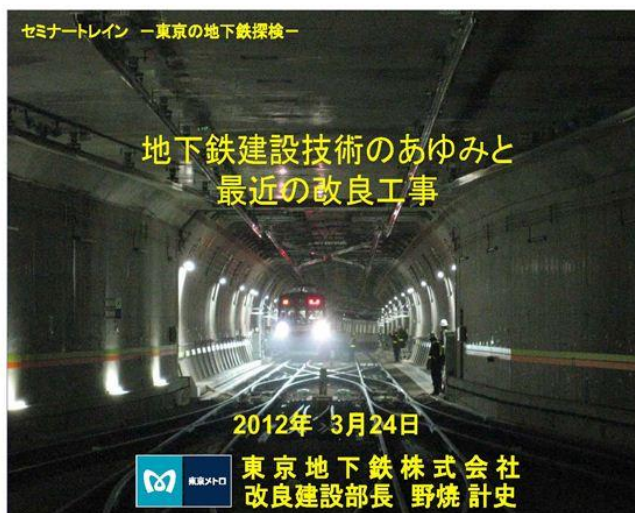


地下鉄建設技術のあゆみと最近の改良工事

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部長 野焼計史 Noyaki Kazufumi

はじめに

佐藤先生からは地下鉄建設のソフト面についてのお話がありましたが、私からは地下鉄建設のハードの部分、地下鉄建設技術の変遷、あゆみにつきましてこれからご紹介させていただくとともに、現在、既存のネットワークの価値をさらに高めるための様々な改良工事に取り組んでいるところですので、その工事の内容につきましてご紹介をさせていただきます。



東京メトロの概要

まず、東京メトロの概要を簡単に説明させていただきます。

東京メトロは、平成16年（2004年）4月にできた会社で、地下鉄事業とその他の関連事業の運営を行なっています。

資本金 581 億円のうち、政府が 53%の 310 億円、東京都が 47%271 億円です。

経営の現況ですが、連結ベースで収入が 3,776 億円、営業キロが 195.1 キロ、駅数が 2 179 駅となっています。

2010 年度末車両数が 2,707 両、一日平均のお客様は 631 万人で、今年度決算まだ出ておりませんが、東日本大震災の関係で若干減っております。

職員数は 8,500 名弱の会社です。

鉄軌道部門の営業収入は 3,279 億円で民鉄の中でトップです。

営業キロにつきましては関東の民鉄の中で東武に次いで 2 番目です。



中長期計画

中期経営計画 FORWARD TOKYO METRO PLAN2012 は、平成 22 年度から 24 年度までの 3 か年計画で、いよいよ 4 月から最終年度に入ります。鉄道事業戦略と関連事業戦略を両輪としており、特に鉄道事業戦略については、持続的発展による企業価値の向上を目指して、安全の維持向上に向けた取り組み、あるいは鉄道サービスの質的向上に力を入れております。

まず安全の維持向上については、有楽町線へ

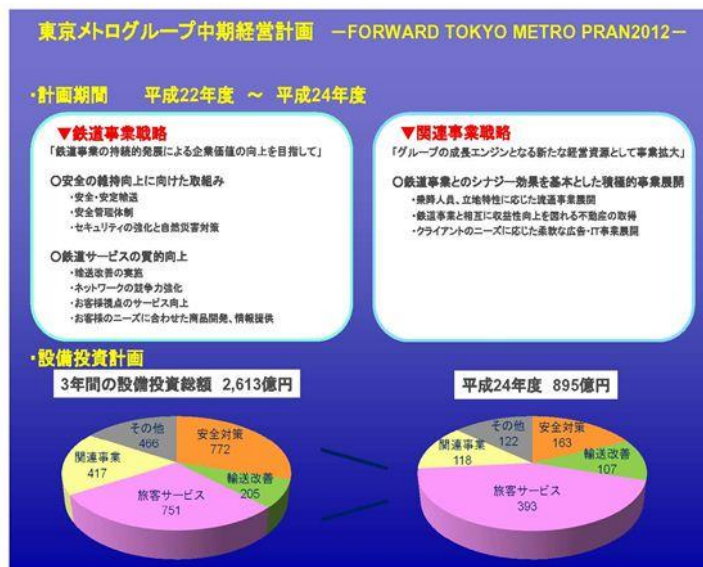
のホームドア設置、大規模震災対策など進めていく等々の内容です。鉄道サービスの質的向上につきましては、まさに私ども改良建設部のミッションですが、既設線の輸送改善として、東西線の茅場町、門前仲町、南砂町各駅の改良、有楽町線の小竹向原・千川間連絡線設置工事や銀座線渋谷駅移設工事などを行っています。

ネットワーク競争力の強化では、平成 24 年度末に東急東横線と副都心線が相互直通運転を開始します。お客様視点でのサービス向上については、特にバリアフリー施設は東京都交通局さんに比べて古い路線が多いということもありまして整備が遅れています。エレベーター、エスカレーターあるいは多機能トイレの整備について精力的に進めていきたいと考えています。設備投資額は、平成 22 年から 24 年の 3 か年間で 2,613 億円、24 年度は 900 億円弱です。安全対策が若干減ってきておりますが、車両の更新がある程度終わったことによるもので、今後旅客サービスの分野について力を入れていこうとしています。

地下鉄技術の変遷

ここからは、地下鉄建設技術の変遷、あゆみをお話しさせていただきます。

営団地下鉄は、戦前に整備された銀座線を除いて、戦後 1951 年に丸ノ内線池袋・お茶の水間の工事に着手以来、2008 年 6 月 14 日に開通しました副都心線まで 57 年間継続して新線建設を行ってきました。この間に培われました建設技術についてお話をさせていただきます。



トンネルは、路上から杭を打ちまして地下に空間を作ってコンクリートの構造物を造る開削工法と、もぐらのように掘り進んでいくシールド工法の二つの工法がありますが、それぞれの工法の変遷について説明いたします。

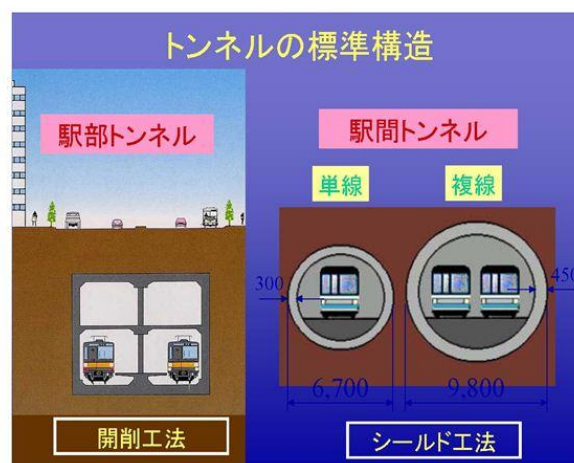
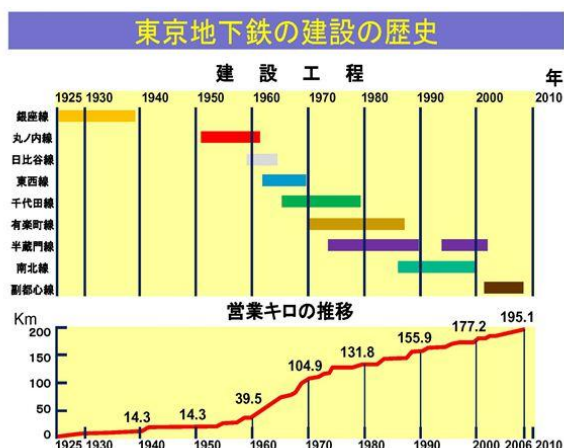
各路線の延長に対して二つの工法が何パーセントずつ使われているか、工法採用実績をみてみますと、丸ノ内線、日比谷線、東西線、千代田線につきましては開削工法が主体となっています。駅間トンネルで本格的にシールド工法が使われたのは千代田線以降で、南北線、副都心線につきましては70%を超える区間がシールド工法を採用しています。

開削工法

開削工法は、路上から四方に土留壁を設置し、その後道路部の舗装を撤去し、桁の上に覆工板という鉄板を敷き並べて掘削の準備を行います。掘削に伴い土留壁背面の土圧や水圧で土留壁が変形しないように土留め支保工という鋼材を設置しながら、掘り下げて行き、最終的に空間が確保されましたら鉄筋コンクリート構造物の箱型トンネルを築造し、その後埋め戻しをして工事を終了する工法です。

最近の標準的な施工法は、硬質地盤では土留壁について柱列式地下連続壁を築造して上から掘削をして下から構造物を作っていくのが一般的

です。これに対して軟弱地盤では、壁を押す土の力が非常に大きいので、より強固な鉄筋



コンクリートでできた壁式地下連続壁を築造して、上から順番に掘削していくわけですが、硬質地盤のように支保工を架けながら掘り進めるのではなく将来の上床を先行して造ってしまします。この上床が築造し終わったら、さらに下を掘削し、次に中床を築造することにより、土留め壁を押さえる力を強固にしながら構造物を造っていきます。

このような開削工法ですが、当然技術革新が行われて参りました。騒音、振動、騒音、地下水等の環境保全に対する配慮や構造物の大型化、大深度化、施工の機械化、あるいは路面交通の増大に対応した低振動、低騒音の施工、遮水性の向上等が求められてきました。

路線別の開削方法の変遷をみますと、丸ノ内線では親杭横矢板工法といって、H 鋼の単杭を打ち、その杭と杭の間に矢板を設置して土圧、水圧



に対抗する原始的な工法で始まっています。その後柱列式地下連続壁（鋼材とモルタルによる壁）工法が発展してきました。その壁の築造につきましても、当初は 1 本ずつ作ってきたものが、複数で掘削して作るようになりました。土留め支保工については、丸ノ内線当時は生木丸太という木材でそれぞれの壁を突っ張っておりましたが、さすがこれは比較的早い時期から鋼材が採用されておりました。また、路面覆工についても当初は木製の板を並べておりましたが、これも比較的早い時期、東西線のころから鋼製に変わってきています。

日比谷線や千代田線ではアースオーガーでせん孔し、1 本 1 本鋼材の建て込みを行っていました。有楽町線では多軸式



という 3 本同時に打ち込む工法に変わりました。土留め支保工ですが丸ノ内線では尺角という丸太を使ってきましたが、その後鋼材の価格が下がり、日比谷線では鋼製の支保工を使い出しましたが、当時はまだ木材と鋼製が混在していました。その後は全て鋼製になりま

した。有楽町線建設では市ヶ谷濠の大規模な開削工事を行いました。ここでは土留め支保工を架けるのではなくアースアンカーで後ろから土留め壁を押さえる工法を採用しました。

路面覆工ですが、丸ノ内線の頃は木製覆工で、日比谷線でも銀座付近の工事ではまだ木製覆工が使われていました。当時の写真を見ると ALWAYS 夕日の三丁目を彷彿とさせますが、当時は木製覆工板を使って都電を走らせながら工事をしていました。

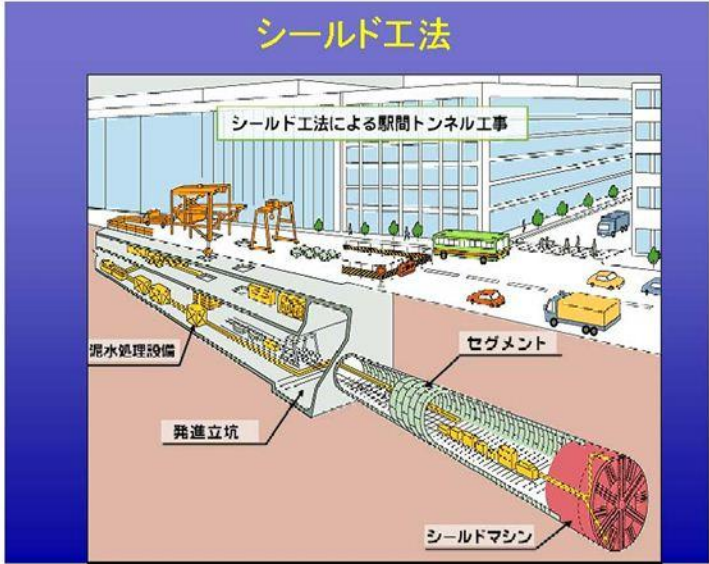
鋼製覆工板は古くは長さ2メートルでしたが最近では大型化になり、長さ3メートルのものが使われています。

シールド工法

シールド工法は、開削工法により築造した駅部を発進基地として、そこからシールドマシンで横穴を掘っていく工法で、掘削を完了した後に「セグメント」というコンクリートブロックをマシン内部で組み立てながらトンネル構造物を造っていくものです。

シールド工法の歴史は、19世紀初め、ロンドンの地下鉄がテムズ川を横断する際、ブルネルという人が、フナクイムシの挙動を参考にして開発したと言われています。鉄道車両や鉄道の施設で優秀なデザインに対して贈呈されるブルネル賞という賞があることをご存知だと思いますが、シールド工法を開発したブルネル氏のご子息が設立された賞だということです。

日本でシールド工法が本格的に採用されたのは、関門トンネルで1936年に7.2メートルの径で完成しています。



シールド工法採用実績(東京メトロ)

年 代	開 放 型	部分開放型	密 閉 型	
	機械掘り・手掘り等	ブラインド	泥水式	泥土圧
～1965	2本	—	—	—
～1970	13本	4本(一部区間)	2本	—
～1975	23本	—	—	—
～1980	20本	—	1本	—
～1985	2本	—	5本	—
～1990	—	—	9本	—
～1995	1本	—	11本	—
～2000	1本	—	17本	2本
2001以降	—	—	6本	12本
合 計	62本	4本	51本	14本

合計
131本

都市トンネルでは昭和 32 年（1957 年）、丸ノ内線国会議事堂前付近のトンネルの一部が半円形のルーフシールドで築造されています。円形シールドは、昭和 35 年（1960 年）名古屋市交通局東山線のトンネルが最初です。

シールドの施工過程をもう少し詳しく説明しますと、シールドという茶筒型のマシンの前面に泥水あるいは泥土を充填して、土圧や水圧にして、カッターを回転して掘削していきます。前面のヤマが崩れないような形で圧力をかけながら掘っていくもので、掘進後はマシン内部で「セグメント」というコンクリートブロックを組み立て、そのセグメントからジャッキを突っ張り、さらに前へ進んでゆくものです。

工法の初期は、開放型といって、圧縮空気を送って圧気をしながら前面の土圧、水圧に対抗していましたが、最近ではほとんどが、泥土あるいは泥水を全面に張って土圧、水圧に対抗しながら進んでいく密閉型という工法で行なっています。密閉型には泥水式、土圧式があります。

東京メトロの実績ですが、シールド黎明期は、開放型が中心でした。有楽町線や半蔵門線以降は密閉型で、特に泥水式で対応してきました。半蔵門線の水天宮前・押上間の一部と副都心線では泥土圧を使い出しています。

今まで 131 本のトンネルをシールド工法で築造してきましたが、開放型は、部分開放型を含めて 66 本、密閉型が 65 本となっています。有楽町線小竹向原・千川間のトンネルを現在掘進中ですが、密閉型を採用しており、これで開放型、密閉型とも 66 本と同数になります。

シールドの形状の変遷をみますと、断面の増大という点と駅部への適用の 2 点で、いろいろと工夫がされてきています。

営団初の単線並列型シールド

駅は、東西線木場駅です。木場駅は始端部と終端部に立坑があり、その立坑を 2 本のシールドトンネルが結んでおり、シールド部分では上下線ホームが行き来できない構造になっています。これではお客様にとって不便なので、千代田線新御茶ノ水駅では 2 本のシールドトンネルの間を「かんざし桁工法」により切り抜けて、島式ホームとしたで築造しました。

その後かんざし桁工法でなく、切り抜けをシールドマシンで行うルーフシールド工法に有楽町線永田町駅で採用されました。



一方、着脱式泥水三連型シールド工法により南北線白金台駅を築造しました。

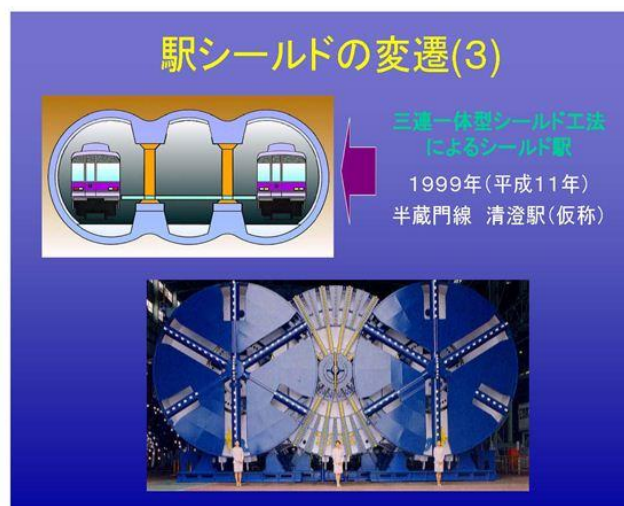
駅間を複線シールドで掘進して、白金台駅の始端立坑でマシンの側部に 2 つシールドを取り付けて、駅部分の掘進を行なっています。白金台駅の終端立坑に着いたら、側部のシールドを取り外し元の複線シールドに戻して目黒駅までの駅間トンネルを築造しました。

また、南北線麻布十番駅と白金高輪駅の間では抱き込み式親子泥水シールド機を採用しています。麻布十番駅の目黒方には3線部の折り返し線があります。この折り返し部分を大きいマシンで築造して、麻布換気室に到着した後は内側の子機の部分だけを引き出し、白金高輪駅までの複線トンネルを築造しました。

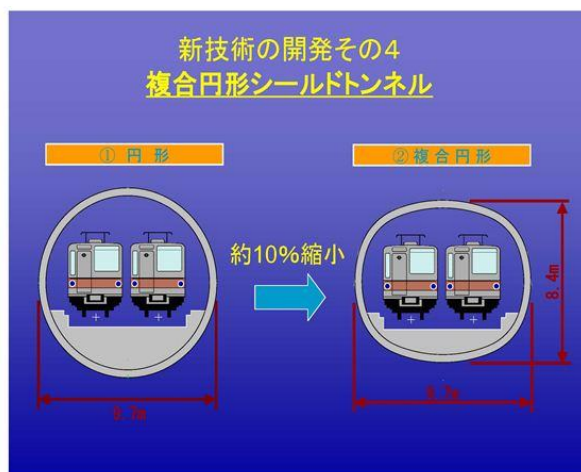
平成 11 年に半蔵門線清澄白河駅を造る際には、三連一体型シールド工法を採用しました。駅部の築造に加えて清澄白河駅の押上方の折り返し線を一台のマシンで作りました。

副都心線明治神宮前・渋谷間は、複合円形シールド機で築造しました。従来の複線トンネルは円形ですが、円形ですと上の部分と下の部分に無駄な空間ができてしまことから、この無駄な空間を極力少なくすることを目的に複合円形という半径が違う3つの円

を合わせてできた形状になっています。直径 9.7 メートルの円が潰れたような形になっており、空間が約 10%縮小されて、コスト削減に寄与するとともに、掘削残土が減り環境負荷低減につながる工法です。



以上のようなシールドに関する技術開発、豊富な施工実績があることから、民鉄工事をお手伝いしております。京王線調布の連立事業、小田急線下北沢の連立・複々線化事業、東急東横線の地下化事業においてシールド工法が採用されていますが、当社グループで設計、積算、施工管理の一部をお手伝いしております。



最近の改良工事

ここからは、最近の改良工事の内容を説明します。

輸送改善対策では、有楽町線小竹向原・千川間連絡線設置工事、東西線では茅場町、門前仲町、南砂町の各駅の改良工事、南砂町につきましては今年の夏から工事を開始したいと思っています。また、東陽町駅の出入口増設や、木場駅の大規模改良工事を計画しています。

駅の混雑緩和対策では、有楽町線豊洲駅と、出来たばかりですが副都心線新宿三丁目駅につきましても予想を超える混雑があり、これにつきましても改良工事を近々始めたいと考えています。

また、垂直移動設備の整備、駅の利便性向上対策その他対策を実施しています。



輸送改善対策

小竹向原・千川間においては、現在和光市方から来る列車が有楽町線に入っていくルートと、西武有楽町線から来た列車が副都心線に入っていくルートとで平面交差が生じています。列車がダイヤどおり走っているうちは問題はありませんが、一旦列車に遅延が発生しはじめますと平面交差の部分がネックとなります。この平面交差を解消するために立体化して連絡線を設置するものです。平成 21 年 6 月に副都心線が開業した当初この部分がネ

東西線南砂町駅は、1面2線の狭いホームになっており、ホーム階段も両端にしかありません。建設時に比べてはるかにお客様が増えており非常に混雑しています。また、ホームの中ほどにエレベーターを設置した結果、ホームが狭く危険な状態になっています。

東西線については、将来の輸送力増強を考えた場合、交互発着の機能を有する中間駅が必要であり、現在のホームの南側にもう一面ホームを作り、現行B線を中線化して2面3線化する工事を今年8月から行います。朝ラッシュ時に1番、2番両ホームに交互に電車を入れて、交互に発車させることで乗降時間を吸収して遅延の防止を図るものです。またA線側からも入れるようにしておきますと様々なダイヤの工夫、例えば昼間に優等列車等が設定できるなど運転計画のバリエーションが増えます。

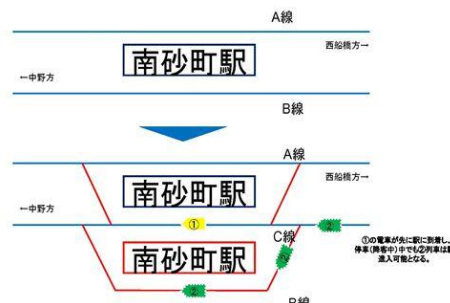
この3月2日に都市計画変更の手続きが完了し、現在工事発注の準備を行なっています。工事内容は、現在のトンネルの側壁を壊して、新たな構造物を造る工事になります。中央にコンコース・ラッチを集約して、垂直移動設備等も整備します。

駅の混雑対策

有楽町線豊洲駅は、開業当初2万4千人程に利用者しかいませんでしたが、平成21年度13万1千人、おそらく今年度は15万人のお客様にご利用いただいております。朝だけでなく昼も非常に混雑しており、現在大規模な改良工事を行なっておりますが、ほぼ終盤に近づいています。豊洲駅の最大の問題は、コンコースが1箇所しかなく、地下1階のラッチに向かって軌道階から地下2階へ、地下2階から地下1階のラッチ付近へお客

東西線 南砂町駅 改良工事

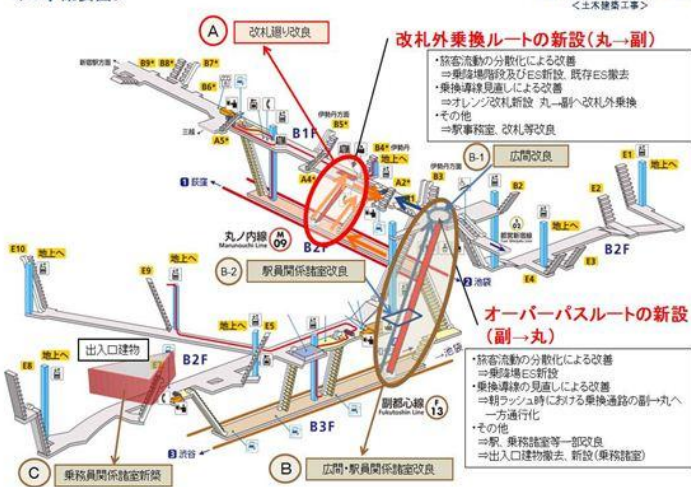
【参考】交互発着



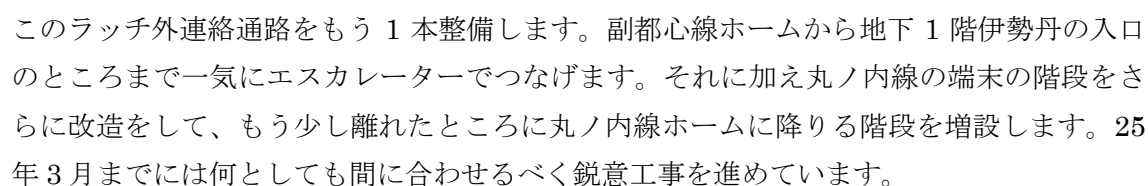
副都心線 新宿三丁目駅 改良工事

<工事概要図>

工期：H24.4 ~ H25.11(予定)
<土木建築工事>



副都心線新宿 3 丁目駅は、副都心線の池袋方の端末から丸ノ内線のホームに直接連絡するエスカレーター、階段がありますが、乗り換えがとても便利で、お客様が集中し、朝ラッシュ時には次の列車が来るまでホームにお客様が並んでいる状況です。そのため、4月1日からラッチ外連絡のソフト対応を行います。24 年度末に東急東横線と相直するまでに、



垂直移動施設の整備ですが、エレベーターによるワンルート整備状況は東京都交通局に比べ遅れています。東京都交通局は来年平成 24 年度には整備率 100%となりますが、当社は古い路線が多いこともあり、まだ残っており、平成 31 年度までには 100%にするのが目標です。なかなか道路内には設置してもらえないので、用地確保のため沿線の地権者に当たっています。

▶ 日比谷線 入谷駅 改良工事

工期: H20.3.7 ~ H22.3.28

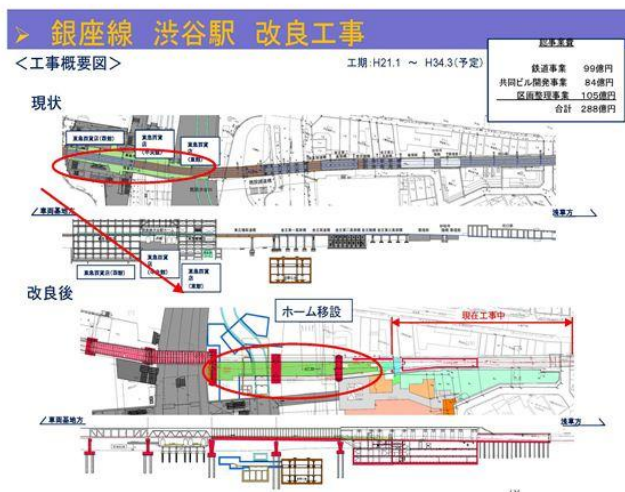
総延長 123.2m

土木費 15億円
 施設費 4億円
 合計 19億円

本来であれば駅に近接している用地を確保して設置するのが望ましいのですが、なかなか譲ってもらえなかったので、ホームから若干離れた場所でご不便をおかけしますが、何とかエレベーターを設置することができました。

丸ノ内線中野新橋駅は、開業時からほとんど手を入れておりませんでした。駅の上には建物が建っており、端末に階段があって狭い駅舎がある駅ですが、区道を使って2方向避難通路とエレベーター設備を設置する工事を行なっています。2方向避難の場合は、トンネルを潜っていただいて避難することになります。エレベーターについても同様に一回下ってトンネルの下を通して、新たに取得した民地内に駅建物を建築して地上に上がっていただくことになります。不便といえば不便ですが、バリアフリーのためのルートが何とか確保できました。

渋谷駅は、24 年度末に副都心線と東急東横線が相直開始するのを契機として当社、東急、JR 3 社による渋谷駅周辺開発の一環として、銀座線渋谷駅の移設工事を行います。現在の銀座線渋谷駅は、東急



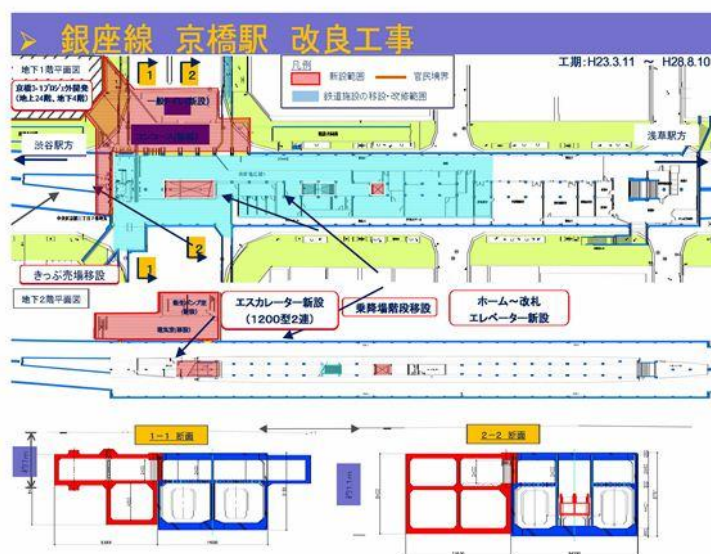
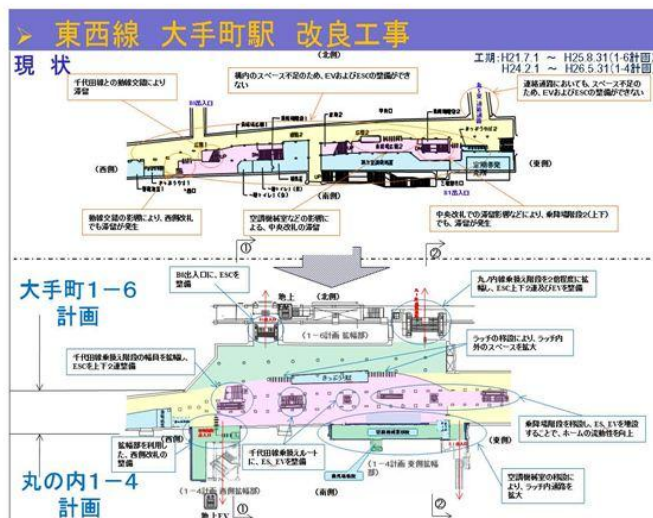
百貨店の中、JR の上にあります。130m浅草方に移動して、現在の東口広場と明治通りの上に駅を設置し、相対式ホームから島式ホームに変更いたします。JR は、現在、山手線と埼京線のホームが離れています。東急東横線の渋谷駅がなくなること、埼京線のホームを山手線の位置まで持って来て、山手線、埼京線、銀座線の相互の乗り換え利便を高めるのがこの事業の特徴です。

現在行なっている東西線大手町駅の工事についてもご紹介します。

これは都市再生特区制度により、開発事業者が地下鉄駅のコンコース等の整備費用を負担する代わりに、その公共貢献によって開発事業者はその分容積率の割増が受けられるものです。両者は Win-Win の関係で、現在改良工事を進めています。現状のコンコースは通路で分断され、しかも通路幅員が狭い状況ですが、今回の改良により、コンコース、ラッチ内を集約し垂直移動設備の整備を可能とするもので、来年夏に完成予定です。

同じように銀座線京橋駅においても「京橋3-1プロジェクト」と協議し、開発事業者である東京建物等が銀座方のラッチ周りを広げていただくことになっています。銀座線の構造物は非常に古く、框構造という現在の構造とは違った構造となっていますので、慎重に工事を進めていきたいと考えています。

千代田線新御茶ノ水駅の北千住方ですが、ここもエレベーター設備がありません。現在のエスカレーター、階段の部分を改造して通路を生み出し、エレベーターで一気に地下1階



まで上がれるよう工事を行っています。
エレベータを利用する場合は、再開発ビルの地下ををって、既存の地下1階のコンコースに連絡することになります。
以上が地下鉄建設のあゆみと最近の工事についての説明になります。
ありがとうございました。（拍手）



質疑

（司会）

では、ここで、講演者お二方へのご質問を受けたいと存じます。

（質問）非常に興味深いお話をありがとうございました。複合円形シールドという話がありました、どのように複合しているのかわかる正面の写真はありませんでしょうか。」

（野焼氏）写真は用意していませんでしたが、半径の違う3つの円をどのように組み合わせているのかは、図面でご説明できますので、後ほどご連絡先をお教えいただければお知らせさせていただきます。

（質問）シールド工法ご説明いただき、ありがとうございました。東京メトロさんの工事は安定して事故と言うことは聞いたことがありませんが、つい最近民間会社で工場と工場を繋げる海の下のシールド工事で痛ましい事故がありました。あれはどうして起きたのか、推測はできますでしょうか。

（野焼氏）

結論から申し上げますと、解りません。私も今までいろいろシールド工事をやって参りましたが、あのようなことが起こるということは信じられないことです。現在警察が入っていることもあって、なかなか情報も出てこない。現時点では原因は全く分かりません。

（質問）佐藤先生にお伺いしたいのですが、東京に地下鉄の必要性を認めた早川徳次氏が東京地下鉄という名前の前に「軽便鉄道」という名前で発足させた意味合いと理由が何かあればお教え願いたい。

（佐藤氏）

軽便鉄道という話は非常に単純で、当時私鉄については「私設鉄道法」と「軽便鉄道法」があって、私設鉄道法というのは基本的に幹線とか今で言えば大手私鉄の法規制で、それを地下鉄とか地域の小さい鉄道に適用させるには厳しすぎるということもあって、明治 42 年に軽便鉄道法ができました。ですから地域の鉄道は軽便鉄道法の適用を受けるもので、確かに軽便鉄道という名前がちょっと簡単というような名前につなげてしまうと誤解があると思いますが、幹線に比べれば地域の小さな手続という意味で軽便鉄道という名前がついた。私鉄がだんだんに買収されて国有化されていくと私設鉄道法が適用されている鉄道が少なくなっていくことになります。その結果私鉄のほとんどが軽便鉄道になってしまうといったところで、大きく制度を変えて地方鉄道法とういものを整備しました。これはつい最近まで続きました。当時の軽便鉄道法からすれば「軽便鉄道」と称するのが妥当であったということになります。関連して申し上げますと、東京は鉄道法規が適用されていましたが、日本で 2 番目に地下鉄が開業した大阪は軌道法の適用を受けています。馬車軌道や人車軌道、電車軌道という道路と併用している軌道に軌道条例、そして軌道法の適用をしていました。なぜ大阪が軌道法の適用をしたかという、噂では 1 番目の東京が鉄道、2 番目の大阪が軌道、3 番目の名古屋が鉄道に戻るという噂話がありましたが、大阪の場合は、大阪市営地下鉄ということで市が地下鉄をつくるということで、都市計画は自治体が主体になるわけですが、都市計画に軸足を置くと軌道法というのは、道路も含め当時の内務省の管轄範囲であり、軌道法のほうが都市計画とリンクさせやすいということから、当時の大阪市は軌道法を選択したのではないかという話です。

終わり