

III-501

波浪による繰返し引抜き力を受ける杭の引抜き耐力について

大林組技術研究所 ○鳥井原 誠 伊藤 政人
北海道開発局 西川 純一
北海道大学 土岐 祥介

1. はじめに

水中トンネルとは、陸上で製作したチューブ上の函体を海中中部においてテンションで固定しながら連結する、今までにないタイプのトンネル形式である。テンションの固定方式は図-1のような種々のタイプが考えられるが、いずれのタイプでも函体に働く大きな浮力や波浪、潮流にも十分耐えられるだけのアンカー体を海底地盤に構築しなければならない。このような繰返し引抜き荷重に抵抗する基礎構造としてはアンカー式及び杭式基礎等が考えられるが、海底地盤が沖積あるいは洪積層の場合には杭式基礎が適している。しかし、常時大きな繰返し引抜き荷重を受ける杭の挙動に関しては、この種の荷重を受ける構造物の建設例や研究事例も少なく不明な点が多い。そこで、モールド($\phi 300\text{mm}$)を用いて模型杭($\phi 30\text{mm}$)の繰返し引抜き実験を実施した。

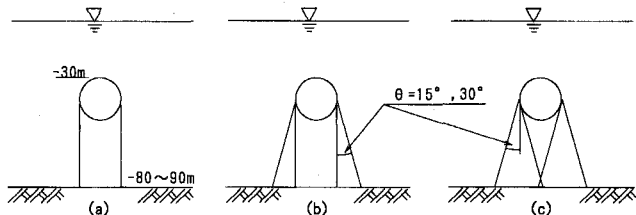


図-1 水中トンネルの固定方式

2. 実験方法

(1) 実験装置 実験装置の概要を図-2に示す。

$\phi 300\text{mm}$ の亚克力モールド内に砂を詰め、その中心に設置した $\phi 30\text{mm}$ の模型杭を引抜く機構になっている。荷重制御は油圧サーボシステムであり、荷重及び変位制御が可能である。模型杭はモールド下部に貫通させる機構となっており、模型杭が引抜けても周辺の砂との接触面積は変化せず一定である。また、模型杭の表面には砂を接着剤で貼り付けている。モールド上部にはエアバックを利用した載荷装置があり、任意の上載荷重をかけることができる。

(2) 実験地盤

最大粒径 2.0mm の乾燥砂を空中落下法でモールド内に投入し、所定の密度の地盤を作成した。作成後モールド下部から水を入れ、地盤全体を水で飽和させた。相対密度は $D_r = 80\%$ (乾燥密度 $\gamma_d = 1.54\text{gf}/\text{cm}^3$)である。

(3) 実験ケース

まず、静的実験を行ない最大引抜き力を求めた後、図-3に示すようにその力の $50 \sim 90\%$ の振幅で繰返し実験を行なった。繰返し実験での波形は正弦波、周期は台風時を想定した8秒である。上載荷重は $\sigma_v = 0, 30, 60\text{kN}/\text{m}^2$ である。

3. 実験結果

上載荷重 $\sigma_v = 30\text{kN}/\text{m}^2$ の時の静的引抜き実験結果を図-4に示す。変位速度一定($1.5\text{mm}/\text{min.}$)で引抜き量が約 8mm になるまで模型杭を引抜いた後、1時間ほど放置して再度引抜き実験を行なった。1ステージの結果をみると、当初は引抜き力が急激に増加するが、引抜き量 2mm

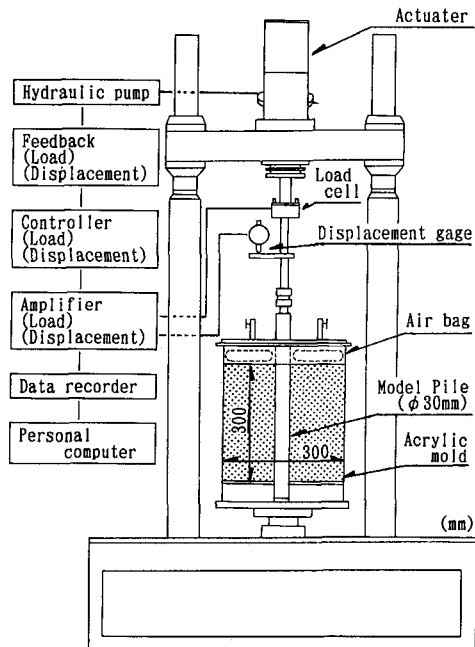


図-2 引抜き実験装置の概要

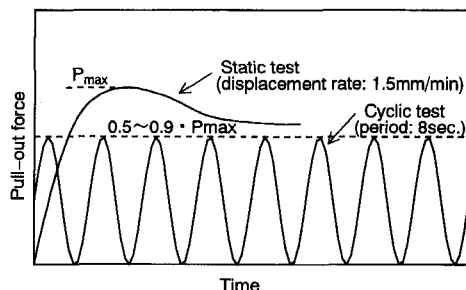


図-3 載荷パターン

付近でピークとなりその後低下してほぼ一定値となっている。2ステージの結果ではピークが消失し、引抜き力が最大になった後ほぼ一定値を示しており、しかもこの値が1ステージ目の残留強度とほぼ等しいことが明らかである。

図一5は静的実験で得られた模型杭の極限引抜き力より小さな力を正弦波形で繰返し与えた時の実験結果の一例である。これは繰返し時の最大引抜き力が0.56kN時の引抜き力および引抜き量と時間との関係を示したものである。実験開始後しばらくは引抜き量はほとんど増加しないが、ある波数を過ぎると引抜き量が急激に増加する傾向が明らかである。このような結果は他の実験ケースでも同様に現われており、引抜き力の振幅が小さくなるほど引抜けるまでの波数が多くなっている。この傾向は砂の液状化試験結果とよく似ている。

図一6は繰返し実験中の引抜き力振幅と引抜け時の波数の関係を示している。いずれの上載荷重における実験でも引抜き力振幅が小さくなるほど引抜けるまでの波数が大きくなることと、波数がいくら増加しても引抜けない最小引抜き力振幅が存在することが明らかである。図中に経過時間6時間に相当する波数（2,700波）を示しているが、これは台風など大きな波が継続する時間の代表的な例である。¹⁾すなわち、継続時間6時間の台風では図中の引抜き力～波数曲線上の2,700波に相当する引抜き力の繰返しで杭は引抜けてしまうのである。水中トンネルにおける杭の設計ではこの点に十分注意しなければならない。

図一7は杭の引抜け時に杭表面に発生するせん断力 τ と直応力 σ_h の関係を示したものである。

$$\tau = P/A$$

$$\sigma_h = K_0 \cdot (\gamma \cdot h + \sigma_v)$$

ここで、P：引抜き力、A：杭の表面積

K₀：静止土圧係数（0.5と仮定）

γ ：砂の密度、h：深さ、 σ_v ：上載荷重

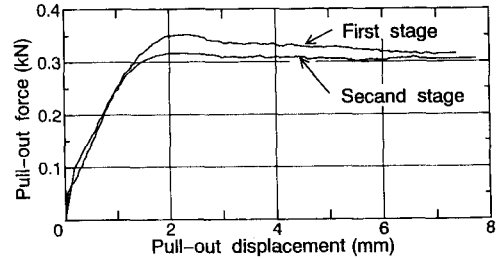
図中の実線は今回の実験結果を直線近似したものであるが、繰返し時には杭と周辺地盤との摩擦力をかなり低減させた設計をすべきことが明らかである。

4. おわりに

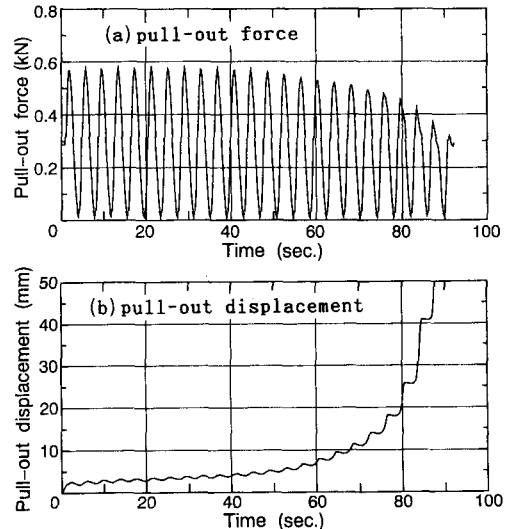
この研究は水中トンネル研究会・海底土質小委員会（北海道大学、室蘭工業大学、北海道開発局、大林組、東洋建設、熊谷組、鴻池組、竹中土木、地崎工業、日本国土開発、北海道開発コンサルタント）の研究成果の一部である。

参考文献

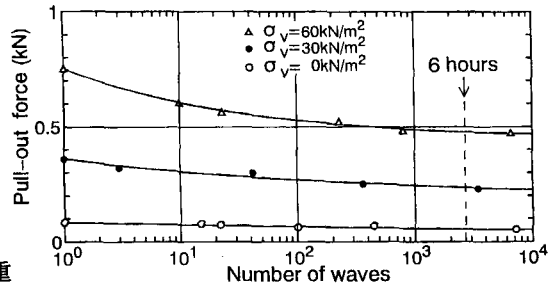
- 1) Lee, K.L. & Focht, Jr. J.A. 1975. Liquefaction potential at Ekofisk tank in North Sea, Journal of the Geotechnical Engineering Division, A.S.C.E. Vol. 101, No. GT1, pp. 1-18



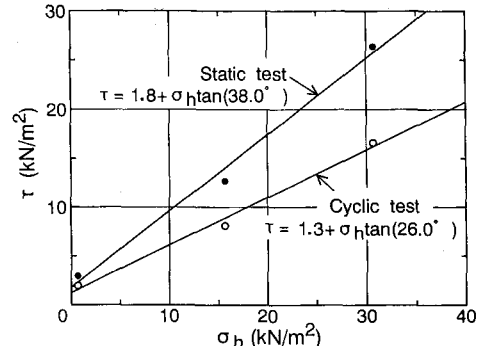
図一4 静的引抜き実験結果



図一5 繰返し引抜き実験結果



図一6 引抜き力振幅～波数



図一7 引抜け時の $\tau \sim \sigma_h$