東関道水戸線における水文調査計画について

諸田　恵士[1]

[1]関東地方整備局　常総国道事務所　調査課

（〒300-0033 茨城県土浦市川口1-1-26　アーバンスクエア土浦ビル４F）

道路事業において切土や地盤改良工事等の施工により，周辺の井戸や湧水等の水源に影響を及ぼす可能性がある場合には，工事施工前に水量，水質等の水文調査を実施する必要がある．東関東自動車道水戸線（以下，「東関道水戸線」という）（潮来～鉾田）事業を進めるにあたっては，井戸と施工箇所との位置関係や井戸の利用形態等を整理し，リスク評価を行うことにより，これまでの調査計画のように影響を及ぼす可能性のある全ての井戸について調査を実施するのではなく，影響が及ぶ可能性の高い井戸のみを重点的に調査を実施する効率的な水文調査計画の立案を図った．

キーワード　水文調査，調査計画，地下水位低下，東関東自動車道水戸線

1. はじめに

道路事業において切土や地盤改良工事等を施工することにより，周辺の井戸や湧水等の水源に影響を与え,水量低下や水質悪化を引き起こす可能性がある．そのような恐れがある場合，工事の影響の有無を明確にするため,工事施工前に水位や水量，水質等の水文調査を実施する必要がある．

水文調査の計画を立案する際は，計画道路の本線予定地から一定範囲内の井戸等を網羅的に調査対象とする方法が考えられる．しかし，調査結果が必要となるのは施工後に井戸等の水量低下や水質悪化といった事象が発生した場合であり，事象の発生確率が低い箇所では調査結果が無駄になる可能性が高く，網羅的な調査は効率的ではない．

以上の課題から，東関道水戸線（鉾田～潮来）事業を進めるにあたり，井戸と施工箇所との位置関係や井戸の利用形態等を整理し，リスク評価の考え方を用いて効率的な水文調査計画の立案を行った．

2. 水文調査計画の検討フロー

水文調査計画の検討フローを**図-1**に示す．本稿では，井戸等の地下水に影響を与える工種を切土及び地盤改良に絞り，これらについて水文学的な知見をもとに工事の影響範囲の検討を行い，調査範囲を決定した．

調査対象井戸の水量低下のリスク評価を行うため，まず，工事の影響の受けやすさを示す「影響度」及び飲用,

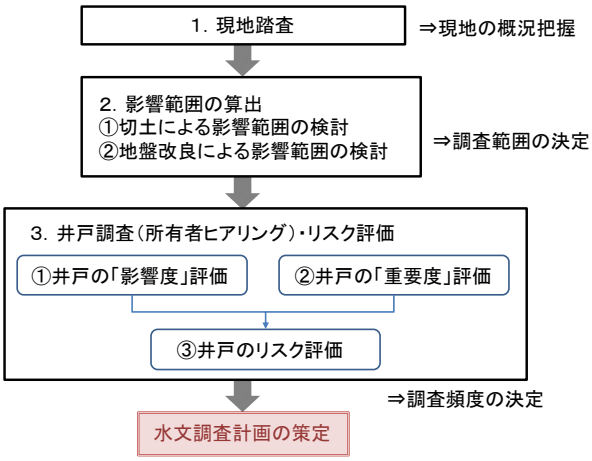


図-1 水文調査計画の検討フロー

農業用等の利用形態による井戸の「重要度」を評価した．次に，これら「影響度」及び「重要度」を要素としたリスクマトリクスを作成し，リスク評価を行い，各井戸の調査頻度を設定し，水文調査計画を立案した．

3. 東関道水戸線の事業概要及び水文環境

(1) 東関道水戸線（潮来～鉾田）の事業概要

東関道水戸線（潮来～鉾田）は，常磐自動車道三郷JCTを起点とし，北関東自動車道茨城町JCTまでの延長143kmの高速自動車国道のうち，茨城県潮来市を起点に茨城県鉾田市に至る延長30.9kmの道路である（**図-2**）．

東関道水戸線は，高速ネットワークを形成し，国際バルク戦略港湾である鹿島港や成田国際空港，茨城空港へのアクセス向上を図るとともに，災害時の代替路線（リ

図-2 東関道水戸線（潮来～鉾田）路線図

ダンダンシー）を確保し，北関東地域と東関東地域の連携交流に寄与するものである．

現在，東関道水戸線は主に函渠や橋梁等の施工を進めている段階であり，今後，切土，盛土等の土工が本格的に施工される状況である．

(2) 東関道水戸線の水文環境

図-3に東関道水戸線（潮来～鉾田）沿線における地形地質と水文環境の関係概要図を示す．

当該地域は，標高30～40mの台地とそれに挟まれる沖積低地が主体となっている．地質は，台地に洪積層，沖積低地に沖積層が分布する構成となっている．特に沖積低地は軟弱地盤である．

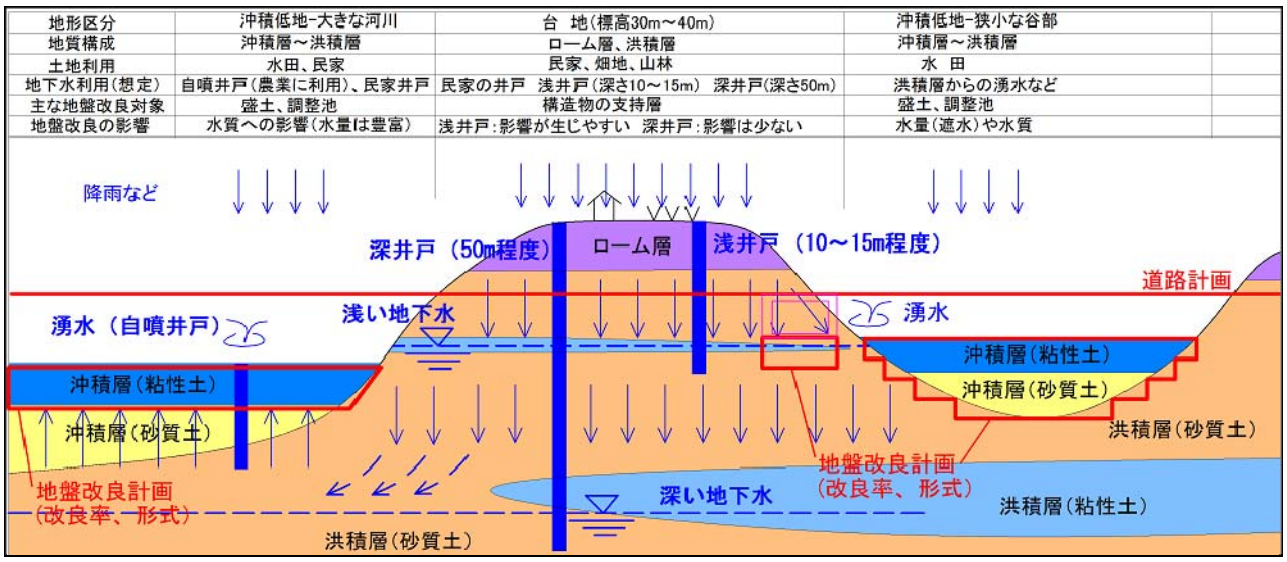
主要な地下水源は洪積層と想定され，台地上の民家の大半が洪積層を水源とする井戸を利用していると想定される．また，低地や谷部には水田等のための農業用井戸が多数確認される．

東関道水戸線（潮来～鉾田）の主な工事内容は切土，盛土，及び橋梁の施工であり，特に切土に伴って井戸の水量低下及び水質悪化が懸念される．また，盛土及び橋梁が軟弱な沖積低地に位置するため，これらに伴う地盤改良が地下水の流動阻害を引き起こすことが懸念される．

以上から，東関道水戸線（潮来～鉾田）における施工を進めるにあたり，特に着目すべき水文環境の懸念は以下の2点とした．

① 切土区間における道路計画高さと地下水位が近い箇所での浅井戸の枯渇

② 谷部の地盤改良区間において地下水の流動阻害が発生しうる箇所での井戸の枯渇



地形区分	沖積低地-大きな河川	台　地(標高30m～40m)	沖積低地-狭小な谷部
地質構成	沖積層～洪積層	ローム層、洪積層	沖積層～洪積層
土地利用	水田、民家	民家、畑地、山林	水　田
地下水利用(想定)	自噴井戸(農業に利用)、民家井戸	民家の井戸　浅井戸(深さ10～15m)　深井戸(深さ50m)	洪積層からの湧水など
主な地盤改良対象	盛土、調整池	構造物の支持層	盛土、調整池
地盤改良の影響	水質への影響(水量は豊富)	浅井戸:影響が生じやすい　深井戸:影響は少ない	水量(遮水)や水質

図-3 東関道水戸線（潮来～鉾田）の地形地質と水文環境の概要図

4.影響範囲の算出

(1) 切土区間における影響範囲

a) 高橋の水文学的方法

切土区間の影響範囲は，トンネル掘削による地下水の影響範囲の予測に用いられる「高橋の水文学的方法」[1] を準用して算出することとした．この方法は，現在の地形がある程度，地下水の流動に順応して形成されたものと仮定し，地表流の流域の平均幅員をもって影響範囲を求めるという考え方である．

影響範囲（R）は，式(1)に示すとおり，尾根と施工基面との比高（H）及び平均透水性（kt）から求められる．併せて，図-4に切土面における影響範囲（R）の概要を示す．

$$R = \sqrt{6Hkt} \tag{1}$$

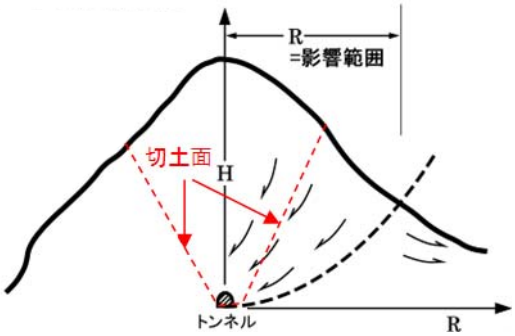


図-4 切土面における影響範囲の概要

b) 平均透水性（kt）の設定

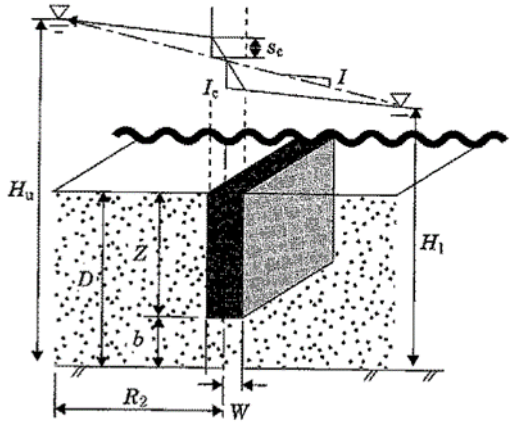
平均透水性(kt)は，東関道水戸線（潮来～鉾田）の地形のように洪積台地に挟まれる谷地形（谷津）の場合には算出が難しい．そのため，現地の地形を考慮し，60～100の範囲と想定した．今回はより広く影響範囲をとるため，kt=100と設定し，影響範囲を算出した．

(2) 地盤改良区間における影響範囲

a) 地盤改良による地下水位低下量の算出

地下水流動の阻害による上下流の水位低下の算出方法として，地盤工学会により式(2)が提案されている[2]．地下水位低下量は，流動阻害する構造物（地盤改良）の厚さと帯水層の厚さとの比率により算出される．今回は地盤改良が帯水層を全て遮断するものとして，水位低下量を算出した．併せて，図-5に流動阻害による水位低下の概要を示す．

$$Sc = \left\{\frac{1}{(1-W/R_2)\beta+W/R_2} - 1\right\} IW \tag{2}$$



Sc：地下水位低下量
W：構造物（地盤改良）の半幅
I：自然状態の地下水動水勾配
R_2：地下水流動方向の影響距離（一律 200m に設定）
β：帯水層残存率（$=b/D$）
b：帯水層残存厚さ
D：帯水層の厚さ

図-5 流動阻害による地下水位低下の概要

b) 影響範囲の算出

上記a)で算出された地下水位低下量から影響範囲を算出した．算出する式はいくつかあるが，ここでは定常状態において比較的影響範囲が広くなるジハルトの式[3]を適用した（式(3)）．影響範囲(R)は，式(3)に示すとおり，地下水位低下量(s)及び透水係数(k)から求められる．

なお，ここで透水係数(k)は，既存の地質調査における粒度試験結果をもとに算出して設定した．

$$R = 3000s\sqrt{k} \tag{3}$$

5. 井戸調査

上記**4.**により算出された影響範囲が包括されるように調査範囲を設定し，井戸調査を行った．

井戸調査にあたり，調査対象範囲にある家庭用の井戸（民家井戸）と農業用井戸の抽出を行った．民家井戸は地図から調査範囲の民家を抽出し，農業用井戸は現地踏査により井戸の位置を特定した．抽出後，個別訪問し井戸の有無や井戸の利用形態（飲用，生活用水等）についてヒアリング調査を行った．

なお，個別訪問の調査の際，井戸の取水層を把握するために井戸深度を測定する予定であったが，井戸に蓋等がかかっており，構造上測定できない井戸が多くあった．測定不可の井戸については，可能な限り所有者へのヒアリング等により情報収集を行った．

以上のとおり，調査により入手した各井戸の情報を基に井戸台帳を作成し，今後の水文調査の実施の際にも利用できるように整理した．

6. 井戸の「影響度」，「重要度」の設定

各井戸の水量低下のリスク評価を行うために，影響度及び重要度を評価するための基準を設定した．

(1) 井戸の影響度の設定

井戸の影響度は，工事の影響の受けやすさを示すものである．ここでは地下水位（取水層位置）と計画道路高さとの関係及び井戸と計画道路との水平距離の2つの要素から4段階（A～D）にランク分けを行った．**表-1**に影響度ランク区分を示す．

例えば，地下水位が計画道路より高い浅井戸でかつ，道路中心線からの距離が50m以内であれば，最も影響度が高い「A」と判定される．この道路中心線からの水平距離の閾値や上限値は，前述した水文学的方法による影響範囲の結果や参考文献等[4]を参考に設定した．

なお，浅井戸とは深さ10～15mの浅い帯水層から取水している井戸であり，深井戸とは深さ50mの深い帯水層から取水している井戸である．前述したとおり，井戸調査の結果，深度不明の井戸が見られたが，これらは安全側に考慮し，浅井戸として区分した．

表-1 各井戸の影響度ランク区分

		各井戸と計画道路の距離の関係			
		w. 25m未満	x. 25～50m	y. 50～100m	z. 100m以上
各井戸の地下水位（取水層位置）と計画道路高さの関係	a.地下水位が計画道路よりも高い浅井戸（深度不明井戸込）	A	A	B	C
	b.地下水位が計画道路よりも高い深井戸	A	B	C	D
	c.地下水位が計画道路よりもやや低い浅井戸（概ね5m未満）（深度不明井戸込）	B	B	C	D
	d.地下水位が計画道路よりもやや低い深井戸（概ね5m未満）	B	C	C	D
	e.地下水位が計画道路よりも低い浅井戸（概ね5m以上）（深度不明井戸込）	C	C	D	D
	f.地下水位が計画道路よりも低い深井戸（概ね5m以上）	D	D	D	D

(2) 井戸の重要度の設定

井戸の重要度は，各井戸使用者の生活の中での井戸の重要性を示すものであり，利用形態により4段階（①～④）に区分される．**表-2**に重要度ランク区分を示す．

井戸所有者へのヒアリング結果をもとに，例えば，上水道がなく，井戸水を飲用等に利用している民家井戸は最も重要度が高い「①」と判定される．また，上水道があるが，飲用に利用しているか否かで「②」または「③」に判定される．なお，農業用井戸はすべて重要度を「①」とした．

表-2 各井戸の重要度ランク区分

↑高　重要度　低↓

重要度	内容
①	上水道なし＋飲用、農業用
②	上水道あり＋飲用
③	上水道あり＋飲用以外利用
④	不使用

7. 井戸のリスク評価及び調査頻度の設定

(1) 水量低下のリスク評価

前述の影響度ランク及び重要度ランクを要素として，**表-3**に示すリスクマトリクスを作成し，各井戸の水量低下のリスクを4段階（Ⅰ～Ⅳ）で評価した．

影響度が高く，重要度が高い場合，最もリスクが高い「Ⅰ」と判定される．一方，影響度及び重要度が低くなるほどに，ランクが「Ⅱ」から「Ⅳ」へと下がるように設定した．

表-3 重要度と影響度のリスクマトリクス

		重要度 ←高			低→
		①	②	③	④
影響度 ↑高	A	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ
	B	Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ
	C	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ
低↓	D	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ

(2) 水文調査の頻度設定

表-4に示すとおり，上記(1)で水量低下のリスク評価を行った井戸に対し，ランク「Ⅰ」～「Ⅳ」に応じて水文調査の頻度を設定した．例えば，最もリスクが高い「Ⅰ」と判定された井戸は，重要度及び影響度から定期的観測が望ましい地点とし，月1回の水量調査及び年2回の水質調査を実施することとした．また，「Ⅱ」と判定された井戸は工事の影響の可能性が低いことから，近傍に同等以上のランク（「Ⅰ」または「Ⅱ」）の井戸があり，水文調査の結果が代替できる場合は調査不要とし，調査の効率化を図った．

水量の調査頻度は参考文献[5]をもとに設定し，水質の調査頻度は夏と冬で傾向が異なるため，最大で年2回とした．

表-4 リスク評価と調査頻度

評価区分	位置づけ	モニタリング内容
Ⅰ	重要度及び影響度の面からも定期的観測が望ましい地点	モニタリング（月1回:水量、年2回:水質）が必要
Ⅱ	影響の可能性は低いが、重要度が高く、かつ近傍に同類以上の代替井戸（Ⅰ、Ⅱランク）がない場合には観測が望ましい地点	近傍に代替でモニタリングできる地点がない場合はモニタリング（月1回:水量、年2回:水質）が必要
Ⅲ	影響の可能性は極めて低いが、重要度が高く念のため1回はデータ取得が望ましい地点	1回だけデータ（水量、水質）取得
Ⅳ	重要度及び影響度からしても影響は考えにくい地点	モニタリング不要

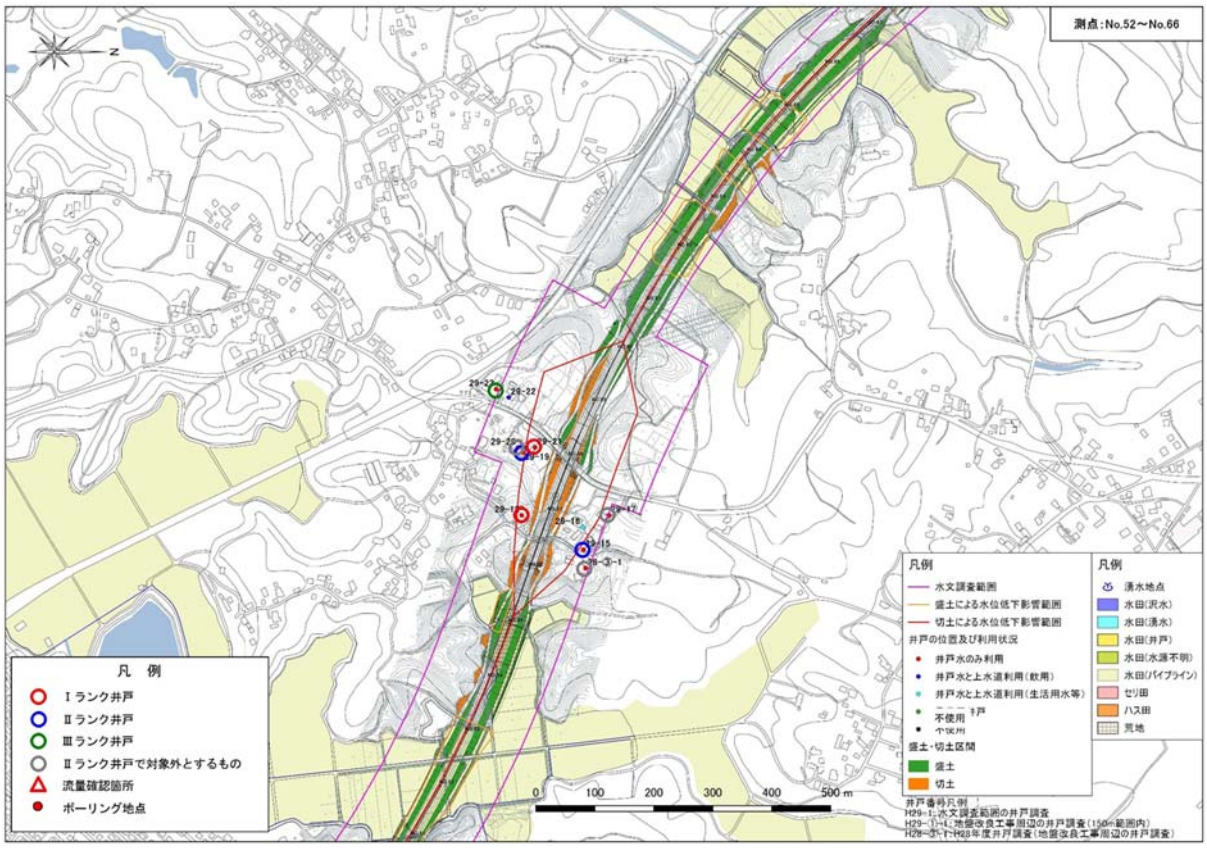


図-6 調査対象井戸のリスク評価結果

8. 水文調査計画の立案

上記**7.**のとおり，個々の井戸について調査頻度を設定し，東関道水戸線（潮来～鉾田）における水文調査計画を立案した．**図-6**は平面図上に調査対象井戸とそのリスク評価の結果を示した一例である．本線との距離が近い井戸が「Ⅰ」ランクと判定され，「Ⅰ」ランクよりも距離がある井戸が「Ⅱ」，「Ⅲ」ランクに判定される傾向が見受けられる．

全体的には175箇所の井戸が調査対象であり，このうち，最も調査頻度が高いランク「Ⅰ」（月1回水量調査，年2回水質調査）と判定された井戸は，8箇所のみ (4.5%) であった．また，調査頻度はランク「Ⅰ」と同等だが近傍に調査結果を代替できる井戸があれば調査不要となるランク「Ⅱ」は24箇所（13.7%）（「Ⅱ」のうち調査不要は7箇所）であり，水量調査，水質調査とも1回のみとなるランク「Ⅲ」は37箇所（21.1%）であった．さらに工事の影響がない可能性が高く，調査不要となるランク「Ⅳ」は106箇所（60.6%）という結果であった．

9. まとめ

水文学的な知見をもとに調査範囲を精査し，各井戸の重要度，影響度を考慮してリスク評価を行った結果，重点的に調査を実施する井戸を絞り込むことができ，効率的な調査計画を立案することができた．今後，この調査計画に基づいて，水文調査を進めていく予定である．

一方で，課題として影響度，重要度およびリスクマトリクスの閾値の根拠が必ずしも明確ではないことが挙げられる．これは今回新たな取り組みであったことから閾値の根拠となる明確な基準等は存在しておらず，様々な文献等を参考にしつつ，決定せざるを得なかったためである．今後，他の事例を収集するなど，閾値等について精査する必要があると考えている．

参考文献

1) 高橋彦治：トンネル湧水の特性と問題点，応用地質 6 巻 1 号，1965
2) 地下水流動保全のための環境影響評価と対策，地盤工学会，2004
3) 廃棄物処理施設生活環境影響調査指針，環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部，2006
4) 室田明，江藤剛治，吉岡正道：水文資料に起因する水資源計画の信頼度について，土木学会論文集，第 222 号，1974
5) 道路環境影響評価の技術手法③2007 改訂版，（財）道路環境研究所，2007