

東京周辺地盤における 地下構造物の設計地下水位設定方法

木佐 貫 徹¹・西垣 誠²・野田 誠司³・山下 知之⁴

¹正会員 工修 (財)高速道路技術センター(現 鹿島建設(株))(〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8)

kisanuki@kajima.com

²正会員 工博 岡山大学教授 環境理工学部環境デザイン工学科 (〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1)

n_makoto@cc.okayama-u.ac.jp

³正会員 M.S. 日本道路公団 東京建設局千葉工事事務所(〒261-0014 千葉市美浜区若葉 2-9-3)

Seiji.Noda@jhnet.go.jp

⁴正会員 工修 日本道路公団 東京建設局千葉工事事務所(〒261-0014 千葉市美浜区若葉 2-9-3)

Tomoyuki.Yamashita@jhnet.go.jp

構造物の設計方法が、設計耐用期間に構造物に求められている要求性能を保持すること目的とした性能照査型に移行しようとしている。このため、地下構造物の設計では、作用荷重としての設計耐用期間の設計地下水位が益々重要となってきている。本論文は、東京周辺地盤での公共観測結果を基に、涵養源で特に降雨と地下水位の相関性を明らかにし、再現確率降雨量を基に性能照査型設計法に適用できる設計地下水位設定方法を提案し考察したものである。

Key Words : *underground structure, design groundwater, life cycle of the structure, probable rainfall intensity*

1. はじめに

東京周辺の地形は、東西両側に台地部が中央部に低地があり、豊富な地下水が存在し、古くからこれを利用してきた。特に、昭和30年以降の急激な地下水利用に伴い地下水位が低下し、地盤沈下をはじめとする数々の障害を引き起こしてきた。この対策として、地下水揚水規制が制定され、地下水位が回復してきている。さらに近年では、年平均降雨量には大きな変化が見られないものの、地球温暖化の影響等により異常降雨が発生している。地下水の涵養源は、地表に降る雨や河川等の浸透である。台地等では、この影響により不圧地下水位が急激に上昇し地下構造物の安定を損なった災害も発生した。

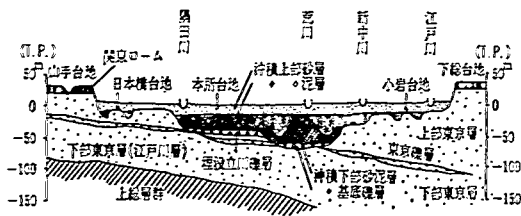
地下構造物の設計においては、地盤構造(地層構成、連続性)と地盤特性(物理、強度、変形、圧密)および地下水(地下水位、透水性)の情報を的確に評価することが極めて重要である。特に、設計地下水位については、施工時の掘削底面や仮設構造部材の安定性に、完成時の地下構造物の安定および健全

性等に影響を及ぼす。地下水位は、地形、河川、降雨量、潮位等の要因によって変化しているが、従来設計地下水位は、地盤調査で確認された地下水位を用いてきた例が多く、特に涵養源(降雨量)との相関性が、論じられて来なかった。さらに、近年では構造物の設計方法が、設計耐用期間に構造物に求められている要求性能を保持すること目的とした性能照査型に移行しようとしている。このため、作用荷重としての設計耐用期間の設計地下水位が、益々重要となってきている。

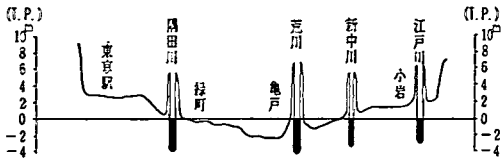
本論文では、東京周辺地盤をモデルとして、地盤構成や公共地下水位観測結果を基に、涵養源で、特に降雨量と地下水位の相関性を明らかにし、再現確率降雨量を基に性能照査型設計法に適用できる設計地下水位を提案し考察したものである。

2. 東京周辺の地盤構造

東京周辺の東西方向断面を図-1に示す¹⁾。主要



(a) 土層断面図



(b) 地盤高

図-1 東西方向 (A-A) 概略断面図¹⁾

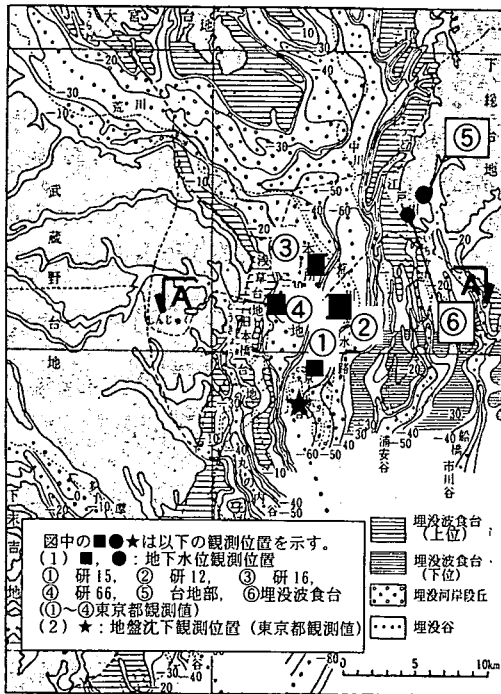


図-2 基底面分布図¹⁾

な地層の概要を上位から分類すると、関東ローム層、有楽町層（沖積上部砂層および泥層）、七号地層（沖積下部砂泥層）、東京層（洪積層）に分類され、以下に、この地層の概要を述べる。

関東ローム層は、台地部に分布し 4~5mの層厚で火山灰質粘性土である。ローム層は、一般に水を透しにくく、かつ水を含むと軟弱になる特徴がある。有楽町層は、低地部に広い面積にわたり分布し上部砂層と上部泥層に分類される。上部砂層は、5~10

mの層厚でN値5~10程度を持ち、細砂ないし泥質細砂からなり連続性が良い。上部泥層は上部砂層下の厚いシルト質層で、N値は一般に5以下である。この層が厚い地域では、地盤沈下が生じやすい。七号地層は、有楽町層下に主として砂層と粘性土からなる構造を持ち、両層の境は-25~-40m付近である。N値は、砂で10~30、粘性土で5~10程度である。この七号地層の下部には、埋没礫層や沖積基底礫層が存在する。東京層は、武蔵野台地東部に広く分布し、上総層群の上に連なる海成層で、砂層を主とし礫層を伴う地層である。

このような地層は、図-2に示す基底面上に分布している¹⁾。基底面は、複雑な地形を示しているが大きく分類すると、段丘状平坦面、埋没谷、台地の組合せである。段丘状平坦面は、台地の縁をとりまくように分布する埋没波食台と、段丘平坦面の谷沿いに分布する埋没河岸段丘に区分される。各基底層上の堆積特徴は、以下のとおりである。

- ①埋没波食台は、かつての洪積台地（東京層）が波の侵食作用で形成されたもので、上部に沖積層（有楽町層）が堆積している。
- ②埋没河岸段丘は、多摩川や荒川沿いに分布し、台地とつながり、砂礫層と関東ローム層あるいは、沖積層（有楽町層）が堆積している。
- ③埋没谷は、代表的なものとして東京低地、多摩川低地、市川船橋低地で、古東京川等によって侵食されたもので、谷底は、大きいもので60m程度ある。この谷の上部は、極めて軟弱な沖積層（有楽町層）が堆積している。

これらの地層は、東に傾斜しながら、連続しており、台地に降った雨が砂層に浸透し帯水層を形成している。

3. 地下水の変動状況

(1) 降雨状況

図-3および図-4に、ここ25年の日本気象協会の船橋および新木場の降雨量観測結果を示す。同地区の近年の年間降雨量は、年間平均降雨量（1250mm程度）を下回っている。年間では、6月から10月にかけて降雨量が多くなり、同期間の月別平均降雨量は150mm程度である。一方、大手町の年平均気温を示した図-5より、ここ20年間に、気温は、約2度上昇してきている。さらに、同図から30mm以上の降雨量を観測した日数は、ここ数年、年間降雨量が年間平均降雨量を下回っているのに対し、逆に増加する傾向を示している。

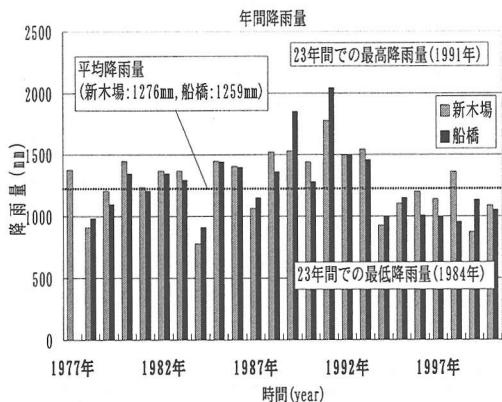


図-3 船橋および新木場年間降雨量の推移

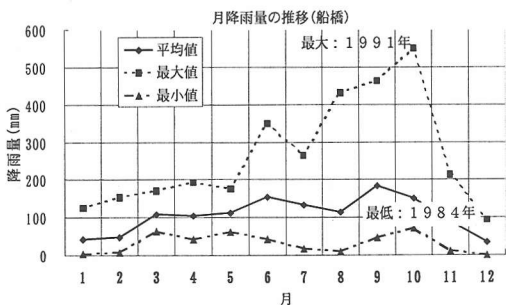


図-4 船橋の月降雨量の推移

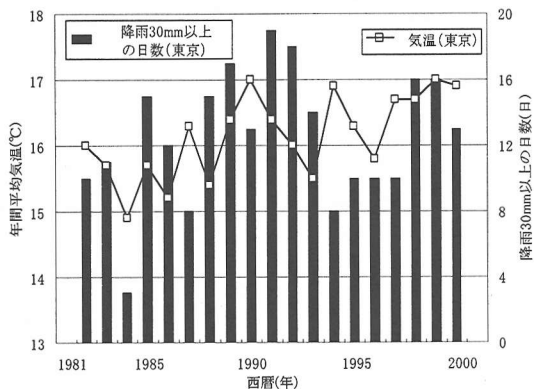


図-5 東京(大手町)の降雨量と気温の変化

(2) 地下水の利用状況の変遷

地下水は、生活用水源として古くから開発利用されてきたが、揚水技術が近代化するまで地下水使用量は量的に少なく、自然の涵養量と平衡する程度であった。しかし、大正時代から、さく井技術が発達し、大正時代から昭和30年頃までは、浅井戸による地下水採取が、昭和30年以降は、掘削および揚水技術の進歩により深井戸による大量の地下水採取が行われるようになった。このころ東京周辺での

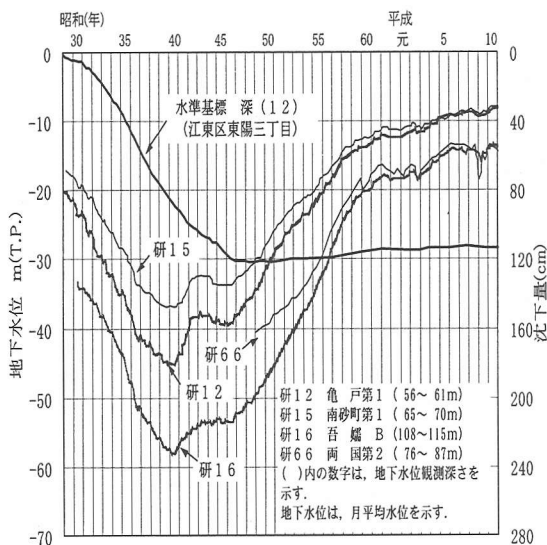


図-6 被圧地下水位と地盤沈下の推移 (埋没谷(東京低地)²⁾)

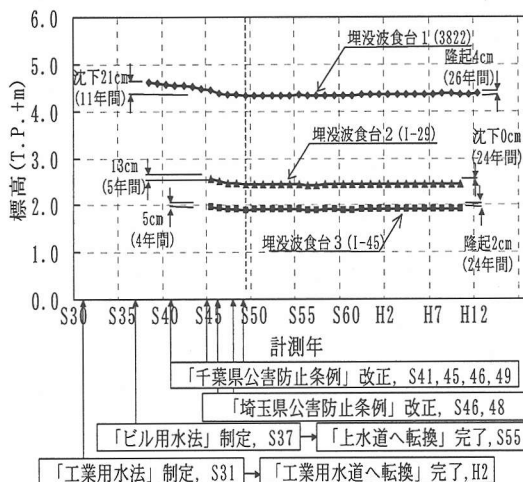


図-7 江戸川左岸部(市川市)での地盤沈下経年変化³⁾

地下水利用先は、工業用と水道用とが、ほぼ同一であった。このような水需要の増大に伴い多量の地下水が採取され、図-6に示す観測井の地下水位は、急激に低下し、かつ広範な地盤沈下が見られるようになった²⁾。この対策として、工業用水法(昭和31年(1956))による工業用水道への転換と、ビル用水法(昭和37年(1962))による建築物用地下水採取規制および東京都、埼玉県、千葉県での公害防止条例(昭和41年(1966))以降、地下水採取規制により地盤沈下傾向が鈍化してきた。

埋没波食台である江戸川左岸部(市川市)での地

盤沈下の経年変化を図-7 示すが³⁾、これらの地下水に関する規制により、昭和 50 年以降、地盤沈下が収束してきていることがわかる。さらに、近年では地盤が隆起する箇所も見られている。このことは涵養源である関東北部や下総等の台地に降った雨が、地下に浸透し地下水量が回復してきているためと考えられる。

(3) 地下水位変動状況

ここでは、上記基底面の特徴を踏まえ、著者が新たに設置した地下水位観測地点のうち、図-2 に示す江戸川左岸部(市川市)の台地と埋没波食台の観測結果、および図-6 を用いて考察する。また地下水位変動は、不圧地下水位と被圧地下水位ではその変動形態が異なるため、ここでは両者を区別して述べる。

a) 不圧地下水位

図-8 から図-9 は、江戸川左岸部(市川市)の台地と埋没波食台の過去 4 年間の不圧地下水位変動量と降雨量(船橋)の観測結果である。この結果から不圧地下水位は、全体的に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傾向がある。この傾向は、降雨量と良い相関を示しており不圧地下水位の変動が、降雨量に大きく支配されていることがわかる。さらに、ここ数年間の年間降雨量は、ほぼ一定であり、平均地下水位および年間地下水位変動量も、降雨量と相関し、顕著な上昇低下傾向というものはなく、全体としては一定の値を示している。一方、地形ごとの年間地下水位変動量は台地 비해、埋没波食台が若干大きな変動量を示している。また、降雨量と観測地下水位を見ると、同地区の台地および埋没波食台の不圧地下水位は、降雨量に対して敏感に反応している。

b) 被圧地下水位

図-6 は、埋没谷の下部東京層(T.P.-60m以深)での被圧地下水位の観測結果である。被圧地下水位(例えば、南砂町第1)は、昭和 40 年代前半まで低下し、その後、数々の規制効果により急激に上昇する傾向を示していたが、昭和 60 年頃からは、上昇傾向が緩やかになってきている。また、各観測地点での最低地下水位が異なり、さらに季節変動量も小さい。これは各地域の地下水揚水状況を反映したものであると考えられる。

図-10 から図-11 は、江戸川左岸部(市川市)の台地と埋没波食台で上部東京層(T.P.-10m付近)に設置した観測井を用いて、過去 4 年間の被圧地下水位変動量と降雨量(船橋)の観測結果である。地形ごとの年間地下水位変動量は、不圧地下水位とは

逆に、台地の変動量が若干大きな変動量を示している。また、台地では、埋没波食台と比べ季節間の地下水位変動量に顕著な差が見られる。さらに、被圧地下水位の変動は、不圧地下水位と同様の傾向を示し、降雨量と良い相関を示しており、降雨量に大き

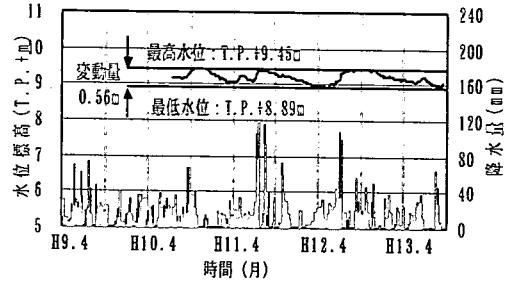


図-8 不圧地下水位と降雨量(台地)

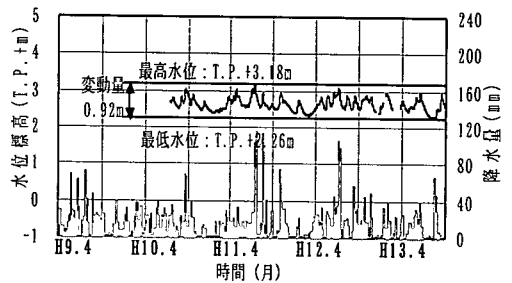


図-9 不圧地下水位と降雨量(埋没波食台)

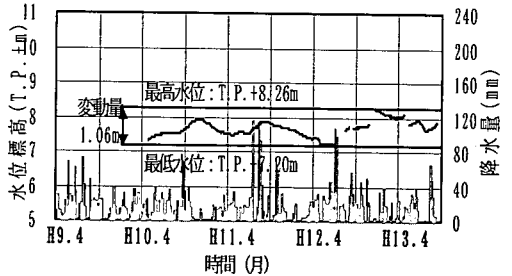


図-10 被圧地下水位と降雨量(台地)

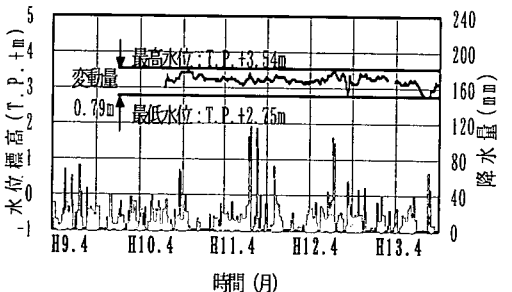


図-11 被圧地下水位と降雨量(埋没波食台)

く支配されていることがわかる。しかし、不圧地下水と比べると台地で顕著な傾向が見られるように、降雨量のピークと最高および最低地下水位の観測月が、やや遅れていることがわかる。この要因としては、涵養源からの地下水の供給に時間を要することや、各地域の地下水揚水状況を反映したものであると考えられる。

この様に、不圧および上部東京層での被圧地下水は、帯水層の粒度や分布構成にもよるが地形によって変動量に特徴が生じ、かつ降雨量との相関関係が強いことがわかる。

4. 地下構造物の設計地下水位の考え方

ここでは、前記に述べた地下水位の特徴をふまえて設計地下水位の設定の考え方について述べる。

(1) 設計地下水位の設定のための留意事項

構造物の設計基準は、材料の劣化、品質低下が生じて、構造物に求められている要求性能を、設計耐用期間にわたり保持することを目的とする性能照査型に移行している。この設計方法を地下構造物に適用する場合、常時荷重（土圧、水圧）に対する耐久性および水密性については示されているが、前記に示す地下水位の特徴を考慮した設計地下水位設定方法は示されていない。

例えば、日本道路協会道路土工仮設構造物工指針（平成11年3月）によると、構造物に作用する水位は、地下水位としており、地下水位の設定方法については述べられていない⁹⁾。慣用的には、地盤調査で得られた孔内水位を設計地下水位として設定するケースが多い。ここで砂質地盤（内部摩擦角30度相当、地下水位が地表面下1m）で地下10mでの揚圧力は、地下水位が1m上昇すると、約10%揚圧力が増加する。また、表-1に各設計基準の盤ぶくれ（荷重均等法（構造物重量/揚圧力の比））の安全率を示すが、半数の基準の安全率は、1.1である。設計地下水位には、前章で述べたように地下水位の季節変動幅、傾向および降雨量との相関性を考慮しないと、設計耐用期間に危険な状態が生じる。例えば、武蔵野台地に位置し掘削構造のJR武蔵野線新小平駅は、平成3年8月から10月上旬まで台風等の影響により、同地区に同期間で年間降雨量の2倍強の降雨量により地下水位が著しく上昇し（2.5m程度上昇）地下水の揚圧力によって掘削構造物が最大1.3m隆起した。興石によると、この降雨量は100年再現確率降雨量で発生したもので、台地は前

表-1 盤ぶくれの安全率

No.	基準類	盤ぶくれ	
		検討方法	所要安全率
1	山留め設計施工指針 日本建築学会, (S61.3)	荷重均等法	1.0
2	トンネル標準示方書開削編 土木学会, (H8.7)	荷重均等法	1.1
3	道路土工仮設構造物工指針 日本道路協会, (H11.3)	荷重均等法	1.1
4	共同溝設計指針 日本道路協会, (S61.3)	荷重均等法	1.2
5	仮設構造物設計基準 首都高速道路公団, (H2.10)	荷重均等法	1.1
6	設計要領第2集 日本道路公団, (H10.7)	荷重均等法	1.0

記で述べたように、地下水位と降雨量の相関性が極めてよく、この影響であることを指摘している⁵⁾。

この様に地下水位の上昇は、地下構造物の施工時に異常出水や盤ぶくれ現象の発生を起したり、構造物完成後には、極端な場合、構造物の浮き上がりや破壊等につながる可能性がある。従って設計地下水位の取り扱いが重要となる。以下に、地下構造物の設計地下水位設定のための留意事項について述べる。

a) 地盤構造の把握

地下水の入れ物としての地盤構造を3次元的に把握する必要がある。3.で述べたように、台地あるいは波食台地形は、特に、降雨量と地下水位の連動性が強く、各帯水層の広がりや上下の連続性について十分に把握する必要がある。的確な調査深度や地層の広がりやを評価するためには、地盤図等の既往の地盤資料を活用するのが有効である。

b) 地下水位の長期連続観測

地下水位は、種々の要因によって変動している。地盤調査で確認した地下水位は、あくまでも調査を実施した時点での地下水位である。設計時期と構造物供用後では、地下水位が変化することが十分に考えられる。このため、対象とする帯水層に観測井を設置し、連続的に1年以上地下水位を観測する必要がある。この際、降雨量と周辺の河川水位等も観測し、地下水位との相関性を把握する必要がある。

c) 地下水位変動傾向の把握

地盤沈下が収束する傾向を示している地域では地下水位が回復（上昇）する傾向が認められる。一方現在、地盤沈下が進行している地域では、沈下対策として地下水の取水制限や涵養源の確保等の対策が講じられ、今後地下水が上昇することが予想される。公共観測井の観測結果や、地盤沈下報告書等を利用して、地下水位変動傾向を把握する必要がある。

d) 揚水状況の把握

3. で述べたように、埋没波食台や埋没谷地形の被圧地下水位は、季節変動幅と揚水量の相関関係によって大きく変化をする。揚水井戸は、各地方公共団体の保健所にある井戸台帳等を参考にし、地域の利用状況を調査し、公共観測井記録を基に、揚水状況を十分に把握する必要がある。

(2) 設計地下水位の設定方法

設計地下水位の設定方法には、色々な方法があるが、ここでは、地下水位と降雨量の相関性が高い地区に対し、性能照査型の設計地下水位の設定方法について述べる。

a) 設計区分の設定

JR 武蔵野線新小平駅の事例や観測降雨量を見ても、100年確率の降雨量での設計地下水位が上限と考えられる。しかし、いかなる条件下での地下水位に対しても地下構造物が損傷を受けないように設定することは、経済性を度外視したものになる。従って、ここでは、設計地下水位を大きく三つのレベルに設定する。

① 常時地下水位

年平均降雨量によって発生する地下水位。

② 施工時地下水位

事業規模にもよるが、施工期間に発生する確率が高い降雨量によって発生する地下水位。

③ 耐用限界地下水位

設計耐用期間内に遭遇する確率は低い、極めて構造物に与える影響が大きい降雨量によって発生する地下水位。

b) 設計照査方針

設計地下水位は、上記のように三つのレベルを設定した。この設計地下水位に対する設計照査方針は以下のとおりである。

① 常時および施工時地下水位

地下構造物が健全であることを目的とする。地下構造物の安定は、各基準に示される安全率を、部材に発生する応力度は、許容応力度以内とする。

② 耐用限界地下水位

地下構造物が軽微な被害は生じて、機能保持が可能であることを目的とする。地下構造物の安定は限界状態で安定が保て (Fs=1.0) かつ、部材に発生する応力度は、許容応力度の上限値程度とする。

c) 設計地下水位設定方法

地下構造物に用いる設計地下水位は、以下の方法にて設定する。

① 地盤および地下水流向調査

土質調査および既往の地盤資料等を基に、帯水層

の連続性および透水性を調査する。さらに、地下水の流向および、涵養源を推定するため水質調査(イオンを用いたヘキサダイアグラム)を実施し、地下水のマクロ的な流れを把握する。

② 地下水位の変動調査

地下構造物周辺の公共観測井の観測結果と降雨量を基に、地下水位の回復傾向を調査する。また新たに施工する地下構造物の周辺に、観測井を設置し季節変動幅、地下水位と降雨量の関連性を把握する。

③ 地下水と降雨量の相関性調査

②で地下水位と降雨量の相関性を評価することを述べたが、輿石によると、地下水位の上昇は、ある特定日の降雨量に左右されるのではなく、一定の連続期間の総降雨量に影響されることを指摘している⁵⁾。このため、工学的評価を行うことを目的とし各年の年間最高地下水位と、その測定月前の数ヶ月間で各1ヶ月当りの総降雨量と、この最高地下水位より相関関数を求める。図-12に、1例として各年間の最高地下水位と1ヶ月前および3ヶ月前の月降雨量の相関関係を示す。降雨量と地下水位の関数が正関数であるものは、その月降雨量に地下水位が影響を受けていること示す。また、関数が平行あるいは負の関数になる場合は、降雨量に対し明確ではなく、近隣の揚水などの影響を受けていると考えられる。このため、降雨量と地下水位の関数が、正関数であるものを検討する。

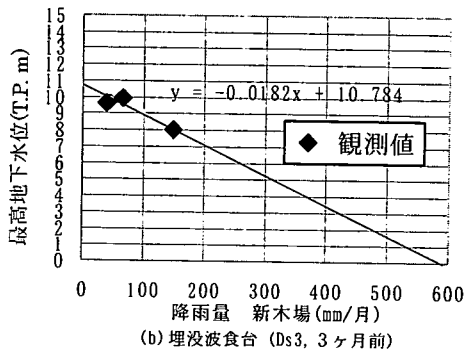
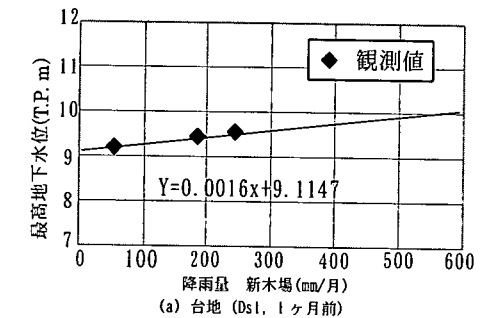


図-12 降雨量と地下水位の相関関数算定例

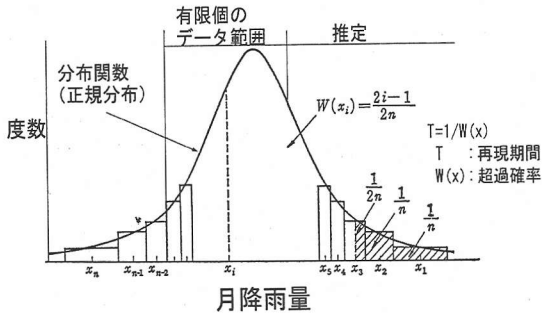


図-13 岩井の方法概念図

d) 再現確率降雨量の算定方法

再現確率降雨量は、公共観測降雨量を基に河川の洪水予測に用いられる岩井の方法を用いる⁶⁾。この方法は、降雨量のような自然現象を発生度数区分毎に適切に設定すれば、正規分布曲線に近似する。このデータを基に、再現確率降雨量を算定するものである。

e) 設計地下水位の設定

設計耐用期間および事業期間を基に、c) で得られた降雨量と地下水位の正関数とd) で得られた再現確率降雨量を用いて各設計地下水位を算定する。ただし、常時地下水位については、年平均降雨量より算定された地下水位とする。

5. 設計地下水位の設定例

ここでは、江戸川左岸部(市川市)の台地と埋没波食台の不圧および被圧地下水位観測結果と降雨量より、4. で示した設計地下水位の設定方法に従って設定した1例を示す。

(1) 設定条件

a) 地層および透水条件

図-14に同地区の地層分布を示す。台地と埋没波食台は、洪積砂層(Ds1層, Ds2層)の連続性が良く、中間に洪積粘性土(Dc1層)を介在させた成層構造である。Ds1層は不圧帯水層, Ds2層は被圧帯水層で、ともに透水係数は、 $1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 程度である。また、Dc1層の透水係数は、 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 程度である。

b) 観測データ

地下水位は、図-8から図-11に示した同地区の観測データ(1997~2000年)を、降雨データは、図-3に示した日本気象協会の船橋の観測データ(1977~2000年)を用いる。

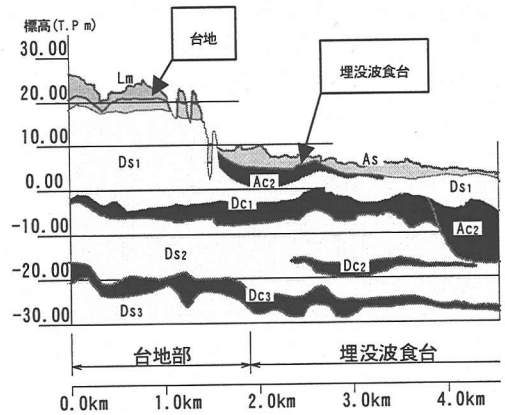


図-14 地盤断面図

c) 地下水挙動状況

同地区は、既存の揚水井戸が少なく、かつ3. で示したように、反応の緩急の差はあるが、降雨量と地下水の関連性は高い。

(2) 地下水位と降雨の相関関係

観測結果から得られた各年での各層の最高地下水位と、降雨量が各帯水層に浸透する時間を考慮し最高地下水位が観測された月の前数ヶ月で、相関関係が最も明確に評価できる降雨月を求めて得た相関式を図-15から図-18に示す。この結果より、最高地下水位と降雨量の関係は、図-15、図-16に示すように、不圧帯水層であるDs1層では1ヶ月前で図-17、図-18に示すように、被圧帯水層であるDs2層の台地では2ヶ月前、埋没波食台では1ヶ月前で明確な相関関係が得られた。この結果は、3. に述べた地下水位変動状況と良く一致していて妥当な結果であると判断できる。

(3) 確率降雨量の算定

船橋の降雨観測データを図-19の岩井の方法を用いて算定した再現確率降雨量の一覧を表-2に示す。この結果より、100年確率の9月降雨量は、約

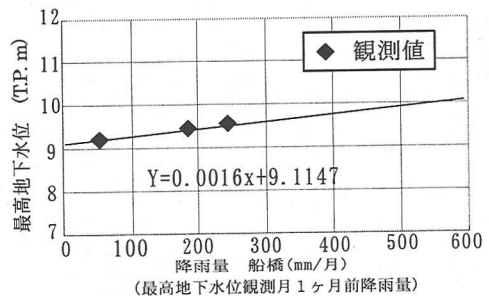


図-15 不圧地下水位相関関係(台地)

530mm/月である。JR 武蔵野線新小平駅の災害が生じた1991年9月の船橋観測雨量は、550mm/月で奥石の結果³⁾と比較しても妥当な結果であると言える。

(4) 設計地下水水位の設定

設計地下水水位は、(2)で得られた相関関数式に(3)で得られた船橋の再現確率降雨量を用いて算

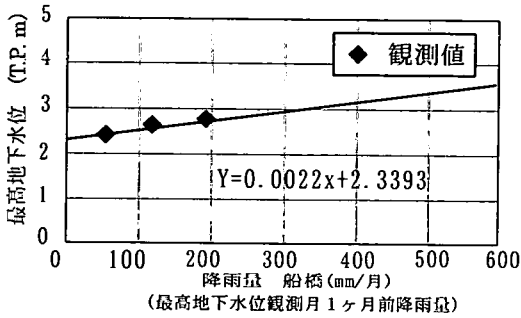


図-16 不圧地下水水位相関関係 (埋没波食台)

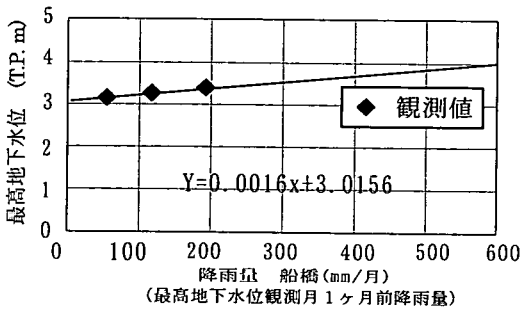


図-17 被圧地下水水位相関関係 (台地)

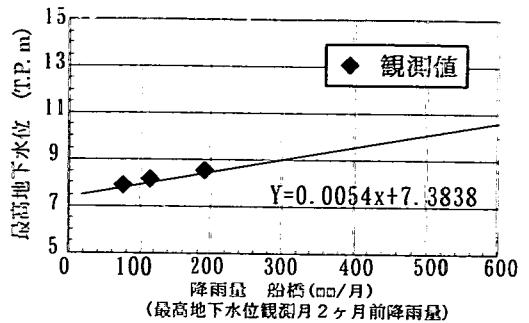


図-18 被圧地下水水位相関関係 (埋没波食台)

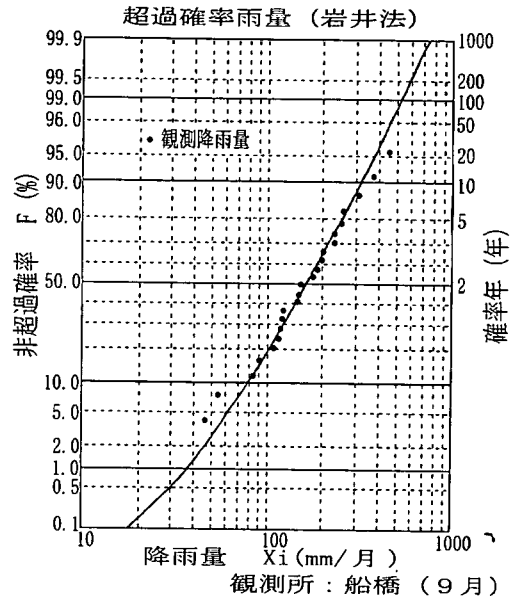


図-19 再現確率降雨量の関数

表-2 再現確率降雨量 (mm/月)

	5年		10年		15年		25年		50年		70年		100年	
	新木場	船橋	新木場	船橋	新木場	船橋	新木場	船橋	新木場	船橋	新木場	船橋	新木場	船橋
1月	60	63	82	82	96	92	113	106	139	125	152	134	166	144
2月	67	69	91	95	106	111	125	132	155	165	169	182	185	200
3月	143	135	165	157	176	170	190	186	208	209	216	219	225	231
4月	140	133	164	154	177	166	192	180	212	198	221	206	230	215
5月	153	141	179	168	192	183	207	201	227	228	236	241	245	255
6月	217	209	266	253	293	278	325	309	371	352	393	373	416	395
7月	182	185	227	226	253	249	284	276	329	314	350	333	373	352
8月	201	170	284	244	336	292	404	355	510	456	564	508	624	567
9月	252	253	315	315	351	352	395	397	459	461	490	493	523	527
10月	200	201	270	273	314	319	369	378	454	471	497	518	545	571
11月	129	125	168	159	191	179	220	203	263	238	284	255	307	273
12月	53	53	72	71	84	82	107	95	122	115	134	125	146	135

表-3 設計地下水位(T.P.+m)

設計土層 区間	地層名	平均 地盤高	平均地下 水位	設計地下水位 (確率年)				
				5年	10年	25年	50年	100年
台地	Ds1	19.4	9.1	9.5	9.6	9.8	9.9	10.0
	Ds2		7.7	8.8	9.1	9.5	9.9	10.5
埋没 波食台	Ds1	6.5	2.7	2.9	3.0	3.2	3.4	3.6
	Ds2		3.1	3.4	3.5	3.7	3.8	3.9

定する。結果を表-3 に示す。この結果より、不圧帯水層 (Ds1 層) で、設計耐用期間を 100 年と仮定すると台地および埋没波食台で、常時設計地下水位と耐用限界設計地下水位 (100 年確率での再現確率降雨量) の間では、約 1m の水位差が生じている。また台地の被圧帯水層 (Ds2 層) では、約 3m の水位差が生じている。この結果は、武蔵野台地で JR 武蔵野線新小平駅の災害が生じた観測雨量 (100 年再現確率降雨量 (550mm/月)) で地下水位の上昇が 2.5m であったこと⁹⁾ と比較しても妥当な結果であると考えられる。さらに、事業期間を 10 年とすると各帯水層では、常時地下水位に対し約 50cm の水位差が生じる。これらの結果から江戸川左岸部 (市川市) の台地と埋没波食台の被圧および上部東京層での不圧地下水位は、極めて降雨量と地下水位の相関性が高いことが言える。

6. まとめ

本論文では、東京周辺の地盤構成と、公共観測結果 (日本気象協会降雨量観測結果および公共地下水位観測結果) を基に、涵養源で特に降雨量と地下水位の相関性について、地盤構成に着目して考察した。また、設計地下水位が、性能照査型設計法に対応するため設計区分と設計地下水位設定法、および設計照査方法について提案し、江戸川左岸部の観測結果を基に検討し考察した。この結果は、以下のとおりである。

(1) 東京周辺部の台地および埋没波食台の不圧および上部東京層での被圧帯水層の地下水位は、降雨量との相関性が高いことがわかった。

(2) 設計地下水位には、数々の要因があるが、ここでは、地下水位と降雨量の相関関係式に再現確率降雨量の概念を用いて設定できることを示した。こ

の際、地下水の浸透時間を考慮し、1ヶ月当りの総降雨量を用いると良い相関性が得られた。

(3) 設計地下水位設定区分は、常時、施工時、耐用限界地下水位とし、各設計照査方法を提案した。特に経済性等を考慮し、耐用限界地下水位に対する照査は、構造物の安定については、限界状態、構造部材については、許容応力度の上限值程度を適用することを提案した。

(4) 江戸川左岸部の観測結果を基に、本方法を用いて検討した結果、100 年再現確率降雨量で、埋没波食台の不圧帯水層の地下水位で約 1m、台地の被圧帯水層で約 3m 地下水位が上昇する結果が得られた。

本設計手法は、長期連続地下水位の観測結果があつて初めて可能となる。一般に建設事業に伴う地下水位観測結果は少ないように思われるが、東京周辺には、多くの公共地下水位観測地点があり、この観測結果と建設事業地点の観測結果の相関性を明らかにすれば、有用な手法となると考えられる。このように考えると、我国の多くの地点での帯水層を対象とした地下水位の長期観測が、極めて重要であることがわかる。また、今後、地球温暖化による海面上昇や降雨強度の熱帯モンスーン型への変化等を考えると、ここで提案している設計地下水位の評価が、一層重要であることがわかる。

謝辞: 本研究を行うにあたり観測結果を快く提供していただいた関係各位に感謝いたします。また、東京都、千葉県地盤および水文については、東京都土木技術研究所杉本隆男技術部長および千葉大学理学部佐倉保教授に御指導を賜った。観測データの整理では、(株)ダイヤコンサルタント小田部淳氏に御協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 貝塚爽平: 東京の自然史, pp.148-161, 紀伊国屋書店, 1979.
- 2) 東京都土木技術研究所: 平成 13 年地盤沈下報告書, pp.16, 東京都土木技術研究所, 2001.
- 3) 千葉県環境財団: 平成 12 年度千葉県水準点測量成果表, 千葉県環境財団, 2001.
- 4) 日本道路協会: 道路土工仮設構造物工指針, pp.38, 日本道路協会, 1999.
- 5) 興石逸樹: 新小平駅および上野駅の地下水上昇に伴う変状および対策事例, 構造物と地下水に関する事例講習会講習資料, 地盤工学会, pp.1-13, 1998.

- 6) 石橋豊, 内藤貞利, 田辺邦美, 林弘宣編: 農業水文,
pp.60-88, コロナ社, 1979.

(2002.4.2 受付)

A METHOD OF DETERMINING THE GROUNDWATER LEVEL FOR
DESIGN OF UNDERGROUND STRUCTURE
IN THE GEOLOGICAL REGION AROUND TOKYO

Toru KISANUKI, Makoto NISHIGAKI, Seiji NODA
and Tomoyuki YAMASHITA

To employ performance base design criteria is going to prevail in many fields. For underground structure design, the importance to assess load of groundwater during the life cycle of the structure is going prevail. In this paper, correlation between ground water level and precipitation in the catchment area is analyzed by using a public weather observation data around Tokyo and a method is proposed to determine load of groundwater for performance base design on the basis of probable rainfall intensity.