

III-377

大口径鋼管杭の周方向応力を考慮した
先端支持力機構に関する一考察

東京湾横断道路(株) 澤井 廣之
同 上 正員 塩井 幸武
元東京湾横断道路(株) 正員 吉田 友修
(財)土木研究センター 正員 境 友昭
住友建設(株) 正員 山口 隆史

1. まえがき

一般に鋼管杭は先端部が閉塞作用を生じることによって、支持杭としての作用を発揮するとされている¹⁾。しかし、大口径杭となった場合にも同様の支持力発現機構が期待できるかどうか疑問な点もある。今回、東京湾横断道路において、 $\phi 1,600$ の鋼管杭の動的・静的載荷試験²⁾を行ったが、この時、杭の周方向のひずみおよび杭周面での土圧を測定した。本報告は、静的載荷試験時の杭の挙動から大口径杭の支持力発生機構について考察した結果を示すものである。

2. 試験概要

静的載荷試験は、杭打設終了から約 45 日後に行った。試験方法は、表-1 に示す短期多サイクル方式の荷重ステップで行った。荷重保持時間は、処女荷重時で2時間(0.03mm/15min)の沈下を 2 回連続して記録するまで)、履歴内荷重で 5 分とした。センサーは、動的載荷試験で用いた土圧計および間ゲキ水圧計、周方向応力ひずみ計、軸方向応力ひずみ計を併用した(図-1)。杭頭部の変位-荷重曲線を図-2 に示す。降伏荷重は2,450 tf、極限荷重 2,700 tf であった。

3. 考察

(1) 土圧 土圧の経時変化を 図-3 に示す。ただし、試験開始時の値を 0 としている。5 サイクルまでは土圧の変化はほとんどなく、杭頭荷重 2,500 tf 載荷時に、まず最初に、杭先端部(③断面)で土圧の上昇がみられる。次に、②断面の土圧が 2,600tf で上昇し始め、最後に①断面が 2,700tf で上昇している。「杭の軸力が上から順番に伝達されるとすれば、荷重の上昇ステップでは、杭の上方から土圧が上昇する」はずである。しかし、実際は、図-3 に示されるように杭先端部から上昇している。以上のことから、以下のプロセスが推察できる。2,500 tf で杭先端の支圧力が破壊し、この結果、杭先端部での杭が拡大して土圧が上昇した。これにより、載荷重との平衡が保たれたが、更に荷重が大きくなって、杭先端近傍でも摩擦力が限界に達し、その上部の杭が拡大し支持力を分担する。最終的に、支持力を分担できる上限(①断面付近)が限界に達して極限荷重に致る。

(2) 周方向応力と軸方向応力 土圧による鋼管への拘束が全くない場合、軸応力 $\times$ ポアソン比が周方向応力となる。その比較図を 図-4 に示す。実線と点線には大きな隔たりがあり、この差が土圧による拘束に起因する周方向応力と考えられる。

そこで、土圧を考慮するために、鋼管に作用する応力を平面応力

表-1 荷重ステップ

サイクル	荷重ステップ (tf)	(印) 処女荷重
1	0-(100)-(200)-(300)-(400)-200-0	
2	0-200-400-(500)-(600)-(700)-(800)-400-0	
3	0-200-400-600-800-(900)-(1000)-(1100)-(1200)-800-400-0	
4	0-400-800-1600-1200-(1300)-(1400)-(1500)-(1600)-1200-800-400-0	
5	0-400-800-1200-1400-1500-(1700)-(1800)-(1900)-(2000)-1600-1200-800-400-0	
6	0-400-800-1200-1400-1600-2000-(2100)-(2200)-(2300)-(2400)-(2500)-(2600)-(2700)-2400-2000-1600-1200-800-400-0	

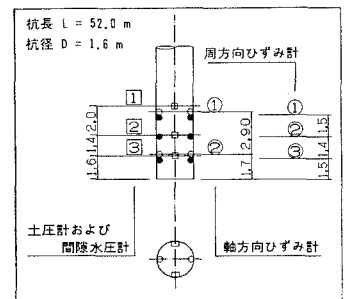


図-1 センサー配置図

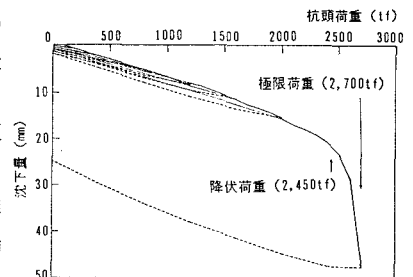


図-2 変位-荷重曲線

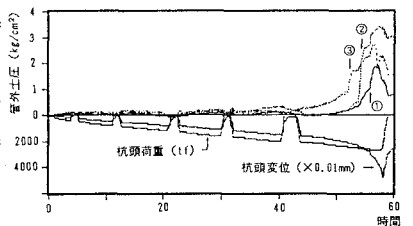


図-3 土圧測定結果

状態とみなすと、鋼管に作用している管内外圧差($p_{out}-p_{in}$)は、軸方向ひずみ(ε_1)および周方向ひずみ(ε_t)を用いて次のように表せる。ただし、 σ_t は鋼管の円周方向に作用する周方向応力、 E は弾性係数、 ν は鋼材のポアソン比(0.3)を表す。

$$p_{out}-p_{in} = -\frac{t}{r} \cdot \sigma_t \quad \sigma_t = \frac{\varepsilon_t + \nu \varepsilon_1}{1-\nu^2} E$$

管内および管外の摩擦抵抗角 ϕ_B は等しく粘性抵抗を0と仮定すると、摩擦抵抗力 τ は、 $\tau=(p_{in}+p_{out}) \times \tan(\phi_B)$ となる。また、この τ は軸力差から次式のように表せる。 $\tau=(N_1-N_2)/A$ 以上の式より、管内外に作用する圧力は、次式となる。

$$p_{in} = \frac{N_1-N_2}{2A \tan(\phi_B)} + \frac{t(\varepsilon_t + \nu \varepsilon_1)}{2r(1-\nu^2)} \quad p_{out} = \frac{N_1-N_2}{2A \tan(\phi_B)} - \frac{t(\varepsilon_t + \nu \varepsilon_1)}{2r(1-\nu^2)}$$

上式を用いて③断面の周方向ひずみと軸方向ひずみから推定した管内外の土圧を図-5に示す。ただし、摩擦抵抗角 ϕ_B は、管内の土圧が負値にならないための条件から 29° と仮定した。図-3の実測された管外土圧と比較すると、杭頭荷重2,700 tf作用時で、③断面の管外土圧は、 2.7 kg/cm^2 を示しており、計算値(図-4)では 3.2 kg/cm^2 程度の値であり、ほぼ、妥当な結果である。鋼管先端部が閉塞していれば荷重の減少に伴い、鋼管は収縮し管内土圧は増加するはずである。また、逆に増荷時は、鋼管が広がることにより管の締め付け圧は無くなり杭先端からの管内土の押上げによる応力のみとなり、管内土圧は減少するはずである。しかし、図-5では、杭先端は弾性変形の挙動を示しており、杭先端部は完全な閉塞状態ではないと考えられる。

(3) 静的支持力の発生機構 降伏荷重は、杭先端での支持地盤が弾性変形から塑性変形に移行して貫入(沈下)し始める荷重と考えることができるから、杭の静的支持力機構は軸力の増加に伴い、杭頭部から順次周面摩擦力が極限に達し、周辺地盤の圧縮応力は下方へ伝達される。降伏荷重からさらに荷重を増加させていくと、先端部でも摩擦力が極限に達し、その増分は更に上の部分の摩擦力に分担され平衡が保たれる。土圧が荷重の増荷に伴い、③→②→①の順(図-3)に増加していることから解るように、これが上方へ伝搬され極限荷重に至るものと考えられる。杭頭荷重2500 tonf(降伏荷重2,450 tf)時の杭先端部応力状態を試算した結果を次図に示す。内圧は先端部ほど大きく、逆に外圧は先端部ほど小さい値を示している。また、内圧は、外圧に比べてかなり小さい値である。

4. まとめ

周方向ひずみと軸方向ひずみを測定することにより、先端部の非閉塞状態および静的支持力機構を評価することができた。しかし、間ゲキ水圧および有効応力の測定結果には不明な点が多く、今後周辺地盤との関係を詳細に調べていく必要がある。

5. 参考文献

- 1) 山原: 鋼管杭閉塞効果と支持力機構, 日本建築学会論文報告集, 96号 および同97号, 1964
- 2) 本間政幸: 東京湾横断道路大口径鋼管杭の静的支持力と動的計測による打止め管理, 総合土木研究所, 基礎工, Vol 21, No.1, 1993

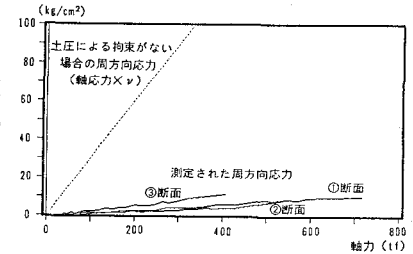


図-4 比較図

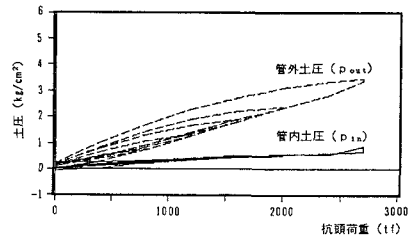


図-5 計算結果

