Japan Society of Engineering Geology

P51. 長期観測システムを用いた立坑掘削に伴う地下水水質・水圧の変化について

○弥富洋介(核燃料サイクル開発機構), 古江良治(基礎地盤コンサルタンツ), 岩月輝希(核燃料サイクル開発機構)
Yosuke Iyatomi, Ryoji Furue, Teruki Iwatsuki

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構東濃地科学センターでは, 地質環境評価のための調査技術開発や深地層における工学技術の整備を目的として, 2003 年 7 月より深度 1000m 規模の 2 つの立坑(主立坑:直径 6.5m, 換気立坑:直径 4.5m)と複数の水平坑道からなる瑞浪超深地層研究所(以下, 研究所)の建設を岐阜県瑞浪市において進めている。本研究では, このような地下施設の建設やその施工方法が周辺の地質環境に与える影響の評価とそのための手法開発を目的として, データの取得方法や数値解析方法等について検討を行っている。

本報告では, 立坑建設前および建設中の周辺地下水の水質および間隙水圧の長期的変化について調査・解析を行った結果について述べる。

2. 研究所建設工事の概要と地下水の観測システム

研究所用地の地質は, 上位から明世累層, 本郷累層および土岐夾炭累層からなる堆積岩(層厚約 100～200m)が不整合に土岐花崗岩を被っている。

立坑掘削工事では, 2003 年 7 月から同年 10 月にかけて深度 10m まで地表を掘り下げて立坑掘削のための基礎工事を行った後, 2004 年 4 月から換気立坑にて, 5 月から主立坑にて発破を用いた掘削を深度 50m まで行った。その後, 2004 年 9 月から 2005 年 1 月までは櫓や排水プラント等地上設備の建設のため掘削工事を一時中止し, 2005 年 2 月から掘削工事を再開し, 7 月末現在で主立坑が深度 126m, 換気立坑が深度 150m まで掘削が進んでいる(図-1)。

掘削工事では, 立坑底部で発破を行った後, 掘削した土砂(ズリ)を地上に搬出し, 立坑壁面の観察, 地下水湧水量の測定や化学分析等を行っている。なお, 湧水量が増大して施工が困難になった場合には, グラウトによる止水も検討されている。

研究所用地内には, 用地内の地質環境の把握のため深度約 1275m の深層ボーリング孔(MIZ-1 号孔)と深度 100～200m の浅層ボーリング孔(MSB-1～4 号孔)を掘削し(図-2), 浅層ボーリング孔には地下水長期観測システム(MP システム)を設置し, 間隙水圧測定を行っている。MP システムは観測用ケーシング, パッカー, 間隙水圧計測・地下水採水用プローブ等から構成される地下水観測システムである。深層ボーリング孔には 2005 年 4 月に Piezo システムを設置して間隙水圧を測定中である。

さらに MSB-2, MSB-4 号孔では用地内の地下水の水質を把握するため, 定期的に地下水の採水・水質分析も行っており, 本報告では, 主にこれらのボーリング孔での観測結果について述べる。各孔の観測区間深度の詳細を表-1 に示す。

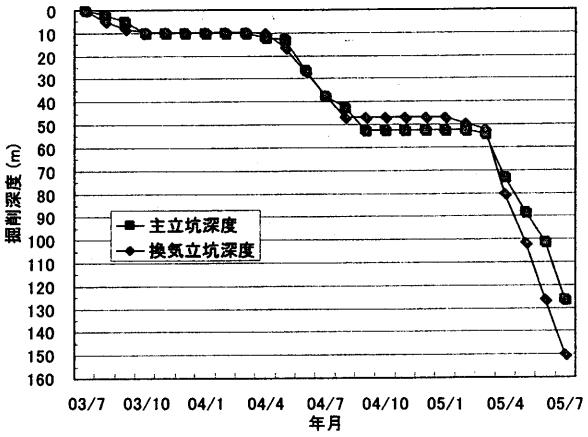
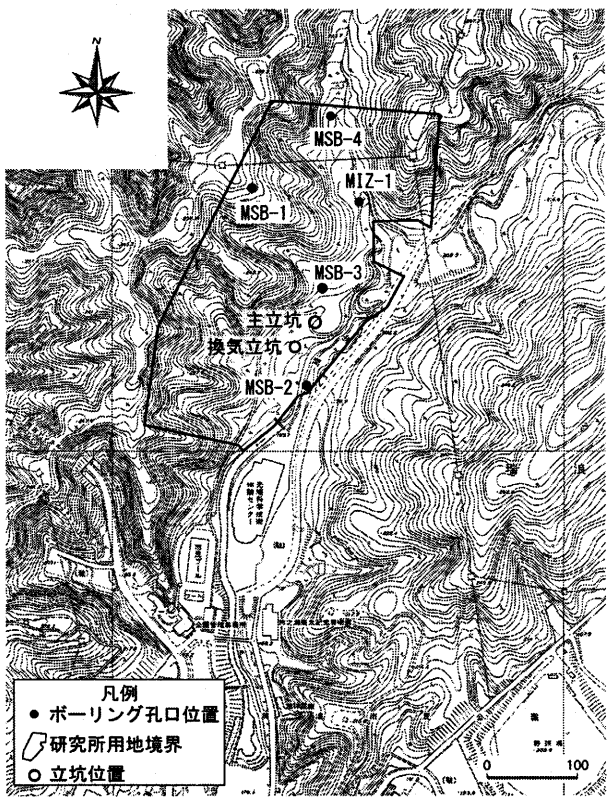


図-1 立坑の掘削深度の進捗



瑞浪市 都市計画基本図 1/2,500 使用

図－2 ボーリング孔位置図

NII-Electronic Library Service

表-1 MP システムの設置深度および観測区間

(MSB-2 号孔)

区間	深度 mbgl (meter below ground level)					地質		
	メジャメントポート	水圧計測位置	ポンピングポート	区間上端	区間下端	主な地層		主な岩相
1	18.93	19.13 (179.36)	20.57	18.8 (179.7)	22.7 (175.8)	明世累層	戸狩層	細～粗粒砂岩
2	25.19	25.39 (173.10)	26.82	23.6 (174.9)	38.9 (159.6)			細～粗粒砂岩，中～粗粒砂岩，軽石質中～粗粒砂岩、軽石質中粒砂岩～軽石凝灰岩
3	41.44	41.64 (156.85)	43.07	39.8 (158.7)	68.2 (130.3)		月吉層	泥岩～泥質砂岩，細～粗粒砂岩，細礫岩～含礫砂岩
							本郷累層	凝灰質砂岩～泥岩／凝灰岩互層，細～大礫岩／砂岩主体 互層
4	70.68	70.88 (127.61)	72.32	69.1 (129.4)	77.4 (121.1)			細～大礫岩／砂岩主体 互層
5	79.94	80.14 (118.35)	81.57	78.3 (120.2)	120.2 (78.3)	土岐夾炭累層		炭質泥岩～泥質砂岩主体 互層
6	122.68	122.88 (75.61)	124.32	121.1 (77.4)	130.4 (68.1)			泥質～粗粒砂岩主体 互層
7	132.94	133.14 (65.35)	134.58	131.3 (67.2)	153.7 (44.8)			中～巨礫岩
8	156.20	156.40 (42.09)	157.83	154.6 (44.0)	170.4 (28.1)			
9	171.46	171.66 (26.83)	173.09	171.3 (27.1)	175.2 (23.3)	花崗岩		
10	176.21	176.41 (22.08)	無し	176.1 (22.4)	180.0 (18.5)			

()内は標高:masl (meter above sea level)

(MSB-4 号孔)

区間	深度 mbgl (meter below ground level)					地質		
	メジャメントポート	水圧計測位置	ポンピングポート	区間上端	区間下端	主な地層		主な岩相
1	17.41	17.61 (197.04)	19.04	15.8 (198.7)	25.6 (188.9)	明世累層	戸狩層	細～粗粒砂岩，中～粗粒砂岩
2	28.16	28.36 (186.29)	29.80	26.5 (187.9)	33.9 (180.6)			軽石質砂岩～軽石凝灰岩
3	36.42	36.62 (178.03)	38.05	34.8 (179.7)	62.1 (152.03)		月吉層	泥岩～泥質砂岩
								泥岩～泥質砂岩，細～粗粒砂岩，細礫岩～含礫砂岩
							本郷累層	凝灰質砂岩～泥岩／凝灰岩 互層，細～大礫岩／砂岩主体 互層
4	64.67	64.87 (64.67)	66.31	63.0 (151.4)	76.9 (137.6)			凝灰質砂岩～泥岩／凝灰岩互層，細～大礫岩／砂岩主体 互層
5	77.93	78.13 (136.52)	79.56	77.8 (136.7)	81.7 (132.8)	土岐夾炭累層		炭質泥岩～泥質砂岩主体 互層
6	84.19	84.39 (130.26)	85.82	82.6 (131.9)	93.9 (120.6)			
7	94.94	95.14 (119.51)	96.58	94.8 (119.7)	99.0 (115.5)	花崗岩		

()内は標高:masl (meter above sea level)

3. 既往の知見

MSB-2, 4 号孔においては，ボーリング孔掘削時の揚水試験での採水，MP システム設置後のバッチ式採水により地下水の採水・分析を行った。その結果，明世累層には Si, Ca^{2+}, Na^{+}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}イオンに富む地下水が分布すること，花崗岩には Na^{+}, Cl^{-}イオンに富む地下水が分布することが明らかになっている。また，これらの水質の形成プロセスについては，前者はケイ酸塩鉱物の風化変質や硫化物の酸化溶脱，炭酸塩鉱物の溶解，後者については水-岩石反応や高塩分地下水との混合を想定している[1)]。

岩盤の透水係数は堆積岩，花崗岩とも 10^{-6}～10^{-8}m/s である。

4. 立坑掘削に関わる地下水間隙水圧・水質の観測結果

2003 年 7 月から 2005 年 7 月までの期間について，MP システムが設置されている MSB-2 号孔の 9 区間，MSB-4 号孔の 7 区間において，毎月 1 回定期的にバッチ式採水による化学成分分析とともに間隙水圧の変動を観測するための間隙水圧測定を実施した。

各区間の間隙水圧値を図-3 に，各区間の地下水の pH および化学成分濃度分析のうち，有意な変化が認められた Na^{+}, Ca^{2+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}イオンの濃度について図-4 に示す。間隙水圧は実際の測定値から大気圧を引いた値を，各区間の間隙水圧値としてプロットしている。化学成分濃度分析において，Na^{+}イオンはフレーム原子吸光法，Ca^{+}イオンは ICP 発光分光分析法，Cl^{-}, SO_4^{2-}イオンはイオンクロマトグラフ法によって分析した。グラフには，イオンバランス[2)]が 5%以内であるデータのみ示している。

4.1 間隙水圧の変化

MSB-2 号孔の区間 1 は，2004 年 5 月は 105kPa であったが 6 月には 94kPa に減少した。区間 3 は同年 8 月に 10kPa であったが 9 月に-56kPa まで減少した。区間 5 は 2005 年 4 月に 345kPa であったが同年 5 月に 306kPa, 6 月に 211kPa, 7 月に-56kPa まで減少した。区間 6 は 2005 年 6 月に 775kPa であったが，7 月には 349kPa と半減している。上記以外の区間においても立坑掘削深度が各採水区間深度と同深度となった時，それに付随して間隙水圧の低下が認められた。特に，区間 3 は 2004 年 8～9 月の 1 ヶ月で 74kPa の間隙水圧低下となっている。区間 3 の上部(深度約 40～50m)は泥質砂岩となっており，立坑掘削によって観測区間の地下水が立坑側に流動するとともに，泥質で透水性が低く他層からの地下水の涵養が少ないため，間隙水圧の大幅低下が生じた可能性がある。なお，区間 3 では 2004 年 10 月以降，間隙水圧が負圧となり，採水が不可能となっている。区間 5 においても 2005 年 7 月から採水不可能となっている。同区間も泥質砂岩帯であるため，区間 3 と同様の事象が起こっていると考えられる。区間 6 の間隙水圧低下についても，立坑の掘削による間隙水圧開放のため，大幅に間隙水圧が低下したと考えられる。区間 7, 8 についても，間隙水圧低下が認められるが，これらの区間は中～巨礫岩の地層から構成されており透水性が高いと考えられることから，大幅な間隙水圧低下が認められる区間 6 に地下水が流動し，間隙水圧が低下した可能性がある。

MSB-2 号孔の間隙水圧変化に比較して，MSB-4 号孔では間隙水圧変化が乏しい。同孔の各深度の観測区間では，立坑の掘削時期に呼応した大きな間隙水圧変化は観察されず観測期間を通して概ね安定している。MSB-2 号孔は換気立坑から約 50m, MSB-4 号孔は主立坑から約 230m 離れた位置にあり，立坑の影響の程度は，両立坑からの距離や立坑とボーリング孔間の地質状況に依存しているものと考えられる。

NII-Electronic Library Service

Japan Society of Engineering Geology

4.2 地下水水質の変化

立坑掘削前の2004年3月までを立坑掘削の影響のない期間と仮定すると，各観測区間における地下水水質の自然変動幅を考慮して立坑掘削の影響について考察することができる(図-4)。

MSB-2 号孔では 2003 年 7 月から立坑掘削を開始した 2004 年 4, 5 月までの間，区間 3 を除いて全区間で pH は 6.8～7.9 であった。立坑掘削開始後，全区間で自然変動幅を越える変化が認められた(区間 3 については採水不可能となって以降の分析データはない)。区間 1 を除く各区間では pH が上昇する傾向がある。区間 1 については，pH が初期の値より低めに推移し，表層水と同等の値になっている。化学成分については，区間 1 において変動が激しく，Ca^{2+}や SO_4^{2-}イオンの濃度が顕著に増加している。この原因として，堆積岩浅部の地下水の立坑への流入により，より表層近くの酸化的な地下水が観測区間に流入して，岩層中の硫化物や炭酸塩鉱物等が溶出した可能性が挙げられる。この仮説は pH の変化とも整合的である

なお，本孔の区間 8, 9 については，その水質から MP システム設置前に堆積岩浅部の地下水が混入していると推測しており，区間 8 の Cl^-イオン濃度の増加は，混入していた堆積岩浅部の地下水が採水とともに排水された結果であると考えられる。

MSB-4 号孔においては，区間 5, 6, 7 において，MSB-2 号孔と同様に立坑掘削開始後，有意な pH の上昇が認められた。しかしながら，同区間においては，間隙水圧の変化もなく，Ca^{2+}や SO_4^{2-}イオン濃度等の化学成分濃度との相関も認められないことから，pH の変動原因は不明である。

5. 結論

本調査において，MSB-2 号孔および MSB-4 号孔に設置された MP システムのすべての区間において定期的なバッチ式採水により地下水間隙水圧・水質の観測をした結果，立坑掘削に付随した間隙水圧・水質の変動を捉えることができ，立坑掘削の影響の程度を把握することができた。これらの変動は，立坑周辺の地下水が掘削された立坑へ流入し，自然の地下水流動状態が変化することにより生じている。

今後，立坑掘削の更なる進捗によって，間隙水圧や地下水水質の変化が継続すると予想されるが，グラウトによる止水を行った場合は，これまで把握した現象とは異なる変化が起こる可能性もある。今後は，立坑内の地下水湧水量と間隙水圧の関係を把握するとともに，止水等の処置を行った際の新たな変動の発生に注視することで，施工方法と周辺地下水の地球化学特性との関連についても定量的な評価を行っていく。

6. 引用文献

1) 岩月輝希，古江良治，水野崇，瑞浪超深地層研究所における地球化学研究(その 1)-堆積岩中の地下水の化学組成について-，2003年地球惑星科学関連学会合同大会

2) 日本分析化学会北海道支部，水の分析，化学同人

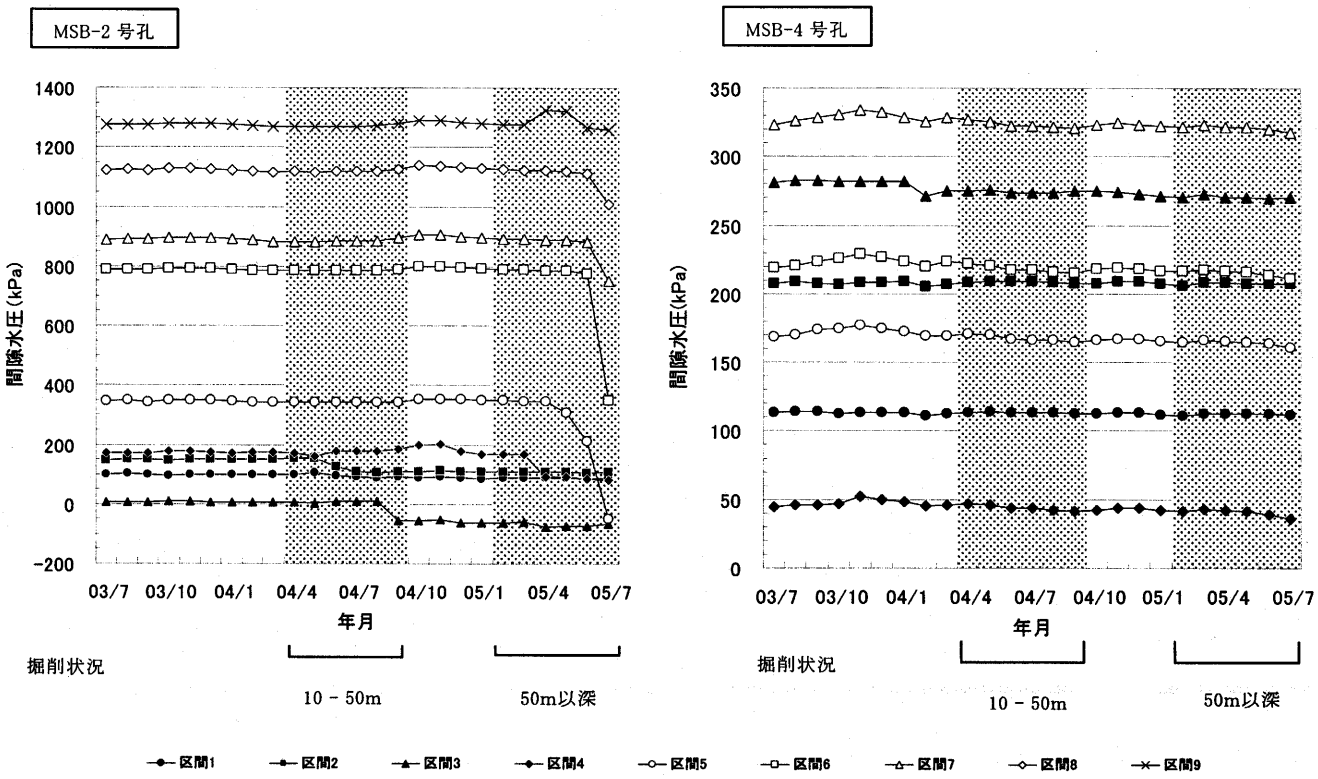


図-3 各区間における間隙水圧値

NII-Electronic Library Service

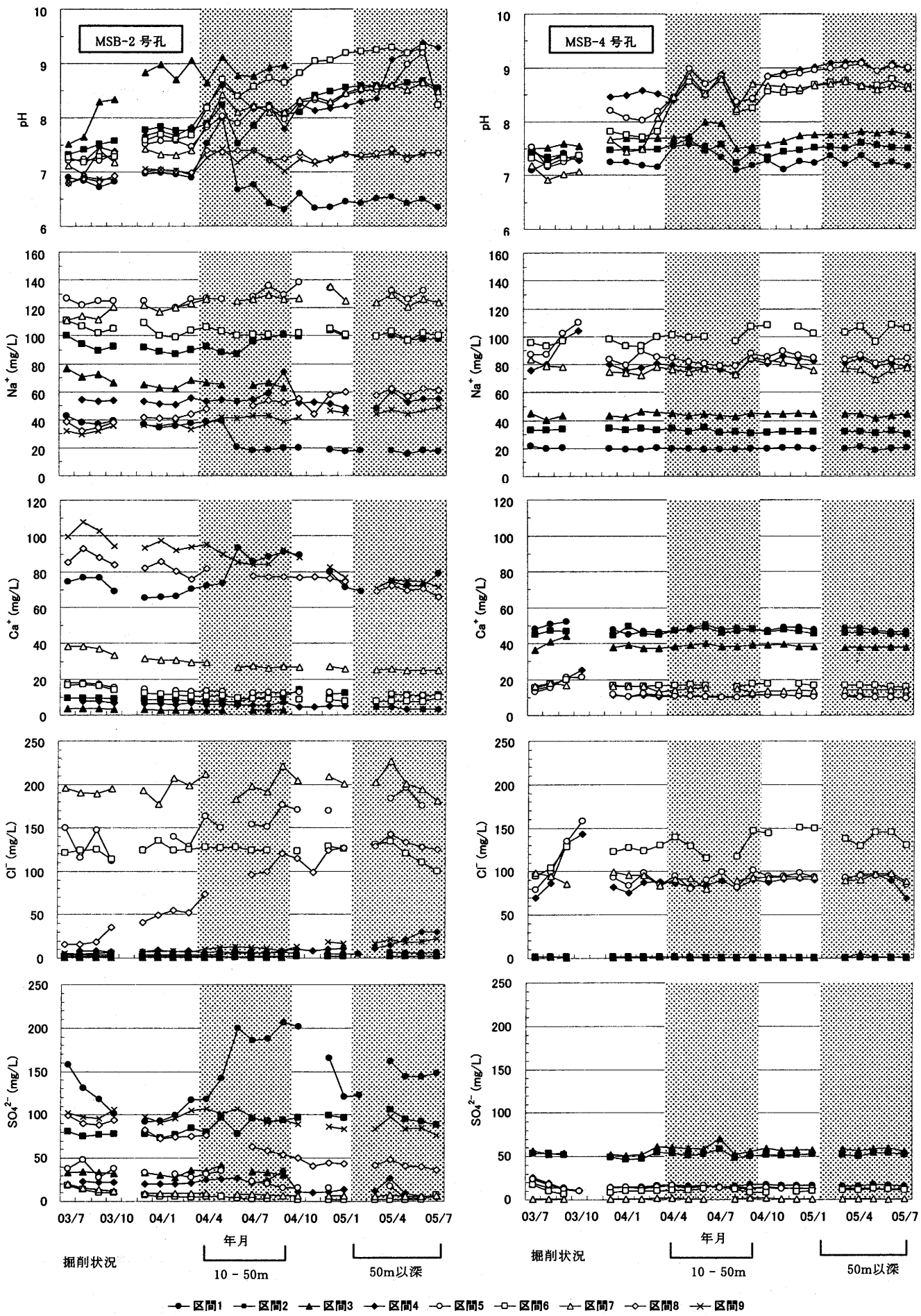


図-4 地下水水質の経時変化

NII-Electronic Library Service