

# サクシヨン基礎を利用した岸壁の地震時安定性

山崎浩之<sup>1)</sup>・善 功企<sup>2)</sup>・前田健一<sup>2)</sup>・小池二三勝<sup>3)</sup>

1 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 土質部 (〒239 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

2 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 土質部

3 運輸省港湾技術研究所 土質部

サクシヨン基礎は、底面がオープンな躯体を海底面に着定し、躯体内部の圧力を外部より低くしてサクシヨンをかけ根入れしたものである。同基礎は、マウンド等を用いる従来の基礎と比較した場合、根入れがあることから滑動に対して有利となるので、地震力、土圧等の水平力が作用する岸壁の基礎に利用することが考えられる。ここでは、サクシヨン基礎を用いた岸壁の地震時安定性を、震度法により照査している。得られた結論は、安定性に関する滑動、転倒、支持力の各影響の度合いはサクシヨン基礎の根入れ長により異なり、根入れが小さい場合は滑動、大きい場合は転倒と支持力の影響が大きくなる。

**Key Words:** Suction, Foundations, Bearing Capacity, Seismic Force, Sea Wall

## 1. はじめに<sup>1), 2), 3)</sup>

直下型地震に対する耐震強化岸壁の整備が進められている。このような耐震強化岸壁においては、設計震度は大きな値が採用され、岸壁がケーソンを用いたタイプの場合、地震時土圧、ケーソンの慣性力が非常に大きくなり滑動に対する安定性を確保することが困難な場合があり、新しい基礎が必要となる。

サクシヨン基礎は、図1のような下面がオープンになっている躯体を海底面に設置し、躯体内部にサクシヨン(負圧)を負荷して躯体を根入れした基礎である。根入れは、負荷されたサクシヨンが躯体の押し込み力として作用すると同時に、サクシヨンが負荷されることにより躯体下部の地盤内には上向きの浸透圧が作用し地盤の強度が低下するので、根入れが容易な状態になる。また、据付け後の外力作用時、特に引抜き時には地盤内に負圧(サクシヨン)が発生し、抵抗に寄与することが確認されている。サクシヨン基礎は根入れがあることから、滑動に対しては、根入れのないマウンドを用いた基礎より優位で、岸壁、防波堤のような、大きな水平力が作用

する構造物への適用性が高いと考えられ、特に、設計震度の大きな耐震強化岸壁への適用が期待される。本検討では、サクシヨン基礎を岸壁へ適用した場合の、地震時安定性を震度法を用いて検討している。

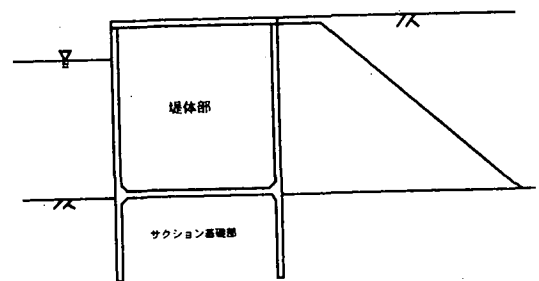


図1(a) 一体型サクシヨン基礎

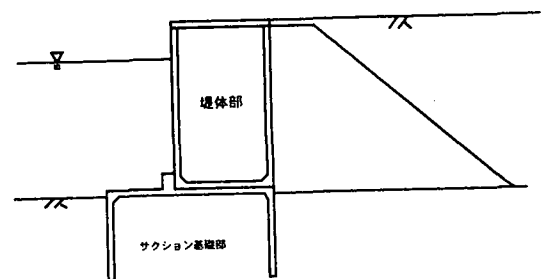


図1(b) 分離型サクシヨン基礎

## 2. サクシヨン基礎の安定性の検討法

図1に示すように、サクシヨン基礎を利用した岸壁構造には一体型と分離型の2種類が考えられ、一体型はサクシヨン基礎の根入れと同時に上部堤体の据付けを行うことができ、分離型は基礎部と堤体部の構造を変えることができる利点をそれぞれ有している。岸壁基礎の設計計算においては、転倒、滑動、支持力について検討するのが一般的で、以下ではこれら3つについて港湾施設の基準を基に検討を行う。

### (1) サクシヨン基礎に作用する外力と安全率<sup>4)</sup>

サクシヨン基礎部に作用する外力と反力を図2に示す。図2において $F_{vo}$ 、 $F_{ho}$ 、 $M_{do}$ は上部構造物からサクシヨン基礎上面に作用する鉛直荷重合力、水平荷重合力、回転モーメントである。各合力は、海底面より上部の、堤体背後からの土圧、水圧とケーソン前面の水圧、および堤体の自重と慣性力を考慮したものである。 $W'$ はサクシヨン基礎内の土を含む基礎本体の有効重量である。 $F_{vo}$ 、 $F_{ho}$ 、 $M_{do}$ 、 $W'$ の量は上部構造物とサクシヨン基礎の構造仕様、裏埋めの土質条件および設計震度から定まる。 $E_a$ 、 $E_p$ 、 $R_h$ 、 $p_1$ 、 $p_2$ は、それぞれ根入れ部(海底面下)でサクシヨン基礎の前面、背面に働く主動土圧合力、受働土圧合力、サクシヨン基礎底面における摩擦抵抗、端し圧である。 $E_a$ 、 $E_p$ はクーロンの土圧式で算定され、 $R_h$ 、 $p_1$ 、 $p_2$ は次式で算定される。

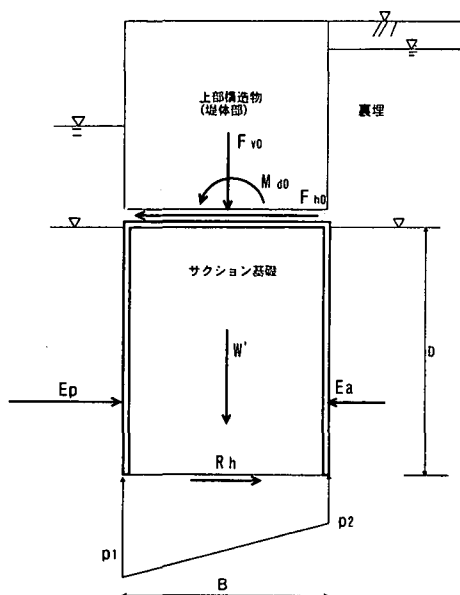


図2 サクシヨン基礎に作用する外力と抵抗力

$$R_h = \mu \cdot V \quad (1)$$

$$p_1 = (1 + 6e/B)V/B, \quad p_2 = (1 - 6e/B)V/B \quad (e \leq B/6) \quad (2), (3)$$

$$p_1 = 2/3 \cdot V/(B/2 - e) \quad (e > B/6) \quad (4)$$

$$V = F_{vo} + W', \quad e = B/2 - (M_{d1} - M_r)/V \quad (5), (6)$$

$$M_{d1} = M_{do} + F_{ho} \cdot D \quad (7)$$

$$M_r = (E_p - E_a) \cdot D/3 - (F_{vo} + W') \cdot B/2 \quad (8)$$

ここで、 $\mu$ 、 $D$ 、 $B$ はそれぞれサクシヨン基礎の、底面の摩擦係数、根入れ長、基礎幅である。

上記の地盤反力 $p_1$ が許容支持力 $q_a$ 以下で、転倒、滑動に対しては下記に示す安全率が所定の値以上でなければならない。

$$F = M_r/M_{d1} : \text{転倒} \quad (9)$$

$$F = R_h/(F_{ho} + (E_a - E_p)) : \text{滑動} \quad (10)$$

ここで、転倒、滑動についての安全率は常時 $F=1.2$ 、地震時には転倒が $F=1.1$ 、滑動が $F=1.0$ とした。

許容支持力 $q_a$ は下式の浅い基礎の支持力式で得られる。

$$q_a = (\beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D \cdot N_q) / (F + \gamma_2 \cdot D) : \text{砂地盤} \quad (11)$$

$$q_a = N_c \cdot c_0 / (F + \gamma_2 \cdot D) : \text{粘性土地盤} \quad (12)$$

ここで、 $\beta$ は基礎面の形状係数で連続形の場合には $\beta=0.5$ である。 $\gamma_1$ は基礎底面より下、 $\gamma_2$ は基礎底面より上の土の有効単位体積重量で、 $c_0$ は基礎底面の粘着力である。 $N_r$ 、 $N_q$ 、 $N_c$ は支持力係数である。安全率 $F$ は、常時 $F=2.5$ 、地震時 $F=1.5$ とした<sup>3)</sup>。

なお、根入れ部の震度は上部と同じ値として、低減は行っていない。サクシヨン基礎底面の摩擦係数は土の摩擦係数とした。また、サクシヨン基礎底面は開口しているので、外力作用時に内部の土の抜け出しに関する検討が必要であるが、本検討では全体安定だけに着目し、抜け出しの検討は行っていない。

### (2) 分離型の上部構造物(堤体部)の安定性の検討

図1に示す分離型の上部堤体が安定であることを、転倒、滑動について確認する必要がある。ただし、滑動については、摩擦による滑動抵抗の不足をサクシヨン基礎上部にせん断キーを設け補うようにする。

## 3. 検討条件

検討は二つ行っており、一つはある港の建設条件を用いて、一体型と分離型の両構造について、根入れ長と安全率の関係を調べている。もう一つは、分

離型について、地盤、震度、水深の各条件を変え、根入れ長を調べるパラメータ解析を行っている。

根入れ長と安全率の関係の検討では、岸壁天端が標高+2.5m、水深が-14.0mで、地盤条件は海底面が標高-14mで、-14mから-20mが $\phi=30^\circ$ 、-20m以深が $\phi=35^\circ$ の砂地盤である。外力条件は、上載荷重が $15\text{kN/m}^2$ 、設計震度が $k=0.15$ である。残留水位は+0.20mである。パラメータ解析では、設計震度は、 $k=0.20, 0.25, 0.30$ の3種類、設計水深は $h=7.5\text{m}, 10.0\text{m}, 14.0\text{m}$ の3種類である。地盤条件はせん断抵抗角が $\phi=30^\circ, 35^\circ, 39^\circ$ の3種類の均質な砂地盤である。なお、裏込めは $\phi=40^\circ$ である。

#### 4. 検討結果

##### (1) 根入れ長と安全率の関係の検討

図3、4に基礎部の検討結果を示す。なお、分離型の堤体部は転倒安全率を確保できる堤体幅が $B=8\text{m}$ と得られ、堤体幅8mとし基礎の検討を行った。

図3は各根入れ長に対し最適となった場合の基礎幅を調べたもので、根入れ長が5mの場合、一体型、分離型とも基礎幅は約17m必要であるが、6m以上では約13mと急減し、6m以上での堤体幅の変化は少ない。根入れ長6mで堤体幅が急減する理由は、地盤条件が $\phi=30^\circ$ から $\phi=35^\circ$ に増加するからである。また、一体型と分離型を比較した場合、分離型の方が堤体幅が小さく、断面がややスリムになる。

図4は、根入れ長と滑動、転倒の各安全率、および許容支持力と地盤反力の比の関係調べたもので、根入れ長が大きくなるほど滑動安全率は増大するが、転倒安全率および許容支持力と地盤反力の比は、減少傾向にある。これは、滑動については根入れとともに岸壁前面の受働抵抗が増加するので安全率が増加するが、転倒、支持力については主働土圧等の水平力の作用位置と根入れ下端の距離が長くなり転倒モーメントが大きくなるからである。

##### (2) パラメータ解析

図5は、 $\phi=35^\circ$ の地盤、設計震度 $k=0.25$ の条件に対して、設計水深を $h=7.5\text{m}, 10.0\text{m}, 14.0\text{m}$ の場合について根入れ長を変化させたときの最適基礎幅を調べたものである。なお、図5で根入れ長が0m

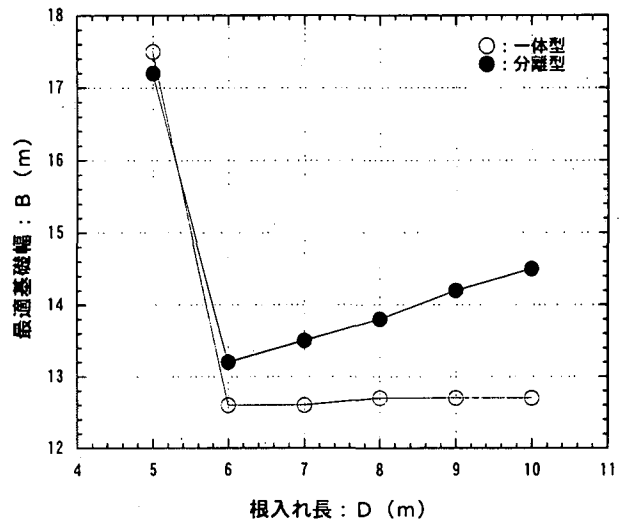


図3 根入れ長と必要基礎幅の関係

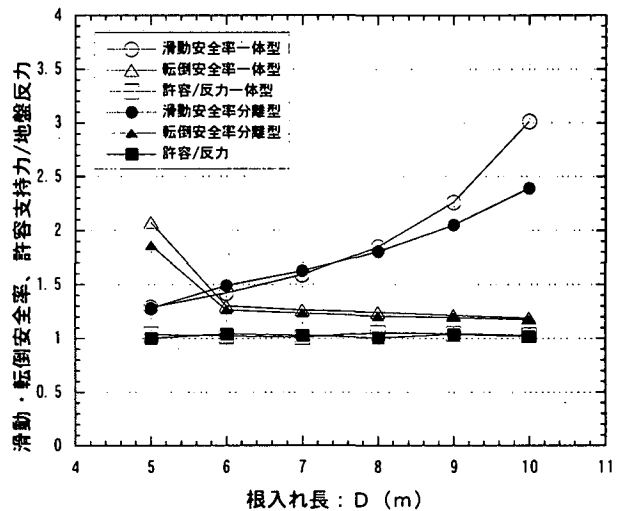


図4 根入れ長と安全率、支持力の関係

での白抜きプロットは従来型の重力式で設計した場合の最適幅で、また、黒プロットはサクシオン基礎上部の堤体幅である。図5より、根入れ幅を大きくすることにより、必要な基礎長はかなり減少し、ある根入れ長で減少は頭打ちとなる。この頭打ちは、根入れ長が大きくなると、滑動抵抗に寄与する根入れ効果よりも、転倒モーメントが大きくなることによる、転倒安全率、支持力不足の影響が大きくなるからである。また、サクシオン基礎を従来型の基礎と比較すると、堤体幅、基礎幅を大幅に小さくできることがわかる。

図6は、基礎幅が約14m、 $\phi=35^\circ$ 、設計水深 $h=7.5\text{m}$ の条件で、設計震度の影響を調べたものである。

図6より、設計震度の増加とともに、安全率は低下し、必要な根入れ長も増大する。設計震度が小さいところでは、滑動がクリティカルであるが、大きくなるにしたがい、転倒、支持力もクリティカルになってくるのがわかる。

図7は、基礎幅が約14m、設計震度 $k=0.25$ 、設計水深 $h=7.5m$ の条件で、せん断抵抗角 $\phi$ の影響を調べたものである。図7より、 $\phi$ の増加とともに、許容支持力と地盤反力の比は増加し、必要な根入れ長は減少する。この計算では、滑動で根入れ長が決まり、滑動がクリティカルであるが、 $\phi$ が小さくなると転倒、支持力もクリティカルになる傾向がある。

## 5. おわりに

本検討で以下のことがわかった。

- ・根入れが浅い場合には、滑動が安定に支配的であるが、深くなると転倒、支持力が支配的になる。
- ・震度が小さい場合は、滑動が安定に対し支配的であるが、大きくなると転倒、支持力が支配的になる。
- ・地盤のせん断抵抗角 $\phi$ については、 $\phi$ が小さくなると支持力に問題が生じる傾向がある。

ここでは、全体安定についてのみ検討したが、今後はサクシオン基礎内部の土の抜け出し等の内部安定的なことについても検討を行う必要がある。

謝辞：本検討に多大な協力を頂いた、運輸省第一港湾建設局の関係各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 善、山崎、館下、佐渡、Sparrevik：サクシオン基礎の海底地盤中への沈設実験、pp.65~72、第39回土質工学シンポジウム、1994
- 2) 山崎、善、館下：サクシオン基礎の引抜き抵抗のメカニズムに関する研究、pp.73~80、第39回土質工学シンポジウム、1994
- 3) 佐渡、善、山崎、前田：サクシオン基礎の支持力に関する模型実験、第32回地盤工学研究発表会、1997
- 4) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説改訂版、pp.333~337、1989
- 5) 沿岸開発技術研究センター：根入れ式鋼板セル設計指針、1985

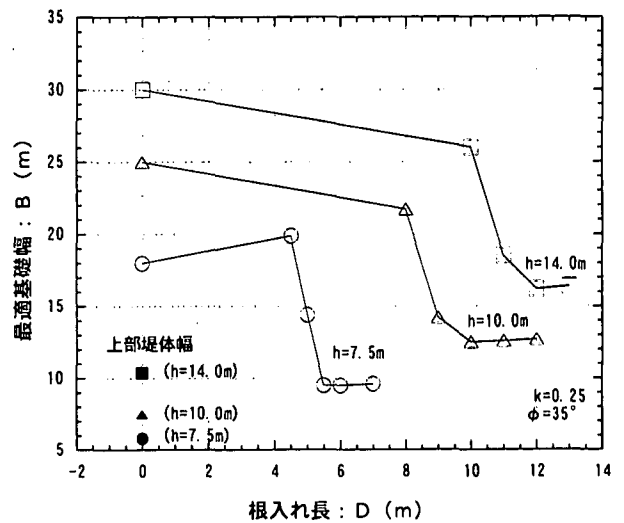


図5 根入れ長と必要なサクシオン基礎幅

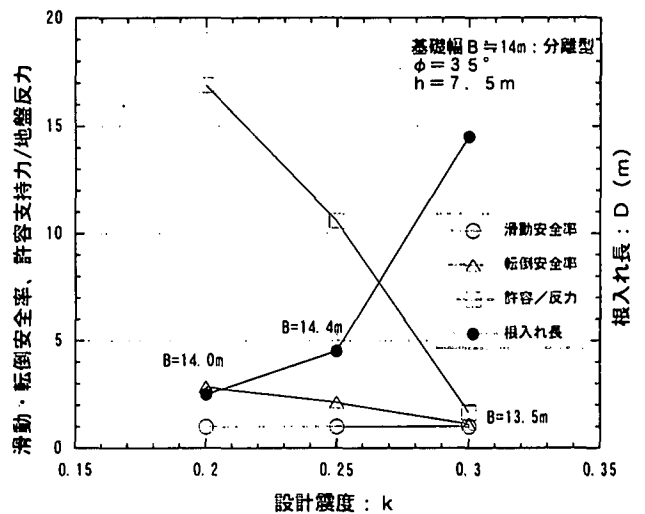


図6 設計震度と安全率、支持力の関係

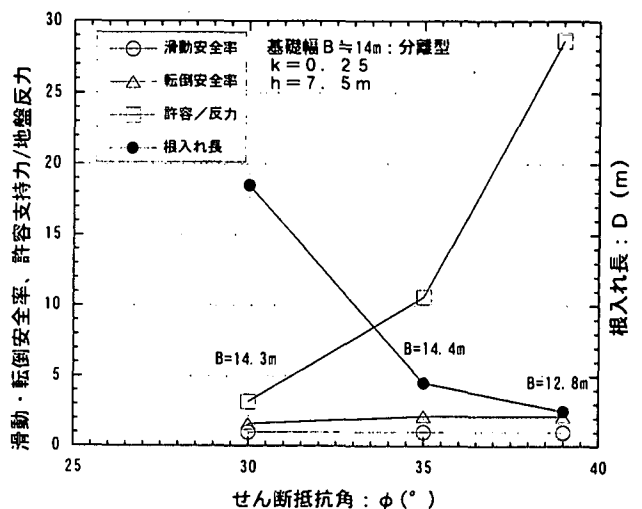


図7 せん断抵抗角と安全率、支持力の関係