

地下水地盤環境の研究動向

岐阜大学工学部 宇野尚雄

1. まえがき

筆者が実際の地下水問題として検討したものは、主に地下水位という量的な問題であった。話題提供として筆者の関係してきた諸問題を振り返りながら、「地下水地盤環境に関する研究協議会」の活動状況を述べるとともに、次のような課題について言及してみたい。

* 地盤環境工学と環境地盤工学

環境問題が顕在化した頃、環境を形容詞に用いた表現を主張する向きがあったが、何時の頃からか地盤環境工学と呼ばれるようになって、学術会議にも地盤環境工学専門委員会が設けられている。

* 地盤環境とは？

* 地下水地盤環境とは？

* これらに関する研究動向？

2. 筆者の経験した研究課題を通じた教訓

本項では、筆者の経験した地下水問題を概観して、後述の課題を検討する資料とする。

2.1 地下水流動の量的問題（水位から流量まで）

①琵琶湖周辺の地下水位変動：現地調査に基づくシミュレーション計算（琵琶湖総合開発の一環）

昭和30年代後半から数年間に亘り建設省が実施した、広域地下水調査の最初で大規模な事例である。目的は、(1)湖面水位低下量が最大3mのとき、周辺地下水位低下の影響範囲を推定すること、(2)湖岸沿いに建設するクリーク（小川）による周辺地下水位回復の可能性の検討、にあった。恩師・赤井浩一（京都大学教授（当時））の指導下で進められ、特徴は（イ）現地調査結果に基づく、（ロ）シミュレーション計算による湖面変化に対する周辺地下水位予測¹⁾、（ハ）クリーク案の室内実験・現場実験²⁾、などに象徴される。技術的にはクリーク案も可能性が確認されたが³⁾、クリークからの浸透水の「自詰まり」効果によるクリーク規模決定に信頼性が不足していた。現実には琵琶湖を南北に仕切り、北湖の水面を低下させるなどの手法も考えられた経過を辿り、当初の計画は実施されなかった。

シミュレーション計算は、当初の「断面一次元流計算」を組み合わせたものから後日の「平面2次元流計算」も水平流動の影響を点検するため実施された。近年の湖周辺の開発は予想されていたので、かなりの地点で確認のための地下水位観測井戸が設けられていたが、最近十数地点に縮小されて、観測が湖周辺地下水環境の監視の意義を持って継続されている。

②濃尾平野（岐阜・大垣地区を主に）：統計モデル、単純モデルの開発

濃尾平野では、大阪平野などの他地域と同様に地盤沈下を抑制するための広域地下水位変動計算が複数の研究者グループにより複数のシミュレーションモデルが構築されて検討されていたが、筆者はこれらには参加しなかった（特段の理由はなく、依頼もなかったためである）。

観測井は地下水流動の状況を把握する手段である。濃尾平野でも、国・県・市により地下水位変化が

調査されている頃（昭和40年代半ば），観測水位データが生かされていない状況に対して研究者としての責任を感じて，それらデータ活用のため「統計モデル」，「単純モデル」作成した．それはまた，地下水調査には相当莫大な調査費を要して，何処でもシミュレーションできる環境にないことも反省材料としてあった．

「統計モデル」は地下水位を，降水量，気温，湿度，……等々の気象要因の一次式表現するもので，容易にデータが把握できる水文気象要因を利用したものである⁴⁾．

「単純モデル」は地下水位を，供給源の降水量または河川水位と揚水量の2要因による表現モデルである⁵⁾．いずれも容器としての地盤内の地下水は供給源と排水源によって支配されることを端的に表現したものである．

これらはいずれも地下水流動の把握ではなく，地下水位と要因間との統計的關係であるために，工事に起因する地下水流動予測には適用しがたいとの批判を専門家から受けたが，一般技術者からは分かり易い，便利なモデルとの評価を得た．後述するように，単純モデルは別途の利用法もある．

③ 堺南地区の地下水保全工（地下水障害除去のため）： 本格的な保全工法．

道路公団・大阪建設局で，近畿自動車道和歌山線の建設時に実施されたものである．丘陵地を横切る自動車高速道路が掘り割り形式なために生ずる地下水障害を除去する保全工（延長約1km）である．地下水集水施設，地下水涵養施設の設計・施工・監視まで関係させていただいた．地下水位のみならず，地下水流量の確保が課題で，水位から流量まで水収支的観点で検討した．保全工の確認には，水位変化の有無を工事前の地下水位と比較して，影響が議論できる「単純モデル（簡便モデルとも呼ぶ）」により数量的に判断する以外に方法は無く，かなりのデータ処理により影響のないことを確認した．

水位以外の要因で，重要な流量的は計測により確認するしかなく，保全工に施工した涵養管の流量を計測した．その結果，現地揚水試験から推定した帯水層定数による推定流量より十数倍の流量が計測され，地盤透水層の透水性評価には狂いがあったが，保全工は成功を収めた．古代の遺跡が埋蔵されている地盤でもあったため，地盤の乱れが散見された．透水係数にして 10^{-3} cm/s の大きさの筈が， 10^{-2} cm/s であったことは，地盤の地質構成の形成過程を反映した揚水試験法の改善が今後の学術的課題として残った⁶⁾．保全工は阪神大地震で震度4～5を経験したが，異常なく経緯している．

④ 大阪平野（回復地下水位の異常，地盤災害の助長懸念）の地下水流動の把握・管理へ

地盤沈下抑制のための揚水規制により大阪平野の地下水位もかなり上昇してきたために，地盤工事への悪影響，液状化発生などの増加が懸念される事態となった．このような事態に対して，恩師・赤井浩一先生が主唱されて，全国に先駆けて大阪に「地下水地盤環境に関する研究協議会」（赤井浩一・座長（初代））が発足（H5.6.23）し，建設省・大阪府・大阪市の官側公共工事担当者と民間企業者との任意団体組織が作られた．建設省・大阪府・大阪市が管理していた観測井を基に整備して引継ぎ，活用すべく，地下水位データを整理．小生はデータ管理委員長・運営委員として参加している．

この協議会は，データ管理・共有による地盤工事への活用，大阪平野の地盤災害防除と地下水管理への共有財産としてデータを整理・活用する狙いである．産官学の任意団体であるが，産業界会員の会費で運営されて，事務局は（財）地域地盤環境研究所（旧（財）大阪土質試験所）にある．会報，総会時の報告書，年一回のシンポジウム開催・論文集発行，などの活動を行っている⁷⁾．単純モデルで再現した地下水位変動の実測値と再現値の比較例を図-1に示す．地下水位を降水量と近傍河川水位の2要因で表現して，再現したものである．専門家でも驚くほどの精度が認められる筈で，重回帰分析による

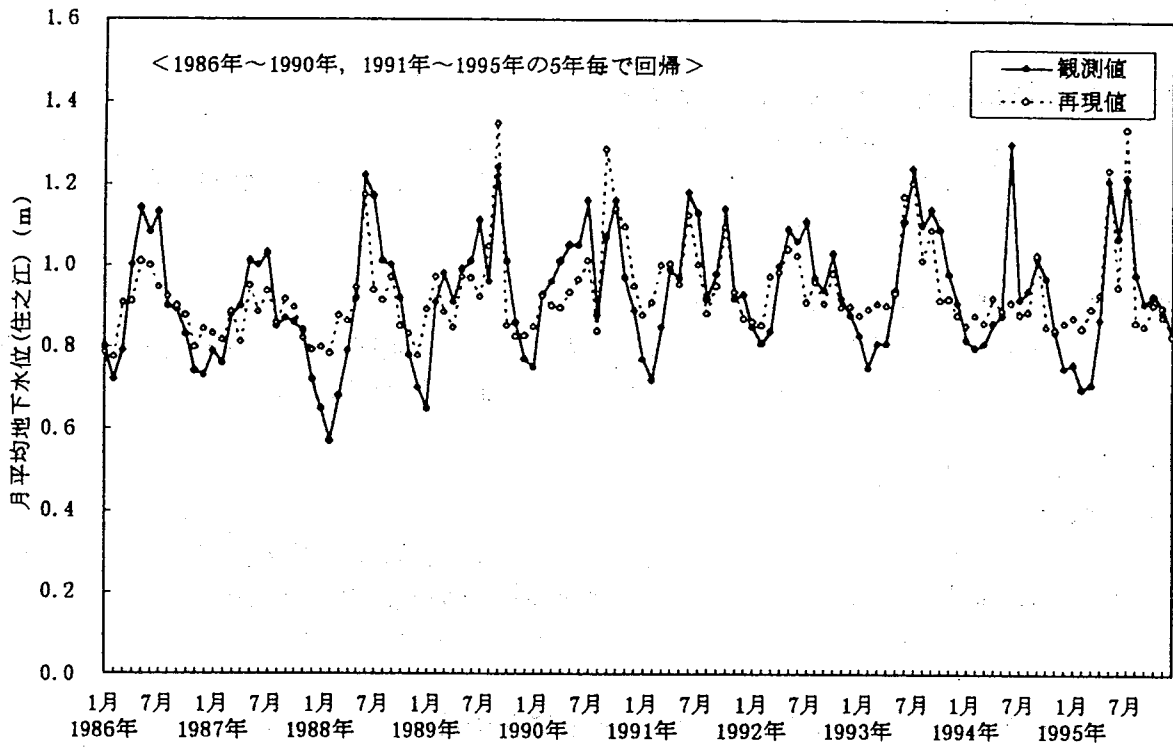


図-1 (a) 沖積層「3. 住之江」(深度 G.L. 2.9~10.5m) 地下水位の再現性

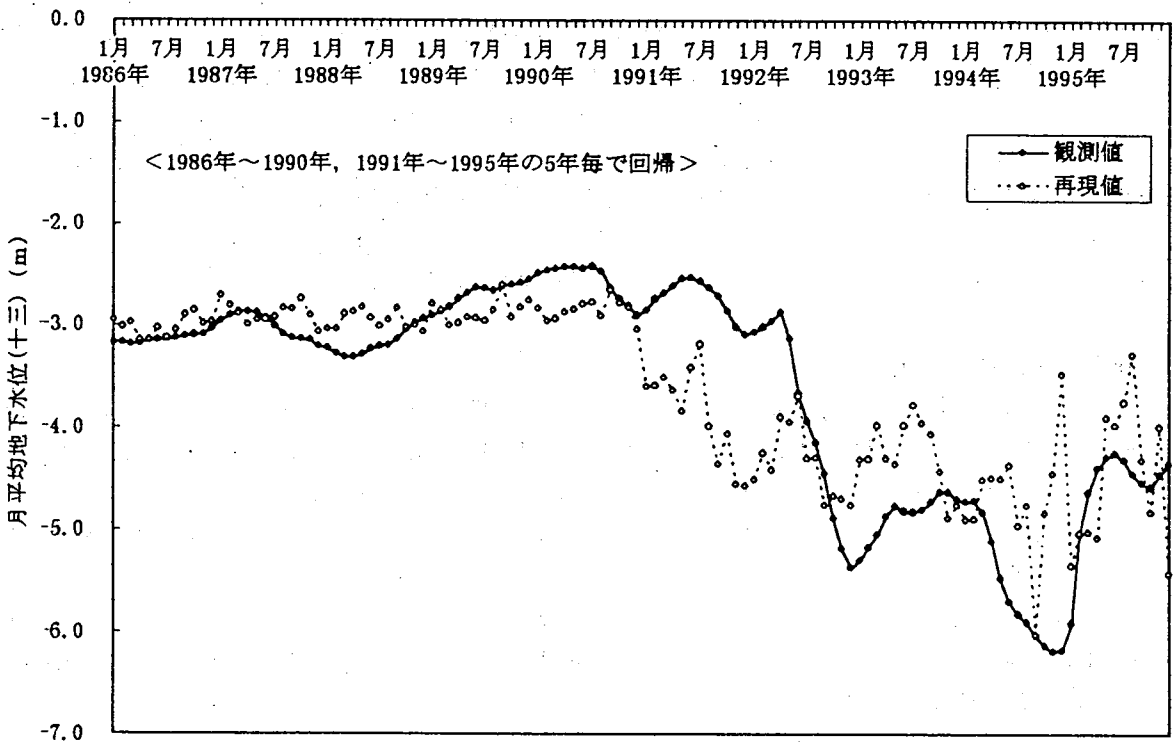


図-1 (b) 大阪層群砂礫層「8. 十三」(深度 G.L. 96.6~100.0m) 地下水位の再現性

パソコン計算で容易に可能である。

⑤琵琶湖西岸・愛知川改修に伴う周辺地下水位変化

表題のような影響は、地下水観測井の有効性判断基準の模索、シミュレーションモデルや単純モデルの適用によりある程度解決できる。一方、平成年代になっては、流量的確認が必修的課題となってきている。帯水層定数の分布データの把握が必要となる。

⑥小規模工事に伴う地下水変動・湧水量予測：

岐阜市内の鳥羽川改修が周辺地下水位低下に及ぼす影響、中津川市道路トンネル湧水とその枯渇対策、などは小規模であるが、簡単なシミュレーション計算による推定で対応される。

2.2 水収支の観点から検討されたもの

⑦堺南地下水保全工

既に③に述べたものであるが、涵養効果の確認のために実施した流量計測に依れば、予測より十数倍の流量が確認され、現地の揚水試験と言えども、「要素試験」的な局所の点での測定になるために、広域的な流動を考えると、推定誤差に対処する方法を研究開発する必要が生じてきたことが教訓である。

⑧岐阜県の水資源的観点からの地下水涵養・流動・地盤沈下の検討

阪神大地震後に地方公共団体は、有事の臨時的地下水利用の可能性を検討開始した。本件は岐阜県内の地下水流動を「タンクモデル」、シミュレーションモデルで試算し、地盤沈下を助長させない限界的な揚水利用量を推定した検討であり、岐阜県水資源課が検討委員会の基でコンサルに実務を委任して遂行された。興味深い結果が得られていて、タンクモデルや流動モデルで全体的な広域地下水流動量の概要が推定されている⁹⁾。管理のために「単純モデル」適用した手法も検討された。

⑨大阪平野の涵養モデル構築： スタート時点（上記の④の協議会内の研究委員会として）

平成11年度に大阪平野の地下水涵養機構の検討も着手したところ（村岡浩爾（阪大）委員長）。実際は平成12年度から委員の案を基に、始められる所から検討する計画。

⑩海岸地域の地下水について

(1) 内陸からの地下水が港湾・大海へ流出する形態・機構は不明な点が多い。

関西国際空港建設時に海底地盤の間隙水圧が海面より十数 kgf/cm^2 高いという報告がされたことがある。筆者は「内陸からの地下水は地層的に封じ込められている地層構造がかなりあると推測している。海洋開発が進む中で、将来の海底地盤工事中に地盤地層構造をより詳細に調査して解明する必要がある」と考えている。

(2) 大阪平野の地下水流動についても、筆者らの分析に依れば、海側に向かう表流水に対して、深層の地下水は内陸へ向かう性状を示している⁷⁾。淡水の地下水と海水との合流機構は興味深い現象になると予想している（水収支の観点から）。

(3) 濃尾平野の地下水流動モデル作成例でも、海岸線の境界領域は不透水面に扱われている。深層の帯水層から海水への流出機構は不明なため、モデル化の難点である。

2.3 空気・ガスが地下水に關与する問題

地盤内や土質中の間隙を流動するのは、地下水だけでなく交換された大気・空気や地下水中で発生するガスも重要な役割を果たしている懸念が少数の研究者に指摘され始めている。いくつかを例示すると、次のようなものがある。

*越流堤防や斜面安定への関与： 土砂地盤災害との関係、間隙空気の機能（内部圧力の増加）。

*放射性物質埋蔵： 超長期的な地下水流動予測：埋蔵物質との反応によるガス発生。

少し違った観点からは、

*揮発性の有害物質除去手段としての土中空気循環方式

*不飽和土の力学への影響因子

筆者は来る21世紀は、量的に無尽蔵な「空気」が種々の材料として見直されると同時に工法的な手段として活用されるようになると予感し、空気が地盤に及ぼす影響などが研究される時期が来ると考えている。

3. 地盤環境と地下水（地下水地盤環境とは？）

公共事業が巨大化してきた頃から「環境」は「対象としての自然環境」という視点から認識され始めた。事業が小規模の時代は、この認識が少なかった。即ち、「環境」は事業を開始時点の周辺の自然環境を意味するようである。事業批判者は「自然環境の破壊者として公共事業に悪のレッテルを貼ることに」専心したが、事業者は「その時点以前の周辺の自然環境が人為的な産物である、多くの例を指摘し、「自然」な環境は都市近郊には少なく、緑豊かな郊外や山間部でさえ、多くは人類が創造してきた物であると主張した。

このような環境とは何であろうか。「人間を取り巻く、狭義での住宅の形成状態、広義では、生物生息状態、鉱物資源状態を含む数々の地理的・地形的・地盤条件」であると考えてみよう。産業革命以前の「環境」は、住宅内の居住空間を意味していたという。産業革命以後は、住宅を取り巻く、周辺土地利用や大気状態の悪化を伴う認識により「環境」の表現する対象が広がった。従って、「地理的・地形的」という意味は、降雨などの水文条件や大気条件などの自然状態を含むことになる。ここで留意する必要がある点は、「環境は経年的にも季節的にも変化する、しかもバラツキが激しいものである」という認識を人間は忘れやすいことである。超広義的に言えば、オゾン層破壊、地球温暖化、なども「環境の変化」の一種であると認識できよう。我々が懸念すべきは、これらの自然環境を変える、換言すると自然破壊と呼ばれる、メカニズムやその原因・要因・誘因を究明して、将来への対応（理念と策）を準備することである。

地盤環境が何を意味すべきかは、上述の議論から明確になり、「地盤に關係する」環境条件である。更に「地下水地盤」なる形容は、「地下水に注目した地盤」に關連する環境を指すことになる。しかし、具体的な「環境の要因」とは何であろうか。地下水状態を表現する要因で構成すれば、地下水地盤環境がひとまず表現できるであろうか。

地下水の量的な表現を構成する要因は、①地下水位（または水量、流量）、②地盤地質構成条件（地層構造）、③帯水層定数（帯水層の透水量係数や貯留係数）、④給排水源（涵養源や揚水源）、⑤境界条件設定（対象範囲の設定に伴う境界に付与する条件）、の5要因が従来のシミュレーションに必要なものであった。しかし、近年の地下水地盤環境における重大な課題は、昭和58年以来顕在化した汚染問題である。即ち、地盤土質および地下水水質の汚染への対応が近年の重大な課題となった。

4. 地下水地盤環境の汚染問題

4.1 我が国の発端

(1) 重金属類等による汚染

地下水の水質が問題として顕在化したのは、有機水銀などによる魚類被害などの、いわゆる公害等の発生に続いて、半導体製造工場やクリーニング店等で使用された有機塩素系化合物、不十分なゴミ処理のために発生したダイオキシン、重金属類、の地下水への流出に伴うものである（有害物質循環）。大腸菌による井戸水汚染による園児の発病などもあった（病原菌汚染）。

しかし、厚生省の中杉修身氏による全国一斉調査(S58年)の驚異的事実は、系統的な分析が提示された最初であった。彼の大きな業績は、①汚染の実態と類型的な整理、②環境への侵入形態、③汚染対策の概要、を明示したことであろう。

その後は、単発的な、種々の地域での汚染報告事例に止まっていて、地下水学会誌や同学会研究発表会等の他には、次の研究発表概要集等に見られる。

○地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会（第1回,1991.4.5-6.,以降毎年開催）

○地盤工学研究発表会講演概要集（1999年が第34回（例年6月か7月開催））、など。

(2) 研究動向

*地盤工学分野では「汚染除去の手法研究」が企業の開発的研究の主体になっている。

*汚染物質の流下過程と物質濃度の関係、土質吸着・分散過程の基礎的な研究、および汚染物質の地盤内部での流動のシミュレーション的な追跡研究が目立つ。

例外的に見られやすい事例が、内陸地下水の利用等に伴う塩害であり、

*地盤および地下水の塩害（塩水侵入）

沿岸地域で古くから懸念され、最近では沈静化しているが、沿岸の農地には深刻な課題である。

*沿岸地域の地下水揚水（地盤工事による揚水を含めて）に伴う海水・塩水の呼び込み
長良川河口堰計画における流域の塩害防除が計画目的の一つであった。

4.2 研究の方向について

地下水水質に関する研究動向は、

(1) 汚染源の探索と防止、

(2) 汚染する物質分析とその除去、

に衆目が集まっていて、多くの報告や論文発表にみられる^{10), 11)}。

これらの汚染源や汚染対策に対して、自然環境状態の中での状態把握が不十分で、

(3) 自然界（各地域）の地下水水質環境の把握¹²⁾、および

(4) 汚染物質と地下水流動との関係（汚染物質の浄化、地下水流動量による濃度の累積・散逸）

に注目する必要がある。一方、上記の(2)に対して、近年の特徴は

(5) 汚染物質による土壌汚染か地下水汚染かの区別

を意識した、対策工法の研究が多い。しかし、

(6) 汚染の監視体制

の研究・開発が今後も不可欠なものであるべきではなかろうか。学会・学術研究者の行政への貢献を最も期待されるのが監視体制のようなソフト・システム的研究ではないかと思慮する。

5. 地下水地盤環境に関する研究課題

上述してきた研究経験を踏まえて、地下水問題の研究課題は次のような指摘ができよう。

5.1 自然現象としての地下水挙動に着目すべき現象は何か？

(1) 地下水流動の数値計算手法はほぼ確立

シミュレーションによる数値計算手法は概ね明確になっていて、パラメーターや境界条件を明確で、与えられた条件下での地下水流動を数値計算することができる。

(2) 水文循環の中で考える必要性の増大

降水量や河川水位のような供給源の自然的変化傾向の把握なしには、将来の地下水挙動の予測は困難であるから、降水量が長期的に若干低減傾向にあることが認められる現状である（後述参照）。

(3) 地盤表面からの降水・蒸発散（給排水源）

これは、水文循環の視点だけでなく、地盤の土質環境条件の把握のためにも必要になってきた。地表面からの需給の把握の重要性は、第37回ランキンレクチャー（雑誌“Geotechnique”を発行する英国の権威ある特別）において G.E.Blight が、タイトル“Interaction between the atmosphere and the earth”の講演で再認識された¹³⁾。

(4) 考慮対象の地下水挙動を考えるに相応しい領域設定範囲の決定法

小領域であろうと、広域であろうと、地下水挙動を考えるときの領域範囲設定は、意外に問題にならないときもあるが、論理的には困難な場合が多い。地盤帯水層構造の把握が不明なためでもあるが、流動それ自身が不明だから。最近十年間で、地下水問題も逆解析による定数推定や必要観測井配置などが、論理的に評価されるようになったが、曖昧な境界条件の設定には今後応用されて解明される可能性があると考えられる。

(5) 海岸地域で、地下水帯水層の繋がり調査・究明

前述 2.2⑩でも触れたように、内陸地下水の下流境界条件の究明が待たれる。

(6) 各地域帯水層の定数など地下水情報データ不足

先述したように、解析手法は確立されているが、各地域の地下水帯水層の定数は勿論のこと、情報は少なく整備されていない。従って、地下水利用を合理的に推定することも、地下水管理も検討する情報がないに等しい。このために、筆者らの「単純モデル」でも意義があることになる。この状況を改善するには、2.1④で述べた協議会のような地道なデータ整備・蓄積の努力が社会的に必要である。

5.2 地下水災害との関係で地下水制御は考えられているか？

(1) 地下水災害とは？

*地下水が原因で災害となる問題（地下水位上昇に伴う地盤液状化問題や地盤工事の湧水増大・湧水圧増加）

*地下水自身が災害を受ける問題（流動障害、汚染問題）

最近、「地盤環境」という言葉で表現される課題が世上を賑わしているが、主に産業廃棄物処理に関連して、土中に発生する有害化学物質への対応がかなりの割合を占めている。しかし、本来は水循環を含めた「地盤環境」を対象にして広く考えるべきである。

(2) 地下水位上昇に伴う地盤災害

これは既に述べたように、①地盤沈下防止のための地下水揚水抑制、②地下水障害の建設、等のために生じた水位上昇により、地盤内地下水位は高くなり、工事における湧水処理に悪影響がでるし、

地盤液状化の危険を増長させる。水位低下工法や地盤改良等の採用による工事対策が考えられている。

(3) 自然的要因や人為的要因による地下水流動（みずみち）の変化による地盤災害

斜面などの地盤災害に見られることがある。地震、不安定化要因（豪雨、斜面切り土による緩み等）に起因して発生する「みずみち」の変化予測が予測しがたい斜面地山のせん断破壊を引き起こすので、予兆・前兆現象の解明が重要である。

(4) 地盤工事に伴う地下水障害とそれを防止する保全工：環境影響度が低いケース

地下鉄工事、掘削工事などの、延長の長い人工的障壁の建設により発生する地下水流動の障害は、各地での地盤工事の大規模化により発生している。その保全工も種々実施されている。しかし、それらの効果判定まで十分公表されている場合は少ない。これらは水文循環に影響する程度の量的なものではない。

(5) 大規模地盤工事による地下水障害：環境影響度が大きいケース

万博会場のような広大な領域の改造は、山や丘陵地が変化して、地下水供給源や表流水の経路が変化を余儀なくされるために、影響の程度は推し量れないほど大きい。相当な環境アセスメントのための調査が綿密に実施される必要がある。前者が地盤内部の見えない領域であるための影響が少なく見えている可能性は否定できない。地表環境を含めた改造は、生態系の変化にもなるために、種々の分野への影響評価が実施され、公開されねばならない。しかし、学術分野が多方面に渡るために役所内部にデータが眠っていて、改善への手がかりが見えにくい状況下にある。また、被害を少なめに評価しやすい傾向のあったことも従来事例が示されつつある現況である。

また、山岳地域における地下水問題は、これまでのところトンネル掘削に伴う障害が主題だったけれども、近年の開発の大規模化により出水、湧水の経路変化を把握したいとき遭遇するのは、山岳地盤内部の地層構造が極めて把握困難なことである。既往の経験は平野部の地下水が主であったために、地層の成層性判断規準でなく、地山形成過程に関する地質学的知識に依存せねばならない状況にあることを指摘しておきたい。

(6) 土壌汚染問題

土壌汚染は、大きな意味では、水文循環に量的な影響でなく、水循環のプロセスの中で汚染土壌からの溶出による水質汚染の災害になる懸念である。土壌中に残存する物質成分には、吸着しやすいものと流下しやすいもの、揮発性のもの、など仕分けした検討が要請されている。今後、秘密裏に処理・埋蔵されていた産業廃棄物等による土壌汚染が顕在化するとき、いかなる対応を余儀なくされるか懸念される課題である。この意味で、これからの土木技術者には化学的素養が要請されるので、人的教育面を担当する大学等には時代の動向を見極めた対応が要請されよう。

(7) 地下水の水質汚染問題

汚染された地下水は流動するために、流動状況が把握されていないときは、いずれに出現するか不明で、突然発覚する性格を持つことになり、対応に遅れをとることとなろう。土壌汚染と同様に、有害物質処理が極秘に埋蔵されている懸念への対処が今後の課題である。監視体制？ 観測手法？ どんな因子で監視・計測すべきか？ 監視地点の選定は？ 等々の「応用的課題」が山積している。基礎研究も必要であるが、それより実務的に解決が要請されている課題の整理が十分でない現状ではなかろうか。行政と研究者の役割分担が不明確な現状に見える。

いずれの災害でも対策は考慮されているが、程度は異なる。事前の対策、事後の対策の2種類に別れ、後者への対応が前者より困難な手法になり、高いコストを要することは良く知られている。

5.3 地盤工学分野での地下水研究の動向は？

水文循環の中で地下水も考える必要性が判明しているにも拘わらず、多分野との共同作業を含むためこの趣旨に沿う研究は敬遠されて、地盤工学分野では進展が余り見られていない。水文条件としての、降水量や河川水の経年的変化などが地盤を含めた地下水環境の予測にとっては大変重要な要因である。

(1) 降水量、河川水の経年的変化に対する関心を惹起する必要

長尾（名工大）が過去50年間の降水量変化を時系列的に調べて、低減傾向にあることがデータ分析から認めた発表を聞く機会があった。小尻（京大）はファジイモデルで気候変化の長期予測の可能性を示した成果を示していて、興味深かった。いずれにしろ、水工学分野の研究者によるものである。地盤工学分野では、地下水流動に関して、数値シミュレーションを使用した研究は精度向上の研究はあるけれども、外力条件としての降水量予測は数値計算への入力条件として重要である。飽和地下水帯での研究は完了した気配があり、不飽和帯の研究に移行しつつあると言えよう。即ち、

(2) 不飽和透水性の研究、特に地表浸透の現地計測に基づく浸透能の評価

(3) 降水量の浸透能力と地盤透水性（地表構造物の被覆条件も含めて）との関連性

(4) 地盤の地下水位条件と浸透能との関連性

これらは、不飽和透水性に関する土質種類のデータが不足しているために、「降雨の浸透貯留」の推進にも施設の設計評価に支障となっているので、これらの成果が上がれば進歩すると予想される。勿論、降水の地下水転換率も明瞭にする基礎的な研究である。むしろ、地盤工学分野では、地下水保全工法的な開発研究に技術者の目が映っている現状にあり、実務的な研究に主力が注がれていると言えようか。即ち、

(5) 地下水保全工法の開発的研究

集水能力、涵養能力、などに着目し、フィルター効果の評価も含めた、地下水流動の保全に関する研究である。各地で大規模化する地盤工事に伴って既往の地下水流を保全する必要性が高まっている。

筆者が期待する研究は、上述の5.1(4)に述べた「解析対象領域の境界条件の合理的決定法」であるし、更に、水循環を考慮した、各地帯水層での「地下水流の量的把握」という実務的目的に応える研究である。このためには、次述するデータ整備に関する研究課題等が挙げられる。

(6) 各地の帯水層に関する地下水理に関する情報データの整備

(7) 各地の地盤帯水層の流動機構の解明・涵養機構モデルの作成

これらは不十分であるが、実務的膨大な作業のため研究に向かず、官側でも投資する明確な理由付けに苦慮して、進展が少ない。これが、2.1④の大阪平野の任意団体による研究などになっている。

結局のところ、地盤工学分野では、近年の地盤環境に影響が大きい地下水汚染に絡む課題の解決策の模索的研究がしばらく続くと予想される。水収支的な検討をするには大変な作業量があつて、どうすれば良いか単独の研究者では解決し難いと考えるために、水文循環に注目する地下水研究は敬遠されやすい状況が続くと推測される。

6. あとがき

地下水問題一筋の研究を進めてきた訳でないけれども、筆者としてはかなり多くの問題に参加させて戴いたことを感謝しながらも、余り研究が進んでいない未熟さをかみしめている。近年、我が国の学術

の動向は、専門分化から総合化へ (Specialist から Generalist 必要論) , 組織的から個人的能力へ (リーダーシップ必要論) , 知識優先から創意工夫へ (学歴社会から能力主義へ) に象徴されるが、地下水に関する研究分野でも上述したように、かなり該当する点があるように感じている。

本文は高棹琢馬・京大名誉教授の私的研究会での話題提供時('99. 12. 3)の資料を基に手を加えて作成した。地盤工学会中部支部での機会を与えて戴き、筆者なりの整理を試みた。ご参考にしていただければ幸いである。

参考文献：

- 1) 稲田 裕・赤井浩一・宇野尚雄(1967)：琵琶湖周辺の地質・地下水調査，土木学会誌，Vol.52, No.4, pp.24-30.
- 2) 宇野尚雄(1968)：地下水位が浅い地盤への水路からの定常浸透における浸透流量と自由水面形，土木学会論文集，No.157, pp.28-41. 他数件.
- 3) 赤井浩一：ウオーターカーテンによる地下水制御，土木学会誌，Vol. 53, No. 10, pp. 49-54, 1968.
- 4) 宇野尚雄(1981)：観測値に基づいた地下水位変動モデル，第 25 回水理講演会論文集，pp.385-390.
- 5) 宇野尚雄(1993)：岐阜・大垣における地下水位変動を表現する「単純モデル」，地下水技術，Vol.35, No.2, pp. 38-36.
- 6) 宇野尚雄・西垣 誠・柳田三徳・永井 宏・嘉指登志也(1994)：地下水涵養工の調査・設計・施工，地下水地盤環境に関するシンポジウム' 94 発表論文集 (地下水の挙動と水質問題) ，地下水地盤環境に関する研究協議会・(財)大阪土質試験所・(財)日本地下水理化学研究所共催，pp. 73-82.ほか数件.
- 7) 宇野尚雄・神谷浩二・飯田智之(1997)：降水量や河川水位との関係で診た大阪平野の地下水流動の考察，地下水技術，Vol.39, No.9. pp.39-52. ほか「地下水地盤環境に関する研究協議会」報告書等数件.
- 8) 岐阜県開発企業局水資源課：第5回岐阜県地下水管理計画検討委員会・資料，成10年1月，p. 4-24.
- 9) 中杉修身：地下水汚染の実態とその類型的整理， pp.1-18,
中杉修身：有機塩素化合物の環境への侵入形態， pp.19-28,
中杉修身：地下水汚染対策の概要， pp.29-38, それぞれ次の科学研究費補助金成果報告書に掲載，「環境科学」研究報告集 B293-R12-14：合成有機化合物による地下水汚染機構の解明に関する基礎的研究，文部省「環境科学」特別研究・「同課題」研究班 (研究代表者・村岡浩爾) ，昭和61年3月。(他に，厚生省の報告書あり)
- 10) 平田建正・江種伸之(1999)：土壌・地下水汚染と対策の動向，地下水技術，Vol.41, No.7, pp.40-47.
- 11) 馬原保典(1999)：地球化学的手法を用いた地下水調査と地下水年代測定，地下水技術，Vol.41, No.7, pp. 27-39.
- 12) 宇野尚雄・杉井俊夫・棚橋秀行：濃尾平野の地下水水質の分布特性，地下水技術，Vol.35, No.11, pp.33-43, 1993.
- 13) G.E.Blight： Interaction between the atmosphere and the earth, Geotechnique, Vol.47, No.4, pp. 715-767, 1997.