

4. 評価シナリオの設定と材料パラメーター

海面最終処分場は一般的に大きな沈下が生じる。埋立てた廃棄物層自体の沈下も生じるが、下部の底部遮水工である沖積粘土層の沈下量の方が大きい場合がある。廃棄物を海中投入処分している期間は、水中に投入されているので、水の密度分の浮力が発生することから実荷重は小さくなるが、陸域化部の埋立てが始まると浮力が無いため水中への直接投入時に比較して沈下に与える影響が大きくなる。そのため、過去の夢洲1区における沈下観測報告書等を引用し、当該受入予定地に関する沈下量予測を行った。沈下することが確実であり、沈下した方が残余水面部までの移動距離（放射性セシウムの流線距離）が短くなることから、評価の基本シナリオを沈下時の断面とした。

4.1 沈下量の予測

保有水水位より上部の不飽和帯は、土壌や廃棄物層は、空気相、水相、土粒子等の固相の3相構造で構成されており、水位より下部の飽和帯は、空気相が無くなり、水相と固相の2相で構成されることになる。沈下には圧縮と圧密があるが、圧縮は不飽和帯での沈下、圧密は飽和帯で排水を伴いながらの沈下となる。

本沈下量予測では、両者の沈下現象を動態観測値である時間-沈下量曲線から双曲線法を用いて近似することで将来予測を行うこととした。平成22年度に取りまとめられた夢洲1区沈下観測結果^aより、受入予定地に最も近い沈下観測地点として「管-(18)」を選択した。管-(18)は既に第3層廃棄物層まで埋め立てられていることから、受入予定地の将来的な沈下量を把握可能と判断した。受入予定地と管-(18)の位置関係を図4.1に示す。

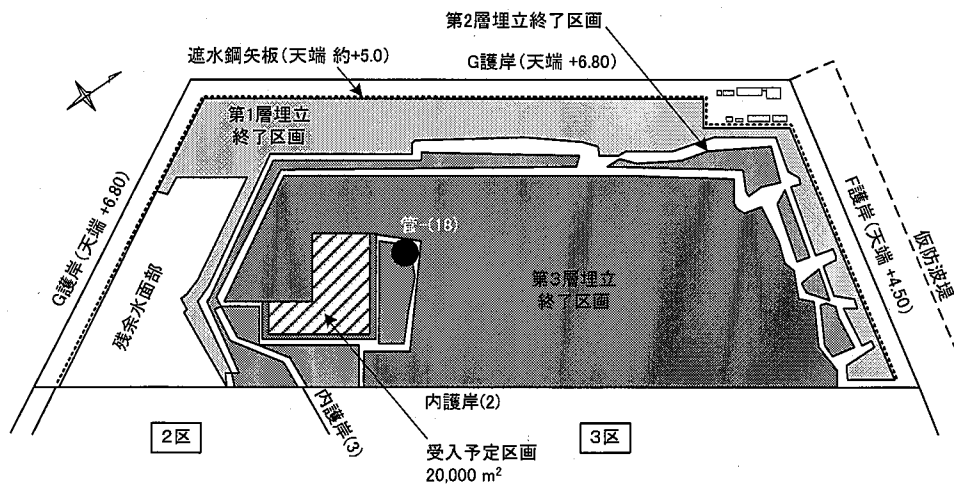


図 4.1 既存沈下観測地点「管-(18)」の位置図

^a 大阪市（2010）平成22年度夢洲1区沈下観測結果，p. 3-791より引用。

管-(18)には 5 つの沈下計が入っており、洪積砂礫層と沖積粘土層には二重管沈下計が、廃棄物層より上部には表面沈下板が設置されている。図 4.2 に沈下観測計の設置概念図を示す。受入予定区画は、第 2 廃棄物層までしか埋立てられていないため、管-(18)でいえば 18-2 の設置深さが表層となっている。問題となるのは、受入予定地の基盤面である第 2 覆土層の天端の沈下であることから、沈下予測の対象とする沈下観測データとして 18-2 に着目した。18-2 における時間－沈下量の観測結果を図 4.3 に示す。

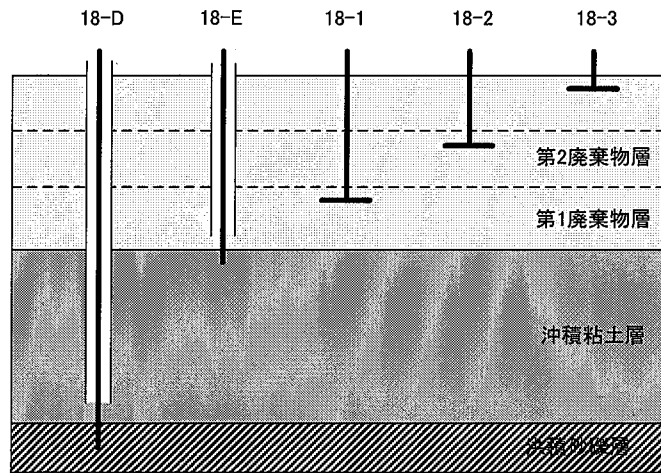


図 4.2 沈下観測計設置位置の模式図

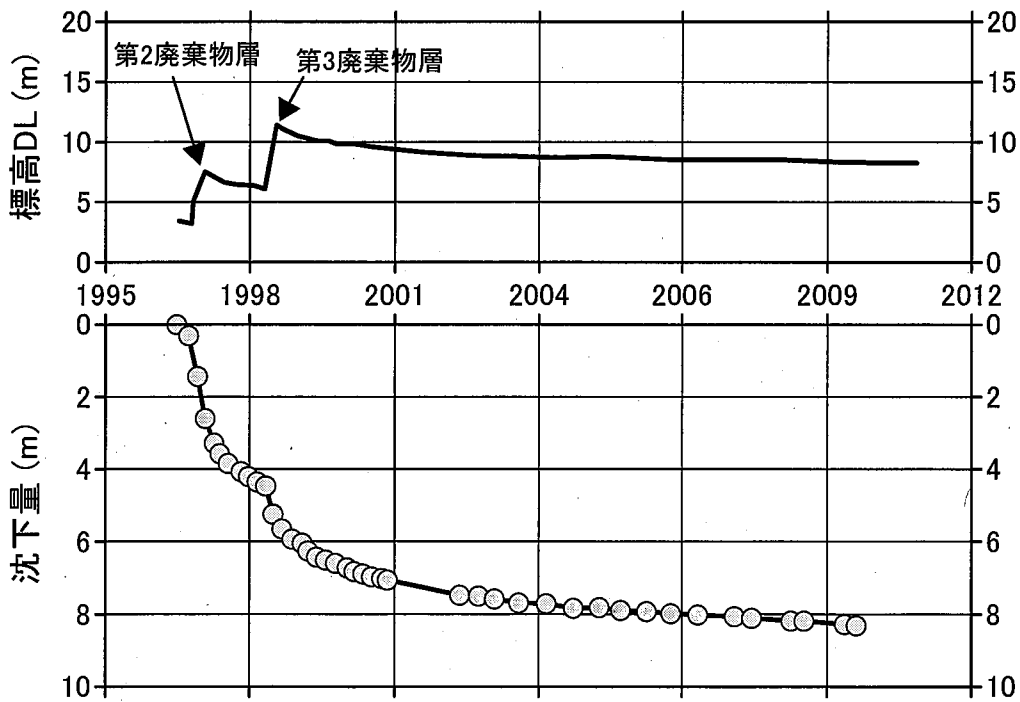


図 4.3 沈下計 18-2 における沈下観測結果（実測値）

双曲線法による最終沈下量予測⁴は、まず、図 4.4 に示されるような時間－沈下量の観測データから、ある時間を t_0 とし、その時の沈下量を初期沈下量 S_0 とおいて、任意の時間 t における観測沈下量 S_t より、

$$\frac{t-t_0}{S_t-S_0} = \beta(t-t_0) + \alpha \quad \dots (4.1)$$

にて与えられる双曲線関数を解くことにより求められる。 α と β は係数であるが、 $(t-t_0)$ に着目すれば、直線回帰式の切片が α 、傾きが β となる。最終沈下量 S_f は、

$$S_f = S_0 + \frac{1}{\beta} \quad \dots (4.2)$$

によって求められ、ある沈下量 S_t に至るまでの時間 t は、

$$t = \frac{\alpha(S_t - S_0)}{1 - \beta(S_t - S_0)} \quad \dots (4.3)$$

より計算することができる。

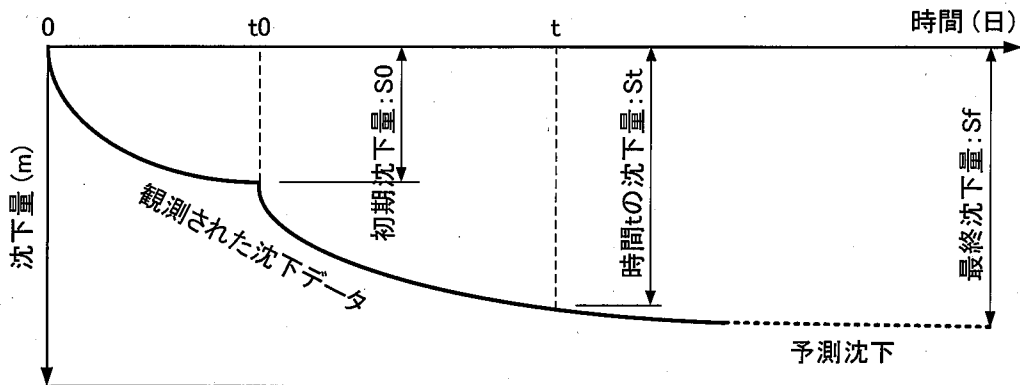


図 4.4 双曲線法による沈下予測の初期設定

受入予定区画は第 2 廃棄物層まで埋立てが終了している区画であり、現時点で第 2 廃棄物層の埋立てが完了してから約 15 年程度経過している。図 4.3 に示した 18-2 の地点は、第 2 廃棄物層の埋立てが完了したのち、約 1.5 年後には第 3 廃棄物層を埋立てていることから、第 3 廃棄物層を埋立てなかった場合の沈下量を読み取ることはできない。そこで、その 1.5 年間の沈下実測データから、第 3 廃棄物層の埋立てを行わなかった場合の沈下予測曲線を求めることとした。また、第 3 廃棄物層まで埋立てが行われた場合の最終沈下量は、受入予定区画でも同じになることが予測されることから、最終沈下量も 18-2 の実測データから計算可能である。これより、第 2 廃棄物層までの埋立てで 15 年間放置された場合の受入予定区画の沈下量を予測し、その時の高さを現況の D.L.+4.70 とすれば、受入予定区画における今後の沈下量を計算することが可能となる。

⁴地盤工学会編 (1988) 軟弱地盤工法－調査・設計から施工まで、第 III 編。

まず、第2 廃棄物層のみが埋立てられている期間のデータから、図 4.4 に示した方法によって初期値 $t_0 = 874$ 日、 $S_0 = 0.306$ m を読み取り、 $(t - t_0)$ と $(S_t - S_0)$ を計算することで、図 4.5 に示す分布を得ることができる。この図より直性回帰分析を行うことで $\alpha = 33.488$ 、 $\beta = 0.1739$ を得る。15 年間第3 廃棄物層の埋立てを行わなかった場合の沈下量を予測することが必要であるため、式 4.3 の時間 t が既知で、沈下量 S_t が未知数となることから、式 4.3 を S_t について変形すると、

$$S_t = S_0 + \frac{t}{\beta \cdot t + \alpha} \quad \dots (4.4)$$

となり、第3 廃棄物層を埋立てなかった場合の第2 廃棄物層の15 年後の沈下量は 5.862 m と計算される。

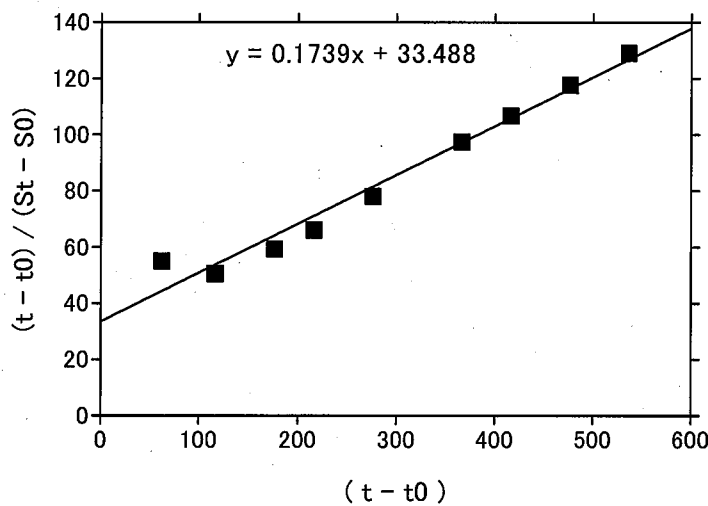


図 4.5 第2 廃棄物層埋立時の双曲線法によるデータ整理

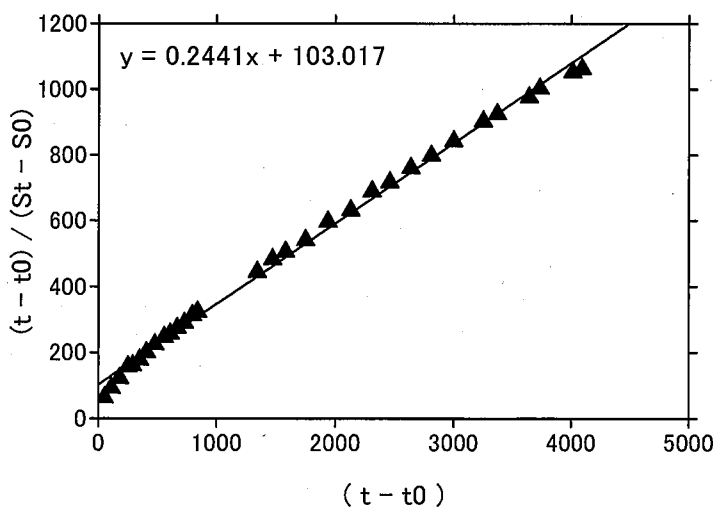


図 4.6 第3 廃棄物層埋立時の双曲線法によるデータ整理

第3 廃棄物層埋立後の最終沈下量を計算するため、第3 廃棄物層埋立後の 18-2 の実測データより初期値 $S_0=4.46$ m を得て、図 4.6 に示すような関係をプロットすることで、 $\beta = 0.2441$ となる。式 4.2 より、最終沈下量 S_f は 8.556 m と計算される。

現時点での第2 廃棄物層天端（受入予定区画底面）の標高は D.L.=+4.70 であり、その高さに至っている状況で既に 5.862 m の沈下が完了していることになる。よって、最終沈下量 8.556 m との差は $2.694 \text{ m} \approx 2.70 \text{ m}$ と算出され、将来的には D.L. = 2.00 となることが計算された。図 2.6 にて示した標準埋立断面図より、受入予定区画底面と保有水水位との推定距離は 2.70 m となっていることから、沈下後の断面においては、水位が受入区画底面と一致することとなる。

4.2 評価シナリオ

広域処理災害廃棄物の焼却残滓の埋立ては主灰と飛灰を分けて埋立てることが予定されている。一般的に、主灰の放射性セシウム濃度は低くその溶出率も小さいが、飛灰は濃度も高く、放射性セシウムの溶出率も高いことが報告されている^a。これより、最も危険側と考えられる埋立方法は、濃度も溶出率も高い飛灰を残余水面部に最も近い位置に埋立てることであることから、図 4.7 に示される流線を評価の対象とした。

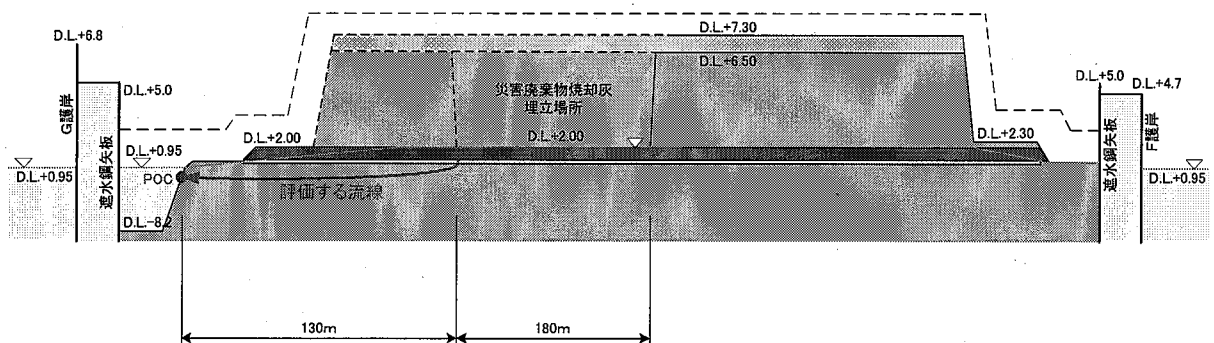


図 4.7 受入予定地からの放射性セシウム移動の評価流線の決定

飛灰埋立区画から、溶出する放射性セシウムは、既に設置されている覆土層、鉍滓層を通過し、流向を横向きに変えながら、残余水面部へと移動することになる。各層における放射性セシウムへの影響は、覆土層、鉍滓層、第2 廃棄物層のいずれも、吸着によって遅延された移動時間による減衰効果が生じる。実際、残余水面部の保有水による希釈効果も期待できるが、将来的に残余水面部は大阪市の一般廃棄物の焼却残滓等によって埋立てられ、残余水面部は消失することから、希釈の効果は考慮しないこととした。また、将来的

^a 独立行政法人国立環境研究所 (2012) : 放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分 (技術資料 第二版), http://www.nies.go.jp/shinsai/techrepo_r2_120326.pdf

な残余水面部の埋立てによって評価すべき POC の位置は徐々に遠ざかっていくことになるが、距離が長くなることによって放射性セシウムの移動時間も長くなり、吸着や減衰等の影響を受けることから、濃度は減少することになる。よって、現時点での残余水面部の POC を評価することは、安全側の評価となることから、将来にわたって、POC の位置は変えずに評価を行うこととした。

沈下後の断面を想定していることから、飛灰埋立区画底面から保有水水位までの距離は 0 m であり同じ高さとなっている。保有水に到達した放射性セシウムは真横には移動せず、一度、保有水深部に潜り込んでから徐々に横方向に向きを変える^aため、水平距離よりも長い距離を移動することになるが、保守的な評価を行うため、移動距離は水平距離で移動すると仮定した。覆土層 0.5 m、鉍滓層 0.3 m を通過した後、真横に 130 m 移動するとして評価することとし、POC に到達するまでの総移動距離は 130.8 m と設定した。

評価シミュレーションでは、流速が既に決まっているため、縦方向から横方向へと移動する流線を 1 次元解析とみだてて評価した。図 4.3 にシミュレーションのための想定模式断面を示す。シミュレーションでは、受入予定区画の底面である飛灰底部から下流側の、第 2 覆土層、鉍滓層、第 2 廃棄物層を対象として評価する。

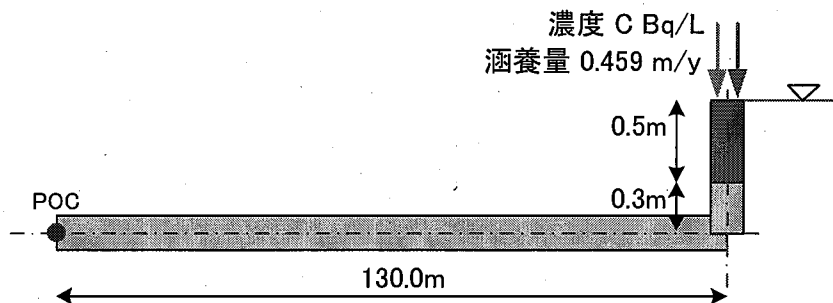


図 4.3 評価シナリオにおける解析模式断面図

4.3 シミュレーションのための材料パラメーターの設定

シミュレーションによる評価を行うにあたって、式 3.1~3.4 のパラメーターを決定する必要がある。覆土層、鉍滓層、廃棄物層のそれぞれで値は異なる。本節ではパラメーターの設定について述べる。本解析で使用したパラメーターの一覧を表 4.1 に示す。遅延係数 R を求めるための分配係数 Kd については次節で詳述する。

間隙率 θ は、一般的に 0.3~0.5 の値をとることが多いが、ここでは 0.4 に固定した。まさ

^a 財団法人日本環境衛生センター (2007) 平成 18 年度広域最終処分場計画調査「海面最終処分場の閉鎖・廃止適用マニュアル策定に向けた調査」委託業務報告書，調査解析編，第 5 章，<http://www.env.go.jp/recycle/report/h21-07/index.html>

土の土粒子密度 ρ_s は、2,600~2,800 kg/m³と報告^aされていることから、約 2,700 kg/m³程度と仮定すると間隙率 0.4 より、乾燥密度（かさ密度）は約 1,600 kg/m³と計算され、この値を覆土層に適用した。ここで想定する廃棄物層は飛灰と主灰の混合理立てであることから、文献値^bを参考にして 1,500 kg/m³と定めた。鉍滓層は鉄鋼スラグの粒子密度 2,500 kg/m³を想定し、間隙率 0.4 より乾燥密度 1,500 kg/m³を計算した。

表 4.1 飽和一次元解析に用いたパラメーター一覧

			覆土層	鉍滓層	廃棄物層
間隙率	θ	—	0.4	0.4	0.4
乾燥密度	ρ_d	kg/m ³	1,600	1,500	1,500
分子拡散係数	D_0	m ² /s	2.0×10^{-9}	2.0×10^{-9}	2.0×10^{-9}
縦分散長	α_L	m	0.01	0.01	1.0
¹³⁴ Cs 崩壊定数	λ_{134}	1/y	ln(2)/2.065	ln(2)/2.065	ln(2)/2.065
¹³⁷ Cs 崩壊定数	λ_{137}	1/y	ln(2)/30.17	ln(2)/30.17	ln(2)/30.17

分子拡散係数 D_0 には、安定セシウムの拡散係数の値^{c,d}を用いた。縦分散長は、解析対象領域の長さによって変化するパラメーターであり、ここでは、1m 程度までの解析領域では 0.01 m、10m は 0.1 m、100m 程度までは 1.0 m とした。実スケールにおける縦分散長は解析領域の長さの 1/10~1/100 程度であると報告^eされており、長さ 0.30 m 程度の一次元カラム試験より求められた縦分散長は 0.003~0.01 m との報告^fもあることから、1 m 未満の覆土層や鉍滓層に 0.01 m の分散長を与えていることは妥当と考えられる。また、式 3.4 より、分散長が大きくなると分散係数の値も大きくなることから、図 3.2 に示した分散の影響で濃度分布が横に広がり、結果的にピーク濃度が低下することになる。したがって、安全側の評価を行うのであれば、分散長を小さくし、ピーク濃度が高めになる条件でシミュレーションすることが望ましい。そのため、分散長が小さくなるように解析領域の 1/100 の値を採用した。

^a 社団法人地盤工学会（2009）地盤材料試験の方法と解説，丸善，p. 101.

^b 社団法人全国都市清掃会議（2001）：廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領，p. 185.

^c Spits, K. and Moreno, J. (1996): *A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling*, John Wiley and Sons., p. 368.

^d Friedhar, A.M. and Kennedy, J.W. (1955): The Self-diffusion Coefficients of Potassium, Cesium, Iodide and Chloride Ions in Aqueous Solutions, *J. Am. Chem. Soc.*, 77 (17), pp. 4499-4501.

^e Gelhar, L.W., Welty, C., and Rehfeldt, K.R. (1992): A Critical Review of Data on Field-Scale Dispersion in Aquifers, *Water, Resour. Res.*, 28 (7), pp. 1955-1974.

^f 小橋ら（2004）：地盤汚染の影響予測に用いる分散長の決定法について，土木学会論文集，No. 764/III-67，pp. 53-67.