流動方向を考慮した地下水流動阻害現象の影響評価

清水建設株式会社　正会員　○高坂　信章、　天利　　実

1. はじめに

都市部において、道路や鉄道などの線状構造物が地下に計画・建設されるケースが増えている。これら地下構造物の建設により地下水の流れが遮断され、地下水位の変動やこれにともなう種々の地盤環境への影響が問題視される例が増加してきている。このような現状をふまえ、地下水流動保全工法について設計法、対策工法などの研究が盛んに行われており、“地下水流動保全工法マニュアル”[1)]が提案されるに至った。

地下水流動保全工法の検討にあたり、構造物の建設が周辺の地盤・地下水環境に重大な影響を及ぼす可能性があるかどうかを評価する必要がある。上記マニュアルの中にもいくつかの影響評価手法が紹介されているがこれらは基本的に地下水の流動方向と構造物が直交する場合を対象としたものである。また、構造物と地下水の流動方向が任意の角度をなす場合の評価方法についても記述があるが、十分な検証がなされたものではない。

ここでは、有限要素法による平面二次元浸透流解析を行い、流動方向を考慮した影響評価法を確立する。

2. 流動方向の影響に関する既往の研究

地下水の流動方向を考慮して地下水流動阻害への影響を解析的に検討した既往の研究がいくつかある。

大東ら[2)]は、三次元浸透流解析により深度方向の帯水層遮断率を変化させたうえで、地下水流動方向の影響を評価した。平面的には解析領域を完全に遮断する構造物を条件として与え、この構造物と地下水流動方向が所定の角度をなすように水頭固定の境界条件を何種類か設定した。結果として地下水流動方向の影響は小さいとの考察がなされている。三木ら[3)]は準三次元浸透流解析において地下水の流動方向と構造物軸の交角θが変化する条件を与え、この影響を評価した。結果としてθ=60°の場合はθ=90°の場合に比べて大きな差はなく、θ=30°になると影響が小さくなることを考察している。また、高坂[4)]は構造物が地下水流動方向と直交する場合、水頭変動量が構造物の長さに比例することから、構造物が地下水流動方向と直交しない場合にも地下水流動方向と直交する方向への構造物投影長さに比例することを仮定した影響評価式を提案した。

このように既往の研究結果に見解の相違がみられ、この問題についての明確な結論が得られていない。

3. 有限要素法による平面二次元解析

地下水の流動方向と構造物の交角が水頭変動量におよぼす影響を定量的に評価することを目的として平面二次元解析（使用プログラムは準三次元解析 AC-GWAP[5)]）を実施した。解析モデルの概要を**図−1** に示す。1km 四方の解析領域の中央部に長さ 200m（半長 L=100m）又は 800m（L=400m）、幅 W=20m の構造物を建設した場合を想定している。帯水層は透水係数 k=1×10^{-2}cm/sec、厚さ D=10m とし、上流側境界は帯水層底面から 30m、下流側境界は帯水層底面から 20m の水頭を有する被圧帯水層である。上流側境界と下流側境界との水頭差ΔH=10m であり、自然状態での動水勾配は I=0.01 となる。2 種類の構造物の長さについて、地下水流動方向と構造物の交角θ を 15〜90°まで 15°刻みで 6 通りに変化させた計 12 ケースの解析を行った。また、構造物建設後十分な時間が経過した段階を想

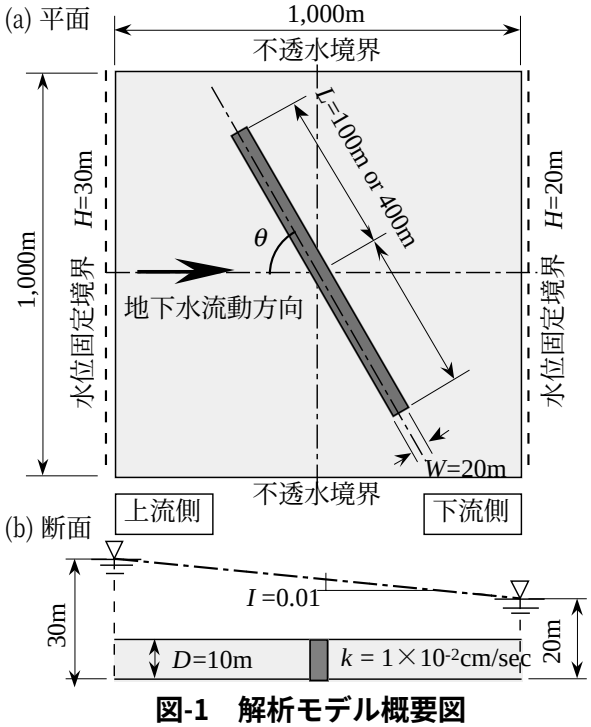

図-1　解析モデル概要図

キーワード：地下水、流動阻害、水位変動、有限要素法、流動方向、地下構造物
連絡先：東京都江東区越中島 3-4-17　TEL 03-3820-5519,　FAX 03-3820-5959, kohsaka@sit.shimz.co.jp

定して定常解析とした。

解析結果として L=100m の場合の構造物上流側側面軸方向の水頭分布を**図-2** に、水頭上昇量 s_c の分布を**図-3** に示す。**図-2** に示す水頭分布から、構造物側面の最大水頭がθ の値によらずほぼ一定の値（h=26.1m）になっていることがわかる。これは、構造物を地下水流動方向（θ =0 ° ）に設置した場合の最上流端部での自然地下水頭（h=26.0m）に相当するものである。**図-3** に示す水頭上昇量分布は、θ の値が小さくなるほど水頭上昇量が小さくなることを示している。ほぼ左右対称形の水頭上昇量分布となっており、構造物中心付近で最大水頭変動量となることを示している。**図-4** は L=400m の場合の水頭上昇量分布を示したものであり、**図-3** と同様の傾向であるが、θ =45～75 ° のとき水頭上昇のピークが下流側へ若干偏っている。

ここでは、上流側水頭上昇量について考察したが、下流側水頭低下量はこれと対称形となり同様の結果を示す。

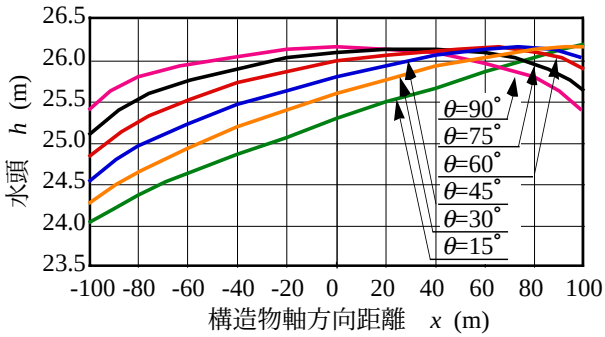

図-2 構造物側面軸方向水頭分布 (L=100m)

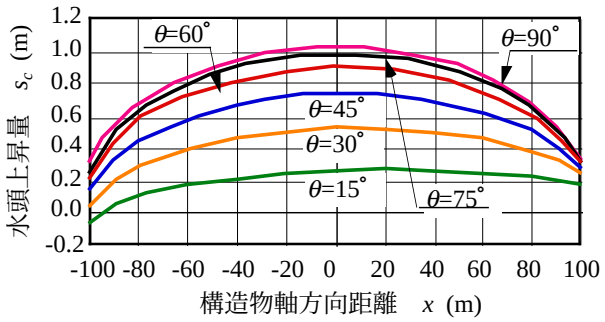

図-3 構造物側面軸方向水頭上昇量分布 (L=100m)

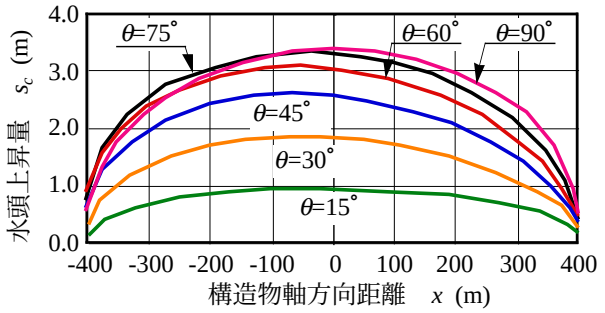

図-4 構造物側面軸方向水頭上昇量分布 (L=400m)

4. 解析結果の考察

各ケースの最大水頭変動量 $s_{c\,max}$ を地下水流動方向と構造物の交角θとの関係で**図-5** にプロットした。この図には高坂 [4]により提案された影響予測式 s_c=ILsinθ による水頭変動量も示した。解析結果と予測式計算結果の傾向が一致している。つまり、構造物が地下水流動方向と直交しない場合、構造物建設による水頭変動量が地下水流動方向と直交する方向への構造物投影長さに比例することの妥当性を示している。L=400m の解析結果が予測式計算結果に比べて小さめの値となっているが、これは影響予測式が大きめの値を算出するよう簡略化されているためである [4]。大東らの研究 [2]において地下水流動方向の影響が顕著に表れないのは、構造物が解析領域を平面的に完全遮断しているためと考えられる。

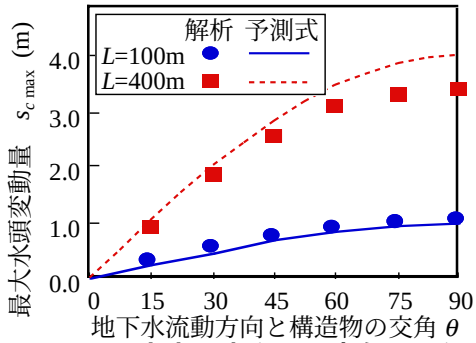

図-5 最大水頭変動量と交角の関係

5. おわりに

地下水流動方向と構造物が直交しない場合の水頭変動量が s_c=ILsinθ という予測式により表現可能であることを検証した。つまり、水頭変動量は地下水流動方向と直交する方向への構造物投影長さ（半長）Lsinθと自然状態での動水勾配 I との積で表される。

これまでの検討 [6]により、構造物が帯水層を断面的・平面的に不完全に遮断する条件での三次元影響評価式も提案されている。これらを組み合わせれば構造物建設時の水頭変動予測が簡単な手計算でできる状態となった。

【参考文献】

1) 地下水流動保全工法に関する研究委員会：地下水流動保全マニュアル（試案）、地下水地盤環境に関する研究協議会、2001.
2) 大東憲二、植下協、市川悦男：堀割道路周辺の地下水流動状態保全に関する研究、土木学会論文集、No.535, III-34, pp.13-21, 1996.
3) 三木博史、古本一司：地下構造物が地下水障害に影響を及ぼす要因について、土木技術資料、42-1, pp.74-77, 2000.
4) 高坂信章：地下水流動保全工法の設計の考え方、地下水地盤環境に関するシンポジウム '99 発表論文集、pp.115-134, 1999.
5) 西垣 誠、進士喜英：有限要素法による広域地下水挙動の解析 AC-GWAP マニュアル、地下水学会地下水シミュレーション講習会テキスト、47p. 1998.
6) 高坂信章、石川明：地下水流動阻害現象の三次元影響評価式の提案、第 36 回地盤工学研究発表会 発表講演集（投稿中）.