

四国横断自動車道における 軟弱地盤対策について

徳島河川国道事務所 道路調査課
徳島河川国道事務所 道路調査課長
徳島河川国道事務所 道路調査課道路調査係長

瀬尾 朋弘
横田 直紀
松尾 怜

当事務所で整備を進めている「四国横断自動車道（阿南～徳島東）」において、盛土部のランプ函渠に局所的な軟弱地盤が原因とされる不同沈下が発生した。また、周辺の施工済み函渠箇所においても軟弱地盤の存在が確認され、今後の施工も踏まえ効果的な地盤対策が必要となった。

本件について有識者も交え対策工法選定等を審議した結果、不同沈下構造物復元特殊工法（JOG工法）及び鋼矢板工法で、構造物の沈下復元、地盤補強及び液状化対策を施すことになった。本稿では、その内容について報告する。

キーワード 軟弱地盤、函渠の不同沈下、液状化対策

1. はじめに

四国横断自動車道（阿南～徳島東）は、四国8の字ネットワークの一部を形成する高規格道路であり、当事務所において新直轄方式にて事業を進めているものである。

当事業の小松島IC（仮称）付近の小松島市前原地区では、平成28年5月、盛土部のランプ函渠において最大沈下量160mmの極めて局所的な沈下が確認され、その周辺地区も含め対策を行う必要が生じた。

2. 沈下発生状況について

この函渠は本線を横断するON、OFFランプが通過するものであり、延長44.2m、高さ9.3m、全幅19.3m、3ブロックで構成されている。

平成19年にボーリング調査を事前に行っており、平成27年10月に工事着手し、平板載荷試験及び簡易支持力測定試験を実施し施工に問題ないことを確認したうえで、順次鉄筋組み立てコンクリート打設の施工を経て、平成28年5月18日に頂版コンクリートの打設を行ったところ、徐々に函渠の沈下が確認された。頂版部の目地の開き、端部の沈下を確認し、最終的には最西の端部ブロック（3ブロック）では最大沈下量160mm、目地の開き45mm（写真-1、図-1）を確認した。



写真-1 位置図

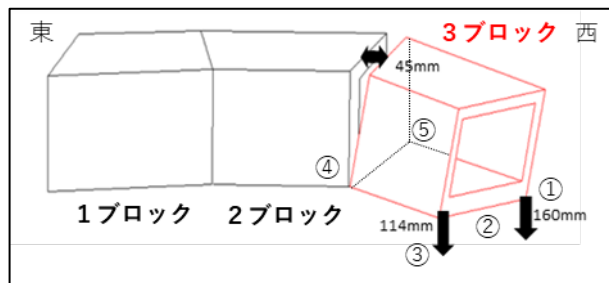


図-1 施工後の沈下状況

沈下の発生直後から3ブロック底盤部で沈下量計測を実施した。（図-2）

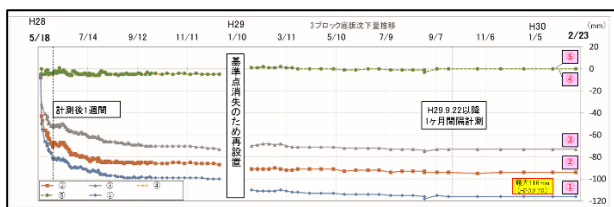


図-2 沈下計測結果

図-2はその結果であるが、2、3ブロックの目地箇所（④、⑤）ではほとんど沈下が見られなかったが、函渠端部の①～③では、1週間で急激な沈下を呈し、特に①での沈下量が大きく、最大70mm程度の不同沈下を確認した。平成30年2月時点には116mmの沈下を確認し、最終的には、令和2年7月末時点で沈下量160mmの沈下の進行を確認した。

3. 周辺の地盤状況

前原地区及び隣接の田浦地区では、勝浦川の氾濫原堆積により未固結堆積層が覆う地層が堆積している。また、勝浦川の氾濫にて形成された優良な砂利があり、過去に砂利を採取し山土等で埋戻したことを地元ヒアリングで把握した。図-3はこの埋戻した範囲を地元ヒアリングを元に概略的に示したものである。埋戻し土は、かなり広範囲に分布しており、この範囲においては、土の締め固めが不十分であることから、地盤の支持力が不足する状態になっていると考えた。沈下したランプ函渠はこの範囲には入っていないが、新たに行ったボーリング調査（図-4）の結果から、砂利採取跡地（b3層）による局所的な沈下を招いたものと考えた。

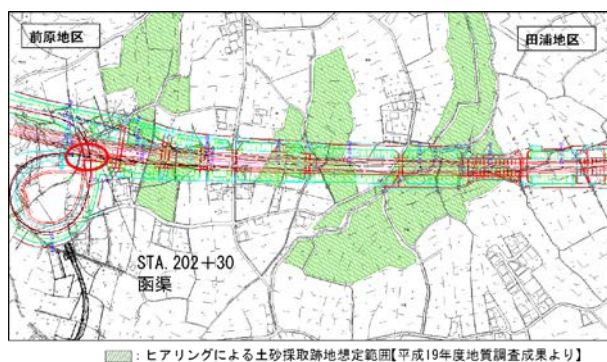


図-3 想定される軟弱地盤分布

4. 委員会について

前述のように軟弱地盤の影響が今回のランプ函渠沈下箇所のみにとどまらず広範囲にわたることが考えられ、より専門的な検討が必要であるとの判断から、地盤工学の専門家から構成される「軟弱地盤対策技術検討委員会」（以下、委員会）を設立し、対策方針の検討を進めることとした。

委員会では主に以下の内容について検討を進め、その

決定に基づき現地での対策を行った。

- ・周辺地域の軟弱地盤把握のための調査内容の検討
- ・沈下した函渠の原因と対策の検討
- ・盛土部、函渠部の地震時液状化対策の検討

5. 調査実施について

周辺地域の軟弱地盤の分布域と土性を確認するため、対策工検討に必要な、現地における各種調査を実施した。調査項目は次の3項目（①～③）のとおりである。また、実施した土性調査結果を図-4に示す。

- ① 物理探査
高密度表面波探査と地中レーダ探査を実施。地盤の緩み範囲、浅部（深度2m程度）の埋土と地山の境界を確認
- ② PDC試験 軟弱地盤の土性や深度の確認
- ③ ボーリング調査
コア採取による土質の直接観察、埋土と沖積層の液状化判定などを実施

6. 施工済み函渠における対策について

（1）施工工法の選定

沈下が確認されたランプ函渠は建築限界を侵し、車両通行不能となる可能性もあり、地盤補強により沈下を抑制、または元の高さに復元する対策工法について、施工性及び経済性等で工法比較を行い、委員会での審議のうえ選定した。（表-1）

表-1 沈下対策工法比較表

対策	① JOG工法	② 大口径高圧噴射工法	③ 高圧噴射工法
下地	全周掘削・底盤補強	全周掘削・底盤補強	全周掘削・底盤補強
二油砂	全周掘削・底盤補強	全周掘削・底盤補強	全周掘削・底盤補強
評価	掘削範囲あり、締固めは必要である。	締固めは必要。	締固めは必要。掘削はあってもはるかに必要。

① JOG工法

小口径Φ40mmの削孔で底盤下面にグラウト注入し、地盤補強しながら沈下復元が可能である。

② 大口径高圧噴射工法

外周の改良のみで、底盤全体の改良ができず、底盤両端で支え構造解析が必要となり高価となる。

③ 高圧噴射工法

高圧噴射のパイプ設置ため、底盤鉄筋の切断を最小限の削孔200mm配置としても、応力検討が必要となり高価となる。

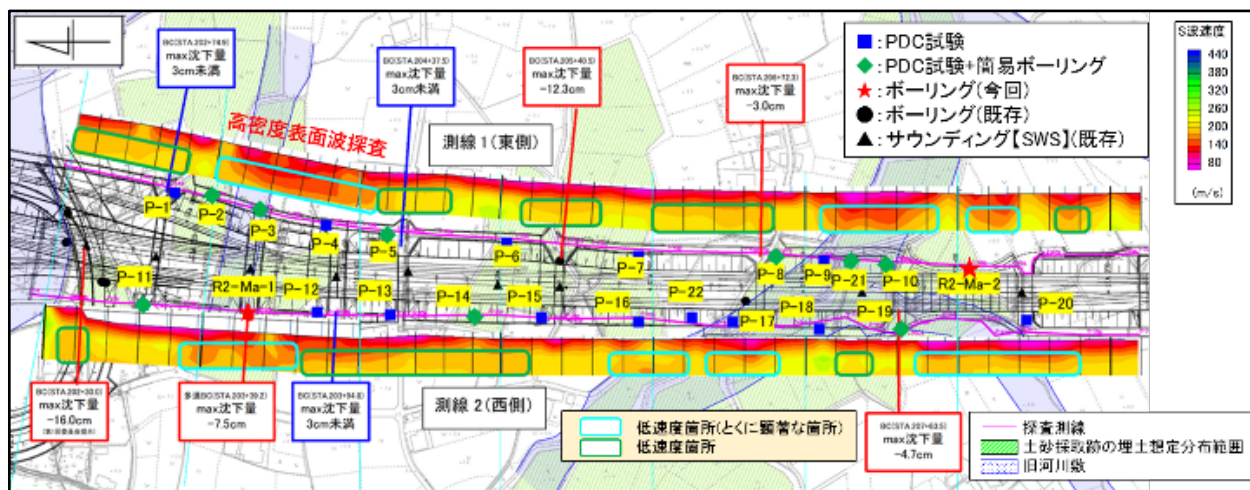


図-4 土性調査結果

上記より施工性、経済性に優れる①案のJOG工法を選定した。なお、当該地域には沈下が確認されたランプ函渠以外に施工済みの函渠4基で沈下が確認されたが、図-4の土性調査の結果から沈下は収束しており、進行性は低いと評価したこと、沈下量が小さいことから、前後の高さ調整で対応可能として、この4基の函渠本体の対策は不要とした。

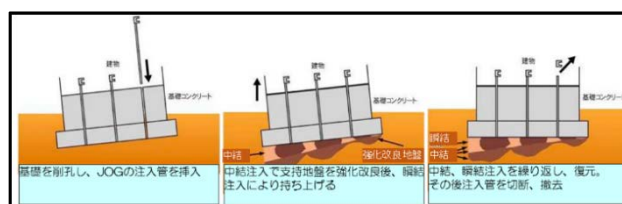


図-5 JOG工法概要

(2) JOG工法の概要

JOG工法の概要を図-5に示す。

正式名称は「不同沈下構造物復元特殊工法」といい、JOGは「Jacking on Grout」の略称である。沈下した函渠の底盤部を削孔、注入管を挿入し、軟弱な埋戻し層を固結改良したあと、その上部では削孔部から瞬結注入を行うもので、これらを繰り返し行い、徐々に函渠を持ち上げる工法である。



写真-2 JOG工法による施工状況（削孔・注入）

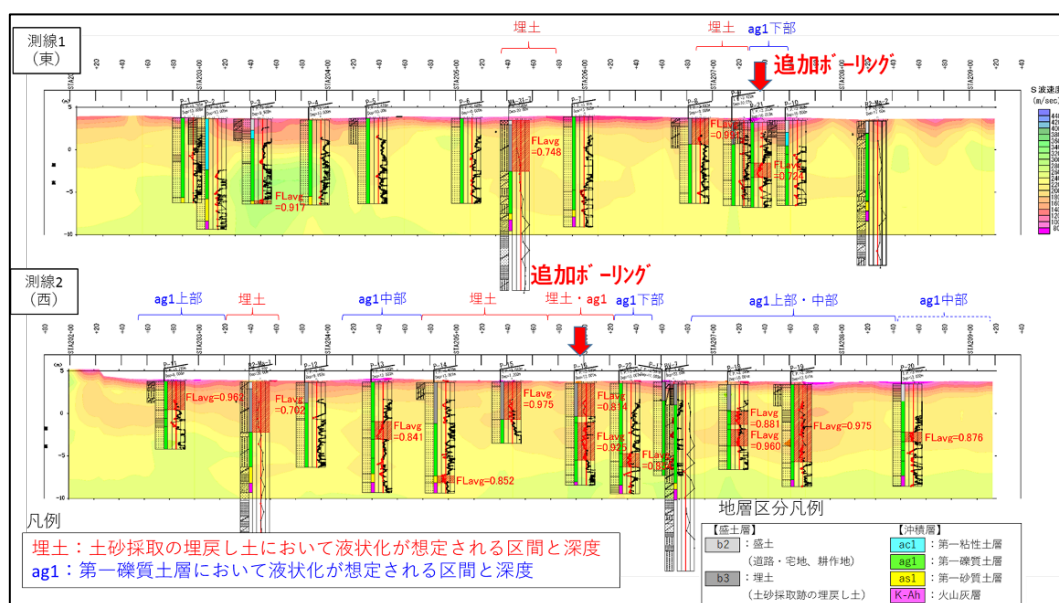


図-6 土性調査結果（縦断）

7. 地震時における盛土の液状化対策について

この地域では、沈下したランプ函渠のほかにも盛土や函渠の施工が進んでいる箇所もあり、これらの盛土、函渠の地震時における液状化対策についても検討する必要が生じた。図-6は、5.で示した物理探査、PDC試験の結果を縦断的に示したものである。この結果に基づき、7断面において盛土に対する安定評価を行ったところ、表-2に示すように2断面で基準安全率を満足しない結果が得られた。そこで追加ボーリング調査を行い、その結果から再計算を行ったところ、1断面で安全率を満足しない結果となった。

表-2 再解析検討結果

測線	道路横断代表断面	最小安全率	安定計算結果	再計算結果
測線1(東側測線)	207+20	0.742	NG	1.116 → OK
	202+60	1.021	OK	—
	204+20	1.157	OK	—
	205+80	0.555	NG	0.872 → NG
測線2(西側測線)	206+20	1.084	OK	—
	206+80	1.013	OK	—
	208+60	1.232	OK	—

(1) 盛土の液状化対策工法の選定

対策工法の比較選定にあたり、表-2の解析検討で得られた結果から施工済みの盛土に適した対策工法であることが大きな着目点となる。その点を踏まえ、次の表-3に示すように、既設盛土の影響なく施工が可能かつ経済性に優れた鋼矢板工法を、委員会での審議のうえ、選定した。

対策工の範囲は、埋土分布の不均一性、地質調査結果および解析検討結果を考慮し、基準安全率を満足しない区間に加え、土砂採取跡の埋土想定分布範囲を含めて要対策区間とした。また要対策箇所に応じて、鋼矢板長を11.5mから12.0mに見直しを行っている。また、支持地盤が埋土となっている施工済み函渠の液状化対策として、盛土部と同様に函渠端部に鋼矢板を設置することとした。

(2) 液状化対策工法(鋼矢板工法)の概要

鋼矢板工法は、液状化発生の可能性がある地盤上における盛土構造物に対し、法尻付近に非液状化層まで根入れた鋼矢板を設置することにより、地盤の変形を抑制し盛土構造物の被害を低減する工法である。(図-7)

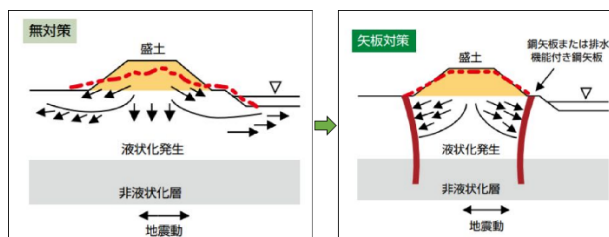


図-7 鋼矢板工法概要¹⁾

また工事は令和4年2月に開始し、6月現在施工中である。(写真-3)



写真-3 鋼矢板施工状況

8. 終わりに

今回の事例では、事前に地盤調査を実施し必要な地耐力が満足していることを確認したうえで函渠設計、施工を行ったが、施工後に函渠の局所的な不同沈下が発生したものである。本編で紹介したようにその後の調査、検討で安全な構造物を施工することができたが、あらかじめ詳細な調査を実施し対応を検討しておくことで、事業の手戻りなどのリスクを軽減することが可能と思われ、今後の事業にも反映していきたい。

参考文献

- 1) 鋼矢板工法概要：鋼管杭・鋼矢板技術協会「鋼矢板を用いた液状化・耐震対策」

表-3 液状化対策比較表

工法名	締め固め工法 (サンドコンパクションバイブル工法)	締め固め工法 (中層混合処理工法)	鋼矢板工法	ジオンセディックス液状化変形抑制工法 NETIS TH140012-A
断面図	砂杭挿入 盛土 b3層(軟弱層) 非液状化層	図略 盛土 b3層 非液状化層	矢板対策 盛土 鋼矢板または排水機能付き鋼矢板 液状化発生 非液状化層 地震動	図略 盛土 b3層 非液状化層 ジオンセディックス液状化変形抑制工法
評価	△ 既設盛土を一箇全部撤去する必要がある。	△ 既設盛土をほとんど撤去する必要がある。	○ 既設盛土に影響なく施工可能であり、経済性に優れる。	△ 既設盛土を一箇全部撤去する必要がある。