

パイプルーフ工法における地盤支保メカニズムの解明

早稲田大学 学生会員 ○平野 貴人

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

尼崎築港株式会社 正会員 岡部 安治

1. 研究背景および目的

都市部の地下工事では、工事現場に近接して既設の構造物が存在することが一般的なので、工事に伴う既設構造物への影響をできる限り小さくすることが要求される。そんな中、山岳トンネル掘削時の補助工法としてパイプルーフ工法が開発された。地盤変状を抑制するとされている本工法の設計は経験的に行っており、地盤変状メカニズムは未だ解明されていない。本工法での内部掘削作業や本体構造物構築を行う際の地下埋設管・構造物、地上部および工事の安全性への影響が懸念され、安全で経済的な設計・施工を行うためにもパイプルーフ工法の地盤変状抑制メカニズムの解明は急務となっている。

そこで本研究では、パイプルーフ工法を用いた工事の現場計測データと現場の施工過程をモデル化した有限要素法（Finite Element Method：以下 FEM）シミュレーションでの解析データを比較することにより、本工法における地盤支保メカニズムを解明することを目的とする。

2. 施工過程概要

前節で述べた課題認識にあたって、本研究ではパイプルーフ工法を都市部の軟弱地盤に適用した具体的工事事例として、2009 年 3 月に開業した阪神西大阪延伸線鉄道工事を取り上げる。本路線は開業時に阪神なんば線と名付けられた。阪神なんば線は阪神西九条駅を起点に、近鉄難波駅に至る建設延長 3.4km の路線である。そのうち、九条駅に近い中央大通り交差部は図 2.1 に示すように阪神高速道路高架の基礎、大阪市交通局鉄道の基礎、水道、下水、電力、NTT、ガスの工作物が輻輳しているため、開削による切りまし工事は困難であった。そのため、パイプルーフ工法が選択された。

図 2.2 は中央大通り交差部における施工部分を西九条側から見た断面図である。パイプルーフ打設後に先進導坑、上半掘削および下半掘削が施工された。図 2.3 は掘削部の平面図上に先進導坑および上半掘削の掘削手順を示したものである。また九条側に近い測点 1・2 の 2 箇所では層別沈下計、傾斜計による 3 次元地盤変状計測が実施され、その他に導坑掘削時に支持杭には軸力計測器が、パイプルーフ No.16,21 鋼管内に鉛直変位計測器が設置されている。



図 2.1 工事位置概要図

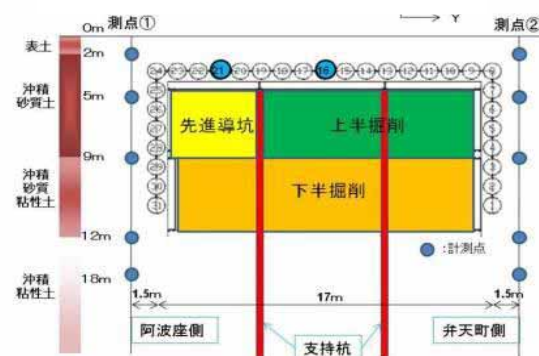


図 2.2 掘削断面図

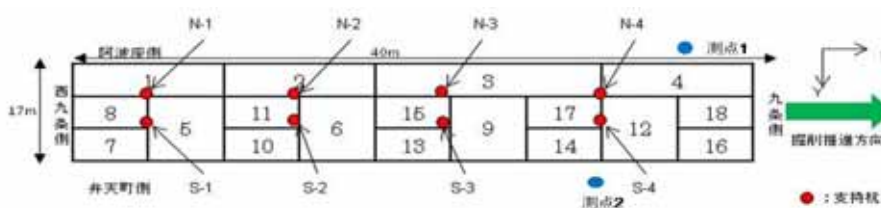


図 2.3 平面図

キーワード パイプルーフ，有限要素法，支保工，

連絡先 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 西早稲田キャンパス 58-205 赤木研究室 TEL03-5286-3405

3. 有限要素法による数値解析シミュレーション

地盤の変位量や地盤内応力を予測するための有力な手法として、FEM がよく知られているため、本研究でも FEM による地盤の変位量を求める解析を全掘削段階について行った。図 3.1 は内部掘削に伴う地盤変状解析に用いた三次元有限要素メッシュ図(要素数 3588, 節点数 4368)である。また、表 3 は解析に用いた材料の材料定数であり、N 値、採取試料の土質試験結果をもとに決定した。本工事では、パイプルーフ挿入前に薬液注入による地盤改良が行われていたため、薬液注人工土も考慮した。解析にあたっては、図 2.3 に示す掘削順序に従い順次要素を除去し、要素除去に伴う応力解放による等価節点力を作用させた時の各測点における変位量を求めた。

また図 3.2 は本研究で用いた掘削前の断面メッシュ図(全メッシュ図)である。自重による初期応力解析後に内部掘削手順に従って掘削要素を除去し、掘削段階ごとに測点 1・2 の変位量を求めた。この数値解析によって得られた解析値を基本(以下、この解析を基本解析と呼ぶ)とし、今回は支持杭の長さを本来の根入れ深さ 26.5 m から根入れ深さ 18m と 12m まで短くした場合と、支持杭のヤング率を基本解析のヤング率を 1 倍としたときに、0.1 倍、10 倍と変化させた場合の FEM シミュレーション解析を行った。

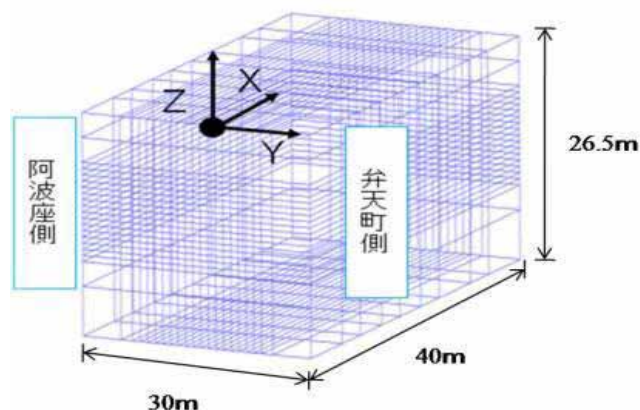


図 3.1 三次元メッシュ図

表 3 各材料のヤング率

材料	ヤング率[kN/m ²]
表土	5.00×10^5
沖積砂質土	2.77×10^5
沖積砂質粘性土	3.46×10^5
沖積粘性土	2.30×10^5
地盤改良土	2.77×10^6
パイプルーフ	7.26×10^8
支持杭	2.71×10^9

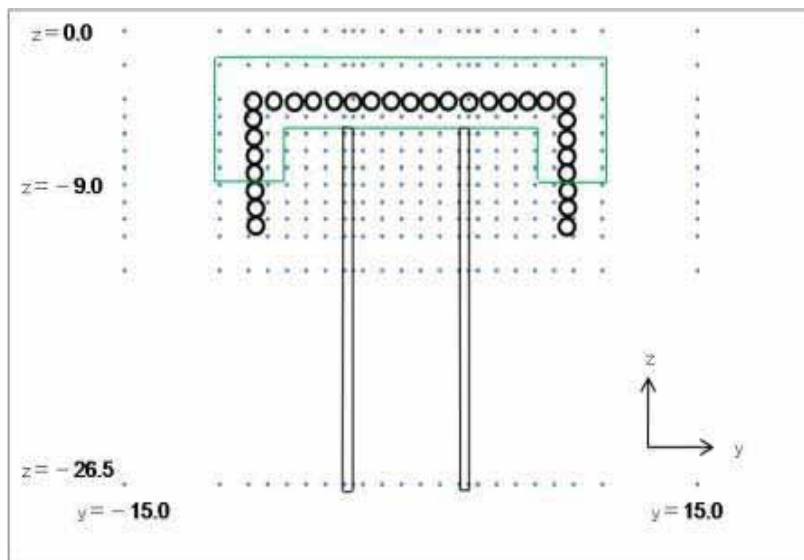


図 3.2 断面メッシュ図(基本解析)

4. 実測値と解析値の比較と考察

(1) 測点変位の比較

図 4.1.1 および図 4.1.2 は下半掘削終了時の測点 1・2 で深度 9m 位置における z 方向沈下量の実測値と各条件での解析値を比較したものである。測点 1・2 とともに最終沈下量は実測値で約 17mm、基本解析値で約 20mm を得られたのに対し、支持杭ヤング率 10 倍解析でも約 15mm と大きな差はなかった。それに対し、支持杭ヤング率 0.1 倍解析では約 37mm と著しい差が生じた。この解析結果から、現場で使用された支持杭の剛性が適切なものであり、この値に満たないものを使用してしまふと急激に大きな沈下量が生じていたことが予測される。

また、支持杭の根入れ深さを 18m、12m まで短くして行った解析では、18m 杭で約 48mm、12m 杭で約 49mm と基本解析値と比較し、大きな沈下量を得られた。しかし、支持杭を短くしたそれぞれに対して沈下量の差は認められなかった。これは、図 2.2 掘削断面図において、深度 12m 付近で沖積砂質粘性土から沖積粘性土になっていることが分かり、根入れ深さ 12m 支持杭底部に存在する沖積砂質粘性土の強度の方がより大きいことから深度 12m より深い位置では支持杭の長さに支配されないためであると考えられる。

(2) 支持杭軸力の比較

図 2.3 平面図における 8 本の支持杭 N-1～N-4、S-1～S-4 では軸力が計測されている。図 4.2.1 および図 4.2.2 は下半掘削終了時の各杭における縦断方向支持杭軸力の実測値と基本解析値を比較したものである。絶対値、分布ともに実測値と解析値に大きな違いが生じた。これは、おもに支持杭周囲の境界条件の違いが関係すると考えられる。実際の現場では支持杭と土には周面摩擦が存在するすべり境界に対し、解析では支持杭と土がそれぞれ独立した要素である固定境界であるために解析値の方が大きな値が得られたと推定される。

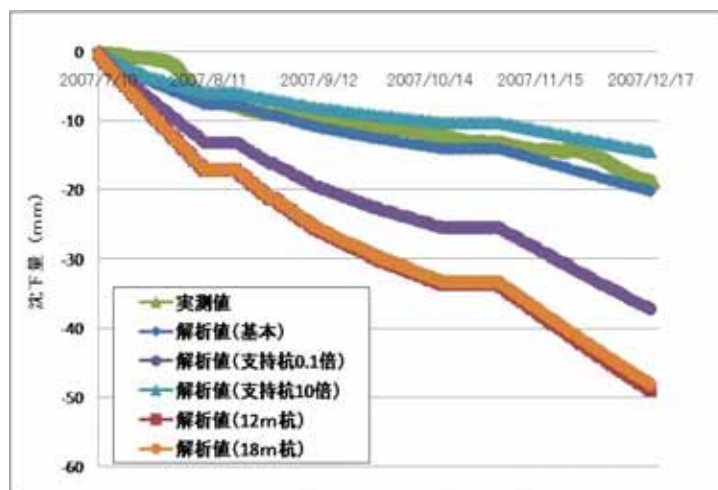


図 4.1.1 沈下量比較図（測点 1 深度 9m）

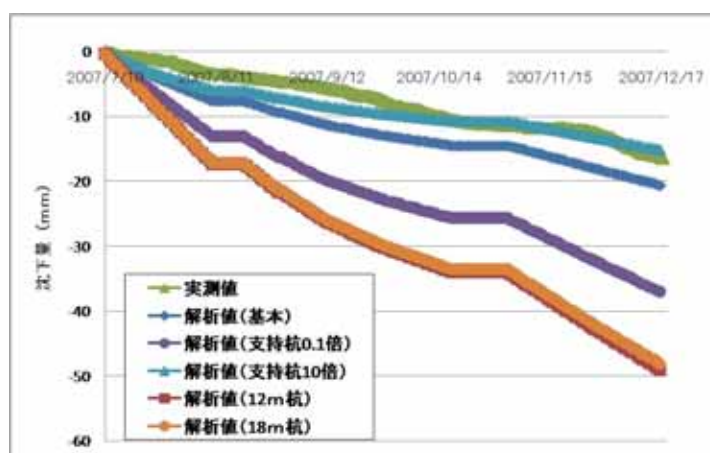


図 4.1.2 沈下量比較図（測点 2 深度 9m）

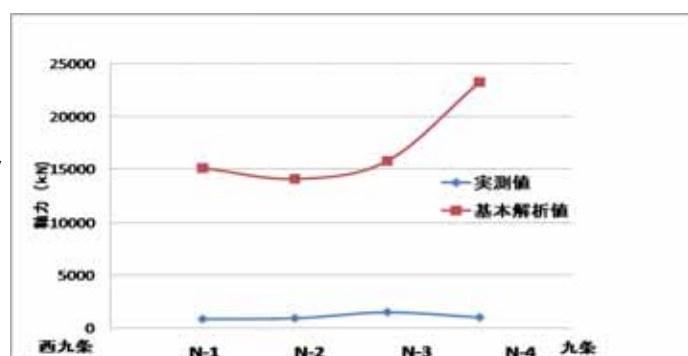


図 4.2.1 縦断方向支持杭軸力（阿波座側）

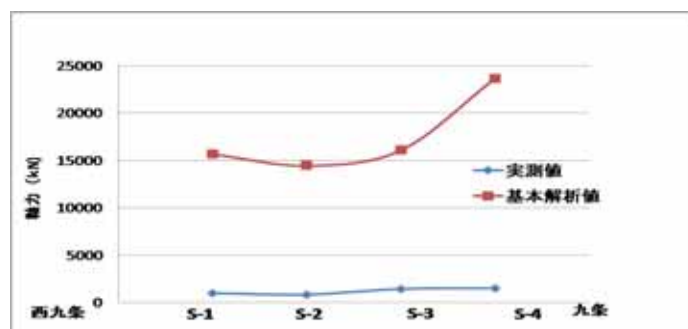


図 4.2.2 縦断方向支持杭軸力（弁天町側）

(3) パイプルーフ変位の比較

図 2.2 掘削断面図において青く記されたパイプルーフ No.16,21 の内部では,図 4.3.1 における N - 1 ~ N - 6 , C - 1 ~ C - 6 の点でパイプルーフ No.16 (C - 1 ~ C - 6) , No.21 (N - 1 ~ N - 6) の鉛直変位が測定されている。図 4.3.2 および図 4.3.3 は下半掘削終了時の各計測点における縦断方向パイプルーフ鉛直変位量の実測値と基本解析値を比較したものである。ここでも変位分布に大きな違いが生じているが,これもまた境界条件の違いが関係すると思われる。実測値では両端支持の梁のような沈下の挙動を示しているが,これは実施工モデルでも各パイプルーフの両端部は支持されているためであり,それに対し今回の解析ではこの両端部を自由状態としている。この影響が前述した支持杭軸力の挙動にも違いが出てくるものと考えられる。

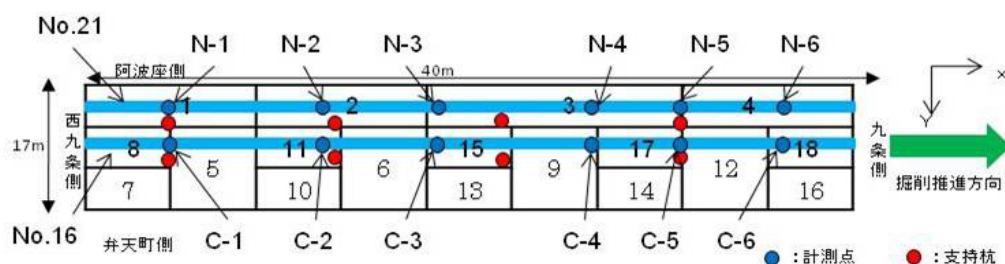


図 4.3.1 パイプルーフ鉛直変位計測点（平面図）

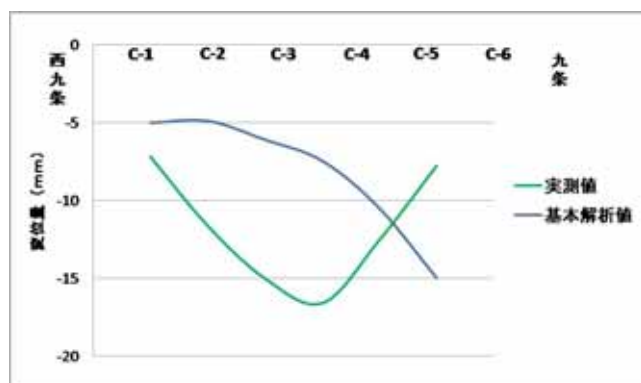


図 4.3.2 縦断方向パイプルーフ No.16 鉛直変位量

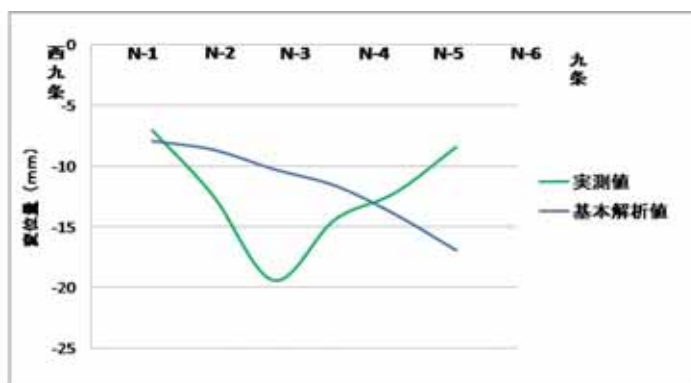


図 4.3.3 縦断方向パイプルーフ No.21 鉛直変位量

5. まとめ

・パイプルーフによる地盤支保性能は,内部支保工の支持杭が大きな役割を果たし,その剛性や杭の長さは現場の地盤強度に応じて適切なものを選び出す必要があると考えられる。

・パイプルーフ端部,支持杭周面などの境界条件を検討していくことで,掘削過程に沿った実施工モデルにより近い解析結果が得られると推定され,パイプルーフによる地盤支保性能を考慮した簡便な設計法を見出すことが期待される。

本研究実施にあたり,地域地盤環境研究所,足立紀尚先生,阪神電鉄木戸洋二様,奥村組関係者各位,千葉工業大学小宮一仁先生にご支援頂いたことに謝意を表します。