

第38回土質工学シンポジウム開催報告

第38回土質工学シンポジウムを終えて

調査部長 八木則男

第38回土質工学シンポジウムが平成5年11月16日～17日に全電通労働会館で開催された。参加人数は約160名であった。今回のテーマは「建設工事と地下水に関する諸問題」である。建設工事や土質工学において地下水の問題はいかに重要であるかは多くの関係者が認識している。

発表件数は34編と多く、2日間で行うには発表時間や討論の時間が短くご迷惑をおかけしたと思っている。地下水に関する理論解析や数値解析は土質工学のほかの分野に比べ早期から研究され発展してきたように思われる。しかし、現実の地下水の挙動は非常に複雑であって、それを予測することの難しさのために地下水が原因と考えられる事故が発生することがある。この方面での地下水の的確な調査法の開発が望まれている。最近、地下水に関する環境問題が重要な事項となってきた。今回シンポジウムでは上記の問題に加え基礎的な研究、設計や施工に関する研究を含め広範囲の発表となった。最近のシンポジウムでは発表者と参加者が一体となって盛り上げられるのは非常に有意義なことと思う。

一般発表のほかに川島新一氏（東京都）によって「地質学的に見た関東平野の地下水」と題して特別講演が行われた。

また、河野伊一郎氏の総合司会のもとでパネルディスカッションが行われ、次の方々から話題提供をいただいた。

植下 協氏（名古屋大学）

「建設工事における地下水への配慮」

鈴木音彦氏（㈱新技術研究所）

「大型掘削工事における定常状態井戸公式を適用する場合の影響圏半径について」

藤縄克之氏（信州大学）

「地下水中の熱移動現象と工学的課題」

平山光信氏（大成基礎設計㈱）

「建設工事に伴う地下水調査・解析上の問題点」
各話題の内容の豊富さ、続いて行われたパネラー間および参加者との活発な討論、司会者の適切な取りまとめは好評であった。

今回のシンポジウムから参加者の投票によって優秀発表者を選定することになった。結果は同票であったので、次の2氏を選び後日表彰状等を送ることにした。

竹下祐二氏（岡山大学）

「深井戸工法における排水設計法に関する考察」

柳田三徳氏（日本工営㈱）

「地下水環境保全のための復水工法の設計」

終わりにではあるが、各セッションを有意義に進行された次の座長の方々にお礼を申し上げたい。

セッションⅠ 西垣 誠氏（岡山大学）

セッションⅡ 三宅紀治氏（清水建設㈱）

セッションⅢ 福田 誠氏（三井建設㈱）

セッションⅣ 宇野尚雄氏（岐阜大学）

セッションⅠ モデル・解析

座長：西垣 誠

セッションⅠでは次の10編の発表があった。

I-1 二次元異方透水性地盤における浸透流——次元拘束流れの概念とその適用性—— 田中 勉

I-2 間隙水の圧縮性を考慮した浸透破壊解析法について 加藤 満・岡二三生・八嶋 厚・中島 豊

I-3 粒土配合を考慮した浸透破壊の発生機構
杉井俊夫・宇野尚雄・平野貴士・吉田 敬

I-4 毛管モデルによる土中の流体の透過性について
神谷浩二・宇野尚雄・杉井俊夫

I-5 簡易ライシメーターによる不飽和浸透特性の推定 青木一男・福田 護・今西 肇・飯田智之・西瀬和之

I-6 海水面の変動を受ける被圧地下水の水圧の解析および地盤定数 長谷川明・諸戸靖史

I-7 自己回帰モデルを用いた地下水挙動の時系列予測に関する数値実験的考察

学会活動から

本田 眞・鈴木 誠・奥野哲夫

I-8 単純モデルによる地下水解析法の考察

浅岡弘暢・宇野尚雄

I-9 Effect of Ground Water on Stability Problems

J. Edrininghe, G. Ohashi, Y. Yoshitake, N. Yagi,
M. EnokiI-10 東京臨海副都心地区の地下揚水に伴う地盤沈下
シミュレーション藤原幸彦・清水恵助・小林
精二・水本邦男・寺田有子

I-1: 室内での透水試験から供試体の異方性の透水係数を直交する2方向の透水試験を行うことにより, その異方性テンソル成分を求めることができることを示した。

I-2: 砂質地盤掘削の際の浸透破壊を著者らが提案している砂の構成式を用いて, 有限要素法による弾性解析を行った結果を示した。

I-3: 浸透破壊を予測するため地盤の粒土分布を用いて, 著者らの提案した多粒子限界流速式に D_w を用いた式がきわめて有効であることを示した。

I-4: 土中の空気の透過特性を比表面積測定装置を用いて容易に計測できることを示した。

I-5: 簡単なライシメーターの流出量の経時の変化から不飽和土の浸透特性を逆解析により求めた結果を示している。

I-6: 潮位と地下水位の変動により被圧帯水層での比貯留係数と透水係数の比(S_s/k)を実測値より求めている。

I-7: トンネル掘削時の湧水流量の予測を目的として, 制御系多変量自己回帰モデルを用い, 模擬データを用いて検討している。

I-8: 月間降雨量と日平均揚水実験により月平均地下水位を予測する単純モデルを提案し, 実測値への適用性を吟味している。

I-9: 斜面安定への地下水の影響をBEMによって解析し考慮して極限平衡法(GLEM)により検討した。

I-10: 臨海副都心地区を対象として, 広域的な帯水層の地下水位低下を想定した沈下量の予測を過去の経緯を考慮し, 数値解析により現状を予測しようとしている。

以下に主な討議の概要をまとめる。

I-2の構成式と破壊条件についての質問について浸透破壊を液状化と考えている。I-4の透気に

対して, 空気圧の影響は少ないとの解があった。I-5の地表の境界条件と逆解析の感度解析の質問について, 地表の降雨と蒸発散を考慮し, 感度を良くするため, 観測値の選び方が重要である。I-6の海側の境界についての質問があった。また, I-7の観測値の期間についての質問があった。

セッションII 調査・設計

座長: 三宅紀治

発表された11編の題目, 発表者および概要を次に示す。なお, 『』内は主な討議内容である。

II-1 濃尾平野の地下水水質の分布特性

宇野尚雄・杉井俊夫

II-2 高透水性地盤における単孔式透水試験の適用例

西垣 誠・平田洋一・三好忠和

II-3 現場揚水試験に基づく複合地盤の透水特性に関する研究

阿知波文夫・松尾 稔

II-4 土地造成における地下水調査法

山嶋行人

II-5 洪積砂礫層中の地下水流動機構

金子 誓・斎藤六衛・丸橋 寿

II-6 高密度電気探査による地下水流動調査実施例

内田篤志・管智 浩・三木 茂

II-7 土被りの薄いトンネルによる地下水障害とその指標(不飽和帯への影響)

森 綾子・上田敏雄

II-8 タイ王国におけるフィルダム漏水調査事例

猿山光男・Patthorn Thowaia

II-9 不均質地盤での地下水処理のための調査・設計に関する考察

高坂信章・三宅紀治

II-10 根切り工事における排水設計に関する2, 3の考察

西垣 誠・下村雅則

II-11 深井戸工法における排水設計方法に関する考察

竹下祐二・河野伊一郎

＜概要と討議内容＞ II-1: 濃尾平野の地下水水質をクラスター分析によりグループ化して分布特性を議論したほか, 経年変化などにも言及。II-2: 高透水性地盤にスラグ法の単孔式透水試験を適用して実用性を述べた。II-3: 砂杭打設に伴う沖積砂層の透水特性変化を揚水試験により確認し, 原因を考察。II-4: 崩壊・地すべりが懸念される土地造成現場で地温探査, 地下水調査などを実施し対策工の検討と効果の確認を行った。II-5: 砂礫層中の水みちを含む多重的な地下水流動機構を比抵抗検層, 電気探査, トレーサー試験などの原位置試験で評価。II-6: 短時間に多点測定が可能な電気探査により

電解質トレーサーの地盤の比抵抗を経時的に調査、地下水流動機構解明への適用性を検討。『高密度の意味は？→水平・鉛直探査が通常の電探より速くかつ高密度で行える。比抵抗変化は揚水井で検出されたか？→測定器の測定精度内のため検出されず』。

Ⅱ-7：トンネル施工に伴う不飽和帯への影響検討に必要な土壌水分の測定位置、深度、傾度など方法を提案。Ⅱ-8：フィルダムの漏水を、ラドン、pH、EC、主要溶存物質等水質調査の結果などから検討。『二つのダムでpHの違う理由？→地質条件が異なるため』。

Ⅱ-9：上・下帯水層からなる複合地盤での揚水試験データを基に、解析・排水設計上の問題を議論し、事例で確認。Ⅱ-10：定常・非定常状態の単井における井戸損失の評価法を示し、これを考慮した排水設計の方法を提案。Ⅱ-11：合理的な排水設計のため、浸透流解析法と最適化手法を組み合わせた手法を提案し適用例から妥当性を述べた。『井戸配置は施工上などの制約で決まることがないか？→そのとおりで提案した手法は一つのデータとして使っていただきたい。最適化手法は一連のシステムにする予定か？→AI化の予定はない。AIC基準で判断されているが、水位も重要な判断基準になるのでは？→水位も考慮している。AICはモデルの良否を判定するために適用したもので井戸本数をパラメーターにしたかった』。

セッションⅢ 施工法

座長：福田 誠

このセッションは、次の7編の発表があった。

- Ⅲ-1 復水工法における注水圧の制御方法に関する実験的研究 鬼木剛一・川端淳一・瀬尾昭治
- Ⅲ-2 部分揚水工法とリチャージ工法の適用例 三宅紀治・高坂信章・小林 務・中塚 寛
- Ⅲ-3 地下水環境保全のための復水工法の設計 宇野尚雄・西垣 誠・永井 宏・柳田三徳
- Ⅲ-4 地下水位低下と注水による不同沈下矯正 中堀和英
- Ⅲ-5 砂・まさ土地盤の山留め工事における地下水管理について 井田正昭・石田 一・江村卓三・広瀬 誠・一野武史・井手章栄・村上正三
- Ⅲ-6 止水材料としての混合土に関する室内試験 栗原宏武・深沢栄造・八鍬 昇・田中俊行
- Ⅲ-7 プラスチック・ボード・ドレーンを用いた地下水位低下工法の提案

小田恵之輔・日下部伸・増井 仁

各論文の要旨と討議内容を以下に簡単に紹介する。

Ⅲ-1：動水勾配によって目詰まりの発生状況は大きく異なり、動水勾配が大きいほど目詰まりは短時間で終了し、その後は緩慢に進行する。また室内試験の結果を過去に行われた復水試験の例に適用することにより、この復水試験ではあまり注水効率が低下しなかった事実を明確に説明している。以上の知見より、観測井を設置し動水勾配をモニタリングしながら注水圧をコントロールする合理的な復水工法を提案している。

〔討論〕 図-7の動水勾配はどのように算出されたのですか。

〔答〕 表-1から、井戸の近傍ということで仮に動水勾配=0.29取った。

〔討論〕 目詰まりになる要因はあるのですか、また図-5はあまりにも勾配が平行と思うのですが。

〔答〕 水は水道の脱気水である。また図-4、図-5からは顕著な傾向がつかめず、今後の検討にさせていただきます。

〔討論〕 間隙水圧計の設置場所はどこですか。

〔答〕 表面から2～3mm入っているが、表面流の影響があるのかもしれないので今後の課題であると思う。

Ⅲ-2：地下工事の大規模化で、深層地下水の被圧水頭上昇が排水工法を採用する場合、大量の地下水揚水を招き、そのため地下水の放流先の確保、下水道に放流する際の使用料の多額化、さらには地下水の揚水による周辺地盤環境問題が発生することが考えられるための解決策として、部分揚水工法とリチャージ工法を採用した報告である。しかし今後は目詰まり機構の解明が必要と示された。

〔討論〕 注入した地盤の評価はどんな方法があるのか。

〔答〕 水道法で決められている方法等で測定している。ただし、工事に関しては自然水を注がなければ目詰まりが生じてしまう、地盤中のバクテリア問題等今後大深度等で研究しなければならない課題が幾つかあるようだ。

Ⅲ-3：道路建設において、帯水層の分断に伴う漏水被害の恒久的対策工法として、道路両側の切土法肩部に柱列式地下連続壁を設置し、地下水を遮断

学会活動から

して切土法面の安定を確保するとともに、地下水上流側での堰上げ効果を利用し、かつ管理上有利な逆サイフォン方式により下流側に地下水を補給し、人工的に涵養・復水させるといふ地下水保全工法をシミュレーション解析や試験施工のもとに、実施工した報告である。

〔討論〕 メンテナンスフリーの条件を教えてください。

〔答〕 ポイントとして、過度の動水勾配を掛けないこと、できるだけ浸透断面積を大きくすること、バクテリア等を発生させないように日光等を遮断すること、地下水を地下水としてそのまま送ることに着目した。目詰まりに関しては観測チェック孔を設けている。

Ⅲ—4：精密で不同沈下をきらう機械の調整台の矯正を水位低下工法と注入工法により実施し、限界内に維持させ得ることに成功した報告である。

Ⅲ—5：山留めの安定上、背面地下水位を低下させるために、山留め外周に止水矢板を設けウェルを設置した。その時、工事を進める上での様々な問題点について検討を行い、地下水対策は工事を進めながら実際の工事条件下で調査解析して検討する方法が有効であった。また調査解析にはパソコンで利用できる平面二次浸透流解析を用いているが、より簡単に扱えるように拡張することや、水理定数の逆解析を解析的に行えるようにすることが今後の課題であるとの報告である。

Ⅲ—6：止水機能を有した基礎地盤材料への適用を目的に〔現地発生砂に礫材とベントナイトを混合し、まき出し・転圧したもの〕の適用に関する室内試験の報告である。その結果、従来のベントナイト混合土と同等、もしくはそれ以下の透水係数が得られた。また、膨潤率を1/4程度に抑制でき、基礎地盤材料として十分な支持力を有するとの知見が得られた報告である。

Ⅲ—7：バーチカル・ドレーン工法と地下水位低下工法の制約を緩和し、粘性土に対する地下水位低下工法の利用を拡大することを目的とした、プラスチック・ボード・ドレーン材を用い、ドレーン材に貯留した水を圧縮空気ですぐに地上に強制排水して地下水位を低下させる圧密改良工法の模型実験と数値計算によって地盤改良の効果と特性を検討した。その結

果、従来工法以上の効果が得られたとの報告である。

〔討論〕 Cの取り方について教えてください。

〔答〕 非対象として解いている。

〔共通討論〕

〔討論〕 目詰まりの原因は一般的には、何に起因すると思いますか。

〔答〕 短期間であれば施工期間中は、現在の技術で対応できると思われる。

揚水の場合に限って経験的に言えば、角張っている礫が目詰まりが多く見られ、丸いものは詰まらないと言える。

以上、本セッションは、建設工事と地下水に関するシンポジウムの内でも特に的を得た、活発な討論になった。

セッションIV 水質・環境

座長：宇野尚雄

このセッションでは次の6編の発表があった。

IV—1 地下鉄建設に伴う地下水流影響解析と自然保護

助川 禎・小野重剛・西垣 誠・千葉幸治

IV—2 神戸市須磨区千森川放水路工事前後の水質について
吉岡龍馬・沖村 孝

IV—3 土層・土質と湧水 山口晴幸・小林弘樹・宮川 均・梅木正造・福田 誠・黒島一郎

IV—4 酸性雨と湧水の化学組成 山口晴幸・小林弘樹・宮川 均・梅木正造・福田 誠・黒島一郎

IV—5 有限要素法を用いた移流分散現象の解析
安富英樹・山上拓男

IV—6 地下水中の溶質移動に関する Two Region モデルの解釈
棚橋秀行・佐藤 健・湯浅 晶・宇野尚雄

IV—1 は、地下工事に伴う地下水流の変化を少なくするため、シミュレーションで蒸発量、漏水量等を点検の上で、開削トンネル区間等の縮小を図った。

質疑・西尾(清水建設)：水位のみで議論しているが、水質・生態系への調査等が必要では？ 回答：調査しているが、今回の発表では少なくとも水位という観点にした。質疑・森(サンコーコンサルタント)：ロームの水分保持曲線などのパラメーターはどう決めたか、ヒステリシス処理は？ 回答：土の調査試験して解析に使用し、ヒステリシスは考慮せず。

IV—2 は、六甲山南西部を流れる千森川をトンネル放水路でショートカットしたことによる、周辺の

井戸水や湧水への影響を工事前後の水質分析・調査等により検討した結果、無視できるほどであった。

質疑・西垣(岡山大)：論文結論7)に陰イオンが取り上げられているが、陽イオンは？ 回答：陰イオンの方が測定しやすいという意味だけで、陽も要る。

IV-3は、本州・四国に及ぶ各地での土中の水質と土質との関係を、特に各地の湧水群において調査したもので、水質は陰陽イオン濃度で示された。

質疑・陶野：酸性雨が地盤に浸入してどの程度滞留したら、アルカリ性になるかなど調査したか？ 回答：十分してないが、浅い表層の特に粘性土の緩衝能力は期待されるようだ。

IV-4は、前編とも関係しているが、特に酸性雨との関係に留意してpH 5.6以下の水質や樹木の立枯れが観察されたという、警鐘的な報告である。

質疑・塩崎(間組技研)：湧水の硝酸イオン濃度が10 ppm以上が示されている原因？ 回答：発生源は表-3に示す。人間活動による排ガス等が降雨へ影響していると思う。補足(吉岡)化学会誌'80の6, 7月号で特集している：小雨のときばらつきが大きい。

IV-5は、ビル建設時に行う杭打ち工事の際のベントナイト泥水の濁りが地下水流と共に移流分散する様子を三次元シミュレーション計算したものである。

質疑・西垣：吸着の要因は考慮してないとのことだが、吸着を省略すると濁りの伝搬は必ず出るので、考慮すべきだ。回答：今後そうする。

IV-6は、地下水中の溶質移動に関する実験とモデル解析の基礎的な研究で、採用したTwo Regionモデルの破過曲線による解釈で溶質の吸着・分散が説明されることを示した。

質疑・川端(鹿島技研)：パラメーターの α , β のばらつきについて？ 回答： β は小さいが、 α は大きい。 α は物質移動に関する係数である。質疑・吉岡：土中水を可動水と不動水に分けているが、その根拠・境界状態を研究して欲しい。回答：現在はモデルによる現象解釈の一つの便法です。

ディスカッションセッション

テーマ：建設工事と地下水に関する諸問題

座長：河野伊一郎

このセッションでは、まず4名のパネラーによる

話題提供が行われた。

話題提供Ⅰ「建設工事における地下水への配慮」(名古屋大学 植下 協)

山岳トンネル建設工事例をもとに建設工事における地下水関係の環境影響評価の重要性が指摘され、さらに、今後大深度地下利用等の事業計画において地下水問題における環境アセスメント技術の向上について提言があった。

話題提供Ⅱ「大型掘削工事における定常状態井戸公式を適用する場合の影響圏半径について」(㈱新技術研究所 鈴木音彦)

定常井戸理論を用いる際に重要なパラメーターとなる影響圏半径の評価法として、フォルヒハイマー式を用いた方法が示され、周辺を遮水壁で囲まれた大規模掘削工事を例に、建設技術者に使いやすい方法の解説がなされた。このような影響圏半径推定の精度向上のために現地計測の重要性が指摘された。

話題提供Ⅲ「地下水中の熱移動現象と工学的課題」(信州大学 藤縄克之)

帯水層の良好な断熱性に着目した熱エネルギー貯留技術の開発を背景にして、飽和多孔体中の熱移動・熱分散・熱対流現象に関する実験結果が紹介され、飽和・不飽和体中の流動と熱輸送方程式をカップリングした数値解析手法について解説された。

話題提供Ⅳ「建設工事に伴う地下水調査・解析上の問題点」(大成基礎設計㈱ 平山光信)

地下水解析におけるパラメーターの算定および解析モデルの設定に関して、実務の立場から解析精度の向上を目的として問題点の指摘がなされた。また、透水係数の異方性、水みちの評価方法等の新しい試験法についての紹介がなされた。

これらの話題提供の後、建設工事と地下水に関する様々な問題についての討論が行われた。

1) 地すべり調査における排水孔の設計方法について

水みち(裂か水)の探査法の開発が重要であり、地温探査、電気探査法の応用も考えられる。

2) 地下水調査、設計の規模、密度について

社会性、経済性を踏まえた適切な調査計画の立案に関して、調査の不確実性を補うために、施工時のモニタリングを行い、その結果、施工計画の変更も考える。

学会活動から

施工費と調査費のバランスの問題に関して、数値解析手法等の高度技術を数表化、グラフ化することによる技術普及が望まれる。

3) 原位置で計測された浸透パラメーターの評価について

試験孔の条件、帯水層状態が計測データに及ぼす影響を十分認識した上で、調査結果の工学的判断が必要であり、また、高精度の調査に対しては十分な費用が認められねばならない。

4) 地下水位の維持、管理について

大阪では「地下水地盤環境に関する研究協議会」が発足し、地下水規制に伴う地下水上昇への対応を協議している。濃尾平野では地盤に適切な条件にて地下水位を管理し、管理水位を越える地下水資源については公的に有効利用することを考えている。

以上のほかに、誌面の都合上、記載できない意見交換が多数あり、地下水問題に対する関心の広がりや問題の多様化、複雑化を象徴する討論であった。

特別講演

東京における地下水位変動の経緯

川島真一（東京都土木技術研究所）

地下水位の変動は我々に様々な影響を及ぼす。例えば、水位低下によって、湧水の枯渇、酸欠空氣の発生、地盤沈下等の現象が生じる。一方、水位上昇によって生じる現象については、従来あまり話題にはならなかった。しかし、今後は水位上昇が地下構造物等に影響を及ぼすことについても、十分検討をすることが必要と思われる。そのためにも、まず地下水位変動の実態を把握することが肝要である。

＜不圧地下水位の変動状況＞

水位は、降水量に大きく制約されており、夏から秋にかけて水位が上昇し、冬から春にかけて低下するというパターンを示している。また、ここ20年間程の変動をみると、全体としてはほぼ一定な水位を示している。一方、地点により変動幅に大きな違いがあることは注意する必要がある。例えば、足立区ではわずか1 mであるのに対し、東大和市では最大5 m程にもなっている。この違いは、帯水層の性質を反映しているものと考えられるが、今のところ、地域特性を明らかにするまでには至っていない。

また、日平均や時間水位でみると、降水に対して迅速に反応する地点が多いものの、反応が非常に遅く、例えば数日後にピークを迎える地点もある。

＜被圧地下水位の変動状況＞

水位は、全体として1970年頃までは低下傾向を示し、その後上昇傾向にあるといえるが、詳細にみると、地域により最低水位の時期に多少の相違がある。水位変動の主な要因は地下水揚水であるため、水位は夏に低下し、冬に上昇するというパターンを示す。また、最近の変動状況をみると、揚水がほとんど無くなった江東地区では年変化がわずかであるのに対し、いまだ揚水の多い練馬区や多摩地域では年変化がかなりある。

次に、日平均や時間水位でみると、揚水が多い地域では当然変動が激しく、1日の間に2 m程の変動を示す地域もある。また、潮位（河川水位）や気圧など自然的要因で水位が変動する場合もある。例えば、江戸川区の臨海部では、潮位の変化2 mに対して約60 cmの水位変動を示す。また、気圧変化10 hPaに対し、10 cmの変動を示す井戸もある。

＜水位変動により生じる現象について＞

水位低下に伴う現象の一つに、不圧地下水位の低下による湧水の減少があるが、先述のようにここ20年程の水位は低下傾向にはなく、湧水の減少・枯渇はそれ以前が著しかったと思われる。また、被圧地下水位の低下は地盤沈下を招くが、この沈下も揚水規制により減少し、近年は年間最大2 cm弱となっている。さらに、被圧地下水位の低下に伴う影響として酸欠空氣があるが、これは水位低下期の1960年代を中心に多発したもので、水位が高い現在は非常に少ない。なお、最近は浅層部での酸欠空氣の存在も懸念されるので、注意する必要がある。

一方、ここ20年程は被圧地下水位の上昇傾向が著しく、例えば、最大の板橋区では1971年の最低水位から比較すると、現在は56 m以上も水位が上昇している。そして、ここ10年をみても、都内全域で依然数mの上昇がみられる。このような大幅な水位上昇は、最悪の場合には、地下構造物の破壊につながるかもしれないといえない。したがって、今後水位上昇に対する十分な対策が必要となろう。

（原稿受理 1994.3.14）