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

COST STUDY OF BUILDING STRUCTURES

Part 3 The structural cost between reinforced concrete structure,
composite structure and steel structure

田中茂樹*, 西 邦弘**, 吉岡智和***

Shigeki TANAKA, Kunihiro NISHI and Tomokazu YOSHIOKA

In this paper, span, the number of spans, the number of stories and floor loads are considered as design conditions and multiple regression method is carried out by using any possible combination of the above stated design conditions to study estimate method of structural cost which can be applied in wide range. EXCEL is used for easier expression of estimate method from mass calculation. By using EXCEL, comparison of structural style as stated below can be done easily and structural styles can be easily selected. Structure calculation is automatically designed by computer and section calculation is based on the Building Standards Act or various structural design standards at Architectural Institute of Japan.

Keywords : estimation technique for structural cost, multiple regression method, estimate equation of structural quantity, economical design

躯体工事費概算法、重回帰分析、躯体数量概算式、経済設計

1. はじめに

最近の構造計算は、パソコンを使用している場合が多い。パソコンで作成する構造設計図書は、経験の浅い構造設計者でも設計条件と断面形状を入力することで完成する。この場合、経験不足のため安全側を考慮して柱・大梁の断面形状を大きくすることが多く、経済的な断面形状で設計しているとは限らない。躯体コストは適切に構造計画を行えば低く抑えることができるが、柱・大梁の断面形状の決定は、設計者の経験や過去の設計例に頼らざるを得ないことになる。このような観点から、設計の企画段階における躯体コストの概算は、構造は勿論計画の両設計者にとって必要である。本報の目的は、設計の企画段階において躯体数量と躯体コストを把握することと、鉄筋コンクリート構造（以下RC構造という）、鉄骨鉄筋コンクリート構造（以下SRC構造という）そして鋼構造（以下S構造という）を躯体コスト面から選択できるようにすることである。そのためには、第一にコンクリート系構造物では設計条件に対し最適断面の概算式を提案する。第二にRC構造、SRC構造そしてS構造について、躯体数量の概算式を提案するものである。この提案式は、設計の企画段階でRC構造、SRC構造およびS構造の躯体コストの比較が簡単できる。なお、本報が取り扱う設計条件は、2. に示す。また本報で示す躯体コストは、柱、大梁、小梁、床スラブ、基礎梁、基礎スラブを対象としている。

前々報⁽¹⁾では、平面形状が36m×36mの場合のRC構造、SRC構造そしてS構造において、スパン長 (l_x, l_y)、階数 (n)、床荷重 (w) および階高 (h) と等価コスト (C_o) および躯体数量 [コンクリート量 (V)、型枠量 (F)、鉄筋量 (W_r) および鉄骨量 (W_s)] の関係について述べた。これは、工事単価（材料、工賃、加工組立等を含む）が固定している場合について等価コストと躯体数量の比較検討したものであった。前報⁽²⁾では、階数、建物規模（床面積の大きさ）および建物形状（平面辺長比で表わす）が等価コストおよび躯体数量に及ぼす影響について述べた。これはX, Y方向のスパン長が等しいとき ($l_x=l_y$)、スパン数 (n_x, n_y)、階数に対する等価コストと躯体数量の概算式を提案したものであった。その結果、工事単価が通常（コンクリート、型枠、鉄筋、鉄骨の単価が同時に上昇、下降する場合）の変動のもとでは、柱・大梁のコンクリート断面形状に与える影響はほとんど無いことを示した。前々報、前報を含め本報は、シミュレーションによる概算法について研究しているため、解析データが多数になる。また、これまでのシミュレーションによる概算法は、前々報、前報のように、1から2項目の設計条件を少なくするために固定または影響係数にして論ずる場合が多く、2. の設計条件を全て考慮した躯体数量概算式について提案した論文、また同時に同じ設計条件でRC構造、SRC構造およびS構造

本研究の一部は、第20回情報システム利用技術シンポジウムに発表した⁽³⁾。

* 近畿大学理工学部建築学科 助教授・工博

** ㈱キンキ総合設計 所長

*** 近畿大学理工学部建築学科 大学院生

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Kinki University, Dr. Eng.

Company President, Kinki General Architectural Design Co., Ltd.

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Kinki University

について躯体コストを比較した論文は見られない。本報で求める躯体数量の概算式は、重回帰分析法を用いるため直線関係になるデータが必要になる。そのため躯体数量概算式はデータを細分化するため多数になる。本報は、多数の躯体数量概算式の中から自動的に設計条件に合った概算式を選択できるように次の2項目を行っている。(1) RC構造、SRC構造において、任意の平面形状で等価コストが最小になる柱・大梁のコンクリート断面形状の概算式を表計算ソフトを用いて求める。(2) 設計条件が同一の任意平面形状で、RC構造、SRC構造およびS構造の躯体数量と躯体コスト(5.2で述べる)を比較できる表を表計算ソフトを用いて行う。

2. 仮定した設計条件と対象とした建物モデル

前々報で最適スパン長(等価コストが最小になるスパン長)は、RC構造で6.0m、SRC構造で8.0mそしてS構造で6.0mになった。前報で延床面積が4000m²を超えると、等価コストおよび躯体数量は、一定の数値に漸近していることを示した。その他に階高と床荷重による等価コストおよび躯体数量の関係は、RC構造、SRC構造そしてS構造とも設計条件に対し、相関係数が1.0に近い一次増加を示した。

以上の結果を考慮して、設計条件を下記のように仮定する。

X方向スパン数 $n_x = 3, 5, 7, \dots$ (3通り)

Y方向スパン数 $n_y = 3, 5, 7, \dots$ (3通り)

X方向スパン長 $l_x = 6, 7, 8, 9, 10$ (m)

Y方向スパン長 $l_y = 6, 7, 8, 9, 10$ (m)

(ただし $l_x \geq l_y$) (15通り)

階数 $n = 4, 6, 8, 10, 12$

(RC構造については $n = 2, 3, 4, 5, 6$) (5通り)

階高 $h = 3.0, 4.0, 5.0$ (m) (3通り)

床荷重 $w = 0.6, 0.8, 1.0$ (tf/m²) (3通り)

この仮定は、RC構造、SRC構造そしてS構造とも6075種類の構造設計・積算することになる。本報ではこの6075種類の構造物を構造設計を行うこととデータ入力の省力化のために建物形状を次のように単純化している。(1) 架構は、耐震壁が無く、剛域を考慮しない柱・大梁で構成するラーメン構造としている。ただし、軸方向力を計算する場合腰壁および窓の外壁は、自重として加える。(2) 引き抜きの起こる建物は、構造計算・積算の対象外とする。(3) 階段および塔屋は計算外とする。(4) X, Y方向のスパン長は、均等ラーメンで別々に変化する。(5) 前々報で小梁はスパン長の長い大梁に掛ける方が短い大梁に掛けるよりも等価コストが低くなった。そこで、小梁はスパン長の長い大梁に掛ける一方向に配置する。そしてスパン長 l_x は、スパン長 l_y より長いものとする。また l_y が l_x より長くなる場合は、 l_x と l_y を逆転する。この単純化は、短時間内に多数の構造設計を可能にし、平面プランの対称性と小梁配置の考慮により、構造計算する建物を最小限(6075種類)にしている。

図-1に建物モデルの平面(小梁配置)と立面の1例を示す。

3. 研究方法

本報は、構造計算をすべてコンピュータによる自動設計としているが、断面算定は建築基準法および日本建築学会の各種の構造計算基準に準拠している。また本報で対象とした建築物の軒高は、およ

n=5階建, $n_x=3, n_y=3, l_x=8.0\text{m}, l_y=7.0\text{m}$ の場合

図-1 建物モデルの平面(小梁配置)と立面の一例

そ6m~60mであり、新耐震設計法の規定ではルート2として設計可能なものもあるが、すべてルート3とし、保有水平耐力の計算を行っている。一次設計、二次設計を通過したものについて建築積算研究会制定の「建築数量積算基準・解説」⁽⁴⁾に基づき積算を行う。ここで求められた躯体数量に工事単価を乗じ、延床面積で割った等価コストを求める。等価コストの定義は、5.2に示す。また本報は、設計条件に対し等価コストが最小になる最適断面を採用している。方法は柱・大梁のコンクリート断面の組合せ343種類について構造計算と積算を行い、その内、等価コストが最小となる1種類だけを躯体数量と最適コンクリート断面形状と決定し、同時に統計解析用のデータとしている。またS構造の設計法は最小重量設計法で行っている。本報は、鉄骨鋼材を断面積順かつ断面係数順に並べた断面性能表(柱49種類、はり70種類)を用いて、最初は最小の断面で設計を開始し、必要に応じて断面を上げていく。最終的に得られた等価コストがその建物の最小等価コストである。この躯体数量を統計解析用のデータとしている。また、前報で報告したように通常の工事単価の変動もとでは、RC構造とSRC構造の柱・大梁の断面形状の変化はほとんどなかった。すなわちRC構造とSRC構造の躯体数量は、ある年月の工事単価を採用して上記の組合せ343種類から1種類を選択した数量でよいことになる。最小等価コストのデータを作成するに当たって各工事単価は1998年3月時点の単価⁽⁶⁾を採用している。その各工事単価を次に示す。

● RC構造

コンクリート (FC210, スランプ15cm, 打込手間) $\dots 13,750$ 円 / m³

鉄筋 (SD345, 加工組立, ガス圧接, 運搬費) $\cdot 93,400$ 円 / t

型枠 (材料, 工事費, 運搬費) $\dots 5,300$ 円 / m²

●SRC構造

鉄 骨(ビルトH) 168,210 円 / t
(材料, 工場制作費, 工場塗装費, さび止, 建方, 運搬費)
コンクリート, 鉄筋, 型枠は, RC構造と同じとする。

●S構造

鉄 骨 154,710 円 / t
(材料, 工場制作費, 工場塗装費, さび止, 建方, 運搬費)
被 覆 (材料・工賃共) 9,950 円 / t
(耐火被覆, ケイ酸カルシウム1時間耐火)
外壁ALC版 (材料・工賃共) 7,070 円 / m²
コンクリート, 鉄筋, 型枠は, RC構造と同じとする。

4. 計算結果

RC構造の躯体数量について

a). スパン長 l_x と l_y が等しい場合 ($l_x = l_y$)

設計条件と躯体数量の関係について一部を説明する。図-2は、4階建、階高 $h=4\text{m}$ 、床荷重 $w=0.8\text{ tf/m}^2$ 、X方向3スパン、Y方向3～7スパンについて、スパン長 ($l_x=l_y$) と鉄筋量 (W_r) の関係を示したものである。同様に図-3は、スパン長とコンクリート量 (V)、図-4は、スパン長と型枠量 (F) との関係を示したものである。いずれの躯体数量ともスパン長の増加とともに下に凸になる二次曲線になっている。これは設計条件に対して各躯体数量とも経済的なスパンが存在することを示している。またスパン数 (n_y すなわち延床面積) が増加するとともに、各躯体数量は少なくなっている。これは、前報と似ていて各躯体数量が一定の数値に漸近するからであろう。また、図-2～図-4に示している R^2 は、相関係数を示している。図-5は、階高 $h=4\text{m}$ 、床荷重 $w=0.8\text{ tf/m}^2$ 、スパン長 $l_x=l_y=8\text{m}$ 、X方向3スパン、Y方向3～7スパンについて、階数 (n) と鉄筋量 (W_r) の関係を示したものである。同様に図-6は、階数とコンクリート量 (V)、図-7は、階数と型枠量 (F) との関係を示したもので、いずれの躯体数量とも2階建を除き階数の増加とともに一次増加になっている。また2階建の各躯体数量は、基礎部 (基礎梁と基礎スラブ) の影響が大きくなり不連続になると思われる。図-8は、4階建、階高 $h=4\text{m}$ 、床荷重 $w=0.8\text{ tf/m}^2$ 、スパン長 $l_x=l_y=8\text{m}$ 、Y方向3～7スパンについて、X方向のスパン数と鉄筋量 (W_r) の関係を示したものである。これによると、スパン数の増加とともに鉄筋量は一次的に減少を示している。これは、スパン数の増加に対して鉄筋量の増加がそれほどないことを示している。この関係は、ここには示していないが、コンクリート量、型枠量も同じ傾向になっている。また、床荷重および階高と躯体数量との関係は、前々報、前報と同じように直線的関係にあり表示していない。

b). スパン長 l_x と l_y が異なる場合 ($l_x \neq l_y$)

図-9は、4階建、階高 $h=4\text{m}$ 、床荷重 $w=0.8\text{ tf/m}^2$ 、X方向5スパン (n_x)、Y方向3スパン (n_y) について、スパン長 (l_x) と鉄筋量 (W_r) との関係を示したものである。これによると $l_y=6\text{m}$ で、 $l_x=6\text{m} \sim 10\text{m}$ 間での鉄筋量は、 $l_x=7\text{m}$ が最小になっている。全体的にはスパン長 (l_x) の増加とともに鉄筋量は増加している。しかし、スパン長 (l_x) によって小梁本数を決定するため ($l_x=7\text{m}$ で1本、 $l_x=8\text{m}$ で2本)、

図-2 スパン長と鉄筋量 ($l_x=l_y$) (W_r : kgf / m²) 図-3 スパン長とコンクリート量 ($l_x=l_y$) (V : m³ / m²) 図-4 スパン長と型枠量 ($l_x=l_y$) (F : m² / m²) 図-5 階数と鉄筋量 (W_r : kgf / m²)

鉄筋量は不規則な数量として現れている。これは $ly=7m \sim 10m$ についても同じ傾向にある。また、ここでは述べていないがコンクリート量(V)、型枠量(F)についても同じ傾向を示している。なお、SRC構造とS構造についての設計条件と躯体数量の関係は、RC構造と良く似た傾向を示しているので省略している。

5. 躯体数量概算式

5.1 RC構造の躯体数量と柱・大梁断面形状の概算式

本報は、スパン長、スパン数、階数、階高、床荷重の設計条件から躯体数量と柱・大梁の断面形状を推定するために、独立変数を各設計条件、従属変数を躯体数量と柱・大梁の断面形状として重回帰分析を行う。4.の計算結果に示したように、躯体数量はスパン長の影響が一番大きく下に凸の二次変化を示している。シミュレーションによる概算手法は、重回帰分析法を用いる場合が多く本報でも同じ方法を採用している。この場合、独立変数と従属変数の間に線形関係が必要である。また相関を高めるためには、スパン長と階数に影響するデータを細分割ししなければならない。そこで4.の計算結果から次のような操作を行う。

(1) 各躯体数量とスパン長の関係は下に凸の二次曲線で表わしている。そこで本報は、この二次曲線を近似直線にするためにスパン長を、 $6m \sim 7m$ 、 $7m \sim 8m$ 、 $8m \sim 9m$ 、 $9m \sim 10m$ として4分割する。(2) 階数の変化に対する各躯体数量は、2階建～3階建で基礎部分の影響を受け不連続であった。そこで3階を境に、階数を2分割し線形関係にする。(3) 階高、スパン数、床荷重に関しては、躯体数量に対して線形関係にあるものとして、特に操作は行わない。(4) 引き抜きの影響により部材断面が著しく増大するが、これについては杭を入れた場合の躯体コストの性状と比較する必要があるが、今回の報告では杭を考慮しないのでこの資料を省いている。

以上の操作により解析データ数は、 $n=2 \sim 3$ 階建で約600、 $n=3 \sim 6$ 階建で約1200、となる。また、階数またはスパン長の境界のデータは、重複して使用している。下記に躯体数量と柱・大梁断面形状の概算式の一部($n=3 \sim 6$ 階建)を示す。(1)～(6)式に示す4式は、上からそれぞれ、(1) $6m \leq ly < 7m$, $6m \leq lx < 7m$, (2) $6m \leq ly < 7m$, $7m \leq lx < 8m$, (3) $6m \leq ly < 7m$, $8m \leq lx < 9m$, (4) $6m \leq ly < 7m$, $9m \leq lx < 10m$ の範囲を示す。また $n=3 \sim 6$ 階建で、その他のスパンの組合せ、 $n=2 \sim 3$ 階建で、全てのスパンの組合せに躯体数量概算式48式および柱・大梁のコンクリート断面形状の概算式48式の記載を省略している。また相関係数はいずれも0.99になっている。

(1) 鉄筋量(kgf/m²)($n=3 \sim 6$ 階の場合) ……(1)

$$Wr = -0.63lx - 0.15ly - 1.70nx - 1.91ny + 4.66n + 12.02h + 30.66w$$

$$Wr = 2.20lx - 1.70ly - 1.88nx - 2.10ny + 4.68n + 10.81h + 28.86w$$

$$Wr = -0.79lx + 1.35ly - 1.77nx - 2.10ny + 5.45n + 10.96h + 31.56w$$

$$Wr = -1.71lx + 3.09ly - 1.74nx - 2.29ny + 5.82n + 10.50h + 33.15w$$

(2) コンクリート量(m³/m²)($n=3 \sim 6$ 階の場合) ……(2)

$$V = -0.011lx + 0.002ly - 0.011nx - 0.012ny + 0.033n + 0.090h + 0.210w$$

$$V = 0.004lx - 0.005ly - 0.012nx - 0.013ny + 0.034n + 0.087h + 0.204w$$

$$V = -0.031lx + 0.038ly - 0.012nx - 0.013ny + 0.040n + 0.088h + 0.227w$$

$$V = -0.050lx + 0.074ly - 0.012nx - 0.014ny + 0.044n + 0.085h + 0.241w$$

図-6 階数とコンクリート量($lx=ly$)(V:m³/m²)

図-7 階数と型枠量($lx=ly$)(F:m²/m²)

図-8 スパン数と鉄筋量($lx=ly$)(Wr:kgf/m²)

図-9 スパン長と鉄筋量($lx \neq ly$)(Wr:kgf/m²)

(3) 型枠量(m^2/m^2)($n=3\sim6$ 階の場合) (3)

$$F = 0.062lx + 0.095ly - 0.077nx - 0.079ny + 0.043n + 0.469h + 0.586w$$

$$F = 0.157lx + 0.063ly - 0.080nx - 0.087ny + 0.020n + 0.404h + 0.390w$$

$$F = 0.054lx + 0.186ly - 0.073nx - 0.085ny + 0.020n + 0.379h + 0.386w$$

$$F = 0.024lx + 0.249ly - 0.070nx - 0.085ny + 0.015n + 0.347h + 0.342w$$

(4) 1 階柱断面幅(cm)($n=3\sim6$ 階の場合) (4)

$$1Dc = -0.077lx + 1.306ly - 0.045nx - 0.198ny + 6.650n + 7.220h + 12.528w$$

$$1Dc = -0.045lx + 0.788ly - 0.099nx - 0.161ny + 6.789n + 8.312h + 14.592w$$

$$1Dc = -2.052lx + 3.179ly - 0.102nx - 0.066ny + 7.030n + 9.040h + 16.121w$$

$$1Dc = -3.285lx + 5.351ly - 0.120nx - 0.029ny + 7.287n + 9.324h + 17.280w$$

(5) X方向最上階梁せい(cm)($n=3\sim6$ 階の場合) (5)

$$rDx = 0.86lx + 1.75ly - 0.81nx + 0.27ny + 2.66n + 7.37h + 22.70w$$

$$rDx = 2.32lx + 0.45ly - 0.52nx + 0.31ny + 2.70n + 7.40h + 22.92w$$

$$rDx = 2.86lx + 1.01ly - 0.36nx + 0.22ny + 2.70n + 6.57h + 20.92w$$

$$rDx = 2.12lx + 3.82ly - 0.48nx + 0.18ny + 2.48n + 5.56h + 19.72w$$

(6) Y方向最上階梁せい(cm)($n=3\sim6$ 階の場合) (6)

$$rDY = -0.75lx + 2.06ly - 0.002nx - 0.57ny + 3.52n + 9.21h + 15.77w$$

$$rDY = -0.21lx + 3.03ly + 0.07nx - 0.73ny + 3.11n + 8.76h + 16.28w$$

$$rDY = -3.96lx + 8.97ly + 0.17nx - 0.71ny + 2.92n + 8.37h + 18.63w$$

$$rDY = -5.12lx + 12.34ly + 0.16nx - 0.61ny + 3.06n + 7.93h + 17.54w$$

5. 2 R C構造の等価コストについて

躯体コスト(C)は、次式によって定義している。

$$C = V \cdot c + W_r \cdot r + F \cdot f \quad \text{..... (7)}$$

C : 躯体コスト (円)

V : コンクリート (m^3)

c : コンクリート工事単価 (材工とも) (円/ m^3)

W_r : 鉄筋量 (t)

r : 鉄筋工事単価 (材工とも) (円/t)

F : 型枠量 (m^2)

f : 型枠工事単価 (材工とも) (円/ m^2)

ここでいう単価比 (鉄筋および型枠工事単価のコンクリート工事単価に対する比) を定義し、(8) 式のように躯体コストからコンクリート量 (等価コンクリート量という) に置換する。

$$C/c = V + W_r \cdot \alpha_r + F \cdot \beta \quad \text{..... (8)}$$

C/c : 等価コンクリート量 (m^3)

α_r : 鉄筋工事単価のコンクリート工事単価

に対する比 (m^3/t)

β : 型枠工事単価のコンクリート工事単価

に対する比 (m^3/m^2)

したがって、C/c に $1m^3$ 当りコンクリート工事単価を乗すると躯体コスト (円) が求められる。また、C/c を建物延床面積 (A) で除したものを等価コスト (Co) と定義している。

$$Co = C / (c \cdot A) = (V + W_r \cdot \alpha_r + F \cdot \beta) / (c \cdot A) \quad \text{..... (9)}$$

Co : 等価コスト (単位床面積 当りコンクリート量 m^3/m^2)

設計条件に対する R C 構造の等価コストは、躯体数量式 (1) ~ (3) のいずれかの式を使用して (7) 式から簡単に計算できる。

5. 3 SRC構造とS構造の躯体数量概算式と等価コスト

SRC構造とS構造の躯体数量概算式を求めるため、RC構造と同様に重回帰分析法を用いて行う。そして次のような操作を行う。階数の変化に対する各躯体数量は、4階建~8階建と8階建~12階建を2分割し線形関係にする。またRC構造の5. 1で示した(1)、(3)、(4)の項目は同様にしている。以上の操作により解析データ数は、 $n=4\sim8$ で約1200、 $n=8\sim12$ で約1200となる。また、階数またはスパン長の境界のデータは、重複して使用している。その結果、RC構造で行ったように躯体数量とスパン長および階数の関係が線形関係になるように区分すると、SRC構造は140式、S構造は120式となるが、紙面の都合で省略している。また躯体コストは、RC構造で示した(7)式にSRC構造では鉄骨量を、S構造では鉄骨量、被覆量、外壁量(ALC版)の数量に各工事単価を乗じてそれぞれ加えると求められる。等価コンクリート量、等価コストは(8)、(9)式と同様になる。

表-1 表計算ソフトによる躯体工事費概算における入力項目

建物の躯体コスト概算手法 (任意平面形状の場合)												
入力箇所1	6	lx	Xスパン (m)			<div>●躯体コスト $C = V \times c + W_r \times r + W_s \times s + F \times f + H \times h + K \times AL$ (円) $\alpha_r = r/c, \alpha_s = s/c, \beta = f/c, \gamma = h/c, \eta = AL/c$</div> <div>●等価コンクリート量 $C/c = V + W_r \times \alpha_r + W_s \times \alpha_s + F \times \beta + H \times \gamma + K \times \eta$ (m³)</div> <div>●等価コスト $C_o = C / (c \times A)$</div>						
	6	ly	Yスパン (m)(lx≥ly)									
	5	nx	Xスパン数									
	5	ny	Yスパン数									
	4	n	階数									
	4	h	階高 (m)									
入力箇所2	0.8	w	床荷重 (tf/m²)									
	13,750	c	コンクリート工事単価(円 / m³)			コンクリート単価(円 / m³)		c	1,000			
	93,400	r	鉄筋工事単価(円 / t)			鉄筋単価比(m³ / t)		α_r	6.793			
	154,710	s	鉄骨工事単価(S)(円 / t)			鉄骨単価比(m³ / t)		$\alpha_s(S)$	11.252			
	168,210	s	鉄骨工事単価(SRC)(円 / t)			鉄骨単価比(m³ / t)		$\alpha_s(SRC)$	12.233			
	5,300	f	型枠工事単価(円 / m²)			型枠単価比(m³ / m²)		β	0.385			
R C構造	9,950	h	被覆工事単価(円 / m²)			被覆単価比(m³ / m²)		γ	0.724			
	7,070	AL	ALC版工事単価(円 / m²)			ALC版単価比(m³ / m²)		η	0.514			
			コンクリート量 V (m³/m²)	鉄筋量 W _r (kgf/m²)		型枠量 F (m²/m²)	1階柱幅 1D _c (cm)	X方向最上階 はりせい rD _{gx} (cm)	Y方向最上階 はりせい rD _{gy} (cm)	等価コスト C _o (m³/m²)	単位床面積当 躯体コスト (円/m²)	
			0.491	68.503		2.679	75.0	75.0	70.0	1.989	¥27,347	
	SRC構造		コンクリート量 V (m³/m²)	鉄筋量 W _r (kgf/m²)	鉄骨量 W _s (kgf/m²)	型枠量 F (m²/m²)	1階柱幅 1D _c (cm)	X方向最上階 はりせい rD _{gx} (cm)	Y方向最上階 はりせい rD _{gy} (cm)	等価コスト C _o (m³/m²)	単位床面積当 躯体コスト (円/m²)	
			0.4386	41.389	38.989	2.560	70.0	65.0	65.0	2.183	¥30,021	
S構造			コンクリート量 V (m³/m²)	鉄筋量 W _r (kgf/m²)	鉄骨量 W _s (kgf/m²)	型枠量 F (m²/m²)	被覆量 H (m²/m²)	ALC版 AL (m²/m²)		等価コスト C _o (m³/m²)	単位床面積当 躯体コスト (円/m²)	
		0.228	20.045	58.271	1.111	0.664	0.370		2.119	¥29,134		

6. 躯体数量と柱・大梁断面形状の概算式の自動化

2. で仮定する設計条件に対して、躯体コストを求める場合は、RC構造で60式、SRC構造で80式、S構造で120式の躯体数量概算式から選択して必要な工事単価を乗じて求める。また、RC構造とSRC構造の経済的なコンクリート断面形状概算式は、それぞれ60式から選択をすることになる。このように、躯体数量概算式や断面形状概算式を選択を行うには非常に複雑な計算をしなければならない。そこで最近のコンピュータの普及を考え、表計算ソフトを利用して計算を自動化する。表-1は、表計算ソフトを利用して作成した画面を示したものである。入力2箇所あり、入力箇所1は、設計条件（スパン長 l_x, l_y 、スパン数 n_x, n_y 、階数 n 、階高 h 、床荷重 w ）を、入力箇所2は、各工事単価（コンクリート工事、鉄筋工事、鉄骨工事、被覆工事、外壁工事の各単価）を入力するようにしてある。この結果、RC構造、SRC構造およびS構造の躯体数量、等価コストおよび躯体コスト（ここでは単位床面積当たりの躯体コストとして示している：円/㎡）とコンクリート系のコンクリート最適断面形状は、上記に示した躯体数量概算式や断面形状概算式の中から自動的に計算して数値を表示するようにしてある。これを使えば、設計条件と各工事単価を入力するだけで即座にRC構造、SRC構造およびS構造の躯体コストが比較でき、しかもコスト面で有利な構造を選択することも可能である。

6.2 単位床面積当たりの躯体コスト概算式の誤差

ここで、単位床面積当たりの躯体コスト概算式の誤差について確認する。コンピュータによる構造計算・積算から求められた値と、躯体数量概算式から推定された躯体コストを比較する。また単価は、3. の研究方法で述べたものを使用している。表-2にその結果を示す。これによると躯体数量概算式を用いれば、RC構造は、+2%～+8%、SRC構造は、-2%～+5%、S構造は、-2%～+3%の誤差で躯体コストが求められることがわかる。また、コンクリート系の柱・大梁の断面形状は一部を除き概算式の方が5cm～10cm大きくなっている。このことは、コンクリート断面形状概算式で数値を切り上げて表示しているためである。

なお、表中でAは、コンピュータによる構造計算・積算の数値、Bは、躯体コスト概算方法で計算した数値、()内はB/Aの数値を表わしたものである。

7. 結論

本報は、スパン長、スパン数、階数、階高、床荷重の設計条件を仮定すると、RC構造、SRC構造およびS構造について、それぞれの躯体数量を320種類の躯体数量概算式から自動的に選択し計算させ、工事単価を乗じて躯体コストを求める概算方法とコンクリート系のRC構造とSRC構造について経済的なコンクリート断面形状も60種類の概算式から自動的に選べる概算方法を提案した。また工事単価が変動しても躯体コストの概算は、躯体数量概算式をそのまま使用できる。その結果、本報が提案する概算式は、設計の企画段階の概算方法として期待できる。同時にRC構造、SRC構造およびS構造の躯体コスト比較が即座に可能にしている。そして、構造設計者の立場から経済的スパン割りを考えた設計を可能にしている。また、経済的スパン割りの躯体コストと設計しようとする平面

表-2 単位床面積当たりの躯体コスト概算式の誤差

A：コンピュータによる構造計算・積算の数値
B：躯体コスト比概算手法で計算した数値
()内はB/Aを表わす

設計条件		RC構造			SRC構造			S構造	
		柱 1D c (cm)	大梁 rDx (cm)	躯体 コスト (円/㎡)	柱 1D c (cm)	大梁 rDx (cm)	躯体 コスト (円/㎡)	柱 1D c (cm)	躯体 コスト (円/㎡)
$l_x=6, l_y=6$ $n_x=5, n_y=5$ $n=4, h=4, w=0.8$	A	65	65	¥26,780	65	60	¥30,222	¥29,508	
	B	75	75	¥27,347 (1.02)	70	65	¥30,021 (0.99)	¥29,134 (0.99)	
$l_x=10, l_y=6$ $n_x=3, n_y=5$ $n=4, h=4, w=0.8$	A	80	90	¥28,474	70	70	¥29,796	¥30,099	
	B	80	95	¥29,618 (1.04)	75	75	¥30,462 (1.02)	¥30,791 (1.02)	
$l_x=7, l_y=6$ $n_x=5, n_y=7$ $n=8, h=5, w=0.8$	A	—	—	—	85	70	¥35,461	¥33,908	
	B	—	—	—	90	75	¥36,302 (1.02)	¥34,223 (1.01)	
$l_x=8, l_y=7$ $n_x=3, n_y=3$ $n=6, h=3, w=0.6$	A	75	75	¥27,548	70	65	¥27,610	¥26,648	
	B	85	85	¥29,728 (1.08)	75	70	¥27,429 (0.99)	¥26,418 (0.99)	
$l_x=9, l_y=6$ $n_x=7, n_y=7$ $n=10, h=5, w=1.0$	A	—	—	—	100	75	¥36,726	¥38,431	
	B	—	—	—	100	80	¥36,904 (1.01)	¥37,722 (1.02)	
$l_x=8, l_y=8$ $n_x=7, n_y=5$ $n=12, h=4, w=0.6$	A	—	—	—	95	75	¥31,460	¥30,250	
	B	—	—	—	100	75	¥33,058 (1.05)	¥30,784 (1.02)	
$l_x=7, l_y=7$ $n_x=5, n_y=5$ $n=6, h=4, w=0.6$	A	85	80	¥26,331	75	70	¥28,449	¥27,046	
	B	90	85	¥28,352 (1.08)	80	70	¥29,332 (1.03)	¥27,891 (1.03)	
$l_x=8, l_y=6$ $n_x=5, n_y=7$ $n=4, h=5, w=1.0$	A	85	95	¥31,680	80	70	¥34,389	¥33,886	
	B	95	95	¥32,725 (1.03)	80	80	¥34,900 (1.01)	¥34,835 (1.03)	
$l_x=9, l_y=6$ $n_x=3, n_y=7$ $n=8, h=3, w=1.0$	A	—	—	—	80	65	¥29,645	¥31,652	
	B	—	—	—	85	70	¥28,951 (0.98)	¥31,306 (0.99)	
$l_x=7, l_y=6$ $n_x=7, n_y=5$ $n=10, h=4, w=0.8$	A	—	—	—	85	65	¥31,364	¥31,130	
	B	—	—	—	90	65	¥31,321 (0.99)	¥31,264 (1.00)	

柱割りの躯体コストとの比較が簡単に数値として表現できる。

以上のように定量的な手法および資料を提示した躯体コスト概算式の提案は、計画および構造を担当する設計者にとって、コンクリート系の断面形状の把握と、任意の同一平面形状においてRC構造、SRC構造そしてS構造の躯体コストと躯体数量の比較検討ができコストプランニングに対する有効な手段となることが期待できる。

謝辞

本研究を進めるに当たり、データ整理には近畿大学理工学部大学院生であった富樫誠君に協力を得た。心より感謝する。

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) 西 邦弘、田中茂樹、吉岡 愛：建築構造物の躯体工事費の概算手法に関する研究（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
- (4) 建築積算研究会制定：建築数量積算規準・解説，大成出版社，1986
- (5) 建設物価：1998年3月，建設物価調査会
- (6) 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

(1999年2月8日原稿受理，1999年5月24日採用決定)