

S7-2-5.

新幹線上野駅浮上対策について

[土] ○久 須 美 賢 一 (東日本旅客鉄道株式会社)

[土] 藍 郷 一 博 (東日本旅客鉄道株式会社)

[土] 志 野 達 也 (東日本旅客鉄道株式会社)

The countermeasure against buoyant force at The Ueno Station for the Tohoku Shinkansen
Kenichi Kusumi, Kazuhiro Aigou, Tatsuya Shino, Member (East Japan Railway Company)

The Ueno Station for the Tohoku Shinkansen, that has been built twenty years ago, is a six-spanned and four-storied underground structure. As buoyant force is increasing due to the rise of groundwater level, there is the danger of a bending destruction of the lower bed plate and a rise of the whole structure. For the first countermeasure, 37,000 ton of iron ingot was placed under the platform. This time, as the second countermeasure, approximately 650 ground anchors are adopted. This paper describes the outline of this project.

キーワード：トンネル、グラウンドアンカー、地下水、浮上対策

Keywords: Tunnel, Ground anchor, Groundwater, Countermeasure for buoyant force

1. はじめに

東北新幹線上野駅は、地下 30m まで掘削して構築された、4 層 6 径間・ボックスラーメン構造のトンネルである。近年の地下水位の上昇に伴う揚圧力の増加により、下床版の変形及び構造物の浮き上がりといった変状が想定されるため、平成 7 年～9 年に実施された鉄塊載荷による一次対策に引き続き、永久グラウンドアンカー工による二次対策を施工することとなった。本論文ではその概要について述べる。

2. 構造物及び周辺環境の概要

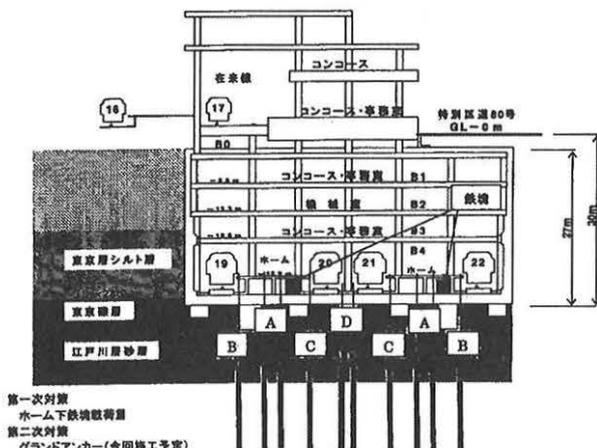


図 1. 上野地下駅断面図

(2.1) 上野地下駅の概要

上野駅及び周辺地盤の概略を図 1 に示す。

上野地下駅は東北新幹線の駅として昭和 53 年 4 月に建設工事が開始され、昭和 59 年 8 月にしゅん功、昭和 60 年 3 月に開業された。構造は地下 4 階建(深さ 30m、最大幅 48m、延長 840m)で RC 及び鉄骨造で構築され、地下 4 階部の下床版は H 鋼埋め込み構造(版厚=1,000mm)となっている。また、上部には駅設備としての 2 層建物が載荷されている。

(2.2) 周辺地盤

上野駅周辺の地形は、山の手台地と低地との境に位置し、地質的には上部より東京層砂層・東京層シルト層・東京礫層・江戸川砂層で形成されている。

(2.3) 地下水位の動向

上野駅周辺の地下水位の変動状況は図 2 に示すとおりである。なお上野駅以外の観測点は東京都土木技術研究所の調査によるものである。

昭和 46 年の地下水汲み上げ規制の発令により、東北新幹線上野地下駅の設計当時(昭和 47 年)には G.L.-38m の位置にあった地下水位が、完成時(昭和 60 年)には G.L.-18.0m まで上昇するに至った。

また、その間に第一次対策として平成 7 年度～9 年度にかけてホーム下に鉄塊約 37,000 t を載荷する工事を実施し、これにより当時 G.L.-14m の地下水位に対し、限界水位を G.L.-13m から G.L.-11m まで改善した。

現時点(平成 16 年)では G.L.-12m にまで復水しており、50～80cm/年程度の水位上昇を続けている。揚水設備に

よる地下水の汲み上げを行い、下水道へ放流することで地下水水位の上昇を抑えているが、下床版の変形及び構造物の浮き上がりといった変状が想定されるため、恒久的な対策が必要となった。

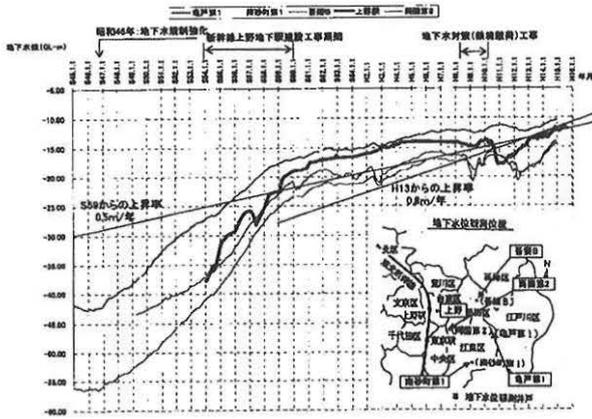


図 2. 上野駅付近の地下水水位の変動

3. 対策案の検討

(3.1) 恒久対策案の決定経緯

上野地下駅の地下水水位上昇に対する恒久対策案策定にあたっては、GL-5m まで復水する可能性を想定し、以下の 4 案について効果・実現性・経済性・施工実績等の面から検討を行った。

- i) 鉄塊載荷案
- ii) グラウンドアンカー案
- iii) グラウンドアンカー+揚水案
- iv) グラウンドアンカー+プレス案

平成 7 年～9 年にかけて施工された一次対策では、i) の鉄塊載荷案により、限界水位を GL-11m まで改善した。

その後、技術開発により高被圧下での永久グラウンドアンカー施工が実用可能となり、総武・横須賀線の東京地下駅の地下水対策として採用され平成 11 年に施工した。

今回の検討でも、経済的に優れ、他の設備に対して与える影響も少ないことから ii) のグラウンドアンカー案を採用することとした。なお、今回の対策工では限界水位を GL-7.5m まで引き上げることが目標とし、地下水水位の上昇傾向を注視しながら GL-5m の対策を適宜行うこととした。

(3.2) 他の地下水対策事例との比較

開削トンネルでの地下水水位上昇対策事例をまとめたものを表 1 に示す。表中の改善効果とは、総工事費を施工延長 (m)、断面長 (m)、限界水位の改善高 (m) で除したものである。本対策では、一次対策に比べ約 2 倍の費用対効果を見込んでいる。

他に地下水水位上昇に対する対策工としてグラウンドアンカー工が用いられた事例としては、平成 3 年 10 月に起きた武蔵野線新小平駅 (U 字型半地下駅) の浮き上がり災害 (異

常な長雨による地下水水位上昇が原因) に対する復旧が挙げられる。

表 1. 地下水対策概要比較

施工箇所	上野二次対策	上野一次対策	東京地下駅
対策工	グラウンドアンカー工 650 本	鉄塊載荷 約 37,000 t 揚水設備 7 本	グラウンドアンカー工 70 本
総工事費	約 37 億円	約 42 億円	約 4 億円
限界水位	+3.5m	+2m	+1.5m
改善効果	51.2 千円/m ² ・m	102 千円/m ² ・m	33.7 千円/m ² ・m

4. 工事概要

本工事の概要は下記のとおりである。

施工場所：東北新幹線上野地下駅

工事期間：平成 16 年 6 月～平成 17 年 12 月 (予定)

施工概要：グラウンドアンカー工約 650 本

総工事費：約 37 億円

なお、アンカー打設位置平面図を図 3 に示す。

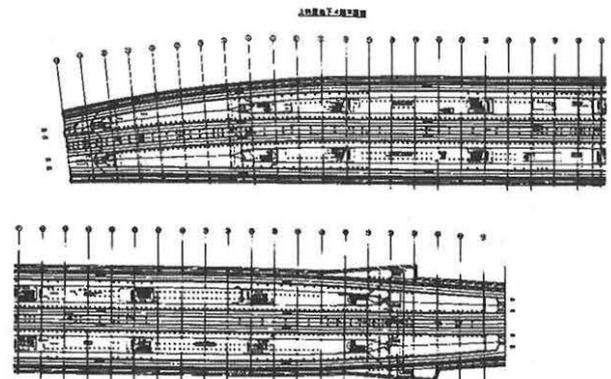


図 3. アンカー打設位置平面図

約 650 本のグラウンドアンカー施工のうち、ホーム中央部については仮囲い内での昼間作業とし、1 本/日のペースで施工し、営業線に近接するホーム端部については夜間の終電～初電までの間合いで削孔 1 日、注入 1 日の 0.5 本/日のペースで施工する。また、編成は上下線各 2 基ずつの計 4 パーティーで施工を行っている。

その他、資機材の運搬方法について、プラント設備、テンドン等の重量物の搬入については、現場から約 3km 北方にある田端保守基地からの保守用車による運搬とし、その他軽量なものは人力による搬入とした。

またプラント設備は、濁水処理装置及びセメント製造プラントを上野駅構内の地上部に設置し、新幹線ホーム下のスペースにも配電盤、セメントミルク、削孔水などを受け二次プラント設備を設置した。

削孔機については、日中の営業列車運行時間帯にも施工することを考慮し、低騒音型のロータリーパイプロドリル

タイプを採用した。これは従来のロータリーパーカッションタイプに比べて騒音レベル (dB) で約 3 分の 2 程度となっており、旅客への不快感並びに構内放送の聞き取り状況の改善に寄与している。

5. グラウンドアンカーの仕様

使用するテンドンの鋼材は PC 鋼より線 7 本より $\phi 12.7$ \times 9 本とし、定着長 10m、自由長 5m とする。(図 4 参照)
許容アンカー力は以下の 4 種類の値の最小値とする。

i) テンドンの許容引張力

- ①: テンドン極限荷重の 60%
- ②: テンドン降伏荷重の 75%

ii) アンカー体の許容引抜力

- ③: グラウトと地盤との付着
- ④: グラウトとテンドンとの付着

計算結果より①のテンドン極限荷重の 60% が最小となり、
許容アンカー力 = $168.3\text{tf} \times 0.6 = 100.1\text{tf/本}$
が求まり、永久グラウンドアンカーとして長期減少率を考慮し、アンカー耐力は許容アンカー力の 90% とした。
アンカー耐力 = $100.1\text{tf} \times 0.9 = 90.1\text{tf/本}$

6. グラウンドアンカー施工順序

施工順序を図 5 に示す。

止水ボックス設置までは準備作業として先行して施工し、ホーム中央部においては削孔工から注入工までを 1 日/本で行う。営業線に近接するホーム端部においては終電から初電までの夜間に施工することとし、削孔工で 1 日、注入工で 1 日の 2 日/本かけて施工している。そして養生期間を経て、品質保証試験を実施した後、緊張・定着作業を行い、頭部処理を施して完了となる。

以下、各作業について詳述する。

(6.1) 準備工

アンカー施工位置の墨だし後、止水装置設置のための枠 ($800 \times 800 \times 650$) を設置する。止水装置を設置後、ホームスラブ及び下床版のコア抜きを行う。ただし、下床版については出水を防ぐために 150mm 残し、鉄筋手前までとした。

また、下部止水ボックス頭部にはシャッターフランジ機能を設け、被圧地下水出水時にはシャッターを閉鎖し、止水材 (LW) を注入することにより対応することとした。

(6.2) 削孔工

削孔に用いるケーシングは、 $\phi 135\text{mm}$ 、長さ 1m \times 17 本

を使用することとした。

削孔方式は単管方式でパイプロ機能 + 回転により削孔し、ケーシング外周部に削孔水を返すことにより削孔スライムを排出する。スライム及び地下水は下部止水ボックスに取付けた排水バルブにより排出され、出水量及び被圧力を確認する。削孔完了後、孔内を洗浄し、先端ビットを切り離す。

(6.3) 注入工

注入工は主に以下の 5 工種からなる。

①置換注入

ケーシング内部に注入ホースを孔底まで挿入し、セメントミルクを充填させ置換する。なお、グラウトは早強ポルトランドセメント (JIS R 5210) を使用し、以下の仕様を満足するように配合設計した。

設計基準圧縮強度: 24N/mm^2

設計基準フロー値: 13 ± 3 秒

②テンドン挿入

今回使用するテンドンは図 4 に示すように長さ約 20m であり、テンドン巻取り装置 (鋼製ドラム $\phi 1900$) より挿入する。東京地下駅での施工の際には人力による作業であったが、今回の巻取り装置の導入により、作業スペースの縮小、作業の省力化及び防食塗膜の損傷防止といった品質管理向上にも役立っている。

③マウスパッカーの取り付け・膨張

②に続いてテンドンの余長部分にマウスパッカーを取り付け、ケーシングを上部まで継ぎ足し、被圧水の圧力 + 0.1Mpa を膨張圧力としてエアによりマウスパッカーを膨張させる。

④アンカー体加圧注入

ケーシングを 1 本 (1m/本) 引き上げるごとにドリルパイプ頭部よりセメントミルクの加圧注入を行ってケーシングを回収するという作業を、ケーシング先端が上部止水ボックス内の口元パッカーの位置に来るまで繰り返す。

⑤ケーシング回収・特殊パッカー及び口元パッカー膨張

下床版中に設置した特殊パッカーにセメントミルクを注入して膨張させ、下部止水ボックスの排水バルブの開閉操作を行って出水の有無を調べ、コアリング内が止水されていることを確認する。

続いて上部止水ボックス内の口元パッカーにセメントミルクを注入して膨張させ、残りの先端ケーシングを回収し、下部止水ボックスに止水材 (LW) を注入する。

なお、特殊パッカー及び口元パッカーの膨張圧力は被圧水の圧力 + 0.2Mpa としている。

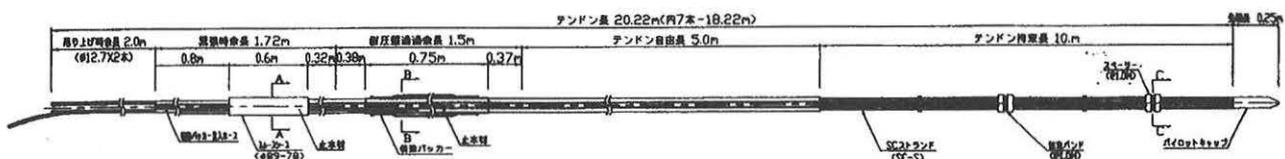


図 4. テンドン標準図

〈6.4〉 定着工

養生完了後、上部止水ボックスを取外し、下部止水ボックス内のはつりを行い、無収縮モルタルを打設する。

グラウトの強度を確認後、定着装置を取付けて品質保証試験を行う。試験結果より設計アンカー力を確認した後、油圧ジャッキにて所定の緊張力により緊張を行う。

最後にヘッドキャップを取り付け、防錆材を注入しアンカー頭部処理後、完了となる。

7. おわりに

本工事では、施工実績の少ない高被圧水下でのグラウンドアンカー施工に取組み、数々の問題点を解決しながら日夜施工している。

工事施工期間中は、上野駅をご利用いただくお客さまをはじめ、各関係機関の方々にはご不便をおかけしているが、お客さまの安全並びに新幹線の定時運行確保を第一の目標に、平成 17 年の完了を目指して施工会社共々無事故で工事を完遂できるよう努力していきたい。

参考文献

- 1) (社)地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説，平成 12 年 3 月
- 2) 東京都土木研究所：平成 14 年地盤沈下調査報告書，平成 15 年 7 月
- 3) JR 東日本 (株)：SED，大規模地下駅の地下水対策（東北新幹線上野駅），No.9，平成 9 年 11 月
- 4) (社)地盤工学会：被圧水下での永久グラウンドアンカーの試験施工 No.111，平成 10 年 6 月
- 5) (株)土木工学社：トンネルと地下，東京地下駅の地下水上昇対策，第 31 巻 10 号，平成 12 年 10 月

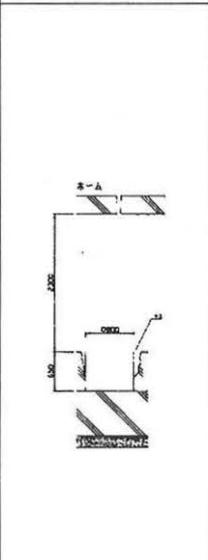
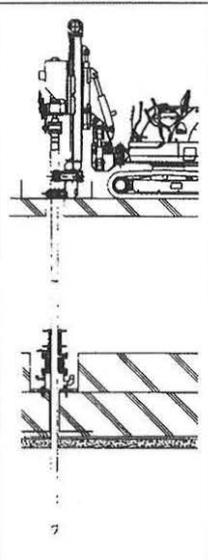
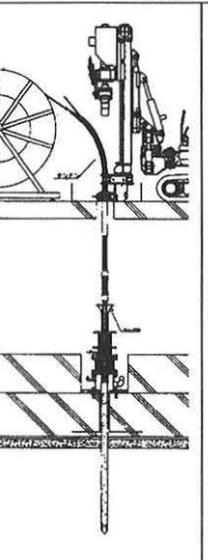
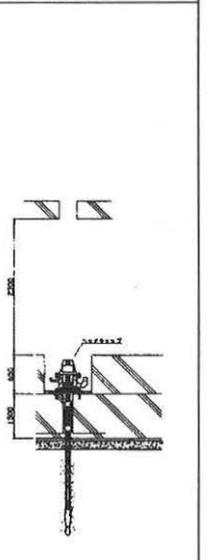
準備工	削孔工	注入工	定着工
			
<ul style="list-style-type: none"> ・墨だし ・掘設置 (800×800×650) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホームスラブ及び下床版コア抜き ・止水装置設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・削孔作業 ・先端ビット切離し 	<ul style="list-style-type: none"> ・置換注入 ・テンドン挿入 ・マウスパッカー取り付け・膨張
		<ul style="list-style-type: none"> ・アンカー体加圧注入 ・ケーシング回収 ・特殊パッカー及び口元パッカー膨張 ・止水剤充填 	<ul style="list-style-type: none"> ・品質保証試験 ・緊張・定着 ・防錆材充填 ・アンカー頭部処理

図 5. グラウンドアンカー施工順序図