

# 地下アーチ構造物の側部開削に伴う挙動解析と測定管理について

内 藤 和 章      井 石 芳 男  
(大阪駅工事事務所)  
藤 原 紀 夫      崎 本 純 治

## Field Measurements and Analyses of Behavior Caused by Excavation near Underground Structure

Kazuaki Naito      Yoshio Izeki  
Toshio Fujiwara      Junji Sakimoto

### Abstract

Prior to commencing work to cut by an underground arch structure for construction of a passageway for the purpose of connecting to the Hankyu building, it was feared there would be adverse influences caused by the construction. Besides this arch structure, there was also a bridge pier of the National Railways existing as a nearby structure of importance. The nature of the ground was poor and the arch structure constructed in 1935 was found to be deteriorated as a result of investigation. The behavior of the arch structure under adverse influences was analyzed beforehand, a reinforcing method was designed and strict control was exercised over the actual work.

### 概 要

阪急との連絡通路工事は、営業中の地下鉄アーチ構造物の側部を開削する工事で、当初よりこのアーチ構造物に与える悪影響が心配された。隣接する重要構造物には、このアーチ構造物だけでなく、国鉄の橋脚基礎もあり、また近辺の土質の悪さは、これまでの施工報告からもみられる所である。また、このアーチ構造物は昭和10年に建設されたもので、すでに劣化していることが調査の結果判明していた。

本報告はこのアーチ構造物に与える悪影響について、あらかじめその挙動を解析し、補強方法を決定し、厳密な施工管理を行なったものについて述べたものである。

## 1. まえがき

この連絡通路工事は、大阪駅東口の梅田架道橋下において、地下鉄アーチ構造物の側部を開削し、阪急ビルとの連絡通路を建設するものである。

地下鉄アーチ構造物は、昭和10年に建設されたものであるが、その建設途中地盤が軟弱なために崩壊事故が発生し、ケーソン工法で施工し直されたものである。この崩壊事故のため、連絡通路工事も今日まで延び延びになっていた。このような経緯をふまえて、この連絡通路工事は慎重な設計と施工方法で実施された。

ここでは、そのうち地下鉄アーチ構造物の挙動解析、補強方法、管理測定について主に述べることにする。

## 2. 工事概要

工事現場の平面図と断面図をそれぞれ図一1、図一2

に示す。連絡通路工事の規模は、掘削幅13m、掘削深さ13m、延長30mである。掘削部分の南側と北側にはそれぞれ地下道と地下鉄機械室があり、西側には地下鉄アーチ構造物がある。また、地上は国道となっており、その上に国鉄架道橋（桁下4.5m）がある。

付近の地盤は、GL～GL-3.0mまでは埋戻し土で、それ以下GL-24mまではN値4前後の軟弱な粘性土層（梅田粘土層）である。GL-24m以下は、N値50以上の砂レキ層（天満レキ層）となっている。

図一3は、この梅田粘土層の性状を正確に把握するために周辺で実施された土質調査データをまとめたものである。この図からみられるように、掘削底面下の粘性土の強度は、一軸圧縮強度  $q_u=6.6t/m^2$ 、粘着力  $C_u=3.3t/m^2$  である。

施工順序はつぎのとおりである。まず、路上から土留壁の地下連続壁を作成し、路面覆工した後、後述す

る地下鉄アーチ補強のタイロッドアンカーを施工した。構築物の施工は、逆巻き工法を採用し、その際土留支保工の切梁は床版の中に埋め込むものとした。掘削は分割施工とし、延長10mずつの3ブロックとした。

土留壁として地下連続壁を採用したのは、もちろん土留壁の剛性を大きくし、背面の水位低下を防止するためである。

地下連続壁の背面には、水位低下防止のために2m幅にわたってLWを注入することとし、地下連続壁のジョイント部分は高圧パイル注入(ジェットグラウト)を実施した。また、地下鉄アーチ構造物の下には、ペDESTAL杭との間隙を埋めるためにセメントミルク注入を実施した。

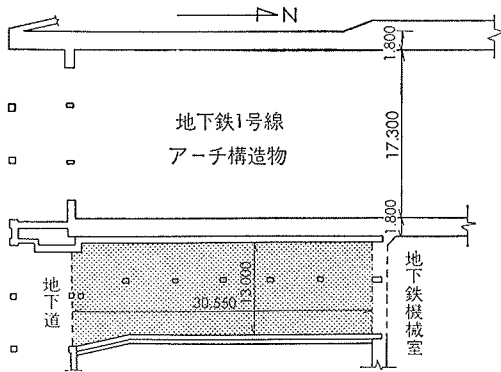


図-1 工事現場平面図

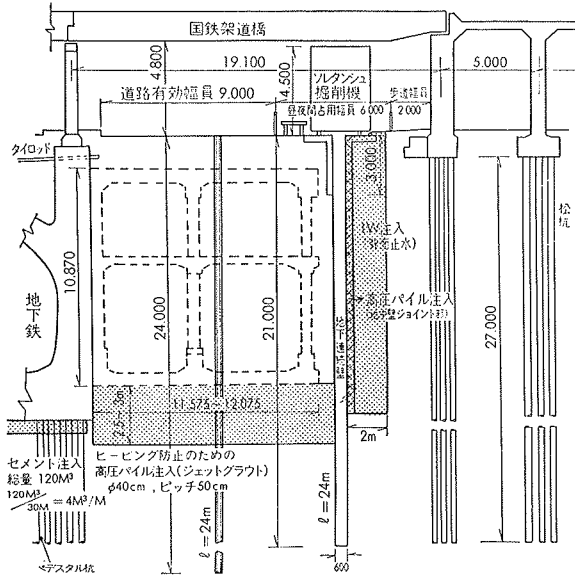


図-2 工事現場断面図

### 3. 解析方法

アーチ構造物を30節点の直線梁にモデル化し、弾性支承上の構造物として、電子計算機による弾性解析を行った。

荷重は、土圧、自重、切梁荷重、タイロッド荷重、

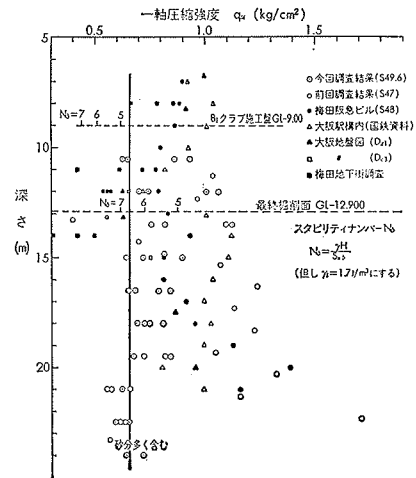


図-3 現場付近の土質性状

国鉄架道橋からの列車荷重、車道からの自動車荷重を考慮し、タイロッド荷重の作用点は、側壁頭部から1m下の位置とした。

底部地盤の地盤反力係数は、 $k_v=4.0 \text{ kg/cm}^3$ 、 $k_h=2.0 \text{ kg/cm}^3$ とした。この地盤反力係数は、ペDESTAL杭の打たれた基礎地盤の等価地盤反力係数である。解析手順を以下に箇条書きにして示す。

- ① ある大きさのタイロッド締結力を設定する。
- ② 各掘削段階(掘削前, 掘削GL-3.0m, ……掘削完了において、部材応力を計算する。
- ③ タイロッド締結力を変化させて、①~②を繰返す。
- ④ 部材応力( $\sigma_s$ ,  $\sigma_c$ )とタイロッド締結力との関係を求める。
- ⑤ 部材応力が短期許容応力( $\sigma_{sa}=2,100 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_{ca}=90 \text{ kg/cm}^2$ )を越えないタイロッド締結力を求める。

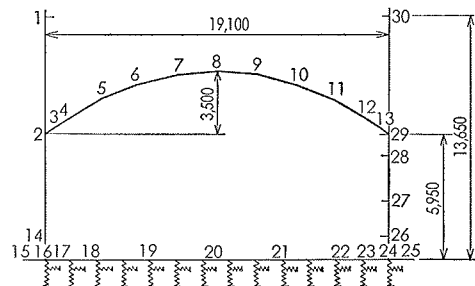


図-4 アーチ構造物の解析モデル

### 4. 解析結果および考察

図-5~7に部材応力とタイロッド締結力との関係を示す。掘削状態は、GL-7.3m, GL-8.3m, 掘

削完了の3つの場合について、部材応力は、アーチクラウン部、アーチ左側脚部、アーチ右側脚部の3カ所でのものを示している。

これらの図からわかるように、アーチ構造物が最も危険となるのは、GL-8.3m 掘削時点のアーチ右側脚部である。そのときの鉄筋応力は  $4500 \text{ kg/cm}^2$ 、コンクリート応力は  $120 \text{ kg/cm}^2$  といずれも許容応力をはるかに越えている。したがって、このアーチ構造物を補強して、許容応力以内に押える必要がある。

図-6(c)にはそのために必要なタイロッド締結力を示している。タイロッドに  $33 \text{ t/m}$  の締結力を与えれば鉄筋応力は  $2,100 \text{ kg/cm}^2$ 、コンクリート応力は  $80 \text{ kg/cm}^2$  とそれぞれの許容応力以内に改善される。

図-8、図-9には、掘削前とGL-8.3m 掘削時

の相対変位を示している。図-8はタイロッド取付け後からの変位を示し、図-9はタイロッド取付け前からの変位を示している。これらの図をみると、アーチ各部の変位はいずれの場合においても  $1.0 \text{ cm}$  を越えないことがわかる。

図-10に、タイロッド取付け ( $30 \text{ t/m}$ ) だけによる変位を示す。タイロッドを取付けることによってアーチ脚部は  $0.4 \text{ mm}$  ずつ内側に引き寄せられ、クラウン部は  $1.2 \text{ mm}$  浮上する。

### 5. 補強工事

タイロッドの所要締結力は、 $33 \text{ t/m}$  であることが解ったので、次にタイロッド1本当たりの締結力を決める。タイロッドアンカーの極限引抜抵抗力は、アンカー

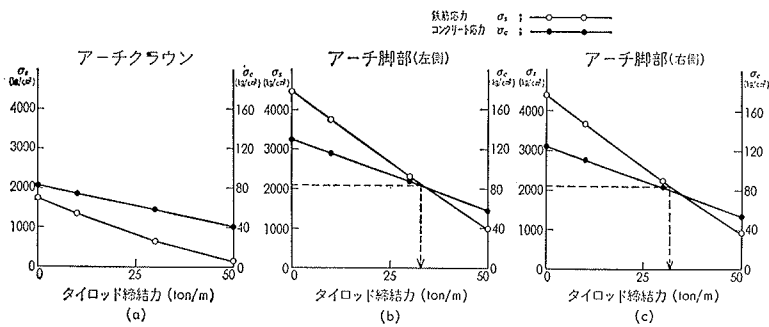


図-5 タイロッド締結力と応力(7.3m 掘削)

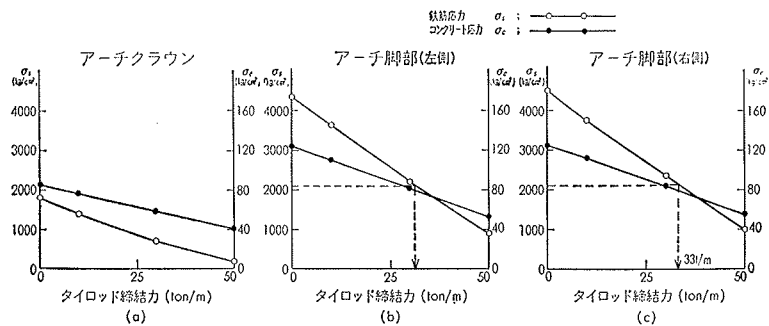


図-6 タイロッド締結力と応力(8.3m 掘削)

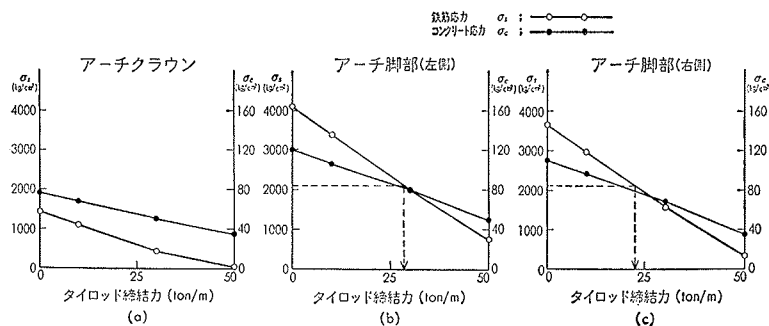


図-7 タイロッド締結力と応力(掘削完了)

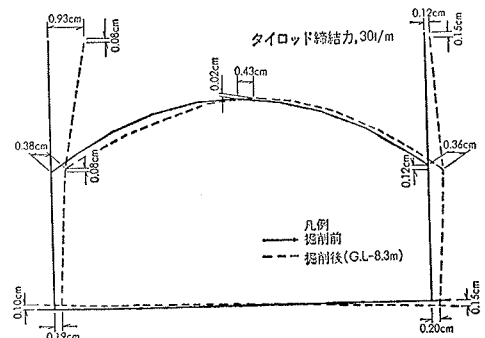


図-8 掘削前(タイロッド取付け後)とGL-8.3m 掘削時の相対変位

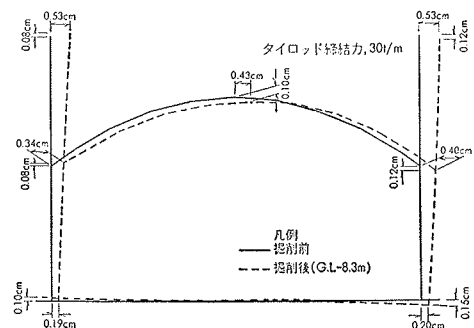


図-9 掘削前(タイロッド取付け前)とGL-8.3m 掘削時の相対変位

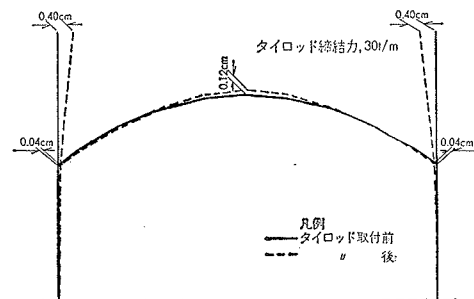


図-10 掘削前、タイロッド取付け前後の相対変位

幹体直径1000mm, 有効長1.8m, 周辺摩擦力20.0kg/cm<sup>2</sup> とすると, 113.0tと計算されるがこの値を安全率1.5で除した75.4tをタイロッド1本当りの締結力とした。これからタイロッドピッチを2.28mに決定した。

タイロッド材として, SEEケーブル(φ12.7×7本)を使った。このタイロッドの許容引張強度は, 130tである。

工事は, ①穿孔, ②鋼線挿入, ③両側定着部の一次注入, ④タイロッドの緊張, ⑤シース内部の二次注入の順に施工された。

図-11は, 西側締結工の詳細を示し, 図-12はタイロッド緊張装置を示している。

図-13は, タイロッド配置の平面図であり, 図-14が断面図である。

ところで, 今回の工事ではタイロッド補強案を採用したが, 検討は次の2案についても行った。

a) アーチクラウン部をプレロードした支柱で支える方法

b) 切梁による方法

a) は, 営業中の地下鉄ホーム上の工事となるため安全施工上の問題があり, b) は, 切梁軸力の制御に問題があったので結局タイロッド案を採用することになった。

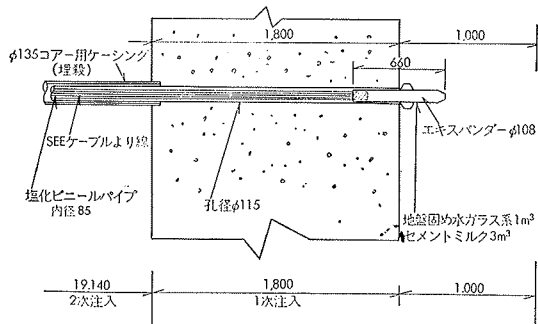


図-11 西側締結工詳細

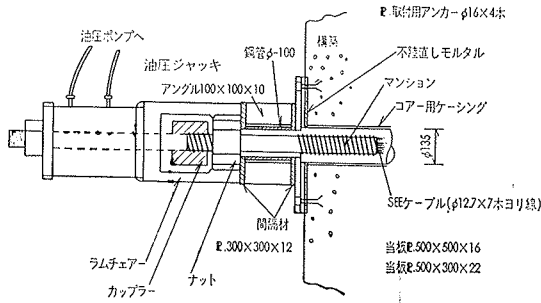


図-12 タイロッド緊張装置

## 6. 管理測定方法測定

施工管理測定計器として, 鉄筋ひずみ計, 鉛直変位

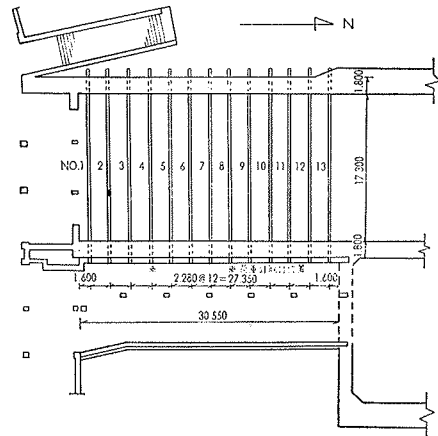


図-13 タイロッド配置平面図

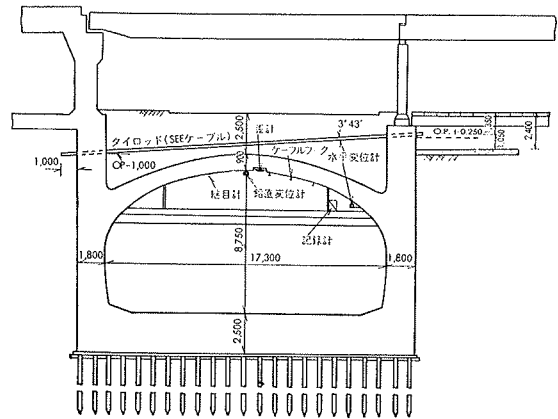


図-14 計測器配置断面図

計, 水平変位計, クラック継目計を用いた。タイロッド張力の管理測定には, 図-15に示すセンターホール型の荷重計を用いた。

図-16にアーチ構造物に対する各測定計器の配置平面図を, 図-14に配置断面図を示す。

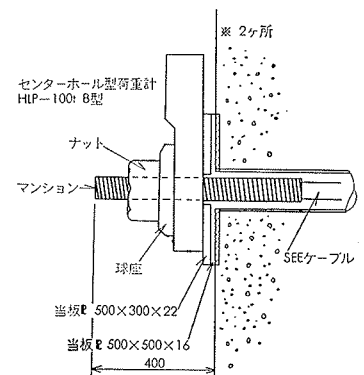


図-15 タイロッド荷重計取付図

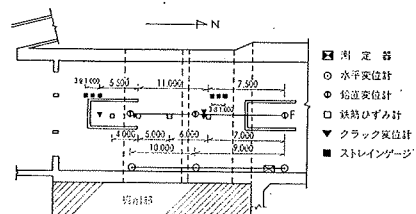


図-16 計測器配置平面図

## 7. 測定結果および考察

測定結果をまとめて図-17に示す。

### 7.1. 水平・鉛直変位

a) No. 7 の測定値は長期間にわたって徐々に増加していることおよび、水平鉛直変位をすべて変位速度に直して比較検討した結果から計器異常であることを疑い、5月10日以降、この No. 7 をチェックしたところ計器異常であることが判明した。

b) No. 7 と No. 5, No. 8 と No. 6 は一對となって挙動する。すなわちアーチが広がればアーチクラウンは下がり、アーチが狭くなればアーチクラウンは浮上するはずである。No. 8 と No. 6 にこの対応が見られるが No. 7 と No. 5 ではこの対応はあまりみられない。

c) 計算上ではタイロッド締結によってアーチクラウンは1.2mm 浮上することになるが、これは No. 5 No. 6 との測定値に見られる。

d) 上床逆巻きコンクリート打設後(5月10日以降)測定値は一定値を保っている。これから上床コンクリートがアーチ構造物の変形防止に役立っていることがわかる。

### 7.2. 鉄筋ひずみ

a) タイロッド締結の時期と一致して、圧縮側のひずみが測定されている。計算上ではタイロッド締結によって  $145 \times 10^{-6}$  の圧縮ひずみが生じることになるが、測定結果は一番大きなひずみが生じた No. 11 でも  $90 \times 10^{-6}$  程度と小さい値を示している。これは鉄筋をはつり出した際すでに解析と同じ状態にないからであろう。

b) タイロッド締結後、鉄筋ひずみに変化していないのは、タイロッドの締め付けが十分であり、アーチ構造物全体の安定が保たれていることを意味する。

### 7.3. タイロッド張力

a) 掘削によるタイロッド張力はわずかに数(t)増加しているだけで、タイロッドの締結がうまくいっていることがわかる。またタイロッド張力が安定しているということは、アーチ構造物に有害な変形が起きていないことを示している。

b) タイロッド張力の実測値は、65~75 t でほぼ一定値を示しており、このタイロッドは十分その役目は果たしている。

### 7.4. 切梁軸力

a) 掘削によって切梁軸力は増加しており、また掘削後も切梁軸力の増加がみられるが、切梁の許容耐力以下であり安全上の問題は無い。

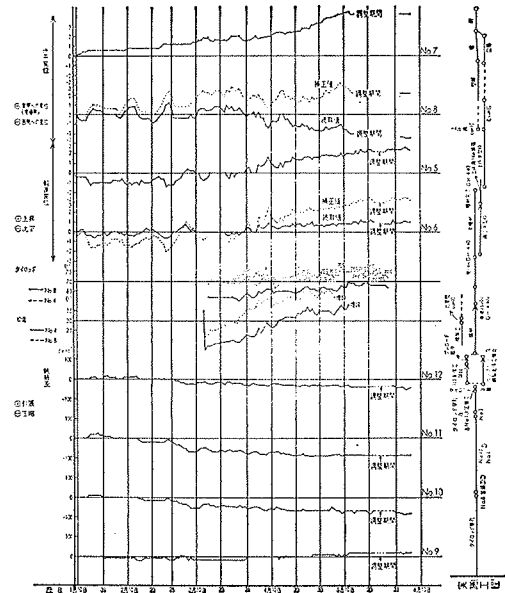


図-17 測定結果

b) 切梁軸力の増加は、掘削による土圧増加だけでは説明がつかないが、この増加分の中には、温度差の影響が含まれているものと思われる。

ここでは紙面の都合で省略したが、土留壁背面の国鉄橋脚基礎の変位も測定している。その結果は、工事期間中に 0~+5mm 浮上しただけである。沈下でなく浮上することになった原因は、土留壁背面の薬液注入と切梁のプレロードによるものと思われる。

## 8. むすび

以上述べてきたことがらをまとめると次のようになる。

アーチ構造物はタイロッド締結によって構造的な安定を保ち、掘削につれて、全体に掘削側に押されながら回転するように変位し、この変位も逆巻き上床版の打設によって落ち着いている。このことは、タイロッド締結後鉄筋応力とタイロッド張力がほぼ一定値を保ち、逆巻き上床版の打設によって、水平・鉛直変位と切梁軸力が落ち着いていることから言えよう。

また、これらの挙動は解析によって推定した挙動とほぼ一致している。

この管理測定においては、これまでの土木工事の常識である cm 単位の管理よりもきびしい mm 単位の管理測定をしたものであり、解析値と測定値とが完全に一致したとは言えないが、少なくとも、mm 単位の管理測定そのものが全体の工事に慎重さを与えて、本工事を成功に導いたことだけは事実である。

最後に、この工事は、大阪市交通局第三建設工事々務所、尾崎所長その他の方々のお指導によって行なわれたものである。ここに記して、深く感謝の意を表します。