

## せん断抵抗型ダンパーにより耐震補強した杭式栈橋の構造性能

前田建設工業（株） 正会員 伊藤 始, 竹内秀聡, 米田大樹  
原 夏生, 舟橋政司

## 1 はじめに

鋼管杭式栈橋（以下、栈橋）をはじめとする船舶の係留施設は、大規模な地震後の人員および緊急物資の運搬において重要な役割を担っている。そのため、既存栈橋を今後発生が予想される地震力に耐えうよう補強することは、被災後の速やかな社会機能の回復にとって極めて重要である<sup>1)</sup>。

本研究では、栈橋に対してせん断抵抗型ダンパーを用いた耐震補強工法を提案し、解析により補強効果を確認した。せん断抵抗型ダンパー（以下、ダンパー）とは、鋼板の面内せん断変形により荷重を負担する部材であり、主に高層建築物で制震を目的に用いられている<sup>2)</sup>。ここでは、ダンパーによる補強効果を実験的に確認することを目的に、耐震補強の有無をパラメータにした鋼管杭試験体の荷重実験結果を報告する。なお、本工法は、新設の杭式栈橋に対しても適用可能な工法として開発を進めている。

## 2 実験概要

## 2.1 実験ケースおよび試験体概要

実験ケースは、補強の有無の2ケース（基準ケース、補強ケース）とした。試験体形状・寸法および荷重方法の概要を図-1に示す。試験体は、図-1に示すように鋼管杭を用いた栈橋の上下を反転させたモデルとした。反力床に固定した部分が上部コンクリート側に相当し、試験体頂部が地盤側に相当する。

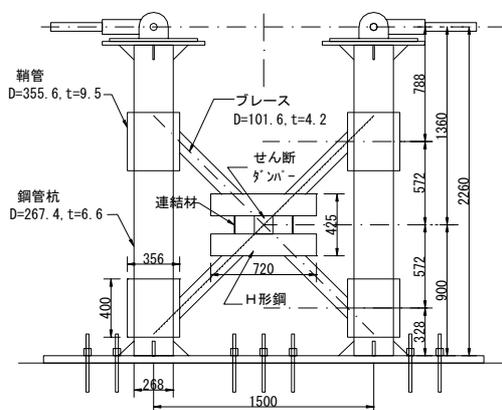


図-1 実験概要（補強ケース）

基準ケースの試験体は、モデルおよび荷重ジャッキの対称性を考慮して、鋼管杭を1本配置した構造とした。補強ケースの試験体は、2本の鋼管杭の間に、ダンパーとブレースを配置した構造とした。鋼管杭とブレースの接合には、鋼管杭よりも大きい直径355.6mmの鋼管（鞘管）を用い、鋼管杭と鞘管の間に無収縮モルタルを充てんして、荷重を伝達する構造とした<sup>3)</sup>。

試験体製作に使用した主な鋼材の降伏強度と引張強度を表-1に示す。これらの強度は、ミルシートの値である。ダンパーは、厚さ4.5mm、幅116.0mmの鋼板であり、降伏荷重は、式(1)で計算され、84.7kNである。なお、ダンパー幅は、フランジ厚さを含む。

$$Q = \tau \times A = 162.2 \times 522.0 = 84668 \text{ N} = 84.7 \text{ kN} \quad (1)$$

ここに、 $\tau$ ：鋼材のせん断強度 ( $=f_y/\sqrt{3}$ )、 $f_y$ ：鋼材の降伏強度 ( $\text{N/mm}^2$ )、 $A$ ：ダンパー断面積 ( $\text{mm}^2$ ,  $=Bt$ )

## 2.2 荷重方法

荷重方法は、上部コンクリートの地震時慣性力が鋼管杭に作用した場合のモーメント分布を模擬して、上部コンクリート側にあたる試験体底部を固定し、頂部に荷重を作用させる方法とした。荷重は、解析で得られた鋼管杭の全断面降伏時における荷重点水平変位 $\delta_y$  (40mm)を基準に正負交番に変位を増加させることで行った。荷重ピッチは、 $2\delta_y$ までは $0.5\delta_y$ 刻み、それ以降は $1\delta_y$ 刻みとした。補強ケースの試験体には、鋼管杭2本に対して、それぞれに油圧ジャッキを配置し、荷重を作用させた。2台の油圧ジャッキは、荷重点変位を合わせるように制御した。計測は、荷重、変位、ひずみについて行った。ひずみは、鋼管杭、ブレース、ダンパーに貼付したひずみゲージで計測した。

表-1 鋼材物性

	材質	寸法	板厚	降伏	引張
		$D, B$	$t$	強度	強度
		mm	mm	$\text{N/mm}^2$	$\text{N/mm}^2$
鋼管杭	STK400	$D=267.4$	6.6	356	455
ダンパー	SS400	$B=110.0$	4.5	281	433

キーワード 杭式栈橋, 耐震補強, せん断抵抗型ダンパー, 鋼管杭, 正負交番荷重実験

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 TEL03-3977-2295 FAX03-3977-2251

### 3 荷重－変位関係と破壊形態

図-2 に荷重－変位関係を示す．本検討では基準ケースと補強ケースを比較するために，基準ケースの鋼管杭を2本と仮定し，基準ケースの荷重は，計測された荷重の2倍として表示した．また，補強ケースの変位は，両方の載荷点で得られた変位の平均値とした．

基準ケースでは，荷重 60 kN 付近で固定側の鋼管杭の引張縁および圧縮縁が降伏した．載荷点変位 40 mm ( $1 \delta_y$ ) 付近で鋼管杭が全断面降伏し， $2 \delta_y$  で最大荷重 133 kN に達した．その後，固定側の鋼管杭が座屈することで荷重が低下し， $5 \delta_y$  で降伏荷重を下回った．

一方，補強ケースでは，載荷直後から荷重増加にともないダンパーにおける  $45^\circ$  方向のひずみが増加しはじめ，荷重 78kN でダンパーが降伏に至った．荷重は，変位増加にともない増加し， $1.5 \delta_y$  で最大荷重 356 kN に達した．その後， $2 \delta_y$  でダンパー破断， $3 \delta_y$  でダンパー部・縦リブ破断， $4 \delta_y$  で連結材破断および鋼管杭座屈が発生し，徐々に荷重が低下した．補強ケースでは，鋼管杭の固定部に鞘管を配置したため，固定部側鞘管の上部で座屈が生じた．

### 4 耐力に関する考察

補強した試験体の耐力に関して，ダンパー負担荷重と鋼管杭負担荷重をそれぞれ算定することで考察した．実験に用いたダンパーは，図-3 に示すような相対変位とせん断力の関係を示すことが既往の実験<sup>2)</sup>により確認されている．今回の計測から各  $\delta_y$  ごとの相対変位は，図-3 に示すようになり，各  $\delta_y$  においてダンパーが負担する荷重は，同図のせん断力に相当する．この相対変位の限界値は，実験でのダンパー破断時変位（図-2）に一致した．ダンパー負担荷重と載荷点変位の関係を図-4（△印）に示す．

次に鋼管杭負担荷重を検討した．基準ケースでは，固定部の抵抗モーメントで鋼管杭の耐力が算定されるが，補強ケースでは，鞘管を配置したため，固定部側の鞘管上部で抵抗モーメントが最小となり，この部分で鋼管杭の耐力が算定される．そのため，補強ケースの鋼管杭負担荷重は，載荷点からの距離（作用モーメント）を考慮し，基準ケースの結果を修正して求めた（図-4，◆印）．図-4 にダンパー負担荷重と鋼管杭負担荷重を足し合わせた合成荷重（○印）を示す．合成荷重と補強ケースの実験結果（■印）を比較するとダンパー破断前の  $1.5 \delta_y$  までは良い一致を示した．

### 5 まとめ

- せん断抵抗型ダンパーは，小さな変位レベルで大きな荷重を負担することが可能であり，本実験での補強による荷重増加は，223kN であった．
- 補強ケースの荷重は，鋼管杭負担荷重とダンパー負担荷重の足し合わせで算定可能であった．

### 参考文献

- 1) 横田弘ら：鋼直杭式栈橋の地震時保有耐力に関する実験および解析，港湾技術研究所報告，第 38 巻，第 2 号，pp.223-255，1999．
- 2) 岩岡信一ら：普通鋼 K 型制震ブレース付架構の弾塑性性状と耐震補強への適用，日本地震工学シンポジウム，第 10 回，pp.247-252，1998．
- 3) (財) 沿岸開発技術研究センター：格点式ストラット工法技術マニュアル，沿岸開発技術ライブラリー，No.8，2000．

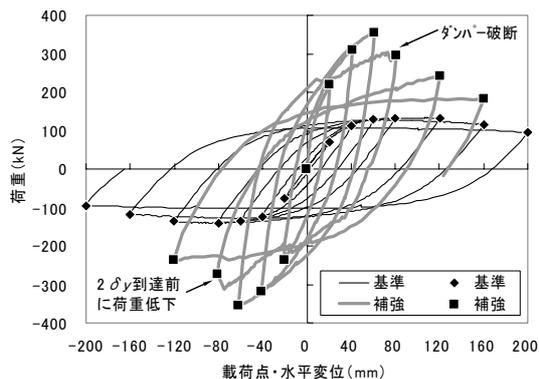


図-2 荷重－変位関係

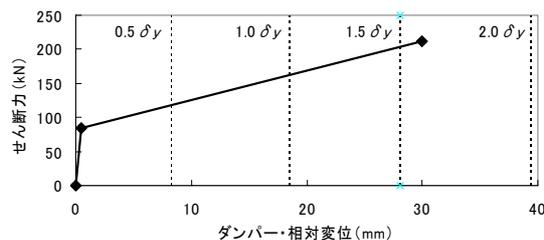


図-3 ダンパー相対変位

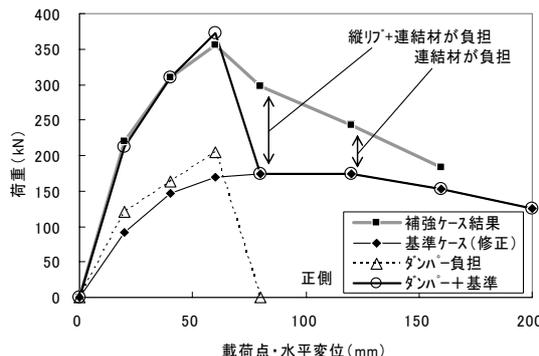


図-4 鋼管杭負担荷重とダンパー負担荷重