先 〒104-0061 東京都中央区銀座7-16-1X G-7ビル) (株)ピーエス三菱 技術本部開発技術部 TEL 03-4562-3091

脚も基礎が深く、補強が必要な判定となるケースが多い。脚数が多く軽微な補強でも工費は莫大となってしまう。これらの橋に対して、「3DSole 弾性連結装置を用いて上部構造を連続化した上で、橋端部に配置した

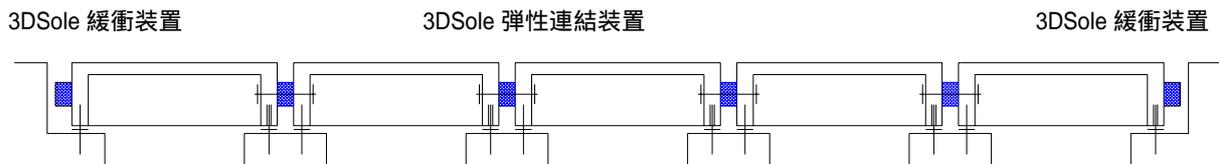


図-2 多脚橋梁を対象とした衝突させて減衰させる新しい耐震補強方法の概念図

### 3DSole の特性

弾性係数：約 210 N/mm<sup>2</sup>

降伏強度：12.7N/mm<sup>2</sup> （残留歪み：1%）

吸収エネルギー：約 8KJ （=60%、50mm × 50mm × 50mm）

等価減衰定数：約 20% （1Hz）

クリープ：約 2% （100 時間で 1.8%を終了）

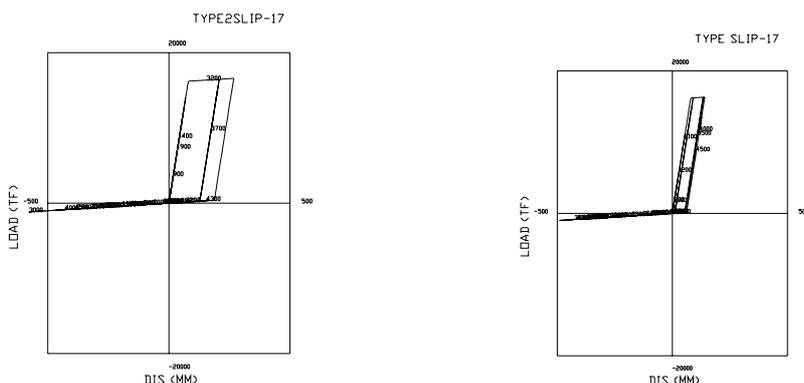


写真-2 3DSole 弾性連結装置

3DSole 緩衝装置を潰して地震エネルギーを減衰させ、上部工に繋がった総ての橋脚の応答を一斉に低減する、新たな補強法を提案している。衝突させることの意義は、衝突時に生じる極めて大きい力を利用して、緩衝材を潰し、あるいはパラペット等の障りの少ない部分を壊すことにある。一般的に、物が壊れる時には大きいエネルギーを吸収するが、壊すには、これもまた大きい力が必要となるので、衝突時の大きい力を利用する。しかし誤ると、過大な力（衝撃力）が作用して、橋梁本体に亀裂、破断、ひび割れ等の重要な損傷を与えてしまう危険もある。なお、桁間に配置した 3DSole 弾性連結装置についても、衝突が起こった際は、潰れて、緩衝効果及び減衰効果を発揮すると期待できる。積層ゴムタイプの免震支承は、数センチ以上の振幅で振動した場合に減衰効果を発揮するが、3DSole は、数ミリの振幅で等価減衰定数 20%の減衰効果を発揮し、それを超えて非可逆変形した場合は、変形量に応じた塑性化エネルギーを吸収する。緩衝装置タイプは、遊間に在って遊間が狭まるのを阻止する装置であり、当然ながら、変位制限効果及び衝突防止効果は免震支承に較べて直接的かつ確実である。3DSole 緩衝装置を用いると、ハニカム緩衝材あるいは防舷材型緩衝材に較べ、コンパクトな寸法で同等のエネルギーを吸収できる。特に、吸収エネルギー、反力、最大変位の設計が簡易となる。

### 4 . 3DSole 緩衝装置の履歴例

3DSole 緩衝装置を両橋端に配置した仮想モデルで計算した 3DSole 緩衝装置の履歴例を図-3 に示す。なお、履歴モデルとして、slip 型非対称バイリニアモデルを用いている。



- ・縦軸数値：20,000tf
- ・横軸数値：500mm
- ・中の数値はステップ数

図-3 3DSole 緩衝装置の履歴例