

場所打ち鉄筋コンクリート壁体の水平加力試験

W. F. 研究グループ

Lateral Loading Tests on WALL FOUNDATION

W. F. Research Group

Abstract

In estimating the lateral resistance of a pile with a rectangular section such as WALL FOUNDATION, it is proper to evaluate the passive resistance and the side friction of the pile. That is, in the direction of the short axis of the pile, the lateral resistance will be given by the passive resistance of the pile rather than the frictional resistance of its sides. On the other hand, this will be reversed in the direction of the long axis of the pile.

In this paper, the results of lateral loading tests on WALL FOUNDATION are studied and a method for estimating the side frictional resistance of the pile is proposed.

Further, the influence of loading velocity on the lateral resistance of the pile is reported.

概 要

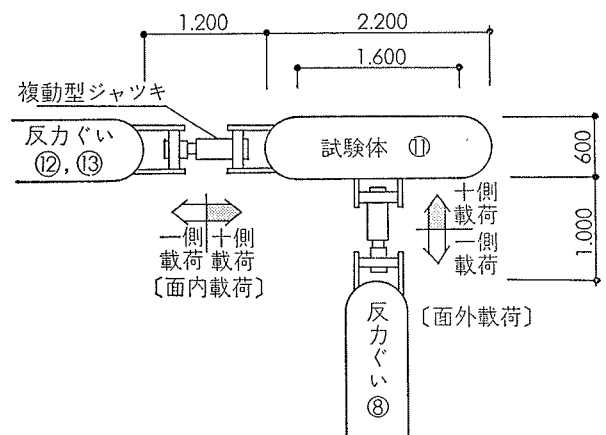
WFのように長方形断面を有するくいの水平抵抗を評価する際、地盤の抵抗要素をくい前面の受働抵抗と側面のまさつ抵抗とに分けて検討することが必要となる。すなわち、面外方向における水平抵抗は、くい側面のまさつ抵抗より前面の受働抵抗による部分が横抵抗に対し支配的であり、また、面内方向におけるそれは、逆にくい側面のまさつ抵抗によるところが大きいものと考えられる。本文は、WFに対して実施した面内および面外方向の水平交番載荷試験結果を比較検討し、その性状を調査するとともにくい側面に作用するまさつ抵抗の一評価法を提案したものである。

また、本試験においては、水平抵抗に対する荷重速度の影響を調査する目的で、荷重を連続的に増減するノンステップ載荷と各荷重段階毎に一定時間をおくステップ載荷を行なっているため、これらの結果についても合わせて報告する。

1. 序

WFは、従来仮設山留め壁として使用していた場所打鉄筋コンクリート壁体を、地下室外壁として本設構造体に利用するとともに、基礎ぐいとして使用しようとするものである。したがって、地震時にはその水平耐力も設計上問題となろう。本文ではWF試験工事の一環として実施した面内および面外方向の水平交番載荷試験について報告する。

試験体は図一1に示すように長方形断面を有している。このようなくいに水平力を加えた場合、地盤の抵抗要素としてはくい前面の受働抵抗 P と側面のまさつ抵抗 f が考えられる。 P と f との比率は載荷方向によって異なり、面外方向の場合は $p > f$ 、また面内方向



図一1 試験体平面図、および載荷装置

では逆に $p < f$ になるものと推測される。(図-2参照) 特に長方形の辺長比(長辺/短辺)が大きくなればこの関係は更に助長され $p \gg f$ または $p \ll f$ となる。したがって面内方向の水平抵抗力を検討する際、 p のみをとると地盤の抵抗力を過小に評価することになり、何らかの形で f を考慮に入れる必要がある。本文ではこの問題に対する一つのアプローチとして、面内試験における側面まさつ抵抗の評価法を提案した。

また、本試験は静的試験ではあるが、建築基礎としてのくいに作用する水平力が地震力である点を考慮し、荷重を連続的に増減するノンステップ載荷と各荷重段階毎に一定時間をおくステップ載荷を行ない、両者の結果を比較検討し、水平抵抗に対する荷重速度の影響についても調査した。

2. 実験概要

試験体の平面形状は図-1に示す通りで、くい長16.5m, うち地中部分16m, 地上部分0.5mで、載荷高さは G. L. +0.25m である。

試験は最初に面内試験を行ない、次に、試験地盤の安定を待って約1カ月後に面外試験を実施した(図-1参照)。載荷は図-1, および写真-1に示すように複動型ジャッキによって行なっている。本文では便宜上、壁体を押す方向をプラス側、引張る方向をマイナス側とした。載荷方式は面内、面外の試験ともに急速3サイクルで、各サイクルの荷重はそれぞれ、第1サイクル: (-15~0~+15ton), 第2サイクル: (-30~0~+30ton), 第3サイクル: (-50~0~+50ton) とした。そして、各サイクルにおいて水平抵抗に対する荷重速度の影響を調査する目的で、初めにノンステップ載荷を、続いてステップ載荷を行なっている。但し、面内試験の第3サイクル、ステップ載荷においては二つのループを描かせ、繰り返し載荷の影響を調査した。ここに、ノンステップ載荷とは載荷除荷を連続的に行ない、荷重保持時間をとらない載荷法をいい、ステップ載荷とは各荷重段階毎に一定荷重保持時間をとる載荷法をいうものとする。ステップ載荷での荷重保持時間は、一般荷重階においては一律5分間としたが、各サイクル終了時の0荷重階では、次のサイクルへの影響を除くため5分間の頭部変位量が0.03mm以下になるまで0荷重を保持した。試験体の頭部変位は、載荷点位置において端部に3点、中央部に1点計4点、地表面から5cm上部で同様に計4点総計8点測定した。変位計は、ノンステップ載荷においては差動トランス型変位計(ストローク100mm, 精度0.01mm)を、またステップ載荷においてはダイヤルゲ-

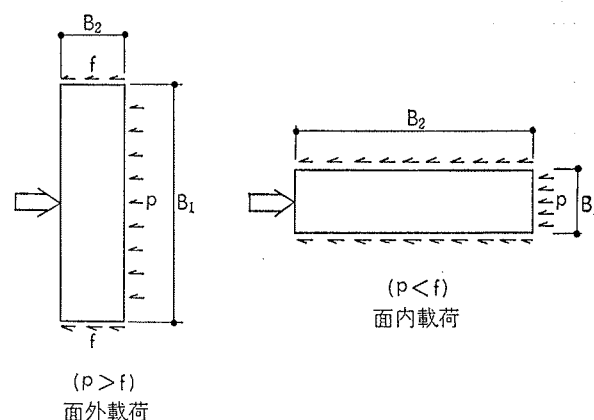


図-2

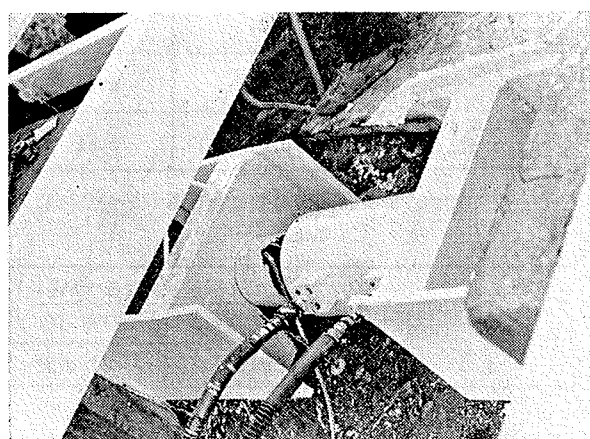


写真-1 複動型ジャッキの取り付け部分

ジ(ストローク, 50mm, 最小目盛0.01mm)を使用した。なお面外試験の第3サイクル終了後、連続的にプラス側載荷を行ない、試験体の破壊試験を実施した。

3. 実験結果, および考察

3.1. バネ定数

試験体の断面形状が長方形であるので、載荷にもなるとなると試験体にねじれが生じることが予想されたが、8点の頭部変位測定結果によれば、このようなねじれはほとんど生じなかった。

図-3, および図-4は、それぞれ面内試験, 面外試験における荷重~載荷点変位曲線である。同図中、破線はノンステップ載荷, また実線はステップ載荷による結果を示している。これらの結果から各サイクル毎に両載荷法によって描かれたループの勾配を計算し、これをバネ定数(kg/cm)として表-1に示した(図-5参照)。また、面内, および面外試験におけるバネ定数の比を表-2に、ノンステップ, およびステップ載荷によるバネ定数の比を表-3に示した。

表-1によると、面内, 面外試験におけるバネ定数

	面内試験		面外試験	
	ノンステップ載荷	ステップ載荷	ノンステップ載荷	ステップ載荷
第1サイクル (最大荷重±15ton)	(×10 %g/cm) 2.50	(×10 %g/cm) 2.23	(×10 %g/cm) 0.77	(×10 %g/cm) 0.68
第2サイクル (最大荷重±30ton)	2.35	1.82	0.57	0.41
第3サイクル (最大荷重±50ton)	1.60	1.22 (第1ループ)	0.32	0.21
		1.14 (第2ループ)		

表一 面内、および面外試験におけるバネ定数

	$\left(\frac{\text{面内試験におけるバネ定数}}{\text{面外試験におけるバネ定数}} \right)$	
	ノンステップ載荷	ステップ載荷
第1サイクル (最大荷重±15ton)	3.24	3.28
第2サイクル (最大荷重±30ton)	4.12	4.44
第3サイクル (最大荷重±50ton)	5.00	5.81

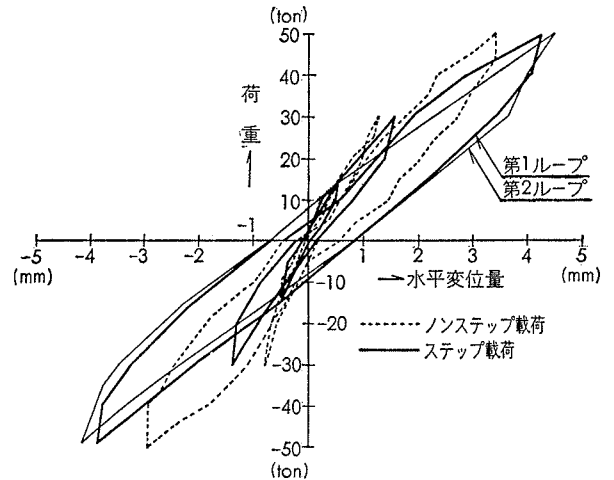
表二 面内、および面外試験におけるバネ定数の比

	$\left(\frac{\text{ノンステップ載荷法によるバネ定数}}{\text{ステップ載荷法によるバネ定数}} \right)$	
	面内試験	面外試験
第1サイクル (最大荷重±15ton)	1.12	1.13
第2サイクル (最大荷重±30ton)	1.29	1.39
第3サイクル (最大荷重±50ton)	1.31	1.52

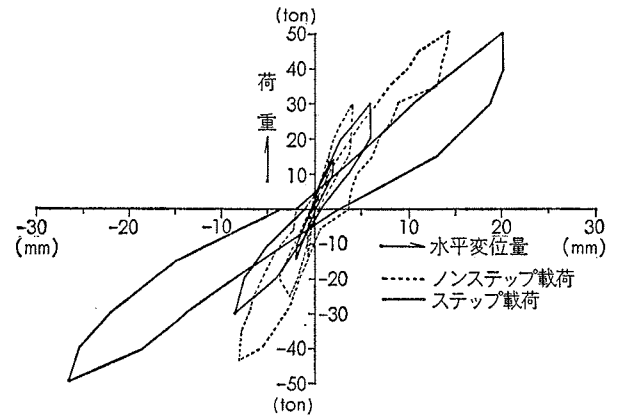
表三 ノンステップ、およびステップ
載荷法によるバネ定数の比

はともに、荷重の増加にしたがって減少しており、地盤の非線形性をよく示している。また表一によると、面内試験におけるバネ定数は面外試験におけるバネ定数の3～6倍の値を示しており、両者の差は荷重の増加にともなって増大している。これは、試験体の面内、面外方向における剛性、くい幅、および地盤の水平支持力機構の相違等の影響によるものと考えられる。また、第3サイクルで調査した範囲では、バネ定数は繰り返し載荷による影響をあまり受けていない(図一3、および表一参照)。もちろん、地盤が塑性域に入るような荷重のもとでは繰り返し載荷による影響を考慮しなければならないであろうが、それ以下の荷重ではこの影響を無視しても実用的に差し支えないものと考えられる。

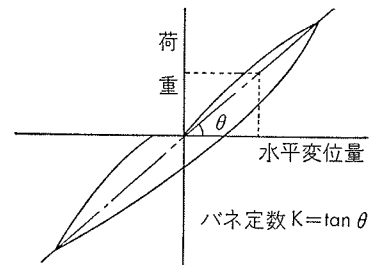
次に、荷重速度がバネ定数にどのような影響を与え



図一3 面内試験における荷重～載荷点変位曲線



図一4 面外試験における荷重～載荷点変位曲線



図一5 バネ定数の算定

ているかを調査してみた。表一3は、この比較を示したものであるが、荷重速度の速いノンステップ載荷で得たバネ定数は、荷重速度の遅いステップ載荷で得たものの約1.1～1.5倍程度であった。そして、この差は地盤のクリープ量が大きくなる荷重の増加とともに大きくなっている。地盤が粘弾性的な性質をもつ以上、静的な試験結果を動的な解析に適用する場合にこの荷

重速度と地盤のクリープ特性の相関を知る必要がある。本実験結果はこの問題に対する一つのデータを得たものとする。今後も機会があるごとにこの種の実験を続けデータを蓄積していきたい。

3.2. 面内試験における側面まさつ抵抗の一評価法

図一六にステップ載荷のプラス側載荷における荷重～載荷点変位の関係を示した。また、図一七はChang式から算定した横方向地盤反力係数 k と載荷点変位の関係を示したものである。同図によると、面内試験結果から求めた k 値は面外試験の k 値の3.5～4倍の値を示している。これは既述のように、面内試験においては壁体側面のまさつ抵抗が地盤反力に大きな影響を与えるためと考えられる。そこで、この側面まさつ抵抗を評価する一つのアプローチとして、以下に示すような近似式を仮定した。下式はChang式における地盤反力 P を壁体前面の受働抵抗 p と側面のまさつ抵抗 f とに分離し、横方向地盤反力係数 k もこれに対応させて k_1 と k_2 とに分け、 p と f とを別々に評価しようとするものである(図一八参照)

$$P = p + f$$

P および f の作用する範囲を考慮して上式を以下に示すように変形する。

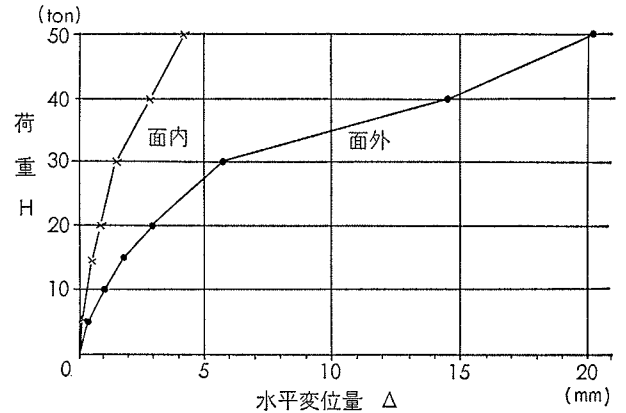
$$P = k_1 B_1 y + 2k_2 B_2 y$$

$$\therefore P = \left(k_1 + \frac{2k_2 B_2}{B_1} \right) B_1 y$$

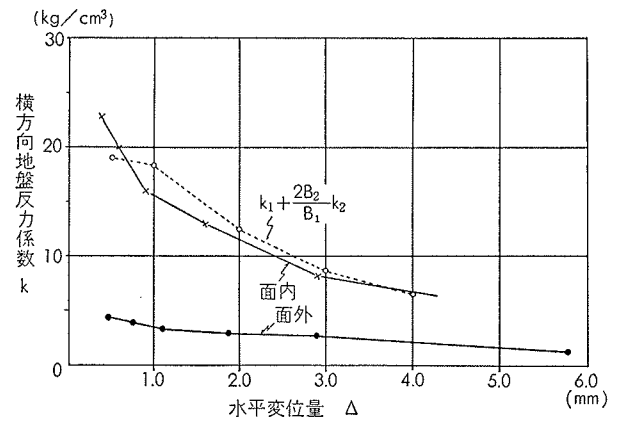
ここで $k = k_1 + \frac{2k_2 B_2}{B_1} \dots \dots (1)$ とおくと

$$P = k B_1 y \dots \dots (2) \text{ となる。}$$

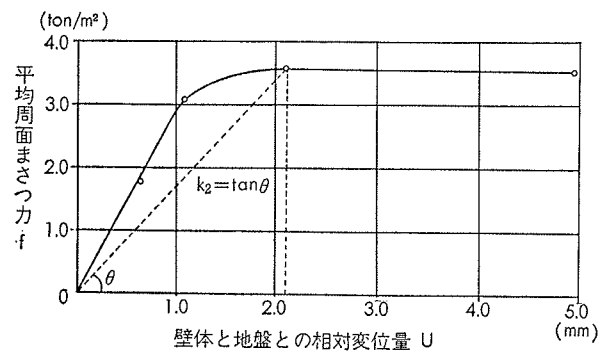
(1)式において、 k_1 は受働抵抗に関する項であるから、面外試験においては側面まさつ抵抗の影響を無視できるものとして、同試験の荷重～載荷点変位の関係からChang式によって計算した k 値をそのまま使用した。側面まさつ抵抗に関する係数 k_2 は、壁体の水平抵抗に支配的と考えられる地盤がローム層であることから以下のようにして求めた。まず、ローム層における壁体と地盤との相対変位量と平均周面まさつ力 f の関係を鉛直載荷試験結果から求めた(図一八参照)。次に、各相対変位量に対応する曲線上の点と原点とを結ぶ直線の勾配を求め、これを k_2 として、図一七に k_2 と相対変位量との関係を示した。 k_2 は壁体と地盤とが単位長さの相対変位を起したときに生ずる単位面積当りのまさつ力で kg/cm^2 のディメンジョンを有している。図一七によると、 k_2 は一定値ではなく相対変位量の増加にともなって減少しているの、いかなる相対変位量に対応する k 値をとればよいのか問題



図一六 ステップ載荷のプラス側載荷における H～Δ 曲線



図一七 k～Δ 曲線



図一八 U～f 曲線

となる。ここでは一応載荷点変位と同一の相対変位量に対応する k_2 をとることとした。以上のようにして各載荷点変位毎に k_1 、 k_2 を求め、(1)式によって面内試験における k 値を計算したところ、図一七の点線に示すように面内試験の荷重～載荷点変位の関係から、Chang式を用いて算定した k 値と比較的よく一致した。

3.3. 破壊試験結果について

面外試験においては破壊試験を行なったので、その

結果について報告する。面外試験の第3サイクル終了後、壁体をプラス側へ連続的に載荷したところ、荷重145tonで鈍い音とともに壁体が破壊した。変位量が大きく、ダイヤルゲージを取りはずしてしまったので、壁体破壊時の正確な頭部変位量は不明であるが、折尺による測定では地表面位置で約20cm程度であった。破壊時においては、壁体前面の地盤に盛り上りと亀裂が、また壁体背面側では地盤と壁体との間に大きな間隙が生じた(写真一2参照)。

水平載荷試験終了後に行なった根切り工事の際、本試験体を観察したところ、写真一3に示すようにほぼG.L.-2.6mの位置に曲げひび割れが生じており、この位置で試験体が破壊したことが判明した。また、Chang式によって最大曲げモーメントを生ずる位置を計算すると $l_m=3.2m$ となり、実際の壁体破壊位置よりやや深い値を示した。

4. 結 語

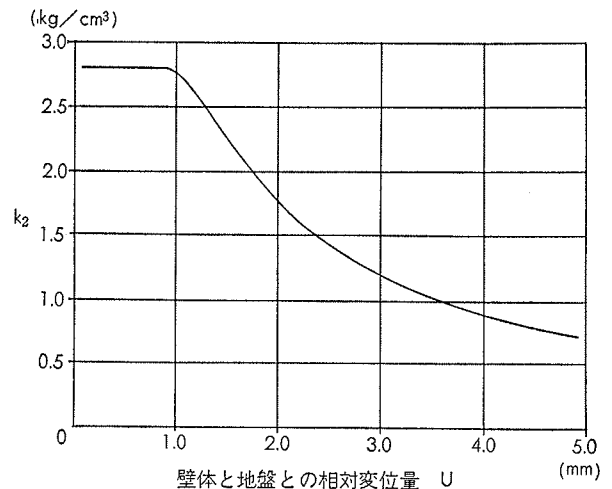
以上、場所打鉄筋コンクリート壁体に対して実施した面内、および面外水平交番載荷試験結果について報告した。

面内試験における側面まさつ抵抗の評価法についてはあくまで試算であって、種々の問題点を含んでいる。すなわち、本試験体のように長方形断面を有するくいに対するChang式の適用性の問題、鉛直載荷試験結果から求めた周面まさつ力を水平載荷試験結果の検討に使用した点、側面まさつ抵抗に関する係数 k_2 を載荷点変位で押えた点、 k 値に対するくい幅の影響、試験体の中立軸の移動の問題等である。しかしながら初期のアプローチとして一つの方向づけは得られたものと考えている。

参考文献

- 1) 横山幸満 鋼ぐいの設計と施工
- 2) 土質工学会 鋼グイ

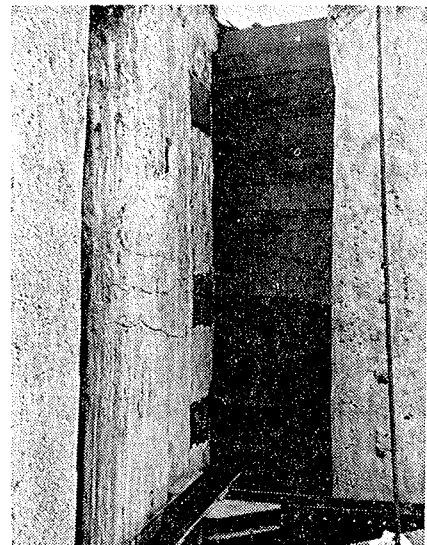
(文責 茶谷文雄)



図一9 U~ k_2 曲線



写真一2 壁体破壊時に生じた地盤と壁体との間隙



写真一3 壁体破壊時に生じた曲げひび割れ