

鋼管矢板井筒増設によるケーソン基礎の耐震補強効果 - 遠心模型実験 -

京都大学大学院 学生会員 磯部公一 京都大学大学院 正会員 木村 亮
 鋼管杭協会 正会員 河野謙治 鋼管杭協会 非会員 原田典佳

1. はじめに 兵庫県南部地震後、より災害に強く、信頼性の高い橋梁の整備のために、既設橋梁の耐震補強が進められている。特に、基礎部分は地震後の被災状況の調査や復旧が橋脚基部と比較して困難であるため、基礎本体には復旧に支障となるような大きな損傷や橋全体の安全性を損なうような過大な変形を生じさせないことが重要となる。

本研究では渡河橋梁のケーソン基礎に対する補強工法のひとつとして、鋼管矢板基礎増設工法を提案している。本工法は図1に示すように、既設ケーソン基礎の周囲に鋼管矢板井筒を配置し、ケーソン基礎と鋼管矢板井筒を頂版により結合させて基礎の水平耐力を構造的に向上させる工法である。本研究では、本補強工法を経済的かつ適確に設計するために、既設ケーソン基礎と鋼管矢板井筒の剛性比（ケーソンの剛性 / 鋼管矢板井筒の剛性）、頂版の結合状態の補強効果・メカニズムへの影響を遠心模型実験により検討してきた^{1), 2)}。本稿では支持層の条件を変えて実施した実験結果をとりまとめ、報告する。

2. 実験概要 図2に示す実験装置を用いて、地盤中に設置した真鍮製模型ケーソンの周囲を模型鋼管矢板井筒（以後、井筒と省略）で補強し、基礎上部に取付けた橋脚部分を静的に水平载荷させ、水平力と同時にモーメントを与える。このとき、上部工死荷重を作用させるために、橋脚上部に荷重ボックスを取付け、錘が載せられる機構になっている。模型地盤は二層からなり、表層地盤には相対密度 90.0 %の気乾豊浦珪砂を、支持層には石膏製ブロック（弾性係数 $2.6 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ ）を用いる。尚、鋼管先端はプレート内に設けた鋼管寸法の穴に差込むことでプレートと固定し、プレートを支持層中央に載せている。

本研究では、ケーソンと鋼管矢板井筒の剛性比、頂版の結合状態が水平力に対する井筒の補強効果・補強メカニズムに与える影響要因を把握するために、図3に示すケーソン基礎（Case-1）、補強基礎（Case-2、頂版の結合状態によりそれぞれ Type-A, B, C に細分）の各ケースに対し実験を行っている。Type-A はケーソン基礎と鋼管矢板井筒を剛結させた場合を模擬したケースで、Type-Bはケーソンと井筒の間にロードセルを埋め込み、ロードセルを介して井筒に水平力を伝達させる機構とし、頂版が半固定されている場合を模擬している。また、そのロードセルの値から鋼管矢板井筒の水平力分担率の計測が可能となる。Type-Cは頂版を設けない、施工が最も簡単な場合を模擬している。ケーソンは外径 50 mm一定とし、肉厚を変化させた2種類を用意した。一方、鋼管矢板の継手形状は木村ら³⁾の研究を参考に、図4のようにモデル化した。本模型鋼管矢板の継手に対し実施した押抜きせん断試験結果から、本模型鋼管矢板の継手が有する単位長さあたりのせん断剛性 G_m は $8.0 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ 、せん断耐力 q_m は 1.1 kN/m となり、実鋼管矢板継手（P-P継手）のせん断剛性、せん断耐力（ $G_p: 1.2 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$, $q_p: 200 \text{ kN/m}$ ）⁴⁾ と比較して極端に小さく、本模型は継手の鉛直方向ずれを生じやすい構造とな

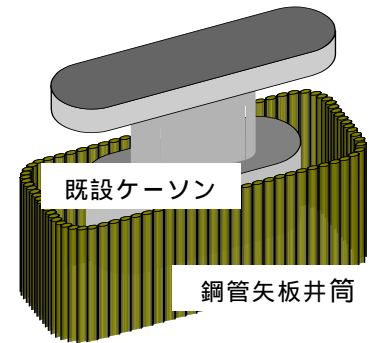


図1 鋼管矢板基礎増設工法

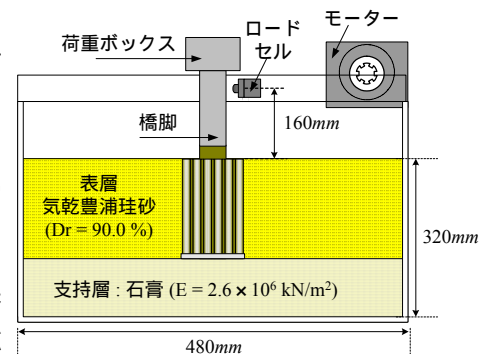


図2 遠心模型実験装置

ケーソン剛性	ケーソン基礎	補強基礎		
		(Type-A)	(Type-B)	(Type-C)
L	Case-1L	Case-2AL	Case-2BL	Case-2CL
S	Case-1S	Case-2AS	Case-2BS	Case-2CS

図3 実験ケース

表1 模型諸元

鋼管矢板	ケーソン	
	S	L
杭径 D_p	15 mm	外径 D_c 50 mm
杭長 L_p	200 mm	長さ L_c 225 mm
肉厚 t_p	1mm	肉厚 t_c 1 mm 無垢
杭本数	20 本	剛性比 0.47 2.00

キーワード ケーソン基礎、鋼管矢板井筒、耐震補強、補強メカニズム、水平支持力、遠心模型実験

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 TEL 075-753-5106

っている。また、継手の鉛直方向のずれにより生じる鋼管矢板井筒の剛性の低下を表現する継手の合成効率 μ は簡易計算の結果0.016となる。図4に鋼管矢板継手の形状を含めた模型基礎断面を示す。上述の継手の合成効率を考慮した模型鋼管矢板井筒の剛性とケーソンの剛性比はSで0.47、Lで2.00となり、これまでの実績例における剛性比（0.5～5.0）と比較して妥当な範囲である。水平載荷速度は6.0 mm/minの変位制御で、ケーソン外径の5.0%にあたる2.5 mmまで単方向に載荷する。載荷点高さは地表面より160 mm、上部工死荷重は200 N、遠心加速度は50 Gである。計測項目は、水平荷重、水平変位、回転角、井筒に伝達する水平荷重、及びケーソンと井筒のひずみである。

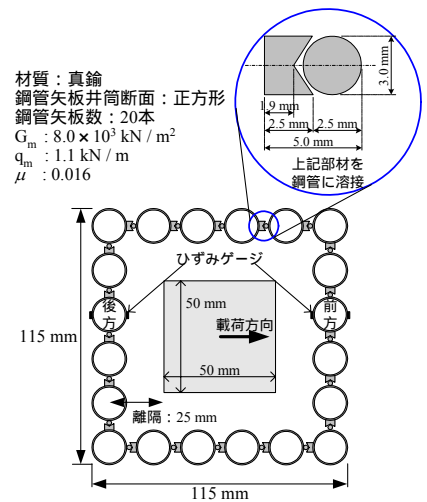


図4 模型基礎断面図

3. 実験結果と考察 実験結果はすべてプロトタイプ換算して示す。変位はケーソンの外径 D_c に対する比率として表す。補強効果を補強基礎（Case-2）の水平支持力をケーソン基礎（Case-1）の水平支持力で除した値と定義し（値が大きいほど補強効果大きい）、図5に補強効果と水平変位の関係を示す。この図より、Type-A（剛結）では載荷初期からかなりの補強効果を発揮し、最終的に約2.5倍以上の補強効果を確認できる。また、Type-BにおいてもType-Aと同様の傾向を示すが、最終的な補強効果は1.3倍程度となる。Type-Cは、変位が増加した後に補強効果を発揮するが、その効果はType-A、Type-Bと比較して小さい。これは、Type-A、Type-Bの補強基礎と異なり、Type-Cの補強基礎は鋼管矢板井筒内の地盤を介して水平力を鋼管矢板井筒へ伝達し、鋼管矢板井筒が変形することにより井筒周辺地盤の地盤反力を得るメカニズムを有すると考えられるため、井筒内地盤の地盤反力影響範囲が鋼管矢板部に到達するまではケーソン基礎（Case-1）の水平支持力とほぼ等しい結果になったものと考えられる。またひずみの発生状況からも、Type-A、BとType-Cの変形挙動は図6に模式的に示すように異なるものと考えられる。図7にType-Bにおける鋼管矢板井筒の水平力分担率と水平変位の関係を示す。ここで鋼管矢板井筒の水平力分担率とは、ケーソンと鋼管矢板井筒の間に設置したロードセルを鋼管矢板井筒が負担する水平力と考え、その値を基礎全体に与えている水平力で除した値を百分率で表したものとする。この図より、Sでは載荷初期で、井筒への分担率が約20%程度しかないのに対し、Lでは載荷初期で既に40%を井筒に分担させている。その後、Sでは変位の増大とともに井筒への分担率が60%まで上昇するが、Lにおける井筒の分担率は40%のまま一定を保つ。つまり、ケーソンと鋼管矢板井筒の剛性比の差異により補強メカニズム（鋼管矢板井筒の水平力分担率）に大きく影響することがわかる。

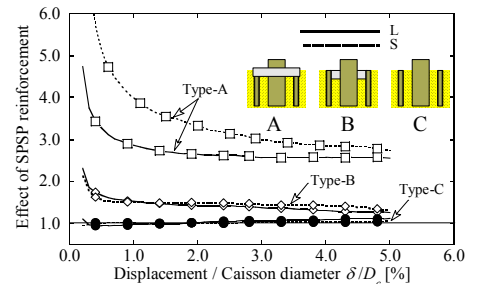


図5 補強効果

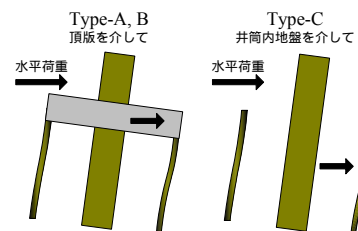


図6 変形挙動の差異

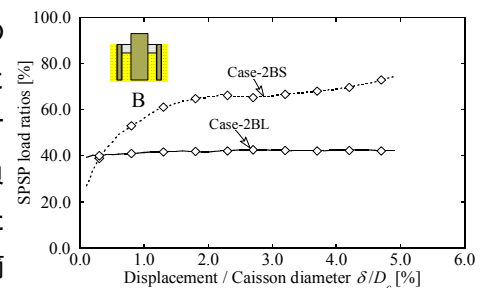


図7 井筒の水平力分担率

4. まとめ 鋼管矢板井筒による既設ケーソン基礎の補強メカニズムを実験的に検討し、以下の知見を得た。大きな補強効果を得るには、頂版を設けてケーソンと井筒の荷重伝達を図ることが非常に効果的である。頂版の結合状態が半固定の場合、剛結合とした場合よりも補強効果は小さいが、十分な補強効果を示す。ケーソンと鋼管矢板井筒の剛性比は、鋼管矢板井筒増設による耐震補強工法にとって設計上重要となる。<参考文献> 1) 磯部ら：第39回地盤工学会発表概要集，2004．投稿中 3) 木村ら：第38回地盤工学会発表概要集，pp.1609-1610，2003． 4) 建設省土木研究所：矢板式基礎の設計法（その1），土木研究所資料第1175号，pp.8-12，1977．