

すさみ串本道路下部工建設中に発生した 地盤ひび割れに伴う対応について

中西 悠太

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)

本橋梁は、すさみ串本道路における、4径間連続RC床版鋼箱桁である。橋梁詳細設計段階における地質調査での鉛直ボーリングの結果、A1橋台部は、支持層となり得る泥岩主体の岩盤が浅層より確認できたことから直接基礎として計画していた。施工を進めていたところ、橋台の床付け面に鉛直方向の開口ひび割れが確認されたことから有識者からの助言を踏まえ、追加で水平ボーリングを実施した。その結果、鉛直方向の割れ目や角礫状となっている箇所が複数確認され、流入粘土等の狭在物が付着していることから、岩盤が緩んだ状態であると判断し、橋台基礎形式を直接基礎から組杭深礎基礎へと構造変更を行う方針とした。

キーワード 施工時対応, 橋台構造変更, 斜面上の橋台, 組杭深礎

1. はじめに

紀南河川国道事務所では、一般国道42号すさみ串本道路事業を推進している。和歌山県東牟婁郡串本町から西牟婁郡すさみ町に至る19.2kmの自動車専用道路である。この道路が完成することにより、異常気象時の通行規制区間の解消、南海トラフ地震発生時においては、防災・災害時の代替路としての機能が発揮されることが期待されている。

本事業の橋梁の一つ、小河瀬谷川橋は、4径間連続RC床版鋼箱桁橋であり、橋長は183m（支間40m+50m+50m+40m）である。2024年7月、施工中にA1橋台床付け面に鉛直方向の最大幅約25mm、長さ約2.5m程度の開口ひび割れが発見された。なお、ひび割れ深さは粘土などにより計測できない状態であった。

事象の発生を踏まえ、有識者検討会を開催し、設計の見直しが行われた。本稿では、検討結果を踏まえた開口ひび割れの分析・評価、本橋梁の設計における地質調査のあり方、今後の橋台の設計において留意すべき点について報告する。



図-1 位置図

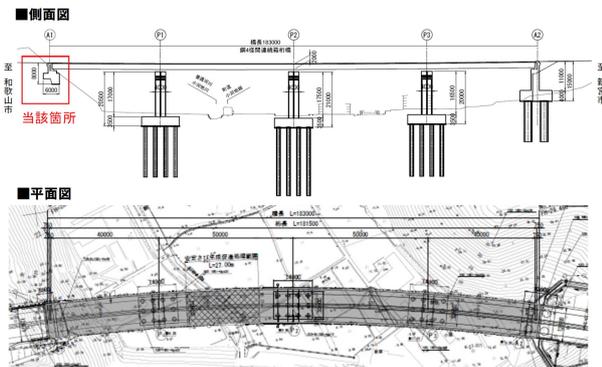


図-2 側面図および平面図

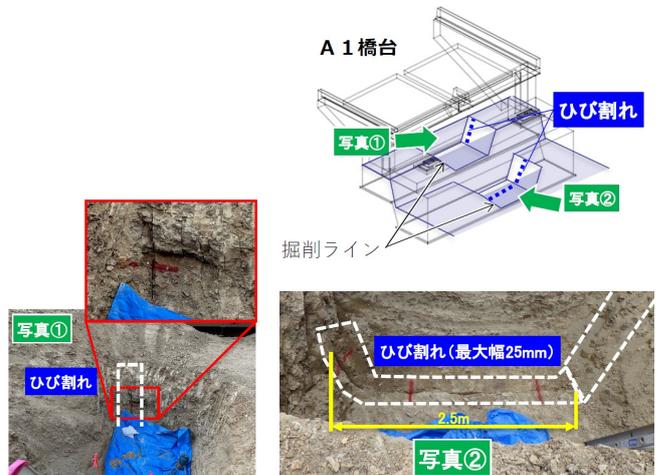


図-3 ひび割れ位置図および写真

2. ひび割れへの対応

(1) 追加ボーリング調査概要

小河瀬谷川橋A1橋台周辺では、平成28年度および平成30年度の地質調査業務にて、鉛直孔2孔のボーリング調査が実施されていた。その結果、橋台基礎の支持層となり得る泥岩のCL級の岩盤が浅層に分布すると評価されていた。

しかし、今回の事象により、開口ひび割れを含めた岩質状況を詳細に把握し、橋台設計の妥当性確認、必要に応じて再設計を行わなければならないことから、追加のボーリング調査を実施することとした。追加のボーリング調査は、ひび割れ状況を面的に把握するために、橋台の4隅や中心部で鉛直ボーリングを5孔、橋台側部と中心の情報を得るために水平ボーリング3孔を実施した。水平孔3本においては、ボアホールカメラでの解析を行った。ボーリング位置については、図4のとおりである。

(2) ボーリング調査結果

開口割れ目は水平孔No. 1～No. 3のボーリングコアを観察した結果、鉛直方向に割れ目が卓越していることが判明した。地表に近い深度で、開口割れ目や角礫状の割れ目が多い傾向にあり（水平孔No. 1：8.3m以浅、水平孔No. 2：10.55m以浅、水平孔No. 3：12.35m以浅）、この境界について、「ゆるみ範囲の下限」と設定した。

また、水平ボーリング結果を評価するにあたり、コアやボアホールカメラで確認された割れ目の性状を4つに分類した。分類表を表1に示す。

(3) ボアホールカメラ解析結果

a) 開口割れ目の連続性の分析

- ① 開口割れ目は、概ね南北方向、東側に80～90度に傾斜する傾向がある。
- ② 水平孔No. 1：深度5.32m (N25W85W)、水平孔No. 2：深度7.65m (N18W89E)、水平孔No. 3：深度7.33m (N7W79E) については、「平面上の位置関係」および「割れ目の方向」が連続していることから、開口割れ目が橋軸直角方向に連続していると判断した。

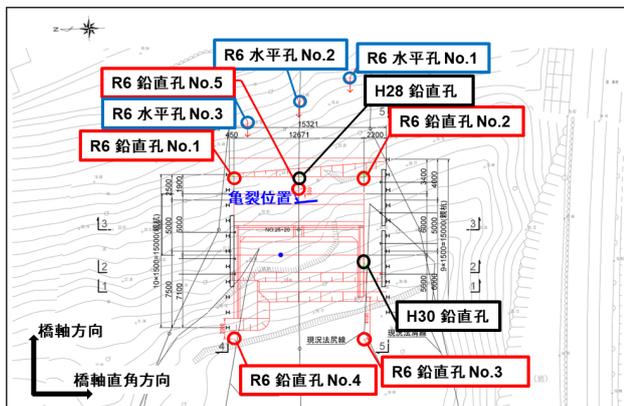


図4 A1橋台周辺のボーリング位置図

表-1 ひび割れ分類表

開口割れ目		密着性がなく、かみ合わせが悪い性状を示す。
角礫状部		開口割れ目より密着性があるが、かみ合わせが悪い亀裂であり、角礫状を呈する。
割れ目		密着性がよく、かみ合わせが良い性状を示す。流入粘土が厚みを持って狭在する場合、フィルム状に付着する場合の二通りの性状が認められる。
黒色脈		初生的に泥岩 (Mms) に含まれている薄層。各種割れ目と組み合わせられていることが多く、そのような箇所では割れ目沿いの劣化や角礫状化が見られる。

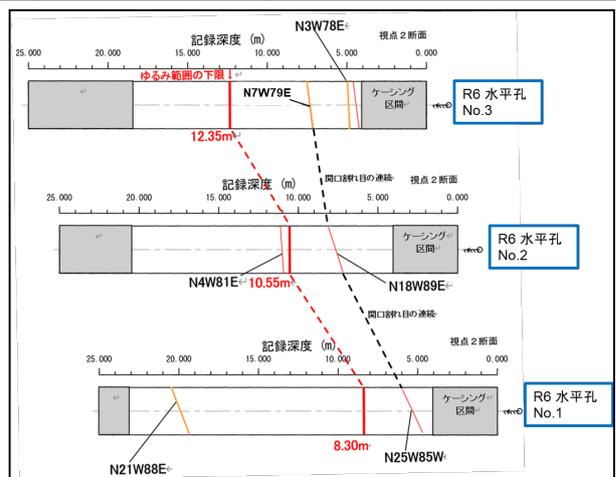


図5 開口割れ目の連続性 (ボアホールカメラ解析結果)

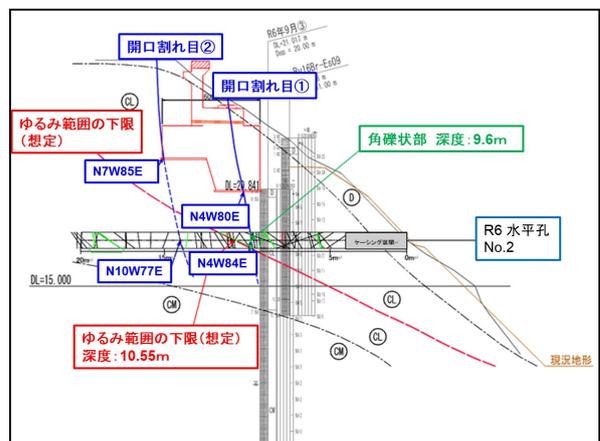


図6 地質断面図 (水平孔 No. 2)

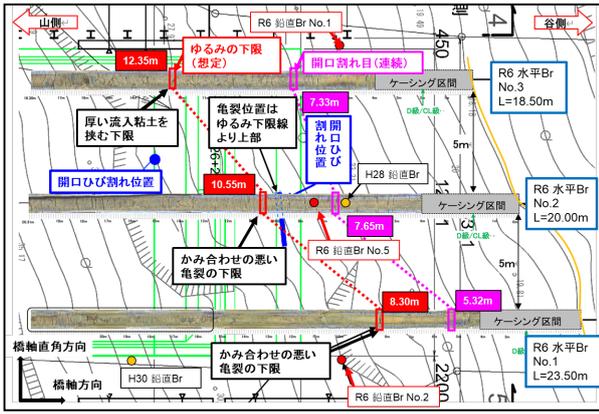


図-7 ゆるみ範囲の平面分布

b) 地質断面図を用いた分析

地質断面図により、ゆるみ範囲、各種割れ目の分布深度および「見かけの傾斜」を図化した。今回、ひび割れ位置の直下である水平孔No.2に着目した。

- ①開口割れ目、角礫状部、割れ目は、概ね東側の高角傾斜（85度～90度）で分布する傾向にある。
- ②深度9.6mで確認された角礫状部（N4W84E）は、ゆるみ範囲内（深度10.55mより浅い深度）に位置する。角礫状部（N4W84E）は、床付け面で確認された開口ひび割れの位置と平面位置、走行傾斜が一致していることから、ひび割れは深部まで生じている。
- ③角礫状部は、ゆるみ範囲内で分布頻度が高く、流入粘土が付着する傾向にある。一方、ゆるみ範囲外の角礫状部は、黒色脈沿いの地質要因で分布しているものであり、割れ目の発達等のゆるみが起因するものではない。

c) ゆるみ範囲の平面分布の分析

- ①ボアホールカメラで確認された性状や4種類の割れ目の構造（走行傾斜）から、ゆるみ範囲内において開口割れ目が橋軸直角方向に連続することが確認された。
- ②ゆるみ範囲の下限線と連続する開口割れ目は、橋台前面の地形にほぼ平行に分布している。したがって、当該地は地形の形状に沿って風化等が進行することで、ゆるみが生じたものであると想定される。

d) 各分析結果のまとめ

- ・地表から水平厚さ8～12m程度あり、その中には連続する開口割れ目がみられる（平面位置と割れ目が一致する）。ゆるみ範囲や各割れ目は、いずれも地形線と平行に南北方向に分布していることから、地表からのゆるみが要因で形成されたことを示唆している。
- ・「ゆるみ範囲の下限」と設定した深度までは、岩盤にゆるみが及んでいる状態と評価される。
- ・ゆるみ範囲とゆるみ範囲外では、割れ目の性状の程度が異なると考えられる。（ゆるみ範囲内：開口割れ目・角礫状部、ゆるみ範囲外：割れ目）。
- ・分析結果から、一般的なCL級岩盤に相当する範囲においても、ゆるみの有無による違いが生じていることが

判明した。

(3) 橋台基礎としての岩盤健全性の評価

解析結果を踏まえた橋台基礎としての岩盤健全評価は次のとおりとなった。

まず、岩盤状態の評価である。ゆるみ範囲内では、「鉛直方向の割れ目」が複数確認された。そのうち床付け面で確認された開口ひび割れは、位置と走行傾斜がほぼ一致するため、No.2孔の9.55mに連続すると考えられる。また、ボアホールスキャナの結果では、開口していないものの、ひび割れ沿いは岩片同士のかみ合わせが悪く、流入粘土等の狭在物が付着したり、角礫状を呈するため、岩盤がゆるんだ状態であると判定した。なお、当該地では、地すべりや崩壊といった、ある範囲でブロック状に変動するような現象は認められなかった。

次に、橋台基礎としての評価である。開口ひび割れの一つが施工基面で確認されているが、上記のとおり、「鉛直方向ひび割れ」が地山内に複数あり、かつ地盤が全体的にゆるんでいることから、ゆるみ下限線より上側には、同様の開口ひび割れが多く内在していることが想定される。このようなゆるみ岩盤は橋台直接基礎の支持層としては不適であると考えられる。

以上の評価結果を踏まえ、小河瀬谷川橋A1橋台については、ゆるみ岩盤より下層の安定した岩盤に支持させるため、基礎形式を直接基礎から組杭深礎基礎へと構造変更を行い対応する方針とした。

3. 調査結果を踏まえた基礎形式選定の妥当性

(1) 不適切な基礎形式を選定した場合

今回、小河瀬谷川橋A1橋台では、施工中開口ひび割れが発見されたことにより、再調査の上、構造形式を変更することとなったが、仮に直接基礎のまま供用した場合に想定されるリスクについて検討する。

例えば、豪雨や大規模地震が発生した場合、地盤変状に伴い、橋台の側方移動が懸念される。そして、最悪の場合、橋台が安定性を失い、傾くなどすることで落橋の危険がある。また、橋台が動くことと橋梁本体への影響だけでなく、橋台が動いた分、橋台背面盛土もずれるため、土工部の盛土が崩壊する可能性が考えられる。

また、橋台形式を深礎基礎に変更する際、仮に組杭配列ではなく、単列配列にしていた場合においても同様の橋台の変状被害が発生することが考えられる。

(2) 橋台の安定性が失われた事例

上記で述べたような被害が実際に発生した事例について以下に示す。

小河瀬谷川橋A1橋台と同様に、斜面上の直接基礎の被災事例として、H28熊本地震の阿蘇長陽大橋の直接基礎橋台があげられる。平成28年（2016年）熊本地震土木施

設被害調査報告¹⁾によると、被害状況は次のように記録されている。「A1橋台は北側の地山は大きく崩壊していた。A1橋台は、中央部に損傷が生じており、基礎部分の直下も土砂が流出していた。A1橋台は2m近く下方に移動し、上部構造と橋台が衝突し橋台及び桁端部が破壊していることが確認された。またA1橋台周辺の土工部も大きく変状していた。」これは、大規模地震による斜面崩壊に伴い、直接基礎が大きく変位したものであり、小河瀬谷川橋においても同様の被害が発生する恐れがあった。

また、単列深礎基礎の被害事例として、能登半島地震の七海3号橋があげられる。七海3号橋の単列深礎基礎橋台では、地震による地盤変状に伴い、橋台が変状してしまう被害が発生した。一方で、組杭深礎基礎の此木高架橋においては、七海3号橋と同様に能登半島地震による地盤変状が発生したものの、橋台については、無傷であった。これらの事例は、組杭配列した深礎杭で支持させることの有効性が証明された事例と言える。

4. 地質リスクについて

(1) 地質リスクでの評価

すさみ串本道路においては、地質リスク検討業務が行われており、小河瀬谷川橋A1橋台においては、平成28年地質リスク検討業務において、地質リスク要因：風化帯、発生事象：支持層の不陸、施工時掘削背面の不安定化であるとして、リスク評価C（対応方針：リスク保有、施工時対応）との評価となっていた。その後、ボーリング調査結果を踏まえて、平成30年の再評価の調査結果は、風化帯（D級）の層厚は3mであり、その下位には軟岩（CL級）が分布していることから、支持層としては深度約3.5m以深に分布するCL級岩盤が適するというものであった。確認された風化帯の層厚は約3mと厚く、N値も3、13、23と低くなっており、対応方針として、橋台背面掘削時の法面対策が必要となるため、リスク再評価はBに変更されている。

(2) 地質リスクの有用性

地質リスクで実施した内容については、後続業務実施時に参考となっていることから有用性はあると考えられる。一方で、本来手戻りや問題を修正するためのコストや工期が縮減できるはずの地質リスク調査だが、今回の小河瀬谷川橋A1橋台において、橋台設計の見直しが必要となっている。しかし、今回の調査段階においては、周辺の地山が動く、地すべりや崩壊などに至るということもなく、岩盤のゆるみも調査時の鉛直ボーリングでは見つかっていなかったため、ひび割れの手がかりとなる情報を得ることは厳しいと考えられる。

今回の事象からもわかるように、設計や施工前の調査では得られる情報に限界があり、施工段階へと進むにつれて新たに判明する情報量が増加する。そこで、不確実

性を有する地質、地盤においては、今回の斜面上の橋台のように、過去の事例から災害時の弱点となりうる箇所、設計の見直しや手戻りが発生した箇所に類似している場合については、事業の初期段階である地質リスク評価時に、重点的な調査を行うことで、より適切な評価が可能となり、地質リスク調査の有用性が高まると考えられる。

5. 今後の橋台設計における留意点について

小河瀬谷川橋A1橋台においては、施工中に発見された開口ひび割れから、基礎形式の変更に至った。設計の見直しや工期の延長によるコストの増大、災害時の被災リスクの増大などの問題の発生を低減させるため、調査段階において次のような対策を講じることを提案する。

本橋台のように、斜面上の橋台であり、災害時に斜面変状の影響が考えられる場所については、基礎形式、設置位置等の選定が重要となる。そこで地質調査を行う段階においてボーリング調査の充実を図り、縦のひび割れが多いことを地質リスクと認識することが重要であると考える。小河瀬谷川橋A1橋台においては、地質調査段階では、橋台設置位置に2本の鉛直ボーリングを実施していた。しかし、それだけのボーリング調査では、十分な情報を得られない可能性がある。そこで、地質調査段階においては、次のような対策を提案する。

- ①岩盤の変化を面的に把握するため、鉛直ボーリングを橋台前面の2箇所、背面1箇所の合計3箇所以上で実施すること。
- ②岩盤の性状をよく把握するために、地すべり調査時のようにボーリング径をφ66からφ86に拡大すること。
- ③リスク要因となる縦方向のひび割れの見逃しを少なくするため、1箇所以上の水平ボーリングを実施すること。

これらの対策のうち、斜面での橋台基礎部においては③を優先し、これが難しい場合は、①、②を組み合わせることが効率的かつ、効果的であると考えられる。そして、その情報から考慮される地質リスクを設計に確実に反映させることが重要となる。

また、斜面上の橋台に関しては、前述した能登半島地震の事例をはじめとする、過去の大規模地震や豪雨災害などの被災状況を踏まえて、容易に直接基礎とするべきではないと考える。斜面上での橋台設置が避けられない場合については、変形等が生じにくいとされる、組杭深礎基礎を基本設計として採用することを提案する。

謝辞：本論文の執筆に際し、関係者の皆様には多大なるご助言とご協力を賜りましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所資料 土木研究所資料：平成 28 年（2016 年）熊本地震土木施設被害調査報