

## 地下水環境の急変が植生に与える影響

谷川寅彦・矢部勝彦\*・福田勇治\*\*・衣斐隆志\*\*

Effects to Vegetation Caused by Sudden Change of  
Groundwater Environment

Torahiko TANIGAWA・Katsuhiko YABE\*・Yuji FUKUDA\*\* and Takashi EBI\*\*

College of Agriculture, University of Osaka Prefecture

\* School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture

\*\* Chuo Fukken Consultants Co., Ltd.

## Abstract

This study was conducted to make clear the groundwater environment and the influences to the vegetation of forest land under the subway construction. The former was investigated by using the distributions of water table and the cross sections. The latter was investigated by using the daily fluctuations of soil moisture tension in the planting site of higher trees and the observations of growth along the subway construction.

Consequently, the groundwater environment was not influenced so much by the shield tunneling of the subway construction, but much influenced by the excavation works.

Because the excavation works are considered to cause the sudden change of groundwater environment. On the other hand, the sudden change of groundwater influences to the soil moisture environment of the vegetation, so it is found that much higher dead trees and higher weakened trees were observed along the route of the excavation works.

**Key words** : vegetation, groundwater, soil moisture tension, shield tunneling, excavation works

## 1. ま え が き

地下水環境の急変には種々の要因が考えられる。都市再開発が行われ、社会問題として取上げられる例として地下鉄工事などによる地下水環境の急変がある。この地下水環境の急変が植生地にどのような影響を与えるか未だ明らかにされている例は少ない。そこで、本研究では、地下鉄延伸工事により地下水流動が変更を余儀なくされ、工事路線の上位側と下位側の地下水位に段差が生じ、この不連続が下位側に存在する植生地に影響を与えたかどうかについて追究することにした。すなわち、調査対象地は工事路線の下位側に植物園<sup>8,9,10,11)</sup>が存在し、この路線に沿った一帯にカツラ、クロマツなどの高木が植栽されており、これら高木林<sup>1,7)</sup>に対して地下水環境

の急変がどのような影響を与えるかを約4年間にわたり地下水位の経時変化、地下水位分布、樹林地における土壌水分環境<sup>9,10,11)</sup>などから追究し、若干の知見が得られたので報告する。

## 2. 調査地域の概要と調査方法

一般に地下水は雨水や地表水が地表面から浸透し、地層中の孔隙や岩盤の割れ目に貯留され、ゆっくり流動する<sup>2,5)</sup>。本調査地域は図-1に示すように西側(植物園に隣接)と東側(数km離れている)に河川があり、北側数km離れた位置に山林が存在している<sup>8)</sup>。そのため地下水の流れは北西方向から南東方向に生じていると予想される。これに対して、地下鉄延伸工事が東西方向で行われ、西側の河川に近い工事路線はシールド工法(工事区

大阪府立大学農学部 〒593 堺市学園町 1-1, \*滋賀県立大学環境科学部 〒522 彦根市八坂町 2500,

\*\*中央復建コンサルタンツ(株) 〒532 大阪市淀川区東三国 3-5-26

キーワード: 植生, 地下水, 土壌水分張力, 開削工事, シールド工事

間は河川から約 300 m) が採用され、そこから東側はオープンカット工法 (約 1,300 m) が採用されていた。このためオープンカット工法の採用された区間での地下水環境は工事に伴い急変したと言えよう。そこで、本研究では工事路線の上・下位側における地下水位の経時変化の観測、工事路線の下位側に位置する樹林地における土壌水分環境の測定などについて工事開始直後の '87 年 3 月から '90 年 12 月の約 3 年 10 か月間にわたり行った。

地下水位の観測は水圧式の水位計を使用して自記観測し、土壌水分環境は負圧センサ式のテンシオメータ (深さ 90 cm までの土層) を使用して自記計測した。観測位置および計測位置、各位置の標高は図-1 に示されるとおりである。

なお、園内の 1 か所で気象観測を行った。

### 3. 原況の地下水流動の推定と工事開始直後の地下水流動

調査対象地の地下水位解析の概要は図-2 (1) に解析領域、地下水断面を解析する方向 (3 方向) と位置を示し、図-2 (2) には (1) に対応して等高線で示した地形の概略を示す。地形は概ね北西から南東の方向に低くなってゆき、中央部に位置する池の水は南東方向に伸びる水路

を流下する。工事前の状況 (以後原況と呼ぶ、推定値) と工事開始後の地下水流動の状況 (以後現況と呼ぶ) は図-3 に示す。原況と現況について本研究の調査地域では工事前の地下水状況すなわち元の状況 (原況) についてはデータが得られておらず、工事開始後の結果についてのみ得られている。したがって、図-3 (実線: 地下水位等高線) に示すような工事前の状況 (工事が行われる前のオリジナルの状況) については推定する必要があった。

そこで、原況、現況とも地下水位分布について図-2 (1) に示すように検討対象とする領域に有限要素法の要素分割 (1 次元 3 角形要素) を行い解析を行った。解析領域内の個々の 3 角形要素の各頂点は節点と呼ばれ、このうち領域内部の 3 節点、外周境界辺上の 5 節点が地下水位観測井に対応している。有限要素法の定式化にはガラキン法を用いており、領域内の物理特性は一様として推定を試みた<sup>3,4)</sup>。なお、外周の境界辺には全て地下水位の代入を行っている。

まず、原況 (工事前の状況) については外周のみに地下水位を代入して推定を行った。すなわち、図-2 (1) の外周境界辺の位置では工事前、工事後の期間を通じ地下鉄工事の影響が小さく地下水位の変動が小さかったと仮

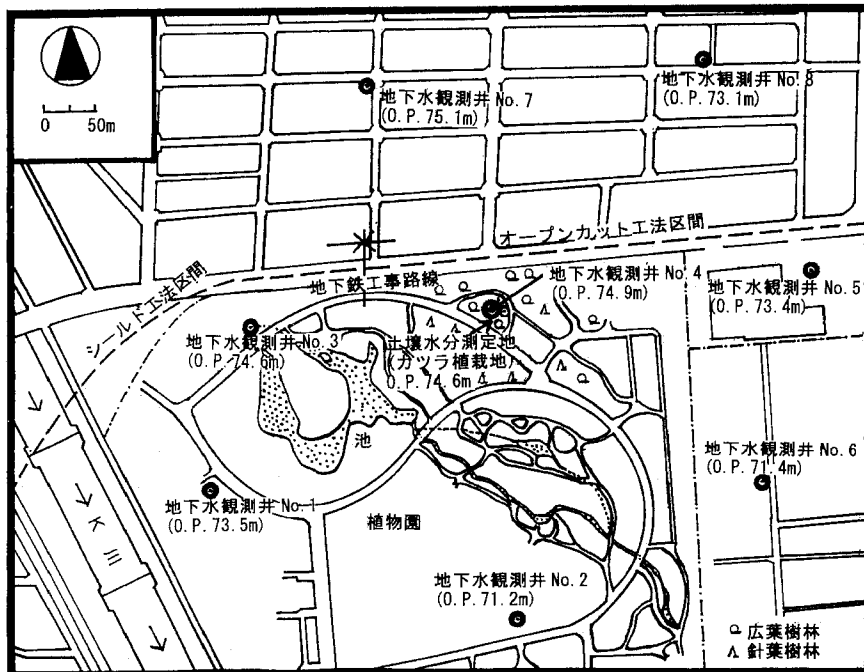
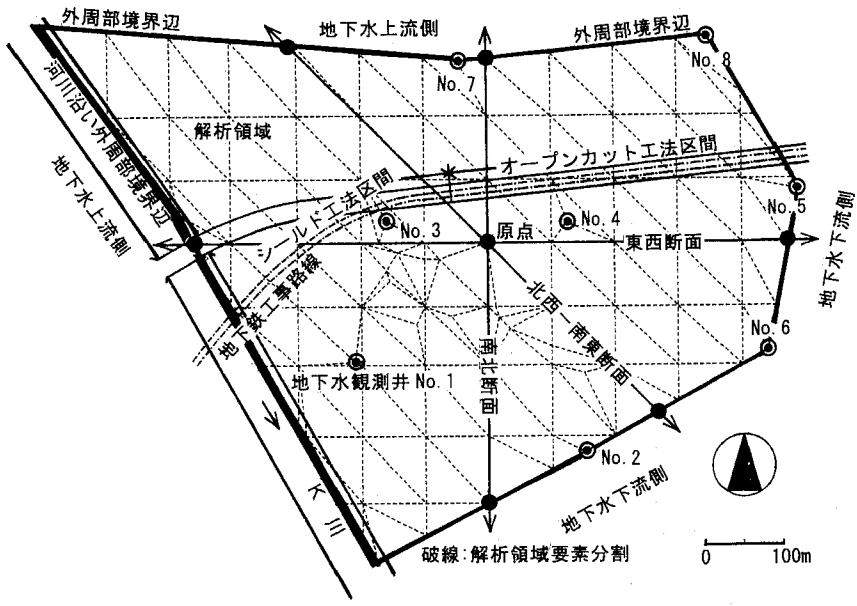
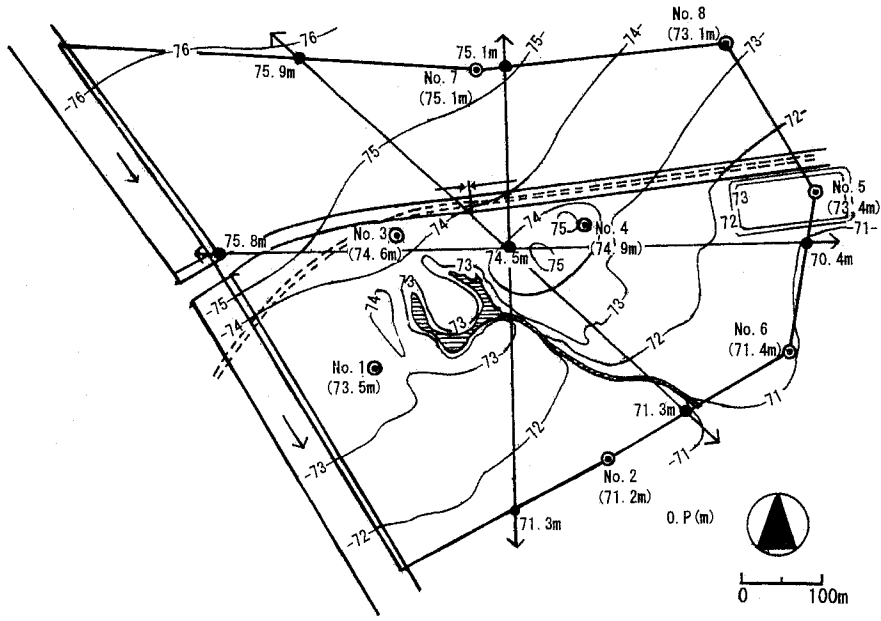


図-1 調査対象地と地下水観測井の概要

Fig.1 General map of the area investigated showing the locations of groundwater observation well



(1)



(2)

図-2 調査対象地の地下水位解析の概要図

- (1) 有限要素法要素分割と地下水位断面設定状況
- (2) 解析領域の地形

Fig. 2 General view of the analysis area of groundwater distribution

- (1) showing mesh of finite element method and lines of cross section for analysis
- (2) showing topographical map of analysis area

定すると、原況は解析領域内で地下水を遮るものもともと無い条件なので、乱れの少ない平坦な局面状分布であったと推測し再現した。

次に、工事が進んだ現況については地下鉄工事路線沿いの地下水位の状況を考慮して、外周の境界辺に加え領域内の地下水位測定点(3節点)の水位も代入し分布を再現した。したがって、領域内の測定点における地下水位を直接反映するので工事の影響の有無が明らかな結果が得られる。さらに、原況(推定値)と現況は同じ時期の解析結果である。

これらについて作図条件を観測井番号からまとめると、原況(推定値)では図-2(1)のNo. 2, No. 5~No. 8と解析領域西側の河川(K川)に添った北西-南東に伸びた境界辺上に河川水位を代入したことになり、現況ではNo. 1, 3, 4を含めて地下水位観測井No. 1~No. 8全部と河川水位を代入したことになる。しかし、原況、現況ともに西側で河川水位をもって地下水位と仮定したのでこの河川沿いの位置では実際より地下水位が若干高く推定されていると考えられる。なお、モデリングの手法から厳しく見れば、本研究での有限要素法応用は境界辺や内部節点に地下水位を直接代入し地下水分布を再現す

る作図プログラムユーティリティとしての応用といえよう<sup>3,4,6)</sup>。

地下水位分布の結果(図-3)をみると原況の地下水流動は地下水位分布から北西方向から南東方向に生じていることが予測されたが、工事開始後の地下水流動については西北西方向から東南東方向に向かっていることが分かる。そして、オープンカット工法が採用されている工事区間では歪んだ地下水位分布を示し、明らかにシールド工法区間とは異なり、影響の大きいことが分かる。すなわち、シールド工法区間では地表面に近い土層の水の流動がスムーズに行われているが、オープンカット工法区間では地表面から深さ約30mが開削されているため浅層地下水の流動が遮断される。一方、オープンカット工法区間が短いと水の回り込みが生じて工事路線の上位側と下位側で地下水位の段差を生じないと考えられるが、調査区間はある程度の距離があることから調査結果に見られるような地下水位の急激な段差が発生していることが分かる。すなわち、地下水位分布から検討し、地下水位の急激な段差発生が明らかになったので、この地下水位分布から地下水位断面図を作成し、東西方向および南北方向の地下水位の変化をつぎに検討する。

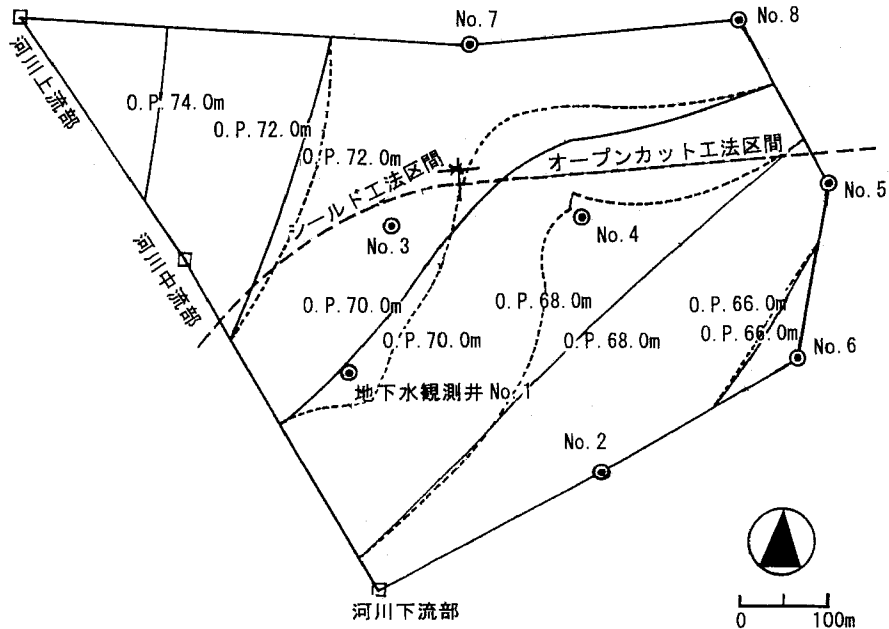


図-3 地下水位分布の現況と原況(推定値)の一例(1988年7月17日)  
(破線: 現況地下水位, 実線: 原況地下水位(推定値))

Fig. 3 Distributions of groundwater table of present condition and groundwater table estimated as original condition on July 17, 1988: broken line; distribution of present condition, solid line; distribution estimated as original condition

4. 工事開始後における地下水位断面の変化

地下水位断面は、図-2 (1) に示すように南北方向、北西から南東方向、および東西方向について分析した。

得られた地下水位断面は原点を中央にして図-4 に示す。なお、破線は実測の地下水位断面を示し、実線は工事が行われなかった場合の推定地下水位断面を示す。

さらに、参考値として上流側、原点、下流側の標高を示す。

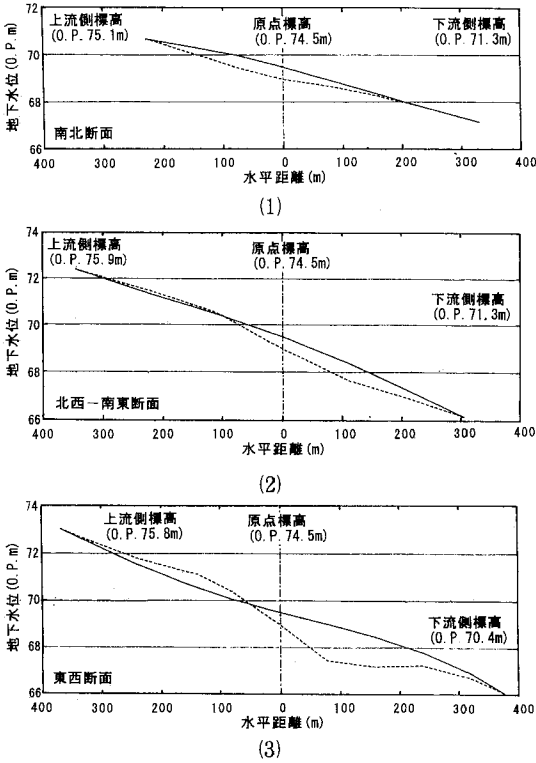


図-4 地下水位断面の一例 (1988年7月17日)  
 {破線：現況地下水位断面，実線：原況地下水位断面 (推定値)}  
 (1) 南北方向断面  
 (2) 北西-南東方向断面  
 (3) 東西方向断面

Fig. 4 Cross sections of groundwater table on July 17, 1988 : broken line ; cross section of present condition, solid line ; cross section estimated as original condition  
 (1) showing cross section in direction of North-South  
 (2) showing cross section in direction of Northwest-Southeast  
 (3) showing cross section in direction of East-West

まず、南北方向に関して図-4 (1) においては図-2 (1) 中央に示す断面設定の原点から上流側の工事路線までを中心として実線と破線が離れ、地下水位差は0.5mに達している。つぎに、北西から南東方向に関して図-4 (2) においては原点から下流側120m (地下鉄工事路線の南側160m) で実線と破線がもっとも大きく離れ、地下水位差が0.7mに達していることがわかる。上流側においては工事路線の北側で若干破線の方が高いが差は小さい。また、東西方向に関して図-4 (3) においては原点から下流側 (東側) に80m、地下水位観測井 No. 4 の近傍で地下水位差が1.6mに達し、上流側では地下水流の方向が工事により変化したためか原点から上流側 (西側) 140m、地下水位観測井 No. 3 の近傍において破線が実線より約0.5m程度高くなっていることがわかる。これらの結果から判断して、地下鉄延伸工事においてオープンカット工法を採用すると、工事路線の上位側では地下水位の上昇、下位側では地下水位の低下が発生することを明らかにすることができた。このように地下水位の時間的変化は急激であり、工事路線に沿った下位側に存在するカツラやクロマツなどの高木が植栽されている地点では前年度と比較して地下水位が大きく低下した環境にさらされたものと判断される。

そのため、樹木の土壤水分環境などは何等かの影響を受けたものと考ええる。そこで、一例としてカツラ植栽地における土壤水分環境に関する調査結果についてつぎに検討を加える。

5. カツラ植栽地における土壤水分環境

カツラ植栽地における土壤水分環境は土壤水分張力の経時変化に置き換えて検討する。土層の状況については既報<sup>8)</sup>で詳述されているのでここでは図-5に土層状況を図示することにとどめる。土壤水分張力の経時変化はテンシオメータを用いて深さ10, 30, 50, 70, 90cmを対象に追跡した。なお、測定は'87年4月から'90年12月まで行ったが、ここでは'87年4月から'87年12月末の9ヶ月間について図-6に示す。

4月においてはカツラ植栽地の浅い位置で約pF 2.9とかなり土壤乾燥が進み、果樹植栽地 (樹園地) などでは灌漑を必要とするほどの状態である。5月は深い位置では湿潤であるが、浅い位置では約pF 2.8以上と乾燥が進む。6月は茎葉繁茂の盛んな時期であり、深い位置までpF 2.5以上と土壤乾燥が見られる。7月は降雨の影響があるが乾燥傾向を示し、8月においては深い層まで約pF 2.8~2.9前後ないしこれ以上に土壤乾燥が進んだものと思われる (テンシオメータの測定限界以上の土壤乾燥が進展したと思われるが、参考に頭打ち状態を表示)。

9月は8月と同様であり、深さ0~100cmの範囲では明らかに浅い位置に存在する根群<sup>7)</sup>に対しては土壌水分不足を生じていたと言えよう。10月は降雨により、若干乾燥が緩和されている。11月はカツラなど落葉樹では落葉が始まるため、土壌乾燥はあまり進まないと予想されるが、測定結果からも乾燥が緩和されていることがわかる。一方、12月以降は落葉が終了し、中旬以降は休眠期

に入るため蒸発散量が極度に低下する。その結果、土壌は湿潤状態になる。さらに1~3月末では湿潤ないし過湿状態になることが予想され、実測値からも湿潤ないし過湿状態と判断された。したがって、この時期は過湿防止のための排水性を良好にする対策が必要となるであろう。

以上の結果から、カツラ植栽地では7月後半から10月上旬にかけて土壌乾燥が進むので、この時期には土壌水分環境はもちろん地下水環境に十分注意する必要があると考えている。一方、工事路線沿いの一部の土壌は保水力が小さいので土壌が乾燥し易い傾向にあり、地下水位の急変には影響されやすいと考えられる。本調査地のようにオープンカット工法で行われるような地下鉄工事に対しては工事路線下流側で大きな地下水位の低下が発生し易いことは当然考えられることであり、前述したように実際に地下水環境が急変している。そこで、このような土壌水分環境と地下水環境の下で高木が多く植栽されている樹林地では影響が無かったどうかを調査しているので、つぎに述べる。

深さ G.L.-cm	柱状 図	名称	色調	観察
10		表土	暗茶	草根混入
45		礫混り粘土	暗灰 暗茶	φ3mm位の根を細い根がとりまいて いる
62		礫混り砂	茶	マサ土主体 マサ土部分には根が見られない
80		粘土	暗緑	
120		礫混り粘土	焦茶	G.L.-85cmにφ20mmの根がある G.L.-120cmまでヒゲ根がのびている

\*: 土質工学会法による

図-5 高木(カツラ)植栽地の地質状況

Fig. 5 Soil profile of planting site of higher tree 'Katsura'

### 6. 高木植栽地における樹木の生育状況

樹木植栽地における生育調査は'88年1月から'89年8月にかけて行った。樹林地の生育調査結果は表-1、調査位置は図-1中央部凡例で示され、図-2(2)中央部No.4地点周辺の地下鉄工事路線沿いの下流側一帯を中心として広、針葉樹が植栽された地域である。

調査した結果、低木および灌木植栽地<sup>8)</sup>での枯死および衰弱したと判断される樹木は観察されなかった。

これに対して高木植栽地ではケヤキ、クロマツ、カツラなどの樹高約13~22mに生長している高木で枯死木

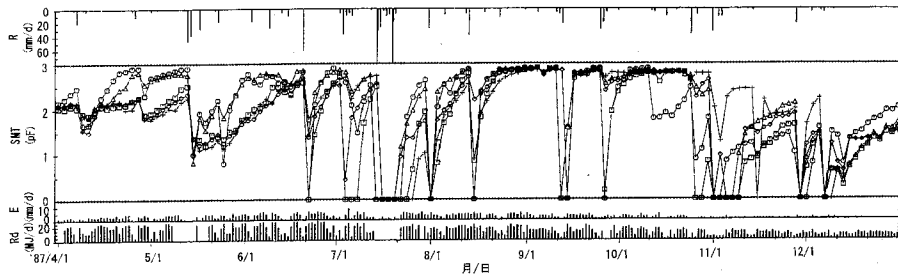


図-6 地下鉄工事路線沿いのカツラ植栽地における土壌水分張力の経時変化の一例 (1987年4月1日~12月31日)

Fig. 6 Fluctuation of soil moisture tension in the planting site of 'Katura' situated along the route of subway construction (from April 1, 1987 to Dec. 31): R; rainfall, SMT; soil moisture tension, E; evaporation, Rd; solar radiation: ○; depth of 10 cm, △; 30 cm, □; 50 cm, ◇; 70 cm, +; 90 cm

表-1 工事路線沿いの高木植栽地の生長調査例

Table 1 Observation of growth of higher trees in the site situated along the route of subway construction

番号	樹種名	枯死木	衰弱木	腕高直径(cm)	樹高(m)
1	ケヤキ		●		
2	エノキ		●		
3	ケヤキ	▲		63	18
4	クロマツ	▲		52	20
5	クロマツ	▲		75	22
6	カツラ	▲		38	19
7	カツラ	▲		40	19
8	カツラ	▲		41	19
9	カツラ		●		
10	カツラ	▲		65	20
11	カツラ		●		
12	カツラ		●		
13	カツラ		●		
14	カツラ	▲		60	19
15	カツラ	▲		59	20
16	カツラ	▲		65	20
17	チョウセンアカマツ	▲		41	18
18	チョウセンアカマツ	▲		32	16
19	ストロブマツ	▲		35	19
20	ストロブマツ	▲		28	17
21	ストロブマツ	▲		42	19
22	クロマツ	▲		43	17
23	クロマツ	▲		31	13
24	クロマツ	▲		47	18
25	クロマツ	▲		79	21
26	クロマツ	▲		85	21
27	ネムノキ		●		
28	カツラ	▲		37	16

▲：枯死 ●：衰弱

および衰弱木が観察された。すなわち、枯死した樹木についてはケヤキで樹高約 18 m の高木が 1 本、クロマツで樹高約 13~22 m の高木が 7 本、チョウセンアカマツで樹高約 16~18 m の高木が 2 本、ストロブマツで樹高約 17~19 m の高木が 3 本、カツラで樹高約 16~20 m

の高木が 8 本観察された。また、衰弱した樹木についてはケヤキが 1 本、エノキが 1 本、ネムノキが 1 本、カツラが 4 本観察された。一方、聞き取り調査結果ではこれらの樹林地は 1978 年の大旱魃に対しても全く被害は受け無かったと聞いている。しかし、結果としてオープン

カット工法による地下鉄延伸工事を行ったことにより枯死木や衰弱木にカツラとクロマツが多く観察されたことは地下水環境と土壌水分環境の変化などによる影響と言わざるを得ないと考えている。この理由については、カツラは土壌乾燥に弱い樹木（水辺に近い所に植栽）であり、クロマツでは土壌乾燥に弱い（水辺に近い所に植栽されていることが多い）ことと衰弱した樹木にマツクイムシなどの影響が作用したものと考えている。したがって、高木に対しては土壌水分環境はもちろん、地下水環境も生育に重要であり、樹木の対応し切れないような水環境の急変、悪化は出来る限り回避する地下工法上の対策が必要と考えている。

## 7. あとがき

本研究では地下鉄延伸工事が行われていた工事区間の上位側と下位側における地下水環境と工事路線の下位側に存在する樹林地における土壌水分環境の実態調査を行った。その結果、地下鉄延伸工事中には上位側と下位側に地下水位の段差が生じ、原況の地下水環境が急変したことが分かった。また、調査地域である植物園にある樹林地では保水力が小さく土壌乾燥が進展し易い状況にあることを明らかに出来た。さらに、これらの地下水環境の急変と乾燥し易い土壌水分環境に対して土壌乾燥に弱いカツラやクロマツなどは影響を受けやすく、枯死したり、衰弱しやすいくことがわかった。一方、このような環境に一時的にも耐えた樹木に対して筆者らの指摘もあり、直ちに高木植栽地を重点的にした灌漑施設の設置が行われており、高木植栽では樹木生長が徐々に回復したと予測される。また、最近の現地でも観察した結果では、その後に新たな枯死木や衰弱木はほとんど観察されなかったし、植物園の管理者から聞き取り調査を行ったが、同様の回答を得ている。

最後に、本研究を遂行するにあたり終始懇切な指導と

助言を頂いた大阪府立大学名誉教授、手島三二博士および研究協力を頂いた専攻生、青井 潤君と上田 康君に心から謝意を表するとともに研究場所の提供と助言を頂いた木幡欣一氏ならびに多大のご協力を頂いた関係者各位に謝意を表する次第である。

## 引用文献

- 1) 佐藤敬二 (1973): 新造林学, 地球社, 東京. pp. 1~400.
- 2) 三野 徹他 (1978): 建設工事と地下水—5 土地利用と広域水収支—, 土と基礎, 26 (1): 83~90.
- 3) Larry J. Segerlind (1978): 応用有限要素法解析, 丸善, 東京. pp. 329~346.
- 4) 小 貫 天, 根本佐久良雄 (1983): パーソナルコンピュータによる有限要素法入門, オーム社, 東京. pp. 29~72.
- 5) 三野 徹 (1987): 地下水入門・新知識 (その8) — 農地と地下水涵養—, 農土誌, 55 (10): 55~61.
- 6) 江守一郎 (1988): 模型実験の理論と応用第2版, 技報堂出版, 東京. pp. 1~263.
- 7) 苅住 昇 (1991): 新装版 樹木根系図説, 誠文堂新光社, 東京. pp. 1~1108.
- 8) 矢部勝彦他 (1992): 市街地内の造成樹林地と樹園地の土壌特性, 農土論集, 160: 89~94.
- 9) 谷川寅彦他 (1992): 市街地内の造成樹林地と樹園地の土壌水分特性, 農土論集, 160: 95~100.
- 10) 矢部勝彦他 (1995): 市街地内の造成樹林地における季節別土壌水の動態, 農土論集, 180: 111~117.
- 11) 矢部勝彦他 (1995): 市街地内の各種植生における季節別土壌水の動態, 農土論集, 180: 119~126.

(受稿年月日 1995年 2月 1日)  
(受理年月日 1995年 11月 15日)