

線路上下空間建設のコスト縮減



J R 東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 野澤伸一郎

線路の上空および直下に利用できる空間を新たに創り出すためには、列車の運行やお客さまの通行を妨げず、また電車線や軌道、地中ケーブルなどの支障物を避けて建設する必要があり、この制約条件に対するコストの増加を抑制することが大きな課題となります。そのために J R 東日本では、線路と線路の間など「狭く小さな」場所で施工できる技術、夜間の電車が通らない間に「早く」施工できる技術を中心に開発をおこない、建設コスト縮減の努力をしています。

1 はじめに

線路の上下、特に駅部の上下は、お客さまが移動・交流する空間であり、地域とも結びついた貴重な場所です。その開発は、流動の改善や新たな店舗が増えるなどお客さまが便利になる新たなサービスを生み出し、さらには地域の活性化につながることも期待されています。

図1はオーストラリア・メルボルンのフリンダースストリート駅に隣接した2002年12月にオープンしたフェデレーションスクエアと呼ばれる大規模な人工地盤の建設状況です。広大な土地を有するオーストラリアでさえも、駅とその周辺は人々の集う魅力のある場所であり、一般の土地に建設するより割高になっても、約10線路の上空に人工地盤を建設しています。



図1：オーストラリアの人工地盤建設

このように魅力ある空間も、建設するための課題はやはりコストです。一般の建築・土木工事に比べて、列車を運行し、お客さまの通行を極力妨げずに安全に施工しなければならないことがコストの増加に結びついています。通常の建築・土木の施工方法で人工地盤を建設する場合、杭の構築、柱の建て込み、梁の架設など主要な工程は、首都圏や主な路線ではすべて夜間、列車の走らない時間帯に「線路閉鎖」と「き電停止」の手続きを行なった上で2時間程度で施工せざる得ない現状です。

2 コスト縮減の目標

人工地盤建設を例にコストを考えると、図2に示すように、電車線や軌道、地中ケーブルなどさまざまな支障物があります。作業時間も限られており、また、柱の築造可能地点が限られ、経済的なスパンや高さにならない制限もあります。現在、都心部の駅周辺の線路上空に人工地盤を建設する際には、更地に建設することと比べて単位床面積あたり5倍程度の工事費がかかっています。建設地点への進入路や支障物の状況ははじめ個々に工事条件が異なるものの、将来的には更地の2～2.5倍程度まで人工地盤建設費をコスト縮減できる技術を開発することが目標です。

以下に、J R 東日本で取組んで来た主な技術開発を紹介します。

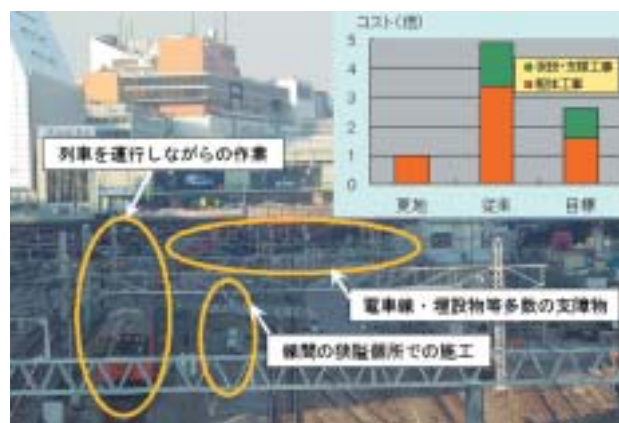


図2：線路上空の支障物とコストの目標

3 人工地盤建設のコスト縮減に向けた技術開発

人工地盤建設に対しては、工事費の割合が高い線路と線路の間（線間）の掘削を削減する方法や、杭の施工方法を主体に開発してきました。

3.1 地中梁の省略

これまで、人工地盤全体の剛性と耐力を確保するため、図3(a)に示すような線路方向に地中梁を設置してい

ました。建物として一般的には構造全体系の安定のために有効な地中梁は、線路近傍ではその施工時に軌道変状の恐れがあり、また時間的制約も大きくその他の部材に比べて特に設置費用が増大しています。

そこで図3 (b) のような2方向とも地中梁のない構造形式を可能とするため、解析や安全性の検証をおこないました。基準類についても「線路上空建築物(低層)構造設計標準」が、鉄道総研を幹事として鉄道会社各社が協力して改定されました¹⁾。2方向とも地中梁の無い構造となった場合、安全性を担保するために従来設けて

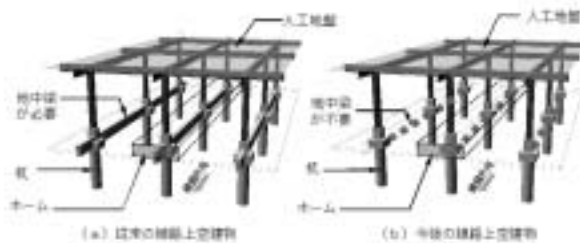


図3：地中梁の無い構造形式

いた地中梁が持つ性能を分散させ、変位を制限する目的などにより杭、柱が太くなるケースも生ずるものの、構造全体で約10%のコスト縮減が可能となりました。

2001年以降、津田沼駅、大宮駅、西船橋駅などにおける人工地盤建設工事においては、原則として2方向地中梁無しの構造を採用しています。

3.2 杭と柱のソケット接合

杭と柱の接合部分は、通常図4 (a) に見られるようなアンカーフレームと呼ばれる部材を配置するか、フーチングを設けるなどして杭と柱の間における力の伝達を確実にしています。これらの構造を線路と線路の間のよ

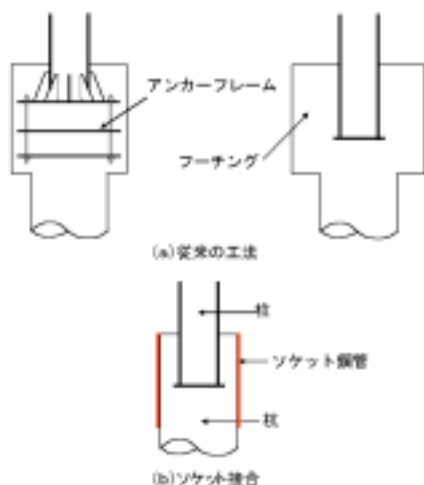


図4：杭頭ソケット接合

うな狭隘なスペースに構築する場合、路盤を幅広く掘削することとなり、また取付けに時間を要し、コストの増加につながっていました。

そこで、図4 (b) に示すような杭と一体となった径の大きな鋼管内に柱となる小径鋼管を所定長さ差し込み、その間隙をコンクリートで充填し一体化する接合構造を開発しました。通称ソケット接合と呼んでいるこの接合構造について模型実験を実施し、接合部の耐荷機構および終局強度に与える影響因子を把握しました。この成果をもとに、汎用的で簡便な終局強度評価式を提案しています²⁾。このソケット接合は新日本製鐵㈱と共同開発しました。

常磐線およびホームの上に、コンコース階とつくばエクスプレス軌道階の2層の人工地盤を建設することとなった北千住駅での工事においては、図5に示すように線路に近接しながらもソケット接合を活用することで経済的に杭と柱の接合部を構築することができました。この他、柏駅自由通路や武蔵浦和駅連絡通路の拡幅などの人工地盤建設に使用されています。

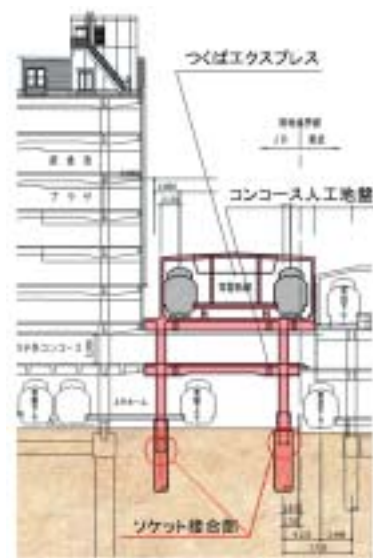


図5：北千住駅断面図

3.3 先端プレロード場所打ち杭

構造物を支える杭を狭隘な場所で施工する場合、騒音・振動低減対策もあり、通常機械で掘削し、鉄筋かごを建て込んだ後にコンクリートを打設する場所打ち杭の施工が多くなっています。しかし、杭先端での地盤の緩みや通称スライムと呼ばれる柔らかい物質の堆積により杭の支持力バラツキがあり、図6 (a) の様に沈下を起こす場合があります。また、それを防ぐためには結果

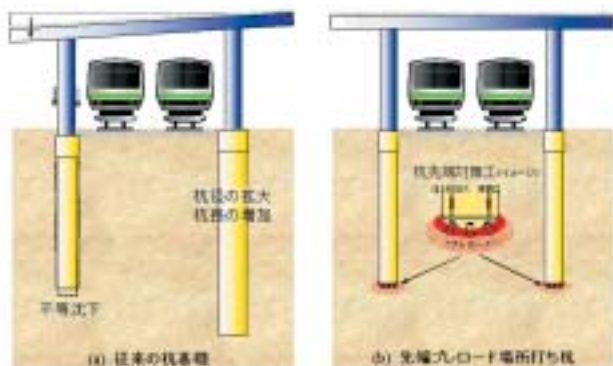


図6：先端を強化した杭

として杭の径を太くしたり杭長を増大することが必要でした。

そこで、場所打ちコンクリート杭の杭体コンクリート硬化後、鉄筋籠先端に予め取付けたバックに地上からセメントミルクを注入し、杭先端のスライム除去および地盤強化を行ない、杭の沈下量の減少と支持力の向上を図る先端プレロード場所打ち杭工法（図6（b））を開発しました³⁾。土中で確実に広がるバックを考案し、支持力の向上を確認する開発を実施しました。その結果、無対策の杭に比べて30%以上支持力を向上させることが出来ることを確認しました。現在、西船橋駅の人工地盤や中央線三鷹～立川高架橋工事などに使用されています。

3.4 ストランド場所打ち杭

上空に支障がある場所での工事の場合、鉄筋コンクリ

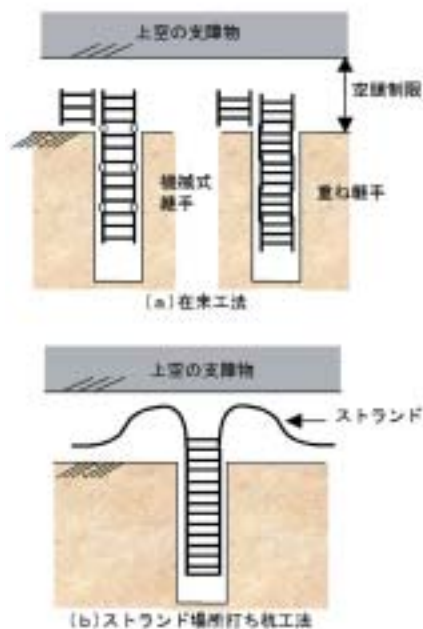


図7：上空支障箇所での場所打ち杭工法

ート場所打ち杭では図7（a）の様に短い鉄筋籠を継ぎ足して挿入することとなり、割高になっていました。

そこで、杭の主鋼材として通常の鉄筋の代わりに曲がりやすいストランドを用いて、鉄筋籠の継ぎ足作業をなくす図7（b）に示すストランド場所打ち杭工法を開発しました。ストランドの建込み状況を図8に示します。



図8：ストランド建込み状況

用いるストランドは、鉄筋に比べ曲がりやすいだけでなく、コンクリートとの付着力が弱い、高強度である、伸び能力が低いなどの性状があります。模型実験を実施してストランドを主鋼材としたコンクリート部材の破壊性状等を把握してきました⁴⁾。その結果、部材の剛性が低下することを考慮する他は、通常の鉄筋コンクリート杭と同様の手法で設計できることを把握しています。ストランド場所打ち杭は大成建設㈱と共同開発しました。

このストランド場所打ち杭工法は、施工時の高さ方向の施工余裕が最低2.7mしかない秋葉原駅高架橋改修工事に使用し、杭施工費を約10%低減する成果を上げています。さらに、ストランドの曲がりやすい特性を活かして狭い場所での杭を昼夜施工できる技術に発展できる可能性があります。

4 地下空間建設のコスト縮減に向けた技術開発

古くからの路線は、多くが土路盤又は盛土の上に線路や駅を建設されています。線路や駅の機能を維持しつつ、その下の土を排出して空間を建設することができれば、線路上空の人工地盤と同様に貴重な資源を生み出す事ができます。線路下空間建設は軌道の仮受け、排土などの作業が伴うため、人工地盤建設に比べてもコスト高となります。この克服のため様々な開発を実施しています。

4.1 工事術のコスト縮減

地下空間を建設する場合、通常は工事術と呼ばれる仮

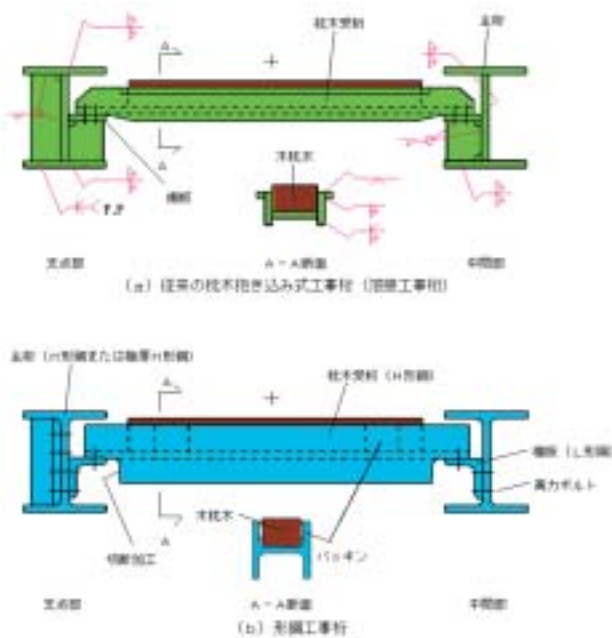


図9：工事桁のコスト削減

の桁で軌道を仮受けし、その下にある土等を掘削します。この桁は、仮設といえども数ヶ月～数年にわたって列車を支えます。安全を確保する仕様を守り、木枕木を抱き込んで軌道を支える構造で鋼材量低減を目指すすと、図9 (a) に示すように鋼材の加工度が高く特に溶接量が多く割高になっていました。

そこで、図9 (b) に示す、鋼板を溶接しないで主桁、棚板、枕木受桁に形鋼を用いて、高力ボルトで接合して製作する工事桁を開発しました。

細部の応力や変形の状況についてFEM解析と模型実験を実施し、加えて実際に架設した形鋼工事桁のボルトをはじめとする部材の応力状況を測定し、安全性を確認しました⁵⁾。

この形鋼工事桁は、通常の工事桁に比べて鋼材重量が約10%増加する一方で、鋼材の加工、溶接の減少で製作費は約25%削減することができました。

2001年以降、成田駅構内囲護台地下道新設や盛岡駅地下自由通路新設など6箇所25連の形鋼工事桁が使用されています。

さらに、PCマクラギを横桁として用いた工事桁工法や工事桁を工事終了後も存置して必要な補強を施した上で本設の橋りょうとする方法の開発も進められています。

4.2 非開削の線路下横断工事

工事桁を使用せず、軌道下にトンネルを構築する方法を非開削工法と呼んでいます。安全に施工し、かつこ

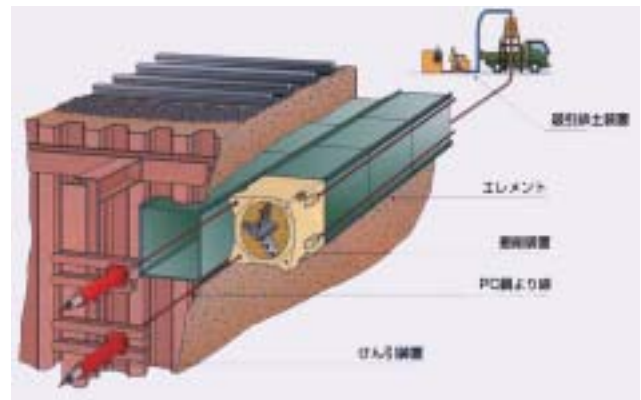


図10：HEP工法

のコストを削減することができれば地下空間建設の有効な手法となります。

(1) HEP工法 (High Speed Element Pull Method)

従来の非開削工法では、エレメント(土の中に挿入する部材)を発進側から推進機によって挿入していました。そのために、到達位置がずれたり、施工速度に限界がありました。

そこで、到達側に設置したけん引装置で、掘削装置に定着したPC鋼より線を引張ることにより、掘削装置に直結されたエレメントを発進側から引き込むHEP工法を開発しました(図10)。けん引装置の考案や排土試験などを実施しながら改良しています⁶⁾。

発進側の所定の位置にエレメントを設置し、到達側の所定の位置からけん引するため、反力設備は小さく発進部および到達部における施工精度がよくなりました。また、エレメント間の接合は、けん引力を伝達できるだけの簡易な接合となっているため、エレメント連結時間が短く、施工速度が早くなりました。

(2) JES工法 (Jointed Element Structure Method)

従来の非開削工法においては、土中に挿入するエレメントは、パイプルーブのように軌道を支える機能、又はあとから鉄筋コンクリート製等の大断面構造物を挿入するためのガイド、として使用されていました。このため、土被り(軌道面から構造物までの鉛直距離)が大きくなり、安全上最も避けたい軌道下の推進又はけん引を2回実施しなければならませんでした。

JES工法は、上記を解決するために地中に挿入するエレメントの軸直角方向に力を伝達可能な継手を有する鋼製エレメントを用いることにより、軌道下に非開削で箱型ラーメン形式または円形などの構造物を延長に制約されずに構築することができる工法です(図11)。十分な

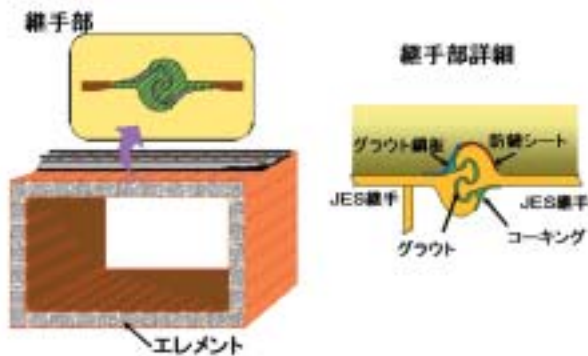


図11：JES工法

疲労強度を有し、かつ施工しやすい継手の開発などをおこないました⁷⁾。

構造系の完成後に構造物内の土を掘削すること、軌道下へのエレメント等の挿入が一回で済み、そのエレメントが縦・横ともに1m程度と小断面であることなどから、安全性が高まりました。また、従来防護工として用いられて来た鋼製エレメントを本体構造とするため工期を短くすることができました。従来工法に比べ10～20%程度のコスト縮減を達成しています。

HEP工法とJES工法は同時に使用されるケースが多く、りんかい線第2広町トンネル新設などのほか、線路下に道路や水路を設置する工事に多数用いられています。図12にHEP & JES工法で構築した線路直下の地下空間を示します。なお、HEP & JES工法は鉄建建設(株)と共同開発しました。



図12：HEP & JES工法で構築した地下空間

5 おわりに

技術開発した設計法や施工法は、個々の工事に取り入れて新しい空間を生み出す建設費のコスト縮減に役立っています。さらにコスト縮減して目標の建設費に近づくためには、先端の建築・土木技術、さらには異分野の技術を大胆に取り入れたいと考えています。また、電車線や軌道に支障しないで工事できるように設計・施工法を鉄道システムといかにマッチングさせるかも今後の課題です。

JR東日本では、「通過する駅から集う駅へ」をコンセプトに21世紀のあたらしい駅づくり「ステーションルネッサンス」を推進しています。単なる乗降施設ではなく、駅空間の革新を大胆に進める予定です。バリアフリー化や混雑緩和を進めて、ゆとりある快適な駅空間を実現するためにも、お客さまの利便性の向上と駅周辺地域の活性化を目的として駅構内に新たに店舗を開発するためにも、線路上空の人工地盤や線路直下の地下空間を安価に建設することが必要となります。そのコスト縮減に向けて今後も新しい技術の開発に努めたいと考えています。

参考文献

- 1) 鉄道建築協会：線路上空建築物（低層）構造設計標準，2002
- 2) 野澤，木下，築嶋，石橋：コンクリート充填鋼管ソケット接合部の耐力評価，土木学会論文集，No.606/ -41，1998.11
- 3) 松尾，藤沢，森山：先端にプレロードを与えた支持力及び機構について，土木学会年次学術講演概要集第3部，Vol.55，2000.9
- 4) 築嶋，野澤，今井，石橋：軸方向鋼材にストランドを用いた部材の破壊性状，コンクリート工学論文集，Vol.11，No.1，2000.1
- 5) 齋藤，工藤，井手：形鋼工事桁のディテールに関する研究，土木学会年次学術講演概要集第1部，Vol.55，2000.9
- 6) 古高，成田，齋藤，新堀，有光：エレメント高速けん引工法に関する粘性土排土試験，土木学会年次学術講演概要集第6部，Vol.52，1997.9
- 7) 清水，森山，木戸，桑原，森山：鋼製エレメントを用いた線路下横断トンネルの設計法，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.8，1998