

4. 本復旧のための調査及び試験

鉛直PC鋼棒の損傷箇所及び損傷メカニズムを推定するため、表4.1に示す調査を実施した。

表 4.1 鉛直 PC 鋼棒の損傷状況及び損傷メカニズム等に関する調査項目一覧表

調査項目		調査・試験数量	調査・試験内容
4.1 A2橋台の上部工突起部及び下部工突起部に関する調査			
4.1.1	構造に関する調査	—	上部工突起部・下部工突起部の構造確認
4.1.2	塩分量に関する調査	コンクリートコア5箇所 滞水2検体, 堆積土砂3検体	コンクリートや滞水、堆積土砂の塩化物イオン量調査
4.1.3	圧縮強度試験	コンクリートコア8箇所 No.3,4,5,6,7,8,9,10	圧縮強度試験
4.2 鉛直PC鋼棒の損傷状況調査			
4.2.1	はつり調査による破断位置の確認	全18本	破断の有無、位置の観察
4.2.2	材料試験による調査		
	(1)外観観察	全サンプル対象(18本)	破断面、サンプル側面の観察
	(2)走査型電子顕微鏡による破面観察(SEM観察)	破断面を有するサンプル対象(13本)	走査型電子顕微鏡の観察
	(3)単位質量測定	破断面を有するサンプル対象(13本)	鋼棒サンプルの単位質量測定
	(4)鋼棒径の計測	破断面を有するサンプル対象(13本)	鋼棒サンプルの鋼棒径計測
	(5)腐食状況と破断箇所の関係		(3)(4)の結果と破断箇所の関係を分析
	(6)腐食状況と設置位置の関係		(3)(4)の結果と設置位置の関係を分析
	(7)金属組織観察	全サンプル対象(18本)	光学顕微鏡による組織観察
	(8)硬度測定	全サンプル対象(18本)	ビッカース硬さ試験
	(9)化学成分分析	全サンプル対象(18本)	JIS G 3109成分規格値との比較
	(10)水素含有量測定試験	3サンプル対象	水素含有量測定試験
4.2.3	シーす及びグラウト状況の確認	—	現地調査
4.2.4	非破壊検査による鉛直PC鋼棒の状態の推定	全18本	超音波探査
4.3 水の浸入経路等に関する調査			
4.3.1	水の浸入経路	—	現地調査

水平 PC 鋼棒の損傷状況や桁の移動量を確認するため、表 4.2 に示す調査を行った。

表 4.2 水平 PC 鋼棒の損傷に関する調査項目一覧表

調査項目	調査・試験数量	調査・試験内容
4.5 水平PC鋼棒の損傷状況調査		
4.5.1	水平ロッカー支承の損傷状況の調査	2箇所 現地調査

本復旧対策の方針や構造を検討するため、表 4.3 に示す応急対策引張材の試験緊張と車両載荷試験を行った。

表 4.3 試験緊張及び車両載荷試験項目一覧表

調査項目	調査・試験内容
4.6 応急復旧の荷重の盛替え時や車両載荷試験における橋の応答	
4.6.1	応急復旧の試験緊張における橋の応答 応急復旧としてA2橋台部に設置した引張材の試験緊張により、桁の動きを確認。
4.6.2	車両載荷試験結果 応急復旧後、総重量400kN(40tf)の車両を載荷し、橋の応力状態や変形形状を確認。

4.1. A2 橋台部の上部工突起部及び下部工突起部に関する調査

4.1.1. 構造に関する調査

(1) 上部工突起部及び下部工突起部の構造

下部工突起部と上部工突起部のいずれも、振動を極力与えないように、はつり調査を行った。まず、下部工突起部を部分的にはつり、上部工突起部へとはつり範囲を広げていった。

その結果、図 4.1 に示すとおり、桁と下部工を繋ぐ上部工突起部の下端が約 20cm 浮き上がっていた。また、下部工と上部工突起部は、鉄筋で一体化された構造ではなかった。

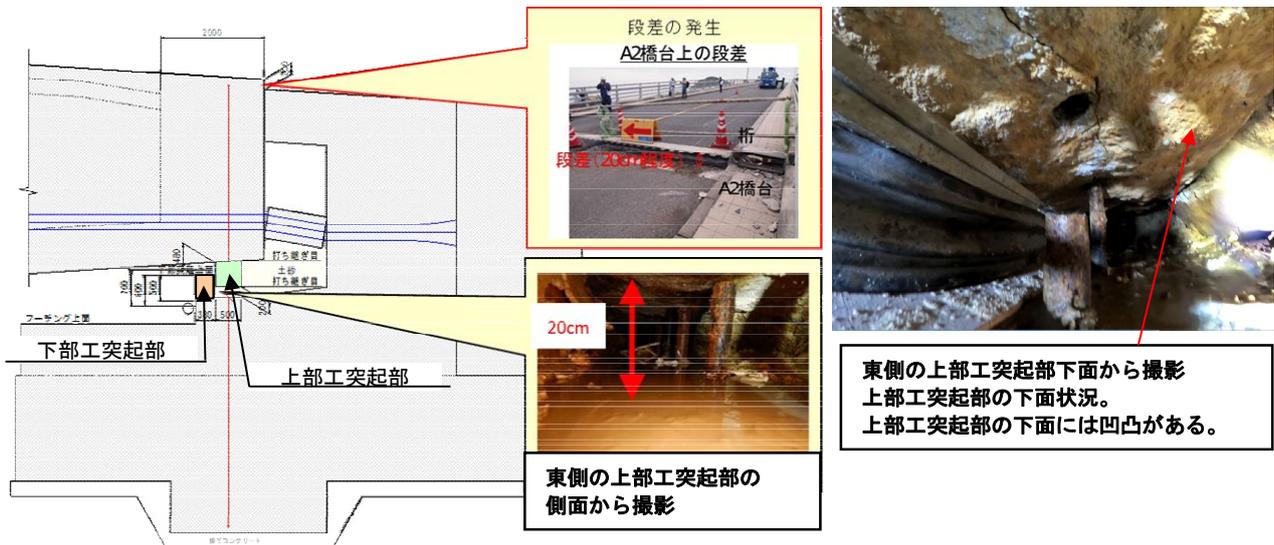


図 4.1 桁と上部工突起部の浮き上がり状況

図 4.2 に示すように、上部工と上部工突起部上面に打ち継ぎ目があった。下部工、上部工突起部、上部工は、別々にコンクリートが打設されていた。ただし、桁と上部工突起部は、鉄筋で一体化されていた。

上部工突起部が剥落した跡。剥落面に凹凸がなく、上部工突起部と上部工は別々に打設されていた。

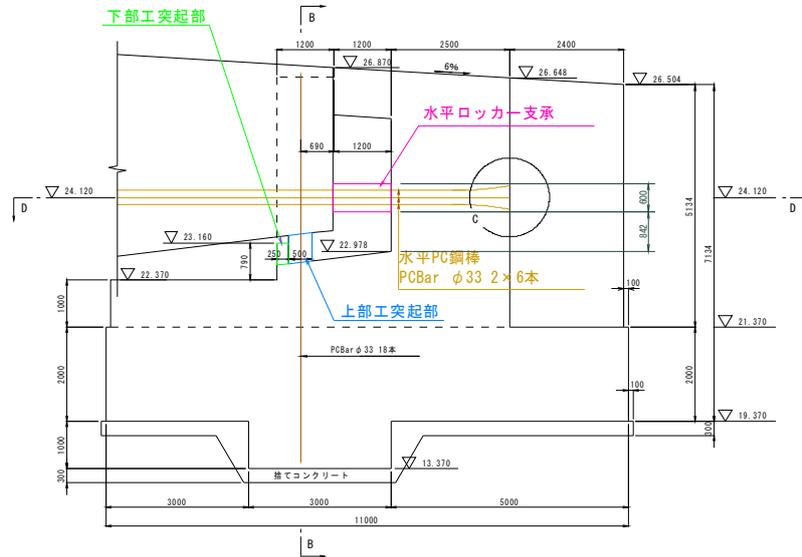


図 4.2 A2 橋台部桁下状況

(2) 寸法計測

上部工突起部及び下部工突起部の現地計測を行った。図 4.3 に現地計測図を示す。竣工当時の図面と比べ、上部工突起部の幅は、ほぼ同様の計測値であったが、下部工突起部の幅は、設計値 250mm に対し 370mm であった。

今回の調査で、上部工突起部の背面に土砂が堆積していたことがわかった。



側面図 (竣工当時の図面)

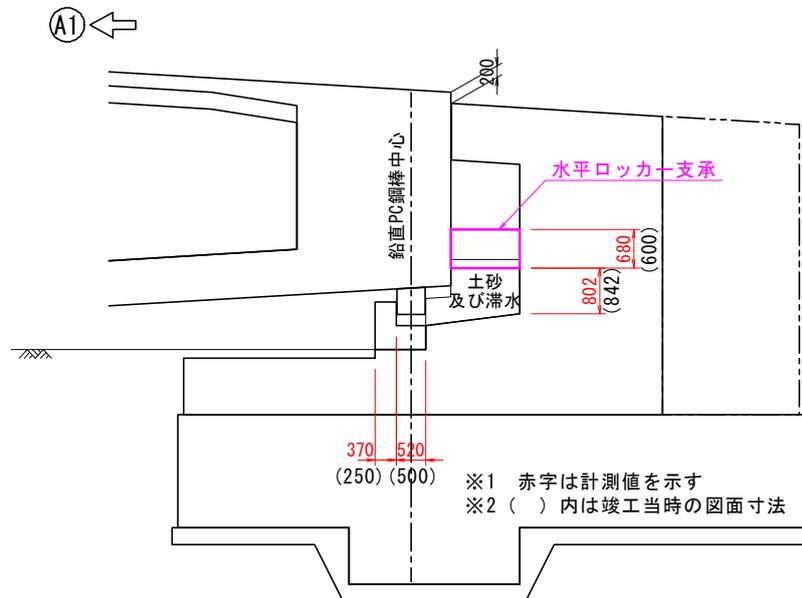


図 4.3 現地計測図

(3) 桁の移動量に関する調査

桁の浮き上がりによる移動量について、西側・中央部・東側に観測点を設定して、上部工と下部工との位置関係を計測した。また、鉛直PC鋼棒の上部工と下部工との位置関係についても計測した。その結果、**図 4.4** に示す下部工を基準とすると、全体的に東側へ移動していた。

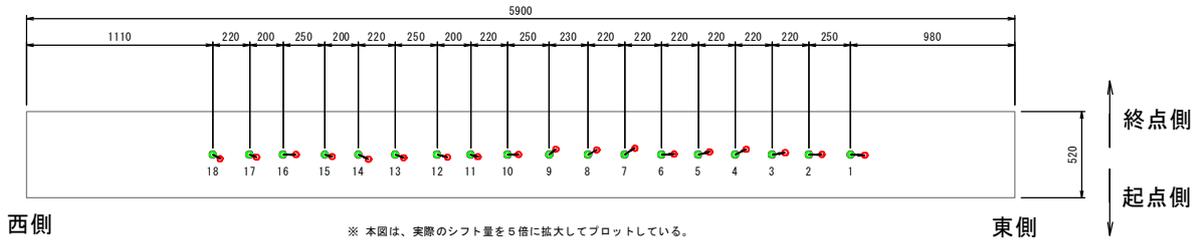


図 4.4 鉛直 PC 鋼棒の位置関係（平面図）

下部工橋座面と桁下面の高さを計測した結果、東側は 650mm、西側は 658mm であり、8mm の高低差がみられた。桁と A2 橋台との位置関係について、現地で計測した寸法値を赤着色で示す（**図 4.5** 参照）。桁裏空間の竣工当時の図面の寸法は 1200mm であるが、ほぼ同様の計測値を得た。この結果から、桁が海側に移動しておらず、鉛直上向きに浮き上がったと推定される。

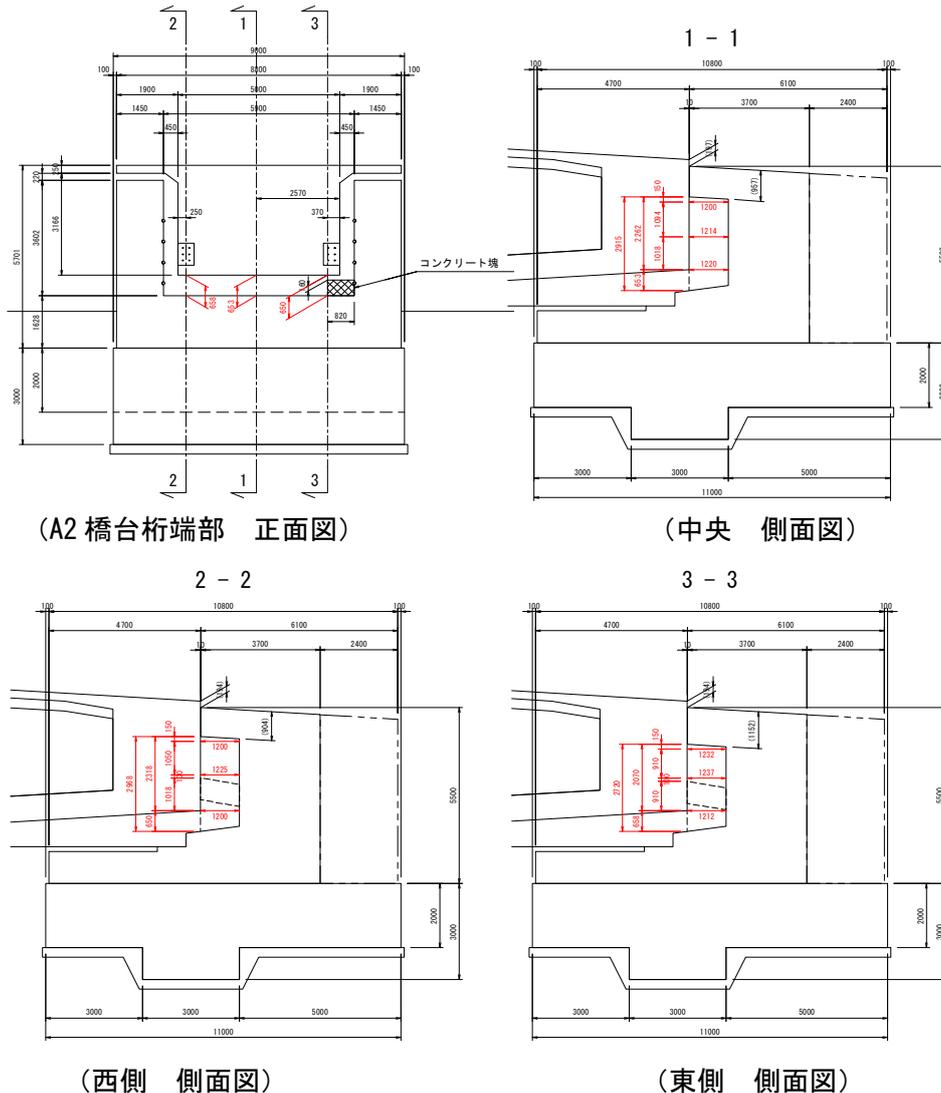


図 4.5 A2 橋台正面図及び側面図

4.1.2. 塩分量に関する調査

(1) コンクリート

鉛直 PC 鋼棒の破断する要因の一つとして、コンクリート中の塩化物イオンによる腐食が考えられる。そこで、コンクリートの塩化物イオン量調査を行った。

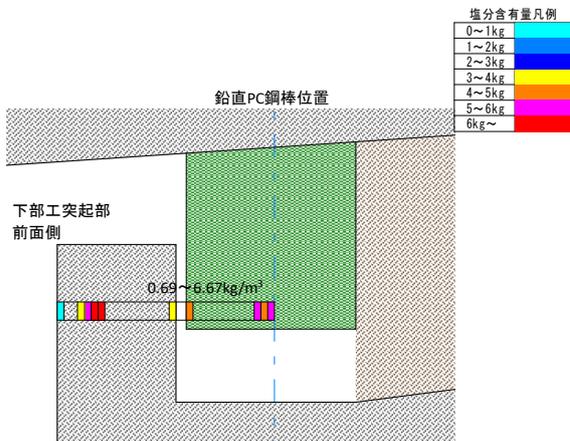
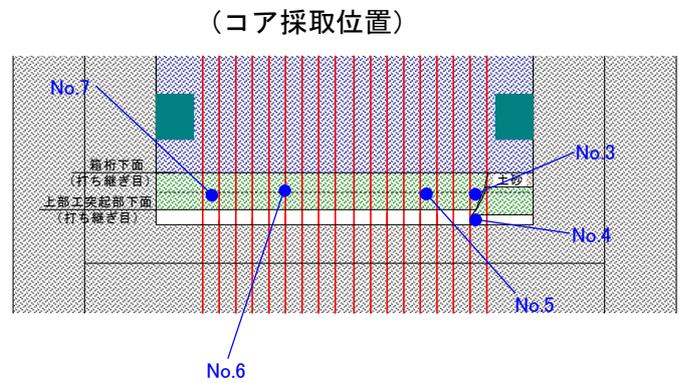
調査の結果、表 4.4 に示すとおり、上部工突起部及び下部工突起部のコンクリートは、内在塩分量が腐食発生限界量 1.2kg/m^3 を超過していた。

塩分含有量試験用のコア採取位置による内在塩分量の偏向はみられず、全体的に塩分量が高い結果となった。平成 15 年度には、A1 橋台の塩化物イオン量測定試験が実施されているが、その際も高い塩分量が検出されている。

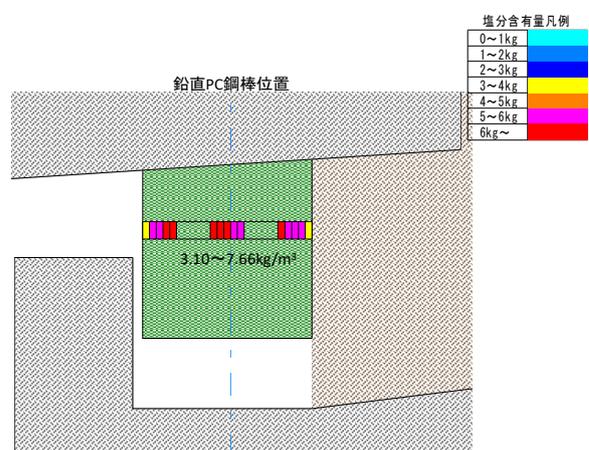
鉛直 PC 鋼棒は、厳しい腐食環境に置かれていたことが分かった。

表 4.4 塩化物イオン量測定試験結果

採取位置	最大値 (kg/m^3)	最小値 (kg/m^3)	腐食発生 限界量 (kg/m^3)	判定 ※最大値で判 定
No.3 下部工突起部 ～ 上部工突起部	6.67	0.69	1.2	腐食が 起こり得る
No.4 下部工突起部	6.01	3.12	1.2	腐食が 起こり得る
No.5 上部工突起部 (海側)	6.89	3.51	1.2	腐食が 起こり得る
No.6 上部工突起部 (中央部)	7.07	4.43	1.2	腐食が 起こり得る
No.7 上部工突起部 (山側)	7.66	3.10	1.2	腐食が 起こり得る



NO. 3 塩化物イオン分布状況



NO. 7 塩化物イオン分布状況

(2) 滞水の塩分含有量試験

桁裏に浸入・滞水していた水を採取し、塩分含有量の測定を行った（図 4.6 参照）。

A2 橋台東側の下部工突起部をコア削孔して排出された水をポリタンクで約 10ℓ 採取し、塩分含有量測定分析には 200ml を使用した。採取は 2 度にわたって行い、塩分含有量に時間的变化が現れるのかを確認した。

表 4.5 に滞水分析結果を示す。検出された内在塩分量は、初回の採取水からは 66mg/ℓ、2 回目の採取水からは 59mg/ℓ が検出された。いずれも腐食発生限界量 1200mg/ℓ の 20 分の 1 程度の検出量であった。

表 4.5 滞水の塩分量確認結果

採取時期	検出塩分量 (mg/ℓ)	【参考】腐食発生 限界量 (mg/ℓ)	検出塩分濃度 (%)	【参考】海水 塩分濃度 (%)
1 回目採取 令和 3 年 1 月 8 日	66	1,200	0.12	3.0～3.5
2 回目採取 令和 3 年 1 月 15 日	59	1,200	0.11	3.0～3.5



(滞水流出状況)



(滞水採取状況)

図 4.6 A2 橋台下部工突起部コア採取箇所から滞水流出・採取状況

(3) 堆積土砂の塩分含有量試験

上部工突起部裏及び桁裏に堆積していた土砂を採取し、塩分含有量の測定を実施した。

はつりにより開口した下部工突起部から土砂の採取を行った。土砂の採取は東側・中央・西側の3箇所、採取量は各箇所に2kg(1kg×2袋)採取を行った(図4.7～図4.8参照)。

表4.6に土砂分析結果を示す。検出された塩分含有量は東側で350mg/kg、中央部で580mg/kg、西側で790mg/kgとなり、東側から西側へと塩分含有量が高くなった。

一般的に塩分は外部からの浸入によりもたらされるものであり、真砂土や沖積土には塩分は含有されていない。そのため、参考比較対象として海水との比較を行った。海水の含有量は19,350mg/kgであり、今回土砂から検出された塩分量は海水の25分の1～55分の1程度であった。

表 4.6 土砂の塩分量確認結果

採取箇所	検出塩分量 (mg/kg)	【参考】海水 (mg/kg)
海側	350	19,350
中央	580	19,350
山側	790	19,350

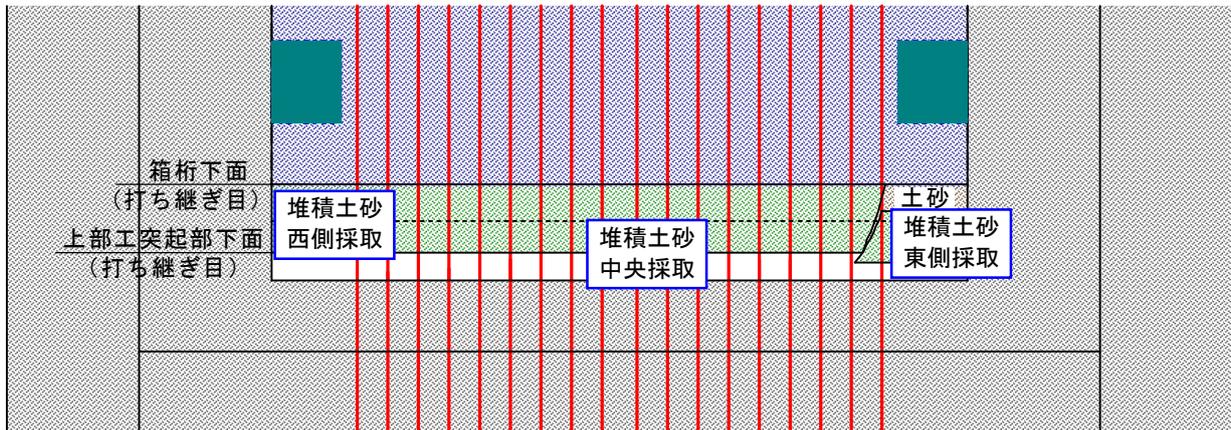


図 4.7 堆積土砂の採取位置



(採取状況)



(東側採取土砂)



(中央部採取土砂)



(西側採取土砂)

図 4.8 土砂の採取状況と採取土砂

(4) 考察

塩分量に関する調査の結果、コンクリートからは腐食限界発生量を超える塩分量が検出され、滞水及び堆積土砂からも塩分が検出された。これらの塩分が、竣工時から内在していたものか、あるいは、竣工後に外部から浸入したものは、確認できておらず、どちらの可能性も否定できない。

また、外部から浸入したと仮定した場合、コンクリートには、コンクリート表面からの塩分の浸入の可能性が考えられるが、上部工突起部及び桁の裏側にある堆積土砂や滞水への塩分の浸入経路は、伸縮装置や上下部工突起部に発生したひびわれ等の間隙など、様々な経路からの浸入の可能性があると推定される。

4.1.3. 圧縮強度試験

A2 橋台からコンクリートコアを試料として採取し、圧縮強度試験を行った。

試験の結果、表 4.7 に示すように、No.3 のコアで設計基準強度を下回る結果があったが、その他のコアは、設計基準強度を満足していた。

表 4.7 圧縮強度試験結果一覧

供試体番号	採取箇所	圧縮強度試験結果(N/mm ²)	
		圧縮強度	設計基準強度
No.3	下部工突起部 (東側)	17.5	21
No.4	下部工突起部 (東側)	24.9	21
No.5	上部工突起部 (東側)	25.8	21
No.6	上部工突起部 (中央側)	28.6	21
No.7	上部工突起部 (PC1⑩⑪間)	31.4	21
No.8	上部工突起部 (西側)	28.6	21
No.9	下部工突起部 (中央)	28.4	21
No.10	下部工突起部 (西側)	28.1	21

(コア採取位置)

