

軟弱地盤に建設された RC造店舗付き集合住宅

河津亘(鹿島建設株) + 小椋仁志(株ジオトップ)

■建築概要

名称：Aスーパー
 所在地：川崎市川崎区
 建築設計：鹿島建設
 構造設計：鹿島建設
 用途：店舗付き集合住宅
 建築面積：190㎡
 延床面積：850㎡
 階数：地上5階（一部2階）
 上部構造：RCラーメン構造
 基礎構造：摩擦杭



摩擦杭

図2 ボーリングデータ

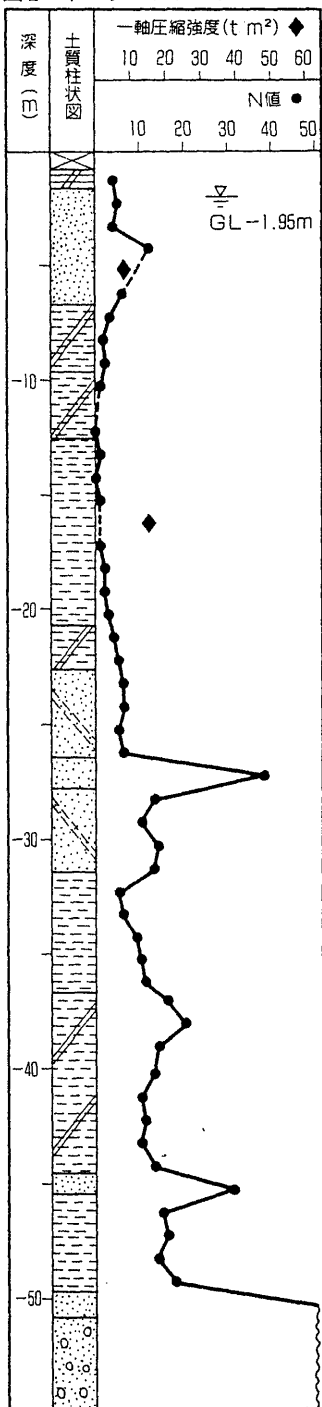
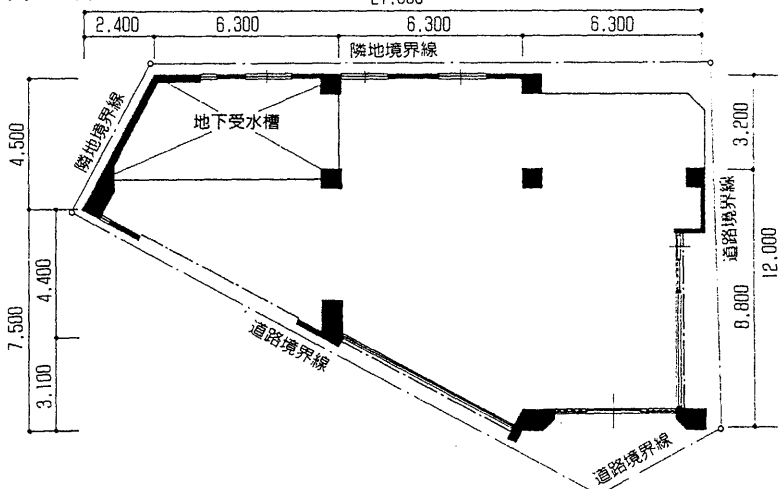


写真1 建物外観

図1 1階平面図 S=1:300



この建物は、地耐力の小さい軟弱地盤上に摩擦杭を使って建てられたものである。支持層は深く、地表付近にはゆるい砂層があつて地震時には液状化が問題となり、その下には沖積粘土層が厚く堆積して圧密沈下が問題になる。したがって、液状化や不同沈下の検討を入念に行う必要があつた。

■建物の概要

この建物は、川崎市内に建つ、建築面積約190㎡、5階建て（一部2階建て）の店舗付き集合住宅である（写真1）。

図1のような平面形状をしており、1階部分は店舗、2階以上は集合住宅となっている。地下室はないが、地下部分には、図1の位置に受水槽が設けられている。構造はRC造で、5階建て部分の1階床における平均荷重は、約9.6 t/m²である。

■地盤の概要

地盤は図2のように、沖積層が厚く堆積した地耐力の小さい軟弱地盤であつて、支持層はGL-50mまで存在しない。特にGL-7mから-22mの間は、N値が2以下の沖積粘土層であり、圧密沈下（89頁参照）が問題となる。

また、地表付近の地盤もゆるい細砂層となつており、地下水位もGL-1.95mと高いため、地震時の液状化（注）に対する検討も必要である。

■立地の概要

敷地は市街地のため、騒音や振動を伴う施工法は採用できない。また、敷地の大きさなどの制約から、大規模な施工機械を用いることはできない。

■基礎工法の選定

本ケースのように、地盤が軟弱で地耐力が小さく、直接基礎によって支持させることが難しい場合は、杭基礎を用いることが多い。杭は、その支持地盤によって、支持杭と摩擦杭（68頁参照）とに分けられるが、以前は、「基礎は良質な地盤に支持させる」という考え方から、ほとんど支持杭が使われてきた。しかし、地盤沈下地帯において、支持杭を使った構造物に、抜け上がり現象や不同沈下などの障害が現れるようになった。また、たとえば高さ15m程度の中低層の建物に5mを超える長い杭を打つなど、構造的にも経済的にも上部構造とのバランスを欠いた設計になりがちであった。

これらに対する反省から、近年、摩擦杭や浮き基礎など、構造物を地盤と順応させて一緒に沈下させる方法が採用されるようになってきた。88年に改定された（社）日本建築学会の『建築基礎構造設計指針』でも、良質な地盤に支持させるという考え方にこだわらずに、地盤の状態や建物の規模、用途、構造などを総合的に判断して、最も合理的な基礎工法を選ぶ

ことを推奨している。ただし、摩擦杭や浮き基礎を用いる場合は、特に、地盤の液化化や不同沈下などによる障害が生じないように、入念な検討が必要であることはいままでもない。

この建物の場合、基礎工法として、①P H C杭（支持杭）、②アースドリル工法による場所打ちコンクリート杭（支持杭、72頁参照）、③P H C節杭（摩擦杭）の3種類が検討された。しかし、P H C杭を支持杭として用いた場合、杭長を50m以上にしなければならず、敷地の広さの關係から施工が困難と判断された。このため、残りの2つの案に対して主に経済性の面から比較した。その結果、今回の建物のように比較的小さい規模のものに支持杭を用いるのは不経済であった。基礎梁などにかかる費用の増加を考慮しても摩擦杭の方が経済的で合理的な設計ができると判断された。

以上より、杭の支持力や地震時の液化化、粘性土層の圧密沈下などを十分に検討した上で、摩擦杭を採用することとした。用いる杭は節部径40mm、軸部径300mm、節部間隔1mのP H C節杭である。

次項の「基礎の設計」で述べるような検討の結果、長さ12mのB種杭（プレストレス80kg/cm²、A種は40kg/cm²）を、設計支持力15t/本として設計した。基礎スラブはベタ基礎として、1.1m間隔で119本打設することとした。図3に杭伏図を示す。施工法は、敷地が市街地であることから、

図3 杭の配置図 S=1:150

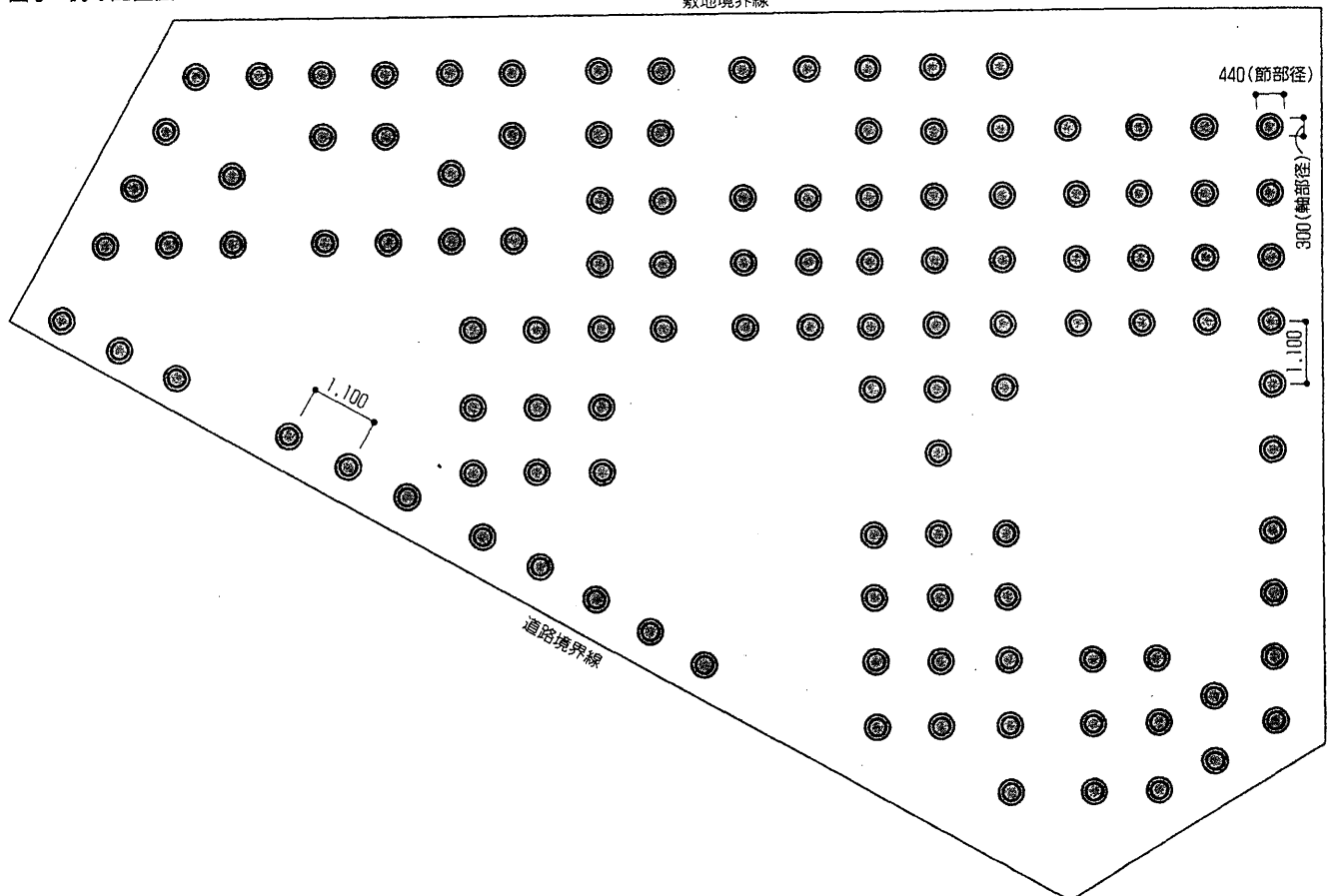


図5 地盤の有効応力

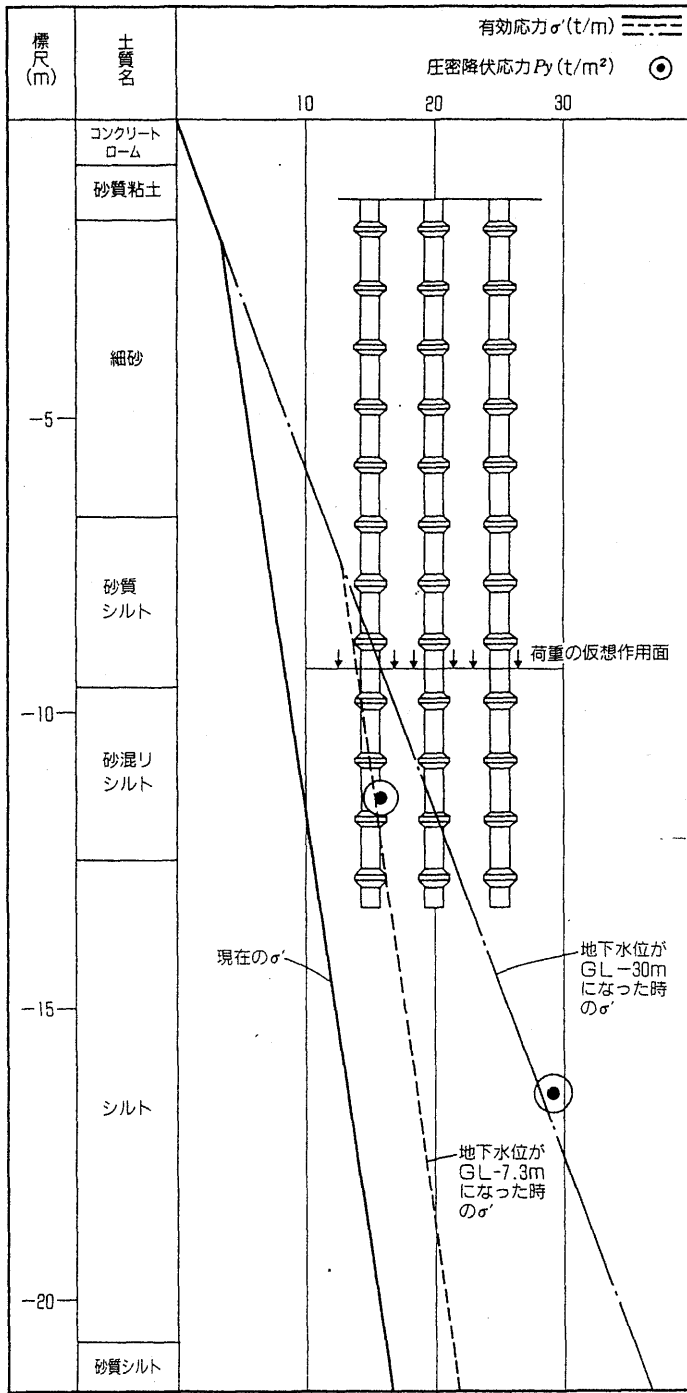
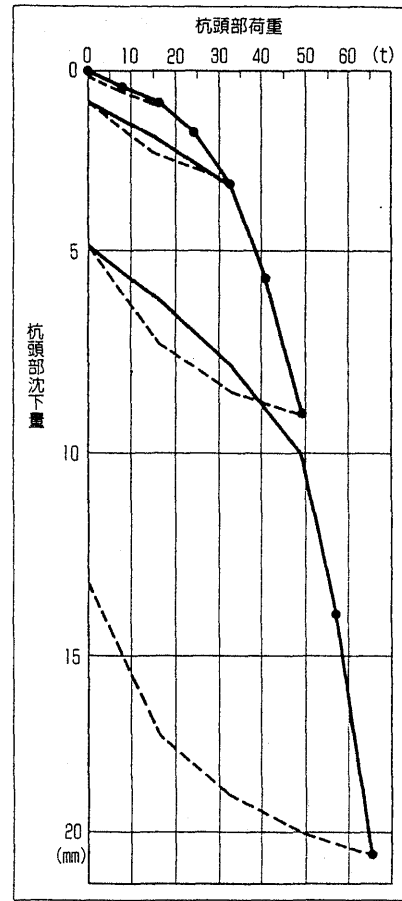


図4 載荷試験の結果



騒音や振動の少ないセメントミルク工法 (埋込み工法) を採用した。

節杭の鉛直支持力の計算方法は、地域ごとの行政指導に基づいており、全国的に統一された計算式はない。大部分の地域では建設省告示III号に示された式が用いられているが、首都圏の特定行政庁で

■基礎の設計

①鉛直支持力の検討

は節杭を「異形摩擦杭」として扱い、地盤のN値と杭長から一義的に支持力値を決めている。本ケースの場合、杭長12mの節杭を採用すると長期許容支持力 R_a は杭1本当たり15tとなり、この値を設計支持力として必要な杭本数を算出した。杭長を12mとしたのは、これより短いと R_a が小さいため杭本数が多くなって、敷地内に納まらないためである。

②鉛直支持力の確認(載荷試験の結果) 図4は、この敷地において実施した載荷試験で得られた荷重-沈下量関係図である。最大荷重64t時でも沈下量は20.8mmと小さく、極限荷重はもろろん降伏荷重も現れていない。この結果、長期許容鉛

直支持力 R_a は21.3t/本以上となること が確認できた。したがって、設計支持力を15t/本としても、十分安全な値であると判断される。

③水平支持力の検討

建設省・財団法人建築センターの「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」に従って節杭の水平支持力を検討した。その結果、地震時に杭1本に働く水平力は2.2tとなり、発生する圧縮応力、曲げ引張り応力およびせん断応力に対し、B種の杭を使えば許容値を満足することが分かった。

④砂地盤の液状化の検討

この地盤は7m付近までゆるい細砂層が続いており、地震時には液状化する恐れがある。そのため、「建築基礎構造設計指針」に示された方法で、マグニチュード(M)を6、7および8とした場合の液状化の可能性を、地表面加速度 α を100ガル、150ガル、200ガルとして検討した。計算は細砂層を1mごとに区切って行ったが、念のため深さ7~9mの砂質シルト層についても検討した。

その結果、M \parallel 6および7の場合は、いずれの α の時でも液状化の可能性はないものと判定され、M \parallel 8の場合は α 150ガル以下では可能性はないと判断された。 α 200ガルでは、砂質シルト層で計算の上では可能性が少しあるという結果となったが、これらの層の細粒土(粒径が0.074mm以下の土)含有率は37.7~64.3%

図6 圧密沈下量の計算位置と沈下量の測定結果

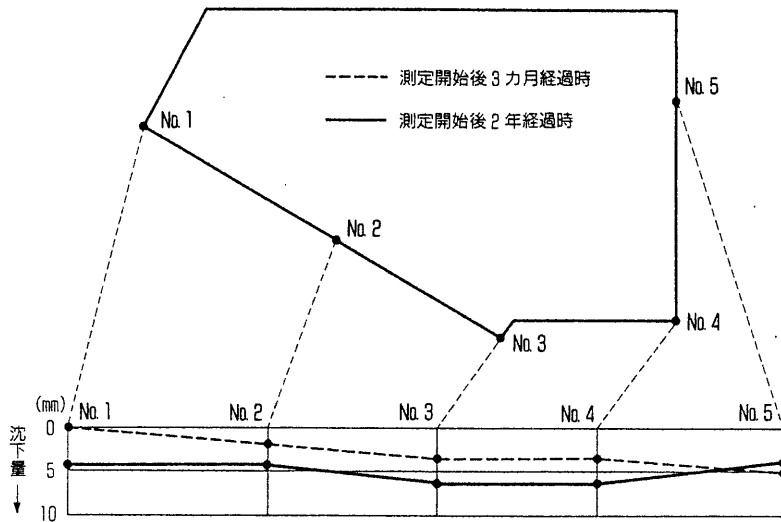


表1 圧密沈下量の計算結果

| 地下水位 (GL-m) | | 1.95 | 7.31 | 30.0 |
|----------------------------|---------------|------|------|-------|
| 粘性土層の | GL-9.6~12.5m | 正規 | | |
| 圧密の状態 | GL-12.5~20.7m | 圧密 | | |
| 建物の剛性を無視して計算した各位置の沈下量 (cm) | No. 1 | 1.17 | 6.59 | 12.88 |
| | No. 2 | 1.17 | 6.89 | 15.99 |
| | No. 3 | 1.15 | 6.39 | 14.36 |
| | No. 4 | 1.16 | 6.26 | 12.63 |
| | No. 5 | 1.17 | 6.90 | 15.34 |
| 剛性係数 α^* | | 0.60 | 0.60 | 0.53 |
| 最大沈下量 (cm) | | 0.70 | 4.14 | 8.47 |
| 最小沈下量 (cm) | | 0.69 | 3.83 | 6.69 |
| 沈下量の差 (cm) | | 0.01 | 0.31 | 1.78 |

* α は、建物をRC造5階建て、開口比>30%として算定

粘土(同0.005mm以下)含有率は16.4~28.3%であって、もともと液状化の検討を行う必要のない地盤である。以上より、すべての場合に液状化の可能性はないものと判断した。

⑤粘性土層の圧密沈下の検討
この地盤には、前述のように軟弱な粘性土が厚く堆積しており、圧密沈下の恐れが大きい。さらに、本設計では地盤と建物を一緒に沈下させる摩擦杭を採用しているため、不同沈下による障害が起きないように十分な検討が必要となる。

図5は、深さ20mまでの地盤の有効応力 σ_v などを描いたものである。また、圧密試験によって得られたGL-11.4mと-16.4mの圧密降伏応力 P_v も示している。

いずれの P_v も現在の地下水位 (GL-1.95m) による σ_v より大きく、この粘性土層は過圧密状態(過去に今よりも大きな応力を受けていた状態)であると判断される。沖積粘性土層がこのように過圧密状態となっているのは、過去に地下水の汲み上げを行ったため、地中の有効応力が増加して地盤沈下を起こした後、汲み上

げの規制で水位が回復したことによるものであろう。

この建物の圧密沈下量と相対沈下量(ここでは沈下量の差で代用する)を計算した。計算に当たっては、杭先端深さから $L/3$ (L :杭長)上方の深さであるGL-9.3mの位置に、等分布荷重 $q=5.61t/m^2$ が作用するものとした。この荷重値は、杭から地盤に伝達される荷重 $15t \times 119本=1785t$ を、杭頭から15°の角度で分散されるものとして求めた作用面積 $318m^2$ で除した値である。また、地下水位は、①現在の水位:GL-1.95m、②GL-9.6~12.5m間の粘性土層が正規圧密状態となる水位:GL-7.31m、③GL-12.5~20.7m間の層も正規圧密状態となる水位:GL-30.0mの3通りを想定した。計算する位置として、図6に示す五つの点を選んだ。

これらの値と圧密試験による諸定数を使って計算した各位置の圧密沈下量の値を表1に示す。この表から、地下水位がGL-30mまで低下するという極端な場合でも、最大沈下量は8.5cm程度、相対沈下量(沈下量の差)は1.8cm程度であることが分かる。これらの沈下量は、『建築基礎構造設計指針』に示された許容沈下量(最大沈下量20cm、相対沈下量4.0cm)の半分以上の値である。実際には地下水位は現在より低下しないと考えられ、沈下量はさらに小さくなる。したがって、この建物に摩擦杭を使っても、圧密沈下による障害が生じる恐れはまったくないと

判断される。

■沈下量の追跡調査

この建物が実際にどの程度沈下するかを調べるために、沈下量の追跡調査を実施した。1階部分の床を打設した時点で測定を開始し、施工中に4回、竣工後に現在まで2回測定を行っている。図6に現在まで2回測定から3カ月後(3階部分の完成時)と、約2年後(竣工後1年4カ月経過時)の沈下量を合わせて示した。測定開始後3カ月間に約4mm程度沈下しているが、ほとんど即時沈下であろう。その後の圧密沈下と思われるものは、約2mm生じているにすぎない。もちろん、これらの沈下による障害はまったく発生していない。

■むすび

本ケースで紹介したのは、地耐力の小さい軟弱地盤に摩擦杭を用いて建設されたRC造5階建ての店舗付き集合住宅の設計例である。摩擦杭を使用した場合、地盤の液状化と粘土地盤の圧密沈下が問題となるため、入念な検討を行った。また、施工中から2年にわたって建物の沈下量を測定したが、沈下量は小さく、障害はまったく発生していない。

注 地下水位が高くて密度のゆるい砂地盤に地震力が作用したとき、砂粒間の水の圧力が高くなって、水が砂粒を持ち上げる状態になる結果、地盤のせん断抵抗が失われ液状化になる現象