

Ⅲ－４ タンクの固有周期に対応した載荷速度による地盤反力係数の測定とその評価

－実施工杭を用いた水平載荷試験結果より－

四国電力(株) 正会員 岩原 廣彦

〃 〃 森内 健二

〃 〃 ○井桜 政泰

１．はじめに

徳島県阿南市に建設中である橘湾発電所の工業用水タンク(容量12.5万kl)基礎は、杭本数1,412本、杭間隔 2mの PHC 杭(φ600mm)による全面杭基礎構造である。

一般に地盤反力係数は地盤内に生じる歪み、地盤内の圧力、載荷時間、載荷速度に依存する物性値であり、タンク本体の固有周期に応じた載荷速度の荷重を受ける。このため、実施工杭を用いて載荷速度の調整可能なダイナミックジャッキによる動的水平載荷試験を実施し、地盤反力係数の載荷速度依存性について確認するとともに、地震時におけるタンク本体の固有周期(載荷速度)に対応した地盤反力係数の確認を行った。

また、タンク基礎の地質は砂質土であり、杭打設に伴う地盤の締固め効果による地盤反力係数への影響を確認するため、併せて静的水平載荷試験を行い、杭頭の荷重～変位曲線から地盤反力係数を求めた。

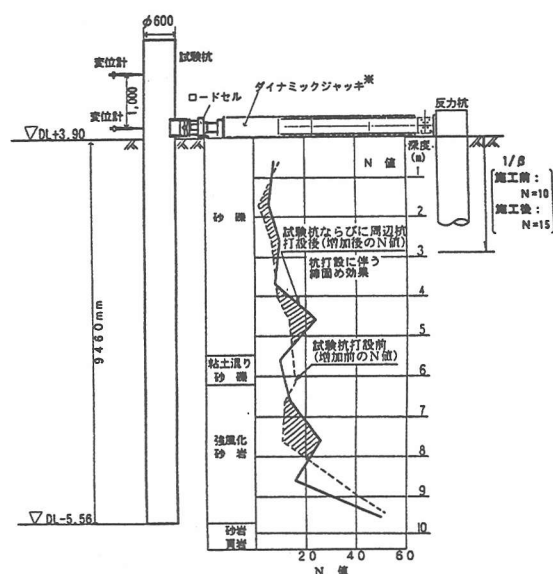
２．水平載荷試験概要

載荷試験状況ならびに地盤条件を図－１に示す。また、試験内容ならびに試験条件を表－１に示す。試験杭としては、ラム重量7.0tの油圧ハンマにより GL. -9.46mまで打撃した全杭の平均杭長($l=11$ m)を用いた。試験は、杭打設に伴う地盤の締固め効果(N値の増加)を確認するため試験杭周辺の杭を打設するとともに、杭周辺地盤の乱れの回復を待つため試験杭打設2週間後に実施した。

試験装置を図－２に示す。載荷荷重は、設計水平力である 200kNとし、試験装置は、アキュムレータに蓄積された窒素ガスと油圧をバックプレッシャとして動的に載荷でき、載荷速度の調整可能なダイナミックジャッキを用いた。

３．静的水平載荷試験結果

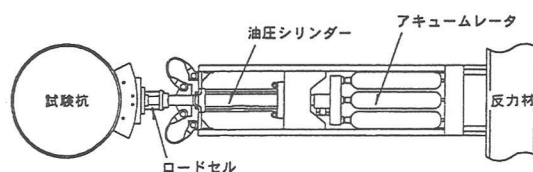
静的水平載荷試験で得られた荷重～変位曲線を図－３に示す。地盤反力係数は最大載荷荷重とその時の変位を用い、水平方向に抵抗する $1/\beta$ ($=2.94$ m)の範囲がボーリング調査



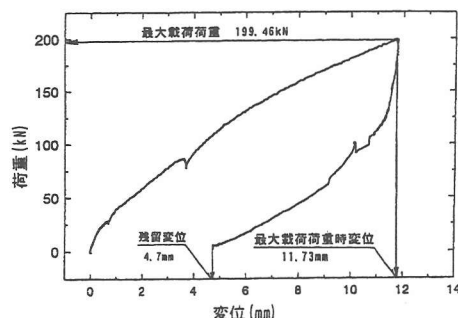
図－１ 載荷試験状況ならびに地盤条件

表－１ 試験内容ならびに試験条件

ケース	試験条件	載荷荷重 (kN)	載荷装置	載荷時間 t (sec)	載荷速度 f (Hz)
S-1	静的		油圧	120	0.003
D-1	動的	200	窒素ガス圧	0.063	2.9
D-2	動的		窒素ガス圧	0.125	1.7
D-3	動的		窒素ガス圧	0.25	0.63
D-4	動的		窒素ガス圧	0.5	0.44



図－２ ダイナミックジャッキ試験装置



図－３ 静的載荷試験による荷重～変位曲線

結果からほぼ同一の地層であることから、1層系地盤のChangの式により求めた。この結果、地盤反力係数は 2.47kgf/cm^3 となり、設計において孔内水平載荷試験と標準貫入試験結果等を考慮し、福岡一字都の式($k=0.691N^{0.406}$)から算出した 1.76kgf/cm^3 を上回り、杭打設に伴う地盤の締固め効果を確認することができた。また、この式より締固め効果後の増加N値から地盤反力係数を推定すると、 2.07kgf/cm^3 であった。

4. 動的水平載荷試験結果

(1) 水平載荷速度と荷重・変位関係について

動的水平載荷試験で得られた荷重～変位曲線を図－4に示す。ここで、動的試験の荷重～変位曲線において、静的試験における荷重～変位曲線と同等とみなした動的試験時に静的状態となる点と原点を結んだ直線も併せて示している。これより、以下のことが判明した。

- ・ 載荷速度が大きくなるにつれて動的な抵抗が増えるため、荷重～変位曲線が左側に膨らむ傾向がある。
- ・ 載荷速度が大きくなるにつれて初期剛性が大きくなり、それが維持される荷重も大きくなる。
- ・ 荷重を制御して載荷しているの、最大荷重ならびに最大変位は載荷速度による影響がほとんど見られない。

(2) 載荷速度が地盤反力係数に及ぼす影響について

載荷速度による地盤反力係数の評価は、図－5のフローに従って行った。複数の変位レベル(1, 3, 6, 9, 11mm)における動的試験の載荷荷重と想定した静的試験の載荷荷重の比を表－2に示す。これより、以下のことが判明した。

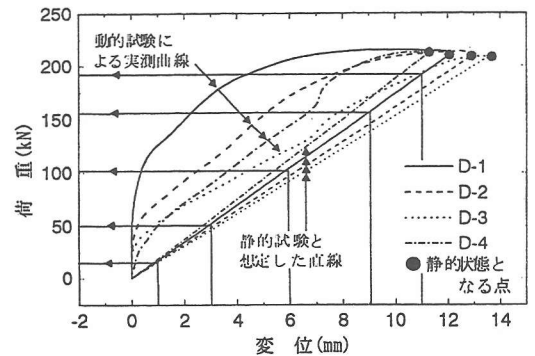
- ・ 静的より大きな地盤抵抗がある。
- ・ 変位レベルが小さいほど動的抵抗が大きい。
- ・ 載荷速度が速いほど動的抵抗が大きい。

また、これらの荷重比に基づきChangの式より算出した動的と静的の地盤反力係数比を表－3に示す。この結果、地盤反力係数比は載荷速度が速く杭頭変位が小さいほど大きくなる傾向となった。また、基礎の基準変位である杭径の1% (=6mm)において、地震時におけるタンク本体の固有周期に相当するD-1～D-2(2.9～1.7Hz)の地盤反力係数比は2.14～2.48となった。

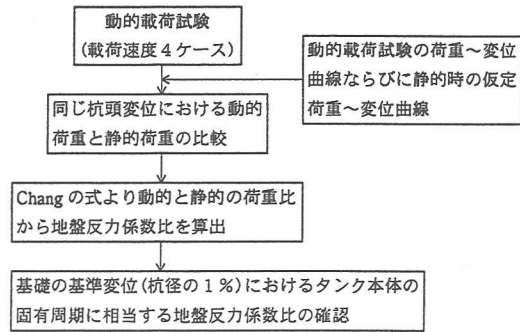
5. まとめ

今回の水平載荷試験において得られた結果を以下に示す。

- ①実施工杭における静的地盤反力係数は 2.47kgf/cm^3 と杭施工前のN値から算出した設計値 1.76kgf/cm^3 を上回り、地盤の締固め効果を確認することができ、また増加N値より算出した値は 2.07kgf/cm^3 であった。
- ②動的と静的の地盤反力係数比は載荷速度が速いほど大きくなる傾向にあり、地盤反力係数の載荷速度依存性が確認できた。また、変位レベルが小さいほど地盤反力係数比は大きくなることも確認できた。
- ③一般に設計においては地震時の地盤反力係数を常時の2倍としているが、当試験では地震時におけるタンクの固有周期付近での地盤反力係数が、基準変位において静的の2.1～2.5倍程度であることが確認できた。



図－4 動的載荷試験による荷重～変位曲線



図－5 地盤反力係数評価フロー

表－2 動的と静的の荷重比(動的/静的)

		()内は載荷速度			
載荷速度	杭頭変位	D-1 (2.9Hz)	D-2 (1.7Hz)	D-3 (0.63Hz)	D-4 (0.44Hz)
1mm		7.09	4.53	3.54	2.71
3mm		3.27	2.29	1.80	1.59
6mm		1.98	1.77	1.33	1.28
9mm		1.38	1.40	1.24	1.21
11mm		1.13	1.19	1.15	1.03

表－3 動的と静的の地盤反力係数比(動的/静的)

		()内は載荷速度			
載荷速度	杭頭変位	D-1 (2.9Hz)	D-2 (1.7Hz)	D-3 (0.63Hz)	D-4 (0.44Hz)
1mm		13.61	7.50	5.40	3.79
3mm		4.86	3.03	2.19	1.85
※ 6mm		2.48	2.14	1.46	1.39
9mm		1.54	1.57	1.33	1.29
11mm		1.17	1.26	1.20	1.04

※基準変位(杭径の1%)