

①新生代第四紀完新世 海浜堆積物

海浜堆積物は粘性土層 2 層 (ac 1 及び ac 2)、砂質土層 4 層 (as 1 ～ as 4) に区分した。各層の特徴を以下に示す。

・シルト (ac 2)

比較的均質なシルトが確認された。貝殻片を点在していた。

・砂質シルト (ac 1)

所々に細砂を挟在する砂質シルトが確認された。貝殻片を点在していた。

・細砂 (as 4)

中砂を含む不均一な細砂が確認された。礫径 2 ～ 3 mm の細礫及び貝殻片を点在していた。深度 13.8m 付近は、貝殻片の混入が多く、所々密集していた。深度 15.2m 以深、細粒分を含み、シルト質細砂状であった。

・シルト混じり細砂 (as 3)

シルトを不規則に混入するシルト質細砂が確認された。深度 11.0 ～ 12.0m 間、シルトを塊状に混入していた。

・礫混じり粗砂 (as 2)

細～中砂を含む不均一な粗砂が確認された。礫径 2 ～ 15mm の亜円～円礫を含んでいた。貝殻片の混入が多かった。

・細砂 (as 1)

中砂を含む不均一な細砂が確認され、貝殻片を点在していた。深度 5.0 ～ 8.0m 間、淡黄灰～暗褐色を呈していた。深度 8.0 ～ 10.0m 間、暗灰色の細砂を主体とし、部分的に淡黄灰色の中砂を挟在していた。礫径 2 ～ 30mm の亜円～円礫を含んでいた。深度 10.0 ～ 10.2m 間、礫径 2 ～ 15 mm の亜円～円礫を含む粗砂からなり、貝殻片の混入が多い。色調は淡黄灰～暗褐色～暗灰色を呈していた。

②新生代第四紀完新世 埋土

礫混じり細砂からなる埋土で、中砂を含んで粒径不均一であった。礫径 2 ～ 20mm の亜円～円礫を混入しており、貝殻片が点在していた。深度 1.4 ～ 2.6m 間、他深度と比較して中砂の混入が多く、部分的に淡黄灰色を呈していた。深度 3.3 ～ 3.5m 間、礫径 15 ～ 50mm の亜角礫を混入していた。深度 4.7 ～ 4.9m 間、礫径 10 ～ 20mm の円～亜円礫及びガラス片を混入していた。色調は暗褐～淡黄灰～灰色を呈していた。

表 4－5 B地点の地下水位(孔内水位)一覧表

調査番号 (孔口標高)	測定日	水位種別	水位G. L-(m)	備考
陸側B地点 (KBM+0.05m)	8月10日	初期無水	1.37	

(4) 塩分・電気伝導率測定結果

1) A 地点

簡易揚水試験前、試験中及び試験後に実施した A 地点の塩分・電気伝導率の測定結果を以下に示す。

測定期間	; 8 月 12 日 (連続揚水試験 ; 8:18~11:33 回復試験 ; 11:33~11:44)
観測機器	; ポータブル電気伝導率計 CM-31P
S&DLmini 設置深度	; G. L-10.14m
地下水位	; G. L-1.21m
揚水管の吸込み口	; G. L-8.50m

なお、揚水試験前に加え、試掘井削孔前の降雨の影響を考慮し、試掘井設置直後と設置翌朝の測定を行った。

表 4-6 に示す 7 月 30 日の試掘井設置後の孔内水の塩分は 0.24~2.34% であり、翌日 (31 日) の塩分は 0.69~2.77% である。これは、アメダス「北茨城」7 月 28 日の 18 時頃に北茨城市で観測された 19.0 (mm/h) (気象庁 HP より³¹⁾) のやや強い降雨によって低下した地下水の塩分が、時間経過とともに回復したものと推察される。また、図 4-12 の孔内 0.5m 毎の塩分分布図より、この回復傾向は変動幅はあるが、孔内のほぼ全深度で見られる。

表 4-8 に示す 8 月 12 日の揚水試験前の A 地点の孔内水の塩分は 0.60~2.88% であり、揚水試験中は 1.39~1.95% と徐々に上昇している。揚水終了後の孔内水の塩分は表 4-9 に示すように 0.07~2.87% となる。加えて今回は、潮位変動が回復試験終了後に満潮に向かっていく傾向であったため、約 5 時間後である 17:20 に再度孔内水の塩分測定を行った結果、孔内水の塩分は 0.50~2.80% であった。

また揚水試験前、揚水試験後及び揚水試験後より約 5 時間後の孔内 0.5m 毎の塩分分布図を図 4-13 に、揚水試験中の塩分変化を図 4-14 に示す。図 4-14 より、揚水試験中の塩分は揚水開始時の 1.39% から上昇していき、3 時間後の測定時には 1.95% であった。このことから、揚水試験時は主に海水を揚水していることがわかる。また図 4-13 より、揚水することで孔内の塩分は低下し、その傾向は浅部であるほど顕著である。しかし、回復試験終了後より約 5 時間経過時には深度 8.16m 以浅は塩分が上昇、以深はわずかに低下する。

³¹ 気象庁,過去の気象データ検索

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.ph>

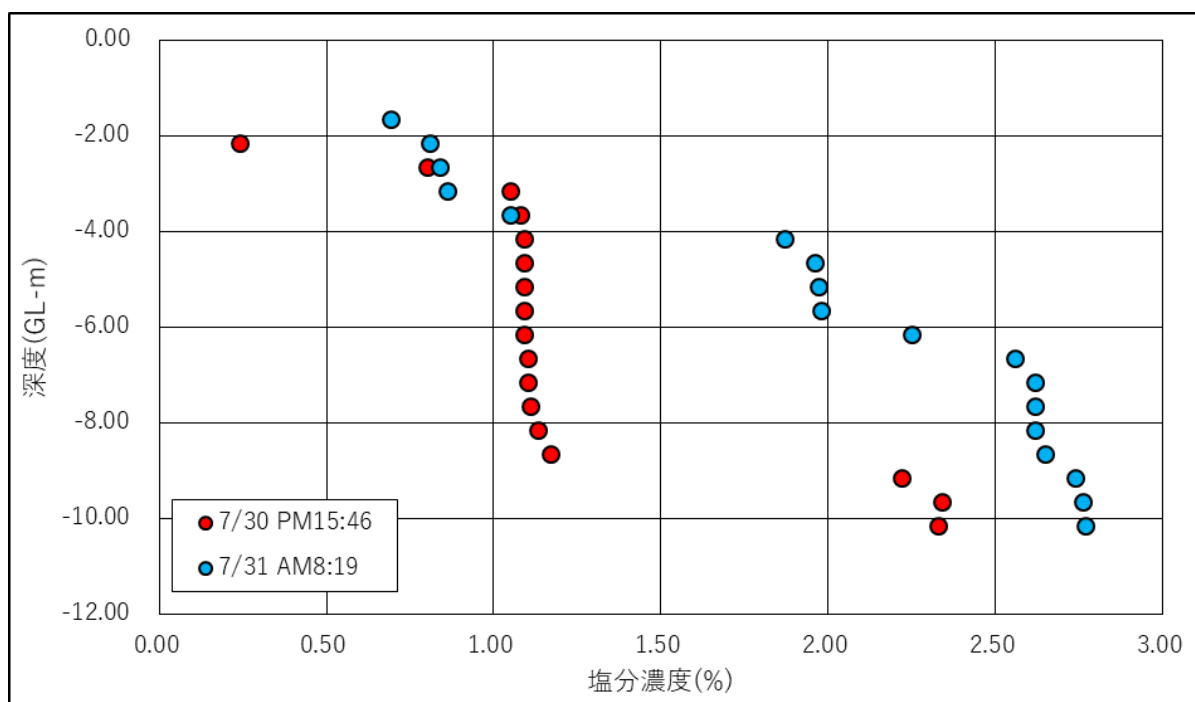


図 4-12 試掘井設置後の孔内 0.5m 毎の塩分分布 (7 月 30 日及び 31 日)

表 4－6 A 地点 深度 0.5m 毎の鉛直塩分変化 (試掘井設置直後； 7 月 30 日 15:46)

測定深度 (GL-m)	塩分濃度 (%)	電気伝導率 (s/m)	水温 (°C)	地質
2. 14	0. 24	0. 465	22. 7	埋土 (玉石混じり細砂)
2. 64	0. 80	1. 433	19. 4	埋土 (礫混じり細砂)
3. 14	1. 05	1. 842	17. 8	
3. 64	1. 08	1. 896	17. 7	
4. 14	1. 09	1. 909	17. 6	
4. 64	1. 09	1. 909	17. 6	
5. 14	1. 09	1. 902	17. 7	
5. 64	1. 09	1. 908	17. 7	
6. 14	1. 09	1. 912	17. 7	
6. 64	1. 10	1. 915	17. 7	
7. 14	1. 10	1. 916	17. 7	
7. 64	1. 11	1. 939	17. 8	
8. 14	1. 13	1. 968	17. 8	
8. 64	1. 17	2. 030	17. 8	細砂
9. 14	2. 22	3. 650	17. 4	
9. 64	2. 34	3. 820	17. 4	
10. 14	2. 33	3. 790	17. 5	砂岩

表 4－7 A 地点 深度 0.5m 毎の鉛直塩分変化 (試掘井設置翌朝； 7 月 31 日 8:19)

測定深度 (GL-m)	塩分濃度 (%)	電気伝導率 (s/m)	水温 (°C)	地質
1. 64	0. 69	1. 262	21. 6	埋土 (玉石混じり細砂)
2. 14	0. 81	1. 451	20. 8	
2. 64	0. 84	1. 499	20. 4	埋土 (礫混じり細砂)
3. 14	0. 86	1. 533	19. 4	
3. 64	1. 05	1. 838	18. 6	
4. 14	1. 87	3. 120	17. 6	
4. 64	1. 96	3. 250	17. 3	
5. 14	1. 97	3. 280	17. 2	
5. 64	1. 98	3. 290	17. 0	
6. 14	2. 25	3. 690	16. 9	
6. 64	2. 56	4. 150	16. 7	
7. 14	2. 62	4. 230	16. 7	
7. 64	2. 62	4. 240	16. 6	
8. 14	2. 62	4. 240	16. 6	細砂
8. 64	2. 65	4. 280	16. 6	
9. 14	2. 74	4. 420	16. 6	
9. 64	2. 76	4. 440	16. 6	砂岩
10. 14	2. 77	4. 460	16. 6	

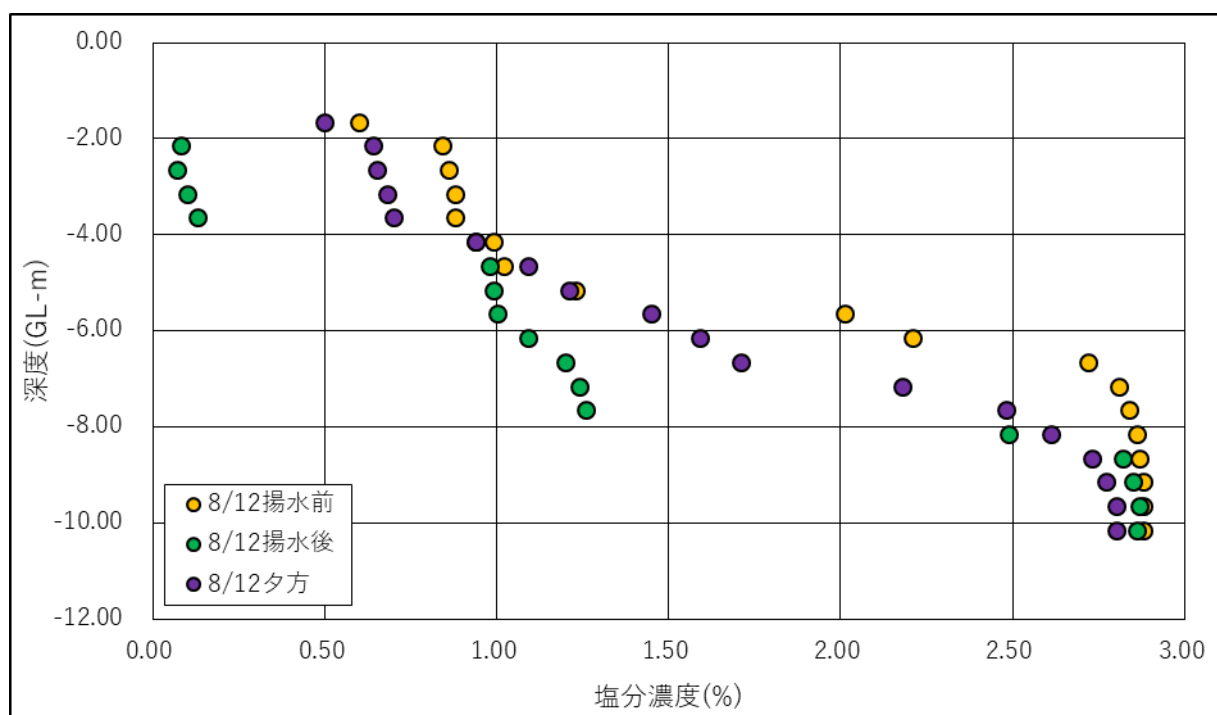


図 4－13 揚水試験前及び揚水試験実施後の孔内 0.5m 毎の塩分分布

表 4－8 A 地点 深度 0.5m 毎の鉛直塩分変化(揚水開始前；8 月 12 日 7:30)

測定深度 (GL-m)	塩分濃度 (%)	電気伝導率 (s/m)	水温 (℃)	地質
1.64	0.60	1.185	23.3	埋土 (玉石混じり細砂)
2.14	0.84	1.480	22.1	
2.64	0.86	1.535	21.6	埋土 (礫混じり細砂)
3.14	0.88	1.555	21.2	
3.64	0.88	1.581	20.9	
4.14	0.99	1.730	19.7	
4.64	1.02	1.794	18.9	
5.14	1.23	2.100	17.2	
5.64	2.01	3.340	16.4	
6.14	2.21	3.610	16.2	
6.64	2.72	4.390	15.9	
7.14	2.81	4.520	15.9	
7.64	2.84	4.550	15.9	細砂
8.14	2.86	4.580	15.9	
8.64	2.87	4.590	16.0	
9.14	2.88	4.610	16.0	砂岩
9.64	2.88	4.620	16.0	
10.14	2.88	4.630	16.0	砂岩

表 4－9 A 地点 深度 0.5m 毎の鉛直塩分変化(揚水終了後；8月12日11:50)

測定深度 (GL-m)	塩分濃度 (%)	電気伝導率 (s/m)	水温 (℃)	地質
2.14	0.08	0.167	24.9	埋土(玉石混じり細砂)
2.64	0.07	0.141	24.6	埋土 (礫混じり細砂)
3.14	0.10	0.207	23.8	
3.64	0.13	0.253	23.6	
4.14	0.94	1.686	19.0	
4.64	0.98	1.724	18.8	
5.14	0.99	1.741	18.7	
5.64	1.00	1.768	18.7	
6.14	1.09	1.932	18.4	
6.64	1.20	2.080	18.2	
7.14	1.24	2.140	18.0	
7.64	1.26	2.170	17.9	
8.14	2.49	4.100	16.6	
8.64	2.82	4.510	16.3	
9.14	2.85	4.580	16.1	細砂
9.64	2.87	4.600	16.0	
10.14	2.86	4.590	16.0	砂岩

表 4－10 A 地点 深度 0.5m 毎の鉛直塩分変化(揚水終了後；8月12日17:20)

測定深度 (GL-m)	塩分濃度 (%)	電気伝導率 (s/m)	水温 (℃)	地質
1.64	0.50	0.954	21.4	埋土
2.14	0.64	1.156	20.6	(玉石混じり細砂)
2.64	0.65	1.189	20.2	埋土 (礫混じり細砂)
3.14	0.68	1.228	19.9	
3.64	0.70	1.271	19.8	
4.14	0.94	1.667	19.1	
4.64	1.09	1.914	18.4	
5.14	1.21	2.130	17.9	
5.64	1.45	2.470	17.5	
6.14	1.59	2.680	17.0	
6.64	1.71	2.890	16.8	
7.14	2.18	3.610	16.6	
7.64	2.48	4.010	16.4	
8.14	2.61	4.230	16.3	
8.64	2.73	4.380	16.2	細砂
9.14	2.77	4.460	16.1	
9.64	2.80	4.500	16.0	
10.14	2.80	4.500	16.0	砂岩

表 4－11 A 地点 連続揚水試験中の塩分・電気伝導率及び揚水量（8 月 12 日）

測定時刻	塩分濃度(%)	電気伝導率(s/m)	水位 (GL-m)	揚水量(l/min)	水温(℃)
8:18	1.39		1.53	32.0	
8:48	1.50	1.953	1.64	32.0	19.8
9:18	1.56	1.934	1.70	32.0	19.4
9:48	1.70	1.914	1.84	32.0	19.9
10:18	1.80	1.894	1.94	32.0	19.8
10:48	1.91	1.843	2.05	32.0	20.2
11:18	1.95	1.802	2.09	32.0	20.0

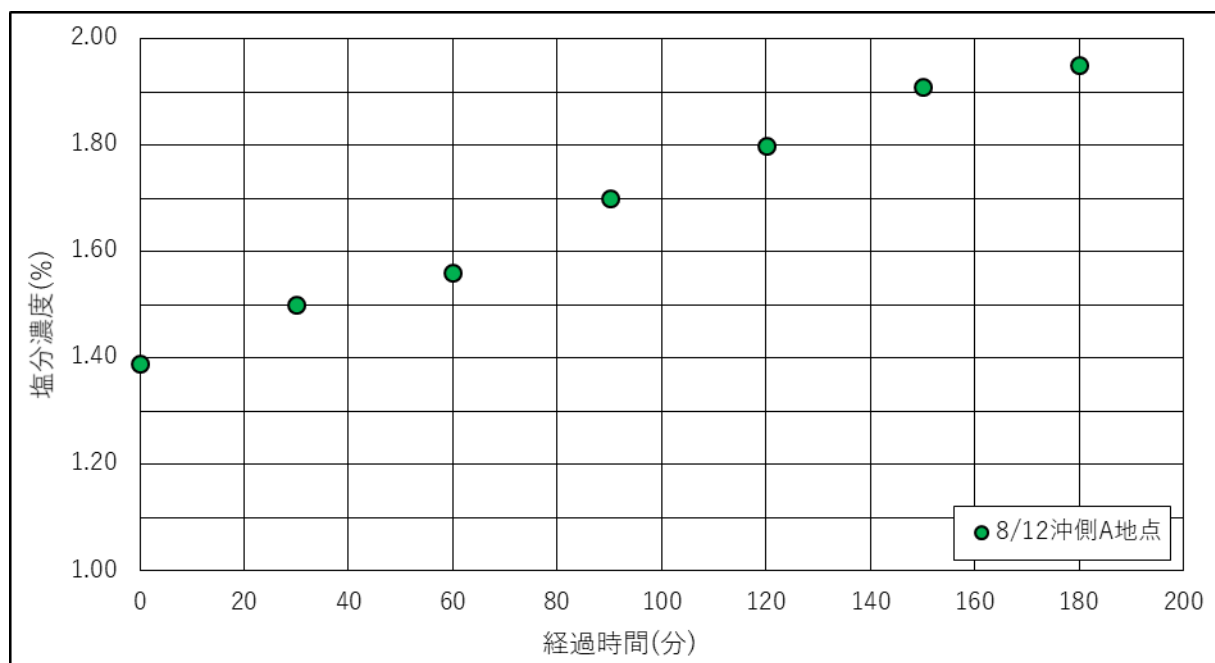


図 4－14 揚水試験中の塩分の変化

2)B 地点

簡易揚水試験前、試験中及び試験後に実施した B 地点の塩分・電気伝導率測定結果を以下に示す。

測定期間 ; 8月12日(連続揚水試験;13:21~16:26 回復試験;16:26~16:44)

観測機器 ; ポータブル電気伝導率計 CM-31P

S&DLmini 設置深度; G. L-16.0m

地下水位 ; G. L-13.7m

揚水管の吸込み口 ; G. L-13.5m

表4-12に示す8月12日の揚水試験前のB地点の孔内水の塩分は0.01~2.42%であり、揚水試験中は0.98~1.01%で安定している。揚水終了後の孔内水の塩分は表4-13に示すように0.23~2.34%となる。また、揚水試験前及び揚水試験後の孔内0.5m毎の塩分分布図を図4-15に、揚水試験中の塩分変化を図4-16に示す。図4-16より揚水試験中の塩分は0.98~1.01%で安定しており、揚水試験時は淡水・海水の両方を揚水しているが、淡水が優勢であることがわかる。図4-15より、揚水することで深度8.0m以浅で孔内の塩分が上昇、以深で低下し、特に深度8.10~14.60m間では低下が顕著である。

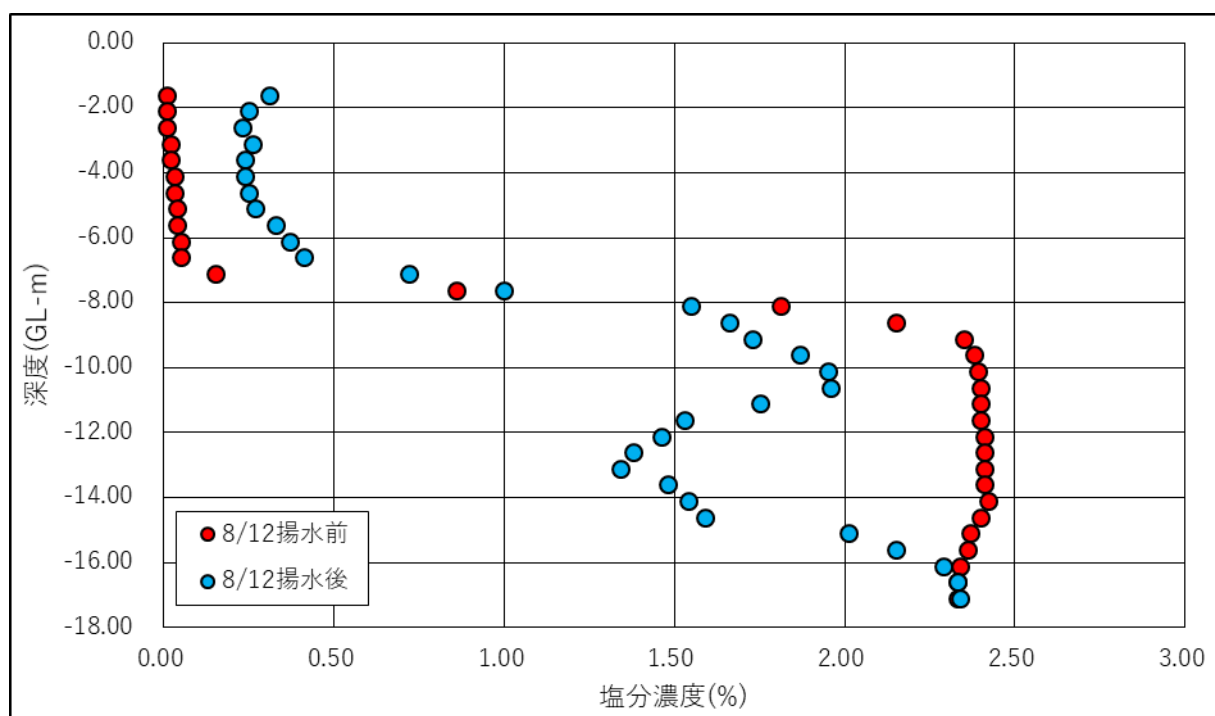


図4-15 揚水試験前及び揚水試験実施後の孔内0.5m毎の塩分変化

表 4-12 B 地点 深度 0.5m 毎の鉛直塩分変化 (揚水開始前 ; 8 月 12 日 12:18)

測定深度 (GL-m)	塩分濃度 (%)	電気伝導率 (s/m)	水温 (°C)	地質
1.60	0.01	0.025	25.4	埋土 (礫混じり細砂)
2.10	0.01	0.025	25.4	
2.60	0.01	0.025	25.4	
3.10	0.02	0.034	23.9	
3.60	0.02	0.039	23.1	
4.10	0.03	0.053	21.9	
4.60	0.03	0.070	21.0	
5.10	0.04	0.081	20.3	細砂
5.60	0.04	0.090	19.8	
6.10	0.05	0.099	19.4	
6.60	0.05	0.105	18.8	
7.10	0.15	0.306	18.1	
7.60	0.86	1.530	17.9	
8.10	1.81	3.060	17.8	
8.60	2.15	3.500	17.6	
9.10	2.35	3.840	17.5	
9.60	2.38	3.880	17.4	
10.10	2.39	3.890	17.3	シルト混じり 細砂
10.60	2.40	3.910	17.3	
11.10	2.40	3.920	17.2	
11.60	2.40	3.920	17.1	細砂
12.10	2.41	3.930	17.0	
12.60	2.41	3.930	16.9	
13.10	2.41	3.930	16.8	
13.60	2.41	3.930	16.8	
14.10	2.42	3.940	16.8	
14.60	2.40	3.910	16.8	
15.10	2.37	3.880	16.7	砂質シルト
15.60	2.36	3.850	16.7	
16.10	2.34	3.830	16.6	シルト
16.60	2.33	3.810	16.6	
17.10	2.33	3.810	16.5	

表 4-13 B 地点 深度 0.5m 毎の鉛直塩分変化 (揚水終了後 ; 8 月 12 日 16:50)

測定深度 (GL-m)	塩分濃度 (%)	電気伝導率 (s/m)	水温 (°C)	地質
1.60	0.31	0.576	24.5	埋土 (礫混じり細砂)
2.10	0.25	0.478	23.9	
2.60	0.23	0.446	23.3	
3.10	0.26	0.493	22.5	
3.60	0.24	0.462	21.5	
4.10	0.24	0.473	21.1	
4.60	0.25	0.483	20.6	
5.10	0.27	0.526	20.1	細砂
5.60	0.33	0.620	19.6	
6.10	0.37	0.692	19.3	
6.60	0.41	0.762	19.1	
7.10	0.72	1.302	18.9	
7.60	1.00	1.789	18.5	
8.10	1.55	2.620	18.3	
8.60	1.66	2.810	18.2	
9.10	1.73	2.900	18.0	
9.60	1.87	3.120	17.9	
10.10	1.95	3.230	17.9	シルト混じり 細砂
10.60	1.96	3.260	17.9	
11.10	1.75	2.950	18.1	
11.60	1.53	2.590	18.2	細砂
12.10	1.46	2.490	18.2	
12.60	1.38	2.360	18.2	
13.10	1.34	2.310	18.3	
13.60	1.48	2.520	18.1	
14.10	1.54	2.610	18.0	
14.60	1.59	2.700	17.9	
15.10	2.01	3.290	17.0	
15.60	2.15	3.550	16.8	砂質シルト
16.10	2.29	3.750	16.6	シルト
16.60	2.33	3.810	16.5	
17.10	2.34	3.820	16.5	

表 4－14 B 地点 連続揚水試験中の塩分・電気伝導率及び降水量（8 月 12 日）

測定時刻	塩分濃度 (%)	電気伝導率 (s/m)	水温 (℃)	揚水量 (l/min)	水位 (GL-m)
13:20	1.00	1.750	20.5	32.0	1.60
13:50	0.99	1.752	20.6	32.0	1.63
14:20	1.01	1.775	20.9	32.0	1.62
14:50	0.99	1.742	20.3	32.0	1.63
15:20	1.00	1.756	20.6	32.0	1.63
15:50	0.98	1.735	20.1	32.0	1.63
16:20	0.99	1.742	20.8	32.0	1.63

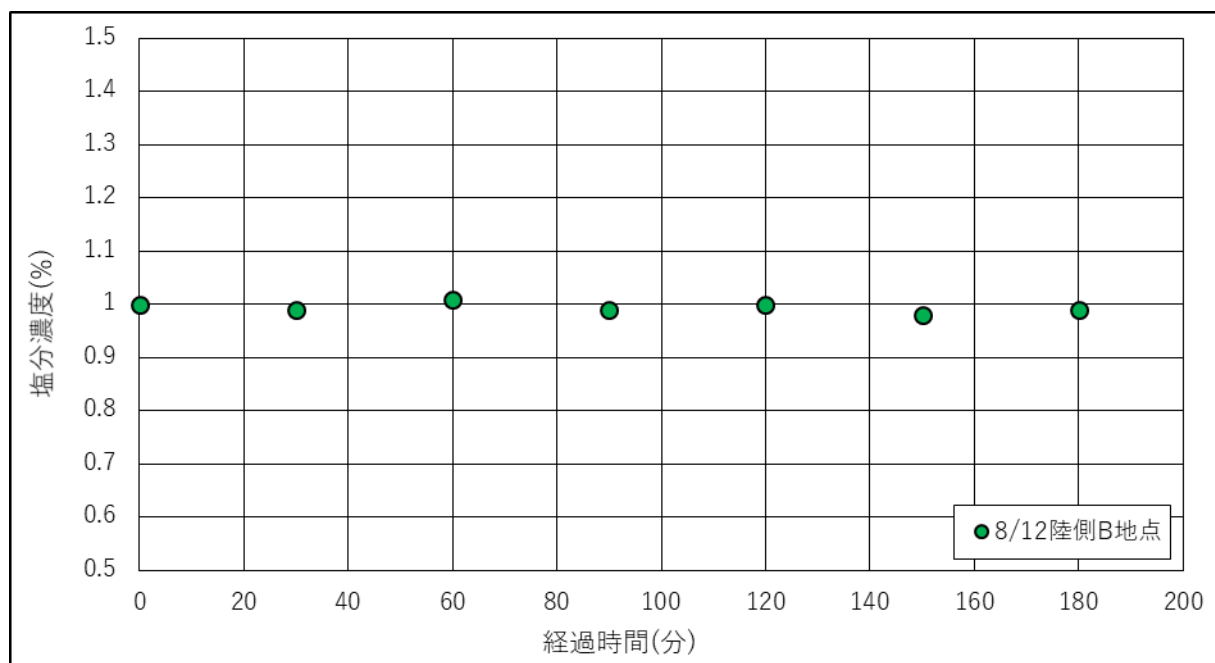


図 4－16 揚水試験中の塩分の変化

(5)簡易揚水試験結果

簡易揚水試験は、揚水による塩分変化及び揚水量の試算に用いる水理定数を得ることを目的とした。

1)A 地点

試験の実施状況は以下のとおりである。

試験期間：令和3年8月12日8：18～11：44

揚水機器：マリンカワエース NFZ 3-250S (揚水量：32.0L/min)

観測機器：絶対圧水位計 (S&DLmini) ・ ポータブル電気伝導率計 CW-31P

孔口標高：KBM+0.18m

沖側A地点

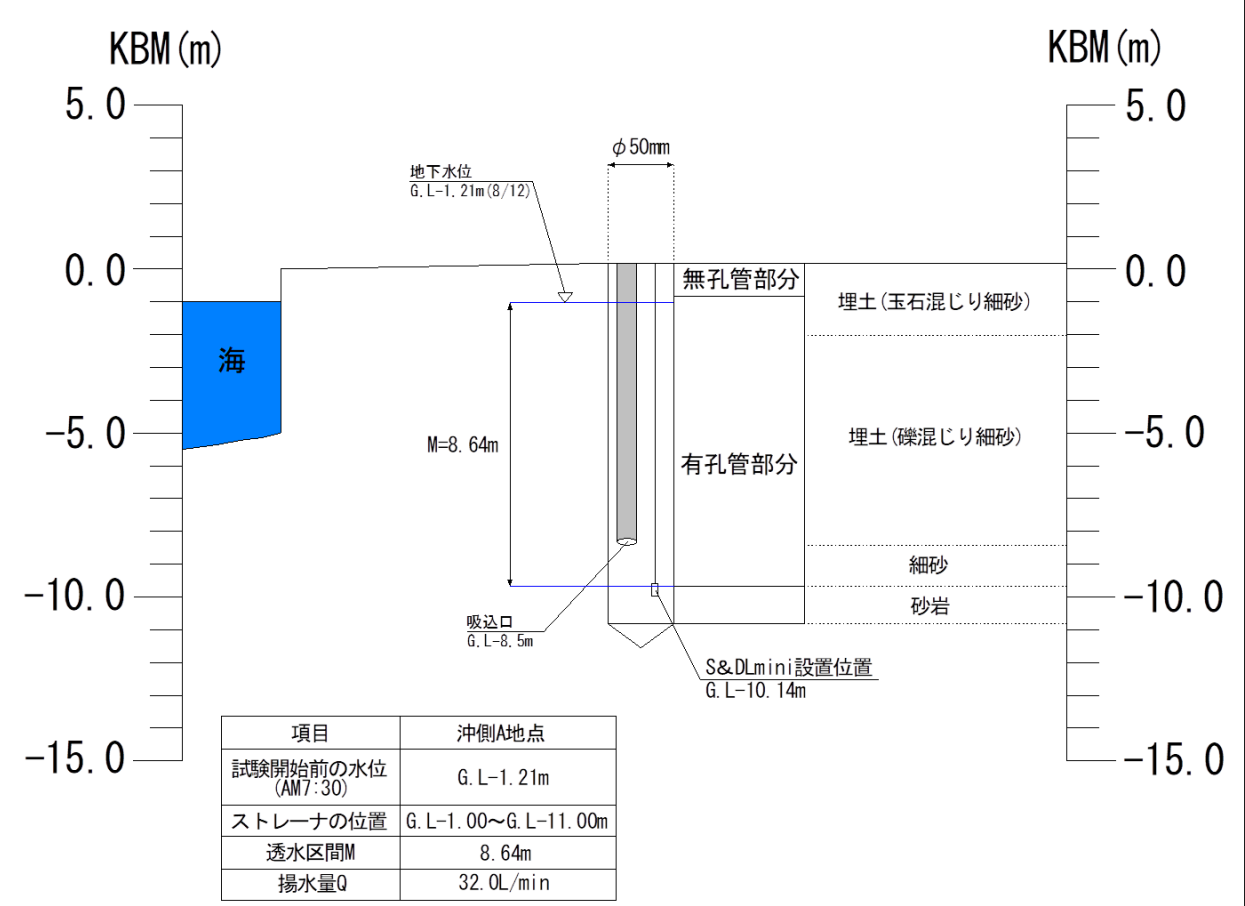


図 4-17 A 地点 簡易揚水試験実施状況

揚水試験中の水位変化を図4-18に示す。

ポンプ運転時及びポンプ停止時の水位降下・水位上昇は短時間で終了している。水位降下は揚水開始時が約25cmで、降下後はわずかな上下動は見られるが水位はほぼ一定である。潮位に関しては干潮に向かっていく期間であり、揚水中の変動幅は約70cmである。

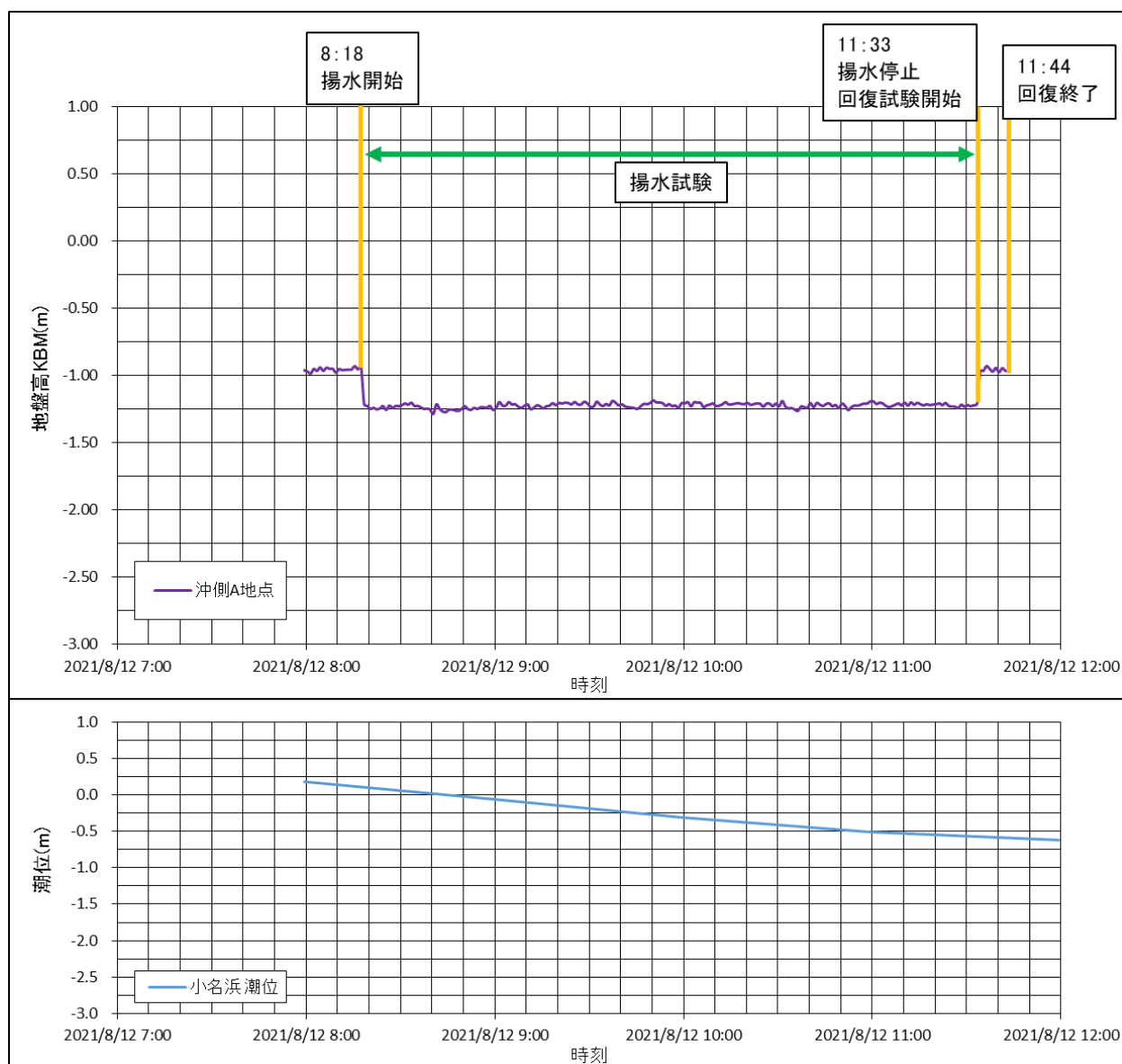


図4-18 A地点 揚水試験中の水位変動と潮位変化(8月12日)

2)B 地点

試験の実施状況は以下のとおりである。

試験期間：令和 3 年 8 月 12 日 13：21～16：44

揚水機器：マリンカワエース NFZ 3-250S (揚水量：32.0L/min)

観測機器：絶対圧水位計 (S&DLmini) ・ ポータブル電気伝導率計 CW-31P

孔口標高：KBM+0.05m

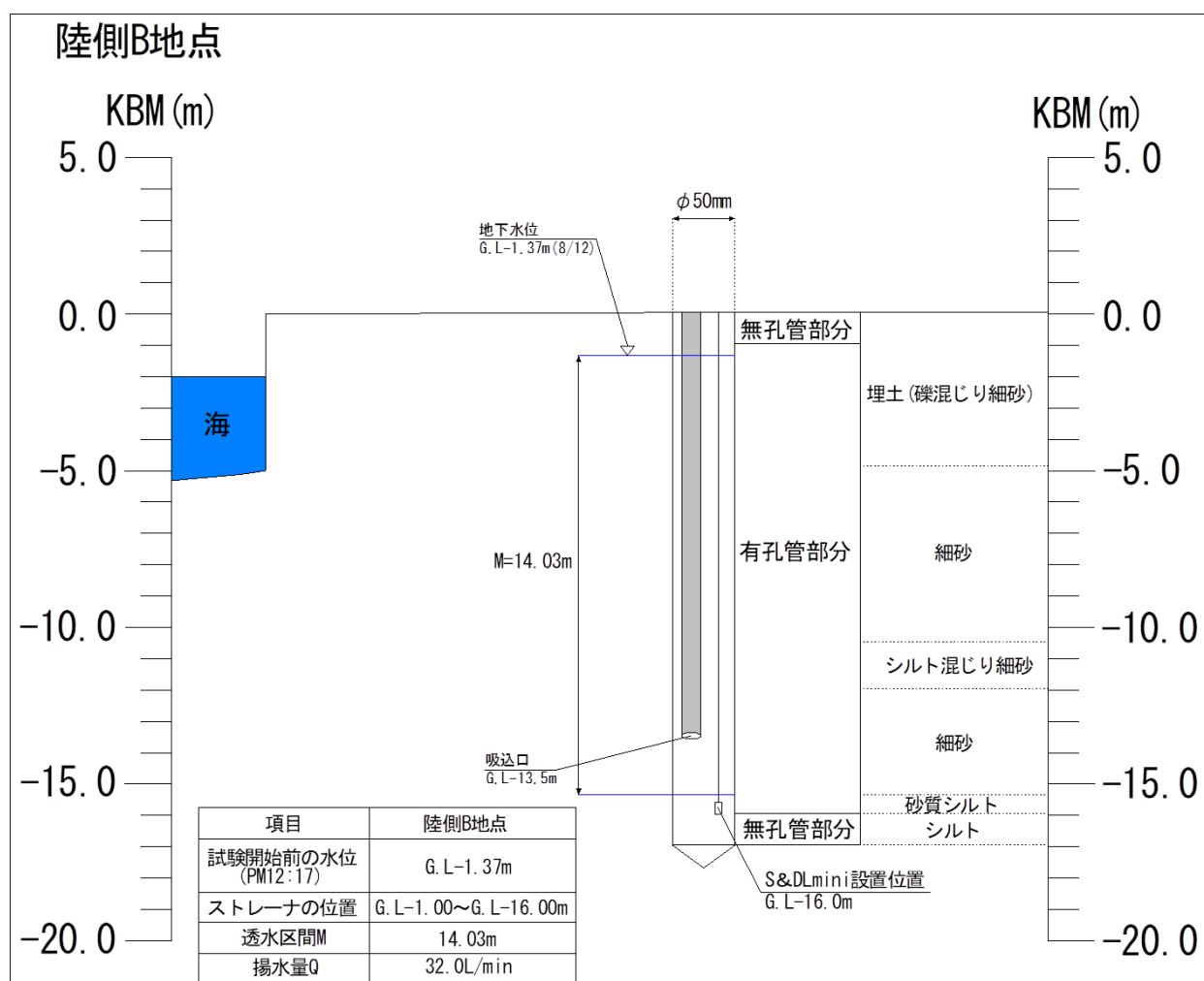


図 4-19 B 地点 簡易揚水試験実施状況

揚水試験中の水位変化を図4-20に示す。

ポンプ運転時及びポンプ停止時の水位降下・水位上昇は短時間で終了している。水位降下は揚水開始時が約42cmで、水位は継続して低下する。その変動幅は約71cmである。潮位に関しては満潮に向かっていく期間であり、揚水中の変動幅は約65cmである。

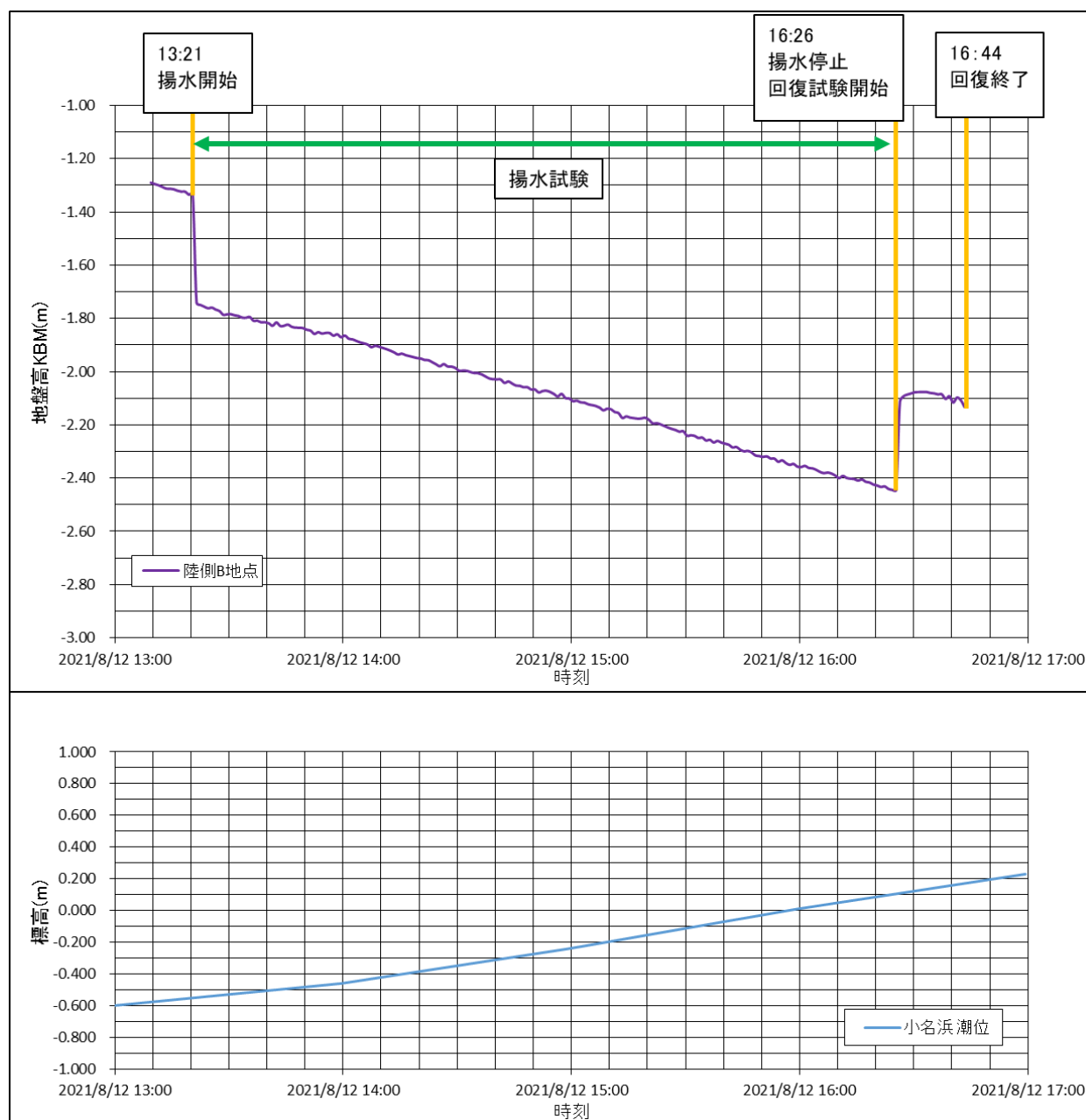


図4-20 B地点 揚水試験中の水位変動と潮位変化(8月12日実施)

(6) 揚水量の試算

1) A 地点

(5)の1)の項でも述べたとおり、簡易揚水試験に伴う水位変動はポンプ運転時及びポンプ停止時の短時間で終了している。このため、A 地点においての簡易揚水試験結果の解析は図4-21に示す①部分を用いることとし、解析方法は「ヤコブの直線法」を用いて、透水量係数 T 及び透水係数 k の算出を行った。また、回復試験結果の解析は図4-21に示す②部分を用いることとし、解析方法は「回復法」を用いて、同様に透水量係数 T 及び透水係数 k の算出を行った。

簡易揚水試験で実測した水位降下量 S と経過時間 t の関係を図4-22の片対数図に示した。また、回復試験より実測した残留水位降下量 S' と連続揚水試験開始からの経過時間 t と回復開始後の経過時間 t' との比 t/t' の関係を図4-23の片対数図に示した。

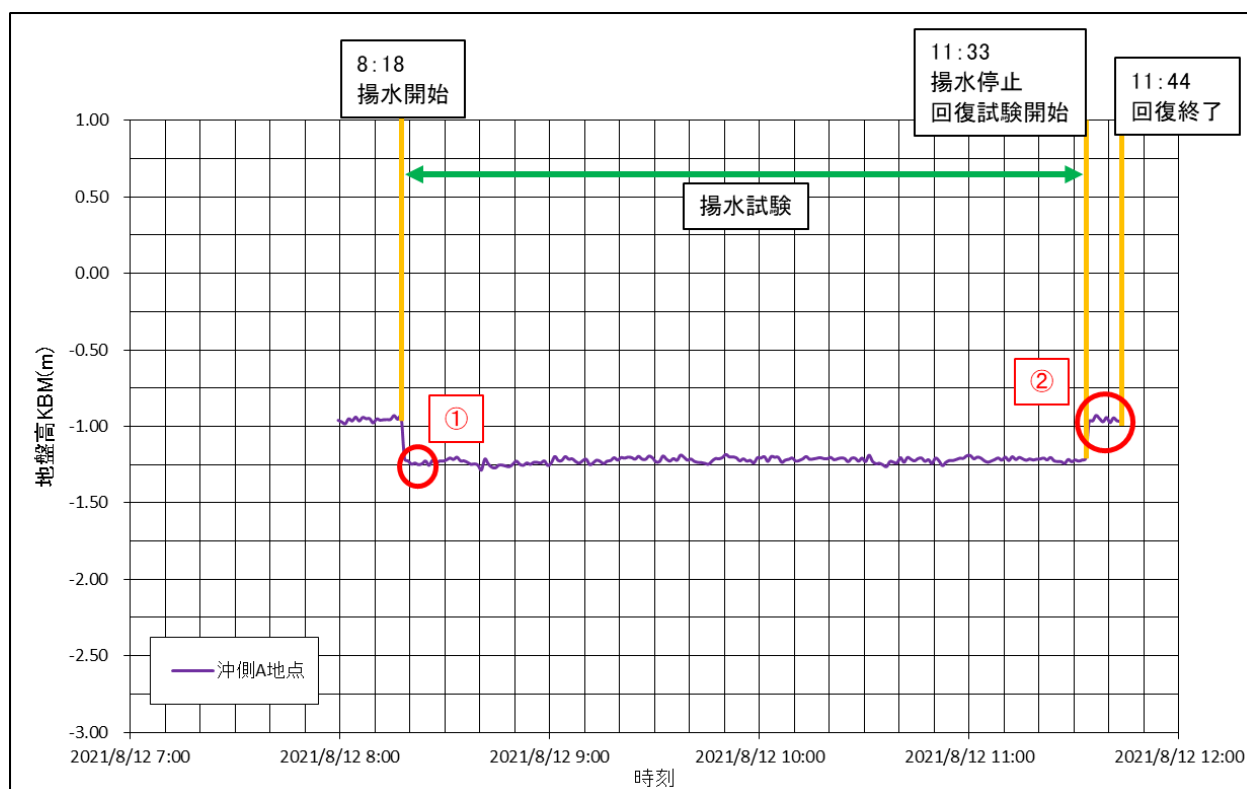


図4-21 A 地点 揚水試験中の水位変動(8月12日)

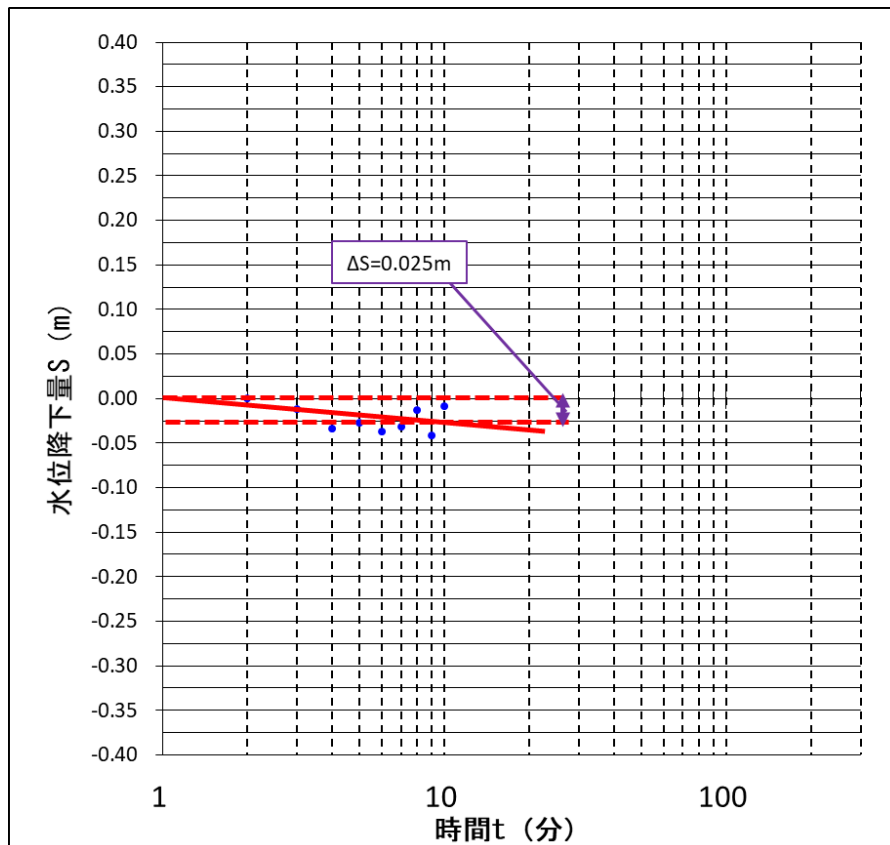


図 4-22 A 地点の簡易揚水試験 ヤコブの直線法による解析

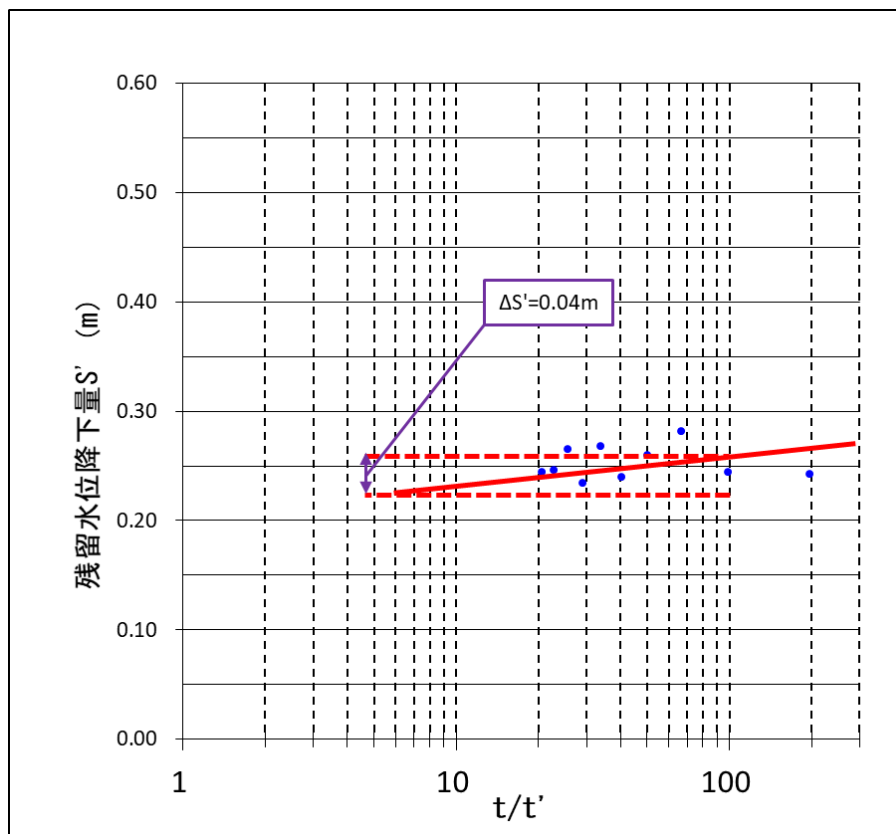


図 4-23 A 地点の簡易揚水試験 回復法による解析

①ヤコブの直線法による解析結果

透水量係数 T は次式により求められる。

$$T = 2.3Q / (4 \cdot \pi \cdot \Delta S) \quad (\text{ヤコブの直線法})$$

ここで、

$$Q \text{ (揚水試験時の揚水量)} : 0.032 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\Delta S \text{ (図 4-22 における } \log t \text{ の 1 サイクル分の水位降下量)} : 0.025 \text{ m}$$

揚水量が 32 L/min の時、

$$T = (2.3 \cdot 0.032) / (4 \cdot \pi \cdot 0.02) = 0.292845095 \text{ m}^2/\text{min}$$

透水係数 k は次式により求められる。

$$k = T/M$$

ここで、

$$M \text{ (透水層の厚さ)} : 8.64 \text{ m} \quad (\text{図 4-17 参照})$$

よって、

$$k = 0.292845095 / 8.64 = 0.033894108 \text{ (m/min)} = 5.6 \times 10^{-4} \text{ (m/s)}$$

となる。

透水係数は地盤の種類によって大きく異なる。地盤の種類と透水係数の関連性を図 4-24 に示す。

	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0 (m/s)
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い		中	位	高い			
対応する土の種類	粘性土		微細砂、シルト、砂-シルト-粘土混合土				砂および礫			清浄な礫		

図 4-24 地盤の種類と透水係数の対応³²

A 地点の透水層は砂質土主体であり、図 4-24 において算出した透水係数は「砂および礫」に該当し、本孔の透水性が「中位」であることを示している。

³² 地盤調査の方法と解説（社団法人 地盤工学会）

②簡易揚水試験結果を用いた揚水量試算

簡易揚水試験に拠る透水係数を、揚水量試算のための理論公式に代入して孔内水の揚水量 Q を試算する。理論公式は試掘井が自由水面を持つ地下水(不圧地下水)の井戸で、かつ井底が不透水層にまで達する条件での、次の式を使用する。

井戸形式及び理論公式を図4-25に示す。

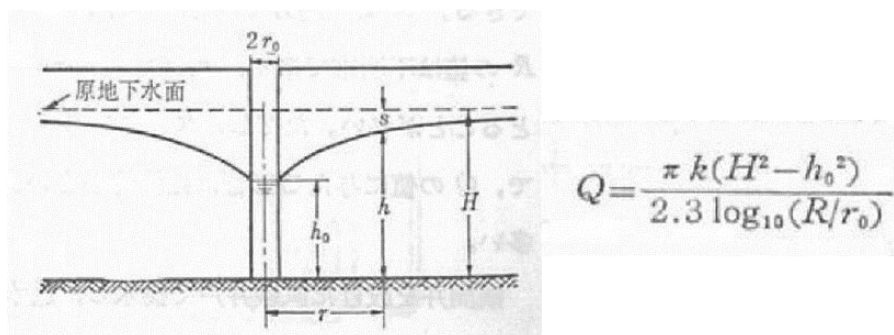


図4-25 井戸形式図及び理論公式³³⁾

図4-25の理論公式で地下水位を100cm低下させた場合の揚水量を試算することとし、表4-15の計算条件を使用する。

表4-15 A地点試算条件

	単位	A地点	備考
H	m	8.64	
h_0	m	7.64	100cm水位低下時
k	m/min	0.033	$5.6 \times 10^{-4} (\text{m/s})$
R	m	20	地理条件より仮定
$2r_0$	m	0.3	仮定

表4-15の計算条件及び図4-25の理論公式を用いて算出した揚水量を表4-16に示す。

表4-16 A地点揚水量試算結果

	単位	A地点	備考
揚水量Q	m ³ /分	0.354	100cm水位低下時
	m ³ /時	21.28	

³³⁾ 「水理公式集」土木学会 昭和46年

③回復法による解析結果

透水量係数 T は次式により求められる。

$$T = 0.183Q / \Delta S \quad (\text{回復法})$$

ここで、

$$Q \text{ (揚水試験時の揚水量)} : 0.032 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\Delta S \text{ (図 4-23 における } \log t \text{ の 1 サイクル分の水位降下量)} : 0.04 \text{ m}$$

揚水量が 32 L/min の時、

$$T = (0.183 \cdot 0.32) / 0.04 = 0.1464 \text{ m}^2/\text{min}$$

透水係数 k は次式により求められる。

$$k = T / M$$

ここで、

$$M \text{ (透水層の厚さ)} : 8.64 \text{ m} \quad (\text{図 4-17 参照})$$

よって、

$$k = 0.1464 / 8.64 = 0.016944444 \text{ (m/min)} = 2.8 \times 10^{-4} \text{ (m/s)}$$

となる。

透水係数は地盤の種類によって大きく異なる。地盤の種類と透水係数の関連性を図 4-26 に示す。

	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0 (m/s)
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い		中	位		高い		
対応する土の種類	粘性土		微細砂、シルト、砂-シルト-粘土混合土				砂および礫				清浄な礫	

図 4-26 地盤の種類と透水係数の対応³⁴

A 地点の透水層は砂質土主体であり、図 4-26 において算出した透水係数は「砂および礫」に該当し、本孔の透水性が「中位」であることを示している。

³⁴ 地盤調査の方法と解説（社団法人 地盤工学会）

④回復試験結果を用いた揚水量試算

回復試験に拠る透水係数を、揚水量試算のための理論公式に代入して孔内水の揚水量 Q を試算する。理論公式は試掘井が自由水面を持つ地下水(不圧地下水)の井戸で、かつ井底が不透水層にまで達する条件での、次の式を使用する。

井戸形式及び理論公式を図4-27に示す。

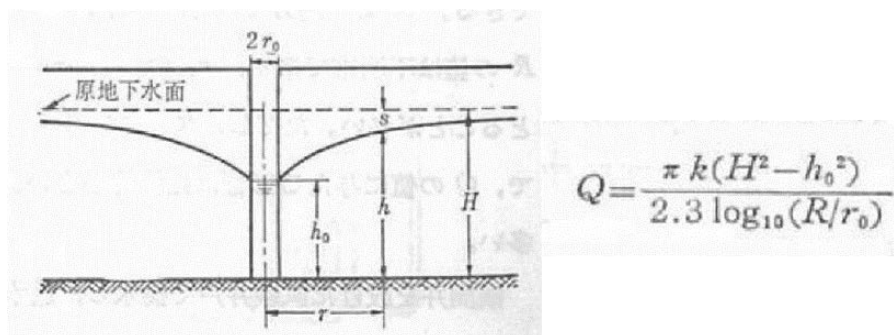


図4-27 井戸形式図及び理論公式³⁵

図4-27の理論公式で地下水位を100cm低下させた場合の揚水量を試算することとし、表4-17の計算条件を使用する。

表4-17 A地点試算条件

	単位	A地点	備考
H	m	8.64	
h_0	m	7.64	100cm水位低下時
k	m/min	0.016	2.8×10^{-4} (m/s)
R	m	20	地理条件より仮定
$2r_0$	m	0.3	仮定

表4-17の計算条件及び図4-27の理論公式を用いて算出した揚水量を表4-18に示す。

表4-18 A地点揚水量試算結果

	単位	A地点	備考
揚水量Q	m ³ /分	0.177	100cm水位低下時
	m ³ /時	10.63	

³⁵ 「水理公式集」土木学会 昭和46年

2)B 地点

(5)の2)の項でも述べたとおり、簡易揚水試験に伴う水位変動はポンプ運転時及びポンプ停止時の短時間で終了している。このため、B 地点においての揚水試験結果の解析は図4-28に示す①部分を用いることとし、解析方法は「ヤコブの直線法」を用いて、透水量係数 T 及び透水係数 k の算出を行った。また、回復試験結果の解析は図4-28に示す②部分を用いることとし、解析方法は「回復法」を用いて、同様に透水量係数 T 及び透水係数 k の算出を行った。

連続揚水試験で実測した水位降下量 S と経過時間 t の関係を図4-29の片対数図に示した。また、回復試験より実測した残留水位降下量 S' と連続揚水試験開始からの経過時間 t と回復開始後の経過時間 t' との比 t/t' の関係を図4-30の片対数図に示した。

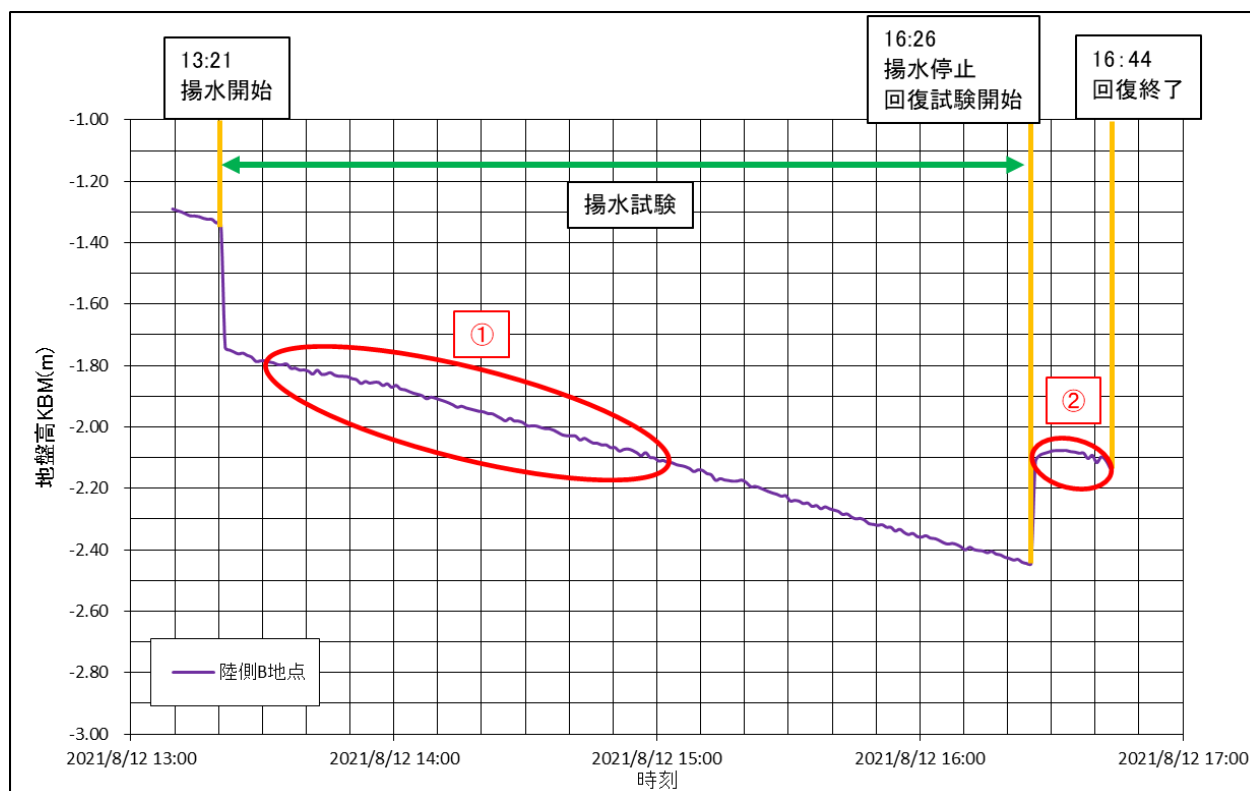


図4-28 B 地点 揚水試験中の水位変動(8月12日)

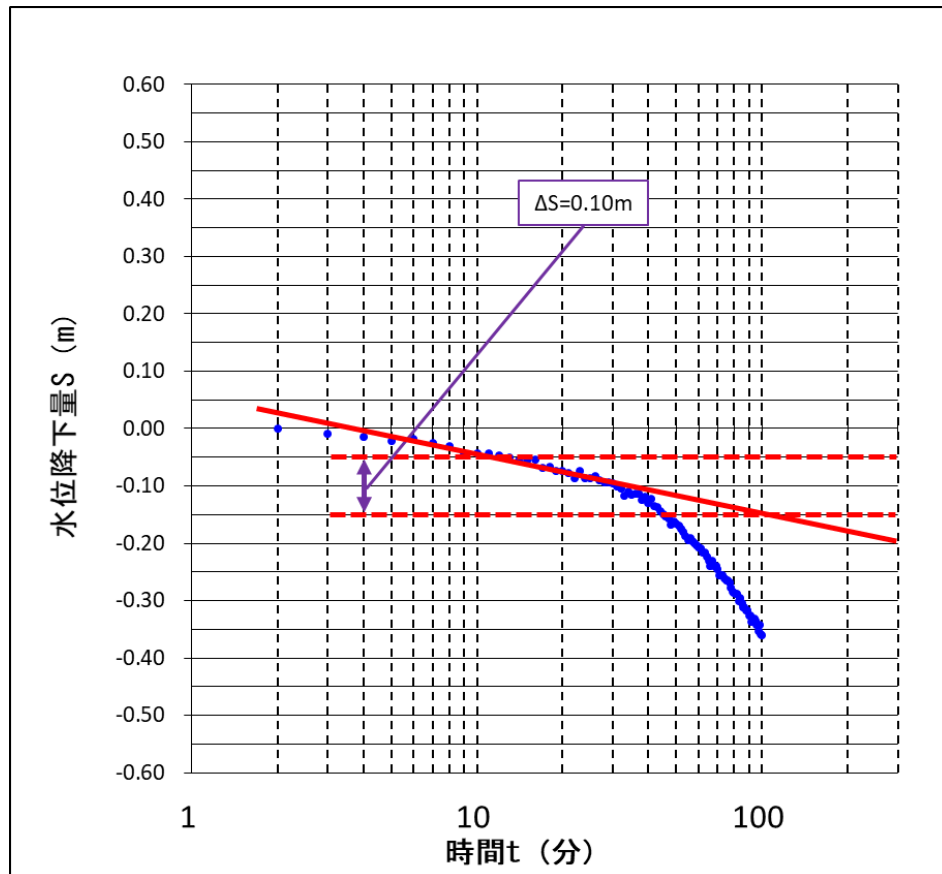


図 4-29 B 地点の簡易揚水試験 ヤコブの直線法による解析

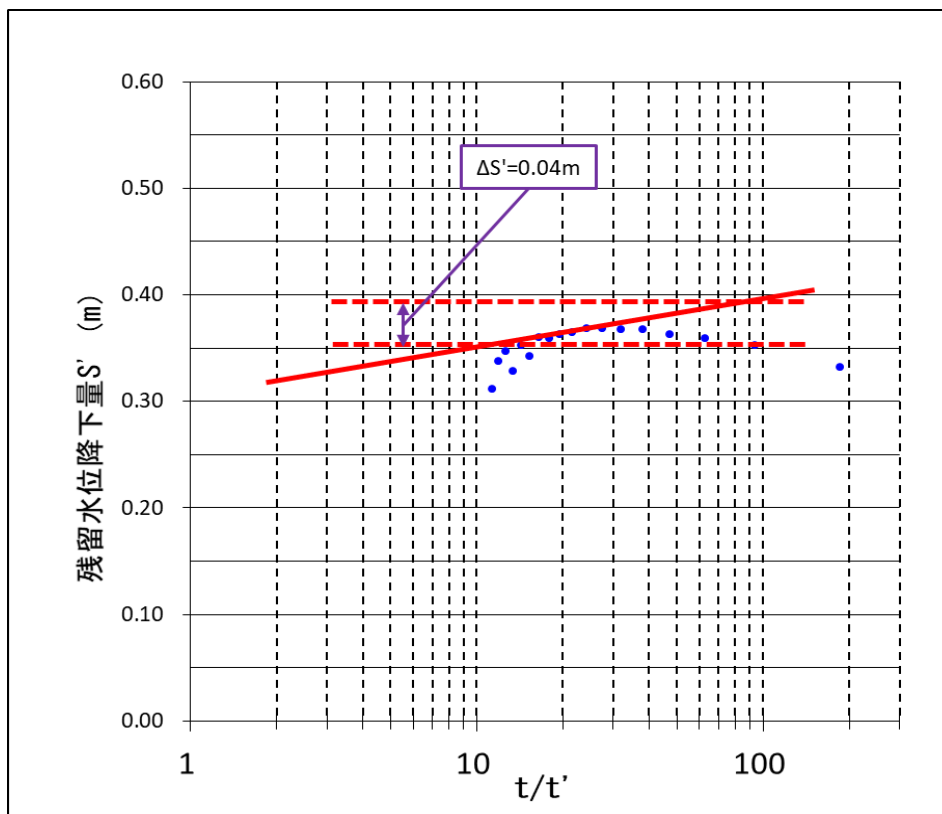


図 4-30 B 地点の簡易揚水試験 回復法による解析

①ヤコブの直線法による解析結果

透水量係数 T は次式により求められる。

$$T = 2.3Q / (4 \cdot \pi \cdot \Delta S) \quad (\text{ヤコブの直線法})$$

ここで、

$$Q \text{ (揚水試験時の揚水量)} : 0.032 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\Delta S \text{ (図 4-29 における } \log t \text{ の 1 サイクル分の水位降下量)} : 0.10 \text{ m}$$

揚水量が 32 L/min の時、

$$T = (2.3 \cdot 0.032) / (4 \cdot \pi \cdot 0.10) = 0.0058569019 \text{ m}^2/\text{min}$$

透水係数 k は次式により求められる。

$$k = T/M$$

ここで、

$$M \text{ (透水層の厚さ)} : 14.03 \text{ m} \quad (\text{図 4-19 参照})$$

よって、

$$k = 0.0058569019 / 14.03 = 0.0004174556 \text{ (m/min)} = 6.9 \times 10^{-5} \text{ (m/s)}$$

となる。

透水係数は地盤の種類によって大きく異なる。地盤の種類と透水係数の関連性を図 4-31 に示す。

	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0 (m/s)
透水性	実質上不透水	非常に低い	低い	中	位	高	い					
対応する土の種類	粘性土	微細砂、シルト、砂-シルト-粘土混合土	砂および礫	清浄な礫								

図 4-31 地盤の種類と透水係数の対応³⁶

B 地点の透水層は砂質土主体であるが、図 4-31 において算出した透水係数は「微細砂、シルト、砂-シルト-粘土混合土」に該当し、本孔の透水性が「低い」であることを示している。

³⁶ 地盤調査の方法と解説（社団法人 地盤工学会）

②簡易揚水試験結果を用いた揚水量試算

簡易揚水試験に拠る透水係数を、揚水量試算のための理論公式に代入して孔内水の揚水量 Q を試算する。理論公式は試掘井が自由水面を持つ地下水(不圧地下水)の井戸で、かつ井底が不透水層にまで達する条件での、次の式を使用する。

井戸形式及び理論公式を図4-32に示す。

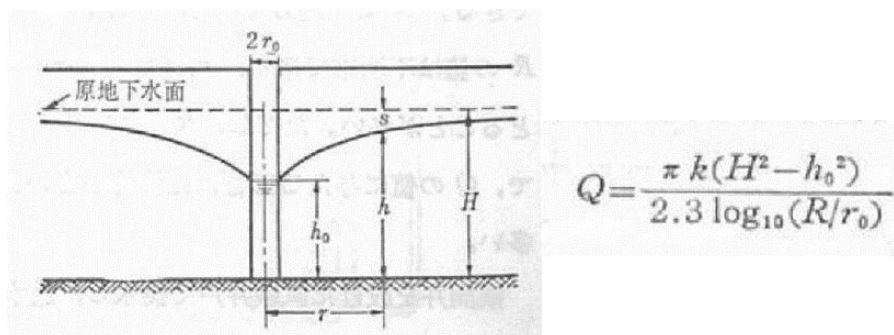


図4-32 井戸形式図及び理論公式³⁷⁾

図4-32の理論公式で地下水位を100cm低下させた場合の揚水量を試算することとし、図4-19の計算条件を使用する。

表4-19 B地点試算条件

	単位	B地点	備考
H	m	14.03	
h_0	m	13.03	100cm水位低下時
k	m/min	0.00417	$6.9 \times 10^{-5} \text{ (m/s)}$
R	m	65	地理条件より仮定
$2r_0$	m	0.3	仮定

表4-19の計算条件及び図4-32の理論公式を用いて算出した揚水量を図4-20に示す。

表4-20 B地点揚水量試算結果

	単位	B地点	備考
揚水量Q	m ³ /分	0.058	100cm水位低下時
	m ³ /時	3.51	

³⁷⁾ 「水理公式集」土木学会 昭和46年

③回復法による解析結果

透水量係数 T は次式により求められる。

$$T = 0.183Q / \Delta S \quad (\text{回復法})$$

ここで、

$$Q \text{ (揚水試験時の揚水量)} : 0.032 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\Delta S \text{ (図 4-30 における } \log t \text{ の 1 サイクル分の水位降下量)} : 0.04 \text{ m}$$

揚水量が 32 L/min の時、

$$T = (0.183 \cdot 0.32) / 0.04 = 0.1464 \text{ m}^2/\text{min}$$

透水係数 k は次式により求められる。

$$k = T / M$$

ここで、

$$M \text{ (透水層の厚さ)} : 14.03 \text{ m} \quad (\text{図 4-19 参照})$$

よって、

$$k = 0.1464 / 14.03 = 0.010434783 \text{ (m/min)} = 1.7 \times 10^{-4} \text{ (m/s)}$$

となる。

透水係数は地盤の種類によって大きく異なる。地盤の種類と透水係数の関連性を図 4-33 に示す。

に示す。

	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0 (m/s)
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い		中位	高い				
対応する土の種類	粘性土		微細砂、シルト、砂-シルト-粘土混合土				砂および礫			清浄な礫		

図 4-33 地盤の種類と透水係数の対応³⁸

B 地点の透水層は砂質土主体であり、図 4-33 において算出した透水係数は「砂および礫」に該当し、本孔の透水性が「中位」であることを示している。

³⁸ 地盤調査の方法と解説（社団法人 地盤工学会）

④回復試験結果を用いた揚水量試算

回復試験に拠る透水係数を、揚水量試算のための理論公式に代入して孔内水の揚水量 Q を試算する。理論公式は試掘井が自由水面を持つ地下水(不圧地下水)の井戸で、かつ井底が不透水層にまで達する条件での、次の式を使用する。

井戸形式及び理論公式を図 4-34 に示す。

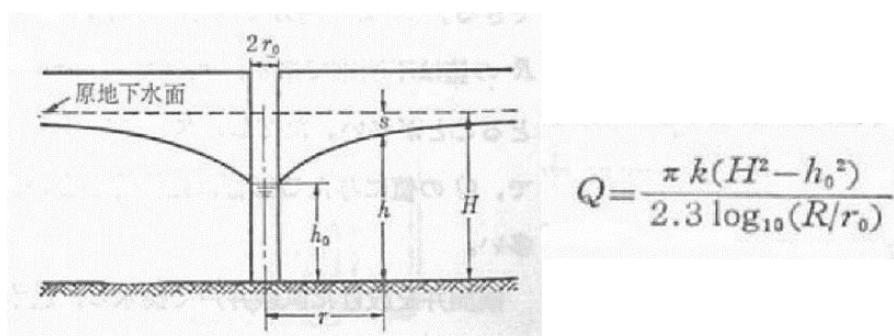


図 4-34 井戸形式図及び理論公式³⁹

図 4-34 の理論公式で地下水位を 100 cm 低下させた場合の揚水量を試算することとし、表 4-21 の計算条件を使用する。

表 4-21 B 地点試算条件

	単位	B 地点	備考
H	m	14.03	
h_0	m	13.03	100cm 水位低下時
k	m/min	0.0104	$1.7 \times 10^{-4} (\text{m/s})$
R	m	65	地理条件より仮定
$2r_0$	m	0.3	仮定

表 4-21 の計算条件及び図 4-34 の理論公式を用いて算出した揚水量を表 4-22 に示す。

表 4-22 B 地点揚水量試算結果

	単位	B 地点	備考
揚水量 Q	$\text{m}^3/\text{分}$	0.146	100cm 水位低下時
	$\text{m}^3/\text{時}$	8.77	

³⁹ 「水理公式集」土木学会 昭和 46 年

(7) まとめ

1) A 地点

揚水した孔内水の塩分は 1.39～1.95% で、揚水によって上昇しており、徐々に海水を揚水していることがわかる。

7 月 30 日の試掘井完成後の孔内塩分は 0.24～2.34% であったが、翌日 (7 月 31 日) は 0.69～2.77% であった。これは、7 月 28 日の 18 時頃に北茨城市で観測された 19.0 (mm/h) のやや強い降雨によって低下した塩分が、時間経過とともに回復したものと推察される。

揚水試験前の塩分は 0.60～2.88% で、深部に向かうにつれて上昇する。鉛直塩分は揚水後は低下しており、その傾向は浅部であるほど顕著である。しかし、回復試験終了後より約 5 時間経過後には深度 8.16m 以浅は塩分が上昇、以深はわずかに低下している。

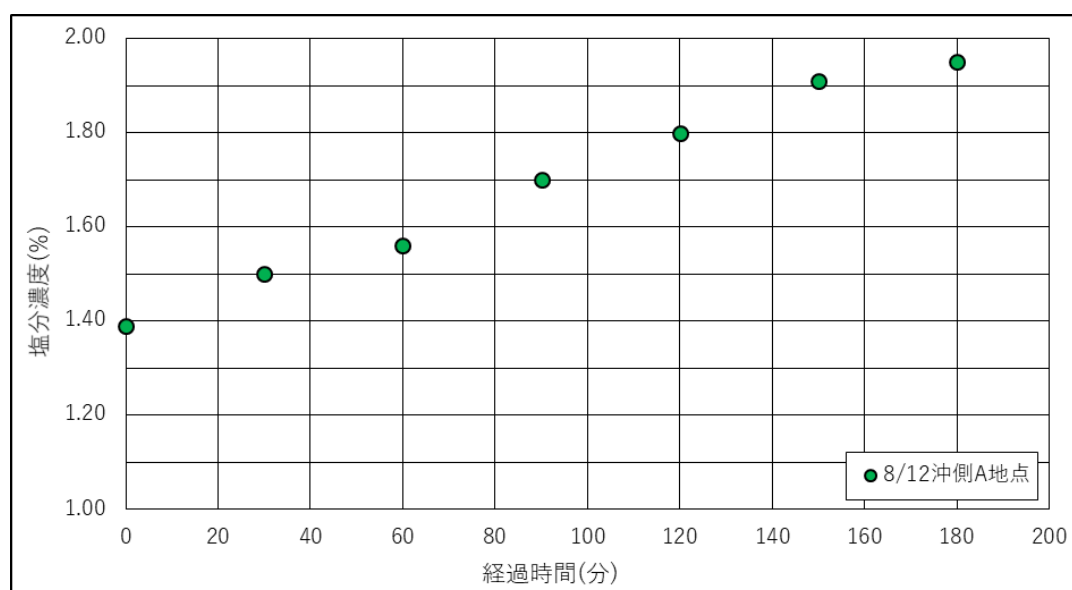


図 4-35 揚水試験中の塩分変化

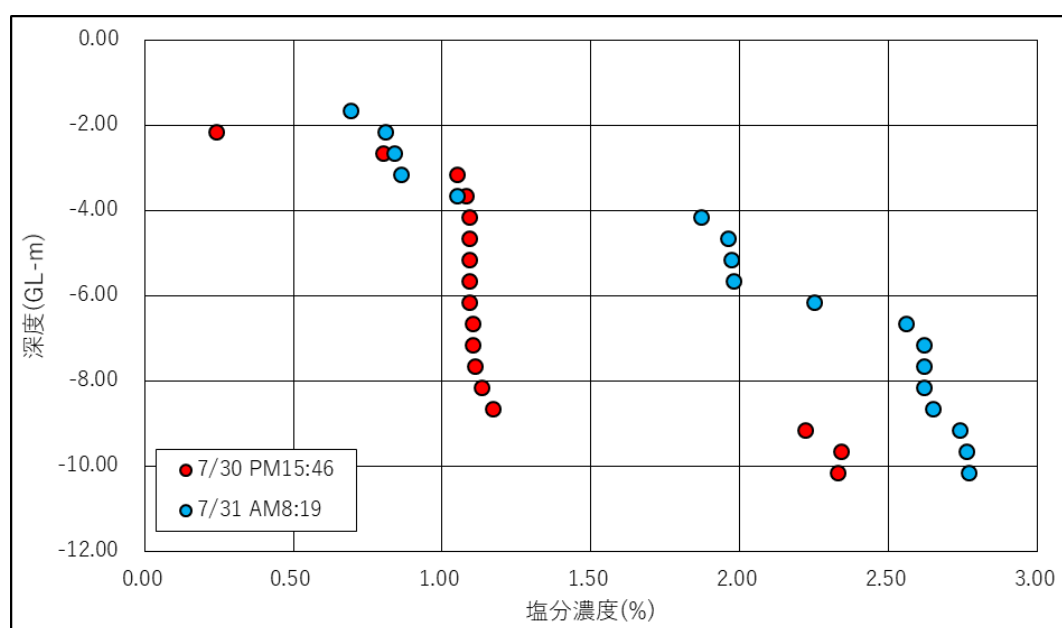


図 4-36 試掘井完成後の孔内 0.5m 毎の塩分分布 (7 月 30 日及び 31 日)

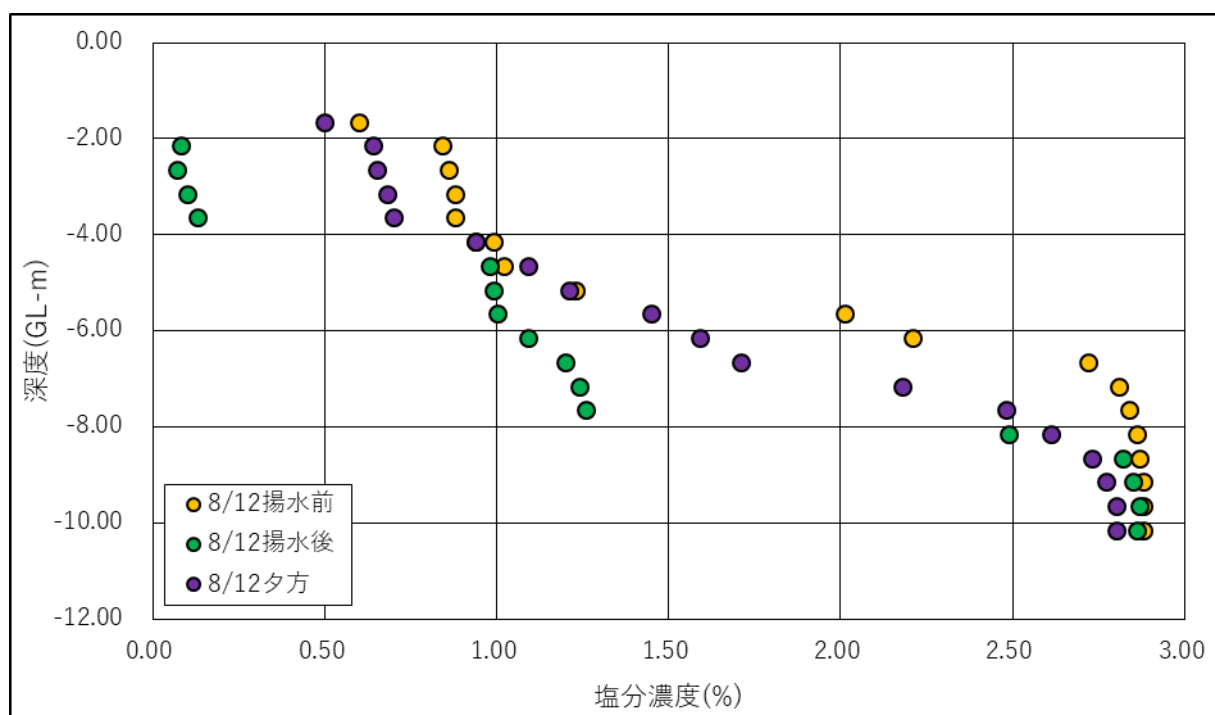


図 4 - 37 揚水試験前及び揚水試験実施後の孔内 0.5m 毎の塩分分布

簡易揚水試験結果より、ヤコブの直線法による解析及び回復法に拠る解析結果を用いた揚水量の試算結果は表 4 - 23 のとおりである。

表 4 - 23 A 地点 揚水量試算結果

	手法	単位	A地点	備考
揚水量Q	ヤコブの直線法	m ³ /分	0.354	100cm水位低下時
		m ³ /時	21.28	
	回復法	m ³ /分	0.177	
		m ³ /時	10.63	

以上から、井戸径 300mm での揚水量は 0.177～0.354(m³/分)の結果を得たが、小口径の試験井戸で実施した簡易揚水試験結果からの推定値であるため、実際の井戸能力については、井戸削孔後に揚水試験を行い、確認することが必要である。

2)B 地点

揚水した孔内水の塩分は 0.98～1.01% で安定しており、揚水試験中は淡水・海水の両方を揚水しているが、淡水が優勢であることがわかる。揚水試験前の孔内塩分は 0.01～2.42% であり、深度 7.10m 以深より変動幅が急激に大きくなる。揚水後の鉛直塩分は深度 8.0m 以浅で塩分が上昇、以深で低下する。特に深度 8.10～14.60m 間では低下幅が顕著である。淡水は主に調査地に隣接する江戸上川及び里根川からの流入であると考えられる。

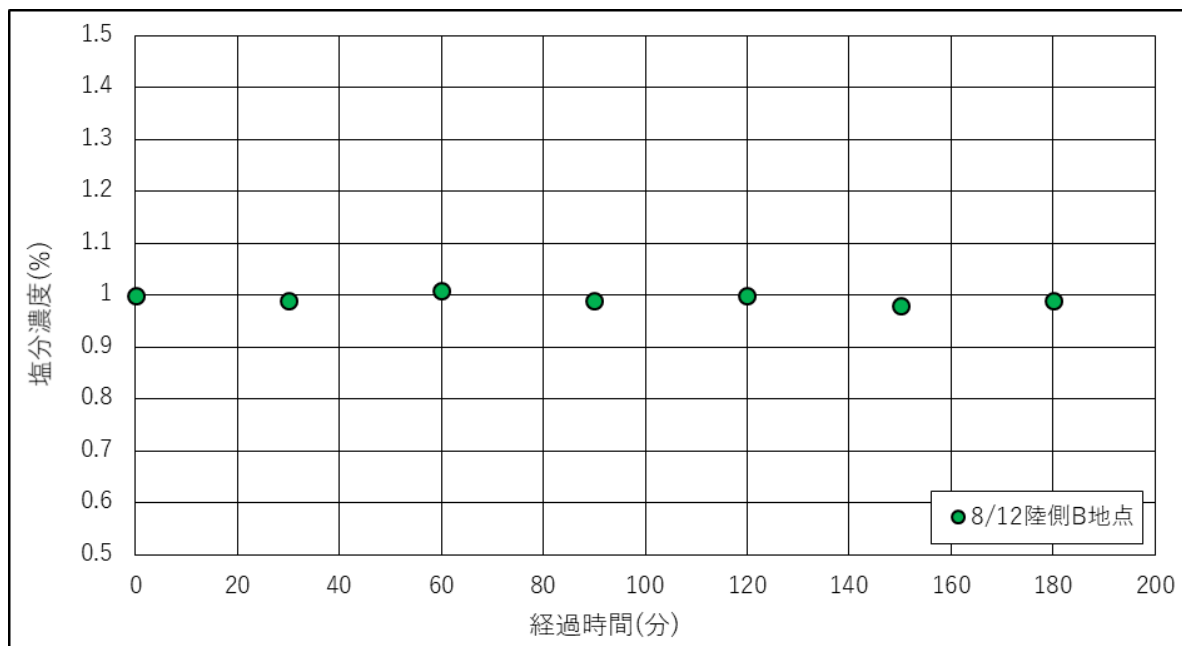


図 4-38 揚水試験中の塩分変化

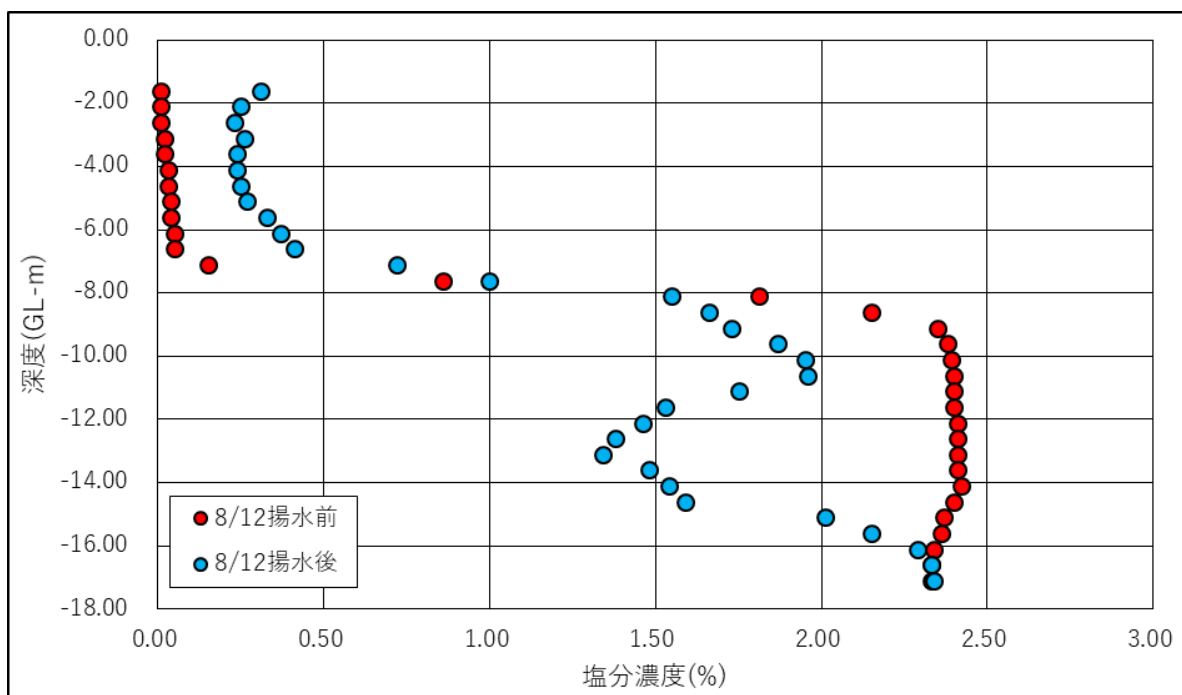


図 4-39 揚水試験前及び揚水試験後の孔内 0.5m 毎の塩分分布

簡易揚水試験結果より、ヤコブの直線法による解析及び回復法に拠る解析結果を用いた揚水量の試算結果は表 4-24 のとおりである。

表 4-24 B 地点 揚水量試算結果

	手法	単位	A地点	備考
揚水量Q	ヤコブの直線法	m ³ /分	0.058	100cm水位低下時
		m ³ /時	3.51	
	回復法	m ³ /分	0.146	
		m ³ /時	8.77	

以上から、井戸径 300mm での揚水量は 0.058～0.146 (m³/分) の結果を得たが、小口径の試験井戸で実施した簡易揚水試験結果からの推定値であるため、実際の井戸能力については、井戸削孔後に揚水試験を行い、確認することが必要である。