

大水深基礎に作用するサクシヨン力の効果 (その2：地震時にサクシヨン力が作用する基礎の応答特性)

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

本報（その1）¹⁾では、水中の不透水性地盤上の直接基礎が回転により浮上る際に生じるサクシヨン力について模型実験により検討した。その結果、常時基礎底面に作用している水深に相当する水圧が瞬間的に解放され、さらに浮上り速度に応じた負圧が作用することが確認された。（その2）では、実験で確認した特性に基づき、地震時の基礎の浮上りに伴いサクシヨン力が作用する場合の安定性を検討し、さらにサクシヨン力を基礎の設計に考慮した場合の合理性について検討を行った。

2. サクシヨン力を考慮した基礎の応答

従来、長大橋の剛体基礎では、大規模地震時の基礎の浮上りにより生じる地盤反力度分布の変化による非線形性を考慮した設計が行われてきた。しかし、海中基礎の場合、浮上りにより生じる基礎底面のサクシヨン力は無視されてきた。（その1）の実験結果では、水深に対応して基礎底面下の水圧変動が生じることが確認されており、大水深基礎の場合には浮上りに対し相当の引戻し力が作用するものと思われる。そこで、サクシヨン力の効果を調べるために、直接基礎の浮上り理論式²⁾を拡張した。

海中基礎に作用する転倒モーメントに対して、地盤反力とサクシヨン力が抵抗する（図-1）。抵抗モーメント M は、地盤反力による抵抗 M_E と浮上り部のサクシヨン力による抵抗モーメント M_S の合計であり、式(1)で表される。

$$M = M_E + M_S \tag{1}$$

M_E と非線形応答回転角 θ の関係は、浮上り理論式の誘導の際にサクシヨン力による鉛直力の変動を考慮して、式(2)で表すことができる。なお、（その1）の実験結果では、基礎底面下の水圧分布は浮上り端部付近が正（大気圧をゼロとする）、基礎内部が負となっていたが、ここでは式の拡張を簡単にするために底面下の水圧が均一に大気圧まで低下するものと仮定し、サクシヨン力は等分布荷重で与えた。

$$\frac{M_E}{M_0} = 3 \frac{e}{B} \left(2 + \frac{Bp_s}{V_0} \left(6 \frac{e}{B} - 1 \right) \right) \tag{2-1}$$

$$\frac{e}{B} = \frac{1}{2} + \frac{Bp_s/V_0 - \sqrt{(Bp_s/V_0)^2 + 4(Bp_s/V_0 + 1)(\theta/\theta_0)}}{6(\theta/\theta_0)} \tag{2-2}$$

ここに、 M_0 、 θ_0 、 e 、 B 、 V_0 、 p_s はそれぞれ浮上り限界モーメント、浮上り限界回転角、偏心距離、基礎幅、死荷重（浮力考慮）、基礎幅方向の単位幅あたりのサクシヨン力である。

M_S は、浮上り部に作用するサクシヨン力に対し式(3)が得られる。

$$\frac{M_S}{M_0} = 9 \frac{Bp_s}{V_0} \left(2 \frac{e}{B} - 3 \left(\frac{e}{B} \right)^2 - \frac{1}{4} \right) \tag{3}$$

ここで、 e/B は式(2)-2 で与えられる。

例題として水深 10m のところに設置した剛体(5m×5m、高さ 11m、重量 4150kN)の非線形応答を図-2 に示す。直接基礎の浮上り理論式による応答と比較すると、応答が線形に近づくことがわかる。図-3 には、浮上り理

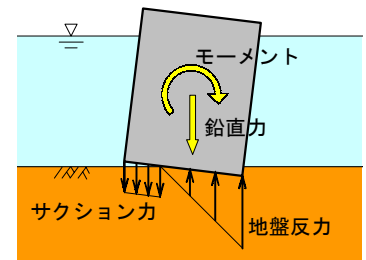


図-1 荷重に対する抵抗力

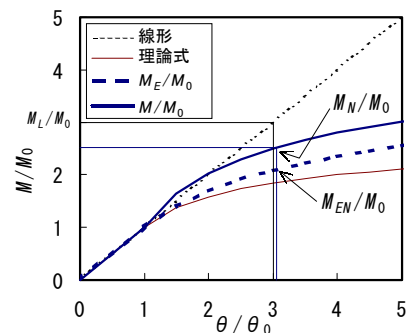


図-2 非線形応答の比較

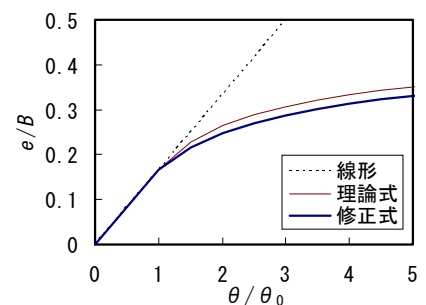


図-3 偏心量の違い

キーワード 長大橋、大水深、基礎、サクシヨン、応答解析

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

論式とこれを拡張した修正式における偏心量を比較しているが、サクシオン力を考慮することで浮上りが抑制され、偏心量は理論式に比べ小さくなる。

線形応答解 M_L に対しエネルギー一定則を適用して非線形応答 M_N を得ることができるが、基礎の安定性の照査には、このときの回転角 θ_N に対する M_{EN} を地盤に作用する外力として考慮すればよい（図-3）。なお、滑動に対する照査に用いる水平力 H_N は、本州四国連絡橋の設計基準³⁾を参考に、線形応答 H_L に対し式(4)から求めることができる。

$$H_N = H_L (M_N / M_L)^{0.5} \quad (4)$$

3. サクシオン力を利用した基礎の設計

吊橋のアンカレイジは体積が大きく、海中基礎の場合には作用する浮力も膨大なものとなるが、地震時の転倒モーメントに抵抗するサクシオン力を設計に考慮することで、合理化できる可能性がある。そこで、現在検討中の海峡横断道路プロジェクトの試設計案⁴⁾（図-4）を取り上げ、2. で示した手法を用いて合理化の検討を行った。

検討にあたり、以下の条件を考慮した。

- ・ 基礎設置地盤は、不透水性の固結地盤とする。
- ・ 平面寸法は試設計案と同じとする。
- ・ 入力は、プロジェクトで設定したL1地震動とする。
- ・ 基礎底面下の水圧は浮上に伴い均一に大気圧まで低下するものと仮定する。
- ・ 2. で示した手法は理論式を拡張したものであるが、従来の設計では、実際の地盤反力度の分布が直線的に変化しないことから浮上り理論式を修正している。この修正を2.の手法に反映させるため、地盤の持つ回転ばね定数を回転角に応じて理論式と本四式の比で修正する。

構造的に省略可能な部分を取り除き、軽量化を図った結果が図-5の構造である。コンクリート数量は試設計案に対し2割縮小されている。地震時の安定照査結果の比較を表-1に示す。数量を縮小したが、基礎底面に作用するサクシオン力のために作用鉛直力は検討結果のほうが大きな値となる。また、作用水平力は、応答が線形に近づくために検討結果のほうが大きい。安定照査の結果は、作用鉛直力が試設計案を超えることに起因して、試設計案と同等以上の安全性が確保されるものとなった。

4. まとめ

大水深基礎が地震時の回転により浮上る場合、大きなサクシオン力が基礎底面に作用し、基礎の応答は線形応答に近くなることがわかった。また、マス構造物である吊橋アンカレイジに作用する地震時転倒モーメントへの抵抗力としてサクシオン力を考慮することで、大幅な設計の合理化が期待できる結果が得られた。

本報（その1）で基礎の浮上り時の水圧変動状況を示したが、今後は、基礎の浮上り速度と水圧変動量との関係や面的な水圧分布などについて詳細に分析し、それらを考慮した設計方法を検討する必要がある。また、サクシオン力を効率的に利用するために、基礎底面の遮水構造なども検討する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 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オン力の効果 (その1: 基礎の浮上り時のサクシオンに関する模型実験), 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, 2002.9
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編, pp.537~540, 1998.12
- 3) 本州四国連絡橋公団: 本州四国連絡橋の海洋架橋技術に関する調査研究 耐震・基礎委員会報告書, 1999.3
- 4) 建設省関東地方建設局: 平成10年度東京湾口道路技術調査報告書, 1999.3

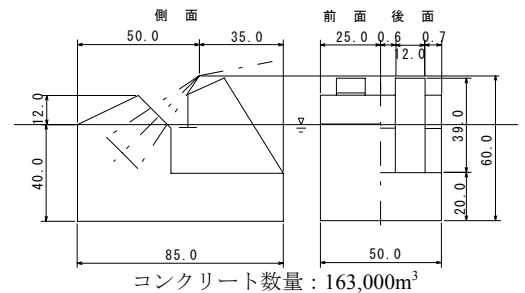


図-4 試設計案一般図

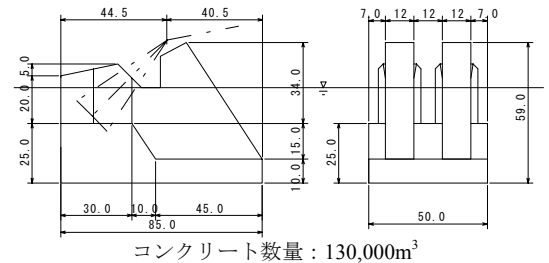


図-5 検討案一般図

表-1 安定照査結果の比較

		単位	試設計案	検討結果
底面諸力	鉛直力	MN	1,646	1,875
	水平力	MN	1,875	1,959
	モーメント	MN・m	53,798	51,607
支持力照査	極限支持力	MN	5,368	6,744
	安全率(≥2.0)	—	3.26	3.60
滑動照査	抵抗力	MN	4,417	5,173
	安全率(≥1.2)	—	2.36	2.64
偏心率(参考値)		—	0.115	0.176

※負の鉛直震度を考慮した場合の結果