

日本の地下鐵 建設設計實例

伊東慶禧 博士・技術士
笹沼隆之 技術士

The Subway Construction Design of Japan

Ito, Keik Ph.D, P.E
Sasanuma, takaguki.P.E

The Land price in Tokyo Vicinity was, increased 65.3% than Last year. so, it trend to get Subway constructed in deeper Underground.

But, the subway Construction Cost is more increase because it is needed long works term, all modernized facilities beside that, deeper subway construction works brought another task such as deeper entrance shaft sinking, Ventilation escapeway, all Underground water Treatment. In addition, Civil Act must be also amended because at Present landowner covers ground and Underground.

「詔請講演」

本學會が“科學の 誕”記念年例行事로서 4月 6日 (土) 外國専門家 伊東慶禧 博士(日本技術士會建設分會長, (株)協立設計事務所會長) 笹沼隆之 技術士(飛島建設(株) 美女木作業所長)을 詔請開會催한 바 있는 Seminar에서 發表한 報文이다.

서 언

현재 세계에서 지하철이 있는 도시는 40을 초과하게 되었다. 근년 급속한 자동차의 보급에 수반하여 지상면의 수송기능은 저하되어 부득이 지하철을 건설하는 도시도 나타나게 되었다.

구미 제도시에 있어서 인구 100만명 이상의 도시가 이것에 해당한다.

일본에서 인구 100만명 이상의 도시로서는 동경, 대관, 명고실, 신호, 횡빈, 경도, 북강, 선태등

이 이것에 해당하고 있다. 어느 경우에 있어서나 인구 100만 규모의 도시에서는 자동차를 주체로 한 노면 교통기관으로는 점점 증대할 교통수요를 풀어나갈 수 없고, 대량 수송수단으로서의 지하철의 증설 정비가 증대하여 왔다.

1951년에 영단 지하철인 환의 내선, 1958년에 도영 지하철인 천조선이 각각 착공된 이래 현재까지 영단 지하철선 150km, 도영 지하철선 70km가 건설되어 영업하고 있고, 1일 평균 630만명을 수송하고 있다.

동경에서는 다른 지방도시에 비해 여객수송에 있어서는 철도 의존도가 높고 금후에 있어서도 점점 공공 교통기관으로서 그 중요성은 증대될 것이라고 생각된다.

(1) 재래의 지하철 공법에서부터 현재의 지하철 공법

일본에서의 지하철 공법은, 개착공법(Open cut

method)이 도시부에 있어서의 표준적인 tunnel공법으로서 오래전부터 범용되어 왔다.

그러나 앞에서 기술한 바와 같이 동경 및 주변의 교통수요는 더욱더 증가경향에 있고 이것에 대해 교통시설은 막대한 건설비를 요하는 일도 있고 최근의 신 노선의 건설에 있어서는 다만 수요를 만족시킬뿐만 아니라 안전성의 확보를 위시하여 인간성의 존중, service의 향상 등 도 함께, 시설의 soft면에 대해서도 배려된 것이어야 하고 그 위에 건설비, 운영비의 삭감에도 노력하고 경영 전반에 걸쳐 합리적인 운영을 도모하는 것이 필요하게 되었다.

따라서 오늘날 동경주변에 있어서 지하철, 지하도, 공동구, 상하수도, 전력통신, gas 등의 관로의 건설에는 주로 shield 공법(shield tunnel method)이 점차 채용되고 있는 현상이다.

(2) 적용시방서에 대하여

개착공법의 기본적인 지침은 토목학회의 「개착 tunnel공법」(1977년 제정)의 시방서에 준하여 행하여져 왔으나 tunnel기술의 진보, 발전과 보다 안전하고 더욱 경제적인 공법의 개발을 목표로 하여 1986년에 대폭적으로 개편하고 「tunnel표준시방서(개착선), 동 해설」을 새롭게 제정하였다.

이 시방서의 각조는 모든 공사의 기업자와 시공자의 입장을 구별하지 않고 넓은 의미에서의 공사담당자가 개착 tunnel공법에 의한 tunnel공사 시공에 있어서 지키지 않으면 안될 사항을 표시하고 있다.

· 시공편에는 환경보전에 대한 해설도 붙여져 있다.

shield공법에 대하여는 똑같이 「Tunnel표준시방서(shield편)」(1988년)에 준하여 설계

· 공사를 행하도록 정하여져 있으나 그 위에 각 기업체 독자의 설계·공사의 사양서가 정해져 있다.

(3) 지하철공사 시공법 및 시공순서

지하철의 건설시공법은 여러 가지 조건에 의해 구분되어 있다. 일반적으로 주로 사용되는 공법으로 「개착공법」과 「Shield공법」이 있다. 또한 특수한 공법으로서 Caisson공법, 침매공법 등이 있다.

여기에서는 일반적인 개착공법의 조사에서 공사완성까지의 설계, 시공상의 유의점, 안전관리의 유의점 등에 대하여 설명한다.

[지하철 개착공법 시공Flow도]



1-1. 조사

조사항목으로서 지반조사, 건설관계조사, 환경, 재해관계조사 등이 있고 각각의 목적에 따라 조사하도록 정해져 있다.

* 지반조사의 순서와 방법·판정사항

조사구분	예 비 조사			본 조사
조사단계	자료조사	현지조사	계약조사	1차, 2차, 3차조사
주 조사 방법	지형도, 지질도, 지반도, 부존자료의 검사	현지조사에 의한 관찰	표준실입 시험 Boring	Sampling, 토질시험, 각종 재하시험 특수측정시험
	① 지형, 지질, 지반조건의 분류 ② 문제 개소의 추출		① 구조물의 형식결정 ② 본조사개소의 결정	① 구조물의 상세 설계 ② 구조물시공법의 검사

* 건설관련조사의 목적 및 조사항목

목적	구체적인 예
1. 구조설계(위치, 구조)	1. 작업공간, 공사용도로, 직로사정
2. 시공법(설물, 본체구조물)	2. 해상기상, 지형재해 등의 자연조건
3. 사용기계(작업공간 등)	3. 주변구조물, 매설물, 장애물 등의 인공적 조건
4. 기자재, 토사반출등 방법	4. 기자재의 공급력, 노동력, 동력, 용수, 용지 등의 조건
5. 가동율의 결정	5. 기왕공사, 유사공사 기타 참고 자료

1-2. 계획

보통 공사는 기공계획에 의거하여 진행되나 정해진 공기를 지키고 설계상 요구되는 공사목적물을 완성시키기 위하여는 공사재료의 품질의 확보, 소정의 구조치수의 확보 등이 요구될 뿐만 아니라 공가기간중의 안전확보와 공해문제의 발생예방이 강하게 요구된다.

* 환경, 재해관련조사의 목적 및 조사항목

목 적	구체적인 예
1. 공사재해 예방 2. 건설공해 예방 3. 경관, 환경파괴 예방 4. 지역사회의 융화	1. 법회에 의한 재해, 공해, 환경관계의 규제 2. 동식물, 경관 등의 환경파괴 3. 생활환경, 경제환경, 교통유통을 포함한 경제환경 4. 현재 및 장래의 관련사업 5. 과거부터 현재에 이르는 관습, 풍습

「시공계획」중는 설비계획(설건물, 동력설비, 급수배수설비) 및 본 공사계획이 있다. 본 공사계획 중에는 공정관리계획, 품질관리계획, 안전위생 관리계획, 공해방지계획 등이 있다.

이들 시공계획 등은 발주자 및 노동기준 감독 부서의 승인을 얻은 것이 의무로 되어 있고 특히 대규모 공사, 난공사 등의 계획에는 「기술가」의 자격이 있는 자가 반드시 조사하는 것이 규칙화되고 있다.

「공정관리계획」은 공사의 운용의 기본이 되는 것이고 종래는 막대 Ggraph 식인 것이 사용되고 있었으나 공정관리수법의 발달과 함께 「Not work 방식」인 것이 주류로 되어오고 있다.

공사목적물은 설계도서에 의하여 그 품질이 규제되어 있으나 그 요구되고 있는 품질을 보증하기 위하여 「품질보증계획도」를 작성하여 관리하고 있다.

「안전위생관리」의 기본은 노동재해의 방지에 있으나 이를 위하여 노동자 보호의 입장에서 노동기준법, 노동안전위생법이 있어 법적입장을 명확히 하고 있다. 더욱이 선의의 제3자의 재해를 방지할 관점에서 「시가지 토목공사 재해 방지요강」이 정하여져 있다.

「공해방지」의 목적은 국민의 건강과 문화적인 생활을 확보한다는 관점에서 공해대책기본법이 1967년에 제정되었다. 특히 건설업에 있어서는 소음, 진동, 수질오염 등에 엄격한 규제가 있다. 최근에는 공사에 수반하여 발생하는 「건설잔토」 「산업폐기물」의 처리가 큰 사회문제로 되어 있다.

1-3. 흙막이공

극히 얇은 굴착, 적당한 범면을 갖는 굴착 등을 제외하고는 굴착 배면지반의 토압을 지지하고 이완이나 붕괴를 방지하고 안전한 굴착을 행하기 위하여 흙막이가 필요하게 된다. 또한 지하철 공사와 같이 폭이 넓은 대규모 굴착에서는 노면 복공의 지지대설물을 달아매고, Sturt좌굴방지를 위한 포속 등의 목적으로 중간 말뚝이 필요하게 된다.

흙막이 공법의 종류는 형상, 재료, 시공법, 강성, 차수성 등의 차이에 의하여 많은 종류가 있다.

① 엄지 말뚝 횡널말뚝 공법(차수성 흙막이 공법 20%)

I형강, H형강 등의 엄지말뚝을 1~2m 간격으로 지중에 타입하고 또는 착공하여 진입하고 굴착의 진행에 수반하여 엄지말뚝 사이에 목재의 횡널말뚝을 투입하여 흙막이 하는 공법.

양질인 지반에서는 다른 공법에 비해 공기적으로나 공비적으로도 유리하고 표준공법으로서 사용되는 반면, 차수성이 없는 것, 강성이 적은 것. 재목의 재구성이 짧은 것 등의 단점이 있다.

② 강 널말뚝 흙막이 공법(차수성 흙막이 공법 30% Sheet pile)

강 널말뚝은 강성적으로는 I형~VI형까지 있고 형상적으로는 U형, Z형, 직선형이 있으나 일반적으로는 U형의 III형, 형이 많이 사용되고 있다.

이음부를 맞물리게 하면서 연속하여 지중에 투입하거나 또는 착공전입, 압입 등의 공법에 의해 벽을 형성한다.

차수성이 좋고 근입부분의 연속성도 보지할 수 있으므로 지하수위가 높은 연약지반지대에서의 표준공법으로서 종래부터 많이 사용되어 왔다.

③ 강관 널말뚝 흙막이 공법(차수성 흙막이 공법 10%)

강관의 측부에 이음을 장치하여 이것을 맞물리게 하면서 지중에 투입하여 연속한 지중벽을 형성하는 공법이다.

강널말뚝 공법과 똑같이 차수성이 풍부하고 굴착저면하의 연속성도 확보되고 강성은 강널말뚝에 비해 현격하게 크므로 지하수가 많은 연약지반에서의 대규모 굴착에 적합하다.

④ 주열식 지하 연속벽 공법(차수성 흙막이 공법 30%, ₩ 15,000 / m²)

Earth auger 등의 착공기를 사용하여 그냥 파기

나 또는 Bentonite용액 등으로 공벽을 방호하면서 착공하고 심재로서 철근바구니, H형강, I형강을 넣은 mortar말뚝을 차례 차례 연속시켜 지하연속벽을 형성하는 공법이다.

흙을 배제시키지 않고 현위치에 두고 auger 선단에서 분출시킨 cement용액과 토사를 혼합시키는 방법도 있다.(SMW공법)

⑤ 지하 연속벽 공법(차수성 흙막이 공법 20%, ¥100,000 / m²)

Bentonite용액으로 지반의 붕괴를 방지하면서 굴착기로 구상의 굴착을 행하고 철근바구니를 투입하여 도레미관에 의하여 수중 concrete를 타설하여 지중벽을 형성하는 공법이다. 안정액을 사용하기 때문에 적층지반이 넓고, 차수성이 높으며, 굴착지면 이하의 근입부분의 연속성이 보지되고 강성도 크므로 대규모 굴착공사, 굴착에 수반하는 영향의 우려가 있는 중요 구조물근접공사, 연약지반 지대에서의 공사에 적합하고 해안지역개발, 도심도 지하개발에 빠질 수 없는 공법이 되고 있다. 주목을 모으고 있다.

1-4. 복 공

노면 복공은 개착공법에 있어서 시공중의 지표면을 사용할 필요가 있을 경우에 행하는 것이고, 도로부에 있어서 노면의 재래 기능을 확보하고 일반 교통으로 개방하기 위하여 행하는 것이 일반적이나 도로 외에 있어서도 작업용 통로, 작업 space 등의 확보를 위하여 행하는 경우도 있다. 어떤 경우에도 공사의 거의 전 기간에 걸쳐 일반차량이나 중기 등의 하중을 지지하고 교통의 안전을 확보할 수 있는 구조형태로 되어 있다.

복공은 복공판, 복공 beam, beam받침부재로 되어 있으나 급구배부(25/100)나 큰 제동하중을 받는 교차점 등에서는 복공 beam의 전도방지재가 의무로 되어 있다.

복공판의 종류에는 강제, 주철제, concrete제 등이 있고 어느 것이나 노면하중에 충분히 견디도록 설계, 제작되어 있다. 그러나 복공판 노면이 상태나 니토가 있을시에는 미끄럼 마찰계수 하한치를 하회하는 것이 있고 일반도로에 사용되는 복공판에는 복공판 표면에 미끄럼방지 포장을 실시하는 것 등 교통안전의 확보에 배려하고 있다.

1-5. 굴 착

굴착의 개착공법의 제공정 중에서 공기면에서나 공비면에서도 가장 큰 비율을 차지하는 것이 보통이고 굴착을 평활히 행하는 것이 공사 전체의 성부를 크게 좌우한다고 할 수 있다.

한편 굴착 시공순서는 수많이 있고 굴착의 규모나 형상, 지질이나 지하수, 노면교통, 작업대, 주변환경의 제조건 매설물 등의 지장물건을 고려하여 적절한 시공방법과 시공순서를 계획하도록 하고 있다.

굴착계획 입안시에 고려해야 할 점으로서는

- ① 지보공의 종류, 배치와 시공시기
- ② Boiling, Heaving, Piping 등에 대한 대책
- ③ 지반심화, 근접 구조물의 실패의 방지
- ④ 굴착계획(입력, 기기의 구분, 기기의 기종)
- ⑤ 굴착 토사의 반출, 처분
- ⑥ 사고대책(매설물, 풍수해 등)이 있다.

또한 흙막이 지보공에는 복기, Stunt, 보강 beam, 이음재 등을 조합시킨 Strut방식과 Strut 대신에 흙막이 Anchor를 사용하여 이것과 복기를 조합시킨 Anchor방식의 2가지로 나누어진다. 흙막이 지보공의 선정은 흙막이의 보조, 지반조건, 환경조건, 굴착의 규모와 시공법 등을 고려하여 이것에서부터 요구되는 사항에 대하여 만족시킴과 함께 각 단계에서 안전한 시공을 할 수 있고 더구나 경제적으로 되도록 감사하고 있다.

1-6. 구 축 공

지하철 구조물은 그 내부공간을 많은 인간(승객)을 태운 전동차가 통행로로서 사용하고 또한 역부 Home에 있어서는 많은 승강객을 안전하게 통과시킨다는 특수한 기능이 요구되고 있는 구조물이다. 이 특징으로서는

- ① 대단면이고 역부에서는 특히 크다.
- ② 허용 시공오차가 적다.
- ③ 개착공법에 의한 것은 일반적으로 Rahmen 구조이고 거대한 하중에 견딘다.
- ④ 고품질의 철근 concrete구조물이며 내구성이 풍부하다.
- ⑤ 누수를 방지하기 위하여 방수를 행하는 것이 보통이다.
- ⑥ 특이부를 제외하고 기초구조, 신축이음이 없다.

지하철 tunnel의 구축시공에 있어서는 이들의 특징을 충분히 인지한 후 적절한 시공을 행하도록 하고 있다.

구축공의 일반적인 시공순서로서

- ① 기초자갈 깔음(필요에 따라)
- ② 기초 concrete(10~20cm)
- ③ 저부 sheet 방수(포함 보호 mortar)
- ④ 구축 철근 concrete(상, Hunch, 중벽 또는 중주)
- ⑤ 측부 Sheet방수(포함 보호 mortar)
- ⑥ 구축 철근 concrete(측벽, 상상)
- ⑦ 정부 sheet 방수(포함 보호 concrete)의 순번으로 되어 있다.

1-7. 매설물 복구공

도로의 지하에는 일반적으로 「통신, 전력, gas, 상하수도 등」의 관거가 매설되어 있고 각각 사회적으로 중요한 역할을 다하고 있으므로 공사시에는 가능한한 굴착밖으로 가이설 또는 본이설하도록 하고 있다. 부득이 하여 굴착내에 남겨진 관거는 굴착기간중 조방호, 만수방호 등의 조치를 실시하여 유지관리에 노력하고 있다.

공사완성후의 되메우기 흙이 자리를 잡아 견고한 지반으로 됨에는 1년 이상의 기간이 필요하다고 하며 또한 약간의 압밀심화가 필연적으로 고려되므로 굴착내의 매설물은 보안상의 관점에서 복구시의 받음 방호를 하도록 법적으로 규제되어 있다.

받음방호의 구조는 매설물의 종류, 규모, 구조에 의해 다르나 재료적으로는 목재, concrete block 장소타설 concrete, 강재 등이 사용되고 있다.

1-8. 되메우기 노면 복구공

구축완성후, 매설물의 복구를 하여 되메우기의 작업에 들어가나 일반적으로 도로내의 되메우기 작업은 노면 복구하에서 행하여지는 것이 보통이다. 되메우기 작업과 보행하여 strut철거, 중간말뚝 절단처리 등이 행하여 짐으로 작업이 폭주하기 때문에 완전한 시공을 하는 것은 상당한 곤란을 수반하나 되메우기의 시공이 불충분한 경우에는 복구후 도로면에 불룩이나 함몰이 발생하거나 매설물에 손상을 주는 등의 사고가 발생함으로 시공에 있어서 되메우기의 완전을 기하도록 하고 있다.

맺 는 말

수도권은 지금 도심부의 일극 집중형 도시구조가 갖는 가장 큰 이치러짐이 있는 문제를 안고 있고 금일 다극분산형 도시구조로 재편되는 것이 크게 요망되고 있다.

그러나 지하철사업은 원래 그 건설에 거액의 자금을 필요로 하기 때문에 초기에는 채산성을 얻을 수 없는 성격을 갖고 있다. 특히 최근의 지하철건설은 보다 깊은 지하공간으로 노선이 건설 되어 공사의 장기화, 설비의 근대화 등에 의하여 cost는 중대일로를 걷고 있는 것이 실정이다. 최근의 동경권을 중심으로한 도시부의 지가상승은 특히 현저하고 1988년 현재 대 전년비 65.3%의 상승을 나타냈다.

이러한 지가의 상승이나 또한 공간적 제약이 많으므로 도심부에서의 철도정비를 위한 공간의 확보는 지하공간에 있어서도 극히 곤란한 것으로 되어 오고 있다.

이러한 실정에서 재대로 부터의 수법과는 다른 조급하게 철도정비를 할 수 있는 수법을 대도시권의 철도정비에 대하여 도입하는 것이 필요하게 되었다.

이를 위하여서는 토지소유자에 의한 이용가능성이 거의 없는 지하공간에 용지보상이 필요없이 지하철을 건설하는 것이 가능한 특별한 입법조치를 강구할 필요성이 생겨난다.

그러나 이와 같은 대심도에 지하철을 건설할 경우에는 다음과 같은 기술적인 조기해결책과 검사가 요망된다.

대심도형 지하철의 시공상의 과제는 tunnel의 발전, 도달, 환기, 배수, 피난 등 용에 제공할 수직 갱 그 시공기술, 역 tunnel의 시공기술로 대별할 수 있다.

즉 ① 형상으로서 지하수의 양수압, 측압 지하수위의 증가 등의 조건에서는 편형이 유리하다.

② 시공법으로서는 지하연속벽공법, pneumatic caisson공법 등이 채용될 것이다. 단 과제로서는 Shield공법에서는 테일셀, segment이음의 개량, shield기기의 내구성의 문제, cutter bit의 마모대책 및 지중 교환기술의 개선, 산악 tunnel 공법(NATM)은 굴진속도 향상을 위한 기기화 등

③ 승강설비와 방재대책 등이 과제로서 남아 있다.