

大水深基礎に作用するサクシジョン力の効果

（その1：基礎の浮上り時のサクシジョンに関する模型実験）

独立行政法人土木研究所 正会員 大塚 雅裕
独立行政法人土木研究所 正会員 福井 次郎
独立行政法人土木研究所 正会員 ○喜多 直之

1. はじめに

現在検討中である新交通軸の一部を形成する超長大橋の建設を実現するためには、大水深下における基礎の施工技術の合理化が不可欠であり、これを達成する1つの方法として基礎に作用するサクシジョン力に着目した。これまで行われてきた長大橋基礎の設計では、大規模地震時に基礎が浮上ることを想定しているが、その際、基礎底面に作用するサクシジョン力は無視している。サクシジョン力とは、瞬間的な基礎の浮上りが生じた場合に、水の回り込みが遅れ、基礎底面下の水圧に変動が起こることに起因した浮上り抵抗（水圧変動量を底面積で積分したもの）である。大水深下の基礎ほど基礎底面下の水圧が高いため、浮上り時の水圧変動量が大きくなり、作用するサクシジョン力が大きくなることが予想される。この作用は、基礎の動的応答に大きく影響すると思われ、また、この力を基礎の安定に有効に活用できる可能性がある。そこで、サクシジョン力が基礎の動的応答に与える影響を検討するために模型実験を行った。

2. 実験概要

幅 500mm、奥行き 400mm、厚さ 100mm のフーチングを有する橋脚模型を水中地盤上に設置し、脚頭部に水平荷重を載荷して基礎の浮上りによるサクシジョンの影響を調べた（図-1）。

フーチングは、鋼製の枠にコンクリートを充填したもので、底面には図-2 に示す 10 箇所水圧計が埋め込まれている。脚部は、動水圧の影響を小さくするために細いパイプをトラス状に組んで剛性を高めた。供試体の気中重量は 960N である。地盤には厚さ 23mm、硬度 40 のゴム板を用いた。水は、水道水を使用した。

回転角や沈下量を算出するために脚頭部で 2 箇所鉛直変位を計測した。

実施した実験ケースのうち、本報に紹介するケースの内容を表-1 に示す。

3. 水深と水圧変動量の関係

表-1 の 4 ケースについて、図-3 に計測点 W1～W4（図-2 参照）の水圧の時刻歴を示す。同一角速度のグラフを比較すると、水深の異なる 2 本の曲線における負圧のピーク値の差は基礎端（浮上り側）からの距離に応じて減少し、着色したグラフではほとんど一致している。

着色したグラフに着目すると、載荷前の水圧の状態に関係なく負圧（大気圧をゼロとする）のピーク値が一致している。つまり、水深が大きいほど水圧低下量が大きくなることを意味している。地盤が不透水性でありかつ基礎と地盤がある程度密着しているという条件下で、水深がわずかであっても基礎の浮上り時に底面下には負圧が発生するものとする、大水深下においても基礎の回転角速度が同じであれば、基礎底面下のある領域では、底面下の水圧が大気圧を下回ることになる。

ここで、ある領域と述べたのは、基礎の浮上り端から特定の距離までの範囲では、水深に応じた水圧低下量とならないことを示している（図-3 の無着色のグラフ）。この範囲は、基礎の回転角速度と水深により決まるものと考えられる。図-4 により基礎の浮上り開始から時間 t が経過した時の基礎端部での流入水の水深による影響を考える。水深がほとんどない場合の基礎端の圧力水頭を 0 とし、浮上り時の底面下の水圧分布が図-4 の(a)であるとする。同図(b)の場合には水深 h に相当する圧力水頭を有しており、この水深差 $\Delta h (=h)$ に起因する圧力水頭の差は基礎の浮上り開始から速度 v_p で基礎底面に伝播する。この伝播速度 v_p は、オリフィスからの水の流出速度に相当するものと考えられ、流入水を非圧縮性完全流体と仮定してベルヌイの方程式から次式のとおりに導かれる。

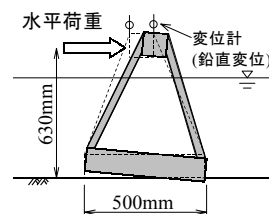


図-1 実験イメージ

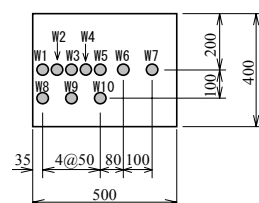


図-2 水圧計設置位置
表-1 試験ケース

ケース	水 深	角速度
10	250mm	0.1rad/s
11		0.2rad/s
16	500mm	0.1rad/s
17		0.2rad/s

キーワード 長大橋、大水深、基礎、サクシジョン、動的応答

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市大字南原1 番地 6 独立行政法人土木研究所 TEL 0298-79-6795

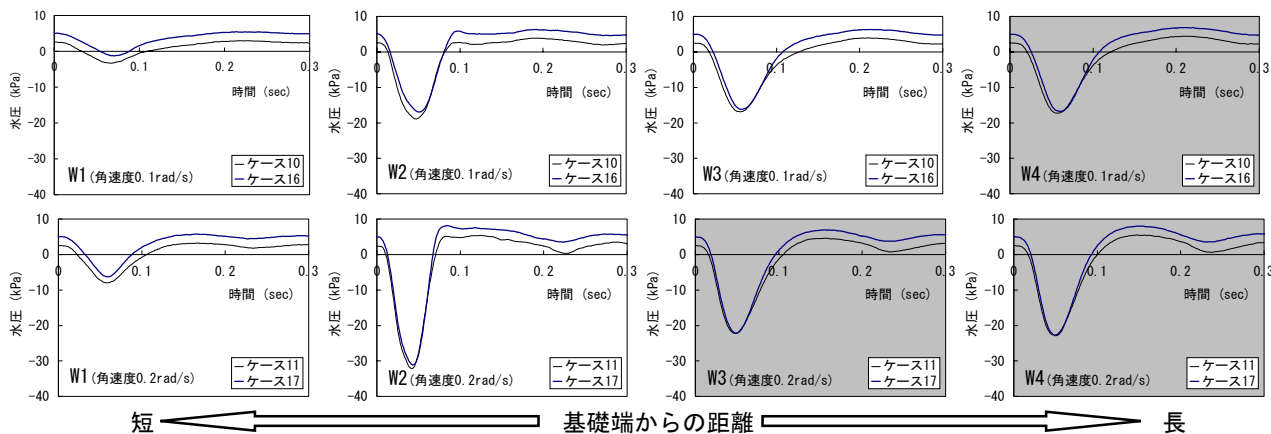


図-3 基礎底面の水圧

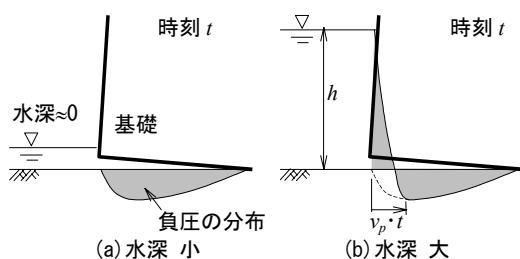


図-4 水深差の影響

$$v_p = \sqrt{2g\Delta h / (1 + K_{sc})}$$

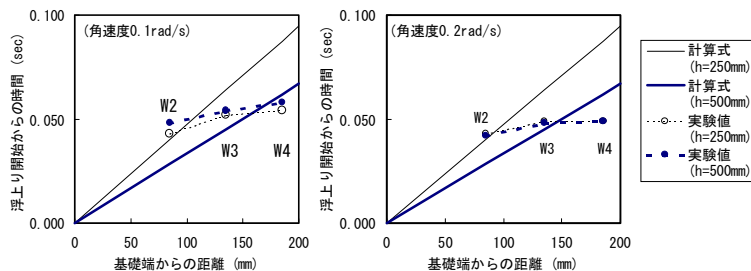


図-5 流入水到達時間

(1)

式(1)では流水断面の急縮による形状損失を考慮しており、 g 、 K_{sc} はそれぞれ重力加速度、損失係数である。この圧力水頭差の伝播速度 v_p が負圧のピーク値に影響する範囲は、浮上り端から距離 $v_p \cdot t$ までの領域と考えられる。したがって、水深 h の場合の水圧分布は図-4(b)に示すイメージのものとなる。図-5は、管路の急縮の損失係数を参考に K_{sc} を 0.1 とした場合の浮上り開始からの時刻と v_p の影響範囲との関係（計算値）および、各水圧計測点における浮上り開始から水圧ピーク時までの時間を示している。実験値が計算式を上回っている場合には伝播速度 v_p の影響を受けていることを意味しており、図-3で示した負圧のピークが一致しない領域（無着色のグラフ）と概ね対応する。

4. 基礎底面に作用する負圧

図-3では、いずれの計測点も角速度が大きい方が負圧のピークは大きな値を示している。そこで、負圧のピーク値と底面の浮上り速度との関係を図-6に示した。ここにプロットしたデータは、表-1以外のケースも含め、3で述べた圧力水頭差の伝播速度 v_p の影響を受けないものを対象としている。同図に累乗曲線による近似式を示したが、底面の浮上り速度と負圧のピーク値との間に概ね近似曲線のような相関があると思われる。ただし、ピーク値の絶対値は基礎底面と地盤との密着の程度に依存すると思われ、発生する負圧の推定を行うにはさらに検討を進める必要がある。

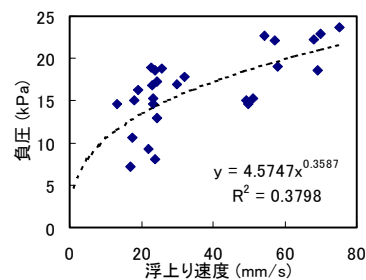


図-6 最大負圧と浮上り速度

5. まとめ

- 水深があると、基礎の浮上りにより基礎端部付近に発生する負圧を小さくするが、この影響を受けない領域では、水深によらず同じ負圧が発生し、大きなサクション力が作用することが確認された。また、水深の違いによる圧力水頭差の影響範囲について、ベルヌイの方程式を用いて実験結果を概ね説明することができた。ただし、模型規模が小さいことから流入水の摩擦損失を考慮しなかったが、実際の基礎ではその影響が大きく現れる可能性がある。
 - 基礎底面に発生する負圧は、底面の浮上り速度と相関性があることが確認された。
- なお、引き続き本報（その2）¹⁾においてサクション力が作用する基礎の動的応答に関する検討を行う。

参考文献

- 大塚雅裕，福井次郎，喜多直之：大水深基礎に作用するサクション力の効果（その2：地震時にサクション力が作用する基礎の応答特性），土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，2002.9