

パイプビーム工法による函体構築（その2） Box Culvert Construction using Pipe Roofing Method(Part 2)

平原 光彦*
Mitsuhiko Hirahara

占部 徹**
Toru Urabe

木本 博**
Hiroshi Kimoto

河野 謙二***
Kenji Kono

富田 正浩****
Masahiro Tomita

要 約

本工事に採用したパイプビーム工法は、①施工延長が長いこと（延長51.0m で従来実績の約2倍）、②土被りが小さいためパイプ下端と函体頂版との空間が小さいこと（20cmで従来実績の1/3～1/4）、③道路下への初めての適用、などの点で従来の採用条件と大きく異なるため、本工事への適用に際しては幾つかの解決すべき課題を有していた。

そのため、これらの課題に対して、①中間支持杭の設置、②頂版コンクリートへの超流動コンクリートの採用、③中間支持杭に対するプレロードの導入、などの対策を実施し、工期・工費・安全性等に対して所期の目的を達成することができた。

本文では、前報Vol.16に引き続き、狭隘な導坑内での支持杭および支持桁の施工、プレロード工および沈下の計測管理工について報告する。

目 次
§ 1 はじめに
§ 2 概算数量
§ 3 施工状況
§ 4 計測工
§ 5 まとめ

§ 1 はじめに

名神高速道路本線下に非開削工法によりボックスカルバートを築造するため、パイプビーム工法を採用した。本工法では、パイプ両端部のみで上部の路面荷重を支持する構造が基本であることから、その設計スパンは20m程度が一般的であり、また函体頂版の施工性からパイプ下面と頂版天端の空間は最小70～80cm程度確保できる土被りの場合に適用されてきた。しかしながら、本工事においては、パイプの施工延長が51mであり、かつ土被りも小さいために、本工法の採用に際して以下の課題を解決する必要がある。

①パイプ延長が長い場合、中間支持杭が必要となる。

* 関西(支)吹田(出)所長
** 関西(支)吹田(出)工事係長
*** 関西(支)吹田(出)工事主任
**** 土木設計部設計課

- ②パイプ下面と函体頂版天端との空間が小さいため、施工性が悪く、コンクリートの品質確保が難しい。
- ③交通量の多い高速道路本線下での施工となるため、路面沈下に対する制限が厳しい。

これらの課題に対して以下の対策を実施した。

(1) 中間支持杭の設置

本工法の特長は、掘削前にパイプの支持杭を設置することにより、路面荷重を事前に受け替えて、安全に内部の全断面掘削を行うことにある。したがって、中間支持杭の施工はできるだけ掘削の影響を路面に与えないように、必要最小限の導坑（内空3.0m×3.0m）内より施工した。

(2) 頂版コンクリートの施工

施工空間が狭くかつ配筋が密であるため、施工性改善と品質確保の目的で締め固め不要な超流動コンクリートを採用した。これについては、Vol.17で別途報告しているので参照されたい。

(3) 沈下対策工

従来、本工法はほとんど鉄道横断部に採用されており、沈下については列車通過後や夜間での補修が可能であった。しかしながら本工事のように交通量の多い幹線道路の場合、交通止めによる舗装のオーバーレイ等の補修が非常に困難である。そのため、中間支持杭設置後の全断面掘削に伴う沈下に対しては、中間支持杭にプレロードを導入して沈下の先取りを行い、路面への影響を極力少なくするように配慮した。

(4) 沈下計測工

上述のように路面補修が困難なことから、路面の許容最大沈下量は20mmと設定された。そのため、沈下性状と異常発生を常時把握し、かつ迅速な対応が図れるように、自動計測による管理を行った。

本文では、前報Vol.16に引き続き、狭隘な導坑内における中間支持杭工、プレロード工、計測工およびその結果と考察について報告する。

§ 2 概算数量

本文にて報告する各工種の概算数量を以下に示す。

	Iランプ	Jランプ
・ 中間支持杭		
深礎杭（φ2,000 L=16.0m）	10本	12本
支保工鋼材		
受桁		
2H-594×302×14×23	117tf	134tf
支柱		
2H-594×302×14×23		
・ ボックスカルバート		
コンクリート	4,457 m ³ (1,022 m ³)	3,141 m ³ (1,050 m ³)
鉄筋	565tf	371tf

注) () の値は、頂版の超流動コンクリート量である。

§ 3 施工状況

3-1 中間支持杭工

(1) 杭削孔

導坑（内空3.0m×3.0m）掘削完了後、中間支持杭を導坑内で施工した。狭隘部における施工のため、重機等による揚土が不可能であり、揚土および排土作業はウインチ、バケットおよびベルトコンベアーにて行った。また、坑内には送風を行い、酸素濃度を測定して酸欠対策を行った。深礎杭の施工状況を写真-1に示す。

また、深礎杭の掘削時に設置したライナープレートに15cm×15cmの穴開け（5m²/箇所）を行った。これは、深礎杭周辺の空隙に杭体コンクリートと同時に充填するためである。したがって、裏込グラウトは省略した。

(2) 鉄筋組立

鉄筋は機械式継手（ネジテツコン）を使用し、坑内で組立てた。

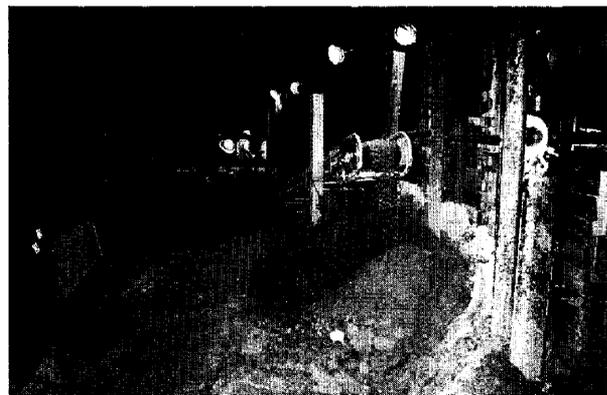


写真-1 深礎杭施工状況

(3) 支柱および支持桁の組立

深礎杭施工後、支柱を杭上に設置した。導坑内空が非常に小さいので、支柱は1本 (L=8.0m) を4ピースに、支持桁は1本 (L=16.0m) を6ピースに分割し組立てた。組立には、2.5t吊りフォークリフト、2.5t吊りクローラークリアークレーンおよびレバブロック等を使用した。図-1に支柱組立要領、図-2に支持桁組立要領を示す。

3-2 プレロード工

支柱および受桁設置後、道路下掘削を行うが、その際の沈下の要因を以下に示す。

- ①パイプのたわみ — 支間部の沈下
 - ②支持杭の沈下
 - ③受桁のたわみ
 - ④支柱の縮み
 - ⑤各部材接点部のあそび
- 支間部の沈下
- 支点部の沈下

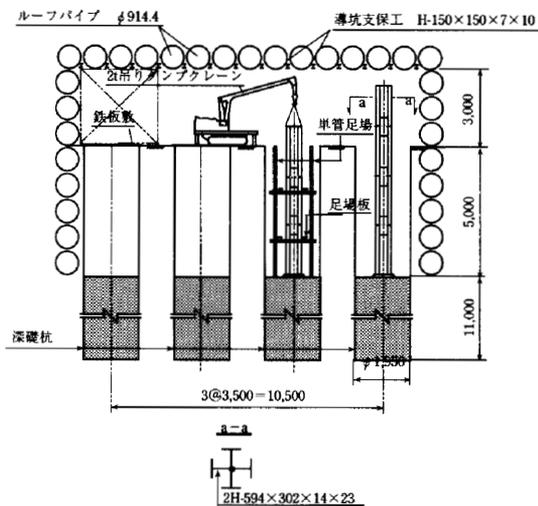


図-1 中間支柱組立要領

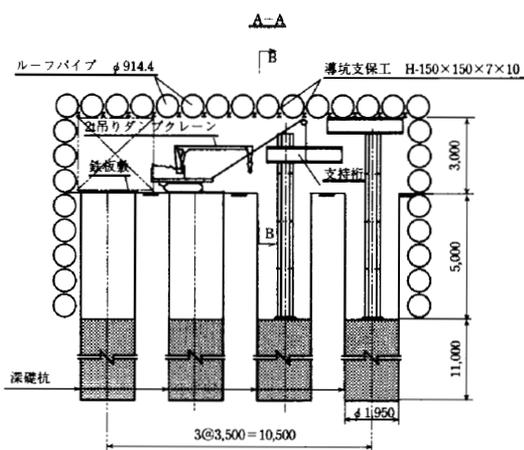


図-2 支持桁組立要領その1

上記項目の内、死荷重による②~⑤の支点部沈下要因の先取りを行う目的で、中間支柱部へプレロードを導入した。写真-2にプレロード状況を示す。

プレロード量は、死荷重のみとして支持桁1列当り約1,000tfとした。また、その導入は、路面に急激な隆起等の悪影響を及ぼさないようにし、荷重を5段階に分けて導入した。プレロードは、支柱の両側に取付けてある台座に100tf級ジャッキを設置し、ルーフパイプおよび上載土の死荷重を反力として導入した (図-3参照)。

導入に際しては、各荷重段階ごとに、支持杭・支持桁・ルーフパイプおよび路面の変位量を計測し、全てのデータを確認しながら次の載荷ステップに進んだ。

変位量の計測方法は、載荷前の値を0とし、支持杭・支持桁および路面の計測はオートレベルで、ルーフパイプの変位量は自動計測装置 (§ 4 計測工参照) にて行った。

最終載荷段階での変位量は次の通りである。

①支持桁変位量 +11mm

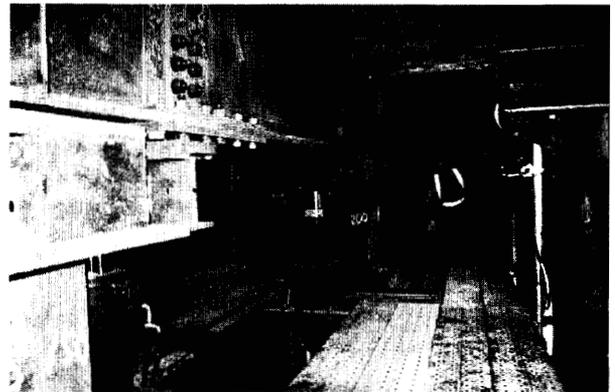


写真-2 プレロード状況

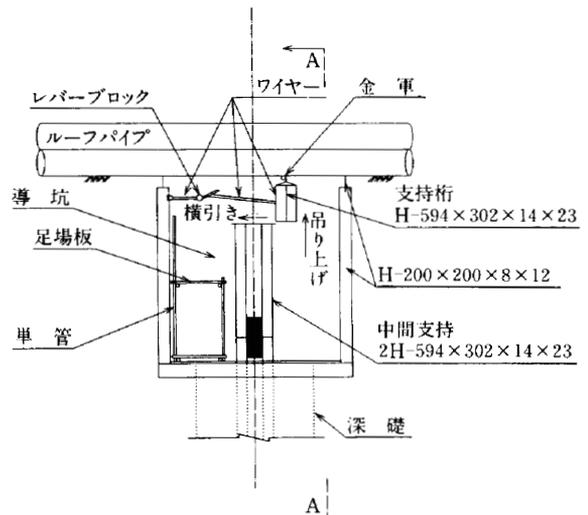


図-2 支持桁組立要領その2

- ②ルーフパイプ変位量 +10mm
- ③路面変位量 +2mm
- ④支持杭変位量 -7mm (-5.5mm)

注) () の値は予測値。

路面変位量とルーフパイプ変位量の差が大きいのは、ルーフパイプ推進時の周辺地盤のゆるみによるものと、支点部の集中載荷による地盤の局所的な圧縮変形によるものが考えられる。

載荷の完了は以下の3点を判断基準とした。

- ①路面隆起量7mm (桁およびパイプの設計弾性変形量) に達した時点
- ②載荷重が設計値1,000tfに達し、支持杭の変位が弾性範囲であることが確認された時点
- ③当初の目的の達成が確認された時点

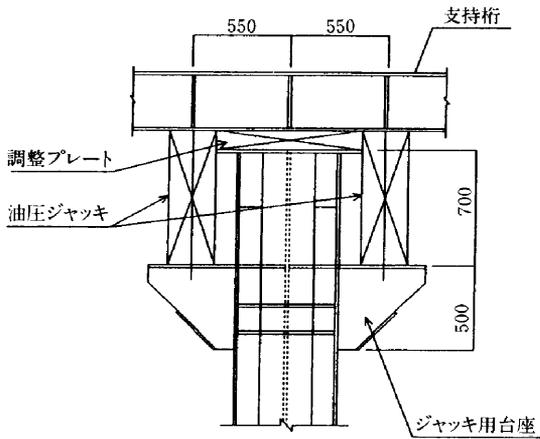


図-3 油圧ジャッキ設置要領

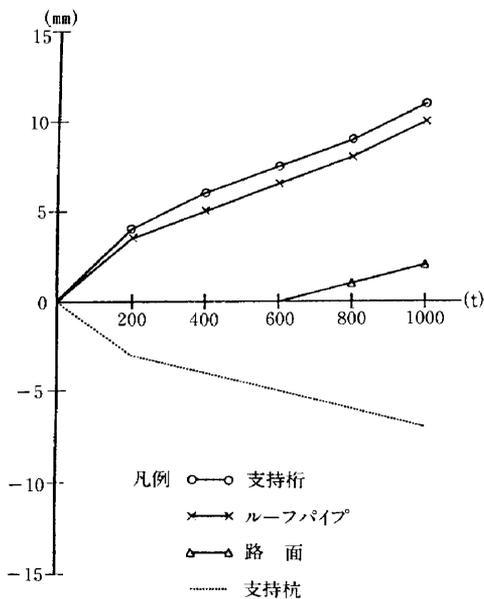


図-4 プレロード計測結果

計測結果を図-4に示す。

3-3 ボックスカルバート躯体工

躯体の構築は、主柱・受桁の埋込みによる躯体への悪影響をなくするため、下記に示すような分割方式 (施工順序) により行った。躯体工の施工順序を図-5に示す。

- ①中央部分の躯体(A)を構築
- ②中間支柱の撤去
- ③函体(B, C)の構築
- ④両端部支柱の撤去
- ⑤両翼函体(D, E)の構築

躯体構築は、図-6に示すようにルーフパイプと躯体天端との隙間が20cm以下と非常に狭く、しかも過密な配筋となっているため、バイブレーターによる締め作業

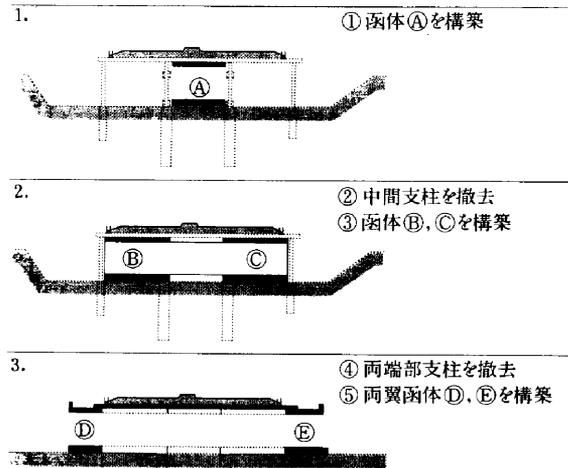


図-5 躯体施工順序 (I-1ランプ)

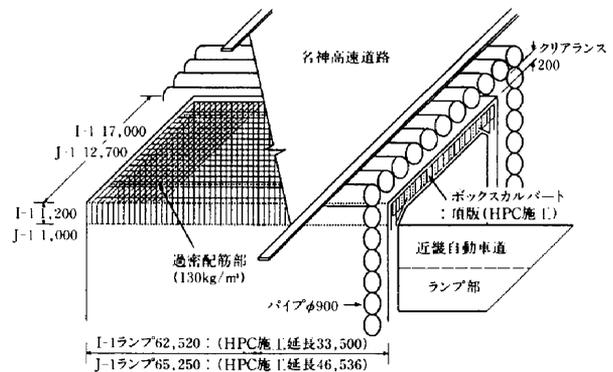


図-6 躯体構築概要

が難しく、従来のコンクリートでは所要の品質確保が難しいと考えられた。

そこで、底板および側壁は従来コンクリートで施工し、頂版部は締固め不要で、自己充填性に優れた超流動コンクリートを使用した。

この超流動コンクリートを用いた施工については、本報Vol.17「超流動コンクリートの名神高速道路直下におけるボックスカルバート工事への適用」に詳しく記載しているので本章では省略する。

§ 4 計測工

4-1 概要

名神高速道路の交通の安全確保が最重要課題であるため、路面沈下防止の観点から道路部の沈下状況を常に把握するとともに、事後の変位予測を行う必要があった。

計測は下記の項目について行った。

① 路面の沈下

路面沈下測定は、予め両路肩、両センターラインおよび中央分離帯付近にビヨウを設置し、道路外の固定点からトランシットにより鉛直角度を測定することで行った。

② ルーフパイプの沈下

パイプの沈下は、図-7に示す箇所に水盛式沈下計を固定し電氣的に測定した。また、パイプの沈下と路面の沈下との相関関係を調べるため、中央分離帯上にも沈下計を設置し測定した。

③ ルーフパイプの曲げ応力

設計で求めたパイプの曲げ応力度の妥当性および

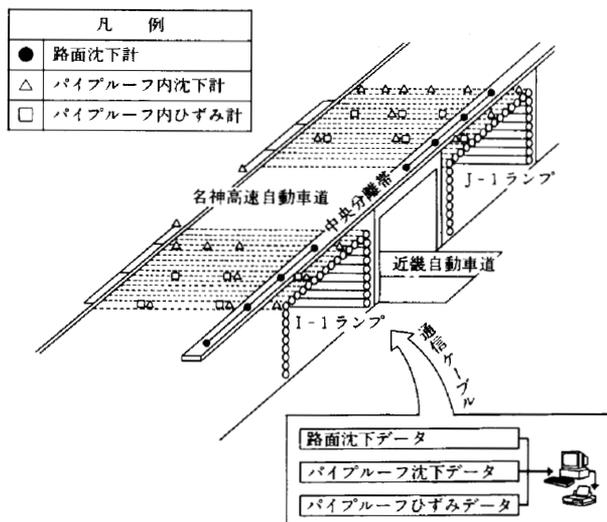


図-7 計測器設置位置図

沈下との関係を調べる目的で、大きな応力が発生すると予想されるスパン中央および支点部にひずみ計を設置し測定を行った。

4-2 計測管理

ルーフパイプの挙動を素早く的確に把握して路面への影響を最小限に抑えけるとともに、異常発生時に敏速な対応が必要なため自動計測を採用した。また、異常発生時は事務所および現場で警報を鳴らすことができるとともに、パソコンの画面上にその場所を明示できるシステムとした。

4-3 計測結果

本文では、Jランプについて報告する。

中間スパン中央部での路面およびルーフパイプの沈下量の経時変化を図-8に示す。また、ほぼ同位置におけるルーフパイプの変位予測量は次の通りである。ここでパイプ推進による周辺地盤のゆるみ等による沈下については予測値を設定していない。

- ① 導坑掘削時の変位量 7.0mm
 - ② 支持杭の沈下量 5.5mm
 - ③ パイプのたわみ量 3.7mm
 - ④ 支点部撤去に伴う沈下量 3.8mm
- } 9.2mm

図-8と変位予測量の比較から以下の点が確認される。

- ① プレロード工直前までのパイプの沈下量は3.7mmであり、導坑掘削時の予測値7.0mmより小さい。これは予測値が導坑部直下での値に対し、計測位置は導坑より離れているためである。導坑直下の計測値は予測値より大きい値を示している箇所がある。
- ② 本掘削工および躯体工の施工時期のパイプの合計沈下量は11.7mmであり、支持杭沈下量とパイプのた

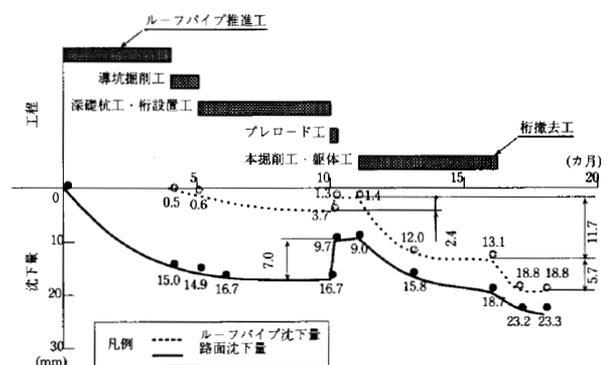


図-8 沈下量経時変化図 (Jランブルーフパイプ中央部)

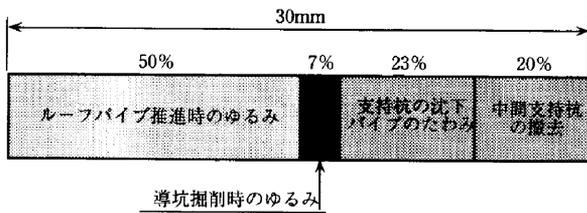


図-9 各種沈下要因の割合 (プレロードによる押し上げ量は無視)

わみ量の合計変位予測値9.2mmより大きい。これは、プレロード時の杭沈下曲線から判明したことであるが杭先端バネが予測より小さかったことが原因である。

- ③支点部撤去に伴う沈下量は5.7mmであり、予測値3.8mmより大きい。これは、カルバート支持地盤の沈下が予測値より大きかったことがあげられる。
- ④プレロードを施工した時点では、パイプ変位量が+2.4mmとなり、導坑掘削完了時点の沈下量を戻した形になっている。
- ⑤ルーフパイプの沈下曲線と路面の沈下曲線は、パイプ推進時のゆるみによる沈下を除けば、ほぼ追従した形となっている。また、プレロードによる押し上げで路面変位量(+7.0mm)の方がパイプの変位量(+2.4mm)より大きいのは、パイプの測定位置がジャッキアップ位置より離れているためである。

端部支持桁撤去までの沈下量の累計は、プレロードによる押し上げを無視すれば、平均で約13mm、最大約30mmであった。全沈下量に対する各種沈下要因の割合を図-9に示す。図より、パイプ推進時の沈下の割合が約50%を占めている。これは推進時の土砂のゆるみや余掘りによるものである。これらの影響を排除するため本工事においても、対策工として推進後の裏込め注入を行った。しかしながら、全体沈下量に対する割合の大きさから考えると、今後の本工法の施工における対策として以下の点を検討・改善していく必要がある。

- ①ルーフパイプ裏込め注入方法、注入材
- ②ルーフパイプ推進時の余掘り対策
(パイプ先端処理およびオーガーヘッド等の改良)

工事終了後の沈下量は平均で約10mm、最大約23mmであった。その後約1ヶ月間計測を行ったが、ほとんど

変化は認められないため、計測を終了した。以上のように当初設定した路面の最大許容変位量の20mmは平均値ではクリアした。なお本工事における路面沈下分は、年1回実施される名神高速道路夜間閉鎖時に舗装をオーバーレイした。

§5 まとめ

今回のパイプビーム工法の最重要課題である名神高速道路路面沈下は、ほぼ許容沈下量の範囲内で施工できた。本工法の反省点を以下に示す。

- ①沈下はパイプ推進時の周辺地盤のゆるみや余掘りによるものが全沈下量の50%を占めるため、今後の検討・改善が必要である。
- ②導坑掘削時の地盤のゆるみによる沈下は、場所によって大きい箇所があった。導坑支保工の建込み時にプレロードを導入できるシステムの開発が望まれる。
- ③支点部のプレロード導入は大きな効果が確認された。ただし、間詰め部の完全な施工が困難であったため、除荷時に2～3mmの戻りが生じてしまった。この点の改善が必要である。
- ④中間支持部撤去時におけるカルバート自体の沈下は微小であると予測したが(3.8mm)、実際は予測値をかなり越えた(5.7mm)。カルバート支持地盤の変形特性の調査を入念に行う必要がある。
- ⑤沈下を極力抑えるため導坑内空断面を小さくし支持杭も深礎としたが、狭隘な作業空間下での作業能率をいかに上げるかが今後の課題である。狭隘作業空間下における杭打機等の施工機械の開発が望まれる。

謝辞

本工事を施工するにあたり、御指導を頂いた日本道路公団吹田管理事務所他関係者各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 日本道路団：設計要領第2集，1990。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，IV下部鋼編，1990。
- 3) 平原光彦，占部徹，勢田篤史，富田正浩：パイプビーム工法による函体構築，西松建設技報，Vol.16，pp.135～140，1993。