広島高速5号線トンネル安全検討委員会

第 1 回 資 料

平成21年9月13日

広島高速5号線トンネル安全検討委員会事務局

委員会資料

資料１－１　高速５号線の計画概要

資料１－２　地質・水文・植生等について

資料１－１

高速5号線の計画概要

1．事業概要

1．1　はじめに

広島都市圏では、山陽自動車道・中国横断自動車道などの高規格幹線道路の整備に対し都市内の道路網の整備が遅れている。そこで、中国四国地方の中枢都市である広島市の都市機能をより高めるため、都市交通の高速性・定時性を強化する自動車専用道路網の整備が急務となっている。

国土交通省、広島県及び広島市ではこのような状況を踏まえ、広島都市圏の主要な幹線道路を自動車専用道路として整備することとした。さらに、この道路網を効率的かつ早期に整備していくため、指定都市高速道路として整備が行われることになった。

図-1.1に広島高速道路図を示す。



図-1.1　広島高速道路図

1．2　高速５号線概要

広島高速５号線は延長約3,980m（トンネル部の延長約1,830m）、起点の中山側から終点の広島駅側に向かって下り勾配0.4%で計画されている。

広島市の北東部地域や広島高速１号線と都心部を連絡する主要幹線道路として位置づけられており、広島高速５号線と広島高速１号線によって、山陽自動車道広島東ICと広島市都心部が自動車専用道路で直結し、広島駅周辺と広島空港間の高速性・定時性を確保するものである。今回は、暫定２車線（南側の上り線）を整備する計画となっている。

表-1.1に広島高速５号線の諸元を示す。また、トンネルの標準断面図を図-1.2に示し、ルートの概要図及び縦断図を図-1.3に示した。

表-1.1　高速５号線の諸元

区間	広島市東区温品町～広島市東区二葉の里三丁目
延長	L≒3,980　（トンネル部 L≒1,830m ，高架部 L≒2.150m）
道路規格	第２種第２級（自動車専用道路）
設定速度	６０km/h
標準幅員	１８m
車線数	４車線
計画交通量	暫定時：12,600台/日・本　　完成４車時：16,610台/日・本
大型車混入率	9.7%
ﾄﾝﾈﾙ防災等級	Ａ等級

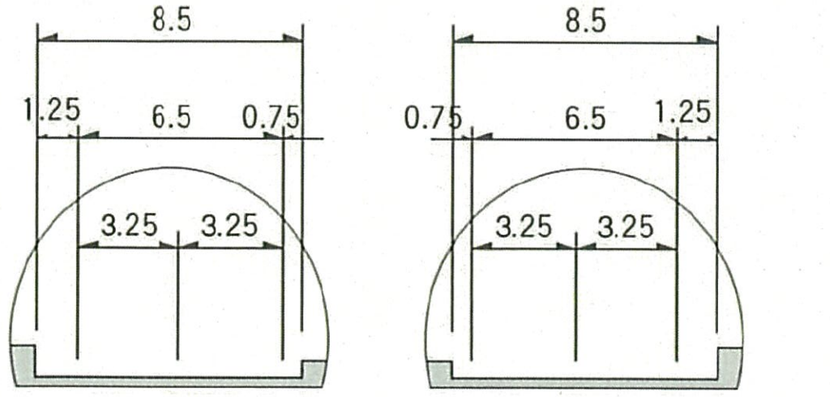


図-1.2　トンネル標準断面

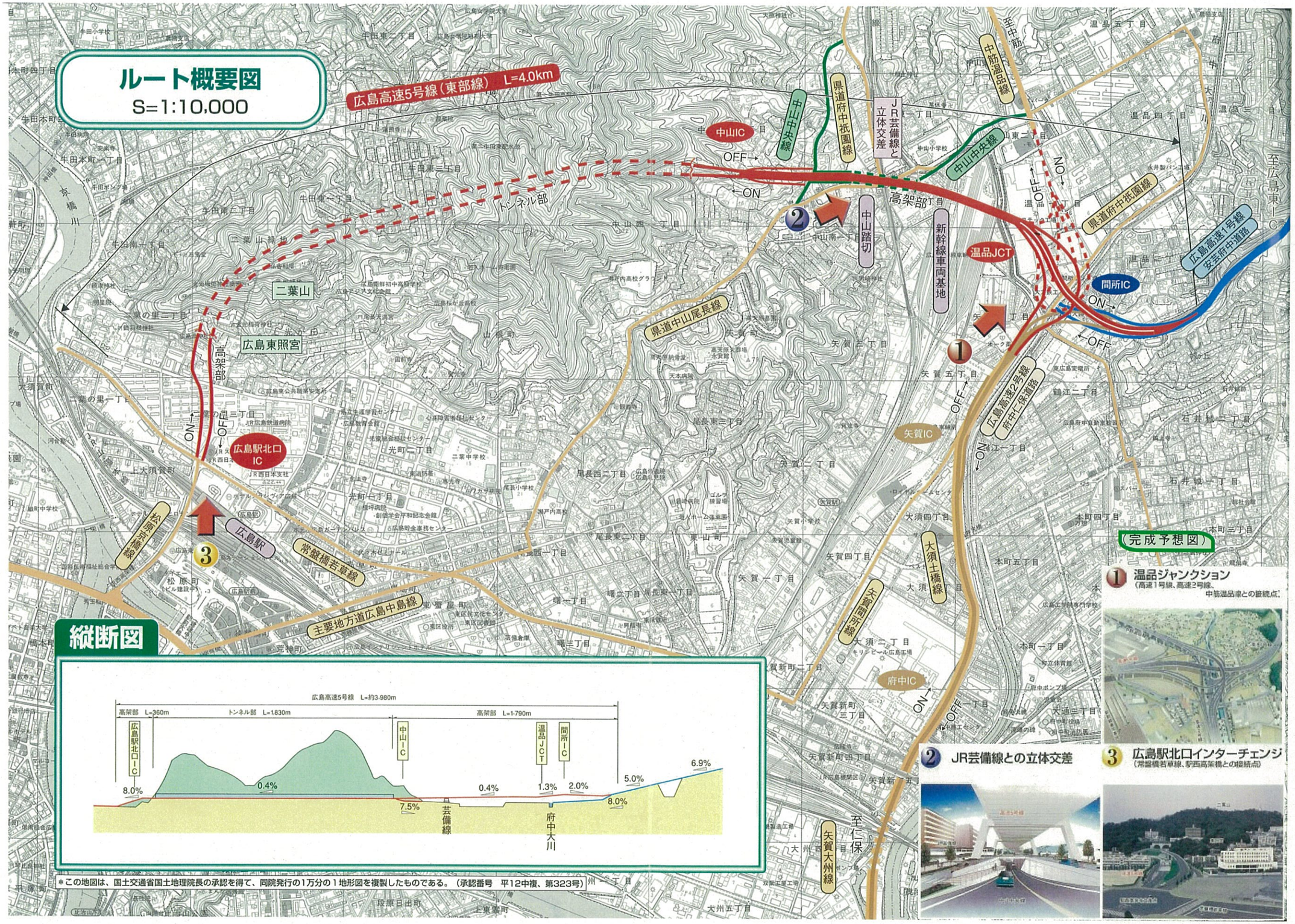
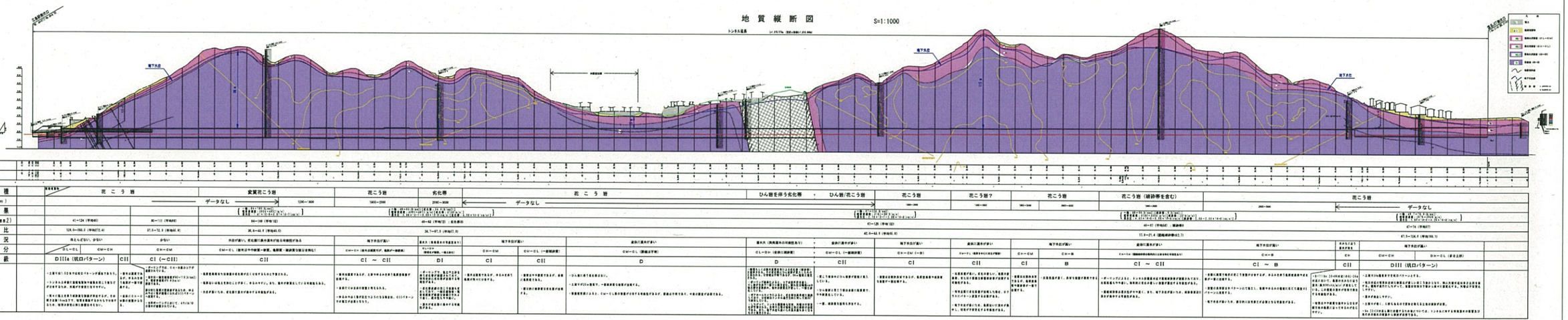


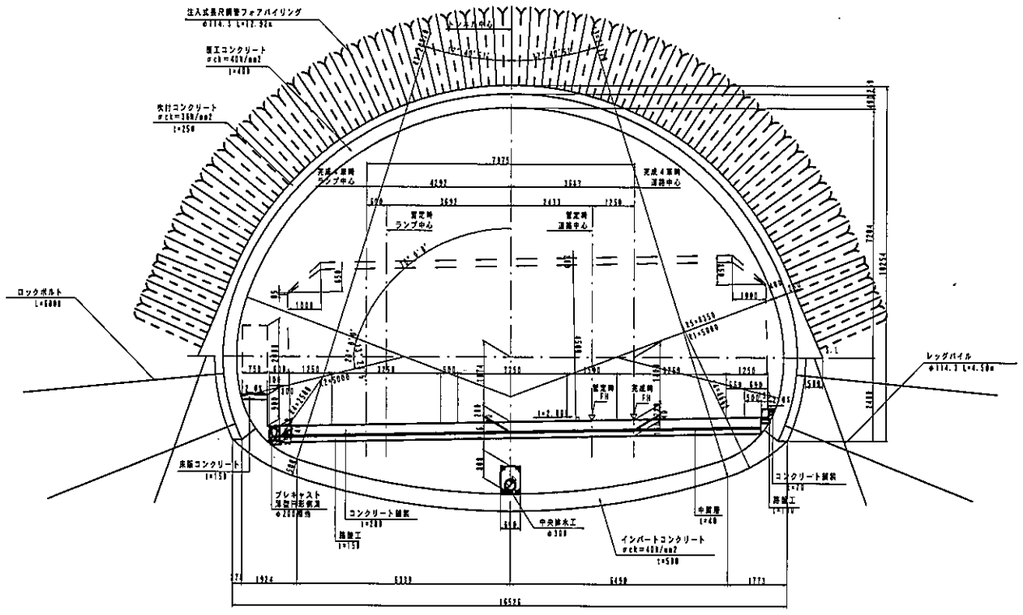
図-1.3 高速5号線ルート概要図・縦断図



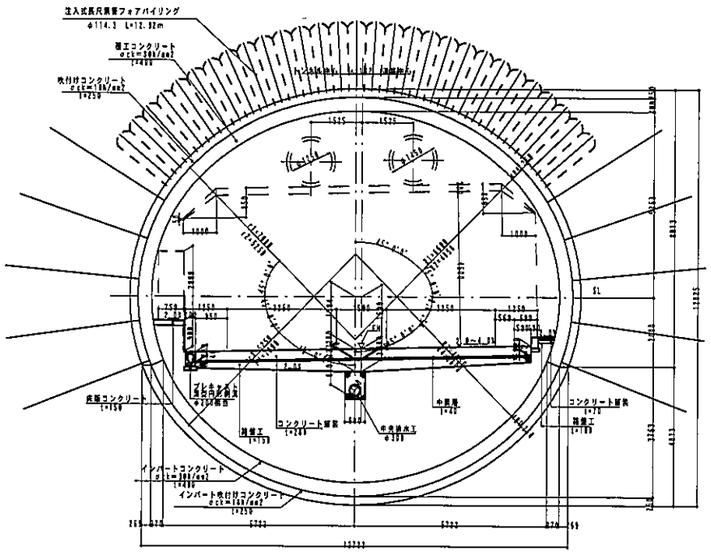
地質名・岩種		花こう岩		変質花こう岩	花こう岩	劣化帯	花こう岩	ひん岩を伴う劣化帯	ひん岩/花こう岩	花こう岩	花こう岩?	花こう岩		花こう岩(破砕帯を含む)	花こう岩	
比抵抗値（Ω・m）		データなし →	1240～3000	3000～3500	2500～3000	← データなし				1000～2000	1000～2000	2000～4000		1000～2000	2000～3000	← データなし
孔内試験結果																
一軸圧縮強度(N/mm2)		41～124（平均82）	80～111（平均96）	84～108（平均102）	49～82（平均72）（変化部除）			42～125（平均103）		40～87（平均64）（破砕帯）		47～74（平均57）		42.6～64.6（平均54.6）	47.3～104.6（平均100.1）	
地山強度比		124.9～268.8（平均172.4）	87.5～132.3（平均104.4）	34.6～43.6（平均40.6）	26.7～67.3（平均47.3）			42.6～64.6（平均54.6）		15.8～21.4（固結破砕帯42.7）		47.3～104.6（平均100.1）				
湧水状況		湧えんなし、少ない	少ない	沖合が多い、花こう岩に断層系が加え局地的に多い	地下水位が高い		地下水位が低い	湧水大（断層系の可能性あり）	湧水が多い	地下水位が低い	湧水が多い	地下水位が低い		湧水が多い	地下水位が低い	
岩盤区分		CL～CL	CM～CH	CM～CL（亀裂密～中程度～散在、亀裂間・脆砕質な部分を挟む）	CM～CH（亀裂は疎密ながら、亀裂が一部開口）	変質帯（亀裂多く開口、一部ルーズ）	CH～CM	CM～CL（一部脆弱質）	CM～CL（脆弱は下層）	CH～CM（一部）	CH～CL（亀裂多く小さい岩片が開口）	CH～CM	CH～B	CH～Ex（破砕帯部は亀裂が多く小さい岩片が開口）	CH～B	Ch
地山等級		DIIIa（坑口パターン）	CII	CI（～CII）	CII	DI	CI	CII	D	D	CII	CI	CII	CI	B	CI ～ CII	CI ～ B	CII	DIII（坑口パターン）
記事		・土質可能いだるき中位程度のパターンが連なりある。 ・トンネル全体的に亀裂発達等や地表部に土等分で約全体なため、表面が多数に分かれやすい。 ・地山に湧水と岩盤と亀裂発達等が発生するが、その割合は多くは30%以下で、地質と亀裂方向との関係はそれほどない。	・亀裂は疎ながら、ルーズ部分が多い。 ・亀裂面に粘土を伴う場合がある。 ・坑口部は地山強度比が小さいため、注意が必要。	・亀裂発達箇所では亀裂は多数発達が広く分布するものと予想される。 ・亀裂は小規模な不連続に分布し、岩盤内やすい。また、亀裂が開口しているため地盤もある。 ・表面が風化等、岩盤に亀裂が発達や不連続発達がある。	・亀裂発達箇所では亀裂は多数発達が広く分布するものと予想される。 ・亀裂は小規模な不連続に分布し、岩盤内やすい。また、亀裂が開口しているため地盤もある。 ・坑口部は地山強度比が小さいため、注意が必要。	・ダーリング下は、地表下は変質を伴う変質花こう岩で、亀裂が発達し、亀裂が開口しているため地盤もある。 ・表面が風化等、岩盤に亀裂が発達や不連続発達がある。	・亀裂は疎ながら、ルーズ部分が多い。 ・亀裂が開口しているため地盤もある。	・亀裂は中程度ながら多く、亀裂は疎ながら地盤もある。 ・亀裂が開口しているため地盤もある。	・ひん岩が見られる区間である。 ・土質や約20m程度下、一般岩盤より脆弱な地盤が予想される。 ・亀裂程度が大きく、CH～CLと岩の性質が大きく変化する区間が予想される。	・亀裂が開口しているため地盤もある。 ・ひん岩が見られる区間である。 ・土質や約20m程度下、一般岩盤より脆弱な地盤が予想される。 ・亀裂程度が大きく、CH～CLと岩の性質が大きく変化する区間が予想される。	・亀裂は疎ながら、ルーズ部分が多い。 ・亀裂が開口しているため地盤もある

標　準　断　面　図

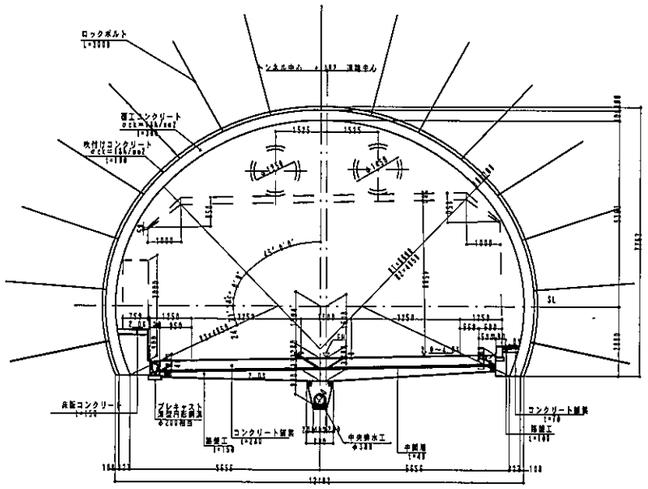
排水型トンネル（大断面）
DⅢw-1-K(2)



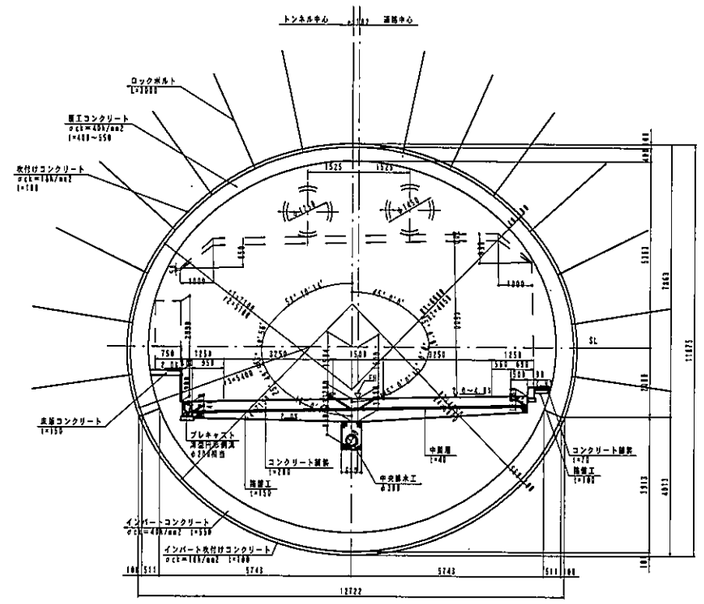
防水型トンネル（補助工法部）
WT0.26－D Ⅰ－K(2)



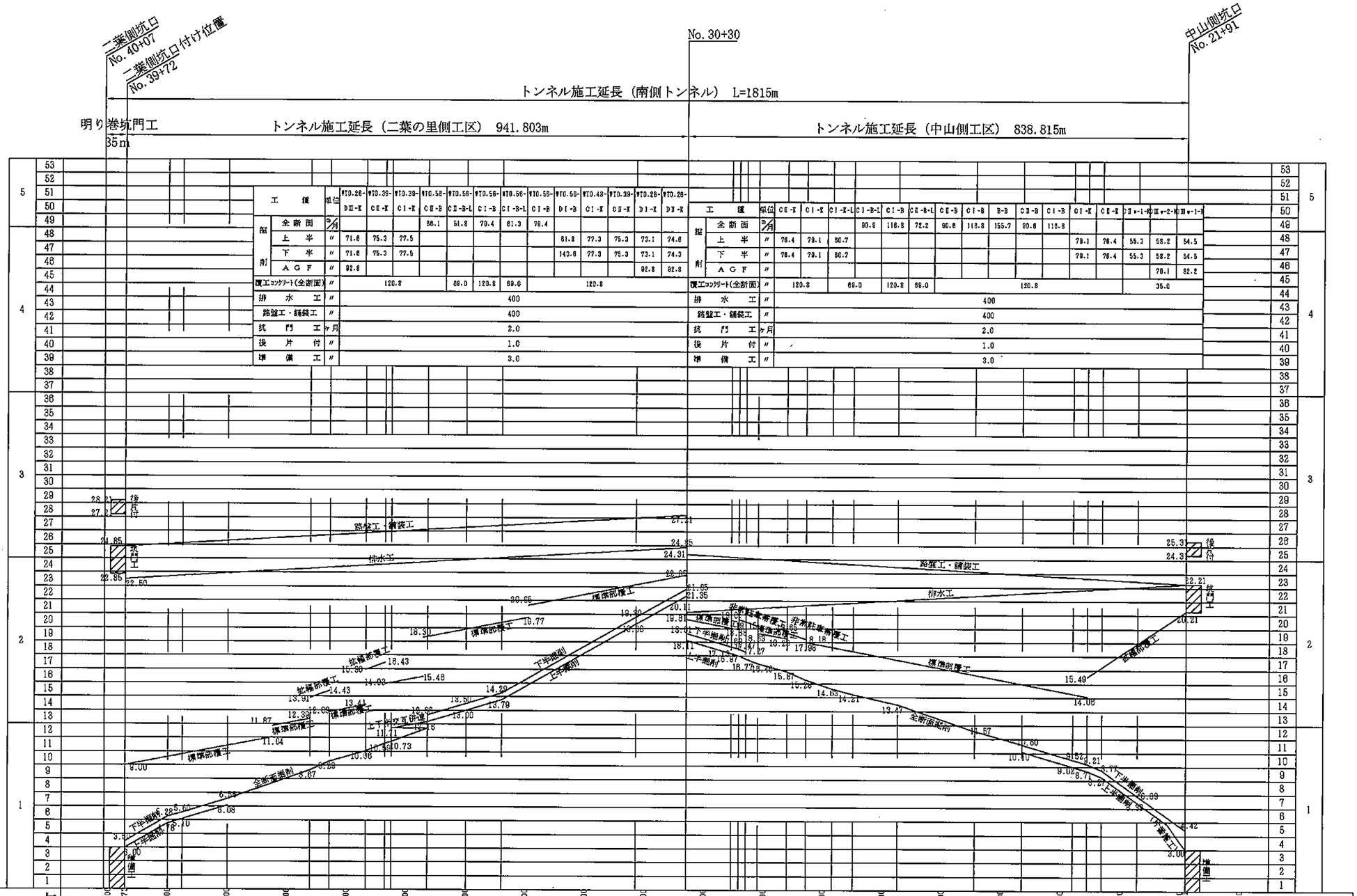
排水型トンネル（標準部）
C Ⅱ－B



防水型トンネル（標準部）
WT0.56－C Ⅱ－B



工 事 工 程 表

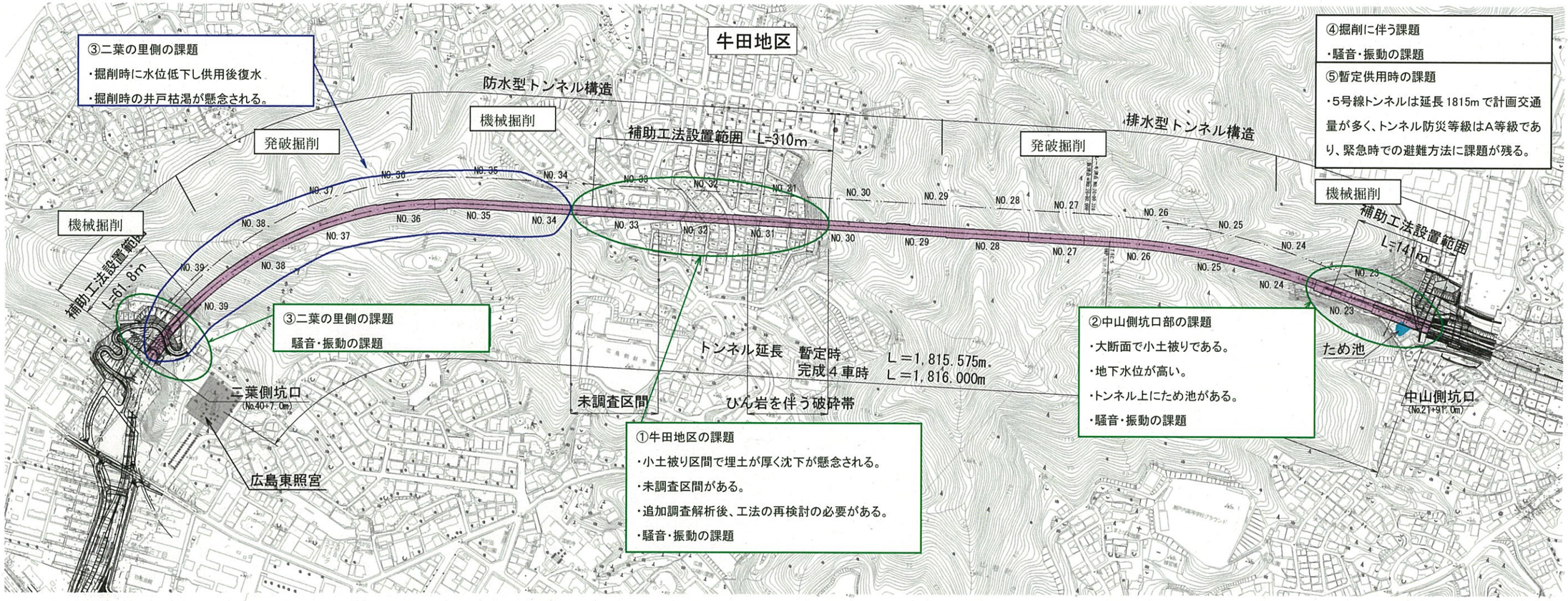


工種	単位	WTO.26-DⅢ-K	WTO.39-CⅡ-K	WTO.39-CⅠ-K	WTO.58-CⅡ-B	WTO.58-CⅡ-B-L	WTO.58-CⅠ-B	WTO.56-CⅠ-B-L	WTO.56-CⅠ-B	WTO.56-DⅠ-B	WTO.48-CⅠ-K	WTO.39-CⅡ-K	WTO.28-DⅠ-K	WTO.28-DⅡ-K
掘削 全断面	%/月				86.1	51.8	79.4	61.3	76.4					
掘削 上半	〃	71.8	75.3	77.5						81.8	77.3	75.3	73.1	74.6
掘削 下半	〃	71.8	75.3	77.5						143.8	77.3	75.3	73.1	74.3
掘削 AGF	〃	92.8											92.8	92.8
覆工コンクリート(全断面)	〃	120.8			69.0		120.8	69.0	120.8					
排水工	〃	400												
路盤工・舗装工	〃	400												
坑門工	ヶ月	2.0												
後片付	〃	1.0												
準備工	〃	3.0												

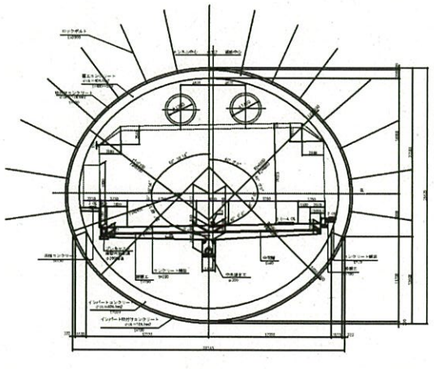
工種	単位	CⅡ-K	CⅠ-K	CⅠ-K-L	CⅠ-B-L	CⅠ-B	CⅡ-B-L	CⅡ-B	CⅠ-B	B-B	CⅡ-B	CⅠ-B	CⅠ-K	CⅡ-K	DⅢw-2-K	DⅢw-1-K
掘削 全断面	%/月				90.9	116.8	72.2	90.8	116.8	155.7	93.6	116.8				
掘削 上半	〃	76.4	79.1	80.7									79.1	76.4	55.3	58.2	54.5
掘削 下半	〃	76.4	79.1	80.7									79.1	76.4	55.3	58.2	54.5
掘削 AGF	〃															70.1	82.2
覆工コンクリート(全断面)	〃	120.8	69.0	120.8	69.0	120.8							35.0			
排水工	〃	400														
路盤工・舗装工	〃	400														
坑門工	ヶ月	2.0														
後片付	〃	1.0														
準備工	〃	3.0														

測点		40+00	+73	39+00	38+00	37+00	36+00	35+00	34+00	33+00	32+00	31+00	30+00	29+00	28+00	27+00	26+00	25+00	24+00	23+00	22+00	+93	21+00
設計パターン		WTO.39-CⅡ-K WTO.26-DⅢ-K		WTO.39-CⅠ-K	WTO.58-CⅡ-B	WTO.58-CⅡ-B-L	WTO.58-CⅠ-B-L	WTO.58-CⅠ-B	WTO.56-CⅠ-B-L	WTO.39-CⅡ-K	WTO.28-DⅠ-K	WTO.26-DⅡ-K	CⅡ-K	CⅠ-K CⅠ-K-L	CⅡ-B-L CⅠ-B	CⅡ-B-L CⅠ-B	CⅡ-B	B-B	CⅡ-B	CⅠ-B	CⅠ-K	CⅡ-K CⅡw-K	DⅢw-2-K DⅢw-1-K	
区間長		24.0m 71.8m	76.0m		138.3m	32.5m	81.0m	32.5m 10.5m	60.5m 84.5m	80.0m	225.0m	85.0m	75.0m	13.0m 14.1m	20.1m 48.9m	32.1m 44.0m	85.0m	75.0m	128.8m	80.0m	85.0m	24.0m	60.0m 81.0m	
施工方式		機械掘削			発破掘削				機械掘削							発破掘削					機械掘削			

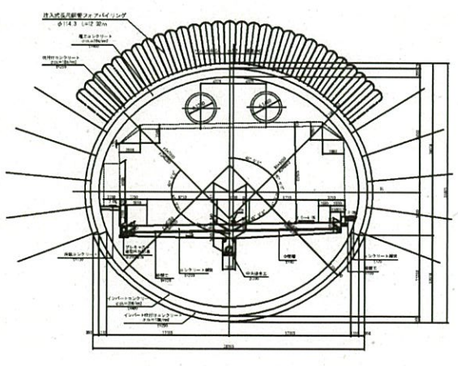
5号線トンネルの課題



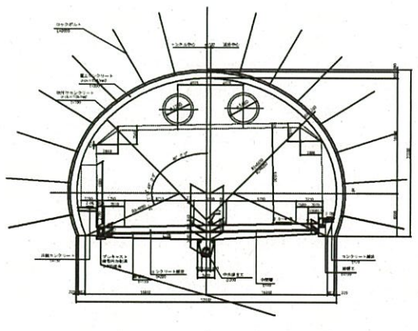
防水型トンネル（標準部）
WT0.56－CⅡ－B



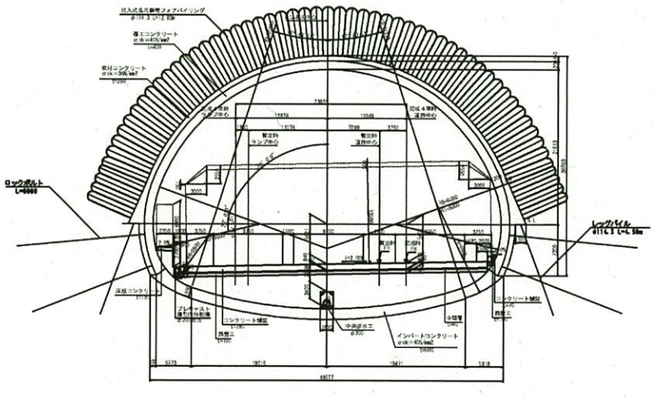
防水型トンネル（補助工法部）
WT0.26－DⅠ－K(2)

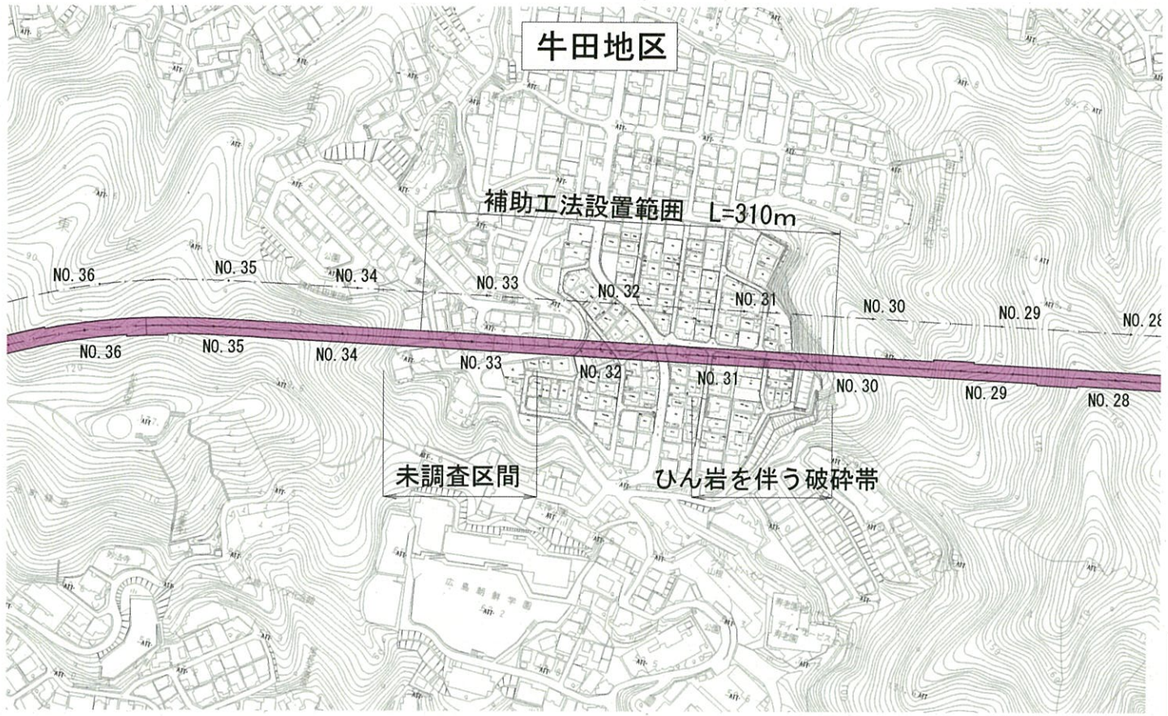


排水型トンネル（標準部）
CⅡ－B



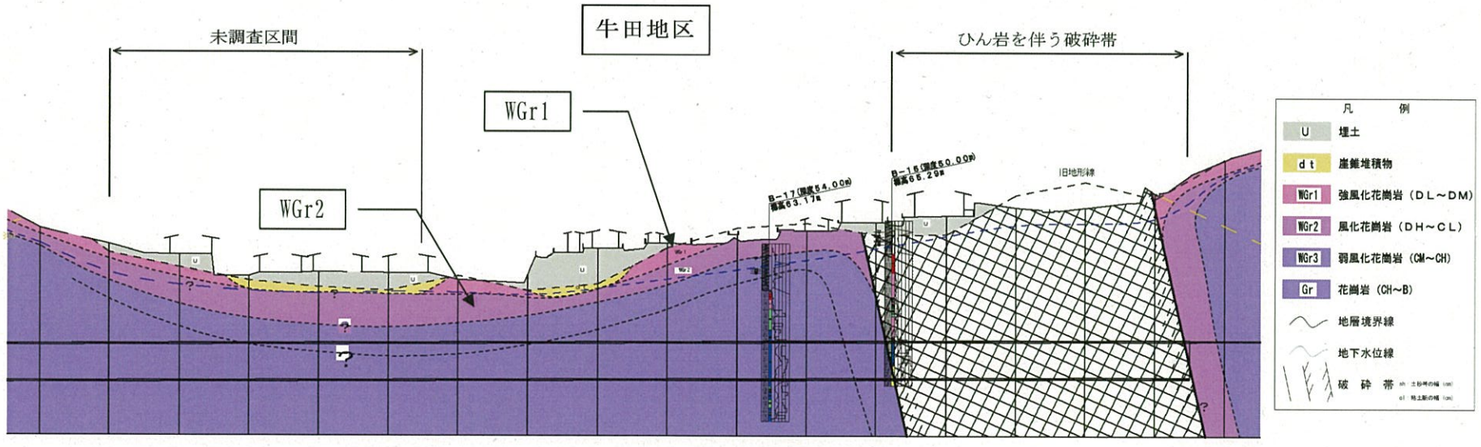
排水型トンネル（大断面）
DⅢw-1-K(2)





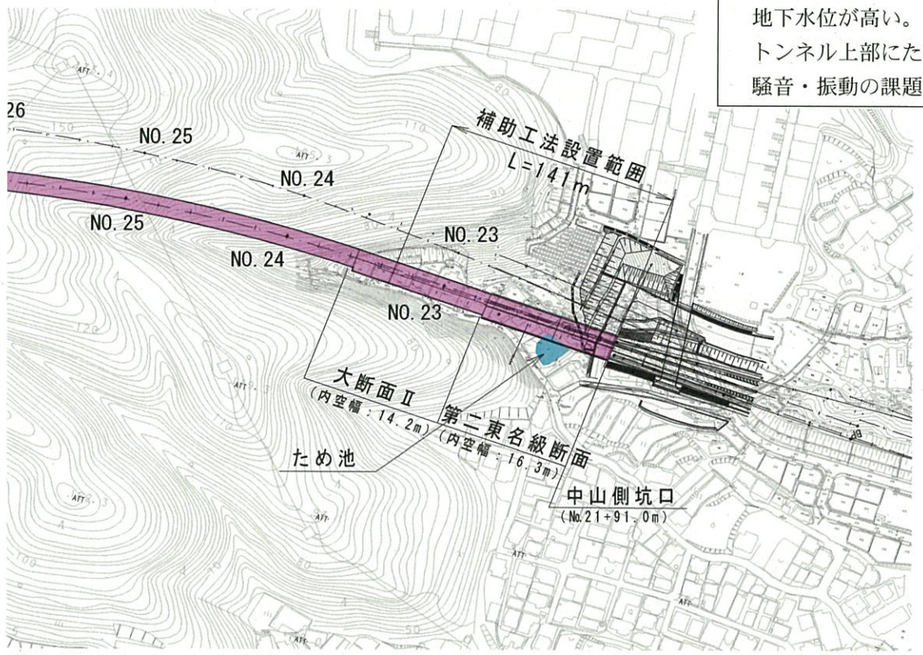
牛田地区平面図

小土被りで埋土が厚く沈下が懸念される。
未調査区間がある。
追加調査解析後、工法の再検討の必要がある。
騒音・振動の課題がある。

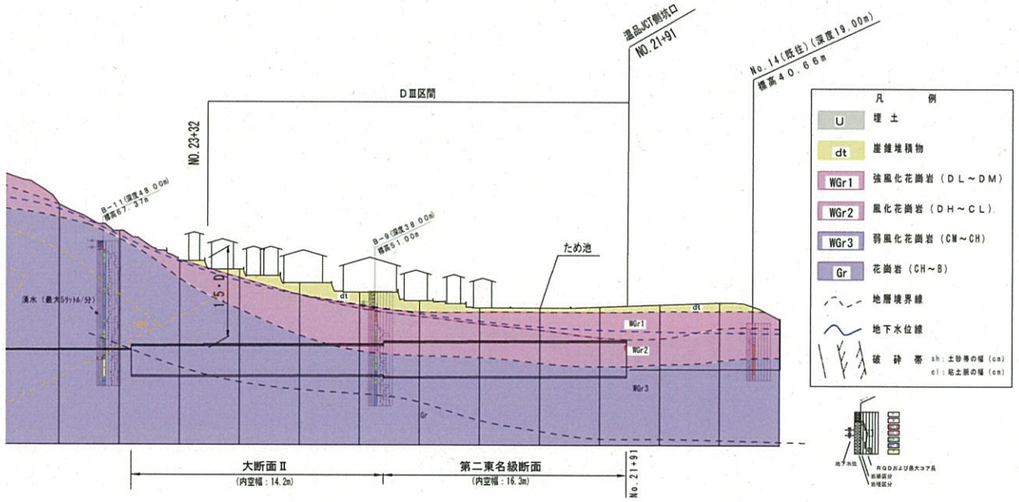


牛田地区縦断図

大断面で小土被りである。
地下水位が高い。
トンネル上部にため池がある。
騒音・振動の課題がある。

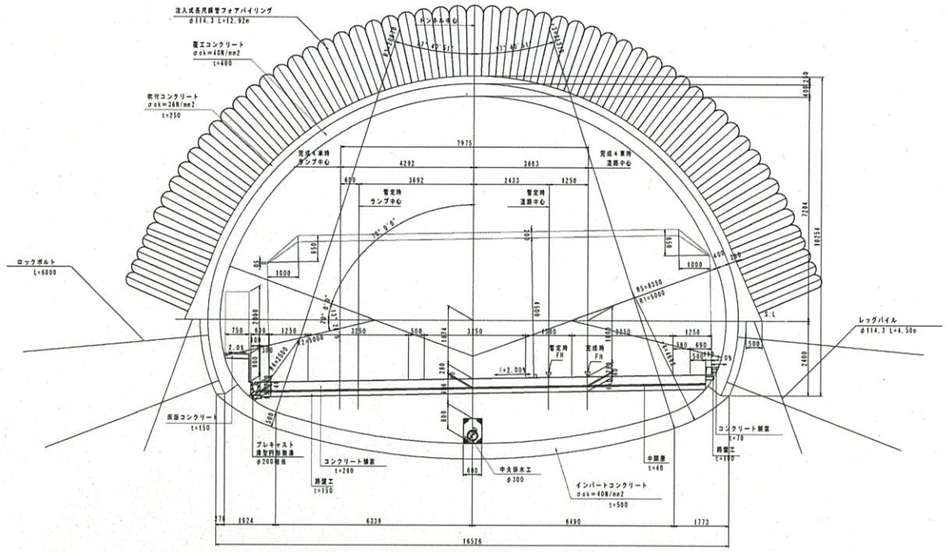


中山側坑口部平面図



中山側坑口部縦断図

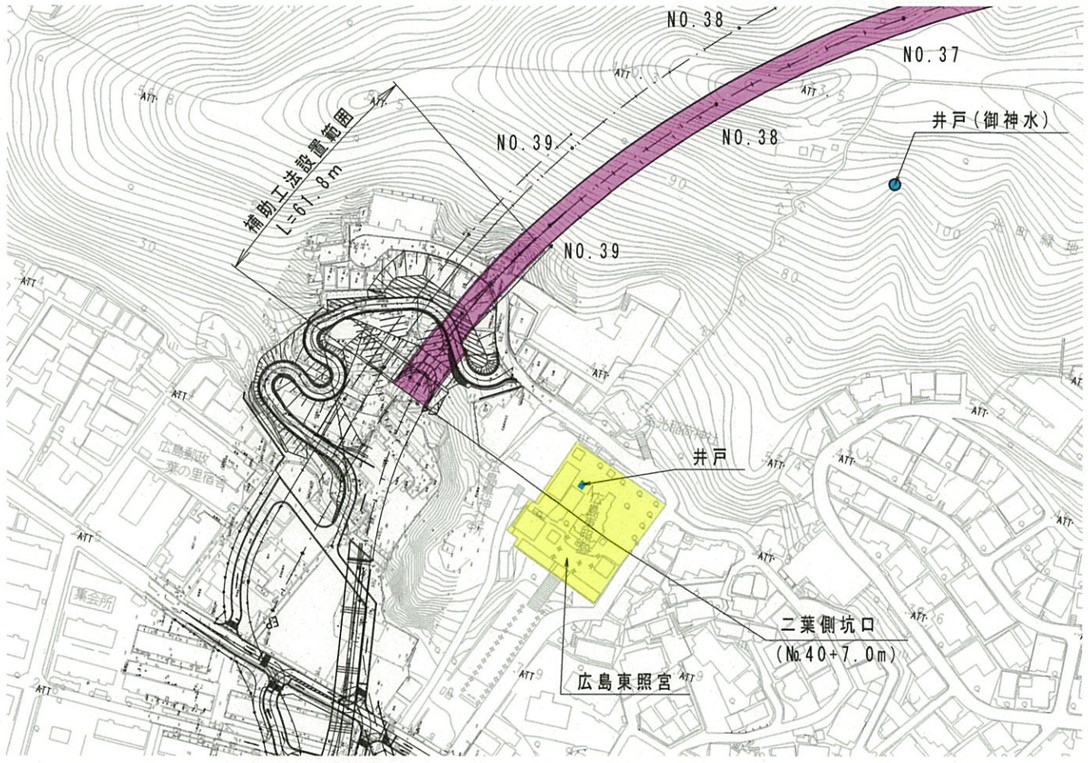
排水型トンネル（大断面）
DⅢw-1-K(2)





トンネル上部のため池

掘削時に水位低下し、供用後復水。
掘削時の井戸枯渇が懸念される。
騒音・振動の課題がある。



二葉の里側坑口部平面図



広島東照宮



広島東照宮の御神水井戸

資料１－２

地質・水文・植生等について

地質調査結果概要

1　地質調査結果概要

トンネル区間の地質調査は、図-2.2に示す位置で平成12年度に実施されており、調査内容は以下の表-1.1に示すとおりである。

ボーリング孔は、33孔中15孔が地下水観測孔として使用されており、15孔中11孔は深層地下水位観測用として、4孔は浅層地下水位観測用として使用されている。

なお、調査地は周囲およびトンネル計画位置の上部に民家が密集しているため、弾性波探査は実施されていない。

表-1.1　地質調査項目と数量

項目	内訳	目的
①旧地形復元	0.3km2	牛田団地造成前地形の復元
②地形判読	2km2	リニアメントの確認
③地表踏査	2km2	地質情報の取得
④ボーリング	33箇所　掘進長1515m	コアの採取
⑤原位置試験	標準貫入試験　250回 透水試験　97回 孔内水平載荷試験　226回 速度検層　864m ボアホールスキャナ　78m	 地盤の透水性 地盤の変形特性 地層の分布方向把握
⑥地下水位確認	15孔	B-○；深層地下水位観測用（11孔） BW-○；浅層地下水位観測用（ 4孔）
⑦土質試験	一式	表土の単位体積重量ほか
⑧岩石試験	一式	一軸圧縮強さなど
⑨電気探査	3測線　1610m	比抵抗分布

2　地質概要

調査地は、図-2.1に示すように広島型花崗岩が分布し、ひん岩・花崗斑岩等の貫入岩が分布している。これらの基盤岩を崖錐堆積物が被覆しており、トンネル中間部の牛田東地区では団地の造成の際に地形が改変され、盛土が厚く被覆している。5号線トンネルの地質平面図を図-2.2に、地質縦断図を図-2.3に示す。

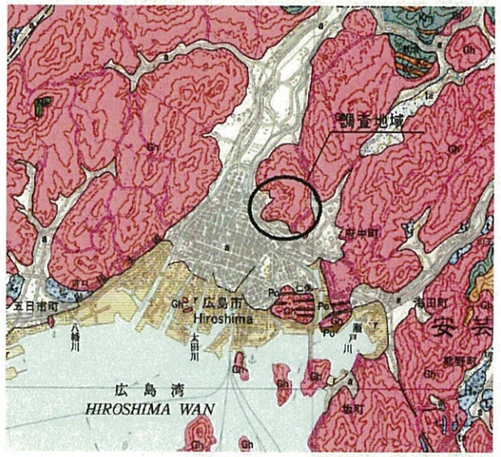


図-2.1　広島市周辺の地質図
20万分の1地質図「広島」
地質調査所
昭和61年3月10日より

表-2.1　地質層序表

地質時代			地質名	記号	概　　要
新生代	第四紀	完新世	埋土	U	宅地造成などに伴って人工的に形成された地層。まさ土が材料として用いられていることが多い。全般にゆるく、層厚は数mから10mを越える。
			崖錐堆積物	d t	谷筋や山腹斜面に薄く堆積している。斜面上方に分布する基盤岩類が崩壊し、堆積したもの。まさ土を主体とした礫混じり土からなる。
			沖積層	a	太田川デルタを構成する砂礫および粘土層であり、二葉の里工区ランプが計画されている平野部に分布する。トンネル本体部には出現しない。
中生代	白亜紀	—	花崗斑岩	Gph	花崗岩に貫入するかたちでレンズ的に分布する。岩組織は斑状で、緻密なマトリックスの中に石英や、少量の長石類の斑晶が認められる。
			ひん岩	Po	花崗岩に貫入するかたちでレンズ的に分布する。緻密なマトリックスの中に斜長石や角閃石の斑晶が認められ、暗青灰色を帯びる。斜め方向の亀裂が卓越しやすく、強風化すると粘土化する。花崗岩との境界が劣化しやすい。
			花崗岩	Gr	石英、カリ長石、斜長石、黒雲母からなる粗粒花崗岩で、新鮮なものは淡青灰色で堅硬であるが、風化するに従い軟質化して赤褐色を帯びる。節理と呼ばれる直交亀裂が発達しやすく、しばしばサイコロ状に割れやすい。風化がかなり進行するとまさ土化する。

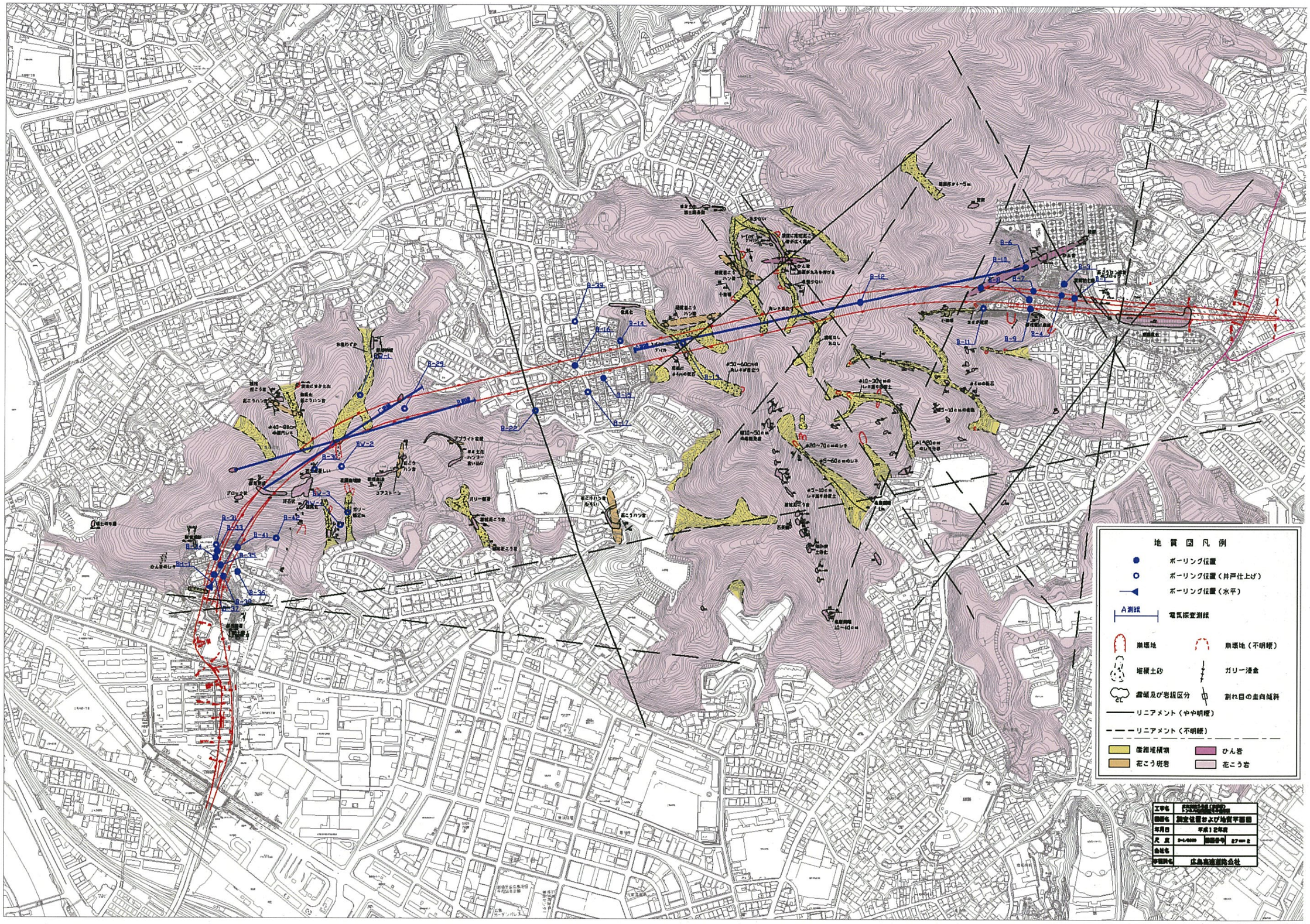
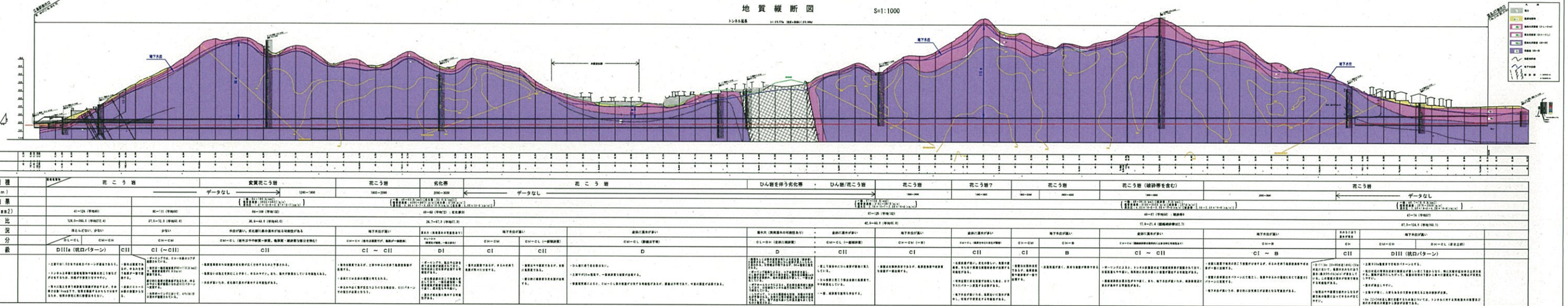


図-2.2　５号線トンネル地質平面図


地 質 縦 断 図
S=1:1000
(3)
電下水路
電下水路
電下水路

| | | |

3　地区ごとの地質

（１）中山地区（図-3.1参照）

先行施工する計画となっている上り線トンネルは、沢部に坑口が計画されており、かつ、掘削断面積約170㎡の大断面トンネルとなっている。土被りは10m程度から徐々に大きくなるが、坑口から141m間は土被り1.5D以下となっている。

当地区における地形・地質上の課題は以下のとおりである。

・トンネルは風化花崗岩の中に計画されているが、土被りが小さく地表面沈下が懸念される。
・坑口から20～40m間のトンネル左肩上部には、写真-3.1に示すため池が存在し、トンネル掘削に伴う逸水が懸念される。

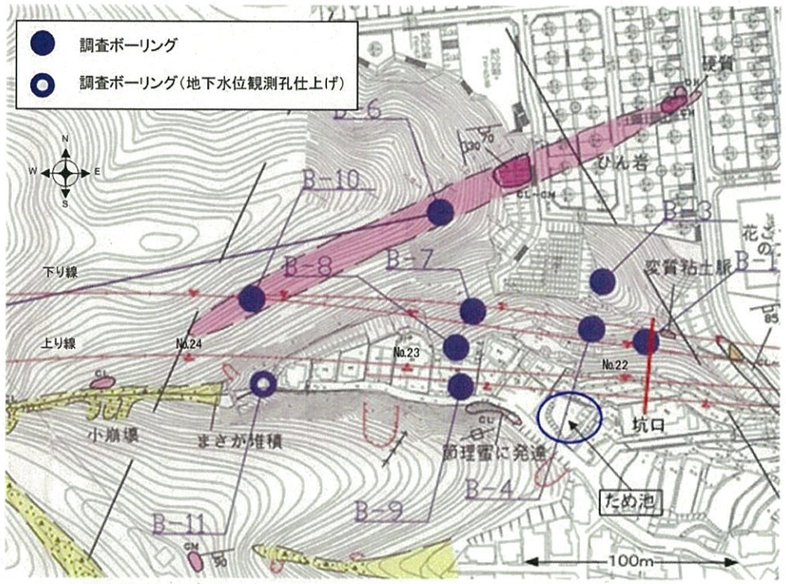


図-3.1　中山地区坑口部平面図



写真-3.1　トンネル上のため池

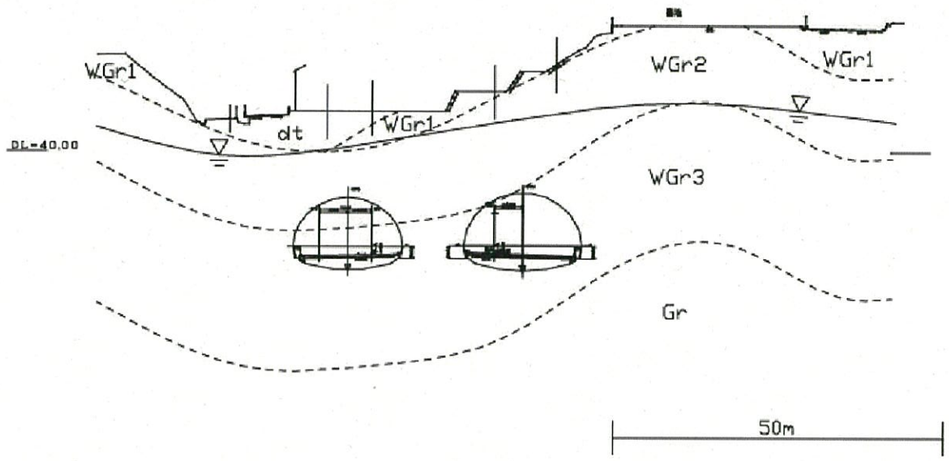


図-3.2　中山地区坑口部No.22＋20地質横断図

また、下り線側にはひん岩の岩脈が分布し、ひん岩の岩脈に接した花崗岩は割れ目の周辺部が劣化しているが、上り線までは伸長していないと考えられている。

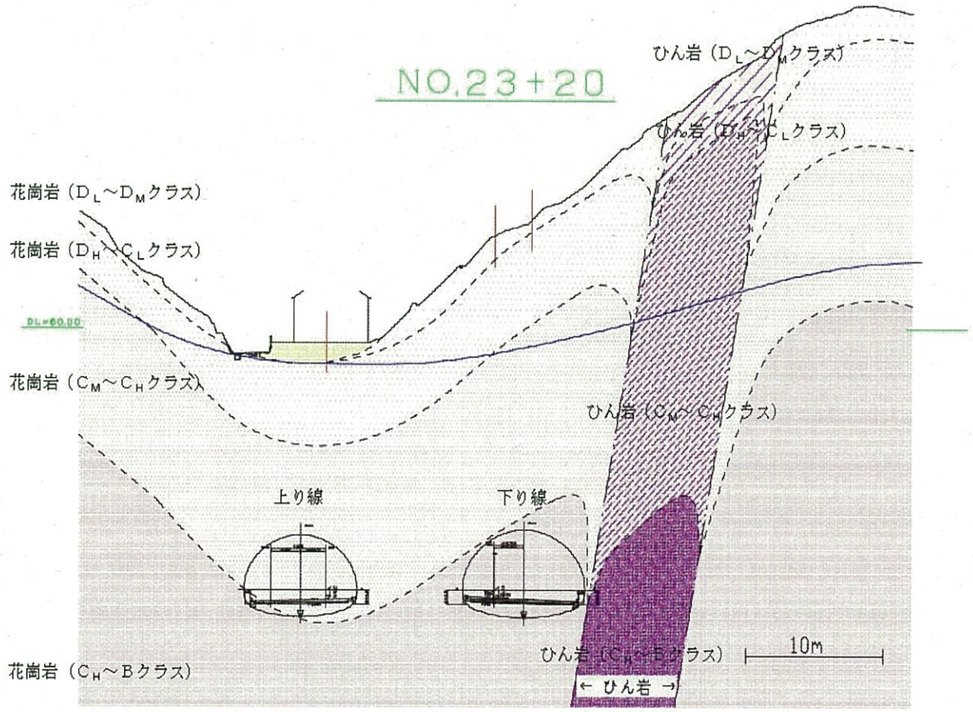


図-3.3　中山地区坑口部No.23＋20地質横断図

B-11

上り No.23+65.507 L12.560
掘進長 48.0 m
孔口標高 67.37 m
トンネル計画高 24.465m



地下水位
+2.0m(被圧)

・岩質は堅硬。

・割れ目沿いに細角礫～土砂状。
・岩質は若干軟質化。

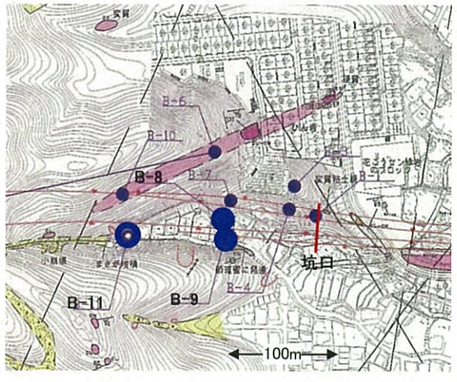
・岩質は堅硬だが、割れ目は部分的に軟質化。
・GL-25m付近で5l/分の湧水、GL+2mまで水位上昇。

・幅1cmの軟質な粘土を挟在。
・傾斜90°。

計画高

・中～細粒花崗岩。
・堅硬。

[redacted]



調査ボーリング
調査ボーリング(地下水位観測孔仕上げ)

図-3.4　ボーリングコア写真(中山地区)

（２）尾長山地区（図-3.5参照）

尾長山は、2本の調査ボーリングと電気探査が行われている。B-12ではトンネル計画高付近に、一部破砕質なコアが見られるが、全般的に良好な花崗岩が分布すると推定されている。一軸圧縮強度は、CH級岩盤では40,000～70,000kN/㎡、B級岩盤では70,000～125,000kN/㎡の値が得られている。

電気探査結果は、図-3.6に示すように、測点No.28～No.29間の山腹斜面の深部に低比抵抗帯が見られる。この低比抵抗帯は変質花崗岩と考えられている。

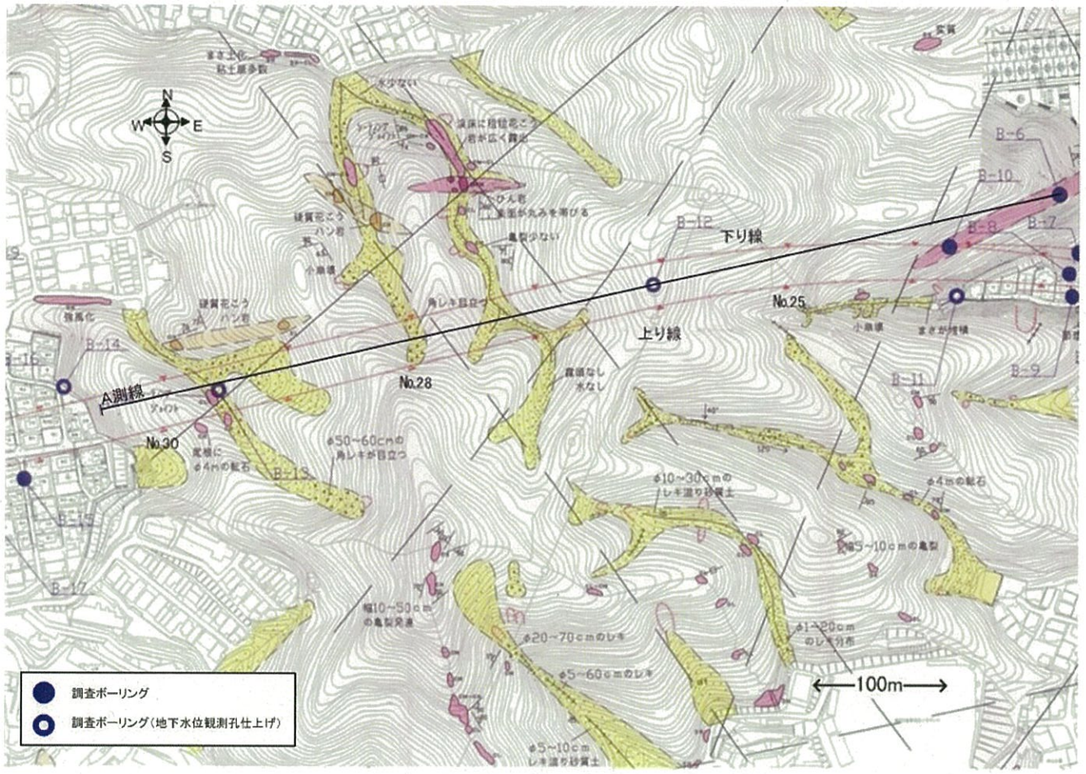


図-3.5　尾長山平面図

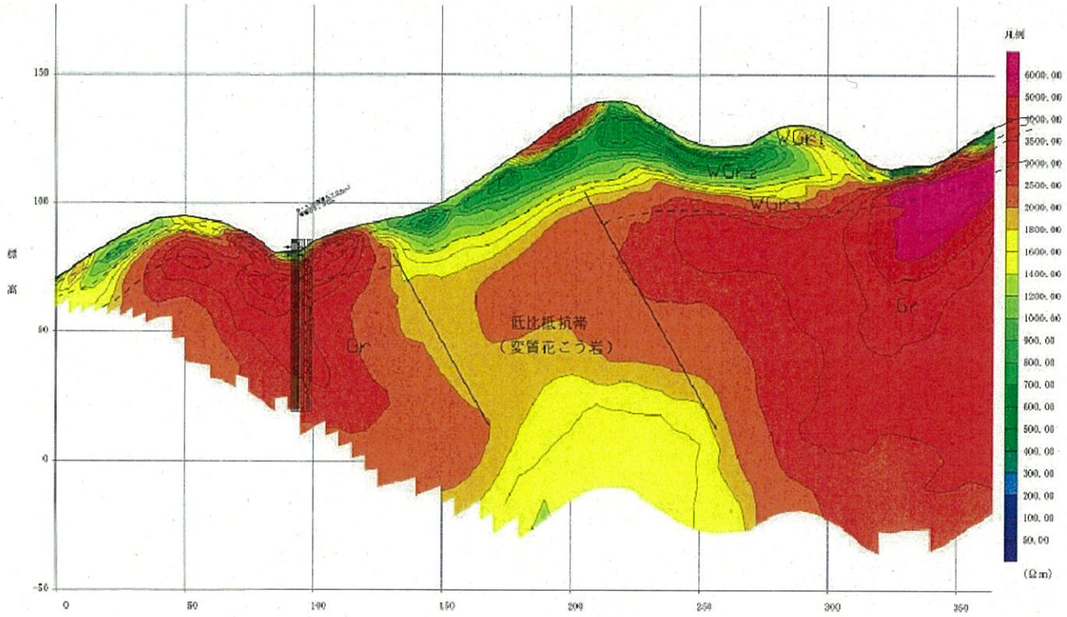
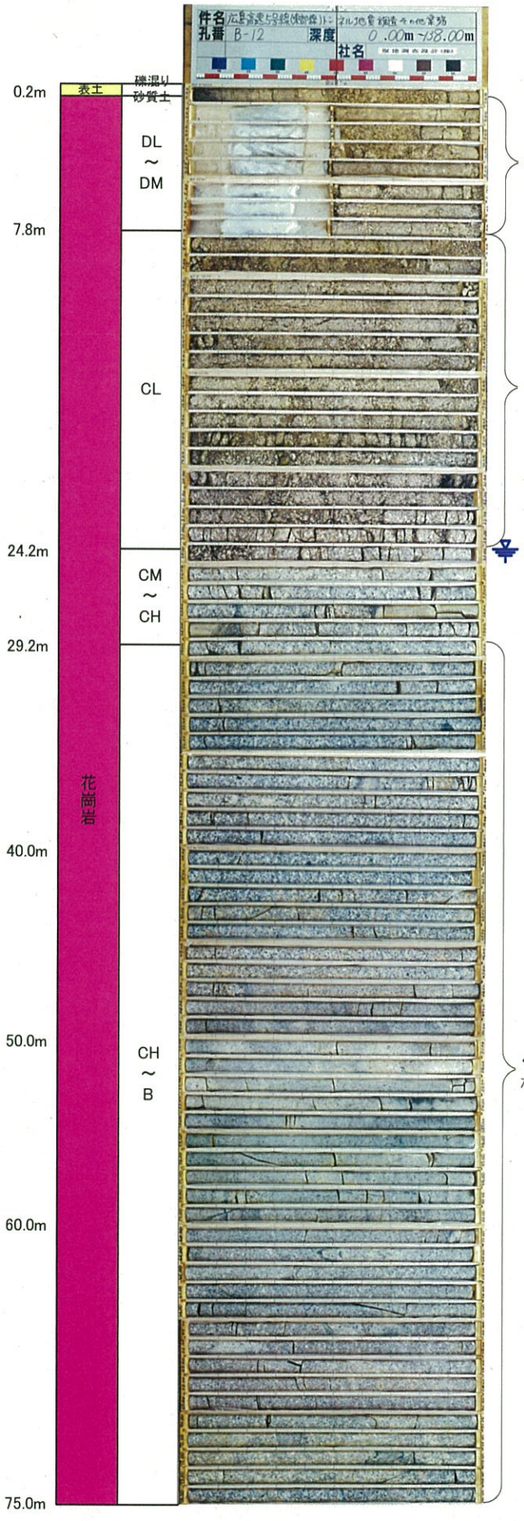


図-3.6　A測線低比抵抗帯断面図

B-12

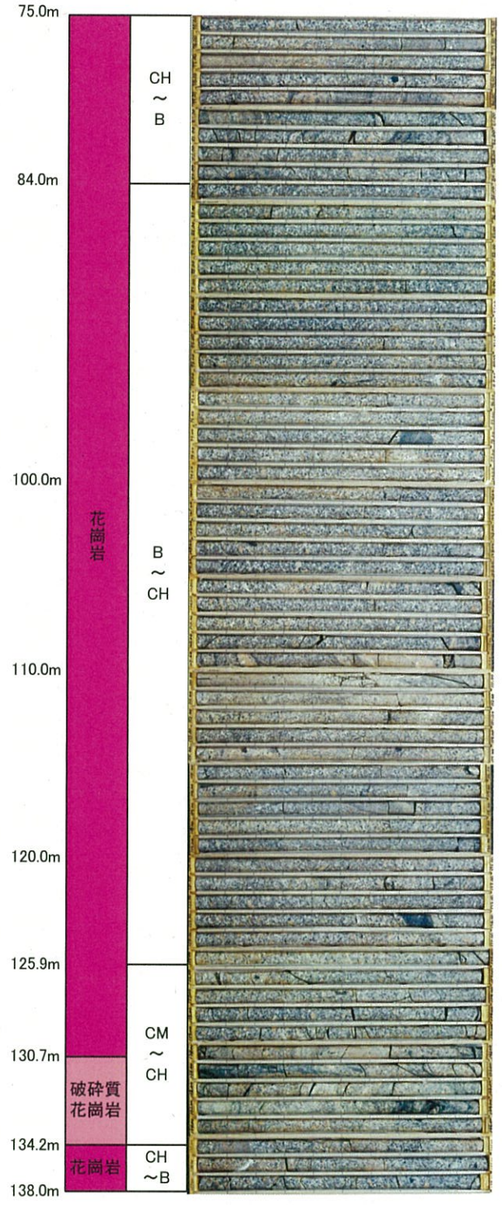
上り No.26+1.219 R17.083
掘進長 138.0 m
孔口標高 157.66 m
トンネル計画高 23.516m



・指圧で容易に砂状化。

・強い指圧でバラバラに砕ける。

・水平の割れ目が開口しているが、堅硬。



・割れ目の間隔は1m以上。
・新鮮堅硬。

・130.8～131.55m間；縦方向の破砕部。
・岩は、硬質～やや軟質。



計画高

図-3.7　ボーリングコア写真（尾長山一般部）

（３）牛田東地区（図-3.8参照）

牛田東地区は、土被りが15～40m程度の小土被り区間であり、トンネル上部には民家が密集している。トンネル上にある団地は、図-3.9に示すように、昭和30年代に高所を削って谷部を埋め立てて造成されている。

図-3.10に示すように、トンネル計画高付近はCM～CH級の花崗岩が分布しており、団地の中央をひん岩と花崗岩の混在部がトンネルルートを斜交している。ひん岩はB-14とB-16で確認されており、B-14で確認されたひん岩は堅硬であるが、B-16ではひん岩と花崗岩が混在しており、ひん岩も割れ目が多く発達し、特に花崗岩の破砕が著しい。そのため、ひん岩と花崗岩の混在する区間では、トンネル計画高付近の岩級区分もCL～DH級となるものと推定されている。ひん岩は、図-3.11に示すB-16のボアホールスキャナで測定された花崗岩/ひん岩境界の走向傾斜と、図-3.9に示す団地造成前の尾根部の方向からその分布位置が推定されている。

また、図-3.12に示すように、No.31+20付近では上下線ともひん岩を伴う劣化帯の中を通過すると予想されている。

団地造成の際に、写真-3.2に示す高さ約10mのコンクリート擁壁が造られ、その背面の旧谷部はBor.No.B-17では深さ12.8mまで埋土されていることが確認されている。

図-3.13にトンネル上下線の切盛を示す縦断図を示す。先行施工する上り線では最大約11mの盛土が行われている。

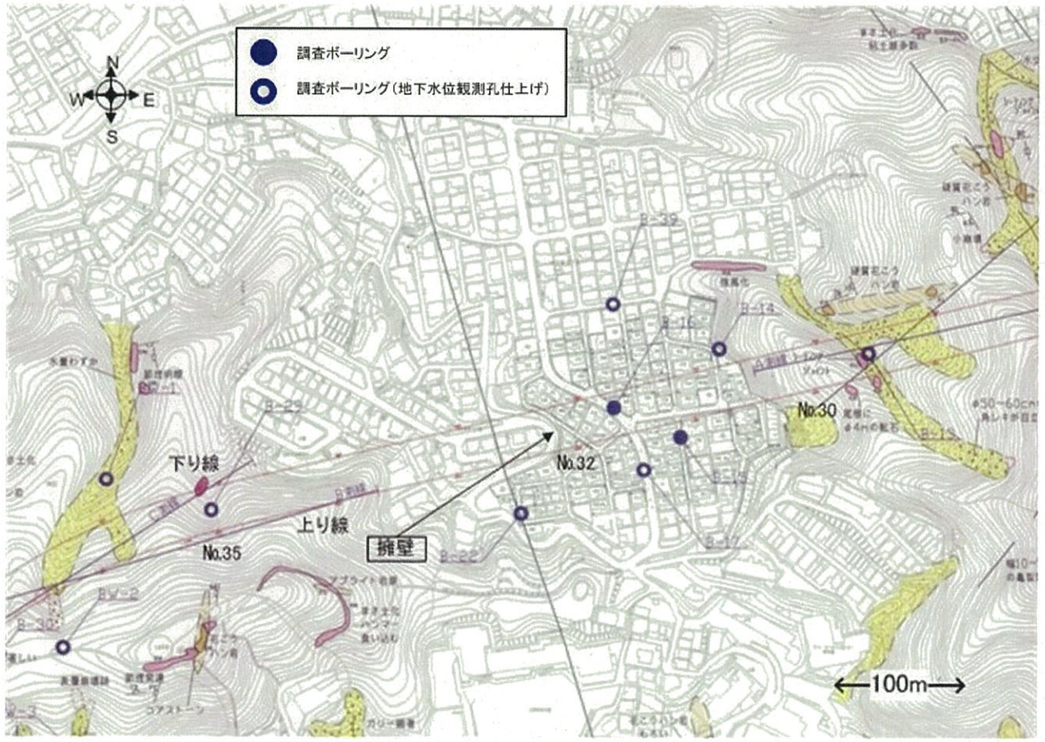


図-3.8　牛田東地区平面図

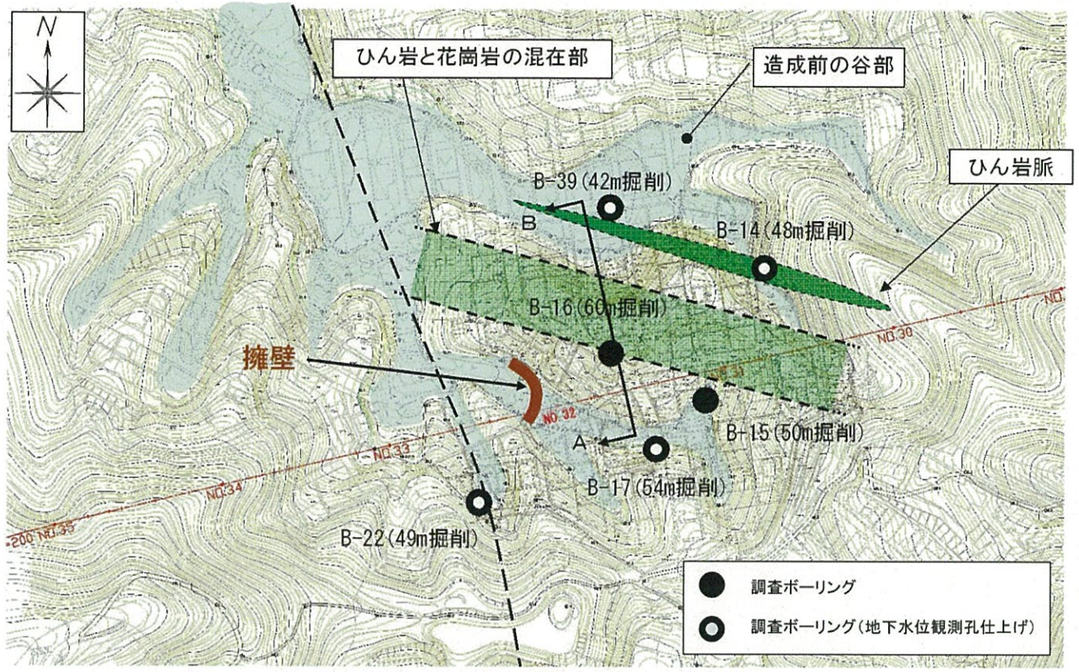


図-3.9　牛田東地区造成前の谷部

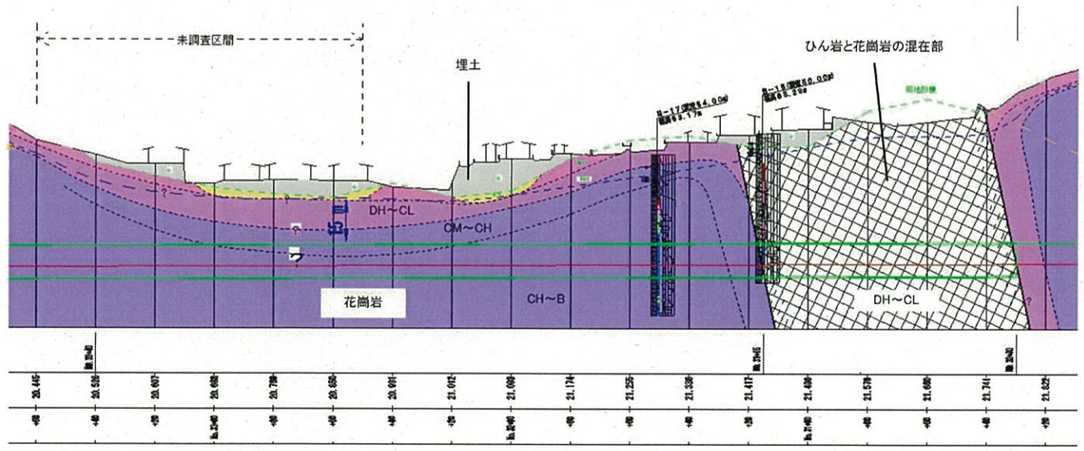


図-3.10　牛田東地区地質縦断図

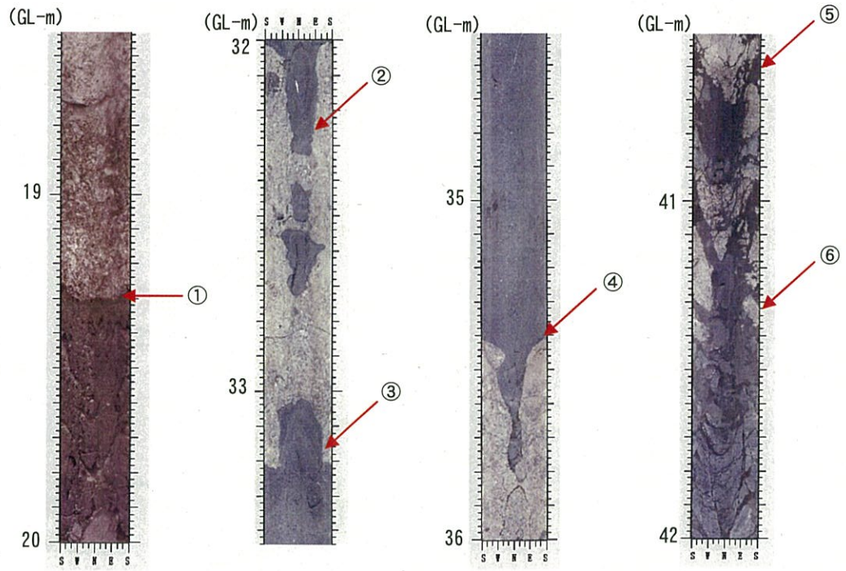


図-3.11
B-16のボアホールスキャナ展開図で見た花崗岩／ひん岩境界

No.	深度 (GL-m)	走向・傾斜
①	19.1	N84° W 34° N
②	32.2	N69° W 80° N
③	33.2	N65° W 72° N
④	35.6	N76° W 49° N
⑤	40.6	N82° W 66° N
⑥	41.4	N87° W 82° N



写真-3.2　牛田東地区擁壁

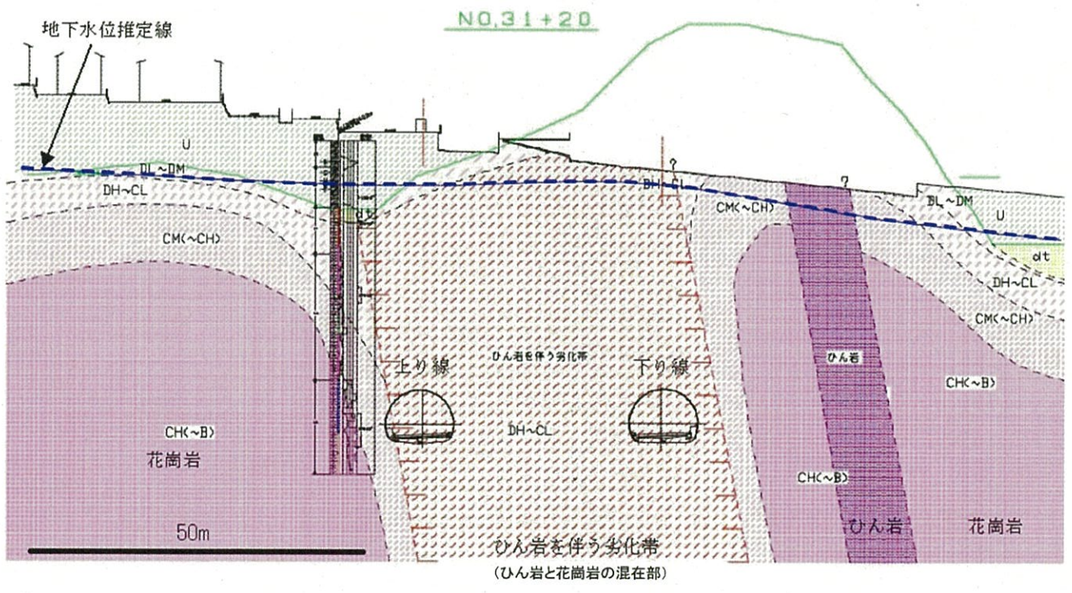


図-3.12　牛田東地区No.31+20横断図

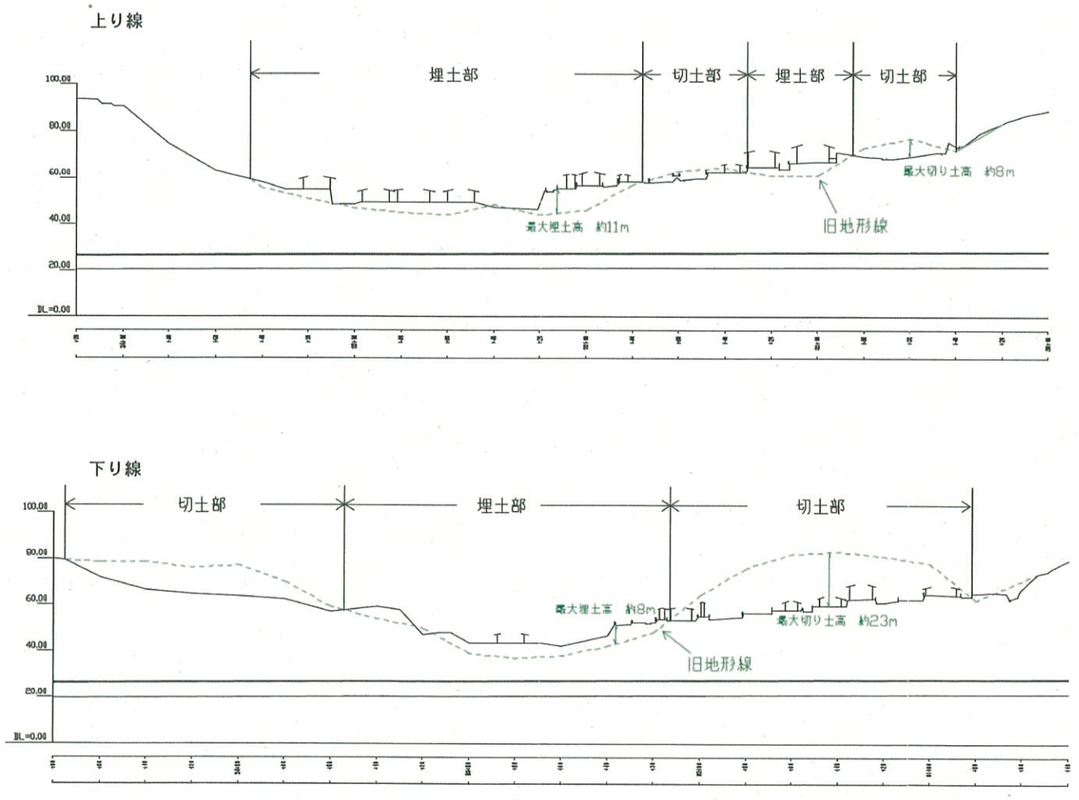
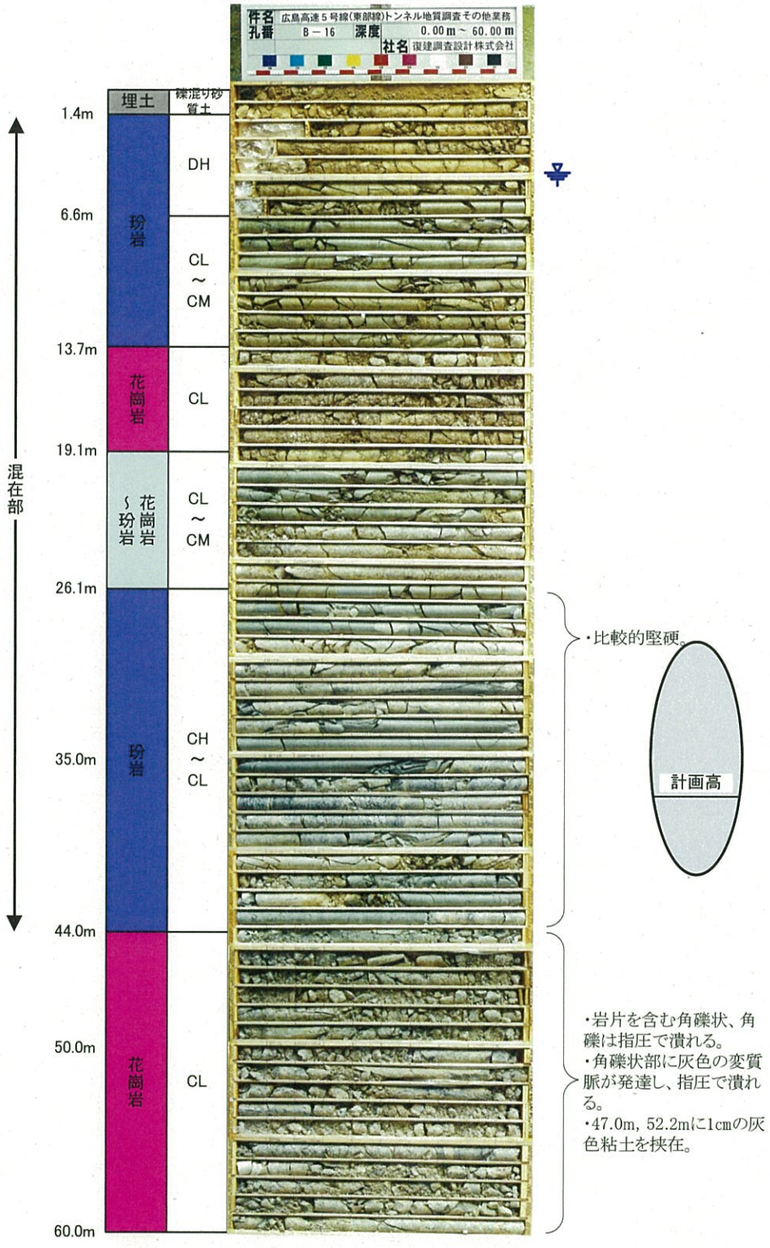


図-3.13　牛田東地区縦断図

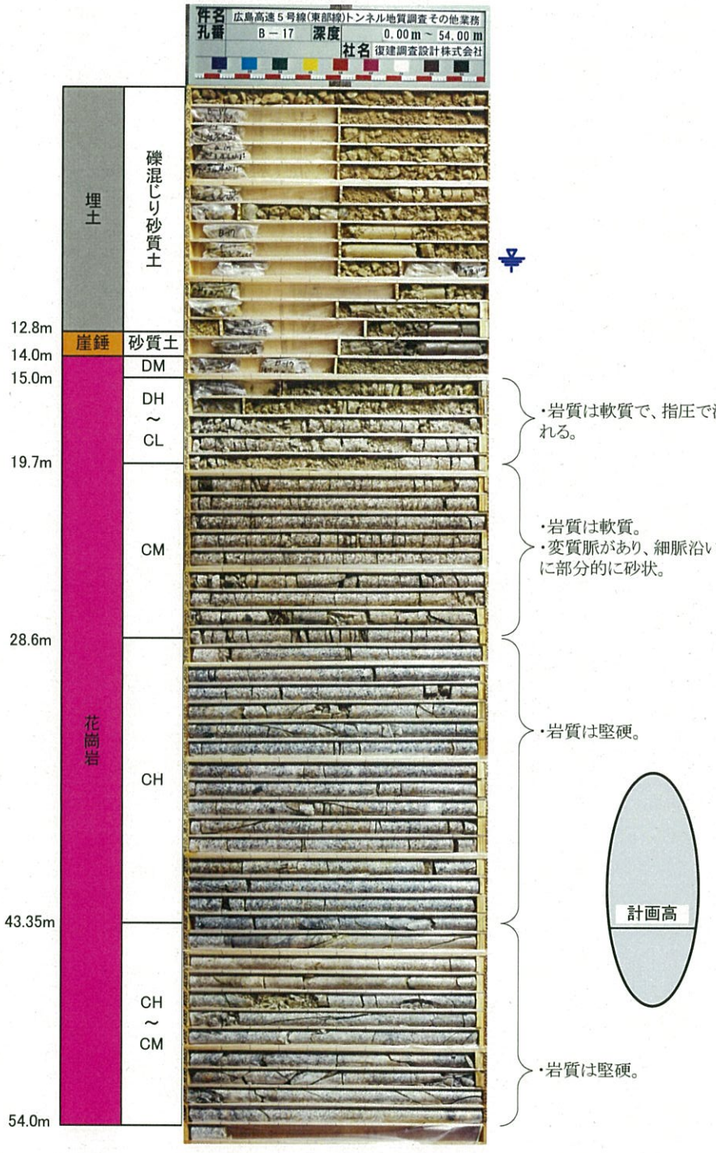
B-16

下り No.31+72.948 L12.768
掘進長 60.0 m
孔口標高 58.29 m
トンネル計画高 21.203m



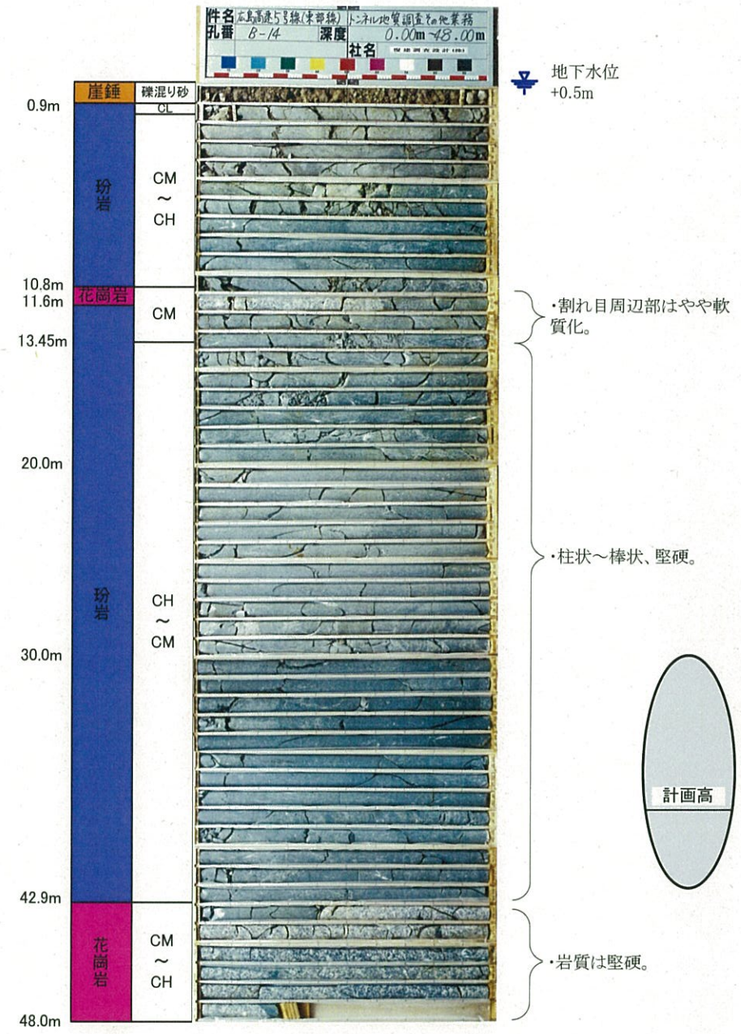
B-17

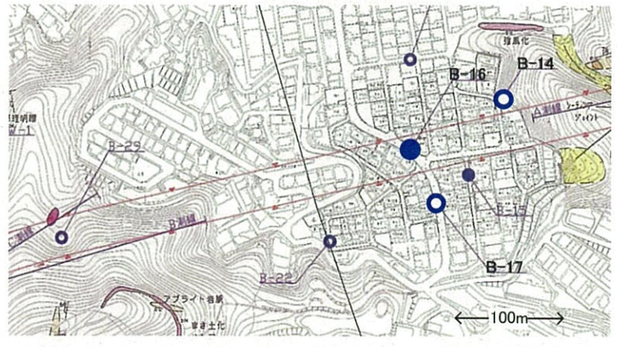
上り No.31+50.857 L31.890
掘進長 54.0 m
孔口標高 63.17 m
トンネル計画高 21.292m



B-14

下り No.30+77.690 R13.515
掘進長 48.0 m
孔口標高 59.88 m
トンネル計画高 21.898m





調査ボーリング
調査ボーリング(地下水位観測孔仕上げ)

図-3.13 ボーリングコア写真(牛田地区)

（４）二葉山（図-3.14参照）

二葉山は、2本の長尺ボーリングと4本の短尺ボーリング、2測線の電気探査が行われている。

全体的には良好な花崗岩が分布しているが、図-3.15に示すように、変質花崗岩と考えられる幅約50mの低比抵抗帯が分布している。

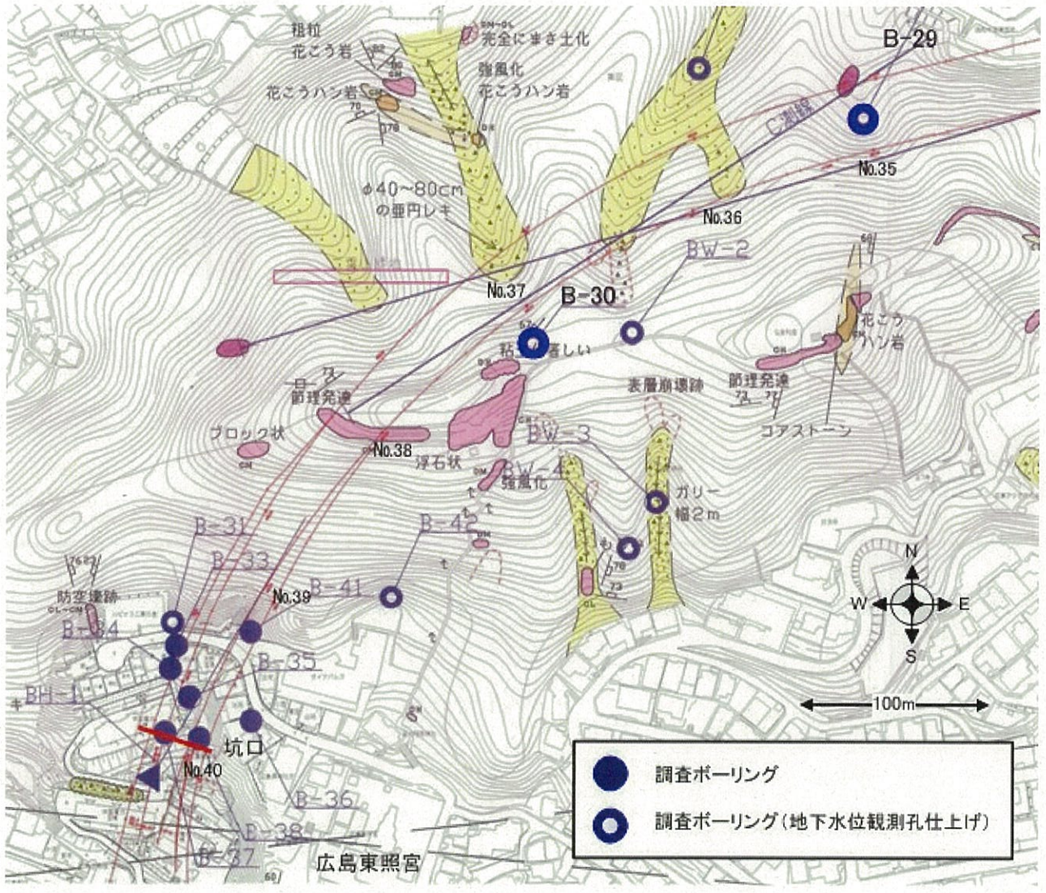


図-3.14　二葉山平面図

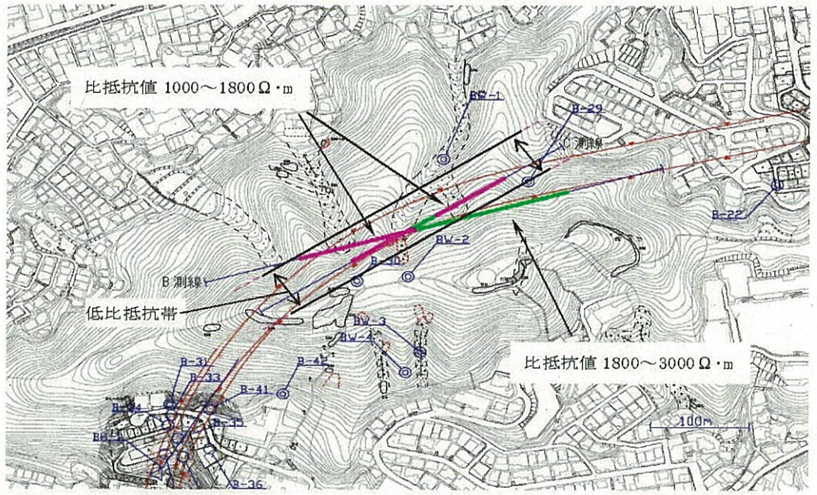
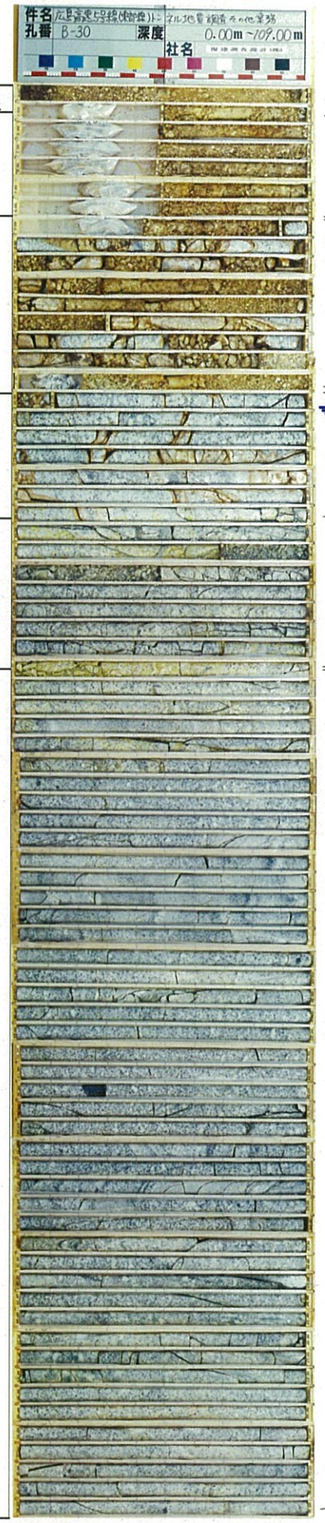


図-3.15　二葉山のトンネル計画高付近における比抵抗値の分布

B-30

上り No.37+9.021 L17.653
掘進長 109.0 m
孔口標高 124.66 m
トンネル計画高 19.032m



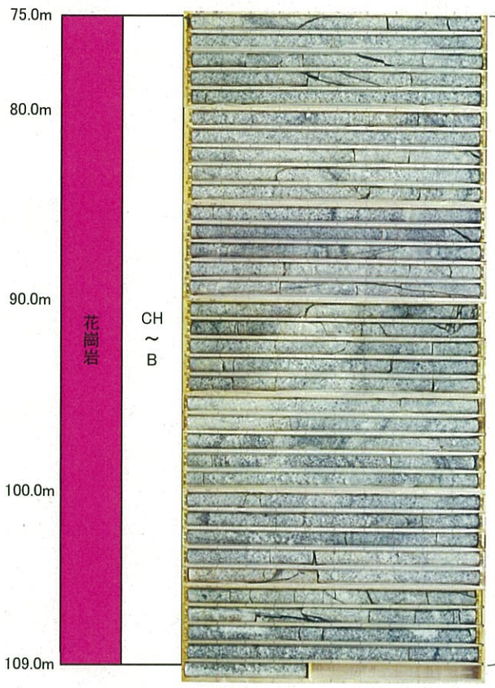
・砂状。
・指圧にて容易に崩れる。

・割れ目の周辺部は土砂化。

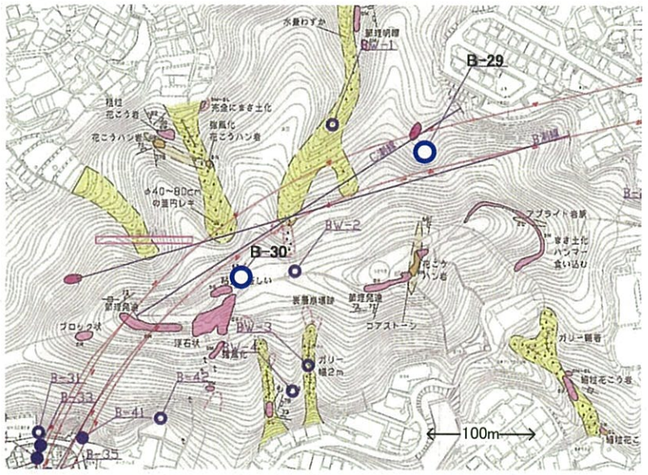
・比較的軟質。

・24.5～25.5m間は砂状。
・29.7m以深は弱変質を受け、一部礫状。

・全体に新鮮堅硬。
・53.5m付近は鉱物の細脈が密集し若干劣化。
・62.6～62.9m間は鉱物脈に沿って緑泥石化し、周辺は軟質化。



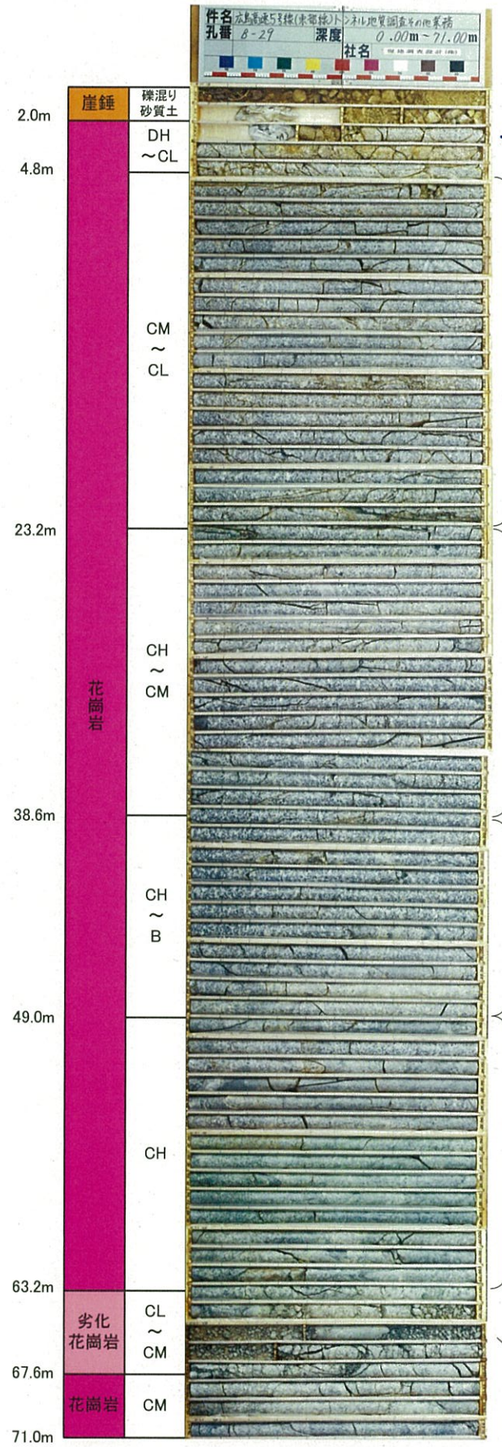
・全体に新鮮堅硬。
・87.0～87.8m間は鉱物脈に沿って若干の緩み。





B-29

上り No.35+1.464 R17.438
掘進長 71.0 m
孔口標高 83.21 m
トンネル計画高 19.872m



・岩自体は硬質だが、開口割れ目が多い。
・鉱物脈に沿って軟質化。

・全体に新鮮堅硬。
・割れ目に沿って劣化。

・新鮮堅硬。

・変質した組織を持つ花崗岩。
・若干軟質化。



・破砕された花崗岩。
・全体に軟質化。
・66.5mまで粘土化。

図-3.16 ボーリングコア写真(二葉山一般部)

（５）二葉の里地区（図-3.17参照）

二葉の里地区は、9本の鉛直ボーリングと1本の水平ボーリングが行われている。その結果、山岳トンネル区間に入って幅5～30cmの小規模な断層破砕帯が確認されているが、花崗岩は割れ目がやや多く発達した堅硬な花崗岩が分布している。

本地区には神社仏閣が数多く存在し、坑口の約100m東に広島東照宮（参照）があり、境内には御神水となっている井戸（深さ；[redacted]）が存在している。

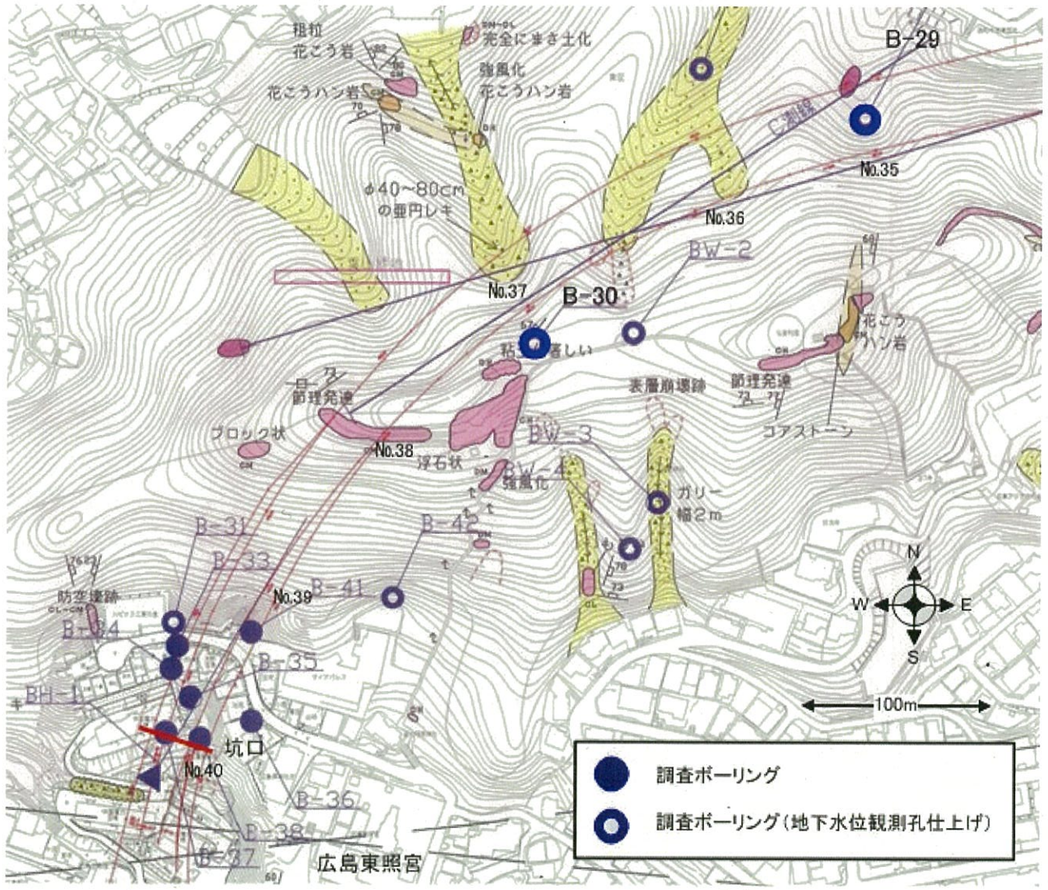


図-3.17　二葉の里地区平面図



写真-3.3　広島東照宮



写真-3.4　広島東照宮の御神水井戸



図-3.18　ボーリングコア写真（二葉の里地区）

4　地盤の物性

地質調査で得られた地盤の物性値を以下に示す。

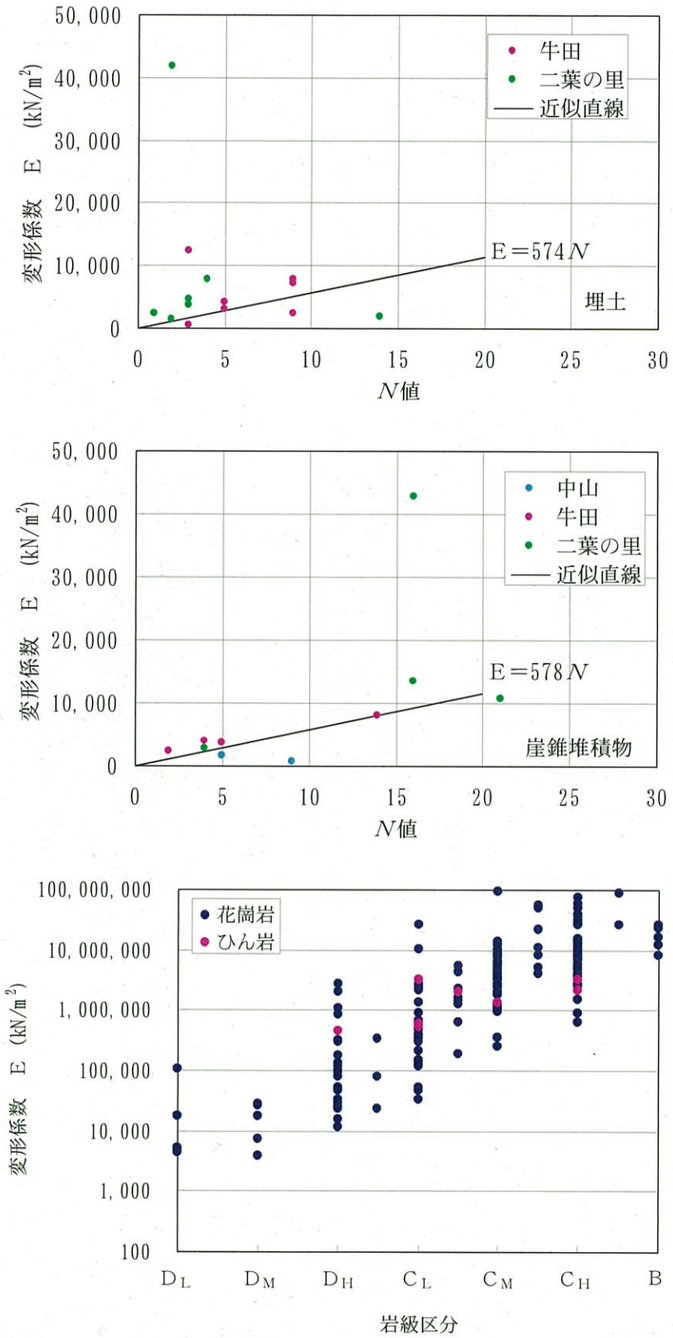


図-4.1　埋土（上）、崖錐堆積物（中）、岩盤（下）の変形係数

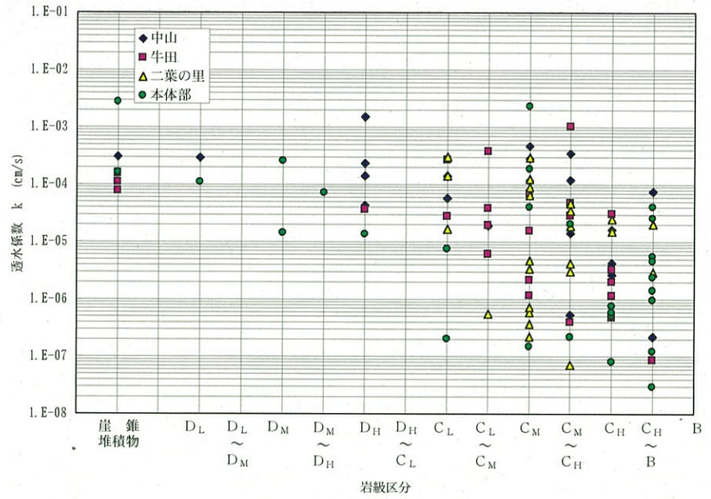


図-4.2　岩盤等級と透水係数

表-4.1　岩盤等級別地盤定数一覧表

岩級区分	設計N値	単位体積重量 γ_t (kN/m³)	変形係数 E (kN/m²)	せん断強度定数		許容支持力度 (kN/m²)
				c (kN/m²)	φ (°)	
埋土	3.6	20.0	2,000	0	25	—
崖錐堆積物	6.4	19.0	3,600	0	25	—
D_L	8.8	19.0	4,500	0	30	—
D_L～D_M	-	20.0	6,000	0	30	—
D_M	28.6	21.0	11,000	0	30	200
D_M～D_H	—	21.5	25,000	0	30	200
D_H	89.6	22.0	48,000	0	35	300
D_H～C_L	—	23.0	63,000	400	35	300
C_L	—	24.0	570,000	800	40	300
C_L～C_M	—	24.5	1,260,000	800	40	300
C_M	—	25.0	2,760,000	800	40	600
C_M～C_H	—	25.5	4,500,000	1,200	45	600
C_H	—	26.0	6,160,000	1,500	45	1,000
C_H～B	—	26.0	10,000,000	1,500	45	1,000
B	—	26.0	14,900,000	2,000	50	1,000

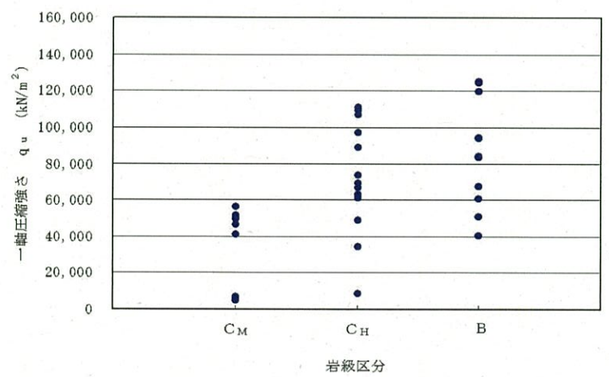


図-4.3　岩盤等級と一軸圧縮強さ

水文調査結果概要

本資料には個人情報が含まれるため取扱に注意してください。

1　水文調査結果概要

水文調査は、平成13年度から一部観測中断を含み実施されており、図-1.1に示す位置で、地下水位観測、井戸水位観測、井戸水量観測、沢水流量観測、簡易水質試験（pH、電気伝導度、水温）、水質分析（水道法に基づく水質、イオン成分分析）が行われている。

ここでは、５号線トンネル施工に関係する地下水位、井戸水位、沢水流量、水質分析（イオン成分分析）の観測結果について記す。

2　降水量

図-2.1に水文調査が実施された平成13年～平成20年の年間降水量を、図-2.2に月平均降水量を示す。降水量は、いずれも広島気象庁のデータである。8年間の年平均降水量は1490㎜、最も降水量が多かったのは平成18年の1960㎜、最小は平成19年の1048㎜である。平成20年も降雨量は1200㎜未満となっている。

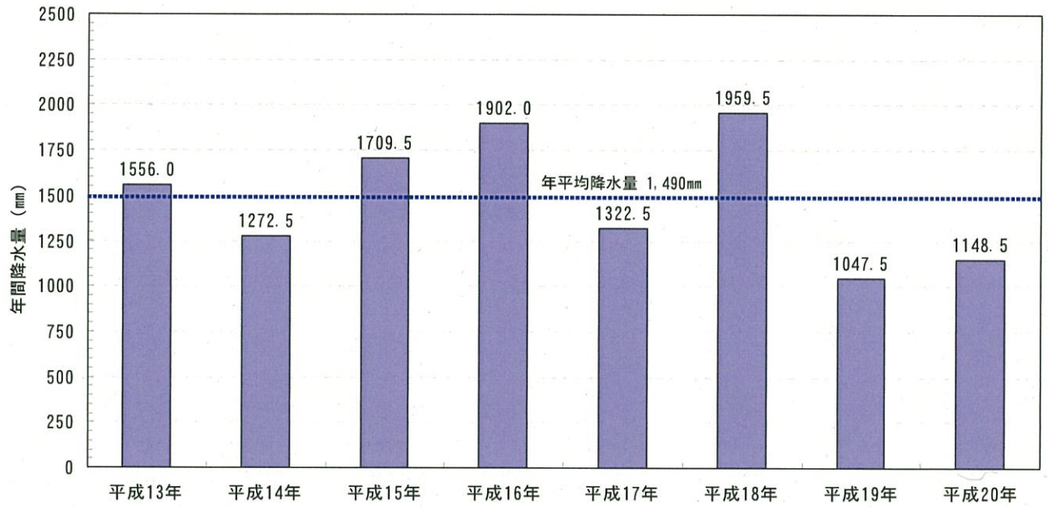


図-2.1　平成13年～平成20年の年間降水量

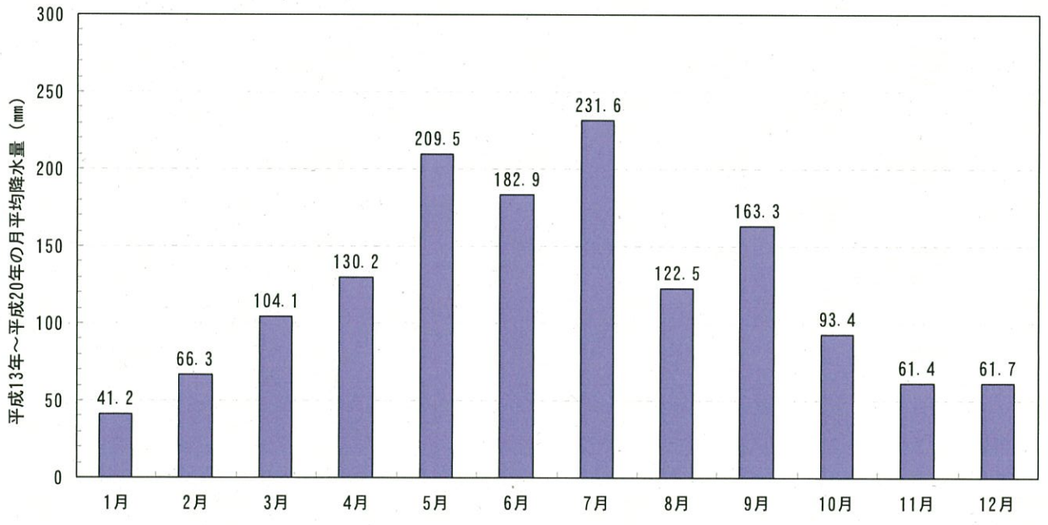


図-2.2　平成13年～平成20年の月平均降水量

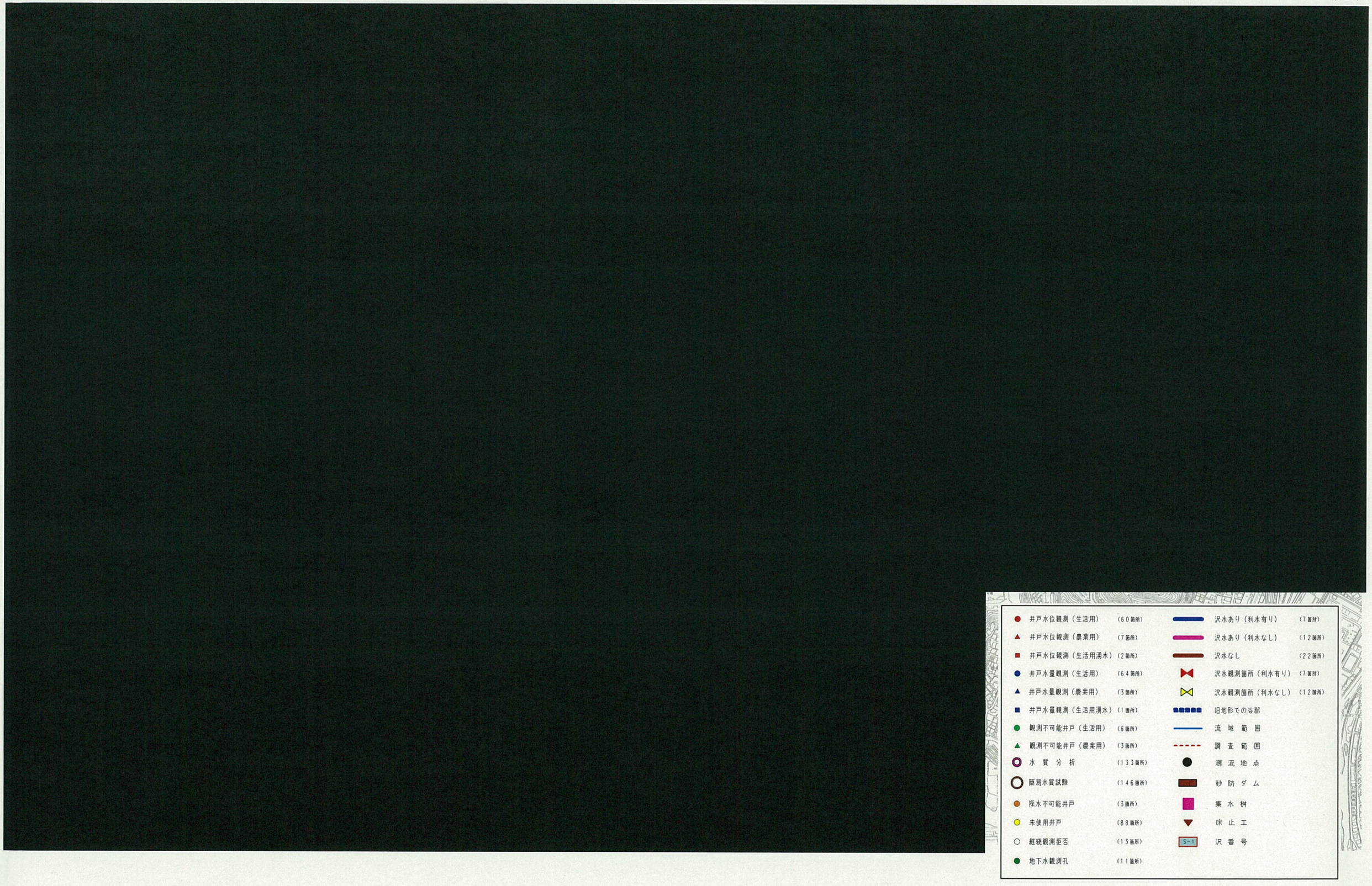


図-1.1 水文観測位置平面図

3　地下水位観測結果

連続観測されたボーリングの地下水位を図-3.2～図-3.4に示す。

地下水位観測は、平成13年度に開始され（B-30、[redacted]の3孔は平成13年度から連続観測、中山地区・尾長山・牛田地区・二葉山の8孔は平成13～15年度に観測した後一旦観測を休止、平成19年12月に観測を再開）、平成20年度に二葉山のBW-1, BW-2, BW-3, BW-4の４孔で観測が行われている。表-3.1に地下水位観測結果一覧表を示し、以下地区ごとに記す。

表-3.1　地下水位観測結果一覧表

地区名	Bor. No.	掘進長 (m)	掘削後水位	測点No.			孔口標高 (m)	トンネル計画高 (m)
中山地区	B-11	48.0	GL+0.5m	上り	23+65.507	L 12.560	67.37	24.465
尾長山	B-12	138.0	GL-24m	上り	26+ 1.219	R 17.083	157.66	23.516
	B-13	67.0	GL-3m	上り	29+51.161	R 18.013	85.90	22.101
牛田地区	B-14	48.0	GL-2m	下り	30+77.690	R 13.515	59.88	21.898
	B-17	54.0	GL-9m	上り	31+50.857	L 31.890	63.17	21.292
	B-39	42.0	GL-8.5m	下り	31+53.994	R 69.202	50.68	21.279
	B-22	49.0	GL-7m	上り	32+57.198	L 43.705	58.06	20.861
二葉山	B-29	71.0	GL-2m	上り	35+ 1.464	R 17.438	83.21	19.872
	B-30	109.0	GL-17m	上り	37+ 9.021	L 17.653	124.66	19.032
	BW-1	7.0	GL-3.9m	下り	35+85.838	R 31.972	66.05	19.530
	BW-2	19.0	GL-16.5m	上り	36+60.742	L 41.739	123.95	19.183
	BW-3	10.0	GL-1.85m	上り	37+6.465	L 121.742	78.44	18.835
	BW-4	9.0	GL-7.8m	上り	37+37.727	L 131.862	78.36	18.487
二葉の里	[redacted]							

中山地区の地下水位（図-3.2参照）は、観測孔B-11が沢部の出口にあり、その上流には堰堤があって乾期でも沢は湿った状態にあることを反映して、地下水位は降雨による水位変動は見られず常に地表付近に存在する。沢の下流側にはため池も存在することから、この沢部は地下水位が高いことが伺える。

尾長山の地下水位（図-3.2参照）のうち、稜線にあるB-12は、Ｃ級岩盤内を数ｍの範囲で季節変動しており、平成15年度の豊水期には例年より2m程度水位が上昇している。B-13は尾長山山頂から北西方向に発達した沢部の中にあり、地下水位は降雨の有無に関係なく崖錐堆積物とＤ級岩盤との境界付近にあり、季節変動は小さい。

牛田地区は、図-3.1に示すように、団地造成の際に高所を切土して谷部が埋め立てられており、観測孔の位置によって地下水位が存在する地質と変動が異なっている。B-17とB-39は、いずれも埋土が10m以上も存在し、地下水位は埋土層内を季節変動しており、特にB-17は4m以上の水位変動が生じている。B-22は埋土が3mあり、その下位に厚さ3ｍのＤ級岩盤、さらにその下位に厚さ9.45ｍのDH～CL級岩盤が分布しており、地下水位はＤ級岩盤とDH～CL級岩盤の境界付近に存在し、季節変動は小さい。B-14は沢部に位置しているが、厚さ0.9ｍの崖錐堆積物の下位はＣ級岩盤が分布しており、地下水位は地表近くに存在し、季節変動は小さい。また、降雨による水位変動も小さい。

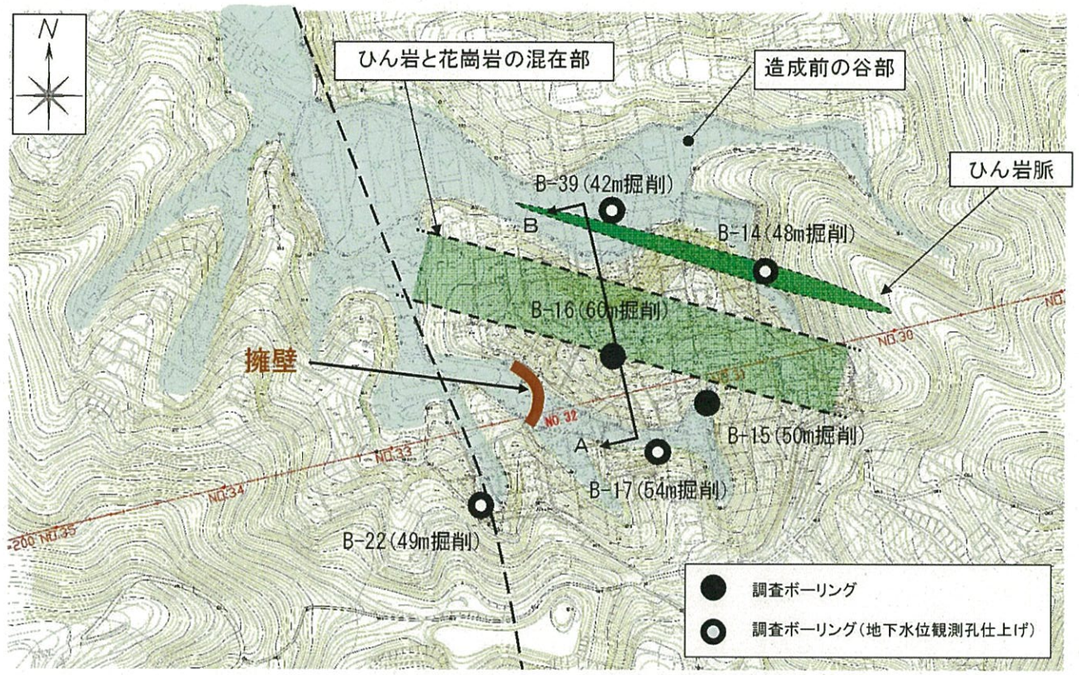


図-3.1　団地造成前の谷部と観測孔の位置

二葉山の北東斜面にあるB-29は沢部に位置し、地下水位はDH～CL級岩盤を推移している。二葉山山頂西側の稜線にあるB-30の地下水位は、Ｃ級岩盤内を季節変動しており、変動幅は約7ｍで大きい変動幅を示している。トンネル天端の約80m上に最高水位は位置しているが、平成20年度、21年度は降水量が少なく季節変動も小さくなっている（図-3.4参照）。

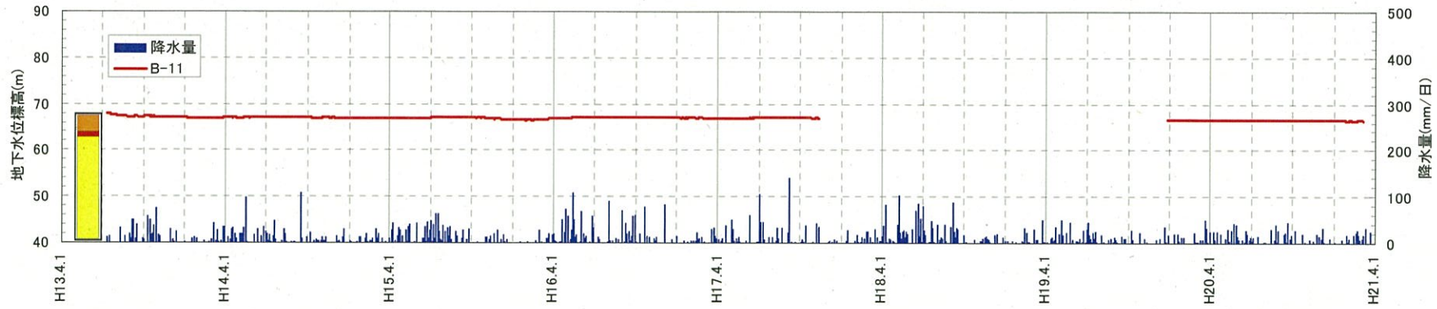
二葉山の山腹斜面に設けられた浅い観測孔４孔（図-3.5参照）の内、BW-1とBW-3の地下水位はＤ～Ｃ級岩盤内を推移しており、BW-2とBW-4の地下水位は孔底以深のＣ級岩盤内に水位が存在している。

二葉の里地区（図-3.4参照）の[redacted]の地下水位は、[redacted]を示している。[redacted]は谷部に位置しており、地下水位は[redacted]

中山地区

B-11

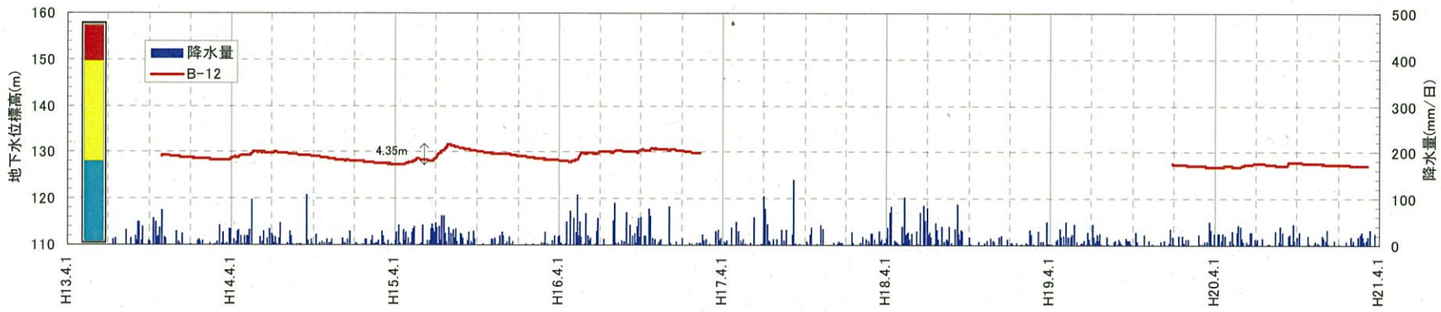
上り No.23+65.507 L12.560
掘進長 48.0 m
孔口標高 67.37 m
トンネル計画高 24.465m



尾長山

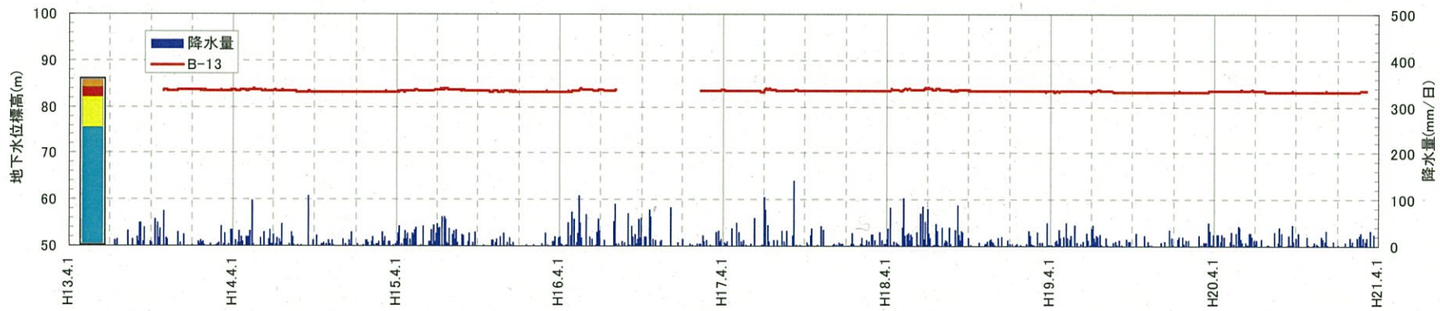
B-12

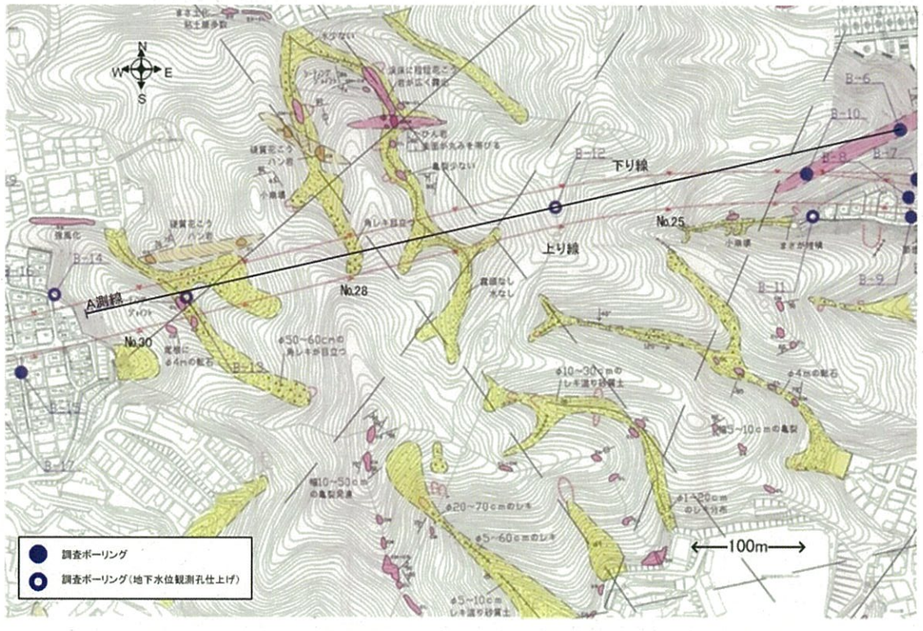
上り No.26+1.219 R17.083
掘進長 138.0 m
孔口標高 157.66 m
トンネル計画高 23.516m



B-13

上り No.29+51.161 R18.013
掘進長 67.0 m
孔口標高 85.90 m
トンネル計画高 22.101m





柱状図凡例

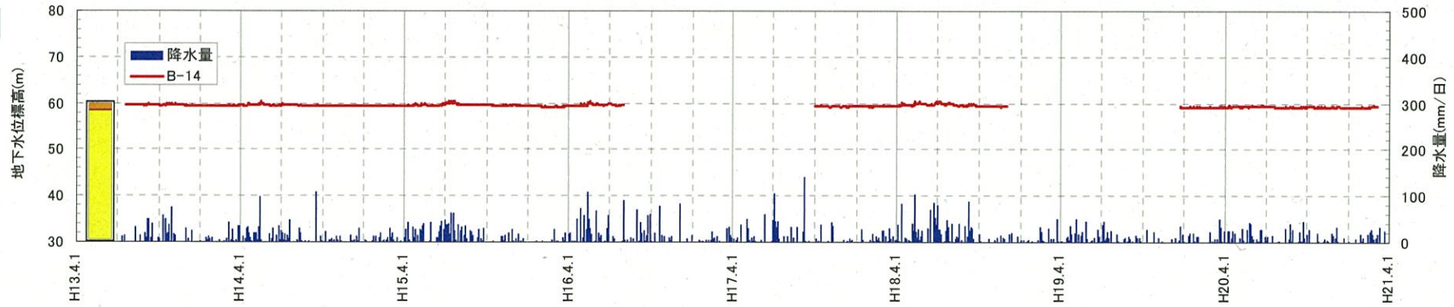
- 埋土
- 表土
- 崖錐堆積物
- D級
- DH～CL級
- C級
- CH～B級

図-3.2　地下水位経時変化(中山地区・尾長山)

牛田地区

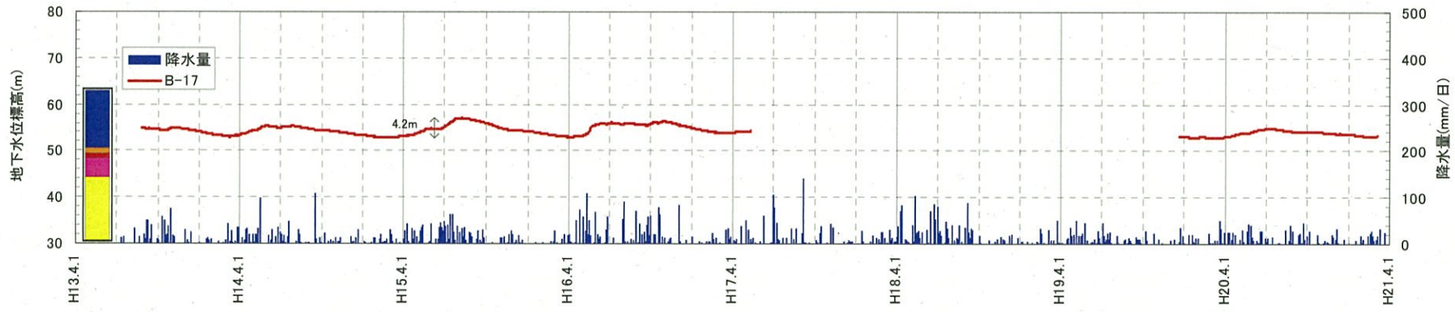
B-14

下り No.30+77.690 R13.515
掘進長　48.0 m
孔口標高　59.88 m
トンネル計画高　21.898m



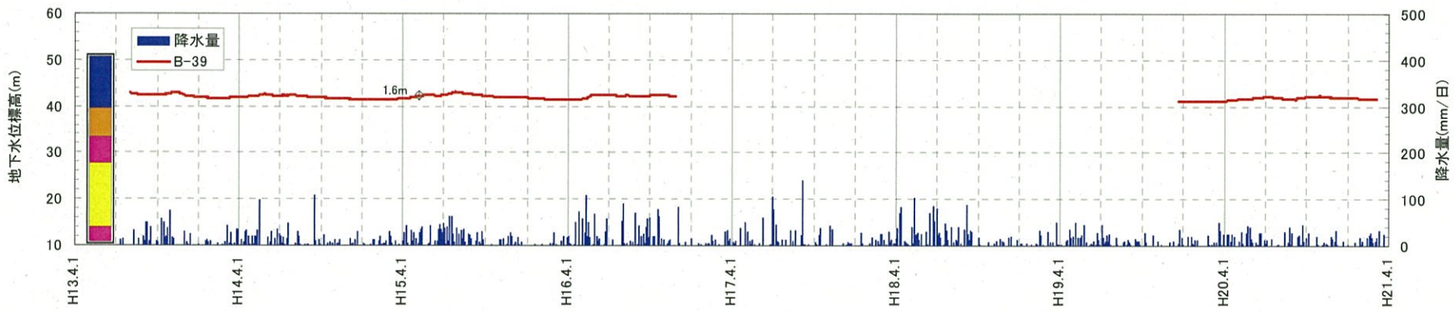
B-17

上り No.31+50.857 L31.890
掘進長　54.0 m
孔口標高　63.17 m
トンネル計画高　21.292m



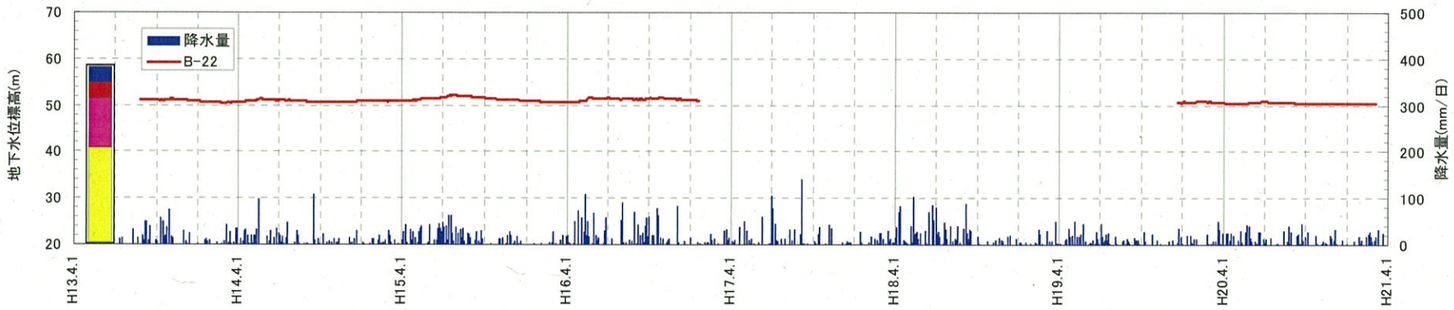
B-39

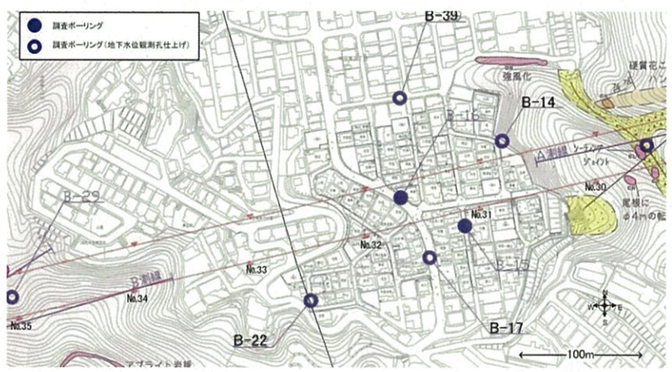
下り No.31+53.994 R69.202
掘進長　42.0 m
孔口標高　50.68 m
トンネル計画高　21.279 m



B-22

上り No.32+57.198 L43.705
掘進長　49.0 m
孔口標高　58.06 m
トンネル計画高　20.861 m





柱状図凡例

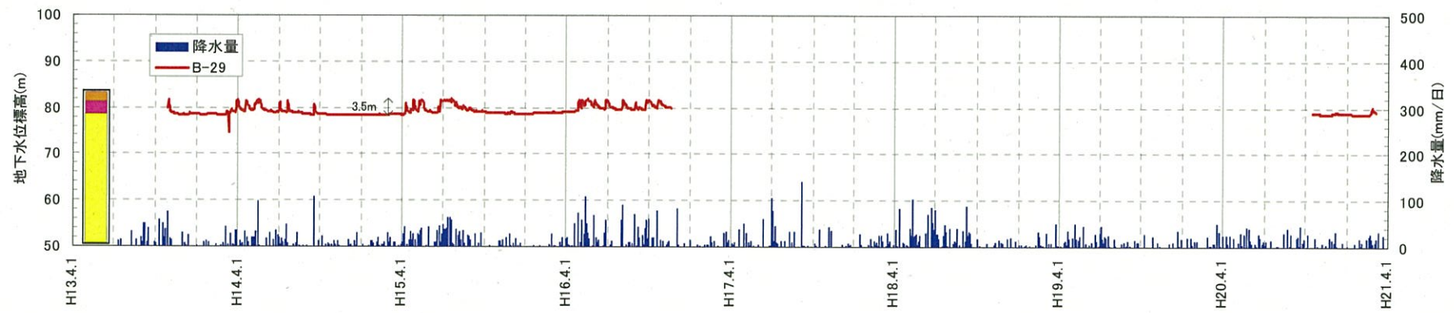
- 埋土
- 表土
- 崖錐堆積物
- D級
- DH～CL級
- C級
- CH～B級

図-3.3　地下水位経時変化（牛田東地区）

二葉山

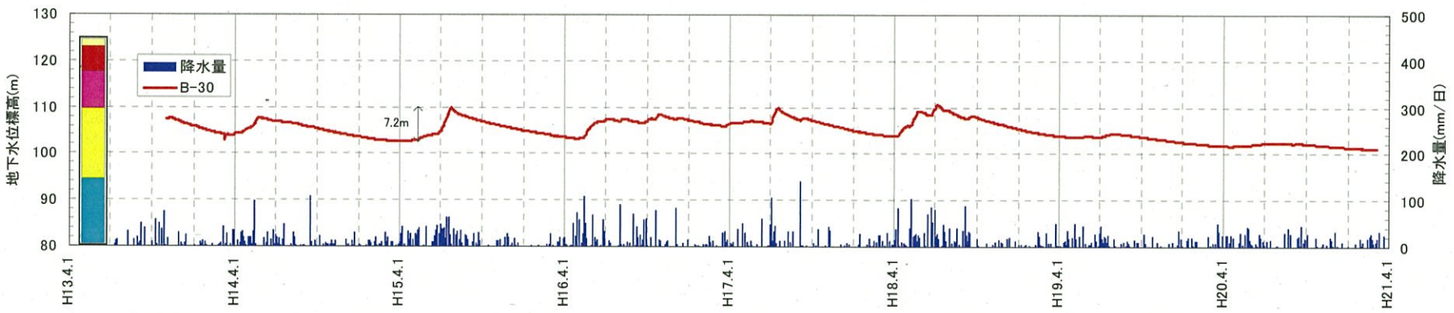
B-29

上り No.35+1.464 R17.438
掘進長 71.0 m
孔口標高 83.21 m
トンネル計画高 19.872m



B-30

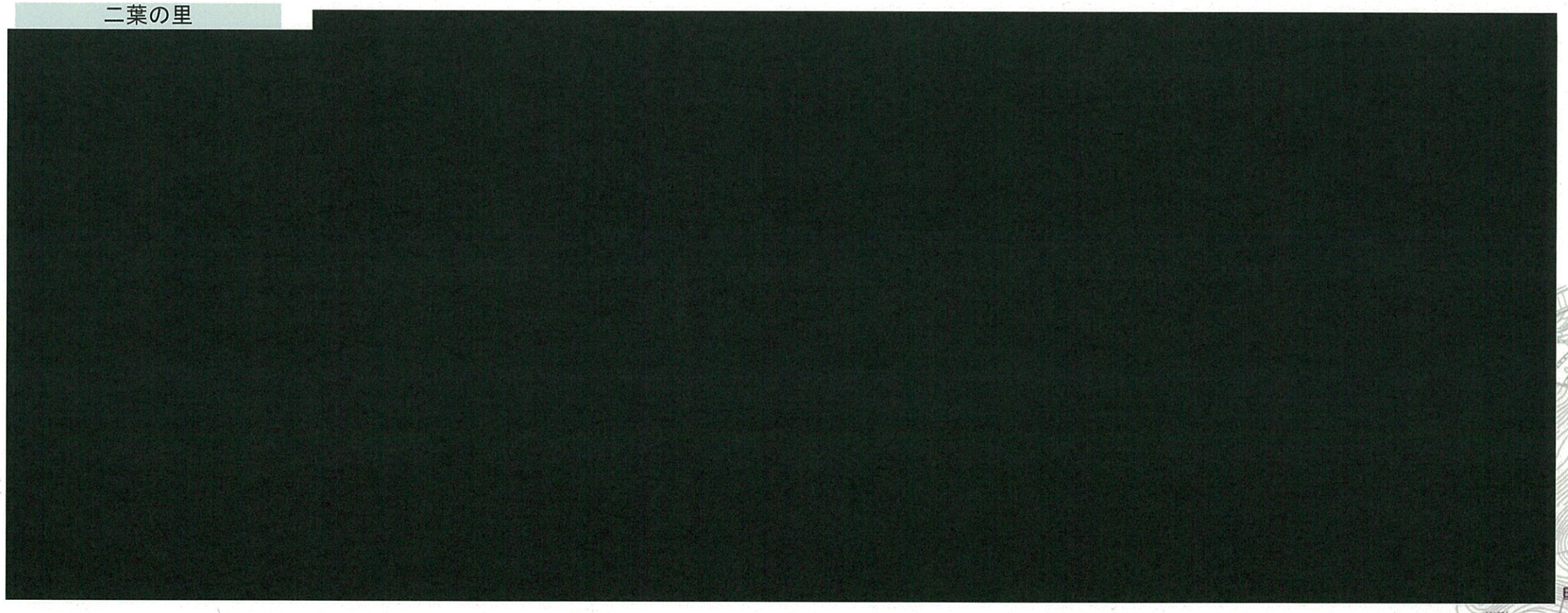
上り No.37+9.021 L17.653
掘進長 109.0 m
孔口標高 124.66 m
トンネル計画高 19.032m



柱状図凡例

- 埋土
- 表土
- 崖錐堆積物
- D級
- DH～CL級
- C級
- CH～B級

二葉の里



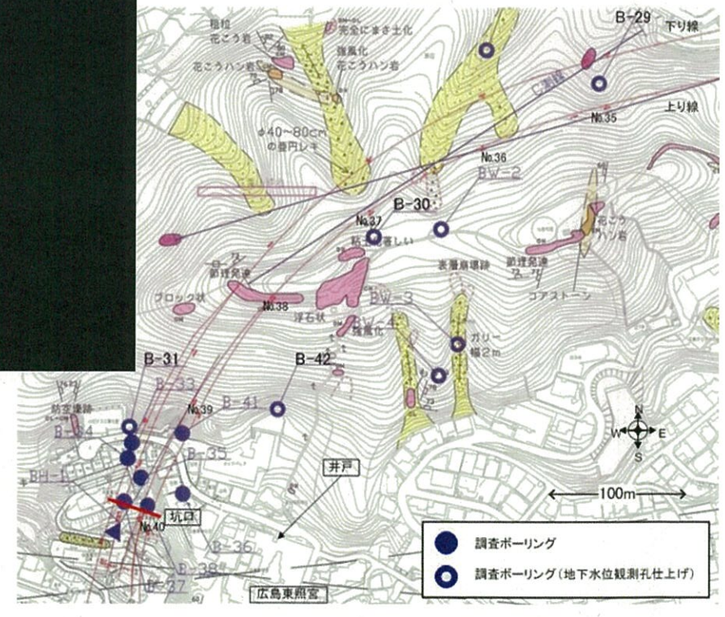
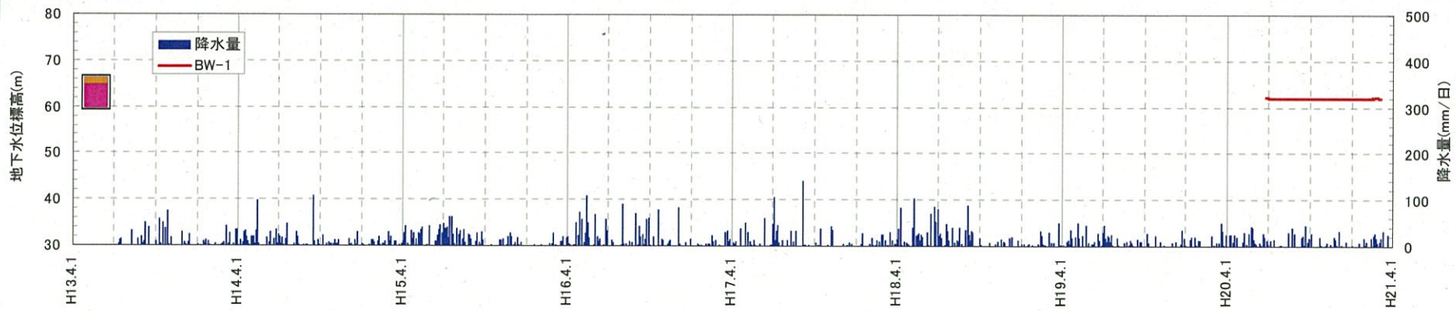


図-3.4　地下水位経時変化（二葉山・二葉の里地区）

二葉山

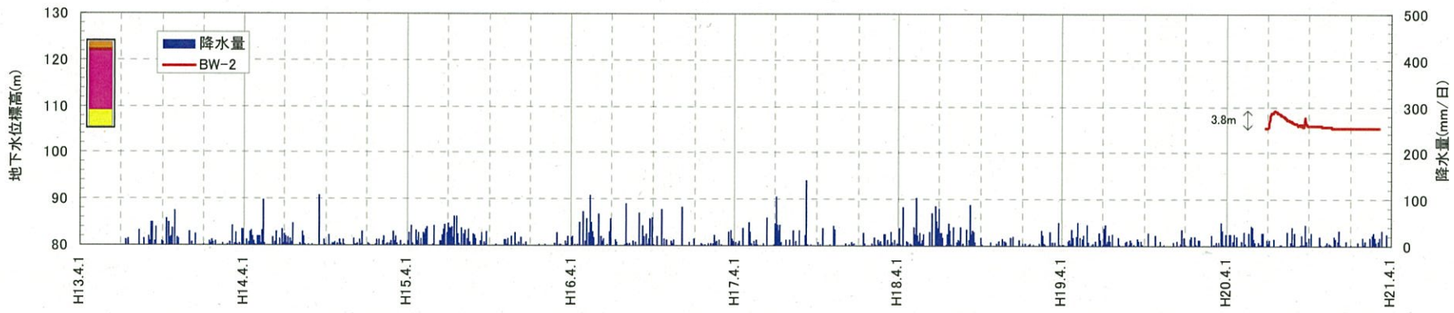
BW-1

下り No.35+85.838 R31.972
掘進長　7.0 m
孔口標高　66.05 m
トンネル計画高　19.530m



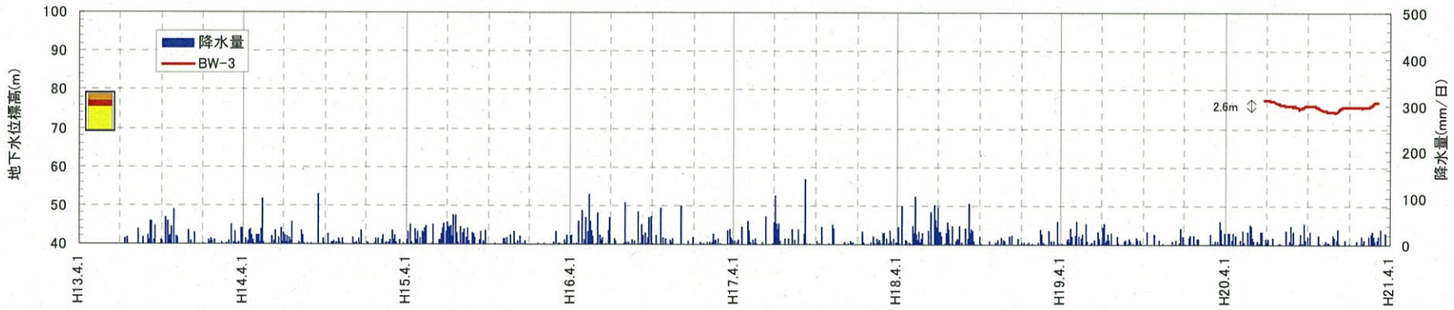
BW-2

上り No.36+60.742 L41.739
掘進長　19.0 m
孔口標高　123.95 m
トンネル計画高　19.183m



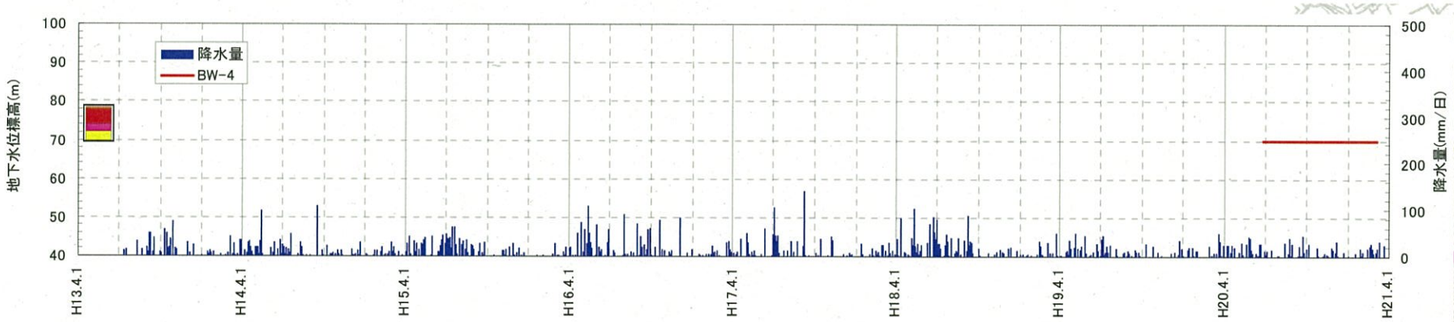
BW-3

上り No.37+ 6.465 L121.742
掘進長　10.0 m
孔口標高　78.44 m
トンネル計画高　18.835m



BW-4

上り No.37+37.727 L131.862
掘進長　9.0 m
孔口標高　78.36 m
トンネル計画高　18.487m



柱状図凡例

- 埋土
- 表土
- 崖錐堆積物
- D級
- DH～CL級
- C級
- CH～B級

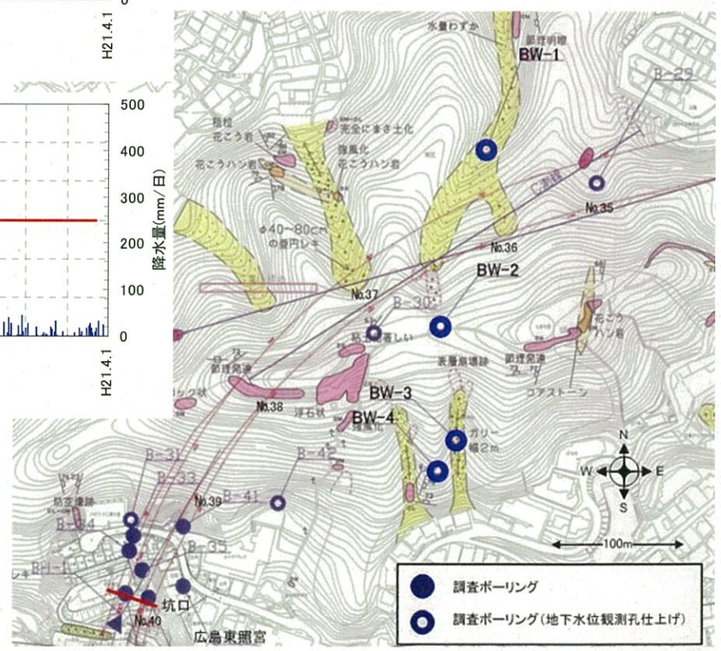


図-3.5　地下水位経時変化(二葉山　山腹斜面)

4　井戸水位観測結果

井戸の水位は平成14年度に開始され、多くは平成16年8月に観測を中止しており、現在観測中の井戸は12箇所である。図-1.1に観測位置平面図を、表-4.1に地区ごとの観測井戸と観測期間を示す。

表-4.1　地区ごとの観測井戸と観測期間

地区名		中山地区	山根地区	牛田東地区	牛田南地区	二葉の里地区	計
観測期間	H14.8～H16.7	19 箇所	19 箇所	17 箇所	11 箇所		66 箇所
	H16.5～H18.3	1 箇所					1 箇所
	H14.8～H20.1		1 箇所				1 箇所
	H17.2～H20.1					2 箇所	2 箇所
	H19.6～H20.1	2 箇所					2 箇所
	H20.3～	5 箇所	3 箇所		2 箇所	2 箇所	12 箇所

（１）中山地区（図-4.1参照）

中山地区にある井戸の代表として、[redacted]の4本の井戸の経時変化を図-4.1に示す。このうち、現在観測中の井戸は[redacted]であり、トンネル直上の集落の最も上流側で観測されている。

深井戸の[redacted]は、降雨による季節変動を示している。[redacted]は崖錐堆積物中の水位を示していると思われ、季節変動はわずかである。また、[redacted]は地表から１ｍ以内の水位を示している。

（２）山根地区（図-4.2参照）

山根地区にある井戸の代表として、[redacted]の3本の井戸の経時変化を図-4.2に示す。

[redacted]は、尾長山山頂の南東側の沢S-36から浸出する沢水を源としていると思われ、水位は季節変動を示している。また、[redacted]はトンネル中間部の小土被り区間の南方に位置しており、季節変動は示していない。[redacted]は、地表付近に水位が存在している。

（３）牛田地区（図-4.3参照）

牛田東地区にある井戸の代表として、[redacted]の2本の井戸、牛田南地区にある井戸の代表として、[redacted]の2本の井戸の経時変化を図-4.3に示す。

牛田東地区の井戸は、団地上流から流れる沢が集合する位置の下流側に存在し、いずれも地下水位は地表近くに存在している。

牛田南地区の井戸のうち、[redacted]は広島駅側坑口の北北西の斜面に位置しており、、季節変動を示している。また、[redacted]は平地部に存在しており、季節変動は示していない。

（４）二葉の里地区（図-4.4参照）

二葉の里地区にある井戸のうち、[redacted]と、[redacted]の2本の井戸経時変化を図-4.4に示す。

[redacted]は、S-1の沢から浸出する地下水が流入しているもの思われる。井戸は[redacted]、平成19年10月以降は降雨量が極端に少なくなっているため、平成20年5月まで水位は孔底まで低下しており、平成20年度も同様に平成20年12月以降は孔底まで水位が低下している。

[redacted]は、S-2の沢の上流部に位置しているため、浸出する水量が少ないため、[redacted]同様に水位は孔底まで低下している。

.全体としてみると、山裾に位置する井戸は、降雨による季節変動を示しているが、平地部に位置する井戸は、季節変動は示していないものが多い。

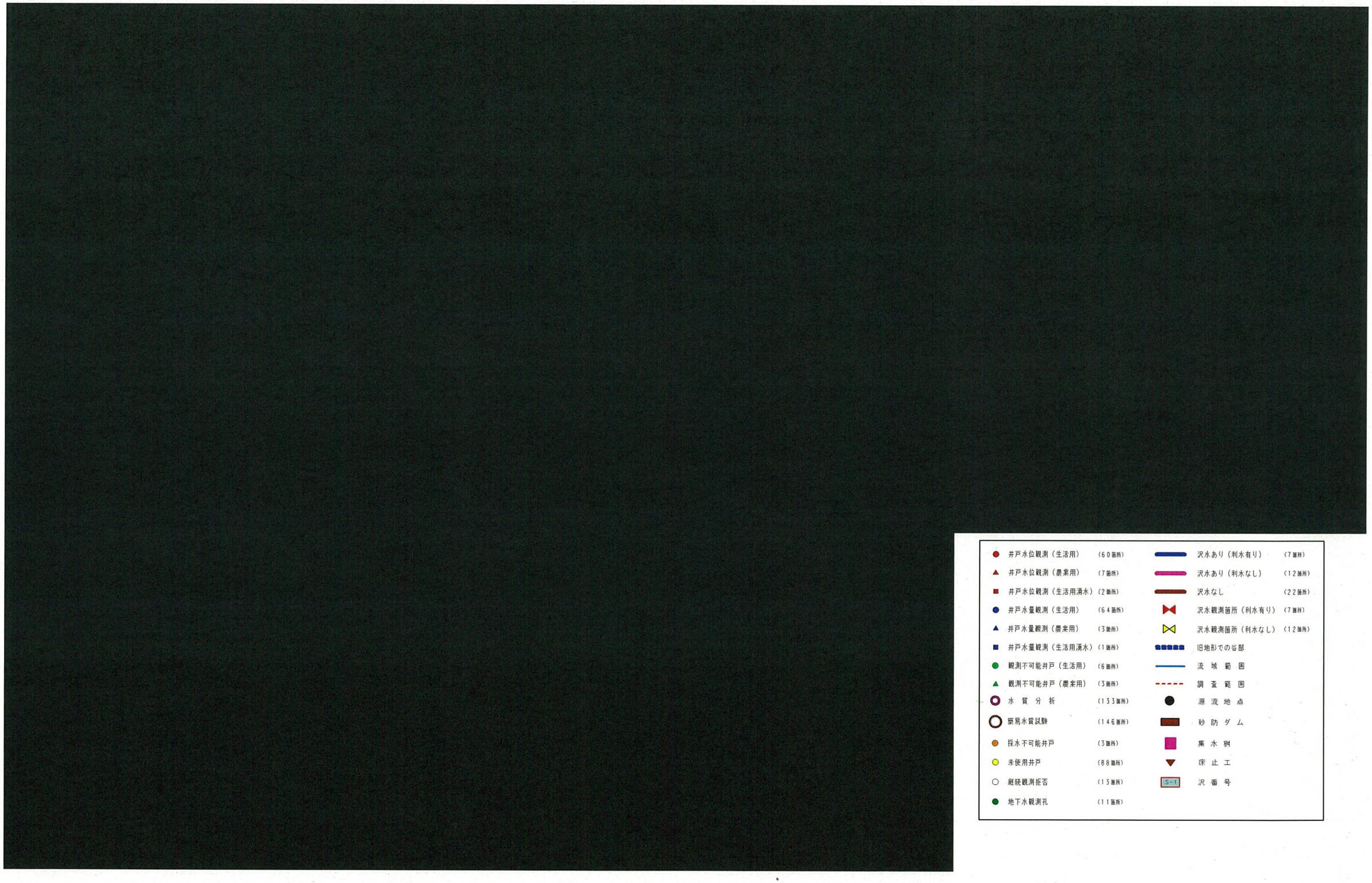


図-4.1　井戸水位経時変化（中山地区）

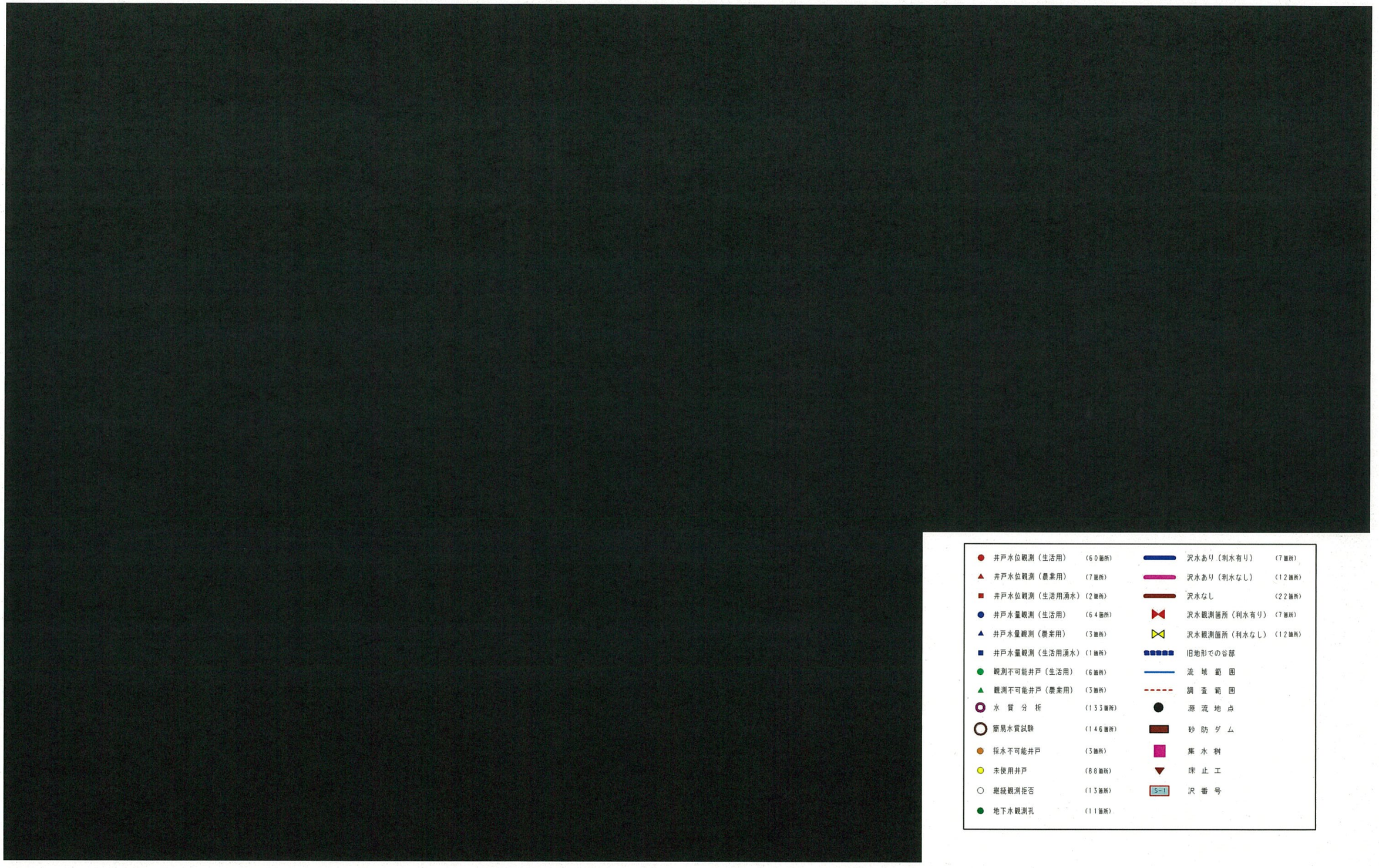


図-4.2　井戸水位経時変化（山根地区）

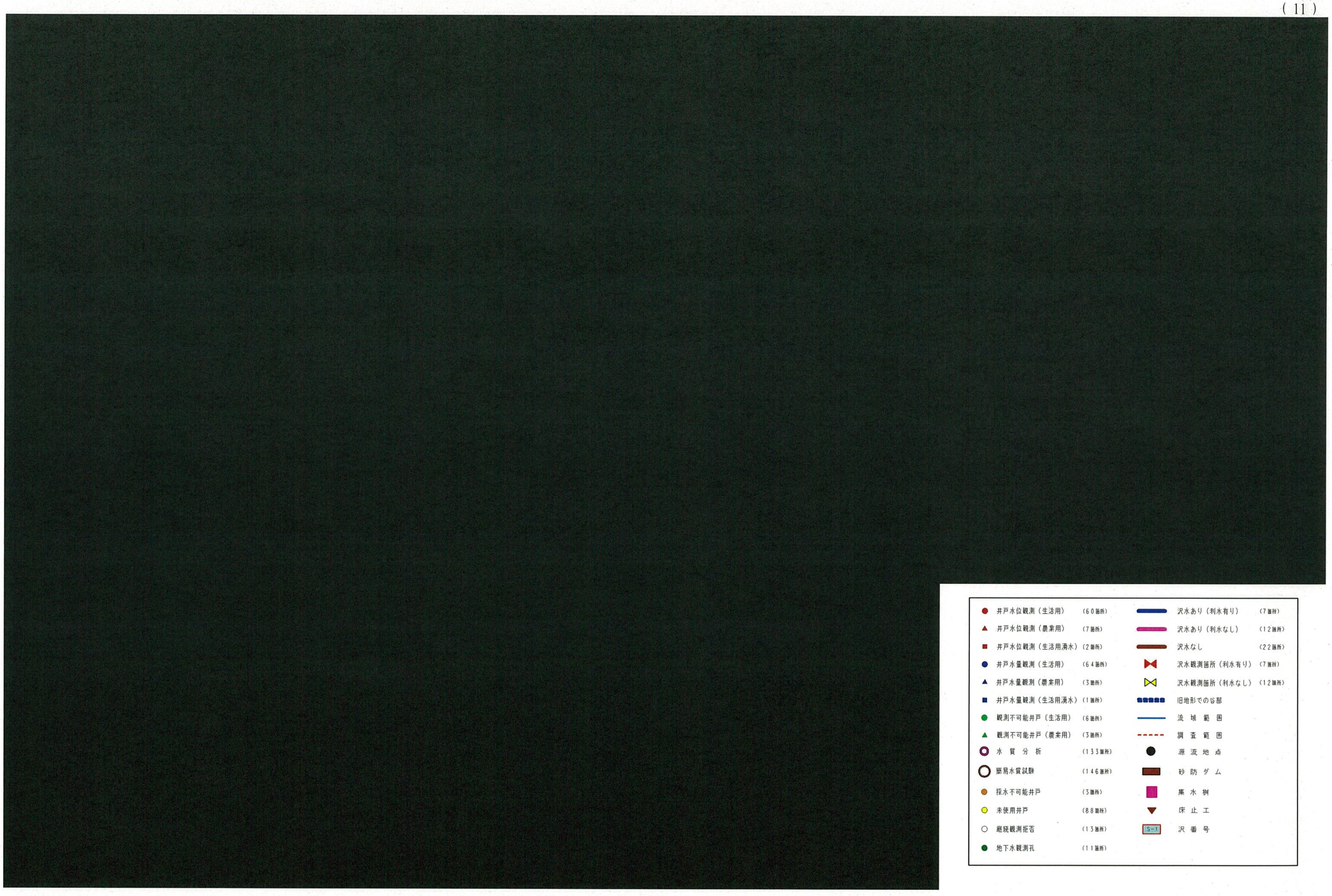


図-4.3　井戸水位経時変化（牛田地区）



図-4.4　井戸水位経時変化（二葉の里地区）

5　沢水流量観測結果

沢水流量の観測は、平成13年度に開始され、多くは平成16年7月に観測を中止され、以降観測中の観測点は、中山地区の1箇所であったが、平成20年9月から19箇所で観測が行われている。

図-1.1に観測位置平面図を、表-5.1に地区ごとの観測点と観測期間を示す。

沢水流量の観測結果を図-5.1～図-5.6に示し、以下地区ごとに記す。

表-5.1　地区ごとの沢水流量観測点と観測期間

地区名		中山地区	山根地区	光が丘地区	牛田東地区	牛田南地区	計
観測期間	H13.10～H14.5				3 箇所		3 箇所
	H13.10～H16.7	4 箇所	1 箇所		2 箇所		7 箇所
	H14.4～H16.7	1 箇所	4 箇所	1 箇所	5 箇所	1 箇所	12 箇所
	H18.7～H20.8	1 箇所					1 箇所
	H20.9～H21.3	5 箇所	5 箇所	1 箇所	7 箇所	1 箇所	19 箇所
計		5 箇所	5 箇所	1 箇所	7 箇所	1 箇所	19 箇所

（1）中山地区（図-5.1，図-5.2参照）

ルートから南側のS-13、上り線ルート直上のS-15、ルート北側のS-16，S-17のいずれの観測点でも、流量は1～100㍑/分の間で季節変動している。S-17'はルート北側の団地造成後新たに設けられた観測点であるが、S-17と比較すると降雨に対する応答が遅くなっているように見受けられる。

平成20年度は、降水量が少ないため流量も少なくなっている。

（2）山根地区・光が丘地区（図-5.3，図-5.4参照）

山根地区はルート南側に位置しており、支尾根の東側観測点のS-11,S-12は、降雨に対する応答が早く、降雨が少ないときには0.2㍑/分程度まで流量は少なくなっている（現在は観測中止）。

トンネル中間部南側のS-5は、30～400㍑/分（集水面積；約15万㎡）を示しており、渇水期においても30～50㍑/分の流量が確保されている。S-6，S-7は、50㍑/分以下の流量で季節変動している。

また、光が丘地区のS-4は、20㍑/分以下の流量で季節変動している。

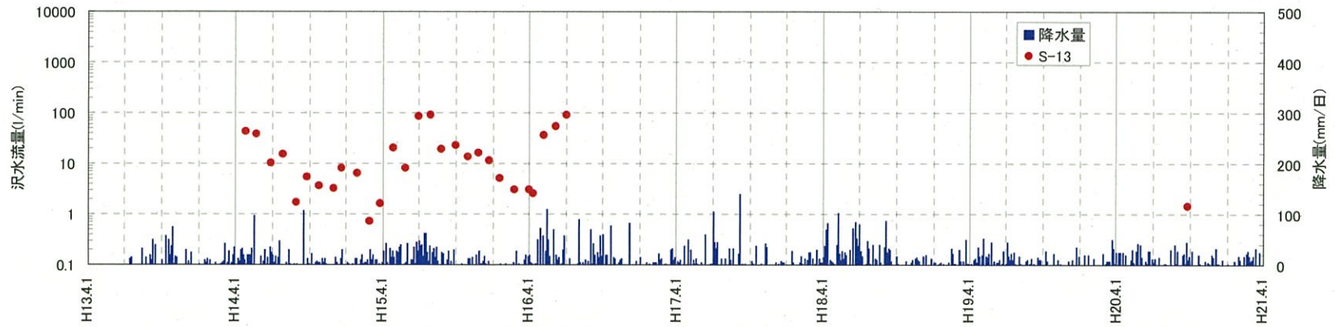
（3）牛田東地区・牛田南地区（図-5.5，図-5.6参照）

牛田東地区のS-26（集水面積；約21万㎡）は、団地の下流側にあり、団地内を流下した流量を観測している。流量は100～700㍑/分程度を示しており、渇水期でも100㍑/分程度の流量が確保されている。牛田東地区のS-18は最大13.6㍑/分、S-24は最大52㍑/分、S29は最大37㍑/分をいずれも降雨後に示し、降雨がないときはほとんど1㍑/分以下の流量となっている。

二葉山の北側斜面にある牛田南地区は、いずれの沢も集水面積が狭く、図示したS-31（集水面積；約1.1万㎡）の流量も0.1～20㍑/分程度しか流れていない（現在は観測中止）。

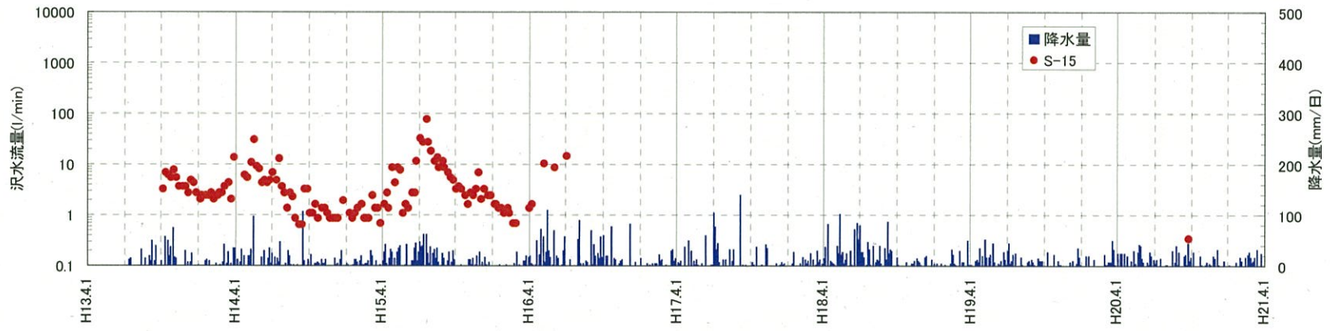
S-13

集水面積；34,100㎡



S-15

集水面積；18,900㎡



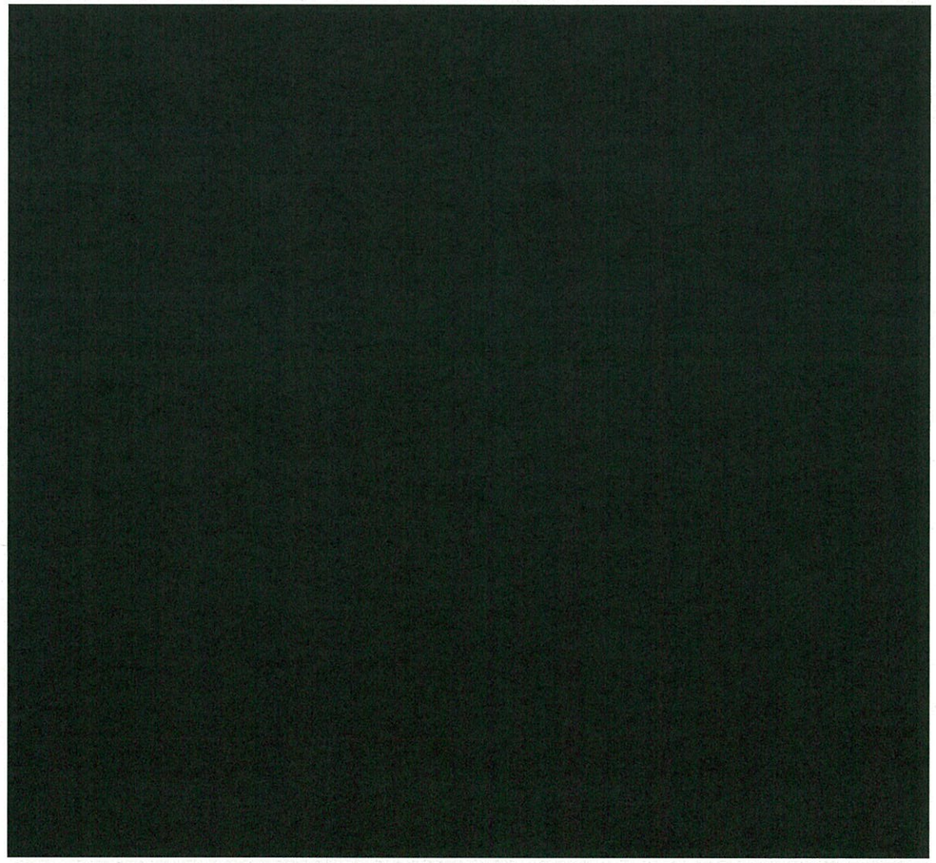
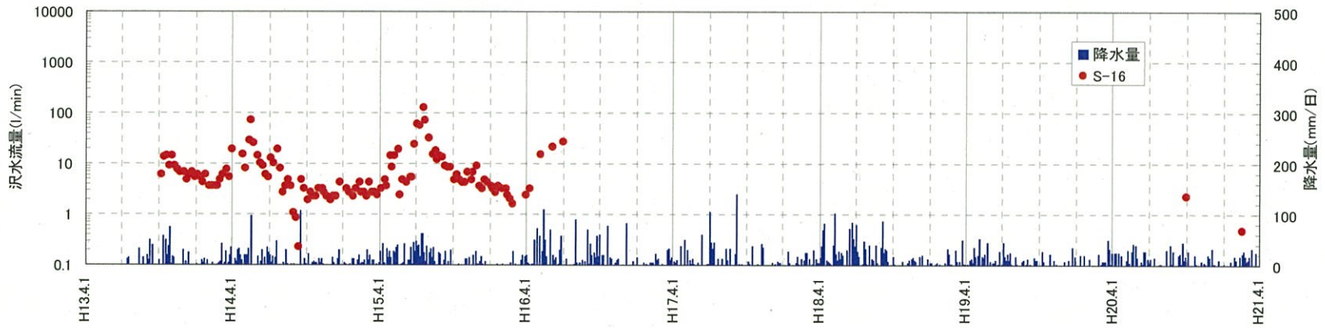




図-5.1　沢水流量経時変化（中山地区ルート南側）

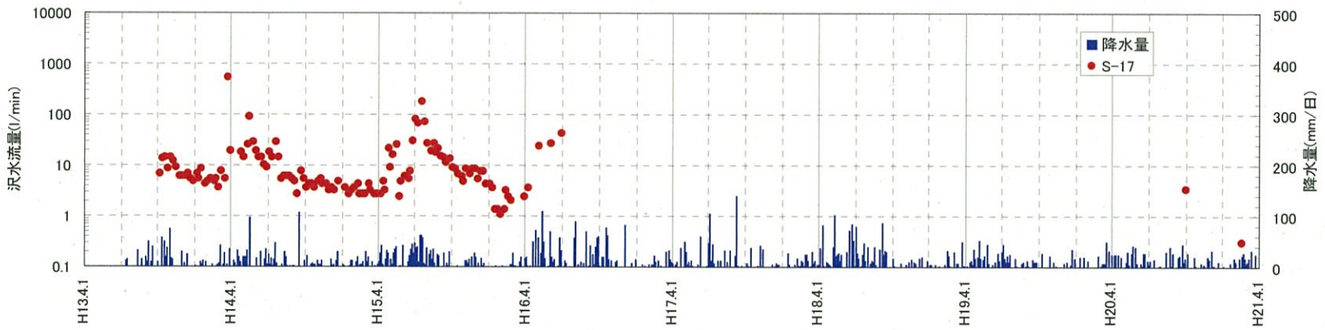
S-16

集水面積；19,500㎡



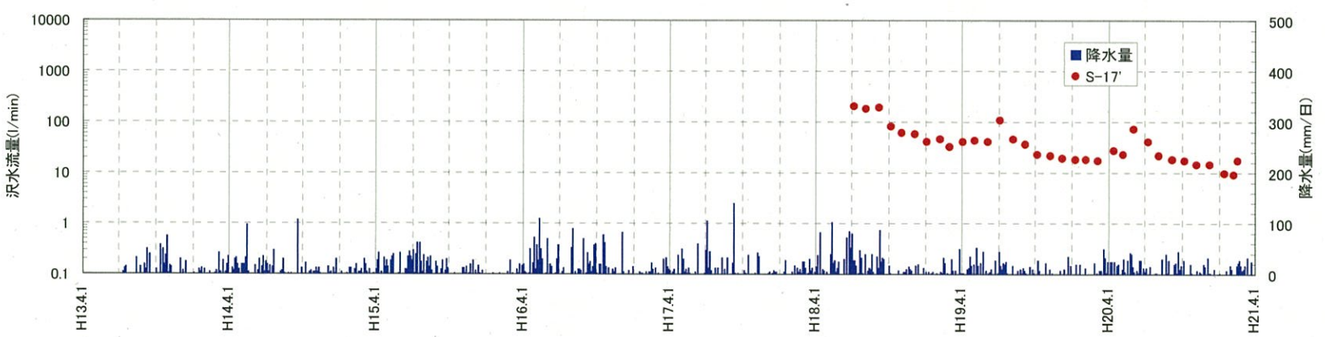
S-17

集水面積；26,400㎡



S-17'

集水面積；　－



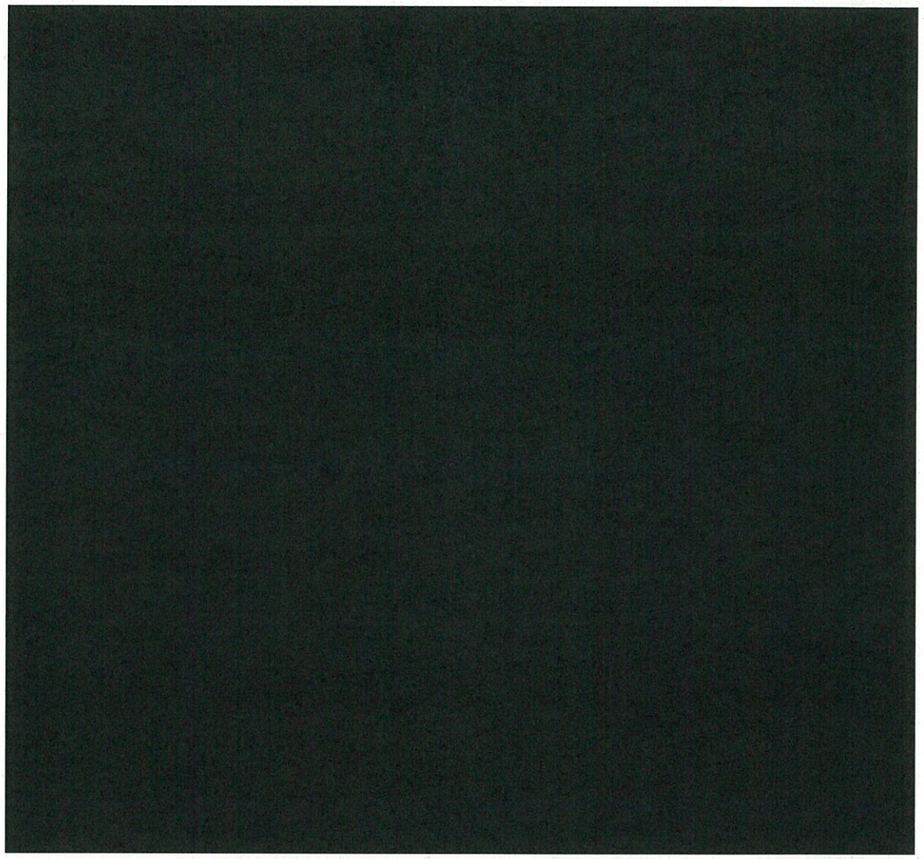
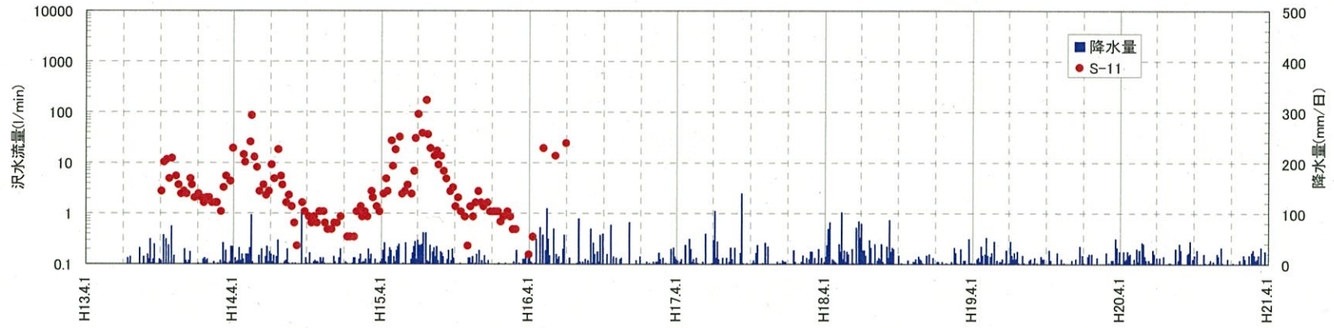




図-5.2　沢水流量経時変化（中山地区ルート北側）

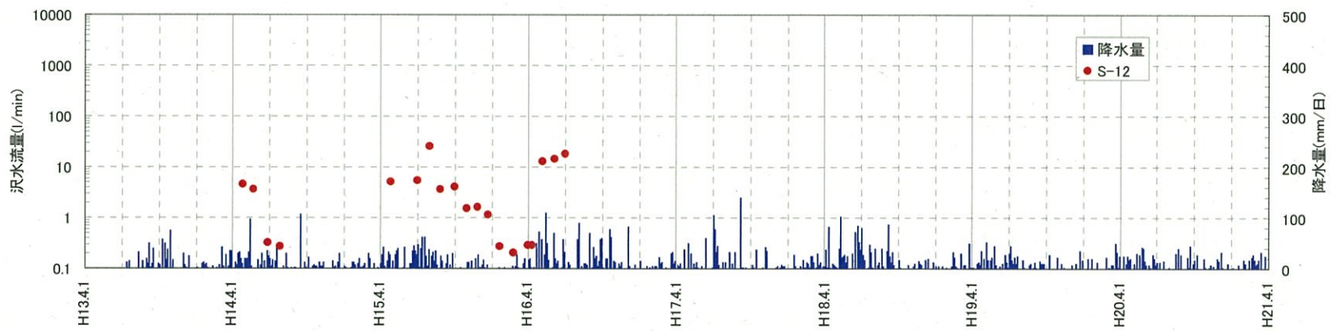
S-11

集水面積；17,900㎡



S-12

集水面積；20,800㎡



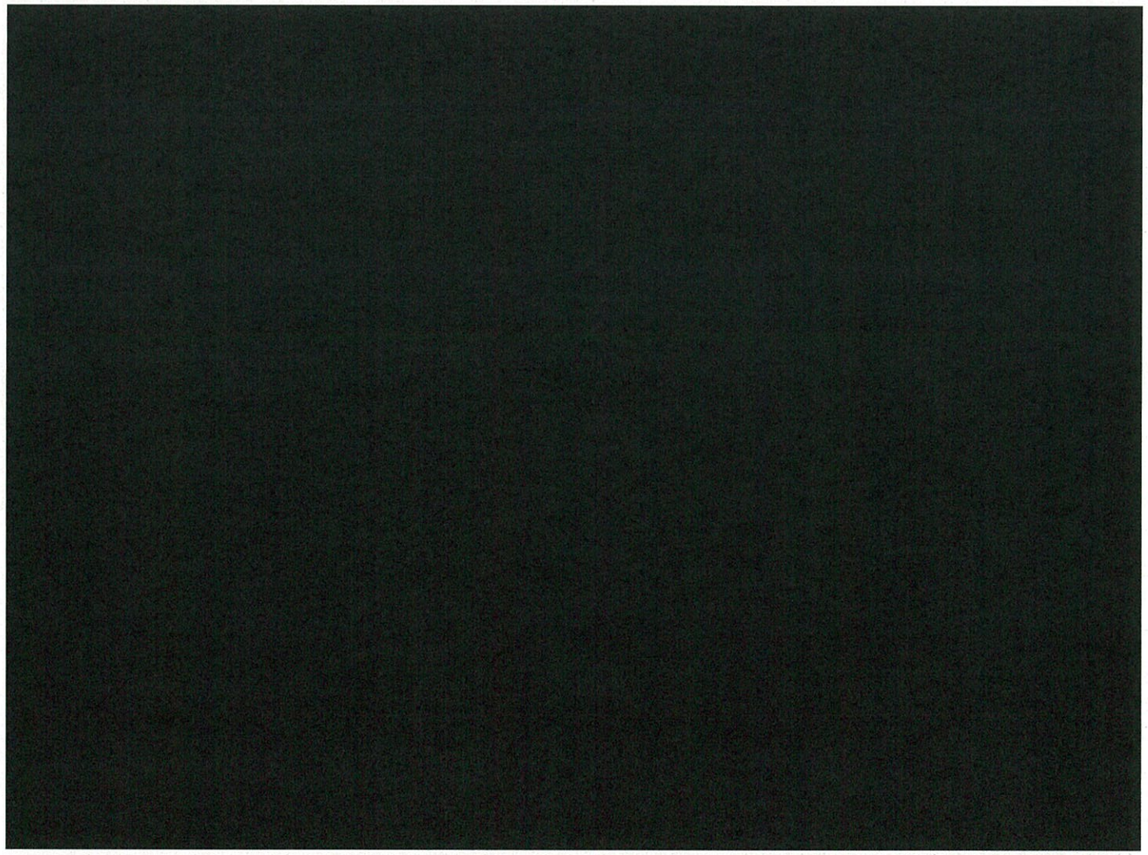


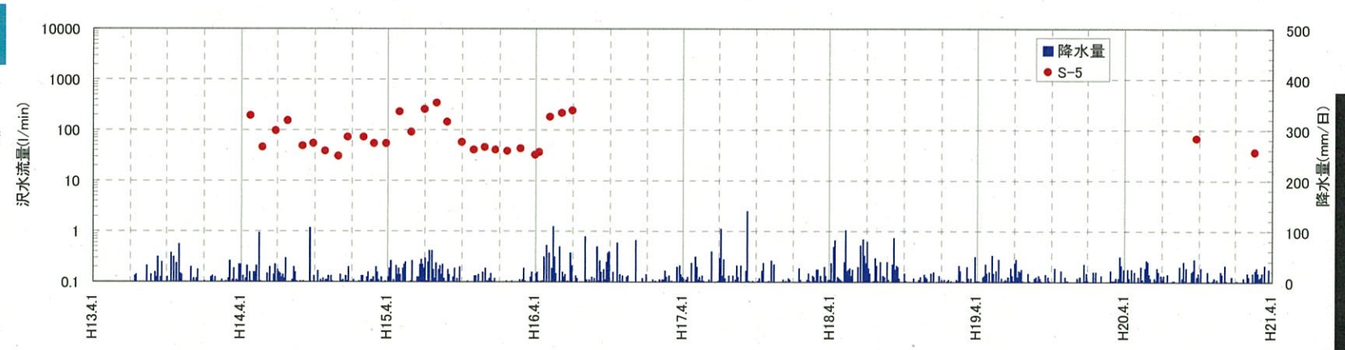


図-5.3　沢水流量経時変化（山根地区東坑口～トンネル中間部）

山根地区

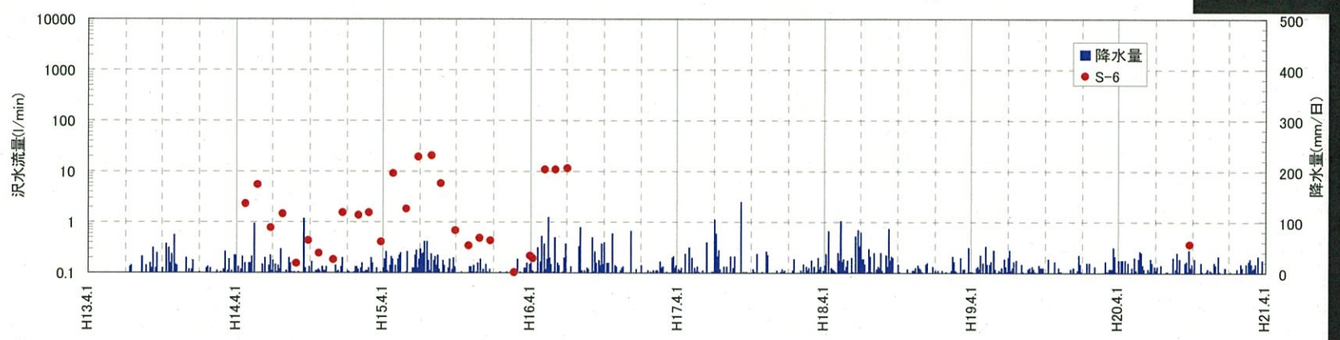
S-5

集水面積；150,900㎡



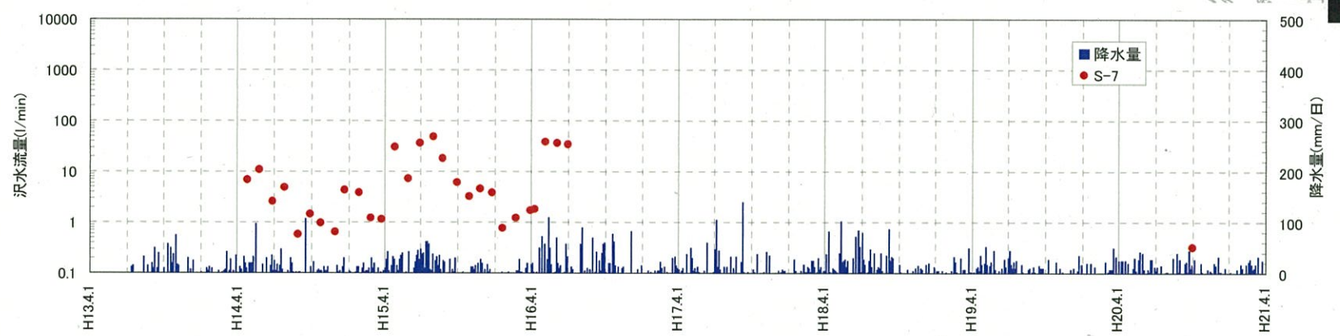
S-6

集水面積；8,400㎡



S-7

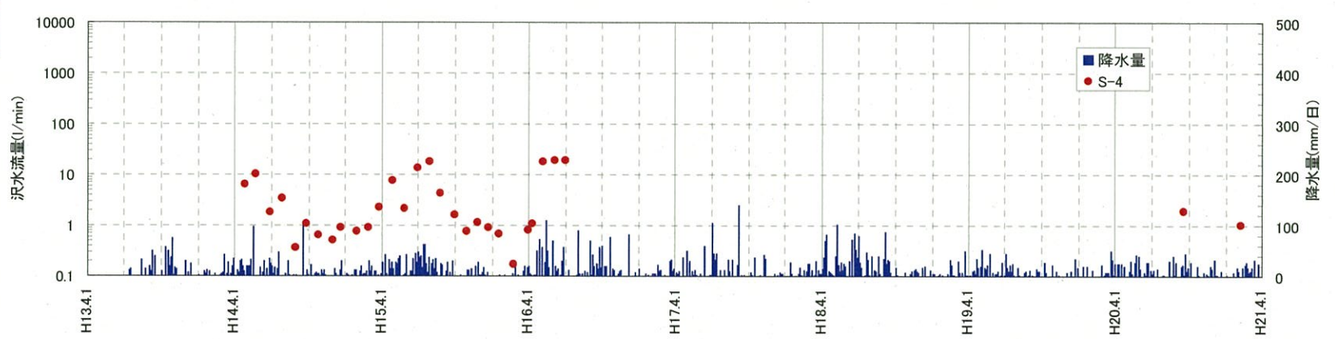
集水面積；27,100㎡



光が丘地区

S-4

集水面積；36,900㎡



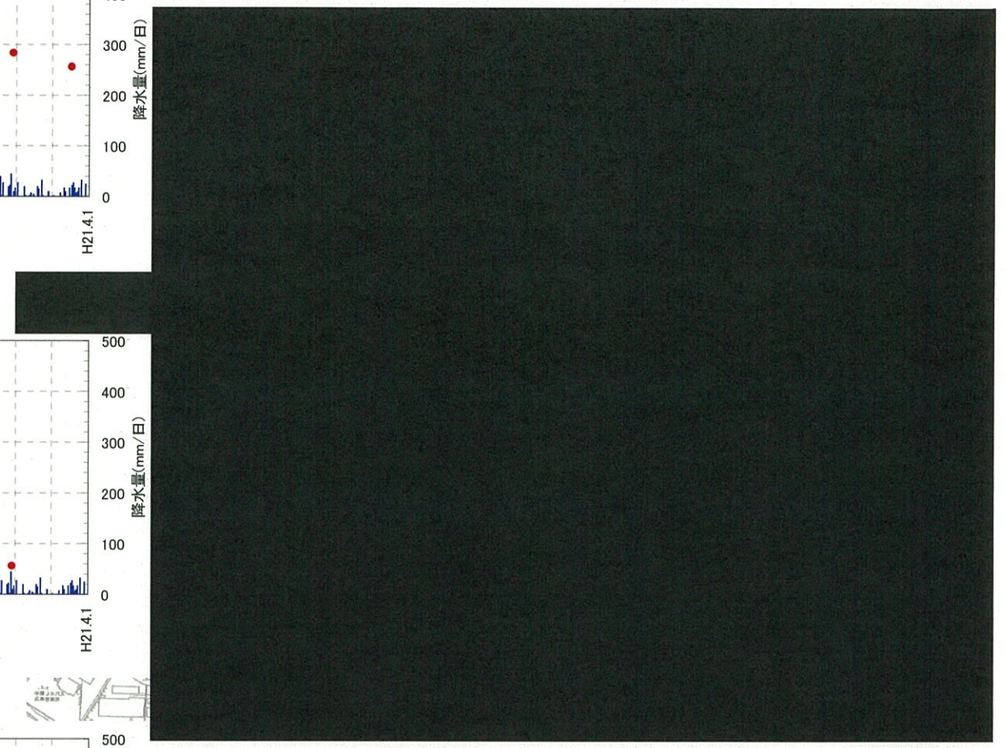
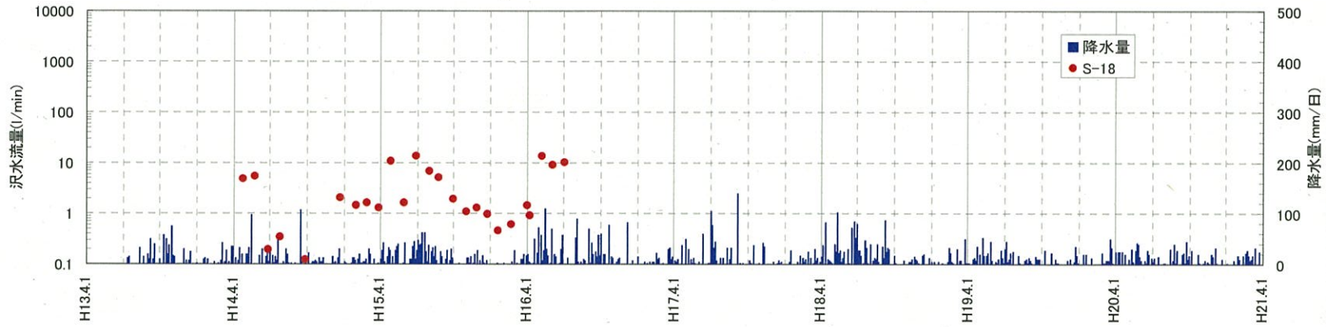




図-5.4　沢水流量経時変化
（山根地区トンネル中間部南側・光が丘地区）

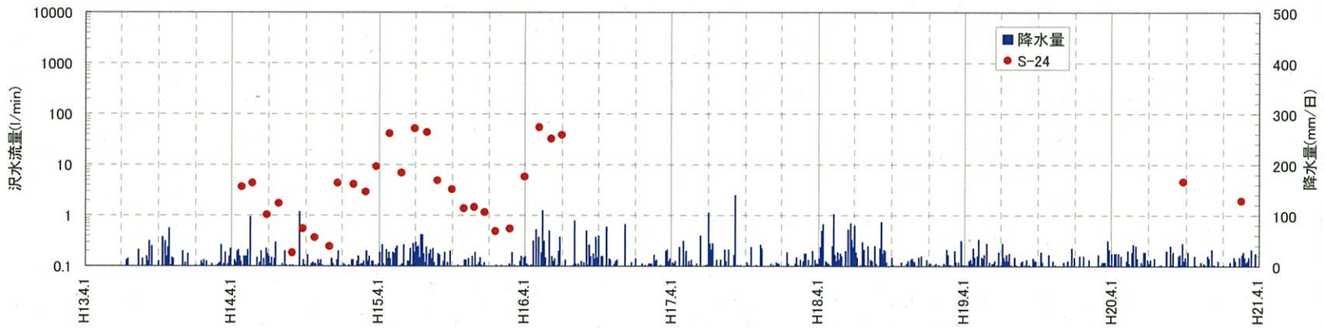
S-18

集水面積；7,300㎡



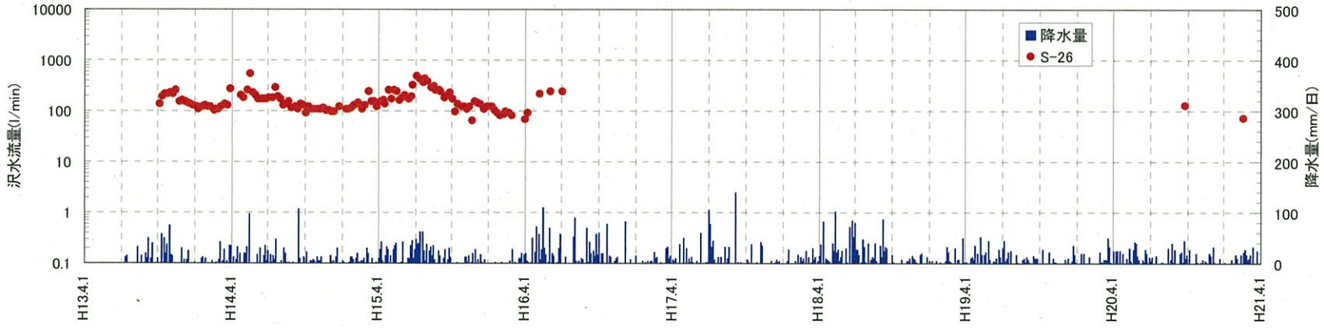
S-24

集水面積；25,800㎡



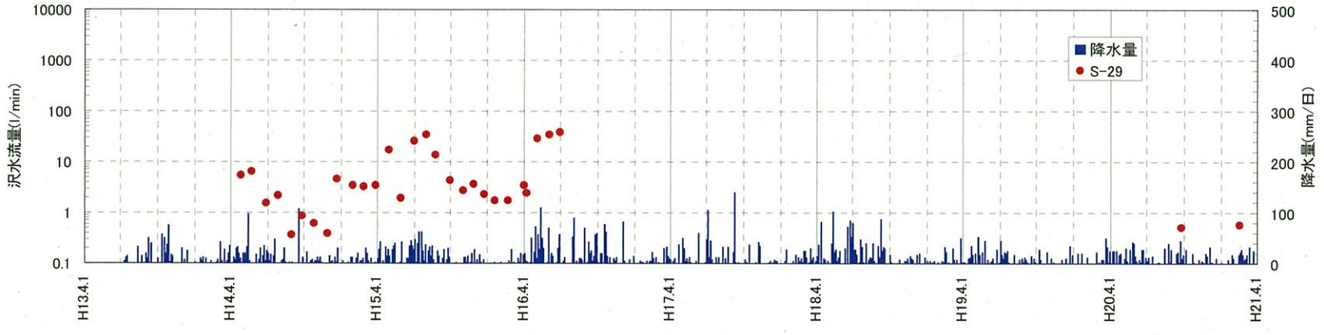
S-26

集水面積；209,200㎡



S-29

集水面積；28,900㎡



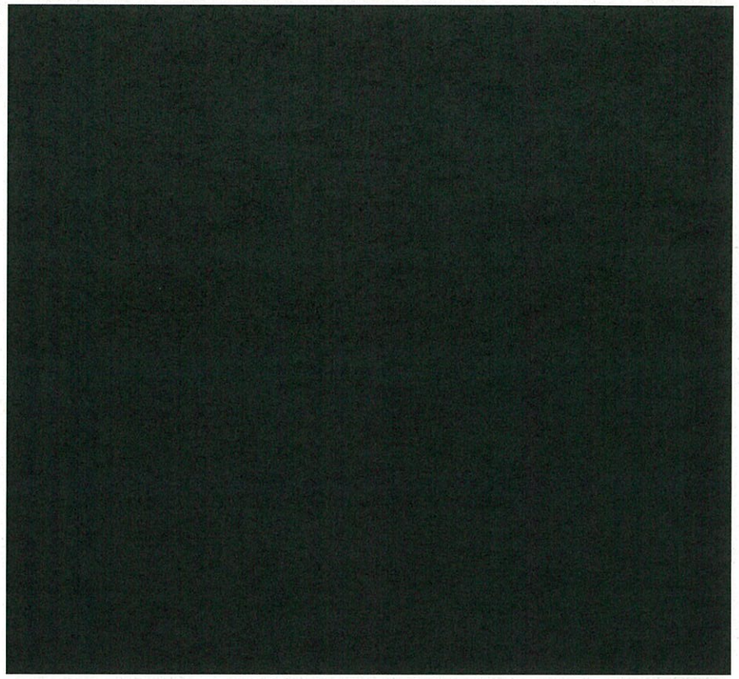
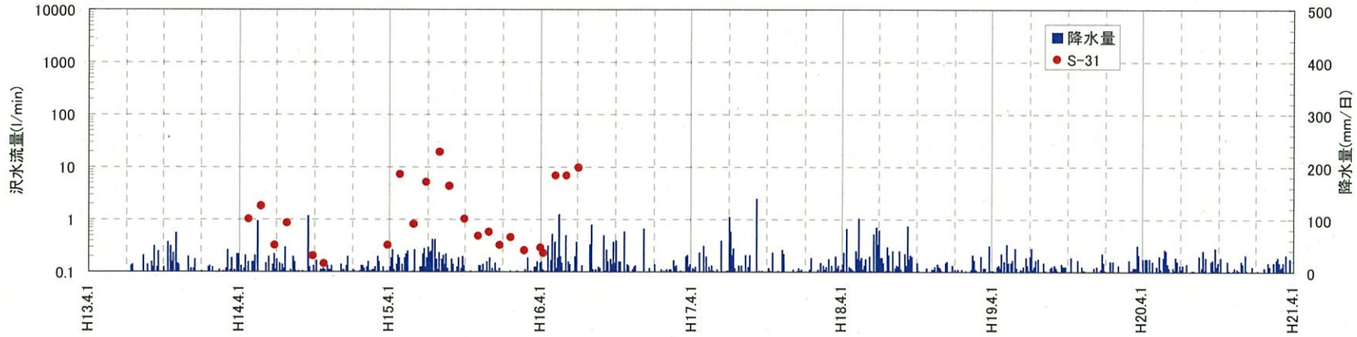




図-5.5　沢水流量経時変化（牛田東地区）

S-31

集水面積；10,700㎡



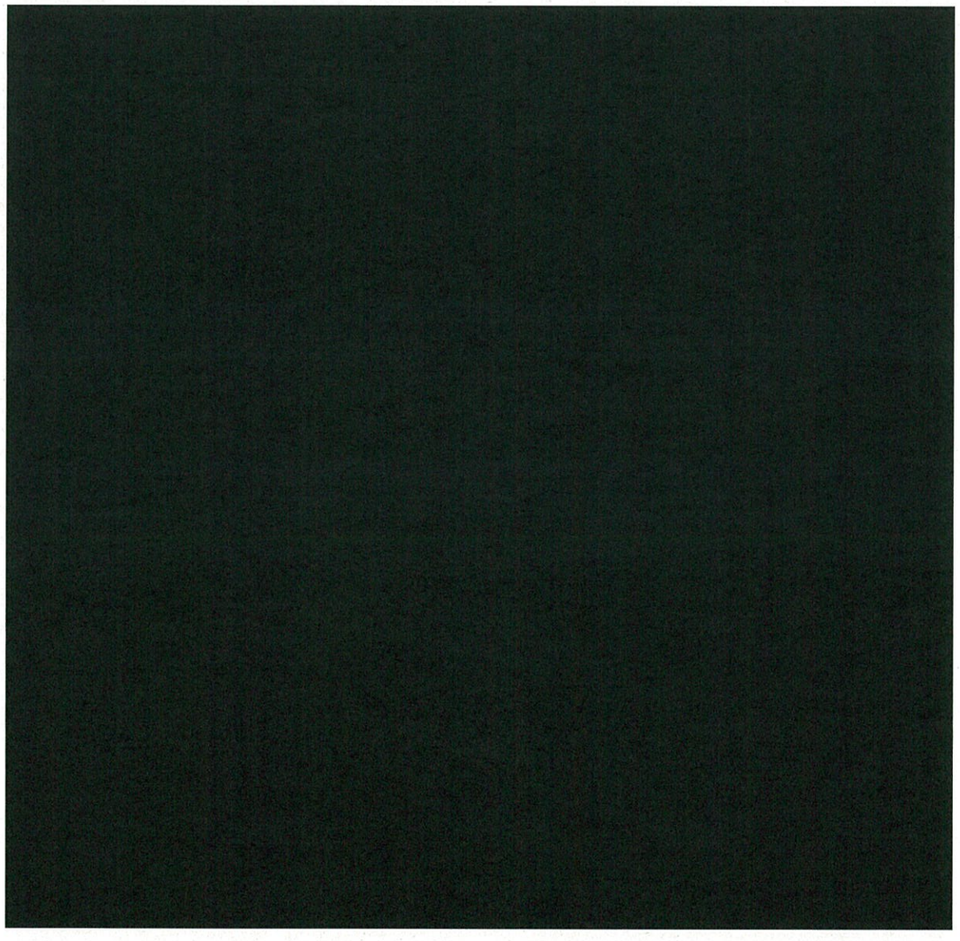




図-5.6　沢水流量経時変化（牛田南地区）

6　水質調査結果

水質調査（イオン分析）は、平成20年度に、地下水観測孔、沢水、一般井戸にて実施された。地下水観測孔は、深度による水質の違いを把握するため、１～３箇所で採水されている。

イオン分析項目は、以下のとおりである

- ナトリウムイオン（Na^+）
- カリウムイオン（K^+）
- カルシウムイオン（Ca^{2+}）
- マグネシウムイオン（Mg^{2+}）
- 塩素イオン（Cl^-）
- 硫酸イオン（$SO_4{}^{2-}$）
- 炭酸水素イオン（$HCO_3{}^-$）
- 硝酸イオン（$NO_3{}^-$）
- 溶存およびコロイド状シリカ（SiO_2）
- 水素イオン濃度指数（pH）
- 電気伝導度（Ec）

これらの分析結果をトリリニアダイヤグラムで表示すると、以下のようになる。

【地下水観測孔】青丸

キーダイヤグラムの分布にばらつきが見られ，採水箇所による水質の違いが大きいことが伺える。今回調査の中で唯一，Ⅱ型に分類される箇所(B-14　GL-44m)があった。この箇所は，調査ボーリングでひん岩が確認されており，ひん岩と花崗岩との境界付近に当たるため，深層水が停滞している可能性が考えられる。

【井戸水】赤丸

概ねⅠ型及びⅤ型に分布しており，循環型地下水の傾向といえる。

【沢水】緑丸

多少のばらつきはみられるものの，主としてⅠ型に分布しており，循環型地下水の傾向といえる。

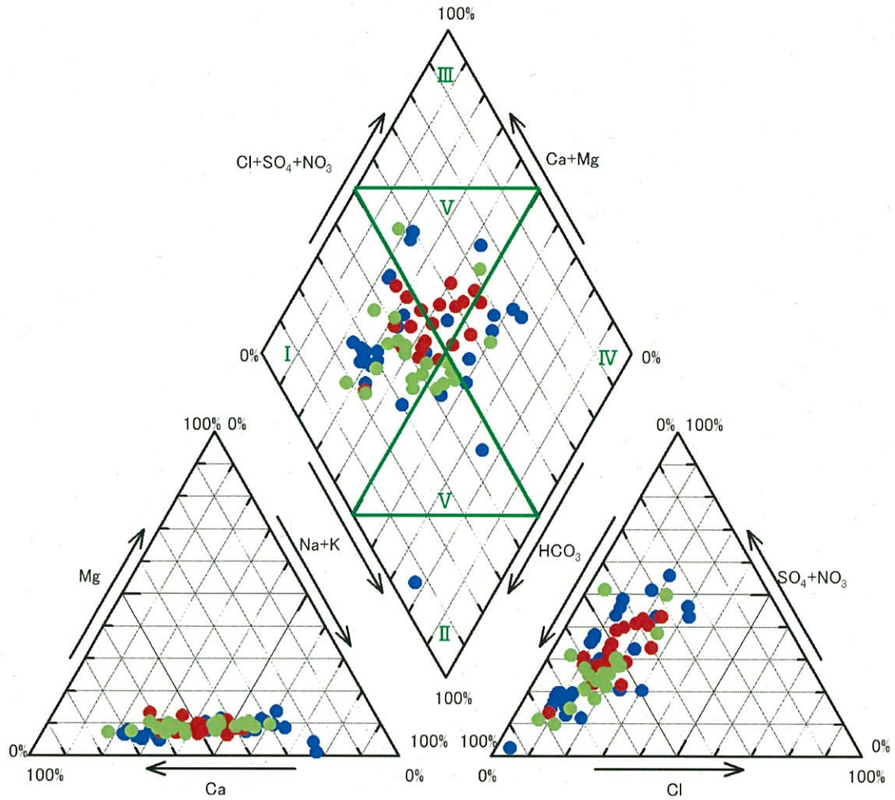


図-6.1　トリリニアダイヤグラム

キーダイヤグラム概略分類表

領域区分	形式名	水の特徴
Ⅰ	炭酸カルシウム型	本邦地下水の大半はこの型。 石灰岩地帯典型。
Ⅱ	炭酸ナトリウム型	滞在的な環境にある地下水。 比較的深い地下水。
Ⅲ	非炭酸カルシウム型	温泉水、鉱泉水および石灰水。
Ⅳ	非炭酸ナトリウム型	海水などに汚染された地下水。 この型の温泉水もある。
Ⅴ	中間型	河川水、伏流水、自由地下水や 地表水の多くがこの型である。

参考文献；地下水ハンドブック（建設産業調査会 P.366より）

図-6.2～図-6.4に地区ごとに整理した地下水位・水質分布断面図を示す。地下水位の分布とイオン分析結果をあわせて地区ごとに整理すると、以下のように考えられる。

① 中山側坑口～尾長山（図-6.2参照）

・B-11の浅部，深部とB-12の中間部，深部は、ほぼ同様の水質を示す（レッカ水）。
・B-12の浅部とS-15は、ほぼ同様の水質を示す（風化岩内の浸透水）。
・[redacted] 上記2つの中間的水質を示す。

② 尾長山～牛田団地（図-6.2参照）

・キーダイヤグラムによると，S-24，S-25，B-13，B-14浅部，中間部，B-39深部は類似(レッカ水)。
・ヘキサダイヤグラムによると，上記の水質は，ばらつきが見られる。
・以上の２点より，イオン溶存量の大小は見られるものの，供給域や帯水層は同じであると考えられる。
・B-14深部は，特異な水質で，周辺の広がりは見られない(地質境界面に滞水する深層地下水)。
・B-39浅部は，盛土または崖錐層内の地下水位を捉えていると考えられる。

③ 牛田団地周辺（図-6.2参照）

・B-17は深度による水質変化が見られない(盛土内の地下水を捉えていると判断される)。
・B-17，B-22，B-39は，異なる水質で，平面的な広がりが見られない。
・[redacted] S-26は、同様の水質を示している。

④ 二葉山（図-6.3参照）

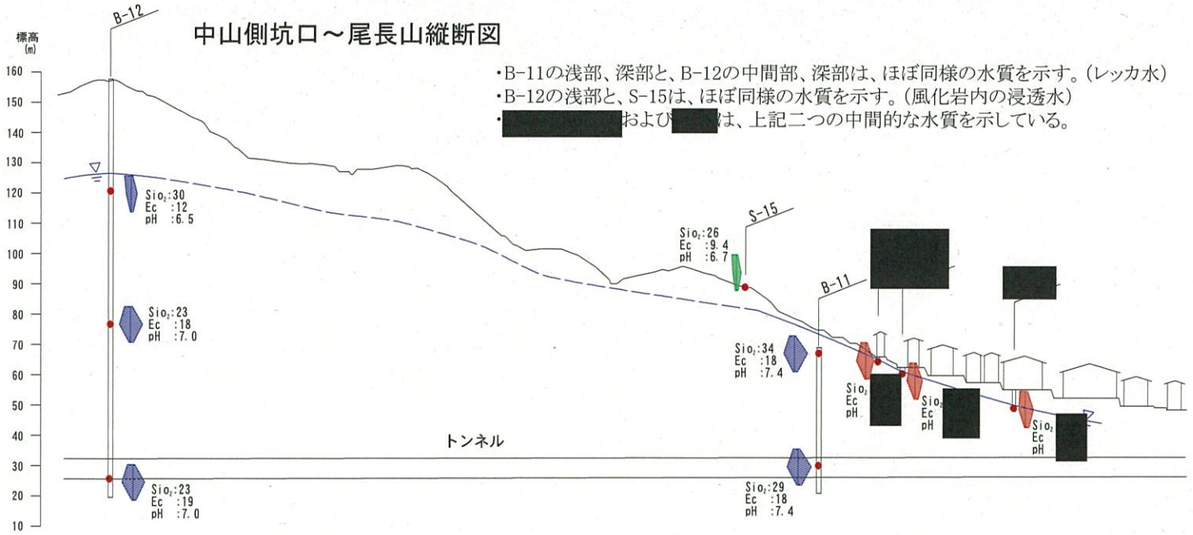
・図下段の縦断図を見ると、[redacted]は、深度による水質変化が見られない。
・キーダイヤグラムでは，B-29中間部，深部，B-30深部，[redacted]浅部，深部が類似。
・B-29浅部，B-30浅部，BW-2は比較的類似している(表層水を捉えている)。
・図上段の表層を見ると、キーダイヤグラムでは，BW-3とS-29が類似しているが，イオン溶存量に差異が見られる。
・イオン溶存量が少ないため，主として表層水を捉えていると考えられる。

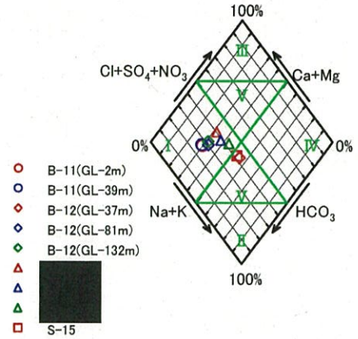
⑤ 東照宮周辺（図-6.4参照）

・図上段の[redacted]周辺を見ると、[redacted]は深度による水質変化が見られない。
・B-30と[redacted]は異なる水質である。
・[redacted]とB-30の浅部は類似(表層付近の風化岩内の浸透水を捉えている)。
・[redacted]はイオン溶存量が多く，比較的深い位置のレッカ水を捉えている。
・図下段の[redacted]周辺を見ると、[redacted]はB-30中間部，深部と類似している。すなわち，風化岩の浸透水とレッカ水の中間的な性状を示す。

中山側坑口～尾長山縦断図

・B-11の浅部、深部と、B-12の中間部、深部は、ほぼ同様の水質を示す。(レッカ水)
・B-12の浅部と、S-15は、ほぼ同様の水質を示す。(風化岩内の浸透水)
・[redacted]および[redacted]は、上記二つの中間的な水質を示している。

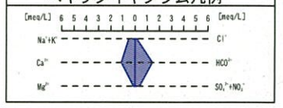




凡　例

- :水質検査採水箇所
- :地下水位観測孔
- :井戸水
- :沢水

ヘキサダイヤグラム凡例

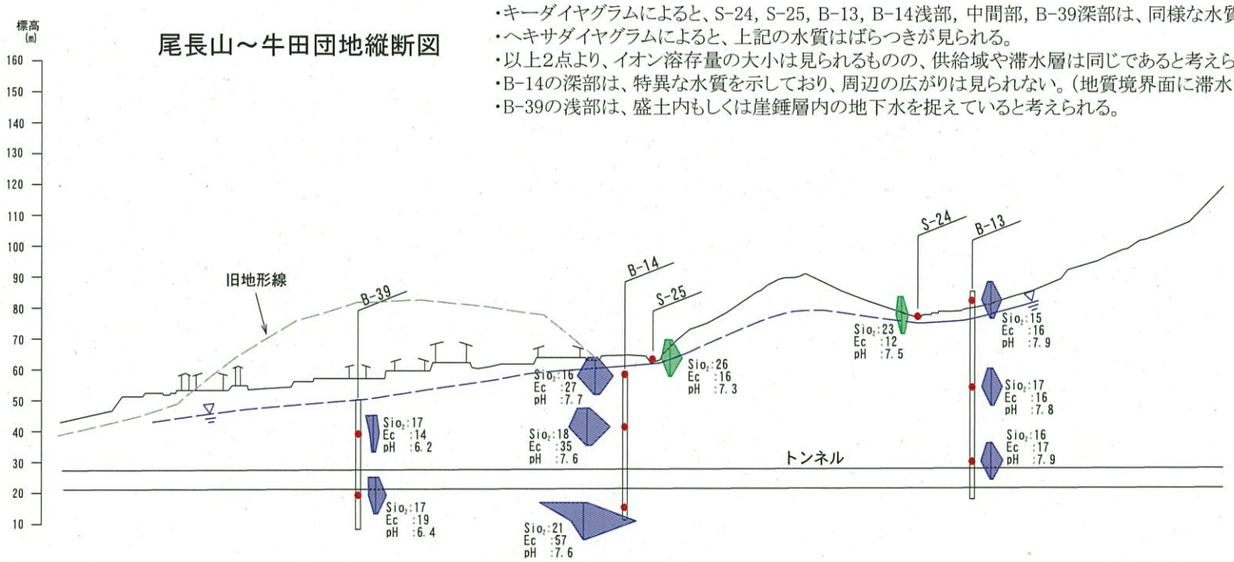


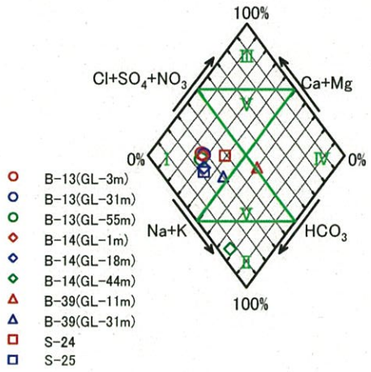
領域区分	形式名	水の特徴
Ⅰ	炭酸カルシウム型	本邦地下水の大半はこの型。 石灰岩地帯典型。
Ⅱ	炭酸ナトリウム型	滞在的な環境にある地下水。 比較的深い地下水。
Ⅲ	非炭酸カルシウム型	温泉水、鉱泉水および石灰水。
Ⅳ	非炭酸ナトリウム型	海水などに汚染された地下水。 この型の温泉水もある。
Ⅴ	中間型	河川水、伏流水、自由地下水や 地表水の多くがこの型である。

参考文献；地下水ハンドブック（建設産業調査会 P.366より）

尾長山～牛田団地縦断図

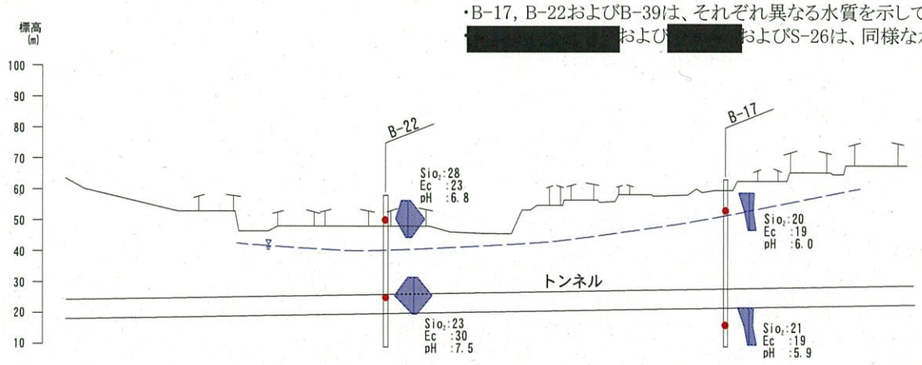
・キーダイヤグラムによると、S-24, S-25, B-13, B-14浅部, 中間部, B-39深部は、同様な水質を示している。(レッカ水)
・ヘキサダイヤグラムによると、上記の水質はばらつきが見られる。
・以上2点より、イオン溶存量の大小は見られるものの、供給域や滞水層は同じであると考えられる。
・B-14の深部は、特異な水質を示しており、周辺の広がりは見られない。(地質境界面に滞水する深層地下水)
・B-39の浅部は、盛土内もしくは崖錐層内の地下水を捉えていると考えられる。





牛田団地周辺縦断図

・B-17は、深度による水質変化が見られない。これは、盛土層内の地下水を捉えていると判断される。
・B-17, B-22およびB-39は、それぞれ異なる水質を示しており、平面的な広がりが見られない。
・[redacted]および[redacted]およびS-26は、同様な水質を示している。



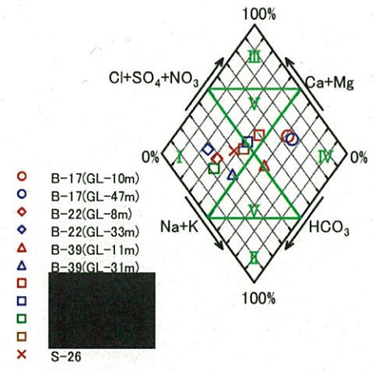
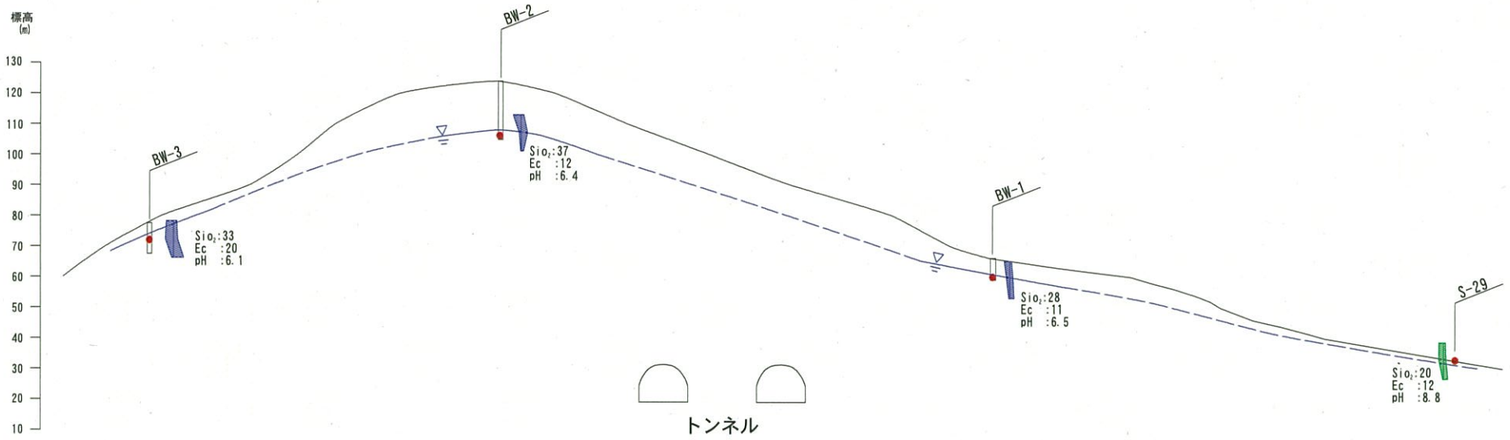
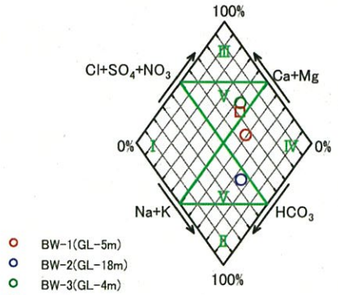


図-6.2　地下水位・水質分布断面図
（中山側坑口・尾長山・牛田団地）

二葉山縦断図(表層)

・キーダイヤグラムでは、BW-3およびS-29が同様な水質を示しているが、イオン残存量に差異が見られる。
・ヘキサダイヤグラムでは、いずれもイオン残存量が少ないため、表層水を捉えていると考えられる。

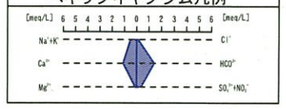




凡　例

- :水質検査採水箇所
- :地下水位観測孔
- :井戸水
- :沢水

ヘキサダイヤグラム凡例

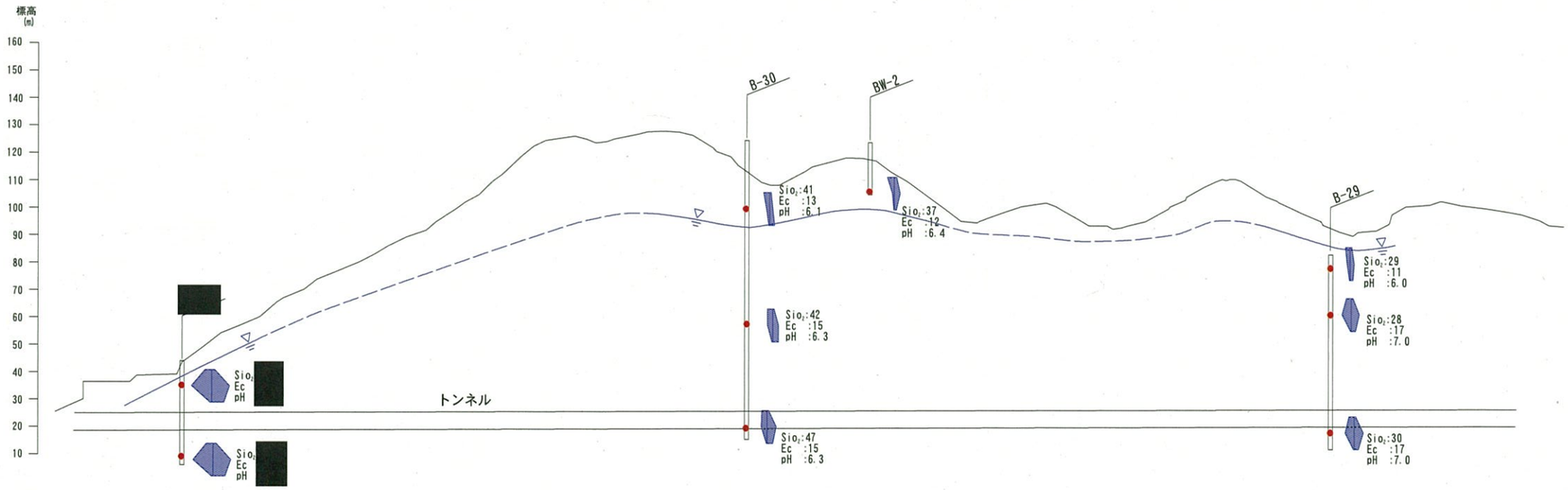


領域区分	形式名	水の特徴
Ⅰ	炭酸カルシウム型	本邦地下水の大半はこの型。 石灰岩地帯典型。
Ⅱ	炭酸ナトリウム型	滞在的な環境にある地下水。 比較的深い地下水。
Ⅲ	非炭酸カルシウム型	温泉水、鉱泉水および石灰水。
Ⅳ	非炭酸ナトリウム型	海水などに汚染された地下水。 この型の温泉水もある。
Ⅴ	中間型	河川水、伏流水、自由地下水や 地表水の多くがこの型である。

参考文献；地下水ハンドブック（建設産業調査会 P.366より）

二葉山縦断図

[redacted]は、深度による水質変化が見られない。
・キーダイヤグラムでは、B-29中間部，深部，B-30深部，[redacted]浅部，深部が、同様な水質を示している。
・B-29浅部，B-30浅部およびBW-2は、比較的似た水質を示し、イオン残存量から見ても類似性があり、いずれも表層水を捉えていると思われる。



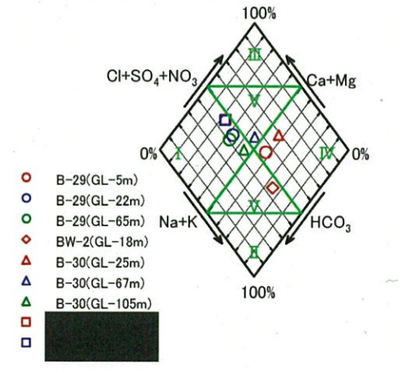
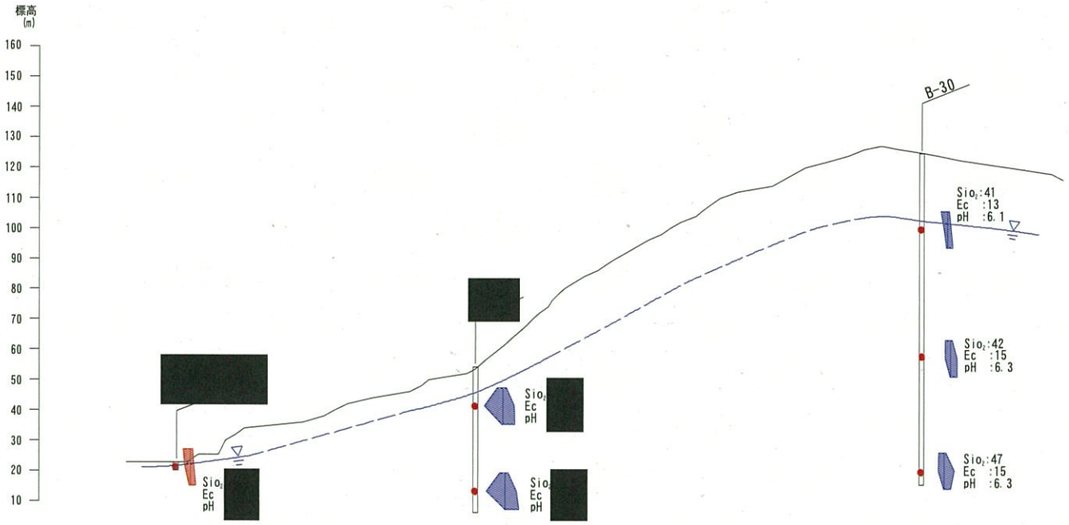
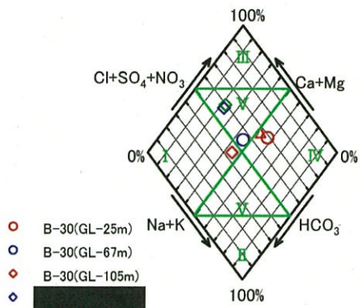


図-6.3　地下水位・水質分布断面図（二葉山）

二葉山横断図（東照宮F-4-1周辺）

[redacted]は、深度による水質変化が見られない。
・B-30と[redacted]は、異なる性質を示している。
[redacted]とB-30の浅部は、同様な水質を示しており、表層付近の風化岩内の浸透水を捉えていると考えられる。
[redacted]は、イオン溶存量が多く、比較的深い位置のレッカ水を捉えていると考えらえる。

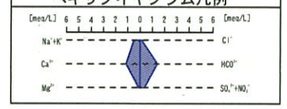




凡　例

- :水質検査採水箇所
- :地下水位観測孔
- :井戸水
- :沢水

ヘキサダイヤグラム凡例

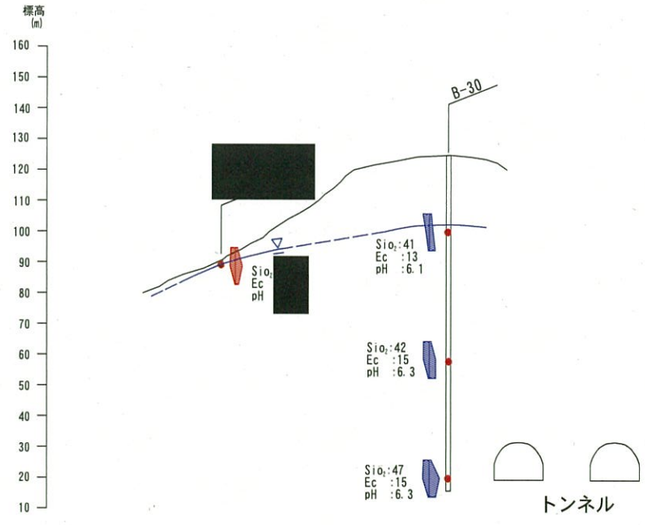


領域区分	形式名	水の特徴
Ⅰ	炭酸カルシウム型	本邦地下水の大半はこの型。 石灰岩地帯典型。
Ⅱ	炭酸ナトリウム型	滞在的な環境にある地下水。 比較的深い地下水。
Ⅲ	非炭酸カルシウム型	温泉水、鉱泉水および石灰水。
Ⅳ	非炭酸ナトリウム型	海水などに汚染された地下水。 この型の温泉水もある。
Ⅴ	中間型	河川水、伏流水、自由地下水や 地表水の多くがこの型である。

参考文献；地下水ハンドブック（建設産業調査会 P.366より）

二葉山横断図（東照宮F-4-2周辺）

・F-4-2は、B-30の中間部および深部と同様な水質を示している。
・すなわち、風化岩の浸透水とレッカ水の中間的な性質を示す。



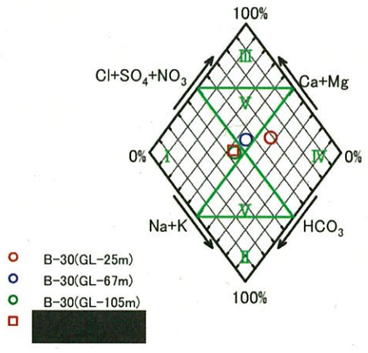


図-6.4　地下水位・水質分布断面図
（二葉山～二葉の里地区）

地下水解析結果概要

1　地下水解析の概要

地下水解析は、平成14～16年度に実施されており、平成16年度に実施された解析結果を以下に示すこととする。

解析は、地質調査結果を基に三次元水理地質モデルを設計構築し、地下水位・沢水流量について同定解析を行った後、トンネル掘削が地下水に与える影響を見るために予測解析が行われている。

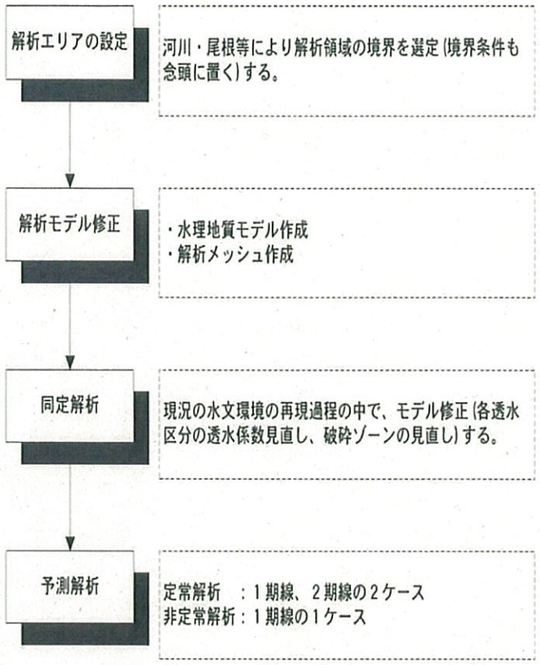


図-1.1　地下水解析フロー

2　解析モデル

解析エリアは、図-2.1に示す東西約3km、南北約5kmとし、図-2.2に示す三次元格子モデルが作成されている。平面格子は77×91＝7,007とし、深度分割は大気地表層をあわせて15層に分割されている。全格子数は105,105である。

水文地質は、図-2.3の地質平面図を基に、図-2.4に三次元格子モデルに割り当てられている。地下水解析では以下の４箇所を破砕帯としてモデル化している。

①　中山側坑口下り線北側
②　尾長山北西斜面（低比抵抗帯）
③　牛田東区（ひん岩と花崗岩の混在部）
④　二葉山北斜面（低比抵抗を示す花崗岩変質部）

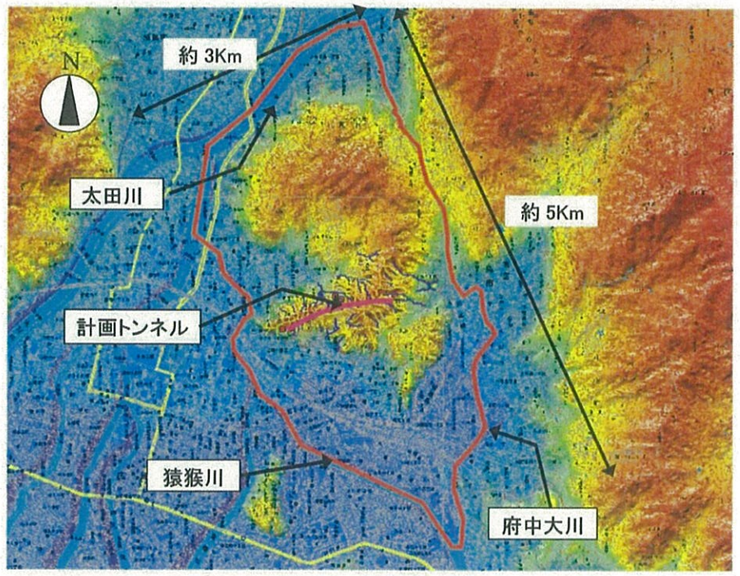


図-2.1　解析エリア

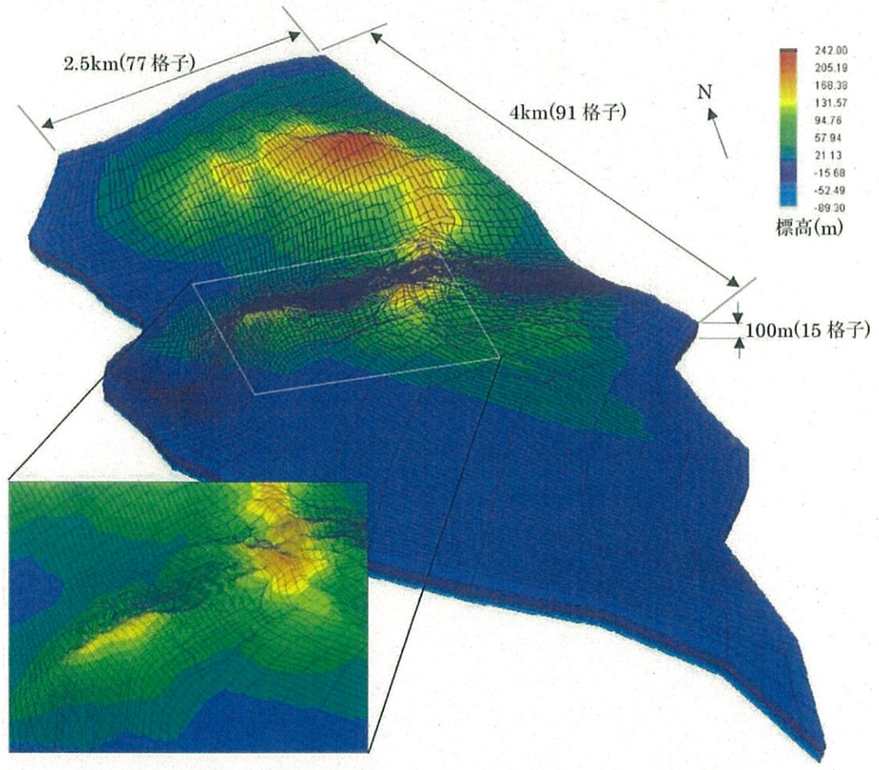


図-2.2　三次元格子モデル

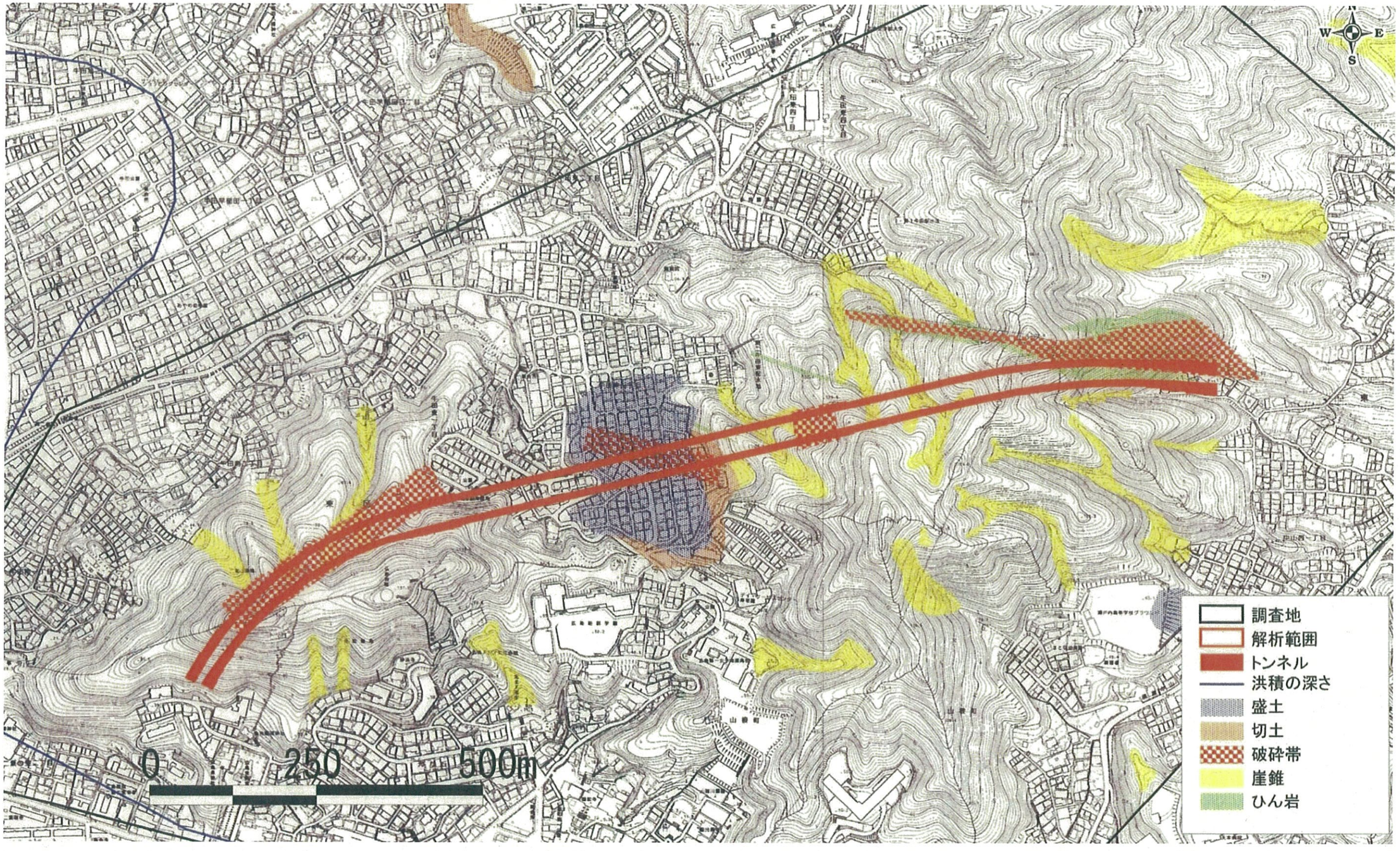


図-2.3　地質平面図

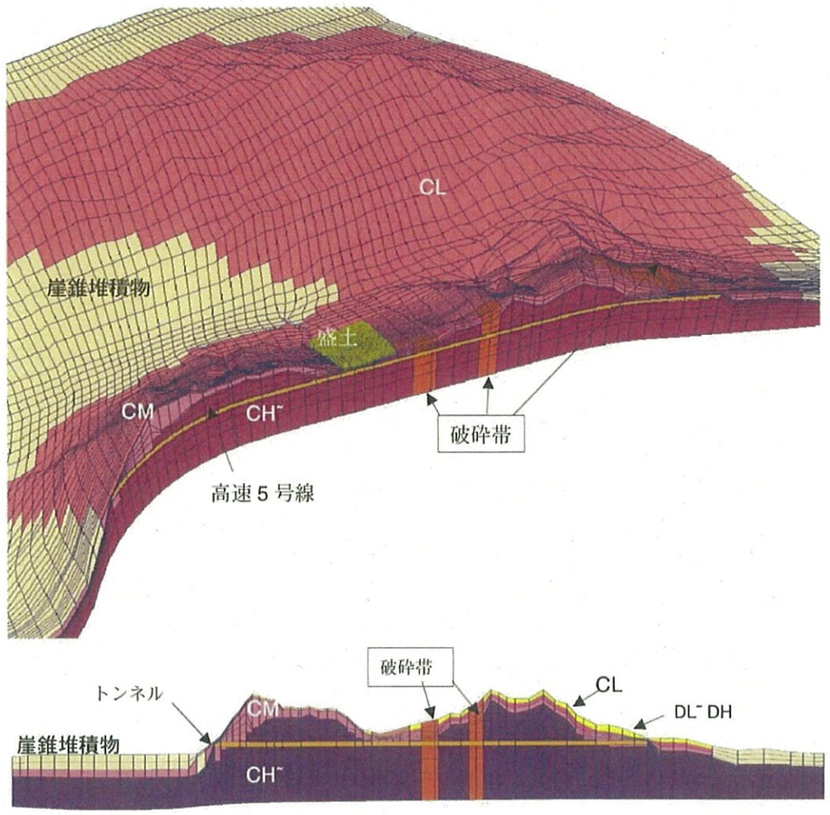


図-2.4　地質区分モデル

3　同定計算

（１）解析条件

水理定数は、表-3.1に示す数値が用いられており、降雨量は広島アメダスの観測値が使用されている。

表-3.1　水理定数

地質区分	透水係数(cm/s)	有効空隙率(-)
崖錐堆積物	1.0×10^{-3}	0.2
DL~DH	1.0×10^{-4}	0.1
CL	1.0×10^{-4}	0.1
CM	1.0×10^{-5}	0.1
CH~	1.0×10^{-6}	0.05
破砕帯	1.0×10^{-4}	0.1
盛土	1.0×10^{-5}	0.1

（２）同定計算結果

同定計算は、定常解析が行われ、表-3.2に示す結果が得られている。

表-3.2　定常解析による地下水位計算結果

	観測値平均値	定常解析
B-11	67.1	64.6
B-12	129.1	126.1
B-13	83.4	83.5
B-14	59.5	57.7
B-17	54.3	51.9
B-22	50.9	48.9
B-29	79.0	79.0
B-30	105.6	102.6
[redacted]	[redacted]	[redacted]
B-39	42.1	42.5
[redacted]	[redacted]	[redacted]

（単位：mEL）

4　予測解析

予測解析は、トンネルの掘削工程および降雨変動を考慮しない定常解析と、掘削工程および降雨変動を考慮した非定常解析が実施されている。

（１）解析条件

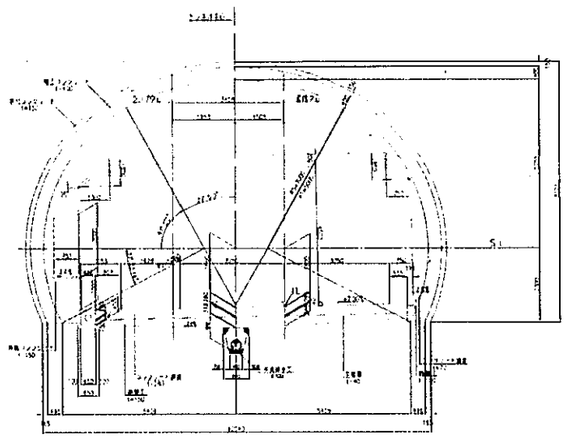
トンネルは、中山側と二葉の里側から掘進を行う計画となっており、二葉の里側から掘進を行う二葉工区は掘進時は排水、覆工後遮水構造とすることとなっている。図-4.1にトンネル標準断面図を示す。

定常解析におけるトンネル掘削工程は、以下の４段階で行われており、覆工は遮水構造としている。

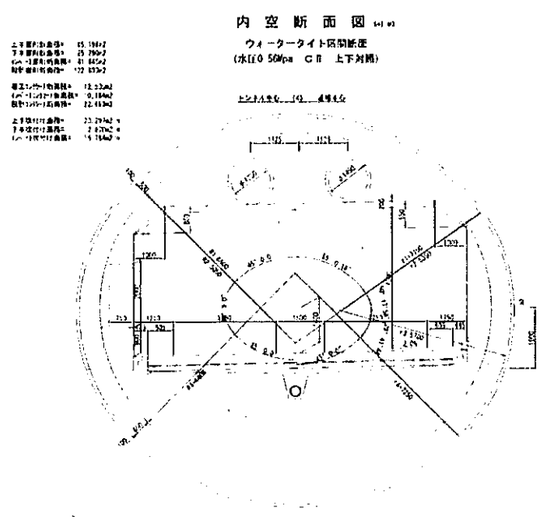
①１期線一括掘削後
②１期線一括覆工後
③２期線一括掘削後
④２期線一括覆工後

また、非定常解析では表-4.1に示すトンネル工程表に従って解析が行われている。

降水量は、広島アメダスの観測値を使用している。



(a)排水型標準断面



(b)防水型標準断面

図-4.1
トンネル標準断面図

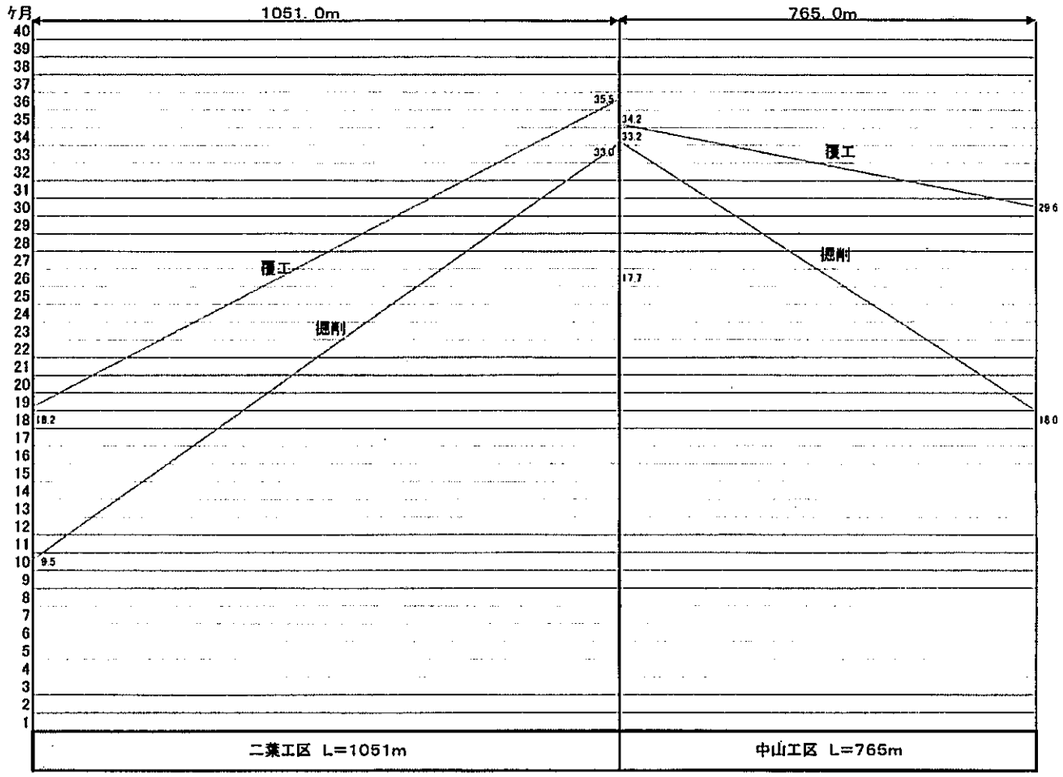


表-4.1　トンネル工程表

（２）定常解析結果

図-4.2、図-4.3に１期線の一括掘削後と一括覆工後の初期状態との水位差を、図-4.4、図-4.5に２期線の一括掘削後と一括覆工後の初期状態との水位差を示す。

１期線掘削完了後（図-4.2参照）は、トンネル中央付近（尾長山）と二葉工区の中央付近（二葉山）の山部で10m以上、最大50mの水位低下となっている。

１期線覆工後（図-4.3参照）は、ウォータータイト構造とされた二葉工区の地下水位が回復している。

２期線掘削完了後（図-4.4参照）は、再度水位は低下し、１期線掘削後より範囲、水位ともに大きくなっている。

２期線覆工後（図-4.5参照）は、二葉工区では水位は初期状態近くまで回復するが、ウォータータイト構造になっていない中山工区では広い範囲で地下水位が低下した状態となっている。

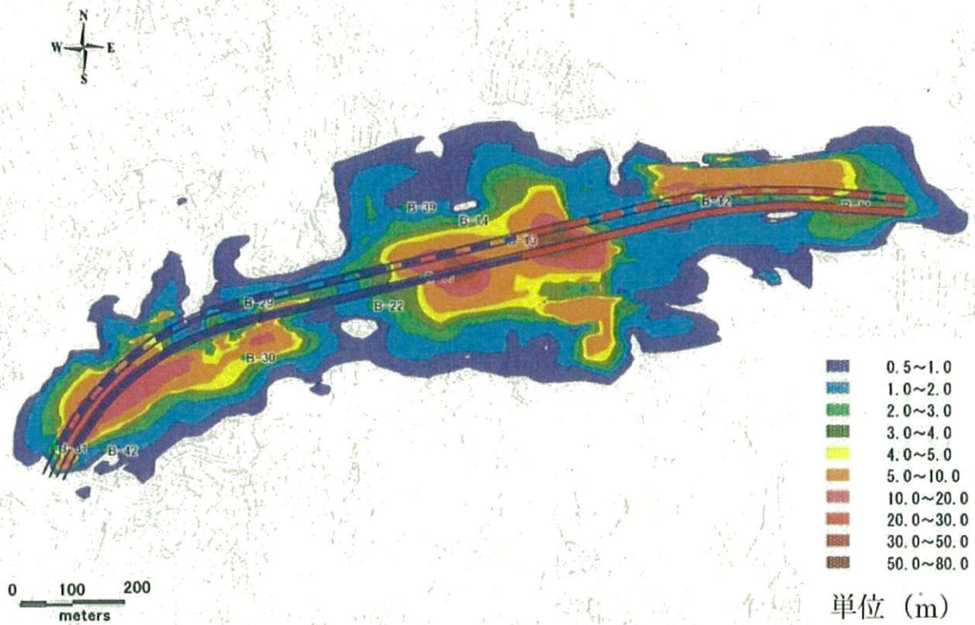


図-4.2　1期線一括掘削後の初期状態との水位差

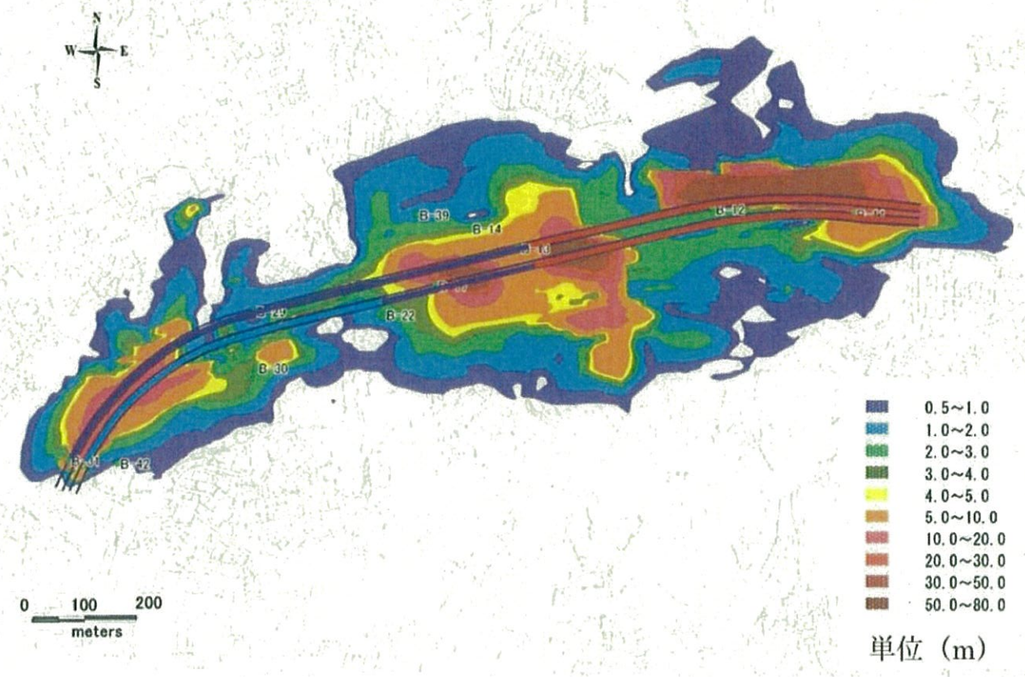


図-4.4　2期線一括掘削後の初期状態との水位差

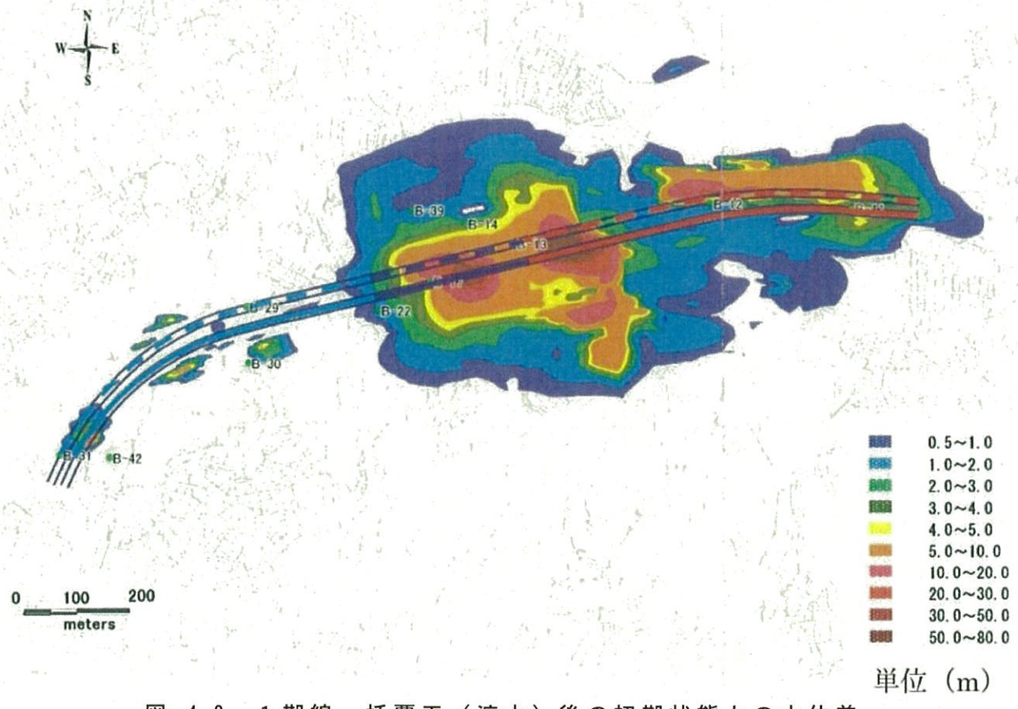


図-4.3　1期線一括覆工（遮水）後の初期状態との水位差

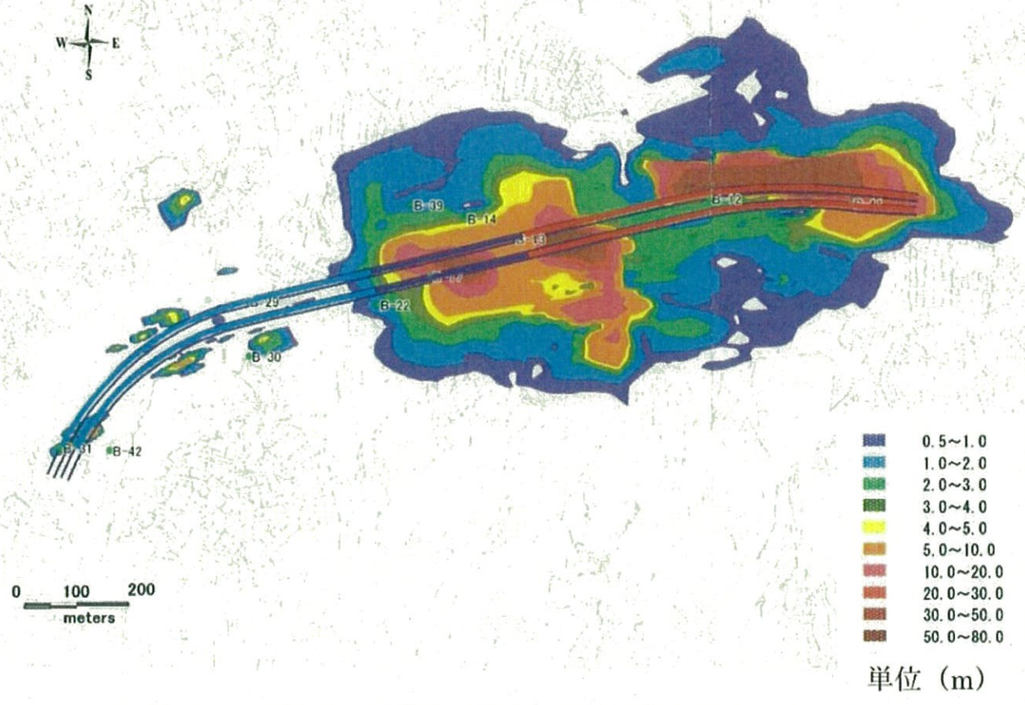


図-4.5　2期線一括覆工（遮水）後の初期状態との水位差

図-4.10～図-4.15に定常解析による水位観測孔での水位変化を、図-4.6～図-4.9に各観測孔の位置図を示す。

中山側坑口から174m地点のB-11は、排水構造区間にあり、１期線施工で水位が低下した後、２期線施工でさらに低下し、施工後700日程度で水位は定常状態になっている。

尾長山山頂から北北西方向の稜線にあるB-12は、１期線施工で水位が低下した後、２期線施工で25m程度急激に低下している。これは２期線ルートが破砕帯と接していることによるものと考えられている。

牛田東地区のB-17は、厚さ約12mの埋土の中に地下水位が存在しているが、１期線施工で約7m水位が低下した後、２期線施工で再度約5m低下し、ウォータータイト施工後も水位は回復していない。

同じ牛田東区のB-22は、当初の地下水位は厚さ3mの埋土の下位の強風化岩の中にあったが、１期線施工後約4m水位が低下し、ウォータータイト施工後約2m回復し、２期線施工後再度約2m低下した後、ウォータータイト施工後約2m回復し、当初の水位からは約2m低下するとされている。

二葉山山頂の西側稜線にあるB-30は、１期線、２期線施工後数mの水位低下が生じるが、ウォータータイト施工後、長時間を要するが、水位はほぼ現状まで回復するとされている。

二葉の里地区の[redacted]は、１期線施工後約[redacted]、２期線施工後約[redacted]水位が低下するが、ウォータータイト施工後、長時間を要するが、水位はほぼ現状まで回復するとされている。

[redacted]

図-4.6　B-11（中山地区）B-12（尾長山）位置図

[redacted]

図-4.7
B-17・B-22（牛田東地区）
位置図

[redacted]

図-4.8
B-30（二葉山）
位置図

図-4.9
[redacted]（二葉の里）
位置図

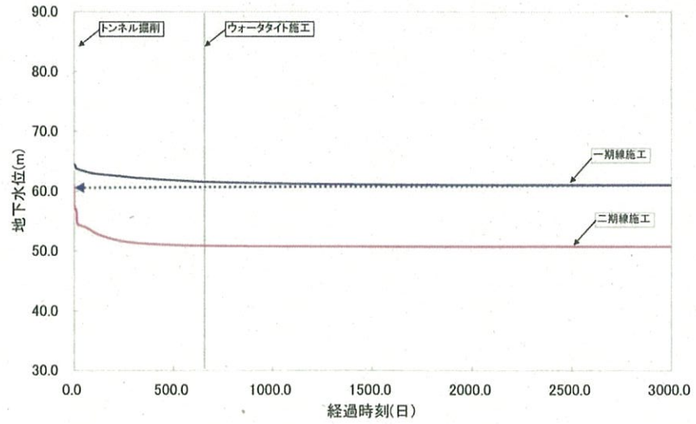


図-4.10　B-11（中山側坑口から174m）位置における地下水位低下

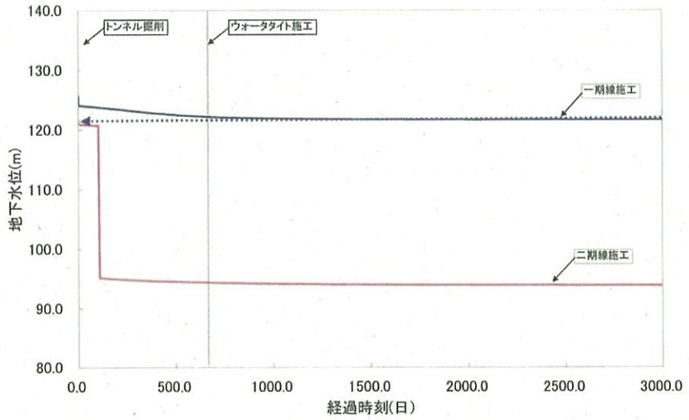


図-4.11　B-12（尾長山）位置における地下水位低下

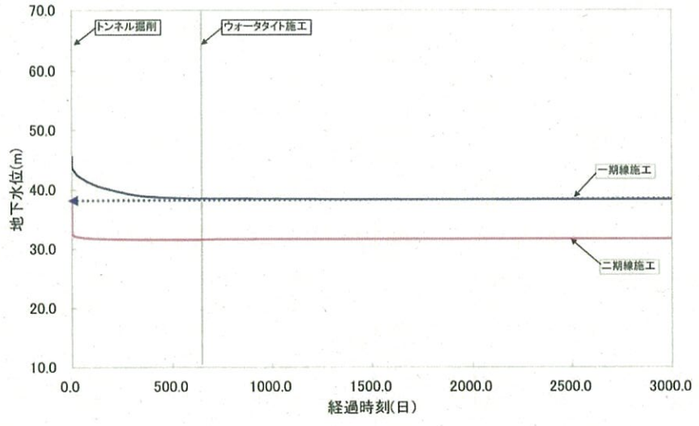


図-4.12　B-17（牛田東地区）位置における地下水位低下

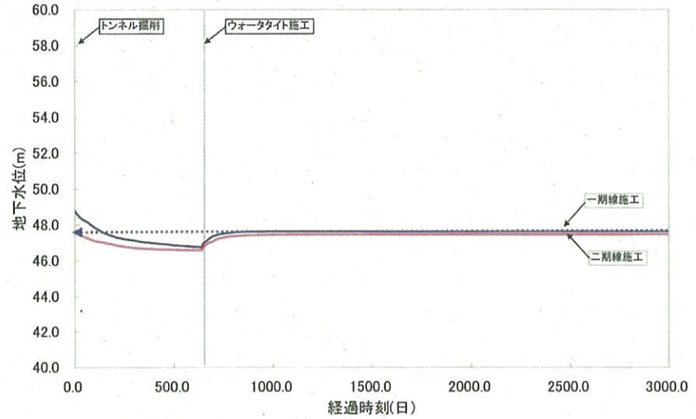


図-4.13　B-22（牛田東地区）位置における地下水位低下

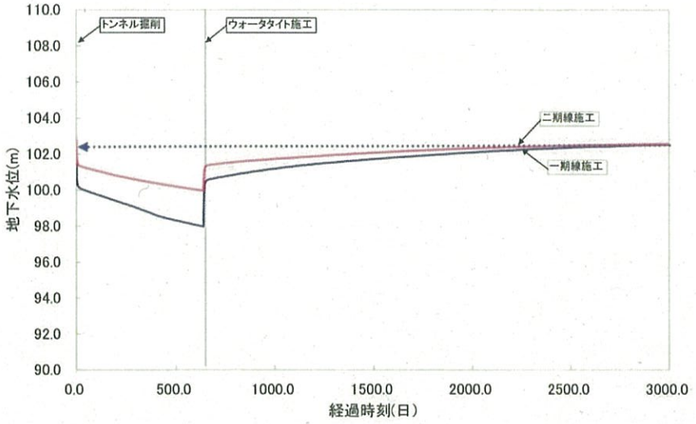


図-4.14　B-30（二葉山）位置における地下水位低下

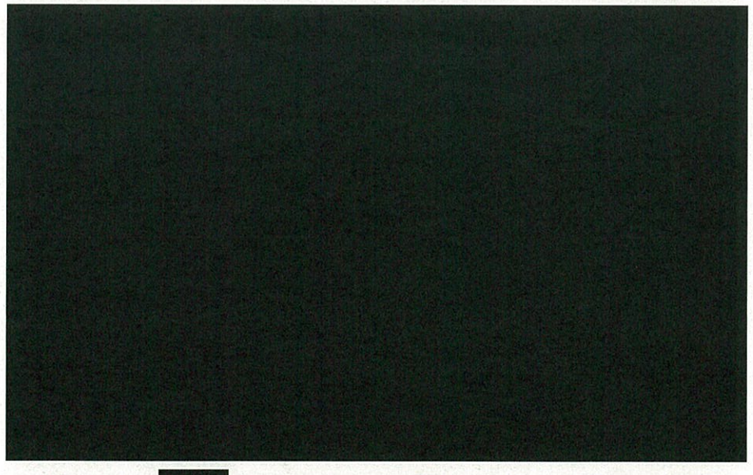


図-4.15 [redacted]（二葉の里）位置における地下水位低下

（３）非定常解析結果

非定常解析は、表-4.1のトンネル工程を基に行われている。湧水量は掘削に伴って徐々に増加し、破砕帯に到達した時点で急激に上昇している。二葉工区ではウォータータイト施工後、湧水量は急激に減少し、施工終了後約500日で定常状態となり、恒常湧水量は250m³/日（≒0.17m³/分）程度となっている。

図-4.17～図-4.19は、１期線施工時の全工程完了（ウォータータイト施工完了）後の地下水位低下の経緯を図示したものである。中山工区では水位低下の影響範囲が徐々に拡大していくが、二葉工区ではウォータータイトの施工によって、水位が回復する様子が見て取れるが、水位の回復は施工期間も含めて約3年の期間が必要とされている。

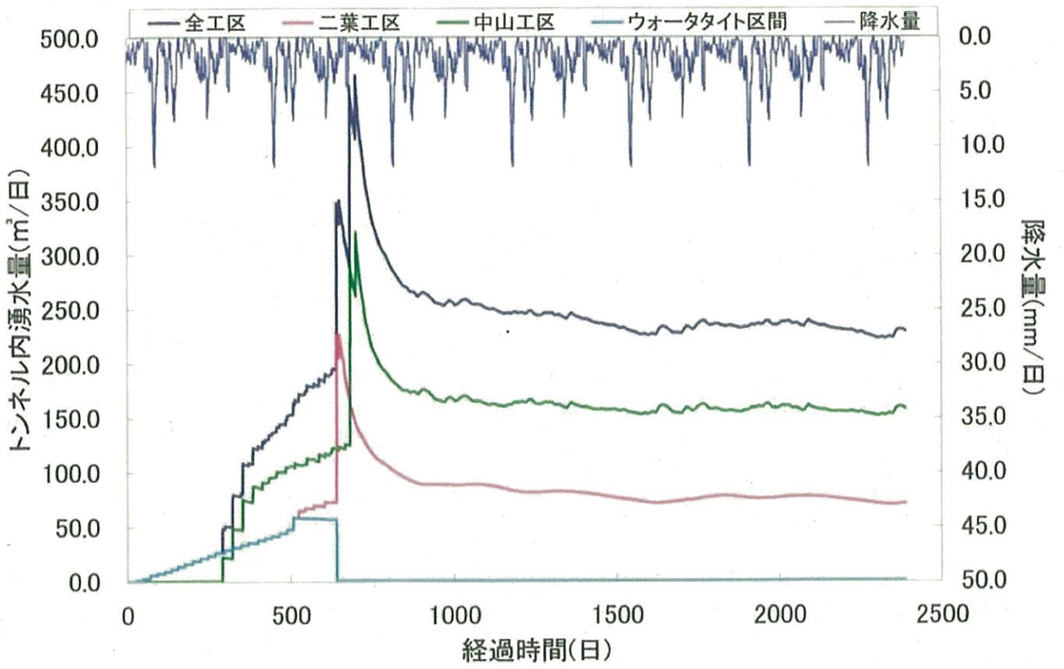


図-4.16　トンネル湧水量経時変化

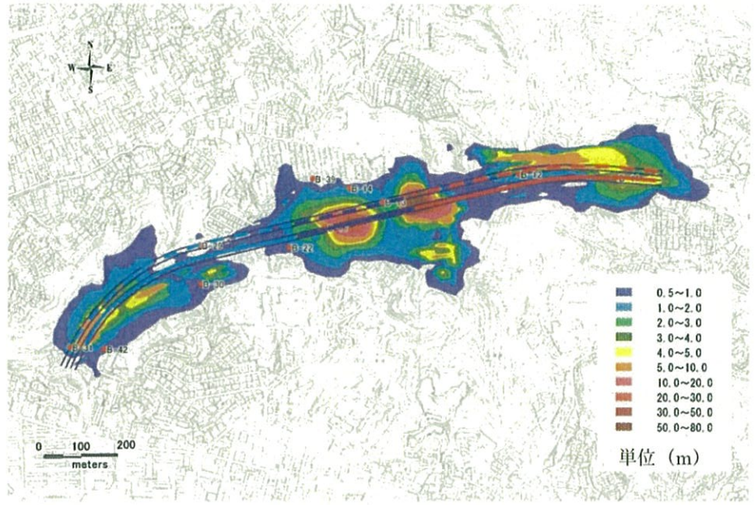


図-4.17
地下水位低下量
(731日経過；全工程完了)

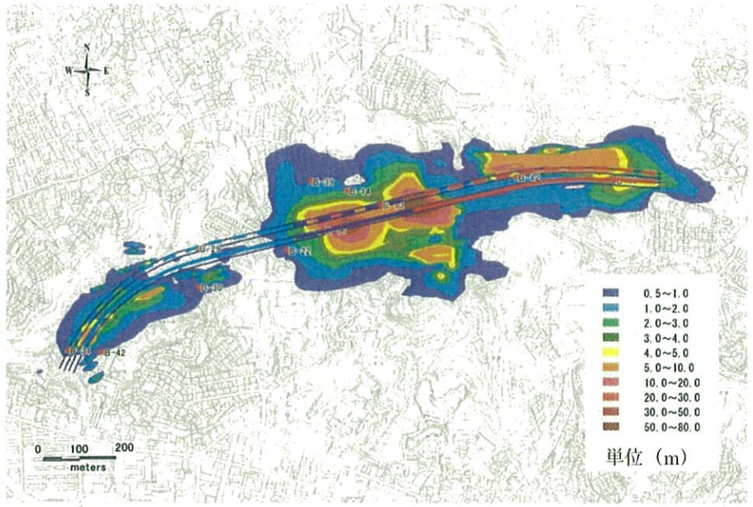


図-4.18
地下水位低下量
（1000日経過）

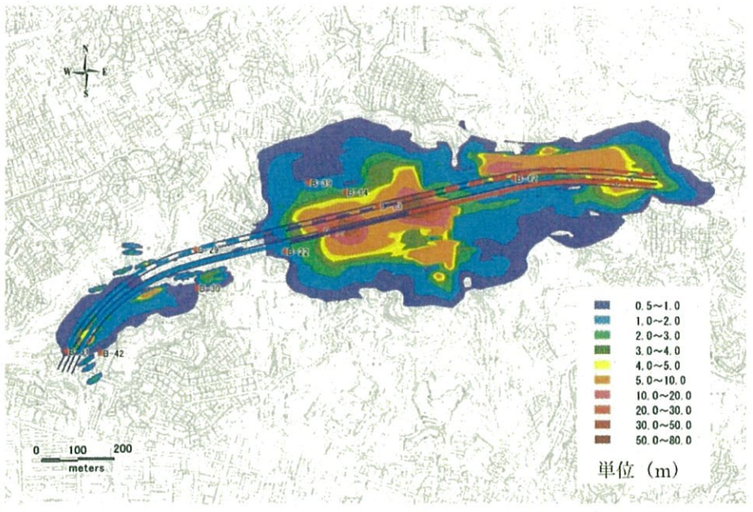


図-4.19
地下水位低下量
（1500日経過）

植生への影響予測概要

二葉山の自然環境影響評価について
（二葉山自然環境保全対策検討委員会報告書　概要版より）

1. 調査目的

この報告書は、二葉山自然環境保全対策検討委員会において広島高速5号線のトンネル工事がシリブカガシを中心とした二葉山の植生、生態系、景観に及ぼす影響について（尾長山は含まない）、調査結果に基づき予測を行い必要な対策について検討されたものである。

2. 調査内容

(1)植生調査

二葉山の森林植生を把握するため、二葉山と尾長山で植生調査、および種類組成による群落区分を行い、結果を用いて、現地踏査によって細密植生図を二葉山全域で作成し、二葉山のシリブカガシ林やその他の群落の組成、分布状況及び遷移段階が明らかにされた。

(2)地質調査

二葉山の浅層部の地質構造を把握することを目的としてボーリング調査が実施された。調査地点は以下のとおりであり、図－1に調査位置図を示す。

調査項目	調査地点の概要
ボーリング調査	BW1：北側斜面におけるシリブカガシの主要植生域を含む集水域（谷状地形）
	BW2：二葉山の稜線部に位置し、山頂付近の地下水を把握するために設置
	BW3：南側斜面におけるシリブカガシの主要植生域を含む集水域（谷状地形）
	BW4：南側斜面におけるシリブカガシの主要植生域を含む集水域の尾根部

(3)地下水調査

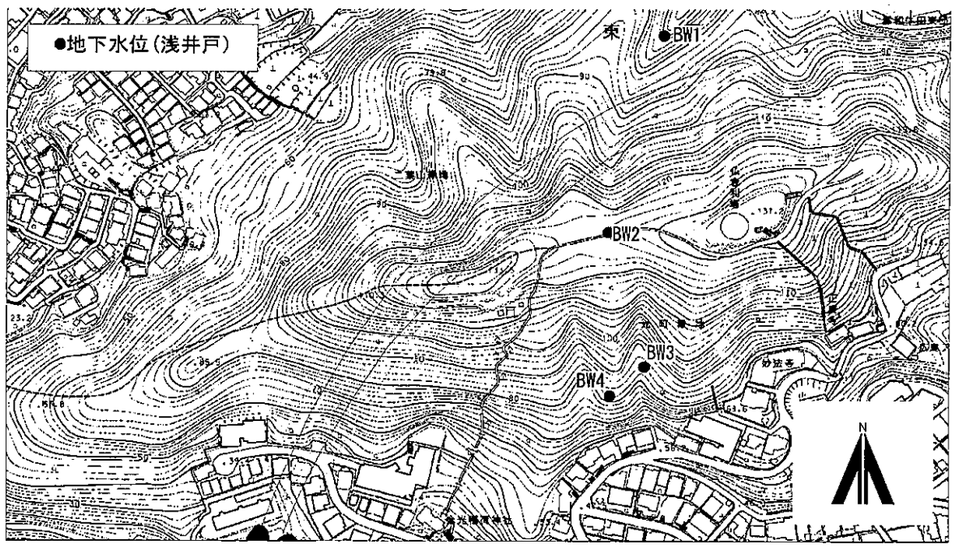
地下水位の変動状況などを把握することを目的に、ボーリング調査地点と同じ4地点で地下水調査が実施された。下記に調査方法と調査期間を示す。

調査項目	調査方法	調査時期
地下水調査（浅層）	地下水観測井に自記水圧式水位計を設置し、地下水位の変化を連続観測する。	平成13年6月26日 ～ 平成15年5月21日

(4)景観の現況調査

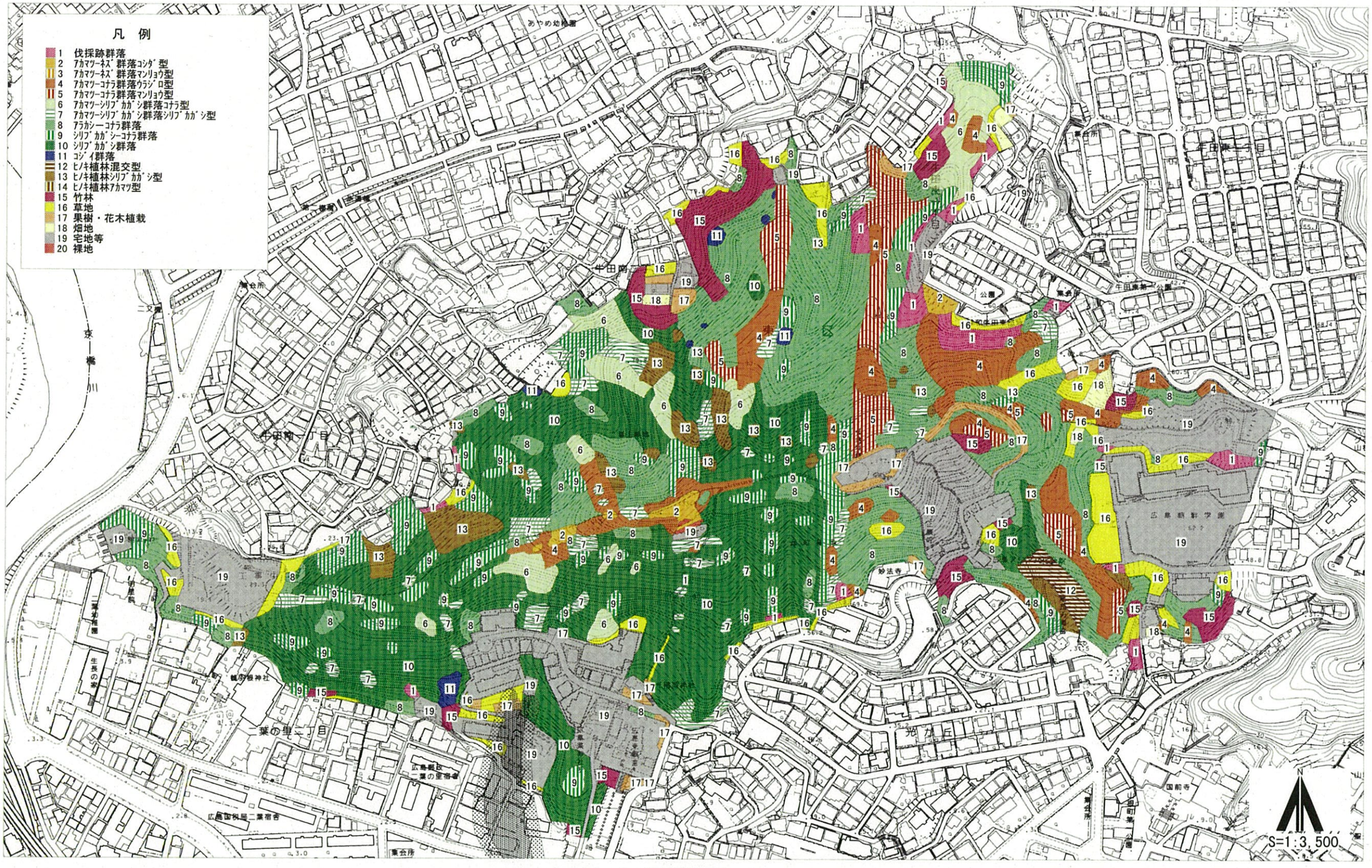
景観は以下の3地点で調査し、事業計画内容に基づき、現況写真に書き込んだフォトモンタージュが作成された。

・広島東照宮
・JR広島駅新幹線屋上駐車場
・JR広島駅新幹線コンコース



図－1　ボーリング調査及び地下水調査位置図

3. 調査結果



図－２　細密植生図

4. 自然環境への影響予測結果

◎植生(トンネル部)

二葉山の植生の大部分は雨水起源の土壌水を利用 ⇔ トンネル工事により地下水位低下の可能性

↓

地下水位が変動した場合、根系層の土壌に影響を及ぼす範囲の抽出

↓

・地下水位が(GL－6m)より深い場合
根系の最大深さを3m、毛管水層を3mに設定した場合図－6に示すように根系層と毛管水層の間に地下水の影響を受けない中間層が存在する。(全面積の約97%)

↓

植生の環境に変化なし

・地下水位が(GL－6m)より浅い場合
根系の最大深さを3m、毛管水層を3mに設定した場合図－6に示すように根系層と地下水層・毛管水層が重複し、地下水の影響を受ける。(全面積の約3%)

↓

○シリブカガシをはじめとした林冠木
一時的に影響を受ける可能性はあるが、その後の生長により十分補われるため、影響は軽微

○シリブカガシ群落のその他の構成種
群落構成種のうち、わずかな種の減少が考えられるが群落への影響は軽微

○貴重種(オガタマノキ1本)
影響はほとんどないと思われる。

◎植生(坑口部)

二葉の里側坑口部工事により820m2のシリブカガシ群落が消失 ⇒ シリブカガシ群落全面積の約1%
↓
群落への影響は軽微
(植栽による復元が望ましい)

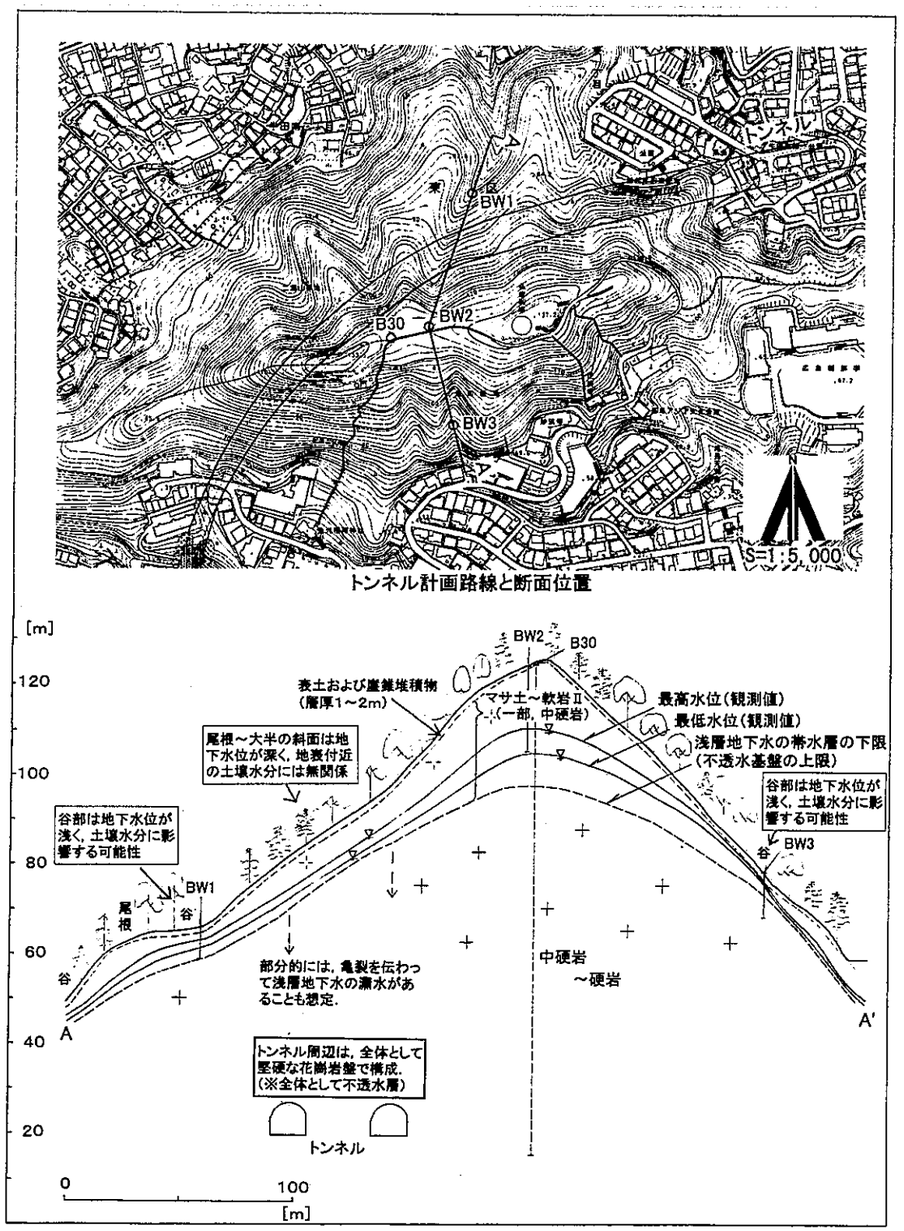
◎生態系

植生の変化が軽微なため、影響はほとんどないと思われる。

◎景観

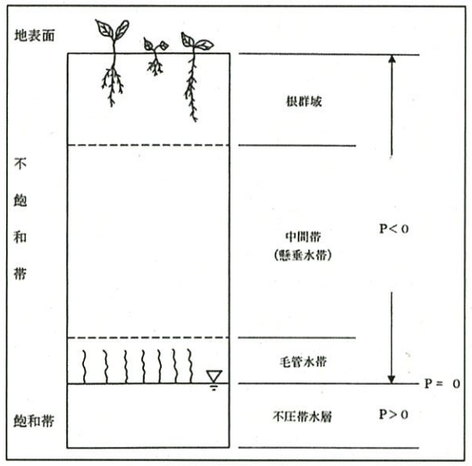
無機質な道路構造物が出現 ⇒ 周囲との調和を図るため植栽が必要

トンネル工事による浅層地下水の影響図を図－3に示す。



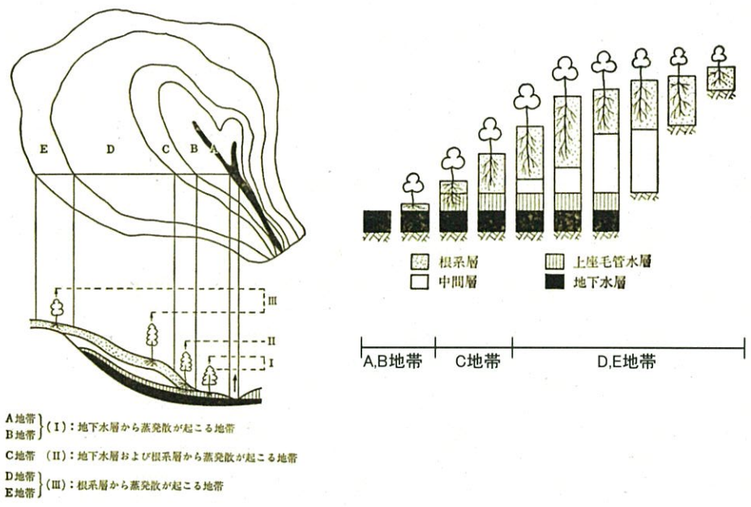
図－3 トンネル工事による浅層地下水の影響図

地表面から地下水までの領域区分図を図－4に示す。毛管水帯は地下水の影響を受けるが、その上に位置する中間帯は地下水の影響を受けないと考えられている。



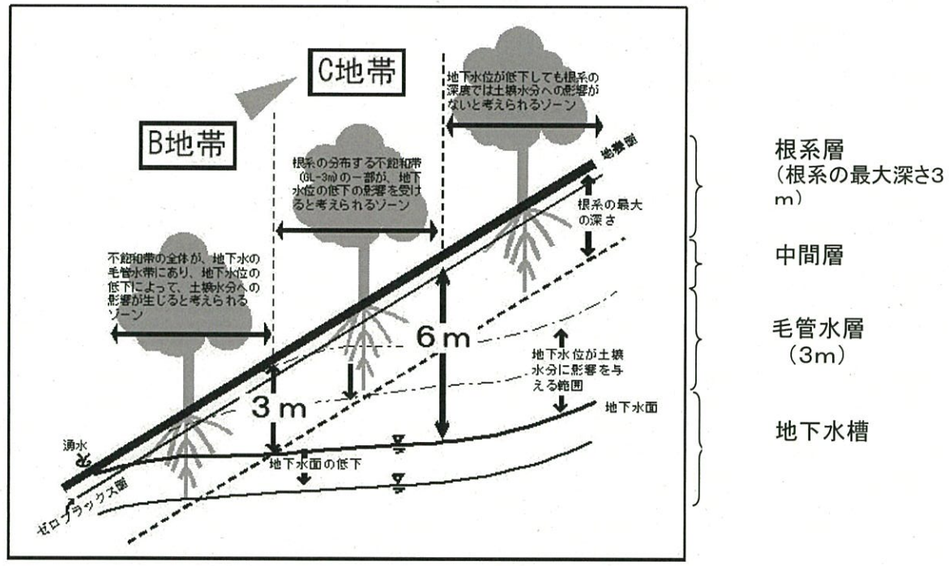
図－4　地表面から地下水までの領域区分図
（資料:「雨水浸透・地下水涵養」平成13年　理工図書）

一般に植物は図－5に示すように、地下水位の低い尾根筋や斜面では雨水起源の土壌水を利用し、地下水起源の水を利用していない。また、谷部と谷部に近い斜面下部では雨水起源の土壌水の他に地下水起源の上座毛管水層の水を利用している。



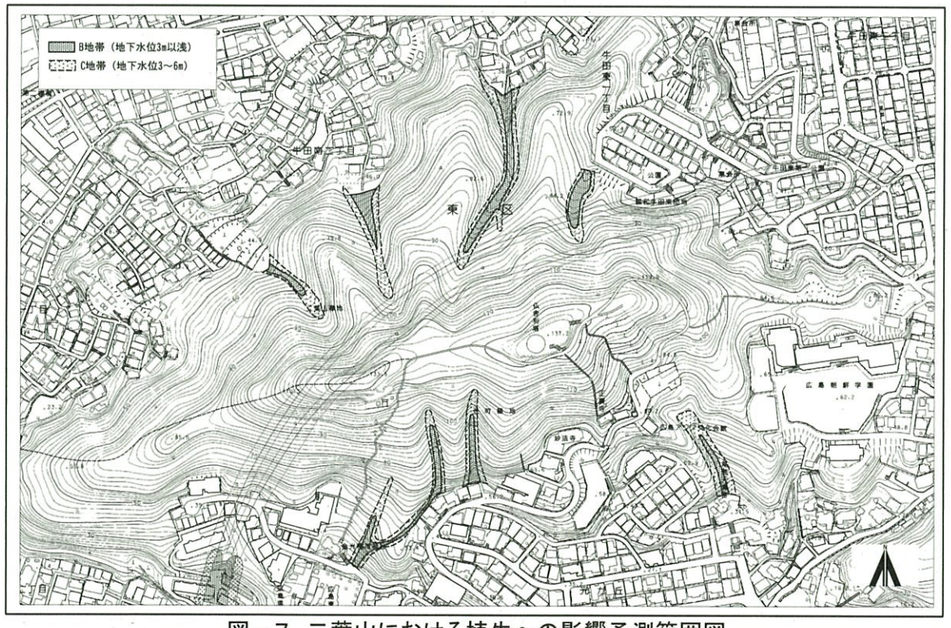
図－5　流域断面の地下水と蒸発散（大政正隆編1978「森林学」より）

根の生育深度は最大でも地下3mと考えられ毛管水層は粘土質でも最大3mと考えられる。その結果、地下水位の低下が植物の生育に影響を及ぼす可能性がある範囲は、最大でも地下水位が6mよりも浅い範囲に限られる。



図－6　二葉山における植物－土壌水分－地下水の模式図

二葉山のトンネル工事により植物の生育に影響を受ける可能性がある範囲（全面積の3%）を図－7に示す。



図－7　二葉山における植生への影響予測範囲図

5. モニタリング

以下の項目について、モニタリングを行い、工事による影響を検討し、必要に応じて対策を行うとされている。

(1)トンネル部の影響予測箇所におけるモニタリング

ア. 降水量

当該地域の地下水位に対する影響要因として、以下のモニタリングを行う。

降水量のモニタリング項目

項目	内容	期間
降水量	二葉山内に雨量計を設置して、降水量を連続観測する。	工事後まで

イ. 地下水

工事による地下水位への影響を把握するため、以下のモニタリングを行う。

地下水のモニタリング項目

項目	内容	期間
水位測定(浅井戸)	水位計を設置し、定期的に地下水位を測定する。	工事後まで

ウ. 土壌水分

地下水位の変化による土壌水分への影響を把握するため、以下のモニタリングを行う。

土壌水分のモニタリング項目

項目	内容	期間
土壌水分	影響予測範囲内のシリブカガシ群落に測定点を設定し、渇水期において土壌水分を測定し、影響を検討する。	工事直前 工事中 (同時期) 工事後

エ. シリブカガシ群落

地下水位の変化によるシリブカガシ群落への影響を把握するため、以下のモニタリングを行う。

シリブカガシ群落のモニタリング調査

項目		内容	時期
指標植物調査	影響予測種の生育 ・オオハナワラビ ・ミヤマノコギリシダ ・センリョウ ・アリドオシ ・ハエドクソウ	影響予測範囲に生育し、工事により影響をうける可能性のある群落構成種5種の生育状況についてモニタリングを行い、影響を検討する。	工事直前 工事中 (同時期) 工事後
	大径木(スギ) (オガタマノキ)	影響予測範囲内に生育する大径木のスギの生育状況についてモニタリングを行い、影響を検討する。オガタマノキは個体が小さく、日陰により消失する可能性があるため、モニタリングの対象としない。なお、大径木のスギに近接して直径89.6cmのスギが1個体あるのでこの個体もモニタリングを行う。	
毎木調査 植生調査		影響予測範囲内に20m×20mのプロットを設定し、毎木調査を行い、構成種への影響をモニタリングする。同時に植生調査を行い、低木層や草本層の植被率の変化、種の消長を調べ、影響を検討する。	工事直前 工事中 (同時期) 工事後
樹冠調査		シリブカガシ群落の樹冠の変化を調べるため、魚眼レンズを用いて林内に設置した定点から継続的に撮影を行い、変化を調査する。	工事直前 工事中 (同時期) 工事後

(2)トンネル坑口部におけるモニタリング

ア. 植生調査

シリブカガシ群落造成法面及びその他の法面について、緑化対策後の状況の把握及び群落造成のための適切な管理が実施できるよう、以下のモニタリングを行う。

緑化対策法面におけるモニタリング調査

項目		内容	時期
群落造成法面	植栽木の生育状況	植栽木の生存の有無、サイズ測定を行い、定着状況を調査する。	植栽後1年 植栽後2年 植栽後5年 植栽後10年
	群落形成状況	任意に設定したコドラート内において植生調査及び定点写真撮影を行い、植生の変化を調査する。	
その他法面	植物の定着状況	切土法面において植物の定着状況を調査する。	播種後1年 播種後2年

当日配付資料

第１回委員会

- 広島高速５号線トンネル安全検討委員会設置規約
- 広島高速５号線トンネル安全検討委員会の公開に関する取扱要領
- 水文調査概要と地下水解析結果概要の問題点（2009.9.12）
  （奥西委員提出資料）

広島高速５号線トンネル安全検討委員会設置規約（案）

（名称）

第１条　本会は、広島高速５号線トンネル安全検討委員会（以下、「委員会」という。）という。

（目的）

第２条　委員会は広島高速５号線トンネルに係る「地域の住民生活等の安全性を確認する」ため、高速５号線トンネルの建設に伴う地表面沈下や土砂災害等の周辺地域への影響について、公正・中立な立場で客観的データに基づき、科学的に審議・検討を行うことを目的とする。

（検討事項）

第３条　委員会では、次の事項について検討を行う。

(1)　詳細な地質調査等の方法
(2)　地質調査等の結果整理・評価
(3)　トンネル施工に伴う地表面沈下の解析及びその対応策
(4)　トンネル施工に伴う斜面崩落や植生への影響の可能性
(5)　その他、前条の目的のため、委員会が必要と認めるトンネルに関する技術的事項

（組織）

第４条　委員会は、別表に掲げる学識経験者・専門家等からなる委員で構成する。

（委員長）

第５条　委員会には委員長を置くこととし、委員の互選によりこれを定める。

2　委員長は、委員会を総括する。
3　委員会は、委員長が招集する。
4　委員長に事故ある時は、委員長があらかじめ指名する委員がこれを代行する。
5　委員長は、必要があると認めるときは、委員会の同意を得て、委員会の会議に委員以外の者の出席を求めることができる。
6　委員長は、第２条の目的が達成できないと認められる場合には、委員会の同意を得て、委員会を打ち切ることができる。

（委員の義務）

第６条　委員は、公正・中立な立場で客観的データに基づき、科学的に審議・検討を行わなければならない。

2　委員は、職務上の地位を政治的目的、営利的目的のために利用してはならない。
3　委員は、職務上知り得た秘密を漏らしてはならない。委員を退いた後も同様とする。

（情報公開）

第７条　委員会は原則公開とし、情報公開に関する方法については別に定める。

（事務局）

第８条　委員会の審議・検討を円滑に進めるために事務局を置く。

2　事務局は、広島県土木局土木整備部道路企画課、広島市道路交通局道路部道路計画課及び広島高速道路公社建設部建設第三課とする。
3　事務局は、公正・中立な立場で次の各号に掲げる事務を行う。

(1)　委員会で審議・検討を行うために必要となる調査、資料作成及びその説明
(2)　委員会開催の日程調整及び会場設置
(3)　議事録の作成
(4)　その他委員会に係る庶務

（その他）

第９条　本規約に定めるもののほか、委員会の運営に関し必要な項目は、その都度委員会において定める。

附則

この規約は、平成２１年　月　日から施行する。

別表　「広島高速５号線トンネル安全検討委員会」の構成

	氏名	所属・役職
	朝倉俊弘	京都大学大学院工学研究科　教授
	大島洋志	国際航業㈱　上席フェロー　技術センター長
	奥西一夫	京都大学　名誉教授
	越智秀二	比治山女子中学高等学校　教諭
	海堀正博	広島大学大学院総合科学研究科　准教授
	角湯克典	独立行政法人土木研究所道路技術研究グループ　上席研究員
	金折裕司	山口大学大学院理工学研究科　教授
	坂巻幸雄	元通産省地質調査所　主任研究員
	佐々木健	広島国際学院大学工学部バイオ・リサイクル学科　教授
	城間博通	㈱高速道路総合技術研究所道路研究部　トンネル研究担当部長
	関太郎	広島大学　名誉教授
	富井利安	広島修道大学法学部　教授
	中根周歩	広島大学大学院生物圏科学研究科　教授
	西垣誠	岡山大学大学院環境学研究科　教授
	山本春行	広島大学大学院国際協力研究科　教授
	吉國洋	広島大学　名誉教授

広島高速５号線トンネル安全検討委員会の公開に関する取扱要領(案)

（趣旨）

第１条　この要領は、広島高速５号線トンネル安全検討委員会設置規約第７条に基づき、広島高速５号線トンネル安全検討委員会の公開に関し、必要な事項を定めるものとする。

（会議の公開）

第２条　広島高速５号線トンネル安全検討委員会の会議は、これを原則公開し、本要領に基づき何人も会議を傍聴できるものとする。

（会議開催の周知）

第３条　事務局は、会議を開催するに当たって、会議の日時、場所等必要事項を記載した会議の開催案内を作成し、会議を開催する日の１週間前までに、これを次の方法により会議を開催する旨の周知を図るものとする。

(1)　事務局における備付け

(2)　その他可能な広報手段

（傍聴人の定員）

第４条　傍聴人の定員は、県政記者クラブ，市政記者クラブへ加盟している報道機関の関係者を除き、２０名とする。

（傍聴手続き）

第５条　傍聴の申し込みの受付は、会議の当日、会議開始の 30 分前から開始する。会議開始の 20 分前の時点で、傍聴を希望する者が定員を超えた場合は、抽選により決定する。同時点で、傍聴を希望する者が定員を超えていない場合は、先着順により決定する。

（傍聴することができない者）

第６条　次の各号のいずれかに該当する者は、傍聴することができない。

(1)　酒気を帯びていると認められる者

(2)　凶器の類等他人に危害を加えるおそれがある物品を携帯している者

(3)　はち巻、ビラ、プラカード、旗、はり紙、掲示板、のぼり、垂れ幕、メガホン、拡声器、写真機、ビデオカメラ、録音機の類（録音や録画、撮影機能等を有する携帯電話を含む）等議事を妨害するおそれがある物品を携帯又は着用している者

(4)　その他円滑な会議の運営を妨害し、又は他人に迷惑を及ぼすおそれがあると認められる者

（傍聴人の守るべき事項）

第７条　傍聴人は、静粛を旨とし、次に掲げる事項を遵守しなければならない。

(1)　会場における言論に対して拍手その他の方法により公然と賛否を表明しないこと

(2)　談笑、騒ぎ立てること、みだりに席を離れること等議事の妨げ又は他人の迷惑となる行為をしないこと

(3)　飲食又は喫煙しないこと

(4)　会場内で携帯電話等の無線機を使用しないこと

(5)　写真撮影、録画、録音等は行わないこと

(6)　その他議場の秩序を乱し、又は議事の妨害となるようなことをしないこと

（傍聴人の退場）

第８条　傍聴人がこの要領に違反するときは、委員長はこれを制止し、それでもなおその指示に従わず、会議の目的が達成できないと認められる場合は、当該傍聴人を退場させる、或いは当該会議を中止する等の措置を講ずることができる。

（報道機関による取材への対応）

第９条　報道機関による会議の取材については、傍聴の手続きとは別に、次に掲げる方法により対応するものとする。

(1)　報道機関の確認は、会場の受付において、社名、氏名の記入を求めることにより行う。

(2)　事務局は、できる限り報道機関の席を設けるとともに、会議資料の配付等に配慮する。

(3)　事務局は、会議開催前の撮影については、便宜を図るよう努める。

(4)　報道機関の取材を認めない場合は、会議終了後、資料提供等に努める。

(5)　県政記者クラブ、市政記者クラブに加盟していない報道機関の関係者については、一般の傍聴者として対応する。

（議事録の作成及び閲覧）

第 10 条　事務局は、委員会終了後、議事録（議事の経過、結果等を簡潔に取りまとめたもので差し支えない。）を作成するものとする。

２　作成した議事録の内容に正確を期すため、委員長の確認を経るものとする。

３　事務局は、作成した議事録及び会議資料を、議事録を作成した日から同日の属する年度の翌年度３月３１日まで閲覧するものとする。

４　議事録および会議資料について、法令又は広島県若しくは広島市の条例等の定めるところにより、公にすることができないと認められる情報が含まれる場合には、その情報を除いたものを閲覧する。

附則

この要領は、平成 21 年〇月〇日から施行する。

広島高速５号線トンネル安全検討委員会第１回資料

水文調査概要と地下水解析結果概要の問題点

２００９．９．１２　　奥西一夫

１．地下水位について

この資料で「地下水位」とされているものはボーリング孔内水位を指すものと考えられる。しかし，岩盤中の地下水は一般に裂罅（れっか；fissure）水に分類され，部分によって不圧地下水または被圧地下水の性格を有するものである。ボーリング孔内水位が周辺地下水の水位を代表するのは周辺地下水が不圧地下水の性質を帯びている場合に限られる（ちなみに，地下水位の概念は不圧地下水に限って適用可能である）。したがって，格別の根拠なくボーリング孔内水位を地下水位と呼ぶことは誤りである。

２．地下水位の経時変化について

図３．２～３．５に「地下水位」の経時変化をボーリング柱状図つきで示されているのは好都合である。「地下水位」がほとんど変化していない場合は，ボーリングの中の水が周囲の地下水と隔絶された「たまり水」であることを示唆する。地下水位変化範囲の上限または下限がある地層境界とほぼ一致する場合は，その地層境界の上下で透水性が著しく変化していることを示唆する。時間と共に地下水位が連続的に変化している場合は，孔内水位が周囲の不圧地下水の水位を代表していると考えられるが，降雨と地下水位変化の対応関係が不自然な場合は必ずしもそうと言い切れない。事務局作成とされるこの資料ではこの点の検討を全く欠いている。

４．「沢昇水流量観測結果」（13～19 ページ）について

数年間の連続観測がされていることは評価できる。しかし，水文解析が全くされていないので，各地区別に書かれているコメントは水文学的（すいもんがく）というよりも水文学的（みずぶんがく）だと言わざるを得ない。

５．「水質調査結果」（20～24）

キーダイアグラムによる水質型の分類は極めて形式的で，現場の状況を無視した物である。したがって地球科学的な検討が極めて不十分である。

図６．１で $Cl-HCO_3$ および $Cl-SO_4+NO_3$ の相関が高いことが見て取れるが，これは Cl の変動は海水塩（海塩核に由来）の混入によるものではなく，肥料や尿尿など人為的な影響によるものと考えられる。Ca と Mg が逆相関になっているのが注目されるが，原因はよく分からない（地質的特性による？）。濃度が記載されていないのが重大な欠陥である。

６．「地下水解析結果概要」について

（１）どのような地下水水理モデルを採用したのか，全く明らかでない。

（２）計算スキームは差分法または有限要素法と推測されるが，明らかでない。

（３）「地下水位」，沢水流量，および水質の観測結果がこの地下水解析にどのように盛り込まれているのか，明らかでない。

（４）水収支の観点を全く欠いているように思われる。観測された「地下水位」を再現できているかどうか，また沢水流量観測結果や水質調査結果との整合性があるかどうかも定かでない。前述のように，「地下水位」，沢水流量，および水質に関する水文学的検討が極めて不十分であるため，そのことが地下水解析結果にも影響している。

（５）したがって，この資料に解析結果として示されるトンネル工事後の予測の信頼性に関しては全く判断できない。