

# すさみ串本道路における大口径深礎杭について

尾崎 嘉紀<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 紀勢線出張所（〒649-2621和歌山県西牟婁郡すさみ町周参見2947）

大口径深礎杭は、荷重規模が大きいPCラーメン箱桁橋等でよく用いられる基礎形式である。本基礎形式は、掘削時の湧水に留意する必要があるが、設計段階で矢板による止水工法を選定していたが、現場で止水できない事案が発生した。解決策として薬液注入による遮水を行い、工事が無事完了したが、工事の一時中止・追加対策費が発生することとなった。事業の円滑な実施に向けて今回の経験を踏まえた止水対策・基礎形式選定に関して考察を行う。

キーワード 大口径深礎杭, 湧水, 透水試験, 止水・遮水工法

## 1. はじめに

すさみ串本道路は、紀伊半島沿岸部における大阪府から和歌山県南部地域を結ぶネットワークの一部を構成する道路で、和歌山県東牟婁郡串本町サンゴ台から同県西牟婁郡すさみ町江住に至る19.2kmの自動車専用道路である。このうち路線内には本線橋梁が19橋あり、大口径深礎杭を採用しているのは12橋である。橋脚数で言えば、48橋脚あるうち、28橋脚が大口径深礎杭を採用している。

### (1) 大口径深礎杭の特徴

深礎杭は複数の深礎杭をフーチングで剛結した組杭深礎基礎と単体の柱状体構造である大口径深礎杭とに分類され、大口径深礎杭は橋脚柱と深礎杭が直接結合し、フーチングを設けなくてよいことが特徴である（図-1参照）。

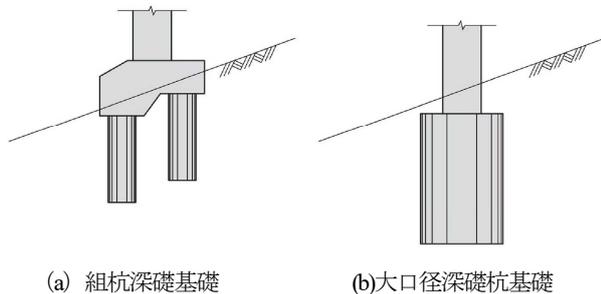


図-1 深礎杭基礎の種類

大型設備が不要であること、ならびにフーチング構築のための土留めが不要となるため、狭隘な場所において作業が可能な工法である。

深礎基礎は、長期的に安定し十分な地盤抵抗を有する支持層に支持させて鉛直荷重に抵抗するとともに、十分な水平抵抗が期待できる長期的に安定した地盤に根入れさせる必要がある。

施工時は、作業者が深礎孔内において掘削機械もしくは人力にて掘削をしながら、順次土留め構造を設置し、掘削後は、配筋・コンクリート打設し施工する。したがって、孔壁の安定が不可欠な工法となる。土留め構造は、自立性の低い又は湧水のある地盤等ではライナープレート、自立性の高い地盤ではモルタルライニングや吹付けコンクリートが用いられている等、構造を使い分けている。孔内の湧水量が多い場合は掘削が困難となるため、施工前に湧水量を推定し、ポンプ等による排水計画、もしくは止水・遮水工法を行い施工する。

## 2. 大口径深礎杭の課題

### (1) 道路橋示方書改定を踏まえた基礎形式の選定

橋梁の基礎形式として、狭い施工ヤードでも比較的大きな基礎を築造できるため、斜面部等に採用の多い大口径深礎杭であるが、比較的長スパンで、基礎が受け持つ荷重が大きい場合については、道路橋示方書の改訂を踏まえて、河川に近い平野部でも最近では採用例が増えている。

#### a) 道路橋示方書の改訂

2012年（平成24年）の道路橋示方書<sup>1)</sup>では、鉄筋コンクリート橋脚の照査としては、曲げ耐力・せん断耐力を有したうえで、塑性率、残留変位が許容塑性率、許容残留変位を下回る必要があった。ここで、塑性率とは変位を降伏変位で除した値のことであり、1以下であれば弾性変形、1を超えると塑性変形することを表している。

2017年（平成29年）の道路橋示方書<sup>2)</sup>改定後は、2012年（平成24年）の道路橋示方書の指標に加えて、鉄筋コンクリート橋脚の水平変位の照査が追加され、実際に発生する水平変位が水平変位の制限値を超えないようにす

る必要がある（道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 8.4(2)1）参照）。ここで、制限値は、余震に対しても直ちには水平耐力の低下が生じない（残留変位が大きくならなければ、地震発生後に速やかな機能の回復が可能である）ことを目標に設定している。

この指標が追加されたことにより、地震時の最大変位を改定前よりも抑える（小さくする）必要が生じる。変形を小さくするためには、橋脚の剛性を高める必要があり、柱断面形状を大きくしたり、鉄筋を密に配筋する必要が生じ、改定前より橋脚規模が大きくなる。

橋梁設計の基本思想として、地震時後の橋の速やかな機能回復を考慮し、一般的に塑性化を許す構造は橋脚とすることが基本である。そのため、基礎の設計にあたっては、橋脚基部に発生する断面力（もしくは橋脚が有している耐力）の1.1倍の設計水平震度で設計する必要がある。前述の橋脚規模が大きくなることに伴い、橋脚基礎の規模も大きくなる。

**b) 基礎形式の選定**

基礎形式は、地盤条件・施工条件を踏まえ、橋梁規模（上部工反力・橋脚諸元）に応じて最適基礎形式を選定しているが、平野部で杭基礎が適している地盤においても、杭基礎とした場合に杭本数が多く用地内に収まらない、状況によっては成立しない（杭本数が多くなるとフ

ーチングが長くなる。→フーチングが長くなると厚さを大きくする必要がある（フーチングは剛体とする必要があるため）。→厚さを大きくすると杭の負担する重量が増える。→さらに杭本数が増える、等イタチごっことなり成立しない）。したがって、従前であれば場所打ち杭φ1500等での杭基礎で成立していた場合でも杭基礎が成立しない状況となる。杭基礎以外の選択肢となると、深礎基礎（大口径深礎杭）、ケーソン基礎、鋼管矢板基礎が考えられるが、鋼管矢板基礎は平面スペースが大きくなり用地内に収まらない、ケーソン基礎は明らかに経済性に劣り、大口径深礎杭よりも施工スペースが必要であることから、大口径深礎杭一択となることが増えてきている。

**c) 止水対策**

大口径深礎杭は、基本的に湧水の無い箇所で行う工法であり、ある程度の湧水であればポンプにより孔外に排出することによりライナープレートによる土留めでも施工可能であるが、湧水が多い場合は別途対策が必要となる。斜面上の深礎基礎設計施工便覧（R3.10）<sup>3</sup>P256より経験的に0.2m<sup>3</sup>/min程度がポンプ排水の限界であり、それ以上の場合は別途止水対策が必要となる。止水対策としては、表-1に示す4工法が考えられる。

第1案の地下水位低下工法は、ディープウェルなどに

表-1 止水工法

|      | 第1案：地下水水位低下工法  | 第2案：薬液注入工法  | 第3案：止水壁工法  | 第4案：鋼矢板工法  |
|------|--|---|--|--|
| 概要   | 地下水位を水中ポンプ等により組み上げ・排水し、周辺地盤の地下水位を低下させる工法である。透水層の透水係数が小さい地盤にも適用可能である。 | 透水層に薬液を注入し、止水を行う工法である。透水性が大きい場合は、セメント系・水ガラス系等の懸濁液型注入材を用いて、透水係数が大きい地盤に適用される。 | 地下水が高く、地山が崩壊して掘削が困難な場合、不透水層まで止水壁を造成し、地下水を遮断してから掘削する。 | 地下水が高く、地山が崩壊して掘削が困難な場合、不透水層まで鋼矢板を圧入し、地下水を遮断してから掘削する。   |
| 概念図  |  |   |  |  |
| 経済性  | 地下水位低下量、期間に左右される。<br><評価：△>  | 透水層の深さ・幅に左右される。<br><評価：△>   | 地上から止水壁を構築するため、経済性は劣る。<br><評価：△>                     | 第3案より経済性に優れる。<br><評価：○>                                |
| 施工性  | 強制的に地下水位を下げた状態で施工するので施工性に優れる。  | 注入幅1.5m程度が必要である。地下水流速がある場合は、薬液が固化しない可能性がある。                                 | 確実に止水できるため、施工性に優れる。                                  | 第3案より簡易的に止水できる工法であり、施工性に優れる。                           |
| その他  | 周辺地盤の沈下・井戸枯れの恐れがあるため、事前調査が必要となる。                                     | 範囲が限定的な場合によく用いられる工法である。   | 地下工事でよく用いられる工法である。                                   | 不透水層が岩盤（クラッシュパイラーによる施工）の場合、岩盤を乱すことにより矢板先端から湧水する可能性がある。 |
| 総合評価 | 周辺環境に影響を及ぼすものがない場合で採用  | 透水層の範囲が限定的な場合に採用  | 透水層の範囲が大きく、周辺地盤に影響を及ぼす案件がある場合に採用                     | 第3案より止水性は劣るが経済性を優先する場合に採用                              |

より地下水をくみ上げて、地下水位を低下させ、孔内に湧水を発生させない工法である。

第2案の薬液注入工法は、透水層に薬液を注入し止水を行い、孔内に湧水を発生させない工法である。

第3案・第4案は 止水壁を築造し地下水位を遮断させる工法であり、第3案：SMWの簡易的に止水する案として第4案：鋼矢板が用いられている。

### 3. 施工時における湧水対策実例

すさみ串本道路において施工時に湧水が発生して対策を行った実例を以下に示す。

#### (1) 橋梁概要・基礎形式

上部工形式はPC3径間連続ラーメン箱桁橋、橋脚基礎は大口径深礎杭を採用している。対象となるP2橋脚は旧河床にあたり伏流水の浸出が想定される個所である。またP2橋脚はJRに近接しており近接施工区分が制限範囲(Ⅲ)となるため、近接対策も考慮する必要がある。

#### (2) 設計時における湧水対策

P2橋脚は、①JRに近接(図-2参照)しておりJRの変状を抑える必要があること、②表層のalc層が難透水性層であり、薬液注入の場合地盤変状の危険性があること、経済性を踏まえて総合的な観点から、JRの変状抑制ならびに地盤変状対策として効果がある止水矢板工法案を採用した(表-2参照)。

#### (3) 施工時における湧水対策

P2橋脚施工時に、湧水が発生して、工事が中断する事案が発生した。工事の状況を以下に示す。

##### a) 工事の流れ

止水矢板は設計と同一長さの16mとし、岩盤への貫入長を設計値の1.0m以上貫入した。

ライナープレートによる大口径深礎杭の掘削については掘削深度下端を掘り進めていたところ、掘削深度15.5m付近から、出水と共に地山の崩壊が生じた。出水量は、100~130m<sup>3</sup>/h程度と多量であったため、いったん工事を中断した(写真-1,2参照)。

##### b) 崩壊原因の分析

矢板施工時に岩盤支持力を確認し、岩盤に貫入したと推定していたが、工事中断後、出水地点について追加ボーリングを行ったところ、岩盤に不陸があり、止水矢板が岩盤まで届いていないことが判明した。上記を踏まえた崩壊メカニズムは図-3に示す通りである。

出水箇所において、鋼矢板が岩盤まで達していないため、鋼矢板以深の掘削を行うと、掘削解放面から地下水の流出に伴い、細粒分が流出し、摩擦抵抗の低減とライナープレート背面に地下水位が滞り、ある程度の量が溜まった時点で、一気に出水し、地山の崩壊を伴ったも

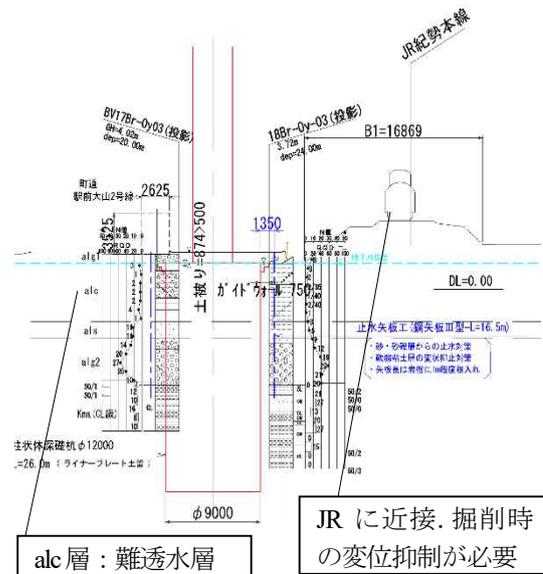


図-2 JR近接図面

表-2 P2橋脚止水対策比較表(設計時点)

|           |           | 薬液注入工法                                 |  | 止水矢板工法 |                                   |
|-----------|-----------|--|--|--------|-----------------------------------|
| 直接工事費(千円) |           | 95,000【1.22】<br>薬注 54,700<br>矢板 40,300 |  | △      | 78,000【1.00】                      |
| 施工性       | 概略工期      | 191日(6.4ヵ月)                            |  | △      | 122日(4.1ヵ月)                       |
|           | JRへの近接影響等 | 地盤変状抑止のため遮断矢板併用矢板打設が制限範囲Ⅲに該当           |  | △      | 矢板打設が制限範囲Ⅲに該当、引抜き可能範囲もあるがJRより残置要請 |
| 総合評価      |           | ○(採用提案)                                |  |        |                                   |



写真-1 P2橋脚の出水状況

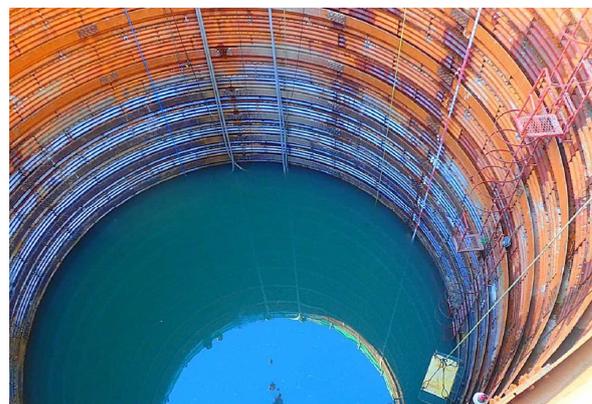


写真-2 P2橋脚の滞水状況

のと想定される。

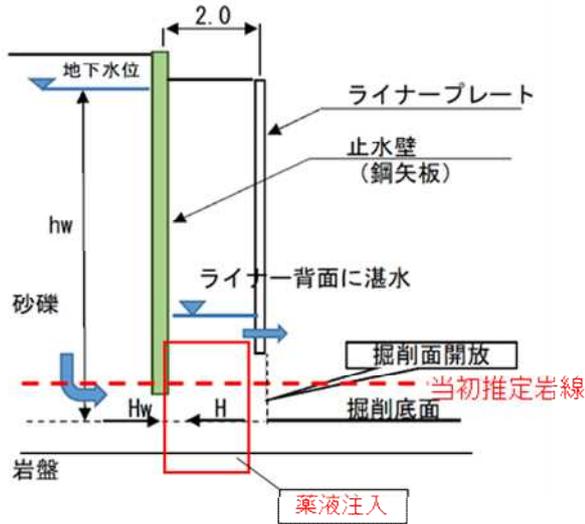


図-3 出水箇所の崩壊メカニズム・対策図

### c) 止水対策

水は一方向を止めても他の箇所から回り込むため、全周にわたっての対策が必要となる。対策案として止水の確実性・経済性を踏まえ、薬液注入工法を採用した。薬液注入範囲は矢板先端から岩盤までの深さ2.5mの範囲とした。本対策により湧水が発生しない状況下で工事が完了した。

## 4. すさみ串本道路の他橋梁の止水対策

すさみ串本道路の他橋梁でも止水対策工法として止水矢板の採用が多く、本事案以降では以下の2項目について施工前に再検討を行った結果、止水矢板で設計されていた全橋脚基礎が薬液注入による止水対策により、無事施工が完了した。

①斜面上の深礎基礎設計施工便覧 (R3.10) を準用し、 $0.2\text{m}^3/\text{min}$ 以上の湧水が確認された場合は止水対策を検討する。湧水量は、透水試験結果、もしくは湧水試験結果より求められた透水係数を用いて、数式解法により湧水量を算出する。湧水量は、「平成23年改訂版土木工事仮設計画ガイドブックⅡ」<sup>4)</sup>P165の図-9.2.11 (解析モデルによる計算条件) に応じて算出式を (式-9.11) ~ (式-9.15) を使い分けて計算する。

②止水対策の工法検討について、岩盤を止水層とする場合は、岩盤に不陸がある可能性があり、クラッシュパイヤによる施工の場合は岩盤を乱す可能性があることから、止水矢板の止水不確実性により薬液注入を基本とする。

## 5 おわりに

すさみ串本道路では、河川近くの堆積層に大口径深礎

杭で設計している場合が多い。河川近くの堆積層は地下水・透水係数が非常に高いため、大口径深礎杭を施工する際には止水対策が必須となっている。

今後は、今回の経験を踏まえて串本太地道路ほか新規路線の統一基準の策定にあたっては、以下の2点を改善しておく必要がある。

### (1) 止水対策工法の基準作成

止水対策として、表-1に示す4案が一般的に用いられているが、架橋地点の状況により対策工事費・工期が異なってくる。止水対策が必要な場合においては、路線内での基準を作成することにより、止水対策方針の統一化ならびに工事の手戻り防止につながる。基準作成にあたっては、すさみ串本道路の各橋梁で止水工法を再検討したように、湧水量、不透水層の地盤条件、透水係数を基本に、近接構造物・周辺地盤条件、掘削底面の安定性を踏まえて方針を策定することが望ましい。

### (2) 止水対策を加味した基礎形式選定

今回の事案は用地確定後で基礎形式が大口径深礎杭しか選択肢がない状態での対策であった。2.(1)で記しているとおり、現在では道路橋示方書改定に伴い基礎工事費が増大する方向である。したがって橋梁予備設計段階で基礎形式を見極めたうえで、橋梁形式・用地境界を確定する必要がある。そのためには、予備設計段階で河川近傍に下部構造を設置する恐れのある場合は、季節や天候などを考慮した調査ボーリング等を実施し、現場透水試験を実施する必要がある。

深礎杭を採用する場合は、湧水量を算出し、対策の有無まで含めた工事費・用地費を算出し、他工法と比較する必要がある。

予備設計時点でジャストボーリングもしくは透水試験が実施できなかった場合は、詳細設計前に調査を実施し、橋梁形式・基礎形式をフィードバックする必要がある。

上記2点を対応することにより、建設プロセス全体の最適化、ならびに施工段階で手戻り防止・適切な積算・事業費算出を図ることができると考える。

謝辞：本論文作成にあたり、多大なるご協力を頂きました皆様に感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(2012.3)(H24.3)
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(2017.11)(H29.11)
- 3) 日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計施工便覧(2021.10)(R3.10)
- 4) 全日本建設技術協会：平成 23 年改訂版土木工事仮設計画ガイドブックⅡ (2011.3)(H23.3)