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

COST STUDY OF BUILDING STRUCTURES

Part 2 Comparison of the structural cost between reinforced concrete structure,
composite structure and steel structure

田中茂樹*, 須賀好富**

Shigeki TANAKA and Yoshitomi SUGA

The quantity of structural materials varies with structural conditions such as span length, number of stories, floor load and height of story etc.. The authors presented the fundamental cost properties of reinforced concrete structures(RC), composite structures(SRC) and steel structures(S) in the past report.

The purpose of this study are like this.

- (1) to find out optimum sections of column and girder for RC and SRC structure,
- (2) to compare between the square plan's cost and rectangular plan's cost,
- (3) to clarify cost for varied unit price,
- (4) to show the relation between building conditions and cost data.

By using these data, it is possible to select a structural style and to estimate structural cost at the early stage of general planning. So this study will help architects and structural engineers to select structural system and to estimate the structural cost at the early stage of structural design.

Keywords: cost study, reinforced concrete structure, composite structure, steel structure, equivalent cost, unit price ratio

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、鋼構造、等価コスト、単価比

1. はじめに

前報では¹⁾平面形状が36m × 36m の場合の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）と鋼構造（以下S構造という）において、スパン（ 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 ）、鉄筋量（ W_r ）、鉄骨量（ W_s ）そして型枠量（ F ）〕の関係について述べた。その結果、等価コストの推定式は、2つの方法が考えられた。すなわち、等価コスト推定式より求めた等価コストと、躯体数量推定式から求めた等価コストである。いずれも実際に構造設計と積算により求められた等価コストと比較して-3%+6%の誤差の範囲におさまリ、両推定式による建設初期段階での躯体工事費（=等価コスト×コンクリート工事単価×延床面積）の概算は、十分な精度をもっていることが明らかになった。なお、ここで定義した等価コストとは、各躯体数量に標準単価比を乗じ累加したもので「床面積1m²当りの等価コンクリート量」として表されてい

る。

さて工事単価が常に変動するため、本報で使用する重回帰分析用データも変化し、等価コストと躯体数量に影響を与えると考えられる。前報は、標準単価比²⁾を定義し等価コストと躯体数量の推定式を求めた。しかし、単価比の変動については触れていない。そこで本報の内容は前報をより発展させた下記の3項目よりなる。

（1）RC構造、SRC構造において、平面形状が36m × 36m で標準単価比のとき、等価コストが最小になる柱・大ばりのデータから、重回帰分析法²⁾よりコンクリート断面サイズ推定式を求める。

（2）建物規模（床面積の大きさ）と建物平面形状（平面辺長比で表わす）が等価コストと躯体数量に与える影響を明らかにする。

（3）工事単価がコンクリート断面サイズに影響を与えることは前報で述べた。そこで平面形状が36m × 36m の場合、工事単価が変化した時の等価コストと躯体数量に与える影響を明らかにする。

* 近畿大学理工学部建築学科 講師

Lecturer, Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Kinki Univ.

** 近畿大学理工学部建築学科 教授・工博

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Kinki Univ., Dr. Eng.

2. 対象とした建物

対象とした建物は図-1に示す36m×36mの正方形平面（前報図-7に同じ）と、図-2に一例として示すx, y両方向とも等しいスパンの長方形平面（床面積と平面形状が異なる）である。この2つの平面をもつ建物に対し、建物の規模（床面積の大きさ）と平面形状（平面辺長比）が等価コストに与える影響を明らかにする。なおコンクリート、鉄筋および鉄骨の強度は前報と同じとしている。

図-1 正方形平面の一例($\ell x = \ell y = 7.2\text{m}$ の場合)

図-2 長方形平面の一例(sx, sy はスパン数)

3. 計算結果

3. 1 柱・大ばりの最適コンクリート断面サイズ（平面形状が36m×36m、RC構造とSRC構造で標準単価比採用の場合）

前報で報告した等価コスト(Co)は、 $\ell x, \ell y, n, w, h$ に対し、RC構造とSRC構造の柱・大ばりコンクリート断面サイズを多数変化させて構造設計・積算²⁾⁻¹⁴⁾した結果、等価コストを最小に近くするコンクリート断面サイズ（以下最適断面という）を基にして求めたものである。この最適断面をデータとして重回帰分析法により最適断面推定式を求める。よってこの最適断面推定式を用

いて構造設計を行うと、躯体工事費を最小に近くする構造計画・構造設計が可能になる。

実際に行われる構造設計においては、柱にあっては1階のコンクリート断面サイズを定め、その後上階においてRC構造では1階あたり5cm、SRC構造では2階あたり5cmずつ順次小さくしていく方法もある。一方、はりにあっては逆に、最上階のコンクリート断面サイズ（はりせい）を定め、下階においてRC構造では1階あたり5cm、SRC構造では2階あたり5cmずつ順次大きくしていくなど設計者の工夫が見られる。そこで、本報でもこの設計方針に則り、1階の柱コンクリート断面サイズ（正方形の一辺の大きさを1Dcとする）、最上階のはりコンクリート断面サイズ（はりせいrDGとする）の推定式を求めた。その結果を(1)～(4)に示す。なお、はりせいはx方向とy方向同じ大きさである。

RC構造の場合（Rは重相関係数を示す。以下同じ）

$$1Dc = 2.02 \cdot \ell x + 4.74 \cdot \ell y + 6.21 \cdot n + 16.5 \cdot w + 4.83 \cdot h - 24.5 \quad (R=0.96) \quad (1)$$

$$rDG = 4.72 \cdot \ell x + 5.48 \cdot \ell y + 0.23 \cdot n + 26.8 \cdot w + 4.34 \cdot h - 33.9 \quad (R=0.96) \quad (2)$$

SRC構造の場合

$$1Dc = 1.04 \cdot \ell x + 2.41 \cdot \ell y + 3.10 \cdot n + 14.6 \cdot w + 4.01 \cdot h + 4.19 \quad (R=0.93) \quad (3)$$

$$rDG = 2.22 \cdot \ell x + 2.15 \cdot \ell y + 0.98 \cdot n + 14.8 \cdot w + 4.06 \cdot h + 5.24 \quad (R=0.94) \quad (4)$$

実用的には、(1)～(4)式より求めた値を切り上げて5cmごとの寸法にして使用することとなる。

3. 2 建物規模と建物平面形状が等価コストと躯体数量に与える影響

前報では平面形状が36m×36mについて、 $\ell x, \ell y, n, w, h$ に対する等価コストと躯体数量の関係について報告した。そこで本報では、正方形床面積および平面形状が変化したときの等価コストと躯体数量の性状を明らかにする。

表-1は対象とした正方形平面（スパンはx, y方向同じとしている。すなわち $\ell x = \ell y = \ell$ ）で $\ell, sx, sy, \lambda, Ao$ が示されている。 sx, sy はそれぞれx方向, y方向のスパン数を示し、 $\lambda = sy/sx$ （ただし、表-1では $\lambda = 1.0$ ）は

表-1 正方形平面のスパン(ℓ)、スパン数(sx, sy)と標準階床面積(Ao)

ℓ (m)	sx	sy	$\lambda = sy/sx$	Ao (m ²)	ℓ (m)	sx	sy	$\lambda = sy/sx$	Ao (m ²)
6.0	3	3	1.0	324	8.0	3	3	1.0	576
6.0	4	4	1.0	576	8.0	4	4	1.0	1024
6.0	5	5	1.0	900	8.0	5	5	1.0	1600
6.0	6	6	1.0	1296	8.0	6	6	1.0	2304
6.0	7	7	1.0	1764	8.0	7	7	1.0	3136
6.0	8	8	1.0	2304	8.0	8	8	1.0	4096
6.0	9	9	1.0	2916	8.0	9	9	1.0	5184
7.0	3	3	1.0	441	9.0	3	3	1.0	729
7.0	4	4	1.0	784	9.0	4	4	1.0	1296
7.0	5	5	1.0	1225	9.0	5	5	1.0	2025
7.0	6	6	1.0	1764	9.0	6	6	1.0	2916
7.0	7	7	1.0	2401	9.0	7	7	1.0	3969
7.0	8	8	1.0	3136	9.0	8	8	1.0	5184
7.0	9	9	1.0	3969	9.0	9	9	1.0	6561

平面辺長比である。また A_o は標準階床面積を表す。これらの平面をもつ建物で、 $n=6, w=0.8\text{tf/m}^2, h=4\text{m}$ のRC構造とSRC構造について、標準階床面積と等価コストの関係を示したのが図-3, 4である。ここで示す等価コストは、床荷重と階高を一定にした時 ($w=0.8\text{tf/m}^2, h=4\text{m}$) のもので基準等価コスト (以下 oCo で表わす) と定義し、 w と h の変化も考慮した時の等価コストは後述する。

図-3, 4によると建物規模が大きくなるにつれ基準等価コストは減少し、標準階床面積 (A_o) と基準等価コスト (oCo) の関係は、相関のよい関係式 $oCo=a+b/A_o$ になっている。正方形平面における回帰分析結果の推定式を下記に示す。

RC構造の場合

$$\ell=6\text{mのとき } oCo=1.81+94.2/A_o (R=0.99) \quad (5-1)$$

$$\ell=7\text{mのとき } oCo=1.80+139/A_o (R=0.98) \quad (5-2)$$

$$\ell=8\text{mのとき } oCo=2.08+143/A_o (R=0.99) \quad (5-3)$$

$$\ell=9\text{mのとき } oCo=2.50+169/A_o (R=0.98) \quad (5-4)$$

SRC構造の場合

$$\ell=6\text{mのとき } oCo=2.19+153/A_o (R=0.99) \quad (6-1)$$

$$\ell=7\text{mのとき } oCo=2.10+172/A_o (R=0.99) \quad (6-2)$$

$$\ell=8\text{mのとき } oCo=2.08+204/A_o (R=0.99) \quad (6-3)$$

$$\ell=9\text{mのとき } oCo=2.12+234/A_o (R=0.99) \quad (6-4)$$

また、RC構造とSRC構造の両者を比較した一例が図-5で、ともに類似の傾向を示し $\ell=7\text{m}$ の時RC構造の基準等価コストはSRC構造に比べて小さいものの、 $\ell=8\text{m}$ では両者は、ほぼ等しくなっている。

図-3 RC構造の標準階床面積(A_o)と基準等価コスト(oCo)

図-4 SRC構造の標準階床面積(A_o)と基準等価コスト(oCo)

これはスパンが大きくなると、SRC構造のほうが有利になることを示している。

次に、RC構造、SRC構造とS構造の3構造について、 A_o と躯体数量の関係を示したのが図-6～9である。躯体数量の傾向は、基準等価コストのそれに類似している (図-6はコンクリート量、図-7は鉄筋量、図-8は鉄骨量、図-9は型枠量を示している)。

図-5 RC構造とSRC構造の基準等価コスト(oCo)の比較

図-6 RC構造とSRC構造の基準コンクリート量(oV)の比較

図-7 RC構造とSRC構造の基準鉄筋量(oWr)の比較

図-8 S構造とSRC構造の基準鉄骨量(oWs)の比較

次に平面形状が変化したときすなわち長方形平面の場合について、平面辺長比 λ と基準等価コストの関係について述べる。表-2に示す平面辺長比 $\lambda=0.5$ ($=s_y/s_x$)のときの A_o と oCo の関係を求めると、図-10のごとく $oCo=a+b/A_o$ の関係になっている。

図-9 RC構造とSRC構造の基準型枠量(oF)の比較

表-2 平面辺長比 $\lambda=0.5$ の時の長方形平面のスパン(ℓ)、スパン数(s_x, s_y)、と標準階床面積(A_o)

ℓ (m)	s_x	s_y	A_o (m ²)	ℓ (m)	s_x	s_y	A_o (m ²)
6.0	6	3	648	8.0	6	3	1152
6.0	8	4	1152	8.0	8	4	2048
6.0	10	5	1800	8.0	10	5	3200
6.0	12	6	2592	8.0	12	6	4608
6.0	14	7	3528	8.0	14	7	6272
6.0	16	8	4608	8.0	16	8	8192
7.0	6	3	882	9.0	6	3	1458
7.0	8	4	1568	9.0	8	4	2592
7.0	10	5	2450	9.0	10	5	4050
7.0	12	6	3528	9.0	12	6	5832
7.0	14	7	4802	9.0	14	7	7938
7.0	16	8	6272	9.0	16	8	10368

図-10 平面辺長比 $\lambda=0.5$ のときの標準階床面積(A_o)と基準等価コスト(oCo)

以上のような結果と λ が0.75, 0.6, 0.375になる平面辺長比のデータを加えた240例から、RC構造、SRC構造とS構造について、 oCo, oV, oWr, oWs, oF の推定式を求めた結果下記の諸式が得られた。いずれも基本的には $oCo=a+b/A_o$ などの式で表されている。ここに oV, oWr, oWs, oF は、それぞれ床面積1m²当りの基準コンクリート量、基準鉄筋量、基準鉄骨量、基準型枠量である。

RC構造の場合

$$oCo = (20.0 \cdot \ell + 10.6 \cdot n + 8.04 \cdot \lambda - 14.6) / 100 + (26.7 \cdot \ell + 3.39 \cdot n - 151 \cdot \lambda + 52.9) / Ao \quad (7-1)$$

$$oV = (10.4 \cdot \ell + 5.37 \cdot n - 0.07 \cdot \lambda - 48.5) / 100 + (-10.6 \cdot \ell - 5.87 \cdot n - 0.204 \cdot \lambda + 119) / Ao \quad (7-2)$$

$$oWr = (8.20 \cdot \ell + 6.72 \cdot n + 3.28 \cdot \lambda - 33.0) + (1156 \cdot \ell + 1371 \cdot n - 6548 \cdot \lambda - 3167) / Ao \quad (7-3)$$

$$oF = (6.00 \cdot \ell + 0.21 \cdot n + 3.76 \cdot \lambda + 167) / 100 + (49.8 \cdot \ell + 5.69 \cdot n - 201 \cdot \lambda - 43.5) / Ao \quad (7-4)$$

(上式の第1項の $R=0.68 \sim 0.96$, 第2項の $R=0.58 \sim 0.93$ である)

SRC構造の場合

$$oCo = (-1.71 \cdot \ell + 7.48 \cdot n + 7.07 \cdot \lambda + 174) / 100 + (40.6 \cdot \ell + 13.9 \cdot n - 252 \cdot \lambda + 39.5) / Ao \quad (8-1)$$

$$oV = (1.67 \cdot \ell + 1.45 \cdot n - 2.12 \cdot \lambda + 20.2) / 100 + (5.20 \cdot \ell + 1.45 \cdot n - 29.7 \cdot \lambda + 7.68) / Ao \quad (8-2)$$

$$oWr = (-0.064 \cdot \ell + 0.736 \cdot n + 0.982 \cdot \lambda + 31.6) + (398 \cdot \ell + 160 \cdot n - 3351 \cdot \lambda + 1464) / Ao \quad (8-3)$$

$$oWs = (-0.585 \cdot \ell + 3.11 \cdot n + 1.73 \cdot \lambda + 21.2) + (828 \cdot \ell + 617 \cdot n - 3611 \cdot \lambda - 1333) / Ao \quad (8-4)$$

$$oF = (-4.37 \cdot \ell - 0.494 \cdot n + 2.40 \cdot \lambda + 225) / 100 + (25.6 \cdot \ell + 2.77 \cdot n - 160 \cdot \lambda + 79.6) / Ao \quad (8-5)$$

(上式の第1項の $R=0.72 \sim 0.97$, 第2項の $R=0.59 \sim 0.91$ である)

S構造の場合

$$oCo = (0.567 \cdot \ell + 6.80 \cdot n + 9.68 \cdot \lambda + 150) / 100 + (46.4 \cdot \ell + 10.6 \cdot n - 279 \cdot \lambda + 53.6) / Ao \quad (9-1)$$

$$oWs = (0.416 \cdot \ell + 4.90 \cdot n + 5.26 \cdot \lambda + 39.5) + (2915 \cdot \ell + 1067 \cdot n - 13357 \cdot \lambda - 4380) / Ao \quad (9-2)$$

(上式の第1項の $R=0.98 \sim 0.99$, 第2項の $R=0.87 \sim 0.95$ である)

次に前報で報告した通り、床荷重 w および階高 h と等価コストおよび躯体数量の関係は、一次増加関係になっていた。そこで、 $\ell=6, 7, 8, 9$ mの正方形床面積について w と h を変化させ、実際に構造設計・積算した等価コストおよび躯体数量をデータとして回帰分析し、 w と h に関する関係を求める。これを影響係数と定義し、表-3に w と h の影響係数名を示す。

表-3 等価コストと躯体数量の床荷重影響係数と階高影響係数

	床荷重影響係数	階高影響係数
等価コスト	$c01$	$c2$
コンクリート量	$v1$	$v2$
鉄筋量	$wr1$	$wr2$
鉄骨量	$ws1$	$ws2$
型枠量	$f1$	$f2$

これによって、 $\ell, x, \ell, y, n, w, h, \lambda, A_o$ を考慮した等価コストと躯体数量は、下記のように表すことができる。

$$Co = c01 \cdot c02 \cdot oCo \quad (10-1)$$

$$V = v1 \cdot v2 \cdot oV \quad (10-2)$$

$$Wr = wr1 \cdot wr2 \cdot oWr \quad (10-3)$$

$$Ws = ws1 \cdot ws2 \cdot oWs \quad (10-4)$$

$$F = f1 \cdot f2 \cdot oF \quad (10-5)$$

また、 w, h と等価コストと躯体数量の関係は下記になる。

RC構造の場合

$$c01 = 0.35 \cdot w + 0.72 \quad (11-1) \quad c02 = 0.12 \cdot h + 0.52 \quad (11-2)$$

$$\begin{aligned} v1 &= 0.55 \cdot w + 0.56 & (11-3) & \quad v2 = 0.13 \cdot h + 0.48 & (11-4) \\ wr1 &= 0.50 \cdot w + 0.60 & (11-5) & \quad wr2 = 0.16 \cdot h + 0.36 & (11-6) \\ fl &= 0.13 \cdot w + 0.90 & (11-7) & \quad f2 = 0.08 \cdot h + 0.68 & (11-8) \end{aligned}$$

S R C 構造の場合

$$\begin{aligned} co1 &= 0.34 \cdot w + 0.73 & (12-1) & \quad co2 = 0.12 \cdot h + 0.52 & (12-2) \\ v1 &= 0.50 \cdot w + 0.60 & (12-3) & \quad v2 = 0.07 \cdot h + 0.72 & (12-4) \\ wr1 &= 0.30 \cdot w + 0.76 & (12-5) & \quad wr2 = 0.06 \cdot h + 0.76 & (12-6) \\ ws1 &= 0.60 \cdot w + 0.52 & (12-7) & \quad ws2 = 0.27 \cdot h - 0.08 & (12-8) \\ fl &= 0.17 \cdot w + 0.87 & (12-9) & \quad f2 = 0.06 \cdot h + 0.76 & (12-10) \end{aligned}$$

S 構造の場合

$$\begin{aligned} co1 &= 0.34 \cdot w + 0.73 & (13-1) & \quad co2 = 0.14 \cdot h + 0.44 & (13-2) \\ ws1 &= 0.53 \cdot w + 0.58 & (13-3) & \quad ws2 = 0.26 \cdot h - 0.04 & (13-4) \end{aligned}$$

(上式(11)~(13)のRは0.91~0.99である)

次に表-4に示す3つの建物の3つの構造形式(RC構造、SRC構造とS構造)について、次の2つの方法によりコンクリート断面サイズと等価コストを比較する。

(a) 構造設計と積算により1Dc, rDGと等価コストを求める。(b) コンクリート断面サイズ推定式[(1)~(4)式]より、1Dc, rDGをそして基準等価コスト推定式(oCo) [(7-1), (8-1), (9-1)式]とco1, co2の推定式 [(11-1), (11-2), (12-1), (12-2), (13-1), (13-2)式]から等価コストを求める。

これによると、RC構造とSRC構造を(b)の方法で求めた1Dc, rDGは、(a)の方法に対し±5cm(0.93~1.07倍)になっており、また(b)の方法で求めたRC構造、SRC構造、S構造の等価コストは、(a)の方法に対し0.97~1.10倍となっているので、構造計算、積算をしなくとも(b)の方法で概算することが可能といえる。

表-5は、表-4と同じ建物について、次の2つの方法により躯体工事費と躯体数量を求め比較したものである。(a)構造設計と積算により等価コストと躯体数量を求める。(b)躯体数量推定式から等価コストと躯体数量を求める。

これによると、3つの建物の(b)の方法による等価コストと躯体数量は(a)の方法の値に対し、等価コストで0.97~1.08倍、躯体数量で0.94~1.14倍になっている。例題(1)のRC構造の鉄筋量が少し大きい、ここで提案している等価コスト推定式と躯体数量推定式は概算手法として十分なものといえよう。

以上により、本報で提案するコンクリート断面サイズ推定式、等価コスト推定式、躯体数量推定式は、実際に構造設計・積算により求められる結果とほぼ等しい値が得られるので構造計画やコストコントロールに有効な方法と考えられる。

3. 3 建築工事単価の変動が等価コストと躯体量におよぼす影響(平面形状が36m×36mの場合)

図-11は、日経アーキテクチャー¹⁵⁾1987年1月~1990年4月までの躯体コスト指標より求めたRC構造の鉄筋工事単価比 αr^1 と型枠工事単価比 β^1 のデータをプロッ

トしたものである。これを回帰分析すると

$$\alpha r = 15.2 \cdot \beta + 2.53 \quad (\text{相関係数 } R=0.85) \quad (14)$$

の1次式で表わすことができる。

また図-12は、SRC構造の場合の鉄骨工事単価比 αs と αr の関係であり、これを回帰分析すると

$$\alpha s = 1.10 \cdot \alpha r + 8.50 \quad (R=0.83) \quad (15)$$

の1次式で表すことができる。

表-4 コンクリート断面サイズと等価コストの比較

	建物の条件	構造	1Dc	rDG	Co
(1)	Lx=35m, Ly=14m A=490m ² $\lambda=0.4$, $\ell=7.0$ m n=6, w=0.6tf/m ² h=3.5m	RC	(a) 90	70	1.903
			(b) 90(1.00)	75(1.07)	2.037(1.07)
		SRC	(a) 75	65	2.219
			(b) 70(0.93)	65(1.00)	2.390(1.08)
		S	(a) —	—	2.092
			(b) —	—	2.301(1.10)
(2)	Lx=32m, Ly=24m A=768m ² $\lambda=0.75$, $\ell=8.0$ m n=6, w=1.0tf/m ² h=4.5m	RC	(a) 110	105	2.639
			(b) 110(1.00)	100(0.95)	2.695(1.02)
		SRC	(a) 85	80	2.729
			(b) 85(1.00)	80(1.00)	2.769(1.06)
		S	(a) —	—	2.726
			(b) —	—	2.736(1.00)
(3)	Lx=54m, Ly=27m A=1458m ² $\lambda=0.50$, $\ell=9.0$ m n=6, w=0.9tf/m ² h=3.8m	RC	(a) 110	100	2.584
			(b) 110(1.00)	100(1.00)	2.519(0.97)
		SRC	(a) 90	75	2.387
			(b) 85(0.94)	80(1.07)	2.345(0.98)
		S	(a) —	—	2.324
			(b) —	—	2.294(0.98)

(a)構造設計と積算により求めた場合、(b)断面推定式より求めた場合
()は(b)/(a)の値を示す。

表-5 等価コストと躯体数量の比較

	建物の条件	構造	Co	Wr	Ws	V	F
(1)	Lx=35m Ly=14m $\lambda=0.4$ A=490m ² $\ell=7.0$ m n=6 w=0.6tf/m ² h=3.5m	RC	(a) 1.903	65.35	—	0.470	2.275
			(b) 2.059 (1.08)	72.47 (1.14)	—	0.486 (1.03)	2.484 (1.09)
		SRC	(a) 2.190	39.04	37.70	0.388	2.068
			(b) 2.313 (1.06)	39.99 (1.02)	38.19 (1.01)	0.418 (1.08)	2.220 (1.07)
		S	(a) 2.092	15.22	79.39	0.237	1.160
			(b) 2.215 (1.06)	16.65 (1.09)	84.99 (1.07)	0.244 (1.03)	1.185 (1.02)
(2)	Lx=32m Ly=24m $\lambda=0.75$ A=768m ² $\ell=8.0$ m n=6 w=1.0tf/m ² h=4.5m	RC	(a) 2.639	96.35	—	0.814	2.635
			(b) 2.696 (1.02)	104.0 (1.08)	—	0.792 (0.97)	2.679 (1.02)
		SRC	(a) 2.729	44.60	54.67	0.515	2.181
			(b) 2.686 (0.98)	43.98 (0.99)	56.80 (1.04)	0.516 (1.00)	2.275 (1.04)
		S	(a) 2.726	16.50	116.2	0.293	1.104
			(b) 2.807 (1.03)	16.49 (0.99)	120.6 (1.04)	0.295 (1.01)	1.128 (1.02)
(3)	Lx=54m Ly=27m $\lambda=0.50$ A=1458m ² $\ell=9.0$ m n=6 w=0.9tf/m ² h=3.8m	RC	(a) 2.584	95.62	—	0.826	2.482
			(b) 2.508 (0.97)	92.61 (0.97)	—	0.777 (0.94)	2.475 (0.99)
		SRC	(a) 2.387	39.92	43.23	0.485	2.012
			(b) 2.346 (0.98)	39.59 (0.99)	41.07 (0.95)	0.478 (0.98)	2.030 (1.01)
		S	(a) 2.324	15.16	92.85	0.284	1.084
			(b) 2.288 (0.98)	15.51 (1.02)	90.26 (0.96)	0.283 (0.99)	1.091 (1.01)

(a)構造設計と積算により求めた場合、
(b)躯体数量推定式より求めた場合、()は(b)/(a)の値を示す。

図-11 型枠工事単価比(β)と鉄筋工事単価比(αr)の関係(RC構造の場合)(日経アーキテクチャー1987年~1990年躯体コスト指標のデータによる)

そこで(14),(15)式の関係式にしたがって、標準単価比ではなく $\alpha r, \alpha s$ と β を変動させ時の最適断面を求めたが、その値とまったく同じコンクリート断面サイズが得られた。その結果を表-6と表-7に示す。すなわち、(14),(15)式の関係式に則った単価変動では、コンクリート断面サイズは変化しないとしてよい。したがってこの場合躯体数量は、一定となるのでこれに単価(時価)を乗ずることにより躯体工事費が得られる。

次に、一つの工事単価のみ異常に変化した場合について検討する。表-8は、 $\ell x = \ell y = 7.2\text{m}, n=4, w=0.8\text{tf/m}^2, h=4\text{m}, \alpha r=8$ そして $\alpha s=18$ を一定として、型枠工事単価比 β のみを0.2~1.4まで変化させた時の1Dc,rDGの最適断面を求めたものである。これによるとRC構造、SRC構造とも β の上昇につれ最適断面は、小さくなる傾向がある。このことは型枠工事単価が大きくなるとコンクリート断面サイズを小さくして、型枠工事費を小さくすることが経済的であることを示している。

表-9は表-8と同じ建物において他の単価比を一定にしておき、鉄筋工事単価比 αr のみを2~18まで変化させた時の1Dc,rDGの最適断面を求めたものである。これによるとRC構造、SRC構造とも αr の上昇につれ最適断面は、大きくなる傾向がある。このことは鉄筋工事単価が大きくなると、コンクリート断面サイズを大きくして補強鉄筋を少なくすることが経済的であることを示している。

図-12 鉄筋工事単価比(αr)と鉄骨工事単価比(αs)の関係(SRC構造の場合)(日経アーキテクチャー1987年~1990年躯体コスト指標のデータによる)

表-6 RC構造の αr と β の変動による柱・大ばりの最適断面(単位cm)

β	αr	1Dc	rDG
0.3	6	95	85
	8	95	85
0.4	8	95	85
	10	95	85
0.5	8	95	85
	12	95	85
0.6	10	95	85
	12	95	85
0.7	12	95	85
	14	95	85
0.8	12	95	85
	16	95	85
0.9	14	95	85
	18	95	85
1.0	16	95	85
	20	95	85

($\ell x = \ell y = 7.2\text{m}, n=4, w=0.8\text{tf/m}^2, h=4\text{m}$), (標準単価比は $\alpha r=8, \beta=0.4$)

しかし、これらの例でもわかるように、型枠工事単価や鉄筋工事単価がそれぞれ単独に極端に変動しても、コンクリート断面サイズは、そんなに大きく変化しないことが明らかになった(表-8,9では5cm程度)。加えて、床、小ばり、基礎等も考慮すると、柱・はりのわずかなコンクリート断面サイズの変化が等価コストに与える影響は、極めて小さく無視できるものであるといえる。したがって、本報で求めたコンクリート断面サイズ推定式(1)~(4)を使用して設計するとそれは、最適設計に近いものとなり、それより求められた躯体数量に建設時の各単価を乗ずれば躯体工事費が概算できる。

表-7 SRC構造の $\alpha r, \alpha s, \beta$ の変動による柱・大ばりの最適断面(単位cm)

β	αr	αs	1Dc	rDG
0.3	6	9	80	80
		18	80	80
	8	18	80	80
		27	80	80
0.4	8	18	80	80
		27	80	80
	10	18	80	80
		27	80	80
0.5	8	18	80	80
		27	80	80
	12	18	80	80
		27	80	80
0.6	10	18	80	80
		27	80	80
	12	18	80	80
		27	80	80
0.7	12	18	80	80
		27	80	80
	14	18	80	80
		27	80	80
0.8	12	18	80	80
		27	80	80
	16	18	80	80
		36	80	80
0.9	14	18	80	80
		27	80	80
	18	27	80	80
		36	80	80
1.0	16	27	80	80
		36	80	80
	20	27	80	80
		36	80	80

($\ell x = \ell y = 9\text{m}, n=6, w=0.8\text{tf/m}^2, h=4\text{m}$), (標準単価比は $\alpha r=8, \alpha s=18, \beta=0.4$)

表-8 型枠工事単価比のみを変化させたときの柱・大ばりの最適断面

β	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
RC構造	1Dc	85	80	80	80	80	80
	rDG	85	75	75	75	75	75
SRC構造	1Dc	70	70	70	65	65	65
	rDG	70	70	70	65	65	65

($\ell x = \ell y = 7.2\text{m}, n=4, w=0.8\text{tf/m}^2, h=4\text{m}, \alpha r=8, \alpha s=18$ のとき)
($\beta=0.4$ は標準型枠工事単価比)

表-9 鉄筋工事単価比のみを変化させたときの柱・大ばりの最適断面

αr	2	4	6	8	10	12	14	16	18
RC構造	1Dc	80	80	80	80	85	85	85	85
	rDG	75	75	75	75	75	80	90	90
SRC構造	1Dc	70	70	70	70	70	70	70	75
	rDG	70	70	70	70	70	70	70	75

($\ell x = \ell y = 7.2\text{m}, n=4, w=0.8\text{tf/m}^2, h=4\text{m}, \alpha s=18, \beta=0.4$ のとき)
($\alpha r=8$ は標準鉄筋工事単価比)

最後に、5つの建物について次の3つの方法より求めた等価コストを比較する(表-10)。

(a) 構造設計と積算により求める。

(b) 躯体数量推定式〔前報の(5),(7),(9)式〕より求める。

(c) 単位コンクリート量当たり躯体数量推定式〔前報の(10),(11),(12)式〕より求める。

これによると、RC構造でスパンが9m、階数が6階建の場合は、スパン8m、および5階を超えると構造的に限界に近くなり、等価コストと躯体数量は、(a)の方法で二次的に増加するので(b)、(c)の方法と相関が悪くなる。しかし、RC構造の4例とSRC、S構造5例は、(b)、(c)の方法で求めた等価コストと(a)の方法で求めた等価コストを比較すると、0.94~1.09倍になっている。すなわち、RC構造の $\ell=9\text{m}$ 、 $n=6$ 階建を除いた他は、建設初期段階における躯体工事費概算方法として十分活用できると言えよう。

4. 結論

(1) 建物条件により柱・はりの最適断面は変化する。 $36\text{m} \times 36\text{m}$ の平面形状の建物(RC構造とSRC構造)について、建物条件(スパン、階数、床荷重、階高)に対する最適コンクリート断面サイズ(正方形柱の1階の柱せいと最上階のはりせい)の推定式を提案した。

(2) 床荷重(0.8tf/m^2)と階高(4m)を一定にした時の等価コスト(基準等価コストと定義)を求めた。さらに床荷重(w)と階高(h)の等価コストへの影響係数を求め、基準等価コストを乗ずることにより一般的に等価コストが概算できることを示した。

(3) 工事単価が変動すればコンクリート断面サイズが変化する。したがって正しくは等価コスト・躯体数量が変化する。しかし建物全体を考えるとその差は微量であって通常の単価変動のもとでは柱・大はりのコンクリート断面サイズは変化しないとしてよいことを示した。また、型枠工事単価や鉄筋工事単価がそれぞれ単独に異常に変動しても、コンクリート断面サイズに与える影響はごくわずかであることも示した。したがって標準単価比のもとで提案している各提案式による躯体工事費の概算は、妥当であることを示した。ただし、RC構造でスパンが9m、階数が6階建以上になると相関が悪くなった。

表-10 3つの方法による等価コストの比較

対象とした建物条件	構造	(a)	(b)	(c)	(b)/(a)	(c)/(a)
(1) $\ell x=6.0\text{m}$, $\ell y=6.0\text{m}$ $n=4$, $w=1.0\text{tf/m}^2$ $h=5.0\text{m}$, $\alpha s=20(18)$, $\alpha r=10$, $\beta=0.5$	RC	2.480	2.521	2.540	1.02	1.02
	SRC	2.884	2.989	3.010	1.04	1.04
	S	2.901	3.106	3.069	1.07	1.06
(2) $\ell x=7.2\text{m}$, $\ell y=5.14\text{m}$ $n=6$, $w=0.8\text{tf/m}^2$ $h=4.0\text{m}$, $\alpha s=22(20)$, $\alpha r=12$, $\beta=0.6$	RC	2.735	2.754	2.792	1.01	1.02
	SRC	2.999	3.029	3.031	1.01	1.01
	S	2.840	3.016	2.999	1.06	0.95
(3) $\ell x=7.2\text{m}$, $\ell y=6.0\text{m}$ $n=4$, $w=1.0\text{tf/m}^2$ $h=3.0\text{m}$, $\alpha s=24(21)$, $\alpha r=14$, $\beta=0.7$	RC	2.724	2.757	2.786	1.01	1.02
	SRC	3.017	3.024	3.022	1.00	1.00
	S	2.620	2.860	2.856	1.09	1.09
(4) $\ell x=7.2\text{m}$, $\ell y=7.2\text{m}$ $n=4$, $w=1.0\text{tf/m}^2$ $h=3.0\text{m}$, $\alpha s=26(23)$, $\alpha r=16$, $\beta=0.8$	RC	3.200	3.246	3.312	1.01	1.04
	SRC	3.322	3.346	3.364	1.01	1.01
	S	2.904	3.119	3.090	0.94	1.06
(5) $\ell x=9.0\text{m}$, $\ell y=9.0\text{m}$ $n=6$, $w=0.8\text{tf/m}^2$ $h=4.0\text{m}$, $\alpha s=28(25)$, $\alpha r=18$, $\beta=0.9$	RC	4.803	4.405	4.298	0.92	0.89
	SRC	3.766	3.964	3.978	1.05	1.06
	S	3.804	4.042	3.972	1.06	1.04

(a)構造計算と積算により求めた場合、(b)躯体数量推定式より求めた場合
(c)単位コンクリート量当たり躯体数量推定式より求めた場合

5. 参考文献

- 1) 田中茂樹、須賀好富；建築構造物のコストスディ—鉄筋コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造、鋼構造の躯体コスト比較 その1—日本建築学会論文報告集、第454号、PP157~165、平成5年12月
- 2) 守谷栄一、井口晴弘；多変量解析とコンピュータプログラム、日刊工業新聞社、1976年10月3)
- 3) 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年
- 4) 森口繁一；JIS FORTRAN入門上下、東京大学出版会、1984年1月
- 5) 建設省住宅局建築指導課：改正建築基準法施行例新耐震基準に基づく構造計算指針・同解説、日本建築センター、1981年2月
- 6) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JAS S 5 鉄筋コンクリート工事、日本建築学会
- 7) 鋼材倶楽部編：鉄骨鉄筋コンクリート構造設計例集、技報堂出版、1987年6月
- 8) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、日本建築学会、1983年
- 9) 藤本盛久：鉄骨の構造設計、技報堂出版、1973年10月
- 10) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説、日本建築学会
- 11) 村田義男：鋼構造の耐震設計、オーム社、1984年
- 12) 河村壮一：耐震設計の基礎、オーム社、1984年
- 13) 武田壽一：鉄筋コンクリート構造の耐震設計、オーム社、1984年
- 14) 町田重美：鉄骨鉄筋コンクリート構造の耐震設計、オーム社、1984年
- 15) 日経B P社：日経アーキテクチャ 1987~1990年躯体コスト指標

(1994年2月10日原稿受理、1994年8月26日採用決定)