

岡山市街地における地下水環境と建設工事

Arrangement of Ground Water Condition and Excavation
in OKAYAMA City

西垣 誠 *	(Makoto Nisigaki)
上原 昭治 **	(Akiharu Uehara)
光田 洋一 **	(Youichi Mitsuda)

本報告は、岡山市街地の地質的形成の歴史を踏まえ、市街地における既存の地盤調査、地下工事の事例より地下水特性に関する整理を行った。(1) 岡山市街地は旭川の堆積により形成された扇状地とその前方に広がる干拓地から成る。帯水層である洪積砂礫層は市街地に広く分布している。(2) 洪積砂礫層は、透水係数の大きい上部砂礫層(Dg1)と粘土を含む下部砂礫層(Dg2)に分けられる。Dg1は透水係数 10^{-1} cm/secオーダーの非常に透水性の良い帯水層である。(3) 岡山市街地における地下水処理は、ドライワークまたは盤ぶくれ対策としてディープウェル工法、薬液注入工法が用いられているが、近年では連続柱列杭工法の普及によりDg2層に止水壁先端を貫入させている例が多い。(4) 貫入量は、従来経験的に行われていたが難透水層に2.0m程度貫入することにより揚水量、背面水位の低下とも大幅に減少することが有限要素法により検証された。

キーワード：環境，掘削，地下水，透水性，有限要素法，揚水試験 (IGC：B1/E7)

1. はじめに

近年各自治体，研究団体において地盤のデータベース化が盛んに行われている。建設省でも日本建設情報総合センター(JACIC)を中心としたボーリングデータの書式統一，ファイル化を行っている。岡山県においては、建築士会¹⁾，²⁾ 岡山県農林部³⁾，および、米子工専の研究⁴⁾により県南平野のボーリング柱状図をとりまとめたデータベースが既に出来あがっている。しかしそれらは土層の区分，N値の分布についてまとめられた資料であり実際の地下工事に関する情報が少ないのが現状である。このため、地下工事において問題となる地下水分布やそれに関する地盤浸透特性のデータを整理する必要がある。

特に岡山市街地は、市内を流れる一級河川旭川の堆積，氾濫により形成された扇状地である。そのため地下工事に際しては地下水処理が必須のものとなる。本報告では岡山市内の建設工事における地下水処理例をまとめ、今後のデータベース化の一資料となることを目的とする。また、多層系の透水性地盤における止水壁の根入れの効果について有限要素法を用いて検証した例も示す。

2. 旭川下流平野の地形的特色^{5), 6)}

岡山県南に広がる岡山平野は吉井川・旭川・高梁川の3大河川により形成された複合海岸平野である。岡山市街地は旭川の流送土砂によって形成された旭川下流平野に位置する。

旭川下流平野の形成時代は極めて新しい。岡山市中原において狭い中流部河谷から急に平野に出た旭川は、古くは数条に分かれて児島湾に注いでいた(図-1参照)。現在の旭川の河道は、文禄3年(1594)、宇喜多秀家が岡山城の防備のために人工的に曲流させたものである。不自然な付け替えの結果、岡山城とその城下をしばしば洪水の危険にさらすこととなり、百間川放水路が貞享3年(1686)に完成したといわれている。中世

* 岡山大学工学部土木工学科 助教授 ** 株式会社大本組土木本部技術部

末期の海岸線は、旭川左岸では操山の東端米田付近にあり右岸では七日市・十日市から西市にかけての位置にあった。現在はTP 2m前後である⁷⁾。それより南側の福富・泉田・万倍以南および操山南麓のほとんどは近世以後に干拓されて陸地化した部分である。従って、自然の営力により形成された部分は現在の平野の3分の1にすぎず、他は1600年代以降に人為的に造成された人工平野である。

図-2は旭川下流平野の地盤等高線図である。地盤等高線を全般的にみると、谷口の中原付近(TP 8m前後)から4m等高線までが円弧状を呈する。後述するように、この一帯は主として粗粒の砂礫からなり、また左岸の国府市場・雄町・清水一帯には伏流水の湧泉帯がある。すなわち、旭川左岸平野の地下水脈は旭川から伏流し、TP 4m付近で現地表面に現れる。したがって、旭川下流平野のTP 4m以上は扇状地の性格を備えている。

これに対して、TP 4m等高線以下は緩勾配となり、一般に砂・シルトからなる三角州平野となっている。なお、両者の境界に明確な変化は乏しく、多くの場合漸移的關係にある。

基盤砂礫層は旭川下流平野全域の地下に分布する。図-3は洪積砂礫層(Dg層)の上面深度を示す^{8), 9), 10)}。また図-4に代表的な地質断面を示す。図-4によれば洪積砂礫層は河川によって運搬堆積された地層であるため、前方に基盤岩山地などの障害がある場合、その背後には堆積が進まず小規模な凹地が数多く形成されている。この凹地を埋めるようにして洪積砂質土層(Ds層)と比較的硬質な洪積粘性土層(Dc層)が分布している。また、南部のTP-20m等高線以南ではDg層が分布せず、各河川から供給された砂礫が対岸まで達していない部分もある。Dg層の礫は、周辺山地の地質を反映して花崗岩・流紋岩・古生層などの円~亜円礫から構成される。礫径は、 $\phi 20\sim 50\text{mm}$ であるが、埋没扇状地の上部に当たる岡山市街地付近では $\phi 100\text{mm}$ 以上の玉石も多く含まれている。

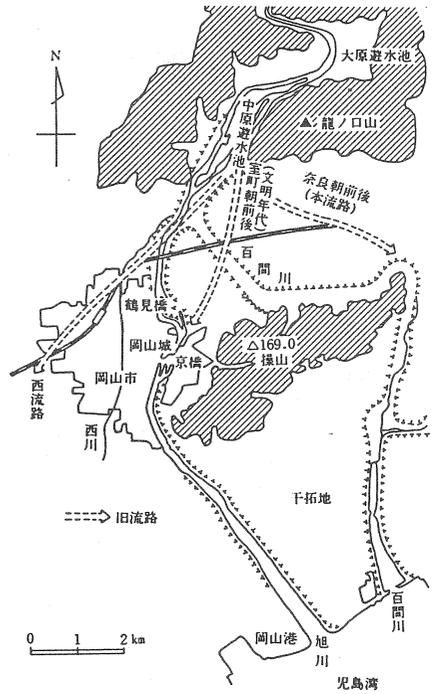


図-1 旭川流路の変遷⁵⁾

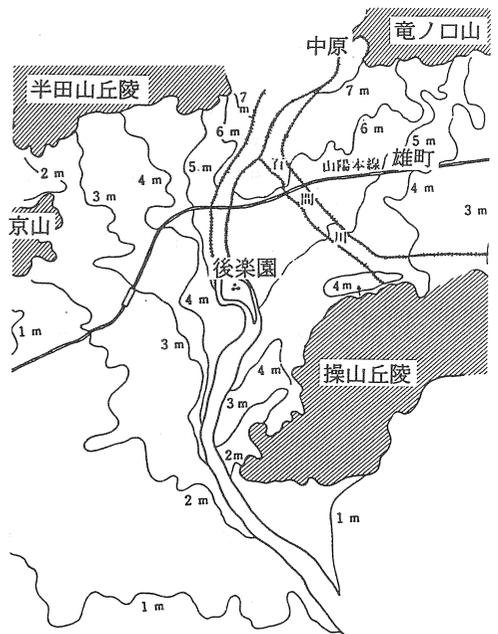


図-2 岡山市中心部地盤等高線⁵⁾

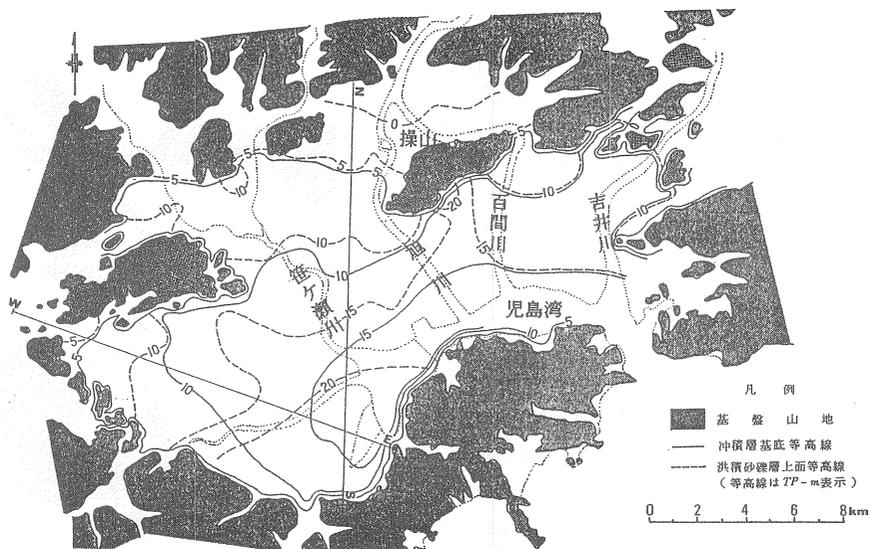


図-3 沖積層基底等高線および洪積層上面等高線図

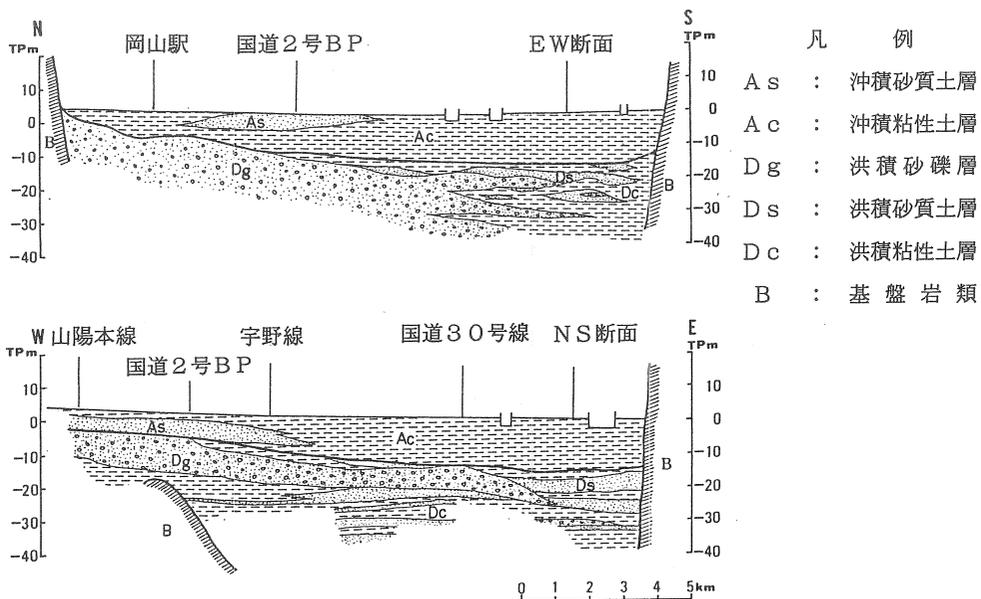


図-4 地質断面図

3. 地下水の利用状況

国土庁の調査^{11), 12)}によれば、岡山市街地における地下水の利用の現況は調査対象井戸144本に対して年間揚水量約4,200万tである。その内訳は、工業用50.7%, 水道用44.9%, 建築物用4.0%, 農業用0.4%である。このうちの、95.8%をGL-30mまでのDg層から揚水している。31m以深からの井戸も15本ある。揚水量の季節変動は工業用, 建築物が夏期において増加するが340万t/月~360万t/月の間で変動する。水道用は年間を通じて一定である。井戸の掘削された年代は、昭和41年~45年がピークで昭和57年以降の新設は年間1本程度である。

市街地における井戸の分布は図-5に示される様に、旭川下流平野の地形的特色によく一致する。すなわち百間川を中心とする操山北部地区および市街地の旭川の堆積作用により造成された地区に集中しており、干拓により人工的に造成された地区にはほとんど無い。工業用, 水道用の大半は、市街地北部の北方, 三野, 祇園地区より揚水されている。また、旭川と百間川の分岐点付近である西川原, 竹田地区の旧家においては各戸に井戸があり雑用水として利用されている。

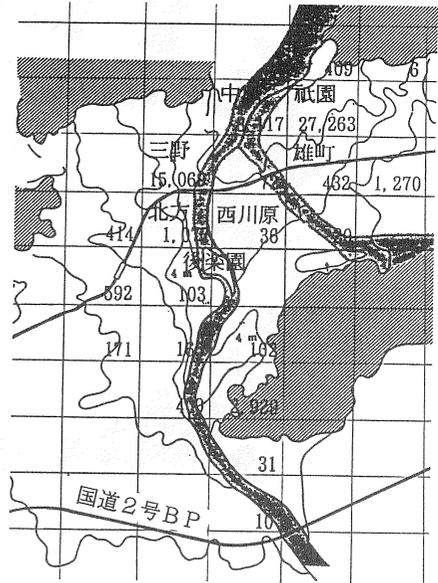


図-5 岡山市街地における地下水揚水量¹¹⁾
(単位: t/日)

4. 岡山市街地における帯水層の特性

図-6に市街地の代表的地質構成を示す。地下水処理の対象となる洪積砂礫層は、マトリックスが粗砂からなるDg1層およびシルトと粘土からなるDg2層に分類される。Dg1層の透水係数は、 $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{cm/sec}$ オーダーである。

岡山市街地における工事例を見ると、ボーリング孔を用いた透水試験の結果に比べて揚水試験の結果の方が、透水係数が大きい場合が多い。排水計画にあたっては注意が必要である。大供, 厚生町付近の工事報告¹³⁾によれば 10^{-1}cm/sec オーダーの非常に透水性の良い層が分布しており、13t/minもの大量の排水を行った事例もある。この地区は、先に述べた旭川の旧河道の1つにほぼ一致する。

Dg2層以深の構成については、大多数の調査ボーリングが支持地盤の確認を目的としているため支持層としてのDg層の確認, あるいはその連続性を確認した時点で終わっているため把握が難しい。排水計画においては、Dg2層の透水係数がDg1層に比べて1~2オーダー小さいため、難透水層と見なしている例が多い。なお、基岩である花崗岩は30m~70mの深度である。

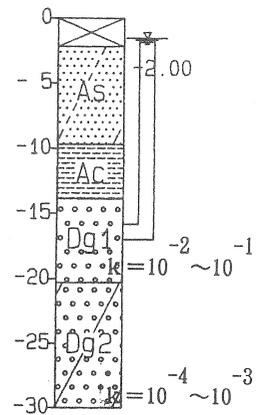


図-6 代表的地質構成

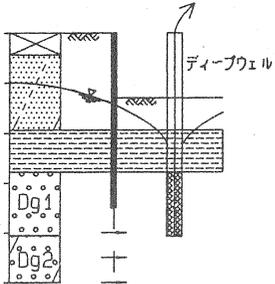
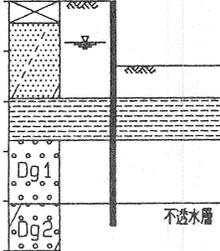
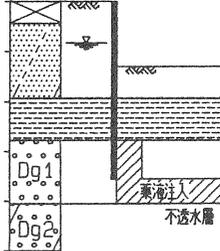
5. 市街地における地下水対策

岡山市街地における地下水対策の目的には次の2つがある。

- (1) 掘削深さが沖積粘土層 (Ac) より浅く洪積砂礫層 (Dg1) の被圧による沖積粘土層の盤ぶくれ対策として対策工法を採用したもの。
- (2) 掘削深さが沖積粘土層 (Ac) より深く洪積砂礫層 (Dg1) からの大量の湧水を抑え、ドライワークとするため対策工法を採用したもの。

表-1 に地下水処理工法の概要を示す。

表-1 地下水処理工法の概要

	ディープウェル工法	土留壁の延伸	薬液注入工法
略			
図			
概要	<ul style="list-style-type: none"> ディープウェルの揚水によって被圧水頭を低下させ、盤ぶくれに対する安全率を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> 土留壁の根入れを延伸して、被圧帯水層を遮断し、安定を確保する。 	<ul style="list-style-type: none"> 所定の安全率が土砂重量のみで得られる深さまで薬液注入により人工の不透水層を造る。
施工上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> 地下水を汲み上げるため排水の処理が必要となる。 河川への放流、公共下水の使用が必要。岡山市においては、135 円/㎡の使用料。工事の規模（水替の時間、掘削面積）によっては安価な工法であり、施工例は多い。 上部沖積粘土層の圧密により広域な地盤沈下を生じるため、事前の調査を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> 難透水層まで貫入するため、適当な深さに不透水層が存在しないと不可能である。 岡山市においては、マトリックスに粘性土を挟むDg2層まで根入れするケースが多い。 水の汲み上げが少ないので運転コスト、水処理の費用が軽減出来る。 運転コストが少ないので工期の長いもの程有利である。 	<ul style="list-style-type: none"> 薬液注入の対象地盤により信頼性に差異がある。 岡山市内では共同溝、下水立坑等掘削面積の小さい工事に採用されている。 底版の強度増加も兼ねて行われることが多い。

山留壁の型式は昭和50年代にはRC連続壁、鋼矢板が主であったが、昭和60年代以降は近隣建物、道路等の変形防止と、騒音、振動問題より、RC連壁（本体利用）、連続柱列杭（SMW、PIP）が主流となっている。

過去に於いては、水位低下の履歴の少ない市街地郊外の工事で根切り工事のために大量の揚水を行い、広域な地盤沈下現象が発生したことが経験されている。最近では、このような地盤沈下を防ぐために止水壁を難透水層まで貫入させ排水量を低減させる工法が、主に採用されている。市街地において揚水した場合の圧密沈下量は、沖積粘土層の体積圧縮係数 mv を、 $4 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1} \text{ cm}^3/\text{kg}$ 、⁸⁾ 圧密層となる沖積粘土層の厚さ H を5.0 m、地下水位低下量1.0 m ($\Delta p = 0.10 \text{ kg/cm}^3$) 当りの地盤沈下量 S_c は、式-1を用いると2~5 cmである。

$$\begin{aligned}
 S_c &= mv \cdot \Delta p \cdot H && \dots \text{式-1} \\
 &= (4 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1}) \times 0.10 \times 500.0 \\
 &= 2.0 \sim 5.0 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

このため、市街地の中心部では、微量の地下水を揚水することによっても周辺構造物への影響が生じるため、共同溝、立杭等では地盤強化も兼ねて薬液注入工法が採用されている。

図-7 に市街地における建設工事で、地下水処理に関連した例を示す。また、表-2 には工事に関する諸量を示す。岡山市街地における地下水位の一斉調査は行われていないが、表-2 より概略GL-2~-3 m付近に被圧水頭があることがわかる。



図-7 市街地における建設工事

表-2 (a) 市街地における掘削工事諸量

工 事 名	①F社本社社屋	②岡山共同溝	③T社電算センター	④西口駐輪場	⑤再開発ビル	⑥S地下駐車場	⑦T銀行本店
施 工 場 所	岡山市南方	岡山市弓之町	岡山市津舎町	岡山市駅前町	岡山市駅前町	岡山市城下～表町	岡山市内山下
施 工 時 期	平成 2年	平成 3年	平成 2年	昭和62年	昭和50年	平成元年	平成 2年
地 盤 構 成							
掘 削 面 積	3,000㎡	320 ㎡	1,750 ㎡	2,300 ㎡	4,000 ㎡	8,100 ㎡	3,200 ㎡
土 留 壁 形 式	SHW-H446×199#450	PIPI (H250×250)	SHW-H396×199#450	SHW	ONS 柱列壁	柱列壁H396 199#500	RC連続壁 t=600
支 保 形 式	切梁 3段	切梁 2段	切梁 2段	切梁 2段	RC S 切梁 3段	切梁, アンカー 3段	逆巻工法 5段
洪積砂礫の透水係数 (cm/s)	1.50×10^{-2}			2.00×10^{-3}	?		
地下水処理の目的	盤ぶくれ防止 ドライワーク	盤ぶくれ防止	盤ぶくれ防止	ドライワーク	ドライワーク	ドライワーク, 周辺地盤沈下対策	ドライワーク
地下水処理工法, 仕様	ディープウェル φ600 × 8本	底盤止水薬注	底盤止水薬注		ディープウェル 7本	土留壁延長 ロックオーガー併用	ディープウェル 3本
ストレーナ長・開口率	5.0 m×20.7%						
1本当り揚水量 (㎥/min)	1.4				0.71~0.86		
排 水 処 理	公共下水道、復水						公共下水道
特 記 事 項	17~19mにシルト層を挟んでおり上層用、下層用のディープウェルを施工 復水試験実施		民家が密着しており排水による周辺地盤への影響を考慮		参考文献 14) 排水量 5~6 L/min (予備)	隣接する再開発ビルも同様	

岡山市の地下水環境

表-2 (b) 市街地における掘削工事諸量

工 事 名	㊦Nビル	㊦A顔首工	㊦M生命	㊦N地下道	㊦K地下道	㊦Tホテル	㊦A火災ビル
施 工 場 所	岡山市中山下	岡山市内山下	岡山市幸町	岡山市高柳	岡山市久米	岡山市大供三丁目	岡山市大供一丁目
施 工 時 期	昭和62年	昭和52年	昭和53年	平成 3年	昭和60年	昭和58年	平成 2年
地 盤 構 成							
掘 削 面 積	980 m ²	11,500 m ²	1,170 m ²	1,100 m ²	1,600 m ²	3,200 m ²	1,000 m ²
土 留 壁 形 式	鋼矢板Ⅳ型	鋼矢板Ⅳ型	RC連続壁	SMH-H400×2000450	鋼矢板	RC連続壁	SMH-H490×1990900
支 保 形 式	切梁 2段	二重締切自立	切梁 3段	切梁 4段	切梁	切梁 2段	切梁 2段
洪 積 砂 礫 の 透 水 係 数 (cm/s)	1.41×10 ⁻²	5.00×10 ⁻² (注水) 1.20×10 ⁻¹ (揚水)	2.66×10 ⁻³ ~ 3.50×10 ⁻²	5.11×10 ⁻³ ~ 1.04×10 ⁻²	4.30×10 ⁻²	2.00×10 ⁻¹	2.21×10 ⁻¹
地 下 水 処 理 の 目 的	盤ぶくれ防止 ドライワーク	ドライワーク	ドライワーク	盤ぶくれ防止	盤ぶくれ防止	ドライワーク	ドライワーク
地 下 水 処 理 工 法 , 仕 様	ディープウェル φ600 × 3本	ディープウェル φ600 × 22本	ディープウェル φ600 × 4本	土留壁延長	ディープウェル φ600 × 6本	ディープウェル, φ600 × 7本	ディープウェル φ600 × 1本
ス ト レーナ 長 ・ 開 口 率	4.00m×17.0%	?	5.20m×19.2%			6.00 m×20.0%	7.00 m×26.0%
1本 当 り 揚 水 量 (m ³ /min)	0.4	2.9	0.88 (実施)		0.16	3.0 ~1.7 (実施)	1.2 (計画)
排 水 処 理	公共下水道	河川排水	公共下水道				公共下水道
特 記 事 項	ガス埋設管の挙動に注意した。	参考文献 15) 河川内工事 Dg1とDg2の間に難透水性のシルト層を挟む。			AC層の圧密による広域な地盤沈下が発生	参考文献 13)	

表-2 (c) 市街地における掘削工事諸量

工 事 名	㊦N火災ビル	㊦N会館	㊦T焼却場	㊦O庁舎 (I期)			
施 工 場 所	岡山市大供二丁目	岡山市大供表町	岡山市豊成	岡山市内山下			
施 工 時 期	昭和63年	平成 2年	昭和53年	昭和29年			
地 盤 構 成							
掘 削 面 積	200 m ²	1,000 m ²	6,000 m ²	1,400 m ²			
土 留 壁 形 式	鋼矢板	SMH-H399×1990450	オープン	オープン			
支 保 形 式	切梁 2段	切梁 2段					
洪 積 砂 礫 の 透 水 係 数 (cm/s)	1.00×10 ⁻² (推定)	1.40×10 ⁻¹	2.00×10 ⁻³ (4-ツグ) 2.00×10 ⁻¹ (揚水)	2.40×10 ⁻³ ~ 3.00×10 ⁻²			
地 下 水 処 理 の 目 的	盤ぶくれ防止	盤ぶくれ防止	ドライワーク	ドライワーク			
地 下 水 処 理 工 法 , 仕 様	ディープウェル φ600 × 1本	土留壁延長 φ600 × 4本	止水鋼矢板 ディープウェル	ウエルポイント 170本			
ス ト レーナ 長 ・ 開 口 率		7.00m×20.0%					
1本 当 り 揚 水 量 (m ³ /min)		0.60 (計画)	4.50 (全体)	1.80 (全体)			
排 水 処 理	?	公共下水道	?	?			
特 記 事 項	ディープウェル 1本で所定の水位が下らず地下ピット形状変更	Dg2の透水係数が不詳なためディープウェルを予備的に配置		参考文献 16)			

6. 百間川を中心とした地区

百間川を中心とした操山北部地区は、旭川によって形成された扇状地である。図-9に百間川に沿った地質断面を示す。地表から2m程度に沖積砂層、沖積粘土層を挟むが、洪積砂礫層がほぼ地表面にまで達している。この区域では、大規模な掘削工事が少ないが、百間川の改修に伴う広域な地下水調査が建設省¹⁷⁾により行われている。

この地区の地下水変動の特色は、図-10に示す様に地下水位の動向は水田への湛水による影響が大きく、降雨による影響は小さい。灌漑期(7~9月)と非灌漑期(1~2月)の水位差は最大2.5mである。従ってこの一帯の地下水には水田からの涵養も大きく関連していることがわかる。図-8に灌漑期における地下水位等高線の分布を示す。地下水面は祇園用水路(旭川上流祇園地区より取水する農業用水路)に沿った部分で高く祇園用水も地下水を涵養していることが調査からわかる。



図-8 灌漑期における地下水位等高線¹⁷⁾
(1981. 8. 5 TP表示)

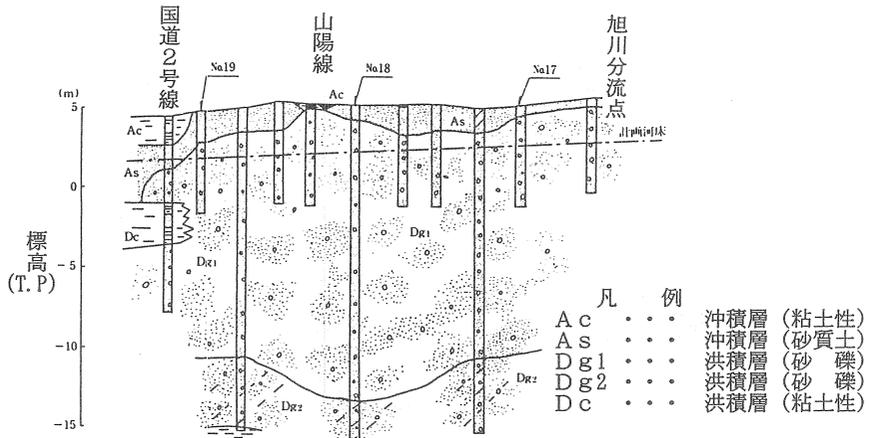


図-9 百間川地区地質断面図¹⁷⁾

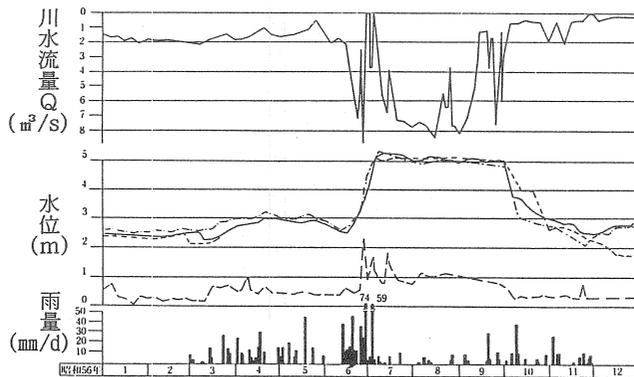


図-10 雨量, 用水流量, 地下水位, 河川水位の関係¹⁷⁾

7. 岡山市街地での掘削工事における地下水処理計画の例

7-1. 概要

近年の都市土木工事では、排水の下水道料金も考慮する必要があるため、揚水量の軽減は周辺地盤への影響のみならず工事施工者側にとっても大きな問題となっている。そのために止水壁の先端を難透水層に貫入させ、揚水量の軽減を計るケースが増加している。ここでは岡山市内における水替の問題を例に、難透水層に対する止水壁の根入れと排水量の関係を浸透解析プログラム (PC-UNSAF¹⁸) を用いて求め、従来の経験的な値の妥当性を検証する。

7-2. 地盤の条件, 検討モデル

地盤の構成, 掘削の深度は図に示す通りである。

地盤の特徴として洪積砂礫層 (Dg1) およびその下の粘土混じり砂礫層 (Dg2) は被圧を受けており、掘削の最終段階においては盤ぶくれの安全率が 1.0 以下となり不安定な状態となる。対策工法として掘削地内にディープウェルを計画した。

また上部砂礫層の透水係数 k_1 は、 1.4×10^{-1} cm/sec と大きい。下部粘土混じり砂礫層は透水試験を行っていないが、マトリックスが粘土分を含んでいることより透水係数 k_2 は、上部砂礫層より 1~2 オーダー小さいものと推測される。

検討モデルは軸対称の定常解析とし、影響半径 $R = 500.0$ m、掘削地内の水位低下量は、必要安全率の得られる 2.20 m に設定した。検討は、以下の 3 シリーズについて止水壁の砂礫層への貫入量を変化させて揚水量、止水壁背面の水位低下を求めた。

①シリーズ

$$k_1/k_2 = 1$$

②シリーズ

$$k_1/k_2 = 10$$

③シリーズ

$$k_1/k_2 = 100$$

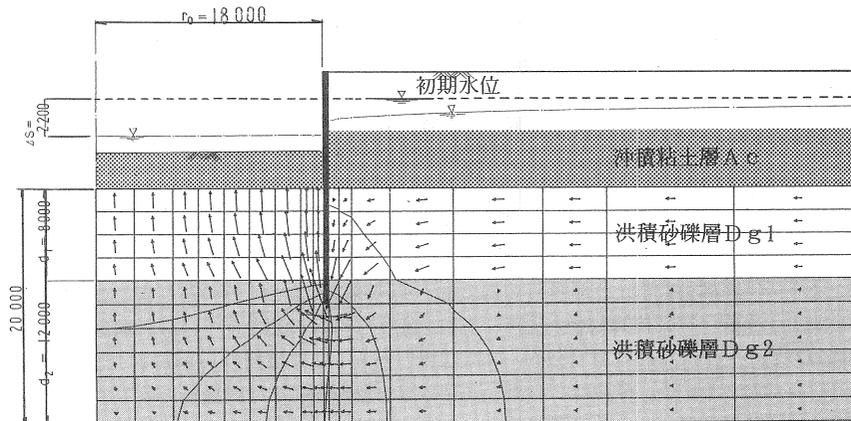
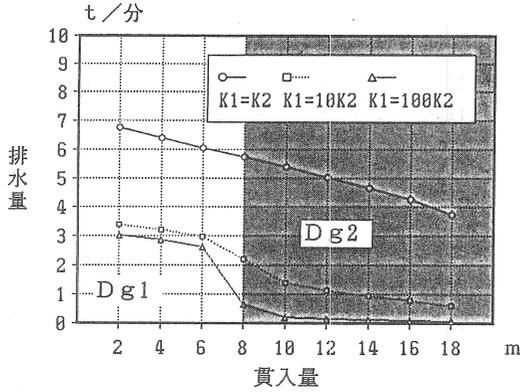


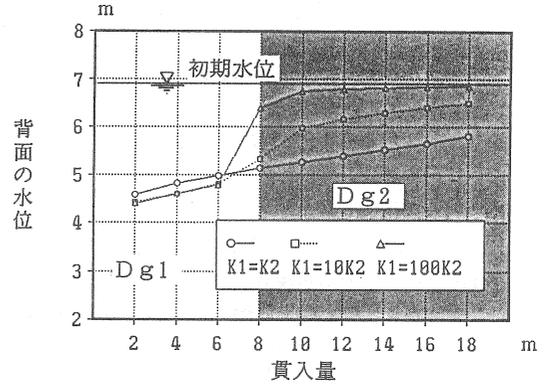
図-11 検討モデル, 流速ベクトル図

7-3. 検討の結果

図-12 に各シリーズの止水壁根入れと排水量の関係を示す。図中の○は①シリーズ, □は②シリーズ, △は③シリーズを示す。透水係数が 1 オーダー異なる②シリーズにおいては、揚水量が難透水層の境界上下における止水壁の貫入量により急変している。層境の上下 2 m 間で排水量は約 1/2 に減少する。同様に 2 オーダー異なる③シリーズではさらにその傾向が顕著であり、同範囲での排水量は 1/10 以下となる。図-13 に止水壁根入れを止水壁背面の水位低下量を示す。止水壁背面の水位低下量も難透水層層境の上下で減少することがわかる。従って、地盤の深さ方向の透水層の分布を有効に利用することで効果の大きい地下水処理が可能となることがわかる。



図一 1 2 排水量と貫入量の関係



図一 1 3 背面の水位と貫入量の関係

7-4. まとめ

従来経験的に行われていた難透水層への根入れ長は、本例においては、

- ①透水系数が2オーダー位異なる場合においては、難透水層に接するだけでも排水量が半減し、従来の経験的根入れ長さで十分である。
- ②透水系数が1オーダー程度しか変わらない場合でも、難透水層へ2.0m程度貫入させることにより揚水量は半減する。また、背面の水位低下量も減少する。

ことが検証された。

一般に止水壁は土留を兼ねており、土水圧のつり合いを基本にして、ボーリング、ヒーピングの検討を行い根入れ長を決めることが多い。

本例の様に止水壁を長くすれば、揚水、排水処理にかかる費用は軽減されるが、止水壁の工事費が増大する。その他周辺地盤への影響、工事期間等バランス良い設計を行う必要がある。

解析結果をまとめると、岡山市街地においてはDg2層の厚さが明確でないがDg1, Dg2の境界を現地における透水試験および柱状図より把握し、止水壁をDg2に1.0~2.0m程度貫入させる工法を用いれば効果的な地下水処理が可能となる。

8. おわりに

本報告では、既存の地盤調査資料、工事報告を基に地下水問題に着目してそのとりまとめを行った。岡山市街地においてもインフラ整備、地区再開発等大規模な土木、建築工事が計画されている。本報告が、類似工事の土留、地下水処理の計画の一助となれば幸である。また近年の土留工は、地盤の変形防止、土留の本体利用から埋殺しとなるようになってきている。今後はこの様な既存の遮水壁の存在をも考慮した地下水処理計画も必要となるであろう。また同様な工事のデータを集積することにより、整理を進めてゆく必要もある。

最後に、本報告をまとめるにあたりご指導をいただいた岡山大学工学部 河野伊一郎教授および貴重な資料を提供して頂いた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会中国支部岡山支所 (1963) : 「岡山市地盤図」
- 2) 日本建築学会中国支部岡山支所 (1963) : 「岡山市の地盤に関する研究」, PP 1-8.
- 3) 岡山県岡山地方振興局農林事業部 (1975) : 「児島湖周辺地質総合解析」
- 4) 米子工業高等専門学校編 (1934) : 「岡山県臨海地帯地盤図」

- 5) 石田 寛監修 (1900) : 「岡山県の地理」, 福武書店, PP 405-410
- 6) 宗田克己 (1976) : 「旭川」, 日本文教出版株式会社, pp 404-410
- 7) 藤井弘章, 渡辺 忠, 山下良成, 田尻宣夫 : 中国地方の干拓工事—特に岡山平野を中心に, 「土と基礎」 Vol. 38, No 3, pp 59-64.
- 8) 木村秀夫, 上野将司, 稲垣秀輝 (1984) : 岡山平野の基礎地盤, 「第19回土質工学研究発表会」, PP37-38
- 9) 西垣 誠, 田中 元, 連下誠之 : 岡山県地盤特性, 「土と基礎」, Vol. 38, No 3, pp 28-34.
- 10) 西垣 誠 (1986) : 岡山県地盤特性と基礎, 「基礎工」, Vol. 14, No 9, pp 16-21.
- 11) 環境庁他 (1985) : 「地下水揚水量等実態調査」, PP207-262
- 12) 国土庁 (1980) : 「全国地下水 (深井戸) 資料台帳, 中国・四国編」, PP 42-50.
- 13) 宮原茂美, 其田宏一, 桑田国夫, 九山今朝美 (1985) : 多量の地下水に対処した工事例, 「基礎工」 Vol. 13, No 3, pp 90-94.
- 14) 山本徳雄, 麗 勉 (1981) : 岡山駅前第1市街地再開発事業 新築工事における山留め工事の計画と実施, 「基礎工」, Vol. 9, No12, pp 16-21.
- 15) 高杉杜雄, 中川保道, 野崎芳彦, 藤井保治 (1977) : 旭川新堰の改修工事について, 「水と土」, Vol. 29, pp 26-33.
- 16) 中掘和英 (1955) : 岡山県庁舎基礎ウエルポイント工事の調査と計画, 「土と基礎」, Vol. 3, No 9, pp 33-40.
- 17) 建設省岡山河川工事事務所 (1990) : 「百間川工事史」, pp 9-365.
- 18) 西垣 誠, 竹下祐二 (1987) : 有限要素法による飽和—不飽和浸透解析手法, 「浸透問題の数値解析法」土質工学会中国支部, pp 1-82.