大口径深礎杭施工における亀裂性硬質玄武岩質溶岩から発生した大量湧水に対する対策工法の報告

Report on the countermeasures for the occurence of springs in the execution of large diameter caisson pile due to cracked hard Basaltic lava

小島　一郎*　佐山　裕之**　木内　聰***
Ichiro Kojima　Hiroyuki Sayama　So Kinouchi
宮澤　亮***　土屋　光弘*****　細川　毅****
Ryo Miyazawa　Mitsuhiro Tsuchiya　Tsuyoshi Hosokawa

要　約

富士山を供給源とする溶岩流が分布する地質条件において計画された大口径深礎杭の施工中に発生した2,500 L/分の湧水に対する抑制工法として止水注入（1次対策，2次対策，3次対策）を行った．

本論文では，止水注入後に施工した大口径深礎杭の水中不分離性コンクリートの配合計画と試験施工結果および実施工結果について報告するものである．

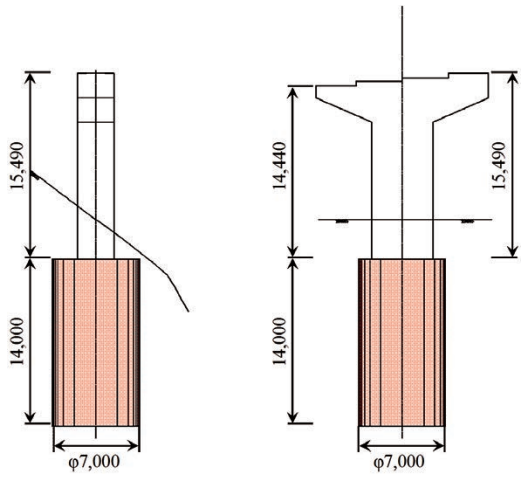
目　次

§1.　はじめに
§2.　地質概要
§3.　掘削中の湧水発生状況と深礎杭下端までの湧水対策（1次対策と2次対策）
§4.　湧水抑制対策と水中不分離性コンクリートの採用
§5.　まとめ

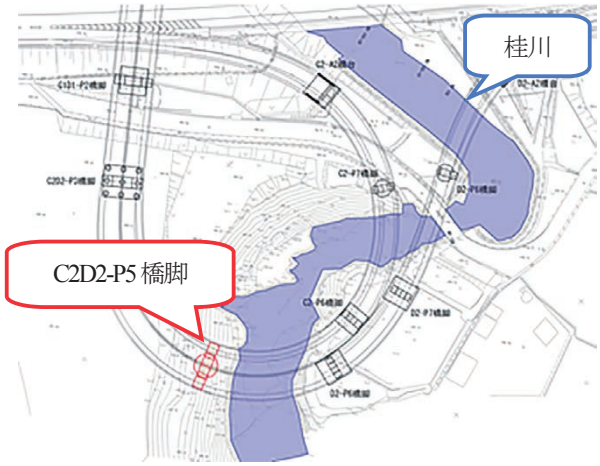
§1.　はじめに

本工事は，富士吉田西桂スマートIC（フル・インター）における中央自動車道富士吉田線下り線側の橋梁下部工を新設する工事である．亀裂性硬質玄武岩質溶岩が分布する地質条件において，大口径深礎杭工法により，橋梁下部工を施工した（**図―1**）．本報告では，亀裂性硬質玄武岩質溶岩を掘削中に発生した2,500 L/分の湧水に対する対策工法の報告を行う．

本工事のうち，C2D2-P5橋脚の基礎については，一級河川である桂川に近接する平面位置に，大口径深礎杭（ϕ 7.0 m）が採用されていた（**図―2**）．



図―1　C2D2-P5 橋脚　構造図

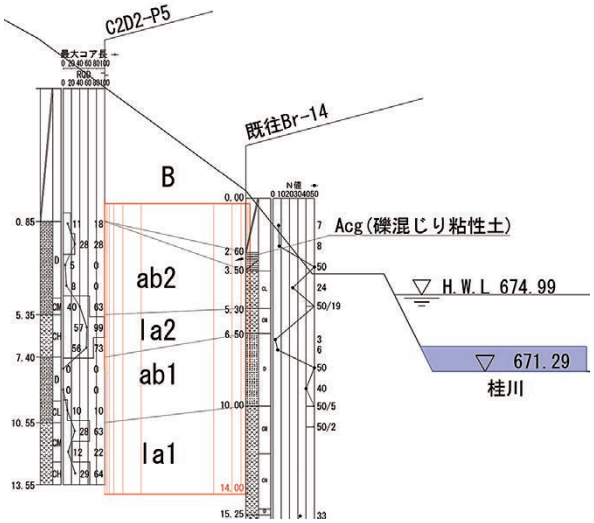


図―2　橋脚配置図

*　関東土木(支)富士吉田(出)(現：梶ケ谷工事事務所)
**　関東土木(支)富士吉田(出)（現：東急宮崎台(出)）
***　関東土木(支)富士吉田(出)(現：大和付加車線(出))
****　土木設計部設計一課（現：北日本（支）土木技術課）
*****土木設計部設計一課

§2. 地質概要

図―3 に示すように大口径深礎杭（φ7.0 m）を施工する場所は，一級河川の桂川に近接した谷地形であり，富士山を供給源とする溶岩流が分布する地質条件となっている．大口径深礎杭を施工する範囲の溶岩は自破砕部（ab2，ab1）と塊状部（la2，la1）に区分されるが，両地質ともに亀裂が多く（**表―1**），桂川に近接した施工条件からも湧水の発生が懸念されていた．



図―3　地質断面図

表―1　地質条件

記号	地層区分	写真
B	盛土・埋土層	
ab2	第2溶岩自破砕部	
la2	第2溶岩塊状部	
ab1	第1溶岩自破砕部	
la1	第1溶岩塊状部	
mf1	下部泥流堆積物	

§3. 掘削中の湧水発生状況と深礎杭下端までの湧水対策（1 次対策と 2 次対策）

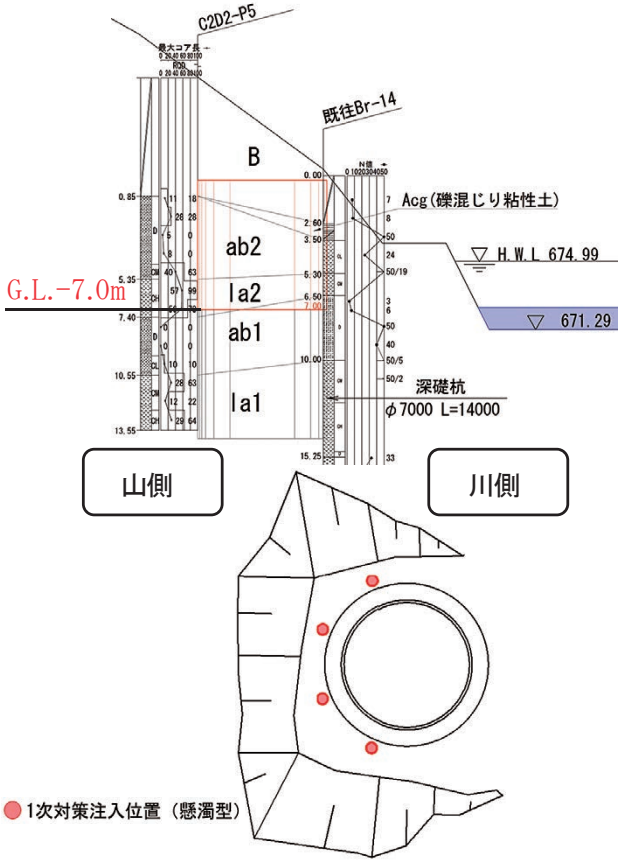
発破を併用した大口径深礎杭の掘削を進めたところ，自破砕溶岩（ab2）と塊状溶岩（la1）の層境付近（G.L-7.0 m）より 1 回目の湧水（q＝約 250 L/分）が発生した．

湧水に対する 1 次対策として，懸濁型注入材による止水注入を行った（**図―4**）．

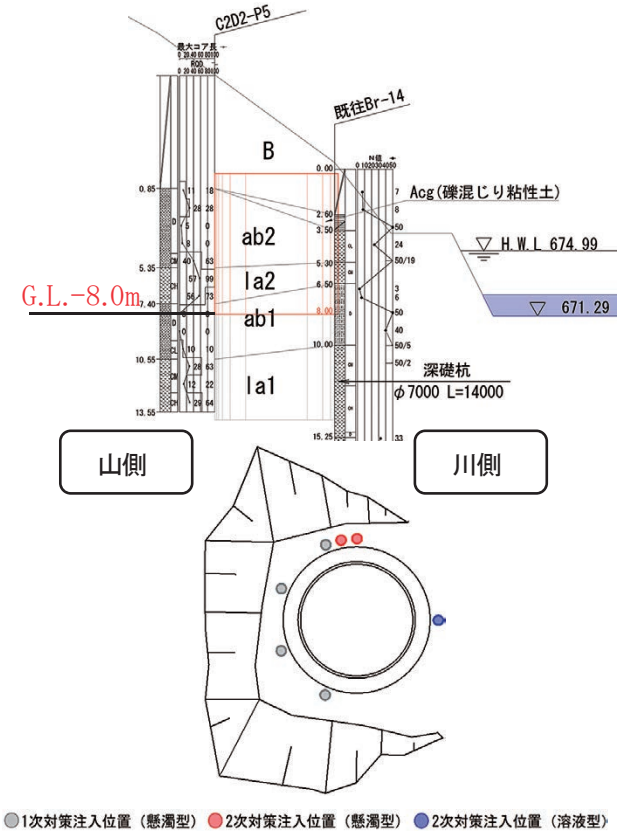
山側より 4 本の止水注入を行った結果，湧水量が減少（q＝74 L/分）したため，掘削を再開した．

1 次対策後，G.L-8.0 m 付近まで掘削を行った段階で，再び湧水量が q＝約 650 L/分と増加し，掘削作業を継続できない状況となったことから，2 次対策として，**図―5** に示すように，山側は懸濁型・川側は溶液型注入材による止水注入を行った．

山側 2 本，川側 1 本の止水注入を行った結果，湧水量が減少（q＝60 L/分）したため，掘削を再開した．



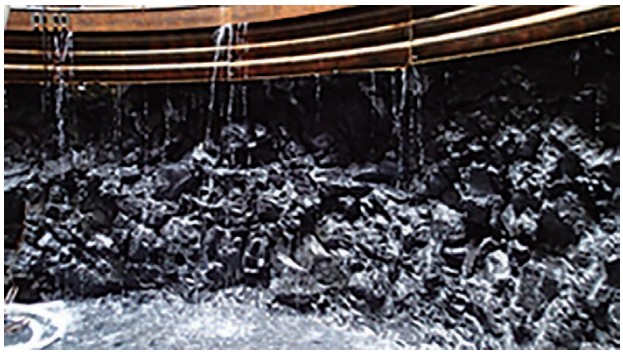
図―4　1 次対策平面図（懸濁型）



図―5　2 次対策施工図（懸濁型・溶液型の併用）

2 次対策後，掘削が進むにつれ湧水量も増加したものの，排水設備を増強し，深礎杭 14.0 m の掘削および鉄筋の組立を完了した．

ただし，支持層付近からは**写真―1** に示すように湧水（q＝約 2,500 L/分）が発生しており，次工程のコンクリート打設において，材料分離のない品質の良いコンクリートを施工するための湧水対策が課題となった．



写真―1　支持層付近（底版下面）湧水状況

§4. 湧水抑制対策と水中不分離性コンクリートの採用

4―1　薬液注入による湧水抑制対策（3 次対策）

支持層付近の湧水を抑制するため，la1 層（第 1 溶岩塊状部）を対象として，薬液注入（3 次対策）を実施する計画とした（**図―6**，**図―7**）．

薬液注入は，地下水の流速の影響等を考慮し，瞬結タイプによる単相式溶液型（ゲルタイム 2～5 sec，厚さ 1.0 m の脈状注入，注入間隔 2.0 m，材料名シリカライザー）を選定し，近傍の桂川に薬液が流出しないよう圧力管理（初期圧：＋0.3 Mpa，上限圧力：1.0 Mpa）を行い，施工することとした．

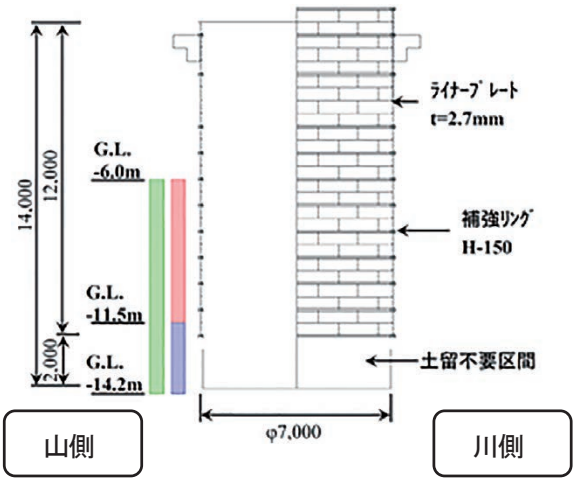
薬液注入の効果により，湧水量が q＝2,500 L/分から q＝2,000 L/分と 500 L/分減少したものの，支持層付近からの湧水対策としては十分な効果が得られなかった．そこで，抜本的な対策として，水中不分離性コンクリートによる施工に変更した．

4―2　水中不分離性コンクリートによる深礎杭の施工

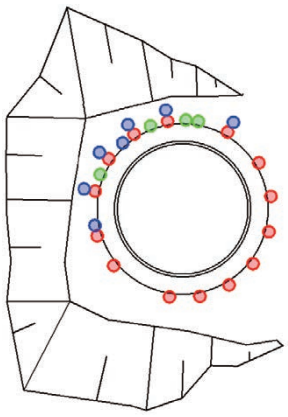
(1)　水中不分離性コンクリートの配合

水中不分離性コンクリートの配合を決定するため，室内試験練りを行った．

配合設計はコンクリート標準示方書[1] および実施プラントの実績より，水セメント比 W/C49.2％の B 配合を中心とした 3 配合で行った（**表―2**，**表―3**）．B 配合に対しそれぞれ，A 配合は水セメント比 W/C を 5％低減させたもの，C 配合は水セメント比 W/C を 5％増加させたものである．水セメント比 W/C±5％の増減に合わせて，細骨材率 s/a を±1％変動させた．



図―6　3 次対策施工断面図（溶液型）



注入範囲
G.L.－ 6.0m～11.5m　G.L.－11.5m～14.2m　G.L.－ 6.0m～14.2m

図―7　3 次対策施工平面図（溶液型）

表―2　室内試験練り配合一覧表

配合		A	B	C
ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰの範囲（％）		60±3	60±3	60±3
空気量の範囲（％）		4.0以下	4.0以下	4.0以下
W/C（％）		44.2	49.2	54.2
s/a（％）		39	40	41
単位量（kg/m³）	W	230	230	230
	C	520	467	424
	S	588	621	652
	G	920	931	939
	水中不分離剤	2.5	2.5	2.5
	高性能減水剤	4.67	4.67	4.67

表―3　使用した混和剤

材料名	化学混和剤①	化学混和剤②	化学混和剤③
種類	AE減水剤 標準型	水中不分離 混和剤	水中不分離 混和剤（助剤）
	マスター ポゾリス78P	アスカクリーン	マスターグレ ニューム930
生産者	BASFジャパン㈱	信越化学工業㈱	BASFジャパン㈱

室内試験練りの結果を**表―4**に示す．全ての配合において，圧縮強度，水中・気中強度比，空気量の規格値を満足したが，A・C配合はスランプフローの基準60±3 cmを満足しなかったためB配合を採用した．

表―4　室内試験練り結果一覧表

配合			A	B	C
W/C（%）			44.2	49.2	54.2
s/a（%）			39	40	41
ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ（cm）			56.5	57.0	56.6
空気量（%）			1.6	2.0	1.7
con温度（℃）			20	18	19
圧縮強度（N/mm²）	σ7	気中	27.5	23.7	20.5
		水中	23.8	21.1	18.3
		強度比	86.5	89.0	89.2
	σ28	気中	41.2	35.8	31.2
		水中	37.1	31.9	27.9
		強度比	90.0	89.1	89.4

今回の施工では，現地で生コン車内に混和剤を添加する計画を行っていたので，B配合について同様の方法で実機練りを行った．

表―5に示すように，実機練りについても，室内試験練りの結果とほぼ同等の結果であることを確認した．

表―5　実機練り試験結果

配合			B
W/C（%）			49.2
s/a（%）			40
ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ（cm）			58.5
空気量（%）			2.6
con温度（℃）			15
圧縮強度（N/mm²）	σ7	気中	22.0
		水中	21.4
		強度比	97.3
	σ28	気中	33.9
		水中	30.8
		強度比	90.8

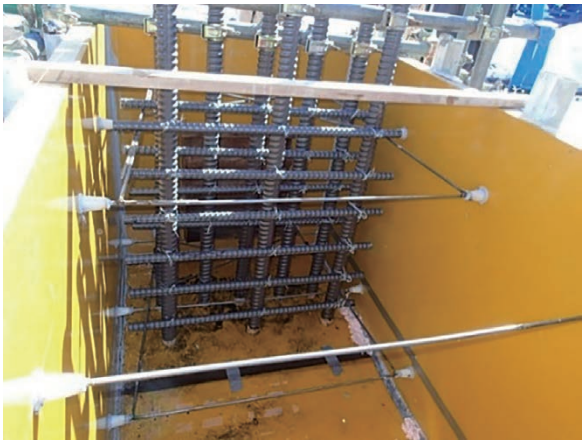
(2)　試験施工による充填性と分離抵抗性の確認

水中不分離性コンクリートの採用にあたり課題となったのが，2段配筋となっている深礎杭外周付近の充填性および分離抵抗性の確保であった．

これらを確認するため，実物大（長さ7 m×幅1 m×高さ1 m）の型枠（**写真―2**）を用いて試験施工を実施した．

試験施工では，型枠の中央（深礎杭中心）から水中不分離性コンクリートを打設し，実施工において設置する主筋（外側D51@183，内側D51@350）およびライナープレート背面の状況から充填性を評価するものとした．

写真―3に示すように鉄筋背面およびライナープレートの裏面まで水中不分離性コンクリートが充填されていることを確認した．

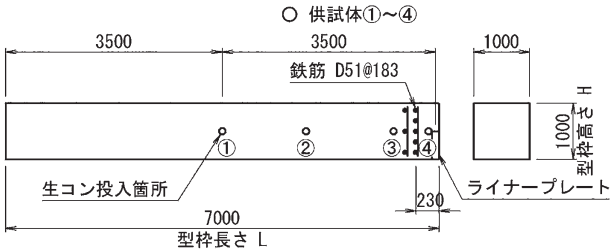


写真―2　試験施工型枠

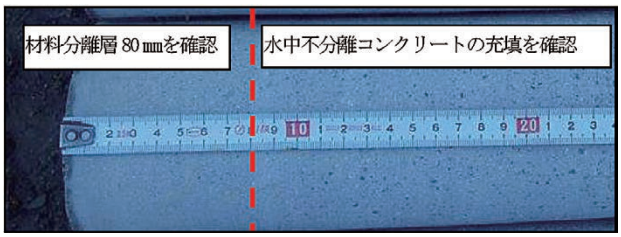
写真―3　充填確認

また，材料分離抵抗性を確認するため，**図―8**に示す位置にてコアを4本（①～④）採取し，コンクリート表層付近の材料分離状況を確認した（**写真―4**）．

表―6に示すように，平均で打設高さの10%程度が材料分離層であることが確認された．この結果より，実施工における打設高さを10%程度割増し7.0 mから7.5 mに変更する計画とした．



図―8　試験施工平面図



写真―4　供試体④の材料分離状況

表－6　材料分離層測定結果

供試体	①	②	③	④	平均
分離層厚(mm)	50	70	170	80	93
割合（%）	5.0	7.0	17.0	8.0	9.3

(3)　実施工

実施工では，地下水流速の影響を軽減するため，深礎杭内部を G.L.-6.0 m まで水張りし，また，材料分離を抑制するためφ7.0 mの深礎杭に 6 吋のトレミー管を 4 本設置し（**写真－5**），コンクリートポンプ車のブーム操作により順次コンクリートを投入することで，コンクリートの水平流動距離を短縮する計画とした．

写真－5　トレミー管配置状況

配管内のスランプロスが懸念されたため，コンクリートのスランプフローについては，60 cm 確保することを目標とした．

コンクリートの充填性は G.L.-8.0 m～11.5 m に設置したコンクリート充填検知システム（ジューテンダー）により確認し，打設高さの確認はハンドレッドにより行った．

ジューテンダーによる記録とハンドレッドによる打設高の記録がほぼ一致しており，ジューテンダーは正常に機能していたと考えられる．

計画天端付近でコンクリートが河川へ流出することが懸念されたため，コンクリート打設時は周囲監視を行っていたが幸いコンクリートの流出は確認されなかった．

写真－6　コンクリート打設架台

打設数量は設計 288.5 m^3 に対し，実施 320.0 m^3 であった．これは発破を併用して掘削を行っていたため，内空が設計より大きくなっていたためと考えられる．

打設速度の計画は 23.4 m^3/h であったが，実施工では 18.3 m^3/h であった．これは，施工箇所が特異な地形であり（**写真－6**），打設作業において種々の制限があったこと，コンクリートの粘性が想定以上に大きく，配管内の閉塞がおき，閉塞解消のために配管の解体作業を行ったことや，コンクリートの打設が深夜に及んだため，稼働するミキサー車の台数が減少したことが原因と考えている．

§5.　まとめ

コンクリート硬化後，材料分離層を確認するためコア抜きを実施した結果，試験施工と同程度の約 13%の材料分離層が確認されたため，材料分離層を除去し残工程を無事完了した．

今回の施工は当社として初めて大口径深礎杭に水中不分離性コンクリートを使用した事例であり，計画・実施の段階において正解を模索しながらの施工となった．材料分離層の低減について課題が残ったが，今回の事例が今後の同種工事の参考となれば幸いである．

謝辞．本工事の計画・施工にあたり，ご指導・ご協力いただきました多くの関係各位に深く感謝の意を申し上げます．

参考文献

1）土木学会コンクリート標準示方書（施工編），2012