

底部拡幅ケーソン基礎式栈橋の耐震性に関する実験的検討

神戸大学	正会員	長尾 毅
神戸大学	非会員	山岡 理恵
オリエンタル白石(株)	○正会員	二宮 庸平
(株)日本港湾コンサルタント	正会員	柴田 大介

1. はじめに

近年、船舶の大型化に対応するために港湾の係留施設の大水深化が図られている。根入れを有するケーソン工法は、通常の栈橋基礎で用いられる鋼管杭等と比較して躯体の剛性が高いことから、大水深時の巨大地震作用に対しても粘り強い構造となると考えられ、設計マニュアルの整備も行われた。ケーソン基礎式栈橋の耐震性をより高めるには、基礎を拡幅することが一般的対処方法である。ただし基礎を拡幅することは工費と慣性力の増大につながる。また支持層より上の軟弱層は巨大地震作用時には剛性が低下するため、水平地盤反力はほとんど期待できず、躯体の剛性のみで巨大地震に抵抗するには限界がある。そこで、ケーソン基礎の底部のみを拡幅する形式を考案した。基礎の支持地盤が地震時に剛性低下の影響の少ない剛性の高い地盤であり、拡幅基礎底部に作用する鉛直地盤反力によって大きな回転抵抗モーメントが期待できるため、耐震性が高いと考えられる。施工時には拡幅部上部を碎石などで埋め戻す必要があるが、地盤改良効果と液状化対策効果も期待できる。この底部拡幅ケーソン基礎式栈橋の耐震性を評価するため、底部を拡幅しない通常の栈橋との2種類の模型を用いた水平載荷実験を行った。

2. 実験概要

図-1 に実験装置概要図を示す。ケーソン基礎径 6m の栈橋をモデルとして 1/100 スケールで栈橋模型を作成した。実験装置は図-1 に示すように、①土槽、②栈橋模型、③載荷装置、④計測装置（水平変位計、鉛直変位計、土圧計、荷重計）から構成されている。ケーソン基礎が土槽壁の影響を受けないように、平面寸法として土槽幅を $D=500\text{mm}$ 、ケーソン基礎幅を $B=\phi 60\text{mm}$ とし、 $D/B=500/60 \approx 8.3$ とした。図-2 に栈橋模型概要図を示す。栈橋模型はラーメン構造であり、基礎底部まで幅が一定 ($\phi 60\text{mm}$) のもの（以下、通常タイプ）と、基礎底部を拡幅（基礎下端から高さ 45mm の範囲を幅 55mm 拡幅）したもの（以下、拡幅タイプ）の2種類とした。地盤は上層、下層の2層で構成し、珪砂 6号を用いて空中落下法により相対密度がそれぞれ 42, 77% 程度になるように作成した。これは N 値としてはそれぞれ 5, 33 に相当する。層厚は上層が 100mm、下層が 135mm とし、土槽の底版が剛であるために模型基礎下部の地盤変形が拘束されることのないようにした。各種計測装置の設置位置は図-2 に示すとおりである。基礎底面の鉛直地盤反力を測定するため、通常タイプの実験では2つ、拡幅タイプの実験では4つの土圧計を設置した。栈橋模型の変位水平方向と鉛直方向に設置した変位計で計測した。図-2 に示す位置に水平荷重（変位制御）を作用させ各種項目の測定を行った。以下では栈橋の水平変位として 2mm（実スケール換算で 2m）程度までの特性を検討する。

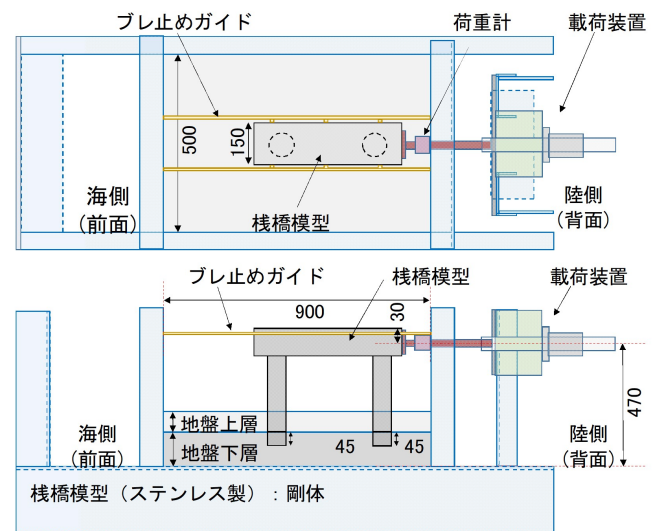


図-1 実験装置概要図

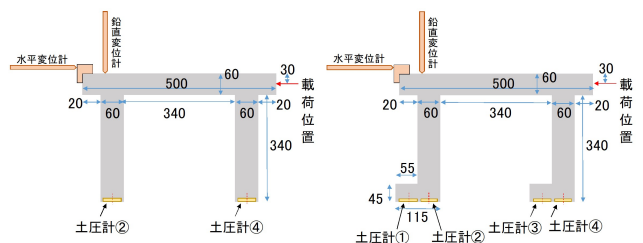


図-2 栈橋模型概要図

キーワード 根入れ式ケーソン工法、底部拡幅、栈橋、鉛直地盤反力、水平載荷実験

連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲5丁目6番地52号 オリエンタル白石(株) TEL03-6220-0637

3. 実験結果

3.1 地盤反力分布とラーメン構造の回転中心

通常タイプの地盤反力分布を図-3(a)に示す。左端の星印が変形が生じる側（以下前面）、右端が荷重載荷側（以下背面）の値であり、双方を直線で結んでいる。凡例は水平荷重の値を示す。直線の交点が回転中心位置である。回転中心はラーメン構造中心(縦破線, width0.5)より前面寄り(width0.37)にある。拡幅タイプの結果を図-3(b)に示す。拡幅タイプでは初期地盤反力分布が各脚で一様ではない。そこで、4つの鉛直圧力の初期値を平均し、各鉛直圧力の値からその初期値平均値を減じた。さらに、前面、背面それぞれの鉛直圧力の値を平均し、その値を各脚の土圧計設置位置の中央に対してプロットした。回転中心が通常タイプよりラーメン構造中心に近い(width0.47)結果となっている。前面の地盤反力に関する腕の長さが長いため、拡幅タイプの抵抗回転モーメントは通常タイプよりも大きいことが期待できる。このような効果は設計マニュアル¹⁾では考慮できていない。

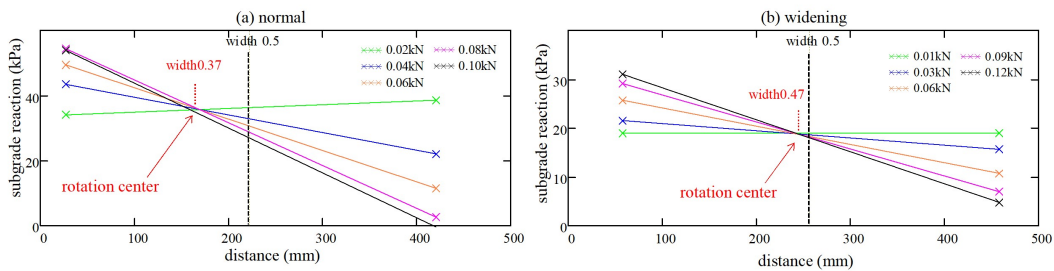


図-3 地盤反力分布（ラーメン構造の回転中心）

3.2 荷重－変位関係

図-4に水平荷重と水平変位の関係を示す。(a)が実験結果、(b)が実スケールに換算した結果である。荷重－水平変位関係はバイリニア的な関係を示すが、载荷初期段階で傾斜が生じ、傾斜が進行して背面の地盤反力がゼロとなり片脚が浮き上がった後に滑動が生じていると考えられる。拡幅タイプは通常タイプと比較して同じ水平荷重に対して水平変位量が1/3～1/4程度に収まる。傾斜変形、滑動のいずれについても、拡幅タイプは優れていると考えられる。また、荷重が大きくなると両者の変形量の差が大きいことから、震度が大きい範囲（巨大地震相当）では、基礎底面幅の効果がより発揮されることが考えられる。図-5に荷重と鉛直変位の関係を示す。ここで、鉛直変位がプラスとは栈橋が海側に回転（傾斜）していることを示している。拡幅タイプは通常タイプと比較して同じ水平荷重に対して回転・傾斜量が小さい結果となっている。

4. まとめ

栈橋模型を用いた水平载荷実験から、基礎底面幅の違いにより変形抵抗に違いがあることを確認した。拡幅タイプは、回転中心がラーメン構造中心に近くなるとともに基礎底面反力分布幅が広がるので、モーメント反力が大きくなり、通常タイプに比べて回転抵抗が大きくなる。また、荷重と変位の関係から、拡幅タイプは滑動抵抗性能においても優れる。今後は、詳細な回転角（傾斜角）や地盤反力分布などを把握するために追加の実験を行い、基礎幅が耐震性に与える影響の把握に努めていきたい。本研究はJSPS 科研費 JP18K04324 の助成を受けた。

参考文献

1) 根入れを有するケーソン工法の技術マニュアル，沿岸技術ライブラリーNo.53，沿岸技術研究センター，2019

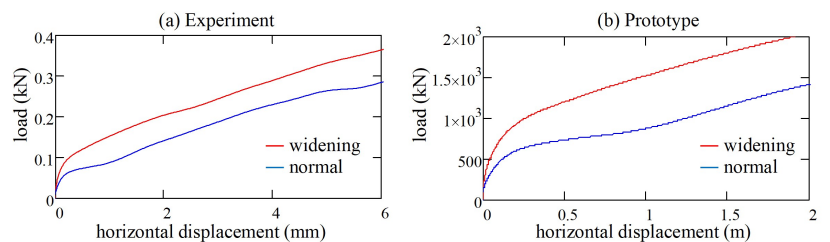


図-4 水平荷重－水平変位関係

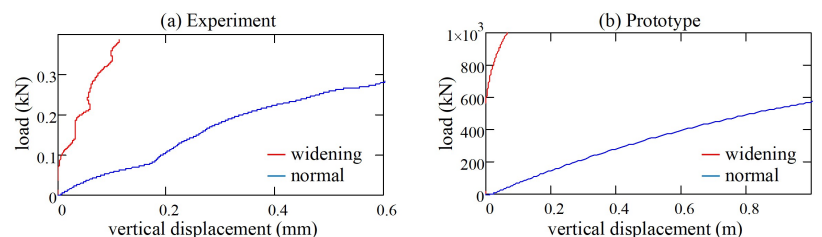


図-5 水平荷重－鉛直変位関係