

# ジャカルタ地盤沈下観測井への二重管の設置と 施工方法の工夫-利用者視点からの技術の適用-

横倉順治<sup>1</sup>・土屋信行<sup>2</sup>・飯島伸幸<sup>3</sup>・渡辺岳志<sup>4</sup>・水野直人<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 345 八千代エンジニアリング (株) 海外事業部 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8)

<sup>1</sup>jn-yokokura@yachiyo-eng.co.jp <sup>3</sup>ijima@yachiyo-eng.co.jp <sup>4</sup>ts-watanabe@yachiyo-eng.co.jp <sup>5</sup>no-mizuno@yachiyo-eng.co.jp

<sup>2</sup>正会員 公益財団法人リバーフロント研究所 技術参与 (〒104-0033 東京都中央区新川 1-17-24)

<sup>2</sup>boumatijyuku@yahoo.co.jp

ジャカルタでは工場、商業施設による過剰な地下水の汲上げが原因で地盤沈下が進行している。このためインドネシア政府は JICA の協力によりその対策を 2018 年に開始し、沈下の推移を把握するため観測井が建設された。観測方法に関し当初インドネシア側からは、井戸孔内に下げたセンサーで粘土層の圧密状況を電子的に感知するワイヤーエクステンソメーターが提案された。しかしこれには維持管理に難点があることから、日本で長年実績がある二重管方式が採用された。その建設は日本での一般的な施工方法で問題が生じたため、現地施工業者が対応可能な方法を考案した。このような利用者視点からの技術が事業の質向上に貢献している。事業評価でこの点に焦点を当てれば、より具体的な事業の価値判断を可能とし、海外で適用できる技術の質を高めることができる。

**Key Words:** ODA, project evaluation, user's perspective, applicable technology, land subsidence, observation well, double tube

## 1. はじめに

インドネシアの首都ジャカルタは近年の経済成長を背景に、工業・商業施設による過剰な地下水の汲み上げによって地盤沈下が進行している。このためインドネシア政府は日本からの技術協力による地盤沈下対策を 2018 年に開始した。その中で地盤沈下観測の方法については、今後長期間にわたって継続する必要があることから、故障が少なく維持管理が容易なシステムを採用する必要があった。当初ジャカルタ特別州は電子センサーを用いたワイヤーエクステンソメーター（地盤伸縮計）としたいとの意向であった。一方日本側からは構造が単純であり、日本で長期間の使用実績がある二重管方式が提案され、比較検討の結果この方式が採用された。その施工には、当該技術協力が終了した後はインドネシア側が地元技術によって建設することとなるので、日本での一般的な方法ではなく、地元施工業者でも失敗のリスクが低い工法が新たに現地で工夫された。本論文ではこれらの技術が採用されるに至った経緯を説明し、先端技術あるいは日本での汎用技術ではないが、現地環境にあった合理的で適正な技術であることを明らかにした。そしてこのような利用者視点に立った技術を適切に評価することが ODA の質を高めるために必要であることを論じた。

## 2. ジャカルタ地盤沈下とその対策への協力の概要

インドネシアの首都ジャカルタでの地盤沈下は、地下水利用が規制されておらず、工場・モール・ホテルある

いはオフィスビルなどで地下水が過剰に汲上げられていることが原因とされている。特に産業活動が集中する北部でその傾向が著しい。1974 年を基準にすると 2014 年での地盤低下量は最大で 4.1m となっている（図-1）。ジャカルタの 4 割の面積が海拔ゼロメートル以下の低地に位置している状況となった<sup>1)</sup>。

このためジャカルタでは降雨の排水不良に起因する内水被害がほぼ毎年発生している。また海岸堤防の高さが不足している地区では、大潮時に海水が越水する。これらの水害は都市機能の脆弱性を高めている。ジャカルタ首都圏は都市圏人口としては東京首都圏に次ぐ世界第 2 位の規模となっており、ジャカルタの地盤沈下を抑制することは同市民のみならずインドネシアの社会経済にとっても緊急的課題となっている。

このような状況を踏まえインドネシア政府は 2018 年

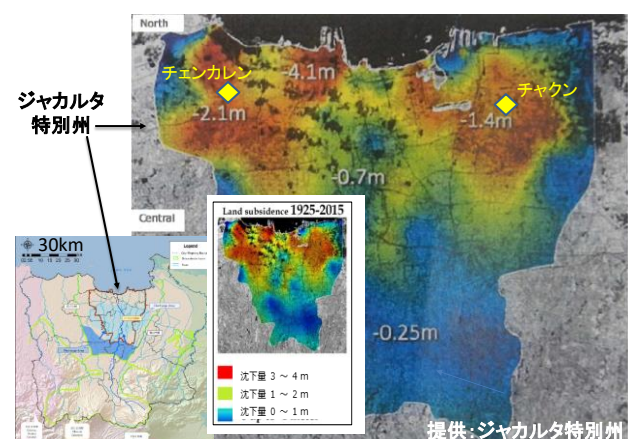


図-1 1974 年～2014 年のジャカルタ特別州における地盤沈下

5月より3年間でJICAの協力により「インドネシア国ジャカルタ地盤沈下対策プロジェクト」を開始した。このプロジェクトはジャカルタの地盤沈下を抑制するための準備段階として位置付けられている。その目標は JICAHP によれば、「ジャカルタ特別州において、地盤沈下対策を推進するための体制が整備され、地盤沈下対策のためのアクションプランを策定することにより、インドネシア側実施機関の人材育成に寄与する。」とされている。

具体的には ①地盤沈下および地下水に関するデータ収集・分析及びデータ管理体制の確立、地盤沈下と地下水揚水の現況把握、およびそれらの関係性の分析、②地盤沈下を抑止するための緩和策の検討と有効性が高い対策（地下水揚水規制など）の試行、③地盤沈下の被害とリスクの調査および適応策（水害対策など）の検討、他である。この中で地盤沈下に関するモニタリング活動として「観測井戸施設の建設と観測の実施及びデータ管理」を実施するために、地盤沈下観測井を建設した。

### 3. 地盤沈下観測井戸設置に関する課題

#### (1) 地盤沈下観測井の形式の選択

地盤沈下の現状と推移を把握するために、観測井がチェンカレンとチャクンの2か所に建設された（図-1）。これらの井戸には、東京都では50年以上観測が継続されているように、堅牢で長期間維持管理が可能なシステムを選択することが必要とされた。

その選択肢としては、ワイヤーエクステンソメーターと二重管の2案が考えられた。ワイヤーエクステンソメーターでは、ヘッドフレームから井戸孔内に下げたセンサーによって粘土層の圧密状況を電子的に感知する。観測精度は高いがいったん故障すると修理が難しい。一本の観測井戸において、圧密する粘土層の数に応じたセンサーを各層の位置に設置する。

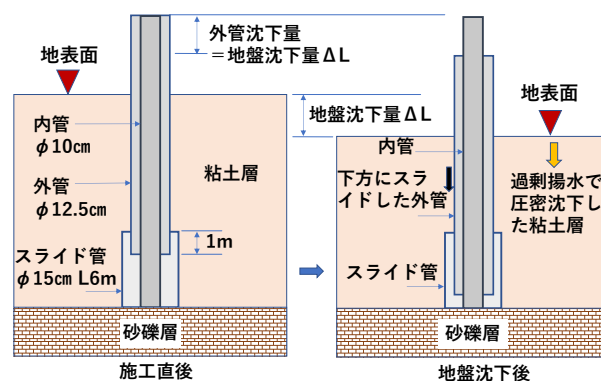
一方二重管では地盤と一体となって沈下する外管と砂礫層まで挿入されて沈下しない内管との差を読む<sup>2)</sup>（図-2）。地盤沈下は帯水層からの過剰な揚水により誘発される粘土層の圧密によって発生する。そこで粘土層の圧密に及ぼす各帯水層の影響の程度を知るために、帯水層の数に応じた井戸数が必要となり、前者と比較して建設費は増大する。一方維持管理が容易である。

それぞれの工法の得失を表-1にまとめた。観測井のシ

ステムとしてインドネシア側からはワイヤーエクステンソメーターとしたいとの要望があった。インドネシア側がこの方式を要望する理由は、①先端技術であって精度の高いデータを得ることができ、②建設費を抑えることができる、とされた。一方日本の調査団は旧式ではあるが二重管が適切であると判断した。理由は、①システムが単純で堅牢であり、メーカーでないと対応できないようなブラックボックスがないため、維持管理が容易である②日本での汎用タイプであり、東京都・東海3県ではこの方式が採用され50年以上の実績がある、とされた。

ジャカルタではワイヤーエクステンソメーターが2018年時点で4か所の観測井に設置されていた。そのうち1989年、2009年、2012年に設置された機器はすべて故障し放置されている。2016年設置の機器は稼働していたが、観測数値に明らかに誤差があった。システムが複雑であり、故障するとメーカーに修理を依頼する必要があるが、外国（オーストラリア）製であることが修理を困難にしている。

観測井は東京都のように長期間使用されると考えられるで、維持管理性において勝る二重管を採用することが適切と考えられた。しかしこの日本側の提案にプロジェクト開始当初はインドネシア側が同意せず課題となった。



二重管の仕組み：二重管はスライド管、内管、外管、の3本からなる。スライド管の底部は管断面と同じ形状の鋼材が溶接されて閉じられ、沈下しない砂礫層上（中）に設置される。粘土層の圧密により地盤沈下が発生すると、外管は沈下する地盤に引っ張られてスライド管の中を降下する。一方内管はスライド管底部に置かれ、かつ地盤と接していないので沈下しない。そこで外管と内管の地表面に出た端部の差が地盤沈下量として目視確認できる。

図-2 二重管観測井による地盤沈下量計測の模式図

表-1 地盤沈下観測井の観測システムの比較

| ワイヤーエクステンソメーター（地盤伸縮計）                                                                                                                                                                                                                      | 二重管                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>長所：</p> <p>一本の井戸で複数の粘土層に関し、各層の沈下量を確認可能。</p> <p>短所：</p> <p>デジタルセンサー式は機器的な故障が発生しやすく、その場合の対応困難。維持管理上のリスクあり。</p> <p>その他：</p> <p>ジャカルタ特別州工業・エネルギー局が設置している4か所の観測井のシステムはすべてこのタイプ。各観測井地点では圧密する粘土層が5層あると考えられたので、1本の観測井で5箇所（深度）にセンサーが設置されている。</p> | <p>長所：</p> <p>構造が単純でアナログ式であり、維持管理上のリスクが少。</p> <p>短所：</p> <p>粘土層の圧密に影響する帯水層の数に応じた井戸が必要。建設各地点では帯水層が3層あることが確認されたので、一か所3本の井戸（30m、150~170m、250~270m）が建設された。</p> <p>その他：</p> <p>東京都と東海3県での地盤沈下観測はこのシステムで実施中。東京都では1952年に江東区亀戸に初の二重管式観測井が設置され、2016年時点では42地点で91の井戸が稼働中<sup>3)</sup></p> |

## (2) 二重管施工方法の工夫

二重管の施工方法は日本ではボーリング機械を用いて、以下のような手順で行われる（図-3）. 同図左より

- 1) スライド管より大きな直径で砂礫層までボーリング孔を掘る. 外管とスライド管をボルト（または鉄線）で結束する（図-4）.
- 2) これをボーリング孔に建て込む（図-5）.
- 3) スライド管がボーリング孔の底に達した後、外管を10センチ程度押し込み、ボルトを破断する.
- 4) 外管の中に内管をスライド管の底まで建て込む.

実際には二重管が最終的に採用され、最初の工事をチェンカレンで実施した. ボルトを2本貫通させて一体化したスライド管と外管の建て込み作業中（上述2）の工程）、スライド管が孔底に到達する前に無理な力が加わりボルトが破断された. そこで、分離したスライド管を深さ250mの孔底に押し込み、砂利を1mの厚さで埋め戻し、その上に新たにスライド管、内管と外管を建て込むこととした.

しかし上述した方法による施工では同様な問題が起ることが危惧された. 二重管の施工はインドネシアでは前例が少なく、工事中的リスク予測が困難な状況下で、当該井戸工事が初体験の地元施工業者でも確実に完成できる施工方法が必要とされた.

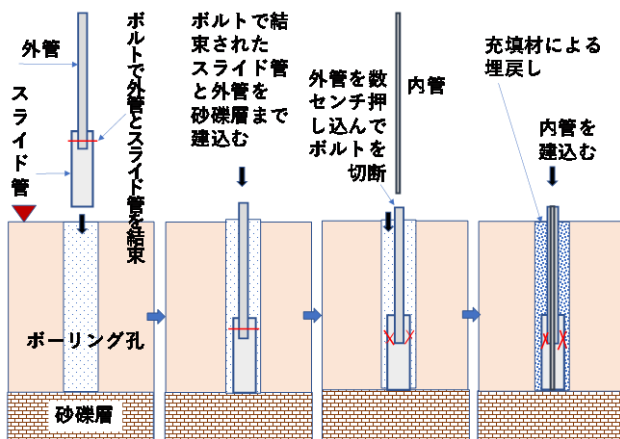


図-3 日本で行われている二重管観測井の施工方法

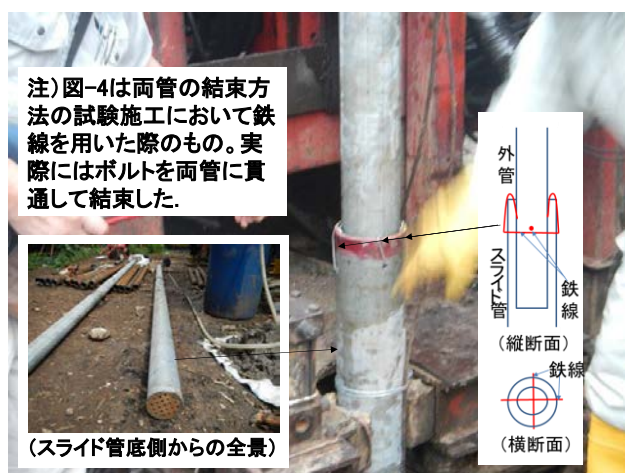


図-4 スライド管と外管を結束した様子

## 4. 解決の方策

### (1) 地盤沈下観測井の形式の選択

プロジェクトが開始された2018年5月に調査団がジャカルタに派遣された際には、インドネシア側と地盤沈下観測井の形式について合意に達しなかった. その後同年10月に公共事業省とジャカルタ特別州政府の職員が日本で視察を行い、二重管を使用している観測井を訪問する機会が準備された. ここで、構造が単純で維持管理が容易でありかつ陳腐化せず、50年以上の実績があることを実際に見て、それがジャカルタでの適正技術であることが理解され、二重管方式が採用することとなった.

### (2) 二重管施工方法の工夫

井戸建設を請け負った地元施工業者の現場技術者より、リスクを回避するための新たな施工方法が提案された（図-6）. 同図左より

- 1) スライド管底に内管端部を溶接して、両管を一体化
- 2) これをボーリング孔に建て込む
- 3) 外管を4) スライド管に挿入する

スライド管と内管は溶接により一体化されているので、確実にこれを孔底まで建て込むことが可能となった. この工法の日本での事例はなく、二重管式観測井の施工における新たなアイデアとなった. これには先進的技術が必要とせず、現地の既存技術による施工が可能である.



図-5 結束されたスライド管と外管の建て込み

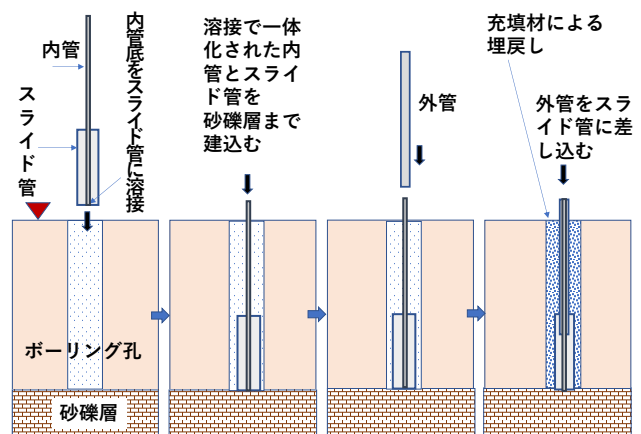


図-6 ジャカルタで工夫された二重管観測井の新たな施工方法

表-2 適用可能な技術がプロジェクト評価に与える影響

| 評価項目  | 二重管による地盤沈下の観測                                         | スライド管・内管溶接による二重管の設置 |
|-------|-------------------------------------------------------|---------------------|
| 妥当性   | 行政機関である DKI と PUPR の地盤沈下対策を促進し、ジャカルタ市民の生活と防災上の安全に裨益する |                     |
| 有効性   | DKI の地盤沈下対策に必要な科学的情報を提供                               | 二重管の施工上のリスクを減少させる   |
| 効率性   | 維持管理上の問題が少ない                                          | 地元業者による施工が可能となる     |
| インパクト | ジャカルタの水害による脆弱性を改善し、インドネシアの他地域での地盤沈下対策にも寄与できる          |                     |
| 持続性   | DKI 技術者による維持管理が可能となる                                  | 現地技術による施工が可能となる     |

この工法によりチェンカレンとチャクンにおいて、二重管式観測井を問題なく建設することができた。

法は利用者視点からの技術としてプロジェクトの評価を向上させているといえる。

### (3) まとめと考察

- 1) ワイヤークステンソメーターと二重管を比較すると前者が先進的技術といえる。しかし先進的技術が必ずしも現地で適用可能な技術とはならない。
- 2) 旧式ではあるが堅牢性・維持管理性に優れた二重管の優位性についてインドネシア側が日本でその実績見たことによって議論が終息した。
- 3) 日本で一般的なボルトによる結束工法を現地で実施したところ施工中に問題が生じた。二重管の施工に経験のない現地施工業者には困難な方法であることが判明し、急遽これに代わる工法を工夫する必要が生じた。
- 4) 現地施工会社の技術者は、自分たちでできる方法として新たにスライド管と内管を溶接する方法を自ら考案、これを実施した。現地技術者のアイデアにより現地で適用可能な技術が考え出された。

## 5. 技術がプロジェクト評価に与える影響

現地で適用可能な技術が DAC 評価指標に与えたと考えられる影響を表-2 にまとめた。本プロジェクトのターゲットグループは、観測井の利用者であるジャカルタ特別州政府（DKI）と公共事業省（PUPR）及び地元施工業者である。二重管観測井と新たに工夫された施工方

## 6. 結論

- 1) 利用者視点に立つ技術が DAC 評価指標である妥当性、有効性、効率性、インパクト、持続性のいずれにも良い効果を与えており、プロジェクトの質の向上に貢献していると考えられる。
- 2) 事業評価で利用者視点に立つ技術に焦点を当てる必要がある。これによってより具体的な事業の価値判断が可能となる。そして技術が事業評価の向上に貢献していることが明らかになれば、我が国技術力をアピールして国際競争力を向上させ、技術者のモチベーションを高めることができる。

### 参考文献

- 1) 国際協力機構：インドネシア国地下水および表流水の統合的管理能力を通じたジャカルタ地盤沈下対策支援プロジェクト詳細計画策定調査報告書、p.vi, 2017
- 2) 川森博史：地盤沈下観測井の構造と作成、地下資源調査所報告第 50 号、1978
- 3) 東京都土木技術支援人材育成センター：平成 28 年地盤沈下調査報告書、2017

(2019. 10. 21 受付)

## APPLICATION OF DOUBLE TUBE METHOD TO JAKARTA'S LAND SUBSIDENCE OBSERVATION WELLS AND ITS CONSTRUCTION METHOD - FOCUSING ON TECHNOLOGY FROM USER'S PERSPECTIVE -

Junji YOKOKURA, Nobuyuki TSUCHIYA, Nobuyuki IJIMA, Takeshi WATANABE and Naoto MIZUNO

In Jakarta, excessive groundwater is being pumped in factories and commercial facilities with the background of recent economic growth. Due to this, land subsidence is in progress. The Indonesian government started its countermeasures in 2018 with cooperation by JICA. Observation wells were constructed to monitor the land subsidence. Initially, the Indonesian side proposed an extensometer that electronically detects the consolidation of clay layers with sensors lowered into the well hole. However, this has difficulty in maintenance, so the double tube method that has been used for many years in Japan was adopted. Regarding its construction, application of the construction method practiced in Japan was not applicable, not matching the local technology. Therefore a method that can be handled by local contractors was devised. This kind of technology from the user's perspective contributes to improving the project quality. By focusing on this point in project evaluation, it becomes possible to make value judgment more substantially and concretely.