

2 表層基盤・芝生分科会および樹林地分科会報告

2.1. 調査の目的と概要

表層基盤・芝生分科会および樹林地分科会では、被害から1ヶ月程度の比較的初期段階における当該緑地の状況を、できるだけ正確に記録し、今後の検討の基礎的資料とすることを第一の目的として調査を行った。加えて、①地盤液状化に伴って発生する噴砂中に含まれる可能性が高い土壌の塩類汚染等の状況把握、②根系発達による（噴砂・噴水に伴う）亀裂発生等の抑制効果の可能性把握、③SH型貫入試験機または長谷川式土壌貫入計を用いた精密な土壌硬度把握による地盤液状化地の浅層土層の状況把握、等々について知見を得ることも目的として調査を行った。

地盤液状化の発生は、表層から20m深までの土壌の硬さ・地下水の存在と飽和状態・砂質土の粒径・粒度に大きな影響を受けることが知られている。一方、緑地の観点からは生育植物の根系発達に関連して、表層から1～1.5m程度までの土壌(土層)状況把握の重要性も広く認識されている。さらに近年、樹林地等の斜面防災分野では、樹木根系発達深の把握、および浅層崩壊の潜在滑り面を把握する事を目的として、深さ5m程度までの土壌硬度の測定、および土層試料のサンプリング等が行われるようになってきた。

緑地・公園に対する見取り調査の結果、緑地・公園においては噴砂・地盤液状化による被害が軽微であることが確認されたため、表層基盤の把握が必要と考えた。このため、主に地盤液状化に伴う噴砂が認められる公園の芝生地および樹林地を中心として、表層から1m程度までのソイルコアを採取し、土層状況把握と採取土層試料のpHおよび電気伝導度(EC)の測定を行い、当該地の植栽基盤状況の把握を行った。さらに土層の硬さ状況を知る目的で、長谷川式土壌貫入計で-1mまで、またSH型貫入試験機によって最深-5m程度までの土壌硬度分布を測定した。

また、調査対象地点付近でモニタリング用に指標木を設定し、各種の指標を観測するとともに、その後も追跡調査し、その結果を樹木調査票として整理した。

2.2 調査の方法等

2.2.1 現地調査日時

調査は以下の日時に実施した。

- 2011年4月16日 : 樹林地分科会による調査
- 2011年4月17日 : 表層基盤・芝生分科会による調査
- 2011年4月26日 : 表層基盤補足調査
- 2011年5月10日 : 表層基盤補足調査
- 2011年5月20日 : 第一回指標木モニタリング
- 2011年7月4日 : 第二回指標木モニタリング

調査日の天候はいずれも晴である。

参考までに、震災から(土壌分析試料採取した)調査の実施日までの天候を表2-1に示す。これは、土壌の塩分濃度等化学的特性は、降雨による塩分溶脱等によって影響を受ける可能性が高いため、今後の検討の参考のために示すものである。本データはアメダスポイントである「江戸川臨海^(*)」の気象庁統計データから、日降雨量が認められた日と量を示したもので、これ以外の降雨は記録されていない。

(*) 2009/5/28までの名称は「新木場」、所在地：北緯35度38.3分、東経139度51.8分、葛西臨海公園の海岸部分に位置し、調査地の中心から約3km程度西方。

表2-1 震災(3/11)から調査日までの降雨日と降水量

月・日	3月				4月			
	21	22	23	25	11	12	19	23
降雨量 mm	17.5	14	2	0.5	8.5	0.5	14.5	29.5

参考までに硬度測定を行った補足調査日(4/26)までの降雨を示したが、土壌試料採取は4/16(樹林地分科会)および4/17(表層基盤・芝生分科会)であるため、主に4/12までの降雨が注目される。

2.2.2 調査地

(1) 4月16日調査（樹林地分科会調査）

浦安市で液状化被害が発生した地域は、埋め立て時期の違いにより大きく第一期埋め立て地と第二期埋め立て地に分けることができ、公園における液状化被害の程度が異なることが、4月1日および4月7日に行った予備調査の結果で分かった。このため表2-2および図2-1の通り、第一期および第二期埋め立て地内の、埋め立て境界からほぼ同距離にある大規模面積の公園、中規模面積の公園を調査地とした。

表 2-2 調査地（樹林地分科会）

調査地	住所	規模（面積 m ² ）	埋め立て時期	備考
若潮公園	美浜 2 丁目	中規模（ 15,723）	第一期	
中央公園	富岡 4-4-2	大規模（ 43,950）	第一期	
高洲中央公園	高洲 4 丁目	大規模（約 50,000）	第二期	
明海の丘公園	明海 3 丁目	中規模（ 18,698）	第二期	

調査日における調査順に示した。



図 2-1 樹林地分科会の 4 月 16 日の現地調査対象公園位置図

(2) 4月17日調査（表層基盤・芝生分科会調査）

調査地（公園）は、表2-3および図2-2に示した4公園である。

表 2-3 調査地（表層基盤・芝生分科会）

調査地	住所	面積（m ² ）	埋め立て時期	備考
日の出第4街区公園	日の出 3 丁目	小規模（ 2,552）	第二期	
日の出おひさま公園	日の出 5-2	中規模（約 20,000）	第二期	
高洲太陽の丘公園	高洲 2-1-1	中規模（ 17,578）	第二期	
中央公園	富岡 4-4-2	大規模（ 43,950）	第一期	

調査日における調査順に示した。



図 2-2 表層基盤・芝生分科会の 4 月 17 日、4 月 26 日および 5 月 10 日の現地調査公園位置図

(3) 4 月 26 日調査（表層基盤補足調査）

補足調査を、表 2-3 の調査地（公園）のうち、高洲太陽の丘公園と、中央公園で実施した。

(4) 5 月 10 日調査（表層基盤補足調査）

補足調査を、南部記念公園、美浜南第 1 児童公園、今川トリム公園で実施した。

2.2.3 調査方法

以下は、現地調査実施日の早い順に先ず「表層基盤・芝生分科会」について、次に「樹林地分科会」について記述するが、後述の現地調査結果報告は「表層基盤・芝生分科会」、「樹林地分科会」の順とする。

(1) 樹林地分科会調査

1) 土壌コアの採取および観察

芝または樹木の生育環境を把握するために、その近傍で、長谷川式大型検土杖を使用して土壌コアを採取し、その性状を観察した。

2) 土壌貫入試験

芝または樹木の生育環境の 1 つの指標として土壌の硬さを把握するために、土壌コアの採取を行ったポイントの近くで、長谷川式土壌貫入計を使用して土壌貫入試験を行った。

3) 土壌分析

採取した主なる土層の土壌を室内に持ち帰り、分析（pH と EC）に供した。

分析は、試料を風乾細土化し、土：水＝1：5 の条件^(*)で、pH(H₂O)と電気伝導度（EC）を測定した。

(*)：pH(H₂O)の通常の測定条件は土：水＝1：2.5 であるが、採取試料の量が限られるため、EC の測定精度を優先として本条件で測定した。なお、pH(H₂O)測定における水量の変化による測定誤差はきわめて僅かであり、1：5 の条件で通常植栽基盤整備で要求される程度の誤差（±0.2 程度）範囲に十分収まることが報告されている。（山中 1953、藤原ら 1998）

4) 指標木のモニタリング

噴砂に含まれることが考えられた塩分その他による樹木生育への影響を考慮して、各調査地で数本の指標木を設定し、樹種、樹高、葉張り、目通り周、葉の密度、樹勢、噴砂の覆土厚、その他の指標、および生育状況を4月から7月まで経時的に観察し、樹木調査票として整理した。

(2) 表層基盤・芝生分科会調査

1) 噴砂等概況

噴砂の状況等と緑地の概況は目視で行った。

2) 土層把握（ソイルコアサンプリング）と分析試料採取

土層の把握と試料採取は原則として1m以内とし、長谷川式大型検土杖によって実施した。

土性は指触判定である。土色は現場で概略の和名を記録し後に写真等からマンセル土色を記入したものであるため参考値である。但しいずれも十分な経験者によって判定されたものである。また、本文中の結果で示した色は参考のために示したもので、土色帖の色精度を保証するものではない。

3) SH型貫入試験

土壌硬度は、深さ5m程度までの測定能力を持つSH型貫入試験機によるSH型貫入試験で測定した。

SH型貫入試験機は「簡易動的コーン貫入試験機（「簡易貫入試験機」あるいは「土研式簡易貫入試験機」ともいう）」の重錘を3kgと2kgに分離可能にして、3kg重錘を用いて表層近くの比較的軟らかい土層の硬さを精度よく把握できると共に、硬い土層では2kg重錘を追加して簡易貫入試験機と同様に5kg重錘で測定することも可能にした貫入試験機である。さらに一打撃毎に沈下量を専用データロガーで記録するため、微少な硬さの変化の把握も可能になっている（川満 2002）。尚、3kg重錘での貫入力は長谷川式と同じで、5kg重錘の半分である。このためNd/drop5は長谷川式のS値1.0cm/dropと同じである。

SH型貫入試験の結果は、一打撃毎の貫入深さから10cm貫入するために必要な打撃回数に換算した値（5kg重錘使用時はNd/drop、3kg重錘使用時はN¹/d(drop)）で示される。簡易貫入試験では10cm毎に貫入に要した打撃回数を記録してNd（Ncも同じ）として表す。したがってSH型貫入試験機では一打撃毎の細かい硬さの変化がよく分かるが、硬さの単位は簡易貫入試験と同じである。

なお、簡易貫入試験機は、千葉県風の風岡らのグループによって深さ5m程度未満の液状化した土層の確認に極めて広く利用されており（詳細は後述）、その点においてもSH型貫入試験機による測定意義は高いものと考えた。

なお、以下文中では「簡易動的コーン貫入試験機」を「簡易貫入試験機」、それによる測定を「簡易貫入試験」、SH型貫入試験機による測定を「SH型貫入試験」という。

SH型貫入試験により得られるNd値は、標準貫入試験によるN値との相関があり、軟質な箇所では1、比較的硬質となると1.5と言われている。地盤液状化が発生しやすい地盤はN値がおおむね15以下の地盤とされていることから、Nd値を測定することにより地盤液状化の発生しやすい基盤であるか否かについておおよその判断が可能となる。

4) その他

土壌分析および指標木のモニタリングについては、前述（樹林地分科会）と同様である。

2.3 現地調査の結果と考察

2.3.1 若潮公園

(表 1-3 および図 1-7 で(8))

本公園は約 15,700m²の近隣公園である。公園の北西側は交通公園になっており、舗装面に亀裂や盛り上がりが発生しており、デッキ状の建築物が傾いていた。公園の南東側は盛り土のある芝生地が中心となっており、景石の周囲に噴砂が見られ、芝生地では斑点状に噴砂が見られたほか、周囲の樹林地内でも部分的に噴砂が見られた。

噴砂が見られずケヤキの根が発達した樹林地として調査地点 No. 1、噴砂が見られたサクラの樹林地として調査地点 No. 2、盛土の丘の麓で噴砂の見られた樹林地として調査地点 No. 3 を抽出して、樹林地分科会が4月16日に調査を行った(図 2-3 参照)。調査地点の番号は当日の調査実施時刻順。



図 2-3 若潮公園における調査地点の位置図

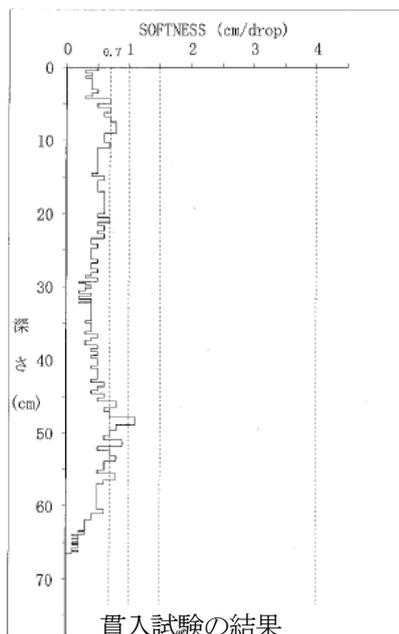
(1) 調査地点 No.1 (若潮公園 ケヤキ樹林地) における調査結果



(画面中心に大きなケヤキがあり広く根を張っていることが期待できる。このケヤキの手前で石が置いてあるポイントにて土壌コアを採取し、左に0.5m離れた場所で土壌貫入試験を行った。)

写真 2- 1 調査地点 No.1 の状況

1) 貫入試験と検土杖調査の結果



土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色
	0			
赤色半黒土	0 ~ 10	I	壤土 ~ 埴壤土 L ~ CL	半黒
山砂	10 ~ 20	II	砂壤土 ~ 壤土 SL ~ L	灰黄褐色
海底土砂	20 ~ 70	III	砂土 S	灰黄褐色

検土杖調査の結果

2) 近傍の指標木のモニタリング結果

モニタリング結果は以下の通り。無噴砂の樹林地における落葉老齢高木（ケヤキニレ科）の樹勢の推移を観察した。土層は硬かったが、追跡調査をした結果、樹木は健全に生育していた。

指標木調査票												
調査箇所	若潮公園(無噴砂地点)				立地状況	・若潮公園の植樹帯に生育 ・噴砂無				位置図		
樹種名	ケヤキ											
形状寸法	樹高	11 m	枝張	11 m								
	幹回り	136 cm	根元周	172 cm								
検土杖	■ あり □ なし											
貫入試験	■ あり □ なし											
調査日	第1回 (平成23年4月17日)				第2回 (平成23年5月20日)				第3回 (平成23年7月4日)			
調査者	有田和實				有田和實				有田和實			
樹木健全度	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A
	樹勢	1		樹勢	1	樹勢		1				
	備考	新葉が発育しつつある				備考	若干、葉が小さい				備考	
全景写真												

3) 考察

◆ 土層状態

検土杖調査結果で、表層 30cm までの客土がされていることが分かった。それより以下は改定土砂による埋め立て地盤であり、灰黄褐色の還元した土壌であった。ケヤキの生育は悪くはないが、土壌硬度計から判断すると生育にはギリギリ問題ない程度の固さといえる。これは地表面の踏圧による固結であると予測でき、やや雨季などに根を展開してこの樹勢まで発達したものと判断できた。

海底土砂による埋め立て状態は、土壌硬度から判断して約 40cm 程度で蒔き出しが行なわれたものと判断できる。重機による固結状態は、根の伸入を阻むため、ケヤキの根の展開は表土 30cm に集中しているものと判断できた。

◆ pH と EC

pH はいずれも 5.5~6.5 の間でケヤキの生育には問題ないと思われる。EC 値も生育には問題ない範囲で推移しているが、海底土砂の EC がやや高めであり、塩類の影響が多少見えるところがあった。しかし樹木には問題なく、むしろ還元状態が根の伸入を阻止している可能性があると思われた。

◆ 土層の硬度

全体に固めではあるが、根元から離れた地面では下が砂土なので排水がとれていて問題ないと判断した。踏圧を防ぐ方法が望まれる。

◆ 指標木のモニタリング結果

噴砂がないかわりに土層のが硬かったが、それによる生育への悪影響は認められなかった。

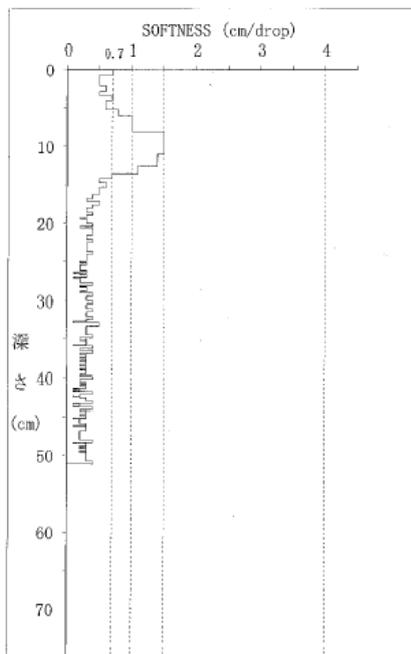
(2) 調査地点 No.2 (若潮公園 サクラの樹林地) における調査結果



(画面の奥にサクラが5本あるが、樹勢はあまりよくない。また、液状化による噴砂が現れていた。サクラ手前の石が置いてあるポイントで土壌コアを採取し、少し離れた小さめの石のポイントで土壌貫入試験を行った。)

写真 2-2 調査地点 No.2 の状況

1) 貫入試験と検土杖調査の結果



貫入試験の結果

土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色
噴砂厚2cm	0			
赤色半黒土	0 - 10	I	壤土 L	半黒
山砂	10 - 50	II	砂壤土 SL	黄灰色
山砂	50 - 70	III	壤土 L ~ 埴壤土 CL	黄灰色

検土杖調査の結果

2) 近傍の指標木のモニタリング結果

モニタリング結果は以下の通り。貫入試験と検土杖調査の地点からは離れているが、噴砂堆砂地点に於ける落葉老齡高木（ソメイヨシノバラ科）の樹勢経過観察を行った。もともと劣悪土壌への植栽であり、当初観察時から生育状況は良くなかったが、追跡調査をした結果、噴砂の塩害による生育阻害は見られなかった。

指標木調査票												
調査箇所	若潮公園(噴砂地点)				立地状況	・若潮公園の植樹帯に生育 ・噴砂厚1センチ				位置図		
樹種名	サクラ(ソメイヨシノ)											
形状寸法	樹高	6.5 m	枝張	6.5 m								
	幹回り	95 cm	根元周	135 cm								
検土杖	■ あり □ なし											
貫入試験	■ あり □ なし											
調査日	第1回 (平成23年4月17日)				第2回 (平成23年5月20日)				第3回 (平成23年7月4日)			
調査者	有田和實				有田和實				有田和實			
樹木健全度	樹形	2	判定	B	樹形	2	判定	B	樹形	2	判定	B
	樹勢	2			樹勢	2			樹勢	2		
	備考	梢端枯れ				備考	梢端枯れ、枝樹皮剥離、カワタケ				備考	梢端枯れ、枝樹皮剥離、カワタケ
全景写真												

3) 考察

◆ 土層状態

表面を噴砂が覆っていた場所である。表土 15cm に半黒土が搬入盛土された埋め立て地である。現地盤は海底土砂ではなく山砂が用いられていた。深さ 50cm から下は粘質なロームが盛土されて透水性に問題が生じていると考えられた。これは、第一期の埋め立てとしては珍しいことであるが、深さ 70cm 以下も同様の土壌であることから、他の地域とは異質であると言える。

◆ 土壌硬度

長谷川式土壌貫入計による一打撃の沈下量 S 値は 2~3mm で極めて硬く締まっていたが、転圧方法とともに山砂の性質によるものと判断できた。

□ pH と EC

噴砂は pH8.2 とアルカリ性を示していたが、厚みが 2cm であることから現在の生育とは関係がないものと判断した。生育基盤を形成する土壌の pH は 6.0~7.4 程度と問題なく EC も生育に影響を与えるほどの値ではなかった。やはり生育不良は、土壌の固結が原因といえる。

◆ 指標木のモニタリング結果

サクラは全体に先端枯れを起こしていた。これは噴砂によるものではなくその前からの土壌の固さと排水不良に原因があると考えられる。

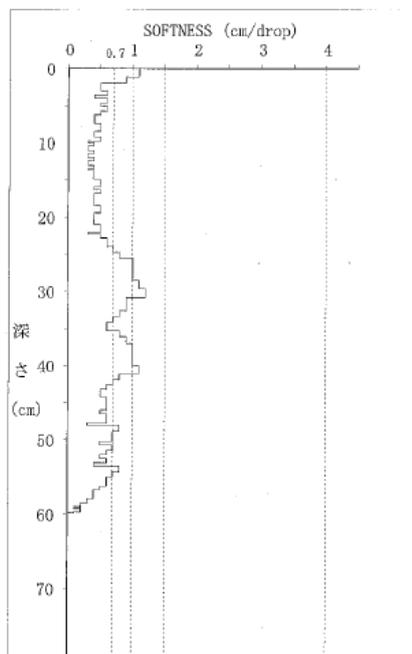
(3) 調査地点 No.3 (若潮公園 噴砂のある芝生地) における調査結果



(画面の奥にサクラが 1 本あり、樹勢は良好ではない。また、このサクラの前の芝生面で液状化による噴砂が斑点状に現れていた。サクラの手前の石が置いてあるポイントで土壌コアを採取し、少し離れたポイントで土壌貫入試験を行った。)

写真 2-3 調査地点 No.3 の状況

1) 貫入試験と検土杖調査の結果



貫入試験の結果

土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色
噴砂厚3cm	0			
赤色半黒土	10	I	壤土 L	黒褐色
	20			
山砂	30	II	砂土 S	黄灰色
	40			
海底土砂	50	III	砂壤土 SL	灰黄色
	60			
	70			

検土杖調査の結果

2) 近隣の指標木のモニタリング結果

この場所は芝生地であり、樹林地での土壌と比較するために設定した調査地点であるため、指標木のモニタリングは行なっていない。

3) 考察

◆ 土層状態

表面 3cm に噴砂の跡が認められた。それ以下が実際の植栽基盤となるが、厚み 30cm が半黒土による客土で、以下は山砂と海底土砂の互層と判断できた。土壤硬度が極めて高いのは造成工事時の転圧状態が関係しているものと考えられた。

◆ 土壤硬度

芝生地の生育では 30cm 以下の土壤硬度より、それ以上の土壤硬度が影響する。深さ 25cm までは S 値 0.7cm と極めて硬い。全体に芝生の生育が思わしくないのは、この固結によるものだと判断できた。

□ pH と EC

噴砂で一部 pH8.2 とアルカリを示したものの、それ以下の土壤では pH7.0 台で生育には全く問題ない範囲であった。

2.3.2 中央公園

(表 1-3 および図 1-7 で(13))

本公園は野球グラウンドを含む約 44,000 m²の地区公園である。野球グラウンドには顕著な噴砂跡が見られるが、樹林地には亀裂はあっても噴砂は見られない。

浦安市は市全体が標高 1～4 m 程度の低地であり、液状化被害の大きい埋め立て地は標高 3～4m で、旧来の江戸川沿いの後背低地は標高約 1m である。その中において市内で最も標高の高い箇所が中央公園の築山部分であり、頂上部分（通称「浦安富士」）の標高は約 12m である。

(浦安市のホームページ(<http://www.city.urayasu.chiba.jp/menu3185.html>) による。)

中央公園は、運動施設がある平地部分と、遊具がある芝生と樹林の築山に大別される。当然ながら液状化被害（噴砂）が見られるのは平地およびそれに続く築山下部のみである。このため、築山には亀裂や地盤沈下跡はあるが、亀裂に噴砂跡はみられない。築山の亀裂は周辺および下層地盤の液状化による地盤変動によってできたものであると考えられる。なお、この付近は公園だけでなく周辺住宅地等の液状化による地盤の変動等も顕著である。

街路樹分科会では 4 月 16 日に大きな亀裂が南西方向から北東方向に走っていた調査地点 No.4 で調査を行った（図 2-4）。調査地点番号は当日の調査時刻順。

表層基盤・芝生分科会では 4 月 17 日に噴砂の跡が顕著な平地部分のグラウンド（野球外野およびサッカー場等の芝生部分）と、周辺樹林（公園利用者が入ることは考えていない周辺住宅地との緩衝樹林で築山の一部）およびサクラが植栽されている園内の築山部分の 3 箇所（⑪～⑬）で調査を行った（図 2-4）。また、4 月 26 日に野球場の芝生地で噴砂が厚く積もり深い亀裂が入っている調査地点 No.A で補足調査を行った（図 2-4）。調査地点番号はともに当日の調査時刻順。



図 2-4 調査地点位置図：中央公園

(1) 調査地点 No.4 (中央公園 亀裂の近くのシンジュ樹林地) における調査結果

写真 2-1 調査地点 No.4 の状況



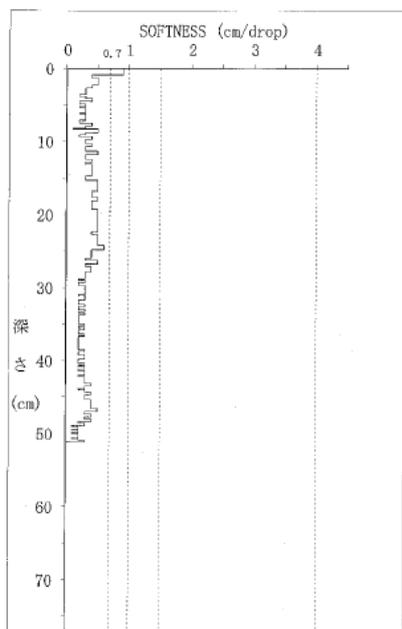
(樹木の根がしっかり張っている場所を避けて、土壌に亀裂が走っていることが確認できた。写真左側が土壌コアの採取ポイント、右側が土壌貫入試験を行ったポイントである。)



(亀裂が走っていても樹木の太い根はおおむね切断されていない。)

写真 2-2 調査地点 No.4 付近の亀裂の状況

1) 貫入試験と検土杖調査の結果



貫入試験の結果

土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色
山砂	0	I	砂壤土 SL	黄褐色
	10			
	20			
	30			
	40			
	50			
	60			
	70			

検土杖調査の結果

2) 近傍の指標木のモニタリング結果

貫入試験および検土杖調査を行った場所からは少し離れているが、若干の噴砂が見られた場所であることから、今後塩害の影響が出るかどうかを見るために、噴砂堆砂地点における落葉壮齢高木（ヤマザクラバラ科）を指標木とし、樹勢変化を観察した。観察結果は以下の通り。追跡調査をした結果、開花・着葉・展葉も旺盛であり、噴砂の塩害による生育阻害は見られず、樹木は健全に生育していた。

指標木調査票										
調査箇所	中央公園(クラック地点)				立地状況	・中央公園の樹林地に生育 ・クラック発生地	位置図			
樹種名	ヤマザクラ									
形状寸法	樹高	6 m	枝張	6.5 m						
	幹回り	110 cm	根元周	145 cm						
検土杖	■ あり □ なし									
貫入試験	■ あり □ なし									
調査日	第1回 (平成23年4月17日)			第2回 (平成23年5月20日)			第3回 (平成23年7月4日)			
調査者	有田 和寛			有田 和寛			有田 和寛			
樹木健全度	樹形	0	判定	A	樹形	0	判定	A	樹形	0
	樹勢	0			樹勢	0			樹勢	0
	備考	すべて良好				備考	生育良好			
全景写真										

3) 考察

◆ 土層状態

公園中央にある築山部分（通称「浦安富士」）の法尻にあたる部分に数本の大きくクラックが入っていた。これは、地震時に築山部分と平坦地との境で見られるクラックで、土壌の締め固め強度の違いが原因だと思われる。この現象は実際に阪神大震災でもよく見られた現象で、法面客土の転圧状態によってクラックの大きさが変化するものと考えられている。

クラック内には樹木の根が多数確認できたが、根が集中している根元近くにはクラックは到達していないことが確認できた。これは、根による緊縛力がクラックを防止したものであり、被害防止効果を発揮した良い例といえる。

法尻は長谷川式土壤貫入計でS値が5mm程度と土壌が固く、よく締まっていることが分かった。それでも根がよく伸長しているのは、深さ60cm程度まで客土されていて、土中のクラックなどを通じて根を伸長させているものと考えられた。シンジュの生育は良好であるが、樹高がそれほどでもないことから、やはり土壌固結が生育に影響を及ぼしているものと考えられた。

◆ pHとEC

クラックが発生しているシンジュ付近での土壌採取は行なわなかった。指標木としたサクラの土壌pHはいずれも8.0以下でECも問題ないものであった。

◆ 指標木のモニタリング結果

噴砂があったが、それによるヤマザクラの生育への悪影響は認められなかった。

4) 公園内の別の場所での指標木のモニタリング結果（参考）

観察結果は以下の通り。公園外周に植栽された常緑針葉樹齢高木（クロマツ・マツ科）を指標木とし、その生育に及ぼす塩害の影響をみた。モニタリングの結果、噴砂の塩害による生育阻害は見られず、新梢伸長も盛んであり、樹木は健全に生育していた。

指標木調査票												
調査箇所	中央公園（噴砂地点）			立地状況	・野球場脇の植樹帯に生育 ・噴砂厚1センチ	位置図						
樹種名	マツ											
形状寸法	樹高	5.5 m	枝張				2.8 m					
	幹回り	54 cm	根元周				62 cm					
検土杖	<input type="checkbox"/> あり <input checked="" type="checkbox"/> なし											
貫入試験	<input type="checkbox"/> あり <input checked="" type="checkbox"/> なし											
調査日	第1回（平成23年4月17日）			第2回（なし）			第3回（平成23年7月4日）					
調査者	森岡 千恵						有田和實					
樹木健全度	樹形	1	判定	B	樹形		判定		樹形	1	判定	B
	樹勢	2			樹勢			樹勢	2			
	備考	頂部剪定			備考				備考	頂部剪定		
全景写真												

(2) 調査地点①～⑬における調査結果

調査状況等を図2-5、図2-6に示す



グラウンドの噴砂状況と調査地

(人が集まっているところが調査地点 ①。奥が野球場。調査地は野球場外野に続くサッカー等広場で、噴砂が顕著である。)



硬くなった噴砂の堆積状況

(上の写真の右手奥境界際。堆積高さ約20cm、下に芝生が見える。)



築山の陥没の断面状況

(約10～20cmの礫混じりローム芝下土の下はシルト混じり細砂である。この築山が埋め立て地の造成残土処理場になったことが分かる。)



築山にできた陥没による亀裂

(亀裂の開口幅は平均約20cm最大で約50cm、深さは最大で60～70cmである。7枚の写真によるパノラマ合成)



築山下部のサクラ樹林内芝生地 (調査地 ⑬)

(検土杖が刺さっている調査地は平地より2m弱程度上がっている)



園路の割れと1箇所だけの亀裂 (平地部分)

(園路は各所で割れているがサクラ林地の割れはここ1箇所のみ 4.27撮影)

図2-4 調査状況：中央公園その1

中央公園(グラウンド)の概況

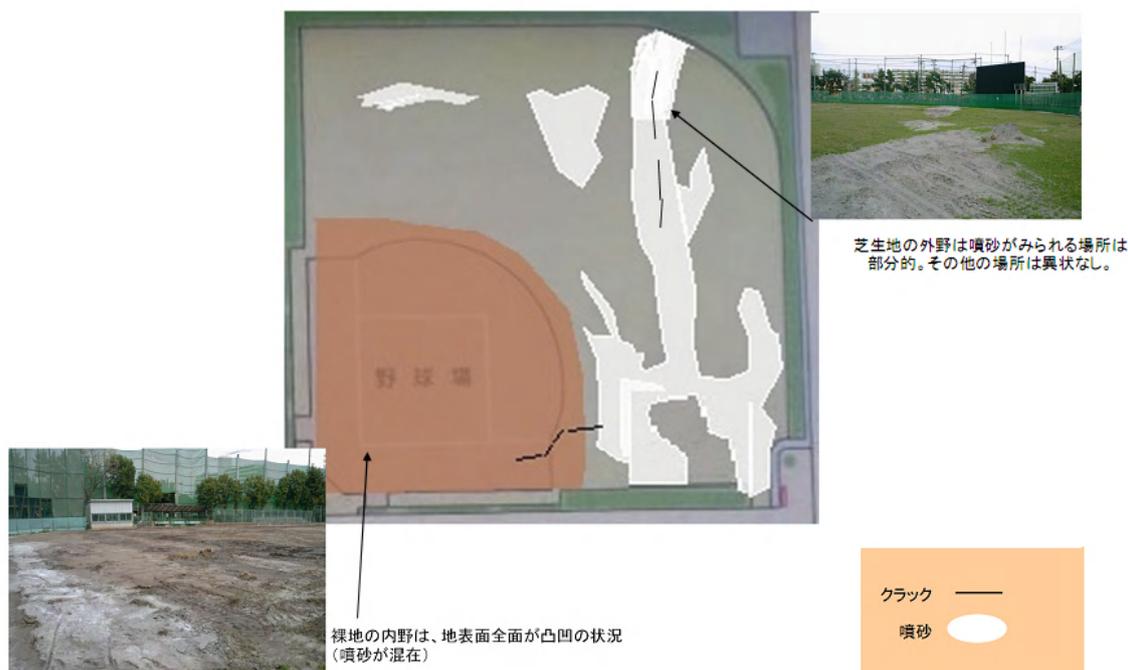


図 2-6 調査状況：中央公園（その 2）全体のクラック・陥没等状況

1) 土層状況および分析結果

①～③地点の土層状況および分析結果を図 2-7～図 2-9 に示す。

「①」はグラウンド（野球場とサッカー場等の芝生地）の芝生地で、噴砂が著しい。ここは埋め立て地全体と同じ高さのレベル（標高 3～4m）であり、周辺地域の被害も顕著である。因みに中央公園に最も近い富岡 3 丁目（調査地点から直線で約 400m 南東）の地質柱状図（千葉県地質環境インフォメーションセンターによる）によると地下水位は-1.3m となっている。これは極めて浅い。

「②」は、築山の北西側にある鬱閉した照葉樹を主とする暗い樹林内で、表層にウッドチップ（剪定枝葉堆肥）が約 20 cm ほど敷き均されている。ウッドチップに隠れているため、樹林内は少なくとも表面的には亀裂はほとんどないがその下のロームには亀裂も観察された。（但し全体がウッドチップで覆われているため、亀裂の状況は芝生地のようには詳細には把握できていない。）

「③」は、築山の下部に近いサクラ樹林内の園路に沿った芝生地であり、築山の芝生地の土層状況の一例となる。（他の亀裂地点の断面観察では表層ロームの厚さは 20 cm 程度であり、その他亀裂の多くで目視観察した状況ではロームの厚さは平均約 10 cm 程度であったから、ここは築山下部でロームが厚かったものと思われる。

2) 土壌硬度測定結果

①～③の SH 型貫入試験結果を図 2-10 に示す。

「①」はグラウンドのため、硬く締め固められていると思われる。

築山の奥の密植された樹林地（②）も低い位置のサクラ林下部の芝生地（③）も硬度の状況は類似している。

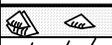
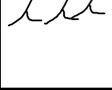
土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	+5mm						
	0-5	S	2.5Y7/1 灰白	乾	8.3	5	噴砂(貝殻含む)
	0-10	CL	10YR2/3 黒褐	半乾	7.6	6.0	根は20cmまで確認。
	20-30	S	10YR6/4 にぶい黄橙	半乾	8.0	1.8	ローム、噴砂混入
	30-40						
	50-60	S	10YR6/2 灰黄褐	半湿			噴砂と類似しているが、灰黒が強い
	70+						70cmより碎石層

図 2-7 土層状況と分析結果：地点 ⑪

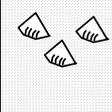
土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	0-10	粗大有機物		半乾～半湿			剪定堆肥
	20-30	L	10YR4/4 褐	半乾	6.9	20.7	ローム * 他のエリアでは、ここよりクラックあり。
	40-50			乾	7.2	49.5	固結している
	80-90	S	2.5Y6/1 黄灰	半湿	6.8	18.0	貝殻混じり
	100+						

図 2-8 土層状況と分析結果：地点 ⑫

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	0	L	10YR3/3 暗褐	半乾	7.5	2.4	根は20cmまで確認 15cmに碎石混入
	10						
	50	S (粗)	5Y6/1 灰	半湿	7.6	3.0	粗目で軟らかい シルト分がなく、粒がそろっている
	60						
	70						
	80						
	90						
	90+						
	90+						

図 2-9 土層状況と分析結果：地点 ⑬

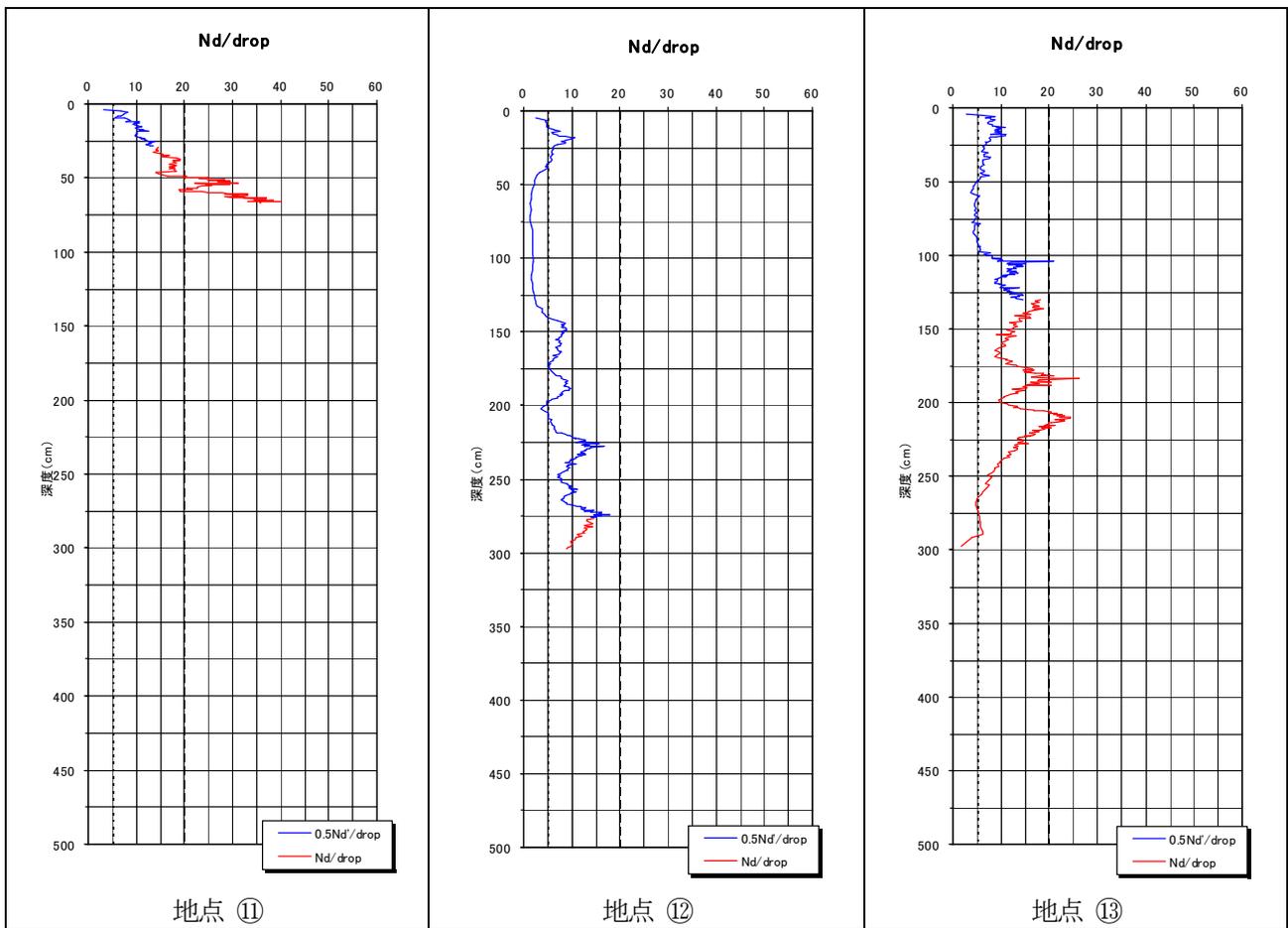


図 2-10 SH型貫入試験結果：地点 ⑪ ~ ⑬

3) 考察

□ 土層状態

グラウンド(⑪)の土層は現地盤より-70 cm程度から下は碎石を含んだ層(造成時の締固め層?)で、その上にレベル調整の砂があり、表面に芝下用の黒土が約15 cm乗っている。

築山では、密植樹林地(⑫)では砂の層の上に約50 cmの植樹用に客土された半黒土が乗り、その上に剪定枝葉堆肥(ウッドチップ)が約20 cm乗っている。チップは崩壊程度から見て散布から1年程度経過したものと思われ、散布時は30 cm程度の厚さがあったものと推定される。チップ敷設は地面のクラック等をマスクする効果はあるが、実質的な防災面での効果は考えにくい。

◆ pHとEC

グラウンド(⑪)については、表層の噴砂のpHは8.3であったが、ECは5.0(mS/m)と低い値になっている。芝生用のロームについてはpH7.6でECは6.0とこれも低い。その下の砂はpHは8.0であったが、ECは極端に低い1.8である。これだけ噴砂が著しい箇所でのECの値は、ここの地下水(千葉県による柱状図では地下水位=-1.3m)が雨水であることを類推させる。この点が海に近い日の出地区の公園の状況と異なる所である。

築山については、密植された樹林(⑫)ではpHは6.8~7.2で下層土の砂も含めて中性に近いが、ECは表土のロームの下部(やや硬く締まっている)で49.5というかなり高い値を示した。但し、グラウンドでのECの値やその下の層のECの値(18.0)から考えて、この高い値は液状化に起因するものではなく、表層に過剰に播かれた剪定枝葉堆肥由来の肥料成分が浸透し、固結したローム下部でとどまっていることによるものと考えられる。

築山下部(⑬)については、pHは7.5程度のアルカリ性であるがECは2.4~3.0と極めて低く、液状化被害との関連は見あたらない。

◆ 硬度

グラウンドでは(造成時の締固めによるものか)70 cm程度から下が碎石を含んで硬いため、測定が中止されている。グラウンド奥に溜まった表面の噴砂(約20 cm厚程度)がかなり硬く締まっていたので、地下の土層も締まっている可能性もあるが、それら状況を含めて-3~5m程度まで硬度が確認できていれば有益な知見が得られたと思われるので、今後の追調査が望まれるところである。

築山に関しては⑫・⑬共に類似した傾向で、表層のロームの下(造成時の表層砂層)は1~1.5m程度まで比較的軟らかく、その下が徐々にNd10程度以上に硬くなっている。

◆ 地被と被害状況

野球場部分では大きな亀裂ができ、砂が噴き出していた。築山部分では断層的な亀裂ができていた。芝生のほふく茎で防御できる規模のものではなかった。

(3) 調査地点A（中央公園 噴砂と亀裂のある芝生地）における調査結果

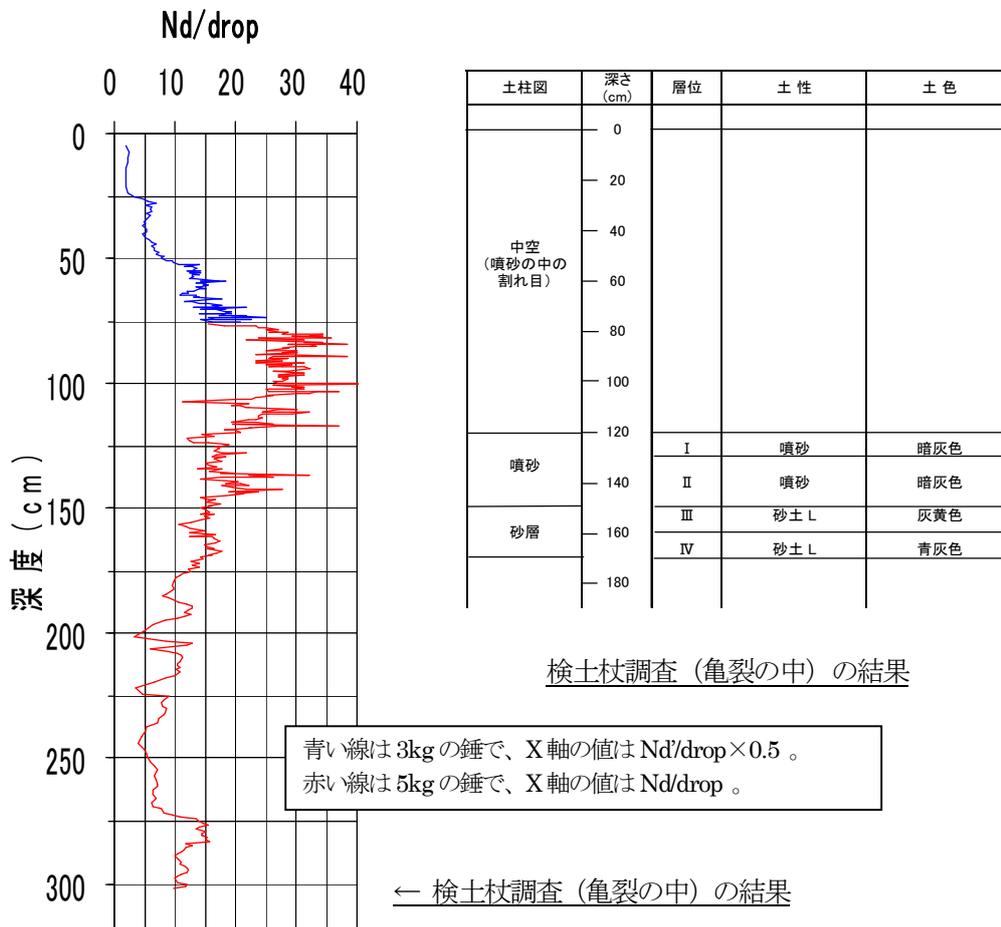
表層基盤・芝生分科会で4月26日に、野球場の芝生地、噴砂が厚く積もり深く亀裂が入っている場所で表層基盤の補足調査を行った。



写真 2-3 調査地点 No.1 の状況

1) 貫入試験と検土杖調査の結果

検土杖調査は亀裂の中で行ない、貫入試験は亀裂の外で行ったため、単純には比較ができない。噴砂のメカニズムを解明するデータになるかもしれないという意図でデータを採取した。



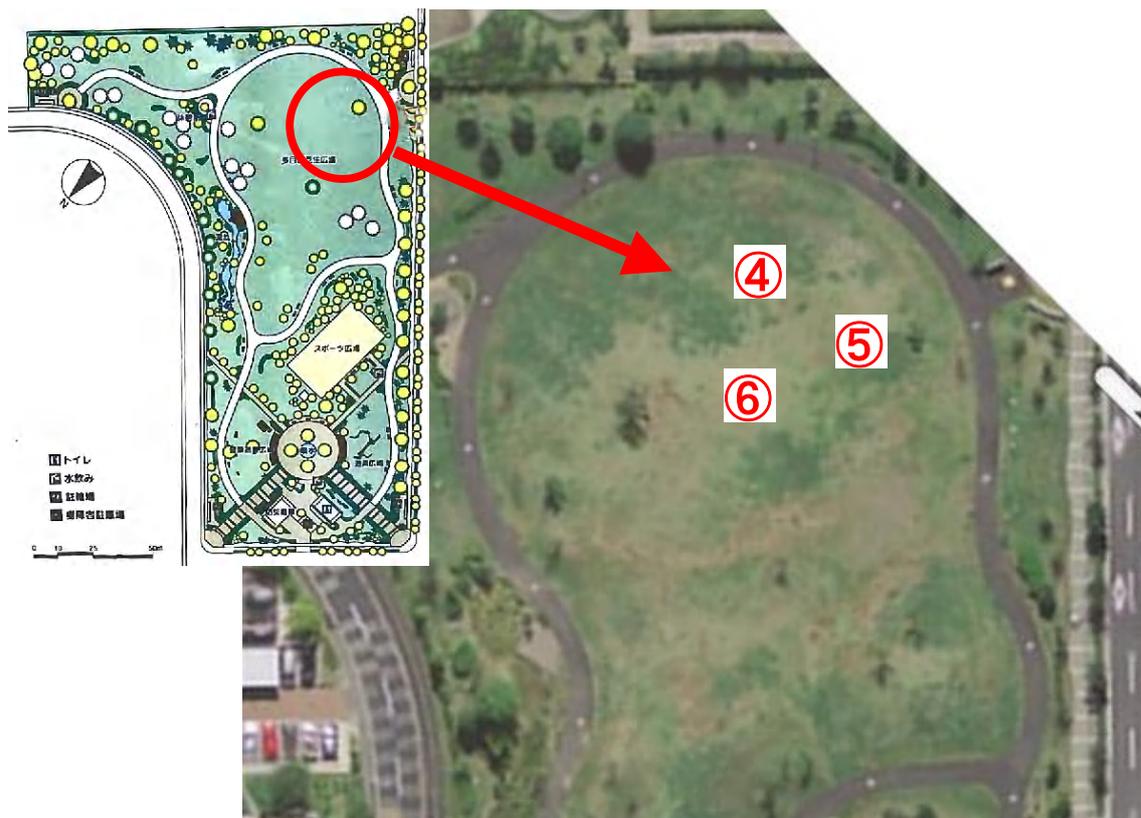
2.3.3 日の出おひさま公園

(表 1-3 および図 1-7 で(23))

本公園は約 20,000 m²の芝生を中心とした公園であり、周辺の高層住宅群に居住する人達にとっては学校と並んで災害時の主要な避難場所になるが、芝生地に噴砂とそれに伴う陥没が見られ、芝生地の亀裂も顕著である。地震の際に本来は最も安全であるべき芝生緑地であるが、顕著な噴砂や亀裂が生じており、数人の近隣主婦は一樣に当時の恐怖を語っていた。

調査は、表層基盤・芝生分科会が 4 月 17 日に、極めて顕著な噴砂の跡と亀裂が認められる公園内の広い芝生部分の 3 箇所 (④～⑥) (図 2-9) で実施した。調査箇所の番号は当日の調査時刻順。

調査状況等を図 2-12～図 2-13 に示す。



Yahoo 地図航空写真を元に作成

図 2-11 調査位置図：日の出おひさま公園

1) 土層状況および分析結果

④～⑥地点の土層状況および分析結果を図 2-14～図 2-17 に示す。

④は芝地内の亀裂の一部で観察した断面である。亀裂幅は最大で 40 cm 程度であった。

④は④断面の脇の検土杖結果である。-80 cm 程度から下に還元層があることから判断して、通常時でも地下水レベルが高いことを示唆している。

⑤は直径約 8m (噴砂の痕跡が認められる範囲であり、厳密に見れば陥没範囲は 15m 程度と見られる) 中心の深さ約 -25 cm の地盤沈下部分の中央付近である。地表面にわずかに過湿箇所が見られ、塩分の析出と思われる兆候が見られた。

⑥は芝生内で噴砂跡が見られない箇所である。改良ノシバで被覆率 15% 程度である。



調査地全景



公園境界際樹木植栽地の堆砂(厚さ 30 cm以上)



亀裂は植被のレベルにあまり関係しない
(両者の位置は10m以内)



芝生の亀裂の一部 (④断面状況)



噴砂で陥没した芝地 (⑤地点)

陥没の直径 (堆砂が認められる幅) は約8m、中心の深さは約25cmであるが、周辺の地形から見て、実際の陥没はより大きく、深く生じたものと思われる。



⑤陥没地脇の長い亀裂
亀裂の長さ36m、平均開口幅15cm、深さ35~45cm

図 2-12 調査状況：日の出おひさま公園 (その1)



図 2-13 調査状況：日の出おひさま公園（その2）全体のクラック・陥没等状況

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	+5mm	S	2.5Y7/1 灰白	乾	7.9	12.6	噴砂(貝殻含む)
	0						
	10	L	10YR4/4 褐	乾	7.5	9.8	噴砂が入り込んでいる。
	20	S	2.5Y6/2 灰黄	半乾	8.6	10.4	噴砂+角礫混じり
	30+						
	40						
	50						
	60						
	60				7.8	33.9	
	70						
	80						
	90						
	100+						

図 2-14 土層状況と分析結果：地点 ④（断面）

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	+2cm 0	S	2.5Y7/1 灰白	乾			噴砂(貝殻含む)
	10	L	10YR4/6 褐	半乾~ 半湿			客土:ローム
	20 30+ 40 50	S	2.5Y6/2 灰黄	半乾~ 半湿			40~50cmには、碎石や貝殻が比較的多し
	60 70 80 90 100+	S	5B3/1 暗青灰	湿			還元臭あり。 貝殻混入。 ローム塊混入。

図 2-15 土層状況と分析結果：地点 ④

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	+5mm 0	S	2.5Y7/1 灰白	乾			噴砂(貝殻含む)
	10	L	10YR4/6 褐	半乾	7.1	44.5	客土:ローム シルト塊混入 根5cmまで確認 噴砂混入。
	20 30+ 40 50 60	S	2.5Y6/2 灰黄	半乾~ 半湿	7.6 8.3	19.4 15.0	シルト塊混入 50~60cmは湿り気強く、土壌採取不可能
	70+	S	5B3/1 暗青灰	湿	7.5	38.6	還元臭あり。

図 2-16 土層状況と分析結果：地点 ⑤

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	0	L	10YR4/6 褐	半乾	7.5	10.0	客土:ローム 25cm~30cm範囲にて根確認
	10						
	30+	S (粗)	10Y6/1 灰	半乾~半湿	8.5	8.2	シルト塊・貝殻混入 海砂の敷均し? 均一な堆積状態
40							
50	半湿~湿			8.5	11.2		
60							
100+							

図 2-17 土層状況と分析結果：地点 ⑥

2) 土壌硬度測定結果

SH型貫入試験結果を図 2-18 に示す。

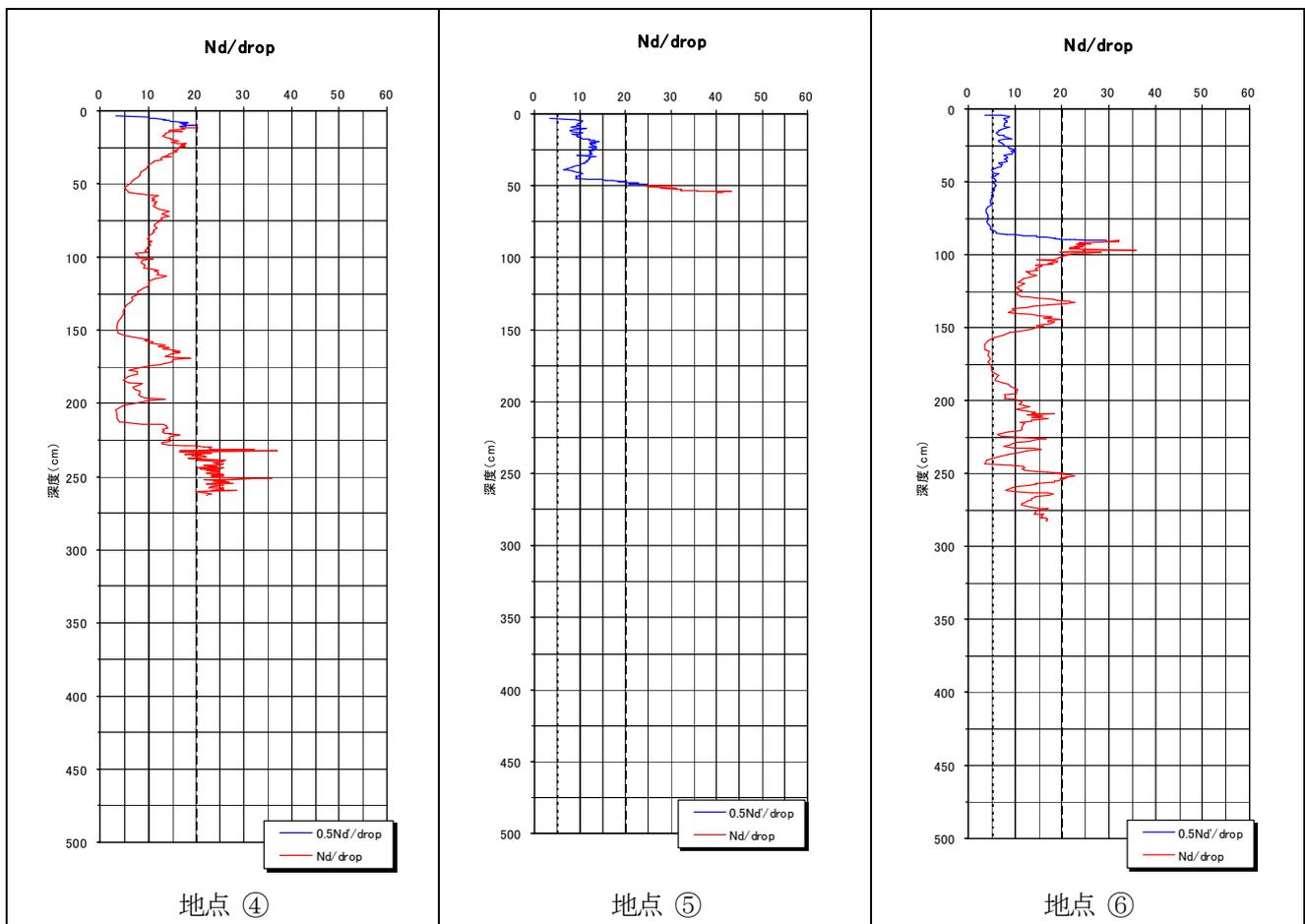


図 2-18 SH型貫入試験結果：地点 ④~⑥

④は、亀裂の脇で調査を行ったものである。亀裂沿いに若干の噴砂が認められるが僅かである。表層は踏圧を受け25cmまで硬質である。それ以下は、軟質な土層が続くが2.3m深以下は硬質となっている。

噴砂により陥没した噴砂地(⑤地点)は硬質であり、50cmまでの値しか得られていない。噴砂後、地下水が失われ陥没したものと考えられ、噴砂により地下水が抜け出したため圧密され締め固められたものと推定できる。

⑥は築山土盛り部分である。深まで軟質であり、それ以降1.7m深まで硬軟の土層が繰り返されつつ硬度が低下し、それ以降は、軟質な部分と硬質な部分が繰り返される状態となっている。これは、噴砂により陥没した部分へ地下水が側方流出し、噴砂後圧密されたものと推定できる。この点を解明するためには、地盤液状化前後の土層状態の比較が必要となり、今後の課題となる。ただし、非陥没地を含む周辺に対し縦横断測定を行うことにより、地盤液状化と噴砂に対する有益な情報が得られるものと考えられる。

公園境界に噴砂が直線上に厚く堆積する箇所があるが、日の出第四街区公園の亀裂とは僅かにずれるが、延長線上の位置にあり、埋め立て時の境界擁壁等構造物など地盤の弱部の存在が考えられる。

3) 指標木のモニタリング結果

指標木の観察結果を以下に示す。

公園東側外周歩道に近く、大量の堆砂(約20cm)に埋まった常緑壮齢樹(モリシマアカシア(マメ科))の樹勢の経過観察を行った。樹勢旺盛で開花結実も盛んであった。(モニタリング結果その1)

また、公園南側噴砂陥没近くの落葉若齢樹(コブシ(モクレン科))の樹勢経過観察を行った。生育良好で樹勢の劣化は見られなかった。(モニタリング結果その2)

さらに、公園の外、南西側のベビー用品店「ベビーザラス」前、駐車場と歩道との間に植栽された低木(リュウキュウツツジ(ツツジ科))も観察した。当初の調査時(4月17日)に半枯れであった個体は再生することがなかった。(モニタリング結果その3)

モニタリング結果その1(日の出おひさま公園 モリシマアカシア)

指標木調査票												
調査箇所	公園(噴砂地点)				立地状況	公園の外周植栽部に生育 ・噴砂堆積約20cm	位置図					
樹種名	モリシマアカシア											
形状寸法	樹高	4.3 m	枝張	2 m								
	幹回り	26 cm	根元周	43 cm								
検土杖	■ あり		□ なし									
貫入試験	■ あり		□ なし									
調査日	第1回(平成23年4月17日)				第2回(平成23年5月20日)			第3回(平成23年7月4日)				
調査者	有田和寛				有田和寛			有田和寛				
樹木健全度	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A
	樹勢	1			樹勢	1			樹勢	1		
	備考	鳥居支柱				備考	開花中(芳香を放つ)			備考		
全景写真												
												

モニタリング結果その2 (日の出おひさま公園 コブシ)

指標木調査票														
調査箇所	公園(噴砂地点)				立地状況	・公園の芝地丘陵部に生育 ・後背部に噴砂池あり				位置図				
樹種名	コブシ													
形状寸法	樹高	4.3 m	枝張	2 m										
	幹回り	26 cm	根元周	43 cm										
検土杖	■ あり □ なし													
貫入試験	■ あり □ なし													
調査日	第1回 (平成23年4月17日)				第2回 (平成23年5月20日)				第3回 (平成23年7月4日)					
調査者	有田和寛				有田和寛				有田和寛					
樹木健全度	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A		
	樹勢	1			樹勢	1			樹勢	1				
	備考	鳥居添木支柱				備考	生育良好				備考	前回と変わらず		
全景写真														

モニタリング結果その3 (日の出おひさま公園 リュウキュウツツジ)

指標木調査票														
調査箇所	ベビザラス前(噴砂地点)				立地状況	・ベビザラス前駐車場の植樹帯に生育 ・噴砂堆積				位置図				
樹種名	リュウキュウツツジ													
形状寸法	樹高	0.5 m	枝張	0.4 m										
	幹回り	-	根元周	-										
検土杖	■ あり □ なし													
貫入試験	■ あり □ なし													
調査日	第1回 (平成23年4月17日)				第2回 (平成23年5月20日)				第3回 (平成23年7月4日)					
調査者	有田和寛				有田和寛				有田和寛					
樹木健全度	樹形	4	判定	C	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A		
	樹勢	4			樹勢	1			樹勢	1				
	備考	半枯死状態				備考	堆砂部分は枯死				備考	堆砂部分は枯死		
全景写真														

4) 考察

□ 土層状態

検土杖調査結果で、亀裂や陥没が見られた④⑤の-70~80 cm程度で還元層が見られている。これは地下水位が高いことを示すものである。

一方、被害が見られない⑥については調査対象の芝生のなかでも土盛レベルが高い。したがって還元層は1m以内に認められていない。すなわち地下水位レベルも④、⑤地点より低い。液状化した砂はより低いポテンシャルの④や⑤の地点で吹き出したと推定される。

後述の中央公園でも築山（通称「浦安富士」）に噴砂は見られていない。

◆ pH と EC

pH はいずれも 7.1~8.6 のアルカリ性で、EC は 8.2~44.5 (mS/m) の値であった。日の出第4街区公園と同様に、8.6 もの高い pH を示すのは炭酸ナトリウムの存在を示唆しており、海水起源の塩類を含む液状化の影響と考えられる。但し、EC の値から判断して、今後植物生育に影響が出ることはないと考えられる。

◆ 硬度

残念なことに最も注目された噴砂による陥没地での値が 50 cm までしか得られていない。50cm 以下は貫入不能な硬さとなっており、噴砂の後、地下水が抜け圧密を受け硬質となったものと推定できる。しかし、今後の詳細な縦断測定などにより確認することが必要である。

噴砂による陥没地は、浅層で貫入不能となった。これは、噴砂後の沈下による圧密を受け硬質となったものと考えられる。亀裂脇で実施した④は、芝地表層が踏圧による圧密を受け硬質となっているが、それ以深は軟質になっている。築山の土盛り箇所は、1m の盛土の下は次第に軟質になって行くが、硬軟の土層の繰り返しが認められ④とは異なった状態となっている。築山の荷重により、地下水は噴砂が発生した箇所へ側方流動し、地下水が抜けた箇所が圧密されたものと推定できる。ただし、この点を明確にするためには、地震前の地盤高さ、地盤構造との比較が必要であり、今後の課題となる。

◆ 地被と被害状況

芝生内に大きな亀裂ができており、芝生のほふく茎で擁護できる規模のものではなかった。しかし、公園の南の境界付近で噴砂の厚さが 50cm 程度にもなっているのに比べると芝生の噴砂の量は少なかった。また、建造物の多い公園の東側の入口付近の地形が大きく変動しているのに比べると芝生の地形変動は小さかった。

この公園から採取した砂と、市販の山砂にペレニアルライグラスを播種したところ、ほとんどの種子が発芽した。草丈の伸長は山砂に比べると多少遅かった。pH などの影響が考えられるが、しばらくおいてからの利用ならば芝草等の成長に対してほとんど問題ないものと思われた。

◆ 指標木のモニタリング結果

指標木のモリシマアカシア、コブシについては、地震後約 4 ヶ月の 7 月 4 日時点まで、特別の生育状況の変化・衰退等は見られない。リュウキュウツツジについては、4 月 17 日時点で噴砂の堆積により根元が覆われていた箇所は半枯死状態であったが、その後の調査では完全に枯死していた。塩分、地際の埋没、乾燥等の影響が考えられる。

2.3.4 日の出第4街区公園およびその隣地

(表 1-3 および図 1-7 で(25))

本公園は約 2,600 m²の街区公園である。

地盤液状化に関しては、公園の広場での噴砂は見られず、公園の銘板が剥離、歩道ブロックが剥離するなどの被害が発生しているが、軽微である。公園に隣接する未利用地に、海に直交する長い割れ目ができ、噴砂している。

調査は、表層基盤・芝生分科会が4月17日に、噴砂の跡が見られた入口に近い南側、および公園に隣接する広い未利用地の噴砂が見られた3箇所(①～③)(図 2-12)で行った。調査箇所の番号は当日の調査時刻順。調査状況を図 2-13 に示す。



図 2-12 調査位置図：日の出第4街区公園およびその隣地



全景（入り口方向より見た公園）



液状化による歪みでブロックが剥離



公園隣接地（未利用地）の噴砂（③地点）
（海に直交して長い亀裂と噴射が見られる）



噴砂した砂
（シルト混じり微砂）



SH型貫入試験状況（③地点）



ソイルコアサンプリング状況（②地点）
噴砂は③より流入

図 2-13 調査状況：日の出第4街区公園およびその隣地

1) 土層状況および分析結果

①～③地点の土層状況および分析結果を図 2-14～図 2-16 に示す。

①と②地点は公園内で植栽基盤の構造は類似しているが、①では噴砂がなく②では噴砂（堆砂）跡が見られた。但し、②の噴砂は③の噴砂が拡散し堆積したものである。

③地点は公園脇のチガヤが被覆した広大な未利用地で、大きな亀裂が発達し、亀裂から噴砂が発生している場所である。

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	+4	S	2.5Y7/1 灰白	乾	7.9	28.3	噴砂(貝殻含む)
	10	L	10YR4/4 褐	半乾	7.2	8.2	0~10cmまで芝根分布
	20						25cmより”堅”
	30	CL		半乾~半湿	7.8	10.7	30cmより砂が混入(下層砂土の混入?)
40							
50	S	2.5Y5/6 黄褐	半湿	7.8	6.0	造成により敷均された砂? 墓地公園表層に分布する砂と類似?	
	60						
	70						
	80						
	90+						

図 2-14 土層状況と分析結果：①地点

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	0	LS	2.5Y7/1 灰白	乾	7.6	19.1	0~10cmまで噴砂が堆積(貝殻含む)
	10	L	10YR4/4 褐	半乾			マトリックスは、褐色なローム層。 現在では、噴砂主体の層となっている。 押しやられたローム塊がスポットで分布。
	20						
	30	S	2.5Y6/3 明黄褐	半湿	7.6	21.0	造成により敷均された砂? 墓地公園表層に分布する砂と類似?
	40						
	50						
	60+						

図 2-15 土層状況と分析結果：②地点

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	0	S	10YR6/1 褐灰	半乾	7.9	6.9	造成により敷均された砂?
	10			半乾~半湿	8.2	7.1	10cm以下は、非常に固結 15cmに腐朽根あり。
	20						
	30+						

図 2-16 土層状況と分析結果：③地点

2) 土壌硬度測定結果

SH型貫入試験結果を図 2-17 に示す。

植栽地②は、-50cm 前後が重機などによる圧密を受けているものと考えられ、-1m 以深はすこぶる硬質である。

亀裂より噴砂が発生した③の地点は、②と同様-25cm から-60cm 程度まで重機などによる圧密を受けたものと考えられるが、それ以深は軟質であり、-2m 以深は軟弱な状態となっている。(重機造成地では、撒き出し厚さの関係で一般的に深さ 30 cm程度毎に表層転圧締固めによる硬い層ができることが多い)

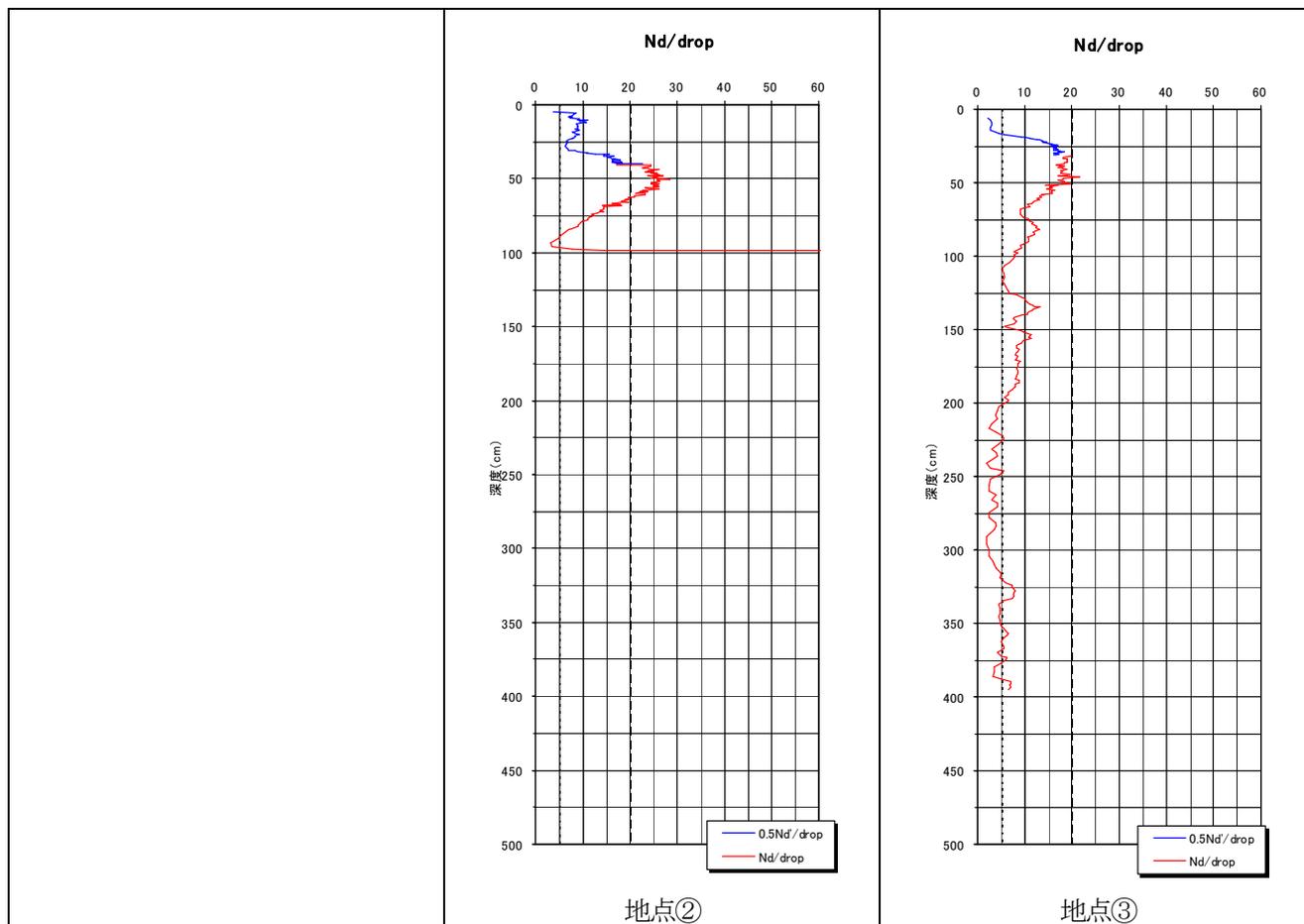


図 2-17 SH型貫入試験結果：地点②、③

3) 指標木のモニタリング結果

指標木のモニタリング結果を次ページに示す。公園隣接未利用地(東側)に大規模な地割れや噴砂があり、この地割れ噴砂地点から 5 m西側の公園内、堆砂のなかった地点の落葉広葉樹(オオシマザクラ(バラ科))を指標木として、地割れ噴砂の影響と樹勢の経過観察を行った。生育は良好であり、樹勢の劣化は確認されなかった。

4) 考察

◆ 土層状態

公園内は土層状態から判断して、埋め立て後に(千葉県浅間山等からの)山砂を被覆した上部にロームを搬入して仕上げたようであるが、隣接する遊休地の噴砂が見られる箇所では(少なくとも表層近くには)ロームは見られなかった。

◆ pH と EC

pH はいずれも 7.2~8.2 のアルカリ性で、EC6~28.9 (mS/m) の値であった。噴砂による塩分の影響が考えられるが、植物生育に影響が出るレベルではないと考えられる。

モニタリング結果（日の出第4街区公園 オオシマザクラ）

指標木調査票														
調査箇所	日の出第4街区公園(噴砂地点)				立地状況	・日の出第4街区公園の植樹帯に生育 ・噴砂堆積	位置図							
樹種名	オオシマザクラ													
形状寸法	樹高	4 m	枝張	2 m										
	幹回り	22 cm	根元周	32 cm										
検土杖	■ あり □ なし													
貫入試験	■ あり □ なし													
調査日	第1回（平成23年4月17日）				第2回（平成23年5月20日）				第3回（平成23年7月4日）					
調査者	有田和寛				有田和寛				有田和寛					
樹木健全度	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A		
	樹勢	1			樹勢	1			樹勢	1				
	備考	開花中				備考	生育良好				備考	生育良好		
全景写真														

◆ 硬度

公園内の地点②では-50cm 前後が硬く、重機による圧密と考えられ、-1m 深で急激に硬くなっている。地点③の遊休地は、-25～-50cm 深が硬く、それ以下は柔らかく、-2m 以深は軟弱な状態である。公園内に噴砂が発生しなかったのは、-1m 以深に存在する硬質な基盤が蓋として作用したものと考えられる。③は、蓋となる硬質な土層は認められず、地盤液状化によるひずみにより発生した亀裂より噴砂が発生していた。噴砂は-2m 以浅、比較的浅い土層から発生したものと推定され、噴砂により地下水が抜けた後、沈下による圧密を受けたものと考えられ、硬質な層が認められる。

③の亀裂は、海(三番瀬)に向かって直角に直線状に長い亀裂が発生しており、この位置に地盤液状化によるひずみが集中した理由として、埋め立て時の境界擁壁等構造物が存在するなど地盤の構造的な弱部が存在する可能性がある。風岡らは幕張の浜における液状化が地中の護岸堤に沿って発生した状況を報告している(風岡ら 2003)。

◆ 地被と被害状況

噴砂は亀裂から噴き出しているが、亀裂の位置を地被植物のような表層の状態から説明するのは困難である。大きな力を受けてできる亀裂を、芝草のほふく茎等で防ぐことはできない。

隣接する未利用地には公園との境に沿って長い亀裂の線ができていたが、ここは埋め立て時期の異なる区域の境目にあたり、地中深くに埋め立てに関わる構造物のあることが推測される。このような区画の境目付近を除いては、未利用地の中に大きな噴砂はみられなかった。未利用地は表層まで砂になっており、チガヤなどが生い茂っている状況であるが、公園内と異なり表層を覆う土がないために、亀裂が発生し噴砂が発生したと思われる。

◆ 指標木のモニタリング結果

指標木のオオシマザクラについては、地震後約4ヶ月の7月4日時点まで、特別の生育状況の変化・衰退等は見られない。

2.3.5 明海の丘公園

(表 1-3 および図 1-7 で(28))

樹林地分科会で4月16日に、土壌の亀裂が樹木の手前で消えていた調査地点 No.7 を調査した。調査地点の番号は当日の調査時刻順。樹木の根による土壌緊縛効果と関係があるものと考えられた。



図 2-18 明海の丘公園における調査地点の位置図



写真 2-7 調査地点 No.7 の状況

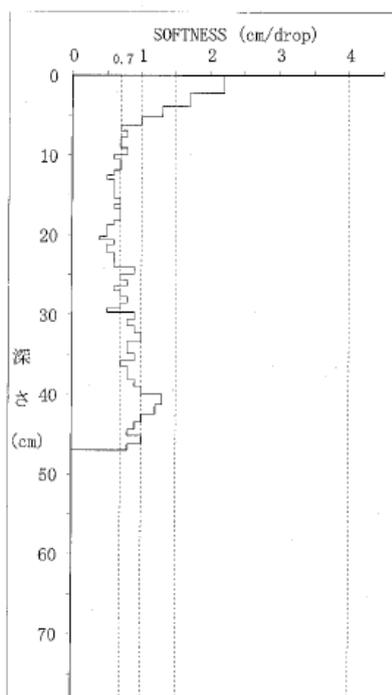
(このクスノキの根元で土壌コア採取および土壌貫入試験を行った。)



(土壤の亀裂が樹木の手前で止まっている。)

写真 2-8 調査地点 No.7 に迫っている亀裂の状況

1) 貫入試験と検土杖調査の結果



貫入試験の結果

土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色
	0			
山砂	10	I	砂壤土 SL	黄褐色
	20			
	30			
	40			
	50			
	60			
	70			

検土杖調査の結果

2) 指標木（調査地点 No.7 のクスノキ）のモニタリング結果

モニタリング結果は以下の通り。公園内の、近くまで大きな割れ目が迫っている盛土部分に植栽された常緑壮齢高木（クスノキ・クスノキ科）を指標木とし、大きな地割れ目による根系の衰退がないかを見るために樹勢変化をモニタリングした。樹勢への影響は見られず、開花・展葉共に旺盛であった。

指標木調査票														
調査箇所	明海の丘公園（クラック地点）				立地状況	・明海の丘公園の樹林地に生育 ・クラック発生地				位置図				
樹種名	クスノキ													
形状寸法	樹高	6 m	枝張	3.5 m										
	幹回り	60 cm	根元周	78 cm										
検土杖	■ あり □ なし													
貫入試験	■ あり □ なし													
調査日	第1回（平成23年4月17日）				第2回（平成23年5月20日）				第3回（平成23年7月4日）					
調査者	有田 和寛				有田 和寛				有田 和寛					
樹木健全度	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A		
	樹勢	0			樹勢	0			樹勢	0				
	備考	良好				備考	開花中				備考	生育良好		
全景写真														

3) 考察

◆ 土層状態、土壌硬度

No.7 地点は全体が盛土で構成されていて、その頂上付近にクスノキが植栽されている。盛土は二層で構成されていて、表面から 37cm 程度は客土である。強く転圧されていないことから、土壌硬度的には硬めではあるが問題ない状態である。盛土の頂上部を走る大きなクラックが、その根の周辺で消滅している事実から、根の緊縛力によることが容易に想像できた。

◆ pH と EC

噴砂は pH が 8.3、EC が 0.74mS/cm で生育上ほとんど問題ない値である。

◆ 指標木のモニタリング結果

指標木のクスノキはクラックがすぐ横に迫っていたが生育への悪影響はなかった。

2.3.6 高洲太陽の丘公園

(表 1-3 および図 1-7 で(31))

調査は、表層基盤・芝生分科会が4月17日に、4箇所(芝生地⑦～⑨と樹林地⑩)で行った(図 2-19)。また、4月26日に2箇所(BとC)で補足調査を行った。調査箇所の番号はそれぞれ当日の調査時刻順。

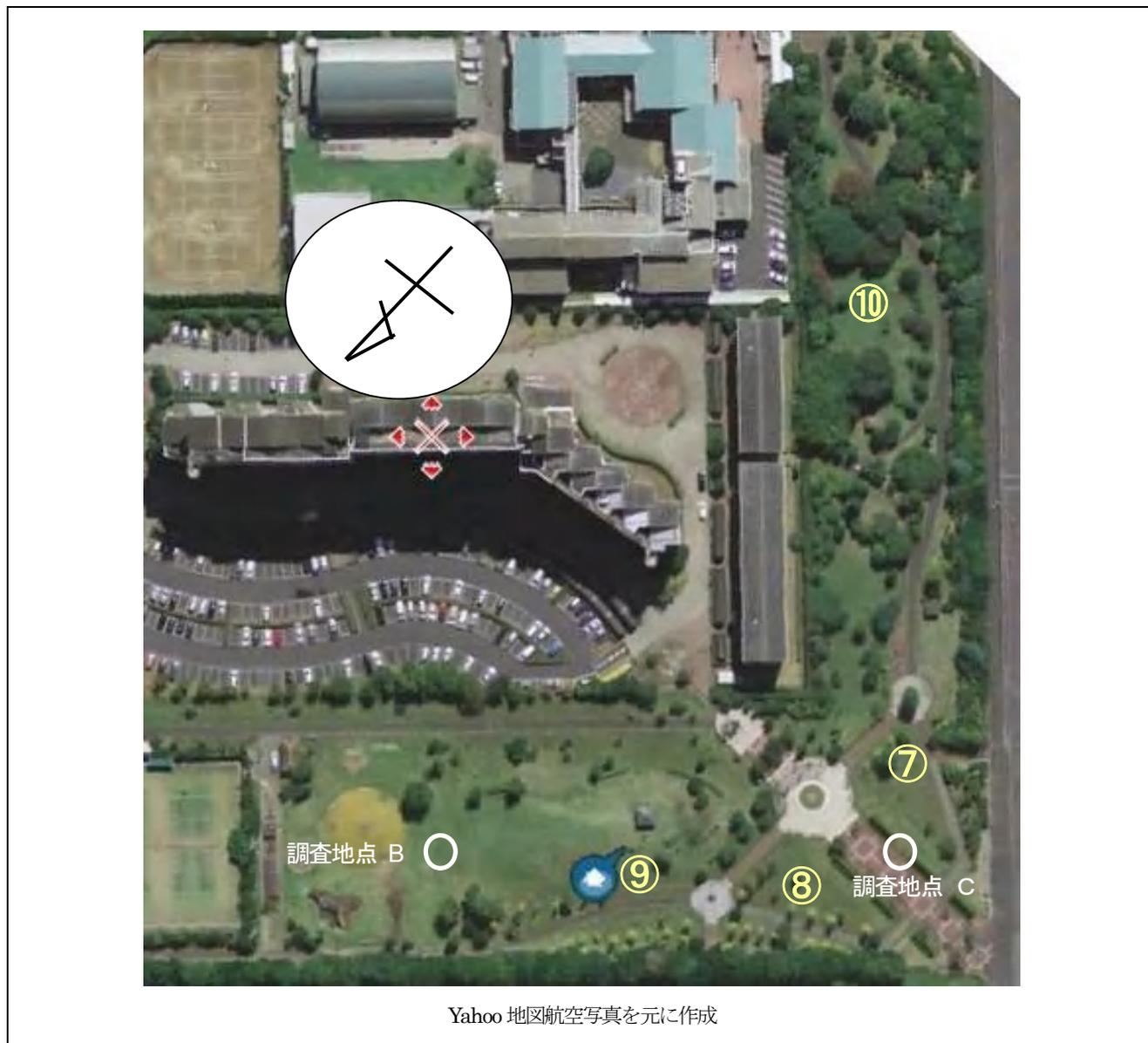


図 2-19 調査位置図：高洲太陽の丘公園

(1) 調査地点⑦～⑩における調査結果

調査状況を図 2-20 および図 2-21 に示す。

本公園は順天堂医療短期大学と浦安高洲県営住宅団地に隣接した約 18,000 m²のL字型の公園である。公園は2期に渡り造成されており、L字の縦棒にあたる部分(⑩)は古く、横棒にあたる部分(⑦～⑨)は新しい。地盤液状化による噴砂は、縦棒に当たる部分には認められず、横棒の部分、新しい公園域に顕著である。⑦、⑧の入口付近に噴砂跡が広く認められ、インターロッキングやタイル舗装にひび割れ等が見られる。⑦は陥没が認められる。

調査地⑩周辺の樹林は竣工が古く、全体にきわめて良好な生育を示し液状化被害もない。これに対して入口に近い芝生地⑦は噴砂跡が見られ、陥没している。⑦、⑧の地点は、全体に樹木の生育が不良であり、根腐れと思われる樹形をしており地下水位の高いことがうかがえた。



入口付近⑦の噴砂跡状況



入口付近⑦の噴砂と樹木生育不良状況。地盤沈下と考えられる弱い凹地が見取られる。



⑨ 生育良好な樹林地



入口歩道タイル舗装のひび割れ



公園外側（図 2-19 の下側）の広い噴砂跡
幅数mの川のように直線的に液状化跡が見られる。隣接する4車線車道に平行に約30mの範囲に亀裂が幾重にも入っている。



左同、亀裂

このような亀裂による地盤の変動が、L字横棒、車道より30m程度の地割れや、入口付近のタイルや舗装のひび割れの原因と考えられる。

図 2-20 調査状況：高洲太陽の丘公園（その1）

高洲太陽の丘公園（園地部）の概況

芝生+単木植栽園地(噴砂なし)

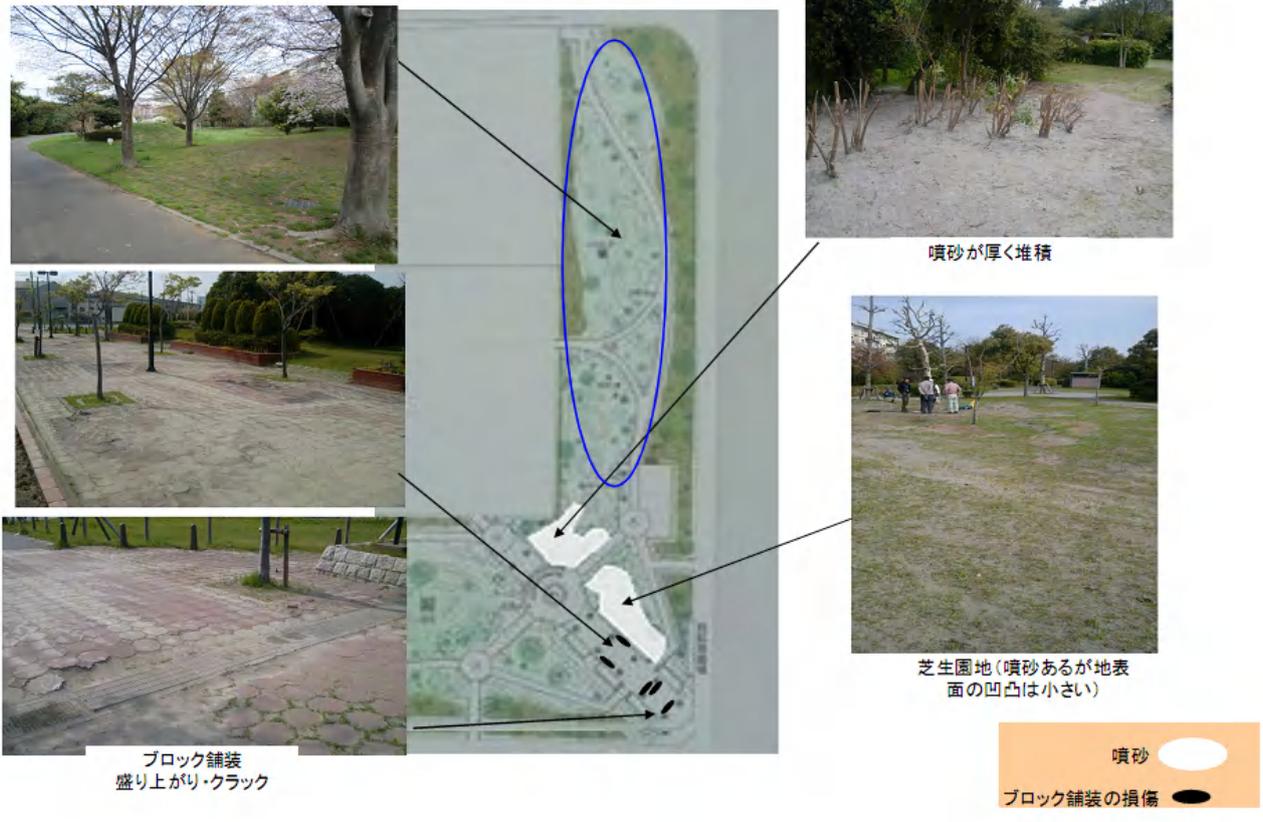


図 2-21 調査状況：高洲太陽の丘公園（その2）全体でのクラック・陥没等状況

1) 土層状況および分析結果

⑦～⑩地点の土層状況および分析結果を図 2-22～図 2-25 に示す。

⑦は弱い地盤沈下が見られるエリアであり、塩分析出状況も見られた。周辺一面に噴砂がある。

⑧は、⑦に近い噴砂のない箇所で、⑨も噴砂のない箇所であるが、いずれも比較的浅い部分から一時的な還元湿潤状態が認められた。

⑩は表面が暗褐色の黒土で客土された低い築山で、生育良好な樹林地であるが、40 cm程度以下は硬くて試料採取ができなかった。

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
	+5mm	S	2.5Y7/1 灰白	乾			噴砂(貝殻含む)
	0	S	10YR5/2 灰黄褐	半乾	7.3	27.5	
	10	S (粗)	2.5Y6/3 灰褐	半乾	6.7	34.2	根は20cmまで確認。 ローム、噴砂混入
	20	S	10Y6/1 灰	半湿			噴砂の固結
	30						
	40+						

図 2-22 土層状況と分析結果：地点 ⑦

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
LLL	0						
	10	L	10YR3/3 暗褐	半乾	7.9	13.4	砂分多い
LLL	20	S	10YR5/6 黄褐	半乾	8.1	7.3	根は20cmまで確認
	30						
	40						
	50						
△△△	60				7.5	20.5	50cm付近に斑鉄、貝殻あり。
	70						70cm付近に斑鉄あり。
	80						
	90			湿に近い半湿	8.2	13.8	
	100+						

図 2-23 土層状況と分析結果：地点 ⑧

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
LLL	0						
	10	L	10YR3/3 暗褐	半乾	7.4	5.2	根は10cmまで確認
	20	LS	2.5Y6/4 にぶい黄	半乾～ 半湿			円礫含む
	30						
	40						
	50						
	60	LS	7.5Y6/1 灰	半湿	7.8	15.0	Mn集積？ 還元臭あり。
70+							

図 2-24 土層状況と分析結果：地点 ⑨

土柱図	深さ (cm)	土性	土色 (本文注)	水分状況	pH (H ₂ O)	EC mS/m	その他
lll	0						
	10	L	10YR4/4 褐	半乾	7.7	4.9	根は10cmまで確認
[Shaded Box]	20	LS	2.5Y6/4 にぶい黄	半乾～半湿	8.2	11.3	円礫含む
	30						
	40+						
	40+						固結砂層 シルト多い

図 2-25 土層状況と分析結果：地点 ⑩

2) 土壤硬度測定結果

⑦・⑧・⑩のSH型貫入試験結果を図 2-26 に示す

⑦は芝地であり、噴砂により陥没が認められる箇所である。地表部は軟質であるが30～50cmは重機による転圧と考えられる圧密を受けている。それ以深は軟質であるが硬軟交互の土層が連続し、-150cm以下は軟弱な地盤となっている。-地盤液状化により-50cm～-1.5mの部分が噴砂となって吹き出したものと推定できる。硬軟繰り返しとなっているのは、噴砂により地下水が抜けた後、陥没し、圧密を受けたためと考えられる。噴砂によって吹き出した地下水は、極浅に存在したものと考えられる。

⑧は歩道を挟む⑦と同様の芝地の調査結果である。-25cm前後は重機による圧密を受けているが、-1mまで軟質であり、それ以降硬質となり調査不能な状態となっている。⑩は噴砂は発生しておらず、硬質な土層が蓋とな

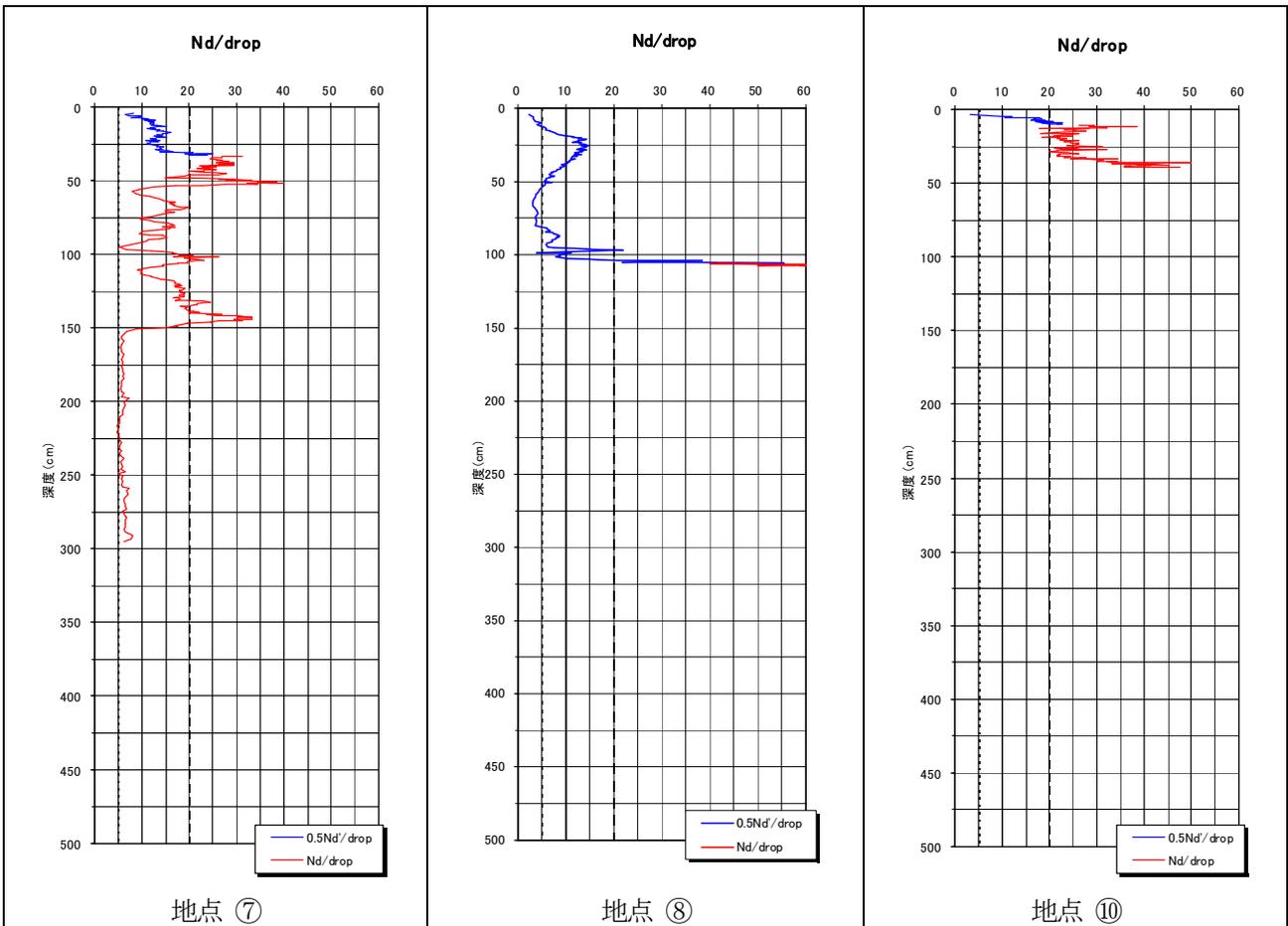


図 2-26 SH型貫入試験結果：地点 ⑦～⑩

って噴砂の発生を抑制したものと考えられる。樹木の生長は、⑦、⑧とも梢端枯れが発生し樹形が乱れており、地下水位が高いことがうかがえた。

⑩は、古い植栽地の調査結果である。極表層のみ柔らかく樹木根系が伸長できる状態であり、以深は硬質な状態となっている。この基盤状況によるものと考えられるが樹木の根系は根上状態となっていた。⑩は、噴砂が発生しておらず、基盤が硬質であり、硬質な基盤が蓋掛け状態となったために噴砂が現れなかったものと考えられる。

3) 指標木のモニタリング結果

指標木の観察結果を以下に示す。

公園の南西側入口を入ってすぐの舗装広場内の薄く噴砂を被った植栽内の落葉高木(ケヤキ(ニレ科))の樹勢変化を観察した。当初観察時に既に衰弱しており、衰弱したままであった。(モニタリング結果その1)

公園内の約 10 cm堆砂した地域における落葉壮齢高木 (プラタナス(スズカケノキ科)) の樹勢変化を観察した。噴砂の影響は殆ど受けていなかった。(モニタリング結果その2)

モニタリング結果その1 (高洲太陽の丘公園 ケヤキ)

指標木調査票															
調査箇所	高洲太陽の丘公園アプローチ(噴砂地点)			立地状況	公園アプローチ植栽部に生育 ・ツリガド~10cm浮上(周りが沈下)				位置図						
樹種名	ケヤキ														
形状寸法	樹高	3 m	枝張												2 m
	幹回り	37 cm	根元周												49 cm
検土杖	■ あり □ なし														
貫入試験	■ あり □ なし														
調査日	第1回 (平成23年4月17日)			第2回 (平成23年5月20日)				第3回 (平成23年7月4日)							
調査者	有田和實			有田和實				有田和實							
樹木健全度	樹形	2	判定	B	樹形	2	判定	B	樹形	2	判定	B			
	樹勢	2			樹勢	2			樹勢	2					
	備考	植栽樹- 枯枝多し			備考	若干、葉が小さい				備考	まだ若干、葉が小さい				
全景写真															

モニタリング結果その2 (高洲太陽の丘公園 プラタナス)

指標木調査票													
調査箇所	高洲太陽の丘公園(噴砂地点)				立地状況	公園植栽部に生育 ・噴砂堆積約10cm			位置図				
樹種名	プラタナス												
形状寸法	樹高	5 m	枝張	3.8 m									
	幹回り	87 cm	根元周	133 cm									
検土杖	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし												
貫入試験	<input checked="" type="checkbox"/> あり <input type="checkbox"/> なし												
調査日	第1回 (平成23年4月17日)				第2回 (平成23年5月20日)				第3回 (平成23年7月4日)				
調査者	有田和寛				有田和寛				有田和寛				
樹木健全度	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A	
	樹勢	1			樹勢	1			樹勢	1			
	備考	北側に傾斜				備考					備考	葉が良く茂っている	
全景写真													

4) 考察

◆ 土層状態

少なくとも⑦～⑨付近に関する限り、地震前の土層は⑧に見られるように、表層の芝下土 (L ローム) の下にはS(砂土)ないしLS (壤質砂土) の山砂が1m以上あったと考えられるが、噴砂跡が見られた箇所 (⑦) では、液状化によって下層のサンドポンプ埋め立て砂が-30 cm程度まで上昇している。

また、噴砂跡は見られなくても、⑨地点の例 (図 2-24) のように、-60 cm程度から還元臭が認められることから地下水位が高いことがうかがわれる。

これに対して、極めて良好な樹林が形成されている⑩周辺は、現在の植栽植物の生育状況から考えて、⑦～⑨付近よりかなり以前に植栽されたものと思われる。-40 cm程度以下が極めて硬く締まった砂層で、生育樹木の良好な生育状況から見て、根系発達を阻害するような通気不良等は存在しないものと思われる。

◆ pHとEC

pHは、他の公園と同様に7.3～8.2のアルカリ性で、ECは4.9～34.2 (mS/m) の値であった。pHは高くても8.2であり、他の公園のように8.5を越えるような値ではないし、ECの値も今後さらに降雨によって減少するであろうことを考えると、生育に問題がある値とは考えにくい。当該調査地のECのうちでは噴砂が認められた⑦の砂 (噴砂) の値が最も高いことを考えると、これら砂質土のECが比較的高い値を示す (通常の砂土では5 (mS/m) ないしそれ以下であることが一般的) 原因は地盤液状化による噴砂によるものであると判断される。

その他で注目されるのは⑩地点の値である。当該地付近では噴砂等の兆候は全くなく、生育状況も極めて良好であるが、ここの山砂 (LS) のpHは8.2、ECは113である。したがって、これが恐らく浦安市の埋め立て地 (築山を除く平均標高3～4m) の公園の生育良好地の平均的な値であろうと判断される。

◆ 硬度

噴砂が認められた⑦では-1.5m から以下が急激に軟らかくNd 5程度になっている。これは既存の研究知見における液状化層の状況とほぼ同一と判断される。Nd/drp 図から、今回の噴砂により-50cm から-1.5m の範囲が噴砂による地下水の吹き出しの後、圧密が発生した部分と推定できる。地盤全体が液状化したものと考えられるが、

噴砂は極表層の地盤液状化部から吹き出し発生したものと考えられる。

液状化していない⑧では-1mに(測定を中止させるほどの)極めて硬い層が見られる。これは日の出第4街区公園地点②の状況ときわめて類似している。

生育が良好な樹林地(⑩)では、地盤液状化に伴う割れ目や噴砂の影響が認められない。噴砂が発生した他の箇所と比較すると地盤が硬質であり、このため地盤液状化が発生しても、地表部に噴砂として現れなかったものと推定できる。客土中に含まれた円礫の影響なのか、表層からかなりの硬さであり-40cm程度で測定が不能な状態となっている。さらに深い位置の情報が不足しているため、締め固められた地盤により噴砂が抑制できるとは断定できないが、効果があったものと推察できる。

日の出第4街区公園の⑧、および⑩は、硬質な基盤が存在したことで液状化が抑制されたものと考えられる。この点について確認するためには、硬質な基盤の厚さなどに関する確認が必要である。樹林地、芝地で噴砂が認められない箇所の土層の硬さ、厚さ、地下水位状況、さらに土層状況が的確に把握できれば、今後の公園緑地の地盤液状化による噴砂抑制にきわめて貴重な情報となるものと考えられ、今後の課題が示された。

◆ 地被と被害状況

平坦部の芝生には亀裂と噴砂がみられたが、おひさま公園などに比べると小規模であった。また、築山部分ではほとんど被害が見られなかった。十分な土層厚があり液状化を抑えることができていたものと思われる。

地被植物の状態よりも、植栽基盤土壌の厚さの影響の方が重要と思われる。

◆ 指標木のモニタリング結果

指標木のケヤキについては、初期(4/17)調査の段階から枯れ枝も多く、樹勢もやや不良であった。この不良は周辺の土壌状況等から判断しても、液状化によることよりも湿害等植栽基盤条件によるものと思われ、地震後約4ヶ月の7月4日時点でも樹勢は変わらず、葉も小さいままである。

プラタナスについては、初期(4/17)調査の段階からやや幹が傾き、生育障害の発生が気になったが、7月4日時点で葉もよく茂り、一定の活力を保っている。

いずれも、噴砂による影響は認められない。

◆ その他

L字型をした当公園の横棒のライン(図2-19の下辺)に沿って外側に長く直線的な割れ目が発達し、噴砂が認められる。この割れ目は、4車線道路と平行して約30m離れた位置に発生している。(図2-20参照)。日の出第4街区公園(外側の遊休地の直線上の噴砂跡)とほぼ同様であり、ここでも風岡らが指摘する埋め立て時の地下堰堤のような構造物が存在する可能性が考えられる。あるいは、他の大きな亀裂も同様に4車線道路と堤防より30mの位置に亀裂が発生していることから、地震の振幅と構造物の関係などよりひずみが集中し亀裂が発生したとも考えられる。この点について解明するためには、地下構造物の確認調査、および地盤解析が必要となる。

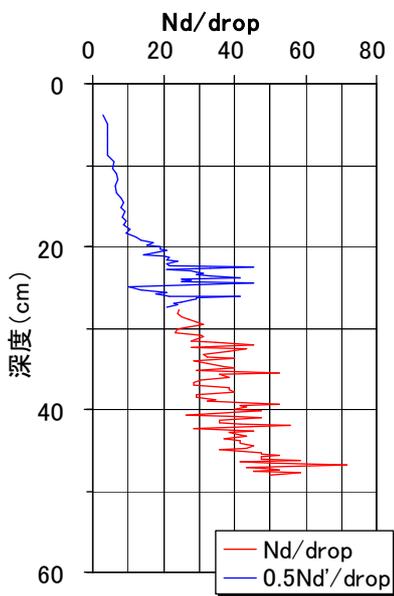
(2) 調査地点 B (高洲太陽の丘公園 生育良好な芝生地) における調査結果

健全な芝生地 (調査地点 B) と生育不全のケヤキ (調査地点 C) で表層基盤の調査を行った。



写真 2-9 測定地点 A 噴砂がなく良好に生育している芝生地

1) 貫入試験と検土杖調査の結果



貫入試験の結果

土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色
黒土	0	I	壤土 L	黒褐色
山砂	10	II	壤土 L	灰黄色
砂壤土	20	III	砂壤土 SL	灰黄色
海砂	30	IV	砂土 S	灰黄色
海砂	40	V	砂土 S	灰黄色
	50			
	60			

検土杖調査の結果

検土杖によるサンプル土壌の採取の結果、深さ 30cm まで客土されていることが分かった。

貫入試験の結果、深さ 20cm までは Nd/drop 値 (10cm 沈下させるために必要な打撃回数) が 10 以下であり、土壌は比較的固いが根の進入に著しい悪影響を及ぼすほどではない。深さが 20cm を超えると Nd/drop 値が 10 を超え土壌が固く締まっている。

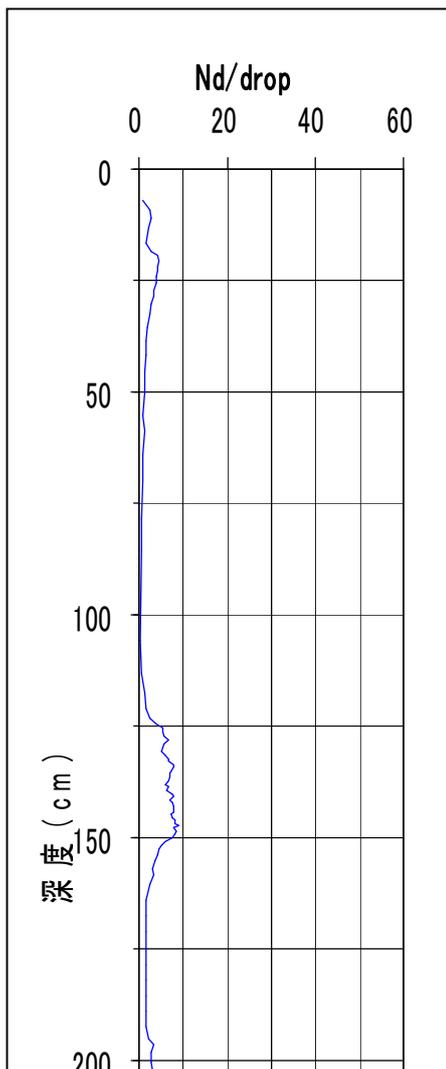
(2) 調査地点 C (高洲太陽の丘公園 生育不良のケヤキ) における調査結果

生育不全のケヤキ (調査地点 C) で表層基盤の調査を行った。



写真 2-10 調査地点 C 生育が不良なケヤキ

1) 貫入試験と検土杖調査の結果



貫入試験の結果

土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色	水分状況
黒土	0	I	壤土 L	黒褐色	半湿
赤土	10	II	壤土 L	赤色	湿
赤土	20	III	壤土 L	赤黄色	湿
赤土	30				
赤土	40	IV	埴壤土	赤黄色	湿
黒土	50	V	埴壤土	黒褐色	湿
黒土	60	VI	埴壤土	黒褐色	湿
	70				
	80				
	90				

検土杖調査の結果

検土杖によるサンプル土壌の採取の結果、深さ 80cm まで客土されていることが分かった。

貫入試験の結果、深さ 200cm までは Nd/drop 値 0~8 の非常に軟弱な土壌であることが分かった。地下水位が高い結果である。このケヤキの生育不良は地震による液状化が発生する前からあったものと考えられる。

2.3.7 高洲中央公園

(表 1-3 および図 1-7 で(32))

本公園は約 50,000m² の地区公園である。南西側に野球場があり、北東側に駐車場があり、それらに挟まれてサクラの樹林地がある。駐車場でマンホールが高さ 1 m ほど飛び出していた他は大きな被害は見られず、部分的に噴砂が見られる程度であった。桜の樹林地は、地下水位が高いために生長が貧弱であった。

調査は樹林地分科会が 4 月 16 日に調査地点 No.5 および調査地点 No.6 を調査した。調査地点の番号は当日の調査時刻順。調査地点 No.5 付近には樹木はなく、噴砂が厚く堆積していた。園路を挟んだ反対側にはサクラが多くあり、周囲に噴砂は見られなかったため、そこを調査地点 No.6 とした。



図 2-27 高洲中央公園における調査地点の位置図

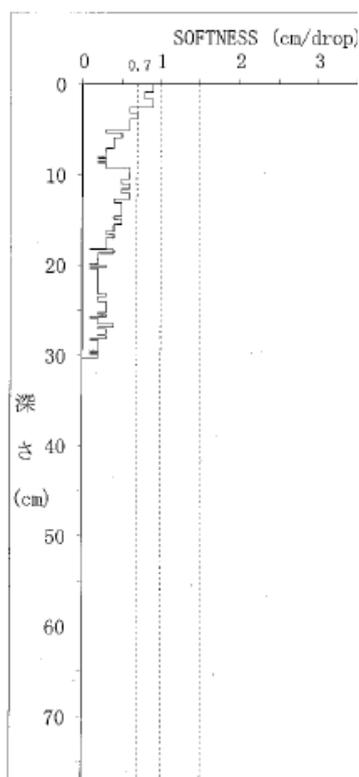
(1) 調査地点 No.5 (高洲中央公園 噴砂のある芝生地) における調査結果



写真 2-11 調査地点 No.5 の状況

(周囲に樹木がなく噴砂に厚く覆われていた。写真は土壌貫入試験の様子。この 1.3m 奥で土壌コアを採取した。)

1) 貫入試験と検土杖調査の結果



貫入試験の結果

土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色
	0			
山砂	0 - 10	I	砂壤土 SL	黄褐色
海底土砂	10 - 50	II	壤土 L	灰黄褐色
	50 - 60			
	60 - 70			

検土杖調査の結果

2) 近傍の指標木のモニタリング結果

モニタリング結果は次ページの通り。貫入試験および検土杖調査を行った場所からは少し離れているが、若干の噴砂が見られた場所であることから、公園内の緑地帯に植栽された落葉壮齢高木（トチノキトチノキ科）を指標木とし、堆砂による樹勢への悪影響の有無を観察した。モニタリングの結果、開花・展葉共に旺盛であり、堆砂による生育の阻害は観察されなかった。

3) 考察

◆ 土層状態

海底土砂による埋め立て土表面に、いきなり客土を 15cm 乗せて植栽基盤としていることが分かった。土壤の締め固め状態は極めて硬く、樹木にとっては決して良い状態ではなく、芝生程度の生育は可能であると判断できた。下層の埋め立て土壌は灰黄褐色で還元状態を示している固結状態であり、根の伸入には不向きといえる。

◆ pH と EC

噴砂、地表土とも pH、EC に問題ない範囲で推移していた。化学的な障害より物理的障害が問題と言える。

◆ 指標木のモニタリング結果

トチノキの生育状況は良好であり、噴砂による生育への悪影響は認められなかった。

指標木調査票

調査箇所		高洲中央公園				立地状況	・高洲中央公園の植樹帯に生育 ・噴砂あり	位置図				
樹種名		トチノキ										
形状寸法	樹高	4.7 m	枝張	2.8 m								
	幹回り	43 cm	根元周	70 cm								
検土杖	■ あり □ なし											
貫入試験	■ あり □ なし											
調査日	第1回 (平成23年4月17日)			第2回 (平成23年5月20日)			第3回 (平成23年7月4日)					
調査者	有田 和實			有田 和實			有田 和實					
樹木健全度	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A	樹形	1	判定	A
	樹勢	1			樹勢	1			樹勢	1		
	備考				備考	開花中			備考	生育良好		
全景写真												

(2) 調査地点 No.6 (高洲中央公園 サクラの樹林地) における調査結果



(土壌コアの採取と土壌貫入試験を行った場所。周囲にサクラの樹林があり、噴砂は見られなかった。)

写真 2-12 調査地点 No.6 の状況

1) 貫入試験と検土杖調査の結果

(途中で貫入試験機が折れたため貫入試験データなし)

土柱図	深さ (cm)	層位	土性	土色
	0			
山砂	10	I	壤土 L	黒褐色
海底土砂	20	II	壤土 L	暗灰黄色
	30			
	40			
	50			
	60			
	70			

貫入試験の結果

検土杖調査の結果

2) 近傍の指標木のモニタリング結果

該当なし。

3) 考察

◆ 土層状態

No.5 地点同様、海底土砂上に 10cm 程度の客土がされて、植栽基盤として供されている。サクラ全体の生育は決して悪くはなく先端枯れも起こしていなかったが、やがて生育とともに根が地表に浮き始めて、どこかの時点で生長が止まることが予測できる。

◆ pH と EC

pH、EC ともに問題はなく、噴砂の影響はないものと判断した。

◆ 近傍の指標木のモニタリング結果

この調査地点では指標木を設定して生育状況を観測することは行なっていない。

2.3.8 南部記念公園におけるSH型貫入試験

(表 1-3 および図 1-7 で(1)。「1.4.2 公園調査結果」の「(1) 南部記念公園」参照)

1) 土壌硬度測定結果

埋め立て地以外の通常地盤に対するSH型貫入試験を実施した。



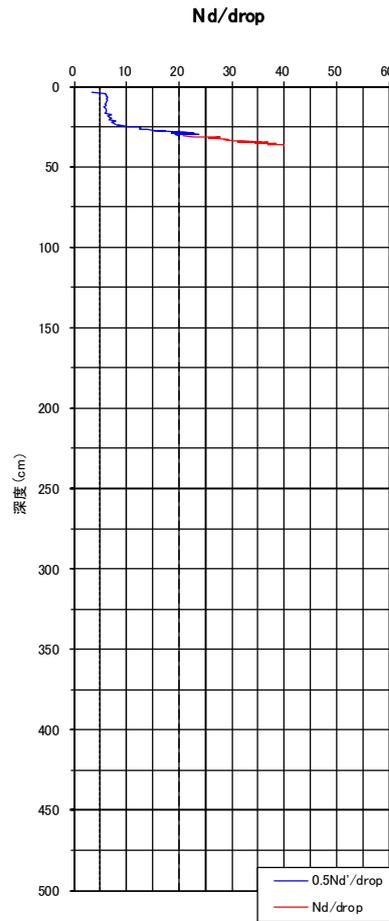
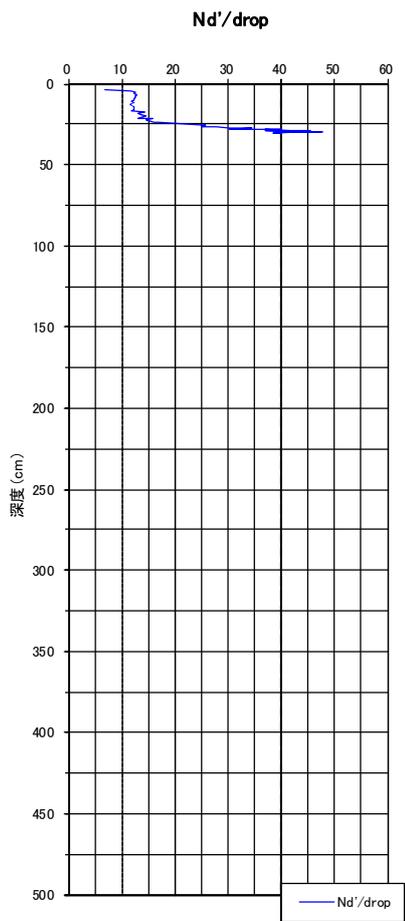
SH型貫入試験

調査件名 浦安液状化噴砂調査
 地点番号 NO.15

試験年月日 2011年5月10日(火)
 浦安液状化調査WG
 試験者 基盤・芝生分科会

Nd'値

Nd値 (=0.5Nd')



特記事項 浦安南部土地改良記念公園I
 すぐに打ち止めになった為、
 別の地点で再度行った。→No.16

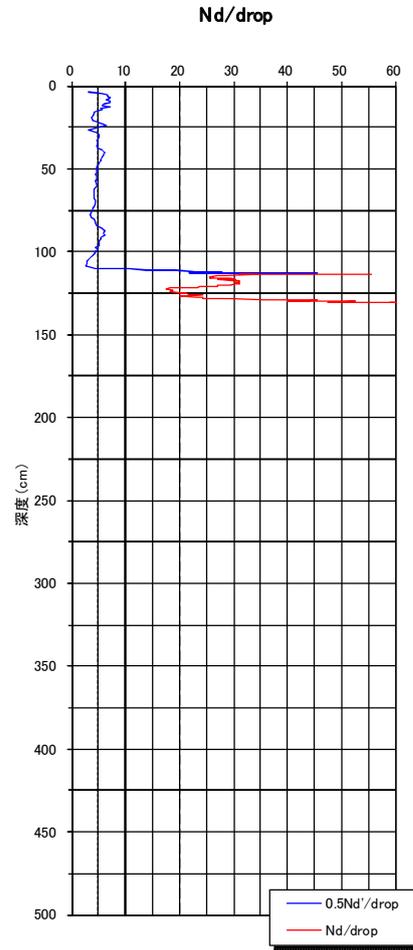
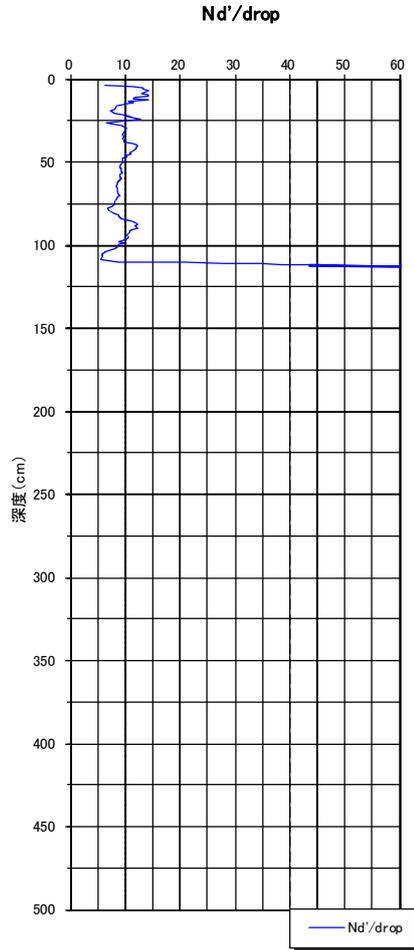
SH型貫入試験

調査件名 浦安液状化噴砂調査
 地点番号 NO.16

試験年月日 2011年5月10日(火)
 浦安液状化調査WG
 試験者 基盤・芝生分科会

Nd'値

Nd値 (=0.5Nd')



特記事項 浦安南部土地改良記念公園II
 入口付近

No.15 は、芝地での調査結果である。-25cm 極表層のみ軟質で、以深は硬質である。踏圧による影響と考えられる。No.16 は、植栽地での調査である。-1.1m まで軟質であり、以下は硬質である。

2) 考察

埋め立て地外の公園である。

芝地は踏圧を受け、-25cm 以下は根系侵入が困難な硬さであり、-30cm で 5kg 重錘で貫入不能となる硬さであった。ツツジ植栽地は、-110cm まではやや締まっていた、それ以下は硬くなり、-130cm で 5kg 重錘を用いても貫入不能な硬質な状態となった。

埋め立て地以外の地盤は硬質で、地盤液状化が発生した箇所とは異なる地盤状況であることが確認できた。

2.3.9 美浜南第1街区公園におけるSH型貫入試験

(表1-3および図1-7で(4)。「1.4.2 公園調査結果」の「(4) 美浜南第1児童公園」参照)

1) 土壌硬度測定結果



SH型貫入試験



周辺のカ管復旧作業。
-30cm程度に地下水位が認められる。

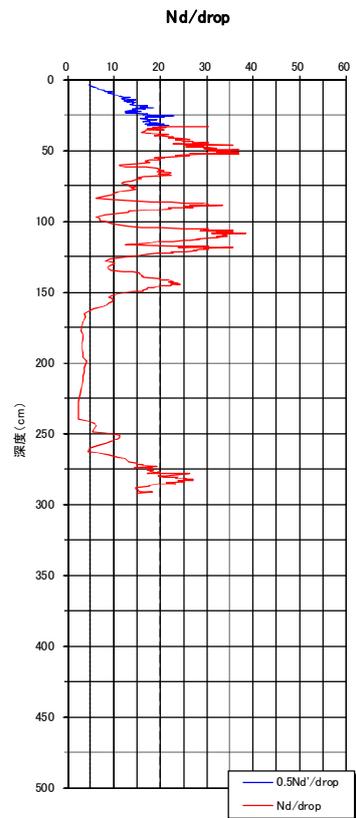
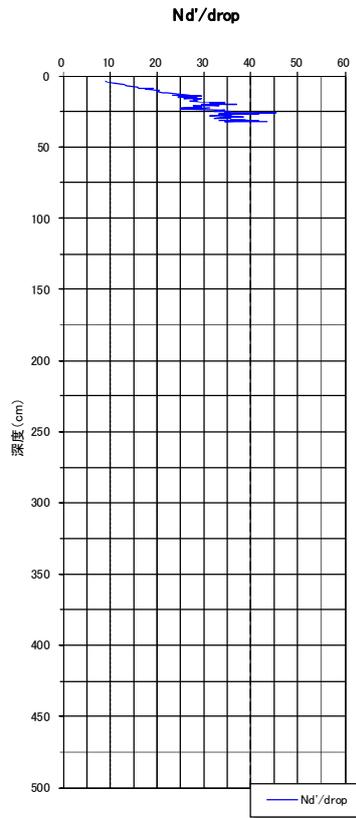
SH型貫入試験

調査件名 浦安液状化噴砂調査
地点番号 NO.17

試験年月日 2011年5月10日(火)
浦安液状化調査WG
試験者 基盤・芝生分科会

Nd'値

Nd値 (=0.5Nd')



特記事項 美浜南第一街区公園
砂ではなくほとんど水が噴いた場所
ガス管工事では30~40cmで水

－50cm まで次第に硬質になり、それ以深は硬軟を繰り返す土層が－1.5m まで続き、以下は軟質な土層となっている。

2) 考察

周辺のガス管復旧工事現場においては、極浅層、－30cm 程度に地下水位が認められる。

地元住民の話では、この公園では水が吹き出したと言っている。地下水位が高く、地震時の振動により極浅層で地盤液状化が発生し、地下水が噴き出したものと考えられる。噴砂が少ないのは、芝生根系がフィルターとして作用したものと考えられる。

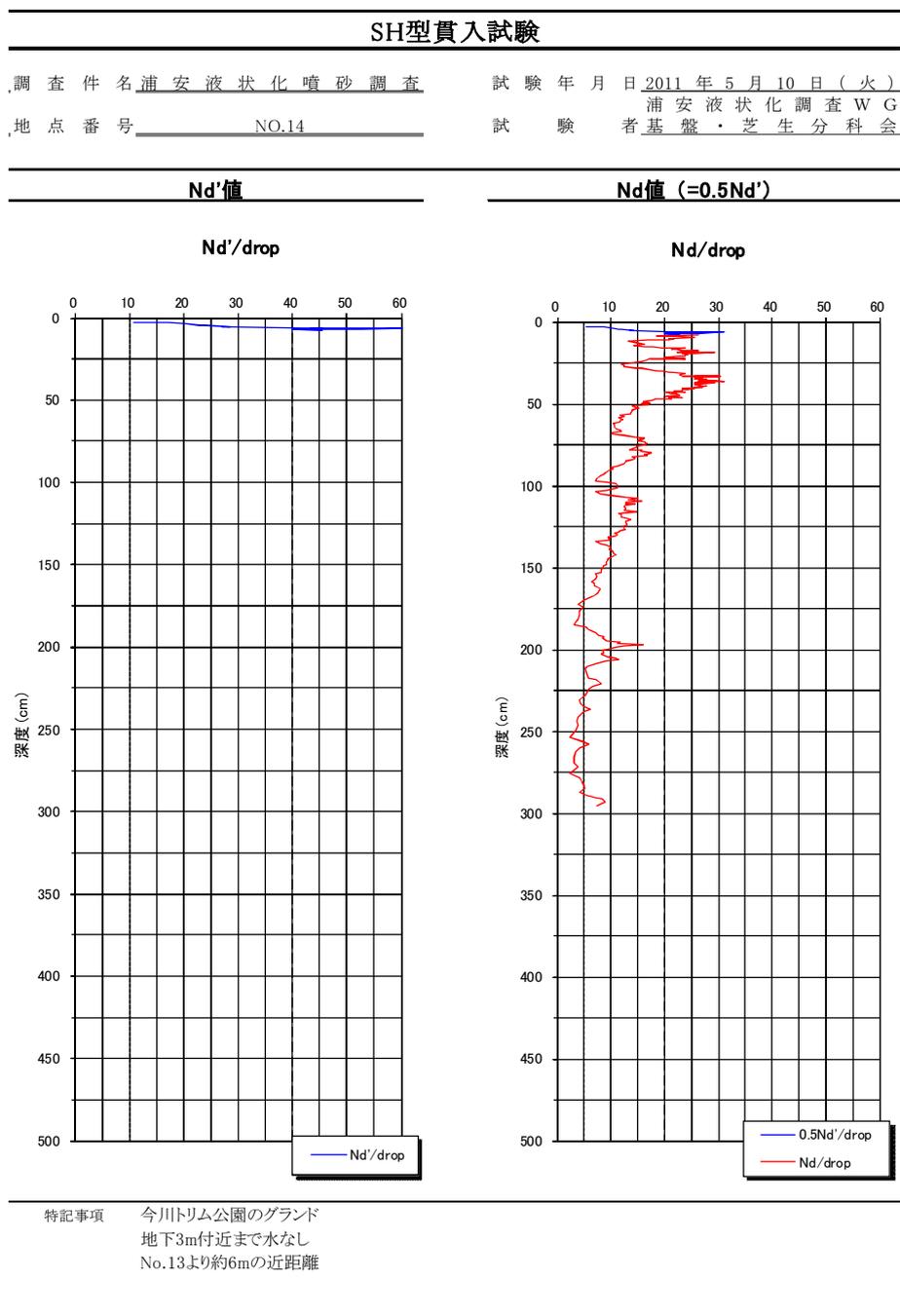
SH 型貫入試験の結果、－30cm 程度までは軟質であるがそれ以下は $N_d/drop$ が 10 以上で硬質である。－180cm 以下は $N_d/drop$ が 3～5 の軟弱な状態となっている。ここは地下水があると見られる。－50～－50cm の間に硬軟の層状の土層が反復し出現するのは、この部分の地下水が噴き出し、その後、圧密され硬質となったものと思われる。

2.3.10 今川トリム公園におけるSH型貫入試験

(表 1-3 および図 1-7 で(16)。「1.4.2 公園調査結果」の「(14) 今川トリム公園」参照)

1) 土壌硬度測定結果

ダスト舗装など緑地・公園部の舗装部分に噴砂の発生が多いため、噴砂の認められたダスト舗装と、その直近の噴砂の求められない植栽地に対しSH型貫入試験を行い比較を行った。



No.14 は、噴砂により厚く覆われたダスト舗装箇所に対する測定結果である。表層 10cm は噴砂であり、その下にダスト舗装である。ダスト舗装の下は、硬軟を繰り返しながら-2m まで硬土が低下し、-2m 以深は軟質な状態となっている。ロッドに付着した水分より推定すると、1.3m の位置に地下水位が存在する。

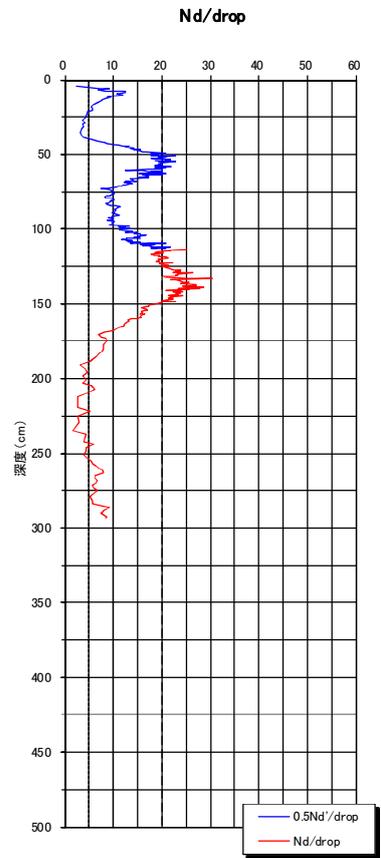
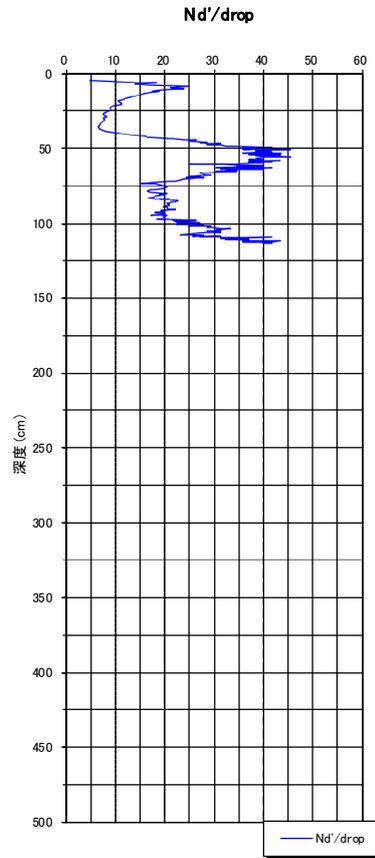
SH型貫入試験

調査件名 浦安液状化噴砂調査
 地点番号 NO.13

試験年月日 2011年5月10日(火)
 浦安液状化調査WG
 試験者 基盤・芝生分科会

Nd'値

Nd値 (=0.5Nd')



特記事項 今川トリム公園のヤナギ横
 地表から1.85m付近より水

No.13は、ダスト舗装内の調査地 No.14 より 6m に位置する植栽地である。地表は芝地となっており、-10cm の硬質な層は、踏圧によるものと考えられる。-50cm 程度の硬質な層は重機による転圧の結果圧密された層と考えられ、それ以深は比較的軟質となっている。その後、-140cm 程度まで硬質となった後、-2m まで次第に軟質となり、それ以深は軟質な状態となっている。

2) 考察

ダスト舗装箇所は、噴砂が 5cm 堆積している。-5cm で硬質のダスト舗装となり、3kg 重錘では貫入不能となる。-150cm まで Nd/drop が 10 以上で硬く締まっており、それ以下は軟質な状態である。-50cm までの間で、硬軟の土層が繰り返すのは、噴砂により地下水が噴き出した後、砂の密度が高くなったためと考えられる。

地下水が噴き出した後、圧密されたということを明確に言い切るためには、噴砂前の貫入試験との比較を行わなければならない。しかし、噴砂後の降水により、沈下した歩道に水だまりが発生し、ポンプ排水したなどの現象と考え合わせると、表層 50cm の間に硬軟の土層が繰り返し発生する事は、砂の密度が高くなったことにより発生したものと推定できる。

No.13 はダスト舗装箇所から 6m 程度離れた植栽地の SH 型貫入試験の結果である。-50cm で若干硬質となるが、-130cm までは比較的軟質である。これは、樹木根本が芝生となっているため、踏圧による圧密を受けたためと考えられる。-150cm まで硬質であるが、それ以下は軟質となっている。

ダスト舗装箇所と植栽地は 6m しか離れていないが、地盤構造が大きく異なることがわかる。植栽地は、若干踏圧を受けているものの、比較的軟質な土層であるのに対し、ダスト舗装箇所は表層部 50cm の噴砂堆積層のみが硬質であり、かつ、硬軟が層状になっている。

ダスト箇所は地盤液状化により噴砂が発生し、植栽地は噴砂が発生していない。このことから、表面は硬質であるが客土層の薄いダスト舗装箇所は噴砂が発生しやすく、これに対し、軟質であっても厚い土層が存在し、樹木根系が発達している植栽地は、地盤液状化による噴砂を抑制できることがわかる。

2.3.11 表層基盤・芝生分科会による採取土壌の pH および EC の測定結果一覧（4月17日採取）

当該調査で採取・測定した pH および EC の測定結果を以下にまとめて示す。
これら数値の検討は、後述の総合考察に示す。

表 2-4 表層基盤芝生分科会による pH および EC の測定結果一覧

採取場所	採取深さ (cm)	調査地点	試料 No.	pH (H ₂ O)	EC (mS/m)	参考 EC (mS/cm)
日の出第4街区公園	30-60	①	1	7.8	10.7	0.11
	60-90	①	2	7.8	6.0	0.06
	表土	①	3	7.2	8.2	0.08
	噴砂	①	4	7.9	28.3	0.28
	表層(0-30)	②	5	7.6	19.1	0.19
	30-60	②	6	7.6	21.0	0.21
日の出第4街区公園・隣地	0-10	③	7	7.9	6.9	0.07
	0~30	③	8	8.2	7.1	0.07
日の出お日さま公園	表土	④	9	7.9	12.6	0.13
	表層	④	10	7.5	9.8	0.10
	50-60	④	11	8.6	10.4	0.10
	80-90	④	12	7.8	33.9	0.34
	0-20	⑤	13	7.1	44.5	0.45
	20-30	⑤	14	7.6	19.4	0.19
	30-60	⑤	15	8.3	15.0	0.15
	65-70	⑤	16	7.5	38.6	0.39
	30-60	⑥	17	8.5	8.2	0.08
	表土(0-30)	⑥	18	7.5	10.0	0.10
	80-90	⑥	19	8.5	11.2	0.11
	西雨水ますわき 噴砂	No.030	20	8.7	68.4	0.68
高洲太陽の丘公園	表層(0-10)	⑦	21	7.3	27.5	0.28
	表層(10-30)	⑦	22	6.7	34.2	0.34
	50-60	⑧	23	7.5	20.5	0.21
	90-100	⑧	24	8.2	13.8	0.14
	0-15	⑧	25	7.9	13.4	0.13
	15-30	⑧	26	8.1	7.3	0.07
	表土	⑨	27	7.4	5.2	0.05
	60-70	⑨	28	7.8	15.0	0.15
	30-40	⑩	29	8.2	11.3	0.11
	表層	⑩	30	7.7	4.9	0.05
中央公園(グラウンド)	噴砂	⑪	31	8.3	5.0	0.05
	表土	⑪	32	7.6	6.0	0.06
	30-60	⑪	33	8.0	1.8	0.02
中央公園(樹林帯)	表層	⑫	34	6.9	20.7	0.21
	60-75	⑫	35	7.2	49.5	0.50
	75-90	⑫	36	6.8	18.0	0.18
中央公園(篠山)	表土	⑬	37	7.5	2.4	0.02
	80-90	⑬	38	7.6	3.0	0.03

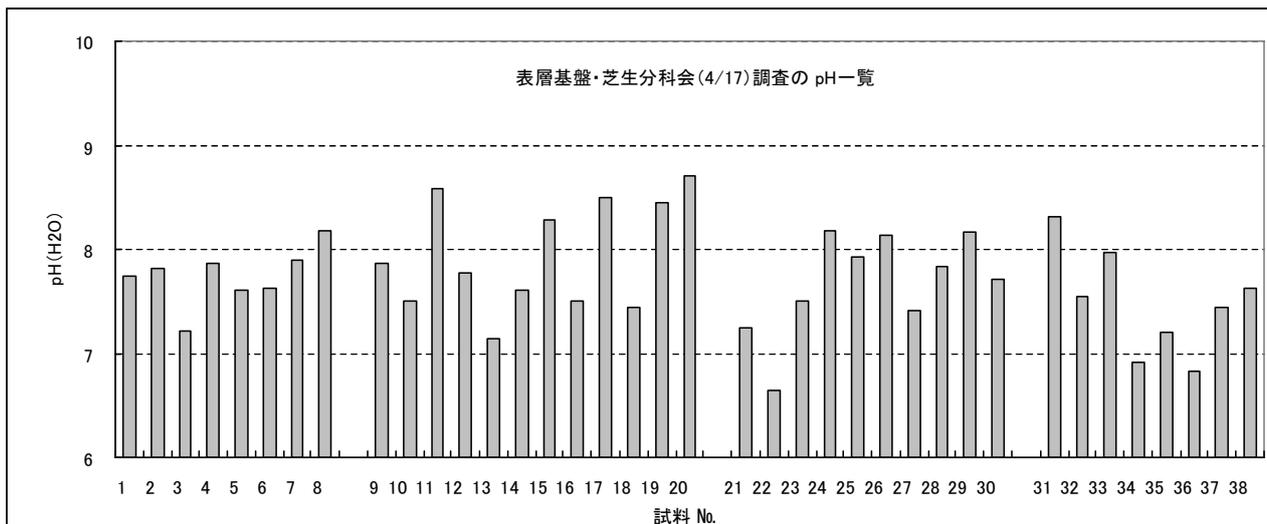


図 2-28 表層基盤・芝生分科会による pH 測定結果一覧

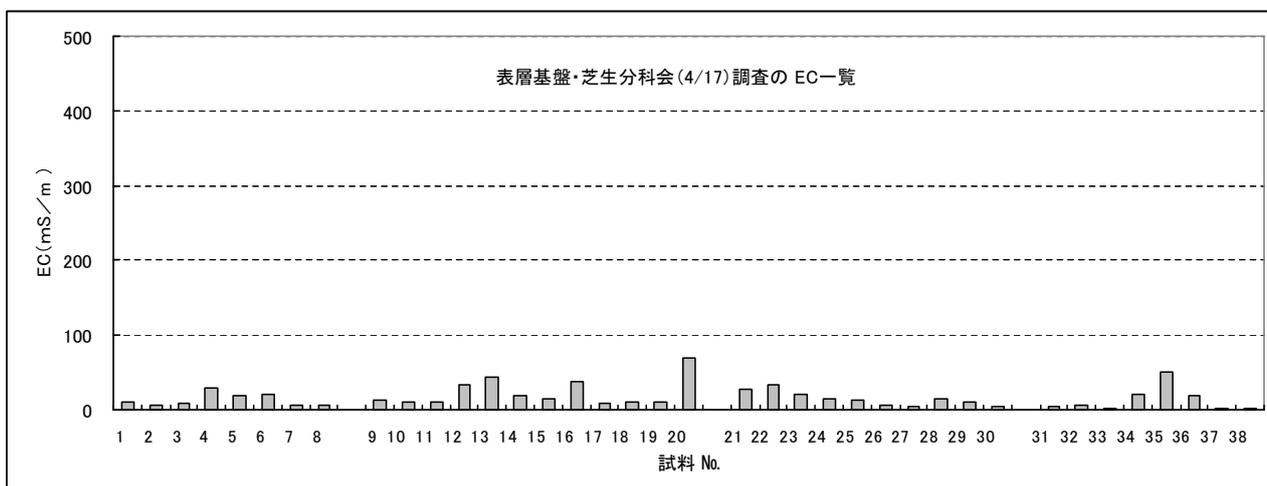


図 2-29 表層基盤・芝生分科会による EC 測定結果一覧

2.3.12 樹林地分科会による採取土壌の pH および EC の測定結果一覧 (4月16日採取)

検土杖により採取した土壌サンプルの一部、移動中に採取した噴砂など合計 31 検体について、pH および EC を測定した。

サンプル土壌のリスト、pH 測定結果のグラフ、EC 測定結果のグラフを以下に示す。

表 2-5 樹林地分科会による pH と EC の測定結果一覧

検体No.	調査地点				pH(H ₂ O)		EC(mS/m)		参考 EC
	地点No.	場所	種類	深さ	平均	SD	平均	SD	(mS/cm) 平均
1	1	コア採取地点No.1(若潮公園)	表土		5.5	0.0	1	0.1	0.01
2	1	コア採取地点No.1(若潮公園)	下層土		6.6	0.1	1	0.1	0.01
3	1	コア採取地点No.1(若潮公園)		50~60cm	6.6	0.1	2	0.1	0.02
4	1	コア採取地点No.1(若潮公園)	海底土砂	60~70cm	6.8	0.0	22	0.1	0.22
5	1	コア採取地点No.1(若潮公園)	海底土砂	70~90cm	5.6	0.0	44	0.1	0.44
6	2	コア採取地点No.2(若潮公園)	噴砂		8.2	0.4	95	0.5	0.95
7	2	コア採取地点No.2(若潮公園)	表土		6.0	0.0	91	0.6	0.91
8	2	コア採取地点No.2(若潮公園)	下層土	15~30cm	7.5	0.1	28	0.2	0.28
9	2	コア採取地点No.2(若潮公園)	海底土砂	50~70cm	7.3	0.2	204	2.7	2.04
10	2	コア採取地点No.2(若潮公園)		90~100cm	5.3	0.0	88	0.1	0.88
11	3	コア採取地点No.3(若潮公園)	噴砂		8.3	0.0	92	0.3	0.92
12	3	コア採取地点No.3(若潮公園)	表土		7.5	0.1	31	0.1	0.31
13	3	コア採取地点No.3(若潮公園)	下層土		7.6	0.0	25	0.1	0.25
14	4	街路灯下 L2135	噴砂		7.5	0.0	38	0.1	0.38
15	5	富岡小前 H1113	噴砂		8.1	0.1	110	0.3	1.10
16	6	富岡第7児童公園前街路	噴砂		7.8	0.0	259	1.6	2.59
17	7	団地前街路	噴砂		8.6	0.1	59	0.2	0.59
18	8	京成サンコーポ団地前電柱下	噴砂		7.4	0.1	44	0.9	0.44
19	9	ショッピングセンター「サミット」内 土囊	噴砂		8.1	0.1	282	0.9	2.82
20	10	ショッピングセンター「サミット」内 土囊	噴砂		8.1	0.0	192	5.6	1.92
21	11	中央公園B	噴砂		7.5	0.1	106	0.1	1.06
22	12	中央公園B サクラ下	噴砂		8.0	0.0	79	0.2	0.79
23	13	中央公園B	噴砂		7.3	0.1	1	0.1	0.01
24	14	中央公園B 法尻	噴砂		7.9	0.0	69	0.2	0.69
25	15	コア採取地点No.5(高洲中央公園)	表土		7.5	0.0	1	0.1	0.01
26	15	コア採取地点No.5(高洲中央公園)	下層土		7.6	0.1	46	0.2	0.46
27	16	コア採取地点No.6(高洲中央公園)	噴砂		7.3	0.0	1,027	11.5	10.27
28	16	コア採取地点No.6(高洲中央公園)	表土		6.6	0.0	245	1.1	2.45
29	16	コア採取地点No.6(高洲中央公園)	下層土		7.7	0.2	38	0.1	0.38
30	17	コア採取地点No.7(明海の丘公園)	噴砂		8.4	0.0	75	0.2	0.75
31	17	コア採取地点No.7(明海の丘公園)	下層土		7.7	0.1	2	0.1	0.02

注) pH分析結果原データは小数点以下3桁まで得られているが、ここでは小数点以下1桁に四捨五入した。

注) EC分析結果原データは小数点以下1桁まで得られているが、ここでは小数点以下を四捨五入でカットした。

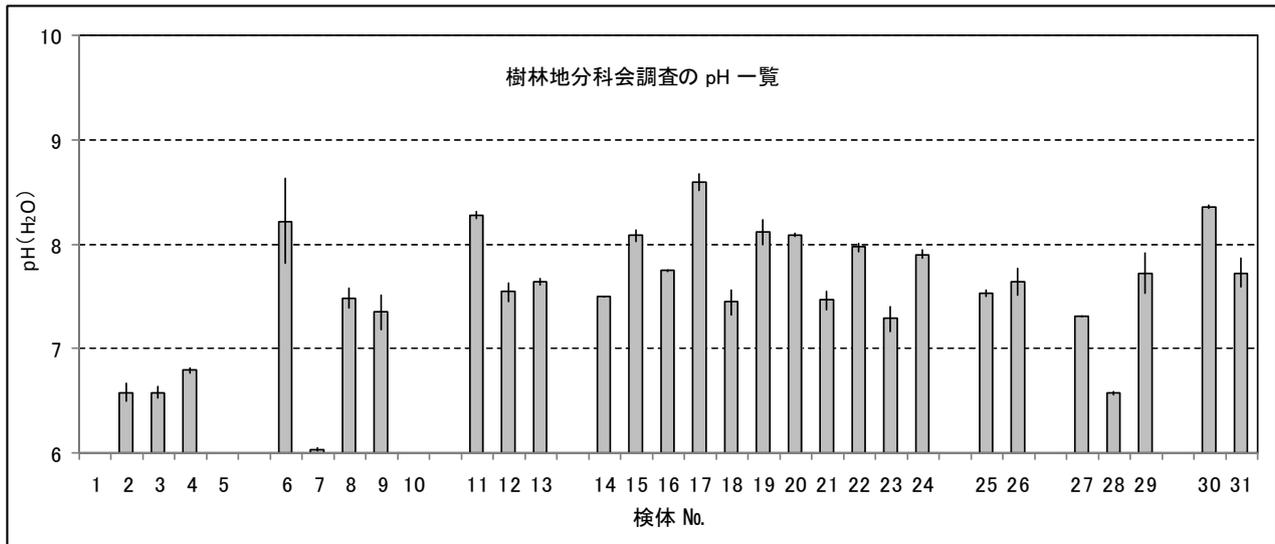


図 2-30 樹林地分科会による pH 測定結果一覧

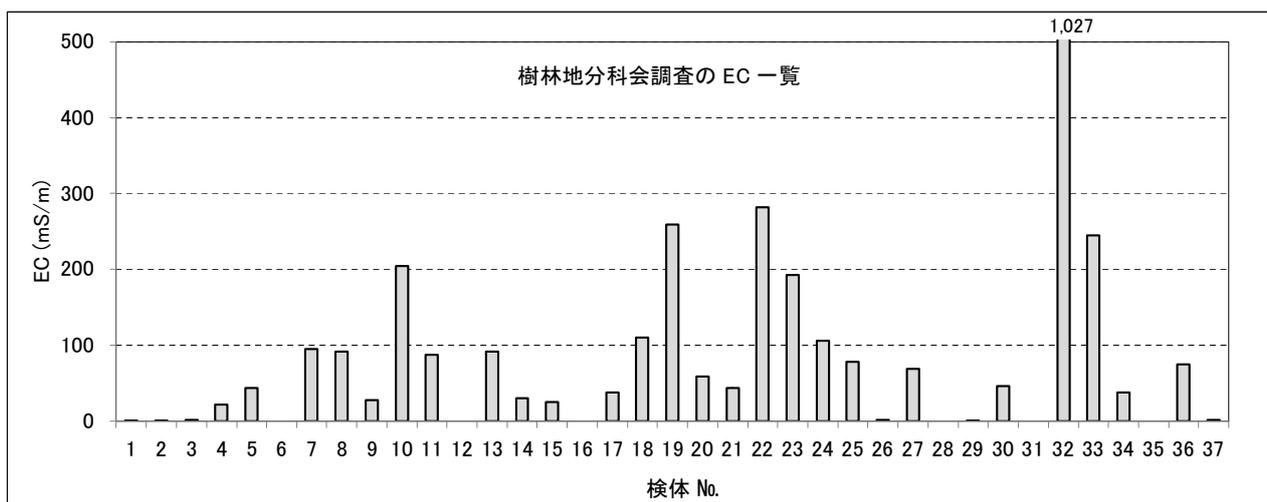


図 2-31 樹林地分科会による EC 測定結果一覧

分析結果からの考察

pH は、噴砂のあった場所で上は 8.0 前後、下は 5.5 前後であった。pH 8.0 前後のものは炭酸ナトリウムが含まれている可能性があるものの、採取場所や深さ、降雨などの影響から考え、植物に悪影響を与えるものではないと考えられる。

EC 値は、No.9、16、19、20、27、28 以外は概ね 100~150 mS/m の間に入っているものが多く、それほど塩分障害を引き起こすものではないといえる。高い EC 値を示した検体は、震災直後に噴砂を土嚢袋に入れて堆積したものの下層から採取したものであり、フレッシュな状態では EC 値が高かったことを示している。その後は降雨や炭酸化などで下がり、植物の生育にとって悪影響を示すものではないと判断できた。

2.4 表層基盤・芝生分科会による調査結果の総合考察

わずかな日数の調査であったが、主なる地盤液状化による噴砂被害があった浦安市の公園の樹林地・芝生地を中心として、表層基盤(*)を土壌・土層の状況を中心に樹木植栽地・芝生地の防災・減災効果という観点から検討した。

より適切な判断をするためには今後の詳細な調査等が望まれるところであるが、震災から約1ヶ月程度の期間での限られた観察・調査から、以下のようなことが考察される。

(*)ここで「表層基盤」というのは、植栽基盤として通常考えられる-1.5m程度までの根系分布域と、それを支える下層地盤という程度で、深くても5m程度までを想定している。

2.4.1 植物生育に対する地盤液状化の影響（特に pH と EC について）

地盤液状化が緑地の植物に与える影響については、今回調べた範囲では知見が極めて限られ、阪神大震災における神戸ポートアイランドの実態調査の結果が報告されている（田中ら 1996、森林総研・港湾技研 1997、荒木ら 1997）が、他の事例の報告は見出し得なかった。

地盤液状化が植物生育に与える直接的な影響は、主に液状化に伴う地下水、特に沿岸埋め立て地にあっては塩分を含む地下水の上昇による（EC 上昇と関連が強い）浸透圧障害や pH 上昇と、表層近く堆積する砂による保水性低下や、間接的には植栽木の擁壁が倒壊して根系がむき出しになることなどによる乾燥害が考えられるが、浦安のように沿岸埋め立て地では、塩類上昇が最も懸念されるところである。

(1) 地盤液状化による影響

ポートアイランドの事例の報告書(森林総研・港湾技研 1997)によれば、「噴砂地の EC は初期には最大 100(mS/m) 程度あったが時間と共に低下し、pH は 9 近いアルカリ性だったが既存の海岸塩類影響がある土壌の知見等から問題ないと認識した」としている。

pH については評価の判断が分かれるところであるが、沿岸地土壌ではアルカリ性になることは特に珍しくなく、海水による僅かなマグネシウムやナトリウムの炭酸塩で pH が上昇することは他の埋め立て地の緑化事例で報告されている（長谷川ら 1978）。その原因としては、カルシウムの炭酸塩の場合は pH が高くても 8.4 前後だが、マグネシウムの炭酸塩を含む場合は pH 9 前後の高い値を示し、炭酸ナトリウムの場合は最も高い pH 10 を越える値を示すと言われている。（Marc Pansu, Jacques Gautheyrou 2006）

1) pH

本調査の結果でも大型検土杖により採取した植栽地土壌の pH は 7.5 を越えるものが大部分であったが、地盤液状化の影響が考えにくいきわめて良好な生育を示している樹林緑地（高洲太陽の丘公園：調査地点⑩）でも 7.7～8.2 の値であって、pH が高いのは、海風により運ばれたマグネシウムやナトリウムの集積によるものであるとも考えられ、問題は無いと判断された。

2) EC

震災直後に採取された噴砂を土嚢袋に入れて堆積した砂の下層から採取したものなど、噴砂の一部に EC が 1,000 mS/m (10 mS/cm 相当、NaCl 換算で約 0.5%溶液に相当 (USDA Agriculture Handbook No.60 による)) を越えるものがあったが、噴砂を除く土壌についてはほぼ 50 mS/m 以下であった。したがって EC については臨海埋め立て地での噴砂であることから、海水の影響により高い値が心配されたが、特に問題は認められなかった。

震災後約1ヶ月で降雨を数回経ていることを考慮しても、当該時点でこの値であることは、その後の降雨を考えると、少なくとも今回の噴砂による塩類障害に伴う生育障害は殆ど無視できると判断される。但し、もし噴砂の発生が2ヶ月程度遅ければ水分吸収や蒸散はより活発な時期となるため、塩分の影響が無視できなくなる可能性も否定できない。したがって、今後の緑地防災を考える上では、この値だけで単純に判断すべきではないと言えよう。この点はポートアイランドの事例でも地震が冬期（1月17日）であったためその後の蒸散が少なかったことが影響を軽減したと指摘(荒木ら 1997) されている。

因みに EC の判断基準値は厳密には決めることが、ある植栽基盤整備マニュアルでは「100(mS/m) (砂土では 50) を越えた場合は原因を究明し脱塩等の適切な対策を行う」と示されている。(国土交通省 2009) なお、これら既存マニュアルの値の単位は(dS/m) で示されているが、今調査では厳密に SI 単位である(mS/m) で表記して

いるため、単位換算を行っている。「dS/m」の値を100倍した値が「mS/m」となる。）

2.4.2 植栽の状況と地盤液状化被害

(1) 地被・芝生と地盤液状化被害

今回調査対象とした芝生においては、大きな亀裂から砂が噴出している場所がみられた。このような大きな力に対しては、芝のほふく茎によって亀裂を抑制するような効果の兆候は観察されなかった。3月は芝が休眠中であったこともあるが、生育旺盛な時期においても芝のほふく茎の緊迫力に頼るには無理があると考えられる。

調査対象とした芝生のほとんどは、埋め立てに用いた厚い砂層の上にロームなどの土を10～20cmの厚さで客土し、その上に芝が植栽されていた。砂層が液状化し、ロームの層を突き破り、亀裂から噴砂が吹き上げている。このような大きな動きを地被植物によって抑制することは不可能である。基盤造成の段階からの対応が必要となる。具体的には、以下のような対応が考えられるが、今後の検討が必要である。

1) 蓋をする手法

一つは、地盤液状化に対抗できる硬さ・厚さを持つ土層を造成し、地盤液状化に対する蓋としようというもので、地盤液状化が起こりにくいように下層基盤を締め固めておくことや、あるいは築山のように粘性土による厚い盛土によって砂の噴出を抑えることである。SH型貫入試験で硬質な基盤が存在する芝生地において噴砂が認められなかった箇所もあり、今後検討すべき課題である。この場合は、暗渠の整備を欠かすことができないものとなる。しかしながら、今回の調査では噴砂を抑制するための硬さ、土層厚に関する知見を得ることはできず、今後の課題として残された。

2) 地盤液状化による噴水を無理なく排出する手法

逆の方法としては、土を盛らずに表層まで砂層や根系誘導耐圧基盤を造成し、ポーラスな構造とする方法も考えられ得る。全体が緩む、あるいはポーラスな空間を作ることにより、液状化によって上昇してきた水が全面から浸出するようになり、硬質な基盤に亀裂をつくっての噴出は抑制することができるものと考えられる。人や物がその上にあった場合、砂のみの基盤では上にあった物が沈むことも考えられるが、芝が表層を覆っていればそのようなことも起こりにくいであろう。根系誘導耐圧基盤を造成するならば、このような点に対してもさらに安全となる。砂を基盤とした芝生の造成は競技場やゴルフ場のグリーンなどでは普及している方法であり、踏圧による締め固まりを防ぐ効果もある。ただし、通常の管理において一般の土壌に比べて施肥や灌水頻度をあげることが必要となる。

砂層の中に生じる亀裂を抑制するには繊維質の土壌改良資材やファイバー類などを混入しておく方法も考えられ、これらの資材と芝生根系の相乗効果による複合補強土が形成される可能性もあろう。

地盤液状化により発生する噴砂に対する対策を検討する場合、以上のように様々な方法が考えられるが、今後噴砂の発生する頻度および費用対効果などについても検討する必要がある。

3) 剛構造から柔構造への発想の転換

今回の調査地においてレンガやコンクリートの舗装が破壊された所は各所にみられ、修理には多額の費用と時間を要することが見込まれる。したがって、地盤液状化による被害の発生が予想される箇所に対しては、ダスト舗装、平板舗装のような地震時の振動、地盤液状化による振幅などにより破壊されやすい構造ではなく、芝地など、柔構造の広場とする事が望まれる。この場合、緊急時の車両の乗り入れなどを考慮して、根系誘導耐圧基盤などの考え方を導入することが望ましい。

先述のように、噴砂の化学性についてはややpHが高く、ECも高いなどの問題はあがあるが、芝草の発芽と成長にはさほどの影響はなかったため、この点での障害はないはずである。

また、芝生等の緑地であれば、地盤液状化で被害を受けたとしても、亀裂を埋め戻す程度の措置で現状復帰を望めそうであり、回復が容易ということも利点である。

4) 噴砂の利用

今回の震災において浦安市で集められた噴砂の量は相当な量であるが、芝生の目土などとして有効に利用できる可能性がある。床土として活用するためには地盤液状化による再流動化を防ぐなど適切な処理が必要であり、

この点については現在試験中である。

近年進展しつつある校庭の芝生化において、校庭面積の割に児童・生徒の数が多く踏圧の激しい学校においては砂を主体とした床土が望まれるが、造成のための砂の費用が大きい。砂の価格には運搬費用が大きな割合を占める。このような状況において噴砂の有効な活用方法として着目できる。塩分やpHの値は、しばらくの間の野積みによって解消されそうであるが、土囊に入れて堆積した噴砂では高いECも見られているので、今後の検討が必要である。

5) 芝生のフィルター効果

本調査では地盤液状化による亀裂の発生を芝生根系により防ぐことができるということは確認できなかった。しかし、地元住民からの聞き取り、および噴砂密度より、芝生根系の存在がフィルターとして作用し、噴砂が抑制され、地下水を主とする噴出、すなわち噴水が認められたことより、地下水位の高い箇所においては、芝生の存在により噴砂を軽減できることが示された。

6) 築山マウンドの効果

また、築山、マウンドのような厚い盛土層を行った箇所は、相対的に地下水位が低く、土層による蓋掛け効果を有する箇所ではマウンドの裾部に若干の噴砂が発生する場合があるものの、噴砂が認められなかった。この点で、噴砂の発生を抑制するためには、できる限り暑い土層とすることが望ましい。適切な土壌厚さについては、今後の調査が望まれる。

公園は災害時の広域避難場所になり、人々は芝生地であれば安心と考えるであろうから、芝生地から水が噴き出して陥没するという事は、緑地設計の観点からも絶対に避けるべきである。

この点で、暗渠網の整備、あるいは根系誘導耐圧基盤などの使用により、地下水位の低下を図り、芝生根系の発達と土壌との一体化を図り、噴砂・噴水を抑制することができる生育基盤を整備することが重要となる。具体的には、芝生地の造成に対しては、植栽基盤を厚くし築山を造成すること、根系誘導耐圧基盤を用いること、あるいは、芝生地の外側にドレーンパイプを設置し土層的な地盤液状化対策を行うこと、液状化を誘導する弱部を設けることなどの工夫が考えられる。ただしこれらは緑化分野だけで対応できる問題ではないため、関連分野で広く知見を集め今後の防災に生かすことが、我々緑地を専門分野とする技術者の責務であると考えられる。

(2) 樹林と地盤液状化被害

樹林に関しても、防災上の効果は種々の観点から考慮されるべきであるから、一概に結論は出し得ないが、高洲太陽の丘公園や中央公園の樹林地で、恐らく根系の相互の緊縛力が地盤液状化により発生する割れ目を抑制していると思われる事例を観察した。

根系の伸長は土壌条件（硬さ・透水性等）に大きく影響されるから、今後、浦安埋め立て地の各地の公園の樹木の樹種（落葉広葉樹）、大きさ、植栽間隔、土壌硬度などの調査がなされて、防災に適する植栽条件に関する適切なデータが得られることが強く期待される。少なくとも今回の調査で、どのような場所を調査すればよいのかの見通しは開けたと考える。

ただし、傾向としては古く植栽後時間を経過した樹林地には噴砂が認められず、割れ目は樹林の根元で消えており、一定の効果は期待できるというものの、その多くの地盤は硬質であり、樹木根系の緊縛力による抑制効果なのか、土層の問題なのか、はたまた、両者の複合効果なのかについては判断を下しえなかった。今後、防災・減災効果の優れる公園・緑地の建設に対して重要な課題であり、詳細な調査が望まれる。

2.4.3 表層基盤の土層構造と地盤液状化被害

地盤液状化は「深さ15~20mより浅い（水を含む）砂層で、N値が10以下で危険性が高く、厚さおよそ3m以上の液状化しない泥層などの地層が上に乗っていれば地表面の変形は生じない」といわれている（水谷 2009）。実際には、砂の粒度と地震の強さが深く関係し、砂の粒度が揃っているほど危険性は高い（N値の話編集委員 2004）。実態として東京湾沿岸の埋め立て地では、深さ5m程度までの層で液状化が発生していると言われる（風岡ら 2003）。

いずれにしても浦安の埋め立て地はサンドポンプで沿岸を埋め立てた土地で、大部分の場所の深さ5m程度までのN値が5以下と驚異的に軟らかく、平均的な地下水位も-1.5m程度（場所によっては-50cm）である（千葉県地質環境インフォメーションセンターによる地質柱状図による）から、液状化災害の危険性はこれまでも

指摘されてきているが、公園緑地の土層構造からの検討整理はなされていないと思われる。しかし、広域避難場所になるなどの公共性から考えると、公園の土層状況を的確に判断し、それに基づく緑地設計がなされることは極めて重要である。

そのためには、まず地盤液状化に係わる土層状況を的確に判断する必要がある。地盤液状化の調査に関しては安田による著書(安田 1988)に詳しいが、地盤液状化と土層の硬さに強い関係があることからN値の測定が多く利用されている。一方、5m 深程度までの土層構造については簡易動的コーン貫入試験機(通称「簡易貫入試験機」)による調査が標準貫入試験によるN値測定に近い値が得られることが知られており(N値の話編集委員 2004)、風岡らは簡易貫入試験を、多い場合は1mピッチで測定すると共に、数点で標準コアサンプリングを行って土層を確認することによって、極めて有益な情報が得られることを多数報告している(風岡ら 2007、風岡ら 2007、風岡ら 2008)。

これらの観点から、地盤液状化被害が考えられる地域では、簡易に多地点の5m 程度までのN値の測定がなされ、それによる適切な処置をすることが防災上極めて重要となる。すなわち、簡易貫入試験と同様の調査が、より簡易に測定でき、必要に応じて土層のサンプリングが可能で、できれば緑地の観点では植栽基盤層の軟らかさも分かるような測定が望ましい。

このため、本調査ではこの目的にほぼ適合するSH型貫入試験を本調査で利用した。すなわち、SH型貫入試験機は簡易貫入試験機と基本的には同じものであり、簡易貫入試験で得られる情報は100%同じ情報が得られるが、落錘を3kgと(2kgを追加して)5kgに切り替えられるので、3kg落錘では表層部分の軟らかい土層の状況が詳細に判定できる(川満 2002)。またこの3kg落錘での結果は単純計算でほぼ長谷川式土壌貫入計によるS値に換算可能であるため、国土交通省を初めとする大部分の公共植栽工事における標準土壌硬度調査器具の結果と比較が容易にでき、植栽基盤の評価が可能である(但し今調査ではS値への換算は行っていない)。さらにSH型貫入試験機は、一打撃毎の貫入深さを自動記録するデータロガーを用いて測定するため、現地におけるデータ記録や後のデータ処理手間が簡易貫入試験に比較して大きく省力化できることが特色である。加えて、必要に応じて先端コーンの代わりにサンプラーを取り付けることができるため、土層の確認もできることも特色である。(但し、標準貫入試験のようにサンプラーとコーンを兼用するわけではない。)

今調査においては極めて時間が限られたため、大まかな調査に終わったが、これまでとは若干異なった知見を得ることができた。簡易貫入試験は5kg 重錘を落下させ、10cm 陥入する打撃数で評価するために、硬軟入り乱れる土層では、硬い値となりやすいが、SH型貫入試験は、1打撃枚の貫入深を測定するため、地盤の微細な構造を明確にすることができるからである。

SH型貫入試験の結果、次の知見を得ることができた。

- (1) 噴砂が発生し、陥没した土層は硬質であり、これは、陥没により圧密を受けた結果と推定される。(日の出おひさま公園、高須太陽の丘公園など)
- (2) 噴砂が発生した箇所は、-50cm~2m の位置に、硬軟の土層が繰り返され、その下が軟弱な地盤となることから、噴砂により噴出した層は-50~2m の極浅層と考えられる。硬質な土層が存在するのは、地下水が抜けた後、圧密を受けた層と推定される。(全域)
- (3) 噴砂が発生せず、噴砂地に近接する場所でも類似の土層構造が認められることから、噴砂地に向かい地下水の側方流が発生しているものと推定される。(今川トリム公園)
- (4) 噴砂が認められたダスト舗装と近接する噴砂が認められない植栽地を比較するならば、盛土土層厚の薄いダスト舗装箇所は軟弱な地盤に接するため、地盤液状化の影響を受けやすく、かつ、噴砂が発生しやすいものと推定された。(今川トリム公園)
- (5) 地下水位の高い芝地においては、地下水の卓越する噴砂、すなわち噴水が発生したとされることから、芝生根系がフィルターとなり砂の噴出を抑えることができるものと推定される。(美浜南第1街区公園)
- (6) 土層の厚いところ、硬質な土層が存在する箇所では噴砂は発生していない。芝地・植栽地において噴砂が発生していない箇所は、このような箇所であり、根系による緊縛作用が有効に働いたということ以前に、地盤液状化とそれにもなう噴砂に対しては、十分な厚みと下層に硬い層をもつ基盤を造成する必要がある。むろん、芝生・樹木根系の効果が無いということではなく、芝生・樹木の生育に対し良好な基盤を造成することにより、相乗効果が高まることが考えられる。

以上は、緑地・公園に対するSH型貫入試験の結果であり、重量物の存在する道路、市街地にまで適応できるものとは言えず、緑地・公園域ではこのような関係にあるものと推定できると言うことである。考えるまでもなく、緑地・公園のような、客土がなされ、芝生・樹木根系により緊縛され柔構造となっている箇所は、元来地盤液状化の影響を受けにくく、従って噴砂も抑制される箇所と言える。また、緑地・公園には重量物が存在せず、

この点でも噴砂の噴出を抑制する面では有利である。噴砂は、地盤液状化によって発生するものであるが、その量は地震動の長さによる地下水の分離と上載荷重のバランスにより定まるものと考えられるからである。ならば、重量物が存在せず、上載荷重の小さな緑地・公園では極浅層の部分からの噴砂にとどまったことは当然と言える。

従って、今回の調査より得られた知見、および課題として示された項目についてさらなる調査を実施し、その結果得られた知見を下にして対策をなすならば、さらに地盤液状化、噴砂に対して強い緑地・公園を造ることが可能となる。特に、ダスト舗装のように盛土厚さの薄い箇所は、地盤液状化による破壊、および噴砂が発生しやすい、マウンドのように厚い盛土箇所では噴砂が発生していない、などから適正な盛土厚の確保が重要であり、また、硬質な地盤が存在する箇所においても噴砂の発生が抑制されていることから、盛土層の下部を十分に締め固めるなどの対策が見えてきたことは重要である。さらには、噴砂の発生を抑止するためには地震時、地盤内の間隙水圧の上昇を抑えることが有効であり、この点では、噴砂により吹き上げられたとみられる-50cm~2mの位置に対して暗渠排水を行う、あるいは、この位置まで到達するポーラスな構造を持つ耐圧基盤の造成やドレーンパイプの挿入などが重要となる。とくに、剛構造の舗装の設置箇所や地下において浮力が働く管渠の設置箇所に対しては十分な対策を行うことが望まれる。

しかしながら、今回の浦安における調査によって、これらの問題がすべて明らかになったわけではなく、推定の範囲であり、端緒についたばかりと言える。今回見いだされた課題について、さらなる調査を実施し、減災・防災効果の高い緑地・公園造成のための知見を得、整理することが必要である。

さらに言うならば、今回噴砂が噴出した層が極浅層であることが宅地造成地などでも確認できるならば、宅地の震災被害の復旧、あるいは、今後の地盤液状化の予想される箇所での宅地造成に対し重要な情報が提供できるものと考えられる。

【参考文献】

本調査の検討に当たり、以下の文献等資料を参考・引用した。

- (1) 荒木 誠、金子 真司、清野 嘉之、池田 武文、古澤 仁美、鳥居 厚志、伊東 宏樹、高畑 義啓、玉井 幸治(1997)：兵庫県南部地震による臨海埋め立て地の緑地における地盤液状化被害：神戸市ポートアイランド南公園の被害調査、森林立地 39(1)、46-58
- (2) N値の話編集委員会編(2004)：改訂 N値の話、理工図書
- (3) 藤原俊六郎、安西徹郎、小川吉雄、加藤徹郎(1998)：新版 土壤肥料用語事典 81-82、農山漁村文化協会
- (4) 長谷川秀三、川九邦雄、鬼頭直樹(1978)：緑化地の土壌改良(2) 臨海埋め立て地のアルカリ性土壌の取扱いについて、昭和53年度日本造園学会春季大会研究発表要旨 p64
- (5) 川満一史(2002)：改良型簡易貫入試験機の開発、SABO Vol. 73 14-19
- (6) 風岡 修、楡井 久、香村一夫、楠田 隆(2003)：特集 液状化・流動化、アーバンクボタ №40、2003年3月、(株)クボタ
- (7) 風岡 修、吉田 剛、笠原 豊、古野邦雄、酒井 豊、川辺孝幸(2007)：新潟県中越沖地震の地質環境災害に関する現地調査結果 -その4 柏崎市長崎での液状化-流動化被害の詳細調査結果-、千葉県環境研究センター年報 第7号(平成19年度)、千葉県環境研究センター、<http://www.wit.pref.chiba.lg.jp/nenpou/ar2007/ar2007064.pdf>
- (8) 風岡 修、古野邦雄、楠田 隆、笠原 豊(2007)：能登半島地震の地質環境災害に関する現地調査結果 -その2 臨海埋め立て地での液状化-流動化被害状況-、千葉県環境研究センター年報 第7号(平成19年度)、千葉県環境研究センター、<http://www.wit.pref.chiba.lg.jp/nenpou/ar2007/ar2007058.pdf>
- (9) 風岡 修、佐藤光男、吉田 剛、古野邦雄、楠田 隆、香川 淳、酒井 豊、原 雄、香村一夫、佐藤賢司、楡井 久(2008)：1987年千葉県東方沖地震時の砂丘内陸側斜面下部に見られる液状化-流動化現象-白子町剃金での調査結果-、千葉県環境研究センター年報 第8号(平成20年度)、千葉県環境研究センター <http://www.wit.pref.chiba.lg.jp/nenpou/ar2008/ar2008tisitu008.pdf>
- (10) 国土交通省 都市・地域整備局公園緑地・景観課緑地環境室 監修(2009)：植栽基盤整備技術マニュアル、財団法人日本緑化センター
- (11) Marc Pansu, Jacques Gautheyrou(2006)：Handbook of soil analysis : mineralogical, organic and inorganic methods, Berlin, Springer
- (12) 水谷武司(2009)：防災基礎講座 災害予測編 災害の危険性をどう評価するか 9.地盤液状化 液状化危険度、(独)防災科学技術研究所、http://dil.bosai.go.jp/webworkshop/risk/s09eki_jyoka/liquefaction.htm
- (13) 森林総研、港湾技研(1997)：臨海部防災緑地液状化被害対策調査報告書、農林水産省林野庁森林総合研究所、運輸省港湾技術研究所
- (14) 田中 義則、山瀬 敬太郎(1996)：〈特集〉森林で地震災害を防げるか 液状化に強い緑地帯を造成する、森林科学(17)、13-18
- (15) 山中金次郎(1953) 土壌pHの測定に関する研究、農業技術研究所報告 B, 土壌肥料(2)、69-94、農林省農業技術研究所
- (16) 安田 進(1988)：液状化の調査から対策工まで、鹿島出版
- (17) 設計施工のための港湾・空港ハンドブック編集委員会編(1974)：設計施工のための港湾・空港ハンドブック、建設産業調査会
- (18) (社)土木学会編、酒見尚雄編著(1981)：新体系土工学78-2 土地造成 埋め立て、技報堂出版
- (19) 篠原邦英ら(1976)：埋め立て計画の実施と環境影響調査、546p、フジテクノシステム
- (20) 柴田 徹 編著(1982)：埋め立て軟弱地盤の防災、森北出版
- (21) United States Salinity Laboratory Staff(1954)：Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils Agriculture Handbook No.60, United State Department of Agriculture

2.5 樹林地分科会による調査結果の総合考察

2.5.1 公園の樹林地と地盤液状化との関係についての総合考察

写真 2-4 および写真 2-8 に見られるように、樹林地など表層が関東ロームなどの粘性土で覆われ、かつ根系が十分発達している植栽基盤は、根による緊縛効果で、可撓性(かとうせい)に富む複合構造体マットとして地面を押さえ、地表に被害を生じさせない効果を有することが分かった。写真 2-5 に見られるように、破壊力が大きい場合は樹木の根があっても地面の亀裂を阻止できないが、樹木の根はおおむね切断されないことも確認できた(ただし樹種によってその抵抗力は異なり、一部切断を受けたものもある)。



写真 2-4 (再掲)



写真 2-8 (再掲)



写真 2-5 (再掲)

写真 2-1 および写真 2-12 にみられるように、樹木の根がしっかり張り巡らされている場所では、地盤液状化による噴砂も発生しにくいものと考えられる。



写真 2-1 (再掲)



写真 2-12 (再掲)

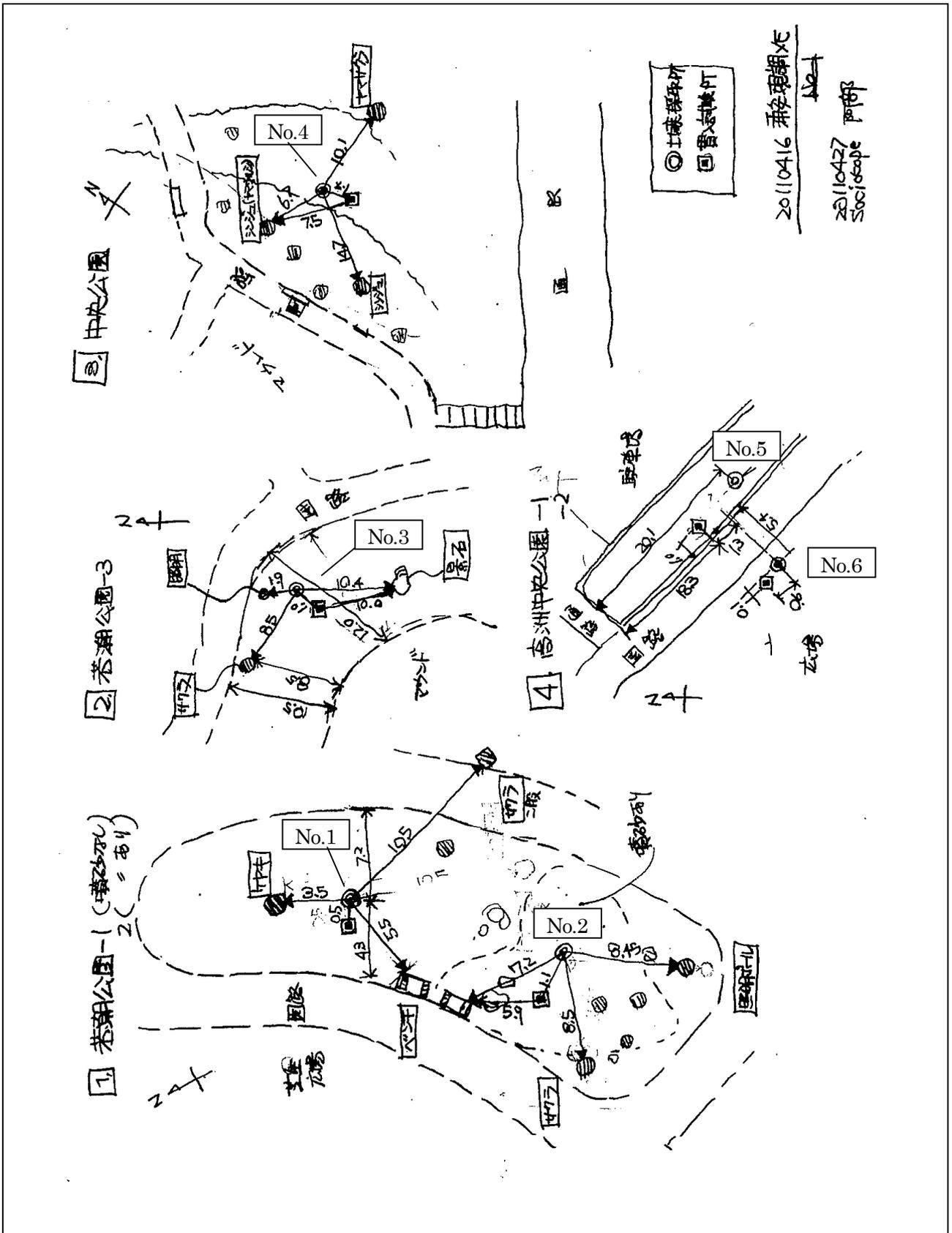
2.5.2 地盤液状化による被害を軽減するための樹林地のあり方についての考察

今回の調査において明言するデータは得られなかったが、樹木の地際で亀裂が消える箇所が存在するなどより、樹木の根がしっかり展開した樹林地では、地盤の液状化に伴う亀裂の発生や噴砂を抑える力を持つと考えられる。

その効果を高めるためには樹木の根系が良好に発達可能な植栽基盤である事が必要である。すなわち、植栽基盤が適度に柔軟で、通気性、排水性および保水性に富む土壌であることが望ましい。また、根系誘導耐圧基盤のように十分な空隙を有しながら固結しない植栽基盤を用いて樹木の根が緊密に植栽基盤と一体化することも望まれる。浚渫した海砂や外部から搬入した山砂のみで植栽基盤が構成されていたり、良質な壤土が客土されてもその厚さが不十分であったりすれば、樹林地の持つ亀裂の発生や噴砂の抑止力は十分には働かないものとも考えられる。

ちなみに、今回選択した4公園は埋め立て時期が違うものの、その境界線からはほぼ同様の距離になる大規模公園と中規模公園であった。植物生育や土壌断面に何らかの違いがあるのではないかという問題点をもって調査にあたったが、明確な違いを見つけ出すことはできなかった。ただ、盛土による十分な客土がされていて高木が生長できている箇所でも共通して言えることは、根の緊縛力がクラックを防止していたことである。

【参考資料1】4月16日の樹林地分科会による検土杖調査および貫入試験の位置図



【参考資料2】4月16日の樹林地分科会による検土杖検査および貫入試験の位置を特定するための目印の写真

調査地点 No.1 からの目印

		
調査地点 No.1 から 3.5m のケヤキ	調査地点 No.1 から 5.5m のベンチ	調査地点 No.1 から 10.5m のサクラ

調査地点 No.2 からの目印

		
調査地点 No.2 から 8.5m のサクラ	調査地点 No.2 から 7.2m のベンチ	調査地点 No.2 から 8.45m のポール

調査地点 No.3 からの目印


調査地点 No.3 から 1.5m の照明灯と 8.5m のサクラ

調査地点 No.4 からの目印

	
調査地点 No.4 から 6.7m のシンジュ	調査地点 No.4 から 14.7m のシンジュ

調査地点 No.5 からの目印


調査地点 No.4 から 10.1m のヤマザクラ

調査地点 No.6 および No.7 からの目印

	不要
調査地点 No.5 から 18.3m の植栽帯角	