

常時固定シアーピン付免震構造物のサブストラクチャー・ハイブリッド地震応答実験

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○大塚 隆人
 京都大学工学研究科 フェロワー 家村 浩和
 川崎重工業株式会社 正会員 玉木 利裕

京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 川崎重工業株式会社 三木 敦

1. はじめに

本研究では、常時固定シアーピン付免震装置のシアーピン破断が、免震コンテナクレーンの地震応答に及ぼす影響を明らかにすることを目的としてサブストラクチャー・ハイブリッド地震応答実験を行った。

2. シアーピン付免震装置

本装置はシアーピンとアイソレーター（積層ゴム支承）からなる。通常時はシアーピンにより装置が固定され、風荷重・制動荷重等に抵抗する（非免震状態）。強震動下で設定値を超える荷重が作用すると、シアーピン破断のためアイソレーターが作動し、構造物は免震状態となる（図1）。シアーピンの破断に際しては、支承及び構造物に衝撃的な荷重が作用することが予想されるが、それが構造物の地震応答に与える影響を解明する必要がある。本研究では、こうしたシアーピン破断を伴う免震構造物の地震応答を実験的に検証するため、サブストラクチャー・ハイブリッド実験手法による免震装置の縮小模型の載荷試験を行うこととした。

3. 実験システム

今回の実験に用いたシステムの全体図を図2に示す。水平載荷用アクチュエーターは変位制御であるが、シアーピン破断前の剛性の高い供試体の微小変位の制御が困難となる。そのため、アクチュエーター-供試体間の弾性結合載荷の手法を採用した。弾性要素を介することにより、アクチュエーターから見た見かけの供試体剛性が低下すること、また供試体の変形範囲に比べて大きなアクチュエーター変位の範囲で制御を行うことになるなどの理由から、高い剛性を持つ供試体の場合にアクチュエーターの制御が容易になり、載荷変位精度を向上させることができる。シアーピン破断により供試体の剛性が低下した場合にはアクチュエーター変位が供試体変位に近くなるため、破断後の大変位載荷の要求を同時に満たすことができる。この方法を用いたハイブリッド実験の信頼性は、数値シミュレーションにより確認している。

4. サブストラクチャー・ハイブリッド地震応答実験

想定構造系である免震コンテナクレーンを図3に示すようにモデル化した。このモデルを用い、複雑な挙動を示すシアーピン付免震装置の復元力特性を載荷実験より検出し、数値モデル化されたコンテナクレーン部はコンピュータにより計算するサブストラクチャー・ハイブリッド実験を行った。実験は実機の1/3スケールで行い、入力地震動は神戸ポートアイランド波（図4）を用

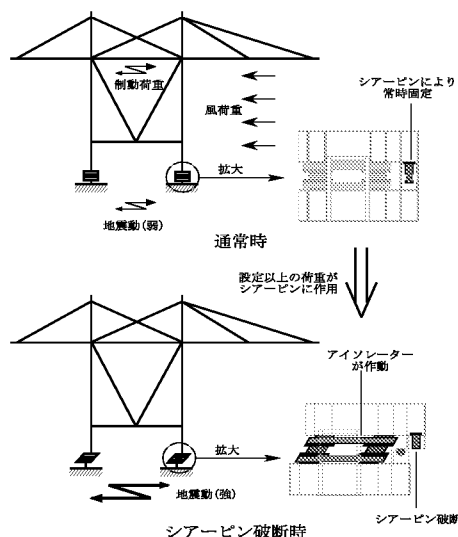


図1 シアーピン付免震装置

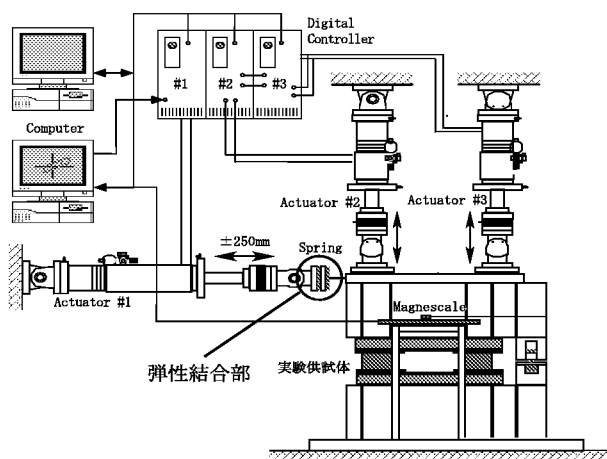


図2 実験システム

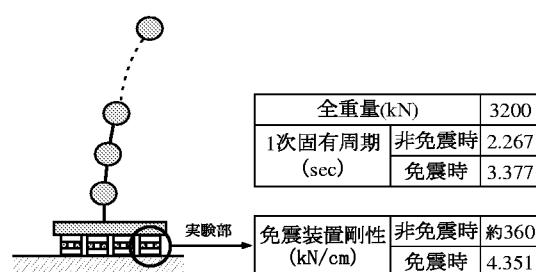


図3 簡易動的モデル（1/3スケール）

Key Words: サブストラクチャー・ハイブリッド地震応答実験, 常時固定, シアーピン付免震構造物

〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 tel.(075)753-5088 fax.(075)753-5926

いた。数値積分法は Operator Splitting 法であり、時間刻みは 0.01(sec) である。

図 5 よりシアーピンの破断前と破断後で構造系の固有周期が変化し、固定状態から免震状態に移行していることが確認できる。また、シアーピン破断直後は、その破断の衝撃により高次モードが励起されることがわかる。

ここで、免震装置に破断荷重を静的に作用させた場合のモード系を考え、破断荷重に対する高次モードの刺激係数

$$\bar{\beta}_n = \frac{\{\phi_n\}^T \{f\}}{\{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\}} \quad (1)$$

$\{\phi_n\}$: n 次モードベクトル, $[M]$: 質量マトリクス

$\{f\}$: 加力点で 1、それ以外は 0 の外力ベクトル

を用いて

$$|\ddot{q}_n| = |\bar{\beta}_n| r_f \quad (2)$$

q_n : n 次モード座標

r_f : 性能試験より求めた破断荷重

と近似してシアーピンが支えてきた荷重が開放されるときの応答加速度を求めるとする。この静的近似値と、実験より得られた破断直後の高次モード振動 1 周期分の加速度振幅は図 6 のように対応し、この付加的な短周期応答の強度は、シアーピンの破断強度とほぼ比例関係であることがわかる。

5. 減衰装置の付加

得られたシアーピン付免震装置の数値モデルを用いて、アイソレーターに 30 %減衰を与える粘性ダンパーの設置を仮定し、解析的検討を行った。その結果、粘性ダンパーの付加は、上部構造物の破断時の高次モードによる振動を緩和し、破断後の応答を低減させることがわかる (図 7)。

6. 結語

本研究はシアーピン付震装置のシアーピン破断が、免震コンテナクレーンの地震応答に及ぼす影響を実験的に検討した。ハイブリッド実験によりシアーピン付免震装置の免震効果およびシアーピン破断の作用による高次モードの応答の発生を示した。高次モードの応答の強度はシアーピンの破断強度を高くするほど大きくなり、その大きさは免震装置に破断荷重を作用させたモード形状から静的近似することにより推定することができる。また、この問題を解決するためには、数値計算に示したように、装置に粘性ダンパーを付加するなどの対策が有効であると推測される。

参考文献

- 1) F.Seible, G.Hegemier and A.Igarashi, "Simulated Seismic Laboratory Load Testing of Full-Scale Buildings", Earthquake Spectra, Vol.12, No.1, pp.57-86, 1996.

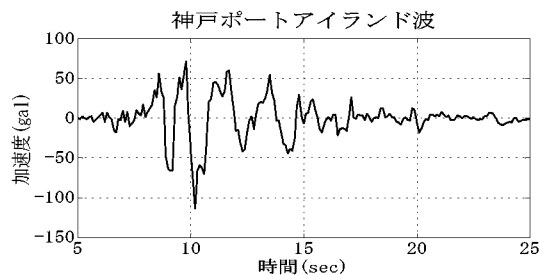


図 4 入力地震動 (1/3 スケール)

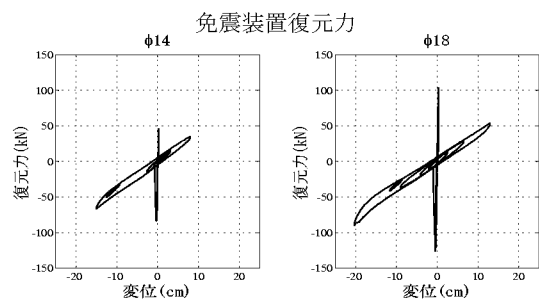
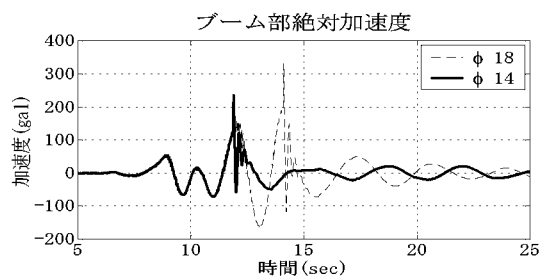


図 5 ハイブリッド実験結果

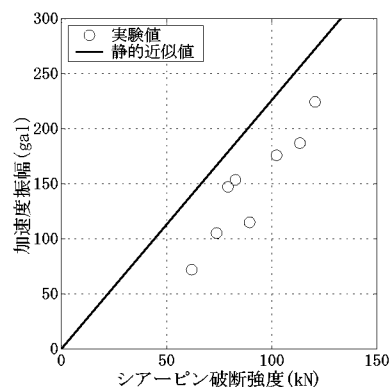


図 6 シアーピン破断強度と破断時高次モード振動のブーム部加速度振幅との関係

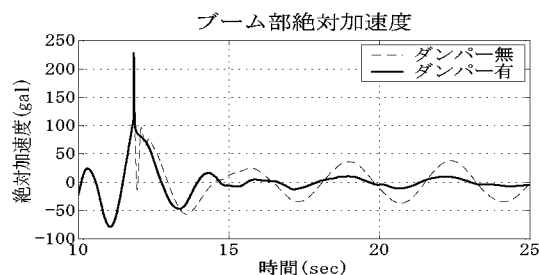


図 7 粘性ダンパーの付加による応答比較