

III-468

タイロッド式矢板壁の力学挙動特性の解析

運輸省港湾技術研究所 高橋邦夫 菊池喜昭
(株)日本テトラポッド 石黒 健

1. 研究の主旨

矢板の剛性、根入長、地盤特性が最大曲げモーメントへ及ぼす影響を定量的に求める為、矢板のたわみ曲線の微分方程式を解く電算プログラムを開発し、特性解析をして重要な挙動特性データを得た。

2. 矢板壁のたわみ曲線式

矢板壁根入部の前面の地盤反力 $p(x)$ と矢板の変位 y との間には $p(x)=EI \cdot (d^4y/dx^4)$ が成り立つとする。ただし、 x は地盤面からの深さ、 EI は矢板の剛性である。他方、地盤の横方向反力係数 lh 、前面反力土圧の作用深 D_0 、主働土圧 p_{A0} とから、 $p(x)=p_{A0}-lh/(D_0 \cdot EI) \cdot x^m \cdot y^n$ となる。上式で $m=n=1$ 、 $As=-lh/(D_0 \cdot EI)$ とすると、

$$d^4y/dx^4 = p_{A0}/EI + As \cdot x \cdot y \quad \dots (1)$$

を得る。この微分式の解を x のべき級数に仮定し

$$y = \sum A_n \cdot x^n \quad \dots (2)$$

とおき、4つの独立な未定係数を決定する。

直立壁体部は、下端剛埋込の片持梁としては、タイロッド取付点 $x'=H_T$ で、土圧等の外力荷重による変位 $C_A(H_T)$ と未知量である張力 T による変位 $C_T(H_T) \cdot T$ の和が、タイロッドの伸び $\delta=Dt \cdot T$ に等しいので

$$A_0 + A_1 \cdot H_T + C_A(H_T) + C_T(H_T) \cdot T = Dt \cdot T \quad (A)$$

となる。ただし、 $C_A(H_T)$ は設計外力荷重と矢板断面とで定まる所与値である。

3. タイロッド式矢板壁の境界条件

境界条件式は未知量と同じく5個必要となる。

(i) 根入れ下端部($x=D_0$)の境界条件式

$x=D_0$ では曲げモーメントとせん断力の不連続性から次式を得る。

$$M(D_0) = 0 \quad \dots (B)$$

$$S(D_0) = 0 \quad \dots (C)$$

(ii) 海底面($x=0$)の境界条件式

海底面 $x=0$ で、直立壁体部に働く土圧等の外力荷重によるモーメントを $M_A(x=0)$ 、せん断力を $S_A(x=0)$ とし、これから解くタイロッド張力 T の作用高を $x'=H_T$ とすると、次式のようになる。

$$M(0) = M_A(x=0) + T \cdot H_T \quad \dots (D)$$

$$S(0) = S_A(x=0) - T \quad \dots (E)$$

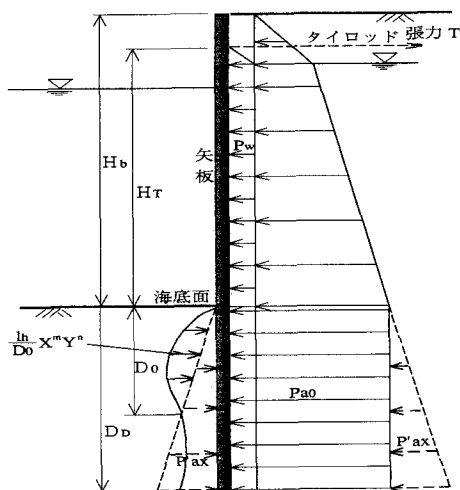


図1 矢板設計断面の記号

上の(A)~(E)の5個の境界条件式を、連立に解くと4個の未知係数とタイの張力が得られる。このようにたわみ曲線式によって矢板壁の特性解析をする為、コンピュータ数値解析プログラムを開発した。¹⁾

4. 解析用モデルの設計条件

(1) 設計条件の組み合わせ: 設計水深は-3から-14mまでの5種、設計地盤は $\phi=30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ の3種、設計震度は常時と地震時($k_n=0.2$)の2種、鋼矢板は普通鋼、高張力鋼の理論矢板と普通鋼の実在矢板の3種である。理論矢板では、構造上最適な断面二次モーメントを持つ矢板が存在しているものとしている。

(2) 砂質土地盤の横方向反力係数: K.Terzaghiによるもの³⁾を用いた。

5. 解析結果の要約

ここでは、今回の解析法の結果明らかになった事項について、現在港湾の設計によく用いられている仮想梁法の結果と比較した。

(1) 根入長と反曲点の曲げモーメントへの影響: この特性を図2に例示する。ここでは、最大曲げモーメント M_{max} と海底面に反曲点を仮定する仮想梁法によ

る最大曲げモーメント M_t との比 $\mu=M_{max}/M_t$ を縦座標に用いている。 μ の値は、フリー・アースサポート状態近辺では根入長による変動が激しいこと、フィクスト・アースサポートの安定状態でも μ は1より大きい時も1より小さいこともあることがわかる。

図3は、 $\phi=35^\circ$ の場合について、フィクスト・アースサポート状態になる根入長 D_0 と支間高 H_T との比 $\kappa=D_0/H_T$ を縦軸に、 ρ を横軸にとった図である。図には示していないが、必要根入長比 κ は ϕ が大きいほど小さくなり、 ρ が大きくなるとやや低下する傾向が見られ、常時地震時とも同様の傾向である。 κ は $\phi=30^\circ$ では0.6~0.8に分布し、 $\phi=35^\circ$ では0.5~0.7に分布し、 $\phi=40^\circ$ では0.4~0.6に分布している。

(2)矢板壁の構造特性指標：換算壁高比 $\alpha=H_a/H_T$ ($H_a=Q+\gamma_1\cdot H_1+\gamma_2\cdot H_2$)と壁体総高比 $\beta=H_b/H_T$ ($H_b=H+H_c$)の影響係数を $c=((\alpha-\beta)\cdot(\beta-1)/\alpha)^{1/4}/\beta^2$ とし、フレキシビリティ・ナンバー $\rho=H^4/EI$ との積 $\eta=\rho\times c$ を横座標にする各土質の常時と地震時の μ - η グラフは一本の曲線になる。図4に一例を示す。 μ - η 曲線は、右下がりの上凹形で EI が増え η が小さくなる程最大曲げモーメントが増大することを表している。

(3)土質条件の影響： μ - η 曲線は1の周辺に分布し、 ϕ が5°大きくなると μ 値は約0.1ずつ低下する。 μ - η 曲線の位置は常時も地震時も、 $\phi=30^\circ$ では1~1.4の範囲にあり、最大曲げモーメントは仮想梁法の値より大きくなる場合が多く、大水深でこの傾向が著しい。 $\phi=35^\circ$ では1を中心にして0.9~1.1の範囲に大部分があり、大水深では1を超過し、小水深では1を下回る。 $\phi=40^\circ$ では大部分が1を下回り、仮想梁法による値より小さくなることがわかった。

(4)矢板の鋼材材質の影響：3種類の鋼材の比較の結果、許容応力度の高い場合には EI の小さいものを利用できるので特性曲線の右側に寄り、最大曲げモーメント比が小さくなり、断面が小型化できることがわかる。

(参考文献) 1)石黒・高橋(1992): 横荷重を受ける杭と矢板の縦梁解法、山海堂 2)Rowe(1952): Anchored Sheet Pile Wall, Proc. ICE Pt 1 Vol.1 3) Terzaghi(1955): Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction, Geotechnique Vol.5 No.4

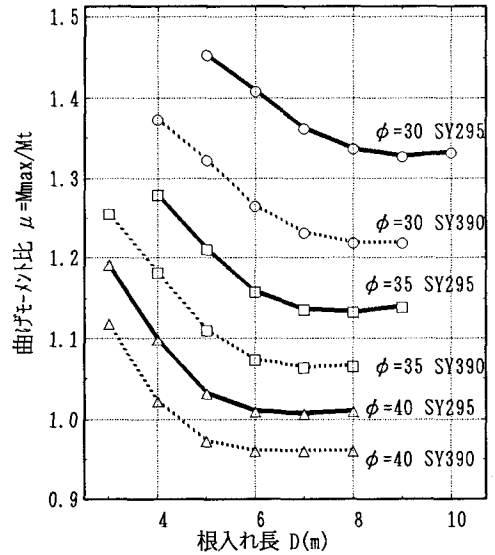


図2 根入れ長と曲げモーメント比

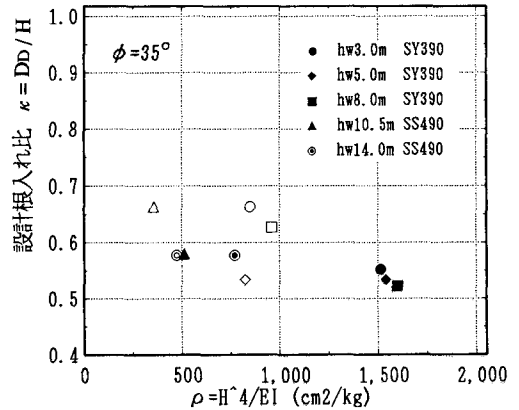


図3 ρ と κ の関係

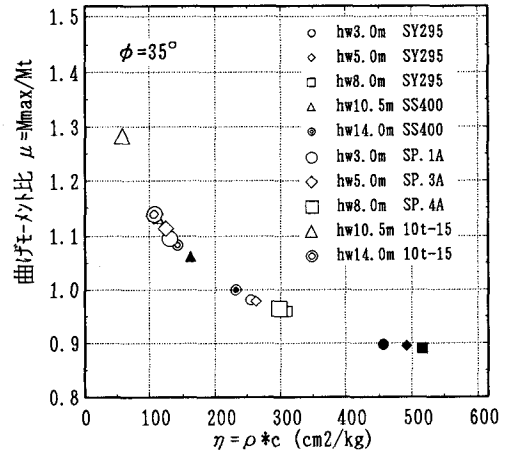


図4 η と μ の関係