

## 地下構造物に関する工法とコストの関係

### THE RELATIONS BETWEEN COST AND EACH METHODS OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

加藤 貴也\* ・ 西 淳二\*\* ・ 清木 隆文\*\*\*  
Takaya KATO, Junji NISHI and Takafumi SEIKI

Nowadays, the ground space of the urban areas in Japan, especially aboveground area, are filled with the constructions. So we have to use the underground space to make the urban areas more comfortable. And the uses of the underground space has been extended, e.g. parking, hall, power plant.

On the other hands, the disadvantages of the underground constructions are high cost and the difficulties of construction methods comparing with the aboveground constructions.

Thus in this study, the authors search open-cut method, shield method, and examine the relationships among the costs and the conditions about each construction methods. Finally we suggest the new approach to the selection of construction methods in underground space.

#### 1 まえがき

名古屋市の全交通機関利用人員は、1993年時点で一日平均1015万人と、1975年時点での617万人のおよそ1.7倍にまで増加している。しかしながら交通機関別に見てみると、自家用乗用車の利用者がその増加分のほとんどで、1975年の296万人と比較し1993年の681万人はおよそ2.3倍である。交通機関利用者の増加のほとんどは、自家用自動車の利用増加である。また、日本の大都市である東京、大阪と公共交通機関利用者数と自家用車利用者数の比率と比較した場合、東京 8:2、大阪 7:3、名古屋 3:7 と明らかに名古屋市における公共交通機関利用者数が少ないことがわかる。

このことは現在の名古屋市の市内交通における交通渋滞、騒音、振動などに深く関与していると同時に、二酸化炭素量の増加にも影響を与えている。

そこで本研究では、自動車交通量を地下鉄交通量にシフトしていくということを前提にし、地下鉄建設時のコストについて開削工法、シールド工法ごとに建設費、深度、掘削量の関係を求め、今後の地下鉄建設の方向性を示すものである。

---

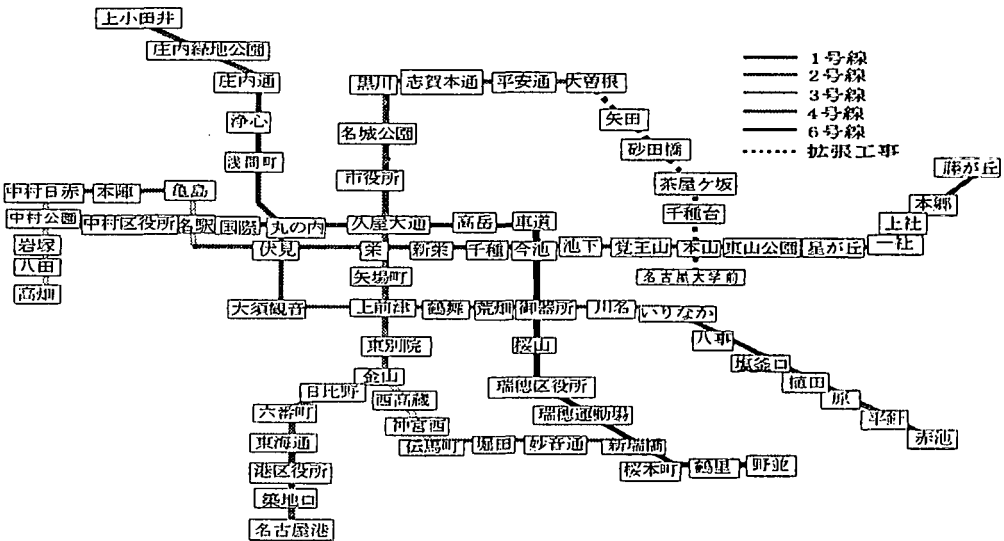
|                      |               |
|----------------------|---------------|
| * 名古屋大学大学院学生         | 工学研究科土木工学専攻   |
| ** フェロー会員 名古屋大学大学院教授 | 工学研究科地圏環境工学専攻 |
| *** 正会員 名古屋大学大学院助手   | 工学研究科地圏環境工学専攻 |

1.名古屋市の地下鉄状況

名古屋市の地下鉄は現在 74 駅あり、一日平均約 113 万人の人々が利用している。しかしながら、市内の交通機関利用の割合、自家用車：公共交通機関は 7:3 と、依然他の大都市と比較し公共交通機関利用率が低い値となっている。そのため名古屋市では 1983 年から 1993 年にかけて地下鉄 6 号線（中村区役所～野並駅）の建設をし、利用者の利便性の向上を目指した。また、1994 年から地下鉄 4 号線（大曽根～名古屋大学）の拡張工事を始め、2000 年の開通を目指して建設中である。この拡張工事が完成すると、多くの人にとって大幅に鉄道距離が短くなるとともに、大曽根、本山、八事、新瑞橋の 4 駅が結ばれ名古屋市初の環状鉄道が誕生することになる。この結果地下鉄の利便性が高まり、名古屋市における地下鉄交通量の大幅アップが期待される。（図－1 参照）

しかしながら近年の建設工事費の内容をみてみると、東京では過去の地下鉄建設において幹線道路の地下を開発してきたため、開削工法を用いる場合、道路沿道部分を買収しなければならなくなっている。そのための費用が余計にかかり、工事費を上昇させているのも事実である。

このような地下建設の状況の中、名古屋市においても今後開削工法を用いる際、同じような状況になることが予想され、ここにおいて改めて開削工法とシールド工法についての調査をし、今後の地下鉄建設に有効な工法を探る。



図－1 名古屋市地下鉄路線図

2.単価の算出

2・1 修正工事費

ここで用いたデフレーターは、建設統計要覧の「土木」を参考にし、1996 年（平成 8 年）を 100 とし各年度のデフレーターを算出した。また、1959 年度以前のデフレーターについては「土木総合（除災害）」を基にした。修正工事費については、当時の工事費を、1996 年を 100 としたデフレーターで割り、1996 年時点での工事費とした。（表－1 参照）

表－1 土木工事費デフレーター

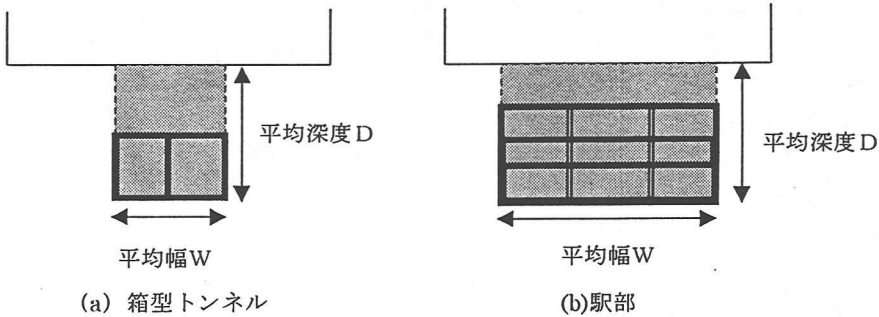
|      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年次   | 1954  | 1955  | 1956  | 1957  | 1958  | 1959  | 1960  | 1961  | 1962  | 1963  | 1964  |
| 土木総合 | 0.148 | 0.145 | 0.159 | 0.169 | 0.165 | 0.171 | 0.195 | 0.211 | 0.217 | 0.223 | 0.236 |
| 年次   | 1965  | 1966  | 1967  | 1968  | 1969  | 1970  | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  |
| 土木総合 | 0.247 | 0.266 | 0.281 | 0.291 | 0.311 | 0.332 | 0.34  | 0.36  | 0.461 | 0.565 | 0.573 |
| 年次   | 1976  | 1977  | 1978  | 1979  | 1980  | 1981  | 1982  | 1983  | 1984  | 1985  | 1986  |
| 土木総合 | 0.612 | 0.634 | 0.688 | 0.757 | 0.837 | 0.849 | 0.848 | 0.845 | 0.859 | 0.849 | 0.843 |
| 年次   | 1987  | 1988  | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  |       |
| 土木総合 | 0.855 | 0.874 | 0.917 | 0.95  | 0.975 | 0.988 | 0.987 | 0.992 | 0.996 | 1     |       |

（出典：建設統計要覧）

2・2 開削工法における建設単価の算出

掘削土量については図－2のように、駅部と路線部について各工区における平均深度D、平均幅Wを出し、その工区の延長距離を乗じて算出した。

掘削土量V＝（平均幅W）×（平均深度D）×（延長L）・・・（1）



図－2 開削工法断面図

単価については、その工区におけるすべての工事費を、式（1）より算出された掘削土量で割ったものとする。

単価（U・P）＝（各工区における工事費M）÷（掘削土量V）・・・（2）

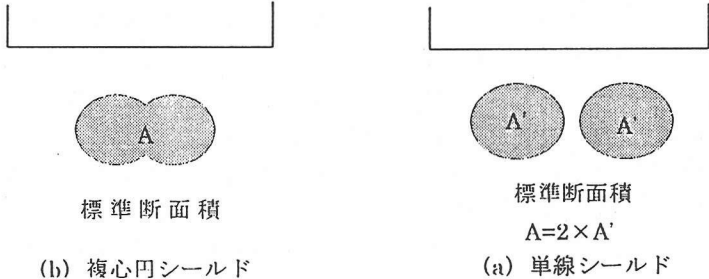
2・3 シールド工法における掘削土量の算出

シールド工法における掘削土量については、その工区が複心円シールドである場合と、単心円シールドである場合に分け算出した。

掘削土量V＝（標準断面積A）×（延長L）・・・（3）

単価については、その工区におけるすべての工事費を、式（3）より算出された掘削土量で割ったものとする。

単価（U・P）＝（各工区における工事費M）÷（掘削土量V）・・・（4）

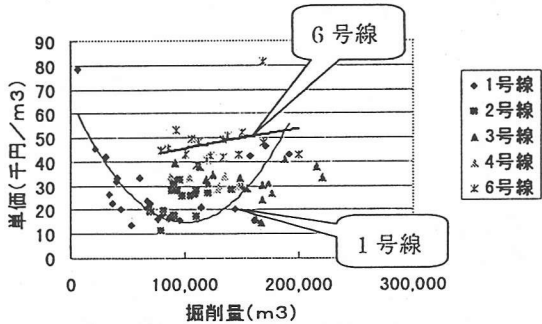


図－3 シールド工事断面図

3 工法とコストの関係

3・1 開削工法に関する建設コストと諸条件の検討

ここでは地下構造物建設の際に重要なパラメーターとなる単価、掘削量、深度について、名古屋市で過去行われた地下鉄1～6号線についての施工実績を基にグラフにし、その関係を調べる。その結果、名古屋市で最初に施工された1号線（1954～）と、



図－4 掘削量と単価(駅部)

6号線（1975～1980年）とを図-4、5から比較してみると、1号線では駅部、路線部とも掘削量にほとんど関係ない単価であるという結果が表われ、6号線では掘削量の増加に伴い単価が緩やかに上昇している。1号線については建設されたのが1950年代で、地下浅部地域にガス管、水道管等の地下埋設物がほとんどない状態であったため、単価は低い。単純にすべての駅の設計がほぼ同じであるとする、掘削量が大きい工区は深度が深いことになる。図-5より掘削量70000 $\text{m}^3$ 以上の工事については、工事単価が急激に上昇している。その理由は、地下水、地質などが大きく影響のためであると考えられ、工事単価が急激に上昇する。また掘削量が少ない工事工区においては、小規模な工事であるためかえって単価が高い位置にある。しかしながら、ここでは特殊工事を明らかにしていないので、それを明らかにすることにより、その原因が判明すると思われる。6号線については、掘削量に関係なく単価が安定していることは、施工技術の進歩といえるが、その工事費単価が高い位置である。

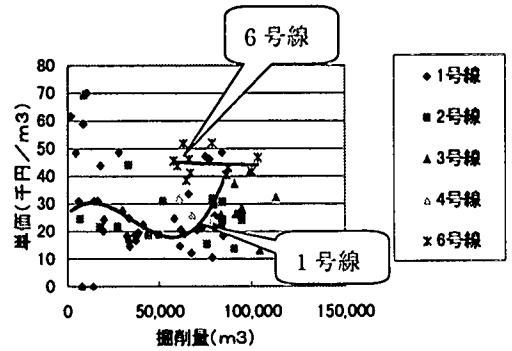


図-5 掘削量と単価(路線部)

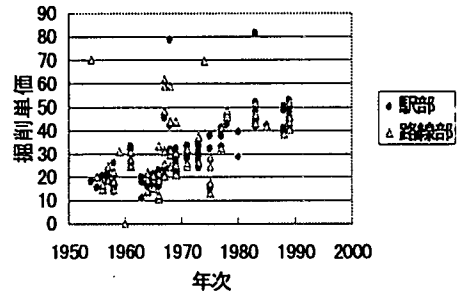


図-6 年次と単価

図-6の年次と単価のグラフより、近年になるほど掘削単価は上昇している。これは、名古屋市の市内状況が急速に発展していることにより、地下浅部地域が密集状態になりつつあり、開削工法による施工は埋設物の移設作業を伴い、そのための付帯工事の経費が余計にかかってくるためである。

### 3・2 シールド工法に関する諸条件とコストの検討

名古屋市の地下鉄工事において、シールド工法は1号線の堀割町工区（1960～1963年）に用いられて以来、地下鉄4号線建設までに13工区で使用されている工法である。過去の実績は開削工法と比較し、その施工実績は少ないが、近年における地下鉄工事では主要な工法になりつつある。その事を、過去のシールド工法の実績から検証してみる。過去の名古屋市におけるシールド工法の実績を見てみると、図-7から分るように開削工法の図4、5と違い、近年になればなるほど単価（千円/ $\text{m}^3$ ）は低くなっている。この事は、地下空間において開削工法と比較し地下埋設物、地上構造物、周辺環境などの制約が小さく、シールド機などの諸条件の技術進歩があるためである。

掘削量と単価の関係も、図-8から見て分かるように、掘削量の増大とともに単価は低くなっている。今回用いた資料は名古屋市の地下鉄のものであり、シールド工法が用いられた工区は主に路線部で、掘削断面積はほぼ一緒であると考えられるので、工区延長が長く、一度に掘削できる量が多いほど単価が低く抑えら

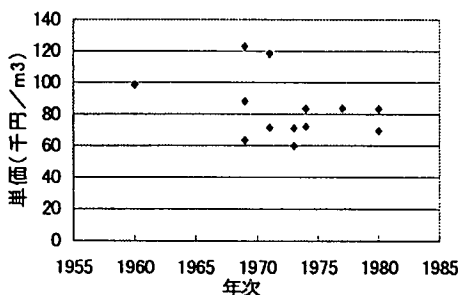


図-7 年次と単価

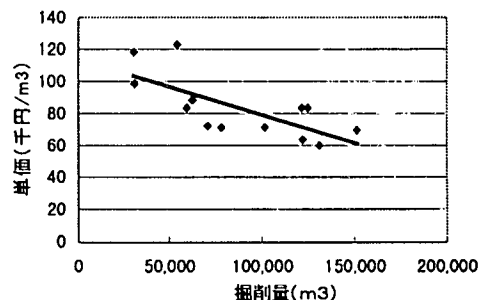


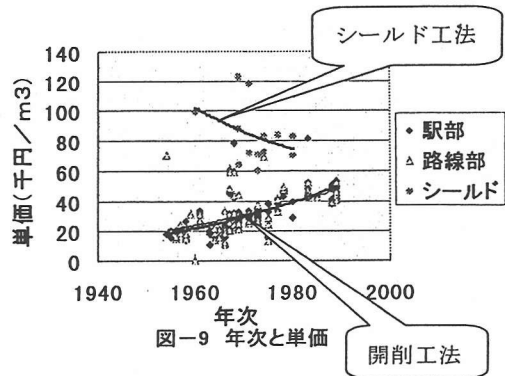
図-8 掘削量と単価

れるということが言える。そのため同じような地質条件ならば、シールドの消耗等を考慮しても、できるだけ工区延長を長くする方が工費は低く抑えられる。また、シールド工法による建設費の抑制には、今後の機械技術の進歩により更なる向上が期待される。

### 3・3 開削工法とシールド工法の比較検討

今回の名古屋市地下鉄の資料から、開削工法とシールド工法の単価比較をしてみると、1960年代では、開削工法の約2倍ほどの工事単価であったシールド工法であるが、近年に限ってみると図-9から明らかなように、その開きは小さくなりつつあり、将来的にはさらに小さくなると考えられる。それは、近年の大都市の地下浅部地域は地下埋設物などのため密集状態にあり、開削工法を用いて施工する場合それらの地下埋設物を移設しながら進めなければならないからである。

また環境ということを考えると、現場周辺に振動、騒音などの公害を大きく及ぼし、地上交通において交通渋滞を招く開削工法は、これからの社会のニーズに調和していかない。さらに付け加えるならば、鉄道路線をある程度限定されてしまい、合理的でない路線になってしまう開削工法よりも、21世紀を見据えた合理的で利便性の高い路線を建設することができるシールド工法が、工事単価は幾分高くなるが、社会全体としての経費は安くなると思われる。

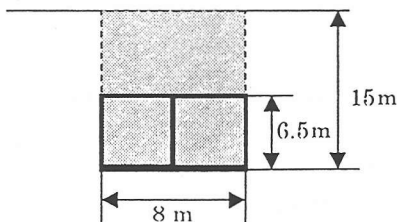


### 4 モデルケース

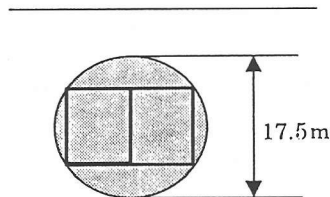
ここで、今後名古屋市において新たに地下鉄を建設すると仮定し、過去の施工実績から得られたデータから、開削工法、シールド工法それぞれの工法による工事費を比較してみる。建設設計としては過去において用いられた構造設計を基に、開削工法では深度15mに高さ6.5m、幅8mの箱型トンネルとし、シールド工法においてはその箱型トンネルを満たす断面積を持つとして工事単価を算出する。

以下のような条件をつける。

1. 工事が周辺環境に及ぼす影響を考慮しない
2. 地質条件などの制約は受けない
3. 延長距離は100～1000mとする
4. 工事単価は1996年時点として算出する



(a) 開削工法



(b) シールド工法

図-10 設計断面

## 掘削量

$$Va \text{ (m}^3\text{)} = 15 \times 8 \times X = 120X \text{ (m}^3\text{)} \cdots (5)$$

$$Vb \text{ (m}^3\text{)} = (8.75)^2 \times 3.14 \times X \approx 240X \text{ (m}^3\text{)} \cdots (6)$$

X : 延長距離 (m)

## 単価

図-5より、6号線の「掘削量と単価」の近似式、

$$U.P. = -2 \times 10^{-5}V + 46.348 \cdots (7)$$

に式(5)を代入すると  $100 \leq X \leq 1000$  の範囲では、

$$U.P. = -24 \times 10^{-4}X + 46.348 \approx 46 \cdots (8)$$

となる。

シールド工法では、図-8の「掘削量と単価」の近似式、

$$U.P. = -3 \times 10^{-4}V + 114.12 \cdots (9)$$

に式(6)を代入し、

$$U.P. = -25 \times 10^{-3}X + 114.12 \cdots (10)$$

となる。

これらの式、(9)、(10)より、それぞれの工法に関するグラフは図-11のようになり、図-11より延長距離によって、シールド工事の単価は、開削工法の単価と比較して1.9~2.5倍になることがわかる。

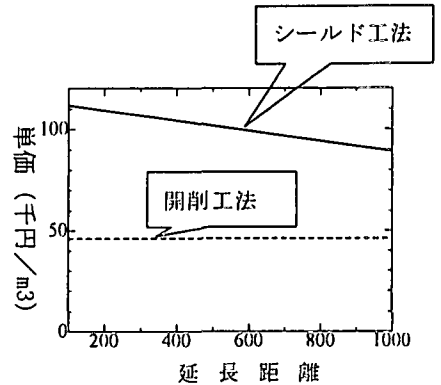


図-11 単価と延長距離

## モデルケースからの検討

モデルケースで用いた単価は1m<sup>3</sup>当りの工事費であり、全体の工事費として、は施工断面積の比率がこの場合およそ3:2であるため、シールド工事における総費用は開削工法における総費用の1.3~1.7倍になると考えられる。付け加えるならば、開削工法はシールド工法と比較しより多くの残土を発生するため、その処理費用これから更に深刻な問題となってくる。

## 5 まとめと今後の課題

今回の調査から単純に工事単価だけを見てもシールド工法より開削工法が優れていることになったが、今後周辺環境環境、合理的な都市整備をしていかなければならない建設業界の状況下では、技術的進歩により工事単価が更に低く抑えられ、周辺環境に対する騒音、振動、残土処理などに対して現在最も有効なシールド工法による施工が望まれる。

また、施工時における地上交通などの経済的損失なども考慮するとよりその事が言えると思われる。

今後の課題として、工事現場付近の振動、騒音の実測データの計測、大深度に関する法制度の調査をするとともに、各工法における地上交通の経済的損失を交通量調査から求めていく。

## 6 参考文献

- 1) 名古屋市交通局 : 資料集・名古屋の地下鉄建設、アルプス出版、pp.48~117、1986.3.
- 2) 地下空間利用研究グループ : ジオ・フロントへの挑戦、清文社、pp.127~138、1989.8
- 3) 伊藤 滋 : ジオフロントー地下の大会、読売新聞社、pp.125~136,150~167、1991.10
- 4) 水谷 敏則 : 地下空間を拓くー地下空間建設技術ー、山海堂、1994.6