

5. 設計・施工のための地盤調査

5.1 土質地盤における施工時の問題点

地盤にはどのような土質であっても何らかのトラブルが発生する可能性が常につきまとうものである。

地盤に関するトラブルの種は工事中、竣工後においてもさまざまであるが、これらの大部分は土質と地下水に起因して発生するものである。したがって事前の地盤調査によって土質や地下水分布とその性状を正確に把握することが、リスクの確実な低減につながるといえる。建設工事によって主に発生する問題点と土質との関係を図-5.1に示す。本章では、東海三県に分布する第四紀の未固結地盤を対象に、地盤工学的問題点の要因となる地盤や、施工時に問題となった事項とその要因について記載する。

工事中の問題点		土質分類		竣工後の問題点	
杭工事 (山留め壁工事)	根切り掘削工事 (埋め戻し工事)	記号	土質 記事	直接基礎 盛土基礎	杭基礎
変形	振動・降雨などによる不安定化	Y Y Y Y Y Y Y Y Y Y	腐葉土 密度 含水 強度	圧密沈下	魚の摩擦係力 (ネガティブフリクション)
粘着抵抗	施工法などによる地盤の変形・移動	Y Y Y Y Y Y Y Y Y Y	粘土 密度 含水 コンステンシー	支持力不足 (不同沈下)	地震による液状化
抵抗力・揺りこぼれ	ボーリング・吸引作用による地盤のゆるみ	Y Y Y Y Y Y Y Y Y Y	シルト	地震による液状化	支持力不足 (不同沈下・水平変位)
	水圧(掘削水による膨み)	Y Y Y Y Y Y Y Y Y Y	砂 密度 含水 粒径	支持力不足 (不同沈下)	地震による液状化
	水漏れ	Y Y Y Y Y Y Y Y Y Y	砂質土 密度 含水 粒径	支持力不足 (不同沈下)	地震による液状化
	地下水によるボーリング(クイックサン)	Y Y Y Y Y Y Y Y Y Y	砂 密度 含水 粒径	支持力不足 (不同沈下)	地震による液状化
		Y Y Y Y Y Y Y Y Y Y	砂質土 密度 含水 粒径	支持力不足 (不同沈下)	地震による液状化
		Y Y Y Y Y Y Y Y Y Y	軟岩 風化 強度 ケレツ	支持力不足 (不同沈下)	地震による液状化

図-5.1 土質と施工における問題点との関係 (文献1)に加筆

5.2 沖積層における地盤工学的問題点

(1) 地形・土質条件から判断できる問題点

事業計画箇所の地形区分が判れば、そこに分布する一般的な構成土質が推定でき、そこから施工時の問題点を予測することが可能である (表-5.1 参照)。

特に沖積低地を構成する沖積層は、堆積してからの経過時間が短く、かつ現在の土被り以上の荷重が載っていないため、緩いあるいは軟らかい状態であり、しばしば軟弱地盤を形成し、外力に応じた様々な地質リスクを抱えている。

表-5.1 沖積低地の地形条件と問題事項 (文献2)に加筆

地形区分	主な分布域	構成土質	問題事項
扇状地	江南市、養老町等	粗大な分級不良の厚い砂礫層	流路不安定、被圧地下水、洗掘
自然堤防	稲沢市、一宮市	砂質土	地震時液状化の可能性
後背湿地	大垣市など木曾三川中流域	軟弱な粘土、シルト、細砂、PEAT	軟弱地盤、洪水帯水
三角州	名古屋市南西部、津島市など木曾三川下流域	軟弱な細砂、粘土層の厚い堆積	深い軟弱地盤、表層砂質土の地震時液状化
小おぼれ谷	-	極軟弱なPEAT、粘土、シルト	極軟弱地盤
潟湖跡	(油ヶ淵)	軟弱なPEAT、シルト、粘土	極軟弱地盤
海岸砂州	-	砂、砂礫	地下水位の高い箇所は地震時液状化
海岸砂丘	-	均等粒径の砂	地形不安定

(2) 軟弱地盤上の盛土に関する問題点

1) 盛土と沈下

濃尾平野をはじめとして東海三県の沖積低地には多くの軟弱地盤が形成されている。こうした軟弱地盤上に盛土を施工した場合、長期間に及ぶ圧密沈下のほか、盛土のすべり破壊や周辺地盤の引込み沈下等が生じる可能性があり、現在では情報化施工が適用されている。

大垣地区では、木曾三川沿いの下流域に深さ30mに及ぶ広大な軟弱地盤が形成されている。この軟弱地盤上に高さ7.7mの盛土を施工した事例があり³⁾、この土質性状を図-5.2に、沈下測定結果を図-5.3に示す。

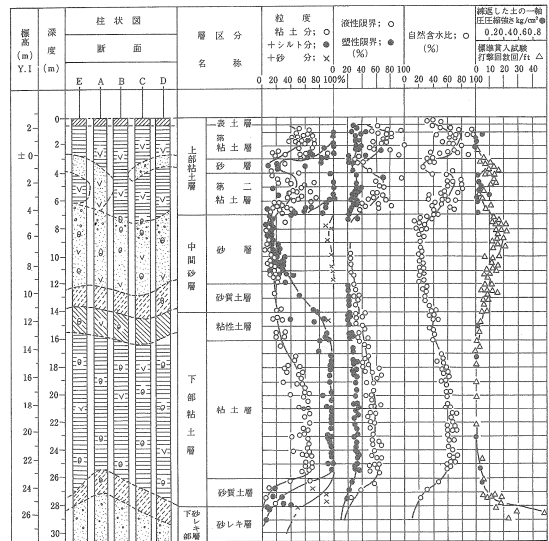
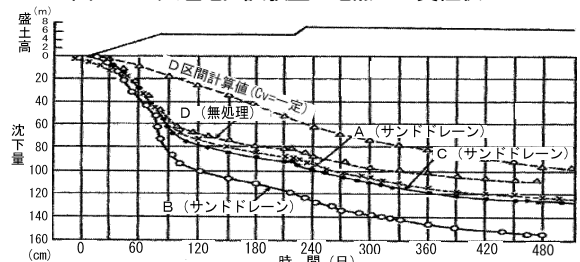


図-5.2 大垣地区試験盛土地点の土質性状⁴⁾



区間	A	B	C	D
処理工	サンドドレーン (SD)			無処理
打設ピッチ	2.4m	2.4m	1.6m	-
打設長	8m	20m	8m	-

図-5.3 大垣地区試験盛土の沈下測定例³⁾

盛土開始から約500日後の実測沈下量は、無処理区間(D)で約1.1m, サンドドレーン(以下SDと表記)で上部粘性土層を改良した区間AおよびCで約1.2m, 下部粘土層までSDで改良した区間Bでは約1.5mであった。

2) 沈下解析における原地盤の評価

沖積層上部粘土層(後背湿地タイプの河成堆積物)には、きれいな粘土の中に直径2~3cmのきれいな砂柱が内在していることがある(図-5.4参照)。大垣地区においてもこの砂柱が確認されており、これは地震時の液状化に伴う噴砂跡(地震痕; 図-5.5参照)と考えられ、同層中に縦横に挟在しているものと推察された。このことが、図-5.3において無処理区間(D)とSD(A), SD(C)の沈下傾向に差がなかった理由と考えられた³⁾。つまり当該地区の沖積層上部粘土層にはSDの効果に匹敵する排水層が既に形成されており、新たにSDを打設する必要がなかったとされている。

沈下解析等を伴う地質調査では、現地盤の状態を正しく評価することが重要で、コア観察(特に乱さない試料)の重要性を示した事例といえる。

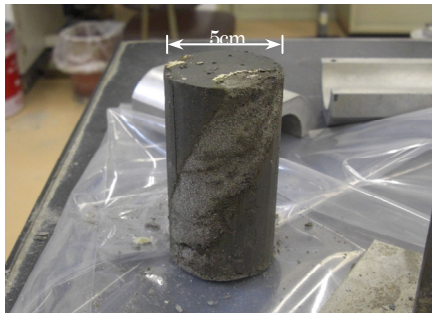


図-5.4 沖積層上部粘土層に見られる砂柱

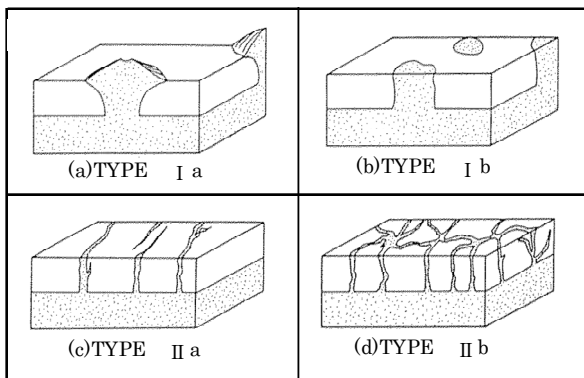


図-5.5 地震痕(噴砂)の形態分類⁵⁾

(3) 地震時における液状化現象

液状化現象は、地震の大きな揺れにより飽和砂地盤が液体状に変化し、噴砂・噴水現象を伴ってライフラインなどの都市施設に被害を与えるものである。

山田⁶⁾は、名古屋市における過去の地震から要因分析を行って液状化予測モデルを作成し、2001年に見直された東海地震の予測震源域に対する広域液状化危険度図を作成した(図-5.6参照)。液状化の危険性の高い地域(図中の赤及び黄)は、河川周辺ならびに埋立地に集中している事がわかる。

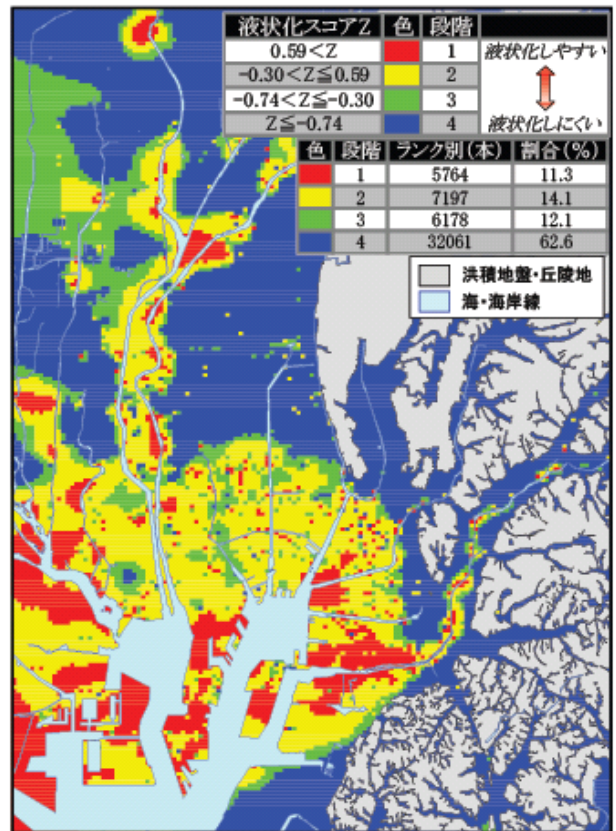


図-5.6 想定東海地震時の液状化危険度の分布図⁶⁾

こうした液状化危険度の高い地域では、緊急輸送道路の橋梁や横断歩道、避難施設などに耐震性の確保が求められ、詳細な液状化調査が必要となる。

5.3 洪積層における地盤工学的問題点

(1) 熱田層における自然由来のヒ素

濃尾平野では、愛知県・岐阜県の連携した調査で地下水に環境基準を超えるヒ素汚染が報告されているが、これはヒ素が含まれる火山灰の地層(熱田層)由来と考えられている。未発表資料ではあるが、熱田層の詳細なヒ素の含有量調査によると、環境基準を上回る量は検出されていないが、ヒ素含有量は火山灰・軽石含有層よりも、その直下の腐植物を多く含む粘土・シルト層に多いことが判明している⁷⁾。

熱田層は、濃尾平野を代表する地層で熱田台地を構成し良好な支持地盤とされていることから、建設工事に伴って、掘削・搬出されることが予想され、有害物質を移動させる可能性があるため注意が必要である。

(2) 熱田層上部砂層(浮石混じり層)による弊害

プレボーリング根固め工法において杭を掘削孔に挿入することができなくなった事例がある⁸⁾。

スパイラルオーガーにより掘削液を注入しながら、杭径より10cm大きい径で所定深度(GL-21m)まで削孔し、根固め液を注入後、スパイラルオーガーを引き上げ、掘削孔を掘削液で満たして掘削を完了した。その後、先端形状がペンシル型の杭をゆっくりと孔内に挿入したが、途中で杭の挿入が困難となった。

このトラブルの素因は、熱田層上部層に分布する浮

石混じりの緩い砂層にある。この層は振動攪拌を与えることで容易に液状化することが報告されている⁸⁾。この振動攪拌に伴って液状化した浮石が掘削孔に流れこみ、浮石の比重が掘削液の比重に近いため浮上も沈降もせず、掘削液中に浮遊し杭の挿入時に杭先端部に浮石が集まり杭の貫入が不能になったものと推定された(図-5.7~5.8)。

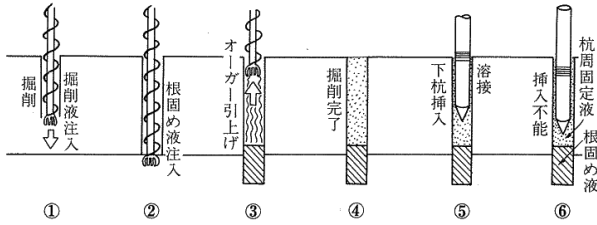


図-5.7 杭の施工順序⁸⁾

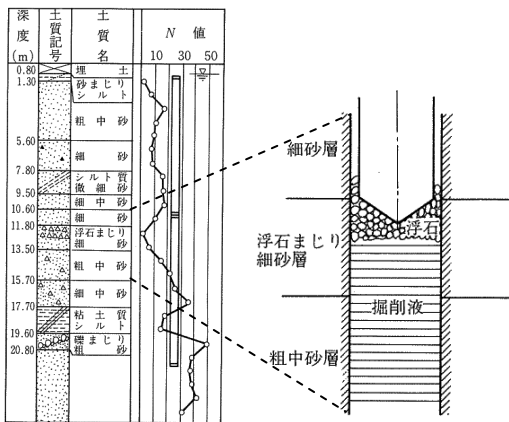


図-5.8 土質柱状図と挿入不能の原因⁸⁾

(3) 鳥居松礫層(玉石層)への対処

名古屋高速道路・萩野〜黒川間の基礎工事は、事前の地質調査から問題点を抽出し、現地に合った工法を選定して未然にリスクを回避した事例である⁹⁾。

施工箇所に出現する地質は、上位より氾濫原性の沖積層、鳥居松礫層、熱田層、海部弥富累層である。このうち鳥居松礫層(第一礫層と同時代の堆積物)はGL-8~12m付近に位置し、層厚約4m、礫径φ100~200mmを含む逸水や孔壁崩壊の甚だしい砂礫層である。

これに対処する方法として、口径2,000mmの大口径リバース工法を採用し、鳥居松礫層の掘削に際しては、ほとんどの大礫を通過することができた。また、崩壊性の高い砂礫層に対しても所定加圧水頭の保持、泥水比重の確保により孔壁崩壊を防いでいる。

5.4 地下水に関する地盤工学的問題点

(1) 地下水位の回復に伴う影響

各種の土工事、地下工事において地下水対策は常につきまとう問題である。特に地下水の揚水規制がされて以来市街地での地下水回復はめざましく、根切り工事においての最大の難問が地下水対策となることも多い。また地下水位が回復することで、地下空間への漏水被害や地下構造物の浮力の増大、あるいは液状化被害の可能性が大きくなることも予想される。

また、都市地盤のように良好な帯水層が連続してい

る地域で、近傍で大規模な地下水位低下工法を採用している場合には、常時の地下水位と異なることもあり、調査・設計・施工時に留意が必要である。

一般的に、渇水期と豊水期では自然地盤の地下水位が異なることが多いことから、調査段階で測定した地下水位について、その調査時期を明確にしておくことが必要であり、設計段階では、調査時と施工時の水位の差を考慮した設計水位とすることが必要である。

(2) 高い被圧地下水位を有する地盤での留意点

濃尾平野の北西部の大垣周辺は、木曾三川を構成する揖斐川によって形成された氾濫平野に位置している。この地域では、第一礫層が、深度35m程度(層厚10~20m)で分布し、有力な帯水層を形成しており、古くから掘抜井戸が自噴する地帯である。他の地域と同様に、大垣周辺でも、高度成長期の大量揚水で自噴帯が後退したとはいえ、依然として高い被圧帯水層が存在しており、いまだに「水都」と称されている。

このような高い被圧水位を有している地盤に、深い根切り工事や杭などを施工する際には、以下のような留意が必要である。

- ①被圧地下水の揚圧力による掘削底面の盤ぶくれや、被圧地下水位低下に伴う周辺地盤沈下が発生する。
- ②地下水が豊富であるため、掘削時の湧水量が多く、排水工法の工費や、揚水した地下水を下水道に排水する場合の負担金が膨大となる。
- ③山留め用の鋼矢板施工時に、周辺に緩み領域が形成(図-5.9)されて、上位が不透水層にもかかわらず緩み領域を中心としてボイリングが発生したり、中間杭に沿うパイピングが発生(図-5.10)する。

大垣市の事例のように、透水性が良好な被圧帯水層を有する地盤での調査は、堆積環境を考慮した地盤モデルを作成し、被圧水頭や被圧帯水層の水理定数を的確に把握する必要がある。さらにその結果を用いて、周辺に対する影響などの地盤解析を行うことが設計・施工を経済的に進める上で重要なポイントといえる。

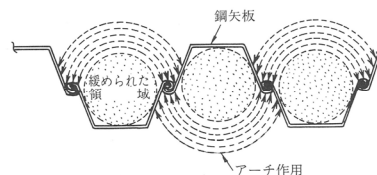


図-5.9 矢板周辺の緩み領域¹⁰⁾

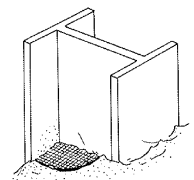


図-5.10 中間杭に沿って発生したパイピング¹⁰⁾

5.5 活断層と交差する線形構造物

(1) 平野部における活断層の位置の特定

我が国には、陸域だけでも2,000本以上の活断層が把握されており、地震活動によって地表にまで断層変位が達した場合、大規模な地盤破壊が広域的に発生することが懸念される。しかし断層変位の全てが地表に明瞭に現れるわけではなく、特に沖積低地や人工改変

が進んだ市街地などでは変位地形を識別できないことが指摘されている。これに対し稲崎¹¹⁾は、高分解能反射法探査(ランドストリーマー)を用いて表層部100m程度までの浅部地盤の詳細な変形構造をイメージングした。桑名断層にこの探査手法を適用した事例を図-5.11~5.12に示す。

これらを基に、稲崎は次のように指摘している¹¹⁾。

特徴的であるのは、下位の反射面ほど変形の度合いが大きく、傾斜も大きくなる傾向が明瞭に認められることである。この解析結果は、東側断面に認められる傾斜構造が基本的には断層運動による撓曲によって形成されたものであること、累積性を示す反射面の変位から断層活動の個々のイベントを抽出できる可能性があることを示しているとしている。

逆断層が地震によって活動する場合、主断層だけでなく、前縁の副断層が変位を発生させる場合があること、地震時の断層変位の影響は、主断層の前縁部にも及びうることを意味している。

活断層の影響が想定される地域で、線形構造物を計画する場合、主断層だけでなく、前縁部を含む一定幅のゾーンに対して、断層変位による地盤破壊を想定した対策を講ずべきとしていることから、これらを考慮した調査計画を提案することが必要と考える。

(2) 活断層と交差する線形構造物の対策

文部科学省地震調査推進本部による活断層調査の結果が公表されつつある現在、橋梁等において地表地震断層の影響を考慮する事例が増えている。

常田¹²⁾は道路橋が活断層と交差する箇所における活断層変位対策について、対象となる道路橋の直接的な被害や間接的な影響をどの程度まで許容できるかといった性能水準を定めた上で、事業段階ごとの対策を提案している。このうち事業の計画段階、設計段階における対策の例は表-5.2のように示されている。

5.6 調査・設計・施工時に関わるその他留意点

(1) 不発弾に対する留意

名古屋高速道路都心環状線(西柳町~明道町間)の建設工事に先立ち、下水、電気、ガス等の支障物件の移設工事施工中に不発弾が見つかり、不発弾探査(ウォータージェットボーリング機による鉛直磁気探査)を実施した事例がある¹³⁾。

高速道路のみならず基礎杭施工や掘削にあたって

表-5.2 道路橋の活断層対策メニュー例(一部)(文献12)に加筆

段階	対策	解説
計画	ルート選定	断層回避
	断層線との交差角度の低減	交差角度を低減することで、橋梁に影響する変位を低減
	縦断線形調整代の設定	断層変位により道路縦断線形が急勾配化するのを回避
	構造変更	盛土化
設計	単純桁化	地震断層の影響を限定化
	径間長の長大化	断層変位を長い距離で吸収
	桁かかり長の拡大	橋桁の落下防止

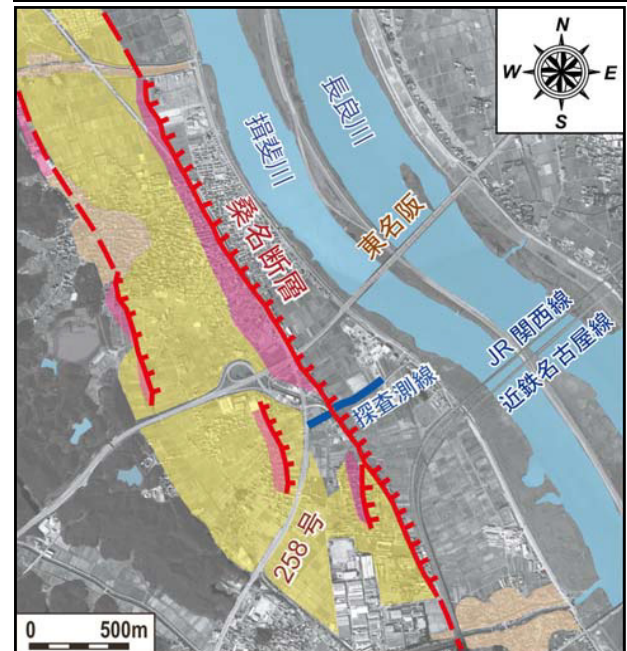


図-5.11 桑名断層と探査測線位置¹¹⁾

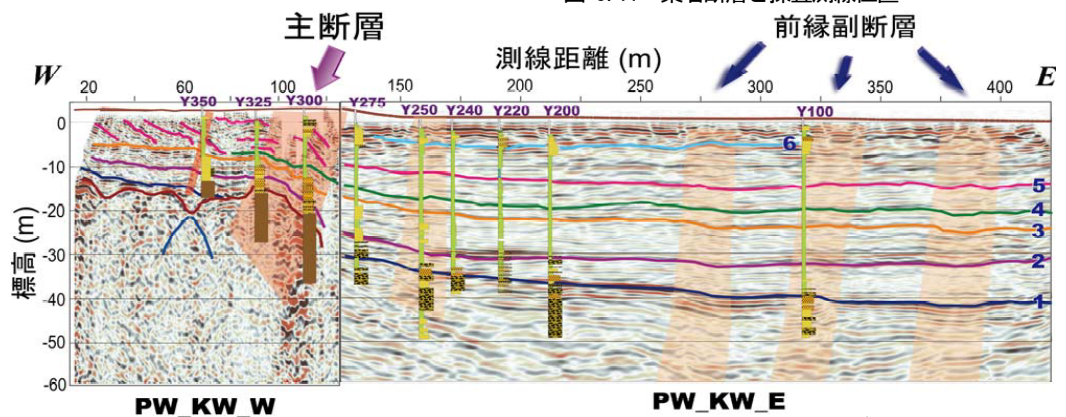


図-5.12 桑名断層の浅部変形構造解析結果¹¹⁾

は、不発弾への留意が必要な地域がある。名古屋市をはじめとして愛知~三重県の特に沿岸部(津, 桑名, 四日市, 名古屋, 半田, 豊川, 豊橋など)においては、戦前からの工場が集中しており、その多くは戦時中、軍需工場として稼働しており、空襲により、大量の爆弾が投下された。また、同時に道路、鉄道などの橋梁箇所への投下もなされた。こうした地域で、不発弾が発生する割合は、平野部の軟弱地盤が分布するところでは、投下量の5%と推定され、今日でも施工時に不発弾が発見・処理されている(図-5.13 参照)。1999年2月には三重県桑名郡木曾岬町内の国道23号線鍋田川橋付近での交差点改良工事の際に不発弾(1トン爆

弾相当と推定)の爆発事故が発生し周辺に大きな影響を与えた。

このように、不発弾残存の恐れがある地域で、掘削や杭および鋼矢板打設等を伴う施工の際には、不発弾による爆発事故を防ぐための調査(磁気探査、ボーリング孔を利用した鉛直磁気探査法等)を計画することが必要である。

(2) 地中溶存ガスに対する留意

関東地区における有機質土が堆積している沖積低地や生活廃棄物の埋立地等では、有機物が分解されやすく、地中溶存ガス(メタン、エタン、ブタン等)が存在する。こうした地盤で、掘削や杭基礎等の施工時に、燃焼・爆発事故・酸欠事故等に繋がる可能性があるとして、地中溶存ガスの事前調査が実施される¹⁴⁾。

濃尾平野でも、大垣や四日市周辺の帯水層や地下水中にメタンガス等の存在が調査時に認められる例もあり、シールド工事や根切り山留め等の掘削工事を実施する際には留意しておく課題といえる。

1) 発生メカニズムと調査法

メタンガスは、湾奥部や湖等の停水域に堆積した地層中の有機物から生成されることが多い。有機物は土壌中の微生物により分解されるが、この分解過程では、好気性バクテリアと嫌気性バクテリアが関与する。前者ではアンモニアが生成され、後者ではメタンガスが生成される¹⁵⁾。

地中のメタンガスは、**図-5.14**に示すように賦存しているとされている¹⁶⁾。図中の①の遊離ガスは坑内に噴出しやすく火災や爆発事故の危険性が最も高い。また、メタンガスの溶解度は水圧に比例して増加することから、被圧状態では、②の地下水中に溶存するガスが、掘削土砂などを介して坑内に入り、大気圧下で遊離して噴出する可能性がある。③のメタンガスも②と同様な状態で噴出するとされる。

これらを調査するために、事前調査段階では、既存の地盤調査、周辺の工事実績、関係する資料収集等でメタンガスが賦存しやすい地層の分布を把握しておくことが重要となる。また、現地調査では、ボーリング孔内における原位置地下水の採水(BATシステム等)、ボーリング孔内から噴出するガスを採取する等により、室内ガス分析等が実施されている。

2) 酸欠事故に対する留意

我が国の多くの臨海平野では、大量の地下水揚水が実施され、被圧地下水の低下が著しかった(地盤編 **図-4.3**)。このように地下水位低下時に帯水層が不飽和となり還元状態にあるときに、空気がこの空隙中を通過する際、酸素が消費されて酸欠空気に代わり、掘削地下空間に噴出する際に酸欠状態となる。

現在では、地下水位が回復し、労働安全法も遵守されていることから酸欠事故は減少しているが、調査・設計・施工時に留意しておく必要があるといえる。



図-5.13 不発弾処理の状況(1トン爆弾)

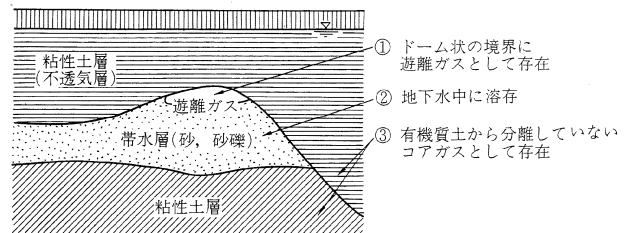


図-5.14 地中におけるメタンガスの賦存状態¹⁶⁾

参考文献

- 1) 平井利一：全訂新版ボーリング図を読む，理工図書，pp. 19～32，1989.
- 2) (社)地盤工学会：地盤調査の方法と解説，pp. 31～44，2004.
- 3) 世良 至：私の技術伝承 V-技術者からのメッセージ，pp. 57～77，2008.
- 4) 実用軟弱地盤対策技術総覧編集委員会：土木・建築技術者のための実用軟弱地盤対策技術総覧，(株)産業技術サービスセンター，pp. 62～65，1993.
- 5) 内園立男：稲沢の地盤，(社)地盤工学会中部支部濃尾地盤研究委員会，pp. 79～84，1994.
- 6) 山田公夫・杉井俊夫・川井 望：想定地震による名古屋の液状化予測とその利用，総合工学研究所紀要，第22巻，91p.，2010.
- 7) 野澤竜二郎：ジオテクノート⑮濃尾平野の地盤—沖積層を中心に—，(社)地盤工学会，51p.，2006.
- 8) (社)土質工学会：杭基礎のトラブルとその対策，pp. 90～91，1992.
- 9) 名古屋高速道路公社工事誌編集委員会，名古屋高速道路工事誌(II)，pp. 206～214，1998.
- 10) (社)地盤工学会：根切り・山留めのトラブルと対策，pp. 158～160，2004.
- 11) 稲崎富士：戦-2 活断層周辺の地下構造調査手法および地盤モデル作成手法に関する調査(2)，<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/pdf/report-seika/2008-1-1-1.pdf>
- 12) 常田賢一・渡邊 武・平石浩光：道路橋における活断層変位対策の検討，土木学会地震工学論文集 Vol. 28，98号，3p.，2005.
- 13) 名古屋高速道路公社工事誌編集委員会：名古屋高速道路工事誌(II)，pp. 157～158，1998.
- 14) 近藤 勉：地質調査技術マニュアル，関東地質調査業協会，pp. 170～175. 2005.
- 15) 中山俊雄：地盤環境工学ハンドブック，7.6 酸欠空気と地中ガス(可燃性ガス)，(株)朝倉書店，p. 323，2007.
- 16) (社)地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ3，シールド工法の調査・設計から施工まで，334p. 2005.