建築構造物のコストスタディ

杭地業工事費を含めた鉄筋コンクリート造の躯体工事費について

COST STUDY OF BUILDING STRUCTURES

The structural cost of reinforced concrete structure with pile cost

西 邦弘*, 田中茂樹**, 佐々木 陽一***

Kunihiro NISHI, Shigeki TANAKA and Yoichi SASAKI

The report will explain how the construction costs for building frame and piling work are determined assuming that the building conditions are total floor area, standard floor area, number of stories, span length, and load (those are influence coefficient for the building), and subsoil conditions are N value for pile head, N value for pile point and the depth of supporting layer (those are influence coefficient for the subsoil).

Keywords : reinforced concrete structure, structural cost, pile cost, cost study

鉄筋コンクリート造、躯体工事費、杭地業工事費、コストスタディ

1. はじめに

建設事業を行う場合、事業企画者は一般に事業の収支計画をたてる。また、事業の収支計画の支出部は建設工事費の占める割合が最も大きい。その建設工事費の中で躯体工事費（本論は上部躯体工事費と杭地業工事費の合計を躯体工事費という）は地盤条件に大きく影響することがある。特に軟弱地盤の場合、杭地業工事費は特殊な場合を除き直接基礎工事費より高くなるため、基本計画の段階で杭地業工事費を軽視すると、実施設計の段階で杭地業工事費の占める割合が躯体工事費の中で予想以上に高くなり、上部躯体工事費を重点に概算を行った当初に予想した予算を上回る。そのため建設事業が成立しなくなる場合も少なくない。

それ故に、杭地業工事費を含む躯体工事費の概算は、地盤条件を十分に把握しておく必要がある。これは、杭地業工事費に大きく影響する杭工法の選定と地盤条件から杭地業工事費を考慮させた建物のスパン割りやスパン長の選定が重要になる。

このような背景から、本研究の目的は次の3項目である。

- 1) 地盤条件と建物条件による杭地業工事費の関係を具体的に示す。
- 2) 地盤条件と建物条件による上部躯体工事費と杭地業工事費および躯体工事費の関係を具体的に示す。
- 3) 地盤条件と建物条件による上部躯体工事費と杭地業工事費および躯体工事費の概算表(簡易表計算)を提案する。

これまでの研究は、良好な地盤上の建物で直接基礎とした上部躯体工事費と直接基礎工事費の概算式を提案^{*(3), *(4)}してきた。しかし、日本全国の多数の都市部は軟弱地盤が広く分布しており、杭地業工事を主体に基礎工事をする場合が多い。また、杭の支持層深さを軒高で除した値（以下、杭長軒高比という）が大きくなる程、基礎と杭地業を合わせた工事費（以下、杭地業工事費という）を上部躯体工事費で除した値が増すため更に杭地業工事費の把握が重要になる。

よって地盤条件を十分に配慮した最小躯体工事費になるスパン長と杭工法の選定および躯体工事費が必要である。しかし、これまでに杭地業工事費を含めた躯体工事費については本研究以外に論じてなく、また本研究以外の論文も見当たらない。

そのため、本研究は軟弱地盤に立つ建物で最小躯体工事費になるスパン長や杭地業工事費および躯体工事費との影響について論じ、設計の企画段階で杭地業工事費を含めた躯体工事費の概算表を提案することとする。なお、本論で論ずる建物は整形な建物とし、階高が一定でスパン長が均等割りで平面的、立面的にバランスのよい建物を仮定している。なお杭の設計法は、摩擦杭を除いた支持杭とし、許容支持力は先端支持力のみとしている。また、杭に引き抜きが生じないものとしている。

杭地業工事費は同じ地盤条件に対する杭5工法の中から比較検討を行う。なお、上部躯体工事費は、既発表論文^{*(5)}のデータを用いている。

本報の1部は、第22回情報システム利用技術シンポジウムに発表した。(5)

* ㈱キンキ総合設計 所長

** 近畿大学理工学部建築学科 助教授・工博

*** 近畿大学理工学部建築学科 大学院生

Company President, Kinki General Architectural Design Co., Ltd.
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Kinki University, Dr. Eng.
Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Kinki University

2. 研究方法

2. 1 建物分類

本論で行う研究方法は以下に示す任意形状と延床面積を一定にした建物に分類して行う。本研究は、任意形状の建物でスパン数、スパン長、階数の関係から延床面積の影響について、また、延床面積を一定にする建物で、階数、スパン数の関係からスパン長の影響について分けて検討する。

これは、これまでに杭地業工事費が任意形状の建物条件で延床面積による影響について研究^{(6),(7)}していたが、本研究で発表する杭地業工事費は3種類の延床面積に分類した建物を仮定しスパン長による影響も加えて比較検討を行う。

(1) 任意形状の建物(以下、建物条件1とする)

3. 1.(1)項に示す任意形状の建物を仮定した時、3. 2項に示す杭5工法の杭地業工事費が、建物条件や地盤条件によっていかに変化するかを比較検討する。なお、柱の軸方向力と杭頭に生じる水平力は、中柱の平均床荷重を 12kN/m^2 と仮定して計算している。また、側柱・隅柱に対する水平時の軸方向力は中柱の平均床荷重の2.0倍の係数^{(6),(7)}を乗じて計算している。

(2) 延床面積を一定にした建物(以下、建物条件2とする)

3. 1 (2)項に示すように延床面積を $3,000, 2,000, 1,000\text{m}^2$ と仮定したとき、設計条件と杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費の関係について比較検討を行うことにする。この延床面積は、既に発表している上部躯体工事費に関する論文⁽⁴⁾に、スパン長、スパン数、階数を任意に変化させた建物の上部躯体工事費で、延床面積 $3,000\text{m}^2$ を超えるとスパン長、スパン数、階数の建物条件による躯体数量(コンクリート量、形枠量、鉄筋量)がある数値に収斂していることと、事務所建築としては延床面積 $5,000\text{m}^2$ 以下の建物が多数設計されているためである。なお、上部躯体工事費や柱の軸方向力については、すでに建築構造物の上部躯体工事費の研究⁽⁴⁾として使用されるプログラムと連動させて検討している。

2. 2 検討項目

本論で行う検討項目は、建物条件1, 2とも設計条件に対する杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費の関係を分類して比較検討する。

(1) 設計条件と杭地業工事費について

(a) 支持層深さの影響: 支持層深さと杭5工法の杭地業工事費との関係を比較検討する。

(b) 階数の影響: 階数と杭5工法の杭地業工事費との関係を比較検討する。

(c) スパン数の影響: 両方向とも同じスパン数(2~9)と杭5工法の杭地業工事費との関係を比較検討する。

(d) スパン長の影響: 両方向とも同じスパン長(5~9m)と杭5工法の杭地業工事費の関係を比較検討する。

(2) 設計条件と杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費について

(a) 杭長軒高比の影響: 建物条件1, 2と地盤条件によって設計した杭5工法のうち、杭地業工事費の一番低廉になる工法を選定することを確認する。本研究は、この一番低廉になる杭工法を用い杭長軒高比と杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費がいかに変

化するかを比較検討する。

(b) 最小躯体工事費になるスパン長: スパン数、階数、階高を一定にしスパン長を変化させた場合、杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費がそれぞれ最小になるスパン長を確認する。

2. 3 躯体工事費の概算手法について

2. 2項の検討結果から設計条件(階数、スパン数、スパン長および地盤条件の支持層深さ)と杭5工法の杭地業工事費の関係を把握でき、最小躯体工事費になる杭工法の選定が可能になる。同様な方法で本研究は3. 1 (2)項に示すような建物条件2と躯体工事費(上部躯体工事費と杭地業工事費の合計)の関係を比較検討し、全てのデータを直接用いて設計の企画段階における躯体工事費の杭工法の選定と概算手法を提案する。

3. 設計条件

3. 1 建物条件

本論で仮定している建物は全て鉄筋コンクリート造の事務所建築物とする。

(1) 仮定した任意形状の建物(建物条件1)

スパン数: $2 \times 2, 3 \times 3, 4 \times 4, 5 \times 5, 6 \times 6$

スパン長: $5 \times 5, 6 \times 6, 7 \times 7, 8 \times 8, 9 \times 9 (\text{m} \times \text{m})$

階数: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9階建

階高: 3m (一定)

(2) 仮定した延床面積を一定にした建物(建物条件2)

(a) 延床面積 $3,000\text{m}^2$ の場合

2階建のスパン長: 4.8m, 5.5m, 6.5m, 7.7m, 9.6m (スパン数: 8, 7, 6, 5, 4)

3階建のスパン長: 4.5m, 5.3m, 6.3m, 7.9m, 10.5m (スパン数: 7, 6, 5, 4, 3)

4階建のスパン長: 4.5m, 5.5m, 6.9m, 9.1m (スパン数: 6, 5, 4, 3)

5階建のスパン長: 4.1m, 4.9m, 6.1m, 8.1m, 12.2m (スパン数: 6, 5, 4, 3, 2)

6階建のスパン長: 4.5m, 5.6m, 7.5m, 11.2m (スパン数: 5, 4, 3, 2)

7階建のスパン長: 4.1m, 5.2m, 6.9m, 10.3m (スパン数: 5, 4, 3, 2)

8階建のスパン長: 4.8m, 6.5m, 9.7m (スパン数: 4, 3, 2)

(b) 延床面積 $2,000\text{m}^2$ の場合

2階建のスパン長: 5.3m, 6.3m, 7.9m, 10.5m (スパン数: 6, 5, 4, 3)

3階建のスパン長: 4.3m, 5.2m, 6.5m, 8.6m (スパン数: 6, 5, 4, 3)

4階建のスパン長: 4.5m, 5.6m, 7.5m, 11.1m (スパン数: 5, 4, 3, 2)

5階建のスパン長: 4.0m, 5.0m, 6.7m, 10.0m (スパン数: 5, 4, 3, 2)

6階建のスパン長: 4.6m, 6.1m, 9.1m (スパン数: 4, 3, 2)

7階建でのスパン長: 4.2m, 5.6m, 8.5m (スパン数: 4, 3, 2)

(c) 延床面積 $1,000\text{m}^2$ の場合

2階建のスパン長: 4.5m, 5.6m, 7.5m, 11.2m (スパン数: 5, 4, 3, 2)

3階建のスパン長: 4.6m, 6.1m, 9.1m (スパン数: 4, 3, 2)

4階建のスパン長: 4.0m, 5.3m, 7.9m (スパン数: 4, 3, 2)

5階建のスパン長: 4.7m, 7.1m (スパン数: 3, 2)

階高: 3m (一定)

3. 2 仮定した杭工法

杭工法の種類は多数あるが、本研究は使用頻度の高い杭工法を仮定しており、以下に示す杭5工法(I), (N), (S), (K), (T)を対象としている。

(1) PHC杭【既成コンクリート杭】

(a) 一般工法、以下 (I) とする。(b) 認定工法、以下 (N) とする。

(2) 場所打ちコンクリート杭

(c) ストレート杭、以下 (S) とする。(d) 拡底杭、以下 (K) とする。

(e) 鋼管拡底杭(耐震場所打拡底杭)、以下 (T) とする

なお、図1～4、図6、表1～2に上記記号を使用している。

3. 3 仮定した地盤条件(1) 支持層の深さ (GLから杭先端までの距離) $L=10, 20, 30, 40, 50(m)$

(2) 杭先端部N値 20あるいは50 (3) 杭頭部N値 5あるいは10

3. 4 仮定した杭の条件**(1) PHC杭【既成コンクリート杭】**

設計条件から生ずる全杭の設計に対し、400, 500, 600 φのそれぞれ径別に杭を設計し、それぞれ合計した杭地業工事費(3種類)の中で最も低廉になる杭径を採用する。

(2) 場所打ちコンクリート杭

(a) ストレート杭(S)・・・800 φ～4000 φ

(b) 拡底杭(K)と鋼管拡底杭(T)

軸 径・・・800 φ～4000 φ

拡底径・・・900 φ～4100 φ

4. 上部躯体工事費と杭地業工事費の定義**4. 1 上部躯体工事費の定義**

上部躯体工事費(C)は、次式によって定義する。

$$C=V \cdot c + W_r \cdot r + F \cdot f \quad \dots\dots\dots(1)$$

C: 上部躯体工事費(円)

V: コンクリート量(m³)、c: コンクリート工事単価(材工とも)(円/m³)

W_r: 鉄筋量(ton)、r: 鉄筋工事単価(材工とも)(円/t)

F: 形枠面積(m²)、f: 形枠工事単価(材工とも)(円/m²)

ここで、(1)式を等価コンクリート量に等価すると(2)式なる。

$$C/c = V + W_r \cdot r/c + F \cdot f/c = V + W_r \cdot \alpha + F \cdot \beta \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし、C/c (コンクリート量に等価した等価コスト: m³)

 $\alpha = r/c$ (鉄筋工事単価のコンクリート工事単価比: m³/t) $\beta = f/c$ (形枠工事単価のコンクリート工事単価比: m³/m²)また、(2)式を延床面積(A)で除した値を等価コスト(C₀)という。

$$C_0 = C/(c \cdot A) \quad \dots\dots\dots(3)$$

上部躯体工事費の対象は、柱、大梁、小梁、床、スラブ、基礎梁としている。また、階段と雑壁(腰壁、たれ壁、袖壁)の工事費も同時に求め、上部躯体工事費に加えている。

4. 2 杭地業工事費の定義と算出方法**(1) 杭地業工事費の定義**

本論の杭地業工事費とは、設計条件から生ずる全杭の設計を行った合計である杭地業工事費を延床面積で除した値としている。

なお、杭地業工事費は基礎スラブ工事費を加えて検討している。

(2) 杭工法の種類と工事費の算出方法**(a) PHC杭【既成コンクリート杭】****(a-1) PHC杭(一般工法)、(I)**

(i) 材料費(円): 単価費×実務係数×本数

(ii) 施工費(固定費、固有費、残土処理費、日数費、経費)

固定費(円): 1,350,000

固有費(円): 単価費×(杭長+雇い杭長【最終仮打杭】)×本数

残土処理費(円): 処分単価×(φ+100mmの断面積)×(杭長+余長)

日数費(円): 日数単価×施工費

(施工日数: 杭長×本数÷施工能率)

経費(円): (固有費+日数費)×10%

(a-2) PHC杭(認定工法)、(N)

(i) 材料費(円): 単価費×実務係数×本数

(ii) 施工費(固定費、固有費、金具代、副資材、残土処理費、日数費、経費)

固定費、固有費、残土処理費、日数費および経費は一般工法に同じ

金具代(円): 単価費×(溶接箇所)

副資材(円): 単価費×本数

(b) 場所打ちコンクリート杭**(b-1) ストレート杭、(S)**

(i) 材料費(円)(コンクリート、鉄筋)

コンクリート: 設計ボリューム×実務係数×14,000

設計ボリューム: (杭長+余盛り1m)×杭断面積

鉄筋: 設計ボリューム×単位重量×40,000

ストレート杭: 70kg/生コンm³

拡底杭: 80kg/生コンm³

鋼管拡底杭: 75kg/生コンm³

(ii) 施工費(円)(固定費、固有費、経費)

固定費(円)

ストレート杭: 2,400,000

拡底杭: 2,800,000

鋼管拡底杭: 2,800,000

固有費(円): 単価費×掘削ボリューム

掘削ボリューム: (から杭先端まで)×杭断面積

経費(円): 固有費×10%

(b-2) 拡底杭、(K)

材料・施工費とも積算方法は場所打ちストレート杭に同じ

材料費、施工費(固定費、固有費、経費)

(単価費は軸径から判断する)

(b-3) 鋼管拡底杭(耐震場所打ち拡底杭)、(T)

材料・施工費とも積算方法は場所打ちストレート杭に同じ

材料費、施工費(固定費、固有費、リブ付き鋼管、経費)

リブ付き鋼管(円): 単位重量×杭径×5D×150,000

5. 計算結果**5. 1 任意形状の建物(建物条件1)について****(1) 設計条件と杭地業工事費**

図1は建物条件がスパン数4×4、スパン長6m×6m、5階建、階高3m、平均床荷重12kN/m²で、地盤条件が杭先端部N値(20と50)、杭頭部N値5の時、支持層深さと杭5工法の杭地業工事費を比較したものである。これによると、支持層深さが10mから50mになる場合、一般工法(I)、認定工法(N)、ストレート杭(S)、拡底杭(K)、鋼管拡底杭(T)は、杭先端部N値20で、それぞれ約3.8, 3.1, 5.3, 4.0, 1.2倍の工事費増になり、杭先端部N値50で、それぞれ約3.3, 2.9, 3.4, 3.2, 3.1倍の工事費増になっている。その結果、杭先端部N値20で支持層深さが10mの時の拡底杭(K)、20, 30mの時、鋼管拡底杭(T)、40, 50mの時、拡底杭(K)、杭先端部N値50で支持層深さに関係なく認定工法(N)が

一番低廉になっている。

図2は建物条件がスパン数4×4、スパン長6m×6m、階高3m、平均床荷重12kN/m²で、地盤条件が支持層深さ30m、杭先端部N値50、杭頭部N値5の時、階数と杭5工法の杭地業工事費を比較したものである。これによると1～4階建は、単位床面積当たりの各杭地業工事費の差が大きいが、階数の増加とともに杭5工法ともに低廉化し、5階建以上になると10千円/m²程度に収斂している。その結果、1,6階建は一般工法(I)、2～5階建は認定工法(N)、8,9階建は拡底杭(K)が一番低廉になっている。なお、6階建以上の拡底杭(K)と鋼管拡底杭(T)がストレート杭(S)とが逆転して低廉になっているのは、拡底杭(K)と鋼管拡底杭(T)の拡底部の効果によるものと思われる。

図3は建物条件がスパン長6m×6m、5階建、階高3m、平均床荷重12kN/m²で、地盤条件が支持層深さ30m、杭先端部N値50、杭頭部N値5の時、スパン数と杭5工法の杭地業工事費を比較したものである。これによるとスパン数が2×2から4×4は、単位床面積当たりの各杭地業工事費の差が大きいが、スパン数の増加とともに杭5工法ともに低廉化し、6×6になると各工法別に収斂している。その結果、この設計条件下ではスパン数の増加に関係なく全て認定工法(N)が一番低廉になっている。

図4は建物条件がスパン数4×4、5階建、階高3m、平均床荷重12kN/m²で、地盤条件が支持層深さ30m、杭先端部N値50、杭頭部N値5の時、スパン長と杭5工法の杭地業工事費を比較したものである。これによると、スパン長が5m×5mから6m×6mは、単位床面積当たりの各杭地業工事費の差が大きいが、スパン長の増加とともに杭5工法ともに低廉化し、7m×7mになると各工法とも収斂してくる。その結果、5m×5mから7m×7mは認定工法(N)、8m×8mから9m×9mは拡底杭(K)が一番低廉になっている。なお、7m×7m以上の拡底杭(K)と鋼管拡底杭(T)がストレート杭(S)と逆転して低廉になっているのは、拡底杭(K)と鋼管拡底杭(T)の拡底部の効果によるものと思われる。

(2) 設計条件と杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費について

図5は建物条件がスパン数4×4、スパン長6m×6m、3,5,7,9階建、階高3m、平均床荷重12kN/m²で、地盤条件が支持層深さ10,30,50m、杭先端部N値50、杭頭部N値5の時、杭長軒高比(H)と工事費(杭地業工事費、上部躯体工事費、躯体工事費、比較のために直接基礎工事費)を比較したものである。これによると、上部躯体工事費と直接基礎工事費は階数に対し増減があるが杭長軒高比に対し増減しない。しかし、杭地業工事費は杭長軒高比(H)に対し

図1 支持層深さと杭地業工事費について (建物条件1)

図2 階数と杭地業工事費について (建物条件1)

図3 スパン数と杭地業工事費について (建物条件1)

図4 スパン長と杭地業工事費について (建物条件1)

図5 杭長軒高比(H)と上部躯体工事費、杭地業工事費および躯体工事費について (建物条件1)

1次増加している。また、杭長軒高比(H)が大きくなると杭地業工事費は杭長軒高比(H)に対し直接基礎工事費の約1.77倍の割合で増加している。この結果、杭長軒高比(H)が大きくなると躯体工事費の杭地業工事費が占める割合は非常に大きくなっている。

図6は建物条件がスパン数4×4、5階建、階高3m、平均床荷重12kN/m²で、地盤条件が支持層深さ10, 30, 50m、杭先端部N値50、杭頭部N値5の時、スパン長と工事費(杭地業工事費、上部躯体工事費、躯体工事費)を比較したものである。これによると、杭地業工事費は支持層深さに対してなだらかな下に凸の2次曲線(R²=0.97~0.99)になっており、スパン長が長くなると単位面積当たりの杭地業工事費は減少傾向にある。上部躯体工事費は下に凸の2次曲線(R²=0.79)になる。また、上部躯体工事費が最小となるスパン長は7.1m前後になっている。次に、杭地業工事費と上部躯体工事費の合計の躯体工事費も下に凸の2次曲線(R²=0.91~0.97)になっている。しかし、最小躯体工事費となるスパン長は上部躯体工事費より長く(7.3m~7.6m)になっている。なお、図中に示している(I), (N), (K)は、杭5工法のうち最小杭地業工事費になる杭工法を表示している。

5. 2 延床面積を一定にした建物(建物条件2)について

(1) 設計条件と杭地業工事費

表1は、建物条件が延床面積3000m²、5階建、X, Y方向共スパン長4.9m(5スパン)、6.12m(4スパン)、8.16m(3スパン)で、地盤条件が杭頭部N値10、杭先端部N値20と50の時、杭5工法の支持層深さと杭地業工事費の関係を示したものである。これによると、

(i) スパン長4.9m、杭先端部N値20の時、支持層深さに関係なく杭(K)が一番低廉になっている。また、杭先端部N値50の時、支持層深さ10、20mで杭(N)が、支持層深さ30~50mの時で杭(S)が一番低廉になっている。

(ii) スパン長6.12m、杭先端部N値20の時、支持層深さに関係なく杭(K)が一番低廉になっている。杭先端部N値50の時、支持層深さ10~40mでは杭(N)が、支持層深さ50mの時で杭(T)が一番低廉になっている。

(iii) スパン長8.16m、杭先端部N値20の時、支持層深さに関係なく杭(K)が一番低廉になっている。また、杭先端部N値50の時、支持層深さ10、50mでは杭(K)が、支持層深さ20~40mでは杭(T)が一番低廉になっている。

(iv) 杭先端部N値20の躯体工事費は支持層深さに関係なくスパン長4.90, 6.12, 8.16mの中で4.90mの杭(K)が一番低廉になっている。また、杭先端部N値50の躯体工事費は、支持層深さ10mの時、スパン長8.16mの杭(K)、支持層深さ20~40mの時、スパン長8.16mの杭(T)、支持層深さ50mの時、スパン長8.16mの杭(K)、が一番低廉になっている。このことは、スパン長が長くなると全杭本数が少なくなり、単位面積当たりの杭地業工事費は低廉になるからである。

(2) 設計条件と杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費について

図7は、建物条件が延床面積2,000m²、階高3.5mで地盤条件が支持層深さ10, 30, 50m、杭先端部N値50、杭頭部N値10の時、杭長軒高比(H)と工事費(杭地業工事費、上部躯体工事費、躯体工事費)について (建物条件2)

4×4スパン、5階建、階高3m、平均床荷重12kN/m²、支持層深さ(L)10, 30, 50m、杭先端部N値50、杭頭部N値5の場合

図6 スパン長と杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費について (建物条件1)

表1 支持層深さと杭地業工事費(千円/㎡)(建物条件2)
延床面積3000㎡、5階建、階高3.5m、杭頭部N値10の場合

スパン 長さ (m)	杭 先端 部N値	杭 工 法	支持層深さ(m)				
			10	20	30	40	50
4.90	5	I	9.96	17.77	25.66	33.69	42.04
		N	10.20	16.73	23.47	30.29	36.86
		S	10.33	17.47	22.88	33.83	49.56
		K	6.14	10.27	13.08	16.77	22.66
		T	8.48	12.60	15.39	19.06	25.07
	50	I	6.33	10.76	15.23	19.79	24.49
		N	5.61	8.87	12.22	15.65	18.91
		S	5.74	9.55	11.43	14.60	17.86
		K	6.14	10.27	13.08	16.77	20.45
		T	8.48	12.60	15.39	19.06	22.74
6.12	4	I	9.61	17.37	25.24	33.29	41.59
		N	10.27	17.26	24.31	31.54	38.54
		S	10.29	16.52	23.89	37.27	53.22
		K	6.22	10.64	14.32	18.49	22.66
		T	7.78	12.57	16.69	20.84	24.99
	50	I	5.61	9.64	13.73	17.90	22.18
		N	5.08	8.13	11.22	14.41	17.47
		S	5.66	9.61	11.54	14.82	17.83
		K	5.93	10.12	12.52	16.12	19.72
		T	6.43	9.42	12.42	15.42	16.82
8.16	3	I	12.07	22.00	32.07	42.32	52.91
		N	11.57	19.37	27.35	35.51	43.35
		S	12.02	22.53	38.46	61.69	計算不可
		K	6.83	12.68	16.32	21.21	24.77
		T	9.53	15.14	18.67	23.41	27.67
	50	I	6.20	10.77	15.39	20.10	31.75
		N	5.61	8.98	12.44	15.99	26.51
		S	5.81	9.81	13.96	16.07	28.15
		K	4.45	11.18	14.20	17.67	15.89
		T	5.32	7.85	10.38	12.91	16.90

延床面積2,000㎡、2.3, 4, 5, 6, 7階建、杭長軒高比H(支持層深さ/軒高)
支持層深さ10, 30, 50m、杭先端部N値50、杭頭部N値10の場合

図7 杭長軒高比(H)と上部躯体工事費、杭地業工事費および躯体工事費について (建物条件2)

費)を比較したものである。これは図5と同じ傾向になっている。この結果、杭長軒高比(H)が5~7になると杭地業工事費は上部躯体工事費と同等以上の工事費になっている。

図8は、建物条件が延床面積3,000㎡、4階建、階高3.5m、地盤条件が杭先端部N値50、杭頭部N値10の時、スパン長と工事費(杭地業工事費、上部躯体工事費、躯体工事費)を比較したものである。これも図6と同じ傾向になっている。この結果、上部躯体工事費の最小躯体工事費になるスパン長は約6.0mで、躯体工事費の最小躯体工事費になるスパン長は約6.3mになっている。

表2は、延床面積が3,000㎡で杭先端部N値50、杭頭部N値10、支持層深さが10、30、50mの3層を仮定した場合、設計の企画段階で5階建と8階建について杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費を比較検討しようとするものである。これによると、8階建より5階建の方が支持層深さに関係なく、杭地業工事費、上部躯体工事費、躯体工事費が低廉になっている。また、5階建で最小躯体工事費になるスパン長は上部躯体工事費で4.90mになっているが、杭地業工事費は支持層深さが10mの時6.12mの杭(S)、支持層深さが30、50mの時8.16mの杭(T)となり、躯体工事費は支持層深さが10mの時6.12mの杭(S)、支持層深さが30mの時4.90mの杭(S)、支持層深さが50mの時6.12mの杭(T)となっている。ここで、設計の企画段階で、仮に建物条件が8階建でスパン長6.45mと5階建でスパン長6.12mとして、地盤条件がともに支持層深さ30mの時、両方の躯体工事費の比較検討すると、8階建の方が5階建より約23%(46.50/37.91)ほど工事費高になっている。同様に設計の企画段階で必要な建物を仮定して、例えば表2に示す延床面積2,000㎡の4階建と5階建、延床面積1,000㎡の3階建と4階建についても躯体工事費等の比較検討が出来る。ここに示した躯体工事費等の比較は、ごく一部分であり延床面積が3,000、2,000、1,000㎡で可能な階数、スパン数、支持層深さの全てについて比較が可能である。しかし、比較の資料が非常に多いことが難点になっている。

(3) 躯体工事費の概算手法について

そこで、本論は延床面積3,000、2,000、1,000㎡の事務所建築物について3.項の設計条件で求めた躯体工事費をそのまま使用(表2は全データの一部を表わす)できるように簡易表計算(EXCEL)を用いて、躯体工事費の概算手法を提案する。これは設定条件(入力項目)を建物条件(1:XY方向スパン数、2:階数、3:階高)、地盤条件(1:杭先端部N値、2:杭頭部N値、3:支持層深さ)、単価条件(1:コンクリート、2:鉄筋、3:型枠)に分けて入力すると、計算した結果(出力項目)として建物条件に対する最小躯体工事費となる柱、大梁の断面の大きさ、杭工法の選定、地盤条件に対する単位面積当たりの上部躯体工事費、杭地業工事費および躯体工事費が表示出来るようにしている。

表3は、事務所建築物の躯体工事費の概算を自動的に求めようとするものである。これは上記の条件(建物条件、地盤条件、単価条件)を入力することで延床面積3,000、2,000、1,000㎡別に躯体工事費の概算を表示できるものである。

6. 考察

以上のことから次のことが推測出来る。

6.1 任意形状の建物(建物条件1)について

(1) 設計条件と杭地業工事費について

図8 スパン長と杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費について(建物条件2)

表2 スパンと地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費(千円/㎡)(建物条件2)

延床面積 3,000㎡、5,8階建、延床面積 2,000㎡、4,5階建、
延床面積 1,000㎡、3,4階建、階高 3.5m、支持層深さ 10,30,50m、
杭先端部 N 値 50、杭頭部 N 値 10 の場合

なお、杭地業工事費の下欄は最小杭地業工事費になる杭工法を表わす

延床面積 (㎡)	階 数	スパン 長(数)	杭地業工事費 支持層深さ(m)			上部躯体 工事費	躯体工事費 支持層深さ(m)		
			10	30	50		10	30	50
3000	8	4.84 4	5.65 I	12.53 T	16.97 T	32.09	37.74	44.62	49.06
		6.45 3	5.40 T	10.59 T	14.44 T	35.90	41.31	46.50	50.34
		9.68 2	6.68 T	14.25 T	18.56 T	38.79	45.47	53.04	57.35
	5	4.08 6	5.59 N	12.00 N	18.45 S	29.81	35.40	41.81	48.26
		4.90 5	5.61 N	11.43 S	17.86 S	26.35	31.96	37.78	44.20
		6.12 4	4.66 S	11.22 N	16.82 T	26.68	31.34	37.91	43.50
		8.16 3	5.32 T	10.38 T	14.09 T	34.26	39.58	44.64	48.35
		12.25 2	7.65 T	14.27 T	21.69 T	32.70	40.35	46.97	54.39
	4	4.00 5	6.41 N	13.59 N	20.83 N	31.11	37.52	44.69	51.94
		5.00 4	5.93 N	12.74 N	19.54 N	28.28	34.21	41.02	47.82
		6.67 3	5.35 I	12.23 T	17.89 T	29.24	34.58	41.47	47.12
		10.00 2	6.68 N	13.13 T	19.50 T	38.72	45.40	51.84	58.22
		4.47 5	5.90 I	13.17 I	20.72 I	27.95	33.85	41.12	48.67
		5.59 4	6.07 N	12.85 N	18.31 S	26.51	32.58	39.37	44.82
2000	5	7.45 3	5.45 I	12.51 T	18.31 T	29.53	34.98	42.04	47.84
		11.18 2	6.69 N	13.78 T	20.51 T	36.55	43.23	50.33	57.06
	4	4.00 4	5.97 N	13.71 N	21.89 N	34.77	40.74	48.48	56.66
		5.27 3	5.27 I	13.35 I	21.72 I	30.51	35.78	43.86	52.23
		7.91 2	6.07 I	14.06 N	21.06 T	35.80	41.87	49.86	56.86
		4.56 4	6.02 N	13.82 N	22.07 N	30.66	36.68	44.48	52.73
		6.09 3	5.08 N	11.38 N	17.79 N	27.93	33.01	39.31	45.72
		9.13 2	5.83 N	13.41 T	21.15 T	34.62	40.45	48.03	55.77
1000	3	4.00 4	5.97 N	13.71 N	21.89 N	34.77	40.74	48.48	56.66
		5.27 3	5.27 I	13.35 I	21.72 I	30.51	35.78	43.86	52.23
		7.91 2	6.07 I	14.06 N	21.06 T	35.80	41.87	49.86	56.86
	4	4.56 4	6.02 N	13.82 N	22.07 N	30.66	36.68	44.48	52.73
		6.09 3	5.08 N	11.38 N	17.79 N	27.93	33.01	39.31	45.72
		9.13 2	5.83 N	13.41 T	21.15 T	34.62	40.45	48.03	55.77
		4.00 4	5.97 N	13.71 N	21.89 N	34.77	40.74	48.48	56.66
		5.27 3	5.27 I	13.35 I	21.72 I	30.51	35.78	43.86	52.23
		7.91 2	6.07 I	14.06 N	21.06 T	35.80	41.87	49.86	56.86

(a) 支持層深さの影響

躯体工事費の中で上部躯体工事費は、支持層深さと関係なく一義的に決まるが、支持層が2層ある場合は検討が必要である。例えば、支持層深さ20mの位置に杭先端部N値20の第1層、支持層深さ40mの位置に杭先端部N値50の第2層がある場合、図1から杭先端部N値50の層が必ず低廉になるのではなく、支持層深さの浅い杭先端部N値20程度でも低廉になることが推測出来る。これは、表3の支持層深さの変更で躯体工事費比較が簡単に出来る。

(b) 階数の影響

軒高が低い場合の杭地業工事費は割高になり、軒高が高いと低廉化する。また、ある階数を超えると収斂する傾向にある。これは階数が増えることで延床面積が大きくなり杭地業工事費の延床面積に対する割合が一定化するからと推測する。

(c) スパン数の影響

階数の影響と同様にスパン数が少ない場合の杭地業工事費は割高になり、スパン数が多いと低廉化する。また、あるスパン数を超えると収斂する傾向にある。

(d) スパン長の影響

階数の影響と同様にスパン長が短い場合の杭地業工事費は割高になり、スパン長が長いと低廉化する。また、あるスパン長を超えると収斂する傾向にある。これはスパン長が大きくなれば単位床面積当りの杭本数が少なくなり杭地業工事費が低廉になるからと推測する。

(2) 設計条件と杭地業工事費、上部躯体工事費および躯体工事費について

(a) 杭長軒高比(H)と杭地業工事費および躯体工事費

スパン数4×4、スパン長6m、3、5、7、9階建、階高3m、杭先端部N

値20、50、杭頭部N値5の場合で、上部躯体工事費と直接基礎工事費は、階数による増加が見られるが、地盤条件に影響なく一定になっている。しかし、杭地業工事費は杭長軒高比に対し1次増加している。これは、杭長軒高比(H)が大きくなると建物が低層化になると考えられるからである。また、躯体工事費は杭地業工事費とほぼ1次増加の比例関係にあり、杭長軒高比(H)が1から5まで変化すると躯体工事費が27.7千円/㎡から32.8千円/㎡になり、約1.28倍の比例で増加していることになる。すなわち、支持層の変更で杭長が5倍になると、躯体工事費は約3割増加することになる。

(b) 最小躯体工事費になるスパン長

スパン数4×4、スパン長5、6、7、8、9m、5階建、階高3m、支持層深さ10、30、50m、杭先端部N値50、杭頭部N値5の場合で、最小になる上部躯体工事費のスパン長は7mであり、杭地業工事費は支持層の深さが10、30、50m共に9m程度である。また両方を加えた躯体工事費は、最小になる上部躯体工事費のスパン長より少し長くなる。そして、それは支持層深さが深くなるほど躯体工事費に大きく影響し最小躯体工事費になるスパン長はより長くなる傾向にある。

6. 2延床面積を一定にした建物(建物条件2)について

建物条件2で、支持層深さ、スパン数、スパン長、杭長軒高比と杭地業工事費、上部躯体工事費、躯体工事費の関係は、建物条件1と同じ傾向が見られた。また、階数と杭地業工事費の関係は、階数が増すにしたがって1次減少の傾向である。しかし延床面積の条件が同じであるため建物条件1と違ってゆるやかな1次減少になっている。

(a) 杭長軒高比(H)と杭地業工事費および躯体工事費

杭地業工事費は杭長軒高比(H)が3になると、上部躯体工事費の5割程度になり、7になると上部工事費と同額程度になっている。

表3 簡易表計算(EXCEL)による躯体工事費の概算法(建物条件2) 延床面積3,000、2,000、1,000㎡の事務所建築の場合

(1) 建物条件(延床面積3,000㎡の場合)

8.16	lx	Xスパン(㎡)(lx=ly)
8.16	ly	Yスパン(㎡)
3	nx	Xスパン数(nx=ny)
3	ny	Yスパン数
5	n	階数
3	h	階高(㎡)

② 地盤条件

50	N _B	杭先端部N値
10	N _T	杭頭部N値
10	L	支持層深さ(㎡)

③ 単価条件

15,100	c	コンクリート工事単価(円/㎡)
108,300	r	鉄筋工事単価(円/φ)
5,150	f	型枠工事単価(円/㎡)

④ 柱梁断面、杭の選択と上部躯体工事費、

杭地業工事費 および躯体工事費の概算		R C 構造		
工事費名	工事費(円/㎡)	1階柱	I方向	Y方向
		幅	最上階梁成	最上階梁成
		1Dc (cm)	rDgx (cm)	rDgy (cm)
上部躯体工事費	34,259	80	85	85
杭地業工事費	5,320	杭の種類		
躯体工事費	39,579	鋼管杭底杭		

(2) 建物条件(延床面積2,000㎡の場合)

7.45	lx	Xスパン(㎡)(lx=ly)
7.45	ly	Yスパン(㎡)
3	nx	Xスパン数(nx=ny)
3	ny	Yスパン数
4	n	階数
3	h	階高(㎡)

② 地盤条件

50	N _B	杭先端部N値
10	N _T	杭頭部N値
30	L	支持層深さ(㎡)

③ 単価条件

15,100	c	コンクリート工事単価(円/㎡)
108,300	r	鉄筋工事単価(円/φ)
5,150	f	型枠工事単価(円/㎡)

④ 柱梁断面、杭の選択と上部躯体工事費、

杭地業工事費 および躯体工事費の概算		R C 構造		
工事費名	工事費(円/㎡)	1階柱	I方向	Y方向
		幅	最上階梁成	最上階梁成
		1Dc (cm)	rDgx (cm)	rDgy (cm)
上部躯体工事費	29,534	70	70	75
杭地業工事費	12,510	杭の種類		
躯体工事費	42,044	鋼管杭底杭		

(3) 建物条件(延床面積1,000㎡の場合)

7.91	lx	Xスパン(㎡)(lx=ly)
7.91	ly	Yスパン(㎡)
2	nx	Xスパン数(nx=ny)
2	ny	Yスパン数
4	n	階数
3	h	階高(㎡)

② 地盤条件

50	N _B	杭先端部N値
10	N _T	杭頭部N値
50	L	支持層深さ(㎡)

③ 単価条件

15,100	c	コンクリート工事単価(円/㎡)
108,300	r	鉄筋工事単価(円/φ)
5,150	f	型枠工事単価(円/㎡)

④ 柱梁断面、杭の選択と上部躯体工事費、

杭地業工事費 および躯体工事費の概算		R C 構造		
工事費名	工事費(円/㎡)	1階柱	I方向	Y方向
		幅	最上階梁成	最上階梁成
		1Dc (cm)	rDgx (cm)	rDgy (cm)
上部躯体工事費	35,803	70	70	85
杭地業工事費	21,060	杭の種類		
躯体工事費	56,863	鋼管杭底杭		

(b) スパン長と杭地業工事費および躯体工事費

杭地業工事費はスパン長が長くなるほど低廉になる。そのため、躯体工事費が最小になるスパン長は上部躯体工事費より若干長くなっている。

6. 3 簡易表計算(Excel)による躯体工事費の概算法

表3で示した簡易表計算(Excel)による躯体工事費の概算法は、建物条件2で示す3種類の延床面積別に各工事費を計算出来る様になっている。最初に階数とスパン数を仮定すると自動的にスパン長が設定出来るようにしている。この方法により、階数、スパン数および階高の変更で躯体工事費の比較が可能である。また、地盤条件は杭の支持層深さ(10~50m)、杭先端部N値、杭頭部N値の変更で杭地業工事費の比較が可能である。このことは、設計の企画段階で階数、スパン数、支持層深さの必要分を入力することで、杭工法の選定と躯体工事費の概算が簡単に比較検討が出来る。さらに、設計の企画段階で、延床面積が3,000 m^2 以内で異なる場合は、3,000、2,000、1,000 m^2 の間で補間補正して推定することで実務的にも広く利用可能になる。よって、これを用いて事業計画の初期段階で求める躯体工事費(本論は、これを躯体工事費の概算法という)として提案する。

7. 結論

これまでの研究は良好な地盤で直接基礎を用いた建物を仮定していたのに対し、本研究は軟弱地盤に立つ杭地業を用いる建物の躯体工事費について論じたものであり、次の(1)~(6)の結論になった。

(1). 躯体工事費は直接基礎の場合より杭地業を用いる場合の方が高くなり、設計の企画段階で杭地業工事費を考慮しないと建設事業の収支に合わなくなり中止になる事もある。そこで、本論は設計の企画段階で杭5工法の選定と杭地業工事費を含めた躯体工事費の概算を簡単にできる方法であるExcelによる概算法を提案している。

(2). 躯体工事費の中で地盤条件に左右される杭地業工事費の影響が大きい場合は、できる限り躯体工事費を下げるために、杭地業工法の中からより低廉になる杭工法を選定する必要がある。そこで、本論で示した杭5工法から、地盤条件で最小躯体工事費になる杭工法の選定と杭地業工事費の概算を簡単にできる方法であるExcelを用いた概算法を提案している。

(3). 躯体工事費で杭地業工事費の影響が大きい場合は、第1段階である上部の建物条件のみで決めた柱配置による杭工法の選定だけでは不十分であり、第2段階である地盤条件も考慮した上部の建物条件の柱配置(スパン長)を提案することで、躯体工事費がさらに低廉する。これは建物条件のみで決めた最小上部躯体工事費になるスパン長と、杭地業工事費を含めて決めた最小躯体工事費になるスパン長が地盤条件により異なることを示している。それ故に企画段階(構造計画)から、地盤条件を考慮した場合の柱配置を設定するための最小躯体工事費になるスパン長を提案することで、全体の躯体工事費の低廉化を行うことができる。

(4). 設計の企画段階において、使用上の要因などで、(3).項で提案する最小躯体工事費になるスパン長を採用できない場合でも、最小躯体工事費に近いスパン長を採用した場合の躯体工事費の増加額(増加率)の躯体工事費を採用する事で、前もって建設事業の収支に生かすことができる。

(5). (2). と (3). 項で杭地業工事費が地盤条件によって左右される場合について述べている。これは建物の階数(軒高)と杭長(杭の支持層深さ)との関係で表わしている。本論は、これまで研究してきた最小躯体工事費になるスパン長と本論で論じている地盤条件を考慮した最小躯体工事費になるスパン長の相違点を最重要視している。その結果、前研究の直接基礎による躯体工事費の最小躯体工事費は一義的に決まるが、本研究の杭地業による躯体工事費は杭長軒高比によって増減する。例えば、杭長軒高比が3から5になると躯体工事費は約2割増加することになる。

(6). 本論は建物条件について、前半で一般性を述べるために任意であるスパン数、スパン長、階数の要因に対する杭地業工事を含めた躯体工事費の関係について把握するために論じてきた。しかし実務的には容積率や建ぺい率等による規定などから決める延床面積から、階数、スパン数、スパン長を設定する場合が多い。そのため、本論の後半は延床面積を3,000、2,000、1,000 m^2 と限定した建物の杭地業工事を含めた躯体工事費の関係について論じたものである。また、延床面積が3,000 m^2 以内で延床面積が3,000、2,000、1,000 m^2 以外であっても延床面積間で補間補正して推定することで実務的にも広く利用可能になる。

今後の研究予定は、杭の支持力に摩擦を考慮した場合や建物の引き抜き力を杭に期待する建物などの研究を進める予定である。

8. 参考文献

- * (1) 田中茂樹、須賀好富：建築構造物のコストスタディ；鉄筋コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造と鋼構造の躯体コスト比較、その1、日本建築学会計画系論文報告集、第454号、1993.12、PP155~163
- * (2) 田中茂樹、須賀好富：建築構造物のコストスタディ；鉄筋コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造と鋼構造の躯体コスト比較、その2、日本建築学会計画系論文報告集、第464号、1994.10、PP143~149
- * (3) 田中茂樹、西 邦弘、吉岡智和：建築構造物のコストスタディ；鉄筋コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造と鋼構造の躯体コストについて、その3、日本建築学会計画系論文報告集、第524号、1999.10、PP253~258
- * (4) 西 邦弘、田中茂樹、吉岡愛：建築構造物の概算法に関する研究(その1)、日本建築学会、第20回情報システム利用技術シンポジウム、1997.12、PP61~66
- * (5) 西 邦弘、田中茂樹、佐藤敏章：建築構造物における地業のコストスタディ；鉄筋コンクリート構造の上部躯体コストと杭地業コストについて(そのI)、日本建築学会、第22回情報システム利用技術シンポジウム、1999.12、PP193~198
- * (6) 西 邦弘、田中茂樹、吉岡愛：建築構造物における地業のコストスタディ；PHC杭と場所打ちコンクリート杭の地盤によるコスト比較研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1997.9、PP707~708
- * (7) 西 邦弘、田中茂樹、佐藤敏章：建築構造物における地業のコストスタディ；PHC杭と場所打ちコンクリート杭の地盤によるコスト比較研究(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、1998.9、PP793~794
- * (8) 西邦弘、田中茂樹、佐藤敏章：建築構造物における地業のコストスタディ；鉄筋コンクリート構造の上部躯体コストと杭地業コストについて(そのI)、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999.9、PP1105~1106
- * (9) 田中茂樹、西 邦弘：建築構造物の躯体工事費の概算法に関する研究(その2)、日本建築学会、第23回情報システム利用技術シンポジウム、2000.12、PP229~234
- * (10) 建築積算研究会制定：建築数量積算基準の解説、大成出版、1986
- * (11) 田中茂樹：建築構造物の躯体工事費に関する研究、学位論文、1995
- * (12) 建築物価：1999年3月、建築物価調査会

(2001年7月6日原稿受理、2002年1月18日採用決定)