

土木学会技術開発賞 — その後
Since Winning the Innovative Technique Award

推進工法による線路下横断構造物の施工法(URT工法)の改良

Improvement of URT Construction Method

垂水尚志*・小山幸則**・美浦明彦***

By Hisashi TARUMI, Yukinori KOYAMA and Akihiko MIURA

1. ま え が き

URT工法は、仮設物であるパイプを挿入した後、支保工を設置しながら線路下の地盤を掘削し本体の横断構造物を構築するという従来の工法に対して、初めから本体構造物の要素となる部材を挿入することにより、工期を短縮し、経済性、安全性を向上させようという発想から1970年代後半に誕生した工法である(図-1)。

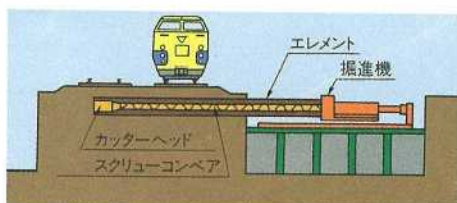


図-1 URT工法の施工概念図

1984年の土木学会技術開発賞受賞後も当工法の施工性、経済性をより高めるための研究開発が続けられている。また、同工法が類似の線路下横断構造物の構築方法の開発を誘発した点も評価されるべきであろう。

ここでは特に最近の研究開発の状況についてその概要を述べるものである。

2. 施工実績

1990年7月現在で施工件数44件、計画件数7件である。最初に施工されたのは、1978年に常磐線の土浦・神立間における下路桁方式の線路下横断道路であった。トンネル方式で施工された最初の構造物は、1980年の東北本線の大宮操車場内の楕円形トンネルの工事用道路であった。全施工件数のうち70%が下路桁方式であり、25%がトンネル方式で、残りは仮土留め等に利用されている。本工法は非常に小さい土被りでも列車運行を阻害することなく(徐行を行う場合が多いが)施工ができ

ることが特徴の1つであり、全施工件数の80%が土被り1m以下である。以上のように、本工法は線路下における施工上の制約の厳しい条件下に適した工法としてその特徴を発揮してきたといえよう。

写真-1に下路桁方式の例を、写真-2にトンネル方式の例を示す。

3. 工法の改良

本工法を現場に適用して以来、エレメントの挿入時に



写真-1 下路桁方式 URT工法の施工状況例
(武豊線東浦・亀崎間 23.3×5.6×11 m, 1985年)



写真-2 トンネル方式 URT工法の施工状況例
(東海道本線守山駅構内 3.6×3.0×49 m, 1986年)

* (財)鉄道総合技術研究所・研究室長(土質・基礎担当)

** (財)鉄道総合技術研究所・JR 部副長

*** 石川島建材工業(株)第三事業部技術部次長

おける掘削上のトラブル対策，設計法の改良等を経て，より信頼性の高い線路近接工法としての地位を確立してきたが，次に主な改良点について概要を述べる。

(1) 掘削機構

四角形の鋼製エレメントを，小土被りで線路に変状を与えることなく推進することが特徴の1つである。刃口をエレメント外形と一致させ，断面全体を切削するとともに，切羽を押えつつ部分的にズリを取り込むことが重要である。初期に開発された掘削機は，図-2に示すものであり，矩形の四隅を切削できる一對のロータリーカッターで，その駆動軸は後方のスクリーコンベアの軸中に装着した。その後，写真-3に示すように，一對のカッターの駆動を先端部においてそれぞれ電動機直結とすることで，切削の効率化を図った。一方，従来のロータリーカッターを鉛直配列する場合は，下段のカッターがズリをすくい上げ，中央のコンベアに投入する機構が適切に機能しない場合があることが判明し，写真-4に示すダブルオーガー方式の掘削機の開発に至った。この機構は，長方形断面の上半分に掘削専用のオーガーを電動機直結で備え，下半分に先端をオーガーカッターとしたスクリーコンベアを配した点に特徴がある。

その他に，固結した砂層や軟岩層中での推進用の掘削機等の開発も行ってきた。

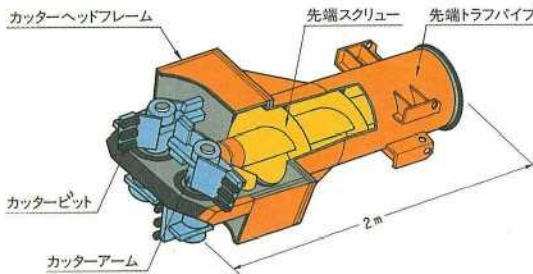


図-2 当初からのウォームギヤ式カッターヘッド

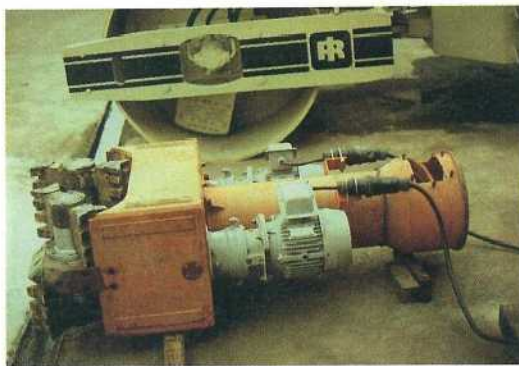


写真-3 電動機直結ダブルウォーム式カッターヘッド

(2) エレメントおよび継手

下路桁形式のエレメントは，当初H形鋼を2本合わせたものが用いられていたが，市販のH形鋼の種類制約，掘削機構の操作上の制約等から，4枚の鋼板を溶接した箱形断面に切り換え，同時に掘削機のサイズを2種類に統一した。その後，断面形状，溶接方法，使用鋼材等の標準化を図り，図-3に示す現在の標準エレメントに至った。

下路桁方式のエレメント継手は，当初はL形鋼の噛み合わせを基本とするものであったが，現在では図-4に示す構造とし，エレメントの内側に継手を取り付け，外部に突出することなく，また，エレメントの板厚に関係なく一種類に限定することとした。一方，トンネル覆工形式に構築する場合のエレメント継手においても，長距離推進におけるエレメント間摩擦を少なくし，目地部にモルタルを充填しやすくするようスペーサを設けるなどの改良を行うとともに，構造形式の統一を図った。

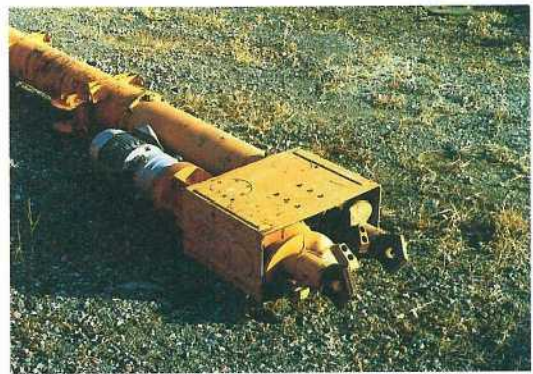


写真-4 ダブルオーガー式カッターヘッド

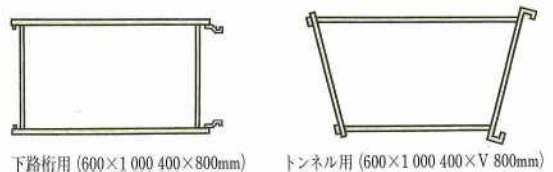


図-3 現在の標準エレメント

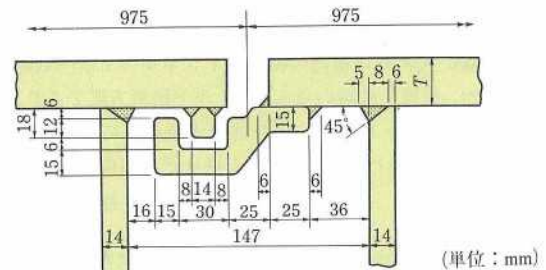


図-4 現在の継手構造

(3) エレメント間継手の評価と解析手法

横桁は一般に継手によって隣接桁と結合されているが、設計計算上は、継手の効果を的確に判定することが困難であることなどから継手の影響を考慮しないものとしてきた。そこで、継手の構造特性を評価するとともに当工法の経済性を図るために、載荷試験、実橋による測定等による継手剛性の評価および継手剛性を評価した設計プログラムの作成を行ってきた。

写真-5に示す継手の載荷試験(供試体寸法:長さ2900mm、高さ428mm、幅500mm。構造:3エレメントおよび2継手部。載荷方法:中央1点載荷)により得られた主な結果は、次のとおりである。

① 継手の回転ばねは、繰り返し載荷の影響は小さいと考えられるが、実際の施工によりコンクリートおよびモルタルのまわりこみが悪いことを想定し、エレメントの上フランジ下面に発泡スチロールを貼付した供試体の継手の繰り返し試験後のばね値を採用することが適切であると考えられる。



写真-5 継手部載荷試験

② セン断ばねは、繰り返し載荷前のばね値に比し相当低下した継手が存在したことを考慮し、繰り返し載荷前のばね値の約1/5のばね値を採用することが妥当であると考えられる。

図-5に示す継手剛性を考慮した平面格子モデルにより、本工法の下路桁形式における横桁の継手剛性の評価が可能となった。このプログラムの妥当性は、実際の本工法による構造物の現地測定結果の解析からも確認されており、従来、設計に考慮されていなかった継手剛性を設計に反映し得ることが明らかになった。さらに、継手剛性の効果は、実設計における比較設計により明らかになり、主桁および横桁の断面縮小が期待できることが示された。

(4) エレメントと主桁の結合方式

従来の結合部の設計法では、横桁であるエレメントと主桁の結合部は、エレメントの埋込み部の下方に密に鉄筋を配置することになるので、施工性の問題が指摘されてきていた。そこで、エレメントの主桁への埋込み長を低減しエレメントをプレート状のアンカーで主桁に結合する方法を考案した。新しい結合方法では、現場溶接を避け、高張力ボルトでエレメントとアンカー体を結合するためにプレート状のアンカーを考え、プレートに波形の凹凸を設け、コンクリートの付着力の増加を図ることを期待している。鉄筋とコンクリートの付着が、種々の要因の影響を受けることが従来の研究等により判明しているが、プレートアンカーとコンクリートの付着性状については、その基本特性、列車荷重による繰り返し載荷が付着性状に及ぼす影響等について明らかにすることが必要であり、結合部の模型を作成しその構造特性について検討するため載荷試験を実施した。

アンカー体の定着機構を解明するために実施した供試

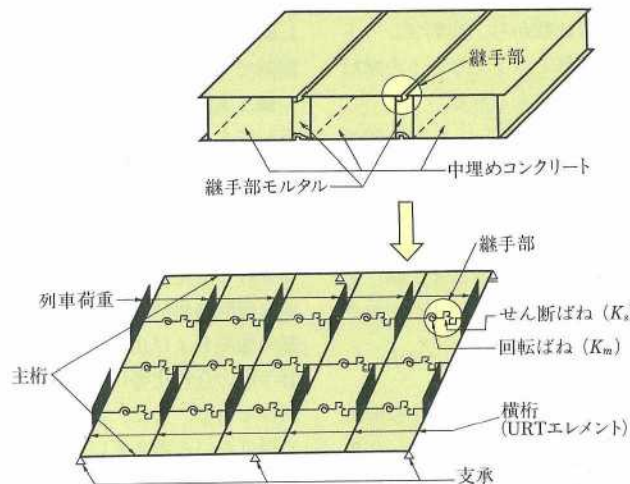


図-5 継手剛性を評価した平面格子モデル



写真一六 定着アンカーによる結合部載荷試験

体の静的および繰り返し載荷試験の概要および得られた主な結果は次のとおりである。

供試体は、直径 30 cm、高さ 45 cm でフープ筋で周囲を補強し、その中心にそれぞれ異形鉄筋、波形の凹凸付きプレートアンカーおよび平面部にブチルゴムを接着して平面部の付着力を低減したプレートアンカーを設置しコンクリートを打設して作製した。鋼材の埋込み長は 30 cm である。

繰り返し載荷では、許容付着応力程度を供試体に発生させることとし、最大荷重を 6 tf とし、最小荷重を 2 tf の片振り載荷とした。加振周波数は 20 Hz とした。静的載荷試験を繰り返し載荷前後で実施し、変形特性の比較を行った。

試験結果を総合的に判断すれば、異形鉄筋の付着許容応力（平均値としての付着力）程度を発生させる荷重に対しては、波形凹凸付きアンカープレートは、異形鉄筋と類似の挙動を示すと考えてよく、同様の荷重については繰り返し載荷の影響はほとんどないと判断される。また、ゴム膜の有無の試験結果の比較から、波形プレートの付着は、ほとんどが波形凹凸部とコンクリートの摩擦および支圧により発生するものと考えられる。

写真一六に示す結合部の載荷試験（エレメント 60 × 100 cm、主桁部 1.5 × 1.5 × 1.5 m）の結果からは、プレートアンカーによる定着方式およびエレメントの主桁への埋込み長の影響等で結合部の剛性が従来の方式に比較して減少する傾向がみられたが、今後設計方法を明確にすることにより実際への適用の可能性が大きいことが示された。

（5）PC 鋼線による締結方式

下路桁形式の構造は、前後をアバットで支持する関係で、横断長さに制約があった。これに対し、構築したエレメントにコンクリートを充填し、これに直交して貫通する PC ケーブルで緊張すれば、プレストレストコン

写真一七 エレメントの PC 横締め施工実験
(PC ストランド挿入作業)

クリートとして一体化され、その横断面についてラーメン構造としてとらえることが可能となると考えた。施工順序は次のとおりである。

- ① エレメントの推進。
- ② 設置したエレメントの端部エレメントから PC ケーブルを引き込み、各エレメントに配した作業員に手渡して貫通、挿入する。
- ③ PC ケーブルを配したエレメントに両端のケーブル定着用エレメントを残して順次コンクリートを注入する。
- ④ 両端の緊張用エレメントよりケーブルを緊張してプレストレスを導入する。
- ⑤ 両端の緊張用エレメントにコンクリートを注入する。

この考え方は、PC 緊張によるブロック工法と類似のものであるが、施工上は類似の例がないため、歩道としての地下通路の具体例として写真一七に示す中空断面 4 × 2.5 m の実物大の施工実験を行った。エレメント長は 1.8 m とし、φ24.3 mm のアンボンドケーブル 4 本を等間隔でセットした。

施工実験に引き続き、載荷試験を行ったが、構造特性としても良好な結果が得られたと考えている。

4. あとがき

工法誕生後、その改善をめざして技術開発が着々と推進されてきたが、今後は、より広範な地盤条件に対応可能な掘削機構の開発、エレメントの施工性の向上、継手部の強度および止水性の向上、中埋め材の品質向上、設計手法の合理化等に着眼して、当工法の改良を推進する所存である。また、当該技術の他分野への技術移転にも心掛けたいと考えている。

(1990.7.28・受付)