

# ゴムの圧縮変形を利用した機能分離型 分散ゴム支承を用いた橋梁の設計

徳川和彦<sup>1</sup>・塩谷浩英<sup>1</sup>・金子雅明<sup>1</sup>・西谷真吾<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 中部本社（〒451-0046 名古屋市西区牛島町2番5号）

## 1. はじめに

現在、タイプB支承として多く用いられている地震時水平力分散ゴム支承は、ゴムのせん断変形により地震動を受け持つことから地震時の上部工移動量が大きく、また鉛直荷重と地震時水平力を同一支承で支持するため、両機能を満足するために支承本体が大きくなり支承コストが高くなる傾向にある。そのため、現在では鉛直荷重と地震時水平力を別々の機構で支持させることで設計の合理化、コスト縮減を図る機能分離型支承が数々提案されている。

この機能分離型支承では、鉛直荷重をすべり摩擦支承で支持させることが一般的で、この摩擦による減衰効果を適正に評価し設計に取り込めれば、さらに合理的な設計が可能となるため、すべり摩擦支承における摩擦減衰の定量化については、現在さまざまな研究が行われている。

本稿では、機能分離型支承の内「ゴムの圧縮変形を利用した地震時水平力分散ゴム支承（以降DSR装置と記す）」を多径間PCプレテン連結T桁橋に適用した事例について、鉛直支承のすべり摩擦による減衰効果が橋全体の地震応答に及ぼす影響に着目して報告する。

表-1 橋梁諸元一覧表

|       |                            |            |
|-------|----------------------------|------------|
| 橋梁形式  | PC7径間連結プレテンT桁橋（9主桁）        |            |
| 橋の種類  | B種の橋                       |            |
| 地域区分  | A地域（ $G_z=1.0$ ）           |            |
| 地盤種別  | Ⅱ種地盤                       |            |
| 有効幅員  | 0.5+2@3.5+1.5=9.0m         |            |
| 道路線形  | $R=\infty$                 |            |
| 斜角    | $\theta=90^{\circ}00'00''$ |            |
| 支承の種類 | タイプB支承                     |            |
| 支承条件  | 橋軸方向<br>弾性支持<br>（DSR装置）    | 直角方向<br>固定 |
| 中間支点  | 可動                         | 固定         |
| 端支点   | 可動                         | 固定         |
| 橋脚形式  | RC張出し式橋脚（円柱φ2500）          |            |
| 基礎形式  | 場所打ち杭φ1000                 |            |
| 適用基準  | 道路橋示方書・同解説（平成14年3月）        |            |

## 2. 検討対象橋梁

### (1) 橋梁概要

対象橋梁の側面図および橋脚正面図を図-1、図-2に、橋梁諸元一覧表を表-1にそれぞれ示す。本橋は、PC7径間連結プレテンT桁の桁連結部に機能分離型支承の1つであるDSR装置を採用した地震時水平力分散構造である。横桁厚が小さく、DSR装置の設置が難しい端橋脚での支承条件は可動とし、直角方向にはすべての橋脚で固定となる。

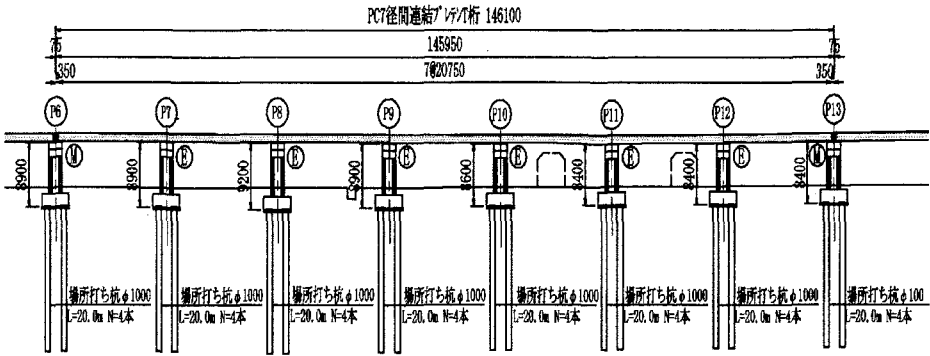


図-1 橋梁側面図

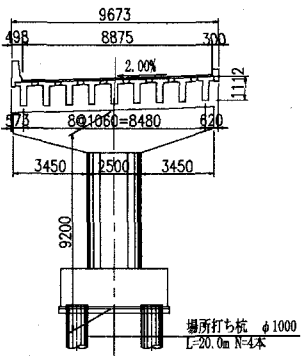


図-2 橋脚正面図

## (2) 支承概要

図-3 に DSR 装置の概要図を示す。DSR 装置は、従来のアンカーバーを矩形にし、橋軸方向の両側に板状のゴムを数枚重ね合わせて配置した構造である。ゴムの圧縮バネにより地震時水平力を下部工へ分散させると同時に、ハードニング現象も利用して地震の変形を抑制することが可能となる。

また、ゴム板中に設けた数個の穴により、初期剛性を低下させ、温度変化およびクリープ・乾燥収縮に下部工へ作用する水平力を低減させるとともに、地震時の衝撃力を緩和している。さらに高減衰ゴムの採用により減衰性能の向上を図った構造である。

表-2には本橋で採用したDSR装置の諸元を示す。DSR装置は中間橋脚すべてで同形状であり、□110mmのアンカーバーの両側に6枚ずつのゴム板を配置した構造である。また鉛直荷重を受け持つ支承には図-4に示すすべりゴム支承を採用する。

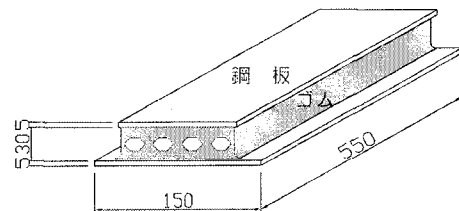
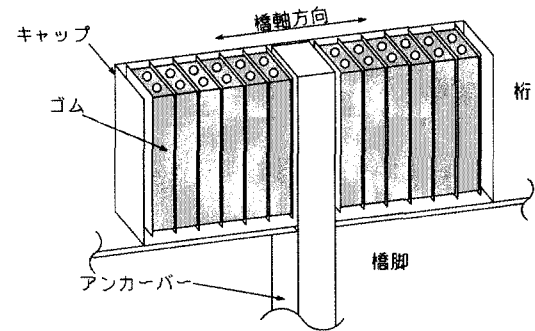


図-3 DSR装置概要図

表-2 DSR裝置諸元一覽表

|        |         |         |                   |     |
|--------|---------|---------|-------------------|-----|
| 橋脚No.  | ストッパー   | DSR/バッド |                   |     |
|        | 形 状     | 基 数     | 弾性係数              | 幅   |
|        | □       | N       | G                 | a   |
|        | mm      | 基       | N/mm <sup>2</sup> | mm  |
|        | 110     | 8       | 1.00              | 110 |
| P7~P12 | DSR/バッド |         |                   |     |
|        | 長 さ     | 厚 さ     | 層 数               | 総 厚 |
|        | b       | te      | n(片側)             | Σte |
|        | mm      | mm      | 層                 |     |
|        | 550     | 30      | 6                 | 180 |

### 3. 静的解析による結果

本橋では、静的解析により構造寸法初期設定を行った。静的解析では、すべりゴム支承の摩擦抵抗は無視し、DSR 装置の水平剛性のみを考慮するものとした。表-3 に DSR 装置で水平力を支持する中間橋脚のうち、P8 橋脚を取り上げ、橋脚柱基部に関する橋軸方向保耐法の照査結果を示す。

橋脚はいずれも曲げ破壊型で、タイプⅡ照査時で決定される。一方、DSR 装置についても、保耐法を考慮した形状寸法初期設定を行ったが、形状は常時移動量の照査で決定され、DSR 装置許容水平力 (5808kN) は橋脚の保有水平耐力  $P_a$  に相当する水平力に対して十分余裕のある結果となった。

震度算出時の橋全体の固有周期は、タイプⅠ地震時で 0.98 秒、タイプⅡ地震時で 0.86 秒であり、タイプⅡ地震時の固有周期がタイプⅠより短いのは、DSR 装置のハードニングの影響を受けることによる。

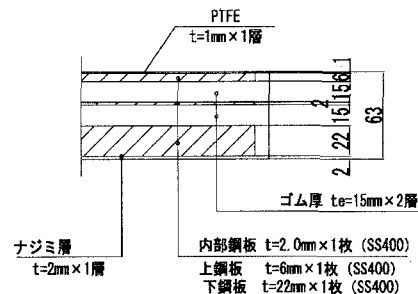


図-4 すべりゴム支承（鉛直支承）

表-3 保耐法照查結果

| 橋 脚                    | P8橋脚 橋軸方向 |      |
|------------------------|-----------|------|
|                        | タイプⅠ      | タイプⅡ |
| Pa (kN)                | 2877      | 2883 |
| Khc・W (kN)             | 2023      | 2505 |
| W (kN)                 | 4495      | 4395 |
| Khc                    | 0.45      | 0.57 |
| Cz・khco                | 0.85      | 1.75 |
| $\mu a$                | 2.35      | 5.27 |
| 許容残留変位 $\delta Ra(mm)$ | 74.0      |      |
| 残留変位 $\delta R(mm)$    | 5.6       | 44.8 |
| 最大応答塑性率 $\mu r$        | 1.38      | 4.06 |

#### 4. 動的解析

以下には，静的解析と同様に橋軸方向に着目した動的解析について述べる。

### (1) 解析モデル

図-5 に解析モデルを示す.

解析は直接積分法による非線形時刻歴応答解析とし、積分法は Newmark  $\beta$  法（平均加速度法  $\beta = 1/4$ ）を採用した。

動的解析はレベル2地震動を対象とし、入力地震動は道路橋示方書に規定されるⅡ種地盤の標準波形<sup>1)</sup>を用いた。応答値については、タイプⅠ、タイプⅡそれぞれで、標準波形3波の平均値にて評価を行う。減衰については、レーリー減衰にて評価し、解析に用いた減衰定数は表-4の値を設定した。なお、DSR装置の等価減衰定数は6%程度を有することが報告されている<sup>2)</sup>が、本解析では安全側の考慮により4%を設定した。

### (2) 履歴特性

DSR装置の圧縮特性は、図-6に示すように、マルチリニア型で仮定した。ひずみ25%よりハードニングを開始し、ハードニング領域では、圧縮バネが急激に高くなる特性を示す。許容圧縮変形率は40%とした。ハードニング後の剛性は圧縮変形率に応じて変化することから、履歴曲線モデルは図-7に示すマルチリニアモデルを採用した。

すべりゴム支承は、最大摩擦力 $P = \mu \cdot Rd$ を超えるとすべりだす図-8に示す完全弾塑性型の履歴特性にて評価した。動摩擦係数 $\mu$ は、実際には面圧依存性および速度依存性があることが確認されており<sup>3)</sup>、橋脚の塑性化や上下方向の地震動によってその摩擦力が変化する。しかし現在では、その定量的評価法が確立されていないため、本解析では $\mu$ は一定として評価し、動摩擦係数の大きさの程度が橋梁の地震応答に及ぼす影響について、摩擦係数の異なる4ケース（摩擦なし、動摩擦係数 $\mu = 0.10, 0.15, 0.20$ ）の解析を実施した。

なお、橋脚塑性ヒンジバネの履歴特性は武田型のバイリニアモデルにて評価した。

### (3) 動的解析結果

P7～P12 橋脚における DSR 装置の最大応答水平力、最大応答変位を図-9、図-10 にそれぞれ示す。図-11 には、各橋脚基部の塑性回転バネにおける最大応答回転角を降伏回転角にて除し、塑性率として評価した。

結果より、DSR 装置の応答水平力、橋脚基部での応答回転角などの各応答値は、動摩擦係数 $\mu$ の大きさに応じて低減され、その低減効果は DSR 装置の応答水平力を摩擦なしのケースと $\mu = 0.1$ のケースと比較した場合、タイプⅠ地震動で50%程度、タイプⅡ地震動で30%程度と大きなものとなる。

ただし、その効果は、各照査項目で異なるほか、必ずしも摩擦係数と一定の相関関係とならない。

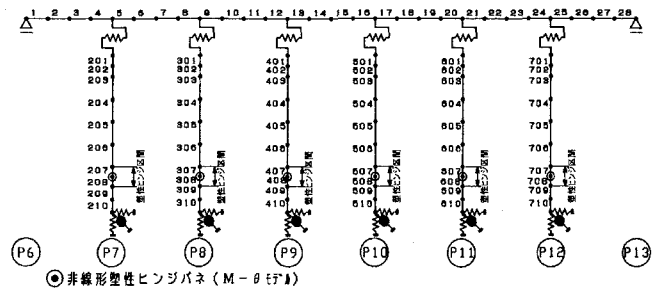


図-5 解析モデル図

表-4 等価減衰定数の設定

| 構造部材              | 各構造要素の等価減衰定数 |
|-------------------|--------------|
| 上部構造              | 0.03         |
| DSR装置             | 0.04         |
| すべり支承             | 0            |
| 下部構造 (RC橋脚) 線形部材  | 0.05         |
| 下部構造 (RC橋脚) 非線形部材 | 0.02         |
| 基礎                | 0.2          |

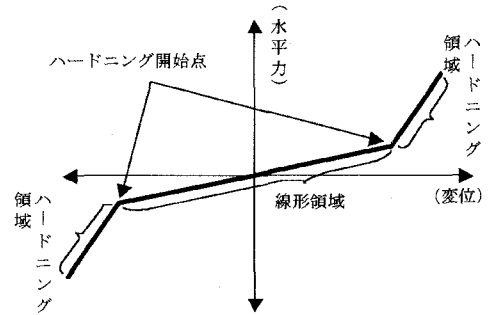


図-6 DSR装置の圧縮特性

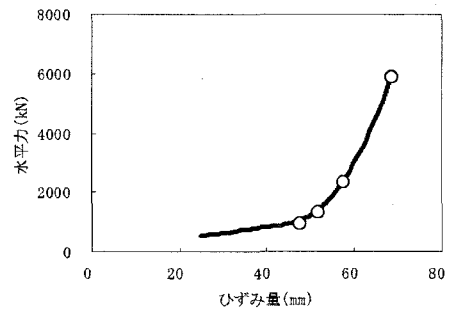


図-7 履歴曲線モデル

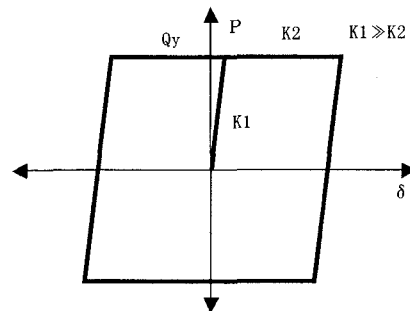


図-8 すべりゴム支承の履歴特性

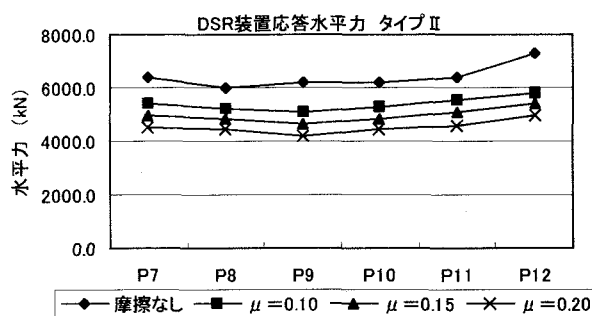
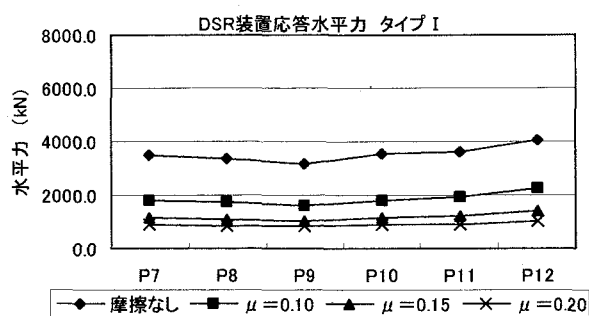


図-9 DSR装置最大応答水平力

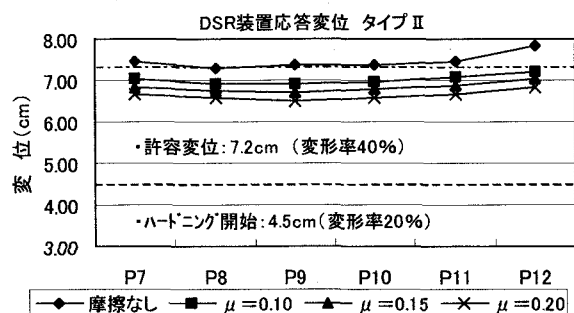
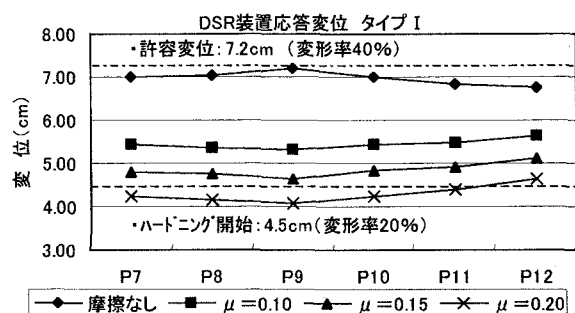


図-10 DSR装置最大応答変位

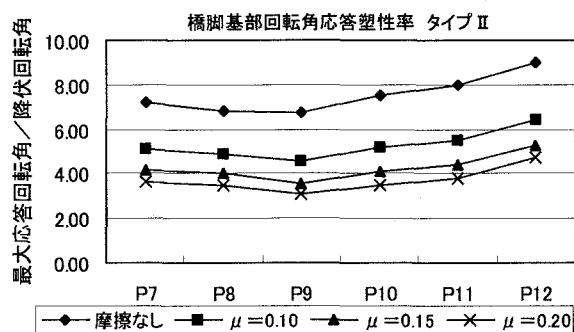
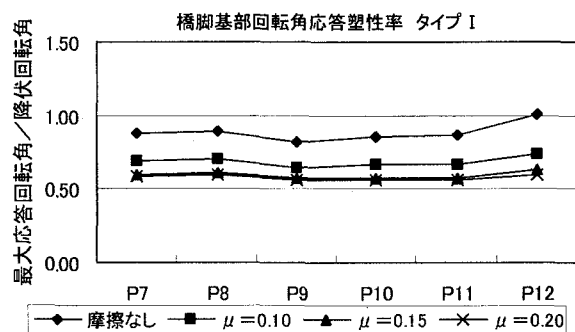


図-11 橋脚基部回転角応答塑性率

特にタイプⅠ，タイプⅡ地震動で，応答値低減の効果が大きく異なるのは，摩擦減衰そのものの効果のほか，DSR装置のハードニングの度合，あるいは橋脚の塑性化の程度が異なることで，橋全体の振動特性が変化する影響によるものと考えられる。

## 5. まとめ

本設計例では，DSR装置を中間橋脚に設置して地震時水平力分散構造とした多径間連続橋を対象に，鉛直支承であるすべり摩擦支承の摩擦減衰が橋全体の地震応答に及ぼす影響に着目して検討を行った。

その結果，摩擦係数の大きさに応じて各地震応答値が低減され， $\mu = 0.1$ 程度の動摩擦係数を考慮することでかなりの効果が期待できることが明らかとなった。

すべり摩擦支承の摩擦減衰は，橋の構造諸条件，振動特性によってその効果が異なることが予想され

るものの，地震応答値の低減に有効で，合理的な設計を可能とすることは明らかである。今後は，摩擦係数の面圧依存性や速度依存性など動的変動の影響を考慮した上での定量化により，その減衰効果に対する信頼性のある評価手法を確立することが課題と考える。

## 参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2003年3月
- 2) 伊津野和行，児島孝之，鈴木亮介，和田教志，吉野伸：ゴム材の圧縮変形を利用した反力分散装置のハイブリッド地震応答実験，土木学会論文集，No. 598/I-44，pp. 299-309，1998年7月
- 3) 灰村透，鶴野禎史，北沢理仁：各種すべり材の摩擦特性に関する基礎的研究，第6回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2003年1月