

- 1 3 基礎構造に作用する外力評価における地盤振動・相互作用の影響 Effects of Soil Amplification and Soil-building Interaction on Estimation of Seismic Force to Building Foundation

(研究期間 平成 12～13 年度)

構造研究グループ

Dept. of Structural Engineering

飯場 正紀

Masanori Iiba

Synopsis- In order to clarify seismic action to a pile foundation and stress of piles under a soil-structure interaction system, a shaking table test on a model of superstructure, pile foundation and soil deposit was carried out. Effects of the sway and rocking motions of foundations and vibrations of the soil deposit on the pile foundation are investigated. Especially the effect of the contact condition between an embedment of foundations and the surrounding soil, that is, backfill and friction at the embedment, on the stress of piles is focused. The backfill is very effective to reduce the force to piles, and the rocking motion of embedment has much influence to the moment distribution of piles.

【研究目的及び経過】 地震時における建物、基礎の応答は、表層地盤の振動特性、建物と地盤の相互作用（基礎と地盤の接触する部分での力のやりとり）、建物の振動特性が関係する。特に基礎構造（特に杭基礎）の場合、基礎に作用する地震力は、上に示した3つの要因が関係する。本研究では動的相互作用を考慮した合理的な構造設計のための外力評価の基本的性状を明らかにするために、上部構造 - 基礎構造 - 地盤連成系の縮小模型を用いた振動台実験を行った¹⁾。上部構造の慣性力、基礎のロッキング振動および地盤振動の杭応力への影響を検討し、基礎根入れ部周辺の地盤条件による杭基礎の入力・抵抗機構の基本特性を明確にする。

図1に、上部構造 - 杭基礎 - 地盤連成系における基礎部分での入力作用および抵抗作用の概念を示す²⁾⁻³⁾。図1bに、上部構造(基礎根入れ部の質量も含む)を取り除いた基礎根入れ部 - 地盤系での状態を示す。工学的基礎の下方から鉛直入射した地震動により表層地盤が応答する結果、杭は地盤変位により強制され変位が発生する。また基礎に根入れ部分を有すると、根入れ部分の側面に作用する土圧は根入れ部分を押す方向に作用し、入力作用となる。一方抵抗要素は主に杭の水平抵抗であり、一部底面での摩擦力が反力作用となることが考えられる。図1cのように、上部構造(基礎根入れ部も含む)からの慣性力によるベースシアや転倒モーメントが杭基礎に作用する場合、基礎根入れ部には水平変位(以下スウェイ変位)や回転角(以下ロッキング角)が生じる。これらの上部構造からの外力に対し、基礎根入れ部の側面土圧や底面摩擦力および杭で抵抗することになり、転倒モーメントに対

しては杭周面の摩擦力および杭先端鉛直反力で抵抗する。

【研究内容】 建物の原型は壁式ラーメン鉄筋コンクリート構造を有する建物(以下 HFW 建物と称す)である。HFW 建物の構造形式は桁行方向が扁平な壁柱と同じ厚さの梁からなる壁式ラーメンであり、梁間方向は両端に壁柱を有する独立耐震壁構造となっている。本実験では、HFW 建物の梁間方向の振動性状に着目した。

上部構造 - 杭基礎 - 地盤連成系模型試験体を図2に示す。模型試験体は振動台上に設置されている。杭基礎建物を地盤中央に設置し、基礎根入れ部は地表面から6.3cm 埋め込まれている。基礎根入れ部の底面と側面は地盤と接触しているが、加振方向に平行な側面の摩擦力は作用しない。杭は基礎根入れ部底面に接合されており、ほぼ杭頭回転拘束の条件が満たされている。なお上部構造、基礎構造、地盤ともに弾性的挙動を示す範囲での検討である。

振動台から加速度振幅一定のスイープ波を入力し、建物、基礎および地盤の加速度、基礎根入れ部土圧、杭の曲げひずみを計測した。

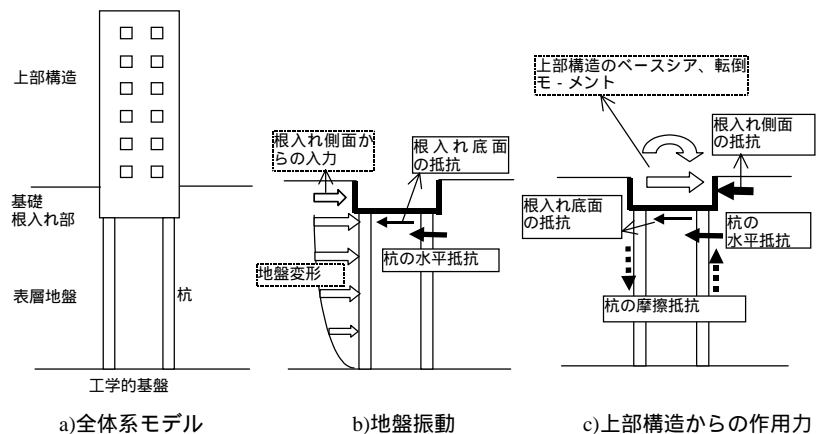


図1 地盤振動および上部構造(基礎根入れ部を含む)の慣性力作用時の力の釣合

【研究結果】 地盤および建物の共振振動数における杭曲げモーメント分布について検討する。杭の深さ方向には均一な水平地盤反力係数を有することとし、Changの式が適用できると仮定する。杭応力に影響する要因として、上部構造のベースシア(基礎根入れ部の慣性力も含む)、基礎のロッキング角と地盤変位とする。上部構造のベースシアの内、基礎根入れ部での負担分を除いた水平力が杭頭に作用する。基礎のロッキング角は実験値を用いる。地盤変位は式(1)を用い、地表面変位は振動数と地表面の加速度振幅より求めた値とし、式(2)より杭変位・応力を求める。

$$u_g(z) = u_{gs} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} z\right) = u_{gs} \cos\left(\frac{\pi f}{f_g} \frac{z}{H}\right) \quad (1)$$

$$E_p I_p \frac{d^4 u_p}{dz^4} + B_p k_h (u_p - u_g) = 0 \quad (2)$$

ここに、 u_g 、 u_{gs} はそれぞれ地盤変位、地表面変位、 λ は波長、 f 、 f_g はそれぞれ波の振動数、地盤の1次卓越振動数、 z 、 H はそれぞれ深さ、地盤層厚である。また u_p 、 E_p 、 I_p 、 B_p はそれぞれ杭の変位、弾性定数、断面2次モーメント、直径である。 k_h は水平地盤反力係数であり、Francisの提案式を用いて算定した⁴⁾。なお境界条件は杭頭で回転拘束、杭先端でピンとした。

図3に、計算値と実験値の比較を示す。周辺土圧・底面摩擦とも作用しない場合、杭曲げモーメントは水平力によるモーメントが支配的であるが、基礎根入れ部のロッキング変形により、水平力と同等の曲げモーメントが杭頭に生じるが、曲げモーメントの向きが反対となる。基礎根入れ部底面の摩擦力による抵抗が加わると、杭頭の水平力が低減する結果、杭頭曲げモーメントが小さくなり地中部で最大値を示し、杭頭ピン条件の分布と似てくる。基礎根入れ部の側面土圧も作用すると、上部構造のベースシアの一部しか杭に作用しないため、基礎のロッキングによる影響が顕著となる。地盤振動のより生じる杭曲げモーメントの大きさはあまり顕著ではない。

【参考文献】

- 1) 北川良和、松島豊他：地盤・建物連成系におけるせん断力係数分布 - 高層壁式ラーメン構造に関する研究 - (その1)~(その5)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造B、pp.819-826、1988
- 2) 小林勝巳、森伸一郎：基礎構造の耐震設計と相互作用を考慮した地震荷重、第5回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム資料集、日本建築学会、pp.107-120、1998.5
- 3) 飯場正紀：杭体の応力に及ぼす地盤振動の影響(その1)(その2)、日本建築学会東海支部研究報告集、pp.101-108、1983

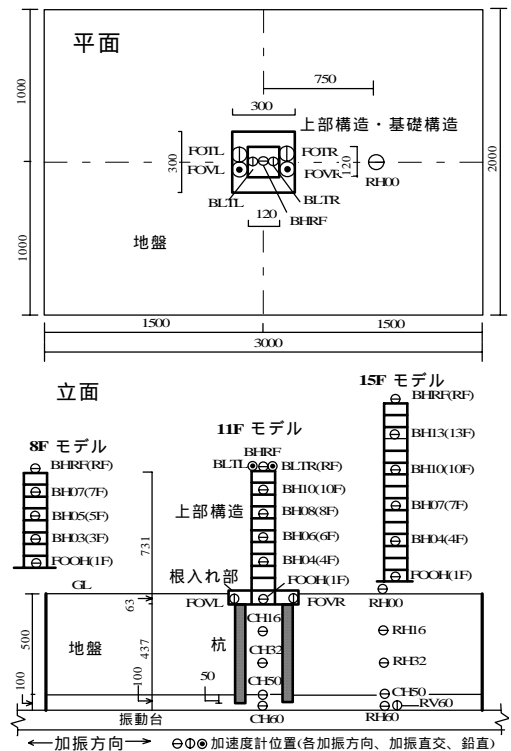


図2 上部構造 - 杭基礎 - 地盤連成系模型試験体

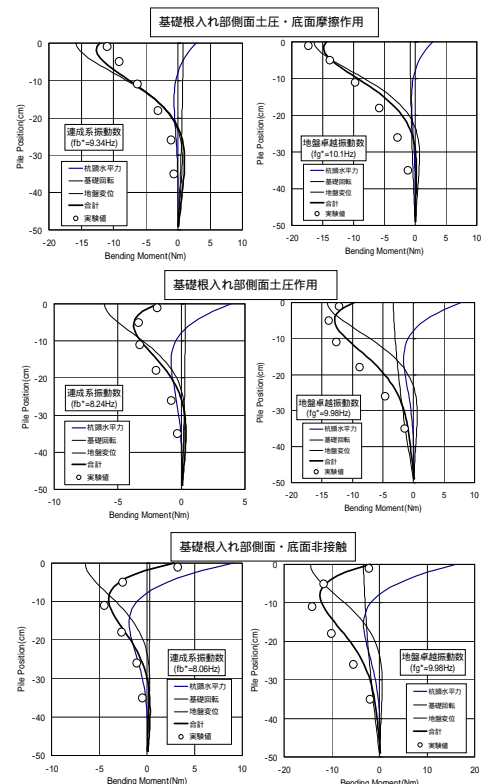


図3 上部構造 - 杭基礎 - 地盤系の共振振動数における増幅特性(基礎根入れ周辺地盤状況別、11F建物)

- 4) 横山幸満：くい構造物の計算法と計算例、山海堂、pp.77-78、1977