

## (96) 複合材料 3DSole を挟む単純橋連続化

㈱ピー・エス技術研究所 正会員○久保明英  
 ㈱ピー・エス開発技術部 正会員 赤嶺文繁  
 三菱電機㈱ 先端技術研究所 山下 秀  
 東洋高砂乾電池㈱ゴム技術部 福島一行

### 1. まえがき

3DSoleは減衰機能を有し、材質・強度が安定した、コンパクトな材料バネである。また、3DSoleはクリープ変形が比較的小さいため、連結部に挟んでPC鋼材で締めると、間隙を弾性的に保持することが出来る。単純桁橋隣接径間の桁間に3DSoleを挟み、PC鋼材で締めて連続化したプレストレストコンクリート橋の地震時挙動に関する試算結果を紹介する。

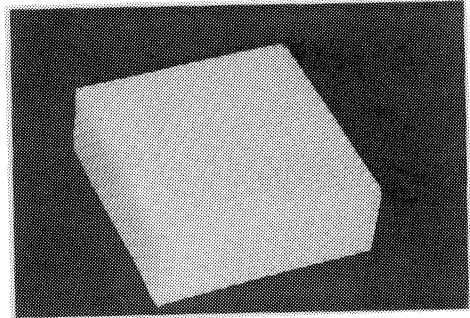


写真-1 3DSole

### 2. 3DSole

#### (1) 概要

3DSoleは、直径1.6mm程のガラス繊維強化プラスチックロッドを、立方体の対角4方向に配置し等方に組み合わせエポキシ樹脂で固めた複合材料である。3DSoleを写真-1に示す。ヤング係数はコンクリートの約1/500でゴムの約20倍、圧縮強度はコンクリートの約10倍、圧縮荷重下のクリープ変形は低クリープゴム系材料の1/3程、単位体積重量は1.7tf/m<sup>3</sup>である。また、圧縮繰り返し変形する時の履歴でエネルギーを吸収する。

#### (2) 静的特性

3DSoleは強化材が上下左右方向に等方な配向となっており等方性材料として扱うことができる。縦弾性係数(E)、せん断弾性係数(G)、ポアソン比( $\nu=0.3$ )として式(1)が言える。

$$G = E / 2(1 + \nu) \quad (1)$$

3DSoleに130kgf/cm<sup>2</sup>の荷重を行った場合、除荷後に3%の非復元歪みが残ることが確認された。そこで、130kgf/cm<sup>2</sup>を3DSoleの降伏応力と定めている。なお、65kgf/cm<sup>2</sup>以下の荷重では非復元歪みは無視できる。

3D複合材料の破壊強度を2,000kgf/cm<sup>2</sup>としている。降伏応力(130kgf/cm<sup>2</sup>)程の圧縮荷重で、ロッドとエポキシ樹脂の剥離が始まる。荷重を上げて行くと剥離がさらに進み、ロッドの曲げ変形が大きくなり、2,000kgf/cm<sup>2</sup>程の荷重でロッドが折れ始める。3DSoleの静的特性を表-1、破壊に至るまでの荷重-変形曲線を図-1に示す。なお、図-1の供試体の受圧面は12.5mm×12.5mmである。

表-1 静的特性

弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	面圧 20kgf/cm <sup>2</sup>	434
	面圧 30kgf/cm <sup>2</sup>	553
	面圧 50kgf/cm <sup>2</sup>	735
圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	降伏応力	65
	破壊強度	2000
せん断強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	降伏応力	51
	破壊強度	408

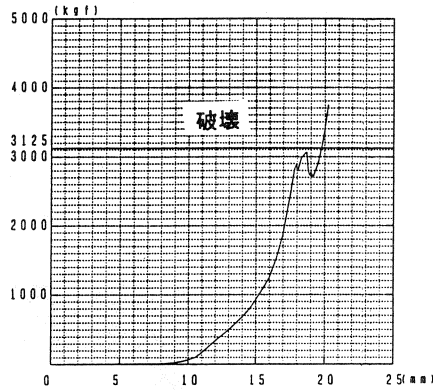


図-1 3DSoleの荷重-変形曲線

(3) クリープ特性

30kgf/cm<sup>2</sup>の圧縮応力を持続的に作用させ、クリープ変形の計測を行った。3DSoleのクリープ変形の経時変化を図-2に示す。約10年後(10<sup>5</sup>h)のクリープ変形を外挿で算出すると約3%の歪みとなる。

(4) 減衰特性

25kgf/cm<sup>2</sup>の持続荷重を作用させた状態で、応力振幅20kgf/cm<sup>2</sup>、1.0Hzの正弦載荷を行った場合の履歴を図-3に示す。試算によると、3DSoleを使用することで橋梁上部の減衰定数を2~3%大きくできる。

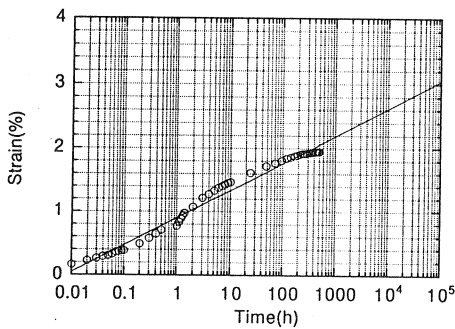


図-2 クリープ特性

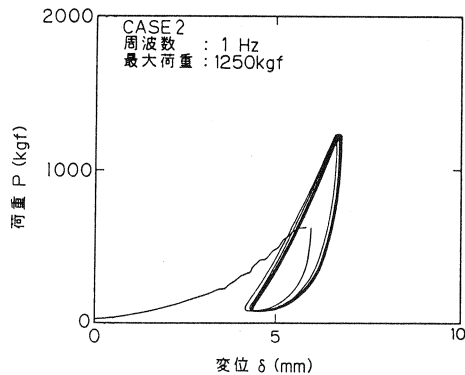


図-3 3DSoleの履歴

3. 3DSoleを挟んだ単純桁連続化構造の応答特性

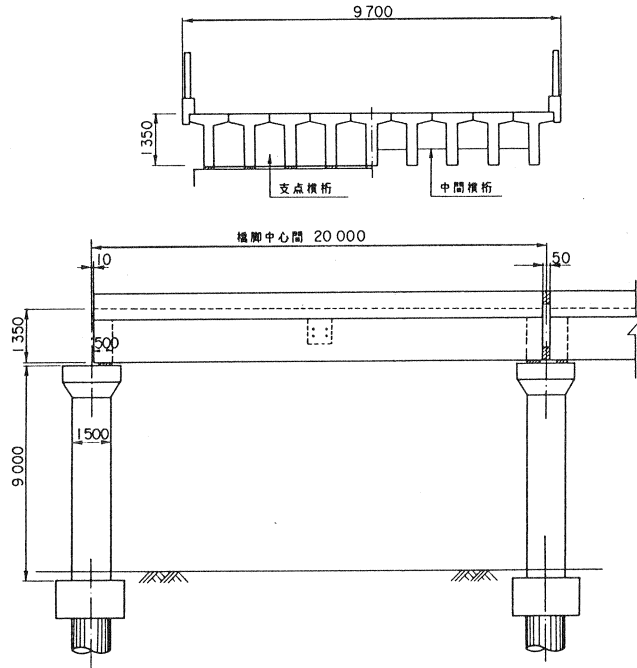


図-4 単純桁連続化構造

(1)モデル概要

3DSoleを挟みPC鋼材で締めて連続化した4径間連続橋をモデルに、地震時応答解析を行いその応答特性を探る。モデルでは、隣接径間の支点横桁間に厚さ50mm、受圧面150mm×150mmの3DSoleを2個挟み、長さ1.0mのPC鋼棒SBPR930/1080 φ26-2本で、3DSoleの圧縮応力度が30kgf/cm<sup>2</sup>となる程の緊張力で締める設定としている。この持続圧縮力30kgf/cm<sup>2</sup>は、桁とPC鋼棒を弾性的に保持して地震時の衝撃力を緩和するために効き、また常時においては桁間相対変位を無くすために効く。対象モデルの上部工1連当たりの重量は約220tfとなっている。3DSoleを挟んだ単純桁連続化構造を図-4、連結部を図-5、解析モデルを図-6に示す。

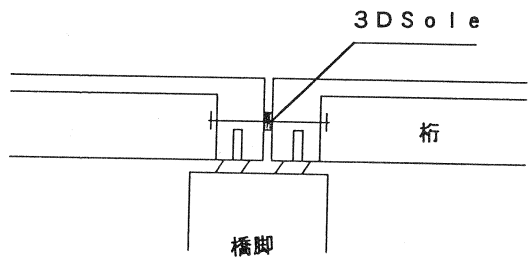


図-5 連結部

(2) 連結部の非線形特性

連結部は、厚さ50mm、受圧面150mm×150mmの3DSole2個と長さ1.0mのPC鋼棒SBPR 930/1080 φ26-2本から成る。3DSoleはPC鋼棒により、30kgf/cm<sup>2</sup>の圧縮プレストレスが与えられている。図-7に連結部の非線形特性を示す。3DSoleに与えられているプレストレスは13.5tfである。13.5tf以上の圧縮力に対しては、PC鋼棒は抜け出てしまうため、3DSoleだけで抵抗する。-13.5tf以上の引張力に対しては、3DSoleと桁に隙間が空き、PC鋼棒だけで抵抗する。長さ50mmの連結部の歪みが76.6×10<sup>-3</sup>に至った状態で、長さ1.0mのPC鋼棒が降伏応力(σ<sub>py</sub>)、歪みが1.0に至った状態で引張強度(σ<sub>pu</sub>)に至る。なお、3DSoleのヤング係数はEs=553kgf/cm<sup>2</sup>である。

[3DSole換算断面積の計算]

$$3DSole : A_s = 0.15 \times 0.15 \times 2 = 0.045m^2$$

$$PC鋼棒 : A_p = 5.188 \times 10^{-4} \times 2 \times E_p / E_s \times 0.05m / 1.0m = 0.1876m^2$$

$$\rightarrow k_2 = A_s / (A_p + A_s) = 0.1935$$

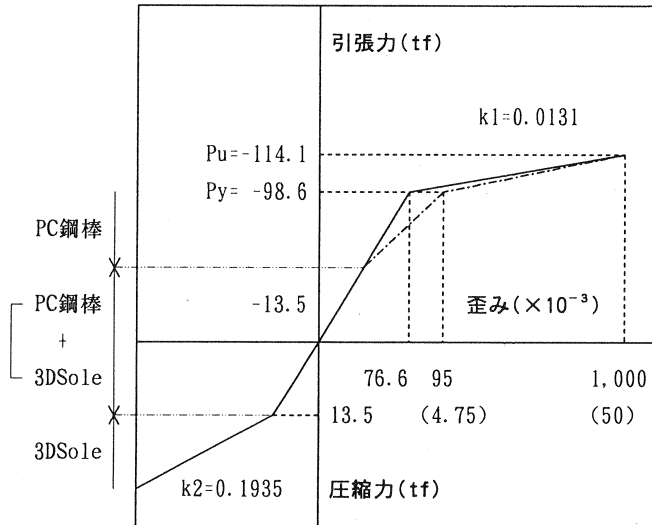


図-7 連結構造の非線形特性

(3) 入力地震動及び解析手法

応答スペクトル解析では、連結部に3DSoleとPC鋼棒を合わせた線形剛性を設定している。

時刻歴解析は、ニューマークのβ法による直接積分法、構造減衰は1次の固有振動数1.41Hzを用いて剛性比例型で設定し、計算時間刻み0.002秒で行った。地震動は道路橋示方書のType-2のI種地盤用標準地震動(JMA KOBE N-S)を用い、構造減衰は3DSoleの減衰効果(2%)を加えて減衰定数で7%とした。

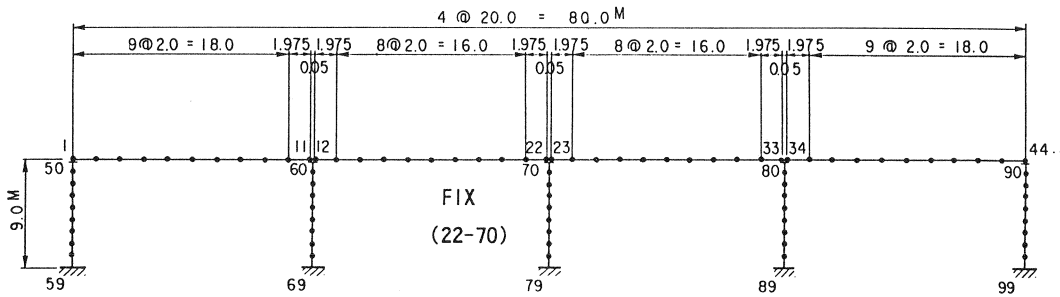


図-6 解析モデル

(4) 応答解析結果

応答スペクトル解析及び時刻歴解析で計算した最大応答値を表-2に、連結部の応答軸力を図-8、図-9に示す。図-9では応答値を8msec間隔でプロットしている。点間の開く所は軸力変化速度が速い部分である。

表-2 応答スペクトル解析と時刻歴解析の応答値

	節点番号	応答スペクトル法	弾塑性
変位 (m)	44	± 0.148	0.113
加速度(m/sec <sup>2</sup> )	44	± 24.0	13.7
加速度(m/sec <sup>2</sup> )	70	± 14.1	-10.9

	要素	応答スペクトル法	弾塑性
軸力	圧縮 (tf)	22-23	740
	引張 (tf)	22-23	-740
モーメント (tf・m)	78-79	± 13,126	+ 6,980

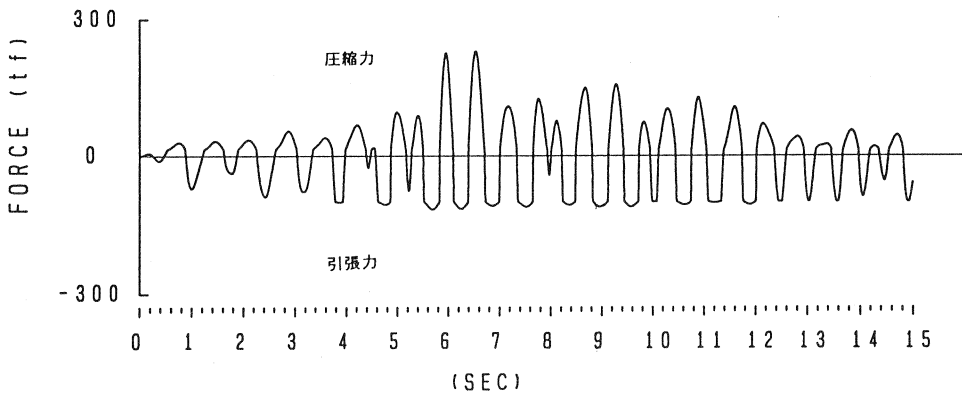


図-8 連結部の応答軸力(要素 22-23)

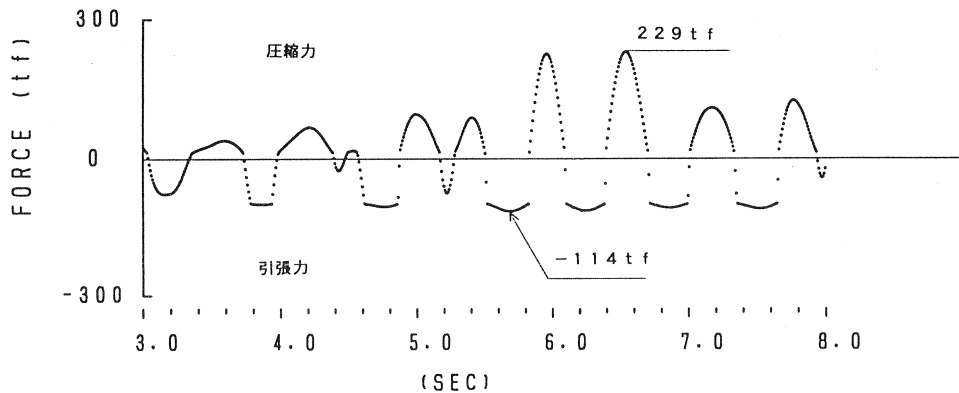


図-9 8msec間隔で出力した連結部の応答軸力(要素 22-23)

#### 4. 考察

- (1)時刻歴解析で計算した3DSoleの最大圧縮応力度は509kgf/cm<sup>2</sup>となった。これは降伏応力度(130kgf/cm<sup>2</sup>)は超えているが、圧縮強度(2,000kgf/cm<sup>2</sup>)までにはまだ余裕を残している。従って、桁間空隙は保持され、桁同士がぶつかることは避けられる。降伏を超える負荷を経験した3DSoleには、除荷後に残留変形が生じ、また特性値も変化するため、取り替えを検討する必要がある。
- (2)時刻歴解析で計算したPC鋼材の最大引張力は57tf/本(ほぼ $\sigma_{pu}$ 相当)となり、破断寸前に至っている。伸びは約50mmである。PC鋼材に作用する引張力を減らすには、支承バネを調整して地震力の多脚分散を図ることが第一に必要である。第二は、まだ余裕のある3DSoleの地震力負担割合を相対的に高める事である。それには、PC鋼材の長さを長くする、あるいは3DSoleの個数を増やす方法がある。なお著者は、PC鋼材が破断する前に効き始める、別のPC鋼材を配置する対策等が、容易ではないかと考えている。

#### 5. まとめ

3DSoleを隣接径間桁間に挟んでPC鋼材で締める構造は、地震時の応答を低減する制震構造でもある。この構造を用いることで、阪神神戸地震クラスの大強度地震時においても桁同士が衝突する事態を免れることが可能である。

#### 参考文献

- 1)久保・山下：圧縮変形で減衰を生じる複合材料を用いた制震構造，第1回免震・制震ワークショップ論文集，1996.11