

最終処分場埋立地の不等沈下を考慮した雨水浸透防止シートの力学特性に関する評価

神奈川県 正会員 ○遠藤 清亮
 神奈川県 正会員 田口 雅丈

1. はじめに

丘陵地の谷地形に整備された廃棄物最終処分場の埋立地には、廃棄物の特性と埋立作業の進捗により、局所的な不等沈下が発生している。浸出水発生量を減少させるための雨水浸透防止シートを敷設するうえで局所沈下に追従すること、既存直壁部との接合安定性を確保することが必要不可欠となっている。そこで、著者らはFEM解析により俯瞰的な沈下モデルを設定し、Co-Energyモデル等を用いて不等沈下に対するシートの追従性を検討した。また、接合部引張試験によりシートと異素材接合部の安定性を確認したうえで、廃棄物、覆土、雨水浸透防止シートを相互的な要素で細部設定したFEM解析により局所沈下とシート変形挙動を捉えて力学特性を評価することにした。

2. 雨水浸透防止シートの力学的な安定性の検証

埋立地の雨水浸透防止シート（EPDMシート）敷設箇所は、埋立水平部と直壁接合部に区分される。埋立地には不等沈下推測モデルで検証したレベル程度の局所的な沈下が発生するため、シート自体に引張荷重が作用することから、シートの埋立水平部の追従性と既存直壁部との接合性について力学安定度を検証するものとした。

2.1 埋立水平部シートの追従性

シートに対するCo-Energyモデル¹⁾と修正弾性モデル²⁾の関係から、EPDMシートに作用する最大引張応力と最大歪を評価するものとした。Co-Energyモデルは、シートの基盤が沈下するときにシートが耐えうる許容不等沈下量をシートの引張力-歪曲線のコンプリメンタリーな関係を算出することから、式-1が定義される。

$$s \cdot \sigma_n \cdot (\tan \phi_u + \tan \phi_L) = \int_0^{T_{\max}} \varepsilon \cdot dT \quad \cdots \text{式-1}$$

ここに、 s ：地盤の圧密変形に追従するのに必要な遮水シートの伸び量（cm）、 ϕ_u 、 ϕ_L ：遮水シート上下面での接触物との摩擦抵抗角（°）、 ε ：内部引張歪み（%）、 $T_{\max}$ ：最大引張力（kN/cm²）

式-1の右边については、引張力・歪み曲線に関する曲線部と歪み軸から囲んでいる面積（Co-Energy）を示している。また、式の左边を埋立地沈下量計測値による沈下予想モデル、FEM解析モデルから求めた沈下量を不等沈下に対して追従するのに必要な遮水シートの伸び量とした。左辺で算出した弾性エネルギーをCo-Energyとみなして、導入した結果を図-1に示す。今回の検証ケースであるEPDMシート応力-歪みの関係は、弾性範囲に収束することから、局所沈下に対するシートの追従性を満たしていることが把握できる。

2.2 直壁部の異素材接合特性について

EPDMシートとゴムアスファルトシート（直壁部）の異素材接合部には不等沈下によるひずみが支配的に作用すること、ゴムアスファルトシートの剛性が高いことからストレスクラックや接合部の剥離が生じやすいことが想定される。室内力学試験により異素材接合部分の接合引張性能を把握するためCase1：幅25mm、接合長100mm、Case2：幅25mm、接合長160mm、Case3：幅25mm、接合長100mm、増張シート長100mmの3ケースの供試体を作成し接合引張試験（Case1：21試験、Case2：12試験、Case3：12試験）を実施するもの

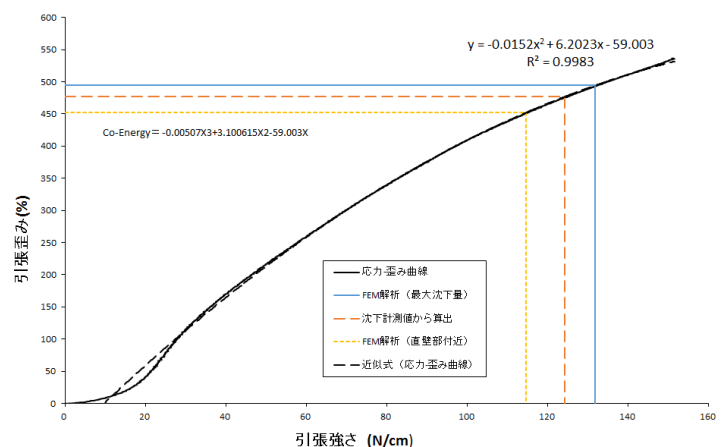


図-1 引張力-歪み曲線による Co-Energy モデルの計算結果

キーワード 雨水浸透防止シート, EPDM, Co-Energy モデル, 異素材接合, FEM 解析

連絡先 〒240-0104 神奈川県横須賀市芦名 3-1990 神奈川県環境農政局環境部資源循環課 TEL 046-856-6810

とした。図-2のシートの降伏基準について、回帰直線の切片である基底値は接合部の粘着力として、直線勾配を弾性係数と想定すると、Case3はCase1、Case2と比較して、シートの増張により剛性と接合性の増加に寄与していることが認められる。

3. FEM解析によるシート力学モデルの検証

埋立地1区画におけるシートの挙動を、FEM解析で検証した。解析領域を図-3に示す。盛土、埋立、直壁を平面歪み要素、シートは棒要素とし、それぞれジョイント要素で結合した。各要素の物性値を表-1～表-2に示す。

Co-Energyモデルでは、シート基盤の垂直沈下が、シートの水平方向伸びに90°方向を変えることを要請するため、シート折れ点に多点拘束を設定した。ここで、ジョイント要素の砂時計モードにおける安定化をめざし、非線形計算時に必要とする等価節点力の計算を照査した。一例として摩擦力が図-4に示す状態になった場合、ハッチ部分を等価節点力に換算した。 p は発生摩擦力、 F は限界摩擦力である。計算方法は式-2のとおりで、 $\mathbf{N}_1$ 、 $\mathbf{N}_2$ は補間関数行ベクトルである。

$$\sum_{k=1}^5 \int_{x_k}^{x_{k+1}} \begin{Bmatrix} -\mathbf{N}_1^T \\ \mathbf{N}_2^T \end{Bmatrix} \mathbf{N}_1 dx \begin{Bmatrix} p_1 - s_k F_1 \\ p_6 - s_k F_6 \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{N}_1 = \begin{bmatrix} \frac{L}{2} - x & \frac{L}{2} + x \end{bmatrix} \quad \dots \text{式-2}$$

$$\mathbf{N}_2 = \begin{bmatrix} \frac{L}{2} + x & \frac{L}{2} - x \end{bmatrix}$$

ただし $|p_k| < |s_k F_k|$ or $|p_{k+1}| < |s_k F_{k+1}|$ の場合加算しない。

s_k は、 x_k, p_k, F_k の値により1, 0, -1の値を取る変数である。

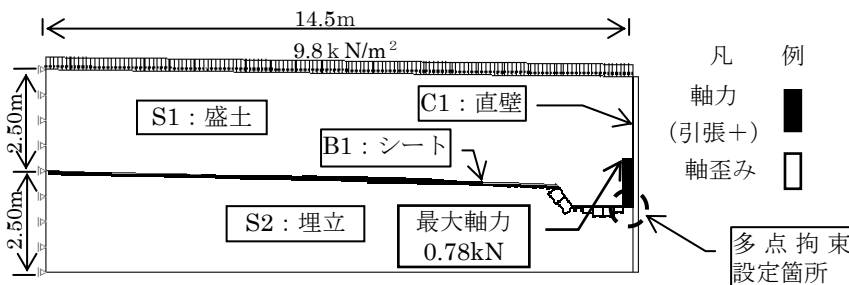


図-3 解析領域及びシートの応答

シートの応答量(図-3)は、水平部右端の多点拘束設定箇所最大軸力0.78kN、応力度で0.52MN/m²となり、EPDMシートの設計許容強度3.5MN/m²に対し十分安全な値であった。

4. おわりに

今回、雨水浸透防止シートの埋立地局所沈下に対する追従性と接合性について、Co-Energyモデル、修正弾性モデルによりシートの力学的な安定度を確認することができた。さらに、多点拘束を用いたFEM解析により埋立物とシートの相互作用とシートの回り込みによる引き込み現象を捉え、ジョイント要素を安定して解析に反映させることができた。今後はこれらのモデルをさらに改良し、跡地利用の形態や次区画の埋立形状と埋立深度が異なったケースに対しても雨水浸透防止シートの追従性、接合性を検証することにより、さらなる精度の向上を目指していきたい。

【参考文献】

- 1) J. P. Giroud: Quantification of Geosynthetic Behavior, Proceeding of the 5th International Conference on Geotextiles, Geomembrane and Related Products Special Lecture & Keynote Lecture(1994)
- 2) 遠藤清亮、田口雅丈:埋立地の不同沈下に対する追従性を考慮した雨水浸透防止シートの適用に関する考察 都市清掃VOL68 N0325 公益社団法人 全国都市清掃会議 2015年

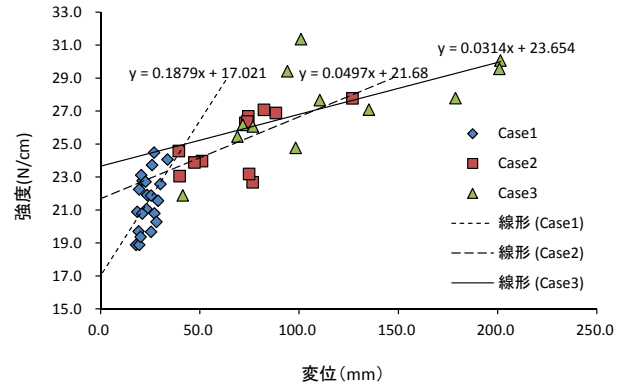


図-2 接合部引張試験の降伏基準について

表-1 平面歪み要素の設定定数

種別	E (kN/m²)	ν	γ (kN/m³)
S1	2.4×10^3	0.3	16
S2	1.2×10^3	0.3	8.9
C1	2.5×10^{10}	0.0	23

表-2 シートの設定定数

種別	E (kN/m²)	A (m²)	圧縮強度 σ_c (kN/m²)
B1	1.4×10^4	1.5×10^{-3}	0.0

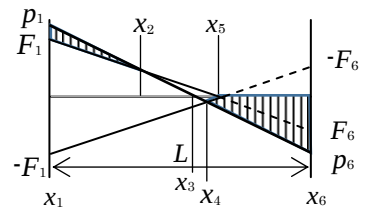


図-4 ジョイント要素摩擦力模式図